

世界能源 转型展望

1.5°C 路径

执行摘要

© IRENA 2021

除非另有说明，本出版物中的材料可以自由使用、共享、复制、印刷和/或存储，前提是需恰当确认 IRENA 为资料来源和版权所有。本出版物中属于第三方的材料可能受单独的使用条款和限制的约束，在使用此类材料之前，可能需要获得这些第三方的相应许可。

引用

IRENA (2021), *World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway* (世界能源转型：1.5°C 路径)，International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

本执行摘要翻译自“World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway”

国际标准图书编号：978-92-9260-334-2” (2021)。如中文译本与英文原版的内容不一致，概以英文版为准。

下载地址：www.irena.org/publications

欲了解更多信息或向我们提供反馈，请发送电子邮件至：publications@irena.org

关于 IRENA

国际可再生能源署 (IRENA) 是国际合作的主要平台、英才中心、政策、技术、资源和金融知识库，也是推动全球能源系统转型的动力。作为成立于 2011 年的全球性政府间组织，IRENA 推进广泛采用和可持续利用各种形式的可再生能源，包括生物能、地热、水电、海洋能、太阳能和风能，以追求可持续发展、能源获取、能源安全和低碳经济的发展与繁荣。

www.irena.org

免责声明

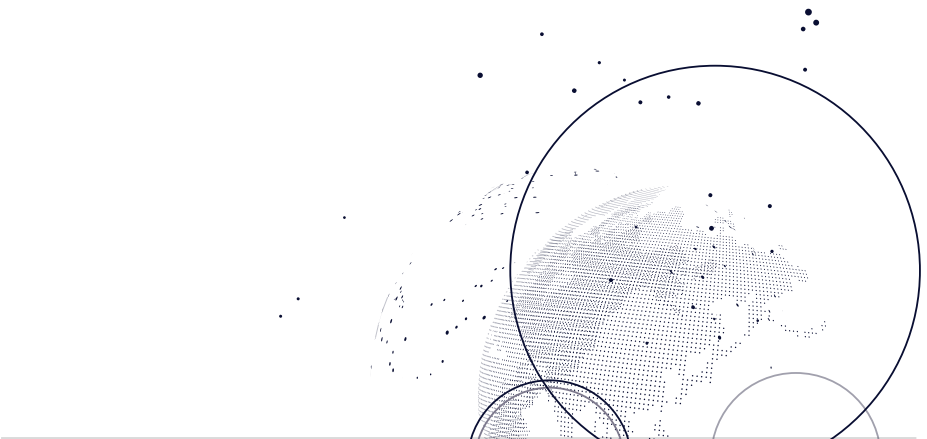
本出版物及所使用的资料均按“原样”提供。IRENA 已经采取了所有合理的措施，以验证本出版物中资料的可靠性。然而，无论是 IRENA 还是其任何官员、代理人、数据或其他第三方内容提供者均不提供任何形式，包括明示或暗示的担保，它们对使用本出版物或材料的任何后果不承担任何责任或法律责任。

本文中包含的信息不一定代表 IRENA 所有成员的观点。提及特定的公司或特定的项目或产品并不意味着 IRENA 认可或推荐这些公司或产品，认为其优先于未提及的类似性质的其他公司或产品。此处采用的名称和本材料的表述，并不意味着 IRENA 会就任何地区、国家、领土、城市或地区或其当局的法律地位或对边界或边界的划定表示任何意见。

世界能源 转型展望

1.5°C 路径

执行摘要



前言

我们没有时间了。机会窗口正在关闭，通往净零排放未来的道路越来越窄。这是今年早些时候我在柏林能源转型对话发布《世界能源转型展望》时明确传达过的信息。相关科学证据显而易见：到 2030 年，全球温室气体排放必须在 2010 年的基础上减少 45%。不幸的是，近期趋势表明，我们当前所处位置和我们应该到达位置之间的差距正逐步扩大。我们正走在错误的道路上，急需改变方向。

我们未来几年的选择将产生深远影响。这些选择可能有助于我们朝着 2015 年制定的目标迈进，当时通过了一项具有重大意义的可持续发展和气候变化国际协议。这些选择也可能将我们带往相反方向，导致气候进一步变暖，从而产生深远且不可逆转的经济和人道主义后果。

在尚不稳定时期做出预测或预先确定结果是不明智的行为。但当前几个趋势正塑造着能源转型的发展并为其指明方向。首先，可再生能源技术成本暴跌，导致新的化石燃料电力不再具备吸引力。其次，电力部门的进步正辐射至终端用途，这允许人们重新考虑选择丰富的可再生能源的可能性。第三，全球当前已经形成的共识是，以可再生能源和能效技术为基础的能源转型是到 2050 年将全球变暖限制在 1.5°C 的唯一机会途径。就在几年前还有人认为：国际可再生能源署 (IRENA) 支持的完全以可再生能源为中心的方法过于激进、理想化，甚至是不切实际。今天，我们的愿景已成为主流，且被视为实现全球气候安全的唯一现实选择。全球各国家/地区越发积极地致力于净零排放战略，为转型变革创造了前所未有的政治动力。

IRENA 的《世界能源转型展望》概述了帮助我们摆脱气候危机、迈向更具弹性和更加公平的世界的途径。它明确展示了我们今天拥有的选择以及需要填补的空缺。它所提供的分析和选择优先考虑现有的减排解决方案以及未来几年内最有可能的可行解决方案。它不会在未经证实的技术或可能的发明上下赌注，而是鼓励急需的创新以完善和推进最快的减排路径。

本展望为所有绿色能源的利用提供了极具吸引力的路径，即以电气化和能源效率为主要驱动力，由可再生能源、绿氢和可持续的现代生物能源推动实现这一目标。但是，无论情景及其假设的严谨和全面程度多高，都只是为决策提供信息的工具。为了将这一能源未来愿景转化为现实，我们需要打破为过去燃料创建的现有基础设施所存在的限制。而且这些决策并非凭空而来。经济与人类发展目标、环境问题以及金融渠道都必须协调一致。

正是在这种背景下，IRENA 带来了其独特价值。

本展望表明，当我们超越能源供应的狭隘范围来考虑问题，以可再生能源为基础的转型会带来一系列极具价值的益处。因此，本展望提出了推进公正性和包容性过渡所需的政策框架。它帮助人们更好地理解结构变化，并为国内生产总值 (GDP)、就业和福利等影响方面提供了量化框架。本报告还分析了资金结构，以表明资本市场所需的必要转变。

这些知识为 IRENA 支持各国/地区实现优先事项并将战略转化为行动奠定了基础。通过我们的 164 个成员国，我们看到了集体行动如何推动全球进步以及可能存在总体需求和差距的地方。

这种全球影响力赋予了可再生能源信誉和特权，即支持能源转型问题的各领域国际合作，以帮助各国/地区相互学习并充分利用可再生能源署的大量专业知识。我们正积极与包括私营部门在内的合作伙伴开展合作，提供一个动态平台，推动行动、前瞻性规划、整体政策制定和大规模投资。

我们这个时代的需求巨大，且充满了不确定性。我们正在进入一个全新的变革时代，能源转型将推动经济转型。这种变革为振兴经济及摆脱贫困带来了新的、前所未有的可能性。但要知道，我们面临的任务很艰巨。我希望本展望研究能够提供全新视角，帮助人们了解如何将今天的能源问题转化为未来的解决方案。

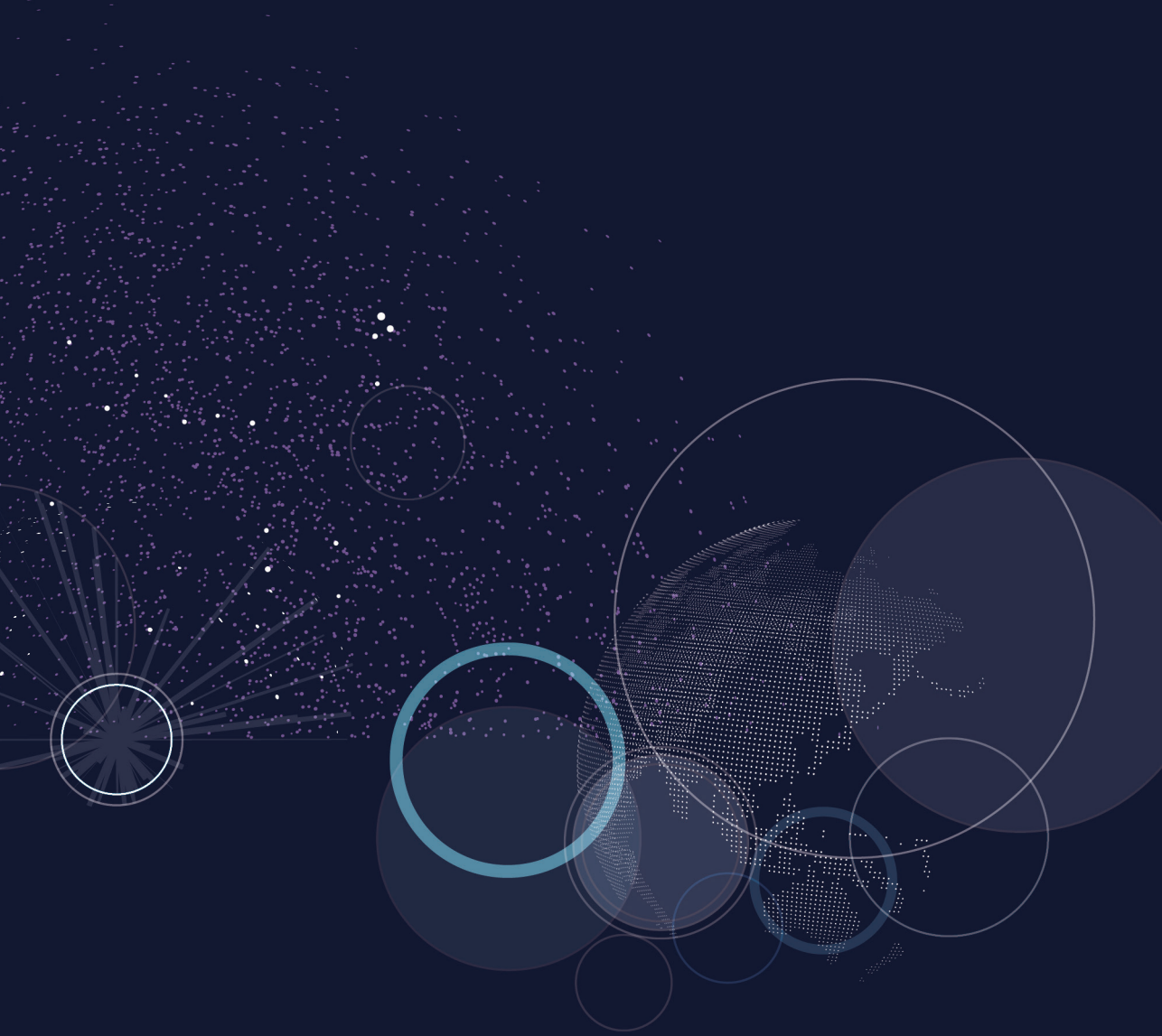
只有我们齐心协力，带领所有人走向一个更具适应性、平等和公正的世界，我们的共同未来才会充满光明。



Francesco La Camera
IRENA 总干事



执行摘要



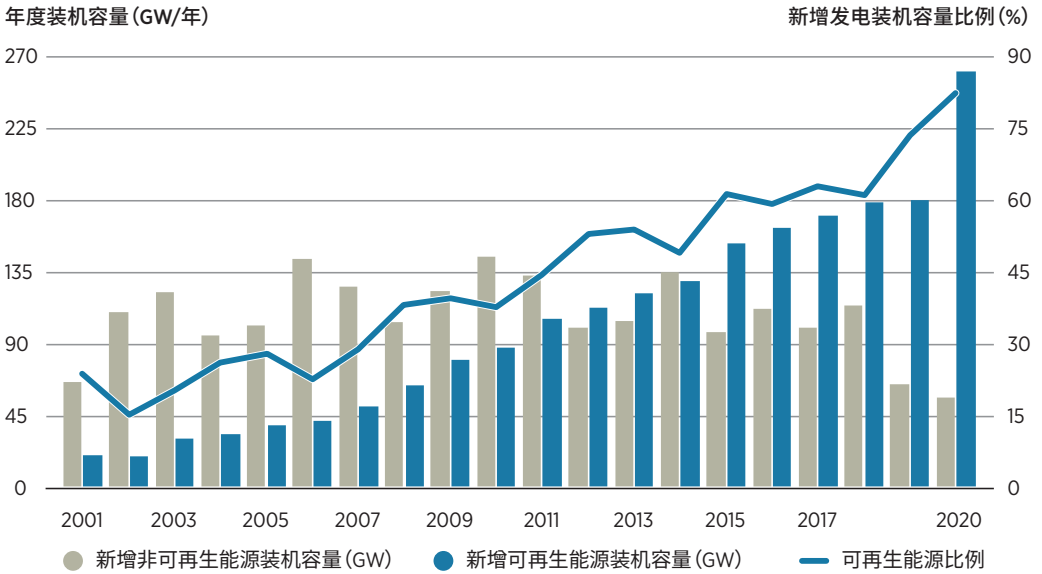
我们当前处于能源转型的哪一阶段？

以变化缓慢著称的能源部门正在经历动态转型。解决气候变化、能源贫困和能源安全已成为发展和工业战略的迫切需求，使得广泛采用可再生能源和相关技术成为必不可少的解决方案。尤其是在过去十年，政策驱动因素、技术发展和国际合作使这些技术从利基转向主流。即使面对新冠疫情 (COVID-19) 大流行造成的动荡形势，基于可再生能源的系统也表现出了非凡弹性，展现了以太阳能和风能为主、基于可再生能源的电力系统的技术可靠性。

已经形成的共识是，以可再生能源以及提高能效和节能技术为基础的能源转型成为我们到 2050 年将全球变暖限制在 1.5°C 的唯一途径。就在几年前，人们还认为 IRENA 支持的以可再生能源为中心的方法过于理想化。今天，即使部分最保守的能源参与者也意识到我们的这一共识才是全球气候安全的唯一现实选择。这种深刻而普遍的观点转变源于不可否认的证据，其中不仅包括全球面临的严峻问题，也包括十多年来重塑能源部门的技术、政策和市场趋势等。

过去七年，电网每年添加的可再生能源数量甚至高于化石燃料和核能的总和。由于已成为许多市场中最便宜的电力来源，可再生能源技术当前主导着全球新增发电容量市场。2020 年全球新增可再生能源发电装机容量达到了创纪录的 260 吉瓦 (GW)，是其他来源新增容量的四倍还多 (IRENA, 2021a)。这是电力部门实现快速脱碳的一大颇具前景的趋势。

图 S.1 容量份额 (2001-2020)

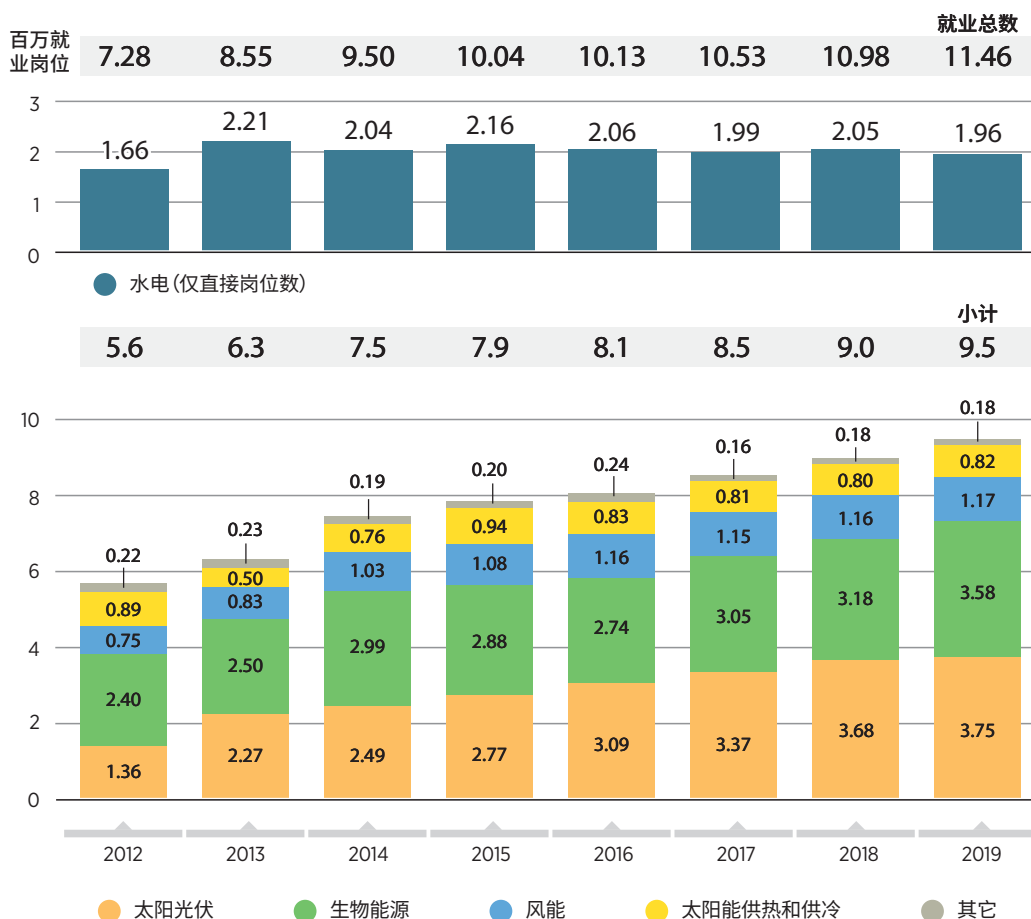


基于 IRENA 的可再生能源统计数据。

创新解决方案正在重塑能源系统，并以相比预期更快的速度为脱碳未来开辟新的可能性。全球范围内正在实施技术、政策和市场方面的创新 (IRENA, 2019a)。电动汽车、电池存储、数字技术和人工智能等领域取得了重大进展。这些转变也引发了人们对稀土和其他矿物的可持续开发和管理以及循环经济投资需求的更多关注。凭借便利政策和市场的支持，从小型电网到超级电网等新的智能电网正在增强电力部门应对可再生能源波动性的能力。直接使用包括生物能在内的可再生能源和绿氢正在为交通、建筑和工业部门提供急需的解决方案。

2019 年全球 5,800 万个能源工作岗位中，约 20% 来自可再生能源部门。全球就业模式的变化反映了能源部署的最新趋势。可再生能源部门就业人数从 2012 年 IRENA 开始监测时的 730 万增加到 2019 年的 1150 万。同一时期，由于自动化程度提高、某些燃料缺乏竞争力以及市场动态变化等原因，能源工作岗位曾经在减少。也有越来越多的证据表明转向可再生能源的广泛影响。值得注意的是，可再生能源的兴起改善了能源部门的性别平衡，可再生能源行业的女性工作岗位占比为 32%，而石油和天然气部门则为 22%。

图 S.2 全球可再生能源部门各技术领域的就业人数 (2012-2019)



来源：IRENA，2020 年。

越来越多的国家/地区承诺实施净零碳排放战略，这表明全球气候话语发生了重大改变。各级政府和私营部门、包括难以减排的和石油和天然气部门都观察到了类似的趋势。由于全球大部分地区都在努力应对经济衰退，能源转型投资有助于确保短期优先事项与中长期发展和气候目标保持一致。这是一个独特机会，可以通过具有前瞻性、针对性的能源投资推动持久转变，尤其是基础设施、能效和可再生能源等方面 (IRENA, 2020b)。事实上，一些国家/地区已经做出重大承诺，为推动这些转变提供适当的公共资金，并支持电动汽车和清洁氢能等解决方案。

全球超过 80% 的人口生活在化石燃料净进口国。但事实上每个国家/地区都拥有一些可再生潜力，可以利用这一潜力提高能源的安全性和独立性，并使成本越来越低 (IRENA, 2019b)。与 1.5°C 气候目标相一致的全球能源系统转型可作为一个伟大的平衡器，推动这个世界更具弹性、公正性和包容性。这样的能源系统需要快速开发和部署弹性技术，落实对人员和机构方面的投资。

我们已经取得了显著进步，但不同地区和社区之间的发展并不均衡。虽然少数几个国家和地区已取得了长足的进步，但也有其他地区，普遍的能源贫困继续阻碍着经济进步和社会福祉。2020 年的数据显示，欧洲、美国和中国的可再生能源新增装机容量占比最大，而非洲仅占全球可再生能源新增装机总量的 1%。非洲大陆最需要扩大对现代能源的普及，并开发可再生能源的巨大潜力。尽管离网可再生能源是扩大能源普及的主要途径，但 2008 年至 2019 年间，其投资仅为 10 亿美元。就业和行业集中在少数地区也反映了不均衡的部署模式，严重滞后于全球大部分地区。

我们目前的计划仍远远无法满足 1.5°C 这一目标。基于现有的政府能源计划和目标，包括《巴黎协定》下的第一轮国家自主贡献 (NDC)，现有政策只会稳定全球排放，临近 2050 年，排放量会略有下降。尽管有明确证据表明气候变化是由人为造成的，并就此采取了一系列措施，如对《巴黎协定》的广泛支持以及清洁、经济和可持续能源选择的盛行，但 2014 年至 2019 年间能源相关的 CO₂ 排放平均每年增加了 1.3%。

时间至关重要，现在必须开始加速减少排放，以抓住战斗机会，将温度变化控制在 1.5°C。根据政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 关于到 2050 年将全球变暖限制在 1.5°C 的报告，煤炭和石油应该已经达到峰值，而天然气将在 2025 年达到峰值。我们现已具备加速能源转型所需的资源和技术。根据 IPCC 的时间表，IRENA 绘制了一条陡峭而持续的下降轨迹，到 2030 年二氧化碳 (CO₂) 排放由 2010 年的水平下降 45%，到 2050 年达到净零排放。

IRENA 《世界能源转型展望》是一种与 1.5°C 路径兼容的独特方案，它分析了全方位的社会经济和政策影响，并提供了关于结构变化和资金投入方面的见解。快速脱碳技术越来越多，但能源转型相关的思考不应局限于能源自身。实现转型的深远潜力需要有系统性创新，需要同时考虑技术和支持框架。基于可再生能源的能源系统将引发深刻变革，并在整个经济和社会中产生巨大反响。只有了解这些深层趋势，我们才能从转型过程中获得最佳结果。这一首版《世界能源转型展望》汇集了 IRENA 的丰富知识，旨在为政策制定者在规划未来的道路方面提供见解、工具和建议。

IRENA 的 1.5°C 情景

已规划能源情景 (PES) 是本研究的主要参考案例，根据政府当前的能源规划及包括《巴黎协定》下的国家自主贡献 (NDC) 等其他规划目标和政策，针对能源系统发展提供了一些见解。

PES

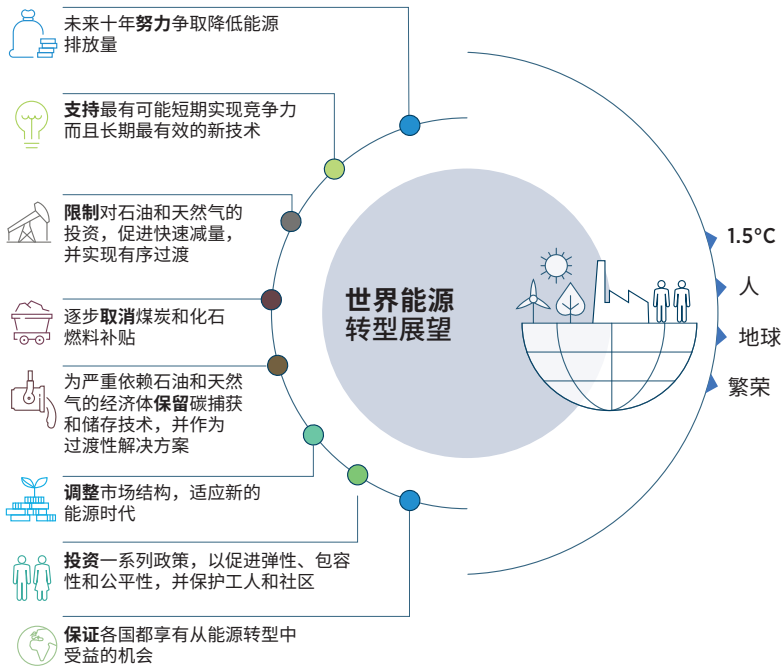
1.5°C 情景 (1.5-S) 描述了与 1.5°C 气候目标一致的能源转型路径，即相对于工业化前水平，将本世纪末的全球平均升温限制在 1.5°C。它优先考虑现成的技术解决方案，且这些方案能够按照 1.5°C 目标所需的速度加以推广。

1.5-S

时间紧迫，未来十年我们需要进行谨慎的投资和政策选择。实现 IPCC 设定的 2030 年排放里程碑的机会窗口很小，未来几年所做的选择将决定 1.5°C 路径未来能否得以实现。本展望以联合国可持续发展议程和巴黎气候变化协定为指导。支持 IRENA 1.5°C 路径背后变革理论的几大先决条件包括：

- 按照未来十年最有可能降低能源排放的发展路线，并将全球升温控制在 1.5°C 以内。
- 支持短期内最具竞争力并在实现长期减排方面最有效的新兴技术。
- 限制石油和天然气的投资，以促进石油和天然气的快速减量，并实现有序过渡。
- 为严重依赖石油和天然气的经济体保留碳捕获和储存技术，作为没有其他选择的过渡解决方案。
- 逐步取消煤炭和化石燃料补贴。
- 适应新能源时代的市场结构。
- 投资一系列政策，以促进弹性、包容性和公平性，并保护受能源转型影响的工人和社区。
- 确保所有国家和地区都有机会参与全球能源转型并从中受益。

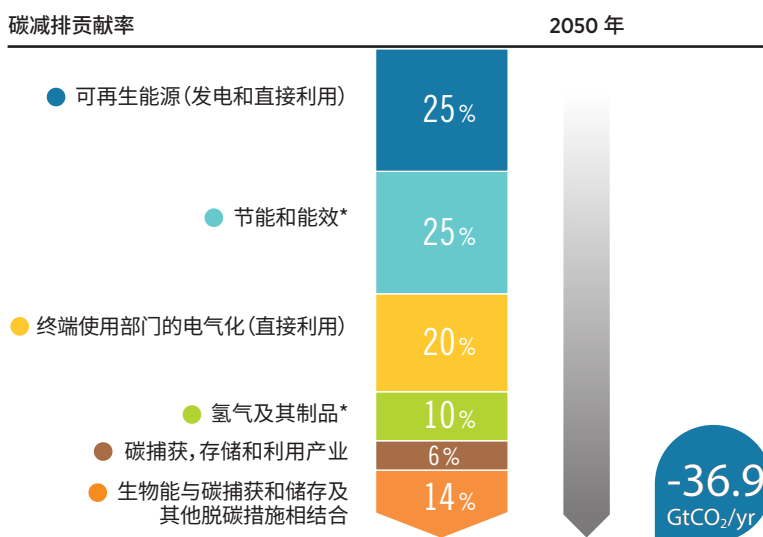
图 S.3 WETO 变革理论指导框架



实现气候目标的技术途径

IRENA 的分析表明，推动 2050 年成功实现能源转型的解决方案中，超过 90% 涉及通过直接供应、电气化、能源效率、绿氢和生物能与碳捕获和储存 (BECCS) 相结合的可再生能源。通向脱碳能源系统的技术途径已经明确，主要是可以实现大规模快速部署的解决方案。技术、市场和商业模式不断发展，但无需等待新的解决方案。利用现有选择便可取得长足进步。但要能将能源转型技术提升至必要水平，并达到与 1.5°C 路径目标相适应的速度，则需要针对性的政策和措施。

图 S.4 1.5°C 情景下的碳减排贡献率 (%)



到 2050 年，电力将成为主要的能源载体，从 2018 年占终端能源消费总量的 21% 增加至 2050 年的 50% 以上。随着运输和供热等终端应用的电气化，部门边界正在发生变化。这种增长主要来源于终端应用中使用可再生能源发电代替化石燃料。这一转变将推动可再生能源技术的年增长率达到八倍增长。终端用途的电气化还将重塑多个部门，最显著的是交通运输部门，到 2050 年，电动汽车在所有道路活动中的占比将达到 80%。

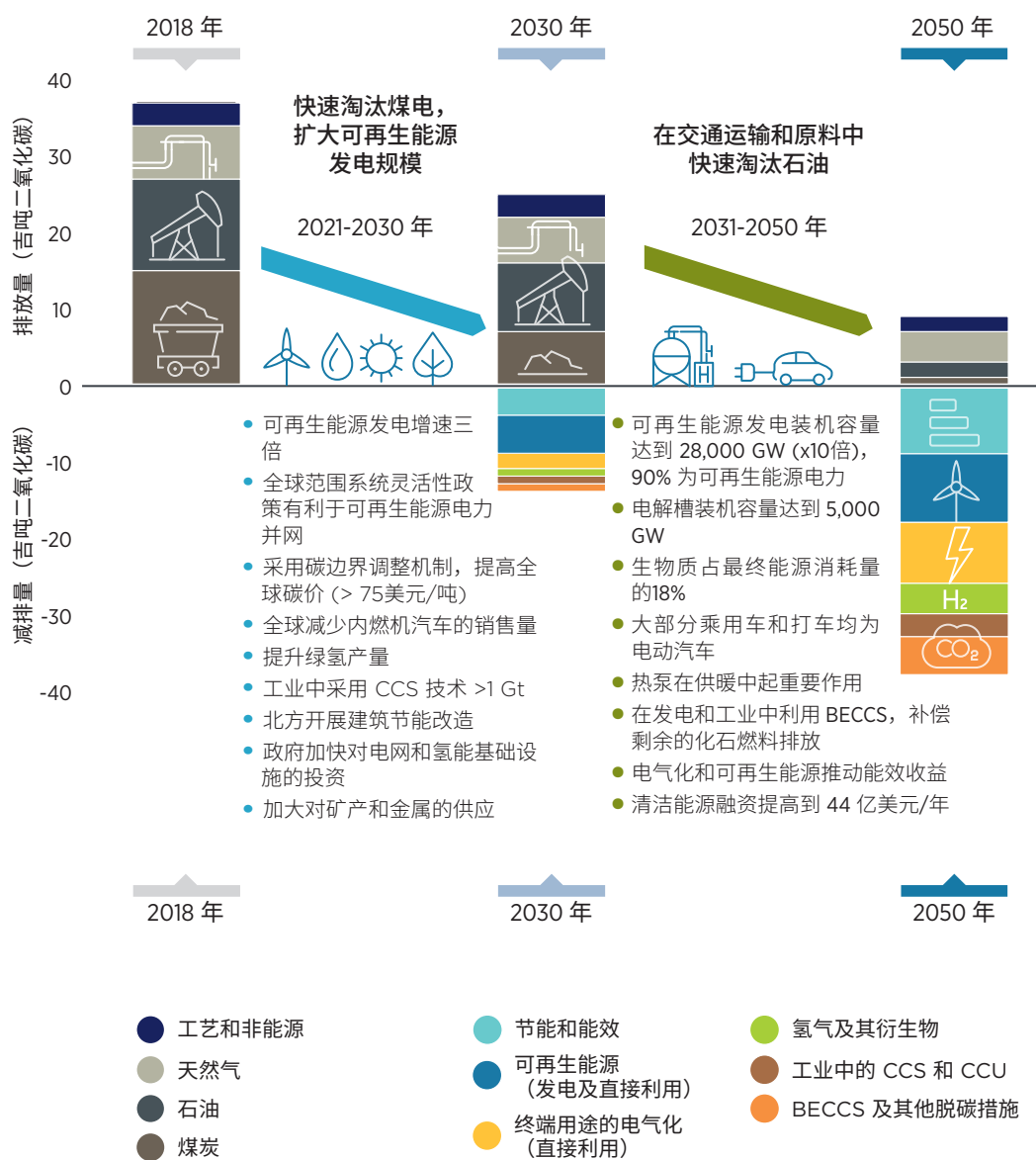
每年的能源强度降低比例需要提高到 2.9%，几乎是历史趋势的两倍半。如此一来，到 2050 年，全球经济的能源强度将下降 60% 以上。能效技术和措施是“现成的”解决方案，因此可进行大规模推广。推动能源节约和提高能源效率等政策措施对于将终端能源消耗总量从 2018 年的 378 艾焦 (EJ) 减少到 2050 年的 348 艾焦 (EJ) 至关重要。结构和行为变化也将作出重要贡献，约占总体效率改善的十分之一。

到 2050 年，氢能及其衍生物将占终端能源使用的 12%。它们将在钢铁、化工、长途运输、航运和航空等难以脱碳的能源密集型部门发挥重要作用。氢能还将有助于平衡可再生能源电力供需，并作为长期的季节性储存能源。到 2050 年将需要约 5000 GW 的电解槽容量，高于目前的 0.3 GW。这种增长规模从一开始便突出了低碳氢的重要性。到 2050 年，三分之二的氢能将为绿氢，由可再生能源电力生产，三分之一是蓝氢，由天然气与碳捕获和储存 (CCS) 结合生产。

到 2050 年，生物能将占终端能源消费总量的 18%。整个能源系统都需要增加生物质的可持续生产和使用。它在某些部门发挥着重要作用，特别是作为化工部门的原料和燃料以及航空部门的燃料。而从其他方面而言，它有助于填补其他选择无法完全填补的空缺，例如在无法翻新的建筑物中使用生物甲烷代替天然气。此外，电力部门和部分工业部门使用生物质与 CCS (BECCS) 相结合以助力实现净零排放目标所需的负排放。

在化石燃料的综合利用和部分工业工艺中，脱碳工作可能还需要 CCS 和 CO₂ 去除技术和措施。在 1.5°C 情景中，到 2050 年，部分来源于化石燃料的综合利用和工业工艺的排放将持续存在。因此，必须捕获和隔离剩余的 CO₂。CCS 主要限于水泥、钢铁和蓝氢生产中与工艺相关的 CO₂ 排放。CO₂ 去除包括基于自然的措施，例如重新造林和 BECCS、直接碳捕获和储存，以及其他仍处于试验阶段的方法。

图 S.5 煤炭和石油的逐步淘汰带来的排放演变 (2021-2050)



注：RE = 可再生能源；VRE = 波动性可再生能源；CBAM = 碳边界调整机制；ICE = 内燃机；GW = 吉瓦；Gt = 吉吨；CCS = 碳捕获和储存；BECCS = 生物能与碳捕获和储存相结合；CCU = 碳捕获和利用。

到 2030 年，全球可再生能源发电规模将达到 10,770 GW，几乎是当前容量的四倍。为了在 2050 年之前实现电力系统的脱碳和终端使用的电气化，未来十年需要快速扩大部署。这一部署水平也是能源转型主题报告的关键建议，该报告由 IRENA、UNEP（联合国环境规划署）和联合国亚太经社会为联合国能源高级别对话 (United Nations High-Level Energy Dialogue) 撰写。全球范围内大量具有成本效益的可再生能源都成为可以大规模开发的选项。对于许多国家/地区而言，这有助于将技术和经济挑战转化为一系列投资、监管和社会机会。

基础设施的升级、现代化改造和扩建是未来十年的首要任务。对老旧基础设施的升级改造或投资扩建能源转型不可或缺的一部分，也是现代技术的推动因素。随着可再生能源份额的增长，这一点在未来十年系统灵活性和现代电网需求迅速增长时尤其重要。基础设施发展必须与长期计划保持一致，并反映包括区域市场一体化在内等更广泛的战略。

只有实行支持这些技术途径的政策，到 2030 年我们才能达到所需的部署水平。可再生能源利用政策支持市场创造，从而推动扩大规模、降低技术成本并提高与能源转型需求相一致的投资水平。鉴于大量公共资金作为复苏措施的一部分注入经济体，这些政策将决定能源转型方向，并为 2050 年前需要大幅增加的私营部门投资搭建舞台。

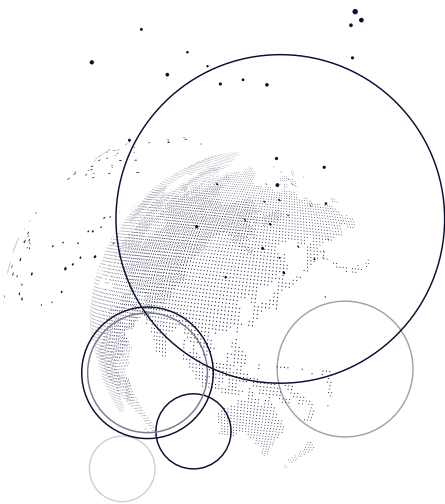


表 S.1 支持能源转型解决方案的政策概览

技术途径	目标	建议
可再生能源（电力和直接使用）	在终端用途部门部署可再生能源	这些政策包括市场的监管措施以及财政和金融激励措施，从而确保它们相比化石燃料解决方案更能负担得起并提高其成本竞争力。
	在电力部门部署可再生能源	工具的选择及其设计应充分考虑例如公用事业规模、分布式、离网式等解决方案性质、行业发展水平、电力系统的组织结构及更广泛的政策目标。
节能和能效	改善供热和制冷部门的节能状况并提高能源效率	严格的建筑规范、建筑改造和电器标准等能效政策的支持对于建筑和工业工艺的能源转型至关重要。
	改善交通部门节能	其他措施还包括交通部门的脱碳从能源密集型模式转向低碳模式。
终端用途电气化	供热和制冷部门电气化	可再生能源的目标应充分考虑终端用途电气化不断增长的需求，符合长期脱碳目标。此外还需要政策和电力系统设计为电气化提供支持以实现提供系统灵活性的潜力。
	运输部门电气化	
绿氢	支持绿氢的发展	支持政策框架应考虑四个关键支柱：国家/地区绿氢战略、优先事项设定、原产地保证和支持政策。
可持续生物能	确保生物能的可持续使用	可再生能源也不能完全避免可持续性问题。其中一些问题包括与土地利用变化相关的温室气体排放、以及对空气和水质以及生物多样性的影响。

为能源转型融资

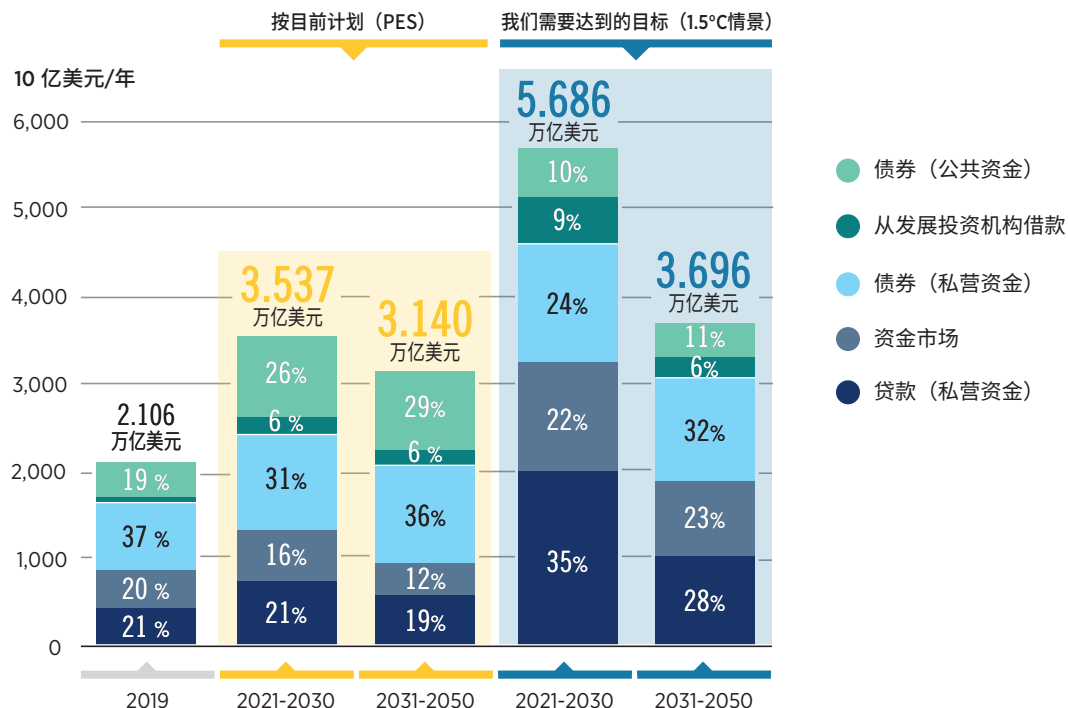
到 2050 年能源系统将需要 131 万亿美元的资金流入，重点用于与 1.5°C 路径相匹配的技术途径。 平均每年 4.4 万亿美元的资金需求极大，占 2019 年固定资本形成总额 (Gross Fixed Capital Formation) 的 20%，相当于全球国内生产总值 (GDP) 的约 5%。从现在到 2050 年，131 万亿美元总额中的 80% 以上必须投资于旨在帮助新兴和利基解决方案在经济上变得可行的能源转型技术，包括能效、可再生能源、终端电气化、电网、灵活性、氢能等。

当前的政府战略预计到 2050 年能源相关的重大投资将达到 98 万亿美元。 本展望中将其统称为已规划能源情景 (Planned Energy Scenario)(PES)，意味着年度能源投资几乎翻了一番，2019 年该数字为 2.1 万亿美元。大量资金将用于落后基础设施的现代化及满足不断增长的能源需求。但 1.5°C 情景下的技术融资细目与目前计划大不相同：从现在到 2050 年，24 万亿美元的计划投资必须从化石燃料转至能源转型技术。

1.5°C 情景下的融资结构在资本来源（公共和私人投资）和资本类型（股权和债券）方面存在显著差异。 2019 年，1.6 万亿美元的能源资产融资为私人来源，占能源部门总投资的 80%。在 1.5°C 情景下，这一比例将急速增长。债务资本份额必须从 2019 年的 44% 增加至 2050 年的 57%，相比 PES 下高出近 20%（见图 S.6）。能源转型技术应越来越容易获得低息长期债务融资，而私人金融企业将逐步避免“棕色”资产，因此被迫依赖来源于留存收益和新股发行的股权融资。资本密集型、去中心化程度更高的项目将影响投资者的风险认知，反过来这可能需要针对性的政策和资本市场干预。

公共资金需要增长近两倍，以催化私人资金并确保能源转型的公正性和包容性。 能源转型仅靠市场不太可能迅速发展，公共融资在推动迅速转型方面发挥着至关重要的作用。2019 年，公共部门以公共股权和开发金融机构贷款的形式为其提供了约 4,500 亿美元。在 1.5°C 情景中这一投资将增长到约 7,800 亿美元。公共债务融资将成为其他贷方的重要推动因素，尤其是实际或感知风险较高的发展中国家。某些情况下这可能包括用于降低融资成本的赠款。此外还需公共资金为转型创造有利环境，并确保转型以快速方式推进同时产生最佳的社会经济成果。

图 S.6 按来源和融资类型划分的年均投资总额：2019 年、PES 和 1.5°C 情景（2021-2030 和 2031-2050）



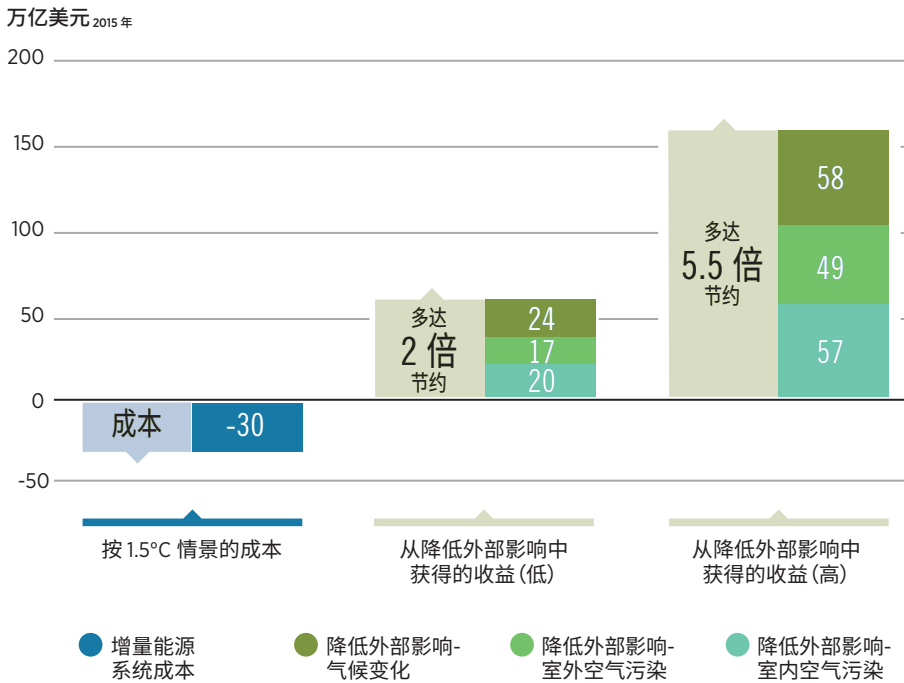
来源：2019 年投资：BNEF 融资金来源和类型 (2021a)、IEA (2020a)、IRENA 和 CPI (2020)；PES 和 1.5°C 情景：IRENA 和 BCG 分析。

采取必要措施消除有利于化石燃料发展的市场扭曲以及激励措施推动能源转型解决方案将有助于资金结构发生必要的改变。这将需要逐步取消化石燃料补贴及改变财政制度，以反映化石燃料能源系统带来的负面环境、健康和社会成本。货币和财政政策，包括碳定价政策，将有效提高转型相关解决方案的竞争力。此类干预措施应伴随针对社会和公平层面的严格评估，以确保低收入人群的状况不会因此恶化而是有所改善。

能源转型的社会经济足迹

到 2050 年，对 1.5°C 情景的投资将产生至少 61 万亿美元的累积回报。能源转型的总体平衡状况是积极的，收益远远超过成本。虽然减排成本因技术和部门而异，但增量成本远远低于通过削减外部成本实现的节约成本。IRENA 估计，1.5°C 情景下，除了“2 美元至 5.5 美元的价值收益”，在能源转型上每花费 1 美元便应从减少人类健康和环境的外部影响中获取一定益处。2050 年之前 1.5°C 情景所隐含的额外 30 万亿美元成本将累计带来 61 至 164 万亿美元的投资回报。

图 S.7 与 PES 相比，2021-2050 年 1.5°C 情景下成本和节约成本的累积差异



能源转型远远超越技术范畴，将带来深刻的结构变化，对经济和社会产生深远影响。IRENA 继续更加全方位地了解能源转型带来的社会经济影响。本展望中呈现的结果表明，只要整体政策框架到位，通往脱碳能源未来的相关措施将对经济活动、就业和福利产生积极影响。分析显示，各国现有政策与气候政策相辅相成，以实现能源转型目标，同时应对分配挑战以确保结果的公正性和包容性。

未来十年，1.5°C 路径提供的 GDP 增长相比 PES 高 2.4%（平均值），与后新冠疫情复苏的需求一致。在到 2050 年的过渡期间，相比 PES GDP 平均提高 1.2%。能源转型诸多方面的投资将刺激 GDP 的额外增长，从而导致相互依存的经济部门之间进行多重调整。化石燃料需求减少导致采矿和燃料精炼行业以及政府收入减少（因为降低了化石燃料特许权使用费用），从而对一些国家/地区的 GDP 产生负面影响。这一现实凸显了我们急需一个整体政策框架来解决因减少化石燃料依赖而引起的结构变化。

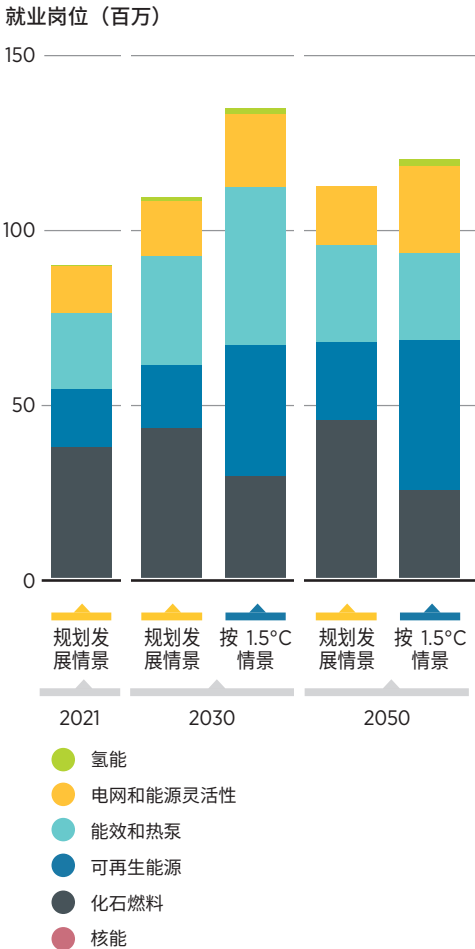
整个过渡期间，相比 PES，1.5°C 情景下整体经济范围内的就业率平均高出 0.9%。对就业产生的一个主要积极影响是来自能源转型解决方案的投资，包括可再生能源、电网加固和能源效率等。将投资从化石燃料（开采和发电）和其他部门转向能源转型，减少了化石燃料和非能源部门及其价值链上的劳动力需求。



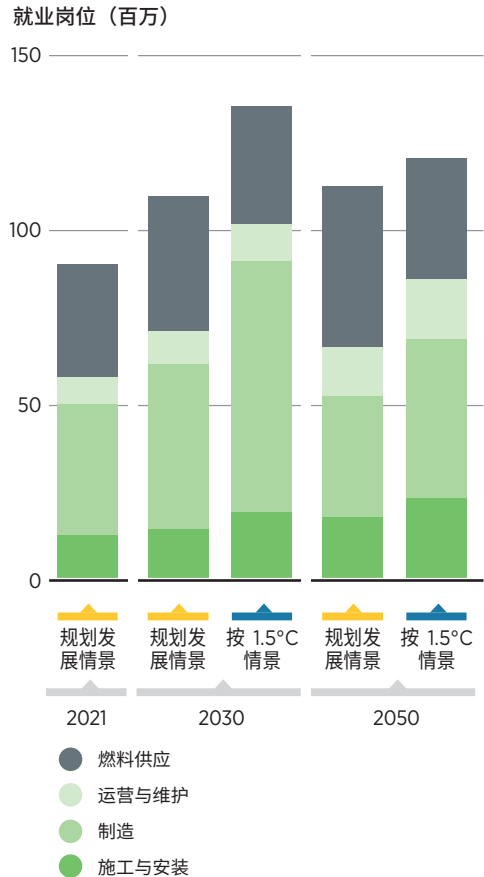
到 2050 年，转型的能源部门将创造 1.22 亿个工作岗位。在雄心勃勃的 1.5°C 情景下，资格、技能和职业越来越集中于制造业，其次是燃料供应。这些职业的培训相对简单，这为化石燃料行业的工人提供了机会。转型过程中劳动力的教育要求不断变化，初等教育水平劳动者的比例和数量不断增加，到 2030 年高等教育水平的劳动者达到高峰。

图 S.8 PES 和 1.5°C 情景下全球按技术划分的能源部门工作岗位（百万）

图 S.9 1.5°C 情景和 PES 下按价值链细分的能源部门工作（不包括车辆）



基于 IRENA 的分析。



基于 IRENA 的分析。

到 2050 年，可再生能源工作岗位将增加到 4,300 万个。PES 下的可再生能源工作岗位相比 2021 年增加了 9%，到 2030 年达到 1,800 万个，2050 年则达到 2,300 万个。相比之下，到 2030 年 1.5°C 情景将带来更大收益，未来十年可再生能源工作岗位将增加两倍多，达到 3,800 万个。太阳能光伏 (PV) 占最大份额，其次是生物能、风能和水电。未来十年中，建筑、安装和制造将促进可再生能源工作岗位的增加，随着 1.5°C 情景下能源转型的推进，运营和维护岗位的比重也将不断增长。

图 S.10 1.5°C 情景和 PES 下按技术划分的可再
生能源工作岗位 (百万)

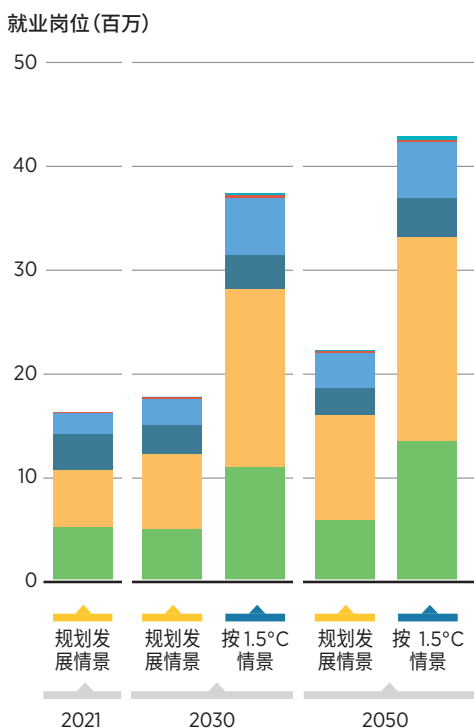
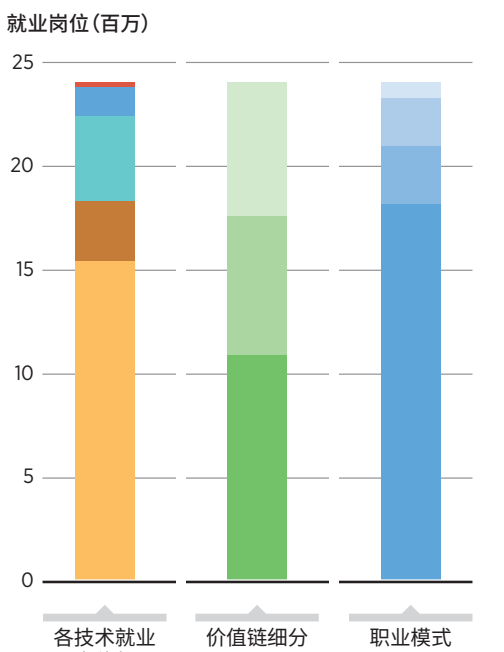


图 S.11 到 2050 年 1.5°C 情景下按技术、价值链
细分和职业要求划分的可再生能源技术
子集的工作岗位结构

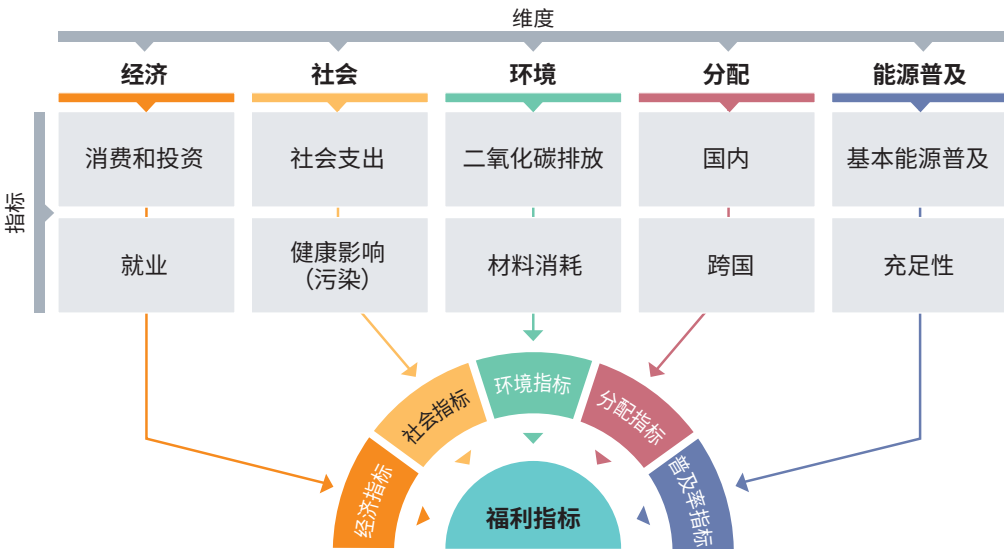


- 潮汐能/波浪能
- 地热能
- 运行和维护
- 海上风电
- 风能
- 制造
- 销售和管理人员
- 水电
- 陆上风电
- 施工和安装
- 工程师和高学历人才
- 太阳能热水器
- 太阳光伏
- 专家
- 工人和技术员

基于 IRENA 的分析。

IRENA 的能源转型福利指数涵盖经济、社会、环境、分配和能源普及等多个维度。其相关指数首次包括了其他分析经常忽视的分配和能源接入维度。衡量跨越这些维度的转型影响，这为了解转型的全部社会经济和环境效益路线图提供了定量基础。

图 S.12 IRENA 能源转型福利指数结构



1.5°C 情景在所有福利维度上的表现都优于 PES，到 2050 年相比 PES 收益将增长 11%。

- 两种情景的**经济维度**相似，反映了能源部门在全球整体经济和劳动力中所占份额相对较小。
- 在 1.5°C 情景下，**环境维度**收益相比 PES 增长了 30%，排放量显著降低，尽管增加的材料消耗也带来了可持续性挑战。
- 在 1.5°C 情景下，**社会维度**收益相比 PES 增长了 23%，这主要是室外和室内空气污染的减少极大改善了健康状况。相比之下社会支出在其中的作用则极小。
- **分配维度**收益相比 PES 增长了 37%；但该指数在绝对意义上仍然较低，表明存在潜在的股权壁垒。事实上，从社会和分配维度而言，整体能源转型福利指数都有所降低 - 这些现实值得更多的政策关注。
- 与 PES 相比，1.5°C 情景下的**能源接入维度**收益增长了 7%，因为已达到普遍能源接入和足够水平。

区域和国家层面的社会经济影响各不相同。全球总收益掩盖了能源转型影响地区和国家以及利益分配方面的重要差异。显而易见的是，能源转型路线图以及由此产生的社会经济影响与政策框架密切相关，由于我们设立了与 1.5°C 路径一致的宏大目标，这些联系变得更加紧密。政府参与能源转型应伴随着国际合作，以确保公平分担由能源转型产生的利益和负担。

表 S.2 结构变化和公正过渡政策概述

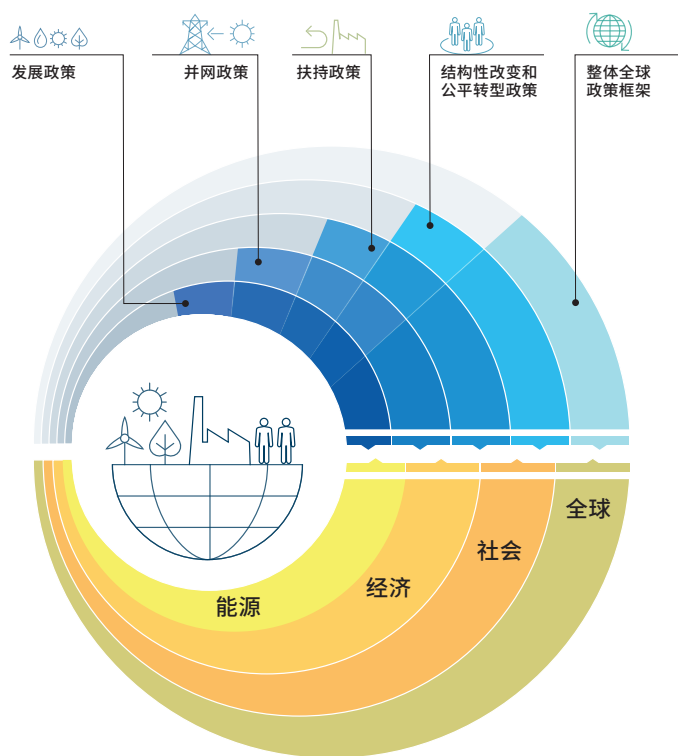
目标	建议
解决劳动力市场潜在的失调问题	确保公正和公平的过渡需要采取必要措施克服时间、地理和技能相关的不平衡问题。
发展本地价值链	增强和利用国内能力，这要求精心制定激励措施和规则、企业孵化计划、供应商发展计划、支持中小企业的进步以及推动重点产业集群的发展。
提供教育支持和产能建设	尽早接触可再生能源相关的主题和职业对于激发年轻人在该领域从事职业的兴趣以及改善高知识水平公民对可再生能源的社会接受度非常重要。
支持循环经济	需要制定政策和措施，以确保能源转型相关解决方案的可持续性及其从可持续性、循环经济原则和减少环境影响等方面顺利融入现有生态系统。
支持社区和公民参与	社区能源可在加速可再生能源部署方面发挥重要作用，同时产生当地社会经济效益并提高公众对当地能源转型的支持度。

能源转型的综合政策框架

能源转型的政策措施和投资将推动更广泛的结构转变，转向更加弹性的经济和社会。必须将能源部门视为更广泛经济的一个组成部分，以充分了解转型带来的影响并确保其及时性和公正性。地区和国家的起点不同，社会经济重心和资源也各不相同，所有这些因素都决定了其能源转型的范围和速度。能源转型引发的结构性变化带来了诸多益处，也使我们面临挑战，具体表现为金融、劳动力市场、电力系统和能源部门的失调。若管理不当，这些失调可能导致结果不公以及能源转型放缓。因此，由强有力的机构实施的公正和综合政策对于实现能源转型的全部潜力至关重要。

国际合作是全球能源转型的关键组成部分。需要有一个整体的全球政策框架团结各个国家/地区，致力于公正转型，不让任何国家/地区掉队并推动国际资金、能力和技术流动。气候政策是该类框架的一个关键要素。其他措施应包括如涵盖跨部门排放、适当的碳定价等财政政策和公共资金，从而实施促进部署、创造有利条件并确保公正稳定过渡的政策。后者的当务之急包括工业发展、教育培训以及社会保护。并非总能通过国内获得必要的财政资源，尤其对于最不发达国家和小岛屿发展中国家而言，仍然需要国际合作提供相关支持。

图 S.13 推动公正性和包容性能源转型的政策框架





www.irena.org