



# 净零碳建筑： 国际趋势和政策创新

2020 年 8 月



SCHOOL OF  
PUBLIC POLICY  
CENTER FOR GLOBAL  
SUSTAINABILITY





# 净零碳建筑： 国际趋势和政策创新

2020 年 8 月

---

## 报告作者：

John O'Neill	马里兰大学全球可持续发展中心
Sha Yu*	太平洋西北国家实验室 & 马里兰大学
Christina Bowman	马里兰大学全球可持续发展中心
Jiawei Song	马里兰大学全球可持续发展中心

---

## 鸣谢

本报告由能源基金会资助。报告内容不代表能源基金会观点。

本报告作者感谢以下专家为报告提出的宝贵意见：Alison Brizius, Haile Bucaneg, Leon Clarke, Ryna Cui, John Dalzell, Danuta Drozdowicz, Nathan Hultman, Michael Kenney, Jiehong Lou, Benjamin Silverman, Peter Strait, Kavita Surana, Gabriel Taylor, Michael Walsh and Shicong Zhang. 本报告中所有观点仅代表作者本人观点。

---

## 引用建议

John O'Neill, Sha Yu, Christina Bowman, and Jiawei Song. “净零碳建筑：国际趋势和政策创新” (2020 年 8 月). 马里兰大学全球可持续发展中心 . 66 页 .

# 目录

## 专业术语翻译

ii

执行摘要	02
1. 简介	10
2. 概述：美国和欧洲的建筑节能减排政策和趋势	14
2.1. 建筑节能标准和规范	15
2.2. 建筑能耗对标、监测和数据公示	17
2.3. 建筑电气化	19
2.4. 净零碳建筑政策	21
2.5. 建筑节能改造	23
2.6. 财政激励	25
3. 政策聚焦：净零碳建筑	30
3.1 净零碳政策：波士顿	31
3.2 净零碳政策：加州	44
4. 总结：实现净零碳建筑的主要政策和策略	56
政策工具	56
政策策略	57
5. 参考文献	59

## 专业术语翻译

验收测试	Acceptance Test
保障房	Affordable Housing
美好的城市计划	A Better City
容许收入	Allowable Revenue
美国能源效率经济委员会	American Council for an Energy Efficient Economy
美国供热、制冷和空调工程师协会	ASHRAE Standard 90.1
90.1 标准	
波士顿环境部	Boston Environment Department
波士顿绿丝带委员会	Boston Green Ribbon Commission
波士顿社区发展部	Boston Department of Neighborhood Development
波士顿住房局	Boston Housing Authority
波士顿公共设施部	Boston Public Facilities Department
波士顿规划和发展局	Boston Planning and Development Agency
波士顿大学可持续能源研究所	Boston University Institute for Sustainable Energy
《波士顿土地使用规范》	Boston Zoning Code
光明学校计划	Bright Schools Program
建筑节能标准和规范	Building Codes and Standards
建筑脱碳联盟	Building Decarbonization Coalition
建筑能耗对标、监测和数据公示	Building Energy Monitoring, Benchmarking and Disclosure
建筑电气化	Building Electrification
建筑能效标准	Building Energy Efficiency Standards
加州建筑能效标准推广和教育部门	Building Energy Efficiency Standards Outreach and Education
低碳建筑发展倡议	Building Initiative for Low-Emissions Development
建筑节能改造	Building Efficiency Retrofits
建筑能耗对标计划	Building Energy Benchmarking Program
《建筑能耗报告和公示条例》	Building Energy Reporting and Disclosure Ordinance
《波士顿零碳报告》	Carbon Free Boston Report
碳链接费	Carbon Linkage Fee
碳排放限额与交易	Cap-and-Trade Emission Pricing Scheme
设备融资租赁合同	Capital Equipment Lease Agreements
加州先进家居计划	California Advance Home Program
加州空气与资源委员会	California Air and Resources Board
加州能源委员会	California Energy Commission
绿色建筑标准	California Green Building Standards Code

加州公共设施委员会	California Public Utilities Commission	《能源安全与独立法案》	Energy Security and Independence Act
碳捕捉	Carbon Capture	能源智能家居计划	Energy Smart Home Program
碳中和	Carbon Neutrality	美国环境保护署	Environmental Protection Agency
市政建筑	City-owned Buildings/Municipal Buildings	既有建筑	Existing Buildings
城市清洁能源记分卡	City Clean Energy Scorecard	E+ 绿色净零碳建筑计划	E+ Green Building Program
城市能源项目	City Energy Project	欧洲绿色新政	European Green Deal
《气候行动计划》	Climate Action Plan	欧洲结构与投资基金	European Structural and Investment Funds
气候适应	Climate Adaptation	欧洲战略投资基金	European Fund for Strategic Investments
标准达标倡议	Code Compliance Support Initiative	房利美绿色倡议	Fannie Mae Green Initiative
节能标准增强倡议	Codes and Standards Enhancement Initiative	财政激励	Financial Incentives
成本效益	Cost-effectiveness	联邦住房管理局节能抵押贷款计划	Federal Housing Administration Energy Efficient Mortgage
达标途径	Compliance Approach	联邦能源管理项目	Federal Energy Management Program
社区供电集成选择商	Community Choice Aggregators	绿色建筑土地使用规划	Green Building Zoning
康涅狄格州绿色银行	Connecticut Green Bank	绿色银行	Green Bank
建筑翻新减排计划	CO2 Buildings Rehabilitation Program	绿色节能省钱计划	Green Energy Money Saver Program
冷屋顶技术	Cool Roofs	绿色租赁	Green Leases
深度节能改造	Deep Retrofits	夏威夷绿色基础设施部门	Hawaii Green Infrastructure Authority
电力市场需求侧灵活性	Demand Flexibility	住房能源评级系统	Home Energy Rating System
密度奖励	Density Bonus	暖通空调系统	Heating, Ventilation, and Air Conditioning
分布式太阳能	Distributed Solar	波士顿市场转型研究所	Institute for Market Transformation
节能和绩效激励机制	Efficiency Savings and Performance Incentive	私有公共事业公司	Investor-Owned Utilities
隐含碳排放	Embodied Emissions	国际节能规范	International Energy Conservation Code
碳排放绩效标准	Emission Performance Standard	国际规范委员会	International Code Council
碳排放锁定效应	Emission Lock-in	公正转型	Just Transition
政策执行和审核	Enforcement and Verification	德国国有复兴信贷银行	KfW Development Bank
能源审计	Energy Audits	房东与租户激励错配	Landlord-tenant Split Incentive
能源公司义务计划	Energy Company Obligation	大型建筑审查程序	Large Building Review
加州能源设计评级系统	Energy Design Rating Score	“以身作则”政策	Lead by Example
节能标准技术支持倡议	Energy Code Technical Support Initiative	能源与环境设计认证	Leadership in Energy and Environmental Design
储能	Energy Storage	贷款损失准备金基金	Loan Loss Reserve Fund
节能绩效合同	Energy Savings Performance Contracts	负荷服务实体	Load-serving Entities
能源之星	Energy Star	低温废热流发电	Low-temperature Waste Heat Streams
能源之星项目组合管理器	Energy Star Portfolio Manager	地方政府挑战赛	Local Government Challenge
能源投资补贴计划	Energy Investment Allowances	大型节能计划	Mass Save
《建筑能源绩效指令》	Energy Performance in Buildings Directive	马萨诸塞州建筑节能标准委员会	Massachusetts Board of Building Regulation and Standards
《能源效率指令》	Energy Efficiency Directive		
《节能援助法案》	Energy Conservation Assistance Act		
能源合作计划	Energy Partnership Program		

马萨诸塞州能源资源部	Massachusetts Department of Energy Resources	激励错配	Split Incentive
大都会市长联盟	Metropolitan Mayors Coalition	空间供暖和热水系统	Space and Water Heating
模式规范	Model Code	空间边界	Spatial Boundaries
蒙哥马利郡绿色银行	Montgomery County Green Bank	税收抵免	Tax Credits
自然资源保护协会	National Resources Defense Council	清洁供暖技术和设备项目	Technology and Equipment for Clean Heating Initiative
净零碳	Net-zero Carbon	时间边界	Temporal Boundaries
净零碳 / 能耗建筑	Net-Zero Carbon/Energy Building	时间激励分散	Temporal Split Incentive
《净零碳建筑承诺》	Net-Zero Carbon Buildings Declaration	蓄热	Thermal Storage
新建建筑	New Buildings	三重检测	Three-Prong Test
新建建筑协会	New Building Institute	分时电价	Time-of-use electricity rates
纽约州电力和天然气公司	New York State Electricity and Gas Corporation	技术分析	Technical Analysis
纽约绿色银行	New York Green Bank	分层级方法	Tiered Approach
近零能耗	Near-zero Energy	公共事业公司能源服务合约	Utility Energy Service Contracts
内华达州清洁能源基金	Nevada Clean Energy Fund	华盛顿哥伦比亚特区绿色银行	Washington D.C Green Bank
非政府组织	Non-governmental Organizations	项目仓储	Warehousing
以实际运行能耗	Outcome-based	水动力供能系统	Water-based District Energy System
账单分期还款	On-bill Financing	房屋保温节能辅助计划	Weatherization Assistance Program
性能化指标	Performance Code	净零碳	Zero Net Carbon
性能导向	Performance-based	零息配比基金	Zero-interest Matching Funds
能源购买协议	Power Purchase Agreement	实地净零碳	ZNC-onsite
规定性指标	Prescriptive Code	异地净零碳	ZNC-offsite
清洁能源房产评估融资	Property-assessed Clean Energy	净零碳待定	ZNC-ready
实时电价	Real-time Pricing	净零碳可转化	ZNC-convertible
《可再生能源指令》	Renewable Energy Directive		
可再生能源信用	Renewable Energy Credits		
可再生天然气	Renewable Gas		
售电量与收入的脱钩	Revenue Decoupling		
可再生能源配额制	Renewable Energy Portfolio Standards		
波士顿复兴基金	Renew Boston Trust		
《住宅净零能耗行动计划》	Residential Zero Net Energy Action Plan		
区域性能源网络	Regional Energy Networks		
征求意见书	Request for Proposal		
节能设计计划	Savings By Design		
智能建筑智能金融倡议	Smart Finance for Smart Building Initiative		
太阳能热力	Solar Thermal		
引领性建筑节能标	Stretch Code		
利益相关者参与	Stakeholder Engagement		
利益相关者认同	Stakeholder buy-in		



# 执行摘要

目前，全球碳排放中近 40% 来源于建筑施工和运营。随着建筑部门的持续发展，2050 年全球建筑总量预计将在现在的基础上翻一番。<sup>1</sup> 考虑到建筑的长生命周期和碳排放，对全球应对气候变化来说，建筑部门减排至关重要。<sup>2</sup> 为推进建筑部门低碳发展，各类科技创新纷纷涌现。然而，要实现建筑部门的深度减排，仅仅依赖科技手段还远远不够，营造有利的政策环境是不可或缺的一步。因此，各国政府采取了一系列创新的政策和策略克服各种阻碍，推动建筑部门深度减排。

在这一背景下，本报告研究了美国和欧洲最新的建筑减排政策和发展趋势，并着重关注了这些地区实现净零碳建筑的政策工具和策略。首先，本报告综合概述了美国和欧洲最新的建筑节能减排政策手段，探讨其政策动机和未来政策走向。其次，本报告重点关注了如何运用净零碳 (Net-zero Carbon) 这个政策手段高效地推进建筑部门全面减排，并通过深度案例分析（美国马萨诸塞州波士顿市和加利福尼亚州的净零碳建筑政策）和利益相关者访谈深入剖析了净零碳政策制定的动机、潜在的问题和挑战、以及制定、实施和执行净零碳政策过程中的政策和策略创新。在此基础上，本报告总结归纳推动净零碳建筑的政策工具和实施策略，以协助各国、省、市在现有政策框架的基础上，不断提升建筑政策，以实现更具挑战的建筑减排目标，并逐步推动净零碳 / 零能耗建筑发展。

## 概述：美国和欧洲的建筑节能减排政策和趋势

建筑节能减排政策主要可以分为六大类，其中包括建筑节能标准和规范 (Building Codes and Standards)、建筑能耗对标、监测和数据公示 (Building Energy Monitoring, Benchmarking and Disclosure)、建筑电气化 (Building Electrification)、净零碳 / 能耗建筑

(Net-Zero Carbon/Energy Building)、建筑节能改造 (Building Efficiency Retrofits) 和财政激励 (Financial Incentives) (参见表 ES-1)。在世界各地，这六类政策被广泛运用于推动建筑部门低碳发展。在实践中，不同类型的政策通常是相辅相成的。例如，建筑能耗对标和财政激励措施经常配合采用，为高成本的建筑改造项目提供信息和支持。同时，一项政策可以涵盖上述几个类别。例如，一些建筑节能标准要求辖区内的所有新建建筑均达到净零碳标准。

表 ES-1. 建筑节能减排政策创新和发展趋势

政策	政策创新和趋势
建筑节能标准和规范	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 更多地采用性能导向 (Performance-based) 的建筑节能标准达标途径，同时新增基于以实际运行能耗为导向 (Outcome-based) 的建筑节能标准达标途径</li><li>■ 在基本建筑节能标准的基础上，制定更严格的“引领性建筑节能标准” (Stretch Code)，为省市采纳节能标准提供选择</li><li>■ 在公共建筑中率先推行强制性高能效标准（例如，净零碳标准）</li><li>■ 制定面对所有新建建筑的净零碳标准和规范</li><li>■ 制定建筑节能标准路线图，提前（数年）公布待实施的建筑标准和规范更新，推动市场转型</li></ul>
建筑能耗对标、监测和数据公示	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 公示建筑能源绩效数据</li><li>■ 利用公开数据引导未来政策设计</li><li>■ 强制实施建筑能耗数据公示政策，并扩大该政策的覆盖范围，将大部分（甚至全部）建筑纳入其中</li><li>■ 在强制性建筑能耗公示政策的基础上，推进更严格的建筑政策</li><li>■ 由能源绩效监测报告转向碳排放报告</li></ul>
建筑电气化	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 减少来自建筑供能的碳排放</li><li>■ 鼓励当前化石能源供能的建筑向全面电气化转型</li><li>■ 在可行的前提下，从鼓励电气化向强制推行建筑电气化转变</li></ul>
净零碳建筑	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 推行净零碳标准，由个体建筑净零碳转变为建筑群或区域净零碳</li><li>■ 在公共建筑中率先推行净零碳标准</li><li>■ 发展净零碳建筑所需的市场能力，并最终将净零碳纳入强制性建筑节能标准</li><li>■ 在新建建筑和既有建筑中同时推行净零碳标准</li><li>■ 将隐含碳排放 (Embodied Emissions) 纳入净零碳的定义范畴</li></ul>
建筑节能改造	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 将节能改造激励政策与能耗对标、监测和数据公示政策相结合</li><li>■ 利用未来节省的能源开支来支付节能改造的前期费用</li><li>■ 通过全面的节能改造实现建筑净零碳排放和电气化</li><li>■ 从激励性节能改造向强制性节能改造转变</li></ul>
财政激励	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 财政激励政策更多的针对既有建筑节能改造，而非新建建筑</li><li>■ 利用未来节省的能源开支来支付节能改造的前期费用</li><li>■ 通过公共资金投资，吸引私有资金投入建筑减排</li><li>■ 设计有针对性的财政激励和绿色金融政策来解决建筑减排过程中的障碍</li></ul>

## 政策聚焦：净零碳建筑

一些政策领先的地区，已经开始采取多种政策措施和策略，来推广净零碳建筑。净零碳建筑可以带来多重效益。首先，净零碳有效地融合了建筑能效提升和可再生能源，是建筑设计、建造和运营的最高能效标准。其次，作为一个通俗易懂的概念，净零碳可以有效促进政策制定者和利益相关者之间的沟通交流，协助推行全面的减排措施。最后，设立净零碳建筑目标，有助于推动建筑技术和设计创新，促进市场和整个建筑业向零碳建筑转型。

净零碳目标的实现需要通过多种政策手段共同作用，其中包括强制性节能标准、财政激励、研究与开发、培训与推广、示范项目等。成功实现净零碳建筑目标需要多个政策相辅相成，且必须根据当地的政治、经济和制度环境进行适当地调整。这意味着同一种政策工具并不一定适合在所有地区实行，同样的要实现建筑部门节能减排的目标并没有一个万能的方法。本报告通过深入的案例分析总结了一些推行净零碳建筑的主要政策手段和实施策略，希望能够帮助各国、省、市更好地克服建筑部门节能减排过程中的挑战。

### 净零碳建筑案例分析：波士顿零碳建筑政策

波士顿一直是美国建筑节能减排方面的领军者，其实现净零碳的政策和策略很有借鉴意义。首先，严谨的

技术分析 (Technical Analysis) 和广泛的利益相关者参与 (Stakeholder Engagement) 在很大程度上为该市的净零碳政策制定提供支持。其次，波士顿的净零碳目标是针对全行业的，覆盖建筑、交通、能源供给等多系统，而其中净零碳建筑政策同时覆盖新建建筑 (New Buildings) 和既有建筑 (Existing Buildings)。第三，波士顿率先在市政建筑 (City-owned Buildings) 采用了净零碳标准。市政府展现出了卓越的领导才能，向私营部门证明了净零碳建筑技术和成本上可行性。第四，该市采取了综合方法，制定政策同时减少建筑物直接和间接碳排放。最后，波士顿的建筑政策具有创新性，通过使用创新性和非常规的政策手段来积极地实现深度减排目标。

波士顿采用了分层级的方法 (Tiered Approach) 定义净零碳 (Zero Net Carbon, ZNC) 建筑，且将隐含碳排放排除在定义范畴外。净零碳建筑的分层定义中包括四个层级：实地净零碳 (ZNC-onsite)、异地净零碳 (ZNC-offsite)、净零碳待定 (ZNC-ready)、净零碳可转化 (ZNC-convertible)。建筑开发商应采用可行范围内，最严格的净零碳建筑标准进行建造。使用分层级定义的主要目的是为了满足不同类别建筑各异的能耗需求，以此让利益相关者更好地接纳并执行净零碳政策。

在美国，波士顿一直是应对气候变化的先锋。该市目标于 2050 年实现全市范围内的碳中和，2030 年所有新建建筑达到净零碳标准，2050 年整个建筑部门实现净零碳排放。为了完成这些目标，波士顿制定和实施了一系列政策（参见表 ES-2）：

表 ES-2: 波士顿推行的净零碳建筑政策

针对新建建筑的政策	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 所有新建市政建筑 (Municipal Buildings) 和保障房 (Affordable Housing) 实现净零碳标准</li><li>■ E+ 绿色净零碳建筑示范项目 (E+ Green Building ZNC Demonstration Program)</li><li>■ 绿色建筑土地使用规划 (Green Building Zoning) 中加入净零碳的要求 *</li></ul>
针对既有建筑的政策	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 波士顿复兴信托基金 (Renew Boston Trust) 为既有建筑改造提供资金支持</li><li>■ 《建筑能耗报告和公示条例》(Building Energy Reporting and Disclosure Ordinance, BERDO)</li><li>■ 碳排放绩效标准 (Emission Performance Standard, EPS)</li></ul>
其他支持性政策	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 针对净零碳建筑的职业技术培训</li><li>■ 推动州政府将净零碳标准纳入“引领性建筑节能标准”</li><li>■ 推动州政府设立 2050 年实现全面清洁能源的目标</li></ul>

\* 上述政策中，净零碳绿色建筑土地使用规划和碳排放绩效标准都还在计划中，尚未实行。

利益相关者的广泛参与一直是波士顿制定建筑节能减排政策过程的关键部分。《波士顿零碳报告》(Carbon Free Boston Report) 通过独立的技术分析向波士顿市政府提出有关更新《气候行动计划》(Climate Action Plan) 的建议，并协助波士顿市政府制定更严格的气候行动计划。《波士顿零碳报告》研究过程中，有广泛的利益相关方和公众的参与，设计了既有挑战又可行的政策；同时，广泛采纳不同社区团体的意见，确保政策对低收入和少数族裔社区的平等性。

尽管公众对建筑部门节能减排行动都大力支持，但波士顿的节能减排工作还是存在阻碍。其中最大的挑战之一就是净零碳建筑看似高昂的成本。通常，建筑开发商错误地认为实现净零碳的成本过高。实际上，建筑技术已经发展到了新的高度，研究也表明净零碳建筑的建造成本与普通建筑的建造成本相差无几。波士顿率先在市政建筑推行净零碳政策，以证明净零碳政策的可行性和成本效益(Cost-effectiveness)。另一个挑战是如何克服天然气公司的阻碍，成功实现建筑的全面电气化。基于《波士顿零碳报告》中的分析，电气化是实现净零碳建筑最具成本效益的途径。但这一举动将会危及天然气公司的利益。天然气公司因此要求用可再生天然气(Renewable Gas)替代电气化。就此，波士顿将更深入分析，了解不同的减排方案。

在美国大多数城市和州，财政激励措施都主要面向节能改造项目。这种趋势主要是由于既有建筑的净零碳节能改造通常比建造符合净零碳标准的新建建筑更加昂贵，且融资难度更大。波士顿设立复兴基金来资助公共建筑节能改造项目，并计划在未来将私有建筑纳入资助范围。同时，全面的深度节能改造(Deep Retrofits)项目非常昂贵，城市没有足够的资源来支持这类项目。一般来说公共部门的财政激励措施都不支持全面的深度节能改造。波士顿的《气候变化计划》目标每年执行2000个深度节能改造项目。为实现这一目标，需要在加大公共部门投资的同时，吸引更多的私有投资。

为促进建筑部门更快地向净零碳建筑市场转型，波士顿率先在公共部门推行净零碳标准，并设立了一系列项目培养相关人才。通过这些措施，波士顿希望能逐渐将净零碳标准推广到商业建筑，并建立一个健全的净零碳建筑市场。另一方面，《建筑能耗报告和公示条例》强制要求建筑业主定期进行能源审计，并采取节能措施，以建立一个更完善的建筑服务市场。

政策执行和审核(Enforcement and Verification)对波士顿的节能减排也至关重要。在马萨诸塞州，建筑节能标准由地方政府执行，而在波士顿负责该事务的是建筑部门下属的检验服务处。马萨诸塞州建筑节能标准委员会要求所有建筑部门的官员都必须接受能效方面的培训。然而，还有很多建筑的能耗水平与建筑节能标准之间存在差距。通过实施《建筑能耗报告和公示条例》，波士顿收集了大量的数据，促进了与不同利益相关者之间就建筑能耗的沟通，以缩小这一差距。同时，《建筑能耗报告和公示条例》中也包含一些惩罚机制，来提高建筑节能标准的执行水平。

波士顿未来的政策重点将集中在两方面：推行碳排放绩效标准，将绿色建筑土地使用规划升级为净零碳标准。政府目前向技术咨询小组征求意见，并且和利益相关者充分沟通，讨论这两项政策的执行方案和潜在影响。目前，波士顿还在研究另一种创新的政策工具：碳链接费(Carbon Linkage Fee)，旨在将商业发展与其对社区的影响“链接”起来。该政策的财政收入可用于资助社区太阳能项目，保障房节能改造或气候适应(Climate Adaptation)措施。波士顿还考虑将实地太阳能光伏发电系统(Onsite solar)纳入新建建筑的要求中。

### 净零碳建筑案例分析：加州零碳建筑政策

加州既是美国人口第一大州，也是经济第一大州。关于加州的案例研究非常有启发性，其原因如下。首先，加州面积较大，包含多个气候区。第二，加州地方政策格局多样化且颇为有雄心，为州级政策制定者提供了与地方政策互动和相互促进的机会。第三，加州将建筑节能标准的执行列为首要任务和能源转型的重要工具。第四，加州着眼于可再生能源电力和电气化，并把建筑行业列为全面减排的重要组成部分。最后，加州早在十几年前就设立了气候目标，其政策发展和演变对其他地区低碳发展具有借鉴意义。

加州作为气候和节能政策的领军者，长期以来一直推动美国减排目标的制定，并将其气候目标纳入州级法案。该州目标于2045年实现100%清洁能源发电。要求2017年之后新建的公共建筑达到净零能耗标准，到2025年至少50%的既有公共建筑完成节能改造，达到净零能耗标准（具体政策参见表ES-3）。加州对净零能耗建筑的定义中没有纳入隐含碳排放。

表 ES-3: 加州推行的净零能耗 / 碳建筑政策

针对新建建筑的政策	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 所有新建市政建筑实现净零能耗标准</li> <li>■ 建筑能效标准 (Building Energy Efficiency Standards, BEES) 逐渐向净零碳标准转化</li> <li>■ 绿色建筑标准 (CALGreen, or California Green Building Standards) 旨在减少间接碳排放</li> <li>■ 低碳建筑发展倡议 (Building Initiative for Low-Emissions Development, BUILD) 旨在推进新建建筑全面电气化</li> </ul>
针对既有建筑的政策	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 建筑能耗对标项目</li> <li>■ 清洁供暖技术和设备项目 (Technology and Equipment for Clean Heating Initiative, TECH)，推动建筑电气化的发展</li> <li>■ 其他公共建筑能效项目，推动高性能建筑发展</li> </ul>
其他支持性政策	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 碳排放限额与交易 (Cap-and-Trade Emission Pricing Scheme)</li> <li>■ 可再生能源配额制 (Renewable Portfolio Standards, RPS)</li> <li>■ 分时电价 (Time-of-use electricity rates)</li> </ul>

加州建筑能源政策最显著的特征体现在州级政策与地方政策之间的互补与协作。加州政府在全州范围内一直实行着较严格的建筑能源政策。在这个基础上，加州很多地方政府仍然选择制定更加严格的建筑能源绩效或碳排放要求。与美国其他州不同，加州允许地方政府在州级标准的基础上自主制定地方建筑节能标准。值得一提的是，已经有20个加州城市在新建建筑中全面禁止接入天然气管道，并要求建筑实现100%电气化。加州政府还和私有公共事业公司(Investor-Owned Utilities, IOUs)和非政府组织(Non-governmental Organizations, NGOs)合作，共同帮助地方政府制定当地的建筑节能标准。同时，各个地方政府还通过区域能源网络(Regional Energy Networks, RENs)开展广泛的合作，为减排项目提供各类财政激励和融资支持，例如清洁能源房产评估融资(Property-assessed Clean Energy, PACE)、低息贷款和设备融资租赁合同(Capital Equipment Lease Agreements)。

加州能源委员会(California Energy Commission, CEC)和加州公共设施委员会(California Public Utilities Commission, CPUC)曾设立目标，着手于2020年之前在所有新建住宅中实现净零能耗标准。通过广泛的利益相关者参与，加州拟定了净零能耗标准行动方案，并将家用太阳能发电系统列为强制要求。尽管由于成本效益的原因，净零能耗标准没有被纳入建筑节能标准，加州的建筑节能标准仍然非常严格。同时，加州政府正

通过多种政策手段(教育/推广计划、人才发展、融资工具/激励以及技术创新等)建立一个有效稳固的净零能耗建筑市场，并最终将净零能耗标准写入州级标准中。

实现建筑电气化不仅仅需要采取激励措施，还必须移除现有标准和制度中潜在的抑制因素。为此加州在2019年建筑能源标准中加入了两点措施。第一，删除建筑节能标准中“使用天然气设备”的要求，允许建筑全面电气化。第二，建立住宅建筑100%电气化的达标路径。加州计划在2022年的标准更新中加入多户住宅和普通商业建筑的全面电气化的达标路径。另外，加州对公共事业公司实行了售电量与收入的脱钩(Revenue Decoupling)，即加州公共设施委员会设定公共事业公司的容许收入(Allowable Revenue)上限，而容许收入将由包括售电量在内的多个因素(例如，供电成本、能源基础设施维护成本和投资成本等)决定。其目的是为了鼓励私有公共事业公司更好地采取节能措施。

加州为了提高建筑节能标准的执行水平也做了很多努力。加州能源委员会为此专门设立了建筑节能标准推广和培训部门，对建筑部门利益相关者和各市建筑部门开展培训。同时，加州能源委员会也充分利用其他组织的资源，例如私有公共事业公司和区域能源网络，来推动标准的执行和核查。对于居住建筑，住房能源评级系统(Home Energy Rating System, HERS)要求在安装或替换暖通空调系统(Heating, ventilation, and air

conditioning, HVAC) 时, 都必须由州政府认可的技术人员检查。对于商业建筑, 则必须在施工时进行验收测试(Acceptance Test), 测试照明控件和机械系统的正确安装, 以确保其有效地运行。

加州建筑政策未来的走向取决于如何定义加州能源委员会的职权范围。目前, 加州能源委员会在制定建筑节能标准时主要考虑建筑能耗和成本效益, 温室气体排放并非主要考量因素, 因此, 现有的建筑节能标准对控制温室气体排放有一定的局限性。举例来说, 尽管加州能源委员会已经认识到电气化是实现建筑部门净零碳排放最具成本效益的方式, 但在有些情况下电气化并不一定是成本最低或能耗最低的选择, 这意味着现阶段无法在建筑节能标准中强制要求建筑电气化。但是, 如果加州立法机关能扩大加州能源委员会的权限, 未来政策的方向会走向排放绩效标准或将建筑节能标准中的基准假设转变为全面电气化。实际上, 加州能源委员会已经开始为制定建筑碳核算标准, 为未来推行排放绩效标准做准备。释放电力市场需求侧灵活性(Demand Flexibility)是加州未来能源政策的另一个重点, 通过适当引入更高调整频率的分时电价

机制(甚至可根据电网的实际需求推行实时电价), 以鼓励用户错峰用电, 优化负荷管理。同时, 强制性的储能(Energy Storage)也会是未来的趋势。一旦家用储能能实现成本效益, 将可能在建筑节能标准中加入新建建筑强制安装储能系统的要求。

## 净零碳建筑政策建议和经验分享

建筑低碳转型在全球范围内已经成为必然的趋势。美国和欧洲地区的政策分析以及波士顿和加州的深度案例分析为建筑部门的深度节能减排提供了有价值的经验。基于这些分析, 本报告总结了下面一些实现净零碳建筑有用的政治工具和策略。值得注意的是, 政策工具和策略的选取和应用应当因地制宜。

表 ES-4: 净零碳政策工具

政策 1: 净零碳建筑标准	建筑标准中设立零碳达标路径; 鼓励 100% 电气化; 提升标准执行, 鼓励利益相关者广泛参与, 使零碳建筑标准成为促进行业转型和变革的有效工具。
政策 2: 碳排放绩效标准	碳排放绩效标准可以监测建筑碳排放量, 并将按设计逐渐降低排放量阈值, 以鼓励建筑业主通过更具成本效益的途径减排, 同时促进建筑电气化, 实现建筑部门减排。
政策 3: 绿色建筑区划	在无法制定和有效执行建筑节能标准的地区, 土地使用规划可以作为建筑部门减排的有效工具。该政策可以通过多种形式实现, 从规定性标准(例如新建建筑项目必须进行净零碳可行性研究), 到财政激励(例如针对新建净零碳建筑的开发密度奖励, Density Bonus)。政策制定者可以和建筑开发商沟通协商, 鼓励开发商采用净零碳建筑。
政策 4: 建筑能耗对标、监测和数据公示	通过全面的数据公示政策, 利用公开数据引导未来政策设计, 并监测政策执行和影响。
政策 5: 区域能源系统(District Energy System)	区域能源系统一般能效较高, 可以提高社区供能的稳定性。短期内, 该系统可以大幅度减少碳排放。但要实现长期的减排目标, 区域能源系统应制定长期计划, 包括并入可再生能源、零碳能源, 安装碳捕捉设备(Carbon Capture), 以避免碳排放锁定效应(Emission Lock-in)。

政策的有效性由多个因素决定, 例如政治环境、政策实施和执行机制以及利益相关者参与等。因此, 为了提高政策的影响力, 还应考虑其他支持性的策略来辅助政策的实施和执行。

表 ES-5: 净零碳政策策略

策略 1: “以身作则”政策(Lead by Example)	政府应率先在公共建筑推行净零碳标准, 再逐步将该标准应用在私有建筑。通过“以身作则”的方式, 政府可以促进净零碳建筑市场发展和转型, 并向私有建筑开发商证明净零碳建筑的可行性和成本效益。
策略 2: 零碳作为沟通工具	通过零碳这个通俗易懂的概念, 可以有效地和利益相关者沟通, 以更好地推动实现气候变化目标。
策略 3: 灵活定义零碳	更灵活地定义零碳(例如分层级定义)以提高实践零碳标准的成本效益, 争取利益相关者的认同(Stakeholder buy-in), 提高政策执行水平。
策略 4: 利益相关者参与	广泛且长期的利益相关者参与对建筑部门的转型至关重要。通过该过程, 政府可以在政策制定中尽早地与利益相关者沟通, 更好地平衡各方的利益, 并充分考虑低收入人群的利益。
策略 5: 提高政策执行水平	政策的执行水平是提高政策有效性的前提。因此, 应通过多种手段, 例如利益相关者参与、培训和教育、有效的执行机制等, 来提高政策执行水平。
策略 6: 以数据为驱动的政策设计	数据和研究分析可以引导政策制定, 确保政策的高成本效益和减排措施的有效性。同时, 数据和研究分析应考虑其他行业对建筑部门的影响, 例如交通和电力行业。
策略 7: 政策一致性	保持各级政府政策的一致性可以让各项激励措施和政策协同作用, 实现期望的政策目标。
策略 8: 强制性计划	强制性规范优于自愿性规范。为了提高政策执行水平, 应颁布相应的支持性政策(例如人才培训计划、市场转型计划、教育和推广计划和财政支持等)。
策略 9: 公正转型(Just Transition)	确保所有人都能享受建筑节能减排带来的福利。保证低收入群体住房的可负担性, 减少能源支出和增加清洁能源方面的就业岗位。
策略 10: 融资支持	建筑减排项目的融资应考虑如何利用未来节省的能源开支来支付项目的前期投资; 利用财政激励措施移除建筑减排过程中的阻碍; 利用公共资源来吸引私人投资, 为更多减排项目融资。

如前文所述, 本报告对建筑部门节能减排政策的概述并不是面面俱到。各城市、省和国家/地区采用了截然不同的方法来推动建筑部门的深度节能减排。本报告着重论述美国和欧洲在建筑领域运用的一些具有创造性、独特性或成功的政策工具和策略, 并总结当前的建筑政策发展的趋势。目前尚没有一个完美的方案可以解决行业内现存的所有问题。但是, 通过经验分享和学习, 可以更深入认识建筑部门减排存在的挑战和机遇, 有效地推动和实现建筑部门深度减排的目标。



# 1. 简介

在全球碳排放中，有近 40% 来自于建筑施工和运营。<sup>3</sup> 尽管实现气候目标的路径并不是唯一的，但政府间气候变化专门委员会《全球升温 1.5° C 特别报告》指出，所有与 1.5° C 升温目标相匹配的气候变化减缓路径都要求全球在未来实现零碳排放。<sup>4</sup> 因此，减少来自建筑的碳排放对于应对全球气候变化至关重要。但是，实现建筑零碳排放是一项艰难的挑战。目前，大多数国家和地区，并没有相应的政策框架来实现建筑净零碳排放。在这一背景下，本报告研究了美国和欧洲最新的建筑减排政策和发展趋势，并着重关注了这些地区实现净零碳建筑的政策手段。

建筑使用寿命长，具有一定碳锁定效应，为减排带来了挑战。为了避免高碳锁定，政府通常会制定针对新建和既有建筑的政策，提高能效，减少碳排放。对于新建建筑，一些政策超前的地区采用了净零碳政策（参见专栏 1）。考虑到新建建筑使用寿命较长，应在设计施工阶段就确保新建建筑达到高能效标准，以实现最大程度地减排。对于既有建筑，主流的政策重点集中在节能改造政策上。节能改造可以通过修缮或升级建筑设计和技术来提升既有建筑的能效，同时也缓解了建筑较长使用寿命带来的挑战。

## 专栏 1：净零碳建筑的定义

目前，业界对“净零建筑”(Net-Zero Building)这个术语的理解尚无统一的定义。净零可以指净零能耗或净零碳，但是确切的定义取决于时间和空间界定，政策制定者在设计相关政策时必须定义这些边界。

在界定净零碳 / 能耗政策的范围时应考虑一些问题。例如，建筑业主可否通过购买可再生能源或碳补偿来实现建筑净零碳标准，还是应该严格将空间范围限定于建筑本身？计算碳排放时是否应该考虑隐含碳排放和建筑整个生命周期中的能耗，还是仅计入建筑日常运营产生的碳排放？定义净零碳时是以个体建筑为单位进行评判，还是允许将园区或地区看作一个整

体来考量？考虑到对净零碳 / 能耗不同的界定，不同地区净零碳 / 能耗建筑政策的严格程度难以进行直接比较。

在大多数情况下，一个地区只会选择一个定义，即净零能耗或净零碳。这些定义通常是相似的，指个体建筑一年内来自可再生能源的发电量等于或大于建筑本身消耗的能源总量。由于计算隐含碳排放和能源极具挑战性，大多数地区净零建筑只考虑建筑运行能耗和碳排放。除特殊定义外，本报告采纳上述对净零碳 / 能耗的定义。

净零碳建筑不仅能够降低温室气体排放，还能产生多种社会经济收益。通过减少能源消耗，净零碳建筑可以进一步减少政府、企业和个人的能源消费支出。同时，高效的净零碳建筑更具有适应性，能更好的应对能源价格的变化和自然灾害。通过减少化石能源在建筑和电力系统的使用，净零碳建筑可以提升室内和室外空气质量，改善居民整体健康状况。净零碳建筑还可以通过使用高气密性门窗和先进的新风系统，提升室内舒适度。同时，净零碳建筑在一定程度上可以改善收入不平等。如何确保中低收入人群的利益是能源转型中的一大挑战，而净零碳建筑通过降低能源消费支出、提升建筑舒适度、提高空气质量，进而减轻中低收入人群的压力。

净零碳建筑也可以成为经济发展的引擎。从研发生产，到工程、设计、建设和安装，在产业链的各个环节，净零碳建筑可以创造大量的、高质量的就业机会。同时，净零碳建筑也与电力、交通等行业的转型紧密结合，通过使用先进的建筑通信与控制技术，或者与电动汽车智能充电技术和用电需求灵活结合，净零碳建筑可以进一步提升能源系统效率，减少温室气体排放。高效、净零碳建筑不仅可以减少能源消耗，降低对额外发电量的需求。另一方面，净零碳建筑通过使用智能技术、设备和设计，推动电力需求响应系统，提高用电需求的灵活性，进而降低电力系统成本，推动可再生能源发展。

本报告旨在推动净零碳建筑的发展，主要内容包括：

- 第二章综合概述美国和欧洲最新的建筑节能减排政策和发展趋势，探讨其政策动机和未来政策走向。
- 第三章深入探讨建筑净零碳政策。通过具体的案例分析和与利益相关者的访谈，深入了解不同地区制定政策的动机和挑战，以及制定、实施和执行政策的策略。
- 第四章总结归纳经验，以协助政策制定者在现有政策框架上实现更具挑战的建筑节能减排目标，并逐步推动净零碳 / 零能耗建筑。

很多国家和地区都开始实施能源系统零碳的转型，而其中建筑系统的转型扮演着重要的角色。实现净零碳建筑需要提升现有政策的强度和实施力度，同时也需要新的政策手段和实施方法。本报告通过对美国和欧洲最新建筑政策的解析以及深入的案例研究，总结了政策制定和实施中的经验，并深入讨论了制定、实施和执行建筑政策的关键策略和挑战，同时也证明了实行净零碳建筑的转型是可行的，更是必要的。并希望以此抛砖引玉，激发政策制定者推行更具革新性的建筑政策。





## 2. 概述：美国和欧洲的建筑节能减排政策和趋势

美国和欧洲采取了一系列的政策和措施推动建筑节能减排的进程。这些政策大致可以分为以下几类：

1. 建筑节能标准和规范
2. 建筑能耗对标、监测和数据公示
3. 建筑电气化
4. 净零碳 / 能耗建筑
5. 建筑节能改造
6. 财政激励

\* 家电节能标准虽然也对建筑能耗产生影响，但是由于这些标准通常是与建筑能源政策分开制定和实施的，因此本文并未对其进行详细讨论。

在实践中，不同类型的政策通常是相辅相成的。例如，建筑能耗对标和财政激励措施经常配合使用，为昂贵的建筑改造项目提供信息和资金支持。其次，一项政策可以同时涵盖上述几个类别。例如，一些建筑节能标准要求辖区内的所有新建建筑均达到净零碳标准。

本报告将政策进行归类是便于有条理地叙述。每个小节总结了不同地区的近期政策趋势，并讨论了每项政策背后的动机。此外，每个小节都提供了一些政策案例，讨论美国和欧洲不同城市、州、国家层面创新的建筑政策。

## 2.1. 建筑节能标准和规范

政策创新和趋势	特点和效益
提倡使用性能导向达标途径，同时新增基于实际运行能耗的达标途径	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 相比规定导向达标途径，性能导向达标途径更具灵活性</li><li>■ 降低达标成本</li><li>■ 促进建筑设计的创新</li><li>■ 减少设计能耗和使用能耗之间的缺口</li></ul>
在基本建筑节能标准的基础上，制定更严格的“引领性建筑节能标准”(Stretch Code)，为省市采纳节能标准提供选择	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 鼓励更多的城市采取更严格的建筑节能标准，引领建筑部门节能减排的进程</li><li>■ 相比于国家或州层面，坐拥丰富人才科技资源的城市可以更快速地实现建筑部门的减排</li></ul>
在公共建筑率先推行强制性高建筑节能标准（例如，净零碳）	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 通过率先提高公共建筑的标准，向私营部门证明高能效建筑的可负担性和收益</li><li>■ 促进建筑部门相关的材料、科技和人才市场发展，以推动建筑部门转型</li></ul>
制定面对所有新建建筑的净零碳标准和规范	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 强制性规范优于自愿性规范</li><li>■ 相比于既有建筑，在新建建筑实施净零碳标准更具成本效益</li></ul>
制定建筑节能标准路线图，提前（数年）公布待实施的建筑标准和规范更新	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 创造并推动市场对建筑节能技术、材料和建筑方法的需求，以鼓励私营部门在这些领域的研发和投资</li><li>■ 给予建筑开发商充分时间进行提前规划，鼓励提前达标</li></ul>

建筑节能标准是一套适用于新建建筑（或改建、扩建）的规范，要求建筑必须至少达到一定的能效水平。建筑节能标准有自愿性和强制性两种形式，并且适用范围灵活，即可以应用于所有建筑或仅应用于某类建筑（例如所有公共建筑）。通常，针对不同类别和功能的建筑，建筑节能标准也不尽相同。

传统意义上来说，建筑节能标准旨在确保辖区内的所有建筑至少能达到一定水平的能效，从而避免低能效的建筑。但是，近几年越来越的国家和地区已将建筑节能标准作为实现高能效建筑的政策工具。

建筑节能标准通常包括规定性指标 (Prescriptive Code) 和性能化指标 (Performance Code)。规定性指标对建筑中各个组件都提出了特定标准，而性能化指标仅要求建筑的总能耗必须低于某个阈值。通常，评估建筑是否达到性能化指标的要求需要在建造之前用建模软件来预测建筑的能耗，但并不能保证建筑运行过程中的实际能

耗会在预期范围内。因此，一些政策超前的地区已经开始在其建筑节能标准中要求定期评估建筑的实际能效。

性能化指标为开发商提供了灵活性，同时使建筑设计师更有动力进行高能效建筑技术的开发和创新。相较之下，规定性指标则无法提供这种创新推动力。当然，其他方式也可以鼓励行业创新，例如制定建筑节能标准提升的路线图，向行业释放长期政策信号，以推动市场对新科技、材料和建造方式的需求，促进新技术的研发和推广。

有些地域，建筑节能政策在地方上（城市、郡县）更容易推广和应用。这种情况下，地方政府会采纳比州 / 全国更严格的节能标准。州政府和国家政府会给地方政府充分的自主性，并帮助地方政府制定更严格的建筑节能标准。有时，在大范围内（州或全国）推行严苛的强制性节能标准在技术和政治上不具有可行性。这种情况下，一些更雄心勃勃城市可以选择颁布更严格的节能标准，引领高能效建筑政策和相关市场的发展。

在一些政策标杆地区，通常会率先在公共建筑推行更严苛的建筑节能标准。其目标有两个：首先，利用公共建筑的成功经验向私营部门证明高能效建筑的可行性和成本效益。其次，通过公共建筑的实践推动高能效建筑市场的发展，降低技术成本，从而为之后在私营部门的政策实行奠定基础。

美国和欧洲的建筑节能标准既包含自愿性条款也包含强制性条款，同时也兼具规定性指标和性能化指标。以下通过美国和欧洲国家近期的一些创新型政策，概述了政策制定者如何利用建筑节能标准推动建筑部门变革。

### 美国

在美国，目前尚无强制性的联邦建筑节能标准。少数城市和州会制定针对住宅和商业建筑的地方建筑节能标准，大多情况下，地方政府会直接采用国家技术模式规范 (Model Code)。这些技术模式规范是由民间 / 私营机构、行业协会制定和更新的，很多利益相关者会参与其中，包括美国能源部。美国商业建筑标准（美国供热、制冷和空调工程师协会 90.1 标准，ASHRAE Standard 90.1）是由美国供热、制冷和空调工程师协会创建的，而美国居住建筑标准（国际节能规范，International Energy Conservation Code）是由国际规范委员会 (International Code Council) 制定的。这些标准每三年更新一次，但是各州（或城市）不一定频繁更新其标准。这一现象造成美国各地建筑节能标准参差不齐。<sup>5</sup>

在一些已采纳强制性建筑节能标准的州，市级政府可以颁布引领性的规范，以推行比州级更严苛的建筑节能标准。引领性标准通常仍在州级一层制定，而其辖区内的城市或郡县可以选择采纳这些引领性标准。例如，马萨诸塞州和纽约州政府都制定了引领性标准，供其下属城市选择实施。

一些州和城市已经开始将建筑节能标准作为其深度减排政策。例如，加州最新的居住建筑节能标准要求所有新房屋都安装屋顶太阳能发电系统，这在美国尚属首次。<sup>6</sup>为了减少实际能源绩效和设计能源绩效之间的误差，西雅图在规定性和性能导向两个达标途径基础上，为当地建筑提供了一个创新的达标途径 – 基于结果（实际运行能耗）的达标途径 (Outcome-based Compliance Path)。对使用这种创新达标途径的建筑，规定性指标要求可以略低，但同时建筑实际能源绩效需要达标。如建筑未能按设计的能效运转，建筑开发商将被处以罚款。<sup>7</sup>

美国联邦政府还制定了各种自愿性的建筑节能认证和评价。能源之星 (Energy Star) 就是其中之一。该项目由美国环境保护署 (Environmental Protection Agency, EPA) 运营，提供针对居住、商业建筑和工业设施的认证。此外，满足其规定能效要求的家用电器、建筑产品和电子产品可以贴上“能源之星”的标签。<sup>8</sup>在美国，私营机构主导的自愿性的建筑节能认证项目也非常普遍，例如由绿色建筑委员会运营的能源与环境设计认证 (Leadership in Energy and Environmental Design, LEED)。

### 欧洲

欧盟于 2002 年颁布了《建筑能源绩效指令》(Energy Performance in Buildings Directive, EPBD)，并于 2010 年对该指令进行了修订。<sup>9</sup> 欧盟之后又颁布了 2018/ 844 号法令对《建筑能源绩效指令》和 2012 年颁布的《能源效率指令》(Energy Efficiency Directive, EED) 各个方面进行了补充修订。这两项标准是欧盟范围内与建筑能效相关最重要的政策。<sup>10</sup> 最初的《建筑能源绩效指令》要求欧盟成员国为新建建筑设定最低能源绩效标准（例如：制定全国建筑能源绩效标准）。

《建筑能源绩效指令》在如何精确计算能源绩效、如何在每个成员国内设定目标、如何设定更严格的节能目标等方面提供了一定的灵活性。<sup>11</sup> 这使一些国家能够制定更严格的建筑节能标准，引领建筑部门的转型。在 2010 年改版时，该指令更进一步要求成员国制定国家行动计划，以在 2021 年之前实现所有新建建筑的“近零能耗”(Near-zero Energy)。对于公共建筑，则目标在 2019 年内实现该目标。<sup>12</sup>

一些欧洲国家选择采用具有创新性和更进取的建筑节能标准以实现上述目标。例如，丹麦增设自愿性条款以提高建筑节能标准，并宣布几年后将其变更为强制性条款。这激发了行业创新和市场发展。当公司意识到低能耗建筑市场将在未来几年变得有前景时，公司有充足的时间来投资和研发新的建筑节能技术、材料或建造方法。通过提前公布未来的政策计划，低能耗建筑的标准可以逐步实施，从而在强制性标准生效之前实现部分建筑达标。<sup>13</sup>

随着建筑能效逐渐提高，并接近净零碳的运行，减少建筑的隐含碳排放变得愈发重要。与既有建筑一样，按净零碳标准修建的新建建筑也有隐含碳排放，并且其隐含碳排放量最多可占建筑生命周期中总碳排放量的一半。<sup>14</sup>

为了解决这个问题，法国计划从 2020 年开始按照建筑生命周期设定建筑能源绩效指标。所有建筑开发商都需要完成建筑生命周期分析，并将隐含碳排放纳入分析范围。目前，基于建筑生命周期并具有可行性的碳排放目标正在讨论设计中。<sup>15</sup>

在《建筑能源绩效指令》的基础上，瑞典在建筑节能标准上向前迈进了一步。在实施建筑节能标准时，瑞典不

仅仅参考设计过程中预估的能源绩效，而是更基于实测的能源绩效。其目的是解决建筑最终运行能源绩效与设计能源绩效之间的差距。如果实测的能耗量与最初设计预估水平差异较大，该建筑业主可能会面临罚款、强制翻新、甚至撤销建筑许可证的处罚。<sup>16</sup>

## 2.2. 建筑能耗对标、监测和数据公示

政策创新和趋势	特点和效益
公示建筑能源绩效数据	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 通过提高透明度来引起社会关注和增加行业竞争，以鼓励节能行动</li> </ul>
利用公开数据引导未来政策设计	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 基于实测数据的分析可以帮助规划最低成本的减排路径</li> <li>■ 在政策设计中应率先着眼于提升能效最低的建筑物的性能</li> </ul>
强制实施建筑能耗公示政策并扩大该政策的覆盖范围，将大部分（甚至全部）建筑纳入其中	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 建筑能效和能耗公示政策的覆盖面越广，则越有效</li> </ul>
由强制性公示政策向强制性执行政策推进	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 公示政策鼓励但不强制要求建筑业主采取实际的节能行动，例如节能改造</li> <li>■ 将公示政策与强制性节能减排措施相结合更好地针对能效欠佳的建筑（即对不符合能效标准的建筑强制执行节能改造措施）</li> </ul>
由能源绩效监测报告转向碳排放报告	碳排放是与减缓气候变化更为直接相关的指标

建筑能耗对标、监测和数据公示可以帮助收集有关建筑能源绩效的信息，并将这些信息公布给建筑业主、开发商、租户、政策制定者或公众。其目的是通过消除信息不对称，改变利益相关者对建筑节能减排的错误认知。当建筑业主认识到其能源开支比邻居更高时，他们更有动力去进行节能改造。潜在的商业建筑租客更倾向于选择高能效的出租建筑。相对应地，建筑开发商会更愿意设计建造高能效的建筑，以吸引愿意为高能效支付高租金的租客。

通常，市场无法将高能效建筑的价值变现。建立建筑能耗对标可以帮助解决这个问题，赋予高能效建筑更高的市场价值，达到更高的入住率和更低的运营成本，<sup>17</sup> 从而让业主和开发商从高能效建筑中获得更大收益。通过通

俗易懂的方式，建筑能耗对标可以向市场传递高能效建筑的价值。

建筑能耗数据采集、监测和公示分为自愿性（配合财政激励措施）和强制性。它们的适用范围不一，可能适用于辖区内的所有建筑，或仅限于某类建筑（例如一定规模以上的公共建筑或商业建筑）。不同政策对于数据汇报的要求也相差甚多。一些政策仅要求汇报建筑每月平均能耗或运行成本，而其他一些政策则要求使用对标分析工具来对能源绩效进行无量纲评估。有些情况下，信息仅仅向政府公示，但在一些政策领先的地区，数据必须向租户、买家甚至公众进行公示。一些政策仅要求在出售或租赁建筑时进行能源绩效公示，而其他政策则要求每年都公示。

但建筑能效和能耗数据公示政策的有效性取决于该政策覆盖的范围。因此，强制性的公示政策如果能覆盖更多建筑存量，将比自愿性的公示政策更有效。一些辖区虽然已经执行公示政策多年，但该政策最初覆盖范围可能有限（例如，仅适用于一定规模以上的公共建筑或商业建筑）。政策领先的地区正在将公示政策的覆盖范围扩大，以涵盖更多建筑。

公示政策的另一个好处是可以提高公众和政策制定者的责任感。借助能源绩效数据的对比，政策制定者可以将能效欠佳的建筑或行业作为优先的政策目标，以最大化建筑能源政策的影响（例如通过财政激励促进节能改造）。信息公示还可以利用提高行业竞争和公众关注促使开发商提高建筑的能效。

尽管公示政策可以鼓励对于高能效建筑的投资，但通常这类政策都是自愿性的。这是传统公示政策的一个缺点。政策领先的地区已经在施行公示政策的基础上，将其与强制性政策结合起来。对于能源绩效不达标的建筑，这些地区强制要求建筑进行能效升级或全面的能源审计。各地区制定政策时还应考虑从能源绩效要求向碳排放绩效要求的转变，因为碳排放量与建筑行业减排目标更息息相关。

以下是美国和欧洲关于建筑能耗对标、监测和数据公示政策的一些实例。

### 美国

美国多个州和城市都已颁布了建筑能耗对标、监测和数据公示政策。这些政策的适用范围各异，分别针对公共建筑、一定面积以上的私有建筑、大型商业建筑等等。其数据报告和公示的要求也不尽相同。

目前，已有十四个州针对公共建筑制定了强制性的能耗对标政策，但仅有两个州（华盛顿州和加州）将商业建筑纳入能耗对标政策的范围内。<sup>18</sup> 美国能耗对标政策大多都在市级推动。在美国能效经济委员会跟踪的 86 个城市中，有 22 个城市制定了适用于商业和 / 或多户住宅建筑的强制性能耗对标政策，而另外 9 个城市则实施了自愿性能耗对标政策。<sup>19</sup> 美国三个最大的城市（纽约，洛杉矶和芝加哥）都采纳了强制性能耗对标政策。<sup>20</sup> 此外，圣地亚哥等一些大城市并未制定地方政策，而是采用加州的建筑节能标准。

大多已设有商业建筑能耗对标政策的城市都要求建筑业主每年对建筑进行能耗对标分析（例如华盛顿哥伦比亚特区），并将数据在网络上公开发布。<sup>21</sup> 一些政策领先的城市，包括波士顿、旧金山和西雅图，已将强制性措施与其能耗对标政策相结合。以波士顿为例，该市的《建筑能耗报告和公示条例》要求尚未获得高能效认证的商业建筑必须每五年进行一次节能行动（通常是翻新）或完成一次全面的能源审计 (Energy Audits)，直到该建筑达到一定的能源绩效标准。<sup>22</sup> 旧金山和西雅图采纳了类似的政策。明尼阿波利斯、波特兰和奥斯汀等一些城市制定了针对单户住宅的政策。这些政策要求房屋业主提供能源公示报告，但仅在出售房屋时有此要求。<sup>23</sup> 在现有能源报告标准《建筑能耗报告和公示条例》的基础上，波士顿目前正在制定基于碳排放的报告标准。新的政策将取代《建筑能耗报告和公示条例》中针对既有建筑的节能措施，转变为要求建筑符合碳排放标准。允许的碳排放量会随着时间的推移不断降低至净零碳排放。<sup>24</sup>

尽管美国联邦政府并未直接设立商业建筑的能耗对标，但联邦政府在州和地方政策制定中发挥着关键作用。能源之星项目组合管理器 (Energy Star Portfolio Manager) 是由美国环境保护署开发的一个在线工具，用于监测建筑的能耗、用水和温室气体排放，并为建筑提供标准化的能源绩效评分。尽管该管理器不是全国通用，但上述大多数城市和州都用它辅助政策制定。美国环境保护署的报告表明，上述 14 个州制定建筑能耗对标政策时有 12 个使用了此管理器，在美国商业建筑中的使用率则达到了 40%。<sup>25</sup>

### 欧洲

欧盟的《建筑能源绩效指令》概述了成员国对建筑能源绩效的认证标准。根据该指令，所有住宅和商业建筑的建造、销售或出租必须出示能源绩效认证。<sup>26</sup> 此外，在人流密集的公众场所，所有建筑都必须在显眼位置展示能源绩效认证。<sup>27</sup> 尽管不同成员国对证书的格式要求不同，但是所有能源绩效认证都必须包含等信息，例如建筑的能耗信息以及提高建筑能效的建议。许多成员国根据能效水平对建筑按 A 到 G 进行评级。<sup>28</sup> 截至 2013 年，所有成员国都已执行了《建筑能源绩效指令》的基准化要求。<sup>29</sup>

除了欧盟标准，一些欧洲城市和国家还为建筑节能减排采取了进一步的措施。英国使用能源绩效认证解决房东

和租户之间的激励错配 (Split Incentive) 问题。从 2018 年开始，所有能源评级低于 E 级的建筑将无资格出租，从而有效地激励业主对能效欠佳的建筑进行节能改造。<sup>30</sup> 爱尔兰设有一个能源绩效认证中央数据库，对公众开放。该数据库中的数据被广泛用于建筑设计、销售和执行建筑

改造相关的财政激励措施中。政府还使用这些数据来分析其他建筑部门政策的有效性。<sup>31</sup> 哥本哈根在当地大多数建筑物上安装了数字监控系统、该系统可以每小时获取实时数据并自动将建筑的实际能耗与基于天气的建筑模拟能耗量进行比较，从而即时发现非正常范围内的高能耗建筑。<sup>32</sup>

## 2.3. 建筑电气化

政策创新和趋势	特点和效益
减少来自建筑供能的碳排放	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 在维持同等能耗水平下，对建筑供电、区域供暖系统实行减排仍然可以降低碳排放量</li> <li>■ 对上述能源系统减排也可以减少其他行业的碳排放</li> </ul>
鼓励化石能源供能的建筑向电气化转型（例如用电热泵替代天然气锅炉）	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 大规模的建筑电气化转型是实现低碳建筑最具成本效益的方法</li> <li>■ 实现低碳电网比其他建筑能源系统减排（例如天然气、区域供暖）更容易达到</li> </ul>
在可行的前提下，将建筑电气化列为强制性标准	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 在建筑业主不愿意采用较新的技术情况下，强制性政策效能性更高</li> </ul>

一些政策领先的地区已开始通过更系统的方法推行低碳建筑。这些地区不再单纯地讨论个体建筑的能效，而是将建筑放在一个系统中思考城市全面减排的方法。因此，要推行低碳建筑应在个体建筑能耗减少的基础上，进一步对建筑的配电网络（电网、天然气管道或区域供热系统）进行减排。无论建筑能效的表现如何，减少建筑供能系统的碳排放量必然会减少与建筑相关的碳排放量。该方法并不是忽略建筑本身能效的影响，而是为了强调更全面和综合的建筑减排方法的重要性。

在全球范围内，电力占建筑能耗的比例最大，并且在未来几十年中，预计与建筑的电力消费将迅速增长。因此，零碳供电对于实现建筑部门的整体减排目标至关重要。<sup>33</sup> 与其他形式的供电系统相比，电网减排相对容易。因此，建筑部门普遍采用政策鼓励建筑能源负载，主要是空间供暖和热水系统 (Space and Water Heating) 的电气化以最大化零碳电力供应的减排作用。尽管电网尚不能实现全面减排，但电力热泵发电仍然比天然气熔炉发电的碳排放量低。除了一些电网化石能源比重较大的地区，在接近 99% 的美国家庭都是这个情况。<sup>34</sup>

尽管建筑部门的电气化可以带来多重效益，但短期内仍然面临重重挑战。在大多数情况下，电气化比其他供能方式成本高。基于化石燃料的供能技术发展更成熟，因此价格更便宜。这种情况下，应考虑采用激励措施鼓励电气化。同时，即使在电气化具有成本效益的情况下，由于对新技术的缺乏了解，有些建筑开发商不倾向使用电气化新技术。因此，在政治环境和技术可行的情况下，逐渐采纳强制性的建筑电气化政策可能是防止建筑化石能源供能锁定的最有效方法。

### 美国

随着可再生能源成本降低以及公众对清洁能源需求的不断增长，美国许多州都制定了可再生能源或清洁能源配额制 (Renewable Energy Portfolio Standard, RPS)。在 50 个州中，有 29 个州（加上华盛顿哥伦比亚特区）制定了可再生能源配额制。这类标准在法律上要求电力公司至少保证一定比例的可再生能源发电。同时，有七个州制定了清洁能源标准，八个州设定了自愿性的电力

配置目标。<sup>35</sup> 七个州（加上华盛顿哥伦比亚特区和波多黎各）目标在 2050 年之前实现 100% 可再生或清洁能源供电。<sup>36</sup> 此外，一些城市有各自的可再生能源目标，比州级目标更加雄心勃勃。

随着电网的减排，来自建筑供暖系统中化石能源燃烧的碳排放量占建筑部门总碳排放量的比例将越来越高。这种情况下，许多州、城市和公共事业公司通过提供财政激励措施（最常见的是返现，Rebates）以鼓励建筑空间供暖和热水系统的电气化。以马萨诸塞州的大型节能计划 (Mass Save) 为例，该计划为不同的热泵安装和更换技术提供了多样的激励措施。如果客户选择安装相对低碳排放的燃料油熔炉（替代天然气熔炉），则可获得更高的激励奖励。<sup>37</sup> 此类自愿性的措施是最常采用的。不过，也有一些地方政府通过禁止在新建建筑中安装天然气熔炉来强制推行建筑电气化政策。伯克利是美国第一个颁布该禁令的城市，紧随其后的是加州的二十个城市和郡（以及马萨诸塞州的布鲁克莱恩）。<sup>38</sup> 如果建筑电气化的成本过高或者当地建筑部门减排的政治意愿不足，该方法则可行性不高。但是，在条件允许的情况下，强制性标准往往能取得更佳的效果。在自愿性标准的政策环境下，尽管化石燃料型供暖系统终身投入成本更大，许多客户仍会由于对其他技术不熟悉和相对较低的前期成本投入等原因选择安装化石燃料型供暖系统。

### 欧洲

欧盟于 2018 年修订了《可再生能源指令》(Renewable Energy Directive, RED)，要求欧盟于 2030 年实现 32% 可再生能源供能。<sup>39</sup> 除此之外，几个欧盟国家还为其电力部门设定了更雄心勃勃的目标。例

如，德国的目标是于 2030 年实现 65% 可再生能源发电<sup>40</sup>，丹麦的目标是于 2030 年达到 50%（到 2050 年达到 100%）可再生能源发电<sup>41</sup>，瑞典的目标是于 2040 年达到 100% 可再生能源发电<sup>42</sup>。与美国的情况相同，一些欧洲城市也有设定了比全国目标更进取的当地可再生能源目标。以巴黎为例，该市目标在 2050 年实现 100% 可再生能源发电。<sup>43</sup>

欧洲国家的一些地方政府也通过减少建筑其他供能系统的碳排放来努力实现低碳或净零碳建筑。以丹麦哥本哈根为例，该市制定了于 2025 年实现 100% 电力和区域供暖碳中和的目标。<sup>44</sup> 相较于推行全面的建筑电气化转型，实行现有区域供暖系统的减排更容易。由于区域供热配送基础设施已经相对完善，且能量需求较集中，因此区域供暖系统供能效率一般非常高。在丹麦，几乎有三分之二的家庭使用区域供暖，并且分析表明，通过大型电动热泵对区域系统进行减排的投资回收期不到 7 年。<sup>45</sup>

德国海德堡希望在 2050 年之前通过分布式太阳能 (Distributed Solar) 和各种可再生能源区域供暖系统，包括太阳能热力 (Solar Thermal) 和蓄热 (Thermal Storage)，在建筑部门实现同样的目标。<sup>46</sup> 为了最大程度地提高系统能效并减少潜在的碳排放量，该市要求人口高密度区域的所有新开发项目都必须连接到当地的区域供暖系统。<sup>47</sup> 瑞典斯德哥尔摩的目标是到 2040 年实现碳中和 (Carbon Neutrality)。该市认为区域供暖减排对实现该目标至关重要。目前，该市已有 50% 的区域供暖系统实现可再生能源（包括生物质能）供能，并计划通过不同方法进一步提高可再生能源供能的比例，例如将化石燃料系统转变为生物质能或可再生动力的热泵系统。<sup>48</sup>

## 2.4. 净零碳建筑政策

政策创新和趋势	特点和效益
考虑将净零碳标准的达标由以个体建筑为单位扩展到以建筑群或区域为单位	<ul style="list-style-type: none"> <li>相较于要求以个体建筑为单位达标，以建筑群或区域为单位达标的方式提供了灵活性，让能源需求各异的不同类型建筑能通过更具成本效益的方法达标</li> </ul>
在公共建筑中率先推行净零碳标准	<ul style="list-style-type: none"> <li>为私营部门证明净零碳建筑的可负担性和潜在效益</li> <li>促进建筑部门转型所需的建筑材料、技术和人才市场发展</li> </ul>
培养实践净零碳标准所需的市场能力，最终将净零碳标准列为强制性条款	<ul style="list-style-type: none"> <li>训练有素的人才是建筑部门成功转型的基础</li> <li>在可行的情况下，在新建建筑中推行强制性的净零碳政策，以实现最高的建筑能效</li> <li>新建建筑的减排成本相较既有建筑较低</li> <li>利用净零碳政策鼓励建筑部门技术创新</li> </ul>
在新建建筑和既有建筑中同时推行净零碳标准	<ul style="list-style-type: none"> <li>大多数既有建筑都将使用至 2050 年，因此对这些建筑实行节能减排措施至关重要</li> </ul>
将隐含碳排放纳入净零碳的定义范畴	<ul style="list-style-type: none"> <li>建筑材料（钢，混凝土）生产过程中产生的碳排放几乎占建筑行业碳排放总量的三分之一</li> </ul>

与其说净零碳是一种政策手段，不如说是一个政策目标，因此该政策的实践方式在各地区差异极大。城市通常会运用多样的政策组合来实现建筑净零碳目标。一种方法是将净零碳标准纳入到建筑节能标准中。而另一种方法是针对净零碳建筑设计财政激励或举办现金奖励竞赛，以促进净零碳建筑设计和建材市场的发展。一些地方政府率先在公共建筑推行净零碳排放标准，为未来在私营部门推行净零碳标准奠定基础。通过这种方式，政府可以向私营部门展示净零碳建筑的成本效益和潜在效益。随着净零碳建筑的逐步推广，净零碳建筑的市场将渐渐发展起来，进一步降低未来类似项目的成本。同时，政府还制定了一些其他支持性政策，协助净零碳建筑相关的教育、推广和培训工作，其目的是为了向私营部门传授净零碳建筑的概念，共享实践经验并增强人才储备。一旦私营部门可以参与其中，政府则可以逐步推行强制性的净零碳政策。

尽管净零碳并没有一个统一的定义，但制定一个可以明确、一致的定义对于净零碳政策的有效实行来说至关重要。定义净零碳政策要考虑几个方面。第一是净零能耗还是净零碳排放。尽管这两种定义都很常用，但净零碳在大多地区变得越来越普遍。其主要是因为碳排放是减缓气候变化更相关的指标。第二是设置时间边界 (Temporal

**Boundaries**)。要考虑的问题包括：净零碳标准是仅考虑建筑运营中的碳排放，还是也应涵盖建筑整个生命周期产生的碳排放？净零碳是基于每年碳排放计算还是每日？第三是设置空间边界 (Spatial Boundaries)。建筑是否可以通过购买异地可再生能源来实现净零碳，或仅限于建筑实地生产的可再生能源？另外，业主是否可以购买碳补偿来抵消残留的碳排放？

通常，净零碳的达标是以个体建筑为单位。但是越来越多的地方政府意识到，以区域或投资组合为单位推行净零碳标准更为实用和有效。就像基于规范性和性能化标准之间的差异一样，以区域为单位推行净零碳标准也为标准达标提供了灵活性。一些高能耗建筑（例如医院）难以实现全面减排，但是如果和附近的低能耗建筑物（例如仓库）合并计算碳排放就可以通过更具成本效益的方法来实现总体的净零碳排放。相较于以个体建筑为单位，此方法为实现净零碳带来了更多机会。

设立净零碳目标可以一举多得，因为它可以将不同领域的政策融合在一个统一的目标中。从理论上讲，一个地区可以在每个领域（例如建筑节能标准、电气化、可再生能源和建筑改造等方面）都推行一套政策来实现建筑部

门的减排目标，但这一过程可能会非常繁琐复杂。如果设立一个净零碳目标则可以将各个领域的政策融合在一起，而政府可以通过一个统一的流程召集和管理利益相关者。净零碳标准本身也是一个非常进取的目标。作为能效的最高标准，净零碳目标可以激发建筑设计领域的创新。

通常，新建建筑比既有建筑更容易实现净零碳标准，因为新建建筑在设计建造之初就采用了能效最高的建筑材料和技术。但因为现存的大多建筑都将再使用几十年，所以实行既有建筑的净零碳排放也非常重要。

净零碳政策的终点并不是仅考虑建筑运行产生的碳排放，而是将隐含碳排放也纳入其定义范畴。这项工作必须循序渐进地进行，否则利益相关者会认为此法不可行而失去动力，反而适得其反。但时机得当时，这些隐含碳排放必须最终被消除。将隐含碳排放纳入净零碳的标准会帮助鼓励低碳建筑材料的创新。

### 美国

在国家层面，美国没有在建筑部门设立具体的净零碳目标。但美国能源部可以向有意设立净零碳目标的州、城市和组织提供所需资源。2007 年颁布的《能源安全与独立法案》(Energy Security and Independence Act)建立了净零能耗商业建筑计划。<sup>49</sup> 政府在线发布了不同类型建筑的设计指南。能源部对净零碳设计难点以及如何克服这些难点进行了研究。这些研究涉及广泛，从租户和房东的分割激励到零能耗区的总体规划都包括在内。<sup>50</sup>

在各州中，加州无疑是净零能耗政策实践的领军者。该州制定了“净零碳行动计划”，旨在 2020 年实行所有新建住宅建筑净零能耗标准。该计划希望在几年内发展净零能耗建筑市场，然后正式将净零能耗标准加入建筑节能标准。<sup>51</sup> 虽然这些目标尚未完全实现，但该州要求所有新建房屋必须达到高能效，并且根据预期的用电量安装相对大小的屋顶太阳能发电系统。<sup>52</sup> 净零能耗目标旨在将利益相关者组织起来，促进包括储能在内的家用能源系统的创新，并提高公众的意识。这一过程帮助促成了加州一些雄心勃勃的地方政策，例如伯克利和其他城市颁布的天然气安装禁令。加州政府也通过公共示范项目引领政策发展。例如，该州要求所有新建的市政建筑必须满足净零能耗标准，到 2025 年至少 50% 建筑的运行实现净零能耗（包括既有建筑）。

美国多个城市也设定了净零碳目标。在全国范围内，已有 8 个城市签署了世界绿色建筑委员会发起的“净零

碳建筑承诺”。该承诺的目标是于 2030 年所有新建建筑实现 100% 净零碳标准（于 2050 年既有建筑物实现同样的目标）。这些城市是华盛顿哥伦比亚特区、波士顿、纽约、西雅图、洛杉矶、波特兰、旧金山、圣莫尼卡、圣何塞和纽伯里波特。<sup>53</sup> 华盛顿哥伦比亚特区计划实施强制性的净零碳建筑标准，并用一系列政策，例如激励措施、教育、培训和公共部门领导力（即率先在公共建筑推行高能效）以辅助逐步实现净零碳目标。<sup>54</sup> 在波士顿实施的全市净零碳目标中，新建市政建筑和市政资助的保障房需满足净零碳标准。考虑到波士顿不能直接影响州级建筑节能标准，该市就在当地的大型项目开发的土地使用规划审批流程中加入了净零碳标准。<sup>55</sup> 加州圣莫尼卡市已经对新住宅建筑执行了强制性的零净能耗标准。<sup>56</sup>

### 欧洲

截至目前，欧盟的《建筑能源绩效指令》仅要求新建建筑执行“近零能耗”的标准，并考虑在未来推行净零碳标准。修订后的《建筑能源绩效指令》包括了一个既定目标，即于 2050 年欧盟所有建筑实现零碳排放，并且要求成员国制定长期计划以实现这一目标。<sup>57</sup> 欧盟还与八个欧洲试点城市合作，资助了世界绿色建筑委员会发起的“BuildUpon2”倡议。该倡议旨在设立长期目标以实现 2050 年所有建筑存量净零碳排放。这八个城市分别是大戈里察、布达佩斯、都柏林、帕多瓦、弗罗茨瓦夫、马德里、埃斯基谢希尔和利兹。

欧洲其他几个主要城市也已经签署了《净零碳建筑承诺》(Net-Zero Carbon Buildings Declaration)。这些城市包括哥本哈根、海德堡、赫尔辛基、伦敦、奥斯陆、巴黎、斯德哥尔摩和巴利亚多利德。以上所有城市都宣布 2030 年前在所有新建建筑实现净零碳标准，在 2050 年前在所有建筑实现净零碳标准。欧洲多个地区也做出了类似的承诺，其中包括巴登 - 符腾堡州、加泰罗尼亚、纳瓦拉和苏格兰。<sup>58</sup> 这些地区都针对其当地的特定需求制定了得当的方法以实现净零碳目标。

以巴黎为例，该市政府为社保住房和私有住宅的节能改造计划提供财政支持，带头树立目标要求市政电力采购保证 100% 可再生能源，并且要求所有新建市政建筑满足净零碳标准。奥斯陆则要求所有新建市政建筑（例如疗养院、学校）满足净零碳标准，并禁止燃料油的使用。该市还设立运营了一个气候和能源基金，为建筑节能改造和新节能解决方案（如热泵和提高隔热性）提供资金。<sup>59</sup>

## 2.5. 建筑节能改造

政策创新和趋势	特点和效益
将节能改造激励政策与能耗对标、监测和公示政策相结合	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 公示政策通过提供公开信息鼓励了节能改造；而激励政策通过增强市场能力促进了节能改造的实施</li> <li>■ 利用公示政策获得的公开数据帮助财政激励政策更好地针对能源绩效欠佳的建筑或行业</li> </ul>
利用未来节省的能源开支来支付节能改造的前期费用	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 节能改造的前期投入费用可能较高，但长期来看可以节省能源开支</li> <li>■ 通过财政激励，合理利用未来节省的能源开支来支付节能改造的前期费用，以鼓励节能改造</li> </ul>
通过全面的节能改造实现建筑净零碳排放和电气化	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 相较于小范围的节能改造，全面性的整栋建筑节能改造可以最大化节能减排效益</li> <li>■ 鼓励建筑电气化可以避免由于长期锁定于天然气使用造成的碳排放</li> </ul>
从激励型节能改造向强制性节能改造转变	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 单一财政激励无法快速推动节能改造；因此，要实现 2050 年建筑部门的减排目标还需要其他政策支持</li> </ul>

节能改造是既有建筑部门减排过程中关键的一步，而建筑部门的减排对实现城市、州和国家设定的宏伟低碳目标至关重要。据估计，目前全球 60% 的既有建筑到 2050 年将仍在使用。因此，如果不解决既有建筑的能效问题，建筑部门的减排进程将受到严重限制。<sup>60</sup>

建筑节能改造包括一系列的建筑升级，旨在提高建筑能源绩效。一些节能改造的例子包括：

- ▶ 使用更现代化、更高能效的设备替换建筑现有的暖通空调系统、锅炉或热水器（和 / 或将这些系统电气化）
- ▶ 使用高性能的材料替换建筑现有的窗户、屋顶、墙壁和隔热层
- ▶ 使用高能效的 LED 灯替换建筑现有照明设备
- ▶ 使用更高能效的设备替换建筑现有的电器和电子设备
- ▶ 密封建筑围护结构，以减少能源浪费
- ▶ 安装建筑能源管理设备（运动感应灯、智能恒温器等）
- ▶ 安装实地可再生能源发电系统，如屋顶太阳能发电系统或地热井

上述列表虽不全面，但是概括了建筑节能改造项目的大致范围。建筑节能改造项目类型繁多，这也给相关的政策设定带来了挑战。尽管节能改造项目长期来看可以减少业主的能源开支，但高昂的前期项目成本投入仍然阻碍了改造的进行。为了克服这一问题，通常需要制定创新性的财政激励措施，利用未来节省的能源开支来支付项目前期费用。这些激励措施通常包括返现、税收抵免 (Tax Credits) 和低息贷款等形式。

一般来说，节能改造激励措施的配套政策包括能源数据监测和基准化计划。通过这些计划，建筑的管理者可以接受培训，了解节能改造的方式，学习如何量化节约的能源，并获得具体的改造建议。通过提高大众支持和执行能力，这些政策组合为节能改造广泛实施奠定了基础。

未来的节能改造政策应更加进取。同时，政策应不仅停留在由财政激励推动的自愿性节能改造上，而应向强制性节能改造政策转变，促使建筑至少实现最低的能源绩效标准。强制性的节能改造可以按常规时间表进行（例如每五年一次），也可以要求在物业销售时执行。此外，节能改造项目的范围应从传统的能效改进（通常资本投入较低，但在项目生命周期内节能潜力有限）扩展到全面的整栋建筑改造（成本更高，但通常能最大程度地实现节能和

增加经济利益）。<sup>61</sup> 建筑电气化也应该是节能改造计划的重点，以避免未来碳排放锁定。

### 美国

目前，美国已设立了几个联邦计划鼓励建筑节能改造。例如美国能源部发起的能源之星住宅计划针对住宅节能改造，由州、市政府和公共事业公司等赞助方共同管理。这些赞助单位招募承包商对住宅建筑进行全面的能效评估，并为建筑业主提供降低能耗的建议。另外，赞助单位通常会提供各种激励措施（返现，融资方案等）来鼓励节能改造。针对商业建筑，美国能源部通过对标计划“能源之星建筑能源绩效计划”对建筑进行能源绩效评级，以便建筑的管理者了解建筑的能源绩效。为了鼓励建议采纳，商业建筑可以在特定的节能改造项目中享受每平方英尺 1.8 美元的税收抵免。<sup>62</sup>

联邦能源管理项目 (Federal Energy Management Program, FEMP) 则是针对联邦政府建筑的一项计划。该计划采用不同的商业模式，例如节能绩效合同 (Energy Savings Performance Contracts, ESPC) 和公共事业公司能源服务合约 (Utility Energy Service Contracts, UESC) 等，以推动联邦建筑的节能改造活动。联邦能源管理计划还对项目的开发和实施流程进行了标准化和简化，以消除体制障碍并降低交易成本。

在美国，州和地方级别的节能改造倡议也非常多。相关计划非常分散，不同的机构例如州政府、市政府、公共事业公司和非政府组织提供了包括返现和税收抵免在内的多样的激励措施，以鼓励节能改造。还有一些着重于教育和推广节能改造的计划，旨在向消费者普及节能改造的效益。这些计划将重点放在低收入住房、租赁住房和小型企业。<sup>63</sup> 纽约也是节能改造政策的领军者。该市的《气候动员法案》要求所有 25000 公尺以上的建筑执行日益严格的碳排放限制（由 2024 年开始实行），否则必须缴纳罚款。与之前提到的波士顿《建筑能耗报告和公示条例》

类似，该法案本质也是为了迫使建筑业主通过节能改造达标。<sup>64</sup> 另外，该法案还要求 2025 年前替换建筑内所有低能效照明系统。<sup>65</sup> 在科罗拉多州的博尔德，当地政府要求不符合节能标准的租赁住房建筑实行强制性节能改造。<sup>66</sup>

### 欧洲

《能源效率指令》中也提到了建筑节能改造的重要性。该指令要求所有欧盟成员国每年至少对 3%（按建筑面积计算）的市政建筑进行节能改造，以满足《建筑能源绩效指令》中的基本能源绩效要求。同时，该指令还要求成员国制定长期战略来吸引建筑节能改造投资。<sup>67</sup> 修订后的法令列出了鼓励节能改造投资的建议政策工具，其中包括财政激励措施、公私部门合作、咨询工具和一站式装修服务。<sup>68</sup>

在《能源效率指令》的基础上，欧洲很多城市和国家还把节能改造列为优先政策。以巴黎为例，该市为福利房和公寓的节能改造提供了财政支持，同时还翻新了几百个市政设施（学校、游泳池等）。<sup>69</sup> 英国则是通过能源公司义务计划 (Energy Company Obligation) 来鼓励住宅建筑的节能改造。由于节能改造的成本通常都通过能源账单施加到消费者身上，该政策要求能源公司补贴消费者以鼓励节能改造，实现降低能源使用。<sup>70</sup> 认识到强制性节能改造的重要性，法国则要求所有能源绩效水平低于 E 级的建筑在销售前都必须进行节能改造以提高其能源绩效。<sup>71</sup>

欧洲绿色新政 (European Green Deal) 着重强调了建筑节能改造，并希望掀起“节能改造的浪潮”。欧盟委员会计划启动一个开放平台，用于开发创新的融资机制，以促进节能改造的投资。该平台的目标是至少将目前的公共和私有建筑翻新速度提高一倍。<sup>72</sup>

## 2.6. 财政激励

政策创新和趋势	特点和效益
大部分财政激励都针对既有建筑，而不仅是新建建筑	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 相较于新建建筑，既有建筑的减排成本更高</li> </ul>
利用未来节省的能源开支来支付节能改造的前期费用	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 节能行动削减的未来能源开支一般大于节能改造的前期成本投入</li> <li>■ 构建财政激励模式，利用未来节省的成本支持节能改造，以最大程度降低建筑业主的风险</li> </ul>
将公共资金投资到节能改造项目，并吸引私有资金参与其中	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 节能改造可以削减未来能源开支</li> <li>■ 投入公共资金以确保一定规模的节能改造，对实现净零碳排放目标必不可少</li> <li>■ 利用公共投资来吸引额外的私有投资</li> </ul>
设计针对性的计划来解决建筑减排过程中的各种障碍	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 建筑行业面临着多样的挑战，例如房东与租户分割激励、时间分割激励和能源贫困</li> <li>■ 应对不同的挑战应设计针对性的计划和激励措施，而“一刀切”的政策并不奏效</li> </ul>

在美国和欧洲，财政激励措施推动了很多建筑部门的能效政策。通常，能效技术应用推广中受阻其中主要原因是前期成本过高。在一些情况下，如果政策不能提高建筑业主和开发商承担节能项目费用的能力，即使执行强制性的政策也可能收效甚微。

尽管实现高能效成本不菲（不管是在新建建筑还是既有建筑中），但节能改造项目可以通过削减未来能源开支收回一部分项目的前期成本。而一个完善的财务激励模式可以利用预期中节省的能源开支来支付前期的费用。财务激励可以通过多种形式发放，其中包括税收抵免、返现、赠款和低息贷款等等。但对于老旧建筑来说，情况又有所不同。这类建筑的节能改造成本极高，而削减的能源开支不一定能够支付项目前期成本。因此，有效利用公共投资来补贴此类节能项目则极为重要。

由于很难大规模地投入公共资金，政府必须明智且有效地利用公共资金。通常，在建筑设计之初推行高能效要比在既有建筑进行节能改造以达到相同的能源绩效容易得多。因此，由公共资金提供的激励措施应主要集中用于融资难度更大的既有建筑节能改造项目。政府的另一种策略则是利用有限的公共资金来吸引一定的私有资金投入，以最大程度地发挥公共投资的影响。例如，公共资金可用于确保实现预期的能源开支削减，从而减少了大规模私营部门投资的一些潜在风险。

最后，财政激励措施应根据建筑当前面临的问题有针对性地设计。下面综述了一些常见的问题。房东与租户激励错配 (*Landlord-tenant Split Incentive*) 是指房东承担了节能改造的成本，而租户才是直接受益者（更低的能源开支，更高的舒适度等）。时间激励分散 (*Temporal Split Incentive*) 是指如果业主不确定能在建筑的使用期内收回投资成本，则没有动力投入额外成本对建筑进行节能改造。能源贫困是另一个巨大的挑战。即使财政激励措施可以帮助降低节能改造的成本，但低收入家庭仍旧可能没有足够的现金（或很难获得信贷）来进行节能减排项目。而实际上，低收入家庭是高能效建筑的最大受益者，因为他们的收入中能源支出占比更大。因此，设计财政激励模式必须考虑以上因素，以解决特定阻碍。由于上述这些挑战，简单的返现和税收抵免对于许多建筑业主来说是不够的。

目前很多机构都提供财政激励，包括银行、公共事业公司、政府和非政府组织。这些提供的激励模式、目的和结构也各不相同。因此，本节所提到的方法虽然不够全面，但仍希望能提供一些指导性示例。通过介绍美国和欧洲已采取的一些创新方法，为应对建筑部门减排的挑战提供思路。

## 美国

美国联邦政府已设有一些财政激励措施以促进实施建筑节能项目，而其中大多数是以税收抵免的方式实行。例如，新建节能住宅的开发商可以获得 2000 美元的税收抵免。<sup>73</sup> 建筑业主如果安装可再生能源发电系统（太阳能光伏系统、地热热泵等）则可以获得最高达安装成本 26% 的税收抵免。

联邦政府还设有其他形式的财政激励。房屋保温节能辅助计划 (*Weatherization Assistance Program*) 为低收入家庭提供赠款，以进行节能减排项目，减轻能源贫困。<sup>74</sup> 房利美绿色倡议 (*Fannie Mae Green Initiative*) 为节能和节水措施提供低息贷款。<sup>75</sup> 联邦住房管理局节能抵押贷款计划 (*Federal Housing Administration Energy Efficient Mortgage*) 允许房主通过在现有住房抵押贷款上追加贷款为节能减排项目融资。<sup>76</sup> 由于住房抵押贷款偿还率较高，这降低了贷款人无法偿还节能减排项目投资债务的风险。

州和市级政府也为建筑节能活动提供了财政激励。清洁能源房产评估计划是一种用于改善商业和住宅建筑能效的有效融资方法。该计划允许建筑业主将节能项目的成本摊派到 10 至 20 年，并以房产税的形式（增加房产税）来偿还项目贷款。通过这种方式，项目贷款将与房产挂钩而不是记在业主名下。这种方式有助于解决时间激励分散带来的挑战。加州有 47,000 个住宅用户已参与该计划。<sup>77</sup>

明尼苏达州圣保罗市通过其能源智能家居计划 (*Energy Smart Home Program*) 提供免息贷款，以资助节能减排项目。<sup>78</sup> 公共事业公司也在其中发挥重要作用。许多公司例如纽约州电力和天然气公司 (*New York State Electricity and Gas Corporation*) 为安装节能设备或减少能源使用的客户提供返现计划。<sup>79</sup>

节能改造项目的另一种融资渠道是绿色银行 (*Green Bank*)。到目前为止，美国仅有州和郡级政府设立了绿色银行。传统来说，绿色银行是利用有限的公共资本来吸引私有资本进行可再生能源、能效或其他绿色基础设施等绿色投资的金融机构。<sup>80</sup> 在美国，至少有九个州以及四个城市（纽约、华盛顿哥伦比亚特区、巴尔的摩和蒙哥马利郡）建立了绿色银行。<sup>81</sup> 绿色银行的融资结构差异很大：康涅狄格州绿色银行 (*Connecticut Green Bank*) 的初始资本是通过 0.001 美元 / 千瓦的电费附加费集资的，蒙哥马利郡绿色银行 (*Montgomery County Green Bank*) 的初始资本是 1400 万美元赠款，而内华达州清洁能源基

金 (*Nevada Clean Energy Fund*) 在启动时未获得任何公共资本投入，其初始启动资金来自于赠款和基金会赞助。<sup>82</sup> 最近的趋势表明，绿色银行正逐步向类似于内华达州清洁能源基金的模式发展，而政府在绿色银行的启动阶段的参与较少，因此绿色银行资本来源也日渐趋于多元化。非营利绿色银行已经变得越来越普遍（该类型绿色银行不需通过立法建立，但也不会获得公共资金支持）。绿色银行的商业模式也在不断发展，未来的趋势是更优化利用来自私有资本、公共赠款和基金会等渠道的资金。<sup>83</sup>

绿色银行还会提供一系列金融服务，以鼓励包括能效在内的绿色基础设施和技术的发展。绿色银行可以直接给最终用户提供贷款，例如华盛顿哥伦比亚特区绿色银行 (*Washington D.C. Green Bank*) 就是通过清洁能源房产评估计划提供贷款支持照明和建筑围护结构的升级。<sup>84</sup> 绿色银行也可以选择与公共事业部门合作，为能效项目提供创新的融资结构。夏威夷绿色基础设施部门 (*Hawaii Green Infrastructure Authority*) 则运行绿色节能省钱计划 (*Green Energy Money Saver Program*)。该计划为节能升级项目提供账单分期还款 (*On-bill Financing*) 的融资方式，即客户无需支付任何初始费用，但无法获得节能带来的效益，直到债务还清为止。<sup>85</sup> 这也有助于解决激励错配带来的问题。即使租户搬家，公共事业公司仍然可以通过向下一租户收取费用来收回投资成本。

绿色银行还可以通过承担一部分贷款风险来刺激私有投资。康涅狄格州绿色银行设有一个贷款损失准备金基金 (*Loan Loss Reserve Fund*)。该基金承诺可以分担投资方可能面临的部分潜在损失，以此鼓励当地银行向居民客户提供贷款资助节能减排项目。通过该方式，私有投资者潜在的损失降低了，因此会相对放松融资条款的要求。<sup>86</sup> 绿色银行还提供针对能效项目的仓储服务 (*Warehousing*)，来吸引私有投资。通过项目仓储的方式，大量个人贷款将合并成为一个风险分散且较低的投资组合。对于私有投资者来说，这种投资组合将比大量风险分散且难以评估的小额个人贷款更具吸引力。绿色银行通过出售了这些投资组合可以有效地募集私有资本资助节能减排项目。纽约绿色银行 (*New York Green Bank*) 就是提供仓储服务的一个例子。<sup>87</sup>

## 欧洲

欧盟的金融机构，诸如欧洲结构与投资基金 (European Structural and Investment Funds) 和欧洲战略投资基金 (European Fund for Strategic Investments) 等，为能效和可持续能源项目提供公共融资。除公共融资外，欧盟委员会发起了智能建筑智能金融倡议 (Smart Finance for Smart Building Initiative)。该倡议为节能减排项目的节能价值进行担保，因此对于是否能收回投资仍存有疑虑的贷款方将更愿意为此类项目提供资金。因此通过分担部分项目风险，该倡议可以有效释放私有投资。该倡议还推出了一系列工具，以培训私有贷款人选择风险相对较低的能效投资。<sup>88</sup>

欧盟中各个国家也实施了大量的财政激励计划。其中一些计划利用政府金融机构（本质上是国有绿色银行）为建筑节能减排项目提供资金。其中一个例子就是德国的国营复兴信贷银行 (KfW Development Bank)。该银行管理的建筑翻新减排计划 (CO2 Buildings Rehabilitation

Program) 为节能改造项目提供补贴的低息贷款（和小范围赠款）。<sup>89</sup> 其他国家可能会提供税收优惠。在爱尔兰，能源投资补贴计划 (Energy Investment Allowances) 允许公司从应纳税利润中扣除用于能效投资等额的部分，降低应纳税利润。<sup>90</sup> 瑞典则向中小型企业提供赠款，以帮助他们支付能源审计费用，从而使企业能够抓住建筑节能减排的机会。<sup>91</sup>

各种私营机构也为建筑节能减排项目提供融资。在一些国家，政府会提供激励，以鼓励银行提供此类融资产品。例如，荷兰政府给予荷兰合作银行税收减免，以换取该银行为“近零能耗”建筑融资提供较低的房屋抵押贷款利率。有些机构则在无政府干预的情况下主动提供激励措施，例如绿色抵押贷款，降低现有抵押贷款利率（在执行建筑节能减排项目的前提下）。银行逐渐意识到节能建筑通常是低风险投资，并已开始寻找方法通过潜在的节能投资盈利。<sup>92</sup>





### 3. 政策聚焦： 净零碳建筑

美国和欧洲越来越多的地区开始在建筑部门实践净零碳标准。由于建筑部门的碳排放量占了全球碳排放量的近 40%，人们逐渐意识到净零碳建筑部门的重要性，<sup>93</sup> 采纳稳健的净零碳政策有助于实现决策者雄心勃勃的减排目标。由于建筑总体的使用周期较长，因此要实现建筑部门节能减排就需要新建筑达到净零碳标准并翻新改造既有建筑。但是，净零碳建筑的推广面临着多重挑战，包括信息不完善、激励错配、融资困难以及多元化、分散市场中的高风险。

地方、州和国家政府采取了多元化的政策和策略来解决这些障碍。其中包括强制性政策（例如将净零碳标准写入建筑节能标准）和自愿性政策（例如利用财政激励或举办能源绩效竞赛）。一些政府通过增加建筑能耗数据透明度和颁布建筑节能减排教育政策（例如建筑能效公示计划或出版建筑节能减排教育材料）向利益相关者普及净零碳建筑的益处。还有一些政府则采用“以身作则”的方式，要求所有公共建筑贯彻净零碳标准，以证明净零碳建筑的可行性和可负担性。几乎所有推行净零碳政策的地区都将上述政策相互配合使用。

每个城市、州和国家在实现其建筑减排目标时都面临着截然不同的挑战。政策的采用应该因地制宜。以美国为例，由于立法通常由州政府完成，地方政府没有制定建筑节能标准的权限。虽然更高层级的政府坐拥更丰富的资源，但地方政府在与当地利益相关者沟通更加便利，因此在提高数据监测和政策执行水平上有着相对的优势。政治、文化、经济环境和现有政策都会影响建筑净零碳政策的制定和实施。进行案例分析可能是研究净零碳政策最具指导意义的方法。

通过美国马萨诸塞州波士顿和美国加州的案例分析，本报告论述了两种不同的实现建筑净零碳的政策模式。在这些案例研究中，我们将详细探讨以下问题：净零碳建筑是如何定义的？不同的地区政府是如何设立建筑减排目标以及其进展？地方政府采用了哪些政策工具来实现这些目标以及政策如何执行的？地方政府是如何收集信息和数据来指导政策制定和实行的？如何管理利益相关者的参与？实践过程中

存在哪些障碍以及如何克服这些障碍？最后，根据案例中的经验和教训可以如何帮助未来相关政策制定和实施？这些问题的答案在两个案例中都略有不同。这意味着并没有一种放之四海而皆准的政策可以实现净零碳目标。但通过对这两个案例的研究，本报告发现了一些关键性的策略，这些策略为净零碳政策的制定和实行奠定了方法基础。其中包括：

- ▶ **灵活定义净零碳：**不同类型的建筑能源需求各异。因此，采用灵活的净零碳定义是更合理的。可以采取的方式包括分层定义、分阶段实行政策、政策分建筑类型推进等等。另一方面，还可以采用更灵活的达标方式，例如允许以建筑群为单位达标。灵活的定义和达标方式可以增加建筑业业主和开发商实践净零碳标准的成本效益，鼓励利益相关者的接纳，提高政策执行水平。
- ▶ **选择净零碳定义：**相比与净零能耗，净零碳是一个衡量碳排放的指标。将净零碳作为参考指标运用在政策框架制定中可以让建筑部门政策更好地融入到广义的减排目标中。
- ▶ **“以身作则”政策：**作为政府可以直接管辖范围内的建筑，公共建筑是试点净零碳标准最佳的选择。通过“以身作则”的方式，政府不仅可以向私有建筑开发商证明净零碳建筑的可行性和效益，还能促进净零碳建筑相关的建材市场和技术发展，培养清洁能源人才，最终推动建筑市场转型。
- ▶ **利益相关者参与：**利益相关者参与对建筑部门的转型至关重要。通过该过程，政府可以在政策制定中尽早与利益相关者沟通（尤其是弱势群体和少数族裔），更好地平衡各方的利益。政府在进行利益相关者沟通工作时应做到尽量全面，考虑到每个受影响和相关的人群。同时，政府应该将与利益相关者沟通作为一项长期的工作。
- ▶ **提高政策执行水平：**设计精良的政策如果不能有效执行将效果甚微。因此，应通过多种手段，例如利益相关者参与、培训和教育计划、有效的执行机制，来提高政策执行水平。
- ▶ **建筑能耗数据监测和公示：**数据分析可以引导政策制定，提高政策执行的成本效益和减排措施的有效性。值得一提的是，该数据分析应考虑其他行业对建筑部门减排的协同作用（例如交通和电力行业）。

▶ **保持政策一致性：**保持各级政府政策的一致性是提高政策有效性中至关重要的一环。政策的一致性可以让各项激励措施和政策协同作用以实现期望的政策目标。为了更好地推进净零碳政策，政府应该修改并移除阻碍减排进程的政策，转而颁布支持性政策来辅助净零碳标准的推行。

▶ **公正转型：**通过公正的转型，以确保所有人都能享受建筑减排带来的福利。这些福利包括，保证低收入群体住房的可负担性，提供易获得的财政激励和提供清洁能源方面的就业岗位。应对气候变化是一个长久而艰巨的任务，需要所有人的共同努力。如果一些群体被排除在外，节能减排的政策则可能无法有效执行。

如开头所述，该报告对美国和欧洲建筑部门政策的概述并不是面面俱到。本报告旨在着重论述美国和欧洲在建筑领域运用的一些更具创造性、独特性和 / 或成功的政策方法。目前尚没有一个完美的方案可以解决行业内现存的所有问题。但是，通过向政策领先的地区学习，政策制定者可以更深入认识建筑部门减排现存的挑战，有效地推动建筑部门节能减排目标。

### 3.1 净零碳政策：波士顿

波士顿被广泛认为是美国清洁能源和节能方面的领导者。城市清洁能源记分卡 (City Clean Energy Scorecard) 是美国能源效率经济委员会 (American Council for an Energy Efficient Economy) 发布的美国城市能源政策排名。波士顿每年都在此榜单位列第一。<sup>94</sup> 该市制定的最新《气候行动计划》呼吁波士顿 2050 年在全市范围内实现净零碳排放，而在建筑部门实现净零碳排放是该目标不可或缺的部分。

在过去十年左右的时间里，波士顿已经在全市减排方面取得了重大进步，根据最新现有数据，以 2005 年为基准，至 2017 年波士顿碳排放总量减少了 21.7%。在同一时期，建筑部门（商业、住宅和工业建筑）的碳排放量减少了 26.9%，这主要是得益于电力部门的减排和燃料油被清洁低碳能源所替代。<sup>95</sup> 尽管取得了这些进展，要在 2050 年之前实现全市的净零碳仍需采取更进取的政策行动。波士顿实现净零碳的方法值得进一步关注。首先，严格的技术分析和广泛的利益相关者参与在很大程度上为

该市的零净碳政策提供了信息支持。其次，波士顿的净零碳目标是针对整个行业的，同时着眼于新建建筑和既有建筑。第三，公共建筑作为“先行者”率先采纳了采用净零碳净标准。市政府展现出了卓越的领导才能，向私营部门证明了净零碳政策的可行性。第四，该市采取了综合方

法，制定政策应对建筑物直接和间接的碳排放。最后，该市的建筑政策具有创新性，使该市可以使用创新性和非常规的政策手段（例如绿色建筑土地使用规划）来积极地实现减排目标。

表 1. 波士顿低碳目标及进展

2020 年目标	进展
完成 72,000 次住宅建筑能源审计	通过大型节能计划，波士顿已于 2009 年到 2019 年第二季度期间完成 56,714 次住宅建筑能源审计。目标计划已完成 79%。
完成 36,000 房屋保温节能改造，供热系统更换或其他节能升级	通过大型节能计划，波士顿已于 2009 年到 2019 年第二季度期间完成 27,631 个节能改造项目。目标计划已完成 77%。
在《建筑能耗报告和公示条例》管辖下的所有建筑中，实现 7% 节能	在 2013 到 2017 年期间，该条例中第一梯队的建筑能耗平均减少 7%。
实现 15% 供能来自于热电联产系统	截至 2018 年，波士顿已建造 12.5 万千瓦热电联产系统。
建造 1 万千瓦商用太阳能发电系统	自 2015 开始，波士顿已建造 1.5 万千瓦商用太阳能发电系统。
提高燃油效率	2005 年至 2017 年间，燃油效率提高了 17%。
行车里程在 2005 年基础上减少 5.5%	2005 年至 2017 年间，行车总里程数增加了 14%，但人均行车里程数降低了 14%。

数据来源：波士顿 2019 年气候变化行动更新

## 专栏 2: 净零碳建筑政策 - 波士顿

### 当前政策

- ▶ 所有新建公共建筑必须按照净零碳标准建造
- ▶ 所有政府资助的新建保障房必须按照净零碳标准建造
- ▶ 波士顿复兴信托基金可为公共建筑节能改造提供资金。该基金是通过改造节省的能源成本自筹资金。
- ▶ E + 绿色建筑计划证明了净零碳标准在多户住宅的可行性。
- ▶ 《建筑能耗报告和公示条例》要求大中型建筑物 (> 35,000 平方英尺) 必须每年公示其能源绩效，并每五年进行一次能源审计或改造。
- ▶ 开展劳动力培训 / 发展计划以提高能力促进建筑部门政策的实施。

### 待制定 / 实行的政策

- ▶ 对于大型建筑物，将现有的绿色建筑土地使用规划要求升级为净零碳标准。
- ▶ 制定建筑碳排放绩效标准，要求建筑业主每年报告建筑的碳排放情况并采取措施逐步减少排放。该政策将取代现有的《建筑能耗报告和公示条例》。
- ▶ 将私营部门纳入波士顿复兴信托基金的范畴中
- ▶ 与马萨诸塞州合作，实施符合波士顿气候目标的政策（例如净零碳建筑标准、州内 100% 可再生电力标准、节能改造融资计划推广，例如大型节能计划）。

## 专栏 3: 净零碳建筑政策实行策略 - 波士顿

- ▶ 建立广泛且持续的利益相关者参与流程
- ▶ 确保颁布的政策获得广泛支持
- ▶ 提前公布政策走向，让利益相关者对未来政策适当规划
- ▶ 鼓励建筑租户、业主、经理、开发商和建造方之间进行沟通交流，以实现实际能源绩效与设计能源绩效的匹配
- ▶ 组织有针对性的推广活动，以确保利益相关者了解政策以及如何达标，并交流利益相关者自愿参与计划的好处

- ▶ 为建筑节能改造提供财政激励
  - ▶ 最终致力于颁布强制性建筑标准和规范
- ▶ 培养人才为未来建筑部门转型做人才储备
- ▶ 要求定期汇报能耗情况
  - ▶ 提供有价值的建筑运行数据来指导政策设计
  - ▶ 提供达标验证和性能验证机制
- ▶ 保持各级政府政策的一致性

## 波士顿的净零碳目标

### 专栏 4: 波士顿的净零碳目标

- ▶ 2050 年实现全市范围内的净零碳目标
  - ▶ 以 2005 年为基准，2030 年实现全市范围内碳排放量减少 50%
- ▶ 2050 年实现建筑部门的净零碳目标
  - ▶ 2030 年所有新建建筑实现净零碳

波士顿的总体目标是于 2050 年实现全市所有行业的碳中和。波士顿每五年更新一次《气候行动计划》（最近一次是在 2019 年），着重强调了包括建筑部门在内多个行业的各项节能减排政策重点。该计划还概述了波士顿已设定的中期目标，该中期目标是用于衡量实现 2050 年目标的进度。波士顿的目标是到 2020 年将全市的碳排放量减少 25%（与 2005 年的基准水平相比）。目前该市有望实现这一目标。2030 年的目标则是碳排放量减少 50%。

波士顿来自建筑部门的碳排放占城市碳排放总量的 70% 以上，因此建筑部门的减排至关重要。《气候行动计划》旨在通过三管齐下的方法，到 2050 年实现净零碳建筑：

1. 建筑应在极高能效水平下运行
2. 要求建筑供能电气化
3. 仅向建筑供应清洁电力

这些政策同时适用于新建建筑和既有建筑。该计划要求所有新建建筑最迟在 2030 年达到净零碳标准，并明确提到提早实现这一目标的可能性。波士顿还预计，至 2050 年，至少对 80% 的既有建筑完成节能改造和电气化。<sup>96</sup>

## 净零碳建筑的定义：分层方法

对于城市范围和建筑级别的碳排放计算，波士顿采用的方法中考虑了范围一和范围二相关的碳排放，但并未计入隐含碳排放。<sup>97</sup>

根据《气候行动计划》，波士顿还为净零碳建筑定义了四层识别系统。如表 2 所示，波士顿目前已要求所有新公共建筑必须达到这四个标准之一。该市会分别评估项目，并为每个项目选定可行方案中的最严格标准。<sup>98</sup>

\* 温室气体核算体系是一种标准化的温室气体排放核算方法。该方法把温室气体排放分为三个范围。范围一包括现场“直接”排放的温室气体（例如：用于空间供暖的天然气燃烧产生温室气体排放）。范围二包括来自现场使用外购电力产生的温室气体排放（例如：发电或集中供热系统产生的温室气体排放）。范围三包括其他相关但非直接的活动产生的温室气体排放（例如：用于建造使用的钢材和混凝土生产过程中产生的温室气体排放，也称为隐含碳排放）。

表 2: 波士顿的公共建筑净零碳分层标准<sup>\*\*</sup>

**实地净零碳：**实地净零碳建筑是能效最高的建筑，建筑供能都来自于实地可再生能源发电。一年当中，实地可再生能源的发电量应等于或大于建筑本身消耗的能源总量。

**异地净零碳：**与实地净零碳相比，该层级标准允许通过外购可再生能源电力以实现建筑净零碳目标。此类燃料来源可以通过购买可再生能源信用（Renewable Energy Credits, REC），或参与清洁能源购买协议（Power Purchase Agreement, PPA）来实现。

**净零碳待定：**当建筑达到 100% 可再生能源供电时，净零碳待定建筑物可转变为实地或异地净零碳建筑。

**净零碳可转化：**净零碳可转化建筑由电网供电配备一些实地化石燃料发电（例如热电联产发电），但当有可利用的可再生能源时，该系统即刻可以转换为 100% 可再生能源供电。

\*\* 有关术语的注释：波士顿的《气候行动计划》同时使用了“Zero-net Carbon”和“Net-zero Carbon”。前者的定义与本文采用的相似，而后者通常用于指整个行业或整个城市的碳中和目标。

使用分层标准的主要原因有两个。首先，不同类别的建筑能源需求各异，因此在所有建筑中推行相同的标准不太合理。其次，该分层标准充当了“安全网”的角色，可以鼓励那些对净零碳标准的技术可行性持怀疑态度的利益相关者认同。

## 政策工具

### 新建建筑

波士顿的建筑部门仍然在持续扩张。自 2014 年以来，波士顿每年增加约 4-6 百万平方英尺的新建建筑。<sup>99</sup> 在修建新建筑的热潮下，在所有新建建筑中实现高能效至关重要，以确保 2030 年实现新建建筑净零碳的目标。为了实现这一目标，波士顿已实施了（或制定了）一系列关键的政策工具，以鼓励净零碳新建建筑：

- **净零碳公共建筑要求：**任何新建公共建筑必须满足净零碳分层标准其中的一层标准。新项目经分析后选择可行标准中最严格的一个。尽管在马萨诸塞州建筑节能标准的制定由州级政府把控，波士顿仍然可以采用净零碳标准并在其管辖范围内的公共建筑中推行。为推动该政策，波士顿“以身作则”率先在市政建筑中实行净零碳标准，希望通过公共示范项目向私营部门证明净零碳建筑的可行性、可负担性和收益。此外，这些先行项目可以为净零碳建材市场提供便利，有助于发展本地劳动力，并降低净零碳建筑相关的建材和技术成本。
- 实施分层标准的一个挑战是对于不同类型的建筑，如何可行的情况下，确保执行最严格的标准。这是采用一套灵活的分层标准的原因。不同的层级为更多的能源密集型建筑物（例如医院）提供了一定的灵活性，同时确保其他类型建筑物能达到足够的高能效。这项针对市政建筑的要求是在 2019 年 12 月通过行政命令制定的。因此尚未能证明该标准是否效果显著。
- **净零碳保障房要求：**所有由政府资助建造的新建保障房必须满足净零碳标准的其中一层。这也是另一个“以身作则”类型的政策，保障房建造也要选择最严格的可行等级。该政策面临的特殊挑战是如何确保净零碳建筑能保证一定的成本效益，以避免给建筑开发商带来过度的财务负担。因为波士顿为建造保障房提供了资金，并借此机

会规范其建造标准。提出净零碳保障房的另一部分原因是可以通过该方式将净零碳的效益（优良的空气质量、低能耗、舒适等）带给低收入人群，以增加了政策公平性。实践发现净零碳建筑是可以实现成本效益的。即使不考虑激励措施并将节能带来的经济效益排除在外，建造净零碳小型多户住房产生的额外建造成本（与按照既有建筑标准建造的房屋相比）一般小于 2.5%。<sup>100</sup>

- **E+ 建筑计划：**与上述两个计划相似，E+ 建筑计划是一个示范项目，旨在证明零能耗 / 正能源建筑的可行性和可负担性。目前已有了 14 座新的多户住宅建筑在该计划的支持下建成。每座建筑每年的发电量等于或大于该建筑本身一年中能耗。该计划是波士顿环境部 (Environment Department)、波士顿规划和发展局 (Boston Planning and Development Agency, BPDA) 以及波士顿社区发展部 (Department of Neighborhood Development) 共同发起的一项联合计划。波士顿发布了征求建议书 (Request for Proposal)，向承包商征求意见，以建造节能型建筑并提高建筑能源绩效。
- **净零碳绿色建筑土地使用规划：**波士顿地区任何超过 50,000 平方英尺的新建建筑或增建建筑必须遵守《波士顿土地使用规范》(Boston Zoning Code) 第 80 条中概述的大型建筑审查程序 (Large Building Review)。这些大型建筑也要遵从《波士顿土地使用规范》第 37 条的规定，将项目的负面影响降至最低。第 37 条要求所有此类项目的设计都必须至少达到能源与环境设计先锋认证的能源绩效。在审查过程中，开发商应完成净零碳建筑评估；换句话说，他们必须评估实现净零碳建筑所需的条件。在与波士顿规划与发展局进行土地使用规划谈判之前，开发商必须先完成此项评估。开发人员应充分利用现有的具有成本效益的政策资源来提高建筑能效，包括州级和联邦政府的激励措施和技术援助等。实际上，大多数项目都最终实现了比最低能源绩效标准的更高的能效水平。例如，经过审查后，超过 75% 的大型建筑物获得了能源与环境设计先锋金奖或以上。这表明开发商愿意为提高建筑能效和可持续性而采取更多措施，以推动建筑市场转型。

上述提到的绿色建筑土地使用规划已经到位。当前正在进行的下一步是将最低建筑节能标准提高到净零碳标准。由于波士顿不能自行制定建筑节能标准，波士顿创新性地将其土地使用规划和节能减排措施相关联，以实现其建筑部门的节能减排目标。

\* 上述政策中，除净零碳绿色建筑土地使用规划还在计划，全部政策都在实行阶段。

到目前为止，波士顿一直致力于以身作则。通过前三个政策，波士顿增加了市场需求，促进了市场发展，并向私有开发商证明了净零碳建筑的可行性和价值。

### 既有建筑

对于既有建筑，波士顿还制定了一些政策来鼓励节能改造，以推动既有建筑向净零碳标准靠近。

- **波士顿复兴信托基金：**该计划旨在为波士顿公共建筑节能改造提供资金支持。复兴信托基金完全是自筹资金，因此需要用项目节省的能源开支来支付节能改造费用。能源公司作为政府雇佣的承包商对建筑进行综合能源审计，为能效升级提出建议，并确保能实现预期的节能效果。此类项目目标是进行全面的建筑节能改造，做到兼顾能源使用的各个方面，包括安装照明控件、密封建筑围护结构、更换锅炉以及安装太阳能光伏系统等。该计划的第一阶段（目前正在执行中）已批准了 14 个公共建筑的项目，包括警察局、社区中心和图书馆等建筑的节能改造。预计一些项目可实现高达 56% 节电量。总体而言，通过第一阶段项目，有望将波士顿温室气体排放量降低 1%。<sup>101</sup> 随着时间的推移，该计划有望扩展到更多的公共建筑以及私有建筑。

该计划由环境部、预算办公室和公共设施部 (Public Facilities Department) 管理。节能项目的核查将使用能源之星投资组合管理器提供的数据完成。波士顿也用该管理器执行《建筑能耗报告和公示条例》（请参阅下文）。实施此类计划的主要挑战之一是如何运用必要的专业知识对建筑改造计划进行建模，以及如何保证最大程度的节能。<sup>102</sup>

- **《建筑能耗报告和公示条例》：**该条例要求所有 35,000 平方英尺以上的建筑每年向波士顿政府报告其能源绩效，并将数据向大众公示。此外，

建筑须实现高能效（即获得能源之星认证、能源与环境设计先锋银级认证、净零碳或其他评级系统认证之一）。如果不能达到这一标准，建筑则必须每五年进行一次能源审计或节能改造，以实现能耗、能源使用强度或温室气体排放量至少减少 15%。另一选择是将建筑物的能源之星评分提高 15 分。在波士顿，因电网能源结构变化而实现的减排量并不能计入建筑减排量中。<sup>103</sup> 该条例的目标是增加透明度，并使建筑业主更加了解建筑的能源绩效。强制性报告能源审计结果可以帮助建筑业主正视其建筑潜在的节能效果，更好地了解实现这些节能效果必须要做的确切工作。强制建筑节能改造可以确保最大排放源（大型建筑）的减排，以推动城市减排目标进展。

该计划由环境部管理。建筑业主都使用能源之星投资组合管理器报告建筑能效，从而确保数据都以相同的形式汇报。该计划面临的主要挑战是如何确保能源审计中提出的建议能转化为实际节能减排行动，运用到实际操作中。要应对该问题，公共事业公司和能源服务公司之间的紧密合作不可或缺。一般来说，公共事业公司可以向业主提供财政激励，而能源服务公司可以协助实现能源改造。例如，能源审计员应在审核完成时让建筑业主介绍一些能源改造激励措施。为应对人才供不应求的问题，波士顿赞助了一批培训和教育计划，以确保有足够的专业人士来实施每年必要的 2000-3000 次建筑翻新。另一个挑战是政策执行水平。波士顿通过对该计划地推广和支持工作实现了近 90% 达标率。<sup>104</sup> 此外，非达标者每年每座建筑可能面临最高 3000 美元的罚款。<sup>105</sup> 从 2014 年到 2017 年，首批《建筑能耗报告和公示条例》要求的建筑物平均节省了 7% 的能源。<sup>106</sup>

- **碳排放绩效标准：**波士顿正在筹备设立建筑部门排放绩效标准。该标准要求建筑每年报告其碳排放量，并且随着时间推移排放量阈值将逐步降低。排放绩效标准将代替《建筑能耗报告和公示条例》中对能源报告的要求，进一步推进建筑部门节能减排。

实施这样的标准具有挑战性，必须通过有效的技术分析和完善的利益相关者参与流程来提供信息。波士顿有一个技术咨询小组，由建筑师、工程师、能源服务公司、公共事业公司和承包商组成，为技术分析提供支持。该政策设计的关键是

将建筑合理地归到不同的类型下，设定适当的碳排放指标，并在保证可行性的同时逐步降低可排放阈值。在此过程之后，波士顿计划建立大型的利益相关者工作小组，定期召开会议，讨论该标准对各个社区或部门的影响。

目前波士顿复兴信托基金和《建筑能耗报告和公示条例》已实施，排放绩效标准还在筹备阶段。

## 其他

除了上述政策以外，波士顿还积极与马萨诸塞州政府合作，实施其他政策来支持和推进波士顿的减排目标。马萨诸塞州设有“引领性节能标准”，允许州级以下政府颁布更高的节能标准（波士顿已实施），但该标准的严格程度近年来并未提高。相比之下，基本建筑节能标准在逐步地更新中变得越来越严格，赶上了“引领性节能标准”。目前，波士顿正在推动州级层面将强制性净零碳标准纳入“引领性节能标准”中。此外，要在全市范围内实现减排，就需要全面推行清洁能源发电。目前，马萨诸塞州目标于 2050 年实现全州 80% 清洁能源发电的目标，波士顿将鼓励州政府将该目标提高到 100%。

波士顿政府也认识到了人才储备对建筑部门转型的重要性，因此着手实施了各种人才建设计划。波士顿的几所高中开设了职业技术教育课程，向学生教授建筑行业、设施管理、工程和环境科学等方面的职业技能。该市也创办了建筑操作员认证培训班来教授市政设施管理人员如何最大程度地提高建筑能效。未来，波士顿将进一步发展这些计划，以培养大量训练有素的人才来实施建筑改造，加速净零碳标准推广进程，以实现城市的气候目标。

## 政策策略

### 利益相关者参与

利益相关者的广泛参与一直是波士顿制定建筑节能政策过程中的关键部分。波士顿有几个常设组织，负责将利益相关者召集在一起（图 1）。波士顿绿丝带委员会（Boston Green Ribbon Commission）是其中一员。该委员会由各领域的城市领导人组成，其中包括房地产、高等教育、技术、政府、卫生保健、公共事业和文化机构的

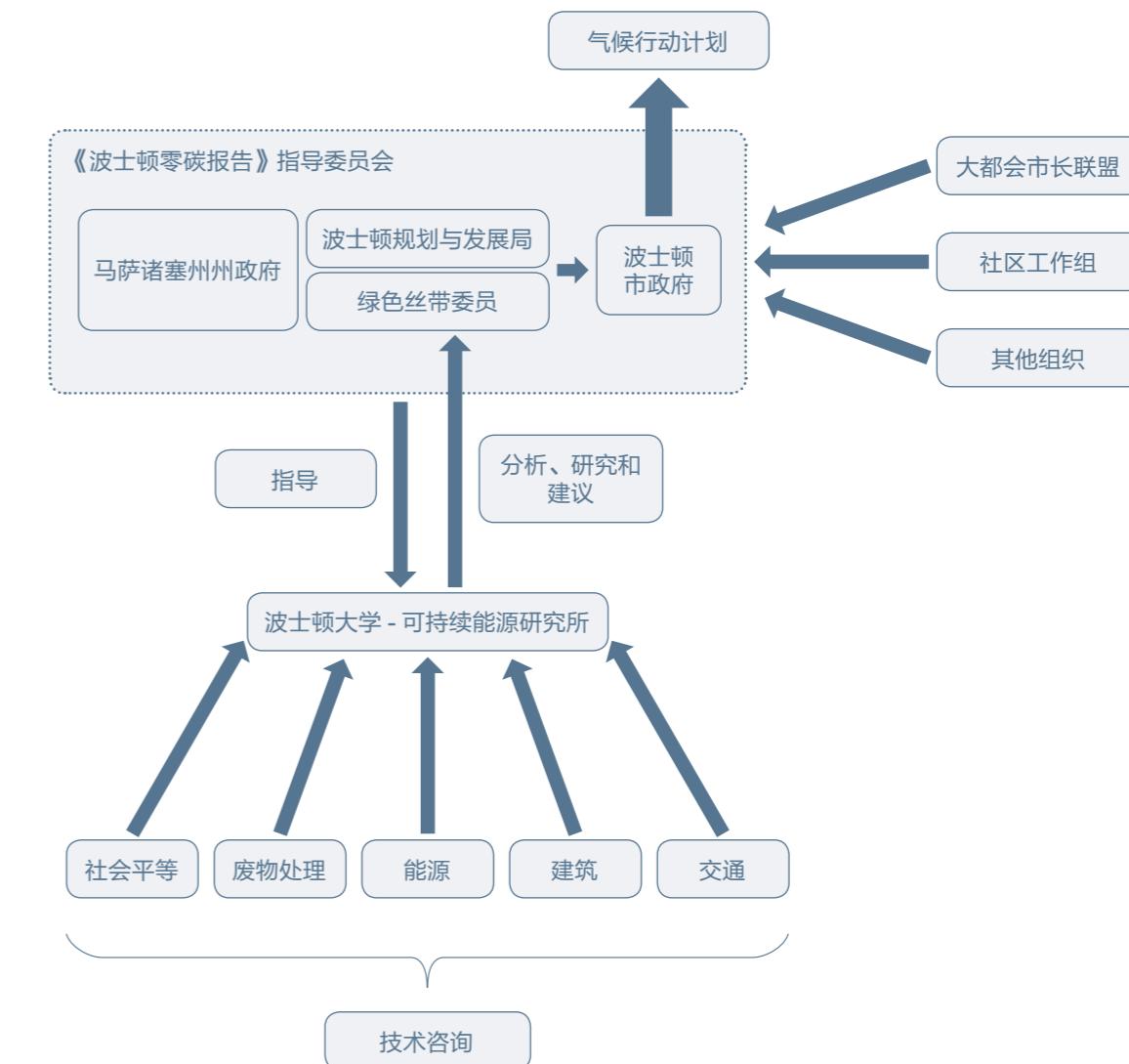
领导人，主要致力于更全面地实现《气候行动计划》目标。另一组织美好的城市（A Better City）还召集了多样化的社区和私营部门领导人，以参与多方面的政策制定，包括环境和能源、交通和基础设施以及土地使用和发展等有关的政策。

同样值得一提的是由绿丝带委员会、波士顿市政府和波士顿大学的可持续能源研究所（Boston University's Institute for Sustainable Energy）共同合作完成的《波士顿零碳报告》。该报告通过独立的技术分析向波士顿提出有关更新《气候行动计划》的建议。波士顿市政府随后采纳了本报告的调查结果，并通过广泛的利益相关方参与设计了既有挑战又可行的政策。在公众参与过程中，众多社区团体提出了意见，确保了政策对低收入和少数民众社区的平等性。

利益相关者都积极参与到了波士顿目前的重点政策中。通过利益相关者的参与，政府可以清楚地了解不同类型建筑的能源需求。医院和实验室通常比办公大楼的能耗大得多。<sup>107</sup> 同一标准在不同类型的建筑执行时的成本效益也会有所差异。因此，波士顿采用了净零碳分层标准，通过增加标准层级来提高实际操作中的灵活性，并为实现总体减排目标提供更具成本效益的路径。通过将净零碳标准应用在保障房建造中，该市让更多低收入居民住进了节能住宅，享受了一系列福利，例如更低的能源开支、优良的空气质量高舒适度。

波士顿实施的政策在大多数相关利益相关者中认同程度较高。在波士顿，公众对气候变化等问题的了解和关注度都很高，并且该地区有影响力极大的环境保护倡导者。在此良好的政策环境下，波士顿将能效和清洁能源列为优先政策领域。除了普通民众，建筑部门的大多数利益相关者也普遍支持波士顿为碳中和所做的努力。对于建筑业主、开发商和运营商来说，即使他们要在严格的政策下最终面临更多的责任或更高的成本，他们通常也愿意就他们面临的特殊挑战进行开诚布公的讨论。例如，保障房的翻新周期是 15 年，因此难以筹集资金做额外翻新。如何在保障房的翻新周期内实现建筑净零碳排放标准变得至关重要，该过程需要利益相关者的积极参与。

图 1. 波士顿广泛的利益相关者参与



## 专栏 5: 波士顿市政府主要部门和组织

波士顿规划与发展局: 波士顿规划与发展局专注于波士顿的经济规划和发展, 负责绿色建筑土地使用规划审查。该局派代表参加了《波士顿零碳报告》指导委员会。

波士顿住房局 (Boston Housing Authority): 波士顿住房局负责保障房开发, 协助制定保障房建造规范。

波士顿环境部: 波士顿环保部负责实施波士顿市长提出的环境保护愿景, 其中包括应对气候变化。该

部负责管理上述几乎所有政策。

波士顿社区发展部: 波士顿社区发展部旨在创造住房机会并管理波士顿的房地产业, 参与保障房和市政建筑能源规范的制定。

其他: 其他相关政府部门包括卫生委员会建筑标准和标准委员会、经济发展部和劳动力发展部等。

## 专栏 6: 其他相关部门、组织和利益相关者

绿丝带委员会: 绿丝带委员会由波士顿各领域的领导人 (政府, 企业, 社区等) 组成, 旨在协助实现波士顿气候行动计划中的目标。绿丝带委员是《波士顿零碳报告》指导委员会的代表之一。作为一个常设组织, 该组织与波士顿政府保持着长期合作关系, 并参与协助政府制定和实施政策。

马萨诸塞州: 波士顿位于马萨诸塞州。波士顿游说该州政府制定州级建筑节能减排政策, 以帮助波士顿实现其气候变化目标。马萨诸塞州派代表参加了《波士顿零碳报告》指导委员会。

大都会市长联盟 (Metropolitan Mayors Coalition): 该联盟是波士顿与 14 个周围城镇组成的。这些城市共同致力于在 2050 年实现净零碳排放目标, 并希望通过更广泛的社区合作执行应对气候变化和气候适应政策。

社区工作组: 社区工作组是专门为制定气候行动计划而召集的利益相关者小组。目前该工作组有超过 70 个组织, 包括环境司法 / 倡导团体、工会、学生协会、开放商、建筑公司、宗教组织、文化机构等等。该小组在制定《气候行动计划》的过程中共举行了四次会议讨论了如何制定关键战略路线图。

波士顿大学 – 可持续能源研究所: 波士顿大学 – 可持续能源研究所所隶属于波士顿大学, 主要通过研

究、政策分析和合作以促进全球可持续能源系统的建立。研究所将其定位为一家知行合一的智库, 其目标是通过科学研究为社会做出贡献。该研究所为《波士顿零碳报告》提供了研究支持。

技术咨询小组: 该小组是专门为《波士顿零碳报告》项目而设立的。该小组由来自多个组织的专家代表组成, 旨在提供建筑、运输、废物处理和能源等方面的专业意见。此外, 该过程中还建立了一个社会公平咨询小组, 目的是为了将社会公平纳入技术分析和政策执行中, 以及评估特定政策建议对社会公平问题的影响。社会公平专家也会参与到技术咨询小组中。

美好的城市: 美好的城市是波士顿的另一个常设利益相关者组织。该组织召集了企业领导者参与, 希望寻求与公共部门的合作。该组织也主动提供技术支持以影响运输 / 基础设施、土地使用 / 开发以及环境 / 能源等领域的政策制定。该组织参加了波士顿气候行动计划工作组, 并与波士顿政府有长期合作。

其他: 其他组织包括波士顿气候行动网络、私有公共事业公司等等。有关更全面的列表, 请参见波士顿的气候行动计划更新。<sup>108</sup>

## 应对挑战

尽管公众对波士顿的减排工作大力支持, 但短期内仍然面临重重挑战。想要说服利益相关者净零碳建筑是可行的, 最大的挑战之一就是高昂的执行成本。通常, 建筑开发人员错误地认为实现净零碳的成本过高。实际上, 建筑技术已经发展到了新的高度, 因此净零碳建筑的建造成本与普通建筑的建造成本几乎相同。由于安装高能效建筑围护结构可以降低建筑的能源需求, 因此建筑只需安装相对功率较小的供热和制冷系统。而节约下来的能源成本可以抵消安装高能效围护结构产生的额外费用。净零碳建筑的交付通常需要很少或不需要额外的成本投入,<sup>109</sup> 对于波士顿常见的小型多户住宅楼尤其如此。现有分析表明, 此类建筑的价格由于采用净零碳标准而产生的溢价仅为 2.5%。<sup>110</sup> 而“以身作则”政策起到的作用至关重要, 可以向开发商证明, 净零碳标准不仅仅可行也是一个经济的选择。

波士顿的大学也是净零碳建筑技术的早期应用者。例如, 波士顿大学计划将校园的计算和数据科学中心建成一座 19 层、超高效能的纯电力供能建筑。该建筑几乎所有的供热和制冷能源均将来自于实地地热能发电, 其余供

## 专栏 7: 区域供暖

波士顿 10% 的建筑 (按面积计算) 由区域能源系统供暖。<sup>112</sup> 除了几所大学和医院安装了几个较小的独立区域供热系统, 波士顿的主要区域供热系统都由 Vicinity 能源公司提供。由于规模经济, 通过化石燃料供能的区域能源系统能效非常高, 而热电联产型能源系统整体能效更高。因此, 与仅服务单一建筑的能源系统相比, 区域供暖系统可更有效地减少温室气体排放。波士顿规划与发展局鼓励建筑开发商通过第 80 条大型项目审查下的“智能实用程序”策略来采纳区域型供热方案。对于超过 150 万平方英尺的建筑, 项目方必须对热电联产系统进行可行性研究。热电联产系统能够在大规模停电的情况下独立运行, 以维持本地供热和发电。

但随着电网的减排, 区域性热电联产系统将逐渐失去其低碳排放的优势。《波士顿零碳报告》的分析表明, 除非区域能源系统能实现零碳燃料供能, 否则来自区域性热电联产系统和电网的碳排放水平将在 2032 年左右实现持平。但《波士顿零碳报告》并未进行对区域供热系统减排更深入分析。毗邻的剑桥市进行了低碳能源供应研究, 该研究分析了实现碳中和能源系统的各种情景。该报告发现, 相较于完全电气化, 通过水动力系统供能 (Water-based District

能来自于与外购太阳能和风力发电, 以此达到净零碳标准。此类创新前沿的项目可以有效地改变行业中对净零碳项目成本的认知。一位开发商起初认为净零碳建筑物成本高昂, 但在参加了这座建筑的展示会后改变了想法。走出会议室, 他正思考着如何将地热能运用到他自己开发的项目中。

基于《波士顿零碳报告》中的分析, 波士顿政府决定在建筑部门推行全面电气化, 为推进净零碳建筑奠定基础。但这个政策决定遭到了天然气公司的反对, 因为推行建筑全面电力供能将颠覆公共天然气公司的商业模式。作为反击, 当地天然气公司对建筑电气化的成本效益提出了质疑; 他们提出可再生天然气 (由有机废物厌氧消化产生的天然气) 或合成天然气 (可再生能源发电系统产生的天然气) 或许会是更经济的选择。尽管《波士顿零碳报告》中提到此类基于天然气的能源系统或许可以在未来帮助波士顿实现净零碳建筑, 但目前这些系统仍不具有成本效益。<sup>111</sup> 而且此类能源系统的大规模运用尚不可行。该报告还提议推行高分辨率空间数据析, 以有效地确定针对单个区域 (例如特定邻域) 的最具成本效益的电气化方案。

Energy System) 的区域能源系统与热能存储相结合的方法, 该市可以更经济地实现其减排目标。如果可以证明生物质能是碳中性的, 那么区域能源系统可以通过该方法实现减排目标。但这些区域能源系统, 包括区域制冷系统, 仅仅在能源需求密度足够高的区域具有经济可行性。

区域能源系统还可以带来其他效益。热电联产系统具有灵活性, 该系统可以在电网供电中断的情况下继续供电。热存储系统可用于存储多余的可再生能源电能, 有助于稳定电网并最大程度地利用可再生能源。相比于蒸汽动力系统, 水动力系统可以更好地利用低温废热流发电 (Low-temperature Waste Heat Streams) (例如工业、水处理、数据中心等)。<sup>113</sup>

《波士顿零碳报告》并没有对波士顿地区现有的区域能源系统减排进行详细的分析。尽管该报告认识到如果不采取深度减排措施, 残留的碳排放将仍存在于波士顿的能源部门。因此, 这将是未来工作的方向。《波士顿零碳报告》将可持续的天然气、固体生物质能和可再生电力产生的氢气作为区域供暖系统减排的备选解决方案。

## 融资和市场转型

政策发展需要激励政策来鼓励新市场行为并建立市场能力，以实现政策目标。对于净零碳政策，财政激励措施非常关键。

大多数城市和州级的财政激励措施都主要面向节能改造项目上。这种趋势主要是由于既有建筑的净零碳节能改造通常比建造符合净零碳标准的新建建筑更加昂贵且融资难度更大。实际上，新建净零碳建筑的成本与按目前建筑标准建造的建筑持平，这主要是因为高能效的建筑仅需要小规模（且更便宜）的供暖和制冷系统，以满足其较低的能源需求。

波士顿复兴基金是一项资助公共建筑节能改造的计划。该基金通过节能改造节省的能源成本自筹资金。在未来，波士顿也希望将该计划扩展到私营部门。由马塞诸塞州发起的“大型节能”计划主要以现金返还的形式向家庭和企业提供激励措施，以资助节能项目。该计划虽有一部分资源用于支持新建建筑，但大部分资源还是分配给既有建筑。此外，上述两个计划都侧重于所谓的“传统”节能升级，其中包括：房屋耐候改造、LED 照明替换、节能电器替换等等。这些方式的共同特点是投资成本相对较低和投资回收期相对较短。但是，专门针对净零碳节能改造的资金仍然十分紧缺，或导致未来碳排放的锁定。要避免这种情况的发生，必须采用更积极的节能改造手段。

造成这一资金缺口的一个原因是，净零碳节能改造的投资回收期通常很长，大约为 20 至 30 年。以建筑围护结构改造为例，这是一项资本密集型的投资，往往需要数十年的节能来收回初始投资。对于“传统”节能改造，大多数私有开发商往往要求更短的投资回报期，约为 5 年或以下。

对该问题，一个可行的解决方案是推行建筑的全面性节能改造。该方案可以利用低资本改造节省下来的资金平衡和缓解资本密集型改造过长的投资回收期。尽管项目前期的资本投入将大大增加，但在项目的整个生命周期内的节能量将大幅度提高。这为较长的投资回收期提供了合理性。<sup>114</sup>但是，这一方法并不能完全消除净零碳节能改造项目投资回收期较长和高前期成本的问题。因此，在现有的融资水平上（例如，联邦资助的计划），必须要筹集更大规模的资金并为净零碳项目寻找新的融资渠道。目前，各城市和州已经尝试了各种创新的融资机制，例如物业评估清洁能源、可持续能源利用、能源和管理服务协议以及绿色银行等。

除了单纯地提供财政激励措施，确保净零碳建筑市场的发展和规模扩大也至关重要。波士顿每年估计要对 2,000 至 3,000 座建筑进行深度节能改造（以达到净零碳标准），才能在 2050 年之前实现其气候目标。而每年 400 至 600 万平方英尺的新建建筑也面临着类似的挑战。因此，为了实现市场转型，不仅要保证价格合理和先进建筑材料的大规模供应，还需要大量训练有素的设计和施工人员支持。波士顿的“以身作则”政策通过创造需求来刺激这些市场发展。另一方面，波士顿还通过公立学校的培训计划以及职业技术教育计划来优先培养所需的专业人员。

波士顿的《建筑能耗报告和公示条例》也为市场转型奠定了基础。该法令要求大型商业建筑每五年进行一次节能改造或能源审计，并每年进行一次能源绩效报告。该过程提供了大量关于建筑能源绩效的数据，帮助各级的利益相关者了解建筑的能耗情况以及提高能效的方法。尽管这些规定仅适用于一些建筑，而且建筑业主可以选择能源审计而不采取节能改造行动，但是通过加深对建筑能耗的了解，建筑业主将更有意向对建筑进行节能改造。

波士顿希望能尽快实施建筑碳排绩效标准，以更新《建筑能耗报告和公示条例》。新的标准将替代每五年进行节能改造的要求，制定新规定要求建筑降低其碳排放足迹（以及每年报告碳排放量）。其目的是逐步提高建筑节能标准，以确保建筑利益相关者采取必要的措施来逐步减少碳排放。

## 执行和审核

尽管净零碳建筑的设计过程相对直接，但要确保建筑的建造和运行符合其设计的净零碳标准初衷是一个更大的挑战。这对于波士顿来说，亦是如此。该市正试图建立必要的框架来应对该挑战。波士顿希望未来能够说服州政府执行净零碳相关的引领性节能标准（建筑节能标准委员会在这些工作中发挥着重要作用）。目前，波士顿仍然将土地使用规划政策作为建立净零碳框架的最佳政策工具。

在马萨诸塞州，建筑节能标准由地方政府执行。而在波士顿负责该事务的是建筑部门下属的检验服务处。马萨诸塞州建筑节能标准委员会要求所有建筑部门的官员都必须接受能效方面的培训。该州的“大型节能”计划发起了一项节能标准技术支持倡议 (Energy Code Technical Support Initiative)。该倡议由州建筑节能标准委员会 (Board of Building Regulation and Standards) 和能源资源部 (Department of Energy Resources) 共同资

助，旨在确保利益相关者遵守建筑节能标准和其引领性标准。马塞诸塞州内的建筑官员可以免费参与这些培训项目，公众在付费后也可加入。因此，其他建筑利益相关者（建筑商、建筑师、承包商等）有机会参加其中。<sup>115</sup>2014 年的一项研究显示全州范围内的总体达标率估计在 85-95% 之间。<sup>116</sup>据估计，该州发起的标准达标倡议 (Code Compliance Support Initiative) 将达标率提高了近 5-6%。<sup>117</sup>

有证据表明，即使按照当前的建筑节能标准，大多建筑的实际能源绩效也往往会低于其最初设计的目标。但是，这很难追究究竟是开发商、建筑商、业主还是租户的责任。或许所有参与者都应承担一定的责任。通过实施《建筑能耗报告和公示条例》，波士顿通过广泛的数据公开促进了不同利益相关者之间就建筑能耗的沟通。在未来，通过将《建筑能耗报告和公示条例》升级为碳排放绩效标准，波士顿希望鼓励利益相关者之间进一步的交流，以寻求实现所需的减排目标并提高对建筑节能标准达标的办法。例如，波士顿鼓励建筑业主与其租户签署绿色租赁 (Green Leases)，以帮助解决激励错配的问题，激励建筑业主进行净零碳改造。

波士顿颁布了一系列惩罚措施（例如，对未能报告能源绩效数据的建筑，每座建筑每年收取最高罚款 3000 美元），并开展了推广工作，以协助《建筑能耗报告和公示条例》的执行。由自然资源保护协会 (National Resources Defense Council) 和市场转型研究所 (Institute for Market Transformation) 联合发起的城市能源项目 (City Energy Project) 将支持现场工作人员最初的推广和实施工作。环境部在其网站上发布了大量培训材料，包括标准清单、指南和教学视频等。

《建筑能耗报告和公示条例》本身也为波士顿其他建筑节能标准提供了执行机制。市政建筑必须报告其能耗情况（然后由市政府公布）。这让市政府能够履行其职责，即按照净零碳标准设计和运行市政建筑。《建筑能耗报告和公示条例》（未来的碳排放绩效标准）同时也是一种政策工具，以确保经过第 37 条“绿色建筑土地使用规划”审查的建筑能达到其预期能源绩效水平。波士顿仍在探寻不同的节能标准作为执行机制，以及如何制定违规后果（惩罚）。目前，波士顿的土地使用规划工作在项目批准后结束。

目前，波士顿规划与发展局针对大型项目开发的核准设有两个层级。两者中较大的层级（适用于 50,000 平方

英尺以上的开发项目）要求建筑物达到能源与环境设计先锋认证（不需要获得第三方认证）。虽然城市政府当局无法修改建筑节能标准，但《波士顿土地使用规范》第 80 条允许对大型开发项目进行全面的审查，这给予当地政府权限能够审查项目，以避免对环境造成不利影响。通过这种方式，城市或地方可以朝着其制定的气候目标努力，而不必等州级政府更新引领性节能标准。该标准的目标是最终将大型建筑物的划区标准提升为净零碳标准。

值得一提的是，尽管土地使用规划将能源与环境设计先锋认证定为大型建筑的最低能源绩效标准，但几乎所有大型项目最终都实现了更高的能效标准。这得益于这些项目的核准过程不仅仅是按章核查，核准人员与利益相关者之间持续且积极的沟通至关重要。波士顿规划与发展局可以强调减排的重要性，指出节能建筑的经济价值，以鼓励项目开发商实现更高的能源绩效标准。在大多数情况下，开发商都最终采纳了高于基本能效要求的建造标准。

## 未来政策导向

波士顿目前的主要政策重点是推行碳排放绩效标准，并将绿色建筑土地使用规划升级为净零碳标准。目前，政府正在对这两项政策进行全面的评估。在过程中，政府将向技术咨询小组征求意见，并且利益相关者工作小组也将就潜在的政策影响进行讨论。在公众听证会之前，该程序可以提高政策的可行性和有效性，并且获得利益相关者的广泛支持。目前，波士顿正在研究另一种可行的政策工具，碳链接费。链接费旨在将商业发展与其对社区的影响“链接”起来。波士顿已经评估了两种链接费，将分别用于支持城市的住房和就业计划。这两项碳链接费的评估将与商业开发建筑的面积成正比，收入将被波士顿政府用于资助保障房和职业培训计划。碳链接费的评估也可基于建筑项目的碳排放绩效，而收入用于资助社区的可再生能源的开发、气候适应和抗御措施、或保障房的节能改造。这个想法仍处于初期阶段，波士顿正在试验以确定该政策工具是否合适。这个例子再次说明波士顿在实现其气候目标的创新性和决心，尽管波士顿不能直接修改建筑节能标准。在划区要求中，另一个优先重点则是要求所有开发项目都安装实地太阳能光伏发电系统，或者至少要设计成“光伏就绪”或经过优化后可安装实地太阳能光伏发电设备的建筑。

波士顿可以采取的另一种方法是设定能源绩效考核的门槛。例如，E+ 计划表明 4-5 层的多户住宅相对较容易实现减排，并且基本不会产生的额外费用。因此，可以

在这一类的建筑上先行实施更严格的能源绩效标准，而大型的建筑项目则至少在开始阶段实施相对宽松的能源绩效标准。最终的目标是建立一个审查流程，以确保新建建筑实现节能、全面电气化，并可以最大程度地利用实地可再生能源。

此外，波士顿将继续与州级政府合作，拓展现有的净零碳引领性标准，并提高该州可再生能源配额制的目标。当然，与更新建筑节能标准相比，设立一套法律体系来解决方法（例如绿色建筑土地使用规划）更加复杂。波士顿也意识到立即采取行动的重要性 - 因此，当地政府利用了已经掌握的政策工具采取积极行动。

## 现存的挑战

波士顿目前尚未完全解决的最关键的政策障碍是项目融资。其中节能改造项目尤其如此。尽管融资机会很多，但挑战依然存在。通过节能省下的能源开支进行融资虽然是可行的，但并非所有投资者都能接受这种方式，尤其是对于投资回收期较长的项目（如将净零碳的节能改造项目）。投资者希望能有更多实际案例证明类似的项目（尤其是本地项目）能产生稳定的回报，但此类案例尚不多。波士顿的“示例性”政策对市政建筑的节能改造很有帮助，但这些政策通常与大型商业建筑的建筑类型不同，因此不能直接应用于其他领域。

从现在到 2050 年，还有三十多年可以进行既有建筑的节能改造。这意味着，所有既有建筑可能只有一次机会进行全面的节能改造。如果处理不正确，波士顿将无法实现其气候目标。尽管波士顿将人才储备发展放在首位，但并不能保证能够培养出大量训练有素的人才来施行节能改造工作。此外，波士顿会努力向私营部门市场释放未来的长期政策要求和目标。例如，碳排放绩效标准发布后将逐步提高标准，意味着建筑的允许碳排放密度将降低。因此，建筑业主可以预测未来的政策走向，并根据相应的情况做出最佳决策，以决定何时以及如何进行全面性建筑节能改造，是一次性还是分阶段改造。政策实施上的灵活性（例如，允许通过外购可再生能源达到临时达标）促使建筑开发商能够制定符合成本效益的决策，以满足长期碳排放目标。

此外，并不是所有的净零碳项目（尤其是节能改造项目）都具有成本效益。即使有些项目通过有效的融资手段释放了未来节省的能源开支来支付当前的成本投入，也不一定能实现项目的收支平衡。而为了支持这些项目，政府

应增大公共投资的规模，仅仅靠波士顿政府提供的资金是远远不够的，因此州级或联邦政府的协助支持是必要的。但目前这似乎并不是联邦政府的政策重点。鉴于应对新冠肺炎行动带来的预算压力，州级政府一层的资金支持也很难保证。这意味着在可预见的节能项目融资困难仍可能是一项挑战。

一些技术经济壁垒仍然存在。例如，由于天然气的成本较低，说服建筑业主对建筑实行电气化将变得更加困难。而且在某些能源密集型应用中（如大型住宅建筑中的热水供应）还未发现较合适的电气化途径。

## 政策建议

波士顿一直是美国能源和气候政策的领军者，尤其是建筑部门的节能减排。通过波士顿的政策研究，本报告希望可以分享波士顿在建筑政策方面成功的经验。下面总结了一些关键要点。

**利益相关者的参与：**政府应尽早让利益相关者参与到政策制定工作中，尽量涵盖所有的利益相关者，并将其作为一项长期的工作。尽早与利益相关者合作可确保决策者从一开始就了解政策目标和障碍。收集所有相关利益相关者（特别是弱势群体，如穷人、少数民族、老年人等）的意见有助于让政策受众对政策有所预期，并且保证政策的公平性。通过持续的利益相关者参与工作（而不是一次完成），政府可以最大化达标水平。

**强制性计划优于自愿性计划：**在实现雄心勃勃的气候目标时，通常强制性计划比自愿性计划更有成效。不过，有效执行是一切的前提。因此，扶持性政策至关重要，例如人才发展（例如培训计划）、市场转型（例如公共建筑领导力等促进需求增长的计划）或财政激励措施 / 援助（以减轻前期资本投入的负担）。

**利用能源 / 碳排放绩效标准：**这项标准可以带来多个益处。首先，可以收集大量的建筑能源数据用于指导未来的政策设计。其次，这项标准可以协助强制性政策的实行，因为该标准可以很好的反映建筑是否达到了必要的绩效水平。

**运用可靠的分析为政策制定提供依据：**波士顿的新政策工作源于严格的分析。此类分析至关重要，因为它使政府了解实现减排目标的最经济和可行的长期途径。例如，波士顿发现“传统”节能措施虽

然有价值，但其有效性有限。相比之下，建筑的全面性节能改造，尤其是电气化改造是非常有必要的。这从根本上改变了政府提高能效的方式，并在很大程度上影响了其政策选择。波士顿转而采用碳排放绩效标准（而不是能源绩效标准）就是一个例子。这样的标准从本质上鼓励了建筑电气化。尽管能源绩效标准能提供激励，实现同等的边际节能改造（例如，更高效的天然气锅炉），但非全面性节能改造也许会导致未来的排放锁定。

**保持各级政府政策的一致性：**尽管波士顿在建筑政策方面显示出了卓越的领导力，但可以做的事情仍然有局限性。例如，该市没有权限修订建筑节能标准。因此，波士顿一直在寻求更有创造性的方式来解决此问题，但更为直接、简单和有效的解决方案还是马塞诸塞州政府提高本州建筑节能标准的严格性。该州可以制定公共事业公司的可再生能源配额制，这将使波士顿等城市更容易实现净零碳目标。而且开展的工作中应该适当地调整激励措施以协同实际行动。如果州 / 联邦政府不颁布针对性的激励措施，波士顿鼓励净零碳改造要困难得多。

这些经验可以帮助其他城市了解实现建筑部门净零碳目标的方法。尽管每个城市、州和国家 / 地区都不相同，且面临着一系列独特的挑战，但波士顿领导力表明只要有创新性和决心就可以实现雄心勃勃的气候目标。利益相关者的广泛参与和以数据为驱动的方法，保证了精心设计、切实可行的政策。从整个部门的角度来实现气候目标可以提高灵活性和成本效益。最后，政府作为“先行者”至关重要。通过这种方式可以向私营部门证明了净零碳建筑的可行性、可负担性和财务价值。

## 专栏 8：净零碳建筑政策 - 加州

- ▶ 建筑节能标准
- ▶ 建筑能源对标计划
- ▶ 公共建筑净零能耗规定
- ▶ 低碳建筑发展倡议和清洁供暖技术和设备计划：建筑电气化计划
- ▶ 加州先进家居计划 (California Advanced Home Program) (针对新住宅建筑)

## 3.2 净零碳政策：加州

加州是美国人口第一大州<sup>118</sup>，也是第一大经济体<sup>119</sup>。加州作为气候和能效政策的领军者，长期以来一直推动美国减排目标的制定。自 2005 年以来，加州就制定了州级温室气体排放目标，希望在 2050 年减排 80%（以 1990 年为基准）。<sup>120</sup> 该州目前在减排方面已经初具成效；至 2017 年，温室气体排放量比 2005 年减少了 13%（或比 1990 年减少约 1.6%）。<sup>121</sup>

关于加州的案例研究非常有启发性，其原因有很多。首先，加州面积较大，包含多个气候区域。第二，加州地方政策格局多样化且颇为进取，为州级政策制定者提供了与地方政策互动和促进的机会。第三，加州将建筑节能标准的执行列为首要任务和能源转型的重要工具。第四，加州着眼于可再生电力和电气化，并把建筑行业列为全面减排的重要组成部分。

加州建筑行业的目标和政策已经过了一系列调整，以适应不断变化的市场环境。在 2008 年，加州修订了《建筑能效标准》(Building Energy Efficiency Standards) 第 6 部分第 24 章，将 2020 年所有新住宅建筑实现净零碳的目标纳入其中。<sup>122</sup> 但是最新的标准中并未明确纳入净零碳标准，而是要求所有建筑采用更严格的能效标准，并且要求配备屋顶太阳能发电系统。通过研究加州建筑部门目标和政策的推进和演变，可以更好地了解建筑行业减排的障碍，尤其是住宅部门，并认识到不断调整政策应对不同市场障碍的重要性。

## 专栏 9：净零碳建筑政策实行策略 - 加州

- ▶ 将节能标准和建筑节能标准作为能源转型的工具
- ▶ 利用现有的利益相关者参与机制
- ▶ 强制性政策优于自愿性政策
- ▶ 同时着眼于政策设计和执行
  - ▶ 无法有效执行的政策效果甚微
  - ▶ 通过推广和培训进行能力建设
  - ▶ 要求对重点建筑进行实地巡查和测试
- ▶ 善用政府和其他相关组织的资源
  - ▶ 利用公共事业公司、当地政府和其他相关组织提供的专业知识、数据和信息来改善政策设计和达标机制
- ▶ 扫清阻碍，为地方政府采取更雄心勃勃的政策创造良好的条件
- ▶ 将建筑部门纳入整体经济减排的全局规划中
  - ▶ 将建筑节能政策纳入全面的减排规划中
  - ▶ 创收计划（例如碳定价机制，罚款）可用于资助试点项目，以进一步推进减排目标
- ▶ 建立激励措施促进目标执行
  - ▶ 提供财政激励以鼓励建筑部门减排
  - ▶ 消除影响建筑减排的政策阻力

## 加州的净零碳目标

### 专栏 10：加州的净零碳目标

- ▶ 2045 年实现全州净零碳目标
- ▶ 以 1990 年为基准，2030 年温室气体排放减少 40%；2045 年温室气体排放减少 80%
- ▶ 2030 实现 60% 清洁能源发电；2045 年实现 100% 清洁能源发电
- ▶ 所有公共建筑必须达到净零碳标准
- ▶ 2025 年前对至少 50% 的现有公共建筑完成节能改造

加州一直有设立气候目标的历史。自 2005 年以来，加州已通过行政命令确立了减排目标，即 2050 年之前将温室气体排放量减少 80%（以 1990 年为基准）。<sup>123</sup> 2006 年，立法机关通过了 32 号参议院法案 (Senate Bill 32, SB-32)。该法案写入了加州的长期气候目标，并增设了中期目标，即 2030 年温室气体排放减少 40%。<sup>124</sup> 此外，该州还于 2015 年也通过了 350 号参议院法案 (Senate Bill 350, SB-350)，确立了 2030 年可再生能源采购达到 50% 以及 2030 年通过节能措施实现节能量翻倍的目标。<sup>125</sup> 2018 年加州通过了 100 号参议院法案 (Senate Bill 100, SB-100)，要求加州在 2045 年实现 100% 零碳供电，并将之前的 2030 年目标提高到 60% 零碳供电。<sup>126</sup> 2018 通过的另一项行政命令 (EO B-55-18) 呼吁 2045 年在全州范围内实现碳中和。<sup>127</sup> 这两个法案的通过预示着加州在节能减排方面进一步的发展。

加州主要是通过立法行动来执行其能源和气候目标。尽管美国各地的很多州长都通过行政命令设立了类似的减排或可再生能源采购目标，但只有少数州将这些目标写入法律。如果政府更迭，当局可以单方面撤销行政命令，但却不能轻易修改法律。因此，相比颁布行政命令，立法可以提高政策的执行力，并向市场传递更连贯一致、可预测的政策信号。

针对建筑行业，加州众议院颁布了 3232 号法案 (Assembly Bill 3232, AB 3232) 要求加州能源委员会分析 2030 年建筑行业减排 40% 的可行性。但这一目标尚未强制执行。<sup>128</sup> 目前已确立的目标包括：2017 年之后所有新建公共建筑必须按照净零能耗标准建造；2025 年前所有州级机构的建筑都必须进行节能改造，以实现每个机构名下至少 50% 建筑面积符合净零能耗标准。<sup>129</sup>

最初，加州能源委员会的目标是将净零能耗的规定纳入《建筑能效标准》（住宅建筑和商业建筑分别目标于 2020 年和 2030 实现净零能耗）。<sup>130</sup> 但是，最近一次的三年标准更新中将针对住宅建筑的目标移除了。该生效于 2020 年 1 月 1 日的最新标准要求所有新住宅建筑安装屋顶太阳能发电系统，并实现高能源绩效。虽然更新后的标准没有对建筑做严格的净零碳要求，但该标准仍然有进步。通过增加政策的确定性，该标准可以鼓励创新。同时，安装屋顶太阳能发电系统（规定性标准）要求比净零能耗要求（性能化标准）更易于实施，也为将来推行净零能耗标准奠定了基础。

建筑脱碳联盟 (Building Decarbonization Coalition)（从事研究和政策的建筑行业利益相关者团体）建议加

州政府在未来继续着眼于净零能耗目标，并在 2025 年和 2028 年之前将净零能耗要求分别纳入住宅和商业建筑标准中。目前州政府还尚未采纳这些目标。<sup>131</sup>

## 定义净零碳建筑

加州总务部对净零能耗建筑、园区、投资组合或社区定义如下：

“满足实地可再生能源发电量等于或大于能源消耗的高能效建筑 / 园区 / 投资组合 / 社区”<sup>132</sup>

一般来说，该定义中不涵盖隐含碳排放，仅包括与建筑运行直接相关的碳排放。考虑到不同类型的建筑对能源的需求各异，这种定义方式提供了更灵活的达标路径。例如，通常医院大楼的能源消耗大约是普通办公大楼的四倍。<sup>133</sup> 为了应对建筑之间能源需求的差异，加州将净零能耗定义中的空间边界范围扩大（尽管值得注意的是，定义仍然仅限实地发电）。与研究表明的一致，扩大净零能耗定义的范围可以促进目标更好地实现。<sup>134</sup>

## 政策工具

### 新建建筑

根据加州 2045 年建筑存量的预估，目前仍然有 1/3 建筑尚未建造。<sup>135</sup> 相较于既有建筑的减排，新建建筑的减排相对容易。因此，大量待建的新建建筑为加州建筑部门减排带来了绝佳的机会。而确保新建建筑实现较高的能效则至关重要。加州虽尚未明确制定针对建筑行业的减排目标，但已确立更进取的目标，即 2045 年实现全经济范围的碳中和。而减少新建建筑的碳排放是其中最重要的一环。以下政策是加州决策者为新建建筑减排所采取的一些最重要步骤。

- **净零能耗公共建筑：**加州政府规定：自 2017 年起，所有新建公共建筑物必须按照上述的净零能耗标准建造。<sup>136</sup> 通过公共示范项目，加州政府希望能促进净零能耗建筑市场的发展。根据新建建筑协会 (New Building Institute) 的统计，已有 31 座公共建筑获得净零能耗认证，有 129 座公共建筑被列为净零能耗“待定”。这里“待定”指的是尚未建成的建筑或由于运行时间少于一年无法验证能源绩效的建筑。<sup>137</sup>（值得注意的是，新建建筑协会的定义允许外购可再生能源发电，

而加州则仅限于实地可再生能源发电）。

- **建筑节能标准：**可以说，加州积极的建筑节能标准是帮助加州建筑部门减排最有效的政策工具。该建筑节能标准由加州能源委员会制定，其第 24 条第 6 部分概述了建筑节能标准。加州的建筑节能标准是美国最严格的标准之一。根据 2016 年的数据，该标准比国家标准严格 29%。<sup>138</sup> 而在加州 2019 年更新的标准（于 2020 年 1 月 1 日生效）中，加州成为了美国第一个法律要求所有新住宅建筑安装太阳能发电系统的州。加州 2020 年所有新建建筑实现净零能耗的目标推动了该政策的制定。但目前太阳发电系统的体量尚不足以支持整个加州实现净零能耗目标。其中主要原因是加州能源委员会无法推行任何对消费者来说不具有成本效益的标准。虽然屋顶太阳能发电系统可以通过为用户节省未来的能源开支而实现一定的成本效益，但如果要求屋顶太阳能发电系统来支持全部年度能源消耗则对消费者来说并不经济。目前，虽然天然气运输网还没有被完全禁止，但更新的标准中第 24 条对新天然气管道接入加以限制。新用户仅能通过主管道连入，而不允许管道扩展。<sup>139</sup>

- **加州绿色建筑标准 (California Green Building Standards Code)：**加州建筑节能标准的第 24 条第 11 部分还建立了一套建筑减排的标准，分别针对住宅和非住宅建筑。该标准并未规范建筑的能源绩效，而是为鼓励更广泛的减排设立了一系列措施。其中一些措施包括：每座建筑必须设置一定数量的自行车停放处和电动车充电桩；设置用水最大流量限制水龙头和马桶的用水量；强制性安装水循环利用系统；限制建筑油漆和涂料中的挥发性有机化合物含量和使用。加州也采取了一些措施限制建筑整个生命周期的碳排放，其中包括：施工必须进行调试；至少对 65% 的建筑废料进行回收利用；禁止使用高温室效应的制冷剂。同时，加州还推出了更雄心勃勃的自愿性措施，地方市政可以选择性地强制执行。<sup>140</sup> 考虑到建筑运行中的隐含碳排放，加州采取了上述措施来减少建筑运行间接或整个生命周期产生的碳排放。
- **低碳建筑发展倡议：**加州立法机构于 2018 年通过了 1477 议会法案 (Assembly Bill 1477) 并在四年内拨款 2 亿美元用于两个零碳建筑试点

计划。其中一个试点计划是针对新住宅建筑的，被称为低碳建筑发展倡议。<sup>141</sup> 该倡议提供了直接激励，以鼓励新建建筑实现全面电气化（而依赖于天然气供能的新建建筑将无资格获得资助）。<sup>142</sup> 1477 议会法案也指出尽管在新建建筑中实施大幅度减排是经济可行的，但目前建筑行业对近零碳标准的推广远远不够。这为建立低碳建筑发展倡议提供了契机。<sup>143</sup> 该倡议的实际影响目前尚不明确。低碳建筑发展倡议的资金来源是向加州天然气公司在碳交易市场中出售碳排放额度所得的收入。

## 既有建筑

既有建筑是建筑行业减排至关重要的一部分。面对既有建筑节能改造存在的多重挑战，加州采取了一系列具有创新性的政策措施。其中包括：

- **建筑能源基准化计划**：加州的建筑能源基准化计划要求所有面积 50,000 平方英尺以上的建筑每年通过能源之星投资组合管理器向加州能源委员会报告其能耗强度，并将该信息向公众公开。<sup>144</sup> 此外，所有公共建筑无论面积大小都必须报告其能耗强度。<sup>145</sup> 违反规定的建筑业主，将被处以每天 500- 3000 美元的罚款（从收到违规通知 30 天后开始执行）<sup>146</sup>。加州通过其他在线资源（如常见问题解答、培训视频和达标清单）进一步提高达标率。<sup>147</sup>
- **清洁供暖技术和设备计划**：该计划是 1477 号议会法案授权的第二个试点计划，主要是为了促进既有建筑物低碳空间采暖和水供热设备市场的开发和发展，尤其是市场发展早期阶段的一些减排技术。该计划将提供消费者教育、承包商 / 供应商培训以及针对行业上游 / 中游参与者的激励措施。同时，该计划还将设立评估指标，制定推广策略以针对难以覆盖的客户群体，并提供工作培训和就业机会。<sup>1477</sup> 号议会法案中指出清洁供暖技术在市场上并不普及，这为启动清洁供暖技术和设备计划提供了源动力。<sup>148</sup> 考虑到政策的设定应随着不同的细分市场和技术发展阶段而灵活变化，该计划将其工作重点放在了行业上游，而不是直接对下游参与者提供激励。此外，该计划非常注重行业人才的培养，以满足此类技术推广过程中对优秀销售、安装和维护人员的需求。该计划的资金来源同样是向加州天然气公司在碳交易市场中出售碳排放额度所得的收入。
- **碳排放限额与交易**：加州 32 号众议院法案授权加州空气与资源委员会 (California Air and Resources Board, CARB) 采纳“市场化的达标机制 (Market-based Compliance Mechanism)”以实现该州的温室气体排放目标。正是该法案促使加州碳排放限额与交易机制应运而生。<sup>149</sup> 该计划覆盖了加州近 85% 的温室气体排放源，包括了大型发电机组、工业设施以及运输燃料和天然气的分销商等等。<sup>150</sup> 碳排放限额与交易机制可以激励电力行业减排并减少建筑中天然气的使用，因此对建筑行业节能减排具有重要意义。另一方面，向天然气公司出售碳排放额度所产生的收入为上述的低碳建筑发展倡议和清洁供暖技术和设备计划提供了资金支持。<sup>151</sup>
- **可再生能源配额制**：加州要求电力市场中的所有负荷服务实体 (Load-serving Entities)，包括电力公司、电力服务供应商和社区供电集成选择商 (Community Choice Aggregators) 必须保证购进一定比例的可再生能源电力。加州能源委员对符合条件可再生能源设施进行认证。加州的目标是将可再生能源电力的比例逐步提高，即 2021 年达到 33%，2025 年达到 44%，2028 年达到 52%，2031 年达到 60%。<sup>152</sup>
- **分时电价**：该机制对所有工业、农业和商业用户实行分时段收取不同的电价。电价在高峰需求时段内最高，在低谷需求时段内最低。该机制是为了激励电力用户合理用电，实现移峰填谷，优化可再生能源的使用。这样一来可以增加了可再生能源的总体使用量，并在高峰需求期间减少对化石燃料能源的需求。住宅区用户也可以自愿选择参与其中，以减少能源开支。加州能源委员会制定了该定价机制，而加州公共事业委员会对电价的设定程序进行批准。

## 其他

还有一些政策设计初衷并不针对建筑部门，但这些政策对建筑部门的节能减排尤为重要。加州正是采取了这种强有力、多维度的减排政策方法。该州建立了全世界最大规模之一的碳定价机制，同时也努力采取行动为实现电力系统的减排。将这些政策和建筑行业能源政策一并施行将有效实现建筑行业的节能减排。

## 与地方政策互补协作

加州建筑能源政策格局最显著的特征体现在州级政策与地方政策之间的互补与协作。加州政府在全州范围内一直实行着较严苛的建筑能源政策。在这个基础上，加州很多地方政府仍然选择设立更加严苛的建筑能源绩效或碳排放要求。与美国其他州不同，加州允许地方政府在州级标准的基础上自主制定地方建筑节能标准。

加州至少有 21 个城市或郡政府通过了比州政府更严格的节能标准。<sup>153</sup> 其中 13 个地区采纳了更高的屋顶太阳能供电系统安装标准。16 个地区增设了额外的能效规定，例如超额实现能源绩效标准或安装特定的节能设施，如冷屋顶技术 (Cool Roofs)。三个地区要求新建建筑可随时配备电动汽车基础设施。最值得一提的是，在 20 个城市在新建建筑中全面禁止接入天然气管道，并要求建筑实现 100% 电气化。而这一点目前在州级标准中尚未做要求。加州能源委员虽然并未在各地推行或鼓励更严格的建筑节能标准（当然这也不在该委员会的职权范围内），但确实协助了很多城市或郡采取更雄心勃勃的政策。当前加州能源委员会尚不能通过评估温室气体排放来监管建筑能源标准的实行，但一些城市已经寻求一些变通之法来控制温室气体排放。加州能源委员会与这些城市合作以确保这些措施具有成本效益。

虽然如此，但地方政府在制定政策时并不是闭门造车。许多组织一起合力在加州各地开展工作以推动地方建筑节能标准发展。私有公共事业公司会对当地政府有意向的政策开展研究，以分析潜在建筑节能标准的成本效益。任何地方节能标准也必须满足成本效益。不过“成本效益”的定义取决于当地司法辖区。因此当地政府在制定地方节能标准时，仍然有一定的自主性。大型非政府组织，例如自然资源保护协会、山岳协会等，都会参与当地立法的公开听证会，以支持和影响当地政策制定。处于类似气候和 / 或具有类型建筑的城市地区会一起协作，并共享政策制定和实践的经验。

加州有三个区域能源网络可以为地方政府政策制定提供资源。地方政府通过密切合作形成了湾区 (BayREN)、南加州 (SoCalREN) 和三郡地区 (Tri-County Area REN) 的能源网络，以支持地方性节能计划。节能计划的形式多样，包括融资工具应用（返现、清洁能源房产评估融资、贷款计划）、节能标准制定、达标信息推广、培训和教育计划，还有面向公共部门的能效项目交付援助（审计、财务支持、技术援助）。同时，区域

能源网络还制定了模板以帮助各个辖区制定和实行地方节能标准。区域能源网络的优势在于可以让城市 / 郡获得更广泛的资源和支持，同时带来个体公共事业公司无法实现的灵活性和可定制性。区域能源网络可以与当前公共事业公司的服务互补，例如提供公共事业公司无法提供或尚未覆盖的服务，在难以覆盖的地区试点有潜力大规模推广的现有服务。<sup>154</sup> 同时，区域能源网络还为利益相关者提供一个交流平台。例如，湾区区域能源网络会举办季度论坛，以促进各级能源政策实践经验的分享。<sup>155</sup>

除了地方节能标准，城市还可以采取其他措施来推行更进取的建筑节能标准。加州有六个城市（其中包括四个人口最多的城市）对加州的建筑能源基准化计划有豁免权，因为这些城市采取了更严苛的公示政策。相比州级节能标准，这些地方政策设置了较低的达标阈值（例如，建筑面积），并在标准基准化之外要求建筑定期采取节能措施或进行能源审计。<sup>156</sup>

加州的能源政策制定和发展非常依赖地方政府的支持和决心。随着城市和郡县推行更加雄心勃勃的建筑能源政策（例如，一些地区制定了净零碳目标），州级的政策制定者会比以前更加进取。地方政策有助于推动低碳建筑人才和市场的发展，最终可以在全州范围内大规模的推广超高能效建筑。

## 政策策略

### 利益相关者参与

在更新第 24 条标准时，加州能源委员会通过严格的流程征求了许多相关利益相关者的意见，以确保这些意见的成本效益，并且符合加州的利益。整个过程完全透明和公开。

私有公共事业公司在节能标准的制定中扮演着重要角色。通过节能标准增强倡议 (Codes and Standards Enhancement Initiative)（由三个私有和两个公有公共事业公司的合作发起的），私有公共事业公司协助确定节能标准升级的修改办法。通过研究和分析，这些组织一起发布了节能标准增强报告。该报告探寻了各类建议对节能减排以及节省能源开支的影响。鉴于加州能源委员会对法案的修改要以保证消费者的成本效益为前提，私有公共事业公司可以提供大量的证据为法案修改提供佐证。由于该流程是完全公开的，因此任何个人或组织都可以对标准的变更提出建议，而私有公共事业公司最适合担任举证的工作。

作。同时，节能标准增强倡议也与利益相关者积极合作，希望可以在将节能标准修改意见提交给加州能源委员会之前就能较好地了解其政策影响。

早在 2015 年，加州能源委员会和加州公共设施委员会就设立了目标，着手于 2020 年之前在所有新住宅建筑中实现净零能耗标准。拟定的《住宅净零能耗行动计划》(Residential Zero Net Energy Action Plan) 中强调了利益相关者参与和协调地方与州政策的重要性，并将通过该行动计划着手实现净零能耗的目标。该行动计划的目标是希望通过多种政策手段（教育 / 推广计划、人才发展、融资工具 / 激励以及技术创新）建立一个有效稳固的净零能耗建筑市场，并最终将净零能耗标准写入州级节能标准中。<sup>157</sup>

值得一提的是，在 2019 年的节能标准更新中，加州能源委员会最终并未将净零能耗的要求加入到州级节能标准中。州级节能标准最初目的是通过更高的能效标准来降低新建建筑的能耗，然后推行屋顶太阳能发电系统满足剩余的建筑能耗需求。但在已实行上述政策的情况下，强制实行净零能耗并不具有成本效益。尽管一定体量的家用

太阳能发电系统可以减少用户的能源开支，满足成本效益的要求，但是当超过某个零界点之后，增加额外的产能会导致电力供给过剩。这种情况下，用户的能源开支并不会继续下降，但却需承担安装太阳能板的额外开支，因此并不经济。

虽然加州并未推行净零碳标准，但其最新的政策标准仍然卓有成效。首先，最新的建筑能效标准非常严格。按 2019 年标准建造的建筑总耗能将比按 2016 年标准建造的建筑减少 7% 左右；如果将太阳能计入其中，耗能则减少了近 53%。<sup>158</sup> 其次，在向净零碳标准迈进的进程中，相关的融资、地方政策和分布式可再生能源发电都有所进步，进而推动了低碳建筑市场的发展。除此之外，要求住宅建筑进一步提高太阳能发电系统的体量反而会带来一些弊端。传统的配电网络都是单向送电，因此住宅建筑的额外发电并不能通过电网反向供电，这就降低了太阳能发电系统的成本效益和可持续性。即使住宅建筑可以通过电网供电，也可能会给电网带来不稳定性，从而影响电网的适应性。

## 专栏 11：州政府机构和部门

加州能源委员会：该委员会负责加州的大部分能源政策制定，主要指责包括：制定建筑（第 24 条）和设备节能标准，支持能源研究和开发，帮助加州规划未来能源目标和途径，并管理运营一些重要计划（例如验收测试技术员认证计划、建筑能源基准化计划、可再生能源配额制等等）。

加州公共设施委员会：该委员会负责监管加州的公共事业公司（包括天然气和电力），致力于消费者和环境保护，并确保公共事业服务的可靠性和灵活性。

同时，该委员会还负责调节和制定加州私有公共事业公司的容许收入和电价（包括分时电价）。

加州空气资源委员会：该委员会负责管理空气污染物（包括加州温室气体排放量），并管理运行碳排放限额和交易机制。

加州建筑标准委员会：该委员会积极参与州级建筑标准的实施和执行，包括建筑能效标准和绿色建筑标准。

## 专栏 12：其他相关组织

区域能源网络：该组织由纳税人资助 (Ratepayer-funded)，在建筑节能政策的制定中占据着重要的位置，并通过与地方政府合作在地区层面上开展节能工作。区域能源网络进行了一系列工作，包括融资、针对达标路径教育和推广、人才发展、专业服务（如审计和地方政府的技术支持）、利益相关方参与和本地节能标准的制定。该组织可以有效整合地区的资源为一些目前公共事业公司服务较难覆盖的区域提供服务。

地方政府可持续能源联盟：该组织是一个市政政府联盟，旨在支持可持续能源发展。这些地区政府共同影响州级政策的走向，并召集地方能源领导人分享有关的成功实践经验。

## 克服阻碍

为应对建筑行业减排遇到的阻碍，加州已经采取了一系列措施。研究证据表明实现建筑空间和热水供暖电气化是建筑行业减排最低廉、技术可行的方法。<sup>160</sup> 加州能源委员已经认识到了建筑电气化的重要性。但是，要实现电气化必须克服一系列阻碍，例如高成本投入。为移除电气化高成本带来的阻碍，加州决策者尝试实行各种财政激励措施（参见下一章）。

但实现建筑电气化不仅仅需要采取激励措施，还必须移除监管体制中潜在的抑制因素（无论是否有针对性）。为此加州在 2019 年建筑节能标准中加入了两点措施。第一，将“新建住宅中要求使用天然气设备”的语言移除，允许建筑全电力运行。第二，建立全面电气化住宅建筑的规范化达标路径。加州计划在 2022 年的节能标准更新中加入多户住宅和普通商业建筑的全面电气化标准。<sup>161</sup>

消除抑制因素（非针对性的）的另一种方法是“三重检测”(Three-Prong Test)。1992 年，加州通过了一项法律，要求燃料替代措施必须通过三项测试，以确保该措施不会增加能耗、提高总成本或破坏环境。在当时，电网供电的碳排放密度比现在高得多，而且电气设备的能效远远低于天然气供能的设备。从减排的角度来看，阻止电气化进程在当时是一件好事。但是，一旦有更多的可再生能源发电系统接入电网，并且热泵系统变得更加高效，电气化则可以节能减排。因此在当今，这条 1992 年的法令就会无意间阻止电气化，妨碍减排工作。于是在 2019 年，加州对该条法令进行了修改，以消除该法令对电气化

节能标准增强倡议：该组织是由加州的三个私有和两个公有公共事业公司组成。尽管该组织是一个独立的实体，但它在加州能源委员节能标准制定的过程中起着重要作用。该组织探寻潜在的节能标准更新，并对它们进行研究和分析，然后召集利益相关者撰写规范和标准增强计划报告。该报告目的在于概述拟议节能标准变更的预期结果（例如，节省能源 / 成本 / 排放量）。该组织还在整个节能标准修改过程中与加州能源委员会一起合作。法律颁布后，该组织将协助更新节能标准达标参考手册和软件。<sup>159</sup>

的抑制影响。<sup>162</sup> 所以，深刻理解现有的政策环境至关重要，否则新旧政策的意外相互作用可能会使新政策收效甚微。

另一方面，消除私有公共事业公司（天然气和电力）采取节能措施的抑制因素也至关重要。作为能源的销售方，这些公司从本质上来说不会支持节能计划，因为节能对于他们来说意味着销售额下降，利润减少。为解决该问题，加州对公共事业公司实行了售电量与收入的脱钩，即加州公共设施委员会设定公共事业公司的容许收入上限，而容许收入将由包括售电量在内的多个因素（例如，供电成本、能源基础设施维护成本和投资成本等）决定。除此之外，加州公共设施委员会还采纳了节能和绩效激励机制 (Efficiency Savings and Performance Incentive, ESPI)，为公共事业公司的节能措施提供额外的激励。加州公共设施委员会为该州的每个私有公共事业公司都设置了节能目标。而成功通过节能计划实现节能目标的公司可以获得加州公共设施委员容许收入的额度。公共事业公司还可以通过节能标准和标准推广计划计划或非资源性节能计划（例如营销、培训、教育等）赢得容许收入的额度。<sup>163</sup> 上述措施都为促进公共事业公司采取节能措施提供了激励，而私有公共事业公司能充分利用其资源和专门知识来获益。

在加州，公众对清洁能源和节能的支持普遍很高。但即使在这种情况下，搭建节能措施的框架也必须经过深思熟虑。该报告中得出的一项建议是将节能措施框定为“效率”而非“留存”。前者意味着使用更低的能耗来提供相

同水平的服务，而后者则意味着为了节省能耗而降低服务水平。虽然定义相差甚微，但带来的影响却差异巨大。改善建筑围护结构以消除空气交换不仅节省了能源和金钱，还提高了建筑的质量和舒适度。因此，以这种方式进行沟通交流可以促使建筑业主进行节能改造，鼓励建筑开发商采纳高能效的设计。

## 融资和市场转型

高成本始终是建筑部门广泛推广节能措施的第一大阻碍。大量的前期资本投入成本通常可以带来未来可观的节能成效，但这些成效能否全部实现尚未可知。这种未知性带来的风险或前期资本的缺失阻碍了建筑业主进行建筑节能升级或设计高能效建筑。加州的政府机构、私有公共事业公司和区域能源网络开展了一系列有影响力的计划，旨在最大程度地减少节能项目投资的财务负担。其他计划致力于在不同领域促进建筑节能市场的转型，其中包括：人才储备计划、培训和关于能效和相关技术教育和推广计划。

加州能源委员会开展了一些计划，以鼓励学校建筑的节能改造。光明学校计划 (**Bright Schools Program**) 为希望进行建筑节能改造的学校提供免费技术支持，例如能源审计以确定节能潜力；改造提案设计和审阅。此外，加州通过《节能援助法案》(**Energy Conservation Assistance Act**) 向学校提供零息贷款，以资助节能项目。

加州还颁布了一系列政策促进地方的建筑节能项目。与光明学校计划类似，能源合作计划 (**Energy Partnership Program**) 有意向进行新旧建筑节能改造的地方市政、大学和医院提供免费技术支持。同时，加州的《节能援助法案》为此类项目提供低息贷款。投资回收期低于 17 年的项目都有资格申请此类贷款，而投资回报期高于 17 年的项目可获得部分贷款。这类融资方式有助于促进深度节能改造项目的进行。尽管此类项目的投资回收期更长，但整体节能效果更好。加州还组织了地方政府挑战赛 (**Local Government Challenge**)。这是一项竞争性赠款计划，已为全州的节能和可再生能源项目提供了超过 1000 万美元的资金支持。迄今为止，挑战赛资助的三个项目（2017 年获得拨款）已经完成，其余十个项目有望在今年内完成。一些选定的项目涵盖了市政设施能效的提升。赠款的前提条件是，优胜者必须分享最佳实践经验并在全州范围内宣传以鼓励进一步的建筑节能措施。<sup>164</sup>

私有公共事业公司可提供各式纳税人资助的传统融资工具，包括针对新设备和建筑节能改造的返现和零息账单融资。小型户主到大型企业都可选择这些融资工具。除了这些常见融资手段之外，私有公共事业公司还为客户提供了一系列其他节能和省钱计划。私有公共事业公司还制定了一系列激励措施鼓励符合条件的商业用电大户在高峰时段减少用电需求，家庭和企业安装电池系统等。通过电池储能，用户可以将太阳能存储在电池中留至用电高峰时段使用，以降低该时段对电网供电的需求。这可以最大程度地利用太阳能发电，降低高峰时段用电需求以节省能源开支。

区域能源网络也有自己的一套融资工具，例如由湾区和南加州区域能源网络支持的住宅清洁能源房产评估融资。通过这种融资机制，房主无需为房屋的节能升级和清洁能源项目支付首付；而转而通过房产税来支付项目成本。因此，项目贷款将记在房产而不是业主名下。这种方式有助于解决时间分割激励带来的问题。通过湾区区域能源网络，多户住宅业主可以申请获得零息配比基金 (**Zero-interest Matching Funds**) 的资助，以降低节能升级项目的贷款整体利率。而南加州区域能源网络提供融资租赁合同以资助节能设备更新升级项目。在融资租赁合同期间，借贷方拥有设备的所有权；合同结束后还清贷款设备所有权转让给业主。业主可以签订能源服务协议，依据实际的节能量向项目承包商还清项目成本。通过这种方式，业主可以确保项目节省的能源开支足以偿还项目贷款。

加州也希望通过政策实现建筑部门的市场转型。为实现这一目的，加州州政府机构、地方政府、私有公共事业公司和区域能源网络在一起共同努力。清洁供暖技术和设备计划就是其中一个例子。该计划由 1477 号议会法案授权，旨在推动低碳供暖技术（主要是热泵）的市场。在需求方，由于消费者对低碳供暖设备这项新兴技术并不了解，该计划侧重于消费者教育普及。在供应方，该计划为销售商和承包商提供了培训和激励措施，以鼓励低碳供暖设备的销售和安装（包括新建建筑和既有建筑）。加州能源委员会目前正在向第三方征集清洁供暖技术和设备计划的企划，预备为该计划的制定衡量标准，并协助制定推广以及工作培训和就业发展策略。<sup>165</sup>

区域能源网络在行业的人才培养方面一直担任着领导角色。例如，三郡区域能源网络组织了一系列主题各异的建筑部门人才培养研讨会，其中包括如何使用能源建模软件以及如何进行节能改造等等。南加州区域能源网络

则提供面对承包商的人才教育、培训、一对一技术援助和有偿学徒计划。

## 执行与核查

尽管加州建筑节能标准的严格程度在全美数一数二，但如果该标准无法有效执行则都是徒劳。市场参与者数量众多，各地节能标准水平参差不齐，建筑类型繁多，这些因素共同导致实现建筑标准的高度执行水平极为困难。因此，加州采取了高强度的执法和核查以确保加州雄心勃勃的政策能有效执行。

为提高建筑节能标准的执行和核查，加州能源委员会专门设立了建筑节能标准推广和教育部门 (**Building Energy Efficiency Standards Outreach and Education**)，对建筑部门利益相关者和执法机构开展培训。在加州，建筑节能标准由地方机构执行。如果建筑不符合州级建筑节能标准（如建筑能效标准），地方执法机构应拒绝发放当地建筑许可证。推广和教育部门目前每月举行几次研讨会（现在是远程会议，但通常在加州各地轮流举办），旨在向地方执法机构更新相关的标准和其他计划。同时，在加州能源委员会的网站上也发布了达标表格、相关资料、培训视频、达标软件和外部组织的链接以及教育材料。

加州能源委员会也充分利用其他组织的资源，例如私有公共事业公司和区域能源网络，来推动节能标准的执行和核查。在节能和绩效激励机制的鼓励下，私有公共事业公司提供一系列的培训计划来协助建筑节能标准的执行，例如开展实地或在线培训，分享和建筑节能标准相关的培训视频等。节能标准专家计划由四个私有公共事业公司资助发起，旨在提供多样的达标工具，包括安装指南、分步节能标准达标指南，达标清单与指导。线上还分享了现场培训课程视频和网络研讨会。

湾区区域能源网络开展了一项节能标准计划，旨在通过有针对性的培训和论坛来分享最佳实践经验，实现《加州节能标准》的全面达标。该组织还鼓励市政当局制定引领性节能标准。三郡区域能源网络则通过节能标准指导计划聘请专家顾问，协助建筑部门参与者了解并遵守建筑节能标准。

提高节能标准的执行水平不仅依靠于教育、培训和推广活动。对建筑系统的核查工作必须在建筑施工的阶段就开始进行（施工必须以完成核查为前提），以确保节能设备正确安装并且能达到预期的能效水平。这一过程是为

了最大程度地实现建筑节能标准更新的影响。对于住宅建筑，住房能源评级系统要求在安装或替换暖通空调系统时，风管都必须由州政府认可的技术人员检查和密封。<sup>166</sup> 对于非住宅建筑，则必须在施工时进行验收测试，测试照明控件和机械系统的正确安装，以确保其有效地运行。值得一提的是，目前机械系统规定还尚未执行。该政策生效前，加州能源委员会需确保验收测试技术人员的充足性。大多数商业建筑（和其他面积超过 1 万英尺的混合用途建筑）在施工期间必须进行调试，其中包括设计审查、建筑构件的功能性能测试、以及建筑构件维护人员培训（施工完成后）。<sup>167</sup>

## 未来政策走向

加州建筑部门未来政策的走向取决于如何定义加州能源委员会的职权范围。严格来说，加州能源委员会的工作目前主要围绕建筑能耗和政策的成本效益，而不包括监管温室气体排放。但实际上，该委员会制定的大部分能源政策实际上都是为了实现建筑部门减排。从各个层面上来说，降低能耗和减排是两个齐头并进的目标，即减排需要降低能耗。但是这两个概念又略有不同。举例来说，尽管加州能源委员会已经认识到电气化是实现建筑行业净零碳排放最具成本效益的方式，但电气化并不一定是成本最低或能耗最低的选择。这意味着要快速实现建筑电气化非常困难。

但随着 49 号州议会法案的通过，加州立法机关扩大了加州能源委员会的权限。自此加州能源委员会对家电能源标准的监管不仅仅将停留在节能和成本节约的层面，而且还将基于减排程度。希望很快，加州立法机关将类似的权限扩大到建筑标准，从而使加州能源委员会拥有更大的空间实施建筑部门的减排措施。监管权限的范围将决定加州未来减排的发展方式，同时将影响建筑节能标准和加州能源委员会在减排过程中发挥的作用。未来政策的方向可以考虑排放绩效核算 / 报告标准或将建筑节能标准中的基准假设转变为全面电气化。基于现在的政策趋势，可以期待加州立法机构进一步扩大能源委员会的权限。但如果受阻，政策的变革可能会受到限制。实际上，加州能源委员会已经开始为建筑制定碳核算标准，希望立法机关能尽快采取行动。

释放电力市场需求侧灵活性是加州未来能源政策的重点，因为这对于实现高比例可再生能源电网规划至关重要。在 2010 年，加州公共设施委员会授权私有公共事业公司安装数百万个智能电表，帮助用户（和公共事业公

司)更好地了解用电情况。用户可以通过智能电表避免高峰时段用电，并自动调节空调以减少高峰时段的运行。加州能源委员会目前正在研究如何在设备和建筑节能标准中(例如通过储能，自动化等方法)构建需求灵活性。<sup>167</sup>适当调节分时电价也可以提高负载管理。当前，各个电力公司之间的分时电价略有不同。但总体来说，在现存的分时电价机制中，最小的时间段为两个小时，有2-4种不同的价格水平(例如高峰价格、平段价格和低谷价格等)，并且每年仅做几次调整(甚至在某些情况下，一年内有八个月的电价结构维持不变)。因此，应适当引入更高调整频率的分时电价机制，甚至可根据电网的实际需求推行实时电价(Real-time Pricing)，以鼓励用户错峰用电优化负荷管理。加州能源委员会正在研究对现有分时电价的修改方案，并考虑是否可能将碳排放强度明确纳入费率结构。

在加州，所有政策的制定都必须考虑成本效益。因此，未来的政策方向将取决于科技的发展。现阶段第24条并未对家用电池储能作出强制要求，但随着电池储能成本的下降，相关的政策可能会发生变化。一旦认为电池储能能实现成本效益，对新建建筑提出强制安装电池储能系统将会是未来趋势。同样，随着太阳能板成本的下降，在可实现成本效益的前提下，政策或将提高家用太阳能板的强制最低体量(至可实现房屋净零碳水平)，并将这一要求逐步扩展到商业建筑。智能建筑技术和自动化也可能出现在未来的建筑节能标准更新中。

## 现存的挑战

资金的缺乏仍然是建筑部门创新所面临的最大挑战。成本效益是加州能源委员会在政策制定的前提，尤其体现在针对既有建筑节能改造的政策。这一要求有充分的道理，并且在可预见的未来成本效益都将是政策制定中重要的参考因素。因此，需要大量投资(或来自联邦政府的投资)来应对成本效益无法实现的情况，或利用未来的节能收益。

另外，租户和房东的激励错配也是建筑节能改造的一大阻碍。加州采用的一些创新性融资工具例如清洁能源房产评估和账单融资都有助于解决这一问题。未来可考虑的其他方式包括绿色租赁，激励业主和租户共享节能改造的效益。

如何提高负载管理和需求侧灵活性仍然是加州政策制定者目前工作的重中之重。加州的可再生电力目标非常

雄心勃勃。在短短的十年内，要实现60%的可再生能源发电将是一项艰巨的任务。打造一个灵活、高效且智能的弹性电网是必不可少的。加州的电力公司已经采取了一系列措施来应对这些问题，例如大规模安装智能电表、实施需求侧响应计划，但挑战依旧存在。未来随着家用太阳能发电系统体量的增大，维持可靠的电网将变得更有挑战性。

## 政策建议

加州作为美国乃至世界范围内能源和气候政策的领军人者，建立了世界上最大规模之一的碳定价机制，立法采纳了雄心勃勃的减排和可再生能源发电目标。同时，加州在建筑领域的成就也令人鼓舞，值得学习。通过加州的案例分析，下面总结了一些重要经验：

**充分发挥地方和区域领导力 / 政策的作用：**各个城市和区域在执行建筑部门政策时的意向和能力可能都大相径庭。城市和区域间的合作互助看起来困难重重，但如果方法得当，可以带来意想不到的效果。在可行的前提下，州政府可以搭建一个监管和法律框架，以鼓励地方和区域政府互相借鉴，在州级政策基础上更进一步采纳更雄心勃勃的目标。另外，州政府还可以通过教育、宣传和财政激励等方式，来支持地方政府的工作，并促进市政当局之间的信息共享。

**通过建筑节能标准和标准推动政策变革：**传统的建筑和设备节能标准看似仅能作为“支持”性政策，在行业内设立能源绩效的底线。但如果换个角度，建筑节能标准也可以是促进变革行业的有效工具。通过引领性节能标准，多个地区在最低能效要求的基础上制定了更严格的标准，有效地推动电气化、可再生能源入网和其他减排问题。在大多数情况下，强制性标准比自愿性标准更有效。基于能源绩效的强制性标准可以促进整个行业的共同行动并激发技术创新。相比之下，自愿性标准产生的推动力不足，往往收效甚微。此外，在建筑节能标准制定和实施的过程中通常需要广泛的利益相关者参与。这些利益相关者作为行业的主要参与者对行业改革至关重要。同时，在现有的机制下，推进利益相关参与比重新建立一套新机制要更容易。

**高效执行建筑节能标准：**政策的有效性取决于政策对象能否依标准遵循规定。再完善的政策如果

不能有效执行，也将无济于事。因此，积极促进利益相关者在整个政策周期中的参与至关重要。通过这一过程，这些市场的主要参与者可以在政策颁布之前就深入了解建筑新标准，在政策实施之后增强行业知识并提高执行能力。同时，还可以联合有专业能力的公共事业公司、地方政府和其他组织共同为市场参与者免费提供相关的教育、培训和推广资源。另外，在建筑设计、审批和建造过程中设计多个检查点，以便早期发现并解决问题。

**调整激励措施：**保证激励措施的一致性，才能让各项激励措施协同作用实现期望的政策目标。这个原则对于每个市场参与者都适用，包括建筑业者、开发商，公共事业公司和地方政府。仅仅依靠激励措施是不够的，还必须确保所有阻碍政策实行的抑制措施都被移除。

**通过净零碳政策释放政策信号：**净零碳或净零能耗建筑目标可以有效地动员建筑部门参与者朝着一个目标共同努力。实现建筑净零碳排放需要满足很多前提条件，包括智能设计、高性能材料、实地可再生能源发电、高质量建造工艺和高能效运营(通过智能建筑技术)。因此，成功地推行净零能耗标准需要依赖上述

行业的科技创新，在此过程中，同时可以激发新的想法、实践、材料和技术创新。此外，颁布净零碳标准有助于协调多个级别的政策(例如州和地方)。但是加州经验表明，单一地推行净零碳建筑并不是建筑部门减排的最有效方法。全行业的减排还需要配合建筑能源供给方的深度减排和能源需求方的能源管理。而电网中可再生能源比例较高时，相比于实际的能耗，决策者更应该关注的是用电和供电方式。但这些方面都无法通过净零碳政策来规范。总体来说，净零碳目标是促进实际行动和科技创新的有效工具。

在过去十年的时间里，加州在节能减排方面取得了令人瞩目的成绩。与此同时，加州的经济仍然在继续增长。加州通过制定净零碳目标促进了建筑部门的节能减排，这些经验值得其他州或国家学习借鉴。通过从下至上的方式，利用地方政府的能力和决心反过来推动整个州/国家采取行动。将雄心勃勃的目标写入标准和标准中是实现减排最具变革性的方法之一。有效执行标准对于最大化减排目标的影响至关重要。尽管净零碳或净零能耗标准并不是当前最普遍有效的建筑减排策略，但作为最进取的政策之一可以有效地促进建筑部门的必要转型。





## 4. 总结：实现净零碳建筑的主要政策和策略

低能耗、低碳建筑转型在全球各地已是必然的趋势。美国和欧洲地区的政策分析以及波士顿和加州的深度案例分析为建筑部门的节能减排提供了有价值的经验。基于这些分析，本报告总结了下面一些实现净零碳建筑的政策工具和策略。希望这些结论和政策建议可以为中国和其他国家制定建筑部门净零碳政策建言献策。

各地采用了多样的政策以实现净零碳目标。每一个成功都是多种政策相辅相成共同作用的结果。政策的有效性取决于多个因素，包括政治环境、地区面积、市场环境等等。因此，政策工具的应用应当因地制宜，根据当地的政治、经济、政策和制度环境进行适当地调整。下面总结了广泛运用在各地的净零碳政策工具和策略：

### 政策工具

#### 政策 1: 净零碳建筑标准

一些地区和城市已经开始制定和推行净零碳建筑节能标准。广泛的与利益相关者沟通，配合健全的执行机制，净零碳建筑标准可以大幅度提高建筑能效，推广建筑电气化，鼓励可再生能源在建筑中的应用，促进行业转型和变革。为了让大众更好地接纳净零碳政策，政策制定者应在政策颁布之前和利益相关者充分沟通交流。如果国家或者省层面无法推行净零碳标准，可以考虑在一些政策领先的市或者区域先试行净零碳标准。

## 政策 2: 碳排放绩效标准

相比于其他传统的标准，碳排放绩效标准是一个性能化指标，对达标途径（例如技术选择）不作具体要求。因此碳排放绩效标准为既有建筑减排达标提供了灵活性，提高了成本效益。碳排放绩效标准可以监测建筑碳排放量，并将逐渐降低排放量阈值，以鼓励建筑业主采用更具成本效益的减排途径。政府在调整排放量阈值、提高标准前，应尽早和利益相关者沟通，让利益相关者能更好地应对标准更新。同时，为了达到既定效果，评估建筑是否达到碳排放绩效标准应采用实际能耗数据，而非模拟能耗数据。

## 政策 3: 绿色建筑土地使用规划

在无法制定建筑节能标准的地区，绿色建筑土地使用规划可以作为建筑部门减排的有效工具。地方政府可以把绿色建筑土地使用规划作为发放新建筑许可的前提。该政策可以通过多种形式实现，从强制性措施（例如新建建筑项目必须进行净零碳可行性研究），到财政激励（例如针对新建净零碳建筑的开发密度奖励，**density bonus**），也可以通过一些具有创新性的政策，例如碳链接费，让建筑开发商为建造过程中产生的负面影响买单。在绿色建筑土地使用规划的实行过程中，政策制定者可以利用机会和建筑开发商沟通协商，并鼓励开发商采纳多样的节能减排措施，例如净零碳标准、微电网、可再生能源、电气化或储能等等。

## 政策 4: 建筑能耗对标、监测和数据公示

通过全面的数据公示政策，政策制定者可以利用公开数据引导未来政策的设计，并监测政策的执行和影响。

## 政策 5: 区域能源系统

区域能源系统可以带来多重效益。首先，区域能源系统一般能效较高（尤其是热电联产系统），可以降低碳排放量。其次，区域能源系统可以在电网断电情况下持续供电，有效提高社区供能的稳定性。因此，应鼓励各省市更多的采用区域能源系统。但要实现长期的减排目标，避免碳排放锁定，也应制定针对区域能源系统的长期减排计划，采纳多种减排措施，包括并入可再生能源、零碳能源，安装碳捕捉设备等。

## 政策策略

### 策略 1: “以身作则” 政策

作为政府直接管辖的建筑，公共建筑是试点净零碳标准最佳的选择。在波士顿，政府率先在公共建筑推行净零碳标准，再逐步将该标准应用在私有建筑。通过“以身作则”的方式，政府不仅可以向私有建筑开发商证明净零碳建筑的可行性和效益，还能促进净零碳建筑相关的建材、技术和市场的发展，培养清洁能源人才，最终推动建筑市场转型。另一方面，政府还可以颁布一些财政激励措施来鼓励建筑开发商采纳净零碳标准。

### 策略 2: 净零碳作为沟通工具

净零碳标准是一个通俗易懂的概念，因此，政策制定者可以将净零碳标准作为一个重要的政策目标和沟通工具，有效地和建筑部门的利益相关者沟通，以更好地推动深度减排目标的实现。实现净零碳标准的过程中，可以同时推进建筑电气化、可再生能源并入和能效提升等多个方面的进程。同时，净零碳作为一个长期市场信号，还可以鼓励建筑技术的研发和创新及市场转型。

### 策略 3: 灵活定义净零碳

不同类型的建筑能源需求各异。因此，采用灵活的净零碳定义是更合理的。可以采取的方式包括分层级定义、分阶段实行政策、分建筑类型推进政策等等。另一方面，还可以采用更灵活的达标方式，例如允许以建筑群或园区为单位达到零碳标准。灵活的定义和达标方式可以鼓励建筑业主和开发商用最具经济性和成本效益的方法达到零碳标准，争取利益相关者的认同，提高政策执行水平。

### 策略 4: 利益相关者参与

利益相关者参与对建筑部门的转型至关重要。政府可以在政策制定中尽早与利益相关者沟通，更好地平衡各方的利益，尤其是低收入群体和少数族裔。同时，政府应该将与利益相关者沟通作为一项长期的工作。收集所有相关利益相关者（特别是弱势群体，如低收入群体、少数民族、老年人等）的意见，有助于让政策受众对政策有所预期，并且保证政策的公平性。通过持续的与利益相关者在政策制定和执行过程中的沟通，政府可以最大化执行水平。

## 策略 5: 提高政策执行水平

建筑减排政策如果不能有效执行，将效果甚微。因此，应通过多种手段，例如加强和利益相关者的沟通、培养建筑业清洁能源人才、制定有效的执行机制，来提高政策执行水平。

### 政策 6: 以数据为驱动的政策设计

数据分析和研究可以引导政策制定，确保政策的高成本效益和减排措施的有效性。值得一提的是，数据分析和研究应考虑其他行业，例如交通和电力行业，对建筑部门减排的协同作用。

### 策略 7: 政策一致性

保持各级政府和各行业政策的一致是提高政策有效性中至关重要的一环。政策的一致性可以让各项激励措施和政策协同作用，实现期望的政策目标。为了更好地推进净零碳政策，政府应该修改并移除阻碍减排进程的政策（例如加州删除其建筑节能标准中关于“新建住宅中使用天然气设备”的要求），转而颁布支持性政策来辅助净零碳标准的推行。

### 策略 8: 强制性计划

强制性规范优于自愿性规范。例如，如果不强制实施高建筑节能标准，建筑业主没有动力去进行节能改造。

为了提高强制性政策的执行水平，政府还应颁布相辅相成的支持性政策（例如人才培训计划、市场转型计划、教育和推广计划和财政支持等）。

### 策略 9: 公正转型

通过公正转型，以确保所有人都能享受建筑减排带来的福利。这些福利包括，保证低收入群体住房的可负担性，减少能源支出和提供清洁能源方面的就业岗位。应对气候变化是一个长期而艰巨的任务，需要所有人的共同努力。如果一些群体被排除在外，节能减排的政策则可能无法有效执行。

### 策略 10: 融资支持

项目融资是建筑节能减排项目最大的挑战之一。考虑到庞大的建筑体量，大规模的建筑减排资金需求非常庞大。要满足这一资金需求，首先应在现有的融资渠道中继续扩大融资数量来填补融资缺口。同时，还应解决阻碍项目融资的一些问题，例如激励错配和能源贫困等。建筑节能减排项目的融资应考虑如何利用未来节省的能源开支来支付项目前期的投资。同时，财政激励措施可以帮助移除建筑减排过程中的一些阻碍。此外，政府应考虑投入一定的公共资源来吸引私有投资，为更多节能减排项目融资。

## 5. 参考文献

- 1 Thibaut Abergel et al., "2019 Global Status Report for Buildings and Construction" (Global Alliance for Buildings and Construction & International Energy Agency, 2019), [https://webstore.iea.org/download/direct/2930?fileName=2019\\_Global\\_Status\\_Report\\_for\\_Buildings\\_and\\_Construction.pdf](https://webstore.iea.org/download/direct/2930?fileName=2019_Global_Status_Report_for_Buildings_and_Construction.pdf).
- 2 International Energy Agency, ed., *Transition to Sustainable Buildings: Strategies and Opportunities to 2050* (Paris: IEA Publ, 2013).
- 3 Abergel et al.
- 4 Joeri Rogelj et al., "Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development," *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty* (Intergovernmental Panel on Climate Change, In Press), [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15\\_Chapter2\\_Low\\_Res.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_Chapter2_Low_Res.pdf).
- 5 "Status of State Energy Code Adoption | Building Energy Codes Program," accessed May 5, 2020, <https://www.energycodes.gov/status-state-energy-code-adoption>.
- 6 "2019 Building Energy Efficiency Standards for Residential and Nonresidential Buildings" (Sacramento, CA: California Energy Commission, December 2018), <https://ww2.energy.ca.gov/2018publications/CEC-400-2018-020/CEC-400-2018-020-CMF.pdf>.
- 7 Caroline Traube, "Energy Compliance Through the Target Performance or Total Building Performance Paths" (Seattle Department of Construction and Inspections, June 29, 2018), <http://www.seattle.gov/DPD/Publications/CAM/Tip423.pdf>.
- 8 "ENERGY STAR Overview," accessed February 5, 2020, <https://www.energystar.gov/about>.
- 9 Lorcan Lyons, "Energy Performance Certificates in Buildings and Their Impact on Transaction Prices and Rents in Selected EU Countries, Final Report Prepared for European Commission" (Bio Intelligence Service, Ronan Lyons, & IEEP, April 19, 2013), [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/20130619-energy\\_performance\\_certificates\\_in\\_buildings.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/20130619-energy_performance_certificates_in_buildings.pdf).
- 10 "Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 Amending Directive 2010/31/EU on the Energy Performance of Buildings and Directive 2012/27/EU on Energy Efficiency (Text with EEA Relevance)," Pub. L. No. 32018L0844, OJ L 156 (2018), 844, <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/844/oj/eng>.
- 11 "Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the Energy Performance of Buildings," Pub. L. No. 32002L0091, OJ L 001 (2003), <http://data.europa.eu/eli/dir/2002/91/oj/eng>.
- 12 "Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings," Pub. L. No. 32010L0031, OJ L 153 (2010), <http://data.europa.eu/eli/dir/2010/31/oj/eng>.
- 13 Marius Schwarz, Christina Nakhle, and Christof Knoeri, "Innovative Designs of Building Energy Codes for Building Decarbonization and Their Implementation Challenges," *Journal of Cleaner Production* 248 (March 1, 2020): 119260, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119260>.
- 14 Jamie Goggins et al., "Lifecycle Environmental and Economic Performance of Nearly Zero Energy Buildings (NZEB) in Ireland," *Energy and Buildings* 116 (March 15, 2016): 622–37, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.01.016>.
- 15 Schwarz, Nakhle, and Knoeri, "Innovative Designs of Building Energy Codes for Building Decarbonization and Their Implementation Challenges."
- 16 Schwarz, Nakhle, and Knoeri, "Innovative Designs of Building Energy Codes for Building Decarbonization and Their Implementation Challenges."
- 17 Deborah Cloutier et al., "Utilizing Commercial Real Estate Owner and Investor Data to Analyze the Financial Performance of Energy Efficient, High-Performance Office Buildings," May 1, 2017, <https://doi.org/10.2172/1419623>.
- 18 Institute for Market Transformation, "Compare Policies," *BuildingRating*, accessed February 6, 2020, <https://www.buildingrating.org/policy-comparison-tool>.
- 19 "ACEEE | Policy Database," accessed February 6, 2020, <https://database.aceee.org/>.
- 20 U. S. Census Bureau, "American FactFinder - Results," accessed February 6, 2020, <https://factfinder.census.gov/faces/tableservices/jsf/pages/productview.xhtml?src=bkmk>.
- 21 "Clean and Affordable Energy Act," Pub. L. No. D.C. Law 17-250, § 145, 6 D.C. Code 02 (2008), [https://doee.dc.gov/sites/default/files/dc/sites/doee/publication/attachments/CAEA\\_of\\_2008\\_B17-0492.pdf](https://doee.dc.gov/sites/default/files/dc/sites/doee/publication/attachments/CAEA_of_2008_B17-0492.pdf).
- 22 "BERDO Energy Action and Assessment How-to Guide" (Greenovate City of Boston, January 2019), [https://www.boston.gov/sites/default/files/file/document\\_files/2019/01/berdo\\_action\\_assessment\\_how-to\\_guide\\_-\\_january\\_2019\\_1.pdf](https://www.boston.gov/sites/default/files/file/document_files/2019/01/berdo_action_assessment_how-to_guide_-_january_2019_1.pdf).
- 23 "Home Energy Score Program Documents," Portland.gov, accessed February 7, 2020, <https://beta.portland.gov/pdxhes/home-energy-score-program-documents>.
- 24 "City of Boston Climate Action Plan 2019 Update" (Boston, MA: City of Boston, October 2019), [https://www.boston.gov/sites/default/files/imce-uploads/2019-10/city\\_of\\_boston\\_2019\\_climate\\_action\\_plan\\_update\\_4.pdf](https://www.boston.gov/sites/default/files/imce-uploads/2019-10/city_of_boston_2019_climate_action_plan_update_4.pdf).
- 25 "Interactive Maps for Energy Benchmarking Data, Programs, and Policies," accessed February 6, 2020, <https://www.energystar.gov/buildings/program-administrators/state-and-local-governments/see-federal-state-and-local-benchmarking-policies>.
- 26 Lane Wesley Burt, Andrew Burr, and Adam Hinge, "Building Energy Rating & Benchmarking: Understanding Similarities and Differences," *ECEEE Summer Study Proceedings* (European Council for an Energy Efficient Economy), accessed February 8, 2020, [https://www.eceee.org/library/conference\\_proceedings/eceee\\_Summer\\_Studies/2015/6-policies-and-programmes-towards-a-zero-energy-building-stock/building-energy-rating-benchmarking-understanding-similarities-and-differences/](https://www.eceee.org/library/conference_proceedings/eceee_Summer_Studies/2015/6-policies-and-programmes-towards-a-zero-energy-building-stock/building-energy-rating-benchmarking-understanding-similarities-and-differences/).
- 27 "Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings," Pub. L. No. 32010L0031, OJ L 153 (2010), 31, <http://data.europa.eu/eli/dir/2010/31/oj/eng>.
- 28 Lyons, "Energy Performance Certificates in Buildings and Their Impact on Transaction Prices and Rents in Selected EU Countries, Final Report Prepared for European Commission."
- 29 Y. Li et al., "Review of Building Energy Performance Certification Schemes towards Future Improvement," *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 113 (October 1, 2019): 109244, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109244>.
- 30 "Domestic Private Rented Property: Minimum Energy Efficiency Standard - Landlord Guidance," GOV.UK, accessed May 26, 2020, <https://www.gov.uk/guidance/domestic-private-rented-property-minimum-energy-efficiency-standard-landlord-guidance>.
- 31 Aleksandra Arcipowska et al., *Energy Performance Certificates Across the EU* (Buildings Performance Institute Europe, 2014), [https://ovacen.com/wp-content/uploads/2015/01/BPIE\\_Energy\\_Performance\\_Certificates\\_EU\\_mapping\\_-2014.pdf](https://ovacen.com/wp-content/uploads/2015/01/BPIE_Energy_Performance_Certificates_EU_mapping_-2014.pdf).
- 32 "Net Zero Carbon Buildings Declaration: Planned Actions to Deliver Commitments" (C40 Cities), accessed February 8, 2020, [https://c40-production-images.s3.amazonaws.com/other\\_uploads/images/1850\\_Brochure\\_building\\_160919.original.pdf?1568703506](https://c40-production-images.s3.amazonaws.com/other_uploads/images/1850_Brochure_building_160919.original.pdf?1568703506).

- 33 Thibaut Abergel, Brian Dean, and John Dulac, "Global Status Report 2017" (Global Alliance for Buildings and Construction & International Energy Agency, 2017), [https://www.worldgbc.org/sites/default/files/UNEP%20188\\_GABC\\_en%20%28web%29.pdf](https://www.worldgbc.org/sites/default/files/UNEP%20188_GABC_en%20%28web%29.pdf).
- 34 Claire McKenna, Amar Shah, and Mark Silberg, "It's Time to Incentivize Residential Heat Pumps," Rocky Mountain Institute, June 8, 2020, <https://rmi.org/its-time-to-incentivize-residential-heat-pumps/>.
- 35 "U.S. State Electricity Portfolio Standards," Center for Climate and Energy Solutions, November 18, 2019, <https://www.c2es.org/document/renewable-and-alternate-energy-portfolio-standards/>.
- 36 "State Renewable Portfolio Standards and Goals," National Conference of State Legislatures, December 31, 2019, <https://www.ncsl.org/research/energy/renewable-portfolio-standards.aspx>.
- 37 "2019 Air-Source Heat Pump Program Incentive Summary" (Northeast Energy Efficiency Partnerships, February 2019), 5/25/20, <https://neep.org/sites/default/files/resources/2019ASHPPProgramSummaryUpdatedFeb2019.pdf>.
- 38 "2019 Code Cycle - Locally Adopted Energy Ordinances," n.d.
- 39 "Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources (Text with EEA Relevance)," Pub. L. No. 32018L0001, OJ L 328 (2018), <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/2001/oj/eng>.
- 40 Vera Eckert, "Germany Needs to Ease Rules to Hit 2030 Renewables Target," Reuters, June 18, 2019, <https://www.reuters.com/article/us-germany-electricity-climate-idUSKCN1TJ20C>.
- 41 "Denmark - Countries & Regions," IEA, accessed March 16, 2020, <https://www.iea.org/countries/denmark>.
- 42 Hanna Ek-Faith et al., "Innovative Solutions for 100% Renewable Power in Sweden" (Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, January 2020), <https://www.irena.org/publications/2020-Jan/Innovative-solutions-for-100-percent-renewable-power-in-Sweden>.
- 43 "Net Zero Carbon Buildings Declaration: Planned Actions to Deliver Commitments" (C40 Cities, n.d.).
- 44 "Net Zero Carbon Buildings Declaration: Planned Actions to Deliver Commitments" (C40 Cities, n.d.).
- 45 "Foresight | The Path to Emissions-Free District Heating in Denmark," Foresight (blog), April 26, 2019, <https://foresightdk.com/the-path-to-emissions-free-district-heating-in-denmark/>.
- 46 "Net Zero Carbon Buildings Declaration: Planned Actions to Deliver Commitments" (C40 Cities, n.d.).
- 47 "How to Decarbonise Your City's Heating and Cooling Systems," accessed May 25, 2020, [https://www.c40knowledgehub.org/s/article/How-to-decarbonise-your-city-s-heating-and-cooling-systems?language=en\\_US](https://www.c40knowledgehub.org/s/article/How-to-decarbonise-your-city-s-heating-and-cooling-systems?language=en_US).
- 48 Bjorn Hugosson and Linda Holmstrom, "Strategy for a Fossil-Fuel Free Stockholm by 2040" (Stockholm Sweden: Stockholms stad, 2017), <https://international.stockholm.se/globalassets/rapporter/strategy-for-a-fossil-fuel-free-stockholm-by-2040.pdf>.
- 49 "H.R.6 - 110th Congress (2007-2008): Energy Independence and Security Act of 2007," legislation, December 19, 2007, 2007/2008, <https://www.congress.gov/bill/110th-congress/house-bill/6>.
- 50 "Zero Energy Buildings," Energy.gov, accessed May 25, 2020, <https://www.energy.gov/eere/buildings/zero-energy-buildings>.
- 51 "New Residential Zero Net Energy Action Plan 2015-2020: Executive Summary" (California Public Utilities Commission Energy Division & California Energy Commission Efficiency Division), accessed February 9, 2020, <https://www.cpuc.ca.gov/General.aspx?id=10740>.
- 52 "2019 Building Energy Efficiency Standards Factsheet," n.d.
- 53 "Net Zero Carbon Buildings Declaration: Planned Actions to Deliver Commitments" (C40 Cities, n.d.).
- 54 "Clean Energy DC: The District of Columbia Climate and Energy Action Plan" (DC Department of Energy & Environment, August 2018), [https://doee.dc.gov/sites/default/files/dc/sites/doee/page\\_content/attachments/Clean%20Energy%20DC%20-%20Full%20Report\\_0.pdf](https://doee.dc.gov/sites/default/files/dc/sites/doee/page_content/attachments/Clean%20Energy%20DC%20-%20Full%20Report_0.pdf).
- 55 "City of Boston Climate Action Plan 2019 Update," n.d., 88.
- 56 "Santa Monica OSE - Energy Code Overview," accessed May 25, 2020, [https://www.smgov.net/Departments/OSE/Categories/Green\\_Building/Energy\\_Code\\_Overview.aspx](https://www.smgov.net/Departments/OSE/Categories/Green_Building/Energy_Code_Overview.aspx).
- 57 "Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 Amending Directive 2010/31/EU on the Energy Performance of Buildings and Directive 2012/27/EU on Energy Efficiency (Text with EEA Relevance)," Pub. L. No. 32018L0844, OJ L 156 (2018), <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/844/oj/eng>.
- 58 "The Net Zero Carbon Buildings Commitment," World Green Building Council, accessed April 20, 2020, <https://www.worldgbc.org/>.
- 59 "Net Zero Carbon Buildings Declaration: Planned Actions to Deliver Commitments" (C40 Cities, n.d.).
- 60 International Energy Agency, ed., *Transition to Sustainable Buildings: Strategies and Opportunities to 2050* (Paris: IEA Publ, 2013).
- 61 Richard W. Zelinski and Douglas R. Gatlin, "Financing Energy Efficiency in Buildings," Rebuilding America Guide Series (Department of Energy, n.d.), [https://www.michigan.gov/documents/CIS\\_EO\\_financinghandbook\\_75701\\_7.pdf](https://www.michigan.gov/documents/CIS_EO_financinghandbook_75701_7.pdf).
- 62 Steven Nadel et al., "An Introduction to U.S. Policies to Improve Building Efficiency" (529 14th St NW, Suite 600, Washington, DC 20045: American Council for and Energy-Efficient Economy, July 2013), <http://www.aceee.org/sites/default/files/publications/researchreports/a134.pdf>.
- 63 "Washington | ACEEE," accessed November 25, 2019, <https://database.aceee.org/state/washington>.
- 64 "NYC Building Emissions Law Summary" (Urban Green Council, July 9, 2019), [https://www.urbangreencouncil.org/sites/default/files/urban\\_green\\_emissions\\_law\\_summary\\_v3\\_0.pdf](https://www.urbangreencouncil.org/sites/default/files/urban_green_emissions_law_summary_v3_0.pdf).
- 65 Renilde Becqué et al., "Accelerating Building Efficiency: Eight Actions for Urban Leaders" (World Resources Institute, 2016), <http://publications.wri.org/buildingefficiency/>.
- 66 "Boulder | ACEEE," accessed February 11, 2020, <https://database.aceee.org/city/boulder-co>.
- 67 "EUR-Lex - 52013SC0180 - EN - EUR-Lex," accessed February 12, 2020, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1565969689213&uri=CELEX:52013SC0180>.
- 68 "Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 Amending Directive 2010/31/EU on the Energy Performance of Buildings and Directive 2012/27/EU on Energy Efficiency (Text with EEA Relevance)," Pub. L. No. 32018L0844, OJ L 156 (2018), <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/844/oj/eng>.
- 69 "Net Zero Carbon Buildings Declaration: Planned Actions to Deliver Commitments" (C40 Cities, n.d.).
- 70 Luciana Miu et al., "A Simple Assessment of Housing Retrofit Policies for the UK: What Should Succeed the Energy Company Obligation?," Energies 11, no. 8 (August 8, 2018): 2070, <https://doi.org/10.3390/en11082070>.
- 71 Michael Rosenberg, Duane Jonlin, and Steven Nadel, "A Perspective of Energy Codes and Regulations for the Buildings of the Future," Journal of Solar Energy Engineering 139, no. 1 (February 1, 2017), <https://doi.org/10.1115/1.4034825>.
- 72 European Commission, "A European Green Deal: Striving to be the First Climate-Neutral Continent," [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en).
- 73 "Tax Credits for Home Builders," accessed February 13, 2020, [https://www.energystar.gov/about/federal\\_tax\\_credits/federal\\_tax\\_credit\\_archives/tax\\_credits\\_home\\_builders](https://www.energystar.gov/about/federal_tax_credits/federal_tax_credit_archives/tax_credits_home_builders).
- 74 "Weatherization Assistance Program," Energy.gov, accessed July 28, 2020, <https://www.energy.gov/eere/wap/weatherization-assistance-program>.
- 75 "Green Financing Loans | Fannie Mae Multifamily," Fannie Mae, 2020, <https://multifamily.fanniemae.com/financing-options/specialty-financing/green-financing/green-financing-loans>.
- 76 Steven Nadel et al., "An Introduction to U.S. Policies to Improve Building Efficiency" (529 14th St NW, Suite 600, Washington, DC 20045: American Council for and Energy-Efficient Economy, July 2013), <http://www.aceee.org/sites/default/files/publications/researchreports/a134.pdf>.
- 77 "Energy Efficiency in Europe" (Deloitte, 2016), <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Energy-and-Resources/energy-efficiency-in-europe.pdf>.
- 78 "Energy Smart Homes," Saint Paul, Minnesota, October 19, 2015, <https://www.stpaul.gov/departments/planning-economic-development/housing/energy-smart-homes>.
- 79 "DSIRE," accessed February 13, 2020, <https://programs.dsireusa.org/system/program/detail/4244>.

- 80 "Clean Energy Finance: Green Banking Strategies for Local Governments," n.d., 8.
- 81 "Green Banks in the United States" (Coalition for Green Capital, May 2019), <https://greenbanknetwork.org/wp-content/uploads/2019/07/GreenBanksintheUS-2018AnnualIndustryReport.pdf>.
- 82 "Green Banks | State, Local, and Tribal Governments | NREL," accessed March 16, 2020, <https://www.nrel.gov/state-local-tribal/basics-green-banks.html>.
- 83 "Green Banks in the United States: 2018 Annual Industry Report."
- 84 "Green Banks in the United States: 2018 Annual Industry Report."
- 85 "Green Banks in the United States: 2018 Annual Industry Report."
- 86 "Growing Clean Energy Markets with Green Bank Financing" (Coalition for Green Capital), accessed March 16, 2020, <http://coalitionforgreencapital.com/greenbankwhitepaper/>.
- 87 "Product Offerings - NY Green Bank," NY Green Bank, accessed July 28, 2020, <https://greenbank.ny.gov/Investments/Product-Offerings>.
- 88 "Financing Energy Efficiency," Text, Energy - European Commission, March 11, 2020, <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/financing-energy-efficiency>.
- 89 Niall Kerr, Andy Gouldson, and John Barrett, "The Rationale for Energy Efficiency Policy: Assessing the Recognition of the Multiple Benefits of Energy Efficiency Retrofit Policy," *Energy Policy* 106 (July 1, 2017): 212–21, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.03.053>.
- 90 Delia D'Agostino, Paolo Zangheri, and Luca Castellazzi, "Towards Nearly Zero Energy Buildings in Europe: A Focus on Retrofit in Non-Residential Buildings," *Energies* 10, no. 1 (January 18, 2017): 117, <https://doi.org/10.3390/en10010117>.
- 91 Sandra Backlund and Patrik Thollander, "Impact after Three Years of the Swedish Energy Audit Program," *Energy* 82 (March 15, 2015): 54–60, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.12.068>.
- 92 "How to Finance Energy Efficiency" (European Council for an Energy Efficient Economy, March 2017), [https://www.eceee.org/static/media/uploads/site-2/policy-areas/financingenergy\\_efficiencybriefing1.pdf](https://www.eceee.org/static/media/uploads/site-2/policy-areas/financingenergy_efficiencybriefing1.pdf).
- 93 IEA and UNEP. "2019 Global Status Report for Buildings and Construction. Towards a Zero-Emissions, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector."
- 94 David Ribeiro et al., "The 2019 City Clean Energy Scorecard," 2019, 282.
- 95 "Greenhouse Gas Emissions - Analyze Boston," accessed May 7, 2020, <https://data.boston.gov/dataset/greenhouse-gas-emissions>.
- 96 "City of Boston Climate Action Plan 2019 Update," n.d., 88.
- 97 Wee Kean Fong et al., "Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories: An Accounting and Reporting Standard for Cities" (World Resources Institute, 2014), [https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/GHGP\\_GPC\\_0.pdf](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/GHGP_GPC_0.pdf).
- 98 "City of Boston Climate Action Plan 2019 Update."
- 99 "City of Boston Climate Action Plan 2019 Update."
- 100 "2020 Guidebook for Zero Emission Buildings" (City of Boston, April 2020), [https://www.boston.gov/sites/default/files/file/2020/03/200306\\_DND%20book\\_FOR%20WEB.pdf](https://www.boston.gov/sites/default/files/file/2020/03/200306_DND%20book_FOR%20WEB.pdf).
- 101 "Renew Boston Trust," Boston.gov, July 17, 2016, <https://www.boston.gov/environment-and-energy/renew-boston-trust>.
- 102 Mitchell J Landrieu et al., "American Mayors and Businesses: Building Partnerships for a Low-Carbon Future" (The United States Conference of Mayors & The Center for Climate and Energy Solutions, September 2017), <https://www.c2es.org/site/assets/uploads/2017/09/american-mayors-businesses-building-partnerships-low-carbon-future.pdf>.
- 103 "BERDO Energy Action and Assessment How-to Guide" (Greenovate City of Boston, January 2019), [https://www.boston.gov/sites/default/files/file/document\\_files/2019/01/berdo\\_action\\_assessment\\_how-to\\_guide\\_-\\_january\\_2019\\_1.pdf](https://www.boston.gov/sites/default/files/file/document_files/2019/01/berdo_action_assessment_how-to_guide_-_january_2019_1.pdf).
- 104 "City of Boston Climate Action Plan 2019 Update," n.d., 88.
- 105 "An Ordinance Amending the Air Pollution Control Commission Ordinance in Relation to Reporting and Disclosing the Energy and Water Efficiency of Buildings," Ordinances, Chapter VII City of Boston Code § 7-2 (2013), <https://www.boston.gov/departments/environment/building-energy-reporting-and-disclosure-ordinance>.
- 106 "City of Boston Climate Action Plan 2019 Update."
- 107 "US Energy Use Intensity by Property Type," 2018, 6.
- 108 "City of Boston Climate Action Plan 2019 Update."
- 109 "City of Boston Climate Action Plan 2019 Update."
- 110 "2020 Guidebook for Zero Emission Buildings."
- 111 Cleveland et al., "Carbon Free Boston Summary Report 2019" (Boston, MA: Boston Green Ribbon Commission, Boston University Institute for Sustainable Energy, City of Boston, 2019).
- 112 Cutler J Cleveland et al., "Carbon Free Boston Summary Report 2019" (Boston, MA: Boston Green Ribbon Commission, Boston University Institute for Sustainable Energy, City of Boston, 2019).
- 113 Isidore McCormack, John Florning, and Soren Moller Thomsen, "City of Cambridge Low Carbon Energy Supply Study" (Cambridge, MA: Ramboll, April 2018), [https://www.cambridgema.gov/-/media/Files/CDD/Climate/NetZero/LCESS/lcessfinalfullreport\\_webversion.pdf](https://www.cambridgema.gov/-/media/Files/CDD/Climate/NetZero/LCESS/lcessfinalfullreport_webversion.pdf).
- 114 Richard W. Zelinski and Douglas R. Gatlin, "Financing Energy Efficiency in Buildings," Rebuilding America Guide Series (Department of Energy, n.d.), [https://www.michigan.gov/documents/CIS\\_EO\\_financinghandbook\\_75701\\_7.pdf](https://www.michigan.gov/documents/CIS_EO_financinghandbook_75701_7.pdf).
- 115 "Building Energy Code," Mass.gov, accessed May 10, 2020, <https://www.mass.gov/info-details/building-energy-code>.
- 116 "Massachusetts Commercial New Construction Energy Code Compliance Follow-up Study" (DNV-GL, July 22, 2015), <http://ma-eeac.org/wordpress/wp-content/uploads/Commercial-New-Construction-Energy-Code-Compliance-Follow-up-Study.pdf>.
- 117 "Massachusetts TXC47 Non-Residential Code Compliance Support Initiative Attribution and Net Savings Assessment" (NMR Group, Inc., Cadmus, July 26, 2018), 47, [http://ma-eeac.org/wordpress/wp-content/uploads/TXC\\_47\\_Nonres\\_CCSI\\_Attribution\\_Assessment\\_26July2018\\_Final.pdf](http://ma-eeac.org/wordpress/wp-content/uploads/TXC_47_Nonres_CCSI_Attribution_Assessment_26July2018_Final.pdf).
- 118 "Population Clock," accessed April 14, 2020, <https://www.census.gov/popclock/#populous-footnote>.
- 119 Todd Siebeneck, Catherine Wang, and Jeannine Aversa, "Gross Domestic Product by State, 4th Quarter and Annual 2019," New Release (Washington, DC: Bureau of Economic Analysis, April 7, 2020), <https://www.bea.gov/system/files/2020-04/qgdstate0420.pdf>.
- 120 "EXECUTIVE ORDER S-3-05 - Executive Order by Governor Arnold Schwarzenegger," accessed April 15, 2020, <https://wayback.archive-it.org/5763/20101008184959/http://gov.ca.gov/executive-order/1861/>.
- 121 "California Greenhouse Gas Emissions for 2000 to 2017: Trends of Emissions and Other Indicators" (Sacramento, CA: California Air Resources Board, 2019), <https://ww2.arb.ca.gov/ghg-inventory-data>.
- 122 "2019 Building Energy Efficiency Standards Factsheet," n.d.
- 123 "EXECUTIVE ORDER S-3-05 - Executive Order by Governor Arnold Schwarzenegger."
- 124 "Bill Text - SB-32 California Global Warming Solutions Act of 2006: Emissions Limit," 32, accessed April 14, 2020, [https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill\\_id=201520160SB32](https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=201520160SB32).
- 125 "Bill Text - SB-350 Clean Energy and Pollution Reduction Act of 2015," accessed April 14, 2020, [https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill\\_id=201520160SB350](https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=201520160SB350).
- 126 "Bill Text - SB-100 California Renewables Portfolio Standard Program: Emissions of Greenhouse Gases," accessed April 28, 2020, [https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill\\_id=201720180SB100](https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=201720180SB100).
- 127 Edmund G. Brown, "Executive Order B-55-18 To Achieve Carbon Neutrality" (Executive Department: State of California, September 10, 2018), <https://www.ca.gov/archive/gov39/wp-content/uploads/2018/09/9.10.18-Executive-Order.pdf>.

- 128 "Bill Text - AB-3232 Zero-Emissions Buildings and Sources of Heat Energy," accessed April 28, 2020, [https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billTextClient.xhtml?bill\\_id=201720180AB3232](https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billTextClient.xhtml?bill_id=201720180AB3232).
- 129 State Administrative Manual (California Department of General Services, n.d.), <https://www.dgsapps.dgs.ca.gov/dgs/sam>.
- 130 "New Residential Zero Net Energy Action Plan 2015-2020: Executive Summary," n.d.; "Commercial & District Zero Net Energy Framework" (BluePoint Planning, April 2018), [https://4eae5a23-44d0-418e-8d77-0e5a216d92ea.filesusr.com/ugd/cc790b\\_01490cf012b64cf7b369aab39a3750a9.pdf](https://4eae5a23-44d0-418e-8d77-0e5a216d92ea.filesusr.com/ugd/cc790b_01490cf012b64cf7b369aab39a3750a9.pdf).
- 131 "A Roadmap to Decarbonize California Buildings."
- 132 Rory Cox, "It All Adds up to Zero: California's Zero Net Energy Future (and What We're Doing About It)," <https://www.cpuc.ca.gov/ZNE/>.
- 133 "US Energy Use Intensity by Property Type," 2018, 6.
- 134 Renilde Becqué et al., "ACCELERATING BUILDING DECARBONIZATION: EIGHT ATTAINABLE POLICY PATHWAYS TO NET ZERO CARBON BUILDINGS FOR ALL," n.d., 84.
- 135 "A Roadmap to Decarbonize California Buildings" (Building Decarbonization Coalition, January 2019), [https://gridworks.org/wp-content/uploads/2019/02/BDC\\_Roadmap\\_final\\_online.pdf](https://gridworks.org/wp-content/uploads/2019/02/BDC_Roadmap_final_online.pdf).
- 136 State Administrative Manual (California Department of General Services, n.d.), <https://www.dgsapps.dgs.ca.gov/dgs/sam>.
- 137 "Getting to Zero Buildings Database," New Buildings Institute, accessed May 17, 2020, <https://newbuildings.org/resource/getting-to-zero-database/>.
- 138 Mark Alatorre and Ingrid Neumann, "Energy Efficiency Comparison: California's 2016 Building Energy Efficiency Standards and International Energy Conservation Code - 2015" (California Energy Commission, June 2017), [https://www.energycodes.gov/sites/default/files/documents/California\\_Energy\\_Efficiency\\_Comparison\\_Residential.pdf](https://www.energycodes.gov/sites/default/files/documents/California_Energy_Efficiency_Comparison_Residential.pdf).
- 139 "2019 Building Energy Efficiency Standards for Residential and Nonresidential Buildings" (California Energy Commission, December 2018), <https://ww2.energy.ca.gov/2018publications/CEC-400-2018-020/CEC-400-2018-020-CMF.pdf>.
- 140 zero"CAGBSC2019 - APPENDIX A4," accessed May 20, 2020, <https://codes.iccsafe.org/content/CAGBSC2019/appendix-a4-residential-voluntary-measures>.
- 141 "Bill Text - SB-1477 Low-Emissions Buildings and Sources of Heat Energy," accessed April 29, 2020, [https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billTextClient.xhtml?bill\\_id=201720180SB1477](https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billTextClient.xhtml?bill_id=201720180SB1477).
- 142 "Decision 20-03-027 Before the Public Utilities Commission of the State of California: Decision Establishing Building Decarbonization Pilot Programs" (California Public Utilities Commission, April 6, 2020), <http://docs.cpuc.ca.gov/PublishedDocs/Published/G000/M331/K772/331772660.PDF>.
- 143 "Bill Text - SB-1477 Low-Emissions Buildings and Sources of Heat Energy," accessed April 29, 2020, [https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billTextClient.xhtml?bill\\_id=201720180SB1477](https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billTextClient.xhtml?bill_id=201720180SB1477).
- 144 "Bill Text - AB-802 Energy Efficiency," accessed April 23, 2020, [https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill\\_id=201520160AB802](https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=201520160AB802).
- 145 State Administrative Manual (California Department of General Services, n.d.), <https://www.dgsapps.dgs.ca.gov/dgs/sam>.
- 146 Natalie Mims et al., "Evaluation of U.S. Building Energy Benchmarking and Transparency Programs: Attributes, Impacts, and Best Practices," April 30, 2017, <https://doi.org/10.2172/1393621>.
- 147 California Energy Commission, "Building Energy Benchmarking Program," California Energy Commission (California Energy Commission, current-date), <https://www.energy.ca.gov/programs-and-topics/programs/building-energy-benchmarking-program>.
- 148 "Decision 20-03-027 Before the Public Utilities Commission of the State of California: Decision Establishing Building Decarbonization Pilot Programs."
- 149 Fabian Nunez, "Assembly Bill No. 32," Pub. L. No. AB-32, § 38500, Health and Safety Code (2006), [http://www.leginfo.ca.gov/pub/05-06/bill/asm/ab\\_0001-0050/ab\\_32\\_bill\\_20060927\\_chaptered.pdf](http://www.leginfo.ca.gov/pub/05-06/bill/asm/ab_0001-0050/ab_32_bill_20060927_chaptered.pdf).
- 150 "Overview of ARB Emissions Trading Program" (California Air and Resources Board, February 9, 2015), [https://ww3.arb.ca.gov/cc/capandtrade/guidance/cap\\_trade\\_overview.pdf](https://ww3.arb.ca.gov/cc/capandtrade/guidance/cap_trade_overview.pdf).
- 151 "Bill Text - SB-1477 Low-Emissions Buildings and Sources of Heat Energy."
- 152 "Bill Text - SB-100 California Renewables Portfolio Standard Program: Emissions of Greenhouse Gases."sb
- 153 "2019 Code Cycle - Locally Adopted Energy Ordinances," n.d.
- 154 Laurel Rothschild et al., "RENs: Lessons Learned & the Future of EE" (10th Annual Statewide Energy Efficiency Forum, Long Beach, June 26, 2019), [https://californiaseec.org/wp-content/uploads/2019/07/SEEC\\_-\\_RENs-Best-Practices-and-Lessons-Learned\\_FINAL.pdf](https://californiaseec.org/wp-content/uploads/2019/07/SEEC_-_RENs-Best-Practices-and-Lessons-Learned_FINAL.pdf).
- 155 Rothschild et al.
- 156 California Energy Commission, "Exempted Local Benchmarking Ordinances," California Energy Commission (California Energy Commission, current-date), <https://www.energy.ca.gov/programs-and-topics/programs/building-energy-benchmarking-program/exempted-local-benchmarking>.
- 157 "New Residential Zero Net Energy Action Plan 2015-2020" (California Energy Commission; California Public Utilities Commission, June 2015), <https://www.cpuc.ca.gov/General.aspx?id=10740>.
- 158 "2019 Building Energy Efficiency Standards: Frequently Asked Questions" (California Energy Commission, March 2018), [https://www.energy.ca.gov/sites/default/files/2020-03>Title\\_24\\_2019\\_Building\\_Standards\\_FAQ\\_ada.pdf](https://www.energy.ca.gov/sites/default/files/2020-03>Title_24_2019_Building_Standards_FAQ_ada.pdf).
- 159 "About Us | Title 24 Stakeholders," accessed May 19, 2020, <https://title24stakeholders.com/about-us>.
- 160 Robert Weisenmiller, Karen Douglas, and J. Andrew McAllister, "Final 2018 Integrated Energy Policy Report Update: Volume II," Commission Report (California Energy Commission, January 2019).
- 161 Michael Kenney, "2019 California Energy Efficiency Action Plan" (Sacramento, CA: California Energy Commission, December 2019), <https://www.energy.ca.gov/programs-and-topics/programs/energy-efficiency-existing-buildings>.
- 162 "Decision Modifying the Energy Efficiency of the Three-Prong Test Related to Fuel Substitution" (California Public Utilities Commission, August 1, 2019), <http://docs.cpuc.ca.gov/PublishedDocs/Published/G000/M310/K053/310053527.PDF>.
- 163 "Energy Efficiency Shareholder Incentive Mechanism," accessed May 19, 2020, <https://www.cpuc.ca.gov/General.aspx?id=4137>.
- 164 "Decision 20-03-027 Before the Public Utilities Commission of the State of California: Decision Establishing Building Decarbonization Pilot Programs."
- 165 California Energy Commission, "Home Energy Rating System Program - HERS," California Energy Commission (California Energy Commission, current-date), <https://www.energy.ca.gov/programs-and-topics/programs/home-energy-rating-system-HERS-program>.
- 166 "2019 Building Energy Efficiency Standards for Residential and Nonresidential Buildings."
- 167 Kenney, "2019 California Energy Efficiency Action Plan."

