



MULTILATERAL
COOPERATION CENTER
FOR DEVELOPMENT FINANCE

气候智慧型互联互通 基础设施

最佳实践和案例研究





气候智慧型互联互通 基础设施

最佳实践和案例研究

©2023 年多边开发融资合作中心 (MCDF) 版权所有

亚洲基础设施投资银行 (MCDF 基金托管方)

朝阳区天辰东路 1 号亚洲金融大厦 A 座

中国北京 100101

电话: +86-10-8358-0000

secretariat@themcdf.org

CC BY-NC-ND 3.0 IGO。本出版物内容受版权保护, 并保留部分权利。

多边开发融资合作中心 (MCDF) 是一项多边倡议, 旨在促进高质量基础设施和互联互通投资。作为一项多边倡议, MCDF 接受亚洲基础设施投资银行 (亚投行) 作为其基金托管方提供的行政和财务服务。作为 MCDF 的基金托管方, 亚投行对本报告中的所有知识产权适用知识共享许可协议, 除非另有说明。版权声明可能适用或不适用于本出版物中的第三方内容。亚投行作为 MCDF 基金托管方, 并不一定拥有本报告中包含或链接的所有内容, 也不对任何此类第三方内容负责。亚投行和 MCDF 均不保证本报告所包含或链接数据的准确性, 对使用这些数据带来的任何后果概不负责。在本报告中提及的任何公司、商标实体或对象, 并不意味着它们相较于其他未获提及的同类受到亚投行或 MCDF 的优先认可或推荐。本报告的内容并不一定代表亚投行、亚投行董事会或其成员, MCDF 秘书处、MCDF 治理委员会、捐款方、协调委员会或其成员的观点或政策。在本报告中指定或提及某一特定领土或地理区域, 或使用“国家”一词, 不构成亦不得诠释成亚投行或 MCDF 对任何领土或区域的法律或其他地位, 以明示或暗示方式表明任何立场、认可、接受或意见表达。

目录

前言	v
致谢	vi
缩略语	ix
执行摘要	x
1 气候变化给互联互通基础设施带来的挑战和机遇	2
1.1 概述	2
1.2 减缓气候变化	2
案例研究 1 为中国海上风电项目提供支持	5
1.3 气候适应性与韧性	7
案例研究 2 西非具有韧性的沿海基础设施项目	10
1.4 气候融资	12
1.5 善用私人资金	13
2 气候智慧型沿海互联互通基础设施	16
2.1 概述	16
2.2 沿海互联互通基础设施的韧性	16
案例研究 3 具有韧性的海岸：机遇与灾害风险并存的越南沿海开发	19
2.3 沿海基础设施和服务中的气候减缓措施	22
案例研究 4 中国港湾工程公司实行绿色、数字、信息和效率革命： 上海洋山深水港四期工程	24
2.4 善用私人资金	26
3 气候智慧型公路和铁路	30
3.1 概述	30
3.2 公路和铁路的气候适应和韧性	30
案例研究 5 提高公路和铁路部门的气候适应能力	31
3.3 公路和铁路部门的气候变化减缓措施	33
案例研究 6 巴巴多斯通过电动汽车向零碳交通运输转型	34
3.4 国家交通运输脱碳长期战略与政策	36
3.5 善用私人资金	37
案例研究 7 圣保罗城际列车 - 北线：公私伙伴关系	38
4 气候智慧型能源互联互通基础设施	42
4.1 概述	42
4.2 互联互通能源基础设施的气候适应性与韧性	42
4.3 通过能源互联互通和区域合作减缓气候变化	43
案例研究 8 埃及可再生能源转型	46
4.4 善用私人资金	48
案例研究 9 私营部门参与输电	49
5 COP27 的互联互通基础设施融资	52
6 结束语	56
参考文献	59
附件 1 - JIGSAW	65

表，图和专栏

表

表 1: Avepozo-Aneho 公路面临的气候变化风险	11
表 2: 铁路线升级改造情况一概表	41

图

图 1: 达喀尔 - 拉各斯非洲西部沿海横贯公路	10
图 2: COVID-19 对沿海地区的影响	17
图 3: 越南的五年规划	20
图 4: 航运业运营和经济脱碳解决方案	23
图 5: 传统港口与自动化港口布局对比	25
图 6: 巴巴多斯能源生产情况 (按年度和类型分列)	35
图 7: 巴西东南部地图	38
图 8: 2014 年埃及新增总容量	46
图 9: 区域互联	47
图 10: 秘鲁的输电线路长度和中标价格与估算成本之比	50

专栏

能源互联互通促进公平、生计和气候行动	45
--------------------	----

前言

气候变化和缺乏足够的互联互通基础设施是世界面临的两大严峻挑战，造成了经济瓶颈并破坏了人们的正常生活。过去 20 年来，由于全球变暖，极端干旱和降雨的强度和频率急剧增加。与全球多个地区所遭遇的情况相似，中国作为多边开发融资合作中心（MCDF）所在地，今年经历了干旱和洪涝事件。自然灾害愈加频繁且不断加剧，导致实现联合国可持续发展目标（SDGs）所需投资与现有资源之间的差距进一步扩大，迫切需要采取行动来缩小这一差距。

MCDF 旨在通过建设高质量和可持续的互联互通基础设施，促进可持续发展目标的实现。我们推动这一紧急行动，并坚信提高基础设施的质量和互联互通能够增强各国的能力，使其更好地适应和抵御气候冲击。可以通过提高贸易效率、跨境传输绿色能源和实现数字化来减少碳排放，以应对气候变化。对于投资者而言，这样的前景更具可持续性，因而也更有吸引力。

然而，互联互通投资与气候行动之间的联系需要引起更多关注。为此，MCDF 和我们的合作伙伴——埃及财政部、亚洲基础设施投资银行（AIIB）、伊斯兰开发银行（IsDB）、脆弱二十国集团（V20）、世界银行和世界资源研究所——共同举办了由五部分组成的系列研讨会。研讨会上，我们通过 45 个案例研究和专题分析，探讨如何以气候智慧型方式扩展区域连接网络，创造区域共同利益。本报告总结了研讨会的主要信息。

此次系列研讨会的高潮是在埃及举行的第 27 届联合国气候变化大会（COP27）上的一次高级别研讨会。会上，我们合作伙伴（包括中国、埃及、利比里亚、亚洲基础设施投资银行、伊斯兰开发银行和世界银行）的代表团长充满激情地谈到了气候智慧型互联互通基础设施的重要性，并表达了继续与 MCDF 合作的愿望。在这些合作伙伴的支持下，MCDF 将致力于实施本报告介绍的成功经验，帮助伙伴国家和组织将气候行动融入互联互通基础设施项目。

我们希望各国政府、投资者和社区采纳并推广这些经验，以减少与互联互通基础设施相关的碳排放，并做好项目准备以应对日益严重的气候变化影响。



王忠晶
首席执行官
多边开发融资合作中心

致 谢

本《气候智慧型互联互通基础设施》出版物由多边开发融资合作中心的一个团队编写。团队由 Victoria Goettlicher、Ede Ijjasz 和 Strahan Spencer 领导，他们与本报告的撰稿人 Jennifer Brown 紧密合作。衷心感谢 MCDF 秘书处全体成员的大力支持，特别是 Omar Ezzat、Jenny Lou Fernandez、Lulu Meng Gu、Marina Wenqing Wang 和 Xin Zhang。由衷感谢 MCDF 首席执行官王忠晶提供的宝贵建议和指导。

本出版物由 Elvis Anber 进行文字编辑，由 Maria Guia S. de Guzman 进行校对。设计和排版由 Maria Guardia Marin 完成。

该报告是“气候智慧型互联互通基础设施——通向沙姆沙伊赫 COP27 之路”系列研讨会的成果。该系列活动贯穿 2022 全年，系与埃及财政部、亚洲基础设施投资银行 (AIIB)、伊斯兰开发银行 (IsDB)、脆弱二十国集团 (V20)、世界银行和世界资源研究所合作举办。此次系列研讨会顺利举办及本出版物成功发布，离不开这些筹办伙伴的大力支持。感谢来自各筹办伙伴的下列个人对本次活动做出的宝贵贡献：

埃及财政部：Ahmed Kouchouk（财政政策和机构改革副部长）、Khaled Nofal（行政和技术改革副部长）、Mae Adel（资本市场部长顾问）、Nevine Mansour（财政政策副部长顾问）、Alaa Abdel-Rahman（财政部国际关系部长助理）、Atter Hannoura（财政部中央公私伙伴关系司司长）、Doaa Hamdy（对外关系司司长）、Soha Ismail（高级经济师）、Riham Milad（执行助理）和 Amr Abdelhamid（执行助理）。

亚洲基础设施投资银行：Manuel Beard（高级投资运营专家）、Ping Yean Cheah（高级伙伴关系官员）、Ashok Kuar（高级投资运营专家 - 交通运输）、Seleha Lockwood（高级气候战略和政策专家）、Mehek Marwaha（高级投资运营专家）、Andres Pizarro（高级投资运营专家 - 交通运输）、Aleksandr Prodan（高级战略和政策官员 - 互联互通）、Bin Wang（高级伙伴关系官员）、Yan Xie（高级交通专家）、Hongliang Yang（首席投资运营专家 - 能源）、Xing Zhang（高级气候政策专家）、Katja Juvonen（高级伙伴关系官员）、Wei Huang（战略和政策官员 - 能源）、Kazuhiro Nomoto（伙伴关系官员）、Anzheng Wei（投资官员）及 Ying Xing（伙伴关系分析师）。

伊斯兰开发银行：Brad Hiller（首席气候变化专家 - 减缓）、Hussein Mogaibel（首席全球能源专家）、Daouda Ben Oumar Ndiaye（首席气候变化专家）、Habib Abubakar（高级气候变化专家）、Yusuf Olatunji（高级气候变化专家）、Erbay Dokmeci（高级公私伙伴关系咨询专家）、Atiq Ahmad（业务组组长 - 交通运输）。

脆弱 20 国 (V20) 集团：Sara Jane Ahmed（V20 秘书处财务顾问）和 Alexandra Rosas（V20 秘书处研究分析员）。

世界银行: Affouda Leon Biaoou (高级能源专家兼项目负责人)、Jen Jungeun Oh (高级交通专家兼中国和蒙古基础设施项目负责人)、Xi Hei Chiu (中东和北非地区交通专家)、Jason Zhengrong Lu (全球基础设施基金主任兼首席基础设施融资专家) 和 Nadine Ghobrial (全球基础设施基金基础设施专家)。

世界资源研究所: Wee Kean Fong (北京代表处副首席代表)、Vijay Jagannathan (高级研究员)、Hong Miao (项目主任)、Xiaozhen Li (绿色金融总监) 和 Ran Wei (北京代表处首席代表特别助理)。

此外, 本报告还参考了以下发言者在系列研讨会期间所作的高质量发言和介绍:

研讨会 1

埃及财政部财政政策和机构改革副部长 Ahmed Kouhouk、亚洲基础设施投资银行政策和战略副厅长 Danny Alexander 爵士、伊斯兰开发银行抗灾与社会发展部主任 Syed Husain Quadri、世界银行高级能源专家 Yanqin Song、国际可再生能源机构 (IRENA) 国家参与和伙伴关系 (CEP) 区域负责人 Binu Parthan、埃及电力和可再生能源部研究、规划和管理第一副部长 Eng Ahmed Mohina 博士、联合国亚洲及太平洋经济社会委员会 (亚太经社会) 能源互联互通科科长 Matthew Wittenstein、世界资源研究所中国城市交通经理 Lulu Xue、世界银行高级经济学家 Jia Li 博士、全球适应中心特邀顾问 Ebere Ihetu、伊斯兰开发银行高级气候变化专家 Olatunji Yusuf、国际农业发展基金 (IFAD) 可再生能源和农村基础设施全球技术专家 Daniel Martin、气候韧性投资联盟执行主任 Carlos Sanchez、埃及财政部外债司司长 Eman Abdel Azeem、埃及财政部高级分析师 Noha Ahmed、亚洲开发银行 (ADB) 首席基础设施金融专家 Kang Hang Leung 和卢旺达经济规划国务部长绿色经济和气候变化顾问 Thierry Watrin。

研讨会 2

中国交通运输部水运局副局长郑清秀、世界资源研究所可持续海洋倡议高级助理 Eliza Northrop、世界银行高级交通专家 Nana Soetantri、中国港湾工程有限责任公司项目融资高级顾问 Claude Peng、世界银行交通运输全球实践局全球知识股经济学家 Dominik Englert、联合国工业发展组织 (UNIDO) 能源与清洁生产司工业发展干事 Rana Pratap Singh、世界银行灾害风险管理专家 Frederico Ferreira FONSE PEDROSO、苏伊士运河经济区总局投资促进事务副主席 Waleid Gamal El-Dien、斐济经济部气候变化与国际合作司代理司长兼海洋专家 Kushaal Raj 和世界银行高级灾害风险专家 Dzung Huy Nguyen。

研讨会 3

世界银行交通运输经济与政策全球主管 / 首席经济学家 Cecilia Briceno-Garmendia、中国交通运输部公路科学研究院智能交通研究中心主任兼教授侯德藻、世界银行高级经济学家 Julie Rozenberg、孟加拉国地方政府工程部气候适应性基础设施主流化项目主管工程师兼项目主任 Md. Jasim Uddin、世界银行高级基础设施专家 Veronica

Raffo、基础设施发展咨询公司管理合伙人 Subhash C. Nigam、世界资源研究所全球电动交通研究助理 Yiqian Zhang、欧洲复兴开发银行（EBRD）可持续基础设施集团欧亚基础设施部副主任 Elena Gordeeva、亚洲基础设施投资银行高级投资运营专家（交通） Jin Wang、世界银行高级贸易物流专家 Yin Yin Lam、美洲开发银行（IDB）公私伙伴关系团队负责人 Gaston Astesiano 和巴巴多斯运输、工程和水资源部首席规划官 Mark Durant。

研讨会 4

东盟能源中心可再生能源和能效部门 Monika Merdekawati、新开发银行东亚及太平洋地区主管 Su Han、新开发银行 Danwei Zhang、世界银行能源部门管理援助项目高级能源经济学家 Claire Nicolas、科罗拉多矿业学院和国家可再生能源实验室先进能源系统部门 Madeline Macmillan、联合国亚洲及太平洋经济社会委员会（亚太经社会）能源司能源互联互通科科长 Matthew Wittenstein、伊斯兰开发银行首席全球能源专家 Hussein Mogaibel、菲律宾能源部能源政策与规划局局长 Michael O. Sinocruz、国际金融公司（IFC）项目筹备高级运营官 Tilana De Meillon、国际金融公司运营官 Marwa Khalil 女士和世界资源研究所能源可及工具总监 Dimitris Mentis 博士。

COP27 融资日活动

埃及财政部长 Mohamed Maait 博士、中国气候变化事务特使解振华、利比里亚公共工程部长 Ruth Coker-Collins、伊斯兰开发银行行长 Muhammad Sulaiman Al Jasser 博士、亚洲基础设施投资银行行长金立群、埃及财政部财政政策和机构改革副部长 Ahmed Kouchouk 和世界银行运营常务副行长 Axel van Trotsenburg。

缩略语

AI	人工智能
AIIB	亚洲基础设施投资银行
AGV	自动导引车
ASEAN	东南亚国家联盟
CHEC	中国港湾工程有限责任公司
CO₂	二氧化碳
COVID-19	2019 冠状病毒病
EIP	平等工业园区
EV	电动汽车
GCF	绿色气候基金
GDP	国内生产总值
GHG	温室气体
GW	千兆瓦
IDB	美洲开发银行
IFAD	国际农业发展基金
IFC	国际金融公司
IPCC	政府间气候变化专门委员会
LNG	液化天然气
M	米
MCDF	多边开发融资合作中心
MW	兆瓦
MWh	兆瓦时
NDB	新开发银行
NDC	国家自主贡献
PDR	人民民主共和国
R\$	巴西雷亚尔
SDG	可持续发展目标
SCZONE	苏伊士运河经济区
TEU	标准箱
USD	美元
WRI	世界资源研究所

执行摘要

气候变化问题紧迫，需要立即采取行动。气候变化已成为一个重要的全球性问题，需要立即采取行动并做出坚定不移的承诺。世界各地都已感受到气候变化的影响，极端天气事件频繁发生、愈演愈烈，不断超出历史预期。这一前所未有的现象危及人类生命和基础设施，并作为催化剂加剧了贫困和不平等深层社会挑战。为了实现《巴黎协定》的目标，当务之急是消除排放，增强各国基础设施的抗灾和适应能力。

互联互通基础设施将成为各国履行《巴黎协定》承诺和实现净零目标的关键。互联互通基础设施的重要意义源于以下事实：依赖互联互通基础设施的部门，如能源和运输，目前排放的温室气体占全球总量的 70% 以上。¹ 这些类型的基础设施使用寿命长，意味着今天所做的决策将对今后几十年产生影响。

互联互通基础设施与减缓和适应气候变化之间存在多方面的联系。首先，向低碳和可持续能源系统转型，需要开发强大且高效的能源互联互通基础设施，促进可再生能源和智能电网技术的整合。通过优化能源传输和分配，互联互通基础设施可以最大限度地减少能源损耗，提高整体能效，从而减少排放。

同样，在交通领域部署互联互通基础设施可以彻底改变交通模式，为脱碳工作作出贡献。智能交通系统包括智能交通管理、电动汽车充电网络和多式互通，可以优化交通流量，减少拥堵，并促进采用更清洁的交通替代方案。这些进步可以减少交通部门的排放量，提高交通可达性和效率，促进城市的可持续发展。

然而，随着气候变化的加剧，互联互通基础设施变得越来越脆弱，风险骤增。海平面不断上升、极端天气事件频发、气候模式不断变化，对基础设施资产的抗灾能力和功能构成了巨大威胁。互联互通基础设施的使用寿命要求认真考虑与气候有关的风险，确保这些系统的设计、建造和维护兼顾了适应性措施。这包括考虑到温度、降水模式和海平面的预期变化，以保障互联互通基础设施的使用寿命和有效性。

为了实现《巴黎协定》所概述的目标并履行其净零承诺，各国必须优先开发和整合具有气候韧性的互联互通基础设施。这需要政策制定者、行业利益攸关方和金融机构之间通力合作，将投资引向可持续和气候智慧型项目。此外，促进创新和技术进步对于提高互联互通基础设施的效率、韧性和环境性能至关重要。

多边开发融资合作中心（MCDF）及其合作伙伴举办了气候智慧型互联互通基础设施系列研讨会，以分析这些问题并提高全球实施解决方案的能力。MCDF 的合作伙伴包括埃及财政部、亚洲基础设施投资银行、伊斯兰开发银行、脆弱二十国集团、世界银行和世界资源

¹* Hannah Ritchie、Max Roser 和 Pablo Rosado (2020 年) - 《二氧化碳与温室气体排放》。
在线发表于 OurWorldInData.org。可查阅：<https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>
[网络资源]。

研究所。该研讨会旨在分享世界各地的实际经验教训和气候智慧型互联互通基础设施项目的政策备选方案，同时开展能力建设，并为开发一系列气候智慧型互联互通基础设施提供支持。该报告总结了专题介绍和讨论中的关键信息，包括需要利用各种解决方案，如**避免**和减少机动车出行需求，**转向**更加环境友好的交通方式，以及**改善**交通方式的能源效率。国家自主贡献（NDCs）中大多数交通减排干预措施只属于“改善”类别。

系列研讨会围绕互联互通基础设施各领域展开，最后在埃及举行的 COP27 气候大会高级别小组讨论结束。其中，概览研讨会介绍了关于减缓、适应气候变化和气候变化融资的关键交叉问题和概念，以及它们与互联互通基础设施的关系。随后举行的研讨会深入探讨了沿海基础设施和海运、公路和铁路以及能源问题。本报告沿用了系列研讨会的结构，但对一些案例研究的位置作了调整，以确保最佳匹配效果。本报告总结了研讨会的主要内容，并通过介绍案例研究展示了从实践中得出的若干重要经验教训。

系列研讨会和 COP27 活动提供了若干重要的经验教训，概述如下。本报告正文将对这些经验教训进行更详细的讨论：

经验教训 1：基础工作要做好

严格执法、确保高标准的维护和充足的资金对基础设施项目抵御气候变化的影响至关重要。将维护列入规划并解决现有基础设施的薄弱环节，既可以提高抗灾能力，还能带来四倍的投资回报。

经验教训 2：针对不确定性进行设计

基础设施的设计能够承受得住未来可能发生各种情况至关重要。稳健的设计方法，如基于情景的规划和灵活的基础设施设计，可提高面对不确定气候影响的适应性和韧性。

经验教训 3：创新融资模式

以绿色债券和私营部门参与为例，创新融资模式和公私合作伙伴关系，在造福社区的同时，也为实施气候项目提供了支持。将气候风险和环境保护纳入合同有助于项目取得成功。

经验教训 4：协调是关键

强化治理和制度框架，包括成立跨部门委员会，有助于增强管理气候风险的协调能力和技能发展。将气候目标纳入国家中期发展计划有助于促进私营部门的参与。开展区域合作、鼓励公私协作，可进一步促进资源公平获取并了解基础设施需求。

经验教训 5：利用数据优化决策

通过获取数据和建模可以优化基础设施项目的决策。为总体规划和气候风险评估提供充足的资金，有助于做出明智的选择，进而提高抗灾能力，抵御气候变化的影响。向私营部门提供明确的信息可以降低投资风险，并带来经济和社会效益。

经验教训 6：投资气候智慧型基础设施极具商业价值

将气候智慧型方法纳入基础设施新项目可以降低气候影响造成的可避免成本和项目中断。为提升设施韧性所做的投资能够带来可观的回报，还能够保护产业和社区，促进贸易并减少拥堵。与此同时，对适应和减缓措施进行投资能够创造效益、成本优势以及潜在的替代性收入来源。

经验教训 7：应充分利用私营部门的融资

利用私营部门的融资可降低成本并加快项目的交付，这可以通过公私伙伴关系、改变采购流程和创新金融工具来实现。此外，利用私营部门的融资还可以允许政府将私营部门开发的技术知识应用于其他辖区的类似项目。

通过实施上述经验教训，各国可以开发具有气候韧性的基础设施，最大限度地降低成本，保护社区和经济免受气候变化的影响。在全球范围内，公共和私营部门之间的合作、数据的有效利用和稳健的规划，对于建设具有气候韧性的基础设施至关重要。

1 气候变化给互联互通基础设施带来的挑战和机遇



1 气候变化给互联互通基础设施带来的挑战和机遇

1.1 概述

全球变暖是世界所面临的最严峻挑战之一。政府间气候变化专门委员会（IPCC）的最新分析表明，到2030年，全球气温将升高1.5°C，在中等温室气体排放（GHG）情景下，气温将升高2.1°C至3.5°C。¹在高温温室气体排放情景下，预测结果要糟糕得多，升温幅度在3.3°C到5.7°C之间。只有在最低排放情景下，才可能实现《巴黎协定》的升温目标。这要求我们采取果断的气候减缓行动和积极的气候适应措施。该解决方案中，一个重要的组成部分是对便利货物、人员和能源运输的物理和数字系统（互联互通基础设施）进行脱碳和适应处理。

作为解决方案的一部分，互联互通基础设施发挥着至关重要的作用。案例研究和研究成果阐述了气候智慧型互联互通基础设施项目相关的机遇、技术、规划和政策，此类基础设施能够抵御极端天气造成的破坏，最大限度减少温室气体排放。讨论部分突出强调了新兴经济体应汲取的三条经验教训。首先，重点关注能为当地带来显著效益的基础设施项目，如减少交通拥堵或空气污染，以及减少温室气体排放。第二，寻找更好的补贴方式，以提高经济效益。第三，考虑新的低碳技术，迅速降低安装和运营成本。

确定互联互通基础设施部门气候政策的四个关键要素。研讨会强调了气候智慧型互联互通基础设施政策必须具备的以下关键特征：

- 须将完善的部门诊断明确纳入国家中期发展计划；
- 气候兼容型互联互通基础设施战略必须由多个部门参与制定，协调对于成功至关重要；
- 国家互联互通基础设施公共投资计划必须包括所有与气候相关的成本；
- 对于具体且有针对性的支持行动，可能需要采取激励和补贴政策。

1.2 减缓气候变化

互联互通基础设施部门为解决气候问题提供了若干解决方案。在交通运输互联互通基础设施方面，减缓气候变化的行动包括推广电动汽车和卡车、更新和扩展电力铁路、创新航空燃料、采用多式联运增效以及创新物流和内陆水道作为低碳货运的替代方案。在能源部门，互联互通基础设施相关行动包括建设区域电力池、智能电网，以及在国际水域兴建水电站。

¹ 政府间气候变化专门委员会，2022年：决策者摘要 [编辑：H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem]。载于《气候变化2022：影响、适应和脆弱性》。第二工作组提交政府间气候变化专门委员会第六次评估报告的材料 [编辑：H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama]。英国剑桥和美国纽约：剑桥大学出版社，第3-33页，doi：10.1017/9781009325844.001。

本节将借鉴其中许多技术方案，重点关注它们在气候、经济和社会方面带来的效益。

世界资源研究所提出的“避免 - 转变 - 改善”（Avoid-Shift-Improve）框架是互联互通基础设施领域减缓气候变化行动的一个重要参考框架。根据这一框架，减缓气候变化的行动可以从避免投资国家或区域内部的高碳服务性基础设施（如高速公路或燃煤发电厂）开始。其次，减缓措施还包括根据国家承诺，逐步将交通运输和能源发电方式转向低碳解决方案。第三，在开发替代方案的同时，减缓行动可提高现有高碳解决方案的效率，例如，改善基于化石燃料的交通运输效率以及提高生产和消费的能源效率。

近年来，可再生能源的成本迅速下降，使其成为越来越具吸引力的投资选择。根据国际可再生能源署的数据，世界各地采用可再生能源已使局面发生变化，致使可再生能源的生产成本比化石燃料更经济。² 例如，光伏技术的全球价格下降了 85%，而风能等其他可再生能源的价格降低了 50%（脚注 2）。这清楚地表明，各国有机会同时降低成本并减少排放，转向零碳可再生能源。案例研究 1 说明了中国如何利用这些能源来增加发电量并实现电网脱碳。

尽管与化石燃料相比，在经济上可再生能源已更具吸引力，但其间歇性仍然构成重大挑战。因此，储能技术必不可少。尽管可再生能源具有运营和维护成本低等优势，但由于风力和阳光等自然资源的供应不稳定，从这些来源产生的能量也会波动。为了应对这一挑战，需要部署储能设施和智能电网技术，包括需求侧管理和分布式能源资源。

利用可再生能源生产的替代性零碳燃料也将成为克服可再生能源间歇性限制的关键解决方案。绿氢、氨和甲醇都是新兴的零 / 低碳替代燃料，有望成为传统污染性燃料来源的可靠替代品。这些燃料可以利用多余的可再生能源生产，并且只产生水作为副产品，前提是必须严格按高标准和法规操作。然而，利用可再生资源生产替代燃料的成本远远高于传统燃料。因此，初步分析表明，替代燃料可能主要用于国内使用或难以减排的行业，如航运和钢铁生产。

为实施上述解决方案并实现脱碳目标，必须制定强有力的国家战略和明确的监管框架。正如世界资源研究所在研讨会上提出的，为确保实现《巴黎协定》的温度目标，各国不仅要有雄心壮志，还要制定相应的政策和监管框架。³ 这些政策和法规必须清晰明确，并努力在不同地区实现共同的标准。此外，为确保采用适当的技术并继续降低成本，必须建立相应的机构来执行支持绿色交通运输技术开发和部署的政策。这将包括，确保各国在全球范围内进行协调，以确保在可行的情况下采用共同标准——因为如果没有共同的标准，可能会削弱电动汽车行业拓宽供应链和发展规模经济的能力。

在利用气候行动方面，互联互通基础设施部门面临重要机遇。例如，世界银行最近提出的一份研究报告显示，早期对公路、可再生能源和信息技术部门进行联合规划可以产生更大

2 《可再生能源技术的最新发展及其对互联互通基础设施的影响》（视频），Binu Parthan 先生，国际可再生能源署国家参与和伙伴关系区域负责人。

3 《中国道路运输部门脱碳化 - 碳中和战略》（视频），Lulu Xue 女士，世界资源研究所中国城市交通经理。

的效益。在高速公路的路权范围内安装太阳能电池板，开发“车联网”（相当于高速公路上的物联网）以及为电动汽车建设先进的充电网络等措施，都将强化“三网”的效益。⁴此外，通过区域和国家互联网络将可再生能源与消费者联系起来，对于能源部门的气候行动至关重要。

埃及利用绿色债券的经验为实施减缓项目提供了宝贵的经验教训。⁵它强调了及早与环境顾问接触的重要性，以便进行全面评估和规划，从而有效地整合环境相关考虑因素。这种积极主动的做法将确保项目符合可持续发展目标，并优化其在减缓气候变化方面的影响。绿色债券在为各种气候倡议提供资金方面的成功应用也表明，创新金融机制具有调动资源促进可持续发展以及推动向更绿色经济转型的潜力。

4 《整合三网，实现交通运输互联互通的低碳化》（视频），Yanqin Song 先生，世界银行高级能源专家。

5 《埃及利用绿色债券的经验》，埃及财务部资本市场和债务管理部门经理 Eman Abdel Azeem 女士和埃及财务部高级分析师 Noha Ahmed 女士。

案例研究 1

为中国海上风电项目提供支持

(新开发银行提供)⁶

背景

本案例研究探讨了新开发银行（NDB）在支持中国清洁能源项目方面的做法，并特别关注海上风能。该案例考察了福建省和广东省的两个风能项目。两者的目的都是通过扩大风力发电能力，实现当地电力结构的脱碳。这些项目体现了新开发银行对可持续发展的承诺及其在支持中国实现可再生能源目标方面的作用。

问题阐述

海上风电项目面临天气、海洋和地质风险，需要开展全面评估以进行选址和项目优化。由于需要获得多个政府机构的批准，因此可能导致工期出现延误。项目成功与否很大程度上取决于涡轮机的可靠性和基桩的质量。在施工高峰期，船舶调度经常遇到困难。海上风力发电容易受政策变化的影响，特别是减少和取消补贴的政策。

方法

海上风电项目面临天气、海洋和地质复杂性等风险，需要开展全面评估，以选择合适的地址并优化布局。由于需要获得多个政府机构的批准，因此可能导致工期延误。可靠的风力涡轮机和高质量的基桩至关重要，因而需要通过竞标来选择合格的承包商。

为支持中国的能源项目，新开发银行提供了利率优惠的长期项目贷款，同时还通过征聘专家、举办研讨会促进了项目设计和业务知识共享。在国家层面，自 2014 年实施以来，海上风电上网补贴电价大大推动了累计装机量的增加。



来源：福建中闽海上风电有限公司

莆田平海湾海上风电项目

凭借一份购电协议和 850 元人民币 / 兆瓦时的电价，2021 年，该项目发电量达 7.55 亿千瓦时，为满足福建日益增长的电力需求做出了贡献。该项目开发潜力达 27 千兆瓦，为未来区域海上风电项目提供了典范。⁷

⁶ 《新开发银行支持中国海上风电项目的经验》，新开发银行东亚及太平洋地区主管 Su Han 女士和 Zhang Danwei 女士。

⁷ 福建沿岸水深 20 米以内的地区。



来源：广东能源集团有限公司

广东省能源集团阳江沙扒海上风电项目

广东省能源集团阳江沙扒海上风电项目是一座位于南海北部沿海的海上风电场，装机容量为 300 兆瓦。该项目抵御极端天气和复杂海底条件的能力得到优化。凭借一份购电协议和 850 元 / 兆瓦时的电价，2022 年上半年，该项目发电量近 4 亿千瓦时。广东省政府计划在 2020 年安装 2 千兆瓦容量，到 2030 年安装 30 千兆瓦容量，突显了风能资源评估、风机可靠性和基桩质量的重要性。该项目是可再生能源开发领域创新和适应性的典范，有助于减少碳排放，促进可持续发展。

经验教训

兴建风能项目需要周密的规划和协调。开发商应谨慎选择能力较强的承包商，实施数字化船舶管理系统，建立强大的执行部门与多个政府机构进行协调，减少针对国外项目的政策不确定性。此外，在知识交流和传播、项目融资、政策支持和技术创新方面已采取了多项举措。

结论

新开发银行支持中国清洁能源项目（特别是风能项目）的做法，为中国能源结构脱碳化的长期战略提供了帮助。新开发银行的经验表明，长期项目贷款、知识共享和研讨会为开发商提供了重要支持，有助于确保这些项目取得成功。平海湾和广东风能项目的经验教训可用于今后世界各地的清洁能源项目。

1.3 气候适应性与韧性

考虑到气候快速变化及其预计影响，互联互通基础设施的设计和运营必须考虑适应能力和抗灾措施。自然灾害造成的主要成本并非基础设施本身的维修费用，还包括企业和家庭因随之而来的基础设施关闭、旅行中断和部署备份发电技术设备而产生的费用。研讨会的讨论强调了三个要点。首先，许多气候影响的发生速度比模型预测的要快。其次，在设计具有抗灾能力的基础设施时，应充分考虑减缓气候变化最终成果的不确定性。第三，在分析互联互通基础设施资产的脆弱性时，必须同时审查单个资产和整个网络承受冲击及保持运营的能力。

规划设计时必须将气候风险考虑进去，以避免与气候冲击有关的许多可预防成本（详见案例研究 2）。世界银行专题介绍了韧性评级系统工具包，该工具包用于评估新建基础设施项目的韧性，从而为交通运输和互联互通基础设施相关决策进程提供帮助。⁸ 该韧性评级系统目前正在世界银行涉及不同行业和地区的 20 个项目中进行试点。考虑社区利益并兼顾气候风险和极端事件的项目评估将获得较高评级。这有助于提高人们对气候变化的认识，并使项目具有更强的抗灾能力。

适应气候变化需要网络型思维和模型解决方案，以提高韧性投资的效益。 公路和铁路基础设施的抗灾能力建设必须纳入从规划到维护的整个生命周期。建模可用于更好地了解韧性要求，帮助降低灾害损失，减少行程中断。在此过程中，重要的是要将道路视为一个需要维护的网络，而不是单个路段。需要考虑到谁是主要用户，以便更好地分析对不同社会阶层和经济的影响。至关重要的是，要了解哪些路段应予优先考虑，因为 10% 到 20% 的路网中断便会使整个国家陷入瘫痪。

在设计阶段之外的项目周期中继续对气候灾害风险进行评估，有助于提高计划的灵活性，便于根据新信息进行调整。 为实现这一点，可以在实施合同和政府监测框架中纳入一系列场景。这将确保该项目在其整个生命周期内享有充足的资源，并且考虑到了在高温气候模型下可能出现的不确定事件。建立生命周期储备账户，这将有助于各利益攸关方更好地为充分的长期维护做好规划。长远来看，这可以使项目具有长期成本效益，并且更容易在灾后获得融资。

确保基础设施切实有效运行，意味着要做好基础工作。 世界银行认为，这包括引入并执行法规、建筑规范和采购规则，以确保基础设施的设计、建造和运营安全可靠。此外，还必须建立适当的运营、维护和事故后应对系统，以确保基础设施具有韧性，能够抵御自然灾害和其他干扰。为基础设施的规划和维护提供适当的资金和融资也至关重要，包括确保具有充足的可用于基础设施投资的财政资源，建立适当的机制来支付持续的维护和维修费用。总之，做好基础工作对于建设和维护可持续的基础设施，支持经济增长、提高公民生活质量至关重要。

8 《世界银行投资项目韧性评级系统》，Jia Li 博士，世界银行高级经济学家；世界银行集团（2021 年）。《韧性评级系统：建立和跟踪气候变化韧性的方法》© 世界银行，华盛顿特区。http://hdl.handle.net/10986/35039。

建议通过设立相关机构，采用全政府方法建设具有韧性的基础设施。这种全政府方法应在现有监管系统基础之上，确定关键基础设施，界定可接受和不能容忍的风险水平，确保具有韧性的基础设施可公平获取。为实现建设韧性基础设施的预期结果，相关政府机构需要强有力的治理框架并加强协调合作。针对基础设施建设和维护制定明确的准则和标准，对于确保基础设施的设计和建造能够抵御自然和人为危害至关重要。韧性基础设施相关机构建设需要各国政府、各利益攸关方和公众作出长期承诺。需要建立各种机制，包括法规、资金、能力建设和体制框架，为建设和维护具有韧性的基础设施提供支持。最终，正如世界银行所建议的那样（脚注 8），全政府方法将有助于确保基础设施开发具有可持续性和韧性。

为改善基础设施韧性相关决策，建议为可免费获取的自然灾害和气候变化数据提供资金。这些数据有助于为基础设施规划和维护相关决策以及事故后应对提供信息。此外，充分考虑潜在风险和气候变化作出稳健决策，可以最大限度地减少造成灾难性事故和留下遗憾的可能性。为实现这一点，要配备训练有素的工作人员，他们需要能够有效使用数据和模型并调动私营部门的知识和专业技能。这样，基础设施规划和决策可以更加明智、有效且具有韧性。

要提高基础设施系统的韧性，关键是要从最佳设计转向稳健设计，使其能够灵活地适应不断变化的条件。这就需要为气候数据提供资金并提高其透明度，以便投资者和决策者能够做出更稳健的决策，最大限度地减少灾难性事故的可能性，确保基础设施投资项目的长期性。提高基础设施的韧性，最终需要采取全政府方法，在现有监管系统的基础上，确定关键基础设施，界定可接受和不可容忍的风险水平，并确保有韧性的基础设施可公平获取。通过制定应对气候变化的法规和激励措施、推广创新技术和战略，可提高基础设施系统的韧性和可持续性，抵御不确定的未来所带来的挑战。

大自然往往是最好的缓冲区，尤其是在面临巨大的不确定性时。必须认识到，在确保基础设施能够适应未来所有潜在的气候变化方面，钢筋水泥的作用是有限的。因此，在基础设施规划中纳入基于自然的解决方案就显得尤为重要。在案例研究 2 中，树木被用来减缓海岸和道路侵蚀。随着时间的推移，基于自然的解决方案会变得更加强大，其中可能包括种植红树林，以减轻沿海自然灾害事件和海平面上升的影响。

全球适应中心探讨了将气候适应纳入公私伙伴关系的必要性。⁹ 在全球范围内，只有少数公私伙伴关系合同在其条款中纳入了气候变化风险。重要的是，要预先考虑气候变化风险，并以符合成本效益的方式，在私营方、公共机构和保险公司等其他各方之间分配风险。若不明确谁对这些风险负责，可能会导致公私伙伴关系合同失败，或者在气候灾害发生后双方都面临巨大压力。该工具包为发展公私伙伴关系提供了有用框架，¹⁰ 而案例研究 8 则提供了有效实施公私伙伴关系以降低成本成本的实例。

9 《互联互通基础设施公私伙伴关系中的气候适应和韧性》，Ebere Ihetu 先生，全球适应中心特邀顾问。

10 《具有气候韧性的基础设施干事手册》(CRIO)，2021 年。全球适应中心。可查阅：<https://gca.org/reports/climate-resilient-infrastructure-officer-handbook/>。

加强道路的韧性还有助于实现其他可持续发展目标，如性别平等。国际农业发展基金（IFAD）介绍了其旨在提高印度公路韧性的项目。该项目与各劳工承包协会合作，雇用妇女，并为其提供关于修建道路和船坞的培训。在就业机会稀缺、妇女传统上不离家外出工作的地区，这是一个难得的赚钱机会。从这份工作中，她们既获得了好处，又得到了收入。¹¹

¹¹ 《互联互通基础设施、区域农村经济和气候变化适应措施》，Daniel Martin 先生，农发基金全球技术专家 - 可再生能源和农村基础设施。

案例研究 2

西非具有韧性的沿海基础设施项目

(伊斯兰开发银行提供)¹²

概述

由多哥政府和六个合作伙伴¹³共同实施的 Avepozo-Aneho 公路项目是一个成功的范例，该项目旨在减少海岸侵蚀，同时提升多哥各地的交通便利性和连通性。该项目产生了连锁效应，促进了尼日利亚、加纳和科特迪瓦产生的经济增长。本案例研究将探讨该项目面临的风险和挑战，以及如何通过更加精细的气候适应方法进行应对。

图 1: 达喀尔 - 拉各斯非洲西部沿海横贯公路



来源: 维基百科

背景

近年来，随着不断增加的洪水灾害、山体滑坡以及气温升高，Avepozo-Aneho 公路面临的气候变化风险越来越大。这种风险非常显著，以至于无需详细评估便可清楚看到损坏情况（见下图）。在项目启动之前，该地区每年都会遭受海岸侵蚀，速度约为每年 15-20 米。由于该公路的某些路段距离海岸线仅有 100 米，应对气候风险迫在眉睫。此外，该道路所处的位置意味着在未来五到十年内，它有 20% 的几率会遭受严重的沿海洪水侵袭。

Avepozo-Aneho 公路附近的海岸侵蚀情况



全景解决方案

12 《西非具有韧性的沿海基础设施项目》，Olatunji Yusuf 先生，伊斯兰开发银行气候变化问题高级专家。

13 非洲开发银行、伊斯兰开发银行、欧洲联盟、全球环境基金、西非经济货币联盟、西非开发银行。

表 1: Avepozo-Aneho 公路面临的气候变化风险

项目风险	海水 / 沿海洪水 - 高	降水增加河水泛滥 - 高	温度上升 - 中
系统影响	海浪作用更强，海岸侵蚀加剧 相对海平面高度上升、海水入侵	洪水风险增加 径流增加、侵蚀加剧	高温天数增多
项目脆弱性	暴露在盐分中会使路面、基层、涵洞或金属桥梁部件老化/腐蚀 与天气有关的交通事故、交通中断和拥堵增加	山体滑坡 / 泥石流风险增加，会破坏道路并使其暂时无法通行 路面和路基恶化，会增加维修成本，缩短基础设施的使用寿命 与天气有关的交通事故增加；交通中断和拥堵加剧	由于地面收缩、沉降，导致路面完整性降低，可能出现裂缝

来源：伊斯兰开发银行气候变化高级专家 Olatunji Yusuf 先生所做“西非具有韧性的沿海基础设施项目”专题介绍

问题阐述

显然，这条公路的脆弱性导致通行时间延长，影响了区域互联互通和贸易。然而，对公路进行任何升级或投资都需要解决其潜在的气候变化风险。如果做不到这一点，就无法对气候影响所及范围提供充分支持，导致交通拥堵和事故，进而带来严重的财政和环境后果。

方法

该项目采用了多种方法，以确保解决道路网络的各种风险。此类方法需要在常规的道路改善计划基础之上，通过加固海岸防止海岸侵蚀，以解决交通走廊沿线的海岸洪水风险。为此，该项目面向相关政府部门和各利益攸关方举办了一场会议，介绍了气候变化已对 Avepozo-Aneho 公路造成的影响，以及未来将造成的影响。经过此次会议，确认了一系列气候风险，并定制了解决方案，例如在公路沿线采用星形结构设计，以提升洪水高风险地区的排水能力，同时使用沙子重建海岸线，共建造 28 个防波堤，种植超过 14,700 棵树木以减缓海岸土壤侵蚀。

经验教训

该项目提供了宝贵的经验教训，可以为今后面临类似气候风险的交通基础设施投资项目提供指导。报告强调，考虑到气候相关风险的独特性质及其不确定性，需要针对每项基础设施投资项目定制解决方案。同样，该项目也表明，为了解和管理交通运输等传统部门的气候风险，需要提高能力和技能。此外，各方的积极参与对于气候效益至关重要，基于证据的项目开发在应对风险和建设基础设施方面发挥着关键作用。最后，建设具有韧性的基础设施和社区至关重要，政府的积极参与是成功投资的必要条件。这些经验教训可为今后在类似区域投资提供指导。

结论

多哥 Avepozo-Aneho 公路项目是将气候风险纳入传统基础设施改善计划的成功范例。该项目提供了完善的气候适应方法，这对于促进可持续经济增长，同时考虑到未来气候变化对基础设施的影响至关重要。

1.4 气候融资

必须大幅增加气候融资，以满足减缓和适应气候变化的技术需求。气候融资包括债务、股权、绿色债券和碳市场，融资规模从 2009-2010 年度的 3,640 亿美元大幅增长至 2019-2020 年度的 6,320 亿美元。¹⁴ 然而，这一增长仍远不及实现将升温幅度控制在 1.5 摄氏度目标所需的气候融资，为实现这一目标，估计到 2021 年需要融资约 3 万亿美元，到 2040 年需要约 6 万亿美元（脚注 14）。

设立国家气候基金有助于填补融资缺口。在这方面，卢旺达设立的国家绿色基金提供了宝贵的意见和建议。其中一个重要教训是要确保基金的长期性，因为建立基金和实施项目都需要时间和协同努力。要做到这一点，关键是要重视各部门之间的沟通协调，促进信息共享，从而提高整体能力。此外，还需要考虑基金吸引私人资金的能力，因为仅仅依靠公共部门的资金可能会受限。通过实现资金来源多样化，气候基金能够为可持续倡议提供更多机会，并推动具有影响力的环境项目。¹⁵

同样，国家绿色债券也有助于鼓励为气候解决方案和项目提供资金。例如，埃及使用国家绿色债券支持可再生能源部门发展（脚注 5）；如欧洲复兴开发银行专题介绍中所述，格鲁吉亚使用国家绿色债券以实现铁路部门脱碳。¹⁶ 这些创新金融工具吸引了海外公共和私人资金，并且，随着需求增加、获得正收益的可能性增大，这些金融工具将继续吸引更多资金。

气候基金和其他发展基金也可以提供资金支持。绿色气候基金（GCF）等开发银行可以为气候相关项目提供资金。绿色气候基金已批准了 200 多个适应和减缓气候变化的项目。这笔资金既可用于支持政府项目，也可用于支持私营部门运作的项目。其中，近 35% 的项目涉及私营部门，股权和担保总额达 36 亿美元（脚注 14）。

然而，灾后重建融资将愈发重要，需要加强协调各种政策和融资措施。对于为开展高效快速的灾后重建工作提供资金而言，加强国家基础设施政策和金融工具之间的协调性将越来越重要。这将需要在灾后提供资金并投资开展数据收集和分析，以便就恢复和重建的需要做出明智决策，特别是当气候影响从遥远的风险转变为每年都会发生的风险时。

联合国亚太经社会讨论了如何解决气候智慧型互联互通基础设施的资金缺口问题（脚注 14）。各国内部和各国之间亟需增加对电网的投资。会议讨论了吸引私人投资进入输电行业的不同模式。例如，独立电力传输模式类似于在亚洲广泛应用独立电力生产商模式。可以在单条输电线路试行，在前期对监管改革要求较低。联合国亚太经社会强调，需要加强立法、建立坚实的机构设置和能力，以及建立稳定的电力部门，以此作为吸引私营部门资金的先决条件。

14 《填补气候智慧型互联互通基础设施的资金缺口》，Matthew Wittenstein 先生，联合国亚太经社会能源互联互通科科长。

15 《创建有利的制度框架：以卢旺达为例》，Thierry Watrin 先生，卢旺达经济规划国务部长的绿色经济和气候变化顾问。

16 《欧洲复兴开发银行气候智能铁路做法：格鲁吉亚铁路绿色债券案例研究》（视频），主讲人：Elena Gordeeva 女士，欧洲复兴开发银行可持续基础设施集团欧亚大陆基础设施部门副主任。

气候韧性投资联盟（CCRI）介绍了其正在开发的将气候风险纳入基础设施项目融资的解决方案。¹⁷ CCRI 是一个由 126 家机构组成的联盟，管理着 25 万亿美元的金融资产。其产品包括系统性韧性指标、国家韧性基础设施优先排序工具、物理气候风险评估方法、韧性信贷质量驱动因素审查和一套气候韧性投资原则。

亚洲开发银行介绍了中国山东绿色发展基金。¹⁸ 该基金旨在吸引私营部门和商业资本对气候智慧型项目进行投资。该基金的绿色投资框架包括分析温室气体减排水平或适应效益；扩大和复制子项目创新的潜力；经济、社会和环境共同效益；已证明的需求和实施能力；以及效率和效益。亚洲开发银行、法国开发署、德国复兴信贷银行和绿色气候基金共为公私合作的山东绿色发展基金提供了 3.5 亿美元的融资，为山东省气候相关项目动员投资约 15 亿美元。

1.5 善用私人资金

克服气候融资缺口，需要公共和私营部门展开合作。 脱碳解决方案可能需要高额的前期资本成本；但其运营成本往往低于使用传统能源的解决方案。政府提供的混合融资产品可以减少私营部门进入市场的障碍，比如高昂的初始资本成本和与新技术有关的风险。这可以通过绿色税收和补贴降低成本，也可以通过碳市场更直接地激励零碳创新来实现。具体而言，研究发现，要将全球升温控制在 2 度以内，一吨二氧化碳在碳市场上的定价应在 40 美元至 80 美元之间（脚注 14）。通过提供财政支持和创造有利的投资条件，可以激励私营部门为气候智慧型互联互通基础设施项目作出贡献。

案例研究 1 还强调了向私营部门提供风能图集等信息如何有助于克服在低碳技术最佳应用场景方面存在的知识差距。 详细介绍了气候风险和抗灾措施纳入互联互通基础设施的设计和运营将如何降低成本。综合起来，这些措施可以确保私营部门的资金用于支持韧性基础设施建设，降低与灾害有关的成本，并在遭遇气候冲击时保持正常运行。

关于西非 Avepozo-Aneho 公路项目的案例研究 2 强调了在基础设施项目中应对气候风险的重要性。 它表明，有必要超越传统方法，采取旨在减轻气候影响的定制解决方案。利益攸关方的参与、风险评估和定制设计有助于解决脆弱性问题，促进经济可持续增长。在制定明确的国家战略的同时，监管框架和共同标准还可以促进气候智能技术的采用，进而提高抗灾能力。

¹⁷ 《适应性基础设施融资创新》，Carlos Sanchez 先生，气候韧性投资联盟执行主任。

¹⁸ 《山东绿色发展基金》，Kang Hang Leung 先生，亚洲开发银行首席基础设施融资专家。



2 气候智慧型沿海互联互通 基础设施



2 气候智慧型沿海互联互通基础设施

2.1 概述

沿海地区是地球上人口最多但最易受气候变化影响的地区。全球 40% 以上的人口生活在距离海岸 100 公里以内的地区，导致城市发展高度集中，容易受到海平面上升和飓风等自然灾害的影响。¹⁹ 不幸的是，预计这些事件的发生频率和严重程度都会增加，进一步加剧沿海居民面临的风险。除此之外，海洋本身还受到气候变化肆虐的威胁，这可能对世界经济和生态系统造成破坏性后果。具体来说，珊瑚礁旅游收入可能减少 90% 以上，而某些西非国家的鱼类种群可能减少 85%。²⁰

沿海互联互通基础设施在减缓和适应气候变化方面发挥着至关重要的作用。从减缓气候变化的角度看，沿海互联互通基础设施和服务也至关重要。例如，海上运输排放的温室气体约占全球排放量的 3%，预计到 2050 年将增加 40%。²¹ 如果不采取任何措施，到 2050 年，航运业的排放量可能会攀升至全球排放量的 17%（脚注 21）。

沿海互联互通基础设施将遭受气候变化的严重影响。如案例研究 3 所述，考虑到海平面上升和风暴潮给这些基础设施带来的风险，加上沿海地区大量的经济活动，相关讨论对沿海国家十分重要。然而，正如基础设施发展咨询公司所介绍的，将气候适应纳入基础设施成本只会增加项目总成本的 3%。²² 随着改道能力提高和中断程度加剧，长期来看，这可以节省大量成本。²³

沿海互联互通基础设施涉及多个领域的投资。作为沿海互联互通基础设施研讨会讨论的一部分，与会者就绿色港口、海运脱碳、与港口相连的生态工业园区、沿海地区和小岛屿国家具有韧性的交通运输，以及将海上运输走廊转变为绿色创新中心等问题分享了实践经验。

2.2 沿海互联互通基础设施的韧性

对可持续基础设施进行投资至关重要，因为它具有长远影响，可以影响沿海社会未来 10-20 年的发展轨迹。主要海港特别容易受到海平面上升的影响，估计有 14% 的海港可能面临洪水和侵蚀的风险（脚注 19）。这突显了许多国家，尤其是小岛屿发展中国家，面临着药品和食品等必需品进口中断的风险。²⁴ 然而，这种风险也为推动可持续和公平发展同时增强应对气候变化的韧性提供了机会。²⁵

19 Joel E. Cohen、Christopher Small、Andrew Mellinger 等人。“沿海人口估计”。《科学》第 278 期，第 1209-1213 页（1997 年）。DOI：10.1126/science.278.5341.1209c。

20 《COVID-19 危机后可持续和公平的蓝色复苏》，Eliza Northrop 女士，世界资源研究所可持续发展海洋倡议高级助理。

21 《国际海事组织第四次温室气体研究》。国际海事组织。2020 年。

22 《道路的气候适应性设计：以印度中央邦农村互联互通项目为例》，Subhash C. Nigam 先生，基础设施发展咨询公司管理合伙人。

23 《阿根廷陆路运输网络的气候变化风险分析》，Veronica Raffo 女士，世界银行高级基础设施专家。

24 《小岛屿发展中国家的运输韧性：从呼吁到行动》，Frederico Ferreira Fonse Pedroso 先生，世界银行灾害风险管理专家。

25 《太平洋岛屿在建设具有抗灾能力的沿海基础设施方面的经验》，Kushaal Raj 先生，斐济经济部气候变化与国际合作司代理司长兼海洋专家。

必须将经济多样化视为应对未来危机的战略。这一点对沿海地区尤为重要，由于旅行限制、过度捕捞和污染等因素，这些地区是受 2019 冠状病毒病（COVID-19）影响最严重的地区之一（见图 2）。然而，尽管遭受了这些影响，但复苏刺激方案中往往忽略了这些地区。支持经济多样化可为妇女、青年、土著社区和小型渔户等弱势群体创造新的机会，从而加强他们应对未来危机的能力。此外，如高级别小组为建设可持续海洋经济而建议的那样，投资于可持续海洋工业，如脱碳航运和可再生能源，为长期经济增长和稳定提供了重要机会。²⁶

图 2：COVID-19 对沿海地区的影响



COVID-19 = 2019 冠状病毒病，IUU = 非法、未报告和无人管制的
来源：海洋小组（2022 年）

许多小岛屿发展中国家处于投资的最前沿，了解海洋对地方和全球经济的重要性。此外，许多严重依赖海洋的国家政府正在执行相关政策，要求所有政府部门都必须考虑气候风险。斐济在发言中强调了斐济政府如何通过《气候变化法》开展这项工作，该法规定，各项预算和基础设施规划必须考虑气候变化风险（脚注 25）。

26 可持续海洋经济高级别小组会议。可查阅：<https://oceanpanel.org>。

投资建设应急救灾设施对于提高自然灾害发生后的恢复能力十分必要。世界银行的专题介绍概述了他们如何制定了加强韧性的四项关键战略。²⁷ 第一项战略是进行空间和部门规划，以确定脆弱地区和干预措施的优先次序。第二项战略涉及投资建设具有气候韧性的基础设施，以尽量减少自然灾害造成的损失。第三项战略是创造有利环境，包括政策和法规，激励私营部门投资于提高复原能力的措施。第四项战略是提供灾后重建支持，帮助社区在灾后重建和恢复。通过实施这些战略，可以在减轻自然灾害对人民、经济和环境影响的同时，增强脆弱社区的韧性（详见案例研究 3）。

27 《太平洋气候韧性运输计划（PC RTP）：MICRO 和 MICRO2》，Nana Soetantri 女士，世界银行高级运输专家；《具有韧性的海岸：机遇与灾害风险并存的越南沿海开发》，Dzung Huy Nguyen 先生，世界银行高级灾害风险专家；Rentschler, Jun; de Vries Robbé, Sophie; Braese, Johannes; Nguyen, Dzung Huy; van Ledden, Mathijs; Pozueta Mayo, Beatriz. 2020 年。《具有韧性的海岸：机遇与灾害风险并存的越南沿海开发》。© 世界银行，华盛顿特区。可查阅 <http://hdl.handle.net/10986/34639>。许可证：CC BY 3.0 IGO。

案例研究 3

具有韧性的海岸：机遇与灾害 风险并存的越南沿海开发

(世界银行提供)²⁸

概述

为了应对越南的诸多灾害风险，越南政府进行了沿海风险分析，并启动了一项打造沿海韧性的计划，将在未来15年内分五个阶段实施。该方案旨在加强沿海地区抵御气候变化的能力，重点关注自然基础解决方案、沿海韧性综合规划、保险、社会安全网开发、调动金融资源和改善应急准备。该方案将考虑五至五百年来发生的自然灾害及其历史影响。

背景

越南沿海地区每年遭受海岸侵蚀、风暴潮和盐水入侵等自然灾害造成的破坏愈发严重，严重影响了农业、水产养殖业、旅游业和工业等关键部门，阻碍了人们获得就业、教育和医疗保健的机会，并损害了企业的竞争力。特别是作为水稻主产地的湄公河三角洲，容易受到洪水和盐水入侵等自然灾害的影响，造成重大经济损失。

方法

越南进行了沿海风险分析，研究了物理气候风险以及这些风险对工业、人口统计和宏观经济的影响。基于此，越南制定了一项明确的五点计划，以增强韧性。

沿海风险分析

根据一份加强韧性的报告，由于气候变化的影响，越南面临着巨大的沿海风险。这些风险直接影响到在不断受侵蚀的海岸线附近生活的1,200万人。此外，越南的能源基础设施和运输系统也因沿海洪灾而面临风险，造成国内生产总值（GDP）损失3%，715万人失业。不仅如此，对农业、制砖和旅游业等其他关键部门的影响也很大。例如，43%的酒店和45%的医疗保健设施可能会在100年内被洪水淹没。

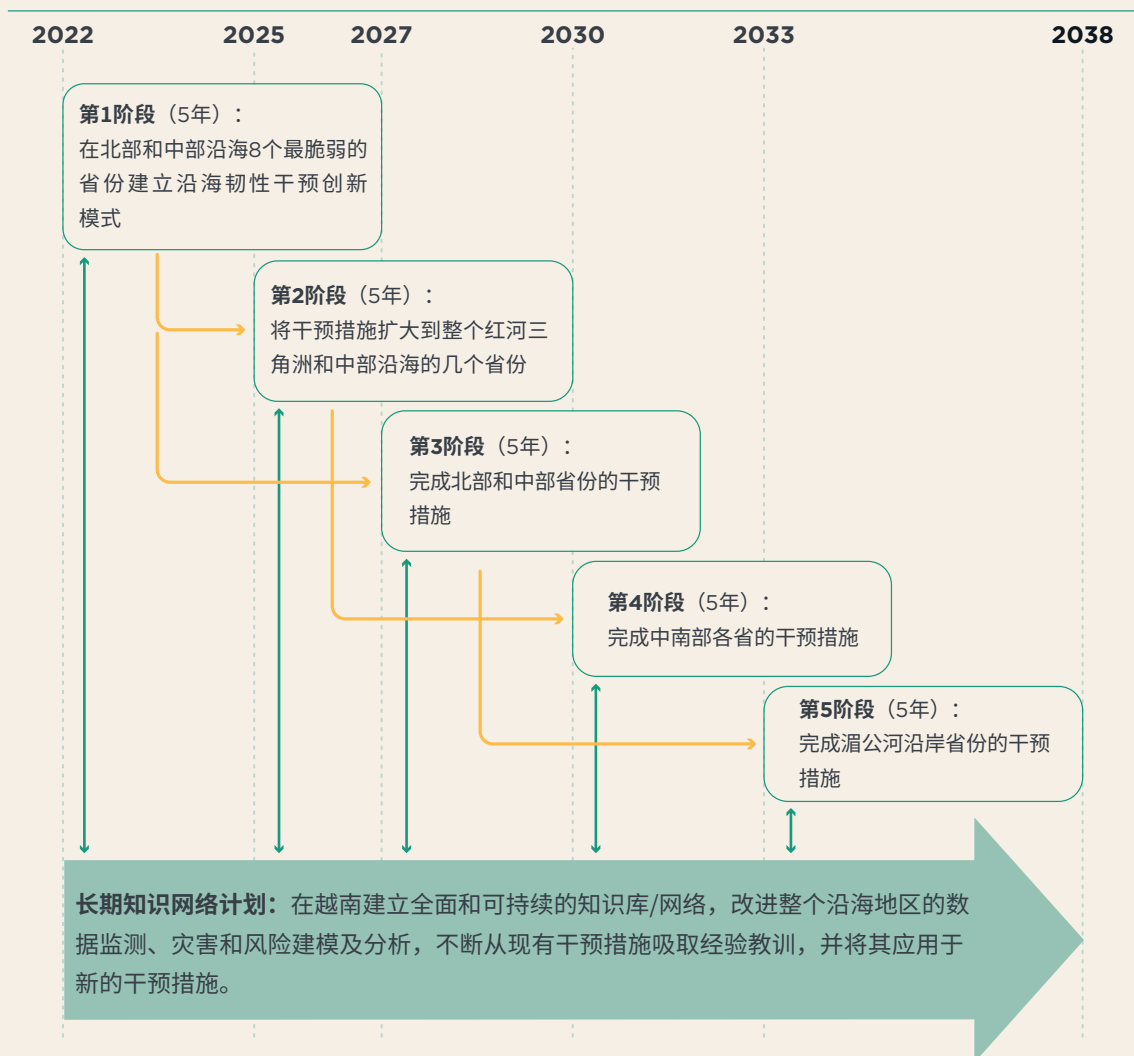
主要发现

越南是一个容易受到自然灾害冲击影响的中低收入国家，每年因灾害造成的GDP损失有60%发生在沿海地区。尽管如此，该国仍是大米和其他农产品的最大出口国之一。过去十年间，越南经济向沿海地区靠拢，增加了因低估自然灾害而遭受巨大经济损失的风险。除了洪水、海平面上升、风暴和海岸侵蚀之外，由于海平面上升和采沙，稻米产量占该国50%的湄公河三角洲的盐水入侵也是一个重大问题。自然灾害也影响着水产养殖业。同时，医疗设施也面临着巨大的洪灾风险。

此外，越南22%的海岸线正在被侵蚀，并且，35%的定居点位于被侵蚀的海岸线上。由于越南65%的堤防未能达到规定的安全标准，

²⁸ 《具有韧性的海岸：机遇与灾害风险并存的越南沿海开发》，Dzung Huy Nguyen 先生，世界银行高级灾害风险专家。

图 3：越南的五年规划



来源：具有韧性的海岸：机遇与灾害风险并存的越南沿海开发（worldbank.org）

若将海岸韧性行动推迟 10 年，可能会使额外的 43 亿美元经济增长遭遇自然灾害的冲击。因此，越南必须把重点放在沿海韧性建设计划上，建议制定一项为期 15 年、分五个阶段实施的计划。在试点项目和计划中落实相关建议，并将其推广到更多地区，对于减缓自然灾害对基本服务、沿海城市化以及旅游业、水产养殖业和农业等重要部门形成的风险至关重要。

经验教训

该项目提供了以下重要经验教训：

- a) **空间规划：**为了将风险信息纳入发展和投资规划，必须优先考虑空间规划。这就要求确保提供可靠的灾害数据和分析工具，为省、市政府规划进程提供支持，以确定气候风险并将其列为优先处理事项。

- b) 捐款方协调平台：**必须建立一个捐款方协调平台，以促进包括私营和公共部门在内的多方投资。这将减少重复工作，并使针对项目各层面的建议保持一致。
- c) 灾害风险融资：**制定灾害风险管理和灾后恢复融资工具和保险模式至关重要，同时需要审查和加强有关融资、灾害风险管理、资产管理和社会安全网的法律和法令，以优化金融普惠性。所有这些措施将确保一个国家能够更好地为应对灾害做好准备。
- d) 加强应急响应：**可以建立应急指挥中心，结合沿海灾害监测系统，改进风险预报和预警系统。利用政策和工具提高各部门间的应急协调能力，从而进一步加强应急响应能力。

结论

越南政府分为五个阶段的沿海韧性计划，是一个全面而综合的方法，其目的在于加强该国沿海地区抵御自然灾害的能力，保护其关键部门，并确保人民的福祉。通过采用分阶段实施方法，并引入创新解决方案，越南可以持续有效地建设其沿海韧性。

2.3 沿海基础设施和服务中的气候减缓措施

航运业脱碳对于实现全球减排目标至关重要。国际航运贸易量约占全球商品贸易的80%，预计到2050年将增长约40%。²⁹然而，它的排放量占到全球的近3%，而且如果一切照旧，到2050年将占到全球排放量的17%。³⁰国际海事组织已经认识到航运对全球温室气体排放和空气污染的重要影响，并承诺，基于2008年的排放量水平，到2050年将排放量至少减少50%。³¹

航运业脱碳在技术上是可行的，但需要大量资金。根据世界银行的介绍，航运部门可以通过各种现有的技术、运营和经济的解决方案实现迅速脱碳（脚注30）。然而，若要在2050年前将航运业的排放量减少50%，则需要在未来20年内投入至少1万亿美元的巨额资金，这使得航运业的减排工作在财务上极具挑战性。需要将这些资金用于投资陆地和海上基础设施，包括从高污染的重质燃油替换为新型零碳燃油，并大幅提高能源效率。

开发新型零碳燃油（如绿氢和绿氨）对于航运脱碳至关重要。可以利用可再生能源来生产绿氢等替代船用燃料，其唯一的副产品是水。此类替代燃料的运输很方便，例如绿氨便是一种已经在世界范围内普遍交易的商品。然而，为了实现这些解决方案的规模化、完成能源转型，需要制定战略性公共政策。这包括制定针对性补贴和碳定价政策，因为据估计，零碳燃油的价格要比传统燃油高40%到60%左右。

液化天然气（LNG）可能作为原料、对利基线路发挥有限作用，而生物燃料则不太可能发挥重要作用。考虑拟议替代燃料的整个生命周期，对于确保它们能够实现真正的减排至关重要。这样一来，可以清楚地看到，由于甲烷泄漏，液化天然气显然不能成为零碳/低碳燃油的替代品。然而，它们可以用来作为生产“蓝氢”的原料，即利用碳捕获与封存技术从液化天然气中制造氢气。同样，由于供应受限和成本问题，生物燃料的作用将受到限制。

与公路货运相比，内河水路运输作为一种低碳选择，可以发挥至关重要的作用。以中国为例，到2021年底，全国内河通航里程将超过128,000公里。此外，该国还加快发展铁路与港口之间的多式联运设施，以减少对卡车运输集装箱的需求，这一点在《中国港湾工程有限责任公司案例研究4》中已有论述。³²此外，江苏等一些省份创建了船舶、港口和周边城市相结合的污染管理体系。中国还针对绿色港口出台了几项新的高级法规，以确保该领域基础设施发展的一致性。而在越南，事实证明，增加使用内河航道可减少排放，降低成本，减少道路事故的发生和拥堵成本。³³

29 Englert, Dominik 和 Losos, Andrew. 2021年。《制定海运脱碳路线图：决策者和行业摘要》。© 世界银行，华盛顿特区。可查阅：<http://hdl.handle.net/10986/35436>。许可证：CC BY 3.0 IGO。

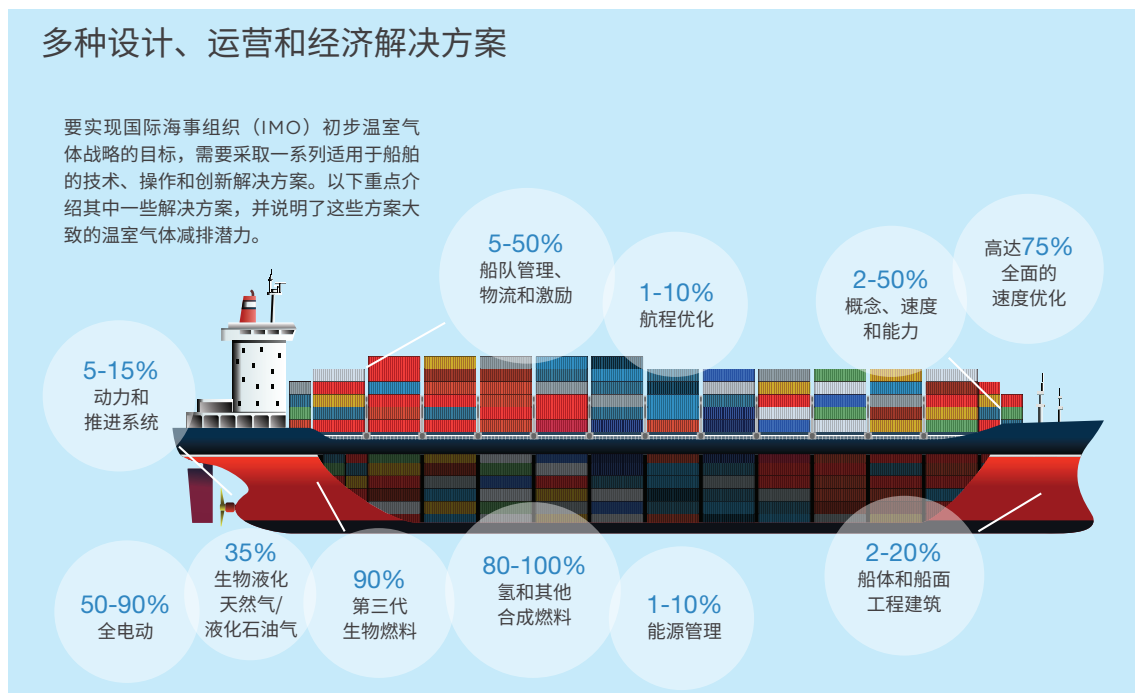
30 《海运脱碳：发展中国家零碳燃油生产潜力》，Dominik Englert 先生，世界银行交通运输全球实践局全球知识股经济学家。

31 《温室气体初步战略》。国际海事组织。2018年。

32 《中国港湾工程公司实行绿色、数字、信息和效率革命：上海洋山深水港四期工程》，Claude Peng 先生，中国港湾工程有限责任公司项目融资高级顾问。

33 《促进越南内河运输，实现可持续物流互联互通》，Yin Yin Lam 女士，世界银行高级贸易物流专家。

图 4：航运业运营和经济脱碳解决方案



GHG = 温室气体，IMO = 国际海事组织

来源：国际海事组织减少国际航运温室气体排放的行动：26620IMO_ACTION_TO_REDUCE_GHG_EMISSIONS_FROM_INTERNATIONAL_SHIPPING.pdf (un.org)。

太平洋地区各国和佛得角等小岛屿发展中国家（SIDs）已认识到海事部门脱碳的益处，并通过“太平洋蓝色航运伙伴关系”等伙伴关系在整个行业实施协调一致的举措。这些地区和国家严重依赖海运进口日常必需品，确保社区能够开展从工作到上学的基本活动（脚注 24）。然而，该地区极易受到气候变化的影响，这意味着它所依赖的行业对其经济的负面影响越来越大。因此，该地区的一些国家建立了太平洋蓝色航运伙伴关系，以实现海运业脱碳，同时带来与可持续发展目标相一致的社会、环境和经济效益。其想法是，投资航运和扩大可再生能源规模有助于促进多样化和创新，以应对 COVID-19、气候变化和其他经济冲击的影响。

案例研究 4

中国港湾工程公司实行绿色、数字、信息和效率革命： 上海洋山深水港四期工程

(中国港湾工程有限责任公司提供)³⁴

背景

中国港湾工程有限责任公司 (CHEC) 是一家著名的基础设施建设公司，面向不断发展的海运业，该公司在上海洋山深水港实施了一场绿色数字信息和效率革命。本案例研究的重点是 CHEC 为提高港口效率、推动可持续实践、创造新的就业机会而开展的项目。该项目主要针对上海洋山深水港，该港口日吞吐量超过 1,000 个标准箱 (TEU)，总容量为 15 万个标准箱，相当于年吞吐量约为 570 万个标准箱。在本案例研究中，我们将考察 CHEC 为实现其目标而采用的战略和技术以及该项目的成果(脚注 32)。

问题阐述

在实施该项目之前，上海洋山深水港曾面临诸多挑战。由于使用人工操作造成人力成本

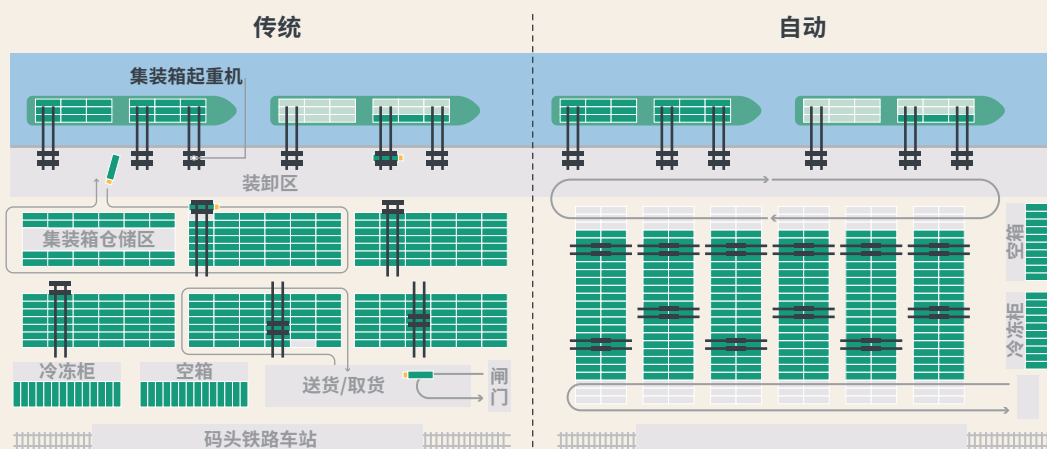
高企、效率有限且有安全问题。由于设备使用柴油，产生了大量排放，对环境造成了负面影响。这些问题阻碍了港口的发展，使其效率低下，缺乏全球竞争力。该项目旨在通过采用创新技术和可持续做法来提升效率、降低人力成本、促进环境可持续性，以应对上述挑战。

方法

该项目通过整合数字化和自动化技术，改造了堆场设备并提高效率。通过引入自动导引车 (AGV) 和人工智能管理等由电力驱动、自动化程度较高的系统，实现向清洁能源转型。同时，运营系统的集成进一步提高了效率并减少了排放量。这些技术和系统的实施细节概述如下：

³⁴ 《中国港湾工程公司实行绿色、数字、信息和效率革命：上海洋山深水港四期工程》，Claude Peng 先生，中国港湾工程有限责任公司项目融资高级顾问。

图 5：传统港口与自动化港口布局对比



来源：作者

利用自动化设备提高效率

磁钉和 5G 技术的应用为港口设备自动化带来了突破性的变革。该项目实现了自动导引车实时导引和控制室远程控制，进而提高了效率。生产路线规划、船舶和堆场规划系统、存储规划系统和传感器技术设备等所有自动化设备共同协作，精简了集装箱从船舶到堆场的运输过程。通过从半自动系统转向全自动系统，实现向自动导引车和人工智能管理等电力驱动、自动化程度较高的系统转型。

整合运营系统， 以提高效率并减少排放

为了提高效率和减少排放，在港口运营中对多个运营系统进行了整合。其中包括新的闸门控制系统和电子数据交换系统，两者能够提供实时更新并确保安全。

港口还通过智能电力交换技术优化用电，平衡不同能源与电网之间的电力交换，从而减少浪费、降低成本，实现高效配电。同时，港口还采用了自动故障诊断技术，利用机器学习和人工智能算法检测和诊断电气系统故障，确

保及时采取纠正措施，最大限度地减少中断。此外，电力监测技术还能测量和分析耗电量，识别低效情况，减少能源的使用，并采取预防措施避免潜在问题。这些创新技术共同提高了港口的能效、可靠性和运营可持续性。

经验教训

该项目为了解技术在推动向清洁能源转型方面的潜力提供了宝贵的见解。我们可以汲取的经验教训有：

1. 清洁能源的成本效益：技术进步和算法提高了清洁能源的成本效益，特别是通过采用智能电力交换系统。
2. 自动化设备集成：集成先进的自动化设备，如生产路线规划和传感器技术设备，能提高操作效率和安全性，并减少排放。
3. 电力转换计算机系统：计算机系统实现了从柴油向电力的转型，从而优化能源资源并减少温室气体排放。
4. 旨在提高效率的全自动系统：转向电力驱动的全自动系统可提高整体效率并降低成本。

结论

通过 CHEC 的绿色数字革命，上海洋山深水港成功转型，在降低成本、提高效率、采用清洁能源和创造就业机会方面取得了令人瞩目的

成果。集成系统提高了安全性，使港口能够处理更多的集装箱，为中国的经济增长做出贡献。该项目展示了技术和可持续性在改变海运业方面的潜力，为可持续和高效的能源未来提供了典范。

2.4 善用私人资金

在海事领域，合作对于发挥零碳燃料的益处至关重要。由于船舶经常停靠不同国家或地区的港口，并可能需要其他国家的燃料补给，因此合作必不可少。同时，船舶在交付货物时涉及包括船东、承租人和所运输货物制造商在内的许多参与方。此外，新兴燃料行业之间进行协调往往涉及从港口运营商到整个海运燃料价值链中的更多利益攸关方。鉴于所涉利益攸关方众多以及海运业的全球属性，各国需要在各个层面开展合作。目前正逐步在世界各地建立绿色走廊，即两个港口之间就供应绿氢达成协议，当一艘船在两个港口之间航行时，它可以在其中任何一个港口补给零碳燃油。

生态工业园区可以支持各利益攸关方之间开展合作，激励绿色航运。联合国工业发展组织（UNIDO）的专题介绍概述了这些园区的宗旨，即提高制造业和服务业企业的环境、社会和经济效益。³⁵如今，全球范围内，工业园区已逐渐绿色化，联合国工业发展组织正在开展一个项目，帮助从越南、埃及到哥伦比亚的八个试点国家调动资金、降低转型成本并强化全球认知。基于该项目，生成了 20 种工具用来衡量园区的环境、社会和经济绩效参数。³⁶其中一个重要经验是，协同增效对于园区取得成功至关重要。例如，供应链和价值链上的企业同聚一地、使用副产品和废弃物进行交换，以及联系园区内企业与邻近城市，从而发挥绿色基础设施共同开发和使用的优势。

经济特区是另一种可以用来激励绿色航运并为更广泛的社区提供惠益的模式。苏伊士运河经济区（SCZONE）总局的专题介绍概述了巴拿马如何创建了一系列经济特区，为在应对气候变化挑战的同时促进可持续经济增长，提供了另一个范例。³⁷其中包括，为在该区投

35 《生态工业园区框架、联合国工业发展组织概念计划和生态工业园区总体规划审查工具》，Rana Pratap Singh 先生，联合国工业发展组织（UNIDO）能源与清洁生产司工业发展干事。

36 《生态工业园区国际框架》，世界银行。可查阅：<https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/429091513840815462/an-international-framework-for-eco-industrialparks>；生态工业园区，工具，联合国工业发展组织知识中心。可查阅：<https://hub.unido.org/eco-industrial-parks-tools>。

37 《将苏伊士运河经济区从过境区转变为创新中心》，Waleid Gamal El-Dien 先生，苏伊士运河经济区总局投资促进事务副主席。

资并符合特定可持续性和气候适应性要求的企业提供各项激励措施。为支持气候韧性建设，苏伊士运河经济区采用了绿色技术和可持续基础设施，包括可再生能源、低排放交通运输和水管理系统。该经济区还通过与当地社区和民间社会组织合作，支持创造绿色就业机会，促进可持续的商业实践。

苏伊士运河经济区是一个低碳转型过程的范例。苏伊士运河经济区已经开始了从单纯的海上运输通道向全球绿色产品中心转变。该经济区邀请私营部门生产绿氢，充分利用当地巨大的太阳能资源、面向能源行业私营投资的监管环境支持以及便于向海运行业销售和分销绿氢的优越地理位置。

同样，私营部门投资对于实现全球减排目标也至关重要。为实现减排，航运公司等私营部门必须在技术进步方面进行投资，比如零碳燃油和人工智能（AI）。不过，要加快这些技术的应用，还需要大量的资金投入和公共政策的支持。上海洋山深水港案例研究展示了整合数字化和自动化系统在提升效率和减排方面的有效性。利用人工智能、智能电力交换和自动化技术可以显著提高运营效率和可持续性。



3 气候智慧型公路和铁路



3 气候智慧型公路和铁路

3.1 概述

高效的公路和铁路对支持可持续发展和增长至关重要。公路和铁路约占全球陆运网络的80%，它们促进了人员和货物在国家内部和各国之间的高效流动。³⁸然而，这些运输方式必须实现脱碳，因为交通运输业排放量目前约占全球总排放量的17%，如果不采取行动，到2050年将升至30%。³⁹本研讨会讨论了全球范围内发展中国家电动交通、交通运输业道路交通数字化和绿色化以及公路部门气候韧性创新方面的实践经验。

鉴于其线性特征，公路和铁路面临的气候风险很严峻且不断增加。自然灾害每年给中低收入国家的公路和铁路造成的损失高达80亿美元。更严重的是，发展中国家企业每年因交通运输基础设施中断而遭受的经济损失高达1,070亿美元。因此，公路和铁路实现脱碳必须与具体的适应措施相结合。

3.2 公路和铁路的气候适应和韧性

公路和铁路是全球运输网络的重要组成部分，可实现人员和货物的有效流动。然而，正如世界银行在其专题介绍中解释的那样，这些资产很容易受到自然灾害的影响，每年的损失高达150亿美元，其中一半以上发生在中低收入国家（脚注39）。由于企业倒闭、燃料成本上升和时间损失，企业和家庭遭受的实际损失约为1,070亿美元（脚注39）。因此，有必要投资建设维护和维修成本较低的具有韧性的基础设施资产。这包括提高基础设施服务的韧性，以提供更可靠的服务，以及提高基础设施用户的韧性，以更好地应对冲击并从中恢复。案例研究5详细介绍了如何将韧性纳入关键公路和铁路基础设施项目生命周期的各个阶段。还应注意的是，有必要着重了解系统和用户需求，以便对高度优先的领域进行投资。

孟加拉国在建设具有韧性的道路工程方面有许多良好做法。为了应对气候风险，孟加拉国政府于2021年发布了新的道路设计标准。⁴⁰为了尽可能减少气候对基础设施的影响，孟加拉国政府采取了垂直防火隔离带措施以降低火灾的影响，改进了地表排水和排洪机制以应对洪水和海平面上升，同时对边坡防护展开了详细调查，以减轻滑坡风险。在开展这些工作的同时，孟加拉国政府还采取了安装太阳能电池板、雨水收集装置和设立绿色车辆专用空间等气候友好型措施，以减少碳足迹并提高环保意识。

38 《从道路坎坷到一帆风顺：建设公路部门的气候适应能力》，Julie Rozenberg 女士，世界银行高级经济学家。

39 《亚投行在提高公路和铁路部门气候适应能力方面的经验》，Jin Wang 女士，亚投行高级投资运营专家 - 交通运输。

40 《气候适应能力和适应性道路项目》，Md. Jasim Uddin 先生，孟加拉国地方政府工程部气候适应性基础设施主流化项目主管工程师兼项目主任。

案例研究 5

提高公路和铁路部门的气候适应能力

(亚洲基础设施投资银行提供)⁴¹

概述

本案例研究概括介绍亚洲基础设施投资银行（亚投行）如何提高交通运输和农村部门的气候适应能力，以减少温室气体排放并使其政策与《巴黎协定》要求相一致。用于研究的实例来自亚洲一些国家，即孟加拉国、印度、印度尼西亚和老挝人民民主共和国的公路和铁路部门（脚注 39）。

背景

交通运输部门非常容易受到气候变化以及随之而来日益频繁的极端天气事件的影响，因此，交通运输基础设施的设计和建造必须能够抵御气候变化影响并减少排放。这就要求亚投行改变其传统模式，考虑到对交通运输基础设施不断变化的需求。

方法

亚投行资助的几个项目展示了如何将气候适应能力纳入基础设施项目。通过这些项目发现并分析出了与气候变化相关的一些主要风险，如温度升高、海平面上升、极端天气事件和降雨模式变化。接着，亚投行提出了一些有关气

候适应型设计 / 措施的建议，以尽量减少气候风险并将其纳入项目实施中。

研究结果

孟加拉国：由于 90% 的土地处于低洼地带，孟加拉国面临着许多气候变化风险。气候变化将导致全国范围内出现极端降雨和热浪。锡尔赫特至塔马比尔公路升级改造项⁴²旨在通过升级锡尔赫特和塔马比尔之间的孟加拉国 N2 国道，改善孟加拉国的城际互联互通以及孟加拉国和印度之间的跨境互联互通情况。为此目的，该项目在设计过程中纳入了气候适应能力考量，如改善地表排水系统（道路排水渠、路缘和排水沟）、改善桥梁和涵洞的设计标准以应对峰值流量增加和洪水、采取侵蚀控制措施保护路堤斜坡和山坡切口（如植树和植被重建）以及加强易受洪水侵袭地区的路面和路基。

印度：金奈地铁（二期 -4 号线）项目⁴³的目标是通过扩建金奈地铁系统，提高东西向连通能力和效率。金奈中心城区是地震多发区，按当地抗震规范划分标准，属于中度三区。距离海岸 20 公里的范围内容易受气旋影响，在暴风雨期间，金奈中心城区少数地方容易受到

41 《亚投行在提高公路和铁路部门的气候适应能力方面的经验》，Jin Wang 女士，亚投行高级投资运营专家 - 交通运输；亚投行的免责声明适用 <https://www.aiib.org/en/general/disclaimer/index.html>。

42 《项目文件》，20200402-P000153-Sylhet-Tamabil-Road-Upgrade-Published-Documents.pdf (aiib.org)。

43 AIIB-P000301-India-Chennai-Metro-Rail-Phase-2-Corridor-4-APD-Published_20210924.pdf。

洪水侵袭。⁴⁴ 项目设计采取了抵御气候变化的特征，以降低其对气候相关事件不利影响的脆弱性。

印度尼西亚：评估的是跨苏门答腊的（Cinto Kenang 至 Sentjalang）收费公路项目。该项目旨在通过修建一段跨越苏门答腊的收费公路，提高苏门答腊公路连通的效率、安全性和适应能力。⁴⁵ 为实现这一目标，将在道路设计和施工阶段纳入一系列气候适应性措施，包括抬高路面、选择适当的道路结构、优化排水系统和加固路堤等。

老挝人民民主共和国：13 号国道南段气候适应能力改善项目⁴⁶ 的目标是改善 13 号国道南段（第 3 段）的道路情况、安全性和气候适应能力。为实现这一目标，该项目将采取多项措施，包括升级排水系统和设计涵洞、排水沟和沟渠，以确保高效排水。该项目将尽可能减少对道路结构和周边环境的影响，保护河岸，防止桥墩和桥台受到侵蚀。这些措施将有助于提高公路对气候变化的适应能力，确保道路畅通和安全，促进经济增长并支持包容性。

经验教训

以上案例研究表明，将气候适应能力纳入基础设施建设以减轻气候变化风险、增强适应能力非常重要。必须确定与气候变化相关的风险、脆弱性和机遇，并将建议措施纳入整个项目开发周期。

结论

亚投行已采取若干措施以提高其项目抵御气候变化的能力，例如，开展气候风险分析和实施适应性措施。然而，要实现国际气候目标仍然有很长的路要走。亚投行可以通过投资低碳和具有韧性的基础设施，进一步提高交通运输部门的气候适应能力。

44 《2026 年金奈中心城区第二个总体规划》中与气候相关的主要风险，泰米尔纳德邦政府金奈中心城区发展局。

45 《项目摘要信息》，AIIB-PSI-000556-Indonesia-Trans-Sumatra-Toll-Road-Project.pdf。

46 老挝人民民主共和国：13 号国道南段气候适应能力改善项目（第 3 段）- 项目 - 亚投行。

3.3 公路和铁路部门的气候变化减缓措施

为有效实现铁路和公路部门脱碳，需要全面协调落实创新做法。向零碳交通运输转型需要一个包括科技创新、法规标准、机制和机构在内的顶层设计，以实现连通和安全。需建立政府各部门间的部际协调联动机制，以促进交通运输数字化与绿色发展规划之间的协作。这将确保新兴的零碳交通运输系统既能够支持经济，也能够惠及社会各群体。

中国是采取各种举措促进可持续交通的典范。例如，政府广泛采用电子收费系统，大大减少了空气污染物和二氧化碳的排放。⁴⁷他们还利用智能信号控制系统来优化交通信号配时，减少主要道路交叉路口的碳排放。通过这些技术，中国大大减少了交通运输部门的碳排放。

此外，中国正在推动新能源汽车在城市公共交通、租赁、物流配送等领域的应用。同时，中国还在加快高级自动驾驶的开发和应用，通过优化车辆行驶路线、减少空车行驶，进一步减少排放。此外，中国正在鼓励基于共享经济的客运服务模式创新，并开展城市居民出行碳账户试点示范项目。通过将电动汽车纳入更广泛的可持续发展计划并实施创新战略，中国正朝着交通运输部门脱碳大步迈进。

此外，应利用创新型金融模式和公私伙伴关系来支持转型。支持采用电动汽车的一种方法是，通过创新型融资策略（如长期融资或集中需求），管理更昂贵的电动汽车和充电基础设施的前期成本（详见案例研究 6）。⁴⁸开发电池租赁和回收模式也有助于提高电动汽车的可及性和可持续性。正如案例研究 7 中美洲开发银行在圣保罗实施的项目那样，公私合作伙伴关系可以通过资助基本建设费用来为铁路基础设施的升级改造提供支持。

绿色债券是铁路部门脱碳的潜在重要工具。欧洲复兴开发银行介绍了其为格鲁吉亚铁路发行绿色债券的创新经验（脚注 16）。该项目通过在伦敦证券交易所发行七年期绿色欧洲债券筹集了 5 亿美元。该绿色债券以确定规则的绿色债券框架为基础，发行价格创下了格鲁吉亚国有企业的历史最低记录，获得 8.4 倍超额认购。总体而言，这次债券发行非常成功。该债券资助的绿色项目包括以零直接排放建设的一条新铁路线，一年减排 1.9 万吨二氧化碳。此外还包括货运和客运列车车辆制造、现有电气化铁路干线能效改善，以及轨道旁基础设施现代化项目。这些投资在 2021 年避免了超过 1.9 万吨二氧化碳当量的排放，并将列车速度提高到 80 公里 / 小时。预计年货运能力将从 2,700 万吨增至 4,800 万吨。

47 《中国道路交通数字化与绿色化的协同发展之路》，侯德藻先生，中国交通运输部公路科学研究院智能交通研究中心主任 / 教授。

48 《促进交通运输部门向脱碳转型的监管和政策方法》。分享巴巴多斯“2030 年净零排放”的经验，Mark Durant 先生，巴巴多斯运输、工程和水资源部首席规划官。

案例研究 6

巴巴多斯通过电动汽车向零碳交通运输转型

(巴巴多斯政府提供)⁴⁹

导言

巴巴多斯是一个拥有 27.23 万人口的小岛屿国家，它致力于通过推广电动汽车向零碳交通运输转型。本案例研究探讨该国为实现该目标所作的努力，侧重于主要政策、挑战和成果。

背景

巴巴多斯常年遭受气候变化影响，不利于其可持续发展。然而，由于目前其运输车队中 95% 是碳基燃料车辆，因此，巴巴多斯严重依赖于造成这些破坏性影响的技术。在向零碳交通运输转型的过程中，该国面临着许多挑战，包括电动汽车前期成本过高、电动汽车的普及、道路质量和维护、驾驶员行为以及多机构合作等。

方法

凭借富有远见的领导和利益攸关方参与，依靠明确的政策和融资，巴巴多斯脱碳进程迅速推进。例如，该国实施了若干技术解决方案，如电动汽车登记、车辆黑匣子技术、完善执法服务、电子负载管理系统以及交通增强服务和伙伴关系数字化。最后，变压器、光伏发电、

备用发电机等电网支持系统和专业技术知识增强对成功转型至关重要。

然而，由于充电能力有限，巴巴多斯认识到无法用电动汽车取代所有化石燃料汽车。为解决该问题，巴巴多斯采取了一系列税收和关税激励措施，如将电池电动汽车的进口关税从 45% 降至 10%，发展可再生太阳能项目公私伙伴关系，提高公务员购买替代燃料汽车的贷款限额。该国还在城市为电动公共汽车安装太阳能充电站，并鼓励安装私人充电站和居民区充电站。

巴巴多斯的电动公共汽车



美洲开发银行

49 《促进交通运输部门向脱碳转型的监管和政策方法》。分享巴巴多斯“2030 年净零排放”的经验，Mark Durant 先生，巴巴多斯运输、工程和水资源部首席规划官。

主要成果

巴巴多斯在向零碳交通运输转型方面取得了重大进展。通过引入电动汽车和混合动力汽车，实体和技术基础设施得到加强，包括全球定位系统和在线支付。当地专家组成了电动公共汽车委员会，共部署了 49 辆电动公共汽车和 33 个充电站，提高了能源效率和空气质量。通过这些努力，巴巴多斯减少了对进口燃料的依赖进而加强了能源安全，降低了运营和维护成本进而提高了出行的普惠性，改善了空气质量，减少了 14% 至 43% 的二氧化碳排放，带来了许多健康和环境效益。

巴巴多斯拉默特圣露西太阳能发电厂

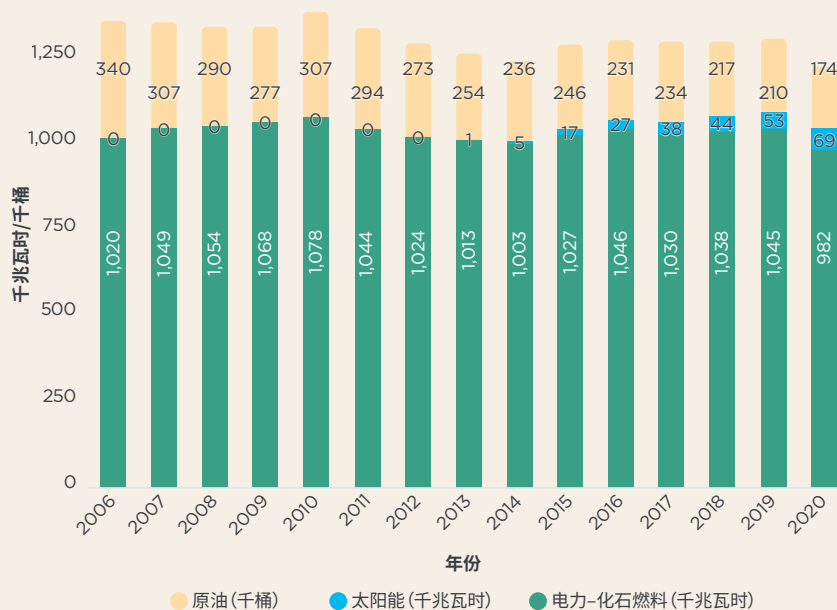


结论

巴巴多斯通过推广电动汽车而向零碳交通运输转型方面所做的努力，是该国在减少碳足迹、促进可持续发展方面迈出的重要一步。虽然挑战依然存在，但巴巴多

斯通过其强有力的领导、全面的政策以及对利益攸关方参与和技术创新的承诺，在转向更加环保、更加可持续的未来方面为其他国家提供了可借鉴的蓝图。

图 6：巴巴多斯能源生产情况（按年度和类型分列）



GWH= 千千瓦时，kbbbl= 千桶

来源：巴巴多斯 OSIE。

3.4 国家交通运输脱碳长期战略与政策

为支持公路和铁路部门脱碳并提高其韧性，各国可采取若干步骤，并应将其纳入一项全面的计划。本章指出，需要采取全政府方法，通过一系列明确的政策和法律来实现公路和铁路部门脱碳。加强这项工作的方法之一是将公路和铁路部门纳入国家自主贡献。这将使政府能够为整个国家制定清晰的愿景，并尽可能减少排放转移，即排放从一个部门转移到另一个部门。世界资源研究所通过其“交通运输部门气候战略跟踪器”工具整理和提供的数据，介绍了全球交通运输部门在国家自主贡献方面的经验。⁵⁰

增加公共交通是国家自主贡献的关键解决方案之一，但还有许多其他方案可供选择。大多数国家将发展公共交通作为交通运输部门减排的优先解决方案，在 142 个国家中就有 100 个提到将其作为减排工具。然而，针对发展公共交通，各国设立的行动 / 目标往往模糊且难以量化，因而很难产生真正的变化。因此，需要在制定和实施方案方面作出更大的努力，包括为规划紧凑型城市制定明确的指南，改善公共交通、步行和骑行基础设施。

“避免—转变—改善”框架可以成为交通运输脱碳的有用工具。世界资源研究所在其专题介绍中对该框架作了概述，⁵¹ 其中包含有三类活动：**避免**和减少机动车出行需求、向更环保的交通方式**转变**以及**改善**各种交通运输方式的能源效率。大多数“国家自主贡献”交通运输减排干预措施只属于“改善”一类。

在交通运输部门加强“国家自主贡献”涉及三个关键领域。首先，加快各种交通运输方式的电气化。第二，扩大上述“避免”和“转变”解决方案。第三，解决货运温室气体排放问题。

为一国家确定最佳政策，需要详细分析交通运输电气化问题。世界银行的专题介绍概述了在中、低收入国家加快客运车辆电气化的经济学意义，并提供了有效的政策设计方法。⁵² 采用电动汽车可惠及健康（通过改善空气质量）、交通普惠性（通过负担得起的“最后一公里”解决方案）以及能源安全（在国家进口燃料的情况下）等领域。如果推广电动汽车是综合可持续交通运输战略的一部分，则可带来显著的碳减排和气候变化减缓效益。分析表明，必须从一开始就瞄准前景最好的细分市场，即电动两轮和三轮车和公共汽车；普通四轮电动汽车只在少数情况下具有成本效益。

50 《加强国家自主贡献：交通运输领域的机遇》，Yiqian Zhang 女士，世界资源研究所全球电动交通助理研究员；《交通运输气候战略：国家自主贡献和长期战略分析》。可查阅：<http://slocat.net/wp-content/uploads/2022/01/Climate-Strategies-for-Transport-An-Analysis-of-NDCs-and-LTSSLOCAT-December-2021.pdf>。

51 《加强国家自主贡献：交通运输领域的机遇》，Yiqian Zhang 女士，世界资源研究所全球电动交通助理研究员；《加强国家自主贡献：交通运输领域的机遇》旨在帮助各国将雄心勃勃、相关切实的交通解决方案纳入增强后的国家自主贡献，以向《联合国气候变化框架公约》通报。世界资源研究所。

52 《经济体范围内关于采用电动交通运输的金融和经济成本效益分析》，主讲人：Cecilia Briceno-Garmendia 女士，世界银行交通运输经济与政策全球主管 / 首席经济学家。

3.5 善用私人资金

私人资金参与公路和铁路部门应优先考虑气候韧性措施。公路和铁路基础设施易受自然灾害等气候风险影响，这凸显了采用具有气候韧性的设计和施工的必要性。孟加拉国的道路设计标准以及印度、印度尼西亚和老挝亚投行资助项目的经验教训均强调了纳入气候风险评估和采取适应措施的重要性，例如改进排水系统、侵蚀控制和桥梁设计，以抵御未来的洪水侵袭。可以通过指导方针和法规，充分利用私人资金来资助这些活动。

还可通过创新融资模式和公私伙伴关系，以充分利用私人资金来资助向低碳和具有气候韧性的公路和铁路基础设施转型。正如美洲开发银行资助的圣保罗项目（案例研究 7）所示，公私伙伴关系对支持铁路基础设施升级改造的资本投资至关重要。在将气候方面的要求纳入合同流程的同时，公私伙伴关系还应利用创新的支付和收入模式。此外，还可以通过长期融资、整合需求和电池租赁的模式，以充分利用私人资金来管理前期成本，提高获取电动汽车和充电基础设施的便利程度。

公路和铁路部门实现脱碳还需要政府和私营部门采取全面协调的行动。政府应建立部际协调机制，利用私营部门的专业知识，促进交通运输数字化与绿色发展规划之间的协作。中国的举措，如采用电子收费系统、优化信号配时、推广新能源汽车和探索高级别自动驾驶表明了整合创新做法和技术对于实现有效脱碳的重要性。

国家长期战略可以为私人资金提供确定性和明确性，可以降低私营部门投资气候解决方案的相关风险。私营部门的参与应与交通运输脱碳的国家长期战略和政策保持一致。各国应将公路和铁路部门纳入其国家自主贡献，并制定明确的政策和法律为脱碳工作提供支持。加强交通运输领域的国家自主贡献、支持创新私人投资的关键领域包括强调公共交通、落实“避免—转向—改善”框架、加快电气化和解决货运排放问题。

案例研究 7

圣保罗城际列车 - 北线： 公私伙伴关系

(美洲开发银行提供) ⁵³

背景

圣保罗州拥有巴西两大中心城区——圣保罗和坎皮纳斯，总人口超过 2,500 万。人们对两座城市之间可靠、可持续交通服务的需求很高，许多人目前依赖汽车和公共汽车。为解决该问题并推广更清洁的交通运输方式，巴西政府启动了一个项目，兴建连接两座城市的都市快速铁路设施。

方法

该项目拟建设铁路网以取代目前汽车和公共汽车为主的出行方式。考虑到预计资本支出约 105 亿雷亚尔（约 20 亿美元），私营部门需要吸收建设新设施的风险，并全面执行资本和运营支出计划。该项目将利用现有的基础设施来推广新的交通运输服务和替代方案，从而为利用清洁技术发展经济并为地方产业创造机会。表 2 概述了该项目如何影响三条现有线路。

图 7：巴西东南部地图



来源：地图，圣保罗州政府地理和地图研究所都市信息系统，2021年；估计人口数量，巴西国家地理与统计局，2019年；国内生产总值（以雷亚尔计），巴西国家地理与统计局。

53 《圣保罗城际列车 - 北线：公私伙伴关系》，Gaston Astesiano 先生，美洲开发银行公私伙伴关系团队负责人。

表 2：铁路线升级改造情况一览表

快速线	通勤线：7 号线 -Rubi	通勤线：城际列车 (TIM)
<input type="checkbox"/> 3 站(圣保罗-容迪亚伊-坎皮纳斯)	<input type="checkbox"/> 13 站(巴拉芬达-弗朗西斯科莫拉图)	<input type="checkbox"/> 9 站(弗朗西斯科莫拉图-坎皮纳斯)
<input type="checkbox"/> 新线路 / “绿色区”	<input type="checkbox"/> 改造线路 / “棕色区”	<input type="checkbox"/> 扩建和改造 / “黄色区”
<input type="checkbox"/> 延伸 101 公里	<input type="checkbox"/> 待建 35.19 公里	<input type="checkbox"/> 待建 65.81 公里
<input type="checkbox"/> 全程 64 分钟	<input type="checkbox"/> 全程 50 分钟	<input type="checkbox"/> 全程 55 分钟
<input type="checkbox"/> 42,416 人次 / 天	<input type="checkbox"/> 414,323 人次 / 天	<input type="checkbox"/> 98,258 人次 / 天
<input type="checkbox"/> 最高票价：0.63 雷亚尔 / 公里	<input type="checkbox"/> 都市服务基本票价	<input type="checkbox"/> 都市服务基本票价
<input type="checkbox"/> 将在 7 年后实现全面运行	<input type="checkbox"/> 将在 7 年后实现全面改造	<input type="checkbox"/> 将在 5 年后实现全面运行

来源：《圣保罗城际列车 - 北线：公私伙伴关系》，Gaston Astesiano 先生，美洲开发银行公私伙伴关系团队负责人。

付款机制

为提高项目效率，铁路线升级改造利用创新付款机制提供资金，包括政府建设付款、快速线服务收入款项、可用性付款、固定定期公共付款和附带收入款项。这些创新机制下的收入覆盖项目资本支出的 75%。此外，还覆盖了若干税收款项和所有线路的运营支出，其中有一小部分归属于铁路股东。

减少项目影响，提高气候韧性

公私伙伴关系合同对具体条件作出规定，以确保项目能够在提高气候韧性的同时减少对自然环境的影响。为此，合同就对周边地区影响的评估和生物多样性保护作出严格规定。私营部门伙伴有义务进行自然灾害和气候变化风险分析，并将其用于项目的工程设计。具体而言，合同要求根据政府间气候变化专门委员会 RCP4.5 情景（中等情景）来考虑未来的降雨情况。

经验教训

该项目为现有基础设施和创新型公私伙伴关系如何为环境、社会和经济创造多方共赢机会提供了明确的范例。私营部门完全执行资本和运营支出，确保高效利用公共资源推广清洁交通运输技术，减少对机动车的依赖。该项目在实现上述目标的同时能够有效控制对环境造成的影响，原因在于合同义务明确纳入了未来气候变化的风险，同时考虑到需要尽可能减少对生物多样性的影响。

结论

圣保罗和坎皮纳斯清洁交通运输基础设施项目是一项重大举措，将为超过 2,500 万人提供可靠的可持续交通服务。该项目将减少对高速公路和城市道路的依赖，从而减少汽车使用和温室气体排放。同样，它还将为该地区创造商业和就业机会，同时遵守严格的环境标准。该项目展示了创新型公私伙伴关系和融资模式如何带来多种好处。



4 气候智慧型能源互联互通 基础设施



4 气候智慧型能源互联互通基础设施

4.1 概述

可再生能源潜力巨大，但将能源和消费者连接起来至关重要。这种连接带来三大好处。首先是经济效益，消费者可以获得更廉价的能源，各国也可以出口其过剩的能源产量。第二是安全，各国可以从多种渠道获得能源。第三是可持续性，随着互联互通基础设施改善，消费者可以访问具有大量可再生能源潜力的地区，各国也可以通过利用可再生资源减少能源的碳排放。

此外，有必要确保互联互通基础设施做好应对自然灾害的准备。据估计，气候冲击和灾害带来的成本不断增加，每年约为 150 亿美元。如果算上时间损失、被迫停业和能源生产需求等额外成本，其影响甚至更大。本章将探讨如何加强能源部门的互联互通和韧性，并深入探讨能源公平问题。

此外，要实现交通运输和互联互通基础设施脱碳，能源部门必须实现脱碳。这是因为许多减排战略和解决方案都要求车辆电气化。因此，只有交通运输部门所依赖的能源部门实现脱碳，交通运输部门才能真正实现减排。

4.2 互联互通能源基础设施的气候适应性与韧性

统筹考虑气候韧性将最大限度地减少电力中断、成本和对用户的影响。世界银行介绍了其在提高能源部门韧性方面所做的工作。⁵⁴ 通过提高相关资产、服务和网络的韧性进而提高电力基础设施的韧性，对确保在气候冲击或自然灾害影响期间不间断供电至关重要，避免增加赔偿责任或对用户造成影响。这可以通过定期进行植被管理、强化基础设施抵御自然灾害的能力以及整合新技术和自动化技术来实现。这些解决方案加在一起，将有助于私营企业和家庭节省维修成本，据估计，该成本每年约 150 亿美元。⁵⁵ 相较于男子而言，停电对妇女的工作时长和女童的学习时长带来的不利影响要大得多，减少停电事件可以减轻这种不利影响，从而有助于实现性别平等。

电力基础设施的韧性包括三个方面：资产韧性、服务韧性和网络韧性。电力基础设施的韧性对确保在气候冲击或自然灾害期间不间断供电至关重要。第一方面包括资产韧性，涉及发电厂、输电线路和变压器等物理组件抵御中断事件的能力以及从中断事件中恢复的能力。第二方面包括服务的韧性，指的是电力系统在中断期间和中断后向客户供电的能力，这需要配有备用电源、优先考虑关键设施并迅速恢复服务。第三方面是指网络韧性，侧重于在不断变化的条件下，包括在气候变化条件下，保持稳定可靠的运行。这些措施有助于确保电力基

54 《暴风雨期间的供电：能源系统的气候韧性》，Claire Nicolas 女士，世界银行能源部门管理援助项目高级能源经济学家；《生命线：有韧性的基础设施》。世界银行，2019 年。可查阅：<https://documents1.worldbank.org/curated/en/099854409132241342/pdf/IDU0e4e47d0c09d0a04bc10842b093ad71761b86.pdf>。

55 《暴风雨期间的供电：能源系统的气候韧性》，Claire Nicolas 女士，世界银行能源部门管理援助项目高级能源经济学家。

基础设施能够应对各种挑战，保护客户免受气候冲击或自然灾害影响。由于各类资产的脆弱性各不相同，可能难以在三个方面均统筹考虑气候韧性，因此保持灵活性是找到有效解决方案的关键。

由于资产具有异质性并且对不同灾害的脆弱性各不相同，提高电力部门基础设施资产的韧性面临一定挑战。例如，一些国家发电和输电网络的容量非常容易受到影响。然而，通过新技术和自动化整合规划并提高网络灵活性有助于提高电力系统抵御自然灾害的能力，同时其有效性也会得到用户的支持。通过响应相关要求和改变能源使用效率的行为，可以减少冲击期间的电力需求，从而降低电网拥堵造成停电的影响。

可将灵活性纳入能源系统规划。具有韧性的能源系统和能源系统规划有助于制定韧性更强的战略，以抵御可能造成重大经济损失和物理破坏的极端天气事件。这需要针对特定威胁，有效引导战略和投资，兼顾微妙的平衡。强有力的数据支持很重要，而这些数据往往有待完善，特别是考虑到大量不确定性的情况下。然而，提高灵活性的解决方案之一是采用高水平的分布式太阳能、风能和电池储能。正如科罗拉多矿业学院介绍的那样，上述方案可以增强气候韧性，克服自然灾害期间发电量减少的问题。⁵⁶

正如菲律宾的案例所示，可以通过环境管理和适应措施来降低风险。菲律宾经常遭受灾难性气旋袭击，能源基础设施过去曾遭受严重损坏。为此，该国确定了一系列优先行动，旨在改善能源部门的整个价值链，使该系统能够抵御灾害的影响，并从能源供应中断中迅速恢复。菲律宾的专题介绍概述了该国如何通过定期进行植被管理来减少野火和强风导致的树木倾倒，从而降低输电网络在自然灾害面前的脆弱性。⁵⁷ 其他措施包括对能源部门实施物理改造，如抬高基础设施和使用混凝土块来提高基础设施抵御洪水的能力。

4.3 通过能源互联互通和区域合作减缓气候变化

在全球应对气候危机的过程中，加强各国之间的电力合作与贸易将带来许多好处。区域能源互联互通将通过建立完全一体化的低碳 / 零碳电网，利用多样化的可再生能源，为改善能源安全、降低能源成本、提高能源的可及性和可持续性提供支持。东盟能源中心概述称，该区域许多国家已经开始这样做，从由此带来的成本降低和电力可靠性提高中获益。⁵⁸ 这项工作侧重于增加知识，便利能源获取，推广可再生能源发电，提高能源效率。

制定区域路线图并与所有部门的利益攸关方合作有助于促进互联互通。东盟能源中心称，东盟十国制定了一项战略，以加强区域能源互联互通。该战略涵盖规划、融资、

56 《探索极端天气韧性：将韧性问题纳入能源决策》，Madeline Macmillan 女士，科罗拉多矿业学院和国家可再生能源实验室先进能源系统部门。

57 《能源部门在气候行动中的作用》，Michael O. Sinocruz 先生，菲律宾能源部能源政策规划局局长；《2020-2040 年菲律宾能源计划：迈向可持续和清洁能源的未来》。可查阅：https://www.doe.gov.ph/sites/default/files/pdf/pep/PEP_2020-2040_signed_01102022.pdf。

58 《通过东盟电网和可再生能源证书建立区域能源互联互通》（视频），主讲人：Monika Merdekawati 女士，东盟能源中心可再生能源和能效部门；《2016-2025 年东盟能源合作行动计划》。东盟能源中心。可查阅：<https://aseanenergy.org/asean-plan-ofaction-for-energy-cooperation-apaec-phase-ii-2021-2025/>。

开发、运营问题和跨领域合作，包括建立信任、政府间协议、能力建设和数据共享。该战略还认识到并旨在消除电力部门投资作为长期、高风险资本密集型投资而面临的各种风险。各国政府和利益攸关方应借鉴该路线图，共同努力提高能力，协调联合采购招标，并统一标准，以降低成本（脚注 58）。这包括利用创新的共同金融工具，并制定清晰的长期政策和框架，由强有力的机构监管，以动员私人气候资金。

可以将绿色走廊作为检验区域能源互联互通合作初步成效的宝贵工具。联合国亚太经社会介绍了与亚洲太平洋国家为探索加强该区域能源部门互联互通所做的工作。合作与协调对规划基础设施部署、促进互联互通领域的跨境一体化至关重要。⁵⁹ 然而，鉴于这些项目投资巨大且存在风险，可以建立绿色电力走廊，以克服初期障碍，为试点项目提供支持。试点项目可以增加备用电力容量并支持两个系统之间的能源交换，为两国节省大量投资。此外，试点项目还可用于检验系统与法规同步有关问题是否已得到有效解决。为实现能源互联互通和一体化，需要满足的基本要素还包括提高透明度，改善能源系统协调性，采用创新型融资，进一步协调能源网络规划，以及增强整个区域的电力容量等。

中亚—南亚电力输送和贸易等项目展示了跨区域能源互联互通基础设施带来的益处。伊斯兰开发银行分享了区域互联互通能源项目经验（其对此类项目投资超过 20 亿美元）。⁶⁰ 伊斯兰开发银行介绍了中亚—南亚电力输送和贸易项目以及沙特—埃及电力互联项目。后者提供了一个理想的范例，展示了利用两国能源负荷差异的可能性。该项目将连接阿拉伯地区最大的两个电力系统，由此，沙埃两国将通过共享电站容量节省 750 兆瓦的电力，相当于三个发电站的发电量。

59 《亚太地区可持续能源互联互通——趋势与机遇》（视频），主讲人：Matthew Wittenstein 先生，联合国亚太经社会能源司能源互联互通科科长；吸引私人资金对亚洲太平洋地区电力输送进行投资，亚太经社会，2022 年。可查阅：<https://hdl.handle.net/20.500.12870/4560>。

60 《区域能源一体化及其在弥补能源缺口中的作用》，Hussein Mogaibel 先生，伊斯兰开发银行首席全球能源专家。

专栏：能源互联互通促进公平、生计和气候行动

世界资源研究所开发了“能源可及工具”，这是一个旨在加强能源公平的开源信息系统：¹“能源可及工具”是世界资源研究所开发的一个在线平台，²它综合了有关能源供需情况的细粒度数据，以确定有助于扩大能源获取途径并将其与社会经济发展联系起来的优先领域。有了这些信息，政府就可以制定数据驱动型能源规划，为扩大清洁能源市场提供支持。该平台允许用户对数据集进行分组和自定义，通过接受不到一天的培训便能生成定制分析报告并进行展示，而无需具备编程或地理信息系统方面的专业知识。目前，该项目向 7 个国家开放，³旨在扩大这些国家的电力供应，惠及所有人。

使用卫星数据来直观显示能源开发对哪里影响最大。该项服务进一步利用有关人口统计、人口密度、分布、社会经济活动、教育和医疗保健设施、电气化情况和卫星图像的数据，按需提供有关能源服务的可视化信息。经常更新的卫星图像可提供关于能源供需相关指标的关键信息，包括能源可及性和相关基础设施，进而有助于确定扩大能源服务获取途径的优先领域。该平台对各种数据集进行综合和标准化处理，以生成标明优先次序的高分辨率地图供决策参考，其中包括环境数据、保护区数据、资金获取、服务提供商和小额融资机构。

1 能源可及工具，世界资源研究所。可查阅 <https://www.wri.org/initiatives/energy-accessexplorer>。

2 《能源可及工具：实现能源普及以促进公平发展的综合数据驱动方法》，Dimitris Mentis 博士，世界资源研究所能源可及工具总监。

3 可使用该平台的 7 个国家是：埃塞俄比亚、印度、肯尼亚、尼日利亚、坦桑尼亚、乌干达和赞比亚。

案例研究 8

埃及可再生能源转型

(埃及政府提供)⁶¹

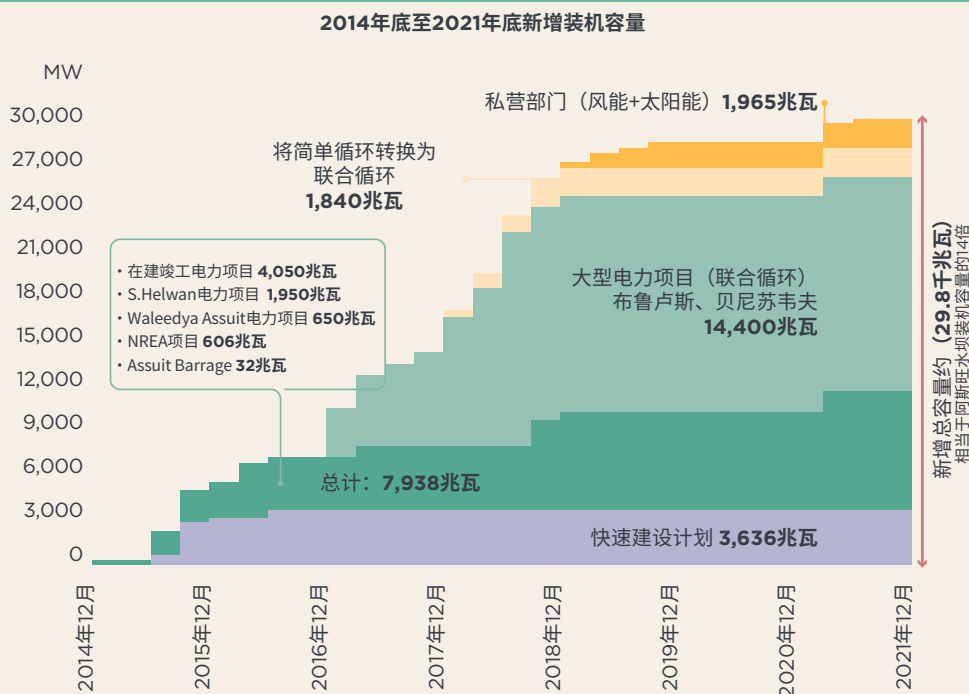
概述

2014年，由于能源供应缺口接近25%，埃及经历了一系列停电事故。这是由多种因素引起的，包括电力中断、输送能力限制和燃料短缺等。然而，埃及政府通过采取综合措施，成功克服了电力短缺问题，并准备向周边地区出口电力，为国家提供额外收入。

应急电力容量计划

为克服能源限制，埃及实施了一项由五个部分组成的计划，其中包括在8.5个月的时间内快速建设8座发电厂，耗资27亿美元，总发电量为3,636兆瓦。类似地，埃及政府投入39.8亿美元巨资，以确保之前在建的6个能源项目(总容量4,250兆瓦)在一年内(2014年内)竣工。此外，埃及还与西门子等当地及国际伙伴建立了三座大型发电厂，为电网增加了1.44万兆瓦的电力。

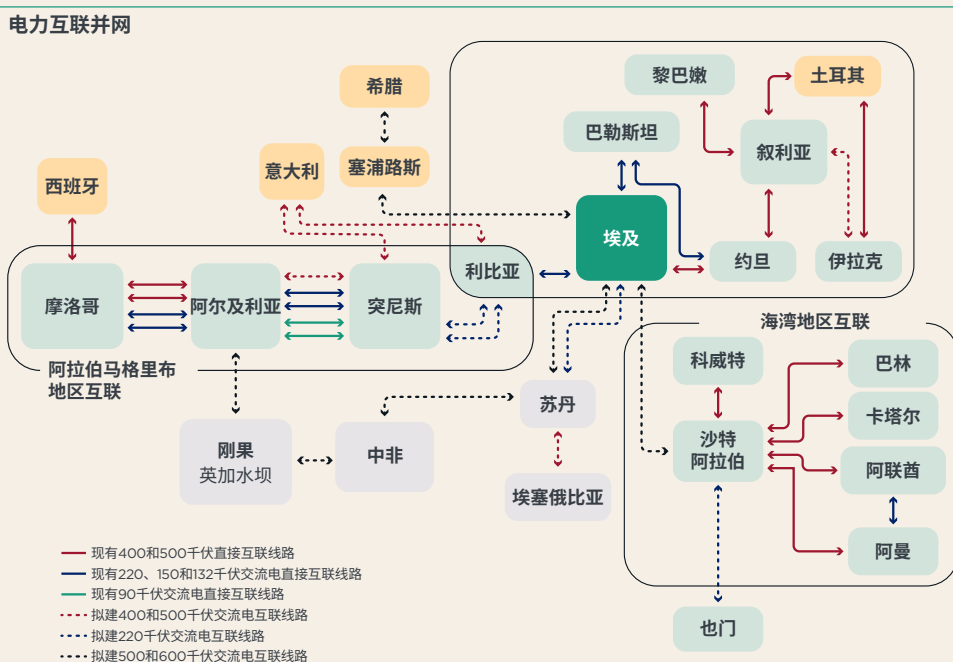
图 8：2014 年埃及新增总容量



来源：电力和可再生能源部，2023年

61 《埃及可再生能源转型》，Eng Ahmed Mohina 博士，埃及电力和可再生能源部研究、规划和管理第一副部长。

图 9：区域互联



来源：电力和可再生能源部，2023 年

能源效率

此外，埃及政府还致力于提高发电厂能源效率，通过将简单循环电厂转化为联合循环电厂，在不使用任何额外燃料的情况下，增加了1,840兆瓦容量。能效的提高减少了燃料消耗，从而降低了运营成本。此外，埃及政府还改进了输电网，建立了47个配电控制中心和31个变电站。

可再生能源类型的多样化

除了传统的发电方式外，埃及还积极采用多样化的可再生能源，建设水电、太阳能和风能项目。埃及建造了太阳能园区，并与国际企业合作，进一步推动可再生能源发电设施建设。此外，20%的城市固体废弃物将用于能源生产，相当于五年内发电约300兆瓦。政府将为购买利用固体废物生产的电力制定补偿电价，以激励私营部门减少排放。此外，为克服与可再生能源相关的间歇性问题，埃及政府与私营部门

达成了生产绿氢的协议，并正在建设抽水蓄能电站。上述举措使埃及的能源生产能力超出预期，出现了盈余。

转型扶持政策

埃及政府采取了多项政策为这一系列改进措施提供支持，包括设定较高的可再生能源和能效指标，以及实施私营部门激励措施，例如为可再生能源发电项目划拨了5,200平方公里的土地。此外，埃及还确保向投资者提供各种信息，包括各个地区的太阳能和风能潜力地图以及环境影响评估结果。政府还确保了长期可融资购电协议的成功签署并提供主权担保，同时降低了所有材料和设备的关税。

埃及作为国际能源中心

由于该计划成功提高了发电量，并且埃及拥有丰富的太阳能和风能资源，因此，埃及现在生产的电力过剩，可以出售给其他国家（见

图9)。埃及已开始与非洲、亚洲和欧洲一些国家签订谅解备忘录，以连接希腊和沙特阿拉伯。这将使其投资获得回报，并为政府带来额外的收入来源。

结论

由于领导得力和“五点计划”的实施，埃及的发电量六年内大幅增至 28,229 兆瓦。这为许多国家提供了一幅可持续能源蓝图，展示了如何能够在实现能源部门脱碳的同时，还能实现额外创收并加强能源安全。

4.4 善用私人资金

私营部门参与能源投资至关重要。通过公私伙伴关系、创新金融工具和采购流程变更等方式，私营部门可以带来管理技能、专门知识和投资资本，提高能源基础设施开发效率。关于赞比亚和秘鲁的案例研究 9 显示了这一点，并展示了私营部门如何支持输电基础设施开发进而减少或取代柴油发电，从而促进可持续能源的获取。

为中国海上风电项目提供的支持体现了私营部门参与清洁能源倡议的作用。私营部门通过提供长期项目贷款、优惠利率和知识共享，为扩大风电容量、推进脱碳工作作出贡献。平海湾风电项目和广东风电项目等显示出成功开发海上风电所需的气候韧性和创新举措，展示了政府如何发挥领导力，动员私营部门共同应对挑战。

气候韧性是私营部门需要理解并纳入其运营的关键方面。具体而言，能源部门必须加强其韧性，以有效应对自然灾害和气候相关冲击。此类事件可能带来严重后果，包括时间损失、被迫停业和增加能源生产要求等。提高整个能源部门的韧性并促进互联互通，有利于最大程度地减少电力中断事件、降低成本，并减轻对用户和利润造成的不利影响。为确保将气候韧性纳入项目生命周期以降低成本，有必要加强私营部门对气候韧性及其影响的了解。

案例研究 9

私营部门参与输电

(国际金融公司提供) ⁶²

背景

私营部门传统上侧重于可再生能源生产，很少参与输电基础设施的建设。这导致一些发展中国家的输电基础设施效率低下。自 20 世纪 90 年代以来，由于经合组织国家电力市场重组和自由化，输电基础设施融资从公共部门转移，出现了新的商业模式，以鼓励私营部门参与。这些模式始于发达国家和拉丁美洲——秘鲁就是一个成功的例子（当时停电现象十分普遍），随后扩大到亚洲。这些地区的经验表明，私人参与者为资金紧张的市场带来了专业技术和资本。此类市场获得的公共资金有限，主要原因是公共资金更倾向于投资不易吸引私营部门投资者兴趣的其他基础设施。

非洲在输电基础设施（容量和覆盖范围）方面存在巨大缺口，而且人们普遍存在一种观念，即认为输电自然是公共部门的事情。政府需要大量拨款来弥补能源获取缺口，为现有和未来需要的大量投资提供支持。据世界银行估计，在 2015 年至 2040 年期间，扩大和维持非洲输电网络所需的资金每年在 32 亿美元至 43 亿美元之间。案例研究输电项目展示了赞比亚如何通过新水电站并网实现电力生产供过于求。其中大部分电力都源自可再生能源（达 700 兆瓦）。将赞比亚供应的电力输送到所在地区，可推迟兴建新电厂的需要，从而避免增加温室气体排放。

62 《私营部门参与输电》，国际金融公司项目筹备高级运营官 Tilana De Meillon 女士和国际金融公司运营官 Marwa Khalil 女士。

案例 1: 输电基础设施是非洲能源转型的关键推动因素

本案例研究强调了私营部门参与开发输电基础设施对于促进非洲能源转型的重要性。赞比亚和刚果民主共和国之间一个活跃的输电互联项目突显了开发输电基础设施如何促进可持续能源转型，提高容量并连接可再生能源电力，从而减少并取代柴油发电，推迟新发电项目的建设需求。该项目强调，需要探索私营部门参与开发非洲输电基础设施的机会，并利用政策措施和金融工具促进非洲的可持续能源转型。

案例 2: 秘鲁私营部门的成功经验 (1998-2017 年)

秘鲁 1998 年至 2017 年期间的经验表明，公开拍卖对于吸引私营部门参与输电基础设施开发方面卓有成效。由于采用竞标机制，中标价格平均比政府原本预估的上限价格低 31%。项目利用 26 亿美元的投资总额，共建设了 7,560 公里长的新线路（图 10 列出了节约的成本和线路长度）。中标标有助于政府提高未来确定价格上限的能力。优质的标书和激烈的竞争往往会迫使私营投标人优化成本，政府可以在未来的招标中利用这一点。

案例 3: 融资工具 - 巴西 Coelba 的超级绿色贷款

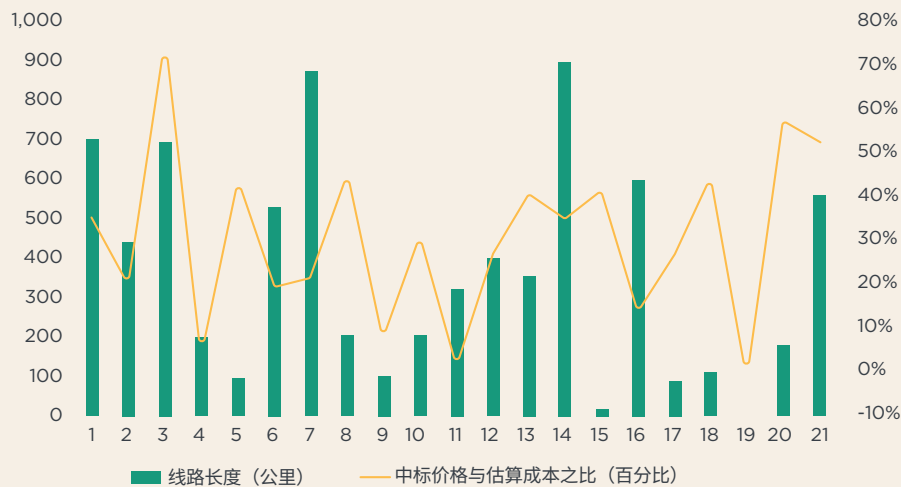
可利用混合和优惠融资工具为可再生能源项目提供支持，填补资金缺口或通过减缓风险

降低成本。国际金融公司在巴西的“超级绿色贷款”是有效利用融资工具的一个范例，该项目将所筹资金的传统“绿色”（气候相关）用途（提高能源效率和韧性）与可持续发展挂钩定价机制相结合。企业的可持续发展业绩目标包括降低碳强度、改进性别指标和实现减排目标外部验证。投资通过提高棕地能效、减少温室气体排放，为减缓气候变化作出贡献，其中气候融资部分占82%。此外，项目还能带来性别效益，吸引更多女性从事技术工作、提高生产力和促进公司创新等。

经验教训

将公共和私人融资相结合可促进社会和能源基础设施建设。开发具有可行性、更高容量的输电项目，可实现将可再生能源并入电网。私营部门公司可以通过提供技能、专业知识和投资资本，高效建设输电基础设施，同时为公共财政提供补充，实现降本增效，并取代火力发电项目。本案例研究阐述了各国如何根据国内具体情况和驱动因素开发不同的模式。开展试点项目对于了解需要作出哪些调整（如改变法规）以及创新模式如何运作至关重要。促进非洲能源转型，应重视利用政策措施和金融工具。

图 10：秘鲁的输电线路长度和中标价格与估算成本之比



来源：《私人融资的输电项目：以秘鲁为例》，Pedro E. Sanche，世界银行，2018 年 3 月。

5 COP27 的互联互通基础设施 融资



5 COP27 的互联互通基础设施融资

气候智慧型互联互通基础设施系列研讨会最后以在埃及举行的缔约方会议第二十七届会议（COP27）上的高级别活动结束。此次活动侧重于互联互通基础设施气候行动融资方面的挑战和创新经验。本节总结了高级别嘉宾的发言。

阿拉伯埃及共和国财政部长穆罕默德·马伊特（Mohamed Maait）博士在活动开幕式上强调了气候智慧型互联互通基础设施对经济增长和多边合作的重要性。他表示，建设能够适应并减缓气候变化的基础设施是应对损失和损害的一项重要战略。除了为这些项目筹集气候资金外，分享世界各地关于相关部门最佳做法和政策的知识也至关重要。他强调了当前的宏观经济环境以及许多国家正面临前所未有的债务负担。为解决发展中国家面临的各种危机，必须用好绿色气候融资并确保其比传统融资方式更具吸引力。这需要政府、发展融资机构和私人投资者之间加强协作，共同创建包括激励框架在内的去风险工具，丰富可用气候资金的来源和类型。

中国气候变化事务特使解振华强调气候变化对环境、全球经济、贫困人口的生计以及个人健康和福祉的影响。气候变化的影响目前与 COVID-19 大流行、地缘政治冲突、能源和粮食短缺以及全球经济放缓交织在一起。解振华指出，互联互通是全球商业的基础。海运、铁路、航空、交通运输和基础设施建设的发展促进了经济繁荣。互联互通基础设施建设可以帮助各国应对气候变化，推进碳中和或净零二氧化碳排放。例如，中国的“全球能源互联网”倡议提供了一个路线图，指导通过建设全球互联电网将可再生能源的生产与世界各地的消费者连接起来，满足世界快速增长的能源需求。与此同时，仅靠发展中国家无法为建设具有韧性的低碳互联互通基础设施提供充足的资金。发达经济体、私营部门、银行和其他各方必须发挥作用，为气候智慧型基础设施的发展提供资金和技术支持。

伊斯兰开发银行行长穆罕默德·苏莱曼·贾西尔（Muhammad Sulaiman Al Jasser）博士对区域互联互通带来的附加经济价值及其在应对气候变化挑战中的作用表示认可。然而，基础设施建设需要大量投资。为气候智慧型基础设施筹集资金对支持伊斯兰开发银行成员国实现其国家自主贡献目标和《2030 年议程》至关重要。在过去五年中，伊斯兰开发银行对气候行动的承诺资金平均有 55% 专门用于气候适应项目，特别是建设可持续基础设施。在该行的项目组合中，这方面的例子包括西非具有韧性的沿海基础设施项目、土耳其可持续交通运输系统基础设施融资项目以及沙特阿拉伯王国和阿拉伯埃及共和国之间的电力互联互通项目。

利比里亚公共工程部长露丝·科克 - 柯林斯（Ruth Coker-Collins）阐述，鉴于该国 13,000 公里的公路网中未铺设公路占比超过 90%，利比里亚正遭受降水和洪水的严重影响。蒙罗维亚是世界上最潮湿的城市之一。利比里亚一直在重建和修补公路。气候变化造成的道路瘫痪对经济、贸易、生计和健康造成了严重的负面影响。不断修补和重建公路使利比里亚的国家预算捉襟见肘，债务水平因此上升。为应对这一现实，利比里亚正在采取一些基

本措施，如对道路进行气候压力测试、重新审查国家标准等。利比里亚和其他大多数发展中国家都需要获得替代融资用于基础设施建设。利比里亚期待与脆弱二十国集团一道，筹集损失和损害应对基金，为重建该国的公路网提供资金，使其达到具有气候韧性的标准。

亚洲基础设施投资银行行长金立群强调，亚投行的创建是为了应对全球挑战，联通全世界人民。为此，亚投行正在拉丁美洲、非洲和亚洲与具有高标准和专业知识的组织开展合作，了解全球各地人民的想法，以有益的方式应对气候变化。智慧型互联互通以智慧型基础设施为根基，以成本效益高、环境可持续的方式，助力开展气候行动，实现净零排放国家目标。然而，不能用30年或40年前的方式来开展这项工作。亚投行认为，数字技术可以大大降低基础设施建设和排放量监测成本。气候智慧型基础设施需要打破常规思维，采用新方法和新理念。这就需要借鉴全球伙伴的想法，利用多边决策。

埃及财政部财政政策和机构改革副部长艾哈迈德·库朱克 (Ahmed Kouchouk) 重申，举办系列研讨会的目的是为世界各地的每个人创造一个分享经验和学习的平台。他指出，必须吸取来自地方、区域和全球各层级的经验教训。库朱克介绍了埃及生产可再生能源的巨大潜力，不仅可以满足其本国需要，还可以满足其他国家（包括中东和北非地区以及欧洲一些邻国）的需要。由于私营部门在该领域发挥了重要作用，目前埃及20%以上的电力来自可再生能源，不久将达到40%。然而，全世界对可再生能源仍有广泛的需求。现在欠缺的是互联互通，非洲地区尤其是如此。目前的技术仍然昂贵，因此为降低成本，需要建立稳固的多方伙伴关系。

世界银行运营常务副行长阿克塞尔·冯·托森伯格 (Axel van Trotsenburg) 强调非洲在电力领域的巨大投资需求，指出非洲只有40%的人口可以获得电力服务。越南等国提供了亚洲经验，这些国家的能源普及率在15年内从20%提高到了80%以上。气候智慧型互联互通是重要解决方案。政治承诺在其中发挥核心作用。此外，还必须建立监管和技术框架，以便金融机构和投资者能够为能源行业的快速发展提供资金。非洲能源池的建立需要坚实的区域合作和强有力的监管框架，最好是推广到整个非洲大陆。最后，迫切需要多边开发银行、私营部门和地方资本采取协调行动，为该地区更大规模的气候智慧型投资提供资金，包括对最困难、最脆弱和受冲突影响最严重的国家进行投资。

多边开发融资合作中心首席执行官王忠晶总结了本次活动，强调为建设气候智慧型基础设施筹集资金的重要性。他提出，需要制定正确的政策法规、标准以及环境和社会保障框架，以确保影响力最大的项目能够获得投资。多边开发融资合作中心旨在促进高质量互联互通基础设施投资。2020年，包括亚投行、伊斯兰开发银行、世界银行在内的11家国际金融机构以及包括埃及和中国在内的7个捐款国携手成立了多边开发融资合作中心。迄今为止，中心已提供800万美元赠款，用于支持七个国家和地区在环境和社会保障、气候变化减缓和适应等方面的项目前期准备工作。多边开发融资合作中心的目标是在未来五年为这些项目动员5至10亿美元的资金。



6 结束语



6 结束语

互联互通基础设施项目在构建世界各国的经济和社会格局方面发挥至关重要的作用。随着气候变化带来的威胁日益加剧，有必要将气候思维纳入决策的每一个环节。本次系列研讨会深入探讨了全球交通运输和互联互通项目是如何做到这一点的。其中有几条重要的经验教训值得借鉴：

经验教训 1：基础工作要做好

执行法规和标准、确保高维护标准和充足资金是基础设施项目的关键方面（脚注 8）。应制定明确的公共政策和财政激励措施，执行相关法规和标准，以确保基础设施项目能够抵御气候变化的影响。

正如世界银行所述，维护是基础设施项目的一个重要方面，可影响到其韧性和使用寿命（脚注 8）。因此，必须纳入维护规划，以确保基础设施能够抵御气候变化的影响。这包括发现并解决现有基础设施的脆弱之处，以及将气候韧性纳入未来的维护计划。从商业上讲，这样做也有重要意义，因为在维护方面每投入 1 美元，就能获得 4 美元的回报（脚注 8）。

除了注重维护之外，还需要将气候风险纳入基础设施生命周期的每个阶段，包括规划、设计、建设和运营。这样做可确保在基础设施项目的每个阶段都考虑到气候风险，而不仅仅是在维护阶段。

经验教训 2：针对不确定性进行设计

针对不确定性进行设计对于基础设施项目至关重要，因为气候变化的全部影响尚不确定。因此，有必要在设计基础设施时考虑到未来可能出现的各种情况。“稳健”的设计方法包括将未来的各种可能情况纳入设计过程，如海平面上升、极端天气事件频率增加或温度和降水模式变化。⁶³ 这种方法可确保基础设施能够适应未来可能出现的各种情况。

要做到良好的设计，可以进行情景规划，根据各种可能的气候影响拟定不同的未来情景。这种方法有助于基础设施规划者发现潜在的脆弱之处并提前针对问题进行规划，从而确保基础设施能够承受未来可能出现的各种状况。该方法已成功用于提高基础设施的气候适应能力，如案例研究 4（脚注 28）和案例研究 5（脚注 41）所示。此外，设计良好的灵活基础设施也有助于适应不断变化的外部条件。灵活基础设施可根据条件变化进行调整，例如高度可调节或进行模块化设计等。

总之，针对不确定性进行设计是基础设施规划的重要方面，它有助于确保基础设施项目能够适应气候变化的影响，在未来数年内保持正常运行。通过良好的设计方法，基础设施规

63 N. Kalra, S. Hallegatte, R. Lempert, C. Brown, A. Fozzard, S. Gill 和 A. Shah (2014 年)。《就稳健决策达成一致：高度不确定性下的新决策流程》。世界银行。https://doi.org/10.1596/1813-9450-6906。

划者可以针对潜在的脆弱之处提前进行规划，确保基础设施能够应对未来可能出现的各种情境（脚注 63）。

经验教训 3：创新融资模式

创新的融资模式和公私部门协议可以提高各国实施气候项目的能力。埃及（脚注 5）和格鲁吉亚（脚注 16）分别利用绿色债券实现能源和铁路部门脱碳。案例研究 7（脚注 53）展示了如何利用公私伙伴关系，将气候风险以及环境和社会保护纳入合同并采用创新的收入模式，获得比公共部门单独实施项目更好的效果。在不损害更广泛环境的情况下，气候项目的实施可以产生更全面的效益（脚注 9）。这些项目可为受气候变化影响的社区提供急需的支持。

经验教训 4：协调是关键

应加强治理和制度框架，以协调各部门和机构之间的关系。这包括成立跨部门委员会，以及增加管理气候风险的技能。如案例研究 6（脚注 49）所示，应将这类框架纳入富有远见的中期国家发展计划，这些计划应同时针对气候和其他发展目标，包括私营部门参与。

此外，东盟（脚注 58）和伊斯兰开发银行（脚注 60）阐述了加强区域合作改善所有社区公平获取资源的机会，并确定哪些领域的基础设施最需要支持。协调对象应包括私营部门，并可通过经济特区（脚注 60）和生态工业园区（脚注 35）加以激励。

三网合一的例子表明，可再生能源、信息技术和公路等部门联合规划比单独规划产生的效果更好（脚注 4）。在公路路权范围内安装太阳能电池板、开发“车辆互联网”（相当于公路上的物联网）和建设先进的电动汽车充电网络等行动，都强化了这一做法的益处。

经验教训 5：利用数据优化决策

获取数据和建模对于优化基础设施项目决策至关重要。必须提供充足的资金，用于收集和解读数据，包括开展总体规划和气候风险评估。通过将气候风险纳入基础设施项目，有增强其抗灾能力，确保项目能够承受气候变化的影响。

埃及能源部门的转型就是一个明显的例子（脚注 61）。通过提供明确的信息，如可再生能源开发区域以及可再生能源资源地图数据（如全球太阳能地图集），⁶⁴ 可帮助私营部门降低成本、缩小信息缺口。埃及的做法降低了投资气候解决方案的预期风险，带来了经济和社会效益，如减少环境影响并降低运营成本等。

经验教训 6：投资气候智慧型基础设施极具商业价值

气候变化正在并将继续影响货物和人员的流动以及电力的调配。通过将韧性纳入新的基

64 《全球太阳能地图集》。可查阅：<https://globalsolaratlas.info>。

基础设施项目规划，可以减少可避免的成本，包括修复基础设施和气候影响造成的中断（脚注 8）中产生的成本。据估计，这还能带来 400% 的回报（脚注 8）。正如案例研究 2（脚注 12）所述，在西非，回报可能来自一些额外收益，如促进贸易和减少拥堵等。案例研究 3 展示了韧性投资如何保护越南各地的产业和社区（脚注 28）。

除减少碳排放以外，加强气候变化减缓措施还可带来其他收益，例如，通过在港口普及与电动车辆相连的自动化系统，可提高能源效率，减少与业务活动相关的成本和时间（脚注 34）。气候变化减缓措施还可以带来额外的收入来源，如埃及出口其多余的电力（脚注 61）。此外，改用电动汽车可减少对燃料进口的依赖（见案例研究 6）。

经验教训 7：应充分利用私营部门的融资

部署气候智慧型基础设施需要巨额成本，需要大量的前期资本和专业技术知识。然而，资金缺口可以通过利用私营部门融资来弥补。圣保罗就是一个很好的例子，它展示了公私伙伴关系如何将明确的环境效益和气候要求纳入合同，成功完成了路网升级（脚注 53）。同样，秘鲁的例子也表明私营部门参与能源项目如何降低开发成本。在这两个案例中，私营部门原有的管理和技术技能也得到充分利用，降低了政府成本和直接项目成本（脚注 62）。

参考文献

《中国港湾工程公司实行绿色、数字、信息和效率革命：上海洋山深水港四期工程》，Claude Peng 先生，中国港湾工程有限责任公司项目融资高级顾问。

《应对 COVID-19 危机，实现可持续和公平的蓝色复苏》。可持续海洋经济高级别小组。可查阅：<https://oceanpanel.org/publication/asustainable-and-equitable-blue-recovery-to-the-covid-19-crisis/>。

《填补气候智慧型互联互通基础设施的资金缺口》，Matthew Wittenstein 先生，联合国亚太经社会能源互联互通科科长。

《亚投行在公路和铁路部门促进气候适应能力的经验》，Jin Wang 女士，亚投行高级投资运营专家 - 交通运输。

《生态工业园区国际框架》。世界银行。<https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/429091513840815462/aninternational-framework-for-eco-industrial-parks>。

《2016-2025 年东盟能源合作行动计划》。东盟能源中心。可查阅：<https://aseanenergy.org/asean-plan-of-action-for-energycooperation-apaec-phase-ii-2021-2025/>。

《吸引私人资金对亚洲太平洋地区电力输送进行投资》，亚太经社会，2022 年。<https://hdl.handle.net/20.500.12870/4560>。

《通过东盟电网和可再生能源证书建立区域能源互联互通》，Monika Merdekawati 女士，东盟能源中心可再生能源和能效部门。

《互联互通基础设施公私伙伴关系中的气候适应和韧性》，Ebere Ihetu 先生，全球适应中心特邀顾问。

《小岛屿发展中国家具有气候和灾害适应能力的交通运输：2019 年交通运输论坛》（英文）。世界银行集团，华盛顿特区。<http://documents.worldbank.org/curated/en/099840004262240478/P1641570da69ec08a083aa0f1092aabff0e>。

《气候适应能力和适应性道路项目》，Md. Jasim Uddin 先生，孟加拉国地方政府工程部气候适应性基础设施主流化项目主管工程师兼项目主任。

《道路的气候适应性设计：以印度中央邦农村互联互通项目为例》，Subhash C. Nigam 先生，基础设施发展咨询公司管理合伙人。

《交通运输气候战略：国家自主贡献和长期战略分析》。可查阅：<http://slocat.net/wp-content/uploads/2022/01/Climate-Strategies-for-Transport-An-Analysis-of-NDCs-and-LTS-SLOCAT-December-2021.pdf>。

《中国道路交通数字化与绿色化协同发展路径》，侯德藻先生，交通运输部公路研究院智能交通研究中心主任 / 教授。

《互联互通基础设施、区域农村经济和气候变化适应措施》，Daniel Martin 先生，农发基金全球技术专家 - 可再生能源和农村基础设施。

《创建有利的制度框架：以卢旺达为例》，Thierry Watrin 先生，卢旺达经济规划部部长的绿色经济和气候变化顾问。

《中国道路运输部门脱碳化 - 碳中和战略》，Lulu Xue 女士，世界资源研究所中国城市交通经理。

《海运脱碳：发展中国家零碳燃油生产潜力》，Dominik Englert 先生，世界银行交通运输全球实践局全球知识股经济学家。

《欧洲复兴开发银行气候智能铁路做法：格鲁吉亚铁路绿色债券案例研究》（视频），主讲人：Elena Gordeeva 女士，欧洲复兴开发银行可持续基础设施集团欧亚大陆基础设施部门副主任。

生态工业园区，工具，工发组织知识中心。可查阅：<https://hub.unido.org/eco-industrial-parks-tools>

《经济体范围内关于采用电动交通运输的金融和经济成本效益分析》，Cecilia Briceno-Garmendia 女士，世界银行交通运输经济与政策全球主管 / 首席经济学家。

《埃及利用绿色债券的经验》，埃及财务部资本市场和债务管理部门经理 Eman Abdel Azeem 女士和埃及财务部高级分析师 Noha Ahmed 女士。

《生态工业园框架、工发组织概念计划和生态工业园总体规划审查工具》，Rana Pratap Singh 先生，联合国工业发展组织（工发组织）能源与清洁生产司工业发展干事。

《加强国家自主贡献：交通运输领域的机遇》，Yiqian Zhang 女士，世界资源研究所全球电动交通助理研究员。

能源可及工具，世界资源研究所。可查阅：<https://www.wri.org/initiatives/energy-access-explorer>。

“支持能源转型，加强气候行动”。《洞察影响》。国际可再生能源署。2022 年。可查阅：<https://www.irena.org/Publications/2022/Nov/IRENA-energy-transitionsupport-to-strengthen-climate-action-2022>。

Dominik Englert 和 Andrew Losos。2021 年。《拟定海上运输脱碳路线：供决策者和业界参考的摘要》。© 世界银行，华盛顿特区。<http://hdl.handle.net/10986/35436> 许可证：CC BY 3.0 IGO。

《加强国家自主贡献：交通运输领域的机遇》，Yiqian Zhang 女士，世界资源研究所全球电动交通助理研究员。

《太平洋岛屿在建设具有抗灾能力的沿海基础设施方面的经验》，Kushaal Raj 先生，斐济经济部气候变化与国际合作司代理司长兼海洋专家。

《探索极端天气韧性：将韧性问题纳入能源决策》，Madeline Macmillan 女士，科罗拉多矿业学院和国家可再生能源实验室先进能源系统部门。

《促进越南内河运输,实现可持续物流互联互通》,Yin Yin Lam 女士,世界银行高级贸易物流专家。

《国际海事组织第四次温室气体研究》。国际海事组织。2020 年。

《从道路坎坷到一帆风顺：建设公路部门的气候适应能力》，Julie Rozenberg 女士，世界银行高级经济学家。

可持续海洋经济高级别小组。可查阅：<https://oceanpanel.org>。

Hoang, Dung Anh、Pedroso, Frederico Ferreira Fonseca、Wang, Bowen、Dos Anjos Ribeiro Cordeiro, Maria Joao、Charles, Keren Carla。《小岛屿发展中国家具有适应能力的运输：从行动呼吁到行动》（英文）。华盛顿特区：世界银行集团。<http://documents.worldbank.org/curated/en/099840104262222525/P1641570ed55c3096098670e0fd1a73eb3a>。

C. S. Holling, 1973 年。“生态系统韧性和稳定性”，《生态学与系统学年鉴》，4(1), 1-23。
<https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>。

政府间气候变化专门委员会, 2022 年: 《决策者摘要》[编辑: H.-O. Pörtner、D.C. Roberts、E.S. Poloczanska、K. Mintenbeck、M. Tignor、A. Alegría、M. Craig、S. Langsdorf、S. Lösckke、V. Möller、A. Okem]。载于《气候变化 2022: 影响、适应和脆弱性》。第二工作组提交政府间气候变化专门委员会第六次评估报告的材料 [编辑: H.-O. Pörtner、D.C. Roberts、M. Tignor、E.S. Poloczanska、K. Mintenbeck、A. Alegría、M. Craig、S. Langsdorf、S. Lösckke、V. Möller、A. Okem、B. Rama]。英国剑桥和美国纽约: 剑桥大学出版社, 第 3-33 页, doi: 10.1017/9781009325844.001。

《温室气体初步战略》。国际海事组织。2018 年。

《创新格局促进可再生能源驱动的未来：整合可变可再生能源的解决方案》。国际可再生能源署。2019 年。

《适应性基础设施融资创新》，Carlos Sanchez 先生，气候韧性投资联盟执行主任。

《整合三网，实现交通运输互联互通的低碳化》，宋彦勤先生，世界银行高级能源专家。

Joel E. Cohen、Christopher Small、Andrew Mellinger 等人。“沿海人口估计”。《科学》第 278 期，第 1209-1213 页（1997 年）。DOI: 10.1126/science.278.5341.1209c。

N. Kalra、S. Hallegatte、R. Lempert、C. Brown、A. Fozzard、S. Gill 和 A. Shah（2014 年）。《就稳健决策达成一致：高度不确定性下的新决策流程》。世界银行。<https://doi>.

org/10.1596/1813-9450-6906。

R. Lempert、S. Popper 和 S. Bankes，2010 年。“稳健决策：应对不确定性”。《未来学家》，44、47-48。

《生命线：有韧性的基础设施的机遇》。世界银行，2019 年。可查阅：<https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/c3a753a6-2310-501b-a37e-5dcab3e96a0b>。

M. Macmillan、K. Eurek、W. Cole 和 M. D. Bazilian，2021 年。“利用开源求解器解决大型能源系统优化模型”。《能源战略评论》，38，100755。<https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100755>。

C. A. Murphy、M. Macmillan 和 M. D. Bazilian，2022 年。“探索极端天气韧性：实现韧性和可再生目标”，《可再生和可持续能源评论》。

V. A. W. J. Marchau、W. E. Walker、P. J. T. M. Bloemen 和 S. W. Popper（编），2019 年。《高度不确定性下的决策：从理论到实践》。施普林格国际出版社。<https://doi.org/10.1007/978-3-030-05252-2>。

《新开发银行支持中国海上风电项目的经验》，新开发银行东亚及太平洋地区主管 Su Han 女士和 Zhang Danwei 女士。

《净零挑战：供应链机遇》，世界经济论坛，2021 年。

E. Northrop 等人，2020 年。《应对 COVID-19 危机，实现可持续和公平的蓝色复苏》。世界资源研究所，华盛顿特区。<http://www.oceanpanel.org/bluerecovery>。

《太平洋气候韧性运输计划（PC RTP）：MICRO 和 MICRO2》，Nana Soetantri 女士，世界银行高级运输专家。

《适用于 Python 的耐心规则归纳法》。（2022 年）。[Python]。鸭嘴兽项目。<https://github.com/Project-Platypus/PRIM>（原作于 2015 年发表）。

《暴风雨期间的供电：能源系统的气候韧性》，Claire Nicolas 女士，世界银行能源部门管理援助项目高级能源经济学家。<https://documents1.worldbank.org/curated/en/099854409132241342/pdf/IDU0e4e47d0c09d0a04bc10842b093ad71761b86.pdf>

《私营部门参与输电》，国际金融公司项目筹备高级运营官 Tilana De Meillon 女士和国际金融公司运营官 Marwa Khalil 女士。

V. Raffo，2021 年。《阿根廷陆运网络气候变化风险分析》。世界银行。

《促进交通运输部门向脱碳转型的监管和政策方法》。分享巴巴多斯“2030 年净零排放”的经验，Mark Durant 先生，巴巴多斯运输、工程和水资源部首席规划官。

《埃及可再生能源转型》，Eng Ahmed Mohina 博士，埃及电力和可再生能源部研究、规划和管理第一副部长。

Rentschler, Jun、de Vries Robbé, Sophie、Braese, Johannes、Nguyen, Dzung Huy、van Ledden, Mathijs、Pozueta Mayo, eatriz。2020 年。《具有韧性的海岸：机遇与灾害风险并存的越南沿海开发》。© 世界银行，华盛顿特区。<http://hdl.handle.net/10986/34639> 许可证：CC BY 3.0 IGO。

REopt Lite | REopt 能源集成与优化 | NREL. (无日期)。2020 年 4 月 28 日从 <https://reopt.nrel.gov/tool> 检索。

《西非具有韧性的沿海基础设施项目》，Olatunji Yusuf 先生，伊斯兰开发银行气候变化问题高级专家。

《韧性评级系统：建立和跟踪气候变化韧性的方法》。© 世界银行，华盛顿特区。<http://hdl.handle.net/10986/35039>。

《具有韧性的海岸：机遇与灾害风险并存的越南沿海开发》，Dzung Huy Nguyen 先生，世界银行高级灾害风险专家。

《小岛屿发展中国家的运输韧性：从呼吁到行动》，Frederico Ferreira Fonse Pedroso 先生，世界银行灾害风险管理专家。

H.-K. Ringkjøb、P. M. Haugan 和 I. M. Solbrekke, 2018 年。“可变可再生能源比例较大的能源和电力系统建模工具审查”。《可再生和可持续能源评论》，96, 440-459。<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.002>

《圣保罗城际列车 - 北线：公私伙伴关系》，Gaston Astesiano 先生，美洲开发银行公私伙伴关系团队负责人。

《山东绿色发展基金》，Kang Hang Leung 先生，亚洲开发银行首席基础设施融资专家。

A. B. Smith 和美国国家海洋和大气管理局国家环境信息中心。2020 年。“1980 年至今，在美国造成损失达十亿美元的天气和气候灾害”（国家环境信息中心检索编号 0209268）[数据集]。美国国家海洋和大气管理局国家环境信息中心。<https://doi.org/10.25921/STKW-7W73>。

《锂离子电池材料供应链分析及回收利用的影响》。国家可再生能源实验室。2018 年。

《具有气候韧性的基础设施干事手册》，2021 年。全球适应中心。可查阅：<https://gca.org/reports/climate-resilient-infrastructure-officer-handbook/>。

《可再生能源技术的最新发展及其对互联互通基础设施的影响》，Binu Parthan 先生，国际可再生能源署国家参与和伙伴关系区域负责人。

《区域能源一体化及其在弥补能源缺口中的作用》，Hussein Mogaibel 先生，伊斯兰开发银行

首席全球能源专家。

《能源部门在气候行动中的作用》，Michael O. Sinocruz 先生，菲律宾能源部能源政策规划局局长；《2020-2040 年菲律宾能源计划：迈向可持续和清洁能源的未来》。可查阅：https://www.doe.gov.ph/sites/default/files/pdf/pep/PEP_2020-2040_signed_01102022.pdf?withshield=1。

《将苏伊士运河经济区从过境区转变为创新中心》，Waleid Gamal El-Dien 先生，苏伊士运河经济区总局投资促进事务副主席。

世界银行，2017 年。《小岛屿发展中国家具有气候和灾害适韧性的交通运输：行动呼吁》。© 世界银行，华盛顿特区。<http://hdl.handle.net/10986/28798> 许可证：CC BY 3.0 IGO。

《世界银行投资项目韧性评级系统》，Jia Li 博士，世界银行高级经济学家；世界银行集团，2021 年。

《世界能源转型》。国际可再生能源署。2022 年。可查阅：<https://www.irena.org/Digital-Report/World-Energy-Transitions-Outlook-2022>。

《2020-2040 年菲律宾能源计划：迈向可持续和清洁能源的未来》。https://www.doe.gov.ph/sites/default/files/pdf/pep/PEP_2020-2040_signed_01102022.pdf?withshield=1。

附件 1 – JIGSAW

本出版物根据本次气候智慧型互联互通基础设施系列研讨会中的专题介绍演示文稿编写而成，如要查阅这些材料，请加入多边开发融资合作中心（MCDF）的 JIGSAW 平台。

何为 JIGSAW？

JIGSAW 平台于 2021 年 12 月推出，是 MCDF 用以促进高质量基础设施和互联互通投资的数字解决方案。该平台为尚无资金支持互联互通项目信息和相关知识的交流提供便利，以推广国际金融机构的标准和最佳做法，促进发展中国家高质量基础设施和互联互通投资。

JIGSAW 包括哪些内容？

项目数据库（仅限在 JIGSAW 注册为组织用户的各组织指定工作人员访问）：载有正在寻求国际金融机构和 / 或新合作伙伴（包括新兴市场金融机构）投资的项目信息，以协助项目业主与潜在融资者之间进行沟通。此外，数据库还载有寻求赠款支持以开展项目前期准备和能力建设的援助项目信息。此类项目信息有助于 MCDF 秘书处和执行伙伴判断是否利用 MCDF 基金支持这些潜在项目。项目数据库还为在 JIGSAW 注册的组织（包括新合作伙伴）提供向其他 JIGSAW 用户展示自己的平台。投资项目信息和技术援助项目信息可在“项目”选项卡下查阅。注册组织信息在“合作伙伴”选项卡显示。

知识数据库：提供以下方面的最新信息：国际金融机构标准、最佳做法和项目；高质量可持续互联互通基础设施和投资相关新闻和分析；以及来自 MCDF 活动的材料。这些信息都可以在“知识”选项卡下查阅，该选项卡包含以下链接：

- **知识材料**：可进入主知识数据库，其中包含三类材料：MCDF 活动材料，包括与 MCDF 的知识活动相关的材料，如演示文稿、视频链接和背景报告；MCDF 知识产品，即 MCDF 就特定主题制作的知识产品；以及国际金融机构标准和良好做法，这部分信息来自 MCDF 国际金融机构合作伙伴。
- **MCDF 简报**：MCDF 双周简报所有往期副本，主要内容包括基础设施互联互通、质量和合作伙伴关系的新闻和分析。
- **国际金融机构历史项目**：关于国际金融机构项目的可检索数据库。

如何参与？

如果您或您所在组织有兴趣加入 JIGSAW，请发送电子邮件至 jigsaw@themcdf.org，我们将为您提供全程指导。

多边开发融资合作中心

多边开发融资合作中心（MCDF）是一项多边倡议，旨在通过伙伴关系促进发展中国家的高质量基础设施和互联互通投资。该倡议的核心目标是鼓励采用国际金融机构标准，支持现有的众多全球、区域和行业倡议，以满足全球对互联互通基础设施日益增长的需求。MCDF 支持实施二十国集团高质量基础设施原则、《联合国 2030 年议程》及其可持续发展目标以及《巴黎协定》。

MCDF 的独特之处在于可支持信息分享、能力建设和项目前期准备，为发展中国家政府和新合作伙伴提供“一站式”解决方案。

欲获取更多信息，请访问我们的网站：www.themcdf.org.



www.themcdf.org