落基山研究所

能效提升与电动汽车

建筑行业如何为全球电动汽车发展革命做好准备

作者：AMY EGERTER、GREG HOPKINS、JAMIE MANDEL与HARRY VERHAAR

作者与鸣谢

作者
Amy Egerter、Greg Hopkins、Jamie Mandel与Harry Verhaar（昕诺飞）

*作者按首字母顺序列出。除特别注明，所有作者均来自落基山研究所。

联系方式
Jamie Mandel，jmandel@rmi.org
Amy Egerter，aegerter@rmi.org

引用建议
Amy Egerter，Greg Hopkins，Jamie Mandel，Harry Verhaar，《能效提升技术与电动汽车：建筑行业如何为全球电动汽车发展革命做好准备》，落基山研究所，www.rmi.org/energy_efficiency_and_electric_vehicles

编辑/创意设计
总编：Cindie Baker
编辑：David Labrador
创意总监：Romy Purshouse
设计：Luke Weisman

除特别注明，本报告中所有图片均来自iStock

鸣谢
特别感谢下列专家同行为撰写本报告提供的宝贵建议与指导。

Nuria Aznar，联合国气候变化框架公约
Bill Bien卞伟廉，昕诺飞
Helen Clarkson，气候组织
Henning Ellermann，德国企业能效倡议
Garrett Fitzgerald，落基山研究所
Roland Hunzinker，世界企业永续发展委员会
Miriam Medel-Garcia，联合国气候变化框架公约
Brian Motherway，国际能源署
Clay Nesler，美国江森自控有限公司
Sarbojit Pal，清洁能源部长级会议
Mike Pierce，气候组织
Tim Pryce，C40 城市
Sandra Roling，气候组织
Alexander Saier，联合国气候变化框架公约
Kelly Vaughn，落基山研究所
Caroline Watson，C40 城市
Christian Zinglersen，清洁能源部长级会议

关于我们

关于落基山研究所（Rocky Mountain Institute）
落基山研究所（Rocky Mountain Institute, RMI）是一家于1982年创立的专业、独立、以市场为导向的智库，现任首席科学家卢安武是联合创始人。我们与政府、企业、科研机构、社区及创业者协作，推动全球能源变革，以创造清洁、安全、繁荣的低碳未来。落基山研究所致力于借助经济可行的市场化手段，加速能效提升，推动可再生能源取代化石燃料的能源结构转变，项目覆盖美国、中国、印度、撒哈拉以南非洲地区以及加勒比岛国等国家和地区。目前，落基山研究所在美国科罗拉多州巴索尔特和博尔德、纽约市、华盛顿特区及中国北京设有办事处。

关于昕诺飞（Signify）
昕诺飞（阿姆斯特丹欧洲证券交易所代码：LIGHT）是全球照明领导企业，业务涵盖专业照明，消费照明，以及物联网照明。我们借助飞利浦品牌的照明产品，Interact智能互联照明系统和数据服务，来传递商业价值，改善家居生活、美化建筑和公共景观。在2017年，昕诺飞年销售额达70亿欧元，在全球70多个国家和地区拥有大约30,000名员工。我们致力于开启照明的非凡潜力，创造“闪亮生活，美好世界”。更多信息，可登录：http://www.signify.com/news

目　录

摘要 06

01　全球背景介绍 08
建筑行业展望 09
电动汽车展望 10

02　为什么建筑能效提升可为电动汽车的发展提供空间 14
经济效益 15
电力负荷平衡效益 16
量化建筑能效改造率 18

03　将理论分析付诸实践 20
核心政策建议 21
加速建筑节能布局的政策建议 21
促成电动汽车革命的政策建议 23

04　结论 26

05　附录：研究方法 28
数据收集 29
数据分析 30

尾注 32

EX 摘要

摘要

- 在全球范围内，电动汽车（EV）的发展为应对气候变化做出了巨大贡献，但由此产生的对用电需求量的持续攀升也应被政策制定者纳入考虑范围。本报告表明，加速推动能效技术在建筑物中的应用，是实现气候良性转变的最具经济性的途径。

- 使用成本效益高且适应市场的建筑能效提升技术，可将全球建筑能效改造率由每年1%左右提升至5%以上，可以实现至少30%的节能，节省的能源还可在不提升现有发电总量的前提下，满足到2040年至少5.5亿辆电动汽车的用电需求。该举措将帮助实现巴黎气候协定设立的2摄氏度阈值的气候目标。

- 能效提升不仅能够以最低成本供给能源，还能帮助提高当地经济发展水平、负荷平衡能力、提升建筑物质量、生产力和公共卫生在内的一系列潜在效益。

- 想要获得上述效益，需要逐步对当前政策进行调整，主要是通过把握建筑改造的特定时间点，将能效提升、电动汽车智能充电技术和用电需求灵活性的设计统一整合到改造中，这样可以减少改造成本，并进一步推动可再生能源在各领域的应用。

01 全球背景介绍

预计到2040年，
全球建筑物的电力需求
将增长**69%**

全球背景介绍

在全球范围内，预计到2040年各领域的用电量将增加三分之二以上。随着全球人口和国内生产总值（GDP）的不断增长，包含住宅，商业地产和公共建筑在内的建筑物将消耗一半以上的新增用电量。与此同时，电动汽车的普及也需要更多的发电量。面对电动汽车的迅猛发展以及建筑用电量的持续攀升，人们不禁要问：这些电力从哪里来？与此同时，它们对全球气候会产生何种影响？

考虑到这一点，我们开始探索以下问题：

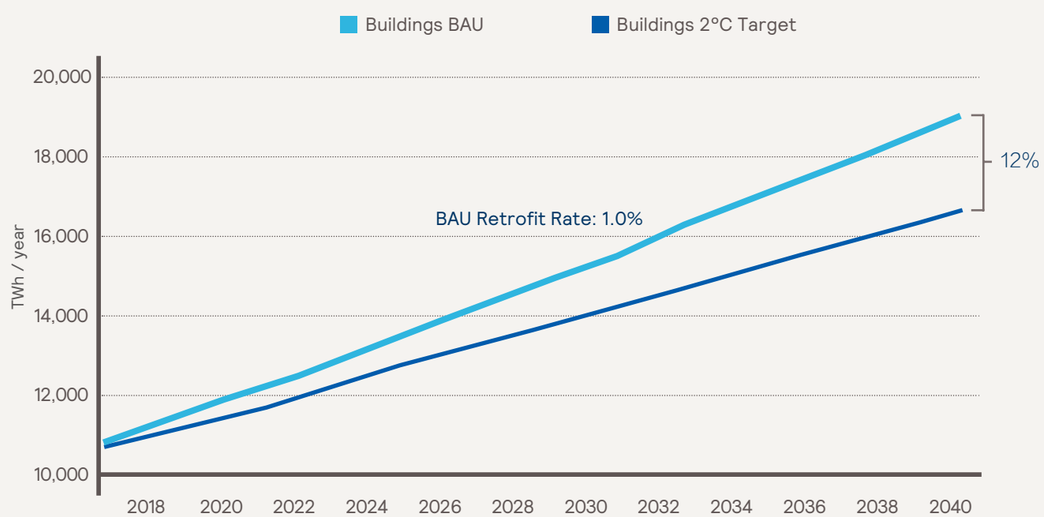
- 全球的电动汽车将会需要多少用电量，这将对电力基础设施产生什么影响？
- 考虑到与新的电力基础设施相关的能效经济性，现有建筑物能否通过增加能效改造而减少用能，以抵消电动汽车用电量的预计需求？
- 为实现巴黎气候协定设立的2摄氏度阈值的气候目标，建筑的能效改造率需要提升多少？
- 国家或地方政府可采取哪些措施来提升建筑的能效改造率，以此满足电动汽车的电力需求并实现气候目标？

建筑行业展望

国际能源署（IEA）预测，**至2040年全球建筑用电需求将增长69%**。[1] 如果不加管控，为满足不断上涨的用电需求，仅在美国，电力基础设施的投资就将在2040年达到2.5万亿美元（虽然当前趋势表明，超负荷的电力增长或许不会成为现实，但与其相关的基建费用却早已在计划之中）。[2]

根据国际能源署（IEA）的分析，即使不将电动汽车发展所需的额外用电量计算在内，**截至2040年，建筑的用电需求相比照常情景也应减少12%以上，才能实现全球温升不超过2摄氏度的气候目标。**这意味着到2040年，建筑总用电量需要减少近2,300太瓦时，**相当于6.84亿户家庭的用电量总和。**[3] 但是，当前建筑行业的节能趋势不足以实现这一目标，如表1中的全球建筑电力需求照常情景曲线图（下一页）显示，该曲线图已经将**目前每年1%的建筑能效改造率**和全球范围内已有和即将出台的建筑能源相关政策考虑在内。

表1：全球建筑用电量对比：保持现有1%能效改造率 vs 实现2摄氏度阈值气候目标



Source: International Energy Agency (IEA), Energy Technology Perspectives 2017

国际能源署（IEA）表示，虽然部分国家针对建筑开发的节能政策已取得突破性进展，但全球仍有近三分之二的国家没有任何强制性的建筑能效规范。[4] 建筑领域若想实现2摄氏度阈值的气候目标，每年的能效改造率需要提升至3.2%。这意味着国家必须加速推进能效提升技术的研发，同时采取强制性和更为严格的建筑节能政策。

电动汽车展望

在过去一年里，电动汽车的发展势头正劲，加拿大、中国、法国和日本等国家纷纷承诺将继续增加电动汽车保有量。与此同时，大众、沃尔沃和福特等汽车公司也设定了在未来五到十年内，大幅提高电动汽车产量的市场目标。[5] 此外，一些城市也正在加速制定更加积极的新能源政策，例如巴黎和墨西哥城宣布到2025年全面禁止使用柴油发动机；奥斯陆和奥斯汀则要求到2020年在市区内全部或部分实现市政车辆电动化。[6] 芬兰银行曾指出，如果其他国家不能及时适应这一技术性的革新转变，可能会对欧盟经济造成消极的连锁反应。[7]

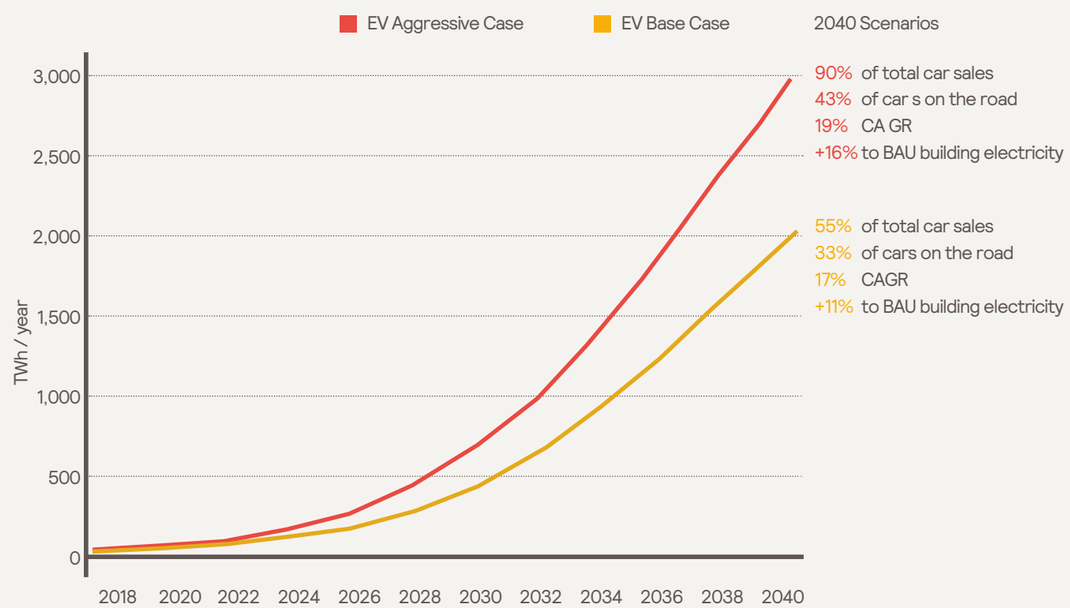
由于电力供给正在向可再生能源靠拢，数量不断增长的电动汽车无疑对环境而言十分有利。然而，这要求我们事先进行周密的规划和安排，尽可能少地提升电网的总体发电量。此外，由于绝大多数的电动汽车都在家中或工作场所进行充电，电动汽车使用率的增长也会带动建筑用电量的激增。

我们设想了2040年电动汽车普及后的一系列情景，来衡量广泛使用电动汽车后可能对电网产生的潜在影响。

- 通过上述分析可以得出，预计至2040年，电动汽车将占年度汽车销量的55%（仅2040年电动汽车销量就达5000万辆），占全球道路汽车总量的33%（电动汽车总数将达到5.5亿辆）。这也印证了彭博新能源财经（BNEF）发布的2018年电动汽车展望。[8] 该报告从公共目标、潜在消费人群和销售趋势等维度对电动汽车的发展进行了分析。该预测可被视为在现有趋势下电动汽车发展的真实呈现。
- 为确定电动汽车使用量的上限，落基山研究所设定了电动汽车的极端发展情景，来体现电动汽车数量激增对电力需求产生的影响。在极端情景下，电动汽车的使用率将高得多，到2040年占年度汽车销量的90%（仅2040年销售的电动汽车数量就达6300万辆），占全球道路汽车总量的43%（电动汽车总量达到8.3亿辆）。而这种极端情景是落基山研究所基于内部调研，考虑到对电动汽车的长期补贴、电力成本的下降以及电力基础设施不断扩建，所做出的对电动汽车行业发展最为激进的预测。

预计到2040年，电动汽车将占全年汽车销量的**55%**。

表2：全球电动汽车的需求量：保守情况VS极端情况



Source: Bloomberg New Energy Finance, Electric Vehicle Outlook 2017; and Rocky Mountain Institute projections

相关预测表明，由于电动汽车数量的增加，预计2040年建筑电力负荷将增加11%-16%。尽管这些数字看上去不大，但当电动汽车总量达到8.3亿辆时，每年的用电量约为3,000 太瓦时，已超过2013年整个欧盟的用电总量。[9]

尽管电动汽车的数量将持续增加，但我们仍应将电动汽车的发展视为加强和改善世界各国电网运行效率的好机会。世界自然基金会（WWF）公布的一份报告表明，如果合理采用智能充电和车辆到电网（V2G）技术，英国到2030年不仅可以完全淘汰内燃机，还能为整个国家的电网提供显著价值。[10]

02 为何建筑能效提升能为电动汽车提供发展空间

能效提升是**成本最低**的电力供给资源

为何建筑能效提升能为电动汽车提供发展空间

建筑能效提升为驱动电动汽车革命提供了最具经济性的发展机会。与建造全新的电网基建（无论是传统化石能源还是可再生能源）相比，建筑能效提升是满足未来能源需求成本最低的一种选择。目前，全球每年建筑能效改造率约为1%。我们相信，**将现有的经济性高且广泛应用的能效技术与相关扶持政策和新兴的商业及融资模式有机结合，这一比率可以显著提高。**此外，这些完成能效改造的建筑物也可安装电动汽车智能充电装置，来确保未来电网的稳定运行和可再生能源的有效利用。

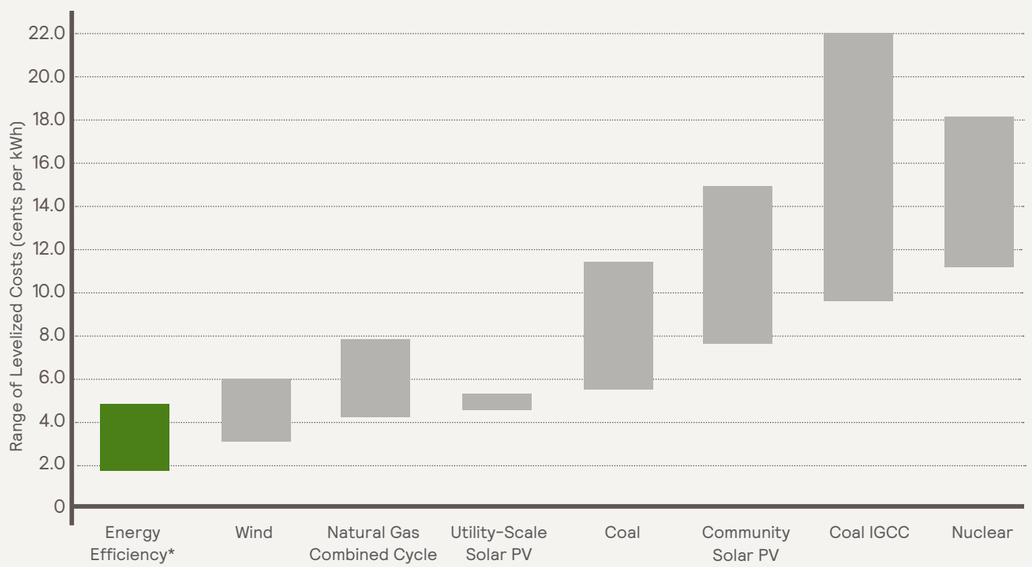
经济效益

提高建筑能效改造率的经济意义在于，建筑行业已拥有很多短期投资回报率非常高的成熟能效提升技术。同时，相较于重建一套新的电网基础设施，对现有建筑进行能效改造更利于推动本地经济发展。落基山研究所《重塑能源》报告的分析表明，美国建筑行业通过使用现有和新兴技术（2010－2011年后出现的技术），未来几十年的能源使用量可以减少38%，这仅需投资5000亿美元用于建筑能效改造，就可获得1.9万亿美元的收益，平均每年的投资回报率高达24%。[11] 此外，很多技术（例如LED照明，变频调速，低辐射玻璃涂层，智能建筑控制系统，逆向调试等）甚至不需要调整建筑物的内部结构 。

与前文提及的预计耗资2.5万亿美元新建美国电网基础设施相比，使用成熟的技术对现有建筑进行能效改造仅需花费5000亿美元，同时，能效改造还可持续为当地创造就业机会。2013年发布的Ecofys报告显示，[12] 投资建筑相关的能效措施，每节省1太瓦时电力可创造380个工作岗位，若投资火电厂，每生产1太瓦时的电力仅能创造110个工作岗位。建筑能效改造，对当地就业有着直接（例如材料生产和大楼施工）和间接（例如提高居民可支配收入）影响。对住宅和商业建筑能效改造的投资能够让当地直接获取能源节省带来的成本节约和回报。但是，如果将资金投放在在电厂建设中，回报则会浪费到其他地方，当地社区的直接收益将会减少。美国能源效率经济委员会（ACEEE）指出，自1990年以来，美国在建筑能效改造领域的总投资帮助避免了新建313个大型发电厂的投资，并为全美消费者带来了7,900亿美元的累积收入。[13]

此外，来自拉扎德公司（Lazard）和美国能源效率经济委员会（ACEEE）的最新数据也证实，能效提升是**成本最低的电力供给资源**，[14] 每千瓦时电力仅需2-5美分，采用能效提升的方式比化石燃料替代品价格还要低一半甚至2/3。随着时间的推移，使用可再生能源可显著提升电网的清洁程度，但就目前而言，节能领域的投资具有更多的经济意义，应该继续扩大对该领域的投资，将其发展成为稳定、可靠的电力供给途径。

表3：电力资源的平准化成本



* Notes: Energy efficiency program portfolio data from Molina 2014.All other data from Lazard 2017.High-end range of coal includes 90% carbon capture and compression.
Source: Annie Gilleo, "New Data, Same Results—Saving Energy is Still Cheaper than Making Energy," ACEEE, December 1, 2017, http://aceee.org/blog/2017/12/new-data-same-resultssaving-energy

如果建筑能效改造的投资案例还不足以令人信服，那不妨看看建筑能效提升对非能源领域的影响。例如提高企业生产率、改善热舒适环境、提升室内空气质量、减少员工病假以及增加能源供给的韧性和安全性（即降低能源供应突然中断的可能性，以及改善国家对能源进口的依赖性）。[15]

电力负荷平衡效益

建筑能效改造可有效降低电网的整体负荷，并且使用电需求变得更加灵活（电网可与建筑控制系统、智能LED照明和各类智能设备进行交互的情况下），以此保障电网的稳定运行。随着电动汽车智能充电装置的加速布局，电动汽车将成为全新形式的分布式能源，帮助平衡用电负荷，进一步提升可再生能源发电的利用率。

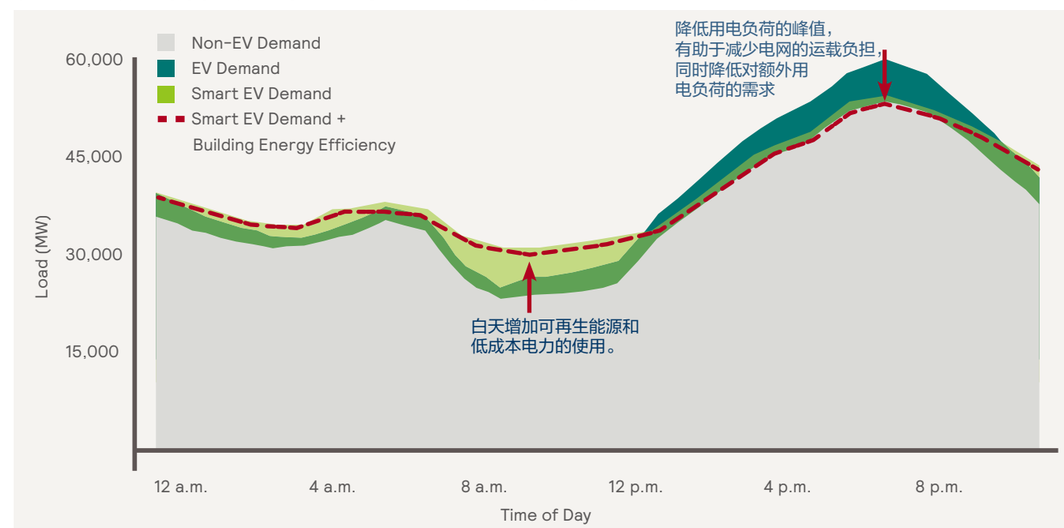
电动汽车和其它与电网连接的能效投资都可作为可响应的负荷，根据不同的电网需求与信号进行调节。包括：

- 电网使用：当电网用电负荷较低且电费低时进行充电。
- 可再生能源：当发电量过多时，可再生能源生产的清洁电力可被电动汽车储存，减少对可再生能源的浪费。
- 建筑用电：对建筑物而言，电动汽车可以根据大楼整体用电情况相应调整充电量，合理控制整体电力需求。

有效利用配备需求灵活性技术的智能电动车充电装置，能够实现电网更平衡稳定的运行，同时有效限制峰值负荷的蹿升。电动汽车智能充电装置可根据当前电力使用情况，选择最恰当的时机进行充电，甚至可以实现与电网之间的双向充电——即在电网负荷较低时进行充电，而在电网负荷较高时向电网释放电力，此类新技术已经在欧洲进入研发和测试环节。[16]无论是定时充电还是双向充电技术，当它与能效技术和能源管理系统协同使用时，各终端设备可实现信息互通，进一步降低电网用电负荷的峰值。

表4举例说明了加利福尼亚州大力推广诸如LED灯具改造、设备升级和逆向调试等投资周期短、效果出众的能效改造方案。这些措施不到4年就实现了投资回收，全州每小时的用电量减少约7%。配合可合理控制充电时间的电动汽车智能充电装置，可降低夜间用电负荷的峰值，而降低的负荷可完全抵消电动汽车的用电需求。

表4：电动汽车智能充电和建筑节能用电负荷峰值模拟



Source: CAISO projections and CA EV projections; Energy analysis of LED lighting, appliance replacements, and retrocommissioning across 50% of the existing building stock in CA at an average hourly savings of 7%; assumes 50% of non-EV load is from existingbuildings

落基山研究所另外一份报告更详细地阐释了需求灵活性技术和资源不仅能够降低用电负荷峰值，还可以实现电网对可再生能源的高效利用。[17] 国际能源署预计，到2040年，全球37%的电量将来自可再生能源（若要实现2摄氏度阈值的气候目标，该数字将为59%）。但是，倘若不采用需求灵活性技术，可再生能源发电无法完美匹配用电负荷，这将限制可再生能源发电的发展，也变相提升了电价，在这种情况下，想达到甚至是超越预期的可再生能源发电比例非常困难。电动汽车智能充电装置是该战略的重要组成部分，此外，新一代自动化建筑通信与控制技术（包括可整体控制空调、干燥机定时器，热水器和储能电池的智能恒温器）也可提高用电需求的灵活性。

在推动建筑提升能效的政策指引下，在全球范围内推行这些政策，不仅可以降低对额外发电量的需求，还可以推动可再生能源的发展，来实现2摄氏度阈值的气候目标。将电动汽车与能效提升技术共同规划，是目前降低用电负荷、实现气候目标成本最低的方式。

量化建筑能效改造率

从理论上来看，通过建筑能效改造来限制用电负荷的快速增长是可行的，但在实际执行过程中仍有一些问题待解决：

- 除了负担电动汽车发展所需的额外用电量外，建筑能效改造率达到多少才可实现建筑行业2摄氏度阈值的气候目标？
- 出台哪些政策可以加速建筑能效改造的进程，为公众创造更好的经济环境和生活品质？

我们根据电动汽车的市场占有率和建筑用电需求趋势预测，统计了若干种情景，来计算建筑能效改造率需要达到什么水准，才无需建造额外的电力基础设施（即以建筑节能的方式抵消建筑与电动汽车在2018年至2040年之间增长的用电需求）。但以上对建筑能效改造率的分析，并没有将电网发电量变化所造成的碳排放变化纳入考虑范畴，而是把重点放在减少因电力需求增加而导致的过度铺设电网基建上。其他详细信息可参考附录。

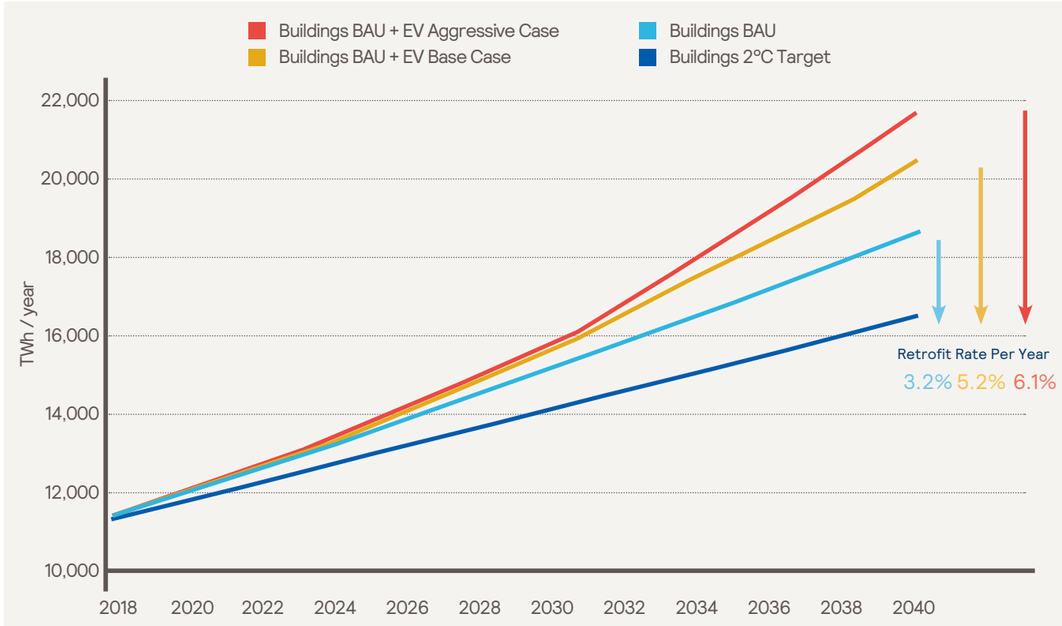
基于上述分析，我们初步判定对建筑进行能效改造，每栋建筑的用电量可减少30%左右。落基山研究所之前的项目案例显示，当建筑物使用相对成熟的能效技术时，前期的投入成本并不高，并且多数建筑在改造完成后可实现30%的节能目标。这种针对建筑整体设计的能效改造方案，可通过多种方式实现，包括大楼外墙改造、更换加热和冷却系统、升级设备和照明以及整合智能控制或能源管理系统。根据大楼的整体情况，部分建筑可以节省30%以上的用电量，而有些则会更接近或略低于30%。

该分析结果表明，**全球平均建筑能效改造率需要提升至当前的3到6倍，才足以抵消到2040年预测的新增用电负荷，从而放缓全球变暖的脚步。**[18]

- 至2040年，建筑行业如要完成2摄氏度阈值的气候目标，需将现有的建筑能效改造率提升3倍左右（未包含电动汽车的用电需求）。届时，全球43%的建筑需要完成能效改造。
- 将现有的建筑能效改造率提升5倍，才能在实现2摄氏度阈值的气候目标的同时，抵消电动汽车的用电需求。届时，全球80%的建筑需要完成能效改造。
- 至2040年，如果电动汽车行业以最极端的情况发展，则能效改造率需要提高6倍左右才能实现气候目标，全球98%的建筑需要完成能效改造。（这意味着几乎全球所有建筑都需要完成改造，才能减少30%的电力需求，并且实现2040年2摄氏度阈值的气候目标）。

如果建筑能效改造的效果能得到进一步的提升（例如，每幢建筑改造后可节省50%的用电量），全球建筑的改造费用只需增加2到4倍（而非3到6倍），同样可以实现2040年的气候目标，且不需要开展浩大的电力基础设施扩建工程。根据目前全球每户平均用电量，到2040年，通过建筑能效改造和相关节能政策所节省的电量，将相当于6.84亿至16亿户家庭每年的总用电量。

表5：通过建筑能效改造抵消电动汽车的用电需求并实现气候目标



Note: Retrofit Rate Per Year reflects the estimated 1.0% BAU globai building retrofit rate plus calculated incremental retrofit rates needed to offset each scenario's electricity demand gain (TWh) in 2040, based on the additional global built floor area assumed to achieve 30% site electricity savings. Share of Stock Retrofitted reflects the cumulative global built floor area undergoing incremental retrofits through 2040 in each scenario as a proportion of the 2040 global building stock.

03 将理论分析付诸实践

我们可以更好地整合节能政策，来实现**2摄氏度阈值**的气候目标

将理论分析付诸实践

哪些因素可以加速推进建筑行业的能效改造？能效改造率提升需要逐步调整与建筑能效提升技术和电动汽车智能充电技术相关的政策方针。所以，政策制定者需要学习如何有效处理新增用电负荷，并充分考虑经济性。通过捕捉颇具经济性的建筑能效改造的全部价值，这些利益相关方可以为电动汽车等新技术发展腾出空间，这些新技术有潜力改变全球交通系统并减少碳排放，而且可能产生净收益。发展具有颠覆性的革新技术，需要决策者在观念上率先做出改变，将发展革新技术视作提升现有建筑效能并提高人们生活品质的机遇，而非额外的财政负担。

制定并加强建筑和移动出行相关的用电政策，是实现技术突破最有效的方式之一。在全球范围内，约有68%的住宅和55%的商业和公共建筑并没有被纳入强制性规范和标准的范围。[19] 但在电动汽车行业迅猛发展的浪潮下，政策制定者需要考虑它对区域用电需求的影响。此外，他们还需要考量如何让建筑和移动出行协同工作，来提高电网基建的稳定性。

通过整合建筑、电动汽车和可再生能源三方面的节能政策，我们可以大幅降低电网基建的扩建成本，从而实现2摄氏度阈值的气候目标。例如，在制定电动汽车充电及分时计价的新政策和激励机制时，还应考虑如何将建筑中各类设备和电器并网，最大化利用可再生能源。而前文提到的需求灵活性技术，应被视为各级电网和政策规划的核心部分，该技术的应用可大幅优化可再生能源的电力供给。

核心政策建议

- **协同考虑建筑物和电动汽车政策**来降低与两者相关的成本。电动汽车可成为建筑节能政策的核心驱动力，而更重要的是，建筑的能效提升也是满足电动汽车用电需求的最低成本选择（甚至可以完全负担电动汽车所需的电力）。
- 此外，电动汽车和建筑能效提升措施能够通过对能源供需两侧的实时响应，支持**未来可再生能源高比例并网的电网运行。**
- 在移动出行、建筑和可再生能源领域的技术革新，是**整体节能政策框架中**必不可少的一部分，它们在区域范围内互相支持，最大限度地提高成本效益和电网供电的灵活性。

加速建筑节能布局的政策建议

- 对于现有建筑物，建立并加强**基准和信息透明政策**，力求做到建筑能效表现的信息公开。虽然这些政策本身并不能实现节能，但它们在提高认识、推动需求、促进建筑物业主之间的竞争等方面都起到了重要作用，甚至还可为能源升级决策提供必要的数据支持。

除了绩效信息，如果报告文件和评级工具还能为建筑提供能效改进意见，建筑基准和信息透明政策的建立和实施就显得极为有效了。

- 仅仅在美国几个州与地方实施了建筑基准与信息透明政策，就令几大主要城市的商业和住宅建筑的能耗降低了3%-8%。[20]

- 欧盟的建筑能效指令（EPBD），设立了建筑能源评级方案和相关的能效证书，在大多数欧盟成员国的住宅、商业和公共建筑强制执行，使建筑能效表现信息披露成为地产交易的一部分。[21]

- 对于现有建筑物，可执行**建筑能效表现条例**，并随着时间的推移逐步提高对建筑的节能要求。土地所有者必须按照既定的时间轴来执行相关建筑节能政策（例如，每两年为一个改造周期），若不想花费财力物力进行改造，业主也可直接选择将该土地进行出售或租赁。

- 在商业领域，纽约与其他城市已相继颁布了建筑节能法案，要求面积超过25,000平方英尺的建筑必须严格按照时间轴执行能效改造。[22]

  - 将建筑节能法案与当地公用事业挂钩，确保在能效改造方案执行过程中，与奖励机制、历史能效数据和相关培训项目有机结合。

- 针对私人住宅，该建筑必须满足租赁房产的最低能效标准，该房屋所有人才可以获得租赁许可证。落基山研究所近期的调研报告收录了几则成功的政策制定案例，[23]例如科罗拉多州博尔德市的SmartRegs计划，可供其他城市参考。[24]

  - 对已经颁布租赁许可计划且房屋租赁比例十分高的城市而言，出台租赁房屋的能效标准效果非常好。

- 对于新建筑而言，建立**强制性建筑节能规范**或扩大其覆盖范围（目前仅有自愿执行或仍待政策出台两种情况），可有效解决建筑的围护结构、加热、冷却和通风系统以及电动汽车的充电基建问题。

- 正如德国和英国等国家所实行的那样，贯彻以能效表现和结果为导向的建筑能效规范制度，是系统解决所有终端电力需求的最全面和一体化的方法。

- 有助于推动净零能耗建筑发展的建筑规范应成为非经合组织国家关注的新重点，预计到2040年，全球将有82%的新增建筑面积（总计1100亿平方米）将来自这些国家。[25]同时，新建筑实现净零能耗，将大大减少未来建筑能效升级的需求。

- 随着时间的推移，经合组织国家将以逐步收紧建筑能耗规范为工作重点。因为至2040年，经合组织国家将拥有全球绝大部分的建筑存量。

  - 通过应用最新的建筑能效规范（即2015 IECC和ASHRAE 90.1-2016），美国26个已经实行建筑能效规范的城市，可分别在私人住宅和商业建筑中节省17%和13%的能耗。[26]

  - 使用旧版或是尚未制定建筑能效规范的城市，私人住宅和商业建筑可分别实现29%和33%的节能效果。

- 通过扩大建筑能效规范的适用范围来解决电动汽车的充电和峰值负荷问题，这是一体化设计政策解决方案的关键切入点。

  - 欧盟的建筑能效指令（EPBD），要求在某些特定类型的建筑在新建或进行大规模翻修时，需要提供管道基础设施与电动汽车的充电柱。[27]

    欧盟的建筑能效指令（EPBD），还要求欧盟委员会制定“智能指示器“，用于评估建筑物和电网的整合程度（包括电动汽车充电装置），同时优化能效表现。

  - “加州能效Title 24”制定了针对电动汽车充电站的强制性标准，并进一步整合了用电需求的管理技术，用于控制峰值时巨额的电力负荷。[28]

- 建立住宅和商业建筑中**各类设备的最低节能标准或者扩大其**应用范围。

- 如某些地方政府已经开始逐步禁止内燃机一样，考虑逐步废除过时或高能耗的产品（例如白炽灯泡或高能耗空调）。

- 在新建和现有建筑中推广智能电表和高速网络，能够将建筑转化为电网可使用的资源。

- 鼓励和支持旨在管理用电负荷灵活性的建筑能源管理系统的研究、开发和投放。

- 通过推出**融资机制和激励措施**以及投资新技术的研发来推进节能的实施。

  - 融资机制下的“绿色债券”、“白色证书”和公用事业债券等，都是行之有效却尚未被充分利用的例子。

- 为解决能效改造中的非经济性的障碍，需要建立相关培训和教育项目，尽可能提供标准化改造程序，同时提高居民对建筑能效提升的认知。

只有严格实施这些节能政策并及时做出调整，才能实现提高建筑能效改造的最终目标。为了将全球建筑能效改造率提升三到六倍，并为电动汽车的蓬勃发展铺平道路，需要采取经过实践验证的措施以及激励创新的方法。

促成电动汽车发展革命的政策建议

从一开始就规划好汽车电动化的正确发展方向和基建铺垫是非常关键的。需要设立合理的目标、精心规划充电基建以及直接或通过聚合器间接管理充电设备的能力。当电动汽车智能充电基建与建筑能效改造协同进行时，建筑性能与能效提升的相关政策才能最有效地发挥作用。

- 采用**分时段定价**的举措，有助于减少用电负荷，还可促进电动汽车在非高峰时段的充电。
  - 配备电动汽车充电基建的建筑，应自动使用此类定价模式。
  - 当工作及购物场所配备电动汽车充电装置时，应充分**利用白天和非高峰时段进行充电**。
- 充电桩应启用**用电需求装置**，以进一步鼓励电动汽车在非用电高峰期进行充电。
- 在标准化建筑能效改造方案中，应将电动汽车充电基建安装和减少用电需求的措施同时纳入考虑范畴。
  - 这将包括如绝缘在内的基本负荷组件，以及建筑体的动态表现，如可调光照明、自动控制、储能和电力需求响应系统等。
  - 动态需求控制元件还应与建筑物中的太阳能光伏发电系统进行整合，力求以最小的投入达到最大化的综合效益。
- **全新的双向充电技术**可将电动汽车电池中的电量向建筑物或电网供电，应将其列为示范项目重点推广。
- 建筑能效规范也应涉及电动汽车的电力负荷，以此提高人们对由电动汽车额外用电量的关注。
- 收集和分享有关充电基建利用率的数据，可帮助决策者进一步制定有关充电桩的推广计划和其对当地电网产生的影响的政策指导。

种种迹象表明，汽车电动化在短期内仍是一种潮流。对政府职能部门而言，采用缜密规划的节能政策可减少电力基础设施的扩建，有效控制用电成本，这也有利于创造更舒适、更高效、更有韧性的生活和工作环境。

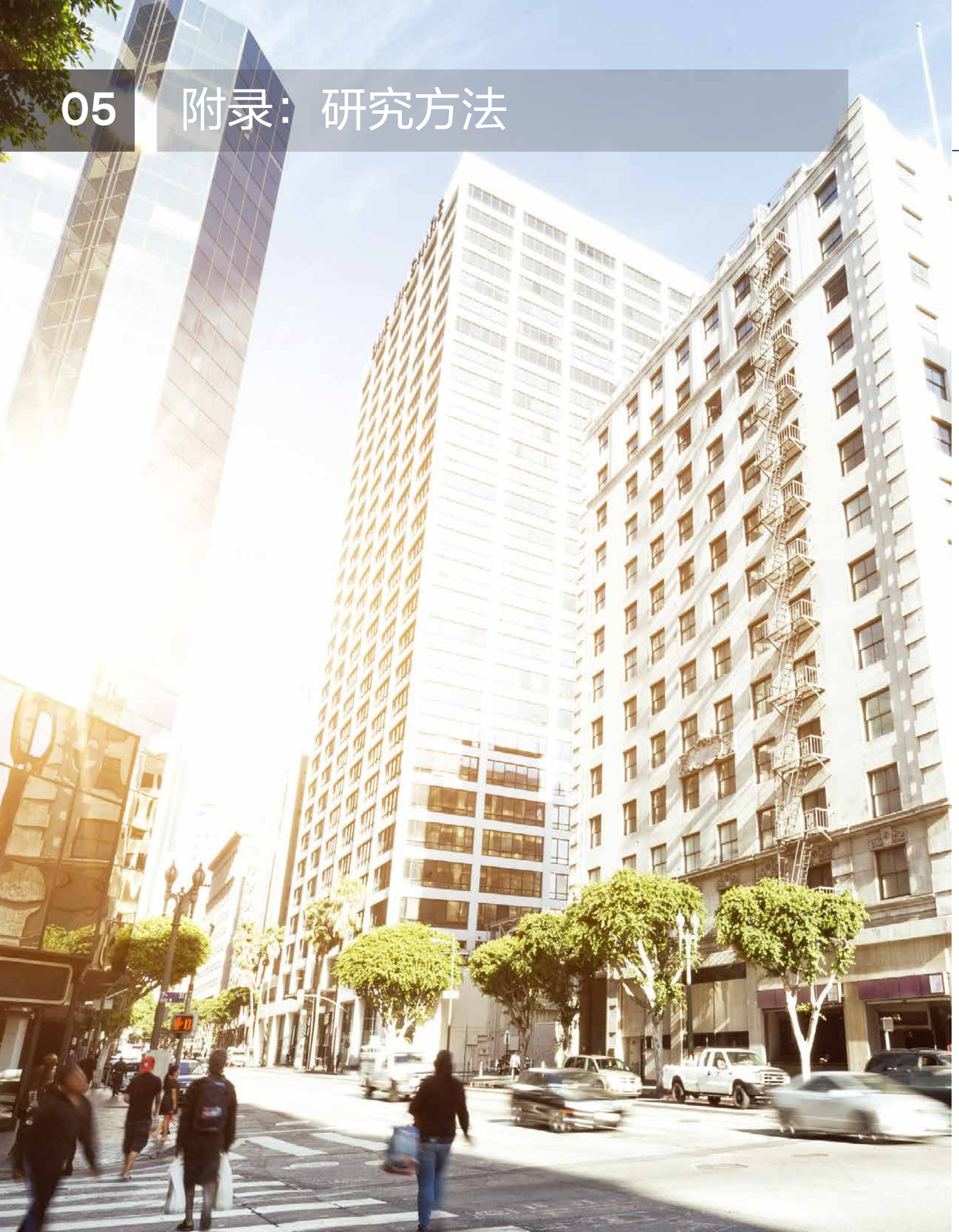
04 结论

结论

虽然，电动汽车及其监管政策仍相对较新且尚待检验，但可帮助具有前瞻性思维的政策制定者提供一种全新的发展机遇。另一方面，在制定建筑性能和能效政策方面，政策制定者不必从头做起，可以尝试借鉴迄今为止积累的丰富技术与实践经验，同时汲取其他国家的经验教训。政策制定者还应该重点关注电动汽车、建筑物和电网之间的相互作用。现有的建筑能效规范与电动汽车政策尚未对这些可相互作用的运行模式做出定义，但考虑到电动汽车将成为建筑电力需求的重要组成部分，该问题亟待解决。

通过这一分析，我们希望向政策制定者传达，当今世界亟需采取高效益、低投入的措施来解决不断增长的用电需求。为实现2摄氏度阈值的气候目标，我们也为政策制定者提供了电力和建筑能效相关的背景知识和见解，帮助他们更好地制定和实施创新的节能政策。但鉴于电动汽车行业正处于高速发展期，而建筑行业却面临一些挑战，如能效改造率较低、规划不够清晰、缺乏强有力的支持政策等。这些问题使能效提升技术的应用变得举步维艰，若长期如此，未来几十年间的电力成本与碳排放或将会暴增。如果要**将建筑能效改造率从1.0%提升至3.2%以上，则需要多方面共同发力。若是想要实现2摄氏度阈值的气候目标，那么全球的建筑能效改造率应达到5.2%–6.1%。**

幸运的是，相较于其他替代方式，能效提升技术的成本更低，并且可带来更多效益。先进的能效提升可通过需求灵活性更多选择性地利用不断增长的可再生能源电力供应，而且政策框架已经存在，尽管它们需要调整以适应行业发展。基于现有的能效技术、政策机制以及融资架构，政策制定者的积极推动与落实将发挥重要作用。



05 附录：研究方法

附录：研究方法

本报告侧重于研究如何减少电力基础设施的持续扩建，因此考虑了电动汽车用电需求增长可能会带来的影响，以及国际能源署2摄氏度阈值的气候目标。这些预测假设了可再生能源有效利用的变化数值。然而，在建筑能效改造的背景下，落基山研究所的研究并未涉及电网发电情况与碳排放之间的联系。

数据采集

建筑

对住宅、商业和公共建筑以及地区的全球最终电力需求（计量单位为太瓦时）的年度预测数据来自2017年国际能源署能源技术展望（ETP），以及从2018年到2040年的2度假设。同时，国际能源署能源技术展望从社会经济假设入手（包括人口、GDP、收入、城市化水平和电气化率），确定了电力需求的驱动因素和相关能源需求，该理论模型被全球35个国家和地区采用，用于计算最终的能源消耗量。[29] 在可能的情况下，模型通常会用到历史数据和建筑行业信息，例如建筑能效规范或终端设备的最低能效标准。依据最终用途或技术，该理论模型通常会包含或估计多个类别——如全球建筑分为三类、包括近零能耗建筑、符合规范的建筑物以及不符合规范或没有使用建筑能源规范的建筑物。

国际能源署的研究结论参考了目前全球各国对限制碳排放和提高能效的承诺，包括“巴黎协定”承诺国家的自主贡献。国际能源署的2度情景列出了能源系统路径和二氧化碳排放的轨迹。数据显示，至少有50%的可能性可以在2100年之前将全球平均温度上升控制在2摄氏度之内。

这项工作部分基于国际能源署制定的2017年能源技术展望，版权归属于经合组织和国际能源署。后续工作由落基山研究所完成，但并不一定完全反映国际能源机构的观点。

电动汽车

电动汽车电力需求的年度预测基于彭博新能源（BNEF）在2018年电动车展望报告中所做的分析。根据落基山研究所的专业经验和观察到的市场趋势，预测了电动汽车极端的发展情景。需要注意的是，国际能源署能源技术展望确实预测了电动汽车电力需求，但仅将其视为交通运输领域（而非建筑领域）的一部分，因此对于电动汽车的需求量不会被重复计算。该分析仅使用了上述国际能源署能源技术展望的全球建筑行业模型。

数据分析

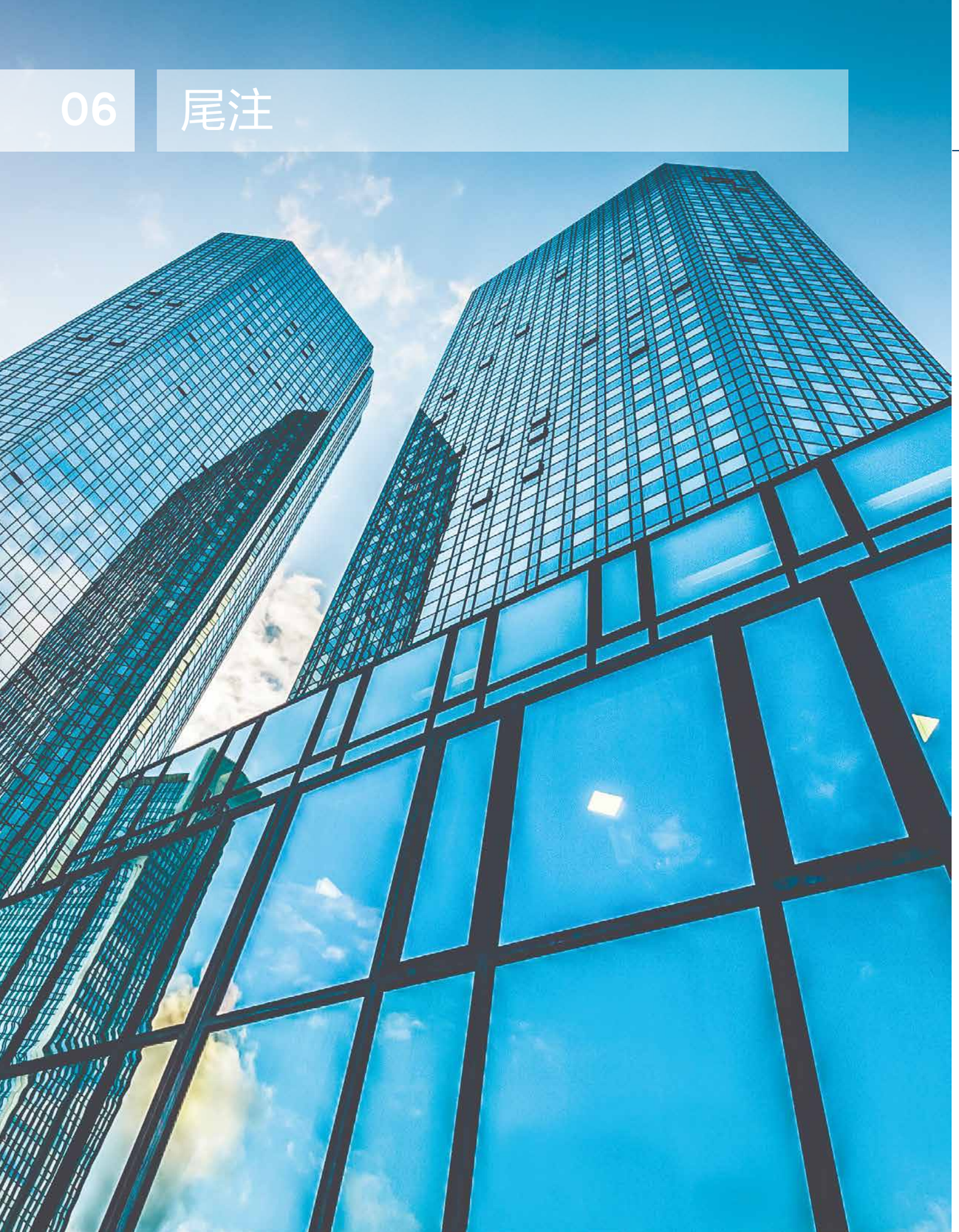
建筑

根国际能源署预测，至2050-2060年，全球建筑能效改造率约为0.9%，上限为1.1%。因此，若按照常情景发展，全球建筑能效改造率约为1%。落基山研究所计算的新增建筑能效改造率，主要源于全球新建的建筑面积，这些新建的建筑预计每年可节约30%用电量，完全足够抵消2040年电动汽车以极端情景发展所需要的电力。通过建筑能效改造，节省的电量可能会低于30%，也有可能超过30%，但根据落基山研究所根据以往的项目经验，最终选择了30%这个数值，也就是说倘若使用市场成熟的能效改造技术并且不花费太多的前期成本的情况下，30%是可实现的。新增的建筑改造率再加上之前提到的1.0%，就是所需的总体数值。

电动汽车

本报告中提出的全球电动汽车发展情况是基于彭博新能源在2018年6月公布的基本案例预测。而落基山研究所假设了电动汽车极端发展情况，即到2040年，电动汽车占汽车销售总量的90%，该预测是根据彭博新能源建模的电动汽车趋势分析，使用单变量分析法倒推得出的结论，创建了类似的电动汽车销量曲线。

06 尾注



尾注

[1] 国际能源署,《能源技术展望2017——驱动能源技术转型》，2017（06）。
网址：https://www.iea.org/etp2017/

[2] 美国土木工程师学会，《难以开展的修葺计划：弥补基础设施建设投资缺口，助力美国经济腾飞》，2016。
网址：https://www.infrastructurereportcard.org/ wp-content/uploads/2016/05/2016-FTA-Report-Close-theGap.pdf.

[3] 世界能源理事会2014年的数据（最新数据）显示，全球家庭每户平均用电量3353千瓦时。

[4] 国际能源署，《2017年节能报告》，2017（10）。
网址：https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Energy_Efciency_2017.pdf.

[5] 国际能源署，《2017年全球电动汽车市场展望报告：200万辆保有量，且增长势头强劲》，2017。
网址：https://www.iea. org/publications/freepublications/publication/ GlobalEVOutlook2017.pdf.

[6] Koben Calhoun, Jacob Corvidae、Jon Creyts、Matt Jungclaus、James Mandel、Elizabeth O'Grady, Peter Bronski，《零碳城市手册》，2017（10）。
网址： rmi.org/carbonfreecities.

[7] 芬兰银行，《汽车工业对欧盟的重要意义》，2016（4）。
网址：https://www.bofulletin.f/ en/2016/1/signifcance-of-the-car-industry-in-eu-countries/.

[8] 彭博新能源财经,《电动汽车展望》,2018。
网址：https://about.bnef.com/electric-vehicleoutlook/#toc-download.

[9] 美国中央情报局,《世界各国概况：主要国家的用电量比较》，2018（8）。
网址：https://www.cia.gov/library/publications/the-worldfactbook/rankorder/2233rank.html.

[10] 世界自然基金会 ,《2030年起禁止销售燃油车》,2018（6）。
网址：https://www.wwf.org.uk/updates/ wwf-2018-electric-vehicles-report.

[11] 卢安武，《重塑能源》，第86-87页，2011。

[12] Ecofys，飞利浦，《节能好处多多，你还在等什么？》，2013（9）。
网址：https://www.ecofys.com/fles/fles/ecofys-2013-the-benefts-of-energy-efciency-us.pdf.

[13] 美国能效经济委员Maggie Molina，Patrick Kiker，Seth Nowak，《你从未听过的最佳能源故事： 节能投资是如何改变美国电力产业，并成为我们应对气候变化的有力手段》，2016（8）。
网址：http://aceee.org/research-report/u1604.

[14] 美国能效经济委员Annie Gilleo，《新数据，但结果相同——节能依旧比产能成本更低》，2017（12）。
网址：http://aceee.org/blog/2017/12/new-data-same-resultssaving-energy.

[15] 《建筑节能项目 ，节能提高生产力效率》，2013（7）。
网址：https://buildingefciencyinitiative.org/articles/productivity-gains-energy-effciency;
美国能源部Jonathan Cohen、David Jacobs、Ely Jacobson、Amanda Reddy、Ellen Tohn和Jonathan Wilson，《家庭节能用电对健康的益处》，2016（12）。
网址：https://betterbuildingssolutioncenter.energy.gov/sites/default/fles/attachments/Home%20Rx%20The%20Health%20Benefts%20of%20Home%20Performance%20-%20A%20Review%20of%20the%20Current%20Evidence.pdf;
Laurent、Skye Flanigan、Jose Vallarino、Brent Coull、John D. Spengler， Joseph G. Allen，建筑与环境114（2017）的第178-186页——《在绿色建筑中工作，对人们认知功能和健康产生的影响》，2017。
网址：https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132316304723;
国际能源署，《获取建筑节能的多重效益》，2014。
网址：http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Multiple_Benefts_of_Energy_Efciency.pdf.

[16] 艾迪新闻编辑室，《跨部门电动汽车项目旨在建造碳中和办公楼》，2018（4）。

网址：https://www.edie.net/news/8/Cross-sector-electricvehicle-project-targets-energy-neutral-ofcebuildings/?utm_source=dailynewsletter,%20edie%20 daily%20 newsletter&utm_medium=email,%20email&utm_ content=news&utm_campaign=dailynewsletter,%20 2f0324d95b-dailynewsletter.

[17]落基山研究所Mark Dyson、Cara Goldenberg以及Harry Masters，《需求灵活性：实现低成本与低碳电网的关键》，2018（2）。
网址：https://www.rmi. org/wp-content/uploads/2018/02/Insight_Brief_Demand_ Flexibility_2018.pdf.

[18]这些建筑的能效改造率居于全球平均水平；请参见以下章节《将理论分析付诸实践》中关于经合组织与非经合组织国家之间政策建议的变化方向的讨论
网址：https://www.rmi. org/wp-content/uploads/2018/02/Insight_Brief_Demand_ Flexibility_2018.pdf.

[19]国际节能署，《2017年节能报告》，2017。
网址：https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Energy_Effciency_2017.pdf.

[20]美国劳伦斯伯克利国家实验室Richard Faesy、Chris Kramer、Natalie Mims、Steven Schiller、Lisa Schwartz以及 Elizabeth Stuart，《对美国建筑能效标准与透明化的评估：属性、影响、最佳范例》，2017 。
网址：https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Energy_Effciency_2017.pdf.

[21]欧盟委员会，《建筑能效指令》， 2018。
网址：https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efciency/buildings.

[22]纽约市长可持续发展办公室绿色建筑与节能，《绿色建筑计划》，2018（2）。
网址：http://www.nyc.gov/html/gbee/html/plan/ plan.shtml.

[23]美国科罗拉多州博尔德市，“Smartregs计划”，2018（2）。
网址：https://bouldercolorado.gov/plan-develop/smartregs.

[24]落基山研究所的高级咨询师Radhika Lalit 以及 Alisa Petersen，《租房让生活更美好：提升城市租赁住房能效表现的有力政策》，2018。
网址：https://www.rmi.org/wp-content/uploads/2018/05/Better-Rentals-BetterCity_Final3.pdf.

[25]国际能源署，《能源技术展望2017——驱动能源技术转型》，2017。
网址：https://www.iea.org/etp2017/.

[26]美国能效经济委员会，《建筑节能发展战略》（更新版），2018。
网址：http://aceee.org/local-policy/toolkit/ savings-strategies-buildings.

[27]欧洲议会和理事会， Directive (EU) 2018/844指令，2018（5）。
网址：https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1529394717053&uri=CELEX:32018L0844.

[28]美国加州立法机构，《建筑标准：电动汽车充电基础设施建设》，2017（9）。
网址：https:// leginfo.legislature.ca.gov/faces/billTextClient.xhtml?bill id=201720180AB1239.

[29]国际能源署，《全球建筑能耗模型》，2018。
网址：https://www.iea.org/etp/etpmodel/buildings/.

落基山研究所

2490 Junction Place | Suite 200
Boulder, CO | 80301 USA
http://www.rmi.org

© August 2018 RMI. All rights reserved. Rocky Mountain Institute®
and RMI® are registered trademarks.