

2022 年 3 月

圣地亚哥区域 脱碳框架 决策者摘要

草稿 – 不得引用



可持续
发展政策
举措

项目团队

项目总监

Gordon C. McCord

可持续发展目标政策举措主任

加州大学圣地亚哥分校全球政策与战略学院

项目经理

加州大学圣地亚哥分校 Elise Hanson

圣地亚哥县代表

Sarah Aghassi, 土地使用和环境集团 (LUEG) 副首席行政官

Murtaza Baxamusa, LUEG 区域可持续发展项目经理

Rebeca Appel, LUEG 项目协调员

Nicole Boghossian Ambrose, LUEG 集团项目经理

区域脱碳框架 (RDF) 技术分析章节作者:

研究方法

Ryan Jones, 进化能源研究

可再生能源生产地理空间分析

Emily Leslie, 蒙塔拉山能源公司

Joseph Bettles, 加州大学圣地亚哥分校

加快交通领域深度脱碳

Katy Cole, Fehr & Peers

Chelsea Richer, Fehr & Peers

Eleanor Hunts, Fehr & Peers

建筑物脱碳

Asa Hopkins, 斯奈普斯能源经济学咨询公司

Philip Eash-Gates, 斯奈普斯能源经济学咨询公司

Jason Frost, 斯奈普斯能源经济学咨询公司

Shelley Kwok, 斯奈普斯能源经济学咨询公司

Jackie Litynski, 斯奈普斯能源经济学咨询公司

Kenji Takahashi, 斯奈普斯能源经济学咨询公司

自然气候解决方案和其他土地使用考量

Elise Hanson, 加州大学圣地亚哥分校

Emily Leslie, 蒙塔拉山能源公司

圣地亚哥区域脱碳的就业影响

Robert Pollin, 马萨诸塞大学阿默斯特分校政治经济研究所

Jeannette Wicks-Lim, 马萨诸塞大学阿默斯特分校政治经济研究所

Shouvik Chakraborty, 马萨诸塞大学阿默斯特分校政治经济研究所

Gregor Semieniuk, 马萨诸塞大学阿默斯特分校政治经济研究所

圣地亚哥地区主要政策考量

Joseph Bettles, 加州大学圣地亚哥分校

Gordon C. McCord, 加州大学圣地亚哥分校

David G. Victor, 加州大学圣地亚哥分校

Emily Carlton, 加州大学圣地亚哥分校

地方政策机会分析

Scott Anders, 圣地亚哥大学能源政策举措中心

Nilmini Silva Send, 圣地亚哥大学能源政策举措中心

Joseph Kaatz, 圣地亚哥大学能源政策举措中心

Yichao Gu, 圣地亚哥大学能源政策举措中心

Marc Steele, 圣地亚哥大学能源政策举措中心

圣地亚哥地区作为模型

Elena Crete, 联合国可持续发展解决方案网络 (SDSN)

Julie Topf, 联合国可持续发展解决方案网络 (SDSN)

附录 A:全州能源系统建模总结

Ryan Jones, 进化能源

附录 B:审查地方辖区和机构影响和管理温室气体排放的权限

Joseph Kaatz, 圣地亚哥大学能源政策举措中心

致谢：区域脱碳框架 (RDF) 团队感谢 David Victor 在整个项目中担任顾问角色，还有 Joseph Bettles、Tyler Spencer、Emily Carlton 和 Elissa Bozhkov 的研究和编辑支持。

决策者摘要

全球科学共识非常明确：世界正处于气候危机之中，有效减少温室气体 (GHG) 排放的窗口正在关闭。^{xxiii} 通过大气和海洋中温室气体的快速积累，人类活动和影响已使大气、海洋和陆地变暖，造成迅速而令人震惊的变化。《巴黎气候协定》等全球协议和加州行政命令认识到，各行业都需要立即开展脱碳行动。在过去的外交努力未能在气候变化方面取得足够进展的情况下，考虑了全球承诺和解决当地需求问题的地区模式可以成为一种更有效的方法。

圣地亚哥区域脱碳框架 (RDF) 技术分析提供的中期脱碳技术和政策路径，为地区、县府和市府的近期政策制定提供了信息。本报告模拟了本地区到 2045 年实现净零碳排放的科学路径，与《巴黎气候协定》和本州强制令一致。这些路径可为圣地亚哥地区提供一个共同的愿景，即共同减少温室气体净排放，使之与本州净零排放目标保持一致。本报告是对能源系统中不同部门如何能为脱碳做出贡献的技术分析，但没有确定“正确”的路径，而是展示了多种前进方式，以突出权衡、协同效应、决策点、风险和协同作用。本分析旨在随着技术的发展或不确定性得以解决或澄清而不断更新，而报告探讨了有助于本地区辖区了解不确定性并根据新信息调整战略的政策流程。

研究框架和主要政策考量

本报告着眼于减少圣地亚哥地区能源系统碳排放的方法，其定义为电力、交通和建筑部门的能源生产总量和消耗，以符合本州和国家实现净零排放的路径。本报告中的“净零”是指能源系统中人为造成的二氧化碳 (CO₂) 排放量等于人为造成的二氧化碳移除和封存，因此不会产生影响向大气中的净排放。^{xxiv} 区域脱碳框架 (RDF) 技术分析不依赖圣地亚哥地区以外的抵消来达到净零目标。需要注意的是，其他部门的排放（如废物）没有包括在本分析中。

区域脱碳框架 (RDF) 技术分析的脱碳路径根据更大的国家和本州深度脱碳方案建模，以确保圣地亚哥地区路径与全州脱碳路径保持一致。进化能源研究 (EER) 在五个模型案例（有时称为方案）下开发了这些区域模型。^{xxv} 深度脱碳模型是在整个经济中大幅减少二氧化碳和其他温室气体排放的过程，允许对不同部门的地区政策选择和脱碳结果进行定量比较分析。能源部门的进化能源研究 (EER) 建模输出示例显示了不同模型案例将如何影响全州脱碳所需总电力装机容量（图 1）及到 2050 年发生的能源和工业二氧化碳排放量（图 2）。使用这些缩小模型也很重要，因为当地的能源和交通系统与其他地区和州相互关联，因此，本地区辖区在脱碳时应与其他地区和州辖区一致行动。

^{xxiii} 政府间气候变化专门委员会 (IPCC)，“2022 年气候变化：影响力、适应性和脆弱性。决策者摘要。”第二工作组第六次评估报告，2022 年 2 月。报告提供网址：

<https://report.ipcc.ch/ar6wg2/pdf/IPCC AR6 WGII FinalDraft FullReport.pdf>

^{xxiv} 注：能源系统建模仅考虑了二氧化碳排放，而自然气候解决方案和气候行动计划分析也考虑了其他温室气体，包括甲烷、一氧化二氮、臭氧等。为了便于比较，将这些温室气体转换为其“二氧化碳当量”(CO₂e)。

^{xxv} 有关示例案例的更多详细信息，请查阅第 1 章和附录 A。

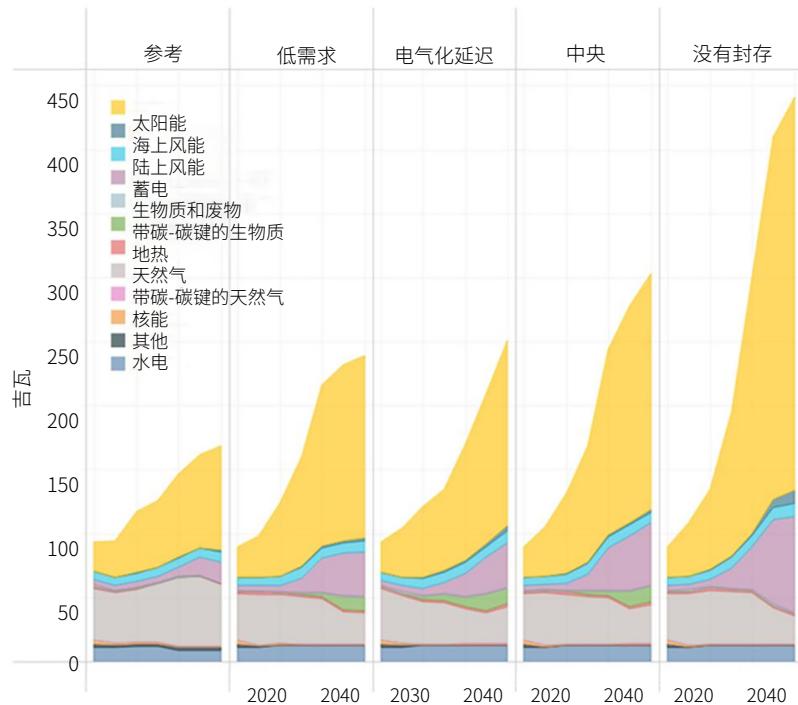


图 1.在进化能源研究 (EER) 模型的五种不同模型方案下, 加州到 2050 年达到全州净零排放所需总电力装机容量的结果。有关进化能源研究 (EER) 模型、降尺度和模型案例的更多信息, 请查阅附录 A。

可再生能源生产、交通和建筑领域的专家为本地区建立了技术上可行的脱碳路径模型, 并创建了基于科学的区域脱碳路线图, 以实现到本世纪中叶的净零排放。这些模型侧重经过验证的可扩展技术, 用于使本地区地方政府和机构管辖范围内最大的温室气体排放者(图 3)脱碳。因此, 仍处于试验或早期阶段的技术不包括在内, 原因是不能立即由地区当局大规模部署。同样, 州和联邦水域的资源部署也不包括在内, 除非是为了说明圣地亚哥地区的资源可用性。

此外, 区域脱碳框架 (RDF) 技术分析强调了脱碳过程中的不确定性, 以及对能够随着技术和政策环境发展而适应的持续规划过程的需求。例如, 因皮里尔县或墨西哥可再生能源供应的增加可能会影响圣地亚哥地区的可再生能源组合, 从而避免在当地建设成本更高的可再生能源基础设施。同样, 州府和/或联邦开发海上风能也可减少圣地亚哥地区对陆基可再生基础设施开发的需求。因此, 根据区域脱碳框架 (RDF) 技术分析结果开发的决策系统应允许随着技术和政策环境的变化而不断更新。

主要政策考量

成功的脱碳需要能够适应科学进步及当地政治和经济条件的技术解决方案和政策战略。区域脱碳框架(RDF)技术分析提供了对每个部门减少排放最低成本和最有效近期解决方案的最佳评估。无论如何解决不确定性, 这些“低遗憾”行动将在短期内成为强有力的脱碳行动,

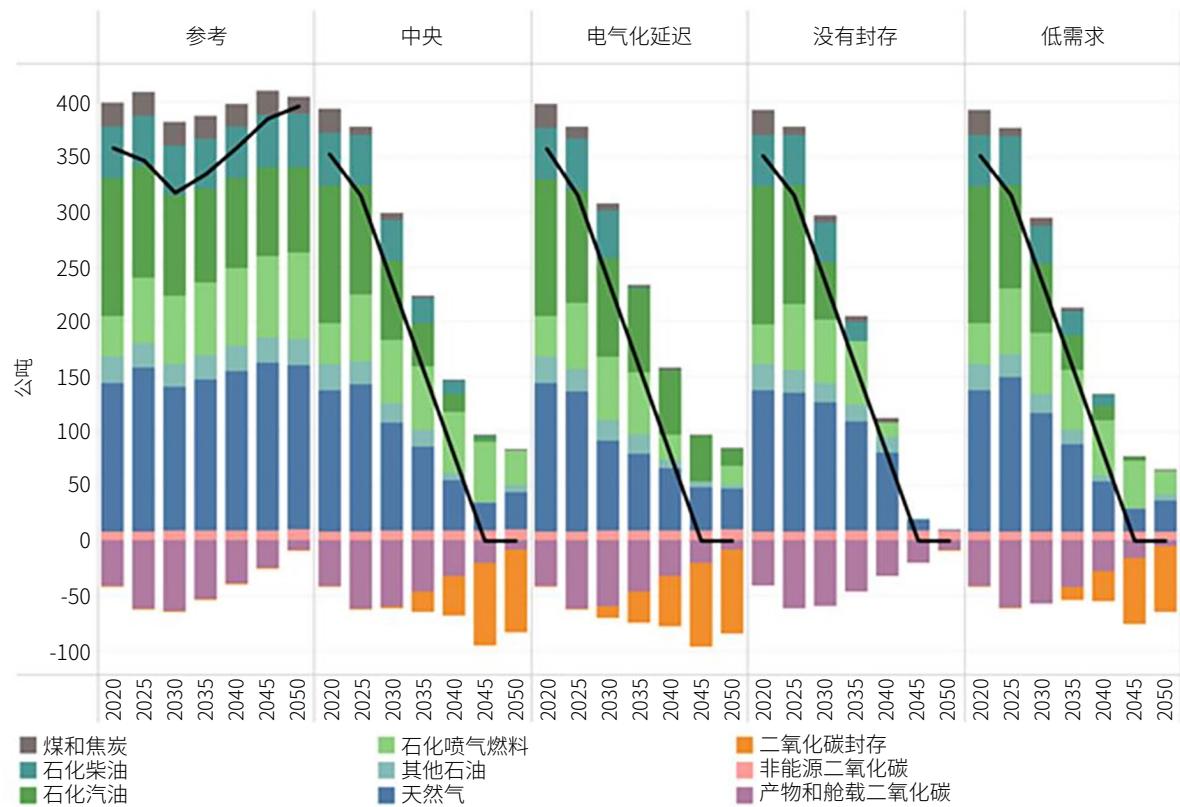


图 2. 来自进化能源研究 (EER) 模型的加州能源和工业过程中二氧化碳排放的结果。x 轴上方的颜色代表正排放，下方的颜色代表抵消的负排放。黑线表示净二氧化碳排放。“产物和船载燃料二氧化碳”要么是最终被封存在材料中的二氧化碳(例如，沥青在其生产过程中封存二氧化碳)，要么是未计入当前清单的二氧化碳减排量(例如，州际航空减排量未计入单个州排放核算，但州内航空计入)。

但是否是长期的最佳路径仍是未知数。有效的学习和政策调整需要地方行动者(包括领导者和一线人员)首先实施解决方案，然后对结果进行系统性和持续的审查，以推动有意义的学习，了解哪些有效，哪些无效。随着科学和技术的进步以及当地参与者了解在圣地亚哥环境中什么有效，“最佳”解决方案可以而且应该随着时间的推移而变化。

区域脱碳框架 (RDF) 技术分析提出了全地区的制度治理，可以促进跨辖区的持续合作和学习。^{xxvi} 该结构由地区指导委员会、部门工作组和一线顾问组成，将汇集来自本地区各个部门知识渊博的政府官员、规划机构、监管机构、行业利益相关者、专家和一线工作人员来测试、评估和调整解决方案和目标。这种结构是必要的，因为实现应对气候变化所需的巨大变化和快速学习是一个集体行动。就个人而言，圣地亚哥地区的地方辖区和机构对脱碳所需的一整套行动拥有有限程度的直接权限，尽管有些可能具有更间接的影响。全地区的合作可以通过明确、可信和一致的政策信号、联合解决问题和汇集关于什么有效和什么无效的经验以及从综合资源中提高杠杆和能力来提高其有效性。正如第 7 章和第 8 章所讨论，区域性合作的示例可以包括在全县设立激励措施，以激励行动、收集和跟踪数据，进行分析，

^{xxvi} 有关跨辖区协作和学习的更多信息，请查阅第 7 章。

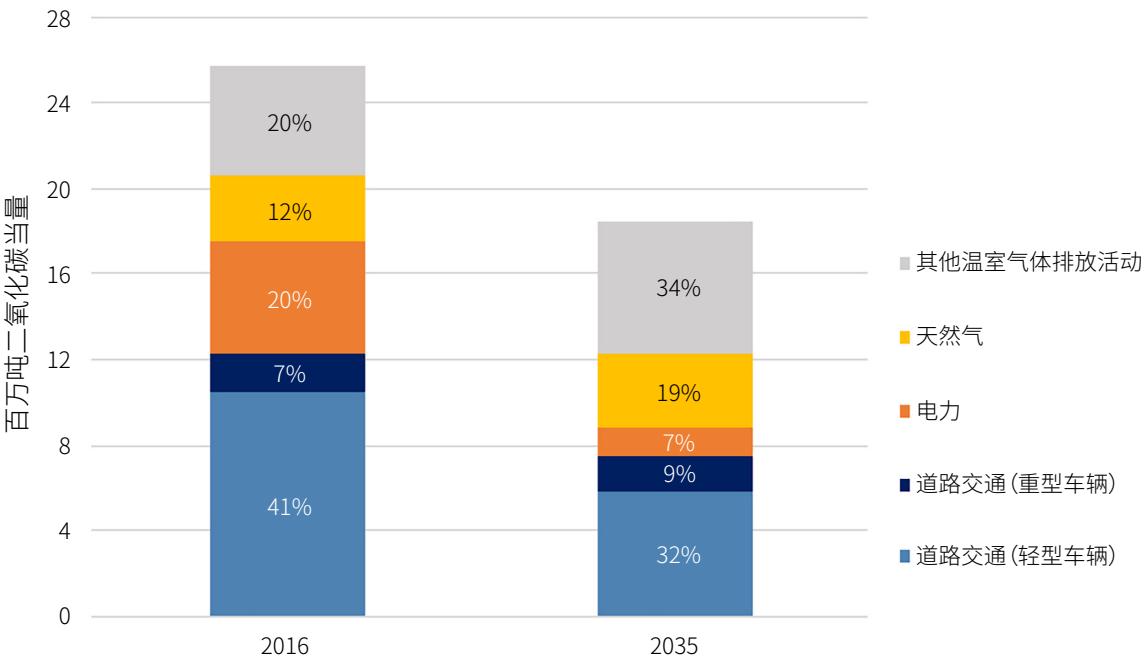


图 3. 以百万吨计二氧化碳当量排放量的全地区估算。“其他”类别包括来自工业源、越野交通、废物、航空、水域等的排放，这些在区域脱碳框架 (RDF) 技术分析中没有考虑。注：2035 年的值说明了某些州和联邦行动的影响。资料来源：圣地亚哥政府协会 (SANDAG) 2021 年区域计划附录 X，网址：

<https://sdforward.com/docs/default-source/2021-regional-plan/appendix-x—2016-greenhouse-gas-emissions- inventory-and-projections-for-the-san-diego-region.pdf?sfvrsn=8444fd65 2>

为制定和实施政策提供支持，以及召集利益相关者和工作组来制定区域性战略和监查进度。区域性气候行动联合权力协议 (JPA) 等正式机制可以促进此类合作，并在此过程中帮助扩大围绕脱碳的战略思维和决策。图 4 概述了一个制度过程，通过该过程，在区域脱碳框架 (RDF) 中提出的技术解决方案和与利益相关者持续接触的基础上，区域治理可以推动每个部门的有意义学习。

在这一制度过程中，区域脱碳框架 (RDF) 技术分析还提出了两种策略，用于与本地区的参与者和机构合作，以最大限度地提高本地区内的影响。首先，区域脱碳领导者需要不断与外部机构合作，尤其是在州级，以影响对当地工作有影响的政策（例如，可再生能源法规）。其次，地方领导者应利用本县侧重技术的私营部门和多个大学社区，将圣地亚哥地区建立为试点和示范项目的试验台。虽然仅对创新进行区域规模的投资不太可能对所有部门的技术准备度产生巨大影响，但是，在县外开发技术的当地测试和部署可以帮助全球努力推动最前沿的气候解决方案科学。除了推动地方减排之外，外部参与也是一个机会，可以将州和联邦政策制定者的外部资源和注意力吸引到本地区，对当地经济产生潜在的积极影响。

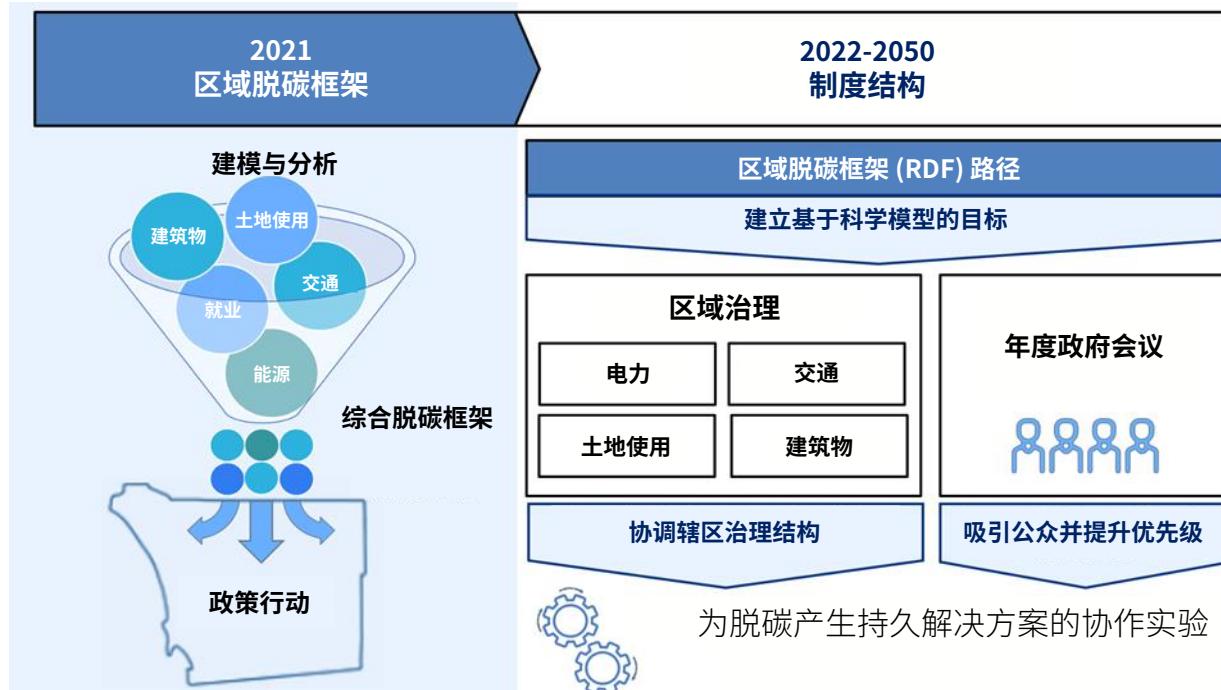


图 4.作为综合脱碳框架和制度结构一部分的区域脱碳框架 (RDF) 技术分析。例如,这种结构可以包括圣地亚哥地区的区域治理机构和政府会议。

总而言之,区域脱碳框架 (RDF) 建议将高度透明的合作流程制度化,以获取有关深度脱碳“有效方法”的新信息,比较县内最佳做法,并与地区外的政策制定者、行业利益相关者和其他专家参与国家战略的演变。这不仅对最大化当地排放量很重要,而且对圣地亚哥影响本州和联邦气候政策并成为其他辖区的有效领导者也很重要。鉴于圣地亚哥地区仅占全球排放量的 0.08%,因此,产生追随者对于本地区真正对缓解气候变化产生影响至关重要。

电力脱碳

区域脱碳框架(RDF)技术分析确定了圣地亚哥地区和邻近因皮里尔县可再生能源基础设施开发技术上可行的优质低影响领域。电力排放约占圣地亚哥地区2016年区域温室气体排放清单的20%，是本地区第二大排放源(图3)。电力生产脱碳需要大量部署新的可再生资源。可再生能源基础设施和设施选址会对环境产生重大影响，需要新的和升级的输电基础设施。

圣地亚哥地区有足够的可用土地面积用于风能和太阳能发电，可用最低成本按照全加州系统模型实现一个完全脱碳的能源系统。然而，满足可靠性标准将需要对一系列额外资源进行大量但不确定的投资，包括过度间歇性和灵活的发电、蓄电和需求管理。本地区可通过当地公用事业规模的陆上风能和太阳能开发产生预计的2050年能源需求。然而，在给定时间(如夜间或阴天)，对能源的需求可能高于或低于可再生能源供应，因此，需要投资于额外的储能基础设施来为本地区提供可靠的可再生能源。然而，这些额外资源的成本(如电池和抽水蓄能电站)具有高度的不确定性。

区域脱碳框架(RDF)技术分析为可再生能源基础设施创建了多个选址方案供决策参考。这些方案含有最低成本方案、包括因皮里尔县(含其地热潜力)方案、具有不同风能和太阳能资源组合(分布式和公用事业规模)的方案及棕地场地。主要方案从成本最低到最高选择了公用事业规模的可再生能源地点，而其他方案优先考虑不同的政策目标，例如，避免高保护价值土地、高货币价值土地、具有高封存潜力的土地和尚未被视为可开发的土地。所有方案都包括以平准化度电成本(LCOE)表示基础设施成本这种比较能源项目成本的方法。分析包括以下可再生能源发展方案:^{xxiii}

1. 成本最低的高当地容量(仅限圣地亚哥县)(图5)；
2. 成本最低的高输电能力(圣地亚哥和因皮里尔县)(图6)；
3. 最小化环境影响(避开具有高保护价值的地区)(图7)；
4. 将高货币价值土地的损失降至最低(避开高货币价值土地)(请查阅第2章第2.5.2节的图表)；
5. 最小化天然封存高的土地损失(避开具有天然封存潜力的土地)(请查阅第2章第2.5.2节的图表)；
6. 最大化可开发地区的开发(包括空置或计划重新开发的土地)(请查阅第2章第2.5.2节的图表)；和
7. 中端方案(包括本地区可开发地区和附近地区的输电升级、附近的地热、屋顶太阳能及棕地太阳能和棕地风能组合)(图8)。

^{xxiii}有关选址和候选项目地区选择数据和方法的描述，请查阅第2.4.5和2.4.6节。有关方案结果、讨论和地图，请查阅第2.5.1和2.5.2节。

方案一：圣地亚哥县内 太阳能和风能

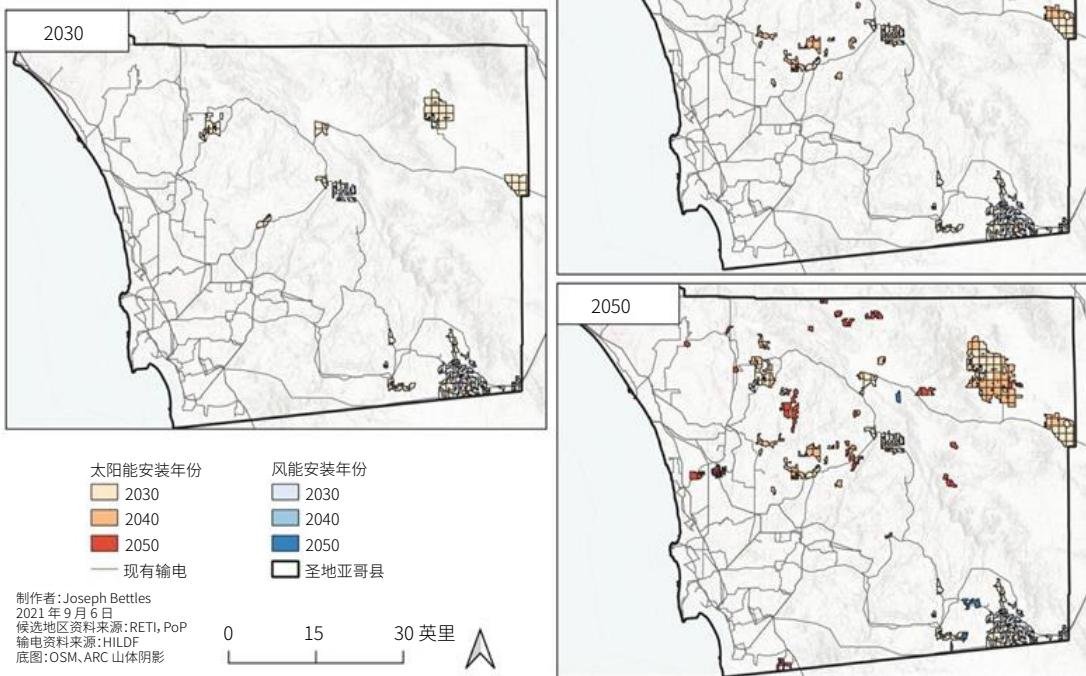


图 5. 候选项目地区方案 1：仅限圣地亚哥地区。这项分析从成本最低到最高选择公用事业规模的太阳能和陆上风能资源，以满足预计的能源需求。这三个版图显示了每年所需的建设情况，才能使本地区到 2050 年实现全面的能源脱碳。较浅的颜色代表因为更便宜而较早建造的候选项目地区。蓝色代表风能资源，橙色/红色代表太阳能资源。这个方案的平均平准化度电成本 (LCOE) 为每兆瓦时 (MWh) 40.65 美元。

方案二：圣地亚哥和因皮里尔县内的太阳能、风能和地热

太阳能安装年份
 ■ 2030
 ■ 2040
 ■ 2050
 风能安装年份
 ■ 2030
 ■ 2040
 ■ 2050
 ● 地热场地
 — 现有输电
 □ 圣地亚哥和因皮里尔县

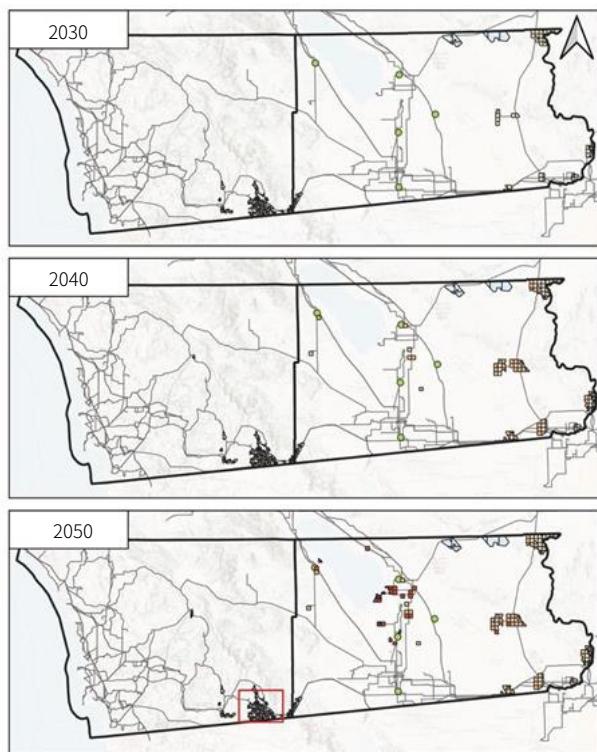
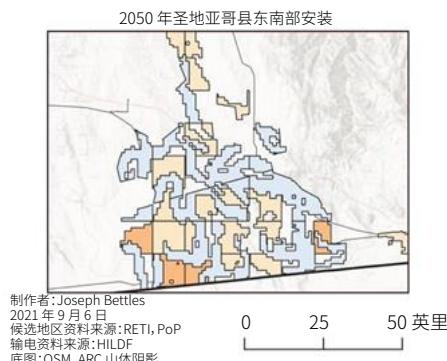


图 6. 候选项目地区方案 2：圣地亚哥县和因皮里尔县。这项分析从成本最低到最高选择太阳能、陆上风能和地热资源，以满足预计的能源需求。这些地图显示了三个时间段的建设情况，其中颜色代表建设年份（较浅的颜色较早）和资源（红色/橙色表示太阳能，蓝色表示风能，绿色表示地热）。插图显示了到 2050 年的杰卡姆巴温泉 (Jacumba Hot Springs) 地区选址以及包括在拟议/规划中的杰卡姆巴山谷牧场 (Jacumba Valley Ranch, JVR) 地区。这个方案的平均平准化度电成本 (LCOE) 为每兆瓦时 (MWh) 42.04 美元。

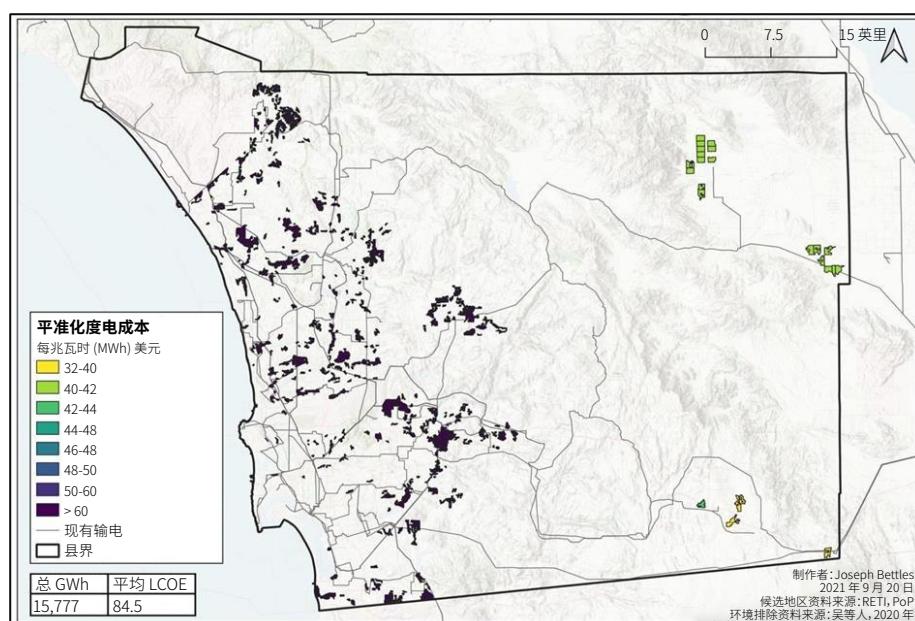


图 7. 候选项目地区方案 3：限制高保护价值的土地。这个方案将最小化对具有高保护价值的地区和其他对环境敏感或重要地区的影响，但不能满足区域能源需求，而且相对昂贵（平均平准化度电成本 (LCOE) 为每兆瓦时 (MWh) 84.5 美元）。

中端方案利用圣地亚哥县、因皮里尔县或地区实体辖区范围内成熟的可扩展技术组合进行建设，以满足近期（2025 年）和本世纪中叶的地区需求（如图 8 所示）。这些技术包括棕地基础设施开发（在目前或以前受污染场地上建造的太阳能和风能基础设施），圣地亚哥和因皮里尔县公用事业规模的太阳能和风能，屋顶和填充式太阳能（其中“填充式太阳能”定义为太阳能密集的城市环境）和地热（这一种坚固的清洁能源）。

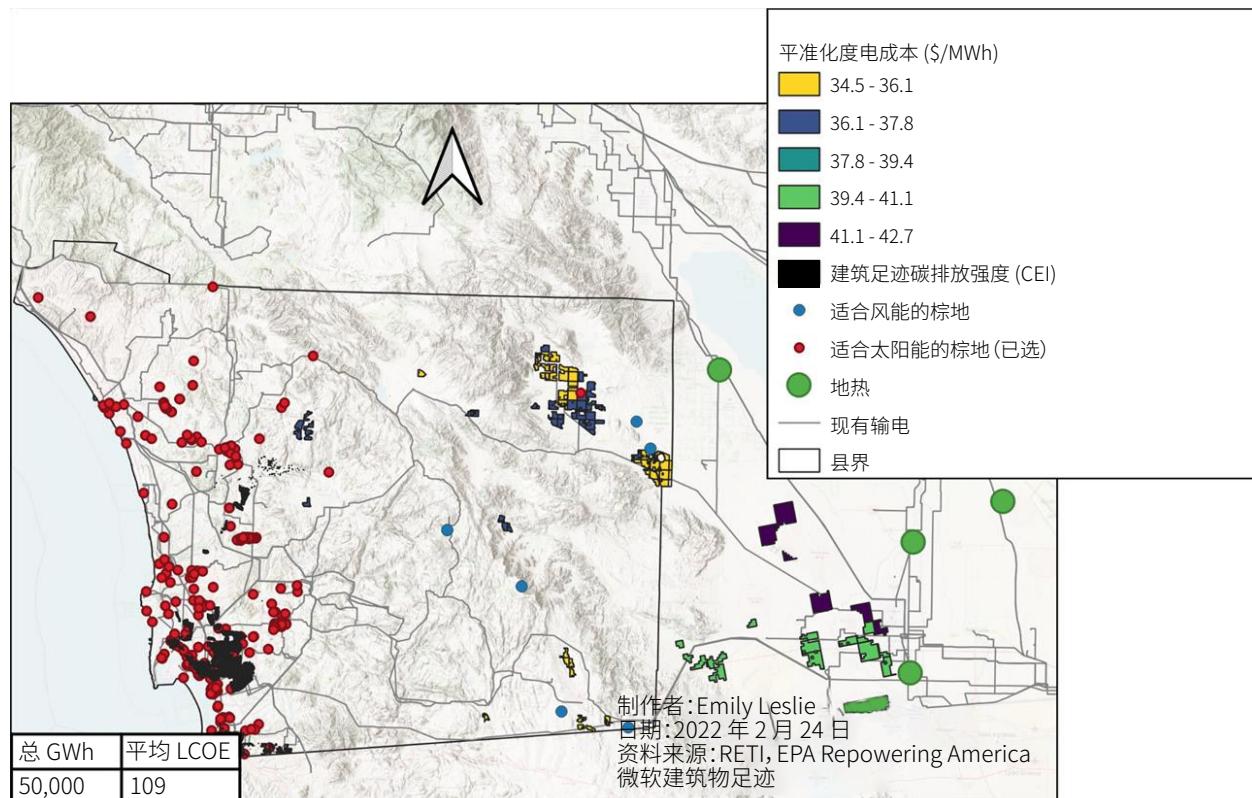


图 8. 候选项目地区方案 7: 2050 年中端方案。此图显示了在中端方案下为满足 2050 年电力需求的选址。根据这个方案，2050 年新的可再生能源年发电量如下：12% 屋顶太阳能、23% 棕地太阳能、0.1% 棕地风能、6% 圣地亚哥县可开发土地上公用事业规模太阳能、0.4% 圣地亚哥可开发土地上公用事业规模风能、38% 因皮里尔县太阳能、21% 因皮里尔县地热。屋顶太阳能和棕地资源的增加共同导致土地面积影响减少了 35%。能满足区域能源需求，但平均成本高（平均平准化度电成本（LCOE）为每兆瓦时（MWh）109 美元），部分原因是屋顶和棕地开发成本高。

结果中的不同方案存在一些共性，表明这些可能是“低遗憾”的可再生能源基础设施选择。这些地理空间分析表明，屋顶和填充式太阳能可为社区带来协同效应，而且，这些与棕地开发一起都是低遗憾策略。尽管与公用事业规模的开发相比，其成本相对较高，但对环境、农业和农村社区的影响较小，且能在住宅区和城市中心附近带来很多就业机会。鉴于较高的商业利益及靠近规划或现有可再生能源场地的相对位置，模型在大多数方案中选择了杰卡姆巴山谷牧场（JVR）可再生能源地区。这个地区受到全州规划程序的青睐，包括加州独立系统运营商（CAISO）（加州电网运营商）和加州公用事业委员会（CPUC）的规划程序，并可能代表一个公用事业规模建设的低遗憾方案。所有方案都需要仔细考虑环境正义问题，并更深入地了解这些能源开发将对相关社区、低收入社区和/或弱势社区产生的影响。

因皮里尔县的大量太阳能和地热资源是圣地亚哥的巨大潜在资源, 可能需要升级输电网。随着可再生能源基础设施在邻近地区(如因皮里尔县、墨西哥或州水域)的开发, 选址方案将在重复的能源供需分析中发生变化。同样, 随着新技术和许可带来额外的可再生能源(例如, 海上风能、波浪能等), 需要更新方案以考虑这些新资源的能源供应。这个框架足够灵活, 能在可用时满足额外的可再生能源需求。

本地区应与州府机构协调, 以确保系统的可靠性。圣地亚哥地区是一个更大能源系统网络的一部分, 因此, 跨机构协调对于未来可再生能源基础设施的决策、规划和实施至关重要。例如, 加州公用事业委员会(CPUC)正在制定州级综合资源计划(IRP)。全州的负荷服务实体(LSE)是该程序的当事方, 而当地负荷服务实体(例如, 圣地亚哥天然气和电力公司(SDG&E)和社区选择聚合商(CCA))必须每年递交其采购计划。这些递交的计划有助于本州预测潜在的可靠性问题, 并帮助加州独立系统运营商(CAISO)规划可能需要的输电系统升级, 以适应负荷服务实体计划和满足气候目标。如果负荷服务实体(LSE)计划包括当地分布式发电、屋顶太阳能、社区太阳能、符合公平性条件的承包商项目或其他规范, 则应在负荷服务实体(LSE)递交给加州公用事业委员会(CPUC)的文件中说明此信息。此外, 市议会议员和其他政府官员经常在社区选择聚合商(CCA)董事会任职, 并参与采购规划和目标设定。董事会成员可帮助确保负荷服务实体(LSE)计划的实施与地区温室气体减排目标和州目标保持一致。当地方目标比州府目标更雄伟时, 这一点尤其重要。除了综合资源计划(IRP), 还有其他州府机构程序可从当地参与者的意见中受益(例如, 加州公用事业委员会(CPUC)资源充足性程序、加州独立系统运营商(CAISO)输电规划程序和加州独立系统运营商(CAISO)当地容量要求程序)。在资源充足性程序中, 加州公用事业委员会(CPUC)工作人员进行分析以确保电网的可靠性。在输电规划过程中, 由加州独立系统运营商(CAISO)进行分析, 以确保规划输电系统升级的可靠性、政策合规性和成本效益。在当地容量要求程序中, 加州独立系统运营商(CAISO)采用比其他程序更适合当地的可靠性分析方法。例如, 加州独立系统运营商(CAISO)2022年当地容量技术研究第3.3.10节专门针对圣地亚哥-因皮里尔谷地区。圣地亚哥天然气和电力公司(SDG&E)、圣地亚哥社区电力公司(SDCP)和清洁能源联盟(CEA)等负荷服务实体应就采购、资源充足性和这些程序中涉及的其他问题进行协调。

本州要求到2045年实现一个完全脱碳的电力系统, 并对某些新建筑物的屋顶太阳能提出了要求。然而, 除了州府目标之外, 还有其他脱碳机会领域。电力脱碳是分析中最常见的气候行动计划措施, 平均而言对温室气体减排的贡献比任何其他措施都大。大多数气候行动计划都包括一个制定或加入社区选择聚合商(CCA)计划的措施, 但有机会增加社区选择聚合商的参与, 并让社区选择聚合商承诺在2045年截止日期之前实现100%的无碳能源。此外, 当地有机会采用更严规则(或超出州府要求的地方法规)并评估与屋顶太阳能配对储能系统的授权或激励措施, 以减少电力系统温室气体排放高峰期的边际排放并提高可靠性, 从而提高或补充州府屋顶太阳能要求。

要想更容易获得无碳电力供应,还有更多的工作需要做。从历史上看,收入较高的社区和/或住房拥有率更高的地区已经安装了屋顶太阳能。有多种选择可解决太阳能安装的不公平分布,包括有针对性的激励措施和融资。此外,社区选择聚合商(CCA)计划可最大化参与弱势社区绿色电价计划,补贴符合收入条件折扣计划的客户,以选择高达100%的无碳电力服务,并支持能源升级的包容性融资。

监管能源生产的法定权限:^{xxiii} 圣地亚哥地区各辖区有权要求通过气候行动计划提供一定水平的无碳电力供应,并通过社区选择聚合商(CCA)采购无碳电力供应,因此可提供比州府机构要求更多的无碳能源。然而,州府和/或联邦机构或实体仍对当地能源供应可靠性进行监管,因此将使用可再生能源的完全脱碳电力供应变得复杂。此外,地方辖区也获授权支持替代燃料热力发电厂和相关基础设施,可提供低排放或零排放电力以满足可靠性和空气质量要求(例如,绿色氢气生产和/或发电厂)。地方辖区也获授权通过社区选择聚合商(CCA)和更严的规则增加分布式发电,并简化许可证颁发。鉴于现行州法规和联邦优先权的不确定性,进一步监管大多数石化燃料热力发电厂的排放有一定的限制。

交通脱碳

交通部门是本地区温室气体排放的最大贡献者。2016年,道路交通排放了本地区近一半的排放量。到2035年,道路交通排放量预计将占预计总排放量的41%左右(图3)。^{xxiv} 全州立法、行政命令和机构的目标为交通部门的温室气体减排设定了目标,圣地亚哥地区已经实施了多项措施来减少本地区交通温室气体排放,其中包括各种车辆行驶里程(VMT)减少战略和汽车电气化战略。

本地区在减少交通相关排放方面有强大的政策基础。然而,通过气候行动计划和其他政策作出的现有承诺与州府行政命令要求的碳中和减排水平不一致。即使是通过减少车辆行驶里程、采用电动汽车和燃油效率战略来减少道路交通排放的最佳气候行动计划承诺,如果应用于整个地区,预计也无法实现本州的零排放目标。

根据现有的区域性政策和车辆拥有、出行行为和土地使用开发模式,仍有机会可加速电动汽车采用和减少车辆行驶里程。这些机会包括减少车辆行驶里程和减少车辆排放的气候行动计划措施。现行政策及消费者、驾驶员和开发商的行为已在增加电动汽车的采用率并降低车辆行驶里程。然而,还有其他机会可加速本地区的交通脱碳。为了减少车辆行驶里程,各辖区可加强公共交通和主动交通(骑自行车和步行),改变区划促进混合用途开发,鼓励智能增长、城市连通性和密度,抑制停车。^{xxv} 为了减少排放,各辖区可确定交通平静措施的

^{xxiii} 有关法定权限的进一步讨论,请查阅第8章第8.7节“电力供应脱碳”和附录B。

^{xxiv} 有关交通气候行动计划承诺相关详细分析,请查阅第8章第8.5节。注:此值包括预计的电动汽车销售变化,但不包括气候行动计划措施。

^{xxv} 第3章已经确定了可在填充式地区增加密度的机会。有关如何降低车辆行驶里程的更多详细信息,请查阅第8章。

方面,制定防怠速要求(尤其是在学校周围),并提供驾驶员行为激励措施。此外,地方辖区有机会影响车辆退役,可在相关社区优先考虑,以迅速减少这些社区的空气污染负担。最后,地方政府可在现有和未来车队中增加替代性、低碳燃料和电动汽车的使用,尤其是中型和重型车辆。图 9 显示了增加电动汽车采用率的政策机会清单,说明了在有效性(即政策对于增加电动汽车采用率的有效性)和广度(即可影响多少人)方面的政策选择。

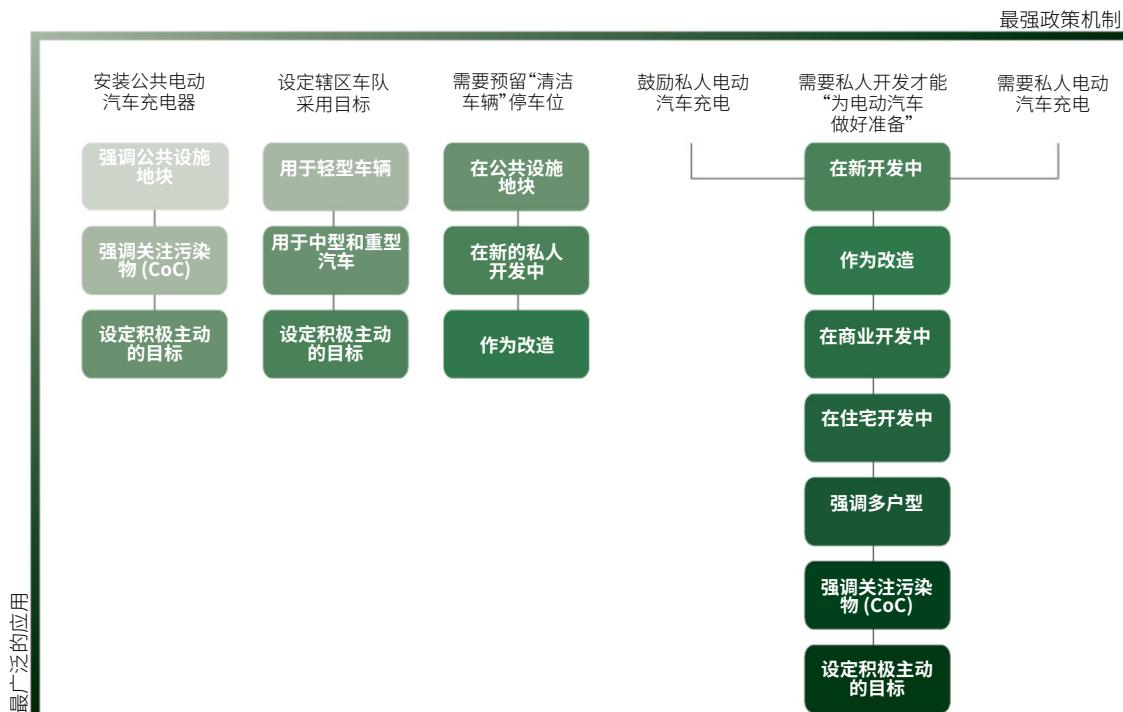


图 9. 加速电动汽车采用的一系列政策选择。政策可能会更有效地向右移动,而且,向下移动时可能会有更广泛的应用。因此,右下角预测最有效,而且显示的政策措施应用最广泛,左上角预测最不有效,且显示的政策措施应用最狭窄。

存在多种区域性合作和协调机会。道路交通和协调交通决策现有制度框架的性质表明,在交通脱碳方面的区域性合作将比单独的气候行动计划措施更有效。社区选择聚合商(CCA)提供了一个地方机制的示例,通常可通过联合权力协议(JPA)制定计划,在州和联邦计划之外激励更多采用电动汽车,从而支持交通电气化。也可同样确定其他区域交通脱碳,以促进地方资金用于交通脱碳。此外,地方辖区可合作评估电动汽车使用与在各个社区增加使用公共交通的公平性影响,并将区域交通公平性分析(如圣地亚哥政府协会(SANDAG)的公平性分析)与气候行动计划公平性分析(如圣地亚哥市的公平性分析)相结合。

监管交通脱碳的法定权限:^{xxiii} 圣地亚哥地区的地方辖区和机构对交通拥有广泛的权限，既基于当地对规划和开发的土地使用权，也基于州府和联邦政府授予的权限。这些权限可能受到州或联邦法律的限制或取代，例如，监管燃料和尾气排放。此外，地方辖区也能制定气候变化政策和法规，以在总体规划 (GP)、气候行动计划、区划或以公交为导向的发展法规中减少交通产生的温室气体。此外，地方辖区也能要求在建筑物中安装燃料转换基础设施（例如，电动汽车充电设备），在公共通行权或公共土地上建设配套基础设施，并支持替代燃料（如氢气）的生产和基础设施。地方辖区可通过购买、维护或更换自己的车队来加以管理，还有权监管间接交通排放，以使当地排放符合联邦和州空气质量标准。州法规和规章创造了一个机会，通过将州府资助的项目带到本地区，尤其是相关社区，并部署由州府或联邦资助开发的技术，从而配合降低实施成本的地方行动。最后，与气候行动计划中的承诺相比，辖区似乎拥有更多的法定权限，能通过土地使用、交通基础设施选址、授权和税收权力来减少交通温室气体。地方辖区需要开展额外的工作，以评估其增加道路交通温室气体减排的权限范围。

建筑物脱碳

区域脱碳框架(RDF)技术分析研究了本地区基础设施和建筑部门的建筑物组合和相关排放。建筑物的直接排放来自现场石化燃料燃烧，并导致了区域温室气体排放，因此，本章重点讨论通过到 2045 年消除石化燃料排放来使建筑物脱碳。这项分析的重点是将负责最终用途排放的系统（如空间供暖和水加热）电气化，以及在电气化尚不可行时使用低碳燃料（如生物甲烷和氢气）。这项分析考虑了到 2050 年实现无碳建筑部门的三种模拟路径：强调石化燃料系统高度电气化的路径、电气化时获得高效热泵的路径以及电气化采用较慢时使用低碳燃料减少排放的路径。^{xxiv}

用电力系统取代石化燃料的空间供暖和水加热系统应是建筑物减排的主要政策重点。由于往往依赖天然气，空间供暖和水加热在圣地亚哥地区建筑物排放中占很大比例（图 10），因此，用电动版本更换这些系统和其他石化燃料系统（如烤箱和烘干机）将对建筑物脱碳产生重大影响。空间供暖和水加热特别有利于电气化，因为可用于两种用途的热泵技术比天然气系统更有效，每单位能量输入能提供更多热量。对于调节建筑物温度来说，电动热泵可从同一单元提供供暖和制冷，使之成为尚未安装空调住房的理想选择。热水器在建筑物中产生的排放量最多，因此，如用电气化版本取代，其成本将能大大减少排放量。最后，这项分析发现，新建筑物与增加电气装置和改造旧电器之间的成本没有显着差异。因此，区域性政策应支持在新建筑物和现有建筑物中越来越多地采用基于高效热泵的空间供暖和水加热系统。

^{xxiii} 有关法定权限的进一步讨论，请查阅第 8 章第 8.5 节“交通脱碳”和附录 B。

^{xxiv} 有关模拟路径的更多详细信息，请查阅第 4 章第 4.4 节和本章其他部分。

此外，旨在取代石化燃料的空间供暖和水加热系统政策应侧重通过援助让低收入居民和出租建筑物业主提高使用率。此类政策能解决住房质量、环境不公正、室内空气污染造成的健康差距和/或公用事业成本等一些历史性不公平问题，也能确保不会将低收入居民和租房者排除在制定脱碳目标之外，而且不会支付越来越高的天然气费率。

有几项近期行动对于建立脱碳是低遗憾的。首先，通过建筑能源规范为新建筑物和重大改造设置“电气化”或“全电动”标准会降低与从石化燃料过渡相关的成本。其次，一些现有石化燃料设备系统到 2050 年只能变换一次。用电气化系统取代即将报废的石化燃料加热系统是唾手可得的成果。这是近期的优先事项。第三，改进数据收集是制定未来政策的低成本基础行动。在决策者制定政策以解决建筑部门对净零碳地区的贡献之际，更多关于建筑物排放和脱碳的数据将能更好地提供信息。

低碳气体燃料可用于难以电气化的最终用途，但需要研究和试点。一些建筑物系统难以电气化，因此，减少这些系统温室气体排放的一种方法就是使用不会向大气排放净温室气体的燃料。此类燃料同样也可在电气化之前用于这些或其他系统。低碳气体燃料可包括生物甲烷和/或氢气。然而，这些替代燃料中的每一种都有成本和效率的权衡及不确定性，因此，在实施之前需要进行更多的研究和试点。

可通过最小化不必要的天然气管道系统扩建或更换并加速现有公用事业资产的折旧来减轻天然气公用事业公司无法收回其资产投资的风险（即搁浅成本风险）。逐步淘汰建筑物中的最终用途天然气消耗可能会导致天然气资产搁浅，其定义是天然气管道等基础设施在使用寿命结束之前即已停用。由于建造或更换天然气基础设施的资本成本很高，对于像圣地亚哥天然气和电力公司 (SDG&E) 这样的公司来说，搁浅资产代表着潜在的财务损失。减少这些搁浅资产将是一项重要的政策考量。一种工具就是尽量减少对天然气管道基础设施的不必要扩建或更换。在为服务新客户而扩建管道及更换旧的或损坏的管道和其他资产时，圣地亚哥天然气和电力公司 (SDG&E) 即在投资于天然气资产。要求所有新建筑物全电化的政策将减少新管道投资流向新客户的搁浅资产损失，但这并不能减少投资更换老化基础设施的损失。探索和试验新的和替代基础设施的非管道替代方案或许能发现降低风险的机会，包括使最终用途电气化，而不是更换基础设施。

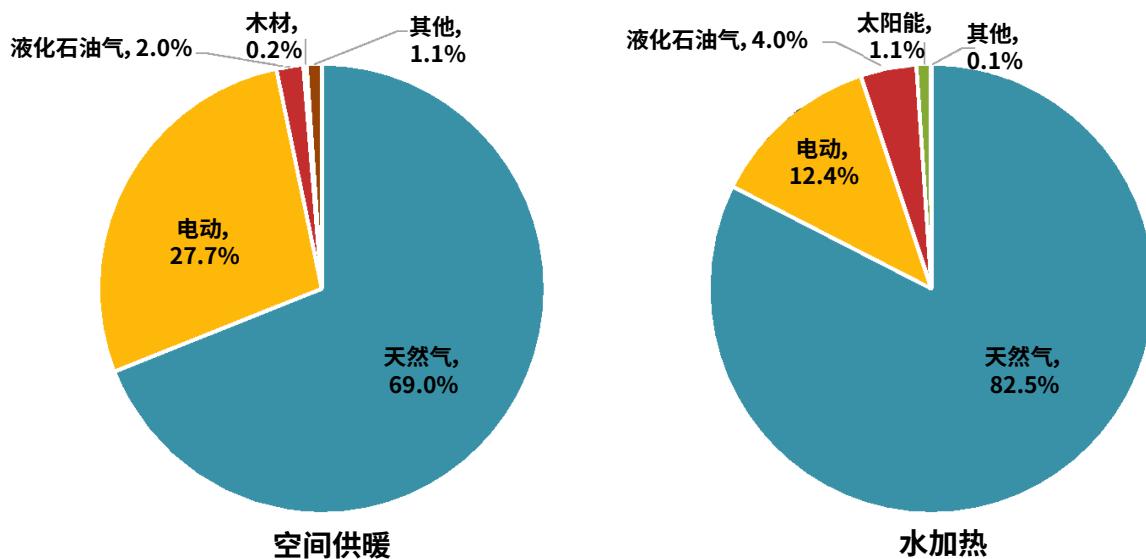


图 10. 圣地亚哥地区按燃料类型(占客户账户百分比)的住宅空间和水加热水源使用情况。

资料来源: DNV GL Energy Insights。2021 年。2019 年加州家用电器饱和度研究 (RASS)。

尽管对区域性脱碳非常重要,气候行动计划为建筑物电气化采取的措施相对较少,而且这些措施的温室气体影响相对较小。只有六个气候行动计划包括与建筑物电气化相关的措施,而且,与效率和电气化相关气候行动计划中的温室气体减排量相对较低。与第 4 章所述新建和现有建筑物所需电气化水平相比,气候行动计划措施未能达到区域脱碳框架 (RDF) 技术分析路径中的建筑物脱碳水平。

新建和现有建筑物的脱碳政策至关重要。80% 在 2050 年将有的建筑物已经存在,因此,这些建筑物的脱碳对于建筑部门的脱碳至关重要。虽然州府建筑规范对某些现有建筑物的改建和增建进行了规定,但是,地方政策仍能进一步鼓励或要求许多其他现有建筑物的能源效率和电气化。^{xxiii}市政建筑物脱碳可能是一项低遗憾政策,因为实施具有成本效益的措施和使这些建筑物电气化可能有助于降低运营成本,而且,对这些行动建模可能会鼓励房主和企业主采取行动。

有机会也有必要评估制定脱碳政策的社会公平性考量。建筑物脱碳有几个公平性方面需要考虑,包括相关社区的高比例租房者,与公平性和建筑物相关政策数据和分析的相对缺乏,以及建筑物脱碳政策(尤其是电气化)的潜在成本影响。需要开展更多工作来开发能力和工具,以了解和解决圣地亚哥地区建筑物和其他脱碳政策的公平性影响。

^{xxiii} 有关地方当局对现有建筑脱碳行动示例的更多详细信息,请查阅第 8 章第 8.6 节。有关当地示例,另请查阅第 7 章第 7.3.1 节。

监管建筑物脱碳的法定权限:^{xxiii} 地方辖区有权监管建筑物最终使用石化燃料和其他能源产生的温室气体排放,这是建筑物脱碳的主要手段。地方辖区还有授权对建筑环境采取行动,要求更严格的能源法规,直接监管建筑物空气污染排放,并为公共建筑物采购替代能源供应。《加州环境质量法》(CEQA) 或许能设置更严格的阈值确定环境影响,使地方辖区获得额外的授权。地方政府无法制定能源效率设备标准,监管天然气供应、传输和储存及全球变暖潜能值高的制冷剂(例如,氢氟碳化物(HFC))。

^{xxiii}有关法定权限的进一步讨论,请查阅第 8 章第 8.6 节“建筑物脱碳”和附录 B。

自然气候解决方案

区域脱碳框架 (RDF) 技术分析调查了圣地亚哥地区可用的自然气候解决方案 (NCS) 及其自然封存二氧化碳和其他温室气体的潜力。自然气候解决方案是一些过程，用来保护或增强自然和工作用地 (NWL) 通过植物和土壤从大气中捕获和封存温室气体的能力。“工作用地”包括果园、葡萄园、牧场等农业用地。“封存”是每年从大气中移除多少温室气体的量度，而“存量”是已封存的温室气体总量。本地区的碳封存 (图 11) 非常重要，因为有办法防止封存的碳释放到大气中，例如，当土地使用从自然和工作用地 (NWL) 变为城市地区时就会发生这种情况。通过了解某个地形的碳封存量和封存潜力，即可防止碳封存量高的地区将碳排放到大气中，并保护具有高封存潜力的地区。

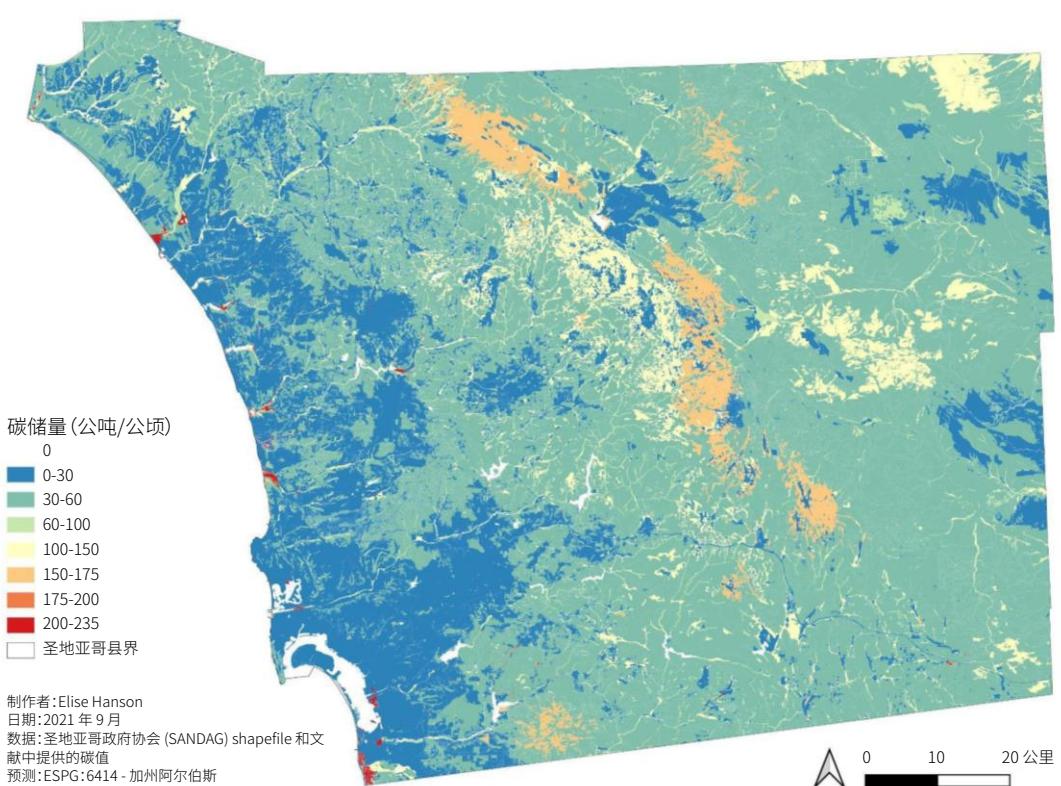


图 11. 圣地亚哥地区总碳封存量估值 (以每公顷或公吨二氧化碳当量 $\text{CO}_2\text{e ha}^{-1}$ 衡量)。较暖的颜色代表较大的碳储量估值，较冷的颜色代表较低的储量估值，白色代表没有碳储量。

本地区自然和工作用地 (NWL) 能封存大量二氧化碳，但封存量不足以抵消人为排放。自然和工作用地 (NWL) 可作为比目前更强大的净汇，尽管这将需要投资于支持自然气候解决方案并最大限度地减少土地和土地使用活动的碳排放。为了准确计算净碳土地使用排放，需要收集当地数据并整合到地区碳计算中。本地区可通过投资增加自然封存和减少土地排放的自然气候解决方案来扩大年度碳封存和长期碳封存，例如，投资“碳农业”，恢复和扩大“蓝碳”栖息地，在城市地区种植树木和其他植物，防止野火，并在自然和工作用地 (NWL) 种植树木。当地数据可改进自然气候解决方案政策和管理技术，从而增加区域封存。

圣地亚哥地区最有效和最便宜的自然气候解决方案就是，通过保护自然和工作用地来避免土地使用变化，除非其他脱碳行动需要改变土地使用（如可再生能源基础设施选址）。现有自然和工作用地是天然碳汇，因此，防止这些土地转变为城市或建成区将允许 1) 持续的年度封存和 2) 防止因植被移除、土壤扰动等造成的一次性排放。本报告估计，在理想情况下，自然和工作用地 (NWL) 的自然年度二氧化碳封存量可能高达 200 万公吨 (MMT)，并可能有 58 万公吨的二氧化碳封存在植被、木屑、落叶和土壤中，其中一些会随土地使用变化而释放。自然和工作用地 (NWL) 的年度封存量对于继续建立自然的二氧化碳封存非常重要。鉴于对能源系统的侧重，区域脱碳框架 (RDF) 排放技术分析中未包括自然封存。土地用途的改变对于安装公用事业规模的可再生能源基础设施是必要的，将能支持脱碳并允许住房开发。在天然碳封存量最大和封存潜力最高的地区，务必最小化土地使用变化并保护有高协同效应的地区，例如，能改善空气和水质、保护生物多样性和改善公共健康成果的地区。

尽管能产生重要的协同效应，区域脱碳框架 (RDF) 技术分析考虑的其他重要区域性自然气候解决方案对于碳封存可能效果较差和/或成本较高，包括碳农业（增加碳封存并最小化农田温室气体排放的农业做法）、湿地保护和扩张/恢复及城市林业。大规模栖息地恢复和重新造林成本高昂且可能无效，未在本报告中考虑。出于排放和许多其他经济和社会原因，野火预防也很重要。其他自然气候解决方案选择需要大量资本投资，而带来的短期封存回报可能比保存更小。

除了脱碳之外，自然气候解决方案还提供可量化的协同效应。每项分析的自然气候解决方案都提供了许多可量化的协同效应。这些协同效应包括但不限于改善空气和水质，改善公共卫生成果，保护生物多样性，保护生态系统功能，增加城市地区的遮荫，减少农场和牧场用水和肥料需求，改善城市地区美化，并可能增强环境正义。在制定和实施政策建立生态、经济和社会恢复力时，应考虑这些协同效应。

公平性必须是所有自然气候解决方案决策的核心考量。应该从脱碳和公平性的角度来看待自然气候解决方案。应尽可能优先考虑相关社区的城市绿化、植树、考虑气候变化的耕作和栖息地恢复，因为这些自然气候解决方案在改善空气和水质及公众健康方面有巨大的协同效应。从历史上看，这些社区获得的投资较少，却承担了不成比例的环境损害。应尽一切努力积极解决这些历史性的不公平问题。

与该路径相关的唯一量化气候行动计划措施就是城市植树,但是,也有机会以协作的方式实施额外的自然气候解决方案。根据当地土地使用权,可以采取额外措施。植树措施对气候行动计划中当地温室气体减排的贡献平均略高于 1%。这些可以通过辖区合作得到加强。在现有授权下,可采取额外的自然气候解决方案气候行动计划措施,并有助于自然和工作用地的土地保护、保存和恢复。私人土地所有者和部落政府也可保存土地、测试和资助碳清除和封存试点项目,并与公共机构合作。总的来说,有机会扩大对自然和工作用地的保护,以履行 2021 年新的第 27 号参议院法案 (SB) 强制令,即要求建立自然和工作用地碳清除和储存项目。

也有机会将当地数据纳入土地管理和规划及气候行动计划中。例如,气候行动计划可利用加州空气资源委员会 (CARB) 在自然和工作用地及大学数据中的碳核算方法来制定更强有力的目标和措施。此外,本地区可实施定期碳核算,并长期跟踪自然和工作用地的碳变化,以了解碳储量的保存方式以及净排放是否因土地使用的变化而发生。

监管自然气候解决方案和土地使用产生负排放的法定权限:^{xxiii} 目前尚不清楚地方辖区在土地使用、区划、土地保存和农业地役权方面的权限是否延伸到超出土地使用指定的私人自然和工作土地上的活动,从而对温室气体排放或封存造成影响。因为由联邦、州、部落和私人拥有的土地、水下土地和水域组成本地区的土地使用管辖权更加复杂。有各种法规和机构在监管不同的土地,但没有一个侧重与土地使用有关的温室气体排放或封存。州府土地使用和监管机构还使用各种法规强制令开展工作,这些强制令适用于多个管辖的土地,并影响温室气体排放和核算。加州的法规和行政命令要求州府土地使用机构对自然和工作用地的温室气体排放进行核算。此外,这些州府机构也开始评估和监管这些土地上的碳清除和封存,并为 2030 年制定了重要的目标。地方辖区有机会与土地所有者和管理者合作,以实现与自然和工作用地相关的州、地区和地方目标。

圣地亚哥地区脱碳的就业影响

区域脱碳框架 (RDF) 技术分析计算了能源部门就业的净变化,以响应进化能源研究 (EER) 模型中模拟的脱碳路径中心案例。这项分析侧重遵循加州 2030 年就业和气候行动计划的 2021-2030 年就业变化,为劳动力发展战略提供信息。此外,本报告根据进化能源研究 (EER) 模型中的完整时间表分析了 2020-2050 年的总体年均创造就业机会。为了逐步淘汰石化燃料和建模相关的失业,这项分析侧重 2021-2030 年期间,其中进化能源研究 (EER) 模型的中心案例估计石化燃料的活动将适度减少。这主要是由于该模型估计到 2030 年天然气消费量会稳定,而石油消费量相对于当前消费水平会下降 20%。区域脱碳框架 (RDF) 技术分析侧重能源、建筑和交通部门深度脱碳工作对就业的定量影响,并为包容性经济学关于劳动力发展战略的报告提供信息。^{xxiv}

^{xxiii} 有关法定权限的进一步讨论,请查阅第 8 章第 8.8 节“自然气候解决方案”和附录 B。

^{xxiv} 要获取标题为《让圣地亚哥县走上正轨:2030 年和 2050 年气候劳动力建议》的包容性经济报告,请访问圣地亚哥县参与平台,然后选择报告下载或发表评议: <https://engage.sandiegocounty.gov/rdf>。

从 2021 年至 2030 年间，区域脱碳路径将在圣地亚哥地区平均每年创造近 27,000 个就业岗位。通过创造直接、间接和诱导衍生的就业机会，区域脱碳框架 (RDF) 技术分析估计，脱碳路径每年将为本地区创造 27,000 个就业岗位。^{xxv}表 1 显示，能源需求支出将在 2021 年至 2030 年间创造约 13,500 个就业岗位。表 2 显示，从 2021 年至 2030 年间，能源供应支出将创造约 13,500 个就业岗位。

区域脱碳框架 (RDF) 技术分析估计，即使石化燃料需求萎缩，本地区石化燃料行业的工作人员也不会在 2030 年之前面临失业。进化能源研究 (EER) 模型中的能源供应结构表明，在 2030 年之前，石化燃料的消费量将发生很小的变化，甚至没有变化。^{xxvi} 这表明圣地亚哥地区的石油和天然气部门在 2030 年之前不会出现失业情况。

对于将在 2031 年至 2050 年间失业的社区中工作人员，圣地亚哥县和地方政府现在就应开始制定一套可行的公正过渡政策。2030 年之后，进化能源研究 (EER) 模型的中心案例估计石油和天然气都将出现大幅萎缩。该模型预测，到 2050 年，石油需求的萎缩将达到 95%，天然气需求的萎缩将达到 75%。地方政府必须立即开始为这些工作人员制定公平过渡政策，以便他们能在清洁能源经济或其他领域从事同等或更高质量的工作。

如果过渡能够稳步推进，而不是通过一系列事件，公正过渡的成本将会低得多。在稳定的过渡中，任何一年自愿退休的工作人员比例都将可预测，即可避免在任何特定时间为更大比例的工作人员提供支持。从石化燃料到基于可再生能源工作的过渡速度将影响过渡的公平性和公正性。突然的变化和萎缩都可能会导致突然的失业，而稳定的变化和萎缩可能会导致更少的失业，因为工作人员可能会过渡到新工作或可能自愿退休。

在因皮里尔县确定的五个地点的地热能生产将在 10 年内每年创造 1,900 个就业岗位。第 2 章确定了因皮里尔县的五个地热能生产地点。本章的分析发现，在 10 年内，南加州地区每年将为这五个地热发电厂的开发和运营创造 1,900 个就业岗位，其中一些可能会在圣地亚哥地区创造。

^{xxv}有关这些就业岗位的更详细说明，请查阅第 6 章第 6.3 节。

^{xxvi}有关此处使用的进化能源研究 (EER) 模型中心案例详细信息，请查阅附录 A。

表 1. 圣地亚哥地区 2021-2030 年能源需求支出每年平均创造的就业岗位数量, 按次级部门和技术分类。
这些数字假设年均生产率增长 1%。

投资区	平均年度支出	直接就业岗位	间接就业岗位	直接就业岗位 + 间接就业岗位	诱导所衍生的就业岗位	直接就业岗位 + 间接就业岗位 + 诱导所衍生的就业岗位
车辆	77 亿美元	3,427	1,427	4,854	1,508	6,362
暖通空调 (HVAC)	8.97 亿美元	1,345	699	2,044	764	2,808
冷藏	7.619 亿美元	1,315	491	1,806	711	2,517
家电	1.886 亿美元	143	77	220	78	298
建筑	1.134 亿美元	263	149	412	146	558
照明	1.066 亿美元	177	95	272	100	372
制造	4,570 万美元	40	32	72	27	99
其他商业和住宅	3,890 万美元	59	30	89	33	122
农业	1,720 万美元	144	21	165	45	210
矿业	240 万美元	1	1	2	1	3
总计	99 亿美元	6,914	3,022	9,936	3,413	13,349

资料来源:IMPLAN 3.1

表 2. 圣地亚哥地区 2021-2030 年能源供应支出每年平均创造的就业岗位数量, 按次级部门和技术分类。
这些数字假设年均生产率增长 1%。

投资区	年度平均支出	直接就业岗位	间接就业岗位	直接就业岗位 + 间接就业岗位	诱导所衍生的就业岗位	直接就业岗位 + 间接就业岗位 + 诱导所衍生的就业岗位
石化燃料	44 亿美元	2,538	3,777	6,315	3,805	10,120
清洁可再生能源	6.295 亿美元	1,488	601	2,089	848	2,937
传输和储存	4,590 万美元	34	17	51	31	82
其他供应技术	4,510 万美元	118	35	153	57	210
其他投资	450 万美元	10	3	13	6	19
总计	51 亿美元	4,188	4,433	8,621	4,747	13,368

资料来源:IMPLAN 3.1

地方政策机会^{xxiii}

区域脱碳框架 (RDF) 技术分析评估了气候行动计划中的现有温室气体减排承诺，以确定是否需要额外的活动来使本地区走上实现脱碳目标的轨道。另外还确定了本地区地方辖区可以采取进一步行动的机会，以支持能源生产、交通、建筑物和自然气候解决方案的脱碳路径。

为此进行了几项新颖的分析。首先分析了地方政府和机构影响和监管温室气体排放的权限，并总结了联邦、州和地方主要机构的权限，以及联邦和州级的主要立法和法规，以帮助阐明地方政府采取行动减少温室气体排放的能力。^{xxiv} 其次审查了本地区的所有气候行动计划，以确定特定措施被纳入气候行动计划的频率、气候行动计划承诺的相对温室气体影响以及社会公平性考量的整合。^{xxv} 接着进行了方案分析，以估计所有已用和未定气候行动计划承诺将导致的地区温室气体减排总量。然后估计了将最佳气候行动计划承诺应用于一个所有辖区方案的潜在温室气体影响。^{xxvi} 这个方案分析采用了一个将产生最大相对温室气体减排量的给定气候行动计划政策类别的气候行动计划承诺（比如在城市或农村地区种植树木的目标），然后将该承诺应用于圣地亚哥地区的每个辖区，无论该类别中的现有或规划承诺如何。可将此认为是现有气候行动计划承诺的潜在温室气体减排上限。最后，本章使用这些分析的结果及其他研究和分析的结果，确定了在四种脱碳路径每一种中进一步采取地方行动和区域合作的机会。^{xxvii}

地方辖区有权影响和监管温室气体排放。地方政府影响和监管温室气体排放的方法包括，加速本州的法定目标和政策，制定超越州法律的条例，利用独有的权限制定和实施政策。地方权限既来自宪法赋予的权限，即促进公共卫生、安全或社区总体福祉的广泛权限，也来自州法规赋予的权限。地方辖区监管温室气体排放权限的全部范围目前未知。^{xxviii}

现有气候行动计划承诺不足以实现脱碳目标。目前地方的交通、电力和建筑气候行动计划温室气体减排承诺在 2045 年实现温室气体净零排放所需的总减排量中所占比例相对较小（图 12）。即使最积极主动的气候行动计划措施适用于本地区所有辖区，仍将存在大量排放，主要来自天然气建筑物最终用途和道路交通（图 12）。

^{xxiii} 有关详细信息，请查阅第 8 章。

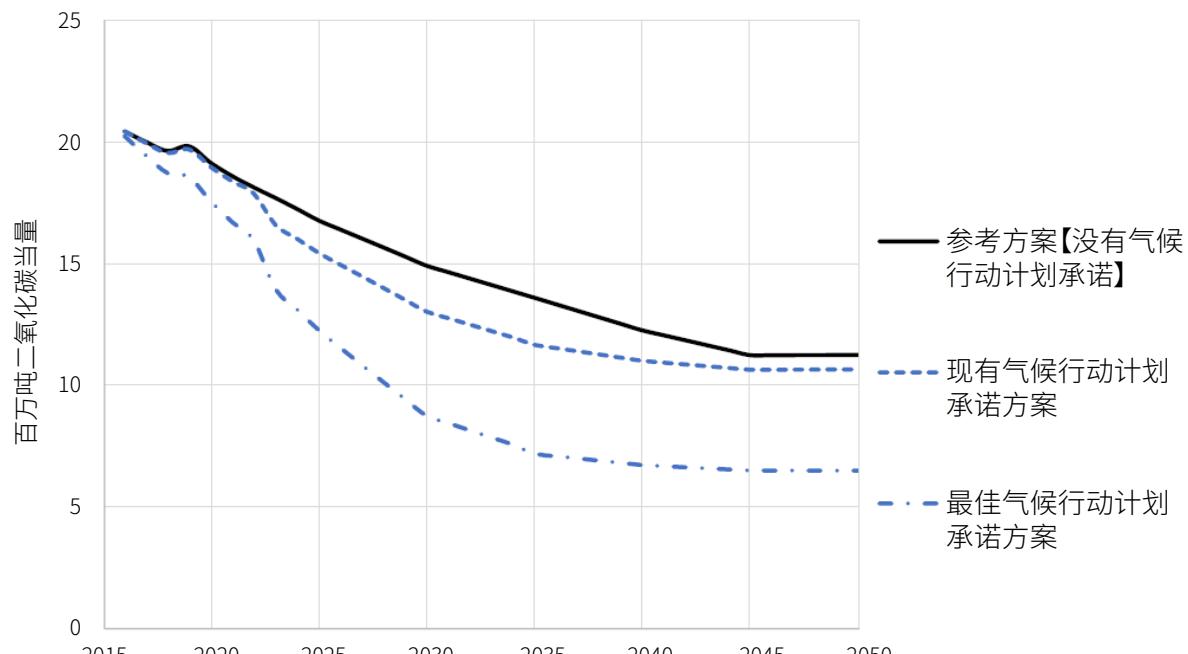
^{xxiv} 有关详细信息，请查阅附录 B。

^{xxv} 请查阅第 8 章第 8.3 节中的概述和第 8.5-8.8 节的特定部门调查结果。这些也用于说明第 2 章至第 5 章中的深度脱碳目标与地区气候行动计划承诺之间的差距。

^{xxvi} 请查阅第 8.4 节。

^{xxvii} 这些机会过去包含在本执行摘要的每个相关部分中，但现在包含在第 8 章的特定部门部分中。

^{xxviii} 有关权限的更详细讨论，请查阅第 8.2 节和附录 B。



此图不含圣地亚哥地区的所有温室气体排放活动, 或未来可能采用的新的地方、州和联邦行动。

能源政策举措中心, 2022 年

图 12. 此图显示了圣地亚哥地区在每种所分析方案中电力、天然气和道路交通的预计温室气体排放量。没有气候行动计划承诺的参考方案仅显示基于州和联邦法律、强制令、行动和目标的减排量。目前气候行动计划承诺方案显示的总排放量是假设所有目前气候行动计划均按成文规定全部应用。最佳气候行动计划承诺方案显示的剩余温室气体排放量是假设每个政策类别的最佳气候行动计划承诺都应用于本地区的每个辖区, 无论现有气候行动计划承诺如何。此图显示, 任何分析的方案都无法使本地区到 2050 年实现净零排放。注: 这些分析假设没有新的州和联邦法律、强制令、行动和目标, 而且现有州和联邦法律、强制令、行动和目标在此期间的任何时候都不会改变。此外, 这些分析不包括本地区的所有温室气体排放量。

更多的辖区有机会采用额外的气候行动计划措施并加强现有措施。根据对气候行动计划的比较分析,更多的辖区有机会采用本地区一些辖区已经采用的气候行动计划措施。同样,根据对气候行动计划措施综合温室气体影响方案的分析,大多数辖区都有机会加强其现有气候行动计划措施,特别是在交通和建筑部门。这些部门产生大量的温室气体排放(图 13 右侧),但平均而言,2035 年气候行动计划代表不成比例的低减排量(图 13 左侧)。

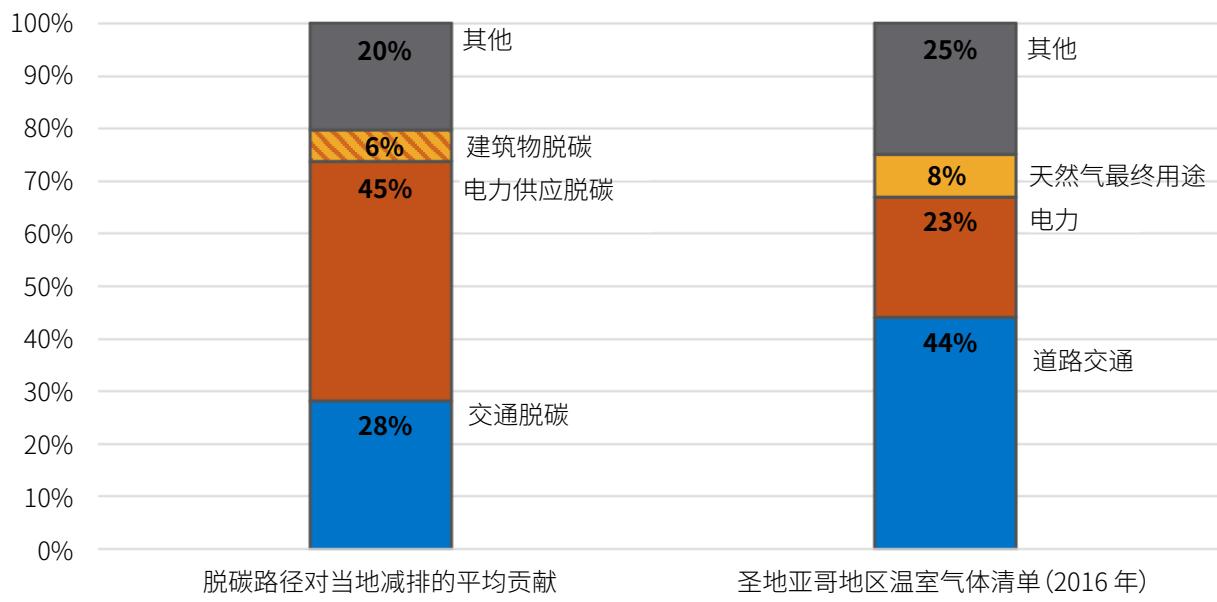


图 13. 此图显示了 2035 年各脱碳路径对当地气候行动计划措施的温室气体减排总量的平均贡献(左)和 2016 年各排放源的本地区排放分布(右)。此图显示,交通排放(蓝色,右侧)占本地区排放量的近一半,但平均而言,气候行动计划承诺的相应减排量仅略高于气候行动计划中当地温室气体减排量的四分之一(蓝色,左侧)。同样,电力约占本地区排放量的四分之一(深橙色,右侧),但是,相关的减排贡献平均不到气候行动计划承诺的温室气体减排量的一半。注:由于与建筑物相关的排放来自现场天然气燃烧和电力生产,因此,条形图的建筑物脱碳部分用阴影显示为浅橙色和深橙色,以对应天然气建筑物(浅橙色)和电力供应(深橙色)。

需要开展更多工作,将社会公平性纳入气候规划。初步审核发现,已用和未定气候行动计划中的社会公平性整合既有限又不一致,而且缺乏特异性。需要开展更多工作来开发能力和工具,以了解和解决圣地亚哥地区所有脱碳政策对公平性的影响,包括数据收集和分析、地区指导文件及地区工作组协调、建议、跟踪和监查气候规划中如何解决公平性问题。

圣地亚哥地区作为模型

尽管圣地亚哥地区仅占全球排放量的0.08%，但是，本地区开展的脱碳工作能产生追随者和分享可扩展和复制的持久创新，以此对全球排放产生可衡量的影响。圣地亚哥应竭尽全力使其工作能为众人所见，并在国家和国际论坛上交流经验教训。圣地亚哥区域脱碳框架的创建可以作为美国和全球其他辖区的案例研究，帮助这些辖区学习并修改自身的长期脱碳规划工作。除了在各种国家和国际论坛上展示这项工作外，^{xxiii} 联合国可持续发展解决方案网络 (SDSN) 正在制作一本指南，作为其他城市、大学和社区的工具包，以在其脱碳过程中遵循圣地亚哥县所采取的流程。

联合国可持续发展解决方案网络 (SDSN) 正努力在其网络的三个水平级别内共享区域脱碳框架 (RDF)，并将在美国、国际团体和共同体及联合国的国家会议和论坛上分享 区域脱碳框架 (RDF) 及其主要调查结果。例如，该项目在 2021 年 10 月的 Innovate4Cities 会议期间演示过，而这个活动所得到的各种意见将有助于为 2022 年政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 关于全球气候变化的影响力、适应性和脆弱性的第六次评估报告提供信息。这些全球共同体提供了一个机会来展示这个项目的成果，并将圣地亚哥作为全世界的典范。通过接触这些受众，区域脱碳框架 (RDF) 有助于为各种全球路线图和实现净零的路径提供信息。

正在编制一本区域脱碳指南，供地方辖区使用，以帮助创建独特的脱碳框架。本指南将提供背景信息，以及有关物流、方法、利益相关者参与、长期规划等方面的具体步骤和建议。尽管本指南中的资源与美国以外的脱碳框架项目团队相关且适用，在新兴经济体背景下创建的框架仍可能在气候行动规划中使用不同的方法、观点和策略。本指南将在加州大学圣地亚哥分校可持续发展目标政策举措网站 (<http://sdgpolicyinitiative.org/guidebook/>) 上免费提供，作为促进创建区域脱碳框架的一种方式，并为各辖区努力实现净零碳目标提供一个实用路线图。

^{xxiii} 第 9 章和附录 C 提供了广泛的美国和全球共同体清单，圣地亚哥县和其他具有脱碳框架的辖区可与之进行联系、参与和加入其网络，以便在不同规模上传播其调查结果。