

中国在“一带一路” 沿线国家可再生 能源投资协同效益 研究报告

2021年12月 | December, 2021



GREENPEACE 绿色和平

中华环保联合会
All-China Environment Federation



研究团队

刘杰 陕西师范大学国际金融管理系副主任
顾阿伦 清华大学能源环境经济研究所 副研究员
蔡闻佳 清华大学地球系统科学系长聘副教授
薛冰 中国科学院沈阳应用生态研究所副研究员
刘君言 绿色和平气候与能源项目经理
朱若云 绿色和平气候与能源项目主任
刘凡激 绿色和平气候与能源项目实习生

报告协调员

张菁 绿色和平气候与能源项目资深项目主任
王昕楠 绿色和平传播主任

致谢

报告撰写还得到了高晓谊、张凯、蔡元慧等专家和同事（排名不分先后）的专业指导及支持，项目组深表感谢。

GREENPEACE 绿色和平

著作权及免责声明

本报告由绿色和平与中华环保联合会基于在北京取得的临时活动备案共同发布。

本报告为绿色和平于环保公益工作中形成的资料。阅读本报告即表示您已阅读、理解并接受下列著作权和免责声明条款的约束。请认真阅读。

著作权声明

本报告由绿色和平发布，绿色和平是本报告的合法著作权所有人。

免责声明

- 绿色和平致力于以实际行动推进积极改变，保护地球环境并为创造绿色及和平的未来提出解决方案。绿色和平具有政治独立性，不介入关于领土争端议题的讨论。绿色和平发布的示意图均遵守当地法律、法规的要求，不代表绿色和平的政治立场；
- 本报告旨在根据可获得的高质量信息，分析中国在一带一路沿线国家可再生能源投资带来的协同效益；
- 由于信息获取渠道的局限性，本报告的结果仅基于有限时间内绿色和平可获得的信息。如对分析结果存疑，欢迎与我们沟通联系；

发布时间：2021年12月

版权所有：©2021 绿色和平保留所有权利

目录

执行摘要	vi
前言	vii
一、中国可再生能源海外投资与全球可持续发展目标的实现	1
二、中国在“一带一路”沿线国家光伏风电投资现状	3
三、未来投资情景预测	6
3.1 宏观背景及趋势评估	7
3.2 典型案例国别风电光伏投资情景预测	9
四、中国对“一带一路”沿线国家光伏风电投资产生的协同效益	13
4.1 典型案例国家社会经济及能源结构	14
4.2 能源替代效益核算	19
4.3 环境效益核算	23
4.4 社会经济效益	26
五、政策建议	31
参考文献	33
附录	37
附表 1 本报告所研究的“一带一路”沿线64个国家列表	37
附表 2 巴基斯坦能源替代效应计算表格及数据来源	38
附表 3 巴基斯坦单位度电的能源消耗	40
附表 4 波兰能源替代效应计算表格及数据来源	40
附表 5 波兰单位度电的能源消耗	42
附表 6 南非能源替代效应计算表格及数据来源	43
附表 7 南非单位度电的能源消耗	44

图目录

图 1	中国“一带一路”风电光伏投资协同效益研究内容	v
图 2	中国在“一带一路”沿线国家风电光伏投资协同效益研究技术路线图	ix
图 3	2000-2018年“一带一路”沿线国家二氧化碳排放情况	1
图 4	2007-2018年间中国在“一带一路”沿线国家建成的风电光伏项目参与方式分布	4
图 5	中国在“一带一路”沿线国家以四种方式参与的在建与规划中风电光伏项目(截至2018年)	5
图 6	中国对“一带一路”沿线国家以股权和融资形式参与的风电光伏投资状况(截至2018年)	5
图 7	2010-2019年“一带一路”沿线国家可再生能源累计装机容量:按排名	7
图 8	截至2021年5月巴基斯坦全国装机量占比:按能源类型分类	15
图 9	2015/16-2019/20财年巴基斯坦发电量:按能源类型分类	15
图 10	能源替代效应核算技术路线图	19
图 11	巴基斯坦电厂分布示意图	20
图 12	巴基斯坦燃料油进口来源	20
图 13	中国对巴基斯坦的可再生能源投资可带来就业岗位所属行业	27
图 14	“一带一路”倡议下中国投资的风电/光伏电站的建立在波兰产生的经济效益	28
图 15	“一带一路”倡议下中国对波兰的可再生能源投资可带来就业岗位所属行业	29
图 16	“一带一路”倡议下中国对南非的可再生能源投资可带来就业岗位所属行业	36

表目录

表 1	重点国家可再生能源累计装机容量及平均增速	9
表 2	“一带一路”沿线国家风电光伏开发潜力(基于2019年装机容量, 单位:GW)	8
表 3	2025年可再生能源投资成本变化	9
表 4	2030年中国在“一带一路”沿线国家风电光伏投资潜力(基于2025年投资成本, 单位:亿美元)	9
表 5	巴基斯坦2021-30年指示性发电容量扩展计划(单位:MW)	10
表 6	中国在巴基斯坦风电光伏投资情景预测	10
表 7	中国在波兰风电光伏投资情景预测	11
表 8	中国在南非风电光伏投资情景预测	12
表 9	巴基斯坦社会经济及能源电力主要指标	14
表 10	波兰社会经济及能源电力主要指标	16
表 11	南非社会经济及能源电力主要指标	11
表 12	南非《综合资源计划2019》提出的各类电力装机情况	18
表 13	分技术的单位电力消耗燃料及非生物资源ADP(金属等)	19
表 14	巴基斯坦风电光伏投资能源替代潜力(每年)	21
表 15	波兰煤炭运输单位吨公里的能源消耗	22
表 16	波兰风电光伏投资能源替代潜力(每年)	22
表 17	南非风电光伏投资能源替代潜力(每年)	23
表 18	中国投资风电光伏项目对巴基斯坦温室气体减排量贡献(每年)	24
表 19	中国投资风电光伏项目对波兰温室气体减排量贡献(每年)	25
表 20	中国投资风电光伏项目对南非温室气体减排量贡献(每年)	25
表 21	中国对巴基斯坦的可再生能源投资拉动的产值排名前五的行业	27
表 22	中国对南非的可再生能源投资拉动的产值排名前五的行业	29

执行摘要

可再生能源合作已经成为新冠肺炎疫情全球爆发之后及低碳转型浪潮下绿色“一带一路”倡议的重要内容。可再生能源项目投资有助于沿线国家经济绿色复苏、促进能源公平享有以及2030年联合国可持续发展目标的实现。

自2013年以来，中国在“一带一路”沿线国家参与的可再生能源项目数量快速增长，参与形式从初期以产品出口和工程承包，逐渐转向更加深度和长期的股权和融资形式。一方面，这意味着中国企业及融资机构对“一带一路”沿线国家的风电光伏投资的市场潜力及长期投资回报保有信心；另一方面，这也为东道国带来更多的社会经济效益、拉动当地投资，并促进就业。

然而，目前对中国风电光伏投资能够带来的能源替代效益、环境效益和社会经济效益尚缺乏定量的评估，对未来中国在“一带一路”沿线国家的风电光伏投资的市场潜力也缺乏统一的评估方法，进而无法为中国及东道国的政策制定者、企业及投资机构提供清晰的指引。

本报告通过对中国在“一带一路”沿线国家的风电光伏投资潜力进行估算，推测到2030年的市场潜力及投资前景，并从能源、环境、经济和社会四个维度，对中

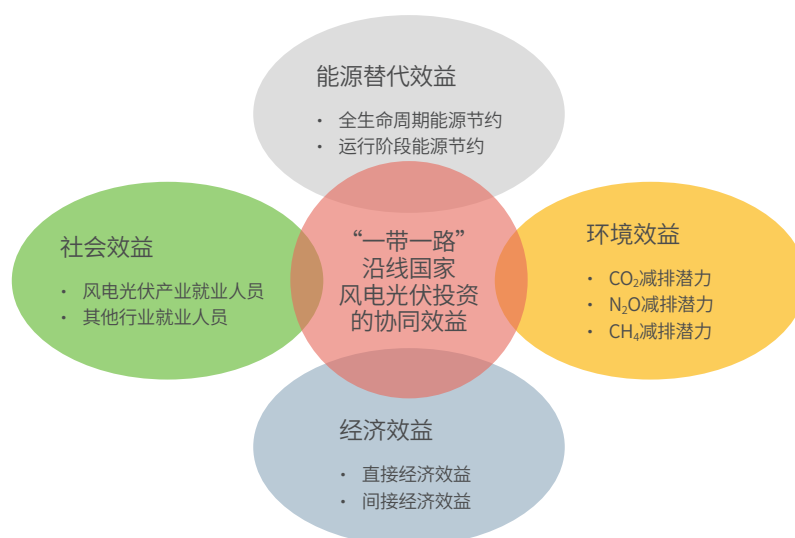
国在“一带一路”沿线国家风电光伏项目投资所带来的协同效益进行了定量与定性分析。各维度包含的研究内容如下图。

本报告在计算“一带一路”沿线重点国家2010-2018年风电光伏装机容量加权平均增速的基础上，基于市场占有率原则构建了2030年中国对“一带一路”沿线国家风电光伏投资的规模情景，并对不同情景下中国风电光伏投资所带来的能源、环境、经济和社会协同效益等进行了定量和定性评估。

对能源、环境、经济和社会四个部分的协同效益的分析，因评估维度不同，采用的研究方法也略有差异。

- **能源替代效益核算的方法学：**基于基准线比较的方法。首先，基于东道国现有电力技术的结构，确定东道国的电力供应基准线；进而确定单位电力供应的能源消耗现状，结合生命周期的技术分析边界，测算目前度电供应的能源消耗指标，在假设风电光伏完全替代现有电力的基础上核算能源消耗减少的效益。

中国在“一带一路”沿线国家风电光伏投资协同效益研究内容 | 图 1



- **环境效益分析的方法学：**在能源替代效益的基础上，采用燃料煤、原油和天然气三种燃料的排放系数平均值作为二氧化碳、氧化亚氮和甲烷三类温室气体减排量的环境效益核算系数；在此基础上，基于IPCC第四次评估报告确定的氧化亚氮和甲烷的全球变暖潜势（Global Warming Potential, GWP）值，测算风电光伏投资的温室气体减排潜力。
- **经济和社会效益研究的方法学：**主要基于投入产出法分析风电光伏投资对东道国的经济和就业影响。根据与风电和光伏行业的相关度，将各个行业分成直接或间接相关；在此基础上构建一套包含风电和光伏产业数据的方法框架和模型工具，模拟计算了风电光伏投资带来的直接经济效益、间接经济效益以及对东道国就业的拉动作用。

本报告的主要结论如下：

(1) 基于中国参与东道国可再生能源市场份额的设定原则，2030年中国参与“一带一路”沿线国家太阳能光伏发电项目潜力为**226.56-679.69吉瓦（GW）**，风能项目潜力为**8.85-26.55吉瓦（GW）**，总计**235.41-706.24吉瓦（GW）**。

(2) 中国参与“一带一路”沿线国家风电光伏投资可以实现上下游的节能量约为每年**2.56-7.68亿吨油当量（toe）**，若仅考虑电厂运行可以产生的直接节能量约为每年**0.79-2.37亿吨油当量（toe）**，约占“一带一路”沿线国家年能源消耗总量的0.89%-5.67%。

(3) 能源替代视角下中国对“一带一路”沿线国家风电光伏投资的年均二氧化碳减排潜力约为612-1837百万吨当量（Mte/year），氧化亚氮减排潜力约为0.0056-0.0169百万吨二氧化碳当量（MtCO_{2e}/year），甲烷减排潜力约为0.0148-0.0443百万吨二氧化碳当量（MtCO_{2e}/year），共计实现每年温室气体减排**614-1844百万吨二氧化碳当量（MtCO_{2e}/year）**，占2018年“一带一路”沿线国家年二氧化碳排放总量的**5.64%-16.93%**。

全生命周期视角下，中国投资风光项目对巴基斯坦的减排潜力为每年1.37-4.12百万吨二氧化碳当量（MtCO_{2e}/year），对该国电力和热力部门潜在减排贡献率为3.04%-9.16%；对波兰的减排潜力为每年8.71-26.16百万吨二氧化碳当量（MtCO_{2e}/year），对该国

电力和热力部门潜在减排贡献率为5.81%-17.44%；对南非的减排潜力为每年4.54-13.68百万吨二氧化碳当量（MtCO_{2e}/year），对该国电力和热力部门潜在减排贡献率为2.03%-6.10%。

(4) 中国对“一带一路”沿线国家的风电光伏投资可以带来每年约37.15亿美元的经济效益。基于巴基斯坦、波兰和南非三个代表性国家的计算结果表明，中国对“一带一路”沿线国家风电光伏投资预计为当地提供**15-31万个就业岗位**，其中大多数工作岗位是与可再生能源发电厂直接关联的工作，例如建筑、运输和发电厂的维护。

“一带一路”沿线国家由于社会经济发展的特殊阶段，经济发展的一般规律决定了其未来的能源需求还有较大的增长空间，同时“一带一路”沿线国家主要是以油气为主的能源结构，显示其能源体系的构建还会进一步加重能源基础设施的建设，其能源消耗短时间内还会快速持续增长，为这些国家在全球应对气候变化的紧迫背景下带来巨大挑战。

应对气候变化目标的紧迫性和全球可持续发展进程推进滞后，均要求“一带一路”沿线国家能源基础设施建设需求必须与应对气候变化和实现可持续发展目标相结合，避免锁定效应。中国在“一带一路”沿线国家和地区的可再生能源投资如何全面助力东道国经济发展、能源转型和社会福祉提升，需要在以下几个方面不断提升政策机制，完善市场和投资行为，推动“一带一路”沿线国家能源投资的绿色低碳发展。

(1) 中国应当扩大公共资金对“一带一路”沿线国家风电光伏等可再生能源项目投资，为教育市场，引导投资提供示范作用。

(2) 中国应制定更加清晰、有约束力的绿色低碳能源投资政策，规范海外能源投资标准，推进绿色金融的政策体系发展，引导资金向可再生能源领域倾斜。

(3) 中国与“一带一路”沿线国家和地区政府应当协力推动更加全面的可再生能源产能合作，不仅局限在电站项目建设，而是向上、下游产业链及电网等基础设施扩展，从而更好地发挥可再生能源投资的协同效应，为推进东道国经济发展、能源转型及提升社会福祉提供助力。

前言

随着中国可再生能源技术的不断成熟，其在“一带一路”倡议中能源投资合作的占比也在显著提高。2021年9月，中国国家主席习近平正式宣布中国将不再新建海外煤电项目，进一步明确了以风电光伏为主的可再生能源合作将成为全球低碳转型浪潮下绿色“一带一路”能源合作的重要内容。中国对“一带一路”沿线国家的可再生能源投资不仅将有效促进这些国家和地区的能源公平享有及绿色转型，还将为经济绿色复苏奠定基础。

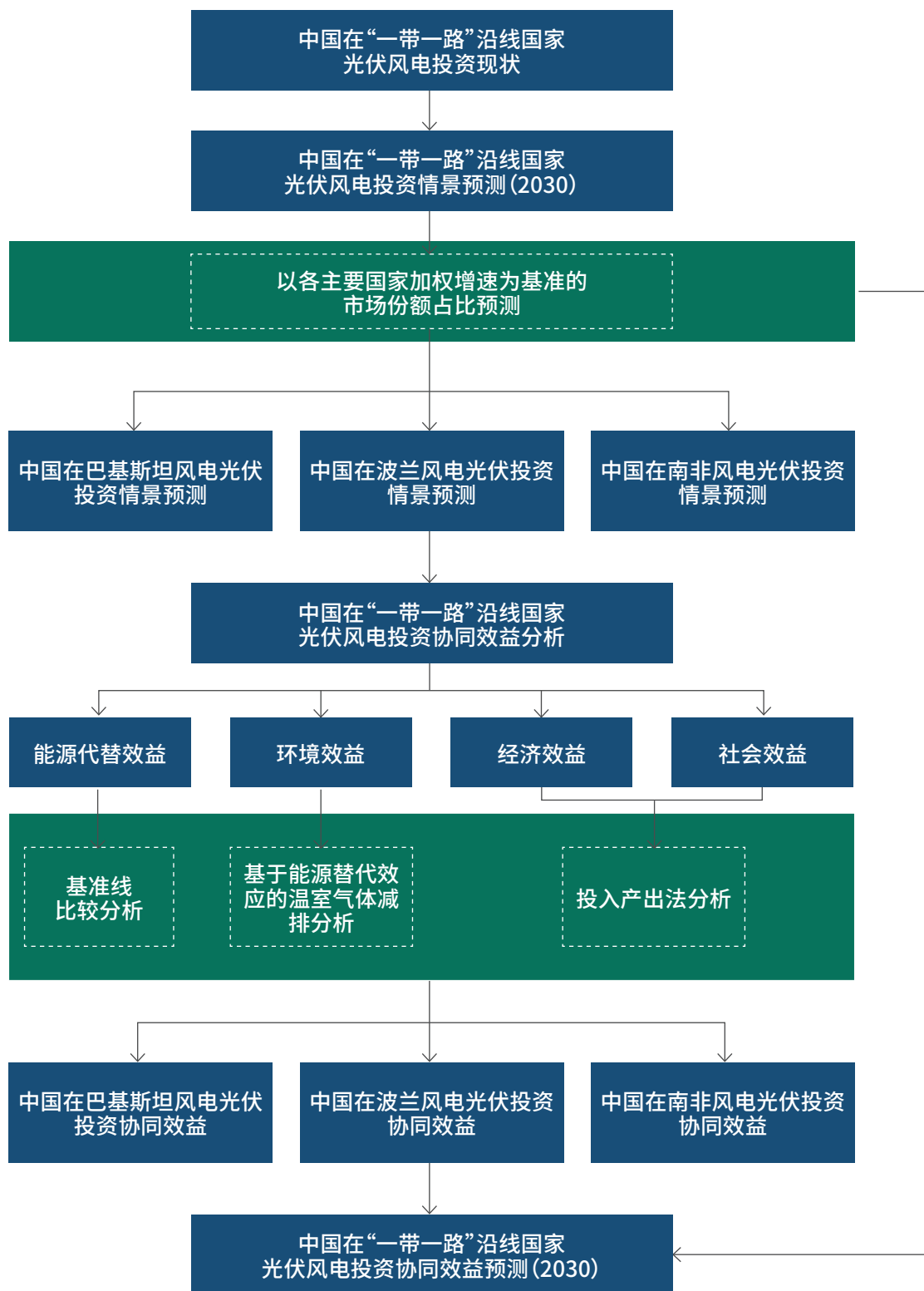
可再生能源投资不仅能够提供当地绿色低碳能源供给，替代煤电、天然气石油等化石能源电力消费，有效减少化石能源消费带来的污染物排放，还能够为当地提供就业岗位，并带来经济拉动效应。

随着中国在“一带一路”沿线国家可再生能源投资加速，其带来的能源、环境、经济和社会协同效益也将显著增加。到2030年，中国对“一带一路”沿线国家风电光伏投资能够带来的协同效益，也将为当地实现2030年可持续发展目标奠定基础。

目前对中国可再生能源海外投资的情景预测并未形成统一的方法论，且对可再生能源投资能够带来的协同效益更缺乏科学的定量评估。本报告旨在通过投资现状分析、未来情境预测和协同效益定量评估，全面展现中国在“一带一路”沿线国家可再生能源投资对东道国能源、经济、社会和环境带来的影响。

本报告基于“一带一路”沿线重点国家2010-2018年风电光伏装机容量的加权平均增速，以市场占有率原则模拟计算2030年中国对“一带一路”沿线国家和地区风电光伏投资的规模，并对不同情景下中国风电光伏投资所带来的能源、环境、经济和社会等协同效益进行定量和定性评估。由于各个国家社会经济及能源结构差异较大，可再生能源发展带来的协同效益也存在较大差异，因此本报告在“一带一路”沿线国家中，选取中国参与风电光伏项目投资的三个典型国家：巴基斯坦、波兰、南非作为案例进行国别分析。巴基斯坦、波兰和南非分别位于亚洲、欧洲和非洲，其社会经济发展、政策制度体系及能源结构各不相同，为定量评估中国风电光伏投资在不同国家产生的协同效益提供了基准。

中国在“一带一路”沿线国家风电光伏投资协同效益研究技术路线图 | 图 2



第一章

中国可再生能源 海外投资与全球可持续 发展目标的实现



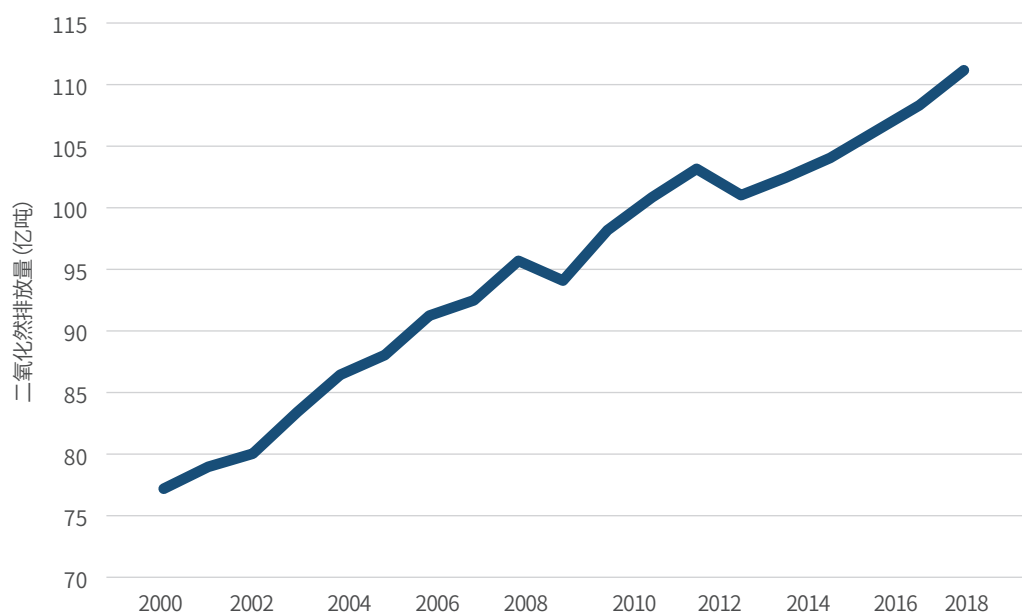
能源是全球可持续发展的核心议题之一，也是连接全球气候变化、区域可持续发展、地方环境治理等核心议题的关键枢纽。“确保人人获得负担得起的、可靠和可持续的现代能源”亦被列为联合国《2030年可持续发展议程》的17项可持续发展目标之一（目标7）。然而，全球各国家和地区能源产业发展差异巨大。《2020能源可持续发展目标跟踪报告》（IEA等，2020）显示，2018年全球仍有11%的人口无法得到电力供给，其中农村人口中缺电比例达到21%。

截止2020年7月，中国已经与144个国家签署了“一带一路”倡议合作文件，其中发展中国家约占85%（WTO，2021），大部分能源工业基础相对薄弱，能源可持续性水平较低，且正处于城市化、工业化进程。尽管在过去三十年中“一带一路”沿线国家电力获取情况不断改善，但在“电力获取”、“人均清洁能源获取”等民生方面仍面临着比较突出的不平衡和不充分问题。2018年，“一带一路”沿线国家人均用电量约为2,681千瓦时（kWh），远低于全球平均水平3,549千瓦时（Index Mundi，2018）。根据世界银行可获得的国家数据，截至2018年底，“一带一路”沿线国家仍有大约48.6%未完成电力全覆盖（World Bank，2019），约33.1%的国家农村地区获得电力人口甚至不足80%（World Bank，2018）。

随着这些国家和地区城市化、工业化进程的加速，其能源需求增长迅速，大量缺电人口和社会经济发展需求迫切需要大量能源供给。不断上升的能源消费使得这些地区正逐渐成为全球化石能源消费重心。2000-2018年，世界化石能源累计消费最高的前30个国家中，有16个是“一带一路”沿线国家（Ritchie & Roser，2020a）。

然而，因社会经济发展基础和资源禀赋的限制，这些国家和地区难以依靠自身力量独立发展可再生能源产业。从获得清洁燃料与技术的人口比例来看，部分“一带一路”沿线国家，特别是亚洲及非洲的沿线国家仍面临着严峻的挑战。例如，根据世界卫生组织的统计数据，2018年，有约37.7%的“一带一路”沿线国家用以做饭的清洁能源和技术获取率不足50%，其中34个为非洲国家，10个为亚洲国家；在获取率不足5%的16个“一带一路”沿线国家中，有15个是非洲国家（IEA等，2020）。尽管“一带一路”沿线国家蕴藏着丰富的风能和太阳能等可再生能源，但其能源生产和电力供应仍然不足，无法满足其经济社会可持续发展的需要。同时，“一带一路”沿线国家生态脆弱，是全球气候变化敏感带，而以煤炭为主的能源结构增加了这些国家低碳发展战略的压力。2000-2018年，“一带一路”沿线国家二氧化碳排放量从77.2亿吨增加到111.2亿吨，年均增长率2.07%（Ritchie & Roser，2020b）。增长趋势如图：

2000-2018年“一带一路”沿线国家二氧化碳排放情况 | 图3

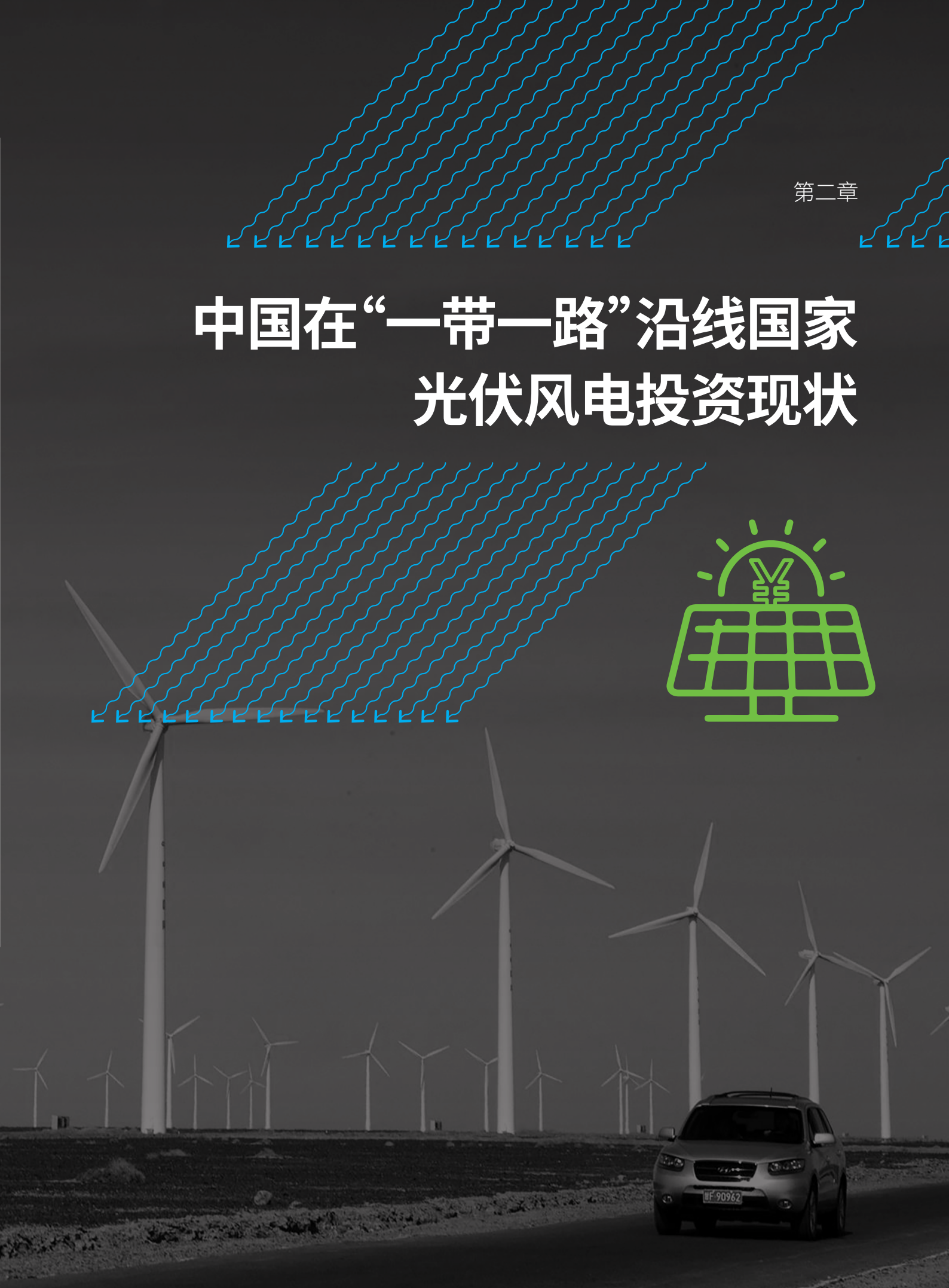


因此，能源领域合作，特别是可再生能源领域的合作，有利于实现“一带一路”沿线国家资源优化，促进可再生能源发展成果全球共享，加快消除能源贫困及构建绿色低碳的全球能源治理体系，在充分释放东道国发展红利的同时，充分彰显了中国作为负责任大国促进全球能源可持续发展的使命担当，对于推动“一带一路”倡议继续走深、走实，具有深远的时代意义。

2018年10月18日，在中国苏州市举办的“一带一路”能源部长会议暨国际能源变革论坛上，中国国家主席习近平再次强调了能源合作在共建“一带一路”倡议中的重要性。与此同时，中国、土耳其、马耳他、巴基斯坦等18个国家的能源部长共同发表了《共建“一带一路”能源伙伴关系部长联合宣言》，明确在2019年正式建立“一带一路”能源伙伴关系，并向所有国家和国际组织开放，推动能源互利合作。

2021年9月21日，习近平在联合国的大会上宣布，中国将不再新建海外煤电项目。这预示着，以风电、光伏为主的可再生能源将成为中国“一带一路”能源投资的重点。伴随着“一带一路”能源合作关系的夯实和合作平台的搭建，中国在“一带一路”沿线国家的风电光伏投资，将为推动“一带一路”沿线国家加速能源转型发展，实现可持续发展目标贡献力量。

中国在“一带一路”沿线国家 光伏风电投资现状



2018年，全球新增风电光伏装机量143吉瓦（GW）（IRENA, 2019），全球范围内对新增风电光伏的投资已超过对新增化石燃料和核能发电投资总和的两倍以上。由于成本竞争力的提高，2018年风电光伏投资占电力行业总投资的比例超过35%（IEA, 2019）。其中，中国对风电光伏的投资占全球风电光伏投资总额的27.9%（U. N. Environment & BloombergNEF, 2019）。

本章节对2014-2018年中国参与“一带一路”沿线国家的光伏和风电项目进行了梳理，采用的原始数据来自彭博新能源数据库的可再生能源项目数据和资产融资数据。中国企业与银行在“一带一路”沿线国家可再生能源项目中的参与方式分为以下几种：

- 作为业主参与
- 作为融资方参与
- 作为工程承包商参与
- 作为设备出口商参与

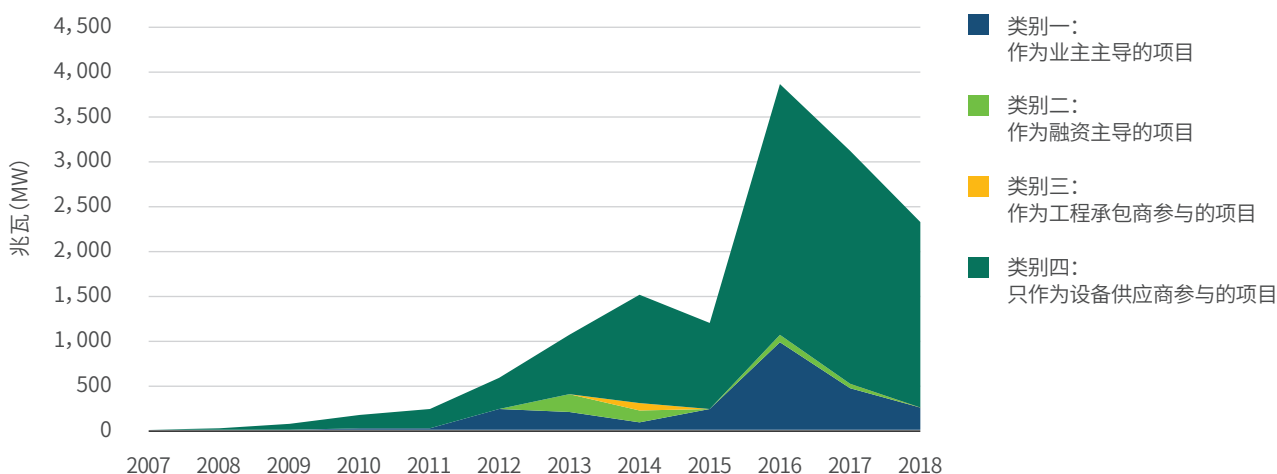
由于以上分类存在重叠，为了研究的准确性，本报告根据中方参与的原动力将项目划入以下互斥的四种类别¹：

- 类别一：中方作为业主主导的项目
- 类别二：中方作为融资方主导的项目
- 类别三：中方作为承包商参与的项目
- 类别四：中方只作为设备供应商参与的项目

其中，设备出口仍然是中国可再生能源企业走出去最常见的模式。2014-2018年间，中国²在“一带一路”沿线64个国家³参与并已投产的风电光伏项目总规模达到12.04吉瓦（GW）。其中，约80.4%的项目使用中国设备；0.8%的项目由中国工程承包商承建。其中股权和融资形式的投资达2.27吉瓦（GW），这部分投资总量占全部参与规模的18.8%，其中光伏1.44吉瓦（GW）、风电0.83吉瓦（GW）。

不过，中国企业和金融机构的参与方式正逐渐从单一的设备、工程建设出口向投资方转变，体现了中国投资者对“一带一路”沿线国家的可再生能源发展潜力和长期收益回报的信心提升。

2007-2018年间中国在“一带一路”沿线国家建成的风电光伏项目参与方式分布 | 图4

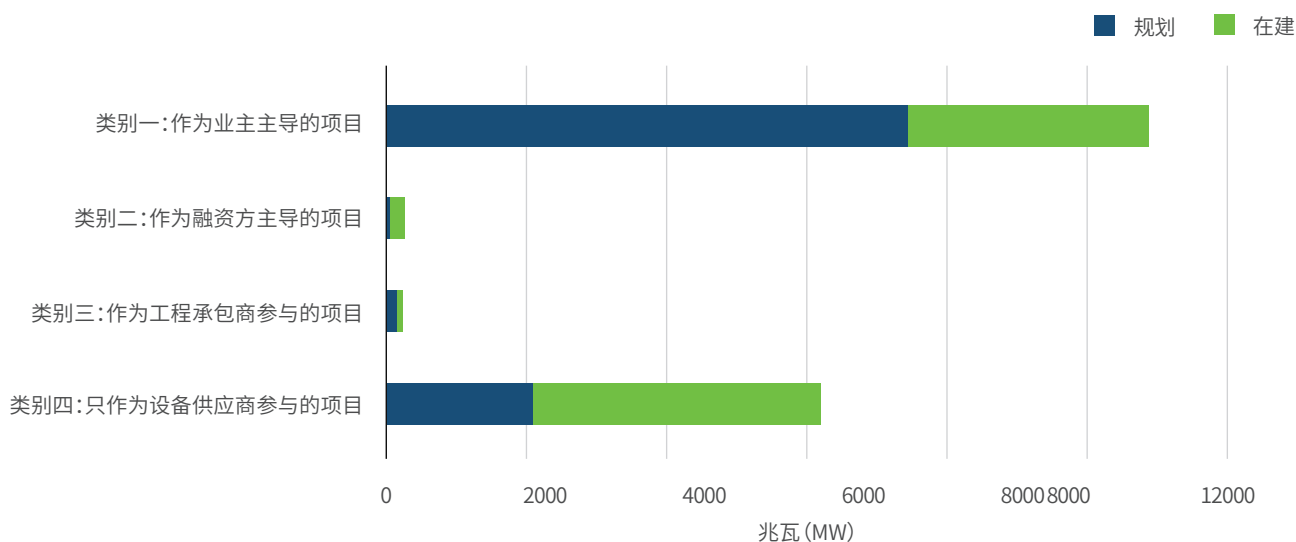


1. 分类说明：从类别一到类别四，参与程度由深到浅。报告将根据参与程度最重的类别给项目归类。举个例子，一个项目中如果中方同时作为业主、融资方、工程承包商参与，则这个项目会被划分到程度最深的类别一：作为业主主导。如果同时作为融资方和设备供应商参与，则被划分为类别二。如此以来，四个类别互斥，重叠的问题得到解决，又能体现中方参与项目的原动力（本报告的协同效益研究范围限定在类别一和类别二）。

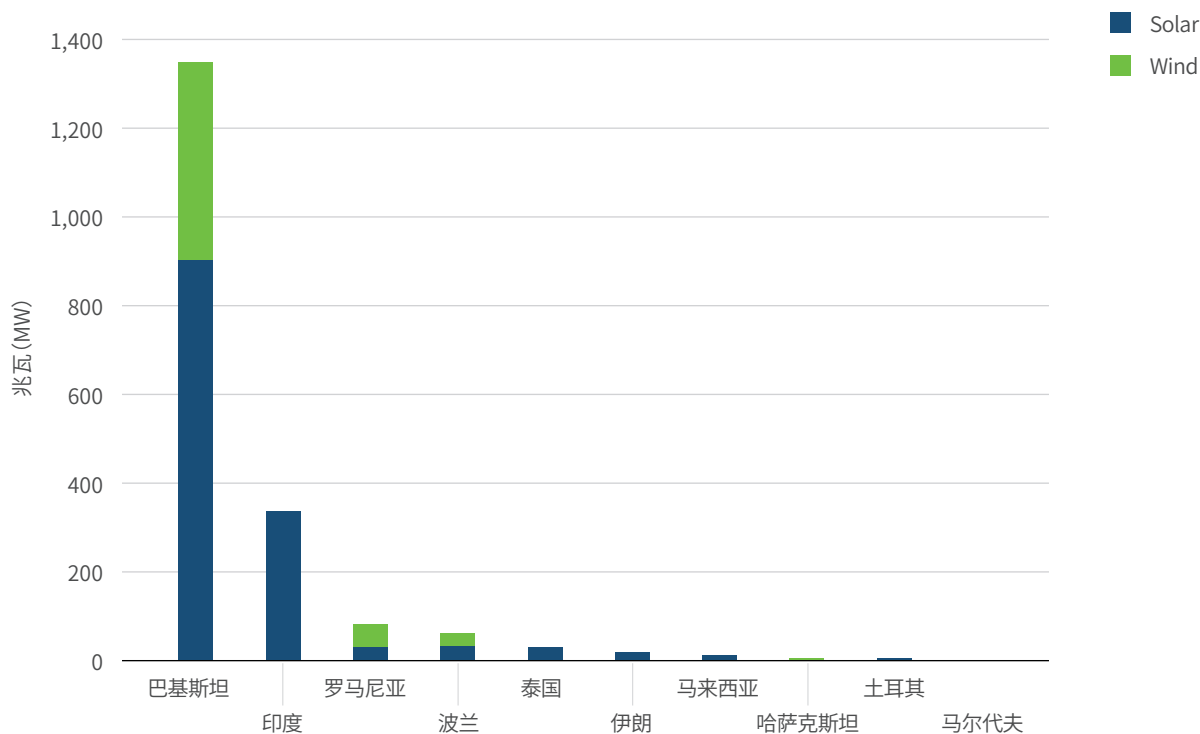
2. 数据说明，本文使用BNEF数据库进行核算，中国参与项目是指中国以股权投资，融资，EPC以及设备出口形式参与的可再生能源项目。

3. 本研究的统计范围是2013年“一带一路”倡议启动后，截至到2018年中国在“一带一路”沿线的64个国家参与的风电和光伏项目。国家清单详见附件1。

中国在“一带一路”沿线国家以四种方式参与的在建与规划中风电光伏项目(截至2018年) | 图 5



中国对“一带一路”沿线国家以股权和融资形式参与的风电光伏投资状况(截至2018年) | 图 6



第三章

未来投资情景预测



3.1 宏观背景及趋势评估

根据研究公司BloombergNEF (BNEF) (U. N. Environment & BloombergNEF, 2019) 历史数据, 2010-2019年“一带一路”沿线国家中可再生能源累计装机容量前11个国家排名如图7, 总量为14159.29兆瓦 (MW), 其中太阳能光伏发电项目累计装机容量12946.69兆瓦 (MW), 风力发电项目累计装机容量1212.6兆瓦 (MW)。

“一带一路”沿线国家可再生能源发展目标存在较大的国别差异性。根据BP统计数据 displays (BP, 2019) :

- 波兰计划2020年能源消费总量的15.5%来自可再生能源, 2030年进一步将可再生能源的份额提高到21%, 但截至2019年仅能达到5.90%。
- 巴基斯坦计划到2030年安装9.7吉瓦 (GW) 的可再生能源发电系统, 截至2019年仅完成1.95吉瓦 (GW) 可再生能源发电装机容量。

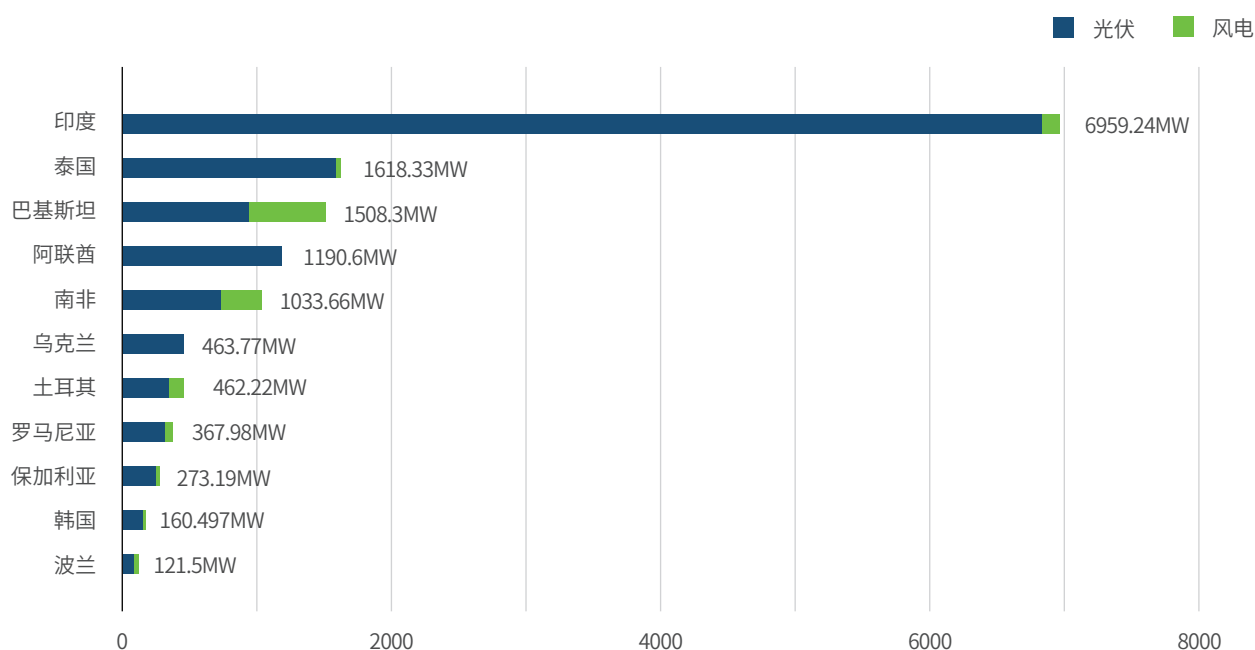
- 南非提出到2030年实现19.4吉瓦 (GW) 可再生能源发电装机容量, 截止2019年完成6.50吉瓦 (GW) 装机容量。

与此同时, 各个国家可再生能源装机容量的多年平均增速也存在显著的国别差异。因此, 本文选取2010-2019年可再生能源累计装机容量重点国家作为代表, 计算2010-2018年加权平均增速作为基础参数评估“一带一路”沿线国家可再生能源装机潜力或者投资潜力。

关于中国对“一带一路”沿线国家可再生能源投资情景的宏观评估预测, 本文主要基于如下步骤:

首先, 基于重点国家⁴2010-2018年可再生能源装机容量, 计算得到主要国家太阳能和风能装机容量增速的权重, 进而计算得到“一带一路”沿线国家⁵太阳能和风能年平均增速分别为70.33%和57.31%。据中国新能源海外发展联盟研究报告《“一带一路”可再生能源发展合作路径及其促进机制研究》(2019) 统计, 2008-2017年全球太阳能发电、风

2010-2019年“一带一路”沿线国家可再生能源累计装机容量:按排名 | 图7



4. 重点国家指表1中“一带一路”沿线11国。

5. 基于数据可获得性, 本文分析预测的“一带一路”沿线国家范围仅包括2018年底签署“一带一路”倡议的64国。

重点国家可再生能源累计装机容量及平均增速 | 表 1

序号	国别	太阳能 (MW)	风能 (MW)	太阳能增速 (%)	太阳能权重	风能增速 (%)	风能权重
1	印度	6824.24	135.00	74.91	0.5271	84.19	0.1113
2	土耳其	354.22	108.00	152.77	0.0274	12.50	0.0891
3	泰国	1608.33	10.00	69.13	0.1242	0.00	0.0082
4	南非	735.16	298.50	95.93	0.0568	56.60	0.2462
5	波兰	91.50	30.00	0.00	0.0071	0.00	0.0247
6	韩国	160.40	0.10	50.23	0.0124	0.00	0.0001
7	罗马尼亚	317.98	50.00	115.26	0.0246	0.00	0.0412
8	巴基斯坦	931.80	576.50	101.97	0.0720	69.18	0.4754
9	乌克兰	463.77	0.00	33.91	0.0358	0.00	0.0000
10	阿联酋	1190.60	0.00	4.00	0.0920	0.00	0.0000
11	保加利亚	268.69	4.50	12.12	0.0208	0.00	0.0037

“一带一路”沿线国家风电光伏开发潜力(基于2019年装机容量,单位:GW) | 表 2

	2019	2025			2030		
		高	中	低	高	中	低
太阳能	12.95	47.42	31.61	15.81	679.69	453.13	226.56
风能	1.21	2.76	1.84	0.92	26.55	17.70	8.85
总计	14.16	50.18	33.45	16.73	706.24	470.83	235.41

电装机年均增长分别为46%和19%，“一带一路”沿线国家可再生能源装机容量增速高于全球平均水平。

其次，基于历史年平均增速值，预测2025年“一带一路”沿线国家太阳能和风能累计装机容量潜力将分别达到316.10吉瓦 (GW) 和18.37吉瓦 (GW)；2030年将分别达到4531.28吉瓦 (GW) 和176.98吉瓦 (GW)，并基于东道国投资占比评估中国对“一带一路”沿线国家太阳能和风能的累

计开发潜力。借鉴中国新能源海外发展联盟课题组(中国新能源海外发展联盟, 2019)对中国参与东道国可再生能源市场份额的设定原则，中国对东道国的可再生能源投资占比设定为较低市场目标5%、中等市场目标10%，以及较高市场目标15%⁶三种情景，基于上述原则，2030年中国参与的太阳能光伏发电项目潜力为226.56-679.69吉瓦 (GW)，风能项目潜力为8.85-26.55吉瓦 (GW)，可再生能源投资装机容量总计达到235.41-706.24吉瓦 (GW) (表2)。

6. 同时，我们也统计了10个“一带一路”沿线国家中，中国参与投资的风电、光伏项目的市场占有率作为参考，这些国家包括巴基斯坦、印度、罗马尼亚、波兰、泰国、伊朗、马来西亚、哈萨克斯坦、土耳其和马尔代夫。目前中国光伏投资在这些东道国的市场占有率区间从0.09%到57.5%，多集中在1%-6%之间；风电市场占有率从0.52%到37.61%。可以看出，报告中选择的市场目标的三个情景中，低市场目标接近目前中国在一些东道国的投资现状，高市场目标则低于中国在对个别国家的投资表现。因此以此三种情景进行市场投资潜力预测，具有一定的代表性，预测值也相对保守。(数据来源：绿色和平海外电力投资数据库) 2021-30年指示性发电容量扩展计划(GCEP)

2025年可再生能源投资成本变化 | 表3

	加权平均单位投资成本 (USD/kW)			单位平准化成本LCOE (USD/kWh)		
	2015	2025	变化 (%)	2015	2025	变化 (%)
太阳能光伏	1810	790	-56%	0.13	0.06	-54%
岸上风电	1560	1370	-12%	0.07	0.05	-28%
海上风电	4650	3950	-15%	0.18	0.12	-33%

2030年中国在“一带一路”沿线国家风电光伏投资潜力(基于2025年投资成本,单位:亿美元) | 表4

2030年	高	中	低
太阳能	5369.55	3579.72	1789.82
风能	363.74	242.49	121.25
总计	5733.29	3622.21	1911.07

最后,根据太阳能和风能项目单位投资成本变化,测算中国对“一带一路”沿线国家太阳能和风能的投资潜力。日益增长的规模经济、更具竞争力的供应链和进一步的技术改进将继续降低太阳能和风能的成本,同时提高可再生能源在夜间和不同天气条件下的可用性。国际可再生能源机构(IRENA)《2020年可再生能源发电成本报告》(IRENA, 2020)指出,可再生能源投资成本将于2025年显著降低。

以2025年太阳能光伏、岸上风电投资成本计算,中国2030年对“一带一路”沿线国家太阳能和风能的投资潜力为1911.07-5733.29亿美元(表4)。

《“一带一路”可再生能源发展合作路径及其促进机制研究》用38个国家公布的可再生能源发展规划作预测依据,估算2030年中国参与“一带一路”沿线区域市场及国别市场可再生能源装机总量可能达到644.334吉瓦(GW),风电、太阳能总投资可能达到6443.34亿美元。该评估结果比较接近本文较高市场目标情景的测算结果。

3.2 典型案例国别风电光伏投资情景预测

3.2.1 巴基斯坦

中巴经济走廊是“一带一路”倡议六大主要经济带之一,也是中国可再生能源率先“走出去”最集中、最密集的区域。2014年11月,《中巴经济走廊能源项目合作协议》正式签署,可再生能源合作主要集中在光伏发电、风电以及水电,典型项目合作包含葛洲坝集团吉姆普尔风电场一期项目、三峡集团卡罗特水电站项目以及中兴能源光伏发电一期300兆瓦(MW)项目等。随着中巴经济走廊的建设,巴基斯坦已经成为全球投资的热点地区。巴基斯坦外国直接投资连续3年保持高速增长,2014-2016财年增速分别为133%、10%、5%,而且来源趋于多样化。

巴基斯坦可再生能源的发展比较滞后,风电开发始于2013年发展,光伏发电则从2015年开始发展。截至2021

巴基斯坦2021-30年指示性发电容量扩展计划(单位:MW) | 表 5

	基准		低需求		高需求	
	增量	装机	增量	装机	增量	装机
光伏	1083	1964	0	882	4073	4954
风能	2000	3795	1000	2795	2899	4694

年5月,巴基斯坦NTDC系统非水可再生能源装机总量为1745兆瓦(MW),较截至2017年6月增加约36.2%。虽然年均增速较为可观,但由于巴基斯坦装机基数低,太阳能和风能发电装机容量占比仍均较低(5.3%)。

巴基斯坦政府在2006年制定的《可再生能源电力发展政策》中提出要增加可再生能源电力,将在2030年左右实现9.7吉瓦(GW)的可再生能源发电装机量。在最新的2021年巴基斯坦国家电网公司制定的《2021-30年指示性发电容量扩展计划》中进一步将可再生能源发展规划分为基准情景、低需求情景和高需求情景三类(NEPRA, 2021a)。其中,高需求情景下2021-2030年太阳能装机增量4073兆瓦(MW),风能装机增量2899兆瓦(MW),累计装机容量将分别达到4954兆瓦(MW)(占比9%)和4694

兆瓦(MW)(占比8%),可再生能源装机总量达到9648兆瓦(MW),与2006年制定《可再生能源电力发展政策》确定的目标基本一致。

基于不同市场目标情景,预计中国在巴基斯坦的太阳能装机潜力于2030年达到0.25GW-0.74吉瓦(GW),相应投资潜力达到1.98-5.85亿美元;风电投资装机总量将达到0.23GW-0.70吉瓦(GW),相应投资潜力3.15-9.59亿美元。从总量来看,巴基斯坦可再生能源总装机潜力将达到0.48GW-1.44吉瓦(GW),相应投资潜力为5.13-15.44亿美元。

中国在巴基斯坦风电光伏投资情景预测 | 表 6

	高	中	低
光伏装机(GW)	0.74	0.50	0.25
光伏投资(亿美元)	5.85	3.95	1.98
风电装机(GW)	0.70	0.47	0.23
风电投资(亿美元)	9.59	6.44	3.15
装机合计(GW)	1.44	0.97	0.48
投资总额(亿美元)	15.44	10.39	5.13

3.2.2 波兰

中东欧16国是“一带一路”倡议的重要沿线国家，亦是中国投资者辐射欧洲的桥梁。同时，波兰处于欧洲的交叉路口，发展了中、东欧地区较为发达的交通运输网络，成为欧洲东西向和南北向交通动脉中的关键环节，辐射欧洲50%的人口范围（龙静，2019）。波兰地处“丝绸之路”与“琥珀之路”交汇点，是欧洲最早与“一带一路”倡议实现发展战略对接和欧洲第一个加入亚洲基础设施投资银行的国家。作为重要枢纽，波兰具备很大的投资价值。中国与波兰的可再生能源合作主要集中在光伏项目，并且合作项目相对较少。虽然波兰风能潜力可观，但尚未有中国企业参与风电项目。

截至2020年12月31日，波兰可再生能源装机量为10057兆瓦（MW），较截至2015年12月31日的装机量——5258兆瓦（MW）几乎翻倍（Government of Poland, 2016）。为进一步提高可再生能源份额，波兰计划放弃陆上风电场的扩张，转而专注于太阳能，并规划从2026年开始启动海上风电项目，计划到2030年将可再生能源的份额提高到21%（Ministry of Climate and Environment | Government of Poland, 2021）。然而，波兰的可再生能源转型目标设定低于国际预期，根据国际能源署（IEA）预测，为落实欧盟《可再生能源指令》制定的2030年目标，即可再生能源占比达32%。波兰2023-2025期间光伏年均增量需要达到2吉瓦（GW），在IEA的加速转型情景下光伏年均增量需要达到3吉瓦（GW）左右（IEA, 2020）。

本文基于IEA加速转型情景预计2030年波兰光伏累计装机容量为33.09吉瓦（GW）。另外，截止2030年波兰风力发电装机容量将达到16.4吉瓦（GW），其中陆上风电装机容量14.3吉瓦（GW），海上风电装机容量2.2吉瓦（GW），未来存在可观的市场潜力与开发前景。预计至2030年，波兰国内将陆续开发装机容量在10-100兆瓦（MW）之间的风力发电项目，甚至开发500兆瓦（MW）级别的大型风电项目。

基于不同市场目标情景，预计到2030年中国在波兰的太阳能装机潜力达到1.65-4.96吉瓦（GW），相应投资达到13.04-39.18亿美元；风电投资装机总量将达到0.82-2.46吉瓦（GW），以海上风电、陆上风电投资平均成本测算的相应投资为21.81-65.44亿美元。从总量来看，可再生能源总装机潜力将达到2.47-7.42吉瓦（GW），相应投资为34.85-104.62亿美元。

3.2.3 南非

南非是中国推进“一带一路”倡议对接非洲的引领国家。目前，中国与南非可再生能源合作主要集中在风电和光伏领域，合作方式包括中国企业为当地提供风电机组或光伏机组、参与南非可再生能源项目总承包建设和股权投资。2010年，中国和南非两国能源部门签订了《中华人民共和国政府与南非共和国政府关于能源领域合作的谅解备忘录》，双方明确将优先考虑在太阳能光伏（PV）电池、

中国在波兰风电光伏投资情景预测 | 表7

	高	中	低
光伏装机（GW）	4.96	3.31	1.65
光伏投资（亿美元）	39.18	26.15	13.04
风电装机（GW）	2.46	1.64	0.82
风电投资（亿美元）	65.44	43.62	21.81
装机合计（GW）	7.42	4.95	2.47
投资总额（亿美元）	104.62	69.77	34.85

太阳能热水器、风电等可再生领域的合作项目立项及开发（中国商务部，2010）。

作为《联合国气候变化框架公约》下《巴黎协定》签署国，南非的可再生能源政策发展一直走在非洲前列，但规划落地相对滞后。2019年，南非政府公布的《综合资源规划》草案，提出到2030年实现光伏发电装机8.29吉瓦（GW），占发电装机总量的10.52%；风电装机达到17.74吉瓦（GW），占比22.53%（Department of Energy | South Africa, 2010）。

基于不同市场目标情景，预计到2030年中国在南非的太阳能装机潜力达到0.40-1.19吉瓦（GW），相应投资达到3.16-9.40亿美元；风电投资装机总量将达到0.57-1.72吉瓦（GW），相应投资为7.81-23.56亿美元。从总量来看，可再生能源总装机潜力将达到0.97-2.91吉瓦（GW），相应投资为11.07-32.96亿美元。

中国在南非风电光伏投资情景预测 | 表 8

	高	中	低
光伏装机 (GW)	1.19	0.80	0.40
光伏投资 (亿美元)	9.40	6.32	3.16
风电装机 (GW)	1.72	1.14	0.57
风电投资 (亿美元)	23.56	15.62	7.81
装机合计 (GW)	2.91	1.94	0.97
投资总额 (亿美元)	32.96	21.94	11.07

中国对“一带一路”沿线国家 光伏风电投资产生的协同效益



国内外关于协同效应的研究文献中，为强调其经济货币内涵，部分文献又称之为“协同效益”（Co-benefits）。协同效益一词最早出现在政府间气候变化专门委员会（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）发布的第三次评估报告中，其定义为：减缓温室气体排放的政策所产生的非气候效益，并且这些效益是明确地包含在最初制定的减缓排放政策之中（IPCC, 2001）。经济合作与发展组织（Organization of Economic Cooperation and Development）指出，“协同效益”是除了直接的气候影响效益以外，气候变化减缓政策还会产生其他广泛而深入的效益。例如，针对清洁能源技术或提

高效的政策很可能使地方局部或室内空气质量改善，从而降低人体健康风险（Bollen等，2009）。

本文对“协同效益”采用的界定是：中国对“一带一路”沿线国家光伏风电投资所带来的化石能源替代、温室气体和空气污染物减排、地区就业提升等环境、社会和经济效益。

4.1 典型案例国家社会经济及能源结构

4.1.1 巴基斯坦

巴基斯坦社会经济及能源电力主要指标 | 表9

综合信息		数据年份
总人口（Government of Pakistan, 2017）	2.08亿	2017
人口年均增长率（Government of Pakistan, 1997）	3%	1998-2017
GDP（National Accounts PBS, 2021）	2715.4亿美元（现价）	2020/21财年
三产比重（Sectoral Shares in GDP PBS, 2021）	19.2:19.1:61.7	2020/21财年
能源消费总量（NERPA, 2020）	0.6146亿吨油当量	2018/19财年
电力总装机（NREPA, 2020; NEPA, 2021a）	37,635兆瓦（MW）	截至2021年5月
燃煤电力	12.30%	
燃油电力	18%	
燃气电力	31.20%	
核能	7.00%	
水电	26.20%	
风电+太阳能+其他非水可再生	5.30%	
总发电量（NRPA, 2020）	135,259吉瓦时（GWh）	2019/20财年
火电	60.30%	
水电	28.80%	
核电	7.30%	
太阳能	0.60%	
风电	2.10%	
其他	0.8%	

巴基斯坦经济发展正处于关键时期。2017/18财年增长率为5.53%，创下此前10年来新高。2018/19财年增速放缓，2019/20财年受新冠肺炎疫情的影响，GDP收缩0.47% (National Accounts | PBS, 2021)。

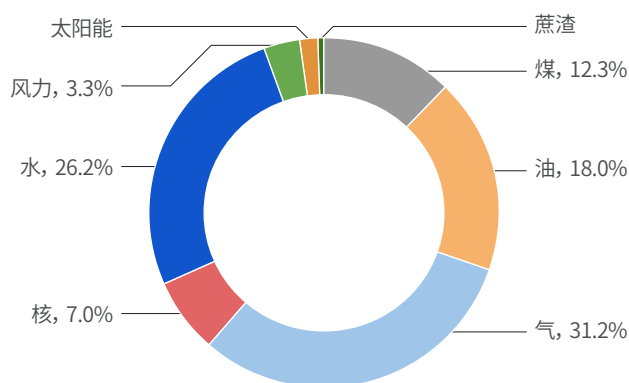
巴基斯坦一次能源供应主要来自石油和天然气。水电是该国当前占比最大的可再生能源，风能和太阳能的份额正在缓慢增长。2018/19财年，巴基斯坦一次能源消费总量约为0.6146亿吨油当量 (toe)，能源消费结构主要以石油和天然气为主，二者总占比接近79.0%。2018年，巴基斯坦二氧化碳排放量约为1.94亿吨，约占全球二氧化碳排放的0.58%；单位GDP的二氧化碳排放为0.207kg/PPP 2017 USD (2017年不变价美元)。其中，电力与供暖部门为主要碳排来源，占总碳排比约30.0% (IEA, 2021)。巴基斯坦电力消耗主要是在居民和工业部门，约占全国电力消耗的75.5% (NEPRA, 2020)。

● 巴基斯坦电力发展现状

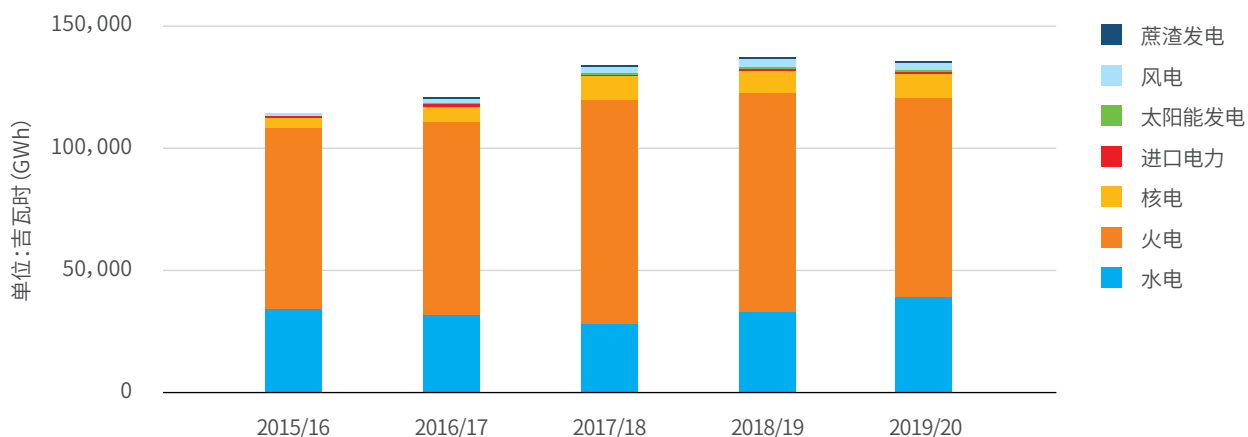
截至2021年5月，巴基斯坦的电厂总计120座，其中燃气和燃油电厂总计54座 (NEPRA, 2020; NEPRA, 2021a)。巴基斯坦的电力总装机为37,635兆瓦 (MW)，其中火电装机占比61.5%，水电占比26.2%，核电占比7.0%，非水可再生能源占比偏低——仅占5.3%。

从发电量来看，2019/20财年总计发电量为135,259吉瓦时 (GWh)，其中火电占比60.3%，水电占比28.8%，核电占比7.3%，太阳能占比0.6%，风电占比2.1%。以油、气为主的火电发电是目前巴基斯坦电力供应的主要来源。然而，巴基斯坦燃油电厂约80%的燃料依靠进口 (U.S. International Trade Administration, 2021)，燃油电厂主要消耗燃料油 (FO) 和燃料柴油 (HSD)。因此，当没有稳定能源供应时，巴基斯坦能源安全会受到一定的挑战。

截至2021年5月巴基斯坦全国装机量占比:按能源类型分类 | 图 8



2015/16-2019/20财年巴基斯坦发电量:按能源类型分类 | 图 9



电力消费方面，近年来随着经济发展，巴基斯坦全国用电量整体呈上升趋势。2019/20财年，巴基斯坦全国总用电量107,066.75吉瓦时（GWh），在新冠肺炎疫情影响下较上一财年减少1.05%，占比由大至小分别为：家庭（51.49%）、工业（23.95%）、农业（9.11%）、商业（7.35%）、公共照明及其他（4.57%）和大宗用电（3.51%）（NEPRA, 2020）。

受部分老旧火电站单位发电成本过高等因素限制，巴未能将全部装机容量用于电力生产，全国实际发电能力约为31243兆瓦（MW）（NEPRA, 2021b）。巴基斯坦是典型的由于电力缺乏而使经济发展滞后的国家，巴基斯坦的电力生产主要依赖煤炭、天然气等化石能源。因此，在国际天然气价格上涨的情况下，巴基斯坦的发电成本增加，电力生产减

少，使工厂和农业的电力使用受到了极大的限制，导致其发展处于低速状态（Solangi等, 2019）。预计随着煤电、光伏和风力发电项目以及水电项目2022年前后持续建成投产，持续多年的电力需求矛盾预计将得到一定程度的缓解。

4.1.2 波兰

波兰经济相对多元化，是欧盟中最具韧性的经济体之一。2020年在新冠肺炎疫情的冲击下，波兰GDP收缩2.7%，这是自1991年以来的首次产出收缩（World Bank | GDP, 2020）。波兰丰富的煤炭储量对波兰的工业化建设发挥了巨大的作用，矿山机械制造业是波兰的支柱产业，在世界上处于领先的地位（中国驻波兰共和国大使馆经济商务处, 2020）。

波兰社会经济及能源电力主要指标 | 表 10

综合信息		数据年份
总人口（World Bank Population, 2020）	3795万人	2020
人口年均增长率（World Bank, 2020）	-0.024%	2010-2020
GDP（World Bank GDP, 2020）	5941.64亿美元	2020
三产比重（Statista Poland, 2020）	2.39:28.16:57.46	2020
一次能源消费总量（Ritchie & Roser, 2020c）	1.37亿吨标煤	2020
各种能源类型电力装机（Government of Poland, 2021）	49,238兆瓦（MW）	2020
燃煤电力	60.08%	
燃气电力	5.65%	
企业自备电厂	5.37%	
水电	4.78%	
非水可再生能源	20.43%	
其他	3.69%	
各种能源类型发电量（BP, 2021）	157.8太瓦时（TWh）	2020
火电	81.76%	
水电	1.33%	
核电	—	
非水可再生能源	16.21%	
其他	0.70%	

2020年，波兰一次能源消费总量约为4.01艾焦（EJ）（1.37亿吨标煤），作为主要一次能源来源的煤炭消费量达到1.67艾焦（EJ）（5698.2万吨标煤），占比41.65%；其次是石油1.28艾焦（EJ）（4367.5万吨标煤），占比32%；天然气消费量达到0.78艾焦（EJ）（2661.4万吨标煤），占比19.5%；水电及其他可再生能源消费占比较少，水电消费量是0.02艾焦（EJ）（68.2万吨标煤），其他非水可再生能源消费量为0.27艾焦（EJ）（921.3万吨标煤）。

2020年，波兰二氧化碳排放量约为3.23亿吨，人均碳排放量约为8.89吨。

● 波兰电力发展现状

波兰电力来源以煤炭为主。截至2020年12月31日，波兰电力装机量为49238兆瓦（MW），煤电占69.08%，非水可再生能源占20.43%（Government of Poland, 2021）。

2020年，波兰总电力生产为157.8太瓦时（TWh），其

中70.30%来自煤电，11.46%来自其他类型火电，16.21%来自非水可再生能源（bp, 2021）；电力需求方面，2020年，波兰电力消费为165.5太瓦时（TWh），比前一年减少2.3%（Easton, 2021）。

目前波兰过度依赖煤炭资源，发电用煤20%依赖于进口，2018年进口煤炭中78%来自俄罗斯。油气资源匮乏，能源自给率较低，油气进口过度依赖俄罗斯。此外，电厂及输电网老化，面临淘汰。因此波兰亟需要追加新的投资建设电站和对输电网进行现代化改造，以保证电力供应和环境改善（CGGT, 2016; Morgan, 2017）。

4.1.3 南非

南非是非洲第二大经济体和非洲工业化程度最高的国家，目前已建成世界领先的矿业和门类较为齐全的制造业（中国商务部 & 中国驻南非共和国大使馆经济商务处，2020）。南非的经济结构以服务业为主，近年来在GDP占比均在60%以上。

南非社会经济及能源电力主要指标 | 表 11

综合信息		数据年份
总人口（World Bank, 2020）	5931万	2020
人口年均增长率（World Bank, 2020）	1.48%	2010-2020
GDP（World Bank, 2020）	3019.24亿美元（2010年美元）	2020
三产比重（Statista South Africa, 2020）	2.4:25.2:61.45	2020
一次能源消费总量（Ritchie & Roser, 2020d）	1.67亿吨标煤	2020
电力总装机（Department of Energy South Africa, 2019）	51.7吉瓦（GW）	2019
燃煤电力	73.50%	
燃油电力	7.35%	
核电	3.48%	
水电	3.29%	
抽水蓄能	5.22%	
非水电可再生能源	7.16%	
发电量（BP, 2021）	239.5太瓦时（TWh）	2020
火电	85.89%	
水电	0.21%	
核电	6.51%	
非水可再生能源	5.26%	
其他	2.13%	

南非拥有丰富的资源，是世界第四大矿产国；黄金、金刚石的储量和产量均居世界第一位，是世界最大的黄金生产国和出口国。因此，主要经济来源和支柱出口产业之一是矿业（2020年贡献8.2%的GDP）。

截至2020年，南非一次能源消费总量为4.90艾焦（EJ）（1.67亿吨标煤），其中煤炭消费3.48艾焦（EJ）（1.19亿吨标煤），占比71.3%，其中54%用于发电；石油消费1.02艾焦（EJ）（3480.33万吨标煤），占比20.8%；天然气0.15艾焦（EJ）（511.8万吨标煤），占比3.06%；新能源0.11艾焦（EJ）（375.3万吨标煤），占比2.24%；核能0.14艾焦（EJ）（477.7万吨标煤），占比2.86%。2020年，南非碳排放总量约为4.79亿吨CO₂。

● 南非电力发展现状

根据南非的《综合资源计划2019》（Integrated Resource Plan 2019），截至2018年3月31日，南非有45座发电厂，其中煤电19座。2020年，南非总计发电量为239.5太瓦时（TWh），年增长率为-5.5%。其中煤炭202.4太瓦时（TWh），核能15.6太瓦时（TWh），可再生能源占12.6太瓦

时（TWh）。2018年，南非电力消费为228.6太瓦时（TWh），其电力消耗主要是工业（52.74%），以及居民（24.06%）和商业部门（18.35%）（IEA | South Africa, 2019）。

南非电力企业主要为南非国家电力公司（Eskom），是南非最大的电力供应商，同时经营发电、输电和配电业务。Eskom基本垄断了南非国内所有的发电和输电业务，其所发电量占南非总电量的95%，占非洲总电量的45%。随着优质煤炭资源储量的递减，南非化石能源危机日益严峻。随着经济和人口的增长，南非的电力需求在不断增加，而发电量的增长长期停滞，导致电力供应不足、电力短缺和限电现象日益严重。

同时，南非是世界上太阳能资源最丰富的国家之一，沿海风能资源也非常丰富，可再生能源资源亟待开发。因此，加快向清洁低碳能源转型已迫在眉睫。根据南非能源部发布的《综合资源计划2019》（Integrated Resource Plan 2019），到2030年，南非风电和太阳能装机容量的占比将达到33%——光伏和风电分别占10.52%和22.53%（Department of Energy | South Africa, 2019）。

南非《综合资源计划2019》提出的各类电力装机情况 | 表 12

	煤炭	煤炭(退役)	核能	水电	贮存	光伏	风能	光热发电	汽油和柴油	其他(分布式发电、生物质能、垃圾填埋场)
当前基数	37149		1860	2100	2912	1474	1980	300	3830	499
2019	2155	-2373					244	300		在短期容量和能源缺口的范围内进行分配
2020	1433	-557				144	300			
2021	1433	-1403				300	818			
2022	711	-844			513	400	1000	1600		
2023	750	-55				1000	1600			
2024			1860				1600		1000	
2025						1000	1600			500
2026	750	-1219					1600			500
2027		-847					1600		2000	500
2028		-475				1000	1600			500
2029		-1694			1575	1000	1600			500
2030		-1050		2500		1000	1600			500
到2030年的总装机量(兆瓦)	33364		1860	4600	5000	8288	17742	600	6380	
占总装机量的%(兆瓦)	43		2.36	5.84	6.35	10.52	22.53	0.76	8.1	
占年能源贡献的%(兆瓦)	58.8		4.5	8.4	1.2*	6.3	17.8	0.6	1.3	

4.2 能源替代效益核算

4.2.1 能源替代效益核算方法简要说明

能源替代效益核算采用的研究方法是基于基准线比较的方法。由于本研究的主要研究对象是风电和光伏项目，属于东道国的电力部门，具体的研究思路主要包括：

- 首先基于东道国现有电力技术的供应结构，确定东道国的电力供应基准线；
- 基于确定的东道国电力基准线，确定东道国目前单位电力供应的能源消耗现状，结合生命周期的技术分析边界，分析测算东道国目前度电供应的能源消耗这一指标，不含电力传输与分配阶段；
- 由于数据的可获得性，假设基于风电和光伏在燃

料开采和运输边界上视为没有能源投入，风电与光伏投资完全替代现有的电力，进而产生减少能源消耗的效益。

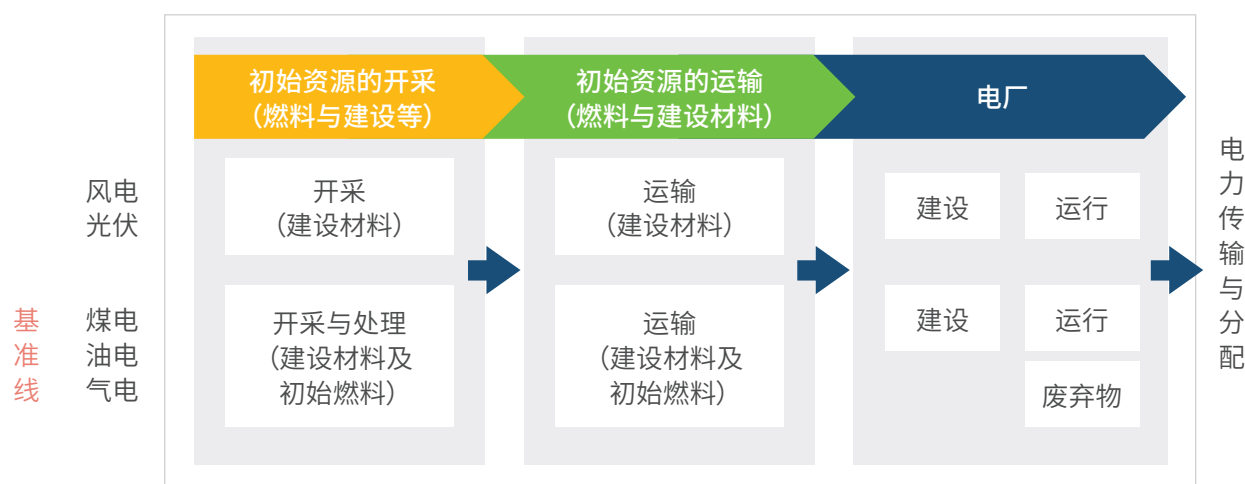
4.2.2 巴基斯坦能源替代效益核算

● 巴基斯坦电力基准的确定

由于巴基斯坦的电力供应中主要是以燃油和燃气电站为主，因此本文选取燃油和燃气电厂的加权进行基准线的确定，进而确定生命周期的单位电力能源消耗。

通常全生命周期研究包括燃料的开采阶段的能源消耗，由于数据的可获得性以及本研究方法的推广与适用，本研究选取由国际同行评议的科学论文作为基础，直接引用消耗燃料以及非生物资源的数据 (Akber等, 2017) (结果见表13)。

能源替代效应核算技术路线图 | 图 10



分技术的单位电力消耗燃料及非生物资源ADP (金属等)⁷ | 表 13

	单位	燃气电厂	燃油电厂	风电
非生物资源ADP	ug Sb eq/kWh	68.19	139.95	285.8
燃料资源消耗	MJ/kWh	14.09	13.36	0.13

7. 非生物资源足迹主要考虑金属和矿物等的稀缺性，ADP: 非生物消耗潜值Abiotic Depletion Potential; 根据1999年主要非生物资源的全球储量及当年开采速度进行计算，其单位为锑质量当量(kg Sb-eq)

巴基斯坦电厂分布示意图 | 图 11



燃料运输的能源消耗与电厂的地理位置有直接关系。巴基斯坦的水力发电电站主要集中在该国的北面，而化石燃料电厂，如燃油和燃气电厂主要是集中在该国的南部地区 (NEPRA, 2020)。巴基斯坦燃油电厂平均装机约为396兆瓦 (MW) (基于20个厂级数据)，平均发电小时数3479；燃气电厂平均装机524兆瓦 (MW) (基于20个厂级数据)，平均发电小时数5385。

根据IEA的能源平衡表数据显示，巴基斯坦的原油自产大约4666兆吨油当量 (Mtoe) (2016年)，进口量约为

9558兆吨油当量 (Mtoe)，进口占比约为67%，同时还进口其他石油产品约为15321兆吨油当量 (Mtoe)。其中2015年的燃料油总体供应约为1190万吨，国内生产约为348万吨，其余主要依靠进口。

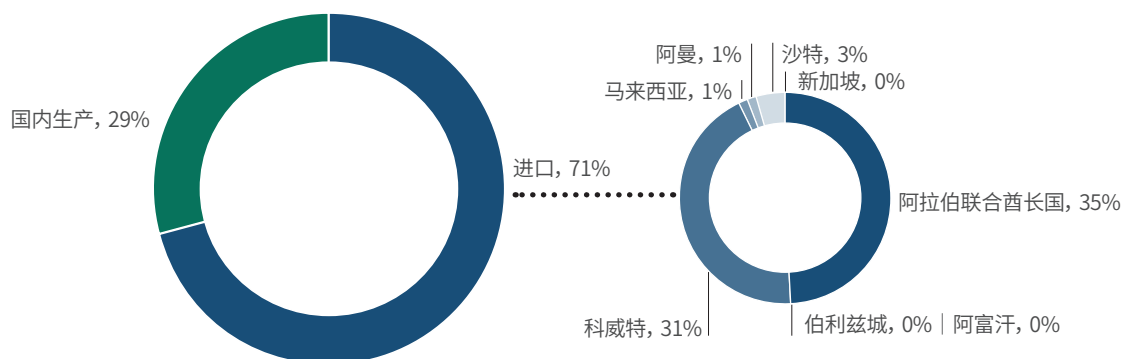
由于运输导致的能源消耗主要与距离相关，且燃料油的进口国主要是科威特和阿联酋，本研究将运输阶段主要分为3个部分进行距离估算：

- 燃料油进口国管道运输到当地的港口；
- 他国港口运输到巴基斯坦的港口；
- 巴基斯坦国内管道运输。

按照文献的数据显示 (Khan, 2018)，巴基斯坦进口国的管道运输半径距离取为200千米 (km)，而进口国管道运输的能耗水平取值为每英里260热英单位/吨 (Btu/ton/mile)⁸；他国港口运输到巴基斯坦港口的平均运输半径取值为1750千米 (km)，国际远洋运输的能耗水平为每海里7.3英热单位/桶 (Btu/bbl/nm)；巴基斯坦国内管道的平均运输距离半径取值为265千米 (km)，其管道运输的平均能耗水平取值为每英里260英热单位/吨 (Btu/ton/mile)。

除了进口的燃料油，巴基斯坦本地的燃油运输主要是通过卡车来运输实现的，Oak Ridge National Laboratory (ORNL) 确定的数据显示巴基斯坦运输的当地能源强度为每千米98英热单位/桶 (Btu/bbl/km)，本

巴基斯坦燃料油进口来源 | 图 12



8. mile, 1mile = 1.60934km

文假设所有的运输车辆均假设为柴油车，巴基斯坦的油田一般位于信德省 (Sindh) 和开伯尔-普什图省 (Khyber Pakhtunkhwa)，其油田距离炼油厂的距离约为200-300千米 (km)，本文取250千米 (km) (Khan, 2018)。

按照上一篇同样文献显示，目前巴基斯坦电力消耗的天然气以管道输送为主：

(1) 伊朗-巴基斯坦天然气管道项目的天然气供应能力为750百万立方英尺/日 (MMcfd)，全长1115千米 (km)。该项目预计将于2018年底投入使用。

(2) 土库曼斯坦-阿富汗-巴基斯坦-印度 (TAPI) 管道项目的天然气供应能力为3178百万立方英尺/日 (MMcfd)，管道的总长度为1800千米 (km)。该管道将于2019年12月交付首批天然气供应。因此，巴基斯坦国内管道运输距离约为10789千米 (km)，国内管道运输能源强度 1.02×10^{-5} MCF/MCF-km。

● 巴基斯坦能源替代效益核算

基于以上的基础数据，本文主要针对巴基斯坦燃气和燃油电厂从原料的获取、运输以及电厂消耗的燃料作为核算边界，分别测算每个过程中的能源消耗（具体测算过程见附表2所示）；之后将这些能源消耗分摊到每度电上，这

样可以分别得到开采、运输和消耗每个过程中单位度电的能源消耗；然后再分别按照燃油和燃气电厂的发电量进行加权，最终得到巴基斯坦单位度电的能源消耗强度（具体测算见附表3所示），本研究测算的结果均是按照发电热值核算的能源消耗量。

根据3.2.1估计的未来中国在巴基斯坦风电和光伏电力投资的情景数据，本文预计通过这些绿色技术的投资，有助于巴基斯坦减少化石能源消耗和能源结构调整（见表14）。

4.2.3 波兰能源替代效益核算

● 波兰电力基准的确定

由于波兰的电力供应中主要是以煤电厂为主，燃煤电厂主要消耗硬煤和褐煤，因此本研究拟选取燃煤电厂及燃气燃油电厂的加权平均进行电力基准线的确定，进而确定生命周期的单位电力能源消耗。

全生命周期单位电力消耗燃料以及非生物资源的数据与巴基斯坦的数据相同。

以煤炭为例，波兰约进口20%的煤炭用于发电，其中大部分来自俄罗斯 (Gomez & Martewicz, 2018)。燃

巴基斯坦风电光伏投资能源替代潜力(每年) | 表 14

巴基斯坦案例	高情景	中情景	低情景
光伏装机 (GW)	0.74	0.5	0.25
风电装机 (GW)	0.70	0.47	0.23
能源替代 (全生命周期, Mtoe ⁹)	1.72	1.16	0.57
能源替代占比 (全生命周期, %)	2.13	1.44	0.71
能源替代 (运行阶段, Mtoe)	0.74	0.50	0.25
能源替代占比 (运行阶段, %)	0.92	0.62	0.31

9. Mtoe: 百万吨标油。此处及下文所有toe为吨油当量，热值为41.868吉焦。具体热值单位参考：IEA (2019) .《国际能源统计建议》(ST/ESA/STAT/SER.M/93)，联合国经济和社会事务部统计司。

波兰煤炭运输单位吨公里的能源消耗 | 表 15

煤运输	单位	铁路	卡车	
能耗	Btu/ton/mile-	589	2349	539
能耗	tce/t/km	0.0000132	0.0000526	0.0000121

料运输的能源消耗与电厂的地理位置有直接关系。按照公开信息估算，波兰煤炭运输半径为国际铁路420千米(km)，国内运输距离为1000千米(km)的铁路运输和170千米(km)的卡车运输。按照文献的数据显示(Mann & Spath, 1997)，波兰煤炭运输的单位吨公里能耗数据见表15。

● 波兰能源替代效益核算

基于以上的基础数据信息，本文主要针对波兰煤炭、燃气和燃油电厂从原料的获取、运输以及电厂消耗的燃料作为核算边界，分别测算每个过程中的能源消耗(具体测算过程见附表4所示)；之后将这些能源消耗分摊到每度电上，这样可以分别得到开采、运输和消耗每个过程中单位度电的能源消耗；然后再分别按照煤炭燃油和燃气电厂的发电量进行加权，最终得到波兰单位度电的能源消耗强度(具体测算见附表5所示)，本研究测算的结果均是按照发电热值核算的能源消耗量。

根据3.2.2估计的未来中国在波兰风电和光伏电力投资的情景数据，本文预计通过这些绿色技术的投资，有助于波兰减少化石能源消耗和能源结构调整，具体如表16所示。

4.2.4 南非能源替代效益核算

● 南非电力基准的确定

由于南非的电力供应以煤电和燃油电厂为主，本研究拟选择燃煤电厂及燃油电厂的加权平均进行电力基准线的确定。确定生命周期的单位电力能源消耗。

全生命周期单位电力消耗燃料以及非生物资源的数据与巴基斯坦的数据相同。

Eskom主导了南非的国内煤炭市场，在市场1.77亿吨的总量中约占1.16亿吨。Eskom每年通过陆路将约3000

波兰风电光伏投资能源替代潜力(每年) | 表 16

波兰案例	高情景	中情景	低情景
光伏装机 (GW)	5.0	3.31	1.65
风电装机 (GW)	2.46	1.64	0.82
能源替代 (全生命周期, Mtoe)	10.9	7.27	3.63
能源替代占比 (全生命周期, %)	10.68	7.12	3.56
能源替代 (运行阶段, Mtoe)	2.53	1.68	0.84
能源替代占比 (运行阶段, %)	2.47	1.65	0.82

南非风电光伏投资能源替代潜力(每年) | 表 17

南非案例	高情景	中情景	低情景
光伏装机 (GW)	1.2	0.8	0.4
风电装机 (GW)	1.7	1.1	0.57
能源节约 (全生命周期, Mtoe)	5.70	3.73	1.89
能源节约占比 (全生命周期, %)	4.73	3.09	1.57
能源节约 (运行阶段, Mtoe)	1.70	1.11	0.56
能源节约占比 (运行阶段, %)	1.41	0.92	0.47

万吨的煤炭运到其发电厂, 运煤卡车的柴油消耗量占该国柴油总使用量的2% (Infrastructurenews, 2012)。

● 南非能源替代效益核算

基于以上的基础数据, 本文主要针对南非煤炭和燃油电厂从原料的获取、运输以及电厂消耗的燃料作为核算边界, 分别测算每个过程中的能源消耗 (具体测算过程见附表6所示); 之后将这些能源消耗分摊到每度电上, 这样可以分别得到开采、运输和消耗每个过程中单位度电的能源消耗; 然后再分别按照煤炭和燃油电厂的发电量进行加权, 最终得到南非单位度电的能源消耗强度 (具体测算见附表7所示), 本研究测算的结果均是按照发电热值核算的能源消耗量。

根据3.2.3估计的未来中国在南非风电和光伏电力投资的情景数据, 本文预计通过这些绿色技术的投资, 有助于南非减少化石能源消耗和能源结构调整 (见表17)。

4.2.5 中国风电光伏投资的能源替代效益和增长潜力

结合前文中国在“一带一路”沿线国家可再生能源投资规模情景, 显示到2030年中国参与的太阳能光伏发电项目潜力为226.56-679.69吉瓦 (GW), 风能项目潜力为8.85-26.55吉瓦 (GW), 可再生能源投资装机容量总计达到235.41-706.24吉瓦 (GW)。根据案例国家的基础数据, 基于国别平均因子测算中国风光投资的能源替代效益, 预计至少可以实现上下游的节能量约为**2.56-7.68亿吨油当量 (toe) 每年**, 如果仅考虑电厂运行可以产生的直接节能

量约为**0.79-2.37亿吨油当量 (toe) 每年**, 约占目前“一带一路”沿线国家 (64国) 能源消耗量**1.89%-5.67%**, 显示中国切实履行绿色“一带一路”倡议, 也为“一带一路”沿线国家的能源转型以及提高自身的能源安全提供强劲的动力, “一带一路”沿线国家发展可再生能源项目可以带来巨大的节能效益。

4.3 环境效益核算

4.3.1 环境效益核算方法简要说明

由于前文对能源替代效益的计算涉及煤炭、燃油和燃气三种类型, 因此中国对东道国风电光伏投资的环境效益核算方法分为两个部分:

- 第一部分: 采用2006年IPCC温室气体排放清单中燃料煤、原油和天然气三种燃料的排放系数平均值作为能源减排量的环境效益核算系数 (Eggleston等, 2006)。二氧化碳 (CO₂)、氧化亚氮 (N₂O) 和甲烷 (CH₄) 三类温室气体平均排放系数分别为2.3920 KgCO₂/Kg、0.000022 KgN₂O/Kg、0.00005767 KgCH₄/Kg, 温室气体排放量计算见公式4.1。

$$EM_i = EF_i \times SP_i \quad (4.1)$$

其中, EM_i 为能源替代下三类温室气体减排潜力, EF_i 为排放系数平均值, SP_i 为风电光伏的能源替代量。

- 第二部分：基于2007年IPCC第四次评估报告确定的氧化亚氮和甲烷减排量转换为二氧化碳当量的全球变暖潜势 (GWP) 值 (IPCC, 2007)，计算温室气体减排总量潜力，计算方法见公式4.2。百年时间尺度下氧化亚氮和甲烷的GWP分别为298和25。

$$EMT = \sum_{i=1}^3 WGP_i \times EM_i \quad (4.2)$$

其中，EMT为三类温室气体加总的减排潜力。

4.3.2 巴基斯坦温室气体减排潜力核算

参考IEA官方公布的巴基斯坦电力和热力部门二氧化碳排放 (百万吨二氧化碳排放) 数据，巴基斯坦2018年二氧化碳排放总量为45.0百万吨 (IEA | Pakistan, 2019)。

在全生命周期视角下，中国投资风光项目对巴基斯坦的减排潜力为每年1.37-4.12百万吨二氧化碳当量 (MtCO₂e)，对电力和热力部门潜在减排贡献率为3.04%-9.16%。

4.3.3 波兰温室气体减排潜力核算

参考IEA官方公布的波兰电力和热力部门二氧化碳排放数据，波兰2018年二氧化碳排放总量为150.0百万吨 (IEA | Poland, 2019)。

在全生命周期视角下，中国投资风光项目对波兰的减排潜力为每年8.71-26.16百万吨二氧化碳当量 (MtCO₂e)，对电力和热力部门潜在贡献率为5.81%-17.44%。

中国投资风电光伏项目对巴基斯坦温室气体减排量贡献(每年) | 表 18

巴基斯坦	2030预计投资装机总量		
	高情景	中情景	低情景
CO ₂ 减排潜力 (全生命周期, MtCO ₂ e)	4.11	2.77	1.36
N ₂ O减排潜力 (全生命周期, tCO ₂ e)	37.84	25.52	12.54
CH ₄ 减排潜力 (全生命周期, tCO ₂ e)	99.19	66.90	32.87
减排总量 (全生命周期, MtCO ₂ e)	4.12	2.78	1.37
减排总量占比 ¹⁰ (全生命周期, %)	9.16	6.18	3.04
CO ₂ 减排潜力 (运行阶段, MtCO ₂ e)	1.77	1.20	0.60
N ₂ O减排潜力 (运行阶段, tCO ₂ e)	16.28	11	5.5
CH ₄ 减排潜力 (运行阶段, tCO ₂ e)	42.68	28.84	14.41
减排总量 (运行阶段, MtCO ₂ e)	1.78	1.2	0.6
减排总量占比 (运行阶段, %)	3.96	2.67	1.33

10. 表18、表19和表20的“减排总量占比”均指减排总量占该国2018年电力和热力部门二氧化碳排放的比例。

中国投资风电光伏项目对波兰温室气体减排量贡献(每年) | 表 19

波兰	2030预计投资装机总量		
	高	中	低
CO ₂ 减排潜力 (全生命周期, MtCO ₂ e)	26.07	17.39	8.68
N ₂ O减排潜力 (全生命周期, tCO ₂ e)	239.8	159.94	79.86
CH ₄ 减排潜力 (全生命周期, tCO ₂ e)	628.60	419.26	209.34
减排总量 (全生命周期, MtCO ₂ e)	26.16	17.45	8.71
减排总量占比 (全生命周期, %)	17.44	11.63	5.81
CO ₂ 减排潜力 (运行阶段, MtCO ₂ e)	6.05	4.02	2.01
N ₂ O减排潜力 (运行阶段, tCO ₂ e)	55.66	36.96	18.48
CH ₄ 减排潜力 (运行阶段, tCO ₂ e)	145.91	96.89	48.43
减排总量 (运行阶段, MtCO ₂ e)	6.07	4.03	2.02
减排总量占比 (运行阶段, %)	4.05	2.69	1.35

4.3.4 南非温室气体减排潜力

参考IEA官方公布的南非电力和热力部门二氧化碳排放(百万吨二氧化碳排放)数据,南非2018年二氧化碳排放总量为224.1百万吨(IEA | South Africa, 2019)。

在全生命周期视角下,中国投资风光项目对南非的减排潜力为每年4.54-13.68百万吨二氧化碳当量(MtCO₂e),对电力和热力部门潜在减排贡献率为2.03%-6.10%。

中国投资风电光伏项目对南非温室气体减排量贡献(每年) | 表 20

南非	2030预计投资装机总量		
	高	中	低
CO ₂ 减排潜力 (全生命周期, MtCO ₂ e)	13.63	8.92	4.52
N ₂ O减排潜力 (全生命周期, tCO ₂ e)	125.4	82.06	41.58
CH ₄ 减排潜力 (全生命周期, tCO ₂ e)	328.72	215.11	109.00
减排总量 (全生命周期, MtCO ₂ e)	13.68	8.95	4.54
减排总量占比 (全生命周期, %)	6.10	3.99	2.03
CO ₂ 减排潜力 (运行阶段, MtCO ₂ e)	4.07	2.66	1.34
N ₂ O减排潜力 (运行阶段, tCO ₂ e)	37.40	24.42	12.32
CH ₄ 减排潜力 (运行阶段, tCO ₂ e)	98.04	64.01	32.30
减排总量 (运行阶段, MtCO ₂ e)	4.08	2.67	1.34
减排总量占比 (运行阶段, %)	1.82	1.19	0.60

4.3.5 中国风电光伏投资的温室气体减排潜力

根据前文计算中国对“一带一路”沿线国家风光投资带来上下游节能量约为2.56-7.68亿吨油当量 (toe) 计算。在能源替代视角下,到2030年,中国风电光伏投资可以带来的二氧化碳减排潜力约为每年612-1837百万吨当量,氧化亚氮减排潜力约为每年0.0056-0.0169百万吨二氧化碳当量,甲烷减排潜力约为每年0.0148-0.0443百万吨二氧化碳当量,共计实现温室气体减排**每年614-1844百万吨二氧化碳当量 (MtCO_{2e})**,约占2018年“一带一路”沿线国家二氧化碳排放总量(108.92亿吨)的**5.64%-16.93% (Ritchie & Roser, 2020a)**。

若仅考虑电厂运行,中国对“一带一路”沿线国家风光投资每年可以产生的直接温室气体减排量为二氧化碳189-567百万吨二氧化碳当量 (MtCO_{2e}/year),氧化亚氮0.0017-0.0052百万吨二氧化碳当量 (MtCO_{2e}/year),甲烷0.0046-0.0137百万吨二氧化碳当量 (MtCO_{2e}/year),共计每年实现温室气体减排**190-569百万吨二氧化碳当量 (MtCO_{2e}/year)**,占2018年“一带一路”沿线国家二氧化碳排放总量的**1.74%-5.22% (Ritchie & Roser, 2020a)**。由此可见,“一带一路”沿线国家发展可再生能源项目可以带来较大的减排效益。

4.4 社会经济效益

4.4.1 社会经济效益核算方法简要说明

本文主要基于投入产出法分析“一带一路”倡议下中国对沿线国家可再生能源的投资对东道国的经济和就业的影响。投入产出法是由Leontief于1936年提出的一种利用部门财政货币转移数据来考虑现代经济中复杂的部门关系的自上而下的经济技术,能够用直观的数学方法分析国民经济各部门间的生产和分配关系。

电力行业产出水平的变化不仅对本行业造成就业波动,还会通过产业之间的相互影响引起整个经济系统内各个行业的产品使用发生变化,尤其是在风电和太阳能产业横跨第二和第三产业,涉及新材料、制造、电力和自控等多个领域的情况下,加大在这一领域的投资将不仅带来电站建设直接消耗产品的产值,更将推动更广泛产业的发展。

因此本文将可再生能源项目的建设带来的国民经济增长分为两类,直接经济效益和间接经济效益:

- **直接经济效益:**指可再生能源投资建设对其本身所做的净贡献,其中包括产出的效益与生产总值(GDP)的效益。产出效益与GDP效益是指由于可再生能源最终需求的增加为其本身所带来的总产出与GDP的增长。可再生能源投资本身会产生工资、税金、利润和折旧等增加值来创造GDP。
- **间接经济效益:**指可再生能源投资还可以通过产业或者部门之间的关联作用给国民经济其他部门带来的产值增长。

通过合并不同国家的投入产出表中的项目,将与发电相关的重点行业保留、非重点相关行业合并,依据此国家过去的电力部门的经济效益以及其他相关指标,对水、电和天然气进行拆分,再根据装机容量,电厂建设成本等相关指标将电力行业拆分为不同发电技术的部门,得到不同发电技术与其他产业相互之间的关联。通过对“一带一路”沿线国家投资的可再生能源电厂进行评估,预测电厂的产值后对其所带来的直接和间接经济效益进行计算。

可再生能源项目的建设带来的社会效益体现在促进就业方面。促进就业人数定义为风电/光伏项目在建设和建成后,所需要的就业人数。其中不仅涵盖了可再生能源电厂工作的所有人员,还涵盖了可再生能源产业发展带动的其他产业就业人数的增加。由于就业人数并不在投入产出表的行业范畴之内,我们通过建立卫星账户的方式利用投入产出表各行业之间的关联进行就业岗位的变化计算(具体计算过程和方法学详见附录1)。

4.4.2 巴基斯坦社会经济效益核算

● 背景信息

巴基斯坦的人口数量在过去的几年里一直呈增长状态。根据巴基斯坦2017年第六次全国人口普查结果,巴基斯坦总人口约2.08亿,较1998年第五次人口普查增长了56.9%,年均增长率约3.0% (Government of Pakistan, 1998; Government of Pakistan, 2017)。

巴基斯坦财政部数据显示,2020/21财年其国内生产总值中,农业、工业和服务业分别占比19.19%、19.12%和61.68%。农业对巴基斯坦至关重要,其就业人口占巴基斯坦总劳动力近40%,但近年来在GDP中的份额有所下降,2019/20财年有小幅度回升。同时,工业占比相对维持稳定,服务业占比呈逐年上升趋势 (Sectoral Shares

in GDP | PBS, 2021)。2020年,巴基斯坦的人均GDP约为1194美元,在全球国家和地区中位列第170名(World Bank, 2021)。

就业方面,根据世界劳工组织的估算,2020年巴基斯坦的就业人口比率(巴基斯坦规定15岁以上人口为就业人口)为47.9%,低于55.9%的世界平均水平(International Labour Organization, 2021);联合国发展署《2020巴基斯坦国家人口发展报告》(Pakistan National Human Development Report 2020)的数据显示,新冠肺炎疫情对巴基斯坦的就业市场造成了重大冲击,失业率从2018/19财年的6.2%上升至2019/20财年的15.3%(UNDP in Pakistan, 2021)。对巴基斯坦来说,人口的高增长率是一个很大的社会问题,尤其是低龄人口比重过大,极大地增加了创造就业和提供社会服务的压力。

● 社会经济效益核算

巴基斯坦是目前中国企业以股权投资参与风电、光伏项目规模最大的国家。光伏方面,2015年前巴基斯坦的光伏总装机不足200兆瓦(MW),但由于随着中巴经济走廊的推进,仅2016年就有三座中国企业以股权投资形式建设的光伏电站在巴基斯坦投入运营,总装机达800兆瓦(MW)。

截至2018年12月,在“一带一路”倡议提出后,中国对巴基斯坦投资了总装机容量为2411兆瓦(MW)的28个风电/光伏电站,预计每年可以为当地提供99.8吉瓦时(GWh)的电力,占全国总发电量的1%。同时,还可为上游产业带来一共总拉动的3900万美元的经济增长,占全年GDP的0.07%。

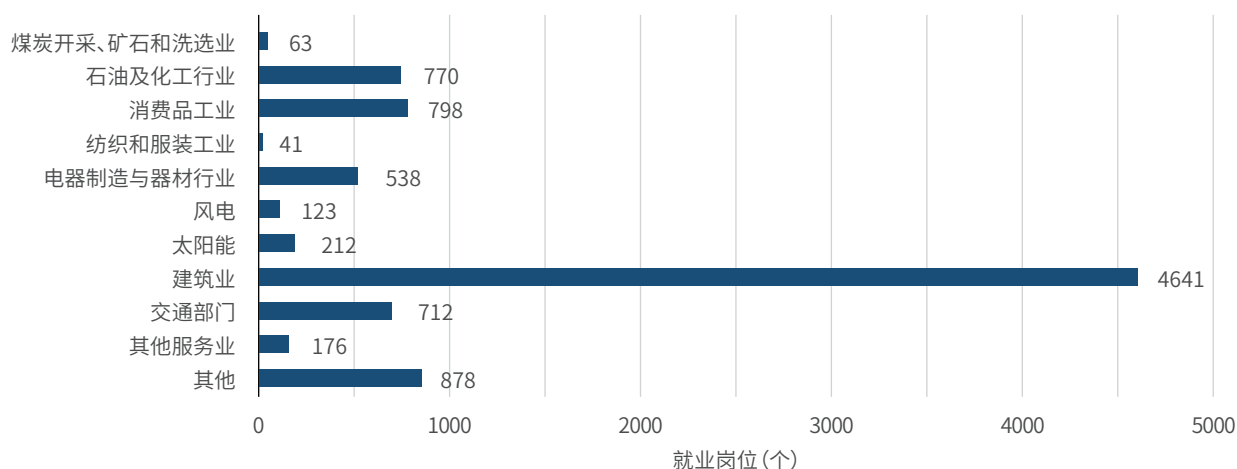
表21为投资风电/光伏电站带动产能提高最多的五个行业:金融保险服务业、建筑业、电机制造业、其他第三产业和消费品工业。其中,金融保险行业、建筑业、电机制造业、其他服务业和消费品工业分别对风电行业直接投入、场地建设、机电采购拉动较大。其中,其他服务业以及消费品工业虽然对风力发电没有直接投入,但是由于该两种行业是基础部门,各行业对该行业均有消耗,且建筑业、电机制造业、金融保险行业等对风力发电有直接投入的行业,对消费品工业和服务业的消耗也相对较大,因而风电行业对消费品工业以及其他服务业产值的拉动较大。

可再生能源电站的建立可以为当地提供了8952个就业岗位,解决0.12%的失业人口的就业问题。其中,为建筑行业带来就业岗位为4641个,占总岗位的一半。

中国对巴基斯坦的可再生能源投资拉动的产业排名前五的行业 | 表 21

行业	拉动产值(万美元, 2015年价)
金融、保险行业	1250
建筑业	539
电机制造业	213
其他服务业	199
消费品工业	141
其他	559

中国对巴基斯坦的可再生能源投资可带来就业岗位所属行业 | 图 13



4.4.3 波兰社会经济效益核算

● 背景信息

波兰人口为3795万，在欧洲排名第八，但从2000年之后总人口基本呈下降趋势，近10年以年均0.024%的速度下降。

波兰属于“一带一路”沿线国家中经济状况良好的国家，其经济结构以服务业和工业为主，2020年分别占GDP的57.46%和28.16%，农业占2.39% (Statista | Poland, 2020)。2020年，波兰人均GDP约为15656美元，在全球国家和地区中位列第44名 (World Bank, 2021)。

就业方面，截至2021年9月，波兰的登记失业率 (registered unemployment rate) 为5.6%，登记失业人数 (registered unemployment persons) 约为93.5万人 (Statistics Poland, 2021)。

● 社会经济效益核算

由于工业发达，波兰的发电量和用电量在“一带一路”沿线国家中都处于较高水平，且波兰的电力需求也在激增。预计到2030年，波兰的电力消耗将增长25% (中国电子商会，2020)。此外，在波兰能源部的计划中，未来几

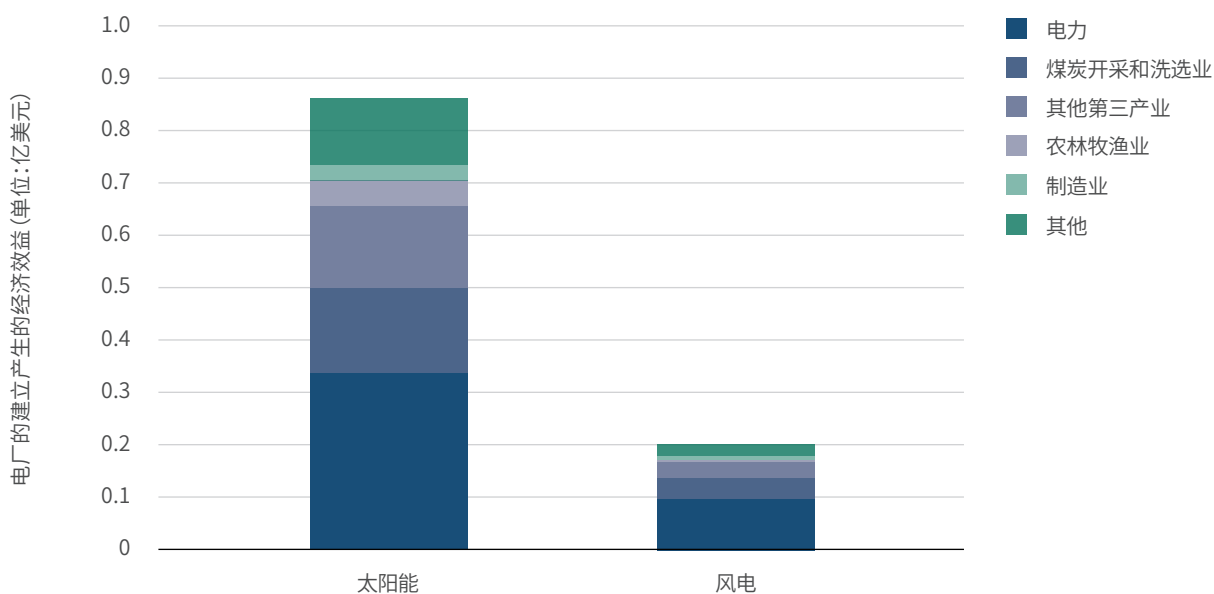
年可再增加2GW可再生能源电力，其中太阳能将占绝大多数。因此，中国在“一带一路”沿线国家的可再生能源投资不仅可以为当地带来经济效益，也推动了当地的能源转型进程。

核算结果显示，通过“一带一路”倡议下中国对波兰投资的6个风电/光伏电站预计将为当地提供每年64.6吉瓦时 (GWh) 的发电量，占全国总发电量的0.4%。同时，还可以为上游产业带来每年1.08亿美元的经济增长，占全年GDP的0.04%。

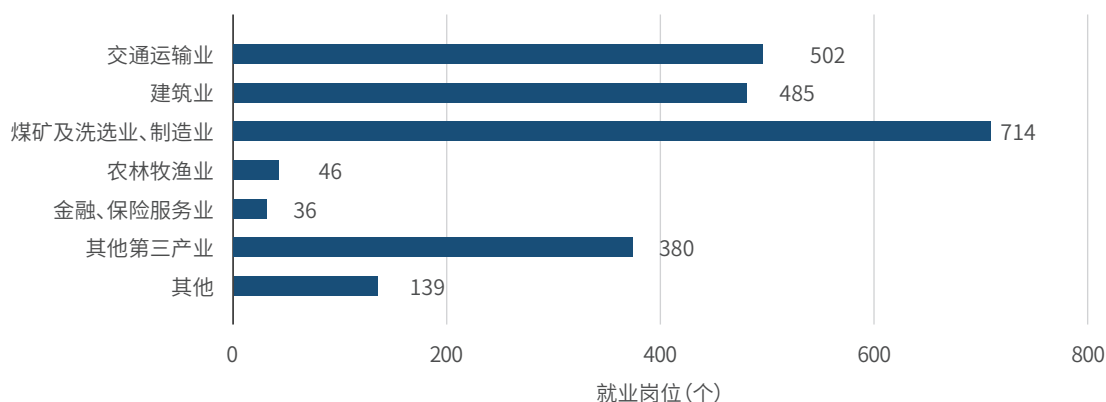
图14为投资风电/光伏电站所带动的经济效益最高的五个行业，分别是电力行业、煤炭金属矿石开采和洗选业、其他第三产业、农林牧渔业和制造业。电力对应着发电行业的电厂用电，煤矿开采和洗选业内包含金属开采，且太阳能组件所需金属也包括在该行业中，光伏发电对该行业的拉动最大。制造业与输配电、电线、仪器仪表等制造也息息相关。而农林牧渔业以及第三产业虽然对光伏发电没有直接投入，但是与上面巴基斯坦行业的拉动原因类似。

风电/光伏电站在波兰的建立可为当地带来将近2000个工作岗位，为波兰解决0.22%失业人口的就业问题。同时，风电和太阳能行业的发展不仅为当地创造了一批岗

“一带一路”倡议下中国投资的风电/光伏电站的建立波兰产生的经济效益 | 图 14



“一带一路”倡议下中国对波兰的可再生能源投资可带来就业岗位所属行业 | 图 15



位，而且由于风电和太阳能行业对高科技和技术工艺的要求较高，中国为当地提供的技术保障将会促进就业人才的流动和当地就业人员的技术提升。

4.4.4 南非社会经济效益核算

● 背景信息

南非人口5931万，在非洲国家人口数中排名第5位，近10年以年均1.48%的速度增长。

南非的经济结构以服务业和工业为主，2020年分别占GDP的61.45%和25.2%，农业占2.4% (Statista | Poland, 2020)。南非人均收入水平在非洲名列前茅。2020年，南非的人均GDP约为5090美元，在全球国家和地区中位列第90名 (World Bank, 2021)。针对南非的经济状况，南非国家计划委员会提出了《2030年国家发展规划》，提出失业率从目前的25%左右降至6%，全国电力覆盖率超过90%，南非环境事务部也提出力求在2030年前实现消除贫困人口、减少发展不均衡和维护社会公平等目标 (South African Government, 2012)。

就业方面，南非2019年失业率高达26.7%，有588万人处于失业状态。同时，根据南非政府官方数据显示，南非2021年第二季度失业率为34.4% (Stats SA, 2021)，就业形势非常严峻。

● 社会经济效益核算

“一带一路”倡议提出后，中国在南非投资建设的9个风电/光伏电站将新增装机容量829兆瓦 (MW)，为当地提

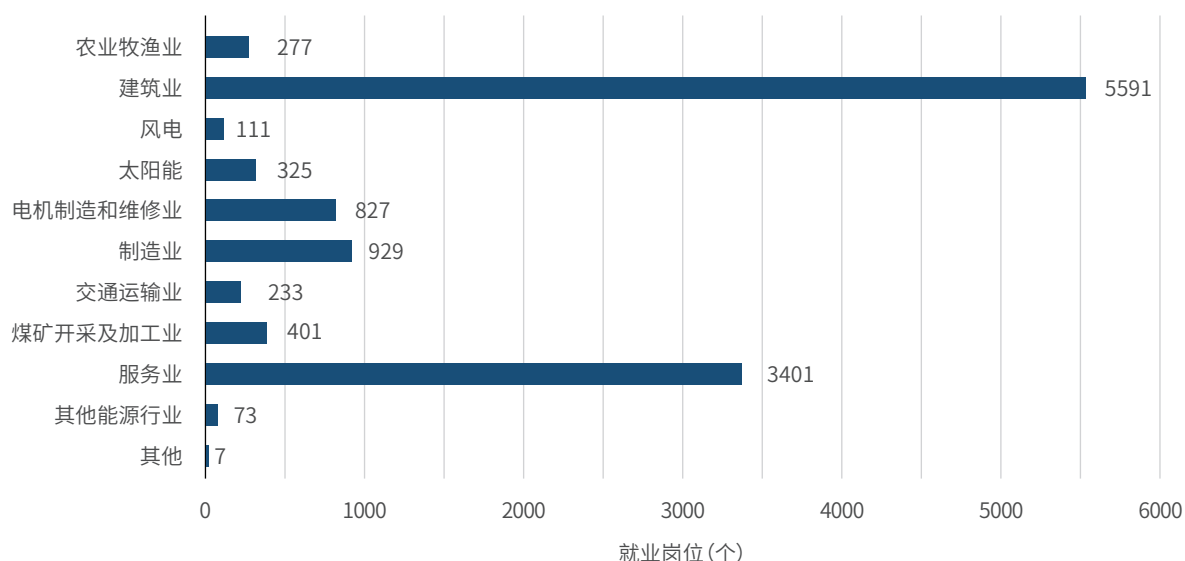
供99.8吉瓦时 (GWh) 的电力，占全国总发电量的0.04%。同时，还将为上游产业带来2.3亿美元的经济增长，占全年GDP的0.07%。

表22列出了风电/光伏电站的建立经济影响最大的5个上游行业，分别是建筑业、电力行业、其他第三产业、电机制造业和煤炭金属矿石开采和洗选业。建筑业、电力行业、电机制造业和煤炭金属矿石开采和洗选业是和电厂的建设和运营有直接关系的产业。前期的电厂建设与建筑行业息息相关。电机制造业和其他第三产业拉动的原因与波兰例子中描述的原因相似；而电机制造业和煤炭金属矿石的开采和洗选行业不仅与电力并网相关，且发电所使用的机械制造也包括在该行业中。

中国对南非的可再生能源投资拉动的产值 | 表 22
排名前五的行业

行业	拉动产值 (亿美元, 2015价)
建筑业	0.47
电力	0.43
其他第三产业	0.32
电机制造	0.28
煤矿金属开采和洗选业	0.21
其他	0.65

“一带一路”倡议下中国对南非的可再生能源投资可带来就业岗位所属行业 | 图 16



南非风电/光伏电站的建立可为当地带来将近1.2万个工作岗位。其中以建筑业和服务业为主，并且大多为长期工作，可以为当地解决0.2%的失业人口的就业问题。

4.4.5 中国风电光伏投资的社会经济效益核算

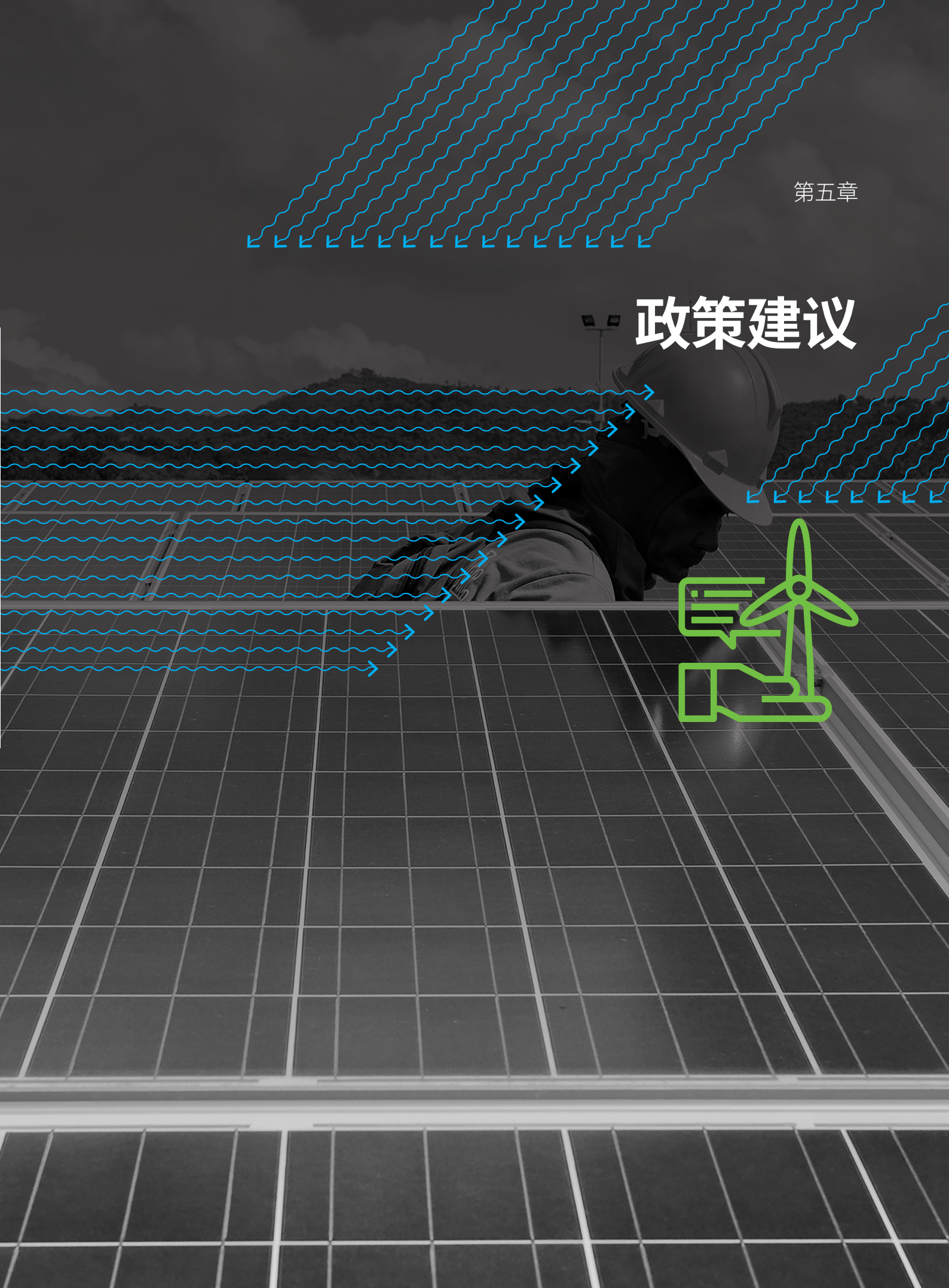
在“一带一路”沿线国家的可再生能源投资的经济效益预估上，无论是项目总装机容量还是单位经济效益，都存在较大的国别差异性。比如，在中度情景设置的预测中，“一带一路”倡议下中国投资的可再生能源装机容量前10的国家占64个“一带一路”沿线国家的85%。而由于不同国家的经济情况不同，“一带一路”倡议下对可再生能源的投资所产生的单位经济效益也不同。对典型“一带一路”沿线国家的经济效益的细化研究结果表明，虽然不同国家可再生能源的投资所产生的经济效益的行业构成基本一致，但是单位经济效益的差异可达10倍以上。

基于以上差异性，我们对典型国家案例的研究结果，得出可再生能源投资所产生的单位经济效益，并通过聚类分析的方法简单估算出可再生能源投资的宏观经济效益。预计到2030年，“一带一路”沿线国家的可再生能源投资可带来每年约为**37.15亿美元**的经济总效益。

而上游产业的消费也将扩大劳动力需求，创造就业机会。总结典型国家案例的研究结果，可得出每100兆瓦(MW)装机量的风电厂、太阳能电厂可分别为东道国提供

约**530个和800个**工作岗位。因此，基于典型案例的计算结果，中国对“一带一路”沿线国家可再生能源投资预计为东道国**15-31万人口提供就业岗位**。其中，可再生能源电站的建立所带来的大多数工作是可再生能源发电厂有关的直接工作，例如建筑、运输和发电厂的维护。除此之外，也包含维护电厂日常运行的长期全职岗位。

政策建议



“一带一路”沿线国家未来的能源需求还有较大的增长空间，还需要大量的能源基础设施的投资建设。“一带一路”沿线国家由于社会经济发展的特殊阶段，经济发展的一般规律决定了其未来的能源需求还有较大的增长空间，同时“一带一路”沿线国家主要是以油气为主的能源结构，显示其能源体系的构建还会进一步加重能源基础设施的建设，其能源消耗短时间内还会快速的持续增长，对这些国家在全球应对气候变化的紧迫背景下，提出了巨大的挑战。

应对气候变化目标的紧迫性和全球可持续发展进程推进滞后，均要求“一带一路”沿线国家能源基础设施建设需求必须与应对气候变化和实现可持续发展目标相结合，避免锁定效应。“一带一路”沿线国家的低碳能源基础设施建设，一方面是满足其经济发展的必然需求，是促进其经济快速增长的引擎，另一方面，也是在气候目标下实现低碳跨越式发展的必然需求。与此同时，“一带一路”沿线国家也受到气候变化的巨大影响，能源技术设施的建设更加需要考虑应对严峻的环境和气候变化挑战。

基于此，本报告建议中国的政策制定者、企业及投资机构，可以在以下几个方面不断提升政策机制，完善市场和投资行为，推动“一带一路”倡议能源投资的绿色低碳发展。

(1) 中国应当扩大公共资金对“一带一路”沿线国家风电光伏等可再生能源项目投资，为教育市场，引导投资提供示范作用。

相比私营部门，中国公共资金在“一带一路”沿线国家风电光伏领域的投资和参与仍然较少。在2019年以后，大量国有企业也进入了可再生能源市场，但是从总量上来看仍然较少。另一方面，以丝路基金、中东欧基金、中非基金为代表的中国“一带一路”投资基金以及国家开发银行、中国进出口银行等为代表的政策性银行海外投资项目中，可再生能源项目占比仍然较少。在推动全球能源绿色低碳转型的进程中，中国公共资金应当扮演更加重要的角色，扩大对风电和光伏项目海外投资的支持力度，加速推动在风电光伏等可再生能源领域的产能合作和产业发展，引领“一带一路”投资的绿色化低碳化发展。

(2) 中国应制定更加清晰、有约束力的绿色低碳能源投资政策，规范海外能源投资标准，推进绿色金融的政策体系发展，引导资金向可再生能源领域倾斜。

目前中国已经出台了《“一带一路”绿色投资指导原则》、《“一带一路”项目绿色发展指南》等一系列政策建

议，倡导中国企业及投资机构加大对包括可再生能源在内的绿色产业投资。这些政策建议尚处在不具约束性的倡议阶段，缺少对投资行为和市场行为的有力约束，不能够提供更加清晰明确的政策指引。与此同时，海外可再生能源项目融资难，融资成本高，仍然是可再生能源项目海外发展的主要制约因素。在明确减少海外化石能源投资的基础上，如何加强对可再生能源项目的资金支持，降低融资成本，推动更多资金向可再生能源领域倾斜，应当成为“一带一路”绿色发展政策体系下一步的工作重点。

(3) 中国与“一带一路”沿线国家和地区政府应当协力推动更加全面的可再生能源产能合作，不仅局限在电站项目建设，而是向上、下游产业链及电网等基础设施扩展，从而更好的发挥可再生能源投资的协同效应，为推进东道国经济发展、能源转型及社会福祉提升提供助力。

中国可再生能源产业海外发展已经从单纯的电站建设转向更加全面的产能合作。特别在东南亚地区，中国可再生能源代表企业，如晶科、隆基等已经开始布局上游产品制造，将产品制造、电站投资建设及服务产业链都放到海外市场，能够为当地带来更多的就业和投资拉动。另一方面，“一带一路”沿线国家能源电力基础设施较差，电网建设滞后，可再生能源消纳能力较差也成为制约清洁电力发展的障碍。中国在可再生能源技术、能源基础设施、智能电网、分布式电站等领域的发展经验和政策经验，能够为东道国发展自身可再生能源产业提供有效借鉴，进而更好的推进东道国经济发展、加速能源结构转型和可持续发展目标的实现。

参考文献

- 龙静. (2019). 波兰特别经济区的最新发展及中国对波投资的展望. *欧亚经济*, 05, 110-124+126+128.
- 中国电子商会. (2020). *2020波兰国际电力展览会 ENERGETAB*. <http://www.cecc.org.cn/m/hzview/id/545579>
- 中国商务部. (2010). 中华人民共和国政府与南非共和国政府关于能源领域合作的谅解备忘录. <http://policy.mofcom.gov.cn/pact/pactContent.shtml?id=2511>
- 中国商务部, & 中国驻南非共和国大使馆经济商务处. (2020). 对外投资合作国别(地区)指南: 南非. <http://www.mofcom.gov.cn/dl/gbdqzn/upload/nanfei.pdf>
- 中国新能源海外发展联盟. (2019). “一带一路”可再生能源发展合作路径及其促进机制研究. <https://news.bjx.com.cn/html/20190508/979101.shtml>
- 中国驻波兰共和国大使馆经济商务处. (2020). *对外投资合作国别(地区)指南: 波兰(2020年版)*. <http://www.mofcom.gov.cn/dl/gbdqzn/upload/bolan.pdf>
- Akber, M. Z., Thaheem, M. J., & Arshad, H. (2017). Life cycle sustainability assessment of electricity generation in Pakistan: Policy regime for a sustainable energy mix. *Energy Policy*, 111, 111–126. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.09.022>
- Bollen, J., Guay, B., Jamet, S., & Corfee-Morlot, J. (2009). *Co-Benefits of Climate Change Mitigation Policies: Literature Review and New Results*. OECD. <https://doi.org/10.1787/224388684356>
- BP. (2019). *Statistical Review of World Energy 2019*. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>
- BP. (2021). *Statistical Review of World Energy 2021*. Bp Global. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
- CGGT. (2016). “16+1”合作升温 波兰五行业投资机遇分析. <http://www.cggthinktank.com/2016-07-19/100075720.html>
- Department of Energy | South Africa. (2018). *Integrated Resource Plan Update 2018 Draft for Comments*. <http://www.energy.gov.za/IRP/irp-update-draft-report2018/IRP-Update-2018-Draft-for-Comments.pdf>
- Department of Energy | South Africa. (2019). *Integrated Resource Plan (IRP2019)*. <http://www.energy.gov.za/IRP/2019/IRP-2019.pdf>
- Easton, A. (2021). *Poland's 2020 power demand down 2.3%, imports at new record*. <https://www.spglobal.com/platts/en/market-insights/latest-news/natural-gas/011421-polands-2020-power-demand-down-23-imports-at-new-record>
- Eggleston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (编). (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
- Energy Regulatory Office of Poland. (2019). *2019 Electricity Market Characteristics*. Energy Regulatory Office. <https://www.ure.gov.pl/en/markets/electricity/elctricitymrket/292,2019-Electricity-Market-Characteristics.html>
- Gomez, J., & Martewicz, M. (2018). Even Europe's Coal Addict Wants to Get Clean. *Bloomberg.Com*. <https://www.bloomberg.com/news/features/2018-04-27/even-europe-s-coal-addict-wants-to-get-clean>
- Government of Pakistan. (1998). *Demographic Indicators—1998 Census*. <https://www.pbs.gov.pk/content/demographic-indicators-1998-census>
- Government of Pakistan. (2017). *Final Results (Census-2017)*. <https://www.pbs.gov.pk/content/final-results-census-2017>

- Government of Poland. (2016). *Polish Industry for Nuclear Energy Edition 2016*. file:///Users/yccg/Downloads/PPE_PL_Polish%20industry%20for%20nuclear%20sector.pdf
- Government of Poland. (2021). *Polish Industry for Nuclear Energy Edition 2021*. file:///Users/yccg/Downloads/Polish_Industry_for_Nuclear_Energy_2021%20(1).pdf
- IEA. (2019). *World Energy Investment 2019 – Analysis*. IEA. <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2019>
- IEA. (2020). *European Union 2020 – Analysis*. <https://www.iea.org/reports/european-union-2020>
- IEA. (2021). *Data and Statistics*. IEA. <https://www.iea.org/data-and-statistics>
- IEA | Pakistan. (2019). *Pakistan: Key energy statistics, 2019*. IEA. <https://www.iea.org/countries/pakistan>
- IEA | Poland. (2019). *Poland: Key energy statistics, 2019*. IEA. <https://www.iea.org/countries/poland>
- IEA | South Africa. (2019). *South Africa: Key energy statistics, 2019*. IEA. <https://www.iea.org/countries/south-africa>
- IEA, IRENA, UN, The World Bank, & WHO. (2020). *Tracking SDG 7: The Energy Progress Report (2020)*. <https://www.irena.org/publications/2020/May/Tracking-SDG7-The-Energy-Progress-Report-2020>
- Index Mundi. (2018). *Electricity consumption per capita by country—Thematic Map—World*. <https://www.indexmundi.com/map/?v=81000>
- Infrastructurenews. (2012). *Eskom to spend R9.79 billion to move coal transport from road to rail | Infrastructure news*. <https://infrastructurenews.co.za/2012/05/15/eskom-to-spend-r9-79-billion-to-move-coal-transport-from-road-to-rail/>, <https://infrastructurenews.co.za/2012/05/15/eskom-to-spend-r9-79-billion-to-move-coal-transport-from-road-to-rail/>
- International Labour Organization. (2021). *Employment statistics—Which country has the highest rate of employment? ILOSTAT*. <https://ilostat.ilo.org/topics/employment/>
- IPCC. (2001). *TAR Climate Change 2001: Mitigation — IPCC*. <https://www.ipcc.ch/report/ar3/wg3/>
- IPCC. (2007). *AR4 Climate Change 2007: The Physical Science Basis — IPCC*. <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/>
- IRENA. (2019). *Renewable Capacity Statistics 2019*. /Publications/2019/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2019. <https://www.irena.org/publications/2019/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2019>
- IRENA. (2020). *Renewable Power Generation Costs in 2020*. /Publications/2021/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2020. <https://www.irena.org/publications/2021/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2020>
- Khan, M. I. (2018). Comparative Well-to-Tank energy use and greenhouse gas assessment of natural gas as a transportation fuel in Pakistan. *Energy for Sustainable Development*, 43, 38–59. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2017.12.004>
- Mann, M. K., & Spath, P. L. (1997). *Life cycle assessment of a biomass gasification combined-cycle power system (NREL/TP--430-23076, ON: DE98002709, 567454; 页 NREL/TP--430-23076, ON: DE98002709, 567454)*. <https://doi.org/10.2172/567454>
- Ministry of Climate and Environment, Government of Poland. (2021). *Energy Policy of Poland until 2040 plan (EPP2040)*. <https://www.gov.pl/attachment/62a054de-0a3d-444d-a969-90a89502df94>
- Morgan, S. (2017). *Poland to treat coal addiction by embracing nuclear power*. www.euractiv.com. <https://www.euractiv.com/section/electricity/news/poland-to-treat-coal-addiction-by-embracing-nuclear-power/>
- National Accounts | PBS, G. of P. (2021). *Macro Economic Indicators*. <https://www.pbs.gov.pk/content/table-1-macro-economic-indicators>
- NEPRA. (2019). *State Of Industry Report 2019*. <https://nepra.org.pk/publications/State%20of%20Industry%20Reports/State%20of%20Industry%20Report%202019.pdf>

NEPRA. (2020). *State Of Industry Report 2020*. <https://nepra.org.pk/publications/State%20of%20Industry%20Reports/State%20of%20Industry%20Report%202020.pdf>

NEPRA. (2021a). *Indicative Generation Capacity Expansion Plan (IGCEP) 2021-30*. <https://nepra.org.pk/Admission%20Notices/2021/06%20June/IGCEP%202021.pdf>

NEPRA. (2021b). *State Of Industry Report 2021*. <https://nepra.org.pk/publications/State%20of%20Industry%20Reports/State%20of%20Industry%20Report%202021.pdf>

Ritchie, H., & Roser, M. (2020b). CO₂ and Greenhouse Gas Emissions. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/co2-emissions>

Ritchie, H., & Roser, M. (2020a). Energy-Fossil Fuels-Global fossil fuel consumption. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/fossil-fuels>

Ritchie, H., & Roser, M. (2020c). Poland: Energy Country Profile. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/energy/country/poland>

Ritchie, H., & Roser, M. (2020d). South Africa: Energy Country Profile. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/energy/country/south-africa>

Sectoral Shares in GDP | PBS, G. of P. (2021). Sectoral Shares in GDP (at constant basic prices). <https://www.pbs.gov.pk/content/table-7-sectoral-shares-gdp-constant-basic-prices>

Solangi, Y. A., Tan, Q., Mirjat, N. H., & Ali, S. (2019). Evaluating the strategies for sustainable energy planning in Pakistan: An integrated SWOT-AHP and Fuzzy-TOPSIS approach. *Journal of Cleaner Production*, 236, 117655. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117655>

South African Government. (2012). *National Development Plan 2030*. <https://www.gov.za/issues/national-development-plan-2030>

Statista | Poland. (2020). *Poland—GDP distribution across economic sectors 2020*. Statista. <https://www.statista.com/statistics/375605/poland-gdp-distribution-across-economic-sectors/>

Statista | South Africa. (2020). *South Africa: GDP distribution across economic sectors 2020*. Statista. <https://www.statista.com/statistics/371233/south-africa-gdp-distribution-across-economic-sectors/>

Statistics Poland. (2021). *Registered unemployed persons and unemployment rate. As at the end of September 2021*. Stat.Gov.Pl. <https://stat.gov.pl/en/topics/labour-market/registered-unemployment/registered-unemployed-persons-and-unemployment-rate-as-at-the-end-of-september-2021,1,111.html>

Stats SA. (2021). *Statistics South Africa | People | Work & Labour Force*. http://www.statssa.gov.za/?page_id=737

UNDP in Pakistan. (2021). *Pakistan National Human Development Report on Inequality*. UNDP. <https://www.pk.undp.org/content/pakistan/en/home/library/human-development-reports/PKNHDR-inequality.html>

U. N. Environment, & BloombergNEF. (2019). *Global Trends in Renewable Energy Investment 2019*. UNEP - UN Environment Programme. <http://www.unep.org/resources/report/global-trends-renewable-energy-investment-2019>

U.S. International Trade Administration. (2021). *Energy Resource Guide 2021 Edition—Pakistan—Oil and Gas*. <https://www.trade.gov/energy-resource-guide-pakistan-oil-and-gas>

World Bank. (2018). *Access to electricity, rural (% of rural population) | Data*. <https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.ACCS.RU.ZS?end=2018&start=2018>

World Bank. (2019a). *Access to electricity (% of population) | Data*. <https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.ACCS.ZS>

World Bank. (2019b). *Adjusted net national income per capita (annual % growth)—Poland | Data*. <https://data.worldbank.org/indicator/NY.ADJ.NNTY.PC.KD.ZG?locations=PL>

World Bank. (2020). *South Africa | Data*. <https://data.worldbank.org/country/south-africa>

World Bank. (2021). *GDP per capita (current US\$) / Data*. <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD>

World Bank. (2018a). *CO₂ emissions (kg per 2017 PPP \$ of GDP)—Pakistan / Data*. <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.PP.GD.KD?locations=PK>

World Bank. (2018b). *CO₂ emissions (kg per 2017 PPP \$ of GDP)—Poland / Data*. <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.PP.GD.KD?locations=PL>

World Bank | GDP. (2020). *GDP (current US\$)—Poland / Data*. <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?locations=PL>

World Bank | Population. (2020). *Population, total—Poland / Data*. <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?locations=PL>

WTO. (2021). *Groups in the negotiations*. World Trade Organization. https://www.wto.org/english/tratop_e/dda_e/negotiating_groups_e.htm

附录

本报告所研究的“一带一路”沿线64个国家列表 | 附表 1

区域	国家
东亚 (1)	蒙古国
东南亚 (11)	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、东帝汶
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
南亚 (8)	印度、巴基斯坦、孟加拉、阿富汗、斯里兰卡、马尔代夫、尼泊尔、不丹
中东和北非 (15)	巴林、埃及、伊朗、伊拉克、以色列、约旦、科威特、黎巴嫩、阿曼、卡塔尔、沙特阿拉伯、巴勒斯坦、叙利亚、阿联酋、也门
欧洲 (24)	阿尔巴尼亚、亚美尼亚、阿塞拜疆、白俄罗斯、波黑共和国、保加利亚、克罗地亚、捷克、爱沙尼亚、格鲁吉亚、匈牙利、拉脱维亚、立陶宛、马其顿、摩尔多瓦、黑山、波兰、罗马尼亚、俄罗斯、塞尔维亚、斯洛伐克、斯洛文尼亚、土耳其、乌克兰

巴基斯坦能源替代效应计算表格及数据来源 | 附表 2

天然气消耗量	单位	数据	备注 (数据来源或者计算公式)
国内燃气发电量 (a)	GWh	35001	IEA能源平衡表
国内燃气发电强度(b)	m ³ /kWh	0.337	Akber M Z , Thaheem M J , Arshad H . Life cycle sustainability assessment of electricity generation in Pakistan: Policy regime for a sustainable energy mix[J]. Energy Policy, 2017, 111:111-126
天然气发电需求(c=a*b)	百万m ³	11795	
燃气运输能耗测算	单位	数据	备注 (数据来源或者计算公式)
运输环节过程			
国内管道运输能源强度(d)	MCF/MCF-km	0.0000102	Khan, Imran M . Comparative Well-to-Tank energy use and greenhouse gas assessment of natural gas as a transportation fuel in Pakistan[J]. Energy for Sustainable Development, 2018, 43:38-59.
国内输送距离(e)	km	10789	
运输需要的能耗水平(f=d*e*c)	百万 M3	1298	1cubic feet=0.0283 m ³
燃气运输需要的能耗	GJ	38713	标准热值: 33.53 MJ/m ³
燃气运输需要的能耗	toe	922	折标系数: F1: 1toe=41900MJ
燃油消耗量	单位	数据	备注 (数据来源或者计算公式)
国内燃油发电量 (g)	GWh	35362	IEA能源平衡表
国内燃油发电强度 (h)	kg/kWh	0.2133	Akber M Z , Thaheem M J , Arshad H . Life cycle sustainability assessment of electricity generation in Pakistan: Policy regime for a sustainable energy mix[J]. Energy Policy, 2017, 111:111-126
发电的燃油需求 (l=g*h)	百万kg	7543	
燃油运输能耗测算	单位	数据	备注 (数据来源或者计算公式)
管道运输-国际管道(j)	Btu/ton miles	260	管道运输的能源消耗主要就是耗电
管道长度 (k)	km	200	1km=0.6213mile
进口油所需其他国家管道运输强度(L=j*k*0.6213*0.001055)	MJ/ton	34.09	1Btu=0.0010551MJ

巴基斯坦能源替代效应计算表格及数据来源续 | 附表 2

燃油运输能耗测算	单位	数据	备注 (数据来源或者计算公式)
发电所需要的燃油量(仅指进口量) ($m=l*70\%$)	百万kg	5280	假设70%进口依存度
进口燃料油所需要的国际管道运输能源消耗 ($n=L*m/F1$)	toe	4300	F1: 1toe=41900MJ
管道运输-国际海运			
国际海运能耗强度(o)	Btu/桶 海里	7.3	1桶油=0.137ton
平均运输半径(p)	km	1750	Khan, Imran M . Comparative Well-to-Tank energy use and greenhouse gas assessment of natural gas as a transportation fuel in Pakistan[J]. Energy for Sustainable Development, 2018, 43:38-59. 1km=0.5399海里
发电所需要的进口燃料油所需要的海上运输能源消耗($q=o*p*0.5399*m/0.137*0.001055/42$)	toe	6677	1Btu=0.0010551MJ 1桶油=0.137ton 1km=0.5399海里 1toe=42GJ
管道运输-国内			
管道运输距离(r)	km	265	1km=0.6213mile
发电所需要的进口燃料油所需要的国内管道运输能源消耗 ($s=r*j*0.6213*m/42*0.0010551$)	toe	5678	1toe=42GJ
国内运输-卡车			
国内卡车运输的能耗水平 (t)	Btu/bbl-km	98	Oak Ridge National Laboratory (ORNL)
平均运输距离 (u)	km	250	Khan, Imran M . Comparative Well-to-Tank energy use and greenhouse gas assessment of natural gas as a transportation fuel in Pakistan[J]. Energy for Sustainable Development, 2018, 43:38-59.
发电所需要的燃料油 ($v=l*30\%$)	k ton	2263	国内供应比例30%
卡车运输所需要的能耗水平 ($w=t*u*v*0.137*0.001055/42$)	toe	10166	1桶油=0.137ton 1Btu=0.0010551MJ

巴基斯坦单位度电的能源消耗 | 附表 3

度电能耗水平	单位	燃气电厂	燃油电厂	备注
原料开采	toe/MWh	0.3363	0.3189	Akber M Z , Thaheem M J , Arshad H . Life cycle sustainability assessment of electricity generation in Pakistan: Policy regime for a sustainable energy mix[J]. Energy Policy, 2017, 111:111-126, 1toe=41900MJ
原料运输	toe/MWh	0.00002633	0.0007584	燃气: f (表4) /燃气发电量 (IEA能源平衡表) 燃油: (n+q+s+w (表4))/ 燃油发电量 (IEA能源平衡表)
原料消耗	toe/MWh	0.2697	0.2278	Akber M Z , Thaheem M J , Arshad H . Life cycle sustainability assessment of electricity generation in Pakistan: Policy regime for a sustainable energy mix[J]. Energy Policy, 2017, 111:111-126
加权综合强度	toe/MWh	0.5766		发电量数据来自IEA能源平衡表2016

波兰能源替代效应计算表格及数据来源 | 附表 4

天然气消耗量	单位	数据	备注 (数据来源或者计算公式)
国内燃气发电量 (a)	GWh	7831	IEA能源平衡表
天然气发电需求燃料(b)	ktoe	1482	IEA能源平衡表
燃气消耗的度电能耗(c=b/a)	toe/kWh	0.000189248	
天然气运输能耗测算	单位	数据	备注 (数据来源或者计算公式)
天然气运输排放因子 (d)	gCO ₂ /MJ	1.257	Khan, Imran M . Comparative Well-to-Tank energy use and greenhouse gas assessment of natural gas as a transportation fuel in Pakistan[J]. Energy for Sustainable Development, 2018, 43:38-59.
天然气运输导致的排放 (e=d*b)	tCO ₂	78054	1tce=29270MJ
柴油排放因子 (f)	tCO ₂ /tce	2.17	假设运输耗柴油
折合到度电上的能耗 (g=e/a/f)	toe/kWh	0.000005	
燃油消耗量	单位	数据	备注 (数据来源或者计算公式)
国内燃油发电量 (h)	GWh	2302	IEA能源平衡表
燃油发电需求燃料(i)	ktoe	432	IEA能源平衡表
燃油消耗的度电能耗(j=i/h)	toe/kWh	0.000187663	
燃油运输能耗测算	单位	数据	备注 (数据来源或者计算公式)
天然气运输排放因子 (k)	tCO ₂ /t	0.025	取印度文献中的均值进行的处理
天然气运输导致的排放 (l=k*i)	tCO ₂	10800	1tce=29270MJ
折合到度电上的能耗 (m=l/h/f)	toe/kWh	0.000002	

波兰能源替代效应计算表格及数据来源(续) | 附表4

煤炭消耗量	单位	数据	备注(数据来源或者计算公式)
国内燃气发电量 (n)	GWh	132933	IEA能源平衡表
天然气发电需求燃料(o)	ktoe	24210.5526	IEA能源平衡表
燃气消耗的度电能耗(p=o/n)	toe/kWh	0.000182126	
煤炭运输能耗测算	单位	数据	备注(数据来源或者计算公式)
铁路能耗 (q)	Btu/吨英里	589	Mann, M.K.; Spath, P.L. (1997). Life Cycle Assessment of a Biomass Gasification Combined-Cycle Power System. National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO, TP-430-23076.
铁路能耗 (q1)	tce/t/km	0.0000132	1英里(mi)=1.609344公里(km) 1Btu=1055.1J 1tce=29270MJ
国内铁路运输距离 (r)	km	1000	https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_power_stations_in_Poland 估算
进口铁路运输距离 (s)	km	420	https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_power_stations_in_Poland 估算
卡车能耗 (t)	Btu/吨英里	2349	Mann, M.K.; Spath, P.L. (1997). Life Cycle Assessment of a Biomass Gasification Combined-Cycle Power System. National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO, TP-430-23076.
卡车能耗 (t1)	tce/t/km	0.0000526	1英里(mi)=1.609344公里(km) 1Btu=1055.1J 1tce=29270MJ
国内铁路运输距离 (u)	km	170	https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_power_stations_in_Poland 估算
煤炭进口比例 (v)	100%	20	https://www.bloomberg.com/news/features/2018-04-27/even-europe-s-coal-addict-wants-to-get-clean
天然气运输排放因子 $w=v*s*f*q1+(1-v)*f*(r*q1+u*t1)$	tCO ₂ /t	0.04083508	
天然气运输导致的排放 (x=w*o)	tCO ₂	3495968	1tce=29270MJ
折合到度电上的能耗 (y=x/n/f)	toe/kWh	0.000012	

波兰单位度电的能源消耗 | 附表 5

度电能耗水平	单位	燃气电厂	燃油电厂	煤电厂	备注
原料开采	toe/MWh	0.3363	0.3189	0.6141	1英里(mi)=1.609344公里(km) 1Btu=1055.1J 1tce=29270MJ
原料运输	toe/MWh	0.0046	0.0022	0.0121	https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_power_stations_in_Poland 估算
原料消耗	toe/MWh	0.1892	0.1877	0.1821	https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_power_stations_in_Poland 估算
加权综合强度	toe/MWh			0.7883	发电量数据来自IEA能源平衡表2016

南非能源替代效应计算表格及数据来源 | 附表 6

天然气消耗量	单位	数据	备注 (数据来源或者计算公式)
国内燃气发电量 (a)	GWh	7831	IEA能源平衡表
天然气发电需求燃料(b)	ktoe	1482	IEA能源平衡表
燃气消耗的度电能耗(c=b/a)	toe/kWh	0.000189248	
天然气运输能耗测算	单位	数据	备注 (数据来源或者计算公式)
天然气运输排放因子 (d)	gCO ₂ /MJ	1.257	Khan, Imran M . Comparative Well-to-Tank energy use and greenhouse gas assessment of natural gas as a transportation fuel in Pakistan[J]. Energy for Sustainable Development, 2018, 43:38-59.
天然气运输导致的排放 (e=d*b)	tCO ₂	78054	1tce=29270MJ
柴油排放因子 (f)	tCO ₂ /tce	2.17	假设运输耗柴油
折合到度电上的能耗 (g=e/a/f)	toe/kWh	0.000005	

南非能源替代效应计算表格及数据来源(续) | 附表6

燃油消耗量	单位	数据	备注(数据来源或者计算公式)
国内燃油发电量 (a)	GWh	183	IEA能源平衡表
燃油发电需求燃料(b)	ktoe	45	IEA能源平衡表
燃油消耗的度电能耗(c=b/a)	toe/kWh	0.0002459	
燃油运输能耗测算	单位	数据	备注(数据来源或者计算公式)
天然气运输排放因子 (d)	tCO ₂ /t	0.025	取印度文献中的均值进行的处理
天然气运输导致的排放 (e=d*b)	tCO ₂	1125	1tce=29270MJ
柴油排放因子 (f)	tCO ₂ /tce	2.17	假设运输耗柴油
折合到度电上的能耗 (g=e/a/f)	toe/kWh	0.0000028	
煤炭消耗量	单位	数据	备注(数据来源或者计算公式)
国内燃气发电量 (h)	GWh	226484	IEA能源平衡表
天然气发电需求燃料(i)	ktoe	59495	IEA能源平衡表
燃气消耗的度电能耗(j=i/h)	toe/kWh	0.0002627	
煤炭运输能耗测算	单位	数据	备注(数据来源或者计算公式)
煤炭(卡车)运输消耗柴油(k)	ktoe	519.04	http://infrastructurenews.co.za/2012/05/15/eskom-to-spend-r9-79-billion-to-move-coal-transport-from-road-to-rail/
煤炭(卡车)运输消耗柴油(k1)	tce	741500.544	1toe=41900MJ 1tce=29270MJ
柴油排放因子 (f)	tCO ₂ /tce	2.17	
煤炭运输导致的排放 (l=k1*f)	tCO ₂	1609056.18	
折合到度电上的能耗 (m=l/h/f)	toe/kWh	0.0000033	

南非单位度电的能源消耗 | 附表 7

度电能耗水平	单位	燃油电厂	煤电厂	
原料开采	toe/MWh	0.3189	0.6141	Akber M Z , Thaheem M J , Arshad H . Life cycle sustainability assessment of electricity generation in Pakistan: Policy regime for a sustainable energy mix[J]. Energy Policy, 2017, 111:111-126
原料运输	toe/MWh	0.0028	0.0033	来自表的g、m
原料消耗	toe/MWh	0.2459	0.2627	来自表的c、j
加权综合强度	toe/MWh	0.87979		发电量数据来自IEA能源平衡表2016

GREENPEACE 绿色和平

绿色和平是一个全球性环保组织，致力于以实际行动推动积极的改变，保护地球环境。

地址：北京东城区东四十条94号亮点文创园A座201室

邮编：100007

电话：86 (10) 65546931

传真：86 (10) 64087851

www.greenpeace.org.cn



中华环保联合会
All-China Environment Federation

中华环保联合会是经中华人民共和国国务院批准、民政部注册，接受生态环境部业务指导，由热心环保事业的人士、企业、事业单位自愿结成的、非营利性的、全国性社会组织。其工作主要围绕实施可持续发展战略，围绕实现国家环境与发展的目标，围绕维护公众和社会环境权益，充分体现中华环保联合会“大中华、大环境、大联合”的组织优势，发挥政府与社会之间的桥梁和纽带作用，促进中国环境事业发展，推动全人类环境事业的进步。

地址：北京市朝阳区和平里14区青年沟东路华表大厦六层

邮编：100013

电话：86 (10) 51230007

传真：86 (10) 51230006

www.acef.com.cn