麻薩諸塞州 2025 年和 2030 年 清潔能源與氣候計畫

2022 年 6 月 30 日

Executive Office of Energy and Environmental Affairs

Massachusetts Global Warming Solutions

封面： 照片由馬薩諸塞州格拉夫頓 Ekblaw Landing 的 Quinsigamond River 的 Nicole Cooper 拍攝。

目錄

局長致信 iv
致謝 vi
術語和首字母縮寫詞解釋 xii
執行摘要 xviii
第 1 章：前言 2
1.1 《全球溫室效應治理法案》的背景 4
1.2 展望 2025 年和 2030 年：加快麻州的去碳化速度 7
1.3 設定溫室氣體排放限額、分項限額和計畫制定 9
第 2 章：確保麻州的公正轉型 15
2.1 環境正義政策 17
2.2 通過去碳化來推動公平 18
第 3 章：排放分項限額和途徑 24
3.1 設定部門具體的 2025 年和 2030 年分項限額 24
3.2 設定 2025 年和 2030 年限額和分項限額的最新途徑分析 28
3.3 根據分析結果，確定 2025 年和 2030 年的溫室氣體排放限額和分項限額 32
第 4 章：交通系統的轉型 36
4.1 部門概述 36
4.2 到 2025 年減排 18%，到 2030 年減排 34% 39
第 5 章：建築物改造 56
5.1 部門概述 56
5.2 建築供暖 2025 年實現減排 28%，2030 年減排 47% 58
第 6 章：能源供應轉型 77
6.1 部門概述 77
6.2 電力部門在 2025 年減排 53%，2030 年減排 70% 78
第 7 章：非能源和工業用途的溫室氣體排放 94
7.1 部門概述 94
7.2 工業能源和其他部門 2025 年實現減排 35%，2030 年實現減排 48% 95
第 8 章：保護我們的自然土地和工作用地 103
8.1 麻薩諸塞州 NWL 概述 104

8.2 2025 年和 2030 年自然土地和工作用地的目標 116
8.3 自然土地和工作用地的策略和政策 118
第 9 章：2025 年和 2030 年去碳化計畫的就業、宏觀經濟影響和公平分析 132
9.1 研究方法概述 132
9.2 去碳化對就業和經濟的影響 133

局長致信

本人很高興依據 2008 年《全球溫室效應治理法案》（Global Warming Solutions Act）和 2021 年《氣候法案》（麻薩諸塞州氣候政策新一代路線圖制定法案（An Act Creating a Next-Generation Roadmap for Massachusetts Climate Policy）），提交 2025 年和 2030 年麻薩諸塞州清潔能源與氣候計畫（以下簡稱“2025/2030 CECP”或“計畫”）。本州處於氣候行動的最前沿，通過戰略規劃和深思熟慮的政策制定來對抗氣候變化。為了減少有害溫室氣體的排放，Baker-Polito 政府已採取了一個雄心勃勃的方法，這個 2025/2030 CECP 將進一步推動這些工作，最大限度地提高我們的能力，目的是在 2050 年實現淨零。

2025/2030 CECP 包含麻薩諸塞州在 2025 年和 2030 年實現整個經濟領域排放限額和部門分項限額的路線圖。本綜合規劃檔概述了麻州以節約成本且公平的方式減少排放的具體策略、政策、實施目標和基準。計畫中廣泛的政策和行動一經實施，將幫助麻州採購可再生能源和清潔能源，實現交通系統和建築群的去碳化和電氣化，擴大對自然土地和工作用地的保護和恢復，同時減少負面影響並增加對環境正義社區的投資。重要的是，2025/2030 CECP 為麻州提供了一條實現其排放限額的途徑，同時確保為大家帶來繁榮且公正的經濟轉型。

具體而言，本計畫在幾個經濟部門內優先採取行動，以縮小當前排放量與未來排放目標之間的差距。應對措施包括實施加州汽車排放標準，以推進汽車和卡車的電氣化；增加電動汽車充電基礎設施，同時擴大對公共交通系統的投資；推行清潔熱能委員會的建議，改變家庭和企業的取暖方式；加倍努力保護自然土地和工作用地；大幅擴大植樹，特別是在環境正義街區的植樹。

此外，本計畫與 Baker-Polito 政府促進、支持和投資清潔能源產業的努力相一致，該產業以離岸風力發電為支柱。該行業在未來幾年將發生巨幅增長，預計到 2030 年將有至少 3200 兆瓦的離岸

風電投入運營。2025/2030 CECP 強調增加對該行業的投資，這將讓麻州更好地利用這一增長勢頭積累資金，特別是通過創造一支當地的合格勞動力隊伍來維持新的低碳經濟。

我們期待著與各位利益相關者、宣導者、立法者和行業專家合作，共同實施這份《2025 年和 2030 年清潔能源與氣候計畫》中的政策和計畫，它將是未來幾年極佳的指導資源。

此致

BETHANY A. CARD

能源和環境事務局局長

致謝

“2025 年和 2030 年清潔能源與氣候計畫”經過長達 3 年的分析和規劃流程，由以下人士編制：

州長 Charlie Baker

副州長 Karyn Polito

能源和環境事務局局長 Bethany A. Card

能源和環境事務局前局長 Kathleen Theoharides

能源和氣候治理方案副局長 Judy Chang

眾多的州政府機構和項目、關鍵的利益相關者和利益相關者團體、技術和主題專家，以及公眾成員貢獻了寶貴的時間和見解，使得這個“清潔能源與氣候計畫”成為麻薩諸塞州在這關鍵十年中氣候行動的重要指南。能源環境事務行政辦公室特別認可和感謝以下個人和團隊對本計畫的直接貢獻。

州供稿者和審查者

Rachel Ackerman（MassCEC）

Shevie Brown（DOER）

Dunbar Carpenter（EEA）

Vallery Cardoso（EEA）

Jonathan Cosco（EOHED）

Christopher Chan（DPU）

Hong-Hanh Chu（EEA）

Peter Church（DCR）

Nicole Cooper（EEA）

Elizabeth Doherty（EEA）

Katherine Fichter（MassDOT）

Ian Finlayson（DOER）

Jennifer Fish（DCR）

Kurt Gaertner（EEA）

Daniel Gatti（EEA）

Scott Hamwey（MBTA）

Ariel Horowitz（MassCEC）

Meg Howard（MassCEC）

Georgeann Keer（DFG）

Gerard Kennedy（MDAR）

Elizabeth Kennedy Cleveland（MassCEC）

Tori Kim（EEA）

Andrew Kimball（EEA 前成員）

Christine Kirby（MassDEP）

Brian Hawthorne（DFG）

Sean Mahoney（DCR）

Nina Mascarenhas（DOER）

Samantha Meserve（DOER）

Maggie McCarey（DOER）

Peter McPhee（MassCEC）

Benjamin Miller（EEA 前成員）

Galen Nelson（MassCEC）

Robert O’Connor（EEA 前成員）

Adrienne Pappal（CZM）

Rishi Reddi（EEA）

Lisa Rhodes（MassDEP）

Gerben Scherpbier（EEA）

William Space（MassDEP）

Eric Steltzer（DOER）

Ashley Stolba（EOHED）

Marian Swain（DOER）

Kate Tohme（DPU）

Joanna Troy（DOER）

William Van Doren（DCR）

Jules Williams（MassDOT）

Sharon Weber（MassDEP）

Megan Wu（DPU）

諮詢委員會

GWSA 實施諮詢委員會

Alison Brizius（波士頓市）

Kate Dineen（A Better City）

Sebastian Eastham（麻省理工學院）

Catherine Finneran（Eversource）

Eugenia Gibbons（IAC 氣候正義工作組（Climate Justice Work Group）前聯合主席）

Nancy Goodman（麻薩諸塞州環境聯盟（Environmental League of Massachusetts））

Steve Long（大自然保護協會（The Nature Conservancy）和 IAC 土地使用和基於自然的解決方案工作組（Land Use and Nature-Based Solutions Work Group）主席）

Michelle Manion（麻薩諸塞州奧杜邦協會（Massachusetts Audubon Society））

Jeremy McDiarmid（東北清潔能源委員會（Northeast Clean Energy Council））

Dave McMahon（麻州綠色低收入住房聯盟（Commonwealth Green Low Income Housing Coalition））

Mackay Miller（國家電網）

Paulina Muratore（憂思科學家聯盟（Union of Concerned Scientists））

Caitlin Peale Sloan（保護法律基金會（Conservation Law Foundation）和 IAC 電力工作組（Electric Power Work Group）主席）

Cameron Peterson（都市區域規劃委員會（Metropolitan Area Planning Council）和 IAC 建築工作組（Buildings Work Group）主席）

Kurt Roth（弗勞恩霍夫可持續能源系統中心（Fraunhofer Center for Sustainable Energy Systems））

Staci Rubin（保護法律基金會和 IAC 氣候正義工作組聯合主席）

Sarah Simon（Environmental Entrepreneurs 和 IAC 交通工作組（Transportation Work Group）主席）

Jason Viadero（Massachusetts Municipal Wholesale Electric Co.）

清潔熱能委員會（Commission on Clean Heat）

William Akley（Eversource）

Lauren Baumann（New Ecology, Inc.）

Kenan Bigby（Trinity Financial）

Harry Brett（Plumbers and Gas Fitters UA Local 12）

Alexander Bross（MassHousing）

Andrew Brown（The HYM Investment Group）

Emerson Clauss III（Home Builders and Remodelers Association of Massachusetts）

Rebecca Davis（Massachusetts Competitive Partnership）

Eric Dubin（Mitsubishi Electric Trane HVAC）

Mike Duclos（HeatSmart Alliance）

Madeline Fraser Cook（Local Initiatives Support Corporation）

Eugenia Gibbons（獨立顧問）

Dharik Mallapragada（麻省理工學院能源倡議（Massachusetts Institute of Technology Energy Initiative））

Cameron Peterson（都市區域規劃委員會）

Robert Rio（麻薩諸塞州產業聯合會（Associated Industries of Massachusetts））

Kimberly Robinson（先鋒穀規劃委員會（Pioneer Valley Planning Commission））

Dorothy Savarese（Cape Cod Five）

Tamara Small（NAIOP Massachusetts）

Richard Sullivan（麻薩諸塞州西部經濟發展委員會（Economic Development Council of Western Massachusetts））

Charles Uglietto（Cubby Oil & Energy）

Dennis Villanueva（Mass General Brigham）

Jolette Westbrook（Environmental Defense Fund）

顧問團隊

Evolved Energy Research，對麻薩諸塞州的去碳化途徑進行了廣泛分析

BW Research Partnership and Industrial Economics, Inc.，分析麻薩諸塞州去碳化途徑對就業和宏觀經濟的影響

Regulatory Assistance Project，分析麻薩諸塞州清潔熱能標準

Eastern Research Group，協助審查和整合公眾意見

The Cadmus Group，協助制定計劃

術語和首字母縮寫詞解釋

ACT4All	“加速全民清潔交通”（Accelerating Clean Transportation for All），一個由麻薩諸塞州清潔能源中心（Massachusetts Clean Energy Center）執行的專案
AIM 法案	《美國創新和製造法案》（American Innovation and Manufacturing Act），2020 年簽署成為美國法律
厭氧消化器	密封罐，允許微生物不使用氧氣來分解污水和有機廢物。這個過程釋放甲烷，捕獲後可以燃燒發電。
APS	替代能源組合標準
ARPA	《美國救援方案法》（American Rescue Plan Act），2021 年簽署成為美國法律
BEV	電池電動車
BOEM	美國海洋能源管理局（U.S. Bureau of Ocean and Energy Management）
CARB	加州空氣資源委員會（California Air Resources Board）
碳封存	從大氣中清除和儲存二氧化碳，通常由植物和土壤進行。
CECP	清潔能源與氣候計畫
CES	清潔能源標準
CES-E	現有資源的 CES

CO_2	二氧化碳
DCR	麻薩諸塞州保護和娛樂部（Massachusetts Department of Conservation and Recreation）
DER	分散式能源
DFG	麻薩諸塞州漁業和狩獵部（Massachusetts Department of Fish and Game）
DOER	麻薩諸塞州能源部
DPU	麻薩諸塞州公共事業部（Massachusetts Department of Public Utilities）
電單車	電動自行車
EDC	配電公司
EEA	麻薩諸塞州能源環境事務行政辦公室（Executive Office of Energy and Environmental Affairs）
EEAC	能源效率顧問委員會（Energy Efficiency Advisory Council）
EFSB	能源設施選址委員會（Energy Facilities Siting Board）
EIA	美國能源資訊署（U.S. Energy Information Administration）
EJ	環境正義
排放限額	麻薩諸塞州溫室氣體排放不能超過的水準。
排放分項限額	某個部門的溫室氣體排放不能超過的水準。

EOHED	麻薩諸塞州住房和經濟發展行政辦公室（Executive Office of Housing and Economic Development）
EPA	美國國家環境保護局（U.S. Environmental Protection Agency）
EV	電動汽車
FCEM	清潔能源遠期市場（Forward Clean Energy Market）
F-Gas	氟化氣體——有氟的溫室氣體，如不同類型的氫氟碳化物（HFCs）和六氟化硫（SF_6）。
GHG	溫室氣體——溫室氣體，如二氧化碳（CO_2）、甲烷（CH_4）、一氧化二氮（N_2O）、不同類型的氫氟碳化物（HFC）和六氟化硫（SF_6），它們捕獲熱量並導致全球平均氣溫上升，從而改變全球天氣模式。
GHG 清單	溫室氣體清單——排放源及其年度排放量的清單，使用標準化方法進行量化。
地面安裝的太陽能	設置在地面上的太陽能板，從太陽獲取能量來發電。屋頂太陽能是安裝在建築物頂部的太陽能板。
GSEP	天然氣系統增強計畫（Gas System Enhancement Plans）
GW	吉瓦
GWh	吉瓦時——相當於一百萬千瓦時的能量單位，通常用於衡量大型發電站的產出
GWP	全球變暖潛力值

GWSA	《全球溫室效應治理法案》，2008 年在麻薩諸塞州簽署成為法律
HFC	氫氟碳化物
HVAC	空調系統
IAC	實施諮詢委員會（Implementation Advisory Committee）
IEO	初始就業產出
IIJA	《基礎設施投資和就業法案》（Infrastructure Investment and Jobs Act），2021 年簽署成為美國法律
IMPLAN	規劃影響分析
IPCC	政府間氣候變化專門委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change）
ISO-新英格蘭	獨立系統運營商-新英格蘭
LAP	語言使用計畫（Language Access Plans）
MassCEC	麻薩諸塞州清潔能源中心
MassDEP	麻薩諸塞州環境保護部（Massachusetts Department of Environmental Protection）
MassDOT	麻薩諸塞州交通部
MBTA	麻薩諸塞州海灣交通管理局（Massachusetts Bay Transportation Authority）

MDAR	麻薩諸塞州農業資源部（Massachusetts Department of Agricultural Resources）
MEPA	《麻薩諸塞州環境政策法》（Massachusetts Environmental Policy Act）
$MMTCO_2e$	百萬公噸二氧化碳當量——衡量排放到大氣中的溫室氣體量。排放 1 $MMTCO_2e$ 相當於燃燒 112,523,911 加侖汽油。
MSW	城市固體廢物
MLP	市政電廠
MW	兆瓦
MWC	城市垃圾焚燒爐——也被稱為焚化爐或垃圾發電廠。
NECEC	新英格蘭清潔能源連接（New England Clean Energy Connect）
NESCOE	新英格蘭各州電力委員會（New England States Committee on Electricity）
NWL	自然土地和工作用地，參見 2021 年法案第 8 章中的定義。
PIP	公共投資計畫
PM	顆粒物
RGGI	區域溫室氣體倡議（Regional Greenhouse Gas Initiative）
RPS	可再生能源組合標準
SEO	二次就業產出
SF_6	六氟化硫

SMART	麻薩諸塞州太陽能可再生目標（Solar Massachusetts Renewable Target）
擴展建築或能源法規	新建建築必須滿足的建築能源使用和建築外殼密封性的標準。
SWMP	固體廢物總計畫：攜手共進，實現零垃圾（Solid Waste Master Plan: Working Together Toward Zero Waste）
TAA	貿易調整援助
TWH	太瓦時
VMT	車輛行駛里程
WWTP	汙水處理廠
ZEV	零排放車輛，包括電池電動車（BEV）和氫燃料電池車（HFCV）。

執行摘要

2021 年，州長 Charlie Baker 簽署了《麻薩諸塞州氣候政策新一代路線圖制定法案》，該法案修訂了 2008 年《全球溫室效應治理法案》，並要求能源和環境事務局局長為 2025 年和 2030 年的溫室氣體（GHG）排放設定限額，包括整個經濟領域的減排要求和對全球變暖污染的主要來源的具體限制。這些法定限制必須有一個全面的計畫來實現減排要求。作為與“2025 年和 2030 年清潔能源與氣候計畫”（2025/2030 CECP）同時發佈的信函的一部分，能源環境事務行政辦公室秘書已經確定，麻州整個經濟領域的排放限額將在 2025 年比 1990 年的水準減少 33%，在 2030 年減少 50%。

2025/2030 CECP 代表 Baker-Polito 政府為實現麻州的減排要求而提出的全面計畫。它建立在政府為能源效率和清潔能源設定全國領先的目標，並對新技術（如離岸風能）進行巨額投資的基礎之上。本計畫表達了麻州對 2050 年的集體願景，在這一願景中，家庭供暖、車輛供電和電網運行對化石燃料的依賴性降到最低。本計畫反映了麻薩諸塞州的信心，即幫助領導清潔能源的轉型，這樣做意味著將有更多的高薪工作、改善公共健康、減少消費成本、提升全體居民的生活品質。

2025/2030 CECP 包括一系列策略和政策，旨在實現特定部門的溫室氣體排放限額，包括交通、建築、發電、工業排放和非能源排放源，如天然氣和製冷劑的洩漏。鑒於碳封存在實現淨零排放方面的重要作用，本計畫還包括減少溫室氣體排放和增加自然土地和工作用地（NWL）碳封存的目標和行動。

作為 2025/2030 CECP 的一部分進行的經濟分析估計，旨在實現排放限額和分項限額的策略和政策將有助於麻薩諸塞州的經濟增長。總體建模表明，2025/2030 CECP 將實現到 2030 年工作崗位淨增超過 22,000 個，其中大部分將來自安裝電動汽車充電樁、太陽能光伏項目、建築物的能源效率改造、離岸風電項目，以及連接清潔能源從而為經濟提供動力的的傳輸線。95%的新崗位將是中

高工資崗位，每小時工資超過 26 美元。消費者對進口石油和天然氣的支出減少，每戶平均每年節省約 400 美元，這樣，當地經濟更有能力應對全球化石燃料的價格波動。空氣品質的改善將帶來每年超過 4 億美元的公共健康效益。

確保向清潔能源過渡的經濟和環境效益對所有麻薩諸塞州的居民起作用，需要重點關注支援收入不高的個人和家庭，以及那些位於受嚴重影響的環境正義社區中的個人和家庭。每一項旨在實現溫室氣體減排目標的政策，都是從關注為環境正義群體提供積極成果的角度出發而制定的。

圖 ES. 1. 歷史和模擬的溫室氣體排放以及法定減排要求

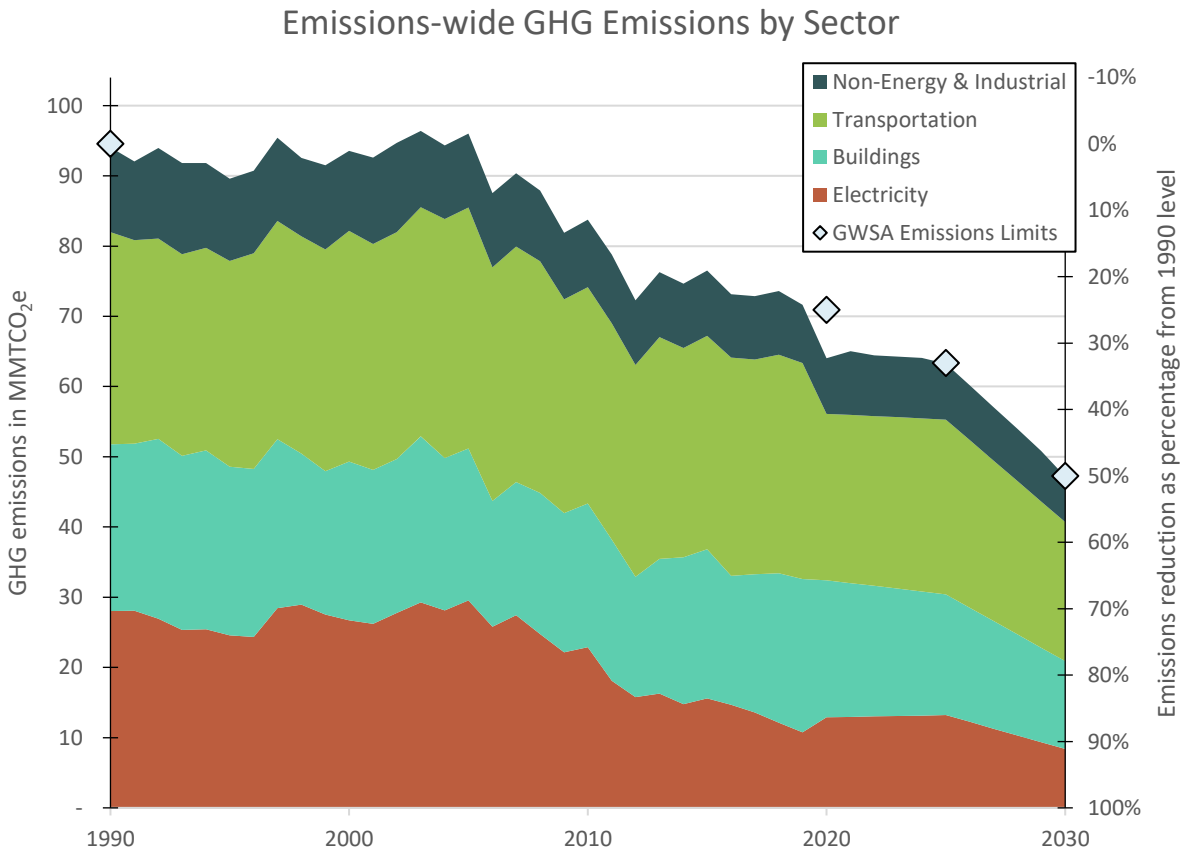


圖 ES. 1 顯示了麻薩諸塞州歷史上的溫室氣體排放情況，主要包含四個主要經濟部門：電力、建築、交通和非能源及工業部門。該圖顯示（a）麻州已經滿足了 2020 年整個經濟體系的溫室氣體

排放要求，即比 1990 年的水準減少 25%；（b）本計畫為 2025 年設定的溫室氣體減排限額是比 1990 年的水準減少 33%，法定的 2030 年溫室氣體排放限額是比 1990 年的水準減少 50%。

交通是麻州最大的溫室氣體排放源，2020 年占全州排放量的 37%。交通行業的污染是由汽車、卡車、飛機和其他車輛的發動機中的化石燃料燃燒造成的。2025/2030 CECP 提出了減少交通部門污染的主要策略，包括：（1）通過改善個人車輛的替代品，減少車輛總行駛里程（VMT）的增長；（2）將道路上的大多數車輛過渡到電動車。 表 ES. 1 顯示，交通部門的具體溫室氣體排放限額設定為 2025 年和 2030 年分別比 1990 年的水準減少 18%和 34%。

麻薩諸塞州減少 VMT 增長的計畫建立在 Baker-Polito 政府已經頒佈的一些關鍵計畫之上，以改善公共交通，建造更多的住房並重新設計我們的公共空間。麻薩諸塞州將通過麻薩諸塞州海灣交通管理局（MBTA）的“公車現代化計畫”，努力改善公車服務並實現電氣化，通過 MBTA 社區計畫鼓勵以交通為導向的發展，通過“完整和共用街道”（Complete and Shared Streets）等計畫投資主動交通，與雇主合作，減少不必要的出行，並尋求啟動一個新的計畫來鼓勵購買電單車。

麻州將通過實施車輛排放標準來實現電動汽車銷售的增長，標準要求到 2035 年，銷售的所有乘用車和大多數中型和重型汽車都是電動車。麻薩諸塞州將通過為購買電動汽車提供方便的銷售點返利和投資於充電基礎設施來支持消費者。該州的電動汽車計畫將通過為中低收入居民提供有針對性的激勵措施，以及優先考慮具有重大公共健康利益的車隊（如校車、送貨卡車和計程車）的電氣化來促進公平。

表 ES. 1.歷史和模擬的溫室氣體排放以及法定減排要求

交通	1990 年	2010 年	2015 年	2020 年	2025 年	2030 年
溫室氣體排放（$MMTCO_2e$）	30.2	30.8	30.4	23.7	24.9	19.8

與 1990 年相比減少（增加）的百分比		（2%）	（1%）	22%	18%	34%

注：2020 年的溫室氣體排放是基於 MassDEP 截至 2022 年 6 月的初步估計，而 2020 年之前的歷史溫室氣體排放是基於 MassDEP 在 2022 年 2 月的初步估計。

2020 年，採用石油和天然氣***為建築物內供暖所產生的溫室氣體排放***占全州溫室氣體排放量的 30%。麻州減少建築物排放的主要策略是提高建築物的能源效率，將家庭和企業的供暖系統轉換為電熱泵。清潔熱能委員會——成立目的是向州長建議如何最好地減少建築供暖的排放——目前正在考慮不同的策略，以實施對建築溫室氣體排放的限制，包括執行一個排放上限和一個統一的方法，來衡量和報告建築能源使用和相關的溫室氣體排放。麻薩諸塞州正在努力實施建築法規和市政選擇的淨零能源法規，這些法規要求新建築滿足高性能標準。對於現有建築，麻州將擴大通過 Mass Save®提供的激勵措施，並為熱泵安裝提供融資援助。我們面臨的核心挑戰之一是在麻薩諸塞州超過 200 萬棟個人建築去碳化所必需的規模水準上，實現電熱泵的快速採用。麻州將推進鼓勵和創造激勵措施的工作，使建築物業主將現有的基於化石燃料的供暖系統轉換為電動系統，培訓勞動力來安裝和維護新技術，並提供關於現有技術、成本，以及對家庭和企業主的價值的充分資訊，通過上述途徑迎接這些挑戰。表 ES. 2 顯示了住宅和商業供暖的歷史實際溫室氣體排放量，以及 2025 年和 2030 年住宅和商業建築供暖的溫室氣體排放分項限額。如圖所示，相對於 1990 年的水準，2025 年住宅和商業建築供暖的溫室氣體排放分項限額設定為 2025 年減少 28%，2030 年減少 47%。

表 ES. 2. 以往溫室氣體排放和 2025/2030 年住宅和商業建築供暖的溫室氣體排放分項限額

建築物（住宅和商業）部門溫室氣體排放（MMTCO2e）	1990 年	2010 年	2015 年	2020 年	2025 年	2030 年
住宅	15.3	13.7	13.6	12.2	10.8	7.8
商業（非工業）	8.4	6.7	7.6	7.3	6.4	4.7
總排放量（$MMTCO_2e$）	**23.8**	**20.4**	**21.2**	**19.5**	**17.2**	**12.5**
比 1990 年降低總百分比		**14%**	**11%**	**18%**	**28%**	**47%**

注：2020 年的溫室氣體排放是基於 MassDEP 截至 2022 年 6 月的初步估計，而 2020 年之前的歷史溫室氣體排放是基於 MassDEP 在 2022 年 2 月的初步估計。

2020 年，***電力排放***約占全州溫室氣體排放的 20%，主要來自發電廠的天然氣燃燒。自 1990 年以來，麻薩諸塞州通過提高能源效率、淘汰煤電廠，以及包括風能和太陽能在內的可再生能源的增長，已經大幅減少了電力排放。實現麻薩諸塞州的排放限額將需要電力部門繼續去碳化，同時滿足供暖和交通電氣化的額外需求。

對離岸風電的投資，加上加拿大水電的進口和麻薩諸塞州迅速增長的太陽能和儲能產業，將讓麻州邁向去碳化電網的道路。此外，麻薩諸塞州將繼續通過“區域溫室氣體倡議”和州內規則來限制發電廠的排放，同時增加向麻州居民提供的清潔能源資源。鑒於新英格蘭地區可用的清潔能源的地理多樣性，需要建設新的輸電和配電基礎設施來連接新的水電、風能和太陽能資源。為了最大限度地減少與這些基礎設施投資相關的環境影響，減輕對社區的任何潛在負擔，特別是那些有環境正義群體的社區，我們需要仔細規劃，包括公眾宣傳。與新英格蘭其他各州和區域電力系統運營商合作，重新設計電力批發市場和輸電規劃流程，將是未來成功實現清潔能源願景的重要組成部分。表 ES. 3 顯示了電力部門的歷史溫室氣體排放量以及 2025 年和 2030 年的溫室氣體排放

限額。這些溫室氣體排放包括與麻薩諸塞州使用電力給建築物供暖和製冷有關的排放。相對于 1990 年的水準，2025 年電力部門的溫室氣體排放限額設定為 53%，2030 年的限額設定為 70%。

表 ES. 3. 以往的溫室氣體排放和 2025/2030 年電力部門溫室氣體排放分項限額

電力	1990 年	2010 年	2015 年	2020 年	2025 年	2030 年
總排放量（MMTCO$_2$e）	28.0	22.9	15.6	12.9	**13.2**	**8.4**
與 1990 年相比減少（增加）的百分比		18%	44%	54%	53%	70%

注：2020 年的溫室氣體排放是基於 MassDEP 截至 2022 年 6 月的初步估計，而 2020 年之前的歷史溫室氣體排放是基於 MassDEP 在 2022 年 2 月的初步估計。

麻薩諸塞州***工業和非能源來源的溫室氣體排放***來自於製冷系統、氣體絕緣開關設備和天然氣基礎設施的溫室氣體洩漏；包括垃圾填埋場和城市垃圾燃燒的固體廢物管理系統；以及農業過程。氫氟碳化物（HFC）氣體在製冷領域的使用和洩漏一直是麻薩諸塞州一個日益增長的排放源。2020 年 12 月，Baker-Polito 政府頒佈了法規，禁止在廣泛的現有終端用途中使用 HFCs。展望未來，聯邦法規和本州可能的其他法規將有助於減少 HFC 在更廣泛的設備（如熱泵）中的使用。此外，麻薩諸塞州將探索更多的方法來減少電力傳輸設備中六氟化硫的洩漏和天然氣配送基礎設施中的氣體洩漏。麻薩諸塞州環境保護部將對城市垃圾焚燒爐實施更嚴格的標準，同時，固體廢物總計畫大大減少了麻州的固體廢物處理量。表 ES. 4 列出了工業和非能源部門的歷史溫室氣體排放量。它還顯示了 2025 年和 2030 年的溫室氣體排放限額，相對於 1990 年的水準，2025 年和 2030 年整體分別設定為 1990 年水準的 34%和 48%。

表 ES. 4. 過去溫室氣體排放和 2025/2030 年工業和非能源部門溫室氣體排放分項限額

工業和非能源溫室氣體排放（$MMTCO_2e$）	1990 年	2010 年	2015 年	2020 年	2025 年	2030 年
工業能耗	5.8	3.8	3.5	3.2	**2.9**	**2.5**
天然氣配送和服務	2.3	0.9	0.5	0.6	**0.4**	**0.4**
工業加工	0.7	3.7	4.1	3.1	**3.6**	**2.5**
農業和垃圾	3.4	1.2	1.1	1.0	**1.0**	**0.9**
總排放量	**12.1**	**9.6**	**9.3**	**7.9**	**7.9**	**6.3**
比 1990 年降低總百分比		**20%**	**23%**	**34%**	**34%**	**48%**

注：2020 年的溫室氣體排放是基於 MassDEP 截至 2022 年 6 月的初步估計，而 2020 年之前的歷史溫室氣體排放是基於 MassDEP 在 2022 年 2 月的初步估計。

自然土地和工作用地封存排放物的能力將是麻州實現溫室氣體淨零排放的一個重要組成部分。2025/2030 CECP 首次提供了對麻薩諸塞州 NWL 的排放和碳封存的分析；概述了支持 NWL 的保護、氣候智慧管理和恢復的政策；並確定了麻州為 2050 年實現淨零排放而正在採取的額外行動和現有行動。

為了保護用於碳封存的自然資源，麻薩諸塞州將加大努力，分別到 2025 年和 2030 年，永久性保存土地和水的至少 28%和 30%。除了水土保持之外，麻州將在政府擴大“門戶城市綠化”（Greening the Gateway Cities）城市植樹計畫的基礎上，通過更好的管理和擴大恢復面積，減少 NWL 的溫室氣體排放並加強碳封存能力。這包括激勵至少 20%的私有森林和農場採取氣候智慧管理措施，此外到 2025 和 2030 年，分別種植至少 5,000 英畝和 16,000 英畝的新城市和河岸樹木。總的來說，麻薩諸塞州的目標是通過提高自然土地和工作用地的淨碳封存量，在 2030 年實現自然土地和工作用地的溫室氣體淨排放比 1990 年減少 25%。

表 ES. 5.歷史資料和 2025 年和 2030 年自然土地和工作用地溫室氣體淨排放目標

自然土地和工作用地	1990 年	2010 年	2015 年	2020 年	2025 年	2030 年
NWL 淨排放（$MMTCO_2e$）	-5.9	-6.8	-7.0	-7.0*	**-7.0**	**-7.4**
目標：與 1990 年相比減少（增加）的百分比	-	15%	19%	19%*	19%	25%

* 因尚無 2020 年資料，所以根據 2019 年資料估算

注：尚未計入內陸濕地的淨排放。

第 1 章：前言

麻薩諸塞州簽署的氣候法，即《全球溫室效應治理法案》（GWSA）[1]，經《麻薩諸塞州氣候政策新一代路線圖制定法案》（2021 年《氣候法》）修訂，[2]要求能源環境行政辦公室秘書（以下簡稱“秘書”）設定全州的溫室氣體（GHG）排放限額和各部門的分項限額。這些限額必須伴隨一份綜合、明確且具體的路線圖計畫，以便實現設定的限額和分項限額。

通過與“2025 年和 2030 年清潔能源與氣候計畫”（“2025/2030 CECP”或“計畫”）同時發佈的信函，秘書設定 2025 年和 2030 年全州限額分別比 1990 年的水準下降 33%和 50%。作為 2025 年和 2030 年限額的組成部分，秘書還設定了各部門的分項限額，包括電力、交通、商業和工業供暖和製冷、住宅供暖和製冷、工業加工、天然氣配送和服務部門。麻州實現 2025 年和 2030 年目標的計畫依賴於許多相同的政策和計畫，因此 2025/2030 CECP 反映了秘書為實現全州 2025 年和 2030 年溫室氣體排放限額和部門分項限額而採納的綜合策略。

麻薩諸塞州實現排放限額和分項限額的方法基於三大基本原則：（1）非電力能源的使用實現電氣化、（2）電網去碳化、（3）通過提高交通和能源系統效率，減少能源成本和轉型成本。這些原則必須同時執行，如果彼此相互脫離，是無法實現排放限額和分項限額的。

計畫包括麻州實現交通、建築供暖和製冷、電力、工業和非能源用途的減排目標所必須執行的方針。在制定計劃中的每一條方針時，應考慮的關鍵因素包括：溫室氣體減排、消費者成本和效益、能源供應和交付、環境正義（EJ）和公平、利益相關者的意見、市場轉型、實施可能性。計畫也規定了增加自然土地和工作用地淨碳封存的基準和目標；包括就業和宏觀經濟分析結果，用於就氣候政策對關鍵經濟指標（如就業崗位和家庭能源成本）的影響建模；並納入促進公平和負

[1]2008 年法案第 298 章。
[2]2021 年法案第 8 章。

擔過重的 EJ 社區減排的策略。為了跟蹤麻州在實現 2025 年和 2030 年限額和分項限額方面取得的進展，本計畫為各種減排方案（如電動汽車（EV）和熱泵）的採納設定了數位基準，以及對減排而言至關重要的改進措施。

在 2021 年《氣候法案》頒佈之前，“2030 年清潔能源與氣候計畫”於 2020 年 12 月，作為臨時計畫（臨時 2030 CECP）首次發佈，徵求公眾意見。2025/2030 CECP 提供了 2025 年計畫，並更新了之前的臨時 2030 CECP。本計畫基於對我們去碳化政策各方面的多年建模和分析，包括以往的清潔能源與氣候計畫和 2050 年去碳化路線圖研究。它體現了利益相關者的意見，這些利益相關者包括 GWSA 實施諮詢委員會及其工作組的成員、零排放車輛委員會（Zero-Emission Vehicle Commission）、清潔熱能委員會、自然土地和工作用地溫室氣體排放核算的技術顧問，以及過去三年種提交意見或出席公開會議和聽證會的數千人。

2025/2030 CECP 的結構組織如下：

- 第 1 章說明 GWSA 的背景，概述麻州為實現 2025 年和 2030 年限額和分項限額所需政策和計畫的指導原則。
- 第 2 章解釋本計畫所推薦政策中融入的核心 EJ 原則。
- 第 3 章概述了為這些政策提供資訊的分析方法。
- 第 4 章到第 8 章詳細說明瞭以下領域實現減排的計畫：
- 交通
- 建築
- 供電
- 工業加工、配氣和非能源

- 自然土地和工作用地
- 第 9 章說明計畫所制定的政策對就業和宏觀經濟的影響估計。
- 附錄 A 至 F 是對計畫中的分析和政策的支持。

1.1 《全球溫室效應治理法案》的背景

2008 年 GWSA 通過後，麻薩諸塞州成為美國首批頒佈綜合計畫的州之一，旨在遵循政府間氣候變化專門委員會（IPCC）確定的世紀中期目標，應對氣候變化。GWSA 設定了一系列關於麻州實現溫室氣體減排的要求和許可權，包括要求秘書確定 2050 年的全州限額，即比 1990 年基線排放水準至少低 80%，以及 2020 年、2030 年和 2040 年的臨時限額。2009 年，秘書採納了 2020 年溫室氣體排放限額，即比 1990 年水準低 25%。

圖 1. 州長 Baker 在 Vineyard Wind 活動中

自 GWSA 通過十四年以來，麻薩諸塞州在很多方面取得了重要進展，包括在 2017 年淘汰了最後一家燃煤發電廠。麻薩諸塞州與東北地區的區域合作夥伴合作，啟動了“區域溫室氣體倡議”（RGGI），這是發電行業減排的第一批基於市場的計畫之一。多虧了 Mass Save®這樣的項目，麻薩諸塞州一直是全美最節能的州之一，為消費者節省了數百萬美元的能源帳單。在 Baker-Polito 政府治理之下，麻薩諸塞州採購了超過 1,600 兆瓦（MW）的離岸風電，還有另外 1,600MW 即將得到合同批准，使得麻薩諸塞州成為全美清潔能源轉型中的領導者。

2022 年 6 月 30 日，秘書發佈了一份聲明，指出麻薩諸塞州成功實現 2020 GWSA 的排放限額目標，即比 1990 年排放水準減少 25%。雖然新冠疫情嚴重影響了 2020 年的實際排放量，但在疫情產生影響之前，麻州仍然保持了實現減排 25%的勢頭。[3]正如 GWSA 10 年進展報告（2018 年）中所述，麻州在減排的同時蓬勃發展。2021 年《麻薩諸塞州清潔能源行業報告》展示了清潔能源行業的就業崗位持續增長，到 2020 年底，達到全州勞動者人數的 3%，雇員人數達到 101,000。2020 年，該行業為麻州州內生產總值貢獻了 137 億多美元。[4]

IPCC 估計[5]，除非立即、大規模、迅速減少溫室氣體排放，否則將全球變暖限制在比工業化前水準高出約 1.5 攝氏度甚至 2 攝氏度將是“遙不可及”的目標。[6]2025/2030 CECP 反映了該州當前對氣候危機的理解，列出了麻州迄今為止提出的最積極的去碳化策略。隨著 IPCC 繼續完善對氣候變化的理解，以及麻薩諸塞州繼續發展其知識和能力，本檔中概述的策略和政策將在未來的 CECP 中繼續發展，並可能進一步加速麻州的去碳化。

鑒於氣候危機的規模和緊迫性，2020 年，Baker-Polito 政府設立了 2020 年全州溫室氣體淨零排放限額。[7]淨零要求之後通過 2021 年《氣候法案》編纂進法律。全州淨零排放限額意味著到 2050 年，麻薩諸塞州各種來源的溫室氣體排放總量必須等於或少於麻州境內封存的總碳量或通過直接歸屬于麻州的行動封存的總碳量。淨零排放還要求總排放量不得超過比 1990 年低 85%的水準。為

[3]基於為支持 2018 年 GWSA 10 年進展報告、在新冠疫情前進行的分析。
[4]2021 年《麻薩諸塞州清潔能源行業報告》參見 https://www.masscec.com/2021-massachusetts-clean-energy-industry-report。
[5]IPCC 是一個聯合國機構，負責評估與氣候變化有關的科學。IPCC 評估報告是由來自一系列科學、技術和社會經濟學科的作者撰寫的主要國際氣候變化報告。這些報告概述了氣候變化影響以及未來的風險，討論了降低氣候變化幾率的方案。
[6]IPCC 2021 年 8 月 9 日新聞稿，參見 https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/08/IPCC_WGI-AR6-Press-Release_en.pdf
[7]*確定 2050 年全州排放限額*（2020 年 4 月 22 日）。“淨零”的定義是全州溫室氣體排放量等於麻州每年從大氣中移出並儲存的二氧化碳量或當量，或可歸屬于麻州的二氧化碳量或當量；然而，排放量不得超過比 1990 年低 85%的水準。

實現 2025 年和 2030 年限額而實施的各項政策和行動必須最大程度地提高麻州在 2050 年公平實現淨零的能力。

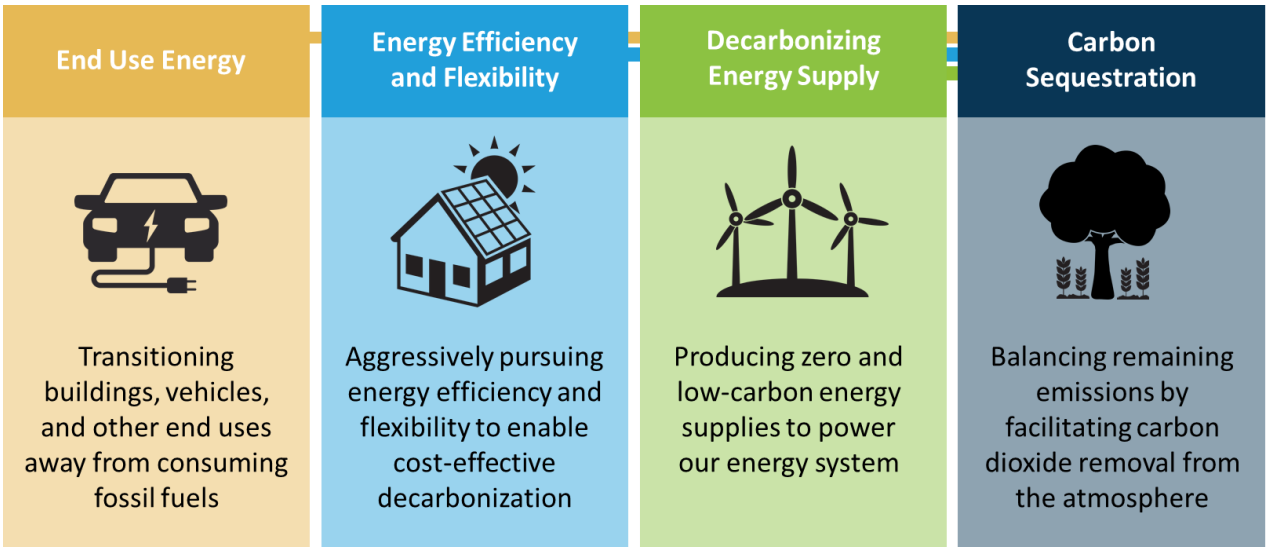
制定背景：2050 年路線圖研究

為了確定實現 2050 年排放限額的最佳途徑，麻州於 2019 年開始了一項 2050 年去碳化路線圖研究。這個全國領先的定量和定性規劃工作（以下簡稱“2050 年路線圖研究”）制定了多種技術和政策途徑，麻州可通過這些途徑公平且具有成本效益地實現 2050 年的淨零目標。

2050 年路線圖研究界定了八條途徑，每一條都分析了滿足經濟各方面的預期需求，同時實現 2050 年淨零目標所需的潛在年度能源供應。雖然為實現淨零目標而選擇的策略會影響到成本，但分析顯示麻州可以通過可承受的方式，實現淨零目標。基於去碳化的四大支柱，成本最低、風險最低的途徑有著共同的核心要素（圖 1.1）。這些核心要素對各條途徑都是通用的，已在臨時 2030 CECP 發佈後增補。在選擇未來八年實施的政策和計畫時，要考慮的最重要的因素包括**以大量離岸風能資源為支柱的　平衡的清潔能源組合；交通和建築供暖的廣泛電氣化；在更換使用或傳輸化石燃料的設備、基礎設施和系統之時，轉向使用更有效的技術，從而降低成本；**以及**保護、管理和恢復我們的自然土地和工作用地，**保持有助於碳封存和儲存的寶貴自然資源。

2050 年路線圖研究還發現了 2050 年實現淨零目標的其他重要益處，包括：空氣污染急劇下降，特別是在目前空氣品質差的 EJ 社區；顯著節省健康成本，到 2030 年每年節省高達 1 億美元；並在麻薩諸塞州和整個新英格蘭地區創造數以千計的高品質當地就業機會。

圖 1. 1. 實現 2050 年淨零目標的四個關鍵“去碳化支柱”



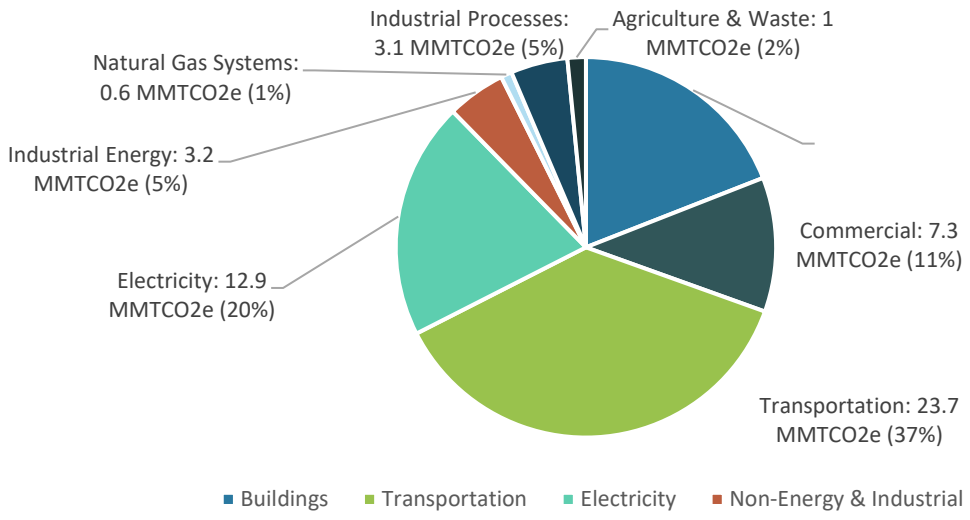
1.2 展望 2025 年和 2030 年：加快麻州的去碳化速度

未來八年中，麻州將需要重點關注交通和供暖系統從燃燒化石燃料的轉型。這項工作要求為麻州決策者們提供各種激勵和幫助，以便淘汰車輛駕駛，貨物運輸，街道和社區設計，新建築物的建造和現有建築物的改造，房屋、辦公室和其他設施的製冷和供暖使用的傳統化石燃料，轉向使用電氣化替代品。

在新冠疫情發生之前，麻州溫室氣體排放大約有四分之一來自個人和企業主擁有和運營的輕型車輛。具體而言，在家庭層面上，大約 500 萬輛輕型乘用車和卡車產生了所有交通排放量的一半以上；2019 年，乘用車排放了大約 1700 萬公噸 CO_2 當量（$MMTCO_2e$）。同樣，在建築方面，麻薩諸塞州約有 260 萬戶家庭，其空間供暖和熱水設備排放量約占每年麻州溫室氣體排放量的 15%-20%，因天氣原因產生大幅變動。商業建築和工業設施中用於供暖、熱水和其他熱力過程的燃料占年排放量的 15%左右，同樣會由於天氣的原因而產生變化。居民對其後續的車輛和供暖系統的集體選擇，將對麻州實現 2025 年和 2030 年排放限額和分項限額的能力產生重大影響。因此，計畫

中包含的政策側重於激勵個人決策者朝著穩定和大膽地溫室氣體減排的方向發展。圖 1. 2 展示了溫室氣體排放在家庭、企業和其他類別中的分佈情況。

圖 1. 2. 麻薩諸塞州 2020 年溫室氣體排放（估計）



注：整個經濟領域的排放估計為 64. 1 MMTCO₂e，約比 1990 年的水準低 32%。由於四捨五入，顯示的小計總和不一定等於總數。上圖所列值代表麻薩諸塞州環境保護部（MassDEP）對 2020 年的初步估計值（截至 2022 年 6 月）。一旦出現新的資料，並在《MassDEP 的年度溫室氣體排放清單》中公佈，這些估計值將更新。

現有技術可替代車輛和建築物中的化石燃料燃燒。各種汽車類別中，電動汽車越來越普及，也能以較低的能源成本提供優越的汽車性能。為新建築和已有建築物加快採取先進能源效率措施，可大幅減少了建築物的能源足跡。能夠在新英格蘭地區的冬天為家庭供暖，並隨著時間的推移節省成本的電熱泵現已上市，麻州居民可以採用。除了投資清潔能源基礎設施和個人車輛出行的替代方案之外，現有技術的擴展占計畫減排目標的大部分。

經濟領域的電氣化必然會增加對電力的需求。去碳化取得成功，需要新的電氣化部門採用可再生能源——而不是化石燃料——獲得動力。提高麻薩諸塞州向新英格蘭電網輸送清潔能源的能力，

增加離岸風能和太陽能光伏（PV）等可再生資源的開發，以及公平合理地加強配電網路，將確保麻州所有社區有足夠的能力來應對電氣化帶來的電力需求增長的問題。

在新的可再生能源專案選址和傳輸系統升級；實施支持發展高性能、低碳排放的建築和智慧增長的分區和建築條例；電動汽車充電網路的大幅擴展；提高氣候適應性和恢復力；公平合理地實施影響其管轄範圍內居民和企業的政策方面，當地社區發揮的作用越來越大。因此，麻州必須與所有社區密切合作，確保公正、公平的過渡。

圖 2. 在 Blade Testing Facility 與美國能源部長舉行圓桌會議

聯邦政策可直接推動市場發展，有助於麻薩諸塞州實現氣候目標。聯邦政府的行動可發出強大的方向變化信號，激勵私營部門對技術改進的長期投資，同時刺激更大範圍的研發，而不是僅僅依靠州的政策。除了聯邦政策變化的重要性之外，區域和州內的發展（如 RGGI 和新英格蘭的輸電規劃流程）對麻薩諸塞州如何快速去碳化存在重大影響。由於聯邦和州際政策的影響，麻州必須保持參與聯邦和區域政策的制定。舉個例子，這包括參加聯邦能源管理委員會（Federal Energy Regulatory Commission）有關新英格蘭電網運營商——獨立系統運營商-新英格蘭（ISO-新英格蘭）——進行的市場和輸電規劃改革的活動。

1.3 設定溫室氣體排放限額、分項限額和計畫制定

麻州通過一個協調的定量和定性分析流程，制定了 2025 年經濟領域的溫室氣體排放限額，2025 年和 2030 年各部門的溫室氣體排放分項限額，以及實現這些限額和分項限額的計畫。這個流程首先是確立明確的原則：溫室氣體減排、消費者成本和利益、能源供應和交付、公平和環境正義、

利益相關者的意見、市場轉型、實施可行性。一旦實現“清潔經濟”的目標已經確立，麻州就制定了各種衡量指標，並進行了多項分析，探索不同的途徑和相關的溫室氣體排放限額，以最大程度地提高麻州在 2050 年實現淨零排放的能力。麻州諮詢了利益相關者、其他部門、機構和區域權威部門的意見，以便確定 2025 年和 2030 年的限額和分項限額以及實現這些限額的計畫。公平和環境正義原則貫穿了這個流程始終，並且將仍然是本計畫中政策和方案實施的核心。

一般原則

本計畫貫穿始終的基本概念是在存貨周轉之時，將排放源替換為更清潔的技術，是最具成本效益的。2025/2030 CECP 中包含的方針策略是為了實現向清潔能源經濟的過渡，確保環境正義和公平，考慮重要的利益相關者的意見，並確保實用性和可行性。

雖然社會和個人的成本是評估和選擇政策時的主要考慮因素，但將單獨的排放或成本影響歸於單個行動或政策是很困難的。公共政策整體可以調動和加速某些市場，但還有一些市場趨勢取決於麻州控制之外的推動因素。因此，溫室氣體減排不能單獨和準確地歸因於麻州制定的每個獨立的政策或計畫。成本方面也是如此。例如，2050 年路線圖研究表明，對整個經濟領域來說，深入的建築圍護結構效率改造和電熱泵可能是所有可行途徑中成本最低的去碳化解決方案。然而，每棟建築的增量成本需要具體的估算，因為每棟建築都有獨特的年份、翻新歷史和需求。因此，2025/2030 CECP 從政策組合的角度——而不是在每項單獨的政策策略層面——分析了溫室氣體減排成本和影響。

為了支持 2025/2030 CECP 中的政策，能源環境事務行政辦公室（EEA）已經更新了為 2050 年路線圖研究進行的相關分析。關鍵清潔技術的成本和效率資料已經根據現有的最佳資訊進行了更新。更新後的分析集中在如何在未來八年內實現建築的去碳化，同時滿足法定要求。第 3 章解釋了更新後的分析和溫室氣體排放限額和分項限額的細節。

隨著市場圍繞 EV、電熱泵和現有建築改造的發展，麻州將繼續利用最新的資訊，計畫在 2025 年實現 33%的減排，在 2030 年實現 50%的減排，同時以最公平的方式，盡力提高麻州在 2050 年實現淨零排放的能力。

利益相關者流程

利益相關者的回饋對於構建一個清晰、全面、具體的計畫，實現麻州雄心勃勃的溫室氣體排放限額來說至關重要。本計畫反映了利益相關者的回饋和公眾對臨時 2030 CECP 的意見、在政策制定期間的多次利益相關者會議，以及在 2021 年秋季和 2022 年冬季/春季收到的其他口頭和書面公眾回饋。附錄 F 包括有關利益相關者和公眾進程的詳細資訊，為 2025/2030 CECP 的制定提供依據。

除了利益相關者和公開會議，EEA 還諮詢了 ISO-新英格蘭和 GWSA 實施諮詢委員會（IAC）。[8]IAC 設有特定部門負責運輸、建築、電力、土地使用和基於自然的解決方案的工作組。這些特定部門的工作組曾為臨時 2030 CECP 提供了溫室氣體減排措施的建議。[9, 10] 2025/2030 CECP 的制定考慮了這些建議。

本計畫包含了麻薩諸塞州交通部（MassDOT）和麻薩諸塞州住房和經濟發展行政辦公室（EOHED）的重要政策和計畫，這些政策和計畫直接和間接影響到麻薩諸塞州社區。然而，這個計畫並不包括許多正在進行的交通、住房和經濟發展舉措，這些舉措將繼續改善麻州的交通和住房基礎設施。

[8]IAC 成立於 2012 年，為溫室氣體減排措施提供建議，其成員包括來自多個部門的代表，包括商業、工業和製造業；交通；低收入消費者；能源生產和分配；環境保護；能源效率和可再生能源；以及來自地方政府和學術機構的成員。
[9]IAC 關於 2050 年路線圖中分析的政策建議已於 2019 年 8 月 22 日提交給 EEA，參見 https://www.mass.gov/doc/master-policy-list/download。
[10]IAC 對 2030 CECP 的政策重點建議已於 2020 年 10 月 22 日提交給 EEA，參見 https://www.mass.gov/doc/iac-work-group-proposed-guiding-principles-and-policy-priorities-updated-10262020/download。

隨著市場的發展和其他條件的波動，利益相關者的回饋意見在規劃階段和未來 8 年內都很重要。2025/2030 CECP 確立了跟蹤政策和計畫執行情況的基準，以確保麻州在朝著實現 2025 年和 2030 年排放限額和分項限額的方向發展。除了與 GWSA IAC 分享進展情況以外，根據 2021 年《氣候法案》的要求，秘書將在每個合規年度結束後的 18 個月內報告每項限額的成功情況，並納入為了改善麻州在實現目標方面的進展的任何建議。在過去八年跟蹤政策實施的資料收集的基礎上，本計畫正式確定了以下關鍵指標：評估所述策略是否成功實現 2025 年和 2030 年排放限額和分項限額，並最大限度地提高麻州在 2050 年實現溫室氣體淨零排放的能力。

從制定臨時 2030 CECP 開始，EEA 在制定 CECP 內的政策時，已經諮詢了以下利益相關者團體。

《全球溫室效應治理法案》（GWSA）實施諮詢委員會（IAC）：在 2021 年 4 月 12 日、6 月 28 日、10 月 12 日和 12 月 10 日，以及 2022 年 2 月 28 日和 4 月 29 日共舉行了六次會議。此外，IAC 工作組會議（包括建築工作組、交通工作組、氣候正義工作組、土地使用和基於自然的解決方案工作組以及電力工作組）都定期舉行，就清潔能源與氣候計畫的相關議題進行磋商。

零排放車輛（ZEV）委員會（ZERO EMISSION VEHICLE (ZEV) COMMISSION）：2021 年 2 月 12 日、5 月 5 日、7 月 23 日和 2022 年 4 月 15 日舉行了四次會議。

環境正義利益相關者焦點小組（ENVIRONMENTAL JUSTICE STAKEHOLDER FOCUS GROUPS）：2021 年 3 月 29 日、4 月 1 日、5 月 25 日和 5 月 26 日舉行了四次會議。

清潔熱能委員會：2022 年 1 月 12 日和 26 日、2 月 9 日和 17 日、3 月 9 日和 23 日、4 月 6 日和 27 日舉行了八次會議，此外，2022 年 3 月 1 日和 4 日還舉行了四次公開網路研討會。委員會將繼續定期開會，直到 2022 年 12 月。

MEPA 諮詢委員會：主要工作人員和利益相關者與 EEA 之間的定期聯絡點。

能源效率顧問委員會（EEAC）：與主要工作人員和利益相關者以及 EEA 進行定期聯絡。

此外，EEA 還就計畫的各個方面舉行了幾次公開聽證會和會議，以告知公眾正在取得的進展並徵求公眾的回饋意見：

臨時 2030 年清潔能源與氣候計畫：2021 年 3 月 9 日和 15 日舉行了兩次公開會議。

2025 年和 2030 年清潔能源與氣候計畫：

- 2021 年 10 月 14 日和 15 日舉行了兩次公開聽證會。
- 2022 年 4 月 14 日和 15 日舉行了三次公開聽證會。

新建築法規：2022 年 3 月 2 日、3 日、4 日、7 日和 8 日舉行了五次公開網路研討會。

森林碳目標和政策：2021 年 12 月 21 日、2022 年 1 月 14 日和 2 月 11 日舉行了三次公開網路研討會。

公平承諾

深度去碳化將改善全民的空氣品質，並帶來新的經濟機會，可以振興整個州的城鎮經濟。為了確保所有麻薩諸塞州的居民能夠充分參與到低碳經濟轉型中（比如擁有一輛電動汽車或改造住所，提高能源效率），深思熟慮的政策和謹慎的方案設計至關重要。收入水準、地點、英語水準和以前的邊緣化程度等方面的差異不得妨礙公平地獲得和分配轉型帶來的好處。

Baker-Polito 政府致力於確保轉型指導政策有助於減少在 EJ 社區和有色人種社區的健康和經濟差異。計畫第 2 章概述了麻州實現這一重要承諾的計畫，包括總結宏觀經濟影響研究的結果，這項研究涉及本檔中提出的方針策略的公平結果。此外，計畫第 9 章介紹了就業和宏觀經濟分析及相關結論。

EJ 群體參與決策過程和方案實施是有益的，也是滿足所有排放限額和分項限額，同時履行麻州環境正義政策承諾所必要的，這項政策是麻州環境正義願景的一個核心支柱。為了實現這一願景，麻州致力於加強對話、提高利益相關者的信任、改善政府的透明度。

第 2 章：確保麻州的公正轉型

環境正義植根於這樣一個原則：所有的人都應該得到保護，不受環境污染的影響，並有能力生活在清潔和健康的環境中，不論種族、膚色、收入、階級、殘疾、性別認同、性取向、國籍、民族或祖先、宗教信仰或英語水準如何。實現環境正義需要（i）所有人有意義地參與環境法律、法規和政策（包括氣候變化政策）的制定、實施和執行；（ii）公平地分配能源和環境利益以及環境負擔。[11]

多項研究表明：與其他社區相比，有色人種社區、低收入社區、原住民和英語水準有限的居民比例較高的社區面臨著過多的高污染、公共健康和氣候風險，並承擔著更高的能源負擔。[12]這種不成比例的負擔往往源於諸多因素的累積影響，包括住房、交通和能源基礎設施選址政策的歷史執行情況；缺乏經濟機遇或教育資源；以及公共衛生問題。麻薩諸塞州的環境正義（EJ）群體參見 2021 年《氣候法案》中的定義。[13]為了配合 2021 年《氣候法案》，麻薩諸塞州的環境正義政策于

[11]2021 年《氣候法案》第 56 節（2021 年法案第 8 章）

[12]De Moura, Maria Cecilia Pinto, et al., "Inequitable Exposure to Air Pollution from Vehicles in Massachusetts: Who Bears the Burden?" Union of Concerned Scientists, 2019, http://www.jstor.org/stable/resrep24098.2022 年 5 月 6 日訪問；Bullard, Robert D., et al., "Toxic Wastes and Race at Twenty 1987—2007," United Church of Christ, 2007, https://www.ucc.org/wp-content/uploads/2021/03/toxic-wastes-and-race-at-twenty-1987-2007.pdf；Jbaily, A., Zhou, X., Liu, J. et al., "Air pollution Exposure Disparities Across U.S. Population and Income Groups," Nature 601, 228－233 (2022). https://doi.org/10.1038/s41586-021-04190-y; Tessum, Christopher W., et al. "Inequity in Consumption of Goods and Services Adds to Racial－Ethnic Disparities in Air Pollution Exposure." Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, vol. 116, no. 13, 2019, pp. 6001－06, https://www.jstor.org/stable/26696656.2022 年 5 月 6 日訪問。

[13]"環境正義群體"定義為滿足以下標準中一條或多條的社區：（i）家庭年收入中位數不超過全州家庭年收入中位數的 65%；（ii）少數族裔占整體人口的 40%或以上；（iii）25%或以上的家庭缺乏英語語言能力；或（iv）少數族裔占整體人口的 25%或以上，且這個社區所在市的家庭年收入中位數不超過全州家庭年收入中位數的 150%；但前提是對於不滿足所述標準的社區，但該社區的某個地理部分滿足至少一條標準的，秘書可在該社區滿足標準的地理部分的至少有 10 名居民提出申請後，將該地理部分指定為環境正義群體；此外，秘書可以在發現以下情況後，確定一個社區，包括其任何地理部分，不應指定為環境正義群體：（A）該社區的家庭年收入中位數大於全州家庭收入中位數的 125%；（B）該社區 25 歲及以上的人大多數都受過大學教育；（C）該社區沒有承受不公平的環境污染負擔；（D）該社區獲得自然資源的機會較多，包括開放空間和水資源、操場和其他已建的戶外娛樂設施和場所。

2021 年更新，旨在確保 EJ 社區的環境、能源和氣候利益，同時儘量減少對麻州最弱勢群體的傷害。

麻州向清潔和綠色能源經濟的成功轉型，需要麻州社會經濟各界的全民投入和參與。我們必須協助中低收入居民採用必要的技術，並致力於執行克服語言和社會經濟障礙的利益相關者參與行動。為了讓 EV 和熱泵等技術的廣泛市場部署，麻州需要觸及農村地區、門戶城市、移民社區、工人階級社區、原住民和有色人種社區的群體。2025/2030 計畫中設定的目標要求與各類受眾（包括消費者和幫助建設必要能源基礎設施和技術的勞動者）進行廣泛交流。成功實施需要麻州與全州的社區代表接洽，對這些專案的選址作出負責任且公正的決定。在作出重要的選址決定時，麻州必須考慮 EJ 群體過去受到影響的方式。麻州必須鼓勵 EJ 群體擁有可再生能源，並以與麻州負責任的土地使用目標一致的方式，增加獲得這些可再生能源的機會。

圖 3：在 New Bedford 舉行的關於環境正義的社區資訊會議。照片來源：Sandra Andrade

為了使清潔能源適用於所有社區，麻州必須積極主動解決中低收入居民和 EJ 群體在清潔能源轉型過程中遇到的一些障礙。新技術高昂的前期成本就是一個障礙。房東和租戶之間的激勵措施不同，有時甚至相互競爭，這也對安裝節省成本的技術（如熱泵和電動汽車充電站）構成了重大挑戰。英語水準有限可能是獲得激勵措施或參與公開會議的一個障礙，有關州能源效率專案的決定會在公開會議上制定。

只有當扶持政策的設計反映麻州的種族和經濟多樣性之時，麻州才能在 2050 年公平地實現淨零排放。實現麻州的減排限額和分項限額需要各級政府的承諾。圍繞清潔能源、去碳化建築和電氣化

交通的未來政策，需要確保低收入居民能夠負擔得起並且能夠獲得。所有的政策和監管決定都必須涉及加強公眾參與和可及性的過程。此外，清潔能源的新增崗位和教育應針對過去處於弱勢的低收入人群。這些都是麻薩諸塞州未來實現淨零、達到中間排放限額和分項限額的重要因素。

2.1 環境正義政策

近年來，麻州為制定一個全面的 EJ 政策框架投入了大量資源，各機構根據其具體的權力、任務和方案制定了 EJ 策略。[14]2021 年的《氣候法案》加強和加快了這項工作，該法考慮了對公共衛生、交通、住房和州選址和許可行動的累積影響。環境正義政策的最新版本於 2021 年 6 月 24 日發佈。該政策承諾提供資源為 EJ 群體服務，它將指導 2025/2030 CECP 的實施。因此，本計畫包括考慮為 EJ 群體提供額外的財政資源和技術援助，以實現清潔能源轉型。具體來說，麻薩諸塞州的環境正義政策指出：

作為該政策實施的一部分，EEA 將與 EJ 群體合作，採取直接行動，以恢復退化的自然資源，增加開放空間和公園的使用，解決與現有和潛在的新污染源相關的環境和健康風險，正確地應對氣候變化，並通過以下方式提高整體生活品質：

- 增加居民參與環境、能源和氣候變化決策的機會。
- 加強對這些地區新的或擴大的重大環境負擔來源的環境審查，要求進行累積影響分析，包括交通和運輸問題、住房和公共衛生的隱患。
- 確保居民對氣候變化的影響（如熱島效應或洪水）有所準備和適應，並確保在發展過程中儘量減少這些影響。
- 確保這些社區的現有設施符合州環境、能源和氣候變化的規則和條例。

[14]EEA 對本計畫的公平框架旨在遵守 1964 年《民權法案》第六章的要求，麻薩諸塞州行政部門的語言使用政策，以及 EEA 的環境正義政策。

- 確保這些社區從環境項目、撥款和投資的積極影響中受益。
- 鼓勵對具備現有基礎設施的這些社區進行負責任的經濟增長投資，特別是在有機會恢復退化或污染的場地，並鼓勵以清潔、富有成效且可持續的方式使用這些場地的社區。
- 促進當地居民獲得政府、工會、社區大學或其他環境領域的培訓機會。
- 確保符合環境保護的積極的經濟發展是整個麻州 EJ 群體的首要任務。

2.2 通過去碳化來推動公平

根據環境正義政策中的承諾，2025/2030 CECP 的實施將在所有政策和計畫的制定和部署中採用公平的視角，包括努力做到：（a）用多種語言進行符合文化的宣傳，讓 EJ 群體參與進來，（b）優先考慮對 EJ 社區的氣候投資，同時確保改善行動不會導致這些社區的居民流離失所，（c）制定衡量標準，用於衡量一段時間內的進展，特別是跟蹤 EJ 社區的空氣品質，（d）推進政策的執行，降低中低收入居民的清潔能源成本，（e）確保在職工人和新勞動力的勞動力發展培訓和教育，優先考慮以往的邊緣化群體和 EJ 群體，（f）儘量減少對 EJ 群體（特別是那些因歷史發展、許可和選址決策而遭受過度影響之人）的負面影響。

社區參與

作為麻州對強有力、包容性的公共政策審議承諾的一部分，麻州政府機構應通過利用加強社區參與的最佳實踐方法，來實施這個 2025/2030 CECP，特別是在實施可能影響 EJ 群體的計畫時更是如此。這類方法包括但不限於：

- 制定語言使用計畫（LAP）和公眾參與計畫（PIP），為社區參與和語言服務提供機構範圍內的一致方法。

- 將公開會議或聽證會安排在方便社區利益相關者的地點和時間，並考慮公共交通的可用性。
- 鼓勵許可申請人與當地社區舉行申請前會議，並向申請人提供 EJ 組織或利益相關者的連絡人名單和確定的非英語媒體管道。
- 聯繫當地資源，獲得有關社區語言需求的最新、最細化和最準確的資訊，包括但不限於當地衛生委員會、公共學區、社區中心和社區組織，以便獲得口譯和關鍵檔的翻譯。
- 將公告和其他關鍵的公眾參與檔翻譯成英語水準有限的人居住的社區內 3%或更多人口所使用的語言。
- 適當情況下，應依據要求在公開會議上提供口譯和翻譯檔。
- 建立一個或多個方便受影響社區使用的當地資訊庫，並根據具體情況在網上提供資訊。
- 收集和利用針對社區的當地媒體聯繫資訊（基於社區的文化）。
- 採用合作方式解決問題，包括公開討論和建立共識，盡最大可能解決公眾關注的問題。
- 向可能受決策影響的社區提供有效的早期通知，以及時和有意義的方式徵求意見，並就適用的申訴和上訴程式提供明確指導。
- 在撥款申請和環境、能源或氣候變化法規方面，向 EJ 群體提供資訊、培訓和說明，從而幫助他們遵守法規，確保可持續性。
- 利用創造性的和針對社區的方法，與 EJ 群體進行有效的溝通和接觸，包括但不限於：
- 利用一個城市或城鎮的公共宣傳方法進行溝通。
- 向當地和非英語電視頻道、電臺和報紙發送通知。
- 聘請社區聯絡員，利用他們現有的網路。

- 在教堂、學校、農貿市場、老年中心、圖書館、社區中心張貼傳單和舉辦資訊宣傳活動。
- 通過移動終端資訊發送方法發送通知。
- 創建一個支持翻譯的網站，用於發佈專案和會議通知、專案資訊，以及提交意見/回饋的選項。
- 通過挨家挨戶的通知和簽名活動來瞭解社區。
- 利用社交媒體發佈有關專案和參與機會的資訊，並要求當地合作夥伴協助在他們自己的社交媒體管道上進行宣傳。

監測環境正義社區的空氣品質

向清潔能源的轉型必須惠及環境正義群體，他們在歷史上曾遭受過化石燃料燃燒造成的空氣污染的直接影響，而且受到的影響很大。利益相關者對這個計畫的回饋中，已經確定需要擴大基於社區的空氣品質監測，以便協助空氣品質策略的制定和實施，以及衡量這項工作的進展。

麻薩諸塞州環境保護部（MassDEP）經營著一個由 23 個空氣監測站組成的全州網路，其中許多位於有 EJ 群體的社區。雖然這些空氣監測站提供每日污染水準，並長時間跟蹤污染水準，但在人們生活、工作和玩耍的社區的額外空氣監測資料將提供更準確和精細的資料，以協助未來的政策決定。

MassDEP 正在採取措施，通過增加監測站的數量和向城鎮提供數百個空氣感測器，為負擔過重的社區提供更多的空氣監測資源。增加當地的空氣監測，將更好地瞭解社區情況，說明我們衡量進展並制定政策和計畫，以解決承擔污染負擔的特定地理區域的問題。

2021 年，MassDEP 與城市官員和當地社區合作，在麻薩諸塞州切爾西市（Chelsea）建立了一個持續的基於社區的空氣品質監測項目。社區為一個記錄細顆粒物（PM2.5）和揮發性有機化合物的永

久性監測站選擇了位置，還在切爾西周圍設置了九個 PM2.5 感測器。監測資料用於提高當地人對空氣污染的認識。空氣污染物水準升高時，居民將得到警示，以便他們避免接觸（如限制劇烈的戶外活動），並確定污染源，以便採取減排和緩解策略，保護居民的健康。

在切爾西市工作的基礎上，MassDEP 制定了一個新的撥款計畫，向全州各個社區提供多達 10 個 PM2.5 空氣感測器，安置於各個市鎮，重點是幫助 EJ 社區確定污染源，以便採取減排和緩解策略，保護居民的健康。2022 年 1 月，MassDEP 宣佈向 39 個社區提供 292 個空氣感測器，這些感測器目前由這些社區部署和運行。MassDEP 計畫在未來繼續提供更多的空氣感測器撥款。[15]

優先向環境正義社區投資

麻薩諸塞州有著支持中低收入消費者獲得清潔能源的歷史。在 2015 年至 2020 年期間，麻薩諸塞州太陽能貸款計畫（Massachusetts Solar Loan Program）向消費者提供融資，該計畫自 2017 年以來一直面向中低收入客戶。該計畫提供了 5,800 多筆貸款，其中 79%提供給了中低收入客戶。此外，通過麻薩諸塞州太陽能可再生目標（SMART）計畫，該計畫增加了對低收入客戶的激勵措施，並包括一個特別目標，以保護激勵措施對低收入客戶的價值。然而，這些努力可以擴大範圍，以增加低收入群體和 EJ 群體對太陽能的使用和擁有率。麻薩諸塞州

圖 4. 穿過波士頓的 MBTA 公車

[15]MassDEP 已經獲得了《美國救援方案法》（ARPA）的直接聯邦撥款，用於在負擔過重的社區增加監測站，並升級現有的監測器，還申請了競爭性的 ARPA 撥款，以進一步加強在交通繁忙的公路附近的城市 EJ 群體區域的空氣監測。MassDEP 也在“喬治城大學交通氣候倡議”（Georgetown University Transportation Climate Initiative）的推動下，共同領導東北和大西洋中部各州基於社區的空氣品質監測工作組。這個工作組分享各州的資訊，並培養各機構和社區內部的能力，以制定和維持以社區為基礎的空氣品質監測計畫，從而說明提供資訊，協助清潔交通政策和計畫的制定和實施。該工作組將其工作重點放在一線社區，這些社區承受著過度的空氣污染，其中大部分來自移動污染源。

將優先考慮對清潔能源、清潔交通和清潔環境的投資，這將有利於 EJ 群體。例如，麻薩諸塞州海灣交通管理局（MBTA）的公共汽車現代化計畫的目標是：到 2040 年，所有服務中的公共汽車 100%是電動汽車，並為 275,000 名額外的居民提供公共汽車服務。還有一個例子：MBTA 社區的多家庭分區要求（編入 M.G.L. c. 40A 第 3A 節）規定一個 MBTA 社區至少有一個合理規模的分區，其中多戶住宅作為權利得到許可，並滿足法規中規定的其他標準。此外，對 EV 的投資將大大有利於 EJ 社區，投資會優先考慮在這些社區運營的車隊，包括校車、計程車和送貨卡車。

讓中低收入居民能夠負擔得起清潔能源技術

麻薩諸塞州的能源效率和能源轉型項目通過 Mass Save®實施，為中低收入客戶提供具體的、有針對性的激勵措施。最近的 3 年能源效率專案於 2022 年 1 月 31 日獲得批准，要求州政府確定有針對性的公平舉措，包括投資服務於中低收入客戶、英語水準有限的客戶、小企業、租房者和房東，並為勞動力發展設立專項預算。該專案將為中低收入客戶支付 100%的防風雨費用。總的來說，未來的能源效率工作將集中在利用社區和城市的夥伴關係，以提高歷史上服務不足的群體對能源效率專案的參與度。[16]此外，2025/2030 CECP 中包含的所有項目和倡議都旨在提高 EJ 群體在向一個清潔能源的未來過渡的參與度。將通過消費者保護計畫，緩解增加的與清潔能源過渡相關的任何潛在成本。

吸引多元化的清潔能源勞動力

[16]麻薩諸塞州公共事業部在 21-120 至 21-129 號檔案中的命令，參見 https://fileservice.eea.comacloud.net/FileService.Api/file/FileRoom/14461268。

在整個麻薩諸塞州對清潔能源技術進行重大投資，需要一支訓練有素、多元化的勞動力。麻薩諸塞州清潔能源中心（MassCEC）已經開始對以公平為重點的勞動力發展計畫、資源和組織進行前所未有的投資，以應對這一挑戰。

認識到由於一系列的障礙，一些群體在獲得清潔能源行業的職業機會方面面臨著獨特的挑戰，MassCEC 的戰略勞動力投資將為婦女、少數族裔和 EJ 群體創造職業途徑，這有助於一個多元化的清潔能源行業蓬勃發展，從而形成可持續的經濟。

這些投資包括但不限於：支援為 EJ 群體服務的社區組織，以提供勞動力培訓和支援；資助支援服務，如托兒所、對其他語言使用者的英語課程、補充教育、公共交通通行證，以幫助個人競爭和獲得清潔能源方面的工作；向婦女和少數族裔擁有的清潔能源企業提供有針對性的撥款；以及幫助現有清潔能源雇主吸引和留住多元化的員工。

儘量減少負面影響

經濟的去碳化需要對清潔能源基礎設施進行大量投資。為了考慮、評估和最終監管這些基礎設施的建設，並提高決策的包容性，所有的審查、選址和許可過程都需要加強社區參與和公眾參與。舉例來說，能源設施選址委員會（簡稱“選址委員會”）負責審查擬議的大型能源設施，包括發電設施、輸電線路、州內天然氣管道和天然氣儲罐。選址委員會致力於強化公眾參與程式，其中包括向那些主要語言不是英語的人士提供翻譯檔。選址委員會承諾在公開聽證會上依據要求，按照提供預先確定的對特定地理區域有意義的語言，提供口譯服務。此外，選址委員會將繼續改進和加強影響分析和緩解程式來審查擬議的能源設施，包括評估擬議設施的累積健康影響，並在其決定中考慮這些資訊。選址委員會發佈的決定將繼續包括為受影響社區減輕這種影響的措施，在存在 EJ 群體的情況下需要加強審查。

第 3 章：排放分項限額和途徑

為了制定 2025/2030 CECP 的溫室氣體排放限額和各部門的分項限額，麻薩諸塞州已經更新和完善了為 2050 年路線圖研究進行的分析。更新的分析反映了交通、電力和工業部門的關鍵政策的影響。分析評估了五種不同的清潔供暖途徑，以評估住宅、商業和工業供暖（和製冷）部門以及其他經濟部門去碳化的近期和長期政策方法。該分析確定了滿足 2030 年、2040 年和 2050 年法定溫室氣體排放限額的最具成本效益的方式。此外，該分析還為 2025 年整個經濟的溫室氣體排放限額以及 2025 年和 2030 年各個部門的溫室氣體排放分項限額提供參考。本章概述了 2025 年整個經濟的溫室氣體排放限額以及 2025 年和 2030 年各個部門的溫室氣體排放分項限額。本章還解釋了所分析的各種清潔能源途徑的細節。

3.1 設定部門具體的 2025 年和 2030 年分項限額

2021 年《氣候法案》確定了幾個部門，目的是設定與全州每項臨時限額相對應的各個部門的溫室氣體排放分項限額。麻薩諸塞州的溫室氣體排放清單是跟蹤 2008 年 GWSA 合規的主要方法。

住宅供暖和製冷

2021 年《氣候法案》指出，必須為住宅供暖和製冷設定一個部門特定的溫室氣體排放分項限額，作為全州每項臨時限額的組成部分。所有與住宅內燃料燃燒相關的排放將被歸類為住宅供暖，與麻薩諸塞州溫室氣體排放清單中的“住宅”部門一致。除了空間供暖外，住宅供暖還包括所有用於水加熱、烹飪和其他需求的現場燃料燃燒的排放。住宅製冷通常由電力提供服務，與空調有關的排放與發電的所有其他排放一起在“電力”分項限額下進行核算。電加熱系統（包括電阻加熱器和熱泵）也在“電力”分項限額下核算。

商業和工業供暖和製冷

這個類別包括所有與商業和工業設施的供暖有關的溫室氣體排放，加上所有用於製造商品的能源，與麻薩諸塞州溫室氣體排放清單的“商業”部門和“工業”部門一致。除了空間供暖，這些部門還包括所有用於水加熱、烹飪和一系列商業和工業過程的現場燃料燃燒的排放。所有商業和工業設施的用電都計入“電力”分項限額的排放。

交通

交通部門的排放包括麻州內所有公路和非公路車輛的燃料燃燒產生的排放，包括汽車、卡車、公車、火車、建築施工車輛、農場設備和航空，與麻薩諸塞州的溫室氣體排放清單一致。飛機的排放量通過起飛前的航空燃料銷售來估計。所有離場飛機的排放受到跟蹤，而所有到達飛機的排放則不被跟蹤。這是一個跟蹤航空旅行溫室氣體排放的標準方法。[17]

電力

“電力”部門的排放包括：（a）位於麻薩諸塞州的發電廠的燃料燃燒，以及（b）為滿足麻薩諸塞州的電力需求，而在 ISO-新英格蘭的系統中產生或進口的電力的排放。麻薩諸塞州電力部門的排放核算也反映了根據麻州的可再生能源組合標準和清潔能源標準，通過新英格蘭電力聯盟發電資訊系統（New England Power Pool Generation Information System，簡稱 NEPOOL GIS）跟蹤的可再生和清潔能源信用的年度生產量。[18]

天然氣配送和服務

[17]MassDEP 已建議更新其對國際航班燃料消耗的處理方法，將這種燃料消耗從“交通”部門移出，轉入 ″加油 ″類別，與《聯合國氣候變化框架公約》（UNFCCC）確立的排放核算做法保持一致。這個部門的分項限額設定前提是假設該建議被採納。

[18]每一兆瓦時（MWh）的清潔能源產生一個信用點。為了滿足監管要求，每個信用點在被計算為符合要求後必須“退出”。

與天然氣配送和服務相關的排放包括來自天然氣管道、服務、壓縮機和儀錶的逃逸性甲烷的二氧化碳當量，與麻薩諸塞州溫室氣體排放清單的“天然氣配送”和“天然氣傳輸”部門一致。這個類別不包括用於住宅、商業或工業供暖或其他能源用途的天然氣燃燒產生的排放。天然氣燃燒產生的排放被計入上述的“住宅供暖和製冷”以及“商業和工業供暖和製冷”兩個部門。用於電力的天然氣燃燒所產生的排放計入“電力”部門。大量的學術研究已經調查了天然氣洩漏量的估算方法；美國國家環境保護局（EPA）和 MassDEP 都在持續監測這項研究，並在新的資訊出現時對其方法進行更新。對這一類別的未來排放的假設是為了與現有的排放核算方法保持一致，因此對清單核算程式的任何更新都需要更新預測的排放和可能的 1990 年基線排放。

工業加工

工業加工部門的排放包括作為石灰生產副產品的二氧化碳的直接排放，以及作為製冷劑、阻燃劑使用和在某些類型的絕緣材料生產中使用的氟化氣體（F 氣體）的二氧化碳當量，與麻薩諸塞州溫室氣體排放清單的同一類別一致。2022 年 3 月，EPA 更新了估算氟化氣體排放量的方法，氟化氣體是“工業加工”方面的最大組成部分。由於對氟化氣體的未來消耗和排放的估算與以前的方法一致，將 EPA 的新方法納入麻薩諸塞州的溫室氣體排放清單，可能需要更新未來的氟化氣體排放預測。

所有其他排放源

使用上述的定義，分項限額幾乎占了麻州所有的總排放源。只有與農業、垃圾填埋場的固體廢物分解和廢水處理相關的溫室氣體排放沒有體現在具體部門的分項限額中。雖然這些排放源沒有一個特定的部門排放限額，但表 3.1 包括了這些其他排放源，以顯示麻薩諸塞州整個經濟領域的溫室氣體排放總量。

表 3.1 顯示了 1990 年各部門的歷史實際溫室氣體排放量，2025 年和 2030 年兩欄顯示了各部門的溫室氣體排放分項限額。右側各欄顯示了每個部門相對于 1990 年水準的減排百分比。

表 3.1. 2025 年和 2030 年整個經濟的溫室氣體排放限值和各個部門的分項限值

分項限值	總排放量（$MMTCO_2e$）			比 1990 年減少（增加）%	
	1990 年	2025 年	2030 年	2025 年	2030 年
住宅供暖和製冷	15.3	10.8	7.8	29%	49%
商業和工業供暖和製冷	14.2	9.3	7.2	35%	49%
交通	30.2	24.9	19.8	18%	34%
電力	28.0	13.2	8.4	53%	70%
天然氣配送和服務	2.3	0.4	0.4	82%	82%
工業加工	0.7	3.6	2.5	（445%）	（279%）
所有其他	*3.4*	*1.0*	*0.9*	*70%*	*73%*
總計	94.0	63.2	47.0	33%	50%

2021 年《氣候法案》要求麻州設定全州目標，以減少溫室氣體排放和增加自然土地和工作用地的碳封存。雖然對麻州的自然土地和工作用地（包括相關的土地生態系統和衍生產品）如何排放和吸收溫室氣體的核算很複雜，呈動態變化，是不確定的（見第 8 章和附錄 C），但麻州承諾的目標是在 2025 年前保持目前自然土地和工作用地的淨排放水準（估計為每年 -7.0 $MMTCO_2e$），到 2030 年實現 NWL 淨排放比 1990 年水準減少 25%（估計為每年 -7.4 $MMTCO_2e$）。

表 3. 2. 自然土地和工作用地的排放目標

目標	淨排放（MMTCO₂e）				比 1990 年減少（增加）%	
	1990 年	2025 年	2030 年		2025 年	2030 年
自然土地和工作用地	-5.9	-7.0	-7.4		19%	25%

注：淨排放量中的負數是指每年封存的排放量。尚未計入內陸濕地的淨排放。

3.2 設定 2025 年和 2030 年限額和分項限額的最新途徑分析

上述具體部門的溫室氣體排放分項限額是通過去碳化途徑分析制定的，包括對 2050 年路線圖研究的更新和完善。路線圖研究強調了 2050 年實現淨零排放的途徑，並關注一系列長期的技術變革。完善的分析使用了更新的假設，將重點放在 2025 年和 2030 年，確保麻薩諸塞州在 2030 年達到溫室氣體排放限額比 1990 年水準至少低 50%的目標。其他的改進資料包括來自美國能源資訊署（EIA）2021 年年度能源展望（AEO）的更新的能源需求預測。這些更新的預測包括對新冠疫情近期影響的估計，如 2020 年乘用車行駛里程減少，以及根據 EIA 對通勤、遠端工作和旅行的長期趨勢的預測，對出行需求的調整。

在 2030 年實現減排 50%和 2050 年達到淨零排放的途徑分析並沒有直接模擬政策決定，但它模擬了某些政策結果，有助於為政策制定提供依據。該分析反映了將直接影響麻州溫室氣體排放的麻薩諸塞州法定要求和聯邦行動。例如，該分析包括：（a）麻薩諸塞州和新英格蘭其他各州對離岸風電採購的最新授權，（b）遵守最近敲定和新提議的加州 ZEV 標準，這將影響零排放的輕型、中型和重型車輛的採用率，（c）最近和提議的對非能源部門排放源的監管更新，以及（d）更新的

可再生能源組合標準和清潔能源標準即將進行的修改預計將如何影響新英格蘭地區電網排放對麻薩諸塞州的分配。[19]

清潔燃料替代品的生命週期排放以及區域、國家和全球封存市場將如何與麻薩諸塞州的溫室氣體核算相互作用才能遵守 GWSA，因為這方面存在不確定性，類比的目標是在 2050 年溫室氣體排放總量相對於 1990 年減少 90%，而不是法定的最低要求 85%。這種方法與之前 2050 年路線圖研究中使用的假設一致。除了各種更新，此次新的分析重點在麻薩諸塞州建築供暖的去碳化未來。2050 年路線圖研究確定了電熱泵是空間供暖和水加熱減排的關鍵技術，同時也確定了現成燃料替代品的有限作用。從現有的天然氣、燃油和丙烷鍋爐過渡到電熱泵，引起了本分析所評估的幾個關鍵的部署考慮，包括：

- 現有的供暖、通風和空調（HVAC）系統具有較長的運行壽命，因此在其壽命結束時更換最符合成本效益，這反過來限制了採用熱泵的可行速度。
- 電熱泵在低溫下的表現不太有效，雖然目前的熱泵技術可以滿足麻薩諸塞州氣候中大多數建築物的供暖需求，但在一年中最冷的時間裡，使用熱泵會大大增加這時期電力需求，從而會增加電力系統升級的需求。
- 對天然氣管道的持續投資會產生套牢成本，必須由剩餘的天然氣消費者或天然氣公司股東承擔。因此，任何額外的管路投資都必須經過深思熟慮，要謹慎處理。

[19]這次建模還反映了對航空燃料核算的擬議更新，以及該更新如何影響 1990 年的基線，從而影響 2030 年、2040 年和 2050 年的總排放限額。

在制定計劃以實現 2025 年和 2030 年的溫室氣體排放限額和分項限額時，為了分析這些關鍵問題，EEA 為麻薩諸塞州制定了五種不同的清潔供暖途徑，範圍從嚴重依賴清潔燃料到積極的全面建築電氣化。每個場景都反映了一組假設，這些假設描述了滿足 2030 年整個經濟領域內 50%的溫室氣體減排，並在 2050 年實現淨零經濟的一種可能的方法。不同清潔熱能場景之間的關鍵差異在於現有建築用爐和鍋爐的周轉和替換。該模型類比了當每件設備達到其使用壽命時，HVAC 系統的退役，以及用新設備（如電熱泵）的替換。區分供暖和製冷的替換，可以類比一棟建築物的部分電氣化，即空調被替換成熱泵（或在以前沒有空調的建築中安裝熱泵製冷），然後才準備替換其火爐或鍋爐。通過類比庫存周轉，得出新的設備清單，然後通過匯總所安裝設備的每小時能源使用情況，估算每小時的能源需求。該分析包括優化電力系統、燃料生產和輸送系統為滿足能源需求所需的投資，同時遵守法定的溫室氣體排放限額和預期部署的清潔能源資源。[20]

圖 5. 兩位 HVAC 技工在安裝熱泵

對於麻州必須如何實現其氣候目標，沒有一個場景能代表預測或“正確答案”。相反，比較各種途徑的結果，可以深入瞭解不同方法之間的權衡和去碳化的速度。關於途徑分析背後的方法和採用的具體建模工具的更多細節，請參見附錄 A。

清潔熱能場景

[20]所有的資源成本都是基於美國能源部、能源資訊署的預測，或其他文獻審查，包括生物燃料和沼氣的原料成本和供應。

途徑分析評估了體現去碳化供暖策略範圍的五種場景，並探討了上述的關鍵實施問題。每個場景都依賴於一套可用的清潔供暖技術：使用混合清潔燃料的傳統火爐和鍋爐；全電動地源和空氣源熱泵；以及在火爐或鍋爐準備退役之前安裝熱泵空調的情況下部署的“部分家庭式”熱泵系統。下文表 **3.** 3 描述了每一種場景：

表 3. 3. 清潔熱能場景

場景標題	場景描述
參照	目前，住宅客戶從石油和液體丙烷轉向天然氣供暖的趨勢仍在繼續。這個場景並未實現 GWSA 要求的溫室氣體排放限額。
清潔燃料	採用與參照場景相同的供暖技術，但包括廣泛依賴碳中和氣體和液體來實現溫室氣體目標。
混合	到 2030 年快速採用化石燃料和電熱泵的混合利用。燃燒備用品在低溫下仍然很普遍，導致 2050 年對 RNG 和生物燃料有適度需求。
階段性	迅速採用部分家庭式和全屋式熱泵系統，但允許在 21 世紀 20 年代採用化石燃料和電力泵混合系統，此後再進行全屋改造。21 世紀 50 年代使用一些清潔燃料。
高度電氣化	迅速採用全屋式熱泵。21 世紀 50 年代使用一些清潔燃料。與 2050 年路線圖研究中的“所有選項”途徑最為相似。
全面電氣化	以 2050 年建築中不再使用燃料所需的速度，最大限度地採用全屋空氣源和地源熱泵。

3.3 根據分析結果，確定 2025 年和 2030 年的溫室氣體排放限額和分項限額

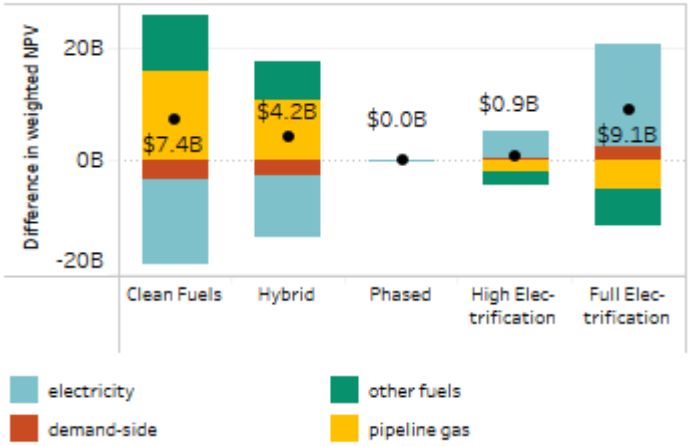
麻州正在採用分析中所用的“階段性”場景，確定 2025 年和 2030 年的溫室氣體排放限額和分項限額，因為它對比分析的其他建築去碳化方法具有長期和近期優勢。階段性場景通過在 2030 年之前部署全屋式和部分家庭式熱泵的組合，推動在 2050 年實現廣泛的建築電氣化，利用盡可能多的幹預點，最大限度地提高庫存的成本效益。這種方法可以在短期內迅速提高電熱泵的採用率，讓消費者從經驗中學習，並培養一支勞動力來說明減少與轉換設備相關的挑戰。2030 年後，階段性場景強調繼續部署全屋式熱泵，同時將所有部分系統轉換為全電動建築，在 2050 年達到與高度電氣化方案相同的全屋部署水準。這個場景避免了套牢化石燃料基礎設施和設備成本，以及與依賴清潔燃料的場景相關的更高風險和更高成本。

所有這五種場景都包括圍護結構的升級部署——絕緣層、窗戶和屋頂——當這些部件需要替換時。建築圍護結構的升級是減少能源系統成本和溫室氣體排放的一項基礎策略。此外，在加州現行和擬議的 ZEV 標準的推動下，所有五個場景都包含了輕型汽車車隊接近完全電氣化和重型車隊到 2050 年的顯著電氣化。車隊的電氣化是交通部門的一項主導策略。電力部門的精確擴展在不同的建築電氣化結果中是不同的。在所有場景中，新英格蘭地區繼續通過部署離岸風能和太陽能資源，以及增加區域輸電能力，整合來自盡可能廣泛的地理區域的清潔資源（特別是來自紐約和魁北克的進口資源），實現電力系統的去碳化。正如在 2050 年路線圖研究中，少量的剩餘熱能發電代表了在不超過排放目標的情況下，實現電網可靠性的一種具有成本效益的方法。完整的分析結果見附錄 A，包括關鍵基準。

關鍵途徑特徵：到 2050 年實現廣泛電氣化

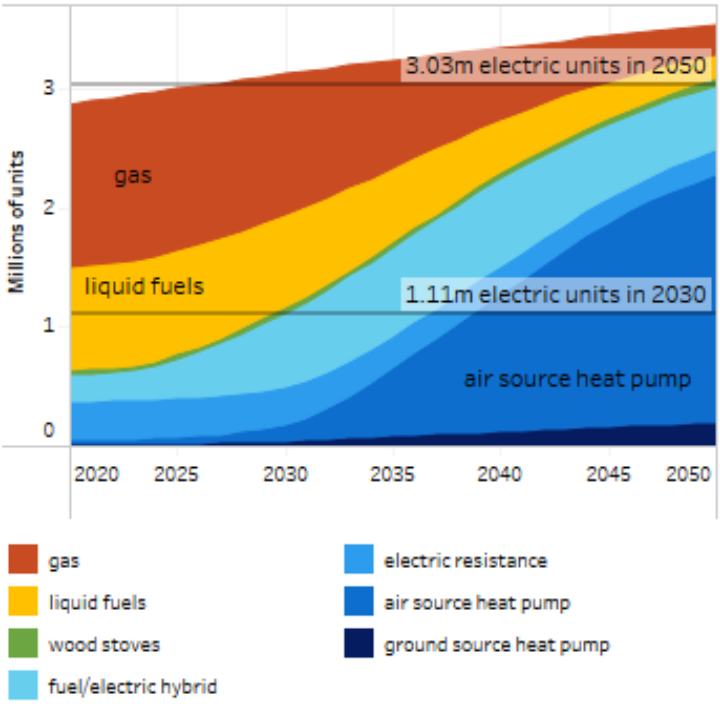
麻州主導的建築去碳化策略是電氣化。與對可再生液體和氣體燃料有較高需求的方法相比，目前預計這是成本最低、風險最低的途徑。特別是隨著技術成本的變化，未來的分析將需要更新與不同途徑相關的潛在成本和風險。根據目前可獲得的最佳資訊，圖 3. 1 以現值為基礎，比較了到 2050 年每個模型場景的成本。階段性場景和高度電氣化場景的總成本最低。儘管混合場景和清潔燃料場景避免了對需求方電氣化的投資和大量的電力系統投資，但節約的費用會因為增加的管道基礎設施成本以及可再生和合成天然氣的成本而抵消。如果生物能源資源的長期供應和成本不能滿足目前的預測，或者如果交通運輸系統沒有像本分析中假設的那樣大幅電氣化（這將需要更多的生物能源資源為運輸系統供電），未來生物能源資源的供應限制將可能增加清潔燃料和混合途徑的成本，甚至超過這些估算值。

圖 3. 1. 每種建模場景的成本比較



推行以電氣化為重點的策略，可以使麻州減少管道天然氣基礎設施投資的風險和額外成本。所有類比的場景都顯示管道天然氣的消費量在下降。因此，任何資本成本和其他與天然氣管道系統相關的固定成本都會導致天然氣輸送價格的上升。雖然所有評估的場景都表明：麻州需要改變現有的天然氣公司的商業模式，並改革零售費率結構，以確保公平和可負擔性，而以電氣化為重點的方法為監管者和天然氣公司創造了機會，即隨著管道天然氣輸送量的下降，逐步淘汰和停用天然氣設施，以減緩天然氣配送價格的大幅上漲，從而促進過渡管理。

圖 3. 2. 住宅空間供暖儲備，階段性場景



關鍵途徑特徵：到 2030 年快速、成本效益高的熱泵部署

儘管以電氣化為重點的去碳化途徑有其優勢，但在某些情況下，將建築物過渡到全屋式熱泵可能花費昂貴，而且替換現有供暖設備的幾率並不頻繁。雖然在麻薩諸塞州的氣候下，現今的熱泵技術可以提供並且越來越多地提供全屋供暖，但熱泵也可以用來取代空調，或為那些目前不使用空調的人提供製冷，同時建築物的空間供暖採用部分電氣化。與全屋改造相比，這種類型的改造通常成本較低，而且階段性方法可以在早期提高採用率。雖然部分電氣化在 21 世紀 20 年代確實避免了成本，但這些節約必須與 2030 年後全面電氣化建築的投資增加相權衡。然而，鑒於目前缺乏有經驗的勞動力和缺乏關於熱泵的普及知識，階段性方法將近期的工作重點放在擴大熱泵市場上，從長期看可能會帶來成本和性能優勢。考慮到迅速推動去碳化工作的迫切需要，我們要更加努力，加強勞動力培訓、擴大供應鏈規模、增長承包商的知識，提高消費者對熱

泵技術的認識。建立市場能力，實現現實的近期目標，同時保持廣泛電氣化的長期目標，對於提供真誠的指導和協調天然氣和電力公司的規劃至關重要。這類工作可以通過確定和規劃近期和長期的電網升級，以及有計劃、有針對性的天然氣系統的退役——而不是繼續擴大，來保持能源服務的可靠性和可負擔性。第 5 章將更深入地討論這些情況和政策方法。

關鍵途徑特徵：可選性和靈活性

除了電氣化，階段性場景還假設到 2030 年管道天然氣的碳強度降低 5%，到 2030 年燃料油降低 20%。儘管分析傾向於採用廣泛電氣化，而不是任何廣泛使用生物能源和合成替代品或綠色氫氣進行建築供暖，但與任何繼續使用現有燃料和氣體相關的溫室氣體排放率需要大幅下降。此外，在幾乎所有模擬的場景中，這些燃料將成為 2050 年溫室氣體淨零排放的一部分，主要因為“電氣化難度高”的部門，如某些工業和商業流程，以及航空和一些小眾車型的工作週期。近期對符合條件的燃料和資源進行試點和評估，是減少 2050 年這些燃料的成本和供應不確定性的重要步驟。因此，本分析中模擬的所有途徑都假定來自某些原料的生物能源混合使用，並且這些燃料有助於滿足麻州的總排放限額和分項限額。未來需要研究和討論，以確定如何將這些燃料納入麻州的政策組合和排放清單核算方法之中。這一假設具有重大的政策意義，具體將在第 5 章中討論。

總的來說，追求全屋式熱泵和部分建築式熱泵的部署，以改造現有建築的供暖系統，並在 2030 年之前啟動清潔燃料替代品的有限試點項目，為麻州的去碳化策略提供了多種選擇的可能性。雖然現有的天然氣管道基礎設施將繼續為客戶提供服務至 2030 年，但不斷下降的輸送量應該會促使人們儘快降低天然氣系統的固定成本。如果清潔燃料和氣體在 21 世紀 30 年代沒有變得豐富和廉價，階段性方法將推動長期電氣化的重要進展，確保實現淨零經濟的一個可行且負擔得起的途徑。

第 4 章：交通系統的轉型

4.1 部門概述

交通是麻州最大的溫室氣體排放源，截至 2019 年，占全州溫室氣體排放量的 42%。

交通部門的污染是由汽車、卡車、飛機和其他車輛的發動機中化石燃料的燃燒造成的。除了導致氣候變化，交通部門消耗的化石燃料還是有毒空氣污染的主要來源，包括顆粒物（PM）和一氧化二氮，損害了人類健康。

1990 年至 2019 年期間，交通部門的排放量仍然很高，但在 2020 年由於新冠疫情的影響而大幅下降。儘管州和聯邦的車輛排放標準逐步提高了車輛的燃油效率，但交通部門的排放卻沒有改善。排放增加的一個主要原因是，在過去 30 年裡，全州的車輛行駛里程（VMT）總量增幅很大。車輛行駛里程的增加是日益繁榮的結果：與 1990 年相比，在波士頓和其他城市地區，有更多的人從事更多的工作。日益增長的繁榮也導致了更多的汽車自駕旅行，以及個人和家庭擁有更多的汽車。麻州的乘用車行駛里程已從 1990 年的 489 億英里增長到 2019 年的 611 億英里。控制人口和經濟持續增長對環境產生的與交通有關的影響是一項重要挑戰，需要不斷協調在州和地方層面的氣候、住房和交通政策。

圖 6. 共用單車 Bluebikes

新冠疫情對我們經濟的所有方面都產生了深遠影響，特別是交通，尤其是在 2020 年。從近期來看，從個人車輛到公共交通工具到航空旅行，新冠疫情導致大多數模式的出行大幅減少。許多在辦公室辦公的企業轉型為員工在家工作，其中許多人可能永遠回不到全職通勤的狀態。在整個麻薩諸塞州，城市和城鎮利用汽車交通的暫時喘息機會，為騎自行車的人和行人開闢道路空間，或建立公

車專用車道，以改善公交服務。自行車和電單車的銷量有所增加，公共小徑和自行車道的使用也有所增加。為本計畫進行的研究估計，2020 年的交通排放下降了 22%。

新冠疫情對交通行為的中長期影響並不明顯。雖然一些居民可能會從減少通勤中受益，但疫情引起的長期出行模式的轉變已經導致通勤和相關旅行中使用公共交通的人數大幅減少，特別是 MBTA 通勤鐵路系統的使用大幅減少。通勤的減少或取消也可能導致更大的郊區擴展，因為人們尋求離市中心更遠的住房，而在這些地方，若要跑腿辦點雜事和其他日常出行，步行、騎自行車和使用公共交通往往並不現實。這樣一來，遠端工作的增加可能會導致車輛行駛里程增加，看起來相互矛盾。由於複雜的全球供應鏈難以跟上激增的需求，這場疫情也可能減緩了電動汽車的近期採用率。

除了乘用車旅行和排放的增長，中型和重型車輛的排放也翻了一番，從 1990 年的 4 $MMTCO_2e$ 增加到 2019 年的超過 8 $MMTCO_2e$，因為在這一時期，運往麻薩諸塞州的貨運量增加，此後更是如此。隨著電子商務的持續增長，送貨卡車成為麻薩諸塞州道路上擁堵和排放的重要來源，因為從倉庫到商店的卡車行程被直接配送到家庭和企業的方式取代。這往往意味著更多的柴油車在居民區行駛。解決日益分散的貨運配送系統的排放和公共健康影響，是我們解決交通排放策略的一個重要組成部分。

自 1990 年以來，航空旅行的污染略有增加，從 1990 年的 4.0 $MMTCO_2e$ 增至 2019 年的大約 4.3 $MMTCO_2e$，這是疫情前全國範圍內航空旅行增加的結果，然後在 2020 年由於疫情而暴跌。通往零排放航空旅行的技術途徑尚不清楚，而且麻薩諸塞州對航空旅行的管轄權有限。因此，我們預計在未來 8 年內，這一領域的減排量不會很大。

交通部門的溫室氣體排放分項限額

2025 年交通部門的溫室氣體排放分項限額設定為 24.9 MMTCO_2e，即比 1990 年水準減少 18%。2030 年交通部門的溫室氣體排放分項限額設定為 19.8 MMTCO_2e，比 1990 年的水準減少 34%。表 4.1 說明瞭 1990 年、2010 年、2015 年和 2020 年交通部門的溫室氣體排放總量，以及 2025 年和 2030 年交通部門的排放分項限額。

表 4.1. 交通部門的排放

交通	1990 年	2010 年	2015 年	2020 年	2025 年	2030 年
總排放量（MMTCO_2e）	30.2	30.8	30.4	23.7	24.9	19.8
比 1990 年減少（增加）%		（2%）	（1%）	22%	18%	34%

注：2020 年的溫室氣體排放是基於 MassDEP 截至 2022 年 6 月的初步估計，而 2020 年之前的歷史溫室氣體排放是基於 MassDEP 在 2022 年 2 月的初步估計。

麻州在設定這一限額時，考慮了許多因素，包括：新的交通技術（如 EV，包括全電動汽車和插電式混合動力汽車）進入市場的速度，麻薩諸塞州和加利福尼亞州現有的和即將實施的汽車排放標準，新冠疫情可能對汽車出行和移動性產生的持續廣泛影響，不同經濟部門減排的成本和效益，以及對旨在減少 VMT 的潛在策略影響的最佳估計。

為了實現 2025 年的分項限額，麻州設定的目標是 2025 年道路上共有 200,000 輛 EV、15,000 個公共充電站。為了實現 2030 年的分項限額，麻州設定了總計 900,000 輛 EV 上路的目標。2030 年的 EV 目標比臨時 2030 CECP 有了很大的提高。這一雄心反映了人們對 EV 銷售的長期軌跡越來越樂觀，因為聯邦政策環境已經改變，最近的聯邦《基礎設施投資和就業法案》（IIJA）中為麻薩諸塞州的 EV 充電提供了資金，加州頒佈了新的車輛排放標準，以及一些已經在制定中的和包含在本

計畫中的額外政策。為了支持這些車輛，本計畫包括到 2030 年建立 75,000 個公共充電站的目標，此外還將增加家庭和車隊車庫中的充電站數量。

4.2 到 2025 年減排 18%，到 2030 年減排 34%

2025/2030 CECP 的交通策略集中於兩個主要目標。第一，儘管預計人口和經濟繼續增長，麻州將通過為更多**的麻州居民提供更多的個人車輛替代方案**，*實現與基線預測相比，總 VMT 的適度減少。*正如利益相關者所述，對我們的氣候政策來說，重要的是州政府繼續投資於公共交通，鼓勵在交通點附近建造更多的住房，改善我們的自行車和行人基礎設施的品質，並投資於繁榮的市中心社區，無論是在波士頓市區還是整個麻州。此外，為了維持遠端工作的增加所帶來的部分減排，與雇主和社區合作，減少不必要的出行，並盡可能支持低碳通勤，這一點非常重要。

第二，麻州將迅速把我們道路上的車輛過渡到 EV。與使用石油燃料的內燃機的汽車相比，電動汽車，無論是電池電動汽車（BEV）還是氫燃料電池汽車（HFCV），都能提供卓越的汽車性能，同時大幅減少全球變暖污染。在未來幾年中，汽車製造商正在提議推出所有車輛類別的許多新的電動車型，包括轎車、牽引車和公車。BEV 的好處包括減少溫室氣體和空氣污染物的排放，燃料成本穩定且普遍較低，以及維護成本普遍較低。

向 EV 的過渡將對家庭預算和州經濟產生深遠的影響。基於當今的技術和能源價格，麻薩諸塞州的一般駕駛者可以從每月超過 200 美元的汽油支出減少到每月約 90 美元的電力支出——通過部署車輛到電網（vehicle-to-grid）技術或管理充電策略，可能節省幅度會更大。減少對石油的支出，意味著麻州將對全球能源價格的波動有更大的抵禦能力，特別是當我們的電力系統有更大的一部分由可再生能源提供時。

雖然 EV 的潛在利益巨大，但要實現快速過渡，需要麻州克服許多電氣化的重大障礙，包括有限的電動車型號和有限的充電基礎設施。雖然從長遠來看，較低的電池成本將使 EV 達到與內燃車“價

格持平”，但目前 EV 的前期成本明顯較高。許多消費者剛剛開始瞭解 EV 的好處，如減少加油的成本，能夠在家裡充電的便利性，因此需要大量的消費者教育。對於車隊經營者來說，向 EV 的過渡帶來了技術、基礎設施和物流方面的複雜挑戰。

為了確保未來的駕駛是全電動的，麻薩諸塞州將實施**汽車排放標準**，要求汽車製造商繼續擴大他們對各種類型的電動技術方面的投資。麻州將考慮為消費者購買 EV 提供**方便的銷售點返利**，並為中低收入居民和行駛里程長的司機提供有針對性的額外獎勵。麻州將從**公平和公共健康**的角度出發，考慮為那些至關重要的車輛和車隊的電氣化提供具體和重點支援，包括校車、公車、最後一英里的送貨車輛和計程車輛。州項目和電力公司項目將幫助部署必要的**充電基礎設施**，以支持公路沿線、停車場、家庭、公寓樓和車隊車庫的 EV 過渡。

隨著道路上 EV 數量的增加，**管理電動車充電**將成為麻州、其機構和部門以及電力公司和市政電廠的一個日益重要的優先事項。EV 將增加對電網的需求。如果大多數人在電力需求高峰期給他們的 EV 充電，這種額外的負荷可能會給電網帶來過大的壓力，需要電網投資。各種技術和政策（包括需求方管理、增加變電站的容量，以及教育客戶在最佳時間為他們的車輛充電）將簡化 EV 與電網的連接。如果 EV 大多在電網利用率低的時候充電，它們可以幫助最大限度地利用電網資源，為消費者節省大量成本。部署車輛到電網或車輛到建築（vehicle-to-building）的技術，讓 EV 用於電網儲能，可以提高 EV 的效益。本計畫要求對 EV 充電進行積極管理，以最大限度地提高採用 EV 的效益，並儘量減少所有消費者的成本。

交通污染和環境正義

來自汽車和卡車的污染影響著所有麻薩諸塞州居民的健康，但一些社區比其他社區面臨著更大的交通污染負擔。生活在公路附近社區和城市密集地區的人們，暴露在更高水準的汽車交通污染中。重要的貨運地帶、港口、倉庫和配送中心附近的社區裡，商業貨運中使用的柴油車排放的顆

粒物和一氧化二氮水準更高。特定的社區（如洛根機場（Logan Airport）周圍的社區）和有大量卡車交通和柴油依賴活動的海港社區（如切爾西、Everett 和 New Bedford），是已知的交通排放熱點。總的來說，憂思科學家聯盟的分析表明，有色人種社區比以白人為主的社區面臨更多的交通污染。[21]

為了減少交通污染對 EJ 社區的有害健康影響，最有效的策略是使在 EJ 社區運行的柴油車輛實現電氣化。研究表明，在一系列潛在的清潔交通投資中，柴油車輛（如送貨車和校車）的電氣化，改善空氣品質的潛力最大。最後一英里的送貨車輛是一個適當的電氣化目標，因為這些車輛行駛在相對較短、可預測的路線上，並在居民社區內運行。公車和校車也將是最優先的電氣化目標，目前這兩個領域的工作正在進行之中。認識到 EJ 群體的歷史負擔，清潔交通政策將提供額外的激勵措施，鼓勵 EJ 社區內運行的公共和私人柴油車輛的電氣化，並提供技術和基礎設施支援。

不斷改善公共交通是麻州的政策議程之一，特別是因為許多交通服務是麻薩諸塞州成千上萬的中低收入居民的重要生命線。為了最大限度地發揮公共交通的效益，包括氣候效益，麻薩諸塞州各市需要允許在交通點附近建造更多的住房。麻薩諸塞州的“住房選擇倡議”（Housing Choice Initiative）和 MBTA 社區的新的多戶分區要求正在開始與地方政府合作，促進建設交通點附近的住房。

此外，麻州將努力改革現有的 EV 獎勵計畫，使其更面向中低收入居民。已經實施的項目將過渡到在銷售點提供獎勵，對中低收入的司機增加獎勵，以及電單車獎勵。通過其現有的“加速全民清潔交通”（ACT4All）專案，MassCEC 將繼續與在 EJ 社區運營的社區合作夥伴合作，一起為清潔交通提供撥款機會。

[21]Pinto de Moura, Maria Cecilia, David Reichmuth, “Inequitable Exposure to Air Pollution from Vehicles in the Northeast and Mid-Atlantic,” Union of Concerned Scientists, 2019.（下載網址 https://www.ucsusa.org/resources/inequitable-exposure-air-pollution-vehicles）。

EV 充電的有效管理已經提出了在公平和環境正義方面的重要考慮因素。如果 EV 在用電高峰期充電，可能會增加擴大和建設配電系統的需求。在用電高峰期生產電力也會增加“調峰工廠”的運作，而這些工廠往往有很高的排放率。因此，負責任的電網管理是《計畫》中 EV 策略的一個重要組成部分。作為交通和建築熱能電氣化的一部分，配電公司將需要制定和實施新的電價設計，並安裝先進的計量基礎設施，以鼓勵 EV 在非高峰使用期充電。

以下是麻薩諸塞州為實現 2025 年和 2030 年的交通部門分項限額而制定的清潔交通策略的詳細描述。

策略 T1：促進個人汽車旅行的替代方案

隨著麻州經濟和人口的持續增長，麻州將尋求實現 VMT 低於基線預測的持續減少。

在麻薩諸塞州的許多社區，個人車輛的日常使用是生活中必不可少的一部分。發展模式和分區條例有利於單戶住宅和單一用途的住宅社區，目的地相距甚遠的，意味著許多居民除了汽車外，幾乎沒有其他實際的出行選擇。為自行車和行人提供很少保護的交通基礎設施會使人感到步行或騎自行車很危險。同時，對擁有良好的步行、自行車和交通基礎設施的社區的發展限制，使得這些社區的成本對許多人來說過於昂貴。

要改變這些實際情況，需要社區改變對土地使用、城市規劃、住房和交通的思考方式。這需要州機構、聯邦當局和地方政府之間的密切協調；要求地方政府改變其使用土地和公共空間的方式。還要求雇主思考他們如何能夠為減少不必要的出行作貢獻。

IIJA 為麻州投資交通系統提供了一個前所未有的機會。感謝 IIJA，麻薩諸塞州將在未來五年內收到超過 40 億美元的交通規劃資金——即根據國會制定的規劃，為特定用途提供的資金。[22]雖然這

[22]並非所有這類資助都是新的資助專案。大多數新的資助都是用於修理現有的基礎設施。

些資金大部分都用於某些類型的交通投資，但它確實提供了改造現有基礎設施的機會，以便更好地支援多模式交通和非車輛出行。這個機會為麻州提供了新的聯邦資金，用於擴大 EV 充電樁網路。此外，IIJA 為麻薩諸塞州提供了申請競爭性撥款的機會，旨在滿足各種各樣的出行和社區需求。聯邦指南指出，具有減排潛力的交通項目以及其他標準將優先獲得撥款。這筆資金為麻州提供了一個機會，將資金用於具有最佳減排潛力的專案。

一些利益相關者已經要求對 MBTA 通勤鐵路線的電氣化進行大量投資。雖然從長遠來看，一個零排放的通勤鐵路系統將是麻州整體去碳化解決方案的一部分，但在 2025/2030 CECP 中，與通勤鐵路電氣化相關的成本尚未調整並納入更新的 2050 年路線圖研究中。未來的工作將需要研究通勤鐵路系統電氣化的詳細成本和效益。

鼓勵在交通站附近劃分多戶家庭區域

普及並增加使用公共交通的最有效策略之一是在公共交通站附近建造住房。目前，許多城鎮公共交通便利，但分區要求要麼禁止建設新的多戶住房，要麼新的住房開發需要經過漫長、不可預測的許可過程。

最近對州分區法的修改要求 MBTA 服務區內的 175 個社區至少要有一個合理規模的分區，在這個分區中，多戶住宅作為權利得到許可。多戶家庭分區必須位於地鐵站、通勤鐵路站、輪渡站或公共汽車站（如適用）的半英里範圍內。這項新要求為麻州提供了一個機會，在公共交通站點附近創造數以萬計的新住房單元的容量，這樣有可能降低住房成本，減少道路擁堵，並最終減少交通排放。麻薩諸塞州住房和社區發展部（DHCD）在與 MBTA 和 MassDOT 協商後，將在今年發佈最終指南，為社區如何遵守這項新要求提供建議。DHCD 和其他住房機構預計將為城鎮提供重要的技術援助，以創建新的多戶家庭分區。

除了這個倡議之外，各州機構將繼續支持麻薩諸塞州的各個城鎮，以解決智慧增長和以交通為導向的發展中的一些額外障礙，如過度的停車要求、最低地段面積要求、預留、對附屬住宅單位的限制，特別是這些規則限制了公共交通站點附近的住房建設。麻州將繼續提供一個智慧增長/智慧能源工具包，為地方政府實現智慧增長目標提供技術支援。[23]州長提出一攬子分區改革，並在 2021 年 1 月簽署成為法律，為地方一級採用住房最佳實踐創造了一個預測性更高的過程。通過將某些促進住房建設的分區措施所需的投票門檻從絕對多數降低到簡單多數，麻州已授權地方政府批准支持住房的分區和開發，鼓勵增加密度和智慧土地使用。

支持並執行 MBTA“公車現代化計畫”

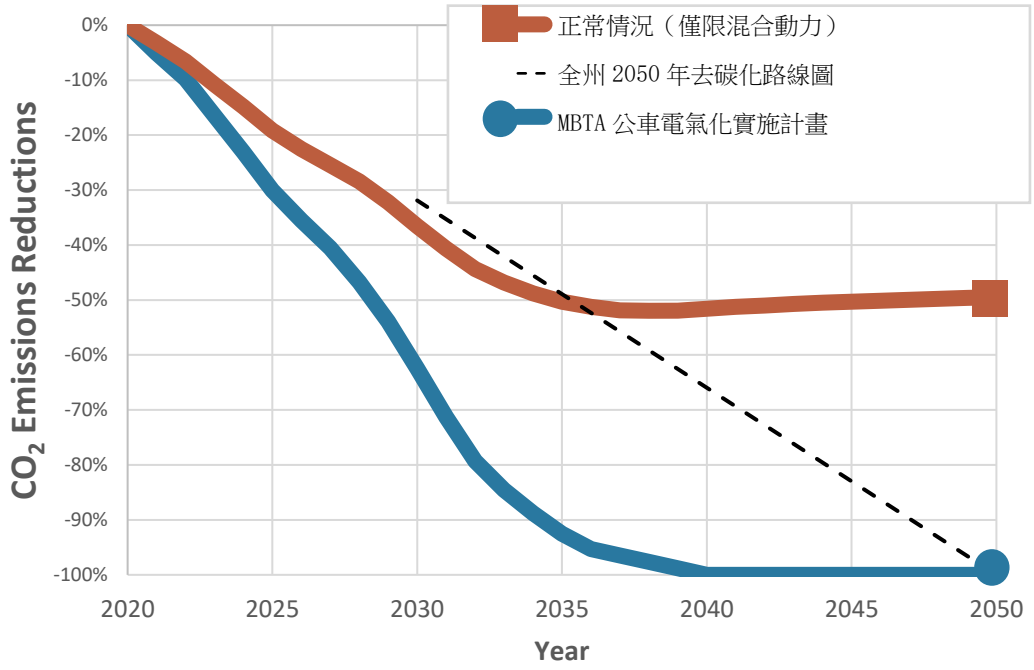
MBTA 正堅定不移地致力於在 2040 年前，將其整個公車車隊轉換為電池電動公車——這是美國最積極的公車電氣化時間表。這一大膽的努力與 MBTA 的長期目標相一致，即為麻薩諸塞州東部提供可靠、公平和清潔的公交運輸。MBTA 公車現代化計畫包括購買新的和更清潔的公車，建設多個新的維修設施，配備電池電動公車，並修改現有的公車路線和時間表，以更好地反映公車乘客的需求。雖然 MBTA 已經為這項重要工作的第一階段規劃了資金，但為了保持整個計畫的進度，並說明 MBTA 實現其 2040 年公車隊去碳化的目標，還需要州和地方政府的多機構合作以及資金和土地收購方面的支援。

根據公車現代化計畫，MBTA 將部署電池電動公車，同時對其公車維修設施進行現代化改造，以改善工作條件、擴大容量，並納入充電基礎設施。隨著新設施的投入使用，MBTA 將在這些設施中配備電池電動公車——2023 年開始對 North Cambridge Carhouse 進行改造（35 輛公車），2024 年在昆西的新設施（開始有 45 輛電動公車，可容納 120 輛），2027 年在波士頓 Arborway 的新設施（200 輛公車）。如果 Arborway 專案的必要資金和土地已經到位，支持在 2027 年完工，那麼到

[23]https://www.mass.gov/service-details/re59r09-smart-growth-smart-energy.

2028 年，MBTA 的公車隊中大約有三分之一將是電動車。到 2030 年，隨著威靈頓和林恩（Lynn）更多設施的完工，超過一半的車隊將採用電動車；同樣，前提是資金和土地到位。其餘的設施計畫每 2-3 年完成一批（見下文）。

圖 4. 1. 基於 MBTA 公車電氣化計畫的減排預測



為了替換最老的柴油公車，並在過渡到全電動公車的過程中為乘客提供可靠的服務，MBTA 目前正在採購高效混合動力公車和電池電動公車。這將讓 MBTA 在不影響乘客服務的情況下，隨著新的電氣化維修設施的建成，逐步將電動公車納入車隊。所有這些公車將比它們所取代的公車更清潔、更安靜。具體而言，新的混合動力公車將允許有地理上的“綠色區域”。這些確定的地理區域由 GPS 啟動，可以以這些區域為目標，在學校、公園、醫院和 EJ 社區附近（作為潛在的例子），消除發動機的使用，從而消除排放。

正在進行的電池電動公車採購支持到 2040 年過渡到全電動車隊。MBTA 預計在 2022 年 12 月前選擇一個公車製造商，新的 BEV 將在 2023 年為 MBTA 公車乘客投入服務。

在整個 2022-2028 年期間，MBTA 還將對其公交線路和班次進行調整，這有助於更好地滿足需求，使公交成為更多人更好的出行選擇。目前，該計畫正在制定中，它將創造更多的全天服務，在繁忙的社區提供更多的服務，並連接更多的地方。在擬議的新網路中，MBTA 將把整個 MBTA 網路提供的高頻公車服務增加一倍，這是多年來公眾參與過程的產物。將有近 30 萬人可以享受到每週 7 天、15 分鐘一趟或更好的全天服務。在 MBTA 的服務範圍內，70%的有色人種居民將獲得高頻率的服務，一半的低收入家庭將獲得高頻率的服務。擬議的新網路還將增加週末服務，週六的服務增加 36%，周日的服務增加一倍。

MBTA“公車現代化計畫”將有意義地改善 MBTA 地區的公車運輸，基於更方便的網路和時間表，用更清潔的公車運送更多的人，並由現代化的高效維修設施提供支援。

增加對 MassDOT“完整和共用街道計畫”的支持

通過 MassDOT 的“完整和共用街道和空間”市政撥款計畫，麻薩諸塞州各市鎮已投資超過 1 億美元，用於鼓勵主動運輸的交通專案。這些資金被用來建造自行車或公車的專用車道、更好的人行道、為殘疾人提供更好的無障礙設施、更好的社區場所和空間，以及促進行人安全的街道設計。這些項目通過降低車速，為騎車人和行人提供免受汽車影響的保護，使社區更加安全。安全的改善有助於增加步行和騎自行車，減少當地和短途出行的車輛使用率，減少排放，並使公共空間更加健康。同樣，MassDOT 與 EEA、保護和娛樂部（DCR）以及各市合作，為麻州逐步建立一個共用使用的道路/小徑網路，減少對駕駛的依賴，增加人們步行和騎車的機會。麻薩諸塞州的小徑網路目前達 687 英里，還有 308 英里有待建設。

有了額外的資金，麻薩諸塞州可以擴大和加速所有這些專案的工作，為更多的社區服務，並提供更多、更安全的私家車替代方案。這些項目只是麻薩諸塞州為所有交通投資帶來多模式思維的一

種方式，優先考慮對所有道路使用者有利的交通基礎設施項目，而不是那些促進汽車專用的項目。

與雇主合作，減少單人乘車通勤

MassDEP 目前正在實施《麻薩諸塞州共用乘車條例》（Massachusetts Rideshare Regulation）（310 CMR 7.16），該條例要求某些設施執行和維持旨在實現單人乘車（SOV）通勤減少 25%的非約束性目標的措施，並製作年度報告，詳細說明為實現該目標所採取的步驟。擴大這一條例的範圍或利用某種補充方法，可以幫助減少交通擁堵、空氣污染和溫室氣體排放。作為 2025/2030 CECP 下麻州以通勤者為重點的政策整體更新的一部分，MassDEP 將評估遠端工作在麻州經濟的未來及其溫室氣體減排和 VMT 減少策略中可能發揮的作用。

啟動電單車激勵計畫

電動自行車是一種相對較新的技術，有可能擴大一些用戶的主動出行選擇。通過為用戶提供電動馬達的額外動力，電單車成為了一種有趣的、零排放的騎行方式，與傳統自行車相比，它可以去更遠的地方，承載更多的貨物。研究證實，電單車有可能取代一些上班族的汽車出行。充分利用這項技術，需要激勵措施和持續改善的自行車基礎設施，以確保電單車用戶和行人的安全。EEA 和 MassCEC 目前正在資助促進社區電單車的項目，作為 Worcester、先鋒穀、the Berkshires 的撥款項目的一部分，並作為 Allston 的最後一英里送貨的解決方案。EEA 將尋求以全州範圍內的電單車激勵措施來補充這些投資。此外，EEA、MassDOT 和 DCR 將與立法機構合作，更新基本法規，行政部門將制定電單車條例，促進所有道路使用者的安全。

策略 T2：實施協調的先進清潔車輛排放和銷售標準

聯邦法律通常不允許州政府制定自己的車輛排放標準。然而，根據《清潔空氣法案》（Clean Air Act）第 209 條，加州和加州空氣資源委員會（CARB）有獨特的權力來制定獨立於聯邦政府的車輛

排放標準。根據《清潔空氣法案》第 177 條，麻薩諸塞州和其他參與州可以選擇採用加州的車輛排放標準。現有的麻薩諸塞州法律要求麻州採用加州的標準，前提是加州標準比聯邦標準更能保護公眾健康。

圖 7.EV 插入充電樁

“先進清潔汽車”（Advanced Clean Cars）計畫由 MassDEP（和 CARB）在 2012 年頒佈，涵蓋 2012 年至 2025 年期間生產的乘用車，要求汽車製造商在麻薩諸塞州和其他參與州增加 ZEV 的製造和銷售量。這個計畫是迄今為止汽車電氣化的主要驅動力之一。加利福尼亞州目前正在推進 2025 年後的條例，將首次為所有乘用車的銷售設定 100%的零排放途徑，以及對中型和重型車輛的新銷售要求。麻州也在效仿。

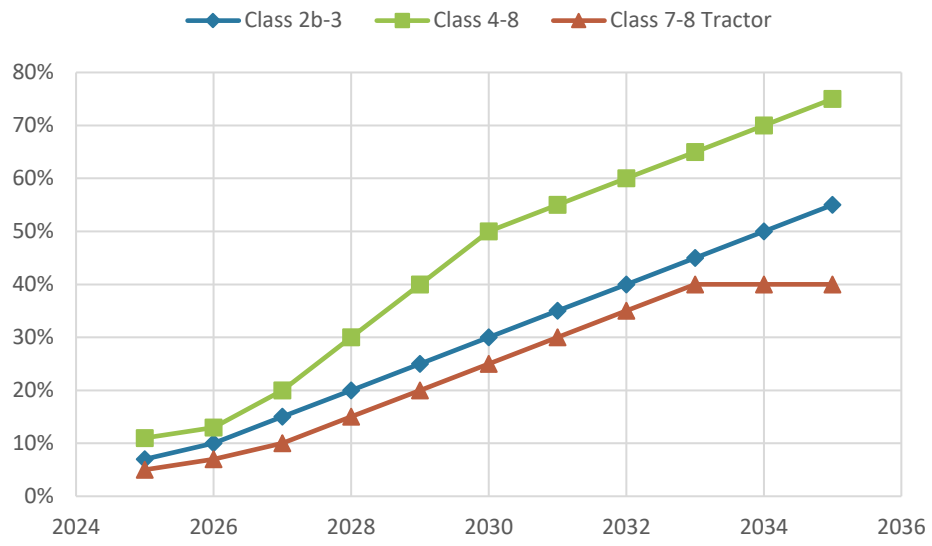
先進清潔汽車 II（Advanced Clean Cars II）

根據 Newsom 州長 2020 年的行政命令，加州目前正在頒佈新的《先進清潔汽車 II》條例，要求零排放乘用車銷量持續增長，直到 2035 年，ZEV 銷量達到所有乘用車銷量的 100%。麻薩諸塞州是第一個贊同這一目標的參與州，並將在 2022 年底前頒佈下一輪條例。

先進清潔卡車（Advanced Clean Trucks）

除了“先進清潔汽車”計畫，2021 年，CARB 頒佈了《先進清潔卡車（ACT）規則》，要求增加零排放的中型和重型車輛的比例，不同的車輛類別有著不同的 ZEV 銷售要求（圖 4.2）。MassDEP 在 2021 年按照法規要求通過了這一規則。ACT 規則將從 2025 年車型開始，對卡車和公車製造商提出強制性銷售要求。

圖 4. 2. 含有 ZEV 銷售要求的先進清潔卡車規則



策略 T3: 擴大電動汽車激勵措施

雖然車輛排放標準確保製造商不斷生產更多的 ZEV，但還需要額外的支援，以確保麻薩諸塞州的消費者可以利用新技術。麻薩諸塞州自 2014 年 6 月起，通過 MOR-EV 計畫為購買 EV 提供返利。從那時起，超過 24,000 名麻薩諸塞州居民獲得了購買 EV 的返利。目前，BEV 的返利價值為 2,500 美元，插電式混合動力汽車的返利價值為 1,500 美元。

實現 2025 年和 2030 年的交通排放限額，需要 EV 獲得更廣泛的消費者，超越早期採用者，進入主流市場。為了加速採用速度，麻薩諸塞州將改革目前的 EV 激勵計畫，以提高普及性。一項關鍵的改革是讓消費者在購買車輛時在經銷商處獲得獎勵，而不是在購買後等待返利。麻薩諸塞州將把激勵措施針對中低收入的購買者和較便宜的車型，這方面激勵資金可以影響更多的消費者決定。

對所有 EV 消費者的返利並沒有計畫成為麻薩諸塞州政策的一個永久特徵。大多數行業分析師預測，不斷降低的電池成本和不斷增加的銷售量，加上越來越嚴格的車輛標準，將允許 BEV 在這十年內無需激勵措施，實現與內燃車的價格持平，至少對乘用車是這樣。此外，隨著 EV 銷量的增

加，為每次 EV 購買提供激勵的成本將變得不可持續。因此，我們現在的改革將幫助我們在未來過渡到一個有針對性的援助項目。

實施 MOR-EV 改革

根據麻薩諸塞州能源部（DOER）的協力廠商獨立 MOR-EV 成本效益研究的建議，EEA 將實施改革，提高該州計畫的公平性和成本效益。[24]麻州將尋求確立銷售點返利，並對中低收入居民和行駛里程長的司機提供新的額外激勵措施。

圖 8. 智慧勞動和搬家公司 EV 卡車

維持 MOR-EV 卡車

中型和重型車輛只占道路車輛的不到 10%，但它們的排放量卻占溫室氣體排放總量約 40%。[25]麻薩諸塞州在 2020 年推出了第一項針對電動中型和重型車輛的激勵措施，即 MOR-EV 卡車，該措施為麻薩諸塞州的中型和重型車輛（從 2b 級卡車到 8 級牽引拖車和公車）提供購買激勵。只要激勵措施有助於促進這一市場的發展，麻州將維持這些措施的執行。

策略 T4：加快具有重大公平和公共健康影響的車隊的電氣化進程

作為公平過渡到清潔交通的承諾的一部分，麻州將加快公共和私人車隊的電氣化，這有助於擴大電動交通的普及，或解決受交通污染嚴重影響的社區的排放問題。

加快計程車輛的電氣化進程

[24]Massachusetts Offers Rebates for Electric Vehicles (MOR-EV) Cost-Effectiveness Study: 2014-2020 Program Results Summary，Synapse Energy Economics 為麻薩諸塞州能源部準備的獨立研究，2022 年 3 月 2 日（可訪問 https://www.mass.gov/doc/zev-commission-april-15-2022-mor-ev-cost-effectiveness-study-32922/download。）

[25]ICCT，參見 https://theicct.org/publication/transitioning-to-zero-emission-heavy-duty-freight-vehicles/

計程車輛是加速 EV 應用的獨特機會。網約車、汽車共用和計程車車隊所駕駛的汽車行駛里程長，面向公眾，而且低收入居民駕駛的比例非常高。計程車輛的電氣化可以成為一個機會，即在低收入和 EJ 群體的社區提高充電基礎設施的利用率，為更廣泛的採用鋪平道路。麻州將實施一項計畫，實現這個子部門電氣化，包括擴大激勵措施，支持基礎設施以及推廣和教育。麻州將考慮如何在洛根機場使用和獲得激勵措施，因為大約一半的計程車和很大比例的網約車出行是在洛根機場開始和結束的。因此，為在洛根機場開始或結束的網約車出行的電氣化提供獎勵，有助於刺激計程車採用 EV 技術。

加快送貨卡車的電氣化進程

如上所述，消費者對短途送貨需求的長期增長和倉庫配送的不斷增加，導致溫室氣體排放、噪音污染、城市道路和路邊擁堵以及對當地社區的健康影響問題日益嚴重，這些負擔極大程度落在低收入社區和有色人種社區。此外，自新冠疫情開始以來，電子商務銷售增加了 34%。超過 40%的餐館在其服務中增加了送貨選項，21%的消費者首次嘗試使用送貨服務購買雜貨，所有這些趨勢預計將在疫情之後繼續下去。為了適應市場的這些變化，同時實現這個部門的排放限額目標，MassCEC 將繼續制定計劃，為企業提供獎勵，以減少里程長、低半徑的車隊的排放量。替代傳統車隊擴張的方法包括車輛轉用零排放技術、工作週期管理、路線規劃、分區和減少怠速。

加快校車的電氣化進程

柴油校車使得兒童在上車、下車時和車內接觸到廢氣，加劇了哮喘等疾病，並可能影響到學生的成績。校車是一個很有希望的電氣化機會，因為它們往往沿著可預測的路線行駛，在現代電動公車技術的覆蓋範圍內。校車使用大型電池，加上校車在白天或晚上經常不使用，這意味著電動校車可能在電力需求高峰期中，作為電力儲備發揮強大的作用。此外，IIJA 的聯邦資源為校車的快速電氣化提供了直接的機會。通過“加速清潔交通：校車”（Accelerating Clean

Transportation: School Bus）計畫，MassCEC 將與學區和校車車隊管理者合作。MassCEC 將提供基礎設施和技術支援，以確保麻薩諸塞州的學校做好準備，利用聯邦資金支持校車車隊的快速電氣化。

向社區組織撥款，減少交通排放量

通過 ACT4All 專案，EEA 和 MassCEC 與社區組織直接合作，支援減排工作，重點放在提高出行便利性，改善 EJ 社區的空氣品質，實現 EV 消費群體的多元化。該專案為社區領導者提供了提出自己的想法和創造性解決方案的機會，來應對排放和交通問題。這個項目的第一次反覆運算促成了一系列的項目想法，如在 Allston 使用載貨電單車提供最後一英里送貨服務的建議，在 Quincy 面向移民社區的教育和宣傳活動，以及在先鋒穀提供社區使用的電單車的計畫。EEA 和 MassCEC 將繼續與社區合作，提供更多的機會來資助清潔交通專案。

策略 T5：建設電動汽車充電站並鼓勵智慧充電

對充電基礎設施的需求仍然是 EV 使用主流化的最重要的組成部分之一。大多數 EV 充電將在家中進行。在家中安裝充電基礎設施，對 EV 消費者來說會產生額外的成本，也很麻煩，而租戶和住在大型公寓樓的人則無法獲得家庭充電。公共快速充電站對支持長途旅行至關重要，並可能發揮重要作用，支持一些用戶在社區地點充電。對於一些用戶來說，在工作場所充電可能是一個很好的選擇，特別是在無法立即獲得家庭充電的情況下。

無論在哪裡充電，管理 EV 充電對電網的影響，是可能影響 EV 採用成本和效益的系統性問題之一。考慮到 EV 充電對電網的影響，鼓勵在非高峰期充電將至關重要。雖然麻薩諸塞州的主要配電公司已經制定了積極的需求回應計畫，說明鼓勵客戶管理他們的充電，但這些計畫規模仍然很小，而且沒有得到充分利用。麻州與電力公司需要採取更多措施，鼓勵客戶加入充電管理計畫，確保該州的電力基礎設施繼續得到有效利用。

沿著公路走廊建立快速充電系統

IIJA 在五年內為麻薩諸塞州提供了約 600 萬美元，用於資助建設主要公路沿線的快速充電站。MassDOT 和 EEA 正在合作制定和實施計畫，以支援這些快速充電站的建設。IIJA 也為麻州提供了競爭性撥款機會，以支援基於社區的充電地點。

支持直流快速充電的部署

麻薩諸塞州鼓勵私人部門投資快速充電基礎設施，以減少整體公共資源的負擔，支持私人車輛的電氣化。反過來，這將鼓勵 EV 的採用，因為看到更多的公共充電能力，將減少 EV 司機的“里程焦慮”。麻州將探索競爭性撥款的潛力，以展示創新的充電系統基礎設施系統和商業模式。除了充電站所有權和運營創新，EEA 和 DOER 將利用太陽能和/或存儲與充電站的配對，作為管理財務影響和電網影響的方法。

要求所有的新建築都要為充電設施做好準備

EEA 和 DOER 將為各市制定一個示範建築規範，要求在所有新的商業和住宅建築中為充電設施做好準備。新的建築擴展規範提案將要求新的 1-4 個單元的住宅若帶路邊停車位的，至少提供 1 個 EV 停車位，並將要求大型公寓樓中至少 10%的停車位是 EV 停車位。擴展法規還將要求新的商業停車場中至少有 10%的停車位為 EV 停車位。這項工作預計私營部門將繼續安裝充電基礎設施，並在第一階段的部署後回應消費者的需求。

支持住宅智慧充電

大多數 EV 在家充電，這是 EV 基礎設施安裝最便宜的地方，也是負荷控制最容易的地方。麻州目前正在評估配電公司提出的方案和計畫，以使安裝家庭充電站對願意簽約充電管理的客戶來說盡

可能實惠和方便。此外，州計畫或電力公司的計畫將幫助支持在公寓樓安裝充電站，從而在某些情況下支援希望在家裡充電的租戶。

策略 T6：吸引消費者，促進市場發展

為考慮向電動汽車過渡的車隊經營者提供技術支援

對於大型車隊運營商（如商業送貨卡車），將車隊過渡到採用 EV 是個很複雜的決定，需要考慮技術能力、基礎設施、路線設計、成本和資金。MassCEC 已經制定了一個車隊諮詢服務計畫，可以說明在車隊經營者過渡到 EV 時提供資訊。它將用直接的基礎設施支援來補充這個車隊諮詢服務計畫，以確保向 EV 過渡對公共和商業車隊來說是具有成本效益的。

宣傳和客戶支援

輕型車輛的潛在 EV 購買者對該技術有許多疑問，包括如何充電、在哪裡充電、如何處理充電站的費用、如何安裝充電站、在哪裡找到公共充電站等等。MassCEC 將繼續與直接對消費者進行宣傳和技術支援的組織合作並提供支援，以幫助完成 EV 的過渡。宣傳工作（如騎行和駕駛活動，表彰儀式，以及創建可訪問的公共資訊）對推進這一過渡至關重要。MassCEC 將致力於協助對所有購買決策者的宣傳，特別要關注中低收入消費者。

支持建立一支 EV 勞動力隊伍

為了滿足麻州的去碳化和溫室氣體排放的分項限額，需要大量的零碳交通技術和配套的基礎設施。MassCEC 正在進行勞動力需求評估，以支援 2030 年的目標技術推廣。這項研究的一個預期結果將是制定勞動力發展需求的框架，這將有助於將所學到的經驗整合到後續的計畫中，對不斷增長的清潔交通部門的工人提供培訓和再培訓。

對電氣化難度高的領域進行調查並實施試點方案

鐵路、公路重型或長途貨運，以及港口和海運車輛實現電氣化的難度很大，或者非常昂貴。麻薩諸塞州將制定策略，讓這些運輸模式去碳化，並酌情試用各種技術方法。具體而言，正如 2050 年路線圖研究中所討論的，先進的合成燃料和氫氣也許是可行的途徑。麻州最近已經承諾加入一個區域聯盟，為這些應用和其他應用探索氫氣項目。[26]

支持短途航空

電氣化的短途航空設備方案已接近商業準備狀態。電氣化航空（EA）基礎設施，包括充電站和能源儲存，將是支援這一領域發展的必要條件。早期採用者最有可能包括全州的區域機場，最明顯的是在 the Cape 和 the Islands 上。對示範項目的有針對性的投資（特別是 EA 充電基礎設施），將有助於加速採用，並吸引私營部門對這一重要的低碳交通方式進行投資，並建立麻薩諸塞州在這一領域的領先地位。

S

[26] https://www.nyserda.ny.gov/About/Newsroom/2022-Announcements/2022-03-24-Governor-Hochul-Announces-Multi-State-Agreement-on-Hydrogen.

第 5 章：建築物改造

5.1 部門概述

麻薩諸塞州的建築部門是龐大而多樣化的，有超過 200 萬棟獨立的建築，包含廣泛的建築類型、居住需求、所有權和設備。雖然麻州的建築物的能源需求根據樓齡、配置、大小和用途各有不同，但空間供暖通常推動著建築物的能源需求。水加熱、烹飪和電器構成剩餘的建築能源使用途徑。在麻薩諸塞州，大約有一半的居民家庭使用管道煤氣進行空間供暖，略低於三分之一使用交付的石油產品（燃料油或丙烷），大約 15%使用電阻加熱和空氣源或地源熱泵。在麻薩諸塞州，大約四分之三的商業面積使用天然氣供暖，其餘的採用石油、電力和區域蒸汽系統。電燈、空調、電腦、電器和其他“插頭負載”大多由電力驅動，最高約占麻薩諸塞州總電力需求的四分之三。

按照麻州在 2009 年採用的核算慣例，“建築”部門的溫室氣體排放包括現場燃燒化石燃料用於空間供暖和水加熱的排放。與用電有關的溫室氣體排放情況在“電力”部門報告。自 1990 年以來，與發電相關的溫室氣體排放已經減半，並有望在 2030 年之前進一步下降，到 2050 年降至幾乎為零，參見第 6 章中的進一步解釋。住宅和商業建築的減排最終取決於通過提高效率的措施來減少總的能源需求，並讓建築供暖需求不再通過化石燃料來滿足。

自 1990 年以來，住宅和商業建築的燃料燃燒產生的溫室氣體排放總體呈下降趨勢。能源效率措施（包括增加建築圍護結構的絕緣性和安裝高效率的鍋爐和爐子）在過去幾十年裡幫助減少了化石燃料的消耗和相關溫室氣體的排放。同時，歷史上天然氣價格較低，石油價格不穩定，促使消費者從使用燃料油轉向使用天然氣，而天然氣提供的每單位熱量的碳排放比石油少。然而，逐步減少我們的家庭和辦公室的平均能源需求和每平方英尺的溫室氣體排放，並不足以達到麻州經濟領域內的溫室氣體排放限額。相反，實現家庭和其他建築的深度去碳化目標，最終將需要減少空間

供暖和水加熱的化石燃料燃燒。這項去碳化工作是在麻薩諸塞州建築環境遭受巨大壓力的情況下進行的。在強勁的經濟和人口增長的推動下，麻州的總建築空間正在增加，導致能源需求和排放增加。由於新的住房開發落後於急劇增長的需求，住房成本也在上升。此外，全球能源成本不斷上升，對中低收入公民造成極大影響。因此，旨在減少能源使用總量和建築部門向清潔能源過渡的政策也必須注重保護那些最容易受到潛在成本增加影響的人群，同時減少溫室氣體排放。

5.2 建築供暖 2025 年實現減排 28%，2030 年減排 47%

為了實現淨零的未來，2050 年路線圖研究的重點是廣泛部署提高圍護結構效率的裝置和電熱泵。雖然使用生物燃料、清潔沼氣和綠色氫氣的技術可能已經存在，但使用這些資源為我們的家庭和企業供暖將需要開發新的供應鏈，圍繞這些資源的可用性和成本存在著極大的不確定性。此外，

被動式房屋標準

被動式房屋是一種經過驗證的、高效的建築設計和施工標準，於 20 世紀 90 年代在德國首次出現，現在是歐洲、北美和亞洲的“首選”建築和家庭效率解決方案。截至 2020 年，在至少 45 個國家，超過 2500 萬平方英尺的新建築和改造工程已經按照被動式房屋標準執行。

被動式房屋建築和住宅通常比傳統建築的供暖負荷低 90%。實現這一水準的效率依賴於六個關鍵原則：

1. 圍護結構的空氣滲透低
2. 高品質的門窗
3. 無熱橋結構
4. 能量回收通風
5. 在供暖季節有效地利用太陽能增益
6. 在製冷季節管理過多的太陽能增益

這些原則使得建築和住宅的能源使用強度和溫室氣體足跡大大降低。它們還能以較低的成本切換到清潔的供暖系統。

除了去碳化之外，優質的圍護結構和極低的空氣滲透意味著即使斷電，被動式房屋建築和住宅也可以長時間保持溫暖（在冬季）和涼爽（在夏季）。優質的窗戶意味著居住者可以享受室內的所有空間，即使緊挨著窗戶坐著，也不會感到有風或冷，而優質的圍護結構則大大降低了外部噪音。最後，包括臥室在內的所有空間的可控通風，為居住者提供全年的新鮮空氣，帶來可衡量的健康益處。

圖 9. 被動式房屋多戶建築

目前還不清楚大規模開發清潔天然氣和氫氣將如何影響土地使用和全球糧食及商品價格。麻州的主要建築去碳化策略仍然是最大限度地提高能源效率和熱需求電氣化。

提高建築能源效率的最好方法是實施標準來推動對能源效率技術的投資。更新的建築法規和市政選擇的淨零能源法規將為新建築設定高效的基準，包括新的多戶建築的被動式房屋標準（見標注）。對於現有建築，新的 Mass Save“三年能源效率計畫”包括對建築所有者和經營者的實質激勵措施，鼓勵他們投資於強化建築圍護結構的措施。這些投資將導致供暖和製冷的能源足跡減少，節省電力成本和減少溫室氣體排放。

雖然重點是減少建築物的能源需求，但許多技術允許麻薩諸塞州的消費者從作為一種能量來源的化石燃料，過渡到使用其他能源。具體而言，熱泵系統可以滿足廣泛的建築系統需求，比基於燃燒的供暖系統效率高得多，可以減少建築的總能源使用。寒冷氣候下的空氣源熱泵設計可在 5° F 以下有效運行，十年前進入新英格蘭市場。在整個新英格蘭地區，特別是在佛蒙特州和緬因州，熱泵通常作為主要的空間供暖裝置安裝，沒有備用品。這些熱泵的尺寸也可以用來提供高效的空調效果，減少空間供暖成本。熱泵，特別是無管道熱泵，為現有的帶有散熱器的建築提供了希望最大的製冷途徑。與安裝帶有空氣管道的中央空調的重大改造相比，無管道迷你分體式熱泵可以用較少的侵入性安裝來提供空間製冷。隨著氣候變暖，以及在麻薩諸塞州，獲得空間製冷成為一種必要，而不是一種奢侈，熱泵市場將經歷大幅增長。然而，任何新的供暖、通風和空調（HVAC）系統的安裝通常需要大量的前期費用，特別是如果安裝要求對供暖系統進行重大改造。因此，本章中的許多政策致力於幫助消費者進行改造，並確保目前幫助消費者進行此類改造的政策與麻州的電氣化和能源效率目標相一致。為所有家庭（特別是低收入家庭和 EJ 群體）提供獲得這些技術的機會，對於實現 2025 年和 2030 年的目標至關重要。

清潔熱能委員會自 2022 年初開始工作，向 Baker-Polito 政府提供關於支援建築供暖的溫室氣體減排的具體政策建議。本章包括委員會的許多*初步*建議，為作為 2025/2030 CECP 的一部分提出的

政策和計畫提供參考。最終建議將由清潔熱能委員會在 2022 年底提供，並可能有助於進一步完善本計畫的策略。

清潔熱能委員會一直在討論高層次的政策目標，這些目標在以下段落中進行了總結。

為了確保清潔供暖技術的廣泛使用，如寒冷氣候下的空氣源熱泵，麻州需要推進公共服務運動，讓消費者瞭解該州在建築領域付出的長期能源效率和電氣化努力。提高公眾對這些益處的認識——包括這些技術如何有助於實現麻州的去碳化目標——將支援和創造對清潔建築和供暖技術的需求。具體而言，需要採取**消費者參與的舉措**，以幫助居民瞭解可用的選擇方案以及每次購買和經營決定的影響。這種參與可以簡化決策和實施，並促成實現經濟節約和改善生活品質的選擇。如果有效進行，這種宣傳可以提高透明度，鼓勵參與，並改善消費者的情緒。此外，麻州將探索新的**籌資和投資舉措**，為沒有現有籌資選擇的建築改造項目提供前期資本。增加籌資選擇，將包括尋找方法來利用私人資本，以支持不斷增長的清潔能源產業。**監管和政策結構**必須支援去碳化，包括為電力公司和市政當局提供指導，以幫助管理過渡，減少總成本，並限制對能源價格的影響。

除了支持清潔供暖技術的部署、能源效率以及其他建築物的資本改進外，這些政策應推動幾個額外的目標。利用麻薩諸塞州作為**技術和創新**領導者的地位，包含學術和私人合作夥伴的試點和示範專案可以推進新的解決方案，解決突出的技術差距，並建立明確和全面的建築去碳化的最佳實踐。同時，**勞動力發展**將擴大教育和培訓機會，以培養強大的勞動力，包括擴大代表不足的群體獲得高薪工作的機會。**行業支援**倡議將幫助那些目前在其他部門工作的人發展技能，以便為拓展

圖 10. 太陽能安裝培訓

到先進建築技術領域的公司工作。必須非常注意確保與建築去碳化相關的機會和利益的公平分配，因為它代表了麻州新經濟增長的引擎。

除了居民和企業做出的設備購買決定外，天然氣公司為升級天然氣分配資產——即天然氣管道、主管道、輸送管、壓縮機站和儀錶——所做的投資往往會持續數十年，並可能成為那些繼續使用天然氣的人日益增長的義務。雖然未來的技術突破也許會改變可再生燃料的發展軌跡，但麻州的建築去碳化計畫應包括減輕套牢額外投資和管道系統成本的風險，這些投資和成本最終必須由消費者或天然氣公司的股東支付。

建築部門的去碳化需要從整個州暖通空調設備供應商和承包商、房主和建築運營商、私人市場和公共部門的廣泛角度，採取謹慎、一致的行動。謹慎的政策和專案設計必須注意提高對那些最弱勢人群的利益和價值。

清潔熱能委員會

為了支持實現建築分項限額，Baker 州長的第 596 號行政命令正式成立了清潔熱能委員會，該委員會就長期減少取暖燃料溫室氣體排放的框架向政府提供建議。該行政命令還指定了一個由主要的州機構代表組成的機構間建築去碳化工作組（Interagency Building Decarbonization Task Force），以協助委員會的審議工作。這個過程正在進行之中，並將繼續提供對法規和其他政策的建議，直到 2022 年底。

委員會的審議和初步建議還強調了支持專案和政策的重要性，這些項目和政策可以幫助市場實施並提供清潔能源解決方案，並推動實現公平和環境正義的目標。為了促進更深入的審議，委員會圍繞關鍵主題領域分成了四個工作組：

- **機構和籌資**：建議調整整個麻州的關鍵機構，以實現去碳化目標，並確保各種方法得到有效和公平的資源支援。
- **公眾認知和社區參與**：為支持有效的溝通和社區參與提供建議，以形成公眾認知，並推動有影響的和公平的解決方案。
- **技術和勞動力發展**：為支援供應鏈和勞動力的發展提供建議，使其能夠以負擔得起的方式大規模向麻州的不同建築群提供技術解決方案。
- **監管和政策框架**：為解決現有法規、規範、政策、計畫和激勵措施中的直接差距，和/或制定新的政策或計畫提供建議，以迅速擴大去碳化的規模。

根據四個工作組的初步優先事項和討論，委員會制定了一份初步建議清單。在進一步制定供暖排放上限框架的同時，進一步制定這些建議以及供暖排放上限框架，將是委員會到 2022 年底的工作重點。委員會的許多建議與之前麻州從 GWSA 實施諮詢委員會和其他主要利益相關者得到的回饋完全一致。因此，本章所討論的許多政策反映了委員會將在特別工作組的協助下，繼續制定詳細的政策組合和建議的關鍵行動時間表的優先事項。定於 2022 年底前提交的最終報告，將包括更多的細節和考慮因素，以及未來幾個月的審議結果。

住宅和商業及工業供暖和製冷的溫室氣體排放分項限額

2025 年住宅供暖和製冷部門的溫室氣體排放分項限額為 10.8 MMTCO_2e，即比 1990 年水準減少 28%。2030 年住宅供暖和製冷部門的溫室氣體排放分項限額為 7.8 MMTCO_2e，即比 1990 年的水準減少 49%。

2025 年商業和工業供暖和製冷部門的溫室氣體排放分項限額為 9.3 MMTCO_2e，即比 1990 年水準減少 35%。2030 年商業和工業供暖及製冷部門的溫室氣體排放分項限額為 7.2 MMTCO_2e，即比 1990 年的水準減少 49%。下文表 5.1 顯示了歷史排放量以及 2025 年和 2030 年的分項限額。

表 5.1. 住宅、商業和工業供暖的排放

住宅供暖和製冷	1990 年	2010 年	2015 年	2020 年	2025 年	2030 年
總排放量（MMTCO_2e）	15.3	13.7	13.6	12.2	**10.8**	**7.8**
比 1990 年減少（增加）%		10%	11%	20%	29%	49%
商業和工業供暖和製冷	**1990 年**	**2010 年**	**2015 年**	**2020 年**	**2025 年**	**2030 年**
總排放量（MMTCO_2e）	14.2	10.6	11.1	10.5	**9.3**	**7.2**
比 1990 年減少（增加）%		26%	22%	26%	35%	49%

注：2020 年的溫室氣體排放是基於 MassDEP 截至 2022 年 6 月的初步估計，而 2020 年之前的歷史溫室氣體排放是基於 MassDEP 在 2022 年 2 月的初步估計。

雖然麻州被要求為商業和工業部門制定一個單一的分項限額，但為了本檔和輔助分析的方便，這兩個部門被分開來。本章討論了 2025 年和 2030 年的主要政策和計畫，以實現住宅和商業建築中

化石燃料燃燒的減排。空間供暖和水加熱推動了這一能源需求中的大部分需求，因此電氣化和防風雨是主要的政策重點。

相比之下，工業能源消費與住宅和商業建築能源需求有很大不同。前者往往涉及與製造商品和產品有關的高強度工藝；相關的緩解方案側重於工業衛生和技術援助，類似於為減少非燃燒工業加工的污染物而實施的政策（例如，作為石灰生產副產品的 CO_2 排放）。因此，第 7 章討論了減少工業能源減排的政策，還也討論了實現麻州“工業加工”分項限額的政策。

表 5. 2. 住宅和商業建築的排放

（住宅和商業）建築部門的排放	1990 年	2010 年	2015 年	2020 年	2025 年	2030 年
住宅	15.3	13.7	13.6	12.2	10.8	7.8
商業（非工業）	8.4	6.7	7.6	7.3	6.4	4.7
總排放量（$MMTCO_2e$）	23.8	20.4	21.2	19.5	17.2	12.5
比 1990 年降低總百分比		14%	11%	18%	28%	47%

注：2020 年的溫室氣體排放是基於 MassDEP 截至 2022 年 6 月的初步估計，而 2020 年之前的歷史溫室氣體排放是基於 MassDEP 在 2022 年 2 月的初步估計。

策略 B1：供暖排放的上限

2021 年《氣候法案》要求 2025 年和 2030 年的**部門分項限額**，這代表了對供暖燃料溫室氣體排放的具有法律約束力的遞減上限。法規還責成 MassDEP 頒佈“關於排放溫室氣體的來源或來源類別的法規，以實現溫室氣體的排放限額和分項限額”。作為清潔熱能委員會初步建議的一部分，在 2022 年底之前，MassDEP 將啟動一個關於方案設計技術方面的利益相關者程式，目標是在 2023 年

底之前最終確定法規，以便這些要求最早在 2024 年生效。在制定法規時，MassDEP 將考慮從其他管轄區和其他部門實施上限和標準的經驗教訓，並包括考慮靈活性、限制成本，並確保公平結果的機制。

根據清潔熱能委員會提出的這一策略，MassDEP 將制定一個高水準的計畫，以滿足住宅、商業和工業供暖的排放限額。MassDEP 將制定一套法規草案，以解決與以下方面有關的問題：（a）受到監管的特定實體、（b）報告程式、（c）替代性合規付款的作用和規模、（d）與該計畫有關的任何收入的使用，以及（e）其他設計特點。清潔熱能委員會正在考慮的監管方案之一是為建築物制定一個**清潔熱能標準**。初步考慮：清潔熱能標準可以要求供暖能源供應商（包括交付燃料、天然氣和/或電力的供應商）獲得或購買信用額度，信用額度表明由於改造而減排的建築物的比例越來越高，這些建築物減少了能源足跡，並利用清潔供暖技術（如電熱泵）減少了排放。作為 2025/2030 CECP 的分析的一部分，在 MassDEP 的監管過程之前，清潔熱能委員會在機構間清潔熱能工作組和監管援助項目（Regulatory Assistance Project）的研究支持下，已經對清潔熱能標準的潛在組成部分進行了初步描述，這反過來可以納入未來的監管審議過程。關於清潔熱能標準潛在特徵的初步描述列入附錄 B 中。

策略 B2：性能基準和標準

新建築的建築標準是促進建築電氣化策略的一個重要組成部分。建築物的更新換代很慢，幾乎所有在 21 世紀 20 年代建造的建築物預計在 2050 年仍然可以使用。為了限制建築部門的新排放和排放源，首要任務是鼓勵新建築和建築能源系統的設計符合 2050 年的要求，避免未來的任何改造需要。為了在 2030 年實現整個經濟範圍內減排 50%，並最大限度地提高麻州在 2050 年實現淨零排放的能力，這一步驟是很有必要的。

正如 2030 年《臨時清潔能源與氣候計畫》中所討論的那樣，在 2021 年《氣候法案》的指導下，DOER 正在頒佈一項高效的**專項、可選的能源法規**，各市可以選擇在 2022 年 12 月開始採用。該專項法規反映了更嚴格的能源標準，與麻州的長期建築去碳化目標一致。此外，DOER 正在更新**擴展能源法規**，目前大多數城市已經採用該法規作為加入**綠色社區補助計畫（Green Communities Grant Program）**的先決條件。這些更新將在未來十年內大大減少新建築的排放。

在建造新建築時，高效建築圍護結構若廣泛採用電熱泵或其他清潔供暖解決方案，幾乎不需要增量成本。然而，對於現有的建築，有必要採取激勵措施，以推進深度改造，包括防風雨（增加建築圍護結構的隔熱性能）和將基於化石燃料的供暖系統更換為電熱泵或其他清潔資源。幾種不同的排放標準可以激勵開發商滿足不斷下降的供暖排放上限。麻州現有的**替代能源組合標準（APS）**為企業、機構和政府提供了市場激勵，以便安裝和運行一系列合格的替代能源系統，包括可再生熱能技術。與可再生能源組合標準一樣，APS 代表了麻州電力零售公司的信用義務，這意味著這些激勵措施是通過電費來籌資的。2022 年，DOER 將開始行政程式，修訂 APS 專案，以符合麻州 2025 年和 2030 年的限額和分項限額。目前，對該項目的修改建議包括從 2023 年開始，增加 APS 替代性合規付款（ACP），使之與 RPS 第一類 ACP 保持一致，即 40 美元。[27]這一變化將提高可再生熱能的價值，使其與可再生電能相等。此外，APS 將優先考慮那些能提供最有影響的溫室氣體減排的技術。該提案包括在 2030 年前逐步淘汰天然氣熱電聯產（CHP）系統，同時繼續支援可再生熱能和燃料電池技術。APS 的長期未來（包括其與電價的相互影響）將是清潔熱能委員會持續審議和最終建議的一部分。

清潔熱能委員會正在考慮的另一項建築標準將對建築能源報告計畫和排放強度基準作出要求。這個計畫並沒有建立要求每棟建築達到一個排放限額或排放強度限額的排放標準。相反，為了準備

[27] https://www.mass.gov/doc/aps-straw-proposal/download.

好在未來能夠跟蹤每棟建築的排放情況，清潔熱能委員會正在考慮**為一系列建築類型制定統一和一致的能源性能報告方法**，可供城鎮選擇使用。建築物改造和能源效率升級的關鍵挑戰之一是在租賃的建築物中，尤其是住宅租賃物業中，建築物業主與租戶之間的利益分歧，建築物業主必須支付建築物改造和系統升級的費用，但通過提高舒適度和減少能源費用，從改造受益的卻是居住者。建築物能源報告可以支援市場的透明度，幫助房主、租戶和業主對其建築物的能源成本和排放足跡作出知情決策。對於大型建築，主要是商業建築，鼓勵年度報告可以提供一個關鍵的杠杆來改善建築能源性能。劍橋已經開始跟蹤建築能來源資料，而波士頓和紐約市已經對超過一定平方英尺面積的房產實施了**建築能源報告條例**，並要求這些建築在未來幾十年內滿足不斷下降的能源強度（即每平方英尺的能源消耗）基準。

清潔熱能委員會也在考慮為城鎮提供一個框架，以便統一計算和報告其管轄範圍內建築的能源使用和溫室氣體排放情況。如果委員會建議，DOER 將在 2023 年底前制定統一的建築性能報告方法和相關的技術資源，並聽取利益相關者的意見，不給建築所有者帶來過多的負擔。2013-2014 年，DOER 在斯普林菲爾德周圍的八個城市進行了家庭能源記分卡的試點項目，與常規的“Mass Save”審計相結合。該試點專案測算出，與正常情況相比，在接受“Mass Save”審計後實施節能專案的房主數量增加了 25%。在能源審計之外，家庭能源記分卡所需的大部分資訊都是由燃料供應商和電力公司例行收集的。房地產經紀人在發佈房產銷售或租賃資訊時，通常會要求建築物業主提供額外的資訊，如鍋爐類型、型號和年份。一些企業家已經開始收集和彙編這些資訊，新興的資料和技術公司也許在提供家庭能源記分卡時，對建築物業主的負擔最小。

波士頓的《建築減排和披露條例》（BUILDING EMISSIONS REDUCTION AND DISCLOSURE ORDINANCE，簡稱 BERDO）

在波士頓，建築物占全市溫室氣體排放量的 70%，而只有 4%的建築物占這些排放量的一半以上。最初的 BERDO 於 2013 年通過，要求 3.5 萬平方英尺及以上的建築報告其年度能源使用情況，並每五年進行一次能源行動或評估。在這重要的第一步之後，從 2020 年開始，波士頓市開始了一個合作過程：更新該條例的碳目標，按建築類型設定，到 2050 年逐步達到淨零。新的政策旨在讓建築靈活選擇如何將這些目標納入其資本改進週期之中。

波士頓在制定政策時，致力於將環境正義作為中心，全國其他七個司法管轄區也採取了類似的政策。一個技術諮詢小組（Technical Advisory Group）利用 BERDO 下報告的五年基準資料，為排放目標的制定提供資訊。波士頓市還與社區組織合作，召集了一個居民諮詢小組（Resident Advisory Group），該小組由居住在 EJ 社區可能涵蓋在內的建築物中的居民組成，以確保政策以他們的優先事項為中心，並儘量減小對一線社區的傷害，實現利益最大化。波士頓在 2021 年通過了由此產生的 “BERDO 2.0”並簽署成為法律。

BERDO 2.0 覆蓋範圍擴展至 2 萬平方英尺及以上的建築物，或至少包含 15 個住宅單元的建築物。鑒於每棟建築都是不同的，它也為業主創造了遵循的途徑，即將他們的建築合併成一個更大的組合，申請一個單獨的合規時間表，或申請一個困難時期合規計畫。一個新成立的審查委員會（其中三分之二的成員由社區組織提名）將批准這些途徑，並將替代性合規付款的資金分配給優先考慮環境正義社區減排的當地建築碳減排項目。

在整個麻薩諸塞州，超過 2 萬平方英尺的建築加起來面積總計約 1500 億平方英尺，約占麻州總建築空間的 30%，即使它們只占總結構的不到 5%。波士頓在 BERDO 和 BERDO 2.0 方面的經驗將為麻薩諸塞州其他地區提供重要的經驗教訓。

氣候融資和集中的技術援助

廣泛部署熱泵的一個核心障礙是熱泵安裝和防風雨改造的前期成本很高——儘管這些項目從長期來看通常會節省資金。作為清潔熱能委員會審議和初步建議的一部分，**氣候融資**專案可以幫助解決一部分資金障礙，並加快清潔熱能解決方案的部署。**氣候融資機制**可以通過**吸引和利用私人資本來放大投資的影響；**相關的金融產品可以說明降低一些建築改造投資的風險，幫助投資者增加對項目的興趣。MassCEC 正在與波士頓市合作，評估來自全國各地綠色銀行的專案模式。例如，D.C. Green Bank 有一個導航者前期開發能源貸款（Navigator Pre-Development Energy Loan），它提供一個信貸額度，用於資助新的和現有的商業、非營利組織擁有的和多戶家庭財產的能源效率升級的施工設計。該專案是與 Inclusive Prosperity Capital 合作提供的，Inclusive Prosperity Capital 是一個非營利性投資基金，為最需要的社區提供投資資本。在這一研究的基礎上，清潔熱能委員會將繼續審議並提出最終建議，即麻薩諸塞州如何確立一個氣候融資方法，鼓勵私營部門投資者與公共部門實體合作，投資於建築改造專案。

除了尋求一種新的氣候融資方法，在建築去碳化中利用資本投資之外，清潔熱能委員會已經討論並建議麻州探索建立一個**集中的清潔熱能資訊交換中心**，以獲得一致的指導、技術援助和撥款融資，以推動“清潔平方英尺”（clean square feet）的註冊。這些資源可以提供給現有的州和市政計畫和實體，首先是“市政脆弱性準備”（Municipal Vulnerability Preparedness）、“綠色社區”（Green Communities）和“以身作則”（Leading By Example）等項目。除了這些項目所涵蓋的州和市政建築之外，對資訊交換中心所容納資源的訪問可以擴大到其他機構的專案，如“麻州住房夥伴關係”（ Mass Housing Partnership）和麻州文化委員會（ Mass Cultural Council ），以加快清潔能源和供暖解決方案的部署，特別目的是為了麻州的公共住房發展。這

個概念包括為獲得州資金支援的建築專案提供從資訊交換中心獲得清潔熱能資源的機會，並使幹預措施與麻州的長期去碳化目標保持一致。

Mass Save®

十多年來，“Mass Save”帶來了巨大的消費者利益，在全國範圍內，名列州贊助的能源效率項目的前列。作為麻州能源政策組合的基石，“Mass Save”已經開始與該州的溫室氣體減排目標和要求接軌。**2022-2024 年“Mass Save”能源效率計畫**旨在加速對建築圍護結構改造、電供暖的投資，逐步減少對化石燃料供暖系統的返利。這些行動有助於改變建築元件和設備，以滿足 2025/2030 CECP 所設定的排放限額和分項限額。正如 EEA 秘書在 2021 年 7 月 15 日確定的那樣，[28]這些措施的實施必須產生超過 845,000 $MTCO_2e$ 的累計減排量，在 2030 年測量。“Mass Save”是目前麻州可以利用的資源最豐富、影響最深遠的政策工具，以實現建築部門的溫室氣體減排。然而，住宅、商業及工業部門的總排放限額在 2025 年合計為 20.1 $MMTCO_2e$，2030 年為 15.0 $MMTCO_2e$。這表明在 2025 年和 2030 年之間，需要減少大約 5.1 $MMTCO_2e$（在考慮電力減排之前），幾乎所有的 2025-2027 年和 2028-2030 年“Mass Save”計畫都需要承擔這項責任。本章提出了其他幾個關鍵項目，特別是在策略 B1 中討論的項目，這些項目仍在清潔熱能委員會的審議之中，它們可以代替“Mass Save”項目來實現大部分的減排。此外，正如清潔熱能委員會正在考慮和初步建議的那樣，以及下文討論的那樣，“Mass Save”的範圍和性質可能需要更新，以完全滿足 2030 年的排放分項限額。因此，對未來計畫的更具體的減排定量估算將取決於這些審議的結論和對該計畫的任何更新建議。

清潔熱能委員會將繼續審議是否**需要立法來更新“Mass Save”**的作用和職責。隨著我們朝著建築和車輛電氣化的方向發展，“Mass Save”應該考慮新的籌資機制，以便儘量提高其措施的氣候

[28] https://www.mass.gov/doc/greenhouse-gas-emissions-reduction-goal-for-mass-save/download.

效益。歷史上，大多數“Mass Save”的投資都是從電費中收回的。相對於其他能源，這導致電價上漲，使得與傳統的化石燃料爐和鍋爐相比，電熱泵的競爭力下降。與其他可能影響能源成本和能源價格的政策一樣，需要進一步重新評估能源效率投資的財政支援方式，以確保這類投資能夠推動去碳化，而不是抑制去碳化。除了融資機制，清潔熱能委員會將評估一個新模式的潛力，該模式側重於減排，而不僅僅是減少能源使用。這樣的計畫可以作為“一站式”計畫，為麻州的居民、企業和其他尋求建築去碳化的人（包括那些由市政公用設施單位提供服務的人）服務。

涵蓋所有建築類型和所有社區

麻州最大和能源最密集的建築物代表了另一個關鍵的機會，可以大規模地實現建築去碳化。讓一處較大的房地產實現低排放和高性能的成本最低的時間是在建設之時，**《麻薩諸塞州環境政策法》（MEPA）**審查包括任何大型建設專案的環境影響，並制定方法來減輕環境損害。這些方法包括但不限於加強建築設計，可以減少能源消耗產生的溫室氣體排放。

對於現有的大型建築，清潔能源改造往往需要昂貴的升級費用，投資回報期可能很長。MassDevelopment 與 DOER 協調，已經開始通過其**財產評估清潔能源（Property-Assessed Clean Energy，簡稱 PACE）**計畫，為企業和開發商提供融資選擇，該計畫允許建築物業主通過對房地產本身的長期攤銷、低利率留置權，提供清潔能源升級的資金。當建築物被出售時，留置權連同該項目提供的好處（如較低的能源帳單）一起，被轉移給新的業主。對於新建築和建築改造，提供技術援助和擴大融資機會，可以幫助指導開發商和建築運營商評估適用於更多建築類型和用途的清潔能源方案，並以最小的財務風險和最大的能源和環境效益為目的，實施這些解決方案。

除了商業和公共部門的建築，藝術和文化中心以及宗教機構代表了許多社區的活躍核心。自 2021 年以來，MassCEC 的**“EmPower”**倡議已經支持了以社區為基礎的組織和非營利組織，這些組織希望探索為以前得不到服務的人群提供獲得清潔能源效益的計畫或項目。優先改造社區中心和文化

中心，可以為整個社區（特別是 EJ 群體）帶來現代、高效和清潔的供暖和製冷系統的益處。這種基於社區的投資可以促進社區規模的改造專案，如荷蘭開發的 EnergieSprong 模式，該模式最近在紐約的經濟適用房開發中部署；這類專案可以極大地提高能源改造的速度和品質，同時降低參與者的成本。這種類型的地方去碳化規劃不僅僅是給整個麻州的社區帶來清潔供暖和製冷，還可以確保每個社區都參與到清潔能源的未來之中。

圖 11.MassCEC 的看板，屬於“Clean Energy Lives Here”活動的一部分

隨著建築部門準備進行重大轉型，以實現 2025 年和 2030 年的溫室氣體排放限額，並保持麻州經濟在 2050 年之前向淨零排放邁進，通過測試新方法和擴大對清潔熱能解決方案的認識和理解來發展市場，這一點至關重要。MassCEC 是一個致力於加速清潔能源部門增長的州經濟發展機構，其目前的加速撥款（Accelerator Grant）和去碳化試點（Decarbonization Pilot）項目尋求解鎖創新技術，這些技術可以降低成本並展示對所有建築類型的成功應用，以及刺激新的商業模式，發展熱泵和建築圍護結構改進的市場。MassCEC 繼續發佈資源和市場特徵，與商業地產所有者和管理者、建築師、工程師和建築行業接觸，以確定降低建築去碳化解決方案成本的機會。自 2020 年以來，MassCEC 啟動了一個“ Clean Energy Lives Here”*的活動*，，這是一個圍繞家庭去碳化的消費者教育和參與活動。從最初的教育到規劃和實施，這個平臺在消費者的建築去碳化過程中提供支援。MassCEC 將繼續擴大這些工作的範圍，並與“Mass Save”圍繞建築電氣化的新激勵措施和市場行銷工作協調一致。

2022 年，MassCEC 基於麻州的氣候承諾，啟動了一項**勞動力需求評估**。該研究將包括吸引和支持女性和少數族裔擁有的企業、EJ 群體和化石燃料工人過渡到清潔能源職業的最佳實踐。將額外的資金用於經濟發展，可以擴大這些工作的範圍，以配合建築去碳化的規模和挑戰。

部分建築熱泵的使用

所有的空調都是熱泵——一些型號的空調可以逆轉熱流方向，除了提供空間製冷外，還提供空間供暖。通過空間製冷部署來實現建築電氣化，有助於解決兩個關鍵的非成本市場障礙。首先，空調的壽命往往比爐子和鍋爐短；這增加了從現在到 2030 年的潛在更換機會。第二，許多空間供暖裝置在發生故障時被替換，而不純粹是在裝置的預期壽命結束時替換。由於故障通常是在供暖需求期間發生，大多數房主會選擇安裝當時最容易獲得的設備，而不是考慮替代方案，即使替代方案在經濟和環境上都是有益的。相比之下，熱泵的占地面積與空調機組相同，但安裝比緊急更換時更快、更容易。

當安裝熱泵來提供空氣調節時，業主可以選擇安裝一個滿足製冷需求或供暖需求的裝置。麻薩諸塞州冬天冷，夏天熱，所以一個用於製冷的設備通常只能滿足一個家庭 50-80%的供暖需求，其餘的由現有的供暖系統提供，而這個系統可能仍然是使用化石燃料。這就是一些人所說的**“混合”熱泵系統**。雖然通過使用這種混合系統的部分電氣化可以在 2030 年之前提供顯著的溫室氣體減排，但僅靠混合策略，所有客戶在 2050 年實現淨零排放會變得更加困難和昂貴。依靠混合策略，需要繼續維護冗餘的供暖和燃料分配系統——既包括所有使用者出資的公用設施基礎設施，也包括房主購買的個別設備。

本計畫中的政策和建議試圖平衡這種矛盾。部分建築供暖系統可以提供近期的減排，並通過立即使用熱泵來提升消費者體驗。然而，我們必須同時規劃未來所需的設備和基礎設施投資，以推動家庭的廣泛全面電氣化，從而以最低成本實現長期的去碳化目標。

途徑模型：按場景分類的天然氣定價（費率）

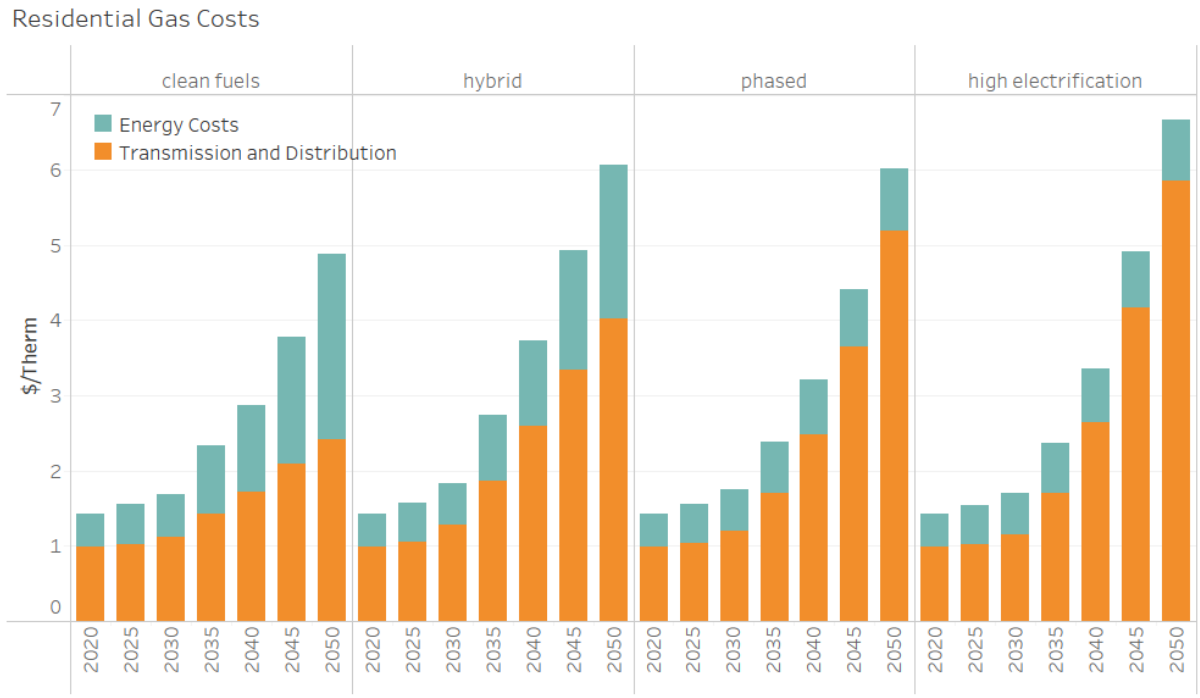
管道天然氣和電費都包括兩個關鍵的成本領域：能源本身的成本和向家庭或企業輸送能源的基礎設施的成本。電力基礎設施的年度成本往往由峰值電力負荷——電網可以同時提供的最大電量——決定。天然氣基礎設施的年度成本是由天然氣公司安裝和必須維護的管道的英里數決定的。

雖然能源成本隨著州外能源購買成本的升降而變化，但年度維護和資本項目的償債成本是相對固定的。在麻州模擬的所有去碳化場景中——包括那些由公共事業部（DPU）第 20-80 號檔案中的公用設施公司評估的場景，以及包括嚴重依賴電氣化直接替代方案的場景——總的管道天然氣消費（包括發電消耗）在 2050 年之前大幅下降，以實現去碳化目標。由於無論天然氣輸送量如何，固定的基礎設施成本將繼續累積，類似的總成本將被分攤到不斷減少的能源銷售量上，導致每單位天然氣輸送價格上升。此外，天然氣基礎設施的投資傳統上是在很長一段時間內，通過用戶費率收回的，反映了資產本身壽命長的特徵——這意味著當前的公用設施投資在未來多年仍需支付。

圖 1.1 展示了四種途徑（清潔燃料、混合、階段性、高度電氣化）下，到 2050 年管道天然氣至住宅用戶的平均輸送成本。重要的是，依據現有的公用設施費率制定方法，這些場景都沒有為管道氣輸送成本呈現可持續的未來。消費者面對如此高昂的天然氣輸送價，有可能改用其他替代方案，而這可能對沒有改用資本的用戶帶來重大的公平挑戰，他們將無法擺脫不斷攀升的能源帳單。

天然氣輸送成本會大幅增加，因為在階段性場景和高度電氣化場景中，固定成本（包括天然氣管道系統的投資成本）需要由不斷下降的天然氣輸送量分攤。對於清潔燃料場景和混合場景，連接天然氣系統的使用者人數假定與“參照”案例中的相同，管道輸送量下降程度沒有其他兩個場景那麼嚴重（因終端使用效率提高、適度電氣化、天然氣發電減少導致）。然而，為了滿足需求，需要更多高成本的可再生和合成天然氣，相對于目前的傳統天然氣，這些燃料對剩餘用戶的輸送成本成本會顯著增加。這些成本影響是針對住宅用戶，但相同的趨勢也影響商業和工業天然氣用戶——雖然住宅用戶受到輸送成本增加的影響更大，而商業和工業用戶的帳單對能源成本增加更為敏感。

圖 5. 1. 四種途徑（清潔燃料、混合、階段性、高度電氣化）下，到 2050 年管道天然氣至住宅用戶的平均輸送成本



策略 B4：基礎設施規劃和技術創新

建築從石油和天然氣向電力的轉型，將對我們的電網和天然氣配送基礎設施產生深遠影響。因此，負責任的**能源基礎設施規劃**是建築去碳化的關鍵優先事項。對於電網來說，電熱泵的部署將顯著提高年度電力總需求和一年最冷時節中的需求。雖然熱泵的採用不太可能在 2030 年後推動峰值增長，但現在應該對電力基礎設施的投資進行規劃。由於這種投資的增加伴隨著總需求的增加，特別是考慮到交通電氣化的影響，2025/2030 CECP 分析表明電力價格將保持相對穩定。然而，估計的配電和輸電系統升級費用有可能被低估了。此外，天然氣用戶的人數開始下降，麻州將面臨著有關天然氣輸配基礎設施未來的重大問題（參見上文的途徑模式標注）。

考慮到深度去碳化對天然氣基礎設施和天然氣用戶未來的潛在影響，麻薩諸塞州 DPU 在 2020 年 10 月發佈了一項命令，打開 **20-80 號檔案**，調查投資者擁有的天然氣公司在 2050 年淨零經濟中

發揮的作用。天然氣公司被要求提出為減少麻州天然氣的溫室氣體排放可能需要的潛在監管改革。迄今為止，天然氣公司的程式和檔案注重於對可能未來的建模，確定 2050 年路線圖研究中模擬途徑的替代方案，並制定高級別計畫，以實現去碳化目標。制定強有力的“天然氣未來”（Future of Gas）計畫的下一步，麻州和公用設施公司應制定和實施相應的解決方案，保護用戶不受隨著時間的推移，天然氣輸送量下降而可能出現的漲價影響。

建築熱能系統去碳化和逐步淘汰使用化石燃料的供暖系統的工作應包括與電力公司協調規劃，促進電氣化以及天然氣管道系統有目標的退役。這種方法需要確保確保天然氣和電力系統的可靠性，同時推動轉型，保護所有用戶（特別是極容易受到漲價影響的人）免于承受重大成本負擔。審查天然氣系統增強計畫，可能有利於發現額外投資的成本可能大於收益的某些方面，詳情參見第 7 章。

作為向清潔能源未來過渡的一部分，電力公司需要評估創新費率結構的方案，說明推動 EV 和熱泵的採用。DPU 將與電力公司和利益相關者合作，為使用電供暖的用戶制定替代的**費率結構**（關於電動汽車充電的類似工作正在進行中），增加對採用清潔技術的激勵，同時保護有能源負擔的家庭，確保麻州所有人都能公平、平等地獲得清潔技術。

第 6 章：能源供應轉型

6.1 部門概述

麻州在發電和能源供應系統去碳化方面取得了重大進展。1990 年以來，電力部門的排放降低了大約 50%，大部分是由於燃煤和燃油發電場關閉。初步估算表明：2020 年，麻薩諸塞州電力部門排放量為 12.8 MMTCO2e，占全州排放量的約 20%。麻薩諸塞州天然氣電廠的排放占總量的 44%，而與從新英格蘭地區其他地方的化石燃料發電廠進口的電力有關的排放占 46%；城市垃圾焚燒爐占剩下的 9%。可再生和清潔發電資源（包括風、太陽能、核能和水電）滿足了新英格蘭電網總電力需求的大約一半。[29]儘管電力部門減排取得進展，但若要通過清潔和可再生資源滿足預期的電力需求——這對於在本世紀中葉實現整個經濟領域的去碳化至關重要，麻州仍然有大量工作要做。

在過去的十年中，電力需求適度下降，部分原因是能源效率投資，如第 5 章中討論的“Mass Save”贊助的投資。然而，由於建築和交通服務的廣泛電氣化，預計到 2050 年電力需求將大幅增加。因此，即使總發電量增加，發電的排放強度也必須繼續下降。麻州預計離岸風力將成為去碳化能源系統的主要電力來源，所有這些系統都需要與麻薩諸塞州的陸地或新英格蘭地區電網的其他部分相互連接。太陽能資源代表了一種關鍵的補充資源，在白天和夏季達到生產峰值，而離岸風能的生產峰值則在夜間和冬季。[30]然而，可靠地運行一個基於易變可再生資源的具有成本效益的超低排放電網，需要一個平衡的組合。增加大量的間歇性電源（如風能和太陽能），將需要部署補充技術（如來自清潔能源進口），以及能夠幫助平衡風能和太陽能低產期的資源，並降低整個地區的能源成本。此外，電力儲存和較小的分散式能源可以幫助維持電網的可靠性。為實現

[29] https://www.iso-ne.com/about/key-stats/resource-mix/.
[30] 2050 年路線圖和能源途徑報告提供了詳細說明。

2025 年和 2030 年的限額而更新和完善的 2050 年路線圖研究表明，輸配電系統需要大幅升級，以支援去碳化經濟。

自 20 世紀 70 年代以來，麻州的大規模電力系統一直與新英格蘭其他州密切協調運作，首先是作為新英格蘭電力聯營（New England Power Pool，簡稱“NEPOOL”）的一部分，然後是加入區域 ISO-新英格蘭的運作管轄範圍。[31]麻薩諸塞州繼續與新英格蘭其他州和 ISO-新英格蘭合作，改革和改善區域電力批發市場和系統規劃過程，因為能源系統需要過渡到適應清潔能源，並納入新英格蘭各州所需的清潔能源，實現經濟的去碳化。

6.2 電力部門在 2025 年減排 53%，2030 年減排 70%

如表 6.1 所示，為了在 2030 年實現整個經濟領域溫室氣體排放量比 1990 年的基線減少 50%，電力部門的溫室氣體排放量必須在 2025 年之前減少 53%以上，2030 年之前減少 70%。麻州預計 2030 年電力系統的排放將來自於州內化石燃料發電、城市固體廢物燃燒和進口化石燃料發電的組合。RGGI——針對東北部 11 個州的發電商的區域總量管制與排放交易計畫——以及麻州對州內發電商和配電公司（EDC）的規定為電力部門溫室氣體繼續減排提供了一個長期框架。實現這些排放目標，同時適應建築和交通電氣化帶來的新的負荷增長，並確保一個價格合理的可靠電網，需要仔細規劃和一系列的政策工具。

在麻州和整個新英格蘭地區，可再生能源在發電量中所占的比重越來越大。該地區六個州都有組合標準，要求該地區的許多電力公司向其客戶出售一定比例的清潔電力，並為資源資格性提供一些指導。加上其他監管要求，麻薩諸塞州和新英格蘭其他州一直在推進清潔能源的部署。由於各州的具體政策在共用的新英格蘭電網中運作，新英格蘭地區所有六州的協調對於繼續保持這些努力的勢頭和加速從現在到 2050 年的區域資源開發至關重要。這種協調和合作包括不斷努力，投資

[31]ISO-NE 是由 FERC 監管的新英格蘭地區的獨立系統運營商。

於一個靈活的、反應迅速的可靠電網；發展和使用支援州政策目標的電力批發市場；規劃增加輸電能力和改變各州之間基礎設施開發的成本分配；發展跨州和國際邊界的夥伴關係，以確保整個東北地區以具有成本效益的方式走向共用清潔能源的未來。

電力的溫室氣體排放分項限額

2025 年電力部門的溫室氣體排放分項限額為 13.2 MMTCO_2e，即比 1990 年的水準減少 53%。2030 年電力部門的溫室氣體排放分項限額為 8.4 MMTCO_2e，即比 1990 年水準減少 70%。表 6.1 說明瞭 1990 年、2010 年、2015 年和 2020 年電力部門的溫室氣體排放總量，以及 2025 年和 2030 年電力部門的排放分項限額。

表 6.1. 電力部門排放

電力	1990 年	2010 年	2015 年	2020 年	2025 年	2030 年
總排放量（MMTCO_2e）	28.0	22.9	15.6	12.9	**13.2**	**8.4**
比 1990 年減少（增加）%		18%	44%	54%	53%	70%

注：2020 年的溫室氣體排放是基於 MassDEP 截至 2022 年 6 月的初步估計，而 2020 年之前的歷史溫室氣體排放是基於 MassDEP 在 2022 年 2 月的初步估計。

目前計畫在 2030 年之前投入使用的清潔能源採購使麻薩諸塞州走上了一條深度去碳化的道路。2016 年，麻州首次確立了從清潔能源和離岸風電採購電力的宏偉目標。最初的立法，即《與能源多樣性有關的法案》（An Act Relative to Energy Diversity），要求公用設施部門在 2027 年之前，籌集總計 1,600 MW 的離岸風電，目前正在與 Vineyard Wind 和 Mayflower Wind 離岸風電專案簽約。離岸風電的採購目標在 2018 年提高，並在 2021 年再次提高至總共 5,600 MW。最近的一次採購是在 2021 年進行的，採購了 1,600 MW 的離岸風電，選擇了 Commonwealth Wind（1,200 MW）和 Mayflower Wind（400 MW）的專案組合。

圖 12. Vineyard Wind 動土儀式

區域清潔能源和傳輸基礎設施

麻州的能源途徑分析模擬了來自新英格蘭六州以及紐約、魁北克和新不倫瑞克等鄰近地區的電力需求和供應。在幾乎所有的深度去碳化場景中，發現從加拿大進口穩定的水力發電的新輸電能力是該地區重要的、成本最低的清潔能源，主要是因為它補充和平衡了離岸風力發電，降低了整個地區的能源成本。在向魁北克新輸電受到限制的建模情況下，向鄰近各州新輸電以獲取其他清潔能源，成為下一個最實惠的選擇。

在 2050 年路線圖研究中，一項限制可調度的天然氣發電機（本可以填補可再生髮電量低的時期）可用性的分析表明，更多的地面太陽能 PV 與儲能相搭配，是替代水電等可調度資源的成本第二低的解決方案。取代 NECEC 合同規定的每年 9.5 TWh 的清潔能源，需要相當於約 8 GW 的額外地面太陽能。按每兆瓦太陽能需要平均約 4 英畝土地計算，如此大量的太陽能 PV 投資將需要超過 30,000 英畝的土地。

此外，紐約、羅德島和康涅狄格州已經從麻薩諸塞州南部的租賃區採購了總共 3,740 MW 的離岸風力發電能力，還有更多的採購權。離岸風能是一種豐富的資源，麻薩諸塞州可以將其作為經濟發展和新英格蘭電網減排的推動因素。離岸風能必須正確選址，以儘量減少對海洋和沿海生態系統的負面環境影響，並促進與現有的海洋應用（如商業捕魚）的共存。在與其他州和聯邦合作夥伴

及利益相關者的協調下，還有必要規劃未來的租賃區和支援增加離岸發電的傳輸系統，以指導該地區不斷增長的產業，滿足當地的清潔能源需求。有關這些工作的更多細節，參見策略 E4。

除了本地項目之外，橫跨更多樣化的技術和更廣泛的地理區域開發和共用清潔能源資源，已被證明可以降低成本，提高電網可靠性。2018 年，麻州的電力公司完成了每年 9.5 太瓦時（TWh）清潔能源發電的競爭性招標，通過“新英格蘭清潔能源連接”（NECEC）傳輸項目，輸送加拿大水力發電。NECEC 已經獲得了充分的許可，並且已經開始施工，但由於緬因州的全州公投而停滯。NECEC 項目的業主目前正在對該公投提出質疑。儘管如此，該專案代表了一個為新英格蘭地區的電力系統帶來具有成本效益的可靠清潔能源的一個關鍵機會。雖然 NECEC 項目是麻薩諸塞州實現其排放限額能力的一個重要組成部分，但麻薩諸塞州將需要更多的傳輸能力，以便在 2050 年接近淨零排放時，向市場輸送更多的可再生能源電力。

目前，在一個深度去碳化的未來，新的穩定輸送的水電資源的替代品僅限於像天然氣和石油燃燒廠或地面安裝的太陽能這樣的資源，與公用設施規模的電池存儲技術相配。對電力系統的分析表明，為了確保在間歇性可再生能源無法使用時，有足夠的平衡資源，可能需要額外的清潔能源。額外採購清潔能源資源（包括水電、離岸風力、陸上風力和其他清潔能源資源），將幫助麻州在 2050 年實現淨零目標。

策略 E2：清潔能源屬性市場

可再生能源組合標準（Renewable Energy Portfolio Standard，簡稱“RPS”）——包括第一類和第二類資格，替代性能源組合標準（Alternative Energy Portfolio Standard，簡稱“APS”）和清潔能源標準（Clean Energy Standard，簡稱“CES”）要求麻州的電力供應商出售的電力中，清潔能源的份額越來越多。2021 年《氣候法案》將 RPS 的最低標準提高至到 2030 年達到 40%。隨後，MassDEP 已提議到 2030 年，將 CES 的最低標準提高到 60%（比 RPS 增加 20%）。

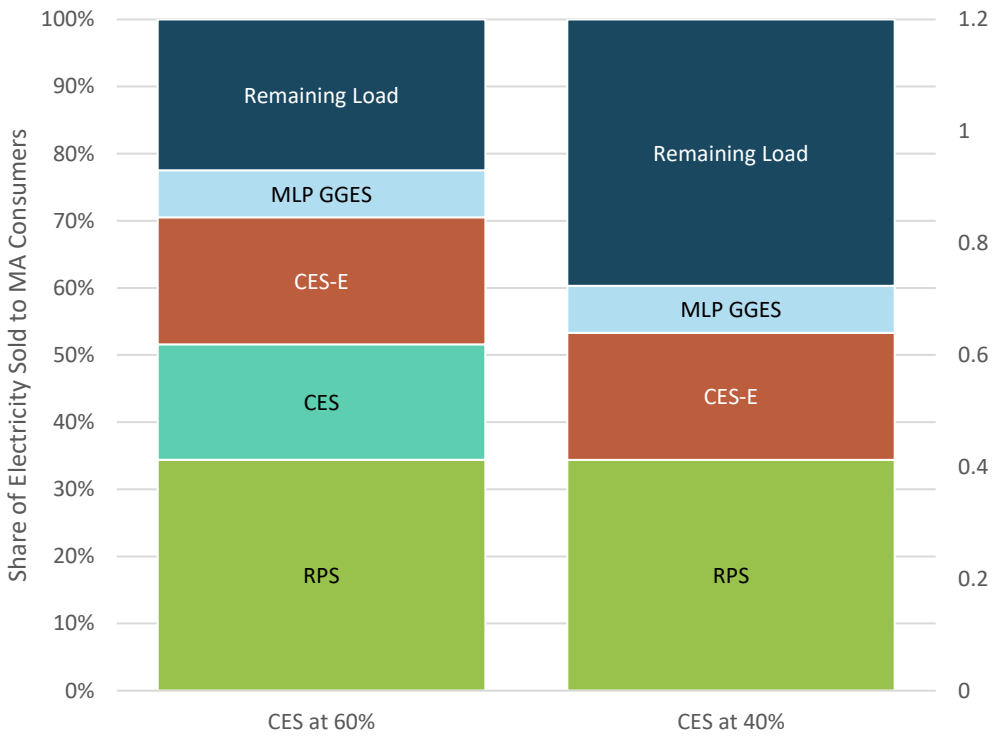
[32]CES 支持不符合 RPS 的額外清潔能源，包括核能和大型水力發電。因此，任何新的資源（包括可以進口到新英格蘭電網的額外清潔能源）都符合條件。此外，現有資源的 CES（CES-E）為新英格蘭地區現有的核電和大型水電資源提供支援。按照目前頒佈的規定，至 2030 年及以後，CES-E 應用在零售負荷的比例約 20%，CES 擬應用在零售負荷超過 60%。

麻州的 41 家市政公用設施公司（即市政電廠（MLP））被豁免，無需遵循 RPS、APS 和 CES，但 2021 年《氣候法案》創建了一項 MLP 溫室氣體排放標準（Greenhouse Gas Emissions Standard，簡稱“GGES”）。這個新標準要求 MLP 在 2030 年，向其客戶——約占全州負荷的 14%——提供 50%的清潔能源。作為 2025/2030 CECP 的一部分，MLP 預計將滿足 50%的清潔能源供應，這將是對清潔能源資源（用於向投資者擁有的 EDC 的客戶提供服務）的*補充*。總的來說，如圖 6.1 所示，各種標準（RPS I 類、RPS II 類、APS、CES、CES-E 和 MLP GGES）將要求清潔能源供應為麻薩諸塞州 75%以上的電力負荷服務。

麻州有額外的法規和計畫，旨在減少電力部門的溫室氣體排放。發電機組（EGU）的排放上限（310 CMR 7.74）對位於麻州的大型發電廠的二氧化碳排放設定了一個不斷下降的上限。麻薩諸塞州的發電廠排放也需遵循 RGGI 規定的排放限額。這個區域性的排放交易計畫有助於確保在整個區域內——而不僅僅是在麻薩諸塞州——實現減排。

[32]MassDEP 已於 2022 年 4 月提出對 310 CMR 7.75 的修訂。可訪問 https://www.mass.gov/doc/310-cmr-775-proposed-clean-energy-standard-amendments/download。

圖 6. 1. 2030 年電力供應商的義務



策略 E3：發展和協調區域規劃和市場

當麻薩諸塞州和鄰州努力實現一個共同的清潔能源的未來時，與新英格蘭地區其他各州和整個東北地區的合作和協調將有助於確保可再生能源以最有效的方式得到利用，並完成深度去碳化的共同目標。此外，由於在更大的區域內共用資源可以降低成本，並且對於確保深度去碳化的電網的可靠性是很有必要的，因此，有必要**在電力系統規劃和推進電力批發市場改革方面**進行區域合作。麻薩諸塞州將繼續領導與其他各州和 ISO-新英格蘭的合作，推進新英格蘭地區電力市場和系統運作方式的必要變革。認識到這種變革的緊迫性和複雜性，Baker 州長與新英格蘭其他四位州長在 2020 年 10 月發表了一份聯合聲明，闡明瞭區域電力系統進行全面的、以去碳化為重點的改

革的必要性。[33]參照 2050 年路線圖分析和其他州的類似建模，州長們描述了今天的電網與實現各州深度去碳化目標所需的電網之間明顯的錯位。展望未來，這種錯位必須得到糾正，以便麻州和新英格蘭地區努力實現深度去碳化的其他各州能夠得到區域電力系統運營商和規劃者的服務，該運營商和規劃者是他們去碳化工作中的堅定夥伴。所需的變革包括：

- 與各州政策制定者合作，制定基於市場的機制，以促進清潔能源和扶持服務的增長，同時充分考慮到根據已頒佈的州法律進行的可再生能源投資。
- 開展一流的系統規劃活動，積極主動地解決州內清潔能源需求。
- 確保電網的恢復力和可靠性，以最小的成本，滿足州和消費者的需求。

通過新英格蘭各州電力委員會（NESCOE），新英格蘭各州發佈了一份願景聲明，就如何立即開始合作工作以糾正這種錯位提出了詳細建議。[34]在廣泛的利益相關者參與過程和一系列的技術會議之後，NESCOE 在 2021 年 6 月發佈了一份關於推進願景（*Advancing the Vision*）的報告，其中包括與市場設計、傳輸規劃、治理和公平有關的最新改革建議。[35]麻薩諸塞州將繼續與新英格蘭其他州合作，探索新的市場設計，以提高清潔能源在區域能源、容量和輔助服務市場的價值。各州還與 ISO-新英格蘭合作，對其傳輸規劃收費進行修改，以整合反映各州清潔能源政策的長期傳輸規劃過程。

“NESCOE 願景”中概述的改革與聯邦能源管理委員會（FERC）在國家層面上設定的方向一致。2021 年 7 月，FERC 發佈了一份“關於擬議規則制定的預先通知”（Advanced Notice of Proposed Rulemaking，簡稱“ANOPR”），徵求利益相關者對傳輸系統建設和支付方式的廣泛潛

[33]Governors Statement on Electricity System Reform 2020（2020 年 10 月 14 日），http://nescoe.com/resource-center/govstmt-reforms-oct2020。
[34]New England States Vision Statement （2020 年 10 月 16 日），http://nescoe.com/resource-center/vision-stmt-oct2020。
[35]https://newenglandenergyvision.files.wordpress.com/2021/06/advancing-the-vision-report-to-governors-1.pdf

在改革的意見。[36]2022 年 4 月，FERC 又發佈了一份“擬議規則制定通知”（Notice of Proposed Rulemaking），以進一步推進傳輸規劃和成本回收方面的必要改革。麻薩諸塞州將繼續與 FERC 充分合作，為融入州公共政策的預見性、多重價值的區域傳輸規劃過程創造機會。這些改革對於確保有足夠的輸電，以經濟有效的方式將能源從新的清潔資源轉移到需求中心非常重要。

策略 E4：支持離岸風電和太陽能產業發展

太陽能和其他分散式能源

作為州 RPS 的一部分，太陽能份額（Solar Carve-Out，簡稱“SCO”）專案於 2010 年啟動，並在 2014 年通過 SCO II 計畫擴展，該項目要求電力供應商通過太陽能滿足 RPS 義務的一部分。為了進一步支持太陽能的發展，降低用戶的成本，麻薩諸塞州在 2018 年推出了“麻薩諸塞州太陽能可再生目標”（SMART）計畫，通過遞減的階梯式價格，激勵發展新的太陽能發電能力。2021 年，SMART 計畫獲得成本回收批准，將其目標翻倍至 3,200 MW，這將有助於推動麻薩諸塞州新的太陽能發電裝置的進一步安裝。

圖 13. 住宅太陽能 PV

麻州目前的太陽能激勵專案預計將在 2025 年後終止，但該州和該地區將需要在未來 30 年內穩步地繼續部署太陽能發電，以滿足 2050 年的預期電力需求增長。為了支持廣泛電氣化，到 2050 年，新英格蘭地區可能需要超過 40 GW 的太陽能資源。2025/2030 CECP 的支持性途徑分析發現，這一數量將超過該地區可用屋頂的總面積。為了進一步評估太陽能發展

[36]https://elibrary.ferc.gov/eLibrary/filelist?accession_number=20210715-3078&optimized=false

的選址考慮，DOER 在 2022 年啟動了一項太陽能技術潛力研究（Technical Potential of Solar Study）。該研究的目的是完成空間分析，考慮到環境、土地使用和經濟因素，創建一個麻薩諸塞州首選的和最不可取的太陽能部署地點排名。該研究將提供麻州實現其太陽能發展雄心應考慮的政策建議。一個徹底的利益相關者參與過程將為研究方向提供依據。這項研究將有助於確定適合太陽能項目開發的地點，並告知公眾在保護我們重要的自然土地和工作用地的同時，促進麻薩諸塞州太陽能發展的必要性。

麻薩諸塞州是一個太陽能開發和儲能的充滿活力的經濟之鄉。然而，太陽能資源的部署面臨著兩個重大挑戰：分散式能源的相互連接和對自然土地和工作用地的影響。需要進一步的政策來確保足夠的太陽能部署，並管理必要的開發與這兩個系統的相互作用。首先，DOER、DPU 和 MassCEC 將繼續與太陽能和儲能開發商、電力公司和 ISO-新英格蘭合作，消除或儘量減少新的太陽能和儲能資源互聯的任何潛在障礙。分散式清潔能源（DER）的互聯通常需要升級現有的配電系統，有時還需要升級輸電系統，以保持電力可靠性標準。這些工作需要花時間進行充分的設計、工程和規劃。為了整合更多的太陽能和儲能資源，配電和輸電系統都需要有預期的規劃。

第二，協調麻州對額外太陽能資源的需求與保護寶貴的自然土地和工作用地的需求，DOER 將與環境保護機構和利益相關者密切合作，確保為太陽能和存儲專案提供的激勵措施不會無意中損害寶貴的自然土地和工作用地及森林。此外，DOER 將繼續鼓勵在“已建成的”景觀上部署太陽能和存儲專案。這些已建成的環境包括安裝在屋頂、草坪、田野、道路和停車場的 200 萬套系統，其中大部分可能適合部署太陽能和儲能資源。“太陽能技術潛力研究”和由此產生的政策指導將有助於說明在符合保護麻薩諸塞州關鍵土地和棲息地的情況下，在麻州的何處佈置太陽能裝置，佈置多少太陽能裝置。

第三，麻州已經通過了“能源儲存倡議目標”（Energy Storage Initiative Target），要求在 2025 年前實現 1,000 MWh 的儲能。雖然麻州在實現該目標方面進展順利，截至 2021 年底，已安

裝的儲能設備超過 300 MWh，並有超過 800 MWh 的儲能在管道中，但隨著技術的不斷成熟和市場的發展，該部門需要受到監督。具體而言，DOER 將繼續評估清潔能源峰值標準（Clean Peak Energy Standard program）計畫，並根據需要調整該計畫，以支援儲能系統的部署。麻州還將探索支援長期儲能的機會，包括推進清潔氫氣系統的機會。

離岸風電

離岸風能是麻薩諸塞州最可靠的清潔能源之一，對麻州和新英格蘭地區的低成本去碳化電力系統的發展至關重要。2021 年，拜登-哈裡斯政府（Biden-Harris Administration）宣佈了其雄心勃勃的目標，即到 2030 年在美國部署 30 GW 的離岸風力。美國海洋能源管理局（BOEM）在 2021 年批准了 800 MW 的 Vineyard Wind 離岸風電場，為**全國第一個公用設施規模的離岸風電場**向麻薩諸塞州輸送清潔電力鋪平了道路。此外，麻薩諸塞州的 EDC 已經與 Mayflower Wind 簽訂了另一份 804 MW 的合同，這個專案正在開發之中。2021 年底，大約還有 1,600 MW 的離岸風電項目被選中，擬議的合同正在審查之中。BOEM 已經承諾在 2025 年之前，向離岸風電項目發放至少 16 個聯邦選址批文，這將推動麻薩諸塞州和鄰近各州的項目簽約。

圖 14. 副州長 Polito 使用虛擬實境技術進行風力渦輪機測試

為了支持健離岸產業的健康發展，幾個重要的因素必須同步推進。首先，麻薩諸塞州必須繼續與鄰近各州、聯邦機構和地方市政當局合作，**設計和部署離岸和陸上傳輸系統**，以整合東海岸水域的大量離岸風電專案。為此，麻薩諸塞州將與鄰近各州、聯邦機構和 ISO-新英格蘭合作，制定一個離岸風力傳輸的區域計畫。IIJA 授權的新專案可能創造新的機會，讓聯邦政府成為一個強有力的合作夥伴，支持發展一個面向未來的傳輸系統，包括新的和創新的技術和融資機制。

第二，麻薩諸塞州必須圍繞離岸風電**發展充滿活力的地方經濟，為該州帶來新的就業機會和大量的經濟投資**。通過對關鍵基礎設施的戰略投資——新貝德福德海洋商業碼頭（New Bedford Marine Commerce Terminal）和 Charlestown 的風能技術測試中心（Wind Technology Testing Center）——以及對勞動力發展、供應鏈擴展和研究與創新的戰略投資，MassCEC 已經幫助麻州確立了作為國家中心和離岸風電產業第一推動者的地位。為了擴大這種努力範圍，麻薩諸塞州將推進教育和培訓計畫，培養新的離岸風電勞動力，擴大當地供應鏈，支持重新開發和改善關鍵的港口基礎設施，並推進研究和創新。作為其承諾的一部分，為了增加代表性不足的群體參與新興的離岸風電產業，MassCEC 在 2021 年 7 月向八個組織頒發了 160 萬美元的撥款，用於減少就業障礙，並支持制定公平的、可普及的離岸風電勞動力培訓專案。2022 年 4 月發佈的《2021 年麻薩諸塞州清潔能源行業報告》顯示，清潔能源行業已經持續增長。清潔能源部門涵蓋了麻薩諸塞州超過 101,000 名清潔能源工作者，占麻州勞動力的 3%，在 2020 年為麻薩諸塞州的州內生產總值貢獻了超過 137 億美元。[37]2021 年 9 月，MassCEC 發佈了一份新的報告，說明瞭該州離岸風電產業的優勢、差距和機遇，這份報告將指導該州在這個領域的持續工作。

第三，麻薩諸塞州需要與其他州和 BOEM 合作，**探索在聯邦水域擴大離岸風電租賃區域的機會**。2021 年，BOEM 宣佈了在聯邦水域租賃新的離岸風能區域的時間表，其中包括 2024 年在緬因灣（Gulf of Maine）的擬議租賃銷售。麻薩諸塞州將繼續作為 BOEM 緬因灣政府間可再生能源工作組（Gulf of Maine Intergovernmental Renewable Energy Task Force）的成員，與鄰近各州、聯邦合作夥伴和利益相關者密切合作，規劃、分析和確定新的離岸風電租賃區。這種合作將利用現有的地理空間資訊，繼續解決已知的差距，如龍蝦漁業的空間資料，以確定新的租賃區，避免和減少對商業捕魚和野生動物的潛在不利影響。

[37] https://www.masscec.com/2021-massachusetts-clean-energy-industry-report

策略 E5：將去碳化目標納入配電系統現代化的過程中

隨著清潔能源政策增加了與電網互聯的 DER 的數量，將需要配電系統規劃和電網現代化來維持一個可靠的、有恢復能力的系統。一個更加動態、雙向的配電系統將便於實現更大程度的電氣化，並優化 DER 的整合。一個現代化的配電系統也將支援 EV、分散式太陽能、儲能和電供暖的發展，為整個經濟領域提供持久的減排。清潔能源政策增加了配電系統用於支援交通和建築部門，因此，一個低成本、可靠的電力系統對消費者來說變得更加重要。

根據 DOER 和其他利益相關者的意見，DPU 目前正在審查公用設施公司提出的電網現代化計畫，其中包括實施先進的計量基礎設施（Advanced Metering Infrastructure，簡稱“AMI”），[38]以及公用設施公司提出的電動汽車基礎設施計畫（Electric Vehicle Infrastructure Programs）。[39]部署 AMI 是實現靈活電力負荷的關鍵技術，包括將電力需求從最昂貴的、排放最高的高峰期轉移到其他時段。電氣化推動了供暖和交通部門的負荷增加，因此這一點尤其重要。電網現代化包括使用先進的資料分析技術來監測和潛在地控制電力使用。這種能力將讓最終用戶能夠更好地管理他們自己的電力消耗，這樣有可能幫助減少電力的使用和電力部門的排放。例如，通過向消費者提供發電廠的暫態排放率資料，他們可以選擇在高排放期減少消費。這種基於排放資料的消費變化只有使用“智慧電網”才有可能實現，它可以同時幫助整合分散式能源（如太陽能和儲能），並實現建築和交通的電氣化。

[38]D.P.U.檔案，編號 21-80、21-81 和 21-82。
[39]D.P.U.檔案，編號 21-90、21-91 和 21-92。

在電力研究所（Electric Power Research Institute）的支持下，MassCEC 正在領導一個利益相關者進程，與 EDC 討論如何在配電系統規劃中考慮未來的政策目標，以及如何評估與向 2050 年淨零排放過渡有關的配電系統升級成本。將去碳化目標作為規劃過程的必要參數，將有助於確定預期規劃的機會，特別是由於交通和空間供暖的電氣化都是麻薩諸塞州的主導策略，都需要改變電

這裡顯示的總同時負荷包括實施

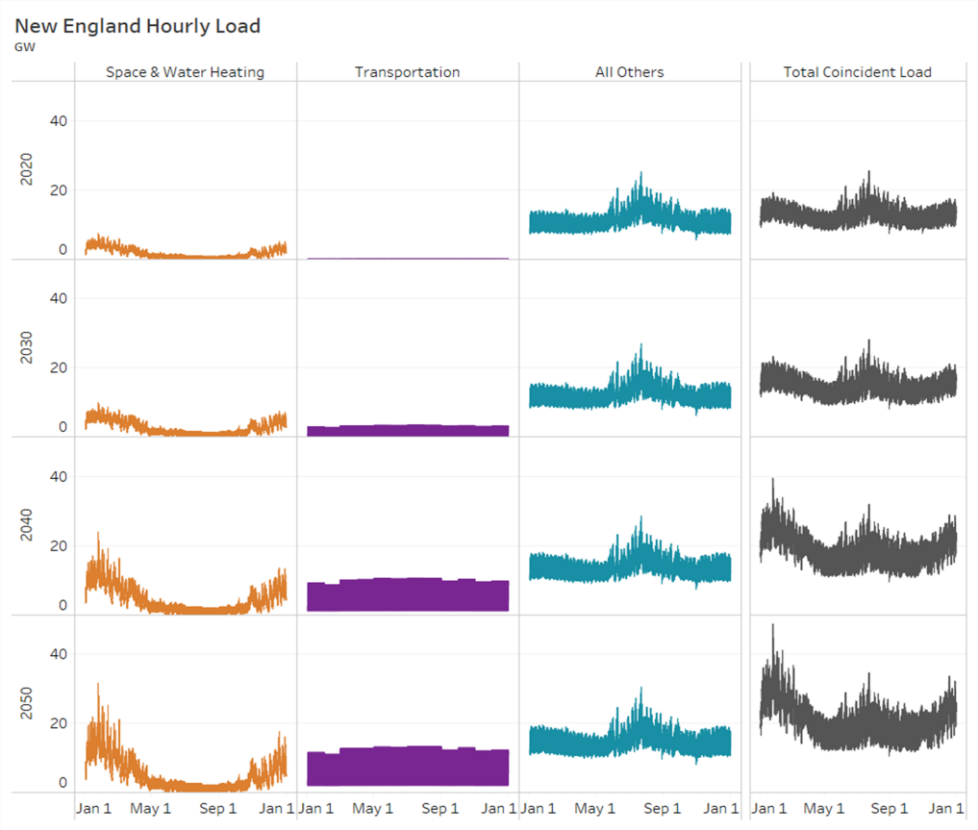
途徑分析：電氣化和電力系統需求

支持這些計畫的去碳化途徑分析通過匯總照明、EV、熱泵和其他電子設備的負荷，類比每小時的電力需求。下圖顯示了新英格蘭地區從 2020 年到 2050 年年度每小時電力負荷的演變。正如 **Error! Reference source not found.**系統負荷曲線圖所示，目前新英格蘭地區的需求高峰發生在夏季，主要由空間製冷導致。隨著電熱泵在空間供暖（和製冷）方面變得越來越普遍，冬季的電力需求預計將增長，最終將系統的峰值從夏季轉移到冬季。這種電力需求的變化需要對電網進行投資。類比結果顯示，空間電供暖在 2030 年之後才會推動系統峰值。然而，由於輸電發展需要至少十年的規劃、設計、選址和部署，因此將預期的增長納入現今的輸電系統規劃是很重要的。

如果 10%的電力 HVAC 負荷被允許轉移一小時——代表靈活負荷的一個非常小的成就，麻薩諸塞州每年可以通過避免電力容量升級節省約 2.5 億美元。如何實現這種靈活性？舉個例子，一個 10 kWh 的鋰離子電池組集成到一個 2 噸的寒冷氣候空氣源熱泵中，可以在熱泵高峰期提供三個小時的供暖（或在正常運行條件下提供更多），既可緩解高峰需求，又可在停電時提供局部恢復力。除了空間供暖電氣化對電網的影響外，在 2050 年，約 500 萬輛 EV 的採用預計將在麻薩諸塞州增加超過 20 TWh 的電力需求。到目前為止，如果可能的話，大多數 EV 車主喜歡在家裡充電；然而，未來的充電行為是不確定的。嚴重依賴白天的快速充電可能會大大增加電網的壓力。另一方面，500 萬個 EV 電池代表了一個龐大的分散式儲能車隊，可以用來抵消高峰需求，並最大限度地降低系統成本。隨著電力使用的發展和到 2050 年整體電力需求的增長，需要智慧規劃，利用各種負載靈活的來源來管理電網升級成本。

網。交通和建築部門的電氣化規劃需要考慮長期的、跨部門的去碳化目標，這有助於實施充分的

圖 6. 2. 途徑分析：電氣化和電力系統需求



電力系統升級。當公用設施公司和公用設施監管機構考慮如何以及在何處投資輸電和配電升級時，採用一個綜合的、有政策意識的規劃和決策框架，可以減少用戶的長期成本，同時維持一個安全可靠的電網並支援去碳化目標。

策略 E6：推動公正的清潔能源過渡

為了有效地將環境正義和公平納入能源轉型計畫，麻州將需要作出以下努力，包括但不限於：（a）確保選址和許可決定考慮了能源專案對 EJ 群體社區的影響，（b）納入那些傳統上在政策和監管過程以及決策中代表不足的人的意見，以及（c）確保高薪工作和經濟發展利益流向那些過去未從這些投資中受益的人。

雖然改革計畫、程式和決策方法並非易事，但麻薩諸塞州決心並致力於推進公正的清潔能源轉型，應用“邊做邊學”的理念，迅速推進將多樣性和公平納入每個計畫和監管過程之中。這將支持融合不同的聲音，並實現知情決策。

DOER 最近一輪的離岸風電項目招標就說明瞭這一點。DOER 將環境正義和公平作為定性評價標準納入這次採購中。因此，離岸風電投標人需要描述任何潛在的影響，包括對 EJ 群體和東道主社區的積極和消極影響，並提交一份多元化、公平和包容（Diversity, Equity, and Inclusion，簡稱“DEI”）計畫，描述投標人促進不同工作者（包括有色人種、婦女、退伍軍人、LGBT 群體和殘疾人）獲得就業和簽約機會的策略。當合同完成後，DOER 將與中選的開發商合作，跟蹤和報告實現 EJ 和 DEI 計畫目標的進展情況。DOER 還將與 EDC 合作，確保 EJ 和 DEI 標準繼續納入未來的離岸風電招標中。

還有一個例子，DPU 和能源設施選址委員會（EFSB）正在制定 EJ 策略，其中包括一個公眾參與和社區參與計畫（Public Involvement and Community Engagement Plan，簡稱“PIP”）。在能源、氣候變化和環境法律、法規和政策的制定、實施和執行方面，EJ 策略的制定將以所有人和社區平等保護和有意義的參與為目標。環境正義策略還將解決能源和環境利益及負擔的公平分配問題，而不考慮種族、膚色、國籍、收入或英語語言能力。

為了瞭解和完善這些策略，2021 年 4 月 16 日和 2021 年 7 月 1 日，DPU 和 EFSB 分別開啟了調查通知（NOI）程式（D.P.U. 21-50 和 EFSB 21-01），以審查對各自公告要求的程式改進和其他實踐慣例，以提高公眾對機構程式的認識和參與。通過 NOI 程式，DPU 和 EFSB 正在探索提高其公告的可見度以及公眾和利益相關者對各自程式參與度的途徑。對於英語水準有限的 EJ 社區所在的城市，DPU 和 EFSB 正在提供直接影響該等城市的程式的通知翻譯。除了評估相關利益相關者、公職

人員和公眾對促進公眾參與程式的最佳做法的意見外，DPU 和 EFSB 將努力確保 EJ 關切的問題得到考慮，並且採取行動的過程符合 EEA 的環境正義政策。

DPU 和 EFSB 也正在更新各自的語言使用計畫（LAP）。LAP 將詳細說明 DPU 和 EFSB 工作人員必須採取的措施，以確保公眾能夠公平地獲得 DPU 和 EFSB 各自的專案和服務。LAP 將根據 NOI 過程中收到的公眾意見進一步完善。DPU 預計將最終確定並公佈其 LAP，與 DPU 的 EJ 策略（包括 PIP）相配合。此外，EFSB 預計在 2022 年底前發佈 EFSB 21 01 的決定，同時發佈 PIP 和 EFSB 具體的 LAP，詳細說明實施措施和時間表。

第 7 章：非能源和工業用途的溫室氣體排放

7.1 部門概述

麻薩諸塞州有一個相對較小的工業部門，它消耗電力、天然氣和石油來製造產品，如燒制陶瓷、半導體和一些重型設備。儘管傳統上工業燃料的排放計入建築部門，[40]但為了 2025/2030 CECP（以及 2050 年路線圖研究）的目的，它們被區分開，因為與住宅和商業建築中加熱和冷卻空間及水所需的相對低溫過程相比，製造業的能源需求有著根本性的不同。在政策和經濟因素的共同作用下，工業能耗的排放量自 1990 年以來下降了約 20%。

圖 15. 背景為工業廢料塔的風景

非能源排放是指由人類活動產生的二氧化碳（CO_2）、甲烷（CH_4）、一氧化二氮（N_2O）和氟化氣體（F-gas）的排放，而不是由化石燃料燃燒產生的排放，包括：冷藏、製冷和電氣開關設備；固體廢物管理，包括垃圾填埋場、堆肥和厭氧消化，以及不發電的城市廢物燃燒；[41]廢水處理，包括化糞池、廢水處理廠和污水管理；天然氣輸配；農業實踐；以及非燃燒工業過程。目前 MassDEP 的估計表明，在 2020 年，工業能耗的排放量不高於 3.2 $MMTCO_2e$，約占麻州總排放量的 5%。MassDEP 還估計，在 2020 年，麻州其他來源的排放（包括工業加工）不高於 4.7 $MMTCO_2e$，或約占麻州總排放的 7%。自 2005 年以來，這部分溫室氣體排放量實際上是不變的，儘管某些非能源排放的子行業在這段時間內有所增長和下降。全球變暖潛力值（GWP）高的氫氟碳化物（HFC）氟化氣體的使用和洩漏是麻薩諸塞州增長最快的

[40]麻薩諸塞州年度溫室氣體排放清單已將與工業能耗相關的排放列入“建築”部門的標題下。然而，工業能源使用與推動住宅和商業建築排放的空間供暖和水加熱需求有很大不同，因此需要不同的去碳化解決方案。

[41]麻薩諸塞州年度溫室氣體清單包括電力部門——而不是非能源部門——的城市垃圾燃燒發電。

溫室氣體排放源。為了在本世紀中葉實現麻州積極的去碳化目標，麻州需要利用積極的管理和最佳實踐，確立這個子部門現實的穩定排放和減少排放的途徑。

7.2 工業能源和其他部門 2025 年實現減排 35%，2030 年實現減排 48%

在這十年裡，麻州將支持並努力制定政策，以實現到 2030 年工業和非能源溫室氣體排放的持平（零增長率），並使麻薩諸塞州這一經濟部門在 2050 年之前走上大幅減排的道路。在 21 世紀 20 年代大幅減排的主要機會涉及到新的和加強的氟化氣體法規。

非能源部門的溫室氣體排放分項限額

2025 年天然氣配送和服務的溫室氣體排放分項限額為 0.4 $MMTCO_2e$，即比 1990 年的水準減少 82%。2030 年天然氣配送和服務的溫室氣體排放分項限額也是 0.4 $MMTCO_2e$，即比 1990 年水準減少 82%。

2025 年工業加工的溫室氣體排放分項限額為 3.6 $MMTCO_2e$，即比 1990 年的水準增加 449%。2030 年工業加工的溫室氣體排放分項限額為 2.5 $MMTCO_2e$，即比 1990 年的水準增加 281%。2022 年 3 月，EPA 更新了估算氟化氣體排放量的方法，氟化氣體是“工業加工”排放的最大組成部分。由於對氟化氣體的未來消費和排放的估算與以前的方法一致，若將 EPA 的新方法納入麻薩諸塞州的溫室氣體排放清單，可能需要更新未來的氟化氣體排放預測。下文表 7.1 顯示了天然氣配送和服務以及工業加工的歷史溫室氣體排放水準。它還列出了本計畫為這兩個子部門設定的 2025 年和 2030 年溫室氣體排放限額。

表 7.1. 非能源部門的溫室氣體排放

天然氣配送和服務	1990 年	2010 年	2015 年	2020 年	2025 年	2030 年

總排放量（MMTCO₂e）	2.3	0.9	0.5	0.6	**0.4**	**0.4**
比 1990 年減少（增加）%		62%	76%	74%	82%	82%
工業加工	**1990 年**	**2010 年**	**2015 年**	**2020 年**	**2025 年**	**2030 年**
總排放量（MMTCO₂e）	0.7	3.7	4.1	3.1	**3.6**	**2.5**
比 1990 年減少（增加）%		（457%）	（525%）	（372%）	（449%）	（281%）

注：2020 年的溫室氣體排放是基於 MassDEP 截至 2022 年 6 月的初步估計，而 2020 年之前的歷史溫室氣體排放是基於 MassDEP 在 2022 年 2 月的初步估計。

EEA 需要為工業加工設定單獨的分項限額，定義為非燃燒過程中的 CO_2、N_2O 和氟化氣體的排放，以及天然氣洩漏。然而，將其他非能源相關和工業加工結合起來，則包含了廣泛的排放源，這些排放源與其他部門考慮的日常能源使用（例如家庭供暖或駕駛汽車）不同。因此，這一類別包括用作製冷劑的專用氟化氣體的溫室氣體排放，由於石灰生產而產生的二氧化碳的直接排放，以及天然氣基礎設施、廢水和固體廢物處理以及農業來源的甲烷逃逸排放。此外，與其他工業需求的化石燃料燃燒有關的排放也被列入這一類別。

表 7.2. 非能源部門的溫室氣體排放分項限額

非能源和工業總排放	1990 年	2010 年	2015 年	2020 年	2025 年	2030 年
工業能源	5.8	3.8	3.5	3.2	**2.9**	**2.5**
天然氣配送和服務	2.3	0.9	0.5	0.6	**0.4**	**0.4**

工業加工	0.7	3.7	4.1	3.1	3.6	2.5
農業和垃圾	3.4	1.2	1.1	1.0	1.0	0.9
總排放量（MMTCO$_2$e）	12.1	9.6	9.3	7.9	7.9	6.3
比 1990 年降低總百分比		20%	23%	34%	34%	48%

注：2020 年的溫室氣體排放是基於 MassDEP 截至 2022 年 6 月的初步估計，而 2020 年之前的歷史溫室氣體排放是基於 MassDEP 在 2022 年 2 月的初步估計。

以下是為實現上述天然氣配送與服務和工業加工的排放要求，2025 年和 2030 年的主要政策和計畫。由於農業實踐[42]和廢物的排放量非常小，而且減少這些排放量的政策選擇有限，本計畫不包括進一步降低這些排放量的政策。對於工業設施的所有其他能源使用，除了減少與建築供暖有關的溫室氣體排放外（參見第 5 章），麻州沒有制定任何額外的政策。

策略 N1：以可減輕或替代的非能源排放為目標

21 世紀 20 年代最有影響的策略是儘量減少非能源排放的增長，特別是與預計使用量在未來十年內增長相關的高 WGP 氣體的排放：用於製冷、空調和熱泵的 HFC，以及用於氣體絕緣的電氣基礎設施開關設備的 SF_6。

2020 年 12 月，MassDEP 頒佈了禁止在廣泛的現有終端用途中使用 HFC 的法規（310 CMR 7.76）。整個 21 世紀 20 年代，麻州將需要加強和擴大該法規，以應對更多的最終用途（如熱泵），因為它們的部署範圍變得更廣泛。麻州和其他司法管轄區的 HFC 法規通常只適用於新設備，儘管這些設備從製造到退役都會發生洩漏。為了最大限度地發揮法規到 2050 年的減排效果，最好儘快實施

[42]本章不包括農業實踐中的二氧化碳排放，但尿素化肥和石灰的二氧化碳排放除外。本章還包括農業實踐中的甲烷和一氧化二氮排放。

額外的 HFC 法規。此外，在安裝或拆除設備時，應用製冷劑處理的最佳實踐有助於減少與洩漏有關的排放。隨著熱泵裝置市場在未來十年的發展，有一個很好的機會對安裝人員進行培訓，使其掌握減少現有庫存的 HFC 排放的最佳實踐，並培訓他們使用零 GWP 和低 GWP 的替代製冷劑。310 CMR 7.76 的制定是與參加美國氣候聯盟（U.S. Climate Alliance）的其他州協調進行的，MassDEP 將繼續與這些州合作，探索解決 HFC 排放的下一步措施，包括可能的法規。

國會於 2020 年 12 月 27 日頒佈了《美國創新和製造法案》（AIM）。《AIM 法案》指示 EPA 通過津貼分配和交易計畫，在 2036 年前逐步將 HFC 的生產和消耗降至其基線水準的 15%。2021 年 10 月 5 日，EPA 根據《AIM 法案》最終確定了第一項法規，設定了減排將依據的 HFC 生產和消耗的基線水準，並確定了 2022 年和 2023 年 HFC 配額分配和交易的初始方法。[43]為了回應根據《AIM 法案》提交的各種申請，包括麻州與加州空氣資源委員會一起提交的申請，EPA 正在制定法規，以在國家層面實施 310 CMR 7.76 中的禁令，並進一步限制 HFC 在特定領域的使用，包括固定式製冷和空調。[44]在未來的任何 EPA 規則制定過程中，麻州將繼續與 EPA 和受 310 CMR 7.76 管制的公司接洽。

繼續並加強對 SF_6 洩漏率的監管也同樣有價值。MassDEP 的減少六氟化硫法規（310 CMR 7.72）要求新購買的輸電設備具有低洩漏率。每個公用設施單位的氣體絕緣開關設備的全系統 SF_6 洩漏必須在 2020 年前減少到 1%或更少。到目前為止，這一政策已經有效地減少了 SF_6，儘管隨著配電基礎設施的預期增長，重新審視並更新這一政策可能是有價值的。加利福尼亞州的監管機構已經最終確定，要求公用設施部門逐步停止購置新的 SF_6 氣體絕緣開關設備和其他電氣設備。 [45]該法規

[43] https://www.epa.gov/climate-hfcs-reduction/final-rule-phasedown-hydrofluorocarbons-establishing-allowance-allocation
[44] https://www.epa.gov/climate-hfcs-reduction/technology-transition-petitions-under-aim-act
[45] CARB. 2021. “Addendum to the Final Statement of Reasons for Rulemaking.” Regulation for Reducing Sulfur Hexafluoride Emissions from Gas Insulated Switchgear. https://ww2.arb.ca.gov/rulemaking/2020/sf6 （2022 年 2 月 9 日檢索）。

還創造了一個激勵機制，鼓勵儘早用使用 GWP 比 SF_6 更低的絕緣氣體或一些替代的零 GWP 技術，替換所有的氣體絕緣電氣設備。目前，非 SF_6 設備的市場還不成熟，但隨著更多的管轄區制定更換時間表，預計會出現新的方案。

最後，來自天然氣配送網路的甲烷洩漏量巨大，但由於現有的政策，最值得注意的是 MassDEP 的“減少天然氣配送管道和服務的甲烷排放”（Reducing Methane Emissions from Natural Gas Distribution Mains and Services）法規（310 CMR 7.73），甲烷洩漏正大幅減少。這條現有的法規與天然氣配送公司的天然氣系統增強計畫（GSEP）一起工作，這些計畫是由法規要求的，以確保用較新的、洩漏較少的管道替換容易洩漏的鐵制管和無保護的鋼管和服務。除了配送系統管道的洩漏外，天然氣還從用戶儀錶和用戶擁有的“表後”管道和設備中少量洩漏。從長期來看，減少用於空間供暖和水加熱的天然氣燃燒的政策可能會減少客戶的數量和天然氣系統設備和基礎設施的總存量，這樣，隨著時間的推移，就可減少來自表後設備的甲烷洩漏。

然而，在管道天然氣總消耗量下降的同時，對天然氣系統的持續投資可能會導致天然氣費率大幅上升。這個情況是 DPU 關於天然氣未來的 20-80 號檔案中正在調查的一個關鍵因素，並在第 5 章中討論。通過該檔案，DPU 正在尋求制定一個監管框架，以指導天然氣公用設施並與去碳化工作保持一致。儘管第 20-80 號檔案尚未最終確定，但是為了支持向電氣化供暖的公正公平的過渡，可能需要有針對性地停用天然氣分配系統。對於近期內不會退役的部分天然氣管道系統，天然氣公司應評估減少維護成本，同時仍將可靠性和安全性放在首位的方案。例如，在未來，天然氣公司將需要評估全面更換與低成本維修的需求，最大限度地減少額外的資本投資，避免安裝全新資產的風險，因為這類資產在未來可能會被套牢。作為 2025/2030 CECP 的一部分，到 2024 年底，DPU 將審查並提議修改現有的 GSEP，以升級漏氣管道，其中包括對預期天然氣利用率低的地理區域的全面更換的替代方案進行經濟評估。

策略 N2：圍繞剩餘的非能源排放實施最佳實踐

非能源排放其中許多是難以遏制，或不可能完全遏制的，而且預計將隨著麻州人口的增長而增長，可以而且應該確立最佳實踐，盡可能地保持低排放。

固體廢物處理的主要排放源是在麻州運行的七個城市垃圾焚燒爐（MWC），它們燃燒城市固體廢物以減少垃圾處理量，同時產生有用的熱量和電力。從廢物中初步分流塑膠、紙張和其他可焚燒的材料——正如麻薩諸塞州“2030 年固體廢物總體規劃：攜手共進，實現零垃圾”（SWMP）[46]——中所呼籲的那樣——預計將減少來自 MWC 的溫室氣體排放。兩個長期的趨勢將影響到在麻州運營的 MWC 設施所處理的垃圾量。首先，麻薩諸塞州 2030 年 SWMP 闡明瞭對長期目標的承諾，即到 2030 年將麻州的固體廢物處理量減少到 400 萬噸，到 2050 年減少約 90%（減至 57 萬噸），並將可回收材料從垃圾中分流到更高級別的用途。在這樣的軌跡上，麻薩諸塞州將需要低於其目前的 MWC 能力，來滿足其固體廢物管理需求。第二，與保護環境和幫助麻州遵守 GWSA 的義務相一致，在 2025 年進行的 SWMP 計畫審查中，MassDEP 將共同努力，改善現有燃燒能力的性能，並分析減少城市垃圾焚燒爐二氧化碳排放的潛在方法，包括對 MWC 的排放設定上限。MassDEP 預計，任何替代的 MWC 能力將被要求滿足更嚴格的排放和效率標準，並增加可回收材料的分流。有機廢物將通過厭氧消化和堆肥等技術進行管理，這將有利於溫室氣體減排。

對於廢水處理，有機會幫助穩定與人口直接相關的排放。將更多的住宅從獨立的化糞池系統過渡到有管理的下水道系統，可能會減少化糞池的甲烷排放，鼓勵（或要求）化糞池系統所有者遵循最佳實踐。在汙水處理廠（WWTP）擴大使用厭氧消化器，將避免來自 WWTP 的許多甲烷排放，並具有將污水污泥轉化為可用燃料的複合優勢。然而，目前，本計畫中沒有設定額外的政策來擴展汙水處理廠的厭氧消化器。

[46] https://www.mass.gov/guides/solid-waste-master-plan

圖 16.Chilmark 的 Allen Sheep Farm——照片來自 flickr 網站上麻薩諸塞州旅行和旅遊辦公室（MA Office

對於在麻薩諸塞州占比非常小的農業排放，改進的做法有助於減少或穩定排放，並帶來其他益處。在像加州這樣的農業大州，已經在探索農業排放減緩政策、實踐和技術。[47]麻州已經探索了改善土壤的最佳實踐的潛力。第 8 章包括改善自然土地和工作用地的碳封存能力的詳細計畫。

自 1990 年以來，為滿足工業能源需求而燃燒化石燃料所產生的溫室氣體排放量已大幅下降。這種減排在很大程度上是由於背景趨勢導致，如日益全球化，使得在麻州範圍內運行的設施減少。然而，下降還有部分原因是由於高效設備的部署，以及在可能的情況下，放棄昂貴的石油燃料的經濟選擇。1990 年至 2019 年期間，麻州工業部門燃燒石油產品的排放量下降了 74%，而天然氣燃燒的排放量基本保持不變。預計這些趨勢將繼續下去，到 2025 年和 2030 年，總排放量將適度減少。此外，在與 EPA 涵蓋空氣和水品質的法律協調下，MassDEP 實施了一系列法規，以保護公眾和環境免受工業活動的損害，包括實施“來源登記計畫”（Source Registration Program），該計畫要求某些類型的設施和設備申請許可證和/或報告污染物的年度排放量。根據 GWSA，某些工業設施的溫室氣體排放也要向 MassDEP 報告。同時，EEA 的技術援助辦公室（Office of Technical Assistance，簡稱“OTA”）為麻薩諸塞州的製造商、企業和機構提供免費的、保密的現場技術援助，希望圍繞減少有毒物質的使用、節約資源、節約能源和其他可持續發展目標實施具有成本效益的策略。MassDEP 和 OTA 將繼續監

[47]CARB. 2020.“Research on Agricultural Emissions & Mitigation.”參見 https://ww2.arb.ca.gov/research/research-agricultural-emissions-mitigation（2020 年 8 月 18 日檢索）。

測排放情況，並就工業設施如何最好地減少一系列污染物的排放提供建議，其中許多污染物在上文討論過，會導致全球變暖或對公眾和環境健康有其他影響。

第 8 章：保護我們的自然土地和工作用地

麻薩諸塞州的自然土地和工作用地（NWL）為麻州居民提供了許多好處，包括清潔的空氣和水、野生動物棲息地、碳封存、娛樂機會、食物和木材生產，以及社會和生活所依賴的許多其他功能。這些好處通常被稱為生態系統服務，只要 NWL 能夠保持 NWL 的功能，就能不斷地為我們的社會服務。麻薩諸塞州 NWL 生態系統目前至少儲存了 6 億噸的碳，相當於超過 20 億噸二氧化碳或麻州過去 25 年的溫室氣體排放。由於 NWL 是幫助從大氣中清除二氧化碳的重要地方資源，麻州將保護 NWL 不受損失和退化，並將採取新的和持續的行動來提高其碳封存能力。

土地利用實踐、土地利用變化和自然生態過程都對麻薩諸塞州 NWL 上的碳排放和碳封存產生影響。2025/2030 CECP 的這一章闡述了麻州保護、更好地管理和恢復 NWL 的計畫，包括減少排放，增加封存，以及確保 NWL 生態系統和衍生產品中的碳儲存。

認識到製造足夠的住房、部署可再生能源、就業以及食品和木製品通常需要使用土地，這個保護 NWL 的計畫討論了如何在支持可持續的人口增長和消費的同時，儘量減少對 NWL 的潛在負面影響。本章介紹了麻州為在 2050 年實現溫室氣體淨零

NWL 術語

溫室氣體通量：每單位土地面積上從特定來源或碳匯釋放到大氣中（+）、或從大氣中移除（-）的溫室氣體的比率（例如，CO_2/公頃/年）。

淨排放：在規定的時期和範圍內所有溫室氣體通量的總和（例如，林地淨排放）。NWL 生態系統同時從大氣中封存 CO_2，並將 CO_2 排放回大氣中（在某些情況下還有 CH_4 和 N_2O 排放）。

碳封存：從大氣中移除 CO_2 並將其儲存在碳庫中的過程，即通過光合作用移除 CO_2 並儲存在 NWL 生態系統碳庫中。

碳庫：一種特定的碳儲存庫；通常是一個生態系統的組成部分（例如，森林土壤碳、濕地死亡有機物）。

碳儲量：在一個確定的區域和時間內所有碳庫的總和（如麻薩諸塞州森林碳儲量）。

碳匯：儲存碳的資源。

排放而採取的新的和正在進行的行動，包括探索在我們的 NWL 碳封存能力之外的額外碳封存。此外，本章還討論了減少木材採伐和加工排放的政策。

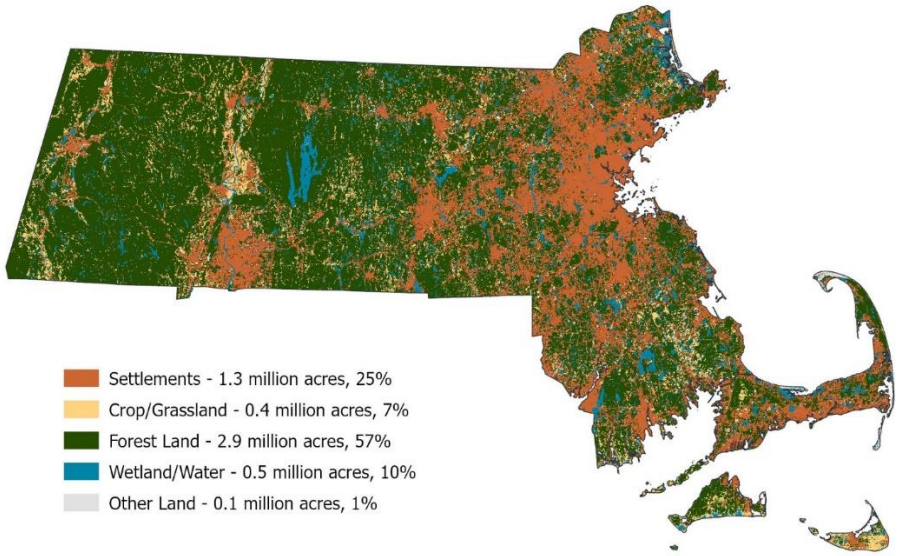
8.1 麻薩諸塞州 NWL 概述

2021 年《氣候法案》將自然土地和工作用地定義為“麻州境內符合以下條件的土地：（i）被農業所有者或經營者積極用於農業經營，包括但不限於積極從事耕作或放牧；（ii）生產森林產品；（iii）由森林、草原、淡水和河岸系統、濕地、沿海和河口地區、流域、荒地或野生動物棲息地組成；或（iv）用於休閒目的，包括公園、城市和社區森林、小徑或其他類似的開放空間土地。”[48]

與 IPCC 指南一致，[49]麻薩諸塞州將 NWL 分為四類，代表麻州的主要土地類別：（a）林地、（b）定居點、（c）濕地、（d）耕地和草地。圖 8.1 顯示了 2020 年這些土地類別的空間分佈。[50]林地覆蓋了大約 290 萬英畝，占麻薩諸塞州面積的 57%，定居地覆蓋了 130 萬英畝（約 25%），濕地和水覆蓋了 50 萬英畝（約 10%），而耕地和草地覆蓋了 40 萬英畝（約 7%）。[51]在每一類土地中，各種子類代表著不同的生態系統和土地覆蓋或使用（如沿海和淡水濕地），以及不同的生態系統碳庫和通量（如植被生物量、生物量增長和土壤）。

[48]2021 年《氣候法案》第 8 章第 4 節。
[49]IPCC. 2006.Volume 4: Agriculture, Forestry, and Other Land Use Volume 4: Agriculture, Forestry, and Other Land Use - 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds).政府間氣候變化專門委員會，國家溫室氣體清單專案。IGES, Japan.
[50]該資訊是基於 EEA 對美國地質調查局（U.S. Geological Survey，簡稱“USGS”）土地變化監測、評估和預測（Land Change Monitoring, Assessment，簡稱“LCMAP”）系列 1.2.的土地覆蓋產品的修改，參見 https://www.usgs.gov/special-topics/lcmap/collection-12-conus-science-products。
[51]不同的定義、分類、資料來源和方法會導致對土地覆蓋或土地利用的估計不相同。例如，麻薩諸塞州的林地估計在 50%到 75%之間。在本計畫中，林地被定義為面積至少一英畝的土地，支持至少 10%的樹木覆蓋（或正在再生這一水準的樹木覆蓋），並且不存在定居點或農業用地。EEA 正在開發一種土地分類方法，以便在進行 NWL 規劃時，在全州範圍內對土地利用和土地利用變化進行一致的估計，初始版本製成了圖 8.1。詳情參見附錄 C。

圖 8. 1. 2020 年麻薩諸塞州自然土地和工作用地地圖，分為四個主要土地類別



實際上，我們的 NWL 是由土地、樹木、其他植被、土壤和微生物組成的。這些資源作為碳迴圈的一部分，自然地捕獲和釋放二氧化碳，並將其作為碳化合物儲存在生物質和土壤中。當有足夠的光和水時，樹木和其他植被通過光合作用從大氣中清除二氧化碳，並將碳轉移到地下的根部和土壤中。土壤、樹木和其他植被也通過呼吸作用和微生物促進的死亡有機物的分解，將二氧化碳排放回大氣中。大氣、樹木和植被、微生物和土壤之間的這種自然的碳交換可以被自然事件（如颶風）和/或人類活動幹擾或加強。活動的類型和頻率可以直接和間接地影響受影響地點的狀況。從區域上看，在過去的一個世紀裡，NWL 移除和儲存的二氧化碳量通常大於 NWL 的排放量——雖然自然和人為的幹擾會導致土地成為當地的淨排放源。由於其動態性質，NWL 溫室氣體排放的核算——基線中有多少排放，要減少多少排放，有多少可以儲存在 NWL 中——與人們通常認為的供暖、交通、發電和其他過程（如汽油車、燃油鍋爐和燃氣爐）中燃燒化石燃料排放溫室氣體的核算方式有很大差異，因為這些活動不像 NWL 碳迴圈中那樣不斷地清除和儲存碳。

2021 年，EEA 開始改進用於跟蹤全州範圍內來自 NWL 和 NWL 上的溫室氣體通量清單的方法。這項工作是基於最新的可用科學和全州工具進行的（關於這個過程和方法的更多資訊，見附錄 C）。這份改進的 NWL 溫室氣體清單的初步結果表明，麻薩諸塞州的 NWL 在 2019 年封存了大約 7.0 $MMTCO_2e$，這是有全州資料的最新年份，如表 8.1 所示。這個數值還不包括內陸濕地的溫室氣體通量。隨著新的資料來源和創新方法的出現，EEA 將繼續改進 NWL 溫室氣體清單。

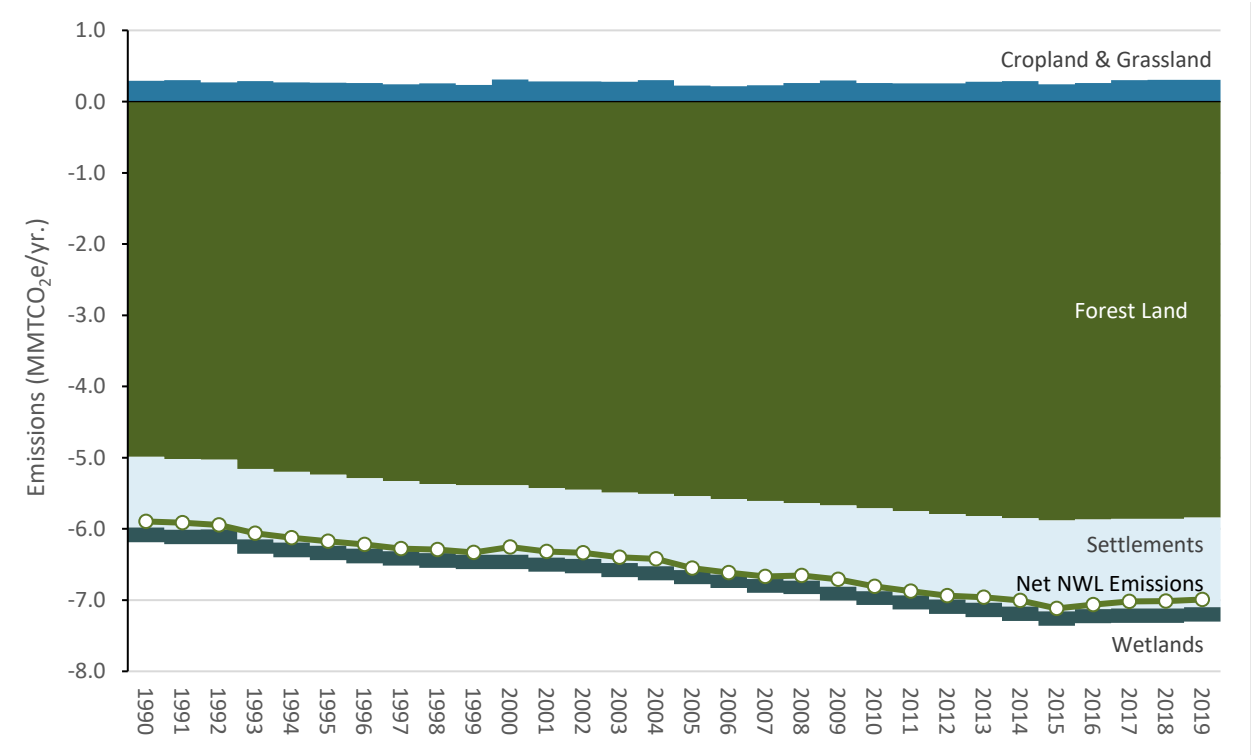
表 8.1. 2019 年麻薩諸塞州主要 NWL 土地類別的溫室氣體排放（正值）和封存（負值）估算的初步清單

土地分類/報告類別	淨排放（$MMTCO_2e$/年） 2019 年
林地	-5.8
森林生態系統	-4.6
採伐的木製品	-0.7
新林地	-0.6
耕地和草地	0.3
濕地	-0.2
沿海濕地	-0.2
內陸濕地	TBD
定居點	-1.3
定居點生物質	-2.7
定居點土壤	0.9
新定居地	0.5
NWL 淨排放	-7.0

注：由於四捨五入，顯示的小計總和不一定等於總數。

如圖 8.2 所示，自 1990 年以來，每年的淨 NWL 封存率（負淨 NWL 排放）一直在增加，直到過去 5 年中，似乎已經趨於平穩。這一比率相當於 2019 年麻州總排放量的 10%左右，大約相當於 2050 年允許的殘餘排放量的一半。這意味著，根據目前的估計，麻州可能需要超過 85%的減排要求，進一步降低經濟中的溫室氣體排放水準，和/或確保從我們的 NWL 中實現額外的碳封存，或通過其他方式，在 2050 年實現溫室氣體淨零排放。為了在短期內增加碳封存，對 NWL 的管理必須與 NWL 提供的其他生態系統服務以及該州 NWL 的長期健康和恢復力相平衡。

圖 8.2. 麻薩諸塞州主要 NWL 土地類別的年度碳排放和封存估計清單



林地

麻薩諸塞州超過 50%的土地被歸類為林地，其中許多林地位於麻州的中部和西部地區。如上文表 8.1 和圖 8.2 所示，根據目前的估計，NWL 82%（每年 5.8 $MMTCO_2e$）的碳封存發生在林地。每年 5.8 $MMTCO_2e$ 包括現有森林的碳封存（每年封存約 4.6 $MMTCO_2e$），造林和再造林帶來的新林地

（每年封存 MMTCO_2e），以及從活樹到採伐的木製品的碳轉移（每年封存 0.7 MMTCO_2e ）。每年約有 0.6 MMTCO_2e 的排放來自于森林向其他土地用途的轉化，主要是通過定居用途的開發。[52]保護林地不被轉化，將保護現有的森林碳儲量和森林生態系統在未來繼續封存二氧化碳的能力。

林地管理對於麻州及其居民從持續的碳封存和其他生態系統服務中獲益是很有必要的。像世界上許多溫帶森林一樣，[53]經過 19 世紀末之前為農業和採伐而開墾森林的土地使用歷史之後，麻薩諸塞州的森林由於自然再生和森林保護措施而一直在重新生長。如圖 8.2 所示，自 1990 年以來，重新生長的森林一直在提供穩定增長的森林碳封存。然而，這種淨碳封存率正顯示出放緩的跡象（對 NWL 淨碳封存率的初步評估，參見附錄 C）。此外，從 1985 年到 2019 年，木材採伐量下降了 62%，而森林中的碳儲量增加了 66%，自然死亡率（非採伐）增加了 200%以上。[54][55]隨著更多惡劣天氣事件的發生，以及入侵物種增加了對營

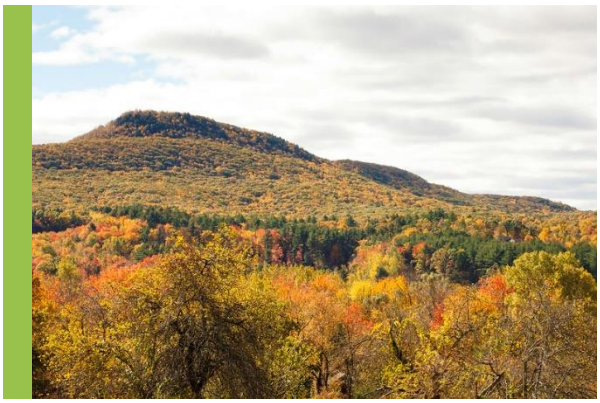


圖 17.諾沃塔克山（Mt. Norwottuck） - Granby.
照片來源：Lvnne Graves

[52]出於溫室氣體報告的目的，這些排放被歸入林地被轉化為的土地使用類別（例如，被轉化為定居用途的林地的排放作為定居點排放報告）。

[53]Cook-Patton, S.C., Leavitt, S.M., Gibbs, D. *et al.* Mapping carbon accumulation potential from global natural forest regrowth. *Nature* 585, 545–550 (2020). https://doi.org/10.1038/s41586-020-2686-x

[54]使用以下來源的資料，對剩餘林地上生長中的樹木（胸高處的直徑至少 5 英寸）的淨可銷售樹幹體積進行分析，單位是立方英尺：1）Dickson, David R.; McAfee, Carol L. 1988. Forest Statistics for Massachusetts--1972 and 1985. Resour. Bull. NE-106. Broomall, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. 112 p.，參見 https://doi.org/10.2737/NE-RB-106; 2) USDA Forest Service's Forest Inventory and Analysis Database，參見 https://www.fia.fs.fed.us/tools-data/; 3) Northeastern Forest Experiment Station 1956. The Timber Resource in Massachusetts. Upper Darby, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. 45 p.，參見 https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/22951。

[55]另一個資料來源表明，1990 年至 2020 年期間，森林生態系統的總碳儲量增加了 12%，活樹碳儲量增加了 28%。Walters et al. 2021. Greenhouse gas emissions and removals from forest land, woodlands, and urban trees in the United States, 1990-2019: Estimates and quantitative uncertainty for individual states. Fort Collins, CO: Forest Service Research Data Archive. https://doi.org/10.2737/RDS-2021-0035

養物質的競爭並帶來疾病，若沒有氣候智慧型森林管理來維持碳封存並提高其長期的恢復力，這些受影響的林地有可能成為淨排放源。

保護林地不被轉化和改善管理實踐的努力必須涉及公共和私有的森林，並且必須平衡一系列的用途，因為麻薩諸塞州超過 65%的森林是私人擁有的，包括公民個人和非政府組織（NGO），如土地信託。[56][57]雖然 NGO 擁有並管理著相當一部分的私人森林，但大部分森林是由整個麻州的 20 多萬私人土地所有者持有。私人土地所有者出於各種原因使用森林，包括生產木材和其他森林產品，享受自然美景、隱私、自然資源價值、投資潛力和個人娛樂。麻薩諸塞州的森林保護政策旨在幫助私人土地所有者繼續保持他們的森林，並管理他們的林地以獲得有恢復力的碳儲量。

該州擁有超過 525,000 英畝的林地，為野生動物棲息地、水源保護、公共娛樂、木材和其他林產品的生產以及可持續林業的示範而管理這些林地。漁業和狩獵部（DFG）擁有並管理著超過 143,000 英畝的林地，包括野生動物管理區和野生動物保護區。麻薩諸塞州保護和娛樂部的州公園和娛樂處（Division of State Parks and Recreation）以及水源保護處（Division of Water Supply Protection）負責近 377,000 英畝林地的管理和經營。2012 年，這些林地中超過 111,000 英畝被指定為森林保護區——這是生態過程占主導地位並為管理提供依據的分散程度最低的林區，除非在極有限的情況下並經過廣泛審查，否則不允許進行商業木材採伐。大約 77,000 英畝被指定為保護用地——該地區側重於保護和欣賞自然和文化資源，提供公共娛樂機會和親近自然的場所。其餘的大約 122,500 英畝，被指定為林地——為森林健康、資源保護、木材的可持續生產和娛樂而管理的森林地區。2012 年 3 月出版的《DCR 公園和森林的景觀名稱：選擇標準和管理指南》（*Landscape Designations for DCR Parks & Forests: Selection Criteria and*

[56]《麻薩諸塞州森林行動計畫》（Massachusetts Forest Action Plan），2020 年 12 月發佈。參見 https://www.mass.gov/service-details/massachusetts-forest-action-plan。

[57] Butler et al., "The Forests of Southern New England, 2012 A Report on the Forest Resources of Connecticut, Massachusetts, and Rhode Island," *U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station*, 2015, 1–42.

Management Guidelines）中，有更多關於這些景觀名稱中每一種允許的管理活動的資訊。[58]關於剩餘林地的所有權和保護狀況的更多資訊，以及對麻州森林的全面評估，參見 2020 年 12 月發佈的*《麻薩諸塞州森林行動計畫》*。[59]

確保我們的森林在面對持續的氣候變化時，繼續提供全方位的生態系統服務，這需要謹慎的管理，考慮森林生態系統的動態，保護森林不受損失，以及森林產品的可持續收穫和使用。雖然在 2025/2030 CECP 和麻州在 2050 年實現淨零排放的能力方面，碳封存是非常重要的森林生態系統服務之一，但森林也必須繼續提供野生動物棲息地、木製品、清潔的空氣和水以及娛樂，這就需要在森林管理中對生態系統服務進行優先權衡。[60][61]這些管理決策必須根據特定的生態條件、土地所有者的目標和特定林區的社區價值來制定。一些森林不受管理或只進行最低限度的管理以發揮荒地的作用可能比較合適。在其他情況下，某種程度的森林管理將有助於確保森林的健康，對生態幹擾的恢復力，並能夠繼續提供生態系統服務的平衡，包括長期的碳封存和儲存。例如，努力清除入侵物種和生命力較弱的樹木，並對過密的森林進行疏伐，使剩餘的樹木能夠從較少的資源競爭中獲益，並更快地生長。氣候智慧管理方法還可以幫助森林不那麼容易受到因氣候變化而加劇的生態幹擾的損害，並確保受幹擾的森林能夠更快恢復。在必要和適當的情況下移除樹木，將木材用於長期、耐用的產品，將有助於最大限度地減少排放和最大限度地儲存碳。雖然沒有一項單一的政策能統一覆蓋麻薩諸塞州的所有森林，但麻州對 NWL 幫助實現溫室氣體淨零排放的主要策略是保持我們的林地仍然作為林地運作。

---

[58]參見 https://www.mass.gov/doc/landscape-designations/download。
[59]參見 https://www.mass.gov/service-details/massachusetts-forest-action-plan。
[60]Woodall, Christopher W.; D'Amato, Anthony W.; Bradford, John B.; Finley, Andrew O. 2011.Effects of stand and inter-specific stocking on maximizing standing tree carbon stocks in the eastern United States.Forest Science. 57(5): 365-378.參見 https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/39406。
[61]Littlefield, A.W. and D'Amato, C.E. Identifying trade-offs and opportunities for forest carbon and wildlife using a climate change adaptation lens.Conservation Science and Practice, 2022(4).參見 https://doi.org/10.1111/csp2.12631。

定居地、樹木和森林

麻薩諸塞州有 130 萬英畝的定居地（即已開發的土地；占總面積的 25%），包括不透水表面、成片的城市森林和已開發的開放空間（例如，在住宅區、商業區和機構校園、公園和高爾夫球場的草坪、花園和景觀）。總體而言，2019 年定居地的淨碳封存量約為 1.3 MMTCO_2e。

定居地存在增加碳封存潛力的重要機會，包括在麻州目前缺乏樹冠覆蓋的 40 萬英畝已開發的開放空間植樹。[62]最近的一項研究發現，由於城市森林比非城市地區的森林有更多的機會獲得陽光和養分，因此城市森林儲存的碳比以前估計的要多。[63]此外，在草坪和草皮上種植的城市樹木不僅提供了地上的碳封存，還改善了土壤的有機碳含量（即土壤碳儲存）。[64]

雖然 2025/2030 CECP 側重於樹木和森林的碳封存和儲存的價值，但它們提供的健康和其他好處也很寶貴。城市森林和樹木提供清潔的空氣和水、雨水保留、以及鳥類和其他野生動物的棲息地。它們還提供涼爽的樹蔭和擋風，幫助減少相鄰建築物的製冷和供暖需求。城市森林為周圍的社區提供戶外娛樂和親近自然的機會，這一點已證明是非常有價值的，因為在新冠疫情期間，更多的人轉向戶外的大自然散步。附錄 D 進一步討論了城市植樹帶來的健康和其他好處。

圖 18. 麻薩諸塞州 Paul Revere Park。照片來源：flickr 網站麻州旅行和旅遊辦公室

[62]對休閒和觀賞景觀英畝數的估計依據的是 2016 年 MassGIS 土地覆蓋/土地使用資料集，參見 https://www.mass.gov/info-details/massgis-data-2016-land-coverland-use。

[63]Morreale, L.L., Thompson, J.R., Tang, X. et al.Elevated growth and biomass along temperate forest edges.*Nat Commun* 12, 7181 (2021). https://doi.org/10.1038/s41467-021-27373-7

[64]文獻回顧發現，當草坪和草皮中存在樹木時，土壤中的有機碳含量比單獨的草皮高 20%。

濕地

濕地土地類別，包括內陸和沿海環境中的開闊水域、水生草本、矮樹叢/灌木和森林濕地，占麻薩諸塞州土地覆蓋的 50 萬英畝（10%）。大約 93%的濕地被歸類為非潮汐淡水，而其餘的是潮汐濕地（包括富含碳的鹽沼）。濕地功能依賴於一組特定的水文條件，這些條件繼續受到土地使用改變和氣候變化的威脅，如海平面上升和更嚴重的風暴。保護濕地和它們的功能完整性是麻薩諸塞州氣候策略的一個重要組成部分。濕地的改變（例如，濕地的填充和損失）和幹擾（例如，流量限制、暴雨徑流）會導致碳作為甲烷氣體釋放，這是一種溫室氣體，比二氧化碳的變暖潛力高 28-36 倍。[65]

圖 19.黑石河谷國家遺產走廊（Blackstone River Valley National Heritage Corridor）：Uxbridge。照片來源：Carol Dandrade

根據 MassDEP 對濕地狀況和趨勢的分析，[66]淡水濕地的最大變化是海狸和人類活動對土地使用的改變。眾所周知，海狸建造水壩會大幅改變景觀，它們可以在水壩上建造自己的小屋，以避免被捕食。海狸建造的大壩淹沒了周圍的土地，創造了新的濕地，改變了周圍地區的水文情況。海狸的活動——特別是在麻薩諸塞州中部——在 1990 年至 2005 年期間創造了約 2,400 英畝的新淡水濕地，並將約 12,900 英畝的現有淡水濕地改變為其他類型（例如，從森林到灌木或水生草本）。

[65]據估計，甲烷在 100 年內的全球變暖潛力為 28-36，但在 20 年內的全球變暖潛力為 84-87（即比二氧化碳的潛力高 84-87 倍）。

[66] MassDEP’s *Inland and Coastal Wetlands of Massachusetts: Status and Trends* report，2019 年 3 月。參見 https://www.mass.gov/doc/inland-and-coastal-wetlands-of-massachusetts-status-and-trends/download。

像海狸活動這樣的自然幹擾強調了淡水濕地生態系統的動態性質，以及它們成為溫室氣體排放源或碳匯的潛力——有時在一年或一個季節內兩者交替出現。另一方面，可以限制人類活動，以減少濕地成為溫室氣體排放源的風險。MassDEP 確定了超過 1,500 英畝的濕地資源（主要是林地沼澤、沼澤或灌木沼澤）在 1990 年至 2005 年期間因人類活動而喪失。MassDEP 的濕地變化項目（Wetland Change Project）發現，人類活動造成濕地資源損失的最大原因是住宅和商業開發。[67]

對於鹽沼地來說，海平面上升、營養物污染、沉積物供應減少和流量改變已被確定為重要的壓力因素。[68]如果海平面上升超過了鹽沼通過自然過程垂直積累的速度，那麼鹽沼將開始崩潰，導致生態系統服務和相關碳儲存的損失。雖然應對海平面上升，與合適的土地接壤的沼澤可能會在一個稱為沼澤遷移的過程中水準遷移，但在許多沿海地區，開發和陡峭地形的存在會造成障礙，抑制這一過程。海平面上升也可能導致潮汐濕地遷移到鄰近的咸水和淡水濕地。麻薩諸塞州沿海地區管理辦公室（Office of Coastal Zone Management）應用海平面影響沼澤模型（Sea Level Affecting Marshes Model，簡稱“SLAMM”），檢查因為海平面上升，包括潛在的沼澤遷移區域，沿海濕地當前和未來潛在的範圍和分佈。

[67] MassDEP’s *Inland and Coastal Wetlands of Massachusetts: Status and Trends* report，2019 年 3 月。參見 https://www.mass.gov/doc/inland-and-coastal-wetlands-of-massachusetts-status-and-trends/download。

[68]Pappal, A. and K. Kahl. 2022.Gaining Ground: Defining Priority Research for Resilient Salt Marshes.鹽沼工作組（Salt Marsh Working Group）是麻薩諸塞州生態系統氣候適應網路（Massachusetts Ecosystem Climate Adaptation Network）的一個工作組。

除了保持連線性和限制非點源污染的土地使用規劃和實踐之外，永久保護沼澤、周圍的緩衝區和鹽沼遷移區，對保護濕地而言非常重要。通過取消限制和增大涵洞來恢復鹽沼的潮汐流，可以支援減少甲烷排放和增加碳儲存，同時也支援沼澤的生態功能和恢復力。[69][70]

DFG 的生態恢處（Division of Ecological Restoration）一直在麻州各地發起恢復河流、溪流、濕地和流域的項目。該處與其他州機構和辦公室（如沿海地區管理辦公室）、非營利組織、城鎮、個人和團體合作，實施積極主動的恢復專案。他們繼續支持對新興的創新修復方法的研究，以恢復潮汐流和濕地的生態功能。

耕地和草地

農田和草地在麻薩諸塞州的土地面積中占比相對較小（約 40 萬英畝，占麻薩諸塞州土地面積的 7%），但農業是減少溫室氣體排放[71]和增加碳儲存的一個重點領域。使用高解析度的土地使用/覆蓋綜合資料，截至 2016 年，約有 205,800 英畝被歸類為農業用地。[72]農業用地可細分為一年生耕地（29%）、多年生耕地（6%）和牧場/牧草種植地（65%）。[73]每英畝碳儲量（包括植被中的地上碳儲量和根系及土壤中的地下碳儲量）在多年生耕地中最高，其次是牧場/牧草種植地，一年生耕地的碳儲量最低，因為在一年中的部分時間沒有植被覆蓋。麻薩諸塞州越來越多的農民通過使用結合了覆蓋作物、減少耕作和作物輪作的一年生耕作系統，採用和實施健康的土壤實踐。儘管如

[69]Wang, F., Eagle, M., Kroeger, K.D, Spivak, A.C., Tang, J. Plant biomass and rates of carbon dioxide uptake are enhanced by successful restoration of tidal connectivity in salt marshes.Sci.Total Environ 750, 141566 (2021). https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141566
[70]Kroeger, K., Crooks, S., Moseman-Valtierra, S., Tang, J. Restoring tides to reduce methane emissions in impounded wetlands: A new and potent Blue Carbon climate change intervention.Sci.Rep.7, 11914 (2017). 10.1038/s41598-017-12138-4. https://doi.org/10.1038/s41598-017-12138-4
[71]本章涉及農業土壤管理中的二氧化碳排放以及保持和增加儲存土壤中的碳（即降低二氧化碳排放）的方法。它不涉及土壤上施用尿素肥料和石灰的二氧化碳排放、腸道發酵的甲烷排放、糞便管理和土壤上施用的甲烷和一氧化二氮排放，或農業土壤的一氧化二氮排放。
[72]來自 MassGIS 的 2016 年土地覆蓋/土地使用資料集，參見 https://www.mass.gov/info-details/massgis-data-2016-land-coverland-use。
[73]2020 年的資料來自 USDA 國家農業統計局（National Agricultural Statistics Service）的耕地資料層（Cropland Data Layer）。

此，麻薩諸塞州的初步 NWL 溫室氣體清單表明，麻薩諸塞州的耕地（包括土地轉換為耕地和草地）每年排放的二氧化碳比他們的封存量多約 0.3 MMTCO_2e 。與森林一樣，管理方法是影響農業土壤是碳的淨來源還是碳匯的重要因素。

除了影響農業碳足跡的管理方法的重要性外，保護農田不被轉化為開發用地，也可以防止土壤碳的流失。許多農場靠近公路和成長中的城鎮，使得農田和土壤面臨住宅和商業開發的風險。2001 年至 2016 年，麻薩諸塞州約有 14,300 英畝的農田被轉化為城市和高度開發的用途，而約有 12,800 英畝被認為受到低密度住宅開發的威脅。[74]永久保護農田，同時實施健康土壤實踐，是防止土地轉換造成碳損失的最佳途徑。

圖 20. Saltbox Farm 的土地 – Concord。照片來源：Saltbox Farm

麻州目前正在制定一個農田行動計畫（Farmland Action Plan），以加速直至 2050 年的農田保護。該計畫將概述目標和建議，並提供一個路線圖，以克服挑戰，增加農田保護、農田使用、糧食安全，提高該州所有地區農場的長期經濟和環境生存能力。該計畫將包括以下內容：

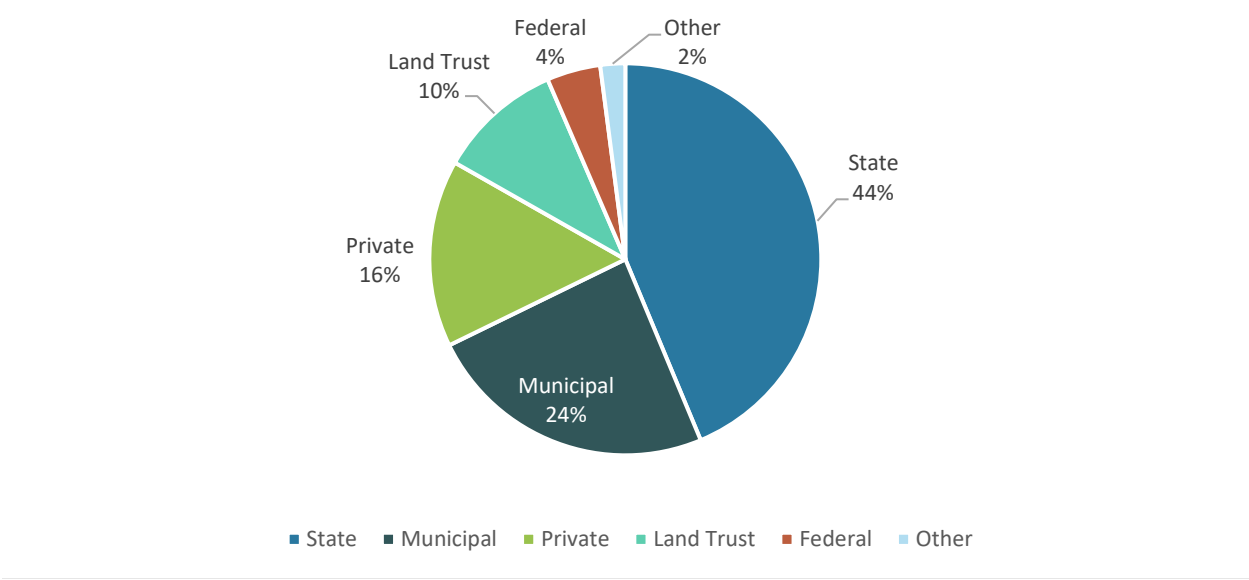
- 確定到 2050 年增加農田保護的多年期策略。
- 制定與農田保護、農田生存能力和所有人口（包括農業部門中歷史上得不到足夠服務或被剝奪權利的人群）的社會正義相關的可衡量目標。
- 推薦實現上述目標所需的策略和州支出及資源。
- 創建測量工具來跟蹤進展情況。

[74]American Farmland Trust’s *Farms Under Threat: State of the States* report，2020 年發佈。參見 https://farmlandinfo.org/publications/farms-under-threat-the-state-of-the-states/。

8.2 2025 年和 2030 年自然土地和工作用地的目標

鑒於 NWL 在提供生態系統服務和說明麻州在 2050 年實現溫室氣體淨零排放方面的重要性，當務之急是州內的 NWL 保持其功能並被保護起來，避免轉化和退化。根據最新的保護性和娛樂性開放空間土地的資料，[75]麻薩諸塞州約有 140 萬英畝（約占麻薩諸塞州土地和水的 27%）的未開發土地通過直接所有權、保護限制、農業保護限制、流域保護限制和其他契約限制被永久保護起來，免於開發。在 140 萬英畝受保護的未開發土地中，只有稍少於一半的土地為州政府所有，城鎮擁有近四分之一；其餘的為私人實體、土地信託、聯邦機構和其他實體（包括保護組織、其他非營利組織和縣）所有。圖 8. 3 有更多關於所有權分類的細節。

圖 8. 3. 長期受保護的開放空間的所有權，如 MassGIS 的受保護和休閒開放空間資料中所列。



為了在 2050 年保留 NWL 的碳封存能力並防止進一步的排放，麻州承諾：通過州保護工作，到 2025 年和 2030 年，**將麻薩諸塞州未開發的土地和水（包括濕地）的永久保護分別提高到至少 28%**

[75]Protected and Recreational OpenSpace Datalayer 參見 https://www.mass.gov/info-details/massgis-data-protected-and-recreational-openspace。美國國家環境保護局將開放空間定義為任何未開發的（沒有建築物或其他建築結構）、可供公眾使用的開放土地，包括部分或完全被草地、樹木、灌木或其他植被覆蓋的土地，學校運動場，操場，公共座位區，公共廣場，以及空地。

和 30%。這些目標意味著到 2025 年約有 63,400 英畝，到 2030 年將有超過 167,000 英畝的土地得到保護或永久保護，免於開發。2030 年的目標與“保護和恢復美麗的美國”（Conserving and Restoring America the Beautiful）[76]倡議中的國家政策相一致，即到 2030 年保護全國 30%的土地和水域。

除了 NWL 的保護之外，麻州將通過更好的管理和恢復，致力於減少 NWL 的溫室氣體排放和加強碳封存，並承諾實現以下目標：

- 到 2030 年，**鼓勵 20%的私有森林和農場採用氣候智慧管理方法，**在增加碳封存和儲存與提高對入侵物種、害蟲和氣候變化幹擾的恢復力之間取得平衡。
- **到 2025 年和 2030 年，分別種植至少 5,000 英畝和 16,100 英畝新的城市和河岸樹木，**以增加碳封存，提供城市製冷、雨水管理和其他生態系統服務。
- **到 2030 年，實現濕地儲存的碳無淨損失，**不僅確保濕地無淨損失，而且還能保護其生態和碳儲存功能。
- 激勵更多地利用採伐的木材生產長壽命的耐用產品，在 2025 年至 2030 年期間，採伐的木材在耐用木材產品中的回收率要達到 5%。這將有助於降低木材採伐和加工的排放，並延長採伐的碳在長壽木製品中的儲存。

EEA 還將與 DCR、DFG 和其他州實體合作，為州有森林制定符合麻州 NWL 目標和策略的管理目標和策略。在 2025/2030 CECP 發佈之時，DCR 正在重審由 DCR 的州公園和娛樂處管理的森林的景觀名稱。管理目標將作為該審查的一部分制定，其中包括一個專門的公眾和利益相關者參與過程。EEA 還保留了*麻薩諸塞州 2050 年去碳化路線圖研究的土地部門技術報告（Land Sector Technical*

[76]參見 https://www.doi.gov/sites/doi.gov/files/report-conserving-and-restoring-america-the-beautiful-2021.pdf。

Report）[77]背後的研究人員，以更新和擴大他們對森林管理及其對碳封存的影響和好處的分析。EEA 將與州政府機構分享更新後的分析結果，以告知該機構擁有和管理的州有森林的森林管理實踐。

成功實現這些目標，將使麻州減少 NWL 的轉化率和排放量，同時永久保護生態系統功能，增加 NWL 的淨碳封存量。認識到 NWL 的溫室氣體通量是複雜的、動態的和不確定的（見附錄 C），以及自然幹擾對目前的碳儲量構成一定的風險，麻薩諸塞州承諾**到 2025 年保持目前的 NWL 淨排放水準（估計為每年-7.0 MMTCO₂e ），到 2030 年實現 NWL 淨排放比 1990 年水準減少 25%（估計為-7.4 MMTCO₂e）**的目標，如表 8.2 中所列。實現這些目標將使麻薩諸塞州在 2050 年達到溫室氣體淨零排放，並減少對境外碳封存的依賴。下一節概述了實現這些目標的關鍵策略、政策和行動。

表 8.2. 對自然土地和工作用地排放的初步估計

NWL	1990 年	2010 年	2015 年	2020 年	2025 年	2030 年
淨排放（MMTCO₂e）	-5.9	-6.8	-7.0	-7.0*	**-7.0**	**-7.4**
比 1990 年減少（增加）%	-	15%	19%	19%*	19%	25%

* 因尚無 2020 年資料，所以根據 2019 年資料估算

注：尚未計入內陸濕地的淨排放。

8.3 自然土地和工作用地的策略和政策

本節介紹的一整套策略、政策和行動（NWL 計畫）將有助於實現上一節中設定的大膽但可實現的目標。這個 NWL 計畫是在與有恢復力的土地和健康土壤政策以及 2020 年“森林行動計畫”有關的

[77]2020 年 12 月發佈。參見 https://www.mass.gov/doc/land-sector-technical-report/download。

規劃工作的基礎上制定的，[78]並通過在臨時 2030 CECP 發佈和 2025/2030 CECP 定稿之間舉行的各種技術會議和公開會議，吸收利益相關者的意見（關於公開程式的更多資訊，參見附錄 F）。此外，該 NWL 計畫與拜登總統於 2022 年“地球日”簽署的 14072 號行政命令“加強國家的森林、社區和地方經濟”[79]中包含的最新國家政策相一致。

這個 NWL 計畫的重點在於保護和加強我們現有的碳儲存能力，並確保其在 2050 年之前和之後的恢復力的策略。這些策略包括：

1. **保護 NWL：**將 NWL 作為 NWL，以保護目前和未來的碳封存能力。
2. **管理 NWL：**加強碳封存，提高生態系統的恢復力，減少氣候變化和生態幹擾造成的碳損失風險。
3. **恢復 NWL：**減少排放，提高 NWL 的碳儲存能力。
4. **激勵長壽耐用的木製品：**作為氣候智慧型森林管理的一部分，擴大碳儲存，支援以 NWL 為基礎的當地經濟。
5. **探索更多的碳封存：**到 2050 年實現溫室氣體的淨零排放，二氧化碳的清除和儲存超過麻薩諸塞州 NWL 的能力。

策略 L1：保護 NWL（保持 NWL 的狀態）

[78] *《麻薩諸塞州森林行動計畫》*，2020 年 12 月發佈。參見 https://www.mass.gov/service-details/massachusetts-forest-action-plan。

[79] https://www.whitehouse.gov/briefing-room/presidential-actions/2022/04/22/executive-order-on-strengthening-the-nations-forests-communities-and-local-economies/

保護 NWL 目前和未來的碳封存能力，是麻州公認的最重要的策略。這一策略需要雙管齊下：（1）積極和戰略性地擴大 NWL 的保護工作，以保持更多的 NWL 作為 NWL 的狀態，並盡可能長時間地保持下去；（2）減少 NWL 的轉換，以減少直接排放和未來碳封存的損失。

擴大景觀和流域尺度上的保護

到目前為止，麻州、土地信託基金和其他保護組織已經辛勤地保護了麻薩諸塞州 27%的開放空間。到 2025 年和 2030 年，通過州政府的保護工作，將至少 28%和 30%的未開發的土地和水（包括濕地）永久保護起來，麻州的目標是將州政府目前 NWL 的保護速度翻番，從每年約 10,000 英畝提高到每年 21,000 英畝。[80] 以下是國家機構將實施的具體政策和行動。

圖 21.Mohawk Trail。照片來源：Eugene Michalenko

- 到 2023 年底，EEA 和相關機構將審查和更新州土地收購和土地保護專案的評估標準，**以優先保護易受開發影響的森林、富碳森林、濕地和濕地上游的開放空間，包括沼澤遷移走廊**。
- EEA 將尋求**通過州和聯邦資金來源（如土地及水資源保護基金（Land and Water Conservation Fund）），增加土地保護撥款和計畫的年度預算**。Baker 州長於 2022 年 4 月 21 日提交了《投資於彈性、勞動力和振興市中心的未來機遇法案》（An Act Investing in Future Opportunities for Resiliency, Workforce, and Revitalized

[80]麻薩諸塞州奧杜邦 2020 年發佈的第六版《失地：自然在不斷變化的氣候中的價值》（*Losing Ground: Nature's Value in a Changing Climate*）表明，土地保護的速度約為每天 40 至 54.8 英畝，相當於每年 14,600-20,002 英畝。這個數字可能包括由州撥款直接資助的保護工作以外的土地保護。這個數字也可能只計算旱地保護，而 EEA 的到 2025 年≥28%和≥30%的土地保護目標中包括土地和水。《 *失地*》報告參見 https://www.massaudubon.org/our-conservation-work/policy-advocacy/shaping-climate-resilient-communities/publications-community-resources/losing-ground。

Downtowns，簡稱“FORWARD”），其中包括 400 萬美元的《美國救援方案法》（ARPA）資金，用於收購開放空間。隨著資金的增加，EEA 可以擴大現有“景觀夥伴關係”（Landscape Partnership）保護計畫的預算，鼓勵跨越城市邊界的多地塊項目，以保護整個棲息地或流域系統；管理新的撥款，側重於重要供水流域的景觀保護，其中許多是在農村社區，為門戶城市提供飲用水；提高州保護土地稅收抵免（Conservation Land Tax Credit）上限，以幫助更多的私有 NWL 保留 NWL 的狀態，並對土地捐贈提供稅收抵免；增加其他撥款專案的年度預算，包括“自然多樣性的地方收購”（Local Acquisition for Natural Diversity，簡稱“LAND”）和“保護夥伴關係”（Conservation Partnership）。

- EEA 將尋求額外的州資金，**用於擴大農業保護限制計畫（Agricultural Preservation Restriction（APR）Program），超越其目前的模式**，以保護目前由於土壤、面積、土地價值、所有權、森林和其他標準而沒有資格獲得 APR 的農場。今天，只有不到 75,000 英畝的農田有州持有的農業保護限制。
- 到 2024 年底，EEA 將制定並尋求推進新的立法，以支持森林和農田無淨損失（No Net Loss of Forest and Farmland）的目標。這將包括對第 61 章和 61A 章當前使用計畫的修訂，以便讓 3 英畝或以上的地塊符合條件（目前的稅收優惠政策是保護 10 英畝以上的林地和 5 英畝以上的農田）。這也將包括州政府的代繳稅（Payment in Lieu of Taxes，簡稱“PILOT”）獎勵，以促進稅基低、州保護地比例高的農村社區的土地保護。
- EEA 還將**與市政當局、土地信託基金和其他保護組織合作，鼓勵在 2025 年和 2030 年的州保護目標之上增加 NWL 保護**，包括保護限制的節奏。

限制 NWL 的土地轉化

除了土地收購和保護，麻州將尋求提供激勵措施，並尋求下文所述的監管變革，旨在減少 NWL 轉化為開發地。

- EEA 將尋求增加土地規劃撥款的年度預算，為市政當局和區域規劃機構提供更多的補助資金，**以加強對自然資源保護區（NRPZ）和樹木保護細則和激勵措施的採用。**NRPZ 和相關的“集群發展”技術以最大限度地保護 NWL 的方式，來規範新的土地分區。樹木保護細則和激勵措施可以限制或緩解住房開發過程中的樹木移除。

- 到 2022 年底，MEPA 辦公室將與 MEPA 諮詢委員會（該委員會的成立是為了提供有關 2021-2022 年監管審查工作的建議）一起審議是否有可能在法規中增加一個審查門檻，**要求進行一定程度森林清理的專案接受環境審查程式**。將考慮對 MEPA 的溫室氣體排放政策和議定書進行額外的完善，以加強對超過現有土地變更審查門檻的專案的林地、濕地和耕地/草地的分析。

- 到 2023 年底，DOER 將通過太陽能技術潛力研究，為未來太陽能項目選址**提供指導。**這種指導預計將有助於最大限度地減少對 NWL 的環境影響和損失的碳封存，同時滿足建築供暖和交通電氣化的可再生能源需求。第 6 章策略 E4 進一步討論了太陽能技術潛力研究和麻州對在“已建成”景觀上部署更多太陽能項目的承諾。

- 到 2024 年底，MassDEP 將調查各種方法，以增加全州對濕地的保護，以及至少對 100 英尺濕地緩衝區的前 50 英尺的保護。這些方法（例如，帶有契約限制要求的一般許可）必須保護包含關鍵野生動物棲息地或季節性池塘的區域。根據《麻薩諸塞州濕地保護法》（M.G.L.第 131 章第 40 節），未經保護該法所確定的濕地“利益”的當地保護委員會的批准，任何人不得拆除、填充、疏浚或改變任何濕地區域。麻薩諸塞州大約 58%的城市有濕

地附則或條例，可以為濕地提供超出州法律的額外保護。然而，只有 17%的城市對濕地緩衝區前 50 英尺範圍內的區域規定了不建造、不幹擾或不改變的要求。[81]

策略 L2：管理 NWL

麻薩諸塞州有 20 多萬英畝的森林——約占麻州所有私有林地的 11%——目前被納入第 61、61A 和 61B 章的稅收計畫，這類計畫允許私有林地按財產的當前使用價值而不是土地的公平市場或開發價值繳稅。加入這些計畫，要求財產所有者將其森林的狀態保持至少 10 年，並制定一個森林管理計畫或森林監管計畫（該計畫建立在森林管理計畫的基礎上，對不動產上的森林資源進行整體評估）。由專業林業人員撰寫並經 DCR 審查和批准，森林監管和森林管理計畫的制定可以納入針對具體地點的氣候智慧實踐，其中考慮到該地點的森林年齡、樹木組成、碳儲量和封存潛力、入侵物和害蟲的普遍性，以及對幹擾的脆弱性和氣候變化帶來的更多風險。

目前，麻州沒有可靠的資料說明健康土壤實踐在麻薩諸塞州農業用地上的實施程度。最近啟動的“麻薩諸塞州協調土壤健康計畫”（Massachusetts Coordinated Soil Health Program）——由麻薩諸塞州農業資源部（MDAR）、美國農田信託基金（American Farmland Trust）和麻薩諸塞大學阿默斯特分校合作努力——正在為農民提供教育資源和技術及財政援助，以實施健康土壤實踐，如免耕或低耕和使用覆蓋作物，增加我們農業土壤的碳儲存。MDAR 的氣候智慧農業計畫正在資助購買設備，以說明農民過渡到健康土壤實踐。

圖 22. Heifer International Garden。照片來源：flickr 網站麻州旅行和旅遊辦公室

[81]根據麻薩諸塞州保護委員會協會（Association of Conservation Commission）2019 年最新更新的市政濕地細則/條例資料庫。

為了實現到 2030 年 20%的私有森林和農場採用氣候智慧管理方法的目標，麻州將尋求為森林土地所有者和農民提供財政獎勵，以實施增加森林和農場碳儲量的管理方法，同時提高土地對生態幹擾和氣候變化的恢復力，包括：

- 到 2023 年底，DCR 將尋求**啟動一個新的森林恢復力計畫**，作為該機構“作業林倡議”（Working Forest Initiative）的一部分，該倡議已經為至少 10 英畝的森林土地所有者提供成本共用付款，以完成作為森林監管項目一部分的森林監管計畫。“森林恢復力計畫”的目標是向擁有至少 10 英畝土地的私人和市政土地所有者提供財政獎勵，以在 20 年或更長時間內採用經過驗證的林業實踐（如疏伐、延長輪伐、保留樹木、留出森林保護區等），以擴大碳儲存和提高森林氣候恢復力。
- 到 2026 年底，EEA 將尋求修訂《麻薩諸塞州森林稅法》（Massachusetts Forest Tax Law），以修改第 61 章和第 61A 章專案，或**建立一個新的第 61C 章專案**，為參與的私人和市政土地所有者提供額外的激勵措施，以配合長期的承諾，即保持他們的林地在目前的使用和實行氣候智慧管理。“森林恢復力計畫”在充分運作後，可以作為該項目的入門要求。如果農田能夠以可衡量的方式納入健康土壤實踐，也可以有資格進入第 61C 章。
- 從 2024 年開始，MDAR 將尋求通過“麻薩諸塞州協調土壤健康計畫”，向農民提供額外的財政獎勵，以實施健康土壤實踐，增加農業土壤的碳儲存。

策略 L3：恢復 NWL

增加非森林地區的樹木覆蓋率

圖 23. 保護和娛樂部與兒童一起植樹

完成至少 16,100 英畝的河岸和城市植樹，將需要在麻薩諸塞州顯著擴大目前植樹計畫的範圍和加快這些計畫的速度。在麻州有大量的無林空地在河流、溪流、池塘、湖泊和其他水體的 100 英尺範圍內。這些河岸緩衝區有八到九百（800-900）英里，覆蓋 10,700 英畝，將需要在未來八年內進行種植。另外 5,400 英畝的城市植樹將在已開發的空地上進行，優先考慮 EJ 社區，這些社區往往有大面積的不透水表面，可以從增加樹冠覆蓋面中大大受益，以緩解城市熱島效應和雨水氾濫。作為“門戶城市綠化”專案的一部分，DCR 已經在 EJ 社區種植了約 30,000 棵樹，密度為每英畝 5 棵。以下是 EEA 及其州政府機構將實施的具體政策和行動，以實現 2025 年和 2030 年的植樹目標。

- 到 2023 年底，DCR 將尋求**啟動河岸植樹項目**（Riparian Tree Planting Program），以大幅擴大沿河、溪流、湖泊和池塘的樹木覆蓋率，並保留農田周邊的邊緣/過渡性棲息地。河岸植樹專案將與當地土地信託基金、保護區和流域協會合作，在 EJ 社區、機構草坪、已開發地區和低產農田中尋找合適的地點，以獲得最佳的水過濾和棲息地效益。州政府對該項目的資助將補充來自保護儲備（Conservation Reserve）或環境激勵計畫或美國農業部（USDA）其他土地所有者成本分攤計畫的資金。
- EEA 將尋求額外增加**“門戶城市綠化”專案**的年度預算，以加快在 EJ 社區的城市植樹。“門戶城市綠化”專案的預算最近因 ARPA 的第一批資金而增加，因而 2023 至 2025 財政年度的年度預算增至 830 萬美元。有了這筆資金，該專案啟動了“植樹實施補助計畫”（Tree Planting Implementation Grant Program），為門戶城市和合格的非營利組織提

供財政支援，以開展更大規模的城市植樹和相關活動。年度預算的額外增加將擴大植樹實施補助計畫的實施範圍。

- 從 2024 年開始，EEA 將在“市政脆弱性準備”（MVP）專案行動撥款中，每年至少拿出 300 萬美元，用於綠化和自然專案，以降低熱島影響，增加城市碳儲存。

改進和擴大濕地恢復

要實現濕地儲存碳的無淨損失，不僅需要保護濕地，還需要保護濕地附近和上游的土地，因為濕地上游和周圍的土地管理會嚴重幹擾和破壞濕地。這也將要求對內陸濕地的再造有更嚴格的標準，並積極恢復退化的濕地和受海平面上升影響的沿海濕地。為此，以下行動將支持濕地保護：

- 到 2024 年底，MassDEP 將**實施**《邊界植被濕地（BVW）一般性能標準》（310 CMR 10.55(4)(b)）中的**儲存碳無淨損失的要求**，以及依據 310 CMR 10.05(10)的**至少 2:1 的替換與損失比**，以堅持尋求變通的專案的長期要求。目前，BVW 替換標準沒有涉及保護濕地土壤中豐富的碳儲存。由於增加了儲存碳無淨損失的要求，被替換的濕地將需要有機土壤，其含有的碳密度比礦質土壤高得多。也可以通過在被替換的濕地及其周圍種植濕地植被和樹木來實現額外的碳儲存。
- 到 2024 年底，MassDEP 和 MEPA 辦公室將調查並確定**簡化濕地恢復專案的許可和環境影響審查的方法**，以恢復潮汐濕地，消除潮汐流量限制，並恢復鹽沼功能。符合條件的專案將成為加速審批程式的目標。

策略 L4：鼓勵長壽命、耐用的木製品

就碳封存和減排而言，木製品是麻薩諸塞州主要的本地、NWL 衍生的產品。在壽命長、耐用的產品中使用採伐的木材，可以幫助減少與森林相關活動的排放，激勵材料的可持續生產，並幫助保

留森林。雖然採伐森林會導致森林碳的短期損失，但經過仔細的規劃和管理，可以確保麻薩諸塞州的作業林可以繼續封存碳，同時也將碳長期儲存在有用的木製品中。

當地採伐的木材可以取代碳足跡較大的建築材料，如鋼鐵和混凝土，從而減少碳排放。也有新的機會使用工程木製品（如交叉層壓木材），用於建造高度接近 20 層的大型木結構建築。這些新的木制建築的總碳成本可以大大低於用鋼和/或混凝土建造的類似建築。[82][83]

麻薩諸塞州是一個木材的淨進口州，在麻薩諸塞州使用的木製品中，只有很小一部分是在麻州生長的。[84][85]與從環境保障措施較少且有更多負面碳影響的地方進口木材產品（包括運輸相關的排放）相比，在這裡採伐木材——這裡的增長遠遠超過採伐水準——有助於確保採伐是可持續進行的。此外，本地木材對於支持麻薩諸塞州當地基於自然資源的經濟非常重要。

收穫或移除的生物質的命運是任何森林幹擾（包括森林管理）的碳平衡中的一個關鍵考慮因素。雖然砍伐和移除樹木會導致景觀中碳儲量的最初損失，但任何特定採伐的長期碳儲存和排放是由各種過程決定的。這些過程包括被利用的採伐樹木的比例、未採伐的生物質的生長和分解率、被採伐木材加工的效率，以及人造木製品的壽命和分解率。使用傳統的伐木產品核算方法，按照目

[82]Chadwick Dearing Oliver, Nedal T. Nassar, Bruce R. Lippke & James B. McCarter (2014) Carbon, Fossil Fuel, and Biodiversity Mitigation With Wood and Forests, Journal of Sustainable Forestry, 33:3, 248-275, DOI: 10.1080/10549811.2013.839386

[83]Monetizing the Carbon Benefits of Mass Timber to Scale Up Its Deployment in Mid-Rise Housing and Commercial Development: A Pilot in the Metropolitan Boston Area, Olifant, LLC.USDA Forest Service Grant Number: 2019-DG-11420000-132. https://www.fs.usda.gov/science-technology/energy-forest-products/wood-innovations-data

[84]Berlik, M.M., Kittredge, D.B. and Foster, D.R., 2002.The illusion of preservation: a global environmental argument for the local production of natural resources.Journal of Biogeography, 29(10‐11), pp.1557-1568. https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2002.00768.x

[85]Howard, James L.; Liang, Shaobo. 2019.U.S. timber production, trade, consumption, and price statistics. 1965-2017.Res.Pap.FPL-RP-701.Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 96 p.

前的使用和分解率，通過長時間的積累，木材採伐的結果是每儲存一份碳，就會排放大約兩份碳。[86]然而，改變被採伐木材的命運，可以減少與碳儲存清除有關的總排放量。

利用採伐的木材來生產額外的或壽命更長的耐用品和材料，可以將移除的碳的更大一部分儲存幾年（如從紙漿生產的紙張）、幾十年（如傢俱），甚至超過一個世紀（如交叉層壓木材或建築物的絕緣材料），減少與移除活動相關的淨排放。如果這些產品取代了那些具有較高碳足跡的產品，就有可能進一步減少溫室氣體排放。此外，只要採伐後的土地繼續用於森林，由於資源競爭減少，土地上新樹和剩餘樹木的生長將暫時增加這些土地上的碳封存。因此，我們如何處理和使用採伐的木製品中的碳，以及用於移除這些木材的造林方法，都會影響我們林地的碳儲存和封存潛力。

直到最近，關於在麻薩諸塞州採伐的木材的命運——包括加工成不同壽命的木製品的比例以及這些產品在何處銷售或使用，一直缺乏可靠的資料。EEA 已經委託進行一項研究，以便更新伐木核算方法，體現麻薩諸塞州伐木碳轉移的最新資料。根據最近在麻薩諸塞州收集的森林庫存資料，[87]在麻薩諸塞州採伐的樹木的生物質（地上和地下）中所包含的碳裡，估計 41%有技術潛力被用於長壽命、耐用的木製品。[88]到 2025 年，EEA 及其州政府機構將通過擴大木材採伐的資料收集和對工廠經營者的調查，

圖 24.研究由北美喬松（Eastern White Pine）和加拿大鐵杉（Eastern Hemlock）製成的交叉層壓材產品。照片來源：Peggi Clouston 博士（UMass-Amherst）

[86]EEA. 2020.Land Sector Technical Report, Massachusetts 2050 Decarbonization Roadmap Study. https://www.mass.gov/doc/land-sector-technical-report/download

[87]美國國家森林局庫存和分析資料，2019 年評價組年。參見 https://www.fia.fs.fed.us/library/database-documentation/ 和 https://www.nrs.fs.fed.us/fia/data-collection/。

[88]這代表了生長中樹木的可銷售木料中的碳（不包括腐爛、缺失和成型的木料；不包括樹皮），表示為通過採伐移除的所有活體樹木的地上和地下部分的總碳的比例。“生長中樹木”被簡單定義為所有符合最低適銷性標準的商用物種的活體樹木。採伐量是指被砍伐和利用的樹木，或因採伐作業而死亡但未被利用的樹木，在此定義為林地仍為林地的情況（即不是因土地用途改變為林地或從林地改變而進行的採伐）。目前的木材利用方式可能與 FIA 的適銷性定義不同。

評估採伐的樹木中用於長壽、耐用的木製品的部分。在這個基線之上，EEA 及其機構將尋求在 2025 年和 2030 年之間，將被採伐木材的耐用木材產品回收率提高 5%。提高 5%這個目標中，大部分可以通過提高木材加工效率來實現，正如 USDA 國家森林局以前管理的“全國鋸木廠改進計畫”（National Sawmill Improvement Program）所觀察到的。[89]

增加採伐木材在長壽耐用木製品中的利用率，需要與“L2 管理 NWL”策略下的森林管理行動仔細協調。具體而言，“森林恢復力計畫”的實施可以通過對自然再生的森林進行疏伐、修剪和延長輪伐，同時避免短期損耗多種生態系統服務所需的大樹，將鋸木品質的樹木供應維持到 2050 年及以後。作為必要的疏伐的一部分，被移除的較低品質的樹木也可用於長壽、耐用的木製品。

以下是 EEA 及其州機構將實施的具體政策和行動，以增加被採伐的木材在長壽耐用木製品中的利用率，並提高木材加工效率。

- 從 2023 年開始，DCR 將試行一項計畫，收集在麻州的私有和州有森林中採伐的木材在何處加工的資訊。該試點計畫可能會在《森林砍伐作業法》（Forest Cutting Practices Act）目前所要求的森林砍伐計畫的基礎上，增加報告要求。該法適用於任何地塊上任一時間內木材量超過 2.5 萬板英尺或 50 考得（cords）的商業木材砍伐。該試點計畫還將收集森林砍伐計畫中沒有包括在內的樹木移除的木材加工資訊。
- 從 2023 年開始，DCR 將委託進行工廠回收研究，以評估在麻薩諸塞州採伐的木材的常見最終用途。
- 從 2023 年開始，DCR 將委託進行一項研究，以確定支持在麻薩諸塞州用可持續採伐的木材生產耐用木製品的本地市場的潛在機會。

[89]Lunstrum, Stanley. 1982. ”What have we learned from the sawmill improvement program after 9 years” Southern Lumberman. https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1982/lunst82a.pdf

- 到 2024 年底，DCR 將尋求**擴大“森林生存能力項目”（Forest Viability Program）**，以資助技術援助和財政獎勵，以提高木材加工效率，並擴大低品質木材用於耐用木製品的市場。如果資金充足，該專案將包括以下特點：（a）對企業的直接財政援助，以支援提高在麻薩諸塞州採伐的樹木中長壽木製品的回收率、保留勞動力、先進的製造方法，戰略電氣化和鋸木廠的能源效率；（b）激勵開發商購買由加拿大鐵杉製成的交叉層壓材（CLT）；[90][91]（c）試行激勵計畫，讓地方住房部門/信託機構在建築專案中使用本地木材；以及（d）為當地耐用木製品市場和勞動力培訓提供財政支援。

策略 L5：探索額外的碳封存

在 2050 年實現淨零排放，需要麻州內的資源或可歸於麻州的資源每年真正的、經核實的封存多達 14.2 MMTCO_2e 。EEA 目前的評估是，麻薩諸塞州的 NWL 不可能在不嚴重影響其他生態系統服務和土地使用的前提下，在 2050 年以這個速度封存二氧化碳。因此，有必要制定區域一致的封存測量、核算和市場框架，讓麻薩諸塞州能夠從該地區的其他州購買額外的、成本最低的封存服務，以便讓麻州在 2050 年實現溫室氣體淨零排放。制定和使用一個共同的碳封存核算框架是很重要的[92]，因此，麻州正在參與一項多州工作，在美國氣候聯盟的支持和推動下，制定這個框架。與設定本世紀中葉溫室氣體淨零排放目標的其他州密切合作，這項工作旨在：

- 到 2025 年，制定實現本州和麻薩諸塞州以外其他管轄區溫室氣體淨零排放的核算框架。

[90]Kaboli H, Clouston P, Lawrence S. 2020.“Feasibility of Two Northeastern Species in three-layer ANSI Approved Cross Laminated Timber.”ASCE Journal of Materials in Civil Engineering. 32(3), 04020006 https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%29MT.1943-5533.0003058?mi=3i1ciu

[91]鐵杉交叉層壓材認證和示範專案（Hemlock Cross Laminated Timber Certification and Demonstration Project），東北州林務員協會（North East State Foresters Association）。USDA 國家森林局撥款編號：2021-DG-11094200-098 https://www.fs.usda.gov/science-technology/energy-forest-products/wood-innovations-data

[92]儘管碳封存市場可能與當前和未來的碳抵消市場相似，並且也許能夠與之相互作用，但預計碳封存市場將提供一種單獨和獨特的產品，不等同於技術上和經濟上可行的排放抵消。

- 到 2025 年，制定一個可行的碳封存市場必要元素（如資格條件、登記、測量、信用、監測和執行）的框架設計。

第 9 章：2025 年和 2030 年去碳化計畫的就業、宏觀經濟影響和公平分析

2025/2030 CECP 中包含的去碳化政策和方法將對麻薩諸塞州的居民和經濟帶來重大影響。為了估計這些影響，BW Research Partnership and Industrial Economics, Incorporated（研究團隊）與 EEA 合作，對去碳化途徑的就業、宏觀經濟和公平影響進行建模。本章研究了在麻州實施政策以實現其去碳化目標時，就業的增加和幹擾、對州內生產總值（GSP）的經濟貢獻，以及對家庭能源支出的影響。本章包括研究團隊對最大限度地提高 2025/2030 CECP 的就業、經濟和其他效益的建議。

9.1 研究方法概述

分析方法是通過廣泛的文獻審查、研究團隊的經濟影響建模經驗和 EEA 的指導相結合而制定的。這項研究的重點是測量麻薩諸塞州經濟領域七個主要部門——電力、燃料、建築、交通、自然土地和工作用地、工業能源效率和城市固體廢物——的就業和經濟活動的變化。這些部門在附錄 D 中有更具體的定義。這些部門與 CECP 其他章節中使用的部門相似，但其中一些部門並不直接重疊。在本章中單獨列出的工業能源效率和城市固體廢物，在 CECP 的其他章節中被歸類為“非能源和工業用途”部門。七個主要部門進一步劃分為總共 32 個子部門。例如，燃料部門包括氫燃料、生物燃料、天然氣燃料和石油燃料等子部門。

初始就業產出（IEO）是對 2019 年[93]至 2025 年和 2030 年的就業人數變化的分析估計。研究團隊還模擬了到 2050 年的就業影響；然而，本章主要關注到 2030 年的就業影響，會間歇提及到 2050 年的重大影響。IEO 的估計值是由投入產出模型產生的，包括規劃影響分析（IMPLAN）和就業與

[93]本報告使用 2019 年而不是 2020 年作為基線年，避免就業資料因疫情而產生的波動。

經濟發展影響（JEDI），這些模型用於將每個子部門的活動和投資轉化為對一段時間內就業的估計。

二次就業產出（SEO）是對 2019 年與 2030 年之間，麻薩諸塞州就業變化的估計，按職業、工資和地理分佈分類。在進行 IEO 分析時，SEO 的估計是由直接和間接就業估計產生的，並與行業人員配置模式、職業交叉、按價值鏈分類的就業概況相結合，以提供更精細的分析。研究團隊還使用了細化的能源使用和人口資料來估計對麻薩諸塞州家庭能源預算的可能經濟影響。

本章所包含的分析比較了由去碳化活動所刺激的勞動力變化與目前麻州的勞動力情況。[94]關於本報告所使用的研究方法的更詳細描述，參考本計畫的附錄 D。

9.2 去碳化對就業和經濟的影響

初始就業產出

IEO 提供了從 2019 年到 2025 年和 2030 年 7 個部門及其 32 個子部門的就業崗位的總變化。IEO 包括連帶就業，即通過與能源相關的經濟活動創造的整個經濟領域的工作。例如，當地一家餐館可能會雇用一個新的服務員，以支持附近的離岸風電出口電纜設施的新增需求。以下是研究的主要結果。

從 2019 年到 2030 年，子行業增長可能增加的崗位數量是被取代的子行業失去的崗位數量的四倍以上。這意味著，每淘汰一個工人，將創造和維持四份以上的工作。IEO 的結果顯示，從 2019 年到 2030 年，26 個增長中的子行業的總就業人數將增加 12%以上，在麻州增加和支援 29,500 份新

[94]這意味著，雖然這些影響中有許多是由政策推動的，但有些影響——如生物燃料市場需求的增加——卻不是。

的工作。在同一時期，有工人被解雇的 6 個子行業預計從 2019 年到 2030 年就業率將下降 17%，減少約 6,900 份工作。

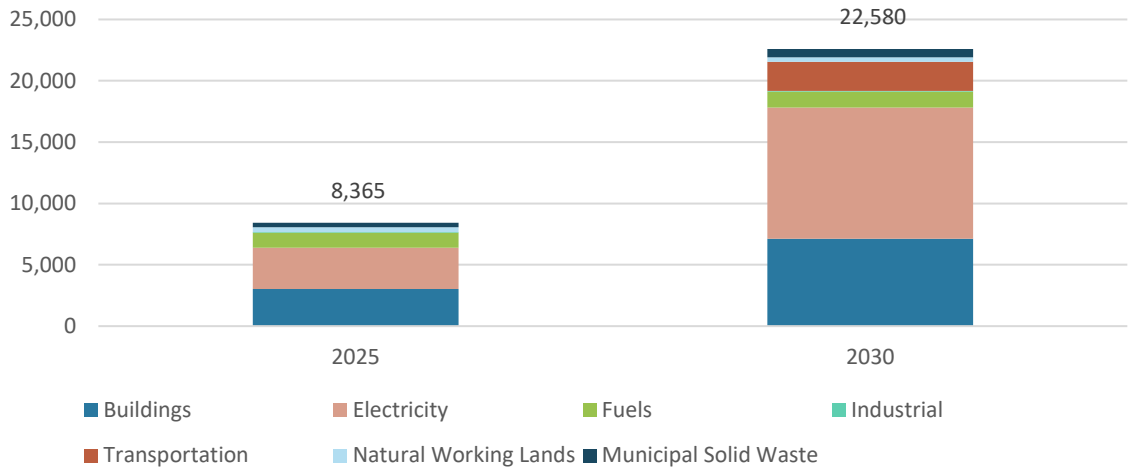
從 2019 年的就業水準到 2030 年，將創造和支持 22,600 份額外的全職工作，相當於增長 8%。新增的工作崗位大致相當於麻薩諸塞州的保險機構和經紀公司的雇員數量。相比之下，麻薩諸塞州失業援助部（Massachusetts Department of Unemployment Assistance）預測，2018 年至 2028 年期間，麻薩諸塞州整體經濟將增加 112,700 個工作崗位，這意味著本報告中概述的去碳化政策可以促進就業增長，大約超過預測的 20%。到 2050 年，估計將創造超過 2019 年就業水準的額外 66,000 個工作崗位，這相當於目前在該州各地診所[95]就業的人員數量。

到 2030 年，這七個部門將占到州內生產總值的 295 億美元。[96]就背景而言，這代表了本州的經濟活動比房地產代理和經紀人辦公室以及全套服務餐廳的總和還要多。

電力[97]和建築行業的就業人數預計漲幅最大，到 2030 年分別增加 10,700 和 7,100 個工作崗位。經濟的快速電氣化意味著電力部門將增長 14%，考慮到已經在該部門工作的工人數量，這個漲幅是很大的。建築業的就業增長則較為溫和，為 6%。雖然 2025/2030 CECP 不包括任何燃料混用要求，但市場對生物燃料的更大需求意味著規模相對較小的燃料部門在 2019 年與 2030 年之間也將出現高增長率（14%）。另一個大型且更為成熟的建築和交通部門將發生一些增長，分別增長 6% 和 3%。在 2019 年與 2030 年之間，城市固體廢物、工業能源效率、自然土地和工作用地等較小的部門將各自增加 100 個或更多的工作崗位，這些就業影響相對於其他較大的行業所經歷的變化來說很小（圖 9.1）。

[95]不包括心理健康專家。
[96]美元價值以 2019 年的美元為單位，沒有考慮通貨膨脹因素。
[97]電力部門不包括來自 Pilgrim 核電站停用活動的人員就業。

圖 9. 1. 與 2019 年基線相比，各部門創造的淨崗位數



EV 充電站（+5,900）、太陽能 PV（+4,000）、住宅建築圍護（+3,700）、傳輸[98]（+2,900）、離岸風電（+2,800）等子行業是新增就業的最大來源。這些部門占到了 2030 年預計就業增長中的大部分。這些子行業的增長意味著對能夠為 EV 安裝充電站，安裝和連接太陽能板，在牆壁、閣樓和爬行空間安裝絕緣材料，為更大和更智慧的電網鋪設額外的輸電線，以及安裝離岸風力渦輪機的工人有很高的需求。為了說明規模，這些子行業中，每一個的就業增長都大致相當於或大於該州啤酒廠的就業人數。這五個子行業的新增就業人數加在一起，相當於目前該州學前和幼稚園教師的人數。

交通部門的淨就業人數總體上將有適度的增長，但交通部門中的子部門將發生實質性的變化。加油站的就業估計會下降，因為 EV 減少了對加油站及其員工的需求，除非目前的加油站仍然作為充電站或加氫站運作。[99]這一就業損失被參與安裝和維護 EV 充電站的工人的較大增長（+5,900）所抵消。在燃料部門，與化石燃料有關的就業到 2030 年保持相對平穩，而生物燃料則有增長，到

[98]傳輸和分配被分成不同的子行業，因為它們在用於產生這些估計值的能源和勞動力模型中使用單獨的輸入資料。

[99]向 EV 的過渡使得加油站及其伴隨的零售業就業前景不明。在這項研究中，研究團隊預測，家庭充電站和快速充電站將使加油站的零售店基本上被淘汰。然而，未來的技術有可能使快速充電的時間與加滿一個油箱的時間大致相當，因此，加油站的就業情況將基本保持不變。

2030 年增加 1,800 個崗位。這些生物燃料的崗位主要是由不斷增長的市場需求（而不是明確的政策）推動的；EIA 預測，美國的生物燃料產量在 2019 年至 2050 年間將增長 18%-55%。[100]預計到 2030 年，氫氣領域的就業將出現緩慢增長（+300），但隨著技術的進一步成熟，預計 2040 年至 2050 年將進入就業快速增長階段。

為了支持因去碳化政策而失業或轉型的工人，麻薩諸塞州可能會考慮實施聯邦貿易調整援助（TAA）計畫的一個變化形式。TAA 計畫為那些受到國際貿易變化不利影響的工作者提供資金和支援，以便讓失業的工作者能夠獲得新的技能、證書和資源，幫助他們重新就業。為去碳化重新設計 TAA 計畫，可以幫助被淘汰的化石燃料工作者接受再培訓和重新掌握技能，以填補安裝充電站、安裝離岸風力渦輪機或改造家庭以提高能源效率的新崗位空缺。

建築行業的工作占創造的淨崗位數的大部分（59%），包括連帶就業。[101]到 2030 年，將創造和支持額外的 13,200 個建築業工作崗位，意味著建築業工作崗位從目前整個經濟領域中 196,400 名建築業工人增加了 7%。從歷史背景看，麻薩諸塞州的建築業在 2017 年至 2019 年期間，通過三年的強勁增長增加了同等數量的崗位。建築業許多新崗位的產生值得注意，因為 2019 年對能源效率雇主的調查[102]發現，45%的人報告說，能源效率方面的職位雇傭（在這些建築工作中占很大一部分）“非常困難”，另外 48%的人報告說“有點困難”。只有 8%的雇主表示，在該州找到合格的能源效率工作者“一點都不難”。值得注意的是，2022 年春末的失業率與 2019 年進行調查時的失業率相似，這意味著雇主現在可能至少存在相同程度的招聘困難。對這些工作者的需求增加，只會加劇這些招聘挑戰。

[100] “EIA projects US biofuel production to slowly increase through 2050.” March 9, 2020. https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=43096
[101]連帶就業是指能源工人從他們的勞動中獲得新的收入，然後在整個經濟領域中花錢購買商品和服務，如餐館、醫療保健和汽車，由此創造的就業。
[102]2020 年“麻薩諸塞州能源效率勞動力發展需求評估”。BW Research Partnership.

緩解人才挑戰的一個機會是利用麻薩諸塞州建築工會的力量；2021 年，麻薩諸塞州 21.6%的建築工人受到工會合同的保護。[103]工會有強大的勞動力培訓吸引和發展系統，可以說明為這些建築職位培訓工人。

32%的就業崗位（7,200 個）將通過連帶就業在整個經濟範圍內產生。這意味著，大約每創造兩個與能源有關的崗位，就會通過政策的支出效應創造一個經濟領域內的非能源崗位。例如，那些為建設新的離岸風電項目而獲得報酬的人將增加他們在餐館、網上商店和整個經濟中其他地方的消費，推動對這些行業新員工的需求。這種效應進一步擴大了將受益於額外就業機會的現有和潛在的工人群體。

麻薩諸塞州的勞動力市場歷來緊張，這意味著尋找工人來填補這些新工作，可能需要全州勞動力和經濟發展機構的規劃和協調。截至 2022 年 1 月，全州有 180,000 人失業，與 2019 年 1 月相比，大約多了 74,000 名失業者，當時麻州的失業率為 2.8%。目前失業工人的顯著數字表明，如果這些人願意並且能夠獲得相關培訓，並能夠解決其他問題，如兒童保育和交通，他們中的一些人也許能夠填補這些新崗位中的很大一部分。此外，還可能有更多的機會吸引以前不參與工作的人加入勞動力隊伍。例如，雖然 2022 年 2 月全州的勞動力參與率[104]相當於 2020 年 2 月疫情前的比率，但比 2019 年 2 月的勞動力參與率峰值（67.1%）低 1.2 個百分點。

[103]來自 CPS 的工會成員和覆蓋面資料庫（Union Membership and Coverage Database）（Unionstats.com）。由喬治亞州立大學的 Barry Hirsch 和三一大學的 David Macpherson 匯總並維護。

[104]勞動力參與率是指 16 歲及以上的非機構人員中正在工作或尋找工作的百分比。這個指標顯示了工作年齡人口中哪一部分對工作感興趣。如果一個群體的老年人比例較高（更多的退休人員）或在校學生更多（16-24 歲的在校學生更多），勞動力參與率就會較低。另一方面，失業率的分子是失業人數，分母是勞動力（就業和失業）人數。因此，它衡量的是“在那些正在尋找工作的人中，有多少人無法找到工作”。新冠肺炎疫情期間，失業率上升（許多人失業），勞動力參與率下降（總體上對工作感興趣的人減少）。截至 2022 年 6 月，這兩個指標都更接近疫情前的水準，失業率也達到了麻薩諸塞州接近“自然”失業率或摩擦性失業率的程度（人們總是在更換工作，所以總是會有一些失業者）。由於失業人數非常少，下一個尋找新工人的指標就是勞動力參與率，並考慮如何幫助更多以前不感興趣的人工作。

對那些失業者或目前在勞動力市場之外的人的宣傳和參與可能具有挑戰性。與接觸失業、未充分就業或灰心沮喪的工人的社區組織密切協調，可以提高宣傳工作的有效性。與支援少數族裔、婦女和其他被剝奪權利的群體的社區組織合作，也將有助於確保清潔能源勞動力在整個人口中的代表性。培訓一大批可能沒有近期或相關工作經驗的潛在工作者，將增加勞動力發展系統的壓力。2019 年，整個“勞動力培訓基金計畫”[105]在全麻州範圍內培訓了 16,100 名工人，這表明，如果新的清潔能源工人的培訓在未來七年內分散進行，現有的培訓系統也許能夠應對這一挑戰，但更可能和最理想的方法是立即加強培訓，但這需要額外的支援和協調，以擴大培訓能力。

二次就業產出

SEO 估計了從 2019 年到 2030 年，整個麻薩諸塞州的崗位預計將如何變化，按職業、工資和地理分佈分類。SEO 只包括與能源有關的直接和間接就業，不包括連帶就業。SEO 也不包括來自自然土地和工作用地、工業能源效率或城市固體廢物的就業，因為它們的工人數量相對較少，無法讓研究團隊有把握地估計其勞動力的構成。這表示，IEO 與 SEO 之間的總就業人數會有所不同。下文介紹了 SEO 的一些重要發現。

安裝、維護和修理職業占所有與新能源有關的淨崗位的 79%，其中不包括連帶就業。[106]到 2030 年，額外創造的 11,500 個安裝、維護和修理崗位，相當於 2021 年第三季度麻州 111,600 個安裝、維護和修理崗位增長 10%。在沒有這些去碳化活動的情況下，安裝、維護和修理崗位預計在 2018 年至 2028 年之間只增加 3,200 個。[107]

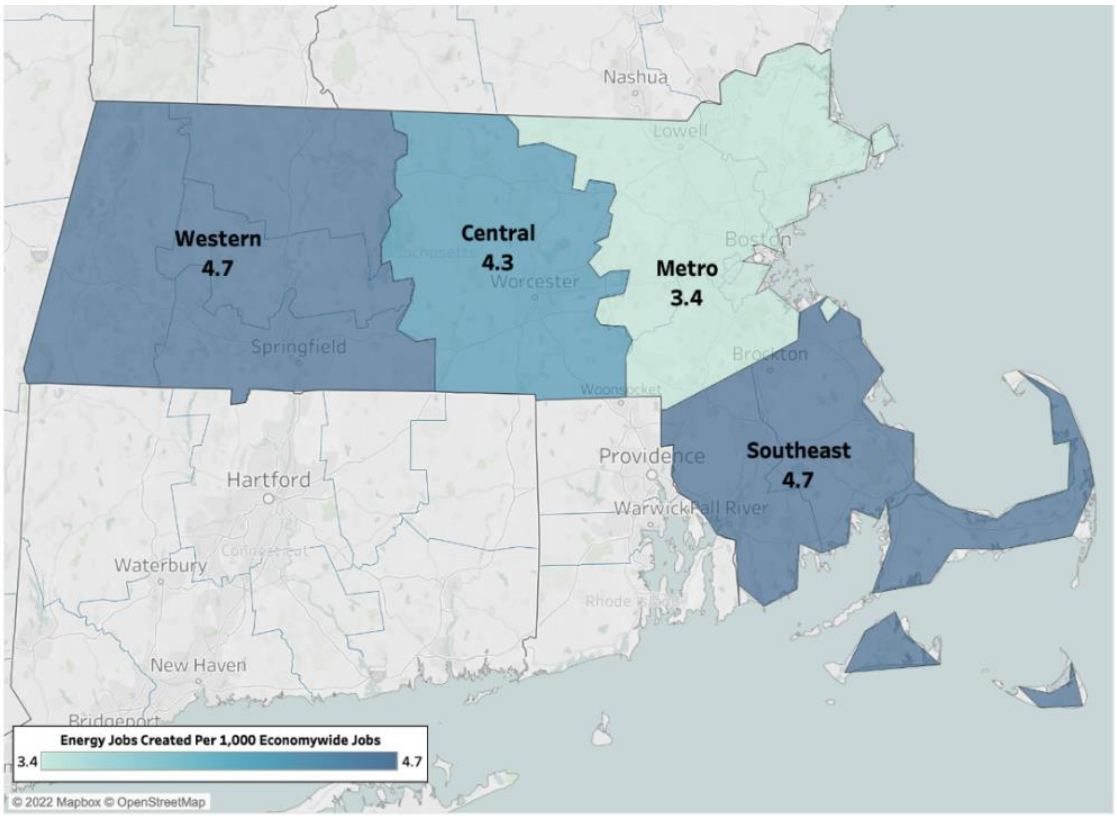
[105]“勞動力培訓基金計畫”（Workforce Training Fund Programs）由麻州公司（Commonwealth Corporation）運作，為麻州企業提供資源，以投資培養勞動力技能。由麻薩諸塞州雇主提供資金，WTFP 提供高達 250,000 美元的配套撥款，以補償培訓工人的成本。
[106]安裝、維護和修理職位是職業分類。這些工作很多是在建築行業，但有些工作可能是在建築行業之外。
[107]麻薩諸塞州失業援助部。

雖然這些類型的工作在很大程度上代表了麻薩諸塞州勞動力的種族和民族，但目前約 96%的安裝、維護和維修崗位是由男性擔任的。這意味著，除非採取特殊的政策行動，否則通過這些去碳化政策創造的與能源有關的工作，大部分可能是由男性從事。一個潛在的策略是要求所有的公共合同包含可執行的女性勞動力參與目標。另一個策略，也許是附加的策略，可能是與社區婦女組織合作，提高女性對安裝、維護和修理工作的認識、興趣和參與，以及增加獲得這些工作所需的培訓計畫。

其他估計會有大幅增長的職業是管理和專業職位，在與新能源有關的工作中占另外 20%。這些職位通常收入較高，而且通常需要 4 年的學位元元。與能源相關的行政職務預計將整體下降 10%，主要是由加油站的預計就業損失導致的。支持過渡機會的政策，如上文提到的 TAA 計畫，對這些工人來說將是重要的考慮因素。

與能源相關的工作將在全州範圍內產生，麻薩諸塞州西部和東南部經濟領域中現有每 1,000 個崗位大約創造 4.7 個崗位。都市區將創造較小比例的工作機會（經濟領域中現有每 1,000 個崗位大約創造 3.5 個崗位），但到 2030 年，能源相關工作創造的總數最多（+8,400）（圖 9.2）。

圖 9.2.現有經濟領域內每 1,000 個崗位所創造的能源崗位。



到 2030 年創造和支持的能源行業相關的新增崗位中，95%將是中高薪工作，每小時至少 26 美元。所有額外的能源相關工作中，一半（52%）的每小時收入為 26-35 美元，另外 43%每小時收入將超過 35 美元。這對麻薩諸塞州經濟來說是一個重要機會。與全國範圍內觀察到的趨勢類似，麻薩諸塞州越來越多的工人處於收入範圍的低端或高端，而“中等收入”的工作變得更加稀缺。通過本報告中強調的去碳化活動所創造的與能源有關的工作，創造工資達到或超過全州每小時 28.14 美元的中位工資的大量崗位，將有助於緩解這種趨勢。重要的是，根據 MIT“生活工資計算器”（Living Wage Calculator）專案產生的數字，這些工作中的大多數都遠遠高於本州的生活工資[108]，許多都達到或超過維持家庭的[109]工資水準。促進和宣傳高需求的清潔能源職業、其教育

[108]在麻薩諸塞州，一個沒有孩子的單身成年人的生活工資是 19.91 美元。
[109]一個三口之家（一個孩子和一個成年人工作）的生活工資是每小時 34.69 美元。

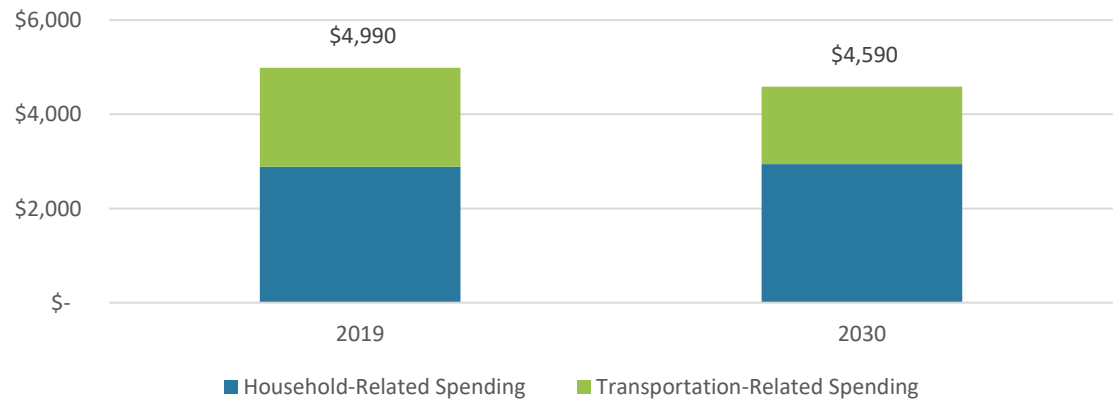
要求和工資，可能是吸引未來幾代人從事與去碳化有關的工作的一種方式。向初中和高中學生展示教育途徑和收入潛力的活動，以及通過勞動力發展委員會和社區學院的傳統管道，也許能成功地吸引那些目前沒有進入勞動力市場但可能對就業機會感興趣的潛在工作者。

家庭能源支出的影響

研究團隊模擬了對家庭能源支出的預期影響，包括電力、天然氣、其他供暖燃料和汽油。這項研究的主要結果總結如下。

電氣化的交通和供暖系統採用率更高，意味著麻薩諸塞州的普通家庭每年的能源支出將減少。平均家庭能源總支出包括與交通有關的燃料成本（在該分析中列為“能源”成本），預計到 2030 年將比 2019 年的水準下降 8%，平均每戶每年節省 400 美元。[110]這些數值是所有家庭的平均數；更多採用高效和電力技術的家庭節省額將比下文所列更高，而很少或沒有實施改變的家庭得到的財務利益將很少或完全沒有。交通相關支出的減少是能源支出節約的主要動力，而與家庭相關的其他能源支出在 2019 年至 2030 年之間保持相對平穩（圖 9. 3）。

圖 9. 3. 每年家庭和交通相關的燃料和能源成本的變化（2019–2030）



[110]這些值以 2019 年不變美元為單位，沒有考慮通貨膨脹因素。

注：成本來自能源的模擬供需平衡，不包括任何溫室氣體排放的指定社會成本。

對於歷史上被剝奪權利的群體，預計家庭節約額將與整體人口相當或更大——儘管額外的政策保障措施可以幫助保證這些社區不會因去碳化政策而處於不利地位。在 EJ 指定的人口普查區組的家庭估計節約額（支出減少-11%）會比非 EJ 社區的家庭（-6%）更多。雖然我們認識到低收入家庭不太可能負擔得起電氣化所需的初始支出，並在接下來的日子裡產生節約額，但家庭收入中用於能源的比例變化在不同的家庭收入水準中波動不大。為了進一步確保低收入家庭——他們在能源上花費了更大的家庭收入份額——不會受到過度影響，麻薩諸塞州可以考慮擴大對最高能源使用量收取更多費用的政策。另一個潛在的選擇是創建電氣化的稅收抵免，提供給低於一定收入門檻的家庭。

其他社會、經濟和環境效益

除了與就業有關的影響外，麻州的去碳化政策還將帶來其他社會、經濟和環境效益，這些效益總結如下。

空氣品質的改善將帶來健康狀況的改善，到 2030 年，每年的價值在 4.21 億美元到 9.49 億美元之間（詳情參見附錄 D）。根據 EPA 對減排導致的縣級環境 $PM_{2.5}$ 變化的模型，預計到 2030 年，麻薩諸塞州的去碳化途徑將使得每年減少 37 至 83 例過早死亡（對這些健康效益的經濟價值貢獻最大），每年避免 4 至 39 例急性心肌梗死，每年減少 45 例醫院和急診室收治，每年減少 4,600 個工作日的損失，以及減少 27,000 天的輕微限制活動等等。

每個部門的去碳化活動都有著獨特的效益，累積起來將對整個麻薩諸塞州帶來強大的效益，例如：

- 除了降低溫室氣體和其他污染物排放的經濟和健康效益外，改用可再生燃料和發電來源，可以提高能源安全，並可能減少能源成本的波動。

- 節能效率更高的建築還有其他好處，那就是減少業主的能源成本、提供再銷售價值、減少火災風險，並提供更溫暖和更穩定的溫度。
- 在交通部門，更多的 “主動交通”（例如，步行和騎自行車）將改善個人健康，提高交通安全，增加當地企業的銷售和財產價值。
- 對自然土地和工作用地的新投資，將積極影響許多環境和社會因素，包括空氣品質、城市熱島效應和相關能源成本、侵蝕控制、水質、審美和娛樂機會。
- 工業能源效率投資的好處可能包括減少工業的電力成本、降低噪音水準、減少維護成本。