



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

构建非洲能源互联网 促进水能资源开发 实现“电—矿—冶—工—贸”联动发展



全球能源互联网发展合作组织

二〇一九年五月

1 非洲能源互联网促进非洲 可持续发展



1.1.3 发展挑战

电力短缺，制约非洲工业化发展

一是非洲国家石油、天然气、电力等现代能源可及率较低。非洲总体电力可及率仅为 52%，约三分之二的国家电力可及率甚至不足 50%，目前，非洲无电人口总数约 6 亿，占世界无电人口一半以上。二是大多数非洲国家电力基础设施条件非常薄弱，电力装机容量十分有限，且覆盖率低，导致地区发展严重不均衡。电力基础设施落后导致严重电力短缺，部分非洲工业园区每月有超过 40 个小时没有电力供应，无法保证正常生产进度，使得非洲工业园区发展缓慢，严重制约非洲产业发展。电力短缺已成为非洲工业化进程滞后的重要因素，影响非洲整个经济社会的发展。

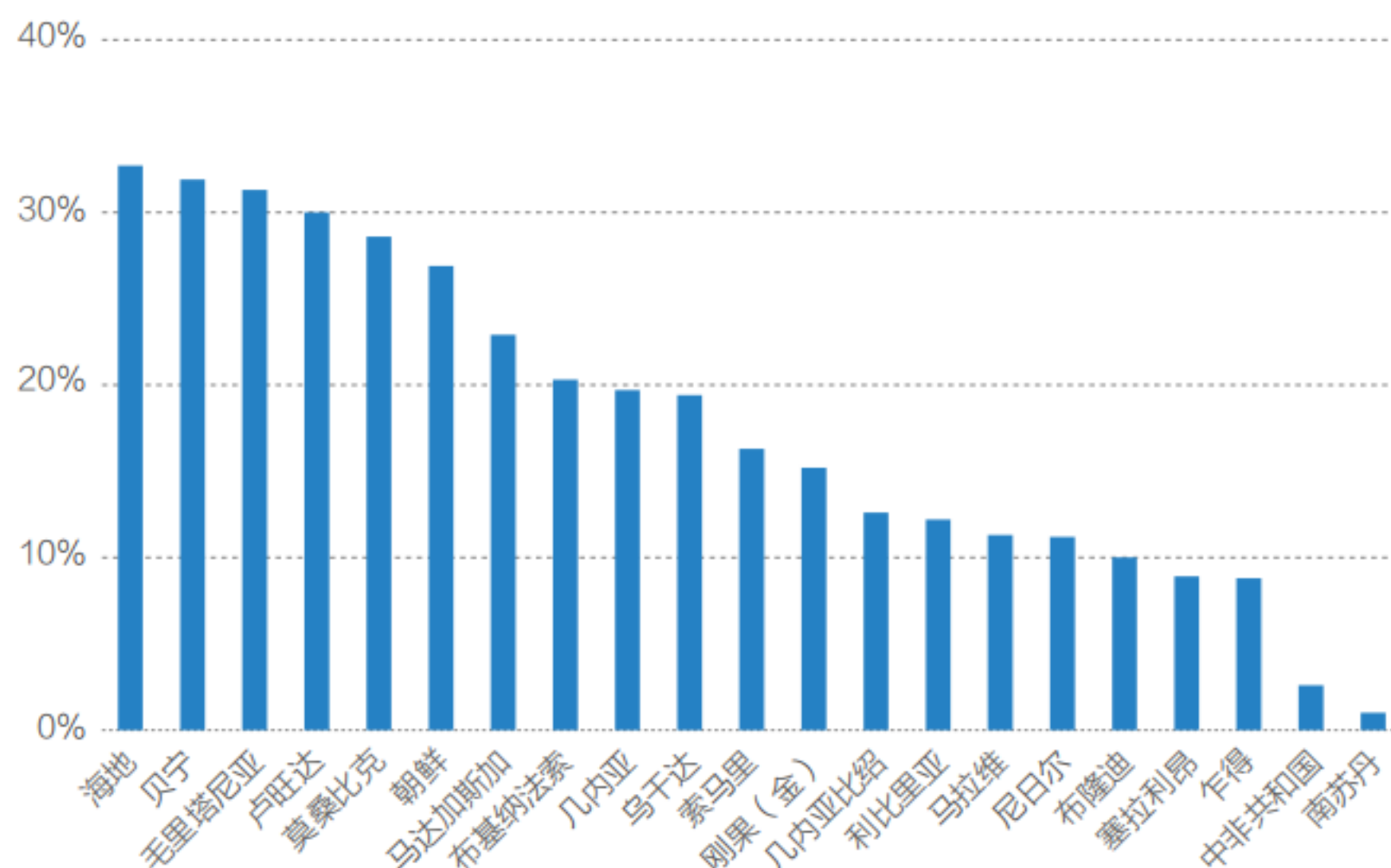


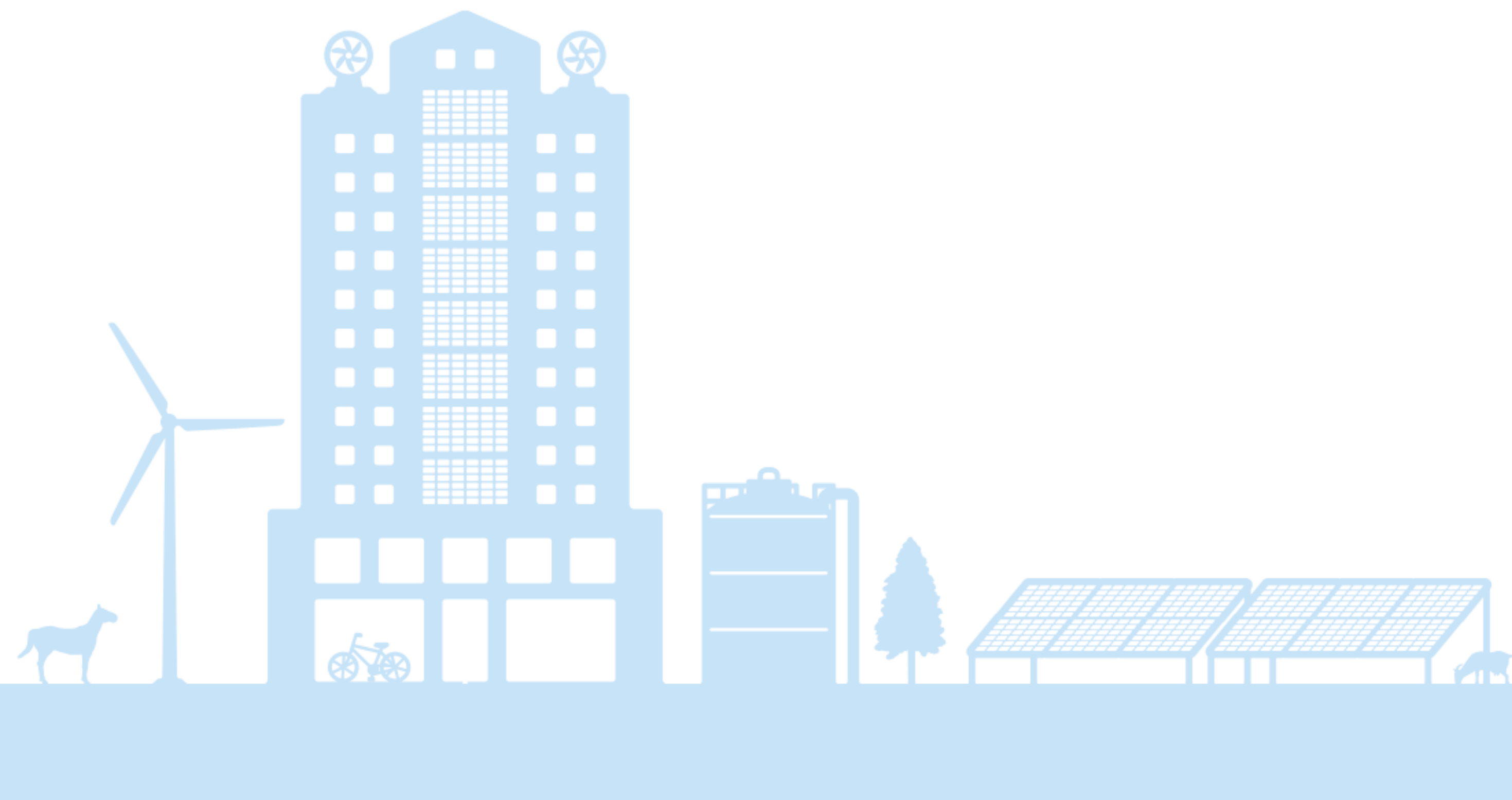
图 1.2 全球电力普及率较低的部分国家^①

① 数据来源：国际能源署。





非洲水能资源、矿产资源等自然资源丰富，各国工业化发展目标明确，但由于没有健全的金融体系和统筹协调的规模化市场作为支持，非洲大型项目融资困难，水电等可再生能源资源和矿产资源无法得到有效开发和利用，进而阻碍了各国整体的经济发展进程。



2050 年
规划装机约 6.9 亿千瓦

统筹非洲清洁能源资源分布、开发条件及各国能源电力发展规划，2050 年前，规划建设四大河流水电基地，21 个太阳能基地和 12 个风电基地，总技术可开发量约 33.3 亿千瓦，到 2050 年规划装机约 6.9 亿千瓦。



图 1.9 非洲清洁能源基地分布示意图



2040 年

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、刚果（布）-加纳直流工程，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。

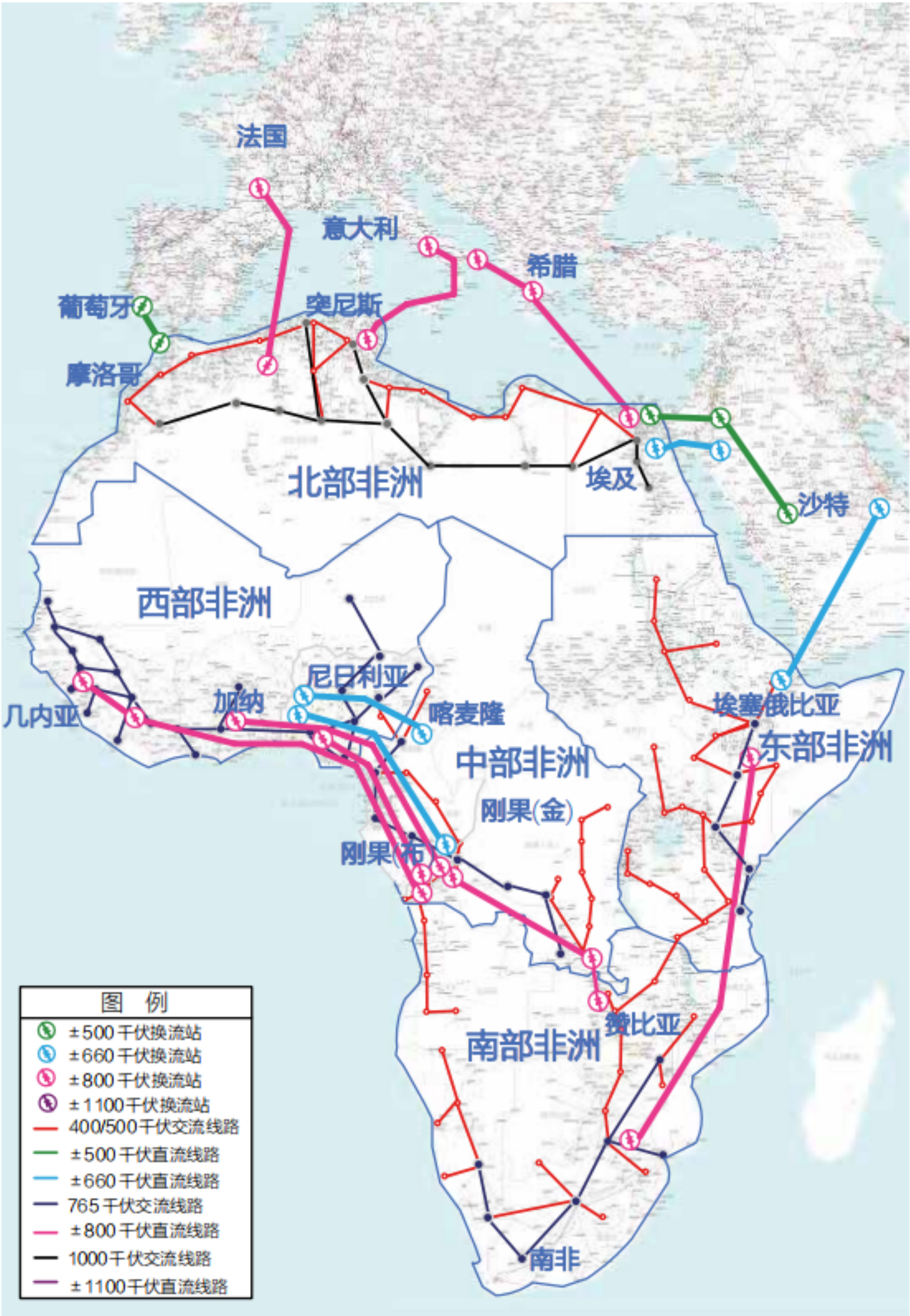


图 1.13 2040 年非洲电网互联示意图

区内

建设安哥拉－纳米比亚－南非、莫桑比克－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和博茨瓦纳－纳米比亚 400 千伏横向通道，实现纳米比亚、莫桑比克风能、太阳能电力及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。

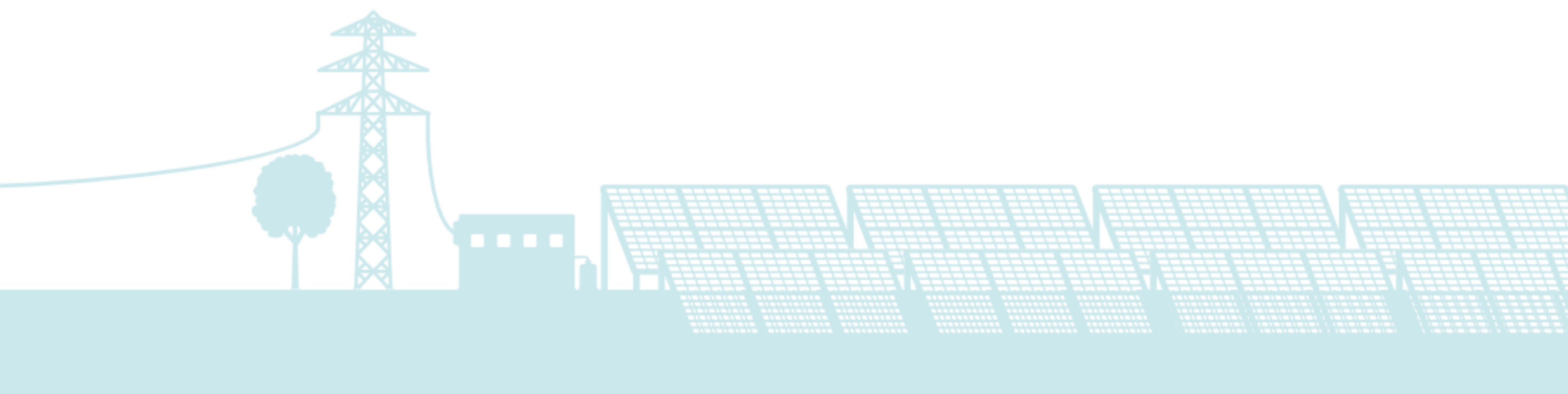
跨区

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 400 千伏交流联网线路，接纳刚果河水电；建设刚果（金）－南非、刚果（布）－南非 ± 800 千伏直流工程，将刚果河水电送至南非负荷中心。建设坦桑尼亚－赞比亚 400 千伏交流联网线路，形成东部、南部非洲交流同步电网。

1.6.3 中部非洲

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 1080 亿千瓦时，最大负荷 1860 万千瓦，电源装机 4920 万千瓦；2040 年，中部非洲用电总量达到 2020 亿千瓦时，最大负荷 3520 万千瓦，电源装机 8400 万千瓦；2050 年，中部非洲用电总量达到 3420 亿千瓦时，最大负荷 6140 万千瓦，电源装机 1.6 亿千瓦。





区内

建设双回 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；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。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；建设埃及 - 土耳其 ± 660 千伏直流工程，实现埃及太阳能基地送电土耳其 400 万千瓦。

2.3.5 北非地区

发展基础

一是北非地区经济发展趋势向好。2013~2017年间，年均经济增速约3.2%。2017年，北非地区GDP总量约为7000亿美元，占非洲整体的31%。
二是区位优势明显，市场辐射广。北非是陆上连接亚欧非三洲的重要中转站，北部环地中海南岸，东临“世界咽喉”苏伊士运河，且靠近阿拉伯半岛，地理位置条件非常优越。
三是工业基础较为完善。北非国家有较好的技术基础、人力资源和配套环境。纺织业是北非多国的主要支柱产业，汽车制造业也较为发达，且磷酸盐开采和加工有较为完整的产业链。

发展重点

打造“三大经济带”协同发展格局。

地中海经济带

发挥资源和区位优势，加快纺织、石油化工等传统产业转型升级，培育石油精炼、智能制造等新支柱产业，推动物流、旅游、文化交流等向高端高增值方向发展。

大西洋经济带

充分利用周边国家的资金、技术优势，有效承接纺织、化工等传统产业，发展和完善工业体系。同时依托港口优势，承接西非经济带，发挥对欧洲市场的辐射作用。

红海经济带

发展现代农业和先进制造业，发挥埃及带动作用，支持汽车、家用电器、电子信息等产业做大做强，以主要港口为重点，形成优势互补的港口、物流和配套服务体系，打造北非地区重要交通枢纽地。



2.2

非洲发展“电—矿—冶—工—贸”的重要性

聚合优势资源的创新模式。非洲自然资源储备丰富，劳动力成本较低，资本与技术优势较弱，资源密集型、劳动密集型产业符合非洲的比较优势，是其融入国际市场、参与国际竞争的优先领域。“电—矿—冶—工—贸”联动发展模式正是结合非洲丰富的资源优势、较低的劳动力成本和广阔的市场空间，延长矿业开采的产业链，实现自然资源附加值的翻倍增长。另外，市场广阔、基础设施不断优化等有利条件，以及世界产业转移的外力驱动都为非洲加快制造业发展和加速工业化进程提供了机遇。

破解融资难题的最佳方案。由于缺信用、缺保障，发展中国家项目开发最大的问题是融资难，创新融资模式，聚合优势资源是破解融资难题的关键。**一是**发挥产业链优势，整合各方资源，提高项目信用度，以产业链核心企业为信用依托，以能源和工业项目良好现金流预期为收益基础，利用发电、输电、用电三方签订长期合约等方式，形成风险共担、收益共享的利益分配机制。**二是**充分利用国际资本市场，形成资金来源广泛、投资方式灵活的多元投融资体系。

抓住发展机遇的关键时机。工业化是实现现代化的必经之路，“电—矿—冶—工—贸”联动发展模式本质是工业整体联动发展。当前，非洲国家未完成工业化进程，是整体落后于其它大洲的根本原因。非洲可持续发展必须大力发展制造业，创造充足岗位，提高生产效率，从根本上摆脱贫困。优先发展“电—矿—冶—工—贸”联动发展模式的国家，将率先抓住新一轮全球产业转移的时代机遇。非洲各国政府应发挥统筹作用，积极引导产业发展，尽快脱颖而出，抢先承接全球产业转移。



2.3.2 南非地区

发展基础

一是经济实力在非洲处于前列，2017 年，南部非洲 GDP 总量超过 3865 亿美元，占非洲总量的 17%；制造业增加值约 600 亿美元，占撒哈拉以南非洲总量的 41%。二是矿产资源丰富，南部非洲拥有全球 36% 的黄金和 20% 的钴，铁、铜、钒、铂和钻石等矿产资源蕴藏丰富。

发展重点

发挥连接两洋的区位优势，统筹矿产发展和工业园区建设，推进“电－矿－冶－工－贸”联动发展，增强经济增长内生动力，促进南部非洲一体化发展。

打造“三大经济带”协同发展。**大西洋沿海经济带：**重点发展钢铁、铝、石化、机械、汽车、纺织等产业，打造优质非洲现代工业典型，深度融入全球价值链。**印度洋沿海经济带：**重点发展铝、钢铁、物流、金融、食品加工、电子商务，发挥港口区位优势，加速推进工业化进程。**赞比西河经济带：**开发磷矿、黄金、铀等资源，发展化工、纺织、食品加工、文化旅游等产业，加强赞比西河的开发治理，打造内陆开放新高地。

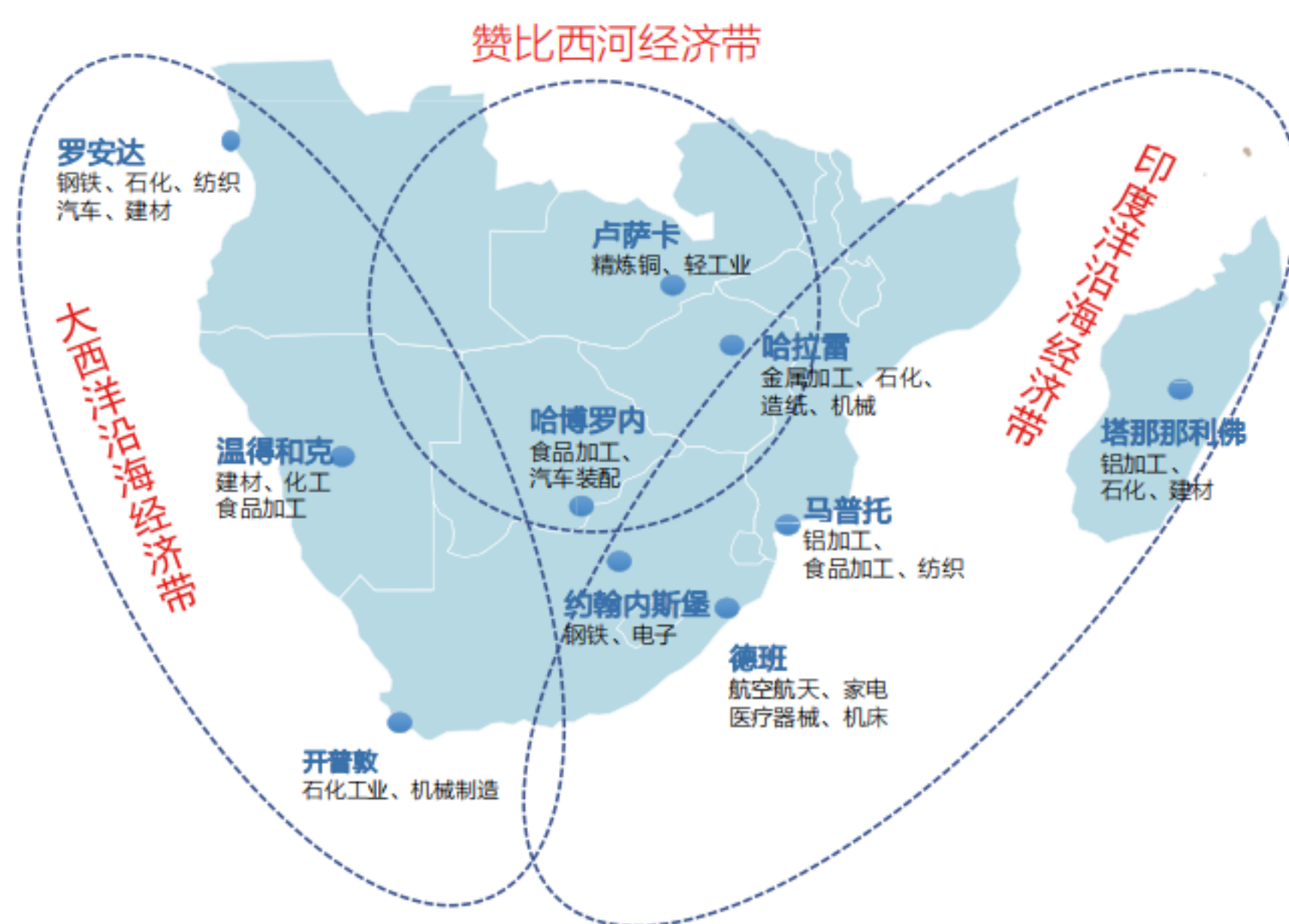


图 2.3 南非产业规划与经济带示意图

2.3.4 东非地区

发展基础

一是经济增速位居非洲各区域之首。2013~2017年，东非地区平均经济增速达到5.7%，远高于非洲平均增速3.6%。2017年，东非地区GDP总量约为3800亿美元，占非洲GDP总量的17%。二是劳动力资源丰富。2017年东非地区总人口约为3.5亿，占非洲总人口的27.8%。预计2050年，人口将达到6.9亿。三是园区发展基础较好。东非在建和拟建的工业园超过30个，埃塞已建成工业园4座，截至2017年7月，东方工业园总产值7.3亿美元，提供上万个工作岗位。

发展重点

打造“一廊两带”，推动轻、重产业联动协同发展。东非大裂谷经济走廊：发掘东非大裂谷旅游资源，大力发展肯尼亚和卢旺达新兴技术产业，实现旅游业、信息产业与城市、生态融合发展，打造非洲最具代表性的产城融合发展示范地。红海经济带：依托产业园区和地理区位优势，重点发展矿业、纺织、油气、农产品加工等产业，打造辐射西亚和非洲的现代产业聚集区。印度洋经济带：发挥港口优势，重点发展物流、金融、轧钢、铝材加工等制造业、现代农业和服务业等，带动周边国家出口创汇，强化沿海港口对内陆地区的辐射功能。



图 2.5 东非经济发展示意图

构建非洲能源互联网，实现“电－矿－冶－工－贸”联动发展将全面发挥非洲自然资源优势，促进非洲经济发展、环境改善、政治和谐、社会进步，综合效益显著。

3.1 经济效益



实现清洁永续可靠的能源电力供应。“电－矿－冶－工－贸”联动发展模式能有效解决非洲清洁能源开发融资难、启动难等问题。通过统筹清洁能源开发、矿产加工冶炼、工业园区建设，形成发、输、用一体化的电力市场。以清洁和绿色方式满足非洲工业化发展需求，同时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 40% 以上，清洁能源发电量占总发电量约 67%。



拉动经济增长。“电－矿－冶－工－贸”联动发展模式将有力带动新能源、电力、采矿、冶炼加工等产业发展，打造非洲经济增长新引擎。**一是**“电－矿－冶－工－贸”发展潜力巨大，项目回报率高，能扩大国际资本对非投资，带动非洲经济发展。预计到 2050 年，非洲能源互联网总投资约 3.2 万亿美元。**二是**通过发展矿产加工冶炼，将有效带动下游建筑、交通、电器等行业的发展，有效提升非洲工业化水平。到 2050 年，电解铝、钢铁等矿产加工行业总产值将超过 4800 亿美元。



3.3

环境效益

01

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，非洲清洁能源发电量比重达到 67%，清洁能源发电量达到 2.8 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。

02

节约土地和水资源

通过风能、太阳能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，非洲可提高土地资源价值 11 亿美元，节约水资源 210 亿吨。

03

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。



02

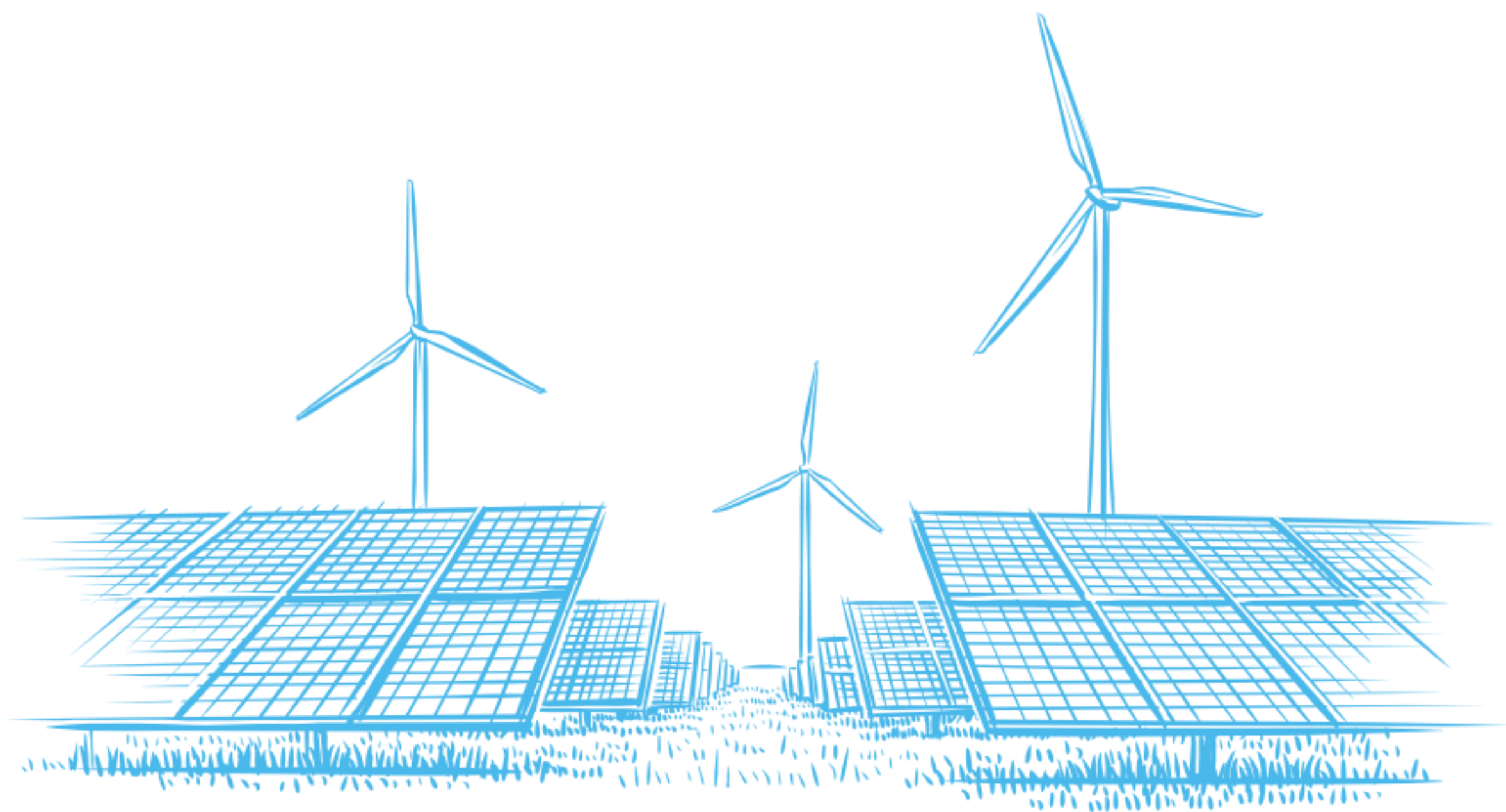
加快清洁开发

加快清洁发展，开发大型清洁能源基地，保障非洲可持续发展用能需求。在非洲重点开发尼罗河、刚果河、尼日尔河、赞比西河水能，加快开发大英加和埃塞复兴大坝水电基地；南非、坦桑尼亚、北非地中海沿岸、东非沿海等地的风电基地；北部撒哈拉沙漠、南部非洲太阳能发电基地等。通过加大对非洲相关国家和地区的风电、水电、太阳能开发，全面提高相关国家清洁能源发电比重、各行业电气化水平和能源利用效率，打造以电为中心的能源生产消费结构，促进“电－矿－冶－工－贸”联动发展。

03

实现互联互通

加快跨国跨洲能源互联互通，实现能源协调发展格局。加快实施电力互联互通，形成清洁、安全、稳定的能源发展格局，为非洲的“电－矿－冶－工－贸”发展提供电力保障。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。



前 言

非洲是全球最具发展潜力的地区之一，矿产资源和清洁能源资源丰富，劳动力人口增长快速，经济发展前景广阔。近年来，非洲迈入以工业化和区域一体化为特征的新阶段，既面临艰巨的可持续发展任务，也迎来难得的发展机遇，迫切需要统筹非洲经济发展战略和规划，创新发展模式，破解工业化进程中的能源短缺困局，实现非洲可持续发展。

全球能源互联网发展合作组织在深入研究非洲经济社会发展形势的基础上，提出了“电－矿－冶－工－贸”联动发展新模式，统筹水电等清洁能源基地、矿山冶金基地、工业园区规划和建设，形成发、输、用一体化的电力市场和采矿、冶炼、深加工一体化发展格局，以矿冶产业发展撬动工业化进程，以工业园区建设带动经济社会发展，以贸易为手段进入全球市场并融入全球价值链，有效解决“工业发展缺电力、电力开发缺市场”的问题，经济社会效益巨大。

实现“电－矿－冶－工－贸”联动发展关键要加快构建非洲能源互联网，开发水电等清洁能源资源，促进跨国跨区互联互通基础设施建设，有力保障非洲清洁、可靠、廉价的能源供应，推动非洲工业化和区域一体化建设，实现联合国《2030 议程》和非盟《2063 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。

1.1

非洲可持续发展的机遇与挑战

非洲位于东半球西部，东濒印度洋，西临大西洋，纵跨赤道南北，面积约为3022万平方公里，占全球陆地总面积的20.4%，是世界第二大洲，也是人口第二大洲。依托丰富的水能资源和矿产资源优势，非洲已制定明确目标，向工业化和区域一体化迈进。但同时，工业发展“缺电力”、电力开发“缺市场”、项目融资“缺信用”、投资回报“缺保障”等问题，对非洲实现跨越式发展造成严重的制约。

1.1.1 基本情况

非洲区域一体化进程不断加深。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，积极参与国际政治体系和全球治理体系，成为国际政治舞台和世界格局中的重要参与者。一体化力量不断增强，2018年非洲44个国家签署成立非洲大陆自由贸易区协议，力图进一步降低关税、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、非洲联盟联合测算，关税和非关税壁垒消除后，非洲内部贸易在非洲贸易总额中的占比将从2010年的10.2%提升到2022年的21.9%。

2017年

非洲国内生产总值已达

2.3 万亿美元

非洲经济发展进入快车道，外部市场空间大。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2.3万亿美元。非洲城镇化水平快速提高，城镇化率已从1975年的25%增长至2015年的40%。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散到新兴市场经济体，2002~2012年与金砖国家（除南非外）的份额从9.1%增至24%。

人口红利不断释放。2017年非洲人口超过12亿人，相比1990年翻了一番，约占世界总人口的16.3%。预计2050年非洲人口将达到25亿，其中青年人口占比超过世界其他地区，劳动适龄人口超过15亿人，将为非洲的工业化提供有力支撑。



工业化水平低，制约非洲自然资源经济价值提升

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%。其中，非洲河流水能资源理论蕴藏量约 4.4 万亿千瓦时 / 年、技术可开发量超过 3.3 亿千瓦，主要分布在刚果河、尼罗河、赞比西河和尼日尔河等流域干支流。**矿产资源也十分丰富**，非洲 14 种主要矿产资源，储量在世界上均占有特别重要地位，其中黄金、磷酸盐、钴储量均占世界 50% 以上，铁、铜、锌、铝储量占世界 20% 以上；锰矿储量则占世界约 83%。



图 1.3 非洲主要水系及河流分布示意图^①

^① 世界水电与大坝简谱。

1.2 非洲能源互联网发展思路

应对非洲可持续发展面临的挑战，需秉持全球能源互联网理念，加快建设非洲能源互联网，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，全面扩大供电范围、提升供电可靠性，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。

全球能源互联网是清洁能源在全球范围大规模开发使用的平台，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”。全球能源互联网将加速绿色低碳发展，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。



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 议程》提供坚强保障。

1.5

非洲电网 互联格局

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，跨洲跨区电力流规模达到 1.5 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 7500 万、1600 万千瓦。

跨洲跨区电力流规模达到

1.5 亿千瓦

其中跨洲电力流

5000 万千瓦

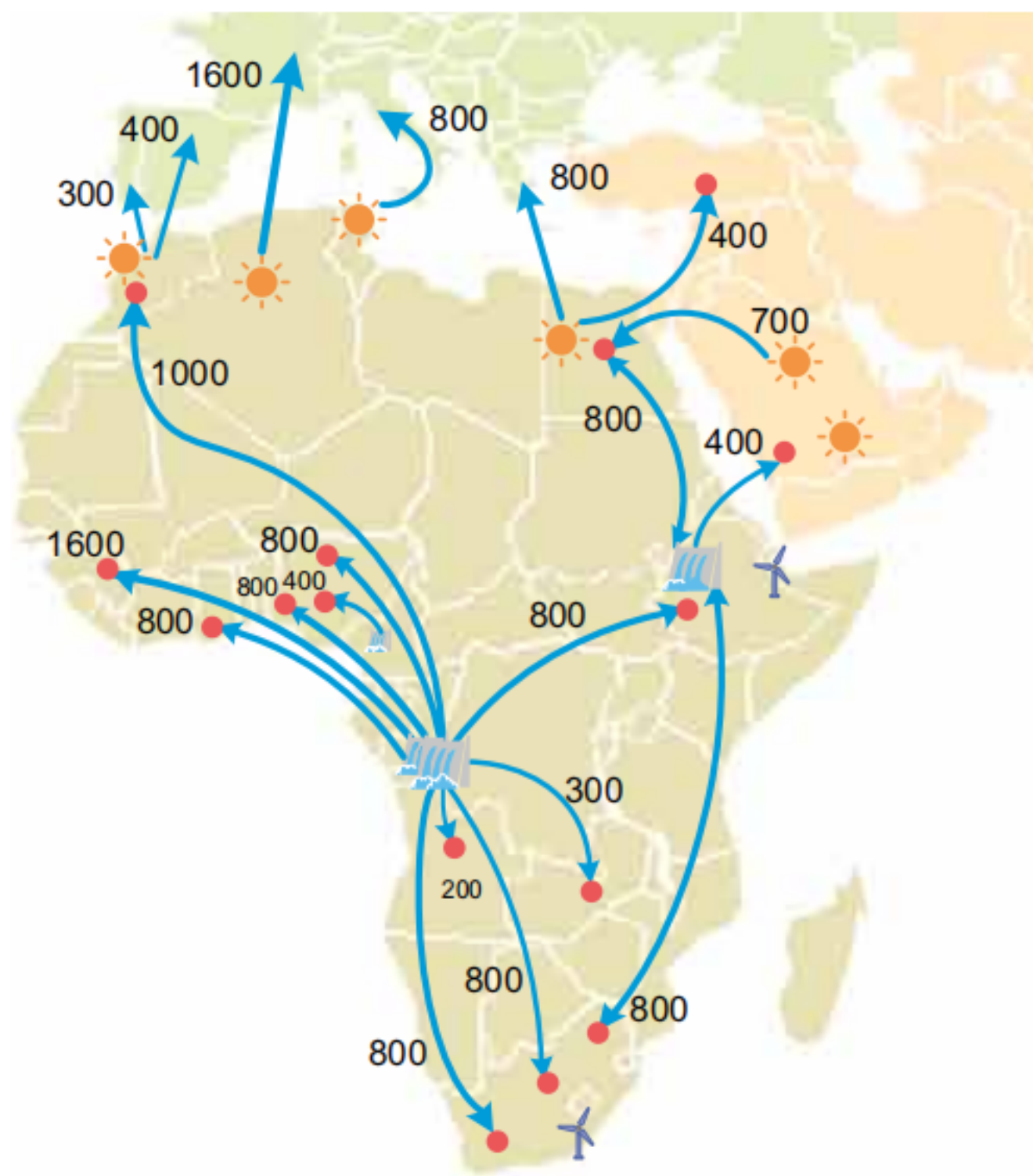


图 1.10 2050 年非洲电力流格局示意图

未来非洲电网总体形成北部、中部和西部、东部和南部 3 个同步电网，并通过特高压实现跨区联网。

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，联接北非大型太阳能发电基地与负荷中心，成为联接亚欧非的重要能源配置平台。

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（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 - 德国和埃及 - 土耳其直流工程，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。

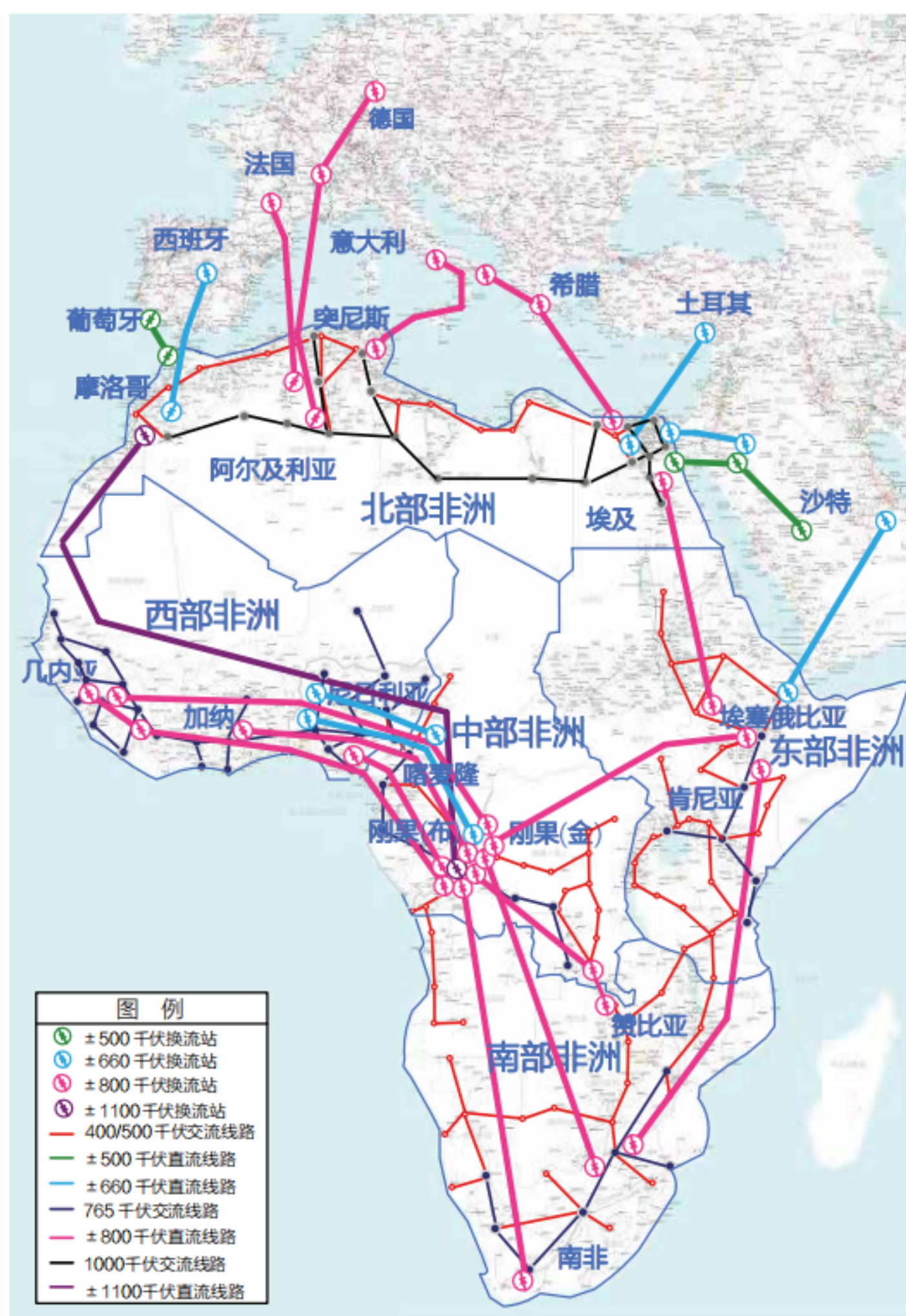
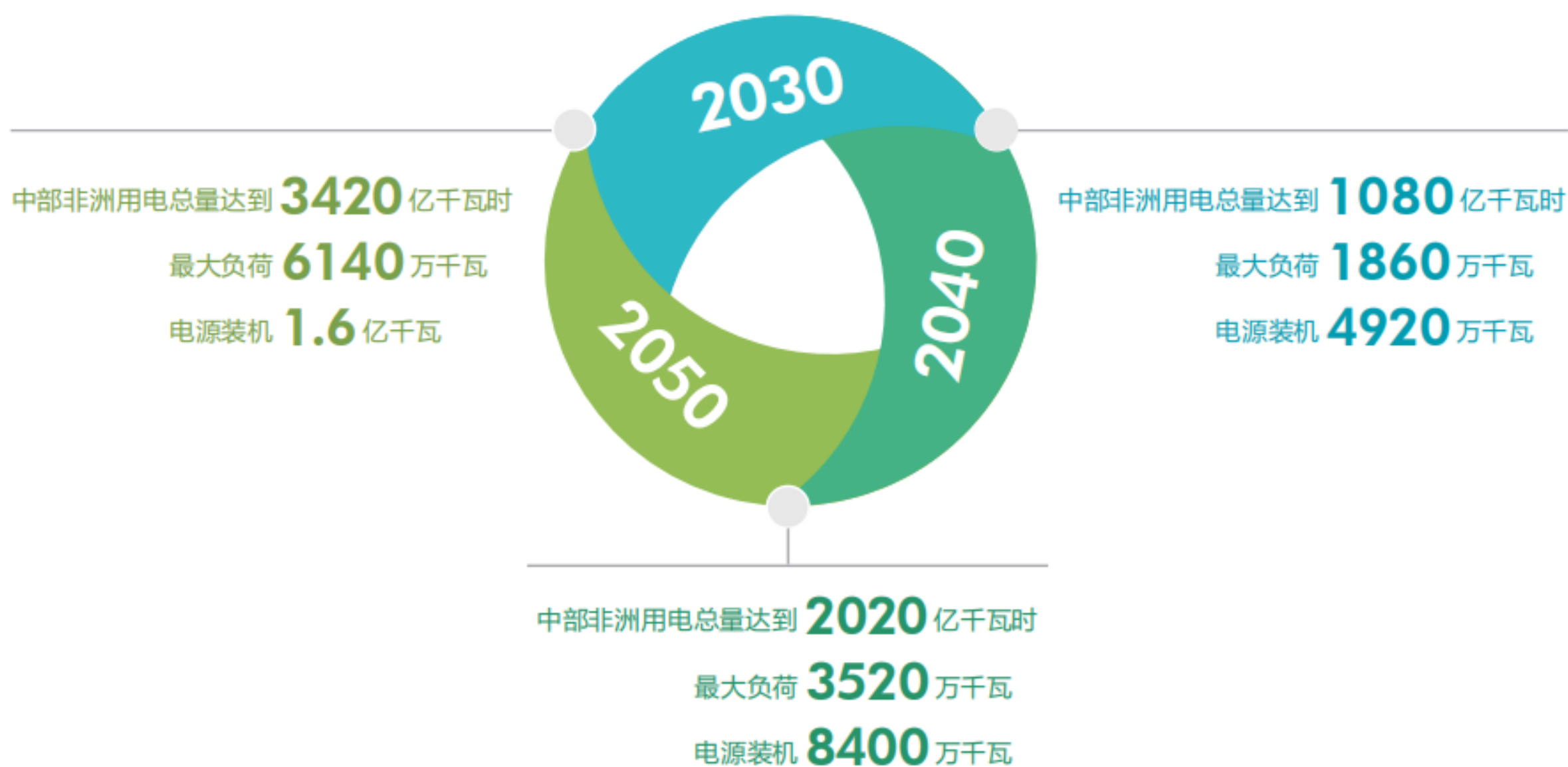


图 1.14 2050 年非洲电网互联示意图



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；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，建成区域 765/400/225 千伏同步电网，加强各国交流骨干网架，覆盖区内水电基地和负荷中心。

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，形成围绕大英加水电站的中非南部交流环网格局；建设喀麦隆 - 尼日利亚 2 回 400 千伏联网线路，形成中部、西部非洲交流同步电网。建设喀麦隆 - 尼日利亚和刚果（布）- 尼日利亚 2 回 ± 660 千伏直流工程、刚果（金）- 几内亚、刚果（金）大英加 - 刚果（金）卢本巴希 - 赞比亚、刚果（金）- 尼日利亚、刚果（布）- 加纳、刚果（布）- 南非等 ± 800 千伏直流工程，将萨纳加河、刚果河水电送至西非和南非，满足当地经济发展和矿业开发电力需求；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。

1.7

重点互联 互通工程

1.7.1 电源重点工程



图 1.15 大英加水电站总布置图

01

大英加水电项目

位于刚果（金）刚果河，总装机 6000 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；3~6 期总装机超过 5800 万千瓦，年发电利用小时数达 6500 小时以上。

02

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。

“电—矿—冶—工—贸” 联动发展新模式

2



2.3

“电—矿—冶—工—贸”发展规划

发挥优势产业，打造示范区域。一是优先发展冶金产业，并结合非洲矿产资源储量及分布情况，重点发展钢铁、电解铝、精炼铜等冶金子行业。**二是**根据区位优势，结合矿产基地、交通枢纽、工业发展基础等因素，重点打造一批矿冶加工示范工业园区，引领非洲地区冶金行业发展。可建设多类型工业园区，如冶金、下游制造、物流等，发挥高质量制造业园区辐射作用。

通过清洁能源大规模开发和电网互联互通建设，保障经济发展用电需求。根据主要冶金产品产量规划，预计 2030、2040 和 2050 年，非洲冶金行业用电需求将分别达到 1606 亿、3338 亿、5434 亿千瓦时。大幅超出现有发电能力。统筹区域内清洁能源开发和电网互联互通建设，形成电力开发有市场、项目收益有保障的良性循环。



图 2.1 非洲“电—矿—冶—工—贸”联动发展示意图

以矿冶产业为核心，提升工业化发展水平。结合南部非洲地区矿产资源储量和生产能力，建议重点发展精炼铜、电解铝和钢铁加工产业。2050 年，精炼铜产量达到 1200 万吨，电解铝产量达 600 万吨，钢铁产量 5000 万吨。2030、2040 和 2050 年，矿产加工业新增用电量分别为 380 亿、815 亿、1370 亿千瓦时。



表 2.2 南部非洲地区矿产冶炼产业发展规划

(产量：万吨，耗电量：亿千瓦时)

年份	精炼铜		电解铝		钢铁	
	产量	耗电量	产量	耗电量	产量	耗电量
2030	500	50	150	225	1500	105
2040	800	80	350	525	3000	210
2050	1200	120	600	900	5000	350



2.3.5 北非地区

发展基础

一是北非地区经济发展趋势向好。2013~2017年间，年均经济增速约3.2%。2017年，北非地区GDP总量约为7000亿美元，占非洲整体的31%。
二是区位优势明显，市场辐射广。北非是陆上连接亚欧非三洲的重要中转站，北部环地中海南岸，东临“世界咽喉”苏伊士运河，且靠近阿拉伯半岛，地理位置条件非常优越。
三是工业基础较为完善。北非国家有较好的技术基础、人力资源和配套环境。纺织业是北非多国的主要支柱产业，汽车制造业也较为发达，且磷酸盐开采和加工有较为完整的产业链。

发展重点

打造“三大经济带”协同发展格局。

地中海经济带

发挥资源和区位优势，加快纺织、石油化工等传统产业转型升级，培育石油精炼、智能制造等新支柱产业，推动物流、旅游、文化交流等向高端高增值方向发展。

大西洋经济带

充分利用周边国家的资金、技术优势，有效承接纺织、化工等传统产业，发展和完善工业体系。同时依托港口优势，承接西非经济带，发挥对欧洲市场的辐射作用。

红海经济带

发展现代农业和先进制造业，发挥埃及带动作用，支持汽车、家用电器、电子信息等产业做大做强，以主要港口为重点，形成优势互补的港口、物流和配套服务体系，打造北非地区重要交通枢纽地。





降低发展成本。通过在非洲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。

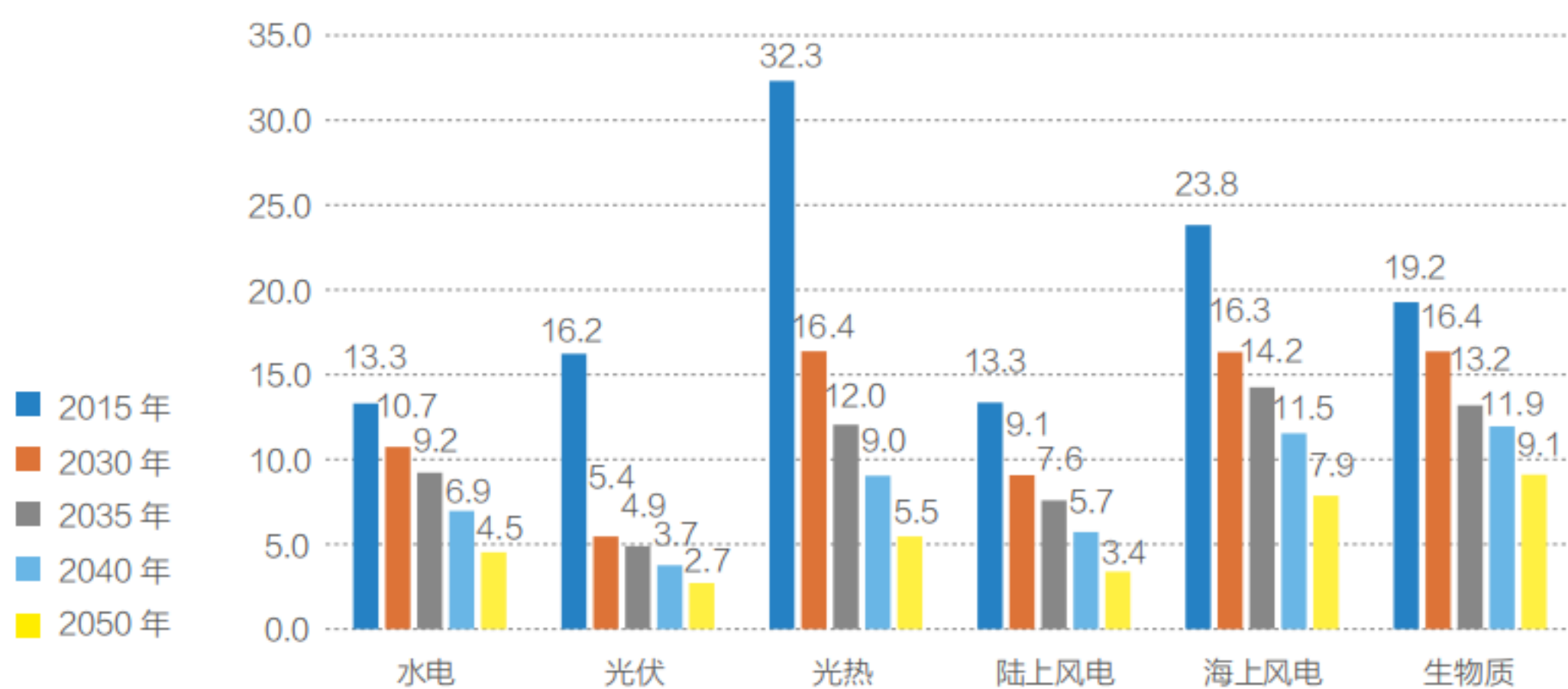
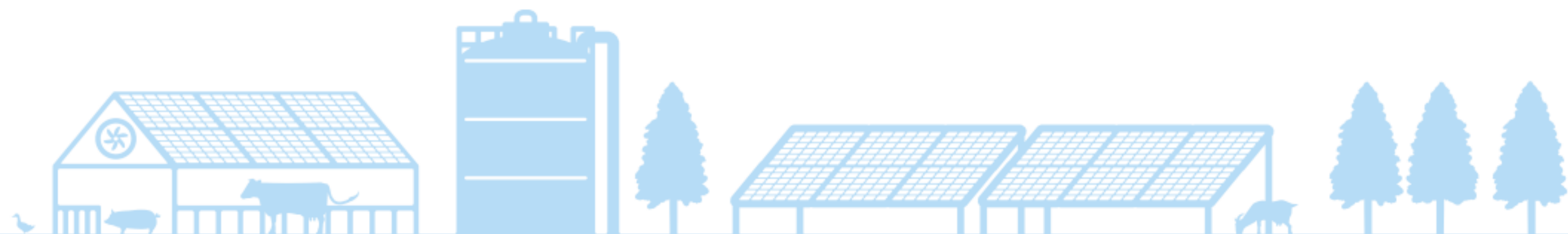


图 3.1 非洲各类电源平均度电成本预测（美分 / 千瓦时）^①

① 国际可再生能源署。



3.4

政治效益

增强政治互信

非洲能源互联网和“电-矿-冶-工-贸”联动发展新模式将统筹非洲地区清洁能源开发、电网互联互通、矿产开采加工和工业园区建设。实现各国清洁能源共享、电力互联互通和跨国跨洲交易。各国工业化发展将促进地区劳动力、技术、资金的自由流动，有力加强能源、经济合作和政治互信。

促进和平发展

发展是非洲各国的共同诉求。非洲能源互联网和“电-矿-冶-工-贸”联动发展新模式将帮助非洲各国将资源优势转换为经济优势，协调解决各国发展缺资金、产品缺市场等问题。通过发展冶金行业和工业园区建设，将有效促进各国制造业产能合作，进而推动地区整体工业化发展。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。

服务区域一体化和人类命运共同体建设

非洲能源互联网和“电-矿-冶-工-贸”联动发展新模式将帮助非洲地区解决长期以来面临的贫困、无电、增长乏力等问题，成为拉动非洲经济增长的重要引擎。通过统筹清洁能源开发，加强各国电力互联互通，能够促进各国在能源领域的合作，推动各方之间建立牢固伙伴关系，促进非洲和平和谐，助力人类命运共同体建设。



04

强化产业协同

依托资源禀赋优势，打造优势产业集群。以清洁充足的电力供应，保障矿产开发、冶金生产、加工制造业，实现“电－矿－冶－工－贸”产业链的协同发展，推动非洲资源优势向经济优势转化，根本改变非洲能源发展方式和经济发展模式。以产业链协同发展的互利共赢模式破解融资难题，统筹“网－源－荷”上下游产业发展模式，以产业集群及利益共享的方式分担投融资风险。以电力和矿业项目的盈利预期和大型企业信用为基础，签订发电、输电、用电三方长期合约，降低项目风险，确保各方收益；银行和财团根据企业投入的资本金及企业间具有法律约束的长期合约提供贷款，从而破解因政府无力担保、缺乏资金导致大型项目难以实施的困局。

05

推动非洲制造

非洲各国政府制定“制造业振兴计划”。将制造业，特别是冶金、化工等基础工业作为优先发展的重点方向，合理规划制造业发展战略，出台相应土地、税收等优惠政策降低制造业生产成本，明确进出口相关法律及政策。各国政府加快培育重点和核心企业，提高主导企业的国际竞争力，向全球产业链的中后端移动，发挥主导企业的整体带动力。坚持南北合作为主渠道，发达国家加大在资金、技术和能力建设等方面的支持，优先进口非洲制造产品。全球共同努力，设立非洲制造业发展专项基金，将非洲打造成为重要的全球制造基地。



.....

目 录

前言

1	非洲能源互联网促进非洲可持续发展	06
1.1	非洲可持续发展的机遇与挑战	07
1.2	非洲能源互联网发展思路	15
1.3	非洲能源电力发展趋势	16
1.4	非洲清洁能源开发利用	17
1.5	非洲电网互联格局	19
1.6	区域电网互联方案	24
1.7	重点互联互通工程	31
2	“电－矿－冶－工－贸” 联动发展新模式	35
2.1	“电－矿－冶－工－贸” 联动发展内涵和基本思路	36
2.2	非洲发展“电－矿－冶－工－贸” 的重要性.....	38
2.3	“电－矿－冶－工－贸” 发展规划	39

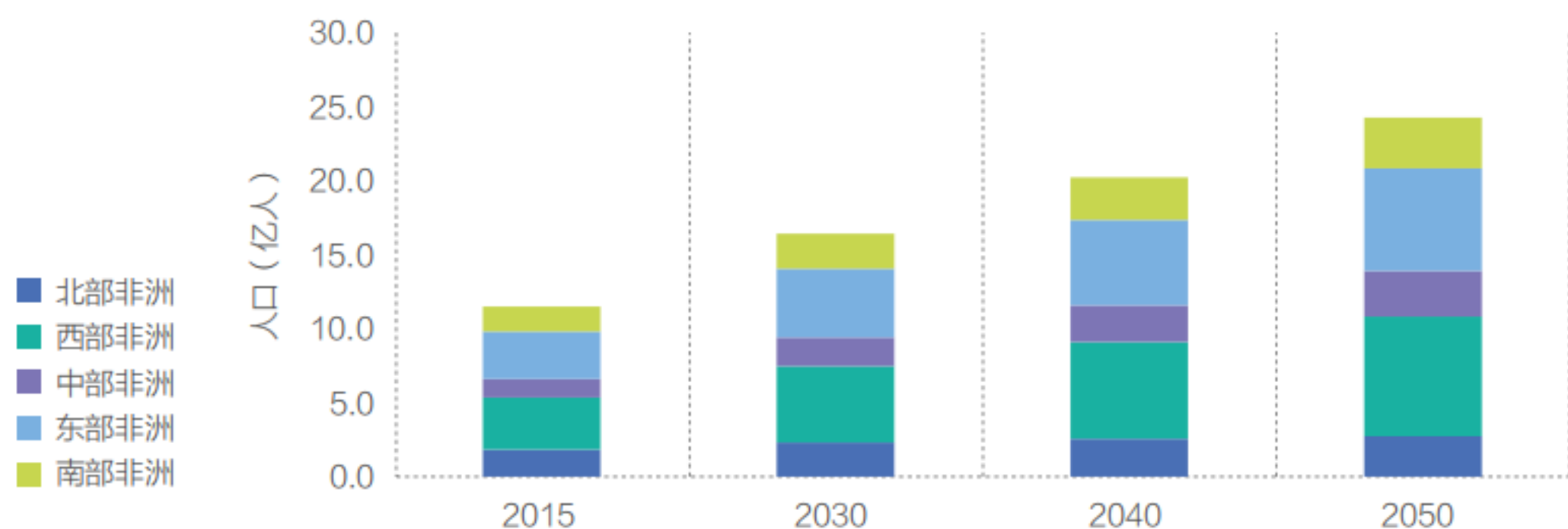


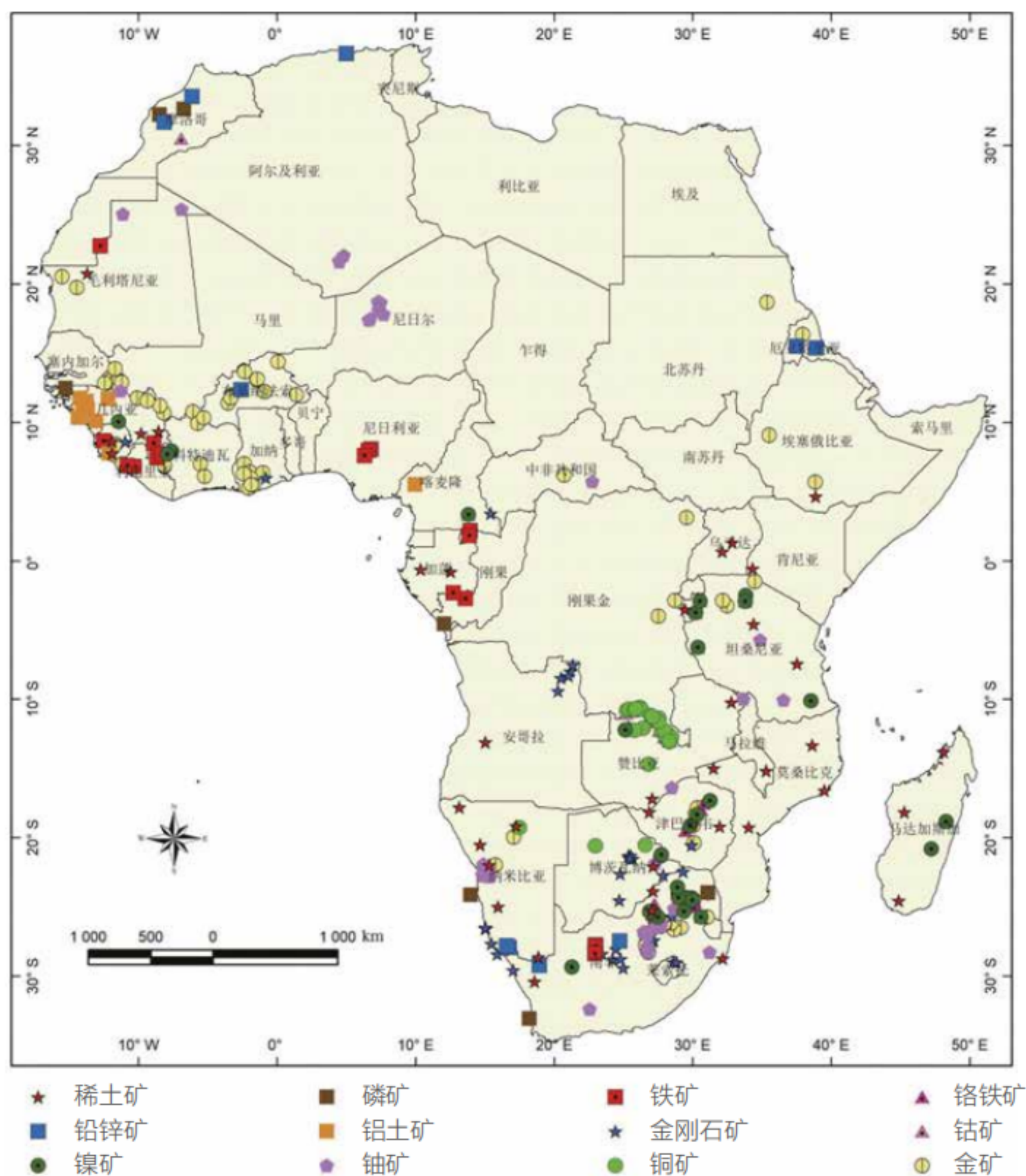
图 1.1 非洲人口增长情况预测

1.1.2 发展目标

区域目标。非洲联盟和西非国家经济共同体等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。非盟主导的《2063 议程》提出了七大愿景，描绘了 2063 年非洲的宏伟蓝图。一是在包容性增长和可持续发展基础上打造繁荣的非洲；二是在泛非洲和非洲复兴愿景基础上打造政治团结的一体化非洲大陆；三是建设公平、民主、尊重人权、正义和法治的非洲；四是实现非洲的和平安全；五是让非洲拥有强大文化认同、共同传承、共享价值观和道德观；六是以人为本追求发展，充分发挥非洲人特别是女性和青年的潜力，关爱儿童成长；七是让非洲成为国际社会中强大、团结而富有影响力的行为体和合作伙伴。《2063 议程》提出非洲工业化的中长期战略构想，中期将制造业增加值占 GDP 的比重比 2013 年增加 50% 以上；长期实现将制造业增加值在现有基础上增加 5 倍以上。

此外，非洲国家还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、非洲水资源愿景、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。





但由于非洲工业化发展水平较低，产业结构单一，导致对自然资源开发和利用率十分有限。截至 2018 年，非洲水电开发程度仅约 10%，矿产主要以原矿出口创汇为主，大大降低了自然资源的经济价值。

^① 2018. 非洲优势矿产资源分布图. 中国地质。

1.3 非洲能源电力 发展趋势

非洲能源需求潜力较大，2050 年一次能源需求总量比 2015 年翻一番。2050 年，一次能源需求总量增至 24.1 亿吨标煤，年均增速 2.2%。终端能源需求增至 13.9 亿吨标煤，年均增速 1.5%，工业、交通、居民和服务业分别为 4.2、1.8、7.4 亿吨标煤。

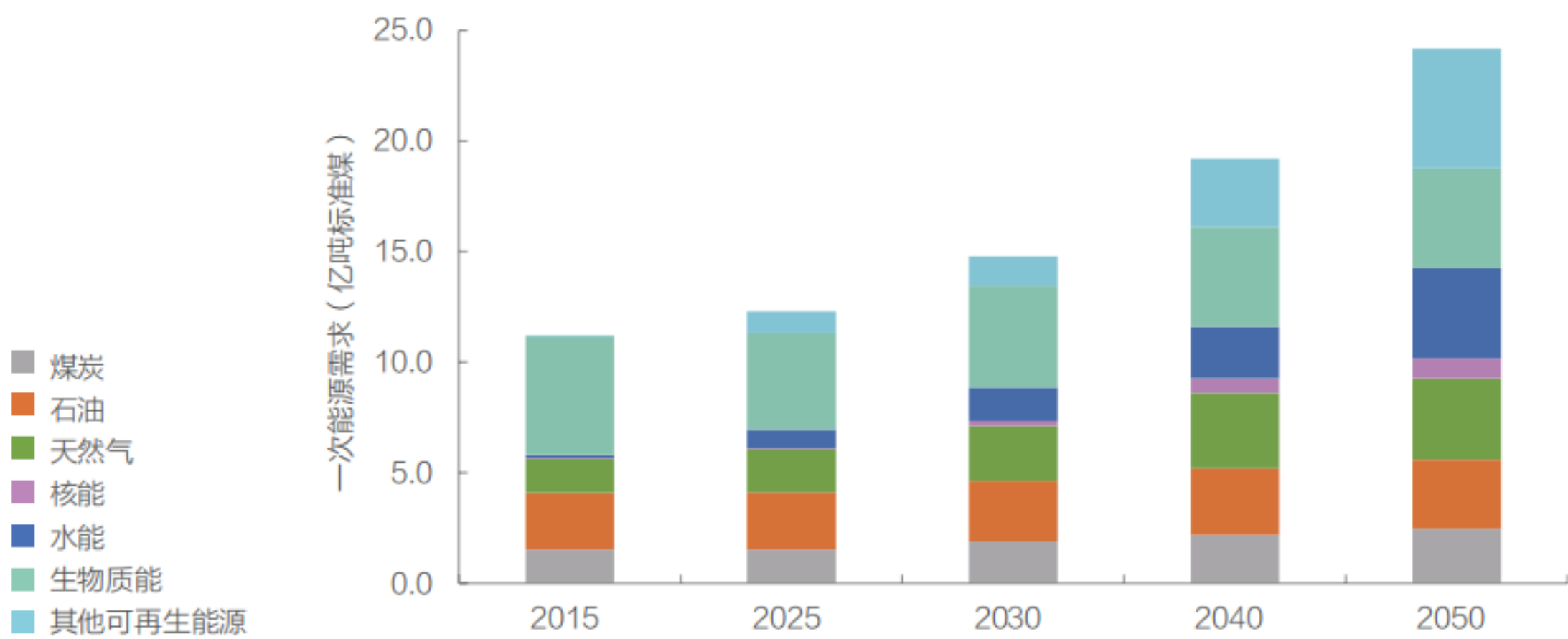


图 1.5 非洲一次能源需求预测

2015~2050 年 非洲电力需求总量年均增速 5.4%

非洲电力需求增长较快，2050 年电力需求和最大负荷分别是 2015 年的 6.3 和 5.6 倍。2015~2050 年，非洲电力需求总量从 0.6 万亿千瓦时增至 3.9 万亿千瓦时，年均增速 5.4%。最大负荷从 1.2 亿千瓦增至 6.9 亿千瓦，年均增速 5.0%。人均用电量从 534 千瓦时 / 年增至 1590 千瓦时 / 年，是 2015 年的 3 倍。

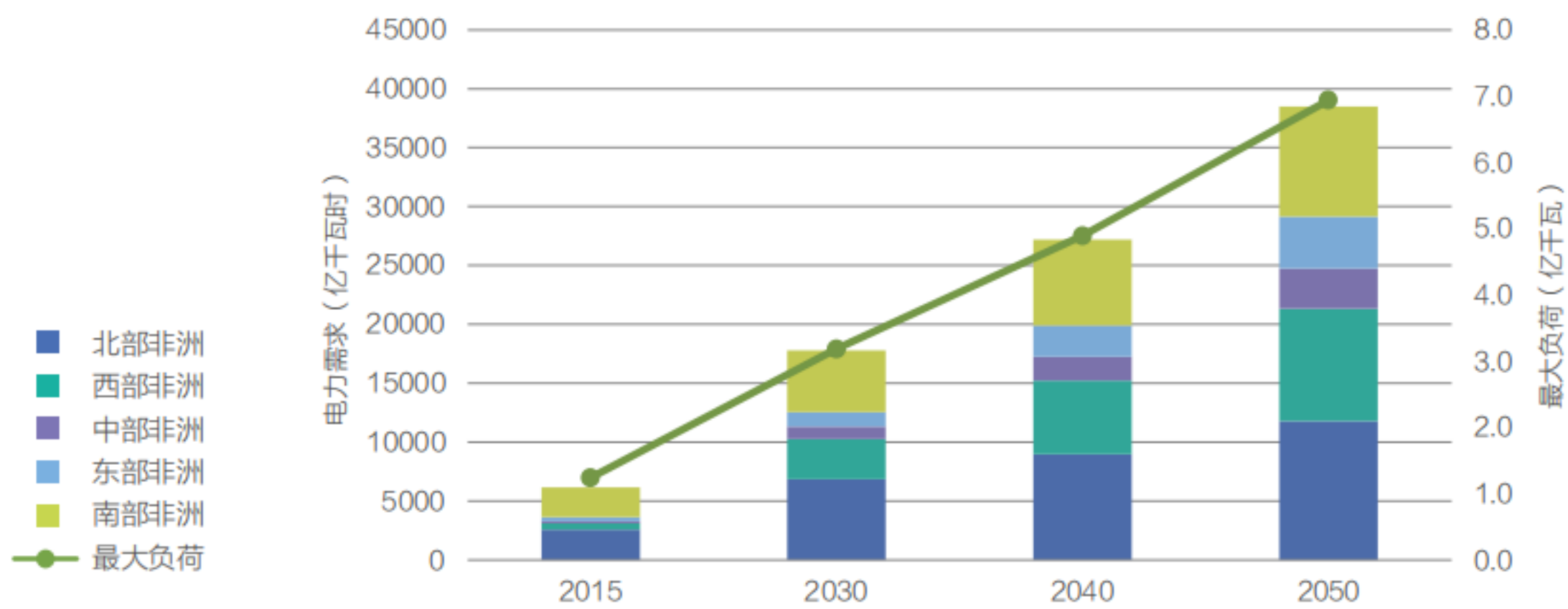


图 1.6 非洲各区域电力需求和最大负荷

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 / 特高压直流送电主要负荷中心。

实现与欧洲、亚洲跨洲联网：建设跨地中海西、中、东三个输电通道，将非洲中部水电与北部太阳能联合外送欧洲；建设非洲 - 西亚电力互联通道，实现清洁能源大范围优化配置。

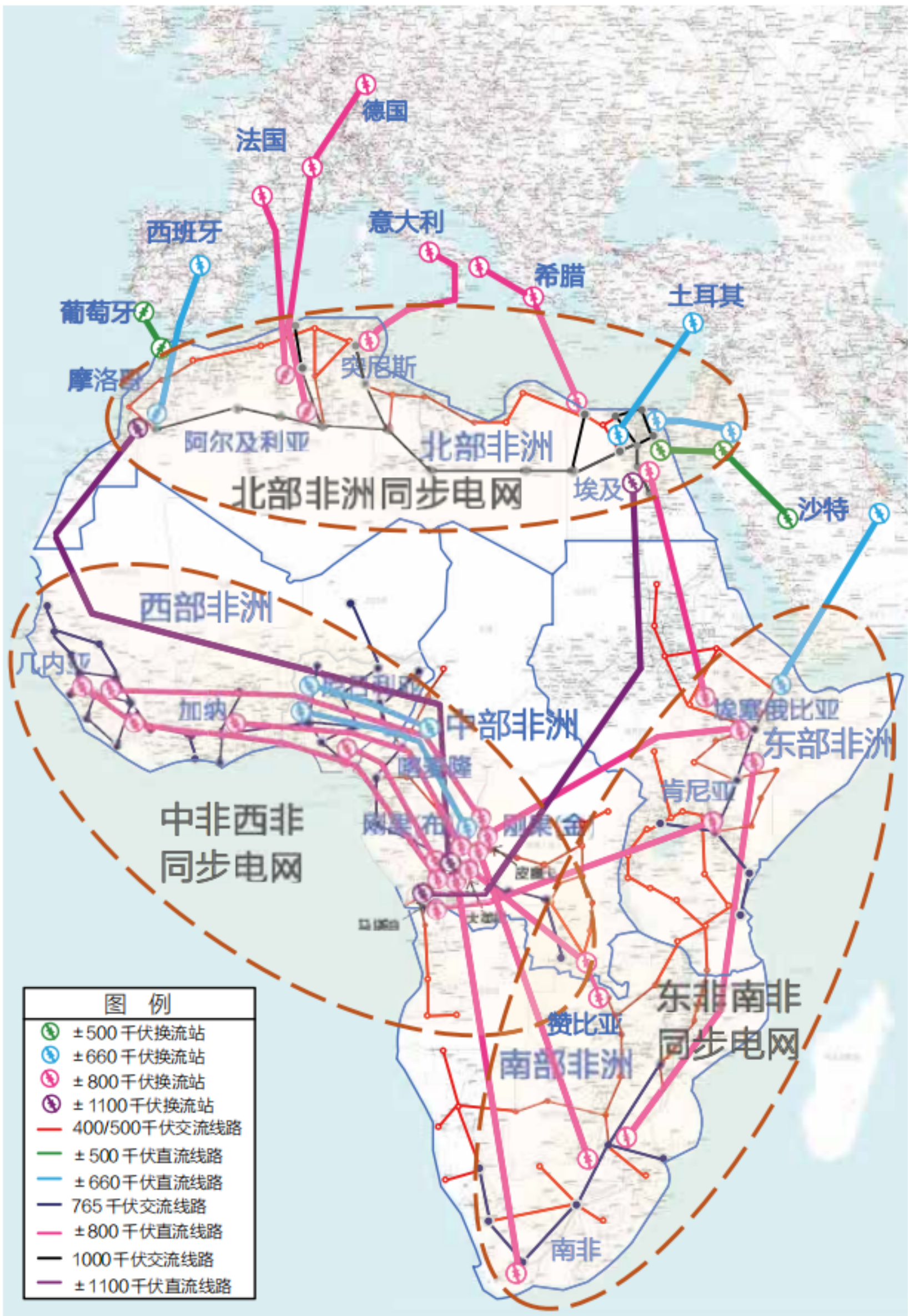


图 1.11 非洲电网互联总体格局示意图

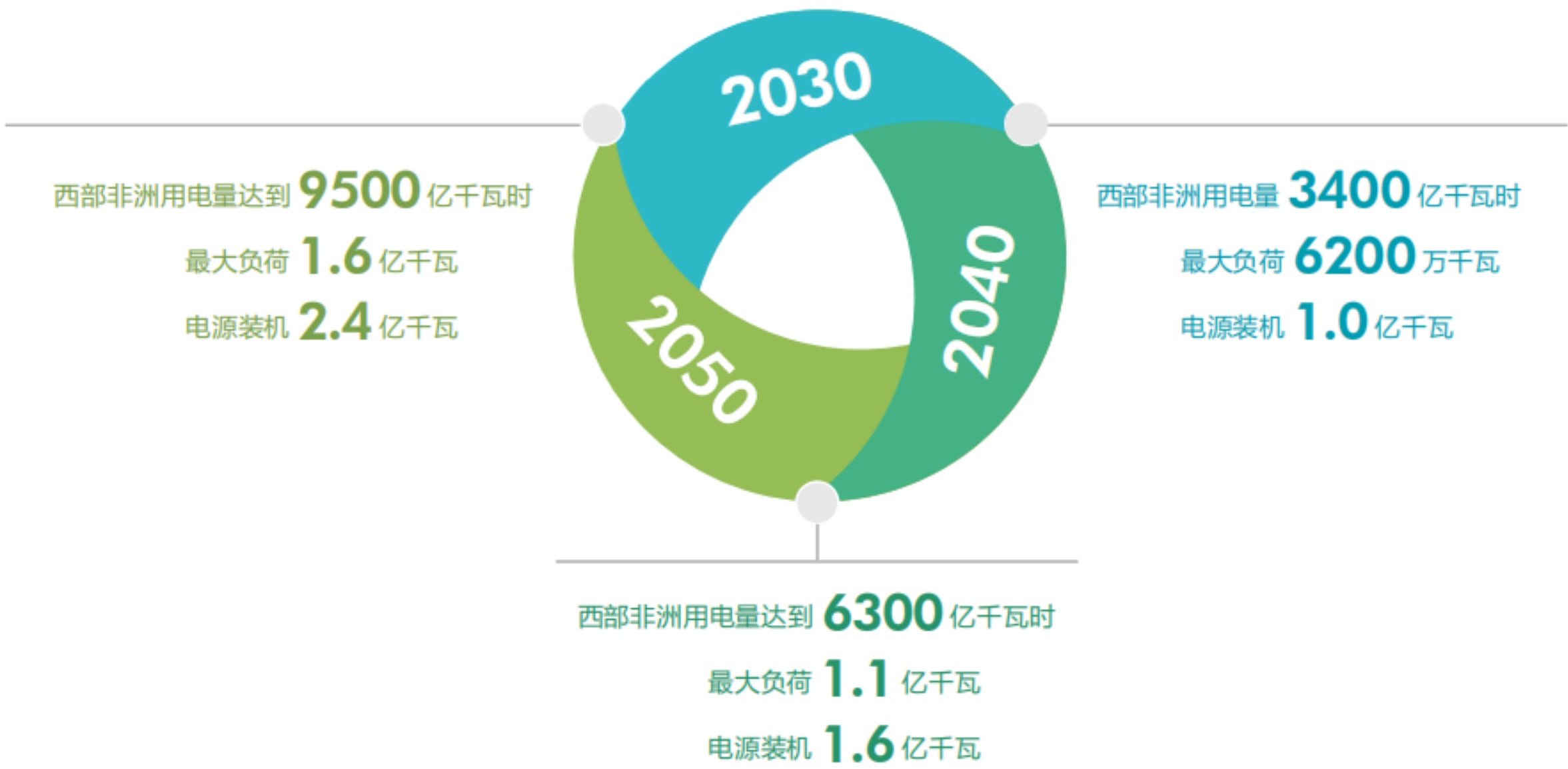
1.6

区域电网
互联方案

1.6.1 西部非洲

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、沃尔特河等流域水电，逐步开发尼日尔、尼日利亚、马里、毛里塔尼亚、塞内加尔等国大型太阳能基地，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，并跨区受入中非刚果河、萨纳加河水电，实现水、风、光互补互济，满足区域“电－矿－冶－工－贸”联动发展电力需求。

2030 年，西部非洲用电量 3400 亿千瓦时，最大负荷 6200 万千瓦，电源装机 1.0 亿千瓦；2040 年，西部非洲用电量达到 6300 亿千瓦时，最大负荷 1.1 亿千瓦，电源装机 1.6 亿千瓦；2050 年，西部非洲用电量达到 9500 亿千瓦时，最大负荷 1.6 亿千瓦，电源装机 2.4 亿千瓦。



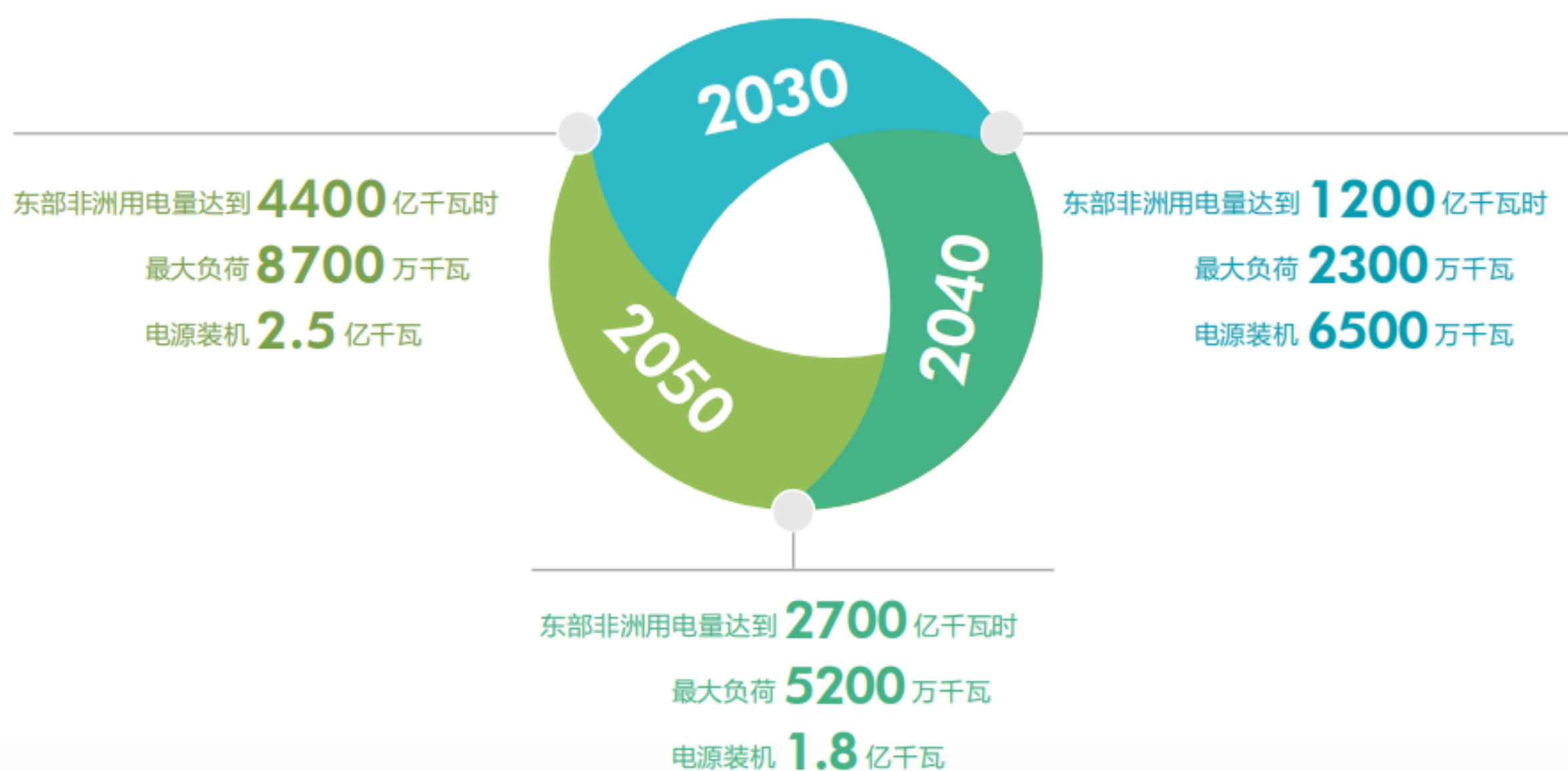
区内

建成西非统一的坚强同步电网，广泛互联大型清洁能源基地和负荷中心，实现区内及跨区能源资源安全、可靠、经济、高效大范围优化配置。建成东部 765/330 千伏“一横三纵”和西部 765/225 千伏“三横两纵”骨干网架，加强东部 330 千伏和西部 225 千伏主干网架至多环网、多回路结构，各级电网有效衔接、协调发展，联接各大清洁能源基地，覆盖矿业工业园区、首都经济圈和沿海经济带等负荷中心，实现清洁、可靠、经济的能源电力供应。

1.6.4 东部非洲

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 1200 亿千瓦时，最大负荷 2300 万千瓦，电源装机 6500 万千瓦；2040 年，东部非洲用电量达到 2700 亿千瓦时，最大负荷 5200 万千瓦，电源装机 1.8 亿千瓦；2050 年，东部非洲用电量达到 4400 亿千瓦时，最大负荷 8700 万千瓦，电源装机 2.5 亿千瓦。



03

皮奥卡水电项目

位于刚果（金）和刚果（布）交界刚果河段，装机容量 3500 万千瓦，规划 2050 年前建成。

04

马塔迪水电项目

位于刚果（金）刚果河，装机容量 1400 万千瓦，规划 2070 年前建成。

05

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。

06

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。

07

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。

08

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。

09

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。

10

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。

11

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。

非洲破解经济发展困局，实现可持续发展目标，需要解放思想、创新模式，加快开发自然资源。“电－矿－冶－工－贸”联动发展模式是基于非洲地区资源禀赋优势，对特定发展阶段提出的经济社会可持续发展整体方案，综合发挥资源优势、产业优势和区域优势，创立示范区，产生辐射效应，助力非洲发展迈入快车道。

2.1 “电－矿－冶－工－贸”联动 发展内涵和基本思路

内涵：依托区域资源禀赋，大力开发区域清洁能源资源，加强电网建设，保障工业发展充足可靠电力供应，以冶金工业为龙头带动全产业链发展，形成采矿、冶炼、深加工一体化发展格局。创新投融资模式，扩大区域贸易和国际贸易规模，提高出口创汇能力，实现电力、矿业、冶金、加工制造业、贸易协同发展。“电－矿－冶－工－贸”联动发展新模式能够有效解决矿产开发和工业园区“缺电力”、电力开发“缺市场”、项目融资“缺信用”、投资回报“缺保障”等难题，实现资源优势向经济优势转化，根本改变能源发展方式和经济发展模式，保障经济社会可持续发展。

基本思路：“电－矿－冶－工－贸”联动发展模式，能源电力、矿产、冶金产业、工业化、贸易五个环节形成经济发展良性循环，发挥各环节潜能，打通环节间壁垒，充分发掘联动效益，破解经济发展困局。



2.3.1 西非地区

发展基础

一是经济增长势头良好。2013~2017年，西非平均经济增长率达到4.6%。2017年西非地区GDP总量约5538亿美元，占非洲GDP总量的24%。二是矿产资源极为丰富。铝矾土储量约452亿吨，约占全球铝矾土探明储量的60%以上；铁矿石储量约640亿吨，约占全球铁矿石探明储量的8%；锰矿储量1.7亿吨，约占全球锰矿探明储量的25%。

发展重点

树立非洲“电-矿-冶-工-贸”联动发展模式示范区。充分发挥西非地区资源优势 and 区位优势，灵活运用“电-矿-冶-工-贸”联动发展新模式，以矿产开发和冶炼为基础，以工业园区为助力，打造几内亚湾、西部沿海和尼日尔河三大经济带，推动西非地区工业化快速发展。

打造“三大经济带”协同发展。**几内亚湾经济带**：重点发展钢铁、铝、黄金、石化、机械、汽车、纺织等产业，树立非洲现代工业新标杆，积极参与全球价值链。**西部沿海经济带**：重点发展铝、钢铁、物流、金融、食品加工、电子商务，发挥港口区位优势，形成轻重工业协同、传统与新兴产业并举的发展态势。**尼日尔河经济带**：发挥尼日尔河黄金水道优势，开发磷矿、黄金、铀等资源，发展化工、纺织、食品加工、文化旅游等产业，打造内陆发展示范区。



图 2.2 西非产业规划与经济带示意图

2.3.3 中非地区

发展基础

一是经济发展环境好，潜力大。各国陆续推出工业和经济振兴计划，调整经济结构，大力发展采矿业、制造业、农副产品加工业等产业。2017 年，中非地区 GDP 总量约为 2430 亿美元，占非洲 GDP 总量 11%。二是人口红利不断释放。总人口 1.6 亿，占整个非洲的 13%，2030 年中非人口将达到 1.9 亿人，2050 年将超过 3 亿人，年均增长率约 2.4%。

发展重点

打造“一圈一带”协同发展。**刚果河资源辐射经济圈**：发挥得天独厚的水能资源优势，加快清洁能源基地开发和跨区域电网建设，积极创新发电、输电、用电一体化发展思路，在区域内合理匹配电力生产端和消纳端，聚合水资源与矿产资源的双优势。**港湾经济带**：依托港湾区位优势，充分利用各国资源和技术优势，发展现代农林业、铝产业、机械制造业、现代物流产业等，发展和完善工业体系，发挥对附近内陆市场的辐射作用。



图 2.4 中非产业规划与经济带示意图



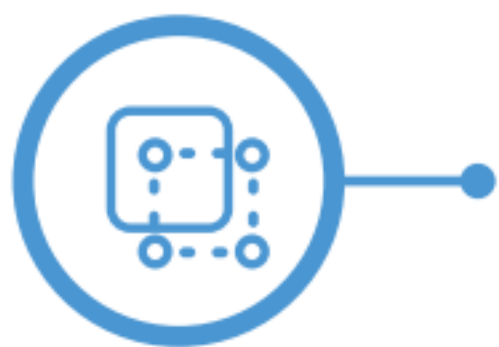
图 2.6 北非地区发展规划示意图



“电－矿－冶－工－贸”联动发展模式的核心是通过工业化充分发挥区域生产要素和产业比较优势，形成经济发展良性循环，聚合联动效益，为破解非洲重大项目建设长期面临的有资源、无市场、融资难、启动难困局提供“一揽子”解决方案。“电－矿－冶－工－贸”联动发展，将推进非洲经济社会发展步入快车道。



增加创汇。一是扩大电力贸易。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 360 亿美元。二是提升矿产制成品出口。“电－矿－冶－工－贸”联动发展模式将使非洲国家逐渐减少原矿出口，大幅提高电解铝、铝型材、不锈钢等矿产制成品出口。到 2050 年，非洲地区整体矿产制成品出口总额将超过 1000 亿美元。



实现均衡发展。“电－矿－冶－工－贸”联动发展模式将充分发挥各国要素禀赋优势，推动各国工业化发展进程，有力带动经济发展，从而使各国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。



4 结语



3	综合效益.....	49
	3.1 经济效益	50
	3.2 社会效益	53
	3.3 环境效益	54
	3.4 政治效益	55
4	结语.....	56

国家目标。非洲各国制定了发展计划和战略，依托资源禀赋延长产业链，提升产品附加值，走集约化的发展道路。

刚果（金）

制定五年发展规划（2017-2021年），大力发展基础设施、能源、矿业开发和加工业，重点推进20个农业和工业产业园建设，并加紧推进5个经济特区建设。根据《2050年刚果民主共和国愿景》，刚果（金）政府规划在2020年进入中等收入国家行列，2030年成为新兴经济体，2050年实现工业化经济。

刚果（布）

积极推行振兴经济和经济多元化政策，减少对石油过度依赖，推动各行各业全面发展。根据刚果（布）五年发展规划（PND2016-2020），以特区建设带动经济发展，将经济特区列为经济多元化和产业发展的重点，计划在2025年之前将刚果（布）建设成为新兴发展中国家。

埃及

宣布《2030愿景》战略，将发展与环保、就业与提升劳动力素质相结合，以公平公正、平衡多样的方式全面推进经济和社会同步发展。计划到2030年实现年均GDP增长率达到7%，出口对经济增长贡献率达25%，失业率降至5%以下的经济发展目标。

尼日利亚

宣布经济恢复与发展计划，提高发电量保障电力供应，加快炼油业发展，推动工业化进程，支持中小企业发展，促进粮食自给自足等。尼日利亚致力于重回GDP高增长轨道，计划2020年GDP年均增长率回升至4.6%。

几内亚

制定《2016-2020年经济发展规划》，通过加强基础设施建设，加快自然资源开发与利用，恢复经济快速增长。根据《矿业法》实施细则，改组和整顿国家矿业资源公司，建立增值税退税机制等多项措施，完善矿业发展和监管措施；优先规划改善电力、交通等基础设施，提出国家骨干输电网项目，铁路建设项目，港口疏浚、码头改造项目等，加快基础设施建设。

缺乏有效消纳市场，制约水电大规模开发

一是集中式、规模化的电力需求较低，导致大型电力项目开发缺少市场动力。非洲水能资源十分充足，如刚果河下游，以大英加水电站为首的三级水电站，总装机容量可达到 1.2 亿千瓦，可发电时间达 7000-8000 小时。但由于非洲整体的工业化水平低，高载能行业较少，电力消纳市场的缺失，已经严重抑制了非洲水电开发。二是非洲市场潜力大，但未形成跨国协调的市场机制。2017 年，76% 的非洲国家人口不足 3000 万，约一半国家的 GDP 不足 100 亿美元，导致了商品、劳动力和资本的严重分散。同时，非洲各国间的关税贸易壁垒和落后的基础设施也进一步加剧了市场碎片化。

信用和保障不足，导致在非大型项目难以落地

从非洲内部来看，非洲各国经济基础较为薄弱，储蓄率低、国内可用资金规模小，同时，银行、保险、证券、担保等金融体系不完善，融资渠道单一。目前，非洲基础设施投资以政府财政投入为主，但政府财政收入规模小、增长慢，难以满足大型水电建设以及工业化项目投产所需的巨大资金需求。从国际层面来看，由于非洲金融市场基础薄弱，国际资本对非洲投资面临较大的外汇风险、税收风险、市场变化风险等，尚未形成具有非洲特色的投融资模式，对非投资总额远远不能满足发展需要。丰富的水能资源、矿产资源是非洲快速发展的主要动力，但由于资金不足，投融资困难，已严重制约水电开发等大型项目落地实施。



1.4 非洲清洁能源 开发利用

非洲未来宜加快非洲清洁能源开发，清洁能源加快替代化石能源发电。预计2025年前，光伏和风电竞争力将全面超过化石能源；大规模储能技术和电网运行控制技术快速发展，推动清洁能源加快成为主力电源。2030年，清洁能源装机超过50%；2050年，非洲清洁能源装机10亿千瓦，占比提升至77%，其中太阳能发电装机5.7亿千瓦、水电装机2.8亿千瓦、风电装机1.1亿千瓦。

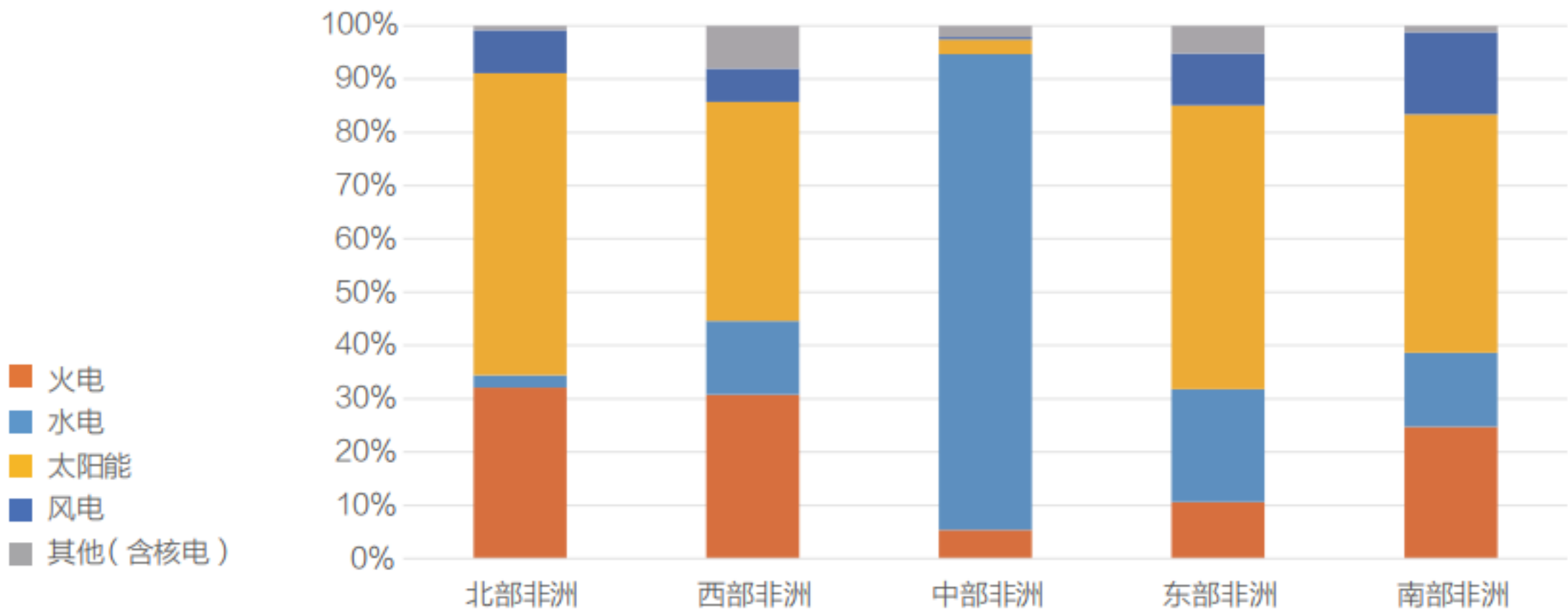


图 1.7 2050 年非洲各区域电源装机结构

2050 年
非洲电源总装机达 **13** 亿千瓦
年均增长率 **6.0%**

非洲电力供应能力不断提升，满足经济社会发展所需电力。2050年，非洲电源总装机达13亿千瓦，年均增长率6.0%，人均装机增长到0.5千瓦，增至2015年3.7倍。北部非洲是电源装机增长的主要地区，电源装机增长2.6亿千瓦，超过非洲电源总装机增长量的四分之一。

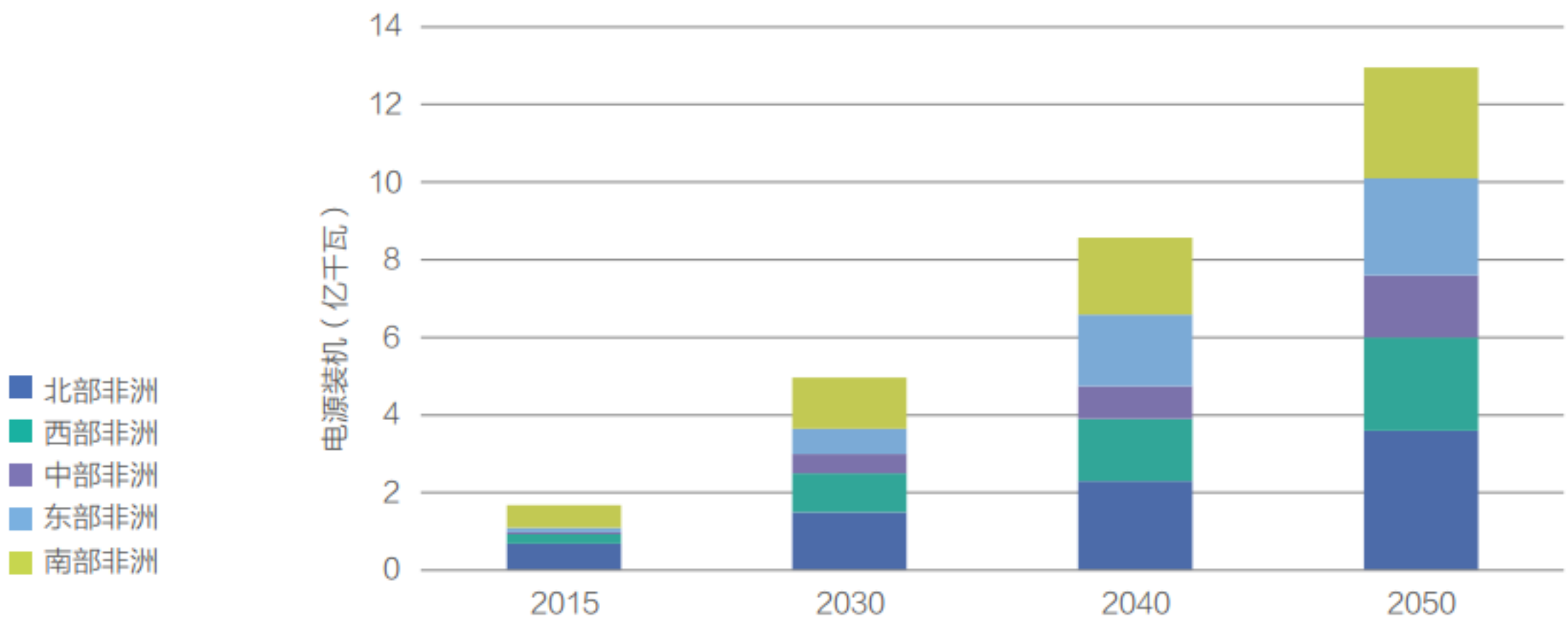


图 1.8 非洲各区域电源装机规模预测

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、刚果（金）- 赞比亚、埃塞俄比亚 - 南非、刚果（布）- 尼日利亚和喀麦隆 - 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。

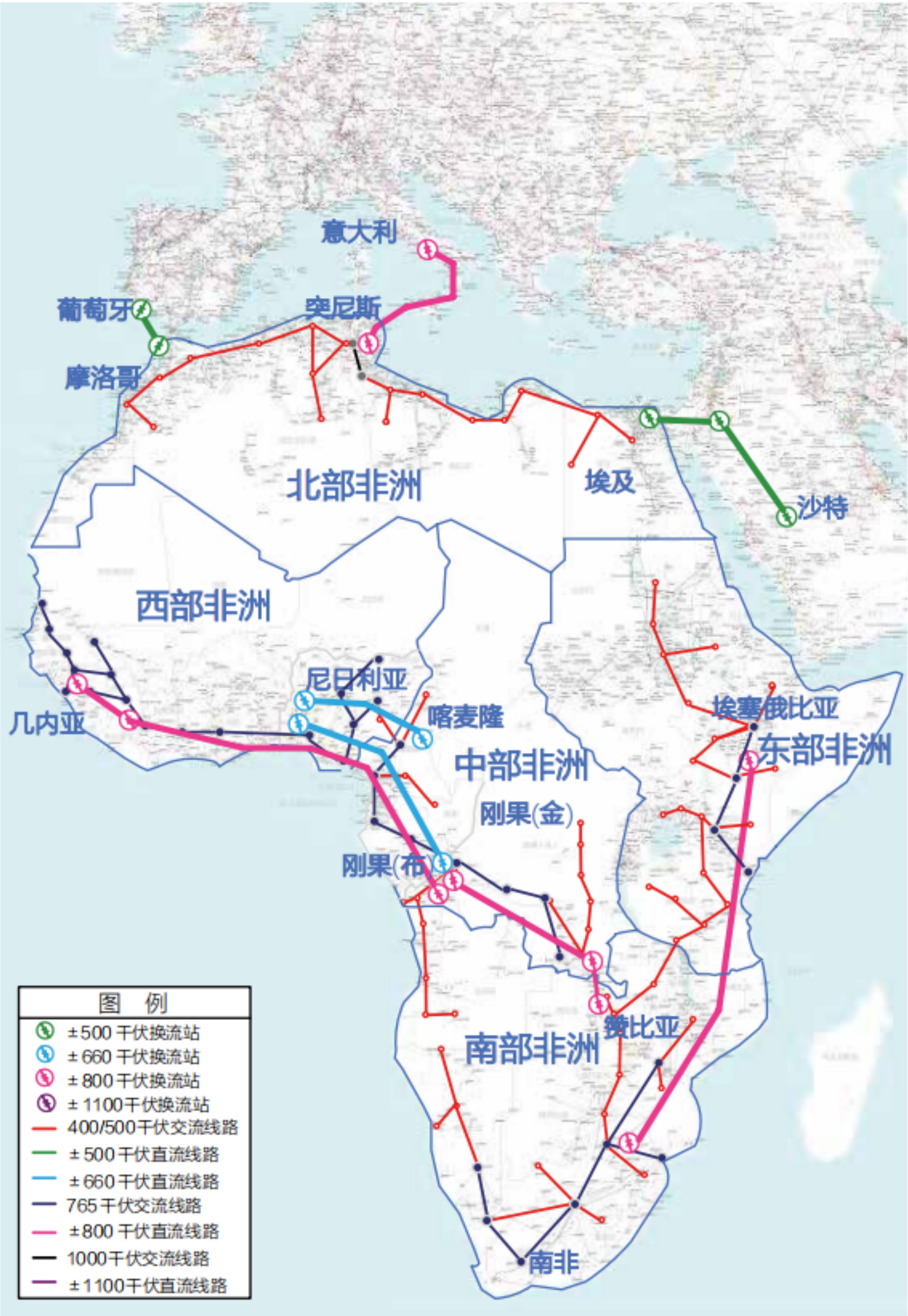


图 1.12 2030 年非洲电网互联示意图

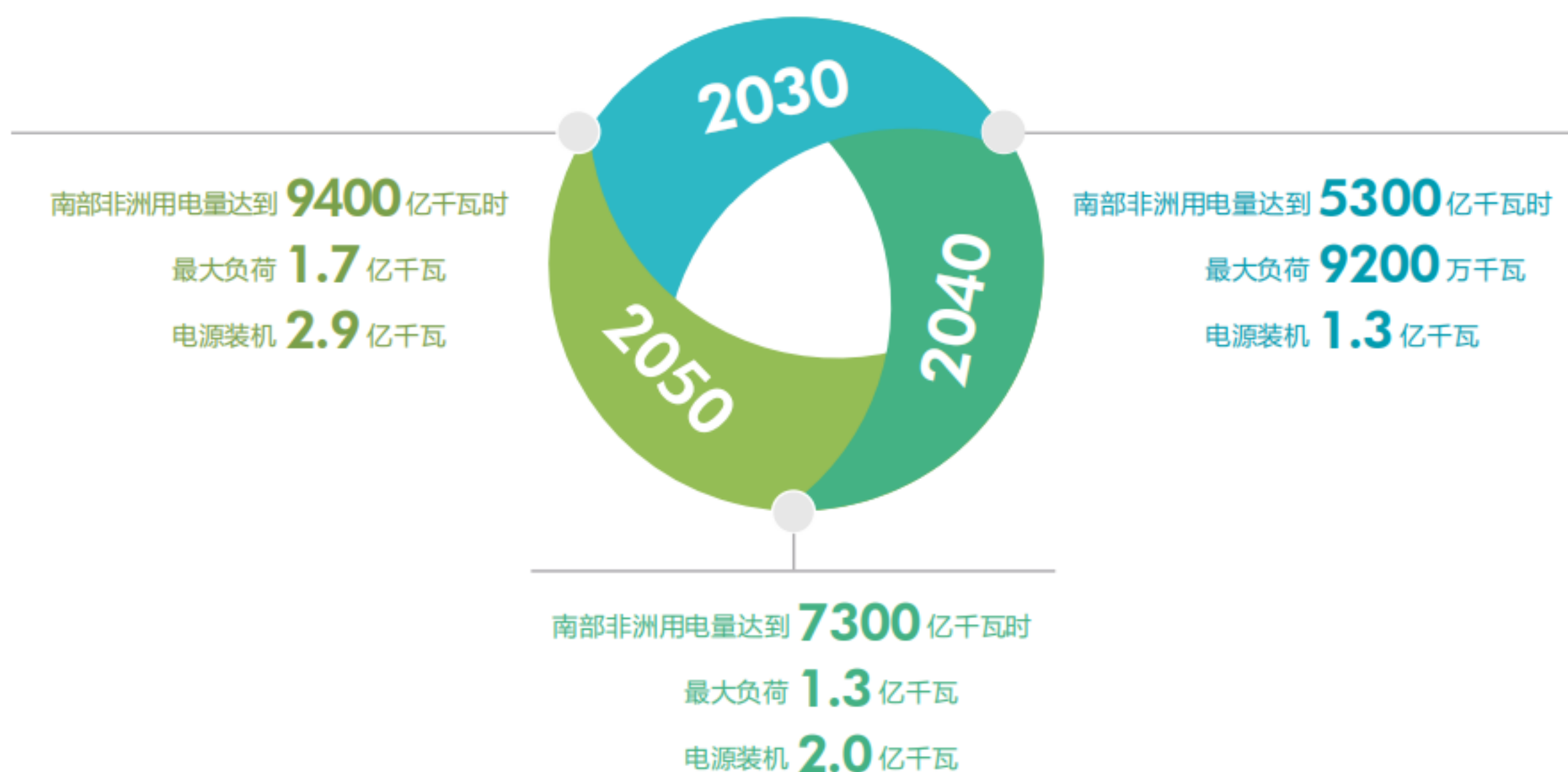
跨区

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（布）－尼日利亚 ± 660 千伏直流，受入刚果河水电 400 万千瓦；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；建设刚果（布）－加纳 ± 800 千伏直流工程，受入刚果河水电 800 万千瓦；建设刚果（金）－几内亚 ± 800 千伏 2 回直流工程，受入刚果河水电 1600 万千瓦，支撑几内亚铝、钢铁等工业发展；建设尼日利亚努曼－喀麦隆加鲁阿 400 千伏双回交流线路，与中非形成交流同步电网。

1.6.2 南部非洲

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、地热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 5300 亿千瓦时，最大负荷 9200 万千瓦，电源装机 1.3 亿千瓦；2040 年，南部非洲用电量达到 7300 亿千瓦时，最大负荷 1.3 亿千瓦，电源装机 2.0 亿千瓦；2050 年，南部非洲用电量达到 9400 亿千瓦时，最大负荷 1.7 亿千瓦，电源装机 2.9 亿千瓦。



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，南部建设布隆迪－乌干达－肯尼亚－坦桑尼亚－卢旺达 400 千伏交流环网，以埃塞俄比亚与肯尼亚为断面，形成南北两大区域电网格局；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。建设坦桑尼亚－赞比亚 400 千伏交流联网线路，形成东部、南部非洲 765/500/400 千伏交流同步电网。

1.6.5 北部非洲

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。

2030 年，北部非洲用电量 6900 亿千瓦时，最大负荷 1.2 亿千瓦，电源装机 1.5 亿千瓦；2040 年，北部非洲用电量 9000 亿千瓦时，最大负荷 1.7 亿千瓦，电源装机 2.3 亿千瓦；2050 年，北部非洲用电量 1.2 万亿千瓦时，最大负荷 2.2 亿千瓦，电源装机 3.6 亿千瓦。



1.7.2 重点联网工程

2050 年前，跨区共建成 12 回直流工程，输电总容量达到 8500 万千瓦；跨洲共建成 9 回直流工程，输电总容量达到 5400 万千瓦，其中非洲至欧洲通道输电容量 4300 万千瓦；跨国共建成 5 个交流输电走廊工程，长度总计约 2.5 万公里。

表 1.1 跨区联网重点工程

序号	工程	输电容量 (万千瓦)	长度 (公里)	投资 (亿美元)	建成时间
1	喀麦隆 - 尼日利亚 ± 660 千伏直流工程	400	1100	15	2030
2	刚果（金）- 几内亚 ± 800 千伏直流 I 期三端工程	800	4500	74	2030
3	刚果（金）- 赞比亚 ± 800 千伏直流三端工程	800	2200	44	2030
4	刚果（布）- 尼日利亚 ± 660 千伏直流工程	400	2000	23	2030
5	埃塞俄比亚 - 南非 ± 800 千伏直流工程	800	2800	45	2030
6	刚果（金）- 尼日利亚 ± 800 千伏直流工程	800	2000	38	2040
7	刚果（布）- 加纳 ± 800 千伏直流工程	800	2800	45	2040
8	刚果（金）- 几内亚 ± 800 千伏 II 期直流工程	800	4500	70	2050
9	刚果（金）- 南非 ± 800 千伏直流工程	800	3800	54	2050
10	刚果（金）- 埃塞俄比亚 ± 800 千伏直流工程	800	4000	56	2050
11	刚果（金）- 摩洛哥 ± 1100 千伏直流工程	1000	6500	94	2050
12	埃塞俄比亚 - 埃及 ± 800 千伏直流工程	800	1900	37	2050

电

以大规模清洁能源开发保障经济发展充足可靠电力供应。

依托区域资源禀赋，大力开发清洁能源，建设一批大型清洁能源基地，加强跨国跨区特高压 / 超高压输电通道和本地电网建设，实现清洁能源大范围配置和互补互济，为非洲可持续发展提供充足可靠能源电力供应。

矿

以矿产资源潜力释放促进产业结构升级优化。

在矿产资源富足而缺乏加工条件的地区，加快单纯依靠原矿产品出口向高附加值产品出口模式转变，加快引进先进生产设备和先进生产组织方式，有效提高产业价值。

冶

以冶金产业为龙头启动快速联动发展。

依托自然资源，利用获取原材料的便利性，形成集中有效的专业化产业部门，利用规模优势提升矿冶企业的国际竞争力，形成采矿、冶炼、深加工一体化发展格局，带动全产业链发展。

工

以工业园为载体实现经济集约式发展。

以能矿企业为突破口，以工业园区建设为主要抓手，发展前端研发设计，中上游采选冶，下游加工等生产配套，形成生产要素与产业部门的集聚，发挥工业园的集约优势，加快形成现代工业体系。

贸

以贸易为驱动加快一体化和工业化进程。

发挥区域内外两个市场的潜力，以贸促工，以工拓贸。利用贸易手段优化配置，一方面解决市场碎片化问题，加快区域一体化进程；另一方面使当地工业迅速融入全球市场并融入全球产业链和价值链，提高出口创汇能力，快速迈入工业化轨道。

2050年
氧化铝、电解铝产量分别达到
5600万吨
1200万吨

以矿冶产业为核心，提升工业化发展水平。结合西非地区矿产资源储量和生产能力，建议重点发展铝、钢铁和锰矿加工产业，带动下游建筑、家电、交通等产业发展。2050年，氧化铝、电解铝产量分别达到5600万吨、1200万吨，钢铁产量1.5亿吨，电解锰产量30万吨。2030、2040和2050年，矿产冶炼产业新增用电量分别为970亿、1900亿、3100亿千瓦时。

表 2.1 西非地区矿产冶炼产业发展规划
(产量：万吨，耗电量：亿千瓦时)

年份	氧化铝		电解铝		钢铁		电解锰	
	产量	耗电量	产量	耗电量	产量	耗电量	产量	耗电量
2030	2650	80	370	560	4600	320	10	8
2040	4250	130	740	1110	9300	650	20	16
2050	5600	170	1200	1800	15400	1080	30	24

以工业园区为助力，形成经济增长新引擎。综合考虑矿产资源、基础设施、产品市场等因素，以重点产业和骨干企业为龙头，建设产业规模化、集约化、专业化、清洁化的工业园区。

铝产业园

重点在几内亚桑格雷吉、博凯、弗里亚，加纳阿瓦索、尼纳欣等地建设铝加工产业园，在采矿地就地发展氧化铝厂、电解铝厂，减少物流运输成本。在几内亚科纳克里、博法，刚果（布）黑角等地建设“铝产业+港口物流”综合工业园区。重点发展铝型材加工以及下游建筑、交通、电子等板块，配套建设满足现代铝业物流需求的大型港口。

钢铁园区

在几内亚宁巴山、西芒杜，尼日利亚科济矿区、埃杜矿区等地建设钢铁冶炼工业园区，大力发展钢铁配套服务业和钢铁深加工产业。

2050年
新增用电量 950 亿千瓦时

以矿冶产业为核心，全产业链助力工业化。结合中非地区矿产资源储量和生产能力，建议重点发展铜、电解钴、电解锰、钢铁等矿加工产业。2050 年，产量分别达到 750 万吨、30 万吨、120 万吨、1.1 亿吨。2030 年、2040 年、2050 年，矿产加工行业新增用电量分别为 245 亿、550 亿、950 亿千瓦时。

表 2.3 中非地区矿产加工发展规划
(产量：万吨，耗电量：亿千瓦时)

年份	铜		电解钴		电解锰		钢铁	
	产量	耗电量	产量	耗电量	产量	耗电量	产量	耗电量
2030	350	29	15	11	30	24	2600	180
2040	500	42	20	15	80	64	6100	430
2050	750	63	30	22	120	96	11000	770

铜产业发展

精炼铜价格是铜精矿的 6 倍以上，以铜材代替铜矿石直接出口可获得更大经济收益。精炼铜产业具备规模后，继续开展铜材加工，既满足工业化发展对铜材的巨大需求，又能带动电子电器、交通运输等下游产业发展。

钴产业发展

大力发展钴冶炼及加工业，促进其下游的锂电池、高温合金、硬质合金等行业，并带动数码消费品、新能源汽车等相关产业发展，加速工业化进程。

钢铁、锰产业发展

同步开展铁、锰矿深加工，以钢铁、电解锰等产品代替铁、锰矿石直接出口，经济价值将增加数倍。既满足中非地区经济发展需要，又能带动建材、电子电器等下游产业发展。

综合效益 3



3.2 社会效益

01 消除无电 人口

随着清洁能源发电快速发展、电价大幅下降，到 2030 年，非洲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% 以上。未来，非洲人人都能用得上、用得起绿色、清洁、低价、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。

02 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，大幅减少因能源污染引发的疾病和死亡人数。

03 带动就业

“电-矿-冶-工-贸”联动发展新模式包含矿产开采和加工，道路、港口等基础设施建设，工业园区配套建设以及电源、电网建设。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。矿产加工还将有效带动下游建筑、交通、家电等产业发展。随着非洲工业化持续推进，非洲制造将创造大量就业岗位。到 2050 年，“电-矿-冶-工-贸”联动发展模式可创造超过 1 亿个就业岗位。



通过对非洲资源优势、产业发展的深入研究，本报告提出构建非洲能源互联网，促进水能资源开发，实现“电－矿－冶－工－贸”联动发展模式，将非洲的资源优势转化为经济优势，变革经济、产业、能源电力发展方式，为非洲发展提供综合解决方案，最终实现非洲的可持续发展。为加快构建非洲能源互联网，助力非洲发展，需要凝聚全球共识、加快清洁开发、推进互联互通、强化产业协同、推动非洲制造五大行动。



深化全球共识

深化非洲能源互联网理念传播，形成非洲可持续发展共识。共识是行动的先导，只有筑牢共同推动发展的思想基础，才能形成发展的强大合力。通过构建非洲能源互联网推动非洲社会可持续发展，打造全方位、多层次的宣传体系，推动发展理念深入人心。在全球层面广泛宣传非洲能源互联网促进非洲可持续发展的作用，积极倡导命运共同、利益共享、责任共担的发展理念，在面向能源、工业、用能企业和社会公众等方面，以示范项目、经验交流等多种方式宣介非洲能源互联网方案，凝聚各方合力推动非洲可持续发展。