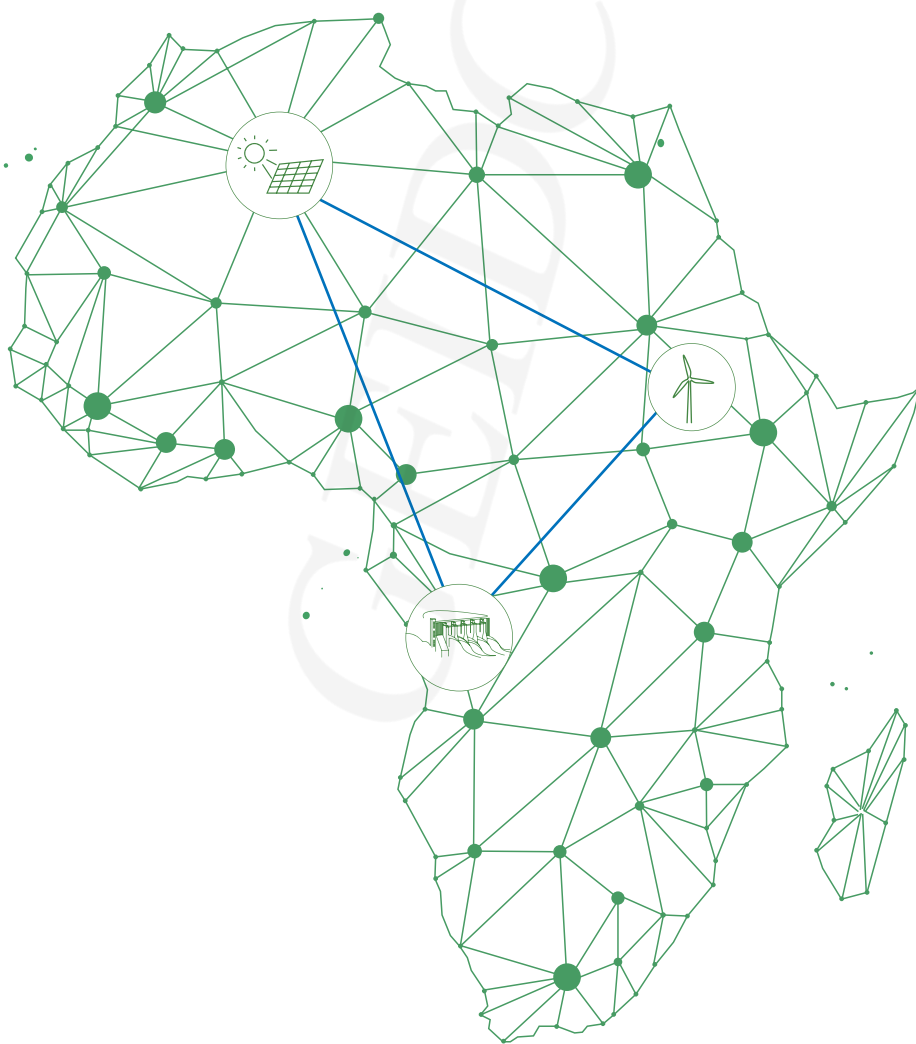




Global Energy Interconnection
Development and Cooperation Organization
全球能源互联网发展合作组织

非洲能源互联网 规划研究报告



全球能源互联网发展合作组织
二〇一八年九月



Global Energy Interconnection
Development and Cooperation Organization
全球能源互联网发展合作组织

非洲能源互联网 规划研究报告

全球能源互联网发展合作组织
二〇一八年九月

前 言

非洲是全球最具发展潜力的地区，近年来非洲国家经济高速增长，已成为世界经济的重要增长极，其经济增速有望长期保持在较高水平。非洲清洁能源资源得天独厚，水能、风能、太阳能资源量分别占全球的 12%、32%、40%，地热能、海洋能和生物质能资源也十分丰富，大规模开发清洁能源是实现非洲经济社会可持续发展的必然选择。通过建设非洲能源互联网，构建跨国跨区清洁能源配置平台，可实现清洁能源的大规模开发、优化配置和高效利用。

全球能源互联网发展合作组织结合非洲发展实际，以清洁、可持续发展为导向，聚焦非洲能源电力发展的难点和热点问题，开展了非洲能源互联网规划研究。规划范围覆盖整个非洲大陆，研究内容涵盖非洲可持续发展的新机遇、能源电力发展趋势、清洁能源合理开发方式和布局、非洲电网互联总体格局及区域电网互联规划方案等。同时，研究提出了非洲能源互联网分阶段实施方案和重点互联互通工程，分析了非洲能源互联网投资规模及综合经济、社会和环境等效益。

加快构建非洲能源互联网，促进跨国跨区互联互通基础设施建设，可有力保障非洲清洁、可靠、廉价的能源供应，推动非洲工业化、城镇化和区域一体化建设，实现联合国“2030 议程”和非盟“2063 年议程”发展目标，助力非洲实现自主可持续发展，促进人类命运共同体建设。

目 录

006 非洲可持续发展的新机遇

- 007 1.1 非洲发展迈向新阶段
- 010 1.2 非洲可持续发展潜力巨大
- 013 1.3 非洲可持续发展方向明晰
- 017 1.4 能源电力是非洲可持续发展的关键

022 非洲能源互联网助推非洲可持续发展

- 023 2.1 非洲能源互联网发展思路
- 025 2.2 非洲能源需求趋势与展望
- 029 2.3 非洲电力需求趋势与展望
- 032 2.4 非洲电力供应趋势与展望

039 非洲电网互联规划方案

- 040 3.1 清洁能源基地布局
- 050 3.2 非洲电网互联总体格局
- 054 3.3 区域电网互联规划
- 080 3.4 分阶段实施方案与投资估算



085 **重点互联互通工程**

086 4.1 电源工程

089 4.2 电网工程

4

102 **非洲能源互联网综合效益**

103 5.1 经济效益

103 5.2 社会效益

104 5.3 环境效益

105 5.4 政治效益

5

106 **结论**

6

1 非洲可持续发展的 新机遇



非洲政治局势日趋稳定，人口红利不断释放，营商环境持续向好。依托丰富的矿产资源和清洁能源资源，非洲正迎来以工业化、城镇化和区域一体化为特征的新机遇，对非洲能源电力发展提出了新的更高要求。加快开发清洁能源资源，形成以清洁能源为主、互联互通的能源格局，是破解非洲能源短缺困局、保障非洲能源安全可靠供给、实现非洲可持续发展的必由之路。

1.1 非洲发展迈向 新阶段

2017 年
非洲人均国内生产总值不足
2000 美元

非洲发展取得新成就。一是非洲局势不断向好，国际地位稳步提升。非洲基本实现了地区的和平与稳定，地区冲突降至历史最低点；一体化力量不断增强，各国积极参与国际合作和全球治理，成为国际政治舞台和世界格局中的重要参与者。二是非洲经济发展进入快车道，为世界经济提供新动能。新世纪以来，非洲经济年均增长超过 4%，是全球经济增长最快的地区之一，2017 年非洲国内生产总值已达 2.4 万亿美元。三是非洲城镇化水平快速提高，人口红利不断释放。非洲人口已超过 12 亿，以青年人口为主，劳动力资源极为丰富。非洲城镇化率已从 1975 年的 25% 增长至 2017 年的 41%，部分国家已达发达国家水平。

可持续发展任务依然艰巨。一是非洲经济整体发展水平不高。2017 年，非洲人均国内生产总值不足 2000 美元，仅为全球平均水平的 1/5。根据联合国资料，全球贫困人口约 7.5 亿人，其中撒哈拉以南非洲占比超过 1/2。二是经济结构单一，脆弱性明显。非洲工业化发展水平较低，对初级产品依赖度较高。目前，非洲国内生产总值的四成以上来自初级产品，产油国经济增长对原油出口依赖程度普遍高于 20%，受国际大宗商品价格波动的影响大。三是金融市场尚不健全，基础设施项目融资困难。非洲国内储蓄率较低、可用资金规模小，银行、保险、证券、担保等金融体系不够完善，融资渠道单一。目前，非洲基础设施投资主要是政府财政投入，但政府财政收入规模小、增长慢，难以满足基础设施建设巨大资金需求。四是非洲国家的城镇化发展缺乏工业化积累和产业支撑，存在一定程度的“空心化”现象，基础设施建设也落后于城镇化发展步伐，制约了经济社会的可持续发展。



表 1.1 全球贫困人口数和贫困发生率前 10 的国家^①

位次		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
贫困人口规模	国家	印度	刚果（金）	埃塞俄比亚	孟加拉国	中国	坦桑尼亚	马达加斯加	乌干达	巴基斯坦	马拉维
	万人	26441	5318	2938	2815	2579	2336	1738	1256	1108	1075
贫困发生率	国家	马达加斯加	刚果（金）	布隆迪	马拉维	莫桑比克	几内亚比绍	中非共和国	赞比亚	卢旺达	莱索托
	%	77.8	77.1	73.7	70.9	68.7	67.1	66.3	64.4	60.3	59.7

2015 年非洲
人均能源和电力消费仅为
0.69 吨标煤和
535 千瓦时
分别为世界平均水平的
38% 和 18%

非洲能源发展水平较低，电力普及性问题突出。一是初级能源占比高，利用效率低。非洲国家的石油、天然气、电力等现代能源可及率较低；整体上看，非洲电力可及率仅为 52%；分国家看，非洲仍有 2/3 的国家电力可及率甚至不足 50%；无电人口总数约 6 亿，占世界无电人口一半以上。二是能源使用成本高，限制经济发展和居民生活水平提升。从终端电价看，非洲国家平均电价高达 14 美分 / 千瓦时，是发展中国家平均电价的 2~3 倍^②。2015 年非洲人均能源和电力消费仅为 0.69 吨标煤和 535 千瓦时，分别为世界平均水平的 38% 和 18%。电能占终端能源消费总量 9.3%，仅为世界平均水平的一半。居民生活能源消费中电能占比仅 5.4%，不足全世界平均水平的四分之一。三是现代能源利用率低引发健康问题。目前，传统的生物质能是非洲第一大使用能源，70% 的家庭取暖烹饪等基本生活用能依靠木柴、木炭、动物粪便等生物质能，造成严重的室内空气污染。2015 年撒哈拉以南非洲的人均预期寿命约 61 岁，比全球平均水平低 13 岁。

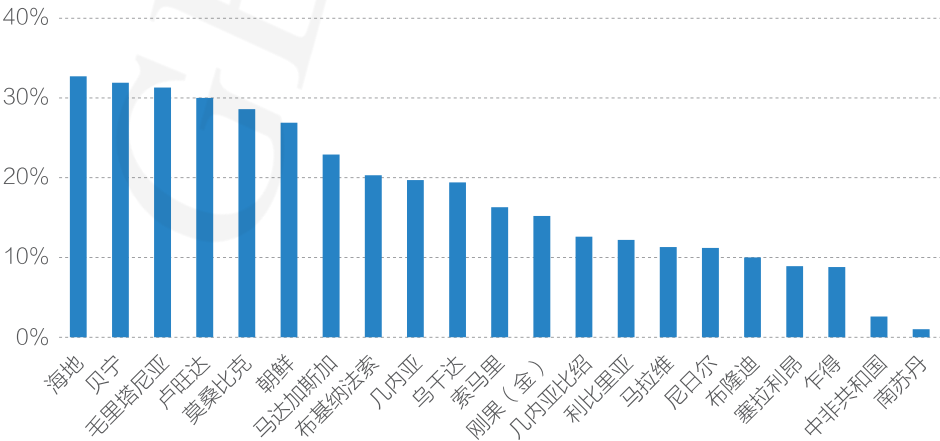


图 1.1 全球电力普及率最低的国家^③

① 数据来源：世界银行
② 数据来源：世界银行
③ 数据来源：国际能源署

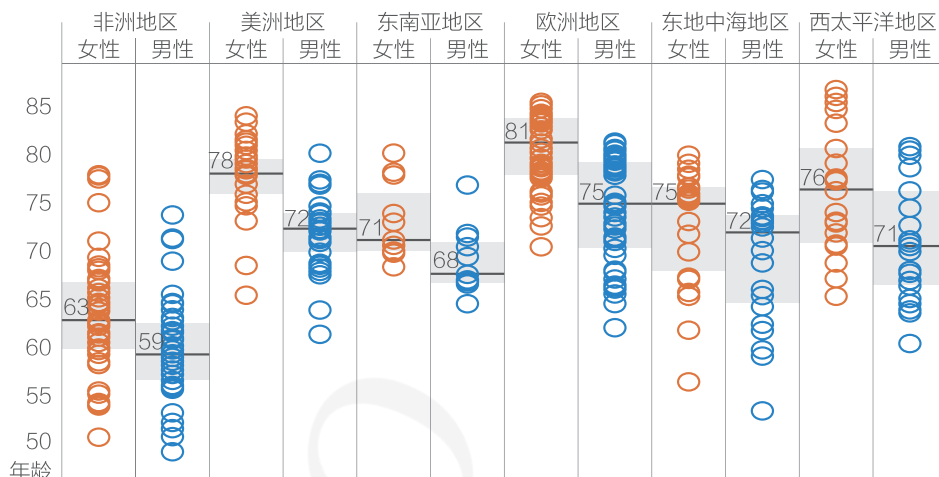


图 1.2 全球各地区预期寿命（按性别别分）^①

非洲当前能源结构导致环境污染问题严峻，对气候变化的适应能力弱。2013 年非洲超过 85% 人口的生活环境中，大气 PM_{2.5} 含量超过世界卫生组织指导标准。与生物质能低级利用密切相关，撒哈拉以南非洲近五年的 PM_{2.5} 平均浓度上升了近 60%，非洲 PM_{2.5} 排放量占全球的 25%^②。根据世界卫生组织监测数据，喀麦隆、乌干达有多个城市 PM_{2.5} 严重超标。虽然非洲地区并非温室气体的主要排放区，但因其对气候变化的敏感性与脆弱性，易造成恶劣影响。如果全球升温 1.5~2℃，非洲适于玉米、小米和高粱等生长的耕地将有 40%~80% 不再适宜耕种^③。

撒哈拉以南非洲近五年的
PM_{2.5} 平均浓度
增加了近 60%

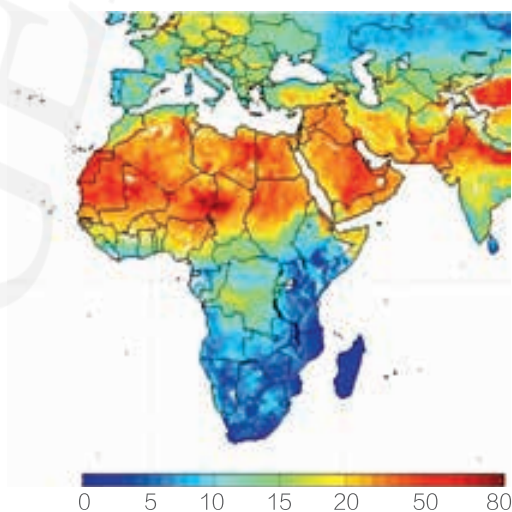


图 1.3 非洲地区 PM_{2.5} 浓度^①

① 数据来源：国际能源署《能源与空气污染》报告

② 数据来源：世界卫生组织

③ 数据来源：世界银行专题报道

1.2

非洲可持续发展潜力巨大

1.2.1 资源优势突出

矿产资源丰富。非洲 14 种主要矿产资源储量巨大，其中金、铬、铂族、锰、钴、铝土矿、磷等矿产资源储量在世界上居首位，分别约占世界总储量的 40%、87%、89%、56%、50%、30% 和 62%。

清洁能源开发潜力大。非洲是清洁能源资源的“聚宝盆”。水能、风能、太阳能资源分别占全球的 12%、32% 和 40%。非洲丰富的清洁资源不但可以满足自身的发展需要，还可以将资源优势转化为经济优势，向欧洲等地区出口清洁能源电力。

1.2.2 人口红利不断释放

非洲人口增长较快。2017 年人口超过 12 亿，相比 1990 年翻了一番，约占世界总人口的 16.3%。非洲人口增长率世界最高，预计 2050 年将达到 25 亿。

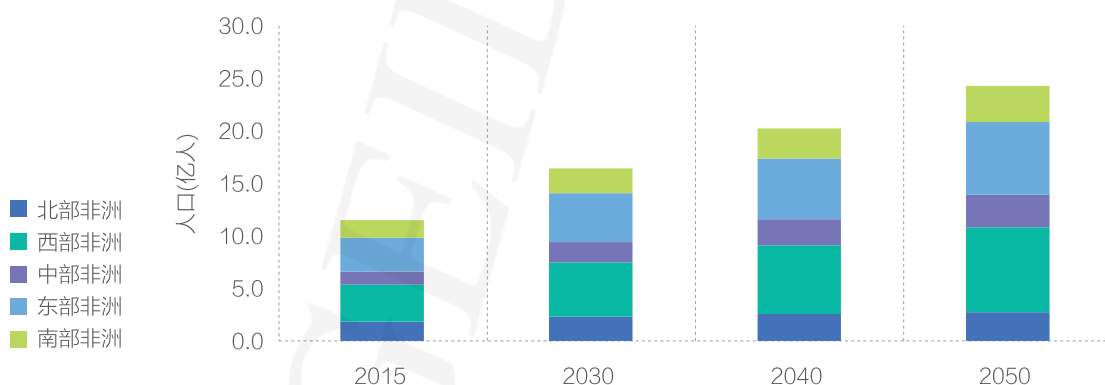


图 1.4 非洲人口增长情况预测^①

2050 年非洲的
劳动人口将超过 **13 亿人**

青年人口比例远远超过世界其他地区。到 2030 年，全球近一半劳动力人口增长将来自撒哈拉以南非洲，2050 年非洲的劳动人口将超过 13 亿人，将为非洲的工业化提供有力支撑，也将弥补全球老龄化所带来的劳动力短缺。

劳动力素质快速提升。进入 21 世纪后，非洲教育、医疗水平快速提升，同时非洲积极参与国际教育文化交流，均带动劳动力素质的持续提高。

^① 数据来源：联合国



1.2.3 市场潜力巨大

内部市场容量大。2010~2016 年，非洲私人消费年均增长 3.6%，展现出强劲的消费实力。未来，随着人口数量的快速增长、工业化和城镇化的推进，非洲内部的消费能力将显著提升。

非洲贸易伙伴多元化，外部市场空间大。过去 20 年间非洲与世界其他地区的贸易额增长 4 倍，主要贸易伙伴从欧美国家扩展到新兴市场经济体，2002~2012 年，欧盟占非洲外贸总额的比重从 46.2% 下降为 34.3%，金砖国家（除南非外）的份额则从 9.1% 增至 24%。中非贸易保持高速增长，2017 年，中国与非洲进出口总额约为 1697.5 亿美元，同比增长 13.8%。其中，中国对非洲出口约 945 亿美元，年增长率 2.4%；自非洲进口约 752.5 亿美元，年增长率高达 32.2%。

1.2.4 发展环境向好

非洲各国政府不断营造良好的发展氛围。一是非洲国家开展制度创新，提高行政效率。根据世界经济论坛 2016 年报告，卢旺达、肯尼亚、塞内加尔、埃塞俄比亚等国的政府管理指数在过去五年大幅上升，全球竞争力超过一些亚洲发展中国家。二是积极建设国家级工业园区。扶持信息技术、通讯、生物制药等多元新兴产业，推出具有吸引力、竞争力的优惠措施。三是提高财政稳健性和货币政策纪律性。根据世界银行报告，2005 年至今，全球营商环境改革进步最快的 50 个经济体中，19 个来自非洲。流入非洲的外商直接投资从 2008 年的 578 亿美元上升到 2017 年的 1797 亿美元，且其流向也日益多元化，流向消费品和金融、通讯信息业等行业的投资显著增加。

非洲各国政府高度重视能源电力的保障支撑作用。绝大多数国家发布了清洁能源开发和节能减排等发展目标，坦桑尼亚、卢旺达和尼日尔等国设立了 2050 年前实现 100% 清洁能源的宏伟目标。近 30 个国家设定了明确的电力可及率发展目标，南非、肯尼亚、科特迪瓦等国预期于 2020 年左右实现 100% 电力可及率，安哥拉、加纳、埃塞俄比亚等 10 个国家决心在 2030 年前后消除无电人口。同时，非洲各国政府对清洁发展愿望迫切，为实现这些目标，非洲各国也出台了一系列政策鼓励清洁能源电源发展及输配电网建设，如补贴电价、容量拍卖、可再生能源独立发电商、农村电气化行动、配电网政府和公用事业合作模式等。

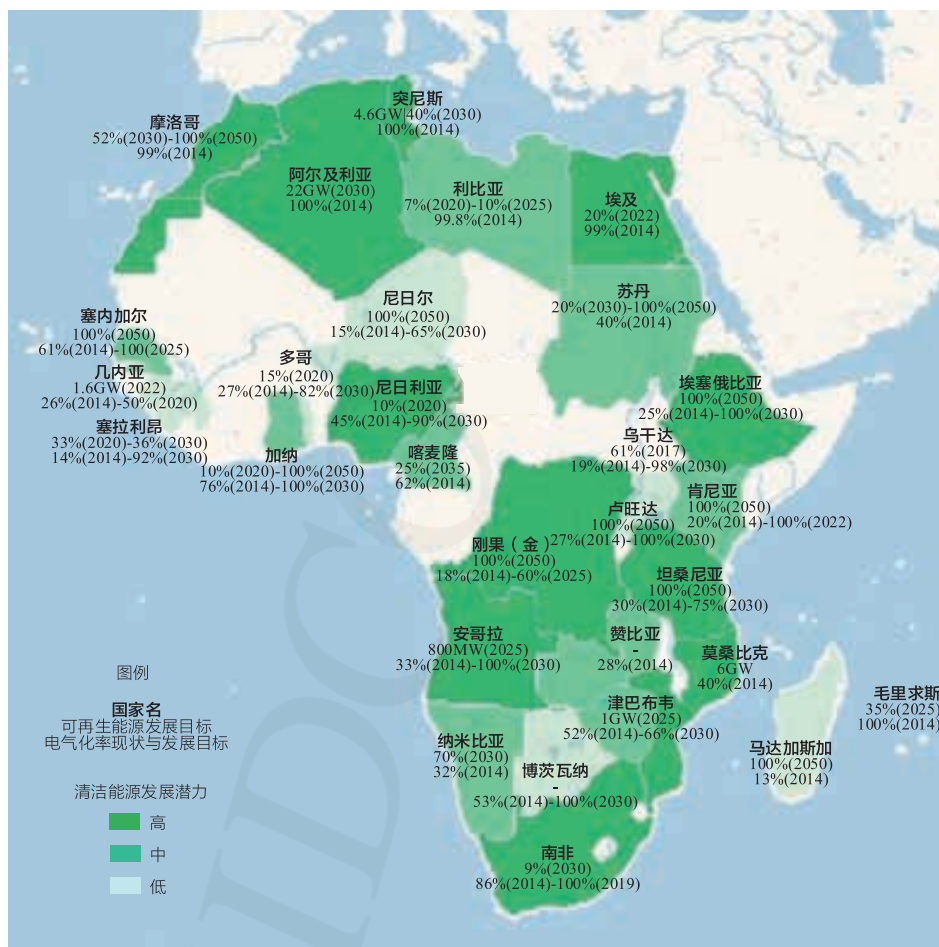


图 1.5 非洲可再生能源发展目标^{①②}

区域发展环境

非洲区域共同发展的动力充足。一是泛非主义为非洲共同发展提供了重要的文化基础，新时期的泛非主义主要是“非洲复兴”，是号召非洲人民加快推进政治经济联合和一体化进程的旗帜，泛非主义塑造了非洲人共同的身份意识和发展愿景。**二是**非盟和次区域组织已经成为推动非洲区域发展的中坚力量，建立了共同发展的机制，并以能源电力为区域发展的重要抓手。为响应非盟“2063年议程”，非洲国家共同发起了一系列能源电力相关的发展机制，如非洲基础设施规划、非洲能源行动计划、非洲可再生能源倡议等，设定了明确的发展目标和近期行动计划，探讨建立共同发展清洁能源的机制。

① 数据来源：21 世纪可再生能源政策网络《全球可再生能源现状报告 2017》

② 本报告对任何领土主权地位、国际边界疆域划定以及任何领土、城市或地区名称不持立场，后同。



1.3 非洲可持续发展 发展方向明晰

非洲可持续发展是联合国等国际组织的重大关切。非洲可持续发展是联合国实现千年发展目标的关键。联合国正扩大和加强对非洲的支持力度，支持非盟“2063 年议程”和非洲发展新伙伴关系方案，促进区域经济一体化和互联互通，消除一切形式和表现的贫困，实现人人可以获得价廉、可靠和可持续能源。

国际组织积极参与和支持非洲可持续发展。国际货币基金组织表示支持非洲基础设施可持续发展，特别是推动撒哈拉以南非洲创造可持续、强劲和包容性的增长，进而实现联合国可持续发展目标。二十国集团关注非洲工业化问题，支持非洲以可持续、包容和透明的方式向工业化转型，在能源可及性、清洁能源和能效等领域开展工作，为非洲落实 2030 年可持续发展议程系列目标提供支持。

非洲可持续发展是“一带一路”倡议的重点领域。“一带一路”倡议为中非互利合作开辟了更为广阔的空间，中国提出了总额达 600 亿美元的“中非十大合作计划”，设立总规模 200 亿美元的发展基金。同时，中国积极支持非洲基础设施建设，提供节能减排、可再生能源利用方面的设备和物资，开展太阳能、风能、沼气、水电、清洁炉灶等项目合作，助力非洲清洁可持续发展。

加快工业化、城镇化和区域一体化发展已经成为非洲人民的共识。《2063 年议程：我们想要的非洲》中指出，实施非洲工业发展行动计划，通过工业化发展提高生产力和自然资源的附加价值；推进城市化进程，实现城乡一体化均衡发展，消除贫困，提高人民的生活水平；加速一体化进程，加快建立非洲大陆自由贸易区，促进人口、资本、货物和服务的自由流通，加速基础设施建设，以实现全面经济一体化。

1.3.1 工业化

工业化是非洲现代化的必经之路。工业革命之前，世界经济整体增长缓慢，各大洲经济水平差距较小，欧洲的领先优势并不突出。工业革命之后，欧美国家经济腾飞，工业迅速发展，人均产出和收入飞速增长。相比之下，依然处于传统农业社会的亚洲、非洲地区经济增长缓慢，与欧洲差距日渐拉大。

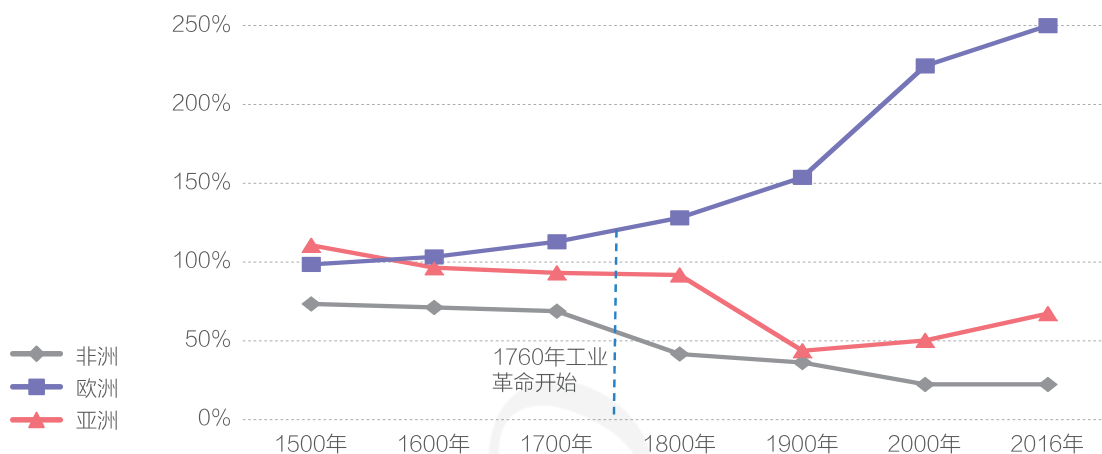


图 1.6 三大洲人均 GDP 与世界人均 GDP 之比变化^①

专栏 1.1

中国工业化发展成就

上世纪 50 年代开始，中国集中力量开展工业化建设，重点是能源、矿产冶金、机械、化工等重工业，建立了分布于全国主要城市的工业体系。80 年代开始，中国工业化建设主要集中在日用消费品的加工业（包括家用电器）部门、城市基本建设和交通、通讯工业部门及对外出口部门。中国的工业化建设历程深刻改变了中国经济结构，经济保持 30 多年的高速增长，1980~2017 间，年均增速达到 9.6%。2017 年，中国国内生产总值约 12 万亿美元，跃居为世界第二大经济体，人均 GDP 达到 8800 美元。

非洲各国的工业化探索积累了丰富经验。20 世纪 60 年代民族解放运动之后，非洲国家积极探索工业化道路，从进口替代、出口加工到私有化和吸引外商投资等。但由于资源分布不均、市场碎片化、国际市场动荡、自身政策制定及执行不力等因素的共同影响，非洲工业化没能达成预期目标，工业和制造业甚至出现一定程度的倒退，1995~2015 年，非洲工业增加值占 GDP 的比重由 33.9% 下降至 27.1%，1990~2014 年，非洲制造业增加值占全世界的比重由 9% 降至 4% 左右。非洲各国逐步认识到必须充分利用各国资源禀赋，走优势互补、互通互济的一体化工业道路。

非洲工业化发展战略日益清晰。2014 年以来，以石油为主的国际大宗商品价格持续暴跌，对非洲经济产生巨大冲击，依靠初级原材料出口的经济结构脆弱性显著。非洲区域一体化组织和各国纷纷调整经济发展战略与政策，加大工业

^① 数据来源：Maddison Project，世界银行

化推进力度。非盟“2063 年议程”将工业化作为重要的发展方向，通过促进技能培养和商业环境变革、释放青年创造力和能量，促进非洲经济多元化和工业化发展。科特迪瓦、乌干达、埃及、肯尼亚、南非和津巴布韦等国都制定了发展规划和战略，依托资源禀赋，延长产业链，提升附加值，走集约化发展道路。

1.3.2 城镇化

城镇化为非洲经济发展注入新动力。一是城镇化提高工业生产率。城镇化可有效聚集和配置各类生产要素，特别是劳动力资源的重新配置，节约生产组织中的交易费用。**二是**城镇化带来集中经济的优势。人口集中、产业集中、市场集中、信息集中以后，通过分工和协作形成规模经济。**三是**城镇化带动基础设施建设。非洲目前还有 2/3 的城市基础设施建设项目有待投资，城镇需要建设交通、住宅、学校、医院、工厂等基础设施，会带动大量的投资以及相关产业的发展。**四是**城镇化将带来巨大市场空间。城镇化会转变人们的消费方式，拉动经济增长，催生中产阶层，刺激消费需求的增长。

非洲城镇化发展要统筹规划，实现产城融合发展，容纳更多人口，实现可持续发展。一是加强顶层设计，完善城市发展整体规划，优化城市功能区划分，同时发挥大城市的引领作用、鼓励中小城市发展，形成规模适中、大小均衡发展的城市系统。**二是**以工业化作为城镇化发展目标，协调城镇化与工业化同步发展，实现产业与城市融合发展。**三是**加快非洲城市交通体系、能源供应等基础设施建设，改善营商环境，降低生活和经商成本，保障城市经济可持续发展。

1.3.3 区域一体化

非洲可持续发展需要加快区域一体化进程。一是非洲单个国家市场规模相对较小，难以满足现代工业化的发展需求。**二是**非洲各国资源分布不均衡，工业原材料齐备的国家不多，需要通过一体化实现资源互补。**三是**非洲各国家依托自身禀赋优势发展相关工业，单个国家难以建立完整的工业体系，需要通过一体化来满足产业链上下游需求。**四是**非洲工业化发展迫切需要生产要素的自由流动。目前非洲货物、资本、人员等生产要素不能充分自由流动，洲内货物贸易额仅占非洲货物贸易总额的 16%，严重制约了非洲工业化的进程。

洲内货物贸易额仅占
非洲货物贸易总额的 **16%**

非洲国家间的内部贸易占比将从
2010年的
10.2%提升到
2022年的**21.9%**

非洲加快推进区域一体化方向日趋明晰。一是要素一体化。非洲区域一体化将有效打破国家间贸易壁垒，产生工业化需要的规模效应。资金和金融一体化为工业化提供更强有力的经济支持，有助于建设大型的工业项目；技术和劳动力的一体化可以协同多国间的生产分工与合作，优化配置生产要素，激发规模经济潜能，丰富区域市场供应；跨境交通基础设施一体化将带动能源等相关产业发展。**二是市场一体化。**非洲区域一体化可以突破非洲各国市场规模小的限制，满足工业化发展的市场容量需求。2018年3月21日，非洲44个国家签署成立非洲大陆自由贸易区协议，力图以此进一步降低关税、消除贸易壁垒，促进区域内贸易和投资发展，实现商品、服务、资金在非洲大陆的自由流动，从而将非洲各经济体汇集成统一的大市场。据联合国非经委、非洲开发银行、非盟联合测算，关税和非关税壁垒拆除后，非洲国家间的内部贸易占比将从2010年的10.2%提升到2022年的21.9%。

专栏
1.2

欧盟：区域一体化的典范

与非洲情况类似，欧洲各国市场容量较小、单个国家力量相对薄弱，迫切需要区域一体化增强发展动力和在国际事务中的影响力。各国文化基础相通、经济发展水平相当，为区域一体化提供了有利条件。欧盟以关税同盟为起点，通过实施共同市场政策，最终实现全面的经济政治联盟，目前包括28个成员国，是区域一体化最成功的典范。

欧盟为各国政治、经济、外交的发展注入了新的活力。欧盟有完善的决策机构、执行机构等，自欧盟成立以来，各成员国之间虽有矛盾、争执，但从未再上演过战争，保持了长期的稳定和发展，对外政治影响力显著提升。

1.3.4 前景展望

工业化水平明显上升，预计2030年非洲工业增加值占国内生产总值的比重将提高至35%左右，尼日利亚、毛里求斯、南非、突尼斯等工业基础较好的国家将完成工业化进程，2050年非洲工业增加值占国内生产总值的比重将提高至45%左右。

城镇化水平进一步提高，预计到2035年左右，非洲大陆将迎来历史性跨越，城镇人口数量将超过农村人口；到2050年，非洲城镇化率将达到56%，非洲城市人口每年将增加近2400万人，增速超过全球任何一个国家或地区。

非洲经济总量快速提升，2030 年非洲经济总量将达 6.5 万亿美元，是当前水平的 2.7 倍；2050 年经济总量达 20 万亿美元，非洲人均国内生产总值达 8000 美元，部分国家迈入中高收入国家行列，基本消除贫困。

1.4

能源电力是 非洲可持续发展的关键

实现非洲的可持续发展，要从根本上破除现代能源电力短缺对其经济社会发展的制约，非盟“2063 年议程”高度重视非洲能源电力发展，明确指出“要利用非洲的所有能源资源，通过建设区域电力池、国家电网和非洲基础设施发展计划能源项目，为所有非洲家庭、企业、工业和机构提供现代、高效、可靠、具有成本效益、可再生和环保的能源。”

1.4.1 能源电力是非洲可持续发展的基础和动力

保障能源供给是非洲可持续发展的重要前提。能源是现代社会的物质基础，人类对能源利用的每一次变迁，都伴随着生产力的巨大飞跃和人类文明的重大进步。未来，非洲人口数量的快速增长、经济总量的增长，特别是工业化和城镇化的大发展都需要能源支撑。即使考虑到集约化发展、节能新技术等有利条件，到 2050 年，非洲一次能源需求较当前水平至少翻一番，保障非洲可持续发展的能源供给任务艰巨。

清洁能源是保障非洲能源供给的根本。一是生物质能和化石能源都不能满足非洲经济社会发展的需要。非洲当前用能以初级生物质能为主，效率低、污染大，难以适应现代工业发展需求。非洲化石能源储量有限且分布不均，非洲石油探明储量仅占全球的 7.7%，储采比仅为 40.5，低于世界平均水平的 53.3。非洲石油资源的分布十分不平衡，利比亚、尼日利亚、安哥拉、阿尔及利亚 4 个国家的石油储量约占非洲石油总储量的 85%，超过一半的非洲国家几乎没有石油资源。二是非洲具有得天独厚的清洁能源资源优势，丰富的水能、风能、太阳能适合大规模集中式开发。以清洁能源为主的能源格局符合非洲资源禀赋优势，仅开发部分优质清洁资源就能完全满足非洲需求。

非洲石油探明储量
仅占全球的 **7.7%**

电力是非洲清洁能源系统的核心。一是电能具有其他能源所不具有的特殊优势。从生产上看，90% 以上的清洁能源都需要转化为电力才能使用。从配置上看，电能可以远距离、瞬时送至每个终端用户。从使用上看，电能可以较为方便地转换为其他形式的能源并实现精密控制。二是电气化促进工业化水平提升。非洲发展工业化，尤其是采矿、钢铁、化工、建材、有色等加工制造业，

需要以电气化快速发展作为支撑。以几内亚发展氧化铝和电解铝产业为例，在本地生产 100 万吨铝锭，至少新增加电力消费 150 亿千瓦时。从中国经验看，在工业化发展阶段，每实现 1 个点的 GDP 增长就要伴随电力需求增长 1.2~2.3 个百分点。按照非盟“2063 年议程”提出的“制造业产值占国内生产总值的比重达到 50% 以上”目标测算，2050 年仅工业中制造业发展需要增加电力消费 1 万亿千瓦时以上。**三是**城市的发展需要电气化的支持，城镇化将推动电气化铁路、电动汽车等交通领域，公共和民用领域，商业、物流等服务业领域用电快速增长。

专栏
1.3

构建特高压电力输送通道，助力西非工业化发展

西非地区矿产资源丰富，尚未进入规模化开发阶段。开采矿石主要用于出口，本地化加工能力较弱。工业以初级产品加工和组装为主，制造企业集聚在几内亚湾经济带和西非沿海经济带。

以几内亚为例，**铝矾土**储量达 410 亿吨，占全球总储量的 2/3，其中已探明储量 290 亿吨，居世界第一位，而且多是优质三水铝土矿，部分矿石含铝量超过 60% 分布广泛，易于开采。**铁矿石**储量约为 150 亿吨，品位约为 56%~72%。其中，西芒杜和宁巴山为两个世界级超大型铁矿床，平均品位高达 65.4% 和 63.1%。由于几内亚工业基础薄弱，均未进入规模化开发和生产阶段。

发展铝和钢铁产业是几内亚工业化的关键。依托丰富的铝矾土和铁矿资源，几内亚境内具备建设铝产业和钢铁产业的巨大潜能。2017 年 5 月，几内亚总统阿尔法·孔戴在全国矿业会议上表示“不希望几内亚只是一个原材料开发商，我们希望能更多价值能就地转化。”当前，几内亚铝土矿以直接出口为主，若在当地进行铝土矿就地加工、冶炼，以铝产品出口代替铝土矿出口，经济价值将增加 7 倍以上；几内亚将铁矿石就地加工为钢铁成品替代出口，经济价值将增加 6 倍以上。

铝和钢铁产业将成为几内亚经济增长的核心动力。预计 2030 年，电解铝和钢产量分别为 200 万吨和 1000 万吨；2050 年，产量分别增至 600 万吨和 4000 万吨。铝和钢铁产业整体对 GDP 贡献率将达到 57.8%~67.4%，总产值将超过 800 亿美元，拉动约 110 万人就业。

发展铝和钢铁产业将带来巨大的电力需求。提炼 1 吨氧化铝需耗电 200~300 千瓦时，电解出 1 吨铝锭需耗电 13000~15000 千瓦时，以 2050 年铝锭年产量 600 万吨测算，用电量将超过 800 亿千瓦时，是 2016 年几内亚年发电量的 60 倍以上。按吨钢电耗 550~700 千瓦时的标准，以 2050 年 4000 万吨 / 年产量计算，钢铁行业总耗电量约为 220 亿~280 亿千瓦时。能源电力将成为未来几内亚铝和钢铁产业发展的瓶颈，国内电力供应将无法满足不同工业电力需求，迫切需要加强电力互联互通来解决巨大的电力缺口。

加纳、尼日利亚等西非国家也具备发展矿产加工业的良好条件。加纳铝矾土储量约为 15 亿吨，开采规模不大，具备发展 200 万吨以上电解铝产业的条件；尼日利亚已探明高品位铁矿石储量约 30 亿吨，开发程度不高，未来具有发展冶金工业的潜力。

开发中部非洲水电足以满足西非工业发展需求。中部非洲丰富的水能与西非工业发展的巨大用能需求形成互补。刚果河是世界上水能资源最为丰富的河流之一，水电技术可开发量约 1.5 亿千瓦，其中大英加水电装机规模 5048 万千瓦，年利用小时数可达 7000 小时以上。中部非洲水电通过特（超）高压输电通道送至几内亚、加纳等西非国家，能够满足当地工业发展用能需求。

1.4.2 能源电力互联互通是非洲可持续发展的重要途径

非洲可持续发展需要加快能源电力互联互通。基础设施是国民经济发展的基石，能源电力是最重要的基础设施，提高能源电力互联互通对经济发展具有强大的促进作用。非洲清洁能源资源丰富、品种多样、开发潜力巨大，但是国家间分布不均衡，尤其一些内陆国能源相对匮乏，迫切需要以互联互通实现互济互补。能源电力的互联互通可实现清洁资源的大规模开发和大范围配置，将资源优势转化为经济优势。

非洲能源一体化程度较低，能源贸易以化石能源为主，跨国电网互联处于起步阶段。非洲能源贸易以出口原料、进口成品为主，电力交换规模小。能源进出口总量约 6.57 亿吨标准油，其中原油出口占比 48.8%，成品油进口占比 14%，电力贸易仅占 0.8%。跨国油气管网互联方面，北部非洲油气管网密度较大、互联较为紧密，其余地区油气管道联系松散。跨洲，摩洛哥、阿尔及利亚、突尼斯、利比亚与欧洲西班牙、意大利、马耳他，埃及与亚洲约旦之间有油气管道。

电力贸易仅占能源进出口总量的 **0.8%**

表 1.2 非洲油气管道互联情况

区域	已有跨国通道国家	在建设跨国通道国家	已互联国家占比
北部非洲	5	0	100%
西部非洲	5	1	33%
中部非洲	2	0	29%
东部非洲	2	5	20%
南部非洲	2	1	20%

跨国电网互联方面，非洲尚未形成统一的互联电网，电网联系松散、电力交换容量小，互联通道电压等级繁多，以交流互联为主，仅莫桑比克和南非共和国之间有 1 回 ± 533 千伏直流通道。除北部非洲和南部非洲互联较为紧密外，其余各区域互联程度较低，尤其是中部非洲，仅刚果（布）和刚果（金）两国通过 1 回 220 千伏交流互联。跨洲，北非与欧洲、亚洲分别通过摩洛哥 - 西班牙 2 回 400 千伏和埃及 - 约旦 1 回 400 千伏交流互联。

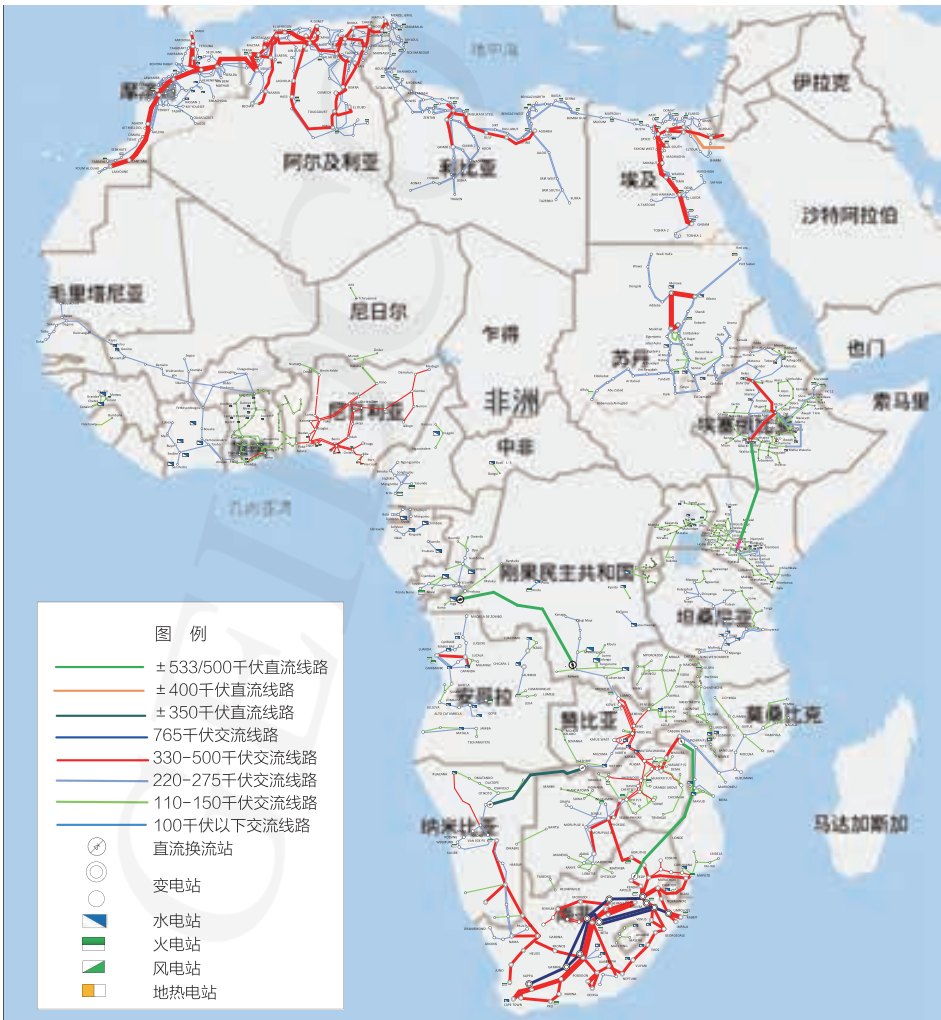


图 1.7 非洲电网互联互通现状

非洲各国高度重视能源一体化，为电网互联互通奠定了良好的基础。大多数非洲国家有相似的历史、产业结构和资源禀赋，普遍重视政治、经济一体化建设，也逐渐重视能源一体化，希望借此实现能源电力可靠供应、清洁能源高效利用，并实现能源补贴降低、能源出口创汇的目标。在这一背景下，非洲成立了一批区域性能源电力组织，包括非洲发展新伙伴计划、非洲公用电力事业协会及区

域电力池。这些机构在联合规划、协调监管、设计电力交易机制等促进跨国电网互联，建立统一电力市场，实现能源电力高效发展目标方面均发挥了重要作用。

表 1.3 非洲重要的能源电力组织

名称	缩写	覆盖区域	成员国	成立时间	总部地点
非洲发展新伙伴计划	NEPAD	整个非洲	51 个	2010 年	约翰内斯堡
非洲电力公用事业协会	APUA	整个非洲	46 个	1970 年	阿比让
马格里布电力池	COMELEC	北部非洲	5 个	1989 年	拉巴特
东非电力池	EAPP	东部非洲	10 个	2005 年	亚的斯亚贝巴
西非电力池	WAPP	西部非洲	14 个	2000 年	科托努
南非电力池	SAPP	南部非洲	12 个	1995 年	哈拉雷
中非电力池	PEAC	中部非洲	10 个	2003 年	布拉柴维尔
非洲基础设施集团	ICA	整个非洲	-	2005 年	阿比让

非洲 35 个国家
实现了电网互联或跨境直供电

依托这些区域能源电力机构，非洲 35 个国家实现电网互联或跨境直供电，电网互联基础得到改善。西非电力池和南非电力池成立以来，西部非洲和南部非洲电网互联国家个数分别增长了 40% 和 50%。

实现非洲的可持续发展，关键是要开发和利用好非洲丰富、优质、集中的清洁能源，大力提升电气化水平，加快实施互联互通，形成清洁、安全、稳定的能源发展格局。

2 非洲能源互联网助推 非洲可持续发展



应对非洲清洁发展面临的挑战，需要秉持全球能源互联网理念，加快建设非洲能源互联网，以清洁和绿色方式满足非洲能源电力需求，为非洲经济社会发展提供安全、清洁、经济、高效的能源供应，为实现非洲和平稳定繁荣与可持续发展提供重要保障。

2.1 非洲能源互联网 发展思路

全球能源互联网是在全球范围推动能源变革、促进清洁发展、应对气候变化的重大倡议，开启了世界能源可持续发展的新征程。以非洲能源现代化升级促进非洲可持续发展，最根本的就是要在全球能源互联网发展理念引领下，紧密结合非洲经济社会和能源电力发展特点，以满足工业化、城镇化和一体化发展需要为目标，开发和利用好非洲丰富优质的清洁能源，推动水风光互补互济、大范围高效率配置使用，走出一条以建设非洲能源互联网为核心的非洲特色能源可持续发展新道路。

2.1.1 建设全球能源互联网是清洁发展的必由之路

应对长期以来化石能源大规模开发利用带来的挑战，破解资源紧缺、环境污染、气候变化、无电人口等问题，**走可持续发展之路，实质就是要推动清洁发展，根本方向是实施“两个替代”**。能源生产侧实施“**清洁替代**”，以太阳能、风能、水能等清洁能源替代化石能源，发的是清洁电；能源消费侧实施“**电能替代**”，以电代煤、以电代油、以电代气、以电代初级生物质能，用的是清洁电，摆脱化石能源依赖，实现清洁能源普及。推进“两个替代”，提升电气化水平，让化石能源回归其原材料属性，是解决世界能源问题，提高能源系统友好性、经济性和发展质量的根本方向。

全球清洁能源分布很不均衡，亚欧非大陆 85% 的清洁能源资源集中在从北非经中亚到俄罗斯远东、与赤道成约 45° 角的能源带上，负荷主要集中在东亚、南亚、欧洲、南部非洲等地区，两者相距数百到数千公里，需要就地转化为电能、远距离输电、大范围配置。这决定了大规模发展清洁能源，必须推进能源全球大范围配置。**必须要打造清洁能源在全球范围大规模开发使用的平台，即全球能源互联网，加速绿色低碳发展，保护地球生态环境，为清洁发展提供根本保障，有力促进世界可持续发展。**

全球能源互联网是清洁发展的载体，是实现清洁能源全球化生产、配置和使用的现代能源体系，实质是“**智能电网 + 特高压电网 + 清洁能源**”。智能电网是



基础。它集成了先进输电、智能控制、新能源接入、新型储能等现代智能技术，能够适应各类集中式、分布式清洁能源并网和消纳，满足各类智能用电设备接入和互动服务等需求，实现源、网、荷、储协同发展、多能互补和高效利用。**特高压电网是关键。**它由 1000 千伏交流和 ± 800 千伏、 ± 1100 千伏直流系统构成，具有输电距离远、容量大、效率高、损耗低、占地省、安全性好等显著优势，能够实现数千公里、千万千瓦级电力输送和跨国、跨洲电网互联。**清洁能源是根本。**随着水能、风能、太阳能等转化技术的进步和开发成本快速降低，清洁能源竞争力将全面超过化石能源，加速替代化石能源，成为主导能源。构建全球能源互联网，以电网互联互通促进和推动“清洁替代”和“电能替代”全面实施，能够将资源差、时区差、季节差、电价差转化为清洁发展的强大内生动力，实现清洁发展效率、效益和质量的巨大飞跃，让人人获得清洁、安全、廉价和高效的能源，建立人与自然、人与环境协调发展的新格局，开辟一条绿色低碳可持续发展之路。

2.1.2 建设非洲能源互联网是非洲可持续发展的战略举措

非洲能源互联网是全球能源互联网的重要组成部分，对于推动非洲可持续发展至关重要。**总体思路是：**立足非洲经济社会发展对现代能源的迫切需求，加快开发各主要流域大型水电，南部、北部和东部的风电、太阳能发电基地以及各种分布式电源，从源头解决能源匮乏问题，减少初级生物质能利用；坚持保障本地电力需求和扩大对外送电并举，加快构建各国骨干网架，推进跨国跨区跨洲联网，发挥非洲水风光资源多能互补优势，促进清洁能源大规模开发、大范围配置和高效率使用；以加快解决无电人口问题为重点，建设和升级能源电力基础设施，提高电气化水平和用能效率，降低能源电力成本，让人人享有可持续能源。**总体上通过加快能源电力生产、配置、消费的全面升级，建设洲内紧密联系、洲外高效互联、多能互补互济的非洲能源互联网，打造非洲清洁发展的重要载体，为落实联合国“2030 议程”和非盟“2063 年议程”提供坚强保障。**

1 一是坚持绿色低碳，实现能源跨越发展

坚持以绿色低碳发展为构建非洲能源互联网的出发点和落脚点，加快推进“清洁替代”，实现能源生产由化石能源主导向清洁能源主导转变，以清洁能源电力保障和推动非洲工业化、城镇化、一体化的加速发展。实现能源由高碳向低碳、低效向高效的跨越式发展，破解化石能源大规模开发利用造成的高污染、高排放等问题，积极应对气候变化，保护自然生态环境，为可持续发展提供强大动力。

2 二是强化电为中心，提升生产生活质量

围绕提高非洲现代能源供给和生产力发展水平，加快推进“电能替代”，强化能源基础设施和公共服务能力建设，大幅提高电能占终端能源消费比重。广泛普及电交通、电机械、电炊具等用电设施，实现能源消费由初级生物质能和化石能源等向电为中心转变，推动非洲人民生产生活进入以电气化为特征的新时代，切实保障和改善民生。

3 三是加强互联互通，推动合作共赢发展

统筹考虑各国家和地区在能源资源禀赋、社会发展水平、政治经济环境等方面的差异性，加强能源电力互联互通，实现能源配置由局部平衡向跨国跨洲大范围配置转变。秉持开放包容、务实合作的精神，打造共商、共建、共享、共赢的新型能源合作关系，以能源电力基础设施互联互通推动非洲一体化进程，实现共同发展、共同进步。

2.2 非洲能源需求趋势与展望

根据非洲能源互联网发展总体思路，以非洲各区域人口、经济增长及产业发展为依据，综合考虑技术创新因素和气候、环境发展约束，兼顾不同地区、国家资源禀赋和发展阶段差异，对非洲及各区域能源电力供需趋势、电力开发与布局等进行展望，作为非洲能源互联网规划方案的重要依据。

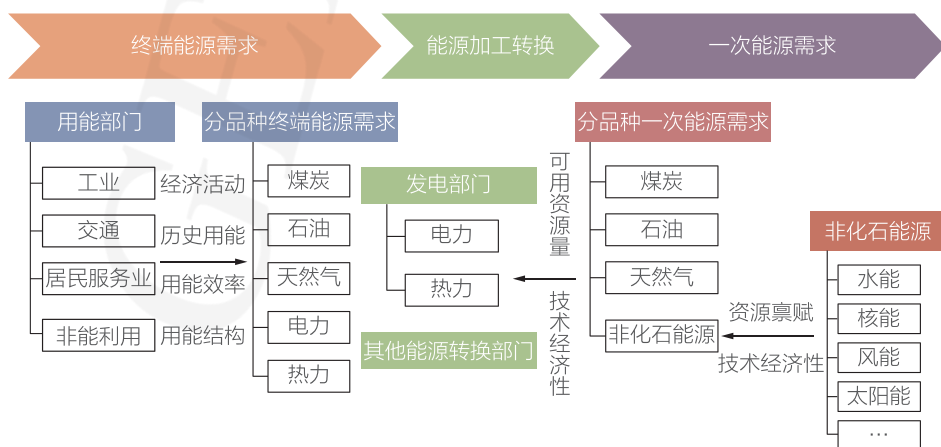


图 2.1 非洲能源系统展望分析模型

2.2.1 能源需求潜力巨大

一次能源需求较快增长，2050 年总量比 2015 年翻一番。2015~2050 年，非洲一次能源需求将从 11.2 亿吨标煤增长到 24.1 亿吨标煤，年均增长率

2.2%，占全球比重从 5.8% 增长到 9.3%。随着经济结构调整和能源效率提高，2050 年非洲能源强度下降到 0.07 千克标煤 / 美元，比 2015 年下降 63%。2050 年非洲人均能源消费量增长至 1.0 吨标煤，仍存在较大上升空间。

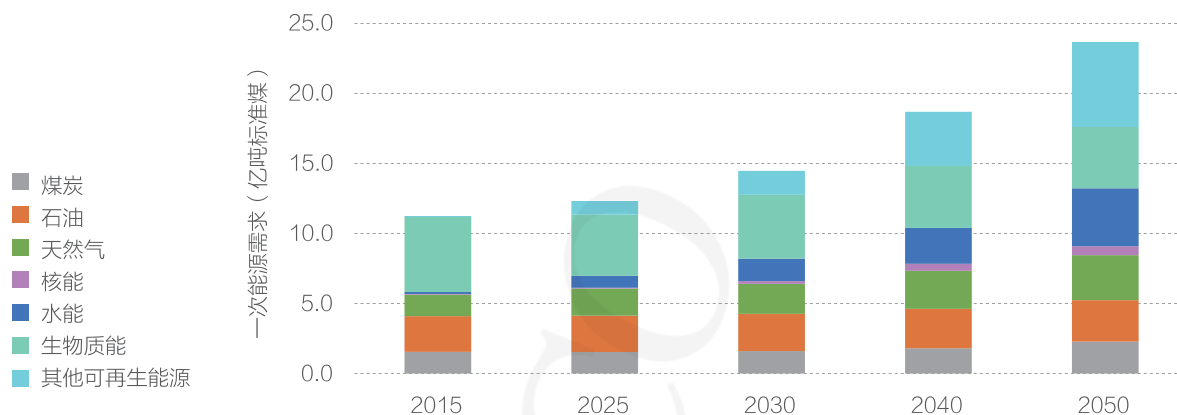


图 2.2 非洲一次能源需求

北部、南部非洲引领能源需求增长，各区域年均增速超过 2%。2015~2050 年，北部非洲能源需求增长 1.4 倍，占总增长量的 30%，年均增长 2.6%；西部非洲能源需求增长 1.0 倍，占总增长量的 20%，年均增长 2.0%；中部非洲能源需求增长 4.2 倍，占总增长量的 17%，年均增长 4.8%；东部非洲能源需求增长 1.1 倍，占总增长量的 13%，年均增长 2.2%；南部非洲能源需求增长 1.0 倍，占总增长量的 22%，年均增长 2.0%。

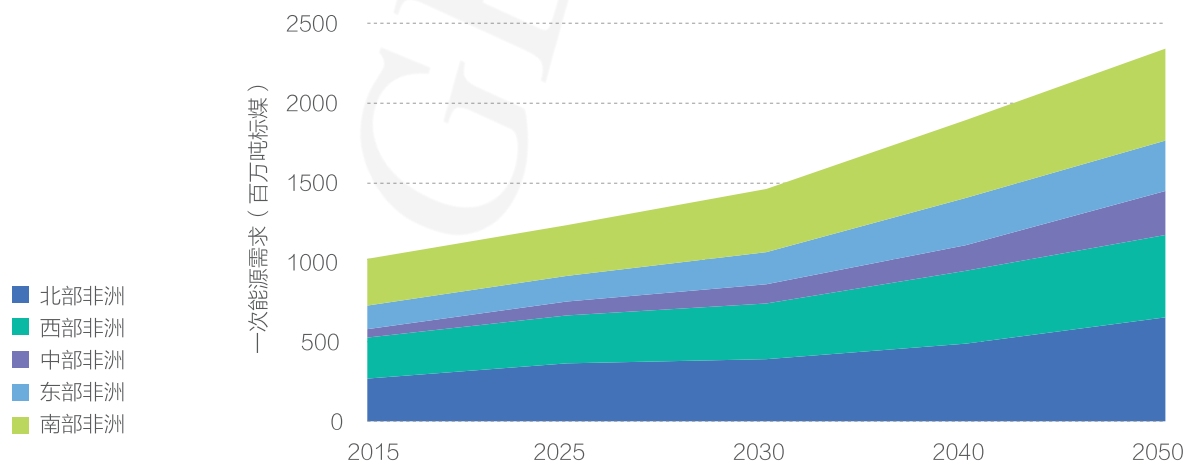


图 2.3 非洲各区域一次能源需求

工业、居民和服务业部门引领终端用能需求增长。2015~2050 年，非洲终端能源需求总量增长到 13.9 亿吨标煤，年均增长率 1.5%，其中工业、交通、居

民和服务业分别为 4.2、1.8、7.4 亿吨标煤。工业用能需求增长 2.3 倍，占比提高到 30.4%，主要由采矿、钢铁、化工、有色、建材等制造业加速发展拉动；交通用能需求增长 27%，主要由汽车广泛普及和交通基础设施发展拉动；居民和服务业用能需求增长 45%，主要由人口增长和城镇化发展拉动。

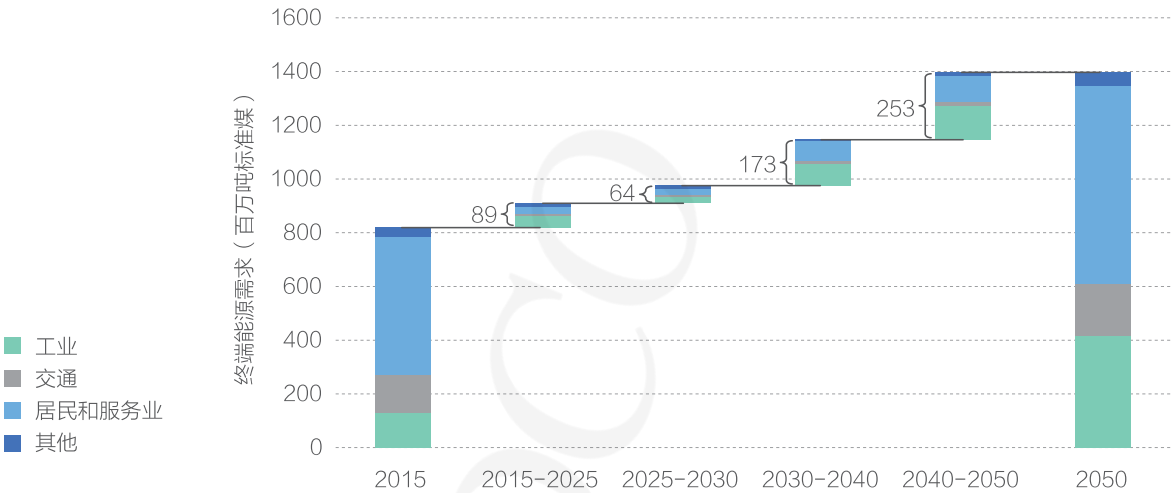


图 2.4 非洲终端能源分部门需求

2.2.2 能源结构清洁低碳

2040 年前后非洲清洁能源成为主导能源^①。2015~2050 年，非洲清洁能源需求增长 10.2 亿吨标煤，年均增长 11.1%，占一次能源比重从 2.3% 增长到 46.8%，煤炭、石油和天然气比重分别下降至 10.3%、12.9% 和 15.3%。

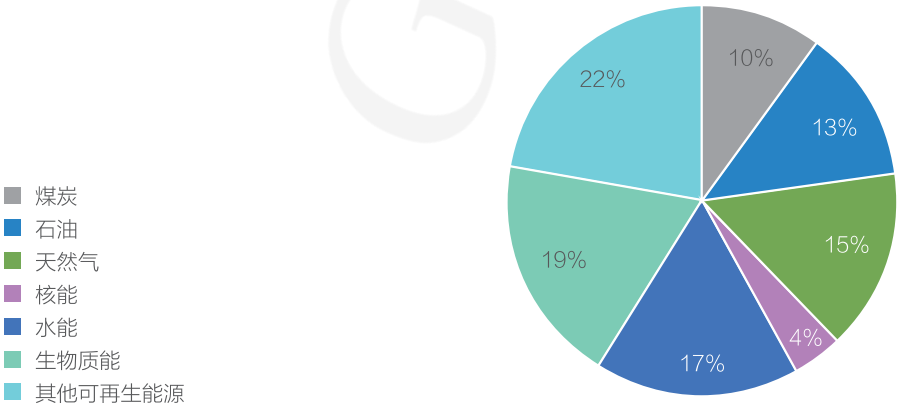


图 2.5 2050 年非洲能源结构

① 清洁能源不含初级生物质能，下同

单位 GDP 碳排放加快下降。单位 GDP 碳排放从 2015 年 0.24 千克 CO₂/ 美元下降到 2050 年 0.06 千克 CO₂/ 美元。清洁能源占一次能源比重快速提升，在保障能源供应和经济发展的同时，有效控制碳排放增长。

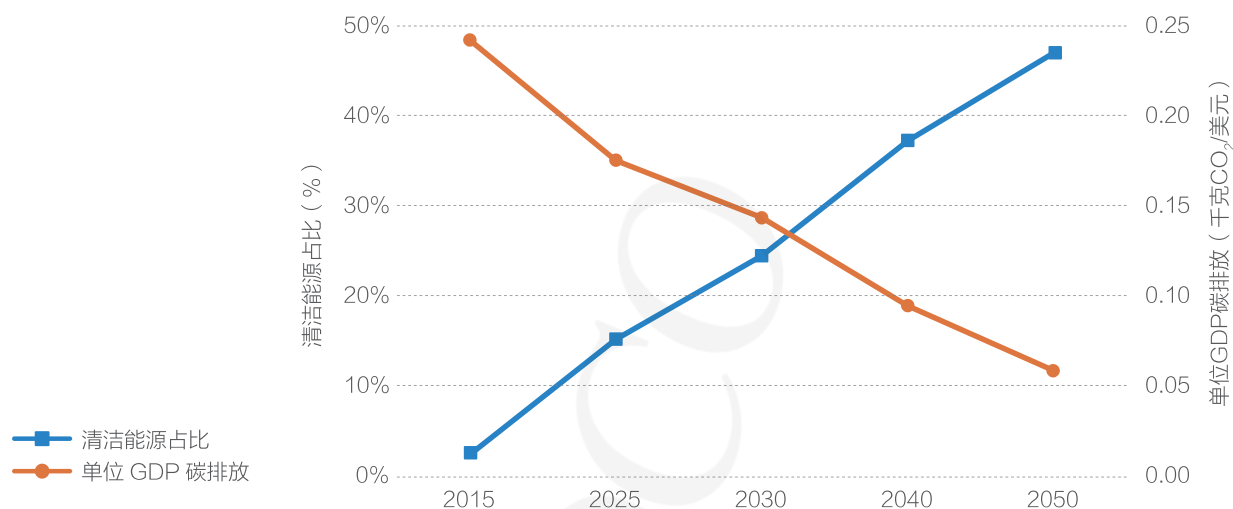


图 2.6 非洲单位 GDP 碳排放与一次能源需求中清洁能源比重

初级生物质需求稳中趋降，利用方式从直接燃烧向清洁高效的多元化用途转变。

当前以薪柴、秸秆、动物粪便为代表的初级生物质能是非洲能源第一大来源，占一次能源需求 48%，一定时期内生物质能仍是重要能源品种。2015~2050 年，非洲生物质能总需求稳中趋降，占一次能源需求比重持续降低。2050 年非洲生物质能需求 4.5 亿吨标煤，占一次能源需求比重 19%，其中北部、西部、中部、东部、南部非洲分别降至 1.9%、34%、19%、37%、18%。

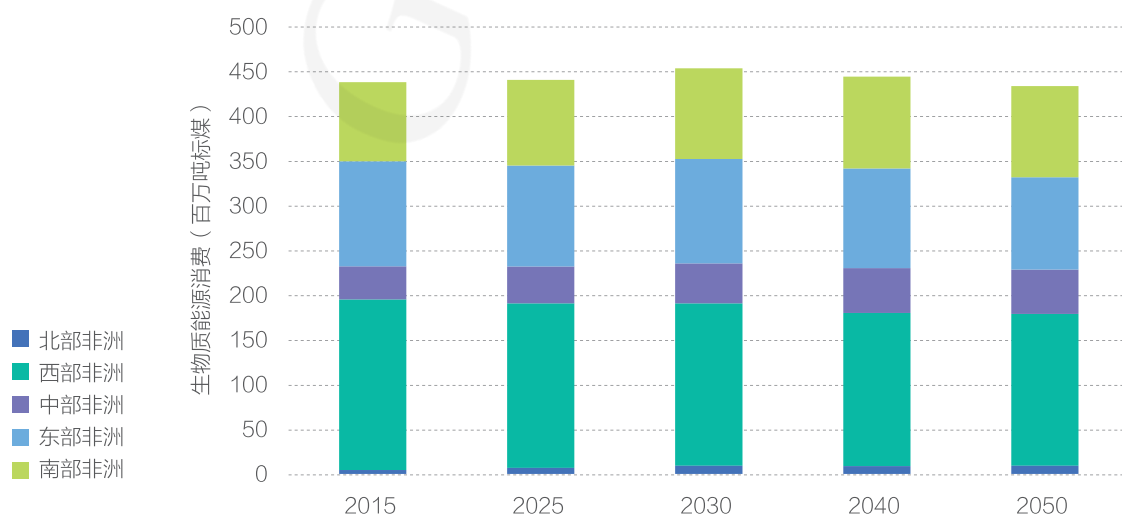


图 2.7 非洲各区域生物质能需求

2050 年，非洲电能占终端能源比重达到 **28%**

2.2.3 终端用能电为中心

2040 年前后电能超过石油成为终端第一大商品能源。2015~2050 年，电能占终端能源比重从 9.5% 提高到 28%。工业、居民和服务业部门电能占终端能源比重分别提高到 36%、31%。北部、西部、中部、东部、南部非洲终端能源中电能比重分别提高到 35%、23%、21%、28%、33%。

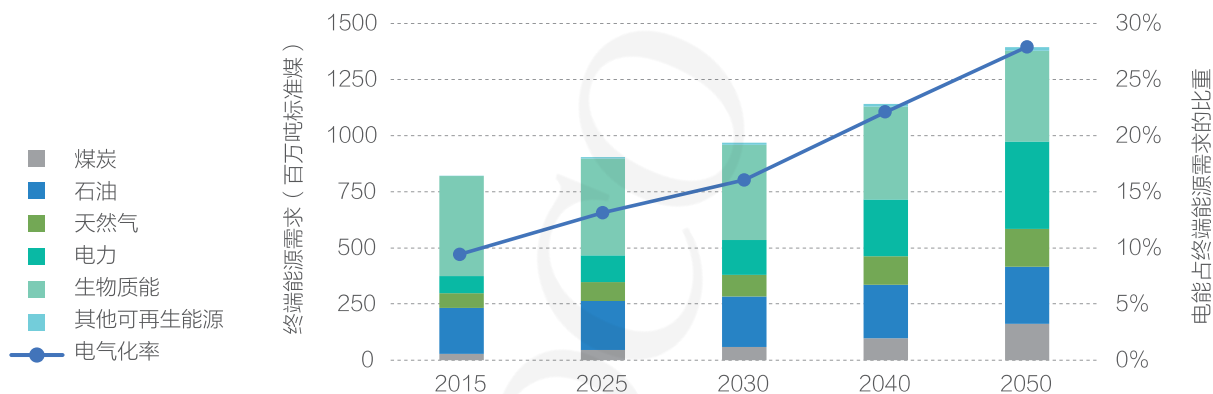


图 2.8 非洲终端能源各品种需求和电能占比

2.3

非洲电力需求趋势与展望

2.3.1 电力需求增长迅速

2050 年电力需求和最大负荷分别是 2015 年的 5.2 倍和 4.8 倍。非洲电力需求总量从 2015 年的 6144 亿千瓦时，增加到 2030 年的 1.5 万亿千瓦时，2040 年的 2.3 万亿千瓦时，2050 年的 3.2 万亿千瓦时，2015~2030、2030~2040 和 2040~2050 年的年均增速分别为 6.1%、4.4% 和 3.3%。非洲最大负荷从 2015 年的 1.2 亿千瓦，增加到 2030 年的 2.6 亿千瓦，2040 年的 4.1 亿千瓦，2050 年的 5.8 亿千瓦，年均增速 4.6%。

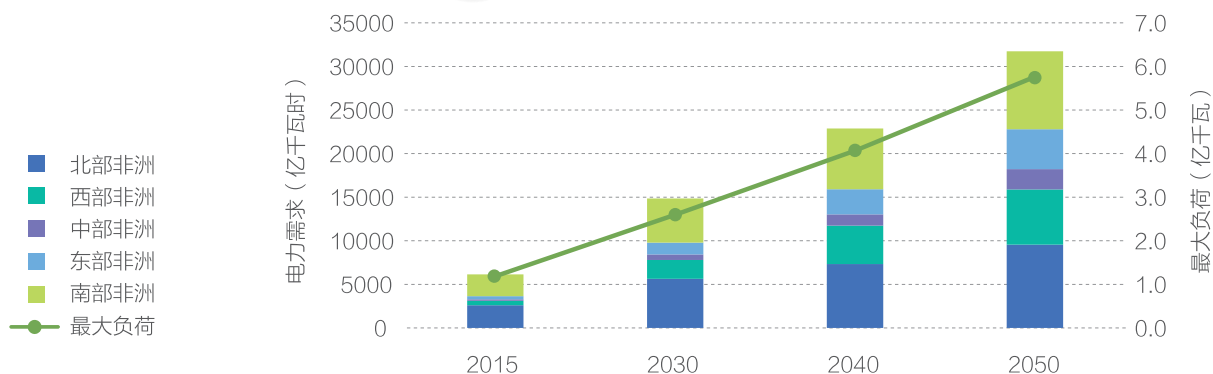


图 2.9 非洲各区域电力需求和最大负荷

2050年，非洲人均用电量
1322千瓦时/年

2050年非洲人均用电量与上个世纪70年代世界平均水平相当，北部和南部非洲水平较高。2015~2050年，非洲人均用电量由534千瓦时/年增至1322千瓦时/年，是2015年的2.5倍，相当于世界1972年水平，仍有持续上升空间。2050年，北部和南部非洲人均用电量最高，分别为3500和2600千瓦时/年，是非洲人均用电量的2.6和2.0倍。

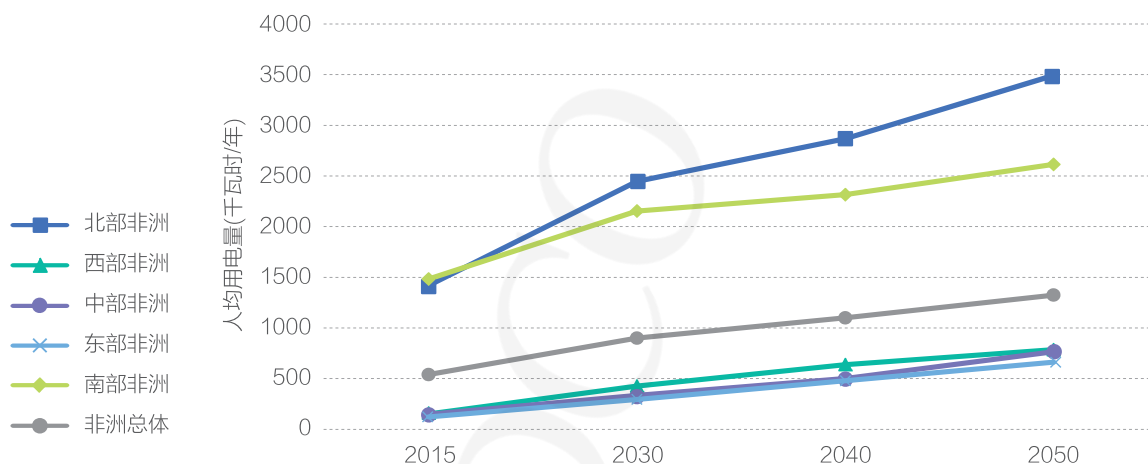


图 2.10 非洲各区域人均用电量

2.3.2 负荷中心集中分布

北部和南部非洲负荷占比较高。2050年，北部和南部非洲电力需求分别增至0.96万亿和0.9万亿千瓦时，占非洲电力需求比重分别为30%和28%。

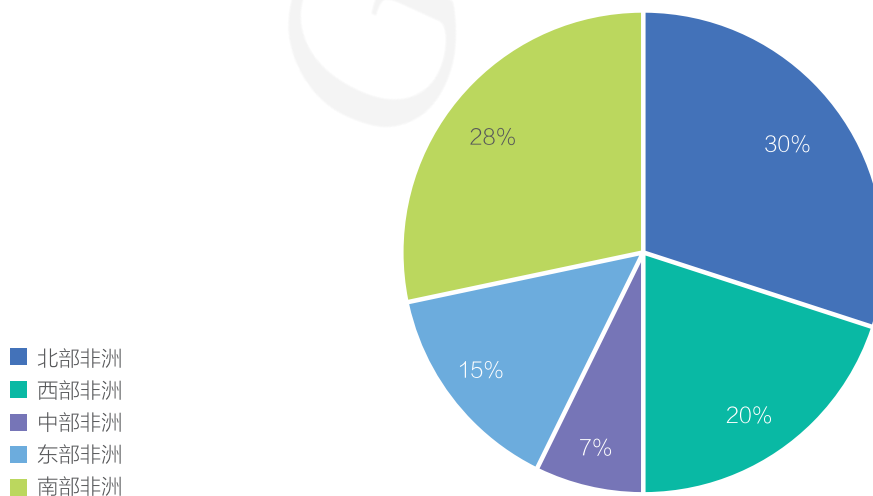


图 2.11 2050年非洲各区域用电量占比

西部、东部和中部非洲电力需求增速较快。2015 年分别占非洲总电力需求的 8.2%、5.9% 和 2.9%，2050 年占比分别增至 19.9%、14.4% 和 7.4%。2015~2050 年，西部、东部和中部非洲电力需求年均增速分别为 7.5%、7.5% 和 7.7%，但人均用电量仍位于 600~800 千瓦时 / 年水平。

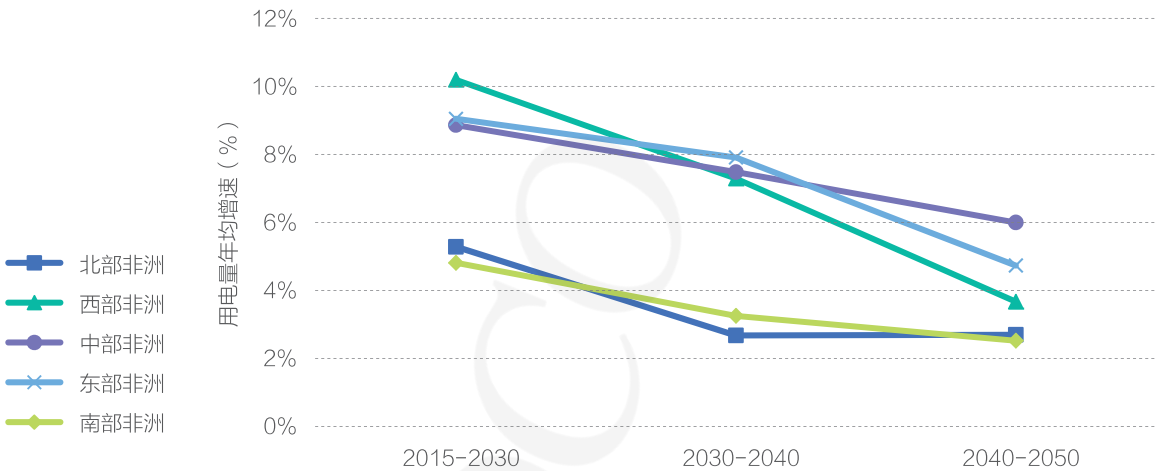


图 2.12 非洲各区域用电量增速

2.3.3 无电人口大幅减少

2050 年，非洲电力
可及率提高到 90% 以上

2050 年非洲电力可及率提高到 90% 以上。2030 年总体水平达到 66% 左右，其中北部非洲电力可及率达 100%。2040 年，各国输配电网协同发展，人口较为密集的农村地区电力可及率提升，总体水平达到 80%。2050 年，随着城镇化水平的进一步提高和偏远地区配电网的逐步完善，总体水平提高到 90%。

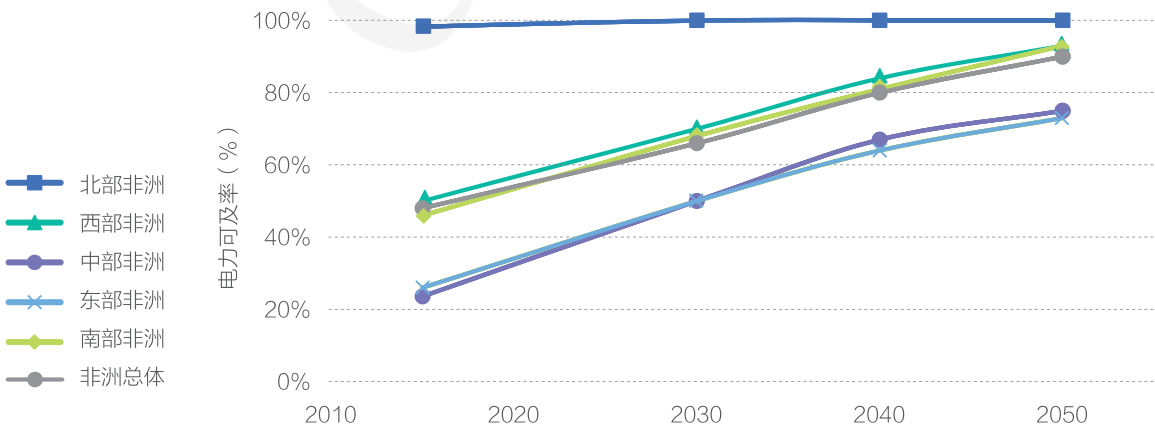


图 2.13 非洲各区域电力可及率变化趋势

2.4

非洲电力供应趋势与展望

2.4.1 清洁能源加快替代化石能源发电

清洁能源发电竞争力日益增强。非洲清洁能源十分丰富，水能、风能、太阳能的技术可开发量分别为 1.6 万亿、67 万亿、665 万亿千瓦时 / 年。2017 年全球水电、光伏、陆上风电度电成本分别约为 5、10、6 美分 / 千瓦时，与化石能源发电成本基本接近。目前沙特阿布扎比的光伏发电项目中标价已经低至 1.79 美分 / 千瓦时，墨西哥风力发电项目中标价已经低至 1.77 美分 / 千瓦时。预计 2025 年前光伏和风电竞争力将全面超过化石能源，随着技术进步未来经济性将会进一步增强。大规模储能技术日益成熟，与风光合理配置，并实施源 - 网 - 荷 - 储协调优化控制，清洁能源具备大规模灵活调节能力，能够成为主力电源，确保高比例清洁能源电力系统的安全稳定运行。

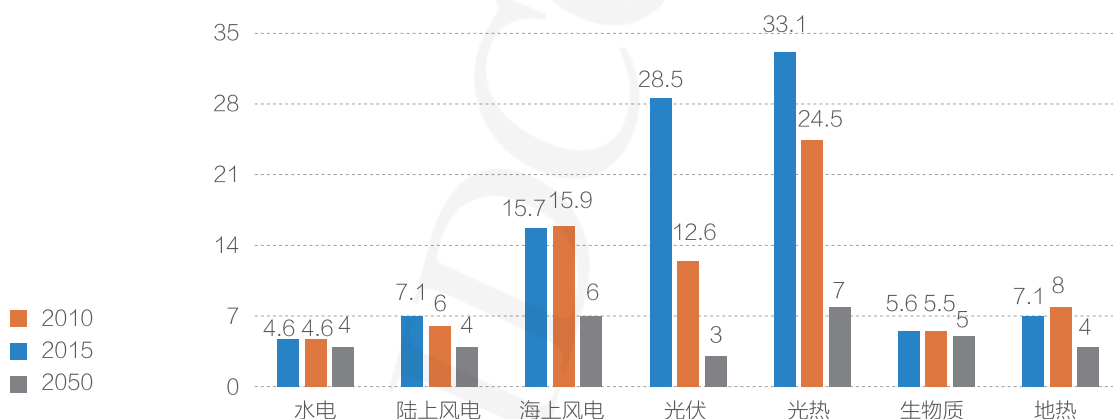


图 2.14 全球清洁能源度电成本变化趋势（美分 / 千瓦时）

2030 年清洁能源超过化石能源发电成为主导电源。2030 年清洁能源装机超过 50%。2050 年，非洲清洁能源装机 8.8 亿千瓦，占比提升至 78%，其中太阳能发电装机 5.1 亿千瓦、水电装机 2.2 亿千瓦、风电装机 0.98 亿千瓦。化石能源发电将逐步由电量型向电力型电源转变。传统化石能源装机逐步减少，新增装机主要为燃气机组，化石能源机组由提供电量转化为承担调峰和丰枯调剂。

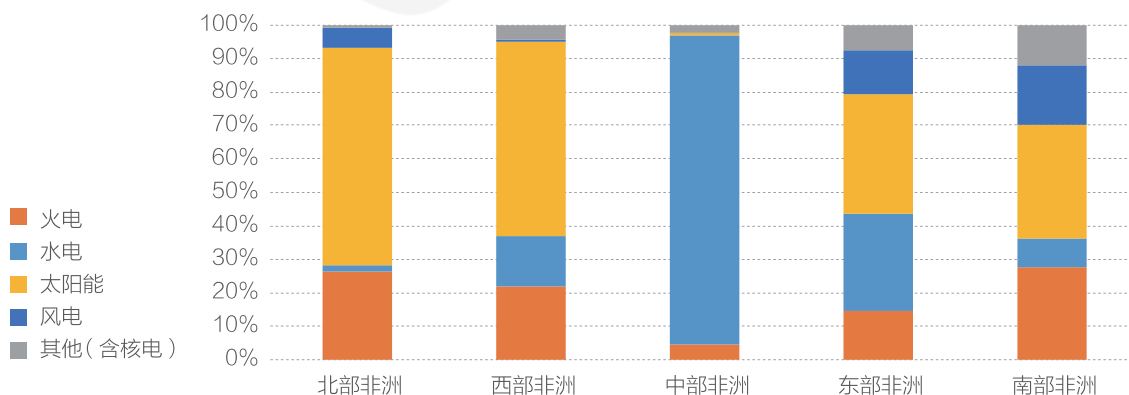


图 2.15 2050 年非洲各区域电源装机结构

电力供应能力显著提升，南部和北部非洲是电源装机增长的主要地区。2050 年非洲电源总装机达 11.3 亿千瓦，年均增长率 5.1%，人均装机增长到 0.46 千瓦，增至 2015 年 2.7 倍，相当于 1981 年世界平均水平。南部和北部非洲电源装机增长 2.3 亿千瓦和 2.9 亿千瓦，超过非洲电源总装机增长量的 54%。

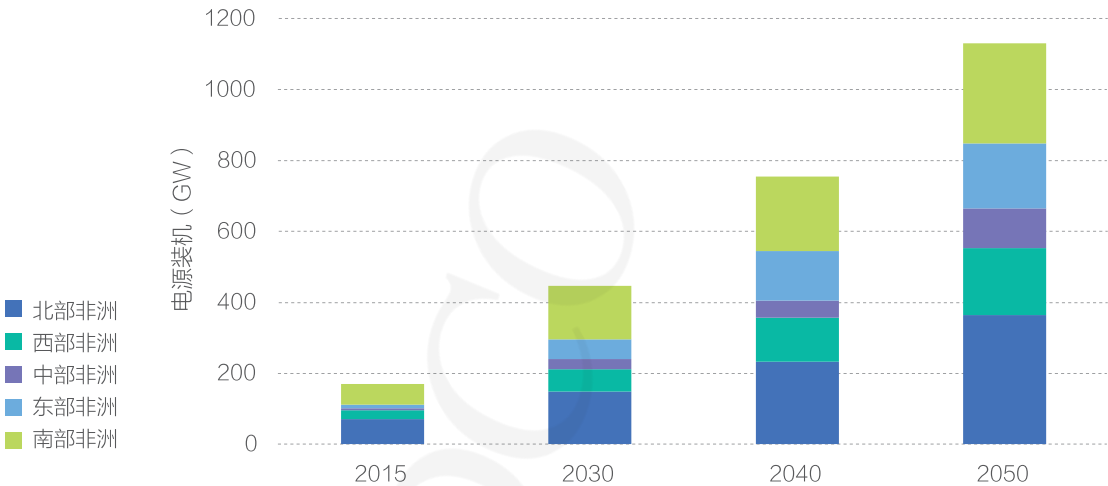


图 2.16 非洲各区域电源装机规模

2.4.2 清洁能源基地因地制宜大规模开发利用

非洲清洁能源以集中式与分布式开发并举。非洲各区域清洁能源资源均较为丰富，但主要分布在沙漠、雨林等人口稀疏、经济欠发达区域，与需求呈逆向分布。需要集约化开发大型水电、太阳能发电和风电基地，大规模、远距离输送至负荷中心，满足人口聚集地区的经济社会发展用电需求。集中式发电具有规模经济优势和可靠性高、易维护等优势。当前各国集中式开发成本低于分布式电源成本 30%~50% 左右，预计 2050 年集中式光伏成本比分布式光伏低 30%~40%。在偏远农村、山区及人口分布稀疏地区，适合采用分布式光伏、小水电等方式满足用电需求。



图 2.17 非洲人口分布热力图与大型能源基地

北部非洲

以太阳能为主的清洁能源发电将在北非电力供应中占据主导地位。北非太阳能资源极为丰富，技术可开发量 9390 亿千瓦时 / 年，主要分布在南侧靠近撒哈拉沙漠区域，地势广袤平坦，远离负荷中心。随着太阳能发电和储能技术的不断成熟，度电成本将快速下降，未来北非太阳能发电将进一步加速发展。

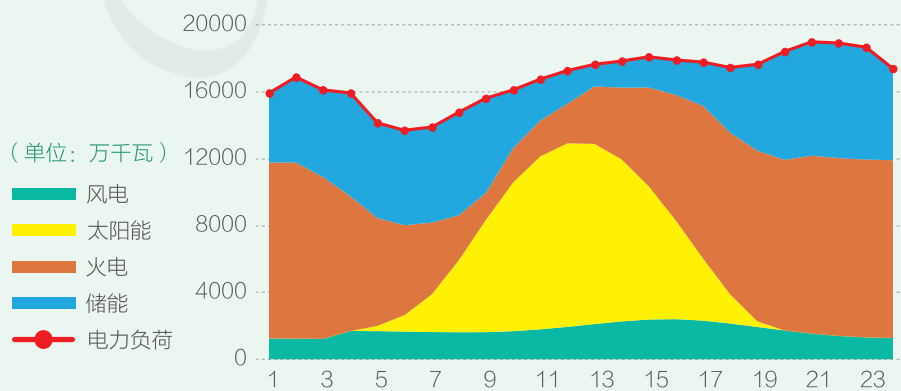
充分利用北非地理区位优势，打造清洁能源枢纽平台。北非是亚欧非三大洲接壤的重点枢纽区域，统筹资源禀赋、能源电力发展需要，在环地中海地区推动跨国、跨区、跨洲能源互联互通，实现西亚太阳能、中非水电向北非汇聚，跨时空多能互补互济后，穿越地中海外送欧洲消纳，能够极大提高清洁能源利用效率，实现清洁能源的大规模、大范围优化配置。

专栏 2.1

北非未来储能配备规模

北非太阳能资源极为丰富，地域广袤，且大部分区域太阳能年辐照强度可达 2200~2300 千瓦时 / 平方米及以上，适合大规模太阳能发电基地的开发。未来，北非清洁替代不断深化，油气化石能源发电占比快速下降，将逐步形成以太阳能为主的高比例清洁能源发电结构。由于太阳能、风电等清洁能源发电具有间歇性和随机性，储能技术将成为未来北非电力供需中的关键技术之一，支撑北非各国电力负荷调峰需求。

结合北非各国负荷特性，最大负荷出现在晚上 8~10 时，最小负荷出现在凌晨 5~7 时，预计 2050 年最大峰谷差约 5000 万千瓦。根据计算，若 2050 年燃气装机比例下降至 30%，太阳能、风电装机比例提高至 65%，则至少需配备约 7000 万千瓦发电侧储能（含光热和化学储能），储能容量 10.5 亿千瓦时，以满足北非高比例清洁能源情景下的电力供需及运行要求。



北非典型日高比例清洁能源电力系统运行模拟示意图

西部非洲

西非水电发展未来将扮演重要角色。西非水能资源主要分布在尼日尔河、塞内加尔河、沃尔特河、冈比亚河，分布广泛，覆盖人口多，水电技术可开发量约4400万千瓦，目前仅开发12%，发展潜力较大。

优先加快水电开发，通过网源协调发展，实现水、光互济和大范围优化配置。优先推进尼日尔河、冈比亚河、塞内加尔河、沃尔特河水电开发。西非河流整体季节性丰枯显著，与尼日尔、马里、毛里塔尼亚太阳能互补性强，尼日尔河水量主要集中在每年9月~次年2月，太阳能辐照强度最低的月份是10月~次年2月。加强西非电网基础设施建设、升级改造和跨国联网，构建横贯西非东西部清洁能源输电走廊，减少无电人口，推动能源电力现代化、清洁化发展。

专栏 2.2

西非输电与输气的选择

天然气作为低碳能源，同样在世界能源转型中发挥重要作用，结合非洲能源资源禀赋及发展阶段，未来非洲天然气需求规模和范围都将进一步扩大，天然气管道的配置方式将难以为继，而以电代气，将天然气转换成电能，通过电网输送，作为重要的能源出口技术方案，具有经济、安全和稳定优势。

通过全生命周期经济性分析，由于发电站投资较大，输电工程总投资一般略高于输气，但考虑碳价、运维费等成本，大规模、远距离能源配置下，输电工程年费用一般低于输气。经测算，天然气价格高于0.15美元/立方米时，输电较输气经济性好，当输送距离2000公里以上时，输电经济性更为显著。

西非尼日利亚天然气资源丰富，目前除本国开发利用外，还通过建设输气管道出口加纳、科特迪瓦等国，未来除满足本国及周边国家天然气需求外，还可跨区外送南非、跨洲外送欧洲等能源需求中心。考虑尼日利亚距欧洲径直穿越撒哈拉沙漠3500公里、绕行距离5000公里以上，距南非也有4000公里以上，采用以电代气，通过特高压技术，大规模远距离外送清洁电力的经济性更好，且更有利于运行维护，大幅提高能源供应的安全稳定性。

中部非洲

刚果河水电开发对于非洲清洁能源发展具有重要意义。中非清洁能源资源以水能为主，主要分布在刚果河、萨纳加河、奥果韦河，水电技术可装机量超过1.8亿千瓦，目前仅开发不到3%。其中刚果河是世界上水能资源最为丰富的河流，技术可装机量超过1.5亿千瓦，7月~11月北丰南枯、12月~次年6月北枯南丰，形成自身独特的赤道南北丰枯互济。

在满足自身电力需求基础上，大力推进大英加水电开发外送。大英加水电站装机规模 5048 万千瓦，水能特性极佳、年利用小时数 7000 小时以上，可通过大规模、远距离跨洲外送至欧洲，跨区外送至西非、南非、北非和东非，实现清洁、低廉、优质水电在更大范围内配置。

专栏
2.3

大英加水电的消纳市场

大英加水电装机规模 5048 万千瓦，工程容量巨大，区内消纳规模有限，需在更大范围优化配置。洲内，西非、南非是重要的电力受入中心，能源资源相对有限，是大英加水电的目标市场，远期东非也将通过跨区受电满足快速增长的电力需求。洲外，欧洲经济发达、电力需求大，随着电能替代比例提升，也存在较大电力缺口，是大英加水电潜在市场。

西非，距离大英加水电基地较近，人口众多、矿产资源丰富、经济发展速度快，采矿业、冶炼业发展将带动电力需求增长，尼日利亚、几内亚、加纳等国未来将存在较大电力缺口。大英加水电送电西非，发挥各自资源优势，协调发展，互利共赢，可成为破解大英加水电大规模开发和高效利用难题的突破口。

南非，作为整个南部非洲经济体量最大的国家，用电需求占整个区域的 80%。南非矿产资源丰富，基础设施相对完善，未来仍具备较大的发展空间。随着老旧煤电机组的逐步退役，预计电力缺口较大，南非将成为大英加水电的重要市场。

东非，虽然拥有较多的清洁能源资源，但未来随着人口快速增长和制造业迅猛发展，远期本地装机将无法快速满足快速增长的负荷需求，东非也是大英加水电的潜在市场之一。



清洁能源种类丰富，开发前景广阔。东非水、风、光、地热能资源丰富，水能资源集中在尼罗河、鲁菲吉河和朱巴河，技术可开发量 6900 万千瓦；太阳能资源集中在苏丹、坦桑尼亚和埃塞俄比亚，技术可开发量 7.7 亿千瓦；风能资源集中在红海和亚丁湾沿岸、撒哈拉沙漠边缘和东非大裂谷两侧高地，技术可开发量 1.4 亿千瓦；地热能集中在红海 - 亚丁湾 - 东非大裂谷地热带，技术可开发量 1700 万千瓦。

加快多种清洁能源开发，多能互补外送消纳。优先加快埃塞俄比亚水电开发，大力发展地热资源，积极开发太阳能和风能资源，加强东非电网互联，实现多能互补互济，提高清洁能源综合发电利用效率，提高区内清洁能源电力配置消纳能力，支撑东非能源供应现代化、电气化、清洁化，降低无电人口，同时通过跨区跨洲外送，实现清洁能源电力在更大范围内消纳。

专栏 2.4

埃塞俄比亚可以成为地区能源枢纽

埃塞俄比亚水能资源优异，主要位于青尼罗河，水电装机潜力约 4500 万千瓦，水量多来自埃塞俄比亚高原上的季节性降雨，每年 6 月~10 月为雨季，水流量最高可达 5800 立方米/秒；11 月~次年 5 月为旱季，水流量较小，仅为丰期的 3%~20%，最低径流量仅 200 立方米/秒，季节特性显著。

依托电网互联互通和多能互补互济，埃塞俄比亚将具有成为东部非洲能源枢纽的巨大潜力。地理上看，埃塞俄比亚位于东部非洲核心地带，向北联接北非，向东跨红海至阿拉伯半岛，向南辐射南部非洲，具有显著的区位优势。东非南部地区地热能资源丰富、水能特性与北部地区河流呈季节性相反，依托埃塞俄比亚实现南北部能源互联，可实现区内丰枯互济、多能互补、灵活调节；同时，可通过汇集东非水电等清洁能源，输送至南部非洲和西亚西部负荷中心，为两区域提供多样化能源供应，助力能源清洁化转型。

能源电力发展加速“脱煤”。赞比西河水能资源丰富，技术可开发量 2500 万千瓦，目前已开发 24%，太阳能、风能开发潜力巨大，目前尚未大规模开发。南非作为非洲的最大的能源电力需求中心，大量的煤炭消耗带来了严重的生态环境隐患，未来老旧煤电将逐步退役，需加快开发区域大型水、风、光清洁能源基地，以满足区内巨大的电力需求。

充分利用跨流域互补特性，跨区受入清洁能源电力。赞比西河与尼罗河具有较好的跨流域季节互补性，赞比西河 11 月～次年 5 月处于丰水期，6 月～10 月处于枯水期，流量特性与尼罗河相反，通过电网互联，实现清洁能源跨区互补互济，联网通道利用小时数可达 5500 小时以上。

专栏
2.5

煤电在南非未来能源中的角色

南非是非洲大陆工业最发达的国家，能源资源消耗巨大。南非油气资源稀缺，煤炭储量丰富，煤炭在南非能源结构中占主导地位，为南非提供了 90% 的电力供应和约四分之一的燃油供应，在南非经济中占有十分重要地位，是南非第二大出口矿产品。南非是全球第五大煤炭生产国和第四大煤炭出口国。

煤炭的大规模利用带来了固体废弃物、水资源污染、大气污染和大规模温室气体排放等一系列生态环境问题。煤炭产业占南非碳排放总量的 86%，占整个非洲大陆二氧化碳排放的 40%。南非目前煤炭产业结构中，高品质煤炭出口换汇，中低品质煤炭发电自用，使得煤电成为南非煤炭污染的重要来源。

考虑到南非煤炭储量丰富和易开采特点，近中期，煤电仍是南非的主力电源，煤炭在一次能源中继续占据主导地位。远期，随着清洁能源、储能技术和跨国电网互联的发展，煤电在装机中的占比将从现状 81% 降至 40%。煤炭在一次能源中的比重也将逐步降低，预计到 2050 年控制在 20% 以内。

非洲电网互联 规划方案

3



构建非洲能源互联网，以满足非洲经济社会可持续发展的电力需求为目标，加快清洁能源开发利用和电网升级，实现大型水电、太阳能、风电基地有序开发，清洁能源与电网协调发展，全面扩大供电区域、提高用电可及性，增强供电可靠性；加快推进电网互联互通建设，打造绿色低碳、安全可靠、灵活互济、与各区各国电网充分衔接的清洁能源优化配置平台，以清洁和绿色方式满足非洲电力需求。

3.1
清洁能源
基地布局

非洲水电资源技术可装机量
约 **3.3** 亿千瓦
目前水电总体开发率仅 **10%**

非洲清洁能源资源丰富，水能、太阳能、风能理论蕴藏量分别占全球的 12%、40% 和 32%。统筹清洁能源资源分布、开发条件及各国能源电力发展规划，2050 年，规划建设 37 个大型清洁能源基地，总技术可开发装机约 33.3 亿千瓦，包括四大水电基地，21 个太阳能基地和 12 个风电基地。

3.1.1 水电基地

非洲水电资源技术可装机量大约 3.3 亿千瓦，目前水电总体开发率仅 10%。根据水能资源分布，具备大规模开发条件的水电基地主要分布在中非刚果河、东非尼罗河，西非尼日尔河和南非赞比西河。此外，南非宽扎河、中非萨纳加河、西非沃尔特河、东非鲁菲吉河等河流也具备建设水电基地的潜力。



刚果河位于非洲中西部，主要位于刚果民主共和国境内，流经刚果共和国、喀麦隆、中非、卢旺达、布隆迪、坦桑尼亚、赞比亚和安哥拉等国。

刚果河全长 4370 公里，为非洲第二长河，流域面积约 370 万平方公里，河口年平均流量 41000 立方米 / 秒，其流域面积和流量均居非洲首位，在世界大河中仅次于南美洲的亚马逊河，其长度在非洲仅次于尼罗河，而流量却比尼罗河大 16 倍，水能资源极为丰富，技术可开发量约 1.5 亿千瓦，目前开发比例不到 2%。特别是金沙萨至马塔迪之间 200 多公里的下游河段上有 32 个瀑布和急流，总落差 280 米，水能资源占刚果河的三分之二，是世界上水电资源最富集的地区，适宜开发超大型水电站。规划按三级开发，自上而下分别是皮奥卡、大英加和马塔迪，总装机规模超过 1 亿千瓦。

表 3.1 刚果河下游梯级水电工程情况

项目	梯级电站名称		
	皮奥卡水电站	大英加水电站	马塔迪水电站
建设地点	刚果（金）与刚果（布）边界的皮奥卡地区	刚果（金）境内英加地区	刚果（金）境内马塔迪市附近
装机容量	3500 万千瓦	5048 万千瓦	1600 万千瓦
前期进展	规划阶段	建成 1、2 期共 178 万千瓦	规划阶段



图 3.1
刚果河示意图

02
尼罗河
水电基地

尼罗河流经非洲东部与北部，自南向北经过坦桑尼亚、布隆迪、卢旺达、肯尼亚、乌干达、南苏丹、埃塞俄比亚、苏丹和埃及注入地中海，有三条主要的支流，分别为白尼罗河、青尼罗河和阿特巴拉河。

尼罗河全长 6695 公里，是世界上最长的河流，流域面积 318 万平方公里；水电技术可开发量约 6000 万千瓦，目前开发比例约 13%。



图 3.2
尼罗河示意图

03

赞比西河 水电基地

赞比西河发源于赞比亚西北部边境山地，干流流经安哥拉、纳米比亚、博茨瓦纳、津巴布韦、赞比亚和莫桑比克等国，支流流经马拉维，干流注入印度洋。

赞比西河全长 2660 公里，流域面积 130 万平方公里，年入海平均流量 7080 立方米 / 秒，年径流量 2232 亿立方米；水电技术可开发量约 2500 万千瓦，目前开发比例 24%。



图 3.3 赞比西河示意图

04

尼日尔河 水电基地

尼日尔河是仅次于尼罗河和刚果河的非洲第三大河，是西非最大河流，发源于几内亚境内的富塔贾隆高原靠近塞拉利昂边境地区，干流流经几内亚、马里、尼日尔和尼日利亚等国，注入几内亚湾，支流伸展到科特迪瓦、布基纳法索、乍得、喀麦隆等国，重要支流有贝努埃河、巴尼河等。

尼日尔河全长 4160 公里，流域面积 150 万平方公里，年入海平均流量 6300 立方米 / 秒，年径流量 2000 亿立方米，水电技术可开发量约 2800 万千瓦，目前开发比例仅 9%。



图 3.4 尼日尔河示意图

05
其他
水电基地

除以上四大水电基地外，非洲水电技术可开发量超过 200 万千瓦的河流主要有中非萨纳加河、奥果韦河，南非宽扎河、西非沃尔特河和东非鲁菲吉河。结合各区域实际，规划在上述河流建设水电基地，主要满足区内电力需求。

表 3.2 非洲其他水电基地基本情况

单位：万千瓦

河流	主要流经国家	技术可装机量	目前开发比例
萨纳加河	喀麦隆	1200	6.0%
奥果韦河	加蓬	600	5.5%
宽扎河	安哥拉	700	36.1%
沃尔特河	加纳	<500	35.1%
鲁菲吉河	坦桑尼亚	<500	12.8%

3.1.2 太阳能基地

非洲太阳能技术可开发量达
665 万亿千瓦时 / 年

非洲太阳能技术可开发量达 665 万亿千瓦时 / 年。综合考虑资源特性和开发条件，非洲中北部的撒哈拉沙漠及周边地区、南部的大西洋沿岸地区和东部非洲的部分内陆地区适宜建设大型太阳能发电基地。



01

北部非洲
太阳能基地

北部非洲太阳能年辐照强度可达到 2200 ~ 2400 千瓦时 / 平方米。结合太阳能资源特性和分布情况，初步规划 8 个大型太阳能基地，总技术可开发量约 2.5 万亿千瓦时，可装机容量约 12 亿千瓦，分布在埃及尼罗河沿岸、利比亚西北部、突尼斯南部、阿尔及利亚东部、摩洛哥南部。

表 3.3 北部非洲大型太阳能基地情况

单位：亿千瓦时 / 年，万千瓦

序号	基地选址	所属国家	技术可开发量	可开发装机
1	明亚	埃及	3594	16000
2	阿斯旺	埃及	3042	13000
3	瓦尔格拉	阿尔及利亚	6291	32000
4	艾格瓦特	阿尔及利亚	5148	25000
5	乔什	利比亚	1966	10000
6	扎格	摩洛哥	2265	11000
7	扎古拉	摩洛哥	1647	8000
8	雷马达	突尼斯	1006	5000
合计			24959	120000

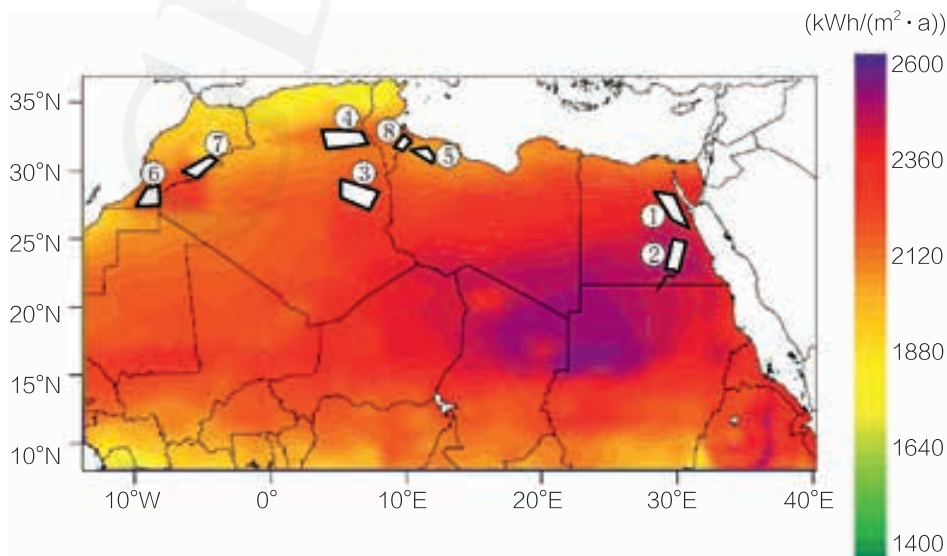


图 3.5 北部非洲大型太阳能基地布局示意图

02
西部非洲
太阳能基地

西部非洲太阳能年辐照强度可达到 2000~2400 千瓦时 / 平方米。结合太阳能资源特性和分布情况，初步规划 5 个大型太阳能基地，总技术可开发量约 1 万亿千瓦时，可装机容量约 4.8 亿千瓦，分布在撒哈拉西部和南部区域。

表 3.4 西部非洲大型太阳能基地情况

单位：亿千瓦时 / 年，万千瓦

序号	基地选址	所属国家	技术可开发量	可开发装机
1	阿加德兹	尼日尔	2414	12000
2	卡伊	马里	2012	10000
3	罗索	毛里塔尼亚	2213	11000
4	瓦加杜古	布基纳法索	1408	7000
5	卡诺	尼日利亚	1610	8000
合计			9658	48000

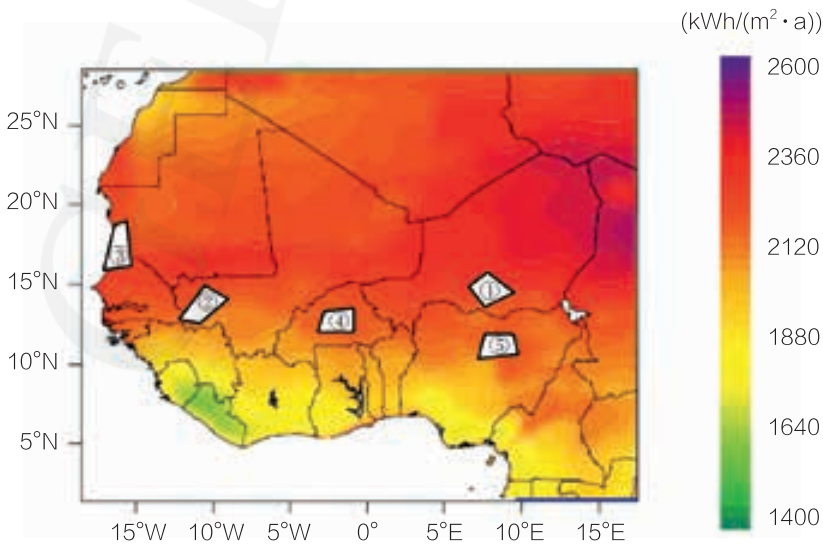


图 3.6 西部非洲大型太阳能基地布局示意图

03
东部非洲
太阳能基地

东部非洲撒哈拉沙漠、沿海以及东非裂谷带地区太阳能年辐照强度约 2100 ~ 2300 千瓦时 / 平方米。结合太阳能资源特性和分布情况，初步规划 4 个大型太阳能基地，总技术可开发量约 1.7 万亿千瓦时，可装机容量约 8.4 亿千瓦，位于苏丹北部、埃塞俄比亚东部和肯尼亚北部区域。

表 3.5 东部非洲大型太阳能基地情况

单位：亿千瓦时 / 年，万千瓦

序号	基地选址	所属国家	技术可开发量	可开发装机
1	栋古拉	苏丹	5765	28000
2	达米尔	苏丹	5354	26000
3	德雷达瓦	埃塞俄比亚	3706	18000
4	南霍尔	肯尼亚	2471	12000
合计			17296	84000

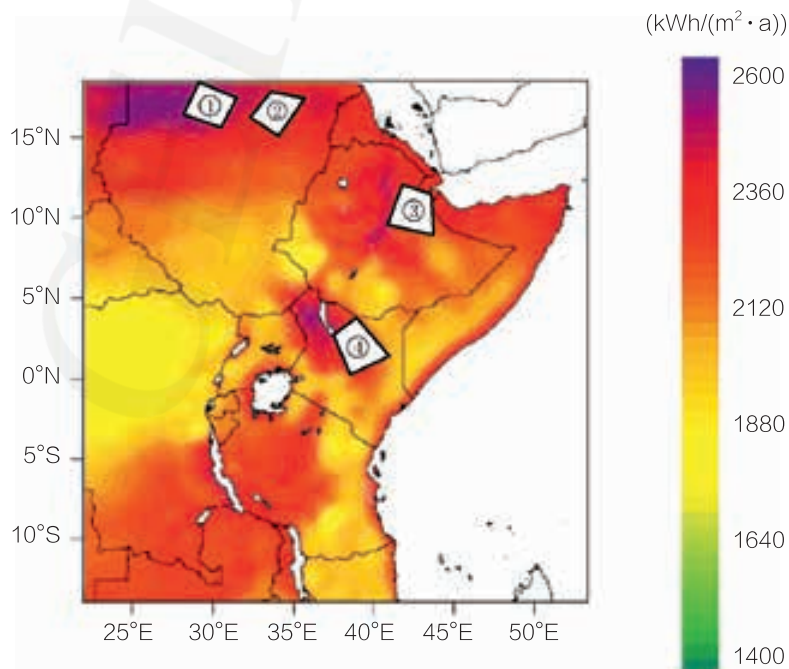


图 3.7 东部非洲大型太阳能基地布局示意图

04

南部非洲
太阳能基地

南部非洲大部分区域太阳能年辐照强度可达到 1800~2200 千瓦时 / 平方米。结合太阳能资源特性和分布情况，初步规划 4 个大型太阳能基地，总技术可开发量约 7200 亿千瓦时，可装机容量约 3.6 亿千瓦，分布在纳米比亚、博茨瓦纳、南非共和国和安哥拉。

表 3.6 南部非洲大型太阳能基地情况

单位：亿千瓦时 / 年，万千瓦

序号	基地选址	所属国家	技术可开发量	可开发装机
1	卡拉斯堡	纳米比亚	1408	7000
2	察邦	博茨瓦纳	1006	5000
3	比勒陀利亚	南非共和国	3219	16000
4	卢班戈	安哥拉	1610	8000
合计			7243	36000

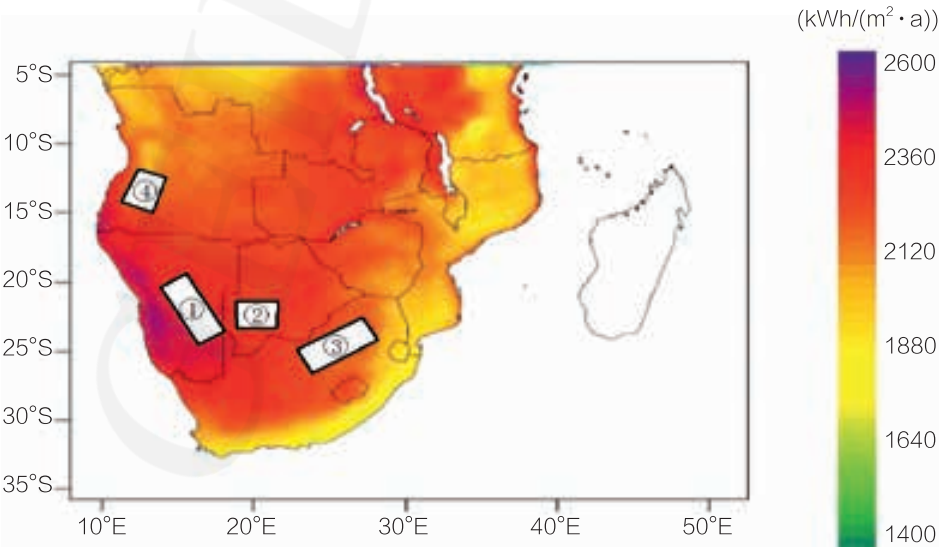


图 3.8 南部非洲大型太阳能基地布局示意图

3.1.3 风电基地

非洲风能技术可开发量
67 万亿千瓦时 / 年

非洲风能技术可开发量 67 万亿千瓦时 / 年，主要分布于北部、东部和南部非洲沿海地区以及撒哈拉地区。综合考虑资源特性和开发条件，非洲北部的撒哈拉沙漠及周边、南部的大西洋沿岸和东部非洲的部分内陆地区适宜建设大型风电基地。

01
北部非洲
风电基地

北部非洲大西洋、地中海沿岸风能资源较好，平均风速可达约 9 米 / 秒。结合风能资源特性和分布情况，初步规划 5 个大型风电基地，总技术可开发量约 1.1 亿千瓦，分布于摩洛哥西部、阿尔及利亚西北部、突尼斯东部、利比亚西北部和埃及北部沿岸。

表 3.7 北部非洲大型风电基地情况

单位：万千瓦

序号	基地选址	所属国家	技术可开发装机
1	马特鲁	埃及	2500
2	米苏拉塔	利比亚	2800
3	莫纳斯提尔	突尼斯	800
4	加扎乌埃特	阿尔及利亚	2800
5	索维拉	摩洛哥	2000
合计			10900

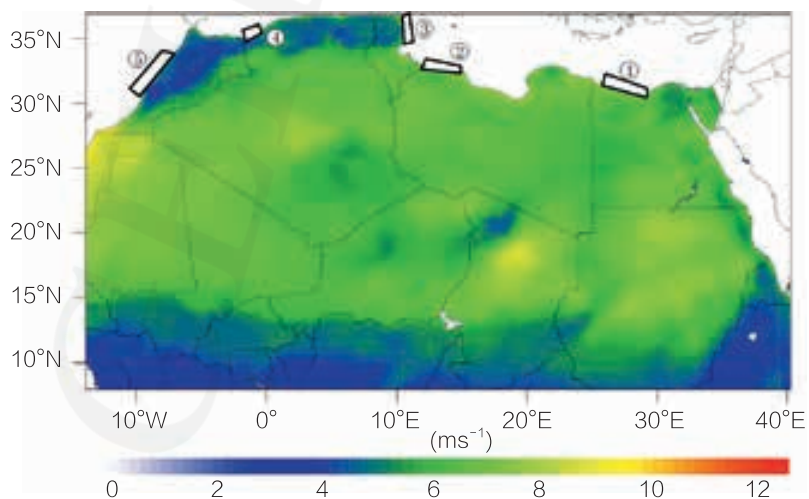


图 3.9 北部非洲大型风电基地布局示意图

02
东部非洲
风电基地

东部非洲的北部和东部沿海区域风能资源较好，平均风速可达约 6~9 米 / 秒。结合风能资源特性和分布情况，初步规划 4 个大型风电基地，总技术可开发量约 5700 万千瓦，分布在苏丹北部、埃塞俄比亚东部和肯尼亚北部。

表 3.8 东部非洲大型风电基地情况

单位：万千瓦

序号	基地选址	所属国家	技术可开发装机
1	栋古拉	苏丹	2000
2	杜伟姆	苏丹	1500
3	吉吉加	埃塞俄比亚	1000
4	北霍尔	肯尼亚	1200
合计			5700

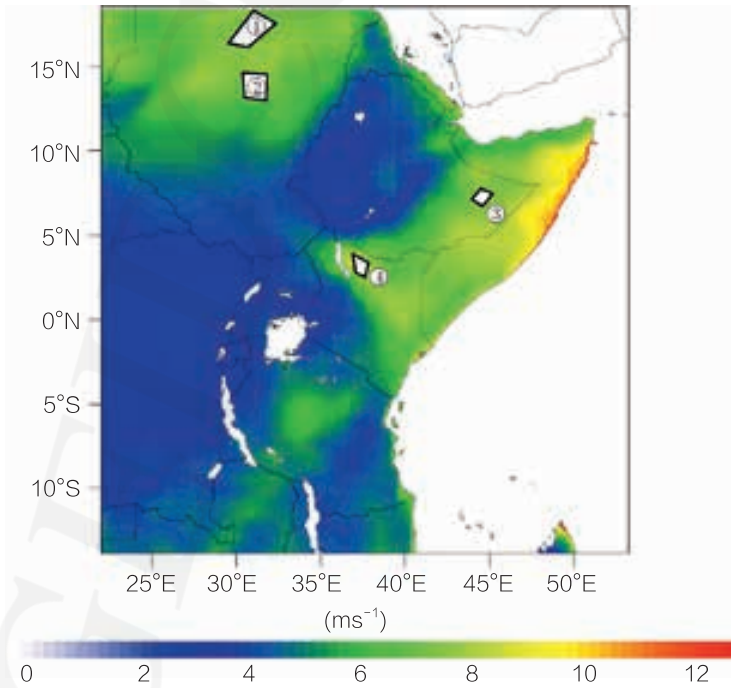


图 3.10 东部非洲大型风电基地布局示意图

03
南部非洲
风电基地

南部非洲沿海区域风能资源较好，平均风速可达 9 米 / 秒以上。结合风能资源特性和分布情况，初步规划 3 个大型风电基地，总技术可开发量约 5600 万千瓦，分布在纳米比亚中西部、南非共和国南部和博茨瓦纳东北部。

表 3.9 南部非洲大型风电基地情况

单位：万千瓦

序号	基地选址	所属国家	技术可开发装机
1	马林塔尔	纳米比亚	1200
2	弗雷泽堡	南非共和国	2600
3	奥拉帕	博茨瓦纳	1800
合计			5600

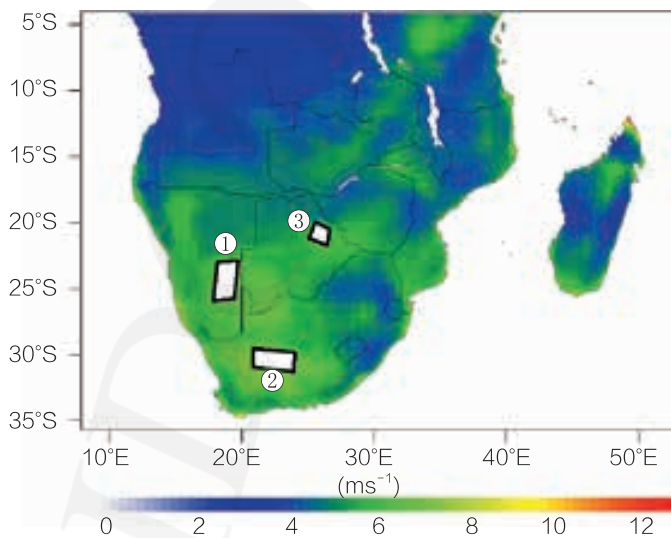


图 3.11 南部非洲大型风电基地布局示意图

3.2 非洲电网互联总体格局

3.2.1 电力流总体格局

统筹非洲资源禀赋和电力需求分布，南部非洲和西部非洲将成为主要的电力受入中心，东部非洲先期通过尼罗河水电开发满足用电需求，远期也将成为电力受入中心。中部非洲、北部非洲通过大规模水电、太阳能开发将成为主要电力外送基地。通过分区域电力电量平衡分析计算，未来非洲电力流总体呈“**洲内中部送电南北、洲外与欧亚互济**”格局。

2030 年

跨洲跨区电力流规模 3100 万千瓦，其中跨洲 1400 万千瓦。跨区，刚果河水电送电几内亚 800 万千瓦、安哥拉 100 万千瓦，尼罗河水电送电南非 400 万千瓦，萨纳加河水电送电尼日利亚 400 万千瓦。跨洲，北非摩洛哥送电葡萄牙 300 万千瓦、突尼斯送电意大利 800 万千瓦，西亚沙特太阳能送电埃及 300 万千瓦。



图 3.12 2030 年非洲能源互联网跨洲跨区电力流（万千瓦）

2040 年

跨洲跨区电力流规模达到 6800 万千瓦，其中跨洲电力流 3800 万千瓦。跨区，刚果河、尼罗河水电送电规模分别为 1800 万千瓦、800 万千瓦，新增大英加送电尼日利亚 800 万千瓦，大英加送电安哥拉增至 200 万千瓦，尼罗河送电南非增至 800 万千瓦。跨洲，北非太阳能送电欧洲达到 2700 万千瓦，新增埃及送电希腊、意大利 800 万千瓦，阿尔及利亚送电法国 800 万千瓦。西亚沙特太阳能送电埃及增至 700 万千瓦。新增埃塞俄比亚送电沙特阿拉伯 400 万千瓦。

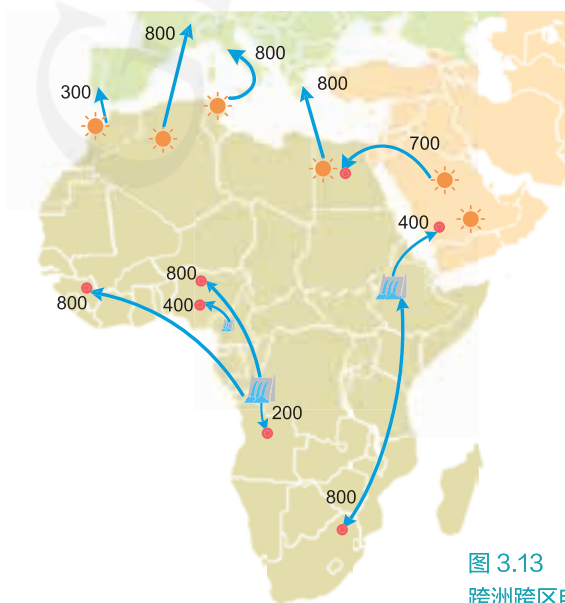


图 3.13 2040 年非洲能源互联网跨洲跨区电力流（万千瓦）

跨洲跨区电力流规模达到 1.3 亿千瓦，其中跨洲电力流 5000 万千瓦。跨区，刚果河、尼罗河水电外送规模分别为 6000 万千瓦、800 万千瓦，新增刚果（金）送电摩洛哥 1000 万千瓦、埃塞俄比亚 800 万千瓦、南非 800 万千瓦、几内亚 800 万千瓦，刚果（布）送电加纳 800 万千瓦，埃塞俄比亚与埃及互济 800 万千瓦。跨洲，非洲送电欧洲达到 3900 万千瓦，新增摩洛哥太阳能（与刚果河水电联合调节）送电西班牙 400 万千瓦、阿尔及利亚送电法国和德国各 400 万千瓦。

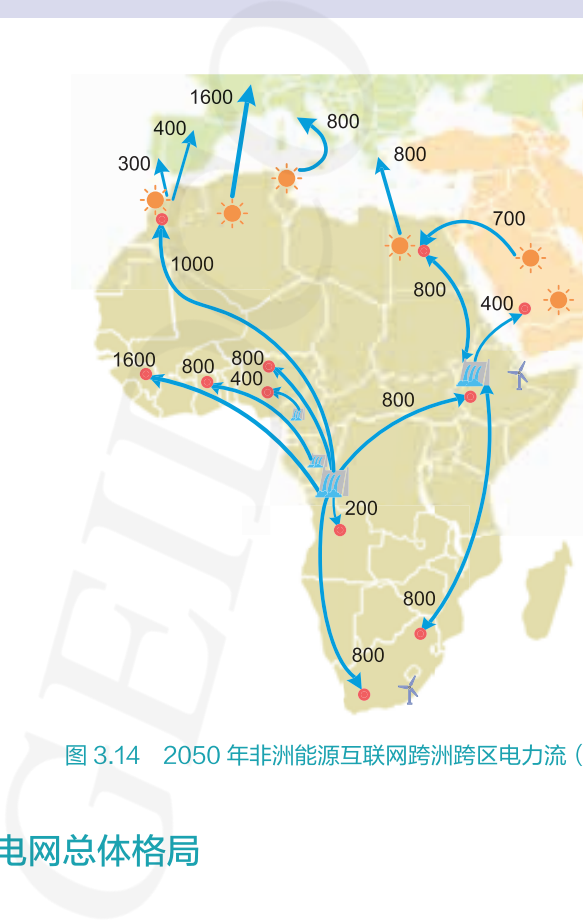


图 3.14 2050 年非洲能源互联网跨洲跨区电力流（万千瓦）

图 3.14 205

电网总体格局

非洲主要划分为北部、西部、中部、东部和南部 5 个区域。除北部、南部非洲外，各区域电网整体十分薄弱，电力可及率低。北非五国已实现同步互联，并与欧洲西部同步联网。南部非洲各国基本实现互联。2015 年，非洲最大负荷 1.2 亿千瓦，装机容量 1.7 亿千瓦，无电人口约 6 亿。南非最高电压等级为 765 千伏，其他各国主网架以 220、400 千伏为主。

非洲电网发展重点是满足自身电力需求，加强能源电力基础设施建设，解决经济发展的电力需求和无电人口问题。通过加快水电等清洁能源开发，将资源优势转化为经济优势，促进洲内及跨洲联网。

2050年
非洲电网最大负荷 **5.8** 亿千瓦
装机容量 **11.3** 亿千瓦

北部非洲同步电网
电压等级提升至
1000 千伏

中部和西部、东部和南部非洲
同步电网电压等级提升至
765 千伏

到 2050 年，非洲电网最大负荷 5.8 亿千瓦，装机容量 11.3 亿千瓦。随着电网升级和互联规模的不断扩大，非洲总体形成北部、中部和西部、东部和南部 3 个同步电网，同步电网之间通过直流实现异步联网，如图 3.15 所示。

北部非洲同步电网，电压等级升级至 1000 千伏，建设横贯东西的 1000 千伏交流通道，联接北非大型太阳能发电基地与负荷中心，并为大型太阳能发电基地通过直流外送欧洲提供支撑，依托北非显著的区位优势，形成联接亚欧非的重要能源配置平台。中部和西部、东部和南部 2 个同步电网，内部建设 765/400 千伏交流骨干网架，形成区域清洁能源优化配置平台，区内大型清洁能源基地电力通过超 / 特高压直流直接送电主要负荷中心。

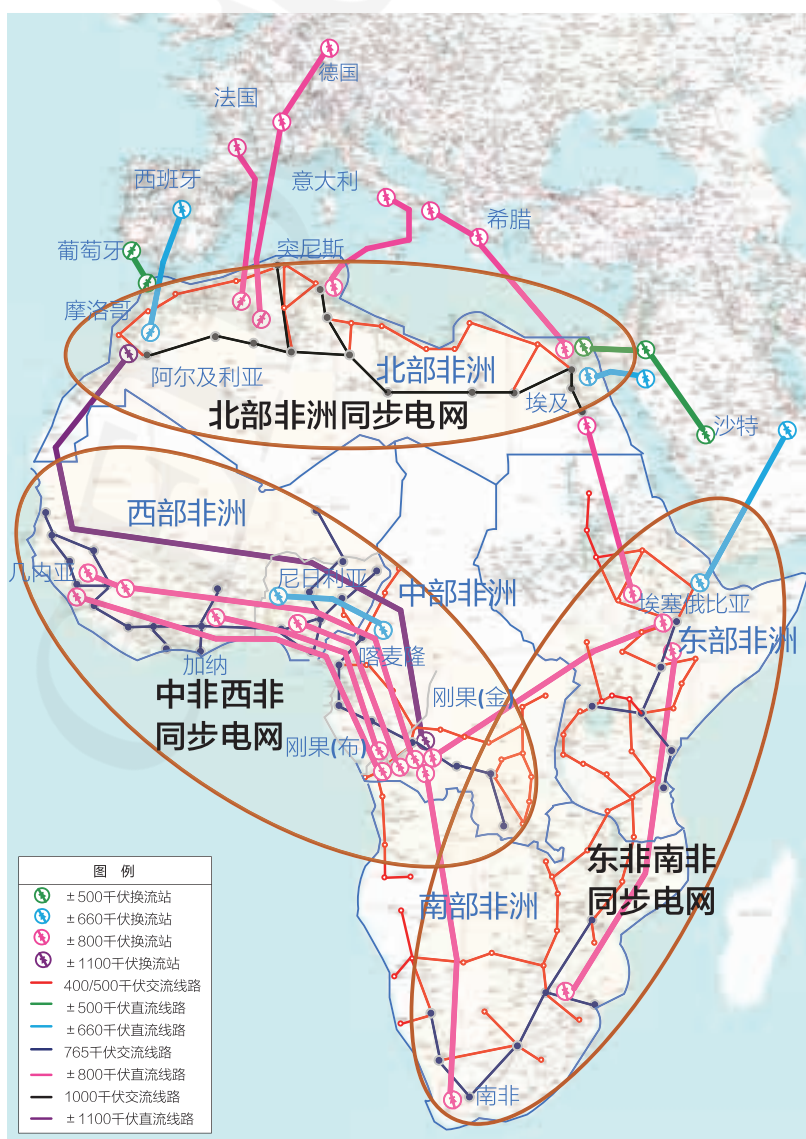


图 3.15 2050 年非洲电网互联总体格局示意图

3.3

区域电网 互联规划

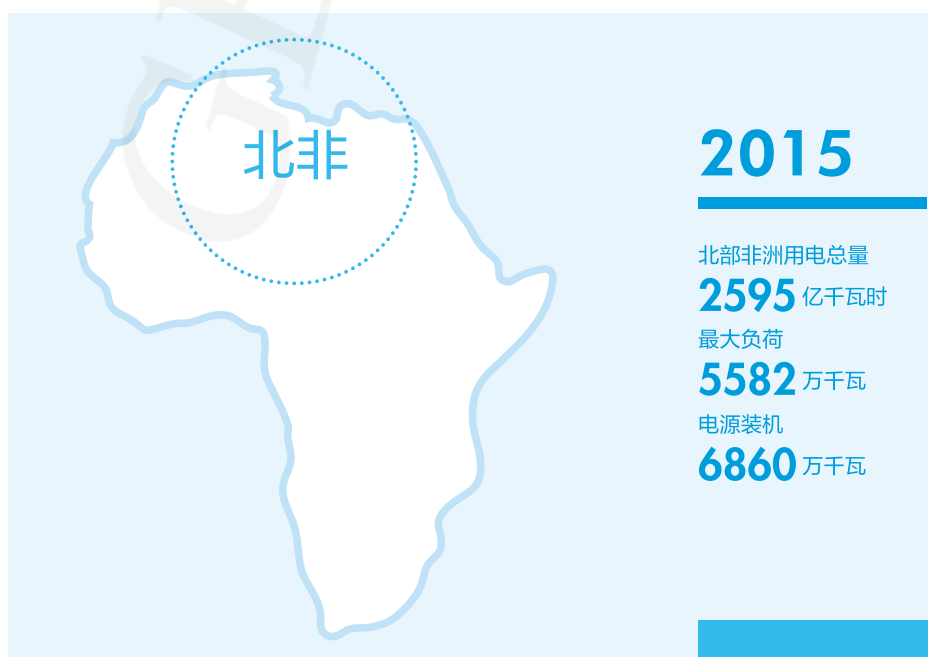
3.3.1 北部非洲

2015 年，北部非洲用电总量 2595 亿千瓦时，最大负荷 5582 万千瓦，电源装机 6860 万千瓦。埃及是区域电力需求中心，用电量占比高达 59%。北非已初步形成沿海岸线东西横向的跨国互联 400/500 千伏交流同步电网，形成“长链式、弱联系”结构。北非区位优势明显，未来通过实施经济多样化发展计划，推行促进就业、提高生产力等相关政策，推进教育和基础设施领域的改革，依托“一带一路”等国际合作框架，基础设施投资将成为经济增长的主要动力。

未来北部非洲将重点开发区内大型太阳能基地，并在地中海、大西洋和红海海岸线开发沿海风电，配合适当规模的燃气发电，推动区内各国电力供应清洁低碳化发展。同时，充分利用亚非欧三大洲交汇的地理区位优势，打造区域清洁能源枢纽平台，受入西亚和非洲其他区域清洁能源电力，并跨地中海外送欧洲。

北部非洲总体呈“南光北送、东西互供”的电力流格局，区内大型太阳能基地主要送电北部沿海负荷中心，跨地中海外送欧洲，未来埃及依然是北非重要电力需求中心。

2030 年，北部非洲用电量 5622 亿千瓦时，最大负荷 9835 万千瓦，电源装机 1.5 亿千瓦。区内，优先开发扎格、艾格瓦特、雷马达、乔什和明亚等太阳能基地，建设突尼斯 1000 千伏交流输电通道，支撑太阳能电力汇集送出；加强各国



地中海沿岸 400/500 千伏电网，实现北非统一的交流互联电网。跨区，建设摩洛哥 - 葡萄牙 ± 500 千伏直流，外送 300 万千瓦太阳能电力至葡萄牙；建设突尼斯 - 意大利 ± 800 千伏直流，外送 800 万千瓦太阳能电力至意大利。

2040 年，北部非洲用电量 7323 亿千瓦时，最大负荷 1.4 亿千瓦，电源装机 2.3 亿千瓦。区内，提升最高电压等级至 1000 千伏，建成横贯东西的单回 1000 千伏交流输电走廊，联接各国大型太阳能基地，加强各国 400/500 千伏交流主干网架，提高负荷中心网架受电能力和高比例新能源发电下的电网运行安全可靠。跨区，建设埃及 - 希腊 - 意大利 ± 800 千伏三端直流工程，分别送电希腊 400 万千瓦、意大利 400 万千瓦；建设阿尔及利亚 - 法国 ± 800 千伏直流，外送 800 万千瓦电力至法国图卢兹；建设沙特 - 埃及 ± 660 千伏直流，满足沙特塔布克太阳能电力 400 万千瓦送出需要。

2050 年，北部非洲用电量 9558 亿千瓦时，最大负荷 1.7 亿千瓦，电源装机 3.6 亿千瓦。区内，新建 1 回 1000 千伏交流输电走廊，形成北非双回 1000 千伏交流通道，提升扎格、艾格瓦特、瓦尔格拉、乔什、明亚和阿斯旺等太阳能基地电力汇集能力，进一步加强区域 400/500 千伏电网，建成北非坚强交流互联电网。跨区，建设刚果（金）- 摩洛哥 ± 1100 千伏直流，大英加水电送电摩洛哥 1000 万千瓦，与摩洛哥太阳能互补调节后，通过摩洛哥 - 西班牙 ± 660 千伏直流送电西班牙马德里 400 万千瓦；建设阿尔及利亚 - 法国 - 德国 ± 800 千伏三端直流，分别送电法国里昂和德国法兰克福 400 万千瓦。

2030

北部非洲用电量
5622 亿千瓦时
最大负荷
9835 万千瓦
电源装机
1.5 亿千瓦



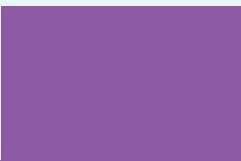
2040

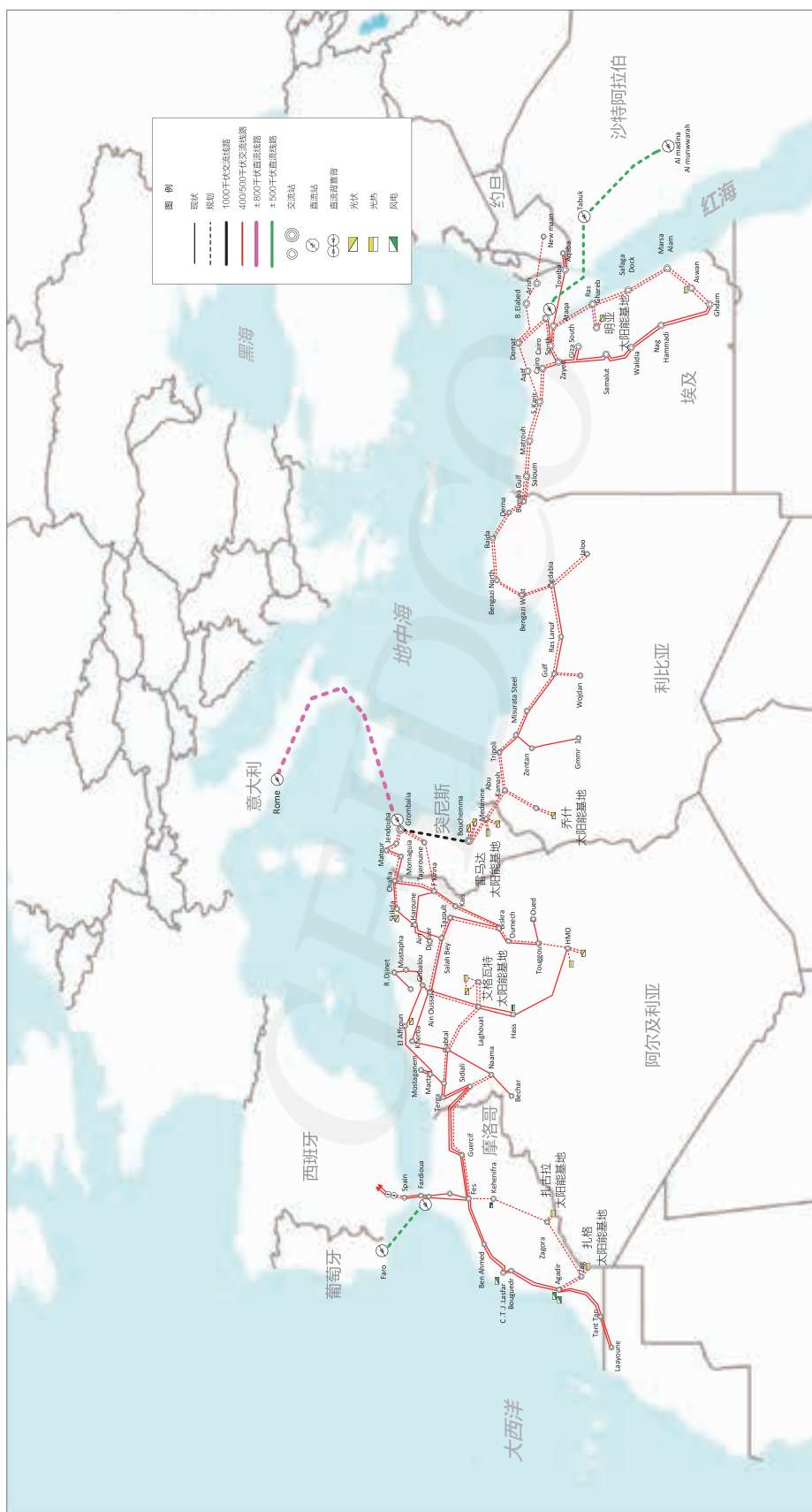
北部非洲用电量
7323 亿千瓦时
最大负荷
1.4 亿千瓦
电源装机
2.3 亿千瓦



2050

北部非洲用电量
9558 亿千瓦时
最大负荷
1.7 亿千瓦
电源装机
3.6 亿千瓦





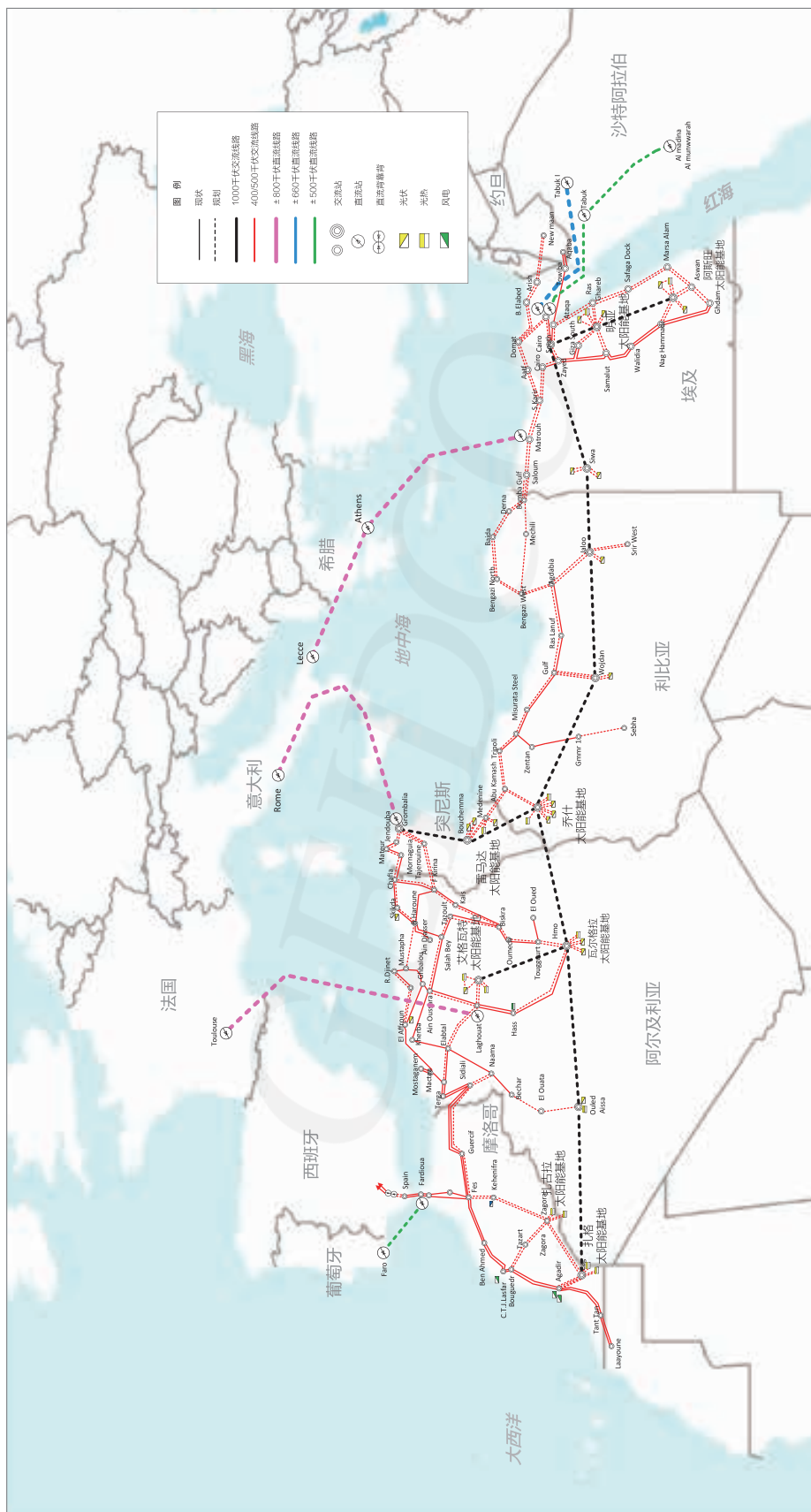
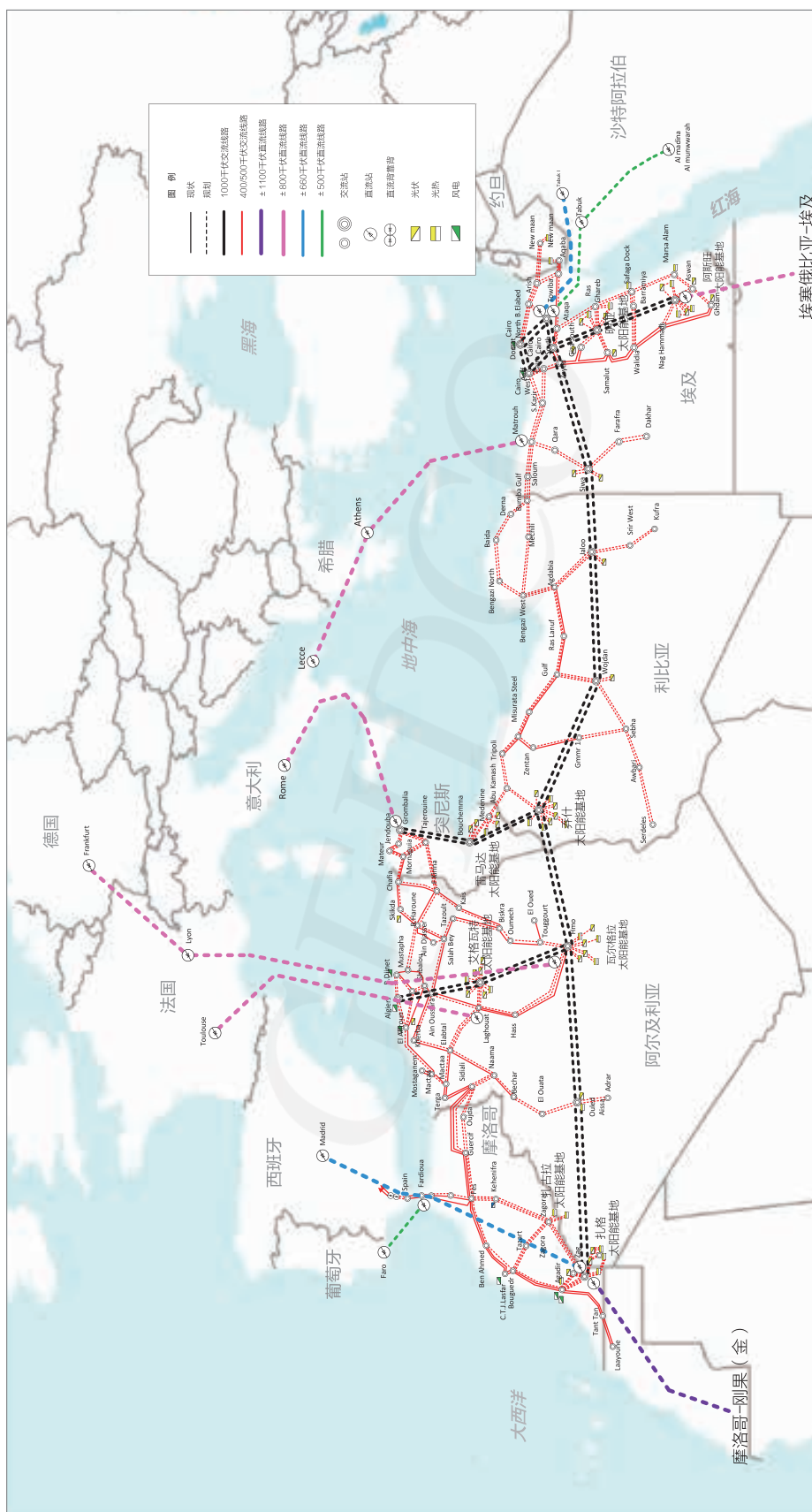


图 3.17 2040 年北部非洲电网互联规划图



3.3.2 西部非洲

2015 年，西部非洲用电总量 507 亿千瓦时，最大负荷 920 万千瓦，电源装机 2487 万千瓦。尼日利亚、加纳是区域电力需求中心，尼日利亚用电量占比 50%、加纳占比 19%，其他国家均不足 10%。西非跨国联网处于起步阶段，电力可及率低，初步形成东部单回 330 千伏、西部单回 225 千伏的跨国输电通道，尼日尔、冈比亚、几内亚、几内亚比绍、塞拉利昂和利比里亚等国电力基础薄弱，均未实现跨国联网。西非矿产资源丰富、人口红利突出、工业化潜力巨大，将促进区域社会经济和能源电力快速发展。

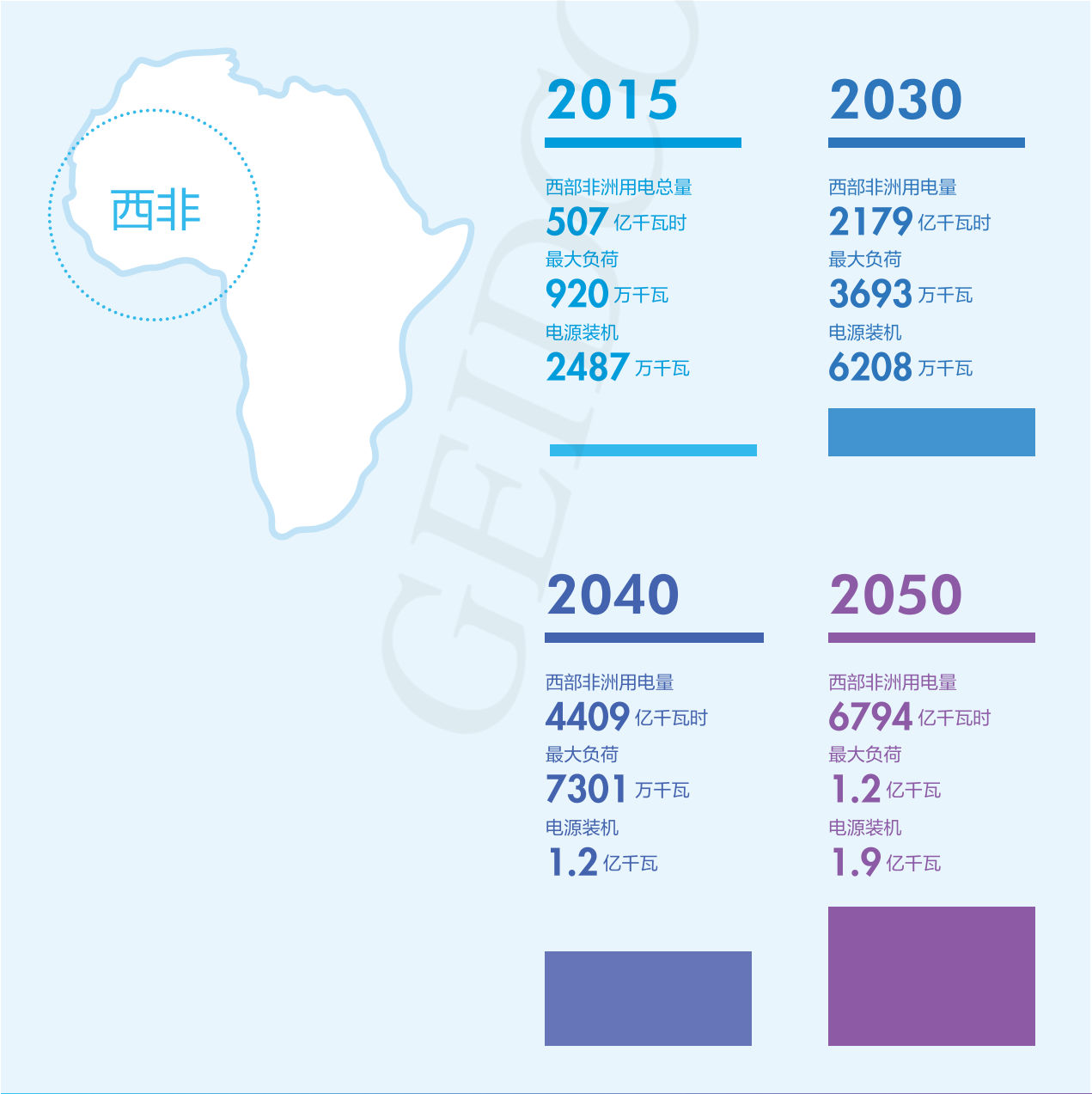
未来西部非洲将重点优先开发尼日尔河、塞内加尔河、冈比亚河、沃尔特河水电，逐步开发尼日尔、马里、毛里塔尼亚大型太阳能基地，通过电源与电网协调发展，夯实各国电力工业基础，扩大电网覆盖范围，大幅提升电力供应能力和安全可靠，减少无电人口，同时加速西非电网一体化进程，建成西非统一互联电网，支撑清洁能源基地电力的汇集输送和广域优化配置，并跨区受入中非水电，通过水、风、光互补互济，满足电力需求。

西部非洲总体呈现“北光南送、东西互济、多能互补”电力流格局。北部尼日尔、马里、毛里塔尼亚等太阳能基地送电几内亚、加纳等负荷中心；西部水电与东部火电互补调节，跨区接纳中非水电。

2030 年，西部非洲用电量 2179 亿千瓦时，最大负荷 3693 万千瓦，电源装机 6208 万千瓦。区内，基本形成西非统一的交流互联电网，形成横贯东西的单回 765 千伏主干交流输电通道，以加纳 - 科特迪瓦断面为界，建成东部 765/330 千伏电网和西部 765/225 千伏电网。东部依托尼日利亚蒙贝拉水电开发，形成“Y”字型 765 千伏网架，延伸连接贝宁、多哥和加纳，加强 330 千伏电网，覆盖主要负荷中心和电源基地；西部依托几内亚凯乐塔水电及周边水电群、桑巴卡鲁水电建设，建成几内亚 225 千伏双回主干网架，并向东西两端延伸，形成连接冈比亚、几内亚比绍、塞拉利昂、利比里亚境内主要水电和负荷中心的横“8”字型跨国互联网架，并向西连接塞内加尔，向东连接科特迪瓦。跨区，建设喀麦隆 - 尼日利亚 ± 660 千伏直流，受入中非萨纳加河水电 400 万千瓦；建设刚果（金） - 几内亚 ± 800 千伏直流工程，受入刚果河水电 800 万千瓦；建设尼日利亚努曼 - 喀麦隆加鲁阿单回 400 千伏交流线路，与中非实现电力互送互换。

2040 年，西部非洲用电量达到 4409 亿千瓦时，最大负荷 7301 万千瓦，电源装机 1.2 亿千瓦。区内，水电开发约 80%，加强 765 千伏交流输电通道，建成东部“两横四纵”330 千伏、西部“三横四纵”225 千伏网架结构，通过 330/225 千伏电网向南、北延伸，连接主要水电群和太阳能基地，北光南下、南水北上汇入 765 千伏输电通道，通过水光互补，支撑丰枯期东、西部电网间的大规模电力互济。跨区，建设刚果（金） - 尼日利亚 ± 800 千伏直流工程，受入刚果河水电 800 万千瓦；加强尼日利亚努曼 - 喀麦隆加鲁阿交流互联线路至 2 回。

2050 年，西部非洲用电量达到 6794 亿千瓦时，最大负荷 1.2 亿千瓦，电源装机 1.9 亿千瓦。水电开发比例达到 89%，基本开发完毕，加快开发尼日尔阿加德兹、马里卡伊和毛里塔尼亚罗索等太阳能基地，依托太阳能基地电力送出需求，西非 765 千伏电网进一步加强，向西延伸至塞内加尔萨卡勒，并在尼日利亚形成“三纵两横”765 千伏主网架，进一步加强东部 330 千伏、西部 225 千伏电网，提升丰枯期东西电力互济和跨区受电能力，实现西非交流互联电网。跨区，建设刚果（布）- 加纳 ±800 千伏直流，受入刚果河水电 800 万千瓦，为加纳和科特迪瓦供电；新增 1 回刚果（金）- 几内亚 ±800 千伏直流，受入刚果河马塔迪水电 800 万千瓦，满足几内亚远期电力需求。



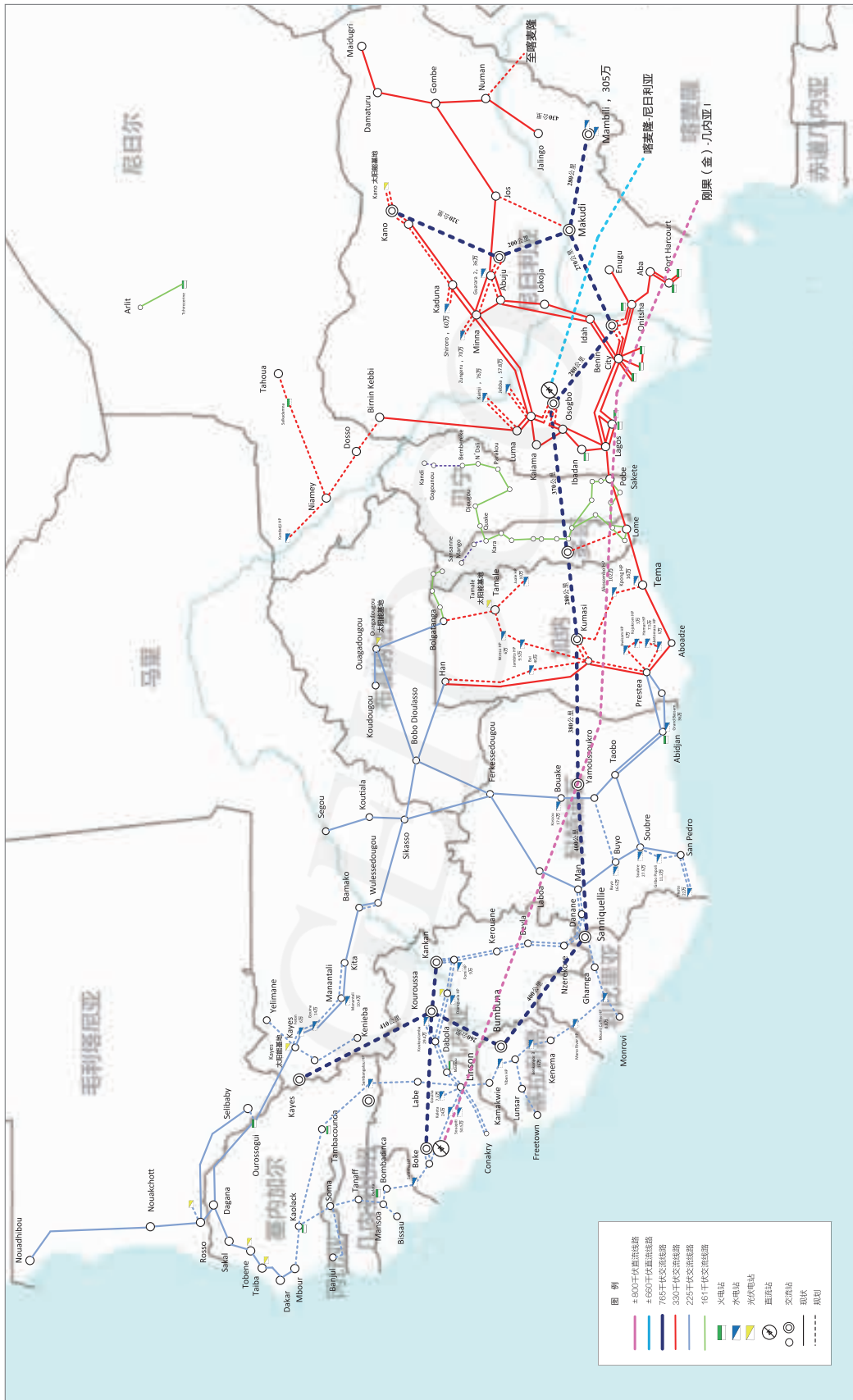


图 3.19 2030 年西部非洲电网互联规划图

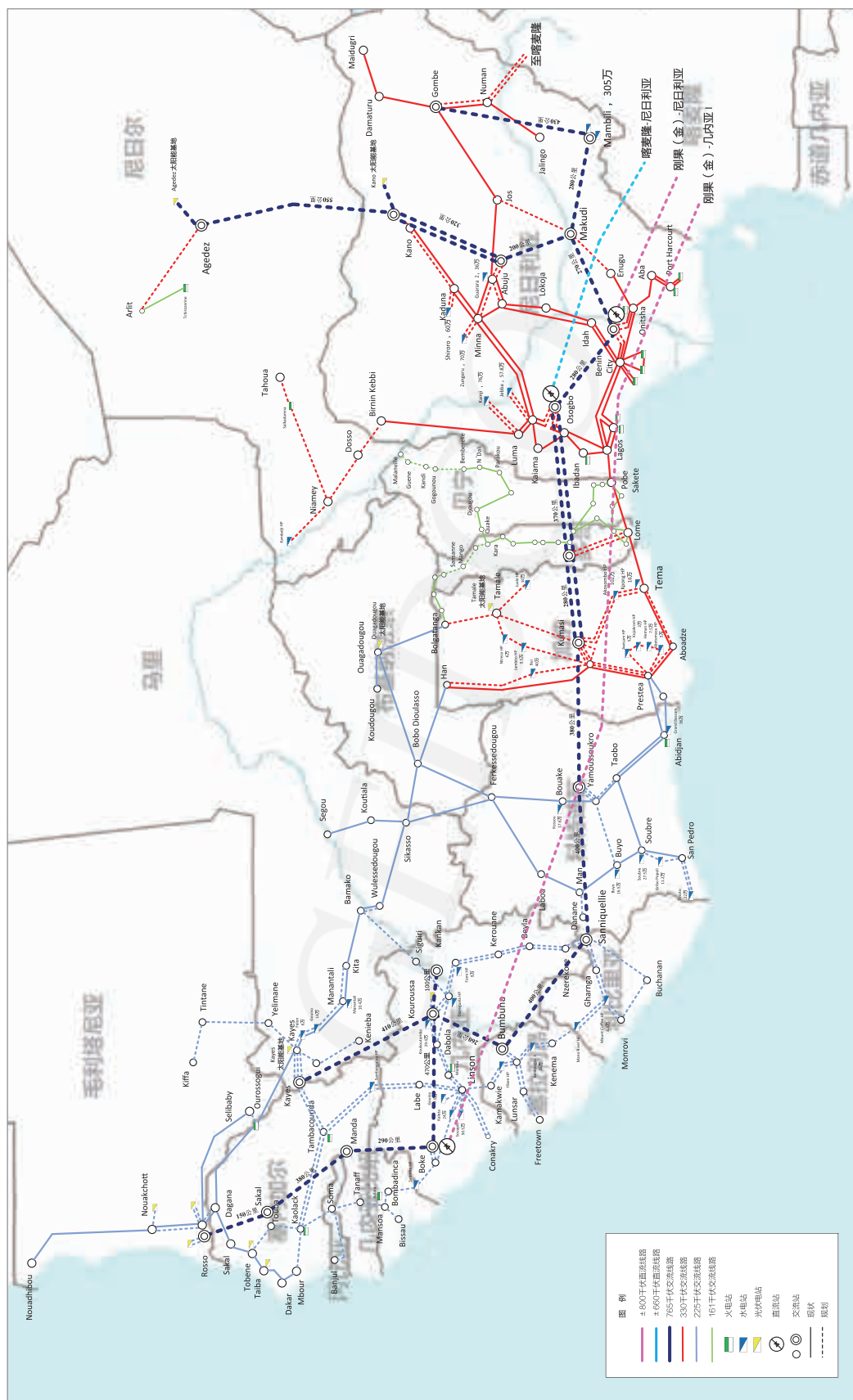


图 3.20 2040 年西部非洲电网互联规划图

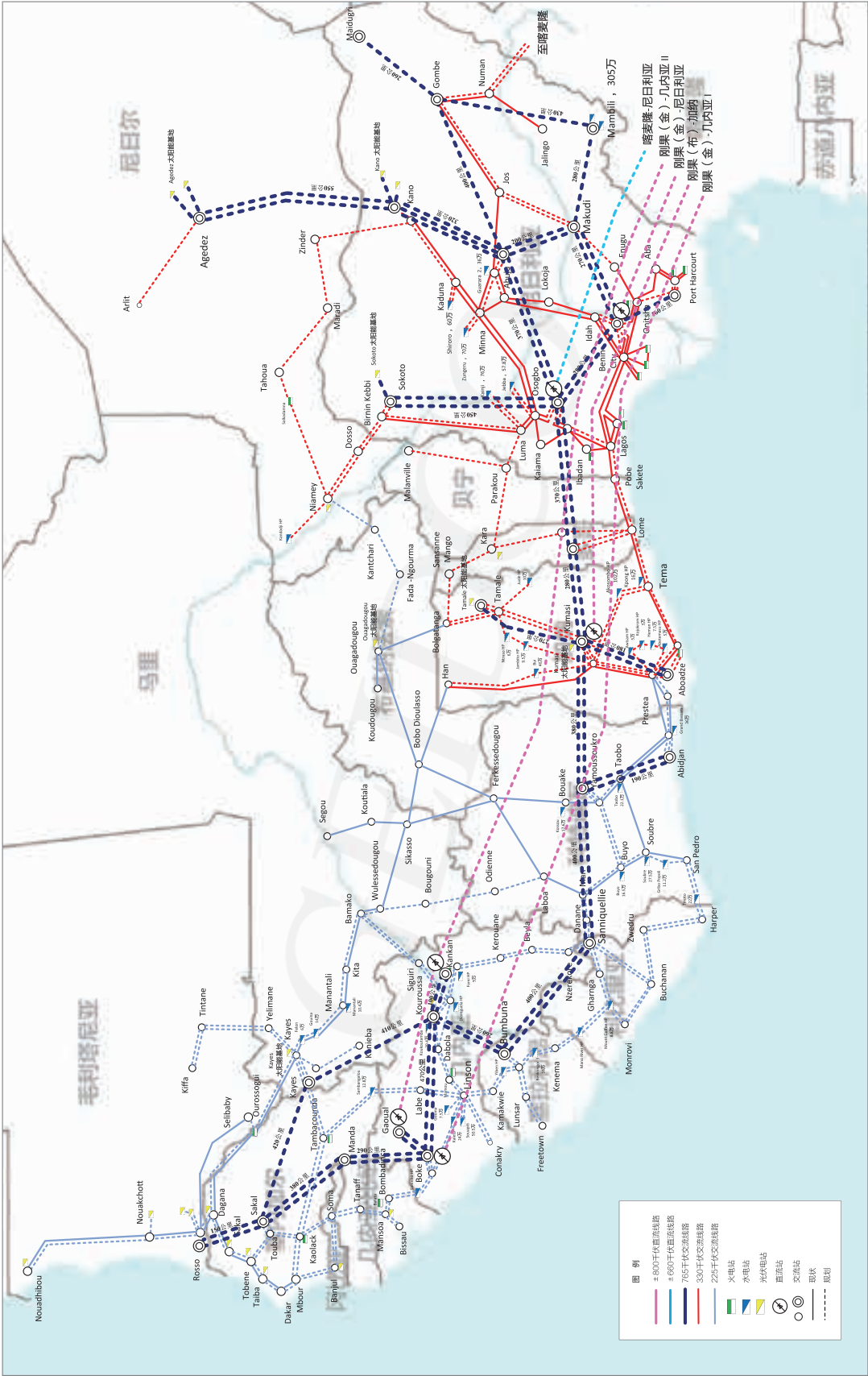


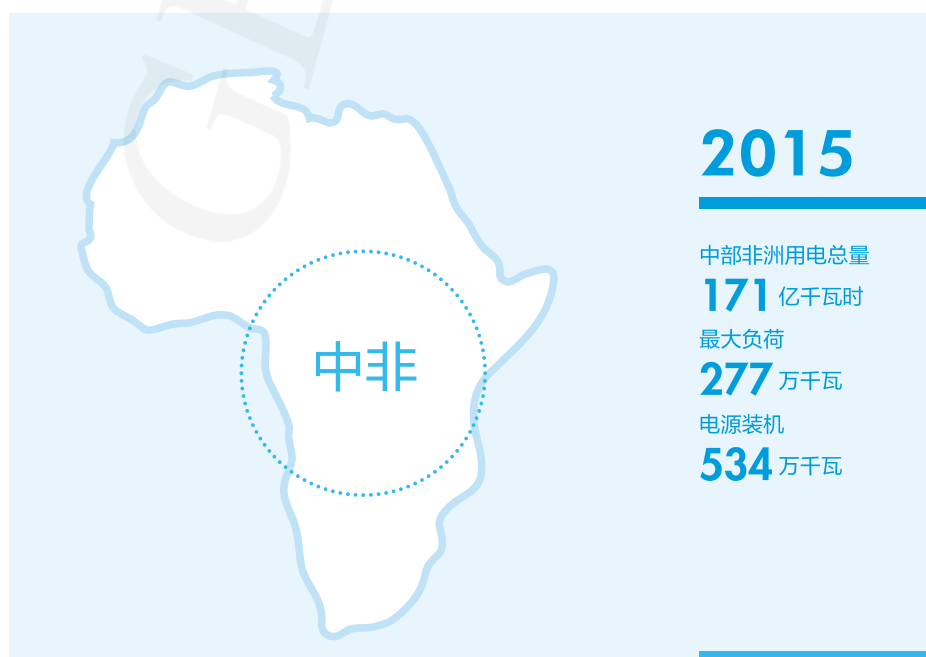
图 3.21 2050 年西部非洲电网互联规划图

3.3.3 中部非洲

2015 年，中部非洲用电总量 171 亿千瓦时，最大负荷 277 万千瓦，电源装机 534 万千瓦。刚果（金）和喀麦隆是整个区域主要的电力负荷中心，两国用电需求占比高达 80%。中非各国电网基础设施薄弱，电网设施老化严重，供电可靠性较差，各国均未实现全国联网。除加蓬电力可及率为 89.6% 外，其余国家尚存大量无电人口。跨国电网互联处于起步阶段，仅有刚果（布）- 刚果（金）1 回 220 千伏交流线路。中部非洲政治、社会环境趋于稳定，矿产、森林资源丰富，区位优势明显，人口红利突出且增长快速，经济发展潜力很大，将带动能源电力需求的高速增长。

未来中部非洲发展重点是提高电网覆盖率、促进跨国跨区互联。为满足刚果河、萨纳加河、奥果韦河水电基地开发和送出需要，建设联接清洁能源基地和区内负荷中心的主网架，提高电网覆盖面积和区域电力交换能力，同时跨区向西非、南非、东非、北非和欧洲送电，实现水电远距离、大规模配置，将清洁能源资源优势转化为经济优势。

2030 年，中部非洲用电总量达到 634 亿千瓦时，最大负荷 1007 万千瓦，电源装机 2900 万千瓦。区内，建设刚果（金）- 加蓬 - 喀麦隆 765 千伏纵向输电通道，并分别通过 400 千伏、225 千伏交流线路延伸至赤道几内亚、乍得和中非共和国，实现南北部水电丰枯互济，初步形成区域 765/400/225 千伏同步电网；为汇集喀麦隆和刚果（布）北部清洁水电，建设刚果（布）- 喀麦隆 400 千伏输电通道。



跨区，围绕英加3期水电消纳，建设刚果（金）- 刚果（布）、刚果（金）- 安哥拉400千伏交流输电线路；与西部非洲紧密互联，建设喀麦隆 - 尼日利亚 ±660千伏直流工程和刚果（金）- 几内亚 ±800千伏直流工程，将萨纳加河、刚果河水电送至西非，满足当地经济发展和矿业开发电力需求，建设喀麦隆 - 尼日利亚1回400千伏联网线路，形成中部、西部非洲765千伏交流同步电网。

2040年，中部非洲用电总量达到1305亿千瓦时，最大负荷2197万千瓦，电源装机4787万千瓦。区内，建设刚果（金）- 刚果（布）- 喀麦隆400千伏交流输电通道，形成东西两条纵向输电通道，加强各国交流骨干网架，基本覆盖区内水电基地和负荷中心。跨区，加强刚果（金）- 安哥拉400千伏输电通道，建设刚果（布）- 安哥拉400千伏输电通道，形成围绕大英加水电站的中非南部交流环网格局；加强与西部非洲电网互联，建设刚果（金）- 尼日利亚 ±800千伏直流工程，建设喀麦隆 - 尼日利亚第2回400千伏交流联网线路。

2050年，中部非洲用电总量达到2339亿千瓦时，最大负荷4112万千瓦，电源装机1.1亿千瓦。区内，765千伏纵向输电通道加强为2回，喀麦隆 - 乍得联网电压等级提升至400千伏。跨区，建设刚果（布）- 加纳 ±800千伏直流工程；建设刚果（金）- 南非 ±800千伏、刚果（金）- 几内亚 ±800千伏第2回直流工程；建设刚果（金）- 埃塞俄比亚 ±800千伏直流工程，依托刚果河水电电量效益，助力东非和北非实现电力互济；建设刚果（金）- 摩洛哥 ±1100千伏特高压直流工程，实现大英加水电与北非太阳能联合送电欧洲。

2030

中部非洲用电总量
634 亿千瓦时
最大负荷
1007 万千瓦
电源装机
2900 万千瓦

2040

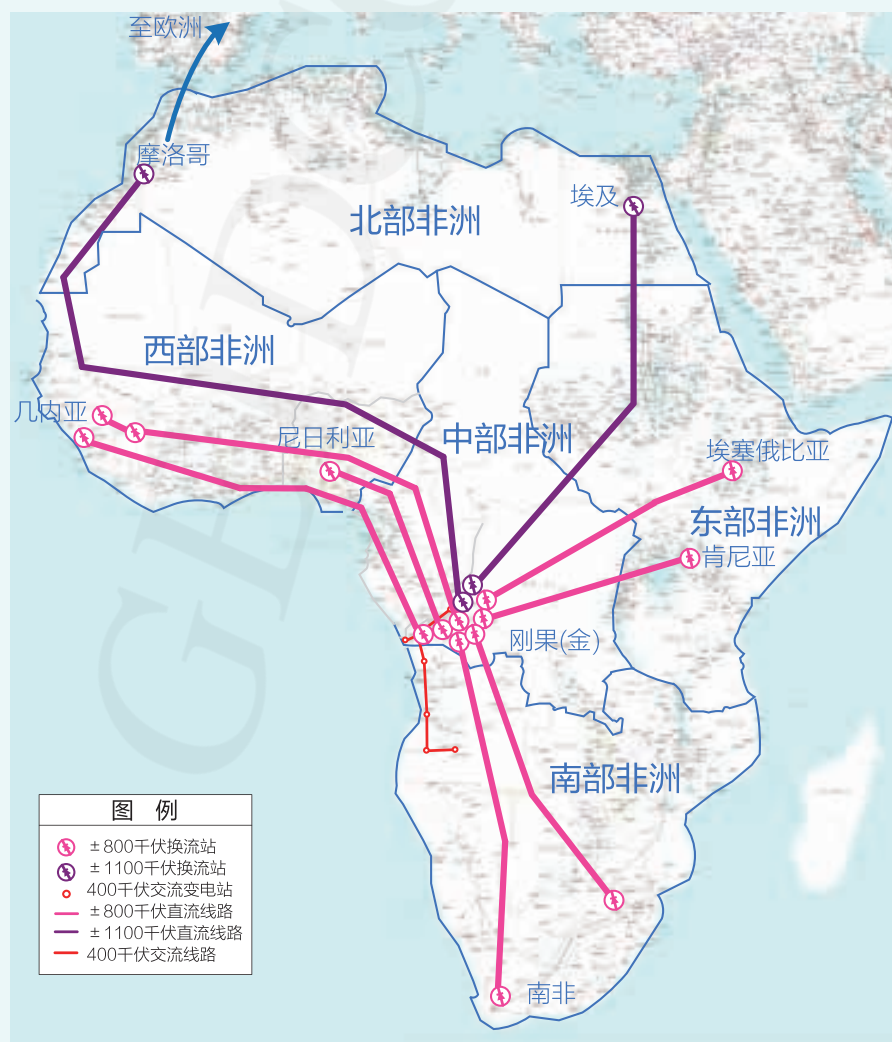
中部非洲用电总量
1305 亿千瓦时
最大负荷
2197 万千瓦
电源装机
4787 万千瓦

2050

中部非洲用电总量
2339 亿千瓦时
最大负荷
4112 万千瓦
电源装机
1.1 亿千瓦

刚果河下游水电外送规划方案

2050 年前，刚果（金）刚果河下游主要考虑开发大英加和马达迪电站，规划投产装机规模 6648 万千瓦，外送规模 5200 万千瓦。2060 年前，随着皮奥卡电站 3500 万千瓦装机的陆续投运，刚果河下游三级水电站总投产装机规模将超过 1 亿千瓦，外送规模可达到 7800 万千瓦。考虑输电距离和电网消纳条件，区内及相邻国家采用超高压交流输电方式，送电安哥拉等国；跨区远距离、大容量输电采用特高压直流方式，2050 年前送电几内亚、尼日利亚、南非和埃塞俄比亚，2060 年前考虑送电埃及、肯尼亚等国，满足区域和各国用电需要。



刚果河下游三级水电外送规划方案示意图



图 3.22 2030 年中部非洲电网互联规划图



图 3.23 2040 年中部非洲电网互联规划图



图 3.24 2050 年中部非洲电网互联规划图

3.3.4 东部非洲

2015 年，东部非洲用电总量 366 亿千瓦时，最大负荷 776 万千瓦，电源装机 1087 万千瓦。苏丹、埃塞俄比亚、肯尼亚和坦桑尼亚是区内电力大国，用电量和装机占比分别高达 88% 和 89%。东部非洲电网基础薄弱，是非洲无电人口比例最高的地区，总数高达 2.2 亿，城市和农村电力可及率差距大。跨国电力交换容量小，部分国家通过 245/132 千伏互联。东部非洲区位优势明显，人口增速快，各国高度重视工业化，是目前非洲经济发展最快的区域。

未来东部非洲发展重点是加强南北电网互联，提高电网覆盖率。为实现东非水能、太阳能、风能、地热能等多种清洁能源资源大规模开发和互补互济，建设联接北部尼罗河水电基地、苏丹太阳能基地、埃塞俄比亚风能基地和南部鲁菲吉河水电基地、肯尼亚地热能基地及区内负荷中心的骨干网架，提高电网覆盖面积和区内南北部电力交换能力。同时，跨区与南非互联，充分利用跨流域水能丰枯互补特性；与中非互联，受入刚果河水电；跨洲与西亚互联，将尼罗河水电送至西亚沙特。

2030 年，东部非洲用电量达到 1342 亿千瓦时，最大负荷 2567 万千瓦，电源装机 5552 万千瓦。区内，北部建设苏丹 - 埃塞俄比亚 500 千伏、埃塞俄比亚 - 厄立特里亚 220 千伏交流通道，加强埃塞俄比亚 - 吉布提 220 千伏交流线路，南部建设肯尼亚 - 乌干达、肯尼亚 - 坦桑尼亚 400 千伏交流联络线路，以埃塞俄比亚与肯尼亚为断面，形成南北两大区域电网络局；建设埃塞俄比亚 - 肯尼亚 765 千伏交流输电通道，与埃塞俄比亚 - 肯尼亚 ± 500 千伏直流工程一起实现北部尼罗河水电与南部东非大裂谷地热能互补。跨区，建设埃塞俄比亚 - 南非 ± 800 千伏直流工程，将尼罗河水电送至南非负荷中心；建设坦桑尼亚 - 赞比亚 1 回 400 千伏交流联网线路，初步形成东部、南部非洲 765/500/400 千伏交流同步电网。

2040 年，东部非洲用电量达到 2877 亿千瓦时，最大负荷 5308 万千瓦，电源装机 1.4 亿千瓦。区内，南北两大区域电网络局进一步加强，北部建设苏丹 - 埃塞俄比亚第 3 回 500 千伏交流线路；南部 765 千伏输电通道延伸至坦桑尼亚，400 千伏交流网架延伸至南苏丹、布隆迪；南北部之间，新增埃塞俄比亚 - 南苏丹 2 回 220 千伏输电通道。跨区，建设埃塞俄比亚 - 沙特 ± 660 千伏直流工程，实现东非与西亚电网互联；建设坦桑尼亚 - 赞比亚 400 千伏线路第 2 回，东部和南部非洲同步电网得到加强。

2050 年，东部非洲用电量达到 4571 亿千瓦时，最大负荷 8433 万千瓦，电源装机 1.8 亿千瓦。区内，北部苏丹 - 埃塞俄比亚 500 千伏输电通道加强为 4 回，南部形成环维多利亚湖 400 千伏环网格局，765 千伏输电通道延伸至乌干达，新增 1 回乌干达 - 南苏丹线路；南北部之间，埃塞俄比亚 - 肯尼亚 765 千伏交流输电通道加强为双回，南北电力互济能力显著提升。跨区，建设刚果（金）- 埃塞俄比亚 ±800 千伏直流工程，建设埃塞俄比亚 - 埃及 ±800 千伏直流工程，实现东非与中非、北非联网。

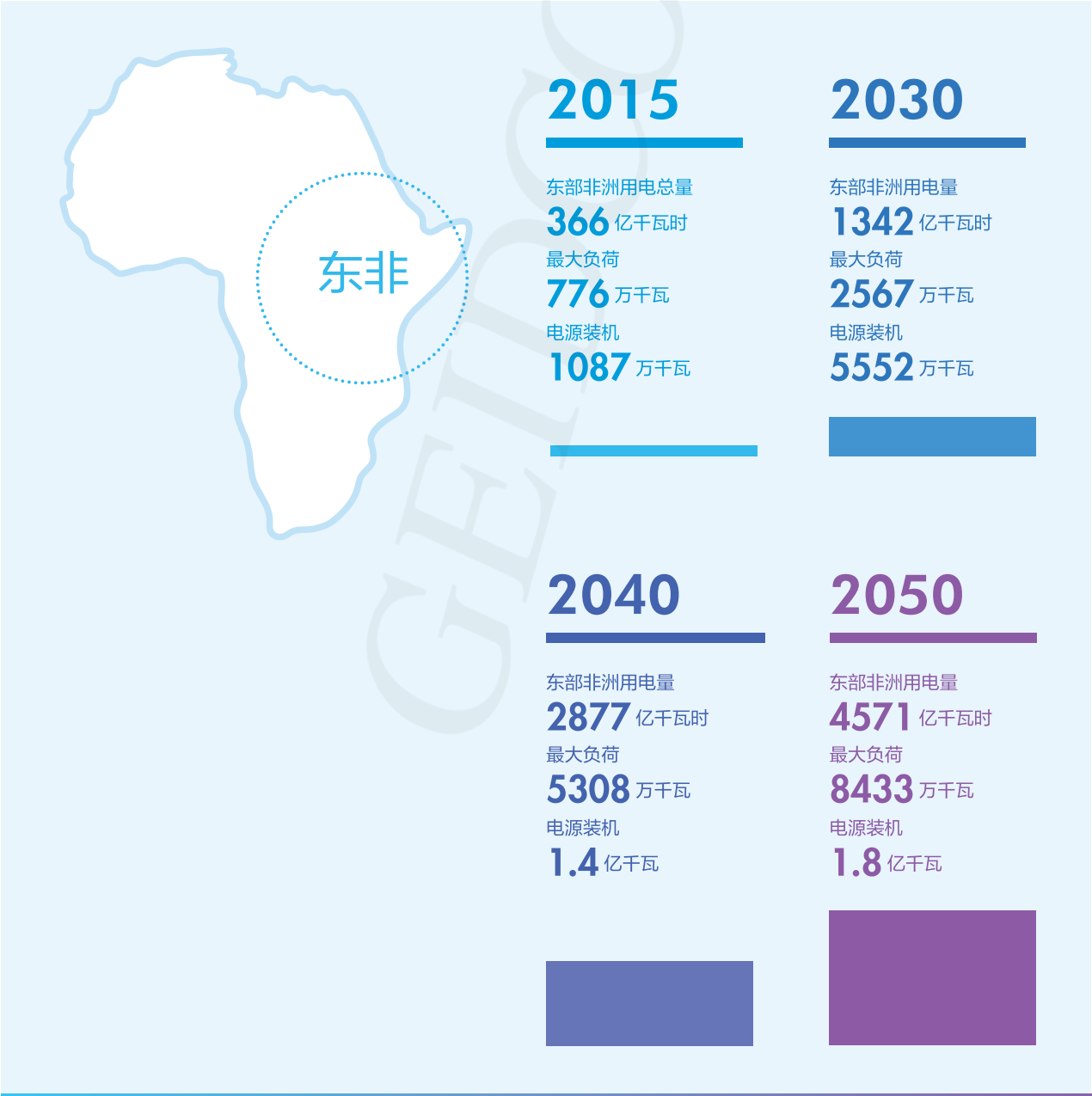




图 3.25 2030 年东部非洲电网互联规划图

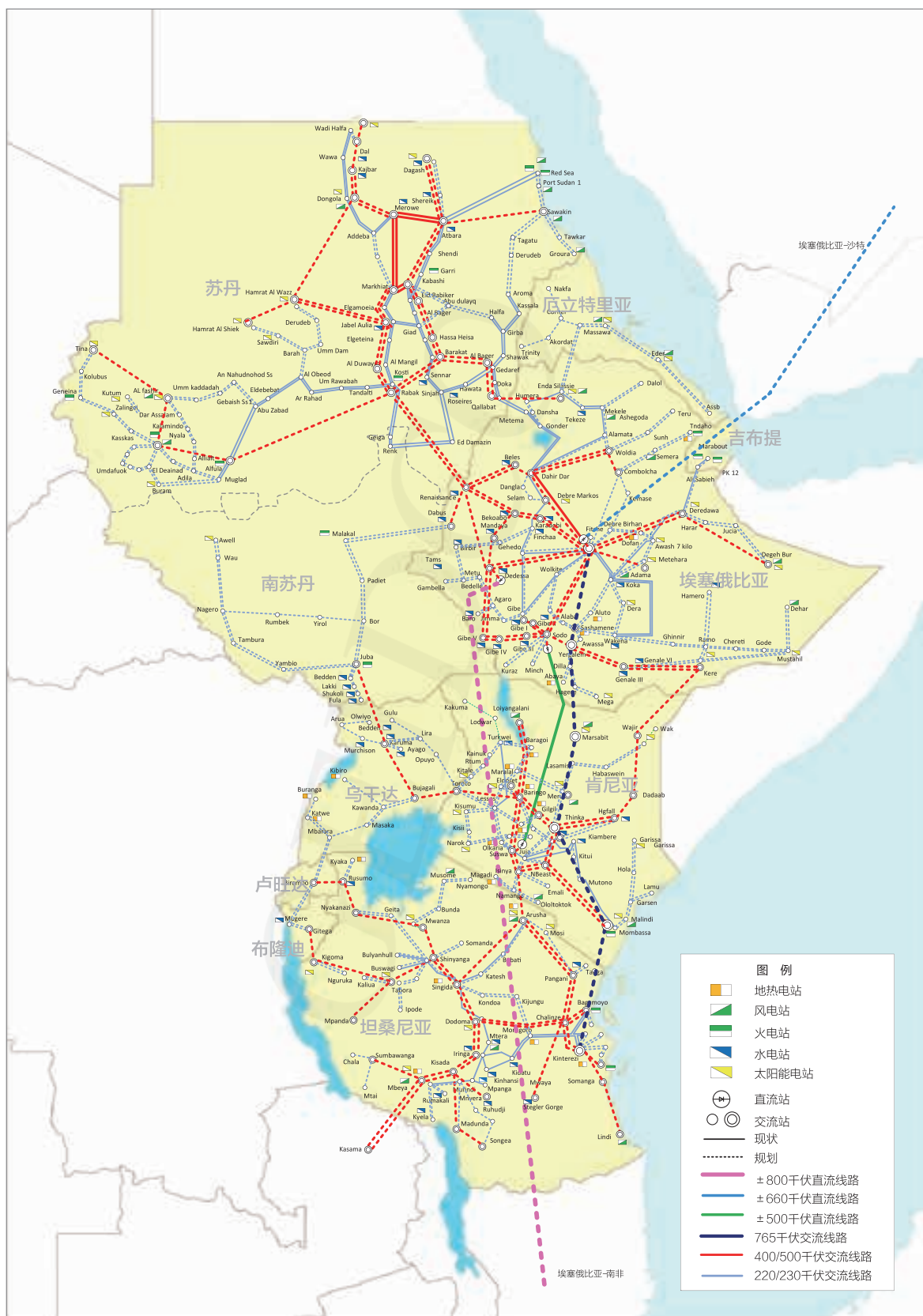


图 3.26 2040 年东部非洲电网互联规划图

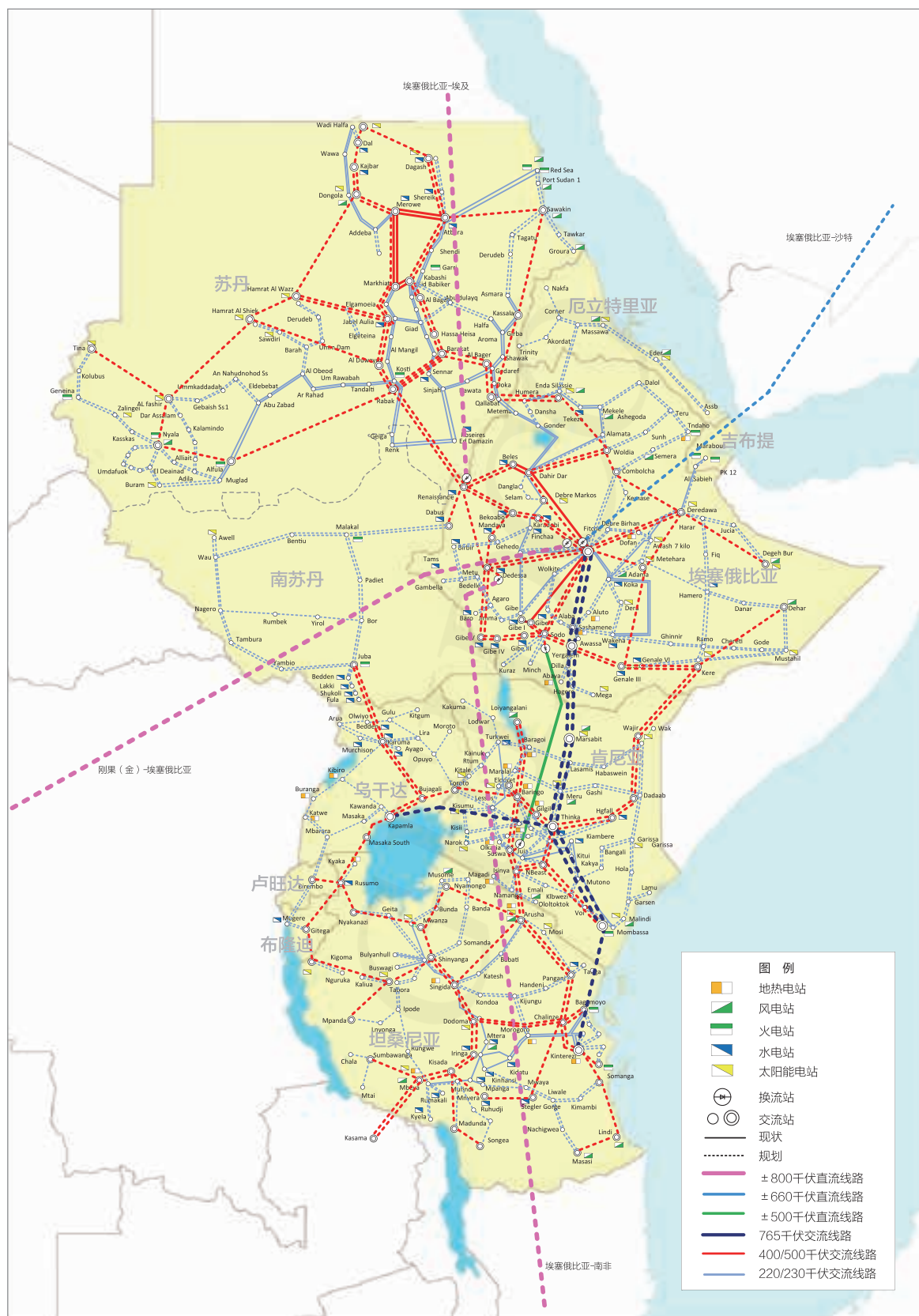


图 3.27 2050 年东部非洲电网互联规划图

3.3.5 南部非洲

2015 年，南部非洲用电总量 2500 亿千瓦时，最大负荷 4839 万千瓦，电源装机 5799 万千瓦。南部非洲电网发展非常不均衡，南非是整个区域最发达的国家，用电需求占比高达 80%。除南非外，其余国家电力基础设施薄弱，电力可及率低。除安哥拉、马拉维外，其余各国已实现 132~400 千伏交流联网。南部非洲矿产资源丰富，且煤炭、石油、天然气等化石能源储量大，人口增长快，经济发展潜力大，将带动能源电力需求的快速增长。

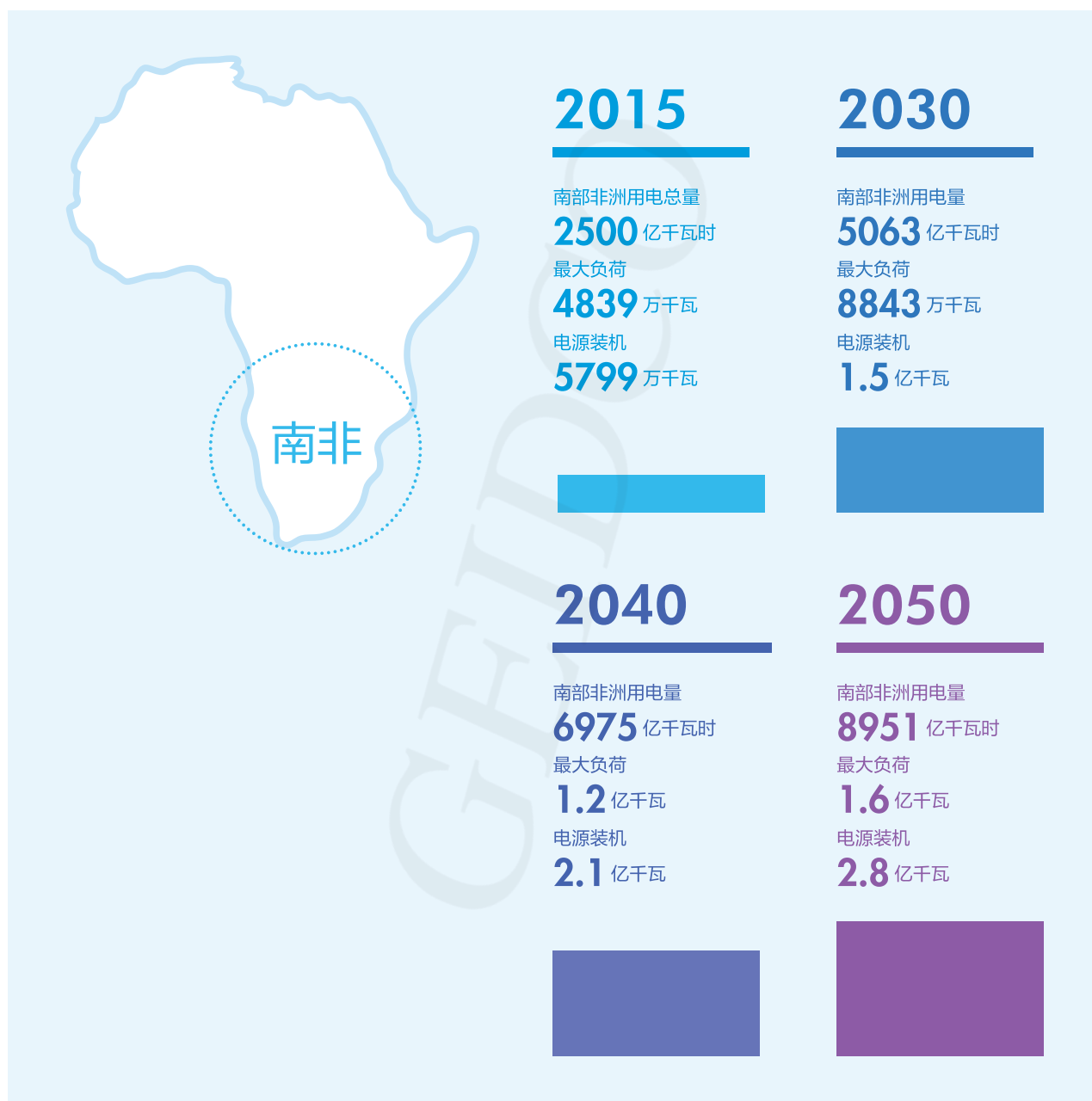
综合考虑南部非洲资源禀赋和电力需求分布，电力流总体呈现区外尼罗河、刚果河水电，区内莫桑比克风电，赞比西河水电，博茨瓦纳、纳米比亚太阳能和南部沿海风电向南非负荷中心送电格局。未来发展重点是加强电网互联，满足大型清洁能源电力大范围优化配置需要，建设联接区域清洁能源基地和负荷中心的主网架，提升区域电力交换能力和供电可靠性，扩大联网范围、提高区域总体电力可及率；跨区与东非、中非水电等清洁电力互补互济，实现多能互补、高效利用，满足南部非洲持续增长的电力需求。

2030 年，南部非洲用电量达到 5063 亿千瓦时，最大负荷 8843 万千瓦，电源装机 1.5 亿千瓦。区内，建设纳米比亚-南非 765 千伏交流、赞比亚-津巴布韦-博茨瓦纳-南非 400 千伏交流纵向输电通道，实现纳米比亚太阳能电力、赞比西河水电和博茨瓦纳太阳能电力送入南非，形成南部非洲 400/765 千伏交流同步电网。跨区，加强与东非联网，建设埃塞俄比亚-南非 ± 800 千伏直流工程，将尼罗河水电送至南非负荷中心；建设刚果（金）-安哥拉 1 回 400 千伏交流联网线路，接纳刚果河水电；建设坦桑尼亚-赞比亚 1 回 400 千伏交流联网线路，形成东部、南部非洲 400 千伏交流同步电网。

2040 年，南部非洲用电量达到 6975 亿千瓦时，最大负荷 1.2 亿千瓦，电源装机 2.1 亿千瓦。区内，纳米比亚、莫桑比克与南非 765 千伏联网通道加强为 2 回，津巴布韦、博茨瓦纳与南非 400 千伏联网进一步增强，南非 765 千伏主网架向西南沿海港口等负荷中心延伸，南部非洲区域形成 765/400 千伏双环网结构，跨国电力交换能力和供电可靠性大幅提升。跨区，建设刚果（金）-安哥拉、坦桑尼亚-赞比亚第 2 回 400 千伏交流联网线路，增强南部非洲与中非、东非电力交换能力。

2050 年，南部非洲用电量达到 8951 亿千瓦时，最大负荷 1.6 亿千瓦，电源装机 2.8 亿千瓦。区内，实现博茨瓦纳-纳米比亚联网电压等级提升至 400 千伏，

进一步加强 765/400 千伏主网架，全面覆盖大型清洁能源基地和主要负荷中心。跨区，进一步加强与中非联网，建设刚果（金）- 南非 ± 800 千伏直流工程，将刚果河水电送至南非负荷中心。



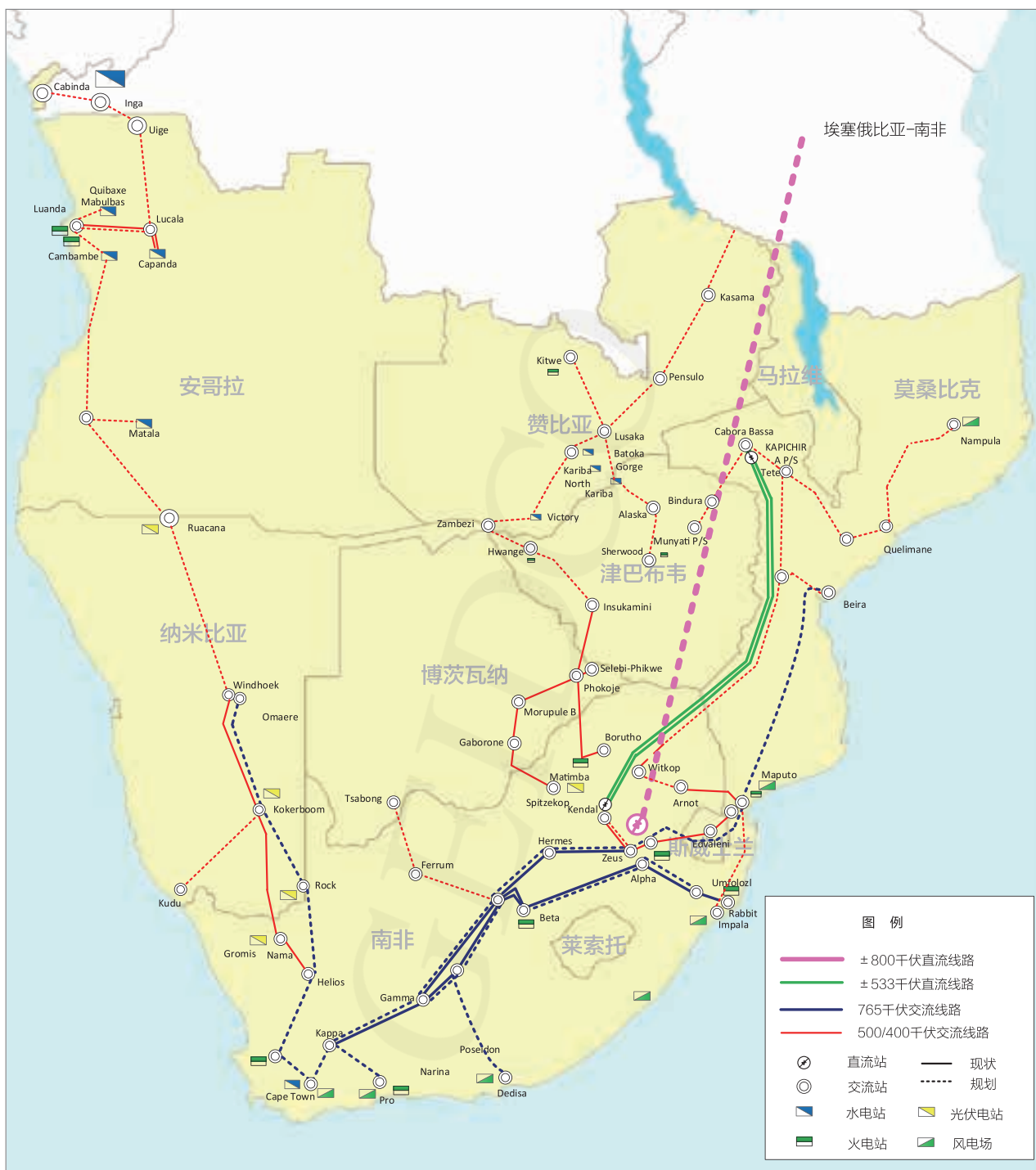


图 3.28 2030 年南部非洲电网互联规划图

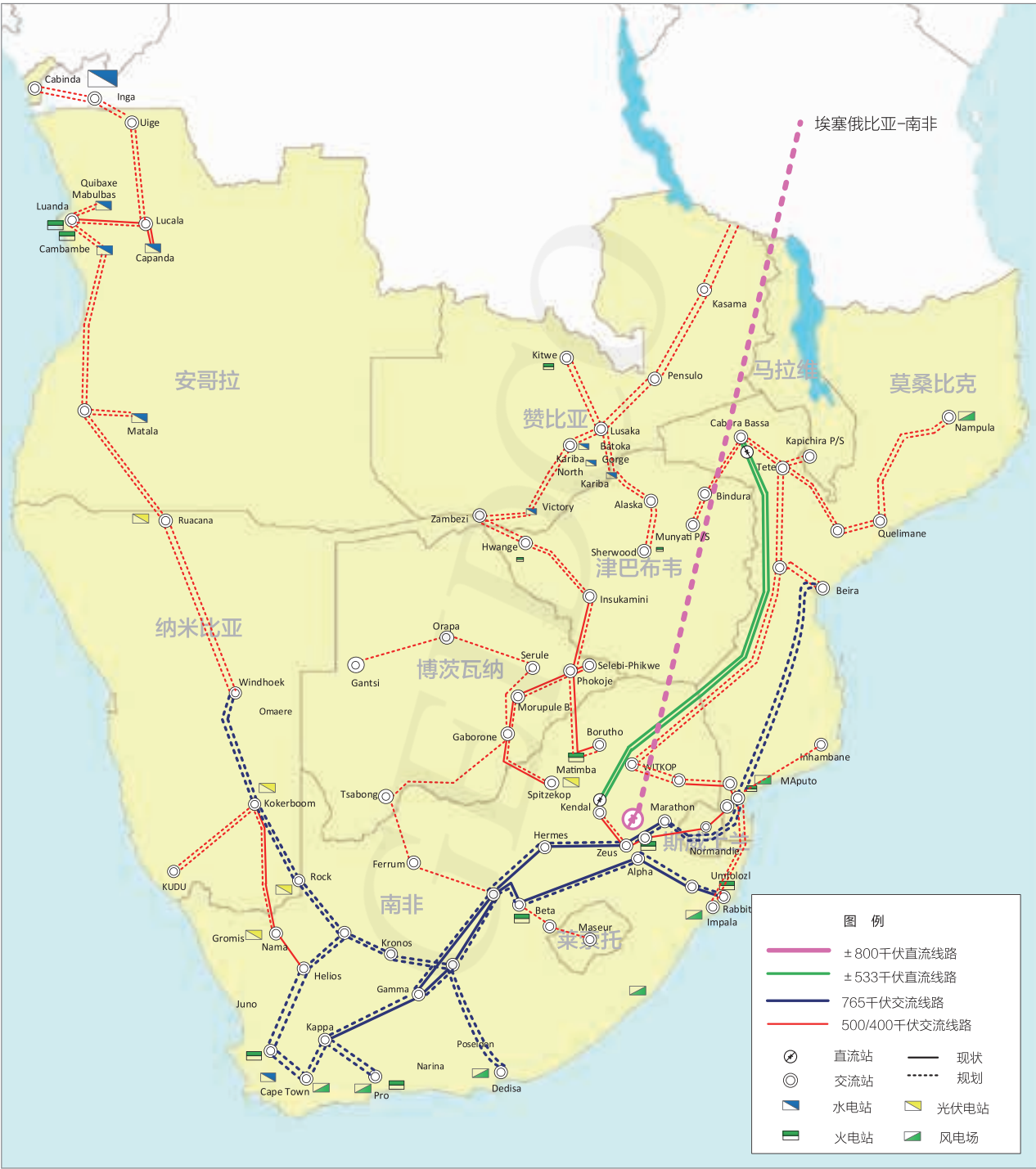


图 3.29 2040 年南部非洲电网互联规划图



图 3.30 2050 年南部非洲电网互联规划图

3.4

分阶段实施方案与投资估算

3.4.1 分阶段实施方案

到 2030 年，非洲能源互联网形成雏形，东部与南部、西部与中部同步互联，北部跨洲与亚欧实现联网。在各国及区域电网不断加强的基础上，**洲内**：建设刚果（金）- 几内亚、埃塞俄比亚 - 南非和喀麦隆 - 尼日利亚直流工程，分别将刚果河大英加、萨纳加河和尼罗河水电送至西非、南非负荷中心。**跨洲**：建设摩洛哥 - 葡萄牙、突尼斯 - 意大利直流工程，将北非太阳能送电欧洲，实现非欧联网；建设沙特 - 埃及直流工程，实现亚非互联。

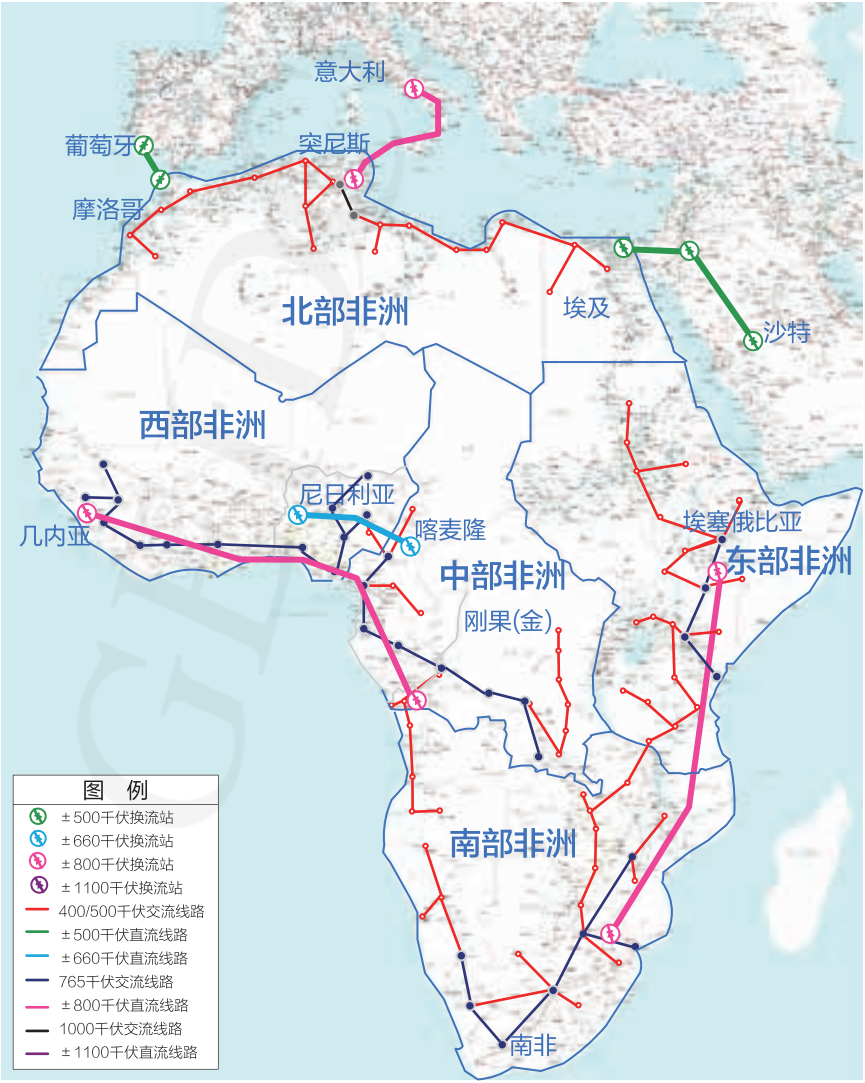


图 3.31 2030 年非洲电网互联示意图

到 2040 年，非洲总体形成“一横两纵”骨干网架，进一步加强跨洲联网通道。

洲内：建设刚果（金）－尼日利亚直流工程，加大刚果河水电外送规模；建设北非 1000 千伏交流输电通道，贯穿北非五国，联接大型太阳能基地和负荷中心，向东联接西亚电网，实现北非与西亚电力互补互济。

跨洲：建设埃及－希腊－意大利三端直流工程、阿尔及利亚－法国直流工程，进一步扩大北非太阳能送电欧洲规模；建设沙特－埃及、埃塞俄比亚－沙特直流工程，北非、东非与西亚电网互联进一步加强。

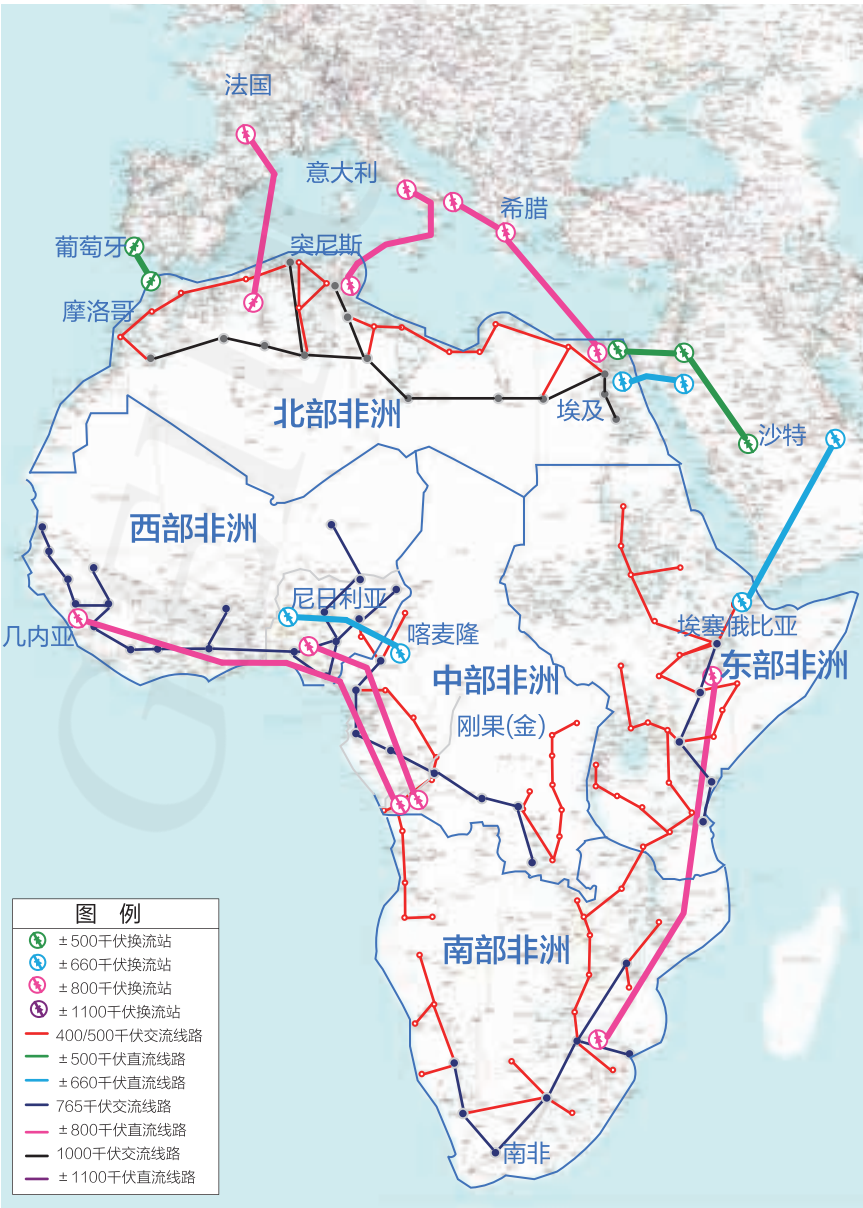


图 3.32 2040 年非洲电网互联示意图

到 2050 年，非洲基本建成坚强能源互联网，形成“两横两纵”骨干网架，跨洲亚欧非联网规模不断扩大。洲内：进一步加强北非 1000 千伏交流输电通道及其他区域 765/400 千伏交流主网架，北部、中部和西部、东部和南部 3 个同步电网形成坚强骨干网架，同步电网间直流联网不断加强，建设刚果（金）- 南非、刚果（布）- 加纳，刚果（金）- 几内亚第 2 回、刚果（金）- 摩洛哥、刚果（金）- 埃塞俄比亚和埃塞俄比亚 - 埃及等直流工程，刚果河水电送出规模进一步加大，东非水电与北非太阳能实现互补运行。跨洲：建设摩洛哥 - 西班牙、阿尔及利亚 - 法国 - 德国直流工程，将刚果河水电与北非太阳能联合调节后送电欧洲大陆负荷中心。

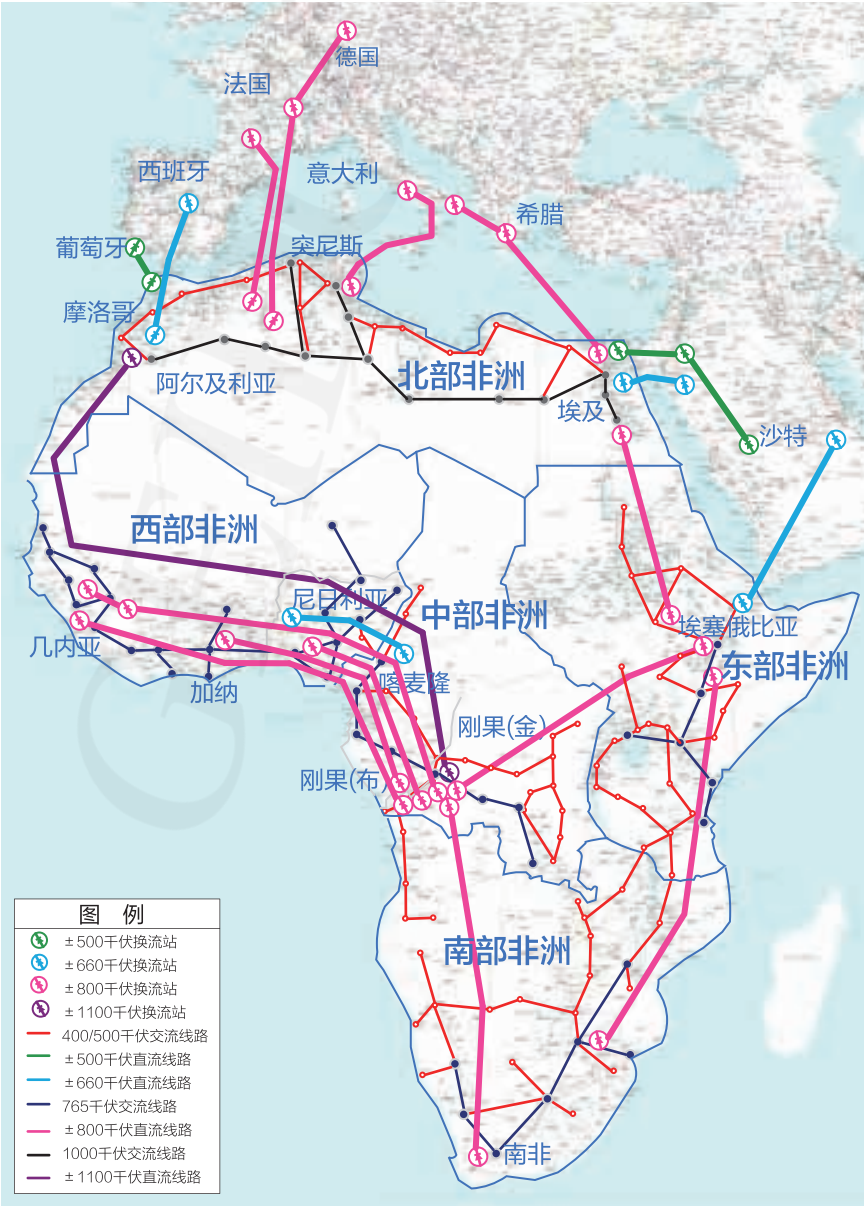


图 3.33 2050 年非洲电网互联示意图



投资估算
原则

3.4.2 投资估算

非洲能源互联网投资包括电源投资和电网投资两部分。电源投资根据电源各水平年单位投资成本和投产容量进行测算，电网投资根据各电压等级电网投资造价进行估算。

根据各类电源技术发展趋势，结合国际能源署、国际可再生能源署、彭博新能源财经等国际能源机构相关研究成果，经测算，预计到 2050 年太阳能、风电单位投资成本较 2015 年分别降低 70% 和 50%，光伏单位投资成本降至 550 美元 / 千瓦，光热降至 2000 美元 / 千瓦，陆上风电降至 800 美元 / 千瓦，海上风电降至 2500 美元 / 千瓦。

电网投资方面，特高压电网主要参考中国同类工程造价进行测算，结合非洲及周边国家类似工程造价情况，进行适当调整。220/400/500/765 千伏电网投资根据区域内类似工程进行估算，400/500/765 千伏电压等级以下电网按照与 400/500/765 千伏电网 1：5 的投资比例考虑。

表 3.10 各电压等级电网投资测算参数

单位：美元 / 千伏安（千瓦）、万美元 / 公里

工程类别	变电站 / 换流站	线路	海底电缆
1000 千伏交流	67	83	/
765 千伏交流	41	53	/
500 千伏交流	39	34	/
400 千伏交流	33	22	/
± 500 千伏直流	118	38	250
± 660 千伏直流	119	52	300
± 800 千伏直流	126	90	700
± 1100 千伏直流	108	111	/



投资估算

到 2050 年，非洲能源互联网总投资 2.9 万亿美元，其中电源投资 1.58 万亿美元，占比 54%，其中清洁能源投资 1.38 万亿美元，占比 86.9%；电网投资 1.32 万亿美元，占比 46%。各区域能源互联网投资规模如图 3.34 所示。

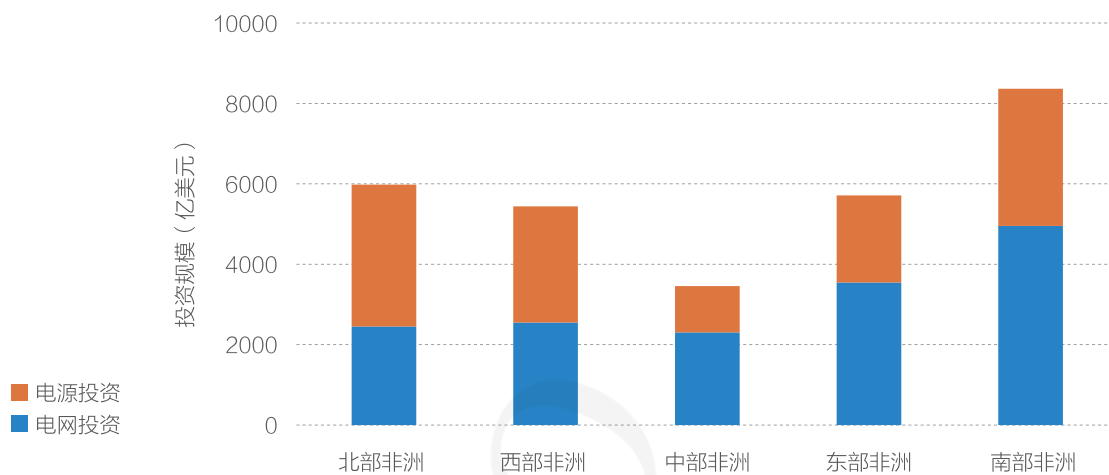


图 3.34 2018 ~ 2050 年非洲各区域能源互联网投资规模



重点互联 互通工程 4



4.1
电源工程

大英加水电项目，位于刚果（金）刚果河，总装机 5048 万千瓦，其中 1、2 期
已建成，装机容量分别为 35 万千瓦、143 万千瓦；3~8 期总装机 4870 万千
瓦，年发电利用小时数达 7000 小时以上。

大英加水电项目
总装机容量 **5048** 万千瓦



图 4.1 大英加水电站总布置图

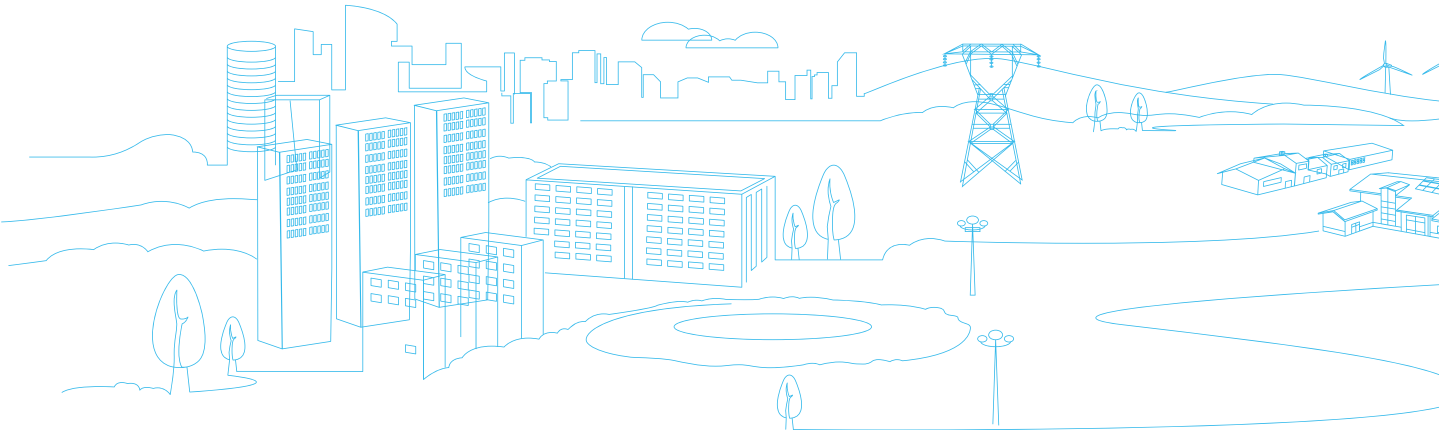


表 4.1 大英加水电项目

单位：万千瓦、小时

项目	装机容量	多年平均利用小时数
1、2 期	178	>7000
3~6 期	4420	>7000
7 期（斯基拉水电站）	180	>7000
8 期（生态电站）	270	>7000
合计	5048	>7000

2030 年前，大英加水电投产装机 1283 万千瓦，新增装机 1105 万千瓦，刚果（金）自用 283 万千瓦，中非区内外送 100 万千瓦。跨区外送 900 万千瓦，向几内亚送电 800 万千瓦，向安哥拉送电 100 万千瓦，满足安哥拉北部电力需求。

2040 年前，大英加水电投产装机 2908 万千瓦，新增装机 1625 万千瓦，刚果（金）自用 780 万千瓦，中非区内外送 328 万千瓦。跨区外送 1800 万千瓦，新增向尼日利亚送电 800 万千瓦，向安哥拉输电能力提升至 200 万千瓦。

2050 年前，大英加水电装机 5048 万千瓦全部投产，刚果（金）自用 848 万千瓦，中非区内外送规模进一步增加到 600 万千瓦；跨区外送容量达到 3600 万千瓦，新增送电摩洛哥 1000 万千瓦、送电南非 800 万千瓦。

马塔迪水电项目，位于刚果（金）刚果河，装机容量 1600 万千瓦，规划 2050 年前建成。

林卓洛水电项目，位于刚果（布）刚果河，装机容量 300 万千瓦，规划 2050 年前建成。

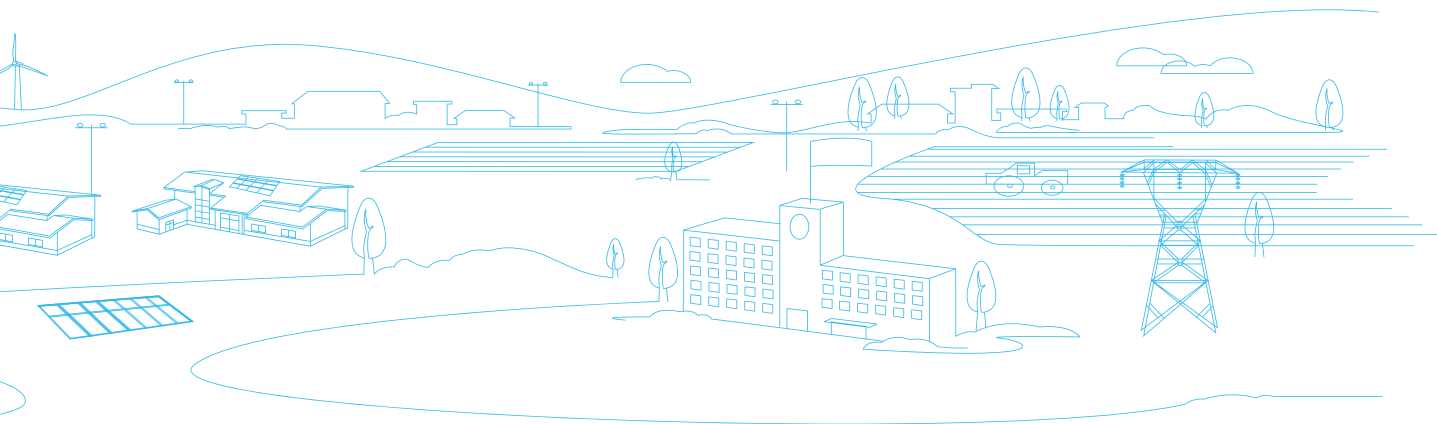




图 4.2 复兴大坝站址图

复兴大坝水电项目
总装机容量 **645** 万千瓦

复兴大坝水电项目，位于埃塞俄比亚尼罗河，装机容量 645 万千瓦，规划 2025 年前建成。

吉贝四期水电项目，位于埃塞俄比亚尼罗河，装机容量 147 万千瓦，规划 2030 年前建成。

塔姆斯水电项目，位于埃塞俄比亚尼罗河，装机容量 100 万千瓦，规划 2030 年前建成。

曼达亚上游水电项目，位于埃塞俄比亚尼罗河，装机容量 170 万千瓦，规划 2040 年前建成。

巴托克峡水电项目，位于赞比亚赞比西河，装机容量 160 万千瓦，规划 2030 年前建成。

姆潘达恩库瓦水电项目，位于莫桑比克赞比西河，装机容量 240 万千瓦，规划 2040 年前建成。

格朗埃温水电项目，位于喀麦隆萨纳加河，装机容量 180 万千瓦，规划 2030 年前建成。

4.2 电网工程

4.2.1 跨区重点工程

(1) 喀麦隆－尼日利亚 ± 660 千伏直流工程

工程定位于汇集喀麦隆萨纳加河和刚果（布）北部清洁水电，通过直流输送至尼日利亚奥绍博消纳。拟采用 ± 660 千伏直流，输送容量 400 万千瓦，线路长度约 1100 公里，规划 2030 年前建成。

经初步测算，工程总投资 15 亿美元，其中线路投资 5 亿美元，变电投资 10 亿美元，工程利用小时数按 5000 小时，输电价约为 1.06 美分 / 千瓦时。



图 4.3 喀麦隆－尼日利亚 ± 660 千伏直流工程示意图

(2) 刚果（金）－几内亚 ± 800 千伏直流 I 期工程

工程定位于将刚果河大英加水电送至几内亚博凯。拟采用 ± 800 千伏直流，输送容量 800 万千瓦，线路长度约 4000 公里，规划 2030 年前建成。

经初步测算，工程总投资 56 亿美元，其中线路投资 36 亿美元，变电投资 20 亿美元，工程利用小时数按 7000 小时，输电价约为 1.53 美分 / 千瓦时。



图 4.4 刚果（金）－几内亚 ± 800 千伏直流工程 I 期示意图

(3) 刚果（金）- 尼日利亚 ± 800 千伏直流工程

工程定位于将刚果河大英加水电送至尼日利亚消纳。拟采用 ± 800 千伏直流，输送容量 800 万千瓦，线路长度约 2000 公里，规划 2040 年前建成。

经初步测算，工程总投资 38 亿美元，其中线路投资 18 亿美元，变电投资 20 亿美元，工程利用小时数按 7000 小时，输电价约为 0.98 美分 / 千瓦时。



图 4.5 刚果（金）- 尼日利亚 ± 800 千伏直流工程示意图



(4) 刚果（金）- 南非 ± 800 千伏直流工程

工程定位于将刚果河大英加水电送至南非开普敦消纳。拟采用 ± 800 千伏直流，输送容量 800 万千瓦，线路长度约 3800 公里，规划 2050 年前建成。

经初步测算，工程总投资 54 亿美元，其中线路投资 34 亿美元，变电投资 20 亿美元，工程利用小时数按 7000 小时，输电价约为 1.47 美分 / 千瓦时。

图 4.6 刚果（金）- 南非 ± 800 千伏直流工程示意图

(5) 刚果（金）- 摩洛哥 ± 1100 千伏直流工程

工程定位于输送刚果河大英加水电输送至摩洛哥，本地消纳 200 万千瓦，剩余 800 万千瓦与北非太阳能电力打捆后通过摩洛哥 - 西班牙直流、阿尔及利亚 - 法国 - 德国直流外送至欧洲负荷中心。拟采用 ± 1100 千伏直流，输送容量 1000 万千瓦，线路长度约 6500 公里，规划 2050 年前建成。



图 4.7 刚果（金）- 摩洛哥 ± 1100 千伏直流工程示意图

经初步测算，工程总投资 94 亿美元，其中线路投资 72 亿美元，变电投资 22 亿美元，工程利用小时数按 7000 小时，输电价约为 1.92 美分 / 千瓦时。

(6) 刚果（金）- 埃塞俄比亚 ± 800 千伏直流工程

工程定位于将刚果河水电送至埃塞俄比亚消纳，满足东非远期电力需求。拟采用 ± 800 千伏直流，输送容量 800 万千瓦，线路长度约 4000 公里，规划 2050 年前建成。

经初步测算，工程总投资 56 亿美元，其中线路投资 36 亿美元，变电投资 20 亿美元，工程利用小时数按 7000 小时，输电价约为 1.48 美分 / 千瓦时。



图 4.8 刚果（金）- 埃塞俄比亚 ± 800 千伏直流工程示意图

(7) 刚果(金)－几内亚 ±800 千伏直流 II 期工程

工程定位于将刚果河马塔迪水电送至几内亚康康和加瓦尔消纳。拟采用 ±800 千伏直流，输送容量 800 万千瓦，线路长度约 4100 公里，规划 2050 年前建成。

经初步测算，工程总投资 67 亿美元，其中线路投资 37 亿美元，变电投资 30 亿美元，工程利用小时数按 7000 小时，输电价约为 1.82 美分 / 千瓦时。



图 4.9 刚果(金)－几内亚 ±800 千伏直流 II 期工程示意图

(8) 刚果(布)－加纳 ±800 千伏直流工程

工程定位于刚果(布)中南部水电送至加纳库马西，为加纳和科特迪瓦供电。拟采用 ±800 千伏直流，输送容量 800 万千瓦，线路长度约 2800 公里，规划 2050 年前建成。



图 4.10 刚果(布)－加纳 ±800 千伏直流工程示意图

经初步测算，工程总投资 45 亿美元，其中线路投资 25 亿元，变电投资 20 亿美元，工程利用小时数按 6000 小时，输电价约为 1.41 美分 / 千瓦时。



(9) 埃塞俄比亚 – 南非 ± 800 千伏直流工程

工程定位于实现东非尼罗河水电与南非赞比西河水电丰枯互济。拟采用 ± 800 千伏直流，输送容量 800 万千瓦，线路长度约 2800 公里，规划 2030 年前建成，初期输送 400 万千瓦，到 2040 年满送 800 万千瓦。

经初步测算，工程总投资 45 亿美元，其中线路投资 25 亿元，变电投资 20 亿美元，工程利用小时数按 5000 小时，输电价约为 1.66 美分 / 千瓦时。

图 4.11
埃塞俄比亚 – 南非 ± 800 千伏直流工程示意图

(10) 埃塞俄比亚 – 埃及 ± 800 千伏直流工程

工程定位于实现埃塞俄比亚水电与埃及太阳能电力互补运行。拟采用 ± 800 千伏直流，输送容量 800 万千瓦，线路长度约 1900 公里，规划 2050 年前建成。

经初步测算，工程总投资 37 亿美元，其中线路投资 17 亿美元，变电投资 20 亿美元，工程利用小时数按 5000 小时，输电价约为 1.34 美分 / 千瓦时。



图 4.12 埃塞俄比亚 – 埃及 ± 800 千伏直流工程示意图

4.2.2 跨国重点工程

(1) 北部非洲 1000 千伏交流输电走廊工程

建设北非 1000 千伏交流输电走廊工程，加强各国 500 千伏、400 千伏交流网架，充分开发利用北非区域太阳能资源，通过 1000 千伏交流通道，汇集大型太阳能基地电力，在区内优化配置消纳的基础上，在摩洛哥、突尼斯、埃及、阿尔及利亚打捆外送欧洲。

该工程包括 15 座 1000 千伏变电站，路径全长 6920 公里。总投资 187.5 亿美元，其中变电总投资 72.4 亿美元，线路总投资 115.1 亿美元。



图 4.13 北部非洲 1000 千伏交流输电走廊工程示意图

(2) 东部非洲 765/500/400 千伏输电走廊工程

建设东非 765/500/400 千伏交流输电走廊工程，其中苏丹 - 埃塞俄比亚段电压等级为 500 千伏，埃塞俄比亚 - 肯尼亚段电压等级为 765 千伏，肯尼亚 - 坦桑尼亚段电压等级为 765/400 千伏，通过 765 千伏交流延伸至乌干达，并通过 400 千伏交流线路与赞比亚卡萨马同步互联。这条交流通道与埃塞俄比亚 - 肯尼亚 ± 500 千伏直流协调配合，可充分开发利用区内尼罗河、鲁菲吉河水能、苏丹太阳能和东非大裂谷地热能，实现区内南北多能互补，区外与南部非洲互济。

工程包括 7 座 765 千伏变电站、7 座 500 千伏变电站，5 座 400 千伏变电站，路径全长 5300 公里，其中 765 千伏线路长度 2800 公里。总投资 45.2 亿美元，其中变电总投资 10.3 亿美元，线路总投资 34.9 亿美元。



图 4.14 东部非洲南北输电走廊工程示意图

(3) 西部非洲 765 千伏交流输电走廊工程

建设西非 765 千伏交流输电走廊工程，加强各国 330 千伏、225 千伏交流网架，充分开发西部区域水电、太阳能资源，实现东部与西部多能互补互济。

工程包括 9 座 765 千伏变电站，路径全长 3110 公里。总投资 34.4 亿美元，其中变电总投资 12.1 亿美元，线路总投资 22.3 亿美元。



图 4.15 西部非洲 765 千伏交流输电走廊工程示意图

（4）南部非洲 765/400 千伏交流输电走廊工程

765 千伏交流输电走廊，建设横穿南非、联接纳米比亚和莫桑比克的 765 千伏交流输电走廊工程，加强南非现有 765 千伏主网架，实现纳米比亚和莫桑比克大规模太阳能、风电向南非东、西部负荷中心送电，同时提升区域供电可靠性。

工程包括 10 座 765 千伏变电站，其中新建 6 座 765 千伏变电站，新建线路 3000 公里。总投资 65.9 亿美元，其中变电总投资 8.6 亿美元，线路总投资 57.3 亿美元。

400 千伏交流输电走廊，建设赞比亚 - 津巴布韦 - 博茨瓦纳 - 南非的 400 千伏交流互联工程（向北进一步延伸至东非坦桑尼亚和肯尼亚），汇集赞比西河巴托克峡、卡里巴等电站水电、博茨瓦纳太阳能、坦桑尼亚太阳能和风电，由于赞比西河丰枯特性显著，联网可实现水、风、光互补互济，同时构成东部和南部非洲 400 千伏交流同步电网，提升系统可靠性。

工程包括 10 座 400 千伏变电站，线路总长度 2800 公里。总投资 12.8 亿美元，其中变电总投资 6.5 亿美元，线路总投资 6.3 亿美元。



图 4.16 南部非洲 765/400 千伏交流走廊工程示意图

(5) 中部非洲 765 千伏交流输电走廊工程

建设刚果（金）- 加蓬 - 喀麦隆 765 千伏交流输电走廊工程，加强各国 400/225 千伏交流骨干网架，联接刚果河、萨纳加河、奥果韦河水电基地，满足刚果（金）、加蓬等国矿业发展电能需要，支撑刚果河、萨纳加河水电汇集送出。

工程包括 10 座 765 千伏变电站，路径全长 3810 公里，其中刚果（金）境内长度 1960 公里。总投资 43.1 亿美元，变电总投资 10.5 亿美元，线路总投资 32.6 亿美元。

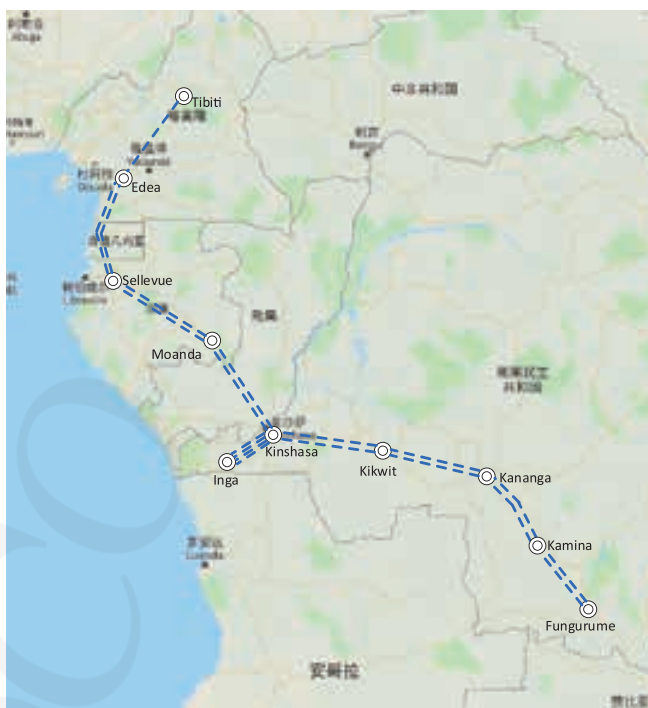


图 4.17 中部非洲 765 千伏交流输电走廊工程示意图

4.2.3 跨洲重点工程

(1) 摩洛哥 - 葡萄牙 ± 500 千伏直流工程

工程定位于汇集摩洛哥太阳能基地电力，通过直流输送至葡萄牙法鲁消纳。拟采用 ± 500 千伏直流，输送容量 300 万千瓦，线路长度约 260 公里（海缆长度 200 公里），规划 2030 年前建成。

经初步测算，工程总投资 12 亿美元，其中线路投资 5 亿美元，变电投资 7 亿美元，工程利用小时数按 5000 小时，输电价约为 1.14 美分 / 千瓦时。



图 4.18 摩洛哥 - 葡萄牙 ± 500 千伏直流工程示意图

（2）突尼斯－意大利 ± 800 千伏直流工程

工程定位于将突尼斯雷马达、利比亚乔什太阳能基地电力汇集后，通过直流输送至意大利首都罗马消纳。拟采用 ± 800 千伏直流，输送容量 800 万千瓦，线路长度约 1300 公里（海缆长度 200 公里），规划 2030 年前建成。

经初步测算，工程总投资 44 亿美元，其中线路投资 24 亿美元，变电投资 20 亿美元，工程利用小时数按 5000 小时，输电价 1.56 美分 / 千瓦时。



图 4.19 突尼斯－意大利 ± 800 千伏直流工程示意图

（3）埃塞俄比亚－沙特阿拉伯 ± 660 千伏直流工程

工程定位于将埃塞俄比亚水电送至沙特阿拉伯。拟采用 ± 660 千伏直流，输送容量 400 万千瓦，线路长度约 2000 公里（海缆长度 40 公里），规划 2040 年前建成。

经初步测算，工程总投资 22 亿美元，其中线路投资 11 亿美元，变电投资 10 亿美元，工程利用小时数按 3000 小时，输电价约为 2.46 美分 / 千瓦时。



图 4.20 埃塞俄比亚－沙特阿拉伯 ± 660 千伏直流工程示意图

(4) 埃及 - 希腊 - 意大利 ± 800 千伏三端直流工程

工程定位于将埃及太阳能电力送至希腊雅典和意大利拉察。拟采用 ± 800 千伏三端直流，输送容量 800 万千瓦，在希腊及阿尔巴尼亚、保加利亚等国消纳 400 万千瓦后，输送 400 万千瓦电力至意大利，线路长度约 1700 公里（海缆长度 960 公里），规划 2040 年前建成。

经初步测算，工程总投资 104 亿美元，其中线路投资 74 亿美元，变电投资 30 亿美元，工程利用小时数按 5000 小时，输电价约为 3.75 美分 / 千瓦时。

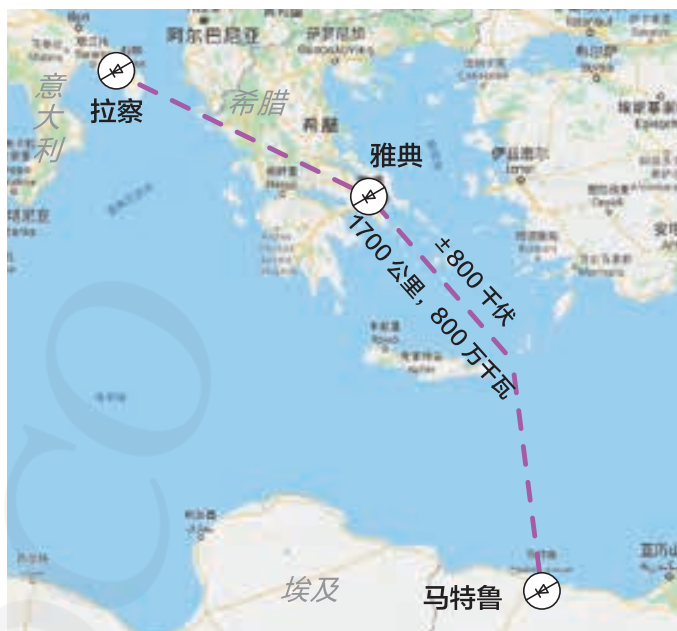
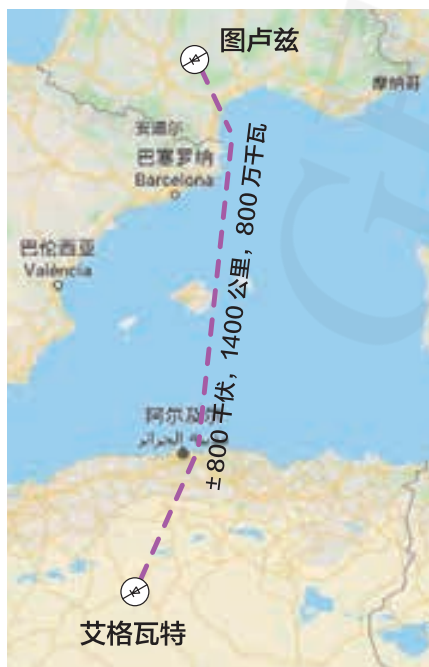


图 4.21 埃及 - 希腊 - 意大利 ± 800 千伏三端直流工程示意图



(5) 阿尔及利亚 - 法国 ± 800 千伏直流工程

工程定位于将阿尔及利亚太阳能电力送至法国图卢兹。拟采用 ± 800 千伏直流，输送容量 800 万千瓦，线路长度约 1400 公里（海缆长度 750 公里），规划 2040 年前建成。

经初步测算，工程总投资 78 亿美元，其中线路投资 58 亿美元，变电投资 20 亿美元，工程利用小时数按 5000 小时，输电价约为 2.81 美分 / 千瓦时。

图 4.22
阿尔及利亚 - 法国 ± 800 千伏直流工程示意图

（6）沙特阿拉伯－埃及 ±660 千伏直流工程

工程定位于将沙特太阳能电力送至埃及开罗。拟采用 ±660 千伏直流，输送容量 400 万千瓦，线路长度约 700 公里，规划 2040 年前建成。

经初步测算，工程总投资 14 亿美元，其中线路投资 4 亿美元，变电投资 10 亿美元，工程利用小时数按 5000 小时，输电价约为 0.92 美分 / 千瓦时。



图 4.23 沙特阿拉伯－埃及 ±660 千伏直流工程示意图

（7）摩洛哥－西班牙 ±660 千伏直流工程

中非刚果（金）输送大英加水电至摩洛哥，与太阳能电力联合调节后，通过本工程外送 400 万千瓦至西班牙马德里。拟采用 ±660 千伏直流，线路长度约 1800 公里（海缆长度 30 公里），规划 2050 年前建成。

经初步测算，工程总投资 20 亿美元，其中线路投资 10 亿美元，变电投资 10 亿美元，工程利用小时数按 7000 小时，输电价约为 1.01 美分 / 千瓦时。



图 4.24 摩洛哥－西班牙 ±660 千伏直流工程示意图

(8) 阿尔及利亚－法国－德国 ± 800 千伏三端直流工程

工程定位于阿尔及利亚太阳能电力和刚果河水电打捆后送至法国里昂和德国法兰克福。拟采用 ± 800 千伏三端直流，输送容量 800 万千瓦，在法国消纳 400 万千瓦后，输送 400 万千瓦电力至德国，线路长度约 2400 公里（海缆长度 840 公里），规划 2050 年前建成。

经初步测算，工程总投资 103 亿美元，其中线路投资 73 亿美元，变电投资 30 亿美元，工程利用小时数按 5000 小时，输电价约为 3.78 美分 / 千瓦时。

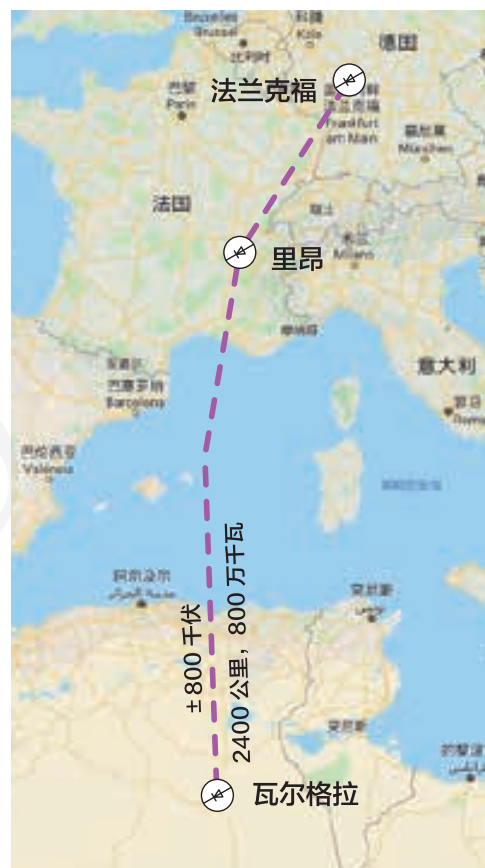
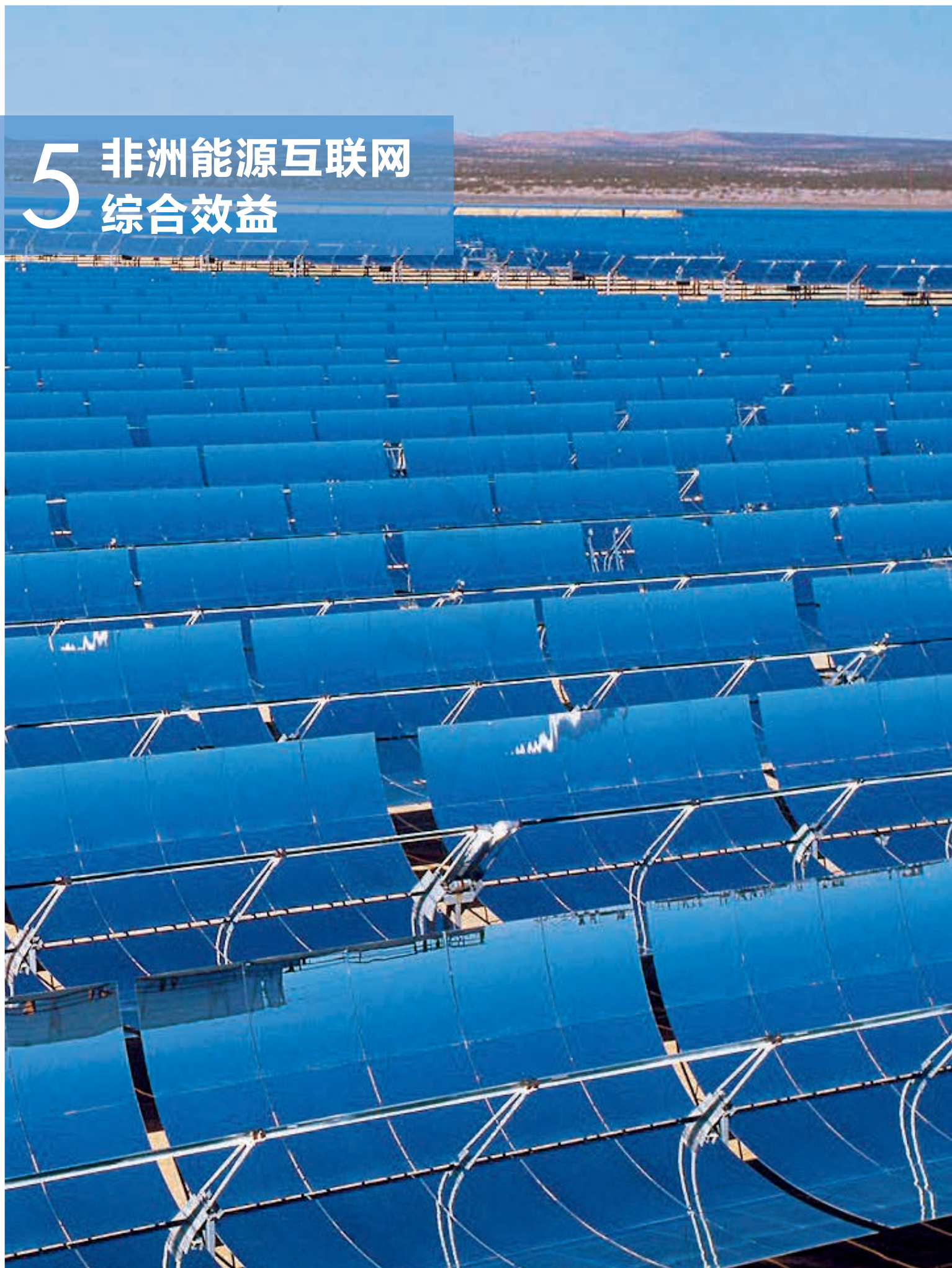


图 4.25 阿尔及利亚－法国－德国 ± 800 千伏三端直流工程示意图



5 非洲能源互联网 综合效益



5.1 经济效益

（1）实现清洁永续可靠的能源电力供应。未来将以清洁和绿色方式满足非洲经济社会发展的能源电力需求，摆脱对化石能源的依赖，实现能源清洁永续供应。到 2050 年，非洲清洁能源占一次能源比重达到 45% 以上，清洁能源发电量占总发电量约 73%。

（2）拉动经济增长。构建非洲能源互联网，将有力带动新能源、电力、采矿、冶炼、加工等产业发展，打造非洲经济增长新引擎。非洲能源互联网总投资约 2.9 万亿美元，拉动经济增长年均可达 0.4 个百分点。

（3）降低发展成本。通过在非洲范围大规模开发利用边际成本低的清洁能源发电，可以有效降低洲内平均供电成本。2050 年，各类电源度电成本平均水平约在 9 美分 / 千瓦时及以下，平均电价约 8.6 美分 / 千瓦时，将比目前降低约 5.1 美分 / 千瓦时，每年减少电费约 1580 亿美元，效益十分显著。

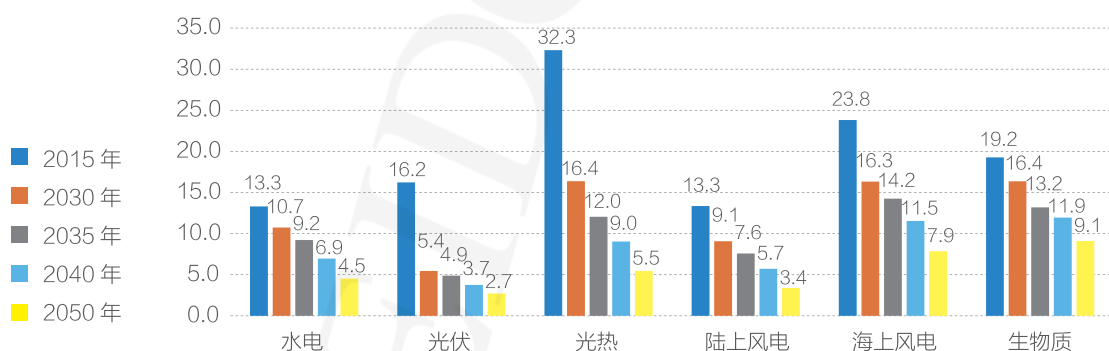


图 5.1 非洲各类电源平均度电成本预测（美分 / 千瓦时）

（4）增加创汇。大规模开发非洲清洁能源发电基地，通过跨国、跨区、跨洲互联互通，实现清洁电力外送消纳，将显著扩大电力进出口贸易规模。2050 年，非洲电力进出口贸易将实现创汇约 300 亿美元。

（5）实现均衡发展。非洲经济发展相对滞后，但清洁能源资源富集的地区，可以将资源优势转化为经济优势，有力带动经济发展，从而使人民可以获得平等发展机会，缩小贫富差距，根本解决经济发展失衡和贫困问题。

5.2 社会效益

（1）消除无电人口。当前，非洲电力可及率仅为 48%，仅有不到三分之一的国家电力可及率超过 50%，尚有 6 亿无电人口。随着清洁能源发电快速发展、电价大幅下降，到 2030 年，电力普及率将提高到 66%；到 2050 年，基本消除

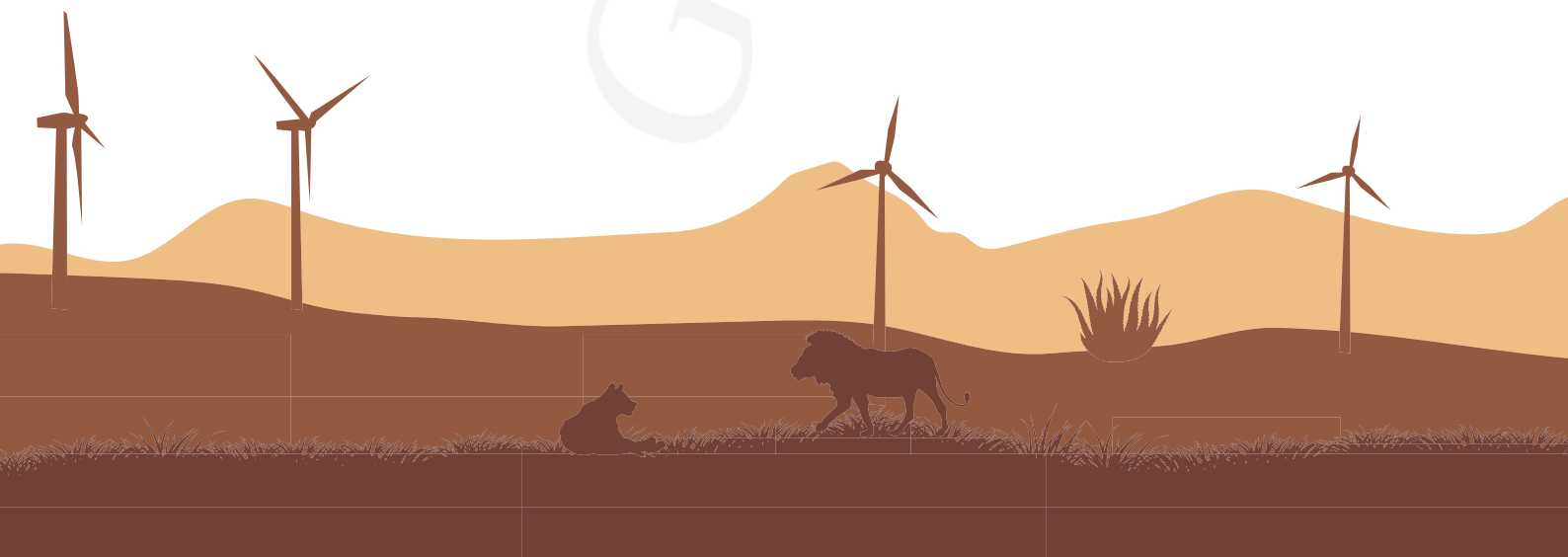
无电人口，电力普及率将提高到 90%。未来，非洲人人都能用得上、用得起绿色、清洁、低廉、可靠的电力，可以享受现代电力文明成果，根本解决能源贫困问题。

（2）改善健康。二氧化硫、氮氧化物和细颗粒物是主要的空气污染物。这些污染物绝大多数来源于能源生产和使用，主要是化石燃料和生物质的燃烧。通过构建非洲能源互联网，大规模开发使用清洁能源，将有效降低能源生产和使用带来的污染问题，大幅减少因能源造成的污染引发的疾病和死亡人数。仅此一项，非洲每年可减少相关疾病 200 万~300 万例。

（3）带动就业。构建非洲能源互联网涉及能源开发、电力生产、电网建设、电工装备、电能替代、智能技术、新型材料、信息通信等诸多领域，同时支撑采矿、冶炼、加工等大型工业发展，可有力带动就业。到 2050 年，非洲可累计新增超过 3000 万个就业岗位。

5.3 环境效益

（1）减少大气污染。由化石能源产生的大气污染物排放将大大减少。到 2050 年，清洁能源发电量达到 2.7 万亿千瓦时/年，相当于每年减少排放二氧化碳 24 亿吨、二氧化硫 813 万吨、氮氧化物 891 万吨、细颗粒物 171 万吨。



（2）节约土地和水资源。通过风电、太阳能发电等清洁能源发电代替火电，减少化石能源发电消耗的水资源。到 2050 年，非洲可节约土地资源 390 亿平方米，节约水资源 1800 亿吨。

（3）保护和改善生态环境。随着化石能源开发利用规模的大幅下降，在开采、加工、运输、存储、燃烧等过程中带来的地下水污染、地质破坏、陆地和海洋生态破坏将日益减轻，生态环境将得到保护和恢复。

5.4 政治效益

（1）增强政治互信。通过构建非洲能源互联网，实现各国清洁能源共享、电力互联互通和跨洲跨国交易，将有力加强能源、经济合作和政治互信。

（2）促进和平发展。在清洁能源开发使用和非洲能源互联网建设过程中，各国有着共同的利益，将有力改变长期以来以对立、竞争为主要特征的能源秩序，形成合作开放、互联互通、互利共赢的非洲能源治理新格局。由能源资源争夺引发的政治、军事、外交矛盾和冲突将大大减少，有力促进和平和谐发展。

（3）服务区域一体化和人类命运共同体建设。通过构建非洲能源互联网，加强非洲各区各国在能源领域的合作，推动在各方之间建立牢固的伙伴关系。加强各国电力互联互通，增强各国间政治互信，减少直至消除由于能源资源争夺引发的争端，促进非洲和平和谐，助力人类命运共同体建设。



6 结论



报告基于非洲经济社会环境发展特征、清洁能源资源禀赋和技术发展趋势，围绕清洁主导、电为中心、互联互通目标，系统分析了非洲能源需求、电力供需和电力流格局，提出了非洲能源互联网规划方案及重点互联互通工程，分析了重点工程定位、建设方案及投资，对非洲能源互联网的综合效益进行了评估。主要结论如下：

- 1 — **非洲经济发展动力强劲，能源电力需求将快速增长。**非洲政治局势日趋稳定，人口红利不断释放，营商环境持续改善。依托丰富的矿产资源和清洁能源资源，非洲正迎来以工业化、城镇化和一体化为特征的可持续发展新机遇。2050 年非洲经济总量将达到 20 万亿美元，是目前的 8.3 倍，人均国内生产总值达 8000 美元，部分国家迈入中高收入国家行列，基本消除贫困问题。非洲人口数量的快速增长、经济总量的增长，尤其是工业化和城镇化的大发展，对非洲能源电力发展提出更高要求。特别是几内亚、加纳、尼日利亚等西非国家铝、钢铁产业发展潜力巨大，未来用电量是当前发电能力的数倍，甚至数十倍以上，迫切需要加快清洁能源开发和电网互联解决电力缺口。
- 2 — **非洲发展必须走清洁可持续发展道路。**非洲当前以初级生物质、化石能源为主的能源发展模式既不能满足非洲经济发展需要，又会导致严重的环境污染问题，同时，非洲对气候变化的适应能力更弱，减排任务紧迫。非洲的可持续发展必须吸取“先污染、后治理”的发展经验教训，走“集约式、跨越式”的清洁发展新路，抓住清洁发展大趋势，跨越传统化石能源发展阶段，实现能源开发利用从简单粗放向集约高效的根本性转变，从初级生物质能和化石能源向清洁能源的跨越式发展，打造绿色低碳的能源发展方式，从根本上保障非洲可持续发展。
- 3 — **非洲能源互联网助推非洲清洁可持续发展，未来能源发展清洁化、低碳化、电气化、网络化特征显著。**应对非洲清洁发展面临的挑战，需要秉持全球能源互联网理念，加快建设洲内紧密联系、洲外高效互联、多能互补互济的非洲能源互联网，以清洁和绿色方式满足非洲能源电力需求。未来非洲能源电力发展主要呈现以下特点。**能源需求潜力巨大**，2050 年一次能源需求增至 24.1 亿吨标煤，占全球比重增至 9.3%，人均能源消费量增至 1.0 吨标煤。终端能源需求总量增至 13.9 亿吨标煤，工业、居民和服务业部门引领终端用能需求增长。**能源结构清洁低碳**，2015 至 2050 年清洁能源需求增长 10.2 亿吨标煤，占一次能源比重增至 46.8%，2040 年前后超越化石能源成为主导能源。单位 GDP 碳排放降至 0.06 千克 CO₂/美元。生物质能总需求稳中趋降，占一次能源需求比重逐步降低至 19%。终端电气化水平持续提升至 28%，2040 年前后电能超过

石油成为终端第一大商品能源。**电力需求增长迅速**，2050 年增至 3.2 万亿千瓦
时，人均用电量提高至 1322 千瓦时 / 年。北部、南部和西部是非洲主要电力负
荷中心，西部、东部和中部是电力需求增速较快地区。**无电人口大幅减少**，电
力可及性大幅提升，2050 年非洲电力可及率提高到 90% 以上。**清洁能源加快
成为主导电源**，在开发条件、开发成本、灵活调节能力方面，加快替代化石能
源发电条件具备，化石能源发电将逐步由电量型向电力型电源转变。

- 4 — 清洁能源集中式与分布式开发相结合，将逐步取代化石能源占据主导地位。**统筹
非洲清洁能源资源禀赋和电力需求分布，通过集中式、集约化方式开发大型清洁
能源基地，在偏远农村、山区及人口分布稀疏地区，适合采用分布式光伏、小水
电等方式满足用电需求。规划到 2050 年，在北部、西部、东部和南部非洲建设
21 个大型太阳能基地；在北部、东部和南部非洲建设 12 个大型风电基地；在刚
果河、尼罗河、赞比西河和尼日尔河建设四大水电基地。**电源装机总量**，2030、
2040、2050 年非洲电源装机分别达到 4.5 亿千瓦、7.5 亿千瓦和 11.3 亿千瓦。
人均装机水平，2030 年为 0.27 千瓦，2040 年 0.36 千瓦，2050 年 0.46 千瓦，
分别是 2015 年的 1.8 倍、2.5 倍和 3.1 倍。**清洁能源装机比重**，2030 年前非洲
清洁能源装机占比超过化石能源，2030、2040、2050 年清洁能源装机占比分别
达到 59%、70% 和 78%。清洁能源发电量占比从 2015 年 16.3% 提升到 2030
年 48%，2040 年达到 59%，2050 年进一步提升到 73%。



5 — 非洲总体呈现“洲内中部送电南北，洲外与欧亚互济”的电力流格局，联接大型清洁能源基地与负荷中心，实现亚欧非联网，清洁能源大规模互补互济。

随着电网升级和互联规模的不断扩大，非洲总体形成北部、中部和西部、东部和南部 3 个同步电网，同步电网之间通过直流实现异步联网。北部非洲同步电网电压等级升级至 1000 千伏，建设横贯东西的 1000 千伏交流通道，联结北非大型太阳能发电基地与负荷中心，形成联接亚欧非的重要能源配置平台。中部和西部、东部和南部 2 个同步电网，内部建设 765/400 千伏交流骨干网架，形成区域清洁能源优化配置平台，区内大型清洁能源基地电力通过超 / 特高压直流直接送至主要负荷中心。

2030 年，非洲跨洲跨区电力交换 3100 万千瓦，其中跨洲电力交换 1400 万千瓦，非洲能源互联网形成雏形。在各国及区域电网不断加强的基础上，**跨区**：建设刚果（金）- 几内亚、埃塞俄比亚 - 南非和喀麦隆 - 尼日利亚直流工程，分别将刚果河大英加、萨纳加河和尼罗河水电送至西非、南非负荷中心。**跨洲**：建设摩洛哥 - 葡萄牙、突尼斯 - 意大利直流工程，将北非太阳能送电欧洲，实现非欧联网；建设沙特 - 埃及直流工程，实现亚非互联。

2040 年，非洲跨洲跨区电力交换 6800 万千瓦，其中跨洲电力交换 3800 万千瓦。**跨区**：建设刚果（金）- 尼日利亚等直流工程，加大刚果河水电外送规模；建设北非 1000 千伏交流输电通道，贯穿北非五国，联接大型太阳能基地和负荷中心，向东联接西亚电网，实现北非与西亚电力互补互济。**跨洲**：建设埃及 - 希腊 - 意大利三端直流工程和阿尔及利亚 - 法国直流工程，进一步扩大北非太阳能送电欧洲规模；建设沙特 - 埃及、埃塞俄比亚 - 沙特直流工程，北非、东非与西亚清洁能源互济能力进一步加强。



2050年，非洲跨洲跨区电力交换1.3亿千瓦，其中跨洲电力交换5000万千瓦。

跨区：进一步加强北非1000千伏交流输电通道及其他区域400/765千伏交流主网架，北部、中部和西部、东部和南部3个同步电网形成坚强骨干网架，同步电网间直流联网不断加强，建设刚果（金）-南非、刚果（金）-埃塞俄比亚、刚果（金）-摩洛哥、刚果（金）-几内亚、刚果（布）-加纳、埃塞俄比亚-埃及等直流工程。**跨洲：**建设摩洛哥-西班牙、阿尔及利亚-法国-德国等直流工程，将北非太阳能与刚果河水电联合调节送电欧洲负荷中心。

6— 建设坚强的区域能源互联网，形成广泛互联、经济高效清洁能源资源优化配置平台。**北部非洲，**建设1000千伏交流输电走廊，提升大型太阳能基地电力汇集能力。加强区域400/500千伏电网，建成北非坚强交流互联电网。跨区建设北非向欧洲跨海输电通道、北非与西亚输电通道，并与中非互联将本地太阳能与中非水电打捆送电欧洲。**西部非洲，**加快尼日尔、马里和毛里塔尼亚太阳能基地开发和尼日尔河、塞内加尔河、冈比亚河、沃尔特河水电开发，依托清洁能源基地电力送出需求，建成“三纵两横”765千伏主网架，实现西非交流互联电网。跨区通过5条直流通道受入中非刚果河、萨纳加河水电，满足矿业发展电能需要。**中部非洲，**形成贯穿南北的765/400千伏交流输电通道；跨区刚果河、萨纳加河水电通过直流送电西非、南非和东非负荷中心，大英加水电通过直流送电通道与北非太阳能联合调节送电欧洲。**东部非洲，**建成765/500千伏交流输电通道和区域400千伏双环网，联接主要的能源基地和负荷中心，加强各国互联断面电力交换能力。跨区以埃塞俄比亚为枢纽，建设东非与北非、西亚互联通道；建设东非至南非直流通带，将东非清洁能源电力送至南非东部负荷中心。**南部非洲，**形成765/400千伏交流同步网，加强南非765千伏主网架，承接来自区内和区外的大规模清洁能源电力。加强中部赞比亚-津巴布韦-博茨瓦纳-南非互联通道，实现区域内太阳能与水电互补互济。跨区建设东非-南非和中非-南非直流送电通道，受入尼罗河和刚果河水电。

7— 构建非洲能源互联网，加快清洁能源开发利用，综合经济社会环境和政治效益显著。**经济方面，**非洲能源互联网以清洁和绿色方式满足非洲能源电力需求，提高能源利用效率，降低能源供应成本，可实现清洁永续的能源电力供应。**拉动经济增长，**非洲能源互联网累计总投资约2.9万亿美元，拉动非洲经济增长年均可达0.4个百分点。**降低发展成本，**2050年，非洲平均电价将比目前降低5.1美分/千瓦时左右，每年节约电费1580亿美元。**增加创汇，**清洁电力的外送消纳将显著扩大电力进出口贸易规模，2050年实现创汇约300亿美元。**实现均衡发展，**将非洲各国的资源优势转化为经济优势，有力带动经济发展。**社会方面，**非洲能源互联网的建设将**消除无电人口**，2050年实现电力普及率达90%；**改善健**

康，有效降低能源生产和使用带来的污染，每年减少相关疾病 200 万~300 万例；**带动就业**，累计新增超过 3000 万个就业岗位。**环境方面**，化石能源开发利用规模将大幅下降，每年可减少二氧化碳排放 24 亿吨，**减少大气污染；节约土地和水资源**分别达到 390 亿平方米、1800 亿吨。在开采、加工、运输、存储、燃烧化石能源等过程中带来的地下水污染、地质破坏、陆地和海洋生态破坏将日益减轻，**非洲生态环境将得到保护**。**政治方面**，通过构建非洲能源互联网，加强非洲各区各国在能源领域的合作，推动在各方之间建立牢固的伙伴关系。加强各国电力互联互通，**增强各国间政治互信**，减少直至消除由于能源资源争夺引发的争端，**促进非洲和平发展，助力人类命运共同体建设**。

