

中国人民大学

全球南方“能源不可能三角”指数报告 ——中国能源行业的出海手册 (发布版)

中国人民大学应用经济学院
中国人民大学全球能源战略研究中心

2025 年 9 月

课题组成员

潘冬阳	中国人民大学应用经济学院助理教授
宗一博	中国人民大学应用经济学院博士研究生
相晨曦	中国石油规划总院高级经济师
郑新业	中国人民大学应用经济学院教授
刘明萱	中国人民大学经济学院本科生
巫苏旒姗	中国人民大学应用经济学院硕士研究生
齐乐融	中国人民大学应用经济学院硕士研究生
陈文涛	中国人民大学应用经济学院硕士研究生

研究合作与意见反馈请联系潘冬阳（pdy@ruc.edu.cn），指数数据获取请联系宗一博（zongyibo@ruc.edu.cn）。

作者感谢宋枫、陈占明、刘阳、吕媛提出的宝贵建议，感谢王黎颖的研究协助。研究得到国家自然科学基金（72141308 和 72202229）、国家社会科学基金（23ZDA110）、教育部人文社科项目（22YJCZH132）、中国人民大学科学研究基金（中央高校基本科研业务费专项资金资助）（22XNF061）的资助，在此一并致谢。

核心观点

核心观点一：全球南方国家相对北方国家，在能源领域存在更严重的“清洁性-公平性-安全性”三难困境，即更严重的“能源不可能三角”问题。经济发展是破解能源不可能三角的核心驱动力。

核心观点二：全球南方的能源困境呈现显著的区域差异性。撒哈拉以南非洲因极端贫困带来的安全性与公平性挑战大；西亚北非深陷化石能源依赖，清洁性低；南亚存在显著供需失衡，安全性保障不足；拉美则受政策不确定性制约，清洁性与安全性潜力有待发挥。

核心观点三：全球贫困国家尚未被高碳发展模式锁定，为国际能源与气候合作及发展援助、帮助其实现“绿色跃迁”，提供了宝贵机会。

核心观点四：在全球增量排放权中，以适当方式安排针对最不发达国家的碳配额，是帮助实现全球共同发展目标与应对气候变化目标的可行路径。

核心观点五：中国能源行业出海应“因国施策”，绘制场景化路线图。例如，针对深陷“资源诅咒”的安哥拉可采用“石油换基建+新能源”的组合方案；依赖水电的津巴布韦可采用“水光互补+储能”的韧性发展策略；西亚北非地区可采用技术、制度与资本三位一体的经济多元化支持框架。

目录

执行摘要	1
第一章 全球南方“能源不可能三角”指数的构建	4
第一节 绪论	5
1. 全球南方及其能源问题	5
2. 中国能源行业的出海	7
3. 中国能源行业出海助力破解全球南方能源困境	8
第二节 指数构建方法	9
第三节 指数结果分析	11
1. 纵向演化	11
2. 横向对比	14
第二章 跨越不可能三角：全球南方的 发展、权衡与能源转型路径	19
第一节 经济发展与能源转型	20
1. 能源体系演进与经济三阶段模式	20
2. 可持续性的 U 型曲线：全球国家的四类发展路径	25
3. 全球南方国家的可持续转型挑战	30
第二节 能源多维目标的内部权衡	37
1. 南方国家转型的“双重权衡”挑战	38

2. 低收入国家的“权衡陷阱”.....	39
3. 资源禀赋：“祝福”还是“诅咒”？	42
第三章 能源不可能三角视域下的全球南方四大合作区域透视	47
第一节 撒哈拉以南非洲	48
1. 能源不可能三角的总体趋势	48
2. 区域特征	49
3. 代表性国家及合作建议	50
第二节 西亚北非	56
1. 能源不可能三角的总体趋势	56
2. 区域特征	57
3. 代表性国家	57
4. 存在问题及合作建议	58
第三节 南部亚洲	59
1. 能源不可能三角的总体趋势	59
2. 区域特征	59
3. 代表性国家	60
4. 存在问题及合作建议	60
第四节 拉丁美洲	61
1. 能源不可能三角的总体趋势	61
2. 区域特征	61
3. 代表性国家及合作建议	62

第四章 应对不可能三角挑战的全球治理与中国企业行动建议 66

第一节 全球治理建议 67

 1. 引领国际低碳规则制定：最不发达国家碳配额方案 67

 2. 铸造绿色发展伙伴关系：南南合作的行动共同体 69

 3. 重塑全球气候融资：从项目驱动到系统转型 70

第二节 中国能源企业出海的宏观环境与相关政策建议 71

 1. 中国在全球能源市场中的定位 71

 2. 我国能源企业出海的环境与现状 72

 3. 我国能源企业出海的宏观优势与挑战 74

第三节 企业出海全球南方的行动参考与建议 79

 1. 中国企业出海的市场现状 79

 2. 中国能源企业的核心竞争优势 82

 3. 中国能源企业面临的复杂挑战 85

 4. 中国能源企业出海全球南方的行动建议 87

附录 研究方法..... 91

 1. 指数构建 91

 2. 回归模型 93

专栏目录

专栏 1	巴基斯坦：投资赤字与能源困境	31
专栏 2	肯尼亚：技术依赖困境	33
专栏 3	越南：电网基础设施滞后阻碍绿色转型	34
专栏 4	尼日利亚：政策不稳定性与制度脆弱性的瓶颈	36
专栏 5	赞比亚：多重权衡的陷阱	41
专栏 6	资源禀赋差异化路径——博茨瓦纳与安哥拉的能源转型比较	44
专栏 7	安哥拉：如何破解资源诅咒？	51
专栏 8	津巴布韦：外部援助如何重塑能源不可能三角格局？	54
专栏 9	墨西哥：能源改革是否改善能源不可能三角的长期权衡？	62
专栏 10	巴西：市场驱动的能源改革路径	64
专栏 11	战争与和平：战争如何重塑能源不可能三角格局及能源合作方向？	76
专栏 12	中国电建投资老挝孟松风电项目的优势	84
专栏 13	安哥拉油气项目：传统能源投资的复杂挑战	86
专栏 14	能源不可能三角指引下的非洲绿电投资	88

执行摘要

在全球能源转型与地缘政治重构的交汇点，全球南方国家正面临着能源安全、能源公平、环境可持续性（即能源清洁性）三者之间日益尖锐的冲突，这往往被称为“能源不可能三角”问题。这一问题不仅制约着数十亿人口的发展前景，也深刻影响着全球气候治理的成败和国际能源市场的格局。与此同时，中国能源行业凭借其强大的全产业链优势，正加速其“出海”进程，日益成为影响全球南方能源未来的关键力量。然而，若缺乏对南方国家能源困境的系统性量化认知，中国的海外能源投资可能面临巨大风险，甚至加剧当地的结构性矛盾。

本报告通过构建原创性的“能源不可能三角”指数，首次对全球 132 个南方国家和 81 个北方国家的能源发展状况与困难进行了全面量化评估，系统揭示了 21 世纪以来各国能源不可能三角的演进规律与内在权衡，并在此基础上为中国能源行业的出海，提供了一套兼具宏观视野与微观操作性的行动参考手册。

本报告首先系统性描绘了全球南方能源发展的复杂图景。研究证实，经济增长是破解能源不可能三角的核心驱动力，但其过程呈现出从被动环境可持续的初始阶段，到高增长高污染的工业化阶段，再到繁荣与清洁再平衡的低碳转型阶段这一非线性的“三阶段”特征。在此过程中，能源的环境可持续性与人均 GDP 之间存在显著的“U 型”关系。基于此，本报告将各国所处的发展模式划分为“绿色脆弱型”、“高碳锁定型”、“高碳追赶型”和“绿色领跑型”四类。一个重要的发现是，在所研究的最近年份，“高碳追赶型”象限为空，即最贫困国家尚

未陷入难以走出的深度污染模式。这为国际社会提供了通过精准干预帮助其实现“绿色跃迁”的宝贵时机。

在转型路径上，研究进一步揭示了全球南方国家所面临的困境。与北方国家相比，南方国家在追求环境可持续发展时，面临着更为严峻的、以牺牲能源公平性与安全性为代价的“双重权衡”。这一内在矛盾在最贫困的低收入国家中被急剧放大，并与债务、贫困等多重危机相互强化，最终形成一个自我固化的系统性“权衡陷阱”。对于许多落后国家天然拥有的资源禀赋的作用，本报告指出，丰富的化石能源资源本身可以成为其发展转型的“祝福”，提供相应资金，然而，一旦经济结构对资源形成过度依赖，资源禀赋则会迅速转变为固化高碳发展路径、阻碍转型的“诅咒”。

全球南方的“能源不可能三角”问题在不同区域呈现出独特的表现形态。撒哈拉以南非洲的核心矛盾在于极端的能源贫困，实现能源安全与能源公平是其首要任务；西亚北非则深陷于对化石燃料的高度依赖，环境可持续性是其最大短板，且区域的安全性也相对脆弱；南部亚洲面临着能源需求高速增长与供给能力不足的尖锐矛盾，能源安全问题尤为突出；而拉丁美洲地区则在清洁能源转型中表现出潜力，但受制于财政与政策的不确定性。这种区域异质性要求外部合作方必须采取因地制宜的差异化策略。

基于上述发现，本报告在全球治理、宏观环境与政策、能源企业行动三个层面开展进一步分析，为全球能源与气候治理提供中国方案，为中国能源行业出海、抓住全球能源转型期的重要机遇提供行动参考。

在全球治理层面，本报告呼吁进行深刻的范式革新，构建更公平、更务实的全球能源转型新秩序，包括引领制定“最不发达国家碳配额”新规则以践行气候

正义；通过创建能力建设中心、共建跨国基础设施等方式铸造南南合作行动共同体；推动全球气候融资从项目驱动的零售模式，转向系统转型的批发性支持，为南方国家提供一揽子的综合性金融解决方案。

在宏观环境与政策层面，报告建议我国清晰定位并善用自身在全球能源转型中的“双重角色”——既是全球最大的可再生能源技术与产能输出国，也是承担共同但有区别责任的关键发展中大国。对外合作战略应将推动国内绿色产能的全球化与帮助南方国家解决能源贫困、实现可持续发展的需求紧密结合，并全面融入 ESG（环境、社会与治理）理念框架。为落实这一战略，应深化利用中非、中阿合作论坛等多边平台，积极参与并引领国际绿色技术与金融标准的制定，为能源企业出海构建稳定、有力的宏观政策支撑。

在能源企业行动层面，报告指出，其出海已形成以全球南方为主的多层次格局，在全产业链整合与技术实力上优势显著，但必须应对当地复杂的政治、经济、运营和需求错配风险。企业应实施差异化、场景化的投资策略：对能源安全需求迫切的国家，采取兼顾短期稳定与长期转型的方案；对政策环境稳定的国家，侧重于技术引领和深度本地化；对偏远和不稳定地区，聚焦于“小而美”的民生项目。成功的关键在于将深度本地化与动态多维度的风险管理作为战略支柱，实现从“项目建设方”向“社区贡献者”的角色转变。

中国能源行业的出海，已深度嵌入全球南方国家的能源转型进程中，这既是巨大的商业机遇，也意味着重大的全球责任。只有在国际社会、国家和企业三个层面形成合力，深刻理解并积极致力于帮助解决全球南方国家的能源不可能三角问题，中国企业才能在全球能源转型的大潮中，实现自身的可持续发展，并为推动构建人类命运共同体做出实质性贡献。

第一章 全球南方“能源不可能三角”指数的构建

第一节 绪论

1. 全球南方及其能源问题

“全球南方”的概念近年来受到国际政坛和学术界的广泛关注。由于发达国家主要分布在北半球，发展中国家主要分布在南半球，因此，国际上习惯把发达国家称为“北方国家”，将发展中国家称为“南方国家”。而“全球南方”更强调南方国家在全球事务中的作用。相比于“发展中国家”，“全球南方”不仅是一个经济概念，更是一个政治和地缘概念，反映了一种共同的历史经历、共同的政治诉求和共同的身份认同。联合国贸易和发展会议（UNCTAD）将“全球南方”具体定义为“七十七国集团和中国”，截至 2024 年共包含 134 个国家（图 1-1）。

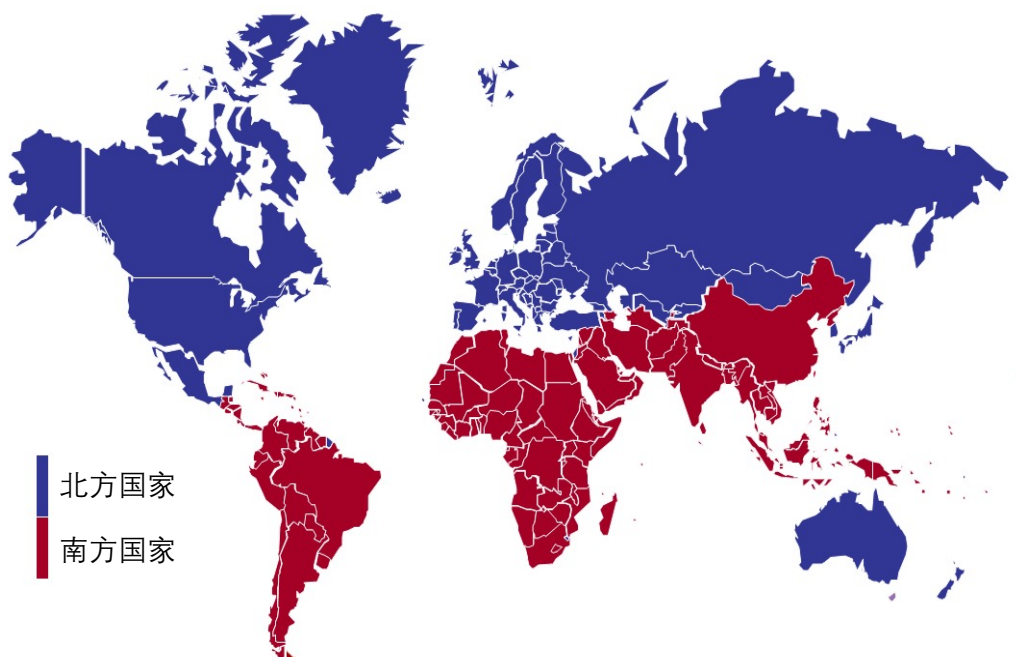


图 1-1 全球南方国家的地理分布

全球南方的能源问题是阻碍实现全球可持续发展目标的关键一环。全球南方国家存在广泛的能源贫困、清洁转型进程滞后以及对化石燃料产业的严重依赖。

截至 2024 年，全球仍有约 6.75 亿人无法获得电力供应，其中近 90%集中在撒哈拉以南非洲地区¹。发展中国家的人均可再生能源装机容量（341 瓦/人）平均仅为发达国家（1162 瓦/人）的不到三分之一²。仅在非洲大陆，至少有 10 个国家被列为“化石燃料收入依赖型”国家，其超过 60%的出口收入来自煤炭、石油和天然气部门。

上述现实能源问题通常被概括为一个需要权衡三重关系的能源困境，这三个相互关联的维度包括：能源安全、能源公平和环境可持续性（即能源清洁性）。与国际经济学中的蒙代尔不可能三角相似，这一三难困境被称为“**能源不可能三角**”³。能源安全指持续满足当前及未来能源需求，并能快速应对突发变化的能力，体现了能源系统的韧性与可靠性；能源公平定义为普遍获得相对充足、价格可承受且公平定价的生活及商业用能；环境可持续性则涉及国家能源系统向清洁化转型，以减轻潜在气候变化影响与环境危害。三者往往难以同时改善，某一维度的提升一般以其他一个或两个维度的恶化为代价⁴。

与已实现现代能源全面普及且可再生能源快速替代化石燃料的全球北方国家不同，多数全球南方国家将能源安全与公平作为首要治理目标。这一优先战略旨在确保普遍获得可负担且可靠的现代能源服务，特别是在受系统性能源贫困困扰的地区。在此背景下，若同时推行清洁能源转型，其带来的经济后果（尤其是能源价格上升和供应稳定性波动）将会与上述首要目标产生直接冲突。全球南方目前在追求发展与实现清洁能源转型的双重压力下艰难求存。

¹ The World Bank (2024), "Energy overview", <https://www.worldbank.org/en/topic/energy/overview>

² IRENA (2024), "Renewable capacity statistics 2024", <https://www.irena.org/Publications/2024/Mar/Renewable-capacity-statistics-2024>

³ 郑新业(2016),《突破“不可能三角”:中国能源革命的缘起、目标与实现路径》，北京:科学出版社

⁴ World Energy Council (2012), "World Energy Trilemma 2012: Time to get real – the case for sustainable energy policy", <https://trilemma.worldenergy.org>.

2. 中国能源行业的出海

当前全球政治经济环境正经历深刻而复杂的重构，传统全球化范式遭遇严峻挑战，地缘政治冲突与大国竞争加剧，全球经济复苏乏力且呈现区域分化态势。逆全球化浪潮与“去风险”论调的泛起促使各国更加重视供应链的安全与韧性，气候变化危机则以前所未有的紧迫性催促着全球能源体系的根本性转型。在这一背景下，中国能源行业的出海战略已然超越了一般意义上的商业扩张，成为一项融合国家战略、产业发展与转型、全球治理的重大实践。

从国内维度看，中国能源行业出海是构建新发展格局、推动高质量发展的必然要求。一方面，中国作为全球最大的能源消费国，尽管国内油气勘探开发与新能源建设不断提速，但确保能源供应的长期安全仍需利用“两个市场、两种资源”。通过参与全球能源项目投资、运营与资源开发，中国可以更深入地嵌入全球能源体系，增强在全球能源市场的话语权与影响力，为国内经济发展获取稳定、多元的能源供应保障。另一方面，经过十余年的爆发式增长，中国在风电、光伏等清洁能源领域已形成巨大且先进的制造产能。在国内市场增速逐步放缓、日趋饱和的背景下，推动高质量产能出海，是避免国内行业恶性内卷、维持产业健康发展的关键路径。更重要的是，出海过程本身就是产业升级的催化剂。国际市场竞争更激烈，标准更严苛，需求更多元，这倒逼中国企业从单纯的产品输出，向更高价值的“技术+标准+服务+投资”综合解决方案输出转型，从而攀升全球价值链的高端环节。

从全球维度审视，中国能源行业出海更是与全球能源绿色低碳转型的时代浪潮同频共振，彰显了负责任大国的担当。当前全球能源转型进入攻坚期，发达国家绿色保护主义抬头，许多发展中国家却陷入“缺电、缺钱、缺技术”的多重

困境。它们既迫切需要扩大能源供给以满足基本民生和工业化需求，又面临可再生能源转型的成本压力和技术壁垒，同时还可能受制于传统化石能源利益格局和薄弱的基础设施条件。中国自身的成功实践——如何在全球最大发展中国家实现可再生能源的超高速部署与成本急剧下降——为其提供了极具吸引力的范本。无论是在东南亚建设的水电枢纽，在非洲投建的光伏电站，还是在拉美参与建设的电网互联项目，都显著提升了当地的能源可及性与系统韧性，加速了全球清洁能源转型进程。中国的出海不仅仅是出口产品，更是在提供一种“可负担、可复制、可持续”的绿色发展模式和系统性的解决方案。这不仅是对《巴黎协定》目标的实际贡献，也体现了中国作为负责任大国，推动构建公平合理、合作共赢的全球能源治理体系的努力。

3. 中国能源行业出海助力破解全球南方能源困境

中国能源行业出海与全球南方国家破解能源困境之间是一种新型的互利共生关系。不同于殖民时期北方国家与南方国家之间“资源掠夺-成品输出”的垂直剥削模式，也区别于附带苛刻政治条件的传统援助模式，中国的能源合作秉持“共商、共建、共享”原则，注重与东道国的发展战略对接。其核心特征体现在三个方面：一是能力建设导向。中国项目不仅带来基础设施，更强调技术转移与本地化生产。二是发展路径创新。中国经验证明，发展中国家不必重走“先污染、后治理”的老路，而是可以凭借后发优势，直接拥抱绿色低碳的能源体系。三是治理话语权提升。通过与中国合作，许多资源富集的南方国家得以更有效地将自然资源优势转化为发展优势，减少了在定价权、技术标准等方面对传统西方体系的依赖，增强了在全球能源事务中的议价能力和话语权，推动了全球能源治理体系向更加多元包容的方向演进。

在此过程中，中国能源行业出海也需要以科学严谨的态度，全面评估目标全球南方国家所面临的复杂能源困境。这既是中国企业规避投资运营风险的必要前提，更是实现真正互利共赢、推动当地可持续发展的根本保障。许多全球南方国家正深陷以“能源不可能三角”之中。若不能深入理解这些结构性矛盾，简单化的能源项目投资可能会加剧东道国的债务负担、引发社区矛盾或造成环境破坏，最终损害合作双方的长期利益。

本报告首先通过构建能源不可能三角指数，绘制全球南方地区能源困境的全面图景（第一章），进而通过纵向（第二章）和横向（第三章）的深入分析，阐释全球南方跨越能源不可能三角的路径与合作潜力，最终为全球治理变革与中国能源行业出海提供行动建议（第四章）。

第二节 指数构建方法

为实现对全球能源不可能三角历史与现状的量化评估，本研究利用来自 213 个国家和地区（含 132 个全球南方国家和 81 个全球北方国家）2000 年至 2022 年的大规模年度时间序列数据，构建了描述各国能源不可能三角的指数。指数由表 1-1 中指标构成，详细计算方法与说明见附录。

表 1-1 能源不可能三角指数的指标体系

维度	指标类别	具体指标	属性
可持续性	碳排放	人均二氧化碳(CO ₂)排放量	(-)
	碳强度	单位 GDP 碳排放	(-)
		电力部门碳强度	(-)
	能源消费	人均能源消费	(-)

	能源强度	单位 GDP 能源消费	(-)
		一次能源强度	(-)
	可再生能源占比	清洁能源装机容量	(+)
		可再生能源消费	(+)
	低碳技术产品贸易	低碳技术产品总贸易额	(+)
		低碳技术产品比较优势	(+)
	公平性	电力可及性	(+)
		城市电力可及性	(+)
		农村电力可及性	(+)
		清洁烹饪燃料可及性	(+)
		城市清洁烹饪燃料可及性	(+)
		农村清洁烹饪燃料可及性	(+)
安全性	能源生产	人均一次能源生产	(+)
		人均煤炭生产	(+)
		人均石油生产	(+)
		人均天然气生产	(+)
		人均可再生能源生产	(+)
	能源多样性	一次能源燃料 HHI	(-)
	电力多样性	发电 HHI	(-)
	进口独立性	净能源进口-天然气	(-)
		净能源进口-原油	(-)
		净能源进口-煤炭	(-)

	净能源进口-电力	(-)
输配电损失	电力输配电损失	(-)
进口贸易伙伴	HS-27-矿物燃料、矿物油及其蒸馏产品；沥青物质；矿物蜡	(+)
	MT2-13-石油	(+)

注：HHI 代表赫芬达尔-赫希曼指数，是一种市场集中度的衡量指标，计算方法为各种能源生产份额的平方和，范围从 0 到 1，较高的值表示更高的集中度，较低的值反映市场中更高的多样性。HS-27 是世界海关组织维护的标准化贸易商品分类系统（协调制度）中的一个类别，涵盖矿物燃料、矿物油、其蒸馏产品、沥青物质和矿物蜡。MT2-13 是能源商品分类中代表石油的类别，而 MT2 是用于分类和归类各种能源商品以进行分析、报告和贸易目的的标准化系统。

为进一步深入分析，我们还将指数（或其子维度）作为因变量或自变量，构建回归模型，发掘其自身内部及与其他经济变量的关系，用于后续章节的研究。相关模型在附录中进行说明。

第三节 指数结果分析

1. 纵向演化

从历史纵向维度来看，自 2000 年以来，全球南方国家的能源不可能三角呈现持续缓解态势。如图 1-2a 所示，南方国家的平均能源不可能三角指数从 2000 年的 0.47 上升至 2022 年的 0.53，增幅达 13%。总体指数变化主要受到能源公平

和能源安全两个维度指标的驱动（图 1-2b 与图 1-2c），这源于全球南方国家经济的持续发展。然而，2020 年后，能源安全维度出现显著逆转，其原因在于疫情造成的经济中断与地缘政治紧张局势共同作用，从根本上重构了全球贸易供应体系。指数底层数据表明，自 2020 年起，全球南方国家矿物和石油进口来源国的平均数量出现下降。相比之下，环境可持续性维度的得分始终在 0.53 的平均值附近波动，在整个研究期内未呈现显著改善（图 1-2d）。

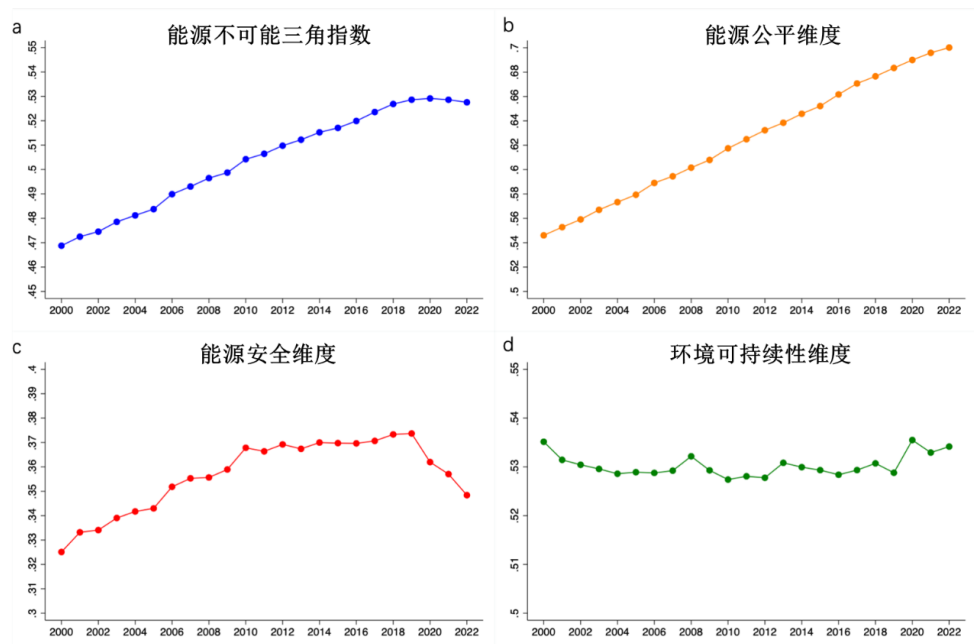


图 1-2 全球南方 2000-2022 年能源不可能三角指数得分

在所有南方国家中，哥伦比亚、智利、巴西、哥斯达黎加等拉丁美洲与加勒比海地区国家 2022 年的能源不可能三角指数分数最高，表现最好。它们能源公平维度得分均在 0.9 以上，丰富的可再生能源禀赋拉高其可持续性维度分数，能源安全维度得分在 0.4-0.7 之间，仍有提升空间。相反，能源不可能三角表现最差的国家基本都集中在撒哈拉以南非洲地区，如贝宁、利比里亚共和国、中非等，它们虽然由于资源尚未开发拥有较高可持续性维度分数，但能源公平和安全维度

得分基本处于 0.2 以下。图 1-3 展示了能源不可能三角指数排名前 10 和后 10 的南方国家。

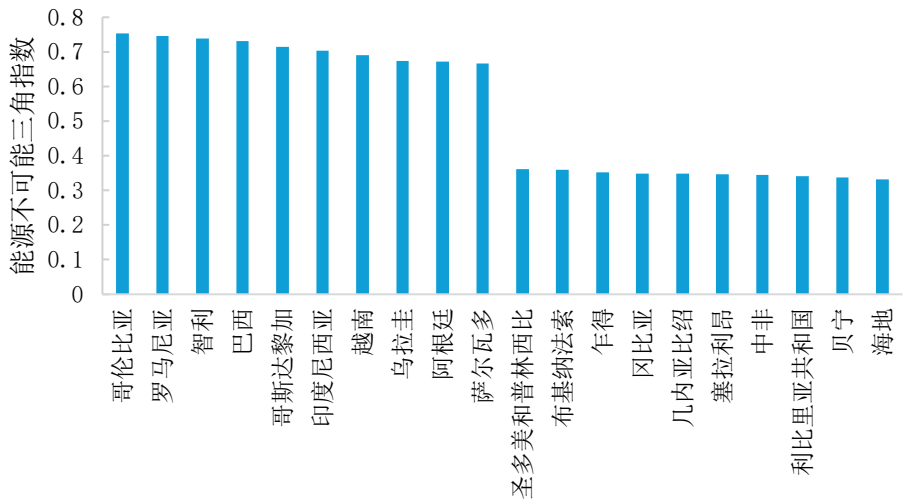


图 1- 3 2022 年全球南方能源不可能三角指数排名前 10 和后 10 的国家

按照能源不可能三角指数对所有南方国家排名，并按照排名先后顺序绘制三个维度得分（图 1-4）⁵，可以发现，公平性和安全性维度得分基本随着排名下降而下降，但可持续性维度呈现“两头高，中间低”的态势，即首尾国家可持续性表现较好，中间国家波动幅度较大。

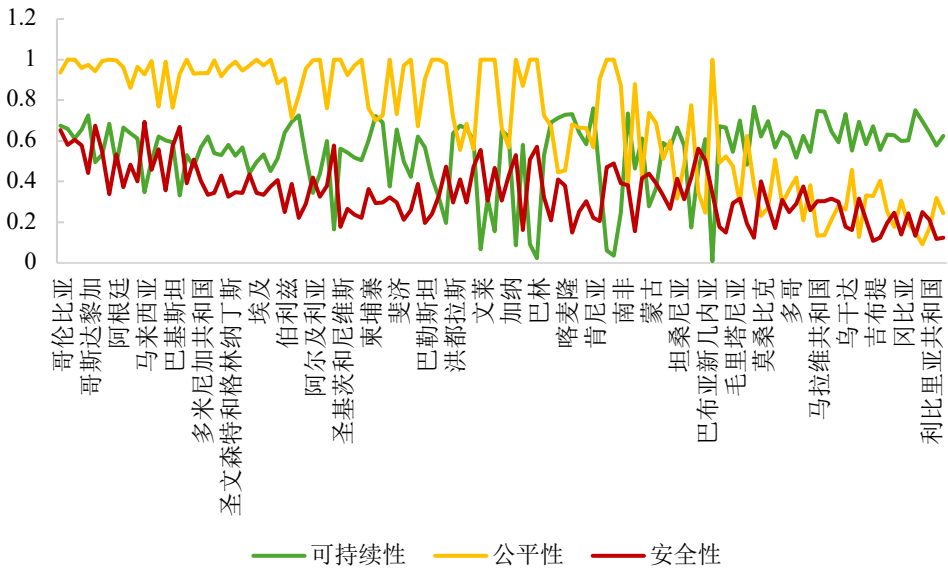


图 1- 4 2022 年全球南方所有国家能源不可能三角三个维度得分

⁵ 因版面空间限制，图中横坐标仅标示部分南方国家的名称。

2. 横向对比

从横向对比来看，全球南方国家面临的能源三重困境始终比全球北方国家更为严峻（图 1- 5）。2000 至 2022 年期间，虽然全球南方与北方国家的能源三重困境指数评分均呈现上升趋势，但北方国家的平均分始终领先南方国家约 0.1 分（2022 年分别为 0.64 分与 0.53 分，2000 年分别为 0.58 分与 0.47 分）。全球南方国家整体的指数提升，主要得益于中国、印度等亚洲国家的进展。分维度分析显示，全球北方国家在能源公平和能源安全两个维度的评分表现均优于全球南方国家。

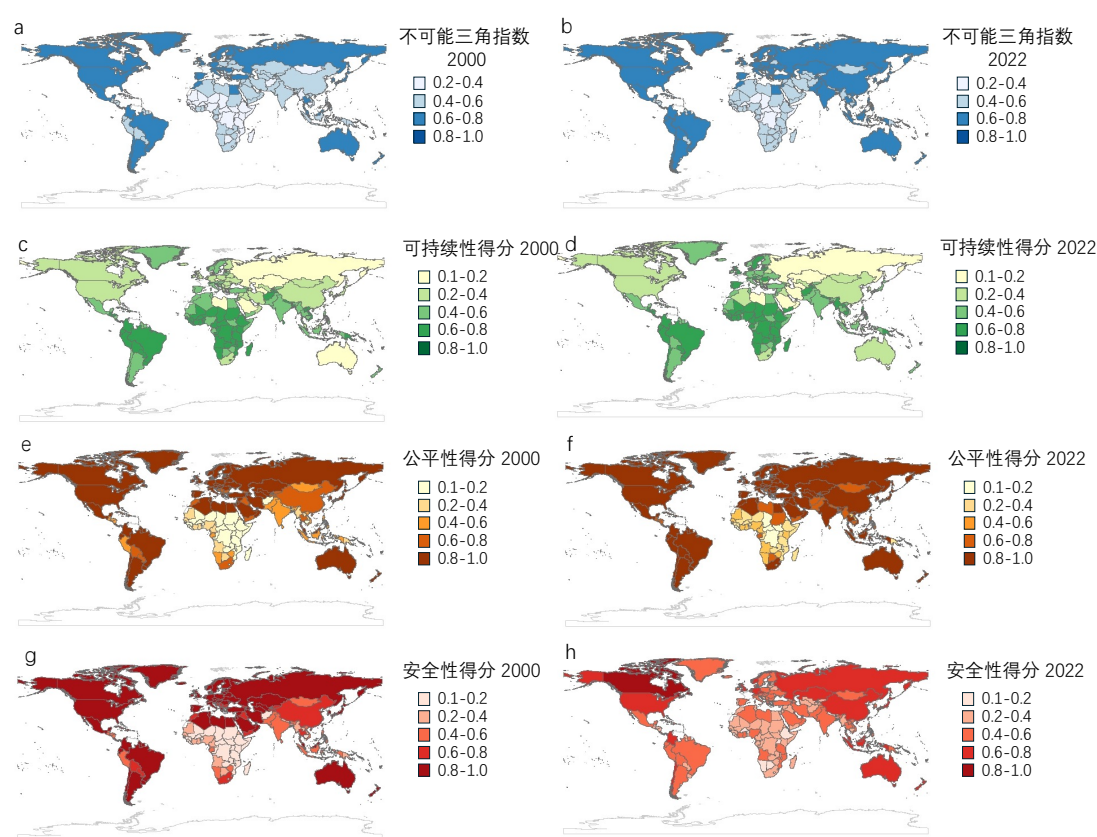


图 1- 5 全球南方和全球北方能源不可能三角三个维度的得分对比

表 1- 2 将 2022 年全球南方和全球北方所有国家的能源不可能三角指数进行了排名。可以发现，排名靠前的国家多为北方国家，靠后的多为南方国家。双方高分和低分阈值基本相近，但全球北方 0.7 分以上国家占比 27.5%，全球南方

仅为 0.5%；全球北方 0.4 分以下国家仅有 1 个，但全球南方 0.4 分以下国家占比 14.2%。

表 1- 2 2022 年全球南方和全球北方国家能源不可能三角指数排名

序号	国家	能源不 可能三 角指数	序号	国家	能源不 可能三 角指数
1	英国	0.77	99	格林纳达	0.58
2	丹麦	0.76	100	圣卢西亚	0.58
3	瑞士	0.76	101	特克斯科斯群岛	0.58
4	哥伦比亚	0.75	102	塞浦路斯	0.58
5	罗马尼亚	0.75	103	塞尔维亚	0.58
6	智利	0.74	104	开曼群岛	0.58
7	挪威	0.74	105	突尼斯	0.57
8	瑞典	0.74	106	柬埔寨	0.57
9	巴西	0.73	107	斯威士兰	0.57
10	德国	0.73	108	斯里兰卡	0.57
11	加拿大	0.72	109	瑙鲁	0.57
12	匈牙利	0.72	110	美属萨摩亚	0.57
13	西班牙	0.72	111	斐济	0.56
14	新西兰	0.72	112	圭亚那	0.56
15	哥斯达黎加	0.71	113	巴哈马	0.56
16	美国	0.71	114	缅甸	0.56
17	克罗地亚	0.71	115	巴勒斯坦	0.56
18	奥地利	0.71	116	白俄罗斯	0.56
19	意大利	0.71	117	安提瓜和巴布达	0.55
20	印度尼西亚	0.7	118	塞舌尔	0.55
21	斯洛文尼亚	0.7	119	伊朗	0.55
22	法国	0.7	120	洪都拉斯	0.55

23	芬兰	0.7	121	科特迪瓦	0.55
24	土耳其	0.7	122	尼加拉瓜	0.55
25	日本	0.7	123	阿鲁巴	0.55
26	越南	0.69	124	老挝	0.54
27	斯洛伐克共和国	0.69	125	文莱	0.54
28	阿尔巴尼亚	0.68	126	新加坡	0.54
29	希腊	0.68	127	特立尼达和多巴哥	0.54
30	荷兰	0.68	128	苏丹	0.54
31	澳大利亚	0.68	129	加纳	0.54
32	乌拉圭	0.67	130	卡塔尔	0.54
33	阿根廷	0.67	131	佛得角	0.54
34	萨尔瓦多	0.67	132	摩尔多瓦	0.54
35	葡萄牙	0.67	133	沙特阿拉伯	0.53
36	捷克共和国	0.67	134	巴林	0.53
37	拉脱维亚	0.67	135	萨摩亚	0.53
38	秘鲁	0.66	136	阿富汗	0.52
39	厄瓜多尔	0.66	137	安哥拉	0.52
40	马来西亚	0.66	138	喀麦隆	0.52
41	乌克兰	0.66	139	尼泊尔	0.52
42	比利时	0.66	140	也门共和国	0.52
43	爱尔兰	0.66	141	孟加拉国	0.52
44	以色列	0.66	142	肯尼亚	0.52
45	法罗群岛	0.66	143	黎巴嫩	0.51
46	毛里求斯	0.65	144	阿曼	0.51
47	菲律宾	0.65	145	科威特	0.51
48	巴拿马	0.65	146	南非	0.5
49	冰岛	0.65	147	卢旺达	0.5
50	波兰	0.65	148	牙买加	0.5
51	巴基斯坦	0.64	149	乌兹别克斯坦	0.5
52	中国	0.64	150	新喀里多尼亚	0.5

53	巴巴多斯	0.64	151	尼日利亚	0.49
54	泰国	0.64	152	蒙古	0.49
55	多米尼加共和国	0.64	153	波斯尼亚和黑塞哥维那	0.48
56	亚美尼亚	0.64	154	塞内加尔	0.48
57	墨西哥	0.64	155	东帝汶	0.48
58	格鲁吉亚	0.64	156	坦桑尼亚	0.47
59	保加利亚	0.64	157	津巴布韦	0.46
60	多米尼克	0.63	158	利比亚	0.46
61	约旦	0.63	159	赤道几内亚	0.46
62	玻利维亚	0.63	160	巴布亚新几内亚	0.45
63	立陶宛	0.63	161	土库曼斯坦	0.45
64	北马其顿	0.63	162	纳米比亚	0.45
65	阿塞拜疆	0.63	163	莱索托	0.45
66	爱沙尼亚	0.63	164	毛里塔尼亚	0.44
67	格陵兰	0.63	165	赞比亚	0.44
68	圣文森特和格林纳丁	0.62	166	博茨瓦纳	0.43
69	摩洛哥	0.62	167	埃塞俄比亚	0.43
70	不丹	0.62	168	莫桑比克	0.42
71	苏里南	0.62	169	几内亚	0.42
72	塔吉克斯坦	0.62	170	科摩罗	0.42
73	俄罗斯	0.62	171	马里	0.41
74	埃及	0.61	172	多哥	0.41
75	古巴	0.61	173	瓦努阿图	0.41
76	马尔代夫	0.61	174	基里巴斯	0.41
77	百慕大	0.61	175	马达加斯加	0.4
78	波多黎各	0.61	176	刚果共和国	0.4
79	哈萨克斯坦	0.61	177	马拉维共和国	0.4
80	大韩民国	0.61	178	刚果民主共和国	0.39
81	印度	0.6	179	尼日尔	0.39
82	伯利兹	0.6	180	索马里	0.39

83	危地马拉	0.6	181	乌干达	0.39
84	美属维京群岛	0.6	182	所罗门群岛	0.39
85	关岛	0.6	183	布隆迪	0.38
86	法属波利尼西亚	0.6	184	厄立特里亚	0.38
87	巴拉圭	0.59	185	吉布提	0.37
88	汤加	0.59	186	圣多美和普林西比	0.36
89	阿尔及利亚	0.59	187	布基纳法索	0.36
90	马耳他	0.59	188	乍得	0.35
91	卢森堡	0.59	189	冈比亚	0.35
92	英属维尔京群岛	0.59	190	几内亚比绍	0.35
93	吉尔吉斯斯坦	0.59	191	塞拉利昂	0.35
94	黑山	0.59	192	中非	0.35
95	直布罗陀	0.59	193	利比里亚共和国	0.34
96	加蓬	0.58	194	贝宁	0.34
97	阿联酋	0.58	195	海地	0.33
98	圣基茨和尼维斯	0.58	196	南苏丹	0.31

注：标黄的为南方国家，标蓝的为北方国家。有 5 个全球南方和 12 个全球北方国家因缺失某一维度数据而未能计算综合指数。

第二章 跨越不可能三角：全球南方的 发展、权衡与能源转型路径

第一节 经济发展与能源转型

本节首先基于全球宏观数据，揭示能源体系在经济发展过程中的普遍演进规律。随后，将聚焦于环境可持续性（能源清洁性）这一重点维度，剖析其与经济增长间的 U 型关系，并对全球各国进行发展路径分类。最后，本节将重点分析全球南方国家在可持续转型中所面临的资金、技术、基础设施及治理等多重结构性挑战。

1. 能源体系演进与经济发展的三阶段模式

（1）整体变化趋势

从全球范围来看，经济增长是破解能源“不可能三角”、提升能源系统综合表现的核心驱动力。本研究构建的面板回归模型，利用覆盖全球南北国家的长期宏观数据，系统地量化了一个国家的人均 GDP 水平与其能源不可能三角指数之间的统计关系（图 2-1）。模型结果显示，在控制了其他影响因素后，人均 GDP 的系数显著为正，这在数据上证实了经济增长对能源系统整体表现的改善具有正向的驱动作用。人均 GDP 每提高 1%，能源不可能三角指数平均会提升 0.1 分。这表明，随着经济水平的提升，国家拥有更强的财政能力和政策意愿去构建一个更安全、更公平、更可持续的能源系统。然而，这种改善过程并非一蹴而就，在不同维度上的表现也并不同步，而是在经济发展的不同阶段，呈现出此消彼长、甚至相互矛盾的动态关系。

能源系统的环境可持续性与经济发展的关系最为复杂，并非简单的线性关系，而是呈现出显著的“U 型”轨迹。在经济发展的初期，特别是工业化起步阶段，国家为支撑经济活动和基础设施建设，对大规模、低成本能源的需求极为迫

切。在技术和资本的双重约束下，高污染、高排放的化石能源往往成为首选。因此，这一阶段的经济增长几乎不可避免地伴随着环境退化和资源过度消耗，导致可持续性维度得分显著下降。

然而，当经济发展达到一定水平后，情况开始逆转。本研究识别出，这一关键拐点出现在人均 GDP 约 1254 美元的水平。跨越此拐点后，经济增长开始对能源可持续性产生正向作用。其背后的驱动力是多方面的：国家有更强的财政能力投资于清洁技术和环保设施；公众的环保意识觉醒，向政府和企业施加压力；产业结构从高耗能的重工业向服务业和高技术产业转型。这一发现为环境库兹涅茨曲线（EKC）理论在能源领域提供了有力的实证支持。环境库兹涅茨曲线理论的核心思想在于，环境污染水平在经济发展初期随人均收入增加而上升，在达到某个“拐点”后则随人均收入继续增加而下降，形成倒 U 型（在本研究中为正 U 型）曲线。

能源公平性，主要指能源的可及性与可负担性，其改善效果在经济发展的初期最为显著，随后改善速度逐渐放缓，呈现出典型的边际收益递减特征。对于低收入国家而言，经济增长是提升能源公平性的最有力引擎，其带来的财政收入和投资能力，可以直接转化为电网的延伸、发电能力的扩充和能源补贴，从而迅速提高能源普及率，让更多人用上电，解决能源贫困问题。在这一阶段，经济增长对公平性的拉动作用极强。然而，当一个国家的能源普及率达到较高水平后，单纯的经济增长对公平性的边际贡献就开始下降。此时，挑战不再是有无的问题，而是电力质量的问题，例如如何保障偏远地区供电的可靠性、如何降低低收入家庭的能源支出负担等。这些问题的解决，更多地依赖于精细化的政策设计、电力市场改革和精准补贴，而非仅仅依靠宏观经济的增长。

与可持续性和公平性不同，能源安全维度与经济发展水平之间并未表现出显著的直接关联。一个国家经济富裕，并不意味着其能源供应就必然安全。能源安全更多地受到制度设计、地缘政治和国际能源市场波动等非经济因素的影响。例如，一个资源匮乏但高度发达的经济体，可能因为过度依赖单一进口来源而极其脆弱；反之，一个中等收入国家，如果能通过多元化的能源结构和完善的战略储备体系，反而可能获得更高的能源安全。这表明，提升能源安全无法单纯依靠经济增长支撑，而必须通过深思熟虑的战略规划和主动的外交与国内政策布局来实现。

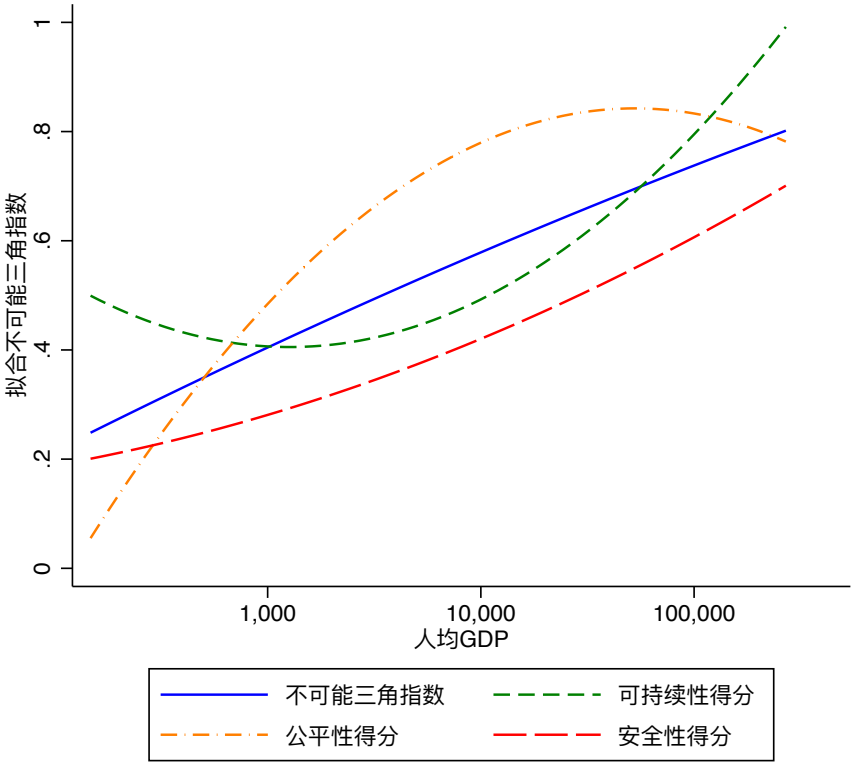


图 2-1 不可能三角指数随经济增长的变化趋势

(2) 阶段转换：动力机制与制约因素分析

一个国家能源体系的演进并非平滑的线性轨迹，而是伴随经济社会的深刻变革，清晰地呈现为三个具有不同核心特征、矛盾和任务的阶段（表 2-1）。

第一阶段是初始发展阶段，其能源系统的画像可以概括为“匮乏中的被动绿色”。在这一阶段，能源不可能三角指数徘徊在低位，其最显著的特征是一种矛盾的组合：由于工业活动稀少、能源消费总量极低，环境基本未受大规模扰动，使得可持续性维度得分看似良好；然而，这种被动可持续性掩盖了能源极度匮乏的现实。能源的可及性与可负担性（公平性）处于较低状态，广大民众深陷能源贫困，而能源供应的稳定性和多样性（安全性）也因基础设施的简陋而无保障。

进入第二阶段，即工业化与经济跃升的阶段，能源系统展现出高增长与高污染并存的模式。在这一时期，能源不可能三角指数经历大幅度的跃升，其背后是能源公平性和安全性的巨大改善。国家通过大规模建设发电厂和延伸电网，迅速提升了能源普及率和供应能力，有力地支撑了经济的腾飞。然而，这场进步往往是以牺牲环境为沉重代价的。由于发展路径高度依赖技术成熟、成本低廉的煤炭、石油等化石能源，能源消耗的碳排放强度急剧增加，导致可持续性维度得分下跌，形成了经济增长与环境保护之间的尖锐矛盾，国家也由此进入能源可持续性 U 型曲线的谷底。

第三阶段是技术进步引领下的低碳转型阶段，其目标是实现繁荣与清洁的再平衡。在这一阶段，能源系统的综合表现达到最优。能源公平性与安全性在前一阶段成果的基础上得到巩固和优化，维持在较高水平。而此阶段的标志性成就是，通过大力发展可再生能源、提升能效和应用低碳技术，成功扭转了环境恶化的趋势，可持续性维度在经历谷底后开始稳步回升，经济增长与能源消耗、碳排放逐渐脱钩，着能源系统开始从满足量的需求，转向追求质的提升和可持续发展。

剖析驱动阶段间动态转换的动力机制及其制约因素至关重要。从第一阶段向第二阶段的跨越，其核心动力源自工业化的全面启动、加速的城市化进程以及

外国直接投资的涌入。工业为能源消耗提供了最主要的增量，城市则为集中式能源网络的建设提供了必要的人口密度和经济效益，而外资则带来了宝贵的资本和技术，打破了启动的僵局。然而，这一宏大的跃升从一开始就受到资本普遍匮乏和本土技术能力薄弱这两个根本性的制约。在追求增长速度和控制成本的双重压力下，政策制定者几乎不可避免地会选择“最容易走的路”——即依赖成熟的化石能源技术，这就在发展初期便深深植入了高碳的基因。

而从第二阶段向第三阶段转型，则是由一套更为复杂和内生的动力所驱动。这包括经济结构向服务业的转变、国家研发投入达到能够支撑技术创新的临界点、公众环保意识觉醒后形成的社会压力，以及政府超越短期增长目标、制定长远绿色战略的政治意愿。然而，这场绿色革命面临着一个更为顽固的对手：前一阶段所建立的庞大体系所形成的“高碳锁定效应”与强大的路径依赖。这种惯性不仅体现在数以万亿计的存量基础设施（如燃煤电厂、炼油厂）上，更体现在与之共生的产业链、就业结构、财税体系乃至根深蒂固的能源消费习惯和既得利益集团中。因此，如何有效管理转型的经济社会成本，打破这种深层次的路径依赖，便构成了决定一个国家能否最终实现可持续能源未来的终极考验。

表 2- 1 能源体系演进与经济发展三阶段

指标	第一阶段	第二阶段	第三阶段
	初始发展阶段	工业化与经济跃升阶段	技术进步与低碳转型期
能源不可能三角指数	较低	上升	达到最高
可持续性得分	较高	下降	回升
公平性得分	较低	提升	保持高水平

安全性得分	较低	提升	保持高水平
机制	能源需求有限	工业化推动高排放 能源用能增加	低碳技术和可再生 能源的发展

2. 可持续性的 U 型曲线：全球国家的四类发展路径

在能源不可能三角的三个维度中，可持续性与经济发展的关系最为复杂，它并非简单的线性提升，而是呈现出显著的“U 型”关系（图 2-2）。这意味着，在经济发展的初期，经济增长往往以环境恶化为代价，导致可持续性下降；只有当经济发展跨越“拐点”后，可持续性才会开始改善。研究发现这个关键拐点出现在人均 GDP 约 1254 美元的水平。基于这条 U 型曲线以及各国当前可持续性的实际表现，我们可以将全球国家划分为四种不同的发展路径类型（表 2- 2）。

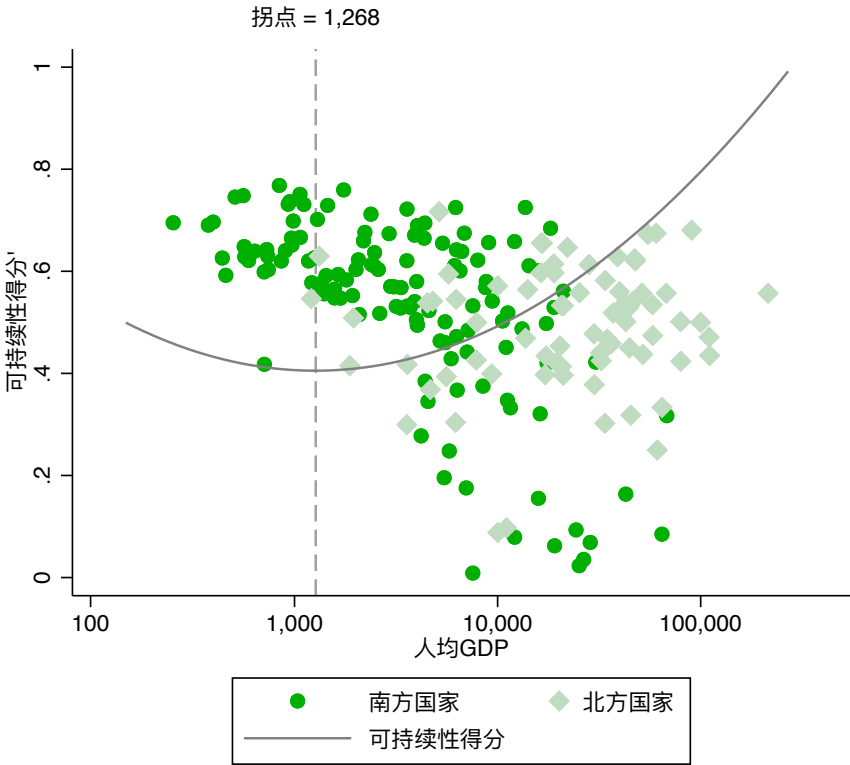


图 2- 2 可持续性得分与国家分布

(1) 绿色脆弱型经济体

我们称位于第二象限（U 型线与拐点线所构成平面）的国家是“绿色脆弱型”经济体，其定义为位于拐点左侧（即人均 GDP 低于 1254 美元），但实际可持续性表现优于同等经济水平预测值的国家。这一群体构成了能源转型路径的起点，几乎完全由全球南方国家构成，其地理分布高度集中，几乎完全由撒哈拉以南非洲（如布隆迪、乍得、尼日尔）、南亚（如尼泊尔、阿富汗）以及受冲突影响（如也门、叙利亚）的最不发达国家构成（图 2-3）。

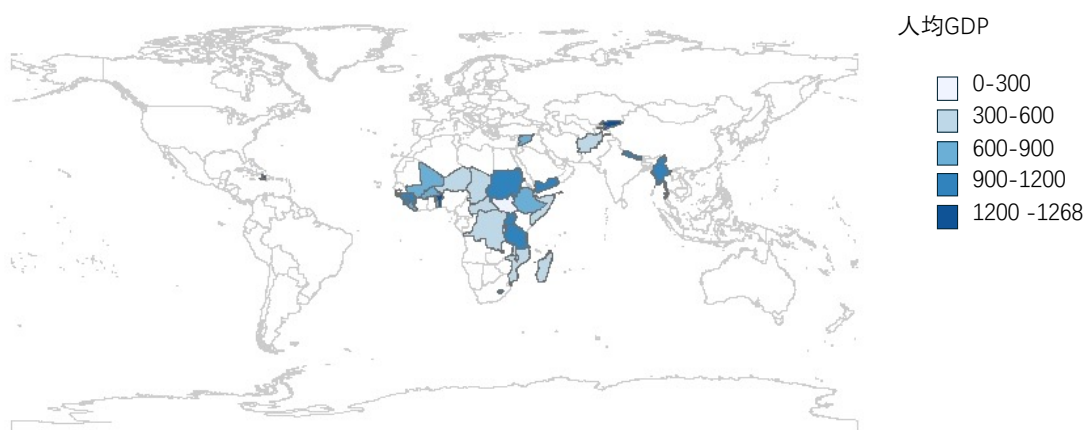


图 2- 3 2022 年人均 GDP 低于拐点水平的国家

它们的“绿色”本质上是一种源于前工业化阶段的“被动可持续性”，并非主动技术或政策选择的结果，而是经济活动水平低、能源消费总量小、能源基础设施匮乏的直接反映。因此，它们的绿色是脆弱的，随时可能在追求工业化的进程中被牺牲。这些国家的首要任务是发展经济、摆脱贫困，因此其核心挑战是如何在未来的发展道路上，在满足人民基本发展权、开启工业化进程的同时，最大限度地利用后发优势，直接采用低成本的可再生能源技术，从而避免重蹈“先污染、后治理”的传统覆辙，探索出一条跨越 U 型曲线谷底的绿色跃迁路径。

(2) 高碳锁定型经济体

我们称位于第四象限的国家为“高碳锁定型”经济体，该象限位于拐点右侧（人均 GDP 高于 1254 美元），但实际可持续性表现差于同等经济水平预测值的国家。这一象限汇集了背景迥异但问题根源相似的国家。

在北方，它囊括了几乎所有传统工业化强国，如美国、德国、日本和澳大利亚，以及俄罗斯这样的能源出口大国。它们的共同点是，其现代化的繁荣建立在长期的化石能源消耗之上，尽管近年来努力转型，尽管近年来积极推动能源转型，但其庞大的存量基础设施、固化的产业结构和高耗能的生活方式，使其绿色表现仍滞后于其强大的经济和技术实力。

在南方，这一象限则清晰地反映了“资源诅咒”或高碳工业化的烙印。一类是以中东主要石油输出国（如沙特阿拉伯、阿联酋、卡塔尔）为代表的“资源诅咒”模式，经济对化石燃料的开采和出口形成了深度依赖；另一类则是以中国、南非、蒙古等国为代表，其经济起飞在很大程度上依赖于本土储量丰富的煤炭资源。对于所有“高碳锁定型”经济体而言，最艰巨的挑战在于如何打破根深蒂固的路径依赖和既得利益集团的强大阻力，通过深刻的经济结构调整和能源系统革命，推动经济和能源结构的深度多元化。

(3) 绿色领跑型经济体

位于第一象限的国家我们称之为“绿色领跑型”经济体，其定义为位于拐点右侧，且实际可持续性表现优于同等经济水平预测值的国家。这是一个地理分布广泛、发展模式多元的群体，展现了绿色转型的多种可能性。

在全球南方，它涵盖了从非洲的肯尼亚、塞内加尔，到亚洲的越南、菲律宾，再到拉丁美洲的哥斯达黎加、巴西、智利等一大批新兴经济体和中等收入国

家。这些国家的出色表现，部分得益于对水电、地热等本土清洁能源禀赋的有效利用，部分则源于其政府前瞻性地制定并实施了强有力的可再生能源发展战略。

在全球北方，该象限则主要包括了在可再生能源领域取得显著进展的欧洲国家（如葡萄牙、西班牙）以及部分转型经济体。它们的挑战在于如何巩固并深化已有的转型成果，并将其成功治理经验转化为可供其他发展中国家借鉴的宝贵模式。

（4）高碳追赶型经济体

最后，一个重要的发现是，第三象限，可称为“高碳追赶型”的经济体，在本研究的全球样本中是空的。该象限的定义是位于拐点左侧（贫困），且可持续性表现差于同等贫困水平预测值的国家。这传递了一个令人乐观和重要的信号：最贫困的国家尚未陷入不可自拔的、比其发展阶段更糟糕的污染模式中。这为全球气候合作与发展援助提供了一个不容错过的机会之窗。国际社会必须抓住这一时机，通过精准的资金、技术和政策支持，在第二象限的国家工业化进程全面加速之前，帮助它们跨越 U 型曲线的谷底，直接走上绿色、低碳的发展路径。这不仅是为了这些国家自身的福祉，更是为了避免全球未来滑入更多、更难以扭转的“高碳锁定”困境，从而决定了全球应对气候变化努力的最终成败。

表 2- 2 可持续性四象限国家

象限	南方经济体	北方经济体
第一象限	赞比亚、津巴布韦、科摩罗、圣多美和普林西比、塞内加尔、喀麦隆、厄立特里亚、毛里塔尼亚、东帝汶、巴基斯坦、刚果共和国、肯尼亚、孟加拉国、所罗门群岛、柬埔寨、加纳、印度、尼加拉瓜、科特迪瓦、安哥拉、尼日利亚、巴布亚新几内亚、洪	塔吉克斯坦、乌克兰、基里巴斯、图瓦卢、亚美尼亚、阿尔巴尼亚、格鲁吉亚、北马其顿、黑山、墨西哥、土耳其、匈牙利、拉脱维亚、克罗地亚、立陶宛、斯洛伐克共和国、葡萄牙、西班牙

	都拉斯、老挝、瓦努阿图、吉布提、密克罗尼西亚联邦、巴勒斯坦、玻利维亚、摩洛哥、不丹、菲律宾、斯威士兰、越南、萨摩亚、纳米比亚、约旦、突尼斯、佛得角、印度尼西亚、埃及、斯里兰卡、萨尔瓦多、危地马拉、汤加、牙买加、斐济、马绍尔群岛、赤道几内亚、厄瓜多尔、巴拉圭、伯利兹、泰国、加蓬、秘鲁、哥伦比亚、博茨瓦纳、古巴、多米尼克、多米尼加共和国、圣文森特和格林纳丁斯、巴西、格林纳达、毛里求斯、圣卢西亚、罗马尼亚、哥斯达黎加、智利、巴拿马、乌拉圭	
第二象限	布隆迪、阿富汗、中非、马达加斯加、索马里、刚果民主共和国、马拉维共和国、尼日尔、乍得、莫桑比克、利比里亚共和国、冈比亚、阿拉伯叙利亚共和国、马里、布基纳法索、几内亚比绍、埃塞俄比亚、多哥、也门共和国、乌干达、卢旺达、莱索托、苏丹、几内亚、塞拉利昂、坦桑尼亚、尼泊尔、缅甸、贝宁、海地、南苏丹	吉尔吉斯斯坦
第三象限	—	—
第四象限	蒙古、伊拉克、阿尔及利亚、伊朗、南非、黎巴嫩、波斯尼亚和黑塞哥维那、利比亚、苏里南、土库曼斯坦、瑙鲁、马尔代夫、马来西亚、中国、帕劳、阿根廷、特立尼达和多巴哥、塞舌尔、圭亚那、安提瓜和巴布达、巴巴多斯、阿曼、圣基茨和尼维斯、沙特阿拉伯、巴林、科威	乌兹别克斯坦、摩尔多瓦、阿塞拜疆、白俄罗斯、塞尔维亚、保加利亚、俄罗斯、哈萨克斯坦、美属萨摩亚、库拉索、波兰、北马利亚纳群岛、特克斯科斯群岛、希腊、捷克共和国、法属波利尼西亚、爱沙尼亚、斯洛文尼亚、波多黎各、阿鲁巴、塞浦路斯、圣马丁(荷属)、大韩民国、

	特、文莱、巴哈马、马耳他、阿联酋、卡塔尔、新加坡	意大利、关岛、日本、美属维京群岛、法国、安道尔共和国、新西兰、以色列、德国、比利时、加拿大、芬兰、奥地利、英国、格陵兰、圣马力诺、荷兰、瑞典、法罗群岛、冰岛、丹麦、澳大利亚、美国、海峡群岛、挪威、开曼群岛、瑞士、马恩岛、爱尔兰、卢森堡、百慕大、摩纳哥、列支敦士登、圣马丁（法属）、直布罗陀、新喀里多尼亚、英属维尔京群岛
--	--------------------------	---

3. 全球南方国家的可持续转型挑战

全球南方国家大多处于经济发展的初始或跃升阶段。这一位置决定了它们不仅要遵循能源转型的普遍规律,更要直面一系列因发展阶段和历史地位所决定的、更为严峻的特殊结构性挑战。这些挑战构成了其通往可持续未来道路上的系统性障碍,主要体现在资金、技术、基础设施和治理四个相互关联相互强化的维度。

(1) 资金困境：绿色投资壁垒与资本缺口

全球南方国家首先面临深层次的“资金困境”，表现为绿色投资的高昂壁垒与巨大的资本缺口。能源转型本质上是一场资本密集型的结构性变革，而南方国家普遍存在资金约束。一方面，关键的清洁技术，特别是解决可再生能源间歇性所必需的储能系统和保障电网灵活性的智能电网技术，相较于已经高度成熟且成本低廉的化石能源技术，存在着显著的“绿色溢价”。这使得在资源有限的情况下，选择绿色路径的初始投资成本远高于传统路径，构成了市场的自然壁垒。另一方面，南方国家能源基础设施的存量缺口巨大，无论是实现全民能源可及性的

目标,还是对现有老旧电网进行现代化改造以适应新能源并网,均需要巨额投资。这种投资需求与其有限的国内财政收入和尚不发达的私人资本市场之间,形成了难以逾越的融资缺口。国际气候资金虽有承诺,但规模和到位情况远不及预期,且往往附带苛刻条件,使得南方国家在绿色发展的起点处于资金劣势。

专栏 1 巴基斯坦：投资赤字与能源困境

巴基斯坦能源困境为发展中国家面临的气候融资挑战提供了典型例证。其核心问题并非仅限于资金短缺的表层现象,而是由清洁技术转型所产生的“绿色溢价”、庞大的基础设施投资需求,以及国内财政脆弱性与国际资本流动不稳定性之间形成的系统性“投资赤字”所构成。

巴基斯坦长期依赖进口化石燃料的能源结构,使其在清洁能源转型中面临显著的“绿色溢价”成本负担。此溢价不仅表现为技术本身的直接成本,更体现为系统性转型带来的附加成本。首先,尽管全球可再生能源技术成本呈现下降趋势,但由于巴基斯坦缺乏本土高端制造能力与完整供应链,其再生能源项目所需的太阳能光伏组件、风力发电设备和储能系统等关键技术组件高度依赖进口,导致采购成本居高不下,还使其易受本国货币贬值的冲击,增加了投资不确定性。其次,该国电力部门长期存在的循环债务问题,以及与独立发电商 (IPPs) 签订的照付不议 (take-or-pay) 合同机制,已对国家财政和消费者构成沉重负担。据估计,仅 2025 财年,巴基斯坦支付给 IPPs 的容量费用将达到约 71 亿美元,这进一步侵蚀了可用于能源转型的财政空间。与此同时,其能源转型的资金需求极为庞大。研究指出,为实现转型目标,巴基斯坦到 2030 年需

要约 1010 亿美元的投资，至 2040 年还需额外 650 亿美元，这与国内有限的公共财政和私人资本形成了难以弥合的巨大“投资赤字”。

与许多南方国家类似，巴基斯坦面临国内财政能力制约的结构性挑战。电力部门的循环债务吞噬了大量本可用于清洁能源投资的公共资金，致使政府在提供资金担保或实施财政激励措施能力受限。与此同时，国际资本流入也面临巨大阻力。外商直接投资（FDI）呈现显著波动性，甚至出现月度负值现象，反映出国际投资者对该国整体投资环境的信心不稳。即使是在双边合作框架下的大型投资项目也面临实施不确定性。例如，据绿色和平组织报告，在中巴经济走廊框架下，约 8760 兆瓦的煤电项目被取消或搁置，这间接反映了大型投资在当地落地所面临的挑战。尽管巴基斯坦拥有巨大的可再生能源潜力，但国际社会提供的气候融资规模与其实际需求存在显著差距。世界银行数据显示，通过国际气候融资机制，巴基斯坦仅获得了 8.3 亿美元的资金支持，这与其千亿美元级别的需求形成了鲜明对比。

（2）技术鸿沟：从引进依赖到能力建设

全球南方国家还面临难以跨越的技术鸿沟，长期处于从引进依赖到自主能力建设的转型困境中。技术创新是能源转型的核心驱动力，然而南方国家在这一领域处于结构性弱势。障碍不仅体现在表层的先进技术的知识产权壁垒和高昂的转让成本，使其难以以可负担的方式获取前沿的绿色技术；更深层次的挑战在于，即便引进了先进设备，许多国家也严重缺乏消化、吸收、再创新以及独立运维这些复杂技术所需的本土人才和产业生态。技术转让若仅仅停留在设备引进层面，而未能带动本土研发、制造、运维能力的系统性成长，则这种依赖性引进就无法

转化为真正的国家技术能力。其结果是，项目运维成本居高不下，技术迭代缓慢，关键部件和专业服务长期受制于人，使清洁转型进程异常艰难。

专栏 2 肯尼亚：技术依赖困境

肯尼亚在可再生能源领域取得了显著成就，其电力结构中超过 80%来自可再生能源，以地热能 and 风能为主。然而，肯尼亚的案例凸显了全球南方国家在能源转型中面临的深层次技术挑战：从“技术接受者”向“技术创造者”转型的困境。一障碍不仅涉及资金限制，更反映了知识产权壁垒、技术转让的高昂成本，以及本土人才储备与产业生态系统的深层次缺失。

肯尼亚的可再生能源技术，特别是高效风力发电系统和先进光伏组件，主要通过进口获取。这些核心技术的知识产权通常由少数跨国企业垄断，导致技术转让成本高昂。这些成本不仅包括设备的直接采购支出，还涵盖技术许可费、专利使用费和持续的技术支持费用。以肯尼亚最具代表性的大型光伏项目之一——Eldosol 光伏园区为例，该项目部署的近 30 万块高效光伏组件全部由中国晶科能源公司提供。尽管这种国际合作模式在技术获取和成本效益方面具有一定优势，但这种高度依赖进口的发展路径使得肯尼亚无法真正掌握核心技术，其能源转型进程在本质上受制于外部供应商的技术决策与市场策略。

与技术依赖相对应的是本土人才培养体系和产业生态的系统性不足。一个国家实现能源独立与产业自主，不仅需要获取先进技术，更需要具备消化、吸收、再创新和独立运维这些技术的综合能力。在这一维度上，肯尼亚面临严峻挑战。首先，高技能本土专业人才储备不足。虽然大型可再生能源项目能够创造大量就业机会，但这些岗位多集中于基础建设和初级维护环节，缺乏能够进行技术研发、系统设计和高级运营的专业技术人才。其次，本土可再生能源产

业链呈现显著断裂。从关键零部件制造（如逆变器、电池）到系统集成，再到设备回收与循环利用，产业链的大部分环节都依赖进口。这种模式使得肯尼亚无法通过本地化生产来降低成本，也无法形成能够持续创新的产业集群。

肯尼亚的案例表明，如果缺乏有效的技术转让机制和系统性本土能力建设，单纯的外部投资和技术引进的发展模式最终将使发展中国家停留在“技术接受者”的被动角色，难以真正实现能源独立和可持续发展。

(3) 基础设施瓶颈：电网脆弱性

普遍存在的基础设施瓶颈，特别是电网的脆弱性，构成了南方国家能源转型的物理制约。绝大多数南方国家的电网系统普遍存在老旧失修、覆盖率严重不足、输配电损耗率高等顽疾。这种脆弱且缺乏灵活性的传统电网，无法适应太阳能、风能等间歇性能源大规模并网带来的波动性和不确定性。当大量不稳定的可再生能源电力试图并入时，老旧的电网轻则会出现电压不稳，重则导致系统性故障和大面积停电，反而威胁能源安全。因此，电网的现代化改造滞后，已经成为制约许多南方国家可再生能源发展的最直接、最显著的物理限制。没有一个强大、智能、灵活的电网系统作为支撑，再宏大的可再生能源装机目标也难以实现其预期效益。

专栏 3 越南：电网基础设施滞后阻碍绿色转型

越南在可再生能源发展方面取得了令人瞩目的成就，其太阳能装机容量一度跃居东南亚首位。然而，其能源转型进程表现出明显的“头重脚轻”特征：发电端发展迅猛，而输配电基础设施却未能同步发展。这种结构性失衡导致了严重的物理性瓶颈，集中体现为电网系统的脆弱性及其承载能力的局限性。

得益于政府的激励政策（如上网电价补贴），越南在 2019-2020 年间太阳能装机容量实现了从几乎为零到超过 16,500 兆瓦的跨越式增长。然而，这些可再生能源项目在地理分布上高度集中于太阳能资源丰富的南部地区，而主要的用电负荷中心，特别是工业区，却位于用电需求增长更快的北部。现有电网的输送能力远不足以将南部的绿电向北部负荷中心的大规模输送，形成了显著的区域供需不平衡。

老旧电网基础设施与地理分布不均衡的叠加效应，导致了严重的并网和电力消纳问题。大量可再生能源发电设施因电网容量限制而无法将全部电力输送至电网系统，被迫实施发电限制，造成了可观的能源浪费。据报道，一些太阳能电厂被要求削减约 20% 的发电量，而部分风电厂的弃电率甚至高达 50%。这种现象不仅严重打击了投资者的信心，使其无法获得预期的全额售电收益，也显著降低了越南能源转型的整体经济和环境效益。

越南的案例为全球能源转型提供了关键启示：可持续的能源转型不能仅依赖于发电端的快速扩张，而必须将电网现代化建设作为核心战略组成部分，二者需协调推进。否则，即使建成再多的清洁能源发电设施，也无法有效将绿色电力输送至终端用户，难以实现能源转型的基本目标。

（4）治理短板：政策连续性缺失

根深蒂固的“治理短板”，尤其是政策连续性的缺失，进一步放大了南方国家能源转型的挑战。相较于硬件和资金，制度和治理这些“软基础设施”的缺失往往构成更为根本的障碍。许多南方国家的能源转型面临着严峻的非技术性障碍，突出表现为能源战略和政策缺乏长期稳定性与可预测性，频繁因政府更迭而发生

根本性变更，极大地损害了市场稳定性和投资者的信心。此外，能源领域的监管机构往往独立性和专业性不足，难以有效履行市场监督、合理定价和推动改革等核心职能。电力市场的改革进程迟缓甚至停滞，垄断和价格扭曲现象普遍存在，阻碍了竞争和创新。政策制定与实际执行之间更是存在着巨大的执行差距，宏伟的规划常常因执行能力不足、部门协调不力而最终难以落地。这种治理上的不确定性和低效率，使得本已面临诸多客观约束的能源转型进程充满了制度障碍和风险，导致资本望而却步，项目实施困难。

专栏 4 尼日利亚：政策不稳定性与制度脆弱性的瓶颈

尼日利亚作为非洲最大的经济体和人口最多的国家，拥有丰富的天然气资源和可再生能源潜力，并承诺到 2060 年实现净零排放。然而，其能源转型进程却受到一系列非技术性障碍的严重阻碍。这些障碍的核心在于治理体系的结构性缺陷，主要表现为政策的不稳定性、监管机构的效能不足、市场改革的滞后，以及政策制定与实际执行之间存在的显著差距。

在尼日利亚，能源政策的频繁变动是阻碍投资和项目发展的首要制约因素。政府换届往往伴随着对前任政府制定的能源战略和激励措施的根本性重新评估甚至全面否定，这种高度的政策不确定性使得长期投资者望而却步。例如，2011 年颁布的《可再生能源政策》曾设计了雄心勃勃的上网电价激励机制，但因缺乏必要的法律保障和持续的政治支持，而未能有效落实，并在后续的战略调整过程中被弱化，导致大量可再生能源项目被迫中止或取消。

尽管尼日利亚建立了专门的能源监管机构，但其决策独立性常受到政治因素的不当干预，难以独立、公正地制定和执行规则，导致能源市场出现扭曲。同时，尼日利亚电力部门同样面临严重的“循环债务”问题。政府出于政治考

量长期干预电价形成机制，阻止电价调整至至能够覆盖成本的合理水平，导致发电企业因无法收到足额电费而陷入财务危机，缺乏必要资金进行设备维护和技术升级。

此外，尼日利亚电力市场的改革进程缓慢，未能建立起有效的监管体系 and 市场机制，导致资产管理不善，电网损耗居高不下，无法吸引新的资本投入。国际能源署的数据显示，尼日利亚的电力系统损耗率远高于国际平均水平，这既反映了技术基础设施的落后，更深层次体现了管理体系和监管机制的缺陷。尼日利亚的案例表明，对于全球南方国家而言，能源转型最根本的障碍往往是一个缺乏稳定性、透明度和问责制的政策框架。若不将体制和治理改革置于核心位置，任何宏大的能源目标都难以落地。

第二节 能源多维目标的内部权衡

能源三难困境的核心挑战不仅在于其受到外部经济发展阶段的制约，更在于其内部三个维度——环境可持续性、能源公平性和能源安全性——之间存在着深刻的、此消彼长的内在矛盾。实现任何一个维度的显著进步，往往需要以牺牲其他一个或两个维度为代价。这种内在的“权衡关系”构成了能源政策制定的根本性难题。本节将深入剖析这些内部权衡的复杂动态，并特别聚焦于全球南方国家在转型过程中所面临的独特且更为严峻的挑战。

1. 南方国家转型的“双重权衡”挑战

我们发现全球南方国家的清洁转型存在“双重权衡”挑战。本研究将样本聚焦于全球南方国家，并构建计量模型，在控制了人均 GDP 等关键经济变量后，分别检验了能源清洁性（环境可持续性）维度的变化对能源公平性与能源安全性这两个维度的影响。研究发现，在解释公平性和安全性的模型中，可持续性维度的系数均显著为负，追求绿色转型往往以牺牲能源普及和供应稳定为代价这一结构性权衡关系的存在。在当前的现实条件下，追求能源可持续性，即清洁能源转型的过程，往往需要同时以牺牲能源公平性和能源安全性为代价。这种系统性的冲突，可称之为“双重权衡”。

首先，在可持续性与公平性之间存在着尖锐的权衡关系。在南方国家，可持续性指数的提升对公平性指数具有显著的负向影响（回归系数为-0.278）。这意味着，当政策重心倾向于推动清洁能源转型时，往往会减缓甚至损害能源普及的进程。这一矛盾的现实根源在于，大型可再生能源项目（如集中式光伏或风电场）虽环境友好，但其前期投资巨大，且选址常远离人口密集的用能负荷中心，短期内难以兼顾偏远贫困地区的用电需求。同时，为激励清洁能源投资而设立的上网电价补贴等政策，最终可能传导至终端电价上涨，从而加重低收入家庭的能源支出负担，损害能源的可负担性。相比之下，北方国家虽然也存在类似的权衡，但其影响程度显著较弱（系数仅为-0.141），这得益于其更完善的电网覆盖、更成熟的市场机制和更健全的社会保障体系。

其次，可持续性与安全性之间同样存在着不容忽视的冲突。研究表明，在南方国家，提升可持续性对能源安全性的影响同样为负（系数为-0.125）。这揭示了在清洁转型过程中，能源供应的稳定性和可靠性可能会受到直接冲击。其核心

原因在于，当前大规模应用的可再生能源（主要是太阳能和风能）具有天然的间歇性和波动性，其受天气影响极大。在缺乏充分发展的储能设施和智能化、灵活的电网调度体系来平抑这种波动的情况下，高比例的可再生能源并网会直接对电网的稳定运行构成威胁，增加停电风险。相比之下，北方国家的能源系统由于拥有更多元化的能源供应组合（包括核能、天然气调峰电站等）、更先进的电网技术和更成熟的跨区域电力市场，表现出更强的韧性，能够更有效地吸收和适应清洁能源带来的挑战，因此这一权衡关系并不显著。

综合来看，全球南方国家在推动能源清洁转型的进程中，面临着比北方国家更为严峻的多重困境。它们不仅需要追赶经济发展，还要履行全球气候治理责任，而在这一过程中，每向绿色迈进一步，都可能意味着在普惠和安全维度上的暂时退步。这种“双重权衡”的存在，构成了理解南方国家能源政策困境和探索国际合作解决方案的现实基础。

2. 低收入国家的“权衡陷阱”

我们发现，“双重权衡”的严峻性，在全球南方国家内部并非均匀分布，而是在最贫困的低收入国家群体中，其强度被急剧放大，形成了一种自我强化、难以突破的恶性循环，我们称之为“权衡陷阱”。这不仅意味着它们面临的政策空间更为狭窄，更表明错误的权衡决策所引发的负面后果会与其既有的发展困境相互交织，导致系统性的倒退。

(1) 低收入国家的双重权衡

分组分析结果显示，在低收入国家组别中，能源转型所引发的权衡冲突被显著放大。可持续性对公平性的负向冲击系数高达-0.501，对安全性的负向影响系数也大幅增至-0.422。这表明对于全球最不发达国家而言，推动清洁能源的短

期代价是极其高昂的。这些低收入国家在追求能源系统的多重目标时，受到远比中等收入国家更为严格的资本、技术和制度约束。这种放大效应的根源，在于这些国家这些国家在关键能力维度上几乎不具备任何缓冲的系统冗余。

资本约束方面，低收入国家面临着“硬底线”。在中等收入国家，推动清洁能源可能意味着财政补贴的压力；但在低收入国家，往往意味着在“为几百万人接上电网”和“建设一个大型光伏项目”之间做出非此即彼的二元抉择。其有限的财政空间和国际融资信用，使得清洁技术的“绿色溢价”成为一道无法逾越的投资壁垒。在技术能力方面，这些不仅缺乏自主研发能力，甚至连消化、吸收和独立运维先进清洁能源技术的人才和产业基础都严重不足。这意味着任何技术引进都伴随着长期的外部依赖和高昂的维护成本，使得能源系统的自主性和经济性大打折扣。在制度与基础设施层面，低收入国家的电网普遍老旧脆弱，无法承受任何额外的波动；其监管机构能力严重不足，无力设计和执行复杂的市场机制来激励和管理可再生能源的大规模整合。在这样薄弱的系统基础上，能源政策的制定不再是“多与少”的优化问题，而是“有与无”的生存问题。推动清洁能源的短期代价可能直接导致国家电气化进程的停滞，或引发频繁的系统性电力短缺，从而动摇整个社会经济发展的基础。

(2)多重危机的叠加效应

更为复杂的是，低收入国家能源领域内的严峻权衡，并非孤立存在，而是往往与这些国家的其他发展困境——如债务陷阱、贫困陷阱、治理赤字——相互交织、彼此强化，形成多重危机的叠加效应。

一个国家若背负沉重的外债，其政府财政将被优先用于偿还债务本息，从而严重挤压对能源、教育、卫生等关键公共领域的投资能力。能源基础设施的投

资不足，直接导致电力供应短缺和系统不稳定。而不可靠的能源供应，又会直接抑制能够创造税收和就业的工业（如制造业、矿业）和商业活动的发展，因为没有稳定的电力供应，工业生产无法维持正常运转，商业活动无法持续开展。工业和商业部门的萎缩，导致国家税基进一步收窄，经济增长停滞甚至倒退。最终，一个更脆弱的经济体将更无力偿还其债务，也更缺乏资源投资于基本民生需求，从而陷入更深层次的贫困循环。

在这个环环相扣的负向链条中，能源问题是核心的系统瓶颈。而权衡陷阱的存在，使得打破这一恶性循环变得极其困难。当一个国家试图通过发展清洁能源来吸引气候融资时，可能会因为增加的电网波动性和供电不稳定而进一步损害其工业发展前景；当它转而依靠廉价的化石能源来保障工业用电时，又可能失去国际发展援助的青睐并加剧环境退化问题。这种多重困境的叠加，使得低收入国家在能源发展路径选择上几乎不存在政策试错空间。

专栏 5 赞比亚：多重权衡的陷阱

赞比亚的能源结构在表面上具备可持续性，约 80% 的电力供应来自水力发电这一可再生能源形式。然而，这种单一的能源结构使其极易受到气候变化和极端天气事件的严重冲击。2024 年，赞比亚遭遇了二十年来最严峻的干旱危机，导致包括卡里巴大坝在内的主要水电设施水位急剧下降，发电能力大幅削减，引发了全国性的电力危机，电力缺口高达 700 至 1600 兆瓦。要提升能源安全性，赞比亚亟需投资建设太阳能、风能等多元化的能源系统，以分散气候变化带来的系统性风险。然而，自 2020 年主权债务违约事件以来，该国深陷严重的债务困境。根据世界银行和国际货币基金组织的分析报告，赞比亚的公

共债务水平持续处于高风险区间，这使得政府几乎没有财政空间进行新的能源基础设施建设。

赞比亚的经济命脉在于铜矿业，该产业贡献了约 70% 的国家出口收入，同时也是国内最大的电力消费部门，消耗了全国超过一半的电力资源。在电力供应严重短缺的危机背景下，为维持国家经济基本运转、创造税收和外汇以偿还债务，政府和电力公司不得不在电力分配决策中优先保障对矿业部门的供电。这一政策选择的直接后果，便是对电力供应的挤压。全国范围内实施了每天长达 21 小时的拉闸限电措施，严重影响了数百万普通民众的日常生活、小微企业的正常经营，以及医院、学校等公共服务设施的运转。

赞比亚的复杂处境诠释了低收入国家在能源转型过程中面临的“权衡陷阱”。债务危机通过挤压投资空间，固化了能源系统在“安全性”和“公平性”方面的结构性缺陷；而气候变化则通过直接影响水电系统的稳定性，触发了安全与公平之间的两难权衡。更为复杂的是，能源短缺反过来又通过削弱赞比亚的经济核心引擎，加剧了债务压力和贫困危机，形成了典型的负向循环。

3. 资源禀赋：“祝福”还是“诅咒”？

自然资源禀赋，特别是化石能源储量的多寡，深刻地塑造着一个国家的能源系统形态和转型路径。然而，丰富的资源究竟是推动发展的“祝福”，还是引向停滞的“诅咒”，并非一个简单的二元判断。本节通过系统分析资源禀赋与能源三难困境的复杂互动关系，揭示这一问题的多维度本质。

(1) 资源禀赋对三个维度方面的影响

在深入探讨其对内部权衡关系的影响之前，首先需要理解资源禀赋对能源不可能三角三个维度的直接、静态影响。

对于能源安全性而言，本土拥有丰富的石油、天然气或煤炭资源，无疑是一个巨大的天然优势。它极大地降低了国家对外部能源进口的依赖，减少了受国际市场价格波动和地缘政治冲突冲击的供应风险，从而赋予了该国一个较高的能源安全基准，这种自主保障能力在全球能源市场动荡时期尤为珍贵。

对于能源公平性，影响则呈现出更为复杂的双面性。一方面，丰富的本土资源可以转化为低廉的能源供应成本，通过政府补贴等政策工具惠及广大民众，提升能源的可负担性；但另一方面，在许多资源丰富的国家，财富分配不均和资源诅咒下的治理问题，也可能导致能源基础设施建设长期滞后于边远地区，能源普及的“最后一公里”问题依然突出。

而对于环境可持续性，丰富的化石能源禀赋则几乎不可避免地带来一个负面的初始条件。唾手可得的廉价化石燃料，会极大地削弱国家发展可再生能源和其他清洁技术的内在动力与经济激励，使能源消费结构和经济体系从起点即深刻烙上高碳的发展印记。

(2) 区分丰富度与依赖度的影响

研究发现，仅仅拥有丰富的化石能源资源，本身可能是一种“祝福”，能够有效缓解能源转型中的权衡冲突。在石油和天然气储量丰富的国家样本中，可持续性对公平性的负向影响并不显著。这一发现支持了“资源祝福”假说：丰富的资源可以为国家带来可观的财政收入，如果这些收入被明智地用于投资经济多元

化和能源系统的现代化（包括对清洁能源的支持），那么国家将拥有更强的能力来同时推进可持续性、公平性和安全性目标，从而缓和它们之间的内在矛盾。

然而，真正的风险在于对这些资源形成过度依赖，这会迅速将“祝福”转变为“诅咒”，加剧而非缓解权衡冲突。在高资源依赖度的国家中，能源不可能三角的内部权衡关系显著强于低资源依赖度的国家。当一个国家的经济结构单一，财政收入、出口和就业过度依赖于化石燃料的开采和销售时，任何旨在推动清洁转型、减少化石燃料使用的政策，都会直接冲击其经济命脉，引发剧烈的既得利益阻力与社会抵制。这种深度依赖会固化高碳的经济模式，抑制创新活力和经济多元化发展的转型动力，使得国家在能源转型的战略选择上几乎丧失政策灵活性，最终被锁定在不可持续的发展路径上，使不可能三角的权衡取舍变得异常尖锐和痛苦。

因此，资源禀赋本身是中性的，它能否成为能源转型的助力，关键取决于国家的治理能力和经济政策的远见。能否有效管理资源财富，并利用资源收入为后代投资一个更多元、更可持续的未来，构成了区分资源“祝福”与“诅咒”的根本试金石。

专栏 6 资源禀赋差异化路径——博茨瓦纳与安哥拉的能源转型比较

资源禀赋丰富的国家理论上具备缓解能源不可能三角冲突的独特优势，因其资源财富能够为能源系统转型提供充足的资金支持。然而，当一个国家对自然资源的经济依赖程度过高时，资源禀赋反而可能转化为转型过程的结构障碍。这正是“资源诅咒”在能源转型领域的具体体现。博茨瓦纳和安哥拉，

这两个同样拥有丰富自然资源的非洲国家，因其不同的治理模式和政策路径，形成了迥异的能源转型轨迹。

博茨瓦纳：审慎管理下的平稳转型

博茨瓦纳尽管拥有丰富的化石能源资源禀赋，但其成功地管理了对资源的经济依赖，从而缓解了能源三难困境的内部权衡。其核心战略是将一次性的资源财富转化为可持续的国家发展能力和多元化的经济基础。通过设立“普拉基金”（Pula Fund）等专业化主权财富基金，国家将短期资源收入转化为长期战略性资本，有效避免了经济对资源部门的过度依赖。

在能源结构上，虽然博茨瓦纳长期依赖煤炭和柴油发电，但近年来已表现出向多元化和可再生能源发展的明确战略转向。截至 2022 年，该国的化石燃料发电占比已从 2015 年的近 100% 降至 66.7%，同时全国电力普及率超过 70%。这对化石能源资源的低依赖发展模式使其能源转型路径表现出更高的灵活性和稳定性。当前，博茨瓦纳正利用其稳健的财政状况和良好的制度信誉，系统规划向可再生能源的转型，其能源系统的三维度权衡呈现温和且循序渐进的特征，为资源丰富国家提供了可借鉴的治理典范。

安哥拉：高依赖与治理不善下的高碳锁定

与博茨瓦纳形成鲜明对比的是，拥有丰富石油资源的安哥拉，因极高的经济依赖度和相对薄弱的治理能力，陷入了典型的高碳锁定发展路径，极大加剧了其能源不可能三角问题的内部权衡压力。尽管拥有可观的石油收入，但治理效能的不足导致其国家经济被石油产业高度绑定。

据世界银行数据显示，政府财政收入的 65% 和出口的 95% 均来自石油部门，而全国电力普及率仅为 49%，城乡差距尤为悬殊。在这种结构下，推动

绿色转型对安哥拉而言意味着削弱其财政和外汇收入的根基，构成整个国家经济体系难以短期承受的系统性风险。同时，由于石油财富未能有效投资于国内电网等基础设施，可持续性与公平性的权衡也变得异常困难。在缺乏可靠电网基础的情况下，推广间歇性的可再生能源无法有效解决广大农村人口的用电问题。这使安哥拉陷入一个典型的资源依赖恶性循环：对石油的依赖阻碍了对国内能源基础设施的投资，而基础设施的落后又使得摆脱石油依赖、转向可再生能源的转型之路充满障碍。

博茨瓦纳与安哥拉的对比案例清晰地证明，资源禀赋为国家提供了缓解能源转型权衡的潜力，但高依赖度则会将这种潜力转化为诅咒。成功转型的关键在于国家能否通过有效的资源治理，将资源收入转化为经济多元化和制度能力建设，从而摆脱对单一资源的依赖，从而逐步降低对单一资源的依赖程度，为能源系统的平衡协调发展创造必要条件。

第三章 能源不可能三角视域下的全球南方 四大合作区域透视

第一节 撒哈拉以南非洲

1. 能源不可能三角的总体趋势

在撒哈拉以南非洲，能源不可能三角呈现出明显的阶段性特征。在能源安全性方面，2014 年以前，随着部分非洲国家在电力基础设施投资增加，安全性有所改善。而 2014 年后，安全性存在波动恶化趋势。原因主要有两方面：一方面，2014 年前后南部非洲进入严重干旱的周期，尤其受 2015-2016 年的厄尔尼诺极端气候事件影响，赞比亚等高度依赖水电的国家电力系统频繁受损，水电发电量明显下降，导致电网供给不稳定。全球水电年容量系数已从 1990-2016 年的平均 38% 降至 2020-2022 年的平均 36%，这意味着全球水电每年少输出约 240 太瓦时的电能，使得一些国家的电力供应面临巨大挑战⁶：受干旱天气影响，赞比亚大部分水电站的发电量大幅下降，电力供应短缺现象时常发生。另一方面，2014 年起南非国家电力公司 Eskom 因设备老化、投资不足与治理难题三重困境叠加，用电缺口急剧扩大，全国频繁实施负荷削减（rolling blackout），并通过区域电力互联网络（SAPP）波及周边国家，导致该区域的能源安全性下降明显。总体而言，本区域安全性高度依赖单一电源和进口燃料，缺乏多元的结构韧性。

在能源公平性方面，撒哈拉以南非洲虽然近年来有所改善，但基本情况仍不容乐观。根据世界银行数据，2022 年该区域仍有 5.88 亿人无法获得电力，占全球无电人口的 85%，农村地区无电比例高达 69%。尽管全球无电人口比例从 2015 年的 13% 降至 2022 年的 9%，但该地区电力接入进展缓慢，成为制约经济

⁶ 积极应对极端高温天气对电力系统的影响，《中国电力报》，2024 年 9 月 10 日。

https://www.cpn.com.cn/news/baogao2023/202409/t20240910_1735329_wap.html

发展和减贫的关键障碍。过去十年，由于分布式光伏和小型可再生能源项目的推广，部分国家在城乡电气化水平上实现了显著提升。例如，肯尼亚、卢旺达通过离网与微网相结合的模式，快速降低农村人口无电率。肯尼亚于 2018 年提出国家电气化战略，将离网发电、微电网和独立太阳能系统作为重点，旨在 2022 年实现全民用电；卢旺达发布《能源行业战略计划（2018-2024）》，到 2024 年通过 52% 电网、48% 离网实现 100% 电力普及。此类项目成本低、扩展性强，避免了建设大型集中式电站和长输电线路的高额投资和长周期，为改善能源公平性提供了新路径。

在环境可持续性方面，撒哈拉以南非洲并未发生明显变化。原因在于，尽管水电在该区域能源结构中占比较高，看似绿色低碳，实则极易受到气候冲击，且缺乏进一步扩张的空间。由于该地区的气候类型以热带草原气候和热带雨林气候为主，降水季节波动大，导致水电发电量具有间歇性。同时，传统生物质依然是农村的主要能源，导致空气污染，产生一定的健康风险。据世界卫生组织（WHO）估计，室内空气污染每年导致该地区约 68 万人过早死亡。因此，该区域能源结构未发生实质性转型。

2. 区域特征

尽管近年来能源不可能三角的总体得分有所改善，但总分仍然较低。撒哈拉以南非洲整体电力普及率仍远低于全球平均水平。部分国家人均用电量不足全球平均的十分之一，农村地区电气化尤为落后。截至 2024 年 6 月，全球平均气温已连续 12 个月比工业化前（1850-1900 年）高 1.5℃，达到了 16.66℃，创下同期最高气温纪录，使得用电负荷屡创新高。

安全性受限于单一电源结构和政治冲突。多数国家高度依赖水电等单一能源，一旦遇到极端气候或地缘政治冲突，能源系统即遭重创。尼日利亚、苏丹等国长期受到政治不稳定和武装冲突影响，能源投资环境充满不确定性，降低投资者的投资意愿。

外部融资依赖度高，可持续性转型慢。能源基础设施建设高度依赖外部融资和国际援助，外资退出或国际金融条件收紧，会直接导致项目停滞。再加上部分国家债务风险上升，绿色转型推进更为缓慢。

3. 代表性国家及合作建议

在撒哈拉以南非洲，首要任务是解决能源公平与基本安全。而各国的能源不可能三角问题在各国的实践中存在明显差异。

作为典型的资源依赖型国家，安哥拉石油出口占政府财政收入的 70% 以上，但电力普及率长期不足 40%。其核心任务在于扩大电气化覆盖率，尤其是农村电气化。中国企业可在“石油换基建”模式基础上，引入电气化与分布式新能源组合投资，帮助其打破资源诅咒的悖论。

作为非洲最大产油国，尼日利亚长期遭遇“资源诅咒”。能源供给体系虽有庞大油气资源支撑，却因腐败和投资不足而效率低下，电力短缺严重。对尼日利亚而言，重点在于改善治理、推进电力市场化，并通过大型电力项目与区域电网建设缓解供电不足。中国企业可以在燃气电站改造和跨境电网投资中发挥作用。

津巴布韦高度依赖卡里巴大坝水电，但长期干旱使得水电产量严重下滑，同时燃煤电厂设备老化，发电能力不足。近年来分布式光伏虽有所发展，但规模有限。合作重点应在于修复和扩建水电设施，叠加分布式光伏与储能项目，以缓解气候风险下的安全性波动。

博茨瓦纳尽管面临人口规模、经济总量和本土的电力需求的困境，但其具备能源政策清晰，政府沟通效率高，审批节奏可控的优势。比如在由中国港湾与中水对外组成的联合体中标的 Jwaneng 100 兆瓦光伏电站项目中，中国港湾、中水对外和博茨瓦纳属地合作方按照 50%、30%和 15%联合成立项目公司，采用特许经营模式：即企业负责融资、建设与运营，政府承诺签订长期购电协议（PPA），运营期为 25 年，期满后无偿移交政府。这类安排减轻了政府财政压力，同时也为企业提供了清晰的回报路径。此外，当地政府实施严格的水资源管理计划，兴建新的水利设施，推广抗旱作物和节水灌溉技术，并通过公共宣传和教育提高公众的节约用水和环境保护意识。同时，政府也为干旱严重地区民众提供了应急饮用水和食品援助。⁷

专栏 7 安哥拉：如何破解资源诅咒？

· 能源不可能三角的总体趋势

在安全性方面，整体上呈现大幅波动，内战结束后虽有阶段性改善，但受国际油价周期影响明显。油价下跌导致政府财政受挤压，电网修复和新建投资停滞，导致安全性再度下降。

在公平性方面，呈现波动上升趋势。部分大城市在石油繁荣时期实现了电力接入率的提升，但农村居民依然依赖柴薪与煤油照明，全国仍有超过 40% 人口无法稳定用电，城乡差距显著。

在可持续性方面，呈现先下降、后上升的趋势。2004-2014 年石油繁荣期，政府几乎完全依赖化石燃料财政，能源结构单一，可持续性下降。近年在债务

⁷ 南部非洲国家努力应对严重干旱，《人民日报》，2024 年 11 月 4 日。
https://m.haiwainet.cn/middle/3542013/2024/1104/content_32808408_1.htm

压力与国际机构推动下，逐步引入光伏、水电和小规模可再生能源项目，可持续性有所改善，但进展缓慢。

· 发展现状

安哥拉是撒哈拉以南非洲最典型的资源型国家。石油出口长期占到财政收入的 70%以上，带来巨额外汇收入，却未能有效转化为较高的电气化水平。全国仍有约 40%人口无电可用，这一问题在农村地区尤甚。

2002 年安哥拉经历了内战结束后的修复期，政府在国际援助和中国贷款的支持下，开始修复电网和部分发电设施。但石油产能尚未完全恢复，加之财政能力有限，电力基础设施恢复能力较差，能源安全性不足。此外，在安哥拉城乡鸿沟显著，公平性极低。2004-2014 年该国经历了石油繁荣期，高油价带来财政盈余，政府投入大量资金修建公路、港口和部分电站，电力普及率有所提高。然而，这一时期并未从根本上改善能源不可能三角问题。过度依赖石油财政，电网覆盖以大城市为主，农村电气化滞后，能源结构单一，可持续性并未增强..... 2008 与 2014 年经历的两次油价暴跌，导致安哥拉财政收入锐减，电力投资被迫暂缓，安全性显著下降。2020 年国际油价震荡叠加新冠疫情冲击，政府财政受限，几乎无法继续进行大规模电气化投资，能源系统稳定性下降。尽管光伏等新兴能源开始进入市场，但规模有限。

资源本身并非决定性变量，治理能力才是能源不可能三角格局改善的关键。安哥拉在石油繁荣中未能打破“资源富足、电力贫困”的悖论，反而在油价下跌时表现出更大的脆弱性。

· 合作机会

中国是安哥拉最重要的投资伙伴之一。自 2004 年以来，中安合作的“石油换贷款”模式为安哥拉战后重建提供了关键资金支持，推动了公路、电网和部分电站建设。但总体而言，能源基础设施建设仍存在明显短板：

第一，电网覆盖不足，城乡差距巨大，大量农村居民仍处于无电状态。第二，能源结构单一，长期依赖石油与水电，缺乏多元化与抗风险能力。第三，投融资渠道有限，在 IMF 援助和债务重组压力下，政府自身投资能力有限，迫切需要吸引多元资本。

因此，未来的合作方向包括：第一，推动能源多元化，在水电的基础上，可适当布局分布式光伏、小水电和微网系统，提升农村电气化水平，缓解对单一能源的依赖。第二，完善投融资市场，通过中国企业、开发性金融机构与国际多边机构联合融资，降低单一债务依赖，为中小型可再生能源项目提供可持续资金来源。第三，能力建设与治理合作，帮助安哥拉提升电力系统的运营管理与治理能力，从“建电站”转向“建设营运一体化”，避免因维护不足而导致的设施闲置。第四，战略协同，结合安哥拉加入非洲大陆自由贸易区（AfCFTA）的契机，推动跨境电力互联，强化区域能源市场，帮助其将能源出口多元化，不仅局限于石油。

安哥拉的现实表明，石油繁荣本身无法自动改善能源不可能三角问题。若缺乏有效治理和长期规划，资源反而可能放大波动性与脆弱性。对中国而言，未来合作的关键在于推动安哥拉走向多元化能源、制度化治理、多元化融资的新路径，以实现安全、公平与可持续的均衡发展。

专栏 8 津巴布韦：外部援助如何重塑能源不可能三角格局？

· 能源不可能三角的总体趋势

津巴布韦的能源不可能三角表现出一定的波动性。安全性波动极大，长期以来高度依赖卡里巴大坝的水电供应，但近年频繁的干旱严重降低了水电发电量，加之燃煤电厂设备老化、发电能力不足，供电稳定性时常面临挑战。公平性相对有所改善，一方面政府在城市电气化方面投入加大，另一方面分布式能源逐步推进，使得部分农村和偏远地区的用电条件有所改善，但整体电力供应不足的矛盾依旧存在。可持续性呈现一定改善，主要体现在近年来光伏等可再生能源的引入，但由于基础设施落后、资本进入困难，改善幅度有限，能源转型依然任重道远。

· 发展现状

津巴布韦面临严重电力短缺，总装机容量约 3371 兆瓦，实际运行仅 1430 兆瓦，而需求达 1850 兆瓦，存在约 500 兆瓦的缺口⁸。受设备老化与季节性水量不足影响，实际发电能力大幅下降。目前每年进口约 300 兆瓦电力，但受外汇限制难以稳定保障。政府积极推动可再生能源发展，于 2020 年出台《国家可再生能源政策》和《生物燃料政策》，鼓励私人资本投资电力项目。津巴布韦年日照超 3000 小时，光伏发电潜力约 109 吉瓦，但目前开发程度较低。中国电建已参与多个重点项目，包括卡里巴南岸水电站扩容（新增 300 兆瓦）、

⁸ 津巴布韦电力交通基础设施情况和投资机会，中华人民共和国商务部驻津巴布韦共和国大使馆经济商务处，2024 年 10 月 1 日。

https://zimbabwe.mofcom.gov.cn/scdy/art/2024/art_578de092de4d47e99890b97fd201def9.html

旺吉电站扩能（新增 600 兆瓦）以及总容量 180 兆瓦的光伏项目。2024 年建成国内最大跟踪式光伏电站（25 兆瓦），有效缓解局部用电压力。

然而，其发展模式依赖于大量外部融资和援助，能源体系改善路径始终受制于国际资本流入与贷款条件。这引发我们思考：外部援助究竟在多大程度上推动了其能源不可能三角格局改善？事实表明，如果没有外资的贷款与援助，津巴布韦缺乏自主修复大型能源设施的能力；但外部援助往往带有不确定性，依赖性过强也会形成新的风险。

· 合作机会

在未来合作中，津巴布韦的需要解决的首要任务是提升能源安全性和抗风险能力。具体而言，修复和升级现有水电设施，特别是提高卡里巴大坝在干旱环境下的运行韧性，是能源安全的关键。同时，应引入光伏与储能配套项目，形成“水光互补”的格局，以缓解季节性波动带来的供电压力。既能利用当地丰富的太阳能资源，又能帮助降低对单一水电的依赖。

中国可以在两个层面与津巴布韦进行合作：一是工程与技术合作，由中企承建光伏、储能及电网改造项目，提升电力系统的稳定性与可持续性；二是投融资合作，通过绿色金融工具和优惠贷款，支持津巴布韦在资金短缺下推进能源项目建设，形成“以建促融”的模式。

从津巴布韦的历史中我们可以发现，单一电源依赖会带来安全性的脆弱性。对于依赖水电的国家干旱时期往往爆发大规模停电；对于依赖天然气进口的国家，如巴基斯坦和孟加拉国，国际能源价格波动则会带来同样的不稳定性。由此可见，资源禀赋并非天然的安全保障，如果缺乏能源结构的多样化，反而会成为新的风险源头。

这也为我国与欠发达国家地区进行能源合作提供新的启发。在能源不可能三角问题严重国家的能源转型中，内部市场机制不足以支撑持续性投资，外部援助在关键时刻往往成为突破口。卡里巴南岸扩容与分布式光伏项目的推进，正是依赖外资贷款与国际援助才得以落地。因此，在与欠发达国家的合作中，应当通过外援资金、绿色金融与市场机制结合，既帮助其解决眼前问题，又逐步引导其建立可持续的能源体系。

第二节 西亚北非

1. 能源不可能三角的总体趋势

西亚北非地区的能源不可能三角存在明显的结构性特征。在能源安全性方面，西亚北非地区的得分近年来有所下降。该地区能源系统高度依赖化石能源出口，总量上具有资源禀赋优势，但在结构上极其单一，缺乏多元化的能源结构和稳定的本地供应网络。一旦遭遇地缘冲突、国际制裁或油价剧烈波动，能源安全性会迅速恶化。例如伊拉克、利比亚在战争期间电力供应崩溃，沙特在也门冲突中关键设施遭袭后短期内产能锐减。这种过度依赖总量优势而忽视结构稳定的发展方式不可持续。由此可见，为确保能源安全性，总量与结构均必不可少。

在能源公平性方面，与全球其他地区相比，西亚北非地区表现较好，且呈改善趋势。多数中东产油国通过石油财政向居民提供大量补贴，使电力、汽油和天然气等价格保持在较低水平，从而保障了居民基本能源获取。但这种“公平”模式高度依赖石油财政，一旦国际油价下跌，财政支出难以维系。例如 2014 年与 2020 年两次油价暴跌均迫使产油国削减补贴，公平性受到挑战。

在能源可持续性方面，西亚北非地区处于全球低位。由于该地区形成了石油与天然气驱动的发展路径锁定，新能源发展进展缓慢，清洁能源在一次能源结构中的占比极低。尽管近年来部分国家开始推动氢能和可再生能源投资，但与其庞大的化石燃料产业相比仍不成比例，脱碳转型难度极大。

2. 区域特征

西亚北非地区的能源不可能三角问题存在两难冲突。一方面，该地区作为世界石油和天然气供应链的核心，由于政治动荡造成的供应中断会对全球能源市场产生直接冲击，因此安全性不仅是本地区的内部问题，也是全球能源治理的外部性的一种体现。另一方面，该地区内部的能源结构高度单一，化石能源路径依赖严重，清洁转型面临一系列困难，使其在全球气候治理和能源转型中成为短板。这导致一种两难冲突：既要维持出口主导的财政体系与社会稳定，又必须逐步迈向低碳转型。

3. 代表性国家

依托庞大的石油收入，沙特不仅保障了居民低成本用能，还在逐步推动实现“愿景 2030”战略，通过建设现代化都市和发展全球化工巨头实现产业多元化。近年来，沙特积极在氢能、光伏和风电等领域布局，力图在化石能源与新能源之间找到平衡。

而对于伊朗，同样依赖石油出口，但由于长期受到制裁与地缘冲突影响，石油财富更多被投入到区域战略与意识形态输出，而非国内产业与民生改善。这使得伊朗在能源不可能三角的三个维度出现严重失衡：安全性受到制裁制约，公平性因财政困难而波动，可持续性几乎停滞不前。

通过对沙特阿拉伯和伊朗的对比分析，我们不难发现，即使资源禀赋相近，能源不可能三角的演化轨迹仍高度依赖于国家治理逻辑与政策取向。

4. 存在问题及合作建议

当前，西亚北非地区的核心问题在于可持续性，因此如何减少对化石能源的依赖、推动能源结构多元化发展成为合作重点。中东国家财政能力雄厚、投资潜力巨大，但路径依赖严重，需要外部力量从技术、制度与资本三个维度进行引导。具体地：

在技术路径方面，通过技术迭代升级，推动新能源技术的本地化应用，帮助产油国在光伏、风能、氢能领域寻找突破口。比如，中国企业在沙特阿拉伯通过大规模制氢和绿色氨项目探索未来出口新模式。结合智能电网、储能和灵活调度技术，提升可再生能源在电力系统中的消纳能力。

在制度路径方面，中国在资源枯竭型城市的转型中积累了丰富经验，可为中东国家提供借鉴。例如辽宁省阜新市自新中国成立以来，累计生产煤炭 8 亿多吨、发电 3000 多亿千瓦时。在煤炭资源枯竭后，通过财政转移支付和专项基金支持，大力发展风电装备制造业、新能源、绿色食品、精细化工等四个优势产业，形成新的产业支柱。在中东国家，同样可以借鉴“阜新模式”、“阜新样板”，实现财政再分配与能源结构调整的结合。

在资本路径方面，中国可通过绿色丝路基金、政策性银行贷款以及多边合作机制，为中东清洁能源项目提供长期融资支持。比如未来可推动以人民币计价的绿色债券发行，既有助于降低融资成本，也可推动人民币国际化进程。

因此，技术、制度与资本三位一体的合作路径，中国不仅可以帮助中东国家走出化石依赖，也能在全球低碳转型中赢得更大话语权。

第三节 南部亚洲

1. 能源不可能三角的总体趋势

南亚地区的能源不可能三角呈现明显的结构性问题。在能源安全性方面，近年来波动显著加大。印度、巴基斯坦等国能源需求高速增长，但供给侧受制于单一能源依赖和国际市场波动，导致电力缺口频繁出现。

在能源公平性方面，有较大改善，尤其是印度在近十年内基本实现了城乡电气化，孟加拉国也通过低成本电气化模式使电力普及率快速上升。

在能源可持续性方面，自 2010 年后略有下降，一方面由于对燃煤、液化天然气进口的高度依赖，另一方面气候脆弱性叠加极端天气事件频发，使得清洁能源发展空间受限。

2. 区域特征

南亚作为全球人口最为密集的地区之一，能源需求总量庞大且持续增长，但供需缺口明显。本土能源供给能力的严重不足，导致结构性供需缺口长期存在，使得能源安全、公平与可持续性之间的权衡尤为突出。具体而言：

第一，印度电力体系高度依赖煤炭，近年来逐渐增加进口以满足快速增长的用电需求，已成为全球第二大煤炭进口国，2024-2025 财年煤炭进口量高达 2.4077 亿吨。巴基斯坦则因外汇储备有限却严重依赖液化天然气进口，能源安全极度脆弱。巴基斯坦约三分之一的天然气需求依赖进口，而外汇储备的短缺使其难以稳定支付进口能源账单，多次因无力采购而导致全国性天然气供应中断和限电。

第二，极端高温、季风洪水和干旱频发，既加剧能源基础设施风险，也增加电力需求波动。2022 年巴基斯坦洪水直接冲击电网，全国的电力需求约为 2.6 万兆瓦，而仅能提供 1.95 万兆瓦电力，导致全国范围停电，就是典型案例。

第三，南亚多国优先保障电力获取和价格稳定，但可持续性投入不足，长期转型压力不断积累。尽管印度设定了 2070 年实现净零排放的目标，并大力推动可再生能源发展，但其新增可再生能源装机仍难以完全满足快速增长的电力需求，对煤炭的依赖在中期或短期内难以根本改变。

3. 代表性国家

印度城乡电气化成就显著，但庞大人口与经济增长推动碳排放持续攀升。印度能源结构仍以煤炭为主，减排压力巨大。

巴基斯坦外汇储备有限，液化天然气进口占比过高，使其在国际气价波动中频繁陷入能源安全危机。

孟加拉国通过燃煤和低成本电力快速实现电气化，但形成对化石能源的高度依赖，未来转型难度较大。

4. 存在问题及合作建议

南亚能源不可能三角的核心问题在于：如何在保障快速增长的能源需求的同时，避免过度依赖化石能源与海外市场。为实现这一目标，跨境电力合作成为潜在突破口。

中国、尼泊尔与印度可在水电开发和跨境输电上形成合作模式。比如，中国在西藏雅鲁藏布江流域拥有丰富的水能资源，尼泊尔同样具有较大水电潜力。如果通过区域合作，将电力输送至印度北部缺电地区，不仅能够消化中国国内过剩

产能，还能缓解印度用电短缺和减排压力。印度获得稳定的低成本电力，促进农村与边远地区用电普及，以水电替代煤电，兼顾能源安全性、公平性、可持续性。此外，我国企业可承建水电站和跨境输电线路，形成区域电力市场，通过构建多边电力交易平台实现能源的区域共享。

第四节 拉丁美洲

1. 能源不可能三角的总体趋势

在拉美地区，能源不可能三角问题在不同维度上存在不同特征。在能源安全性方面，在 2013 年前总体改善，但随后出现恶化趋势。比如委内瑞拉因长期依赖石油出口，政权波动和国际制裁导致其能源体系持续动荡；洪都拉斯等小国高度依赖进口燃料，受国际油气市场冲击影响极大，安全性脆弱。

在能源公平性方面逐步改善，多国持续推进城乡电气化，使得居民能源获取改善，但整体逻辑仍是“发展公平优先于低碳”，清洁转型滞后。

在能源可持续性方面长期停滞，多数国家能源结构以水电为主，虽然看似是清洁能源，但水电扩张潜力有限，且面临一定的气候风险，新增可再生能源增长乏力，导致技术结构逐渐滞后。

2. 区域特征

第一，人口密集、需求增长快。城市化进程加快，用电需求持续增长，对电力系统安全性提出更高要求。

第二，部分国家依赖进口燃料，一旦国际市场波动或出现外部制裁，能源安全性迅速下降。比如委内瑞拉的石油危机、加勒比国家对成品油进口的依赖都是典型例证。

第三，财政与政策制约可持续性。虽然不少国家承诺发展新能源，但财政压力和政治动荡限制了投资规模和政策执行力，导致转型推进缓慢。比如智利虽然制定了雄心勃勃的碳中和目标，但其能源转型进程受输电瓶颈制约，北部阿塔卡马沙漠丰富的太阳能电力难以高效输送到中部负荷中心。

3. 代表性国家及合作建议

专栏 9 墨西哥：能源改革是否改善能源不可能三角的长期 权衡？

· 能源不可能三角的总体趋势

在墨西哥，能源不可能三角问题呈现出明显的阶段性特征。安全性在 2000-2018 年间基本保持平稳，但在 2018-2022 年因疫情与国际油市波动而出现下行趋势。公平性在这一时期几乎没有改善，城乡电气化的推进停滞，区域差距仍然存在。可持续性则呈现先下降、后上升的趋势。改革初期，清洁能源投资因制度不稳定和国有企业垄断而受阻，2013 年改革虽带来一定改善，但政策反复加剧了不确定性。

· 发展现状

2013 年，墨西哥革命制度党总统上台，启动了大刀阔斧的能源市场化改革，主要措施包括修改宪法、政企分开、机构调整到市场开放、矿权招标等，

旨在打破垄断、开放引资、提高石油产量、振兴国民经济。那么，墨西哥 2013-2014 年的能源改革是否真正促进了能源不可能三角问题的改善？

我们回顾一下墨西哥能源问题的历史与现状。2008 年全球经济金融危机导致油价冲击，国有石油公司 PEMEX 计划在 2008-2010 年投入 120 亿美元开发 Chicontepec 页岩带，然而实际执行率仅 38%，不仅反映出投资效率低下，也反应了治理能力不足的难题。2013 年改革的核心举措是将超额油价收入优先用于基础设施和长期储蓄，从而在财政层面为能源安全提供缓冲。从理论上讲，这一机制能够平滑国际油价周期带来的波动。但由于未触及市场结构与治理问题，国有企业依然掌握核心权力，市场竞争机制不足，导致改革成效有限。此外，2020 年疫情影响导致的油价下跌成为另一轮冲击的触发点。能源部暂停清洁能源证书拍卖，随后修订的《电力产业法》更是削弱了市场竞争，取消了联邦电力委员会（CFE）的购电竞争义务，并限制了可再生能源并网优先权。这些措施使可持续性明显下降。然而，墨西哥同时又在 2020 年启动了排放交易系统（ETS）试点，并在同年 11 月更新了国家自主贡献（NDC），同时推动光伏储能项目和吸引国际资本流入。这种政策上的摇摆凸显了墨西哥能源治理的复杂性，即财政驱动与市场驱动之间的反复切换，使得能源不可能三角的长期权衡难以真正改善。

由此可见，如果改革仅仅停留在财政层面，通过红利分配来维持短期稳定，而不触及市场结构与治理效率，那么能源不可能三角的长期困境难以突破。

· 合作机会

未来合作中，中国企业在墨西哥可重点关注光伏与储能的中长期发展，利用绿色金融工具和国际资本的合作来抵御政策波动风险，避免因市场不透明和制度不稳定而陷入困境。

专栏 10 巴西：市场驱动的能源改革路径

· 能源不可能三角的总体趋势

与墨西哥相比，巴西的能源改革路径更具市场驱动特征，长期效果更为显著。巴西的安全性在 2000 年之后总体呈改善趋势，但 2008 年国际油价波动带来小幅下滑。公平性始终保持相对较好，并持续改善，城乡电气化成就突出。可持续性则在 2008 年前后出现拐点，由于过度依赖水电和石油开发，其低碳优势逐渐被削弱。

· 发展现状

2001 年，巴西发生了一场停电危机，也是该国能源政策的转折点。针对这一危机，巴西如何应对，成效如何？连年的干旱导致水电发电量不足，全国范围实施电力配给，体现出对水电依赖过高的风险，也凸显了能源结构缺乏多样化的弊端。危机过后，巴西政府在 2004 年启动“替代能源激励计划”，通过差价合约（PPA）与拍卖机制推动新增水电和风电装机，大幅提升了能源安全性，同时逐步引入市场机制，增强了政策透明度与国外资本的吸引力。

2016 年的《盐下层法案》成为巴西能源格局的重要分水岭。该法案打破了巴西国家石油公司 Petrobras 对深海盐下油田的垄断，使私人和外资能够进入开发。这一政策显著提高了石油自给率，巴西由石油净进口国转为净出口国，

能源安全性得到进一步增强。然而，石油开发的繁荣也使得可持续性下降，碳排放压力上升。

在新能源领域，巴西在 2020-2022 年展现了另一种市场化路径。以 Lei 14.182/2021 为法律框架，巴西连续举行了五轮集中式光伏与储能拍卖，累计签约风光装机 18GW，吸引了大批国内外资本进入。这一机制的成功在于，通过长期、透明的购电合同，确保了资本的回报预期，真正形成了市场化的长期激励，能够吸引资本流入。

从巴西经验可以看出，市场驱动的改革路径能够通过透明的制度设计与长期契约机制，形成跨周期的稳定激励，吸引长期资本进入，从而推动能源不可能三角的逐步优化。与墨西哥依赖财政机制的短期缓冲不同，巴西的市场化改革使其在能源安全、可持续性和公平性之间实现了更持久的平衡。

通过对墨西哥和巴西的对比分析，我们发现，财政驱动的改革往往只能在短期改善部分指标，但难以形成跨周期的约束与激励，容易被油价、疫情等突发外部因素冲击；反之，市场驱动的改革，则通过制度透明度和长期契约稳定性，为外部资本与本土创新提供持续动力，更有可能带来三角的逐步优化。因此，能源转型的过程中，不能仅靠财政红利分配，而应优先建立透明、稳定的市场规则。

· 合作机会

未来合作可以围绕水光互补的储能模式展开，将其传统水电优势与光伏、风电结合，进一步提高系统灵活性和抗风险能力。同时，借鉴巴西拍卖制度的经验，也有助于中国企业更好地参与当地市场，规避政策不确定性，形成中长期稳定回报。

第四章 应对不可能三角挑战的全球治理与 中国企业行动建议

全球南方能源不可能三角问题的存在，既带来了挑战，也意味着新的机遇。本章在全球治理、宏观环境与政策、能源企业行动三个层面开展进一步分析，为全球能源与气候治理提供中国方案，为中国能源行业出海、抓住全球能源转型期的重要机遇提供行动参考。

第一节 全球治理建议

全球南方国家的能源转型不仅是其内部事务，更是一个全球性议题。当前的国际规则与合作范式，未能充分正视各国发展阶段的巨大差异以及南方国家所面临的特殊结构性挑战。为了突破这一困局，实现《巴黎协定》与联合国可持续发展目标的双重愿景，国际社会必须进行深刻的范式革新。本节将从重塑规则、强化合作、改革融资三个层面，提出一套旨在构建更公平、更务实的全球能源转型新秩序的系统性解决方案。

1. 引领国际低碳规则制定：最不发达国家碳配额方案

当前气候治理的核心症结在于，其责任分摊机制未能有效量化和操作“共同但有区别的责任”原则，从而忽视了南方国家，特别是最不发达国家最基本的发展权。为了纠正这一根本性的不公，本研究提出一个创新的、可行的解决方案——构建一个基于“发展需求权重”的全球增量排放权分配方案，即“最不发达国家碳配额”。该方案的核心思想是，在规划全球增量碳预算时，为那些远未达到经济发展“拐点”（第二章第一节所述的约 1254 美元人均 GDP 处）的最不发达国家，预留出实现工业化和能源普及所必需的碳排放空间。

这种“发展需求加权法”的优越性在于，它超越了简单粗糙的人均分配逻辑，将经济发展差距这一核心变量内嵌于分配机制中。本研究提出的加权公式，通过将一个国家经济欠发达程度（即人均 GDP 与“拐点”的差距）及其人口规模这两个核心变量相结合，精准地将碳排放空间优先导向那些正面临最严峻发展挑战的经济体。为了直观展示其效果，本研究模拟了 100 单位碳预算的分配结果（图 4-1）。结果显示，采用发展需求加权分配法，刚果民主共和国、埃塞俄比亚和阿富汗等国将分别获得 20.02%、11.00%和 10.58%的份额，这远高于在基于人口权重下它们所能获得的配额。这一显著差异精准地体现了方案的核心意图：将有限的碳排放空间，优先分配给那些处于发展初期、最需要能源来改善民生的国家群体。

该方法不仅为“共同但有区别的责任”原则提供了一条可量化的实现路径，也为未来的气候谈判注入了公平性和务实精神。这不仅是对南方国家发展权利的承认，更是确保全球减排进程不会以牺牲人类福祉为代价，从而为实现真正的气候正义与包容性转型提供一条清晰、可操作的路径。

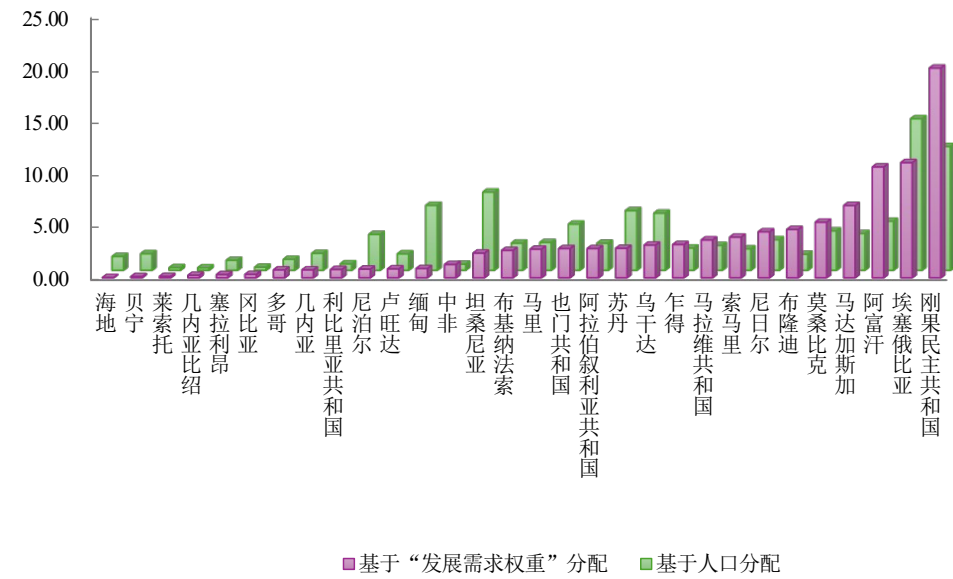


图 4- 1 碳配额方案

2. 铸造绿色发展伙伴关系：南南合作的行动共同体

在呼吁改革全球规则的同时，赋能全球南方国家、促进其内部协同合作，是激发内生转型动力的关键战略。我们倡导构建一个多层次、多领域的南南合作行动共同体。

创建南方能力建设中心。针对南方国家普遍面临的技术鸿沟和人才短板，应联合建立区域性或全球性的能力建设中心。该中心的核心任务并非简单地引进昂贵技术，而是聚焦于联合开发、优化和推广那些低成本、易维护、可复制且最适应南方国家本土条件的适用技术。例如，针对农村电气化的微电网解决方案、适应热带气候的光伏组件运维技术、以及数字化的能源管理平台等。这旨在从根本上解决“水土不服”的问题，构建属于南方国家自己的技术生态。

共建跨国能源基础设施与“绿色走廊”。许多南方国家的能源转型受限于本国市场狭小和电网脆弱。必须将合作视野从孤立的国内项目，提升到区域一体化的战略高度。通过共建跨国、跨区域的特高压电网，可以实现区域内各国清洁能源的优势互补，形成更具韧性和经济性的区域能源安全保障网络。更进一步，可以共同规划建设集清洁能源输送、交通、通讯和贸易于一体的绿色经济走廊，以清洁能源驱动整个区域的互联互通和一体化发展。

设立南南气候合作专项基金。为了给上述合作提供持续、灵活的资金支持，本研究倡议设立一个由南方国家主导、管理和贡献的南南气候合作专项基金。该基金的优势在于决策链条更短、更贴近实际需求、更能体现南方国家的自主意愿。它将优先资助那些具有高示范效应和区域带动性的合作项目，并扮演催化剂的角色，吸引更多的多边开发银行和私人资本参与，最终形成一个由南方国家自主驱动的、充满活力的可持续合作生态。

3. 重塑全球气候融资：从项目驱动到系统转型

当前全球气候融资体系存在一个根本性的错配：它仍在以项目驱动的零售模式，试图应对一个本质上需要系统转型的批发性挑战。这种以资助单个清洁能源项目（如一个光伏电站或风电场）为中心的模式，虽然在局部能产生积极效应，但对于推动一个国家整体能源系统的根本性变革效果极为有限。

我们建议，全球气候融资体系须进行一场深刻的范式革命，即从“项目驱动”转向“系统转型”支持。这意味着国际融资的评估标准和支持方式必须彻底变革，其核心是从评估孤立项目的发电量和减排量，转向为寻求转型的南方国家提供一套旨在促进其国家整体能源系统健康、均衡发展的、一揽子的、低门槛的系统性金融解决方案。

一个真正有效的系统转型金融解决方案包，必须是整体性的，它将不再仅仅投资于可再生能源的装机容量，而是会同步、协同地支持保障系统安全的电网现代化改造、促进社会公平的公正转型机制、以及构建高效能治理的制度环境。只有通过这种同时兼顾能源可持续性、公平性与安全性，并将资金、技术与能力建设融为一体的综合性支持，才能真正帮助南方国家克服其在转型中面临的结构性障碍，走上一条真正可持续的现代化之路。

第二节 中国能源企业出海的宏观环境与相关政策建议

1. 中国在全球能源市场中的定位

(1) 双碳目标的牵引

我国高度重视碳排放所带来的环境气候问题，在党的二十大报告中明确提出了“积极稳妥推进碳达峰碳中和”的“双碳”目标，并分别从加强资源节约和环境保护、推动绿色低碳生产生活方式以及加快减少绿色低碳循环发展经济体系等方面制定了应对措施。

在“双碳目标”的引导下，中国已成为全球最大的可再生能源产能基地。近年来，光伏、风电、储能等产业快速扩张，技术成本持续下降，使得中国具备了庞大的产能和完整的产业链优势。然而，这一快速发展也带来了明显的产能过剩与消纳压力。国内电力市场难以完全消化新增产能，亟需通过出海寻找新的增长点。将国内绿色产能国际化，一方面是解决国内市场矛盾的重要方式，另一方面也是中国在全球能源转型中承担“共同但有区别责任”的体现。

(2) 近年来我国能源领域的国际战略

我国的能源安全长期受到对外依存度高的制约，石油和天然气进口量逐年走高，供应来源高度集中，给国家能源安全带来潜在风险。在此背景下，能源出海投资可充分利用海外资源，提升供应多元化水平，降低对单一进口通道的依赖，构建更加稳健的国际能源合作格局。与此同时，能源出海不应只是一味进行资源开发，更应纳入 ESG（环境、社会与治理）理念框架：在环境（E）层面推动绿色产能国际化，将光伏、风电、储能等清洁能源项目落地；在社会（S）层面关注合作国的能源公平，积极推动电力普及、缓解能源贫困；在治理（G）层面促

进市场机制建设与能源规则确立，推动国际能源治理朝着更加包容、透明的方向演进。

2. 我国能源企业出海的环境与现状

(1) 当前的国际规则

在当前国际能源治理体系中，欧美发达国家掌握着能源转型的主要话语权，无论是碳排放权分配机制还是绿色投资标准，中国的声音仍相对有限。比如，欧盟碳排放交易体系从各国自定分配计划到统一规定总量，从以免费为主过渡到以拍卖为主，成为全球许多碳市场设计的模板，其碳价成为全球参考，并试图通过“碳边境调节机制”（CBAM）将其规则延伸至全球贸易。再比如，欧盟《可持续金融分类方案》是全球首个官方发布的全面绿色金融分类标准，建立了详细的技术筛查标准，成为全球绿色金融的基准，对在欧运营或融资的企业及金融机构产生深远影响。

这意味着在未来提升我国国际能源话语权至关重要，只有通过实际项目和制度创新，才能逐步构建起属于中国的规则优势。当前，我国在“一带一路”沿线、全球南方国家展现中国技术、中国智慧、中国标准。在项目引领方面，通过重大项目展示技术实力与综合解决方案能力，比如中国能建总承包建设埃及康翁波光伏电站，助力埃及“2030 愿景”绿色发展目标；在制度创新方面，我国逐渐参与或主导制定国际标准，包括建立“一带一路”能源合作伙伴关系、参与制定全球能源互联网发展合作组织（GEIDCO）发布的 7 项国际标准等；在技术输出方面，我国推动技术、标准与产业链整体输出，而非单一产品贸易，实现技术输出、管理输出、资本输出相结合，回应国际新型气候贸易规则。

未来，我国应当积极参与和主导标准制定，深入地参与国际标准化组织（ISO）、国际电工委员会（IEC）等框架下的活动，推动将中国成熟的技术标准转化为国际标准，为构建绿色话语体系提供中国智慧和方案。

（2）出海环境与成功经验

近年来，中国通过多边合作平台不断推动能源出海战略。中非合作论坛、中阿合作论坛、中拉合作论坛等均设立了能源合作专项，重点布局新能源、储能和电网建设。第一，中国已在中非合作论坛框架内实施上百个清洁能源和绿色发展项目，助力非洲的能源绿色转型。比如中国企业承建埃塞俄比亚图鲁莫耶一期地热电站项目，总装机容量 50 兆瓦，投用后将进一步优化埃塞俄比亚国电力供应格局；中国能建国际集团在南非理查兹湾燃气电站，项目规划容量 1600 兆瓦，配置 2 套 GE9HA.02 联合循环机组；中国能建葛洲坝国际公司承建津巴布韦奇武风电项目，项目包括 100 兆瓦风电项目的 EPC 工程以及外送输电线路。第二，中阿合作从传统油气贸易向全产业链合作升级。中国是阿拉伯国家重要的贸易合作伙伴，双边贸易额从 2004 年的 367 亿美元增加到 2023 年的 3980 亿美元，实现了近十倍的增长。比如沙特国际电力和水务公司与中国企业合作的沙特红海综合智慧能源项目，通过 400 兆瓦光伏与 1.3 吉瓦时储能技术结合，实现全球最大离网式清洁能源供应。中国化学工程集团有限公司依托阿曼丰富的风光资源，在当地建设高纯多晶硅产业园。第三，中拉文明对话论坛为中拉能源合作提供了新的契机。比如中国企业承建的佩尼亚斯科港光伏电站二期工程交付投产后，缓解了墨西哥的电力缺口，减少了对电力进口的依赖。该项目完全建成后将成为拉美最大的光伏项目，总装机容量达到 300 兆瓦，每日最高发电量达 204 万度，可满足约 20 万户家庭的用电需求。中国气象局与拉美国家共建的“气候风险预警

平台”已提前 48 小时预警 85% 的极端天气事件，并开发出“气候保险”产品，为能源项目提供风险对冲工具。

此外，政策性金融工具也为企业出海提供了有力支撑，如政策性银行和丝路基金设立的专项贷款，为绿色能源项目提供长期低成本资金。比如中国进出口银行为巴西玛瑞蒂 425 兆瓦光伏电站提供资金支持，中国出口信用保险公司为寰泰能源哈萨克斯坦 100 兆瓦风电项目提供全国首单对民营企业新能源电力项目的“双 95”承保，即政治和商业风险赔偿比例均为 95%。同时，中国企业还积极参与国际多边开发银行的项目，借助亚投行、金砖银行等渠道，推动新能源在全球南方国家落地。比如金砖国家新开发银行（NDB）批准 20 亿元人民币主权贷款支持中国福建莆田平海湾海上风电项目，该项目预计每年减少二氧化碳排放 869900 吨；亚洲开发银行（ADB）与 ACWA 电力公司签署 100 万美元贷款协议，用于乌兹别克斯坦 Nukus 2200 兆瓦风电和 100 兆瓦时储能设施建设。这些战略不仅提升了我国的国际合作层级，也逐步塑造了“绿色丝路”的新格局。

3. 我国能源企业出海的宏观优势与挑战

中国能源企业出海，是在深刻的全球能源转型背景下，由国家宏观战略引导、应对复杂国际环境的重大实践。其不仅是商业行为，更与国家能源安全、产业升级和全球治理紧密相连。

一方面，在“双碳”目标的驱动下，中国已成为全球最大的可再生能源产能基地，在光伏、风电、储能等领域形成了庞大的产能和完整的产业链优势。具体地：在光伏方面，全球光伏制造业近 80% 产能集中在中国，硅料至组件各环节技术迭代快，成本比海外低 20% 以上；在风电方面，中国风电机组产量占全球三分之二以上，发电机、叶片、轴承等大部件占全球产量的 60%-80%，2025 年上半

年中国风电企业中标海外风机订单规模达 19.5 吉瓦；在储能方面，2025 年上半年中国储能电池出货量 265GWh，同比增长 128%，全球近 250GWh 的海外订单由中国企业签订。近年来，随着国内市场竞争日趋激烈，技术成本持续下降，央企及大型民企亟需通过出海寻找新的增长点，将国内的产业链优势转化为国际市场的竞争力。根据国家能源局数据，2024 年前三季度全国户用光伏新增装机 2280 万千瓦，同比下降 31%。这一下滑幅度远超行业预期，标志着户用光伏市场从高速扩张期转入调整期。从历史数据看，2023 年前三季度户用光伏新增装机 3297.7 万千瓦，同比增长 17.4%；而 2024 年同期却出现负增长，增速断崖式下跌。国内能源项目产能过剩的现实迫使企业出海寻求新的增长点。

另一方面，国家战略的顶层设计与丰富的本地化运营经验提供了有力支撑。其一，“一带一路”倡议等国家级顶层设计为企业出海提供了战略背书和政策保障。其二，通过中非、中阿、中拉合作论坛等多边合作平台，我国设立了能源合作专项，重点布局新能源、储能和电网建设，为企业与东道国的合作搭建了桥梁。截至 2024 年末，“一带一路”框架下已落地新能源项目 1800 余个，总投资超 4800 亿美元。此外，政策性金融工具，如政策性银行的专项贷款和丝路基金的投资，为绿色能源项目提供了长期、低成本的资金支持，有效提升了项目的可行性。这些宏观层面的支持共同构成了企业出海的坚实后盾。

尽管中国能源企业具备显著优势，但在实际出海过程中仍面临多重风险。首先，出海项目普遍受到地缘政治影响，一旦面临合作国政局动荡或国际关系紧张的情形，项目推进就可能遭遇中断或资产受损。其次，部分企业在政治风险识别与规避方面仍存在不足，缺乏系统性的政治风险保险机制与金融对冲工具，容易在突发事件中遭受损失。同时，部分西方媒体和机构刻意渲染“资源掠夺论”

或“债务陷阱论”，污名化可再生能源投资，为项目推进带来阻力。企业必须在复杂的国际关系中，规避潜在的政治风险。

因此，未来中国企业需要在宏观战略上进一步优化能源出海路径：既要以绿色产能国际化回应全球能源转型的需求，也要通过 ESG 治理框架提升国际认可度；既要发挥产业链与融资的优势，也要增强对地缘政治和市场需求的适配性，避免重走资源出海的老路。

专栏 11 战争与和平：战争如何重塑能源不可能三角格局及能源合作方向？

· 战争的影响

战争对不同国家能源不可能三角的影响具有共性特征。首先，能源安全性受损，战争破坏能源基础设施，电网、油气管道和发电厂遭受较大影响，供电的稳定性和总量受到严重破坏。比如在俄乌冲突中，2025 年初俄军发动空袭，出动 89 枚导弹和 217 架无人机，对乌克兰天然气设施实施打击，精确命中乌克兰军事工业的命脉，导致乌天然气日产量骤降 28%，多州陷入能源危机。此外，持续轰炸导致铁路网络被精准摧毁，补给线被迫中断，前线部队不仅难以调动，物资也难以供应。

其次，财政资源被挤压。战时政府被迫将大量资金投入军费开支，从而公共服务与能源补贴削减，农村电气化等项目停滞，导致能源公平性下降。比如在以色列，3 个月的巷战费用足以支付全国养老金半年，持续作战将使 2026 年国债利率突破 6% 警戒线。

再次，可持续性恶化。一方面，为维持短期供电，政府通常依赖高成本、低效率的临时燃油电厂，加剧对化石能源的依赖；另一方面，外资项目因安全

风险而大规模撤离，清洁能源投资被迫中断。例如，2014 年也门的电力需求将近 2000 兆瓦，当年的供电缺口在 30% 以上。2015 年也门战乱爆发后，供电情况急剧恶化，也门多个主要发电站停止运转。也门内战期间，光伏和风电项目几乎完全停滞，巴基斯坦和印度在局部冲突时期也出现过类似的趋势。

· 停火后的“破窗效应”

战后停火往往并不意味着不可能三角问题能够立即改善。相反，许多国家在冲突结束后出现了“破窗效应”：能源体系修复的红利被不断推迟，恢复期显著长于破坏期。原因主要包含两方面：一方面，国内财政被战争严重透支，无力进行大规模能源投资；另一方面，外资虽有进入意愿，但通常担心治理不稳与安全风险，改持观望态度。因此，外部融资和援助成为战后能源恢复的关键。比如安哥拉在 2002 年内战结束后，通过中国贷款和援助迅速修复了油田与电网，才逐步恢复了能源安全与公平性。在内战结束后，安哥拉曾向国际货币基金组织（IMF）等寻求贷款，但 IMF 提出的提高石油开支透明度、国有企业私有化等附加条件，令安哥拉政府难以接受，担心这会损害其经济主权和政治稳定。来自中国的“石油换贷款”协议成为了改善能源不可能三角的关键外部力量。得益于中国的金融支持及其带来的稳定资金流，安哥拉的石油日产量从 2002 年内战结束时的不到 90 万桶，增至 2008 年的 200 万桶，使其成为非洲第二大产油国。石油换贷款模式在初期虽有效，但也使安哥拉经济过度依赖石油出口。国际油价波动会严重影响其财政收入和偿还债务能力，进而可能制约其对能源等领域持续投入的能力。

· 启示

战争不仅重塑了能源不可能三角的短期格局，更决定了战后能源转型的路径选择。一个国家能否在停火后的窗口期避免陷入“高碳锁定”的路径依赖，很大程度上依赖外部合作。若战后重建仅仅是恢复传统油气和燃煤项目，短期虽可见效，但将使国家在长期内再次陷入高排放和低效率的老路；相反，如果在这一关键节点优先引入光伏、水电、储能等绿色项目，并辅以智能电网建设和制度重建，就有可能借助重建的窗口效应，摆脱传统化石能源路径。

对于我国而言，未来在战后国家的能源合作中，中国可以重点推动绿色基础设施建设，以光伏储能、水电修复和高效煤电改造为切入点，既能有效满足战后国家对电力安全和公平的迫切需求，又能帮助其在制度设计上实现绿色转型。例如，可以协助其重建电力定价体系和补贴机制，推动可再生能源并网与市场化交易，避免再次陷入依赖外援与效率低下的循环。

如果乌克兰进入战后重建阶段，我国的参与应当以“绿色重建”为核心。与欧美可能在油气资源领域展开竞争不同，中国可以通过绿色能源项目、智能电网和制度创新实现差异化合作，既展现承担国际责任的姿态，也能凸显中国产能和技术的比较优势。这种模式不仅能帮助战后国家缩短恢复滞后、避免长期锁定，还能为中国能源企业开拓国际市场提供新的增长点。

第三节 企业出海全球南方的行动参考与建议

1. 中国企业出海的市场现状

中国企业海外投资项目规模与数量较大，投资区域呈现多元化特征，投资企业主要为央企，能源为主要投资领域。根据 China Global Investment Tracker，2005 年 1 月至 2022 年 12 月，中国企业海外投资项目共 1991 起，涉及全球 130 个国家或地区，总金额高达 13681.3 亿美元。从时间维度纵向分析，中国企业海外投资项目金额与数量呈现先逐年递增，后趋于稳定的变化趋势：2016、2017 年项目数量与金额分别达到峰值，2021 年起逐渐进入平稳阶段（图 4-2）。从投资区域层面分析，全球南方国家获绝对投资的规模较小、数量较少。2005 年 1 月至 2022 年 12 月，中国企业在全球南方国家投资的金额和项目数量占比分别为 43.3%和 46.7%，在“一带一路”沿线国家投资项目共 625 个。从投资领域来看，中国企业海外投资呈现多元化，覆盖十余种行业。投资金额主要分布在能源、金属与交通运输三个领域。其中能源领域投资占比最高，达总投资金额的 31.9%（图 4-3）。从投资主体层面分析，中央企业在海外投资中占据重要地位。民营企业项目多集中于中小规模投资，整体投资规模不及央企。

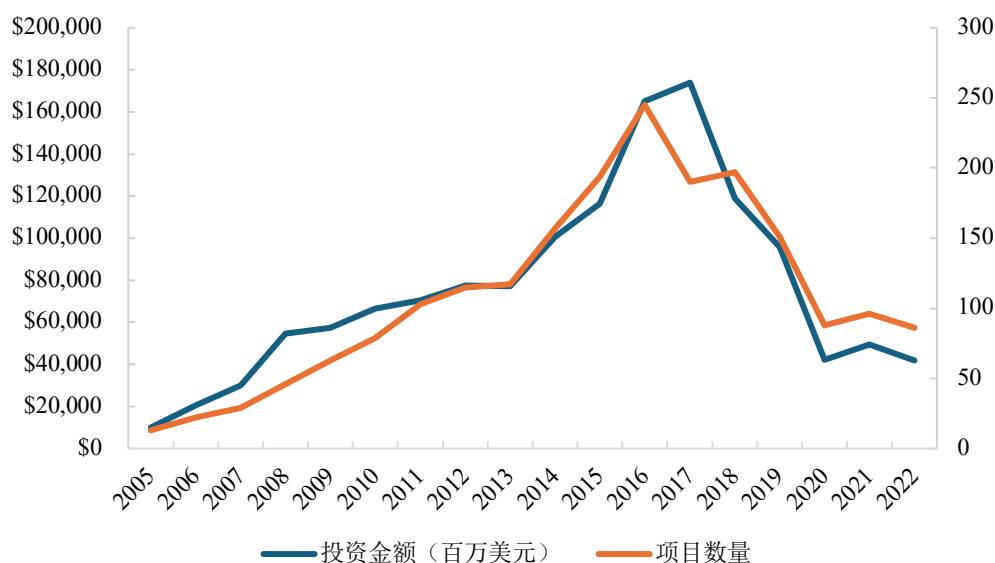


图 4- 2 2005-2022 年中国企业海外投资金额与项目数量

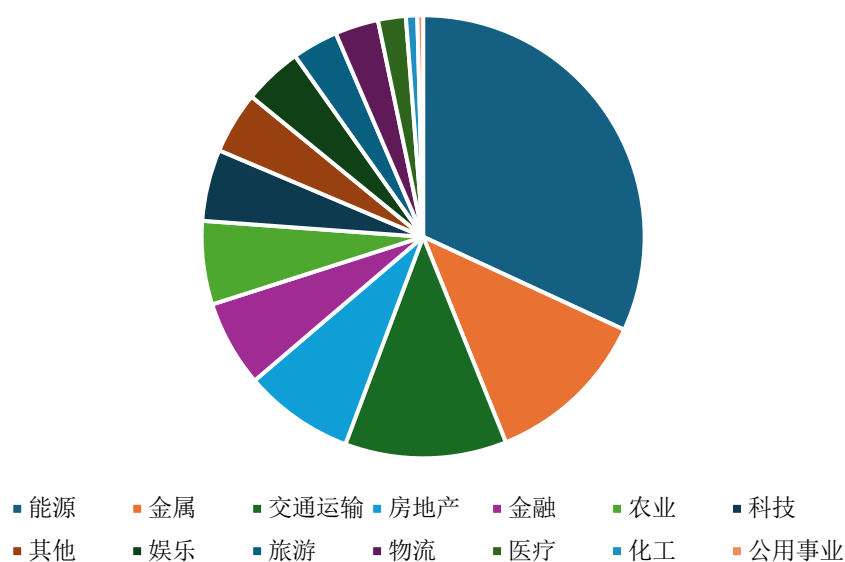


图 4- 3 中国企业投资领域饼状图

在中国企业海外投资的整体格局中，能源企业投资表现突出，其投资金额与项目数量在企业海外投资各领域里均位居首位。其出海投资呈现显著地域差异，表现为对全球南方国家投资多于北方国家；投资领域广泛，覆盖多个能源细分行业；参与主体多元，以中央企业为主导。

从中国能源企业投资覆盖的国家和地区分布来看，中国能源企业形成了以“全球南方”为主的差异化投资格局，对全球南方国家的投资金额与项目数量均

显著高于全球北方国家。具体而言，中国能源企业海外投资覆盖全球 90 余个国家和地区，其中一带一路及沿线国家能源项目数量占比 39.5%，全球南方国家投资金额占比达 62.9%，项目数量占比高达 63%。

从投资领域层面分析（图 4-4），中国能源企业海外投资布局仍以传统能源为主导，清洁能源投资波动上升。全球范围内，中国能源企业在海外石油领域累计投资 1286 亿美元，占能源领域总投资的 29.5%，其次为天然气领域，占比 13.7%。其中，中国能源企业在全域南方投资较多的领域分别是水电、石油和煤炭，天然气与可再生能源领域投资占比相对较低，这主要由于全球南方国家资源禀赋与工业化阶段的客观约束。

从投资主体层面分析，中央企业凭借资金实力、技术优势及政策支持，在能源领域出海规模及数量上远超其他所有制企业。其中投资金额最多的三家企业依次为：中国石油天然气集团（CNPC）、中国石油化工集团（Sinopec）、中国海洋石油集团（CNOOC），均为中央企业，占中国能源企业海外投资总额的 41%。此外，民营企业虽已涉足海外能源投资领域，但投资规模相对有限，投资金额与项目数量均处于较低水平。

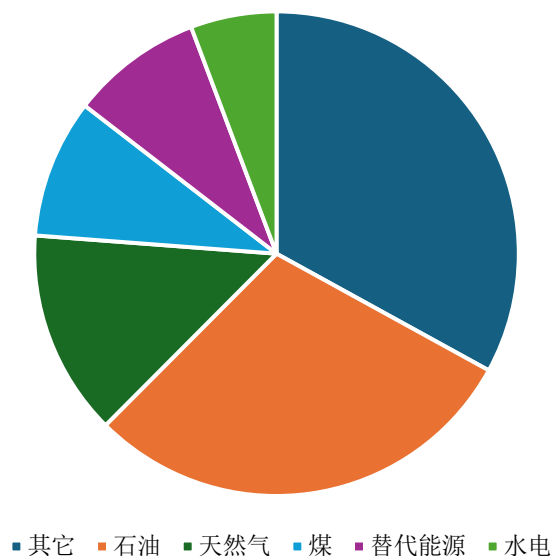


图 4-4 中国能源企业投资领域饼状图

2. 中国能源企业的核心竞争优势

中国能源企业出海全球南方，并非简单的商业扩张，而是基于自身独特优势与当地发展需求的深度耦合，为东道国破解能源不可能三角困境提供了可行路径。中国能源企业在出海过程中，已形成三大核心优势：

首先，中国能源企业具备全产业链整合与技术实力优势。中国是全球唯一具备光伏、风电、储能等清洁能源全产业链自主可控能力的国家。这种从上游原材料到下游电站运维的垂直整合能力，使中国企业能够提供“一站式”解决方案，显著降低项目成本并提升交付效率。同时，中国企业在特高压输电、水电、清洁煤电等领域的技术迭代速度全球领先，能够根据不同国家的资源禀赋、电网条件和气候特征定制化方案。

其次，凭借雄厚的融资实力和工程建设能力，中国企业能够将低成本的设备优势与政策性金融相结合，形成独特的“投建营一体化”综合竞争力。比如，依托国内完整、高效且规模化的产业链供应链，中国风机在保证产品可靠性的同时，价格低廉，市场竞争力强。金风科技为埃及项目定制化设计耐高温、抗风沙

的机组，总装机容量达 500 兆瓦，共安装 84 台 GW165-6.0MW 风电机组，是非洲目前单机容量最大、总装机容量最大的已投运单体风电项目，优化升级散热系统，保障在极端气候下机组的平稳运行。

表 4- 1 中国能源企业投资优势

投资区域	投资领域	主要优势	典型案例
东南亚 (如越南、老挝)	电力基础设施、风电	弥补当地电力缺口，提升能源安全；引入先进技术和管 理，降低用电成本，促进能源公平；发展可再生能源，增强环境可持续性。	中国电建投资老挝孟松 600MW 风电项目
中东 (如沙特)	石油化工、炼化一体化	保障原油资源稳定供应，提升能源安全；优化融资结构、整合技术优势，推动当地产业升级。	中国石化与沙特阿美合资成立福建中阿炼油化工有限公司
非洲 (如赞比亚、阿尔及利亚)	光伏发电、设备制造、绿氢	利用丰富光照资源发电，提升能源安全与可及性；探索本地化制造，提升本土能力；推动绿氢应用，增强环境可持续性。	平煤神马集团与隆基绿能合作，目标 3 年内 在非洲实现 1GW 光伏装 机

第三，以中石油等为代表的早期出海企业积累了宝贵的海外高风险项目运营经验，如今的企业更加注重风险管理与长期回报模式，逐步形成了从战略研判、

风险管控到本地化运营的成熟国际化策略。经过 20 多年的快速发展，中石油的海外业务从无到有、从小到大、从弱到强。截至 2020 年年底，中石油已在全球 35 个国家管理运作着 94 个油气投资项目。但在发展初期，面临对海外油气藏地质结构的复杂性认识不足，直接套用国内开发经验，导致钻井成功率低、开采成本远超预期。从中石油出海的经验来看，单一的设备出口或工程承包并非国际合作的核心，核心是全方位的整合能力，包括精准的战略研判、成熟的风险管控、创新的合作模式、深入的本地化运营以及合规的经营管理。

专栏 12 中国电建投资老挝孟松风电项目的优势

2025 年 8 月，由中国电力建设集团（中国电建）设计承建的老挝孟松 600 兆瓦山地风电项目实现全容量并网，正式投入商业运营。该项目总装机容量 600 兆瓦，包括 133 台单机容量 4.5 兆瓦风力发电机组、升压站及 500 千伏送出线路等，年发电量约 17.2 亿千瓦时。作为亚洲首个跨境输电新能源项目，此项目创造了“一国建设、跨境输电、多国受益”的创新模式。

在该项目中，中国电建采用中国技术标准建设的 500 千伏输电系统，实现了发电、输电、配电全链条服务，克服了复杂地形、生态保护及跨雨季施工等多重挑战，体现了全方位的整合能力。另外，中国电建通过 BIM 技术节约成本约 23%，大幅提升工程效率。

该案例充分体现了中国能源企业的综合优势：一是技术实力突出，项目采用中国技术标准建设 500 千伏输电系统，克服了复杂地形、生态保护等多重挑战；二是中国电建提供了一站式解决方案，展现了全产业链整合能力；三是

项目作为中老两国共建“一带一路”、深化绿色能源合作的成果，获得了强大的政策支持。



图 4- 5 中国电建投资的老挝孟松风电项目

3. 中国能源企业面临的复杂挑战

中国能源企业在南方的出海之路并非坦途，而是直面东道国“能源不可能三角”问题的复杂现实。这些挑战系统性地体现为政治、经济、社会与地缘政治等多重风险。

第一，政治与能源安全风险。许多南方国家政局不稳，政策连续性差，外资政策的突变、合约的撕毁甚至资产的国有化风险客观存在。投资地的政局动荡、武装冲突或社会治安恶化，直接威胁着项目的运营安全和人员安全。

第二，经济与市场风险。南方国家经济结构较为单一，很多国家高度依赖资源出口，易受国际大宗商品价格波动冲击。同时，汇率波动与外汇管制是常见风险，投资利润难以汇回。融资成本高、项目经济性测算复杂，尤其在资源国可能调整财税政策的背景下，项目回报周期长且不确定性高。

第三，运营与合规风险。南方国家法律体系、财税政策多变，企业合规成本高企。环境保护与 ESG 标准日益成为硬约束，高碳项目可能面临更严格的审查和融资限制，处理不当极易引发社区冲突或国际舆论危机。此外，“本地化”要求（如雇佣本地员工、采购本地物资）也对企业的供应链管理和跨文化管理能力提出了更高要求。

第四，传统项目思维与市场需求错配风险。部分企业在出海时，仍延续国内大型集中式电源项目的传统思维，可能忽视合作国在分布式微电网、农村电气化和灵活性电源方面的真实且迫切的需求，导致项目与市场需求脱节。

专栏 13 油气项目：传统能源投资的复杂挑战

中石化安哥拉项目是中国石化集团在非洲重要的海外油气投资之一，旨在通过参与开发包括世界级优良资产 18 区块在内的多个油田，获取“权益油”资源，以强化其全球上游业务布局。该项目涉及包括 18 区块在内的多个区块，其中 18 区块是世界级的优良生产性资产，位于安哥拉海域深水区，油气资源丰富，勘探潜力巨大。

作为一项典型的全球南方能源投资，该项目反映了中国能源企业出海全球南方国家的复杂挑战。深水油气资产开发需要大规模前期资本投入、较长投资回报周期，同时对国际油价波动具有高度敏感性。项目运营中需要适应当地独特的商业与合作环境，构建精密的风险应对机制。政治层面，安哥拉的稳定性主要依靠中央政府，官方决策变动可能影响项目进程，近期燃油价格上涨引发的社会表达也显示了运营环境的挑战。经济层面，安哥拉对石油出口的依赖意味着国际油价波动将影响当地宏观经济环境，进而影响项目盈利空间。此外，

项目还涉及复杂的本地合作方关系，在全球能源转型背景下，面临社区和国际社会对环境影响的关注。地缘政治层面，西方舆论对此类项目的特殊关注增加了国际合作与供应链管理的复杂度。

4. 中国能源企业出海全球南方的行动建议

中国能源企业出海全球南方时，需直面当地能源需求与多重风险交织的复杂局面，尝试平衡各国差异化的能源安全、能源公平与环境可持续性状况。企业需基于精准的情景识别，根据不同地区的核心诉求与约束条件，动态调整投资与运营策略。

(1) 实施差异化、场景化的投资策略

对于能源安全需求迫切、处于转型阵痛期的国家：策略需兼顾短期稳定与长期转型。短期内，可审慎投资高效、清洁的化石能源技术（如清洁煤电、高效燃气发电）作为过渡方案，快速弥补电力缺口。中长期内，则应与东道国可再生能源部署规划深度绑定，共同投资新能源项目，并帮助培训传统能源行业的工人转向绿色岗位。

对于政治稳定、可持续政策明确的国家：策略应侧重于技术引领和深度本地化。重点推广风能、光伏等成熟技术，并积极参与当地绿色标准的制定，实现从“规则遵循者”到“规则共建者”的身份转变。同时，将投资从发电端延伸至制造业、绿氢等衍生领域，实现从单一项目投资向全产业链嵌入的跨越。

对于偏远、政治不稳定、能源公平性欠缺的国家：策略应聚焦于“小而美”的基础设施建设项目。此类项目投资规模小、建设周期短、见效快，能精准解决当地实际需求，在获得资金和社区支持的情况下更易落地。例如，通过离网、分

布式的小型太阳能电力设备，结合创新的商业模式（如分期付款、共建式公益），能有效弥补能源缺口、提升社会效益。

（2）深化本地化运营与品牌建设

中国能源企业需将本地化作为核心战略。这包括系统性地培训本地技术和管理人才，并积极探索供应链的本地化，以此降低成本、创造就业，赢得社区和政府的信任。同时，应强化品牌建设与市场拓展，通过社交媒体和社区活动等多元化渠道，透明、公开地传播企业的社会贡献与价值理念，提升品牌影响力，构建和谐的外部环境。

（3）建立动态、多维度的风险管理体系

中国能源企业需谨慎评估海外不同地区的能源诉求与风险特征，在确保能源安全、推动能源公平、促进环境可持续之间找到动态的、符合当地利益的平衡点。企业应建立一个涵盖政治、经济、社会、环境和法律等多维度的动态风险评估和预警机制，并制定详细的应对预案，才能真正行稳致远，成为全球能源转型中负责任的关键力量。

专栏 14 能源不可能三角指引下的非洲绿电投资

博茨瓦纳：能源安全优先下的光热储能投资

当前，博茨瓦纳面临严重的电力短缺，为了保障能源安全，该国政府一方面大力发展可再生能源，另一方面适度保留或扩建传统能源，确保稳定的电力输出。在此背景下，光热储能技术作为迈向能源自主、构建稳定可靠新型电力系统的战略性技术，具有重要意义。该技术不仅能贡献清洁电力，更能以其可调度性和电网支撑能力，直接服务于能源安全核心目标，并更好满足用电需求。

首航高科与特变电工合作，在博茨瓦纳推进 200 兆瓦马翁光热储能发电站建设。该项目已被博茨瓦纳能源与矿产部指定由首航高科作为独立发电商，负责项目设计、融资和建设，预计 2027 年建成发电。该项目采用光热转化技术和热储能柔性利用方案，既保障了基荷电力供应的稳定性，又通过储能系统增强了电网调峰能力。在资金筹措方面，项目资金来源于特变电工出资、中非发展基金支持及银行贷款。

肯尼亚：可持续性导向下“小而美”项目的东非实践

肯尼亚是东非地区致力于可再生能源发展的领先国家，其能源政策核心是在确保能源安全的前提下，提升可负担性与环境可持续性。然而该国电网基础设施薄弱，投资缺口较大，且能源可及性不足。此背景下，分散化、模块化、民生关联性强的“小而美”项目，成为契合肯尼亚现实需求的投资选择。

深圳市向阳新能源科技有限公司在肯尼亚实施的 Solar Media（太阳能教育媒体机）项目，是“小而美”能源合作模式的典型案例。该项目旨在解决肯尼亚离网地区居民面临的缺电和无电难题，同时通过数字化内容提升当地社区的职业技能水平。该项目向肯尼亚南部的 Nthunguni 等村庄发放了 200 余台太阳能教育媒体机。此设备提供太阳能照明和手机充电服务，缓解了居民的日常用电困难，还内置显示屏和存储设备，预装了农业技术、职业技能培训等科教视频内容，使居民能够在无网环境下学习实用技能，将能源接入与教育赋能有机结合。在 Nthunguni 村，86%的设备用户表示已将从中学到的技能应用于实际生产，并实现了收入增长。

该项目探索的“能源+教育”创新模式，为在非洲及其他发展中地区开展针对性强、社会效益显著且易于推广的可持续能源合作提供了宝贵经验。

南非：能源公平驱动的大规模光伏与储能项目

近年来，南非面临着严重的电力危机。其能源结构长期以煤电为主，然而传统煤电项目设备老化严重，叠加资金短缺与管理不善等因素，导致电厂可用率不足。这一状况不仅制约了南非的经济发展，还严重影响了社会生活，频繁的停电与高昂的电价成为亟待解决的难题，能源转型需求愈发迫切。

通威股份与中东及非洲可再生能源开发商 AMEA Power 合作，在南非西北省 Klerksdorp 地区投资、开发、建设并运营 Doornhoek 光伏项目。该项目是南非政府第六轮可再生能源独立电力生产商采购计划（REIPPPP）的重要组成部分，装机容量达 140 兆瓦，全部采用通威高效 N 型光伏组件。预计项目年均发电量将超过 3.25 亿千瓦时，可满足当地约 2.5 万户家庭的用电需求，缓解当地电力供应紧张的局面。

Doornhoek 项目通过采用高效 N 型组件和技术优化，显著降低了度电成本（LCOE），为南非提供了更经济稳定的能源选择。该项目通过 REIPPPP 竞争性招标机制，以低于传统能源的电价提供电力，减轻了 Eskom 购买昂贵应急电力的负担，间接缓解了政府的财政补贴压力。另外，Doornhoek 项目开发本土清洁能源，减少了对进口能源的依赖，避免了国际能源价格波动的冲击，从能源主权层面保障了本国能源价格的长期稳定性。

附录 研究方法

1. 指数构建

(1) 指标选取与数据收集

指标体系构建基于两个核心原则：一是与能源不可能三角三个维度的相关性。为确保指标选择的科学性和代表性，本研究参考世界能源理事会（WEC）和世界经济论坛（WEF）等国际组织的指标体系，在此基础上构建了完整的评估框架。二是数据的可得性与可靠性。考虑到本研究需要对全球范围内的国家尤其是南方国家进行评估，优先选择具有覆盖度广、连续性强且来源可靠的指标。

具体而言，针对能源不可能三角的三个维度，选取了以下具有代表性的指标：在环境可持续维度，选取的指标主要反映二氧化碳排放情况、能源使用效率水平以及低碳技术的应用程度等方面，旨在衡量能源系统的环境友好程度；在能源公平性维度，本文聚焦于能源服务的可及性及居民基本生活用能的质量，主要通过通电率和清洁烹饪燃料普及率两个方面进行评估；在能源安全维度，本研究从能源生产及其多样性、进口依赖程度、电网能力，以及进口伙伴多元化程度四个层面进行考察，考察能源供应的稳定与可靠性。每个维度下设置了一个或多个具体指标。指标的详细构成见正文中的表 1-1。

指标的数据主要来源于世界银行、美国能源信息署（EIA）、Ember 气候与能源智库、世界贸易组织（WTO）、国际货币基金组织（IMF）等国际机构。

(2) 补充缺失值

为确保数据的完整性，本研究采用两种方法对缺失值进行插补：对于时间序列中部分年份缺失的情况，采用线性插值法进行补充；对于某一指标数据全部

缺失的样本，则使用所属区域和收入分组的组内均值进行替代。缺失数据低于总体的 6%。

(3) 标准化分数

为消除不同指标量纲的差异，使其具有可比性，本研究采用最小-最大值标准化法对所有指标进行处理。

$$\text{正向指标: } score = \frac{rawdata - minimum}{maximum - minimum}$$

$$\text{负向指标: } score = \frac{maximum - rawdata}{maximum - minimum}$$

其中， $score$ 为标准化后的得分， $rawdata$ 为需要标准化处理的原始值， $minimum$ 和 $maximum$ 分别为该指标的基准值，即最大值和最小值。在基准值的确定方面，我们采用了理论值和经验值相结合的方法。这种方法的优势在于能保证数据的跨期可比性，避免了标准化分数仅反映某一国家在特定年份中的相对排名的局限性。具体而言，对于具有明确理论边界的指标，如比例指标（例如通电率）和 HHI 等，直接采用其理论最大值和最小值作为基准；对于没有明确理论界限的指标，我们采用实证方法确定基准值，取样本中 10 分位数和 90 分位数作为最小值和最大值作为基准。

(4) 确定权重与计算得分

参考世界经济论坛（WEF）的做法，我们采用了均等权重的分配原则，这种方法简单透明，且避免了主观赋权可能带来的争议。首先，在一级指标层面，我们将能源不可能三角的三个维度（环境可持续性、能源公平性和能源安全性）赋予相同的权重，即各占 33.33%。这体现了三个维度在评估体系中的同等重要性。其次，在每个维度内部，我们对二级指标进行均等分配。例如，在能源可持续发展维度下的六个方面（碳排放、碳强度、能源使用、能源强度、可再生能源占比、

低碳技术应用) 各占该维度权重的六分之一。最后, 如果某个二级指标下还包含多个三级指标, 则进一步将该二级指标的权重在这些三级指标间进行平均分配。通过这种层层分解的权重分配方法, 本研究可以计算出每个具体指标的最终权重。将这些权重与前述标准化后的指标分数相乘并求和, 即可得到每个国家的能源不可能三角综合得分。

需要说明的是, 能源不可能三角指数得分越高, 表明该国能源系统的整体表现越好。这种计分方式直观地反映了各国在平衡能源安全、公平和可持续性方面的整体表现。

(5) 得分的准确性

为验证所构建指数的准确性和有效性, 我们将其与两个国际公认的权威指数进行了对比分析(附表 1)。结果显示, 对于数据覆盖重叠的国家样本, 本研究构建的指数与两个权威指数均呈现出高度且显著的正相关, 且高于两权威指数他们之间的相关性。这种高度相关性一方面验证了本指数的可靠性, 另一方面也表明本指数能够较好地反映各国在能源不可能三角方面的实际表现。

附表 1 与其他指数的相关性

变量	Pearson 相关系数	p-value
能源不可能三角指数 & WEC 指数	0.8499	0.0000
能源不可能三角指数 & WEF 指数	0.7723	0.0000
WEC 指数 & WEF 指数	0.7042	0.0000

2. 回归模型

我们通过构建包含二次项自变量的面板回归模型, 揭示经济发展水平与能源三难困境的非线性关系。模型的具体形式如下:

$$ETI_{it} = \beta_0 + \beta_1 GDP_{it} + \beta_2 GDP_{it}^2 + \gamma X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中, ETI_{it} 表示国家 i 在年份 t 的能源不可能三角指数(ETI), 该指数越高, 表示该国家的能源体系的综合表现越好、面临的三重困境整体越小。 GDP_{it} 和 GDP_{it}^2 分别为人均 GDP 的自然对数及其平方项, 用于捕捉经济发展水平与 ETI 之间可能存在的非线性关系。

此外, 我们在模型中控制了一系列可能影响国家能源体系发展的控制变量。这些控制变量包括人口规模、城市化率、外商直接投资、工业增加值占 GDP 比重, 以及出口总额占 GDP 的比重。具体而言, 人口规模影响能源需求, 人口越多, 能源供应和可持续性压力越大; 城市化进程可能改变能源消费模式并影响能源基础设施建设; 外商直接投资能够通过技术转移和能源技术升级对能源体系发展产生重要作用; 工业增加值比重越高, 能源消耗和环境压力通常也越大; 进出口总额比重则反映经济开放程度, 开放度越高可能推动能源相关技术的引入或能源产品的进出口。所有数据均来源于世界银行的世界发展指标数据库 (WDI)。 μ_i 和 λ_t 分别为国家固定效应和时间固定效应, 分别控制每个国家不随时间变化的特征 (如地理位置、资源禀赋等), 和随时间变化并影响所有国家的共同因素 (如全球经济波动、国际能源价格等)。 ε_{it} 为误差项。

根据估计结果, 本研究对经济增长与能源三重困境的非线性关系进行拟合。拟合公式是:

$$\widehat{ETI}_{it} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 GDP + \hat{\beta}_2 GDP^2 + \hat{\gamma} \bar{X}_{it} \quad (2)$$

其中, $\widehat{ETI}_{it}$ 是模型估计的能源三难指数及各维度得分, $\hat{\beta}_i$ 是各个系数估计值, 变量上方有横线表示对该变量取样本平均值。

多数全球南方国家由于处于经济发展相对初级的阶段，能源三难困境整体较为严重（指数整体得分较低）。为了度量能源三难困境的内部构成可能存在的权衡关系，建立以下回归模型进行分析：

$$Equitablity_{it} = \beta_0 + \beta_1 Sustainability_{it} + \beta_2 Security_{it} + \gamma X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (3.a)$$

$$Security_{it} = \beta_0 + \beta_1 Sustainability_{it} + \beta_2 Equitablity_{it} + \gamma X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (3.b)$$

$$Sustainability_{it} = \beta_0 + \beta_1 Security_{it} + \beta_2 Equitablity_{it} + \gamma X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (3.c)$$

其中， $Sustainability_{it}$ 表示能源可持续性， $Security_{it}$ 表示能源安全性， $Equitablity_{it}$ 表示能源公平性。 X_{it} 为控制变量，包括人均 GDP、人口、城镇化率、工业占比、FDI 和贸易占比。 μ_i 和 λ_t 分别为国家固定效应和时间固定效应， ε_{it} 为随机误差项。关心的系数为 β_1 ，表示在控制第三个维度及其他控制变量后，能源三难困境中另两个维度之间的关系，若 $\beta_1 < 0$ 表示两个维度之间存在权衡关系，反之则表示两个维度存在协同发展。以(2.a)式为例， β_1 则表示在控制安全性之后，可持续性与公平性之间的关系。需要说明的是，本研究旨在探究三个指标之间的相关性模式，并非建立严格的因果识别。