

2025



7

Affordable and Clean
Energy

世界能源可持续性报告

聚焦全球性冲击影响



清华大学 碳中和研究院
Institute for Carbon Neutrality, Tsinghua University



清华大学 环境学院
School of Environment, Tsinghua University



中国21世纪议程管理中心
The Administrative Center for China's Agenda 21

世界能源可持续性评价报告——聚焦全球性冲击影响

召集人

鲁 玺 清华大学环境学院 清华大学碳中和研究院
张 贤 中国 21 世纪议程管理中心

工作组

罗鹏飞 清华大学环境学院
滕 腾 清华大学环境学院
赵 琦 世界核协会
Vivien Deroche 清华大学环境学院
郭杨荟 清华大学环境学院
杜利锋 清华大学环境学院

顾问委员会（按姓氏首字母排序）

贺克斌 清华大学环境学院 清华大学碳中和研究院
黄 晶 中国 21 世纪议程管理中心
马蔚华 社会价值投资联盟
涂瑞和 联合国环境规划署
徐华清 国家应对气候变化战略研究和国际合作中心
杨 斌 清华大学经济管理学院
张建宇 “一带一路”绿色发展国际研究院

专家委员会（按姓氏首字母排序）

柴麒敏 国家气候战略中心战略规划部
李金惠 清华大学环境学院
刘 毅 清华大学环境学院
钱小军 清华大学经济管理学院
王 灿 清华大学环境学院
王 克 中国人民大学环境学院
吴 刚 国家自然科学基金委员会
杨 秀 清华大学气候变化与可持续发展研究院

引用方式

文中部分图片来自 <https://pixabay.com>
<https://www.unsplash.com>



清华大学碳中和研究院
Institute for Carbon Neutrality, Tsinghua University



清华大学环境学院
School of Environment, Tsinghua University



中国21世纪议程管理中心
The Administrative Center for China's Agenda 21

2025 世界能源可持续性评价报告

聚焦全球性冲击影响



目录 contents

第 1 章 引言	10
----------------	----

第 2 章 构建能源可持续性评价体系	13
--------------------------	----

2.1 定义能源可持续性的概念	14
2.2 选取和筛选指标.....	14
2.3 指标数据的收集与处理.....	15
2.4 确定指标的权重.....	16

第 3 章 世界能源可持续性评价结果	17
--------------------------	----

3.1 世界能源可持续性现状（2022）	18
3.2 2010–2022 世界能源可持续性变化.....	22
3.3 全球性事件对世界能源可持续性的影响.....	27
3.4 未来世界能源可持续性变化趋势	30

第 4 章 各地区能源可持续性评价结果.....	31
--------------------------	----

4.1 撒哈拉以南非洲.....	32
4.2 南亚.....	41
4.3 中东与北非	49
4.4 东亚与太平洋	56
4.5 欧洲与中亚	63
4.6 拉丁美洲	70
4.7 北美.....	77

第 5 章 “一带一路” 沿线国家能源可持续性评价..... 82

5.1 “一带一路” 能源可持续性现状 83

5.2 2010–2022 “一带一路” 能源可持续性发展趋势 87

5.3 “一带一路” 能源发展重点国家与地区分析 89

第 6 章 结果与讨论 93

6.1 主要结果 94

6.2 讨论 98

6.3 研究展望 102

参考文献 109



- | | |
|--|--------|
| ● 东亚与太平洋 (East Asia and Pacific, EAP) | ● 可及性 |
| ● 欧洲与中亚 (Europe and Central Asia, EUCA) | ● 清洁度 |
| ● 拉丁美洲 (Latin America and Caribbean, LAC) | ● 能源效率 |
| ● 中东与北非 (Middle East and North Africa, MENA) | ● 可支付性 |
| ● 北美 (North America, NA) | ● 可靠性 |
| ● 南亚 (South Asia, SA) | |
| ● 撒哈拉以南非洲 (Sub-Saharan Africa, SSA) | |

执行摘要

能源系统的可持续发展，即“确保人人获得负担得起的、可靠和可持续的现代能源”是联合国《2030 年可持续发展议程》提出的可持续发展目标之一，同时更是气候变化、消除贫困、经济增长等一系列国际发展议题的重要支柱。对能源可持续性的评价与表征是制定相关政策的重要依据，而当前的研究在科学性、时空范围和结果探究等方面尚存在着一定不足，无法全面有效地支撑全球能源可持续发展的实现。针对上述研究存在的不足，清华大学环境学院鲁玺课题组在清华大学碳中和研究院支持下，于 2020 年起开始了全球能源可持续性评价项目的研究工作，并汇总相关成果编撰《2025 世界能源可持续性评价报告——聚焦全球性冲击影响》。本研究旨在建立一个兼具数据全面性和方法科学性的能源可持续性评价体系，并据此揭示全球各个国家与地区能源可持续现状，以及疫情和俄乌冲突对能源可持续性的影响。基于分析结果为处在不同地理区域、不同发展阶段的国家提供能源战略方面的政策建议，助力可持续发展目标的实现和“绿色一带一路”发展愿景的达成。该报告将于 2030 年前按年度持续更新，以追踪全球 SDG7 实现进度。

报告以全球 140 个国家 2010–2022 年间的各项能源可持续性指标数据所构成的数据库为基础，利用综合评价方法学理论，围绕着“能源可持续性”的概念构建了包括能源可及性、能源清洁度、能源效率、可支付性和可靠性 5 个维度、12 个指标的能源可持续性评价体系。这一研究深入揭示了全球各国及地区能源可持续性的变化，以及全球性事件对能源可持续性的影响。在对世界各地以及全球性事件层面的分析中，本研究得出以下主要结论：

世界能源可持续性评价结果

世界各个地区的能源可持续性得分呈现出了明显的地区差异，各地区和国家的得分与其经济发展水平显著相关（ $R^2=0.68$ ）。地区得分从低到高的排序分别为撒哈拉以南非洲（60.4分）、南亚（68.8分）、中东与北非（72.8分）、东亚与太平洋（76.1分）、欧洲与中亚（76.8分）、拉丁美洲（77.8分）、北美（81.1分）。得分最高的5个国家分别为冰岛（94.5分）、挪威（90.4分）、瑞典（86.4分）、芬兰（85.1分）和瑞士（84.6分），得分最低的5个国家分别为布基纳法索（52.5分）、马达加斯加（52.0分）、乍得（51.6分）、赤道几内亚（51.6分）和刚果民主共和国（51.5分）。

各地区能源可持续性的维度特征既体现出共性，又展现出鲜明的个性。普遍而言，能源清洁度是阻碍全球大部分地区实现可持续发展目标7（SDG7）的关键因素，能源清洁度低的主要原因在于非化石能源的占比相对较低，全球平均比例为19.0%。然而，各地区的具体情况又各不相同。在撒哈拉以南的地区，能源需求的满足状况（可及性和可支付性），已然成为该区域能源可持续发展进程中所面临的巨大阻碍。中东与北非以及东亚中等水平地区均面临能源清洁度不足的共性问题，但原因各异：中东与北非地区的污染物排放强度过高，东亚地区则在于可再生能源比例偏低和碳排放强度偏高。北美和欧洲地区的能源可持续性表现较为突出，北美在清洁度方面表现不佳，欧洲则在能源可靠性（能源安全）方面面临一定的挑战。南亚地区的能源可靠性同样限制了

SDG7的实现，该地区能源自给率较低。这些地区需应对能源清洁性提升的挑战，以确保SDG7的顺利达成。

在2010至2022年间，全球以及各区域的能源可持续性总体上呈现稳步上升的趋势，全球的平均得分从2010年的67.6分稳步增长至2022年的72.3分。若细究各区域的表现，可以发现其增幅存在显著差异。其中，南亚和东亚的表现尤为突出，分别占据了全球能源可持续性增长的39.6%和35.1%，成为推动全球进步的主要力量。相比之下，其他地区的增速则显得相对缓慢，大部分国家的提升幅度都未能达到全球的平均水平。从各个维度来看，全球能源可持续性的提升主要得益于南亚、东亚以及撒哈拉以南非洲国家在能源可及性方面的显著增长，这部分贡献了总增长的80.3%。此外，欧洲、东亚和北美等地区的能源效率和清洁度的提升也不可忽视，分别贡献了8.9%和8.2%。然而，并非所有方面都呈现积极态势，特别是在能源可靠性（能源安全）方面，除北美外的各地区均出现了不同程度的下降。这种不均衡的发展态势值得关注，并需要在未来制定更具针对性的策略以实现全面的能源可持续性增长。

COVID-19疫情对低收入及能源基础薄弱的撒哈拉地区造成了更为深远的冲击，而基础设施相对完善的中高收入地区则展现出了更强的韧性。新冠疫情发生后，世界能源可持续性得分增长率均出现降低，撒哈拉地区的增速下降最为明显，其增速较疫情前下降了0.36个百分点，而其他地

区的下降幅度则在 0.10–0.17 个百分点之间。在能源可及性方面，除北美外，其他地区的得分增速均较疫情前有所下降。而在能源清洁度上，撒哈拉地区、拉丁美洲、东亚及太平洋地区、南亚地区的得分增速却较疫情前有所提升，这主要归功于清洁能源使用的增加以及空气污染物和 CO₂ 排放的减少。疫情发生后，中东与北非地区以及北美的能源效率得分增速上升，而其他地区则面临负面影响，其中撒哈拉地区的得分增速下降最为显著。在能源可支付性方面，撒哈拉以南非洲地区的得分增速下降幅度远超其他地区，该地区的电价水平仅次于欧洲与中亚，但由于人均收入与电价之间存在着巨大的不匹配，使得该地区的能源可支付性变得尤为脆弱。

俄乌冲突进一步冲击欧洲能源格局，推动其加速转型。冲突导致欧盟大幅削减对俄能源进口，引发电价飙升（家庭电价同比涨 20.9%，天然气

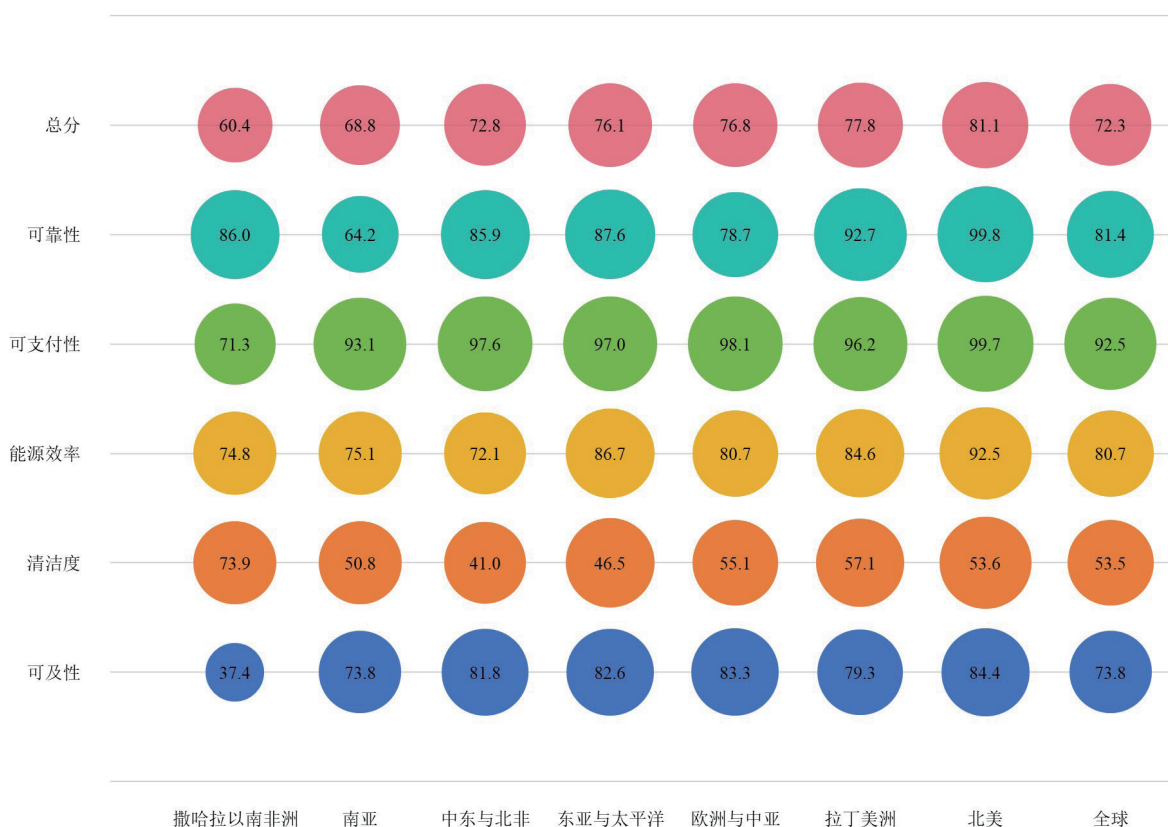
价格涨 46.2%），可支付性指标显著恶化。为保障能源安全，欧洲加快新能源投资，北欧、东欧和南欧通过提升能源自给率改善可靠性，但非化石能源发展呈现分化：西欧和南欧因可再生能源负增长拖累清洁度，而北欧维持正增长。冲突促使欧洲重构能源体系，减少对进口化石能源的依赖，转向本土化新能源建设，以应对地缘政治风险。这一进程虽强化了能源独立性，但也凸显了转型期成本激增与区域发展不平衡的挑战。

经计算，达到 2030 年 SDG7 目标对应的能源可持续性分数为 81.7 分。结合 2030 目标来看，2010–2022 世界能源可持续性上升的幅度和速度并不理想，年均增长率仅有 0.6%。如果保持 2010–2022 阶段的增速，2030 年世界能源可持续性得分仅能达到 SDG7 目标值的 92.3%，而要实现目标，2023–2030 年需以原增速 2.9 倍的速度上升。



▼ 各地区能源可持续性评价结果

撒哈拉以南非洲	撒哈拉以南非洲 2022 的能源可持续性得分（60.4）是各个地区中最低的，能源可及性（特别是农村电力普及率和清洁炊事燃料普及率）和可支付性两个维度显著落后于世界平均水平； 撒哈拉以南非洲国家在 2010–2022 年间能源可持续性上升了 9.9%，主要来自能源可及性的提升，而清洁度和可靠性则出现了下滑；
南亚	南亚地区 2022 的能源可持续性得分为 68.8，仅高于撒哈拉以南非洲地区；除了较低的能源效率外，南亚在能源可靠性（特别是平均停电次数）和可及性两个维度上与世界平均水平尚有一定差距； 南亚地区在 2010–2022 年间能源可持续性上升幅度最大，达到了 13.2%，主要来自能源可及性的提升，能源效率和可支付性也有一定增长，但清洁度和可靠性出现了下降；
中东与北非	中东与北非地区 2022 的能源可持续性得分为 72.8，在各地区中排名第 5；地区的能源清洁度明显落后于其他地区，其中非化石能源远低于其他地区，严重依赖化石能源； 中东与北非地区在 2010–2022 年间能源可持续性上升幅度仅有 1.4%，增长速率在七个地区中排名倒一；能源可持续性上升主要来自可及性、清洁度和可靠性的提升，而能源效率和可支付性都出现了下降；
东亚与太平洋	东亚与太平洋地区 2022 的能源可持续性得分为 76.1，在各地区中排名第 4；地区的能源清洁度较低，特别是空气污染物和 CO₂ 的排放强度表现较差； 东亚与太平洋地区在 2010–2022 年间能源可持续性上升幅度为 8.6%，主要来自能源可及性（特别是清洁炊事燃料普及），在可靠性（能源自给率下降）维度出现下降；
欧洲与中亚	欧洲与中亚地区 2022 的能源可持续性得分为 76.8，在各地区中排名第 3；能源清洁转型是欧洲地区能源发展的主题，但除此之外，能源可靠性较低反映出的能源安全问题也值得重视； 欧洲与中亚地区在 2010–2022 年间能源可持续性上升幅度仅为 1.4%，主要来自非化石能源比例提高带来的能源清洁度和能源效率的提升；可支付性和可靠性得分则与 2010 年持平；
拉丁美洲	拉丁美洲地区 2022 的能源可持续性得分为 77.8，在各地区中排名第 2；拉丁美洲整体较好的能源可持续发展态势，但存在区域内部发展不均衡的问题。 拉丁美洲地区在 2010–2022 年间能源可持续性上升幅度为 2.9%，主要来自能源可及性的提升，其他四个维度的得上升幅度较小；
北美	北美地区 2022 的能源可持续性得分（81.1）是各地区中最高的，在能源可及性、能源效率、能源可支付性和能源可靠性 4 个维度上均为各地区中的最高分，在能源清洁度上，北美在各地区中排名第 4； 北美地区在 2010–2022 年间能源可持续性上升幅度为 2.9%，主要贡献来自能源清洁度和可靠性（页岩气革命带来的能源自给率上升）的上升。



“一带一路”能源可持续性评价

“一带一路”^①以发展中国家为主，占全球人口 44%，该地区能源可持续性得分 (71.1 分) 与世界平均水平 (72.3 分) 接近，但与代表发达国家的 OECD 国家 (78.5 分) 相比仍存在差距。具体来看，“一带一路”国家除了能源效率这一维度外，在其他维度上得分与全球平均水平相当。然而，与 OECD 国家相比，“一带一路”国家在能源清洁度、能源效率都有显著的差距，分别只

达到了 OECD 国家得分的 91.4%、82.0%；在可及性方面，清洁炊事燃料的普及率和电气化率是“一带一路”国家与 OECD 国家差距较为明显的指标。在清洁度方面，空气污染物的排放强度也显示出较大的差距。在能源效率方面，能源强度指标同样差距明显。而在可靠性维度上，月均停电次数则是“一带一路”与 OECD 国家差距较大的指标之一。

① 一带一路国家：蒙古、新加坡、马来西亚、印度尼西亚、缅甸、泰国、老挝、柬埔寨、越南、文莱、菲律宾、伊朗、伊拉克、土耳其、约旦、黎巴嫩、以色列、沙特阿拉伯、阿曼、阿联酋、卡塔尔、科威特、巴林、希腊、塞浦路斯、埃及、孟加拉国、印度、尼泊尔、巴基斯坦、斯里兰卡、哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、土库曼斯坦、塔吉克斯坦、吉尔吉斯斯坦、俄罗斯、乌克兰、白俄罗斯、格鲁吉亚、阿塞拜疆、亚美尼亚、摩尔多瓦、波兰、立陶宛、爱沙尼亚、拉脱维亚、捷克、斯洛伐克、匈牙利、斯洛文尼亚、克罗地亚、波黑、塞尔维亚、阿尔巴尼亚、罗马尼亚、保加利亚、北马其顿

2010–2022 年期间，“一带一路”国家能源可持续性呈现稳定快速增长趋势。其平均得分从 2010 年的 65.2 分提升至 2022 年的 71.1 分，增长幅度达 9.2%，高于世界平均增幅（6.9%），同样也高于 OECD 国家的 2.1%。尽管在 2020 年，受新冠疫情以及世界经济波动的影响，“一带一路”国家在能源可持续性方面的增速较 2015 至 2020 年期间有所放缓（下降了 0.33 个百分点），但它们仍然保持了与全球平均水平相近的增长势头。相对而言，OECD 国家在 2010–2022 年的年均增速都较为缓慢（0.17%），但在 2020 年，由于新冠疫情造成的一系列短期影响，如整体能源需求下降、可再生能源比例的上升、电力消费占比升高等，OECD 国家的能源可持续性增速反而达到了新高（0.58%）。这种对比恰恰体现了“一带一路”国家和 OECD 国家在能源发展阶段的显著差异。

“一带一路”国家的能源可持续性增长主要来自于可及性的提升，贡献了提升总量的 95.8%，农村电力清洁炊事燃料普及率分别上升了 23.8% 和 22.9%。清洁度和可靠性则出现了

下降，其中清洁度下降主要是由于空气污染物和 CO₂ 排放强度的升高，能源自给率下降是导致可靠性退步的原因。“一带一路”内部各国的 2022 年能源可持续性同样有着较大差异，中东欧国家领先于其他国家，而东南亚和南亚国家能源可持续性相对较低。“一带一路”国家中，得分位于前列的国家包括拉脱维亚（80.9 分）、爱沙尼亚（80.6 分）、斯洛文尼亚（80.3 分）、阿尔巴尼亚（80.2 分）等，而得分较低的国家则包括孟加拉国（61.7 分）、巴基斯坦（62.6 分）、老挝（65.1 分）、黎巴嫩（66.3 分）和伊拉克（66.6 分）。从 2010–2022 年的能源可持续性发展来看大部分“一带一路”国家的能源可持续性有所增长，伊朗、塔吉克斯坦、希腊等国家的发展最为迅速；但与此同时，部分“一带一路”国家的能源可持续性出现了下滑，包括印度、老挝、马来西亚、埃及、巴基斯坦等，其共同特点是化石能源消耗量的突增使能源清洁度大幅下跌，反映出了部分国家依赖化石能源的能源发展模式对其能源可持续性造成的负面影响。

讨论

全球能源转型需考虑地区差异。低收入国家应解决能源贫困，中等收入国家需升级高碳设施和发展储能技术，高收入国家则应加强多维协同。转型中必须面对深层结构性问题，如能源贫困恶性循环、工业化排放增加、能源系统脆弱性，以及多维目标冲突。加速转型需双管齐下：利用政策杠杆和技术突破推动系统变革，总结疫情和俄乌冲突应对经验，增强应对

危机韧性。国际合作至关重要，COP29 资金目标和“一带一路”实践表明，需通过可再生能源直接投资、技术共享和设立专项基金，解决全球发展不平衡问题，实现能源可及性、清洁性和可靠性提升。系统性行动需嵌入多维评估工具，为低收入国家提供定向支持，将地缘政治风险纳入能源安全框架，重构公正、坚韧和可持续的全球能源体系。

各地区国家能源战略的侧重点

低收入国家：以“可及性与可支付性”为核心。2022 年，撒哈拉以南非洲地区可及性和可支付性是最大短板。该区域农村电力普及率处于全球低位，而家庭电费支出占可支配收入处于全球前列。尽管非化石能源占比高达 2/3，但其中一半以上为低效初级生物固体燃料，既无助于现代清洁转型，又加剧了室内污染和森林退化。在这一背景下，低收入国家的能源战略应将能源贫困的解决列为重点。中等收入国家：兼顾“清洁转型”与“系统可靠性”。南亚作为典型代表，在可及性方面已接近世界平均，但可靠性与清洁度仍落后。虽然电力普及率已超过 90%，但频繁停电和高碳基础设施锁定（煤电新增占比仍较高）制约了可持续性进一步提升¹。中东与北非地区自给率虽有 77.5%，却因化石能源占比超 90% 而清洁度得分长期偏低。因此，现有能源基础设施的升级改造和有序淘汰将与清洁能源的发展一同成为中等收入国家推进能源可持续发展的重要手段。可以通过对现有的煤电和燃气发电设施进行技术革新、提高调峰灵活性或逐步淘汰，并配合抽水蓄能和锂电储能项目，来增强电网的可靠性和调度灵活性。高收入国家：聚焦“清洁度领先”与“系统韧性”。这两大区域已基本实现全面电力可及和高能效水平，但清洁度年均提升未达预期目标，正面临“边际效益递减”挑战。俄乌冲突期间，欧洲短期重启燃煤和大增 LNG 进口，也暴露出能源安全与碳中和目标的张力。在这一过程中，高收入国家应重点关注清洁度提升与其他维度的协同发展，确保能源可持续性的其他维度在清洁转型过程中同样得到发展。

全球能源可持续性转型困境

全球能源可持续性呈现显著的地区差异，反映了经济结构、能源禀赋与政策执行的深层矛盾。撒哈拉以南非洲深陷能源贫困循环——农村电力普及率与电气化率全球最低，电费支出占比超位于全球前列，其非化石能源占比虽远高于其他国家，但多为低效初级生物固体燃料，揭示“表面优势下的深层矛盾”。与之形成鲜明差距的是，欧美电力覆盖处于全球领先水平、电费占比远低于其他国家，可再生能源与世界平均水平相当。东亚与南亚的工业化进程推高污染物与 CO₂ 排放强度，中东则因化石依赖致 CO₂ 强度居各地区首位，凸显经济结构与能源转型的深层矛盾。南亚虽实现农村电力覆盖率突破，却频发大规模停电（如印度 6 亿人断电²和孟加拉 1.3 亿人断电³），其能源进口依赖（印度煤炭进口接近 1/4⁴）与转型迟滞暴露系统脆弱性。地缘格局重塑中，发展中国家需平衡基建投资与清洁转型，发达国家则面临巩固电价优势与加速可再生能源替代的双重挑战。

能源系统的加速转型与协同发展

研究结论表明，现有的能源发展路径和能源转型政策并不足以满足 SDG7，特别是能源清洁度相关的目标，这一点也与等机构针对 1.5℃ 气候目标的研究结论一致。因此，抓住 2030 年前的最后窗口期，综合利用行政命令、财税、金融等政策工具，加大对清洁能源的支持，是全球实现 SDG7 的必由之路。与此同时，推进能源的清洁转型也要充分考虑与能源可持续性其他维度的协同发展。清洁转型会创造多维度协同发展的机遇，包括通过清洁能源解决能源贫困问题和能源安全问题，升级改造现有的能源基础设施以提高

能源效率等；

但清洁转型也会在其他维度带来潜在的挑战，这些挑战包括清洁能源大规模发展可能带来的材料短缺问题，电网波动问题以及能源可支付性问题等⁵。本研究结果表明，若片面强调能源发展的单一维度（如可及性）而忽视其他维度（如清洁度和可靠性），可能导致能源可持续性整体水平下降。以 2010–2022 年“一带一路”国家中的老挝和马来西亚为例，尽管其能源可及性有所提升，但由于清洁度和可靠性维度的显著倒退，最终导致能源可持续性综合得分不升反降。这一发现提示，政策制定者需在清洁发展战略规划中系统考量各维度间的协同效应，平衡可及性、清洁度与可靠性的协调发展，以避免单一维度进步被其他维度的退步所抵消。下面的政策建议基于报告结论与各地区表现，目标是——在 2030 年前尽可能压缩实现 SDG7 所需的速度差距，同时在推进清洁转型时保障可及性、可靠性与可支付性的协同发展。

实施差异化区域战略。低收入国家以可及性与可支付性为核心，优先推动分布式可再生能源与清洁炊事燃料普及；中等收入国家重点推进清洁转型与电网可靠性升级，逐步淘汰高碳设施并配套储能系统；高收入国家聚焦深度脱碳与系统韧性，加速氢能、CCUS 等技术商业化与能源进口多元化。

强化多维政策协同。建立能源可持续性综合评估机制，在清洁能源部署中同步考量电网稳定性、关键材料供应与社会公平性，避免单一维度突进而整体失衡。

加速关键技术突破与全球扩散。重点支持储能、智能电网、低风速风电等瓶颈技术研发，并

通过“一带一路”等合作机制促进成熟技术向发展中国家转移。

深化国际合作与资金保障。落实 COP29 气候资金目标，定向支持发展中国家清洁能源基础设施与韧性建设，构建全球能源安全共同体。

危机交织中的能源重构

全球公共卫生危机暴露出能源系统脆弱性，疫情发生后，所有地区的能源可持续性得分增速与疫情前相比有所放缓。疫情导致的供应链断裂⁶使撒哈拉以南非洲农村电网建设陷入停滞^{7,8}，投资缺口扩大⁹与发电成本飙升¹⁰形成叠加效应，加剧区域电气化失衡。值得注意的是，尽管家庭收入下降与防疫封锁显著抑制清洁烹饪燃料获取^{11,12}，但政府主导的定向支持¹³有效避免了区域性普及率大幅下滑。与此同时，疫情意外成为环境压力的短期缓释剂——2020 年 4 月全球 CO₂ 日排放量与上一年相比下降 17%¹⁴，伴随 NO₂、SO₂ 等污染物同步减少^{15,16}，撒哈拉、南亚、拉丁美洲和东亚与太平洋地区清洁度得分增速快于疫情前的水平，揭示出了经济停滞与排放强度的强关联性。欧洲能源依赖型经济体¹⁷在电力消耗下降背景下实现了可再生电力占比的突破，德、法、意、西等国电力需求的结构性收缩¹⁷与燃料贸易受阻形成倒逼机制，实现了疫情后清洁度得分增速快于疫情前。同一维度下，地区间的不同反应凸显出处于不同发展阶段的地区在应对疫情时面临的不同挑战。俄乌冲突作为 21 世纪能源地缘政治的分水岭，对欧洲能源转型极为重要。短期内，欧盟通过重启燃煤机组与 LNG 进口激增填补能源缺口¹⁸，这种应急策略虽维持了系统稳定，却导致航运碳排放激增与英国超 300 万家庭陷入燃料

贫困¹⁹，暴露出转型进程中的社会成本问题²⁰。更深层的矛盾体现在战略维度：作为关键矿产供应方与第三大石油生产国，俄罗斯的角色冲突推高了可再生能源投资成本，而欧洲加速脱碳的决心^{21,22}，与其历史性能源依赖形成尖锐对立。这种张力不仅威胁 SDG7 目标的实现路径²³，更重塑了全球能源权力结构——当能源安全与气候承诺产生根本性冲突时，各国对俄能源进口依赖程度正成为决定其转型路径韧性的关键变量，其长期影响仍需通过动态监测揭示系统性风险。

关键技术进步对能源可持续性的推动

技术的不断进步是推动能源可持续性在多维度提升的核心驱动力。欧洲能源清洁度的持续提升，根本上依赖于风电和光伏技术的快速迭代升级，组件效率的提升、材料成本的下降以及规模化制造，共同促使每度电的成本自 2010 年以来降至与传统能源相近的水平²⁴，这种进步显著提高了清洁能源的占比。而北美在可靠性维度逆势提升，主要得益于水平钻井与水力压裂等技术的商业化，使页岩油气资源得以规模开发，美国因此由天然气净进口国转为净出口国，显著增强了能源安全性。尽管如此，全球清洁度提升的平均速度仍远未达到 2030 年可持续发展目标 7（SDG7）的要求。原因之一是储能、CCUS 与氢能等新兴低碳技术尚未真正突破“成本—规模”临界点，仍大范围依赖政府补贴与政策保障。中低收入国家关键技术部署的区域不均，也进一步放大了全球能源不平等。因此，加快关键能源技术的商业化与全球扩散，已成为当前能源转型能否提速的决定性因素。只有实现风光“可调度”、

化石能源“有序脱碳”与氢能“产业接入”，能源系统的多维可持续性才能实现同步提升。

全球及地区层面的国际合作

2010 年至 2022 年间，全球能源可持续性发展在地区和国家层面存在显著的不平衡性。这种不平衡的局面亟待解决，需要世界各国在能源和气候领域展开更加紧密、切实的合作，涵盖治理体系、金融投资以及技术研发等多个方面。在 2024 年 11 月，《联合国气候变化框架公约》第 29 次缔约方大会（COP29）上通过的决议文件中，提出了一个全新的资金目标。这一目标的设定旨在帮助各国保护其人民和经济免受气候灾害的影响，并促进清洁能源的普及，使各国能够共享由此带来的巨大经济利益。这一资金计划明确指出，到 2035 年，向发展中国家提供的资金将增长至原来的三倍，即从原先每年 1000 亿美元的目标提升至每年 3000 亿美元。这一宏伟目标的实现，依赖于全球各行为体的共同努力，需不断扩大对发展中国家的融资规模，确保到 2035 年，每年从公共和私人来源获得的资金达到 1.3 万亿美元。

“一带一路”是国际合作有力推动能源可持续发展的另一个例证，指数结果显示，自 2015 年“一带一路”倡议正式提出后，“一带一路”国家的能源可持续性发展速度显著加快，表明“一带一路”合作的开展与各国能源可持续性进步间存在正向关联。在这些成果的基础上，下一阶段的国际合作应重点关注合作倡议的落地，如加大对可再生能源项目的投资力度、促进发达国家对发展中国家的技术分享与援助、以及设立国际清洁能源专项基金等。

引言



01

经济适用的清洁能源是实现可持续发展的重要基础，同时也是支撑现代社会和经济的重要支柱²⁵。可持续发展目标 7（SDG7）：旨在确保所有人都能获得负担得起、可靠、可持续和现代的清洁能源，联合国《2030 年可持续发展议程》提出的 17 个可持续发展目标（Sustainable Development Goals, SDGs）之间存在许多协同效应和权衡效应，SDG7 可以通过这些效应对其他目标施加影响以达到社会各个方面的综合发展^{26,27}，如 SDG3：健康与福祉、SDG6：饮水卫生、SDG11：城市和社区持续性、SDG13：气候变化、SDG14：海洋管理等。因此，SDG7 是能够推动或促进其他可持续发展目标取得进展的最坚实的目标，特别地，它与气候变化（SDG13）有直接关系²⁸。根据《巴黎协定》的内容，为减少气候变化的风险和影响，明确了全球平均温度的升高幅度控制在比工业化前水平高 2℃以下，并将温度升高幅度限制在比工业化前水平高 1.5℃的目标，并且在本世纪下半叶实现温室气体人为源排放量和清除量之间的平衡。然而，在政府间气候变化专门委员会（IPCC）在其发布的第六次评估报告中指出，当前的气候政策和减排行动并不满足当前目标实现的条件。在此背景下，能源系统需要在未来几十年中实现快速而有深度的转型，以支撑气候目标乃至可持续发展议程整体的实现。

对能源可持续性的评价与表征是相关研究开展和政策制定的重要依据。联合国制定的 SDG7 衡量指标体系中，仅包括了“电力普及率”“清洁炊事普及率”“可再生能源比例”和“能源效

率”四个成果类指标。在这一基础上，学术界针对能源可持续性评价开展了多方面的研究探索。这些研究可被分为两类，第一类是研究机构定期发布的指数报告，以世界能源理事会发布的“世界能源三难指数”（World Energy Trilemma Index, WETI）²⁹以及世界经济论坛发布的“能源转型指数”（Energy Transition Index, ETI）为代表。这一类研究选取的指标更为全面，且囊括了全球大部分国家长时间段的数据结果，但其在指标体系构建的方法学上缺少透明度和科学性^{25,30}。第二类研究则是发表于学术期刊上的能源可持续性指数研究^{28,31-34}，这一类研究在方法学上具备较强的科学性，但大部分是针对特定国家或地区的研究，缺少全球范围的、长时间尺度的数据与结果，且大多数将重点放在指标体系的建立过程上，缺乏对结果的深度解读。

针对上述研究的不足，清华大学环境学院鲁玺课题组在清华大学碳中和研究院的支持下，于 2020 年开始了全球能源可持续性评价项目的研究，旨在建立一个兼具数据全面性和方法科学性的能源可持续性评价体系，并据此揭示全球各个国家与地区能源系统可持续性的时空分布特征及其不确定性，进而基于分析结果为处在不同地理区域、不同发展阶段的国家提供能源战略方面的策建议，助力可持续发展目标的实现和“绿色一带一路”发展愿景的达成。研究成果以《2025 世界能源可持续性评价报告——聚焦全球性冲击影响》的形式发布。该报告将于 2030 年前按年度持续更新，以追踪全球 SDG7 实现进度。

报告后六章的
内容分为以下
部分：

第二章：介绍能源可持续性评价体系的构建过程，包括“能源可持续性”的定义与范围，指标初选、筛选、数据获取和权重赋值等构建指标体系的具体环节，最终建立的指标体系以及开展不确定性分析的方法。

第三章：分析世界的能源可持续性现状，包括能源可持续性的总分以及各个维度得分，并对地区差异进行分析解读；探究世界和各个地区的能源可持续性在2010–2022年间的发展趋势以及其与SDG72030年目标的差距，并分析各个地区、各个维度对可持续发展的贡献。在全球变化的大背景下，探讨新冠疫情和俄乌冲突对世界能源可持续性发展的影响，以及受影响严重的重点地区和国家表现。

第四章：分地区探究能源可持续性得分的空间和时间分布特征，包括现阶段地区能源可持续性在不同维度的特点、各维度在2010–2022年间的发展趋势、以及地区内重点国家的表现。

第五章：针对“一带一路”地区开展专题探究，包括“一带一路”能源可持续性现状、能源可持续性发展趋势以及能源可持续发展重点国家识别与分析。

第六章：基于以上研究结果，展开对研究的讨论与展望，包括研究的政策内涵以及研究本身的潜在改进方向。



构建能源可持续性评价体系

02

2.1 定义能源可持续性的概念

报告在评价体系上继承了《2023 世界能源可持续性评价报告——聚焦“一带一路”》的方法。具体确定方法如下：

联合国对 SDG7 的原文表述是“确保人人获得负担得起的、可靠和可持续的现代能源”。根据这一表述，结合现有研究对能源可持续性概念的探讨，本研究提炼出了衡量能源可持续性的 5 个维度，即：

可 及 性：确保尽可能多的人能够获取电力等现代能源的供应

清 洁 度：减少能源的生产和使用对环境的影响

效 率：能源的单位投入应带来尽可能多的产出

可支付性：能源消费支出的负担尽可能小

可 靠 性：确保能源系统提供稳定可靠的能源供应

2.2 选取和筛选指标

在综合评价研究中，评价指标的选取起着至关重要的作用，为保证数据在与结果在时间序列上的延续性，本报告与《2023 世界能源可持续性评价报告——聚焦“一带一路”》采用相同的综合评价方法，并在相应指标选取和确定上进行了完善了补充。综合评价的方法学研究指出³⁵，指标的选取需要遵循的原则包括但不限于：系统性（评价指标应覆盖评价目标的所有重要方面），科学性（指标应具有明确的定义，以及其在过往的相关实践中得到过应用），可运算性（具有清楚的计算/测定方法），相互独立性（指标间应尽可能相互独立，避免信息的冗余），简约性（在满足评价要求的前提下尽可能控制指标数量）等。基于以上选取原则，以及 2.1 中定义的能源可持续性的 5 个维度，研究初步选取了一批指标，并进一步考虑了指标间的相关性以及指标数据的可得性，对初选指标进行了筛

选（初选指标与筛选过程详见附录）。最终确定的指标体系如表 2-1 所示：

生物质能源作为可再生能源的重要组成部分，本次报告被纳入了这一指标体系的考量之中。根据国际能源署（IEA）的数据库数据分析，在欠发达国家中，传统生物质能源在居民生活和生产活动中占据着举足轻重的地位，是这些国家可再生能源利用的主要形式之一。同时，即便是在一些能源供应相对充足的发达国家，生物质能源依然在能源结构中占据着不可忽视的比例。生物质能源在全球能源转型过程中的重要作用与地位，因此在本报告的研究中，将其纳入清洁度维度下“终端能源消费中非化石能源占比”的评估指标体系中，旨在更全面、准确地反映各国在推进能源可持续发展方面的实际情况和努力。

表 2-1 | 能源可持续性评价指标体系

能源可持续性维度	指标	备注
能源可及性	农村人口的电力普及率（%）	
	城镇人口的电力普及率（%）	
	清洁炊事燃料的普及率（%）	
	终端能源消费的电气化率（%）	
清洁能源	终端能源消费中非化石能源占比（%）	
	空气污染物排放强度（g/MJ）	包括 SO ₂ 、NO _x 、PM _{2.5} 三种污染物
	CO ₂ 排放强度（g/MJ）	
能源效率	单位 GDP 的能源强度（MJ/\$）	
	能源损失率（%）	指能源供应中分配、传输和运输损失所占比例
可支付性	电力消费占居民收入的比例（%）	假定人均年用电量为 1000 千瓦时
可靠性	电力消费者经历的月均停电次数（#）	
	能源自给率（%）	指能源供应中不来自于进口部分的比例

2.3 指标数据的收集与处理

指标数据的来源包括国际能源署（IEA）的世界能源平衡表、世界能源价格和能源温室气体排放数据库，世界银行的世界发展指数数据库，以及全球大气研究排放数据库（EDGAR）的污染物排放数据库。其中，终端能源消费量、现代可再生能源消费量、能源供应总量、能源进口量、能源损失来自于 IEA 世界能源平衡表数据库，电力价格来自于 IEA 世界能源价格数据库，CO₂ 排

放量来自于 IEA 能源温室气体排放数据库；人口、GDP、人均收入、电力普及率、清洁炊事燃料普及率和停电次数来自世界银行的世界发展指数数据库；SO₂、NO_x、PM_{2.5} 三种污染物的排放量则来自于 EDGAR 污染物排放数据库。

本研究共收集了全球各大洲 140 个国家 2010–2022 各年度的数据。为将各指标数据转化成可以相互对比的形式，研究采用极值处理法对

数据进行了标准化，具体计算过程如下：

效益型指标（即原始数值越高代表可持续性越好的指标，如可再生能源占比）：

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_j(x_{ij})}{\max_j(x_{ij}) - \min_j(x_{ij})} \quad (2-1)$$

成本型指标（即原始数值越低代表可持

续性越好的指标，如空气污染物排放强度）：

$$y_{ij} = \frac{\max_j(x_{ij}) - x_{ij}}{\max_j(x_{ij}) - \min_j(x_{ij})} \quad (2-2)$$

其中， y_{ij} 代表标准化前的数据， y_{ij} 代表标准化后的数据。

2.4 确定指标的权重

权重是能源可持续性评价体系中各个指标、维度重要程度的体现，因此权重系数的确定是综合评价中的核心问题之一。权重系数的确定方法可分为两类，包括功能驱动型（主观）赋权法和差异驱动型（客观）赋权法。在透明度较高的客观方法中，熵权法在样本数据完整和指标间具有复杂联系时的表现最好³⁶。因此，本研究使用熵

权法作为各维度权重确定的主要方法。熵权法的基本原理是根据各项指标观测值提供的信息量大小来确定指标权重，并借用了信息论中“信息熵”的概念和计算方法，利用信息熵来衡量各指标提供的信息量大小³⁵。最终确定的指标权重如图 2-1（具体计算过程见附录）所示。

图 2-1 | 指标体系与权重赋值（数值代表相应至指标的权重）

可及性		清洁度		可靠性	可支付性
农村人口的电力普及率, 10.3%	城镇人口的电力普及率, 10.3%	终端能源消费中可再生能源占比, 12.6%		电力消费者经历的月均停电次数, 6.9%	电力消费占居民收入的比例, 10.1%
				能源自给率, 6.9%	
清洁炊事燃料的普及率, 10.3%	终端能源消费的电气化率, 10.3%	空气污染物排放强度, 6.3%	CO ₂ 排放强度, 6.3%	能源效率 单位 GDP 的能源强度, 6.5%	能源分配效率, 3.2%

世界能源可持续性评价结果



03

3.1 世界能源可持续性现状（2022）

2022 年全球能源可持续性评价结果显示，各国表现存在明显的地域差异。从地区分布来看，经济发达地区整体表现优异，其中欧洲、北美和大洋洲国家在全球处于领先地位。具体而言，北美地区以 81.1 分的平均得分位居前列，其次是拉丁美洲地区的 77.8 分，欧洲与中亚地区则以 76.8 分紧随其后。相比之下，经济发展相对滞后的地区表现较弱，撒哈拉以南非洲地区平均得分仅为 60.4 分，南亚地区为 68.8 分。其他地区的得分呈现中间水平：中东与北非地区得分为 72.8 分，东亚与太平洋地区为 76.1 分。这一分布格局清晰地展现了全球能源可持续发展水平与地区经济发展程度之间的相关性。

国家层面的能源可持续性差异表现尤为显著。如图 3-2 所示，排名前十的国家中 8 个来自欧洲与中亚地区，展现出该地区在能源可持续发展方面的领先优势。与之形成鲜明对比的是，得分最低的 10 个国家全部来自撒哈拉以南非洲地区，且均属于联合国定义的最不发达国家行列。其中，尼泊尔以 70.8 分的成绩位列第 89 名，成为表现最好的最不发达国家；而刚果民主共和国得分最低，仅为 51.5 分。得分最高的冰岛（94.5 分）是刚果民主共和国的 1.8 倍，凸显出全球能源可持续发展的巨大差距。在亚洲国家中，中国和日本分别以 77.2 分和 75.3 分位居第 36 名和第 57 名。

图 3-1 | 世界能源可持续性总分（2022）

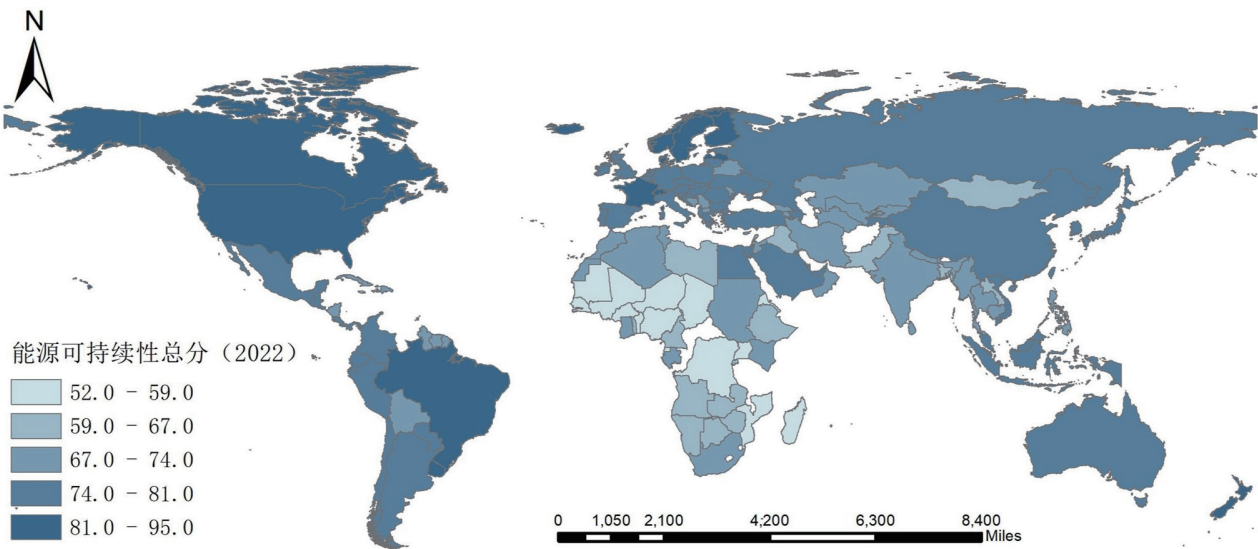


图 3-2 | 得分最高与最低的 10 个国家以及部分主要经济体

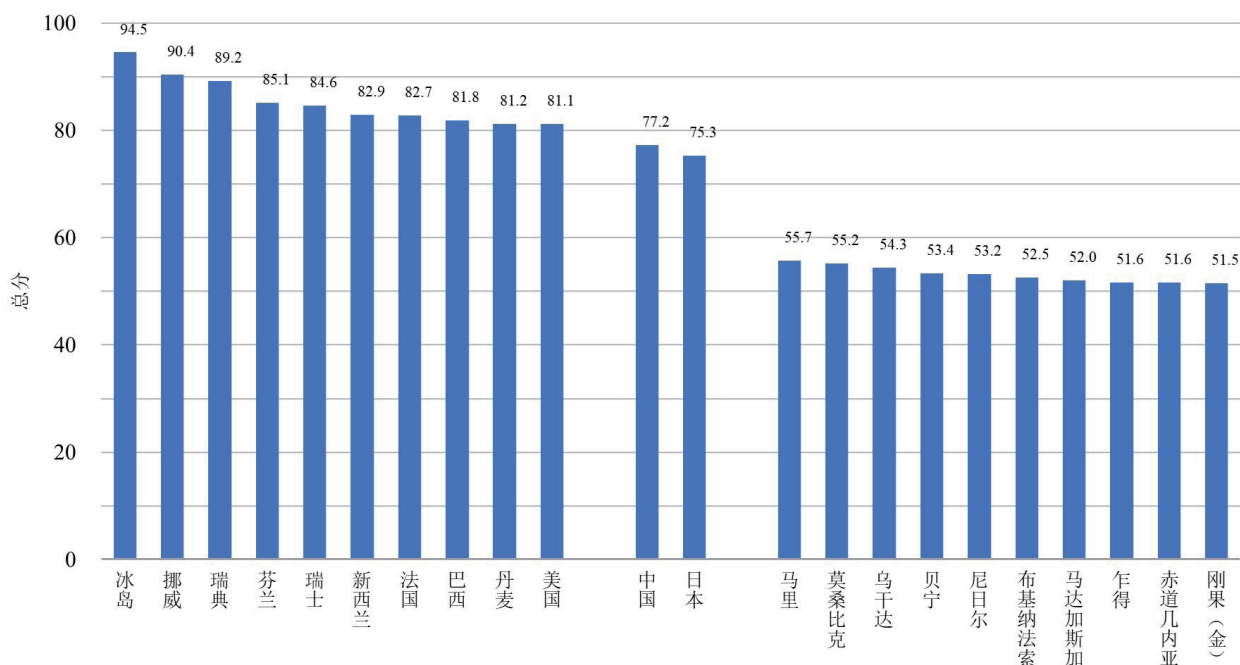


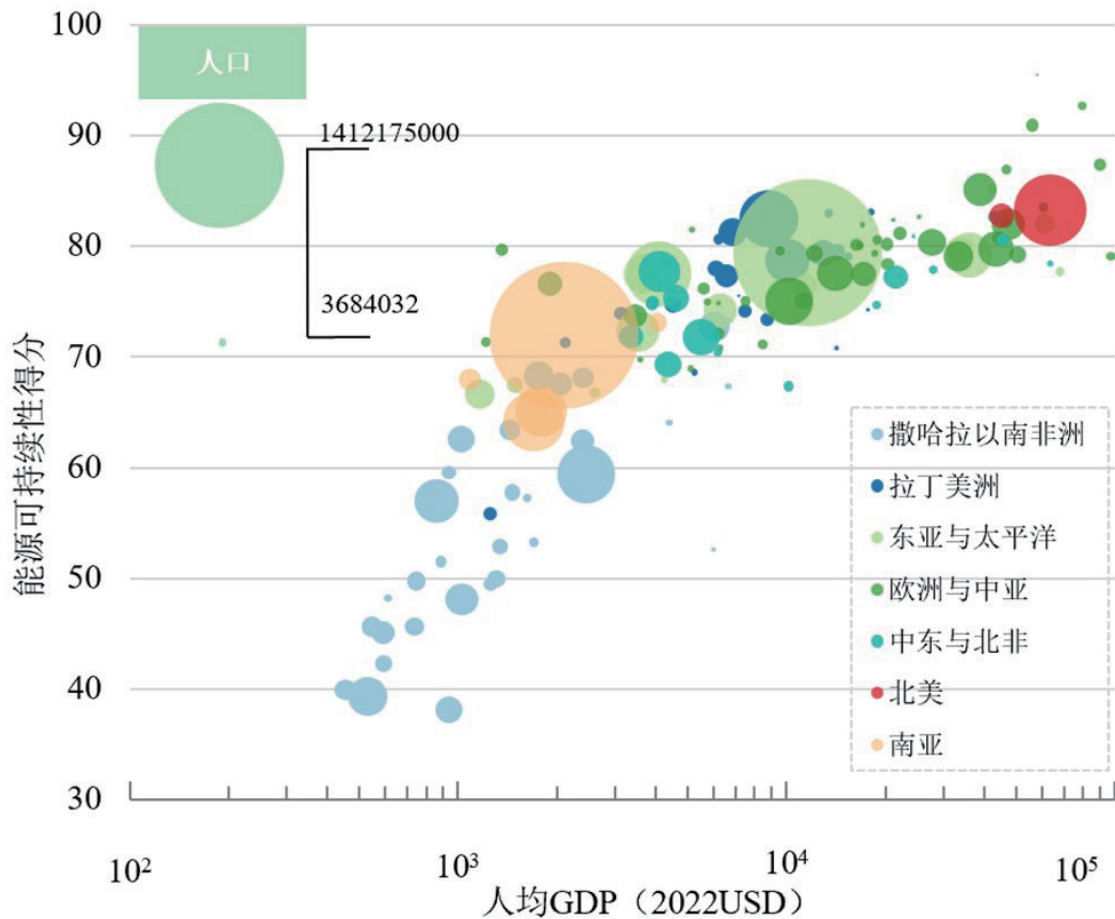
图 3-3 展示了 140 个被评价国家能源可持续性得分与经济水平（人均 GDP）的相关关系。回归分析的结果显示，能源可持续性得分与经济水平之间存在着显著的对数线性关系（ $p < 0.001, R^2 = 0.68$ ），人均 GDP 每翻 10 倍，能源可持续性得分增加约 15.8 分。

从具体维度得分来看，能源可及性成为制约撒哈拉以南非洲地区可持续发展的关键瓶颈。该地区可及性得分仅为 37.4 分（图 3-4b）。在电力普及率和清洁能源使用方面均处于全球末位：农村和城镇人口电力普及率、清洁炊事燃料普及率以及终端能源消费电气化率等指标均处于全球较低水平。相比之下，南亚地区可及性得分达 68.8 分（排名第六），是撒哈拉以南非洲地区的 1.8 倍。这种差距主要源于电力基础设施的薄弱——据 IMF 报告显示，撒哈拉地区约 20% 的电力依

赖水力发电³⁷，易受干旱影响。截至 2021 年，非洲仍有 6 亿人口未能获得电力供应³⁸。值得注意的是，尽管该地区能源自给率超过 60%，但能源系统的可及性仍有待提升，合理开发当地资源将有助于实现 SDG7 目标。在清洁度维度上，除撒哈拉以南非洲外的其他六个地区均面临严峻挑战。这些地区的清洁度得分介于 40.9–57.0 分之间（图 3-4c），得分远低于其他四个纬度。全球清洁度平均分仅为 53.4 分，主要归因于非化石能源消费占比偏低，凸显能源清洁转型的紧迫性。

各地区总分差异直观反映了各维度的表现差异。对欠发达地区而言，能源可及性与可支付性构成主要短板。以撒哈拉以南非洲为例，其可及性（37.4 分）和可支付性（71.3 分）得分均显著落后（图 3-4c e）。具体至各个指标来看，该地区农村电力普及率仅 32.7 分，与拉丁美洲（95.7

图 3-3 | 能源可持续性得分与经济水平（圆的大小代表人口数量）

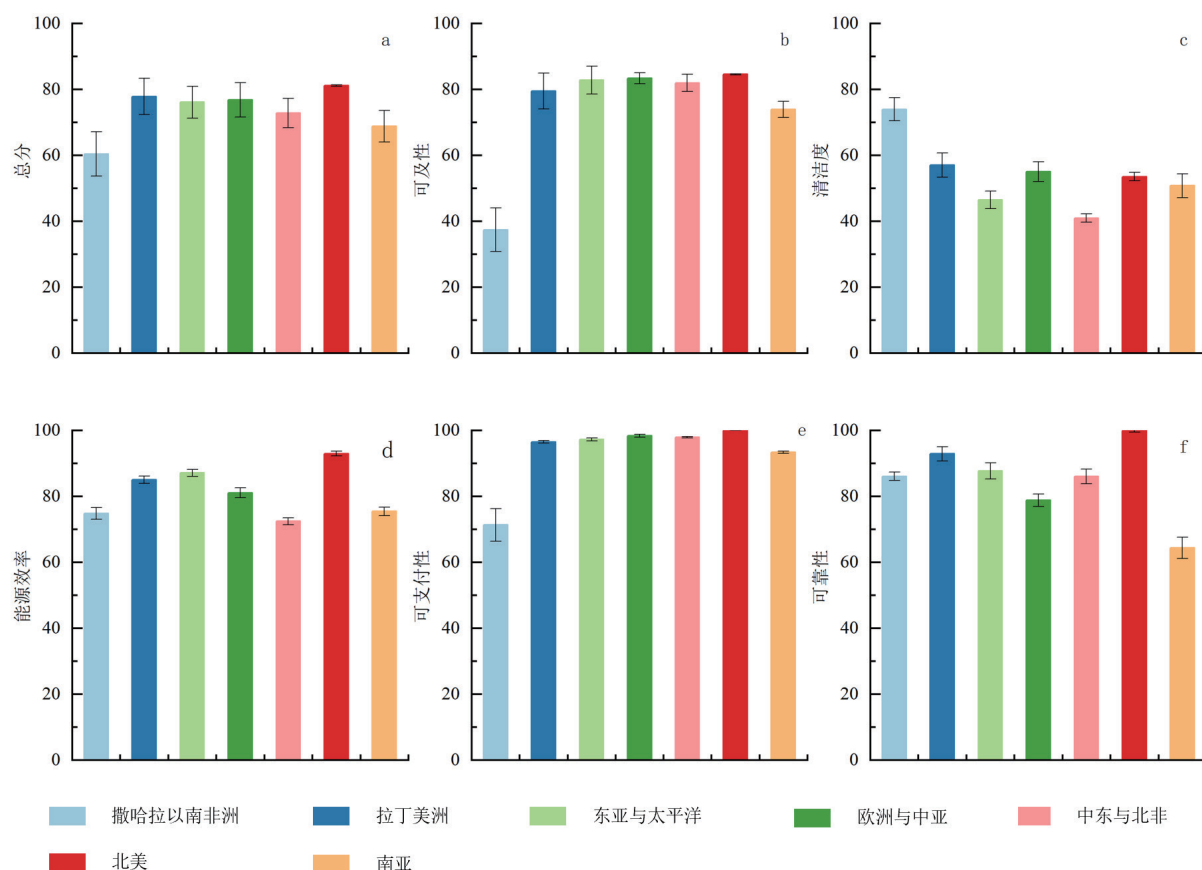


分) 差距悬殊 (图 3-5)；清洁炊事燃料普及率 (23.8 分) 也仅为南亚地区得分 (66.5 分) 的 35.6%。此外，居民低收入与高电价的双重压力导致其可支付性得分 (71.3 分) 远低于其他地区 (均超 90 分)，成为阻碍 SDG7 实现的另一关键因素。

在中等收入地区，尤其是东亚与太平洋以及中东与北非地区，这些地区的共同短板在于能源清洁度不足，其中东亚与太平洋和中东与北非地区清洁度得分分别位列全球第 6 和第 7 (图 3-4c)，

低于世界其他地区。而聚焦到具体指标，中东与北非地区的主要制约因素是非化石能源占比过低 (仅 3.8 分)，而东亚与太平洋地区则受制于较高的 CO₂ 排放强度。发展相对滞后的南亚地区面临更为严峻的挑战，其可及性和可靠性指标均处于全球较低水平。该地区在月均停电数 (65.5 分)、能源自给率 (62.9 分) 和终端能源消费电气化率 (30.5 分) 等关键指标上均处于全球落后水平 (图 3-5)，反映出其能源系统 (特别是电力系统) 的稳定性与能源安全问题亟待解决。

图 3-4 | 各地区的能源可持续性总分 (a) 和各维度上的得分 (b-f)

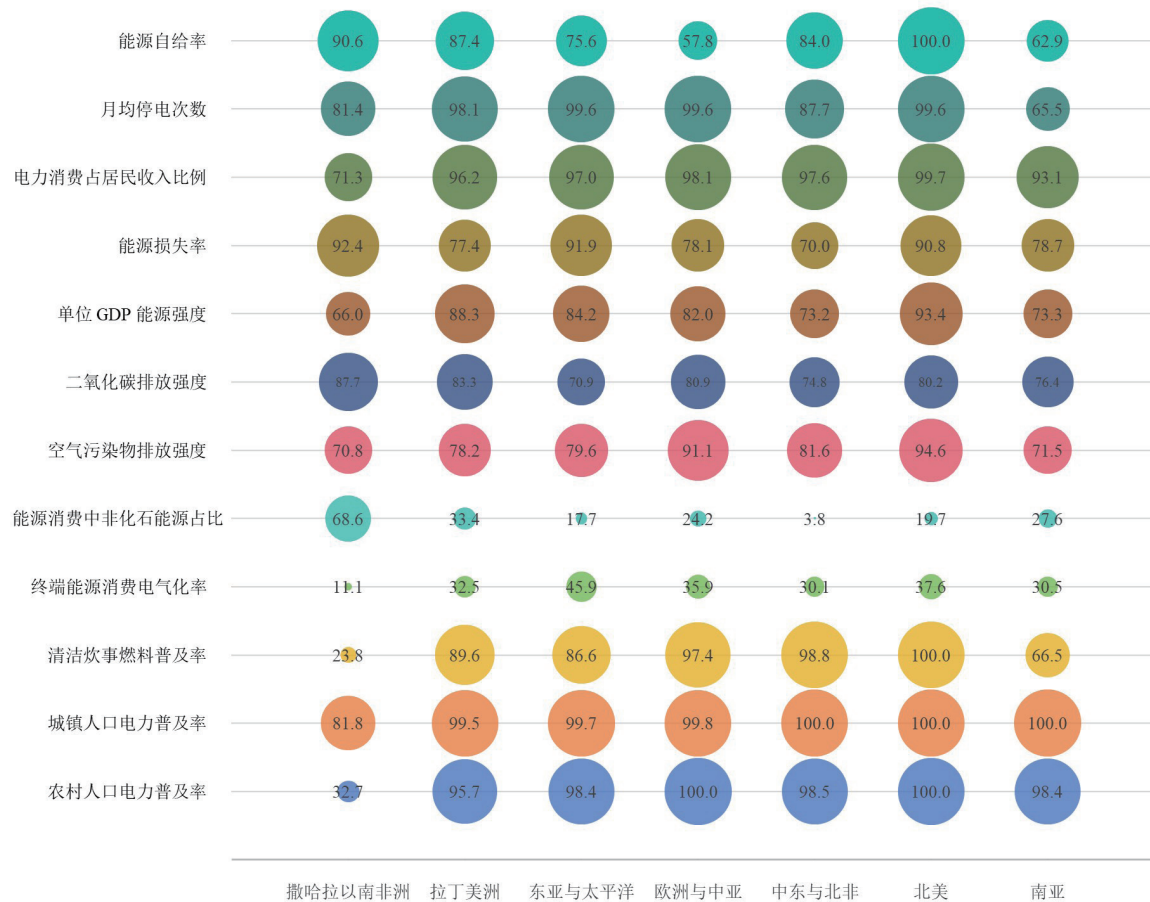


欧洲与中亚和北美地区作为全球主要的发达经济体聚集区，在能源可持续性评价的多数维度上表现优异。然而，值得注意的是，这两个地区在实现 SDG7 目标过程中仍面临着共同的挑战——能源系统的清洁转型问题（图 3-4c）。具体来说，它们需要重点提升非化石能源比例和终端能源消费电气化率（图 3-5），这两个指标目前仍存在明显不足。

北美地区除能源清洁度外，其他维度均保持较高得分。相比之下，欧洲与中亚地区在能源可

靠性维度上表现欠佳，排名倒数第二（图 3-4f）。这一现象主要归因于该地区较低的能源自给率（得分仅为 57.8）——这一数值在所有地区中最低，充分反映出欧洲对能源进口的高度依赖及其带来的安全隐患。2022 年初爆发的俄乌冲突及其引发的“欧洲能源危机”为此提供了有力佐证。在此期间，欧洲能源市场经历了电力和天然气批发价格的空前飙升³⁹，这一危机不仅以直观的方式凸显了欧洲能源安全的脆弱性，也进一步强调了提升能源自给率对保障能源安全的重要性。

图 3-5 | 各地区具体指标得分（气泡大小表示得分情况）



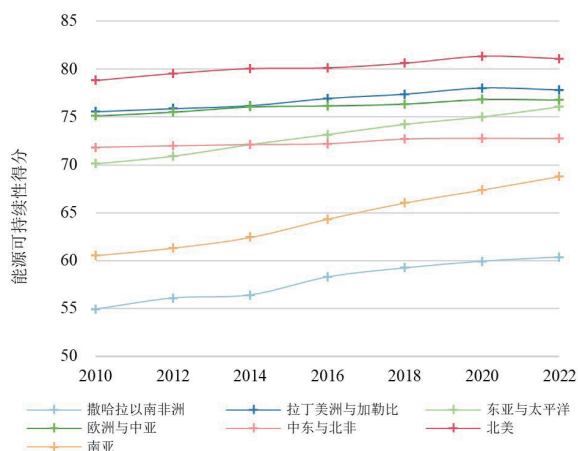
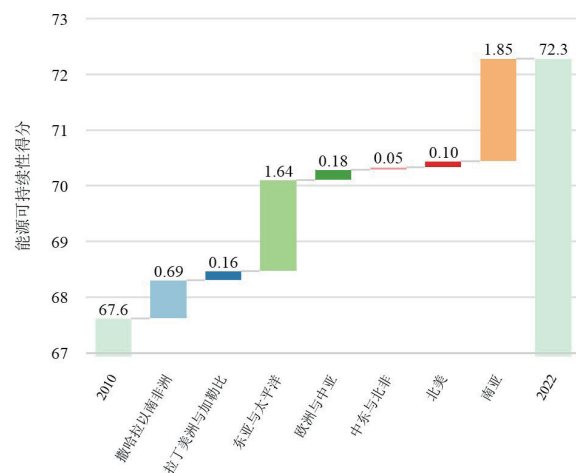
3.2 2010–2022 世界能源可持续性变化

3.2.1 世界能源可持续性得分变化

2010–2022 年间，全球能源可持续性呈现出稳步提升的态势。全球平均分从 2010 年的 67.6 分上升至 2022 年的 72.3 分（图 3-7），增幅达 6.9%。值得注意的是，虽然所有地区的得分均有增长，但发展速度存在显著的区域差异，其中发展中国家的增长速度明显快于发达国家。具体而言，南亚地区表现最为突出，其得分从 2010 年

的 60.5 分跃升至 2022 年的 68.8 分，增幅高达 13.6%，位居全球首位。紧随其后的是撒哈拉以南非洲地区，实现了 9.9% 的增长率。东亚与太平洋地区则以 8.5% 的增长率位列第三。相比之下，其他地区的增长相对缓慢，增幅均未突破 4%（图 3-6），这一现象反映出全球能源可持续发展进程中的区域不平衡特征。

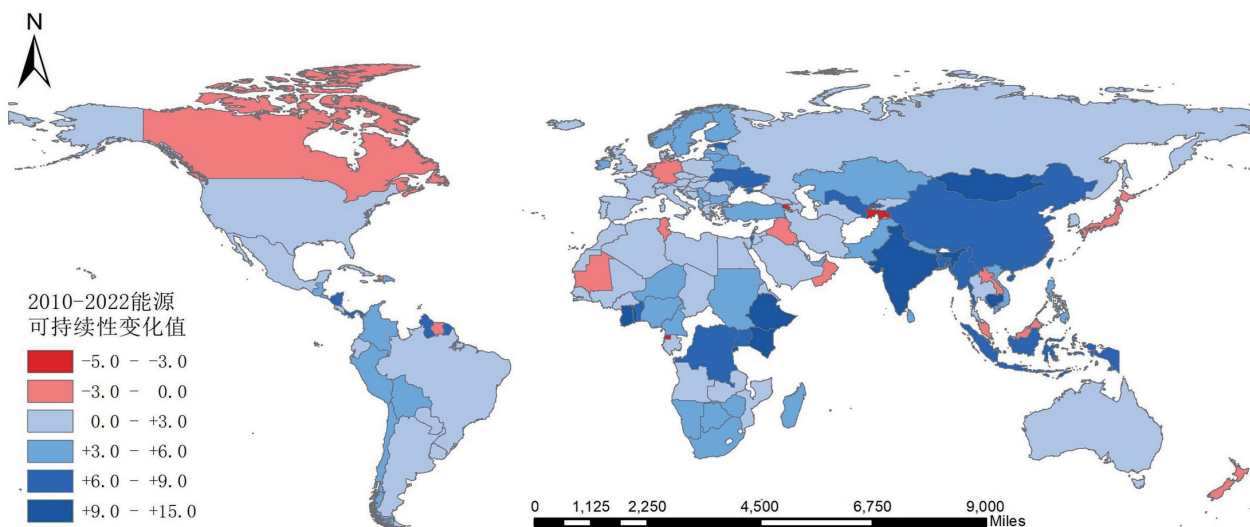
从全球各地区对能源可持续发展的贡献度来

图 3-6 | 各地区能源可持续性得分 2010–2022 年变化**图 3-7** | 各地区对全球能源可持续发展的贡献 (2010–2022)

看，2010–2022 年间，南亚、东亚和撒哈拉以南非洲地区成为推动全球能源可持续性提升的主要动力（图 3-7）。南亚地区贡献了全球能源可持续发展的 39.6%，东亚与太平洋地区撒哈拉以南非洲地区分别贡献了 35.1% 和 14.7%。这一贡献格局的形成主要源于两个关键因素：其一，这些地区的能源可持续性得分实现了显著提升；

其二，这些地区拥有庞大的人口基数（南亚 18.9 亿、东亚与太平洋 22.1 亿、撒哈拉以南非洲 11.2 亿），合计占全球总人口的 65.4%，其能源发展状况的变化对全球整体水平具有放大效应。相比之下，世界其他地区——包括中东与北非和北美，对全球能源可持续性增长的贡献则相对有限。

图 3-8 详细展示了 2010–2022 年间各国能

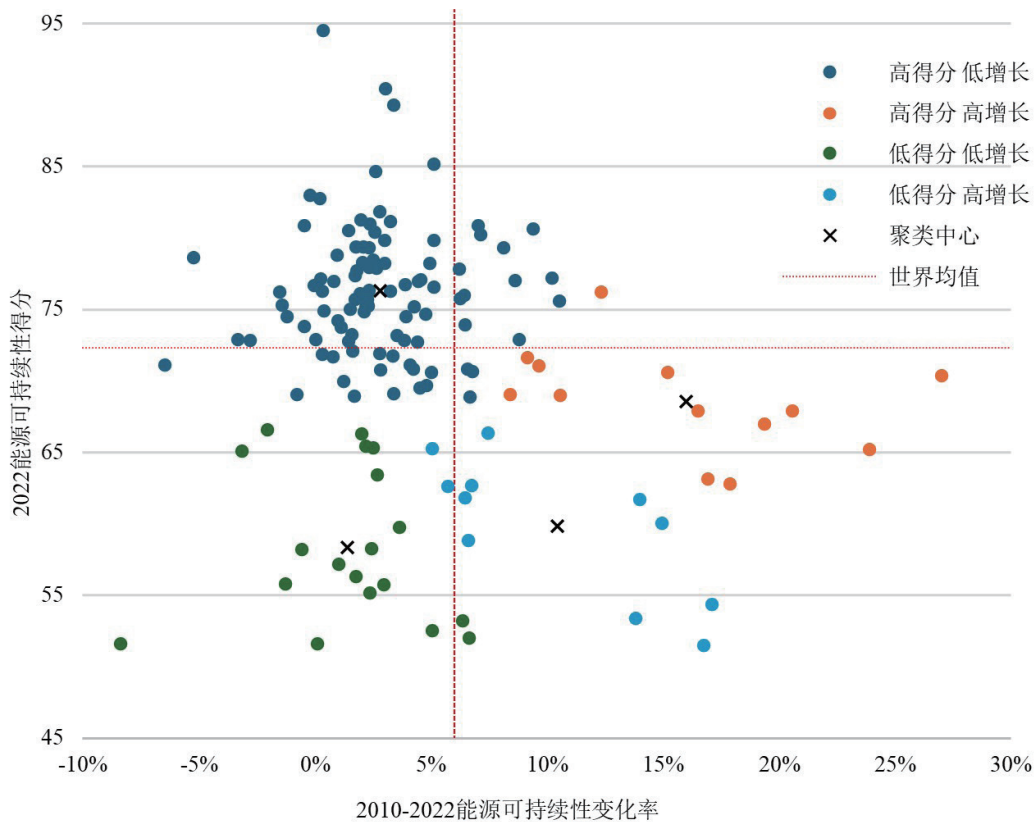
图 3-8 | 各国能源可持续性得分 2010–2022 变化值

源可持续性的变化趋势。从区域分布来看，南亚和东亚及太平洋地区的多个国家表现出显著的进步，其中南亚的孟加拉国、印度、尼泊尔、巴基斯坦和斯里兰卡，以及东亚及太平洋地区的柬埔寨、蒙古、印度尼西亚、中国和越南等国均实现了明显的能源可持续性提升。同样值得关注的是，拉丁美洲和欧洲与中亚地区也有多个国家取得快速进展，包括巴拿马、圭亚那、尼加拉瓜、秘鲁和哥伦比亚等。然而，与此形成鲜明对比的是，部分国家的能源可持续性水平不升反降。这些国家主要集中在撒哈拉以南非洲地区，如尼日尔、刚果（布）、马里、莫桑比克、赤道几内亚、厄立特里亚、马达加斯加和乍得等。此外，拉丁美

洲和中东与北非地区也有部分国家出现倒退现象，包括阿根廷、苏里南、特立尼达和多巴哥、海地、阿曼、伊拉克、伊朗伊斯兰共和国和突尼斯等国。这种区域间的差异化表现凸显了全球能源可持续发展进程中的不平衡性。

从全球范围来看，2010–2022 年间各国能源可持续性发展呈现出一定的差异化。大多数国家实现了正向增长，其中表现最为突出的是 27 个国家（占总数的 19.3%），其增长率超过了 6.9% 的世界平均水平。与此同时，67 个国家（占总数的 47.9%）保持了 0–4.0% 的缓慢增长态势。然而，值得注意的是，仍有 17 个国家（占总数的 12.1%）出现了负增长现象（图 3–9）。进一步地，

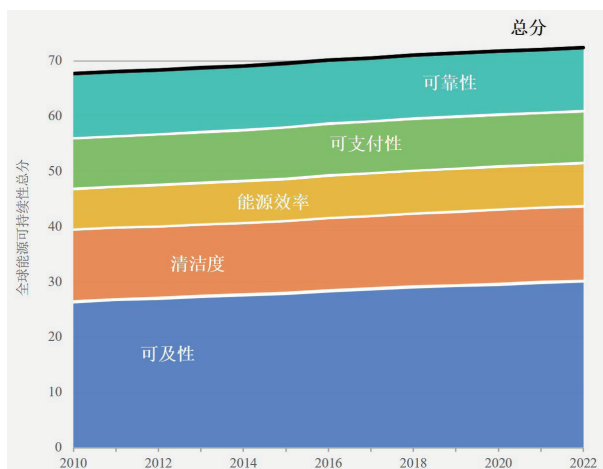
图 3–9 | 各国 2022 年能源可持续性得分与 2010–2022 年能源可持续性增长幅度



研究对各国从“能源可持续性得分”及“2010–2022 能源可持续性变化率”两个维度进行了 K 均值聚类分析。K 均值聚类的结果显示，140 个国家可以被分为 4 类。类别 1 为高得分、低增长国家，类别 2 为高得分、高增长国家，类别 3 为低得分、低增长国家，类别 4 低得分、高增长国家。其中，类别 2 国家为 13 个，主要为亚洲、非洲和拉丁美洲地区发展中国家，其中 10 国家的源可持续得分增长率在 10.0% 以上。类别 4 国家仅有 11 个，除巴基斯坦和孟加拉国外，均来自非洲地区，五个国家的源可持续得分增长率在 14.0% 以上。据此，世界能源可持续性 2010–2022 年的提升在很大程度上依赖于亚洲和非洲的少数发展中国家。这种分布格局表明，虽然全球能源可持续发展整体向好，但各国进展速度存在显著差异短期内难以改变全球发展不均衡的问题。

在能源可持续性的五个维度中，可及性维度成为 2010–2022 年间推动能源可持续性增长的主要驱动力（图 3–10），其贡献率高达 80.3%。进一步分析表明，这一增长主要得益于“农村人口电力普及率”和“清洁炊事燃料普及率”两大关键指标的显著提升——在 2010–2022 年间，这两项指标分别增长了 7.6% 和 6.0%。此外，城镇居民电力普及率也贡献了 4.0% 的增长。效率维度以 8.9% 的贡献率位居第二，其增长主要源于 2010–2022 年间全球能源强度 17.0% 的显著下降，其次是清洁度贡献了 8.2% 的增长。然而，全球可靠性维度却呈现下降趋势（–5.3%），这主要由于一些能源消耗大国的进口依存度普遍增加。例如，在南亚，五个国家的能源自给率均出现下降；在东亚与太平洋地区，超过四成的国家能源自给率降低，四成的国家能源自给率与 2010

图 3–10 | 各维度对能源可持续性提高的贡献

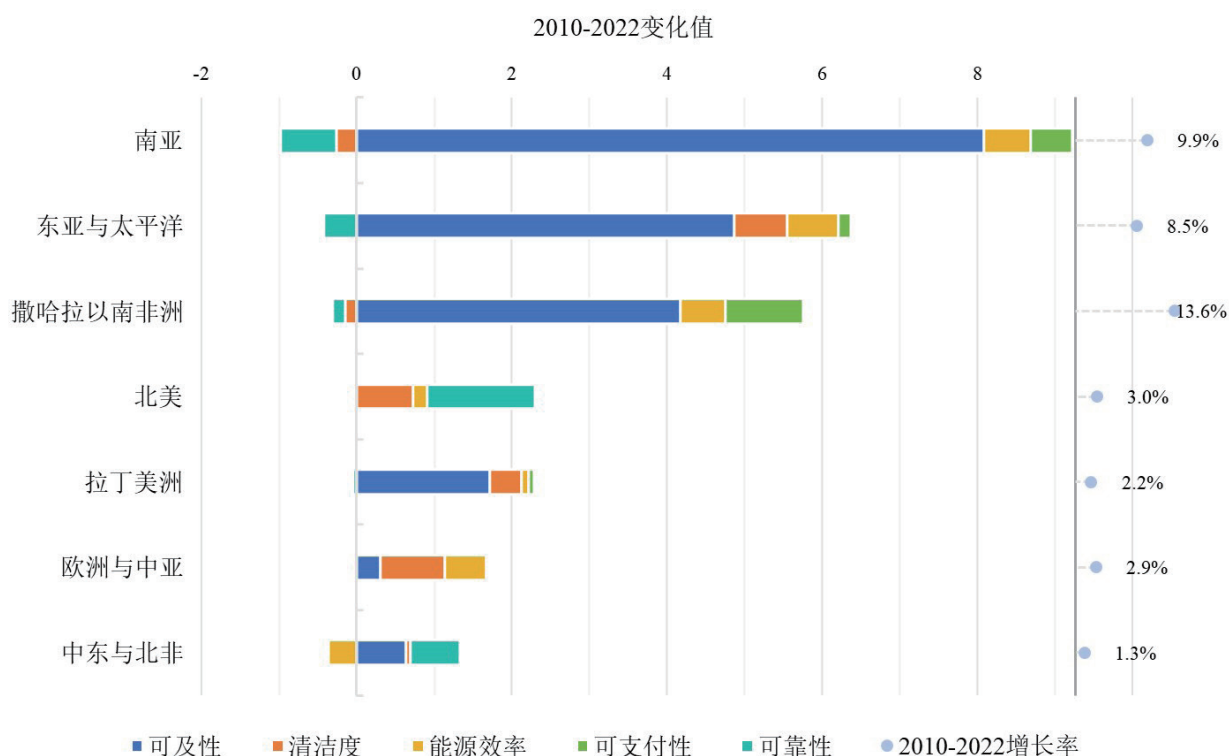


年持平。相反，在欧洲与中亚地区，约 61.7% 的国家能源自给率有所提升，这主要得益于非化石能源占比的增加。

图 3–11 详细呈现了 2010–2022 年间各地区能源可持续性五个维度的变化。分析表明，不同地区呈现出差异化的增长模式：

在发展中国家聚集区域，可及性成为推动能源可持续性增长的核心动力。撒哈拉以南非洲地区 76.8% 的增长来自可及性提升，其次是可支付性（18.2%）和能源效率（10.7%）。然而，清洁度（–2.6%）和可靠性（–3.0%）的负向贡献表明，该地区在扩大能源供给的同时，未能实现能源结构的优化，化石能源占比反而上升。南亚地区：可及性（98.1%）的强劲拉动，能源效率（7.3%）和可支付性（6.5%）贡献有限，而清洁度（–3.2%）和可靠性（–8.7%）的大幅负增长构成严峻挑战。东亚与太平洋地区同样依可及性的正向增长：可及性贡献高达 81.9%，远超其他维度（清洁度 11.5%，能源效率 11.0%，可支付性 2.7%），但可靠性（–3.0%）的拖累值得

图 3-11 | 2010–2022 年各地区在能源可持续性 5 个维度上的变化及增长率



警惕。拉丁美洲也表现出相同的发展路径，其中可及性（76.6%）主导，清洁度（18.2%）和能源效率（4.0%）的同步提升表明其在能源转型方面取得平衡进展。

相比之下，发达地区发展路径有所不同。欧洲与中亚地区以清洁度（49.6%）为首要增长点，可及性（18.6%）和能源效率（31.9%）次之，展现出成熟的能源转型特征。北美地区则依靠可靠性（61.0%）和清洁度（31.8%）双驱动，其可靠性提升既得益于可再生能源发展，也与页岩气⁴⁰革命带来的能源出口地位转变直接相关。中东与北非地区呈现混合模式，可及性（68.1%）、清洁度（5.7%）和可靠性（67.2%）共同推动增长，但能源效率（-39.0%）

的滞后值得关注。

从全球视角看，可及性提升（特别是农村电力普及）对发展中国家具有决定性影响。东亚与太平洋地区农村电力普及率从 81.9% 跃升至 96.5%，南亚地区更从 67.37% 提升至 97.1%，这种基础设施的快速改善成为这些地区能源可持续发展的主要引擎。

能源价格波动是导致清洁度、能源效率、可支付性和可靠性四个维度增长乏力的关键因素。其中，对可支付性的影响尤其明显，全球可支付性的平均水平在 2012–2020 年期间始终保持正向增长态势，然而，到了 2020 年、2021 年以及 2022 年，却分别出现了 0.3%、0.1% 以及 0.3% 的下降。根据《大宗商品市场

展望》报告显示⁴¹，这一现象主要源于2021–2022年间的能源价格剧烈波动：首先，2021年下半年，在供需双重压力下，天然气和煤炭价格出现飙升，部分基准价格甚至创下历史新高；随后在2022年中期，石油价格也突破100美元/桶大关。这一影响在欧洲表现得尤为突出：

一方面，欧洲天然气库存持续低于五年平均水平，特别是液化天然气储备严重不足；另一方面，为应对俄罗斯天然气供应缺口，欧洲在2022年不得不额外进口500亿立方米的液化天然气⁵。这些因素共同导致了欧洲地区电价的急剧攀升，进而对支付性产生了负面影响。

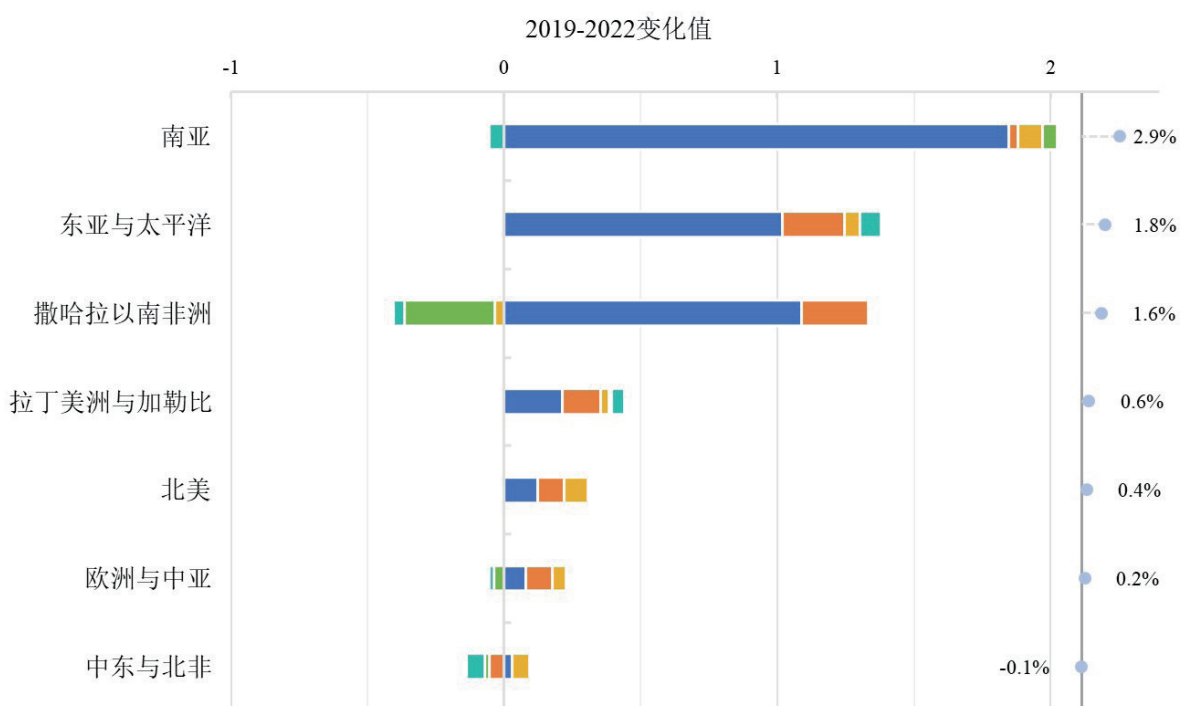
3.3 全球性事件对世界能源可持续性的影响

3.3.1 COVID-19 对世界能源可持续性变化的影响

在疫情大流行的背景下，尽管能源可持续性综合得分在七个地区依然呈现出增长态势（如图3-12所示），但与疫情前相比，年平均增长速度均有不同程度的放缓。其中，撒哈拉地区的增速下

降最为明显，下降0.36个百分点，其次是中东与北非地区，下降0.17个百分点。拉丁美洲地区能源可持续性增速受影响最小，下降0.07个百分点。东亚与太平洋、欧洲与中亚地区、北美和南亚地区的增速下降则介于0.10–0.15个百分点之间。

图 3-12 | 疫情期间 5 个维度上的得分变化及增长率（2019–2022）



疫情的大流行对不同地区可及性影响程度不同，对于经济落后和基础设施建设严重匮乏的南亚、东亚与太平洋地区和撒哈拉地区，可及性得分依然能保持稳步上升，但增速低于疫情前水平（分别下降了 0.67、0.37 和 0.29 个百分点）。对于经济发达的欧洲与中亚地区和北美地区，可及性自 2010 年已处于稳定的高得分（> 82.5），完善的基础能源设施提高了抵抗疫情风险的能力，避免了可及性得分下降。

清洁度得分的提升，与非化石能源占比的增加和空气污染物排放的减少相关。疫情期间，封锁措施导致总体能源需求急剧下降，可再生能源因其低边际成本获得了更高的电网接入比例。2020 年，全球风能、太阳能、生物能源和地热能的发电量出现了有史以来的最大增长⁵，增加了非化石能源的占比⁴²。东亚地区尤其是中国⁴³贡献突出，而南亚以印度⁴⁴为代表，其可再生能源市场也展现出强劲增长势头。此外，疫情导致各行各业运转停滞，使得化石燃料使用大幅减少，降低了空气污染物⁴⁵和 CO₂ 排放量¹⁴。这使得撒哈拉、南亚、东亚与太平洋和拉丁美洲地区的清洁度得分增长快于疫情前的水平，增速分别上升了 0.67、0.35、0.21 和 0.13 个百分点。能源效率得分增速在北美、拉丁美洲和中东以外的其他地区均出现下降，撒哈拉地区能源效率下降最多（1.1 个百分点），其次是东亚与太平洋地区（0.6 个百分点）和南亚地区（0.4 个百分点）。撒哈拉以南非洲地区增速下降主要是由于能源损失率的上升，尽管该地区的能源强度有所降低，但仍不足以抵消能源损失率上升所带来的负面影响。

可支付性得分增速在所有地区出现了下降，撒哈拉以南非洲下降最明显，下降了 3.69 个百分

点，其次是南亚地区，下降了 0.40 个百分点。撒哈拉地区电价均仅次于欧洲与中亚地区，对化石燃料的依赖性强，疫情期间 OPEC 成员国原油出口量的下降⁴⁶和国际贸易困难，叠加疫情带来的人均收入下降，显著推高了地区的电力使用成本。

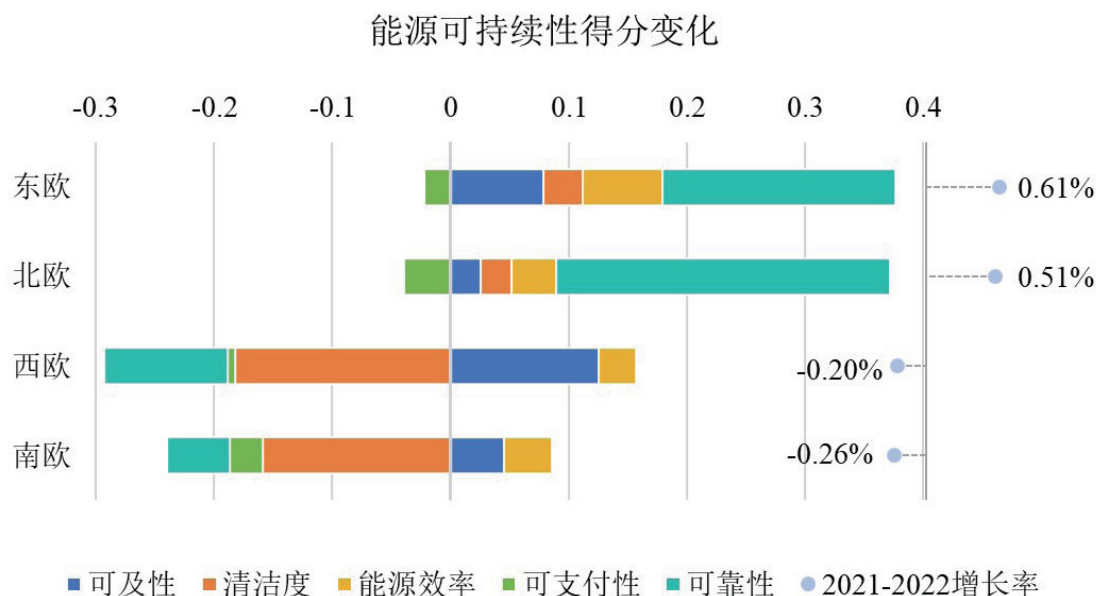
可靠性得分增速在南亚地区下降最明显（下降 0.6 个百分点），东亚与太平洋地区可靠性上升最为明显（上升 0.64 个百分点）。南亚地区对进口能源依赖程度高⁴⁷，能源供应容易受到全球性事件和地缘政治等因素的影响，而东亚与太平洋地区在可再生能源的开发利用以及能源效率的提升带来了可靠性的增长。

整体而言，疫情对低收入以及能源基础较为薄弱的撒哈拉地区造成了更为严重的冲击，而那些基础设施相对完善的中高收入区域则展现出较强的抗风险能力。因此，各国愈发重视能源安全，积极推动本土化发展以及非化石能源的利用，特别是风能和太阳能，成为了更为受欢迎的选择。

3.3.2 俄乌冲突对欧洲能源可持续性变化的影响

图 3-13 展示了 2021 至 2022 年间欧洲各国的能源可持续性变化。东欧和北欧的得分整体呈正向增长趋势，在各个维度上均表现出一致的增长和下降特征。可支付性方面是唯一出现下降的维度，而其他维度均有不同程度的提升，与其他维度相比，可靠性方面增长最为显著。与之相反，西欧和南欧的得分整体呈现小幅下降趋势。在相同的维度上，这两个地区也展现出相似的变化模式。清洁度、可支付性和可靠性方面均有所下降，其中清洁度的下降最为明显。然而，可及性和能源效率方面却表现出正向增长。

图 3-13 | 2021–2022 欧洲地区能源可持续性得分变化及增长率



在可支付性方面，这四个地区均有不同程度的下降。从能源价格的角度来看，尽管俄罗斯在 2022 年仍然是欧盟的主要能源供应国之一，但其市场份额相比 2021 年出现了明显的缩减。这种变化直接影响了欧洲的电价，导致其在 2022 年显著上涨，从而使得能源可支付性指标出现下滑。此外，截至 2022 年下半年，欧盟的平均家庭电价同比增长了 20.9%，天然气价格更是飙升了 46.2%，双双创下历史新高⁴⁸。这些能源价格的剧烈波动对能源需求产生了深远的影响，使得各地区的能源消耗总量均有所减少。其中，西欧的能源消耗降幅最大，较 2021 年减少了 6.6%，而南欧的降幅最小，为 1.0%。在非化石能源领域，2022 年欧洲的整体增速未能达到 2014 至 2021 年的平均水平，东欧、南欧和西欧非化石能源占

比下降，分别下降了 0.16、0.66 和 1.12 个百分点，北欧化石能源占比上升，上升了 0.55 个百分点。

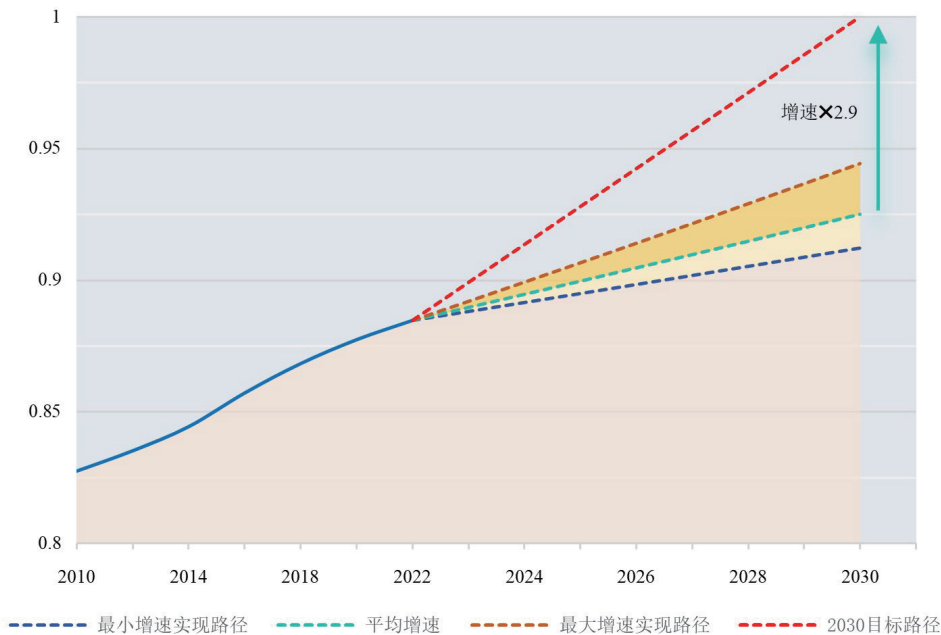
能源可靠性方面，北欧和东欧地区可靠性指标的提升主要得益于能源自给率的上升。这一变化既受到全球疫情对能源供应链的影响，也与俄乌冲突背景下欧洲能源格局的深刻调整密切相关。为减少对外部能源进口的依赖并保障国内稳定供应，欧洲加速了对现代新能源的投资和建设，逐步以新能源替代化石能源进口，以期实现能源体系的安全转型。2021 年至 2022 年，欧盟从俄罗斯进口的能源运营商市场份额大幅减少⁴⁹，俄罗斯对欧盟的天然气供应量也大幅削减 30%⁵⁰，这进一步推动了欧洲能源格局的加速重组，以应对化石能源在应对突发情况时的不稳定性。

3.4 未来世界能源可持续性变化趋势

2030 是实现世界能源可持续的重要时间节点，为将全球能源可持续发展的进展与 SDG7 设定的 2030 目标直接对比，用各年度得分 /2030 目标分数作为能源可持续性指标进展。研究通过结合《可持续发展议程》、国际能源署（IEA）《净零 2050》⁵¹ 报告等多个方面的假设，计算出了达到 2030 目标对应的能源可持续性分数（81.7 分），根据这一分数计算出 2010–2022 年能源可持续性指标进展（即当年实际得分 /2030 目标分数）。2010–2022 年间世界能源可持续性只增长了 6.9%，年均增长率为 0.6%，上升的幅度和速度

并不理想。图 3–14 中展示了 2010–2022 年能源可持续性指标进展的变化，以及按照 2010–2022 年的最小增速、平均增速和最大增速进行外推得到的 2023–2030 预测值。结果显示，之后仍以 2010–2022 趋势增长，2030 年世界能源可持续性得分仅能达到 SDG7 目标值的 92.3%。而实现 SDG7 的路径（图 3–14 中红色虚线）则需要 2022–2030 阶段的能源可持续性以原增速 2.9 倍的速度上升，这意味着实现 SDG7 目标迫切需要全球能源系统在 2030 年前加快其可持续转型的速度。

图 3–14 | 能源可持续性指标进展（实际得分 /2030 目标分数）



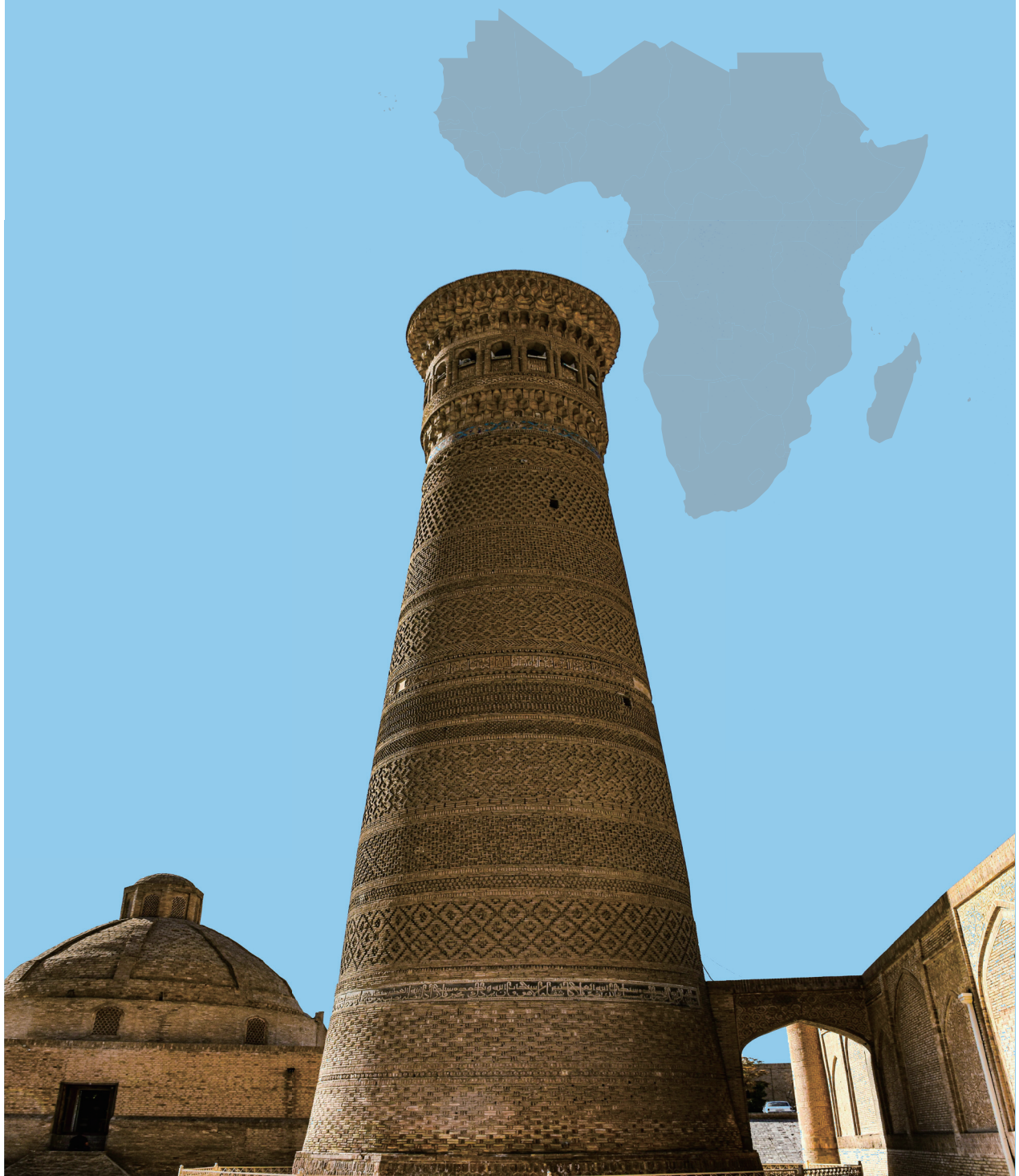
An aerial photograph of a city skyline, featuring several prominent skyscrapers and a dense urban area with trees and smaller buildings. A large blue circle is overlaid on the upper left portion of the image. Inside the circle, the text '各地区能源可持续性评价结果' is written in white. Below the text, there is a stylized illustration of a desert landscape with orange sand dunes and several camels walking across them. Two curved lines, one blue and one orange, extend from the top of the circle towards the top corners of the page.

各地区能源可持续性评价结果

04

4.1 撒哈拉以南非洲

Sub-Saharan Africa

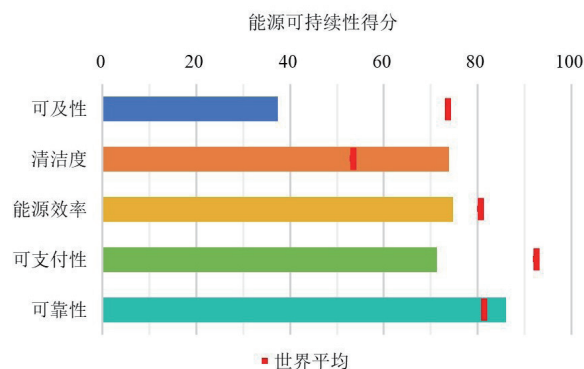


撒哈拉以南的非洲地区在 2022 年拥有约 11.2 亿人口，占全球总人口的 14.1%。尽管人口众多，该地区的经济发展水平普遍较低，在 2022 年其 GDP 仅占全球的 2.1%，人均 GDP 仅为 1,681 美元，远低于世界平均水平 11,364 美元。本研究涵盖了来自该地区的 32 个国家，以对其进行全面评估。

在能源可持续性方面，撒哈拉以南非洲地区的表现尤为薄弱。2022 年该地区能源可持续性总分仅为 60.4 分（图 3-4a），与 2030 目标相比实现了 73.9%，在全球 7 个地区中排名垫底。从五个评价维度来看（图 4-1），该地区呈现出明显的两极分化特征：一方面，可及性、能源效率和可支付性方面表现欠佳，其中可及性和可支付性指标显

著低于世界平均水平；另一方面，尽管能源效率与世界平均水平的差距相对较小，但在清洁度方面却位居全球七个地区首位。

图 4-1 | 撒哈拉以南非洲地区各维度能源可持续性得分



可及性

撒哈拉以南非洲地区在可及性方面的表现全面落后于世界平均水平，这一差距在四个关键指标上尤为突出：农村电力普及率（32.7%）、城镇电力普及率、清洁炊事燃料普及率（29.7%）以及电气化率（图 4-2）。其中，农村电力普及率和清洁炊事燃料普及率两项指标的表现尤为薄弱，农村电力普及率与城镇形成鲜明落差且增速缓慢，凸显该地区面临的严峻能源基础设施建设方面的挑战。撒哈拉以南非洲电气化率仅有 12.7%，表明从基础

能源接入向终端用能转型仍存在巨大提升空间。

这种普遍性的可及性不足现象，本质上反映了撒哈拉以南非洲地区因长期经济落后所导致的能源基础设施建设严重滞后的现状。此外，该地区还存在着显著的城乡能源发展失衡问题，这一点从农村与城镇电力普及率之间的巨大差距可以得到充分印证。这种不平衡不仅制约了农村地区的发展，也反映出该地区能源资源配置的结构性矛盾。

清洁度

撒哈拉以南非洲地区的能源结构呈现出一个显著特征：非化石能源占比高达 55.9%，远超 19.0% 的世界平均水平。然而，其中 1/2 以上的

非化石能源消费来自于初级生物固体燃料（如木柴、农作物残渣等），这些能源并不符合“现代可再生能源”的标准。

需要特别指出的是，虽然传统生物质能在碳排放指标上优于化石燃料，但其使用会带来严重的环境问题（图 4-2），包括森林退化、室内空气污染等。因此，从清洁度提升的角度来看，撒哈拉以南非洲地区面临着双重挑战：一方面需要减少对化

石能源的依赖，另一方面也必须解决传统生物质能带来的环境问题。这一现状表明，该地区的能源转型不仅需要关注能源结构的现代化，还需要重视能源利用方式的清洁化改造。

► 能源效率

撒哈拉以南非洲地区在能源利用效率方面呈现出显著的矛盾特征。该地区单位 GDP 能源强度高达到 10.7 兆焦耳 / 美元，是全球平均水平（4.7 兆焦耳 / 美元）的 2.3 倍，这一差距充分暴露出该地区经济体在能源利用效率方面的严重不足。然而值得关注的是，该地区在能源分配环节表现出相对较高的效率，能源损失率为 1.1%（图 4-2），这一优势部分弥补了其在能源强度指标上的劣势。

针对这一现状分析表明，撒哈拉以南非洲地区未来提升能源效率的关键突破口在于用能端的优化改进。具体而言，重点应放在以下两个方面：一是大力推广能效更高的终端用能设备，二是对现有高耗能产业结构进行战略性调整。这两个方面的协同推进将有效降低该地区的单位 GDP 能耗，从而显著提升其整体能源效率表现。

► 可支付性

根据测算，若按每年人均电力消费 1000 千瓦时的标准，2022 年撒哈拉以南非洲地区的用电家庭平均需要将 16.2% 的可支配收入用于电费支出（图 4-2）。这一比例显著高于 2.1% 的世界平均水平，更是远高于中国 1.0% 的水平。值得注意的是，尽管该地区的平均电价与世界均值基本持平，但其电力可支付性却明显偏低，这主要归因于当地较低的人均收入水平。

这种低可支付性进一步加剧了撒哈拉以南非洲地区的“能源贫困”困境。前文关于“可及性”的分析已指出，该地区仍有大量人口无法获得电力供应；而结合当前对能源可支付性的研究可以发现，即便是在通电地区，高昂的用电成本同样构成了能源普及的重要障碍。这两个因素相互叠加，共同制约着该地区的能源可及性和可持续发展。

可靠性

撒哈拉以南非洲地区的能源可靠性呈现出两个明显特征（图 4-2）：首先，其月均停电次数与世界平均水平基本持平；其次，该地区的能源自给率明显高于全球均值。这种较高的能源自给率主要源于两方面因素：一方面得益于该地区丰富的能源资源储备，另一方面则由于其能源产业仍处于发展初期，与其他地区相比对化石能源的需求相对有限。

随着近年来该地区化石能源消费量的持续增长，能源系统的稳定性正面临新的挑战。如何在能源需求不断上升的背景下确保能源供应的安全、稳定和可靠，将成为撒哈拉以南非洲地区能源发展面临的挑战。

图 4-3 展示了 2022 年撒哈拉以南非洲地区 32 个国家的能源可持续性得分情况，揭示了该地区显著的能源发展不均衡现象。从整体表现来看，加蓬以 74.2 分的成绩位居该地区榜首，全球排名第 67 位，其得分显著高于该地区其他国家。南非（70.6 分）和肯尼亚（70.3 分）分别位列该地区第二、三名，全球排名分别为第 94 和 95 位。

加蓬的优异表现主要得益于其突出的清洁能源发展水平，其 77.2% 的非化石能源占比远超 19.0% 的世界平均水平。同时，作为该地区较发达国家（人均 GDP 达 8820 美元），加蓬在能源可及性和可支付性方面也明显优于地区平均水平。南非的亮点则体现在能源可及性方面，其 93.4%

图 4-2 | 撒哈拉以南非洲地区各项指标得分

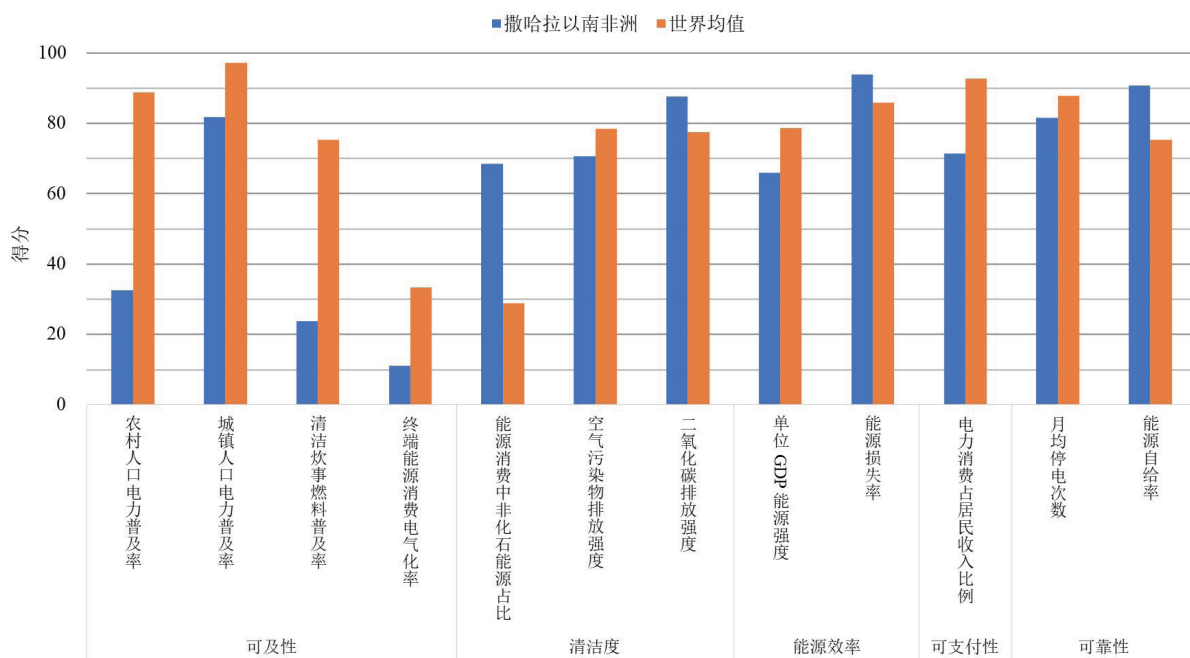
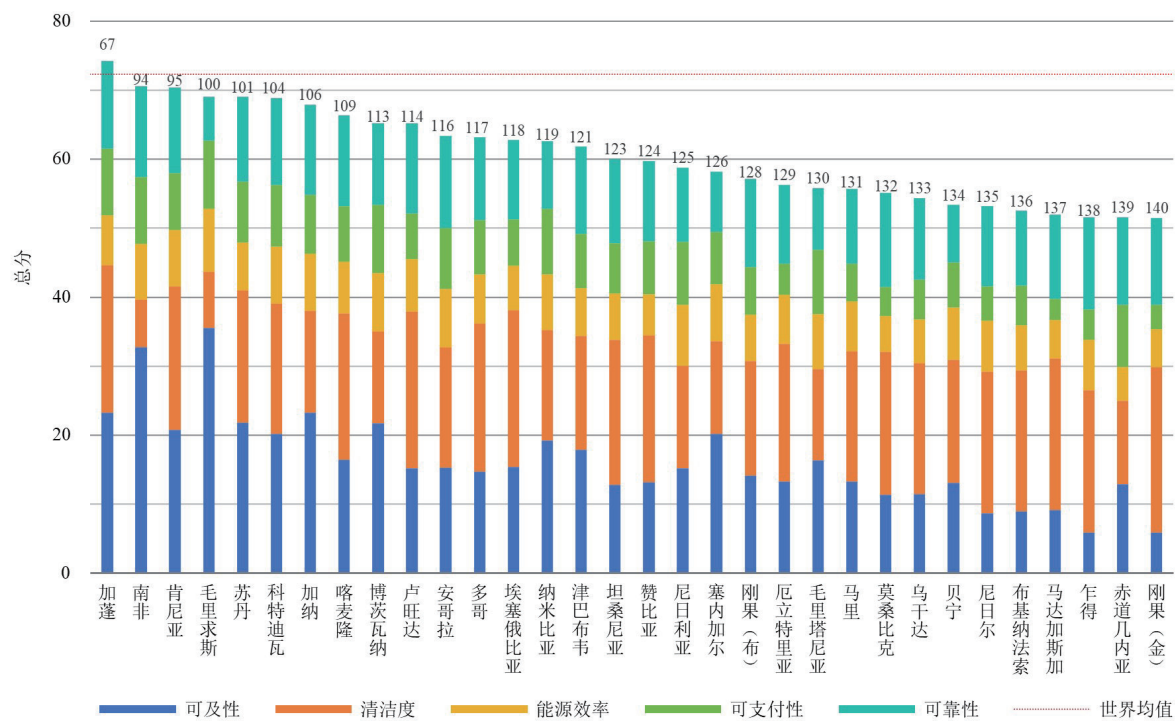


图 4-3 | 撒哈拉以南非洲各国 2022 年能源可持续性得分（图中数字为各国能源可持续性得分在 140 个国家中的排名）



的农村人口电力普及率和 89.4% 的清洁炊事燃料普及率均表现突出。而肯尼亚的优势在于其清洁能源结构（非化石能源占比高达 79.8%）和较低的碳排放强度（仅为世界平均水平的 31.3%）。

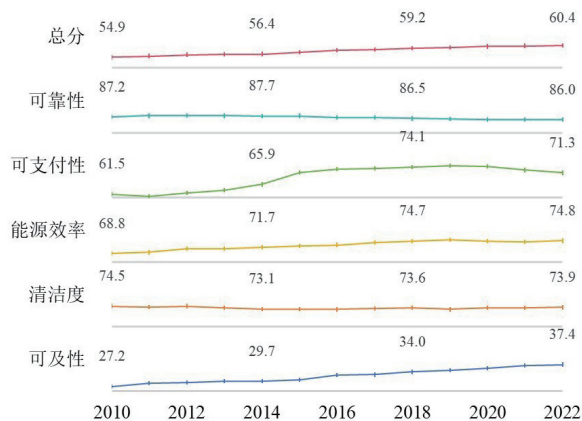
与此形成鲜明对比的是，该地区表现最差的国家（包括乍得、刚果（金）、马达加斯加和赤道几内亚等）均为联合国定义的“最不发达国家”。这些国家普遍面临严重的能源贫困问题，在能源可及性和可支付性等基础维度上表现欠佳，反映出该地区能源发展面临的严峻挑战。值得注意的是，除加蓬外，其余 31 个国家的能源可持续性得分均低于世界平均水平，凸显了撒哈拉以南非洲地区在能源可持续发展方面的整体滞后性。

2010–2022 年间，撒哈拉以南非洲地区在能

源可持续发展方面取得了稳步进展。该地区能源可持续性得分从 2010 年的 54.9 分持续攀升至 2022 年的 60.4 分（图 4-4），实现了 9.9% 的总体增长。这一增长态势呈现出两个显著特点：首先，其年均增长率达到 0.8%，超过了同期全球平均水平；其次，2013 和 2016 年期间表现尤为突出，分别实现了 2.3% 和 1.7% 的显著增速，成为 2010–2022 年的增长高峰。能源可持续性得分的稳步上升，反映了该地区在能源可持续发展领域的积极努力和取得的实质性进步。

撒哈拉以南非洲地区 2010–2022 年间的能源可持续发展呈现出差异化特征。从各维度表现来看，该地区在能源可及性、能源效率和可支付性三个维度实现了正向增长，而能源清洁度和可

图 4-4 | 撒哈拉以南非洲 2010–2022 年能源可持续性得分



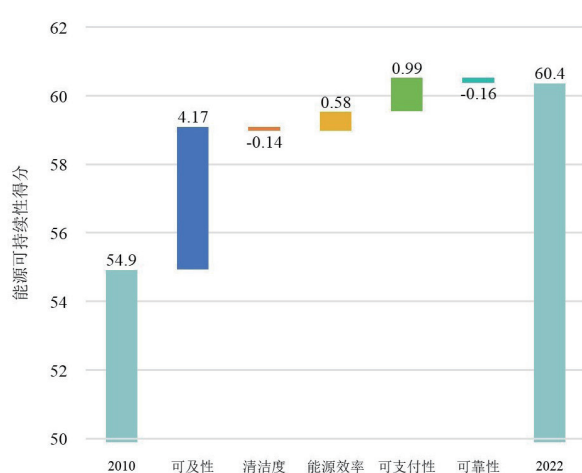
可靠性维度则出现下滑趋势。

能源可及性的显著提升是该地区能源可持续性改善的关键驱动力（图 4-5）。尽管该指标得分仍处于较低水平，但从 2010 年的 27.2 分稳步上升至 2022 年的 37.4 分，增长了 37.5%，年均增长率达 3.1%，在 2011 年和 2016 年分别实现了 5.7% 和 7.7% 的较快增速。在可支付性方面，该指标在 2011–2015 年间增长较为迅速，但 2015 年后进入平台期。此外，受新冠疫情影响，2020–2022 年间可支付性指标出现了明显的下降趋势（图 4-4）。与此同时，能源效率虽保持增长，但增幅相对有限。

在可支付性方面，该地区人均可支配收入处于全球最低水平。由于能源价格波动对该地区影响尤为敏感，低收入居民不得不承受与世界平均水平相当的电力价格，这直接导致了该地区能源可支付性得分的持续低迷。

其次，在清洁度方面，问题主要源于能源结构转型的滞后。从经济角度考虑，燃煤仍然是当

图 4-5 | 撒哈拉以南非洲 2010–2022 年能源可持续性各维度变化



地主要的能源供给方式。值得注意的是，虽然燃煤逐步替代生物质能使用，但这种转变反而降低了可再生能源在终端能源消费中的占比。更令人担忧的是，过去 20 年间，全球可再生能源投资中仅有 2.0% 流向非洲，地区差异极其显著。相关数据显示，非洲仅占全球可再生能源工作岗位的不到 3.0%，而在撒哈拉以南非洲地区，2019 年清洁炊事燃料普及率为 46.0%，仍有 9.06 亿人口无法获得清洁烹饪燃料和技术⁵²。

撒哈拉以南非洲地区在能源可支付性和清洁度方面面临严峻挑战，这一状况与当地经济发展水平和能源结构密切相关。要提升该地区的能源清洁度，关键在于加大对现代能源基础设施的投资力度。这不仅能够改善当地居民的生活质量，也将为非洲的可持续发展奠定重要基础。

在撒哈拉以南非洲地区 32 个国家 2010–2022 年的能源可持续性表现中（图 4-6），各国呈现出显著差异。从整体趋势来看，肯尼亚表现最为突出，其能源可持续性得分提升了 27.0%，

这一进步主要得益于可及性维度的显著改善。此外，多哥、埃塞俄比亚、加纳和卢旺达等国也取得了较大进展，这些国家的得分提升主要源于可及性和可支付性两个维度的共同改善。

然而，值得注意的是，毛里求斯、毛里塔尼亚和赤道几内亚三个国家却出现了不同程度的得分下滑。具体来看：

毛里求斯的能源可持续性下降主要体现在清洁度（-7.3%）和可靠性（-7.2%）两个维度。其中，清洁度下降主要是因为非化石能源占比降低了7.3%，而CO₂排放强度和空气污染物排放则保持稳定；可靠性下降则主要由于能源自给率降低了7.1%。

毛里塔尼亚的情况更为严峻，其清洁度下降

图 4-6 | 撒哈拉以南非洲各国 2010–2022 能源可持续性得分变化和增长率



9.5%，能源效率降低 3.2%，可靠性更是大幅下滑 24.2%。深入分析显示：清洁度恶化与多项指标相关：PM_{2.5} 浓度上升 47.3%，SO₂ 上升 31.3%，NO_x 上升 23.5%，CO₂ 排放强度增加 13.7%，非化石能源占比下降 6.8%。能源效率降低主要源于能源损失增加 4.9%。可靠性骤降则主要由于能源自给率急剧下降 41.8%。

赤道几内亚的衰退主要体现在可及性（-4.9%）和能源效率（-46.4%）方面：可及性下降源于电力普及率全面下滑：农村地区下降 12.4%，城镇地区下降 3.4%，清洁炊事燃料普及率下降 1.0%，能源效率的大幅降低则直接对应着能源强度上升 42.2%。

这些数据清晰地展现了撒哈拉以南非洲地区能源可持续发展的复杂图景：一方面，部分国家通过改善能源可及性和可支付性取得了显著进步；另一方面，一些国家在清洁能源转型、能源效率

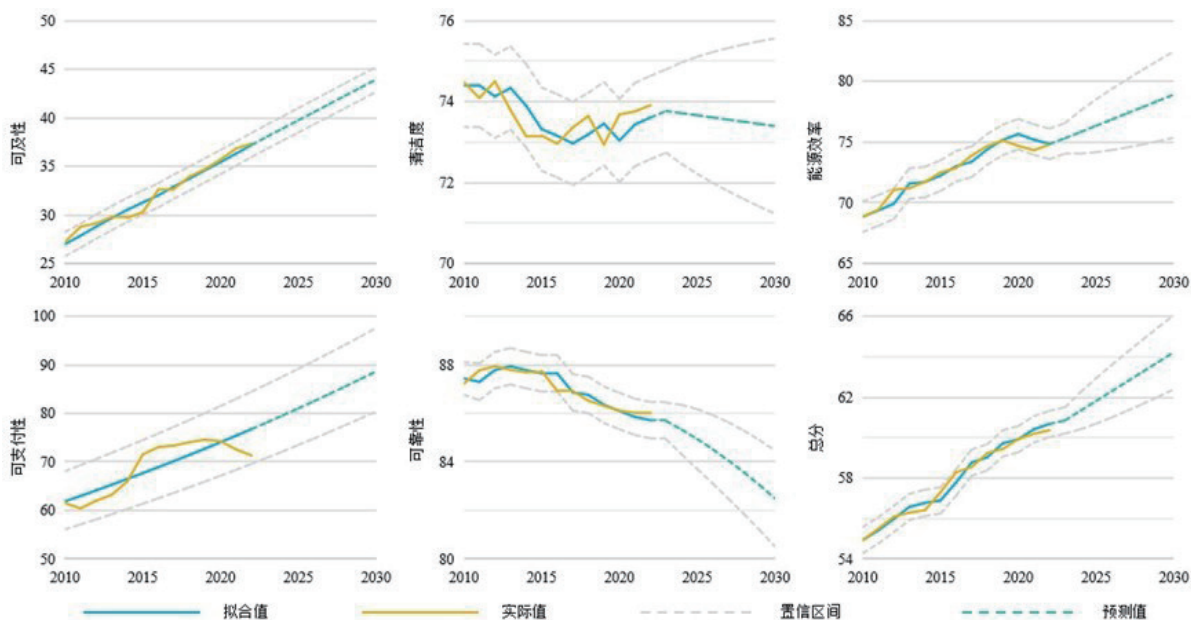
提升和能源安全保障等方面面临着严峻挑战。这种区域内部的差异化发展态势，将成为制定针对性的能源政策的重要考量因素。

预测分析表明（图 4-7），到 2030 年撒哈拉沙漠以南非洲地区的能源可持续性综合评分预计将达到 64.2 分，相比 2010 年增加 9.3 分。尽管高于其他地区的增长速度，但总体得分仍然偏低，难以达成 2030 年既定的发展目标。具体从各个维度来看：

在可及性方面，预计 2030 年得分将达到 44.0 分，较 2010 年增长 61.6%。然而，该地区在电力普及和清洁能源使用方面仍存在明显短板：农村和城镇电力普及率、清洁炊事燃料普及率以及终端电气化率等关键指标均处于全球较低水平，与中高收入地区相比差距显著。

清洁度指标呈现令人担忧的下降趋势，预计 2030 年将较 2010 年降低 1.5%。这一倒退主要

图 4-7 | 2030 年撒哈拉以南非洲地区不同维度得分预测（虚线代表 2022 年后预测值）



源于两方面因素：一方面，工业发展导致非化石能源占比持续缩减，初级生物固体燃料使用比例预计将从 2010 年的水平累计下降 7.2%；另一方面，为支撑工业增长而增加的化石能源消费进一步加剧了清洁度的恶化。

能源效率维度预计将实现 14.6% 的增长，2030 年得分达 78.9 分。但这一改善幅度有限，主要因为能源损失率上升（预计 2030 年达 1.9%，较 2010 年增加 0.9%）部分抵消了能源强度降低（预计降至 9.7 兆焦耳 / 美元）的积极影响。

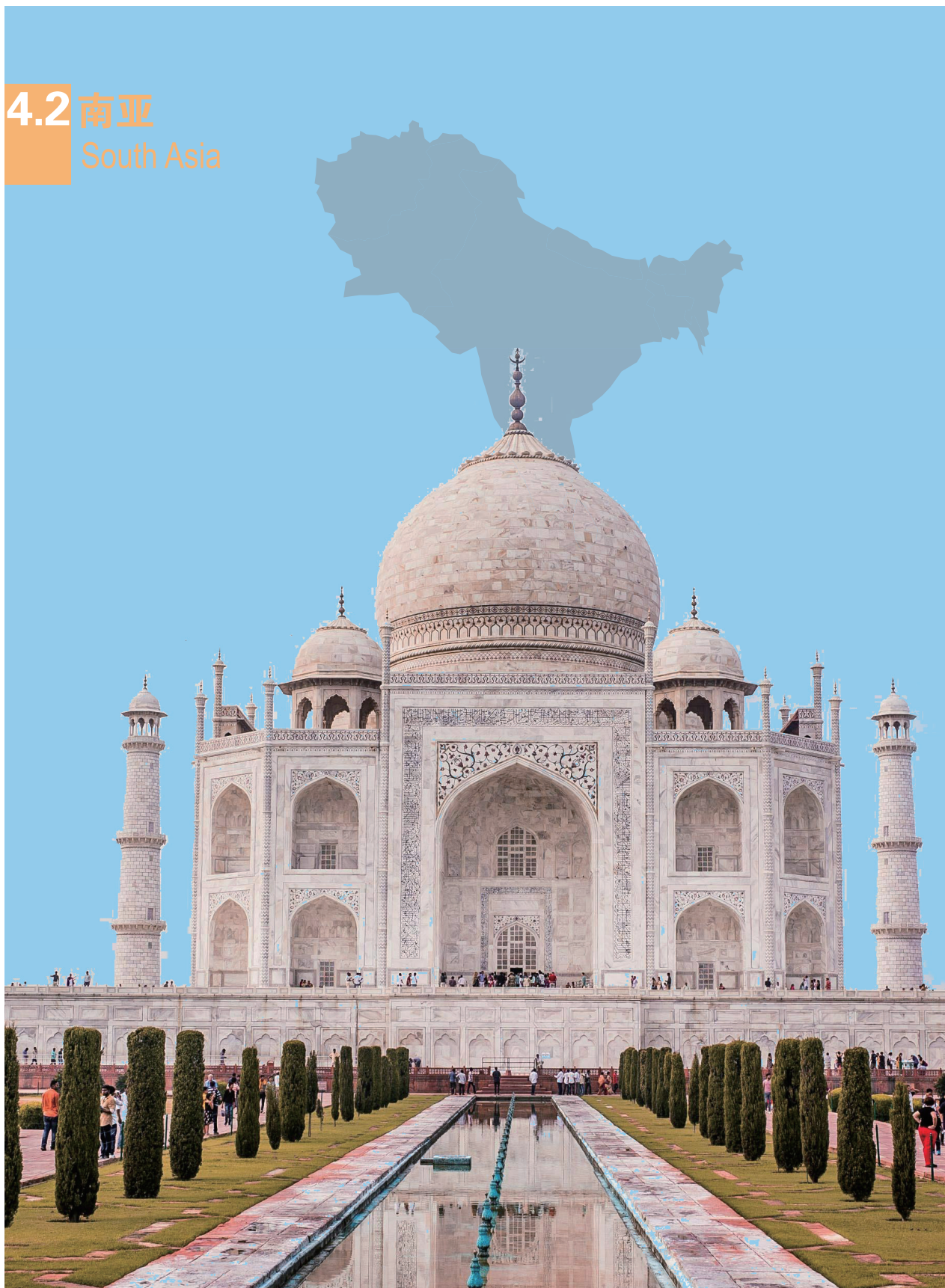
可支付性方面的形势尤为严峻，电价是影响这一指标的重要因素。在 2010 至 2022 年间，该地区的可支付性得分呈现出先增长后下降的趋势，预计到 2030 年，得分将升至 88.7 分，但仍低于其他地区在 2022 年的水平。尽管该地区的电价水平与发达地区相仿，但由于人均收入远低于全

球平均水平，居民对能源价格波动的承受能力极为有限。特别是对于低收入群体，能源价格上涨所带来的冲击更为显著，这无疑加剧了他们的生活负担。

可靠性得分呈现下滑趋势，预计到 2030 年将比 2022 年下降 5.4%。这一变化主要源于快速发展导致的能源需求激增，进而增加了对外部能源进口的依赖。能源自给率的下降，直接影响了能源供应的可靠性评分。

撒哈拉沙漠以南非洲地区要实现能源可持续发展，亟需在以下关键领域取得突破：大幅提升能源可及性、加快能源结构优化转型、持续改进能源利用效率、以及增强能源价格的可负担性。这些挑战的解决不仅需要区域内的政策创新，更需要国际社会的协同支持。

4.2 南亚 South Asia



南亚地区包括了孟加拉国、印度、尼泊尔、巴基斯坦、斯里兰卡 5 个国家，作为全球重要的人口聚集区，2022 年该地区总人口达 18.9 亿，占全球人口的 23.7%，其中印度、巴基斯坦和孟加拉国均为人口过亿的国家，使其成为世界上人口密度最高的地区之一。从经济发展水平来看，2022 年南亚五国占全球 GDP 的 4.2%，地区人均 GDP 仅为 2,025 美元，远低于 11,364 美元的世界平均水平，反映出该地区整体经济发展相对滞后的现状。

在能源可持续发展方面，南亚地区 2022 年的

综合得分为 68.8 分（图 3-4a），与 2030 目标相比实现了 84.2%，在全球七个地区中排名第六，仅高于撒哈拉以南非洲地区。具体分析五个评价维度：该地区在可及性（第 6）、可靠性（第 7）和能源效率（第 5）三个维度上均低于世界平均水平，其中可靠性表现尤为薄弱；，可支付性与世界平均水平接近，而在清洁度方面则略优于世界均值。这种多维度的不均衡发展态势，既反映了南亚地区能源系统面临的结构性挑战，也显示出其在某些特定领域的相对优势。

▼ 可及性

南亚地区在电力普及方面取得了显著进展，其城乡电力覆盖率均已突破 90.0% 大关，明显高于世界平均水平。其中城市地区的电力普及率已达到 99.6% 的较高水平，在过去 10 年间经历了快速增长，2022 年超越拉丁美洲与加勒比地区，农村地区也实现了 90.0% 以上的覆盖率。这一成就表明，南亚地区当前面临的电力普及挑战已从大规模覆盖转向解决农村偏远地区用电的“最后一公

里”问题。然而，在清洁能源使用方面，南亚地区仍存在明显不足。该地区清洁炊事燃料的普及率印度最高为仅为 74.5%，与 75.8% 的世界平均水平接近，而该地区其他国家清洁炊事燃料的普及率在 55.0% 以下。这一数据反映出南亚地区在推动终端清洁能源使用方面存在差距，仍需加大力度以实现更可持续的能源发展目标。

▼ 清洁度

南亚地区的非化石能源占比达到了 26.6%，其中印度、尼泊尔、巴基斯坦和斯里兰卡的表现尤为突出，其非化石能源的占比超越了全球平均水平。这一显著成就主要归因于对初级生物固体燃料的依赖，这类燃料在总能源消费中占据了 33.3% 的份额。值得注意的是，尽管南亚地区可再生能源占比在七个地区中仅次于撒哈拉地区，但

传统生物质能源的使用带来了严重的环境问题。传统生物质能源的燃烧过程会产生大量碳排放，这直接反映在南亚地区的空气污染物排放强度得分上——该地区在此项指标中仅排名第五。这一数据充分说明，南亚地区在化石能源使用效率和污染控制方面仍存在明显不足。

南亚地区未来能源发展应重点关注以下方向：

首先，需要持续提高可再生能源比例，特别是风能和太阳能发电的占比；其次，应当着力提升现有化石能源的使用管理水平；最后，必须逐步淘汰传统

生物质用能方式。这三个方面的改进将共同推动南亚地区实现更可持续的能源发展。

▼ 能源效率

南亚地区的能源利用效率问题尤为突出，其单位 GDP 能源强度高达 9.4 兆焦耳 / 美元，是全球平均水平 4.7 兆焦耳 / 美元的两倍，与撒哈拉以南非洲地区（10.7 兆焦耳 / 美元）相近。这种高能源强度特征主要源于两个关键因素：首先是能源利用效率低下，其次是能源密集型产业占比较高⁵³。南亚地区的能源系统在分配环节同样存在显著效率损失。该地区能源损失率为 2.4%，电能传输与

分配环节的损失尤为严重⁵⁴。这一现象揭示出南亚地区在能源利用的全流程——从生产到终端消费——都存在明显的效率提升空间。

特别值得注意的是，这种能源效率低下的状况不仅增加了经济发展成本，也制约了区域可持续发展的潜力。若能通过技术改造和产业升级改善能源效率，将为南亚地区带来显著的经济和环境双重收益。

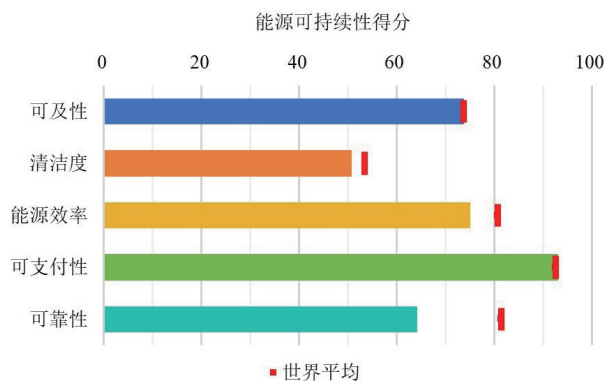
▼ 可支付性

基于人均年电力消费 1000 千瓦时的标准测算，南亚地区家庭平均需将 5.0% 的可支配收入用于电费支出（图 4-8），这一比例高于全球平均水平的 2.1%。南亚地区的电力价格仅为世界平均水平的 56.7%，表明其电价本身并不高昂。然而，该地区的能源可支付性仍显著低于世界平均水平，究其根本原因在于居民人均收入水平较低。

这一现象反映出南亚地区能源发展面临的特殊挑战：尽管该地区在能源基础设施建设和能源普及方面取得了显著进展，但较低的人均收入水平仍成为现代能源推广的主要障碍。印度的一项炊事燃料调研为此提供了有力佐证：研究显示，由于液化石油气价格超出承受能力，即使在可获得液化石油气的条件下，仍有大量农村家庭选择继续使用传统

生物质燃料⁵⁵。这一案例不仅凸显了收入水平对能源选择的关键影响，更揭示了可支付性问题对能源可持续转型构成的实质性阻碍。

图 4-8 | 南亚地区各维度能源可持续性得分



可靠性

南亚地区在能源可靠性方面表现显著落后于全球平均水平，这一状况主要源于两大结构性短板：电力系统稳定性不足和能源对外依存度过高。

首先，在电力供应稳定性方面，南亚地区的表现尤为堪忧。数据显示，该地区月均停电次数高达 25.5 次（图 4-9），远超世界平均水平。其中，孟加拉国和巴基斯坦的情况更为严峻，月均停电超过 60 次。这种频繁的电力中断不仅严重影响居民日常生活，更对工商业生产造成持续性冲击。2012 年印度大停电⁵⁶和 2022 年夏季印巴等国的大规模停电事件⁵⁷就是典型案例，充分暴露出该地区电力系统在应对干扰和极端情况时存在的严重脆弱性。

其次，在能源安全方面，南亚地区面临着严峻挑战。该地区超过能源消费依赖进口⁵⁸，主要

包括液化天然气、石油和煤炭等关键能源产品。这种高度的对外依存度使得南亚国家在国际能源市场波动时显得尤为脆弱，进一步加剧了其能源安全风险。

南亚地区能源可靠性问题的双重困境——内部电力系统的不稳定性和外部能源供应的依赖性——已成为制约该地区经济社会发展的重要瓶颈。这一状况亟需通过加强电网基础设施建设、提升能源储备能力和推动能源结构多元化等措施来加以改善。

图 4-10 展示了 2022 年南亚五国的能源可持续性得分情况及其全球排名。从整体表现来看，南亚国家的得分均低于世界平均水平，但内部存在明显差异。具体而言：

斯里兰卡、尼泊尔和印度的表现相对较好，

图 4-9 | 南亚地区各项指标得分

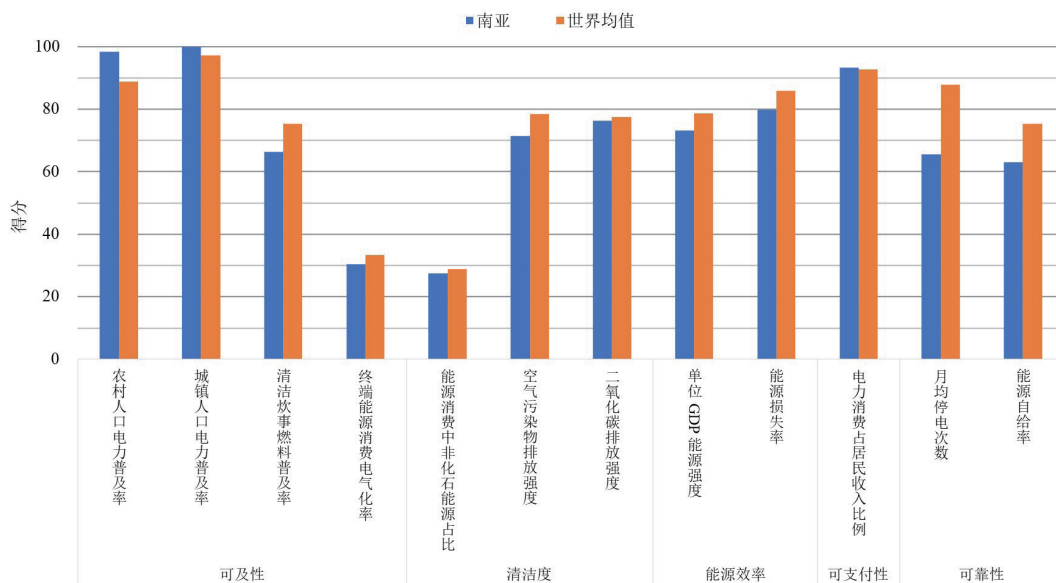


图 4-10 | 南亚地区各国 2022 年能源可持续性得分（图中数字为各国在 140 个国家中的排名）

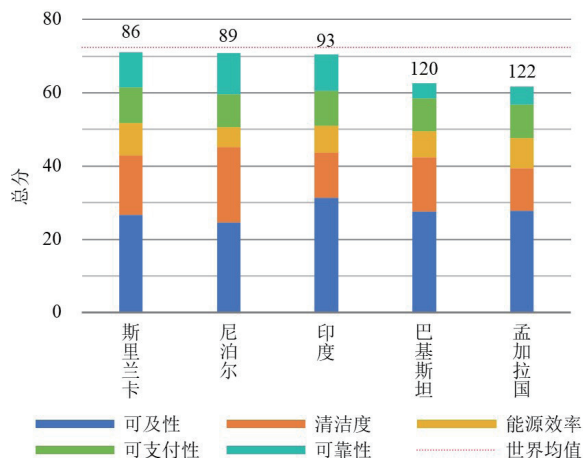
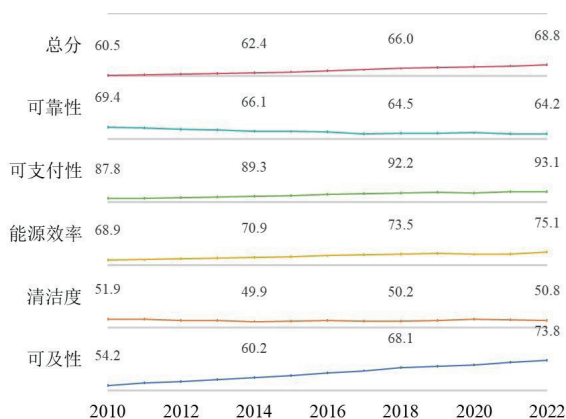


图 4-11 | 南亚地区 2010–2022 年能源可持续性得分



得分分别为 71.1 分、70.8 分和 70.6 分，与全球平均水平较为接近，分别位列全球第 86、89 和 93 名。其中，斯里兰卡凭借其在可支付性方面的突出优势，以及清洁度和能源效率的较好表现，使其综合得分略高于其他南亚国家。

相比之下，孟加拉国和巴基斯坦的表现差距较大，两国均排在 100 名之后。分析其具体维度表现可以发现：尼泊尔在能源效率方面表现最弱，

而巴基斯坦和孟加拉国则在可靠性维度上远逊于其他三个南亚国家。这些关键维度的短板直接影响了三国的整体排名，使其处于全球较低位置。

这一分析结果表明，虽然南亚地区整体能源可持续性水平有待提高，但各国面临的具体挑战各有侧重：斯里兰卡和印度需要在保持现有优势的同时进一步提升整体水平，而巴基斯坦和孟加拉国则亟需解决可靠性和能源效率等关键问题。

2010–2022 年间，南亚地区能源可持续性发展显著进步（图 4-11），总体得分从 60.5 分提升至 68.5 分，增幅达 13.2%，年均增长率 0.1%，这一增速在世界各地区中处于高位。深入分析表明，该地区能源可持续性的提升主要得益于能源可及性维度的突破性进展。

南亚地区能源可及性得分从 2010 年的 54.2 分跃升至 2022 年的 73.8 分，这一成就主要体现在：第一，农村电力普及率从 2010 年的 67.3% 大幅提升至 2022 年的 97.1%，使超过 3.6 亿农村人口获得电力供应；第二，清洁炊事燃料普及率从 25.3% 增长至 46.0%，意味着近半数人口已从传统生物质燃料转向使用液化石油气、天然气等清洁能源；第三，城市电力普及率和终端用能电气化率也取得显著改善。可以说，南亚地区在 2010–2022 年间实现的现代能源快速普及，堪称全球能源可及性领域最突出的成就。

该地区在可靠性和清洁度维度出现了一定程度的下降（图 4-12）。虽然可及性的提升部分抵消了这些负面影响，但南亚作为产业密集区域面临的能源挑战依然严峻。由于基础设施建设滞后，伴随能源系统（特别是电力系统）规模扩张，该地区化石能源需求激增，不仅加剧了能源安全问题，也制约了可持续性发展的整体水平。

未来南亚地区需要在以下方面协同推进：在确保电力系统稳定性持续改善的基础上，一方面要严格控制化石能源消费增长，另一方面要加快可再生能源替代进程。这种双轨并进的策略将产

生协同效应，有望同步提升能源清洁度和可靠性，为区域能源可持续发展注入新动力。

2010–2022 年间，南亚地区五个国家的能源可持续性均呈现增长趋势（图 4–13），但各国增长幅度存在显著差异。其中，孟加拉国和印度表现最为突出，分别实现了 14.0% 和 15.2% 的显著增长；尼泊尔以 6.6% 的增幅位居中游；相比之下，巴基斯坦和斯里兰卡的增长相对缓慢，增幅分别为 5.8% 和 4.1%。

从具体维度来看，这些国家表现出两个共同特征：一方面，能源可及性取得显著进步；另一方面，清洁度则出现下降。在可及性方面，孟加拉国以 63.5% 的增幅遥遥领先，印度和尼泊尔分别增长 37.4% 和 30.4%。这一提升主要得益于农村电力普及率的显著改善：孟加拉国农村电力普及率增长 59.3%，印度和尼泊尔均增长约

图 4–12 | 南亚 2010–2022 年能源可持续性各维度变化

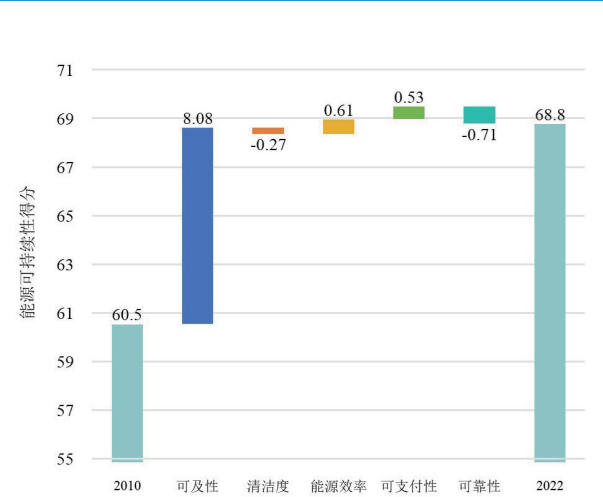
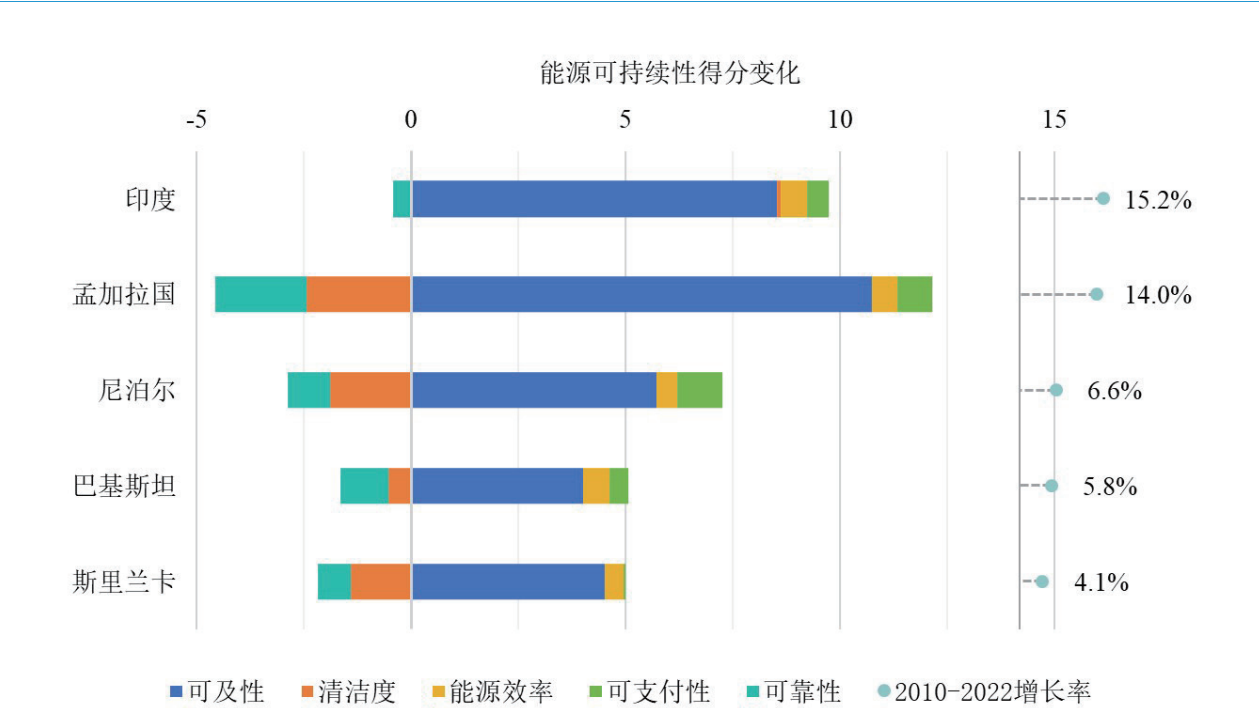


图 4–13 | 南亚地区各国 2010–2022 年能源可持续性得分变化和增长率



30%。此外，孟加拉国在电气化率方面的表现也优于地区平均水平，实现了 12.5% 的增长，远超南亚地区 6.0% 的平均水平。

然而，清洁度维度却呈现相反趋势。五个国家的清洁度均出现下滑，这主要归因于两个关键因素：非化石能源占比下降和 CO₂ 排放强度上升。经济和工业的快速发展，化石能源消耗持续增加，直接导致了清洁度的降低。

在能源效率方面，五个国家均取得进步，其中巴基斯坦以 9.5% 的增幅领先，斯里兰卡 5.1% 的增幅相对较小。可支付性方面也呈现普遍改善态势，这主要得益于两个因素：一是地区人均收入增长 34.3%，二是电价下降 5.3%。值得注意的是，尼泊尔的可支付性表现尤为突出，增长 13.4%，这主要得益于其电价大幅下降 22.0%，为地区最大降幅。而孟加拉国 9.8% 的可支付性增长则主要源于其显著的人均收入增长(78.7%)。

可靠性是唯一出现普遍下降的维度。南亚地区能源自给率下降 15.7%，加之该地区能源基础设施相对落后，使其成为全球最易受气候变化影响的区域之一。气温上升、极端天气事件频发以及水资源短缺等问题，导致大规模停电事故时有发生。此外，能源自给率的提升速度难以匹配快速增长的能源需求，这些因素共同导致了能源可靠性的降低。

为支撑南亚地区持续的经济增长，该地区的能源消耗量预计将保持稳定且显著的增长态势。这一趋势主要源于该地区产业密集化发展对大量稳定可靠能源供应的刚性需求，而目前这种需求仍高度依赖化石燃料⁵⁹。尽管发展可再生能源能够带来多重效益——包括减少碳排放、增强能源安全、创造就业机会以及改善公共健康——但其

推广仍面临诸多现实挑战，如高昂的初期投资成本、电网整合技术难题等，这些因素共同构成了南亚国家能源转型的重要障碍。

与此同时，提升能源效率对南亚地区发展同样具有战略意义。理论上，能源效率提升能够创造就业机会、助力减贫事业、改善能源获取条件并增强能源安全⁵⁹。然而在实践中，能源效率项目往往受制于较高的前期投入成本和较长的投资回收周期，这些经济因素严重制约了南亚地区能效提升措施的推广实施。这种两难局面凸显了南亚国家在平衡经济发展与能源转型过程中所面临的特殊挑战。

预计南亚地区 2030 年能源可持续性综合得分将达到 74.5 分（图 4-14），较 2010 年提升 14 分，年均增长率维持在 1.2% 的水平。然而，这一增长速度仍难以满足 2030 年可持续发展目标的要求，凸显出该地区能源转型面临的严峻挑战。从各维度来看：

与 2010 年相比，可及性预计实现 60.8% 的显著增长，2030 年得分可达 87.2 分。但必须指出的是，该地区 2022 年清洁炊事燃料普及率（20.8%）和电气化率（6.0%）仍远低于北美和欧洲等高收入国家水平，表明这一领域仍存在巨大的提升空间。

清洁度预计将出现 2.4% 的下降，这主要源于南亚地区经济增长与能源需求激增的结构性矛盾。以印度为例，作为区域主体国家，其燃煤发电需求持续攀升，2020 年二氧化碳排放量已占全球总量的 7.1%⁶⁰。值得注意的是，2010–2022 年间该地区非化石能源占比已下降 0.7%，而化石能源占比的持续上升直接拉低了区域能源清洁度水平。

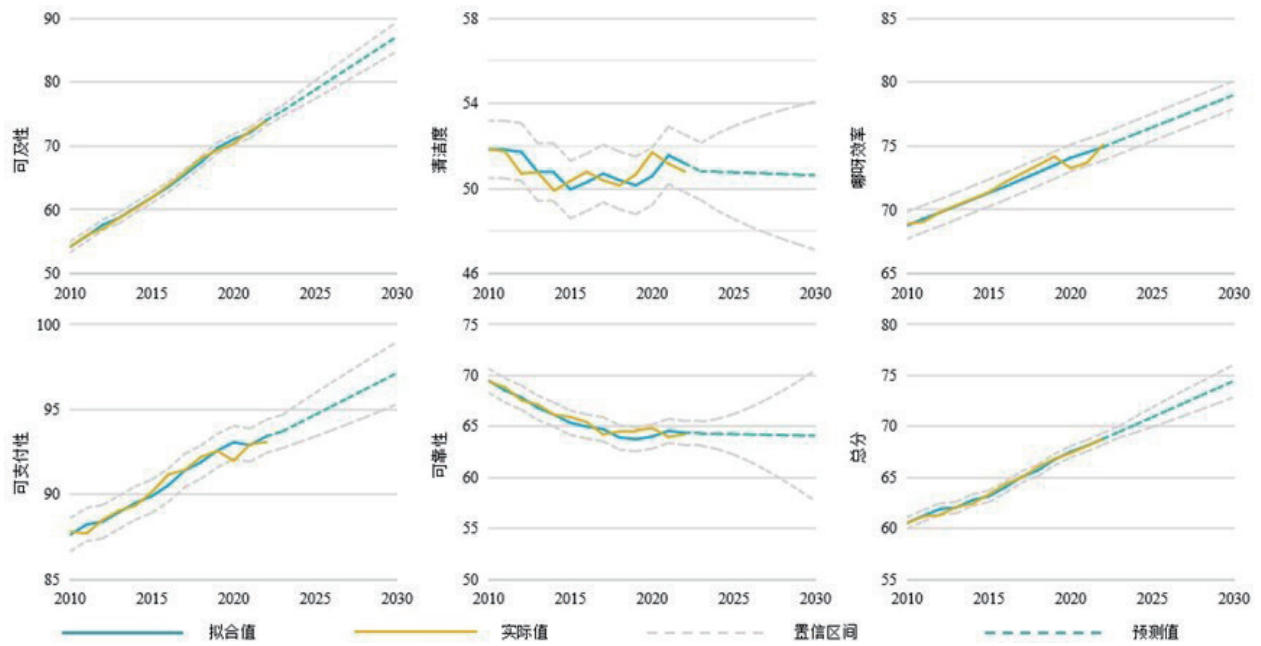
能源效率预计实现 14.7% 的提升，这主要得益于能源强度（预计 2030 年降至 7.9 兆焦耳/美元）和能源损失率（预计降至 1.8%）的持续优化。同时，可支付性也将提升 10.6%，区域内五国电价趋于稳定，加之居民收入增长，预计 2030 年电力消费占居民收入比例将降至 2.9%。

可靠性预计将下降 20.6%，这一令人担忧的趋势主要归因于两个关键因素：持续降低的能源

自给率和频繁的大规模停电事故。这一现状凸显出加快电力基础设施升级改造、加大对可再生能源投资建设的紧迫性，这对保障区域电力供应稳定性具有决定性意义。

总体而言，南亚地区能源可持续发展面临机遇与挑战并存的局面，需要在保持经济增长的同时，重点解决能源清洁转型和电力系统可靠性等关键问题。

图 4-14 | 2030 年南亚地区不同维度得分预测（虚线代表 2022 年后预测值）



4.3 中东与北非

Middle East and North Africa

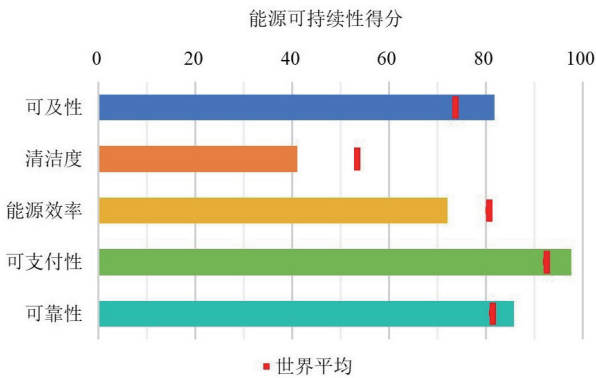


本研究共纳入 16 个中东与北非国家进行分析，16 个国家总人口达 4.3 亿，约占全球人口总量的 5.4%。从经济发展水平来看，2022 年该地区占全球 GDP 的 4.1%，人均 GDP 为 8,582 美元，高于世界平均水平。然而，地区内部经济发展存在显著不平衡性：一方面，以色列、巴林和沙特阿拉伯等国家人均 GDP 超过 2 万美元；另一方面，伊拉克和利比亚等国人均 GDP 仅维持在 4,000–6,000 美元区间。

在能源可持续性表现方面，中东与北非地区 2022 年总体得分为 72.8 分，与 2030 目标相比实现了 89.1%，在全球 7 个地区中排名第 5 位。进一步分析其五个维度的表现发现：该地区在能源清洁度（排名第 7 位）和能源效率（排名第 7 位）

两个维度上低于世界平均水平；而在能源可及性（排名第 4 位）、可支付性（排名第 3 位）和可靠性（排名第 5 位）三个维度上则表现优异，均高于世界平均水平。

图 4-15 | 中东与北非地区各维度能源可持续性得分



可及性

中东与北非地区在农村电力普及率、城镇电力普及率和清洁炊事燃料普及率三个指标上都超过了 94.0%，基本实现了电力和炊事燃料的普及。

该地区的电气化率较低，进一步提升电气化率将是中东与北非地区下一阶段能源可及性方面的重点。

清洁度

中东与北非地区是全球 7 个地区中能源清洁度最差的地区，主要原是因为该地区极低的非化石能源占比（2.1%）。中东与北非地区拥有良好的油气资源禀赋，是全球最主要的石油与天然气生产与出口地区，这一方面意味着化石能源在这一地区具有较大的成本优势，另一方面也使得大部分中东与北非国家的经济严重依赖油气生产和出口，实施能源转型所需要克服的惯性更大。从另一方面来

说，中东与北非地区是面对气候变化最为脆弱的地区之一，利用该地区丰富的风光资源摆脱油气依赖既可以避免经济在全球化石能源需求下降带来的影响，也有助于减缓气候变化对地区带来的负面影响。因此，如何克服化石能源依赖的惯性，实现能源的清洁转型，对于中东与北非地区来说将是其未来能源战略的核心议题。

能源效率

中东与北非地区单位 GDP 的能源强度为 11.0 兆焦耳/美元,是世界平均值 4.7 兆焦耳/美元的 2.4 倍,高于除南亚和撒哈拉以南非洲以外的其他地区。中东与北非能源损失率高达 2.2%,高于世界平均水平。中东与北非的能源效率问题有多方面的原因,包括该地区广泛存在的化石能源补贴、经济结构中的重工业(特别是化工)依赖,以及制冷和

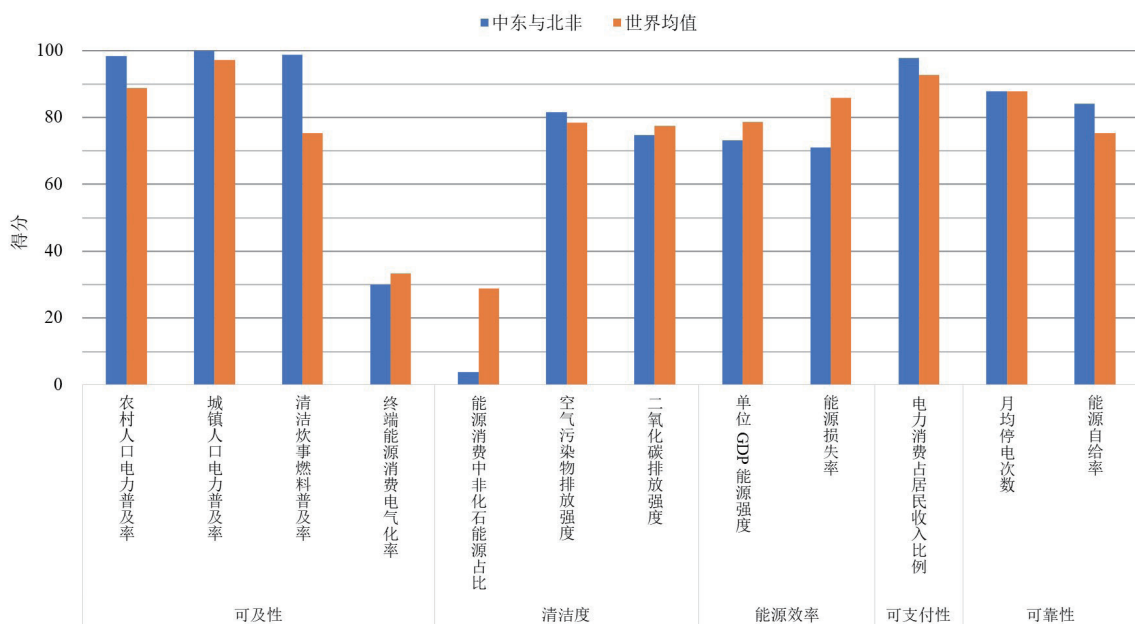
海水淡化带来的额外能源需求等。随着人口增长、经济发展以及气候变化影响的加剧,中东与北非地区未来的能源需求将会进一步上升。因此,需要通过削减化石能源补贴、推广能效提升措施和调整经济结构等手段提高能源效率,以确保能源转型的实现⁶¹。

可支付性

中东与北非地区的电费支出负担为居民平均收入的 1.4% 左右,低于 2.1% 的世界平均值。大部分国家的电价较低,电费支出负担在 2.0% 以下,只有伊拉克,约旦,黎巴嫩,摩洛哥,突尼斯由于

居民收入较低,电费支出负担达到了 2.0% 以上。整体来说,中东与北非地区的能源可支付性较好,能源支出负担较重的问题主要出现在少数经济欠发达国家。

图 4-16 | 中东与北非各项指标得分



可靠性

作为主要的油气资源出口地区，中东与北非地区的能源自给率得分为 84.1，高于世界平均水平 and 大部分其他地区。从月均停电次数来说，中东与北非地区的表现与世界平均水平近乎持平，地区内的伊拉克、利比亚、伊朗等国表现较差，电力系统稳定性有待提升。

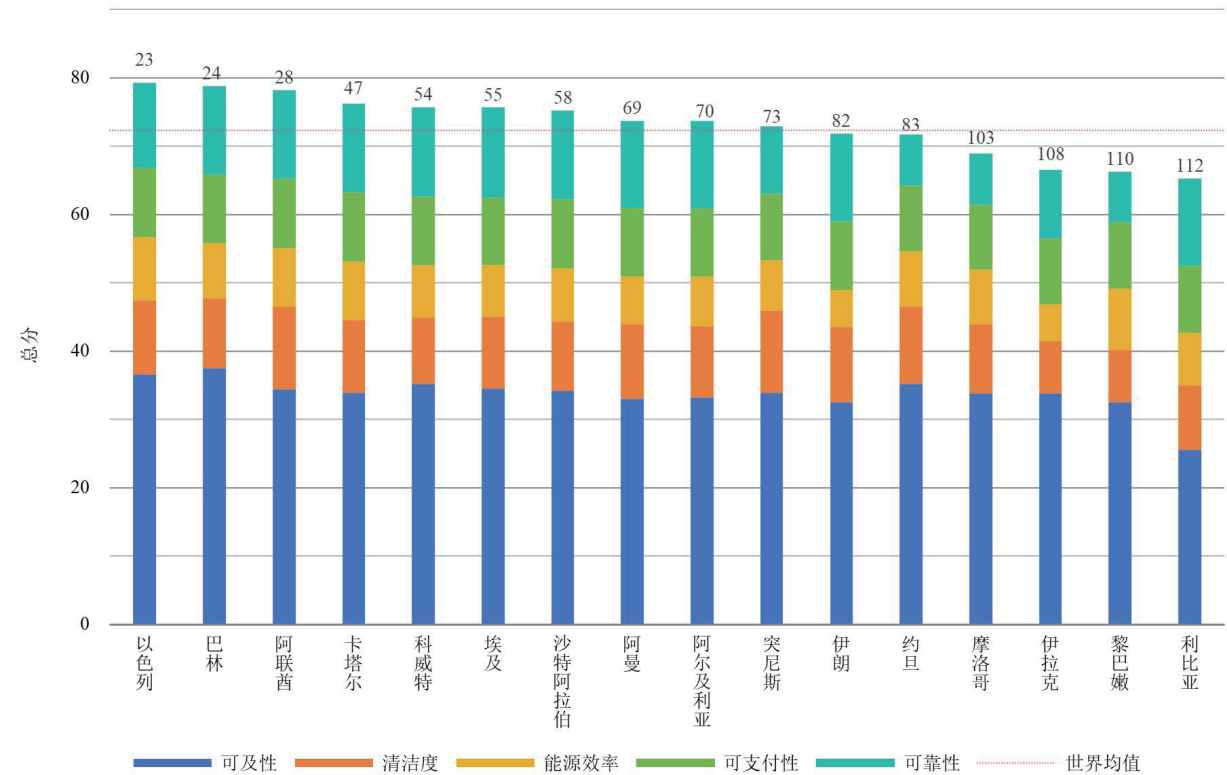
图 4-17 清晰呈现了中东与北非地区 16 个国家 2022 年的能源可持续性得分分布情况。从整体表现来看，该地区国家呈现出明显的两极分化特征：在 16 个国家中，有 10 个国家的得分高于世界平均水平，显示出相对较好的能源可持续发展水平。其中，以色列以 79.3 分的优异成绩位

居全球第 23 位，成为该地区的领跑者；巴林、阿联酋和卡塔尔等国紧随其后，同样表现突出。

然而，该地区也存在明显的短板。利比亚以 65.3 分的低分在全球排名中位列第 112 位，成为该地区表现最差的国家，其能源可及性方面的严重不足是导致得分偏低的主要原因。此外，黎巴嫩和伊拉克两国由于在能源清洁度维度上的薄弱表现降低了它们的整体排名。

中东与北非地区的能源可持续性在 2010–2022 年间变化不大（图 4-18），呈现缓慢的上升趋势，在 2011 年出现负增长，2012 至 2022 年保持正向增长。2010–2022 年间，中东与北非

图 4-17 | 中东与北非各国 2022 年能源可持续性得分（图中数字为各国在 140 个国家中的排名）



地区的能源可持续性得分由 71.8 上升到 72.8，增长幅度为 1.4%，年均增长率为 0.1%。

在中东与北非的能源可持续性增长中，可靠性的贡献最为显著，其次是可及性和清洁度，能源效率下降较为明显（图 4-19）。16 个国家中仅埃及、摩洛哥和突尼斯能源自给率下降，其余国家能源自给率上升是可靠性上升的重要原因。

可及性上升主要是因为阿联酋、沙特阿拉伯、

图 4-18 | 中东与北非 2010–2022 年能源可持续性得分

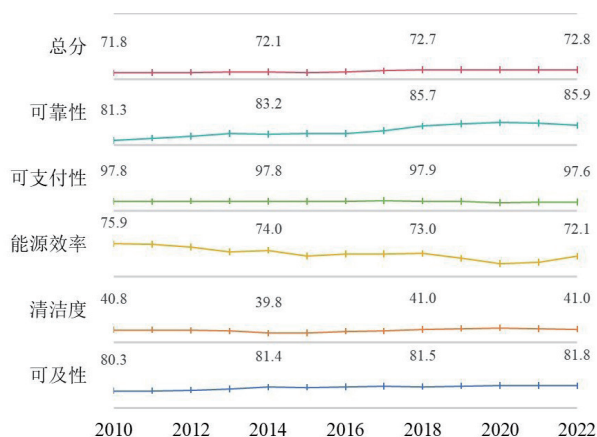
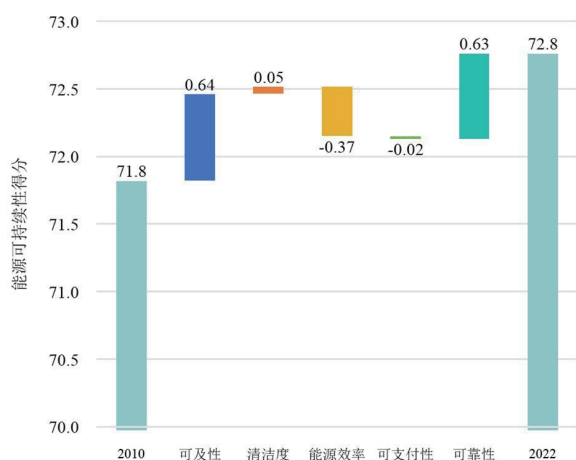


图 4-19 | 中东与北非 2010–2022 年能源可持续性各维度变化



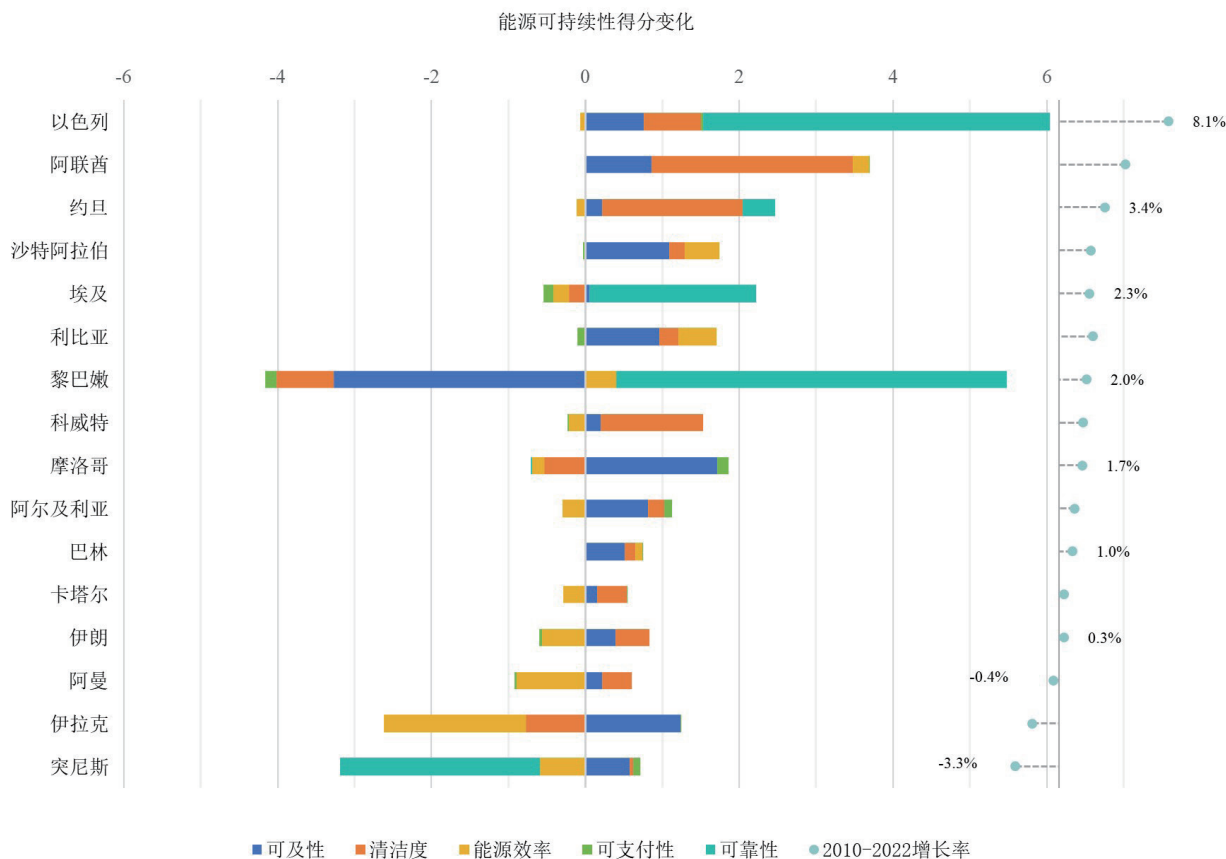
利比亚、以色列电气化率的上升（4.0%）和黎巴嫩、摩洛哥农村电力普及率的提高（> 4.0%），使该地区整体的电气化率和农村电力普及率分别增长了 1.6% 和 0.8%；在清洁度上，中东与北非国家的非化石能源比例在 2010–2022 年间增长了 1.0%，空气污染物中 SO₂ 排放强度下降了 16.8%，CO₂ 排放强度下降了 10.7%，是清洁度升高的主要原因；能源效率方面，能源强度上升（4.4%）和能源损失上升（2.6%）是能源效率出现下降的主要原因。

整体上看，中东与北非地区在 2012–2022 年间能源可持续性上升与世界平均水平差距不大，主要来自能源可靠性、可及性和清洁度的上升，在能源效率和可支付性维度方面表现不佳（图 4-19）。

根据 2010–2022 年的数据，中东与北非地区 16 个国家的能源可持续性表现呈现显著差异（图 4-20）。其中，以色列展现出最为突出的进步，其能源可持续性得分提升了 8.1%，这一增长主要得益于可靠性 56.7% 的大幅提升。以色列的能源自给率实现了 65.3% 的显著增长，为其可靠性改善提供了关键支撑。与以色列类似，埃及和黎巴嫩也在可靠性方面取得显著进展，分别实现了 19.7% 和 217.0% 的提升。值得注意的是，这两个国家的进步主要源于电力系统稳定性的改善，表现为停电次数的大幅减少。然而，黎巴嫩的情况较为特殊，作为该地区唯一出现能源可及性下降的国家，其电气化率下降了 22.3%，尽管农村和城市电力普及率以及清洁炊事燃料普及率保持相对稳定。

相比之下，阿曼、伊拉克和突尼斯三个国家则经历了能源可持续性的明显倒退。其中，伊拉克的能源效率显著恶化，能源强度下降 8.5%；

图 4-20 | 中东与北非地区各国 2010–2022 年能源可持续性得分变化和增长率



突尼斯则面临能源可靠性的大幅下滑，其能源自给率下降了 36.7%。这些数据反映出中东与北非地区各国在能源转型进程中面临着不同的挑战和机遇。

这种区域内部的差异性表现主要源于各国能源政策、资源禀赋和发展重点的不同。以色列通过提高能源自给率实现显著进步，而埃及和黎巴嫩则通过改善电力系统稳定性取得进展。相反，伊拉克和突尼斯的能源系统效率问题凸显了该地区能源转型面临的共同挑战。

中东与北非地区 2030 年的能源可持续性综合得分预计将达到 73.5 分（图 4-21），较 2010

年仅提升 1.7 分。这一增长表现为 0.1% 的年均增长率，增长速度较为缓慢，距离 2030 年可持续发展目标仍存在较大差距。从具体维度来看：

在可及性方面，预计 2030 年得分将达 83.0 分，较 2010 年增长 3.4%。这一缓慢提升主要得益于清洁炊事燃料普及率和电气化率的改善，但值得注意的是，该地区电气化率预计仅从 2010 年的 20.1% 提升至 2030 年的 22.7%，增速明显滞后，成为制约可及性进一步提升的关键瓶颈。

清洁度指标预计将实现 1.7% 的增长，2030 年得分达 41.5 分，预计非化石燃料占比从 3.0% 提升至 4.7%，以及二氧化碳排放强度降低

17.8% 的积极影响。然而，该地区对化石能源的严重依赖（当前化石能源在电力结构中占比高达 94.0%⁶²）仍是制约清洁度提升的根本障碍，导致其二氧化碳排放强度持续高于全球平均水平。

可靠性维度预计 2030 年得分将达 80.9 分，较 2010 年降低 0.5%。以色列、黎巴嫩和约旦等国家能源自给率的快速提升抵消了能源强度上升和能源损失率增加。

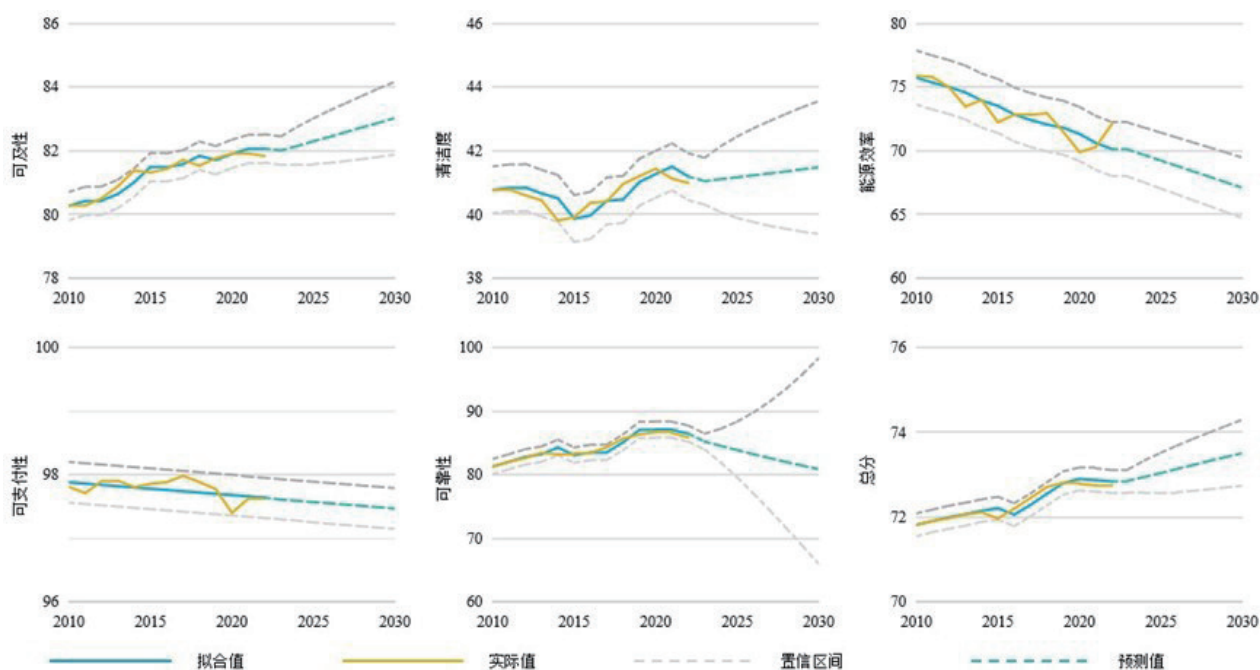
能源效率则呈现令人担忧的下降趋势，预计 2030 年将较 2010 年降低 11.6%，得分为 67.1 分。这一倒退主要源于能源消费结构的固有问题以及

能效技术应用的滞后。

可支付性方面表现相对稳定，2030 年预计得分为 97.5 分，与 2010 年基本持平。这一良好表现主要得益于该地区丰富的能源储备带来的价格优势。

中东与北非地区要实现能源可持续发展目标，亟需在以下关键领域实现突破：加速可再生能源开发利用（特别是丰富的太阳能和风能资源）、大幅提升电气化进程、持续优化能源消费结构、以及加强能源效率管理⁶³。

图 4-21 | 2030 年中东与北非地区不同维度得分预测（虚线代表 2022 年后预测值）



4.4 东亚与太平洋

East Asia and Pacific

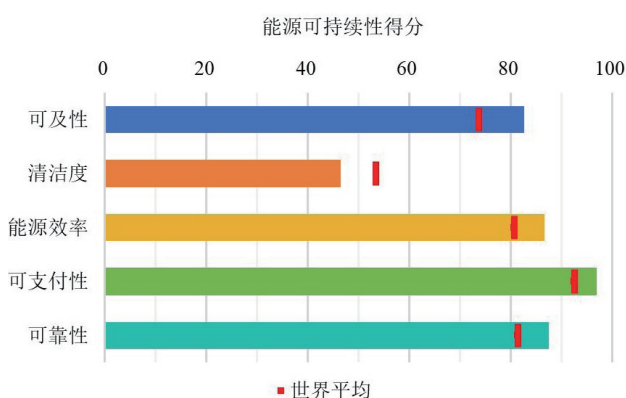


东亚与太平洋地区的 16 个国家 2022 年共有人口 22.1 亿，是 7 个地区中人口最多的，占全球人口的 27.6%，其中中国、印度尼西亚、日本、菲律宾四个国家的人口总数超过了 1 亿。2022 年该地区占全球 GDP 的 30.6%，人均 GDP 为 12,003 美元，高于世界平均值，但地区内部各个国家的经济水平差异巨大，既有日本、韩国、澳大利亚、新西兰、新加坡等发达国家，也有柬埔寨、老挝这样的最不发达国家，以及位于其间的中等收入国家。

东亚与太平洋地区 2022 年的能源可持续性总分为 76.1 分（图 3-4a），与 2030 目标相比实现了 93.1%，在全球 7 个地区中位居第 4。从能源可持续性的 5 个维度来看，东亚与太平洋地区的可及性、能源效率、可支付性可靠性优于世

界平均水平，在各地区中分别位于第 4、第 2、第 4 和第 3 名。东亚与太平洋地区在清洁度上的表现较差，在各地区中位于第 6 位，仅高于中东与北非地区。

图 4-22 | 东亚与太平洋地区各维度能源可持续性得分



可及性

东亚与太平洋地区的农村电力普及率达到了 96.0% 以上，城镇电力普及率达到了 99.0% 以上，基本上实现了电力的普及，仅在部分国家（柬埔寨、缅甸、菲律宾）的农村地区还存在着一定比例的供电缺口（图 4-23）。东亚与太平洋地区清洁炊事燃料的普及率达到了 79.6%，其中菲律宾、緬

甸、蒙古、老挝和柬埔寨低于这一平均值；电气化率达到了 24.1%，仅次于欧洲与中亚和北美地区。总体来说，东亚与太平洋地区的能源可及性较高，目前存在的问题主要集中在该地区发展较为滞后的国家。

清洁度

清洁度是东亚与太平洋地区能源可持续性的短板。东亚与太平洋地区的非化石能源占比为 4.1%，空气污染物和 CO₂ 排放强度均为各地区中的最高值，显著高于世界平均水平。较低的可

再生能源占比决定了东亚与太平洋地区能源清洁度的低得分，而以煤为主的化石能源结构也进一步加剧了能源清洁度问题。以其中的代表性国家中国为例，其 2020 年一次能源消费中有 83.5%

为化石能源消费，化石能源消费中又有超过 2/3 是煤炭消费。尽管中国等国家已经在通过提高末端控制水平等手段来减少燃煤的环境影响⁶⁴，其带来的污染物排放和碳排放仍然显著高于天然气。

从另一个角度来说，这也意味着利用可再生能源替代化石能源对于东亚与太平洋地区能源清洁化的收益更高。

能源效率

东亚与太平洋地区的单位 GDP 能源强度为 5.6 兆焦耳/美元，高于世界水平 4.7 兆焦耳/美元；地区中经济发展较快的国家，如澳大利亚、新西兰、日本和新加坡，能源强度明显低于其他国家。仅

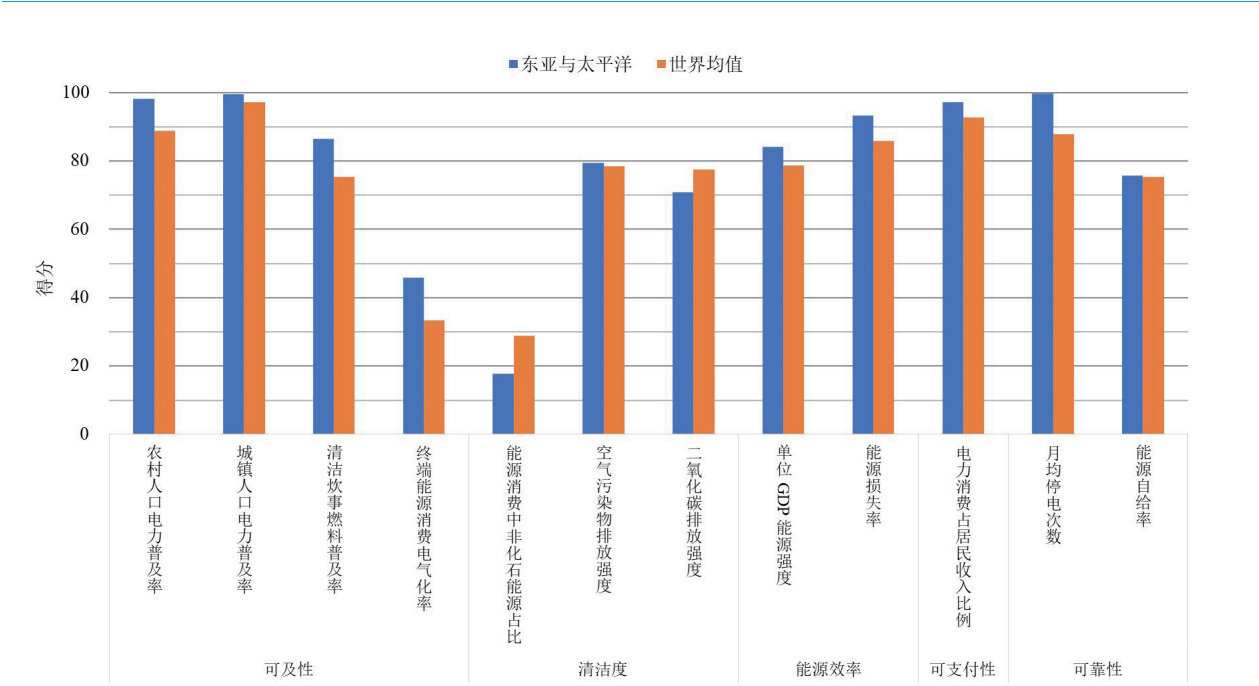
0.9% 的能源损失在了分配、传输和运输环节。对于东亚与太平洋地区来说，能源效率进一步提高的潜力主要在于提升地区内发展中国家的用能效率。

可支付性

按每年人均电力消费 1000 千瓦时计算，东亚与太平洋地区的用电家庭平均有 2.6% 的可支

配收入用在电费支出上（图 4-23），与世界平均水平差距不大。东亚与太平洋地区的发达国家人

图 4-23 | 东亚与太平洋地区各项指标得分



均收入较高，而发展中国家的电力价格一般都低于世界平均水平（如中国和印度尼西亚），使得该地区电力支出造成的家庭经济负担较轻。特别

地，对于柬埔寨和缅甸两个国家，需要关注其人均收入较低造成的电力可支付性问题。

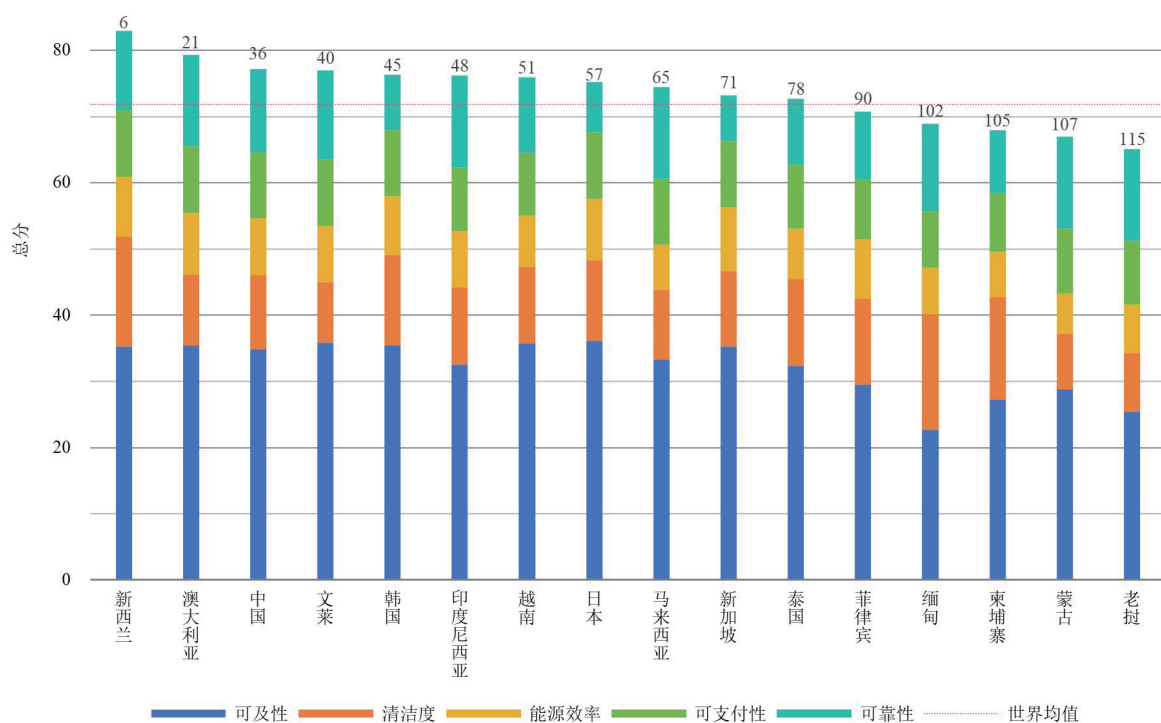
可靠性

东亚与太平洋地区的电力稳定性明显高于世界平均水平，除了文莱、柬埔寨和缅甸三个国家外，其他国家的月均停电次数均低于 0.4 次。在能源安全方面，地区平均的能源自给率为 74.6%，略低于世界平均水平。日本、韩国和新加坡三个国家的能源安全问题尤其突出，其能源需求均有 80% 以上依赖于进口；越南、菲律宾、柬埔寨和泰国四个东南亚国家的能源自给率在 40%–60% 之间；中国的能源自给率为 79.9%，其中 77.4%

的原油依赖于进口，考虑到中国能源消费量和能源进口量之大，中国的能源安全挑战同样严峻。

图 4-24 展示了东亚与太平洋 16 个国家在 2022 年的能源可持续性得分。11 个国家高于世界平均值，5 个国家低于世界平均值。表现最好的新西兰得到了 82.9 分，位于所有国家中的第 6 位，明显高于地区中的其他国家，主要源于其能源清洁度方面的突出表现，非化石能源占比达到了 45.1%。相比之下，柬埔寨、老挝、蒙古和缅甸等

图 4-24 | 东亚与太平洋地区各国 2022 年能源可持续性得分（图中数字为各国在 140 个国家中的排名）



国的能源可持续性表现欠佳。尤其是东南亚的柬埔寨、老挝和缅甸，在能源可及性方面仍存在显著不足。而蒙古则在能源效率和能源清洁度上均为地区最低，这严重影响了其能源可持续性的整体评分。

东亚与太平洋地区的能源可持续性在 2010–2022 年保持上升趋势，由 2010 年的 70.1 分上升到了 2022 年的 76.1 分，增长幅度为 8.6%，年均增长率为 0.7%，增长速度在各地区中仅次于南亚和撒哈拉地区（图 4–25）。

能源可及性的显著提升成为 2010–2022 年间东亚与太平洋地区能源可持续性发展的核心驱动力（图 4.26）。具体而言，2010–2022 年期间，该地区能源可及性指标整体提升了 16.7%，这一增长主要得益于三个关键领域的进步：农村电力普及率提高 14.3%，清洁炊事燃料普及率增长 16.0%，以及电气化率上升 5.6%。值得注意的是，柬埔寨、老挝、蒙古和缅甸四国表现尤为突出，其农村电力普及和清洁炊事燃料使用率的提升幅度最为显著。

除可及性外，该地区在能源效率和可支付性方面也取得了一定进展。与 2010 年相比，这两个维度得分分别实现了 8.4% 和 1.7% 的增长。能源效率的提升主要源于能源损失率的有效降低，以中国为例，中国的输配电损失率从 2010 年的约 6.5% 下降至 2022 年的约 3.7%，作为全球最大的能源生产和消费国，中国的进步对地区数据影响巨大。，电价的稳定以及居民人均收入的增长共同作用，提升了能源的可支付性，使得能源更加普及和可负担。

该地区在可靠性方面面临严峻挑战。与 2010 年相比下降了 3.3%，进一步分析发现，能源自给率的持续下滑是导致可靠性指标倒退的主要原因。

东亚与太平洋地区在能源可及性方面取得了

显著成就，但在能源需求持续增长、化石能源进口依存度不断攀升的背景下，可靠性下降所引发的能源安全问题正日益凸显。这一发展态势表明，该地区需要在保持可及性进步的同时，重点解决能源结构转型和供应安全保障等关键挑战，以实现更加均衡的可持续发展。

2010–2022 年间东亚与太平洋地区 16 个国家呈现出差异化发展轨迹（图 4–27）。其中，

图 4–25 | 东亚与太平洋地区 2010–2022 年能源可持续性得分

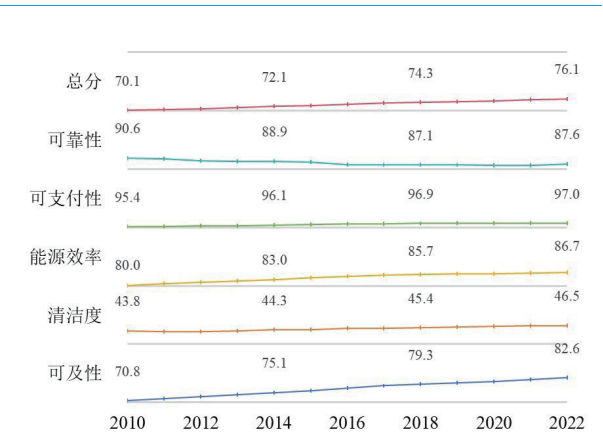
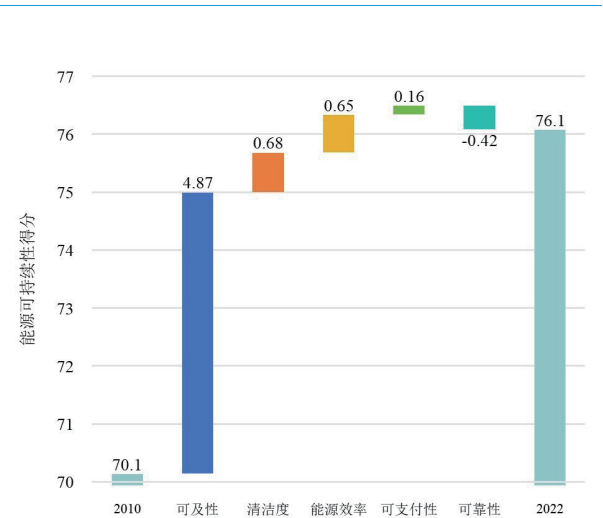


图 4–26 | 东亚与太平洋地区 2010–2022 能源可持续性各维度变化



柬埔寨和蒙古表现最为突出，实现了能源可持续性的显著提升，紧随其后的是印度尼西亚、中国和缅甸。这些国家的进步主要源于能源可及性的改善：缅甸、蒙古和柬埔寨的农村电力普及率实现了 30%–70% 的跨越式增长；同时，柬埔寨、中国、缅甸、越南和印度尼西亚的清洁炊事燃料普及率也提升了 30%–50%。值得注意的是，到 2022 年，该地区仅剩柬埔寨和缅甸两国的农村电力普及率仍低于 90%，标志着这一时期成为该地区部分国家快速摆脱能源贫困的关键转折点。

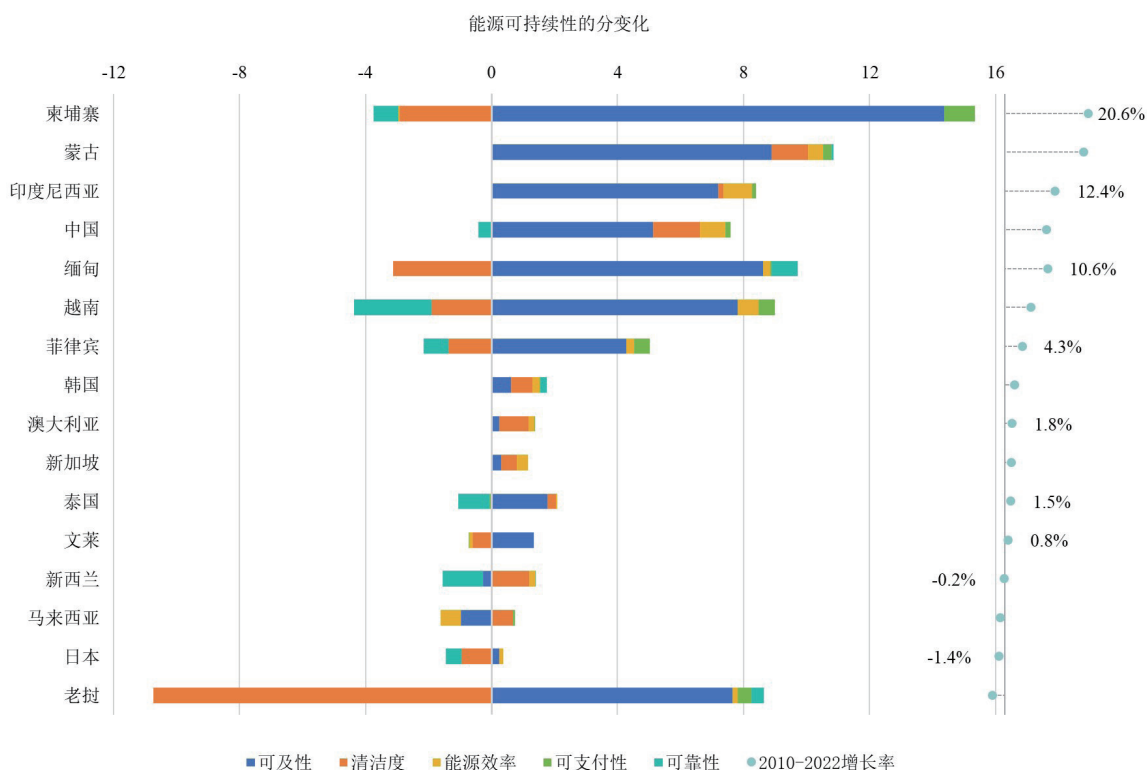
在取得进展的同时，部分国家在能源清洁度方面也实现了突破，这主要得益于可再生能源占比的显著提升。然而，区域内部发展并不均衡，新西兰、马来西亚、日本和老挝的能源可持续性

呈现下降趋势。日本虽然能源效率有所提升，但未能抵消清洁度和可靠性下降带来的负面影响。

老挝的案例尤为值得关注。尽管该国农村电力普及率提高了 41.4%，但同期污染物排放强度增长超过 100%，碳排放强度更是达到 2010 年的 4.4 倍。这一矛盾现象主要源于化石能源消费量的快速增长，充分证明单纯依赖化石能源的发展模式难以满足能源可持续转型的要求。这一发现为区域能源政策制定提供了重要启示：在提升能源可及性的同时，必须兼顾能源结构的清洁化转型。

东亚与太平洋地区 2030 年的能源可持续性综合得分预计将达到 80.1 分（图 4-28），较 2010 年提升 10.0 分。这一增长表现为 0.7% 的年均增长率，从具体维度来看：

图 4-27 | 东亚与太平洋地区各国 2010–2022 年能源可持续性得分变化和增长率



在可及性方面,预计2030年得分将达到90.6分,较2010年显著增长28.0%。值得注意的是,在农村电力普及率已处于较高水平(2022年达96.3%)的情况下,未来增长空间有限。因此,提升清洁炊事燃料普及率(目前该指标在所有地区中仅排名第5)将成为推动可及性进一步改善的重要关键。

预计到2030年,清洁度将比2010年提高11.2%。这一提升主要归功于可再生能源比例的不断增加。从2010年到2022年,东亚地区的可再生能源比例增长了2.1个百分点,其中中国在这一领域的进步尤为显著。作为该地区的人口大国,中国对于提升东亚整体清洁度起到了决定性的作用。

能源效率维度预计将实现10.8%的增长,2030年得分达88.7分。但这一改善幅度相对有限,主要因为能源损失率上升带来的负面影响部分抵消了能源强度降低(预计2030年仅为2010年的

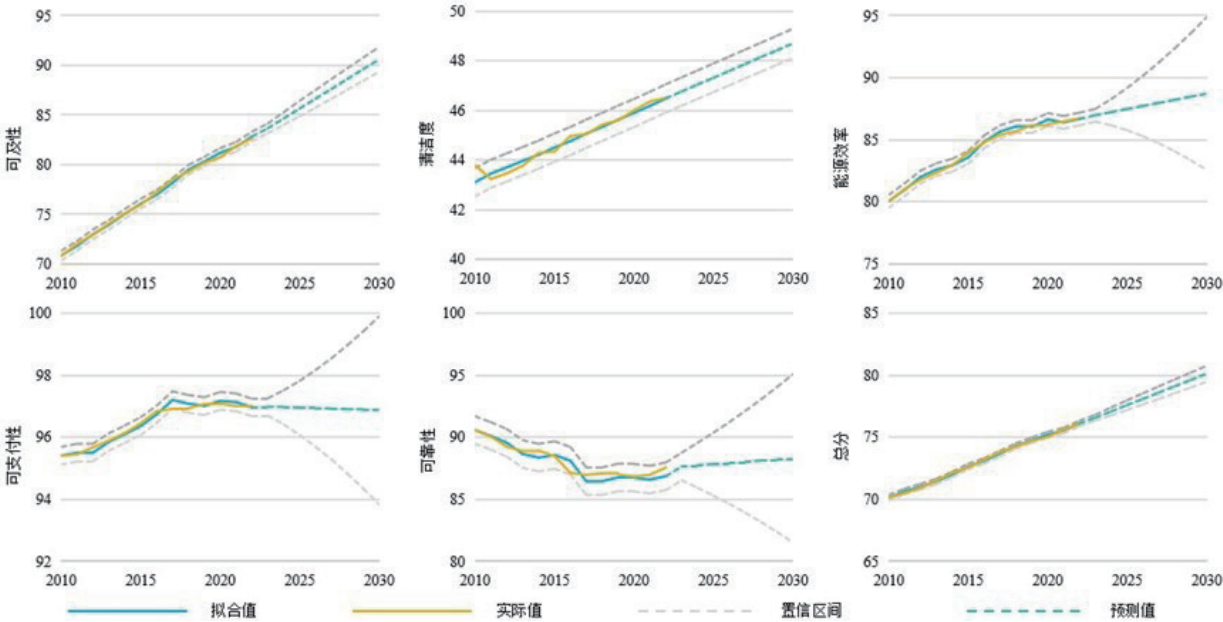
0.7倍)的积极贡献。

可支付性方面预计2030年得分为96.9分,较2010年小幅上升1.5%。分析表明,虽然2011–2014年间电价上涨,但居民收入增长仍是推动该指标改善的主要因素。在电价趋于稳定的情况下,未来进一步提高居民收入水平(预计2030年电力消费占居民收入比例将降至1.9%)将成为提升可支付性的关键途径。

可靠性维度预计2030年得分为88.3分,较2010年下降2.5%。这一下降主要受能源自给率持续走低(预计2010–2030年累计下降15.5%)的影响,而停电频率则保持相对稳定。

东亚与太平洋地区要实现更高质量的能源可持续发展,亟需在以下关键领域重点突破:有效控制空气污染恶化趋势、持续优化能源结构、进一步提升能源利用效率、以及保障能源供应安全。

图 4-28 | 东亚与太平洋地区不同维度得分预测 (虚线代表 2022 年后预测值)



4.5 欧洲与中亚

Europe and Central Asia

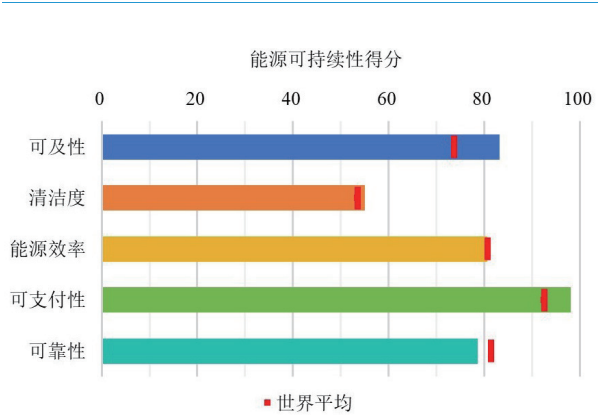


在 2022 年，欧洲与中亚地区的人口总数达到了 9.2 亿，占全球人口总数的 11.5%。该地区内，西欧国家大多为发达国家，而东欧及中亚地区则主要是由发展中国家构成。2022 年，这一地区在全球 GDP 中的占比为 25.6%，人均 GDP 达到了 25,206 美元，远高于世界平均水平。该地区共有 47 个国家被纳入评价范围。

欧洲与中亚地区 2022 年的能源可持续性总分为 76.8 分（图 3-4a），与 2030 目标相比实现了 94.0%，在全球 7 个地区中排在第 3 位。从能源可持续性的 5 个维度来看，欧洲与中亚地区在可及性、清洁度、能源效率和可支付性上均高于世界平均水平（图 4-29），其中可及性、清洁

度、能源效率和可支付性都位于世界各地区中的第 2、3、4 和第 2 位。可靠性则低于世界平均水平，位于各地区中的第 6 位，仅高于南亚地区。

图 4-29 | 欧洲与中亚地区各维度能源可持续性得分



可及性

欧洲与中亚地区的农村和城镇电力普及率都达到了 100%，清洁炊事燃料普及率达到 95.5%，实现了现代能源的普及。在电气化率上，欧洲与中亚地区为 24.9%，高于世界平均水平，

其中北欧和西欧的电气化水平高于东欧。整体来说，欧洲与中亚地区的能源可及性较好，在电气化水平上存在着一定提升空间。

清洁度

欧洲与中亚地区非化石能源比例为 22.4%，区域内部的差异较大，北欧和西欧的非石化能源占比明显高于东欧和中亚地区。在污染物和碳排放强度上，欧洲与中亚地区均同样位于前列，其中碳排放强度同样呈现出了明显的北欧、西欧优

于东欧、中亚的特征，而空气污染物排放强度的地区内部差异不大。作为能源清洁度的领先地区，欧洲与中亚地区还需要进一步提高其可再生能源比例，以达成其国家、地区层面的目标并助力全球气候目标的实现。

▼ 能源效率

欧洲与中亚地区的能源损失率较高，平均有 2.5% 的能源损失在了分配、传输和运输环节。因此，对于欧洲与中亚地区，通过对能源基础设施

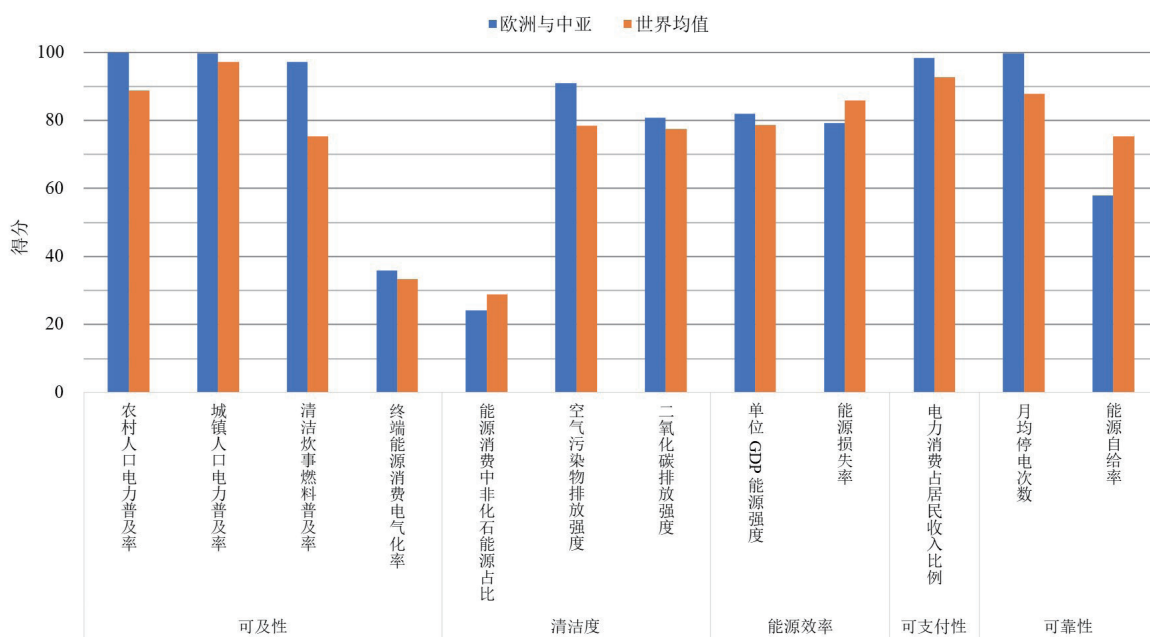
的升级改造和维护，改善能源分配效率，是一个提升能源效率表现的潜在选项。

▼ 可支付性

欧洲与中亚地区的能源可支付性较高，2022 年的电费支出仅占收入的 1.7%，但这一结果掩盖了地区的能源价格问题，特别是西欧和北欧的能源价格，明显高于世界的平均水平和地区中的其他国家。这一隐藏的危机在 2022 年初开始的俄乌冲突后出现了爆发：受到战争的影响，欧洲

地区的能源价格迅速上升，使得 2022 年的电费支出占为 2010–2022 年最高，欧洲家庭的生活成本上升了 7.0%⁶⁵。在这样的背景下，欧洲国家应利用政策手段将能源价格调控在合理范围内，并通过制定长期的能源发展战略保持能源价格的稳定。

图 4-30 | 欧洲与中亚地区各项指标得分



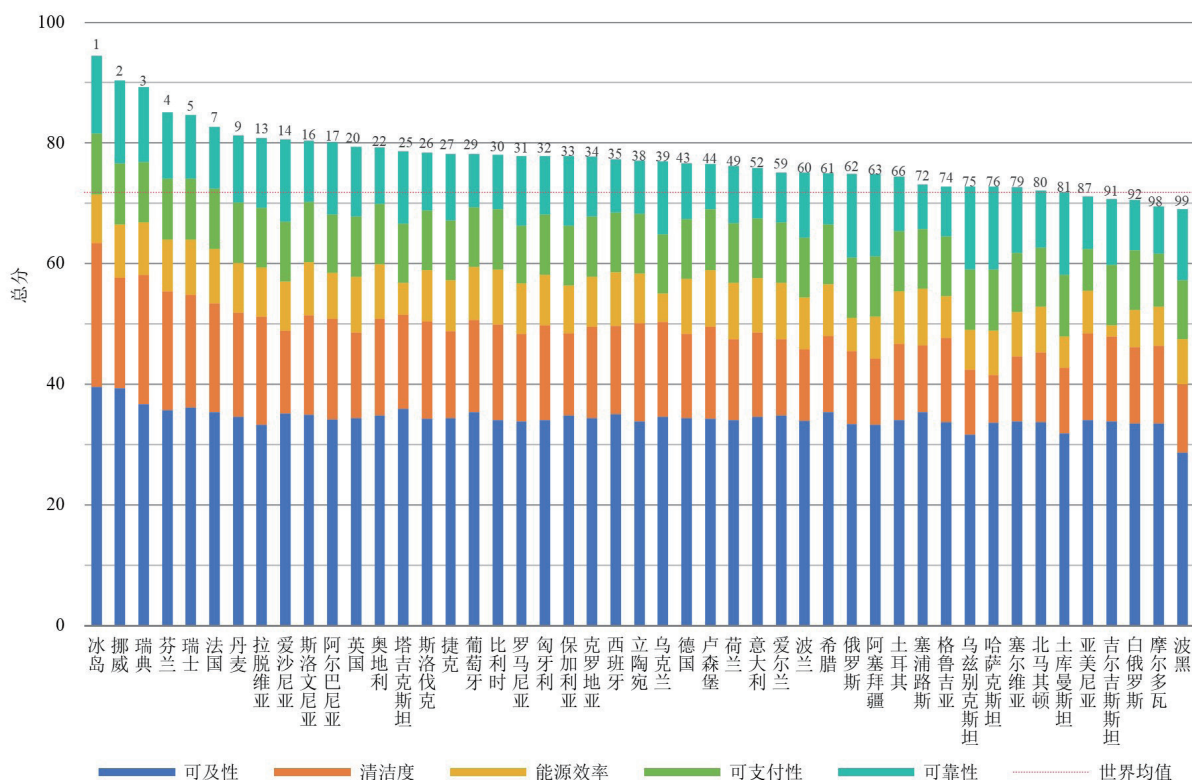
可靠性

欧洲与中亚地区的电力系统稳定性较好，其能源可靠性方面的问题主要体现在能源的高度进口依赖上。欧洲与中亚地区有 41.0% 的能源需求需要通过进口满足，以石油和天然气的进口为主。其中西欧国家的能源进口依赖现象最为严重，法国、德国、西班牙和意大利分别有 45.1%、63.3%、68.4% 和 74.4% 的能源消费来自于能源进口，而大部分的东欧和中亚国家作为能源出口国，基本不存在这一问题。在俄乌冲突之后，能源安全成为欧洲能源领域最为重视的话题，针对这一问题，根本性的解决途径是实现化石能源的

可再生能源替代，以此实现能源清洁化和能源安全的协同增效⁶⁶。

根据图 4-31 展示的数据分析，欧洲和中亚地区 47 个国家 2022 年的能源可持续性表现呈现明显的区域差异（图 4-27）。值得关注的是，亚美尼亚、吉尔吉斯斯坦、白俄罗斯、摩尔多瓦和波黑等国的得分均超过地区平均水平。深入分析发现，该地区的国家排名主要取决于能源清洁度指标：表现最为突出的北欧国家（包括冰岛、挪威、瑞典和芬兰）不仅位居地区前列，在全球 140 个国家中也名列前茅。这一优异表现主要得益于这

图 4-31 | 欧洲与中亚地区各国 2022 年能源可持续性得分（图中数字为各国在 140 个国家中的排名）

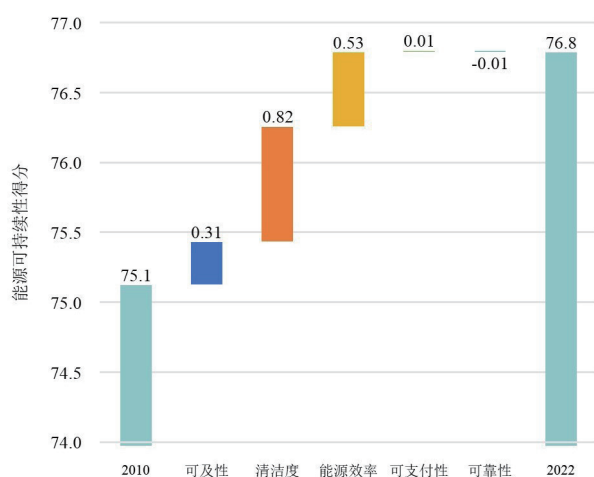


些国家非化石能源显著高于世界平均水平（19.0%），冰岛、挪威、瑞典和芬兰的非化石能源占比分别高达 88.3%、53.5%、75.7% 和 64.3%。相比之下，东欧和中亚国家表现相对落后，以哈萨克斯坦为例，虽然其在能源可及性、效率、可支付性和可靠性等维度与冰岛差距不大，但由于非化石能源占比仅为 1.9%，导致其整体排名处于地区末位。

图 4-32 | 欧洲与中亚 2010–2022 能源可持续性得分



图 4-33 | 欧洲与中亚 2010–2022 年能源可持续性各维度变化

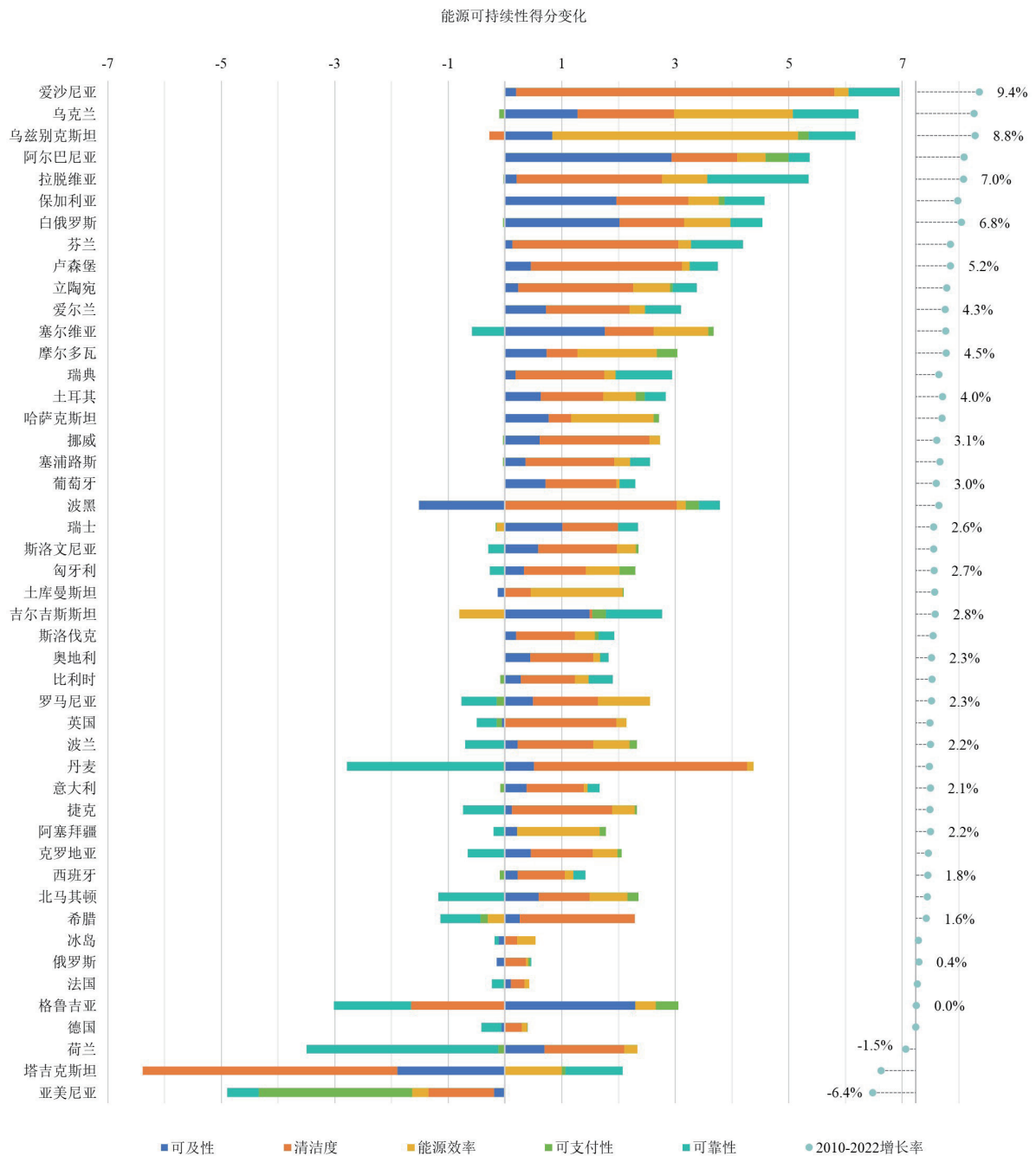


2010–2022 年间欧洲与中亚地区的能源可持续性得分保持稳定增长（图 4-32），从 75.1 分提升至 76.8 分，增幅 1.4%。这一增长主要得益于清洁度和能源效率的改善：非化石能源占比从 23.9% 提升至 29.8%，CO₂ 排放强度下降 12.6%，共同推动清洁度维度得分提升 6.3%。能源效率方面，单位 GDP 能源强度和能源损失率的下降共同推动了能源效率增长。然而，其他维度的进步相对有限。可及性指标仅因清洁炊事燃料普及率（+2.2%）和电气化率（+1.0%）的微弱增长而略有改善；可支付性和可靠性得分则与 2010 年持平，这主要是由于电价上涨的影响被居民收入增长所抵消，同时停电次数和能源自给率保持稳定所致。

总体而言，欧洲与中亚地区在 2010–2022 年间虽然保持了能源可持续性的稳步提升，但增长速度相对缓慢。清洁度和能源效率的改善成为主要推动力，而其他维度的进步幅度则较为有限，反映出该地区在能源转型过程中仍面临诸多挑战。

在欧洲与中亚地区的 47 个国家中（图 4-34），2010–2022 年间能源可持续性表现呈现一定的差异。其中，爱沙尼亚的进步最为突出，其能源可持续性得分提升了 9.4%，这一显著改善主要得益于清洁度和可靠性两个维度的同步提升。此外，芬兰、卢森堡、拉脱维亚、保加利亚和乌克兰等国的能源可持续性得分也由于清洁度的得分上升而有了很大改善。然而，另一方面，塔吉克斯坦、亚美尼亚和荷兰的能源可持续性表现却出现了下滑。其中，塔吉克斯坦的能源可持续性下降主要是由于 SO₂、NO_x 和 CO₂ 排放强度增加，以及非化石能源占能源总消耗量的比例下降所导致的。亚美尼亚的得分下降则主要是由于二氧化碳排放强度的上升。而荷

图 4-34 | 欧洲与中亚地区各国 2010–2022 年能源可持续性得分变化和增长率

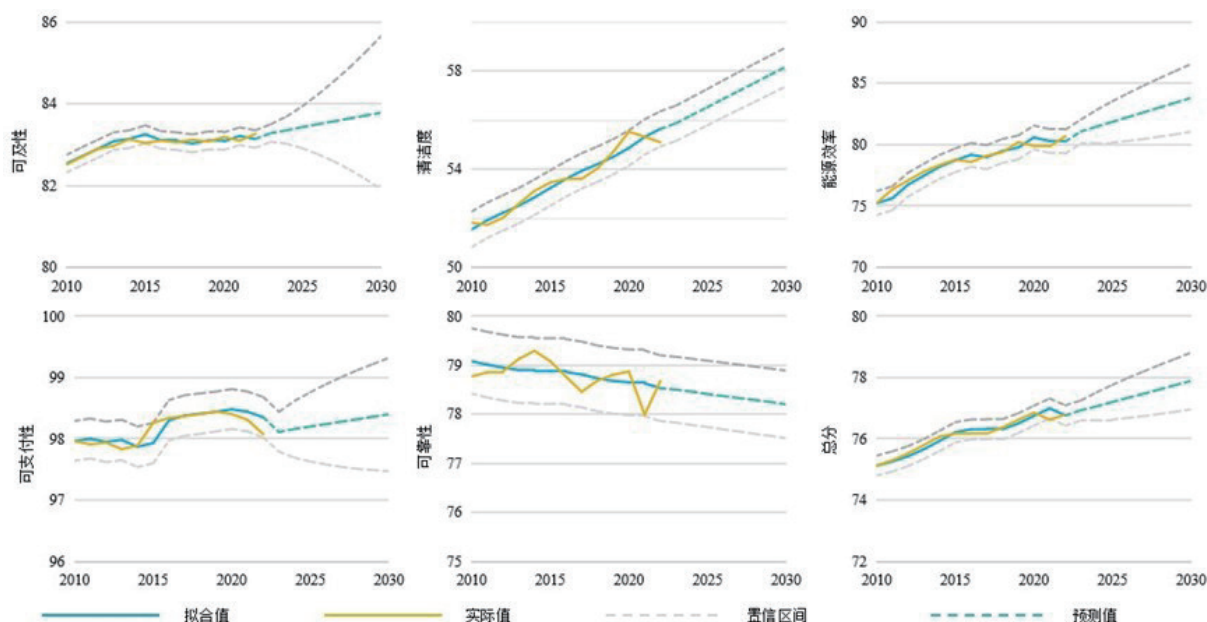


兰的能源可持续性下降主要是由于其能源供应的可靠性降低，其中能源自给率下降了 49.0%。

欧洲与中亚地区 2030 年的能源可持续性综合得分预计将达到 77.9 分（图 4-35），较 2010

年提升 2.8 分。这一增长表现为 0.2% 的年均增长率，保持了正向发展态势，但增速相对缓慢，反映出该地区能源可持续发展面临新的挑战。从具体维度来看：

图 4-35 | 2030 年欧洲与中亚地区不同维度得分预测（虚线代表 2022 年后预测值）



在可支付性方面，预计 2030 年得分将达到 84.5 分，较 2010 年增长 1.5%。尽管该地区农村和城镇电力普及率已达 100%，清洁炊事燃料普及率也达到 95.5% 的高水平，但终端电气化率仅为 25.0%，成为制约可支付性进一步提升的关键因素。未来亟需加快电气化普及进程，以充分释放可支付性维度的增长潜力

清洁度指标预计将实现显著提升，2030 年得分达 58.2 分，较 2010 年增长 12.3%。这一改善主要得益于非化石能源占比的持续增长，预计 2030 年将提升至 33.7%。值得注意的是，与撒哈拉以南非洲地区不同，欧洲与中亚地区的非化石能源结构中初级生物固体占比较低，属于现代可再生能源，在提高利用效率和减少环境影响方面具有明显优势。然而，当前占比水平仍有较大提升空间，继续优化能源结构将是未来清洁度增长的主要路径。

能源效率预计 2030 年得分为 83.8 分，较

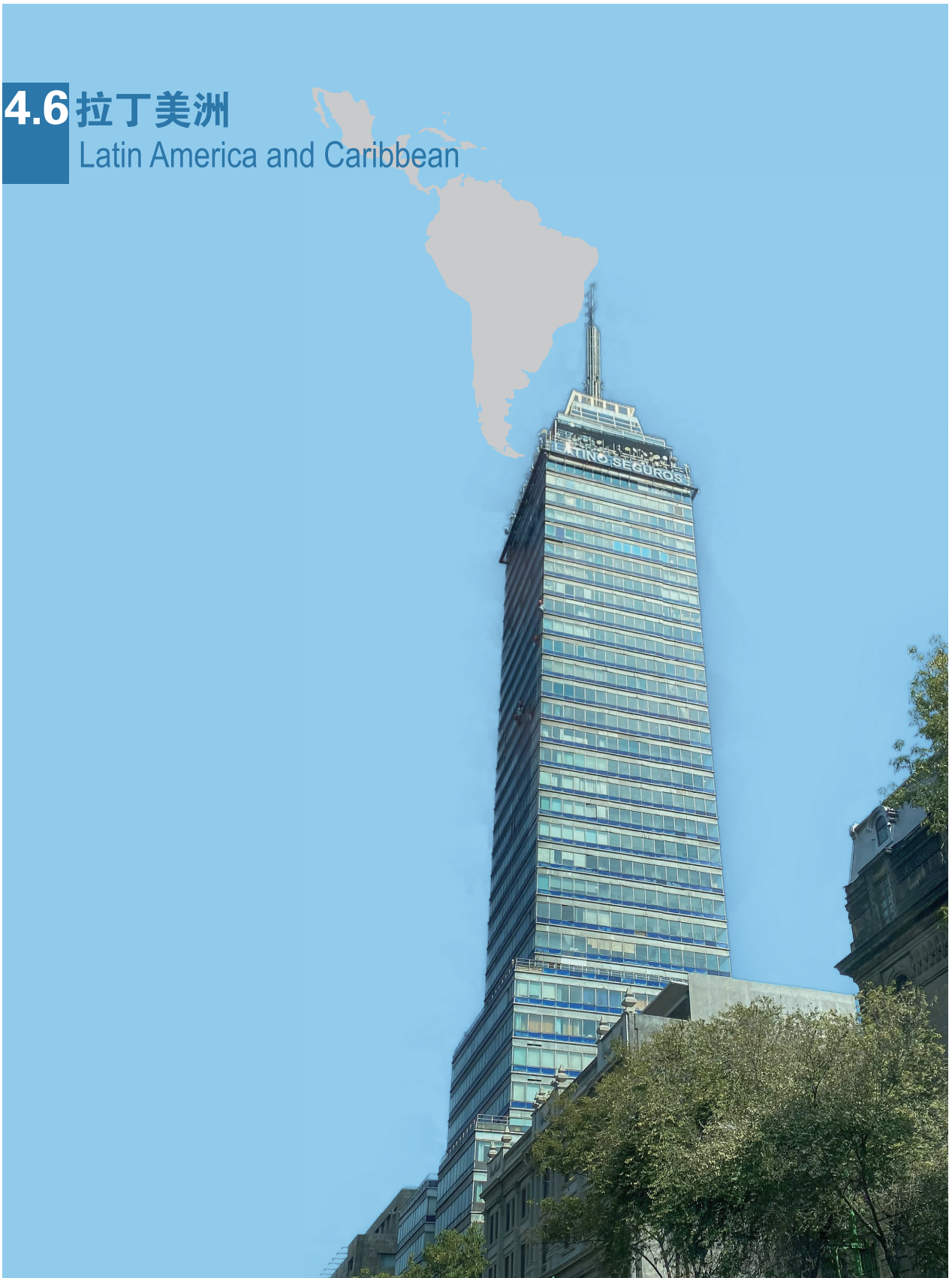
2010 年提升 11.4%。这一进步主要源于两方面积极因素：一方面，能源强度持续降低，；另一方面，随着非化石能源比例的提高，能源损失率呈现稳步下降趋势，从 2010 年的 3.1% 降至 2022 年的 2.7%，并有望在 2030 年进一步降至 2.4%。

可支付性方面表现相对平稳，2030 年预计得分为 98.4 分，较 2010 年仅增长 0.4%。这一微幅增长主要得益于人均收入与电价的同步提升，维持了较好的能源可负担性。然而，可靠性维度却出现 0.7% 的小幅下降，2030 年预计得分为 78.2 分。这一变化主要归因于能源自给率的持续走低，预计 2010–2030 年间将累计下降 1.3%，而月均停电次数则保持相对稳定。

欧洲与中亚地区要实现更高水平的能源可持续发展，需要在以下关键领域重点突破：加快终端用能电气化进程、持续提升优质非化石能源占比、进一步优化能源利用效率、以及改善能源供应安全性。

4.6 拉丁美洲

Latin America and Caribbean

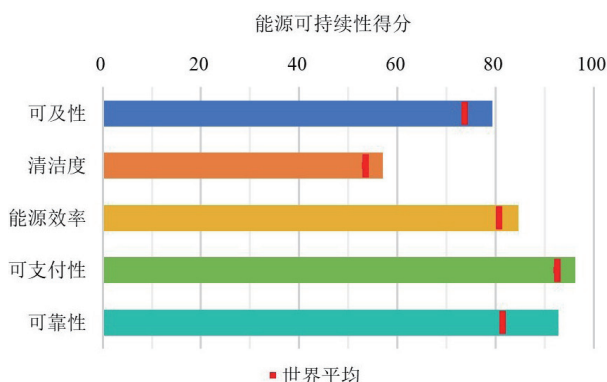


拉丁美洲与加勒比地区国家 2022 年的人口总数为 6.1 亿，占全球人口总数的 7.6%，以中等收入国家为主，这一地区在全球 GDP 中的占比为 6.0%，人均 GDP 为 8,779 美元，低于世界平均水平。22 个拉丁美洲国家被纳入了本研究的评价范围。

拉丁美洲 2022 年的能源可持续性总分为 77.8 分（图 3-4a），与 2030 目标相比实现了 95.2%，在全球 7 个地区中位列第 2。从能源可持续性的 5 个维度来看，拉丁美洲在 5 个维度上均高于世界平均值，其中各个维度与世界平均值差距不大。可靠性和能源效率位于各个地区中的第 2 和第 3 位，可靠性仅次于北美地区，能源效

率仅次于北美和东亚地区。可及性，和可支付性则处于中游，均位于各地区第 5 位。

图 4-36 | 拉丁美洲地区各维度能源可持续性得分



可及性

拉丁美洲较高的农村电力普及率、城市电力普及率和清洁炊事燃料普及率标志着地区内大部分人口能够获得充足的电力和清洁炊事燃料供应（图 4-37），但仍有部分国家表现不佳，其中包括危地马拉、尼加拉瓜和海地等发展较为落后的国家，这些国家的农村电力和清洁炊事燃料普

及将是拉丁美洲下一阶段提高能源可及性的重点所在。此外，拉丁美洲地区的电气化率不高，电力消费占终端能源消费的比重仅有 17.8%，提高电气化率是拉丁美洲地区提高能源可及性需要解决的另一个问题。

清洁度

拉丁美洲能源清洁度得分在各地区中处于第四位，拉丁美洲的可再生能源以大型水电和现代生物质为主，这得益于拉丁美洲地区丰富的自然资源；在风光发电快速发展的趋势下，拉丁美洲的可再生能源也在追求“多样化”，提高风电和光伏发电在能源结构中的占比⁶⁷。此外，拉丁美

洲虽然非化石能源占比高于世界平均水平，但其空气污染物排放强度得分却只位列各地区中的第 7 名（图 4-37），说明拉丁美洲国家在能源系统的空气污染物排放控制方面还存在较大的提升空间。

▼ 能源效率

拉丁美洲的单位 GDP 能源强度为 5.1 兆焦耳 / 美元，高于世界平均水平，反映出拉丁美洲经济体较低的能源利用效率（图 4.37）。但另一方面，拉丁美洲的能源损失效率是所有地区中最

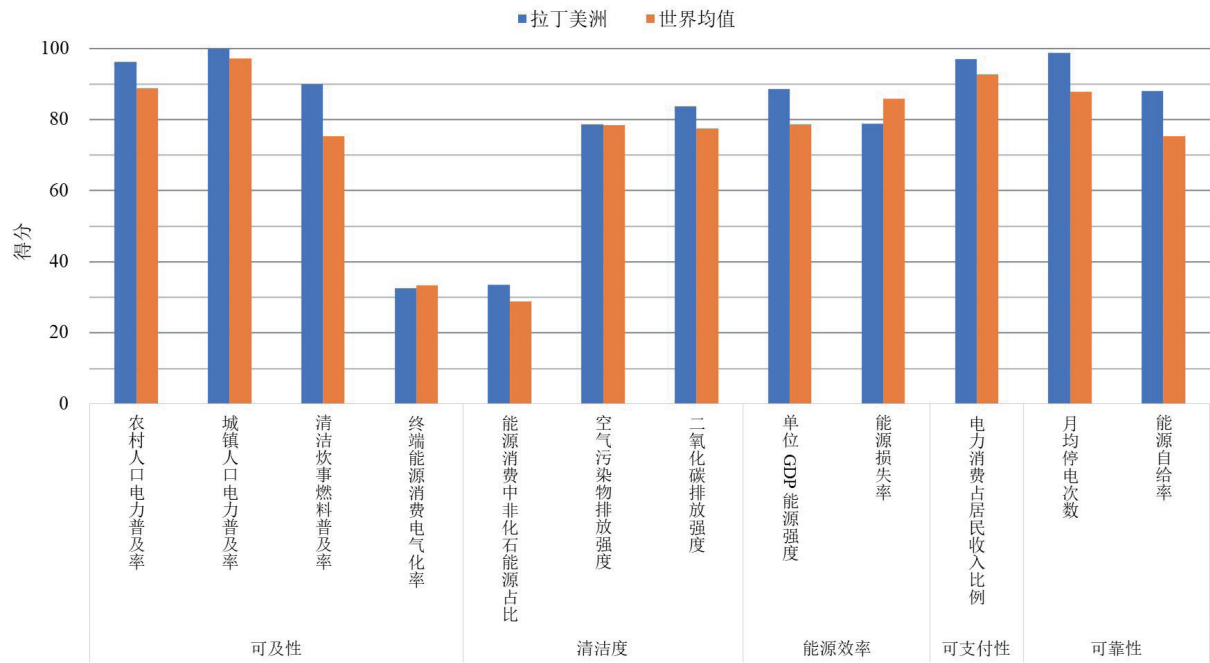
高的，能源损失率是世界平均值的 1.5 倍。因此，对于拉丁美洲地区来说，提高能源传输效率是进一步提升能源效率表现的重要环节。

▼ 可支付性

按每年人均电力消费 1000 千瓦时计算，在拉丁美洲的用电家庭，平均将有 2.7% 的可支配收入用在电费支出上（图 4.37）。拉丁美洲的电

力价格稍低于世界平均值，但人均收入同样较低，使得电费支出占收入的比例世界平均水平。

图 4-37 | 拉丁美洲地区各项指标得分



可靠性

拉丁美洲的能源可靠性显著高于世界平均水平，月均停电次数和能源自给率都有着较好的表现。有少数国家，如乌拉圭、智利、古巴和牙买加等，能源自给率较低，提升这部分国家的能源自给率会对提高拉丁美洲地区的能源可靠性起到帮助。

根据图 4-38 展示的 2022 年数据，拉丁美洲各国能源可持续性得分呈现显著的区域差异性。在 22 个拉美国家中：

表现优异的国家包括巴西、乌拉圭和哥斯达黎加等，这些国家在全球 140 个国家的排名中位居前列。具体而言，这些领先国家在可及性和清

洁度方面具有突出优势，其非化石能源占比均超过 45%，其中巴西和巴拉圭的表现尤为亮眼。此外，该地区有 15 个国家的得分超过了世界平均水平，显示出拉丁美洲整体较好的能源可持续发展态势。然而，区域内部发展极不均衡，表现最差的海地仅位列全球第 127 位。作为联合国认定的“最不发达国家”之一，海地在能源可及性和可支付性等基础维度上明显落后于地区其他国家。

拉丁美洲表现欠佳的国家可分为两类：一类以海地为代表，面临能源基础设施不足等基础性挑战；另一类包括苏里南、圭亚那和古巴等国，

图 4-38 | 拉丁美洲地区各国 2022 年能源可持续性得分（图中数字为各国能源可持续性得分在 140 个国家中的排名）

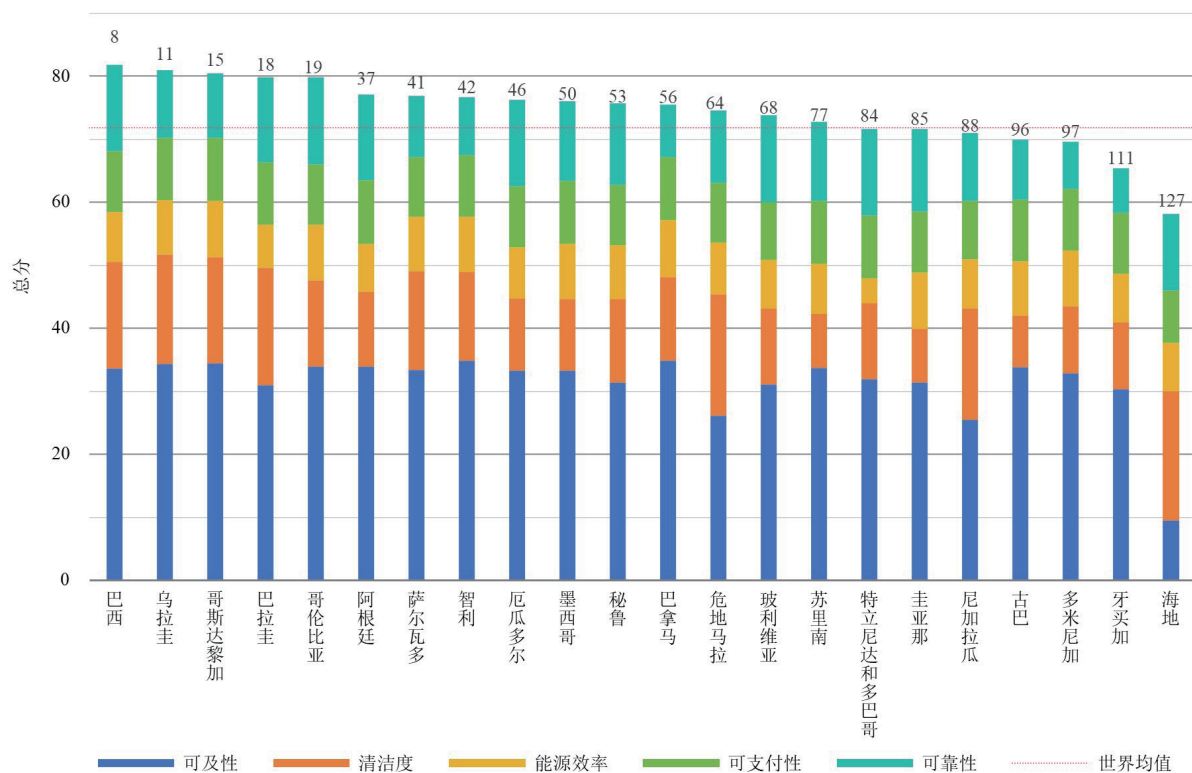


图 4-39 | 拉丁美洲地区 2010–2022 年能源可持续性得分

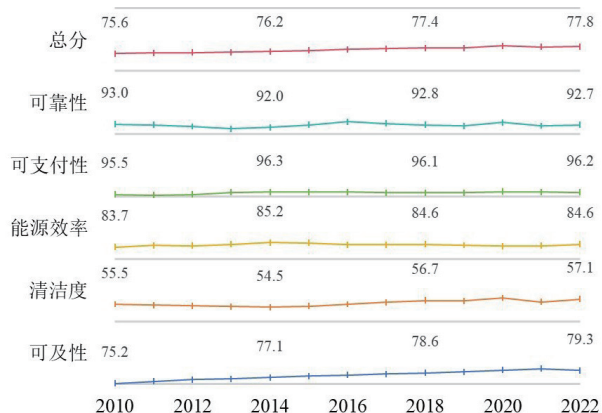
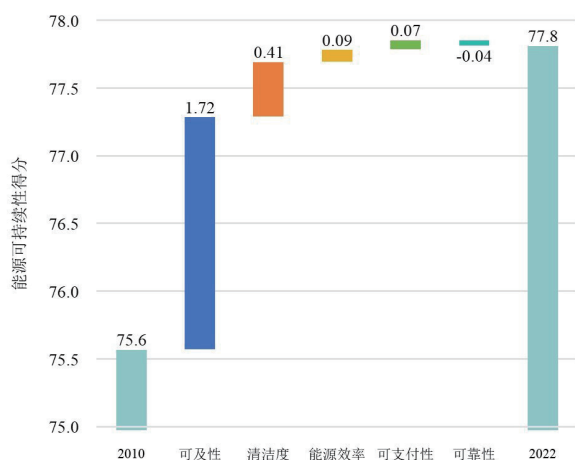


图 4-40 | 拉丁美洲地区 2010–2022 年能源可持续性各维度变化



其主要短板集中在能源清洁度方面。这种差异化表现反映出拉美地区能源发展面临的多层次挑战，既包括最不发达国家的基础设施建设问题，也涉及中等收入国家的能源结构转型需求。

拉丁美洲地区的能源可持续性在 2010–2022 年间呈现增长趋势，由 2010 年的 75.6 分上升到 2022 年的 77.8 分，增长幅度为 2.9%，年均增长率为 0.2%。这一增速低于同期世界平均水平（图

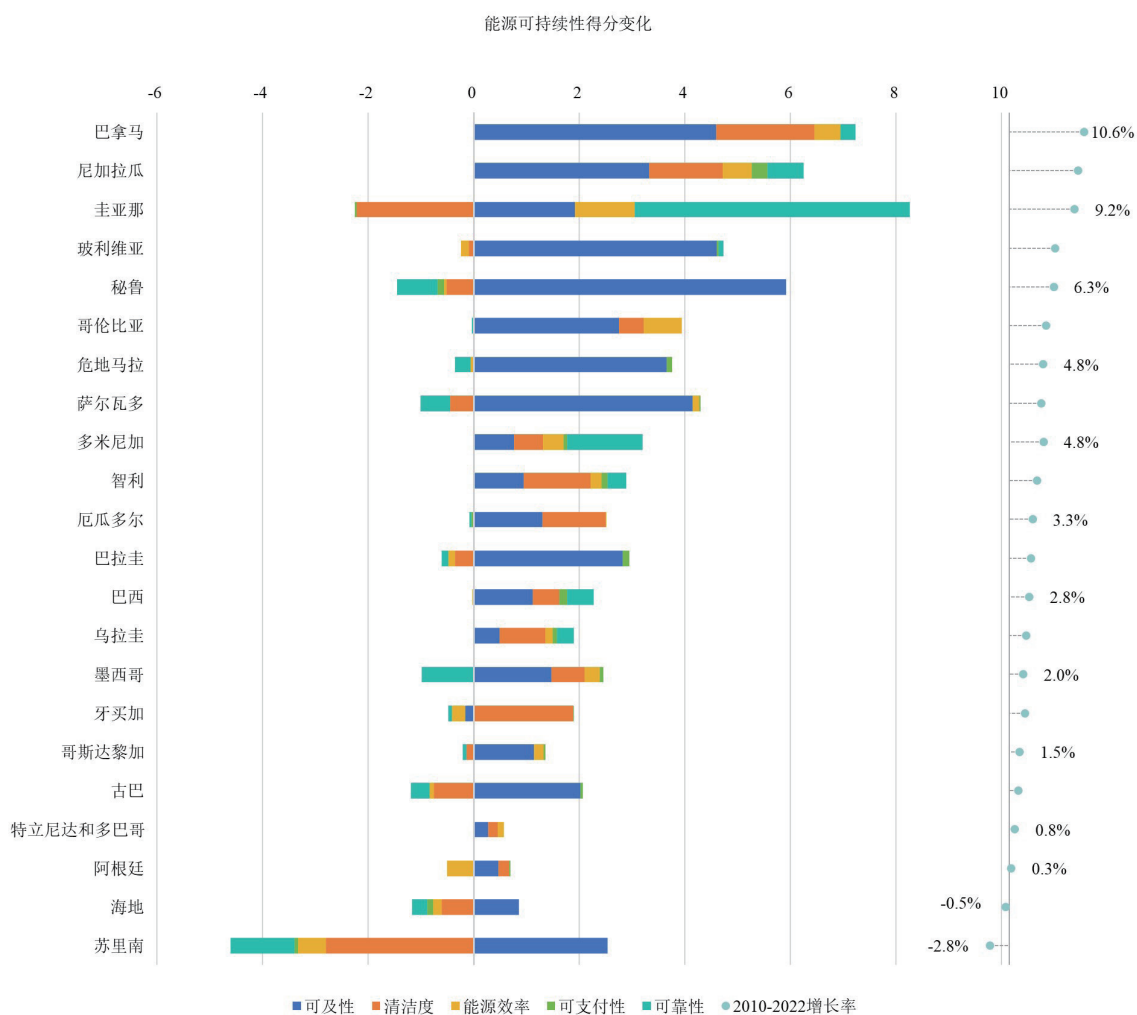
4-39）。具体而言，能源可及性的提升是推动该地区能源可持续性增长的关键因素之一（图 4-40）。可及性得分在 2010–2022 年间增长了 7.3%。其中，农村地区的电力普及率从 81.4% 提升至 92.2%，清洁炊事燃料的普及率从 80.0% 提升至 85.1%，电气化率也从 15.9% 提升到 17.8%。

然而，值得注意的是，拉丁美洲地区的能源清洁度在 2013–2017 年间曾出现小幅回落。这一变化与空气污染物强度和 CO₂ 排放强度的轻微上升以及非化石能源占比的下降相吻合。不过，自 2017 年后，该地区的能源清洁度开始呈现回升态势，到 2022 年，能源清洁度得分较 2010 年提高了 2.9%。同时，能源效率、可支付性分别提高了 1.0%、0.7%，可靠性降低了 0.3%。尽管这些指标的提升幅度并不显著，但整体呈现出向好的发展态势。拉丁美洲国家在推进能源可及性发展的同时，在一定程度上未能充分兼顾其他维度的均衡发展。这一现象凸显了该地区在能源转型过程中面临的挑战与权衡。

在拉丁美洲的 22 个国家中，巴拿马在 2010–2022 年间取得了最快的进展（图 4-41），其能源可持续性得分的提升幅度达到了 10.6%。这一进步主要得益于能源可及性的显著改善，具体表现为农村电力普及率提升了 35.3%，电气化率也上升了 5.7%。同时，巴拿马在能源清洁度方面也实现了大幅增长，得分提高了 16.4%，其中非化石能源占比增加了 3.9%，SO₂ 排放强度降低了 69.9%，NO_x 排放强度减少了 38.6%，CO₂ 排放强度也下降了 6.2%。

对于大部分国家而言，能源可持续性的提升主要来源于能源可及性的改善。然而，牙买加是这一地区唯一的例外，其能源可及性出现了 0.5% 的负增长。此外，拉丁美洲地区仅有海地和苏里

图 4-41 | 拉丁美洲地区各国 2010–2022 年能源可持续性得分变化和增长率



南两国的能源可持续性总分呈现下滑趋势。具体来看，海地在清洁度、能源效率、可支付性和可靠性方面分别下降了 2.9%、2.0%、1.4% 和 2.3%。而苏里南的下降则主要集中在清洁度上，得分下降了 24.5%，同时能源效率和可靠性也分别下降了 6.3% 和 8.8%。进一步分析发现，苏里南的可再生能源比例下降了 8.2%，能源自给率也减少了 13.3%。这主要是由于该国石油产品消耗量和进口量逐年增长，而可再生能源的发展却未能够同步跟进。这一现象突显出该地区在能源转型过程中面临

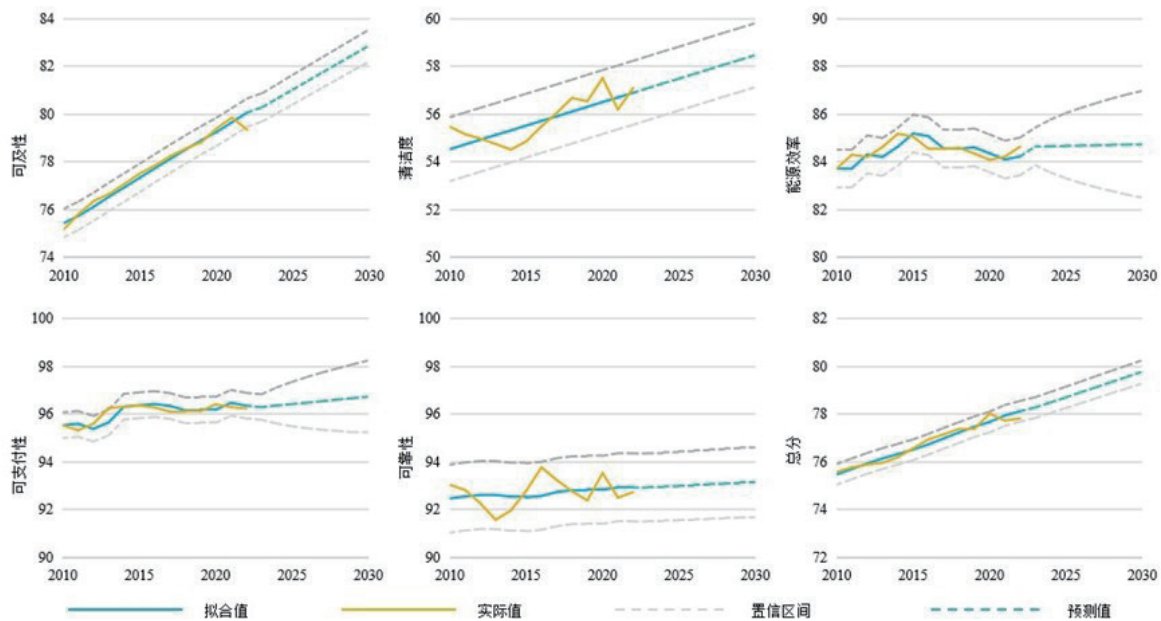
的“可及性提升与清洁发展难以兼顾”的普遍挑战。

值得注意的是，能源清洁度的下降并非个例。萨尔瓦多、古巴和圭亚那等国在能源可及性提升的同时，也出现了清洁度的下降。这一现象与这些国家对化石能源（特别是石油）消费的增加有直接关系。

拉丁美洲地区 2030 年的能源可持续性综合得分预计将达到 79.8 分（图 4-42），较 2010 年提升 4.2 分，这一增长表现为 0.3% 的年均增长率，从具体维度来看：

在可及性方面，预计 2030 年得分将达 82.9

图 4-42 | 2030 年拉丁美洲地区不同维度得分预测（虚线代表 2022 年后预测值）



分，较 2010 年增长 10.3%，成为推动综合得分提升的核心动力。虽然该地区农村电力普及率已从 2010 年的 81.4% 提升至 2022 年的 92.2%，未来增长空间已不足 10%，但在清洁炊事燃料普及率和终端电气化率方面仍明显落后于欧洲和北美等高收入地区，因此，未来应着重提升清洁炊事燃料普及率和电气化率。

清洁度指标预计 2030 年将达 58.5 分，仅较 2010 年增长 5.4%。这一缓慢增长主要受限于非化石能源占比长期停滞在 30.0%–32.5% 的区间，尽管空气污染物浓度降低和 CO₂ 排放强度下降带来了一定改善，但能源结构转型的滞后仍是制约清洁度提升的主要瓶颈。

能源效率维度预计将实现 84.7 分，较 2010 年增长 1.2%。这一改善主要得益于能源强度的降低，但 2.3% 的能源损失率仍高于全球多数地区，表明能效提升仍有较大空间。

可支付性方面表现相对较好，预计 2030 年得

分达 96.7 分。然而，该指标仅增长 1.3%，反映出虽然电价保持稳定（2010–2022 年间变化不大），但居民平均需将 2.5% 的可支配收入用于电费支出，未来提升人均收入水平将是增强能源可负担性的有效途径。

可靠性指标预计 2030 年达 93.2 分，增长 2.7%。该地区能源自给情况呈现两极分化：31.8% 的国家已实现完全自给，但仍有 22.7% 的国家自给率低于 50%。这种显著的区域差异凸显了加强能源基础设施建设、优化能源结构和推动国际合作的必要性。为实现可靠性的大幅提升，应重点关注能源自给率较低的国家，帮助这些国家逐步提高能源自给能力，从而实现区域能源供应的稳定性和可持续性。

拉丁美洲地区要实现能源可持续发展，需要在以下关键领域重点突破：加速清洁能源转型以提高非化石能源占比、缩小城乡能源服务差距、持续优化能源利用效率、以及解决区域能源自给不平衡问题。

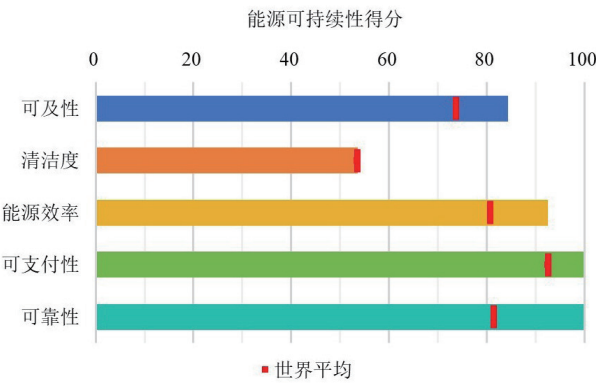
4.7 北美 North America



本研究中的北美地区包括美国和加拿大两个国家，2022 年共有人口 3.7 亿，约占全球人口的 4.7%，是 7 个地区中人口最少的；北美地区的国家均属于发达国家，占全球 GDP 的 25.4%，人均 GDP 为 56,441 美元，是各个地区中最高的。

北美地区 2022 年的能源可持续性总分为 81.1 分（图 3-4a），与 2030 目标相比实现了 99.3%，是 7 个地区中最高的。从各个维度的角度来看，北美在可及性、效率、可支付性和可靠性 4 个维度上均为各地区中的最高分，在清洁度上，北美位于各个地区中的第 4 位。清洁度低于

图 4-43 | 北美地区各维度能源可持续性得分



世界平均值，其他各个维度上均高于世界平均值。

可及性

北美地区的电力普及率和清洁炊事燃料普及率都达到了 100%，实现了现代能源的普及，可及性方面唯一存在提升空间的指标是电气化率，

24.2% 的电气化率虽然高于世界平均值，但距离实现《零碳 2050》1.5℃气候目标的要求（49%）仍有一定距离。

清洁度

北美地区的非化石能源占比为 19.2%，与世界平均水平接近，CO₂ 排放强度略低于世界平均水平，空气污染物排放强度则显著低于世界平均水平，这一方面与北美地区化石能源消费中较高的天然气占比有关，另一方面也说明了北美地

区能源系统较高的空气污染物排放控制水平。考虑到北美地区在能源可持续性其他维度上的良好表现，提升能源系统清洁度，特别是可再生能源占比，将是北美能源可持续发展战略的主要方向。

能源效率

北美地区单位 GDP 能源强度为 4.1 兆焦耳 / 美元，是各地区中的最低值，能源损失率为 1.1%

低于世界平均值，反映出了北美地区良好的能源效率表现。综合来看，北美地区的能源效率表现良好。

▼ 可支付性

作为人均可支配收入最高的地区，北美地区的能源可支付性同样是最高的，按每年人均电力

消费 1000 千瓦时计算，北美用电家庭的电费支出仅占可支配收入的 0.3%。

▼ 可靠性

北美地区的电力系统稳定性在各个地区中列于首位，能源自给率同样领先于其他地区，是唯一实现 100% 能源自给率的地区，目前是天然气的主要出口地区之一。

图 4-45 展示了加拿大和美国两个北美国家在 2022 年的能源可持续性得分。美国和加拿大都取得了较好的能源可持续性得分，分别以 81.1 和 80.9 分位列 140 个国家中的第 10 位和第 12 位。两个国家在各个维度的表现均较为良好。

北美地区的能源可持续性在 2010–2022 年间保持了上升趋势，由 2010 年的 78.8 分上升到了 2022 年的 81.1 分，增长幅度为 2.9%，年均增长

率为 0.2%，增长速度低于世界平均值（图 4-46）。

北美地区能源可持续性的改善主要来自于清洁度以及可靠性的提升（图 4-47）。清洁度得分在 2010–2022 期间增长了 5.7%，其中非化石能源占比比例由 20.3% 上升到 20.9%，CO₂ 强度降低了 12.2%，NO_x 降低了 21.5%，体现出北美地区在能源清洁转型和环境改善方面取得的进展。可靠性增长了 11.3%，提高则来自于美国能源自给率的进步，由 88.7% 增加至 100%，大大降低原油进口量的同时实现了由天然气的净进口国到净出口国的转变。这样的进步主要来自于“页岩气革命”，北美地区由于技术突破导致页岩气开采成本

图 4-44 | 北美地区各项指标得分

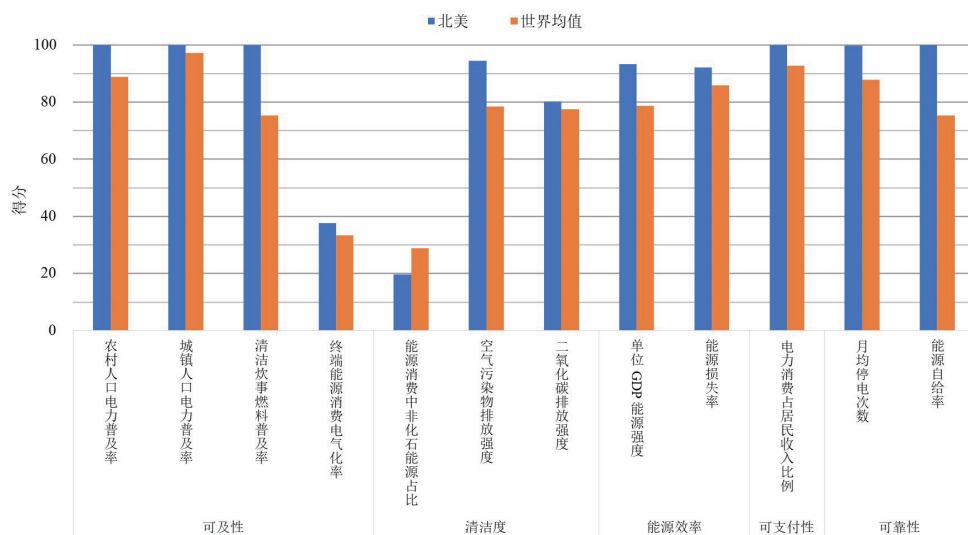


图 4-45 | 北美地区各国 2022 年能源可持续性得分

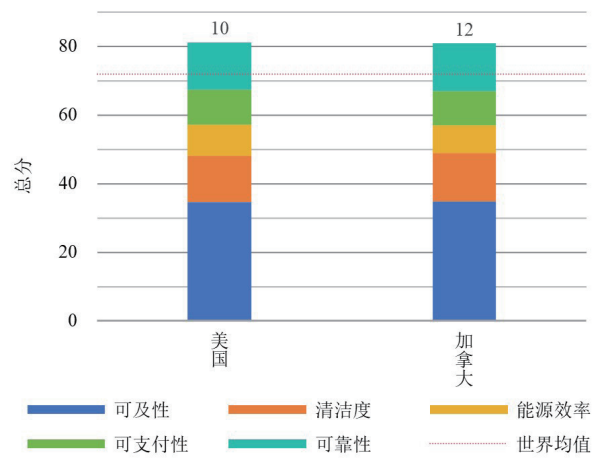


图 4-46 | 北美地区 2010–2022 年能源可持续性得分

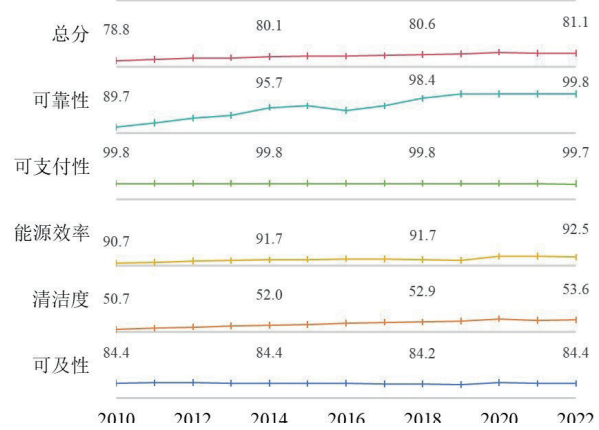


图 4-47 | 北美地区 2010–2022 年能源可持续性各维度变化

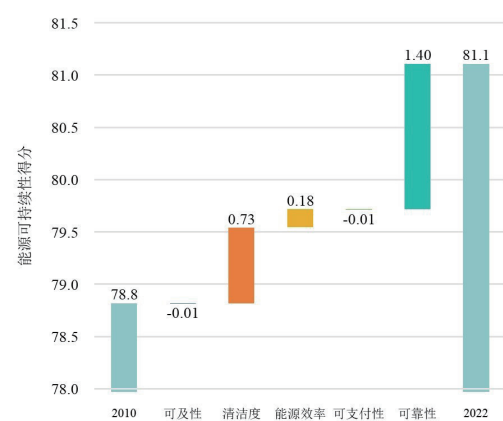
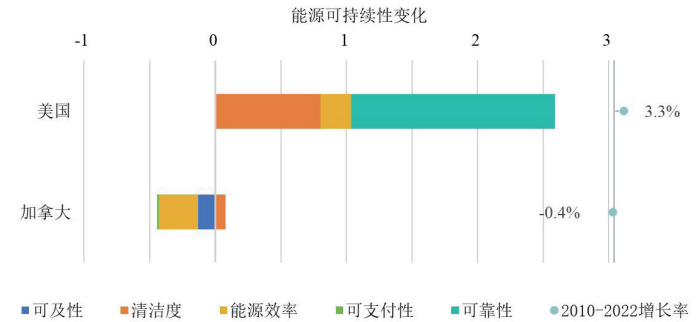


图 4-48 | 北美地区 2010–2022 年能源可持续性得分变化和增长率



骤降、开采量上升。这也说明了关键技术的突破对于各国乃至世界达成 SDG7 的重要意义。

北美地区的两国在 2010–2022 年间能源可持续性发展呈现出显著差异。美国整体进步更为突出（图 4-48），加拿大则出现了一定的负增长，其能源可持续性得分提升 3.3%，主要驱动力来自清洁性与可靠性的协同增强。

具体而言，清洁度得益于非化石能源占比的显著扩大、CO₂ 排放强度下降及 NO_x 等空气污染

物排放的持续削减；而可靠性提升则与页岩气开采成本的降低直接相关，能源自给率的大幅提高有效强化了供应链稳定性。相较之下，加拿大虽在污染物控制与 CO₂ 排放强度方面取得小幅改善（推动清洁度指标微升），但受电气化率较 2010 年降低 0.8% 影响，能源可及性出现下滑，同时因能源损失率上升导致能源利用效率指标整体走弱。两国差异化路径折射出资源禀赋与政策导向对能源转型进程的深刻影响。

北美地区 2030 年的能源可持续性综合得分预计将达到 82.9 分（图 4-49），较 2010 年提升 4.1 分。这一增长表现为 0.3% 的年均增长率，该地区能源可持续发展已进入平稳期，进一步提升面临较大挑战。从具体维度来看：

在可及性方面，预计 2030 年得分为 84.3 分，较 2010 年微降 0.3%。虽然美国和加拿大在电力普及率和清洁炊事燃料普及率方面早已实现 100% 覆盖，但电气化率却呈现下降趋势。值得注意的是，2022 年与 2010 年相比，北美是全球唯一出现电气化率降低的地区，其中加拿大是主要影响因素。若这一趋势持续，预计到 2030 年加拿大电气化率可能进一步降低 1.3%。这一现象可能反映了北美地区能源政策调整和能源结构转型过程中的阶段性特征。

清洁度指标预计将实现 5.9% 的增长，2030 年达到 55.8 分。这一改善主要得益于非化石能源占比的显著提升（预计达到 21.3%）、CO₂ 排放

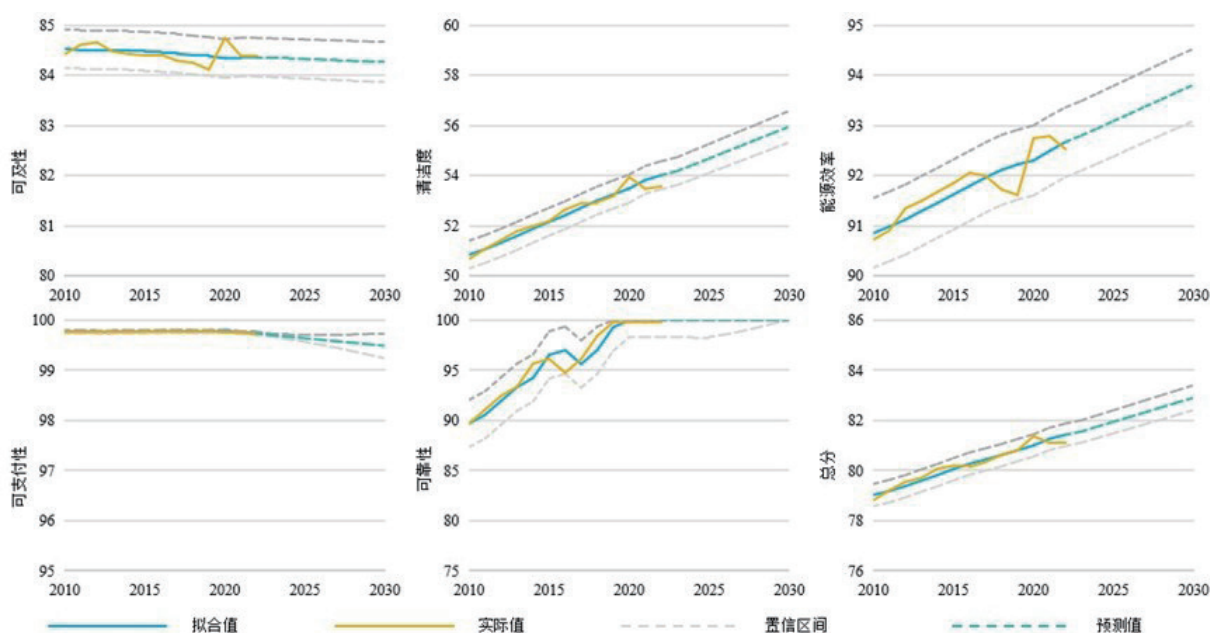
强度下降 20.4% 以及 NO_x 排放强度降低 35.8%。然而，非化石能源占比仍处于相对较低水平，表明该地区对化石能源的依赖仍然较强，这在一定程度上制约了清洁度的提升速度。

能源效率维度预计将上升 3.4%，2030 年得分为 93.8 分，北美地区在能源效率方面继续保持领先地位。

可支付性和可靠性方面表现优异，预计 2030 年得分分别为 99.5 分（微降 0.3%）和 99.9 分（显著增长 26.0%）。这两项指标的高分表明北美地区在能源供应稳定性和价格可承受性方面具有明显优势。

北美地区未来能源可持续发展的重点应放在以下方面：保持电气化率的稳定、进一步降低对化石能源的依赖、持续优化能源使用效率。虽然该地区整体表现良好，但在清洁能源转型方面仍需加大力度，以实现更可持续的能源发展目标。

图 4-49 | 2030 年北美地区不同维度得分预测（虚线代表 2022 年后预测值）



**“一带一路”
沿线国家能源
可持续性评价**



05



5.1 “一带一路”能源可持续性现状

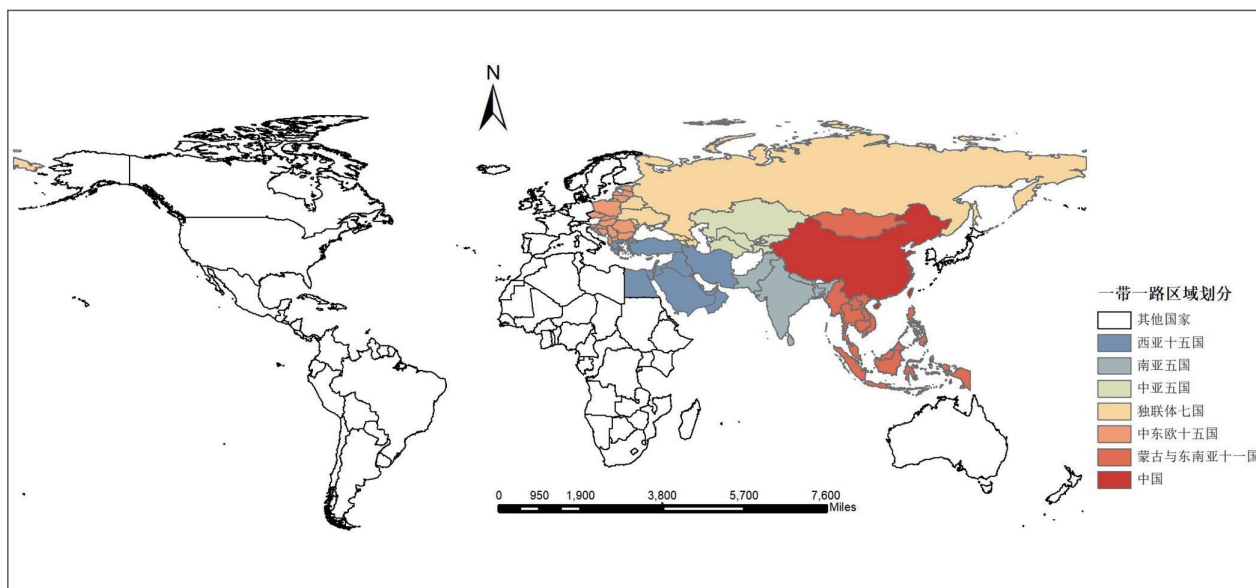
2013 年中国国家主席习近平提出共建“丝绸之路经济带”和“21 世纪海上丝绸之路”的重大倡议，这一举措标志着“一带一路”这一具有历史意义的概念正式登上国际舞台。“一带一路”倡议秉持高度的开放性和包容性，构建了一个跨越地域界限的全球合作平台。不同于古代丝绸之路，该倡议不预设参与国的范围，积极欢迎各国及国际组织共同加入，真正体现了“共商、共建、共享”的全球治理理念。这一开放性为广泛整合国际资源、推动多领域协作奠定了坚实基础，也使其自然成为实践可持续发展目标的重要载体。

在开放架构的基础上，“一带一路”高度重视绿色与可持续发展。明确将生态文明理念全面融入合作进程，主动对接联合国 2030 年可持续发展议程。而能源作为推动可持续发展的重要支柱，自

然也成为“一带一路”合作中至关重要的领域。数据显示，中国在“一带一路”框架下对能源领域的投资与建设占比高达总投资的 40%，使得能源行业成为“一带一路”倡议中投资比例最高的部分。在此背景下，专门针对“一带一路”沿线国家的能源可持续性进行深入研究探讨，显得尤为必要。这不仅有助于我们厘清“一带一路”能源可持续发展的现状与趋势，更能在此基础上，为相关国家的能源战略制定和能源合作提供有力支持与指导，从而推动实现共同繁荣与可持续发展。

在本研究中，我们采用最为通用的“一带一路”沿线国家列表（不包含中国）来确定本章所讨论的“一带一路”国家的范围，如图 5-1 所示。这 66 个“一带一路”沿线国家（以下简称“一带一路”国家）在经济发展水平上各有不同，其

图 5-1 | “一带一路”沿线国家示意图



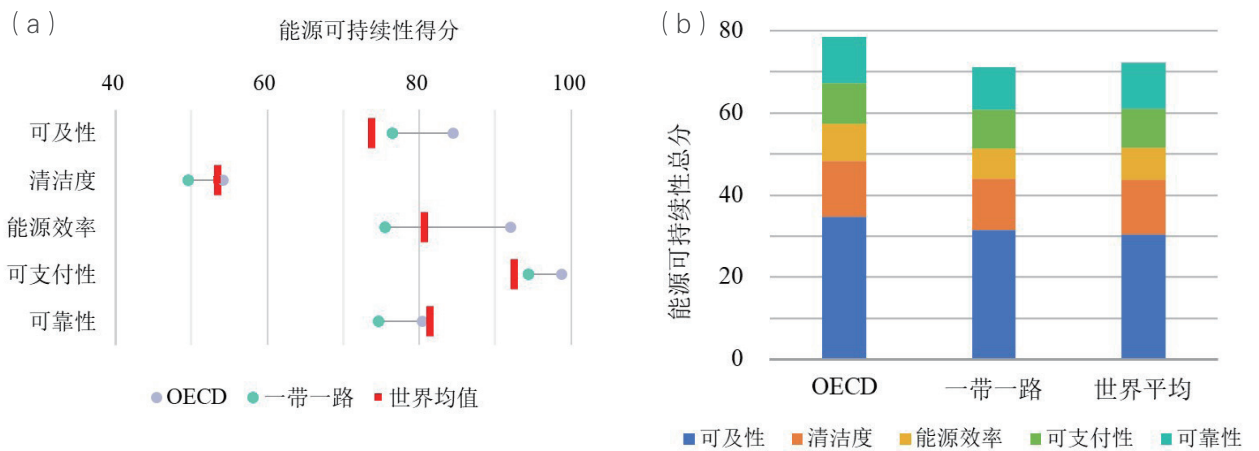
中 58 个国家由于数据的可得性而被纳入本研究范围,具体涉及的国家和地区详见附录。大多数“一带一路”国家目前仍属于发展中国家。然而,这些国家所处的地理位置极其重要,其东西两端分别连接着经济高度活跃的亚太经济圈和发达成熟的欧洲经济圈。这种独特的地理位置使得“一带一路”沿线国家如同桥梁一般,将欧亚大陆两端的经济活力向内陆广袤的腹地辐射开来,预示着该区域未来经济发展的潜力不可估量。

与 OECD 国家代表的发达国家水平相比,占全球人口 44%、以发展中国家为主的“一带一路”

国家在经济发展水平上相对滞后,能源可持续性得分也较低(图 5-2b)。2022 年“一带一路”国家的能源可持续性得分为 71.1 分,接近世界平均值分 72.3,距离 OECD 国家的 78.5 平均得分尚有一定差距。

从能源可持续性的各维度上来看,“一带一路”国家在除能源效率以外的各个维度上都已接近世界平均值,但与 OECD 国家相比,“一带一路”国家在能源清洁度、能源效率都有显著的差距,分别只达到了 OECD 国家得分的 91.4%、82.0%,可支付性与 OECD 国家的差距则相对较小(图 5-2a)。

图 5-2 | “一带一路”国家与 OECD 国家各维度对比



可及性

在电力普及率方面,“一带一路”国家农村和城镇电力普及率分别达到了 98.7% 和 99.8%,大部分人口可以获取电力供应,但与 OECD 国家电力普及率(100%,农村地区略低)相比,尚未实现电力的完全普及。而在其他两项指标,即清洁炊事燃料普及率和电气化率上,“一带一路”

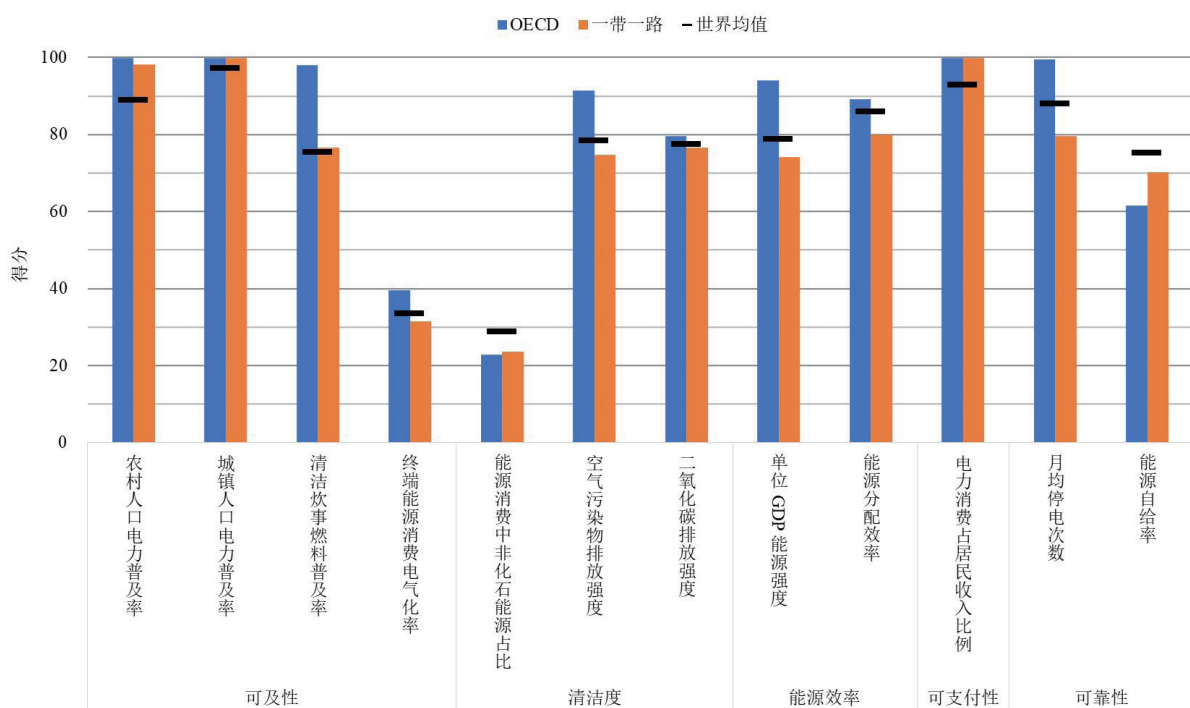
国家的得分则和 OECD 水平有较为明显的差距,分别只有 86.2% 和 34.8%(图 5-3),分别只达到了 OECD 国家得分的 78.2% 和 79.4%,说明“一带一路”国家在除电力普及外的能源可及性方面还存在提升空间。

清洁度

“一带一路”国家在空气污染物排放强度和 CO₂ 排放强度两个指标上落后于 OECD 国家，在得分上与 OECD 国家相比有较大差距，分别只达

到了 OECD 国家得分的 81.6% 和 96.3%。“一带一路”和 OECD 国家的整体能源结构中非化石能源占比低，均低于世界的平均水平（图 5-3）。

图 5-3 | “一带一路”与 OECD 各项指标对比



能源效率

“一带一路”国家的能源效率得分为 72.1 分，低于 OECD 国家水平（92.1 分），其中单位 GDP 能源强度和能源损失率两项指标得分均低于

OECD 水平，能源强度的差距更大，仅达到 OECD 国家得分的 78.8%，暴露出了“一带一路”经济体用能强度高的问题。

▼ 可支付性

“一带一路”国家的能源可支付性得分与 OECD 国家水平接近，均高于世界平均值。在能源价格（电力价格）方面，“一带一路”国家显著低于 OECD 国家，这种价格优势弥补了这些国

家在居民收入上与 OECD 国家的差距。因此，随着“一带一路”沿线国家经济的持续增长，维持能源价格稳定将是确保能源可支付性的关键措施。

▼ 可靠性

“一带一路”国家的能源可靠性低于 OECD 国家水平，各项具体指标上也有着明显的差别。“一带一路”的月均停电次数高于 OECD 国家，说明其电力系统的稳定性还有待提高，频繁的停电成为影响电力供应的严重问题；相反，在能源自给率上，“一带一路”国家相比于以欧洲国家为主

的 OECD 国家有着较为明显的优势，该项得分是 OECD 国家得分的 1.2 倍。因此，对于“一带一路”国家来说，能源可靠性提高的重点在于在保证能源自给率（通过减少化石能源消耗和发展可再生能源）的前提下，解决能源供应的稳定性等问题。

5.2 2010–2022 “一带一路” 能源可持续性发展趋势

2010–2022 年期间，性呈现稳定快速增长趋势。其平均得分从 2010 年的 65.2 分提升至 2022 年的 71.1 分，增长幅度达 9.2% 高于世界平均增幅 (6.9%)，同样也高于 OECD 国家的 2.1%。2020–2022 年，由于新冠疫情和世界经济波动等因素的影响，“一带一路”国家的能源可持续性增速相比于 2015–2020 年有所下降。相比之下，OECD 国家在 2010–2022 年的年均增速大多都较为缓慢 (0.1%)，但在 2020 年，由于新冠疫情造成的一系列短期影响，如整体能源需求下降、可再生能源比例的上升、电力消费占比升高等，OECD 国家的能源可持续性增速反而达到了新高 (0.6%)，体现出了“一带一路”国家和 OECD 国家能源发展所属阶段的不同。

图 5-5 展示了“一带一路”和 OECD 国家

能源可持续性得分与增长幅度的对比。所有 OECD 国家的 2022 年能源可持续性得分均高于世界平均值，但其能源可持续性增速普遍低于世界平均值。而与之相比，“一带一路”国家在能源可持续性得分和增长幅度上的分布差异更大，以 2022 年得分来说，大部分“一带一路”国家的得分高于世界平均值，且有少数国家的得分达到了 OECD 水平，但同样有一定数量的国家得分低于世界平均水平；从增长幅度来说，“一带一路”国家中既有增长远超平均速度的快速发展国家，也有能源可持续性倒退最为严重的几个国家。上述特征充分体现了“一带一路”国家内部能源发展的多样性和差异性。

“一带一路”国家 2010–2022 年能源可持续性的增长来自于多个维度的贡献，包括能源可

图 5-4 | “一带一路”与 OECD 2010–2022 年能源可持续性变化

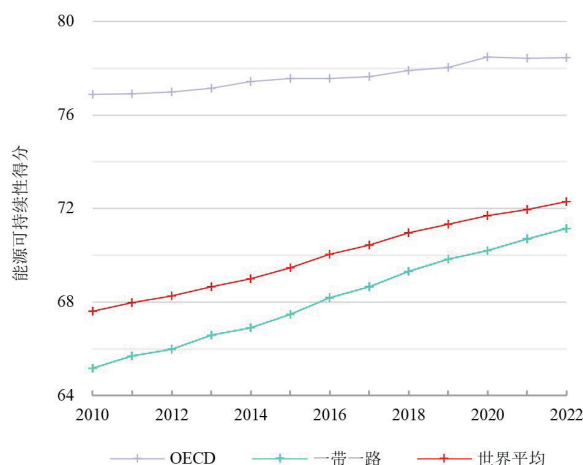
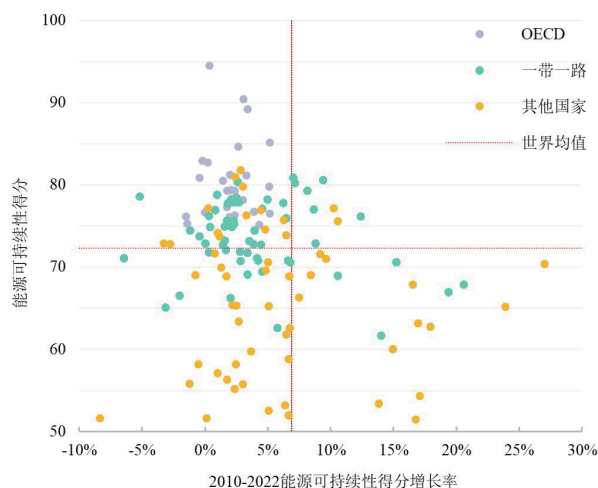


图 5-5 | “一带一路”与 OECD 各国能源可持续性得分与增长幅度对比

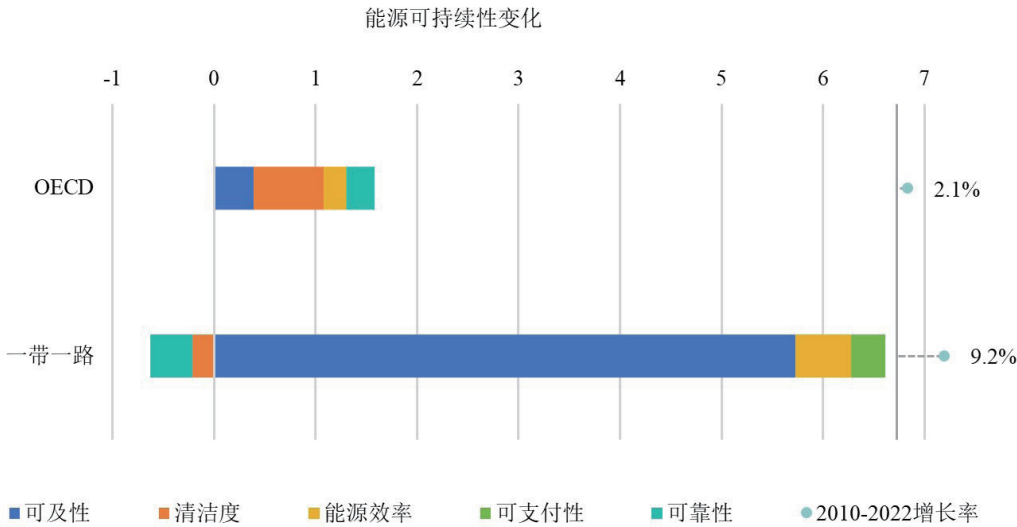


及性、能源效率和可支付性的提升，其中可及性提升的贡献最大，占到了提升总量的 95.8%（图 5-6）。从具体的指标来看，可及性的提升主要来自于农村电力普及率和清洁炊事燃料普及率的上升，这两个指标在 2022 年分别占到提升总量的 23.8% 和 22.9%，反映出了“一带一路”国家在摆脱能源贫困方面取得的成就。此外，“一带一路”国家的清洁度得分小幅下降，可再生能源占比的提高不足以抵消空气污染物和 CO₂ 排放强度的升高带来的负面影响。能源效率方面，能源强度和能源损失率都有提升，特别是能源强度下降幅度达到 8.0%。可靠性得分则出现小幅降低，主要由于能源自给率的降低，2010–2022 年间，“一带一路”沿线国家能源消费总量增长达 29.1%，持续增长的能源需求导致对能源进口的

依赖程度进一步加大。“一带一路”国家的能源自给率由 2010 年的 67.0% 下降到了 2022 年的 65.4%，而同期的 OECD 国家能源自给率则上升了 5.9%，这一变化体现出来的潜在能源安全风险应当得到重视。

从可支付性上来说，“一带一路”国家的能源价格波动不大，但人均收入的上升十分缓慢，且在新冠疫情的影响下，2022 年的人均收入同比下降，导致能源可支付性增长较慢（图 5-6）。然而，即使不考虑新冠疫情因素，2010–2022 年“一带一路”国家的人均可支配收入增长速度也并不理想，与其能源可持续性快速增长的趋势脱节。“如何让能源系统的发展建设更加有效地带动国民收入的增长”这一问题，有必要在“一带一路”国家未来能源战略的制定中得到更多重视。

图 5-6 | “一带一路”与 OECD 国家各维度 2010–2022 变化值及变化率对比



5.3 “一带一路”能源发展重点国家与地区分析

纳入平均范围的 58 个“一带一路”国家呈现出了较大的能源可持续性得分差异(图 5-7)。2022 年得分最高的拉脱维亚以 80.9 分位列“一带一路”国家第 1，而得分最低的孟加拉国仅有 61.7 分，在全球排第 115 位。除了拉脱维亚以外，“一带一路”中得分位于前列的国家还包括爱沙尼亚(80.6 分)、斯洛文尼亚(80.3 分)、阿尔巴尼亚(80.2 分)等。不难看出，排名靠前的“一带一路”国家主要为中东欧国家，其能源可持续性得分的特点为在可及性不落后于平均水平的同时，清洁度领先于其他国家。另一方面，得分最

低的国家除孟加拉国外，还包括巴基斯坦(62.6 分)、老挝(65.1 分)、黎巴嫩(66.3 分)和伊拉克(66.6 分)等亚洲的中低收入国家，其普遍存在的问题是可及性低于其他地区。

图 5-8 展示了 2010–2022 年间“一带一路”各国的能源可持续性得分变化情况。“一带一路”国家中，伊朗的能源可持续性增长最为明显，增长幅度达到了 11.6 分，此外塔吉克斯坦(+10.9 分)、希腊(+9.3 分)、土耳其(+8.4 分)和亚美尼亚(+7.6 分)等国的增长也都位于“一带一路”国家前列。这些国家的能源可持续性增长主要来



图 5-7 | “一带一路” 各国 2022 能源可持续性得分

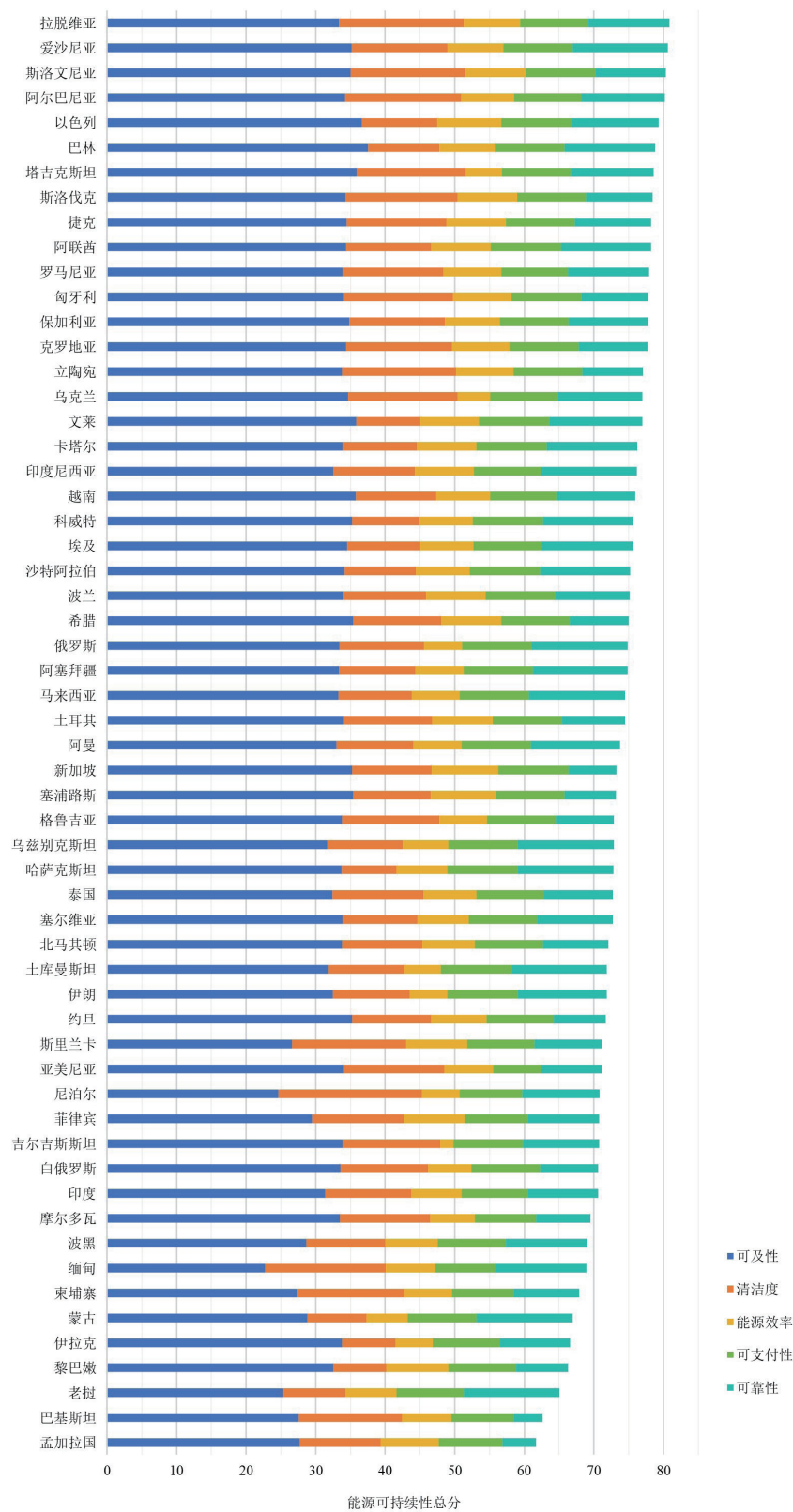
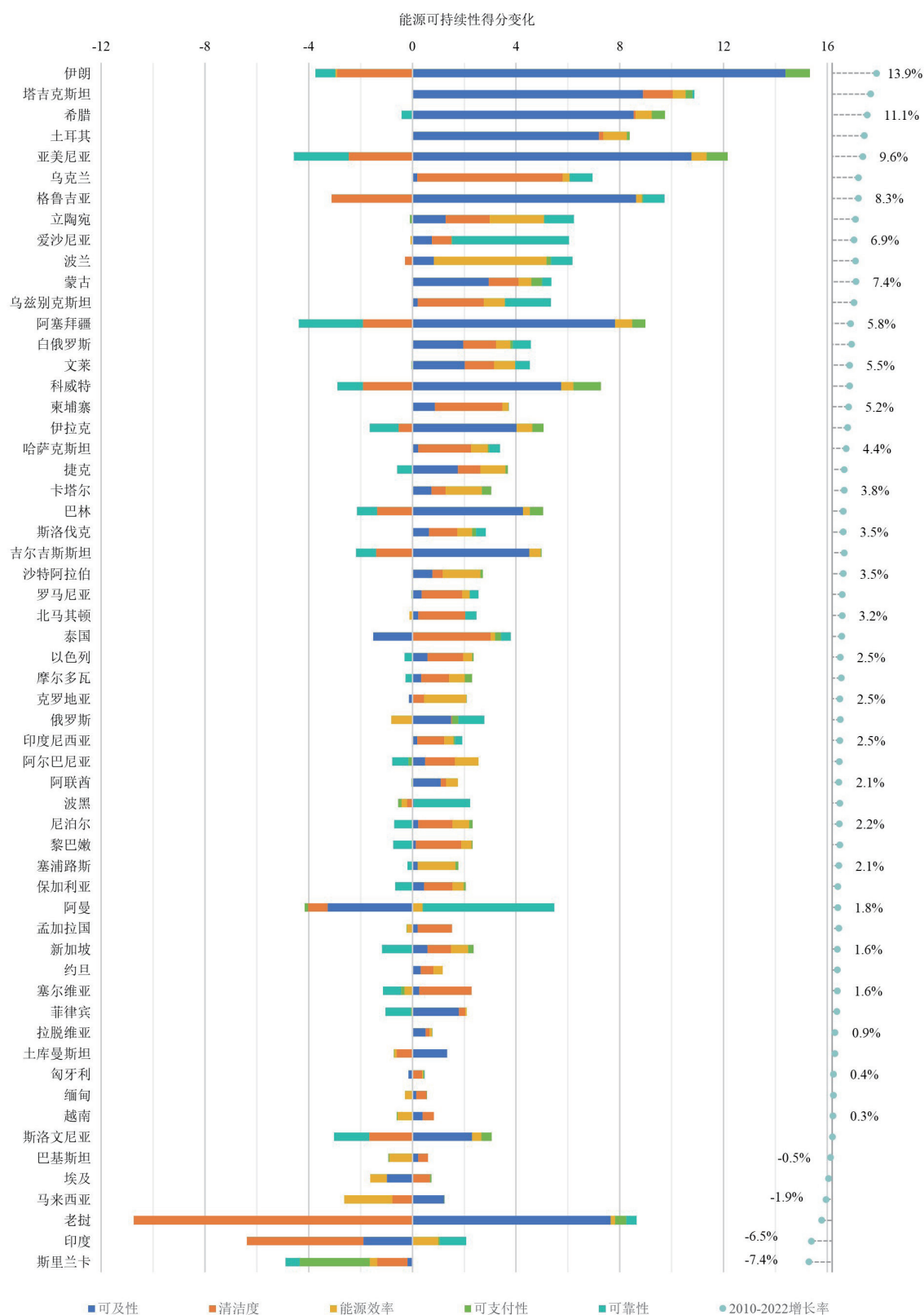


图 5-8 | 2010–2022 “一带一路” 各国能源可持续性得分变化

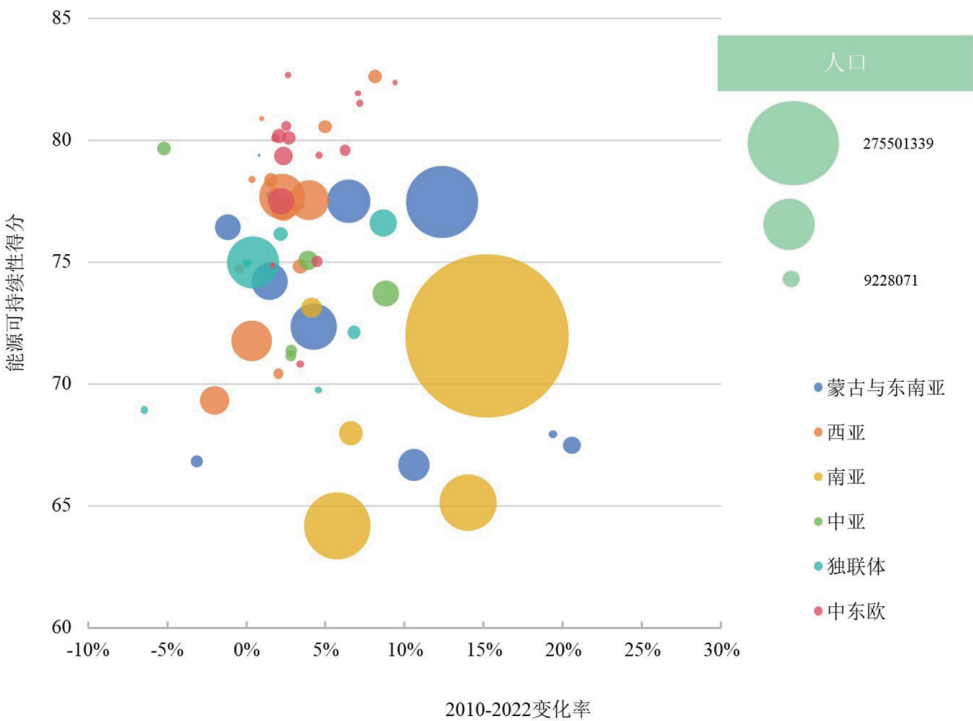


自于可及性的改善。另一方面，斯里兰卡成为了2010–2022年间能源可持续性倒退最为严重的“一带一路”国家，能源可持续性减少了4.9分；其他国家，包括印度（-4.3分）、老挝（-2.1分）、马来西亚（-1.4分）、埃及（-0.9分）、巴基斯坦（-0.3分），能源可持续性在2010–2022年间也出现了一定下降。纵观这些能源可持续性出现下降的国家，大部分国家的能源可持续性下降都主要源于能源清洁度的下降。老挝、斯洛文尼亚、吉尔吉斯斯坦和巴林等国家在可及性方面有明显提升，但这一提升被其清洁度的下降抵消，导致这些国家的能源可持续性总分提升较小，甚至出现下降。越南和俄罗斯则在能源效率维度出现了下降，此外，泰国、阿曼、埃及和印度则在可及性出现了下降。这一现象对部分“一带一路”国

家的能源发展模式提出了警示，尽管解决能源贫困问题、提升能源可及性是能源可持续发展的重要内涵之一，但这一过程不能以牺牲能源可持续性的其他侧面为代价，否则仍然无法全面实现能源系统的可持续发展。

图5–9进一步总结了“一带一路”内部不同地区与国家的特点。可以看到，中东欧国家的能源可持续性得分表现突出，西亚、中亚和独联体的大部分国家虽然能源可持续性得分处在较高水平，但其增长幅度普遍较小，还有部分国家出现了可持续性的倒退；而拥有大量人口的蒙古与东南亚以及南亚国家，虽然能源可持续性得分较低，但其2010–2022年间的增长幅度普遍较大，是推动“一带一路”乃至世界能源可持续性进步的重要动力。

图 5–9 | “一带一路”各国 2010–2022 变化率及 2022 能源可持续性得分对比



结果与讨论

06

6.1 主要结果

本研究成功构建了一套涵盖能源可持续性五个关键维度——可及性、清洁度、效率、可支付性以及可靠性的指标体系，该体系具体划分为 12 个指标。基于这一体系，我们建立了一个全面的指标数据库，涵盖了 140 个国家从 2010 年至 2022 年

的数据，用以计算各国在能源可持续性方面的具体得分。这一研究深入揭示了全球各国及地区能源可持续性的变化，以及全球性事件对能源可持续性的影响。在对世界各地区以及全球性事件层面的分析中，本研究得出以下主要结论：

空间格局方面

全球各地区的能源可持续性评分呈现出显著的地域差异，而这些评分与其经济发展水平密切相关。从低到高的地区得分依次是：撒哈拉以南非洲、南亚、中东与北非、东亚与太平洋、欧洲与中亚、拉丁美洲和北美。

尽管各地区在能源可持续性的各个方面既有相似之处，也存在独特性，但普遍而言，清洁度是阻碍全球实现可持续发展目标 7（SDG7）的关键因素，主要原因在于可再生能源的比例仍然较低。对于撒哈拉以南非洲来说，能源需求的满足——包

括可及性和经济可承受性——是能源可持续性面临的巨大挑战。在南亚、中东和东亚这三个中等水平地区，虽然都存在能源清洁度不足的问题，但具体原因各不相同：南亚的污染物排放强度高，中东与北非的可再生能源占比低，而东亚的碳排放强度高。此外，在南亚，可靠性也是限制 SDG7 实现的重要因素。相比之下，欧洲和美洲地区的能源可持续性表现更为良好，目前实现 SDG7 的主要瓶颈在于清洁度的进一步提升，而且欧洲在可靠性（能源安全）方面也面临一定的挑战。

时序特征方面

2010–2022 年间，全球和各地区的能源可持续性总体呈现出上升趋势，但上升幅度各不相同，撒哈拉以南、南亚和东亚地区的少数发展中国家是拉动全球能源可持续性增长的主要动力，而其他地区的增长相对缓慢，多数国家的增幅不及全球平均水平。从维度上来说，全球能源可持续性上升的主要动力来自于南亚、东亚和撒哈拉以南非洲国家的

可及性增长，中亚、欧洲和北美等地区的清洁性提升也有一定贡献；然而，部分地区在某些维度的能源可持续性却出现了下滑。南亚和撒哈拉地区的能源清洁度均有所下降，而在能源可靠性方面，撒哈拉、东亚及太平洋地区、拉丁美洲以及欧洲与中亚地区也出现了不同程度的退步。

结合 2030 目标来看，2010–2022 世界能源

可持续性上升的幅度和速度并不理想，如果保持 2010–2022 阶段的增速，2030 年世界能源可持续性得分仅能达到 SDG7 目标值的 92.3%，而实现

SDG7 目标需要 2023–2030 阶段的能源可持续性以原增速 2.9 倍的速度上升。

▼ 全球性事件的影响

疫情期间，全球能源可持续性综合得分增速普遍放缓。受影响最严重的是撒哈拉地区，增速下降 0.36 个百分点。不同维度呈现显著差异：清洁度因可再生能源占比提升和空气污染物和 CO₂ 排放减少，在撒哈拉、南亚等地增速不降反升，撒哈拉更以 0.67 个百分点的增速提高居首。相反，可支付性得分增速在所有地区均恶化，撒哈拉以南地区跌幅最大（下降 3.69 个百分点），主因油价波动、进口受限及收入减少推高用电成本。同样地，能源效率得分增速在撒哈拉以南地区降幅最大（下降 1.1 个百分点）。东亚与太平洋地区因可再生能源发展和能效提升，可靠性得分增速最快，上升了 0.66 个百分点。整体上，疫情加剧了低收入和基础薄弱地区的能源脆弱性，而基础设施完善的地区抗风险能力更强。各国因此更加重视能源安全，加速推动可再生能源本土化发展。

俄乌冲突显著重塑了欧洲能源格局，对各国能源可持续性造成结构性影响。东欧和北欧总体呈正向增长，尤其在可靠性方面提升明显，主要得益于能源自给率提高及对进口依赖的降低。相反，西欧和南欧出现小幅下降，清洁度与可靠性维度跌幅显著。可支付性成为普遍下降的维度，主因是俄罗斯天然气供应大幅削减 30% 及进口市场份额收缩，推动电价和气价急剧上升，欧盟家庭电价同比上涨 20.9%，天然气价格上涨 46.2%，进而抑制了能源总需求。西欧能耗降幅最大（-6.6%），南欧最小（-1.0%）。同时，非化石能源增长放缓，东欧、南欧和西欧占比下降，仅北欧化石能源比例微升。为应对俄乌冲突引发的供应不稳定，欧洲加速能源结构转型，加大对新能源的投资与部署，逐步替代传统化石能源进口，推动能源体系向安全与可持续方向重构。

▼ “一带一路”

以发展中国家为主、占全球人口 44% 的“一带一路”国家在能源可持续性水平（71.1 分）上接近世界平均水平（72.3 分），但与代表着发达国家的 OECD 国家（78.5 分）仍然存在差距。“一带一路”国家在能源清洁度、能源效率和可靠性上显著低于 OECD 国家，分别只达到了 OECD 国家得分的

86.3%、85.0% 和 82.2%；其中可及性中的清洁炊事燃料普及率和电气化率、清洁度中的可再生能源比例和空气污染物排放强度以及能源效率中的单位 GDP 能源强度，是“一带一路”与 OECD 国家差距最大的指标。2010–2022 年“一带一路”国家能源可持续性快速增长，增长幅度达到 9.2%，

高于 OECD 国家（2.1%）。2020 年，由于新冠疫情和世界经济波动等因素的影响，“一带一路”国家的能源可持续性增速相比于 2015–2020 年有所下降。相比之下，OECD 国家在 2010–2022 年的年均增速都较为缓慢，但在 2020 年，由于新冠疫情造成的一系列短期影响，如整体能源需求下降、可再生能源比例的上升、电力消费占比升高等，OECD 国家的能源可持续性增速反而达到了新高（0.6%），这也体现出了“一带一路”国家和 OECD 国家能源发展所属阶段的不同。

“一带一路”国家的能源可持续性增长主要来自于可及性的提升，贡献了提升总量的 95.8%，特别是农村电力普及率和清洁炊事燃料普及率，分别上升了 23.8% 和 22.9%；能源清洁度和能源效率提升也有一定贡献。可支付性和可靠性则出现了下降，特别是能源自给率出现明显下滑。

“一带一路”内部各国的 2022 年能源可持续性同

样有着较大差异，中东欧国家领先于其他国家，而东南亚和南亚国家能源可持续性相对较低。“一带一路”国家中，得分位于前列的国家包括拉脱维亚（80.9 分）、爱沙尼亚（80.6 分）、斯洛文尼亚（80.3 分）、阿尔巴尼亚（80.2 分）等，而得分较低的国家则包括孟加拉国（61.7 分）、巴基斯坦（62.6 分）、老挝（65.1 分）、黎巴嫩（66.3 分）和伊拉克（66.6 分）。从 2010–2022 年的能源可持续性发展来看大部分“一带一路”国家的能源可持续性有所增长，伊朗、塔吉克斯坦、希腊等国家的发展最为迅速；但与此同时，部分“一带一路”国家的能源可持续性出现了下滑，包括印度、老挝、马来西亚、埃及、巴基斯坦等，其共同特点是化石能源消耗量的突增使能源清洁度大幅下跌，反映出了部分国家依赖化石能源的能源发展模式对其能源可持续性造成的负面影响。

▼ 各地区现状

撒哈拉以南非洲	作为全球能源可持续性发展的相对滞后地区，长期以来面临的最大挑战依然是能源贫困问题，能源的可及性和可支付性方面难以满足民众的基本需求。尽管在 2010 至 2022 年间，这一状况有所缓解，但问题依旧严峻，亟需进一步解决。
南亚	南亚地区在 2010 至 2022 年间，能源可持续性增长显著提速，这主要得益于能源可及性的不断提升。然而，能源可靠性问题逐渐凸显，成为该地区能源可持续发展面临的主要挑战。
中东与北非	中东和北非地区面临的主要问题在于可再生能源的比例过低，而且在 2010 年至 2022 年期间，该地区能源可持续性的增长也显得极为缓慢，这一状况亟待改善以应对日益严峻的能源挑战。
东亚与太平洋	东亚与太平洋地区能源可及性进步明显，但能源需求增长、化石能源进口依存度攀升，可靠性下降引发的能源安全问题凸显。该地区需在保持可及性进步的同时，解决能源结构转型和供应安全保障等挑战，以实现均衡可持续发展。
欧洲与中亚	在能源清洁转型之外，欧洲与中亚地区的能源可持续性发展还面临着能源安全方面的挑战，俄乌冲突暴露出能源进口面对突发情况的不稳定性。
拉丁美洲	拉丁美洲需要在进一步提升清洁度的同时，兼顾其他能源可持续性维度的发展。
北美	北美地区的能源可持续性全面领先于其他地区，进一步提升能源清洁度将是北美能源发展的主题。

6.2 讨论

全球能源转型需考虑地区差异。低收入国家应解决能源贫困，中等收入国家需升级高碳设施和发展储能技术，高收入国家则应加强多维协同。转型中必须面对深层结构性问题，如能源贫困恶性循环、工业化排放增加、能源系统脆弱性，以及多维目标冲突。加速转型需双管齐下：利用政策杠杆和技术突破推动系统变革，总结疫情和俄乌冲突应对经验，增强应对危机韧性。国际合作至关重要，

COP29 资金目标和“一带一路”实践表明，需通过可再生能源直接投资、技术共享和设立专项基金，解决全球发展不平衡问题，实现能源可及性、清洁性和可靠性提升。系统性行动需嵌入多维评估工具，为低收入国家提供定向支持，将地缘政治风险纳入能源安全框架，重构公正、坚韧和可持续的全球能源体系。

各地区国家能源战略的侧重点

低收入国家：以“可及性与可支付性”为核心。2022 年，撒哈拉以南非洲地区可及性和可支付性是最大短板。该区域农村电力普及率处于全球低位，而家庭电费支出占可支配收入处于全球前列。尽管非化石能源占比高达 2/3，但其中一半以上为低效初级生物固体燃料，既无助于现代清洁转型，又加剧了室内污染和森林退化。在这一背景下，低收入国家的能源战略应将能源贫困的解决列为重点。中等收入国家：兼顾“清洁转型”与“系统可靠性”。南亚作为典型代表，在可及性方面已接近世界平均，但可靠性与清洁度仍落后。虽然电力普及率已超过 90%，但频繁停电和高碳基础设施锁定（煤电新增占比仍较高）制约了可持续性进一步提升¹。中东与北非地区自给率虽有 77.5%，却因化石能源占比超 90% 而清洁度得分长期偏低。因

此，现有能源基础设施的升级改造和有序淘汰将与清洁能源的发展一同成为中等收入国家推进能源可持续发展的重要手段。可以通过对现有的煤电和燃气发电设施进行技术革新、提高调峰灵活性或逐步淘汰，并配合抽水蓄能和锂电储能项目，来增强电网的可靠性和调度灵活性。高收入国家：聚焦“清洁度领先”与“系统韧性”。这两大区域已基本实现全面电力可及和高效能耗水平，但清洁度年均提升未达预期目标，正面临“边际效益递减”挑战。俄乌冲突期间，欧洲短期重启燃煤和大增 LNG 进口，也暴露出能源安全与碳中和目标的张力。在这一过程中，高收入国家应重点关注清洁度提升与其他维度的协同发展，确保能源可持续性的其他维度在清洁转型过程中同样得到发展。

▼ 全球能源可持续性转型困境

全球能源可持续性呈现显著的地区差异，反映了经济结构、能源禀赋与政策执行的深层矛盾。撒哈拉以南非洲深陷能源贫困循环——农村电力普及率与电气化率全球最低，电费支出占比超位于全球前列，其非化石能源占比虽远高于其他国家，但多为低效初级生物固体燃料，揭示“表面优势下的深层矛盾”。与之形成鲜明差距的是，欧美电力覆盖处于全球领先水平、电费占比远低于其他国家，可再生能源与世界平均水平相当。东亚与南亚

的工业化进程推高污染物与 CO₂ 排放强度，中东则因化石依赖致 CO₂ 强度居各地区首位，凸显经济结构与能源转型的深层矛盾。南亚虽实现农村电力覆盖率突破，却频发大规模停电（如印度 6 亿人断电²和孟加拉 1.3 亿人断电³），其能源进口依赖（印度煤炭进口接近 1/4⁴）与转型迟滞暴露系统脆弱性。地缘格局重塑中，发展中国家需平衡基建投资与清洁转型，发达国家则面临巩固电价优势与加速可再生能源替代的双重挑战。

▼ 能源系统的加速转型与协同发展

研究结论表明，现有的能源发展路径和能源转型政策并不足以满足 SDG7，特别是能源清洁度相关的目标，这一点也与等机构针对 1.5℃ 气候目标的研究结论一致。因此，抓住 2030 年前的最后窗口期，综合利用行政命令、财税、金融等政策工具，加大对清洁能源的支持，是全球实现 SDG7 的必由之路。与此同时，推进能源的清洁转型也要充分考虑与能源可持续性其他维度的协同发展。清洁转型会创造多维度协同发展的机遇，包括通过清洁能源解决能源贫困问题和能源安全问题，升级改造现有的能源基础设施以提高能源效率等；

但清洁转型也会在其他维度带来潜在的挑战，这些挑战包括清洁能源大规模发展可能带来的材料短缺问题，电网波动问题以及能源可支付性问题等⁵。本研究结果表明，若片面强调能源发展的单一维度（如可及性）而忽视其他维度（如

清洁度和可靠性），可能导致能源可持续性整体水平下降。以 2010–2022 年“一带一路”国家中的老挝和马来西亚为例，尽管其能源可及性有所提升，但由于清洁度和可靠性维度的显著倒退，最终导致能源可持续性综合得分不升反降。这一发现提示，政策制定者需在清洁发展战略规划中系统考量各维度间的协同效应，平衡可及性、清洁度与可靠性的协调发展，以避免单一维度进步被其他维度的退步所抵消。下面的政策建议基于报告结论与各地区表现，目标是——在 2030 年前尽可能压缩实现 SDG7 所需的速度差距，同时在推进清洁转型时保障可及性、可靠性与可支付性的协同发展。

实施差异化区域战略。低收入国家以可及性与可支付性为核心，优先推动分布式可再生能源与清洁炊事燃料普及；中等收入国家重点推进清洁转型与电网可靠性升级，逐步淘汰高碳设施并

配套储能系统；高收入国家聚焦深度脱碳与系统韧性，加速氢能、CCUS 等技术商业化与能源进口多元化。

强化多维政策协同。建立能源可持续性综合评估机制，在清洁能源部署中同步考量电网稳定性、关键材料供应与社会公平性，避免单一维度突进而整体失衡。

加速关键技术突破与全球扩散。重点支持储能、智能电网、低风速风电等瓶颈技术研发，并通过“一带一路”等合作机制促进成熟技术向发展中国家转移。

深化国际合作与资金保障。落实 COP29 气候资金目标，定向支持发展中国家清洁能源基础设施与韧性建设，构建全球能源安全共同体。

▼ 危机交织中的能源重构

全球公共卫生危机暴露出能源系统脆弱性，疫情发生后，所有地区的能源可持续性得分增速与疫情前相比有所放缓。疫情导致的供应链断裂⁶使撒哈拉以南非洲农村电网建设陷入停滞^{7,8}，投资缺口扩大⁹与发电成本飙升¹⁰形成叠加效应，加剧区域电气化失衡。值得注意的是，尽管家庭收入下降与防疫封锁显著抑制清洁烹饪燃料获取^{11,12}，但政府主导的定向支持¹³有效避免了区域性普及率大幅下滑。与此同时，疫情意外成为环境压力的短期缓释剂——2020 年 4 月全球 CO₂ 日排放量与上一年相比下降 17%¹⁴，伴随 NO₂、SO₂ 等污染物同步减少^{15,16}，撒哈拉、南亚、拉丁美洲和东亚与太平洋地区清洁度得分增速快于疫情前的水平，揭示出了经济停滞与排放强度的强关联性。欧洲能源依赖型经济体¹⁷在电力消耗下降背景下实现了可再生电力占比的突破，德、法、意、西等国电力需求的结构性收缩¹⁷与燃料贸易受阻形成倒逼机制，实现了疫情后清洁度得分增

速快于疫情前。同一维度下，地区间的不同反应凸显出处于不同发展阶段的地区在应对疫情时面临的挑战。俄乌冲突作为 21 世纪能源地缘政治的分水岭，对欧洲能源转型极为重要。短期内，欧盟通过重启燃煤机组与 LNG 进口激增填补能源缺口¹⁸，这种应急策略虽维持了系统稳定，却导致航运碳排放激增与英国超 300 万家庭陷入燃料贫困¹⁹，暴露出转型进程中的社会成本问题²⁰。更深层的矛盾体现在战略维度：作为关键矿产供应方与第三大石油生产国，俄罗斯的角色冲突推高了可再生能源投资成本，而欧洲加速脱碳的决心^{21,22}，与其历史性能源依赖形成尖锐对立。这种张力不仅威胁 SDG7 目标的实现路径²³，更重塑了全球能源权力结构——当能源安全与气候承诺产生根本性冲突时，各国对俄能源进口依赖程度正成为决定其转型路径韧性的关键变量，其长期影响仍需通过动态监测揭示系统性风险。

关键技术进步对能源可持续性的推动

技术的不断进步是推动能源可持续性在多维度提升的核心驱动力。欧洲能源清洁度的持续提升，根本上依赖于风电和光伏技术的快速迭代升级，组件效率的提升、材料成本的下降以及规模化制造，共同促使每度电的成本自 2010 年以来降至与传统能源相近的水平²⁴，这种进步显著提高了清洁能源的占比。而北美在可靠性维度逆势提升，主要得益于水平钻井与水力压裂等技术的商业化，使页岩油气资源得以规模开发，美国因此由天然气净进口国转为净出口国，显著增强了能源安全性。尽管如此，

全球清洁度提升的平均速度仍远未达到 2030 年可持续发展目标 7 (SDG7) 的要求。原因之一是储能、CCUS 与氢能等新兴低碳技术尚未真正突破“成本—规模”临界点，仍大范围依赖政府补贴与政策保障。中低收入国家关键技术部署的区域不均，也进一步放大了全球能源不平等。因此，加快关键能源技术的商业化与全球扩散，已成为当前能源转型能否提速的决定性因素。只有实现风光“可调度”、化石能源“有序脱碳”与氢能“产业接入”，能源系统的多维可持续性才能实现同步提升。

全球及地区层面的国际合作

2010 年至 2022 年间，全球能源可持续性发展在地区和国家层面存在显著的不平衡性。这种不平衡的局面亟待解决，需要世界各国在能源和气候领域展开更加紧密、切实的合作，涵盖治理体系、金融投资以及技术研发等多个方面。在 2024 年 11 月，《联合国气候变化框架公约》第 29 次缔约方大会 (COP29) 上通过的决议文件中，提出了一个全新的资金目标。这一目标的设定旨在帮助各国保护其人民和经济免受气候灾害的影响，并促进清洁能源的普及，使各国能够共享由此带来的巨大经济利益。这一资金计划明确指出，到 2035 年，向发展中国家提供的资金将增长至原来的三倍，即从原先每年 1000 亿美元的目标提升至每年 3000 亿美元。这一

宏伟目标的实现，依赖于全球各行为体的共同努力，需不断扩大对发展中国家的融资规模，确保到 2035 年，每年从公共和私人来源获得的资金达到 1.3 万亿美元。“一带一路”是国际合作有力推动能源可持续性发展的另一个例证，指数结果显示，自 2015 年“一带一路”倡议正式提出后，“一带一路”国家的能源可持续性发展速度显著加快，表明“一带一路”合作的开展与各国能源可持续性进步间存在正向关联。在这些成果的基础上，下一阶段的国际合作应重点关注合作倡议的落地，如加大对可再生能源项目的投资力度、促进发达国家对发展中国家的技术分享与援助、以及设立国际清洁能源专项基金等。

6.3 研究展望

以本研究为基础，未来的改进和长期发展可以聚焦于以下 4 个方向：

深化长周期趋势与突发事件响应分析。本研究将数据跨度扩展至 2010–2022 年，覆盖了包括新冠疫情冲击、地缘政治冲突（如俄乌战争）等关键时期。未来研究应充分利用这一更长时间序列，深入刻画全球及各国能源可持续性在长周期下的演变路径、转折点及韧性特征。特别需要聚焦于分析不同类型全球性冲击（如疫情、战争、极端气候事件）对能源可持续性各维度（安全、经济、环境）的差异化影响机制、恢复模式及滞后效应，为构建更具韧性的全球能源系统提供历史镜鉴和预警框架。同时，保持年度或双年度的数据与评估更新机制，持续追踪最新动态。

脆弱性与韧性评估的精细化。在识别出疫情和战争对能源系统造成显著冲击的基础上，未来研究应致力于构建更完善的能源系统脆弱性与韧性评估框架。这包括：（1）识别关键脆弱点：结合数据，系统分析不同国家/地区（特别是能源进口依赖度高、基础设施薄弱、经济承受力低的国家）在面对供应中断、价格剧烈波动、需求骤变时的脆弱性表现及根源；（2）量化韧性指标：发展或纳入能反映能源系统适应、恢复和转型能力的量化指标（如战略储备充足度、能源来源多

元化指数、电网智能化水平、可再生能源部署速度、需求响应能力等）。

整合多源异构数据与前沿技术。为更全面、及时地刻画复杂多变的全球能源图景，特别是捕捉突发事件的影响，未来研究应大力拓展数据来源并应用新技术，积极纳入高分辨率卫星遥感数据（如监测能源基础设施状态、夜间灯光变化）、高频电力市场数据、大宗商品贸易流数据、舆情大数据（感知政策影响和市场情绪）等，弥补传统统计数据在时效性和空间分辨率上的不足；利用机器学习等方法提升数据处理效率，识别复杂模式与关联，进行更精准的预测预警（如能源价格走势、需求变化、供应风险）。

耦合宏观经济与地缘政治因素的系统动力学研究。疫情与战争深刻揭示了能源系统与宏观经济、地缘政治的高度耦合性。未来研究应超越简单的关联分析，致力于构建系统动力学模型或应用更复杂的计量方法，深入分析能源价格波动、供应链重塑如何影响全球通胀、经济增长、产业链布局（如近岸外包、友岸外包），以及反过来，宏观经济政策（如财政补贴、利率调整）、地缘政治联盟变化（如能源贸易流向转移、制裁与反制）又如何塑造能源可持续性的演变路径。

附录

A 地区与国家列表

世界各国国家（140个）

区域	区域所对应的国家和地区 *
撒哈拉以南非洲（32）	安哥拉、贝宁、博茨瓦纳、喀麦隆、刚果（布）、科特迪瓦、刚果（金）、赤道几内亚、厄立特里亚、埃塞俄比亚、加蓬、加纳、肯尼亚、毛里求斯、莫桑比克、纳米比亚、尼日尔、尼日利亚、塞内加尔、南非、苏丹、坦桑尼亚、多哥、赞比亚、津巴布韦、布基纳法索、乍得、马达加斯加、马里、毛里塔尼亚、卢旺达、乌干达
南亚（5）	孟加拉国、印度、尼泊尔、巴基斯坦、斯里兰卡
中东与北非（15）	阿尔及利亚、巴林、埃及、伊朗、伊拉克、以色列、约旦、科威特、黎巴嫩、利比亚、摩洛哥、阿曼、卡塔尔、沙特阿拉伯、突尼斯、阿联酋
东亚与太平洋（16）	澳大利亚、文莱、柬埔寨、中国、印度尼西亚、日本、韩国、老挝、马来西亚、蒙古、缅甸、新西兰、菲律宾、新加坡、泰国、越南
欧洲与中亚（47）	阿尔巴尼亚、亚美尼亚、奥地利、阿塞拜疆、白俄罗斯、比利时、波黑、保加利亚、克罗地亚、塞浦路斯、捷克、丹麦、爱沙尼亚、芬兰、法国、格鲁吉亚、德国、希腊、匈牙利、冰岛、爱尔兰、意大利、哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦、拉脱维亚、立陶宛、卢森堡、摩尔多瓦、荷兰、北马其顿、挪威、波兰、葡萄牙、罗马尼亚、俄罗斯、塞尔维亚、斯洛伐克、斯洛文尼亚、西班牙、瑞典、瑞士、塔吉克斯坦、土耳其、土库曼斯坦、乌克兰、英国、乌兹别克斯坦
拉丁美洲（22）	阿根廷、玻利维亚、巴西、智利、哥伦比亚、哥斯达黎加、古巴、多米尼加、厄瓜多尔、萨尔瓦多、危地马拉、圭亚那、海地、牙买加、墨西哥、尼加拉瓜、巴拿马、巴拉圭、秘鲁、苏里南、特立尼达和多巴哥、乌拉圭
北美（2）	加拿大、美国

* 表格内未出现的其他国家和地区未包括在本报告研究范围内

“一带一路”国家（58个，不含中国）

区域	区域所对应的国家和地区 *
蒙古与东南亚（11）	蒙古、新加坡、马来西亚、印度尼西亚、缅甸、泰国、老挝、柬埔寨、越南、文莱、菲律宾
西亚（15）	伊朗、伊拉克、土耳其、约旦、黎巴嫩、以色列、沙特阿拉伯、阿曼、阿联酋、卡塔尔、科威特、巴林、希腊、塞浦路斯、埃及
南亚（5）	孟加拉国、印度、尼泊尔、巴基斯坦、斯里兰卡
中亚（5）	哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、土库曼斯坦、塔吉克斯坦、吉尔吉斯斯坦
独联体（7）	俄罗斯、乌克兰、白俄罗斯、格鲁吉亚、阿塞拜疆、亚美尼亚、摩尔多瓦
中东欧（15）	波兰、立陶宛、爱沙尼亚、拉脱维亚、捷克、斯洛伐克、匈牙利、斯洛文尼亚、克罗地亚、波黑、塞尔维亚、阿尔巴尼亚、罗马尼亚、保加利亚、北马其顿

* 表格内未出现的其他国家和地区未包括在本报告研究范围内

B 方法学详解

➤ 选取和筛选指标

通过对 SDG7 的原文表述“确保人人获得负担得起的、可靠和可持续的现代能源”进行分析，以及结合已有研究对能源可持续性的定义，研究提炼出了衡量能源可持续性的 5 个方面，即能源普及（确保尽可能多的人能够使用电力等现代能源）、清洁度（减少能源的生产和使用对环境的影响）、能源效率（能源的单位投入应带来尽可能多的产出）、可支付性（能源消费支出的负担尽可能小）、可靠性（确保

能源系统有稳定可靠的供应）。基于指标选取的 5 个原则和 SDG7 的 5 个方面，研究以联合国原有指标体系、WETI、ETI 和相关的能源可持续性指标研究等为基础，初步选取了以下指标，如附表 1 所示。

对初选指标的筛选主要考虑了两个问题，一是指标与其他指标的相关性，对于与其他指标有明显相关的指标进行剔除。初选指标中，“能源价格”与“电力消费占家庭收入的比例”具有较

附表 1 | 初选指标

能源可持续性维度	初选指标	筛选结果
可及性	农村人口的电力普及率	保留
	城镇人口的电力普及率	保留
	清洁炊事燃料的普及率	保留
	终端能源消费的电气化率	保留
清洁度	终端能源消费中非化石能源占比	保留
	空气污染物排放强度	保留
	CO ₂ 排放强度	保留
	能源行业带来的水资源压力	删除（可得性不足）
	其他环境影响	删除（可得性不足）
能源效率	单位 GDP 的能源排放强度	保留
	能源损失率	保留
可支付性	电力消费占居民收入的比例	保留
	能源价格（电力、化石能源）	删除（与其他指标强相关）
可靠性	电力消费者经历的年均停电次数	保留
	能源自给率	保留
	人均能源进口量	删除（与其他指标强相关）
	能源系统的抗风险能力	删除（可得性不足）

强的相关关系（电力消费占家庭收入的比例直接取决于电力的价格和当地的家庭收入），而“人均能源进口量”与“能源自给率”（即能源消费中不来自进口能源的比例）也直接相关（能源自给率直接取决于国家的能源进口总量与能源消费总量）。因此对这两个指标予以剔除。第二个考虑的问题是指标数据的可得性，对于数据可得性

不足，无法获得全球尺度数据的指标进行筛选。初选指标中“能源行业带来的水资源压力”、“其他环境影响”和“能源系统的抗风险能力”缺少在全球尺度上的，具有统一标准的数据量度，因此予以剔除。最终确定的指标体系如正文中表 2-1 所示：

指标数据的收集与处理

指标数据的来源包括国际能源署（IEA）的世界能源平衡表、世界能源价格和能源温室气体排放数据库，世界银行的世界发展指数数据库，以及全球大气研究排放数据库（EDGAR）的污染物排放数据库。在完成数据收集后，研究识别了数据中的缺失值和异常值，并采用以下原则与方法进行处理，以便后续分析的开展：

对于同一个国家缺失部分年份数据的情况，当数据呈现显著的时间变化趋势时，采用线性插值与外推的方法填补缺失值，利用这一方法处理的数据包括年均停电次数；当数据未呈现显著的时间变化趋势时，采用最接近年份的数据代替缺失值，利用这一方法处理的数据包括污染物清洁炊事燃料的普及率、污染物排放强度以及能源价格。

对于一个国家所有年份数据均缺失的情况，

当缺失的指标数据较少时，采用所处地理区域或收入分组的平均值代替，清洁炊事燃料的普及率、年均停电次数以及能源价格中部分数据的处理应用到了这一方法。最后，对于指标缺失过多的国家，研究不将其纳入评价范围内。

为将各指标数据转化成可以相互对比的形式，研究采用极值处理法对数据进行了标准化，具体计算过程如下：

效益型指标：

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij} - \min_j(X_{ij})}{\max_j(X_{ij}) - \min_j(X_{ij})}$$

成本型指标：

$$Y_{ij} = \frac{\max_j(X_{ij}) - X_{ij}}{\max_j(X_{ij}) - \min_j(X_{ij})}$$

其中， x_{ij} 代表标准化前的数据， y_{ij} 代表标准化后的数据。

确定指标权重

本研究具有以下相关的特点：

（1）针对研究目的，本研究采用的方法应

具有透明度和可重复性。

（2）研究收集了世界大部分国家的数据，

属于较为完整的样本。

(3) 体系的各个指标间具有较为复杂的联系。

朱喜安 2020 年的研究对比了几种赋权方式的特点以及适用范围，其结果显示在透明度较高的客观方法中，熵权法在样本数据完整和指标间具有复杂联系时的表现最好³⁶。因此本研究选用熵权法作为权重确定的主要方法。针对客观赋权法的潜在问题，研究在完成权重确定后对结果进行主观分析，以判断得到的结果是否与评价工作的整体取向一致。

熵权法的基本原理是根据各项指标观测值提供的信息量大小来确定指标权重。熵权法借用了信息论中“信息熵”的概念和计算方法，利用信息熵来衡量各指标提供的信息量大小³⁵。其具体计算过程如下⁶⁹：

标准化：

对共有 m 个个案， n 个指标的数据，计第 i 个个体的第 j 项指标数据为 y_{ij} ，则标准化后的指标为：

$$Y_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^m y_{ij}}$$

计算指标的信息熵值 e 和信息效用值 d ：第 j 项指标的信息熵值 e 为：

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m (Y_{ij} \cdot \ln Y_{ij})$$

信息效用值：

$$d_j = 1 - e_j$$

根据信息效用值确定权重：

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}$$

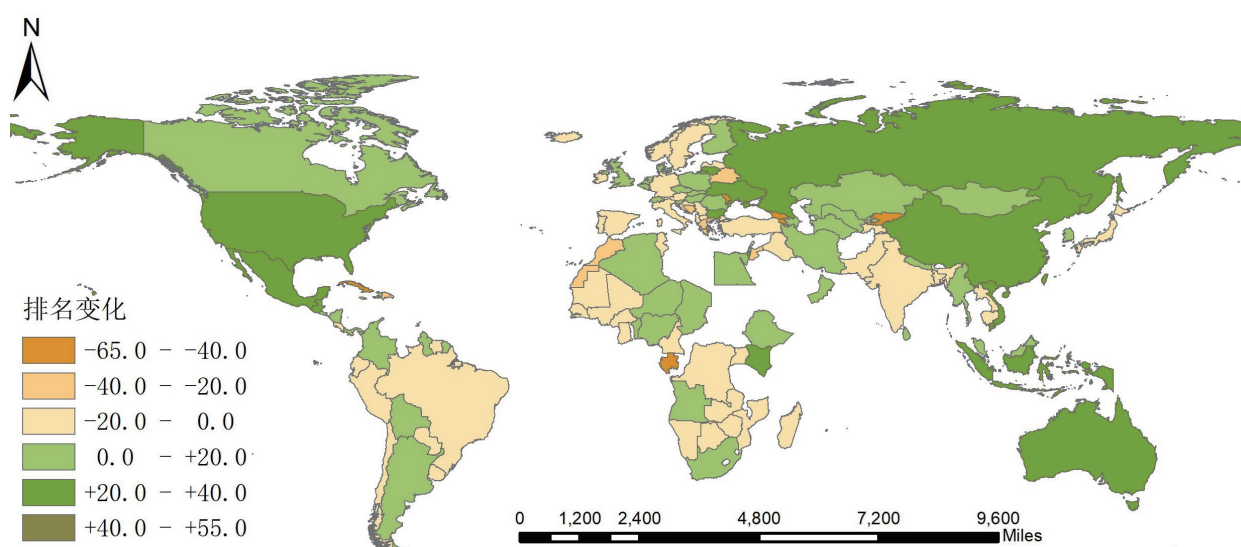
在本研究中，考虑到各个指标携带信息量的量级差别较大，直接将所有指标的信息效用值进行对比可能会导致一些指标和维度权重极小，从而在综合评价中被忽略的情况，与评价的基本取向相悖，因此研究参考了 R.M.Elavarasan 等人 2022 年研究的方法²⁸，先将每个维度下的各个指标利用平均权重（由于 SDG7 原有的指标在联合国可持续发展议程中起着决定性的作用，因此分配给这些指标更大的权重）的方法合成，得到各个维度的得分结果，再对 5 个维度的数据使用熵权法，得到 5 个维度在综合指标中的占比。熵权法得到的权重分配结果如正文中表 2-2 所示。可以看到，在 5 个可持续性维度中，能源可及性和清洁度得到了较高的权重，这与前文所述的能源系统，特别是“一带一路”能源系统最大的两个问题，及能源需求的满足与能源的低碳转型相吻合，因此与评价工作的整体取向相符，可以应用在本研究中。

C 能源可持续性评价指标与 SDG7 原指标对比

与 SDG7 原指标相比，本研究构建的能源可持续性评价指标(下称新指标)补充了可及性、清洁度和能源效率方面的指标(如在可及性中考虑到了电气化率，清洁度中考虑了空气污染物排放等)，并且通过引入可支付性和可靠性指标，覆盖到了这两个在原指标体系中被忽略的维度(见附表 2)，结合更加明确的权重分配方式，实现了对能源可持续性更加全面的评价。与《2023 世界能源可持续报告》相比(下称 23 年指标)，主要在可及性和清洁度维度上发生了变化，可及性权重上升(+4.0%)，清洁度权重下降(-9.7%)。

附图 2 中展示了在新指标与原指标下，各个国家能源可持续性排名的变化。通过新加入的指标和维度，新指标显示出了原指标未能覆盖的问题，使得一些国家的排名相比于原指标下降。例如，欧洲国家的排名相对下降主要是由于能源安全指标的引入；亚洲国家则在新加入的空气污染物和碳排放强度指标上表现不佳，从而出现排名下降；撒哈拉以南非洲国家在可支付性这一新维度上的问题也反映在了其排名的下降中。从新指标和原指标区域分布的差异中，新指标的全面性得到了更直观的体现。

附图 2 | 新指标与原指标下各国的排名变化，绿色代表新指标下排名上升，橙色代表排名下降



附表 2 | 能源可持续性评估指标与原可持续发展目标 7 指标之间的比较。深蓝色高亮的指标对应原可持续发展目标 7 指标，而橙色条目则代表 2023 年世界能源可持续性评估报告——聚焦“一带一路”倡议中所使用的维度权重。

能源可持续性维度	指标
可及性 (41.1%， 37.1%)	农村人口的电力普及率
	城镇人口的电力普及率
	清洁炊事燃料的普及率
	终端能源消费的电气化率
清洁度 (25.2%， 34.9%)	终端能源消费中可再生能源占比
	空气污染物排放强度
	CO ₂ 排放强度
能源效率 (9.7%， 7.4%)	单位 GDP 的能源强度
	能源损失率
可支付性 (10.1%， 9.3%)	电力消费占居民收入的比例
可靠性 (13.8%， 11.3%)	电力消费者经历的月均停电次数
	能源自给率

D 能源可持续性 2030 目标值的设定

为了衡量世界能源可持续性距离 2030 年可持续发展目标的进度，研究根据联合国可持续发展议程中提出的发展目标，结合 IEA《零碳 2050》研究报告的结果，为全球能源可持续性的 12 个指标设定了其在 2030 年的目标值。具体来说，农村电力普及率、城市电力普及率和清洁炊事燃料普及率三个指标根据联合国可持续发展议程设定为 100%，电气化率和可再生能源占比根据《零碳 2050》中实现 1.5℃情景路径下的结果，

分别设定为 26% 和 30%；空气污染物排放强度和 CO₂ 排放强度则根据可再生能源占比的变化设定了新的目标值；2030 年的单位 GDP 能源强度根据《零碳 2050》报告设定为 2019 水平的 62.4%。其他四个指标，包括损失率、电力支出占收入比例、停电频率和能源自给率，由于缺少合适的目标参照值，故设定为与 2022 年水平保持不变，因此本研究的 2030 能源可持续性目标值是一个偏保守的估计。

参考文献

- 1 Tong, D. Committed emissions from existing energy infrastructure jeopardize 1.5 ° C climate target.
- 2 Monster power cut hits nation. DECCAN HERALD <https://web.archive.org/web/20121227121327/http://www.deccanherald.com/content/268237/power-crisis-now-trips-22.html> (2012).
- 3 90% power supply restored across bangladesh after nearly 7hrs of blackout. The Daily Star <https://www.thedailystar.net/environment/natural-resources/energy/news/90-power-supply-restored-across-bangladesh-after-nearly-7hrs-blackout-3135081> (2022).
- 4 IEA. Coal 2019. <https://www.iea.org/reports/coal-2019> (2019).
- 5 IEA. World Energy Outlook 2022. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022> (2022).
- 6 IEA. The Covid-19 Crisis Is Reversing Progress on Energy Access in Africa. <https://www.iea.org/articles/the-covid-19-crisis-is-reversing-progress-on-energy-access-in-africa> (2020).
- 7 Katie, A. & Todd, M. How russia' s invasion of Ukraine will impact africa' s energy transition. Council on Foreign Relations <https://www.cfr.org/blog/how-russias-invasion-ukraine-will-impact-africas-energy-transition> (2022).
- 8 Aemro, Y. B., Moura, P. & de Almeida, A. T. Energy access during and post-COVID-19 pandemic in sub-saharan countries: the case of Ethiopia. Environ. Dev. Sustainability 25, 1236–1257 (2023).
- 9 Jamal, S. & Adrian, T. COVID-19: A Wake-up Call to Increase Access to Electricity in Africa. <https://repository.mines.edu/entities/publication/1d03a277-c085-41ea-9dff-93cdf583d800> (2020).
- 10 IEA. The crisis and global responses. <https://www.iea.org/topics/global-energy-crisis>.
- 11 Shupler, M. et al. Widening inequities in clean cooking fuel use and food security: compounding effects of COVID-19 restrictions and VAT on LPG in a kenyan informal urban settlement. Environ. Res. Lett. 17, 55012 (2022).
- 12 Did COVID-19 change the availability and use of clean energy for cooking? Evidence from Ghana - rebecca KD prah, darby jack, theresa tawiah, seidu iddrisu, sulemana watara abubakari, mohammed nuhu mujtaba, richard joshua tetteh, stephaney gyaase, mieks twumasi, jason saah, joseph wilson, sheila addo, daniel pope, kwaku poku asante, elisa puzzolo, 2023. <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/11786302231198854>.
- 13 Valarezo, A. et al. Resilient clean cooking: maintaining household clean cooking in Ecuador during the COVID-19 pandemic. Energy Sustainable Dev. 74, 349–360 (2023).
- 14 Le Quéré, C. et al. Temporary reduction in daily global CO2 emissions during the COVID-19 forced confinement. Nat. Clim. Change 10, 647–653 (2020).
- 15 NASA Earth Observatory. Airborne nitrogen dioxide plummets over china. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/146362/airborne-nitrogen-dioxide-plummets-over-china> (2020).

- 16 World Economic Forum. This is the effect coronavirus has had on air pollution all across the world. <https://www.weforum.org/stories/2020/04/coronavirus-covid19-air-pollution-environment-nature-lockdown/> (2020).
- 17 Halbrügge, S. et al. How did the German and other European electricity systems react to the COVID-19 pandemic? *Appl. Energy* 285, 116370 (2021).
- 18 David Benatia. Climate: goodbye Russian gas, hello coal. *Polytechnique Insights* <https://www.polytechnique-insights.com/en/braincamps/geopolitics/industry-autonomy-scarcity-the-ripples-of-war-in-ukraine/climate-goodbye-russian-gas-hello-coal/>.
- 19 Department for Energy Security & Net Zero. Annual Fuel Poverty Statistics in England, 2024 (2023 Data). (2024).
- 20 Climate Action Tracker. Global Reaction to Energy Crisis Risks Zero Carbon Transition. <https://climateactiontracker.org/publications/global-reaction-to-energy-crisis-risks-zero-carbon-transition/> (2022).
- 21 EUROPEAN COMMISSION. REPowerEU: Joint European Action for More Affordable, Secure and Sustainable Energy. <https://build-up.ec.europa.eu/en/resources-and-tools/publications/repowereu-joint-european-action-more-affordable-secure-and> (2022).
- 22 Dolf, G. & Ricardo, G. Europe must simultaneously replace Russia's fossil exports and accelerate its clean energy deployment. https://www.irena.org/News/expertinsights/2022/May/Europe-must-simultaneously-replace-Russias-fossil-exports-and-accelerate-its-clean-energy-deployment?utm_source=chatgpt.com (2022).
- 23 Balsalobre-Lorente, D., Sinha, A. & Murshed, M. Russia-Ukraine conflict sentiments and energy market returns in G7 countries: discovering the unexplored dynamics. *Energy Econ.* 125, 106847 (2023).
- 24 IRENA. Renewable Power Generation Costs in 2020. <https://www.irena.org/publications/2021/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2020> (2021).
- 25 Singh, H. V., Bocca, R., Gomez, P., Dahlke, S. & Bazilian, M. The energy transitions index: an analytic framework for understanding the evolving global energy system. *Energy Strategy Reviews* 26, undefined-undefined (2019).
- 26 Kørnø, L., Lyhne, I. & Davila, J. G. Linking the UN SDGs and environmental assessment: towards a conceptual framework. *Environ. Impact Assess. Rev.* 85, 106463 (2020).
- 27 Arora, N. K. & Mishra, I. United Nations Sustainable Development Goals 2030 and environmental sustainability: race against time. *Environ. Sustainability* 2, 339–342 (2019).
- 28 Madurai Elavarasan, R. et al. A novel sustainable development goal 7 composite index as the paradigm for energy sustainability assessment: a case study from Europe. *Appl. Energy* 307, 118173 (2022).
- 29 World Energy Council. World Energy Trilemma Framework. <https://www.worldenergy.org/transition-toolkit/world-energy-trilemma-framework> (2021).
- 30 Shortall, R. & Davidsdottir, B. How to measure national energy sustainability performance: an Icelandic case-study. *Energy for Sustainable Development* 39, 29–47 (2017).
- 31 Rusydiana, A., Laila, N., Tubastuvi, N., Ibrahim, M. & Marlina, L. Energy efficiency in OIC countries: SDG 7 output. *International Journal of Energy Economics and Policy* 2, 74–81 (2020).
- 32 Su, W., Zhang, D., Zhang, C. & Streimikiene, D. Sustainability assessment of energy sector development in China

- and European Union. Sustainable Development 28, 1063–1076 (2020).
- 33 Altintas, K., Vayvay, O., Apak, S. & Cobanoglu, E. An extended GRA method integrated with fuzzy AHP to construct a multidimensional index for ranking overall energy sustainability performances. Sustainability 12, 1602 (2020).
 - 34 Siksnelyte, I., Zavadskas, E. K., Bausys, R. & Streimikiene, D. Implementation of EU energy policy priorities in the Baltic Sea Region countries: Sustainability assessment based on neutrosophic MULTIMOORA method. Energy Policy 125, 90–102 (2019).
 - 35 郭亚军. 综合评价理论、方法及应用. (北京: 科学出版社, 2007).
 - 36 朱喜安. 综合评价方法优良标准研究. (武汉大学出版社, 2020).
 - 37 IMF. 实现撒哈拉以南非洲的稳健复苏. <https://www.imf.org/zh/Blogs/Articles/2020/09/15/blog-charting-a-path-for-a-resilient-recovery-in-sub-saharan-africa> (2020).
 - 38 Tomala, J., Mierzejewski, M., Urbaniec, M. & Martinez, S. Towards sustainable energy development in sub-saharan africa: challenges and opportunities. Energies 14, 6037 (2021).
 - 39 Ferriani, F. & Gazzani, A. The impact of the war in Ukraine on energy prices: consequences for firms' financial performance. Int. Econ. 174, 221–230 (2023).
 - 40 Kirat, Y. The US shale gas revolution: an opportunity for the US manufacturing sector? Int. Econ. 167, 59–77 (2021).
 - 41 World Bank. Commodity Markets Outlook. (2021).
 - 42 World Economic Forum. COVID-19 is a game-changer for renewable energy. Here's why. <https://www.weforum.org/stories/2020/06/covid-19-is-a-game-changer-for-renewable-energy/> (2020).
 - 43 电力规划设计总院. 中国电力发展报告2023. (2023).
 - 44 Ministry of New and Renewable Energy. Year wise achievements. Government of India <https://mnre.gov.in/en/year-wise-achievement/>.
 - 45 Kong, L. et al. Unbalanced emission reductions of different species and sectors in China during COVID-19 lockdown derived by multi-species surface observation assimilation. Atmos. Chem. Phys. 23, 6217–6240 (2023).
 - 46 黄晓勇, 陈卫东, 王永中 & 王伟. 世界能源发展报告 (2022). (北京, 社会科学文献出版社, 2022).
 - 47 Ubaid-ur, R., Zainab, B. & Mahnoor, A. Energy Security and Resilience in South Asia, A Case of Transitioning to Sustainable Sources. <https://www.nbr.org/publication/energy-security-and-resilience-in-south-asia/> (2023).
 - 48 Eurostat. Extra-EU trade by partner. Eurostat https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/EXT_LT_MAINEU__custom_5238124/bookmark/table?lang=en&bookmarkId=fc986163-49b6-4b43-a6b1-04fe3dab9ff4.
 - 49 Eurostat. EU trade with Russia - latest developments. Eurostat https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=EU_trade_with_Russia_-_latest_developments.
 - 50 European Court of Auditors. Leakages remain in the EU's gas supplies. <http://www.eca.europa.eu/en/news/news-sr-2024-09> (2024).
 - 51 IEA. Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector. (2021).

- 52 Renewable Energy Market Analysis: Africa and Its Regions. (International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2022).
- 53 Jain, P. & Goswami, B. Energy efficiency in south Asia: trends and determinants. *Energy* 221, 119762 (2021).
- 54 Shrestha, R., Limbu, T. R., Bahadur Pradhan, B., Paudel, A. & Karki, P. Energy Efficiency in South Asia: Opportunities for Energy Sector Transformation. <https://www.adb.org/publications/energy-efficiency-south-asia-opportunities> (2020) doi:10.22617/TCS200435.
- 55 Mani, S., Agrawal, S., Jain, A. & Ganesan, K. State of Clean Cooking Energy Access in India. (2020).
- 56 Mail & Guardian. India blackouts leave 700-million without power – the mail & guardian. <https://mg.co.za/article/2012-08-01-india-blackouts-leave-700-million-without-power/> (2012).
- 57 Khalid, M. Power outages of up to 12 hours hit country. <https://www.thenews.com.pk/print/952326-power-outages-of-up-to-12-hours-hit-country> (2022).
- 58 Saswata, C., Raktimava, B., Debanka, S. & Venkatachalam, A. Renewable Energy Transition in South Asia: Role of Regional Energy Trade. <https://www.eria.org/research/renewable-energy-transition-in-south-asia-role-of-regional-energy-trade/> (2023).
- 59 Qudrat-Ullah, H. A review and analysis of green energy and the environmental policies in south Asia. *Energies* 16, 7486 (2023).
- 60 British Petroleum. Statistical Review of World Energy 2021. (2021).
- 61 Poudineh, R., Sen, A. & Fattouh, B. An integrated approach to electricity sector reforms in the resource rich economies of the MENA. *Energy Policy* 138, 111236 (2020).
- 62 IEA. World Energy Outlook 2023. (2023).
- 63 吴磊 & 杨泽榆. 中东国家的能源补贴及其改革. *西亚非洲* 47–72 (2020).
- 64 Yizhong, W. Cleaner production vs end-of-pipe treatment: evidence from industrial SO₂ emissions abatement in China. *J. Environ. Manage.* (2021).
- 65 Ari, A. et al. Surging energy prices in Europe in the aftermath of the war: how to support the vulnerable and speed up the transition away from fossil fuels.
- 66 Mišík, M. The EU needs to improve its external energy security. *Energy Policy* (2022).
- 67 IRENA. Regional Action Plan: Accelerating Renewable Energy Deployment in Latin America. (2019).
- 68 The US shale gas revolution: an opportunity for the US manufacturing sector? - ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2110701721000214>.
- 69 Cuiyun, C. & Chazhong, G. Green development assessment for countries along the belt and road. *J. Environ. Manage.* 263, 110344 (2020).