麻薩諸塞州 2050年實現脫 碳道路規劃圖



本報告是根據麻薩諸塞州能源與環境事務執行辦公室的委託而撰寫的一份報告,是用以確定具有成本效益和公平的策略,以確保麻薩諸塞州到2050年能夠實現溫室氣體淨零排放。







目錄

1.	项目概述和使命	1
2.	方法	5
	分析方法	6
	深度脱碳的平等考虑	8
	利益相关者参与	9
3.	在2050年过渡到净零	10
4.	实现净零的策略	18
	轻型运输	21
	中重型运输、航空和运输	
	住宅和商业建筑	
	电力和能源	24
	非能源和工业	25
	天然碳封存	26
	去除多余的二氧化碳	27
5.	实现净零:对政策和行动的影	29



項目概述和使命

在Baker-Polito執政期間,在《全球變暖解決方案法》(GWSA)的框架內,麻薩諸塞州承諾到2050年實現溫室氣體淨零排放。1 受能源和環境事務執行辦公室(EEA)的委託,《2050年脫碳道路規劃圖研究》旨在支持州聯邦實現這一目標,並在2050年脫碳路線規劃圖報告中最終達成目標(見道路規劃圖報告)。道路規劃圖研究的目標是使州聯邦對于如何利用最佳科學和研究方法在2050年實現淨零的必要策略和過渡有一個全面的了解。本圖還嘗試理順能夠幫助達到這一限制所需的深度脫碳水準所需要的不同途徑之間的權衡。道路規劃圖研究中還告知了歐洲經濟區確定州聯邦2030年中期排放限值以及即將出臺的2030年清潔能源和氣候計畫(2030年CECP),即州聯邦的政策行動計畫,以公平、經濟高效地實現2030年限制,同時最大限度地提高麻薩諸塞州到2050年實現淨零的能力。

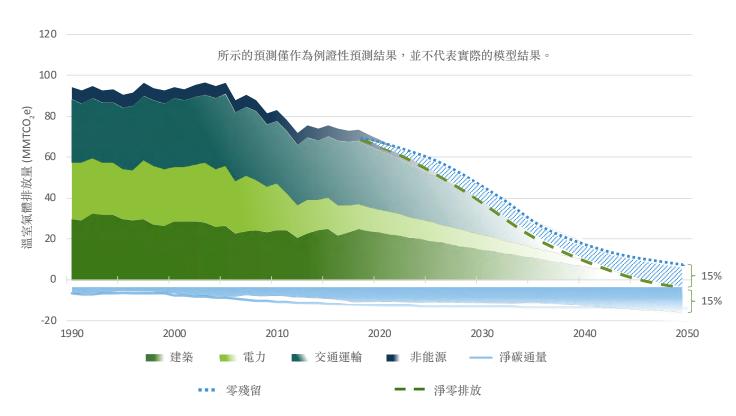
道路規劃圖研究開始解決與全州深度脫碳有關的許多複雜問題,但始終側重於一個核心問題,以指導有關以下的分析:

州聯邦如何在保持健康、公平和繁榮的經濟的同時實現淨零?

¹ 在州長於2020年1月21日在州聯邦致辭中宣布淨零排放後,根據GWSA所授予的權力,能源和環境事務執行辦公室設定了州聯邦 到2050年全州排放限值應達到的范圍,其定義如下:"全州範圍內的溫室氣體排放量應等於從大氣中所除去的量或是由每年由州聯 邦或由州聯邦運營所造成的二氧化碳或類似物的量的總和;但是,在任何情況下,排放水平均不得高於1990年水平的85%。"有關 說明,請參見圖1。

為了回答這個問題,本道路規劃圖報告綜合了進行道路規劃圖研究時所做的廣泛的分析工作。完整的道路規劃圖研究包括綜合的跨部門能源系統分析,探索時至2050年的八條不同的減排"道路",每個道路都能夠支援在2050年實現全州零排放。它還包括四個具體部門的分析,重點是建築、交通、非能源排放、麻薩諸塞州自然和使用中的土地的碳匯潛能以及單獨的經濟和健康影響分析。道路規劃圖所研究的每個要素的配套技術報告和附錄中提供了額外的細節、上下文和分析,以作為此處所介紹的信息的基礎。

圖1.淨零排放要求比州聯邦先前的"至2050年應達到80%"這一目標更深的減排量,以及一項可以平衡所有剩餘的排放量和從大氣中清除相同數量的碳排的新要求。



經過十年的綜合氣候行動

州聯邦擁有採取專門行動應對,適應和減輕氣候變化的歷史,包括:

2008

2010

2011

2016

2017

2008

《全球變暖解決方案法案》(GWSA)和《綠色社區法案》

被簽署成為法律。麻薩諸塞州成為全美第一批正式承諾 實施監管方案的州之一,該法案要求減少溫室氣體排放量(2020年比1990年的排放量至少減少25%,2050年比 1990年的排放量將至少減少80%),並全面改革其能源 政策和採購框架,與這一目標保持一致。

2011

發佈《**氣候變化適應報告**》。該報告是聯邦政府對整個麻薩諸 塞州氣候變化影響的脆弱性和風險進行的首次全面評估,為聯邦政府更好地應對氣候變化提供了相應策略。

2016

Baker州長簽署了《**第569號行政命令**》,為聯邦政府制定了一項綜合氣候戰略,之後還簽署了《**促進能源多樣性法案**》,對大量海上風能和水電資源採購進行授權。

2018

Baker州長將《**促進清潔能源法案**》簽署為法律,為海上風電、太陽能和儲能技術設定了新的目標。

2018

州聯邦政府未來交通運輸委員會發佈了《滿足未來 交通運輸的管理建議選擇》,麻薩諸塞州與其他9個 管轄區共同參與了《交通運輸與氣候倡議》,以制定 低碳交通運輸的區域政策。

2020

Baker-Polito政府將"淨零排放"確定為聯邦政府 2050年的法定排放限值。

2020

馬薩諸塞州,康涅狄格州,羅德島州和哥倫比亞特區 啟動了一項區域上限與投資計劃,即運輸與氣候倡議 計劃(TCI-P),旨在大幅減少運輸排放,並在馬薩諸 塞州每年產生1.6億美元的運輸收入相關的投資。

2010

發佈《**2020年清潔能源與氣候計畫**》(2020 CECP)。這是 聯邦政府首個氣候行動計畫,該計畫介紹了旨在 確保實現2020年中期排放限值的綜合政策組合。

2015

發佈《**2020年清潔能源與氣候計畫**》(更新版),提供 最新的減排政策和預測及減排戰略,確保實現 2020年中期限值;

2017

Baker-Polito政府啟動了全國首個《市政脆弱性防範計畫》,為整個聯邦政府的城鎮提供支持,以確定氣候變化的脆弱性,優先採取關鍵行動,並促進社區活力。

2018

發佈《**州減災與氣候適應計畫**》。麻薩諸塞州成為 首個全面整合州減災與氣候變化適應規劃框架的 州。該計畫旨在維持麻薩諸塞州的長久活力,並減 少與氣候變化有關的風險。

2018

發佈《全球變暖解決方案法案十年進展報告》。州聯邦政府正朝著2020年設定的排放限值目標邁進,已成功地將2016年的排放量減少至比1990年低21.4%。在發展經濟的同時,聯邦政府在州內提供10萬多個清潔能源相關工作崗位。

2020

發佈《**2050年低碳化道路規劃圖》**和《**2030年清潔能源與氣候計畫**》,其概述了聯邦政府為實現淨零排放所採取的長期戰略和近期措施。



分析方法

道路規劃圖研究旨在使州聯邦全面瞭解全面、長期脫碳過渡的需要;這將使州聯邦更好地 瞭解過渡的影響和要求,特別是在近期內。下面將討論道路規劃圖研究的分析方法、公平 考慮和利益相關者參與活動。

在設計道路規劃圖研究應采用的技術分析時旨在實現以下目標:

- · 從可實施的政策和技術開始 分析應設法瞭解實現淨零(Net Zero)的基本物理要求和技術選擇。這對於使明智的政策設計能夠實現脫碳目標,同時保持健康、公平和繁榮的經濟是必要的。
- · 探索通往淨零(Net Zero)的多種途徑,以為制定穩健且具有彈性的脫碳策略提供支持-分析應測試一系列技術上和經濟上可行的途徑,以便深入瞭解低碳系統動態和跨行業的相互依賴性。這種方法將使州聯邦能夠自信地在30年的變化和不確定性中,通過關注"no-regrets"(不后悔)這一行動,在實現淨零方面取得持續、有意義的進展。
- · 為州聯邦創造可選性 分析應旨在保持盡可能多的靈活性,並研究盡可能多的脫碳技術,以便為決策者和利益攸關方制定一系列評估和考慮的備選方案。
- · 使用"後投"示范以最佳方式瞭解到 2050年所需的轉換 分析應植根於 2050 年 淨零 (Net Zero) 的成功達到,並分析實現該目標的方法。這種方法還具有額外的好處,即確定潛在的"死路",即雖然在短期內減少排放或成本,但可能阻止州聯邦實現零淨,或大幅提高今後這樣做的成本。
- · **創建細微性資料以解鎖和啟用政策的實施和市場行動** 分析應根據所調查資料的結果創建,對州聯邦、公用事業、商業社區和公眾制定政策和計畫作出指導以實現脫碳目標。

銘記這些目標,兩種不同的示范方法促成了本道路規劃圖報告中提出的發現,六份配套技術報告對此進行了進一步詳細介紹。方法總結如下圖 2 所示:

- · 綜合、區域、跨部門能源系統路徑分析,包括八種不同高級別路徑的結果(見能源路規劃 圖報告);
- · 麻塞諸塞州建築、運輸、非能源和土地部門的部門特定分析(詳見建築部門技術報告、運輸部門技術報告、非能源部門技術報告和土地部門技術報告)和經濟與健康影響分析(詳見《經濟和健康影響分析技術報告》)。

雖然2050年淨零排放限制規定至少減少85%的總量,但道路規劃圖研究的定量分析探討了到2050年實現能源系統減排的成本、要求和系統動態,相當於2050年全州比1990年水準低90%。這樣做是為了最大限度地利用州聯邦未來在2050年減排與2050年碳捕獲的最佳水準方面的選擇,特別是每個碳捕獲的邊際成本,共同實現淨零。

深度脫碳的公平考慮

在未來三十年內實現淨零是州聯邦持續、正式承諾的一個重要因素,即確保麻塞諸塞州的所有人都免受環境污染,能夠生活在清潔和健康的環境中,享受清潔和健康的環境。² 事實上,長期以來,太多人不成比例地承擔了與我們目前的能源經濟相關的環境和健康負擔。生活在環境正義社區(包括農村和城市)的社區(EJ)³ 尤其如此,他們由於接近與礦物燃料燃燒有關的局部累積影響和長期環境退化而受到與環境有關的不良健康影響的比率高於平均水準。除了改善整個州聯邦的空氣品質外,脫碳還有望顯著減輕許多在進行中、針對具體地點的環境負擔。它還將帶來 30 年持續、新的經濟活動,這些經濟活動有可能振興整個麻塞諸塞州的社區,這些社區處於不利地位,有時受到區域、國家和全球經濟歷史性轉變的摧殘。

然而,儘管脫碳產生了深遠的積極影響,但麻塞諸塞州居民參與這一30年過渡的能力將因收入水準、獲得和受益于現有資源的能力、城市和農村環境的位置、英語熟練程度以及過往的邊緣化而有所不同。在考慮實現淨零的短期和長期策略時,這種考量特別重要,因為道路規劃圖研究分析表明,只有我們所有人——整個州聯邦及其所有社區——都成為解決

辦法的一部分,整個經濟體的脫碳才能成功。因此,在政策和方案制定過程中,特別是與環境正義社區(EJ)社區和低收入居民廣泛和持續地參與,不僅為了避免不公平的結果,而且將是實現零淨未來的關鍵 步驟。



² 在州聯邦《憲法》第97條所定義的保護。

 $^{^3}$ 根據歐洲經濟區 2017 年環境公義社區(EJ)政策的定義,有33%的州聯邦居民所居住的7%的土地座落在 EJ 社區。州聯邦每個郡都有 EJ 社區。

利益相關者的參與

在整個研究期間,內部和外部利益相關者的投入被納入道路規劃圖研究的范圍,包括與 GWSA實施諮詢委員會(IAC)及其工作組、技術指導委員會(TSC)以及州機構和麻塞 諸塞州清潔能源中心(MassCEC)的工作人員代表所進行的更新和協商信息。4歐洲經濟區 (EEA)還主辦了一系列公開會議,對報告部分內容的回饋都進行了收集,這些有關該研究的 公眾意見通過線上門戶所收集的,並在2050年淨零限制的設定周圍舉行了專門的公眾評論。

IAC最初由全球排放策略委員會設立,定期舉行會議,為歐洲經濟區提供有關法律的實施問題的探討機會并提供諮詢意見,特別是有關實現所要求的減排策略的建議。其成員包括來自商業、工業和製造業等許多行業的代表;運輸;低收入消費者和EJ社區;能源的產生、分配和效率;環境保護和養護;以及地方政府和學術機構。IAC還有幾個自委派的工作組,包括2020年1月新成立的氣候正義工作組,以便就如何設計更有利於EJ人口和其他歷史上處於社會邊緣地位的社區的政策這一方面直接提供建議。除了經常與IAC就道路規劃圖研究發展進行公開簡報外,IAC工作組還與EEA進行了合作,為道路規劃圖研究帶來了大量外部專業知識。

TSC 是專門為此道路規劃圖研究創建的,以就分析的技術要素(包括假設、建模工具、校準和敏感性)



向 EEA 和項目團隊提供建議給予幫助。TSC由州聯邦的學者組成,他們擁有經濟學、交通學、社會公平學、生物學、建築學、公共衛生學、政策和能源系統等一系列學科的專業知識。

在與COVID相關的健康和安全措施進行干預之前,歐洲經濟區在道路規劃圖研究開始時也參與了更廣泛的利益攸關方聯盟。2019年11月,超過100名參與者聚集在一起,進行一場願景活動,以瞭解可能影響州聯邦實現淨淨零(Net Zero)的努力的因素。在練習中所討論的關鍵主題用於為能源系統建模路徑和敏感性提供信息,並説明確定道路規劃圖研究的投入和優先順序。

⁴ 這些機構包括歐洲經濟區、能源資源部、交通部、環境保護部和公共事業部;MassCEC 是一個准公共、由納稅人出資的經濟發展機構,其任務是促進州聯邦清潔能源創新和清潔能源經濟的發展。



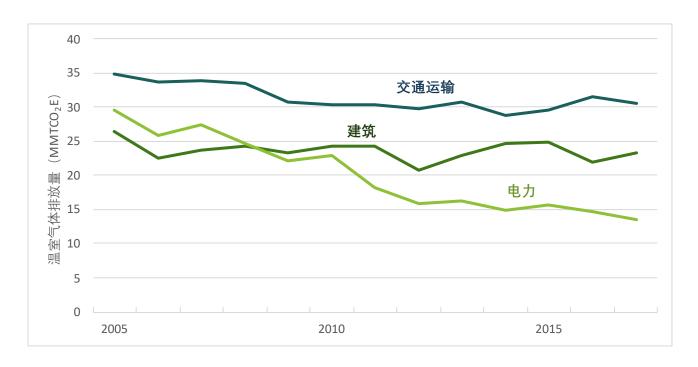
道路規劃圖研究確定,州聯邦可以通過多種可行的途徑實現淨零,而且有幾個強有力的脫碳策略,這些策略將使麻塞諸塞州能夠負擔得起實現這一目標的成本,同時幫助繼續增長和維持充滿活力的地方和區域經濟。但分析也表明,麻塞諸塞州及其鄰州追求其氣候目標的方式——在潛在途徑之間或潛在途徑之間做出選擇——可能會顯著影響與深度脫碳轉型相關的成本、風險和更廣泛的環境影響。無論如何,除了實現州聯邦的氣候目標外,所有淨零情景都將在全州帶來顯著的經濟和健康益處。

實現淨零的基本挑戰不是技術性的,而是實際的。麻塞諸塞州實現淨零(Net Zero)所需的核心技術和工藝是眾所周知的,而且大部分實現了商業化,儘管存在一些重要的部署障礙,必須積極管理和減少這些障礙。實現淨零(Net Zero)將要求麻塞諸塞州及其鄰州協同實施各種策略,以改變能源的產生和消費方式,以及如何管理土地資源。以下是這些關鍵轉變的摘要,並對其中的一些關鍵含義進行了簡要的討論。

州聯邦的排放展望

州聯邦的大部分溫室氣體排放來自化石燃料的燃燒, 化石燃料為各種最終用途提供能源——移動我們的車輛; 為我們的家庭和企業提供暖氣和冷氣; 為我們的燈、電腦和工業機械提供動力。

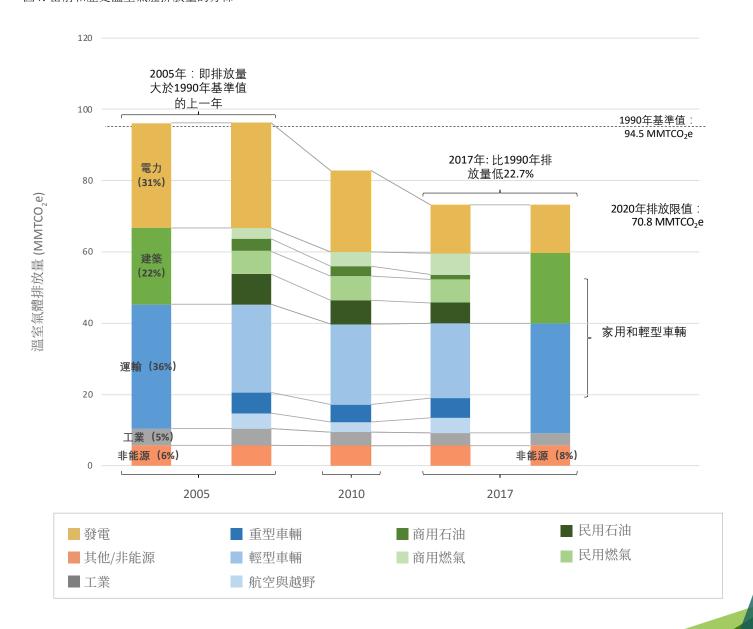




在過去十年半中,麻塞諸塞州的脫碳工作側重於減少與電力供應相關的排放,並產生了巨大效果:自2005年以來,州聯邦的電力相關排放量減少了約50%(圖3)。

儘管州聯邦的電力供應必須每年繼續清潔,才能實現淨零,但如今,到2050年必須減少的排放量中,約有一半來自家庭和小型企業:60%的運輸部門排放來自輕型乘用車、卡車和運動型多功能車輛(SUV),60%的建築部門排放來自家庭和辦公室的熔爐、鍋爐和熱水器。全州其餘排放量來自工業和非能源部門的組合;這些部門具有獨特的脫碳挑戰和局限性。

圖4. 當前和歷史溫室氣體排放量的分佈。

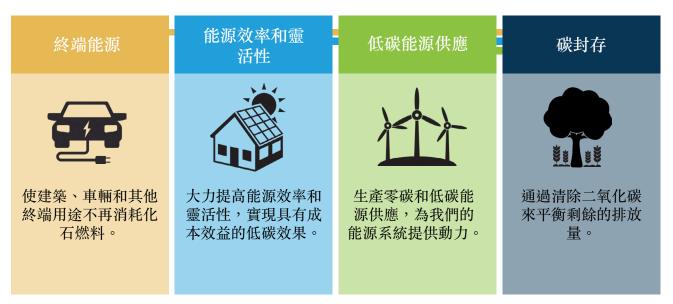


減少排放策略

減少排放以與淨零(Net Zero)保持一致需要一種整體系統方法來採取互補和綜合行動(見圖5)。為了成功地脫碳和能夠負擔得起脫碳的成本,州聯邦必須:幾乎完全過渡終結以礦物燃料作為能源的"最終用途";部署更高水準的能源效率和靈活性;迅速使能源供應脫碳,轉成主要依賴可再生能源發電;通過保存和增強天然和其他固存資源,從大氣中去除碳.這些"

脫碳支柱"在美國和國際上先前的深度脫碳研究中已經確定。6這些基本要素相輔相成;每個支柱都解決這些限制問題,並最大限度地利用其他支柱的局限性,確保實現成本效益高、在整個經濟中失敗的風險較低。

圖5. 州聯邦的四個關鍵"脫碳支柱"。



以清潔電力為主的一系列解決方案

由於州聯邦的剩餘排放物大量來自家庭和企業——乘用車和空間供暖/建築服務——深度 脫碳需要大規模部署負擔得起的替代技術。到 2050年,要將這些"消費層次"的排放源減少至 接近零是一項強大且負擔得起的經濟策略的 一部分,因為使某些最終用途(商用飛機)脫碳 或消除所有非化石溫室氣體來源(例如廢水處 理)這一做法可能不可行。 雖然對於輕型運輸以及住宅和小型企業建築服務,已經存在幾種清潔能源的選項,但電氣化往往是最具成本效益的——無論是單獨還是全系統——而且最容易部署。在這方面實施電氣化意味著廣泛使用電動汽車代替汽油和柴油發動機,用熱泵為基礎的電氣化供暖系統代替天然氣和石油爐和鍋爐。

⁶ 可參考的例子可在自2014年以來對16個國家(包括美國)進行研究的深脫碳路徑專案: https://www.iddri.org/en/project/deep-decarbonization-pathways-project; 供美國參考的聯合國可持續發展解決方案網路350 PPM道路規劃圖(2019年) https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2012_energy_roadmap_2050_en_0.pdf; 和歐電脫碳道路規劃圖(2018): https://www.eurelectric.org/decarbonisation-pathways/.

然而,讓所有行業實現電氣化以實現淨零是 沒有必要的。各種燃料和脫碳策略將在某些 部門和某些具有基礎設施、成本和可行性限 制的最終用途中發揮重要作用。在檢視所有 情景下,低碳燃料即使規模化,也可能保持相 對稀缺和昂貴。因此,應策略性地使用低碳可燃燃料,保留在最需要(或技術需要)的有限非消費者應用上,以幫助州聯邦實現零淨。

以可再生能源為主導的平衡區域電網

隨著電氣化的建築物和車輛的急劇增加,麻 塞諸塞州將需要大幅擴大其清潔電力供應。 根據成本和可用性,這種新型清潔電力將大 部分來自可再生能源發電,特別是新英格蘭 海岸上世界級的海上風能資源, 這種資源可 以在大部分時間向整個地區和整個大東北地 區提供"大量"低成本、無碳的電力。然而,即使 大規模建設海上風力發電也無法提供足夠的 無碳發電,以達到淨零。為了能夠經濟可靠地 運行以可變可再生能源發電的電網,需要跨 廣泛的地理區域共用一個平衡的清潔發電技 術組合。加上海上風力發電,州聯邦需要同樣 大量的太陽能發電部署在屋頂和陸地上,額 外的能源儲存,以及幾個新的高壓輸電線路 到加拿大和紐約,將允許與州聯邦東北區域 的鄰州共用低成本清潔能源,包括水力發電。

能源效率和電力負荷靈活性方面的投資現在和仍然將是降低成本和提高系統可靠性的關鍵,但並沒有從根本上改變前進的道路。事實上,由於許多電氣化技術,特別是用於加熱和冷卻的電動汽車傳動系統以及熱泵固有的效率,最終用途的電氣化意味著可用於提供相同服務的能源更少。然而,由於最終用途將從目前占主導地位的化石技術轉向電氣化技術,預計到2050年,對清潔電力的需求將幾乎翻一番。



2050年能源系統轉型

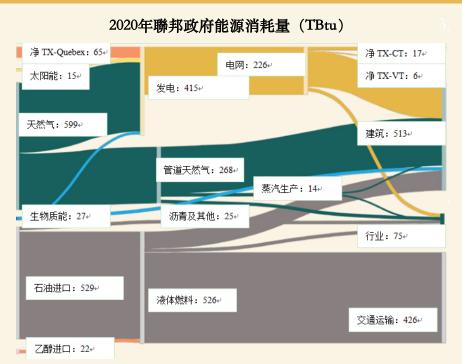
要實現"淨零排放"的目標,我們需要對整個聯邦政府的能源系統進行轉型。在未來三十年內,能源流,能源需求和供應變化以及成本影響等方面將發生關鍵性變化。 在這份長達兩頁的報告中,重點介紹了實現這一目標所需的變化規模,在《能源路徑報告》中介紹了兩條路徑: 2050年參考案例和2050年所有的選擇路徑。

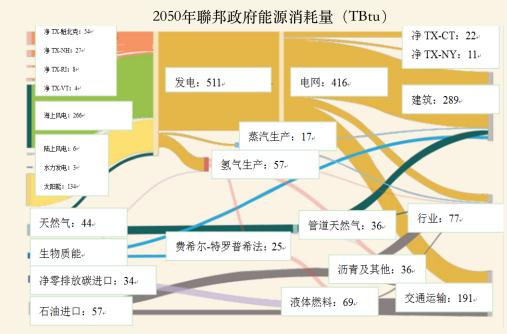
能源流 以下兩張圖說明瞭2020-2050年期間能源供應和終端用途的主要變化。每張圖的左側為能源類型。橫條圖的高度表示能源消耗的相對數量。每張圖的右側為消耗能源的行業,例如:交通運輸行業和建築行業 。每張圖的中部為能源轉型。

80 (MW)

20

- 1. 聯邦政府從2020年的化石燃料驅動轉變為2050年的可再生資源驅動。2050年的主要能源包括海上風電、太陽能和輸電進口。
- 2. 對建築和交通運輸行業的許多終端 用途施行電氣化,提高了效能,減少 了總體能源需求。



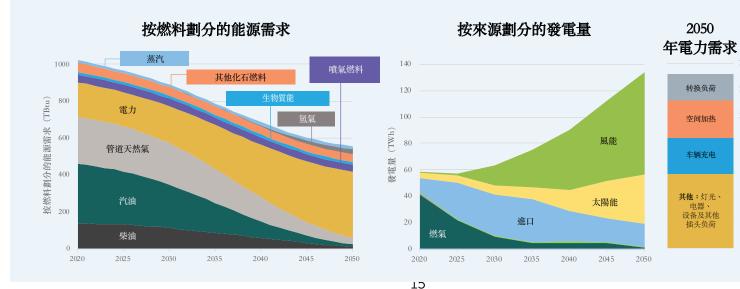


3. 2020-2050年期間,天然氣消耗 量將大幅下降,但到2050年, 天然氣仍用於發電、建築和交 通運輸行業。

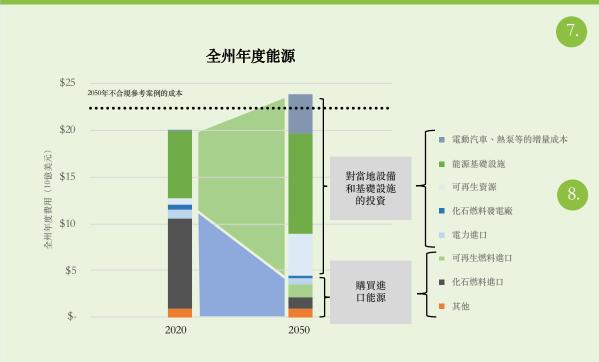
4. 行業耦合具有靈活的工業負載 (如蒸汽和氫氣生產),用於 平衡高水準可再生能源產生的 電力。

能源需求和供應 能源系統的快速轉型對能源服務和供應產生一系列影響。

5. 隨著時間的推移,建築和交通運輸行業的終端 用途將逐漸實現電氣化,從而提高了效率,減 少總體能源需求。 電氣化導致電力需求不斷增長。2025-2050年期 間,太陽能和風能發電量將大幅增加。



成本影響 低碳化能源系統的成本不會明顯高於2050年以化石燃料為基礎的系統相關成本。



2020-2050年期間,將增加對當地設備和基礎設施的投資,進而降低運營成本。

2020-2050年期間,進口 能源的購買量將減少, 多樣化的能源組合將取 代進口化石燃料。

創建區域負排放

為了實現淨零(Net Zero),州聯邦還必須建立和維持其從大氣中清除二氧化碳以及持久地儲存或封存二氧化碳的能力。即使在能源系統發生改造和幾乎完全脫碳之後,州聯邦2050年能源和非能源部門的剩餘排放仍將留在能源部門——來自剩餘礦物燃料使用、某些工業過程、農業和林業、固體廢物處理和廢水處理。如果管理和維護得當,自然和工作的土地——主要是麻塞諸塞州的330萬英畝林地——將在吸收和儲存大部分(大約一半)這

些排放物方面發揮關鍵作用。然而,為了在 2050年實現淨零,州聯邦將需要建立和進 入一個用以碳封存和其他"負排放"的新市 場,這將有助於推動機械直接空氣捕獲源的 發展,並將有助於支持和增長州聯邦的自然 資源,同時允許州聯邦為東北邊的鄰州提供 支持、幫助其增長和獲得其自然資源。

讓各方面都能以負擔得起的方式實現淨零

使州聯邦能源系統的脫碳將需要未來幾十年的大量投資,但它是一項創造重大經濟機會的投資,並將為整個州聯邦帶來未來幾代人的紅利。每年,麻塞諸塞州居民在能源和能源相關設備和基礎設施上的花費超過150億美元。這些資金大部分從該地區流向生產和提煉化石燃料的國家。將每年支出的很大一部分用於清潔技術,將減少和穩定企業和家庭的總體能源需求和成本,在改善空氣品質的同時提供經濟效益和就業機會增長,並降低醫療保健成本。據估計,到2050年實現淨零將導致心臟和呼吸系統疾病減少,每年可避免400人死亡和省下25000天錯過工作的日子。這些收益每年價值45億美元,超過本道路的預計成本;大約98%的福利是由於死亡率的下降。

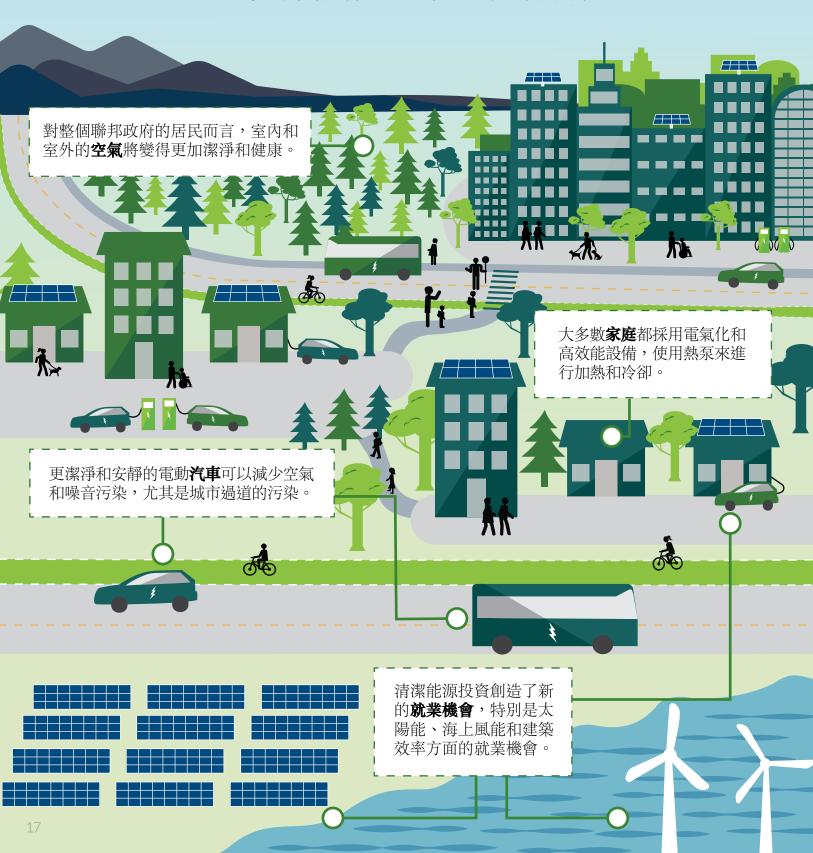
此外,對地方能源生產的投資將回收這種"成本",作為對州聯邦地方經濟的直接投資,在未來30年內創造新興清潔能源產業的增長,每年

創造約15,000個就業機會,使州聯邦和東 北地區更加能夠自力更生和更具彈性。

當舊設備達到使用壽命的終點,必須更換時,通過個人和整個州聯邦過渡到清潔技術,可以最大限度地減少完全脫碳所需的總投資。這個機會也代表著一個障礙,因為這種周轉點很少發生:例如,汽車和卡車通常持續十年以上,而爐子和鍋爐可能持續幾十年。因此,要實現淨零,以避免全球變暖的最嚴重影響,就需要一個不容易實現和維持的轉型速度;在某些情況下,這種速度可能會感到不舒服的速度快。麻塞諸塞州的政策行動能夠而且必須幫助確保這一技術轉變在來年大幅加速,而且確保這種轉變能夠公平地獲得脫碳可帶來的已知的好處,同時避免潛在的成本分配不公平。

2050年預測

向"淨零排放"轉型對社會的各個方面均有益處。 麻薩諸塞州將變得更加潔淨、健康、富有活力。





州聯邦的零淨限額要求減排量至少比1990年全州水準低85%。雖然這一限制允許可能更大幅度的減排,但達到淨零限值將要求州聯邦在2050年的GHG排放不超過1420萬公噸的CO2當量(MMTCO2e),同時每年從大氣中清除和儲存同等數量的二氧化碳。

必須在未來30年同時採取廣泛的協調策略,以達到這一水準:讓所有建築物、車輛和其他最終用 途過渡至脫離礦物燃料的消費;積極追求能源效率和電氣負載靈活性,以實現經濟高效的脫碳; 生產零和低碳能源供應;促進二氧化碳的清除。本章將這些目標整合到三個總體策略組:



通過電氣化、燃料轉換、效率和靈活性,減少最終使用能源需求的排放策略。

改變州聯邦的能源最終用途從根本上說是一個規模問題,需要更換數百萬件設備,這些設備是麻塞諸塞州居民和企業每天使用的。如果要儘量減少成本和負擔,最大限度地增加經濟效益,這些主要是在建築物和車輛中更換的時機至關重要。



需要制定策略,可靠地向麻塞諸塞州居民提供碳能低排至零排源。

為了支持整個經濟的廣泛電氣化,必須部署大量新的、低成本的、零碳的(主要是可再生的)發電資源,並輔之以一系列新的可靠性資源。鑒於零碳燃料的供應和生產受到實際限制,以及成本高,應優先考慮使用零碳燃料,因為特別在終端用途難以脫碳或難以使電氣化的方面。系統規劃對於確保消費者的能源成本保持在較低水準至關重要。



儘量減少剩餘排放並最大限度地降低成本效益的二氧化碳清除和儲存的策略。7

這些策略包括解決可能極其昂貴或無法減輕的非能源和工業排放問題,以及通過二氧化碳清除和儲存方法為一系列"負排放"制定一個強有力的框架。這項道路規劃圖研究是州聯邦首次作出全面努力,以瞭解其自然和在使用中的土地-主要是其330萬英畝的林地-如何在提供淨零(Net Zero)要求的負面排放方面發揮不可或缺的作用。重要的是,這項分析表明,即使有最好的土地和木材管理和保護策略,僅靠麻塞諸塞州的自然資源也不可能固存實現淨零所需的碳量。麻塞諸塞州內外的其他二氧化碳清除方法將需要進行。

⁷二氧化碳去除(CDR)和碳捕獲與存儲或封存(CCS)是用於描述從大氣中去除二氧化碳(生物質生產、直接空氣捕獲)以及碳在儲層中長期存儲的術語(土壤、森林、地質構造、沿海濕地)。CDR通常是指去除的過程,而存儲或隔離是指將碳放入儲層的過程。

到2050年的系統轉型

- 汽车、卡车和公共汽车均为零碳排放,而且大部分车辆采用电力驱动;零碳燃料(如氢气)有助于为交通运输系统的其他部分提供动力。
- 健全的公共交通系统、自行车道、人行道和以交通 为导向的发展与汽车电气化相辅相成,将有助于缓 解交通拥堵。

交通运输



建筑



- 高性能热泵为大多数家庭提供洁净和节能的热能和空调。
- 更节能的建筑和电器有助于大多数家庭和小型企业减少每月能源消耗。
- 风力发电和太阳能发电均已被广泛部署,旨在实现电网的低碳化,满足日益增长的清洁电力需求。
- 能源资源的多样化组合确保全年都可以供应可靠的能源。
- 改进后的输电和配电系统增加了获得各种低成本资源的机会,海上风能可以为新英格兰地区供电。

能源供应



非能源





- 有机废物以更高的比例进行堆肥,一次性塑料将减少并被回收,废物的总体产生量被降至最低水平。
- 对农业和工业实行责任制管理,以减少排放。
- 用环境友好型的替代品取代强效工业温室气体。

 对森林和其他自然和耕作实施战略管理,以加强 碳封存,同时建立和维护一个健康和富有活力的 生态系统。

土地利用





輕型運輸

對麻塞諸塞州排放量的貢獻:

· 輕型車輛(LDV)目前占全州排放量的27%左右。

脫碳所需的過渡:

- · 到2050年,輕型運輸的排放量將減少到幾乎為零。
- · 減少輕型運輸排放的主要策略是從化石燃料車輛轉向零排放 車輛。
- · 這一點得到維持和支援現有的公共交通系統、盡可能減少單人 佔用車輛的使用、作出補充土地使用決定以及支援自行車道和 人行道等積極交通基礎設施的支援。

近期影響:

- · 鑒於所有新車銷售的預期速度、短期內需要實現大幅減排,以 及大多數LGV的平均壽命不到15年,因此,必須儘快加快轉型 規模。
- · 部署電動汽車將需要在整個州聯邦發展可靠和可訪問的充電 基礎設施。

今後需要繼續開展研究和進一步調查的領域包括:

- · (1) 開發和部署政策和系統,以實現和確保管理充電,以及
- · (2) 部署全州車輛充電基礎設施策略。

到2050年完全採用 零排放LDV將具有 公共衛生效益,包 括估計年度影響:

27 人避免死於 心血管和呼吸系統疾病;

> **避免缺勤 1,700** _{天;和}

\$295 億

美元的健康福利總額。

到2050年,將創造 近 4,000 個工作崗位,

以支援輕型和重型車隊的車輛電氣 化和充電基礎設施部署。



中重型運輸、航空和運輸

對麻塞諸塞州排放量的貢獻:

· 目前,中重型車輛(MDHDV)、鐵路和航空占全州排放量的14%左右。

脫碳所需的過渡:

- · 電池-電力技術正在成為許多MDHDV課程的可行策略。鑒於占空比和性能要求的多樣性,包括氫燃料電池和零碳燃料在內的一系列解決方案很可能完善電氣化。
- · 在MDHDV類中部署電池電動汽車(BEV)和燃料電池 電動汽車(FCEV)將需要對倉庫和加油站進行改造, 以提供充電和/或氫氣服務。
- · 鑒於大多數商業航空脫碳的選擇有限,除非零碳航空 燃料迅速擴展並變得具有成本效益,否則這一部門很 可能在2050年成為剩餘排放的來源。

折期影響:

- · 由於基礎設施需求和從現在到 2050 年庫存周轉點有限,這一部門需要提前規劃。
- · 需要解決包括安裝、許可、互連、費率設計和分配系統改進在內的問題,以提高採用率。

到2050年完全採用零 排放的中型和重型車輛 將具有公共衛生效益, 包括估計每年的影響:

45

人避免死於

心血管和呼吸系統疾病;

避免缺勤 2,800 _{天;和}

\$490 億

美元的保健福利總額。

到2050年,將創造

近 **4,000** 個工作崗位[,]

以支援輕型和重型車隊的車輛電氣 化和充電基礎設施部署。



住宅和商業建築

對麻塞諸塞州排放量的貢獻:

· 住宅和商業建築部門(主要用於空間和水加熱)的化石燃料現場 燃燒目前占全州溫室氣體排放量的27%左右。

脫碳所需的過渡:

- · 空間和水加熱電氣化是一種低風險、具有成本效益的策略,使 州聯邦的大部分建築存量脫碳。
- · 投資信封效率可降低消費者和整個能源系統的成本。
- · 對於一些建築物,可能提供數量有限的脫碳燃料和適當的策略,但為了實現淨零,建築供熱用氣的使用必須在近期開始減少。

近期影響:

- · 現有建築:電氣化和效率策略依靠不常的機會來改變供暖、通 風和空調(HVAC)設備,如設備使用壽命結束或大修。儘早利 用這些機會對於降低成本至關重要。
- · 新建築:2025年後建造的建築不太可能被改造或設備使用壽命已結束,這突出了為新建築制定高性能法規的重要性。
- · 小型住宅樓(<4套)和單戶住宅相對容易修改,占全州建築排放量的60%以上。1950年以前建造的住宅最有可能通過能效升級來降低居住成本。
- · 更大、更複雜的建築類型可能需要在時間安排和技術解決方案 方面更加靈活.

到2050年,供暖完全電氣化將具有公共衛生效益,包括估計每年的影響:

200

人避免死於

心血管和呼吸系統疾病;

避免缺勤 **12,400** _{天;和}

\$2.2 億美元的健康

福利總額。

到2050年,將創造

5,400 多個就業機會⁹

以支持建築電氣化和效率



電力和能源

對麻塞諸塞州排放量的貢獻:

· 電力系統目前占全州排放量的19%左右。

脫碳所需的過渡:

- · 由於更多的最終用電依賴於電力系統,電力系統所排放的碳強度需要接近零,因為裝機產能將要增加一倍。
- · 海上風能和太陽能是成本最低的低碳能源,到2050年將占州聯邦和該地區發電量的大部分;在未來30年內,兩者都必須在州聯邦大規模部署(每安裝一個產能為15-20GW)。
- · 需要一系列平衡的互補資源和技術,包括額外的高壓州際輸電,才可以可靠地運行基於可變可再生資源的具有成本效益的超低排放電網。
- · 在很少、可能多天、海上風力發電非常低的時期,需要特定的可 靠性資源(在不進行碳捕獲和/或新的散裝儲存時時不時使用熱 能)來維持其可靠性。

近期影響:

- · 脫碳需要一個全面的計畫,重點是快速部署可再生能源——大 規模地陸和地面太陽能發電的地位和建設,可靠的平衡,以及 有限的土地和生物能源資源的規劃。
- · 東北地區需要協調,以過渡成清潔、經濟、可靠的低碳21世紀淨零,包括電網運行系統規劃和新市場開發。

到2050年幾乎完全採用 可再生能源發電將具有公 共衛生效益,包括估計每 年的影響:

> 避免了 **18**

> > 例

因心血管和呼吸系統疾病而導致的死亡;

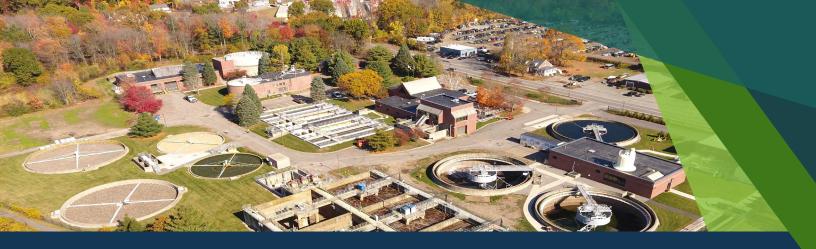
避免工作缺勤 **1,000** _{天;和}

\$1.9 億美元

的健康福利總額。

每年將創造 **1萬**

多個額外就業機會,以支持低碳電網的發展。



非能源和工業

對麻塞諸塞州排放量的貢獻

稱為非能源和工業排放的分部門包括:

- · 工業能源和工業過程的排放,
- · 氟化溫室氣體(F-氣體),
- 固體廢物管理,
- · 廢水處理,
- · 天然氣的輸送和分配,以及
- 牲畜和農業土壤。

非能源和工業排放約占全州排放量的12.5%。

脫碳所需的過渡:

- · 雖然工業和非能源的排放總量相對較小,但2050年,工業和非能源的排放很可能占州聯邦剩餘排放量的很大一部分(3-5 MMTCO,e或2050年全州排放量的三分之一左右)
- · 這些來源是脫碳最具挑戰性的,其排放與基本經濟活動或人口有內在聯繫,因此預計在2050 年將繼續存在。

近期影響:

- · 儘管其中一些分部門很難減少排放,但為了實現零減排,必須積極管理和採用最佳做法。
- · 逐步淘汰高全球變暖潛力(GWP)氟化氣體將大大減少潛在的非能源排放,但由於設備庫存 周轉動態,特別是隨著熱泵的使用增加,需要儘早採取行動。



天然碳封存

對麻塞諸塞州排放量的貢獻:

· 預計從現在起到2050年,麻塞諸塞州的森林每年將封存約5 MMTCO₂e。這相當於州聯邦目前排放量的7%,相當於2050年允許的殘餘排放量的一半左右。

脫碳所需的過渡:

· 確保州聯邦現有330萬英畝林地的生存能力和健康是確保2050年獲得這種固有潛力的主要 策略。

近期影響:

· 鼓勵對商業木材採伐進行密集開發和最佳管理做法,可增加森林碳固存,但只能減少;兩者都有潛力顯著改變麻塞諸塞州森林2050年的封存潛力。

在這一領域需要繼續研究和進一步調查的領域包括:

- 1. 更完整地核算土地使用對人類和自然系統的影響,以瞭解長期的系統性影響和生態系統效益的平衡;
- 2. 探索在麻塞諸塞州境外的大氣碳去除處理。



去除多余的二氧化碳

對麻塞諸塞州排放量的貢獻

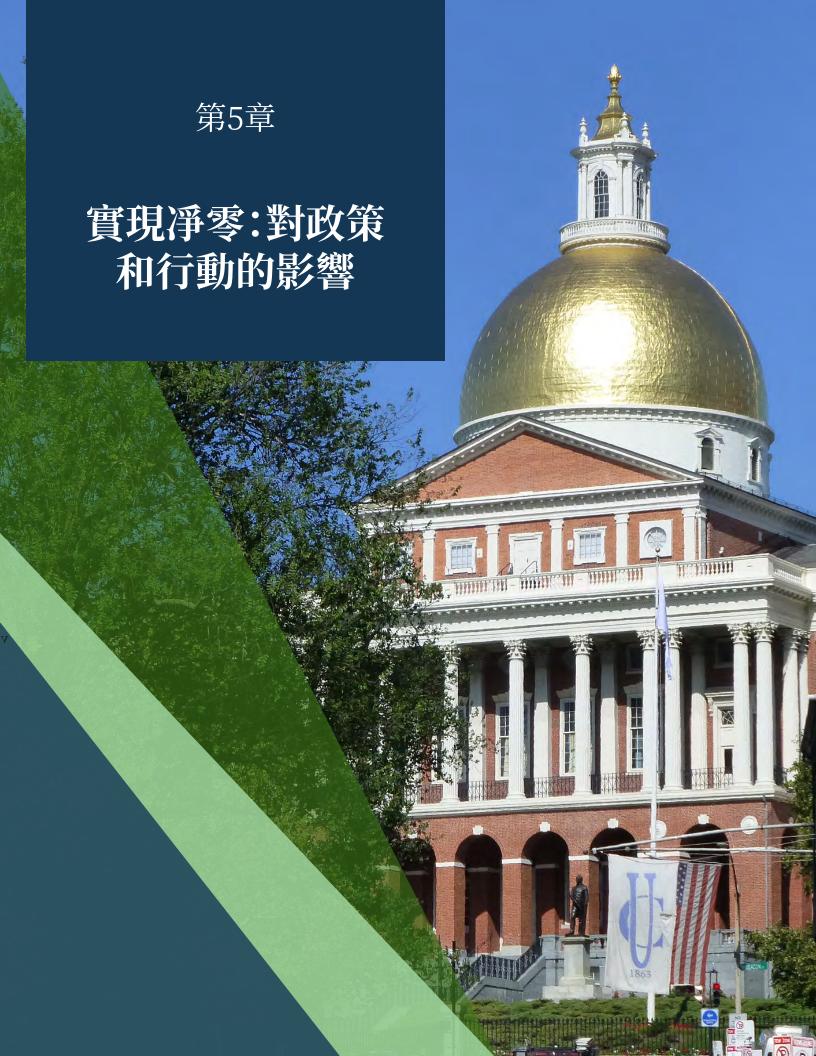
· 到2050年,麻塞諸塞州將需要開發和保障至少4-9 MMTCO₂e的年度封存服務,超出那些可以由州聯邦本身的自然和使用中的土地提供。

脫碳所需的過渡:

· 雖然可能需要機械和其他二氧化碳清除技術,但在區域共同努力對天然碳儲存和碳匯的保 護以及改善情況下,州聯邦所需的大部分封存可能由鄰近州和省份以低成本提供。

需要在這一領域繼續研究和進一步調查的領域包括:

- 1. 更好地瞭解森林碳儲存和改進的測量技術,
- 2. 進一步評估二氧化碳清除策略及其更廣泛的影響。



到2050年實現淨零,需要整個州聯邦進行重大變革。本道路規劃圖報告中所描述的策略和發現表明,麻塞諸塞州有一個強大但並非無限的深度脫碳可行選擇,這將使其能夠以合理的成本,使用目前已知的技術和解決方案,以及大部分可用的技術和解決方案,實現其減緩氣候變化的目標。重要的是,這些發現還表明,努力實現淨零(Net Zero)也將為麻塞諸塞州的每個人提供廣泛而可觀的經濟機會和公共衛生益處。

正如本文所討論的,在成本、共同效益和風險方面,在更廣泛的脫碳途徑之間和之間,以及具體的實施行動之間,都需要有明顯的權衡。但跨越不同道路時某些策略基本上成為"不后悔"的近期機會,可以實現所需的減排,同時保持未來的可選性和降低未來風險。這些機遇中的最關鍵的一點就是立即開始利用庫存展期及其固有的成本節約,立即加快在建築、交通和電力行業部署符合 2050 年所要求的解決方案。麻塞諸塞州要實現其所需的近期減排的最經濟有效(或許是唯一可行的)方法包括加強區域協調,特別是在運輸燃料和能源系統規劃方面,以及住宅和小型企業大樓供暖以及乘用車和卡車的電氣化。這些近期行動也讓州聯邦為實現其淨零這一長期目標所需的更深層的減排和碳清除目標打下了基礎。

我們決定不追求我們已知的可能,而要追求我們已知 必要的。我們現在的任務是使必要的成為可能。

丹麥氣候、能源和公用事業大臣 Dan Jørgensen

新的、轉型和擴展的市場將在實現淨零方面發揮關鍵作用。許多(如果不是大多數)與州聯邦和該區域現有的能源相關市場將需要直接通過有意重新設計或間接地進行改造,以應對日益嚴格的強制性排放限制。今天所投資在新的創新技術和脫碳方法,特別是在運輸和建築區域,這些區域的成功取決於數百萬次個人交易,可以幫助州聯邦以更快的速度以更低的成本實現其淨零排放目標。州聯邦在這方面繼續發揮積極領導作用將有助於

到2050年實現淨零,並能夠負擔得起地這樣做;但麻塞諸塞州如果不是技術上也會實際上幾乎不可能孤立地或單獨通過州級政策達到這個總體目標。

實現淨零(Net Zero)所需的轉型速度和規模要求密切注意并需要給予警惕性護理以減輕整個州聯邦經濟、社會和地理多樣性對麻塞諸塞州居民的任何不當或可避免的影響或負擔。雖然還必須對州聯邦自然資源及其維持經濟的商界的潛在影響和負擔給予類似的注意和關注,但與州聯邦不成比例的聯邦聯合企業負擔過重的人口需要給予最大的關切和緊迫性。

儘管道路規劃圖研究對塑造州聯邦在2050年實現淨零的主要策略和動態進行了明確說明,但 這項重大的長期過渡的許多細節仍必須經過廣泛、積極的公眾參與,認真和深思熟慮地確定。然 而,州聯邦真誠承諾會按時、短期採取行動和持續合作,這將能夠而且將實現"凈零道路"及其將 帶來廣泛的環境、經濟和健康效益。