

中国与埃及低碳能源转型：从可再生能源到绿氢



合作方：



中国与非洲能源转型
政策报告系列

政策报告 02

关于中央财经大学绿色金融国际研究院（IIGF）

中央财经大学绿色金融国际研究院（IIGF）是国内首家以推动绿色金融发展为目的的开放型、国际化的研究院，2016年9月由天风证券公司捐赠设立。研究院前身为中央财经大学气候与能源金融研究中心，成立于2011年9月，研究方向包括绿色金融、气候金融、能源金融及健康金融。IIGF是中国金融学会绿色金融专业委员会的常务理事单位，并与财政部建立了部委共建学术伙伴关系。IIGF以营造富有绿色金融精神的经济环境和社会氛围为己任，致力于打造国内一流、世界领先的具有中国特色的金融智库。

作者

沈威：中央财经大学绿色金融国际研究院绿色“一带一路”中心主任、高级研究员

陈翰：中央财经大学绿色金融国际研究院研究员

研究声明

本报告合作方为非洲气候基金（ACF）。本报告系中央财经大学绿色金融国际研究院的研究成果，不一定代表非洲气候基金（ACF）观点。

本报告为“中国与非洲能源转型政策报告系列”系列的第二篇。第一篇为《津巴布韦：处于长期能源危机与矿产资源热潮之间的中国投资》。

本报告为“中国与非洲能源转型政策报告系列”的第二篇。本文聚焦于中国与埃及在可再生能源和绿氢领域的合作。同许多非洲国家一样，埃及的经济发展以化石燃料为主，能源转型迫在眉睫；与此同时，埃及的经济发展面临水资源短缺、空气污染等挑战和经济工业化的迫切需求。然而，与许多非洲国家不同，埃及是一个非常具有吸引力的投资目的地，尤其是在绿色技术和基础设施行业。在埃及的绿色科技市场，中国投资者面临着来自欧盟、日本、中东及北非等地区投资者的激烈竞争。

推动可再生能源发电和绿氢生产融合发展是埃及低碳发展国家战略的核心组成部分，本文将对此展开深入分析。风能和光伏发电制成的绿氢可用于对埃及工业化至关重要的钢铁和水泥等多个行业，或作为车辆和船舶的清洁燃料，同时也可出口到欧洲或阿拉伯国家（Kamel, 2022）。埃及致力于成为该地区绿电和绿氢生产枢纽，而中国在提供技术和资金支持方面具有较强竞争力，可以助力埃及实现这一宏伟目标。

埃及能源概况

埃及积极推动经济从以化石燃料为主导向可再生能源为主导转变，是中东及北非地区能源转型的先行者之一。埃及 2014 年发布的《2035 年综合可持续能源战略》（ISES 2035）提出，计划到 2035 年将可再生能源供电比例提升至 42%（国际可再生能源署，2018）。据估计，达到这一目标共需 61 吉瓦可再生能源装机容量，其中包括 32 吉瓦光伏发电、12 吉瓦聚光太阳能发电，以及 18 吉瓦风电（Tanchum，2022）。这些目标也被正式写入埃及向《联合国气候变化框架公约》及其《巴黎协定》提交的国家自主贡献目标（NDC）中。截至 2021 年末，包括水电在内的可再生能源总量仅占埃及总装机容量的 10%（见图 1），埃及能源转型依然任重道远（埃及电力控股公司，2022）。

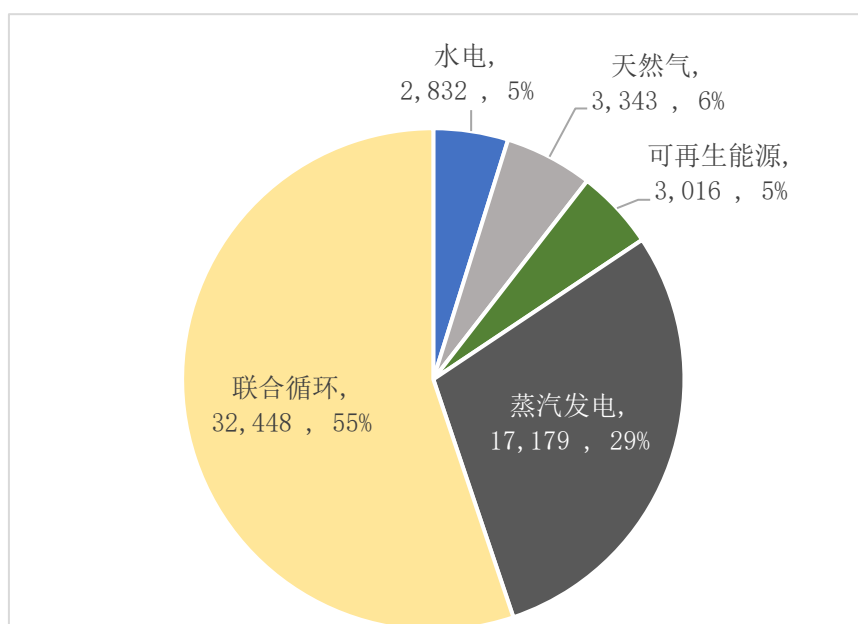


图 1. 截至 2021 年末，埃及发电装机容量（单位：兆瓦）

资料来源：埃及电力控股公司（EEHC）（2022）

埃及是非洲石油和天然气的主要生产国之一，其能源系统也以石油和天然气为主。截至 2020 年末，埃及石油储备超过 33 亿桶，天然气产量居非洲第三，仅次于阿尔及利亚和尼日利亚（美国能源信息署，2022）。然而，埃及在过去二十年中经济和工业发展稳定增长，能源需求不断上升，已于 2018 年成为能源净进口国。迄今为止，埃及是非洲最大的石油和天然气消费国，占非洲大陆石油和其他液化气消费量的 22%，占天然气消费量的 37%（美国能源信息署，2022）。虽然埃及政府在过去几年中通过鼓励勘探和生产在很大程度上满足了国内能源需求，但依靠石油和天然气来驱动整个经济的不可持续性日益显现。随着风能和太阳能的成本不断下降，能源结构多元化已成为埃及长期能源安全的重要战略。

除了保障国家能源安全，由化石燃料驱动的工业和运输业造成的空气污染等环境问题也迫使埃及政府进行低碳能源转型。大开罗地区的空气污染远远超过世界卫生组织的标准，这是导致呼吸道疾病增加和过早死亡的主要原因（Abbass 等，2021）。因此，推动能源低碳转型将在保护生命健康方面带来显著的协同效益。

埃及可再生能源发展现状

埃及拥有丰富的可再生能源（见图 2）。作为一个地处“阳光地带”（Sunbelt）的国家，埃及日均日照时长为 9-11 小时，年均直射强度为 2,000-3,200 千瓦时/平方米（国际可再生能源署，2018）。埃及的红海沿岸、尼罗河西南岸和西部沙漠南部拥有丰富的风能资源，年均风速为 6-10 米/秒，足以进行风力发电（国际可再生能源署，2018）。土地资源充足是埃及的另一个地理优势，尤其有利于公用事业级大型可再生能源基础设施的开发。埃及 1.01 亿人口中大约 95% 居住在尼罗河沿岸和尼罗河三角洲，因此广大的无人区是开发大型太阳能电站的理想之地。

2014 年以来，埃及政府颁布了全面而细致的鼓励可再生能源发展的法令，包括《可再生能源法》（第 203/2014 号）、新《电力法》（第 87/2015 号），《投资法》（第 72/2017 号），以及电力与可再生能源部（MoERE）和总理办公室发布的其他法令。此外，埃及政府还制定了一系列鼓励可再生能源发展的政策，包括太阳能和风能工程总承包商（EPCs）和独立电站（IPPs）的上网电价补贴（FITs）制度和各种竞争性公开招标程序。在这些法令和政策的支持下，光伏发电、陆上风电和海上风电的成本大幅下降（光伏发电成本从 0.084 美元/千瓦时降至 0.025 美元/千瓦时，陆上风电成本从 0.0585 美元/千瓦时降至 0.03 美元/千瓦时）（埃及新能源和可再生能源管理局, 2021）。

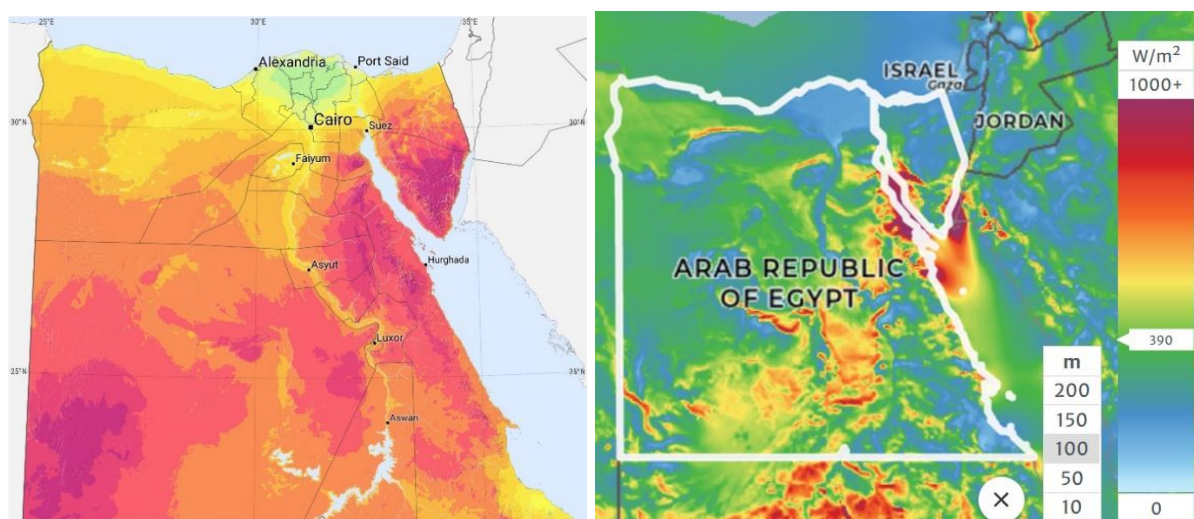


图 2. 埃及太阳能和风能资源

资料来源：全球太阳能资源数据库；全球风能资源数据库

截至 2021 年底，埃及风电项目中有四个已建成，总装机容量为 1,635 兆瓦；正在建设中的项目为 250 兆瓦；处于初始开发阶段的项目为 2,800 兆瓦，主要为位于苏伊士湾地区的建设-所有-运营（BOO）项目（埃及新能源和可再生能源管理局，2021）。埃及太阳能装机容量已达 1,756 兆瓦，包括一个 140 兆瓦的聚光太阳能热发电（CSP）项目和 1,465 兆瓦的本班太阳能产业园旗舰项目。正在建设中的光伏项目为 50 兆瓦；处于初始开发阶段的项目为 770 兆瓦（埃及新能源和可再生能源管理局，2021）。此外，还有 151 兆瓦的离网和屋顶太阳能系统正在安装中。

表 1. 埃及风能和太阳能项目（截至 2021 年末已建成和建设中的项目）

项目名称	装机容量（兆瓦）	能源种类	项目状态
Zafarana	545	风电	已建成
Gulf of El Zayt	580	风电	已建成
Ras Ghareb	260	风电	已建成
West Bakr	250	风电	已建成
Gulf of Suez	250	风电	建设中
Kuraymat	140	聚光太阳能 (CSP)	已建成
Benban	1,465	光伏	已建成
Kom Omp	26	光伏	已建成
Off grid/roof top	151	光伏	已建成
Zafarana	50	光伏	建设中
总计	3,717		

资料来源：埃及国家能源局（2022）；作者根据公开资料整理

除了风能和太阳能，埃及政府也在探索生物质能、核能和地热能领域的机会，并将其作为能源系统脱碳的重要补充能源（Salah 等，2021）。

目前，这些公用事业级大型可再生能源项目大多由国际金融机构（IFIs）和开发性金融机构（DFI）资助，包括国际金融公司（IFC）、欧洲复兴开发银行（EBRD）、欧洲投资银行（EIB）、日本国际合作银行（JBIC）、日本国际协力机构（JICA）、非洲开发银行（ADB）等。在这些项目中，埃及输电公司（EETC）是承购方，大多数项目是以无追索权的项目融资安排来开发的，但越来越多的贷款人会要求埃及财政部或埃及中央银行为购电协议（PPA）提供主权担保，外加埃及法院以外的国际仲裁条款（El-Mazghouny，2022）。值得注意的是，埃及的可再生能源发展现状仍不足以实现其《2035 年综合可持续能源战略》（ISES）和国家自主贡献目标（NDC）中提出的将可再生能源供电比例提升至 42% 的政策目标。

埃及可再生能源发展的另一个值得关注的趋势是投资主体从公共部门转向私人部门，与之相适应的是持续推进的能源行业改革，改革目标是提升能源行业的市场化水平和效率。2015年《电力法》明确提出鼓励私人投资，将电力部门从国有化向市场化转变。这些政策有助于促进私人领域投资的增加（美国能源信息署，2022）。目前，私人领域的投资只占风能和太阳能总装机容量的三分之一（埃及新能源和可再生能源管理局，2022）。新冠肺炎疫情给全球经济和地缘政治带来较大不确定性，因此埃及正在建设的项目大多是公共项目，私人投资的增长有所放缓。未来埃及的大多数可再生能源项目都可能采用 IPP 模式和 BOO 模式。

埃及具有培育本地可再生能源供应链和创造更多高技能就业机会的巨大潜力，这在其《2030年愿景》中也有所阐释。埃及实现绿色工业目标的重要政策工具是对招标项目提出本地化率的要求。埃及电力与可再生能源部在 2018 年成功使风电场的本地化率达到 30%，并计划提高国家采购中的本地化率。然而，本地化要求是一把双刃剑，它可能会阻碍私人投资、推高成本、降低独立电站的可融资性。埃及已经出台扶持本地制造业的政策，特别是通过双/多边合作研究项目和能力建设项目提高本地光伏制造业的创新能力。同时，埃及政府将发展电动汽车和绿氢产业作为能源转型的关键支柱，进而推动工业化进程。

在长期，埃及计划发展成为区域电力枢纽，从而向欧洲、中东和东非的邻国出口剩余电力。2019 年 12 月，埃及总统阿卜杜勒·法塔赫·塞西宣布，埃及将会把 20% 的剩余电力出口到其他非洲国家，特别是其南部邻国苏丹。埃及是八国电网互联项目（EIJLLPST）的伙伴国，该项目旨在实现埃及、伊拉克、约旦、利比亚、黎巴嫩、巴勒斯坦、叙利亚和土耳其的电网互联和电力一体化。埃及和沙特阿拉伯也在计划建设跨境电力传输设施。俄乌冲突正在加速推进埃及和欧洲关于铺设海底电缆的谈判进程，从而把清洁能源从埃及出口到希腊和塞浦路斯。

中国在埃及可再生能源行业的参与情况

埃及的目标是从以化石燃料为主导的经济向以安全可持续的清洁能源为主导转变，这一宏伟目标的实现需要有力的外部技术和资金支持。目前，大部分技术和资金支持都来自西方和中东及北非地区。埃及可再生能源市场快速增长且竞争日益激烈，作为国际上领先的基础设施开发商和投资方，中国企业和金融机构将在埃及市场发挥越来越积极的作用（见表 2）。

表 2. 中国在埃及的可再生能源项目

项目名称	装机容量	能源类型	开发商/EPC	融资方	项目状态
本班	165.5 兆瓦	光伏	正泰新能源-沙特国际水能及电力公司 (ACWA Power)	欧洲复兴开发银行、中国工商银行	已建成
本班	186 兆瓦	光伏	特变电工	中国工商银行、亚投行	已建成
古纳北	35.7 兆瓦	离网太阳能	中国能建	N/A	已建成
苏伊士湾	500 兆瓦	风电	中国电建-阿联酋阿米尔能源公司 (AMEA Power)	日本国际协力银行、国际金融公司、渣打银行、埃及国际商业银行、三井住友银行、三井住友信托银行	建设中
阿塔卡	2,400 兆瓦	水电（抽水蓄能）	中国水电（中国电建子公司）	中国进出口银行	建设中

资料来源：作者根据公开资料整理。

中国的私营企业和大型国有企业已广泛参与到埃及的集中式和分布式风电和光伏市场中。在中国光伏市场居于领先地位的企业（如正泰新能源和特变电工）已经在埃及的旗舰项目——位于阿斯旺的本班光伏电站中承接了两个 EPC 项目。这两个项目的装机容量为 350 兆瓦，占本班光伏电站总装机容量（1,465 兆瓦）的近四分之一。在该项目中，正泰还与中东及北非地区领先的可再生能源开发商——沙特阿拉伯国际水能及电力公司（ACWA Power）一起作为小型股权投资者。该项目由中国工商银行和亚洲基础设施投资银行（AIIB）提供联合融资。中国电建与总部位于迪拜的阿米尔能源公司（AMEA Power）于 2022 年 10 月签约的合作项目采用了同样的联合融资模式，该项目将在苏伊士湾地区开发一个 500 兆瓦的风电场，中国电建是该项目的 EPC 承包商。

2018年，中国水利水电建设集团公司（中国电建的子公司）与埃及电力控股公司（EEHC）签署了一份EPC+融资协议，在阿塔卡山建设一个2,400兆瓦的抽水蓄能电站。该项目在埃及总统正式访问北京期间签署，具有重大的政治意义。中国进出口银行承诺对合同金额的85%提供贷款支持，项目的具体的实施日期尚未公布。另一家大型能源建设国有企业——中国能建参与了埃及古纳北地区35.7兆瓦分布式太阳能EPC项目，包括建设四个屋顶系统和四个备用小型电网系统。

中国的光伏技术处于全球领先水平，为埃及光伏制造能力的提升发挥了重要作用。两国政府于2015年在埃及苏哈格省成立了太阳能和储能实验室。这个联合实验室的中方机构包括中国电子科技集团公司（CETC）下属的研究所、天津大学和中国国电集团公司；埃方机构为埃及科研技术院（ASRT）。该联合实验室将帮助埃及建设光伏电池生产线，实现埃及自主生产高端电池片。中埃可再生能源合作除了政府推动的项目，也有企业主导的项目。例如，正泰新能源在2017年1月与埃及国有企业EGEMAC成立了一家合资企业，生产低/中电压开关设备。EGEMAC还与中国西电集团成立合资企业生产高压变电站的设备。同时，总部位于埃及的Enara集团也宣布计划与正泰新能源合作，用石英砂制造光伏组件，提高光伏组件的本土化生产能力，目前项目细节尚未公布。有消息称，如果得到中国开发性金融机构的财政支持，还有其他的中国企业有兴趣在埃及建设太阳能电池板零部件工厂。

加强融资支持，助力中国企业参与埃及可再生能源市场

埃及计划在 2035 年之前实现可再生能源在电力结构中占比 42% 的目标。这一雄心勃勃的目标的实现仍面临巨大的资金缺口，而来自中国的资金，特别是来自中国主要开发性金融机构的资金可以发挥关键作用。具体来说，由于大多数可再生能源项目在未来将通过独立电站模式（IPP）或建设-所有-运营模式（BOO）实施，中国的开发性金融机构需要根据投资趋势和商业模式制定适当的战略。在埃及市场中，需要资金支持的中国企业除了可再生能源发电企业，也包括可再生能源零部件（如太阳能电池板和开关设备）制造企业。值得注意的是私营企业是制造业的主要组成部分，但往往会被更倾向于为国有企业提供贷款的中国开发性金融机构所忽视。

中方应积极与中东及北非以及欧洲的投资者和金融机构在埃及可再生能源市场建立合作关系，特别是在供应链建设和融资方面。这种合作已有成功案例：在本班光伏电站项目中，正泰新能源不仅是项目的 EPC 承包商，而且与沙特阿拉伯国际水能及电力公司（ACWA Power）共同成为该项目的小型股权投资者；此外，中国工商银行和亚投行（AIIB）共同为该项目的另一个 EPC 承包商特变电工提供融资支持；在苏伊士湾的风电项目中，中国电建与阿联酋阿米尔能源公司（AMEA Power）进行 EPC 合作。这些案例都表明埃及可再生能源市场的国际合作前景广阔。由中国国有资本运营的丝路基金在 2020 年收购了 ACWA Power 旗下的可再生能源公司（ACWA Power RenewCo）49% 的股份，是机构股权投资的成功范例之一。这些机构层面和项目层面的合作表明，中国的企业和金融机构正在努力以不同的方式逐渐融入埃及市场，但目前尚不确定未来的合作能在多大程度上提高中国在埃及可再生能源市场的投资规模。除了企业和金融机构积极参与国际合作，中国政府的援外项目和国际发展项目也应在支持大规模投资方面发挥更积极的补充作用。中埃太阳能联合实验室的成功说明了这种国际发展项目可以提升当地的工业产能和研究能力，这对于长期的能源转型进程至关重要。

从绿电到绿氢：一举两得？

2022 年是埃及的绿氢年。到 2030 年，全球低碳氢的产量可达每年 1,600-2,400 万吨，其中 900-1,400 万吨由电解制成，700-1,000 万吨用化石燃料和碳捕集、利用与封存（CCUS）技术（国际能源署，2022）制成。作为《联合国气候变化框架公约》第 27 次缔约方会议（COP27）的东道主，埃及的目标是成为区域绿氢生产中心。埃及政府在 COP27 期间宣布了与欧洲复兴开发银行（EBRD）合作编写的《国家绿氢战略》，以支持绿氢和绿氨的生产、储存和出口。《欧盟-埃及可再生氢能伙伴关系联合声明》也已在 COP27 期间发布（欧盟，2022）。同时，埃及与外国企业在 COP27 期间签署了十余份在苏伊士运河经济区（SCZone）建设绿氢工厂的谅解备忘录，包括阿联酋阿米尔能源公司（AMEA Power）、沙特阿拉伯 Alfanar 公司和国际水能及电力公司（ACWA Power）、法国电力公司（EDF）和道达尔能源公司（TotalEnergies）、英国 Globeleq 公司和英国石油集团（BP）、澳大利亚未来产业公司（FFI）、印度 Taqa 和 ReNew Power 公司、德国 DAI Global 公司和挪威 Scatec 公司。COP27 结束后还陆续有外国企业与埃及签约。

埃及在 2019 年的氢气使用总量约为 180 万吨，其中的大部分蓝氢用于化肥和钢铁生产（见图 3）。埃及计划在 2035 年之前投产 11.62 吉瓦装机量的绿氢项目，这一目标仅次于澳大利亚和毛里塔尼亚。埃及政府出台了强有力的政策支持氢能行业，包括为投资者提供大幅税收优惠和简化项目审批程序。然而，水资源短缺严重制约了埃及的氢能发展，因此任何采用有效用水技术的项目设计都将受到特别欢迎。氢储存是另一个挑战，位于尼罗河三角洲和西部沙漠的废弃油气田提供了储存气态氢的可能性，但气态氢易扩散，存在泄漏隐患（Easily 等, 2022；Thaysen 和 Nicka, 2022）。

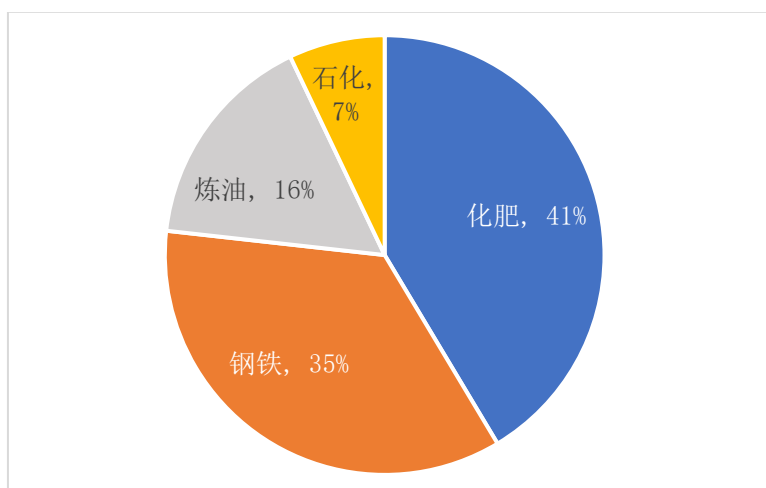


图 3. 埃及氢能用途

资料来源：Esily 等（2022）

中国在埃及绿氢市场的参与情况

目前，中国在埃及氢能市场的参与程度有限，且主要由大型国有企业主导。2022 年 12 月，中国能源建设集团（CEEC）签署了中国在埃及的第一个绿氢项目谅解备忘录。该项目包括光伏和风能发电站、电解水制氢、合成氨，以及配套的储存和处理设施系统。项目建成后年产绿氢规模约 14 万吨。这一示范项目表明，中国国有企业有能力为埃及能源转型战略所需的综合基础设施提供一站式解决方案。除了企业层面的独特优势，中国在该领域还拥有其他比较优势。例如，中国的重型燃料电池汽车正在快速增长。截至 2021 年底，中国占世界燃料电池卡车市场份额的 95% 以上，占世界燃料电池客车市场份额的 85% 以上（国际能源署，2022）。中国电解槽产能居世界之首（国际能源署，2021）。中国制造的碱性电解槽比西方的同类产品价格低 80%（彭博，2020）。截至 2022 年 6 月，中国已建成加氢站超 270 座，数量位居世界第一。

埃及绿氢市场蓬勃发展，要把潜在竞争力转化为真正的商业机会，中国还面临挑战。例如，中国国内绿氢市场快速发展，而当国内市场能提供足够的增长空间时，大多数中国头部公司不一定会重视培育海外市场。

扩大中国在竞争日益激烈的非洲市场的参与程度

当今世界正面临着前所未有的经济和政治不确定性，非洲各国的能源转型路径对国际投资的吸引力也不尽相同。埃及正在成为可再生能源发电和绿氢基础设施方面最受欢迎的投资目的地之一。中国虽然已经参与到这两个领域，但与欧洲和中东及北非的投资者相比参与度还较低。中国是一个新兴的绿色技术大国，中国企业需要通过更灵活的融资和商业模式来提高竞争力。同时，正在崛起的中国绿色科技企业也需要更多的支持性政策来突破国内市场的舒适区，尽早参与到竞争更激烈的海外市场中。

中国在埃及可再生能源发电和绿氢市场参与度较低，这也表明以往大型能源基础设施海外项目的传统发展模式也许不再适合新时代的可再生能源基础设施项目。可再生能源基础设施的规模相对较小、建设速度较快、需要更灵活的融资方式、需要与快速变化的上/下游部门（如储能、智能电网和其他相关行业）更紧密地融合。中国是非洲传统能源基础设施建设和融资的长久而坚定的合作伙伴，在这个由传统基础设施向绿色基础设施转型升级的新时代，中国也需要在制度层面创新升级海外项目的发展模式。

参考文献

- Ahmed, F. (2022, October 26). *Electricity Minister: Egypt Can Produce Green Hydrogen at the Lowest Costs*. Retrieved January 7, 2023, from egyptoil-gas: <https://egyptoil-gas.com/news/electricity-minister-egypt-can-produce-green-hydrogen-at-the-lowest-costs/>
- Alaa Abbass, R., Kumar, P., & El-Gendy, A. (2021). Emissions Control Scenarios for Transport in Greater Cairo. *Toxics*, 9(11), 285.
- Bloomberg. (2020). *Hydrogen Economy Outlook*. BloombergNEF. Retrieved January 7, 2023, from <https://data.bloomberglp.com/professional/sites/24/BNEF-Hydrogen-Economy-Outlook-Key-Messages-30-Mar-2020.pdf>
- CEEC (中国能建). (2022, December 9). *CEEC and the Egyptian government signed a MoU on green hydrogen project cooperation and development*. Retrieved January 7, 2023, from CEEC: https://www.ceec.net.cn/art/2022/12/9/art_11016_2525378.html
- Collins, Leigh. (2021, July 29). *Why hydrogen-fired power plants 'will play a major role in the energy transition'*. Retrieved from Recharge: <https://www.rechargenews.com/energy-transition/why-hydrogen-fired-power-plants-will-play-a-major-role-in-the-energy-transition/2-1-1045768>
- EEHC (2022). *Egyptian Electricity Holding Company Annual Report 2020/2021*. Available at: http://www.moee.gov.eg/english_new/EEHC_Rep/REP2021-2022en.pdf
- Egypt Today. (2022, December 8). *Egypt studies green hydrogen projects through signing new 7 MoUs*. Retrieved January 7, 2023, from Egypt Today: <https://www.egypttoday.com/Article/3/121171/Egypt-studies-green-hydrogen-projects-through-signing-new-7-MoUs>
- EIA (美国能源信息署) (2022). *Country Analysis Executive Summary: Egypt*. Available at: https://www.eia.gov/international/content/analysis/countries_long/Egypt/egypt.pdf
- El-Mazghouny., D. (2022). *The Renewable Energy Law Review: Egypt*. In *The Renewable Energy Law Review - 5th Edition*, edited by Hassan., M. The Law Reviews. Available at: <https://thelawreviews.co.uk/title/the-renewable-energy-law-review/egypt>
- Enterprise. (2022, March 16). *Tax incentives announced for green and emerging investments*. Retrieved January 7, 2023, from Enterprise: <https://enterprise.press/stories/2022/03/16/tax-incentives-announced-for-green-emerging-investments-67049/>
- Ersoy, S. R., & Terrapon-Pfaff, J. (2022). *Sustainable transformation of Egypt's energy system: development of a phase model*. Wuppertal Institute. Retrieved January 7, 2023, from https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/7892/file/7892_Egypt.pdf
- Esily, R. R., Chi, Y., Ibrahim, D. M., & Chen, Y. (2022). Hydrogen strategy in decarbonization era: Egypt as a case study. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(43), pp. 18629-18647. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.04.012>

IEA (国际能源署). (2021). Hydrogen Projects Database. Retrieved January 7, 2023, from <https://www.iea.org/reports/hydrogen-projects-database>

IEA (国际能源署). (2022). *Global Hydrogen Review 2022*. Retrieved January 7, 2023, from <https://iea.blob.core.windows.net/assets/c5bc75b1-9e4d-460d-9056-6e8e626a11c4/GlobalHydrogenReview2022.pdf>

IRENA (国际可再生能源署). (2022). *World Energy Transitions Outlook 2022: 1.5°C Pathway*. Abu Dhabi: IRENA. Retrieved January 7, 2023, from https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Mar/IRENA_World_Energy_Transitions_Outlook_2022.pdf?rev=353818def8b34effa24658f475799464

IRENA (国际可再生能源署) (2018). *Renewable Energy Outlook, Egypt*. Available at: <https://www.irena.org/publications/2018/oct/renewable-energy-outlook-egypt>

Kamel, M. (2022) Green hydrogen: What is it, and can Egypt become a leading producer? *The Africa Report* on 8 November 2022. available at: <https://www.theafricareport.com/257431/green-hydrogen-what-is-it-and-can-egypt-become-a-leading-producer/>

National Development and Reform Commission. (2022). *China maps 2021-2035 plan on hydrogen energy development*. Retrieved January 7, 2023, from NDRC: https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/jd/jd/202203/t20220323_1320045.html?code=&state=123

NREA (埃及新能源和可再生能源管理局) (2021). *New and Renewable Energy Authority Annual Report 2021*. Available at: <http://nrea.gov.eg/test/en/Media/Reports>

PFI. (2022, December 20). *Financing Egypt's US\$83bn green H2 plan*. Retrieved January 7, 2023, from PFI: <https://www.pfie.com/story/3645275/financing-egypts-us83bn-green-h2-plan-9kymzp5tpm>

Salah, F. (2022, November 28). *Egypt plans to be the main source of hydrogen for Europe by 2030*. Retrieved January 7, 2023, from <https://dailynewsegypt.com/2022/11/28/egypt-plans-to-be-the-main-source-of-hydrogen-for-europe-by-2030-strategic-framework/>: <https://dailynewsegypt.com/2022/11/28/egypt-plans-to-be-the-main-source-of-hydrogen-for-europe-by-2030-strategic-framework/>

Salah, S. I., Eltaweel, M., & Abeykoon, C. (2022). Towards a sustainable energy future for Egypt: A systematic review of renewable energy sources, technologies, challenges, and recommendations. *Cleaner Engineering and Technology*, 100497.

SeeTao. (2022, May 24). *Egypt plans to commission 11.62GW green hydrogen project by 2035*. Retrieved January 7, 2023, from Seetao: <https://www.seetao.com/details/159149.html>

Tanchum., M. (2022). Egypt's Synergy Between Natural Gas and Green Energy Transition: Cairo's Advances in LNG and Green Hydrogen are Shaping the COP 27 Agenda. *Middle East Institute Policy Analysis*. Available at: <https://www.mei.edu/publications/egypts-synergy-between-natural-gas-and-green-energy-transition-cairos-advances-lng-and>

The Oxford Institute for Energy Studies (牛津能源研究所). (2021). *Egypt's Low Carbon Hydrogen Development Prospects*. The Oxford Institute for Energy Studies. Retrieved January 7, 2023, from <https://a9w7k6q9.stackpathcdn.com/wpcms/wp-content/uploads/2021/11/Egypt's-Low-Carbon-Hydrogen-Development-Prospects-ET04.pdf>

The People's Daily. (2022, August 14). *Over 270 hydrogen refueling stations have been built nationwide*. Retrieved January 7, 2023, from The People's Daily: http://www.gov.cn/xinwen/2022-08/14/content_5705293.htm

Veshareh, M. J., Thaysen, E. M., & Nicka, H. M. (2022). Feasibility of hydrogen storage in depleted hydrocarbon chalk reservoirs: Assessment of biochemical and chemical effects. *Applied Energy*, 323. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119575>

附录: 埃及绿氢项目（截至 2022 年 12 月）

	项目地点	产品	项目规模	埃及参与机构	外方参与机构	协议类型	签署时间	运营时间	金额 (百万美元)	项目状态
1	艾因苏赫纳港口	氨	100 兆瓦 电解槽；90 千吨 氨/年；15 千吨 氢/年	Orascom； 埃及基础工业公司 SAE (EBIC)； 埃及主权基金 (TSFE)	挪威：Scatec； 阿联酋： Fertiglobe； 荷兰：OCI N.V.； 美国：Plug Power Inc	框架协议	2022 年 11 月	2024	N/A	初始阶段开始运营
2	艾因苏赫纳港口	氨	700 兆瓦 电解槽，140 千吨 氨/年；25 千吨 氢/年	埃及新能源和可再生能源管理局 (NREA)； 埃及电力传输公司 (EETC)； 苏伊士运河管理局 (SCZONE)； 埃及主权基金 (TSFE)	法国：EDF	框架协议，阶段 1	2022 年 11 月	2026	N/A	可行性研究
3	艾因苏赫纳港口	氨	350 千吨 氨/年；80 千吨 氢/年	埃及新能源和可再生能源管理局 (NREA)； 埃及电力传输公司 (EETC)； 苏伊士运河管理局 (SCZONE)； 埃及主权基金 (TSFE)	法国：EDF 阿联酋： ZeroWaste	框架协议，阶段 2	2022 年 11 月	2030	\$3,000	概念阶段
4	艾因苏赫纳港口	氢、氨	200 千吨 氨/年	NA	英国：Actis (PE)	谅解备忘录	2022 年 8 月	NA	\$1,500	可行性研究
5	艾因苏赫纳港口	氢	2.2 百万吨 氢/年	NA	印度：ACME	谅解备忘录	2022 年 8 月	NA	\$13,000	可行性研究
6	艾因苏赫纳港口	氢	230 千吨 氢/年	NA	阿联酋：K&K	谅解备忘录	2022 年 8 月	NA	N/A	可行性研究
7	艾因苏赫纳港口	氨	120 千吨 氨/年	地中海能源伙伴关系 (MEP)	NA	谅解备忘录	2022 年 8 月	NA	\$230	可行性研究
8	艾因苏赫纳港口	氨	230 千吨 氨/年	NA	阿联酋：Alcazar	谅解备忘录	2022 年 8 月	NA	\$2,000	可行性研究

9	艾因苏赫纳港口	氢、 甲醇	NA	埃及新能源和可再生能源管理局 (NREA) ; 埃及电力传输公司 (EETC) ; 苏伊士运河管理局 (SCZONE) ; 埃及主权基金 (TSFE)	丹麦: Maersk	谅解备忘录	2022 年 3 月	NA	N/A	可行性研究
10	艾因苏赫纳港口	氨	1 吉瓦 电解槽, 800 千吨 氨/年	埃及新能源和可再生能源管理局 (NREA) ; 埃及电力传输公司 (EETC) ; 苏伊士运河管理局 (SCZONE) ; 埃及主权基金 (TSFE)	阿联酋: 阿米尔能源公司 (AMEA)	框架协议	2022 年 11 月	2027	\$2,000	概念阶段
11	艾因苏赫纳港口	氨	100 千吨 氨/ 年, 20 千吨 氢 /年	埃及新能源和可再生能源管理局 (NREA) ; 埃及电力传输公司 (EETC) ; 苏伊士运河管理局 (SCZONE) ; 埃及主权基金 (TSFE)	印度: ReNew Power	框架协议, 阶段 1	2022 年 11 月	2026	\$710	概念阶段
12	艾因苏赫纳港口	氨	1.1 百万吨 氨/ 年, 200 千吨 氢/年	埃及新能源和可再生能源管理局 (NREA) ; 埃及电力传输公司 (EETC) ; 苏伊士运河管理局 (SCZONE) ; 埃及主权基金 (TSFE)	印度: ReNew Power	框架协议, 阶段 2	2022 年 11 月	2029	\$7,150	概念阶段
13	艾因苏赫纳港口	氢	1 吉瓦 电解槽, 150 千吨 氢/年	TAQA 阿拉伯; 埃及政府 (提供土地) ; 埃及主权基金 (TSFE)	法国: VoltaLia	谅解备忘录	2022 年 12 月	NA	N/A	概念阶段
14	艾因苏赫纳港口	氨	500 千吨 氨/年 100 千吨 氢/年	ETC (开发商) 埃及新能源和可再生能源管理局 (NREA) ; 苏伊士运河管理局 (SCZONE) ; 埃及主权基金 (TSFE)	沙特阿拉伯: Alfanar	框架协议	2022 年 10 月	阶段 1: 2025	\$3,500	概念阶段
15	东塞得港	氢	1 吉瓦 LOHC 氢 Hub, 300 千吨 氢/年	苏伊士运河管理局	德国: H2 Industries	谅解备忘录	2022 年 6 月	NA	\$4,000	可行性研究

16	地中海沿岸；苏伊士运河经济区	氢、氨	4 吉瓦 电解槽， 2.3 百万吨 氨/ 年，480 千吨 氢/年	哈桑·阿拉姆公用事业公司； Infinity 能源控股公司	阿联酋：马斯达尔	谅解备忘录，阶段 2	2022 年 4 月	2030	N/A	概念阶段
17	苏伊士运河经济区	氨	NA	国际标准电力 (BPI)； 化学工业控股公司 (CIHC)； 埃及新能源和可再生能源管理局 (NREA)； 埃及电力传输公司 (EETC)； 苏伊士运河管理局 (SCZONE)； 埃及主权基金 (TSFE)	NA	谅解备忘录	2022 年 12 月	NA	\$750	概念阶段
18	苏伊士运河经济区	NA	NA	国际标准电力 (BPI)； 化学工业控股公司 (CIHC)； 埃及新能源和可再生能源管理局 (NREA)； 埃及电力传输公司 (EETC)； 苏伊士运河管理局 (SCZONE)； 埃及主权基金 (TSFE)	印度：Ocior 能源公司	谅解备忘录	2022 年 12 月	NA	N/A	概念阶段
19	苏伊士运河经济区	NA	NA	埃及新能源和可再生能源管理局 (NREA)； 埃及电力传输公司 (EETC)； 苏伊士运河管理局 (SCZONE)； 埃及主权基金 (TSFE)	德国：DAI Global	谅解备忘录	2022 年 12 月	NA	N/A	概念阶段
20	苏伊士运河经济区	氢	NA	埃及新能源和可再生能源管理局 (NREA)； 埃及电力传输公司 (EETC)； 苏伊士运河管理局 (SCZONE)； 埃及主权基金 (TSFE)	英国：英国石油集团 (BP)	谅解备忘录	2022 年 12 月	NA	N/A	可行性研究

21	苏伊士运河经济区	NA	NA	国际标准电力 (BPI); 化学工业控股公司 (CIHC); 埃及新能源和可再生能源管理局 (NREA); 埃及电力传输公司 (EETC); 苏伊士运河管理局 (SCZONE); 埃及主权基金 (TSFE)	沙特阿拉伯: 国际水能及电力公司 (ACWA)	谅解备忘录	2022 年 12 月	NA	N/A	概念阶段
22	苏伊士运河经济区	氨	300 千吨 氨/年	埃及新能源和可再生能源管理局 (NREA); 埃及电力传输公司 (EETC); 苏伊士运河管理局 (SCZONE); 埃及主权基金 (TSFE)	法国: TotalEnergies	框架协议	2022 年 11 月	NA	N/A	概念阶段
23	苏伊士运河经济区	氢	330 千吨 氢/年	New and Renewable Energy Authority (NREA); 埃及电力传输公司 (EETC); 苏伊士运河管理局 (SCZONE); 埃及主权基金 (TSFE)	澳大利亚: 未来产业公司 (FFI)	框架协议	2022 年 11 月	2030	N/A	概念阶段
24	苏伊士运河经济区	氢, 氨	2 吉瓦 电解槽	哈桑·阿拉姆公用事业公司; Infinity 能源控股公司; 埃及新能源和可再生能源管理局 (NREA); 埃及电力传输公司 (EETC); 苏伊士运河管理局 (SCZONE); 埃及主权基金 (TSFE)	阿联酋: 马斯达尔	框架协议	2022 年 11 月	2026	N/A	概念阶段
25	苏伊士运河经济区	氨	3.6 吉瓦 电解槽, 2 百万吨 氨/年	埃及新能源和可再生能源管理局 (NREA); 埃及电力传输公司 (EETC); 苏伊士运河管理局 (SCZONE); 埃及主权基金 (TSFE)	英国: Globelec	框架协议	2022 年 11 月	2026	\$11,000	概念阶段

26	苏伊士运河经济区	氨	300 千吨 氨/年	Enara Capital; 埃及新能源和可再生能源管理局 (NREA); 埃及电力传输公司 (EETC); 苏伊士运河管理局 (SCZONE); 埃及主权基金 (TSFE)	法国: Total Eren	谅解备忘录, 阶段 1	2022 年 5 月	2025	N/A	可行性研究
27	苏伊士运河经济区	氨	1.5 百万吨 氨/年	Enara Capital; 埃及新能源和可再生能源管理局 (NREA); 埃及电力传输公司 (EETC); 苏伊士运河管理局 (SCZONE); 埃及主权基金 (TSFE)	法国: Total Eren	谅解备忘录, 阶段 2	2022 年 5 月	2030	N/A	概念阶段
28	苏伊士运河经济区	甲醇	100 千吨 甲醇/年	哈桑·阿拉姆公用事业公司	阿联酋: 马斯达尔	谅解备忘录, 阶段 1	2021 年 4 月	2026	N/A	可行性研究
29	NA	氢、氨	140 千吨 氢/年	国际标准电力 (BPI); 化学工业控股公司 (CIHC); 埃及新能源和可再生能源管理局 (NREA); 埃及电力传输公司 (EETC); 苏伊士运河管理局 (SCZONE); 埃及主权基金 (TSFE)	NA	谅解备忘录	2022 年 12 月	NA	N/A	概念阶段
30	NA	氢	100-200 兆瓦 电解槽	埃及电力控股公司 (EEHC)	德国: 西门子能源	谅解备忘录	2022 年 8 月	NA	N/A	概念阶段
31	地中海沿岸	氢	500 兆瓦 电解槽	Gharably 建筑公司 (GIECO); 电力与可再生能源部; 石油和矿产资源部; 埃及海军	比利时: 德米集团 (DEME), Fluxys, 安特卫普港	合作协议	2022 年 11 月	NA	N/A	可行性研究

资料来源: 国际能源署 (IEA) (2021); 作者根据公开资料整理