

# 2022 年《範疇計畫》更新草案

2022 年 5 月 10 日



# 目錄

插圖列表.....	vii
表格列表.....	ix
縮寫 .....	xii
執行摘要.....	
範疇計畫編纂過程.....	iii
確保公平與負擔能力.....	iv
能源和技術轉型.....	v
目前可用的具有成本效益的解決方案.....	vi
繼續使用組合方法.....	vii
結論.....	vii
2022 年《範疇計畫》定稿通過後.....	viii
第 1 章：引言.....	1
氣候變遷之影響的嚴重性.....	3
野火.....	3
乾旱.....	4
極端高溫.....	5
行動勢在必行.....	6
氣候進一步暖化的後果.....	6
範疇計畫概覽.....	8
以往的範疇範疇計畫.....	8
2022 年《範疇計畫》概覽.....	8
指導我們應對氣候挑戰的原則.....	9

對永續未來的空前投資.....	9
以公平為中心.....	11
最大限度地提高空氣品質和健康裨益.....	13
經濟彈性.....	14
各地政府合作.....	14
與私營部門合作.....	15
支援創新.....	15
攜手合作夥伴共同制定政策並向外輸出.....	16
努力實現碳中和.....	18
支援健康和具有復原力的土地.....	19
持續側重於甲烷和短期氣候污染物.....	19
制定 2022 年《範疇計畫草案》的流程.....	21
《範疇計畫》參閱的排放數據.....	27
溫室氣體排放.....	27
自然和工作用地.....	29
黑碳.....	31
跟蹤生命週期和州外排放.....	31
第 2 章：建議方案.....	33
AB 32 溫室氣體庫存清單部門方案.....	33
自然和工作用地備選方案.....	35
範疇計畫備選方案評估.....	36
備選方案 1：到 2035 年實現碳中和.....	37
備選方案 2：到 2035 年實現碳中和.....	38
備選方案 4：到 2045 年實現碳中和.....	39

自然和工作用地的《範疇計畫》備選方案 .....	40
自然和工作用地備選方案 1：土地治理活動優先考慮森林的短期碳儲量，並增加耕地的氣候智慧農業實踐 .....	41
自然和工作用地備選方案 2：將本州當前的承諾和計畫作為土地治理活動的基礎。 .....	42
自然和工作用地備選方案 4：以減少森林、灌叢和草地的野火可燃物為重點的土地治理活動。 .....	42
備選方案與建議方案的比較 .....	43
建議方案概述 .....	47
AB 32 溫室氣體清單部門 .....	47
碳移除和封存建議戰略 .....	55
碳捕獲和封存的擬議作用 .....	56
自然和工作用地排放和封存的擬議作用 .....	59
碳移除擬議作用（直接空氣捕獲） .....	61
SB27 2030 年二氧化碳移除擬定目標 .....	62
方案不確定性 .....	64
建模 .....	64
實施 .....	64
建議方案目標評價：石油和天然氣的開採和提煉 .....	65
石油和天然氣開採 .....	66
石油提煉 .....	69
推動實現 2030 年目標 .....	71
碳總量限制和交易計畫更新 .....	71
2021 年至 2030 年的初步溫室氣體建模估計值 .....	73
第三章：經濟和健康評估 .....	77
備選方案的經濟評估 .....	77

估計直接成本 .....	78
經濟和就業 .....	81
健康分析 .....	85
AB 197 措施分析 .....	90
估計減排量 .....	91
估計的健康端點 .....	93
估計社會成本 .....	98
每公噸估計成本 .....	102
公共健康 .....	105
健康分析概述 .....	105
健康分析組成部分 .....	106
健康不平等的社會和環境決定因素 .....	107
氣候脆弱性 .....	111
定性健康分析概要 .....	112
環境分析 .....	118
第 4 章：關鍵部門 .....	119
交通永續性 .....	120
部門轉型 .....	121
成功策略 .....	123
成功策略 .....	126
成功策略 .....	128
清潔電力網 .....	128
部門轉型 .....	131
成功策略 .....	135

永續製造業和建築.....	135
部門轉型.....	136
成功策略.....	138
成功策略.....	141
碳移除.....	142
部門轉型.....	144
成功策略.....	145
短期氣候污染物（非燃料氣體）.....	146
部門轉型.....	152
成功策略.....	154
成功策略.....	156
成功策略.....	157
成功策略.....	160
自然和工作用地.....	161
地貌.....	163
各種地貌的碳趨勢.....	164
目標以及加快基於自然的解決方案.....	165
成功戰略：所有自然和工作用地交叉項目.....	166
成功策略.....	168
成功策略.....	171
成功策略.....	176
成功策略.....	177
第 5 章：接受挑戰.....	178
州層面的行動.....	178

法規和綱領的制定 .....	178
激勵計畫 .....	179
地方行動 .....	179
地方氣候行動規劃和許可 .....	180
解鎖加州《環境質量法》緩解措施，助力地方成功.....	181
社區和環境正義.....	182
學術機構和私人部門.....	187
個人.....	188

# 插圖列表

插圖 1-1：加州溫室氣體總排放量及人均排放量 .....	2
插圖 1-2：不作為的真實代價 .....	7
插圖 1-3：加州氣候變遷綜合投資.....	10
插圖 1-4：加州氣候投資累計成果.....	12
插圖 1-5：碳中和：平衡所有碳源和碳匯的溫室氣體排放淨通量.....	19
插圖 1-6：短期氣候污染物的影響.....	20
插圖 1-7：2019 年州溫室氣體排放百分比（按溫室氣體劃分） .....	27
插圖 1-8：2019 年州溫室氣體排放百分比（按《範疇計畫》部門劃分） .....	28
插圖 1-9：自然和工作用地中的碳儲量.....	29
插圖 1-10：不同地貌類型的碳儲量變化.....	30
插圖 2-1：基準情景和建議方案的溫室氣體排放 .....	48
插圖 2-2：2022 年《範疇計畫草案》考慮的碳移除和封存形式 .....	56
插圖 2-3：採用和未採用碳捕獲和封存的石油提煉排放 .....	58
插圖 2-4：自然和工作用地建模情景與現有研究的比較 .....	60
插圖 2-5：建議方案 2020 年、2035 年和 2045 年的剩餘排放量以及 2035 年和 2045 年的潛在二氧化碳移除量 .....	61
插圖 2-6：隨著燃料需求減少而逐步停止油氣開採活動的情況下，油氣開採部門 2020 年和 2045 年溫室氣體排放量 .....	67
插圖 2-7：加州州內原油產量 .....	67
插圖 2-8：按運輸類型劃分的原油進口量 .....	68
插圖 2-9：活動隨燃料需求減少而逐步減少時，2020 年和 2045 年石油提煉部門的溫室氣體排放量（有和沒有碳捕獲和封存） .....	70
插圖 2-10：2017 年《範疇計畫》與 2022 年《範疇計畫草案》基準情景的比較（無不確定性限度） .....	74



插圖 3-1：2021 年至 2035 年和 2045 年加州全州生產總值（左）和就業增長（右）預測 .....	78
插圖 3-22：2035 年和 2045 年建議方案和備選方案相對於加州經濟增長的成本和節約（AB 32 溫室氣體清單部門） .....	80
插圖 3-3：相對於 2035 年和 2045 年加州經濟增長，建議方案和備選方案的全州生產總值（左）和就業情況（右）（AB 32 溫室氣體清單部門） .....	83
插圖 3-44：2045 年基準情景、建議方案和備選方案的氮氧化物減排量說明（AB 32 溫室氣體清單部門） .....	86
插圖 3-55：2045 年 1 月人口加權細粒狀物的減少量和已避免的過早死亡事件（AB 32 溫室氣體清單部門）。 .....	87
插圖 3-66：相對於基準情景，建議方案和備選方案在 2045 年 7 月和 1 月的總健康裨益（AB 32 溫室氣體清單部門） .....	88
插圖 3-7：相對於基準情景，建議方案和備選方案於 2045 年 7 月和 1 月為弱勢社區帶來的健康裨益（AB 32 溫室氣體清單部門） .....	88
插圖 3-88：相對於基準情景，建議方案和備選方案的年平均健康裨益總計（自然和工作用地） .....	89
插圖 3-9：《範疇計畫草案》的結果和改善健康狀況的途徑 .....	107
插圖 3-10：加州環境篩查工具中受影響最小和最大的社區 .....	108
插圖 3-11：按種族和弱勢社區（直接空氣捕獲）劃分的細粒狀物主要來源及其占細粒狀物暴露的比例 .....	110
插圖 3-12：社會經濟、環境、發展和氣候變遷因素造成的弱勢群體舉例 .....	112
圖 4-1：建議方案中的公路車輛銷售向零排放車輛技術轉變 .....	122
插圖 4-2：2020 年、2035 年和 2045 年建議方案中的交通燃料組合 .....	125
插圖 4-3：2020 年系統總發電量（吉瓦時）。 .....	129
插圖 4-4：2011-2020 年 7 月至 9 月每日總電力需求和淨峰值的平均時間（太平洋夏令時）。 .....	131
插圖 4-5：建議方案中預測的到 2045 年所需的電力資源 .....	133
插圖 4-6：建議方案 2020 年、2035 年和 2045 年電力負荷 .....	134

插圖 4-7：建議方案中 2020 年、2035 年和 2045 年工業製造（左）以及石油和天然氣開採和石油精煉業務（右）的最終能源需求情況.....	137
插圖 4-8：建議方案中 2020 年、2035 年和 2045 年的建築最終能源需求 .....	140
插圖 4-9：建議方案中的住宅供暖設備銷售情況 .....	141
插圖 4-10：碳管理基礎設施.....	143
插圖 4-11：到 2030 年透過現有戰略實現 SB 1383 目標減排的預期進展 .....	147
插圖 4-12：加州甲烷排放源（2019 年） .....	149
插圖 4-13：氫氟烴排放源（2019 年） .....	151
插圖 4-14：人為黑碳來源（2017 年初步估計； AR5 100-yr GWP 900） .....	152
插圖 4-15：建議方案中的 2020 年、2035 年和 2045 年甲烷排放量.....	153
插圖 4-16：沉積在垃圾填埋場的可降解碳.....	156
插圖 4-17：建議方案中的 2020 年、2035 年和 2045 年氫氟烴排放量.....	158
插圖 4-18：現有設備中的製冷劑的潛在排放 .....	159
插圖 4-19：建議方案中 2020 年、2035 年和 2045 年的其餘非燃燒物排放量 .....	161
插圖 4-20：燒毀的野外植被面積 .....	162
插圖 4-21：到 2045 年森林（左）和灌木林（右）的碳儲量.....	168
插圖 4-22：截至 2045 年的草地碳儲量 .....	170
插圖 4-23：2045 年一年生耕地累積二氧化碳當量排放量 .....	172
插圖 4-24：到 2045 年三角洲濕地的累積二氧化碳排放量.....	174
插圖 4-25：截至 2045 年城市森林的碳儲量.....	175
插圖 4-26：截至 2045 年植被稀疏的土地的碳儲量 .....	177

## 表格列表

表格 1-1：自 2017 年《範疇計畫》通過以來所發布的主要氣候立法和行政令 .....	21
表格 2-1：AB 32 溫室氣體清單部門備選方案關鍵指標排名 .....	45

表格 2-2：建議方案的行動：AB 32 溫室氣體清單部門.....	48
表格 2-3：建議方案行動：自然和工作用地領域 .....	54
表格 2-4：2017 年《範疇計畫》與 2022 年《範疇計畫》模型比較（無不確定性限度） .....	75
表格 3-1：相對於加州經濟增長，建議方案和自然和工作用地備選方案的成本和節約（自然和工作用地） .....	81
表格 3-2：2035/2045 年建議方案和備選方案相對於加州經濟增長的家庭影響（AB 32 溫室氣體清單部門） .....	84
表格 3-3：2035/2045 年建議方案和備選方案相對於加州經濟增長的全州生產總值和就業情況（自然和工作用地） .....	85
表格 3-4：2035/2045 年建議方案相對於基準情景的溫室氣體和標準污染物減排量的估計值 ..	91
表格 3-5：2025-2045 年建議方案相對於基準情景的年平均溫室氣體和標準污染物減排量的估計值 .....	93
表格 3-6：相對於基準情景，建議方案避免的死亡率、心血管和呼吸系統疾病發病率、誤工天數和入院人數的估計 .....	95
表格 3-7：相對於基準情景，建議方案下與森林、灌木叢和草地野火排放相關的已避免年平均入院率、急診次數和死亡率估計值 .....	98
表格 3-8：建議方案（AB 32 溫室氣體清單部門）中考慮的各項措施的估計社會成本 .....	100
表格 3-9：建議方案中考慮的措施的估計社會成本（避免的經濟損失）（自然和工作用地） ..	101
表格 3-10：相對於基準情景，建議方案中考慮的措施減少的每公噸二氧化碳當量的估計成本（AB 32 溫室氣體清單部門） .....	103
表格 3-11：相對於基準情景，建議方案中考慮的措施（自然和工作用地）減少每公噸二氧化碳當量的平均每公噸成本估計值 .....	104
表格 3-12.《範疇計畫草案》對健康協同效益領域（供熱、經濟適用房、糧食安全、經濟安全和城市綠化）的定向裨益.....	116
表格 3-13.《範疇計畫草案》對健康協同效益領域（交通污染、野火以及需要身體活動的交通方式）的定向裨益 .....	117
表格 4-1：2022 年自然和工作用地範疇計畫模型目標，基於不斷增加的自然和工作用地相關行動 .....	165



## 縮寫

°F	華氏度
°C	攝氏度
AB	議會法案
AQMD	空氣質量管理局
AR5	聯合國政府間氣候變遷專門委員會（IPCC）氣候變遷第五次評估報告
BAU	一切如常
BECCS	生物能源與碳捕獲和儲存
CalEPA	加利福尼亞州環保局
CalSTA	加利福尼亞州運輸局
CARB	加州空氣資源局
CCHViz	氣候變遷與健康脆弱性指標工具
CDFA	加州食品及農業部
CDR	碳移除
CE	公元
CEQA	加州《環境質量法》
CES	環境健康篩查工具
CH <sub>4</sub>	甲烷
CMAQ	區域多尺度空氣質量模型
CNRA	加州自然資源局
CO <sub>2</sub>	二氧化碳
COPD	慢性阻塞性肺病
CPUC	加州公共事業委員會

DAC	直接空氣捕獲
DAC	弱勢社區
EA	環境分析
ED	應急部門
EJ	環境正義
EJ Advisory Committee	環境正義諮詢委員會
ETS	排放交易體系
EV	電動汽車
F-gas	氟化氣體
FCEV	燃料電池電動車
GCF	州長氣候與森林行動小組
GDP	國內生產總值
GHG	溫室氣體
GSP	全州生產總值
GW	吉瓦
GWh	吉瓦時
GWP	全球暖化潛勢
HDV	重型車
HD ZEV	零排放重型車
HFC	氫氟烴
HPI	健康場所指數
ICAP	國際碳行動夥伴組織
IPCC	政府間氣候變遷專門委員會
IPT	每公噸發病率

IWG	跨部門工作組
LCFS	低碳燃料標準
LDV	輕型車
MD	中型
MMT	百萬公噸
MMTCO <sub>2</sub> e	百萬公噸二氧化碳當量
MOU	諒解備忘錄
MRR	溫室氣體排放強制報告
MTCO <sub>2</sub> e	公噸二氧化碳當量
MW	兆瓦
N <sub>2</sub> O	一氧化二氮
NF <sub>3</sub>	三氟化氮
NO <sub>x</sub>	氮氧化物
NWL	自然和工作用地
OEHHA	環境健康危害評估辦公室
PFC	碳氟化合物
PM <sub>2.5</sub>	細粒狀物
PPP	公私營合作
RFS	再生燃料標準
RNG	可再生天然氣
RPS	可再生能源配額制
SB	參議院法案
SC-CH <sub>4</sub>	甲烷社會成本
SC-CO <sub>2</sub>	碳社會成本

SC-GHG	溫室氣體社會成本
SC-N <sub>2</sub> O	一氧化二氮社會成本
SEMARNAT	墨西哥環境和自然資源秘書處
SF <sub>6</sub>	六氟化硫
SGIP	自發電激勵計劃
SLCP	短期氣候污染物
SoCAB	南海岸空氣品質區
TSD	技術支援文件
UCLA	加州大學洛杉磯分校
UNFCCC	聯合國氣候變遷計劃公約
U.S. EPA	美國環境保護局
VMT	車輛行駛里程
WUI	森林-城鎮交界域
ZEV	零排放車輛



# 執行摘要

2022 年《範疇計畫》一經敲定，將成為一個重要里程碑，列載世界第五大經濟體將如何在 2045 年或之前實現碳中和。這是第一個除了將碳中和作為法定減排目標之外，又作為科學指南同試金石的《範疇計畫》。文件為在 2045 年或之前實現碳中和目標明確了一條技術上可行、具有成本效益且注重公平的路徑；同時亦評估了加州依照《加州全球暖化解決方案：排放限制》（SB 32）和 2017 年《範疇計畫》之規定到 2030 年將溫室氣體（GHG）排放量降低到 1990 年之下 40% 的工作進展。<sup>1</sup> 以往的計畫側重於讓工業、能源和交通運輸部門於 2020 年達到 1990 年水平，而後到 2030 年大幅降低至 1990 年之下 40% 這一目標的具體溫室氣體減排目標。碳中和則更進一步，將行動內容擴大到碳捕獲和儲存（包括透過自然和工作用地以及機械技術實現碳補存），同時大幅減少人為的碳污染源。

於加州而言，此乃銳意進取之舉，以求嚴格限制每一個經濟部門的碳排放，引領我們走上通往更公平、更永續的未來之路，因應當前所面臨的最大生存威脅，並保障因使用化石燃料而大受影響的社區亦可從此次轉型中獲益。化石燃料的燃燒已經引發了空氣污染，特別是低收入地區和有色人種地區長期深受其害，亦是導致氣候變遷的根本原因。本《範疇計畫草案》幫助我們規劃了實現未來的路徑，讓種族不再成為空氣污染和氣候影響分佈不均的一個要素。

這一史無前例的轉型，主要是藉助並加快已實施十五載的碳減排計畫，大幅減少加州當前所使用的化石燃料。這意味著要快速轉向零排放之交通運輸，實現汽車、公交、火車以及卡車等加州最大單點全球暖化污染源的電氣化；意味著要逐步停止家庭和建築供暖中所使用的化石燃氣；意味著要遏制吸熱能力比二氧化碳（CO<sub>2</sub>）高出幾千倍的化學品和製冷劑；意味著要為公眾提供永續的步行、騎行和公共交通選擇，讓人們不必依賴於汽車；意味著要繼續建設太陽能電池組、風力發電機組以及可提供清淨、可再生能源用以替代化石燃料燃燒發電的其他資源；亦意味著要擴大新的選擇範圍，比如為難以實現終端用電的地方提供綠氫<sup>2</sup>，以及在需要的地方使用可再生燃氣。

這是減少碳排放方面。另一方面是重新構想我們的森林、灌木叢/濃密常綠闊葉灌叢、耕地、濕地和其他土地——我們稱之為自然和工作用地——以確保這些用地盡可能發揮強大的功效，將更多的碳吸收和存儲於佔地面積超過本州總面積（1.05 億英畝）90% 的樹木、植物、土壤和濕地之中。由於我們的目標是平衡碳排放和碳封存，我們需要研究、開發和部署其他捕集 CO<sub>2</sub> 的方法

---

<sup>1</sup>加州空氣資源局，2017，《加州應對全球暖化法案》（AB 32）《氣候變遷範疇計畫》更新，[https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/classic/cc/scopingplan/scoping\\_plan\\_2017.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/classic/cc/scopingplan/scoping_plan_2017.pdf)

<sup>2</sup>在 2022 年《範疇計畫草案》中，「綠氫」不僅局限於可再生能源產生的電解氫。

，包括從廠房等的煙囪中提取二氧化碳，或從大氣中提取二氧化碳，然後安全永久地將之儲存起來。

這項計畫旨在打破碳排放之現狀，採取行動實現加州的願景，為我們的孩子創造一個更清淨、更永續的環境和繁榮的經濟。定稿後，這項宏大計畫將會成為世界其他各地思考如何轉型的典範。加州將一如既往，作為成功的創新實驗室，不僅榮膺全球第五大經濟體，最終還將成為最高效節能的經濟體之一，用成績證明加州有能力將經濟增長與碳污染脫鉤。本計畫以當前和以往的環境正義舉措為依託，逕行將環境正義納入到計畫之中，以確保沒有一個社區掉隊。具體而言，該計畫：

- 明確了加州依照 SB 32 之規劃於 2030 年之前將溫室氣體排放量較 1990 年至少降低 40% 的路徑。
- 為在 2045 年或之前實現碳中和目標明確了一條技術上可行、成本效益高且注重公平的路徑。
- 重點研究減少加州對石油依賴性的策略，為消費者提供清淨能源選項，以應對氣候變遷、改善空氣品質、支援經濟增長和清潔部門的就業。
- 文件通篇將公平和保護加州受影響最大之社區作為驅動原則。
- 將自然和工作用地對本州溫室氣體排放的貢獻及其在實現碳中和中的作用結合起來。
- 依靠最尖端科技，包括需要部署所有可行的工具來因應氣候變遷帶來的生存威脅，包括碳捕獲和封存及直接空氣捕獲。
- 評估實現溫室氣體和碳中和目標的多種選擇方案，及與之相關的公共健康紅利和經濟影響。

堅實的科學為前進道路指明方向。政府間氣候變遷專門委員會（IPCC）《第六次評估報告》（AR6）總結了關於氣候變遷的最新科學共識。報告發現，自工業革命以來，大氣中的 CO<sub>2</sub> 濃度增加了 50%，並繼續以每年百萬分之二速度增長。<sup>3</sup>到 21 世紀 30 年代，最遲不超過 2040 年，全球升溫幅度將超過 1.5°C。若在升溫 1.5°C 基礎上，升溫幅度繼續邁向 2°C，則每暖化一點，哪怕只是 0.1 攝氏度都會帶來更多的負面影響，造成關乎人類健康、生存及生物多樣性的氣候相關風險。<sup>4</sup>為了將升溫幅度維持在 1.5°C 以下，僅小幅超出或不會超出這一閾值，全球人為 CO<sub>2</sub> 淨排放量須在 2050 年之前達到淨零。

---

<sup>3</sup>政府間氣候變遷專門委員會，2021，《2021 年氣候變遷：自然科學基礎》，政府間氣候變遷專門委員會《第六次評估報告》第一工作組供稿，劍橋大學出版社，待刊，<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

<sup>4</sup>政府間氣候變遷專門委員會，2018，《全球升溫 1.5°C》，世界氣象組織，瑞士日內瓦，第 32 頁，<https://www.ipcc.ch/sr15/>

2006 年《全球暖化因應法》獲得通過並簽署成為法律，迄今已有 16 年。2017 年 AB 32《氣候變遷範疇計畫》<sup>5</sup>的第二次更新（2017 年《範疇計畫》更新）為實現 2030 年溫室氣體減排目標制定了具有成本效益且技術上可行的路徑。當時，許多人認為該計畫和 AB 32 目標是無法實現的，認為這會帶來繁重的工作和大量失業，且成本過高。結果表明，這些預測是錯誤的，因為加州提前四年實現了 AB 32 目標，不僅經濟獲得了發展，本州亦化身為綠色技術投資的中心。2022 年《範疇計畫草案》借鑒了 15 年來的成功經驗和其他新方法，制定了平衡且積極的有效行動方案，以在 2030 年目標的基礎之上，於 2045 年（或此前）實現碳中和。

預計加州的經濟未來幾年和幾十年將會蓬勃發展。在基準情景下，2045 年的州生產總值將達到 5.1 萬億美元，比 2021 年高出近 2 萬億美元，並且在增長過程中增加數十萬個就業崗位。依照加州空氣資源局（CARB）工作人員的建議方案，這種增長所帶來的影響在 2035 年和 2045 年都可以忽略不計，但由於此計畫支援更清淨的空氣品質，所以住院人數、哮喘病例人數、失業人數、停學天數都會減少，進而產生巨大的收益。因此，儘管加州已採取嚴厲措施降低排放，但自大衰退以來加州經濟仍出現巨大增長，並不足為奇。如前所述，無論是避免氣候影響亦或是健康費用方面，因大刀闊斧的氣候行動所節省的資金都是不容小覷的。如第 1 章所述，美國氣候（問題）和空氣污染造成的健康成本遠超 8000 億美元，若不採取強有力的行動，<sup>6</sup>未來幾年將繼續增長。同樣，延遲氣候行動或氣候行動不力可能在未來 50 年致使美國損失超過 14.5 萬億美元。<sup>7</sup>我們要麼立即採取行動，要麼早晚為無所作為付出代價。

我們無法獨自應對這一前所未有的挑戰。與聯邦政府、美國其他州和世界各地其他司法管轄區的合作，將繼續成為加州成功實現自身氣候目標的基礎，特別是隨著未來幾年努力步伐的加快。我們相信，這種合作和協調也會產生一種力爭上游的競爭，鼓勵並助力其他司法管轄區實現氣候和空氣品質目標，並為國家行動提供借鑒。

加州長期實施的汽車排放標準計劃是富有成效的一個合作案例，其他州在遵守聯邦《清淨空氣法》（Clean Air Act）的前提下，多次自由採用該等計劃。加州的專案常常開創更為嚴格的標準或新技術——包括現在的標準催化轉化器——並繼續領跑。從幾十年前的汽車和卡車初始標準，到目前世界領先的先進清潔卡車項目(Advanced Clean trucks)，幫助重型車輛實現電氣化，這種伙伴關係在繼續提供監管選項，並傳播創新技術。擬議的「高級清淨汽車 2」計劃是未來的一項典型

---

<sup>5</sup>加州空氣資源局，2017，*加州 2017 年《氣候變遷範疇計畫》*，  
[https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/classic/cc/scopingplan/scoping\\_plan\\_2017.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/classic/cc/scopingplan/scoping_plan_2017.pdf)

<sup>6</sup>Alwis, D. D. 和 V. S. Limaye，日期不詳，《不作為的代價：美國化石燃料的經濟負擔和氣候變遷對健康的影響》，自然資源保護協會、美国医学协会气候和健康联盟與全球臨終關懷安寧療護聯盟，  
<https://www.nrdc.org/sites/default/files/costs-inaction-burden-health-report.pdf>

<sup>7</sup>德勤，2022，*轉折點：美國的新經濟氣候*，  
<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/about-deloitte/us-the-turning-point-a-new-economic-climate-in-the-united-states-january-2022.pdf?id=us:2el:3dp:wsjspon:awa:WSJSBJ:2021:WSJFY22>

工作，該計劃為加州在 2035 年實現銷售車輛 100% 為零排放車輛制定了具有法律約束力的途徑<sup>8</sup>。加州空氣資源局繼續同其他多個州密切合作，這些州亦認同零排放車輛對其氣候和公共健康目標至關重要，並希望許多州也選擇採用該項法規。與他州的合作也為汽車製造商創造了市場確定性，反過來有助於確保加州消費者能夠以多元的價格購買到眾多零排放車輛。

## 範疇計畫編纂過程

為了制定 2022 年《範疇計畫草案》，我們對四種情景進行了廣泛建模，藉以為制定最可行的路徑確保按計劃完成 2030 年溫室氣體減排目標並在 2045 年或此前實現碳中和提供依據。四種方案都有各自的優缺點，皆由涉眾提供資訊。工作人員建議的方案是與現有的法規和行政令最接近的備選方案，構成了 2022 年《範疇計畫草案》的基礎。之所以將之作為建議備選方案是因為它最有力地實現了成本效益、健康效益和技術可行性之間的平衡。也就是說，加州空氣資源局及其他利益攸關方認真考慮了 2022 年《範疇計畫草案》，他們可能認為引入其他備選方案的某些方面對於改進工作人員提出的備選方案是有價值的。備選方案中包含的一些清潔技術或燃料相關加速方案亦可能有助於為新的立法目標或激勵計畫提供依據，以更快地實現溫室氣體減排。

工業、能源和交通運輸部門對應的四種情景都是進取型，將石油使用量從 2022 年以下 81% 減少到 99%。建議方案提出到 2045 年將石油使用量在 2022 年水平上減少 91%。總的來說，由於清潔技術和燃料的部署時間更長，建議方案較兩項 2035 年方案更為可行。實現碳中和目標過程中增加的 10 年時間，也使技術能夠以更低的成本進行推廣和部署。與基準情景相比，建議方案到 2045 年會帶來顯著的健康效益，並且在考慮的所有情景中對就業和經濟增長拖累最小。

《範疇計畫草案》首次對自然和工作用地（NWL）的溫室氣體排放和碳封存進行了建模與量化。到目前，重點始終放在減少我們交通運輸、能源和工業部門的溫室氣體排放量。加州 2020 年和 2030 年溫室氣體減排目標僅涵蓋這些溫室氣體來源。2022 年《範疇計畫草案》從碳中和的角度擴大了涵蓋範圍，從長計議，考慮了如何透過自然和工作用地促進我們的長期氣候目標。此乃首次藉助新的尖端建模工具，用以估計森林和其他地貌在不同方案下去除和存儲碳的數位能力。這些尖端工具係透過利益攸關者的流程並與其他機合作為本次計畫更新工作專門開發，並將繼續不斷完善，且可提供給其他與開展類似工作之人員使用。

此《範疇計畫》最新版本編撰過程中，依照州長加文·紐森（Gavin Newsom）因應氣候變遷之政府總動員方針，亦認真考慮了其他州機構並與之協調。包括《聯合機構報告》（SB 100）、<sup>9</sup>《州實施計畫》、《交通基礎設施氣候行動計畫》、<sup>10</sup>《車輛排放和燃料供需研究》（AB 74）

---

<sup>8</sup>第 N-79-20 號《行政令》，<https://www.gov.ca.gov/wp-content/uploads/2020/09/9.23.20-EO-N-79-20-Climate.pdf>

<sup>9</sup>加州公共事業委員會、加州能源委員會和加州空氣資源局，2021，《SB 100 聯合機構報告》，<https://www.energy.ca.gov/sb100>

<sup>10</sup>加州運輸局，2021，《交通基礎設施氣候行動計畫》，<https://calsta.ca.gov/subject-areas/climate-action-plan>



、<sup>11</sup>、<sup>12</sup>、<sup>13</sup>《短期氣候污染物戰略》（SLCP 戰略）、<sup>14</sup>加州空氣資源局《實現碳中和報告》、<sup>15</sup>《氣候智慧土地戰略》<sup>16</sup>與《自然和工作用地執行方案》等<sup>17</sup>在內的州機構方案和法規為本計畫提供了重要資訊和數據點集。2022 年《範疇計畫草案》是政府多個機構的工作成果，其中包括幾十場公共研討會，以及加州主要機構多年來的嚴格分析和經濟建模。

在規劃和制定方面的這種合作為本州各機構之間為了將本計畫（定稿後）付諸實施開展更密切的協作奠定了基礎。

本計畫亦為 AB 32 環境正義諮詢委員會不懈努力和所給建議的產物。該委員會（EJAC）乃依法創立，為各版《範疇計畫》的制定發揮著關鍵作用提供相關資訊，並協助確保環境正義融入整個計畫之中。2021 年初，加州空氣資源局重新召集了環境正義諮詢委員會，為 2022 年《範疇計畫》的制定提供建議。作為顧問，該委員會共同努力為加州空氣資源局提供資訊，幫助制定各備選方案和相關建模。2022 年 4 月，該委員會於 2022 年《範疇計畫草案》之前提供了初步建議草案，以幫助確保計畫草案切實解決環境正義問題。2022 年《範疇計畫草案》中引用了環境正義諮詢委員會提出的約 60 項建議。

未來，隨著空氣資源局對該計畫進行修訂並最終執行，與環境正義諮詢委員會的持續合作對於解決環境正義問題並在未來幾年的整個實施過程中實現該計畫所述的宏偉願景至關重要。

## 確保公平與負擔能力

本州在公共衛生和環境保護方面有著長期歷史。然而，諸如劃定紅線區等種族主義和歧視做法導致低收入和有色人種社區不成比例地處於污染源附近，並面臨健康危害和污染負擔。<sup>18</sup>2022 年《範疇計畫草案》從始至終都在重點關注那些遭受空氣污染困擾以及受到氣候變遷和氣溫上升影響最嚴重的社區。這些社區——主要是低收入社區和有色人種社區——通常位於主要道路和大型固定污染源附近，這些污染源不僅是排放溫室氣體，還會造成當地空氣污染。本計畫履行了透過擺

---

<sup>11</sup>加州環保署，2021，《碳中和研究》，<https://calepa.ca.gov/climate/carbon-neutrality-studies/>

<sup>12</sup>Brown, A. L. 等，2021，《推動加州交通運輸零排放》，加州大學交通研究所，<https://escholarship.org/uc/item/3np3p2t0>

<sup>13</sup>Deschenes, O.，2021，提高公平性，同時消除加州運輸燃料供應中的排放。加州大學聖芭芭拉分校，<https://zenodo.org/record/4707966#.YKPiaKhKi73>

<sup>14</sup>加州空氣資源局，短期氣候污染物，<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/slcp>

<sup>15</sup>能源與環境經濟學有限公司，2020，《實現加州碳中和》，[https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2020-10/e3\\_cn\\_final\\_report\\_oct2020\\_0.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2020-10/e3_cn_final_report_oct2020_0.pdf)

<sup>16</sup>加州自然資源局，2021，《氣候智慧土地戰略草案》，<https://resources.ca.gov/Initiatives/Expanding-Nature-Based-Solutions>

<sup>17</sup>加州空氣資源局，2019，《加州 2030 年自然和工作用地氣候變遷實施計劃草案》，<https://ww2.arb.ca.gov/resources/documents/nwl-implementation-draft>

<sup>18</sup>加州環保署，2021 年 8 月 16 日，《污染與偏見》，<https://storymaps.arcgis.com/stories/f167b251809c43778a2f9f040f43d2f5>

脫對化石燃料的依賴轉變人們出行、生活及工作方式的承諾。計畫包括採取有效行動，以盡快的速度發展清淨能源、零排放車輛和卡車、節能住宅、永續農業以及彈性森林等可有效儲存更多碳並幫助我們實現碳中和的對象。計畫還提出優先與受影響最嚴重的社區合作，確保這些策略滿足社區的需求。

保證向零排放經濟的轉型負擔不會過重且不會對低收入社區和有色人種社區造成進一步不利，是我們在考量公平時的重要一環。轉型的某些方面（例如，加大現有住宅和企業改造力度以支援電器和車輛）將產生相關成本。本州必須保證這些成本不會給消費者造成過重負擔。此外，本州在提供財政刺激，特別是向低收入消費者提供財政刺激方面發揮著重要作用，使之得以採用清潔技術。社區服務與發展部推行的「低收入增強越冬禦寒性能計畫」即為該等舉措的典型示例，使得加州低收入者能夠成為向零排放過渡的一份子，同時還能降低能源費用。該計畫為低收入家庭免費提供太陽能光伏系統，並為居民免費升級能效。

## 能源和技術轉型

為了支援所需的轉型，我們必須建設清淨能源的生產和配送基礎設施，以實現未來的碳中和。該解決方案必須包括將現有的能源生產和傳輸基礎建設轉變為生產零碳電力和氫氣，並利用野火管理或填埋場和奶牛場運行中產生的沼氣，以及其他替代品。電氣化幾乎在所有領域都將發揮重要作用。這意味著電網需要以前所未有的速度增長，並確保未來二十年甚至更長時間內保障可靠性和彈性。這也意味著我們需要將各種可能方案提上議程，因為將電網完全發展為脫碳經濟的支柱需要時間。我們也知道電氣化並非在所有情況下都可以實現。因此，本計畫系統地評估和明確了可行的清淨能源與技術方案，這些方案不僅能在短期內改善空氣品質，亦可實現長期的氣候目標。但這種轉變不會在一朝一夕間完成，需要時間和規劃來確保平穩過渡。雖然 2022 年《範疇計畫草案》中設置的時間跨度是迄今為止最大的，但就經濟轉型而言，25 年的規劃期限仍相對較短。我們必須避免作出會導致資產擱淺的選擇，並要汲取後續出現的新技術。重要的是，鑒於擺脫對化石燃料的依賴有著嚴苛的進度要求，我們必須確定並且解決市場和實施方面的障礙，才能取得成功。

在能源系統轉型之時，我們還必須迅速部署依賴於清淨能源的清潔技術。按照第 N-79-20 號《行政令》的要求，到 2035 年，加州銷售的所有新乘用車全部為零排放車，到 2045 年銷售的所有其他車輛盡可能要全部接近零排放。這意味著化石燃料汽車的百分比將繼續迅速下降，逐漸成為過去時。這一《行政令》及其他零排放重頭戲的成功施行於消費者而言必須是具有吸引力的。例如，電動和氫燃料運輸的燃料補給必須像今天的街角加油站一樣方便，包括清潔交通出行在內的主動交通必須比開車更便宜、更方便。

## 目前可用的具有成本效益的解決方案

最終，我們需要採取迫切而又全面的措施來減少溫室氣體的排放，實現我們的氣候目標。幸運的是，在許多情況下，可以使用具有成本效益的解決方案來做到這一點。簡而言之，本計畫依賴於現有的技術，不要求具有高度不確定性的重大技術突破。

減少甲烷排放的針對性行動不僅成本低廉甚至成本為負，而且短期內即可對氣候和公共健康帶來重大改善。在許多情況下，可再生能源和能源儲存比有污染的替代品費用更低廉，<sup>19</sup>並且已經成為我們正常業務強有力的一部分。例如，與加州公共事業委員會（CPUC）近期綜合資源規劃過程相關的建模表明，減排成果最優異的方案平均資費卻最低。再比如，能源創新的研究表明，美國可以在不增加消費者成本的情況下，到 2035 年實現 100% 的零碳排放。<sup>20</sup>

對於零排放車輛而言，已然如此，亦或是很快就會實現。大量研究表明，輕型和重型零排放車輛的成本平價將在這個十年中期（2025 年）或之後不久實現。由加州大學交通研究所開展、加州環保署（CalEPA）出資的一項碳中和研究表明，若在交通部門實現碳中和，可在 2045 年前為加州人節省 1670 億美元。<sup>21</sup>加州大學柏克萊分校的高盛公共政策學院開展的一項類似研究發現，若在全國範圍內實現所售輕型車輛 100% 為零排放車輛，到 2050 年將為消費者節省 2.7 萬億美元，相當於連續 30 年每個家庭每年節省 1,000 美元。<sup>22</sup>

其中許多成果是加州推進清淨能源和氣候解決方案（包括可再生能源配額制、先進清潔汽車法規、減少短期氣候污染物策略，等等）的願景及政策的直接結果。縱然我們部署的清淨能源和氣候解決方案尚不足以降低成本和充分因應氣候變遷，但即使與《範疇計畫》上次更新之時相比，我們業已取得了長足的進展。加州將透過一如既往的雄心、領導力和發展氣候政策，推動實現既定的減排規模，現今所採用的技術和戰略已經具備成本效益或近乎具備成本效益，並將在不久的將來推動其他技術和戰略達到這一水平。實現這些成果並降低實現碳中和繼而保持淨負排放之全線氣候解決方案的成本，將成為衡量加州之成就的真正標準。屆時，加州不僅能夠實現我們自身的氣候目標，還將最終出台可複製的解決方案，在全球推廣以解決全球暖化問題。

---

<sup>19</sup>Neff, B, 2019, 《加州新公用事業規模發電的估計成本：2018 年更新》，加州能源委員會，5 月，<https://www.energy.ca.gov/publications/2019/estimated-cost-new-utility-scale-generation-california-2018-update>

<sup>20</sup>Phadke, A. 等，2020，「在不增加消費者負擔之情況下，到 2035 年實現 100% 零碳能源、能源創新的說明性途徑」，9 月，<https://energyinnovation.org/wp-content/uploads/2020/09/Pathways-to-100-Zero-Carbon-Power-by-2035-Without-Increasing-Customer-Costs.pdf>

<sup>21</sup>Brown, A. L., D. Sperling, D. Austin, J. R. DeShazo, L. Fulton, T. Lipman 等，2021，《推動加州交通運輸零排放》，加州大學校長辦公室：加州大學交通研究所，<http://dx.doi.org/10.7922/G2MC8X9X> 摘自 <https://escholarship.org/uc/item/3np3p2t0>

<sup>22</sup>高盛公共政策學院，2021 年，《2035 年：報告：交通》，加州大學柏克萊分校，4 月，<https://www.2035report.com/transportation/>

## 繼續使用組合方法

在過去的十五年中，本州成功採取了出台激勵措施、實施監管和碳定價三管齊下的方法來減少溫室氣體。2017 年《範疇計畫》更新文件利用了現有專案，如可再生能源配額制、先進清潔汽車法規、低碳燃料標準、短期氣候污染物策略、實現聯邦空氣品質目標的移動源措施以及總量控制與交易計劃等等，為實現 2030 年溫室氣體減排目標制定了技術上可行且具有成本效益的路徑。展望本世紀中葉目標及 AB 32 溫室氣體排放清單所列各部門的更高減排需求，所有現有專案均必須加以評估，必要時予以加強，進而支援清潔技術和能源的快速生產與部署，加大自然和工作用地相關行動的步伐與規模。我們面臨的挑戰要求我們動用一切力量。鑑於減緩氣候變遷的共同利益，以在近期內改善空氣品質為訴求的關鍵行動，如《州實施計畫》草案中為達到聯邦空氣品質標準所採納的行動，被收錄到本《範疇計畫》更新版本之中<sup>23</sup>，作為電力和水泥部門脫碳的新立法規定。如發現更多差距，則必須制定和實施新的專案與政策，以確保所有部門的減排任務順利運行。還必須考慮藉助這些專案的實施，以及有針對性的環境正義政策（如 AB 617 社區空氣保護計劃以及透過加州氣候投資計劃可能實現的投資）去解決持續的空氣品質差異。

## 結論

加州此前從未採取過如本計畫這般全面、深遠、具有變革性的氣候變遷因應做法。本文件最終確定後，將從更加永續的角度出發，從方方面面確立加州人的工作、娛樂和出行方式，重點是讓那些已經因為使用化石燃料所致污染而已然背負嚴重負擔的社區直接受益。這種綜合方法反映了氣候變遷正在給加州的生活帶來怎樣的改變。我們都經歷過毀滅性野火的影響，我們每天都會看到關於嚴重干旱條件對城市和農業之影響的報道。儘管取得了很大進展，但加州仍是美國空氣污染最嚴重的地區，特別是聖華金河谷和洛杉磯盆地因持續使用化石燃料式卡車和汽車而尤為嚴重。氣溫正在上升，全州範圍內的最高記錄已經打破，本已因為污染而深受其害的社區，又遭受了持續的高溫風暴。

本《範疇計畫》一經最終確定，將提供一種解決方案、一條前進的道路以及加州的一個願景，讓我們能夠並且可以處理好那些影響。本計畫乃是建立在希望的基礎之上。這份希望植根於經驗與科學，我們可以藉此從根本上改善子孫後代所生存的這片土地。本計畫傳承了有效之行動，並堅信我們可以有效地整合加州綜合能力——從全州、地區、部落和地方政府到工業部門再到我們的研究機構，最重要的是，我們還有 4,000 萬因計畫所列行動而受益的加州人。本計畫透過跨越三個十年的行動路徑和指南，去解決我們這一代人所面臨的挑戰。但《範疇計畫》也只是：一個計

---

<sup>23</sup>加州空氣資源局，2022，《2022 年州實施計劃之本州戰略》（2022 State SIP Strategy）  
<https://ww2.arb.ca.gov/resources/documents/2022-state-strategy-state-implementation-plan-2022-state-sip-strategy>



畫。最終確定之後，迎來的是將其中的建議付諸實踐的艱巨任務，亦是充滿希望的任務。沒有時間可以浪費了。

## 2022 年《範疇計畫》定稿通過後

2022 年《範疇計畫草案》預計將在年底前定稿。與之前的範疇計畫一樣，加州空氣資源局的核准預示著下一階段氣候行動的開始。具體而言，計畫的核准將催生一系列措施，包括制定新的法規以及透過修訂來加強現有的法規及專案；不止加州空氣資源局如此，加州各個機構亦是如此。前所未有的轉型速度還需要識別和消除清潔技術和清潔能源的生產和部署相關的市場壁壘和實施障礙。要實現 2035 年的目標以及在 2045 年或之前實現碳中和，需要採取所有這些行動以及付出更多的努力。



# 第 1 章：引言

「圍繞氣候變遷的辯論已經結束。來加州吧，來親眼看一看」。

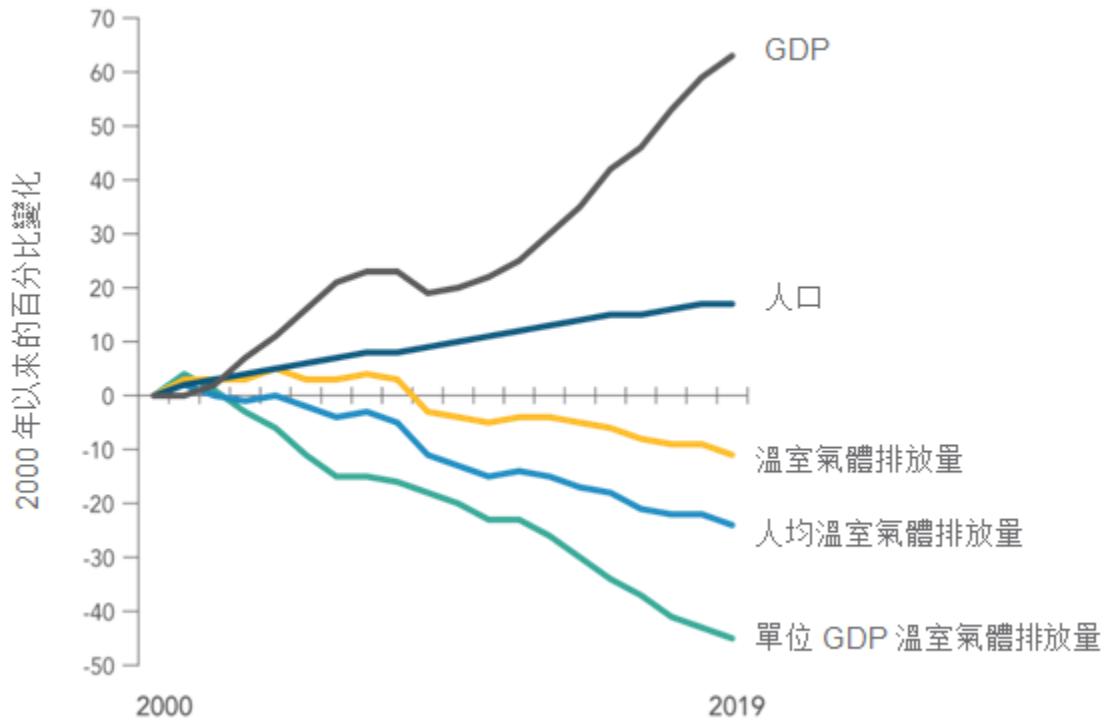
- 2020 年 9 月加州州長加文·紐瑟姆（Gavin Newsom）在調查災難性野火造成的破壞後發表的講話

氣候變遷對全球的負面影響是無可辯駁的，它正在從根本上改變著加州。它再也不是一個遙不可及的威脅。此時此刻，它就在我們眼前，它愈演愈烈，已經對我們的社會和環境造成了不利影響。幾十年前預測的我們將會面臨的狀況，如今卻更為嚴重。這清楚地表明，我們必須以更高的承諾、加大力度、加快速度去限制不可逆轉的損害。這是無可爭辯的科學。除非加倍努力，否則我們將面臨更多的火災、更多的乾旱、更多的極端溫度和致命的、令人窒息的空氣污染。加州的未來——我們的社區、經濟和生態系統——與我們在這個十年的因應方式以及我們在此期間建立的夥伴關係密不可分、休戚相關。

氣候變遷對脆弱社區的影響最為嚴重，這些社區首當其衝地承受著極端高溫、乾旱、野火及其他影響。此外，數據顯示，與化石燃料燃燒相關的空氣污染和相關健康問題對弱勢和低收入社區的影響亦不成比例。繼續逐步淘汰化石燃料將為這些弱勢和低收入社區帶來巨大的健康裨益。

加州在因應這些挑戰的過程中，已成為以科學為基礎、以公共衛生為重點之氣候變遷緩解及空氣品質控制領域的全球領導者。加州議會與共和黨和民主黨州長合作，推動公共衛生和環境保護行動，並且加州在共和黨和民主黨聯邦政府執政期間均在應對氣候變遷方面取得了進展。自《第 32 號議會法案》（AB 32）（Núñez 和 Pavley, 《2006 年法規》第 488 章）通過以來，加州制定了大膽、創新和持久的政策方案，用以保護我們的環境和公共健康，同時發展我們的經濟。事實上，加州在 2016 年即已提前四年完成了 AB 32 確立的到 2020 年將溫室氣體排放量降至 1990 年水平這一目標，與此同時還躍升為全球第六大經濟體。如下方插圖 1-1 所示，加州的排放量和經濟增長持續脫鉤，並且加州現在已經成為全球第五大經濟體。

插圖 1-1：加州溫室氣體總排放量及人均排放量



我們的州長和立法者認識到加州在發展經濟的同時實現溫室氣體減排的早期成就，以及氣候變遷日益惡化的影響，繼續制定宏大的目標。加州對因應氣候變遷的堅定承諾乃基於無可爭議的科學和數據。這一承諾還體現在我們共同努力解決環境正義和促進種族平等，這樣種族便不再是低收入社區和有色人種社區不成比例地承擔污染後果的預測因素，詳見環境健康危害評估辦公室（OEHHA）近期對種族/民族分析和環境健康篩查工具 4.0 分數的分析。<sup>24</sup>

加州的許多環境政策也成為美國其他州以及國家和國際層麵類似政策的典範。未來，加州將繼續在各級政府尋求合作並倡導因應氣候變遷的行動。雖然加州的溫室氣體排放量僅佔全球總量的 1%，但我們在輸出解決全球氣候危機的政治意願和技術解決方案方面發揮著重要作用。

今天，我們有機會重新展望加州的未來，讓本州在促進公平的同時邁上到 2045 年實現無碳之路。《範疇計畫》提供了一份路線圖，概述了我們可以實施的關鍵政策，以實現我們的氣候目標，同時改善加州人的健康與福祉，並解決健康方面的差異，以創造一個更公平的未來。藉此我們為

<sup>24</sup>加州環境健康危害評估辦公室和加州環保署，2021，《種族/民族分析》和環境健康篩查工具 4.0 分數，<https://oehha.ca.gov/media/downloads/calenviroscreen/document/calenviroscreen40raceanalysisf2021.pdf>

保護和保存重要自然資源和公共資源所做出的努力將取得成效，同時也將為清潔、無污染的經濟增長提供前所未有的機會。

## 氣候變遷之影響的嚴重性

隨著乾旱、野火、極端高溫和其他影響日益嚴重與頻繁，加州人只需要看看窗外，就能感受到氣候變遷的真實存在和迅速惡化。原以為在未來幾十年才會看到的後果現在已然來臨。我們必須果斷採取行動，減少溫室氣體排放，並為我們自己、為我們的子孫後代和典型地貌建立抵禦這些影響的能力。

## 野火

在加州有史以來最大的 20 場野火中，有 9 場發生在 2020 年和 2021 年。2020 年是加州有記錄以來最嚴重的野火季，人們的肺部受到空氣污染侵襲，逾 430 萬英畝土地被燒毀，逾 11,000 座建築物受損或被毀，逾 1.12 億公噸的二氧化碳（CO<sub>2</sub>）排放到大氣之中。<sup>25</sup>據估計，這些火災造成的財產損失超過 100 億美元，滅火費用超過 20 億美元。<sup>26</sup>但 2020 年並非特例。營溪大火（Camp Fire）摧毀了加州天堂鎮的大部分地區，是 2018 年世界上損失最慘重的自然災害，總損失達 165 億美元。<sup>27</sup>這也是加州歷史上最致命的火災，造成 85 名平民死亡。然而，野火造成的損失並不僅限於人類的健康和經濟。2020 年紅杉公園中城堡大火（Castle Fire）和 2021 年 KNP 綜合火災（the KNP Complex fire）和風之火（Windy fire）導致數量空前的巨型紅杉損失：估計內華達山脈的大型紅杉種群中有 13%到 19%被燒毀。作為一個標誌性的物種，巨型紅杉是地球上最大的樹木，除非遇到極端氣候，否則具有超長的壽命。<sup>28,29</sup>

---

<sup>25</sup>加州空氣資源局，2020，《公眾意見草案：當代野火、策略燒除和森林管理活動之溫室氣體排放》，[https://ww3.arb.ca.gov/cc/inventory/pubs/ca\\_ghg\\_wildfire\\_forestmanagement.pdf](https://ww3.arb.ca.gov/cc/inventory/pubs/ca_ghg_wildfire_forestmanagement.pdf)

<sup>26</sup>News18，2021，《加州結束最乾旱的一年之際，舊金山迎來 2021 年第一個野火預警》，<https://www.news18.com/news/buzz/san-francisco-bay-area-receives-its-first-wildfire-warning-of-2021-after-california-concludes-its-driest-year-3722897.html>

<sup>27</sup>慕尼黑再保險集團，2019，《2018 年極端風暴、野火、乾旱導致嚴重的自然災害損失》，<https://www.munichre.com/en/company/media-relations/media-information-and-corporate-news/media-information/2019/2019-01-08-extreme-storms-wildfires-and-droughts-cause-heavy-nat-cat-losses-in-2018.html#-1808457171>

<sup>28</sup>Shive, K.、C. Brigham、T. Caprio 和 P. Hardwick，2021，《2021 年火災季對巨杉的影響》，美國國家公園管理局自然保育協會，<https://www.nps.gov/articles/000/2021-fire-season-impacts-to-giant-sequoias.htm>

<sup>29</sup>Shive, K. L.、A. Wuenschel、L. J. Hardlund、S. Morris、M. D. Meyer 和 S. M. Hood，2022，「古樹與現代野火：高度適應火災的巨杉對野火的抵抗力下降」，《森林生態與管理》120110 期第 511 卷，<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120110>

野火對人類健康的影響怎麼強調都不為過。野火煙霧與負面健康影響有關，包括呼吸道感染、心臟驟停、出生體重過低、心理健康狀況以及哮喘和慢性阻塞性肺病惡化。<sup>30</sup>2020 年，加州全境被野火煙霧覆蓋超過 45 天——其中 36 個縣被覆蓋至少 90 天。本州部分地區多週的細顆粒物（PM<sub>2.5</sub>）水平持續在「危險」範圍內。<sup>31,32</sup>

## 乾旱

超過 3,700 萬加州人受到干旱的影響。截至 2022 年 3 月，加州 87% 的地區處於嚴重干旱狀態，州內 100% 的地區至少處於中度乾旱狀態。2022 年 1 月和 2 月成為加州歷史上最為乾旱的年初兩月。影響加州的嚴酷乾旱條件亦不過一場百年不遇的大乾旱的部分現象，這場乾旱已持續 20 余載，自 2000 年以來一直肆虐於北美西南部。過去的 22 年是該地區至少追溯到公元 800 年以來最乾旱的時期。儘管即使沒有氣候變遷，當前的干旱也會存在，但人為造成的氣候趨勢加劇了乾旱狀況。自 2000 以來，人為原因導致的氣候變遷使該地區乾旱嚴重程度加劇了 19%、土壤水分不足程度加劇了 42%。<sup>33</sup>

加州農業生產佔國內水果和蔬菜產量的一半以上，2021 年乾旱導致近 400,000 英畝的土地休耕。<sup>34</sup>直接作物收入損失約 9.62 億美元，總經濟影響超過 17 億美元，逾 14,000 名全職和兼職人員失業。<sup>35</sup>2011-2017 年乾旱期間，加州農業遭受的損失達到 50 億美元，甚至更多。<sup>36</sup>

受影響的不止是農業，加州的野生動物同樣受到乾旱帶來的不利影響。由於乾旱和極端高溫，成千上萬條奇努克鮭魚被沖上北加州的河岸，使得 2021 年成為有記錄以來冬季鮭魚存活率最差的年份之一。嚴重干旱的其他影響包括水資源短缺和限制。一些預測估計，到 2050 年，加州夏季大範圍乾旱的嚴重程度將增加近兩倍。

---

<sup>30</sup>Reid, C. E., M. Brauer, F. H. Johnston, M. Jerrett, J. R. Balmes 和 C. T. Elliott, 2016, 「關於野火煙霧暴露對健康之影響的批判性評論」, 《環境健康視角》, <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1409277>

<sup>31</sup>Vargo J.A, 2020 (2021 年透過美國國家海洋暨大氣總署高度洄游魚種 (NOAA HMS) 更新)。「美國荒地潛在野火煙霧暴露的時間序列」, 《公共衛生前沿》, <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00126>

<sup>32</sup> CalFire, 2020 《野火災難報告》, <https://www.fire.ca.gov/media/hsviuuv3/cal-fire-2020-fire-siege.pdf>

<sup>33</sup>Williams, A. P., B. I. Cook 和 J. E. Smerdon, 2022, 「2020-2021 年北美西南部新出現的特大乾旱迅速加劇」, 《自然氣候變遷》, <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01290-z>

<sup>34</sup>Medellín-Azuara, J, 2022, 「2021 年干旱對加州農業的經濟影響」, 加州大學美熹德分校, [https://wsm.ucmerced.edu/wp-content/uploads/2022/02/2021-Drought-Impact-Assessment\\_20210224.pdf](https://wsm.ucmerced.edu/wp-content/uploads/2022/02/2021-Drought-Impact-Assessment_20210224.pdf)

<sup>35</sup>同上。

<sup>36</sup>自然資源守護委員會, 2019, 《加州的氣候變遷與健康》, 問題淺析, <https://www.nrdc.org/sites/default/files/climate-change-health-impacts-california-ib.pdf>



## 極端高溫

2021 年夏天是加州有記錄以來最熱的夏天。<sup>37</sup>死亡谷在 2021 年 7 月錄得世界上可靠測量的最高溫度（130°F），打破了 2020 年夏季的記錄（129°F）。<sup>38</sup>與此同時，弗雷斯諾也打破了自己的記錄，2021 年有 64 天超過 100°F。<sup>39</sup>這是其中一種趨勢：日最高平均溫度是極端溫度變化的指標，預計到 2050 年將升高 4.4°F-5.8°F，到 2100 年將升高 5.6°F-8.8°F。<sup>40</sup>預計導致公共健康影響的熱浪也將在全州惡化。到 2050 年，預計這些與高溫有關的健康事件在中央山谷持續兩週，在北部山脈地區發生的頻率將增加四到十倍。<sup>41</sup>

高溫是加州最致命的氣候災害之一，預計到本世紀中葉，城市熱浪造成的死亡人數增加兩到三倍。<sup>42</sup>[氣候脆弱的社區](#)受到的影響將最為嚴重，因為高溫風險與自然、社會、政治和經濟等各因素相互關聯。老年人、嬰幼兒、孕婦和慢性病患者對熱暴露特別敏感。<sup>43,44</sup>將這些特徵和當前的衛生不平等與貧困、語言孤立、住房不安全以及種族主義紅線做法等遺留問題這些其他因素相結合，或將導致人員面臨的與高溫相關的疾病和死亡風險格外之高。<sup>45,46</sup>氣溫升高還會加速形成霧霾的化學反應，導致哮喘惡化、肺功能下降、心臟驟停和認知能力下降。非洲裔美國人、美洲印第

---

<sup>37</sup>美國國家海洋暨大氣總署，2022，《氣候一覽》，[https://www.ncdc.noaa.gov/cag/statewide/time-series/4/tavg/3/8/1895-2021?base\\_prd=true&firstbaseyear=1901&lastbaseyear=2000](https://www.ncdc.noaa.gov/cag/statewide/time-series/4/tavg/3/8/1895-2021?base_prd=true&firstbaseyear=1901&lastbaseyear=2000)

<sup>38</sup>Masters, J, 2021, 加州死亡谷連續第二年打破有史以來世界高溫記錄。《耶魯氣候通訊》，<https://yaleclimateconnections.org/2021/07/death-valley-california-breaks-the-all-time-world-heat-record-for-the-second-year-in-a-row/>

<sup>39</sup>美國國家海洋暨大氣總署，2022 年 3 月 16 日獲取數據。氣候數據在線搜尋，<https://www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/search>

<sup>40</sup>州長規劃和研究辦公室、加州能源委員會和加州自然資源局，2018，《第四次氣候變遷評估》，第 23 頁，[https://www.energy.ca.gov/sites/default/files/2019-11/Statewide\\_Reports-SUM-CCCA4-2018-013\\_Statewide\\_Summary\\_Report\\_ADA.pdf](https://www.energy.ca.gov/sites/default/files/2019-11/Statewide_Reports-SUM-CCCA4-2018-013_Statewide_Summary_Report_ADA.pdf)

<sup>41</sup>州長規劃和研究辦公室、加州能源委員會和加州自然資源局，《加州第四次氣候變遷評估——全州總結報告》，[https://www.energy.ca.gov/sites/default/files/2019-11/Statewide\\_Reports-SUM-CCCA4-2018-013\\_Statewide\\_Summary\\_Report\\_ADA.pdf](https://www.energy.ca.gov/sites/default/files/2019-11/Statewide_Reports-SUM-CCCA4-2018-013_Statewide_Summary_Report_ADA.pdf)

<sup>42</sup>Ostro, B.、S. Rauch 和 S. Green, 2011, 「量化加州未來溫度變化對健康的影響」，美國國家醫學圖書館，<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21975126/>

<sup>43</sup>Basu, R, 2009, 「環境高溫和死亡率：2001 年至 2008 年流行病學研究回顧」，美國國家醫學圖書館，<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19758453/>

<sup>44</sup>Basu, R.和 B. Malig, 2011, 「加州環境高溫和死亡率：探索年齡、疾病和死亡率位移產生的作用」，美國國家醫學圖書館，<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21981982/>

<sup>45</sup>Hoffman, J. S.、V. Shandas 和 N. Pendleton, 2020, 「歷史住房政策對居民暴露於城市熱島的影響：108 個美國城市區域研究」，MDPI, <https://www.mdpi.com/2225-1154/8/1/12/htm>

<sup>46</sup>美國氣候韌性工具，日期不詳，《美國的高溫和社會不平等》，<https://toolkit.climate.gov/tool/heat-and-social-inequity-united-states>

安人/阿拉斯加原住民和波多黎各加利福尼亞人對煙霧特別敏感，他們被診斷患有哮喘的可能性比加州白人高 28.6%到 132.5%。<sup>47</sup>

野火、乾旱和極端高溫是加州正在經歷的一些最明顯的氣候影響，但這並不是全部。海平面上升、海洋溫度上升、海洋酸化和內陸洪水也已經對我們的社區、生態系統和經濟產生了破壞性影響，並將在未來幾年、幾十年持續如此。

## 行動勢在必行

### 氣候進一步暖化的後果

政府間氣候變遷專門委員會《第六次評估報告》發現，不立即進行深度減排，就不可能把全球暖化限制在 1.5°C 以內以避免氣候變遷帶來的最惡劣影響。報告指出，自工業革命以來，大氣中的 CO<sub>2</sub> 濃度已增加 50%，並且繼續以每年百萬分之二速度在增加。<sup>48</sup>到 21 世紀 30 年代，最遲不超過 2040 年，全球升溫幅度將超過 1.5°C。

若在升溫 1.5°C 基礎上，升溫幅度繼續邁向 2°C，則每暖化一點，哪怕只是 0.1°C 都會帶來更多的負面影響，造成關乎人類健康、生存及生物多樣性的氣候相關風險。<sup>49</sup>為了將升溫幅度維持在 1.5°C 以下，並僅小幅超出或不會超出這一閾值，全球人為 CO<sub>2</sub> 淨排放量需在 2050 年之前達到淨零。

倘若我們不能迅速做出改變，我們可能無法將全球暖化限制在 2°C，<sup>50</sup>不作為的後果將是災難性的。加州低收入社區和有色人種社區不均衡，擁有的資源最為匱乏，最容易受到氣候變遷的影響。行動遲緩或行動不力都是對公共衛生和環境的衝擊。雖然與健康影響相關的人力成本永遠無法

---

<sup>47</sup>自然資源守護委員會，2019，《加州的氣候變遷與健康》，問題淺析，

<https://www.nrdc.org/sites/default/files/climate-change-health-impacts-california-ib.pdf>

<sup>48</sup>政府間氣候變遷專門委員會，2021，《2021 年氣候變遷：自然科學基礎》，政府間氣候變遷專門委員會《第六次評估報告》第一工作組供稿，[Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu 和 B. Zhou (編委)], 劍橋大學出版社，待刊。

<sup>49</sup>政府間氣候變遷專門委員會，2018，《專題報道：全球升溫 1.5°C》，世界氣象組織，

<https://www.ipcc.ch/sr15/>

<sup>50</sup>政府間氣候變遷專門委員會，2021，《決策者摘要》，摘自：《2021 年氣候變遷：自然科學基礎》，政府間氣候變遷專門委員會《第六次評估報告》第一工作組供稿，[Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu 和 B. Zhou (編委)], 待刊，

[https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_SPM\\_final.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf)

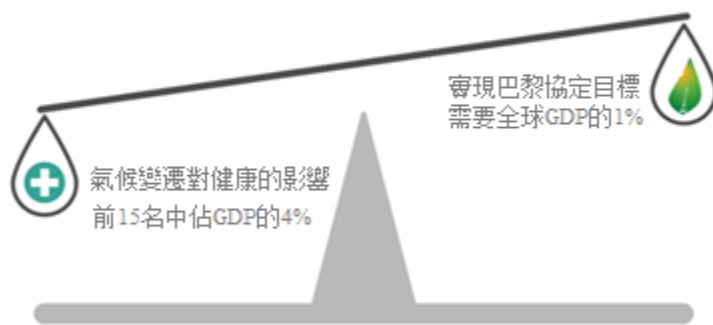


完全貨幣化，但最近的一份報告發現，美國氣候和空氣污染造成的健康成本現在遠遠超過 8,000 億美元，未來幾年還將繼續增長。<sup>51</sup>

我們的經濟所遭受的影響也是致命性的。德勤經濟研究所 2022 年發佈了一份報告，雖然研究並非針對加州，但報告指出若未能採取充分行動減少排放，則可能會在未來 50 年內給美國造成逾 14.5 萬億美元的經濟損失。<sup>52</sup>不過，從樂觀角度看，報告中指出如果美國立即行動並且在未來幾年內持續投資淨零經濟，則未來 50 年經濟增長可能會增加 3 萬億美元。若美國快速採取行動，則與延遲採取行動相比，2070 年的年度國內生產總值（GDP）將高出 2.5%。加州透過這些分析可以得出清晰的結論，要麼立即行動，要麼等著付出代價。插圖 1-2 顯示，不作為會對個人、社區、經濟和整個社會造成負面影響。

插圖 1-2：不作為的真實代價<sup>53</sup>

## 對於世界前 15 大溫室氣體排放國而言，不作為的代價高於採取行動的代價



空氣污染每年導致全球 700 萬人死亡，全球社會福利損失估計達 5.11 萬億美元。在溫室氣體排放量最多的 15 個國家，空氣污染對健康的影響估計佔其 GDP 的 4% 以上。化石燃料燃燒加劇了空氣污染和氣候變遷。為實現《巴黎協定》目標採取的行動將耗費全球 GDP 的 1% 左右。

<sup>51</sup>Alwis, D. D. 和 V. S. Limaye, 日期不詳, 《不作為的代價: 美國化石燃料的經濟負擔和氣候變遷對健康的影響》, 自然資源保護協會、美国医学协会气候和健康联盟與全球臨終關懷安寧療護聯盟, <https://www.nrdc.org/sites/default/files/costs-inaction-burden-health-report.pdf>

<sup>52</sup>德勤, 2022, 轉折點: 美國的新經濟氣候, <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/about-deloitte/us-the-turning-point-a-new-economic-climate-in-the-united-states-january-2022.pdf?id=us:2el:3dp:wsjspon:awa:WSJSBJ:2021:WSJFY22>

<sup>53</sup>Katowice, P., 2018, 健康裨益遠遠超過實現氣候變遷目標的成本。世界衛生組織, <https://www.who.int/news/item/05-12-2018-health-benefits-far-outweigh-the-costs-of-meeting-climate-change-goals>

## 範疇計畫概覽

### 以往的範疇範疇計畫

《範疇計畫》是加州空氣資源局(CARB) 依照《2006 年加州全球暖化解決方案法案》(AB 32) 的要求每五年制定和更新一次的一項戰略。文中將闡述我們的社會和經濟為減少排放和達到氣候目標所需要作出的轉型。2022 年《範疇計畫》是對 2008 年推行的原始計畫的第三次更新。最初的《範疇計畫》劃定的路線是關於實現 AB 32 到 2020 年將溫室氣體排放量減少到 1990 年的水平，即比照「一切正常」情況下的預期排放量減少 15%。<sup>54</sup>2008 年的計畫包括激勵措施、法規和碳定價的組合，制定了應對氣候變遷的組合方法，並清楚地表明了實現加州溫室氣體目標的需求以及需要多管齊下的理由。2013 年更新的《範疇計畫》評估了實現 2020 年限排目標的進展，並提出了解決短期氣候污染物 (SLCP) 的理由。<sup>55</sup>2017 年《範疇計畫》是 2017 年最近一次更新後的版本，<sup>56</sup>同樣評估了實現 2020 年限排目標的進展，並針對實現《第 32 號參議院法案》(SB 32, Pavley, 《2016 年法規》第 249 章) 到 2030 年將溫室氣體排放量減少到 1990 年水平以下 40%的目標提供了一條技術上可行又具有成本效益的路徑。

### 2022 年《範疇計畫》概覽

制定 2022 年《範疇計畫草案》時，在加州現有成果的基礎之上，採取有效行動同時加大執行力度，是至關重要的一點。因此，本《範疇計畫》延續並整合了本州減少溫室氣體、標準污染物和有毒空氣污染物排放的舉措，確認了本州從燃燒化石燃料過渡過程中應逐步採用的清潔技術與清潔燃料。加州將透過選擇和追求永續而清潔的經濟道路，繼續成功執行現有計畫，消除空氣污染不公平現象，展示經濟增長與環境進步的聯動性，並增加州內參與解決和應對氣候變遷的新的機會。

本版《實現碳中和的範疇計畫草案》(即 2022 年《範疇計畫草案》或 2022 年《範疇計畫》) 是迄今為止制定的最全面、影響最深遠的範疇計畫。文件為在 2045 年實現碳中和目標明確了一條技術上可行且兼具成本效益的路徑；同時亦評估了加州依照《加州全球暖化解決方案》(SB 32) 和 2017 年《範疇計畫》規定到 2030 年將溫室氣體排放量較 1990 年至少降低 40%的工作進展情況。<sup>57</sup>2030 年目標是一個重要的里程碑，但依照科學的規劃，亦只是通往 2045 年深度脫

---

<sup>54</sup>加州空氣資源局，2008，《氣候變遷範疇計畫》，

[https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/classic/cc/scopingplan/document/adopted\\_scoping\\_plan.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/classic/cc/scopingplan/document/adopted_scoping_plan.pdf)

<sup>55</sup>加州空氣資源局，2014，《氣候變遷範疇計畫》第一次更新，

[https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/classic/cc/scopingplan/2013\\_update/first\\_update\\_climate\\_change\\_scoping\\_plan.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/classic/cc/scopingplan/2013_update/first_update_climate_change_scoping_plan.pdf)

<sup>56</sup>加州空氣資源局，2017，《加州 2017 年《氣候變遷範疇計畫》》，

[https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/classic/cc/scopingplan/scoping\\_plan\\_2017.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/classic/cc/scopingplan/scoping_plan_2017.pdf)

<sup>57</sup>加州空氣資源局，2017，《加州 2017 年《氣候變遷範疇計畫》》，

[https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/classic/cc/scopingplan/scoping\\_plan\\_2017.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/classic/cc/scopingplan/scoping_plan_2017.pdf)

碳這一更廣泛目標的關鍵道路上的一環。但是，據《範疇計畫草案》的建模顯示，要想在 2045 年取得成功，這個十年必須實現前所未有的轉型。

2022 年《範疇計畫》評估的相對較長的路徑融匯、協調和運用了諸多現行的、持續開展的減少溫室氣體和空氣污染之舉，同時確定了新的清潔技術和能源。出於對碳中和的關注，本《範疇計畫》還首次將自然和工作用地（NWL）部門作為排放源和碳匯源進行討論。文件第 2 章中闡述了旨在大幅減少所有部門溫室氣體排放的一系列具體行動。第 3 章論述了對擬議行動的空氣品質和經濟評估。另外，第 4 章更廣泛地描述了各部門為實現碳中和所需採取的諸多行動。在立法方向的指引下，本《範疇計畫》中明確的行動可減少加州的總體溫室氣體排放量，並且釋放出政策信號，繼續推動對於低碳經濟的投資和低碳經濟的確定性。本《範疇計畫》建立在原始範疇計畫所確立的成功框架之上並加以更新，同時明確了新的、技術上可行且具備成本效益的策略。

## 指導我們應對氣候挑戰的原則

加州在應對氣候挑戰方面擁有數十年的經驗。我們根據這些經驗，以及在規定和計劃制定過程中同利益攸關者的大量接觸，制定了一套原則來指導我們的行動。

## 對永續未來的空前投資

無論是為了避免氣候變遷導致的最惡劣影響，還是實現我們宏偉的氣候目標，這個十年需要完成的轉型規模都是非同尋常的。這就是為什麼紐森州長和立法機構透過「2021-2022 年重振加州計畫」投資超過 150 億美元用於氣候行動，州長提議透過「2022-2023 年加州藍圖」投資逾 220 億美元（插圖 1-3）。這些預算加起來可謂是歷史性規模的投資。要創造這樣的全社會變革，需要整個政府的通力協作，而這正是 2021-2022 年施政和 2022-2023 年計劃氣候預算所推進的。

插圖 1-3：加州氣候變遷綜合投資



這些預算將共同帶來以下具有顛覆性的氣候投資：

- 投資 100 億美元用於零排放車輛（ZEV），特別關注改善加州低收入群體的項目，例如重型車輛和港口電氣化。
- 投資 20 億美元用於清潔能源，如長期碳存儲和工業脫碳。
- 投資逾 90 億美元用於減少交通部門排放的計劃，例如開展中的交通專案和高速鐵路。
- 投資近 10 億美元將氣候變遷納入教育系統，並訓練當前和未來的工人來引領氣候革命。
- 投資逾 10 億美元用於建設永續的保障性住房。

這些投資是 2022 年《範疇計畫草案》中特別重要的部分，因為它們伴隨著也支援著許多法規的施行，而這些法規又依然是實現我們 2030 年目標和碳中和目標所必需的。此外，這些激勵計劃將透過利用私營部門投資、建設永續的不斷增長的清潔和高效技術市場，推動重點部門、資源和技術的減排策略。加州的許多激勵計劃與聯邦和其他州的計劃協同工作，以推動減排。例如，在推動終結尾氣排放和與之相關的有害排放工作中，本屆政府繼續大力投資激勵計劃，鼓勵家庭、社區和企業選擇零排放車輛；同時與聯邦政府、其他州和世界其他轄區協調政策、法規和激勵措施，為服務於我們市場的汽車製造商創造市場確定性。

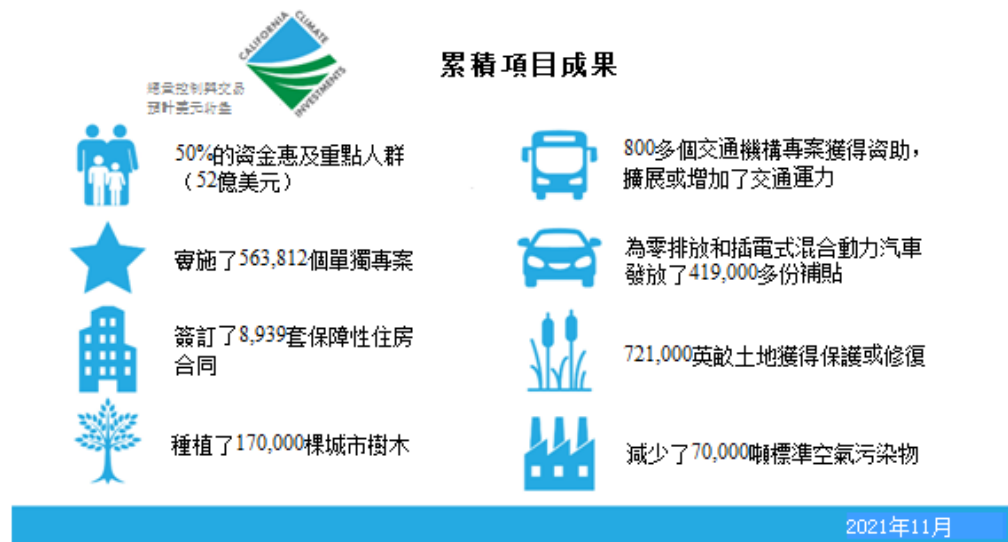
## 以公平為中心

加州在氣候方面的投資規模巨大，與之同等重要的是對公平的關注。對於加州而言，應對氣候變遷和推進我們的公平與經濟機會的目標不能脫鉤。州氣候和空氣法規和計劃應該並且確實正常包含一些內容，專門用於減少和消除空氣污染差異、消除可能阻止一線社區獲得福利的障礙、降低加州低收入人員的成本，並促進高質量就業。例如，加州空氣資源局的激勵計劃將法定公平目標視為底線，在追求讓所有人均可享受清潔交通方面，他們的成績已經遠遠超出了目標。加州氣候投資收入同樣是以注重公平為投資重點。我們可以在應對氣候危機的同時，為所有社區建設一個更有韌性、更公正、更公平的未來。

加州正在努力透過「加州氣候投資」等計劃來解決這些差距，其中超過 50%的總量控制與交易計劃收入將用於為弱勢和低收入社區（稱為「優先人群」）提供福利（見插圖 1-4）。SB 535（De Leon，《2012 年法規》第 830 章）和 AB 1550（Gomez，2016 年法規第 369 章）規定州和地方機構使用拍賣收益進行重大投資，以幫助加州特別脆弱的社區。根據這些法律，總投資中至少有 25%需要投資到弱勢社區，為弱勢社區謀取福利，總投資中至少要有 10%必須用於造福低收入社區和家庭。到 2022 年年中，已用資金中約有 51 億美元直接用於造福加州的優先人群，包括全州的低收入社區和低收入家庭。



插圖 1-4：加州氣候投資累計成果<sup>58,59</sup>



## 環境正義諮詢委員會的作用

為了《範疇計畫》的制定，AB 32 要求召集環境正義諮詢委員會，為加州空氣資源局（簡稱 EJAC）制定《範疇計畫》及任何其他與 AB 32 的執行相關事宜提供意見和建議。環境正義諮詢委員會應由本州受空氣污染最嚴重的社區的代表組成，包括但不限於擁有優先人群的社區或擁有低收入人群的社區，或者兩者都有的社區。2007 年 1 月 25 日，加州空氣資源局任命了第一個環境正義諮詢委員會，為其原始範疇計畫及其他氣候變遷計畫提供意見和建議。

為了 2022 年《範疇計畫草案》的更新，加州於 2021 年 5 月重新召集了環境正義諮詢委員會。這個委員會有 18 名環境正義和弱勢社區代表，包括 2022 年 2 月任命的環境正義諮詢委員會的首位部落代表。2021 年 10 月，該委員會正式成立了八個工作組。這些工作組為環境正義諮詢委員會更好地了解《範疇計畫》的各個具體部門和協助環境正義諮詢委員會制定 2022 年《範疇計畫》建議提供了一個空間。2021 年 12 月，環境正義諮詢委員會出具了方案設想，以幫助

<sup>58</sup>加州空氣資源局，2022，「加州氣候投資」計劃投資 105 億美元用於溫室氣體減排項目，預計會減少 7,600 萬公噸的排放量，<https://ww2.arb.ca.gov/news/california-climate-investments-program-implements-105-billion-greenhouse-gas-reducing-projects>

<sup>59</sup>依照《第 535 號參議院法案》（《2012 年法規》第 830 章）和（《2016 年法規》第 369 章），直接投資於被劃歸優先人群的弱勢社區和低收入社區與家庭。弱勢社區加州環保署根據環境健康危害評估辦公室的环境健康篩查工具，目前將弱勢社區定義為遭受不成比例的污染、環境退化以及社會經濟和公共衛生狀況的社區中排名前 25% 的社區，包括聯邦認可的部落領地在內的某些其他社區。根據法律，低收入社區和家庭是指收入等於或低於全州中位數的 80% 或低於住房及城市發展部指定的低收入門檻的社區和家庭。

2022 年《範疇計畫》的建模。2022 年 2 月，聖華金河谷環境正義諮詢委員會成員舉辦了他們的第一場社區研討會，有 100 余人參加。2022 年 3 月，加州空氣資源局與環境正義諮詢委員會舉行了一次聯合公開會議，討論他們對該範疇計畫草案的初步建議草案。加州空氣資源局網站上提供了公平正義諮詢委員會會議的完整日程安排和會議材料。<sup>60</sup>《範疇計畫草案》中收錄的參考資料包含了環境正義諮詢委員會提出的建議。

## 最大限度地提高空氣品質和健康裨益

加州 50 多年來積累了成功的空氣清潔經驗，大力解決行動和固定來源的標準污染物及有毒空氣污染物。加州空氣資源局（CARB）在測量、評估和減少影響公眾健康的空氣污染源方面一直處於領先地位。它的空氣污染治理方案已被改編為國家方案，並為其他國家所效仿。在減少柴油顆粒物（PM，被認定的一種有毒空氣污染物）和許多其他有害氣體污染物方面取得了重大進展。加州空氣資源局與地方空氣局攜手解決固定排放源排放問題，採用並實施州級法規來解決標準空氣污染物和有毒空氣污染的來源，包括移動污染源。加州空氣資源局還與國家機構合作，解決其管轄範圍以外（例如航空和機車）的空氣污染源。在許多情況下，減少化石燃料燃燒和達到聯邦空氣品質標準的行動亦有助於減少溫室氣體的排放。然而，空氣污染差異仍然存在，必須透過更多工作來確保最脆弱人群有安全的空氣可以呼吸。加州必須繼續評估透過制定創新的政策來協調氣候和空氣品質方案的機會，例如與電力公司合作，根據低碳燃料標準選擇並生成電動汽車（EV）住宅充電積分，其中部分收入被投資回解決空氣品質和氣候污染的回饋計劃。<sup>61</sup>本州的「社區空氣保護計劃」<sup>62</sup>是國內首個同類計劃，主要側重於減少空氣污染影響甚大的社區的暴露問題。

本次《範疇計畫》更新明確了讓暴露最嚴重的社區在短期內即獲得空氣品質裨益並且將長期獲益於溫室氣體（減排）之裨益的行動。《範疇計畫草案》中的許多行動都是《州實施計畫》內的重要組成部分，<sup>63</sup>其主要重點是減少有害空氣污染和實現聯邦空氣質量目標。加州將空氣品質和溫室氣體政策相結合的方法已經取得了成果。環境健康與危害評估辦公室（OEHHA）<sup>64</sup>2022 年的一份報告評估了重型車輛（HDV）和大型固定污染源部門的溫室氣體和有害空氣污染排放，發現這兩個部門的排放量均有所下降，其中降幅最大的是弱勢社區。這兩個部門都要遵守州的溫室氣體

---

<sup>60</sup>加州空氣資源局，環境正義諮詢委員會會議與活動，<https://ww2.arb.ca.gov/environmental-justice-advisory-committee-meetings-and-events>

<sup>61</sup>加州空氣資源局，低碳燃油標準公共事業回饋計劃，<https://ww2.arb.ca.gov/resources/documents/lcfs-utility-rebate-programs>

<sup>62</sup>加州空氣資源局，社區空氣保護計劃，<https://ww2.arb.ca.gov/capp>

<sup>63</sup>加州空氣資源局，2022。《2022 年州實施計畫之本州戰略》，<https://ww2.arb.ca.gov/resources/documents/2022-state-strategy-state-implementation-plan-2022-state-sip-strategy>

<sup>64</sup>環境健康危害評估辦公室，2022。溫室氣體排放限額在弱勢社區內的影響：推動減少不公平性的進展，<https://oehha.ca.gov/environmental-justice/report/AB-32-benefits>

和空氣品質政策，以及其他聯邦和地方有關有害空氣污染的規定。由於諸如劃紅線等種族主義和歧視做法，這兩類來源不成比例地靠近弱勢社區，而弱勢社區主要是有色人種社區。<sup>65</sup>環境健康與危害評估辦公室報告的主要調查結果如下：

- 碳總量限制和交易計畫約束下的重型車輛和設施均減少了共同污染物的排放量，與固定污染源相比，重型車輛的減排趨勢更加顯著。該等減排對於健康有重大好處，包括減少了與污染相關的過早死亡。
- 碳總量限制和交易計畫下的重型車輛和設施減排最大的受益者是有色人種社區和弱勢社區（見 CalEnviroScreen 定義）。這縮小了弱勢社區和富裕社區之間的排放差距，但兩者之間的差距依然巨大。
- 向零排放重型車輛的過渡將加快進一步減排的步伐。
- 雖然觀察到的進展令人鼓舞，但不平等現象依然存在，聯邦、州和地方氣候和空氣質量計畫必須採取更多措施來減少溫室氣體和共同污染物的排放，以減輕弱勢社區和有色人種社區的排放負擔。

各級政府將採取一切手段，透過強有力的執法，確保弱勢社區的空氣品質持續改善，直到全州的空氣污染不再存在差異。

## 經濟彈性

本州應對氣候危機的努力將為全州社區的清潔能源經濟創造經濟和勞動力發展機會。在氣候相關領域轉變現有技能和擴大勞動力培訓機會對於減少加州社區的有害排放至關重要，並將有助於工人向新的高質量工作過渡。政府近期的預算和提出的預算則認清了受本州應對氣候變遷影響最嚴重的行業——尤其是化石燃料行業——的工人所面臨的挑戰，並將投資 10 億美元用於發展區域合作、打造經濟多樣性以創造新的就業機會和支援當地課稅基礎、勞動力轉型以及發現機會後的後續發展；同時打造一張安全網，在向碳中和經濟的轉型過渡中保護和支援受影響社區。面對更頻繁的氣候影響和不斷變化的經濟狀況，州長當前和擬議的預算投資將經得住未來的考驗，並增強經濟的彈性。要想讓這些投資和《範疇計畫》的實施順利支援向碳中和經濟的過渡，工人和受影響的社區必須參與持續的對話，以確保區域經濟的高速過渡。

## 各地政府合作

《範疇計畫》是一項可操作性的計畫，用於確定和協調行動以實現加州的氣候目標。要實現任何《範疇計畫》中的成果和交付結果，行動至關重要。本《範疇計畫草案》中，還有一些行動需要

---

<sup>65</sup>加州環保署，2021，污染與偏見：加州的紅線和環境不公正，  
<https://storymaps.arcgis.com/stories/f167b251809c43778a2f9f040f43d2f5>



我們的聯邦合作夥伴對其管轄範圍內的污染源（例如鐵路、航空和聯邦擁有/管理的土地）採取行動，同時繼續制定國家溫室氣體減排方案。我們還需要當地的合作夥伴就支援永續社區、允許清潔能源生產設施和基礎設施、從垃圾填埋場轉移有機物等土地使用決策方面的行動達成一致。州機構還應使用《範疇計畫》來審查和更新計劃和政策，以支援本《範疇計畫》更新中確定的行動。重要的是，當立法機關考慮新的立法方向和資金以支援本州實現碳中和的道路並繼續採取行動解決近期空氣污染差異時，《範疇計畫》更新可以作為一種資源。

## 與私營部門合作

我們需要清楚，單靠政府是行不通的。所需的投資規模需要私營部門的投資和與慈善機構的合作。公共部門的資金，伴隨著強有力的、穩定的政策信號，必須成為私營部門在減排和建設社區彈性方面開展更深入、更廣泛投資的催化劑。州長紐森致力於與包括小企業在內的企業合作，部署私營部門的技術、資本和創造力。

加州構建了我們的氣候政策和法規，以創造刺激私營部門投資的市場信號和確定性。例如，《關於零排放車輛的州長行政命令》<sup>66</sup>將 2035 年設定為銷售的所有新乘用車 100% 為零排放車的目標年，創造了一個時間範圍，讓汽車製造商擴大零排放車型生產，並向將會部署充電設施的公司和公用事業釋放出清晰的信號。《行政令》發佈後，《先進清潔車法規 II》緊隨其後。加州空氣資源局召集了汽車製造商、環境正義組織、勞工組織和許多其他利益攸關方，以強有力和透明的方式為法規的制定發表自己的觀點；同樣，亦是為生產者和消費者提供確定性。

加州同樣將追求公私夥伴關係（PPP）作為推進集體氣候目標的機制。我們知道這些工具可以有效地增加公共部門資金的影響，並有助於推動市場朝著與國家政策一致的方向發展。在加州基礎設施和經濟發展銀行設立「氣候催化劑再生貸款基金」（Climate Catalyst Revolving Loan Fund）就是政府正在推進的一項新的公私夥伴關係項目。該基金提供一系列金融工具，包括低成本信貸和信貸支援，以幫助彌補目前阻礙先進氣候智慧技術（例如利用野火管理產生之生物質的清潔技術）在市場上擴大規模的融資缺口。該基金透過動員民間資金支援處於部署階段的已準備就緒的專案，來充分利用公共部門的投資。該基金最初關注的項目在於透過森林生物質管理和利用來減少野火威脅，也將很快開始支援氣候智慧型農業項目。

## 支援創新

實現我們雄心勃勃的深度脫碳目標需要持續的技術創新。投資清淨技術之研究、開發和部署的重要性達到了前所未有的高度。發出明確和永續的市場與政策信號將鼓勵大大小小的公司追求創新，在行業內外實現規模化拓展和部署。整套 AB 32 政策<sup>67</sup>幾乎觸及加州經濟的各個部門，推動著

---

<sup>66</sup>行政部，加利福尼亞州，第 N-79-20 號《行政令》，<https://www.gov.ca.gov/wp-content/uploads/2020/09/9.23.20-EO-N-79-20-Climate.pdf>

<sup>67</sup>加州空氣資源局，氣候變遷計劃，<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/topics/climate-change>

全州的技術創新，包括諸多領域內技術開發商、製造商、加工商和裝配商的發展。具體而言，AB 32 政策和計劃支撐著供需雙方在加州構建新市場。在供需方面，AB 32 政策支撐企業展現和完善技術，協助建立關鍵供應鏈。在需求方面，AB 32 政策和計劃提供外展、教育和激勵措施，以及抑制措施，以推動每一方——無論是消費者、機構採購者，抑或是公用事業規劃者——採取新型的氣候智慧技術。加州氣候政策帶來的一些直接創新包括：

- 過去 10 年間，一個不斷增長的零排放重型車（HD ZEV）市場已在加州落地。目前該市場在北美零排放重型車供需方面佔有最大的單一份額。汽車及其零配件製造商在加州展開長期投資，用以開發和生產零排放重型車。
- 加州低碳燃料標準（LCFS）市場中的可再生柴油總消耗量從 2011 年的約 180 萬加侖飆升到了 2020 年的近 5.89 億加侖。低碳燃料標準是可再生柴油及其副產品市場發展的關鍵驅動力。雖然聯邦再生燃料標準（RFS）和混合器稅收抵免同樣使生產商獲益，但一項關於其各自對市場發展之貢獻的分析以及對行業代表和獨立專家的訪談表明，低碳燃料標準是市場發展中更重要的一項因素，至少在最近數年內如此。
- 在過去五年中，加州的小型儲能市場以前所未有的勢頭湧現。截至 2020 年，185 兆瓦（MW）的小型儲能項目實現並網。過去五年內，自發電激勵計劃（SGIP）刺激小型儲能項目的部署顯著。該計劃顯著降低了購置和安裝小型儲能設備的前期成本，同時，面對野火和相關公用事業服務中斷的風險日趨增加，客戶對災難恢復能力的關注度也在不斷地增長。這些系統已經為住宅和非住宅客戶提供了災難恢復優勢。

我們已經留意到，在強有力的政策信號下，市場障礙可以迅速地被攻克，太陽能電池板和電動汽車電池領域便是良好的例證。由政府發佈優先事項，可以在指導私人 and 公共研究、開發和部署方面發揮出重要的作用。本《範疇計畫》明確指出了在非燃燒技術、清潔能源、碳移除方案和短期氣候污染物（SLCP）替代品方面繼續推行創新的必要性。本《範疇計畫》的五年更新週期便於對新工具展開定期評估，以添加到加州方案組合之中。

## 攜手合作夥伴共同制定政策並向外輸出

加州與其他州、部落政府、聯邦政府和國際司法管轄區密切合作，以明確最有效的溫室氣體減排策略和方法，管理溫室氣體控制計劃，並促進制定綜合性、具有成本效益的區域、國家和國際間溫室氣體減排計劃。舉例來說，自 2014 年以來，加州總量控制與交易計劃與魁北克省的相關計劃相聯結，加州空氣資源局工作人員透過《諒解備忘錄》（MOU）和諸如國際氣候行動夥伴關係等契機，定期與世界各地的司法管轄區就加州總量控制與交易計劃的設計特征展開交流。<sup>68</sup>美

---

<sup>68</sup>國際碳行動夥伴組織（ICAP），主頁：

<https://icapcarbonaction.com/en?msclkid=dac30cb7b4f511ec94ccd0f1ae323e98>

國國家環境保護署（U.S. EPA）和其他司法管轄區，包括俄勒岡州、華盛頓州、卑詩省、歐盟和英國，已經實行類似於加州低碳燃料標準（LCFS）的低碳燃料規定。日本、紐西蘭、澳大利亞和歐盟委員會的許多其他司法管轄區也在持續尋求有關加州低碳燃料標準的資訊和技術經驗。加州已經與並將繼續與感興趣的司法管轄區，尤其是中國、印度、墨西哥、加拿大和歐盟，分享此類資訊，並鼓勵設立宏大的減排目標。美國和其他 100 多個國家/地區在《聯合國氣候變遷計劃公約》（UNFCCC）第 26 屆締約方會議上簽署了 2021 年《全球甲烷承諾》，重申了加州在減排甲烷和其他 SLCP 等超級污染物方面的先期行動。<sup>69</sup>

此外，根據《清潔空氣法》，聯邦政府有權允許加州制定比聯邦標準更嚴苛的車輛排放法規。加州的目標和法規是到 2035 年 100%全面過渡到新型零排放乘用車，到 2035 年過渡到零排放拖運卡車，到 2045 年（如可行）過渡到其他卡車和公共汽車，這一舉措正在被美國夥伴州和全球各地積極仿效。這些協調統一的政策有助於向汽車製造商發出信號，表明對零排放技術廣泛且不斷增長的需求，反過來，這也有助於拓展生產規模，降低消費者的成本。

加州與墨西哥環境和自然資源秘書處（SEMARNAT）就清潔車輛政策展開了技術交流，並協助墨西哥建立了自己的排放交易系統（於 2022 年試行）。加州與加拿大環境及氣候變遷部簽署了 2019 年《諒解備忘錄》，雙方在汽車、發動機和燃料脫碳的政策和計劃方面展開深入的合作。這種夥伴關係帶來了切實的減排成果，無論是調整車輛排放目標和政策，還是合作開展排放測試和研究，在執行面向汽車製造商的排放限制上，都是舉足輕重的。在國家層面，中國向加州尋求最前沿的汽車診斷要求和零排放車輛推廣政策。在地方層面，北京已經採用了加州的汽車排放標準和其他數項先進的環境法規。加州將在中國各地繼續推進和擴大此類成果。

2021 至 2023 年間，加州榮任運輸脫碳聯盟的主席，該聯盟是一個由國家、地區、城市和企業組成的全球性網絡，各方齊聚分享經驗和技術專長，並在貨運、電動汽車基礎設施和主動出行方面，增強志向並加速部署目標明確的運輸脫碳政策。加州將在主席任期內，把領導力集中在中型和重型車輛的跨轄區網絡脫碳上，以確保貨運周邊社區的空氣更清潔，並遏制其對氣候變遷帶來的影響。

多年來，加州也在強調並支援州和地方清潔空氣和氣候領導層的持續努力。我們連同卑詩省、華盛頓和俄勒岡州、<sup>70</sup>減碳聯盟<sup>71</sup>、美國氣候聯盟、<sup>72</sup>國際零排放車輛聯盟<sup>73</sup>、運輸脫碳聯盟等組織，共同投入到太平洋海岸合作組織，加州已經並將繼續與各州和地方政府建立氣候夥伴關係。

---

<sup>69</sup>《全球甲烷承諾》，主頁：<https://www.globalmethanepledge.org/>

<sup>70</sup>太平洋海岸合作組織，主頁：<https://pacificcoastcollaborative.org/>

<sup>71</sup>減碳聯盟（Under2 Coalition），主頁：<https://www.theclimategroup.org/under2-coalition>

<sup>72</sup>美國氣候聯盟，主頁：<https://www.usclimatealliance.org/>

<sup>73</sup>零排放車輛聯盟，主頁。[零排放車輛聯盟 | 加速採用零排放車輛。](#)

加州同樣意識到有必要解決因熱帶森林和其他森林的砍伐和退化而造成的大量排放，並作為州長氣候與森林行動小組（GCF）的一部分，繼續與其他地方政府一同開展工作。<sup>74</sup>該行動小組成立於 2008 年，目前有 39 個成員，包括巴西、哥倫比亞、厄瓜多爾、印度尼西亞、科特迪瓦、墨西哥、尼日利亞、秘魯、西班牙和美國等國家的一些州和省——所有這些成員都在考慮頒布計劃或正在實施計劃，以減少森林砍伐、土地使用和農村發展引起的排放，並造福當地和原住民社區。加州大氣資源局制定了《加州熱帶森林標準》，提供了嚴格的方法，用來評估轄區內減少森林砍伐的計劃，並激勵負責任的行動和投資。<sup>75</sup>該標準提供了一個強有力的信號，即重視熱帶森林的保護，而不是持續的破壞性活動（如石油勘探和開採等），並確保為原住民和當地社區提供嚴格的社會和環境保障。

## 努力實現碳中和

截至目前，加州和其他諸多地區一直致力於減少工業和能源部門的溫室氣體排放。根據法規規定，加州 2020 年和 2030 年的目標涉及到本州內所有的溫室氣體排放源以及與本州消耗的外供電力相關的排放。透過轉向碳中和框架，核算範圍擴展到全部碳源和碳匯。由此，當來自排放源的溫室氣體通量與碳匯的通量相等時，便達到了碳中和。插圖 1-5 描述了 AB 32 溫室氣體清單中包含的排放源以及在碳中和框架下本《範疇計畫》中新增的碳源和碳匯。自然和工作用地，鑑於其固碳能力，在這個框架中發揮著越來越重要的作用。然而，本《計畫》的建模表明，僅僅依靠自然和工作用地的碳封存，尚不足以在 2045 年之前實現碳中和。因此，本《計畫》還考慮了碳補存以及直接空氣捕集、生物及機械技術，這是 IPCC 第六次評估報告中<sup>76</sup>所包含的緩解氣候變遷的必要工具。

---

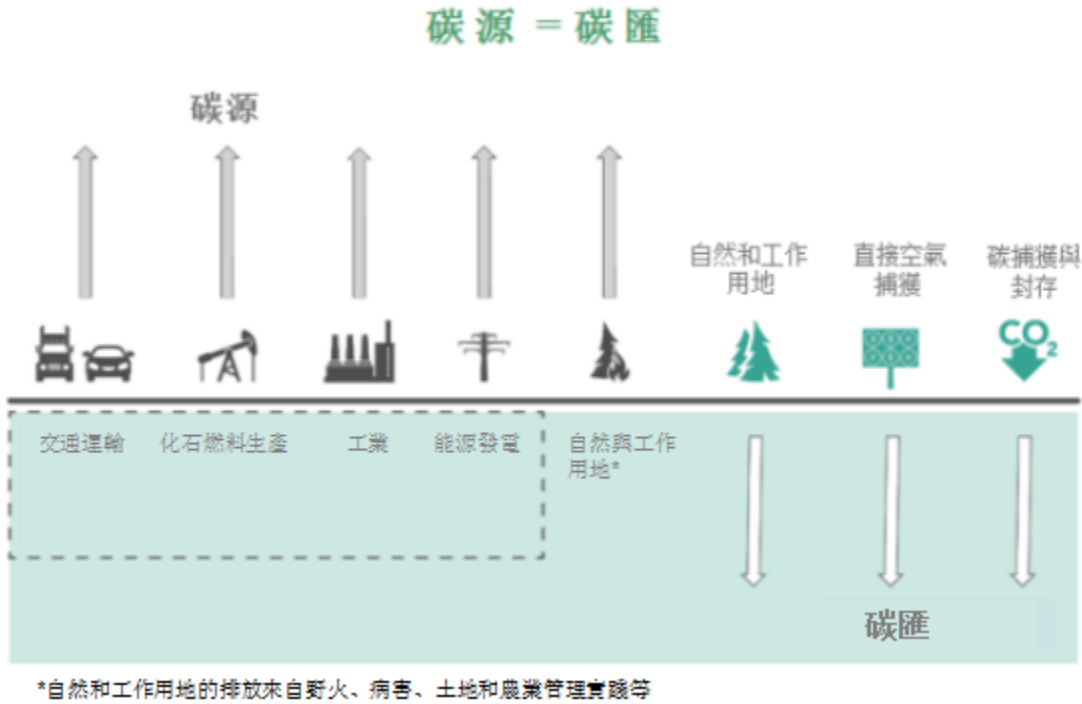
<sup>74</sup>州長氣候與森林行動小組，科羅拉多大學博爾德分校：《科羅拉多法案》，<https://www.gcftf.org/>

<sup>75</sup>加州空氣資源局，《加州熱帶森林標準》，<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/california-tropical-forest-standard>

<sup>76</sup>政府間氣候變遷專門委員會，2021，《2021 年氣候變遷：自然科學基礎》，政府間氣候變遷專門委員會《第六次評估報告》第一工作組供稿，[Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu 和 B. Zhou (編委)], 劍橋大學出版社，待刊。



插圖 1-5：碳中和：平衡所有碳源和碳匯的溫室氣體排放淨通量



## 支援健康且具有復原力的土地

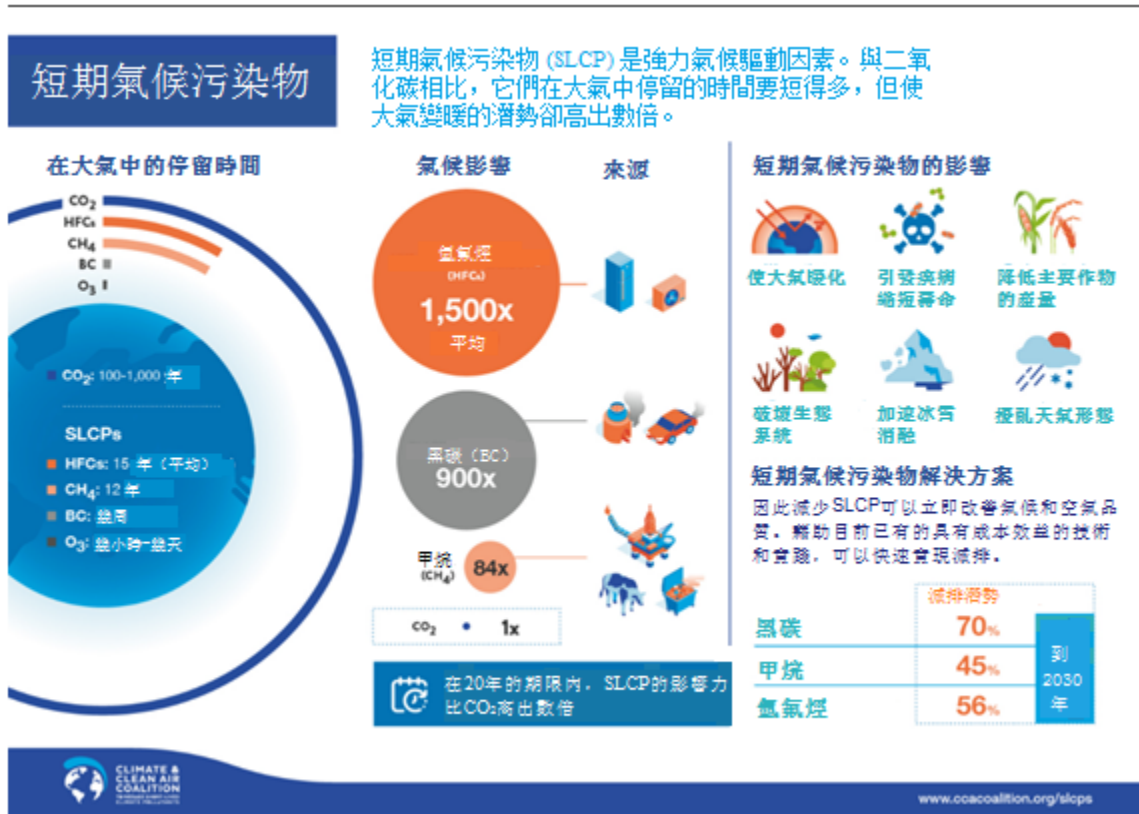
我們的自然和工作用地是加州為實現碳中和並建立對氣候變遷影響的適應力而努力的一個重要領域。健康的土地可以將大氣中的二氧化碳封存和儲存在森林、土壤和濕地中。健康的土地還可以減少具有強大破壞力的短期氣候污染物的排放、限制未來溫室氣體釋放、保護人類和自然使之免受氣候變遷的影響，並建立我們應對未來氣候風險的適應力。不健康的土地則具有相反的影響——它們釋放的溫室氣體比儲存的更多，更容易受到未來氣候變遷的影響。透過專注於支援健康生活體系的氣候智慧型土地治理，可以助力碳中和目標，減少碳排放和推進碳封存，同時支援健康和更具氣候復原力的土地。

## 持續側重於管控甲烷和短期氣候污染物

考慮到氣候變遷的緊迫性、加州和全球各地弱勢群體感受到的往往不成比例的影響，以及快速脫碳的需求和避免最近 IPCC 評估中確定的氣候臨界點，短期氣候污染物減排努力甚為重要。短期氣候污染物包括甲烷（CH<sub>4</sub>）、黑碳（煙塵）和氟化氣體（含氟的氣體，包括氫氟烴），這些是對人類健康和全球氣候危害最大的污染物之一。就其對輻射強迫（即全球暖化）的影響而言，短期氣候污染物比 CO<sub>2</sub> 更為嚴重，並且在大氣中的停留時間比 CO<sub>2</sub> 短得多。這意味著它們在短期內對氣候變遷會產生巨大的影響——它們對當前氣候強迫的影響比例高達 45%。這也意味著，有

針對性地減少短期氣候污染物排放可以在幾周到大約十年內產生巨大的氣候和健康裨益（見插圖 1-6）。

插圖 1-6：短期氣候污染物的影響<sup>77</sup>



在解決短期氣候污染物的排放方面，加州始終是領導者。作為 2014 年《範疇計畫》更新的一部分，<sup>78</sup>加州空氣資源局（簡稱空氣局）承諾專門針對短期氣候污染物的減排制定一項策略。空氣局於 2017 年通過了據此制定的《短期氣候污染物減排策略》<sup>79</sup>，執行《第 1383 號參議院法案》（Lara，2016 年法規第 395 章）中規定的目標，到 2030 年將甲烷和氫氟烴的排放量減少 40%，將人為黑碳排放量減少 50%。加州透過美國氣候聯盟與其他多個州合作，根據《巴黎協

<sup>77</sup>氣候和清潔空氣聯盟，短期氣候污染物 (SLCP)，<https://www.ccacoalition.org/en/content/short-lived-climate-pollutants-slcp>

<sup>78</sup>加州空氣資源局，2014，《氣候變遷範疇計畫》第一次更新，[https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/classic/cc/scopingplan/2013\\_update/first\\_update\\_climate\\_change\\_scoping\\_plan.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/classic/cc/scopingplan/2013_update/first_update_climate_change_scoping_plan.pdf)

<sup>79</sup>加州空氣資源局，2017，《短期氣候污染物減排策略》，[https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2020-07/final\\_SLCP\\_strategy.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2020-07/final_SLCP_strategy.pdf)

定》<sup>80</sup>的要求制定出一項類似的目標，以減少短期氣候污染物排放，確定到 2030 年將整個美國氣候聯盟的短期氣候污染物減少 40-50%的潛勢。<sup>81</sup>

## 制定 2022 年《範疇計畫草案》的流程

2022 年《範疇計畫草案》是在與州長辦公室和州機構的協調下制定的，其中包括與立法機關的溝通，來自環境正義諮詢委員會、部落的建議，並為利益攸關者和公眾提供了公開透明的研討會和其他會議參與機會。附件 A（公共流程）介紹了公眾研討會的詳細資訊，第 5 章闡述了涉及環境正義諮詢委員會的流程詳情。

## 行政和立法機構的指導意見

此次《範疇計畫草案》的更新反映出州長行政令和法規中現有的和近期的指導方向。表格 1-1 匯總了自 2017 年《範疇計畫》通過以來所發布的主要的氣候立法和行政命令。

表格 1-1：自 2017 年《範疇計畫》通過以來所發布的主要氣候立法和行政令

法案/行政令	摘要
<b>第 27 號參議院法案 (SB 27) (Skinner, 《2021 年法規》第 237 章)</b>	<p>SB 27 要求加州自然資源局與其他州機構協調，在 2023 年 7 月 1 日前制定出《自然和工作用地氣候智慧型戰略》。該法案還要求空氣資源局為 2030 年及以後制定具體的 CO<sub>2</sub> 移除目標，作為《範疇計畫》的一部分。按照 SB 27，加州自然資源局將建立和保存一個登記冊，以明確本州在自然和工作用地上推行氣候行動並尋求資金的專案。申請者須滿足以下相關標準：</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• 溫室氣體減排或碳移除。</li><li>• 跟蹤監測和報告碳移除帶來的好處。</li><li>• 改善加州應對氣候變遷的復原力。</li></ul> <p>加州自然資源局還必須跟蹤登記在冊的資助專案所產生的碳移除和溫室氣體減排的裨益。</p> <p>該法案將直接反映在《範疇計畫》草案中，作為第 4 章中自然和工作用地（NWL）部門的封存目標。</p>

<sup>80</sup> 《聯合國氣候變遷計劃公約》，2015，《巴黎協定》，

[https://unfccc.int/sites/default/files/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf)

<sup>81</sup> 美國氣候聯盟，2018，從短期氣候污染物挑戰到行動：減少短期氣候污染物以實現《巴黎協定》目標的路線圖，

<http://www.usclimatealliance.org/slcp-challenge-to-action>

<p><b>第 596 號參議院法案 (SB 596) (Becker, 《2021 年法規》第 246 章)</b></p>	<p>SB 596 要求空氣資源局在 2023 年 7 月 1 日前，針對本州的水泥行業制定一項綜合策略，要在不遲於 2045 年 12 月 31 日的期限內盡快達到與本州內水泥業相關的溫室氣體零排放目標。該法案確立了一項臨時目標，即到 2035 年 12 月 31 日前，水泥業的溫室氣體平均強度較 2019 年降低 40%。按照 SB 596，空氣資源局必須：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 限定溫室氣體強度的衡量標準，並確立用於衡量溫室氣體強度減低的基線。</li> <li>• 評估到 2028 年 7 月 1 日前實現 2035 年臨時目標（溫室氣體強度降低 40%）的可行性。</li> <li>• 與其他州機構協調磋商。</li> <li>• 優先考慮可藉助州和聯邦激勵措施的行動。</li> <li>• 評估支援市場需求的措施和財政激勵措施，以鼓勵生產和使用溫室氣體強度低的水泥。</li> </ul> <p>《範疇計畫草案》建模旨在達成這些成果。第 4 章記載了實現這些成果的行動及後續步驟。</p>
<p><b>第 N-82-20 號《行政令》</b></p>	<p>紐森州長於 2020 年 10 月簽署了 N-82-20 號《行政令》，制定了一項涵蓋全州範圍的目標：到 2030 年前，保護至少 30% 的加州土地和沿海水域，以因應氣候和生物多樣性危機。該《行政令》還指示加州自然資源局與其他州機構協商，制定一項《自然和工作用地氣候智慧型戰略》，作為推進本州碳中和目標和建立氣候復原力的框架。除了設定全州範圍的保護目標外，《行政令》還指示加州大氣資源局更新自然和工作用地的目標，以支援碳中和，作為 2022 年《範疇計畫》的一部分，並將《自然和工作用地氣候智慧型戰略》考慮在內。</p> <p>N-82-20 號《行政令》還呼籲加州自然資源局與其他州機構協商，組建加州生物多樣性合作組織（下稱「合作組織」）。合作組織應由全州範圍內的政府合作夥伴、加州美洲原住民部落、專家、商界和社區領袖以及其他利益相關者組成。州機構將就以下方面的工作與合作組織協商：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 建立基於現有數據且可及時更新的加州生物多樣性基線評估。</li> <li>• 分析和預測氣候變遷及其他應激源對加州生物多樣性的影響。</li> <li>• 清點當前所有領域的生物多樣性工作，凸顯出為保護和加強生物多樣性而採取額外行動的機會。</li> </ul> <p>加州自然資源局還負責採取各種行動推進保護生物多樣性的工作，諸如簡化州政府審批程序和促進與環境恢復和土地治理相關的專案。加州食品和農業部的目標是透過提振傳粉昆蟲種群等措施來推進保護生物多樣性的工作，從而恢復生物多樣性並改善農業生產。</p>



	<p>《自然和工作用地氣候智慧型戰略》為《範疇計畫草案》提供資訊。</p>
<p><b>N-79-20 號《行政令》</b></p>	<p>紐森州長於 2020 年 9 月簽署了 N-79-20 號《行政令》，專門針對交通運輸行業制定了目標，以支援本州 2045 年前達到碳中和目標。該《行政令》中確立的目標如下：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 到 2035 年，州內銷售的新乘用車和卡車 100% 為零排放車輛。</li> <li>• 到 2045 年，所有中型和重型車輛（如可行）將 100% 實現零排放，到 2035 年，拖運卡車實現零排放。</li> <li>• 到 2035 年（如可行），越野車輛和設備將 100% 實現零排放。</li> </ul> <p>該《行政令》還責成空氣資源局制定並擬議法規，以規定增加零排放電動乘用車、中型和重型車輛、拖運卡車和越野車的數量，從而在 2035 年或 2045 年實現上述 100% 零排放的相應目標。</p> <p>《範疇計畫草案》建模反映了這些目標的達成情況。第 4 章收錄了實現這些成果的行動。</p>
<p><b>N-19-19 號《行政令》</b></p>	<p>紐森州長於 2019 年 9 月簽署了 N-19-19 號《行政令》，呼籲州政府加倍努力，以減少溫室氣體排放並減輕氣候變遷的影響，同時建立永續、包容的經濟。該《行政令》指示財政部創建一個氣候投資框架，該框架：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 包含一項針對本州養老基金的積極策略，反映出氣候變遷對經濟和自然環境帶來的更大風險。</li> <li>• 根據減少碳排放和適應氣候變遷影響的側重點，提供將投資轉移到具有更高增長潛力的公司和行業部門的時間表和標準。</li> <li>• 與加州公共雇員退休系統、加州教師退休系統和加州大學退休計畫的受託責任保持一致。</li> </ul> <p>N-19-19 號《行政令》指示州交通運輸局充分利用每年逾 50 億美元的州交通支出，來幫助扭轉燃料消耗增加的趨勢，減少與交通部門相關的溫室氣體排放。該命令還呼籲總務部充分利用其對本州 1,900 萬平方英尺的託管建築物、51,000 輛汽車以及其他有形資產和貨物的管理權和所有權，最大限度地降低州政府的碳足跡。最後，責成空氣資源局加快實現加州到 2030 年銷售 500 萬輛零排放車輛的目標，措施如下：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 制定清潔車輛激勵計劃的新標準，以鼓勵製造商生產清潔、經濟的車輛。</li> <li>• 擬議新策略，提高一級和二級市場對零排放車輛的需求。</li> <li>• 考慮加強現行法規或採用新法規，以在交通運輸行業內達到必要的溫室氣體減排。</li> </ul>

	<p>《範疇計畫草案》建模反映了加速零排放車輛部署的工作情況。第 4 章收錄了支援加速部署零排放車輛的行動。</p>
<p><b>第 576 號參議院法案 (SB 576) (Umberg, 《2019 年法規》第 374 章)</b></p>	<p>海平面上升，加上風暴驅動的海浪，對本州的沿海資源（包括公共和私人地產和基礎設施）構成了直接風險。上湧的海水威脅著敏感的沿海地區、棲息地、受威脅物種和瀕危物種的生存、海灘和其他休閒區以及城市濱水區。SB 576 要求海洋保護委員會制定和實施沿海物種氣候適應力、基礎設施及籌備計劃，以提高加州沿海社區、基礎設施和棲息地的氣候變遷復原力。該法案還指示州海岸保護協會管理氣候籌備計劃，該計劃旨在應對氣候變遷對保護協會管轄範圍內資源的已有影響和潛在影響。</p>
<p><b>第 65 號議會法案 (AB 65) (Petrie-Norris, 《2019 年法規》第 347 章)</b></p>	<p>該法案要求州海岸保護協會在根據《2018 年加州乾旱、水、公園、氣候、海岸保護和全民戶外活動法案》分配撥款時，優先考慮利用沿海社區的自然基礎設施來幫助適應氣候變遷的專案。該法案要求保護協會向規劃和研究辦公室提供有關根據上述規定資助的任何專案的資訊，以考慮將其納入氣候適應諮詢交流中心。該法案授權保護協會向沿海社區提供技術援助，以更好地協助他們開展利用自然基礎設施的項目。</p>
<p><b>B-55-18 號《行政令》</b></p>	<p>布朗州長於 2018 年 9 月簽署了 B-55-18 號《行政令》，確立了一項覆蓋全州的目標，即在不遲於 2045 年的期限內盡快實現碳中和，並在此後達到和保持淨負排放目標。為實現這一目標而採取的政策和計劃應：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 努力改善空氣品質，支援城市和農村社區，尤其是低收入和弱勢社區的健康和經濟復原力。</li> <li>• 採用支援氣候適應力和生物多樣性的實施方式，包括保護本州的供水、水質以及本土動植物。</li> </ul> <p>該《行政令》還呼籲空氣資源局：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 制定一個實施和審核框架，跟踪實現這一目標的進展。</li> <li>• 確保未來的《範疇計畫》確定並推薦實現碳中和目標的措施。</li> </ul> <p>《範疇計畫草案》旨在最遲於 2045 年實現碳中和，建模包含了實現這一成果的技術和燃料轉型。</p>
<p><b>第 100 號參議院法案 (SB 100) (De León, 《2018 年法規》第 312 章)</b></p>	<p>SB 100 要求，加州公共事業委員會、加州能源委員會和空氣資源局計劃到 2045 年 12 月 31 日，加州電力零售總額 100% 來自符合條件的可再生能源和零碳資源。該法案還更新了加州的可再生能源配額制，以納入以下臨時目標：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 到 2024 年 12 月 31 日，44% 的零售來自符合條件的可再生能源</li> <li>• 到 2027 年 12 月 31 日，52% 的零售來自符合條件的可再生能源</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 到 2030 年 12 月 31 日，60%的零售來自符合條件的可再生能源</li> </ul> <p>按照 SB 100，加州公共事業委員會、加州能源委員會和空氣資源局應遵循現行法律規定的方案，實現 100%清潔電力。法規要求這些機構每四年發布一份關於 SB 100 的聯合政策報告。第一份報告已於 2021 年發佈。</p> <p>《範疇計畫草案》反映了 SB 100 的核心方案資源組合，並稍有更新。</p>
<p><b>第 2127 號議會法案 (AB 2127) (Ting, 《2018 年法規》第 365 章)</b></p>	<p>該法案要求加州能源委員會與加州空氣資源局和加州公共事業委員會合作，制定全州範圍內的電動汽車充電基礎設施評估並每兩年更新一次，以支援本州所需的電動汽車採用水平，實現以下目標：到 2030 年在加州道路上投放至少 500 萬輛零排放車輛，以及到 2030 年將溫室氣體排放量較 1990 年降低 40%。該法案要求能源委員會定期向利益相關者徵求有關電動車輛充電基礎設施的數據和意見。</p> <p>該法案可支援《範疇計畫草案》模擬的零排放車輛的部署情況。</p>
<p><b>第 30 號參議院法案 (SB 30) (Lara, 《2018 年法規》第 614 章)</b></p>	<p>該法案要求保險專員召集一個工作組，用於識別、評估和推薦風險轉移市場機制，重點促進對自然基礎設施的投資，以降低與災難性事件相關的氣候變遷風險，針對自然基礎設施的投資出台激勵措施，以減少社區風險，並為私人投資自然土地提供緩解激勵措施，以降低對公共安全、財產、公共事業和基礎設施的氣候風險。該法案要求推薦的政策能夠解決特定的問題。</p>
<p><b>第 2061 號議會法案 (AB 2061) (Frazier, 《2018 年法規》第 580 章)</b></p>	<p>現行的州和聯邦法律規定了高速公路上任何兩軸或兩軸以上車輛總重的具體限值。根據現行聯邦法律，此類車輛的最高總重不得超過 82,000 磅。AB 2061 准許近零排放車輛或零排放車輛的重量可高出動力單元的限重，最多不超過 2,000 磅。</p> <p>該法案可支援《範疇計畫草案》模擬的更清潔卡車的部署。</p>

## 考量相關的州計畫和法規

《範疇計畫》更新文件的編制還包括仔細考量和協調其他州機構的計畫和法規、SB 100 聯合機構報告、<sup>82</sup>2022 年州實施計畫策略、<sup>83</sup>交通基礎設施氣候行動計畫、<sup>84</sup>AB 74 車輛排放和燃料供需研究、<sup>85,86,87</sup>短期氣候污染物戰略（SLCP 策略）、<sup>88</sup>加州大氣資源局的實現碳中和報告、<sup>89</sup>氣候智慧型戰略、<sup>90</sup>自然和工作用地實施計畫草案<sup>91</sup>等等。

## 合作夥伴和利益攸關者的意見

加州大氣資源局還與其他州政府機構合作，向受影響的利益攸關者（包括勞工和公眾）徵求意見和反饋。更新《範疇計畫》的流程始於 2021 年 6 月上旬的啟動研討會，<sup>92</sup>隨後舉辦了十多場公眾研討會，<sup>93</sup>包括與部落的接觸，並舉行了一系列環境正義諮詢委員會和環境正義社區會議。<sup>94</sup>因為有許多機構對不同的經濟部門具有直接權力或管轄權，所以 2021 年 6 月舉辦的研討會和其他幾場研討會得益於多家機構的共同努力。此外，這些機構還每兩週、每月和每週舉行一次協商會議。

---

<sup>82</sup>加州公共事業委員會、加州能源委員會和加州空氣資源局，2021，《聯合機構報告》，<https://www.energy.ca.gov/sb100>

<sup>83</sup>加州空氣資源局，2022 年 1 月 31 日，《2022 年州實施計畫戰略草案》，

[https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2022-01/Draft\\_2022\\_State\\_SIP\\_Strategy.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2022-01/Draft_2022_State_SIP_Strategy.pdf)

<sup>84</sup>加州運輸局，2021，《交通基礎設施氣候行動計畫》，<https://calsta.ca.gov/subject-areas/climate-action-plan>

<sup>85</sup>加州環保署，2021，《碳中和研究》，<https://calepa.ca.gov/climate/carbon-neutrality-studies/>

<sup>86</sup>Brown, A. L. 等，2021，《推動加州交通運輸零排放》，加州大學交通研究所，

<https://escholarship.org/uc/item/3np3p2t0>

<sup>87</sup>Deschenes, O，2021，《提高公平性，同時消除加州運輸燃料供應中的排放》。加州大學聖芭芭拉分校，

<https://zenodo.org/record/4707966#.YKPiaKhKi73>

<sup>88</sup>加州空氣資源局，短期氣候污染物，<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/slcp>

<sup>89</sup>能源與環境經濟學有限公司，2020，《實現加州碳中和》，[https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2020-10/e3\\_cn\\_final\\_report\\_oct2020\\_0.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2020-10/e3_cn_final_report_oct2020_0.pdf)

<sup>90</sup>CNRA，2022，《自然和工作用地氣候智慧型戰略》，<https://resources.ca.gov/Initiatives/Expanding-Nature-Based-Solutions>

<sup>91</sup>加州空氣資源局，2019，《加州 2030 年自然和工作用地氣候變遷實施計劃草案》，

<https://ww2.arb.ca.gov/resources/documents/nwl-implementation-draft>

<sup>92</sup>附件 A（公共流程）

<sup>93</sup>加州空氣資源局，《範疇計畫》會議與研討會，<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/ab-32-climate-change-scoping-plan/scoping-plan-meetings-workshops>

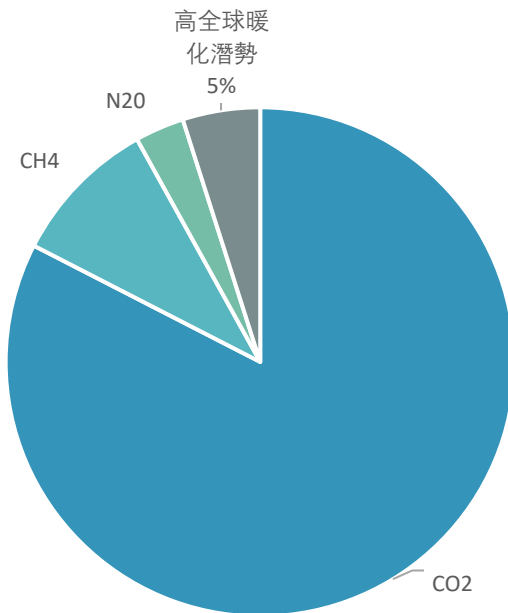
<sup>94</sup>加州空氣資源局，環境正義諮詢委員會會議與活動，<https://ww2.arb.ca.gov/environmental-justice-advisory-committee-meetings-and-events>

## 《範疇計畫》參閱的排放數據

### 溫室氣體排放

AB 32 說明了哪些溫室氣體將受到監管和減排控制，並納入到州的目標和成果中。該清單包含七種溫室氣體：二氧化碳 (CO<sub>2</sub>)、甲烷 (CH<sub>4</sub>)、一氧化二氮 (N<sub>2</sub>O)、六氟化硫 (SF<sub>6</sub>)、氫氟烴 (HFC)、碳氟化合物 (PFC) 和三氟化氮 (NF<sub>3</sub>)。二氧化碳是加州排放的主要溫室氣體，佔 2019 年溫室氣體排放總量的 83%，如下方插圖 1-7 所示。插圖 1-8 顯示交通運輸（主要是陸路交通）是本州最大的 CO<sub>2</sub> 單一排放源。來自煉油廠和石油天然氣部門的上游運輸排放被歸入工業源的 CO<sub>2</sub> 排放，約佔工業源排放量的 50%。將這些排放源歸於交通運輸部門後，來自交通運輸部門的排放量約佔到全州溫室氣體排放量的一半。除交通運輸外，電力生產以及工業與住宅也是重要的 CO<sub>2</sub> 排放源。插圖 1-7 和插圖 1-8 顯示了根據 2019 年溫室氣體排放清單，不同溫室氣體和部門在州溫室氣體排放量中的佔比。插圖 1-8 顯示了按《範疇計畫》部門劃分的排放情況，其中單獨列出高全球暖化潛值 (GWP) 和回收/廢棄物排放的類別，這類排放通常被歸於其他經濟部門中。

插圖 1-7：2019 年州溫室氣體排放百分比（按溫室氣體劃分）<sup>95</sup>

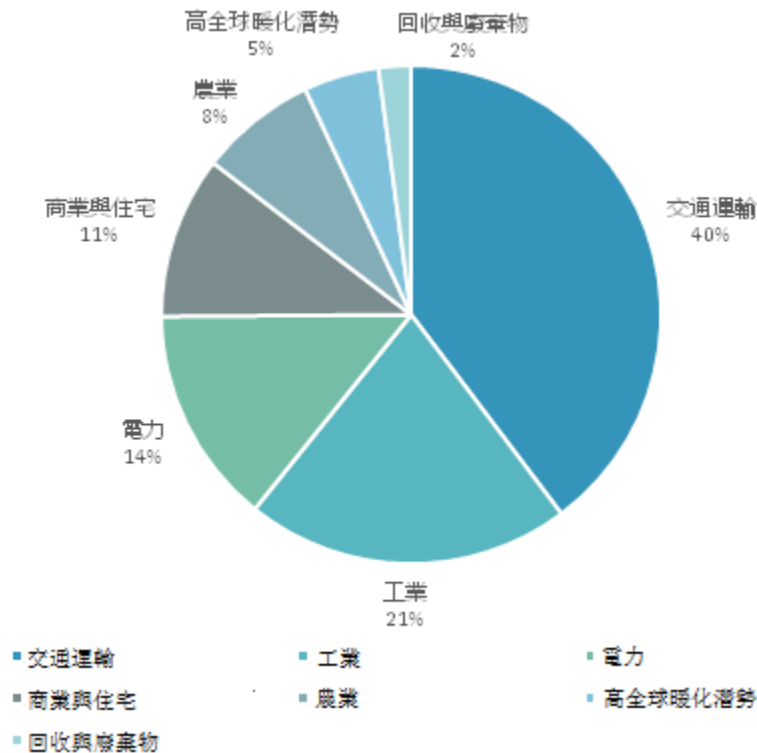


2019年加州總排放量：418.2 MMTCO<sub>2</sub>e

<sup>95</sup>加州空氣資源局，2019，加州2000年至2019年溫室氣體排放：排放和其他指標趨勢，  
[https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/classic/cc/ca\\_ghg\\_inventory\\_trends\\_2000-2019.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/classic/cc/ca_ghg_inventory_trends_2000-2019.pdf)



插圖 1-8：2019 年州溫室氣體排放百分比（按《範疇計畫》部門劃分）



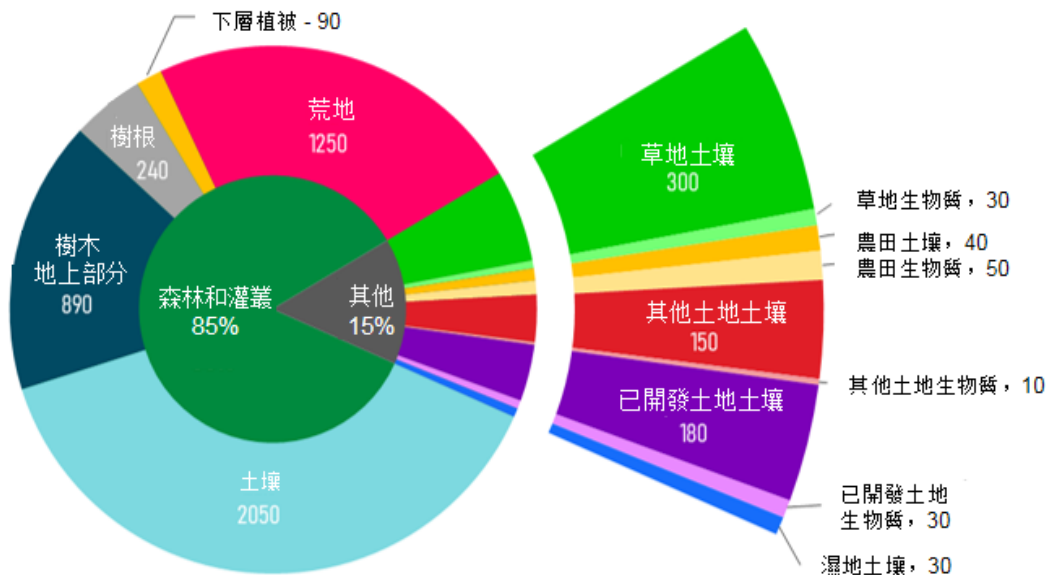
AB 32 溫室氣體清單的範疇涵蓋全州境內的排放源，以及本州消耗的外供電力對應的排放。這一清單結構與 IPCC 的做法是一致的，以便將全州的溫室氣體排放量與國家層面的排放量和其他國際溫室氣體清單進行比較。全州的溫室氣體排放量計算參考了諸多數據源，包括來自其他州和聯邦機構的數據。然而，主要的數據來源為按照《溫室氣體排放強制報告》(MRR) 呈交給加州大氣資源局的報告。該強制報告要求，因燃燒和加工產生的排放量超過 10,000 公噸二氧化碳當量 (MTCO<sub>2e</sub>) 的設施和實體、屬於特定行業的所有設施以及所有電力實體須直接向加州大氣資源局提交年度溫室氣體排放數據報告。此外，該法規要求排放量超過 25,000 公噸二氧化碳當量的實體的報告必須由加州大氣資源局認可的第三方核查機構進行核驗。有關強制報告的更多資訊，請訪問：[《溫室氣體排放強制報告》| 加州空氣資源局](#)。

《溫室氣體排放清單》所參考的全部數據源均列在清單支援文檔中，詳見：[www.arb.ca.gov/cc/inventory/data/data.htm](http://www.arb.ca.gov/cc/inventory/data/data.htm)

## 自然和工作用地

對於自然和工作用地，2018 年<sup>96</sup>生態系統當前的碳清單（自然和工作用地清單）顯示，加州大氣資源局量化的碳庫中約有 53.40 億公噸碳（見插圖 1-9）。根據換算，陸地中 53.40 億公噸碳相當於大氣中 196 億公噸的 CO<sub>2</sub>，這些碳量目前存在於生物圈和土壤中，隨著地球碳循環進行轉化。森林和灌叢覆蓋了加州的大部分地貌，因此其中蘊含著加州的大部分碳儲量，並且在所有土地覆蓋類型中具有最高的碳密度。所有其他土地類別相加佔加州總面積的 35% 以上，但其中的碳儲量僅佔 15%。53.40 億公噸碳量中，約有一半儲存在土壤中，另一半蘊含在植物生物質中。

插圖 1-9：自然和工作用地中的碳儲量



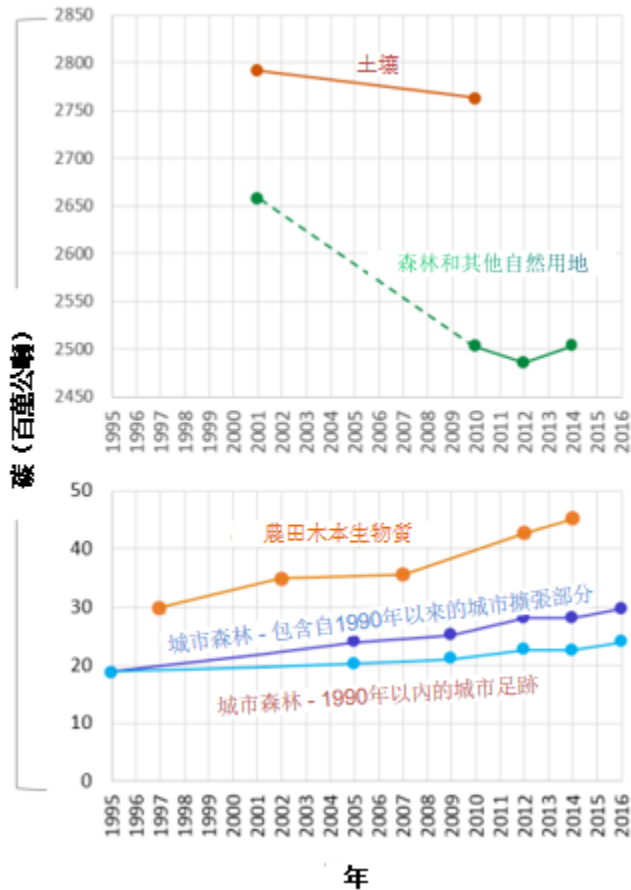
自然和工作用地清單除了估算加州地貌中的生態系統碳儲量外，還說明了這些碳儲量的變化趨勢（見插圖 1-10）。該清單將儲量變化歸因於人類活動（如土地利用變化），或生態擾動（如野火）。加州大氣資源局的清單顯示，2001-2011 年間，這些土地是溫室氣體的排放源，所釋放

<sup>96</sup>加州空氣資源局，2018，加州自然和工作用地中的生態系統碳清單，  
[https://ww3.arb.ca.gov/cc/inventory/pubs/nwl\\_inventory.pdf](https://ww3.arb.ca.gov/cc/inventory/pubs/nwl_inventory.pdf)



的碳量高於儲存量。此後，2012-2014 年間，恢復為輕微碳匯。這些趨勢凸顯出土地的年際和年代際變化，及其充當碳排放源和吸收匯的雙重功能。

插圖 1-10：不同地貌類型的碳儲量變化



對於自然和工作用地，清單還參照聯合國政府間氣候變遷專門委員會的方法，跟蹤加州境內生態系統碳隨時間的變化，提供與其他國家和地方清單和碳核算的可比性。因此，自然和工作用地清單是一項重要工具，可用於跟蹤加州碳儲量隨時間的變化，並跟蹤本《範疇計畫》確定的干預措施、氣候智慧型土地戰略中確定的行動等措施對自然和工作用地碳儲量的影響。

自然和工作用地清單所參考的全部數據源均列在技術支援文件中，詳見：

<https://ww2.arb.ca.gov/nwl-inventory>

## 黑碳

此外，加州空氣資源局制定了全州範圍的黑碳排放清單，以支援短期氣候污染物（SLCP）戰略。清單分為兩類：非林業（人為）來源和林業來源。<sup>97</sup>黑碳清單是使用現有的細粒狀物排放清單和定義細粒狀物黑碳比例的物種分佈圖計算的。黑碳清單有助於支援短期氣候污染物戰略的實施，但它不是跟蹤加州 AB 32 或 SB 32 氣候目標進展情況的加州溫室氣體清單的一部分。本州的主要人為黑碳來源包括越野交通、道路交通、住宅燃燒木料、燃料焚燒和工業加工。加州空氣資源局估計 2017 年黑碳排放量約為 8MTCO<sub>2</sub>e<sup>98</sup>。大多數人為來源來自交通運輸，特別是重型車輛。由於加州的空氣品質計劃，來自交通運輸的黑碳排放比例正在迅速下降，預計從現在到 2030 年還將繼續下降。剩餘的黑碳排放將主要來自柴爐/壁爐、越野應用和工業/商業焚燒。林業類別包括非農業類的策略燒除和野火排放。

## 跟蹤生命週期和州外排放

近年，人們日益關注產品中的隱含碳，亦即*生命週期排放*。生命週期核算框架涉及產品採購、生產和運輸到終點所產生的所有溫室氣體排放。在對產品進行此類評估時，排放可能關係到管轄範圍以外的採購原料及生產活動。雖然生命週期排放可以更全面地反映與我們消費的商品和持續需求相關的排放情況，但生命週期清單與聯合國政府間氣候變遷專門委員會的標準不一致，因為它們會導致在各個轄區內重複計算排放量。此外，司法管轄區通常缺乏監管其境外來源的法律權力。最後，很難獲得轄區以外的來源和生產活動的準確數據，進而影響此類清單的準確性。由於這些原因，《範疇計畫》中使用的清單未使用生命週期方法，而是仍與國際核算標準保持一致。

然而，溫室氣體減排行動可能作為地方和國際合作的一部分，或作為實施區域政策的自然結果，跨越地理邊界。除了本州現有的溫室氣體清單之外，加州空氣資源局將在完成《範疇計畫》後制定一個核算框架，以反映我們的政策在州外產生的裨益。這個核算框架對於更好地了解本州政策之於大氣排放物的真正影響將非常重要。例如，低碳燃料標準刺激了本州進口交通用燃油的生產和交付這一整條供應鏈的溫室氣體減排。可是，我們的清單僅捕捉了在加州使用這種燃料時尾氣排放的變化，並沒有捕捉到在州外生產過程中所減少的溫室氣體排放量。再比如，自然和工作用地林業行動。在這些行動中，加州的政策正在激勵其他州的森林管理行動，進而增加了永久性的碳封存。加州的自然和工作用地清單沒有包含加州以外的林業項目所增加的碳儲量，而這些項目所產生的 CO<sub>2</sub> 清除量也不在加州空氣資源局的自然和工作用地清單或加州空氣資源局溫室氣體排放清單之中。如需將州外溫室氣體減排歸因於我們的計劃，那麼這些減排必須是真實的、可量化的、可驗證的且永久的。

---

<sup>97</sup>第 1383 號參議院法案。

[https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billTextClient.xhtml?bill\\_id=201520160SB1383](https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billTextClient.xhtml?bill_id=201520160SB1383)

<sup>98</sup>這是為 2022 年《範疇計畫》制定的初步估計。鏈接的短期氣候污染物清單中提供了官方黑碳排放估算：

<https://ww2.arb.ca.gov/ghg-slcp-inventory>

避免任何重複計算（包括其他司法管轄區聲稱的減排量）並透明地表明任何司法管轄區外的減排量是否可以包含在另一個地區的清單之中也很重要。加州空氣資源局正在與其他司法管轄區合作，以確保溫室氣體核算規則與國際最佳實踐保持一致，因為強有力的核算規則將增強人們對所報減排量的信任，並保持對各司法管轄區聯合行動的支援。在我們與其他司法管轄區共同努力相互協作實現溫室氣體目標並使大氣真正受益的過程中，具有一致性和透明度的政策目標至關重要。

## 第 2 章：建議方案

本章將論述建議方案，方案中首次同時收錄了 AB 32 溫室氣體清單及自然和工作用地（NWL）範疇內的來源。方案首先討論了評估的備選方案以及選定建議方案所採用的流程。每一種方案都是為了實現州內污染源的減排。文中分別考慮了 AB 32 溫室氣體清單和自然和工作用地的四種情景方案，為建議方案提供依據。每種備選方案都是根據本州綜合氣候行動必須提供的重要標準和優先事項進行考慮，包括需要技術上可行且具有成本效益的溫室氣體減排，以及為本州帶來健康和經濟效益。所有備選方案都是根據上述基準情景設定的，也就是說如果除了針對實現 2030 年目標而規定的現行政策外不採取任何行動或者在自然和工作用地領域不採取任何新的行動，那麼溫室氣體排放可能會有的狀況。2022 年《範疇計畫草案》制定時使用了兩套建模工具，用以評估 AB 32 溫室氣體清單和自然和工作用地這兩個部門，因為沒有任何一個單一的模型同時適於評估 AB 32 所載的排放源和自然和工作用地排放源。因此，每個部門分別得出一套不同的方案。雖然本章對這兩個部門類型進行了單獨討論，但建議方案從每個部門類型中選擇了一個備選方案來反映跨兩個部門的綜合行動。雖然建模提供了點估計，但是不一定精確。如「不確定性」部分所述，建模結果預測的任何結果與幾種類型的「不確定性」相關。每個點上有若干個相關的估值範圍沒有顯示在圖標上或結果中。2022 年《範疇計畫終稿》中將包含量化的敏感性分析。

### AB 32 溫室氣體庫存清單部門方案

AB 32 溫室氣體清單部門的基準情景顯示，到 2030 年之後，溫室氣體排放量將持續但小幅減少，直至本世紀中葉趨於平穩。對全部四種備選方案的綜合分析表明，建議方案是實現加州氣候和清潔空氣目標的最佳選擇，同時平衡了優先直接減排、技術上可行和成本效益高的立法方向。它還可以保護公眾健康，為持續的經濟增長提供堅實的基礎，並大大減少國家對化石燃料燃燒的依賴。每個備選方案都是在一年期間內由公眾意見、州長、空氣資源局、立法方向和環境正義諮詢委員會<sup>99,100</sup> 的意見綜合考慮之下的產物。由於本範疇計畫的時間範圍較長，這些方案只是作為關於清潔能源和清潔技術及其部署速度的已確定推薦選擇，而不是作為即刻的政策選擇。隨著《範疇計畫》日後的更新，可能還會有新的清潔技術和燃料添加到清單中。

評估的四種情景方案有許多相似之處。它們都具有以下特征：

- 對化石燃料的依賴大幅減少，州內對航空、船舶和機車應用的化石燃料以及建築和工業用天然氣的需求仍然存在

<sup>99</sup>環境正義諮詢委員會，2021 年 12 月 2 日，《環境正義諮詢委員會關於加州空氣資源局方案意見的答復》，

[https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2021-12/EJAC%20Final%20Responses%20to%20CARB%20Scenario%20Inputs\\_12\\_2\\_21.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2021-12/EJAC%20Final%20Responses%20to%20CARB%20Scenario%20Inputs_12_2_21.pdf)

<sup>100</sup>加州空氣資源局，2022 年 1 月 25 日，PATHWAYS 情景更新建模假設，

[https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2022-01/Scenario%20Slides%20for%20Jan25%20EJAC%20Mtg\\_01242022.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2022-01/Scenario%20Slides%20for%20Jan25%20EJAC%20Mtg_01242022.pdf)

- 大力部署零排放車輛和熱泵等高效非燃燒技術
- 零碳電力和氫等清潔能源的生產和分配快速增長
- 逐步減少化石燃料的生產和分銷活動，作為向清潔能源過渡的一部分
- 製冷劑和逃逸甲烷等短期氣候污染物逃逸產生的殘餘排放物
- 消費者大量採用清潔的技術和燃料選擇
- 去除殘餘排放物的 CO<sub>2</sub> 以實現碳中和
- 部分依賴於碳捕獲與封存 (CCS)

雖然這四種方案有很多共同點，但它們也有一些不同點：

- 實現碳中和的年份（2035 年還是 2045 年）
- 部署清潔技術以及生產和分配零碳能源的速度
- 實現碳中和當年對化石能源的剩餘需求量
- 某些部門部署的技術和燃料具有限制
- 消費者對清潔技術和燃料的採用率
- 對 CO<sub>2</sub> 去除的依賴程度
- 對碳捕獲與封存的依賴程度

2021 年 8 月的一次公開研討會上討論了初步方案概念。2021 年 9 月和 10 月針對建模情景另行舉行了研討會。建模情景草案於 2021 年 12 月中旬完成。

以下摘要概述了本次更新中為能源和工業部門設計和考慮的備選方案。

**建議方案（建模情景備選方案 3：）** 到 2045 年實現碳中和，部署廣泛的現有和新興化石燃料替代品和清潔技術組合，並與法規和行政令保持一致

**備選方案 1：** 到 2035 年實現碳中和，幾乎完全淘汰所有燃燒，對碳捕獲和封存以及工程碳去除的依賴有限，限制生物質衍生燃料的應用

**備選方案 2：** 到 2035 年實現碳中和，並積極部署全套技術和能源方案，包括工程碳去除

**備選方案 4：** 到 2045 年實現碳中和，部署廣泛的現有和新興化石燃料替代品，與建議方案相比，部署速度和採用速度較慢，對 CO<sub>2</sub> 去除的依賴性更高

AB 32 溫室氣體清單所載部門的其他考慮因素包括：

- 備選方案在多大程度上滿足全州的目標和任何部門的目標，並帶來清潔空氣裨益（尤其是在短期內）以解決持續的健康空氣差異，優先減少行動污染源和大型固定污染源，並強調繼續投資於弱勢社區？

- 備選方案是否支援加州加強與其他司法管轄區的合作，並納入具有堅實科學基礎的可輸出政策？
- 備選方案對於受監管實體是否具有靈活性，是否可提供具有成本效益的溫室氣體減排方法？
- 備選方案是否提供了符合法規和科學的現實且具有遠大抱負的前進道路，是否利好經濟機會，特別是在預期增長部門的經濟機會？

## 自然和工作用地備選方案

自然和工作用地方面，基準情景顯示，由於以往不健康的管理方式和氣候變遷對土地造成的影響，這些用地將繼續排放溫室氣體，且未來將會損失碳儲量。相對於基準情景，四種自然和工作用地情景分別對七種地貌（森林、灌木叢和濃密常綠闊葉灌叢、草地、耕地、開發用地、濕地和植被稀疏的土地）提出了不同程度的土地治理，以支援碳中和。四種自然和工作用地情景分析顯示，建議方案（建模情景備選方案 3）是首選方案，因為它優先考慮了減少溫室氣體和空氣污染、保護生態系統健康和復原力，以及（方案的）實施和技術可行性及成本效益。建議方案可降低本州的野火風險；提高加州森林、灌叢和草地的健康性和恢復力；改善土壤健康狀況；為子孫後代保護、恢復和改善加州的自然和工作用地。建議方案考慮了《加州氣候智慧戰略》<sup>101</sup>中確定的優先地貌和面向自然的戰略，並反映了本州以有助於土地發揮多種裨益的方式治理土地之優先事宜。建議方案以及本章闡述的每一種自然和工作用地備選方案，都是根據其他機構、公眾和環境正義諮詢委員會的意見擬定的。今後《範疇計畫》更新時還將增加和評估其他的地貌和土地治理活動。

各個自然和工作用地情景之間存在一些共同之處：

- 優先考慮對森林、灌叢、草地、耕地、開發用地、濕地和植被稀少的土地開展自然和工作用地治理行動。這些行動可減少這些土地的溫室氣體排放，保護生態系統免受未來氣候變遷的影響，保護社區，並增強其為自然和社會提供的生態系統裨益。
- 探索為實現各方案設定目標而設計的不同程度的自然和工作用地治理行動可能產生的影響。
- 分析到 2045 年土地治理行動、氣候變遷、野火和用水對加州多樣化的自然和工作土地的碳影響。

---

<sup>101</sup>加州自然資源局，2022，《自然和工作用地氣候智慧型戰略》，[https://resources.ca.gov/-/media/CNRA-Website/Files/Initiatives/Expanding-Nature-Based-Solutions/CNRA-Report-2022---Final\\_Accessible\\_Compressed.pdf](https://resources.ca.gov/-/media/CNRA-Website/Files/Initiatives/Expanding-Nature-Based-Solutions/CNRA-Report-2022---Final_Accessible_Compressed.pdf)



四個自然和工作用地情景之間也存在不同之處：

- 每種地形採取的自然和工作用地治理行動的水平不同，例如耕地上健康土壤實踐的面積數有所不同。
- 每種土地採取的自然和工作用地治理行動的類型不同，例如對森林、草地和灌叢的策略燒除或間伐。

2021年12月2日的研討會上討論了自然和工作用地幾種備選方案的草案，後於2022年2月確定了最終的基準情景。<sup>102</sup>

以下摘要概述了本次更新中為自然和工作用地部門設計和考慮的備選方案。

**建議方案（建模情景備選方案 3）：**土地治理活動優先考慮恢復和增強生態系統功能以提高對氣候變遷影響的抵禦能力，包括更穩定的碳儲量

**自然和工作用地備選方案 1：**土地治理活動優先考慮森林的短期碳儲量，並增加耕地的氣候智慧農業實踐

**自然和工作用地備選方案 2：**代表加州當前承諾和計劃的土地治理活動

**自然和工作用地備選方案 4：**土地治理活動優先考慮減少森林、灌叢和草地野火

## 範疇計畫備選方案評估

加州空氣資源局工作人員在公開會議上徵求了專題專家、受影響的利益相關者和環境正義諮詢委員會的反饋意見，匯總了四種碳中和方案的假設情況，使用 PATHWAYS 進行建模為更新計畫提供參考。修訂工作是根據法規的指引、州長的行政令、公眾的意見和環境正義諮詢委員會的建議展開。這三種備選方案旨在探索加州能源需求從化石燃料轉變的可能速度、規模及影響。下述建模假設確定了到 2045 年每個部門都可以在商業上獲得且技術上可行的主要化石燃料替代品。加州空氣資源局推測，在替代技術或替代燃料應用後，剩餘的能源需求——如道路交通的內燃機、工業流程和現有建築中尚未脫碳的天然氣使用——將繼續由化石燃料滿足，從而導致殘餘的溫室氣體排放。

---

<sup>102</sup>加州空氣資源局，2022年2月28日，自然和工作用地備選方案。

<https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2022-02/Revised-NWL-2022SP-Scenario-Assumptions-28Feb.pdf>

## 備選方案 1：到 2035 年實現碳中和

備選方案 1 中有許多行動和清潔技術與清潔能源同其他備選方案和建議方案相同，但限制了部分燃料和技術的應用。它：

- 加快了到 2030 年將排放量降至 1990 年水平以下 40% 的步伐。
- 計劃到 2035 年透過減少化石燃料燃燒實現碳中和。
- 幾乎淘汰所有燃燒行為，包括化石燃料、生物質燃料或氫氣的燃燒。
- 要求車輛、電器和工業設備提前退役以消除（燃料）燃燒，並積極部署和採用非燃燒技術。
- 直接監管奶牛場，以實現 SB 1383 規定的甲烷減排目標。
- 水泥、航空等難以脫碳的部門很可能發生碳洩漏，除非使用碳捕存以及生物質衍生的液體燃料。
- 要求去除 CO<sub>2</sub> 以抵補非燃燒類排放（工業過程排放）和短期氣候污染物的排放；否則無法實現碳中和。

備選方案 1 反映了環境正義諮詢委員會分享的多項優先事項。不支持新的沼氣池或垃圾填埋場（奶牛場）碳捕獲；相反，隨著時間的推移，需要整體減少畜群規模和更多的堆肥。隨著燃燒的逐步淘汰，石油和天然氣的逃逸甲烷排放將幾乎消除。石頭、粘土、玻璃和水泥等難以實現電氣化的行業可能需要關閉，除非允許使用一定量的碳捕存及一些燃燒技術來滿足其能源需求。如果對這些商品的需求持續存在，那麼這些行業很可能會出現碳洩漏。混凝土等水泥的替代品可能並不適用於所有應用，包括重型承重工程。為了確保 2035 年交通運輸不再使用化石燃料，加州可能需要制定方案，在車輛到達使用年限前回收車輛並幫助低收入家庭能夠使用零排放車輛和所需的充電通道。2035 年以後將沒有石油供應來支援任何內燃機車輛。由於沒有天然氣，可能需要建立類似的回購計畫，在燃氣器具使用壽命結束之前予以更換。到 2035 年，石油和天然氣的開採和精煉業務將逐步停止，因為到 2035 年，對這些燃料的需求也將被迫降至零。此外，所有以燃燒為基礎的發電資源將不再可用。可靠的容量需要透過氫燃料電池來實現。

### 備選方案 1 建模總結

- 2035 年和 2045 年化石燃料燃燒減少的最多
- 2035 年和 2045 年不使用機械性碳移除 (CDR) 的情況下，溫室氣體排放量減少的最多
- 由於到 2035 年幾乎所有車輛和燃氣器具將提前報廢以及在 10 到 20 年後，也就是 2045 年左右將出現大量報廢替換產品，故直接成本最高
- 2035 年和 2045 年經濟增長放緩率最高
- 2035 年和 2045 年碳社會成本最高（避免損失最高）
- 2045 年醫療福利金節省最多

- 2035 年就業增長放緩率最高，2045 年與備選方案 2 並列
- 由於清潔能源和技術的部署和採用速度最快，故不確定性程度高

## 備選方案 2：到 2035 年實現碳中和

備選方案 2 採取「照單全收」的模式，對可行的燃料和技術沒有任何限制。此方案預計消費者會有強烈的偏好，並大力採用清潔燃料和技術。下文總結了此方案具有的幾個重要特征。它：

- 加快了到 2030 年將排放量較 1990 年水平減少 40% 以上的步伐。
- 計劃透過快速擴大 CO<sub>2</sub> 去除規模，到 2035 年實現碳中和。
- 不會淘汰所有燃燒，包括化石燃料、生物質燃料或氫氣的燃燒。
- 允許內燃機型汽車、電器和工業設備在到達使用年限後報廢。
- 允許從養牛場捕獲和使用沼氣，以實現 SB 1383 規定的甲烷目標。
- 允許難以電氣化的部門使用碳捕存。
- 要求去除 CO<sub>2</sub> 以抵補非燃燒類排放（例如工業過程排放）和短期氣候污染物的排放。

此備選方案反映了部分利益攸關者和立法機構成員的方向，以評估在部署當今可用的所有工具的同時，到 2035 年實現碳中和所需要採取的措施。與備選方案 1 不同的是，此方案沒有排除生物質衍生燃料或碳捕存。除了中型和重型車輛外，此備選方案還允許在達到使用壽命前繼續使用傳統燃燒技術至自然報廢，無需提前回購計畫。對於發電，允許使用所有可再生能源配額制和 SB 100 零碳源。隨著需求的減少，石油和天然氣的開採和精煉業務將逐步減少。在 2045 年之後仍存在的程度內，石油和天然氣的開採和提煉仍將繼續，但在適當的情況下，將與碳捕獲與封存結合起來，從而在避免作業關閉的同時減少溫室氣體排放。

### 備選方案 2 建模總結

- 2035 年和 2045 年化石燃料燃燒減少量居第二位
- 2045 年在不使用二氧化碳移除 (CDR) 的情況下，溫室氣體排放減少量居第二位
- 由於大力投資碳移除，2035 年直接成本居第二位
- 到 2045 年經濟增長放緩率居第二位
- 2035 年和 2045 年碳社會成本居第二位（避免損失居第二位）
- 與建議方案相比，2045 年醫療福利金節省量居第二位
- 2035 年就業增長放緩率居第二位，2045 年與備選方案 1 並列
- 由於部署機械移除二氧化碳的速度最快，故不確定性程度高

## 備選方案 4：到 2045 年實現碳中和

備選方案 4 採取「照單全收」的模式，對可行的燃料和技術沒有任何限制。此方案預計，消費者對清潔燃料和技術的採用不會那麼積極，清潔燃料和技術的部署速度也會放緩。下文總結了此方案具有的幾個重要特征。它：

- 實現在 1990 年水平上減排 40% 的 2030 年目標。
- 計劃到 2045 年透過減少直接排放，同時擺脫化石燃料來實現碳中和。
- 不會淘汰所有燃燒，包括化石燃料、生物質燃料或氫氣的燃燒。
- 允許內燃機型汽車、電器和工業設備在到達使用年限後報廢。
- 允許從養牛場捕獲和使用沼氣，以實現 SB 1383 規定的甲烷目標。
- 允許難以電氣化的部門使用碳捕存。
- 與建議方案相比，需要更多的 CO<sub>2</sub> 移除量以抵補非燃燒類排放（工業過程排放）和短期氣候污染物的排放。

此備選方案反映了針對 AB 74《車輛排放和燃料供需研究》開展的建模。與建議方案相同的是，此方案沒有排除生物質衍生燃料或碳捕存。此方案還允許在達到使用壽命前繼續使用傳統燃燒技術至自然報廢，無需提前回購計畫。對於發電，允許使用所有可再生能源配額制和 SB 100 零碳源。隨著需求的減少，石油和天然氣的開採和精煉業務將逐步減少。在 2045 年之後仍存在的程度內，石油和天然氣的開採和提煉仍將繼續，但在適當的情況下，將與碳捕獲與封存結合起來，從而避免碳洩露和管理溫室氣體的排放。在此方案下，2045 年化石燃料在經濟中的佔比最大。並且，此方案亦不會實現第 S-3-05 號《行政令》關於到 2050 年將溫室氣體排放量較 1990 年水平降低 80% 的目標。

### 備選方案 4 建模總結

- 到 2045 年化石燃料燃燒量降低的最少
- 到 2045 年在不適用二氧化碳移除的情況下，溫室氣體排放減少量最少
- 與建議方案相比，到 2035 年和 2045 年，直接成本為第三高
- 到 2045 年經濟增長放緩率居第二位
- 到 2035 年和 2045 年碳社會成本最低（避免損失最少）
- 與建議方案相比，到 2045 年醫療福利金節省量較少
- 2035 年就業增長放緩率居居倒數第二位，與建議方案之下 2035 年的水平持平
- 由於採用清潔能源和技術（包括二氧化碳移除）的時間框架較長，不確定性的程度較低



## 自然和工作用地的《範疇計畫》備選方案

在自然和工作用地方面，工作人員較以往的《範疇計畫》工作顯著擴大了與之相關的科學分析規模。加州空氣資源局工作人員利用建模工具進行擴展分析，以評估森林、灌叢、草地、耕地、已開發土地、濕地和植被稀疏區域的碳以及管理行動所產生的其他生態、公共衛生及經濟成果。加州空氣資源局工作人員將備選方案與州長行政令（例如「加州的氣候智慧型戰略」和「30x30 通道」（Pathways - 30x30））中要求的其他舉措中界定的土地類型和行動相結合。在更新 2022 年《範疇計畫》期間，加州空氣資源局工作人員在可行的情況下，建模了《自然和工作用地氣候智慧型戰略》中確定的許多管理行動。模型中包含的管理行動之所以被納入模型，是因為加州此前曾量化過這些行動帶來的影響。針對自然和工作用地的每一種土地治理策略進行建模是行不通的，所以其他非模型活動所產生的封存量（例如土壤或海洋的碳封存）有可能更大。加州的《自然和工作用地氣候智慧型戰略》載有更全面的基於自然的優先解決方案和管理行動清單。值得注意的是，在建模中沒有特定的管理行動或其氣候紅利並不代表其在實現目標或支援加州碳中和目標方面的重要性或潛在貢獻如何。

**森林：**針對森林建模的管理策略：生物/化學/草本處理（例如，施用除草劑）、皆伐、各種木材採伐（例如，可變蓄積營林、漸伐/母樹、選擇性採伐）、森林咀嚼、其他機械處理（例如，粗死木質殘體堆放、下層植被減薄）、策略燒除或間伐。建模中還包括避免將土地轉換為另一種土地用途。經過野火建模，發現管理策略和氣候狀況對野火具有影響。

**灌木叢和濃密常綠闊葉灌叢：**針對灌木叢和濃密常綠闊葉灌叢建模的管理策略：生物/化學/草本處理、策略燒除、機械處理（例如，咀嚼、破碎、切割、堆放）和避免將土地從灌叢變換成其他用途。經過野火建模，發現管理策略和氣候狀況對野火具有影響。

**草地：**針對草地建模的管理策略：生物、化學、草本處理、策略燒除和避免將土地從草地變換成其他用途。經過野火建模，發現管理策略和氣候狀況對野火具有影響。

**耕地：**針對耕地建模的管理策略：覆蓋作物、免耕、減少耕作、堆肥改良、向有機<sup>103</sup>耕作過渡、透過地役權避免一年生作物耕地轉換、建立河岸森林緩衝帶、田籬間作、種植防風林/防護林、在田間種植喬木和灌木，並建立樹籬。多年生作物方面，對防風林/防護林、樹籬、一年生作物向多年生作物的轉化以及避免轉化為其他土地用途進行了建模。

**已開發土地：**針對已開發土地建模的管理策略：透過種植樹木和改進現有樹木的管理來增加樹冠覆蓋，並依照加州消防局《第 4291 號可防禦空間公共資源法案》（CALFIRE Defensible Space PRC 4291）清除建築周圍的植被。

---

<sup>103</sup>註：沒有模擬有機農業中減少合成肥料施用所減少的 N<sub>2</sub>O。

**濕地：**針對濕地建模的管理策略：透過淹沒聖華金河三角洲內的耕地來恢復濕地，避免聖華金河三角洲的土地性質轉換。

**植被稀疏的土地：**針對植被稀疏土地建模的管理策略：避免植被稀疏的土地被轉換為其他土地用途。

## **NWL 備選方案 1：土地治理活動優先考慮森林的短期碳儲量，並增加耕地的氣候智慧農業實踐**

自然和工作用地備選方案 1 對森林、灌木叢和濃密常綠闊葉灌叢和草地採取「不治理」做法，以最大限度地提高短期碳儲量，同時保持當前的滅火水平。將氣候智慧型農業實踐最大化，以增加耕地的碳儲量。下文總結了此方案具有的幾個重要特征：

- 滅火系統沒有變化
- 目標是根據地形、水文和農藝限制將氣候智慧型農業實踐提高到可行的最大水平。
- 大量耕地（到 2045 年達到 30%）從傳統農業轉變為有機農業
- 顯著增加全州城市森林投資以最大限度地提高城市森林的碳儲存量
- 遵守加州消防局《第 4291 號公共資源法案》關於所有地塊到所有權邊界的可防禦空間的要求
- 三角洲濕地恢復面積最大（120,000 英畝）
- 植被稀疏的土地避免轉換為其他土地用途。

這一備選方案反映了利益攸關者對減少森林管理的反饋。它在短期內最大限度地保留這些土地類型的地上碳儲量，並由氣候變遷和氣候乾擾來決定長期碳排放和野火排放趨勢。在此備選方案中，除森林、灌木叢和濃密常綠闊葉灌叢和草地以外的其他類型土地均給予了極其激進的管理實踐以立即增加碳儲量，且是與其他州機構討論確定的。例如，氣候智慧型農業實踐面積數是依照加州糧食和農業部 (CDFA) 的反饋及其對這些實踐的技術限制的熟悉程度而確定。選擇在全州範圍內大幅增加城市森林投資（與歷史水準相比增加了 20 倍），乃用以彰顯城市森林碳封存的最大潛力。由於管理決策受到技術、財政和政策方面的制約，農業和城市林業的執行速度都處於可行性的上限。

自然和工作用地備選方案 1 下，任何設想之下的野火 PM<sub>2.5</sub> 排放所造成的空氣品質相關健康影響均為嚴重。由於城市林業擴張和維護成本的大幅增加，它還是所有方案中直接成本數量級最高的一個。由於資金轉移到支援城市林業維護，這種方案下個人收入的減少幅度也是最大的。



## NWL 備選方案 2：將本州當前的承諾和計畫作為土地治理活動的基礎。

自然和工作用地備選方案 2 根據本州當前現有的承諾建模了用地面積。本方案參考引用了「百萬英畝戰略」（One Million Acre Strategy）、「30x30 戰略」（30x30 Strategy）和其他現有的區域承諾和計畫。下文總結了此方案具有的幾個重要設想：

- 與當前公佈的加州/美國森林服務聯合管理協議保持一致，將森林、灌木叢和濃密常綠闊葉灌叢和草地的處理面積從基準情景增加到 100 萬英畝，重點是可燃物減量處理<sup>104</sup>
- 氣候智慧型農業實踐增加量居第二位
- 全州城市森林投資增加額居第二位
- 遵守加州消防局《第 4291 號公共資源法案》關於所有地塊到所有權邊界的可防禦空間的要求
- 根據現有區域計劃恢復三角洲濕地
- 與備選方案 1 相比，植被稀疏土地的土地轉化量減輕幅度更高

此備選方案是為了評估本州現行的承諾和計畫對未來碳儲量和封存率的影響。對於當前沒有該等承諾的土地類型，加州空氣資源局擴大了面積規模，以補充所有替代方案中的面積範圍，同時保持可觀的執行速度。所有實踐活動均比基準情景有所增加。這有助於提供關於自然和工作用地的預期成果範圍，並有助於製定切實可行的宏偉目標。

自然和工作用地備選方案 2 下，野火 PM<sub>2.5</sub> 排放量較建議方案高，因此空氣品質相關的健康影響較建議方案更大。此方案亦是任何情景下直接成本第二高的。由於資金轉移到支援城市林業維護，此方案下個人收入的減少幅度亦是高居第二位。

## NWL 備選方案 4：以減少森林、灌叢和草地的野火可燃物為重點的土地治理活動。

自然和工作用地備選方案 4 重點在於減少森林、灌木叢/濃密常綠闊葉灌叢和草地野火風險的活動。下文總結了此方案具有的幾個重要設想：

- 森林、灌木叢/濃密常綠闊葉灌叢和草地的治理面積大幅增加，重點是可燃物減量處理。
- 在灌叢中進行有限制的策略焚燒
- 氣候智慧型農業實踐適度增加

---

<sup>104</sup>加州和美國農業局國家森林局 2020 年 8 月 12 日，加州政府與美國農業局森林服務太平洋西南區達成的《加州森林與牧場聯合管理協議》，<https://www.gov.ca.gov/wp-content/uploads/2020/08/8.12.20-CA-Shared-Stewardship-MOU.pdf>

- 全州城市森林投資額適量增加
- 在不考慮所有權邊界的情況下，所有地塊均符合加州消防局《第 4291 號公共資源法案》可防禦空間要求，最高不超過最大可防禦空間。
- 根據現有區域計劃恢復三角洲濕地
- 植被稀疏土地的土地轉換適度減少

此備選方案分析將降低野火風險作為該州的首要任務，因而森林管理和可燃物減量處理量增加了近 20 倍。森林、灌木叢/濃密常綠闊葉灌叢和草地開展可燃物減量處理的面積乃是基於小冰期預計年度燒毀的面積範圍之下限。加州空氣資源局分析 SB 901 項下《現代野火抑制之前的加利福尼亞歷史野火情況》報告時評估了歷史年度燒毀面積範圍這一數據。治理面積的規模意在復盤歷史上因火災而被破壞的面積，從而探索該種程度的治理會對碳存儲與封存產生多大影響。在森林-城鎮交界域（WUI），透過建模可防禦空間，應用了《第 4291 號公共資源法案》規定的最大距離，不考慮這是否會導致植被被移除土地所有權邊界。這樣透過可防禦空間最大限度地保護了每個地塊。

在沒有那麼容易發生野火並受其影響的其他類型土地中，執行速度高於基準情景，但較所有其他備選方案均有所減少（三角洲濕地除外，該地與備選方案 2 的程度相當）。這是為了凸顯此備選方案的主要側重點為減少野火風險。

自然和工作用地備選方案 4 的野火排放最少，因此也是幾種情景中健康益處最大的。由於從 2025 年開始，森林管理面積迅速顯著增加到每年 500 萬英畝，該方案將導致林業和伐木部門的就業發生重大轉變。此外，該方案下州生產總值（GSP）的降幅佔第二位，但隨著就業從州和地方政府以及從建築工作轉向林業和伐木，個人收入的減少在幾種方案下是最低的。

## 備選方案與建議方案的比較

本部分將分別比較建議方案和 AB 32 溫室氣體清單與自然和工作用地的三種備選方案。比較將涉及到溫室氣體排放建模以及第 3 章詳細闡述的經濟、工作和健康分析。

建議方案和備選方案 4 與備選方案 1 和 2 相比，執行的可行性更高。備選方案 1 和備選方案 2 的太陽能年增發電量分別為 10GW 和 5GW。到目前為止，太陽能發電年建設速度為 2.7GW。為這些備選方案生產氫氣所需的額外可再生能源數量分別為額外的 47GW 和 44GW。相比之下，建議方案的太陽能發電建設速度為 7GW/年。到 2035 年碳移除量分別需要達到 4800 萬公噸和 1.54 億公噸。當前全球直接空氣捕獲（DAC）率為 0.01 公噸/年。電解所需的額外能量為 41GW。建議方案假設到 2035 年碳移除量為 0 MMT。考慮到本章方案不確定性部分討論的實施方面的各種不確定性，到 2035 年新增如此空前規模的可再生能源增量是有難度的。實現碳中和目標亦為碳捕存和直接空氣捕獲等技術擴大規模和降低成本提供了更長的時間框架。建議方案的

目標雖然宏大，但由於時間框架較長，建設清潔能源和碳移除基礎設施的步伐積極但有條不紊，所以具有更高的可行性。

與備選方案 4 相比，建議方案帶來的空氣品質裨益更多，直接成本更低且對經濟和就業增長率造成的拖累最小。兩者相比，它的碳社會成本最高，也就是它要減掉最多的溫室氣體排放量才能獲得較高的可避免成本。雖然與備選方案 4 相比，建議方案可憑較低的成本獲得最多的益處，但仍需要將之與備選方案 2 和備選方案 2 進行比較。

- 在 2035 年，備選方案 1 和 2 造成的就業增長率放緩程度分別比建議方案高出 5 倍和 3 倍。
- 在 2035 年，備選方案 1 和 2 產生的直接成本分別比建議方案高出 7 倍和 6 倍。
- 在 2035 年，備選方案 1 和 2 造成的經濟增長放緩程度分別比建議方案高出 8 倍。在 2045 年，備選方案 1 和 2 造成的經濟增長放緩程度分別比建議方案高出 6 倍和 5 倍。
- 在 2045 年，備選方案 1 節省的健康支出最多，但成本最高，對經濟和就業產生的影響最大，且由於清潔能源所需的增長速度，故可行性最低。
- 與建議方案相比，在 2045 年備選方案 2 節省的健康支出居第二位，但成本是第二高，對經濟和就業產生的影響是第二大的。與備選方案 1 相比，它的可行性也不高，原因在於為支援直接空氣捕獲所需的 CO<sub>2</sub> 移除和清潔能源的基礎設施建設步伐。

AB 32 清單的所有四個備選方案都是激進的，將石油使用量較 2022 年減少 81%擴大到減少 99%。建議方案的目標是到 2045 年將石油使用量較 2022 年水平減少 91%。總的來說，由於清潔技術和燃料的部署時間更長，建議方案較備選方案 1 和方案 2 更為可行。「實施的不確定性」部分列出了關於可行性問題的幾個例子。實現碳中和目標過程中增加的 10 年時間，也使技術能夠以更低的成本進行推廣和部署。與基準情景相比，建議方案到 2045 年會帶來顯著的健康裨益，並且對就業和經濟增長的放緩影響最小。

表格 2-1 總結了在為建議方案確定 AB 32 溫室氣體清單部門替代方案的過程中考慮的關鍵指標。

表格 2-1：AB 32 溫室氣體清單部門備選方案關鍵指標排名<sup>105</sup>

	備選方案 1	備選方案 2	建議方案	備選方案 4
2045年化石燃料需求下降	★	★	★	★
2045年無碳移除的溫室氣體 減排量	★	★	★	★
碳社會成本（2045年避免損失）	★	★	★	★
2045年醫療福利金節省金額	★	★	★	★
2045年直接成本	★	★	★	★
2045年GDP放緩程度	★	★	★	★
2045年就業率放緩程度	★★	★★	★	★
2035年可行性/實施風險	★	★	★	★
圖例	★ 最高	★ 中高	★ 中低	★ 最低

在自然和工作用地方面，在能夠降低野火風險和改善公共健康的三種情景中，建議方案在 2045 年的自然和工作用地碳儲量是最高的，並且在 20 年範圍內是所有方案中年均溫室氣體減排量第二高的。此外，建議方案還大幅增加了關於自然和工作用地的氣候行動，森林、草地和灌叢相關行動幾乎增加了 10 倍；健康的土地實踐增加了 5 倍；有機農業相關行動增加了 2 倍；城市森林投資增加了 20%；與歷史水平相比，恢復了大量濕地，保護了沙漠。與自然和工作用地相比，

<sup>105</sup>有關表中提供的關鍵指標的更多詳情，請參閱第 3 章。

建議方案更好地平衡了碳儲量成果、溫室氣體減排、氣候行動步伐加快/規模加大、成本和經濟影響、實施可行性以及自然和工作用地地貌的土地治理產生協同裨益。

- 自然和工作用地備選方案 1 是唯一一個土地減排更多的方案，但是與該組備選方案 3 相比直接成本卻增加了 25 倍。自然和工作用地備選方案 1 到 2045 年的碳儲量更高，但是也是所有方案中野火排放量最高的。
- 與自然和工作用地備選方案 1、2、4 相比，建議方案的實施成本最低。
- 與自然和工作用地備選方案 1、2、4 相比，建議方案對州生產總值和就業數據造成的改變最小。
- 自然和工作用地備選方案 1、2、4 依賴於對城市森林、耕地、森林、灌叢和草地空前的管理和投資力度，實施具有更高的不確定性。
- 建議方案由於減少了野火造成的空氣污染，每年可節省逾 30 億美元的醫療成本，健康裨益方面是所有方案中第二高的。只有該組備選方案 4 在此方面更勝一籌，但是由於需要對森林、灌叢和草地展開快速且空前的管理，所以實施的不確定性大大增加。
- 建議方案和備選方案 4 產生的生物量高於備選方案 1 和備選方案 2。建議方案產生的技術上可回收的生物質殘渣量可能高居第二位，這些生物質殘渣可用於商品市場或與碳移除技術配合使用以隔離估計每年 500-1000 萬公噸二氧化碳當量 (MMTCO<sub>2</sub>e)。只有該組備選方案 4 到 2045 年產生的生物能更高。

## 建議方案概述

建議方案實現的溫室氣體減排量高於根據基準情景中體現的現有政策預期的水準，因此加州有望在 2030 年實現 SB 32 的溫室氣體減排目標，並最遲於 2045 年實現碳中和。減少溫室氣體排放以及促使化石燃料燃燒轉向 AB 32 溫室氣體清單來源的行動影響著每一個經濟部門。促使碳儲量提高的行動影響著每一種地貌。

## AB 32 溫室氣體清單部門

AB 32 溫室氣體清單部門基準情景是基於現有政策和計畫對截至本世紀中葉全州溫室氣體排放量的預測，並不涉及任何減少溫室氣體排放以實現 2030 年限額的進一步行動。基準情景是根據對「一切如常」條件的其他預測而確定的。所含數據和政策的來源如下：

- 加州能源需求預測<sup>106</sup>
- AB 74 要求的兩項交通碳中和研究<sup>107</sup>
- 移動源戰略<sup>108</sup>
- SB 100 可再生能源配額制（60%）
- 低碳燃料標準的碳強度降低目標（20%）

目前正在研究或設計中的政策不包括在內，如 SB 100 截至 2045 年的零碳電力或《先進清潔卡車》法規。基準情景反映了 2017 年《範疇計畫》更新中確定的政策的當前趨勢和預期表現——其中一些表現較好，如可再生能源配額制（RPS）和低碳燃料標準，另一些可能沒有達到預期，如車輛行駛里程（VMT）減少和甲烷捕獲。插圖 2-1 提供了 AB 32 溫室氣體清單部門的基準情景與建議方案的建模結果。

---

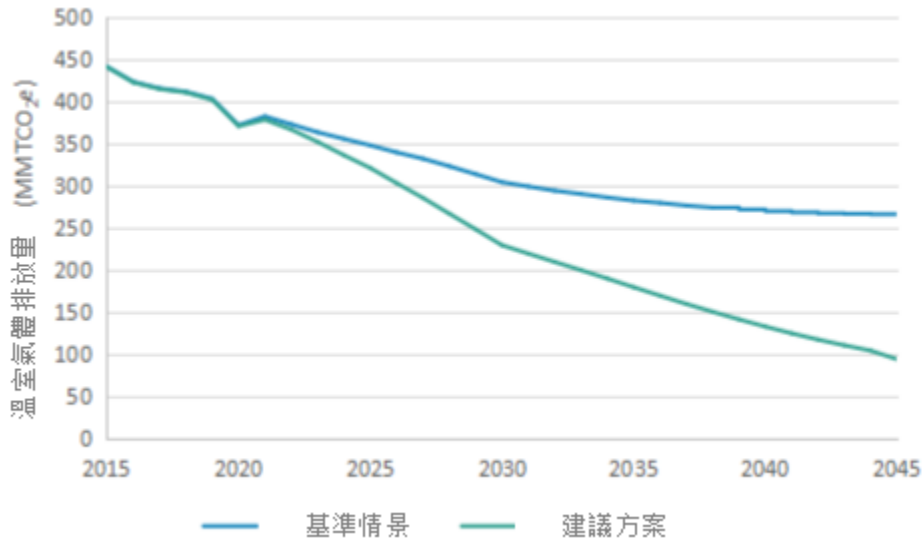
<sup>106</sup>加州能源委員會，2020，2019 年綜合能源政策報告，<https://www.energy.ca.gov/data-reports/reports/integrated-energy-policy-report/2019-integrated-energy-policy-report>

<sup>107</sup>Brown 等，2021 年，推動加州交通零排放，<https://escholarship.org/uc/item/3np3p2t0>，Deschenes 等，2021，加強公平同時消除加州交通燃料供應排放，<https://zenodo.org/record/4707966#.Y172RnrMKUn>

<sup>108</sup>加州空氣資源局，2021，2020 年移動源戰略，[https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2021-12/2020\\_Mobile\\_Source\\_Strategy.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2021-12/2020_Mobile_Source_Strategy.pdf)



插圖 2-1：基準情景和建議方案的溫室氣體排放



表格 2-2 對建議方案進行了概述。該表格顯示了大幅減少 AB 32 清單部門的溫室氣體排放所需的技術和能源類型。還包括對相關法規和《行政令》的引述，但並未涵蓋所述行動的全部已有授權或任何新授權。每項行動都有望透過淘汰化石燃料燃燒來減少溫室氣體並幫助改善空氣品質。

表格 2-2：建議方案的行動：AB 32 溫室氣體清單部門

領域	行動	法規、行政令、結果
相對於 SB 32 目標的溫室氣體減排量	到 2030 年比 1990 年水準低 40%	SB 32：減少全州溫室氣體排放 AB 197：AB 32 清單所涵蓋來源的直接減排量
智能增長/車輛行駛里程 (VMT)	到 2030 年，人均車輛行駛里程比 2019 年的水準降低 12%，到 2045 年比 2019 年的水準降低 22%	SB 375：減少對化石交通燃料的需求和溫室氣體，改善空氣品質

領域	行動	法規、行政令、結果
輕型車輛 (LDV) 零排放車輛 (ZEV)	到 2035 年，銷售的輕型車輛實現 100%零排放	第 N-79-20 號《行政令》：減少對化石運輸燃料的需求和溫室氣體，改善空氣品質  AB 197：AB 32 清單所涵蓋來源的直接減排量
零排放卡車	AB 74 ITS 報告：到 2040 年，銷售的中型 (MD) / 重型車輛 100% 為零排放車輛	第 N-79-20 號《行政令》：減少對化石運輸燃料的需求和溫室氣體，改善空氣品質  AB 197：AB 32 清單所涵蓋來源的直接減排量
航空	2045 年，10% 的航空燃料需求由電力 (電池) 或氫氣 (燃料電池) 滿足  永續航空燃料滿足大部分或其餘尚未轉向氫氣或電池的航空燃料需求	減少對石油航空燃料的需求並減少溫室氣體  AB 197：AB 32 清單所涵蓋來源的直接減排量
遠洋船 (OGV)	2020 年遠洋船舶停泊規則全面實施，到 2027 年實現大部分遠洋船使用岸電  到 2045 年，25% 的遠洋船使用氫燃料電池電動技術	減少對石油燃料的需求和溫室氣體，改善空氣品質  AB 197：AB 32 清單所涵蓋來源的直接減排量
港口業務	第 N-79-20 號《行政令》：到 2037 年，100% 的貨物裝卸設備 (CHE) 實現零排放  到 2035 年，100% 的拖運卡車實現零排放	減少對石油燃料的需求和溫室氣體，改善空氣品質  AB 197：AB 32 清單所涵蓋來源的直接減排量

領域	行動	法規、行政令、結果
貨運和客運鐵路	<p>到 2030 年，所銷售的客運和其他機車 100% 為零排放車輛</p> <p>到 2035 年，所銷售的長途運輸機車 100% 為零排放車輛</p> <p>長途運輸和客運鐵路主要依靠氫燃料電池技術，其他主要利用電力</p>	<p>減少對石油燃料的需求和溫室氣體，改善空氣品質</p> <p>AB 197：AB 32 清單所涵蓋來源的直接減排量</p>
石油和天然氣開採	到 2045 年逐步停止作業	<p>減少溫室氣體，改善空氣品質</p> <p>AB 197：AB 32 清單所涵蓋來源的直接減排量</p>
石油提煉	<p>到 2030 年，大部分業務將採用碳捕獲與封存</p> <p>根據石油需求減少產量</p>	<p>減少溫室氣體，改善空氣品質</p> <p>AB 197：直接減排</p>
發電	<p>2030 年部門溫室氣體目標為 3,800 萬公噸二氧化碳當量，2045 年為 3,000 萬公噸二氧化碳當量<sup>109</sup></p> <p>零售銷售負荷覆蓋率<sup>110</sup></p>	<p>SB 350 和 SB 100：減少溫室氣體，改善空氣品質</p> <p>AB 197：AB 32 清單所涵蓋來源的直接減排量</p>
新建住宅和商業建築	從 2026 年（住宅）和 2029 年（商業）開始，所有電力設備	<p>減少對化石氣的需求和溫室氣體，並改善環境和室內空氣品質</p> <p>AB 197：AB 32 清單所涵蓋來源的直接減排量</p>

<sup>109</sup>2045 年的目標是基於建議方案的建模結果，相當於以合格的可再生和零碳資源滿足 100% 的零售需求。

<sup>110</sup>SB 100 僅涉及零售額和州機構的電力採購。2021 SB 100 聯合機構報告解釋稱，這意味著其他負荷——批發或非零售以及存儲、輸電線和配電線損失——均不在該法律規限範疇之內。

領域	行動	法規、行政令、結果
現有住宅建築	到 2030 年，所銷售的設備 80% 為電氣設備，到 2035 年，所銷售的設備 100% 為電氣設備 設備使用壽命結束進行更換	減少對化石氣的需求和溫室氣體，並改善環境和室內空氣品質 AB 197：AB 32 清單所涵蓋來源的直接減排量
現有住宅建築	到 2030 年，所銷售的設備 80% 為電氣設備，到 2045 年，所銷售的設備 100% 為電氣設備 設備使用壽命結束進行更換	減少對化石氣的需求和溫室氣體，並改善環境和室內空氣品質 AB 197：AB 32 清單所涵蓋來源的直接減排量
食品	到 2030 年，7.5% 的能源需求直接和/或間接實現電氣化；到 2045 年達到 75%	減少對化石氣的需求和溫室氣體，改善空氣品質 AB 197：AB 32 清單所涵蓋來源的直接減排量
施工設備	到 2030 年 25% 的能源需求實現電氣化，到 2045 年 75% 實現電氣化	減少對化石能源的需求和溫室氣體，改善空氣品質 AB 197：AB 32 清單所涵蓋來源的直接減排量
化工產品和相關產品；紙漿和紙	到 2030 年實現 0% 的鍋爐電氣化，到 2045 年實現 100% 的鍋爐電氣化 到 2035 年，25% 的工藝用熱採用氫氣，到 2045 年達到 100% 到 2045 年，其他能源需求 100% 實現電氣化	減少對化石能源的需求和溫室氣體，改善空氣品質 AB 197：AB 32 清單所涵蓋來源的直接減排量

領域	行動	法規、行政令、結果
石頭、粘土、玻璃和水泥	到 2035 年，40%的作業採用碳捕獲與封存；到 2045 年，所有設施採用碳捕獲和封存 透過替代材料減少一些制程排放	SB 596：減少對化石能源的需求和溫室氣體，改善空氣品質 AB 197：AB 32 清單所涵蓋來源的直接減排量
其他工業製造業	到 2030 年實現 0%的能源需求電氣化，到 2045 年達到 50%	減少對化石能源的需求和溫室氣體，改善空氣品質 AB 197：AB 32 清單所涵蓋來源的直接減排量
熱電聯產	到 2040 年，設施退役	減少對化石能源的需求和溫室氣體，改善空氣品質 AB 197：AB 32 清單所涵蓋來源的直接減排量
農業能源使用	到 2030 年，25%的能源需求實現電氣化，到 2045 年，75%實現電氣化	減少對化石能源的需求和溫室氣體，改善空氣品質 AB 197：直接減排
交通低碳燃料	將生物質用於生產傳統和先進的生物燃料及氫氣	減少對石油燃料的需求和溫室氣體，改善空氣品質 AB 197：AB 32 清單所涵蓋來源的直接減排量

領域	行動	法規、行政令、結果
建築和工業低碳燃料	<p>2030 年代，管道中混合使用可再生天然氣（RNG）</p> <p>可再生氫氣按 7% 的能量（按體積計算約為 20%）混合在天然氣管道中，從 2030 年至 2040 年逐步增加</p> <p>在 2030 年代，建造專門的氫氣管道，為某些工業集群服務</p>	<p>減少對化石能源的需求和溫室氣體，改善空氣品質</p> <p>AB 197：AB 32 清單所涵蓋來源的直接減排量</p>
非燃燒甲烷排放	<p>增加垃圾填埋場和乳製品沼氣池的甲烷捕獲量</p> <p>為小型乳製品廠部署一些替代性糞肥管理方法</p> <p>到 2030 年適度採用腸溶策略</p> <p>到 2025 年，將 75% 的有機廢物從垃圾填埋場轉移出去</p> <p>到 2030 年，石油和天然氣散逸性甲烷排放減少 50%，並在基礎設施組件隨著化石氣體需求減少而退役的情況下，進一步減少</p>	SB1383：減少短期氣候污染物
高全球暖化潛值氣體排放	<p>隨著建築電氣化程度提高，引入低全球暖化潛值的製冷劑，以減少氫氟烴的排放</p>	SB 1383：減少短期氣候污染物

## 自然和工作用地

自然和工作用地基準情景指出了 2001 年至 2014 年期間的土地治理數量，並預測了在 2045 年之前保持 2001-2014 年土地治理水準的結果。基準情景中的治理和土地利用實踐是從工作人員使用的經驗數據中得出的。對於森林、灌木叢/濃密常綠闊葉灌叢和草地，基準情景在全州每年



治理面積約 25 萬英畝。對於耕地，基準情景顯示沒有健康土壤實踐，因為在此期間，尚未制定健康土壤計畫。對於考慮土地利用變化的所有土地類型內的土地利用變化，2001-2014 年的歷史土地改造率也取自經驗數據，並納入了基準情景未來模型。

表格 2.3 概述了建議方案。該表格還包括對相關法規和《行政令》的引述。

**表格 2-3：建議方案行動：自然和工作用地領域**

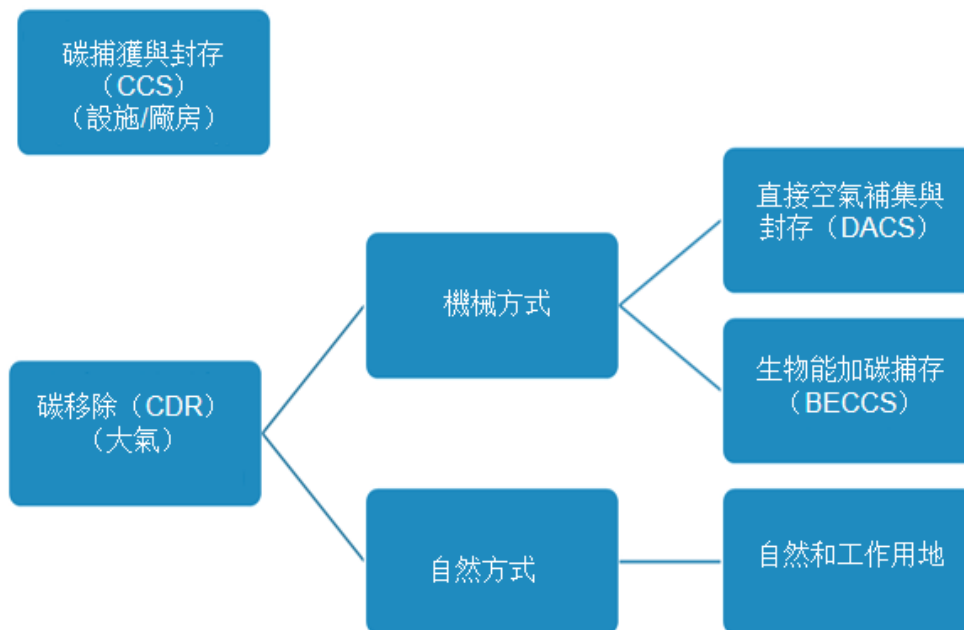
領域	行動	法規、行政令、結果
自然和工作用地	<p>到 2030 年，對本州 30%的自然和工作用地及沿海水域進行保育。</p> <p>實施近期和長期行動，加速碳的自然移除，建設森林、濕地、城市綠地、農業土壤和土地保育活動的氣候適應力，以服務於所有社區，特別是低收入、貧困和弱勢社區。</p>	<p>第 N-82-20 號《行政令》和 SB 27：加州空氣資源局將自然和工作用地目標納入《範疇計畫》</p> <p>SB1386：自然和工作用地是實現溫室氣體減排目標的重要戰略</p>
森林和灌木叢	<p>全州每年處理 200-250 萬英畝森林、灌木叢/濃密常綠闊葉灌叢和草地，由特定區域的治理策略組成，包括策略焚燒、疏伐、採伐和其他治理行動。不對森林、灌木叢/濃密常綠闊葉灌叢或草地進行土地改造。</p>	<p>恢復過密森林的健康和復原力，防止嚴重野火、疾病和蟲害造成的碳損失。改善空氣品質，減少與野火排放有關的健康成本。改善水量和水質，改善農村經濟。為資源利用提供森林生物質。</p> <p>第 B-52-18 號《行政令》：加州空氣資源局增加使用控管火燒的機會。</p> <p>AB 1504：加州空氣資源局承認森林在碳封存和氣候減緩方面的作用。</p>
草地	<p>200-250 萬英畝土地的處理包括，使用適合草地的治理策略加大對穿插在森林中的草地的治理，以減少社區周圍的燃料。不對森林、灌木叢/濃密常綠闊葉灌叢或草地進行土地改造。</p>	<p>減少野火排放，改善空氣品質，並降低健康成本。</p>

領域	行動	法規、行政令、結果
耕地	每年對約 50,000 英畝的一年生和多年生作物實施氣候智慧措施。每年對約 6,000 英畝的一年生作物進行土地用途限制/保育。到 2045 年，將有機農業增加到所有耕地的 20%（每年約 65,000 英畝）。	減少短期氣候污染物。提高土壤持水能力。增加有機耕作，減少殺蟲劑使用。 SB859：承認健康土壤實踐能夠減少農業用地的溫室氣體排放。
已開發土地	城市林業投資比目前水準增加 20%，使用對乾旱不敏感的樹木澆灌方式。建立考慮到財產邊界的防禦空間。	增加城市樹冠和樹蔭覆蓋。減少熱島效應，支援水基礎設施。透過防禦空間減少火災風險。
濕地	恢復 60,000 英畝三角洲濕地。	增加碳封存，減少短期氣候污染物。幫助扭轉土地沉降，同時改善防洪並提供重要棲息地
植被稀疏的土地	土地改造率為基準情景中的土地改造率的 50%。	降低將土地改造為溫室氣體更密集的土地用途的比率。

## 碳移除和封存建議戰略

為了實現碳中和，任何剩餘的排放必須使用碳移除和封存手段進行補償。下麵的討論更詳細地介紹了可用於捕獲和封存碳的方案。碳移除和封存將是實現碳中和的一個重要工具。該模型清楚地表明，如果沒有碳移除和封存，則無法實現碳中和。碳移除和封存可以採取不同的形式。插圖 2-2 說明了 2022 年《範疇計畫草案》中考慮的碳移除和封存形式。還有許多其他碳移除方案正在研究、開發和試點部署之中。隨著這些方案日漸成熟和新類型的出現，未來會將其納入範疇計畫更新的考慮範圍。

插圖 2-2：2022 年《範疇計畫草案》考慮的碳移除和封存形式



## 碳捕獲和封存的擬議作用

碳捕獲和封存（CCS）將成為減少溫室氣體排放和緩解氣候變遷的必要工具，同時最大限度地減少洩漏。碳捕獲和封存是收集、壓縮、運輸和封存大量二氧化碳的一個過程。碳捕獲和封存專案與排放源相結合，因為碳捕存專案是在二氧化碳離開設施的煙囪時對其進行捕獲。碳捕存專案透過與大型溫室氣體排放設施相結合，如能源、製造或燃料生產設施。碳捕存的封存部分包括將二氧化碳注入地質層（如枯竭的油氣庫和鹽鹼地），以及用在工業材料（如混凝土）中。碳捕存有別於生物封存，後者通常是透過自然和工作用地治理和保育措施來完成的，這些措施可加強碳儲存或以基於自然的方法減少二氧化碳排放。碳捕存也有別於機械性二氧化碳移除技術，後者是利用機械和/或化學過程直接從大氣中移除二氧化碳。

加州空氣資源局於 2018 年通過了一項碳捕獲和封存協議，該協議是低碳燃料標準修正案的一部分。<sup>111</sup>目前，在該協議下，沒有實施任何碳捕存專案，也沒有產生任何信用額。然而，其他地方自 20 世紀 70 年代就已經在實施碳捕存專案，世界各地正在運行的專案有二十多個，另外還有 100 多個專案處於高階或早期開發階段。<sup>112</sup>目前正在開發可以解決燃料、天然氣、能源生產

<sup>111</sup>加州空氣資源局，2022，碳捕獲和封存，<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/carbon-capture-sequestration>

<sup>112</sup>全球碳捕獲和封存研究所，2021，2021 年全球碳捕獲和封存狀況，<https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2021/11/Global-Status-of-CCS-2021-Global-CCS-Institute-1121.pdf>

和化工生產排放問題的碳捕存專案。截至 2019 年 11 月，全球一半以上的大型碳捕存設施（約為每年 2,200 萬公噸二氧化碳容量）在美國，這主要是由於政府對該技術的持續支援。<sup>113</sup><sup>114</sup>這種支援包括聯邦對碳捕獲和封存的 45Q 稅收抵免以及聯邦機構的研究和部署撥款。加州中央山谷的深層沉積岩層是世界級二氧化碳儲存地的代表，這些儲存地可達到最高標準，儲存容量至少為 170 億公噸二氧化碳。在建議方案模型中，僅部分部門涉及碳捕獲和封存，包括水泥生產設施和煉油廠。<sup>115</sup><sup>116</sup><sup>117</sup><sup>118</sup><sup>119</sup>此外，碳捕獲和封存可以為清潔可調度電力提供支援，滿足可靠性需求和氫氣生產，直到有足夠的可再生電力可用於電解。

水泥廠的排放乃與燃燒和制程活動有關。燃燒排放約佔水泥廠總排放量的 40%。其餘的排放則與制程活動有關。由於生產水泥需要高熱量，目前尚無技術上可行的燃燒替代方式。SB 596 要求到 2035 年水泥排放的溫室氣體強度比 2019 年的水準減少 40%，然後到 2045 年實現淨零排放。為了滿足加州需求，加州的水泥既依賴本州生產、也依賴進口。為了最大限度地減少排放洩漏並解決水泥廠的排放問題，建議方案假設水泥廠採用碳捕獲和封存。在實施 SB 596 時，需要實現並考慮額外的減排，它要求加州空氣資源局在 2023 年 7 月 1 日前為本州水泥行業制定一項綜合戰略，以儘快實現本州因使用水泥而產生的溫室氣體的淨零排放，但不得遲於 2045 年 12 月 31 日。這項工作將於 2022 年夏季開始，包括針對具體部門的研討會。

建議方案還假設煉油廠採用碳捕存。即使實施了第 N79-20 號《行政令》，並且在該方案中做出了巨大努力，傳統道路車輛以及在航空、鐵路和航海應用中仍對石油燃料有一定的需求。在供應側，該模型假設所有州內需求均透過加州一些極其有限的煉油活動來滿足。插圖 2-3 顯示了採用和未採用碳捕存的煉油部門的排放情況。如果不部署碳捕存，排放物將直接進入大氣，因此需要更多地透過自然和工作用地或直接空氣捕獲方式移除二氧化碳，以補償該部門的排放。煉油廠有各種排放二氧化碳的點源，如生產氫氣的蒸汽甲烷轉化爐、熱電聯產設備和催化裂化器。每個煉油廠都具有適應其佔用空間、現場作業和所加工的原油類型的獨特配置。一些佔用空間較小的較新技術可以部署在模組化配置中，以便捕獲有限空間和多點源設施（如煉油廠）中的二氧化碳。

---

<sup>113</sup>IHS Markit, 2021 年 8 月，碳移除潛力：概述，[https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2021-08/ihsmarket\\_presentation\\_sp\\_engineeredcarbonremoval\\_august2021.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2021-08/ihsmarket_presentation_sp_engineeredcarbonremoval_august2021.pdf)

<sup>114</sup>Beck, Lee, 2019, 美國碳捕獲和儲存：美國的創新領導地位在氣候技術商業化中的作用，<https://academic.oup.com/ce/article/4/1/2/5686277>

<sup>115</sup>國會研究服務處，2021，45Q 稅收抵免條款中的碳儲存要求，IF11639，<https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IF/IF11639>

<sup>116</sup>美國能源部，2020，美國能源部宣佈為碳捕獲、利用和封存技術撥款 1.31 億美元，<https://www.energy.gov/articles/us-department-energy-announces-131-million-ccus-technologies>

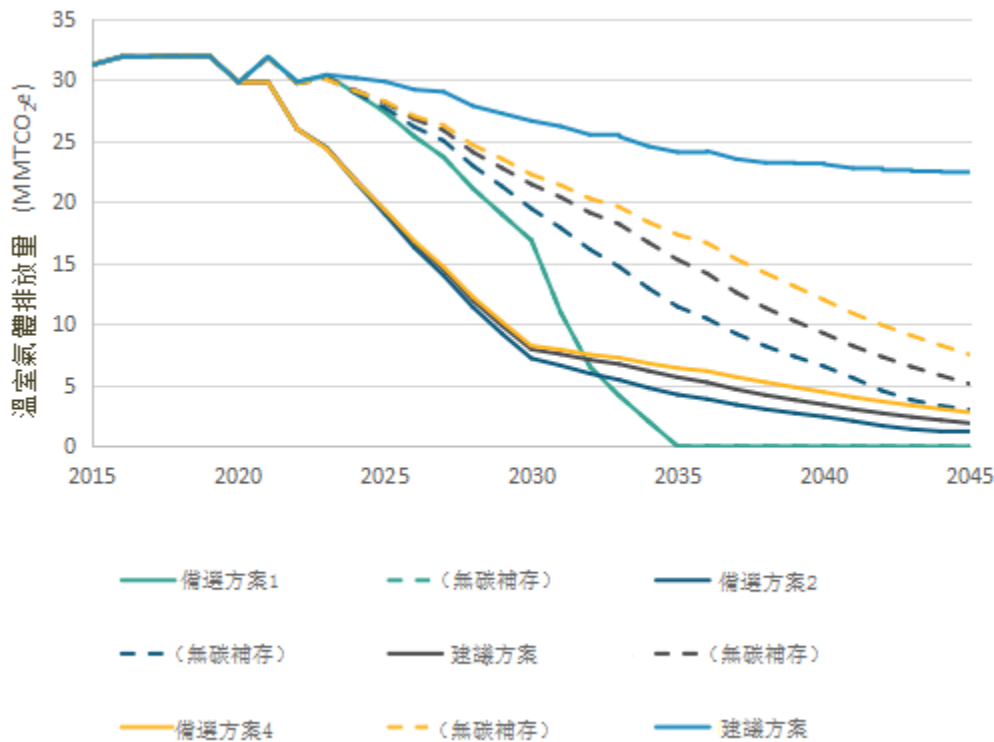
<sup>117</sup>美國能源部，2021，融資機會公告-2515，天然氣和工業點源的碳捕獲研發，以及工業設施和天然氣工廠碳捕獲系統的前端工程設計研究，<https://www.energy.gov/fecm/articles/funding-opportunity-announcement-2515-carbon-capture-rd-natural-gas-and-industrial>

<sup>118</sup>相比而言，加州 2019 年排放了 4.182 公噸二氧化碳當量。

<sup>119</sup>勞倫斯利佛摩國家實驗室，2020，實現中和：加州負碳排放方案，第 1 次修訂，[https://www.gs.llnl.gov/content/assets/docs/energy/Getting\\_to\\_Neutral.pdf](https://www.gs.llnl.gov/content/assets/docs/energy/Getting_to_Neutral.pdf)

<sup>120</sup>雖然模型中的碳捕存在前五年已然可用，但目前的實施障礙表明這點無法實現，這些排放物會進入大氣。對於 2022 年《範疇計畫終稿》，該模型將反映加州任何部門最早部署碳捕存的最新假設。碳捕存可以為減少這些設施的溫室氣體排放提供一種途徑，可以在滿足石油需求的同時避免洩漏。

插圖 2-3：採用和未採用碳捕獲和封存的石油提煉排放



在建議方案模型中，化石燃料向氫氣燃燒的轉變也越來越多。氫氣可採用可再生電力以電解方式或透過可再生或化石氣體的蒸汽甲烷轉化來生產。如果蒸汽甲烷轉化與碳捕存相結合，所生產的氫氣有可能是零碳。此外，任何可再生氣體都可能來自於森林治理以及其他自然和工作用地治理實踐所產生的森林或農業廢棄物的氣化，這也可能導致淨負碳結果。但是，太陽能是否可用於支援現有部門電氣化和透過電解生產氫氣，仍存在著很大的不確定性。以電解方式生產所有必要氫氣將另外需要大約 40 吉瓦太陽能容量。近期可以考慮將蒸汽甲烷轉化與碳捕獲和封存結合起來，以確保向氫氣快速轉變，並增加氫氣可用性，直至以可再生能源進行電解能夠滿足持續的需求。有關碳捕獲和封存的背景和下一步措施見第 4 章。

<sup>120</sup>Carbon Clean 公司，工業用模塊化碳捕獲系統，<https://www.carbonclean.com/modular-systems?hsLang=en>



必須認識到的是，關於將碳捕存以及機械碳移除納入《範疇計畫草案》，環境正義諮詢委員會提出了多個关切。包括潛在的不利健康和空氣品質影響、與潛在洩漏有關的安全問題以及當前技術的可行性。此外，環境正義諮詢委員會對該戰略具有政策上的关切，並希望確保不將工程碳移除用於替代現場減排戰略或推遲逐步淘汰化石燃料的時間。鑒於這些和其他关切以及建立公眾意識的重要性，加州空氣資源局認識到需要實施涵蓋多方利益相關者的流程，包括其他州、聯邦和地方機構；獨立專家；以及社區居民，以進一步瞭解和解決與碳捕存有關的社區关切。

在部署碳捕存背景下，環境品質委員會（CEQ）也強調需要進一步評估和量化工業設施的碳捕獲改造對當地標準空氣污染物和其他排放物的潛在影響，以應對關於單一和/或多個來源的潛在累積排放的关切問題。<sup>121</sup>2020年10月的一份斯坦福報告討論了潛在的燃燒後二氧化碳捕獲如何也能減少某些設施的標準空氣污染物的排放。<sup>122</sup>探討這些潛在的結果對於確保碳捕存的部署不加劇社區空氣污染影響並使任何空氣污染效益最大化將是非常重要的。

## 自然和工作用地排放和封存的規劃用途

加州自然和工作用地評估強調了提高自然和工作用地行動的速度和規模的重要性，從而確保我們的生態系統能夠更好地抵禦未來的氣候變遷，從而持續提供自然和社會賴以生存的益處。隨著氣候變遷加劇極端野火、乾旱、高溫和其他影響的可能性，加州自然和工作用地碳儲量將面臨更大的風險和影響。根據以往的氣候變遷和《範疇計畫》工作，我們瞭解到，土地可以是溫室氣體的淨排放源，也可以是淨匯，自然和工作用地的碳儲量變化和溫室氣體排放及封存的程度取決於氣候變遷和土地治理的影響。<sup>123</sup>本《範疇計畫》的擴展模型顯示，預計到2045年，自然和工作用地將成為淨排放源，表明未來碳儲量可能會減少。此前的獨立研究也顯示了一系列不同程度的碳儲量損失，以相同結論進一步證實了這一預測。插圖 2-4 顯示了四種方案的建模結果與自然和工作用地庫存以及獨立研究結果相疊加。

---

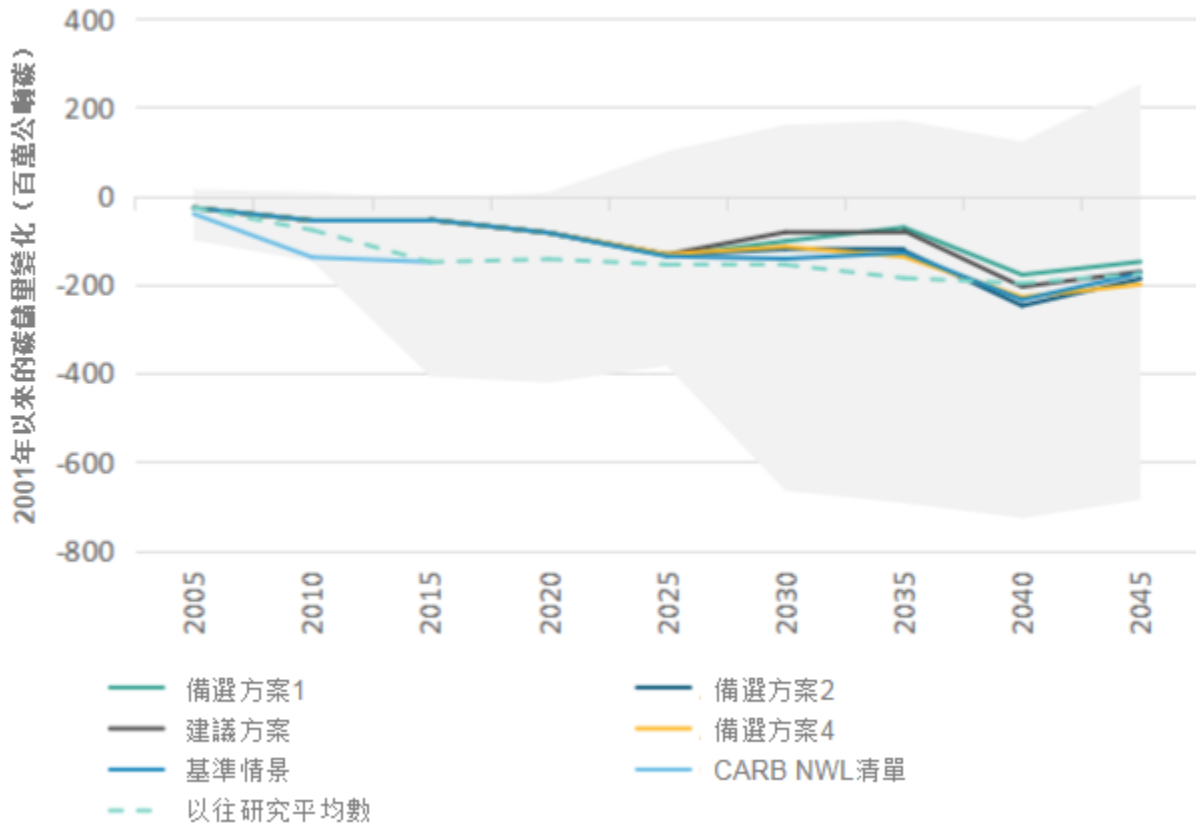
<sup>121</sup>聯邦公報，2020年2月，第32號第87卷，[2022-03205.pdf \(govinfo.gov\)](https://www.federalregister.gov/documents/2022/03/20/2022-03205.pdf)

<sup>122</sup>斯坦福，2020年10月，*加州碳捕獲和儲存行動計劃：機遇、挑戰和解決方案*，[加州碳捕獲和封存：完整報告下載 | 斯坦福碳儲存中心](#)

<sup>123</sup>加州空氣資源局，2019年1月，*加州2030年自然和工作用地氣候變遷實施計劃草案*，<https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2020-10/draft-nwl-ip-040419.pdf>



插圖 2-4：自然和工作用地建模情景與現有研究的比較



該模型表明，立即採取積極的氣候行動可以減少在沒有此類行動的情況下會出現的環境影響。該模型的結果證明，在未來 20 年內對自然和工作用地進行定期治理，可以從基準情景的軌跡中增加碳儲量，減少土地的溫室氣體排放，並改善生態系統和公共健康。該項工作是由任何政府為將自然和工作用地納入其整體氣候戰略而採取的最全面的科學工作。即便如此，我們知道，未來氣候和經濟因素以及可能對我們的生態系統產生的影響存在著不確定性，因此，加州必須採取積極果斷的行動，改善生態系統的結構和治理並使之多樣化。

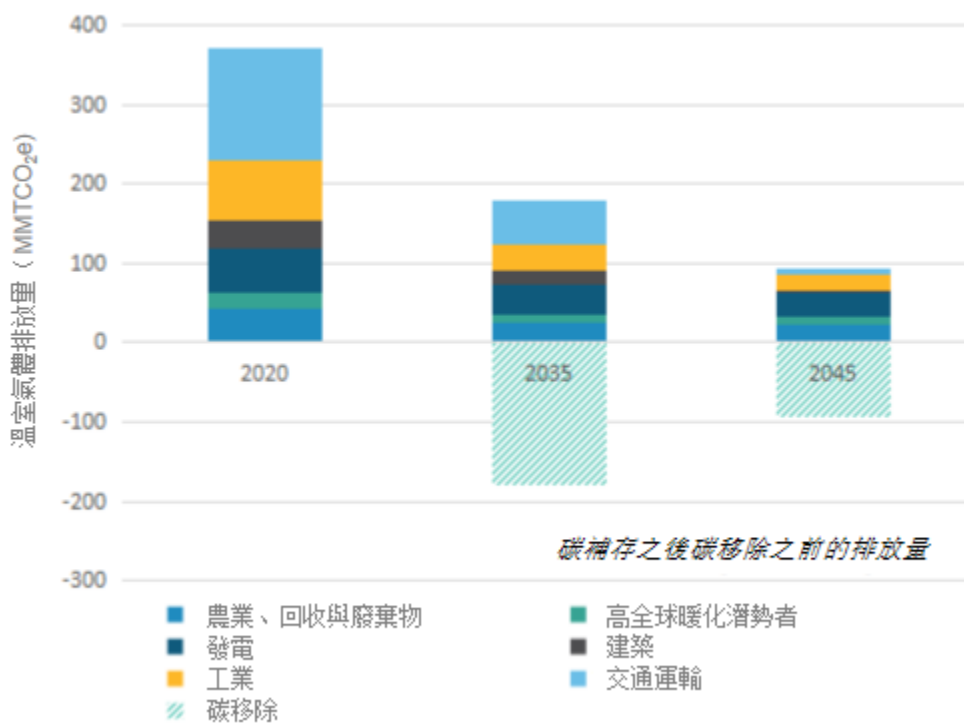
氣候變遷的影響，包括乾旱、野火和極端高溫的增加，對於加州碳儲量的未來有著重要的決定作用。而治理行動將有助於減少氣候變遷對加州的影響。從分析中可以看出，自然和工作用地的碳匯和碳源每年都有很大變化，短時間內無法充分顯示氣候和治理對生態系統的影響。因此，在氣候規劃匯總，最好是關注較長時期內的碳儲量變化，而不是關注較短時期內的封存或排放。據估計，從 2025-2045 年，建議方案會導致自然和工作用地每年增加 800 萬公噸二氧化碳當量的排放。在同一時期，基準情景估計會導致每年 900 萬公噸二氧化碳當量的排放，因此，相對於基

準情景，建議方案減緩了排放速度，並且每年新增大約 100 萬公噸二氧化碳當量的封存。自然和工作用地預計會成為淨排放源，因此，建議方案中自然和工作用地的大約 800 萬公噸二氧化碳當量的年排放量需要透過碳移除方法進行補償，以確保加州能在 2045 年實現碳中和。

### 碳移除的規劃用途（直接空氣捕獲）

如建模所示，2045 年 AB 32 溫室氣體清單部門仍將存在必須解決的剩餘排放。插圖 2-5 顯示了建議方案 2020 年、2035 年和 2045 年 AB 32 溫室氣體清單部門的排放情況。

**插圖 2-5：建議方案 2020 年、2035 年和 2045 年的剩餘排放量以及 2035 年和 2045 年的潛在二氧化碳移除量**



為了實現碳中和，必須部署機械碳移除。自然和工作用地的治理在短期內估計不會成為重要的碳移除途徑，因此需要增加碳移除方案。機械碳移除是指一系列捕獲和濃縮環境中的二氧化碳的技術。目前正在開發的直接空氣捕獲（DAC）是一種可用的方案，或許可以廣泛部署。注意，與碳捕存不同的是，直接空氣捕獲技術並不附著於特定排放源或煙囪。這些技術囊括了透過吸收或吸附分離過程捕獲二氧化碳的化學清洗過程。另一個涉及到在地球表面快速礦化二氧化碳的碳移

除方案被稱為礦物碳化。<sup>124</sup>與碳捕存一樣，機械碳移除技術需要政府或其他激勵措施的支援來克服技術和市場障礙。在美國，美國能源部於 2020 年 3 月和 2021 年 3 月宣佈為直接空氣捕獲提供專項資金。<sup>125</sup><sup>126</sup>此外，參議院於 2021 年 8 月通過的 1 萬億美元《基礎設施投資和就業法案》含有對碳捕存的近 90 億美元資助。其中包括用於建立四個直接空氣捕獲中心的資金。許多提案建議增加 45Q 稅收抵免額，包括 2022 年預算提案，要求為一些工業應用中捕獲和儲存的二氧化碳提供每公噸 85 美元的抵免額，為附帶儲存作用的直接空氣捕獲提供每公噸 120 美元的抵免額。<sup>127</sup>2021 年，全球大約有 19 處直接空氣捕獲設施。<sup>128</sup>

最終，機械碳移除的作用將取決於直接在 AB 32 溫室氣體清單部門源頭減排是否成功，以及自然和工作用地封存碳的能力。但是，機械碳移除還提供了實現碳中和同時又移除大氣中遺留的溫室氣體的機會。因此，增加直接空氣捕獲的部署有助於實現淨負排放。從而進一步幫助避免氣候變遷的最大破壞性影響。與碳捕存的假設一樣，建議方案包括在本十年的前五年啟動直接空氣捕獲。<sup>129</sup>我們認為，鑒於目前的政策和許可方面的不確定性，這是不可能的；另外，由於早期部署延遲，我們需要更多的直接空氣捕獲來移除更多的碳。雖然對直接空氣捕獲的激勵措施支援這種技術，但加州唯一認可該技術的計畫只有低碳燃料標準計畫。另外，還必須向各級政府和多個州機構取得許可。如果在偏遠地區實施直接空氣捕獲，還必須解決能源供應。有關直接空氣捕獲的更多資訊和下一步措施見第 4 章。

## SB27 2030 年二氧化碳移除擬定目標

如第 1 章所述，SB 27 (Skinner, 《2021 年法規》第 237 章) 指示加州空氣資源局「設定 2030 年及以後年份的二氧化碳移除目標」，作為本《範疇計畫》的一部分。該法還指示加州空氣資源局在制定目標時考慮自然和工作用地氣候智慧戰略、基於科學的數據、成本效益和技術可行性。」對於自然和工作用地，模型表明，在整個 20 年期間，加州土地會一直是淨排放源。然而，儘

---

<sup>124</sup>國家學術出版社，2018，以直接空氣捕獲和礦物碳化方法進行碳移除和可靠封存：研討會簡要記錄，<https://nap.nationalacademies.org/catalog/25132/direct-air-capture-and-mineral-carbonation-approaches-for-carbon-dioxide-removal-and-reliable-sequestration#:~:text=National%20Academies%20of%20Sciences%2C%20Engineering%2C%20and%20Medicine%3B%20Division,concentrate%20carbon%20dioxide%20%28CO%20%29%20from%20ambient%20air>

<sup>125</sup>美國能源部，2020，能源部提供 2,200 萬美元用於研究如何從空氣中捕獲二氧化碳，<https://www.energy.gov/articles/department-energy-provide-22-million-research-capturing-carbon-dioxide-air>

<sup>126</sup>美國能源部，2021，能源部投資 2400 萬美元以推進轉換性空氣污染捕獲，<https://www.energy.gov/articles/doe-invests-24-million-advance-transformational-air-pollution-capture>

<sup>127</sup>美國財政部，2021，政府 2022 財政年度收入建議的一般解釋，<https://home.treasury.gov/system/files/131/General-Explanations-FY2022.pdf#page=60>

<sup>128</sup>國際能源署，2022，直接大氣捕獲——分析，<https://www.iea.org/reports/direct-air-capture>

<sup>129</sup>方案模型假設，將移除每公噸二氧化碳移除的直接成本包括在內，利用直接空氣捕獲技術對剩餘排放進行補償。對直接空氣捕獲的能源沒有建模，但可再生電力和/或電解產生的氫氣等零碳方案均符合 2022 年《範疇計畫草案》中的碳中和目標。

管總體上是淨排放源，但土地相關的個別行動會每年促使大氣中的二氧化碳實現淨移除，並用於提供基於自然的二氧化碳移除。

建議方案模型表明，對於 AB 32 溫室氣體清單部門，基準情景和建議方案均會達到或超過 SB 32 2030 年的溫室氣體減排目標（40%），實現 SB 32 的目標並不需要以碳移除來補償 2030 年的排放。但是，在接下來的幾十年，碳移除的數量必須越來越多，才能於 2045 年實現碳中和。SB27 提供了在模型假設時間之前開始對二氧化碳採取行動的機會，從而獲得更多時間擴大行動和技術規模，並在未來 25 年降低成本。

鑒於自然和工作用地有可能成為淨排放源，並且需要碳移除來補償剩餘的排放，以便在 2045 年實現碳中和，加州在未來幾十年必須增加機械碳移除的部署。在不久的將來，擴大基於自然的碳移除方法也有助於快速移除二氧化碳，同時從現在到 2045 年，擴大機械碳移除的規模。

對於 2030 年，將自然和機械方法相結合，實現加州年 100-200 萬公噸二氧化碳當量的碳移除，將成為擴大碳移除規模的一個重要里程碑。2030 年之後，部署的碳移除數量需要在 2030 年和 2045 年之間每年平均增加約 30%至 40%，從而助力 2045 年實現碳中和。

加州可透過組合使用各種方法實現 100-200 萬公噸二氧化碳當量的碳移除，包括：

- 自然和工作用地戰略可以實現一些地貌的二氧化碳當量淨移除，如城市造林、植樹造林、土壤碳增加與土壤溫室氣體減少相配合。例如，建議方案估計，到 2030 年，城市造林增加可能會帶來約 60 萬公噸二氧化碳當量的淨封存。
- 與封存結合的生物質利用戰略，如生物能源與碳捕獲和儲存（BECCS）。建議方案估計，從可回收生物質中可獲得 5-10 公噸二氧化碳當量，但需要在加州建設和啟動新基礎設施以及為此取得許可。
- 捕獲和濃縮環境中的二氧化碳的直接空氣捕獲方法，也需要建設新的基礎設施以提供支援。

碳移除的這一目標為加州設定了一個近期里程碑，可作為部署碳移除以支援加州碳中和目標之進程的重要標誌。初步估計表明，在全球範圍內，到 2027 年，已宣佈專案可實現的容量為每年 200 萬公噸（MMTCO<sub>2</sub>/y）到 800 萬公噸（MMTCO<sub>2</sub>/y），直接空氣捕獲和封存可實現的容量為每年約 2000 公噸（MTCO<sub>2</sub>/y）到 100 萬公噸（MTCO<sub>2</sub>/y）。<sup>130</sup>加州實現 100-200 萬公噸/年在技術是可行的，加州將因此在部署碳移除方面佔據主導地位。

---

<sup>130</sup>IHS Markit, 2021 年 8 月, 碳移除潛力: 概述, [https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2021-08/ihsmarket\\_presentation\\_sp\\_engineeredcarbonremoval\\_august2021.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2021-08/ihsmarket_presentation_sp_engineeredcarbonremoval_august2021.pdf)

## 方案不確定性

### 建模

在預測未來的排放和估計減排行動的裨益時，必須瞭解幾種不確定性。在制定 2022 年《範疇計畫草案》時，我們預測了一種基準情景，並使用 PATHWAYS 模型估計了 AB 32 溫室氣體清單部門的溫室氣體排放結果。<sup>131</sup>在基準情景的建模中，我們期望現有計畫繼續保持現有形式，並且溫室氣體排放的預期驅動因素，如能源需求、人口增長和經濟增長與我們目前的預測相符。

但是，2017 年《範疇計畫》中為實現 2030 年而包含並實施的各項政策預期可以帶來切實的效果。未來不太可能完全契合我們的預測，因此預測具有不確定性。例如，我們無法預見和預測新冠肺炎疫情造成的長期中斷所帶來的經濟和排放影響。因此，應將單一的「參考」或「預測」線理解為代表一系列可能預測中的一種可能的未來。對於建議方案，PATHWAYS 利用了反映技術上可行的低碳或零碳燃料和技術的部署或使用水準的輸入。提供給 PATHWAYS 的每個假設都存在一些不確定性，這也體現在了結果中。

同樣，對於自然和工作用地建模，我們使用各種單獨的建模工具<sup>132</sup>對基準情景和備選方案進行了預測，這些工具提供了土地治理的碳和其他生態、公共健康和經濟成果的估計。基準情景假設 2001 年至 2014 年期間，森林、灌木叢、草地、耕地、已開發土地、濕地和植被稀少的土地的土地治理行動水準一直持續到未來，而備選方案則評估了 2025 年至 2045 年期間氣候行動水準提高對自然和工作用地的影響。對於自然和工作用地而言，未來也不太可能與碳儲量結果精確匹配，特別是考慮到氣候變遷對我們的土地的影響，以及土地治理行動和市場勢力的多樣性。因此，儘管建議計畫中提出的結果因模型輸入的精確性而可能看起來非常精確，但這些結果都是估計，亦將體現某一年份的單項數值輸出中未體現的不確定性。

### 實施

本建議計畫的目的是為實現碳中和規劃出一條線路，因此需要額外的工作來全面設計和實施本計畫中確定的任何政策和行動。在隨後的政策制定過程中，隨著與利益相關者協調（包括社區參與）進行更全面的評估，立法機構、加州空氣資源局和其他州機構將瞭解到有關技術、成本和各行業運作方式的越來越多的資訊。重大不確定領域包括許可等待時間、可能限制或減緩公共事業規

---

<sup>131</sup>參閱附件 H（AB 32 溫室氣體清單部門建模）。

<sup>132</sup>見附件 I（自然和工作用地技術支援文件）。



模可再生能源建設的地方條例。<sup>133</sup>、<sup>134</sup>、<sup>135</sup>另外，近幾年，太陽能專案在達成互連協議後投入商業運營的時間也增加到了 3.5 到 5.5 年。<sup>136</sup>

對自然和工作用地而言，不確定領域包括：在考慮全州不同土地所有權的情況下擴大土地治理戰略的能力、燃料減少處理工作的勞動力需求，以及維持不斷增加和持續的土地治理所需的有限和不確定的財政支援。此外，自然和工作用地的未知因素會極大地改變生態系統。有可能會發生目前無法預見的災難性環境變化。在目前的高碳儲量水準基礎之上，劇烈的環境變化在任何情況下都可能減少碳儲量並增加排放量。因此，實際的減少量可能與本計畫模型中所估計的不同。

考慮到建模假設的不確定性，以及具體政策全面設計和實施時的表現不確定性，與建議方案相關的估計值必然與最終實施方案的估計值相左。緩解該風險的其中一個方法是制定能夠適應和增加溫室氣體減排確定性的政策。對實現 2030 年目標和更長期深入去碳化的進展以及具體政策的表現進行定期檢查，也可為加州提供考慮任何變化的機會，從而確保我們始終沿著正確方向實現 2030 年目標和碳中和。AB 32 要求至少每五年對《範疇計畫》進行一次更新，是因為預料到了這種定期審查過程的必要性。對於本《範疇計畫草案》，所規定的關於清潔燃料和技術部署速度的指標以及年度 AB 32 溫室氣體清單，提供了額外資訊，可用於評估各部門進展和總排放情況。加州空氣資源局的自然和工作用地碳清單也是如此。

## 建議方案目標評價：石油和天然氣的開採和提煉

在未來實現空氣品質和氣候目標的道路上，必須停止對石油的依賴。這項工作不是一蹴而就的。加州大約有 2,800 萬輛內燃機重型和輕型卡車以及客運車輛。這些車輛幾乎都是在使用壽命結束後才被替換。零排放車輛《行政令》要求從 2035 年開始實現所銷售車輛 100% 為零排放車輛，在可行的情況下，到 2045 年實現中型和重型車隊 100% 零排放。石油和天然氣開採最終成為一個持續的、儘管在縮小但仍會需要石油燃料的車輛庫。為了按照 AB 32 的要求避免洩漏，並滿足對石油燃料的剩餘需求，到 2045 年不可能完全淘汰石油和天然氣開採和提煉。2022 年《範疇計畫草案》假設如下：(1) 到 2045 年逐步減少石油和天然氣開採，並根據州內公路石油燃料需求的減少進行提煉；(2) 如果開採量按州內成品燃料需求相應減少，2045 年石油和天然氣開採的溫室氣體排放量可在 2020 年的水準上減少約 85%。由於交通部門是最大的溫室氣體排放源和當地有害空氣污染源，我們必須繼續推進對零排放技術和清潔燃料部署工作的研究和投資，並減

<sup>133</sup>加州能源委員會，2021，SB 100《聯合機構報告》，[https://www.energy.ca.gov/sb100#anchor\\_report](https://www.energy.ca.gov/sb100#anchor_report)

<sup>134</sup>Roth、Sammy，2019，加州聖貝納迪諾縣叫停大型太陽能專案，洛杉磯時報，<https://www.latimes.com/business/la-fi-san-bernardino-solar-renewable-energy-20190228-story.html?fbclid=IwAR2qHGq3bahHme6SFerLsnyFi9UPIfBHIhvnOh3dU3OM7kUTMcEqYfN3pQA>

<sup>135</sup>Chediak、Mark，2021，加州鄰避效應威脅拜登政府清潔能源目標，BNN 彭博頻道，<https://www.bnnbloomberg.ca/california-nimbys-threaten-biden-s-clean-energy-goals-1.1634351?msclid=668c9ae9c11311ec92e34035ea157ad4>

<sup>136</sup>Rand、Joseph 等，2022，排隊等候：截至 2021 年底，尋求輸電互聯的發電廠的特點，幻燈片演示，勞倫斯伯克利國家實驗室，[https://emp.lbl.gov/sites/default/files/queued\\_up\\_2021\\_04-13-2022.pdf](https://emp.lbl.gov/sites/default/files/queued_up_2021_04-13-2022.pdf)



少車輛行駛里程。為了減少石油燃料需求并逐步停止石油和天然氣開採和提煉，持續的推進工作將被納入下一次《範疇計畫》更新。

## 石油和天然氣開採

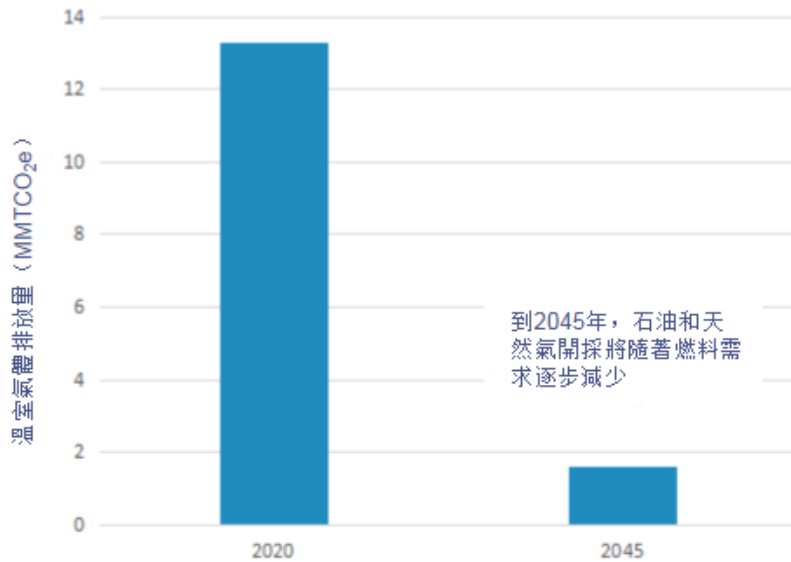
2021 年 4 月 23 日<sup>137</sup>，紐森州長指示加州空氣資源局在 2022 年《範疇計畫》更新中，對截至 2045 年的石油和天然氣開採逐步停止情況進行評估。如上所述，在建議方案中，到 2045 年，加州對化石燃料成品（汽油、柴油和航空燃料）仍有一些需求。該需求主要用於交通領域，包括由州政府直接監管的部門和一些受聯邦管轄的部門，如州際機車、海運和航空。如下文所述，雖然由於本 2022 年《範疇計畫草案》中的戰略，對化石燃料的需求減少，但石油和天然氣開採的溫室氣體將大幅減少，但考慮到剩餘的需求，到 2045 年完全淘汰石油和天然氣生產是不可行的。

雖然模型包括逐步停止油氣部門的活動，但如果油氣開採的停止過程與燃料成品需求一致，是可以估計溫室氣體排放情況的。這種州內燃料成品需求可以由州內油氣開採來滿足，即使未來由於油田枯竭而降低了開採水準。在建議方案中，在成功部署零碳燃料和非燃燒技術從而逐步減少石油需求的情況下，如果開採量與州內燃料成品需求同步減少，那麼 2045 年油氣開採的溫室氣體排放量可從 2020 年的水準減少約 85%。如果完全停止州內開採，相對於建議方案，州內煉油廠的未來石油需求將透過增加州內原油進口來滿足。根據 AB 32 中的定義，洩漏是指「州外溫室氣體排放的增加量所抵消的州內溫室氣體減排量」。AB 32 還要求為減少溫室氣體而採取的任何行動必須「儘量減少洩漏」。進口原油增加可能會導致加州以外地區開採並向加州運輸原油的活動增加。因此，我們的分析表明，完全停止州內開採可能會導致溫室氣體排放洩漏，並對進口到本州的原油產生州內影響。插圖 2-6 比較了該部門 2020 年的排放量與該部門隨州內石油需求減少而逐步停止時的建模結果。

---

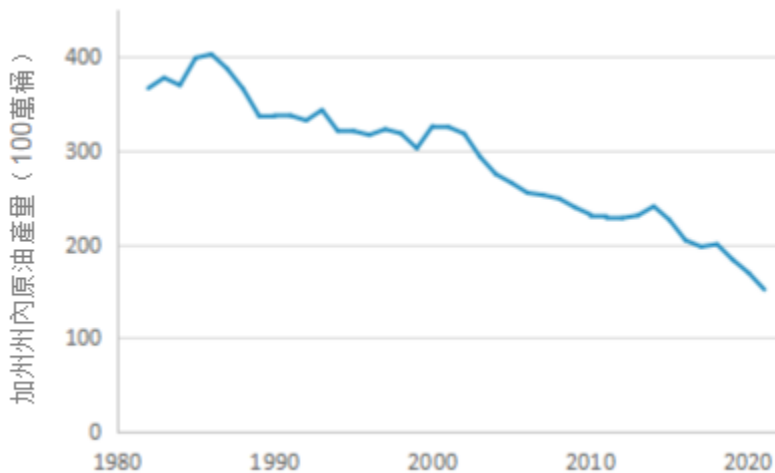
<sup>137</sup>州長 Newsom, 2021 年 4 月 23 日, 紐森州長採取行動逐步停止加州石油開採, 新聞公告, <https://www.gov.ca.gov/2021/04/23/governor-newsom-takes-action-to-phase-out-oil-extraction-in-california/>

插圖 2-6：隨著燃料需求減少而逐步停止油氣開採活動的情況下，油氣開採部門 2020 年和 2045 年溫室氣體排放量



根據插圖 2-7 中使用的加州能源委員會數據，加州的石油開採總量在 1986 年達到了 4.02 億桶的高峰。從那時起，加州的原油產量平均每年減少 600 萬桶，到 2020 年減少到大約 2 億桶。隨著加州油田的枯竭，加州原油產量穩步下降的情況預計會持續下去。

插圖 2-7：加州州內原油產量<sup>138</sup>

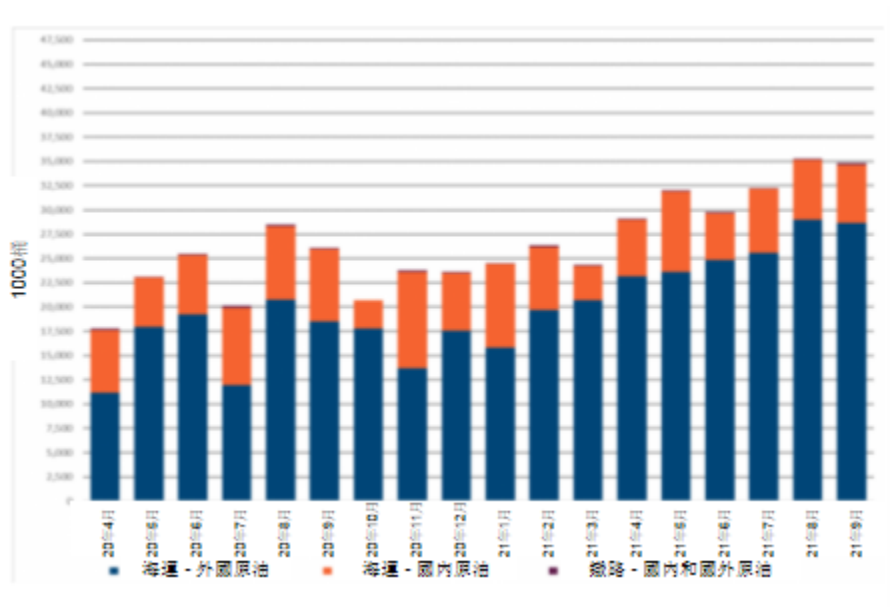


<sup>138</sup>加州能源委員會，日期不詳，加州煉油廠石油供應源，2022 年 4 月 21 日訪問：<https://www.energy.ca.gov/data-reports/energy-almanac/californias-petroleum-market/oil-supply-sources-california-refineries>

加州大學聖巴巴拉分校的一份報告估計，在一切如常方案的條件下，加州油田產量將在 2045 年減少到 9700 萬桶。<sup>139</sup>一切如常方案模型乃假設沒有額外的法規來限制加州的石油開採。

如果加州原油無法滿足加州煉油廠的任何原油需求，則透過海運進口阿拉斯加州和外來原油來滿足該需求。<sup>140</sup>如插圖 2-8 所示，加州大約 99%的原油進口透過海運輸送，其餘則透過鐵路輸送。<sup>141</sup>沒有管道將原油從州外運入加州。<sup>142</sup>

插圖 2-8：按運輸類型劃分的原油進口量<sup>143</sup>



海上油輪輸送的原油被運送到陸上儲油罐，隨後透過管道運送到煉油廠。加州生產的大部分原油透過管道運送到加州煉油廠。根據歷史趨勢，如果原油進口增加量高於歷史水準，將導致透過海

<sup>139</sup>加州大学圣巴巴拉分校，2021，提高公平性，同時消除加州運輸燃料供應中的排放。

<sup>140</sup>加州能源委員會，2020，石油觀察：石油產品如何流動，3月，

[https://www.energy.ca.gov/sites/default/files/2020-03/March\\_2020\\_Petroleum\\_Watch.pdf](https://www.energy.ca.gov/sites/default/files/2020-03/March_2020_Petroleum_Watch.pdf); 加州能源委員會，2020，石油觀察：加州煉油廠加工的原油有哪些類型？2月，[https://www.energy.ca.gov/sites/default/files/2020-02/2020-02\\_Petroleum\\_Watch\\_ADA\\_0.pdf](https://www.energy.ca.gov/sites/default/files/2020-02/2020-02_Petroleum_Watch_ADA_0.pdf)

<sup>141</sup>加州能源委員會，2021年6月，按運輸類型劃分的原油進口量，2022年3月16日訪問，

<https://www.energy.ca.gov/data-reports/energy-almanac/californias-petroleum-market/crude-oil-imports-source>

<sup>142</sup>加州能源委員會，2020，石油觀察：石油產品如何流動，3月，

[https://www.energy.ca.gov/sites/default/files/2020-03/March\\_2020\\_Petroleum\\_Watch.pdf](https://www.energy.ca.gov/sites/default/files/2020-03/March_2020_Petroleum_Watch.pdf)

<sup>143</sup>加州能源委員會，2021年6月，按運輸類型劃分的原油進口量，2022年3月16日訪問，

<https://www.energy.ca.gov/data-reports/energy-almanac/californias-petroleum-market/crude-oil-imports-source>

洋港口輸送的量增加。此類增加活動可能需要更多的基礎設施來儲存更多的原油並運送到州內煉油廠。

加州煉油廠進口各種原油以滿足煉油廠的需求。相對於美國其他煉油廠，加州煉油廠通常專門處理相對重質的原油。2018 年，輸入加州煉油廠的原油其平均美國石油協會（API）比重為 26.18，平均含硫量為 1.64%。如果加工明顯更輕質或更重質的原油混合物，則需要對煉油廠進行重大改造。<sup>144</sup>與加州原油（美國石油協會比重 < 20）相比，從阿拉斯加和中東地區進口的大多數原油相對較輕（美國石油協會比重 > 30）。<sup>145</sup>如果加州原油產量不足以滿足加州煉油廠的需求，加州煉油廠必須使用類似的重質原油來源，以便原油的平均 API 比重保持在其既定的作業窗口內。相對於其他地區，進口到加州的南美原油是最重的，因此這些原油或許最有可能取代所減少的加州原油供應。<sup>146</sup>

總而言之，該模型表明，由於傳統車隊在使用壽命結束後才會被替換，對石油的需求將持續存在。該模型還顯示了在石油和天然氣開採活動隨州內石油需求減少而逐步減少的情況下，溫室氣體的減排情況。趨勢數據顯示，石油和天然氣開採量已經在下降，並且會繼續下降。可以預測為滿足州內石油需求而需要進口的原油的類型以及來源區域。需要注意的是，港口活動會增加，並且會需要新的基礎設施來儲存原油並運送至州內煉油廠。雖然在我們的 AB 32 溫室氣體清單中，該部門會被完全淘汰並實現溫室氣體零排放，但是原油生產以及向加州運輸的過程所產生的排放可能會在其他地方增加，從而導致排放洩漏。

隨著加州不斷減少石油需求，油氣開採作業附近社區的公共健康保護工作也必須一直持續。2021 年 10 月，紐森州長要求採取行動，防止在社區附近進行新的石油鑽探，並擴大健康保護。<sup>147</sup><sup>148</sup>

## 石油提煉

在建議方案中，加州空氣資源局對提煉活動隨石油需求減少而逐步減少的情況進行了建模。滿足石油需求意味著要有足夠的燃料成品（汽油、柴油和航空燃料）。在州內的煉油廠加工原油，然

---

<sup>144</sup>加州能源委員會，2020，石油觀察：加州煉油廠加工的原油有哪些類型？2 月，

[https://www.energy.ca.gov/sites/default/files/2020-02/2020-02\\_Petroleum\\_Watch\\_ADA\\_0.pdf](https://www.energy.ca.gov/sites/default/files/2020-02/2020-02_Petroleum_Watch_ADA_0.pdf)

<sup>145</sup>加州能源委員會，2020，石油觀察：加州煉油廠加工的原油有哪些類型？2 月，

[https://www.energy.ca.gov/sites/default/files/2020-02/2020-02\\_Petroleum\\_Watch\\_ADA\\_0.pdf](https://www.energy.ca.gov/sites/default/files/2020-02/2020-02_Petroleum_Watch_ADA_0.pdf)

<sup>146</sup>加州能源委員會，2020，石油觀察：加州煉油廠加工的原油有哪些類型？；2 月，

[https://www.energy.ca.gov/sites/default/files/2020-02/2020-02\\_Petroleum\\_Watch\\_ADA\\_0.pdf](https://www.energy.ca.gov/sites/default/files/2020-02/2020-02_Petroleum_Watch_ADA_0.pdf)

<sup>147</sup>州長 Gavin Newsom 辦公室，2021，加州採取行動，防止在社區附近進行新的石油鑽探，並擴大健康保護，

<https://www.gov.ca.gov/2021/10/21/california-moves-to-prevent-new-oil-drilling-near-communities-expand-health-protections-2/?msclkid=6c0da86bc58e11ecb81cf596d4d8a735>

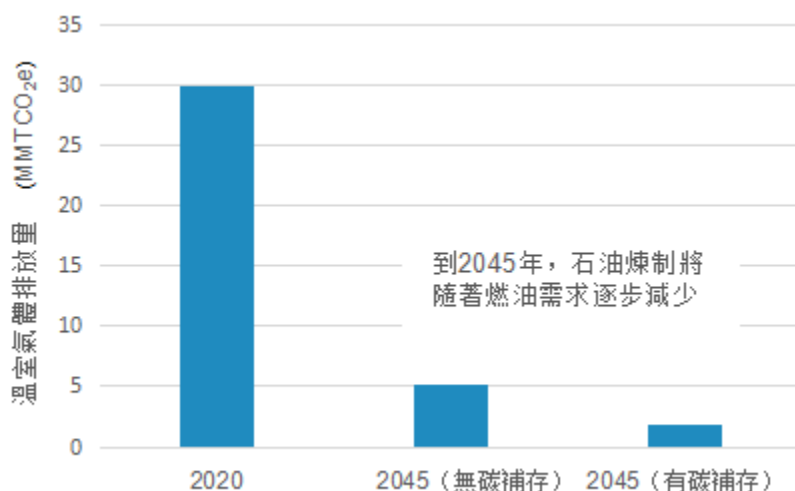
<sup>148</sup>加州節約部地質能源管理局，2021 年 10 月，保護社區和工人免受石油和天然氣生產作業的健康和安全影響之規則草案，[公共健康規則指定 \(ca.gov\)](https://www.ca.gov)

後生產燃料成品。為了回應利益相關者的要求<sup>149</sup>，本評估著重於建議方案，但也評估了州內煉油廠業務完全淘汰的情況。

按照建議方案，2045 年加州石油提煉的排放量為 510 萬公噸二氧化碳當量，與 2020 年的水準相比減少了約 83%，與州內燃料成品需求的下降相一致。<sup>150</sup>如插圖 2-9 所示，透過採用碳捕獲和封存技術，可以進一步減少煉油排放量。如果州內煉油逐步減少到零，而對煉油生產的燃料成品的需求持續存在，則可能需要進口燃料成品來滿足州內的剩餘需求。<sup>151</sup>現有數據顯示，未滿足的液體石油交通燃料需求很可能會透過海運進口來滿足。加州能源委員會的一份報告指出，「加州接收大量原油和精煉產品的唯一途徑是海運」。<sup>152</sup>

目前尚無管道能夠將精煉產品運至加州，精煉產品的鐵路進口歷來佔所有進口量的不到 1%。<sup>153</sup>海運進口大幅增加，可能需要對目前海運碼頭的原油管道和儲罐進行重大重新配置、改造或更換，並且考慮到供應點的數量和位置變化，可能還需要對現有的燃料成品基礎設施進行重新配置。

**插圖 2-9：活動隨燃料需求而逐步減少時，2020 年和 2045 年石油提煉部門的溫室氣體排放量（有/無碳捕存）**



<sup>149</sup>加州環境正義聯盟，2021 年 10 月 22 日，2022 年《範疇計畫》更新建議——方案輸入技術研討會，<https://www.arb.ca.gov/lists/com-attach/68-sp22-inputs-ws-WzhdPII5AjACW1Qx.pdf>

<sup>150</sup>該需求減少並未假定需要持續的業務來支援對鄰州的出口。

<sup>151</sup>如果該需求假定需要持續支援對鄰州的出口，則燃料成品進口量需要增加五倍才能滿足剩餘需求。

<sup>152</sup>加州能源委員會，2020，*石油觀察：石油產品如何流動*，3 月，

[https://www.energy.ca.gov/sites/default/files/2020-03/March\\_2020\\_Petroleum\\_Watch.pdf](https://www.energy.ca.gov/sites/default/files/2020-03/March_2020_Petroleum_Watch.pdf)

<sup>153</sup>加州能源委員會，2020，*石油觀察：石油產品如何流動*，3 月，

[https://www.energy.ca.gov/sites/default/files/2020-03/March\\_2020\\_Petroleum\\_Watch.pdf](https://www.energy.ca.gov/sites/default/files/2020-03/March_2020_Petroleum_Watch.pdf)

如果加州的持續煉油活動無法滿足其燃料成品需求，加州將需要進口燃料成品來滿足持續的需求。這可能會使船隻向海運碼頭運送燃料成品的次數增加 2 到 5 倍。運送成品油的海運油輪通常比原油油輪小很多，因此，燃料使用和排放量的變化不太容易從船舶類型和運送次數的變化中估計出來。<sup>154</sup>

若加州停止煉油，目前支援煉油制程和廢棄物（如石油焦）出口所需的鐵路運輸和海運也會停止。

總之，該模型表明，對石油的需求會持續到 2045 年。模型還顯示了煉油活動隨著州內石油需求的減少而逐步減少的情況下，溫室氣體的減排情況。碳捕獲和封存可以進一步減少該部門的排放量。需要注意的是，港口活動會增加，並且會需要新的基礎設施來儲存並向全州輸送燃料成品。雖然在我們的 AB 32 溫室氣體清單中，該部門會被完全淘汰並實現溫室氣體零排放，但是成品燃料的提煉以及向加州運輸的過程所產生的排放可能會在其他地方增加，從而導致排放洩漏。

## 實現 2030 年目標的進度情況

自 2008 年通過第一個《範疇計畫》以來，以碳總量限制和交易計畫為形式的碳定價一直是實現本州溫室氣體減排目標的方案組合的一部分，而且在我們努力實現碳中和的過程中，始終發揮著至關重要的作用。本部分介紹了該計畫的最新情況及其在實現 2030 年目標方面的作用。

## 碳總量限制和交易計畫更新

碳總量限制和交易計畫於 2012 年依據 AB 32 的規定首次生效，其中載明了截至 2020 年不斷降低的配額上限。2017 年，立法機構以絕對多數通過 AB 398<sup>155</sup>，其中規定了從 2021 年到 2030 年的計畫設計方向。AB 398 碳總量限制和交易計畫於 2021 年 1 月 1 日生效，並作出了如下更改：

- 嚴格程度翻倍，2021-2030 年每年上限下降 4%
- AB 398 價格上限
- AB398 重新設計的兩級配額價格抑制儲備
- AB 398 工業 100%洩漏援助因子
- AB 398 降低補償限額：使用限額從 8%降至 4%，一半的補償必須為加州帶來直接利益

---

<sup>154</sup>與加州能源委員會員工的私人通信，2022 年 3 月；美國能源情報署，2017，*世界石油通道的咽喉要道*，3。

<https://www.eia.gov/beta/international/regions-topics.php?RegionTopicID=WOTC>

<sup>155</sup>加州立法資訊，2017，法案文本 - AB-398 2006 年加州全球暖化解決方案法案：基於市場的合規機制：防火費：製造業銷售和使用稅豁免，

[https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill\\_id=201720180AB398](https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=201720180AB398)



減少碳補償在該計畫中的作用是認識到了環境正義宣導者對各公司使用碳補償來遵守規定而不是投資於現場減少溫室氣體排放（亦可能會減少標準或有毒物質的排放）之現狀的關切。然而，數據顯示，設施的溫室氣體排放和共同污染物之間的關係因部門和污染物的不同而差異巨大。<sup>156</sup> <sup>157</sup>配額價格抑制儲備的變化和價格上限增加是為了確保防範計畫中的價格飆升，而洩漏援助因數的變化是為了確保最大限度地防範計畫中的洩漏。該計畫的最初設計包括拍賣底價，該底價每年增加 5%加上通貨膨脹率，增加因數在 2020 年後的計畫中被保留下來，也適用於配額價格抑制儲備和價格上限。這些特點，加上拍賣中未售出配額的自我調整機制，有助於確保該計畫能夠處理配額需求的高峰期和低峰期，同時繼續確保穩定增長的價格信號，使受監管實體投資溫室氣體減排技術。<sup>158</sup>

由於比法律規定的時間提前四年實現了 2020 年目標，故仍有未使用的配額在流通。加州空氣資源局估計，在第三個合規期（2019-2020 年）結束後，該數額約為 3.1 億個配額。該庫存約佔聯合市場內發行的 2013-2030 年份配額總數的 5%。只有在所涵蓋的排放量逐年下降 1,400 萬公噸的情況下，該配額庫才能繼續保留。如果實際排放量的年度下降額少於 1,400 萬公噸，受監管實體將需要使用庫存的配額來履行其合規義務。本十年初期可能會需要現有的 310 個配額庫存，並在該十年結束時用完。在同一時期，配額價格將繼續同比增長至少 5%加通貨膨脹率，釋放穩定增長的價格信號，以刺激被監管實體投資於現場減排。

為了確保能夠實現 2030 年的目標，加州空氣資源局將利用 2022 年《範疇計畫終稿》模型來評估是否需要對碳總量限制和交易或其他計畫進行修改以及需要哪些修改。自最初通過碳總量限制和交易條例以來，該計畫已透過強有力的公共程式進行了八次修訂。此外，環保部長 Blumenfeld 在參議院聽證會上證實，加州空氣資源局將在 2023 年底前向立法機構報告配額供應狀況並提出關於立法修改的建議，以確保配額的數量有助於本州實現其 2030 年目標。在 2023 年參與該過程，有可能敲定《範疇計畫》、納入額外的數據點以便 AB 398 設計計畫（2021 年 1 月才生效）進行第二年的運作，並有機會舉行公眾研討會。

---

<sup>156</sup>Plummer、Laurel 等，2022，溫室氣體排放限制對弱勢社區的影響：推動減少不平等，[環境健康危害評估辦公室和加州環保署](https://oehha.ca.gov/media/downloads/environmental-justice/impactsofghgpoliciesreport020322.pdf)，<https://oehha.ca.gov/media/downloads/environmental-justice/impactsofghgpoliciesreport020322.pdf>

<sup>157</sup>環境健康危害評估辦公室報告還發現，使用最多抵消額的公司往往擁有造成當地細粒狀物暴露的設施。但是並沒有發現任何因果關係可以表明碳總量限制和交易計畫的實施導致了當地空氣污染的增加。另見：加州空氣資源局，常見問題：碳總量限制和交易計畫，<https://ww2.arb.ca.gov/resources/documents/faq-cap-and-trade-program>

<sup>158</sup>自我調整機制暫時剔除了市場中未售出的配額，直到有足夠的需求可滿足連續兩次拍賣，並且遞增式地重新進入未來的拍賣，或者如果需求仍然很低，則永久性地從一般流通中剔除。

另外值得注意的是，COVID-19 疫情對加州和其他地方的經濟活動產生了重大影響。<sup>159</sup>由於全球疫情的影響，2020 年的排放量大大降低。隨著經濟復蘇、相關行為逐漸擺脫當前疫情的影響，預計排放量會增加。因此，2020 年應被視為排放趨勢中的一個異常點。這種排放增加的情況類似於第一個合規期發生的情況（當時州經濟正在從大蕭條中恢復），與本計畫或涵蓋製造業或交通部門相關排放問題的其他計畫的結構問題沒有關係。在對該計畫和其他計畫的任何評估中，必須考慮外部因素，如經濟活動和水電等零碳能源的供應情況等。

## 2021 年至 2030 年的溫室氣體建模初步估計值

SB 32 的目標是到 2030 年溫室氣體排放量比 1990 年的目標減少至少 40%，這是實現加州碳中和目標所需的更深入減排的一個里程碑。它建立在 AB 32 指令的基礎之上，包括到 2020 年將溫室氣體排放量減少到 1990 年的水準，加州比計畫提前四年實現了這一目標。2017 年《範疇計畫》更新提出了實現 2030 年目標的路徑，其重點是減少本州的排放，該更新在技術上可行並且具有成本效益，反映了法定的方向。許多實現 2030 年目標的計畫，自 2021 年 1 月 1 日開始，嚴格程度翻倍或有所增加。

從 2020 年開始，一直到 2022 年，新冠肺炎疫情的影響以多種方式在全球回蕩，包括奪走數百萬人的生命。由於疫情對全球經濟的影響和加州人生活方式的改變，以及工作和學業長期中斷，對溫室氣體的排放也產生了重大影響。因此，我們對實現 SB32 目標的進展的評估因疫情的空前性而受到了干擾。然而，對 2030 年目標進展的評估非常重要，因為實現 SB 32 的目標，本州才能更好地實現其碳中和目標，並帶來關鍵的近期空氣品質裨益，解決在獲得健康空氣方面的持續、歷史性差異。

該草案分析依靠生成的建模數據來支援一系列設想，包括對 2017 年《範疇計畫》更新中的建模預測的參考。基準情景描述了在沒有實施委員會批准的 2017 年《範疇計畫》中所反映的額外溫室氣體減排政策或措施的情況下，溫室氣體的預測排放量。關於草案對這十年的溫室氣體排放的預測（即基準情景），我們首先對每年的排放量進行點估計。第二步是評估圍繞點預測的不確定性。這十年的主要不確定性因素包括 2017 年《範疇計畫》中確定的清潔技術和燃料的成功部署率，包括消費者採納模式、經濟才能夠疫情中復蘇的情況、為生產和輸送清潔能源而必需的新資產的許可和增建以及現有資產的再利用。本部分將這十年的草案預測排放量與 2017 年《範疇計畫》在 2018 年底通過時的排放量進行了比較。2022 年底，將對反映上述量化不確定性因素的這十年的最新預測溫室氣體排放量進行更詳細的分析。

插圖 2-10 顯示了 2017 年《範疇計畫》根據委員會 2017 年底通過的範疇計畫方案的 PATHWAYS 模型作出的預測，不包括碳總量限制和交易計畫的占比，也未考慮任何不確定性因

---

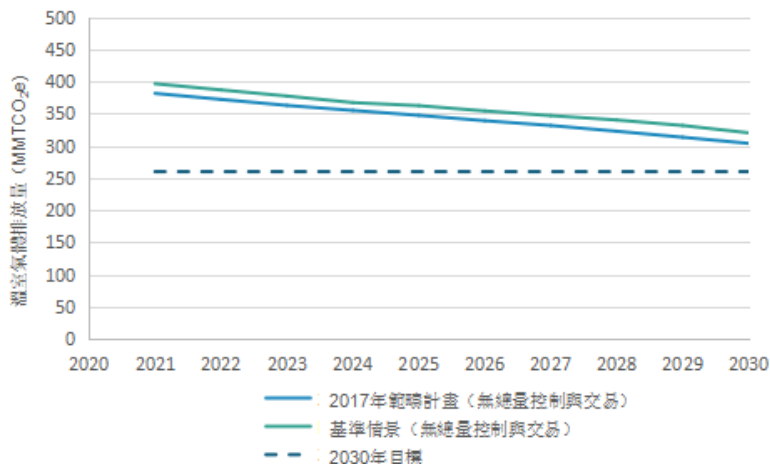
<sup>159</sup>加州空氣資源局，2021 年 11 月 4 日，強制性溫室氣體報告——2020 排放年常見問題，<https://www.arb.ca.gov/cc/reporting/ghg-rep/reported-data/2020mrrfaq.pdf?qa=2.264251343.1760432228.1650736660-1644197524.1577749754>

素（即：2017 年《範疇計畫》中包括的特定溫室氣體減排措施實際實現其預測溫室氣體減排量的不確定性的表徵）。基準情景體現了如果我們在實現 2030 年限額所需的現有政策之外不採取任何行動，溫室氣體的排放情況。基準情景是最近的 PATHWAYS 建模，未考慮任何不確定性因素，基準情景顯示，*溫室氣體排放量預計會在這十年中低於 2017 年《範疇計畫》更新時的最初預測*。須注意的是，這兩條趨勢線均不包括對碳總量限制和交易計畫所實現的減少量，因為 PATHWAYS 無法明確模擬碳定價政策。但是，由於基準情景的預測低於 2017 年《範疇計畫》更新對該十年的預測，對點估計趨勢的比較表明，碳總量限制和交易計畫對實現我們的 2030 年溫室氣體目標的作用可能低於 2017 年《範疇計畫》更新最初估計的作用。

正如下文所述，碳總量限制和交易計畫發揮的作用可能會減弱，具體取決於不確定性的作用機制，以及這個十年是否會推出新的規範性政策或法律。在插圖 2-10 中，兩條軌跡非常一致，但評估這十年的不確定性仍然非常重要。也就是說，非碳總量限制和交易計畫措施的實際減排量越大，溫室氣體減排計畫依靠碳總量限制和交易「填補」加州 2030 年減排目標的程度越低。例如，我們已經知道，我們實施的低碳燃料標準比 2017 年《範疇計畫》更新中最初設想的更加嚴格，SB 100 還要求為 2030 年制定更具魄力的可再生能源配額制，SB 596 要求水泥部門在這十年和以後進行明確減排。另有一項擬議的先進清潔汽車條例比 2017 年《範疇計畫》模型更加嚴格。然而，我們也知道，在按照 2017 年《範疇計畫》更新的要求減少車輛行駛里程方面，我們並未走上正軌，未來幾年，我們仍需採取更多行動，以減少短期氣候污染物，從而達到 SB 1383 所要求的減排量。

總體而言，各部門繼續新增法律或規範性政策、非碳總量限制和交易計畫的成功實施的延誤、激勵計畫資金增加，以及疫情造成的經濟復蘇徘徊或延遲，將繼續影響碳總量限制和交易計畫在這十年中為履行加州溫室氣體減排義務而需要發揮的作用。即將進行的不確定性分析將對每個部門的不確定性因素進行量化，並對非碳總量限制和交易政策總體在實現其所預測的溫室氣體減排量（如 2017 年《範疇計畫》中所述）方面的不確定性因素進行量化。

**插圖 2-10：2017 年《範疇計畫》與 2022 年《範疇計畫草案》基準情景比較（無不確定性限度）**



如下方表格 2-4 所示，2017 年《範疇計畫》更新預測，非碳總量限制和交易計畫政策將於 2030 年將加州的溫室氣體排放量減少到 3.2 億公噸二氧化碳當量，要求碳總量限制和交易計畫於同一年達到 6,000 萬公噸二氧化碳當量。更新後的模型顯示，非碳總量限制和交易計畫政策有可能在 2030 年將加州的溫室氣體排放量減少到 3.04 億公噸二氧化碳當量（比 2017 年《範疇計畫》中的估計多減少 1,600 萬公噸二氧化碳當量），使碳總量限制和交易計畫有可能在同一年達到 4,400 萬公噸二氧化碳當量。與 2017 年《範疇計畫》更新相比，這意味著 2030 年碳總量限制和交易計畫的作用降低了約 27%，並且未考慮而之前所述的不確定性因素。<sup>160</sup>

**表格 2-4：2017 年《範疇計畫》與 2022 年《範疇計畫》模型比較（無不確定性限度）<sup>161</sup>**

	2030 年溫室氣體排放 (MMT CO <sub>2</sub> e) (2017 年《範疇計畫》)	2030 年溫室氣體排放 (MMT CO <sub>2</sub> e) (基準情景)	與 2017 年《範疇計畫》和基準情景的差異
非碳總量限制和交易措施	320	304	減少~5%
2030 年碳總量限制和交易計畫的作用	60	44	減少~27%

<sup>160</sup>關於模型不確定性的更多論述，見第 76 頁。

<sup>161</sup>加州 2017 年《氣候變遷範疇計畫》中的表格 3 列明了碳總量限制和交易計畫在 2030 年的作用範圍，即 3,400-7,900 萬公噸二氧化碳當量。





## 第三章：經濟和健康評估

本章提供了兩種方法用於比較在制定 2022 年《範疇計畫草案》和確定建議方案時所考慮的備選方案之間的相對差異。一種方法是考慮一個備選方案中所有措施對加州經濟的綜合影響。<sup>162</sup>另一種是 AB197 要求的方法，即對一個備選方案中的每項措施進行獨立評估。除了這兩種評估方法外，本章還對建議方案的公共健康影響進行了討論，並提供了根據《加州環境品質法》（CEQA）進行的環境分析。

須注意的是，本章中的所有分析使用了各種數據來源，但由於建模是在本州層面上針對整個經濟範圍進行的，因此均未產生具體的社區細節輸出。AB 32 溫室氣體清單部門分析依賴於州一級的 PATHWAYS 數據，這些數據按比例運用於加州所有地區，將州一級的燃料燃燒變化轉化為地方一級的變化。自然和工作用地分析同樣利用了各種數據源和一套模型，將產生的數據擴大到全州層面。除了在縣級進行的森林-城鎮交界域防禦空間模型之外，所有模型都創建了不適用於社區一級的非空間預測。

### 備選方案的經濟評估

在制定 2022 年《範疇計畫草案》的過程中，制定了促使能源需求擺脫化石燃料以及最晚於 2045 年實現碳中和的備選方案。另外還制定了評估不同土地治理策略對自然和工作用地碳儲量之影響的備選方案。這些備選方案和建議方案在第 2 章中有所描述。以下各部分描述了各備選方案在直接成本、經濟、就業和健康結果方面的差異。

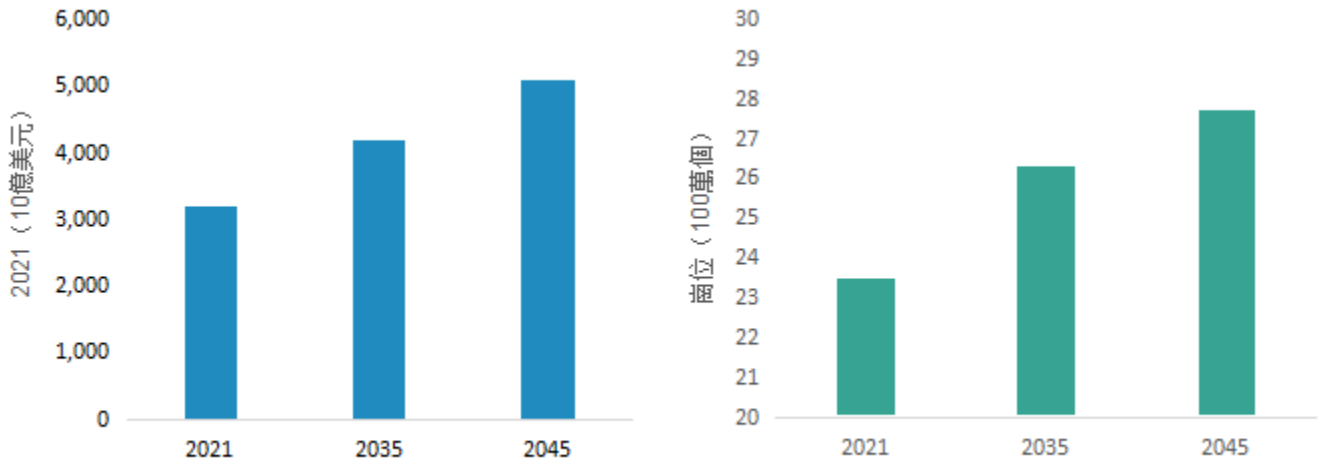
加州經濟不斷增長，預計每年將繼續增長約 3%，從 2021 年的 3.2 萬億美元增長到 2045 年的 5.1 萬億美元，如插圖 3-1 所示。同樣，加州的就業預計每年增長 0.7%，從 2021 年的 2,350 萬個工作崗位增加到 2045 年的 2,770 萬個工作崗位。正是在該背景下（被稱為基準情景），加州空氣資源局評估了備選方案對經濟增長和就業的影響。插圖 3-1 所示的預測由加州空氣資源局製作，用於評估法規的增量影響。

---

<sup>162</sup>AB 197 要求對「措施」進行評估。本 2022 年《範疇計畫草案》將每項行動及其嚴格程度的變體作為本章的措施。附件 C（AB 197 措施分析）列出了每個備選方案和建議方案的措施和相應的建模假設。



插圖 3-1：2021 年至 2035 年和 2045 年加州全州生產總值（左）和就業增長（右）預測



資料來源：加州空氣資源局

從化石燃料轉向替代品以及增加對自然和工作用地的行動將影響就業機會、家庭支出、企業和我們生活的其他經濟領域。預計出現增長的部門包括可再生能源電力和氫氣生產，而其他部門可能會萎縮。部署清潔技術可能需要較高的前期成本，如熱泵和電磁爐，但這些均可以被能源效率的節約所抵消。隨著土地治理行動的增加，與自然和工作用地有關行業和部門的就業和經濟發展預計會增加，特別是林業部門（自然和工作用地備選方案 2 和 4 以及建議方案均要求大量增加）。這些行動對就業和工作的淨影響介紹見本章。

## 估計直接成本

評估方案的一個關鍵指標是直接成本，或反映行動所帶來的任何節約的淨投資。如本部分所述，類似的方法還被用於估計 AB 32 溫室氣體清單部門和自然和工作用地的直接成本。

## AB 32 溫室氣體清單部門

淘汰化石燃料需要在整個經濟中投資新的設備和基礎設施。其中涉及到發展以可再生能源生產燃料和電力的能力，而不是開採化石能源。這種轉變也需要時間。一種方法是透過在特定年份更換所有設備來消除化石燃料的燃燒。另一種方法是設定一個未來點，在這個點上，所銷售的全部新設備均依賴替代能源，並允許在一段時間內隨著設備使用壽命的結束和取代完成轉變。

為了評估截至 2045 年所需的投資，我們使用了 PATHWAYS 模型來表示設備存量以及在一段時間內向非化石燃料替代品的轉換。自 2022 年到 2045 年，每年計算超出基準情景年度成本的基礎設施年增量成本。<sup>163</sup>這些成本的計算方法是：首先計算每年的絕對成本——包括每年的新設備

<sup>163</sup>第 2 章和附件 H (AB 32 溫室氣體清單部門建模) 中描述的基準情景是直接成本比較的基礎。

投資以及能源、運營和維護支出——然後將這些成本平攤（與汽車款或房款按年分攤或按時間分攤一樣），得出年度成本。使用這種方法計算時，與能源需求變化相關的燃料節約和由此產生的成本節約——例如，從汽油到車輛用電——均包含在內。二氧化碳移除量相當於 2035 年（備選方案 1 和 2）和 2045 年（擬議方案和備選方案 4）剩餘溫室氣體排放量，表示為投資成本，其中以主要由離網太陽能驅動的直接空氣捕獲技術為代表。<sup>164,165</sup>

插圖 3-2 顯示了 2035 年和 2045 年每種備選方案的存量投資成本、燃料/效率節約和碳移除成本。備選方案 1 在 2035 年和 2045 年的存量成本都是最高的，在這種情況中，截至 2035 年所需的新零排放車輛、電動設備和其他替代品幾乎可以消除化石燃料的燃燒。隨著 2045 年的臨近，大部分此類設備開始需要更換，從而增加庫存成本。建議方案和備選方案 4 允許設備在使用壽命終結後進行轉換。在備選方案 2 中，大多數設備在使用壽命結束時被更換，其餘的中型和重型車輛在 2045 年前提前退役。因此，每年的年度化成本比較相似——短期內沒有備選方案 1 那樣的大額更換成本。投資新設備的一部分成本被效率提高和汽油等燃料需求減少所產生的節約抵消。這在交通部門尤其重要，在建議方案中，這是 2045 年大部分節約的來源，這個方案僅僅依賴車輛報廢進行更換即可實現交通的近乎完全電氣化。附件 H（AB 32 溫室氣體清單部門建模）提供了每個部門的直接成本的更多細節，並闡述了成本如何隨時間而變化。

雖然備選方案 1 透過投資新設備以取代化石燃料燃燒實現了碳中和，但備選方案 2 在 2035 年對碳移除的依賴非常大。2035 年後，隨著達到使用壽命的設備被非化石燃料替代品所取代，對碳移除的需求會減少，因此到 2045 年，備選方案 2 對碳移除的需求與建議方案和備選方案 4 的需求相似。由於碳移除對於實現各備選方案中的碳中和均至關重要，因此，必須儘快開始投資，以便進行示範、部署和積累經驗，在增加依賴程度的同時降低其成本，一直到 2045 年。將該行業的規模擴大到備選方案 2 於 2035 年所需的水準，以實現碳中和，這是一項極其宏大的工作，並且由於這些技術目前處於早期開發和實施階段，因此存在著重大不確定性。

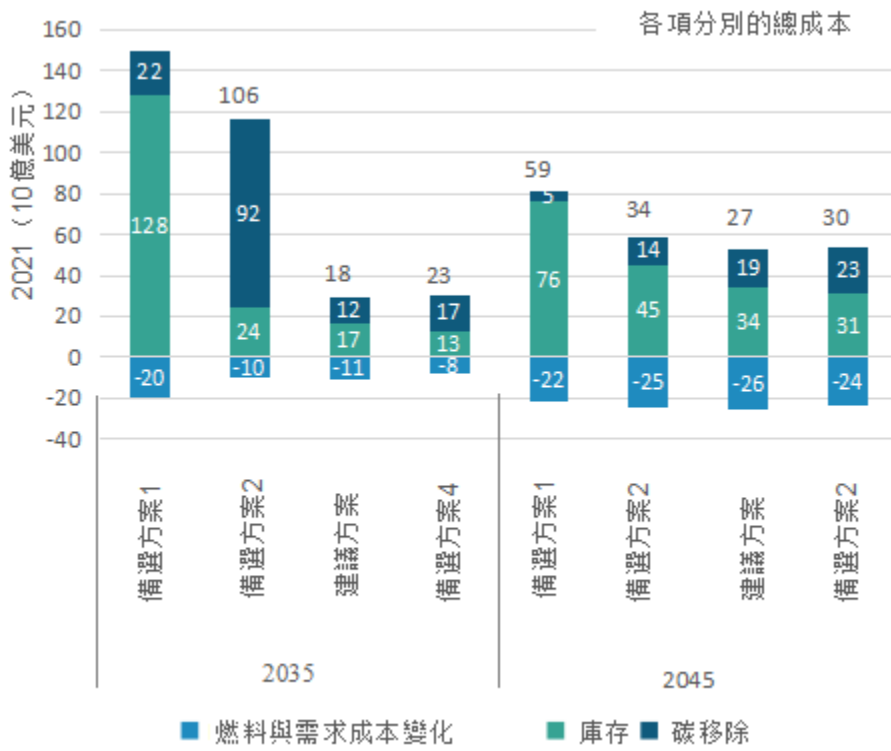
建議方案在 2035 年和 2045 年的總成本最低。該方案依賴於在設備達到使用壽命時向替代車輛和電器的轉變。該方案還會迅速增加電動汽車和電器的銷售量，因此，與備選方案 4 相比，該方案在 2045 年會更加全面地實現淘汰液體化石燃料的轉變，從而節約更多的燃料和效率。與備選方案 4 相比，建議方案對直接減排的依賴程度更大，從而減少建議方案的碳移除支出。

---

<sup>164</sup>方案模型假設，將移除每公噸二氧化碳的直接成本包括在內，利用直接空氣捕獲技術對剩餘排放進行補償。對直接空氣捕獲的能源沒有建模，但可再生電力和/或電解產生的氫氣等零碳方案均符合 2022 年《範疇計畫草案》中的碳中和目標。為了與碳中和目標保持一致，經濟分析將直接空氣捕獲的投資與太陽能產業相關聯。

<sup>165</sup>在 2022 年《範疇計畫草案》中，加州空氣資源局假設自然和工作用地可以補償 1,500 萬公噸二氧化碳當量的剩餘排放量。這一假設是在完成第 2 章所述的自然和工作用地溫室氣體分析之前做出的。

插圖 3-22：2035 年和 2045 年建議方案和備選方案相對於加州經濟增長的成本和節約（AB 32 溫室氣體清單部門）



## 自然和工作用地

對於自然和工作用地，每個管理策略的直接成本是利用現有的學術文獻、監測和報告數據、調查數據以及現有補貼計劃中關於實施管理策略的每英畝成本數據估計的。這些成本數據與方案中每種管理策略的土地面積相結合，提供了對政府或私營部門整體直接成本的估計。直接成本與用於實施行動的政策杠杆無關，不包括行動的許多重要裨益和外部因素。每個方案的直接成本假定是不變的並且一直持續到未來。避免的或次要的成本，如野火滅火費用的減少，並不包括在內。附件 I（自然和工作用地技術支援文件）提供了關於直接成本的更多資訊。

表格 3-1 含有建議方案相比於基準情景的直接成本估算。<sup>166</sup>由於每種土地類型的行動水準都很高，預計自然和工作用地領域的直接成本會很高。在自然和工作用地備選方案 1 中，森林、灌木叢和草地均不需要管理行動，因此相對於基準情景，成本較低（負數）。

<sup>166</sup>第 2 章和附件 I（自然和工作用地技術支援文件）中所述的基準情景是比較直接成本的基礎。

**表格 3-1：相對於加州經濟增長，建議方案和 NWL 備選方案的成本和節約**

措施	自然和工作用地備選方案 1： 年均直接成本 2025-2045 (百萬美元/年)	自然和工作用地備選方案 2： 年均直接成本 2025-2045 (百萬美元/年)	建議方案： 年均直接成本 2025-2045 (百萬美元/年)	自然和工作用地備選方案 4： 年均直接成本 2025-2045 (百萬美元/年)
森林/灌木叢/草地	-418	538	1,780	4,225
一年生耕地	556	416	278	139
多年生耕地	8	6	4	2
城市森林	83,000	4,562	1,050	255
森林-城鎮交界域(WUI)	114	114	114	145
濕地	53	8	28	8
植被稀疏的土地	8	6	4	2
總計	84,000	5,650	3,250	4,780

註：由於四捨五入，表格內數值相加之和可能與總數不符。

自然和工作用地備選方案 1 造價最高，預計每年成本為 840 億美元。這幾乎完全是由於在城市森林上花費的成本巨大，因為該方案旨在到 2045 年實現城市樹木覆蓋率的理論最大值。加州空氣資源局估計，本州目前每年花費約 40 億美元用於種植、維護、人行道維修、樹木移除和其他與城市森林有關的支出，而達到理論上的最大樹木覆蓋率將需要將該支出增加 20 倍。

自然和工作用地備選方案 2、建議方案和自然和工作用地備選方案 4 將分別花費 56.5 億美元、32.5 億美元和 47.8 億美元。自然和工作用地備選方案 2 的成本主要由城市林業支出構成，方案 4 的成本主要由森林、灌木叢和草地的支出構成。建議方案的成本主要是由城市森林和其他森林、灌木叢和草地支出組成。

## 經濟和就業

使用兩種不同模型估計投資於化石燃料的淘汰和我們的自然和工作用地可能會對不斷增長的加州經濟產生的整體影響。化石燃料淘汰是用 IMPLAN 來評估的。自然和工作用地投資則使用 REMI PI+ 進行評估。這些模型的性質相似，相對於相同的經濟和就業基準情景，提供的結果也類似。

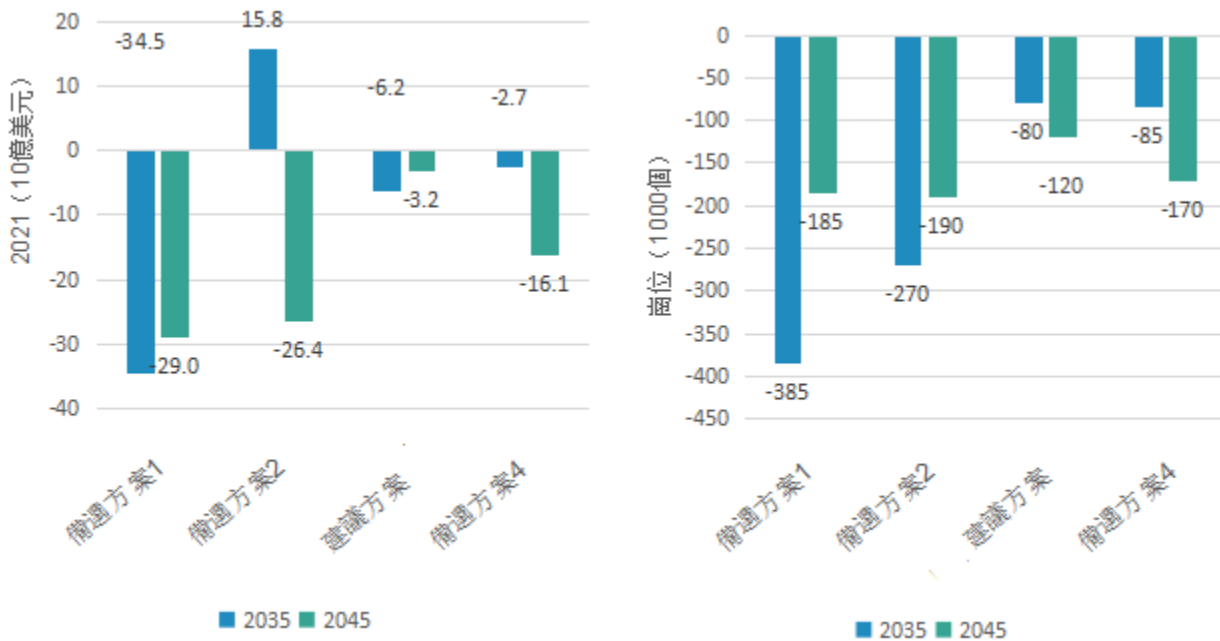
## AB 32 溫室氣體清單部門

為了估計投資於化石燃料的淘汰可能會對加州經濟產生的總體影響，加州空氣資源局使用了 IMPLAN 模型。有關該模型、假設和方法的更多細節見附件 H（AB 32 溫室氣體清單部門建模）。IMPLAN 模型是對美國經濟私營行業的多部門呈現，映射了行業、家庭和政府之間的經濟關係。該模型將淘汰化石燃料的直接成本和節約與間接效應（如工資、商品和服務的購買、商業稅收影響和供應鏈效應）進行轉換，還估測了家庭購買、本地和進口購買、所付工資和家庭稅收影響的誘導效應。對化石燃料替代品的資本投資與家庭購買之間的相互作用進行這種全面評估，揭示了加州經濟對 AB 32 溫室氣體清單四大備選方案的反應。

如插圖 3-3 所示，相對於基準情景，建議方案和三個備選方案對全州生產總值和就業的影響較小。所有方案都會使經濟增長放緩不到 1%，或比基準情景滯後約四個月。備選方案 1 對 2035 年和 2045 年的經濟增長影響最大，這與車輛和設備提前報廢所帶來的高投資成本有關。備選方案 2 在 2035 年依靠碳移除實現碳中和，對全州生產總值具有積極行銷，因為大量投資湧入加州太陽能產業。總體而言，備選方案 2 在 2045 年之前會放緩經濟增長，屆時排放量已經下降，對碳移除的需求也會減少。建議方案和備選方案 4 對 2035 年經濟增長的影響類似，但到 2045 年，備選方案 4 比建議方案更容易減緩經濟增長。

在四個方案中，就業增長均會放緩，但影響不大，相對於 2035 年和 2045 年的預測水準，就業增長放緩率至多為 1.5%。備選方案 1 的影響最大，而建議方案的影響最小。假設年增長率為 0.7%，意味著在 2045 年將新增 19.3 萬多個就業機會。備選方案 1 和 2 造成的就業損失，幾乎可以消除 2045 年的預計年度就業增長。另一方面，建議方案將促使 2045 年的年度就業增長量減少，但減少量非常低。

插圖 3-3：相對於 2035 年和 2045 年加州經濟增長，建議方案和備選方案的全州生產總值（左）和就業情況（右）（AB 32 溫室氣體清單部門）



表格 3-2 中的其他宏觀經濟指標提供了關於備選方案對加州家庭影響的見解。個人收入代表一年內支付給加州人的工資、福利和經營者收入的總值。加州的個人收入預計將從 2021 年的 2.7 萬億美元增長到 2045 年的 4.4 萬億美元。這反映了工資的變化和加州勞動力規模的變化。表格 3-2 列出了 2035 年和 2045 年各備選方案中個人收入的變化，在基準情景中表示為個人收入的百分比。2035 年和 2045 年各備選方案的個人收入增長略有放緩，變化範圍從-0.4%到 0.0%不等。不同方案之間存在差異是因為對碳移除的依賴不同，電氣化水準也不同，從而使具有不同直接、間接和誘導收入影響的部門之間出現變化。表格 3-2 還按照家庭分列，概述了建議方案和其他方案的個人收入的變化。家庭預測以加州財政部的人口預測為依據，預估加州人口從 2021 年到 2045 年將平均每年增長 0.3%。<sup>167</sup>加州家庭預計從 2020 年的 1330 萬增加到 2035 年的 1460 萬和 2045 年的 1500 萬。所有備選方案都會給加州家庭個人收入帶來損失。根據各種備選方案中的碳移除和電氣化的差異，每年的損失從 65 美元到 950 美元不等。

<sup>167</sup>加州財政局，人口預測（以 2019 年為基準），<https://dof.ca.gov/forecasting/demographics/projections/>



**表格 3-2：2035/2045 年建議方案和備選方案相對於加州經濟增長的家庭影響（AB 32 溫室氣體清單部門）**

	備選方案 1	備選方案 2	建議方案	備選方案 4
個人收入 (%)	-0.4/-0.2	0.0/-0.2	-0.1/0.0	-0.1/-0.2
家庭個人收入變化 (2021 美元)	-950/-537	-65/-622	-187/-76	-153/-462
注：基準情景個人收入在 2035 年為 3,600 萬億美元，2045 年為 4,400 萬億美元。				

### 自然和工作用地

在 REMI PI+模型中，分別評估了自然和工作用地備選方案的宏觀經濟影響。對於每個備選方案，宏觀經濟影響建模的假設條件是，相關行業的經濟活動的增長與該行業的擬議實施支出成比例。實施行動的所有資金均被假定來自於州內。對於城市森林，假定資金來自於州政府和私人業主的組合，與目前估計的私人/公共支出成比例。對於所有其他行動，假定資金來自於州政府。在每個方案模型中，政府支出和產權人收入相對於基準情景而言，按年度實施成本的比例減少。擬議支出來自於增加的稅收，未進行建模。關於宏觀經濟影響的評估方法的更多細節，見附件 1（自然和工作用地技術支援文件）。

雖然宏觀經濟模型的確將受影響行業中增加的經濟活動計入了全州生產總值，但並沒有量化在未實施這些行動的情況下會產生的許多重要經濟、健康和環境裨益。雖然這些裨益——如減少殺蟲劑的使用、城市樹木的價值以及休閒機會增加——具有重要意義，但並不屬於宏觀經濟模型的範疇。

表格 3-3 顯示，對宏觀經濟影響最大的是自然和工作用地備選方案 1，相對於 2045 年的基準情景，預計全州生產總值水準增加 1%。由於城市森林成本較高，預計自然和工作用地備選方案 1 會導致人均個人收入水準下降 3.1%。自然和工作用地備選方案 1 會促使加州人口增加，從而滿足長期的勞動力需求，因此，雖然個人總收入增加，但人均個人收入減少。除了自然和工作用地備選方案 1 之外，對本州宏觀經濟的影響預計不大，到 2045 年，自然和工作用地備選方案 1、自然和工作用地備選方案 2 和建議方案的全州生產總值變化不超過 0.03%。

宏觀經濟模型還對本州的總體就業水準進行了預測。同樣，影響最大的是自然和工作用地備選方案 1，預計總體就業水準將提高 3.3%。模型預測，自然和工作用地備選方案 1 和 2（將經濟活動引向城市森林綠化等勞動密集型產業）將增加總體就業，而建議方案與自然和工作用地備選方案

4（將經濟活動引向林業等資本密集型產業）將導致總體就業輕微下降。雖然該模型的目的是準確呈現各種勞動力市場動態，包括工資和遷移率的調整，但並沒有考慮到某一行業就業規模急劇擴大可能涉及的成本，如就業培訓成本。

**表格 3-3：2035/2045 年建議方案和備選方案相對加州的全州生產總值和就業情況（NWL）**

	自然和工作用地備選方案 1 (%)	自然和工作用地備選方案 2 (%)	建議方案 (%)	自然和工作用地備選方案 4 (%)
全州生產總值	0.98 / 0.91	0.04 / 0.01	-0.01 / -0.04	-0.03 / -0.03
就業	3.67 / 3.31	0.18 / 0.12	0.01 / -0.01	-0.07 / -0.07
個人收入	0.06 / 0.41	-0.02 / 0.00	-0.04 / -0.03	-0.09 / -0.08
人均收入	-3.24 / -3.08	-0.18 / -0.14	-0.04 / -0.03	-0.02 / -0.01

## 健康分析

能源系統各種制程的污染物排放影響著空氣品質，包括化石燃料燃燒以及野火期間自然和工作用地植被生物質的燃燒。導致加州空氣品質下降的重要污染物包括氮氧化物（NO<sub>x</sub>）、顆粒物（PM）、反應性有機氣體（ROG）等。此外，在大氣層中，這些污染物被風和其他現象帶離排放地點，併發生化學反應，導致形成新的污染物，如地面臭氧和細粒狀物（PM<sub>2.5</sub>）。從公共健康的角度來看，一次（排放）和二次（形成）污染物都具有重大影響，會導致加州人口發生與空氣污染有關的死亡和疾病。以溫室氣體為重點的措施並沒有納入減少細粒狀物或苯等空氣毒物排放量的具體目標。這些共同污染物是由許多與溫室氣體相同的污染源排放的，它們會影響當地的空氣品質並對公共健康構成已知風險，如哮喘和心血管疾病風險。一般而言，對於固定污染源，某些有害污染物是透過當地規則和條例進行監管的，這些規則和條例載於固定污染源許可證中，並由當地空氣質量管理局負責執行，加州空氣資源局也與空氣質量管理局一同監管固定污染源的空氣毒性污染物。<sup>168</sup>

## AB 32 溫室氣體清單部門

為了評估 AB 32 溫室氣體清單部門的健康影響，採用了一種綜合建模方法來量化和評估四個備選方案相對於基準情景的空氣污染相關公共健康裨益。有關模型、假設和方法的更多細節見附件 H（AB 32 溫室氣體清單部門建模）。利用 PATHWAYS 模型的輸出，以及詳細的基準年加州空

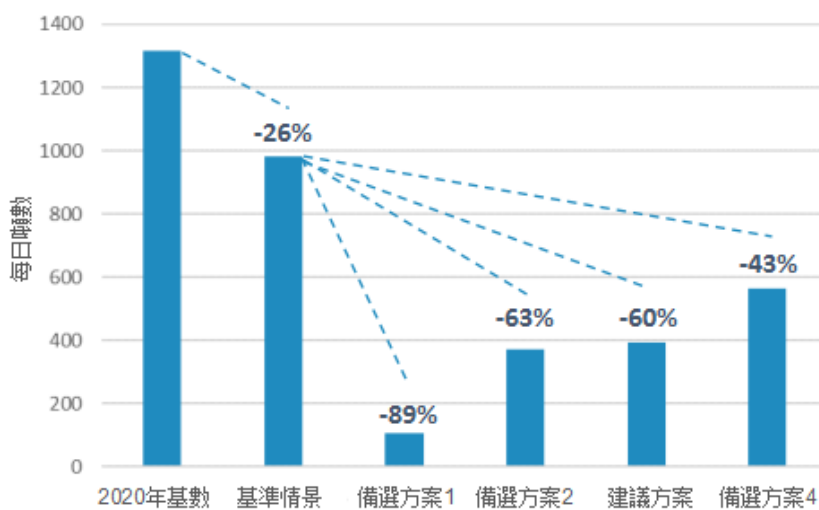
<sup>168</sup>環境健康危害評估辦公室，2022。溫室氣體排放限額在弱勢社區內的影響：推動減少不公平，<https://oehha.ca.gov/media/downloads/environmental-justice//impactsofghgpoliciesreport020322.pdf>

氣資源局污染物排放清單，對截至 2045 年的固定源、區域污染源和移動源排放進行了污染物排放預測。此外，使用稀疏矩陣算子內核排放（SMOKE）模型對排放進行處理，包括在加州的發生地點和時間。例如，道路車輛排放沿公路沿線分配、煉油排放分配至現有煉油廠位置。應注意的是，排放預測代表的是與替代燃料和技術的高層次假設相關的全州平均減排量。例如，煉油廠生產液體燃料所產生的排放根據石油需求而減少。這種減少同樣適用於每個備選方案中的所有煉油廠，並沒有具體說明個別設施對需求變化的反應。同樣，這些備選方案也沒有具體說明哪些煉油廠轉向生物燃料生產，或在哪裡建造新的發電設施。

接下來，透過先進的光化學空氣品質模型——考慮了大氣化學和輸送的社區多尺度空氣品質（CMAQ）模型，將排放變化轉化為對大氣污染水準的影響，包括地面臭氧和細粒狀物。選擇 7 月和 1 月進行評估，因為這兩個月的狀況造成的臭氧和細粒狀物濃度通常是最高的，並且可以比較備選方案可能實現的最大空氣品質影響。健康裨益是使用國家環境保護局的 BenMAP 模型來估計的，該模型將污染物的變化轉化為已避免的死亡率、入院率、急診室就診率以及因減少臭氧和細粒狀物接觸而產生的其他結果。這些結果與已避免成本相關聯，然後匯總每個備選方案的健康影響，並在各備選方案之間進行比較。

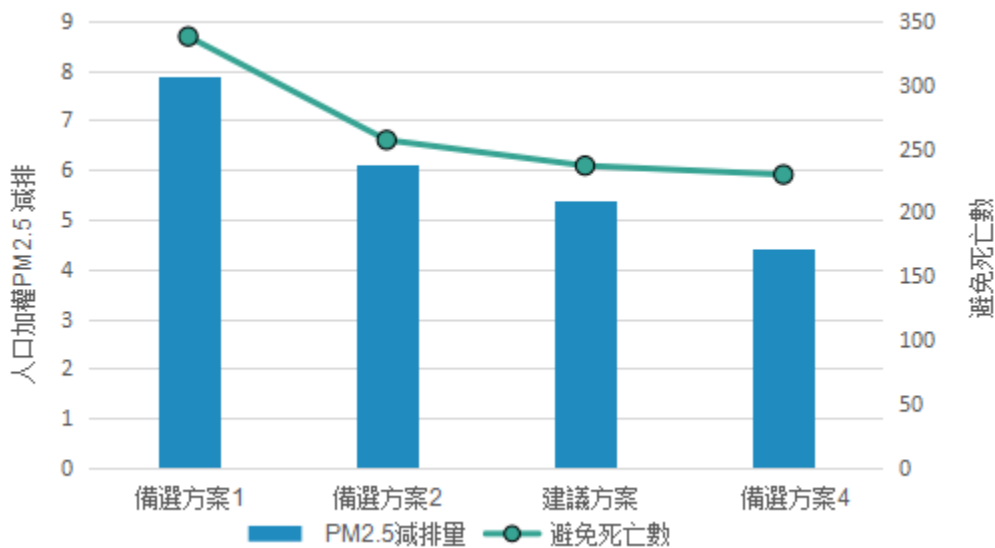
如插圖 3-4 所示，相對於基準情景，四個方案均顯示污染物排放量大幅減少，包括氮氧化物、細粒狀物和反應性有機氣體。即使在一切如常軌跡下，基準情景 2045 年排放量也比目前減少 26%，顯示了能源部門當前法規和趨勢的影響。備選方案在基準情景的基礎上進一步減少了氮氧化物的排放，從備選方案 1 的近 90%到備選方案 4 的 40%以上。整個州的排放量均有減少，城市地區尤其明顯，包括南海岸空氣品質區，因為這裏活躍著大量排放源。附件 H（AB 32 溫室氣體清單部門建模）提供了有關污染物排放建模和結果的更多資訊。

**插圖 3-4：2045 年基準情景、建議方案和備選方案的氮氧化物減排量說明（AB 32 溫室氣體清單部門）**



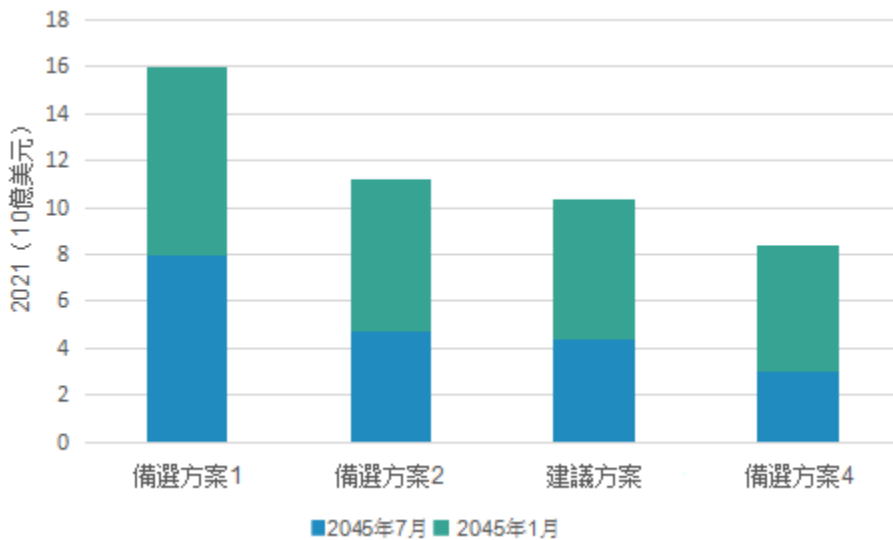
四個備選方案的減排量均實現了整個加州空氣品質的極大改善，包括減少臭氧和細粒狀物水準。例如，插圖 3-5 顯示了 2045 年 1 月細粒狀物的人口加權減少量，以及因細粒狀物暴露減少而避免的過早死亡事件。請注意，單月的情景分析為比較備選方案提供了一種有效方法，但它並不能全面說明跨越全年的空氣品質和健康裨益。附件 H（AB 32 溫室氣體清單部門建模）提供了有關大氣建模和結果的細節，包括臭氧和細粒狀物的差異。

**插圖 3-5：2045 年 1 月人口加權細粒狀物的減少量和已避免的過早死亡事件（AB 32 溫室氣體清單部門）。**



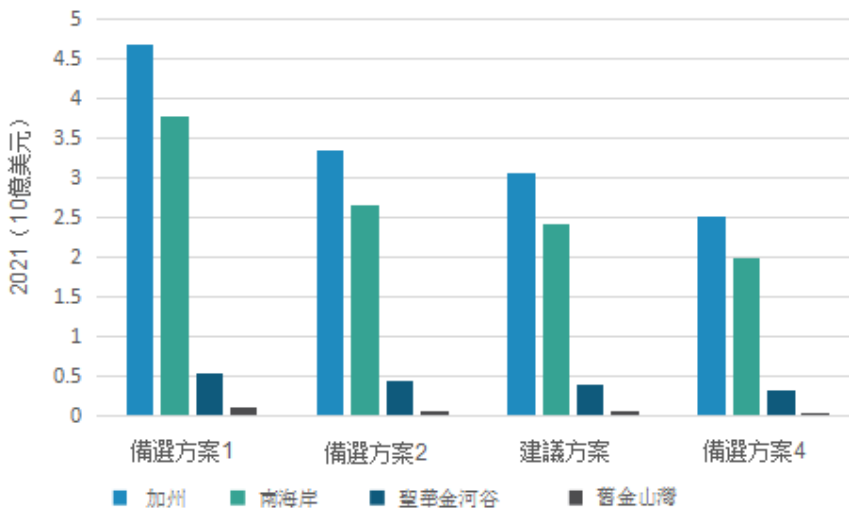
顯著的健康裨益代表已避免的健康影響的經濟價值，與四個備選方案均有關聯。這些裨益通常隨著每個方案中剩餘的燃燒水準而增加。如插圖 3-6 所示，從 7 月到 2045 年 1 月，四個方案的綜合裨益從方案 4 的 83 億美元到方案 1 的 159 億美元不等。由於幾乎消除了燃燒排放，備選方案 1 的裨益最高。備選方案 2 在 2045 年的裨益與建議方案類似。備選方案 4 在四個備選方案中獲得的健康裨益最低，但總體而言，裨益依然非常高。由於細粒狀物濃度大幅降低，1 月份的改善程度更大。雖然這些結果有助於方案比較，但必須注意的是，這裏顯示的裨益僅代表 2045 年兩個月的裨益，而四個方案的綜合裨益將遠遠大於總數。有關健康影響評估的其他細節見附件 H（AB 32 溫室氣體清單部門建模）。

插圖 3-6：相對於基準情景，建議方案和備選方案在 2045 年 7 月和 1 月的總健康裨益（AB 32 溫室氣體清單部門）



此外，這些裨益是在環境健康篩查工具（CES）確定的社會和經濟弱勢社區內產生的，這些社區正是最需要這些裨益的地方。如插圖 3-7 所示，在環境健康篩查工具 4.0 確定為弱勢社區的人口普查區內，7 月和 1 月總健康裨益為 25 億至 47 億美元。南加州空氣品質區（SoCAB）的社區由於先前存在的空氣品質挑戰、重要排放源和活動以及大量密集人口而受益更大。再次請注意，這裏報告的健康裨益僅僅代表四個備選方案將為弱勢社區帶來的總裨益的一小部分。關於弱勢社區健康裨益的更多資訊，見附件 H（AB 32 溫室氣體清單部門模型）。

插圖 3-7：相對於基準情景，建議方案和備選方案於 2045 年 7 月和 1 月為弱勢社區帶來的健康裨益（AB 32 溫室氣體清單部門）

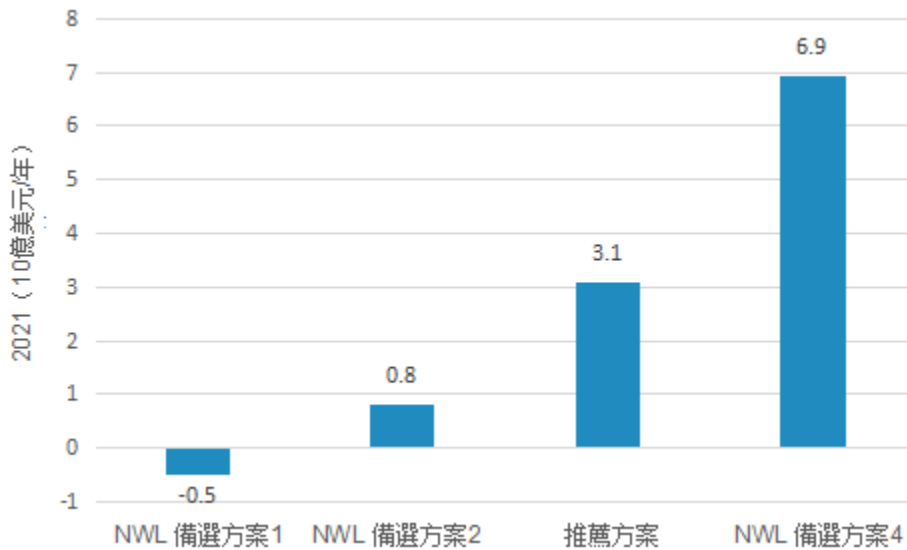




## 自然和工作用地（NWL）

對於自然和工作用地而言，健康裨益是基於森林、灌木叢和草地的細粒狀物野火排放預測進行評估的，相關討論見下一章的 AB197 措施分析部分。建議方案和附件 I（自然和工作用地技術支援文件）備選方案的健康端點是插圖 3-8 所示的預估健康裨益的基礎。健康裨益相關資訊來自於加州大學洛杉磯分校（UCLA）的初步研究，該研究對 2008-2018 年加州野火的年度健康影響和相關成本進行了預估。更多細節見附件 I（自然和工作用地技術支援文件）。這些成本被用於本章 AB 197 措施分析部分就插圖 3-8 中的各備選方案論述的健康端點。

插圖 3-8：相對於基準情景，建議方案和備選方案的年平均健康裨益總計（NWL）



由於本文分析的健康影響是由野火排放驅動的，備選方案的健康裨益與每個備選方案中包含的森林、灌木叢和草地治理行動的數量直接相關。這些治理行動減少了植被燃料，因此也減少了野火活動。自然和工作用地備選方案 1 沒有任何森林、灌木叢和草地治理行動，導致健康成本高於基準情景，因為野火排放的增加，意味著與排放相關的健康影響發生率更高。建議方案以及自然和工作用地備選方案 2 和 4 增加了治理強度，可減少野火排放，避免發生與排放相關的健康影響。隨著治理實施率的提高，健康裨益或已避免的健康影響的經濟價值也會相應增加。自然和工作用地備選方案 4 涉及 500-550 萬英畝的森林、灌木叢和草地治理，健康裨益最高。更多細節見附件 I（自然和工作用地技術支援文件）。

估測的健康裨益不包括野火對傷害、死亡或精神健康的直接影響，也不包括野火造成的生態系統裨益損失的間接成本。野火可能會增加直接健康成本，而為了減少野火活動會實施更多的森林、灌木叢和草地治理，從而增加健康裨益。儘管如此，建議方案下的保守健康裨益幾乎可以抵消建議方案中確定的所有自然和工作用地行動的直接實施成本（見表格 3-3）。



## AB 197 措施分析

本部分為本 2022 年《範疇計畫草案》中評估的措施提供所需的 AB 197（E. Garcia，《2016 年法規》第 250 章）估算。<sup>169</sup>這些估算提供了所評估的措施相互比較下的相對影響的資訊。為了協助設計一套能夠減少溫室氣體、提高空氣品質的政策，以及具有成本效益的措施，必須瞭解一項措施是否會增加或減少標準污染物或有毒空氣污染物的排放，或者以更多成本提高嚴格程度是否會少量增加溫室氣體減排量。為此，AB 197 要求在任何範疇計畫更新中，對每項潛在減排措施的以下方面進行評估：

- 該措施實現的預計溫室氣體減排幅度
- 該措施實現的預計標準污染物減排幅度
- 該措施的成本效益，包括所避免的社會成本

下文描述了對 AB 32 溫室氣體清單部門和自然和工作用地備選方案的各項措施的評估。

制定的四個備選方案旨在擺脫對化石燃料的能源需求並最遲於 2045 年實現碳中和。每個備選方案均包含相同的七項關鍵措施，以實現溫室氣體減排；但是，各備選方案淘汰化石燃料的速度和幅度各不相同。附件 C（AB 197 措施分析）總結了與四個備選方案中的每項措施相關的建模假設。本章介紹了建議方案各項措施的估計減排量、健康端點和成本，附件 C（AB 197 措施分析）提供了備選方案 1、2 和 4 的相應估計資訊。

透過使用 PATHWAYS 模型檢查與該措施有關的燃料燃燒、成本和排放量的變化，對每項措施進行獨立評估。建議方案與基準情景之間的差異按每項措施分別估計。從建議方案或備選方案開始，單項措施的建模假設將轉換為基準情景的數值，從而得出溫室氣體減排量、燃料燃燒變化和成本（或節約）。這種方法並不反映 PATHWAYS 各部門之間的相互作用，而這種相互作用影響前述各完整備選方案的結果。因此，不應將獨立措施的相關數值相加來獲取整體方案估計值。

為了達到 2045 年自然和工作用地目標，加州空氣資源局將氣候智慧型土地治理戰略（在整個地貌中用於操縱生態系統的一系列實地行動或處理）在各種氣候變遷備選方案下對生態系統碳的影響以及這些行動可能增加的協同效益進行了建模。我們制定了四個備選方案，探索自然和工作用地如何促進 2045 年及以後的碳中和。每個備選方案均包含一套針對每種土地類型的不同實施規模的土地治理行動，以實現溫室氣體減排。每種土地類型及其相關治理行動作為一項措施，然後進行該分析。為了對單個地貌和治理行動進行建模，加州空氣資源局採用了一套模型。這些模型的複雜性因土地類型不同而異，具體取決於現有的科學、數據以及現有模型是否可用。附件 I（自然和工作用地技術支援檔）提供了每個自然和工作用地類型的詳細建模假設。本章介紹了在建

---

<sup>169</sup>AB 197 要求對「措施」進行評估。本 2022 年《範疇計畫草案》將每項行動及其嚴格程度的變體作為本章的措施。附件 C（AB 197 措施分析）列出了每個備選方案和建議方案的措施和相應的建模假設。

議方案的每項措施下每個自然和工作用地類型的估計減排量、健康端點和成本，自然和工作用地備選方案 1、2 和 4 的相應估計值見附件 C（AB 197 措施分析）。

## 估計減排量

按照 AB 32 溫室氣體清單部門和自然和工作用地，對溫室氣體減排量和標準空氣污染物排放量進行了評估。方法和結果說明見本部分。

### AB 32 溫室氣體清單部門

AB 32 溫室氣體清單部門在沒有 PATHWAYS 的標準污染物估計值直接建模結果的情況下，加州空氣資源局透過使用 PATHWAYS 的燃料燃燒變化（以艾焦（EJ）為單位）和排放因數（以公噸/EJ 為單位）來估計標準污染物的排放影響（以公噸/年為單位）。其中使用了每個部門的各種來源的排放因數，包括但不限於加州空氣資源局移動源排放模型、美國國家環境保護局<sup>170</sup>AP42 排放因數<sup>171</sup>以及南海岸空氣質量管理局（AQMD）的地區規則。<sup>172</sup>按照具體燃料類型、部門、設備類型和制程（如適用），將這些排放因數用於估算燃料燃燒變化。另外還估算了三種標準污染物的全州年平均排放量：氮氧化物、細粒狀物和反應性有機氣體。

表格 3-4 提供了 2035 年和 2045 年建議方案中各項措施的估計溫室氣體和標準污染物減排量。其他備選方案見附件 C（AB 197 措施分析）。根據下文的估計，這些措施預計會帶來空氣品質裨益。本章和附件 C（AB 197 措施分析）中提供的估計值適合用於比較在制定 2022 年《範疇計畫草案》時所考慮的各備選方案，但這些並不是精確的估計。

**表格 3-4：2035/2045 年建議方案相對於基準情景的溫室氣體和標準污染物減排量的估計值**

措施	溫室氣體減少量（百萬公噸二氧化碳）	氮氧化物減少量（短噸/年）	細粒狀物減少量（短噸/年）	反應性有機氣體減少量（短噸/年）
部署零排放車輛，減少駕駛需求	-42 / -78	-49,458 / -119,882	-1,873 / -6,535	-16,576 / -29,246

<sup>170</sup>加州空氣資源局，移動源排放清單—建模工具，<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/mobile-source-emissions-inventory/msei-modeling-tools>

<sup>171</sup>美國國家環境保護局 AP-42：空氣排放係數彙編，<https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors>

<sup>172</sup>南海岸空氣質量管理局，南海岸空氣質量管理局規則手冊，<https://www.aqmd.gov/home/rules-compliance/rules/scaqmd-rule-book>

協調液體化石燃料的供應與加州不斷下降的燃料需求	-26 / -32	-1,502 / -2,852	-617 / -1,504	-653 / -1,338
清潔發電	不適用 <sup>a</sup> / -6	-116 / -534	-95 / -440	-30 / -140
工業能源供應去碳化	-7 / -16	-15,981 / -30,588	-848 / -2,234	-3,102 / -5,840
建築去碳化	-14 / -29	-7,424 / -94,200	-686 / -6,903	-1,007 / -8,100
減少非燃燒類排放 <sup>b</sup>	-0.40 / -0.52 (百萬公噸 甲烷)	不適用	不適用	不適用
抵補殘餘排放	-17 / -80	不適用	不適用	不適用
<p><sup>a</sup> 在 2035 年之前，SB100 實現的溫室氣體減排量不會超過基準情景。</p> <p><sup>b</sup> 已報告該措施實現的甲烷減排量。</p>				

與減少非燃燒類排放和補償剩餘排放有關的措施不包括改變燃料燃燒，因此與空氣污染物的變化沒有關係。減少化石氣燃燒的措施也涉及到生物甲烷燃燒，如工業能源供應和建築去碳化。

## 自然和工作用地

隨著時間的推移，自然和工作用地生態系統在作為碳源和碳匯之間自然變化。這套模型預測的截至本世紀中葉自然和工作用地生態系統的碳儲量變化被用來估計相對於基準情景而言的淨排放量或減排量。這些碳儲量的變化受以下因素影響：預測的氣候變遷；各種方案下的治理行動實施情況；土地改造；以及森林、灌木叢、草地和野火。對每種自然和工作用地類型都進行了評估，表格 3-5 列出了所有自然和工作用地的概況。每個自然和工作用地類型的更詳細結果可參閱附件 C（AB 197 措施分析）。

**表格 3-5：2025-2045 年建議方案相對於基準情景年均溫室氣體和標準污染物減排量的估計值**

措施	溫室氣體減少量（百萬公噸二氧化碳當量/年）	細粒狀物減少量（公噸/年）
森林/灌木叢/草地	0.12	17,500
一年生耕地	0.23	不適用
多年生耕地	0.01	不適用
城市森林	0.52	不適用
森林-城鎮交界域（WUI）	-0.75	不適用
濕地	0.43	不適用
植被稀疏的土地	<0.01	不適用

僅對森林、灌木叢和草地的細粒狀物野火排放進行了評估。與基準情景相比，建議方案中的野火排放有所下降。建議方案降低樹木或灌木的密度、保護大樹、將火重新引入地貌並且使物種和結構多樣化，治理行動水準較高，因而野火減排量更高。

### 估計的健康端點

緩解氣候變遷可帶來環境和健康效益。本部分提供有關建議方案的潛在健康裨益的資訊。健康裨益主要源自於固定源和移動源細粒狀物污染的減少，以及森林、灌木叢和灌木叢野火的減少。

### AB 32 溫室氣體清單部門

加州空氣資源局使用表格 3-4 中的標準污染物排放來瞭解潛在的健康影響。與空氣品質估算類似，該資訊應用於瞭解各種措施的相對健康裨益，而不應視為健康結果的絕對估算。加州空氣資源局使用每公噸發病率（IPT）方法來量化減排的健康裨益。每公噸發病率方法是基於美國國家環境保護局制定的。根據每公噸發病率方法，排放量的變化與由此產生的健康結果的變化大致成正

比。<sup>173</sup>、<sup>174</sup>、<sup>175</sup>、<sup>176</sup>每公噸發病率係數計算方式為：使用測得的環境濃度計算與基準方案細粒狀物暴露相關的健康結果的數量，然後除以細粒狀物或前體的排放量。為了估計健康結果的減少情況，減排量須乘以每公噸發病率係數。未來幾年，須考慮人口增長，調整結果的數量。每公噸發病率係數是針對兩種類型的細粒狀物計算的：原生性細粒狀物和由前體形成的硝酸銨氣溶膠的衍生性細粒狀物。

在本 AB197 分析中，加州空氣資源局計算了與五項關鍵措施相關的健康裨益，表示為燃料燃燒變化。與建議方案的減排量相關的健康裨益按各具體空氣品質區進行估計，然後對整個幾周進行匯總。加州空氣資源局假定全州減排量在空氣品質區的分佈與該空氣品質區的基準排放成正比。

所計算的健康端點包括過早死亡、心血管急診科（ED）就診次數、急性心肌梗死、呼吸系統急診科就診次數、肺癌發病率、哮喘發病率、哮喘症狀、誤工天數、心肺疾病住院、呼吸系統疾病住院、阿爾茨海默病住院和帕金森病住院。這些健康端點採用每公噸發病率方法計算，用於估計減排量。<sup>177</sup>、<sup>178</sup>、<sup>179</sup>表格 3-6 比較了建議方案的每項措施在指定年份（2035 年或 2045 年）實現的減排的健康裨益。其他備選方案見附件 C（AB 197 措施分析）。

---

<sup>173</sup>加州空氣資源局，加州空氣資源局估計空氣污染的健康影響的方法，2021 年 2 月 9 日檢索，

<https://ww2.arb.ca.gov/resources/documents/carbs-methodology-estimating-health-effects-air-pollution>

<sup>174</sup>Fann, N.、C. M. Fulcher 和 B. J. Hubbell. 2019, 「在估算每減少一公噸空氣污染可獲得的人類健康裨益時，地點、來源和排放類型的影響」*空氣品質、大氣和健康*, 2:169–176.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2770129/>

<sup>175</sup>Fann, N.、K. R. Baker 和 C. M. Fulcher. 2012, 「與美國 17 個工業、區域和移動排放領域的細粒狀物減排相關的健康裨益定性」*國際環境*, 49:141–51, 11 月 15 日,

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412012001985>

<sup>176</sup>Fann, N.、K. Baker、E. Chan、A. Eyth、A. Macpherson、E. Miller 和 J. Snyder, 2018, 「評估 2025 年美國石油和天然氣行業排放對人類健康的細粒狀物和臭氧影響」*環境科學與技術*, 52 (15), 8095–8103.

<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.8b02050>

<sup>177</sup>加州空氣資源局，加州空氣資源局估計空氣污染的健康影響的方法，2021 年 2 月 9 日檢索，

<https://ww2.arb.ca.gov/resources/documents/carbs-methodology-estimating-health-effects-air-pollution>

<sup>178</sup>加州空氣資源局，2022，加州空氣資源局健康裨益方法健康端點更新，[2021-2024 年三年期擬議戰略研究計畫和 2021-2022 財政年度擬議研究](#)。

<sup>179</sup>心肺死亡率、心肺疾病住院率和呼吸系統疾病住院率等端點採用加州空氣資源局方法文件中記錄的研究。對於未來的評估，加州空氣資源局將使用更多的最新研究來估計心血管疾病住院率和呼吸道疾病住院率，具體見加州空氣資源局健康端點備忘錄更新版中的記錄。

表格 3-6：相對於基準情景，建議方案避免的死亡率、心血管和呼吸系統疾病發病率、誤工天數和入院人數的估計

措施	死亡率	心血管病急診科就診次數	急性心肌梗死	呼吸系統急診科就診次數	肺癌發病率	哮喘發病率	哮喘症狀	誤工天數	入院人數，心血管疾病	入院人數，呼吸系統	入院人數，阿爾茨海默氏病	入院人數，帕金森病
<b>2035</b> 年部署零排放車輛並減少駕駛需求	600	160	65	380	45	1,400	122,460	87,870	95	110	235	40
<b>2045</b> 年部署零排放車輛並減少駕駛需求	1,800	470	195	1,100	130	3,945	338,845	252,630	290	345	735	125
協調 <b>2035</b> 年液體化石燃料的供應與加州不斷下降的燃料需求	75	20	10	50	5	185	15,655	11,230	10	15	30	5
協調 <b>2045</b> 年液體化石燃料的供應與加州不斷下降的燃料需求	195	50	20	120	15	440	36,825	27,435	30	35	85	15
<b>2035</b> 年清潔發電	10	5	-	5	-	25	2,225	1,595	-	-	5	-



<b>2045 年清潔發電</b>	55	15	5	35	5	125	10,265	7,650	10	10	25	5
<b>2035 年工業能源供應 去碳化</b>	220	60	25	140	15	515	44,740	32,100	35	40	85	15
<b>2045 年工業能源供應 去碳化</b>	525	135	55	320	40	1,150	98,550	73,465	85	100	215	35
<b>2035 年建築去碳化</b>	135	35	15	85	10	310	27,010	19,380	20	25	55	10
<b>2045 年建築去碳化</b>	1,610	420	175	985	120	3,555	303,960	226,595	260	310	665	115
注：所有數值四捨五入到 0 或 5。												

與減少非燃燒類排放和補償剩餘排放有關的措施不包括改變燃料燃燒，因此與空氣污染物或健康端點的變化沒有關係。減少化石氣燃燒的措施也涉及到生物甲烷燃燒，如工業能源供應和建築去碳化。

儘管所提出的健康結果是基於一種成熟方法估計的，但仍存在著不確定性。例如，隨著對未來預測的深入，未來人口估計值的不確定性會越來越多，基準發病率也會逐年變化。另外，污染物濃度的變化和污染物或前體排放的變化之間的關係被假定是近似的。

此外，排放量是在空氣品質區層面報告的，沒有反映當地的變化。這些估計值也沒有考慮全球氣候變遷的影響，如溫度上升，而且所依據的僅有本《範疇計畫草案》中的方案。

每項 AB 197 措施的燃料變化是根據每項措施相比於 2035 年和 2045 年基準情景的影響來估計的。因此，匯總每項措施的影響會高估建議方案的影響，因為每項措施的實施會影響其他措施的效益水準。對各項措施的逐一分析使用了與前面提供的完整備選方案的健康分析不同的方法來計算健康端點。

## 自然和工作用地

實施自然和工作用地治理戰略，以緩解和適應氣候變遷，可帶來環境和健康裨益。本部分提供了關於建議方案所評估措施的潛在健康裨益的資訊。在該分析中，健康裨益的估計主要集中於森林、灌木叢和草地野火排放造成的細粒狀物的增加或減少。建議方案中的自然和工作用地治理行動產生的其他健康裨益在此沒有量化，但對所有加州人而言同樣重要。其中包括但不限於：在轉向有機農業系統時，減少對合成殺蟲劑的接觸；隨著城市森林覆蓋率增加，改善樹蔭可用性和心理健康；在具有復原力的健康環境中休閒，可改善心理健康；以及防止洪水和海平面上升。這些例子並非詳盡無遺，因為我們的自然和工作用地為所有人提供了巨大的健康裨益。

在本分析中，加州空氣資源局使用表格 3-5 中的細粒狀物排放量來瞭解潛在的健康影響。該資訊應用於瞭解各種措施的相對健康端點，而非作為 2022 年《範疇計畫草案》在全州或特定社區內對健康結果的絕對估計。與 AB 32 溫室氣體清單部門分析類似，採用每公噸發病率方法計算健康端點。加州空氣資源局計算了與每個備選方案下對森林、灌木叢和草地實施治理戰略所帶來的野火排放變化相關的年度健康端點。建議方案中與減排相關的年度健康端點是針對整個州進行估計的。所計算的健康端點包括排放導致的死亡率、住院率和哮喘急診次數；慢性阻塞性肺病住院率；以及呼吸系統和心血管疾病急診次數。表格 3-7 比較了 2025-2045 年期間與建議方案相關的野火減排的年平均健康端點。其他備選方案見附件 C（AB 197 措施分析）。

表格 3-7：相對基準情景，建議方案下與森林、灌木叢和草地野火排放相關的已避免年平均入院率、急診次數和死亡率估計值

森林、灌木叢和草地野火排放健康端點	平均每年避免的發生次數
哮喘入院人數	16
無哮喘的慢性阻塞性肺病入院人數	14
因各種呼吸系統疾病而入院的人數	47
哮喘導致的急診就診次數	115
各種呼吸系統疾病的急診就診次數	311
各種心血管疾病的急診就診次數	116
全因死亡人數	292

## 估計社會成本

社會成本通常是指對人、環境或社會採取一項行動所產生的成本，廣泛用於瞭解監管行動的影響。溫室氣體社會成本（SC-GHG）這種工具是對未來幾年與溫室氣體排放相關的成本現值的估計。它結合了氣候科學和經濟學，有助於理解溫室氣體減排的裨益。本文介紹的兩種溫室氣體社會成本，即碳社會成本（SC-CO<sub>2</sub>）和甲烷社會成本（SC-CH<sub>4</sub>）的估計值，估算的是在特定年份大氣新增的溫室氣體對社會造成的淨危害的價值；它們並不代表為減少溫室氣體排放而採取的行動的成本（稱為減排成本），也不代表溫室氣體減排成本。原則上，溫室氣體社會成本包括氣候變遷影響的價值，包括但不限於淨農業生產力的變化、人類健康影響、洪水風險和其他自然災害增加造成的財產損失、能源系統破壞、衝突風險、環境遷移和生態系統服務的價值。它反映了每減少一公噸相關氣體的排放所產生的社會價值。<sup>180</sup>現今溫室氣體排放造成的許多損害將影響未來幾個世紀的經濟成果。

2008 年，聯邦機構開始將碳社會成本估計值納入其監管行動的分析中。美國國家環境保護局使用各種模型和貼現率來確定未來影響的價值。一般而言，這些模型首先假設預測一

<sup>180</sup>美國政府，溫室氣體社會成本機構間工作組，2021 年 2 月，技術支援文件：碳、甲烷和一氧化二氮的社會成本——根據第 13990 號《行政令》作出的臨時估計，[https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/02/TechnicalSupportDocument\\_SocialCostofCarbonMethaneNitrousOxide.pdf](https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/02/TechnicalSupportDocument_SocialCostofCarbonMethaneNitrousOxide.pdf)

段時間內的經濟活動，同時預測溫室氣體排放。將模型中的排放量輸入到全球氣候系統模型中，然後轉化為對地表溫度、海平面上升和其他影響的估計值。然後將這些輸出用於估計未來某年排放的每公噸溫室氣體的經濟損失。由於這些模型計算的是未來損失的現值，因此運用了一個折現率。例如，2045 年的碳社會成本代表 2045 年釋放的二氧化碳折算到今天的氣候變遷損失價值。現值受所使用的貼現率的影響非常大；貼現率越高，現值越低。例如，以 2021 年的美元並按照 5% 的貼現率計算，2045 年的碳社會成本為 31 美元，以 3% 的貼現率計算，為 88 美元，以 2.5% 的貼現率計算，為 122 美元。更多細節見附件 C（AB 197 措施分析）。

2017 年《範疇計畫》採用了經濟顧問委員會以及管理和預算辦公室召集的溫室氣體社會成本機構間工作組（機構間工作組）制定的奧巴馬政府時代的碳社會成本和甲烷社會成本數值，以考慮減少溫室氣體排放行動的社會成本。<sup>181</sup> 特朗普政府撤銷了這些數值並進行了重大修改，之後拜登政府又於 2021 年 2 月恢復了這些數值。<sup>182</sup> 該恢復被視為一項臨時措施，拜登政府還重新召集了機構間工作組，以繼續評估並納入最新的氣候科學和經濟研究，同時對國家學院 2017 年的建議作出回應，因為國家學院對估計值進行了更加全面的修訂。

值得注意的是，用於產生溫室氣體社會成本估計值的模型並不包括氣候文獻中認可的氣候變遷的各種重大物理、生態和經濟影響。社會成本增加，包括與共同污染物的變化有關的成本，以及因模型和數據限制而無法納入的成本。機構間工作組指出，溫室氣體社會成本的臨時估計範疇可能低估了溫室氣體排放的社會損失。<sup>183</sup> 修訂後的估計值原定於 2022 年初發佈，但目前已經停滯。<sup>184</sup> 加州空氣資源局工作人員正在運用 2021 年 2 月機構間工作組技術支援文件（TSD）中提供的臨時數值，這些數值反映了在估計溫室氣體的社會經濟

---

<sup>181</sup>原標題為「碳社會成本機構間工作組」，機構間工作組於 2016 年更名。

<sup>182</sup>白宮，2021，回歸科學：氣候污染減少可帶來的裨益的循證估計，<https://www.whitehouse.gov/cea/written-materials/2021/02/26/a-return-to-science-evidence-based-estimates-of-the-benefits-of-reducing-climate-pollution/>

<sup>183</sup>溫室氣體社會成本機構間工作組，2021，技術支援文件：碳、甲烷和一氧化二氮的社會成本——根據第 13990 號《行政令》作出的臨時估計，[https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/02/TechnicalSupportDocument\\_SocialCostofCarbonMethaneNitrousOxide.pdf](https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/02/TechnicalSupportDocument_SocialCostofCarbonMethaneNitrousOxide.pdf)

<sup>184</sup>參閱 *Louisiana 訴 Biden* 案，\_\_\_ F.Supp.3d\_\_\_, 2022 WL 438313（美國路易斯安那西區聯邦地區法院，2022 年 2 月 11 日），待審核 2022 WL 866282（第五巡迴法院，2022 年 3 月 16 日）。2022 年 2 月初，聯邦地區法院作出裁決，發佈初步禁令，阻止拜登政府使用臨時的機構間工作組溫室氣體社會成本估計值。但是，聯邦上訴法院於 2022 年 3 月推翻了下級法院的初步禁令，允許拜登政府在法律訴訟進行期間繼續使用該政策。加州空氣資源局將繼續監督該訴訟。但是，聯邦訴訟並不禁止加州空氣資源局使用碳社會成本，加州空氣資源局將使用現有的最佳科學，而不考慮政治問題。

影響時可使用的最佳科學。<sup>185</sup>本 2022 年《範疇計畫草案》採用了技術支援檔的標準化貼現率範圍，即 2.5%到 5%，以代表對未來損害的不同估值。

## AB 32 溫室氣體清單部門

表格 3-8 提供了建議方案各項措施的估算社會成本。針對每項措施，表格 3-8 列出了以 2.5%和 5%的貼現率計算，2035 年和 2045 年溫室氣體減排的碳社會成本和甲烷社會成本範圍。關於溫室氣體社會成本的其他背景、本 2022 年《範疇計畫草案》計算碳社會成本和甲烷社會成本估計值的方法以及備選方案估計值，見附件 C（AB 197 措施分析）。

表格 3-8：建議方案（AB 32 溫室氣體清單部門）中考慮的各項措施的估計社會成本

措施	2035 年碳社會成本， 貼現率為 5%-2.5% 十億美元（2021/美元）	2045 年碳社會成本， 貼現率為 5%-2.5% 十億美元（2021/美元）
部署零排放車輛，減少駕駛需求	1.03-4.50	2.46-9.53
協調液體化石燃料的供應與加州不斷下降的燃料需求	0.64-2.78	0.99-3.84
清潔發電	不適用 <sup>a</sup>	0.20-0.79
工業能源供應去碳化	0.18-0.78	0.49-1.89
建築去碳化	0.35-1.50	0.91-3.52
減少非燃燒類排放	0.49-1.26（甲烷社會成本 <sub>4</sub> ）	0.85-1.98（甲烷社會成本 <sub>4</sub> ）
抵補殘餘排放	0.41-1.76	2.50-9.68
建議方案碳社會成本	2.2-9.7	2.0-7.9
建議方案甲烷社會成本	0.49-1.3	0.85-2.0

<sup>185</sup>溫室氣體社會成本機構間工作組，2021，技術支援文件：碳、甲烷和一氧化二氮的社會成本——根據第 13990 號《行政令》作出的臨時估計，[https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/02/TechnicalSupportDocument\\_SocialCostofCarbonMethaneNitrousOxide.pdf](https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/02/TechnicalSupportDocument_SocialCostofCarbonMethaneNitrousOxide.pdf)

建議方案（總計） <sup>b</sup>	2.7-11.0	2.8-9.9
<p><sup>a</sup> 在 2035 年之前，SB100 實現的溫室氣體減排量不會超過基準情景。</p> <p><sup>b</sup> 加州空氣資源局工作人員無法從 PATHWAYS 產出的其他溫室氣體中精確地分離出一些二氧化碳和甲烷，但在計算碳社會成本時，認為其比例較少。在 PATHWAYS 中，用於估計單項措施的溫室氣體減排量的方法並沒有反映出跨行業的相互作用。因此，每項措施的溫室氣體值與總體方案的總和不符。本計算中使用的溫室氣體總減排量在 2035 年為 9,100 萬公噸二氧化碳當量，在 2045 年為 6,500 萬公噸二氧化碳當量。</p>		

## 自然和工作用地

表格 3-9 所示的自然和工作用地措施的碳社會成本估計值反映了 2021 年機構間工作組的臨時價值，並根據通貨膨脹率進行了更新，與 AB 32 溫室氣體清單部門分析相似。本分析採用 2.5% 和 5% 的貼現率，以及 2025-2045 年每種自然和工作用地類型的平均年減排量。各備選方案的估計值見附件 C（AB 197 措施分析）。

表格 3-9：建議方案中考慮的措施的估計社會成本（避免的經濟損失）（NWL）

措施	2035 年碳社會成本， 貼現率為 5%-2.5% 十億美元（2021/美元）	2045 年碳社會成本， 貼現率為 5%-2.5% 十億美元（2021/美元）
森林/灌木叢/草地	0.003-0.012	0.004-0.014
一年生耕地	0.006-0.025	0.007-0.028
多年生耕地	<0.001-0.001	0.000-0.001
城市森林	0.012-0.055	0.016-0.063
森林-城鎮交界域（WUI）	(0.018) - (0.080)	(0.023) - (0.090)
濕地	0.011-0.046	0.014-0.053
植被稀疏的土地	<0.001	<0.001



## 與成本效益相關的溫室氣體社會成本

AB 32 中的一項要求規定，規則和條例應「最大限度地實現技術上可行並具有成本效益」的溫室氣體減排。<sup>186</sup>根據 AB 32，<sup>187</sup>成本效益是指各種溫室氣體減排策略的每公噸相對成本，是與排放控制相關的傳統成本指標。而與之相反，碳社會成本、甲烷社會成本和一氧化二氮社會成本（SC-N<sub>2</sub>O），因為是對額外溫室氣體排放的社會成本的估計，可用於估計減排的經濟效益，但並未考慮為實現這些溫室氣體減排而必須採取的行動的成本。

與溫室氣體減排的碳社會成本、甲烷社會成本和一氧化二氮社會成本相比，一些技術或政策可能並沒有成本效益。但是，這些技術或政策可能會帶來機構間工作組社會成本中未反映的其他裨益。例如，對運輸燃料配額的社會多樣化的評估（低碳燃料標準中概述的目標）和發電廠標準污染物排放減少（如可再生能源配額制）。此外，新技術的成本在技術開發週期的早期可能較高，隨著技術使用規模擴大，成本可能會下降。

## 每公噸估計成本

AB 197 要求對 2022 年《範疇計畫草案》所評估的措​​施的成本效益進行估計。每項措施減少的每公噸二氧化碳當量的成本（或節餘）是比較措施表現的一個指標。<sup>188</sup>除每公噸成本外，還可以考慮的其他因素包括與現有法律 and 政策的連續性、實施的可行性、對燃料多樣性和技術改造目標的貢獻，以及對加州的健康裨益和其他效益。這些考慮沒有反映在下面提出的每公噸成本估計值中。瞭解本部分介紹的具體措施的相對成本效益是非常重要的。但是，本章前文呈現的附件 H（AB 32 溫室氣體清單部門建模）和附件 I（自然和工作用地技術支援文件）中的經濟分析，對建議方案和備選方案如何影響加州經濟和就業進行了更全面的分析。

## AB 32 溫室氣體清單部門

相對於基準情景，AB 32 溫室氣體清單部門的每公噸成本是根據 PATHWAYS 和 RESOLVE 輸出的敏感度計算資訊，按每項措施獨立計算的。2035 年和 2045 年，按每項措施計算出建議方案和基準情景之間的年度化成本差異。增量成本除以增量溫室氣體排放影響，得出每年的每公噸成本。為了體現從 2022 年到 2035 年，或從 2022 年到 2045 年的投資產生的燃料和溫室氣體方面的影響，加州空氣資源局計算了每公噸的平均年度成本。將每一年的增量成本平均到這一時期。然後以該數值除以同期相應的年度平均增量溫室氣體影響。

---

<sup>186</sup>AB 32 空氣污染：溫室氣體：2006 年《加州全球暖化解決方案法案》（AB 32，Nuñez，《2006 年法規》第 488 章），[https://leginfo.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill\\_id=200520060AB\\_32](https://leginfo.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=200520060AB_32)

<sup>187</sup>《健康和安​​全法規》第 38505(d)條。

<sup>188</sup>與前面報告的直接成本類似，一項措施的每公噸成本反映的是，與一項措施相關的儲量成本和任何燃料或效率節約除以該措施實現的溫室氣體減排量所得的值。成本報告為正值，節餘報告為負值。

成本指標包括能源基礎設施的年度化增量成本，如零排放車輛、電器以及支援所有電力資產的所需收入。包括提前退役的車輛或電器等設備的剩餘價值。包括因效率提高或與向替代燃料轉變有關的燃料需求變化而產生的年度燃料成本或已避免燃料成本。該成本指標不包括代表州內轉移的成本，如對設備提前退役的獎勵金。

值得注意的是，該每公噸成本並不代表與這些措施相關的碳減排的預期市場值。此外，這些價值並未體現與 2035 年或 2045 年目標日期前已經實施但其影響超出目標日期的全經濟壽命措施相關的燃料節約或溫室氣體減排。

表格 3-10 提供了建議方案的每公噸成本和每公噸年平均成本估計值。其他備選方案見附件 C（AB 197 措施分析）。在 2035 年或 2045 年成本相對較低的措施，在延長期內的成本也較低。如前所述，新車輛的增量成本通常被效率的提高和已避免的燃料消耗所抵消，從而使每公噸成本為負值。

**表格 3-10：相對於基準情景，建議方案中考慮的措施減少的每公噸二氧化碳當量的估計成本（AB 32 溫室氣體清單部門）**

措施	年度成本， 2035 年 (美元/公噸)	年平均成本 , 2022- 2035 年 (美 元/公噸)	年度成本， 2045 年 (美元/公噸)	年平均成本 , 2022- 2045 年 (美 元/公噸)
部署零排放車輛，減少駕駛需求	-157	-85	-121	-128
協調液體化石燃料的供應與加州不斷下降的燃料需求	36	91	-38	38
清潔發電 <sup>a</sup>	不適用	不適用	450	497
工業能源供應去碳化	290	240	429	356
建築去碳化	595	754	463	598
減少非燃燒類排放	93	95	109	100
抵補殘餘排放	745	945	236	745

<sup>a</sup> 在 2035 年之前，SB100 實現的進一步減少量不會超過基準情景。注：本計算的分母（2045 年）不包括 SB100 在加州以外實現的溫室氣體減排量。如果將這些減排量包括在內，這個數字會更低。

## 自然和工作用地

使用自然和工作用地模型的預測碳儲量/封存數據和前面描述的每項治理行動的直接成本估計值，計算出建議方案的自然和工作用地措施相對於基準情景的每公噸成本。直接成本代表實施某項治理行動的成本。預測的減排量考慮了治理行動造成的碳損失，如森林中減少燃料的處理措施，以及氣候變遷對生長的影響。每項自然和工作用地措施的直接成本除以表格 3-5 所示的年平均減排量，得出每公噸成本。氣候變遷對未來增長的影響越來越大，會降低土地封存或儲存碳的能力，從而促使每公噸成本上升。

值得注意的是，該每公噸成本並不代表與這些措施相關的碳減排的預期市場值。此外，自然和工作用地治理行動的排放效益往往需要較長時間的積累，這些價值僅反映截至 2045 年的溫室氣體減排量。

表格 3-11 提供了建議方案從 2025 年到 2045 年每年平均減少的二氧化碳當量的平均成本估計值。其他備選方案見附件 C（AB 197 措施分析）。

**表格 3-11：相對於基準情景，建議方案中考慮的措施（自然和工作用地）減少每公噸二氧化碳當量的平均每公噸成本估計值**

措施	每減少一公噸二氧化碳當量的平均成本（美元/公噸）
森林/灌木叢/草地	15,500
一年生耕地	1,210
多年生耕地	412
城市森林	2,030
森林-城鎮交界域（WUI）	不適用
濕地	64
植被稀疏的土地	451,000

## 公共健康

### 健康分析概述

採取行動應對氣候變遷是改善公共衛生成果的最重要機會之一。<sup>189</sup>轉向清潔能源和技術以及改善土地和生態系統治理可帶來更加健康的未來。許多減少溫室氣體（GHG）排放的行動也具有健康協同效益，可以改善全州人口的健康和福祉，並應對氣候變遷。透過採取行動減少氣候變遷對公共健康的威脅並解決系統性不平等，加州正在探尋解決多種問題的雙贏戰略。本部分和附件 G（公共健康）提供了健康裨益的定性分析，以補充本章、附件 C（AB 197 措施分析）和附件 H（AB 32 溫室氣體清單部門建模）中的定量健康分析。對裨益的定性和定量分析共同展示了氣候行動和健康改善協同並進的多種方式。

氣候變遷可導致各種直接健康影響，如與熱有關的疾病（即熱衰竭和中暑）增加，以及極端天氣事件或災害（如嚴重風暴、洪水、野火）造成的傷亡。間接影響包括更多與空氣污染有關的心血管和呼吸系統疾病惡化（例如，由於霧霾、野火煙霧增加）；攜帶疾病的物種的分佈和地理範疇發生變化，導致病媒傳播的疾病和真菌疾病增加（例如蚊子、蜱蟲、灰塵中的真菌）；與農業糧食減產有關的負面營養後果；與極端天氣有關的災難造成的壓力和精神創傷，以及與氣候的逐漸變遷有關的焦慮、抑鬱和其他精神健康影響，導致失業和收入損失（例如長期乾旱或影響工作和行業的溫度變化），以及居民遷移和房屋損失（例如海平面上升影響沿海社區）。

野火和野火煙霧是我們已經看到並且預計還會對加州人的健康產生更多劇烈影響的一個領域。根據加州消防局的數據，自 1932 年以來，最近五年間（2017-2022）發生了加州規模最大的五次野火，151 人直接死於火災。<sup>190</sup>研究人員估計，2020 年秋季的野火煙霧可能導致多達 3000 人非正常死亡，至少 95% 的加州人因 2020 年的野火而遭受不健康顆粒污染的影響。預計一直到本世紀末，持續的氣候變遷將進一步增加野火造成的煙霧暴露。<sup>191</sup>野火還為農業人員等戶外工作者創造了高風險環境。雖然直接的醫療和身體健康影響往往是最明顯的，但也會產生心理影響，並在事件發生後持續很長時間。據估計，20-65% 的渡過極端天氣事件者在事件結束後有心理健康問題。<sup>192</sup>

---

<sup>189</sup>Watts N、Adger WN、Agnolucci P 等，2015，健康與氣候變遷：保護公共健康的應對政策。柳葉刀：386, 1861-1914

<sup>190</sup>加州林業與消防局（CAL FIRE），「統計數據和事件」，加州林業與消防局，<https://www.fire.ca.gov/stats-events/>

<sup>191</sup>M. D. Hurteau、A. L. Westerling、C. Wiedinmyer、B. P. Bryant，至 2100 年氣候和發展對加州野火排放的預測影響。《環境科學與技術》，48, 2298-2304 (2014)

<sup>192</sup>美國公共衛生協會，2019，應對氣候變遷對心理健康和福祉的影響，政策編號：20196，參考文件：<https://www.apha.org/policies-and-advocacy/public-health-policy-statements/policy-database/2020/01/13/addressing-the-impacts-of-climate-change-on-mental-health-and-well-being>



極端高溫、乾旱和相關空氣品質惡化的影響是影響加露州人健康的最嚴重的氣候相關暴露。眾多研究發現極端高溫會帶來各種不良健康影響，包括中暑和不良分娩結果，並且極端高溫會傷害大部分身體系統。氣候變遷加劇了空氣污染問題，造成呼吸困難，並可能導致加州許多地區發生嚴重疾病和死亡。氣溫升高導致臭氧和其他污染濃度增加，包括加州污染最嚴重的地區，並增加了生活在這些地區的弱勢和邊緣化人群的健康風險。<sup>193</sup>2020年，洛杉磯、奧蘭治、河濱和聖貝納迪諾縣有 157 個臭氧污染日，是 1997 年以來最多的一年。此外，在乾旱期間，微粒物質暴露問題極其突出，預計本世紀的乾旱狀況還將增加。<sup>194,195</sup>空氣品質惡化導致疾病、急診就診次數和慢性病住院等風險增加，包括慢性阻塞性肺病（COPD）、哮喘、慢性支氣管炎和其他呼吸道和心血管疾病以及呼吸道感染，使加州健康成本增加。這些和其他與氣候有關的健康影響將在附件 G（公共健康）中詳細討論。<sup>196,197,198</sup>

## 健康分析組成部分

《範疇計畫草案》健康分析的重點是依然依賴化石燃料經濟的加州與過渡到碳中和、清潔能源未來的加州之間的對比。該定性分析評估並展示了截至 2045 年大幅減少化石燃料與更健康的生態系統治理相結合的各種益處，比較了「不採取行動」之方案（基準情景）和「採取行動」之去碳化方案的健康結果。由於該分析是定性分析，更廣泛地著眼於大幅減少化石燃料燃燒所帶來的公共健康裨益。該分析提供的資訊有助於實現全州公平分配裨益的目標。雖然該分析為《範疇計畫草案》以 2045 年實現碳中和目標為基礎的裨益提供了科學證據，但並未分析具體的方案（見定量分析部分 4 種備選方案的比較）。

分析重點領域：高溫影響、兒童健康和發展、經濟安全、食品安全、流動性和體育活動、城市綠化、野火和煙霧影響以及住房負擔能力。對於每個重點領域，分析均有科學證據，並比較了基準情景和去碳化方案的預期健康影響。該分析著眼於主要的健康結果，為每個健康結果提供方向性影響，並在可能的情況下提供關於健康影響的強度和規模的資訊。一些領域包括定量資訊，可使用工具衡量健康結果。雖然分析的重點是全州的健康結果，但

---

<sup>193</sup>美國肺臟協會，2021 年空氣狀況，<https://www.lung.org/research/sota>

<sup>194</sup>I. Cvijanovic、B.D. Santer、C. Bonfils、C.等，未來北極海冰覆蓋消融可能會導致加州降雨量大幅減少，自然-通訊第 8 期，COMMUN. 1947 (2017)，<https://doi.org/10.1038/s41467-017-01907-4>

<sup>195</sup>A.P. Williams 等，2012-2014 年人為變暖對加州乾旱的影響，地球物理研究通訊第 8 期，6819-28 (2015)，<http://doi.org/10.1002/2015GL064924>

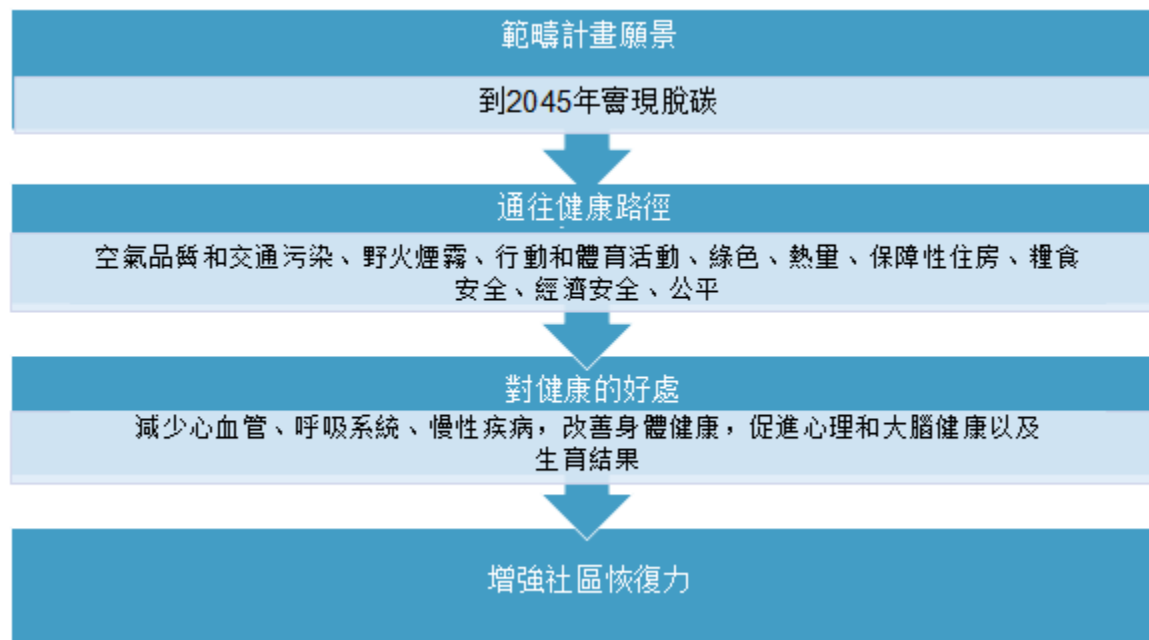
<sup>196</sup>John A. Romley、Andrew Hackbarth & Dana P. Goldman，加州空氣污染的成本和健康後果，加州聖塔莫妮卡市蘭德公司 (2010)，[https://www.rand.org/pubs/research\\_briefs/RB9501.html](https://www.rand.org/pubs/research_briefs/RB9501.html)

<sup>197</sup>M. Wang、C.P. Aaron、J. Madrigano 等，大氣污染長期暴露與定量評估的肺氣腫和肺功能變化之間的關係，322(6)，美國醫學會雜誌，546-56 (2019)，doi:10.1001/jama.2019.10255

<sup>198</sup>A. Inzerro，空氣污染與肺部感染的關聯，尤其是幼兒，美國管理護理雜誌 (2018 年 5 月 6 日)，<https://www.ajmc.com/newsroom/air-pollution-linked-to-lung-infections-especiallyin-young-children>

也討論了對社區健康和氣候復原力的好處，以及社區層面的潛在不平等。插圖 3-9 顯示了《範疇計畫草案》中所涉及的協同效益領域，以及改善健康和提高社區復原力的途徑。

插圖 3-9：《範疇計畫草案》的結果和改善健康狀況的途徑



## 健康不平等的社會和環境決定因素

全州各社區對污染源的接觸和由此產生的影響並不均等。由於植根於系統性種族主義的歷史性邊緣化等因素，低收入社區和有色人種社區（包括黑人、拉丁裔和原住民社區）遭受污染和不良健康狀況的比率一直比其他社區高得多。如插圖 3-10 所示，根據環境健康篩查工具（CES），受影響最大的社區的有色人種比例非常高，而受影響最小的社區則以白人為主。最近的研究結果表明，加州黑人暴露於汽車排放的細粒狀物的比例比州平均水準高 19%，並且在汽車排放細粒狀物污染負擔最高的普查區中，有色人種所占的比例也很高。<sup>199</sup>由於距離較近，移動源的空氣污染物排放對低收入社區和有色人種社區的影響尤其嚴重。<sup>200</sup>加州高速公路和主要道路上行駛的柴油車輛使附近居民暴露於污染之中，肺癌、慢性心臟病和肺部疾病住院和急診以及過早死亡均與該污染有關。歷史性和社會不平

<sup>199</sup>Reichmuth, 2019, 对加州车辆空气污染的不平等暴露, 参考文件:

<https://www.ucsusa.org/resources/inequitable-exposure-air-pollution-vehicles-california-2019>

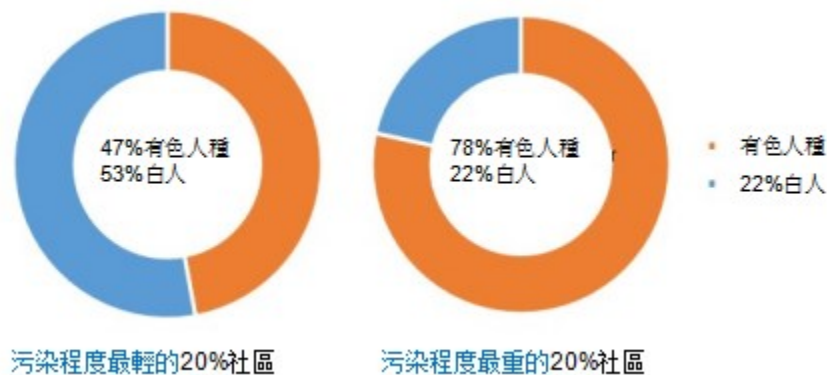
<sup>200</sup>加州空氣資源局, 2017b, 加州 2017 年氣候變遷範疇計畫, 参考文件:

[https://www.arb.ca.gov/cc/scopingplan/scoping\\_plan\\_2017.pdf](https://www.arb.ca.gov/cc/scopingplan/scoping_plan_2017.pdf)



等在靠近高速公路和其他主要車輛污染源的大量有色人種社區非常明顯。<sup>201</sup><sup>202</sup>環境暴露和污染物是更廣泛的社會、經濟和環境因素的一個組成部分，這些因素可以放大健康狀況，而所有這些因素結合在一起，會加重單個暴露的健康影響。這一系列更廣泛的社區因素可稱之為「累積影響」。此外，特定人群對污染更加敏感，因此更容易受到影響。其中包括幼兒、老年人和原本健康狀況不佳的人。

插圖 3-10：加州環境篩查工具中受影響最小和最大的社區



### 健康不平等的社會決定因素

個人和社區的身心健康在很大程度上是由人們生活、工作、娛樂和學習所處的社會、經濟和自然環境塑造的。根據世界衛生組織的說法，這些決定健康的相同環境——或社會因素——是「健康不平等的主要原因：國家內部和國家之間健康狀況的不公平和可避免的差異」。事實上，大量研究表明，超過 50%的長期健康結果是影響個人的社會決定因素所造成的。<sup>203</sup>例如，目前發現，種族/民族和社會經濟地位擴大了長期和短期環境暴露對一些健康結果的影響，如死亡率和分娩結果。<sup>204,205,206,207</sup>各種社會因素在低收入社區和有色人種

<sup>201</sup>加州空氣資源局，2020a，概述：柴油機廢氣與健康，參考文件：

<https://ww2.arb.ca.gov/resources/overview-diesel-exhaust-and-health>

<sup>202</sup>Kagawa J. 2002，柴油機廢氣排放對健康的影響——全球關注的空氣污染物混合物，毒理學 181-182:349-353。

<sup>203</sup>加州公共衛生部 (CDPH)，2015，承諾描述：加州促進健康和心理健康平等的全州計畫，健康公平辦公室向立法機構和加州人民提交的報告，加利福尼亞州薩克拉曼多：加州公共衛生局健康公平辦公室。

<sup>204</sup>O'Neill MS、Jerrett M、Kawachi I、Levy JI、Cohen AJ、Gouveia N 等，健康、財富和空氣污染：推進理論和方法，環境健康視角，2003；111 (16)：1861 - 70

<sup>205</sup>Ponce NA、Hoggatt KJ、Wilhelm M、Ritz B，早產：與交通有關的空氣污染與洛杉磯社區經濟困難的相互作用，美國流行病學雜誌，2005；162 (2)：140 - 8

<sup>206</sup>Morello-Frosch R、Jesdale B、Sadd J、Pastor M，加州環境空氣污染暴露與足月出生體重，環境健康，2010；9：44

<sup>207</sup>Finkelstein MM、Jerrett M、DeLuca P、Finkelstein N、Verma DK、Chapman K 等，收入、空氣污染和死亡率之間的關係：定群研究，CMAJ，2003；169 (5)：397 - 402

社區共同造成了不同程度的毒性慢性應激，限制了獲得健康食品和健康生活方式的機會。社會因素還可以透過歧視和社會排斥等社會心理途徑造成健康差異。<sup>208</sup>雖然社會決定因素的重要性是眾所周知的，但社會決定因素的具體和累積影響的衡量卻具有挑戰性。

許多社區目前面臨的狀況的其中一個根源是歷史上的土地使用政策，包括紅線政策。我們城市目前的構成——種族和社會隔離模式、投資和投資不足，以及居民的不同收入、教育和健康水準——在很大程度上源於遺留的聯邦城市改造、住房和抵押貸款保險計畫（外顯並推進了可追溯到 1930 年代的種族歧視）以及各州為實施這些計畫所作的努力。

有幾種重要工具可用於評估和繪製累積影響和造成這些影響的因素，這些工具已經被用於空氣品質和氣候規劃、社區保護和投資。加州環境篩查工具（CES）用於繪製全州範圍內的累積污染負擔和脆弱性，並根據環境、暴露、人口和社會經濟指標對各普查區進行排名。使用加州環境篩查工具進行的分析表明，在環境負擔暴露和社會經濟及健康脆弱性之間存在著直接的、持續的關係，影響著有色人種社區和歷史上的紅線政策實踐。環境健康危害評估辦公室利用加州環境篩查工具排名評估了某些氣候變遷政策對弱勢社區和有色人種社區的健康影響。<sup>209</sup>健康場所指數（HPI）繪製了影響全州範圍內的預期壽命的指標。在未來，這些工具和其他工具可幫助確定投資的優先次序，並為溫室氣體減排政策的實施工作提供參考。

## 健康不平等的環境決定因素

黑人和其他社會弱勢和邊緣化群體占很大比例的社區大部分位於污染源附近，如交通和貨運設施、工業設施、危險廢物場地等。研究表明，加州白人和非白人人口之間，以及低收入和有色人種社區之間，在污染暴露方面存在巨大差異（插圖 3-11）。<sup>210,211,212,213</sup>研究還表明，在加州，黑人和拉丁裔人口受到的空氣污染影響明顯大於白人。

---

<sup>208</sup>Clougherty J、Kubzansky L，空氣污染和呼吸系統健康中的社會壓力和易感性的研究框架，環境健康視角，2009；117（9）：1351 - 8

<sup>209</sup><https://oehha.ca.gov/media/downloads/environmental-justice//impactsofghgpoliciesreport020322.pdf>

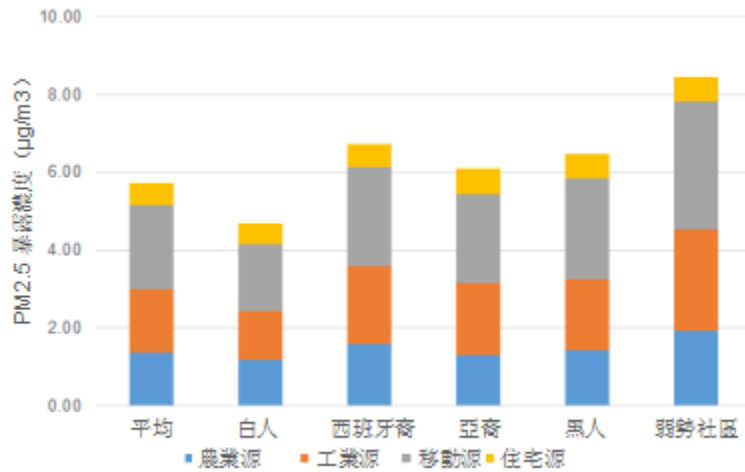
<sup>210</sup>Mohai P、Lanz PM、Morenoff J、House JS、Mero RP，污染性工業設施附近住宅的種族和社會經濟差異：證據來自於《美國人的生活變化》研究，美國公共衛生期刊，2009；99（Suppl 3）：S649 - 56

<sup>211</sup>Mohai P、Saha R，危險廢物分佈中的種族不平等：國家級重新評估，社會問題，2007；54（3）：343 - 70

<sup>212</sup>Morello-Frosch R、Pastor M、Porras C、Sadd J，南加州環境正義和區域不平等：對未來研究的影響，環境健康視角，2002；110（第 2 號補充文件）149 - 54

<sup>213</sup>Gunier RB、Hertz A、von Behren J、Reynolds P，加州交通密度：可能受影響兒童的社會經濟和種族差異，暴露科學和環境流行病學，2003；13（3）：240 - 6

插圖 3-11：按種族和弱勢社區（直接空氣捕獲）劃分的細粒狀物主要來源及其占細粒狀物暴露的比例



這些污染源暴露差異產生了健康方面的不平等。位於主要公路附近的社區，哮喘發作和其他呼吸道和心臟反應的風險增加。研究一致表明，主要公路或貨運源附近的移動源污染暴露會導致並加劇哮喘，損害肺功能，並增加心血管病死亡率。<sup>214</sup>心臟病發作、中風、肺癌、自閉症和癡呆症的發病率升高，與移動源氣態和顆粒污染物混合物（包括可吸入顆粒物、氮氧化物和苯）暴露有關。<sup>215</sup>

在社區內發現的環境危害還包括有毒物質和排放物暴露，以及職業性暴露。由於歷史上的不平等，資源不足的社區和有色人種社區往往靠近有毒污染源，包括鍍鉻廠、金屬回收設施、石油和天然氣作業、農業燃燒、鐵路站場，運輸、管理或處置危險廢物的設施，受殺蟲劑影響的區域以及其他來源。部分群體在工作期間和家中暴露於污染物的風險可能會增加。

由於許多原因，兒童更容易受到環境污染物的影響，包括兒童神經、免疫、消化和其他身體系統的持續發育。此外，與成人相比，兒童相對於其體重而言，進食更多、飲用液體更多、呼吸空氣的也更多。<sup>216</sup>暴露於高水準的空氣污染物中，包括室內空氣污染物，會增加呼吸道感染、心臟病和哮喘風險。<sup>217</sup>生活在城市工業作業、鐵路站場和交通繁忙的高速公路和街道附近的低收入社區的兒童，患慢性呼吸道疾病的風險尤其高。與白人兒童相

<sup>214</sup>熱點區域污染，1052 和 1057。

<sup>215</sup>南加州大學環境健康中心（2018），居於繁忙道路或交通污染附近。

<sup>216</sup>Blaisdell RJ, 空氣有毒物質熱點計畫風險評估指引，暴露評估和隨機分析技術支援文件，加州奧克蘭市，加州環境保護局環境健康危害評估辦公室；2012 年 8 月。

<sup>217</sup>Woodruff TJ, Axelrad DA, Kyle AD, Nweke O, Miller GG, 美國兒童與環境：污染物、身體負擔和疾病措施，第二版，華盛頓特區：美國國家環境保護局；2003 年 2 月，

比，黑人兒童因哮喘而住院的概率是白人兒童的四倍，城市黑人和拉丁裔兒童死於哮喘的概率是白人兒童的二至六倍。<sup>218</sup>

對於老年人而言，脆弱性增加會導致其呼吸系統、心血管和免疫系統隨年齡增加而減弱。<sup>219</sup>原有健康狀況與環境污染物相互作用，增加了不良健康結果的風險。最近的新冠肺炎疫情使老年人以及有色人種社區對呼吸道疾病的高度脆弱性更加凸顯，因為這些群體的與新冠肺炎病例有關的入院和死亡數據比其他群體更高。<sup>220221</sup>研究還強調了新冠肺炎死亡率和發病率與空氣污染之間的重要聯繫，表明在細粒狀物污染嚴重的地區，新冠肺炎死亡率和發病率明顯更高。

## 氣候脆弱性

氣候變遷預計會加劇現有的健康狀況差異，並導致氣候脆弱性惡化，氣候脆弱性是指「氣候變遷可能對人或群體造成負面影響的程度」。<sup>222</sup>加州氣候變遷中心的一份報告發出警告：氣候變遷的影響可能會對低收入和其他弱勢群體造成極其沉重的負擔：「如果沒有積極的政策解決這些公平問題，氣候變遷可能會加劇並擴大目前以及未來的社會經濟差距，導致低收入、少數群體和政治邊緣群體的經濟機會減少，環境和健康負擔增加。<sup>223</sup>」

在美國環境保護局（EPA）發佈的《美國氣候變遷與社會脆弱性：關注六大影響》<sup>224</sup>中，調查人員分析了六大主要氣候變遷影響的風險，這些因素對不同收入、教育程度、種族/民族和年齡的群體具有嚴重影響。四大社會弱勢群體——低收入、有色人種、無高中文憑和 65 歲及以上群體更有可能遭受氣候變遷的最嚴重影響（預計全球氣溫上升 2°C 或全球海平面上升 50 釐米）。根據預測，氣候事件的嚴重影響包括空氣品質、極端氣溫、沿海洪災以及導致健康和其他不良後果風險增加的其他影響。該項研究預計，低收入群體、某些種族和民族亞群體以及受教育程度較低的群體將面臨重大健康影響。

---

<sup>218</sup>西南太平洋第 9 區，兒童和哮喘：加州美國環境保護局網站：<http://www.epa.gov/region9/childhealth/asthma-california.html> 2013 年 7 月 30 日更新。

<sup>219</sup>Sandström T、Frew AJ、Svartengren M、Viegi G，需要關注老年人的空氣污染研究，歐洲呼吸增刊，2003；40：92s - 5s

<sup>220</sup>Zanobetti A、Schwartz J，糖尿病患者是否更容易受到大氣塵粒的健康影響？美國呼吸與重症監護醫學雜誌，2001；164（5）：831 - 3Crossref、Medline、Google Scholar

<sup>221</sup>Zanobetti A、Schwartz J、Gold D，是否存在對大氣塵粒影響敏感的亞群？環境健康視角，2000；108（9）：841 - 5

<sup>222</sup>加州空氣資源局，2017b，加州 2017 年氣候變遷範疇計畫，參考文件：[https://www.arb.ca.gov/cc/scopingplan/scoping\\_plan\\_2017.pdf](https://www.arb.ca.gov/cc/scopingplan/scoping_plan_2017.pdf)

<sup>223</sup>Shonkoff S、Morello-Frosch R、Pastor M 和 Sadd J. 2011。氣候差距：加州氣候變遷和緩解政策對環境健康和環境公正的影響——文獻回顧。氣候變遷，109（1 號補充文件）：S485-S503。

<sup>224</sup>美國環境保護局（EPA），2021 年。《美國氣候變遷與社會脆弱性：關注六大影響》。美國環境保護局（EPA），430-R-21-003。



目前已經開發出一些氣候脆弱性工具，也有一些正在開發中，可用於更好地瞭解和繪製受氣候影響的高風險地區。加州氣候變遷和健康脆弱性指標工具 (CCHVIZ) 可幫助州和地方衛生官員應對和降低氣候變遷造成的不利健康影響。<sup>225</sup> 例如，洛杉磯郡總體氣候脆弱性高於州平均水準，特別是對於語言孤立群體而言（超過州平均水準的兩倍）。

總之，目前存在著許多環境、社會、個人和經濟因素影響著加州的健康和公平，並導致氣候變遷影響帶來的健康狀況更加惡化。本節和附件 G（公共健康）參考了大量研究，且相關研究還在不斷增加，其中記錄了影響健康狀況的不同社會和環境因素，以及在加州容易受到更多影響或遭遇健康不平等的眾多群體（見插圖 3-12）。

**插圖 3-12：社會經濟、環境、發展和氣候變遷因素造成的弱勢群體舉例**

社會經濟、環境、發展和氣候變遷因素造成的弱勢群體舉例		
老年人	患有慢性病者	因工作條件而受影響者
部落族群	嬰幼兒	低收入群體
殘疾人	無家可歸者	懷孕者
有色人種社區	邊緣化群體	移民/難民
受教育機會較少者	語言孤立家庭	因住房條件差而受影響者

## 定性健康分析概要

加州空氣資源局進行了詳細的健康分析，該分析涵蓋八個影響公共健康的社會和環境協同效益領域，具體如下。選擇這些協同效益領域，是因為在這些領域一直有研究，並且在 2018 年夏季舉行的關於氣候變遷和健康影響公共研討會上也曾討論過。對於每個社會和環境領域，分析包括對健康影響和差異的討論、關於這一主題的關鍵健康指標或流行病學研究、關於「不採取行動」會對這些領域的影響的討論（即基準情景與建議方案（「採取行動」）的比較）、關於哪些領域具有可供考慮的行動以實現進一步成功的討論，以及有助於減少或消除差異並提高健康公平和復原力的緩解行動的類型。所有協同效益領域均相互關聯，追求所有領域的裨益有可能會成倍地增加積極結果，並為社區復原力建設提供進一步的支援。社區復原力是指某一社區在面對氣候導致的壓力時減少傷害並維持可接受的

<sup>225</sup>美國環境保護局 (EPA)，2021 年。《美國氣候變遷與社會脆弱性：關注六大影響》。美國環境保護局 (EPA)，430-R-21-003。

<https://www.cdc.gov/climateandhealth/brace.htm>

生活品質的能力，這些壓力會因該社區的情況和位置不同而有所差異。下文簡要描述了所評估的公共健康協同效益領域。每個領域影響的具體健康狀況和定向健康裨益見本章的健康裨益概要部分，詳情見附件 G（公共健康）。

## 高溫影響

全球大氣中的溫室氣體濃度增加，正導致地球平均溫度不斷上升。自 1895 年開始有記錄以來，加州溫度一直上升，且上升速度正在加快。最近多股熱浪打破了整個州的熱記錄，引發了嚴重疾病，並且這類事件正變得越來越頻繁。南加州熱浪愈演愈烈，持續時間也更加持久，影響尤其嚴重。在過去兩年裏，洛杉磯氣溫曾高達 121 華氏度，科切拉穀也遭遇了有史以來最熱的一年，溫度高達 123 華氏度。城市化區域的熱島效應會提升熱效應，對低收入社區和有色人種社區的影響尤為嚴重。熱事件加劇了呼吸系統和心臟疾病，導致急診室就診率飆升。熱暴露影響降低战略可促使健康狀況改善。

## 野火和煙霧

加州土地 90%以上屬於自然和工作用地（NWL），包括牧場、森林、林地、草地和城市綠地。這些土地造就了生物多樣性和生態系統效益，包括封存大氣中的碳的能力。保護和管理加州森林和其他自然用地並維持其生態系統健康，是實現溫室氣體效益最大化和氣候變遷負面影響最小化的關鍵。植被在儲存碳方面發揮著重要作用；然而，當植被死亡或被大火燒毀時，也會將二氧化碳重新釋放到大氣中。由於氣候變遷，加州火災風險增加、發生頻率提高、燃燒面積擴大、損失更加慘重、火季也越來越長，野火愈演愈烈。促進自然和工作用地生態系統健康管理和增加綠化的战略有助於改善健康狀況。健康的生態系統可帶來許多健康和環境效益，其管理並不是為了最大限度地提高碳封存。

## 兒童健康和發展

由於氣候變遷，一系列環境、社會、生物和社區因素相互交織，對兒童健康產生了不利影響。本節重點討論空氣污染和道路附近污染或交通污染等對兒童健康具有深遠影響的環境問題。兒童的身體和肺部仍處於發育狀態，每單位體重吸入的空氣量高於成人。加州許多低收入社區和有色人種社區受到的空氣污染水準極其高，交通和貨運對兒童的影響水準也非常高。這種過度暴露會損害兒童發育，使之一生中罹患疾病的風險增加。減少空氣污染和交通排放的战略可促進兒童健康狀況改善。

## 經濟安全

氣候變遷預計會導致許多部門面臨嚴重的不利社會經濟影響。收入不平等（地理區域之間）、貧困、財富、債務、失業率和工作保障等經濟因素是決定健康的最有力因素。在美國整個收入範疇內，較高的收入意味著預期壽命更長、健康狀況更佳。此外，經濟不安全感 and 對健康的負面影響在低收入社區和有色人種社區更為明顯。在低收入社區和有色人種社



區推動清潔能源和其他綠色工作、促進投資、推進與當前化石燃料經濟相關的經濟部門向優質工種轉變等經濟戰略，可促進健康狀況改善。

## 糧食安全

糧食系統正面臨著來自各種因素的壓力，而氣候變遷正是其中的一個關鍵問題。氣候變遷會影響糧食生產和農業產量，導致糧食供應的限制因素加劇，如供應鏈中斷。糧食安全是指能夠穩定地獲得可負擔的、充足的糧食，保障積極、健康的生活。許多加州人常常會遇到糧食不足的情況，雖然所有種族和群體的加州人都受到了糧食不足的影響，但低收入社區和有色人種社區以及兒童受到的影響尤為嚴重。促進農業永續發展、增加健康食物的獲取途徑、減少有機食物浪費等戰略可促進健康狀況改善。

## 活動和體育活動

體育運動是健康生活方式的最重要因素之一，缺乏活動會增加慢性疾病和過早死亡的風險。研究表明，定期的體育活動可改善心肺功能、肌肉健康、心理健康和大腦功能以及睡眠品質，從而改善各年齡段人群的健康狀況。久坐不動的生活方式會導致慢性疾病，包括肥胖、心臟病和 II 型糖尿病以及其他慢性疾病。推廣社區設計，支援永續的土地使用和交通模式，使人們選擇需要活動的交通方式，如步行、騎自行車以及使用公共交通工具，而不是開車，可大大增加體育活動，進而帶來各種健康裨益。

## 經濟適用房

住房是決定健康的一個重要社會因素。住房穩定性、住房品質、家庭內外條件、住房成本以及人們居住地的環境和社會特徵都會影響健康（包括能源效率和隔熱、涼爽建築材料、樹冠、房屋大小）。住房的可負擔性也是其中一個關鍵因素，本節重點闡述住房可負擔性如何支援健康改善，同時又支援更加永續的土地使用和交通模式。經濟適用房不足正在增加低收入租房者的通勤距離，並造成健康負擔。支援永續交通和住房模式同時提高住房可負擔性的戰略，可促進健康狀況改善。

## 城市綠化

城市綠化是公認的重要便利設施，但對其固有健康裨益的瞭解卻並不總是非常充分。資源不足地區和脆弱地區一直缺少綠化，混凝土、瀝青和不透水錶面的比例較高。資源不足社區的混凝土和吸熱表面比例更高，所在居民區的植被林木量較少。綠化程度降低的地區有可能形成溫度較高的區域，因為路面和建築物會反射熱量。相比之下，增加城市綠化可提供空氣污染緩衝，並促進體育活動。保護和打造城市公園、綠地、自然基礎設施和永續農業實踐的戰略有助於改善身心健康狀況。

## 不採取行動之方案（基準情景）

根據不採取行動之方案，加州將繼續依賴化石燃料和其他溫室氣體排放技術。以化石燃料為動力的移動源，包括汽車、卡車、火車、拖拉機以及其他各種公路和非越野車輛及設備，是直接影響社區健康的標準污染物和有毒空氣污染物的最大來源，也是溫室氣體（GHG）的最大排放源。其他主要溫室氣體排放源包括建築物、自然和工作用地以及電力生產和工業。不採取行動之方案反映了包括建築物在內的移動和固定部門對化石燃料的持續依賴。持續生產和使用化石燃料，持續依賴汽油和柴油汽車、卡車、公共汽車和設備，持續釋放短期氣候污染物，以及對森林和生態系統健康的重視降低，會導致氣候復原力降低、健康裨益減少，進而影響各個社區。綠地可能仍會保持在相同的水準或出現退化，城市熱島可能會增加。隨著車輛行駛里程的持續增長，體育活動和相應的健康裨益不會再增加。野火煙霧暴露將增加，空氣品質預計會惡化，因為氣溫上升會影響有害空氣污染水準。就業和經濟安全將受到化石燃料價格持續飆升、氣候變遷的經濟後果以及太陽能 and 電動汽車等綠色技術行業工作機會減少等的影響。氣候對農業的影響更加頻繁，必將波及糧食安全。更加重視回收有機廢物將有助於減少糧食匱乏、促進永續的農業發展，有益於糧食安全。所有這些影響都可能導致健康狀況惡化。黑人、拉丁裔、美洲原住民和其他有色人種以及低收入社區最容易遭受不利的健康影響。環境污染的生理壓力、社會不平等、極端天氣事件以及糧食和經濟不安全的心理壓力對這些群體的影響更為嚴重。

## 採取行動之方案（建議方案）

在採取行動之方案中，加州將大幅減少機動車、貨運、建築、電力或其他部門對化石燃料的依賴。該方案並非《範疇計畫草案》中的某項具體方案，其研究的是 2045 年實現碳中和的行動的廣泛結果。《範疇計畫草案》的實施將勢不可擋地實現向零排放車輛（ZEV）的快速轉變，至 2035 年實現所銷售輕型車輛 100% 零排放，至 2040 年實現所銷售卡車（中型和重型）100% 零排放，同時至 2045 年實現車輛行駛里程比 1990 年的水準減少 22%。《範疇計畫草案》中預測的化石燃料燃燒的大幅減少，以及車輛行駛里程和貨運及交通排放量的減少，將大大降低對全州和貨運來源附近社區的空氣污染和健康影響。協調行動戰略將以自然和工作用地的管理變化為重點，包括健康的森林、增加植被覆蓋、增加有機耕作。實施健康的生態系統管理戰略，可大大減少野火煙霧暴露。由於加州許多社區受到嚴重交通污染的過度影響，減少石油燃料車輛可減少在一貫高污染的來源附近居住或上學所帶來的額外影響。轉向非化石燃料設備，也可能會改善室內空氣品質。州和地方採取一致行動，支援永續的土地使用和交通模式，可促使人們更多地選擇需要體育活動進而有益於健康的活動交通方式。

體育活動和綠地的增加，可能會減少城市熱島，社區整體復原力有望提高。支援減少車輛行駛里程的工作將包括協調各州機構的經濟適用房措施。減少對化石燃料的依賴可降低野火、乾旱和化石燃料價格飆升帶來的經濟壓力，特別是在實施類似行動規劃的管轄區越來越多的情況下。投資於永續農業、健康森林、城市綠化和清潔能源技術將增加永續的就業

機會，進一步促進經濟安全。大力推進永續農業和糧食復蘇工作將提高糧食安全。所有這些影響都可以與健康裨益建立關聯，包括積極的呼吸和心血管影響、分娩和大腦狀況更加健康、心理健康指標改善、預期壽命延長、慢性疾病和癌症減少、兒童健康和發育狀況改善、抑鬱減少等。潛在的協同效益規模非常巨大，特別是在目前受影響最嚴重的地區。

## 健康裨益概要

下方表格 3-12 和 3-13 按照協同效益領域總體概述了預計會對《範疇計畫草案》帶來的定向裨益。用於各共同效益領域的定性或定量分析的支援性流行病學研究見附件 G（公共健康）中。第三章的另一部分以及附件 C（AB 197 措施分析）和附件 H（AB 32 溫室氣體清單部門建模）還納入了與空氣污染有關的健康影響的定量分析，包括近期新增的健康端點，供加州空氣資源局進行持續分析。

**表格 3-12. 《範疇計畫草案》對健康協同效益領域（供熱、經濟適用房、糧食安全、經濟安全和城市綠化）的定向裨益**

健康協同效益領域*					
定量與定性	高溫影響減少	經濟適用房增加	糧食安全性提高	經濟安全性提高	城市綠化增加
將研究用於定性分析	↓死亡率 ↓因心血管和呼吸系統疾病及腸道感染而到急診室就診的人數 ↓因心血管和呼吸道疾病而住院的人數 ↓早產 ↓精神疾病	↓傳染性疾病 ↓慢性疾病 ↓哮喘 ↓受傷 ↓精神疾病 ↑兒童在學校的表現 ↑兒童健康 ↓兒童行為問題	↓精神疾病 ↓鐵缺乏症 ↓慢性疾病 ↑預期壽命 ↓兒童精神疾病 ↓兒童認知問題 ↓兒童行為健康問題 ↓兒童鐵缺乏症 ↓兒童口腔健康問題	↑預期壽命 ↑健康狀況 ↑心理健康	↓死亡率 ↓哮喘發病率 ↓抑鬱症 ↓不良分娩結果，包括低出生體重和小於胎齡 ↑預期壽命

HA：入院人數；ERV：急診室就診人數。

\*見附件 G（公共健康）中所列各項健康狀況的研究參考表。

表格 3-13. 《範疇計畫草案》對健康協同效益領域（交通污染、野火以及需要身體活動的交通方式）的定向裨益

健康協同效益領域*			
定量與定性	交通污染減少	野火煙霧減少	需要活動的交通方式增加
將研究用於定量分析	<ul style="list-style-type: none"> <li>↓兒童呼吸系統疾病，入院人數</li> <li>↓兒童呼吸系統疾病，急診室就診人數</li> <li>↓兒童哮喘發病率</li> <li>↓兒童哮喘症狀</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>↓全因死亡率</li> <li>↓哮喘，入院人數</li> <li>↓慢性阻塞性肺病，入院人數</li> <li>↓所有呼吸系統疾病，入院人數</li> <li>↓哮喘，急診室就診人數</li> <li>↓所有呼吸系統疾病，急診室就診人數</li> <li>↓所有心臟疾病，急診室就診人數</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>↓心血管疾病</li> <li>↓結腸癌</li> <li>↓乳腺癌</li> <li>↓糖尿病</li> <li>↓癡呆症</li> <li>↓肺癌</li> <li>↓呼吸系統疾病</li> <li>↓抑鬱症</li> <li>↑交通事故</li> </ul>
將研究用於定性分析	<ul style="list-style-type: none"> <li>↑兒童肺功能增長</li> <li>↓兒童支氣管炎症狀</li> <li>↓兒童認知發展受損</li> <li>↓兒童不良分娩結果，包括低出生體重和早產</li> </ul>		

\*見附件 G（公共健康）中所列各項健康狀況的研究參考表。

總之，對《範疇計畫草案》中不採取行動與採取行動之方案的定性健康分析表明，採取行動推進碳中和，同時繼續大力提高各個社區的健康公平和復原力，對加州具有極大益處。採取行動可改善成人和兒童的身心健康，減少一系列慢性疾病，並促進預期壽命的提高。為了實現 2022 年《範疇計畫終稿》所要求的結果，在制定和實施行動方案時應考慮如何讓受影響的社區參與實施，解決現有的健康和機會差距，並在全州和地方推行公平的實施。2022 年《範疇計畫草案》對清潔技術和燃料的部署以及土地治理的改善，將減少溫室氣體和空氣污染，使社區更具復原力，能夠更好地應對極端氣候事件並從中恢復。

## 環境分析

加州空氣資源局作為《範疇計畫草案》的主導機構，根據《加州環境品質法》（CEQA）的要求以及加州空氣資源局的、經自然資源部部長認證的監管計畫（《加州法規》第 17 篇第 60006-60008 節；《加州法規》第 14 篇第 15251 節(d)項）編制了《環境分析草案》（EA）。本文件以《加州環境品質法》指南環境檢查清單中的資源領域為框架，對 2022 年《範疇計畫草案》中討論的擬議措施的實施所產生的合理可預見的合規回應進行了有計畫的環境分析。《環境分析草案》對有利和不利影響以及與擬議措施相關的合理可預見合規回應的可行緩解措施進行了分析。總體而言，《環境分析草案》認為，這些行動的實施可能帶來以下短期和長期的有利和不利影響：

- 有利影響：空氣品質（長期作業相關）和溫室氣體排放（短期施工相關和長期作業相關）
  - 不顯著的影響：能源需求、礦產資源、人口和住房、公共服務、娛樂（短期施工相關）和野火（短期施工相關）
- 可能較為重大的、不可避免的不利影響：美學、農業和森林資源、空氣品質（施工相關、作業氣味）、生物資源、文化資源、地質和土壤、危險和有害物質、水文和水質、土地使用和規劃、噪音、娛樂（長期作業相關）、運輸和交通、部落文化資源、公用事業和服務系統以及野火（長期作業相關）

更多細節請參考附件 B（環境分析草案）中的《環境分析草案》。加州空氣資源局將針對其收到的關於《環境分析草案》的所有意見編制書面回復，並隨《最終環境分析》一同提交給委員會審議。



## 第 4 章：關鍵部門

第 4 章根據最新資料概述了當今使用的主要能源和技術以及用於支援去碳化的替代清潔技術和燃料。各經濟部門需要保持正軌，以實現我們的 2030 年溫室氣體減排目標，並最遲于 2045 年實現碳中和。AB 32 要求相關部門在促進溫室氣體減排時考慮氣候變遷減緩政策。運輸、電力（州內和進口）和工業部門在溫室氣體清單中占比最大，因此也提供了減少溫室氣體的最大可能。減少這些部門的化石燃料燃燒的行動還可以極大減少在低收入社區和有色人種社區的空氣污染，因為這些社區通常位於這些污染源附近。碳中和框架還有助於更好地發揮自然和工作用地以及機械捕獲和儲存等方式清除二氧化碳的作用。支援能源效率、車輛行駛里程減少、替代燃料和可再生能源的行動也可以減少標準和有毒空氣污染物，從而帶來各種益處。

很明顯，本計畫不同於以往的範疇計畫，本計畫側重於加快每個部門的清潔技術和能源部署速度。因此，必須將具體行動（包括最終計畫中確定的清潔技術和燃料的加速部署）轉化為新發佈和修訂的法規、政策和激勵計畫。州機構需要評估目前的許可權，以調整現有政策或制定新的政策，達到最終計畫中要求的結果。某些情況下，可能需要立法支援才能確保有足夠的許可權和資金，保證最終計畫可以轉化為實地行動。大部分法規或對現有的法規的修改須遵循行政程式要求，最終由委員會或其他州機構審議通過，因此，必須依靠具體的後續支援分析和廣泛的公共流程，才能制定和確定可供有效實施的適當方案。例如，任何以修正案提高碳強度（CI）目標嚴格程度從而加強低碳燃料標準法規的建議，都將在公共流程的基礎上予以審議，包括研討會以及以環境、經濟和公共健康為重點的分析。

相關政策必須確保整個經濟體的投資或專案決策考慮溫室氣體的排放，這點尤為重要。在致力於溫室氣體減排目標時，我們必須認識到建築環境和自然環境的關聯方式、兩者的變化如何相互影響以及一個部門的政策選擇如何影響其他部門。例如，促進填充區的發展更加緊湊並提高其交通效率、增加交通選擇以減少車輛行駛里程，不僅可以減少對交通燃料的需求，所需的建築能源也更加少，有助於保護能夠進行碳封存的自然和工作用地。因此，減少車輛行駛里程的多種行動往往是相互交織的，既可減少交通部門的排放，又可支援其他部門所需的減排。

SB 350<sup>226</sup>（De León 和 Leno，《2015 年法規》第 457 章）等最新法律已認識到加州空氣資源局、加州能源委員會（CEC）和加州公共事業委員會（CPUC）需要相互合作，才能確保加州的能源和氣候目標融入到負荷服務實體的採購決策之中，以此作為整合資源計畫的一部分。未來尤其需要注意的是，採取類似方法打破各州機構之間的界限，以確保政策和方案與本計畫中概述的多個州優先事項保持一致。最後，支援性的立法方向也有益於

---

<sup>226</sup>加州空氣資源局。SB 350 電力部門溫室氣體規劃目標 <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/sb350>



新興政策領域，如二氧化碳移除，從而賦予各機構處理這些新興工作的許可權和職權，包括簡化許可，同時確保對社區的保護到位。

與以往將各經濟部門區分開的範疇計畫不同，本 2022 年《範疇計畫草案》從兩個角度解決去碳化問題：(1) 管理現有能源和技術的逐步減少問題；(2) 逐步增加、開發和部署替代清潔能源和技術。借助這種方法，我們可以更全面地考慮能源基礎設施、重新利用現有資產的能力以及是否需要建立新資產。它還提供除年度 AB 32 溫室氣體清單之外的多種衡量標準，便於更好地跟蹤進展。例如，該方法明確列出了特定類型的清潔能源的生產和分配率，如從現在到 2045 年，每年增加 7 千兆瓦的可再生能源和 2 千兆瓦的存儲，並對技術部署做同樣處理，如 2035 年實現零排放車輛達到 1100 萬輛。

以下各節闡述了成功擺脫化石燃料燃燒所需採取的關鍵行動，擺脫化石燃料燃燒正是本計畫的其中一個首要目標。本章詳細介紹了整個州政府正在考慮或將要採取的一系列廣泛補充行動和支援行動。因此，本章所述行動的宏觀角度為第 2 章所述之建議方案中確定的清潔技術和燃料的具體部署提供了背景。2022 年《範疇計畫草案》中確定的行動基於目前已知的選擇和最新的科學。在未來範疇計畫的更新中，可能還會確定更多的清潔技術和燃料，並將其納入所需的工具組合，以持續減少本州的溫室氣體排放，支援空氣品質的協同效益，並移除大氣中的碳。

## 交通永續性

長期以來，交通部門一直依靠液體石油燃料作為內燃機（ICE）車輛的主要能源，包括汽車、卡車、機車、船舶設備和飛機。車輛燃燒化石燃料會排放大量的溫室氣體、標準污染物和有毒空氣污染物。2019 年，交通部門占全州溫室氣體排放量的 50% 以上，因此，到目前為止，交通部門是本州最大的單一碳污染部門來源。<sup>227</sup>此外，交通部門占全州氮氧化物排放量的 75% 以上，占顆粒物排放量的絕大部分，其中 30% 是有毒的柴油顆粒物。<sup>228</sup>毗鄰擁擠公路的社區，包括港口和配送中心，暴露於消耗化石燃料的車輛和設備所產生的最高濃度的有毒污染物之中，經證實，這些污染物已導致多種健康影響，如呼吸系統疾病、患癌幾率更高和過早死亡。此外，靠近石油開採作業或原油提煉廠的社區往往更容易受到惡劣空氣品質的影響。雖然加州空氣資源局的方案和地方行動在過去幾十年中取得了實質性的進展，但很明顯，加州必須以最快的速度從化石燃料向零排放車輛技術轉變，並推行減少駕駛的政策，才能實現我們的溫室氣體和空氣品質目標。

---

<sup>227</sup>加州空氣資源局，2021，加州 2000 年至 2019 年溫室氣體排放：排放和其他指標趨勢，[https://ww3.arb.ca.gov/cc/inventory/pubs/reports/2000\\_2019/ghg\\_inventory\\_trends\\_00-19.pdf](https://ww3.arb.ca.gov/cc/inventory/pubs/reports/2000_2019/ghg_inventory_trends_00-19.pdf) 包括上游石油開採和煉油排放。

<sup>228</sup>加州空氣資源局，加州空氣資源局排放清單計劃，<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/ghg-inventory-program>

交通部門可以分為三個大類：技術、燃料和車輛行駛里程。

- 技術是指車輛本身，以及這些車輛的相關燃料補給基礎設施。
- 燃料是指車輛驅動能源和這些能源的生產設施。
- 車輛行駛情況是以車輛行駛里程（VMT）來衡量的，是發展模式和現有交通選擇的產物。

## 部門轉型

### 技術

車輛必須向零排放車輛技術轉變，才能實現交通部門的碳減排。<sup>229</sup>第 N-79-20 號《行政令》（EO）<sup>230</sup>設定了達到所銷售車輛 100%零排放或車輛整體向零排放車輛技術轉變的目標日期，反映了向零排放車輛（ZEV）轉變的緊迫性。目前主要的零排放車輛技術是電池電動車和氫燃料電池電動車（FCEV），這兩種車輛不燃燒燃料，因此在運行中不排放溫室氣體、標準污染物或有毒空氣污染物。這些車輛在性能、經濟性和受歡迎程度方面迅速增長。<sup>231</sup>插電式混合動力汽車也可實現有限的零排放續航距離，但該距離在不斷增加，並且可以在向完全零排放車輛的轉變中發揮橋樑技術的作用。

輕型乘用車消耗了州內的大部分汽油——其中 2019 年為 129 億加侖<sup>232</sup>，非常適合向零排放車輛轉變。第 N-79-20 號《行政令》要求到 2035 年所銷售的新輕型車輛實現 100%零排放，2022 年《範疇計畫草案》也體現了該目標。<sup>233</sup>擬議的先進清潔汽車 II 法規與行政令中的目標一致，旨在作為主要機制，幫助部署零排放車輛。一些現有激勵計畫也支援這種轉變，包括全民清潔汽車 4 計畫。<sup>234</sup>重型卡車是柴油微粒物質的最大來源，許多不利的健康影響都與這種有毒空氣污染物有直接關係。以零排放車輛技術取代重型車輛，將大大減少港口、配送中心和高速公路附近的低收入社區和有色人種社區中的溫室氣體排放和柴油細粒狀物排放。現有的先進清潔卡車法規，再加上擬議的先進清潔車隊法規，均是為了

---

<sup>229</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 NF8 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#) (ca.gov)

<sup>230</sup>第 N-79-20 號《行政令》，<https://www.gov.ca.gov/wp-content/uploads/2020/09/9.23.20-EO-N-79-20-Climate.pdf>

<sup>231</sup>高級清潔車輛公共研討會 II。2021 年 5 月 6 日，[https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2021-05/acc2\\_workshop\\_slides\\_may062021\\_ac.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2021-05/acc2_workshop_slides_may062021_ac.pdf)

<sup>232</sup>加州空氣資源局，2021，*燃料燃燒和熱含量*。第十四版，[https://ww3.arb.ca.gov/cc/inventory/data/tables/fuel\\_activity\\_inventory\\_by\\_sector\\_all\\_00-19.xlsx](https://ww3.arb.ca.gov/cc/inventory/data/tables/fuel_activity_inventory_by_sector_all_00-19.xlsx)

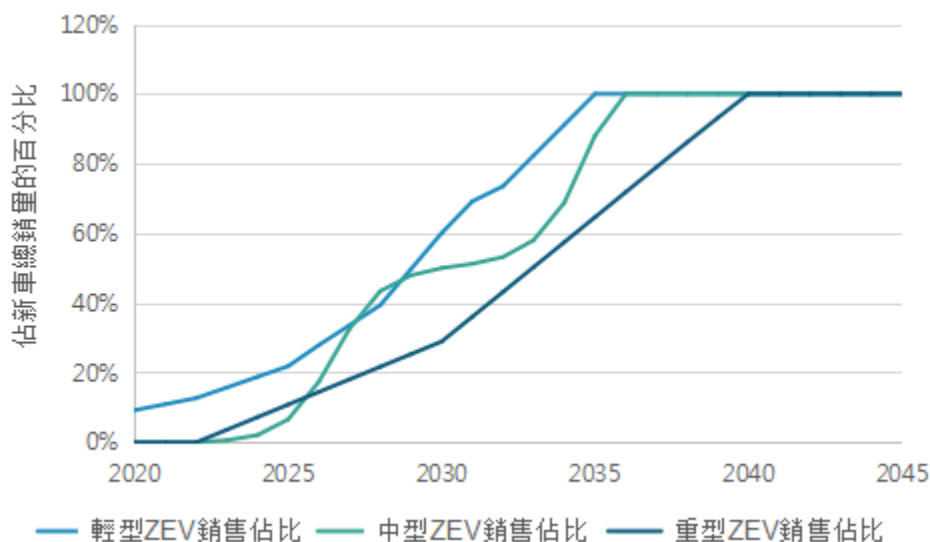
<sup>233</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 F1A 號建議草案，註明全部新車輛實現零排放之日期，[ejacrecsrevised.pdf](#) (ca.gov)

<sup>234</sup>加州空氣資源局，全民清潔汽車計劃，<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/clean-cars-4-all> 清潔能源汽車獎勵計劃（CVRP）也支援向零排放車輛轉變，<https://cleanvehiclerebate.org/en>

將大量的加州卡車隊伍轉向零排放車輛技術。與輕型商用車部門一樣，一些激勵計畫也支援這種轉變，如混合型和零排放卡車及公共汽車獎券獎勵專案（HVIP）。<sup>235</sup>

下圖 4-1 說明了大幅減少車輛溫室氣體排放所需的車輛技術的轉型速度。所銷售的各種車輛類型於 2045 年之前實現 100% 零排放，其中一些類型早在此之前即已實現。各類車輛的零排放車輛技術主要涉及的是電動車和氫燃料電池。<sup>236</sup>

圖 4-1：建議方案中的公路車輛銷售向零排放車輛技術轉變



如今的越野車輛同樣嚴重依賴碟煞冷卻技術。第 N-79-20 號《行政令》設定了一項越野裝備目標，即在可行的情況下，到 2035 年，全部車輛轉而採用零排放車輛技術。為了開發符合或超過現有設備性能的零排放設備類型並使之商業化，非常需要對越野領域進行投資和創新。目前有許多資金源支援這種轉變，包括 FARMER 計畫、卡爾·莫耶紀念空氣品質達標計畫（Carl Moyer）和社區空氣保護計畫（CAPP）等，以及包括清潔越野裝備（CORE）計畫在內的低碳交通激勵措施。此外，2021-22 年加州預算撥出創紀錄的高額資金，用於支援零排放車輛，包括越野裝備，下一年的擬議預算也同樣大刀闊斧。<sup>237</sup>最近

<sup>235</sup>加州混合型和零排放卡車及公共汽車獎勵項目，家用——混合型和零排放卡車及公共汽車獎券獎勵項目，<https://californiahvip.org/?msclkid=efaf65f2c26f11eca6bdd08ecc323864>

<sup>236</sup>到 2045 年，輕型車隊至少有 300 萬輛燃料電池電動車。

<sup>237</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 F1C 號建議草案。加州空氣資源局和政府承諾增加對交通公平投資的重視，並將其體現在了州長 2022-23 年擬議預算中，[ejacrevised.pdf](#) (ca.gov)

通過的或正在制定幾項側重於向零排放越野裝備之轉變的法規，適用於機車、叉車、遠洋停泊船舶、<sup>238</sup>商業港口船隻、小型越野引擎（SORE）<sup>239</sup>等。

燃料補給基礎設施是轉變交通技術的一個重要組成部分。電動車充電器和加氫站必須方便所有司機使用，以支援向零排放車輛技術的全面轉變。目前，零排放車輛燃料補給基礎設施的部署得到了一些現有的公共資金機制的支援，一些公司，如特斯拉、福特、FirstElement、雪佛龍、殼牌和岩穀，正投入大量私人資源發展這些網路。隨著零排放車輛的商業案例不斷強化，對可靠、經濟適用和無處不在的燃料補給基礎設施進行私人投資必然會推動轉變。

## 成功策略

- 在售輕型車輛於 2035 年實現 100%零排放，中重型車輛於 2040 年實現 100%零排放<sup>240</sup>。
- 建立快速且強大的零排放車輛燃料補給基礎設施網路，以支援向零排放車輛的必要轉變。
- 確保向零排放車輛技術的轉變是低收入家庭可以承受的，並滿足社區和小型企業的需求。<sup>241</sup>
- 在本州有害標準污染物和有毒空氣污染物排放濃度最高的地區，優先為重型零排放車輛技術的部署提供激勵性資助。<sup>242</sup>
- 根據第 B-48-18 號《行政令》，以監管的確定性為支撐，推動向零排放車輛技術之轉變的私人投資，如低碳燃料標準中的<sup>243</sup>氫氣和電力基礎設施貸款<sup>244</sup>、加州能源委員會清潔交通計畫的氫氣站撥款。<sup>245</sup>

---

<sup>238</sup>加州空氣資源局，遠洋船舶停泊規則，<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/ocean-going-vessels-berth-regulation>

<sup>239</sup>加州空氣資源局，小型越野引擎（SORE），<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/small-off-road-engines-sore>

<sup>240</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 F1A 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](https://www.ejacrecsrevised.pdf)(ca.gov)

<sup>241</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 NF6 號建議草案（社區），[ejacrecsrevised.pdf](https://www.ejacrecsrevised.pdf)(ca.gov)

<sup>242</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 NF7 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](https://www.ejacrecsrevised.pdf)(ca.gov)

<sup>243</sup>加州空氣資源局，低碳燃料標準零排放車輛信貸，<https://ww2.arb.ca.gov/resources/documents/lcfs-zev-infrastructure-crediting>

<sup>244</sup>加州能源委員會（CEC），清潔交通計劃，<https://www.energy.ca.gov/programs-and-topics/programs/clean-transportation-program>

<sup>245</sup>第 B-48-18 號《行政令》要求至 2025 年建成 200 個加氫站，<https://www.library.ca.gov/wp-content/uploads/GovernmentPublications/executive-order-proclamation/39-B-48-18.pdf>



- 評估並繼續提供與 FARMER<sup>246</sup>、卡爾·莫耶紀念空氣品質達標計畫<sup>247</sup>、清潔燃料獎勵計畫<sup>248</sup>、<sup>249</sup>社區空氣品質保護計劃和低碳交通<sup>250</sup>計劃類似的激勵，包括清潔越野裝備計畫<sup>251</sup>、<sup>252</sup>
- 繼續並加快對零排放車輛和燃料補給基礎設施的資金支援，一直到 2030 年，確保交通部門快速轉型。
- 評估並調整 2022 年《範疇計畫草案》中的相關政策，如先進清潔汽車 II、<sup>253</sup>創新型清潔運輸<sup>254</sup>、零排放機場班車、<sup>255</sup>加州第二階段溫室氣體標準、<sup>256</sup>先進清潔卡車、先進清潔車隊、零排放叉車、<sup>257</sup>在用機車、<sup>258</sup>越野零排放目標製造商規則、清潔越野車隊認可計畫、在用越野柴油燃料車隊條例、<sup>259</sup>商業港務船<sup>260</sup>、在用越野柴油燃料車隊條例修訂本<sup>261</sup>、透過碳總量限制和交易計畫進行的碳定價<sup>262</sup>、低碳燃料標準。<sup>263</sup>

<sup>246</sup>加州空氣資源局，FARMER 計劃，<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/farmer-program>。

<sup>247</sup>加州空氣資源局，卡爾·莫耶紀念空氣品質達標計畫，<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/carl-moyer-memorial-air-quality-standards-attainment-program>

<sup>248</sup>加州清潔燃料獎勵計畫，<https://cleanfuelreward.com/>

<sup>249</sup>加州空氣資源局，社區空氣保護計劃，<https://ww2.arb.ca.gov/capp>

<sup>250</sup>加州空氣資源局，低碳交通投資和空氣品質改善計劃，<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/low-carbon-transportation-investments-and-air-quality-improvement-program>

<sup>251</sup>清潔越野裝備獎券激勵計劃，<https://californiacore.org/>

<sup>252</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 F1C 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](https://www.ejacrecsrevised.pdf) (ca.gov)

<sup>253</sup>加州空氣資源局，先進清潔汽車計劃，<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/advanced-clean-cars-program>

<sup>254</sup>加州空氣資源局，創新型清潔運輸，<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/innovative-clean-transit>

<sup>255</sup>加州空氣資源局，零排放機場班車，<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/zero-emission-airport-shuttle>

<sup>256</sup>加州空氣資源局，加州第 2 階段溫室氣體標準，<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/greenhouse-gas-standards-medium-and-heavy-duty-engines-and-vehicles/phase2>

<sup>257</sup>加州空氣資源局，零排放叉車，<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/zero-emission-forklifts>

<sup>258</sup>加州空氣資源局，減少加州鐵路排放，<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/reducing-rail-emissions-california>

<sup>259</sup>加州空氣資源局，《在用越野柴油燃料車隊條例》，<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/use-road-diesel-fueled-fleets-regulation><https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/use-road-diesel-fueled-fleets-regulation>

<sup>260</sup>加州空氣資源局，商業港務船，<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/commercial-harbor-craft>

<sup>261</sup>加州空氣資源局，在用越野柴油燃料車隊條例，<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/use-road-diesel-fueled-fleets-regulation>

<sup>262</sup>加州空氣資源局，碳總量限制和交易計劃，<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/cap-and-trade-program>

<sup>263</sup>加州空氣資源局，低碳燃料標準，<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/low-carbon-fuel-standard>

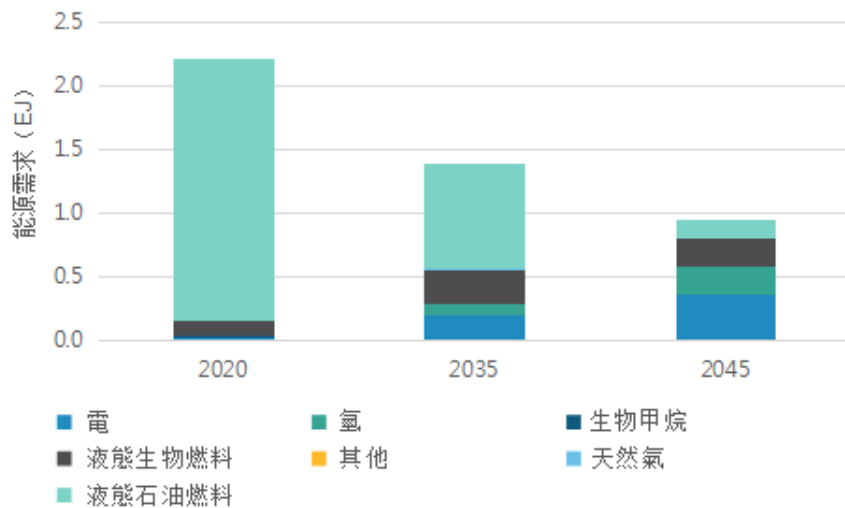
- 在保護公共健康和環境的同時，確定並解決許可和市場障礙，才能快速順利完成零排放技術部署。

## 燃料

淘汰內燃機車輛是解決方案的一部分，但我們必須確保有足夠的零碳替代燃料為這些車輛提供動力。電力和氫氣是零排放車輛的主要燃料，這兩種燃料必須使用低碳技術和原料進行生產，以儘量減少上游排放，因為低碳燃料標準計算的是燃料的生命週期碳強度。

向完整零排放車輛技術的轉變不會一蹴而就。即使在所有新車銷售均轉向零排放技術之後，一段時間內，道路上仍會有傳統車輛。此外，一些裝備類型目前尚處於零排放車輛技術開發的初始階段，如商業飛機或遠洋船舶。除建立零碳燃料的生產和分配基礎設施外，本州還必須在這一轉變時期繼續為低碳液體燃料以及更艱難的零排放車輛技術部門提供支援，如航空、機車和海洋應用。生物甲烷目前取代了交通領域的化石燃料，在難以實現碳移除的部門需求非常大，但在交通部門向零排放車輛轉變時，可能會繼續在一些車隊中發揮目標作用。插圖 4-2 提供了 2020 年使用的燃料以及 2035 年和 2045 年建議方案中的燃料組合的詳情。

插圖 4-2：2020 年、2035 年和 2045 年建議方案中的交通燃料組合



替代燃料私人投資將在以多樣化的交通燃料供應代替化石燃料方面發揮關鍵作用。低碳燃料標準是以低碳替代品轉變加州交通燃料池的主要機制，促進了替代燃料市場的增長。部分由於低碳燃料標準發出的強大市場信號，可再生柴油、永續航空燃料、可再生天然氣和電力等燃料佔據了巨大市場份額，並繼續取代公路車輛和越野車的汽油和柴油。此外，第 N-79-20 號《行政令》呼籲各州機構支援現有燃料生產設施的轉變，淘汰化石燃料，在轉變中必須保護工人、公共健康、安全和環境並提供支援。按照這一方向，可以重新利用現有煉油廠生產永續航空燃料、可再生柴油和氫氣。這一趨勢已然開始，州內持續發展燃料



生產能力，以支援能源轉型，同時盡全力高效利用現有資產，對避免排放洩漏至關重要。如果燃料生產設施停止運營後，燃料需求仍然存在，則必須通過進口滿足燃料需求。

在我們進行轉變或建設新的能源生產設施和基礎設施時，必須確保低收入社區和有色人種社區目前面臨的空氣污染差異不會增加，而是繼續減少。加州必須使用現有的最佳科學，確保生產交通燃料所需的原材料能夠從生命週期的角度減少溫室氣體。<sup>264</sup>替代燃料生產的急劇增加決不能以全球森林砍伐、非永續土地改造或不利的糧食供應影響（僅列舉幾個例子）為代價。工作人員將繼續關注有關這些主題的科學發現，以確保低碳燃料標準等加州政策發出適當的市場信號，避免造成意外後果。<sup>265</sup>

## 成功策略

- 快速減少加州化石燃料的生產和消費並替代化石燃料。<sup>266</sup>
- 激勵私人投資於加州新的零碳燃料生產。
- 激勵現有燃料生產和分配資產的轉變，以支援低碳和零碳燃料部署，同時保護公共健康和環境。
- 對基礎設施進行投資，以支援可靠的交通燃料補給，如電力和氫氣補給。
- 評估碳總量限制和交易計畫，並根據需要提出修改建議，以加強該計畫。
- 啟動公共流程，重點關注提高低碳燃料標準的嚴格程度和範疇的方案：
  - 評估並提出 2030 年前低碳燃料標準的加速碳強度目標。
  - 評估 2030 年後低碳燃料標準碳強度目標的進一步下降，並提出建議，以符合 2022 年《範疇計畫終稿》。
  - 考慮將選擇加入的部門納入計畫。
  - 為氫氣和電力（作為重型車燃料）提供容量信用。
- 監測並確保用於生產低碳燃料原材料或技術的不會導致意外後果。<sup>267</sup>

## 車輛行駛里程

交通部門轉型不僅僅是逐步淘汰燃燒技術和生產清潔燃料。加州的目標是在碳中和經濟中建立一個永續的交通部門，因此透過減少人們每天的駕駛里程來減少對交通能源的總需求也是至關重要的。<sup>268</sup>儘管推行清潔車輛和燃料使溫室氣體排放正在下降，但不斷上升的機動車行駛里程卻又可以抵消所施行法規的有效裨益。

---

<sup>264</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 NF5 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#)(ca.gov)

<sup>265</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 F1E 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#)(ca.gov)

<sup>266</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 F3 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#)(ca.gov)

<sup>267</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 F1E 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#)(ca.gov)

<sup>268</sup>參閱附件 E（永續社區）。

即使在全面執行第 N-79-20 號《行政令》、使輕型車輛部門於 2035 年實現 100% 零排放車輛銷售的情況下，仍會有相當一部分乘用車依賴內燃機技術，如上方插圖 4-2 所示。即使車輛完成向零排放車輛技術的轉變，減少車輛行駛里程對於減少整體交通能源需求和實現我們的氣候、空氣品質和公平目標而言仍可發揮不可或缺的作用。2020 年間，疫情導致車輛行駛里程大幅減少，之後乘客車輛行駛里程又穩步回升，目前正接近疫情之前的水準。<sup>269</sup>無乘客的單獨駕駛仍是加州主要出行方式，占日常通勤出行方式的 75%。在數月的封鎖期間，公共交通也受到了嚴重影響，但其恢復速度並不像車輛行駛里程那樣快，大致平均為疫情之前客流量的 2/3。<sup>270、271</sup>

在過去十年的大部分時間裏，一直難以持續地減少車輛行駛里程，這在很大程度上是由於根深蒂固的交通、土地使用和住房政策及慣例。具體而言，歷來有利於單人乘用車出行方式的決策塑造了各種發展模式和支援這些模式的交通選擇。單一用途分區（每個區域只允許一種土地用途——無論是住房、辦公、商場還是其他用途）和低密度環境（附近工作或居住的人較少）均是透過加州現行土地使用法規而得以普遍推廣。這種類型的分區迫使人們必須開車到更遠的地方才能滿足其日常需求，並且降低了公共交通、騎自行車和步行的可行性。加州的交通系統通常也是為私家車及其使用者服務的，並有相應的規劃和資金支援。

社區在哪里以及如何規劃和構建住房和交通服務，也強加並助長了長期存在的種族和經濟不公正，使居民別無選擇，只能花大量的時間和金錢從他們能負擔得起的地方遠距離通勤。這給低收入的加州群體帶來了沉重負擔，他們的住房和交通支出占工資的比例是最高的。

---

<sup>269</sup>美國交通部，2021。2021 年 12 月交通量趨勢。插圖 3——按季度調整的每月車輛行使里程，

[https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/travel\\_monitoring/21dectvt/figure3.cfm](https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/travel_monitoring/21dectvt/figure3.cfm)

<sup>270</sup>美國國會會計總署。2022 年 1 月 25 日，新冠肺炎疫情期間，道路死亡人數增加、公共交通客流下降，

<https://www.gao.gov/blog/during-covid-19-road-fatalities-increased-and-transit-ridership-dipped>

<sup>271</sup>美國公共交通協會，美國公共交通協會——客流趨勢，<https://transitapp.com/APTA>

## 成功策略

- 到 2045 年，實現人均車輛行使里程比 2019 年的水準至少減少 22%。
- 根據當地情況和需求實施公平的道路收費策略，重新分配收入以改善公共交通、自行車騎行和其他永續交通選擇。<sup>272</sup>
- 以滿足社區需求和減少駕車需求的方式，重新規劃增加車輛行駛里程的新道路專案。加大公共交通投資，透過提高經濟適用性、可靠性、覆蓋面、服務頻率和消費者體驗，使之成為切實可行的駕車替代方式。<sup>273</sup>
- 擴大和完善需要身體活動的高質量交通基礎設施之網路。<sup>274</sup>
- 引導自動駕駛車輛、打車服務和其他新型交通方式的部署，使之成為乘客量和低車輛行使里程影響的服務模式，以補充公共交通，確保優先人群能夠公平使用。
- 透過加州綜合出行專案等計畫，簡化公共交通的使用。確保在所採納區域計畫中，土地使用、住房、交通和保育規劃保持一致，如區域交通計畫（RTP）或永續社區戰略（SCS）、區域住房需求評估（RHNA）以及地方計畫（如總體計畫、分區和地方交通計畫），並開發相關工具用以支援這些計畫的實施。
- 在交通效率高的地方，以低收入居民住房為重點，加快所有可負擔能力水準的填充式開發和住房建設。

## 清潔電力網

迄今為止，本州在減少溫室氣體方面的成就主要歸功於電力部門在可再生能源配額制、整合能源規劃和碳總量限制和交易計畫下的去碳化。未來，一個清潔、可負擔和可靠的電網將成為支撐整個加州經濟體深度去碳的支柱。此外，必須滿足前所未有的負荷增長，以實現 2022 年《範疇計畫草案》中所要求的結果。在我們逐步淘汰化石燃料的同時，氫氣、可再生天然氣等其他清潔能源仍然是必需的選擇。

電力供應驅動著整個加州的製造能力，並保障著所有加州人的冷暖。根據 2022 年《範疇計畫草案》，電力在支撐經濟方面的作用幾乎在每一個部門都會增長。2020 年，加州 70% 的電力需求由本州電廠供應，總功率約為 80 吉瓦特，其餘由州外輸入。<sup>275</sup>此外，到

---

<sup>272</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 F1D 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#)(ca.gov)

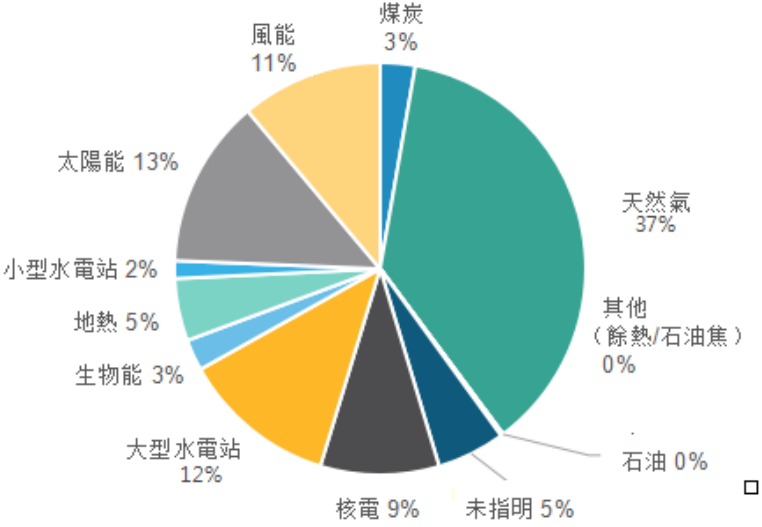
<sup>273</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 F1D 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#)(ca.gov)

<sup>274</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 F1F 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#)(ca.gov)

<sup>275</sup>加州能源委員會，2020。發電能力和能源，數據來源：<https://www.energy.ca.gov/data-reports/energy-almanac/california-electricity-data/electric-generation-capacity-and-energy>，加州能源委員會，2020。系統總發電量，數據來源：<https://www.energy.ca.gov/data-reports/energy-almanac/california-electricity-data/2020-total-system-electric-generation>。容量值是指 1 兆瓦及以上來源的銘牌額定值。

目前為止，已經安裝了約 8 吉瓦的客戶太陽能光伏發電能力，以幫助滿足州內需求。<sup>276</sup>插圖 4-3 顯示了州內和州外輸入電力來源的明細。

插圖 4-3：2020 年系統總發電量（吉瓦時）。<sup>277</sup>



註：系統總發電量中的輸入部分，62%來源於零碳能源，38%來源於可再生能源和未指明能源。由於四捨五入，百分比加起來不等於100%。

2020 年，在加州所使用的電量中，約 45%使用不可再生和非指定資源發電，55%使用可再生和零碳資源發電。<sup>278</sup>雖然化石燃料仍然占資源組合的很大一部分，但本州的電力系統已然進入了過渡時期。近 6,000 兆瓦的固定和可調度資源<sup>279</sup>預計將在未來五年內退出，包括加州獨立系統經營商（CAISO）平衡監管區內剩餘的化石燃料直流冷卻（OTC）發電廠和魔鬼穀核電廠。同時，本州繼續迅速擴大可再生資源的部署，並計畫提高電氣化程度。<sup>280</sup>

<sup>276</sup>加州能源委員會，2021。SB100 聯合機構報告概要：加州實現 100%清潔電力之初步評估，10。  
<https://www.energy.ca.gov/publications/2021/2021-sb-100-joint-agency-report-achieving-100-percent-clean-electricity>

<sup>277</sup>系統總發電量是所有大型地面電站州內發電量再加上淨輸入電力之總和。

<sup>278</sup>非指定電力是指無法追蹤到具體發電廠的電力，如透過公開市場交易的電力。非指定電力通常由各種資源混合組成，可能包括可再生能源。

<sup>279</sup>可調度發電機可以根據系統運營商的命令提高或降低電源輸出。固定發電是指發電機可以保證在一個特定的時間間隔內保持恒定的電力輸出水準。

<sup>280</sup>隨著魔鬼穀和幾個直流冷卻設施退役，加州公共事業委員會於 2021 年 6 月通過第 D.21-06-035 號文件，指示在 2023 年和 2026 年之間新採購 11,500 兆瓦電力，以確保整個系統的電力可靠性。文件要求，在這 11,500 兆瓦電量中，必須有 2,500 兆瓦來自於零排放資源。此外，2,000 兆瓦必須是長週期資源，其中至少有 1,000 兆瓦的長週期存儲和 1,000 兆瓦的現場零排放電量或符合可再生能源配額制資格要求的固定電量。

雖然由於可再生能源數量的增加，電力部門正在減少使用化石燃料，但在短期內<sup>281</sup>，化石氣發電仍將在保障電網可靠性方面發揮關鍵作用，直至可以供應和部署其他清潔、可調度替代品。越來越多的可變可再生發電資源的整合正改變著電力系統的規劃和運營，<sup>282</sup>系統經營者需要具有靈活屬性的資源來平衡不斷變化的供應和需求。每天中午，也就是太陽光照最強烈之時，更容易出現太陽能供應過剩的情況。<sup>283</sup>在一年中的某些時候，需求減去可變發電量所得值在正午時分較低，但之後又迅速上升。例如，在炎熱的夏季，白天以客戶太陽能發電滿足的需求在太陽落山時又轉回電網。由於用戶對空調、電燈和電器的需求在夏季晚間依然很高，如果沒有充分的規劃，可能會給電網帶來壓力，導致可靠性問題。<sup>284</sup>插圖 4-4 說明了加州需求高峰的時間點是如何轉變的，以及電網運營商為何不能在太陽落山後轉用太陽能滿足由此產生的淨需求高峰。<sup>285</sup>為了幫助解決這一挑戰，目前和未來五年內，將太陽能與電池相結合的資源配置以及更多的電池匹配，正在上線。

---

<sup>281</sup>加州空氣資源局，2021，加州 2000 年至 2019 年溫室氣體排放：排放和其他指標趨勢，

[https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/classic/cc/ca\\_ghg\\_inventory\\_trends\\_2000-2019.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/classic/cc/ca_ghg_inventory_trends_2000-2019.pdf)

<sup>282</sup>可變可再生發電資源是一種可再生的電力資源，由於其波動性，此類資源-不可調度，只有在天氣條件合適時才會產生電力，如陽光普照或起風時。可控制和可調度的可再生資源包括地熱、生物質和基於大壩水電。

<sup>283</sup>此處的光照為口語用法；太陽能取決於日射量（例如，日照時數），測量的是一段時間內射入某一區域的累積太陽能。

<sup>284</sup>加州獨立系統經營商、加州公共事業委員會和加州能源委員會，2021。最終根源分析：2020 年 8 月中旬的極端熱浪，<http://www.caiso.com/Documents/Final-Root-Cause-Analysis-Mid-August-2020-Extreme-Heat-Wave.pdf>

<sup>285</sup>淨需求高峰期是指下午 4:00-9:00 之間的時間段，此時可變發電量（如太陽能）低於其容量值，但需求仍相對較高。



插圖 4-4：2011-2020 年 7 月至 9 月每日總電力需求和淨峰值的平均時間（太平洋夏令時）。



## 部門轉型

電力部門去碳化是本 2022 年《範疇計畫草案》的重要支柱。它取決於更有效地使用能源，並以可再生和零碳資源取代化石燃料發電，包括太陽能、風能、蓄能、<sup>286</sup>地熱、生物質和水電。可再生能源配額制 (RPS) 計畫<sup>287</sup>以及碳總量限制和交易計畫繼續刺激可再生能源調度，代替化石燃料發電來滿足本州需求。SB 100 (De León, 《《2018 年法規》》第 312 章) 提高了可再生能源配額制的嚴格程度，要求至 2030 年可再生能源比例達到 60%，至 2045 年加州的電力零售額<sup>288</sup>100%來自於可再生能源和零碳資源。除了電網層面的資源，州政府還透過加州太陽能倡議 (SB 1, Murray, 2006 年法規第 132 章) 等主要行動，為分佈式太陽能產業的快速增長提供了支援。<sup>289</sup>作為 SB 1339 (Stern, 《2018

<sup>286</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 NF1 號和第 NF2 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](https://www.ca.gov/ejacrecsrevised.pdf)(ca.gov)

<sup>287</sup>加州能源委員會預估，在加州 2019 年的電力零售額中，有 36%是由符合可再生能源配額制資格的可再生資源貢獻的 (參閱 <https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2021-11/CPUC-sp22-electricity-ws-11-02-21.pdf>)

<sup>288</sup>SB 100 僅涉及零售額和州機構的電力採購。2021 SB 100 聯合機構報告解釋稱，這意味著其他負荷——批發或非零售以及存儲、輸電線和配電線損失——均不在該法律範疇之內。

<sup>289</sup>關於該計劃 (已於 2016 年關閉) 的更多資訊，可查看加州公共事業委員會網站，包括年度計劃評估報告：<https://www.cpuc.ca.gov/industries-and-topics/electrical-energy/demand-side-management/california-solar-initiative>



年法規》第 566 章)的一部分，<sup>290</sup>目前正在研究以清潔資源驅動的微電網的商業化步驟。<sup>291</sup>

加州還繼續推進其電器和建築能效標準，以抑制電力消耗量增長，並達到 SB 350 (De León、Leno，《2015 年法規》第 547 章)的目標，即到 2030 年全州電力和化石氣終端用途中的節能效率翻倍。<sup>292</sup>2018 年，加州能源委員會通過了一項建築節能法規，要求從 2020 年 1 月 1 日起，大部分新住宅必須配備太陽能光伏系統<sup>293</sup> (或以附近的太陽能電池陣供電)。2019 年，加州實現了安裝 100 萬個太陽能屋頂裝置的里程碑。

SB 350 還旨在將電力需求的長期規劃與本州的氣候目標聯繫起來。這主要是透過加州空氣資源局為整個電力部門和每個電力供應商制定的 2030 年溫室氣體排放目標來實現，這些目標為加州公共事業委員會 (CPUC) 和公有公共事業機構的綜合資源計畫 (IRP) 提供參考。溫室氣體規劃目標範圍為 3,000 至 5,300 萬公噸二氧化碳——以 2017 年《範疇計畫》為參考，最初由加州空氣資源局於 2018 年制定並通過。在其《綜合資源計畫 (2021)》規劃週期中，加州公共事業委員會為電力部門設定了於 2030 年實現溫室氣體排放量限於 3,800 公噸的目標。<sup>294</sup>

建議方案包含 SB 350 的能源效率翻倍目標、加州公共事業委員會的 2030 年《綜合資源計畫》溫室氣體目標以及 SB 100 的 2030 年可再生能源配額制和 2045 年零碳零售目標，透過將大量能源需求轉入可再生和零碳資源，減少電力部門對化石燃料的依賴。<sup>295</sup>持續向可再生和零碳電力資源轉變，可以使電力成為整個經濟體中的化石燃料的零碳替代品。

插圖 4-5 顯示了為達到 SB100 零售目標而需要的建模資源能力。能源效率緩和了對額外發電量的一些需求。然而，如插圖 4-6 所示，與今天 (2020 年) 相比，由於人口增加和其他部門電氣化，到 2035 年，電力需求將增長約 50%，到 2045 年將增長近 80%，很快超過前述需求。到 2045 年，為滿足該需求水準，估計需要建設約 90 吉瓦的太陽能和 40 吉瓦的電池存儲。為了達到 2045 年的目標，本州需要將目前的州內可再生能源和零碳發電能力水準提高兩倍以上。與歷史最高速度相比，建議方案中的太陽能和電池存儲的年建

---

<sup>290</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 NF2 號和第 NF13 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#)(ca.gov)

<sup>291</sup>加州公共事業委員會，電網彈性和微電網，<https://www.cpuc.ca.gov/industries-and-topics/electrical-energy/infrastructure/resiliency-and-microgrids>

<sup>292</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 NF1 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#)(ca.gov)

<sup>293</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 NF2 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#)(ca.gov)

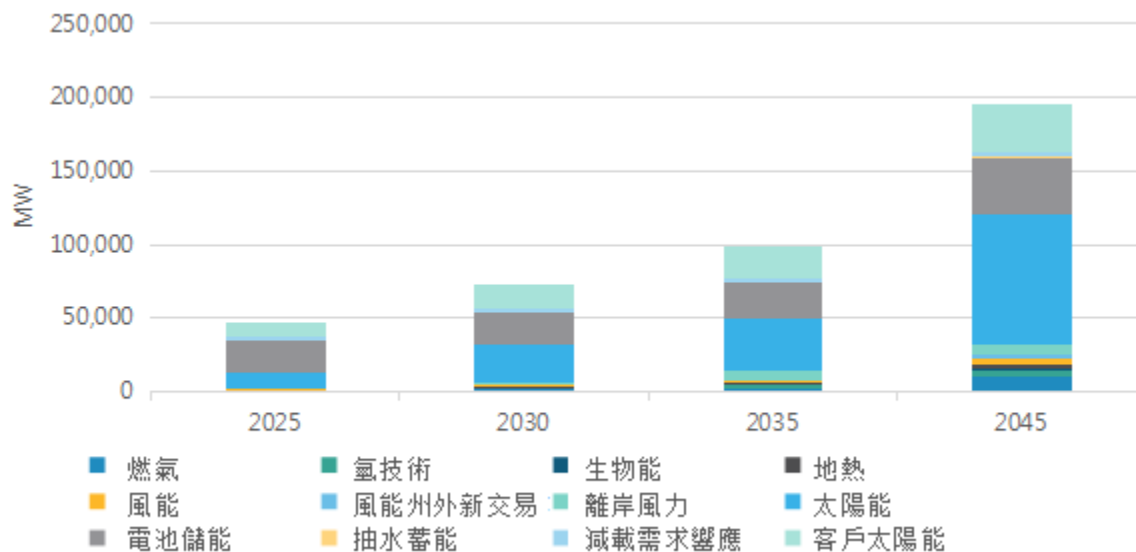
<sup>294</sup>加州公共事業委員會於 2022 年 2 月 10 日通過的《優先系統計劃》完成了 2019–21 年的《綜合資源計畫》週期。投票通過的提案見：

<https://docs.cpuc.ca.gov/PublishedDocs/Published/G000/M449/K173/449173804.PDF>

<sup>295</sup>加州空氣資源局，2021，PATHWAYS 方案建模：2022 年《範疇計畫更新》——附件 B：擬納入模型的發電技術。[PATHWAYS 方案建模假設修訂 \(ca.gov\)](#)。

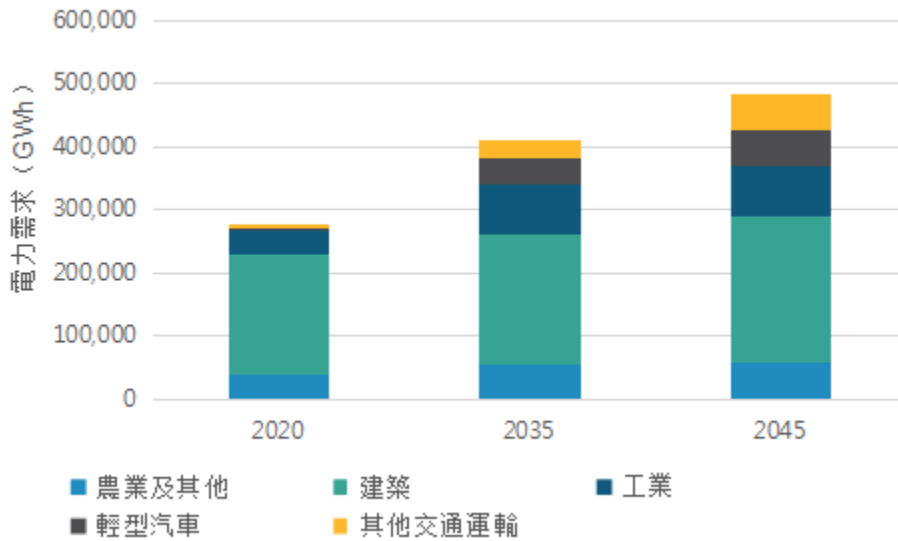
設速度需要分別增加 150%和 500%以上。<sup>296</sup>其中不包括與氫氣的生產有關的容量，氫氣生產的建模在電網之外；假設透過電解生產氫氣，則大致相當於 2045 年需要增加 41 吉瓦的太陽能發電。也不包括透過碳捕獲和封存或直接空氣捕獲來實現二氧化碳去除所需的任何額外負荷。透過新零碳技術的商業化，可以縮小所需的太陽能和電池建造規模。

插圖 4-5：建議方案中預測的到 2045 年所需的電力資源



<sup>296</sup>E3. 2022, 加州空氣資源局: AB 32 源排放初始建模結果。PowerPoint. <https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2022-03/SP22-Model-Results-E3-ppt.pdf> 構建率來自於美國能源情報署數據, 2012-2022 年歷史構建。

插圖 4-6：建議方案 2020 年、2035 年和 2045 年電力負荷<sup>297</sup>



這種轉變將推動對大量發電和存儲資源的投資，但也需要大量輸電才能適應這些新增容量。輸電需求包括連接州外資源和州內主要發電區域的高壓線。考慮到許多專案通常需要 8 至 10 年的準備時間，加州獨立系統運營商公佈了其第一份《20 年輸電展望》草案，為輸電規劃提供參考，其重點是滿足透過 2021 年 SB 100 聯合機構報告程式確定的需求。該展望要求大力發展輸電線路，以運輸近海風能和州外風能，並加強現有的加州獨立系統運營商足跡，所需成本預計為 305 億美元。<sup>298</sup>

根據 SB100，由於零售量和總負荷之間存在差異，到 2045 年，預測電力部門仍將排放約 3,000 萬公噸二氧化碳，其中還包括抽蓄負載以及輸電、配電和存儲損失。目前，隨著越來越多的可再生能源電力進入系統，化石氣發電廠提供了約 75% 的靈活容量，確保了電網的可靠性。未來，其他資源，如存儲和需求方管理，必須保持高濃度可再生能源的可靠性。由可再生資源和可再生原料產生的氫氣可以發揮雙重作用，既可以作為現有燃燒渦輪機或燃料電池的低碳燃料，也可以作為能源存儲供後續使用。透過加強西部互聯電網的協調和市場，也可以維持可靠性；這一點已經在優化可再生能源整合方面發揮作用。<sup>299</sup>

<sup>297</sup> 其他交通方式包括所有非輕型車輛，反映了客運和貨運鐵路、航空和遠洋船舶等模式的電氣化。

<sup>298</sup> 加州獨立系統運營商，2022，20 年輸電展望，<http://www.caiso.com/InitiativeDocuments/Draft20-YearTransmissionOutlook.pdf>

<sup>299</sup> 加州能源委員會，2021，2021 SB100 聯合機構報告——加州實現 100% 清潔電力之初步評估。出版號：CEC-200-2021-001。

## 成功策略

- 利用長期規劃過程《綜合能源政策報告》、《綜合資源計畫》、《加州獨立系統運營商輸電規劃過程》、《AB 32 氣候變遷範疇計畫》）為電網的可靠性以及可再生零碳資源和基礎設施的擴大部署提供支援。
- 透過《綜合資源計畫》和 SB 100 機構間程式，以及技術開發和驗證資金<sup>300</sup>，包括長期儲能和氫氣生產等資源，促進長週期資源開發。
- 繼續在能源機構和能源程式之間進行協調，最大限度地增加需求回應機會。
- 繼續探索區域市場的益處，以加強去碳化並提高可靠性和可負擔性。
- 解決資源建設挑戰，包括許可、互連和傳輸網絡升級。
- 探索新的融資機制和費率設計，以解決可負擔性。<sup>301</sup>
- 根據 SB350，到 2030 年，透過能源效率與燃料替代行動的結合，使全州的電力和化石氣終端用途的能源效率節約翻倍。<sup>302</sup>
- 根據 SB100，到 2045 年實現 100%的可再生和零碳零售。
- 評估碳總量限制和交易計畫，並根據需要提出修改建議，以加強該計畫。
- 有針對性地制定計畫和激勵措施，為最急需社區受益於可再生和零碳能源專案（例如，屋頂太陽能、社區太陽能、電池存儲和微電網）提供支援，並改善其機會，包括一線、低收入、農村和原住民社區。<sup>303</sup>
- 優先考慮對零碳能源專案的公共投資，使受污染、氣候衝擊和貧困影響而負擔最重的社區首先受益。<sup>304</sup>

## 永續製造業和建築

化石氣是工業設施以及住宅和商業建築中用於產生熱量的主要氣態化石燃料。在建築中，空間和水加熱、烹飪和衣服烘乾均依賴於氣體燃料。需要為傳統鍋爐供熱的工業流程和其他流程也依賴氣體燃料。煉油廠依靠化石氣和其他氣態化石燃料，如液化石油氣和煉油廠燃料氣，並且如前所述，化石氣也用於發電。

氣態化石燃料可以替換為以下四大替代品：零碳電、太陽熱能、氫氣和沼氣/生物甲烷。取代氣態化石燃料可改善室內空氣品質，保護公共健康和財產不受意外化石氣洩漏的影響，並減少短期氣候污染物，這些污染物對氣候變遷的影響要比二氧化碳強許多倍。建議方

---

<sup>300</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 NF18 號建議草案。委員會建議專門闡述了離岸風能生產問題，

[ejacrecsrevised.pdf](#) (ca.gov)

<sup>301</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 NF32 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#) (ca.gov)

<sup>302</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 NF1 號和第 NF2 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#) (ca.gov)

<sup>303</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 NF2、NF9、NF11、NF12、NF13 號和第 NF13 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#) (ca.gov)

<sup>304</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 NF14、NF15 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#) (ca.gov)

案透過將大量能源需求轉向替代燃料，減少工業和建築部門對化石氣的依賴。減少化石氣的燃燒也將有助於實現我們的空氣品質目標和 AB617 目標。此外，交通部門對汽油和柴油的依賴降低，減少了對氣態化石燃料的需求，從而支援石油和天然氣生產及石油精煉業務逐步減少（相對於需求而言）。

## 部門轉型

### 工業

加州工業部門對本州的經濟貢獻巨大，2019 年製造業總產出為 3240 億美元（占本州總產出的 10.4%），<sup>305</sup>製造業就業崗位 1,222,000 個（占全州勞動力總數的 7.6%）。<sup>306</sup>加州工業囊括各種工廠設施，包括水泥廠、精煉廠、玻璃製造商、石油和天然氣生產商、造紙廠、採礦業、金屬加工廠和食品加工廠。化石氣、其他氣態化石燃料和固體化石燃料燃燒以提供能源，滿足三大廣泛行業需求：電力、蒸汽動力和工業用熱。非燃燒類排放是由易散性排放和一些製造過程中固有的化學變化造成的。工業部門約 20% 的溫室氣體排放為非燃燒類排放。

工業設施的去碳化取決於以電氣化、太陽熱能、生物甲烷、低碳或零碳氫以及其他低碳燃料的組合取代化石燃料，以提供熱能並減少燃燒排放。還可以透過實施節能措施和使用替代原材料來減少排放，進而減少能源需求和一些製程排放。其餘的燃燒排放物和一些非燃燒的二氧化碳排放物可予以捕獲和封存。具體採用哪種策略取決於工業部門分支和生產中使用的具體製程。插圖 4-7 左側所示為 2020 年用於滿足工業製造能源需求的燃料。<sup>307</sup>工業製造業的能源需求需要轉向所示的 2035 年和 2045 年燃料組合。插圖 4-7 右側所示為滿足石油和天然氣開採以及石油精煉業務在相同年份的能源需求所需的燃料組合。<sup>308</sup>這一部分工業部門的能源需求隨著交通部門對汽油和柴油的需求減少而下降。在這兩個數字中，由於某些工業部門缺乏在非燃燒技術上可行或具有成本效益的替代品，因此，仍然會有對化石氣的需求。需要制定相關政策以支援去碳化戰略，如電氣化、使用可再生能源以及轉向替代燃料。

---

<sup>305</sup>全國製造商協會，2021 年加州製造業情況，<https://www.nam.org/state-manufacturing-data/2021-california-manufacturing-facts/>

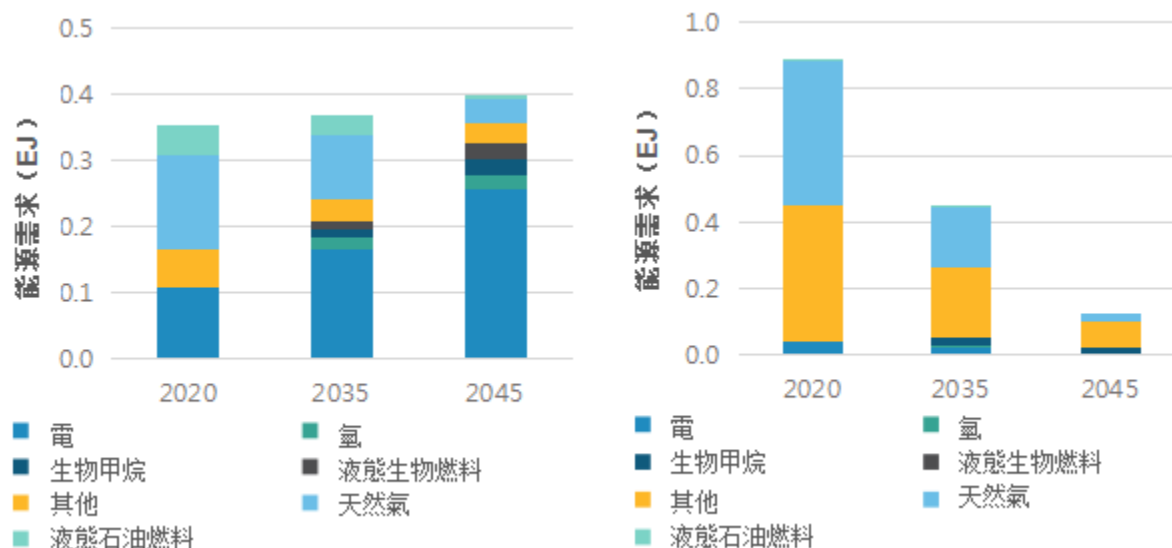
<sup>306</sup>全國製造商協會，2021 年加州製造業情況，<https://www.nam.org/state-manufacturing-data/2021-california-manufacturing-facts/>

<sup>307</sup>工業製造部門的其他燃料主要是焦炭和水泥生產用煤。

<sup>308</sup>石油精煉部門的其他燃料主要是與精煉石油產品有關的化石氣。



插圖 4-7：建議方案中 2020 年、2035 年和 2045 年工業製造（左）以及石油和天然氣開採和石油精煉業務（右）的最終能源需求情況



電氣化和太陽熱能最適合於熱量要求相對較低的工業制程，如食品加工廠、造紙廠以及在制程中使用低壓蒸汽的行業。方法可包括以電鍋爐取代化石氣鍋爐、以工業電熱泵取代之工藝加熱器、以感應加熱器取代鋼鐵鍛造爐以及對具體部門的其他制程進行電氣化。根據目前加州工業電力和化石氣的費率結構，大多數以化石氣為動力的工業制程的電氣化專案將面臨運營成本障礙和潛在的可靠性問題。以可再生資源和電池儲能為動力的微電網正成為工業設施電氣化和去碳化的關鍵推動因素。

對於需要高溫熱能的工業制程，商業上可用和經濟上可行的替代電氣化選擇較少。對於這些制程，可能仍需要現場燃燒，而去碳化則需要將燃料替換為氫氣、<sup>309</sup>生物甲烷、或其他低碳燃料。燃料替代和持續燃燒需要監測和緩解任何潛在的空氣品質影響，特別是在已面臨嚴重空氣污染負擔的低收入和有色人種社區。在加州，對熱量需求較高的行業包括鋼鐵鍛造、玻璃製造以及有煨燒制程的行業，如石灰和水泥製造。

水泥製造業的現場排放主要來自兩個方面：（1）為將窯爐加熱到極高溫度而進行的燃料燃燒；（2）石灰石化學變化過程中的二氧化碳排放。該部門 60% 以上的排放是與燃料使用無關的制程排放，而與燃料使用有關的大部分排放來自於煤炭和石油焦的燃燒。水泥生產過程中的排放量巨大，即使該部門僅使用零碳燃料，制程排放仍會繼續；因此，碳捕獲和利用/封存可能會成為水泥生產完全去碳化戰略的一個組成部分。透過將燃料轉換為低碳燃料（如生物甲烷、城市固體廢物、生物炭）、增加無熟料混合以及提高效率，也可減

<sup>309</sup>Griffiths, Steve, Benjamin K. Sovacool, Jinsoo Kim, Morgan Bazilian 和 Joao M. Uratani, 2021。「透過氫氣實現工業去碳化：對發展情況、社會技術系統和政策選擇的關鍵和系統性回顧。」*能源研究與社會科學* 80. 102208, ISSN 2214-6296. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102208>

少水泥製造排放的溫室氣體。熟料生產需要超過 1500°C 的溫度，因此水泥廠的窯爐工藝熱能電氣化存在著很大的技術和經濟障礙。在水泥使用的整個價值鏈中都有潛在的去碳機會，包括水泥製造、混凝土攪拌和施工作業。<sup>310</sup>根據紐森州長於 2021 年 9 月簽署的 SB 596 (Becker, 《2021 年法規》第 246 章)，<sup>311</sup>加州空氣資源局需要為加州的水泥使用制定全面戰略，以實現 2035 年溫室氣體強度比 2019 年水準低 40%，至 2045 年實現淨零排放。

石油和天然氣開採及提煉占加州工業溫室氣體排放的一半以上。對交通化石燃料的需求減少，則煉油廠生產這些燃料所需的化石氣和其他氣態化石燃料的供應也相應減少。如本章交通永續性部分的論述，一些煉油廠仍將繼續運作，以生產化石燃料，滿足其餘的交通能源需求，同時還會繼續生產可再生柴油和永續航空燃料。

在整個工業子部門和制程中，加州設施也可以透過實施先進的能源效率專案和工具，大幅減少溫室氣體排放和能源相關成本。<sup>312</sup>雖然工業設施通常的做法是改善運行和維護，但額外的戰略能源管理可以透過專注於設定目標、跟蹤進展和報告結果，增加效率收益。

## 成功策略

- 對弱勢社區的固定污染源採用最佳可用控制技術，使空氣品質裨益最大化。<sup>313</sup>
- 優先考慮在弱勢社區中轉用替代燃料。<sup>314</sup>
- 投資於研發和試點專案，利用加州能源委員會電力投資先導計畫 (EPIC) 等計畫，找到加州工業製造設施減少材料和制程排放以及能源排放的各種方案。<sup>315</sup>
- 評估碳總量限制和交易計畫，並根據需要提出修改建議，以加強該計畫。
- 更改工業費率結構，為電氣化提供支援。
- 建設碳捕獲和封存以及氫氣生產基礎設施，在沒有技術上可行且具有成本效益的非燃燒替代品時，減少溫室氣體排放。
- 利用《加州購買清潔法案》和其他機制建立低碳產品和回收材料市場。
- 制定淨零水泥戰略，以達到 SB596 關於加州水泥使用情況的溫室氣體強度目標。

---

<sup>310</sup>加州內華達水泥協會，實現加州水泥行業碳中和，<https://cncement.org/attaining-carbon-neutrality>

<sup>311</sup>加州立法資訊，2021，SB 596：溫室氣體：水泥部門：淨零排放策略 (SB 596, Becker, 《2021 年法規》第 246 章)，[https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill\\_id=202120220SB596](https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=202120220SB596)

<sup>312</sup>Therkelsen, Peter, Aimee McKane, Ridah Sabouini 和 Tracy Evans, 2013, 評估卓越能源績效計畫的成本和效益, 美国: N. p. <https://www.osti.gov/servlets/purl/1165470>

<sup>313</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 M15 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#) (ca.gov)

<sup>314</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 M16 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#) (ca.gov)

<sup>315</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 M15 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#) (ca.gov)

- 繼續利用能源效率計畫，包括美國能源部能源之星計畫<sup>316</sup>、美國能源部卓越能源績效計畫和<sup>317</sup>ISO 50001。<sup>318</sup>
- 評估並繼續實施激勵措施，透過加州公共事業委員會的決定（作為 R.19-09-009<sup>319</sup> 規則制度的一部分）、加州太陽熱能倡議計畫以及加州能源委員會糧食生產投資計畫（FPIP）和電力投資先導計畫（EPIC）等，實行能源效率和可再生能源技術。<sup>320</sup>
- 利用低碳氫氣計畫，包括《兩黨基礎設施法》，促進區域性氫氣樞紐運轉、氫氣電解以及氫氣製造和回收。
- 確定生產低碳氫氣的原料和技術，直至有足夠的可再生電力可用於電解。
- 解決成本障礙，以促進生物甲烷用於難以電氣化的工業領域。

## 建築

建築具有跨部門的相互作用，不僅影響我們的公共健康和福祉，還影響土地使用和交通模式、能源使用、水的使用以及室內和室外環境。<sup>321</sup>加州現有約 1400 萬戶家庭和超過 75 億平方英尺的商業建築<sup>322</sup>。在這些建築內的終端用途中，化石氣供應約占所消耗能源的一半。除了溫室氣體排放，建築中的化石氣使用還會產生二氧化碳、氮氧化物、細粒狀物和甲醛。<sup>323</sup>加州各地每年約新建 12 萬套新房<sup>324</sup>和超過 1 億平方英尺<sup>325</sup>的商業建築。到本世紀中葉，這些新建築將占總建築量的三分之一到一半。

實現碳中和，住宅和商業建築必須停止使用化石氣，大力提高能源效率，同時以電動替代品取代燃氣設備。這種轉變必須包括現有天然氣基礎設施縮減之目標，以便以天然氣為燃料的住宅和商業建築區域的天然氣輸送不需要持續維護整個體系也可得以維繫。將氫氣和

<sup>316</sup>能源之星計劃，能源之星之能源管理準則，<https://www.energystar.gov/buildings/tools-and-resources/energy-star-guidelines-energy-management>

<sup>317</sup>Energy.gov.卓越能源績效計劃，<https://www.energy.gov/eere/amo/superior-energy-performance>

<sup>318</sup>國際標準化組織，ISO 50001 能源管理，<https://www.iso.org/iso-50001-energy-management.html>

<sup>319</sup>加州公共事業委員會，2021 年 1 月 14 日，加州公共事業委員會促進全州微電網商業化之戰略，<https://docs.cpuc.ca.gov/PublishedDocs/Published/G000/M360/K370/360370887.PDF>

<sup>320</sup>Bailey、Stephanie、David Erne 和 Michael Gravely，2021。2020 年綜合能源政策報告最終更新，第二卷：微電網在加州清潔和具有恢復力的能源未來中的作用，從加州能源委員會的研究中汲取的教訓。加州能源委員會，出版號：CEC-100-2020-001-V2-CMF。

<sup>321</sup>參閱附件 F（建築去碳化）。

<sup>322</sup>加州能源委員會，2021，加州建築去碳化評估，<https://efiling.energy.ca.gov/GetDocument.aspx?tn=239311&DocumentContentId=72767>

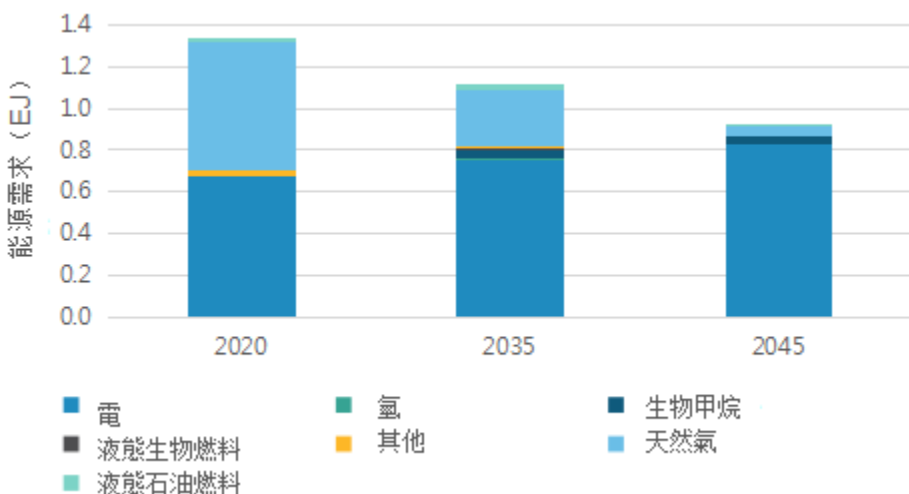
<sup>323</sup>Zhu, Yifang 等人，2020 年，加州住宅燃氣設備對室內外空氣品質和公共健康的影響。加州大學洛杉磯分校菲爾丁公共衛生學院環境健康科學系。

<sup>324</sup>建築業研究會，2018，年度建築許可概要，<http://www.cirbreport.org>。

<sup>325</sup>Delforge、Pierre，2021 年 8 月 11 日，加州推進建築零排放。博客，自然資源保護協會，<https://www.nrdc.org/experts/pierre-delforge/california-forging-ahead-zero-emission-buildings>

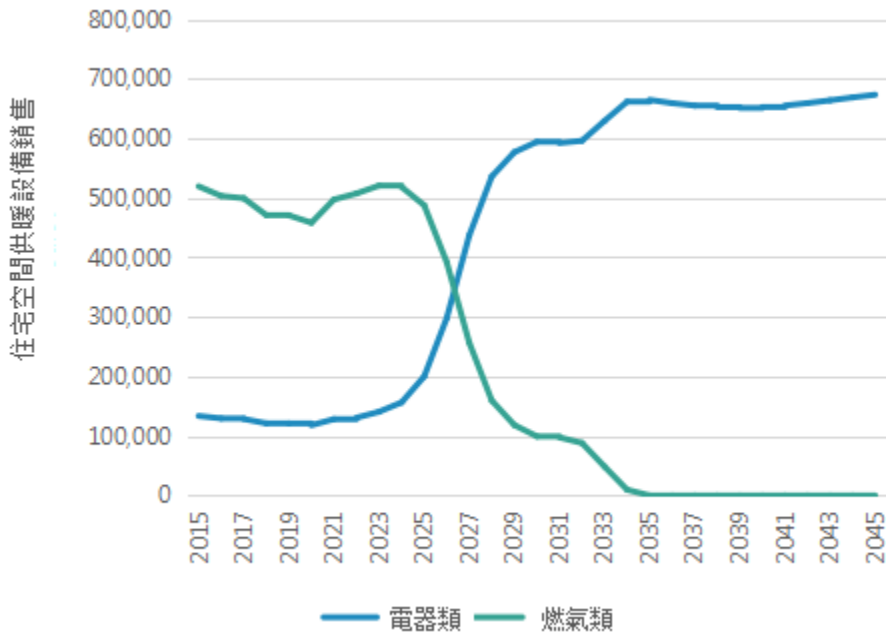
生物甲烷等低碳燃料混入管道，進一步取代化石氣。插圖 4-8 說明了目前加州人在建築中使用的能源與建議方案（介紹了化石氣的替代品）的比較。在該方案中，到 2045 年，幾乎 90% 的能源需求可實現電氣化，其餘的能源需求則透過燃燒氫氣、生物甲烷和化石氣來滿足。

插圖 4-8：建議方案中 2020 年、2035 年和 2045 年的建築最終能源需求



在所有新建建築均配備電器，並且大多數現有建築的設備在其使用壽命結束後被替換成電器之時，即實現了這種轉變。插圖 4-9 說明了在建議方案中，住宅電暖器銷售增加和燃氣暖器銷售減少的速度，以該速度，所銷售的家用設備到 2035 年可實現 100% 電氣化。隨著全電力建築的新建和現有建築為使用電器而進行改造，住宅電暖器的銷售在短期內會迅速增加。預計其他家用設備也會發生類似轉變。商業建築也將經歷從燃氣設備到電器的轉變，到 2035 年實現 80% 的全電器銷售，到 2045 年實現 100% 全電器銷售。附件 D（地方行動）描述了一種整體政策方法，可以迅速增加零排放電器和建築的數量、克服市場障礙並優先幫助弱勢社區實現公平轉變。

插圖 4-9：建議方案中的住宅供暖設備銷售情況



## 成功策略

- 在州長提議的 2022-2023 財政年度公平建築去碳計畫中，優先以大部分資金支援加州的最弱勢居民，兩年內撥款 6.224 億美元。該計畫致力於對低收入家庭實施全州性的直接安裝建築改造計畫，以電器、節能照明以及建築絕緣和密封取代化石燃料設備，同時協調減少特定地理區域內的天然氣基礎設施。
- 擴展激勵計畫，以支援現有建築的整體改造，特別是弱勢社區。
- 確保激勵計畫優先考慮能源的可負擔性和租戶保護，促進可負擔的和低收入家庭的改造，以改善居住條件、減少開支，保護並賦能小型業主和房主，重視被忽視的消費者群體，並將去碳化與其他急需的改造工作相結合，確保建築有益於人類健康，並且耐氣候、耐風雨。<sup>326</sup>
- 結束新建建築的化石氣基礎設施的擴張。<sup>327</sup>
- 評估碳總量限制和交易計畫，並根據需要提出修改建議，以加強該計畫。
- 加強加州的建築標準，支援零排放的新建築。
- 為現有建築制定建築性能標準。

<sup>326</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 NF32、NF33、NF34、NF35、NF37 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#) (ca.gov)

<sup>327</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 NF31 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#) (ca.gov)



- 根據 2022 年州實施計畫的州戰略的規定，從 2030 年開始，對在加州銷售的新空間和熱水器實施零排放標準。
- 擴大建築物內低全球暖化潛值製冷劑的使用。
- 透過更改公用事業費率結構、促進負荷管理計畫來支援電氣化。
- 增加對激勵計畫的資助，並擴大以現有建築和設備更換為重點的融資援助計畫。
- 擴大消費者教化工作，以提高人們的意識，鼓勵採用低碳建築和設備，特別是在弱勢社區。
- 按照 SB 1440（Hueso，2018 年法規第 739 章，《公用事業法》第 650 條）的規定，實施可再生天然氣採購目標，以減少其餘管道氣體的溫室氣體排放，並減少有機廢物的甲烷排放。

## 碳移除

*氣候變遷 2022：緩解氣候變遷*，<sup>328</sup> 即政府間氣候變遷專門委員會在 2022 年初發佈的一份報告，其中指出「如果要實現二氧化碳或溫室氣體的淨零排放，部署碳移除以抵消難以消滅的剩餘排放量是不可避免的。部署的規模和時間取決於不同部門的總減排量軌跡。擴大碳移除部署規模，須依靠有效的方法來解決可行性和永續性限制，特別是在規模較大的情況下。」與該報告一樣，2022 年《範疇計畫草案》也將二氧化碳移除（碳移除）視為技術上可行且具有成本效益的溫室氣體減排措施的補充，其作用的大小將取決於在整個經濟的源頭減少溫室氣體排放的成功程度。<sup>329</sup> 模型顯示，即使淘汰與化石有關的所有燃燒排放，AB 32 溫室氣體清單來源的排放仍會存在。對於這些剩餘排放，必須給予補償才能實現碳中和。碳移除方案包括自然和工作用地封存，以及直接空氣捕獲等機械方法。第 2 章提供了關於我們的自然和工作用地可能實現的二氧化碳移除量以及須透過機械碳移除方法移除的二氧化碳量的估計。

第 2 章介紹了碳捕獲和封存，即從人為點源中捕獲碳，涉及到從排放設施的煙囪中捕獲碳。另一方面，直接空氣捕獲是直接從大氣中捕獲碳。與碳捕獲和封存不同，直接空氣捕獲技術不與任何特定的點源相關聯。

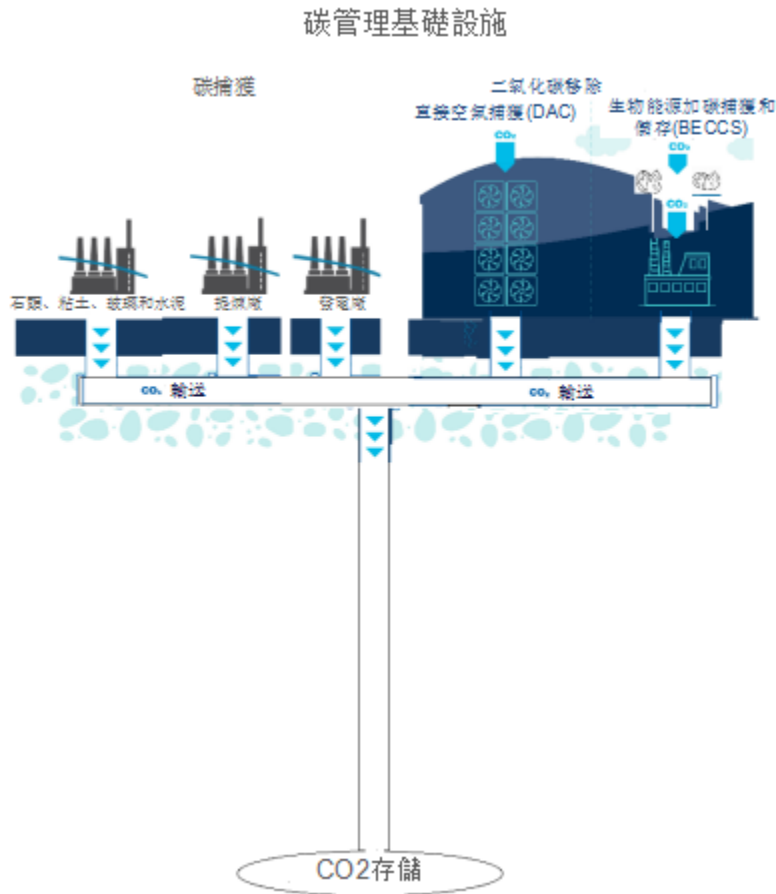
在本節中，*碳管理*是指透過機械解決方案捕獲、移動和封存二氧化碳，既可以在點源捕獲，也可以透過直接空氣捕獲從大氣中直接移除。<sup>330</sup> 對於單個專案，以及在更廣泛的範圍內，為支援本州的碳中和和長期負碳目標，貫穿這些步驟的有利政策和法規對實現減排是必要的。插圖 4-10 所示為典型的碳管理基礎設施圖。

<sup>328</sup>政府間氣候變遷專門委員會，2022。《氣候變遷 2022：減緩氣候變遷》，<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-3/>

<sup>329</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 F4.4、F4.8 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](https://www.ca.gov/ejacrecsrevised.pdf) (ca.gov)

<sup>330</sup>第 2 章和本章後文對透過自然和工作用地實現的碳移除進行了論述。

插圖 4-10：碳管理基礎設施



直接從大氣中移除二氧化碳本身是指一套可用於減少大氣中已有的持續和歷史碳排放的負碳技術。一些二氧化碳移除技術利用自然光合作用和機械移除的能力，以生物質廢料作為投入，製造低碳或零碳能源或燃料，同時捕獲和儲存產生的二氧化碳。

從點源或大氣中捕獲的二氧化碳被永久儲存在通常位於地下半英里或更深處的特殊地質構造中。斯坦福大學最近的一項研究估計，本州的二氧化碳商業儲存潛力接近 700 億公噸，即使不包括油氣儲藏。<sup>331</sup>加州處於有利地位，因為西海岸很少有其他地方適合進行大

<sup>331</sup> 斯坦福碳儲存中心，加州碳捕獲和封存的機遇和挑戰，<https://sccc.stanford.edu/california-projects/opportunities-and-challenges-for-CCS-in-California>

規模的地質儲存。為了給二氧化碳移除相關討論提供資訊，加州空氣資源局舉行了兩場全天研討會，探討碳捕獲和地質儲存方案類型以及碳在產品中的使用。<sup>332,333,334</sup>

第 2 章中提供的建模結果表明了煉油廠和水泥等大型設施對碳捕獲和封存的目標需求。碳捕獲和封存數量並不包括以可再生天然氣、其他製造業、電力或其他生物能源生產氫氣的潛在額外應用。如果不部署碳捕獲和封存，這些排放將直接進入大氣，而不是透過碳移除來實現碳中和。儘管有調查發現加州有 76 個現有電力和工業設施適合進行碳捕獲和封存改造，但<sup>335</sup>2022 年《範疇計畫草案》提出了這項技術的定向作用，即該技術只用於解決目前非燃燒方案在技術上不可行或不具成本效益的部門。在未來的範疇計畫更新中，可能還會部署更多技術上可行或具有成本效益的技術方案，這將進一步減少對碳移除的需求，其中不包括為了解決先前的溫室氣體排放而須解決的需求。

每個碳捕獲和封存或碳移除專案的優點必須根據具體情況具體評估。<sup>336</sup>這種類型的基礎設施可以為技能工作和勞動力提供支援，包括傳統化石能源社區的工作和勞動力。其他的協同效益包括標準空氣污染物減少和水的生產。設計不會加劇社區健康影響、社區盡早且持續參與並且符合地方、州和聯邦公共健康與環境保護法律的項目，將至關重要。另外須注意的是，由於這些類型的項目屬於新興治理領域，各層級參與部門之間必須增加協調和討論。

第 2 章更詳細地論述了《範疇計畫草案》中提出的碳移除作用。

## 部門轉型

州、<sup>337</sup>國家、<sup>338</sup>和全球去碳分析<sup>340</sup>表明，碳管理基礎設施具有極其重要的作用，儘管投入運行的項目相對較少。全球大約有二十多個大型碳捕獲和封存專案（其中有十幾個

---

<sup>332</sup>加州空氣資源局，2019 年 12 月 11 日，碳中和會議和研討會，<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/carbon-neutrality/carbon-neutrality-meetings-workshops>

<sup>333</sup>加州空氣資源局，2021 年 8 月 2 日範疇計畫會議和研討會，<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/ab-32-climate-change-scoping-plan/scoping-plan-meetings-workshops>

<sup>334</sup>碳利用是指使用捕獲的碳生產塑料和混凝土等產品。

<sup>335</sup>Glenwright、Kara，2020，加州碳捕獲和儲存路線圖，普雷科特能源研究所，<https://earth.stanford.edu/news/roadmap-carbon-capture-and-storage-california#gs.y5j78q>

<sup>336</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 F4.6 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](https://www.ejacrecsrevised.pdf)(ca.gov)

<sup>337</sup>E3.2020 年 10 月，實現加州碳中和之報告：最終報告，[https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2020-10/e3\\_cn\\_final\\_presentation\\_oct2020\\_2.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2020-10/e3_cn_final_presentation_oct2020_2.pdf)

<sup>338</sup>世界資源研究所，2020 年 1 月 31 日，CarbonShot: 美國聯邦碳移除政策方案，工作文件，<https://www.wri.org/research/carbonshot-federal-policy-options-carbon-removal-united-states>

<sup>339</sup>C2ES.日期不詳，零排放：美國氣候議程——氣候與能源解決方案中心，<https://www.c2es.org/getting-to-zero-a-u-s-climate-agenda-report/>

<sup>340</sup>聯合國政府間氣候變遷專門委員會，永續發展情況下適應 1.5 度升溫的緩解路徑，[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15\\_Chapter2\\_Low\\_Res.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_Chapter2_Low_Res.pdf) 經分析，將升溫

在美國），每年可捕獲數千萬公噸二氧化碳。<sup>341</sup>絕大多數容量集中於工業設施，如乙醇和化肥廠，在正常的非燃燒過程中，會以副產品的形式將近乎純粹的二氧化碳排入大氣。未來的研究、開發和示範專案必須完善捕獲系統並進行商業化，使之適應更加複雜的應用，特別是去碳方案較少的應用。直到最近幾年裏，人們的注意力才真正轉向機械碳移除。隨著人們掌握關於氣候變遷的新資訊和模型，科學變得更加清晰，避免氣候變遷的最大災難性影響需要減少排放同時部署機械碳移除。

加州正在為基於科學的碳管理基礎設施政策鋪平道路，可以為其他司法管轄區提供範例。低碳燃料標準（降低了交通燃料的碳強度）包含一項關於優質碳管理專案獲得認證並產生低碳燃料標準信用額度的協議。<sup>342</sup>碳捕獲和封存並非新概念或新技術。二十年的碳捕獲和封存測試表明這是一種安全可靠的工具。<sup>343</sup>此外，美國能源部的碳捕獲和封存研究專案已經進行了二十多年。這些都為今後的工作打下了資訊基礎。如加州空氣資源局的碳捕獲和封存協議中所述，經認證的專案必須成功證明其遵守旨在加強環境績效的嚴格施工前、運營和場地關閉標準。該協議的目的是補充現有的聯邦碳封存法規，以保護環境。如果碳捕獲和封存被更廣泛地應用於交通燃料生產以外的行業，則需重新評估該協議。

直接空氣捕獲和碳礦化極有可能能夠移除碳，但目前直接空氣捕獲受限於高昂的成本。碳礦化也極有可能移除大氣中的碳，但對該項技術尚未充分了解。<sup>344</sup>其餘的排放需要透過移除大氣中的二氧化碳來解決。直接空氣捕獲也可以以更高的速度部署，以移除大氣中的遺留溫室氣體。第2章另外提供了關於全球碳捕獲和封存以及機械性碳移除專案現狀的資訊，並闡述了聯邦對此類技術的支援。

## 成功策略

- 召集一支由聯邦、州和地方機構組成的多機構碳捕獲和封存小組，與環境正義宣導者、學術界人士、研究人員和社區代表對接，以確定有關碳捕獲和封存的現狀、關

---

限制在 1.5 度而沒有超過目標或超過程度有限的全部路徑均在一定程度上使用碳移除來中和未確定緩解措施之來源的排放，大多數情況下，還可以實現淨負排放，使全球升溫在峰值後恢復到 1.5°C（高可信度）。二氧化碳減排至零的時間越長，超過 1.5 度的可能性越大，世紀中期依靠淨負排放將升溫恢復至 1.5 度的潛在依賴性就越大（高可信度）。

<sup>341</sup>國會研究服務處，2021，美國碳捕獲和封存（CCS），R44902。

<https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R44902?msclid=e45e0012c25911ec8085ca575cb61e82>

<sup>342</sup>加州空氣資源局，2018 年 8 月 13 日，低碳燃料標準下的碳捕獲和封存，

[https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2020-03/CCS\\_Protocol\\_Under\\_LCFS\\_8-13-18\\_ada.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2020-03/CCS_Protocol_Under_LCFS_8-13-18_ada.pdf)

<sup>343</sup>國家能源技術實驗室，碳捕獲和封存的永久性和安全性，<https://netl.doe.gov/coal/carbon-storage/faqs/permanence-safety>

<sup>344</sup>Aines, Roger. 日期不詳，加州大氣碳移除方案，勞倫斯利佛摩國家實驗室，

[https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2021-08/lnl\\_presentation\\_sp\\_engineeredcarbonremoval\\_august2021.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2021-08/lnl_presentation_sp_engineeredcarbonremoval_august2021.pdf)



切和未決問題，並制定與社區對接的程式，以瞭解具體關切，同時還須考慮保護機制，確保碳捕獲和封存的安全和有效部署。<sup>345</sup>

- 利用現有最佳科學和實施經驗反復更新加州空氣資源局的碳捕獲和封存協議。
- 將碳捕獲和封存納入交通以外的、目前沒有技術上可行且具有成本效益的方案的其他部門和專案。
- 評估融資機制和激勵措施，並酌情提出建議，以解決碳捕獲和封存以及碳移除的市場障礙。
- 評估碳捕獲和封存在 SB 596 中的作用，並酌情提出建議。
- 根據碳捕獲和封存以及碳移除的需要，進一步完善主要的碳儲存地點並使之特徵化。
- 透過加州能源委員會的核心研究、開發和示範（RD&D）專案支援碳管理基礎設施專案。
- 作為 SB100 的一部分，繼續探索碳捕獲在生產或利用零碳電力以滿足可靠性需求方面的應用。
- 在制定氫氣路線圖和戰略時考慮碳捕獲基礎設施，特別是非電解氫生產設施。
- 澄清適用於地質碳封存的孔隙空間所有權和孔隙空間單位化規則和程式。
- 評估和簡化專案實施的許可障礙，同時保護公共健康和環境。
- 探索在部署碳捕獲和封存時如何實現當地空氣品質裨益。
- 尋求各種機會，使碳捕獲和封存以及碳移除開發者能夠利用現有基礎設施，包括地下基礎設施。
- 探索允許在碳封存中心擴大來源數量的許可方案。

## 短期氣候污染物（非燃料氣體）

短期氣候污染物（非燃燒氣體）短期氣候污染物（SLCP）包括黑碳（煙塵）、甲烷（CH<sub>4</sub>）和氟化氣體（氟化氣體，包括氫氟碳化物[氫氟烴]）。它們是強大的氣候影響因素和有害空氣污染物，與壽命較長的溫室氣體（如二氧化碳）相比，在短期內對氣候變遷具有極大影響。根據政府間氣候變遷專門委員會的《2021 年氣候變遷：自然科學基礎》，在短期內（即 10 至 20 年的時間範圍），所有短期氣候污染物的變暖影響合起來至少與二氧化碳的影響一樣大。<sup>346</sup>聯合國環境規劃署的[全球甲烷評估](#)顯示，如果要實現將升溫限制在 1.5°C 的最低成本路徑，需要在 2030 年前將全球甲烷排放量減少 40-45%，同時大幅減少所有氣候影響因素，包括二氧化碳和短期氣候污染物。隨著我們向低碳能源

---

<sup>345</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 F4.2、F4.6、F4.7、F4.9、F4.10 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#) (ca.gov)

<sup>346</sup>政府間氣候變遷專門委員會，2021，《2021 年氣候變遷：自然科學基礎》，政府間氣候變遷專門委員會《第六次評估報告》第一工作組供稿，劍橋大學出版社，<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>



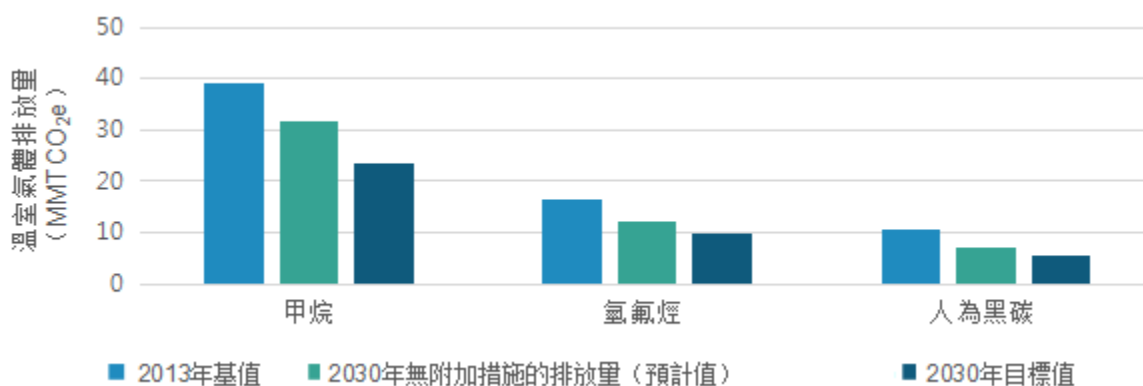
系統過渡和實現碳中和的政策的效果進一步顯現，如今透過採取行動來減少這些強大排放源，可帶來直接的好處——既有利於當地的人類健康，也有利於減少全球暖化。

2017 年，委員會批准了全面的《[減少短期氣候污染物戰略](#)》（戰略）。<sup>347</sup>該戰略解釋了本州將如何實現 SB1383 規定的以下目標：

- 甲烷總排放量減少 40%<sup>348</sup>（包括乳製品和畜牧業排放量單獨減少 40%）
- 氫氟碳化物氣體排放減少 40%
- 人為黑碳排放減少 50%
- 到 2020 年，有機廢物處理量在 2014 年的基礎上減少 50%，到 2025 年減少 75%，包括回收至少 20%的可食用食物供人類消費

預計到 2030 年，本州將透過現有戰略實現 SB1383 大約一半的目標減排量（見插圖 4-11）。按照立法機關在 SB1383 項下的指示，州機構在實施的最初幾年，重點關注自願的、基於激勵的機制，以減少短期氣候污染物的排放，克服技術和市場障礙。在這種「胡蘿蔔加大棒」的軟硬兼施戰略下，隨著解決方案變得越來越可行和具有成本效益，激勵措施會被各項要求所取代。為了實現法定目標，需要採取更激進的行動。

插圖 4-11：到 2030 年透過現有戰略實現 SB 1383 目標減排的預期進展



在過去十年，雖然本州的總體溫室氣體排放量下降了 9%，但短期氣候污染物的減排卻沒有跟上更廣泛的去碳化進程。甲烷排放量在前十年一直穩步增長，自 2013 年開始，一直保持相對平穩。

<sup>347</sup>加州空氣資源局，2017，減少短期氣候污染物戰略，3 月，

[https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2020-07/final\\_SLCP\\_strategy.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2020-07/final_SLCP_strategy.pdf)

<sup>348</sup>SB1383 規定的所有減排量必須在 2030 年前實現，並且是相對於 2013 年的水準。

氫氟烴是增長最快的溫室氣體排放源，主要是因為它們被用於替代臭氧消耗物質以及冷卻和製冷需求增加。<sup>349</sup>自 2005 年以來，全州氫氟烴排放增加了一倍以上。雖然近年來由於本州採取的措施，增長速度有所放緩，但加州的氫氟烴排放量仍在上升，自 2010 年以來增長了 50% 以上。<sup>350</sup>隨著氣溫上升，全球冷卻技術（和製冷劑）的採用率正迅速增加。如果不採取措施，估計到 2050 年，氫氟烴將占全球溫室氣體排放總量的 9% 到 19%。<sup>351</sup>

## 甲烷

據估計，目前高達 20% 的變暖是由人類甲烷排放源造成的。<sup>352</sup>幸運的是，甲烷在大氣中的壽命很短，約為 12 年，<sup>353</sup>這意味著減排可迅速降低大氣中的濃度，減緩這十年來溫度上升的速度。此外，大部分目標減排量可以以較低的成本實現，並將為人類健康帶來巨大好處。例如，聯合國全球甲烷評估（2021）<sup>354</sup>發現超過一半的現有目標措施的減排成本低於 21 美元/公噸二氧化碳當量，每減少一百萬公噸甲烷可防止每年 1,430 人因甲烷導致的臭氧污染而過早死亡。

在第二十六屆締約國會議 COP26（2021 年聯合國氣候變遷大會）之後，超過 110 個國家簽署了《全球甲烷承諾》（承諾）<sup>355</sup>以限制甲烷排放量，使之相對於 2020 年的水準減少 30%。該承諾所涵蓋的國家占全球 GDP 的 70%，其甲烷排放量幾乎占全球總量的一半。聯合國全球甲烷評估顯示，人類造成的甲烷排放可在這十年內減少 45%，從而在 2045 年之前避免近 0.3°C 的全球升溫。

如插圖 4-12 所示，加州最大的三個甲烷排放源是乳製品和畜牧業、垃圾填埋場以及石油和天然氣系統。

---

<sup>349</sup>加州空氣資源局，2021，2000 年至 2019 年加州溫室氣體排放—排放和其他指標趨勢，  
[https://ww3.arb.ca.gov/cc/inventory/pubs/reports/2000\\_2019/ghg\\_inventory\\_trends\\_00-19.pdf](https://ww3.arb.ca.gov/cc/inventory/pubs/reports/2000_2019/ghg_inventory_trends_00-19.pdf)

<sup>350</sup>同上。

<sup>351</sup>Velders, G. J.、D. W. Fahey、J. S. Daniel、M. McFarland 和 S. O. Andersen，2009，「預期氫氟烴排放量對未來氣候變遷的最大作用」，*美国国家科学院院刊* 106(27)，10949–10954。

<sup>352</sup>政府間氣候變遷專門委員會，2021，2021 年氣候變遷：自然科學基礎，政府間氣候變遷專門委員會《第六次評估報告》第一工作組供稿，劍橋大學出版社，<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

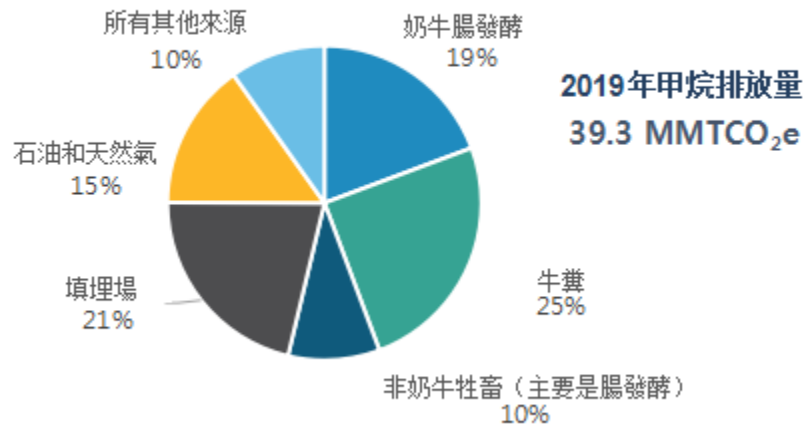
<sup>353</sup>相比之下，二氧化碳的壽命為數百年。政府間氣候變遷專門委員會第三次評估報告認為，由於不同移除過程的吸收率不同，因此無法確定二氧化碳的單一壽命。根據政府間氣候變遷專門委員會第四次評估報告，增加的大部分二氧化碳將在幾十年到幾個世紀內從大氣中清除，而剩餘的 20% 可能會在大氣中保留數千年。

<sup>354</sup>聯合國，2021，全球甲烷評估，

[https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35917/GMA\\_ES.pdf](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35917/GMA_ES.pdf)

<sup>355</sup>全球甲烷承諾，<https://www.globalmethanepledge.org/>

插圖 4-12：加州甲烷排放源（2019 年）



乳製品和畜牧業主要有兩個來源——（1）腸道發酵和（2）糞肥管理作業，特別是在採用開放式厭氧污水塘、允許甲烷逃逸到大氣中的乳製品廠。垃圾填埋場是甲烷排放的第二大來源，有機廢物分解產生甲烷。儘管在本州處置的所有廢物中，約有 95%已根據加州《[垃圾填埋場甲烷法規](#)》的要求堆放在配備有氣體收集和控制系統的垃圾填埋場，但仍然會有一部分甲烷逃逸到大氣中。無散性甲烷排放可能是間歇性的，並且在季節和空間上變化巨大，特別是在垃圾填埋場。研究表明，垃圾填埋場系統非常複雜，各種條件（例如，大氣、操作、生物、化學和物理）可能會促使有機廢物降解率、甲烷生成率和捕獲效率發生變化。石油和天然氣部門的非燃燒甲烷排放是加州的第三大甲烷排放源。該部門近四分之三的甲烷排放來自於化石氣傳輸和配送管道以及設備的洩漏和排氣。

## 氫氟烴

氫氟烴是合成溫室氣體，屬於非常強大的氣候影響因素。主要作為製冷劑或傳熱流體用於製冷、空間空調和熱泵設備。製冷劑無處不在，從超市、便利店、冷藏倉庫和酒廠，到自動售貨機和住宅及機動車空調，都在使用。此外，氫氟烴還被用作泡沫發泡劑、溶劑、氣溶膠推進劑和滅火劑。雖然氫氟烴在大氣中停留的時間比二氧化碳短很多，但氫氟烴的相對全球暖化潛值（GWP）比二氧化碳高出幾百到幾千倍。加州目前使用的氫氟烴混合物，按使用量（公噸位）加權計算，100 年的平均全球暖化潛值為 1700。<sup>356</sup>使用中的氫氟

<sup>356</sup>加州空氣資源局，2020，理由初步說明：舉行公開聽證會，審議《禁止在固定式製冷設備、冷卻器、氣溶膠推進劑和泡沫最終用途中使用某些氫氟碳化物的條例》的擬議修正案。10月20日，

烴混合物的平均大氣壽命為 15 年。<sup>357</sup>鑒於其平均壽命較短，快速減少氫氟烴排放量，相當於短期內減少氣候變遷的影響。

隨著全球氣溫的升高，對冷卻和製冷劑的需求會持續增長，以電熱泵來取代傳統化石氣加熱方式的情況也將繼續增加。如果不解決，繼續使用高全球暖化潛值的氫氟烴將導致回饋迴圈持續存在，即冷卻劑本身造成額外升溫。

2016 年，來自 197 個國家的代表簽署了《基加利修正案》，該修正案修正了現有的《蒙特利爾議定書》（以減少臭氧消耗物質的生產和消費），要求從 2019 年開始在全球範圍內逐步減少氫氟烴的生產和消費。<sup>358</sup>截至 2022 年 2 月，已有 129 個國家接受、批准或認可《基加利修正案》。美國國會於 2020 年 12 月頒佈了聯邦《美國創新和製造業 (AIM) 法案》。<sup>359</sup>AIM 法案授權美國環境保護局以多種方式解決氫氟烴問題，包括全國性的氫氟烴淘汰計畫，幾乎與基加利修正案下的全球淘汰計畫一致。<sup>360</sup>

加州近 90%的氫氟烴排放來自於商業、工業、住宅和交通部門的製冷劑使用。氫氟烴排放的時間尺度因應用類型不同而異。因此，氫氟烴減排策略必須根據設備類型來制定。加州空氣資源局採取了一些措施來解決下方插圖 4-13 所示各種來源的氫氟烴排放問題。其中包括製冷劑管理計畫<sup>361</sup>，該計畫跟蹤和管理本州大型商業、工業和冷庫製冷設施的排放。加州空氣資源局已通過相關法規，旨在減少消費品氣溶膠推進劑、半導體製造和小罐汽車製冷劑的氫氟烴排放。<sup>362</sup>2018 年，加州還透過對多個部門實施監管和立法，禁止其使用氫氟烴，包括固定式製冷和泡沫最終用途，以補充聯邦重要新替代品政策 (SNAP) 計畫的部分空缺。<sup>363</sup>最近，在 2020 年，加州空氣資源局採取了額外措施，對製冷和空調設備中使用的製冷劑規定了全球暖化潛值限制，這些設備是氫氟烴排放的最大來源，通常用於住宅、商業和工業建築內。此外，加州空氣資源局通過了一項獨特的試點計畫，要求使用回收的製冷劑：製冷劑回收、再生和再利用，即 R4 計畫。新通過的製冷和空調行業

---

[https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/barcu/regact/2020/hfc2020/isor.pdf?\\_ga=2.164659835.592460318.1646664679-912670513.1542398285](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/barcu/regact/2020/hfc2020/isor.pdf?_ga=2.164659835.592460318.1646664679-912670513.1542398285)

<sup>357</sup>Zhongming, Z.等人, 2021, 氫氟烴: 保護氣候和臭氧層的關鍵環節: 聯合國環境規劃署綜合報告。

<sup>358</sup>聯合國條約彙編, 關於臭氧層消耗物質的蒙特利爾議定書修正案第 27 章,

[https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=IND&mtdsg\\_no=XXVII-2-f&chapter=27&clang=en](https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=IND&mtdsg_no=XXVII-2-f&chapter=27&clang=en)

<sup>359</sup>美國法典第 42 章第 7675 條, 公法第 116-260 章第 103 條,

[https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-03/documents/aim\\_act\\_section\\_103\\_of\\_h.r.\\_133\\_consolidated\\_appropriations\\_act\\_2021.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-03/documents/aim_act_section_103_of_h.r._133_consolidated_appropriations_act_2021.pdf)

<sup>360</sup>同上。

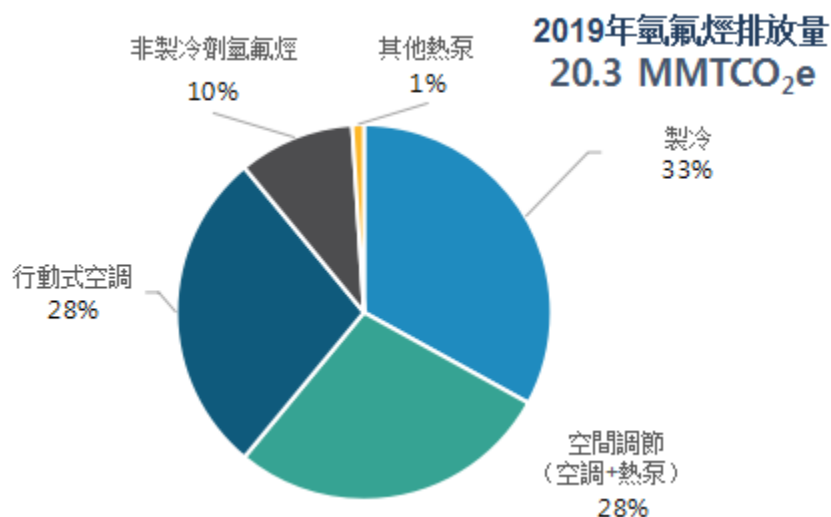
<sup>361</sup>加州法規第 17 篇第 95380 條等

<sup>362</sup>見多個章節, 從《加州法規》第 13 篇第 1900 條等開始。

<sup>363</sup>加州法規第 17 篇第 95371 條等; 加州制冷法案, 第 1013 號參議院法案 (Lara, 2018 年法規第 375 章健康與安全法典第 39764 條)

氫氟烴規則在該領域屬全國首例。在解決氣候污染的開創性戰略方面，加州再次一馬當先。

插圖 4-13：氫氟烴排放源（2019 年）



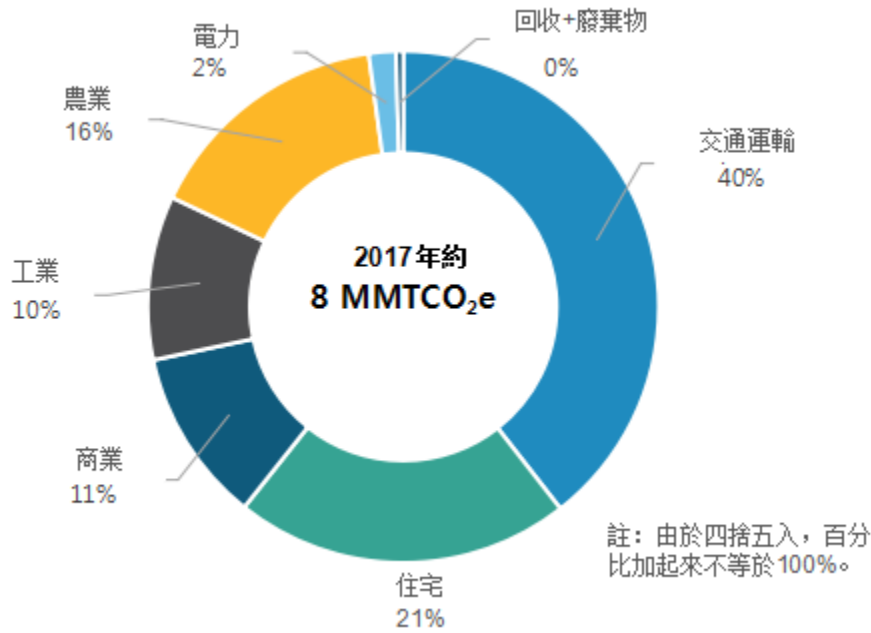
## 人為黑碳

黑碳 (BC) 不在 AB 32 或本州的 AB 32 溫室氣體清單 (跟蹤本州氣候目標的進展)；但是，黑碳已被確定為強大的氣候影響因素，並被納入加州短期氣候污染物減少戰略。大部分人為黑碳排放來自於交通，特別是重型車輛，由於發動機認證標準、公路和越野車隊的在用規則以及清潔燃料要求和激勵措施 (包括加州氣候投資和低碳燃料標準信用額度)，自 2013 年以來黑碳排放一直在減少。此外，住宅、商業和工業應用的燃料燃燒也占整體排放量的很大一部分。大約 95% 的住宅黑碳排放是由木材燃燒造成的；目前正透過 SB 563 (Lara, 《2017 年法規》第 671 章) 設立的減少木煙計畫等減少這些排放。農業燃燒替代品以及逐步淘汰農業燃燒的政策也將促使農業黑碳排放量減少。2021 年加州空氣資源局對 2017 年黑碳排放量進行了初步估計 (插圖 4-14)。<sup>364</sup>在未來短期氣候污染物清單的更新中，將最終確定該估計值。

<sup>364</sup>加州空氣資源局，2021，2022 年範疇計畫更新——短期氣候污染物研討會報告，9 月 8 日，  
[https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2021-09/carb\\_presentation\\_sp\\_slcp\\_september2021\\_1.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2021-09/carb_presentation_sp_slcp_september2021_1.pdf)



插圖 4-14：人為黑碳來源（2017 年初步估計；全球百年暖化潛勢）



## 部門轉型

加州早已認識到減緩非燃燒型短期氣候污染物的的重要性，並採取了一些早期行動措施，作為 AB 32 規定的減少州內溫室氣體排放的全面、持續計畫的一部分。這些早期行動措施包括加州空氣資源局《垃圾填埋場甲烷法規》<sup>365</sup>、《製冷劑管理計畫》<sup>366</sup>以及《石油和天然氣甲烷法規》<sup>367</sup>。

## 甲烷

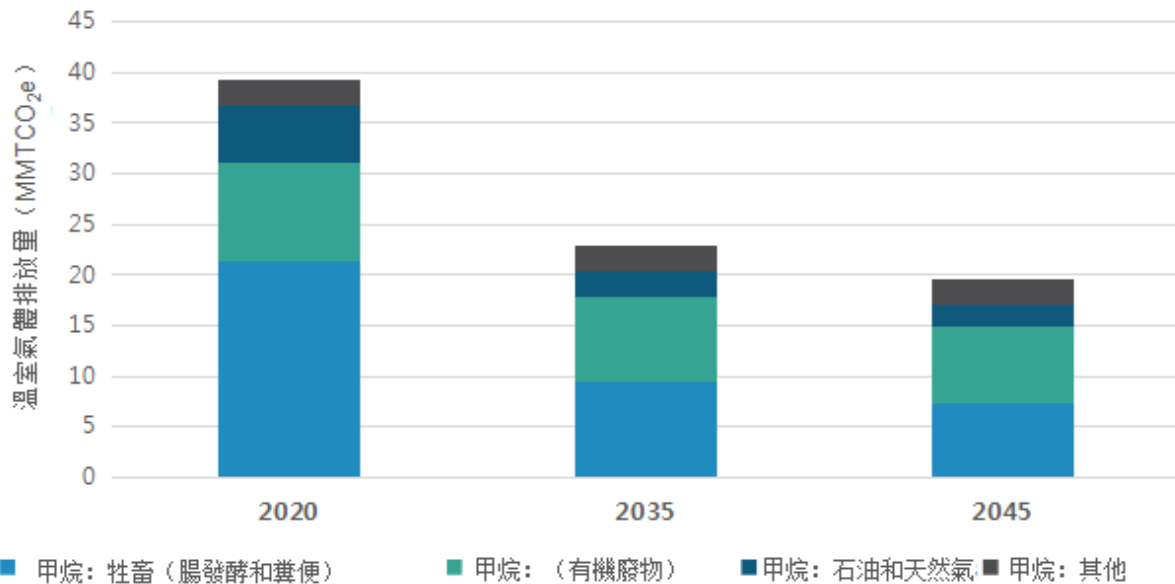
目前實施的甲烷減排戰略預計可將甲烷排放量減少 20%（相對於 2013 年的水準）。實現 SB1383 的總體甲烷減排目標（到 2030 年減少 40%），意味著必須將 2030 年的甲烷排放量將限制在 2,400 公噸二氧化碳當量以下（插圖 4-15）。預計，由於一些部門在短期內可實施的甲烷減排戰略較少，其他部門的減少量必須超過 40%才能實現目標。

<sup>365</sup>加州法規第 17 篇第 95460 條等

<sup>366</sup>加州法規第 17 篇第 95380 條等

<sup>367</sup>加州法規第 17 篇第 95665-77 條

插圖 4-15：建議方案中的 2020 年、2035 年和 2045 年甲烷排放量<sup>368</sup>



### 乳製品和畜牧業甲烷

加州是最大的乳製品生產州，生活著美國五分之一的乳牛。迄今為止，乳製品和畜牧業部門的甲烷減排主要依靠動物數量的減少和越來越多地採用糞肥管理策略，包括厭氧消化池以及向幹糞系統和牧場系統的轉換。加州空氣資源局最近詳細分析了截至 2030 年的預期減排量以及為達到乳製品和畜牧業部門甲烷減排目標所需的預估額外投資。<sup>369</sup>

假設除已承諾提供資金的專案外，不採用額外的糞肥管理和腸溶緩解策略，並且至 2030 年每年持續減少 0.5% 的動物數量，則需要進一步減少約 440 萬公噸二氧化碳當量，該部門才能實現 SB 1383 規定的 2030 年甲烷減排目標。如果剩餘的減排量是透過乳製品專案的組合來實現的，並且其中一半是乳製品消化池，一半是替代性糞肥管理專案，那麼估計至少需要增加 420 個專案。為了確保達到整個州的甲烷減排目標，可能還需要在該水準之上再增加減排量。

儘管飼料添加劑等腸溶策略具有相當大的甲烷減排潛力，但由於很少有被證實具有減排潛力的產品投放市場，並且與糞肥管理策略不同，這些策略缺乏財政激勵措施促進其採用，因此進展甚微。

<sup>368</sup> 有機廢物類別包括來自於垃圾填埋場、廢水處理、堆肥和厭氧消化設施的甲烷。

<sup>369</sup> 加州空氣資源局，2021，實現 2030 年乳製品和畜牧業部門甲烷排放目標的進展分析。6 月，<https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2021-06/draft-2030-dairy-livestock-ch4-analysis.pdf>

過去十年的市場條件有利於農場整合和提高生產效率，進而推動了加州和美國乳牛群的減少。<sup>370</sup>這些效率的提高使加州在乳牛群減少的情況下仍能保持產奶水平。如果乳製品和牛肉產品需求保持穩定或增加，繼續提高生產效率和採用有效的糞肥管理和腸溶緩解策略，將對支援乳製品和畜牧業甲烷減排非常重要。

## 成功策略

- 安裝最先進的厭氧消化池，最大限度地保護空氣和水的品質，最大限度地捕獲生物甲烷，並將生物甲烷引向難以去碳的部門或作為能源的原料。
- 增加替代性糞肥管理專案，包括但不限於轉換為「固體」、「乾燥」或「刮鏟」糞肥管理；搭建堆肥層狀牛舍；增加動物在牧場上的時間；以及使用固液分離技術沖洗糞肥管理系統。<sup>371</sup>
- 實施具有成本效益、經科學驗證、對動物和人類健康安全、為消費者所接受、不影響動物生產能力的腸道發酵策略。根據需要為這些策略提供財政激勵。<sup>372</sup>
- 加快對乳製品和畜牧產品替代品的需求，如基於植物的或細胞培養的乳製品和畜牧產品，以實現動物種群的減少。<sup>373</sup>

## 垃圾填埋場甲烷

實現 SB1383 規定的有機廢物處置量減少 75%的目標<sup>374</sup>，並在隨後幾年保持該處置水準，可以將 2030 年的年度垃圾填埋場排放量減少至 2013 年的基線以下。到 2030 年，甲烷年排放量將高於該策略最初的預期，因為本州沒有在 2020 年將有機廢物處置量減少 50%使之低於 2014 年的水平。SB1383 禁止有機廢物處置條例在 2022 年前生效，因此，排放量持續增加。<sup>375</sup>

由於填埋的有機材料需要數十年的時間分解，一年中轉移有機材料所減少的排放量需要數十年才能實現。例如，2030 年一年的廢物轉移在該廢物的分解過程中預計累積可避免

---

<sup>370</sup>MacDonald、James M.、Jonathan Law 和 Roberto Mosheim, 2020, *美國乳品業整合*, ERR-274, 7 月, <https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/98901/err-274.pdf>

<sup>371</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會, 第 M22 號建議草案, [ejacrecrevised.pdf \(ca.gov\)](#)M22 建議加州空氣資源局「優先考慮(透過創新、投資等)減少材料/制程排放或能源排放, 具體取決於哪個是特定行業中的最大排放因素。」雖然是在製造部門背景下提出的, 但乳製品和畜牧業部門——包括為商品生產管理投入和產出的畜牧業經營——提供了一個有用的類比。上述行動將減少本州最大排放源的甲烷排放量。

<sup>372</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會, 第 M22 號建議草案, [ejacrecrevised.pdf \(ca.gov\)](#) (參閱腳註 335 中的進一步解釋。)

<sup>373</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會, 第 M22 號建議草案, [ejacrecrevised.pdf \(ca.gov\)](#) (參閱腳註 335 中的進一步解釋。)

<sup>374</sup>該目標是在 2025 年之前相比于 2014 年的水平減少。

《公共資源法》第 42652.5 條, 加州資源回收局在 2020 年批准了 [短期氣候污染物: 減少有機廢物法規](#), 並於 2022 年 1 月開始實施。這些法規旨在實現 2025 年的處置量減少和可食用食物回收目標

800 萬公噸二氧化碳當量的填埋排放量。<sup>376</sup>近期的轉移工作對於今後避免鎖定垃圾填埋場甲烷排放至關重要。

根據加州資源回收局 2020 年對實現 SB1383 廢物減排目標的進展的分析，估計需要 800 萬短公噸的堆肥和厭氧消化容量來處理有機廢物，高於現有的以及預期在 2025 年之前可用的新容量。加州水資源控制委員會的 2019 年共同消化容量分析估計，如果為收集、接收和處理業務提供足夠的激勵或資金，使該容量得到利用，城市污水處理廠至少可提供 240 萬公噸的消化池容量。加州公共事業委員會於 2022 年 2 月批准了一項實施生物甲烷採購計畫的決定，該計畫要求投資者擁有的公用事業公司於 2025 年之前採購有機廢物所產生的 176 億立方英尺（BCF）生物甲烷，以支援減少垃圾填埋場處置和短期氣候污染物目標，減少住宅和商業客戶對化石氣的依賴。<sup>377</sup>此外，有機廢物流包括超過一百萬公噸的可食用食物，這些食物可以在進入廢物流之前透過對抗加州社區饑荒的食物救援計畫進行回收。

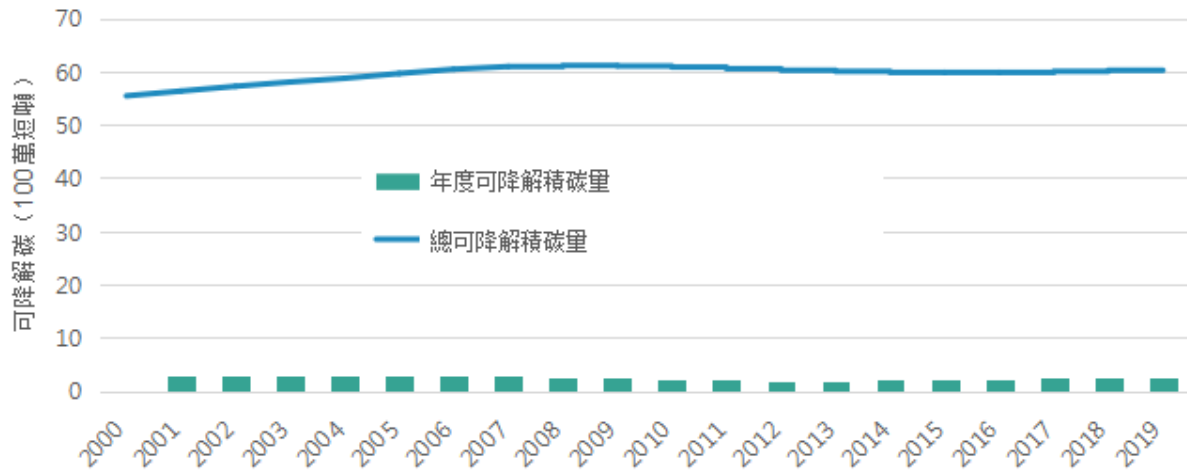
雖然減少有機廢物處置是實現廢物部門甲烷減排的最有效手段，但減少來自於垃圾填埋場已有廢物的排放的策略也將在實現近期減排中發揮一定作用。如插圖 4-16 所示，前幾年沉積的廢物所積累的可降解碳總量（衡量有可能產生甲烷的廢物的數量）比每年的增加量高 20 倍以上。這說明，即使我們今天能夠完全淘汰有機廢物填埋，垃圾填埋場中已有的廢物在未來幾十年內仍會繼續產生甲烷。

---

<sup>376</sup>根據加州資源回收局（2020 年）對實現 SB1383 有機廢物減排目標的進展的分析，預期轉移的有機廢物為 2700 萬短公噸，生命週期減排量正是基於該預期來計算的。  
<https://www2.calrecycle.ca.gov/Publications/Download/1589> 根據加州資源回收局的短期氣候污染法規，垃圾填埋場處理的備選方案必須實現每轉移一短公噸垃圾，生命週期溫室氣體即減少 0.3 公噸二氧化碳當量。

<sup>377</sup>加州公共事業委員會，2022，第 22-02-025 號決定

插圖 4-16：沉積在垃圾填埋場的可降解碳



## 成功策略

- 最大限度地利用現有基礎設施，並擴大其範圍，使之可用於減少垃圾填埋場的處置，其策略包括堆肥、厭氧消化、污水處理廠共同消化以及其他非燃燒轉化技術。
- 擴大由有機廢物製成的產品的市場，包括認可堆肥、生物炭和其他產品的協同效益。<sup>378</sup>
- 回收可食用食物，以解決糧食不安全問題。
- 投資建設支援有機回收容量增長所需的基礎設施。
- 利用廢水處理設施的現有消化池，迅速擴大食物廢物消化容量。
- 將從垃圾填埋場和有機廢物沼氣池收集的生物甲烷直接用於難以去碳的部門。
- 在堆肥和消化作業中實施改進後的技術和最佳管理實踐。<sup>379</sup>
- 透過改進操作方法、降低滲透率覆蓋、採用先進的收集系統和填埋氣體利用技術，減少垃圾填埋場的排放。<sup>380</sup>
- 利用遙感功能的進步，快速確定大型甲烷來源、緩解洩漏、更好地瞭解可提高捕獲效率的因素並探索能夠可靠地改善甲烷控制的新技术和實踐。<sup>381</sup>

<sup>378</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 09 號建議草案，[ejacrecrevised.pdf](#) (ca.gov)

<sup>379</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 M10 和 09 號建議草案，[ejacrecrevised.pdf](#) (ca.gov)

<sup>380</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 M10 和 09 號建議草案，[ejacrecrevised.pdf](#) (ca.gov)

<sup>381</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 09 號建議草案，[ejacrecrevised.pdf](#) (ca.gov)



## 上游石油和天然氣甲烷減排

對於石油和天然氣的生產、加工和儲存，加州目前正在實現到 2025 年相對於 2013 年減少 41% 的甲烷排放。實現 2030 年目標所需的額外減排量可以透過實施額外的監管要求來實現，以進一步減少設備化石氣的故意排放。如有必要，可要求公用事業部門增加檢查和維修活動，或透過使用可攜式壓縮機、使用塞子分段隔離管道、燃燒排放的氣體、將氣體輸送到燃料氣體系統以及在壓縮機杆上安裝靜態密封等方法，進一步減少管道排汗造成的排放，增加輸配送設施的減排量。甲烷檢測技術的進步（例如，可檢測大型甲烷來源的衛星）可能也有助於快速識別和緩解整個石油天然氣部門的甲烷排放。<sup>382</sup>

隨著加州逐漸淘汰化石燃料，州內油氣開採可能也會下降。這可能會導致加州長期閒置廢井的數量在一段時間內不斷增加。雖然加州制定了專門法規，幫助確保運營商處理其閒置井，但加州廢井數量可能會增加。由於加州用於填堵廢井的資源有限，填堵所有廢井（目前有 5000 多口）可能需要幾十年時間。堵井的好處包括減少甲烷排放和創造就業機會；堵井和現場修復活動的就業收益有助於暫時抵消石油和天然氣行業的就業損失。<sup>383</sup>加州科學技術委員會 2018 年關於廢井的報告——「[加州廢井：關於加州廢棄油氣井潛在填堵和退役責任的初步評估](#)」發現，加州填堵現有廢井的潛在成本約為 5 億美元，而填堵所有工作井和閒置井的成本總額可能超過 91 億美元。由於對化石燃料的需求減少，加州油氣產量也在下降，因此可能需要更多資金用於填堵沒有切實經營者的油氣井。

## 成功策略

- 透過對所有設施定期進行洩漏檢測與維修（LDAR）調查，減少洩漏排放。<sup>384</sup>
- 在可行情況下，以零排放替代物取代高排放設備。<sup>385</sup>
- 儘量減少按設計須排放化石氣的設備的排放（例如，化石氣壓縮機）。
- 在高排放設備上安裝蒸汽收集系統。
- 逐步停止伴生氣（石油生產過程中作為副產品產生的氣體）的排放和常規燃燒。
- 在化石氣地下儲存設施進行連續環境監測，以快速檢測大型甲烷來源。
- 減少管道和壓縮機排汗。
- 利用遙感能力的進步，迅速確定大型甲烷來源並減少洩漏。<sup>386</sup>

---

<sup>382</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 09 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#) (ca.gov)

<sup>383</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 F3A 和 F3B 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#) (ca.gov)

<sup>384</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 09 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#) (ca.gov)

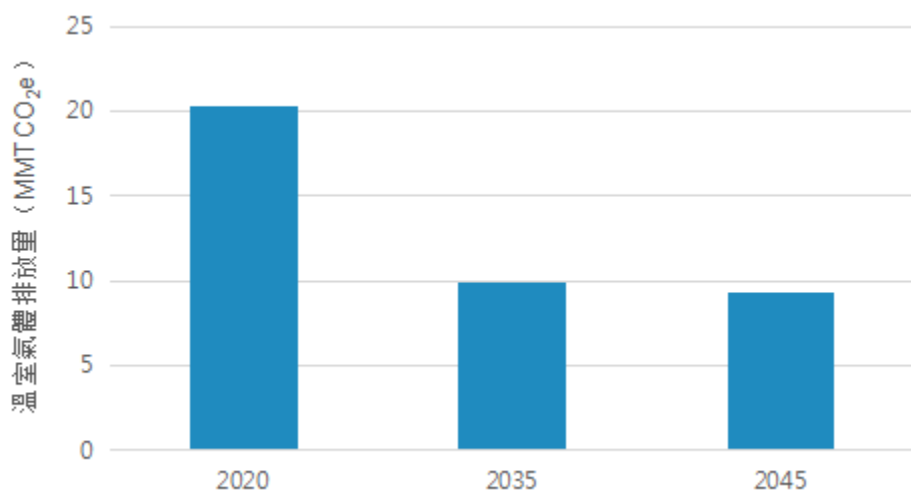
<sup>385</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 P5 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#) (ca.gov)

<sup>386</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 09 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#) (ca.gov)

## 氫氟烴

氫氟烴在加州，目前實施的所有氫氟烴措施將有助於實現 70%以上的減排，從而達到 2030 年的氫氟烴目標，並在 2045 年及以後大幅減少排放。但是，由於對目前主要使用高全球暖化潛值製冷劑的技術的需求預計會增長，必須採取有針對性的新措施才能保持減排速度。儘管在不斷努力去碳化，但如插圖 4-17 所示，高全球暖化潛值的氫氟烴預計會成為最終餘下的持久溫室氣體排放源之一。<sup>387</sup>

插圖 4-17：建議方案中的 2020 年、2035 年和 2045 年氫氟烴排放量



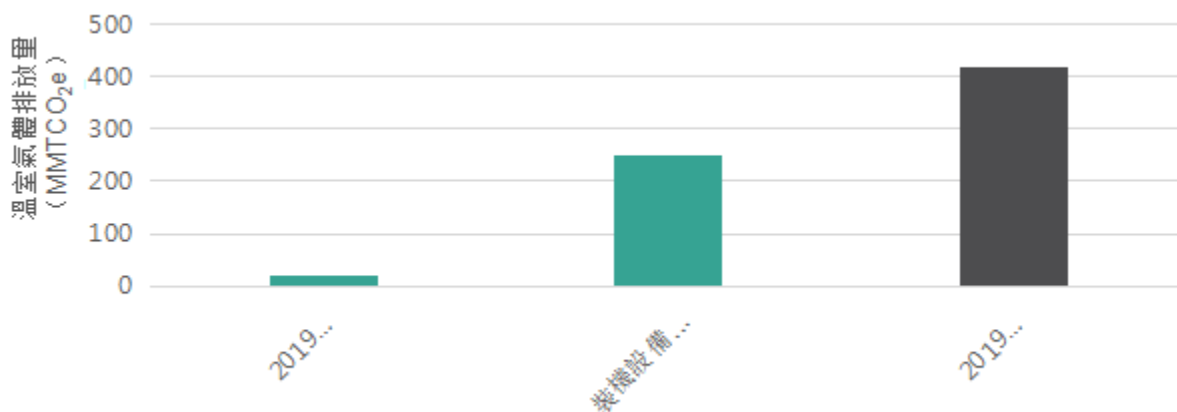
新的和現有來源的氫氟烴排放應與建築物去碳工作同步進行，以最大限度地減少排放。<sup>388</sup>隨著建築電氣化以實現去碳化，預計空間空調、熱水器和幹衣機會越來越多地使用熱泵。雖然熱泵使用的是電力而非化石氣，但目前主要依賴高全球暖化潛值的製冷劑。對於各種熱泵技術而言，極低或無全球暖化潛值的技術和解決方案已經出現或正在出現，並且隨著國際社會繼續努力減少氫氟烴，可能會進一步發展。但是，大部分此類技術在美國仍處於初期階段。此外，一些替代物在加州建築法規更新之前無法使用，對於其中一些技術，預計最早將在 2025 年更新相關法規，而對於其他技術，預計將在之後年份更新。目前對建築法規的更新將允許使用多種全球暖化潛值比目前使用的氫氟烴更低的製冷劑。然而，要擴大超低全球暖化潛值的替代品的選擇範圍，可能還需要更多的建築法規更新。採用低全球暖化潛值的製冷劑必須與建築去碳工作同步進行；如果沒有這些工作，後者的巨大溫室氣體裨益將被部分抵消，建築中的氫氟烴排放比例也會繼續增長。

<sup>387</sup>能源與環境經濟學有限公司，2020，實現加州碳中和，為加州空氣資源局制定的 PATHWAYS 方案，10 月，[https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2020-10/e3\\_cn\\_final\\_report\\_oct2020\\_0.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2020-10/e3_cn_final_report_oct2020_0.pdf)

<sup>388</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 NF35 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](https://www.ca.gov/ejacrecsrevised.pdf)(ca.gov)

現有空調和製冷設備的洩漏是全州和全球氫氟烴排放的一個主要來源。一旦安裝，製冷和空調設備可以在原地不動數十年，同時將製冷劑洩漏到大氣中。因此，新安裝設備使用全球暖化潛值盡可能低的製冷劑非常重要。現有設備內的製冷劑有時被統稱為潛在氫氟烴的裝機排放基地或庫存。如插圖 4-18 所示，如果自然釋放，現有的氫氟烴庫存將相當於加州全州全年溫室氣體排放量的 60%。<sup>389</sup>

插圖 4-18：現有設備中的製冷劑的潛在排放



## 成功策略

- 在所有氫氟烴終端使用部門擴大極低或無全球暖化潛值技術的使用範圍，包括非空間空調熱泵等新興部門，以使建築去碳效益最大化。<sup>390</sup>
- 將大型氫氟烴排放源，如現有的製冷系統，轉換為實際全球暖化潛值最低的技术。<sup>391</sup>
- 在處理現有的高全球暖化潛值製冷劑「庫存」時，優先考慮服務於重點人群的小規模和獨立雜貨商。<sup>392</sup>
- 透過限制新的或原有的高全球暖化潛值製冷劑的銷售，並要求在適當情況下使用再生製冷劑，改善製冷劑的回收、再生和再利用。<sup>393</sup>
- 協助低收入和弱勢社區獲得低全球暖化潛值的空間空調設備，使弱勢社區免受熱應力和野火煙霧的影響。<sup>394</sup>

<sup>389</sup>加州空氣資源局，2021，2022 年範疇計畫更新——短期氣候污染物研討會報告，9 月 8 日，[https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2021-09/carb\\_presentation\\_sp\\_slcp\\_september2021\\_1.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2021-09/carb_presentation_sp_slcp_september2021_1.pdf)

<sup>390</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 NF35、M3 和 M8 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#)(ca.gov)

<sup>391</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 NF31、M3 和 M8 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#)(ca.gov)

<sup>392</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 O29、O30 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#)(ca.gov)

<sup>393</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 O6 和 M8 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#)(ca.gov)

<sup>394</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 NF37、O29 和 O30 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#)(ca.gov)

- 與致力於根據《蒙特利爾議定書》的《基加利修正案》對氫氟烴採取行動的國際夥伴合作，加速加州和全美技術轉型；包括解決極低或無全球暖化潛值的製冷劑技術的採用障礙，如前期成本高、受過訓練的技術人員短缺以及安全標準和建築規範更新滯後。

## 人為黑碳

自 2013 年以來，在減少人為黑碳排放方面已經取得了重大進展，這主要是因為農業部門的餾分燃料燃燒減少以及更清潔的道路燃燒技術的改進。根據目前的策略，預計到 2030 年，交通領域的人為黑碳將減少 60% 以上。加州氣候和空氣品質計畫繼續推動各部門燃燒排放減少，也將有助於減少未來的人為黑碳排放。

## 成功策略

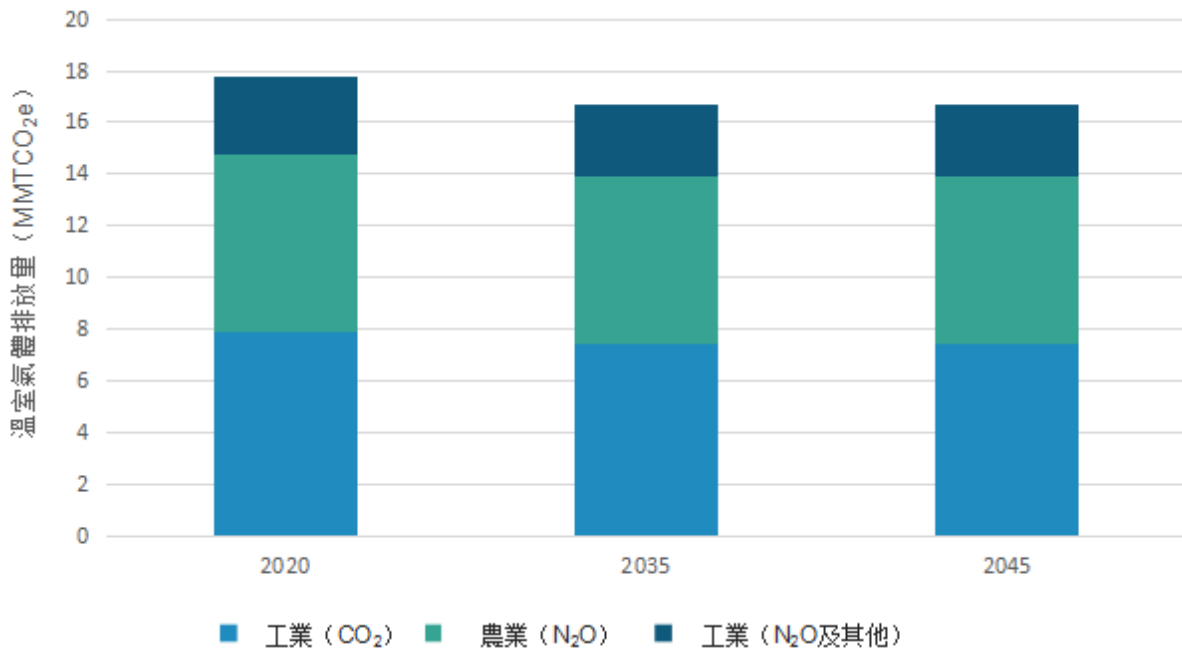
- 減少符合加州氣候和空氣品質計畫的燃料燃燒，特別是減少交通排放和農業設備排放。<sup>395</sup>
- 投資減少住宅木煙。

如插圖 4-19 所示，除了短期氣候污染物物排放之外，還有其他非燃燒類排放，預計在未來幾十年內將持續存在。其中包括水泥製造、石油和天然氣開採、地熱發電等工業流程中產生的二氧化碳；廢水處理、化肥和牲畜糞便產生的一氧化二氮；以及其他工業、非氫氟烴溫室氣體排放。

---

<sup>395</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 F1A 號建議草案，附件 A（公共流程）。「減少加州農業部門消耗的能源的排放，包括收穫後的加工、拖拉機和其他農業設備的使用以及引水和灌溉。」

插圖 4-19：建議方案中 2020 年、2035 年和 2045 年的其餘非燃燒物排放量



## 自然和工作用地

加州擁有 1.05 億英畝土地，自然和工作用地約占 90%，其中包括自然界生命系統——森林、草原、灌木叢、耕地、濕地、沙漠以及城市和建築環境中的綠色空間。<sup>396</sup>這些土地包括加州土著美洲人部落的祖先土地和人文土地，我們城市和社區中的公園和綠地，以及我們熟悉和喜愛的水域和標誌性地貌。加州的土地是多樣化的，為加州人民帶來了眾多好處，包括清潔水、清潔空氣、生物多樣性、食物、娛樂機會、傳統部落生活方式的延續、心理健康以及許多其他好處。

我們的土地是加州為實現碳中和並建立對氣候變遷影響的適應力而努力的一個關鍵領域。健康的土地可以將大氣中的二氧化碳封存和儲存在森林、土壤和濕地中。健康的土地還可以減少強大的短期氣候污染物的排放、限制未來溫室氣體釋放、保護人類和自然使之免受氣候變遷的影響，並建立我們應對未來氣候風險的適應力。不健康的土地則具有相反的影響——它們釋放的溫室氣體比儲存的更多，更容易受到未來氣候變遷的影響。

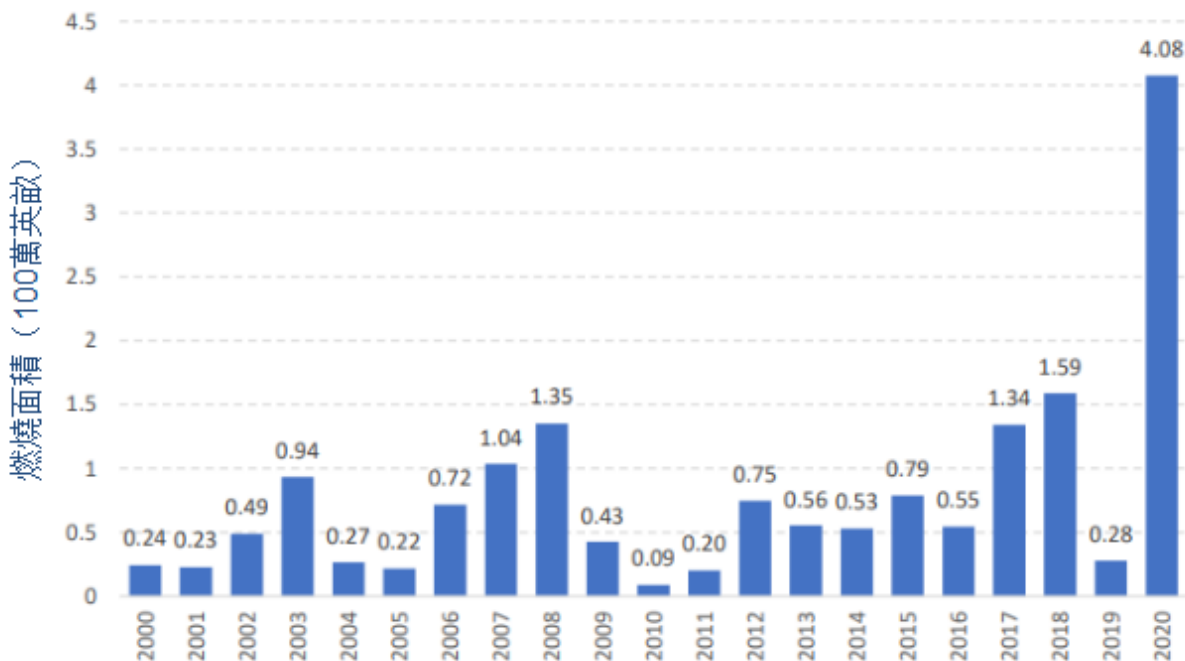
近年來，氣候變遷的影響變得越來越明顯，對整個州的社區產生了重大影響。其中一個影響是，由於氣候變遷以及近期的防火和土地治理實踐，森林生物量水準高，導致規模巨大

<sup>396</sup>加州自然資源局，2022，《自然和工作用地氣候智慧型戰略》，[https://resources.ca.gov/-/media/CNRA-Website/Files/Initiatives/Expanding-Nature-Based-Solutions/CNRA-Report-2022---Final\\_Accessible\\_Compressed.pdf](https://resources.ca.gov/-/media/CNRA-Website/Files/Initiatives/Expanding-Nature-Based-Solutions/CNRA-Report-2022---Final_Accessible_Compressed.pdf)



的高強度野火更加頻繁。近期的大規模高強度野火燒毀了加州大量土地，並產生了大量排放（插圖 4-20）。<sup>397</sup>

插圖 4-20：燒毀的野外植被面積



這些野火不同於以往按自然間隔發生的頻繁、低強度火災。我們的森林就是在這些間隔中進化而來的。隨著氣候變遷加速，這些大規模、非典型野火可能會變得更加普遍，並影響到越來越多的地貌。氣候變遷預計還會對我們的土地產生其他重大影響，包括更加極端的乾旱、洪水、高溫以及水生和陸生入侵物種、害蟲、疾病和寄生蟲的蔓延。這些影響會導致對人類和生態健康發生負回饋迴圈；例如，入侵物種的日益蔓延會導致殺蟲劑使用增加，如果不透過監管或緩解措施進行管理，則會對人類健康和環境造成各種風險。

為了解決這些因氣候壓力所導致的極端火災和入侵擴張的相互關聯風險，必須在地貌層面對碳、水、植物和動物物種的管理採取更加生態和全面的方法，因此，加州在自然和工作用地領域的氣候行動方法並不僅僅關注碳儲存的最大化，它還支援有利於生態系統健康、增強復原力、提供總體氣候功能和其他協同效益的碳管理。

與能源和工業部門相比，自然系統運作的時間尺度更長，對土地採取的氣候行動可能需要幾十年的時間才能產生裨益，因此，加州認識到，為了確保生態系統的長期效益，氣候行

<sup>397</sup>加州空氣資源局，2021，2020 年野火排放估計值。7 月，  
[https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2021-07/Wildfire%20Emission%20Estimates%20for%202020%20\\_Final.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2021-07/Wildfire%20Emission%20Estimates%20for%202020%20_Final.pdf)

動可能會促使地貌碳總量少於目前的碳總量。擴大加州氣候智慧型土地治理的規模需要立刻採取行動，並透過建立和保持一致的、耐久的方法和計畫，進行「長期博弈」。植物、土壤和樹木以十年為時間尺度，為了實現長期的氣候效益，我們必須立刻採取行動。

## 地貌

《範疇計畫草案》首次將自然和工作用地領域的建模納入其中。初步建模的重點限於七種土地類型，與自然和工作用地氣候智慧戰略中的土地類型保持一致，隨著時間的推移，會持續將更多的地貌和管理實踐納入建模。<sup>398</sup>納入 2022 年《範疇計畫草案》建模的最初地貌包括：

- 森林
- 灌木林和濃密常綠闊葉灌叢
- 草地
- 耕地
- 濕地
- 已開發土地
- 植被稀疏的土地

按照第 N-82-20 號《行政令》的要求，這些土地類型都是加州自然和工作用地領域氣候行動增加方法的關鍵組成部分。該行政令還指示加州空氣資源局更新該領域的目標（作為 2022 年《範疇計畫》一部分），以支援碳中和，並考慮自然和工作用地氣候智慧戰略。此外，在 2021 年，SB 27 經州長簽字成為法律（Skinner，《2021 年法規》第 237 章）。<sup>399</sup>該法律要求加州空氣資源局制定 2030 年及以後的二氧化碳移除目標，並考慮自然和工作用地氣候智慧戰略。州長行政令和 SB 27 補充了立法機關和前政府以往的方向，強調

---

<sup>398</sup>加州自然資源局，2022，[自然和工作用地氣候智慧戰略，附件 B](https://resources.ca.gov/-/media/CNRA-Website/Files/Initiatives/Expanding-Nature-Based-Solutions/Appendix-B_04132022_ada.pdf)，[https://resources.ca.gov/-/media/CNRA-Website/Files/Initiatives/Expanding-Nature-Based-Solutions/Appendix-B\\_04132022\\_ada.pdf](https://resources.ca.gov/-/media/CNRA-Website/Files/Initiatives/Expanding-Nature-Based-Solutions/Appendix-B_04132022_ada.pdf)

<sup>399</sup>SB-27 碳封存：州目標：自然和工作用地：項目登記，[https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billTextClient.xhtml?bill\\_id=202120220SB27](https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billTextClient.xhtml?bill_id=202120220SB27)

在全州範圍內以及在計畫和政策中量化基於土地的碳的重要性，為支援加州氣候目標設定了自然和工作用地指標，並推進有利於土地健康和復原力的土地治理行動。<sup>400</sup>401402403

我們在考慮長期氣候目標時，還須重視第八種地貌——藍碳（捕獲並保存在海草等沿海植被中的碳）。但是，這種地貌目前尚未納入政府間氣候變遷專門委員會清單指南或加州自然和工作用地清單。加州海洋保護委員會和三藩市河口研究院正在合作創建一份新的沿海濕地、海灘和流域清單，這份清單會新增一些資訊。隨著掌握的數據越來越多，加州空氣資源局工作人員將利用這項工作所產生的資訊，並透過評估其他可用數據，來評估如何將該地貌納入我們的工作範圍。<sup>404</sup>

## 各種地貌的碳趨勢

加州空氣資源局目前透過《加州土地上生態系統碳清單》追蹤碳儲量的變化，該清單見第 1 章中的概述<sup>405</sup>。自然和工作用地清單是跟蹤全州碳儲量變化的關鍵工具，將作為該部門的記錄清單，跟蹤整個部門實現目標的進展。自然和工作用地清單提供了加州土地狀況的回顧性快照，並收集了碳儲量隨時間推移發生的增減情況的資訊。除了跟蹤碳儲量的變化之外，自然和工作用地清單還可作為一項重要工具，用於瞭解我們在該領域為了增加氣候行動而作出的努力（如本《範疇計畫》和自然和工作用地氣候智慧戰略中確定的行動）對自然和工作用地碳儲量的影響。該清單還被用作《範疇計畫》場景建模和目標設定的基礎。

加州空氣資源局的清單顯示，從 2001 年到 2011 年，這些土地都是溫室氣體的排放源，釋放的碳多於儲存的碳，然後從 2012-2014 年恢復到輕微的碳匯。<sup>406</sup>這些趨勢凸顯了土地的年際和年代際變化及其既是碳源又是碳匯的能力，還凸顯了縱觀多年和多年代的自然和工作用地數據和趨勢（而非僅注意年變化）的重要性。這種變化是地球碳迴圈的一部分，在該迴圈中，碳在土地、海洋和大氣之間轉移。作為碳迴圈的一部分，火災和植物呼吸及分解在幾十年或幾個世紀裏，將碳從土地轉移到大氣中，而植物生長和其他過程又將碳

---

<sup>400</sup>SB 859 公共資源：溫室氣體排放和生物量（SB 859，預算與財務審查委員會，《2016 年法規》第 368 章），[https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill\\_id=201520160SB859](https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=201520160SB859)

<sup>401</sup>SB 1386，資源保護：工作和自然用地（SB 1386，《2016 年法規》第 545 章），[https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill\\_id=201520160SB1386](https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=201520160SB1386)

<sup>402</sup>加州空氣資源局，2017，2017 年氣候變遷範疇計畫更新，第 17-46 號委員會決議，<https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/barcu/board/res/2017/res17-46.pdf>

<sup>403</sup>行政部，加利福尼亞州，[EO B-52-18](#)

<sup>404</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，建議草案，[ejacrecsrevised.pdf \(ca.gov\)](#)，N2

<sup>405</sup>加州空氣資源局，*加州自然和工作用地生態系統碳清單*，2018 版，[nwl\\_inventory.pdf \(ca.gov\)](#) Accessed 3/2/2022

<sup>406</sup>這些趨勢與最近 AB 1504 報告期的估計相一致。

從大氣轉移到土地中。化石燃料燃燒產生的排放物導致該迴圈失去了平衡。此外，歷史上的一些土地治理實踐導致土壤中的碳流失，也導致大氣中的二氧化碳增加，同時還加劇了水迴圈的不平衡，碳迴圈影響著水迴圈同時又與之相互關聯。這些排放還促成了加州土地的回饋迴圈：隨著二氧化碳在大氣中積累，加州經歷了更多的變暖、極端高溫事件和乾旱天氣，碳損失的風險和強度也在增加，這反過來又使更多的碳從土地轉移到大氣中。由於森林和灌木叢約占加州碳儲量的 85%，管理策略以及森林和灌木叢的碳干擾對於確定加州土地是否每年提供淨碳封存或淨排放發揮著重要作用。

雖然我們預計土地的碳增減未來會有波動，但重要的是在已經失去碳的地方恢復碳，並減少碳損失以及自然和工作用地的其他溫室氣體排放。

## 目標以及加快基於自然的解決方案

加州的氣候減緩目標傳統上是以單個年份來確定的（即 2020 年或 2030 年的溫室氣體排放品質），但由於自然和工作用地每年都在變化，自然和工作用地的碳有時需要幾十年的積累，因此在確定該領域如何推動加州實現碳中和時，必須考慮長期的碳儲量、排放和封存趨勢。此外，加州自然和工作用地清單跟蹤本州自然和工作用地碳庫的碳儲量，因此，確定自然和工作用地清單可以跟蹤的自然和工作用地目標非常重要。

正如第 2 章中的概述，加州預計會在未來幾十年失去碳儲量，但 2022 年《範疇計畫》的更新分析也表明，提高加州氣候智慧型土地治理的速度和規模，將減少自然和工作用地領域的碳儲量損失和溫室氣體排放。為響應 EO N-82-20，加州提出了自然和工作用地目標，具體見表格 4-1。

**表格 4-1：2022 年自然和工作用地範疇計畫模型目標，基於不斷增加的自然和工作用地相關行動**

總碳儲量%相比於 2014 年的變化	
<b>2035</b>	-2
<b>2045</b>	-4

這些目標基於速度和規模均不斷擴大的自然和工作用地行動，具體如下：

- 將森林、灌木叢和草地的管理面積增加到每年至少 230 萬英畝。
- 將氣候智慧型農業實踐增加到每年至少 5 萬英畝，每年至少保護 6000 英畝耕地，並增加有機農業，到 2045 年至少占加州耕地面積的 20%。

- 將對已開發土地上的城市樹木的年度投資增加至少 20%，使之高於歷史水準，並在所有地塊建立可防禦空間。
- 到 2045 年，恢復至少 60,000 英畝或大約 15% 的薩克拉曼多-聖華金河三角洲（三角洲）濕地。
- 在目前的水準上，每年將沙漠和植被稀疏地貌的土地改造減少至少 50%。

上述行動表示，對自然和工作用地的氣候智慧型管理比率相比於現在，將有很大提高。對於森林、灌木叢和草原而言，到 2025 年每年達到至少 230 萬英畝，意味著管理水準比目前的水準提高約 10 倍。對於耕地，每年將氣候智慧型管理增加到至少 58,000 英畝，這意味著到 2045 年，健康土壤實踐比目前的水準提高約 5 倍，有機農業的總英畝數增加 2 倍。

自然和工作用地的建模表明，如果達到了上述碳儲量目標，並實施了上述管理行動，加州土地的年平均排放量將達到約 800 萬公噸二氧化碳當量。其他氣候智慧型管理措施和地貌，如氣候智慧戰略中包含的那些，有可能增加碳儲量、減少自然和工作用地的溫室氣體排放，並超過本《範疇計畫》中確定的水準。

自然和工作用地目標以及上述結果的目的是提供數字指導，支援本州優先考慮可實現多種結果的持久解決方案，努力加快加州土地上的近期和長期氣候行動。在未來幾十年，採取這些行動將減少自然和工作用地的潛在碳損失、降低一些地貌類型（如耕地和三角洲濕地）的溫室氣體排放，並為 2025 年至 2045 年間自然和工作用地的溫室氣體封存提供支援。這些行動還將為加州人帶來推進氣候目標以外的重大利益，如減少野火排放及其相關健康影響、增加適應生物多樣性的棲息地、減少城市熱島效應、減少有害殺蟲劑暴露、擴大經濟機會等。第 2 章和第 3 章提供了關於建議方案的幾個經濟和健康成果的更多資訊。

## ● 成功戰略：所有自然和工作用地交叉項目

- 作為聯邦、州、私人、慈善機構和個人土地治理者之間集體工作的一部分，按照上述管理水準加快氣候智慧行動的速度和規模。
- 優先考慮並踐行公平，包括確保有意義的社區參與以及優先實施基於自然的解決方案，使最易受到氣候變遷影響的社區受益。
- 推進多效益、協同合作、地貌層面的方法，讓社區和土地所有者參與其中，並納入適應性管理。
- 與加州土著美洲人部落合作，增加共同管理和部落管理權限；恢復和加強自然文化資源、傳統食物和文化景觀；支援部落實施部落專業知識和傳統生態知識以及文化地役權。<sup>407</sup>

<sup>407</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 N1、N6 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](https://www.ca.gov/ejacrecsrevised.pdf) (ca.gov)



- 利用公共、私人和慈善部門之間現有的並探索新的創新金融和市場機制，保障氣候智慧型土地治理的資金需求。
- 與社區和私營部門合作，擴大並建設新的基礎設施，以製造和加工氣候智慧型農業和生物質產品。
- 充分利用並支援技術援助提供者：如加州大學合作推廣部和加州 98 個資源保護區，這些提供者在向當地土地所有者提供技術援助以及在全州實施農業、林業、自然資源管理和恢復專案方面成績卓越。
- 建立和擴大機制，確保自然和工作用地免受土地改造和分割之影響（例如，保護地役權或《威廉姆斯法案》）。<sup>408</sup>在可行情況下，將土地保護專案與增加碳封存的管理計畫結合在一起。
- 利用現有的自願性和強制性碳市場、現有的州和地方計畫以及根據 SB27 建立的加州碳封存和氣候適應性專案註冊系統，增加私人和慈善機構對基於自然的氣候解決方案的投资機會。
- 根據氣候智慧戰略的跟蹤和監測建議，擴大對管理行動和結果的監測和跟蹤。

## 森林、灌木叢和濃密常綠闊葉灌叢

加州有 27% 的土地被森林覆蓋，占地約 2900 萬英畝，主要分佈在加州北部。灌木林和濃密常綠闊葉灌叢占全州土地的 31%，大約 3300 萬英畝，主要位於本州南部，但在整個加州，這些地貌類型大量混合。這兩種類型各不相同，有其自身的生態動態和管理策略，並以單獨的模型進行建模，模型經過校正後以獨特的方式處理這兩種類型。

森林、灌木叢和濃密常綠闊葉灌叢共同維繫著植物和動物的高度生物多樣性，以及高水準的碳儲量。它們為所有加州人提供了重要的空氣和水質量效益、休閒機會，還為加州提供木質林產品。這些地貌屬於火災適存植被，歷史上部落對這些土地的管理促進了生態系統的健康和復原力。在上個世紀，這些土地受到防火措施的嚴重影響，包括禁止原住民的管理和以往的管理實踐，導致今天的生態系統和社區復原力較差、野火破壞性更大。再加上乾旱引起的壓力和死亡，導致這些地貌從碳匯變成了碳源。氣候智慧型管理有助於森林增強對氣候變遷的適應力，使之更容易避免災難性的野火。灌木叢和濃密常綠闊葉灌叢的氣候智慧型管理面臨更多的挑戰和不確定性，但仍然可以為受威脅的社區和自然資源提供保護。如果定期進行這種管理，維持森林健康，可幫助減少森林、灌木林和濃密常綠闊葉灌叢的排放，有助於加強和保持這些地貌帶來加州人的協同效益。

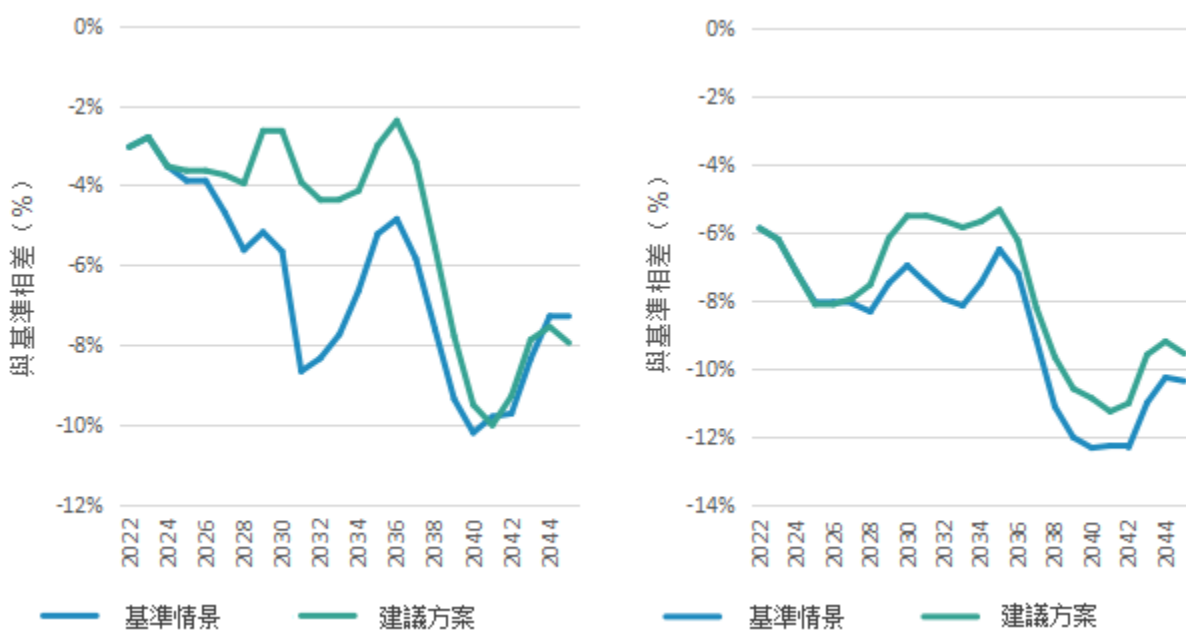
對於森林、灌木林和濃密常綠闊葉灌叢，氣候智慧型土地戰略中還確定了一些其他戰略，如在從嚴重野火中恢復的區域積極開展再造林工作、恢復山區草甸和河岸森林生態系統、促進填充式開發以避免自然和工作用地改造。這些戰略一經部署，可以透過自然和工作用

<sup>408</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 N5 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](https://www.ejacrecsrevised.ca.gov)(ca.gov)

地提供更多的碳效益和其他環境效益，而不僅僅限於《範疇計畫》建模結果所帶來的裨益。

在所有管理層面，由於氣候變遷和野火的影響，森林和灌木叢在未來 20 年內預計會喪失碳（插圖 4-21）。

插圖 4-21：到 2045 年森林（左）和灌木林（右）的碳儲量<sup>409</sup>



碳儲量減少或許是不可避免的，但建議方案下的森林管理可以幫助指導碳損失發生的地點和方式。透過積極管理森林和灌木叢，可以減少野火造成的碳損失，因為高強度火災的風險降低，移除的生物量可用於更有用的用途，如木質林產品、生物能源或特殊要求下的碳移除。管理多樣化和復原力的森林地貌還可以幫助森林更快地恢復，使森林在氣候變遷和野火影響發生之時，受到的影響更少，並能繼續茁壯成長和封存碳。

## 成功策略

- 根據 2022 年《範疇計畫草案》中確定的氣候智慧型管理戰略，以及氣候智慧戰略和野火與森林復原力行動計畫中確定的其他戰略，加快氣候智慧型森林管理的速度和規模，到 2025 年每年至少達到 230 萬英畝。<sup>410</sup>

<sup>409</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 N13 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#) (ca.gov)

<sup>410</sup>森林管理任務小組，2021，加州野火和森林復原行動計畫：州長森林管理任務小組建議，<https://www.fire.ca.gov/media/ps4p2vck/californiawildfireandforestresilienceactionplan.pdf>

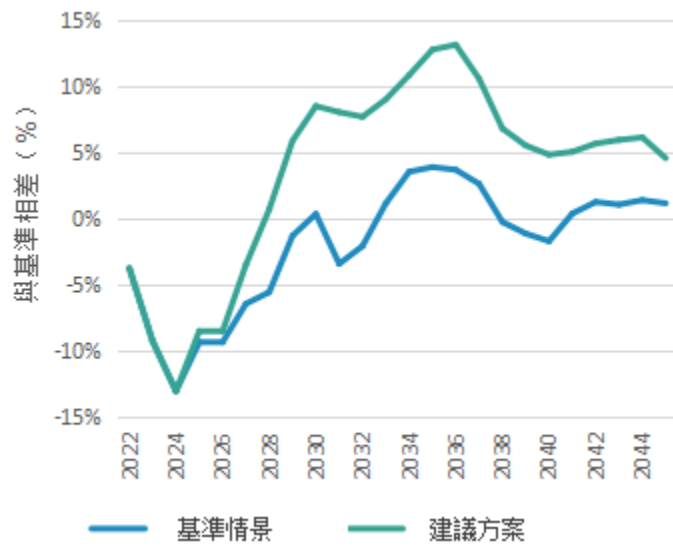
- 建立和擴大機制，確保森林、灌木叢和草地免受土地改造的影響，並支援持續而非一次性的管理行動。
- 與州和地方機構合作，加快部署氣候智慧型管理下產生的廢棄木質生物質殘餘物的長期碳儲存，包括耐用木材產品、地下水庫、土壤改良劑和其他媒介中的儲存。
- 擴建基礎設施，以促進氣候智慧型管理產生的生物質的處理。
- 與州和地方機構合作，加大許可證的簡化力度，以加快實施氣候智慧型森林管理，同時保護自然資源。

## 草地

草地占地面積約為 1000 萬英畝，占加州土地的 9%，遍佈於全州的各種地貌中，集中在薩克拉曼多-聖華金河谷周圍的山麓地區。除了碳儲存（主要在土壤中），草地還提供開放空間、野生棲息地、放牧地以及重要的水過濾和補給裨益。保護草地有助於減少無序擴張並為補充性的車輛行駛里程減少戰略提供支援。由於草地容易受到入侵物種的影響，氣候智慧戰略可以透過改善物種多樣性、保持或增加土壤碳儲量來提高草地對氣候變遷的適應力。

建模結果顯示，增加燃料處理、避免土地改造可在 2045 年之前增加碳儲量，但封存率每年都會波動。草地的碳封存率很高，但很容易因野火和土地改造而發生碳損失。土壤碳是這些土地上的主要碳庫，未來需要繼續改進對土壤碳的監測和建模。與森林和灌木林/濃密常綠闊葉灌叢類似，燃料處理等建模備選方案與不進行管理相比，碳儲量更大，而且野火排放量更低。與森林和灌木林/濃密常綠闊葉灌叢的碳儲量普遍下降的趨勢不同，建模結果（插圖 4-22）顯示，透過對草地實施積極管理，草地可疑維持或增加碳儲量。

插圖 4-22：截至 2045 年的草地碳儲量



## 成功策略

- 建立和擴大機制，確保草地免受土地改造/分割的影響，並支援可改善碳封存狀況的持續而非一次性的管理行動。
- 部署草地管理策略，如規定放牧、堆肥的施用和其他再生實踐，以支援土壤碳封存、生物多樣性和其他生態改善。
- 農場更多地採用堆肥生產，在適當的草地環境中增加堆肥的施用，以改善植被和碳儲存，並透過基於自然的解決方案實現廢物轉移目標。

## 耕地

耕地約為 950 萬英畝，占全州土地面積的 9%，集中在薩克拉曼多-聖華金河谷，另外在帝國穀和薩利納斯河谷以及文圖拉地區也有大量分佈。這是世界上生產力最高的農業用地，加州因此成為全球農業的佼佼者。除了已開發的土地，耕地是本州管理最密集的地貌，透過耕地所產的糧食和人們在管理過程中與耕地的持續、直接接觸，與社會緊密相連。除了糧食安全之外，耕地還透過土壤、多年生耕地和地上生物質提供大量的碳儲存。氣候智慧實踐可以改善公共健康；例如，透過減少合成肥料和殺蟲劑的使用，同時透過改善土壤條件和增加授粉者的棲息地，幫助維持或增加耕地生產力的氣候適應性。

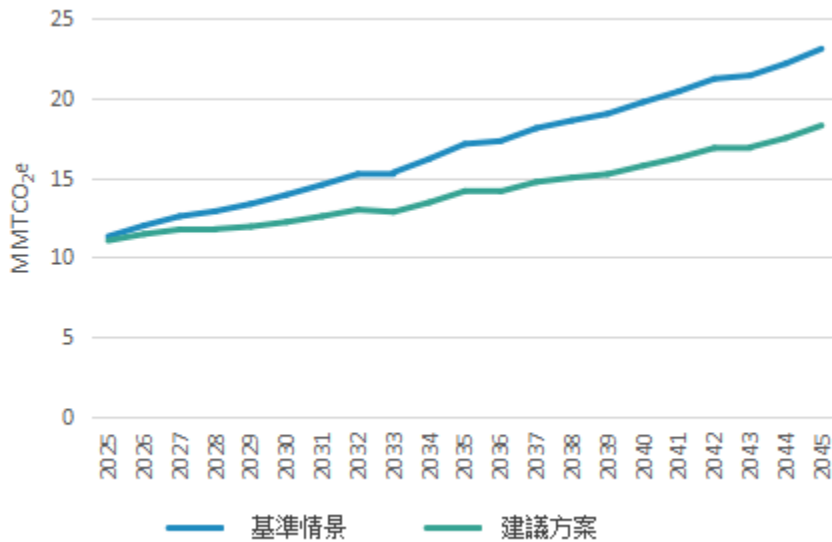
另外，轉變該部門還極其有助於增加土壤碳儲存、減少溫室氣體排放（插圖 4-23）以及減少殺蟲劑暴露和健康影響。轉向可改善土壤健康和持水能力的農業系統，可以減少氮的過度施用，減少殺蟲劑和薰蒸劑的使用，並增加生物多樣性和授粉者的棲息地，從而為加州實現碳中和提供支援，同時改善在農業社區生活和工作者的生活。耕地與人、社區及其健康有著錯綜複雜的聯繫，透過氣候智慧型實踐和耕地保護，這些土地除了提供糧食之外，還可能為社會做出更多貢獻。實施氣候智慧型農業實踐有助於加州實現社會和環境效益，如提高用水效率，增加授粉者的棲息地，減少合成肥料和殺蟲劑的使用。<sup>411</sup>

---

<sup>411</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 N3、N4 和 N5 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#) (ca.gov)



插圖 4-23：2045 年一年生耕地累積二氧化碳當量排放量<sup>412</sup>



加州空氣資源局清楚耕地的複雜性質、跨部門關係，以及需要在該分析的基礎上進一步瞭解耕地的動態。自然和工作用地氣候智慧戰略另外為耕地確定了幾項戰略，如推廣氣候智慧型灌溉系統、增加地下水補給、重新利用休耕地、利用有機廢物以及擴大綜合蟲害管理。已經部署，這些戰略均可帶來耕地建模結果中不包含的碳效益和其他環境及社會效益。此外，還需要探索耕地管理的更多方面，以挖掘潛在的氣候效益，如水和養分的使用管理、害蟲控制方法、作物輪作和其他管理實踐。氣候變遷對水的可用性、一年生/多年生作物的生長以及未來的碳封存趨勢的影響並不是確定的，最近的政策，如《永續地下水管理法》，可能會以不可預見的方式影響耕地管理。儘管如此，但很明顯的是，隨著越來越多氣候智慧實踐的實施，加州可以做好未來準備，為本州帶來切實利益。

## 成功策略

- 加快健康土壤實踐的速度和規模，到 2025 年，每年達到 5 萬英畝，每年至少保護 6000 英畝的一年生作物，到 2045 年，將有機農業增加到所有耕地的 20%。
- 為氣候智慧戰略中確定的耕地部署更多的氣候智慧型農業戰略（例如，提高氮的使用效率、果園整體回收、河岸恢復、農場能源生產等），並利用加州食品及農業部「農民和牧場主主導的氣候變遷解決方案」報告中的建議，加速部署健康土壤實踐、有機耕作和其他氣候智慧型農業實踐。<sup>413</sup>

<sup>412</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 N11 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#) (ca.gov)

<sup>413</sup>加州食品及農業部，2021，農民和牧場主主導的氣候變遷解決方案，[https://www.cdfa.ca.gov/oeffi/climate/docs/cdfa\\_farmer\\_and\\_rancher-led\\_climate\\_solutions\\_meetings\\_summary.pdf](https://www.cdfa.ca.gov/oeffi/climate/docs/cdfa_farmer_and_rancher-led_climate_solutions_meetings_summary.pdf)

- 建立或擴大金融機制，支援健康土壤實踐和有機農業的持續部署。<sup>414</sup>
- 實施加州農藥管理部門害蟲持續治理工作組的建議<sup>415</sup>，以加速全系統向更安全、更持續的害蟲治理過渡。<sup>416</sup>
- 支援實現更安全、更持續害蟲治理實踐以及生態系統健康和保護的協同效益的戰略。
- 透過與加州農藥管理部門、加州食品及農業部和加州空氣資源局的多機構合作，對殺蟲劑、土壤健康、溫室氣體和害蟲復原力的交集進行研究。<sup>417</sup>
- 開展宣傳和教育，開發更安全、更持續的害蟲治理方法和工具，促進更廣泛的採用，減少有害殺蟲劑的使用，促進土壤健康，改善水和空氣品質，減少對公共健康的影響。
- 與州和地方機構合作，加快部署替代農業燃燒的方法，以增加廢棄農業生物質的長期碳儲存，包括耐用木製品、地下水庫、土壤改良劑和其他媒介中的儲存。
- 跨州機構展開合作，適當減少對一些健康土壤實踐（如堆肥）的監管和許可障礙。
- 利用創新的農業能源使用和碳監測及規劃工具，減少能源和施肥所產生的農場溫室氣體排放或增加碳儲存，並促進農場能源生產機會。

## 濕地

濕地占地約 170 萬英畝，占全州土地面積的 2%，包括內陸和沿海濕地，如長春池、泥炭地、高山草甸、鹽沼和泥灘。這些土地是生物多樣性的熱點區域，土壤中含有大量碳，關係到本州的水供應，並保護著高地區域使之避免受海平面上升和風暴的影響，對加州社區至關重要。過去，由於填海、築堤、排水和疏浚等活動，濕地已經嚴重退化，導致土壤中儲存的碳向外排放並且生態系統效益受到損失。旨在恢復和保護各類濕地的氣候智慧戰略在減少排放的同時還可以提高周圍區域的氣候適應力，改善本州的水質和水量。恢復後的濕地也可以減少對加州老化的水基礎設施的壓力。在未來，預計氣候變遷會對水供應產生負面影響，因此，除了減排之外，這些效益也將發揮作用。

避免濕地改造和恢復，可減少濕地二氧化碳和甲烷的排放，溫室氣體的減少量隨著實施率的提高而增加（插圖 4-24）。擴大保護和恢復工作可帶來一些好處，如保護生物多樣性、改善水質和供水以及減少洪水風險。氣候智慧戰略中還確定了一些額外的濕地戰略，如保護和恢復各種類型的濕地，以增強自然功能，為海平面上升等未來氣候變遷影響做好準備。

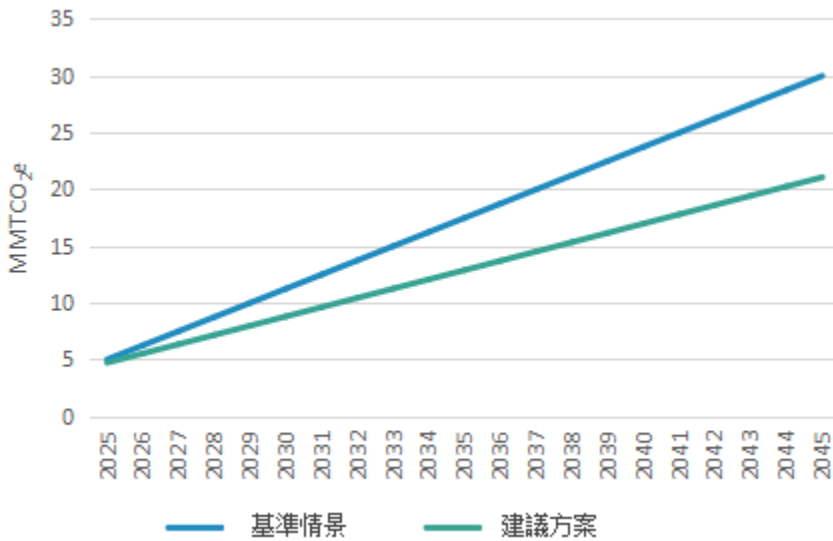
<sup>414</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 N5 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#) (ca.gov)

<sup>415</sup>該工作組將在 2022 年 5/6 月發佈其建議草案。政府的工作組建議實施計畫將在 2022 年秋季發佈工作組預期的最終建議後發布。

<sup>416</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 N3、N4 和 N5 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#) (ca.gov)

<sup>417</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 N3、N4 和 N5 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](#) (ca.gov)

插圖 4-24：到 2045 年三角洲濕地的累積二氧化碳排放量



## 成功策略

- 到 2045 年，每年恢復 60,000 英畝的三角洲濕地，以減少濕地的甲烷排放，並扭轉由此產生的沉降。
- 部署氣候智慧戰略中確定的額外濕地保護、恢復和強化活動，包括內陸和沿海濕地。
- 確定氣候脆弱社區周圍的濕地恢復工作並確定其優先次序。
- 利用土地信託、地方資金（如三藩市 AA 措施）、聯邦資金以及私人和慈善資金等其他資金和機構，支援濕地恢復專案。
- 跨州機構展開合作，適當減少對三角洲恢復專案的監管和許可障礙。

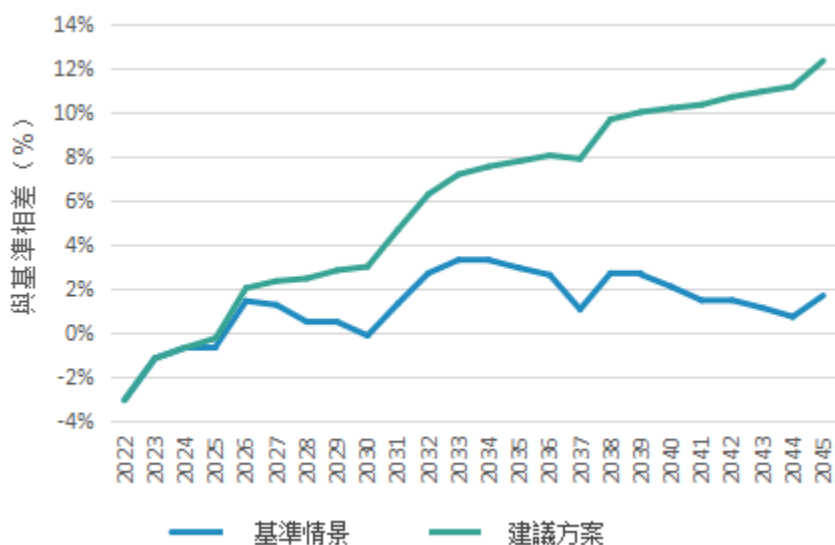
## 已開發土地

已開發土地占全州面積的 6%（大約 680 萬英畝），包括城市、郊區和農村地區，以及整個加州的交通和配套基礎設施。此類區域囊括了絕大多數加州人居住並稱之為家的土地。城市和社區內以及基礎設施沿線的植被均屬於已開發土地的一部分。這些植被為周圍地區帶來了眾多益處，包括碳儲存、空氣和水過濾、減少城市熱島效應、接觸大自然、美學和心理健康等。這些區域也容易受到氣候變遷的影響，旨在保護和擴大城市森林、景觀、綠地、公園和相關植被的氣候智慧戰略可以增加其氣候適應力，為加州人帶來更多好處。弱勢社區可能無法公平地接觸這些實踐或從中受益，而這些戰略可以為造福弱勢社區提供重要機會。<sup>418</sup>

<sup>418</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 N8 號建議草案，[ejacrecsrevised.pdf](https://www.ca.gov/ejacrecsrevised.pdf)(ca.gov)

城市森林具有巨大的碳封存潛力（插圖 4-25）。城市森林與野地森林有很大不同，因為需要投資來維護和灌溉。因此需要大幅增加投資以增加城市森林碳。隨著城市森林密度增加和管理難度加大，投資的碳儲量回報率也隨之降低，導致最大限度地增加城市森林碳的成本非常高昂。水供應和灌溉效率也是增加城市森林覆蓋率的一個重要考慮因素。隨著水越來越少，可能需要優先灌溉樹木而不是草坪或花園，才能增加城市森林碳。

插圖 4-25：截至 2045 年城市森林的碳儲量



在森林-城鎮交界域（WUI），防禦空間可確保城市和農村社區免受野火影響。分析結果顯示，目前有 48% 的地塊完全符合防禦空間要求。這強調了仍需要很多工作來保護社區和房屋。在減少野火燃料時，可防禦空間會像預期的一樣，減少使碳儲量。

對於已開發土地，氣候智慧型土地戰略確定了許多其他戰略，如基礎設施綠化、改善城市生境連接、促進綠色空間、透過減少基礎設施的火災風險來加強公共安全、利用綜合蟲害品質、改善用水管理等。這些實踐為保護或加強若干協同效益進而直接改善人類生活提供了重要機會，如減少城市熱島效應、提供遮蔭、降低壓力水準和改善休閒機會等。

## 成功策略

- 相對於「一切如常方案」，每年增加 20%的城市林業投資。
- 提高公眾對城市森林益處的認識，並在適當的情況下，優先考慮灌溉樹木而非草坪。
- 為弱勢社區提供技術援助和資源，以實施社區綠化專案，使其公平地享受綠化專案的益處。<sup>419</sup>
- 與州和地方機構合作，擴大技術援助並實施第 4291 號《公共資源法》規定的防禦空間要求，以降低房屋和構築物的野火風險。

## 植被稀疏的土地

植被稀疏的土地占全州面積的 10%，大約有 1020 萬英畝，主要分佈在加州東部和南部。這類土地包括沙漠、海灘、沙丘、裸露岩石和冰雪覆蓋區域（例如，海拔較高山地）。這些土地的碳儲存有限，從裸露岩石和礦物土壤到植被較多的區域各不相同，儘管嚴峻的氣候限制了生物量。儘管如此，植被稀疏的土地對於開放空間非常重要，並為地方性物種和各種野生動物提供了稀有和獨特的棲息地。這些土地為加州人提供了重要的休閒機會，是沿海和低窪地區的重要保護性緩衝區。土地使用的變化威脅著這些土地，保護工作對於保護加州的這些獨特區域非常重要。

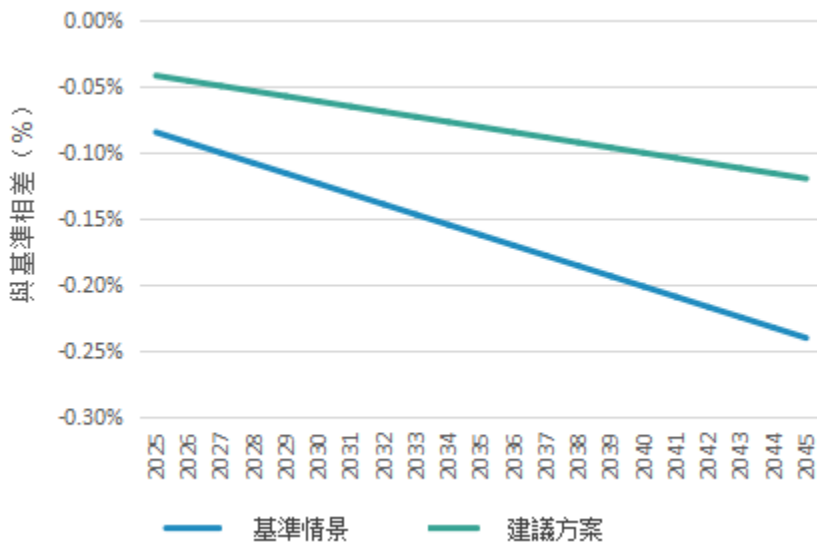
避免改造植被稀疏的土地可以減少土壤中的有機碳流失，而土壤是這種土地類型的主要碳庫（插圖 4-26）。在確定對植被稀疏的土地產生的結果時，加州空氣資源局模擬了避免土地改造為其他土地用途的情況。氣候智慧型土地戰略針對植被稀疏的土地確定了一些額外戰略，如恢復本地物種、適當使用文化燃燒、保護海岸線和海灘生境使之免受海平面上升等氣候變遷影響。

---

<sup>419</sup>AB 32 環境正義諮詢委員會，第 N8 號建議草案，[ejarecsrevised.pdf](https://www.ejarecsrevised.pdf) (ca.gov)



插圖 4-26：截至 2045 年植被稀疏的土地的碳儲量



## 成功策略

- 建立和擴大機制，確保植被稀疏的土地得到保護，避免土地改造，優先考慮最容易受到氣候變遷和損失的區域。

## 第 5 章：接受挑戰

本章概述了在資源局批准 2022 年《範疇計畫》更新後，要成功實施該計畫所需的後續步驟及合作。未來的道路不依賴於單個機構、單個州、甚至單個國家。而是需要在全球範圍內採取行動以應對氣候變遷帶來的威脅。但是，工作應從自身開始。<sup>420</sup>加州可牽頭讓加州人參與其中，展現州、地區和地方各級政府的行動以及社區和個人層面的行動如何有助於應對我們面前的挑戰。我們必須與學術機構、私營企業和其他方建立合作關係，以支援和加快向碳中和過渡。最後，2022 年《範疇計畫》更新成功與否，將由我們在各級政府和社會實施建議方案中的行動的能力來衡量。這將依靠立法行動、監管方案制定、激勵措施、制度支援、勞動力和商業發展、教育和宣傳、社區參與以及研發和部署的組合。優化該組合將有助於確保清潔能源和其他氣候減緩戰略在市場和社區中是明確的、成功的備選方案——可促進公平、推動創新並激勵消費者採用。有魄力的機構行動有助於持續研究，並推動私人投資，以創造就業機會並將創新想法付諸現實。

### 州層面的行動

實現 2022 年《範疇計劃終稿》中描述的目標，需要持續致力於和成功實施現有的政策和計畫，並確定新的政策工具和技術解決方案，以便更進一步、更快地實現目標。加州立法機構和州機構將繼續合作，以實現本州的氣候、清潔空氣、社會公平和更廣泛的經濟和環境保護目標。必須保持和加強這種協作工作，並利用區域和地方政府、社區、學術機構以及私營部門的協助，實現加州的近期和長期減排目標，為所有加州人創造更加公平的未來。

### 法規和綱領的制定

早於規定時間四年實現 AB 32 2020 年溫室氣體減排目標表明，透過一個所有利益相關者都有發言權的公共流程來制定減排戰略，可促成應對氣候變遷的有效行動，並為本州產生一系列額外的經濟和環境協同效益。在 2022 年《範疇計畫》更新通過後，州機構將繼續更新和實施新的和現有計畫，與最終計畫中的成果保持一致。社區和利益相關者的參與將是這項工作的一個關鍵部分。一些州機構，包括加州空氣資源局、加州能源委員會、加利福尼亞州運輸局（CalSTA）、加州公共事業委員會等，必須參與各種後續規則的制定過程。這些機構的領導和技術人員都將透過公開會議、書面和口頭意見以及其他參與方式與公眾交流。這項工作將參考對健康、空氣品質、環境、公平和經濟效益以及法規影響進行的評估，包括根據 AB197 的要求對碳的社會成本進行的評估。

---

<sup>420</sup>諾貝爾獎得主 Elinor Ostrom 在其主要論文中闡述了這種「多中心」應對氣候挑戰的方法，讓各級別政府參與其中。例如，參閱 Ostrom, E. 2014, 「應對氣候變遷的多中心方法」, *經濟學與金融學年刊*第 15-1 和第 97-134 期。

## 激勵計劃

如第 1 章所述，激勵計劃是加州推進低碳未來的最重要工具之一，特別是對易受氣候影響的社區。這些計劃可確保清潔技術和能源的可及性，對於縮小目前的機會差距至關重要。這些計劃還可利用私營部門的投資，為清潔和高效技術建立永續的、不斷增長的市場，對於支援優先部門、來源和技術的溫室氣體減排戰略尤為必要。清潔技術往往已成為其生命週期中的最佳和最低成本方案，但激勵資金對於確保其廣泛使用至關重要，特別是在易受氣候影響的社區。激勵措施也建立在加州長期推動創新技術發展的成果之上，並透過有針對性的投資創造新的產業。

許多州資助計劃旨在同時實現多個目標：減少溫室氣體、標準污染物和有毒空氣污染物的排放；管理自然和工作用地以進行碳封存；以及解決弱勢社區的健康和機會差距。加州以快速啟動向零排放交通之轉變的激勵計劃，正是這種「疊加」方法的一個很好的例子。加州正在透過「道路重型車獎券獎勵計畫」和「全民清潔汽車」等計劃投資數十億美元，用於取代造成加州溫室氣體排放和惡劣空氣品質的主要元兇——輕型和重型車輛，同時支援新生的零排放車輛市場。進一步的戰略有助於開發新技術，增加所有人使用的機會，並轉向更清潔的交通方式；例如，支援對可步行、可騎自行車的社區和公共交通以及車輛的投資。當然，這種資助戰略是與上述監管方法相配套的。

## 地方行動

城市的地方行動可以支援和擴大減少溫室氣體的工作。例如，奧克蘭市要求所有新建築必須全部電氣化，目前正在努力實現現有建築電氣化。<sup>421</sup>此外，從 2023 年開始，薩克拉曼多市要求所有三層以下新建築全部電氣化，並在 2026 年之前將這一要求擴展到所有新建築，部分情況下可予以豁免。薩克拉曼多市還要求從 2023 年開始，新建築中的電動汽車充電基礎設施水準要高於州政府的最低要求，並為零排放車輛共用和電動汽車充電提供停車獎勵。<sup>422</sup>在支援州級措施以控制與交通系統和建築環境相關的溫室氣體排放增長方面，主張這種領導力的地方政府都是非常重要的合作夥伴。

很明顯，加州必須以更加永續和公平的方式來適應人口和經濟增長。良好的氣候政策可以而且應該創造出經濟適用且宜人的生活場所，為所有人提供有效的交通和清潔的空氣——在這樣的未來，地方政府和社區才是核心合作夥伴。地方政府擁有為適應人口增長、經濟增長和其轄區內不斷變化的需求而規劃、劃分、批准和許可土地開發方式和地點的主要權限。他們還負責對如何以及何時部署交通基礎設施做出重要決定，可選擇支援公共交通、步行、騎自行車，還可選擇支援無需迫使人們使用汽車的社區。地方政府還可以選擇通過超越全州建築規範要求的建築條例，並在促進零排放車輛基礎設施的推廣方面發揮關鍵作

---

<sup>421</sup>奧克蘭市建築電氣化，<https://www.oaklandca.gov/projects/building-electrification>

<sup>422</sup>薩克拉曼多市新建築電氣化，<http://www.cityofsacramento.org/SacElectrificationOrdinance>

用。因此，地方政府的決定在支援州級措施方面發揮了關鍵作用，有助於控制與交通系統和建築環境相關的溫室氣體排放的增長——這是地方政府有權控制的兩個最大的溫室氣體排放部門。

創新和實用的氣候解決方案往往也來自於地方政府，其他地區可以複製。他們為減少其轄區內的溫室氣體排放所作的努力對於實現全州的近期空氣品質目標和長期氣候目標至關重要。地方政府必須繼續採取肯定性行動，為促進本州集體走向公平的減排道路而建立必要專案並支出必要資金。因此，地方管轄區的行動與州一級應對氣候變遷的優先事項以及 2022 年《範疇計畫草案》所要求的結果（一旦批准）保持一致是非常重要的。地方政府實施的氣候戰略必須既可以透過解決當地狀況和問題，實現居民的有效參與，又可以當地帶來經濟效益。

## 地方氣候行動規劃和許可

加州鼓勵地方管轄區在社區範圍內大刀闊斧地採取協調的氣候行動；以及符合並支援本州氣候目標的行動。<sup>423</sup>地方管轄區可採取各種措施推動全州的優先事項，例如採取地方行動以幫助本州發展住房、交通系統以及所有人都需要的其他工具。事實上，州政府的工具——如碳總量限制和交易計畫或零排放車輛計畫——並不能取代這些地方工作。地方管轄區可使用多種法律工具支援這種方法，包括氣候行動計畫、永續計畫或將溫室氣體減排和氣候行動計畫納入管轄區的總體計畫。這些都有助於促使分區、許可和其他地方工具與氣候行動保持一致。

一經採納，《氣候行動計畫》中詳述的溫室氣體減排計畫可以為地方政府提供用於協調其社區氣候規劃的有益工具。地方《氣候行動計畫》符合加州《環境質量法》的要求時，符合《氣候行動計畫》的單個專案即可簡化具體專案的溫室氣體分析<sup>424</sup>。實際上，採納加州《環境質量法》-《氣候行動計畫》的地方政府可允許專案開發商使用這種簡化的方法。這樣可以節省時間和資源，並且關於轄區內各項目如何運用溫室氣體減排措施的預期也會更加一致。雖然加州鼓勵地方政府採用這種方法，但我們承認並非所有司法管轄區都有資源可供用於制定符合加州《環境質量法》要求的《氣候行動計畫》。

除了要求地方《氣候行動計畫》符合加州《環境質量法》之外，長期以來還一直建議將地方溫室氣體減排目標作為氣候行動計畫制定過程的一部分。<sup>426</sup>地方管轄區面臨的一個挑

---

<sup>423</sup>本計畫為地方政府提供的更詳細指導和工具見附件 D（地方行動）。

<sup>424</sup> California Code of Regulations § 15183.5. Tiering and Streamlining the Analysis of Greenhouse Gas Emissions.

[https://govt.westlaw.com/calregs/Document/I872A68805F7511DFBF66AC2936A1B85A?viewType=FullText&originationContext=documenttoc&transitionType=StatuteNavigator&contextData=\(sc.Default\)](https://govt.westlaw.com/calregs/Document/I872A68805F7511DFBF66AC2936A1B85A?viewType=FullText&originationContext=documenttoc&transitionType=StatuteNavigator&contextData=(sc.Default))

<sup>425</sup>加州州長規劃和研究辦公室（未註明日期），「總體規劃指南——第 8 章氣候變遷」

<sup>426</sup>地方可持續發展協會，2010，設定溫室氣體減排目標的快速入門指南，[https://californiaseec.org/wp-content/uploads/2015/12/ICLEI\\_Quick\\_Start\\_Guide\\_Milestone\\_2.pdf](https://californiaseec.org/wp-content/uploads/2015/12/ICLEI_Quick_Start_Guide_Milestone_2.pdf)



戰是如何評估和採用適合當地情況的量化目標，並與全州的目標保持一致。對該挑戰的有效回應是專注於能夠幫助實施全州優先事項的目標——促成加州需要的關鍵轉變。

地方政府可以透過多種方式為實現這種轉變發揮關鍵作用，具體取決於其管轄範圍和社區的特點。例如，一些管轄區將以更多的固有土地能力移除和儲存碳，無論是透過自然和工作用地還是透過其他方式。其他管轄區將配備溫室氣體排放設施以服務於必要功能，並逐步向清潔技術轉變（例如，城市污水處理廠、垃圾填埋場以及能源生產和傳輸設施）。我們必須認識到，我們需要建立新的能源生產和配送基礎設施，並重新利用現有基礎設施，獲取清潔技術和能源，才能逐步淘汰現有的化石資源。另外還需要處理持續森林治理所產生的大量生物質，以防止野火、處理農業廢棄物以及轉移垃圾填埋場。

區域性工作也可以為變革提供支援：服務加州人的能源和交通系統並不局限於管轄範圍內，一些地方性的決定也會對其他社區產生影響。例如，都市規劃組織（MPO）可以透過與交通基礎設施範疇計畫和氣候行動計畫相一致的規劃幫助整合當地工作，包括消除專案管道的污染性道路容量擴張，專注於氣候友好型解決方案。在為地方氣候計畫設定目標時，應考慮這些不同的容量和需求。例如，儘管淨零目標通常是有價值的、可實現的，並且緩解措施也非常重要，但這些目標必須在其大背景下進行考慮。這意味著地方範圍內的任何溫室氣體目標必須考慮 2022 年《範疇計畫終稿》中的行動和結果。考慮「淨零」目標的管轄區應謹慎考察這些目標可能會對鄰近社區的排放產生的影響，以及本州實現集體目標的能力。

在這種情況下，即便是沒有正式《氣候行動計畫》的管轄區也擁有重要機會。這些管轄區仍可採取行動，將關鍵的州計畫、目標和指標轉化為地方行動，包括本《範疇計畫》中闡述的計畫、目標和指標。例如，加州零排放車輛目標可透過地方促進廣泛和公平的充電和加油服務來推進。同樣，地方管轄區可透過支援密集的填充式住房和公共交通等行動，減少對單人車輛的依賴。這些行動可以反映在特定的專案計畫或總體計畫中，或者可以透過其他地方政策反映這些行動。這些管轄區之間的區域夥伴關係還有助於釋放資源，實現更有效的整體行動。

## 解鎖加州《環境質量法》緩解措施，助力地方成功

加州《環境質量法》也提供了重要工具。因為有精簡工具或其他工具，並且其他考慮因素（如經濟適用的填充式住房）顯然與州氣候目標一致，許多氣候友好型地方政府行動所屬的類別可能不需要完整的加州《環境質量法》分析，但有些情況下，可能仍需要加州《環境質量法》分析。加州《環境質量法》是公眾參與、確定更多機會以支援氣候工作並使變革本地化的強大且有益的工具。主導機構必須尋找各種方法，利用加州《環境質量法》支援這些核心目的，確保這些過程不會導致延遲，而是釋放更多機會。在受加州《環境質量法》管轄專案影響的社區實施緩解措施，還有助於在氣候影響惡化的情況下，改善健康以及社會和經濟復原力。



其中一種重要工具是加州《環境質量法》緩解措施——可用於進一步推動地方行動與州氣候目標保持一致。在主導機構確定的擬議專案會排放大量溫室氣體或與州氣候目標相衝突時，主導機構必須實施可行的設計功能和緩解措施，以儘量減少影響。主導機構應優先考慮可減少溫室氣體排放的現場設計功能和溫室氣體緩解措施，<sup>427</sup>如減少車輛行駛里程和支援建築去碳化的方法、共用移動服務或公共交通以及電動車充電。在用盡所有現場溫室氣體減排措施後，加州空氣資源局建議在受專案影響的社區優先實施地方化的、非現場溫室氣體減排措施，包括直接投資和自願溫室氣體減排或封存專案。這類措施可包括，例如，開發社區綠地、投資於街道樹木或擴大公共交通服務。在專案附近實施溫室氣體減排措施，有利於專案提議者和主導機構直接與受影響的社區合作，以確定和優先實施滿足其需求的減排措施，同時將多種環境和社會影響降到最低。

在可行範圍內納入所有潛在的現場和地方非現場溫室氣體減排措施後，知名自願碳註冊系統發佈的其他自願抵消措施（如加州空氣資源局網站上所列<sup>428</sup>）或許也是可行的。其他州內緩解措施也可能被納入即將發佈的 SB 27 註冊系統<sup>429</sup>，該系統將作為本州推動自然和工作用地氣候行動的專案數據庫。主導機構應使用實質性的證據，證明在將緩解措施轉移到離專案較遠的地域之前，專案提議者已經探索並優先投資於可行的地方緩解措施。

## 社區和環境正義

正如委員會第 20-33 號決議所指出的，<sup>430</sup>加州空氣資源局有責任以代理人身份進行負責任的社會變革，特別是在低收入社區和有色人種社區的環境不公正現象持續存在的情況下。

根據州法律，環境正義是指在制定、通過、實施和執行環境法律、法規和政策方面公平對待所有種族、文化和收入的人。<sup>431</sup>政府種族與公平聯盟（GARE）將種族公平定義為：<sup>432</sup>當不再將種族用於預測生活結果、所有群體的結果都得到改善之時，即為種族公平。

2022 年《範疇計畫》更新經批准後，如果要獲得成功，必須解決環境正義問題並推進種族公平。該計畫的實施需要解決氣候影響負擔過重且持續面臨巨大健康和機會差距的社區

---

<sup>427</sup>加州法規第 15126.4(c)(2)、(3)條

<sup>428</sup>加州空氣資源局，2022，*碳抵消項目註冊系統*，<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/compliance-offset-program/offset-project-registries>

<sup>429</sup>SB-27 碳封存：州目標：自然和工作用地：專案註冊(SB 27, Skinner, 《2021 年法規》第 237 章)，[https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill\\_id=202120220SB27](https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=202120220SB27)

<sup>430</sup>加州空氣資源局，2020，第 20-33 號決議：致力於種族公平和社會正義，10 月 22 日，<https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/barcu/board/res/2020/res20-33.pdf>

<sup>431</sup>政府法規第 65040.12 條第(e)項，

<sup>432</sup>地方和區域政府種族與公平聯盟，2015，*推進種族公平、轉變政府：將思想付諸行動之資源指南*，第 9 頁，[https://racialequityalliance.org/wp-content/uploads/2015/02/GARE-Resource\\_Guide.pdf](https://racialequityalliance.org/wp-content/uploads/2015/02/GARE-Resource_Guide.pdf)

的需求。目前，我們需要確保我們的行動不僅允許這些社區享有一席之地，還可以為政策提供建議、影響政策，從而保障社區繁榮。

為了與 AB 32 保持一致，並確保將環境正義和種族公平納入 2022 年《範疇計畫草案》，加州空氣資源局重新召集 AB 32 環境正義諮詢委員會（環境正義諮詢委員會），就 2022 年《範疇計畫草案》的制定為加州空氣資源局提供建議。自 2021 年 5 月重新召集以來，環境正義諮詢委員會曾開展過以下活動：

- 2021 年 10 月，環境正義諮詢委員會致函州長，要求延長《範疇計畫》程式的時限。作為對環境正義諮詢委員會信函的答復，加州空氣資源局修改了 2022 年《範疇計畫》更新程式並承諾在《範疇計畫》批准後積極與環境正義諮詢委員會接洽。433 環境正義諮詢委員會還在其 10 月份的委員會會議上向加州空氣資源局報告，重申其延期請求並分享了關於程式的其他關切問題。<sup>434</sup>
- 2021 年 12 月，環境正義諮詢委員會分享了其對方案資訊問題的答復和一份敘述文件，表述了其對程式、評估需求以及是否需要指定部落代表等問題的關切。<sup>435</sup> 為了答復環境正義諮詢委員會的方案資訊問題，加州空氣資源局將環境正義諮詢委員會的答復納入了方案假設文件並對 PATHWAYS 結果進行建模。<sup>437</sup> <sup>438</sup> 為了回應環境正義諮詢委員會的關切，加州空氣資源局於 2022 年 2 月積極任命了一

---

<sup>433</sup>Randolph, L. M. 2021, LMR 10 月 19 日，對環境正義諮詢委員會信函的答復，

<https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2021-10/LMR%20October%2019%20response%20to%20EJAC%20Letter%20Final.pdf>

<sup>434</sup>Argüello, M. D.、K. Hamilton, S. Taylor 和 P. Torres, 2021, 環境正義諮詢委員會聯合主席向加州空氣資源局提交的參考報告，10 月 28 日，

<https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/barcu/board/books/2021/102821/21-11-4pres.pdf>

<sup>435</sup>環境正義諮詢委員會，2021, 環境正義諮詢委員會對加州空氣資源局方案資訊的最終答復，12 月 2 日，

[https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2021-12/EJAC%20Final%20Responses%20to%20CARB%20Scenario%20Inputs\\_12\\_2\\_21.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2021-12/EJAC%20Final%20Responses%20to%20CARB%20Scenario%20Inputs_12_2_21.pdf)

<sup>436</sup>環境正義諮詢委員會，2021, 環境正義諮詢委員會對方案資訊問題的答復，環境正義諮詢委員會關於方案資訊建議的敘述文件，12 月 1 日，[https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2021-12/EJAC%20Narrative%20Document%20re%20Scenario%20Input%20Recommendations%2012\\_1\\_2021.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2021-12/EJAC%20Narrative%20Document%20re%20Scenario%20Input%20Recommendations%2012_1_2021.pdf)

<sup>437</sup>加州空氣資源局，2021, PATHWAYS 情景建模，[https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2021-12/Revised\\_2022SP\\_ScenarioAssumptions\\_15Dec.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2021-12/Revised_2022SP_ScenarioAssumptions_15Dec.pdf)

<sup>438</sup>E3. 2022, 加州空氣資源局: AB 32 源排放初始建模結果，3 月 15 日，

<https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2022-03/SP22-Model-Results-E3-ppt.pdf>

名部落代表，並概述了環境正義諮詢委員會參與《範疇計畫》程式的更多機會。

439' 440

- 2022年3月，環境正義諮詢委員會在環境正義諮詢委員會/加州空氣資源局聯席會議上作報告<sup>441</sup>，並快速介紹其初步建議草案，為《範疇計畫草案》提供參考。4月，環境正義諮詢委員會分享了其修訂版初步建議草案，為2022年《範疇計畫草案》提供參考<sup>442</sup>。在可能的範圍內，加州空氣資源局已經透過本2022年《範疇計畫草案》納入並引用了這些建議。

除上述活動外，中央山谷環境正義諮詢委員會成員於2022年2月在聖華金穀順利舉辦了一次社區參與研討會，與會者超過100人。環境正義諮詢委員會將在《範疇計畫》的整個制定過程中持續協調社區外展工作，以確保該計畫反映受氣候影響最嚴重的社區的意見。環境正義諮詢委員會將在《範疇計畫》及其實施中繼續發揮重要作用，以確保我們在解決所面臨的氣候挑戰時，首先考慮環境正義和種族公平。

在可能的範圍內，環境正義諮詢委員會的建議被納入整個計畫草案，並被直接引用，以確保該計畫能夠解決環境正義問題，避免社區落後。

隨著不斷的參與以及與環境正義諮詢委員會的討論，該計畫不斷完善，因此需要更好地瞭解如何處理環境正義諮詢委員會關於以下主題的建議：

- 其他機構管轄範圍內的行動：環境正義諮詢委員會的某些建議不屬於加州空氣資源局的管轄範圍。隨著環境正義諮詢委員會的持續召集，瞭解加州空氣資源局在處理環境正義諮詢委員會對加州空氣資源局管轄範圍外的行動的建議並與兄弟機構進行協調方面的作用，將會有所幫助。
- 需要立法指導的行動：環境正義諮詢委員會的一些建議需要立法行動。隨著環境正義諮詢委員會的繼續召集，瞭解加州空氣資源局如何與環境正義諮詢委員會合作，從而與相關立法機構成員分享這些建議，將大有裨益。
- 與實施活動直接掛鉤的行動：《範疇計畫草案》不是一份實施文件；而是一項旨在為繼續減少溫室氣體排放和實現碳中和制定路線的計畫。《範疇計畫》獲批准後

---

<sup>439</sup>加州空氣資源局，環境正義諮詢委員會會議，2022年2月28日加州空氣資源局更新，  
<https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2022-02/CARB%20EJAC022822presentation.pdf>

<sup>440</sup>Fletcher, C. 2021,加州空氣資源局對環境正義諮詢委員會敘述的回應，加州空氣資源局，12月15日，  
<https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2021-12/CARB%20response%20to%20EJAC%20Narrative.pdf>

<sup>441</sup>環境正義諮詢委員會，2022,環境正義諮詢委員會報告：初步建議草案，3月10日，  
<https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/barcu/board/books/2022/031022/ejacpres.pdf>

<sup>442</sup>環境正義諮詢委員會，2022,環境正義諮詢委員會報告：初步建議草案，3月10日，  
<https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/barcu/board/books/2022/031022/ejacpres.pdf>

，加州空氣資源局以及其他機構都將採取後續行動。在這些後續工作中，環境正義諮詢委員會將持續將發揮參與作用。

加州空氣資源局建議與環境正義諮詢委員會合作，以更好地瞭解如何推進上述主題範圍內的環境正義諮詢委員會建議以及本計畫草案中未囊括的任何其他建議。同樣重要的是，必須注意，在許多建議中，加州空氣資源局與環境正義諮詢委員會的目標相同，並且最終確定《範疇計畫》後可以在實施步驟中提供協助。例如：

- 加州空氣資源局認同優先考慮非化石能源發電的目標，並支援非化石專案和機會，以便在各計畫（如多戶住宅太陽能計畫）所關注的社區安裝表後清潔資源。
- 加州空氣資源局將與各機構和學術機構合作，進一步促進勞動力的發展。
- 許多涉及到各種能源專案的財政支援的建議，如微電網，屬於加州公共事業委員會或公眾擁有的地方公共事業部門的職權範圍。同樣，公用事業規模的專案也屬於其他機構的管轄範圍。然而，加州空氣資源局支援建議中確定的戰略，如離岸風力發電，以減少對化石燃料發電的依賴。
- 加州空氣資源局支援屋頂太陽能，儘管加州空氣資源局不具有確定這些專案的激勵措施結構的管轄權。
- 加州空氣資源局支援強有力的能源去碳化目標，認識到交通和其他部門對電氣化依賴程度的增加將創造大量電力需求，因此確保去碳化電網的可靠性是本州的一個關鍵需求。
- 在交通領域，加州空氣資源局支援環境正義諮詢委員會的建議，即在其法定職責內保持積極的零排放車輛目標，確保法規的技術可行性，並符合 Newsom 州長的零排放車輛行政令（EO N-79-20）。加州空氣資源局期待繼續參與這些目標的實施規則的制定工作。
- 如本計畫草案其他部分所述，加州空氣資源局支援加州交通局的《2050 年加州交通計畫》和《加州交通基礎設施氣候行動計畫》。
- 加州空氣資源局支援增加對公共交通的公共支援。加州空氣資源局支援在低收入社區和有色人種社區設立電動汽車充電站。
- 加州空氣資源局支援優先為公共交通以及中型和重型車輛提供資金激勵，儘管加州空氣資源局確實認為目前支援採用輕型車輛的激勵措施也具有重要作用。加州空氣資源局還將啟動關於低碳燃料標準的規則制定工作，以確保其繼續支援以清潔燃料取代石油燃料，並考慮環境正義諮詢委員會對該計畫的建議。
- 在工業領域，除本 2022 年《範疇計畫草案》中充分論述的戰略之外，加州空氣資源局還繼續與立法機構、地方機構和空氣質量管理局合作，以支援、實施和強制執行固定來源溫室氣體和空氣污染物的有效減排。僅空氣質量管理局有權直接簽發關於設施標準污染物和有毒物質排放水準的許可證。這些水準是在完成謹慎的許可審查後，根據地區法規和法律設定的。但是，AB 617 指示並授權加州空氣資源局採



取一些行動，改善設施的數據報告、空氣品質監測以及受高累積暴露負擔影響的社區的減汙規劃。加州空氣資源局將繼續實施 AB617，並尋找加強社區空氣保護計畫的方法。

- 第 2 章更深入地論述了關於逐步停止石油和天然氣開採及提煉的考慮因素，以及碳捕獲的作用。

隨著加州空氣資源局不斷與環境正義諮詢委員會接觸——除了已經納入本計畫的環境正義諮詢建議外，加州空氣資源局還作出了以下承諾，以確保將環境正義納入本計畫及其實施過程：

- 建築去碳化是《範疇計畫》的支柱，加州空氣資源局承諾與州和地方機構密切合作，實施環境正義諮詢委員會提出的、要求在這一轉變中優先考慮低收入社區和有色人種社區居民的建議。
- 加州空氣資源局承諾與加州能源委員會、加州公共事業委員會和其他資金管理機構分享環境正義諮詢委員會的建議，以支援建築去碳化，並在這些機構參與公共進程時與之密切合作，以進一步推動建築去碳化。
- 加州空氣資源局已承諾審查碳總量限制和交易計畫，並確定需要哪些潛在的立法或監管修正案，以確保該計畫繼續提供實現法定氣候目標所需的溫室氣體減排。在這個過程中，加州空氣資源局將考慮環境正義諮詢委員會<sup>443</sup>、獨立排放市場諮詢委員會等各方<sup>444</sup>的建議。

環境正義諮詢委員會圍繞《範疇計畫》各種戰略的跟蹤進展提出了許多重要建議。目前正以多種方式跟蹤和報告進展情況，包括年度溫室氣體清單和提交給立法機構的報告。但是，正在進行的部分實施工作還將考慮如何向公眾提供更多的數據和資訊，如清潔能源和技術的部署率。加州空氣資源局還將在健康指標方面繼續與加州公共衛生部和加州環境衛生風險評估辦公室合作，跟蹤空氣污染和氣候計畫的累積效益，特別是在低收入社區和有色人種社區。

正如本文件前文所述，環境正義諮詢委員會將在《範疇計畫》及其實施中繼續發揮重要作用，以確保我們在解決所面臨的氣候挑戰時，首先考慮環境正義和種族公平。其中包括建立一支長期環境正義諮詢委員會，就《範疇計畫》的制定和 AB 32 的任何其他實施事項

---

<sup>443</sup>加州立法資訊，法案文本 - AB-32 空氣污染：溫室氣體：2006 年加州全球暖化解決方案法案（AB 32，Nuñez，《2006 年法規》第 488 章），

[https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill\\_id=200520060AB\\_32](https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=200520060AB_32)

<sup>444</sup>加州立法資訊，法案文本 - AB-398 2006 年加州全球暖化解決方案法案：基於市場的合規機制：防火費：製造業銷售和使用稅豁免，

[https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill\\_id=201720180AB398](https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=201720180AB398)



向加州空氣資源局提出建議。該長期環境正義諮詢委員會負責幫助確保將環境正義納入 AB 32 的實施工作，同時協助加州空氣資源局創造一個不以種族作為生活結果的預測因素的未來。

## 學術機構和私人部門

學術機構和私人部門學術機構產生並呈現關於氣候變遷損害影響以及減少該損害的行動的最新科學知識。並透過設定自己的氣候目標和溫室氣體減排目標發揮主導作用<sup>445,446,447</sup>。他們是清潔能源和技術的創新和知識孵化器，並提供大量可靠資訊從而為政策和計畫提供參考。學術機構具有填補知識空白、推動我們走向新領域的能力。隨著我們不斷前進，我們必須始終將這些機構視為合作夥伴和資源，以幫助尋找加快和引入溫室氣體減排行動以及碳移除和儲存行動的方法。因此，保持和加強與學術機構，包括社區學院的關係是非常重要的。社區學院更有可能吸收很大比例的第一代學生或來自低收入社區或有色人種社區的學生。這種多樣化學生群體視角將為有關氣候變遷損害和緩解工作的討論提供重要參考。該學生群體也是未來的勞動力，教授永續經濟技能的課程為縮小歷史機遇差距提供了可能性。重要的是，社區學院的許多學生是當地居民和社區成員。這種參與提供了投資州內社區的另一種方式。

正如第 1 章所指出的，我們在推進宏大的能源轉型時，公共和私人合作關係都非常重要。但是，私營部門在研究和開發以及部署方面也很重要。其中許多公司擁有資源和專業知識，可以構建和生產我們所需的清潔技術和能源。正是透過幾家私營公司（貝爾、埃克森、澳大利亞電信）的努力，才能夠開發出今天使用的光伏太陽能電池板。<sup>448</sup>同樣，氫燃料電池的開發也是依靠通用電氣和德州儀器等公司。<sup>449</sup>本《範疇計畫》更新包括當今已知和新興的清潔技術和燃料。私營部門的發明、改進和創新精神必將繼續為應對氣候變遷提供新工具。

---

<sup>445</sup>加利福尼亞大學，我們的承諾，<https://www.universityofcalifornia.edu/initiative/carbon-neutrality-initiative/our-commitment>

<sup>446</sup>加州州立大學，能源與永續性，<https://www.calstate.edu/csu-system/doing-business-with-the-csu/capital-planning-design-construction/operations-center/Pages/energy-sustainability.aspx#:~:text=As%20a%20result%20CSU%E2%80%99s%20climate%20action%20is%20focused,neutrality%20no%20later%20than%202045%20for%20all%20emissions.?msclkid=165feeddc4ef11ec901f67f2e9bb56e7>

<sup>447</sup>加利福尼亞社區大學校長辦公室，氣候行動與永續性，<https://www.cccco.edu/About-Us/Chancellors-Office/Divisions/College-Finance-and-Facilities-Planning/Facilities-Planning/Climate-Action-and-Sustainability?msclkid=4a72350ec4f511ecaf292c6b14ac9a4f>

<sup>448</sup>Californiasolarcenter.org. 被動式太陽能歷史，<http://californiasolarcenter.org/old-pages-with-inbound-links/history-pv/>

<sup>449</sup>燃料電池存儲，燃料電池歷史，<https://www.fuelcellstore.com/blog-section/history-of-fuel-cells?msclkid=04a19450c50211ec8d20f2aff4039fe>

## 個人

《範疇計畫草案》不僅預測了清潔技術和能源的巨大可用性，還納入了對消費者採用零排放車輛、熱泵和其他能源效率實踐等的積極假設。在涉及到減緩氣候變遷時，各部分的總和非常重要。只有將所做選擇的影響合併起來，我們才能理解對溫室氣體排放的真正影響。我們可以選擇駕駛汽車、乘坐公共汽車、騎自行車或步行。我們可以選擇安裝熱泵或購買電爐。我們可以共同選擇我們想要的未來。我們可以創辦或改造企業，創造清潔工作機會、創新新技術或引進新系統。我們可以與同事合作，支援清潔經濟中持久勞動路徑。我們可以選擇與我們的社區和政府合作，宣導變革、直面挑戰並提出解決方案。我們的選擇將有助於決定加州未來氣候。我們的未來要麼是，氣候影響繼續惡化，並進一步加大社區之間的差異；要麼是，避免氣候變遷的最壞影響，改善空氣品質——特別是對負擔最重的社區，並促進新的經濟和就業機會，支援永續經濟。

重要的是，我們必須承認，歷史上的決定已經導致低收入社區和有色人種社區的居民在健康和機會方面出現差距。不是每個人都有資源或機會做出這些選擇——購買零排放車輛、安裝熱泵或乘坐公共交通方式去上班。在這方面，政府可以提供幫助。政府可以為各項計畫提供資金並制定政策，為消費者提供更多選擇，支援其採用更清潔的技術方案。無論是透過可負擔的能源費率還是協助購買零排放車輛和電器，我們都可以利用向碳中和經濟轉變的機會來消除這些長期存在的機會差距。立刻行動，我們可以改變星球的命運，為所有加州人構建更有復原力、更加健康、更加公平的未來。