



全球能源转型之七大挑战

摘要报告



全球能源转型的重大挑战

朋友们、同事们：

我们中有许多人都在以各自的方式工作在能源转型和气候行动领域，常常会问到这样一个问题：我们如何才能克服未来十年紧迫的气候挑战？

无论你是16岁还是60岁，都要面对这样一个现实：未来十年将是地球生命历史上异常关键的一段时间。这段时间的发展可能会有多种可能，但避免气候变化最严重后果的机会窗口正在快速地关闭。

气候科学家们清楚地告诉我们，如果我们在2030年前将温室气体排放减少40%-50%，就仍有机会把全球升温幅度控制在1.5°C以内。科学证据还表明，全球气温上升1.5°C和2°C之间的差别虽然看起来好像很小，但实际上，它们对我们的生活以及所有未来生命的影响是巨大的。而以我们目前的发展速度与趋势，全球升温幅度可能高达3°C-4°C，其后果更是几乎无法想象的。

所以，我们应如何应对？

如果我们维持现有的行动方式，即使未来付出500%的努力来应对气候变化，也仍不足以实现我们需要的突破。

在落基山研究所，基于这一认识，我们正在以更创新的方式思考如何提高效率，并从根本上调整我们的工作方式。要想达到这一目的，我们需要做出改变，勇于尝试，并敢于冒险。

我们深知，如果我们采用系统化的视角来审视全球能源转型，并抓住具有最大杠杆效应的机遇，就有机会创造事半功倍的积极改变。采用系统化视角审视问题可以使我们以及每一个气候工作者更高效地开展工作，因为我们可以看到，在明确的目标指引下，我们的工作是否符合系统的整体需求。在落基山研究所，我们认为投资于这一层面的共同学习具有关键性的作用。

我们知道，要实现气候目标，我们需要以更高效的方式与全球本领域内更大范围、更多元化的参与者和同盟协作。要实现突破性进展，我们必须重新审视自己的身份以及如何能够做出最大的贡献。这需要社会各领域不同组织间通过彻底的全球性合作来实现经济的全方位转型。

基于这一想法，落基山研究所正在邀请全球气候行动和能源转型领域内外的所有利益相关方加入我们，在未来的12个月里识别并抓住真正的突破性机遇，以帮助我们能够在这一关键时刻做出真正的改变。毫无疑问，许多突破性机遇是一家组织或公司等各自无法独立实现其市场转化，但通过合作，我们就能够将其转化为可以规模化推广的市场行为。

要促成这样的对话与合作，并支持我们希望该合作达成的效果，我们已邀请能源和气候领域的思想领袖们于11月18日-19日相聚于纽约、新德里和北京，共同回顾全球能源转型取得的进展，探讨其面临的挑战与机遇，以及我们各自的行动和能力与全球能源转型需求之间的联系。明年初，落基山研究所也将发起一项创新的“全球能源转型解决方案实验室”项目，通过多种务实和可行的方式进一步推动这一合作。

我们的报告《全球能源转型之七大挑战》是这一合作的起点。通过识别这些重大挑战和关键领域，我们邀请各利益相关方共同探索解决方案，而不是宣布需要采取的行动以得到特定的结果，因为我们非常清楚，随着全球合作的进一步推进，这些重大挑战本身也需要不断拓展、重组或重塑。

考虑到当前气候行动的紧迫性，落基山研究所承诺将在未来的一年中进行整个组织范围内的重新评估与重塑。**为了实现突破性的成果，我们已经做好准备重新考虑并改变我们的工作方式，以加速推动全球能源转型。**

11月份将与我们荟聚的思想领袖都在能源和气候领域有着广泛的影响力和推动力。相信通过共同合作，我们能够改变市场、解锁新的投资机会，并打造新的企业，同时解决我们气候行动面临的巨大挑战。我们期待着在北京、纽约和新德里与您相会，全面凝聚我们的能量、创造力与毅力，共同继续我们的事业。

对于全球能源系统的低碳未来，我们坚定不移，充满希望！

Jules Kortenhorst, 代表落基山研究所



Jules Kortenhorst

联系方式

James Newcomb, jnewcomb@rmi.org

Kieran Coleman, kcoleman@rmi.org

建议引述

全球能源转型之七大挑战, 落基山研究所, 2019年11月

鸣谢

特别感谢落基山研究所下列专家为本报告撰写提供的洞见观点与大力支持: Josh Agenbroad、Paul Bodnar、Thomas Koch Blank、Koben Calhoun、Cara Carmichael、Jacob Corvidae、Jon Creyts、Mark Dyson、Garrett Fitzgerald、Carla Frisch、Leia Guccione、Lena Hansen、Mike Henchen、Taku Ide、Richenda van Leeuwen、Jamie Mandel、James Mitchell、Tyeler Matsuo、Patrick Molloy、Rushad Nanavatty、Paolo Natali、Victor Olgyay、Samhita Shiledar、Clay Stranger、Cyril Yee以及Eric Wanless。

本报告由落基山研究所的新兴解决方案小组主笔, 小组负责人是James Newcomb, 主管是Kieran Coleman。本文也得到了卢安武 (Amory Lovins)、Charlie Bloch、Josh Brooks、Joseph Goodman、Krutarth Jhaveri、Katie Mulvaney、Madeleine Tyson、Ethan Wampler等专家分享的关键研究、分析成果与帮助。另外, Jeffery Greenblatt和Emily McGlynn作为外部专家也为本报告的撰写提供了重要的研究分析和专业意见。



关于落基山研究所

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。我们与政府部门、企业、科研机构及创业者协作，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。落基山研究所在北京、美国科罗拉多州巴索尔特和博尔德、纽约市、旧金山湾区及华盛顿特区设有办事处。



Innovation Fund
for Energy Solutions

能源解决方案创新基金

报告作者向慈善机构合作伙伴和能源解决方案创新基金会的大力支持表示衷心的感谢。

现在就开始行动

尽管能源系统的一些部门正在通过快速的转变以减少温室气体的排放，但我们的世界在整体上仍然已严重偏离了《巴黎协定》设定的将全球平均温升幅度控制在远低于2°C水平目标所需的路线。自上而下地看，政府的政策行动已无法及时提供所需的改变来避免全球气候变化带来的最严重后果。许多国家都在忙于解决安全、贸易和经济稳定等问题。只有少数国家有足够的精力和意愿来做出必要的能源政策改变，从而使能源系统在所需的时间范围内步入改革的正轨。

我们的分析和经验认为，还有另一条路径可以实现我们的目标。在民众、企业、慈善机构、次国家级管理者、监管者和决策者大胆而坚定的行动推动下，这条路径正在逐渐浮现。如果有能力的机构和组织有意愿通过新的方式合作，这些领先的组织和机构在未来两到三年的行动将能够在应对气候危机的事业中快速实现意义非凡的重要成果。

基于系统化的视角，我们识别出了全球能源系统中的七个关键领域，其中的解决方案是可以实现但尚未被我们掌握的。这并非一系列确定性的答案，而是一个有助于催化各方间更好地理解、联盟、合作以及加速行动的起点。也许最为重要的是，这项工作将帮助我们更清楚地思考系统内不同部分之间的联系，从而确定如何使我们的行动更具有策略性和针对性。由于应对这些挑战的行动具有很强的协同作用，具备全局化的视角可以确保我们的工作更有效率。

在气候变化不断加速，全球能源系统在未来十年亟需大幅转变的迫切需求面前，我们要如何对能源转型的速度抱有希望？如果把全球能源系统想象为一艘巨型油轮，我们自己就是掌舵者，我们可能会发现，即使现在就将船舵转向可持续轨道，我们仍然很可能无力完成将全球平均温升幅度限制在远低于2°C水平的目标，真正的温升幅度可能会超过3-4°C。

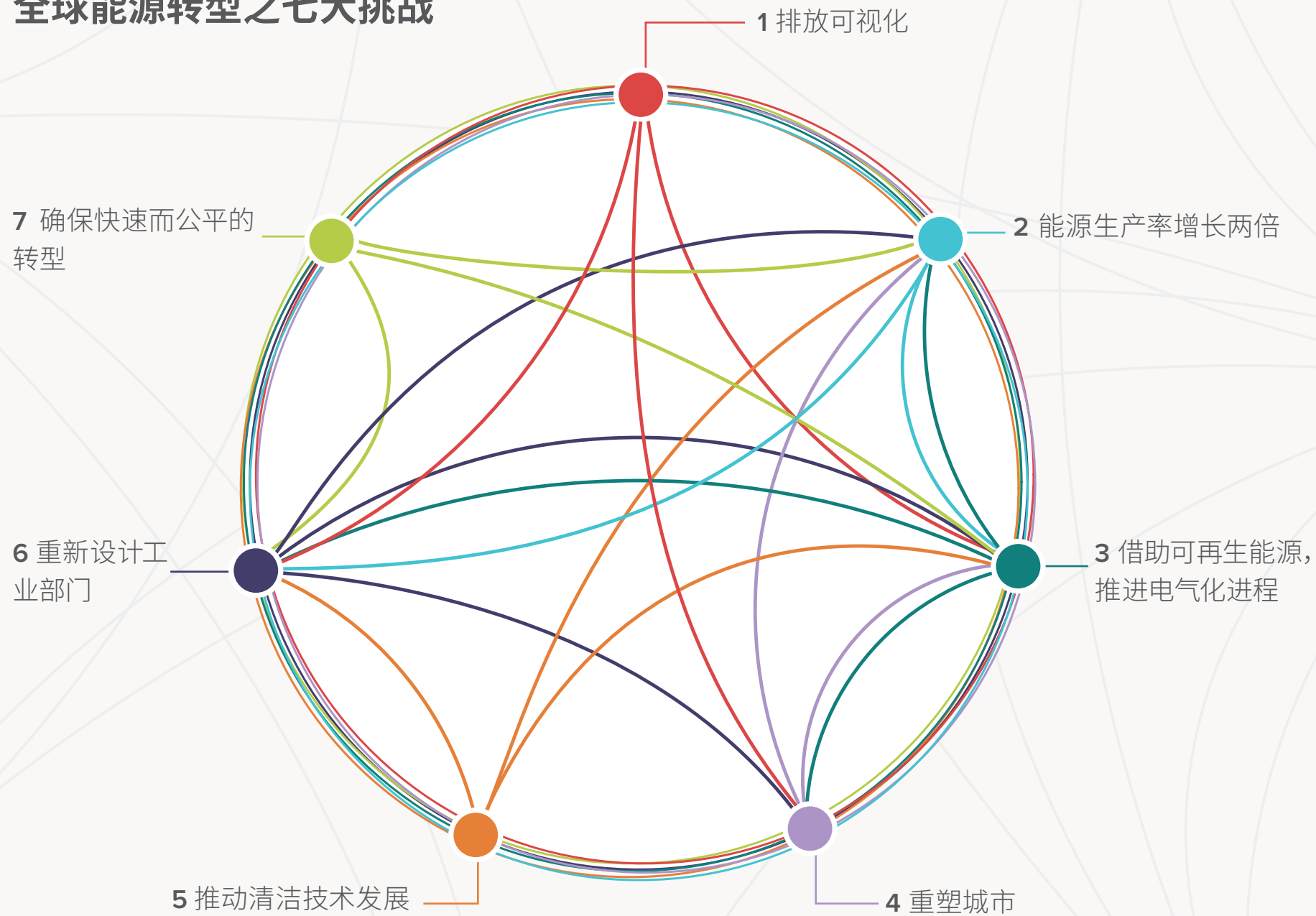
相反，如果我们将这个看起来无法转变的能源系统视作一个由数十亿个零件共同组成的整体，就会发现我们可以将其分解，并重新配置这一系统来相对更容易实现我们的目标。这才是我们需要做出的重大转变。

这样的转变需要我们具备足够的眼界与勇气，不仅要改进现有的技术经济系统，还要将其分解与重建，即使这要在我们继续前进过程中同步进行。这种深层次转变的起点是我们在探索气候解决方案的同时有意愿重新审视我们的生活、社区与组织内部的更多可能性。

真正的解决方案不是抽象的概念，它们是实用的，贴近生活的。前《联合国气候变化框架公约》秘书处执行秘书克里斯蒂娜·菲格雷斯 (Christiana Figueres) 认为，我们在开始这项工作时应考虑“我们可以完成什么？”，而应该考虑“我们必须完成什么？”



全球能源转型之七大挑战



我们发现了全球能源系统转型面临的七大挑战和关键领域, 其解决方案是我们 可以探索, 但尚未掌握的。

这一系统层面的视角与框架旨在促进全球利益相关方共同采取有效行动

1

排放可视化

提高气候和能源数据的透明度, 并通过有针对性的应用和平台发挥数据的作用, 进而在能源系统的各个层面刺激自发性的减排行动。

5

推动清洁技术发展

必须通过加强创新生态系统、产业政策、需求刺激与聚集以及产业目标制定和支持来改善关键技术的应用。

2

能源生产率增长两倍

正确的激励政策、规模化推广的成功计划和规范、电气化、改进设计和加速资产周转, 都可以极大地提高能源生产率的增长速度

6

重新设计工业部门

在与气候目标一致的金融部门、自上而下和自下而上的政策以及竞争性市场动态的支持下, 根本性的去物质化、能源生产率改进和各种脱碳技术将引发下一次工业革命。

3

借助可再生能源, 推进电气化进程

借助成本竞争力不断提高的可再生能源推进终端应用的电气化, 将需要竞争性电力市场更广泛的应用、电力公司商业模式的进一步转变以及资产的退役与新建, 同时努力推动电动车和热泵技术尽快推广提高其经济可行性。

7

确保快速而公平的转型

新的工具和方法可以增加绿色投资, 改善资本周转, 通过一体化能源规划确保正确规模的新能源系统, 并帮助预测和管理能源转型对社区带来的影响。

4

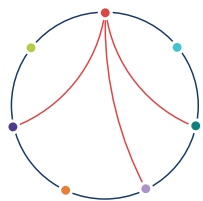
重塑城市

快速发展中的城市, 尤其是在发展中国家, 可以通过以人为本的城市设计理念, 应用和规模化推广现有的和新兴解决方案, 从根本上减少城市出行和基础设施领域的污染及其对能源和材料的需求。

1

排放可视化

我们要如何提高气候和能源数据的透明性、责任性与可行动性，进而打造新的思路，并推动更快的温室气体减排行动？



众所周知，只有能够测量，才能做到有效管理。目前的气候和能源数据系统还远远不能满足需求，也远远不足以应对气候挑战的紧迫性。能源系统各个层面的决策者们只能依赖着政府报告给出的排放数据来做决策，但这些报告往往存在一定的滞后性。引进最先进的数据采集与分析系统来处理这个问题，通过赋予政策制定者、倡导者和消费者最有力的信息来推动真正革命性的创新。更优的数据获取已经推动了全球多个大型产业的彻底变革。从根本上改善数据透明性是加速能源转型路径中投资回报率最高的一条路径。

这一变革的最终结果将是一个一体化的开源系统，能够绘制出细化程度更高、不确定范围更小、时间延迟更少的世界排放地图。这样的系统可以从根本上改变现行的公司披露方法以及监测、报告和核准 (MRV) 方式。它可以为政府管理者、民间机构、企业和研究人员提供强有力的工具来开启一个全球性的温室气体 (GHG) 排放控制运动。

要实现这一改革，我们需要在技术专家、数据科学家、产品设

计师和气候行动领域内引领当前和未来倡议行动的慈善家之间建立前所未有的、切实可行的合作。如下三个步骤可以帮助打造这一全球性的一体化系统 (见图1)：

1. 将当前碎片化的倡议行动整合成一个多元化的信息生态系统
2. 支持开发将数据和分析用于实现特定功能的平台
3. 将这些平台的能力和资源整合成一个独立的全球系统，用于气候和能源数据的追踪和通信

图1
打造完全一体化的气候和能源数据信息生态系统



来源: 落基山研究所

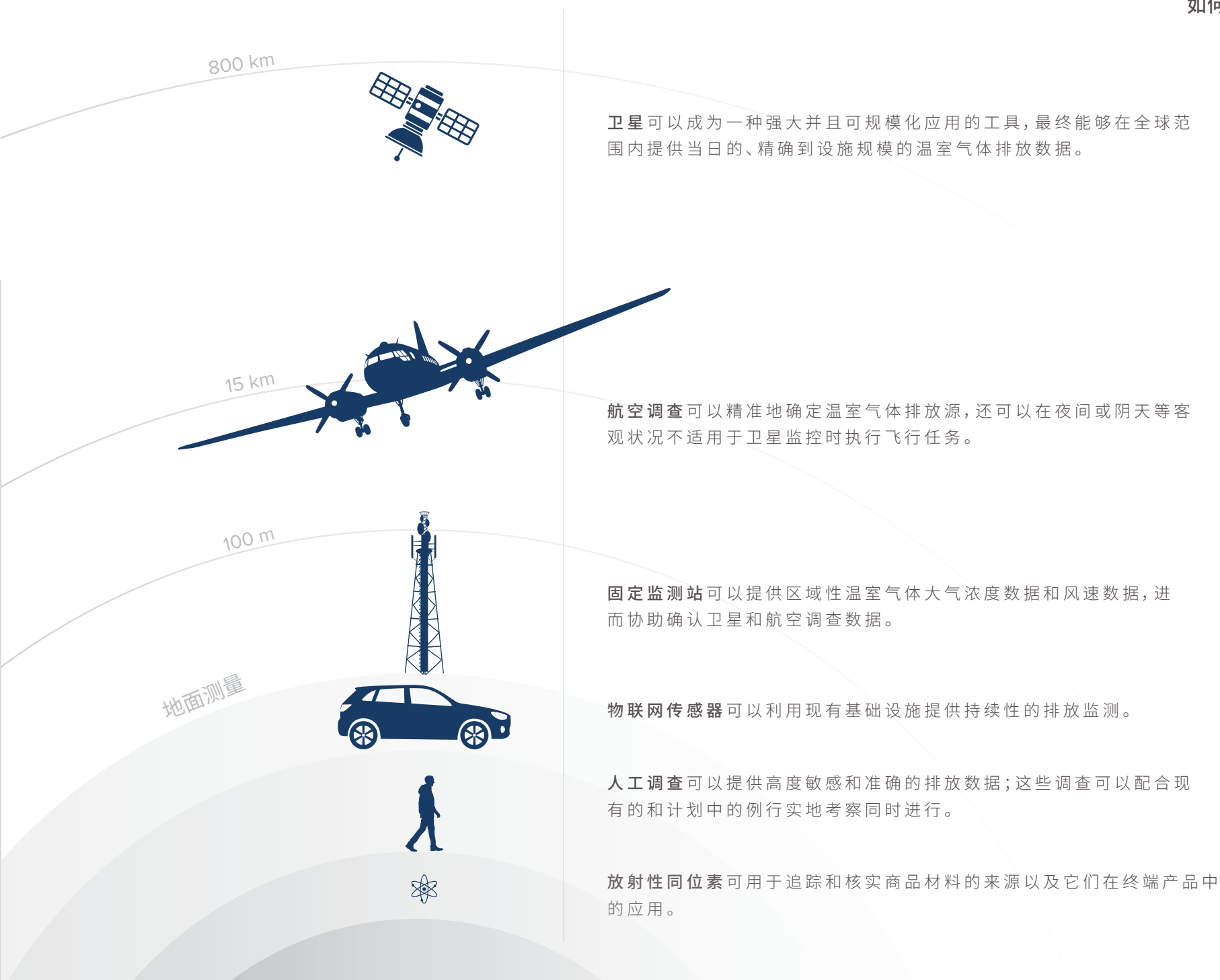
数据带来变革

数据有限、过时、不够规范、不够细化的现有数据系统需要从根本上转变为更加稳定、透明、细化和更具时效性的数据系统，能够激发良性竞争，提高行动力（见图2和图3）。企业和国家气候目标问责制的全球性系统可以利用独立的优质数据追踪与验证平台，通过优先采用低碳能源和低碳工艺，扩大收益规模。

图2
温室气体排放数据在系统的各个层面可实现的减排

	当前状态	未来状态
国家行动和多国协议	<ul style="list-style-type: none"> - 排放数据申报延迟数年 - 数据申报与分解不一致 	<ul style="list-style-type: none"> - 接近实时数据 - 提高责任性
次国家级行动	<ul style="list-style-type: none"> - 支持次国家级目标的可用数据有限 	<ul style="list-style-type: none"> - 健康的竞争促使州、省和城市积极追踪减排进展
企业行动	<ul style="list-style-type: none"> - 自愿申报标准快速发展，但并非所有企业都选择自愿申报 - 供应链排放仍是主要挑战 	<ul style="list-style-type: none"> - 企业行动和碳足迹数据非常透明和及时 - 低碳供应链效应显著
消费者行动	<ul style="list-style-type: none"> - 缺乏可支持消费者选择的细化数据 - 对碳足迹的估算很大程度上都基于平均值 	<ul style="list-style-type: none"> - 透明的消费产品碳足迹 - 消费者选择和行为变化的影响可控
法律行动/气候责任	<ul style="list-style-type: none"> - 气候相关法律行动增长迅速，但仍存在法律问题 - 细化排放数据支持法律诉讼 	<ul style="list-style-type: none"> - 企业能够规避未来责任的风险
设备层面管理	<ul style="list-style-type: none"> - 数据集和控制能力的提高实现了设备层面的管理 	<ul style="list-style-type: none"> - 设备通过实时管理能源使用来减少排放

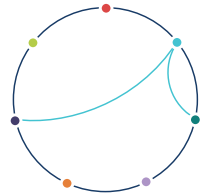
图3
如何测量碳足迹



2

能源生产率 增长两倍

我们如何能够大规模复制有效的行动，改善新建建筑和基础设施的设计，并提高低效资产的周转率？



为了以最具经济性的方式实现全球平均温升低于2°C的目标，在未来十年，我们需要将全球能源生产率的增长速度至少提高到2011-2018年平均水平的3倍。提高能源生产率是我们所采取的最有效的气候解决方案，也是我们目前仍能保持2°C温控的唯一原因。能源生产率可以改善人类健康，带动经济发展，促进安全，并可以节约数万亿美元能源供应和脱碳投资。

提升能源生产率，即以更少的能源发掘更多的价值，相对于直接增加石油消耗，反而是一种更具价值的能源“来源”（见图4）。2010-2016年间，能源生产率提升贡献的价值占全球能源脱碳总量的3/4。然而它也是清洁能源资源中最为隐性的资源，常被忽视。

我们认为，未来十年能够通过下列五大途径将能源生产率提高到新的水平：

- **购买成本最低的资源。**对中国和美国这两大全球二氧化碳排放经济体能源系统的严谨分析表明，到2050年2倍以上的能效提升可以创造数万亿美元的净节约。
- **迅速扩大当前有效行动的规模。**大量成熟的和新兴的解决方案可以在各行各业推广复制，创造价值。
- **电气化交通运输、建筑和工业部门的终端应用。**电气化是加快变革的最大机遇；电气化解决方案常常本身就意味着更高的能效。
- **能效设计。**将建筑、交通工具、设备和工厂视为一个整体系统的“一体化设计”具有多重优势，可大幅降低成本，使节能效益成倍提高。
- **通过改造和报废等方式加速资产的周转。**修理或抛弃低效的设备与添加新的高效设备同样重要。结合两种手段可以显著节省成本。

1975-2018年美国能源节约和可再生能源的相对重要性

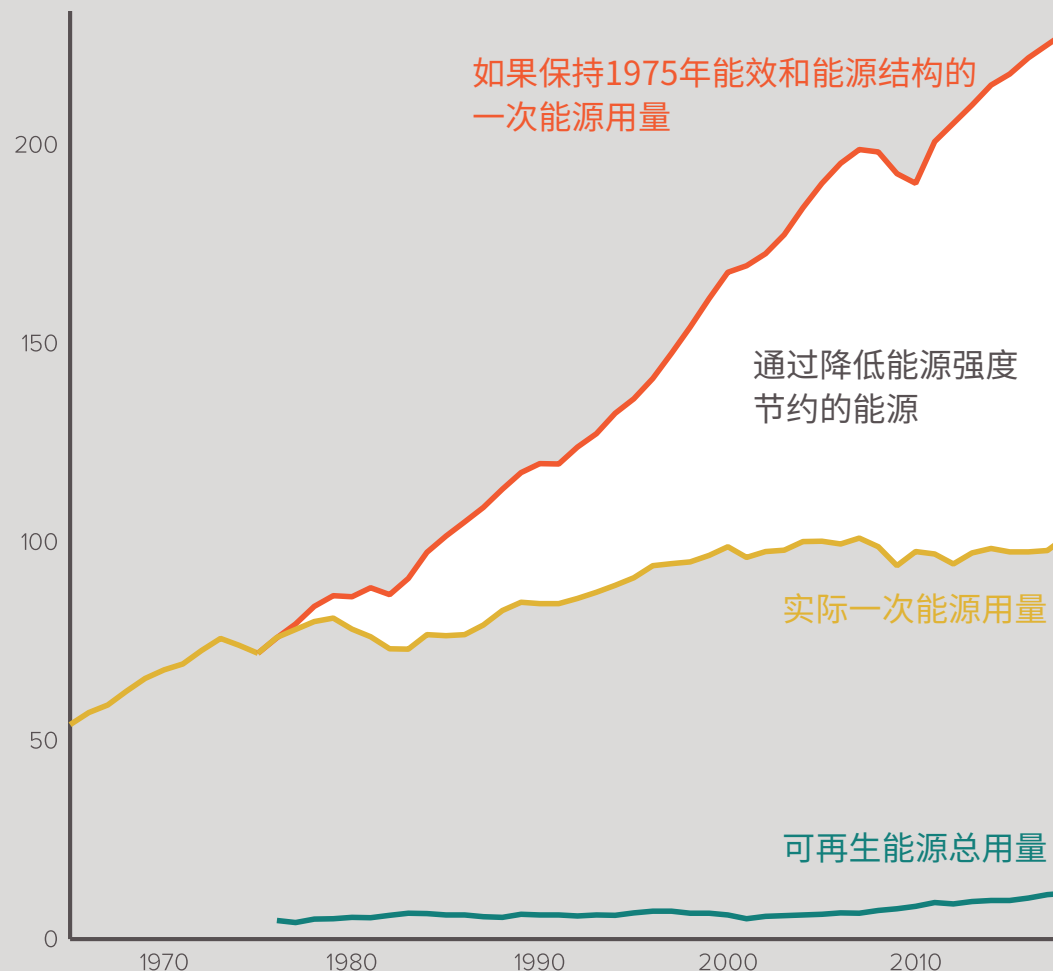
(美国一次能源用量 (千兆英热单位/年))

能源生产率对成功的能源转型至关重要

在模拟气候影响和选择模型中，能源生产率是最重要的单一变量，甚至比经济增长更为重要。能源强度降低的速度从过去三十年的每年1.3%增加到了最近十年的每年2.1%，几乎翻了一番（而2015年更是达到了2.9%）。

这意味着自1984年至今，能源节约使全球单位能源GDP产出增加了一倍以上。

能源生产率在未来还可以提供更多金融方面的效益，尤其是在发展中国家。在高能源生产率情景下，可以实现大量的供给侧成本节约，并且其对资本的吸引力比小幅度生产率改进情景高出2-3倍。



1975-2018年能源强度降低实现的节约: 2,589千兆英热单位

1975-2018年可再生能源总产量增长: 87千兆英热单位

通过提高能源生产率简化能源转型

政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 2018年11月发布的《全球升温1.5°C特别报告》(见图5) 通过不同情景的分析说明了提高能源生产率的巨大影响。“低能源需求”情景 (LED) 显示了从现在到2050年将能源生产率翻番可带来的影响, 其供给侧成本下降幅度是假设能源生产率有小幅提高的“路径4”情景的2-3倍。此外, 它还避免了其他情景为实现1.5°C目标所需的碳捕集与封存 (CCS) 的高昂成本。

图5

实现1.5°C目标的全球能源情景

标准: 二氧化碳排放和捕获



化石燃料燃烧和工业生产过程带来的二氧化碳排放用白色表示, 农林和其他土地利用带来的排放或重吸收用橙色表示, 燃烧生物质发电并通过碳捕集与封存 (BECCS) 实现的碳减排用黄色表示。计划将于2021年发布的下一版IPCC评估报告将使用“共享社会经济路径 (SSP)”情景进行分析。其中, SSP5描述了大量依赖化石燃料的能源密集型经济发展情景, SSP2遵循历史发展轨迹, SSP1描述的则是全面降低能源强度和更可持续的发展路径。低能源需求 (LED) 情景包括终端用能技术和用户行为的重大变化, 在不依靠负排放技术的前提下将能源需求降低至SSP5情景的一半。

来源: 《全球升温1.5°C特别报告》, IPCC

超级挑战目标：通过降低2/3的能源强度来实现远低于2°C温升幅度的目标

能源强度改进速度的历史、模拟和目标水平

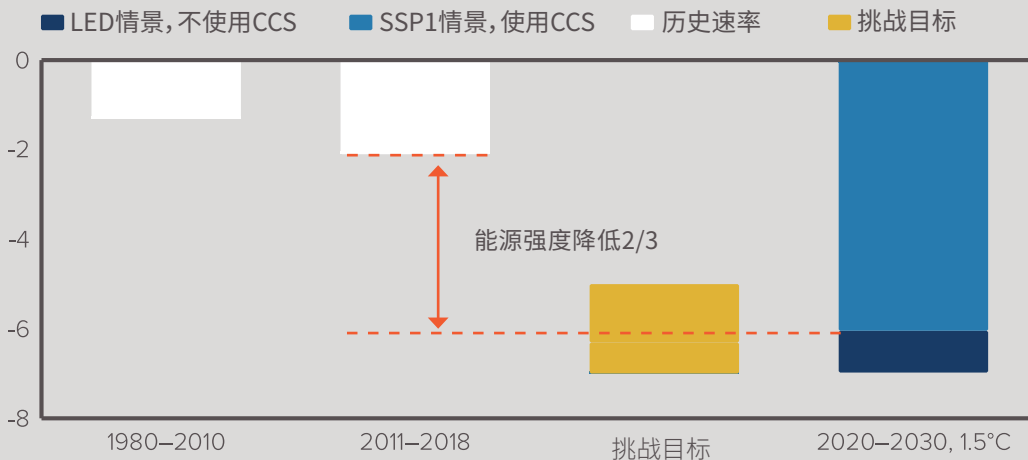
单位：百分比

现在就行动或以后付出更高代价

要想实现温升小于1.5°C的目标，能源强度降低的速度需要提高至目前水平的3倍。如果不马上采取行动，1.5°C的温控目标将几乎不可能完成，除非依赖于成本高昂的碳捕集与碳封存技术。

图6显示了能源强度降低的历史速率和所需做出的改变。虽然在未来十年内实现能源生产率提升速率的两倍增长极具雄心，但如果不及时完成这种转变将使2°C温升成为几乎不可能完成的目标，除非大量使用成本高昂的碳捕集与封存技术。

图7显示，我们开始转变的越晚，对能源生产率提高速率的需求就越显著。因为电网早年碳强度过高，生产力提升发生的越早，避免的碳排放就越多。

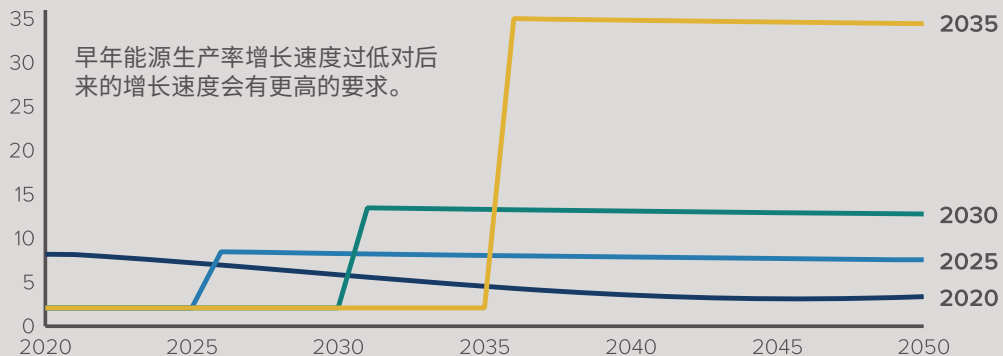


来源：落基山研究所对国际应用系统分析研究所的低能源需求情景的分析

图7

现在就行动或以后付出更高代价：今后十年内能源生产率的提高十分关键

能源生产率提高百分比

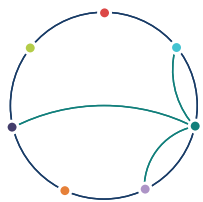


来源：落基山研究所对国际应用系统分析研究所的低能源需求情景的分析

3

借助可再生能源，推进电气化进程

我们如何能够更快地扩大可再生能源电力供给？如何提高电力在全球能源使用中的比例？



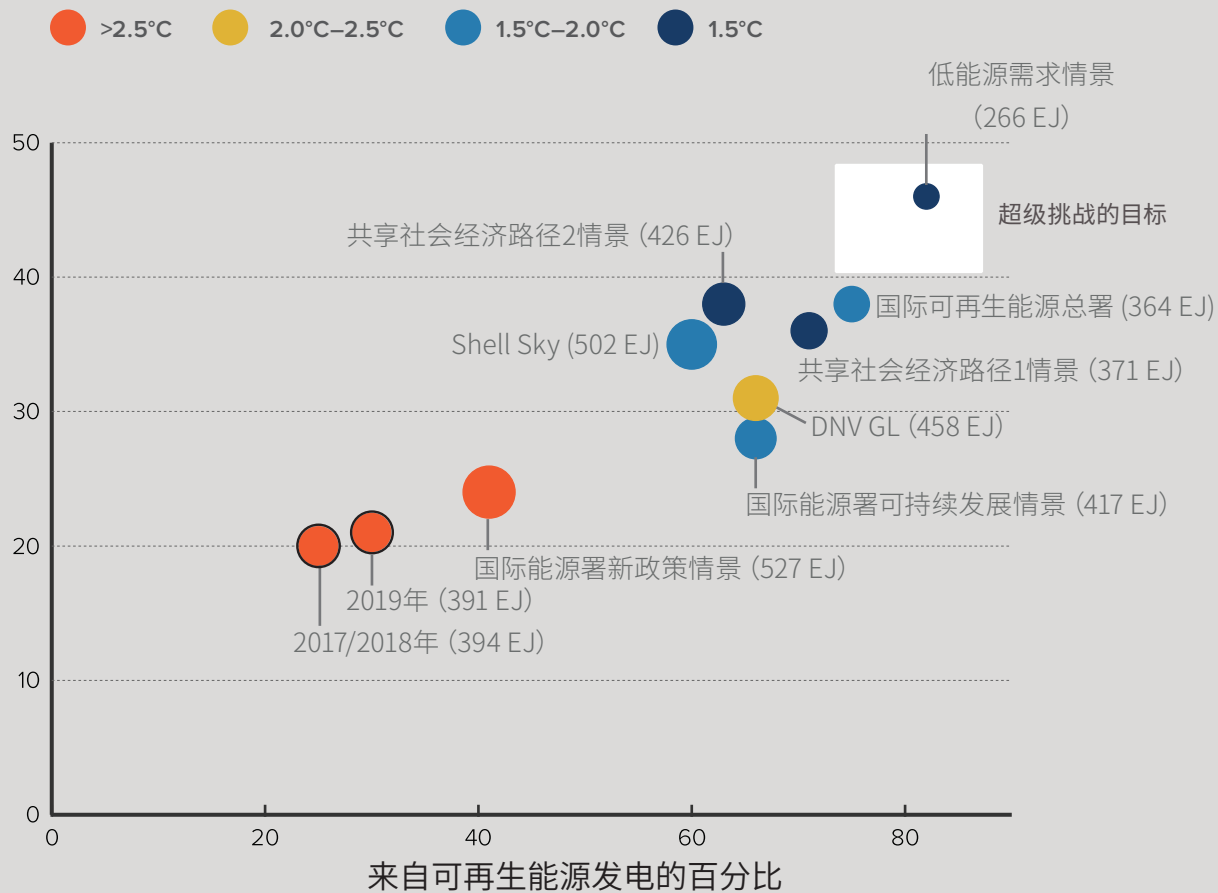
使用可再生能源电力进行电气化是快速实现全球能源系统转型的最重要的手段之一。如果可以在2040年完成能源终端应用40%-50%的电气化，并将可再生能源发电占比提高到75%-85%（见图8），就能够把全球平均温升幅度限制在2°C以内。以保守的预期成本部署已知的技术，在2050年以前实现这一目标的同时，还可以创造65-160万亿美元的净收益。

用风电、光伏、储能和需求管理等资源相结合的清洁能源组合解决方案来替代计划以化石燃料为基础的发电装机已成为一种可以节约成本的选择，并且这种解决方案优势仍在持续扩大。但是，来自市场、监管和其他各方的挑战也阻碍了可再生能源在全球许多市场的快速发展。

监管者与政策制定者可以通过以下行动确保具有成本优势的可再生能源得以实施应用：（1）充分利用竞争性电力批发市场机制；（2）以公开透明的方式采购各种资源，包括需求侧资源，用以满足资源充裕性和灵活性需求；（3）展望未来对长周期、低碳灵活性资源的需求，优先储能、需求侧或清洁燃料等资源的市場开发和研究，缓解可再生能源每日和季节性出力波动的影响。

出行、建筑和部分工业应用的电气化有助于提高能源终端的电气化水平。在几乎所有领域，电气化都能带来极大的能效提升。在建筑和交通运输部门，电气化的选择已经达到或正在接近能够触发快速增长的临界点，但仍需要来自决策者和监管者的进一步推动，来实现这些领域所需的市場转型。

图 8
借助可再生能源, 推进电气化进程: 与2°C目标的距离与紧迫性
电气化占终端能源需求的百分比



来源: 落基山研究所分析

所有情景的目标年份均为2040年; 2017-2018年数据点代表实际数据。每个圆圈的大小与实际或预计的最终能源需求成正比。

要保证将全球升温幅度控制在远低于2°C水平的可能, 就需要快速推动使用可再生能源的电气化。

全球范围内, 由于相较于传统发电方式的竞争优势, 可再生能源电力供给正在迅速增长。要实现2040年目标, 还需要可再生能源以更快的速度部署, 可再生能源的边际经济优势和预计的成本下降趋势都将助力这一目标的实现。

然而, 建筑、交通和工业部门的电气化速度与实现2030年或2040年低于2°C温升的目标所需的速度还相差甚远, 而要实现这一目标所要面临的挑战是艰巨的。要加速建筑和交通运输领域电气化的推进需要各方的协调和努力。

我们认为有三条行动路径可以在未来十年提高可再生能源在全球范围内电力供给中的比例：

1. 在更大范围应用竞争性电力市场并提高它们的效力
2. 转变电力公司商业模式和能源采购方式
3. 加强规划和融资机制

这些行动有助于推动市场的持续发展，充分发挥可再生能源的成本优势，同时确保管理系统灵活性和整合分布式能源的能力（见图9）。

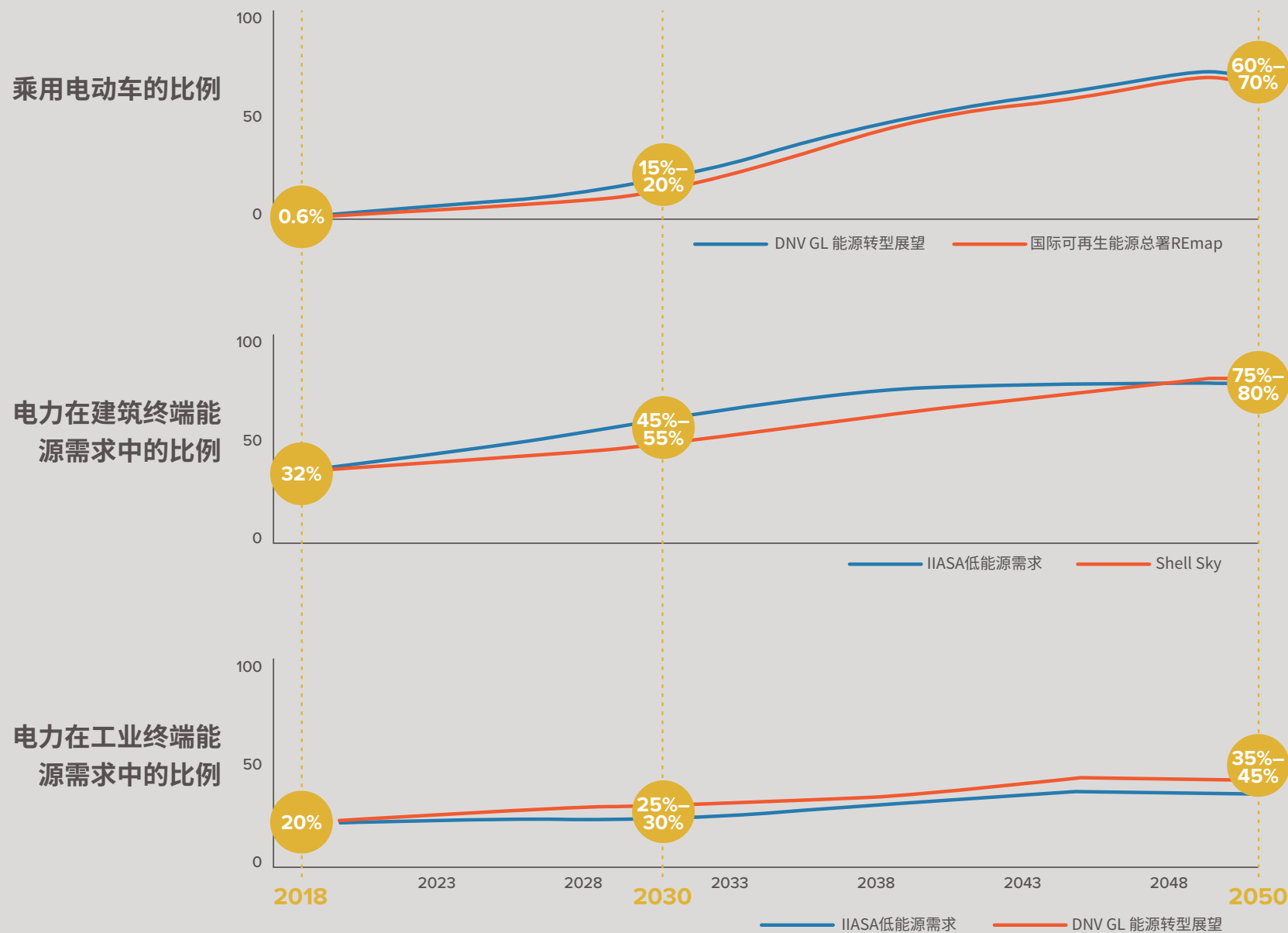
在全球范围内共享电力市场设计中的最佳实践可以成为打造未来清洁、灵活电力系统的关键推动因素。

出行、建筑和部分工业应用的电气化有助于提高能源终端电气化水平。要将全球变暖幅度控制在1.5°C-2°C的水平理论上需要改变全球各地的数亿台设备，并需要涉及各领域用能终端数十亿人来实现这些宏伟目标（见图10）。

图9
如何将可再生能源供给增长速度从每年5%增加到7%

		手段		
		这些手段如何支持更高水平的可再生能源应用：		
		应用竞争性市场： 高效和一体化运营	转变电力公司商业模式和采购方式： 大规模投资	加强规划与融资机制： 投资与周转
路径	增加可再生能源供给	广泛应用竞争性市场并加强市场间的集成 将外部价格纳入市场 允许自愿采购可再生能源	需要用透明、全来源的采购方式满足能源供给	改进一体化资源规划，推动分布式资源和新兴技术的发展 为新兴市场的可再生能源提供政府和多边支持
	提高系统灵活性和韧性	允许全来源竞价来提供灵活性资源	为灵活性资源的非电力公司投资创造平等的竞争环境	提前为季节性储能和系统韧性需求做好准备
	管理资产转型	将所有资源纳入市场化竞争	推动不经济资产的退役	通过退役资产的证券化和支持受影响的地区来平稳完成资本和人力转型

图10
将全球升温幅度控制在远低于2°C水平需要的电气化里程碑
百分比

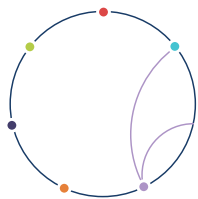


来源：DNV-GL《能源转型展望2019》，国际应用系统分析研究所《低能源需求》研究，Shell Sky情景，国际可再生能源署《全球能源转型2019》研究

4

重塑城市

城市系统、能源服务和基础设施的跨越式进步如何帮助打造更安全、更具韧性、更健康的社区？



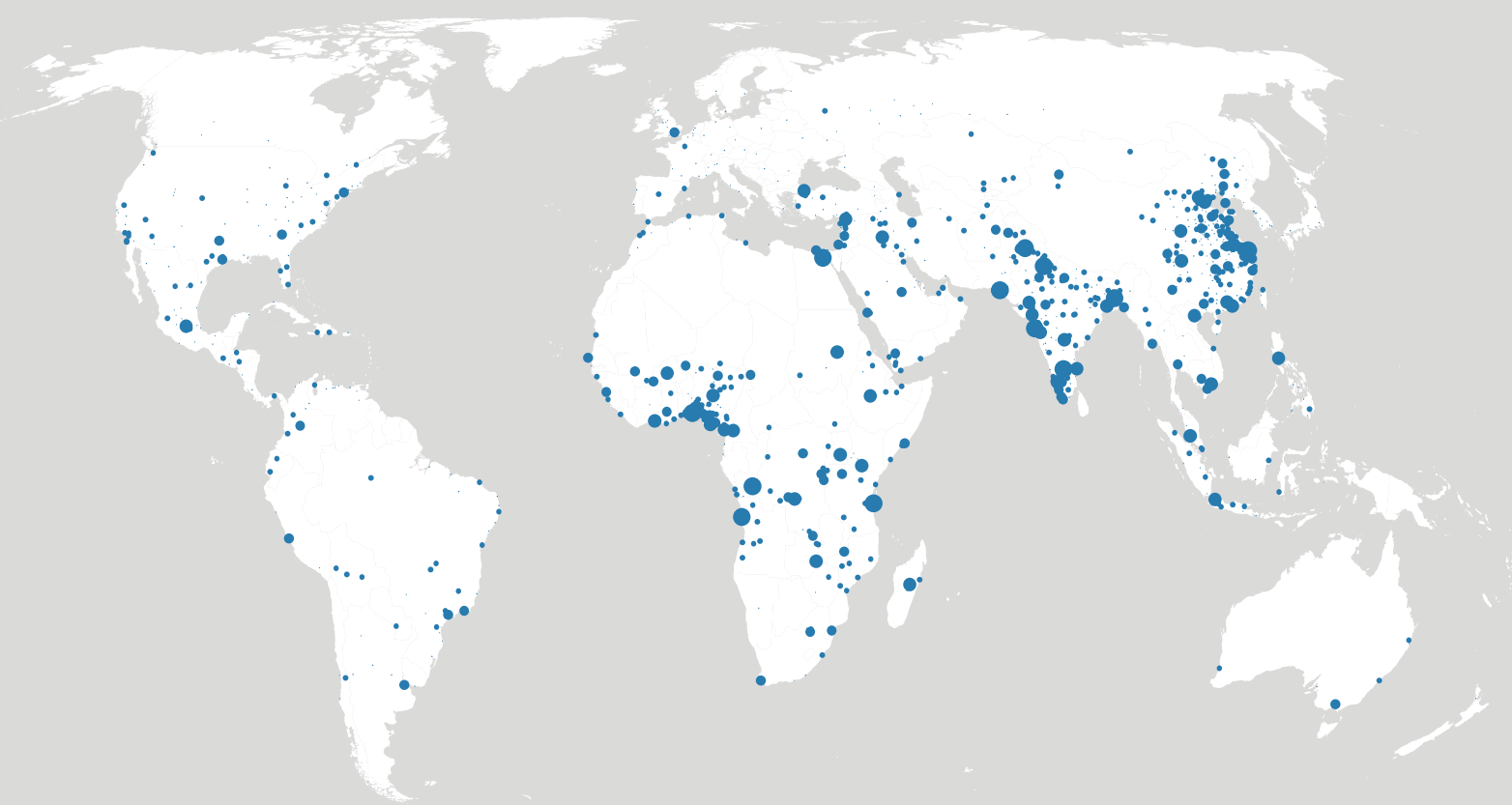
城市是快速学习、知识分享以及进行各种试验的中心，具备改造全球能源形态的潜力。重塑城市的必要性是显而易见的：城市面临着严峻的健康和移民问题的挑战，而这些都与高碳排放的燃料和生活方式息息相关。特别是快速发展中的城市预计到2050年将新增超过20亿的居民，这也代表着一个将全球出行和基础设施系统向低碳化转型的重大机遇（见图11）。

此外，这一转变将创造的价值也是巨大的：预计2030年前每年2万亿美元的投资可以实现2.8万亿美元的回报，2050年前回报可达7万亿美元，并在相同时间段内实现90%的减排。要抓住这一机遇，及时的全球性学习和协调合作必不可少。

- 具体而言，到2050年，发展速度最快的1000座城市可以在交通运输部门和建筑部门分别避免30亿吨和40亿吨二氧化碳排放，同时完成下一代解决方案的规模化部署。
- 这些协调行动可以帮助城市避免每年近300万因空气污染恶化而造成的死亡，防止2.2亿人因气候相关灾难和农业生产能力下降而离开家园。
- 作为城市生活与动力的关键推动因素，商品和市民的运输需求可以通过清洁、高利用率和数字化的服务来满足，并通过政策的支持从根本上降低终端消费者的成本。
- 下一代建筑设计和运营可以消除建筑全生命周期内的碳排放，并在更先进的城市出行规划的协助下，通过跨越式发展的方式重塑高速发展城市的城市形态。
- 高速的城市发展有机会在全球范围内刺激新型解决方案的发展并形成良性循环，利用网络效应在城市内部和城市之间规模化推广低碳技术和实践。

图11
2015-2050各国城市人口变化预期
百万人

中国	433
印度	294
尼日利亚	122
刚果民主共和国	79
美国	67
巴基斯坦	64
孟加拉国	44
印度尼西亚	39
坦桑尼亚	34
墨西哥	34



来源: 落基山研究所

城市是气候行动的关键杠杆点

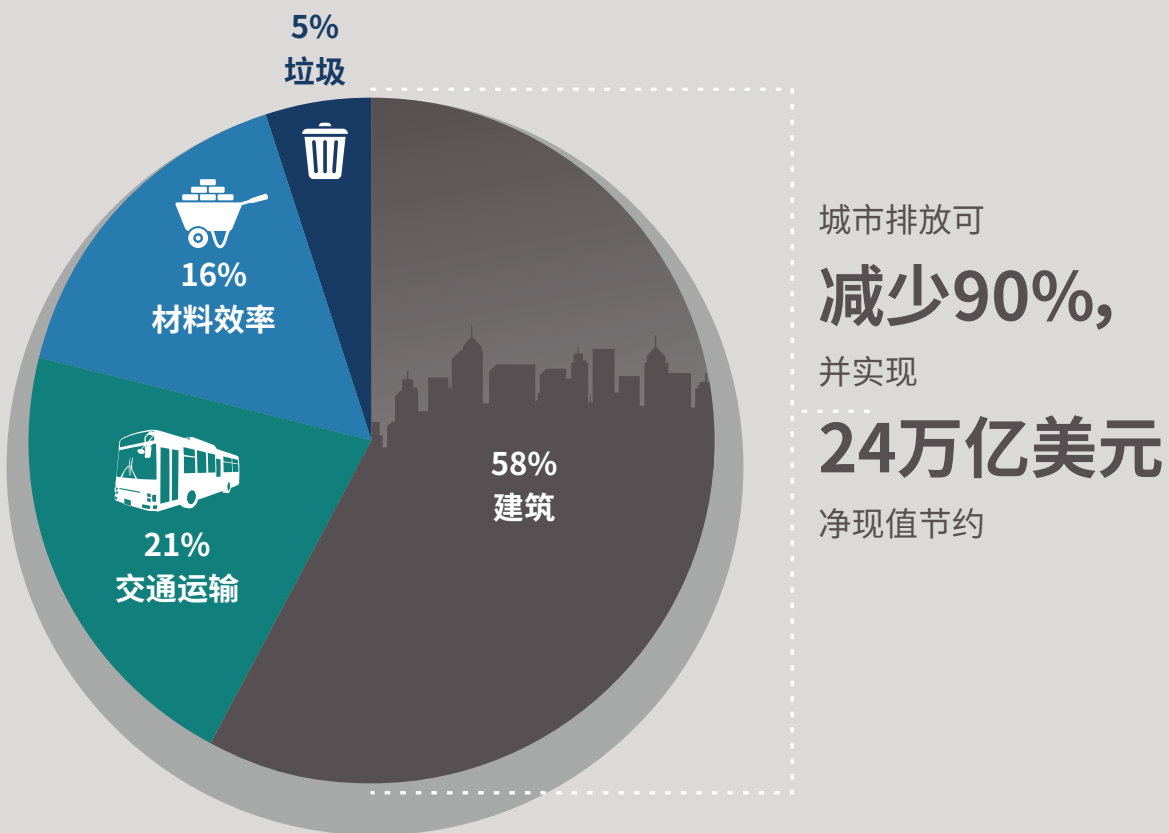
城市人口占全球人口的比例不断增加，城市经济在全球经济产出中的份额也在快速增加——城市人口数量和城市经济占全球GDP的比例将分别从2018年的42亿人和80%以上增长至2050年的70亿人和90%。

城市用能方式的根本性转变是支持人类发展和消除发达城市和发展中城市气候影响的关键。简而言之，人类的经济活动是气候变化的根本原因，因为城市是经济活动主要的发生地点，所以城市也应该是气候行动的中心，而且渐进式的改进已经无法满足我们的需求。城市气候行动具有巨大的减排潜力和潜在的价值机遇。城市转型联盟 (Coalition for Urban Transition) 近期的分析显示，紧凑、清洁、互联的城市转型可以避免90%的排放，并且带来净现值达24万亿美元的价值 (见图12)。

可以利用城市的发展，通过网络效应打造紧凑、清洁、互联的城市来完成90%的碳减排，并创造净现值达24万亿美元的效益。

图12

城市价值创造和减排是同样的发展机遇



来源：城市转型联盟，2019年

发展速度最快的1000座城市通过跨越式发展可在2050年前减少60%的能源用量

百万兆焦耳, EJ

城市转型的关键机遇

与出行和建筑相关的核心城市服务代表着转型的一大机遇, 并已接近质变的临界点。这些在发展中国家开发尝试, 并且在规模、成本和性能需求达到一定水平的解决方案反过来又会在发达国家实现价值的最大化并加速资产周转率。

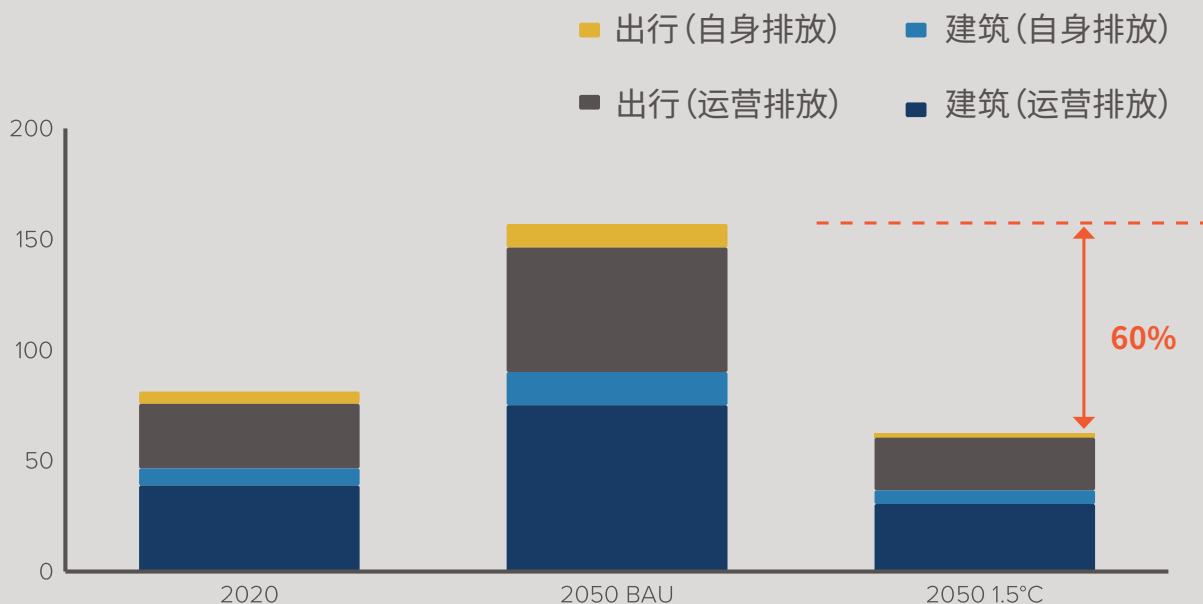
关键的转型机遇:

在发达国家, 仅通过更广泛地应用增量或整体建筑能效提升手段, 就可以在2030年避免26%来自建筑和基础设施的碳排放。

在发展中国家, 随着拓扑优化、模块设计和增材制造等建筑创新技术的出现, 正在涌现出一波新的创新浪潮, 能够将建筑和基础设施相关排放减少高达70%-90% (见图13)。

发达国家当前与电气化出行转变相关的燃料节约的经济价值为每年5.3万亿美元, 发展中国家在2050年相同领域的燃料节约经济价值也可达每年4.7万亿美元。

除了这些技术和设计上的发展机遇, 城市还有机会通过共同行动的网络效应在城市内部和全球城市间以非线性速度推动创新解决方案的规模化发展。

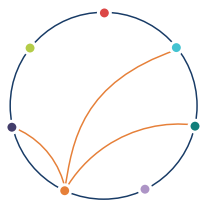


来源: 落基山研究所分析, 国际应用系统分析研究所的低能源需求情景

5

推动清洁技术发展

如何加速发展和快速应用影响深远的清洁能源技术？



低碳能源系统转型的推进速度超过了几乎所有人的期待——虽然不是所有领域，但在全球规模的制造领域实现了清洁能源技术成本大幅下降。

一部分关键技术领域在未来3-5年中的进步将尤其重要，会通过特定杠杆作用加速变革。

- 可再生能源技术已证明了全球规模制造业的研究和发展可以将全球脱碳策略从“成本限制”转向价值创造。
- 加强利益相关方之间的协调与合作可以驱动技术向成本下降的良性循环发展，以更低成本吸引更多需求，从而进一步降低成本。
- 参与清洁技术创新的组织机构可以开发与制药和生物技术领域类似的更全面、系统层面的商业化生态系统，以此解决技术商业化面临的障碍。
- 公共和私营部门对技术发展循环有针对性的干预可以帮助关键技术更快地达到新的竞争性成本临界点。

2010-2023年关键清洁能源技术的实际成本下降

清洁能源技术新范例

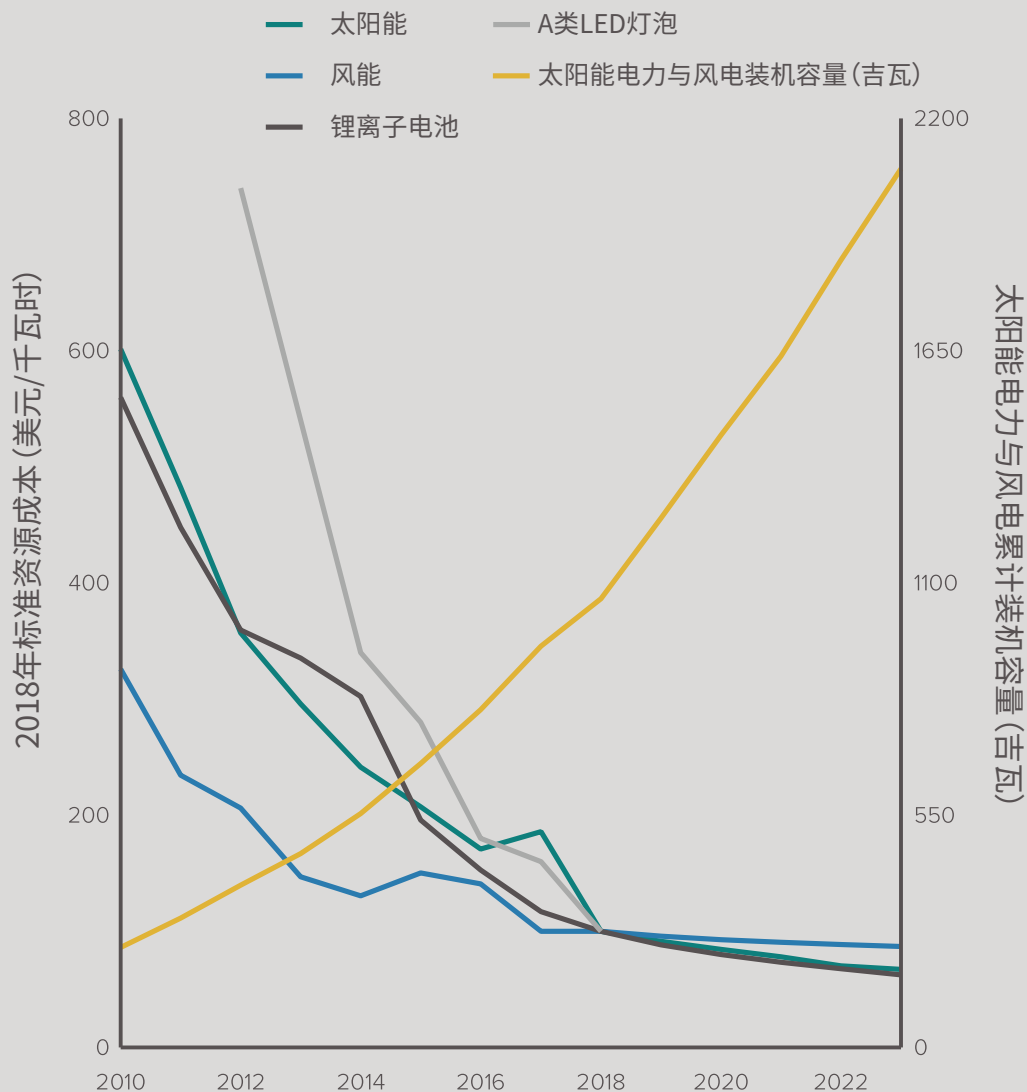
在技术创新、实践中学习和规模化应用等方式的共同作用下，光伏、风电、电池和LED照明的成本在过去十年中的下降幅度超过了80%。（见图14）

这些清洁能源技术的价格下降改变了我们对可行解决方案以及能源转型成本的认知。在全球大多数地区，问题已不再是可再生能源发电的竞争力是否能够超越煤炭、天然气和其他传统发电方式，而是可再生能源何时将替代这些技术。而在许多地区，这种替代已经成为了现实。

这些价格的下降是循序渐进的过程和协调工作的结果，这些工作包括快速扩大全球生产规模以降低成本，同时持续改进设计、材料、生产工艺、质量、性能、物流和产品整合等各个环节。

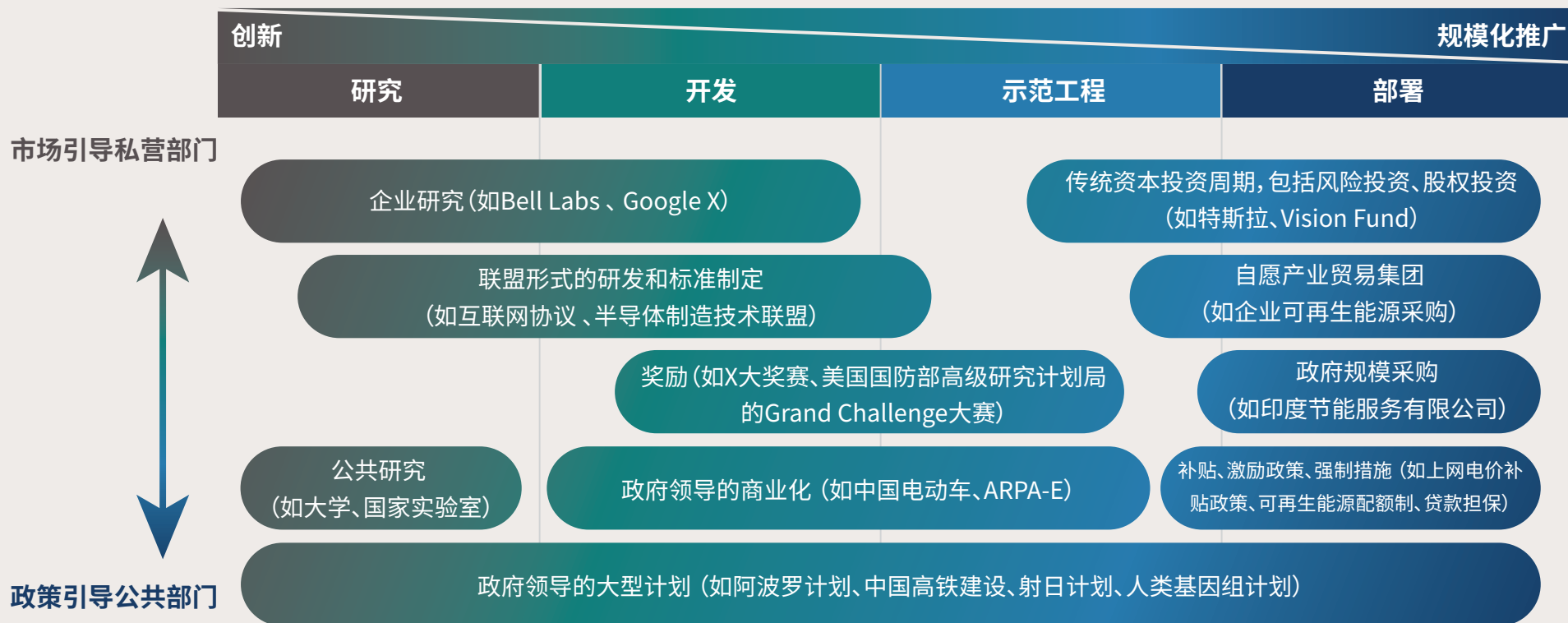
扩展工具包

但那些尚未呈现出迅速下降成本曲线的技术怎么办？我们如何将更多优秀技术更快地推向市场，进而在未来十年发挥更大的作用？我们能够，也必须开发更多的清洁能源技术。新技术在实现大范围应用的过程中会面临种种障碍的挑战，这常被称为“死亡谷”。相对于碎片化和分散化的方式，利用一个更全面的系统层面商业化生态系统来快速填补各部门间关键技术的缺口可以帮助新技术在未来十年中更快地投入市场（见图15和16）。



来源：落基山研究所

图15
促进技术发展的关键杠杆



来源: 落基山研究所

根据新技术的类型、成熟程度和市场情况, 加速新技术的开发与应用需要不同的干预手段 (见图15)。对于已经克服了根本的技术风险, 但成本依然过高的技术, 我们可以通过刺激需求或供给来加大学习曲线的坡度并降低成本。对于尚未成熟的技术,

我们可以打造生态系统, 帮助学术界、企业家、风险投资、公司和政府进行无缝协调以指导影响广泛的技术跨越各种“死亡之谷”。

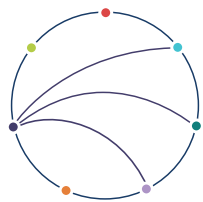
图16
关键技术缺口和潜在解决方案

	关键需求	说明	技术举例
电力	电网灵活性	高比例风电和太阳能电力造成很大一部分发电资产波动, 需要需求弹性、热能或电能存储等平衡资源。	需求侧控制和软件, 锂、碱性和流动电池; 电解制氢; 抽水蓄能; 高级数据、预测; 电力电子技术
建筑	制冷	全球空间制冷需求预计到2050年将增长两倍, 相当于美国、德国和日本的用电量总和。	逆向压、热力、辐射表面; 高效热交换器; 低成本保温与光照
交通	长途运输 (卡车、航运、航空)	电池的单位体积和单位质量电量密度都不足以满足长距离配送需要	高级合成燃料或生物燃料、氢能、更高能源密度的电池
工业	碳捕集与利用	可能需要直接空气或尾气二氧化碳捕集技术来去除大气中的二氧化碳, 制造合成燃料或生物燃料	吸附剂或二氧化碳矿化、自然系统碳去除
	钢铁和水泥的生产/替代	钢铁和水泥制造二氧化碳排放分别占全球排放的约8%和6%	氢气、一氧化碳或电解铁矿石还原; 二氧化碳矿化/碳纤维

6

重新设计工业部门

我们如何改变全球产品和基础设施的生产、运输及使用能源与材料的方式？

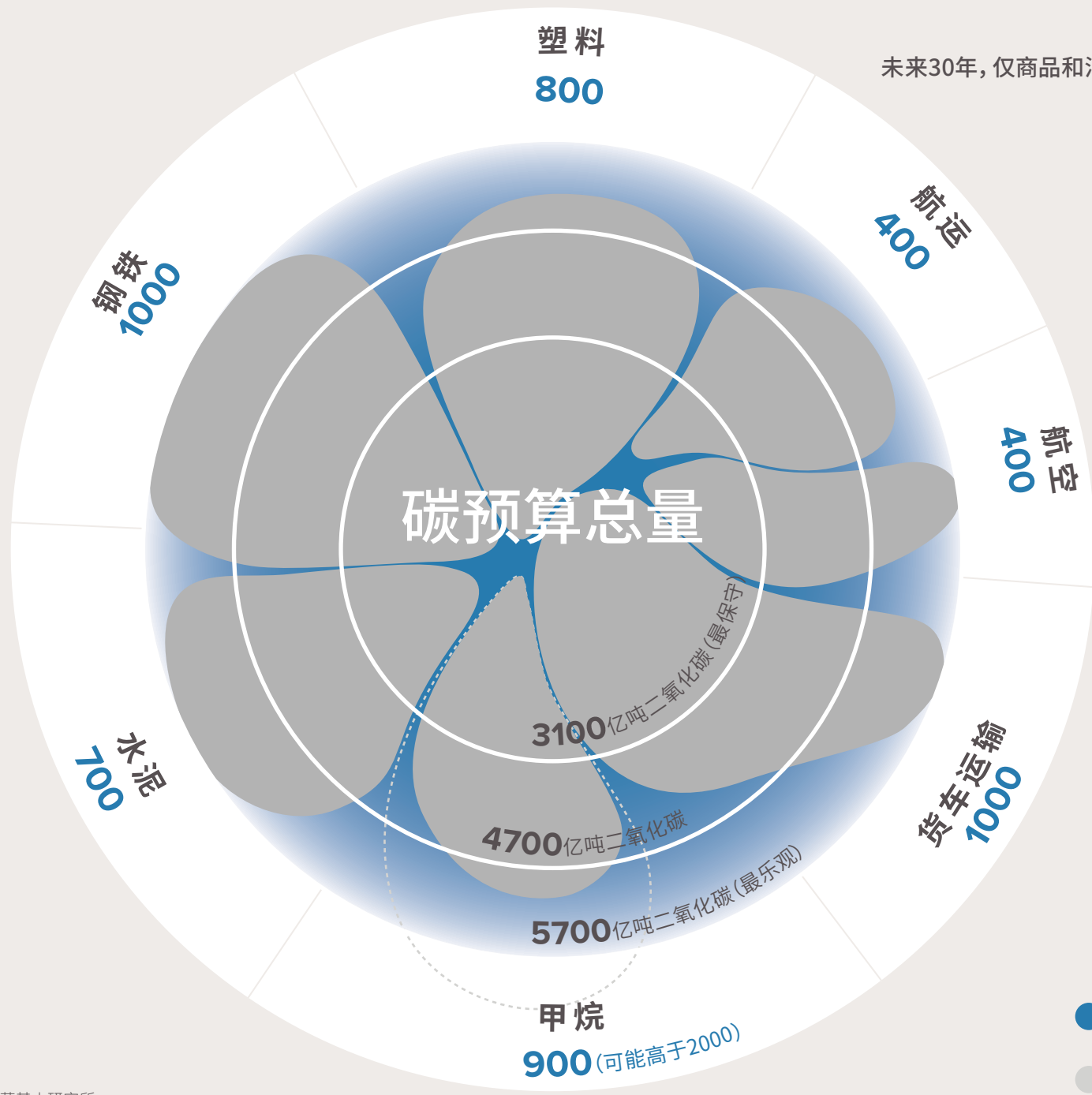


要确保重工业、长途运输和航空等部门步入与电力供给部门同步的脱碳路径，就亟需加速这些部门的减排行动。

- 下一次工业革命将依赖于三种路径——去物质化、提高能源生产率以及零碳材料与能源替换——在2050年前避免全球42%的碳排放（见图17）。
- 四大综合性跨部门手段——与气候目标一致的风险金融；自上而下和自下而上的政策支持；竞争性市场动态；催化合作——能够调整激励因素来推动工业脱碳。
- 转变经济模式以提高材料和能源的循环使用可以在2050年前实现40%的减排，还不包括对产品和服务更频繁的“深度再设计”在整合技术与改善设计方面具备的更大潜能。
- 通过更快速的资金周转可以在材料生产领域和运输物流及车辆设计领域分别实现10%-20%和20%-60%的计划外的能源生产率提升。
- 在二三十年内完成新材料和能源供给（如绿色氢能和钢铁）的快速替代并非史无前例，并且可以通过技术和市场设计方面的协调行动得以实现。

图17

未来30年, 仅商品和消费品就可能耗尽1.5°C碳预算



- IPCC 预计的 1.5°C 碳预算
- 工业部门 2020-2050 年碳足迹

来源: 落基山研究所

再工业化不可避免

今天的重工业部门生产和加工原材料与燃料，并将之在漫长复杂的价值供应链中运往全球各地，造成了全球约42%的温室气体排放。我们需要新的工业革命来将经济增长的碳足迹降低至可持续的水平。如果不解决钢铁、水泥、化学和天然气等最大工业子部门的排放问题，任何脱碳途径都是徒劳的。根据政府间气候变化专门委员会数据，到2030年，工业部门需要完成40%-50%的减排才能避免气候变化的最坏影响。

调整激励举措以加速转型

下一次工业革命将沿着三条主要路径进行：减少我们使用的材料与产品数量（去物质化）；用更少的能源维持相同的产量（提高能源生产率）；将生产工艺变为零碳工艺（脱碳）。

四大关键手段可以帮助我们在理想的时间内转型到这些路径：

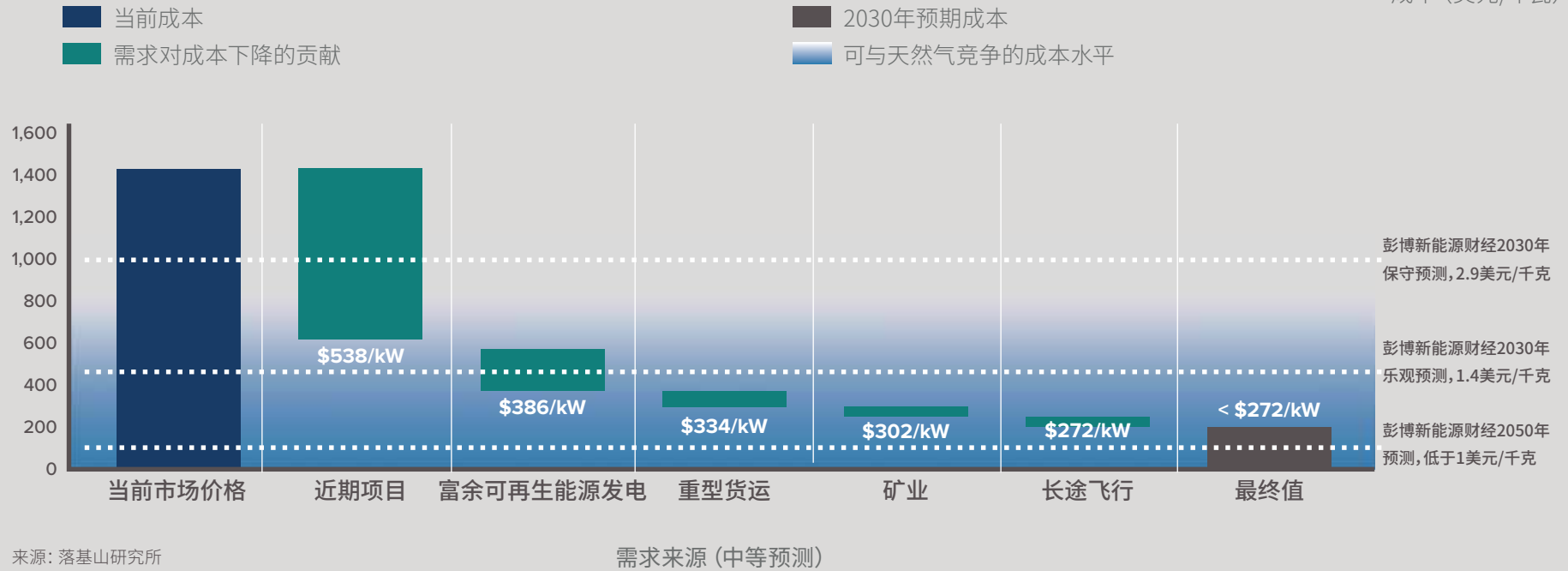
- 竞争性市场动态，一方面会随着更多制造商希望有能力采用与气候目标一致的生产方式而提高对认证低碳商品的需求，另一方面还在提供更多技术解决方案来使这种先进性得以实现。
- 与气候目标一致的催化性金融是出于投资者对气候和转型风险的敏感性而提出资产与负债构成应与气候目标保持一致性。这种重新评估将因实质性风险意识及风险投资风险承受能力的提高而获得支持，从而在所需的时间范围内大规模推动低碳工业技术解决方案的商业化，重新配置资本投资以抛弃高碳排放资产。
- 自上而下和自下而上的政策，包括国家工业政策和对市场开发的支持以提高公众对经认证的绿色产品的需求。
- 多利益相关方合作，以催化实用的技术或市场解决方案来应对挑战，进而使各部门发展路径符合2030年和2050年全球脱碳轨迹的需求（见图18）。

通过这些和其他更多杠杆式解决方案，面向消费者的最终脱碳成本将非常低——并且通过相互协调的行动来测试和迅速扩大新解决方案的规模，很可能可以进一步使成本降低为零。

图18

对电解氢气的需求意味着成本下降速度比预期更快

成本 (美元/千瓦)



绿色氢能可以比预期更快地降低成本，与高碳强度替代品进行竞争。

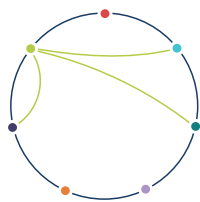
氢能质子交换膜 (PEM) 电解槽作为一种核心技术可以利用可再生能源推动工业部门电气化，例如用清洁的氢气生产绿色钢铁。在2030年以前，PEM电解槽的成本可以降低至每千瓦300美元以下——可以在风能和太阳能资源丰富的地区使氢气成本降至每千克1.5美元以下，足以与天然气进行竞争。

通过关键企业、决策者和消费者间不断的协调和努力，尤其在美国、中国和澳大利亚等市场，解锁这些初步需求是完全可能的。

7

确保快速而公平的转型

我们如何处理能源转型中金融、机构和人力方面的问题以完成整个经济的转变？



向清洁能源经济的转型不仅可以避免气候变化导致的最坏后果，同时也能为我们的经济和社区带来显著的净收益。要确保完成安全的转型，我们必须用零碳资产替代所有现有和未来的碳密集型资产来最小化不必要的实质性和转型风险。因此，必须

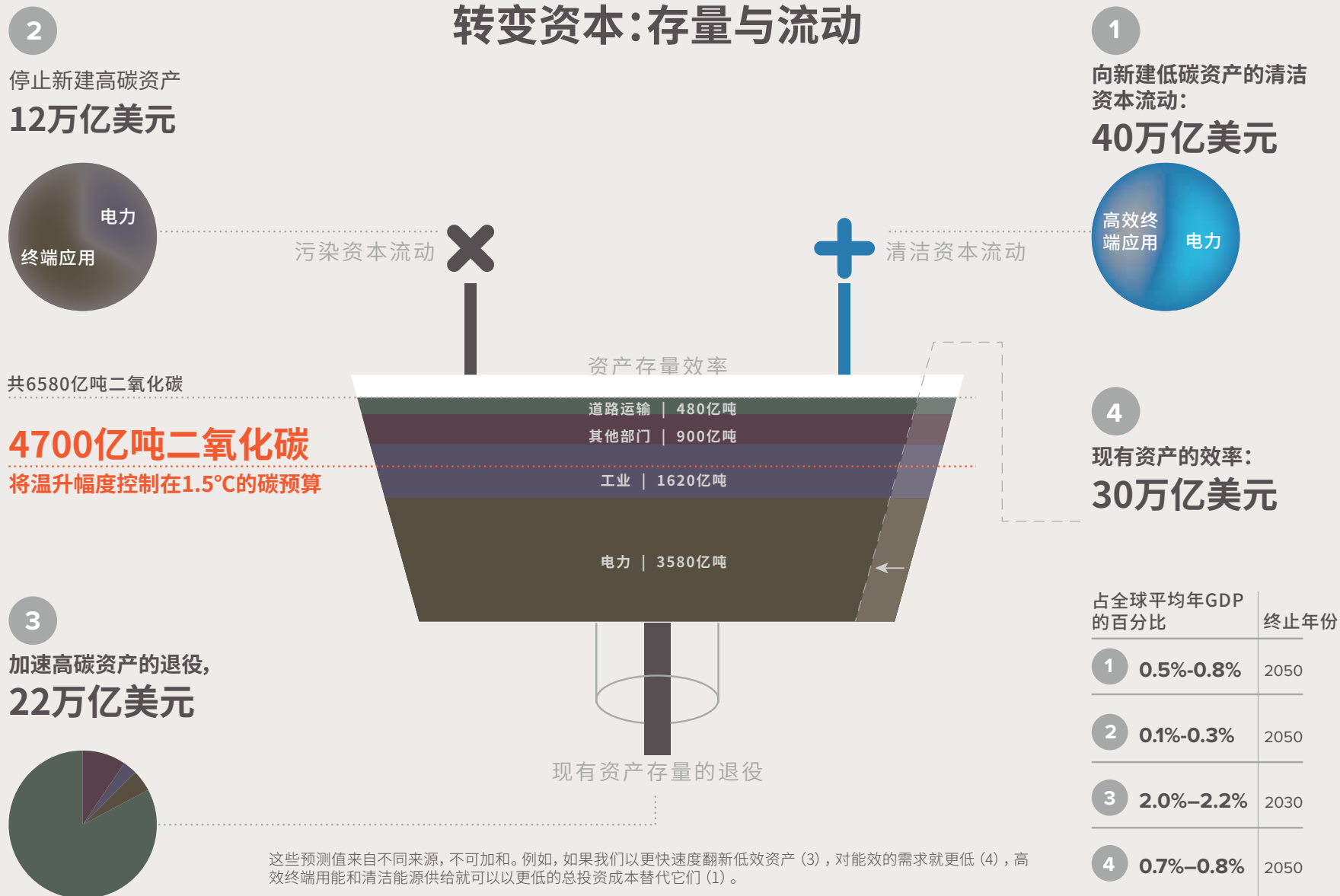
通过可预测和控制的颠覆性和改革性行动推动转型以所需的速度推进。采用新的工具和方法来加速投资和资本存量周转，确保能源供应，降低转型成本和避免对衰退产业和社区的负面影响对最大化全球清洁能源转型的净价值至关重要。

全球大部分温室气体的排放都来自于在全球经济中提供重要服务的资产，例如发电的电厂、运输人与物质的交通工具、制造水泥、玻璃等建筑材料和其他复杂产品的工厂等。及时的能源转型需要转变这些资产存量，并将其替代为能够以最小气候影响代价提供同样服务的新型资产。

综合性的转型方式包括四个方面的金融手段：

1. 创建新的低碳资产
2. 停止扩建高碳强度的资产
3. 加速现有碳密集型资产的退役
4. 提高现有的和新兴的资本存量的生产效率

以用干净水替换浴缸中脏水为例，这四重手段的具体表现方式依次为：打开清水龙头，打开浴缸排水阀，扩大下水道尺寸和调整真正所需的水量（见图19）。



管理气候和市场风险

资本存量的转变是及时完成全球能源转型的关键。工业化国家和发展中国家面临的挑战在某些程度上是不同的，但在所有地区，来自公共和私营领域的各利益相关方都必须提前做好准备，并支持从高碳向低碳经济的转型（见图20）。

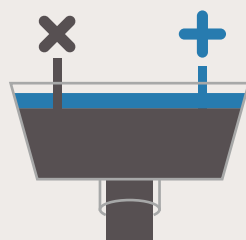
工业化国家现有的高排放资本存量的饱和度更高，需要显著改变高碳强度的现状。气候变化和能源转型的速度正在提高工业化国家中资产管理、投资者和金融监管者对实质性风险和市场风险的认识。具体而言，四个方面的力量正在增加金融部门在全球实体经济脱碳进程中的压力：

1. 地方投资政策迅速转变，以规避资产搁浅风险，如用低碳资产（可再生能源）替代高碳资产（化石燃料发电）的“钢铁替代燃料”解决方案；
2. 金融市场对颠覆做出反应，将其视为一种新的技术经济模式，会对市场现有核心利益相关方的份额、增长速度和估值造成影响；
3. 金融监管扩大范围，以管理变化中的气候和能源市场带来的系统性风险；
4. 投资者和资产管理者通过自愿行动，特别是以加强投资组合气候一致性的方式来支持实体经济的转变。

发展中国家的高碳资产“锁定”比例较低，有机会通过跨越式发展确保合理规模的低碳资本存量。国家级能源部门可以通过精心设计发展战略，利用高效及合理规模的可再生能源替代化石燃料发电资产，为南亚和撒哈拉以南非洲地区超过10亿尚未获得可靠能源供应的人群提供服务。

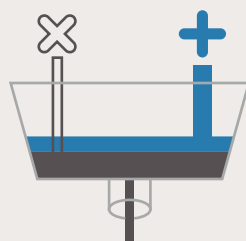
为大规模资本投资制定跨越式解决方案需要定向资金来支持方案的商业可行性；来自公共和私营领域的利益相关方之间的高效合作；以及由绿色银行和财务顾问组成的全球网络将资本投向清洁能源解决方案。

图20
区别对待气候金融挑战



工业化国家

工业化国家现有的高排放资本存量的饱和度更高，需要显著改变高碳强度的现状。



发展中国家

发展中国家的高碳资产“锁定”比例较低，有机会通过跨越式发展确保合理规模的低碳资本存量。

来源：落基山研究所

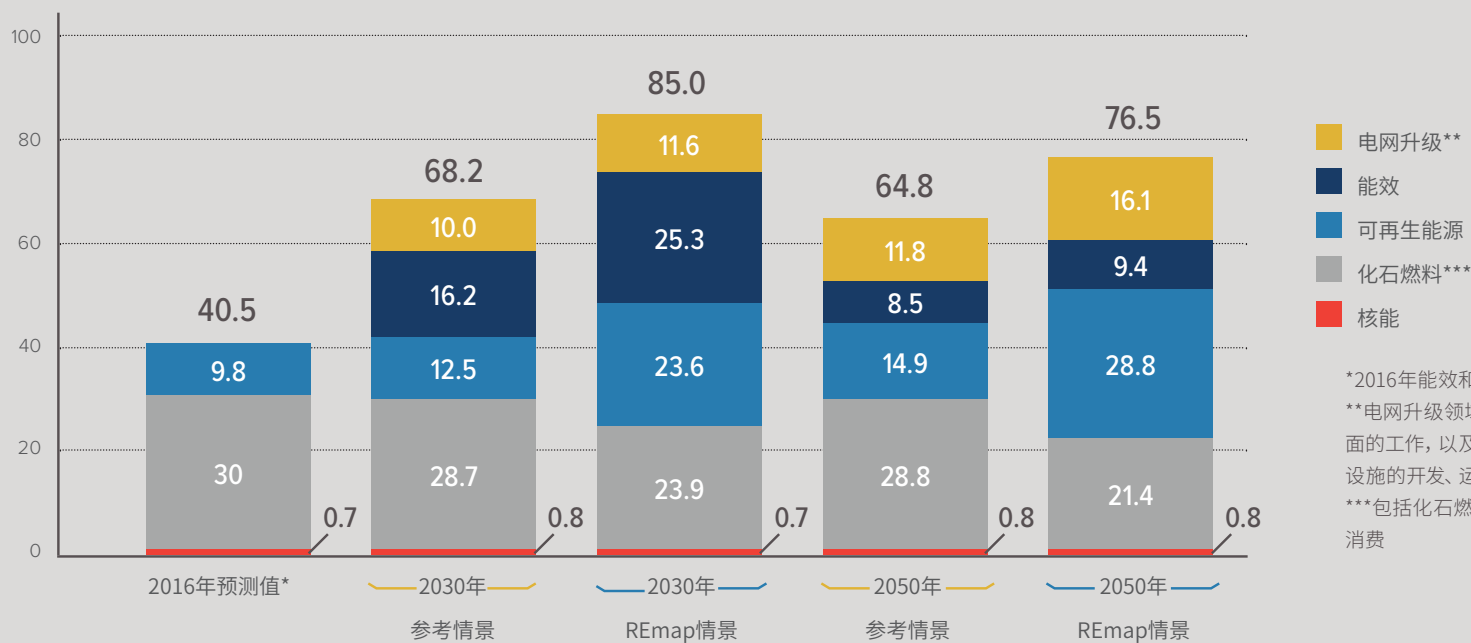
迅速转型所需的人力资源

虽然从高碳资产向低碳资产的资本转型可为社会提供长期的净效益，但转型可能会对不同地区带来不平等的影响。

国际可再生能源机构预测，在加速转型情景下，2030年仅可再生能源部门内的就业人数就将超过化石燃料部门。在各种情景下，全球化石燃料部门的净就业人数都将下降200-700万人，说明无论能源转型的速度如何，该部门的就业人数都将从峰值滑落（见图21）。

要满足转型对人力规模的需求，各种级别的公共和私营机构都应将最小化对社区的干扰作为责任和关注点。公共部门在社区、社会安全网和“绿色”工业化策略中的投资，以及私营部门对劳动力再培训和资产再利用的关注都将至关重要。

图21
能源转型带来的净就业效益
百万份工作



来源：国际可再生能源总署

推动转型的重大机遇

1

技术、政策和能源技术经济领域的专家如何能够通过合作在能源和气候决策领域发现透明数据的杠杆点？

2

分析人士和决策者如何确保能效资源能够得到细致和严谨水平与供应资源相当的评估，从而使目前未得到充分利用的能效资源能够清晰、充分地展现其在气候保护和其他行动中的作用？

3

我们如何通过设计竞争性市场来支持发展中国家清洁和高效的持续电气化，（在这些国家，许多人在生活中尚未获得基本的电力服务）？

4

多边以及慈善资助者如何在协助打造城市领导力和能力建设的同时，通过多元、分散的投资设计和规模化解决方案来支持这些方案的试验和应用？

5

私营部门、政府和学术界如何建立一体化的系统层面解决方案，从而帮助新技术在商业化过程中更快速地跨越各种“死亡之谷”？

6

我们可以设计何种平台和标准来引导消费者对低碳/零碳产品和服务的需求，并帮助投资者群体推动更高水平的气候一致性？

7

能否开发出合适的方案帮助那些受到能源转型负面影响的国家？是否可以将增加可再生能源创造的成本节约效益的一部分分配给由于传统能源资产的关停受到影响的地区，以此支持“公平的转型”？





22830 Two Rivers Road
Basalt, CO, 81621 USA
www.rmi.org

2019年11月, 落基山研究所版权所有。Rocky Mountain Institute和RMI是落基山研究所的注册商标。
除特别标注外, 本报告中的内容可以免费使用、分享、复制、转载、打印和/或保存。如需使用本报告内容, 请注明来源和版权归属。此外, 本报告中来自第三方的内容受其他使用条款和规定的限制, 使用这些内容前需要获得相关第三方的许可。