

“能—水—沙—农—城” “一带一路”机制下中国与埃及互利合作的新机遇研究
The Energy-Water-Desert-Agriculture-City Nexus Research on New Opportunities for China-Egypt win-win cooperation under the BRI Mechanism

马江涛 著

SCIENTIFIC
Publishing Limited

The Energy-Water-Desert-Agriculture-City Nexus Research on New Opportunities for China-Egypt win-win cooperation under the BRI Mechanism

“能—水—沙—农—城” “一带一路”机制下中国与埃及互利合作的新机遇研究

马江涛 著



PRICE: £49.00

SCIENTIFIC
Publishing Limited

作者简介



马江涛，男，生于 1978 年 7 月，硕士研究生。现为中国电建集团国际工程有限公司高级工程师，长期从事国际新能源电力项目开发的技术支持工作。曾参与过援埃塞俄比亚全国风电和太阳能规划、马达加斯加共和国能源规划、巴基斯坦旁遮普省能源规划等多个国家（地区）的能源（电力）规划项目，并参与了众多国内外风电、太阳能光伏发电项目的技术工作，现主要从事国际新能源项目开发的技术支持与市场研究。

The Energy-Water-Desert-Agriculture-City Nexus
Research on New Opportunities for China-Egypt win-win cooperation
under the BRI Mechanism

“能-水-沙-农-城”

“一带一路”机制下中国与埃及互利合作的新机遇研究

马江涛 著

British National Bibliography

Cataloguing-in-Publication(CIP) programme

Title: The Energy-Water-Desert-Agriculture-City Nexus Research on New Opportunities for China-Egypt win-win cooperation under the BRI Mechanism

Author: Jiangtao Ma, author.

Publisher Details: Cambridge: UK Scientific Publishing, 2025.

Identifier: p21461754564216556

ISBN: 9781918021325

BNB: GBC593319



The Energy-Water-Desert-Agriculture-City Nexus
Research on New Opportunities for China-Egypt win-win cooperation
under the BRI Mechanism
“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”
“一带一路” 机制下中国与埃及互利合作的新机遇研究



Address: 69 Aberdeen Avenue. Cambridge United Kingdom CB2 8DL

Tel: +441223603549

Email: contact@ukscip.com

Format: 170mm×240mm 1/16

Sheets: 7.75

Word Counts: 100,000

UK Scientific Publishing Limited

近些年，埃及与埃塞俄比亚两国围绕着埃塞俄比亚在尼罗河上游支流修建复兴大坝所产生的水权问题争议不断，并不时成为国际社会关注的热点问题。复兴大坝（The Grand Ethiopian Renaissance Dam）是埃塞俄比亚在其境内的青尼罗河上修建的一座巨型水电大坝工程，该大坝位于埃塞俄比的西北边境地区，坝址距离下游的苏丹仅有 15km，为一座碾压混凝土大坝，大坝最高处高程为 174m，长度约 2km，大坝建成后将在上游区域形成一座总容积达 740 亿 m^3 的巨大水库^①，近乎是两个三峡水库的容量，该库容量已与尼罗河在流入埃及时阿斯旺大坝处的多年平均径流量 853 亿 m^3 非常接近。复兴大坝将安装 13 台混流式水力发电机组，水电站的总装机容量将达到 525 万 kW。该项目完工后，将是非洲地区最大的水力发电项目，将会给埃塞俄比亚带来巨大的发电、灌溉等综合效益。复兴大坝是埃塞俄比亚有史以来规划建设的最为宏大的重大基础设施工程。因此，复兴大坝对整个埃塞俄比亚人民来说，是埃塞俄比亚国家和民族走向复兴的重要标志，大坝已经同古人类化石“露西”、贡德尔古堡、拉里贝拉岩石教堂一起，被称为埃塞俄比亚的“四大骄傲”。

但自 2011 年埃塞俄比亚启动复兴大坝的建设以来，就不断遭到了下游国家苏丹和埃及的强烈反对。他们担心复兴大坝的建设会减少尼罗河下游的水量，改变流域的水文特征，给本国造成严重的生态环境影响，甚至会对自己国家的生态安全、粮食安全、用水安全、国家安全等产生重大影响。对于埃及来说，尼罗河是埃及的母亲河、生命之河。在悠远的历史长河中，正是由于尼罗河的定期泛滥和长期滋养，才在沿河谷两岸的狭长地带以及下游三角洲地区形成了大片的肥沃土地，诞生了历史悠久、辉煌灿烂的古埃及文明。时至今日，尼罗河水依然是埃及、苏丹两国最为主要的水资源来源，尼罗河分别为两国提供了年总用水量的

^① <https://www.pietrangeli.com/gerdp-hydroelectric-plant-ethiopia-africa>

98.26% 和 96.13%^①。但另一方面，尼罗河下游来水量的 80% 以上是由埃塞俄比亚高原提供的，只有少部分源自南部的高原湖泊，其中发源于埃塞俄比亚高原的青尼罗河为下游地区提供了大约 59% 的来水量。由此可见，埃塞俄比亚在青尼罗河上修建大坝蓄水将极大的增强对于尼罗河水资源的控制权，这必将会对下游的苏丹、埃及产生深远而巨大的影响。

埃塞俄比亚、苏丹、埃及三国就复兴大坝的修建蓄水以及尼罗河水权分配问题的争议和谈判已经持续了多年。尽管期间有世界银行、联合国、非洲联盟等国际组织的积极斡旋，但三国之间的争议不但没有降温，反而愈演愈烈。从本质上说，埃塞俄比亚、苏丹、埃及三国之间的争议真切地反应了当今世界许多国家对于自身生存环境以及未来可持续发展潜力的深切担忧。随着全球经济的不断发展，人类对于大自然的索取也在快速增加，而人类对自然环境的破坏也在同步增加，环境污染、资源枯竭、森林退化、生物多样性退化，土地退化与荒漠化、水资源短缺等也日益明显。伴随着全球人口的快速增加，尤其是全球气候暖化带来的负面影响日益显著，致使许多国家人均资源占有资源量进一步减少，尤其是许多生态脆弱国家和发展中国家，正面临着空前的生存压力及挑战。根据《联合国世界水资源发展报告（2023）》发布的数据，2000 年至 2018 年，全球人均可获得的可再生水资源量下降了约 20%，其中位于撒哈拉以南非洲区域下降了 41%、中亚地区下降了 30%、西亚和北非分别下降了 29% 和 26%^②。埃及作为非洲大陆上一个人口过亿且仍在快速增加的大国，同样也面临着严重水资源总量不足、土地资源不足、发展空间受限等一系列重大挑战。如何应对上述问题和挑战不仅是包括埃及在内的许多发展中国家高度关注的重大议题，同时也是值得世界各国关注的全球性发展议题。

“发展中的问题要靠发展来解决”。全球化与科技进步为许多国家应对全球性的重大挑战提供了有力支撑。目前，全球范围内新一轮的科技革命正在深入推进，以太阳能光伏发电、风电为代表的新能源技术革命日新月异。太阳能光伏发电、风电技术日趋成熟以及成本的快速下降使其成为各国应对全球气候变化、确保能源安全、拓展清洁能源应用场景的重要手段。同时，海水淡化以及水处理技

① “Egypt’s water budget deficit and suggested mitigation policies for the Grand Ethiopian Renaissance Dam filling scenarios”, Essam Heggy, Zane Sharkawy, Abotalib Z Abotalib

② 《The United Nations World Water Development Report 2023—Partnerships and cooperation for water》, UNESCO

术的进步也为许多国家提供了一种有效缓解水资源短缺的手段。本文以埃及为例，通过对埃及大规模发展新能源发电产业、海水淡化与水处理产业潜力的深入分析，并结合世界多国进行沙漠开垦、发展灌溉农业取得的成就和经验，提出了在埃及实施“能-水-沙-农-城”模式的设想。该模式在埃及已有成就基础上，充分结合埃及的发展实际和未来需求，旨在通过构建全新的产业链、价值链，利用系统性方法解决埃及可持续发展中面临的水资源不足、土地资源不足、农业产业竞争力不足、国家发展战略空间不足等重大挑战，为埃及实现“2030 愿景”、“体面生活倡议”的各项发展目标，实现埃及国家的长治久安和可持续发展提供了一种思路。

中国的崛起是当今世界格局的重要特征。中国已多年位居世界第二大经济体且一直保持着快速发展的势头。中国的成功发展经验为广大发展中国家探索适合本国国情的强国富民道路提供了重要参考。中国政府提出的共建“一带一路”倡议以及扎实推进共建人类命运共同体的各项努力业已获得了世界上多数国家的积极响应和高度认可。中国领导人已向世界公开表达了“欢迎大家搭乘中国发展的列车”的诚挚意愿^①。目前中国拥有全球最为完备的工业体系，拥有强大的研发能力、生产能力、建设能力。几十年来，中国在农业、水利、可再生能源发电、水处理、城市建设以及荒漠化治理、消除贫困等众多领域取得的显著成就和积累的宝贵经验也为中国与世界各国开展互利务实合作提供了强大的物质基础和更多选择。在“能-水-沙-农-城”模式的实践过程中，中国和埃及在上述领域加强合作将会为模式的具体实施提供强有力的支撑和保障，也有助于模式发挥出更大的综合效益，实现模式的各项预期目标。双方的合作也必将成为两国在共建“一带一路”以及金砖合作机制下的务实合作的亮眼篇章。

^① 该论述引自 2014 年 8 月 22 日习近平主席在蒙古国国家大呼拉尔发表的演讲



1. 埃及的水资源条件分析	1
1.1 埃及的自然地理条件简介	1
1.2 埃及的气候特点	3
1.3 埃及水资源条件分析	4
1.4 小结	12
2. 埃及农业的发展历程及面临的挑战	13
2.1 古代埃及的灌溉农业	13
2.2 近代埃及的灌溉设施建设及农业发展	13
2.3 埃及农业发展现状	17
2.4 埃及农业发展面临的挑战及应对策略	18
2.5 小结	22
3. 全球沙漠治理开发的典型经验介绍	23
3.1 中国新疆对沙漠地区的开发	23
3.2 美国中央谷地的开发	27
3.3 沙特对沙漠地区的开发	32
3.4 小结	36
4. 新能源与海水淡化用于埃及沙漠开发的潜力分析	39
4.1 海水淡化技术的应用前景分析	39
4.2 埃及发展新能源海水淡化的潜力分析	48
4.3 新能源海水淡化用于埃及沙漠开垦及农业发展的潜力分析	57
4.4 小结	62

5. “能－水－沙－农－城”模式对埃及发展的积极意义	65
5.1 “能－水－沙－农－城”模式的具体含义	65
5.2 “能－水－沙－农－城”模式的内在逻辑	70
5.3 “能－水－沙－农－城”模式下中埃双方的合作机会	80
5.4 “能－水－沙－农－城”模式面临的挑战	101
5.5 小结	111
6. 结语	113

1. 埃及的水资源条件分析

1.1 埃及的自然地理条件简介

阿拉伯埃及共和国，简称“埃及”，位于非洲东北部，领土跨亚、非两大洲，其领土只有苏伊士运河以东的西奈半岛地区位于亚洲。埃及国土西连利比亚，南接苏丹，东临红海并与巴勒斯坦、以色列接壤，北部濒临地中海，全境海岸线长约 2900km，国土面积 100.01 万 km^2 ，为非洲领土面积第三大国家。

埃及大部分国土属撒哈拉大沙漠东部边缘，境内沙漠广布，沙漠占国土总面积的 94%。全境多数地区海拔高度约在 100-700m 之间，红海沿岸和西奈半岛有丘陵和山地分布，其海拔高度约在 1400-2100m 之间。埃及全国海拔最高点为位于西奈半岛的南部圣卡特琳山峰，海拔为 2629m。埃及西部为利比亚沙漠，约占全国面积的三分之二，大部分为流沙，地势相对平坦。其总体地势呈现南高北低的态势，其间分布有哈里杰（Kharga）、锡瓦（Siwa）等绿洲，其中部分地区的海拔高度甚至低于海平面。具体地形地貌特征见图 1.1-1、图 1.1-2 所示。

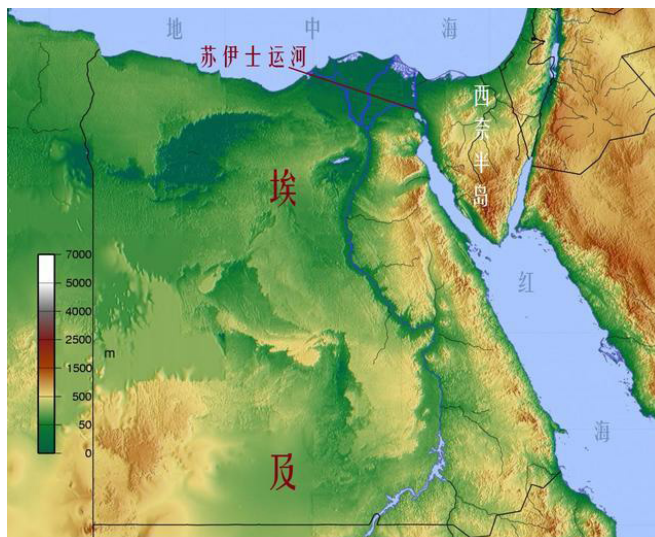


图 1.1-1 埃及地形图



图 1.1-2 埃及的卫星影像图^①

整个埃及国土大体上可分为四个部分：（1）尼罗河谷和三角洲地区，该地区主要由尼罗河冲积而成，地表平坦，土地肥沃，人口高度聚集，是整个埃及的核心区域。其中，开罗以南部分称为上埃及，以北部分称为下埃及，总面积约为 3.3 万 km^2 ；（2）西部的利比亚沙漠，该地区是撒哈拉沙漠的东北部分，其地势自南向北倾斜降低，面积约为 67.1 万 km^2 ；（3）东部阿拉伯沙漠地区，该地区

^① 图 1.1-1、图 1.1-2 所用图片均来源于互联网

西至尼罗河河谷，东到红海海滨，面积约为 22.5 万 km²；（4）西奈半岛地区，该地区位于苏伊士运河以东，地势南高北低，南部为山地，北部为平坦的沙漠。

1.2 埃及的气候特点

埃及位于非洲大陆的东北角，地中海的南侧，其地理经纬度大约在 22° 00' N—31° 36' N，24° 39' E—36° 54' E 之间，属中低纬度地区，主要受副热带高压带控制。冬半年，副热带高压脊线位于北纬 20° 以南地区，埃及南部地区受副热带高压控制，天气炎热，降水稀少，而北部地中海沿岸地区主要受西风带气流和北方南下冷空气的影响，天气凉爽，降雨较多，形成了埃及北部典型的地中海式气候特征，这也是埃及一年中降雨最多的时候，北部沿海地区的雨量可以达到 100mm 以上。夏半年，副热带高压脊线移动到北纬 30° 附近，整个埃及都受到副热带高压的下沉气流控制，日照强烈，降水稀少，天气炎热，气温可普遍达到 40℃ 以上，地表蒸发量很大，呈现典型的热带沙漠气候特征。图 1.2-1 列出了埃及的亚历山大港、开罗、阿斯旺三座由北向南分布的重要城市的降水量分布特点。位于埃及最南部的阿斯旺地区，年总降水量仅为 1.2mm，气候极为干旱。

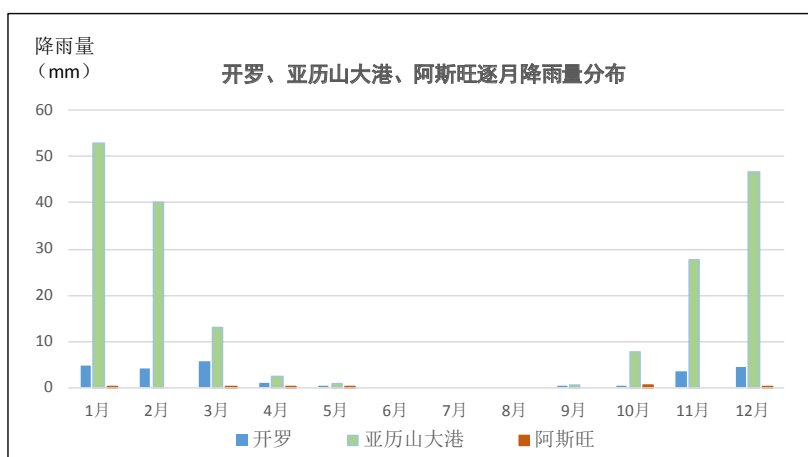


图 1.2-1 埃及主要城市的逐月降水量分布^①

① 以上降水量数据来自世界气象组织网站

1.3 埃及水资源条件分析

埃及大多数地区属于热带沙漠气候，降水稀少，只有北部沿海地区属地中海式气候，有少量降水，其中位于地中海沿岸的亚历山大港全年降水量为 192.6mm，仅为北京地区年平均降雨量的三分之一，降水量非常有限，基本无法在地表形成有效的径流汇集。总的来看，埃及全境来自于大气降水的水资源补给是非常匮乏的，可利用价值极低。自古以来，埃及的水资源补给主要依靠尼罗河的来水。另外，近些年埃及境内也发现了大量的深层地下水资源。

1.3.1 尼罗河水资源分析

尼罗河位于非洲大陆的东北部，全长 6670km，是世界上最长的河流，流域面积 287.5 万 km^2 ，约占整个非洲大陆面积的 9.7%。尼罗河上游大体可分为三大源头，由南向北分别是发源于赤道湖区的白尼罗河（White Nile）和发源于埃塞俄比亚高原的青尼罗河（Blue Nile）和阿特巴拉河（Atbara River）。其中，白尼罗河的源头最远可追溯到卢旺达境内的卡盖拉河（Kagera），卡盖拉河汇入了维多利亚湖（Lake Victoria），在流经基奥加湖（Lake Kyoga）、艾伯特湖（Lake Albert）后进入了南苏丹境内，经过大片沼泽湿地后，北流至苏丹境内在喀土穆与青尼罗河汇流后形成了尼罗河干流。青尼罗河发源于埃塞俄比亚高原地区的塔纳湖（Lake Tana），在埃塞俄比亚境内它被称为阿贝河（Abay），在越过埃塞俄比亚 - 苏丹边境后，又被称为青尼罗河。青尼罗河与白尼罗河在苏丹首都喀土穆汇合，尼罗河干流蜿蜒向北，在苏丹北部的阿特巴拉接纳了来自埃塞俄比亚高原的阿特巴拉河的补给。其后，尼罗河干流就再也没有大的支流汇入了。尼罗河在穿越苏丹北部炎热干旱的沙漠后，跨过北纬 22 度线进入了埃及境内，最终在埃及北部的三角洲地区汇入地中海。整个尼罗河流域分布见图 1.3-1 所示。

每年当赤道低气压带北移时，埃塞俄比亚高原便进入了雨季，大量的降雨形成了青尼罗河的洪水。在洪水期，尼罗河干流的大部分水量来自青尼罗河，其占比可达到 68%，在枯水期，青尼罗河的水量则会下降到 17%。青尼罗河对于尼罗河下游干流而言有着极为重要的作用。

目前，除了埃塞俄比亚正在青尼罗河上兴建复兴大坝外，苏丹还于 2003 年在尼罗河干流上修建了麦洛维大坝，该大坝建成后在尼罗河干流上形成了一个总

库容为 124.5 亿 m^3 的大型水库。埃及于上世纪六十年代在尼罗河干流上修建了阿斯旺高坝,并在阿斯旺上游形成了巨大的纳塞尔湖,当水库蓄水高程为 183m 时,水库的最大库容可达到 1689 亿 m^3 。自从埃及修建了阿斯旺高坝后,彻底改变了埃及境内尼罗河持续了千年的河水定期泛滥现象。



图 1.3-1 尼罗河流域图

尼罗河在苏丹北部接纳了阿特巴拉河的径流量后就再没有支流汇入了，其径流量无法继续得到有效补充，只会随着河水流动而蒸发减少。因此，尼罗河干流在阿斯旺的径流量基本就代表了埃及能够得到的最大输入性的水资源量了。表 1.3-1 和图 1.3-2 所示即为尼罗河干流在阿斯旺地区的多年平均月径流量（来水）的变化情况^①。根据以上数据分析，阿斯旺地区的多年平均年总径流量为 853.76 亿 m³。

表 1.3-1 尼罗河干流在阿斯旺的平均月径流量（来水）（1869-1995）

月份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月
径流量（亿 m ³ ）	37.38	26.51	22.57	20.11	19.8	19.43	47.54
月份	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	全年	
径流量（亿 m ³ ）	182.07	211.89	143.18	74.78	48.49	853.76	

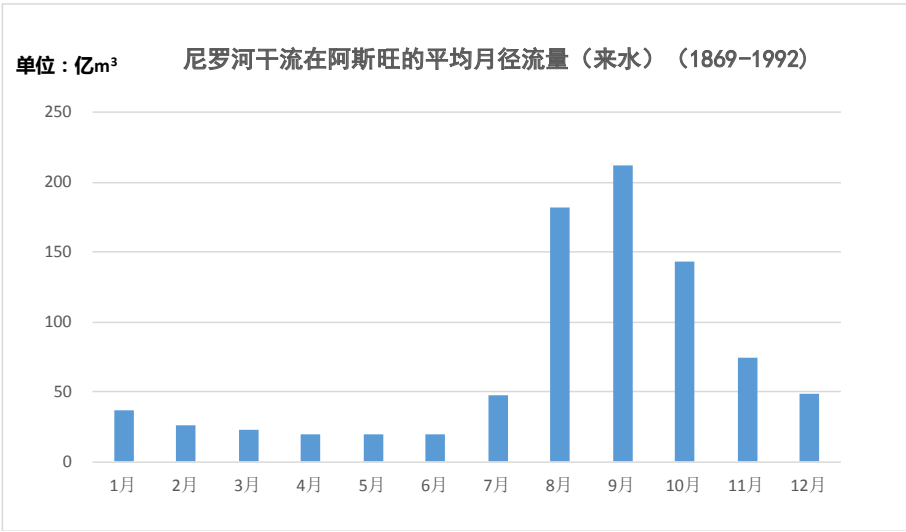


图 1.3-2 尼罗河干流在阿斯旺的平均月径流量（来水）分布（1869-1995）

图 1.3-3 为尼罗河年总径流量的多年变化情况。如图所示，在阿斯旺地区，尼罗河的年来水总量年际变化还是非常显著的，丰水年其年径流总量能达到 1100 亿 m³，枯水年其径流总量甚至低于 400 亿 m³。

① 该径流数据来自于 J. V. Sutcliffe、Y. P. Parks 编著的《The Hydrology of the Nile》

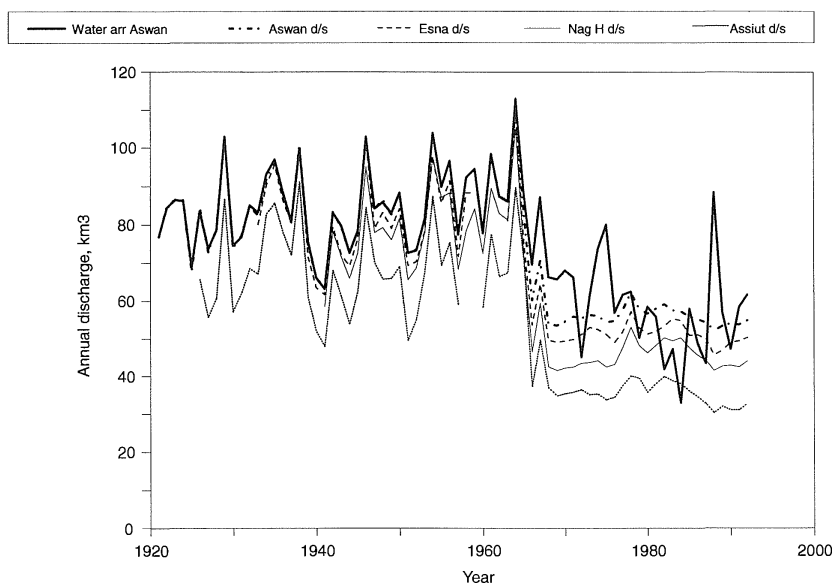


图 1.3-3 阿斯旺地区尼罗河的年径流总量（来水）变化图

1.3.2 地下水资源条件分析

埃及国土的大部分地区为沙漠，天气炎热、气候干燥，多数地区寸草不生。但在埃及沙漠下面的岩石层中却蕴藏着一种储量巨大的地下水资源，这是一种“古地下水”也被叫做“化石水”、“非可再生资源”，是长期被密封储存在地下蓄水层中的深层地下水，它和我们通常所说的地下水不同，这种含水层形成于百万年前，是名副其实的“化石”。实际上这里所说的这类地下水资源也并不是埃及独有，在撒哈拉沙漠地区的利比亚、乍得、苏丹等国也都有分布，它就是撒哈拉沙漠的努比亚砂岩含水层（Nubian Sandstone Aquifer）。

根据相关研究，在古老地质历史中，前寒武纪土层顶部沉积了巨量的沙子、泥还有粘土浆经过数百万年的演变，这些沉积物在地质作用下被逐渐压缩成砂岩的地质层，进而形成了现今撒哈拉沙漠下面的努比亚砂岩层。砂岩是一种多孔、具有吸附功能的物质，就像海绵一样，数万年来渗入地下的降水，被努比亚砂岩吸附和存储，形成一个巨大的含水层。这个含水层的面积达到 220 万 km^2 ，厚度从 140m 到 230m 不等，是世界上最大的含水层，其大约蕴含了 500 万亿 m^3 的“化

石水”，而其中有 15 万亿 m^3 的水资源预计是可开发的^①。

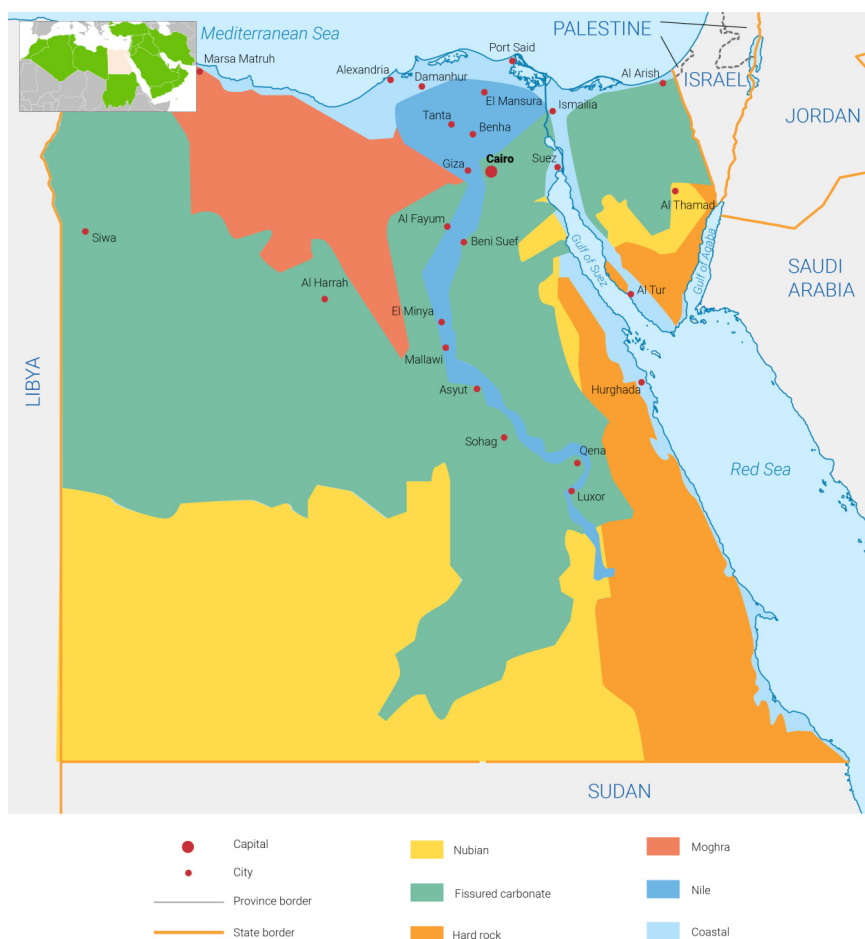


图 1.3-4 埃及的地下含水层分布

1953 年，一些为了寻找石油的地质学家首次发现了深埋于地下的这种宝贵的水资源，人们通过进一步探测，发现了努比亚砂岩蓄水层的真实大小。从此，工程技术人员也开始思考应该怎样开采和利用这些化石水，用以弥补位于世界最大的沙漠边缘的北非居民的淡水不足问题。

目前，埃及一些地方也开展了深层地下水资源的开发工作。2020 年 10 月 2 日，

^① 该数据来自 2013 年埃及、利比亚、苏丹和乍得四国签署的《努比亚砂岩含水层区域战略行动计划》（Regional Strategic Action Programme for the Nubian Sandstone Aquifer）

中国中曼石油埃及分公司的中埃员工们携手在埃及明亚省的沙漠深处打出了一口深达 1650m 的深井，这是目前最深的沙漠深井。中曼石油埃及分公司目前已经在钻探了 100 多口水井，单井最大出水量可达 $1000\text{m}^3/\text{h}$ 。该水井主要开采的是位于地下 300-500m 的水层，该水层为灰岩裂缝性发育，地层孔隙度高，出水量也很大^①。根据相关报道，近年来中曼公司在埃及的西奈半岛、明亚、锡瓦、法拉夫拉等地的荒漠深处钻探的深井已经超过 540 余口，中国公司用实际行动为埃及实现沙漠变绿洲的梦想做出了贡献。



图 1.3-5 中国中曼石油埃及分公司钻井现场

努比亚含水层虽经初步调查地下水储量巨大，但目前区域内各国对整个含水层的深入研究和探勘并不是很充分，还存在许多空白，尤其是大规模的开采和利用努比亚含水层的水资源对于区域内地质结构、地下水系统平衡、地表生态环境、土壤盐碱化等众多方面的影响还属未知领域，而且当前阿拉伯地区的其它一些国家，在开采和利用地下水的过程中，也出现了不少的负面影响及后果，需要引以为戒。根据《阿拉伯地区的水治理》报告^②，在阿拉伯半岛上，由于人们未遵循有计划的开采原则，导致 Disi-Saq 含水层、Tawilah 含水层等地下含水层因开采

^① 本段信息来自新华网

^② 《Water Governance in the Arab Region——Managing Scarcity and Securing the Future》，UNDP.

超出了自然补给率而使地下水储量迅速枯竭，并造成海水入侵和水质盐碱化。地下水资源的过度开采和资源枯竭也会对环境产生了严重影响。水的盐碱化以及水资源的枯竭也会使一些绿洲中的天然泉水干涸，并使其周围的生态系统退化或遭到破坏，削弱了这些地区的历史和文化价值。例如，叙利亚帕尔米拉绿洲（Palmyra Oasis）的大多数泉水已经干涸，阿尔及利亚南部的绿洲、巴林的天然泉水、埃及西部沙漠的大部分绿洲、利比亚的库夫拉绿洲（Al Kufrah Oasis）、沙特阿拉伯的哈萨绿洲（Al Ahsa Oasis）等都因过度开采而出现了地下水位下降甚至面临绿洲消失的风险。对于深层地下水的开采，中国政府也出台了相关规定，对中国境内非紧急情况下大规模开采地下深层难以更新的非可再生水资源的行为予以禁止^①。

对于努比亚含水层，尽管其水资源总储量巨大，但在开发过程中始终不应忽视以下因素：

（1）地下深层含水层的具有不可再生性。该含水层是在亿万年的地质年代中形成的，属不可再生资源，一旦被污染或破坏，短期内很难恢复。而且，过量的开采可能会对当地地质结构稳定、地下盐碱物质平衡、地表土层含水量等各个方面产生重大且不可逆转的影响，因此开发利用地下含水层，一定要加强勘探研究，充分了解其资源特点，减少开发利用对地质环境、地表生态环境等方面的不利影响。

（2）努比亚含水层属深层地下水，埋深比较深，开采难度和成本较大，大规模的利用必然要消耗大量的能源，其大规模利用必须要考虑成本因素的影响。

1.3.3 埃及人均水资源量分析

我们通常所说的水资源量是指各类淡水资源量中可为人类生存、发展所利用的水量，主要是指逐年可以得到更新的那部分淡水量。最能反映水资源数量和特征的是年降水量和河流的年径流量。年径流量不仅包含降水时产生的地表水，而且还包括地下水的补给。所以，世界各国通常都采用多年平均径流量来表示水资源量。埃及气候干旱，降雨稀少，降雨对淡水资源的贡献几乎可以忽略。淡水资源量主要考虑尼罗河的径流补给。

① 中华人民共和国国务院令（第 748 号）《地下水管理条例》https://www.gov.cn/gongbao/content/2021/content_5654770.htm

根据前述分析，埃及每年能够得到的径流量为 853.76 亿 m^3 ，但根据 1959 年 11 月，埃及与上游的苏丹两国签署了《1959 年尼罗河水充分利用协定》，埃及分得 555 亿 m^3 的径流量，苏丹得到了 185 亿 m^3 ，剩下的流量留作蒸发和渗漏的损失。随着埃及人口的快速增长，人均水资源量也在逐渐减少。图 1.3-6 为根据世界银行数据绘制的埃及近 50 年来总人口以及人均水资源量的变化图。根据图 1.3-6 埃及在过去的 50 年间人口增长了 3.09 倍，总人口年增长率达到了 22.8‰。2017 年，埃及的人口总数就已经超过了 1 亿，相应的人均水资源量也由 1970 年的 1581 m^3 下降到了 2020 年的 512 m^3 ，而 2020 年中国的人均水资源量为 2145 m^3 ^①，埃及的人均水资源量仅为中国的四分之一。

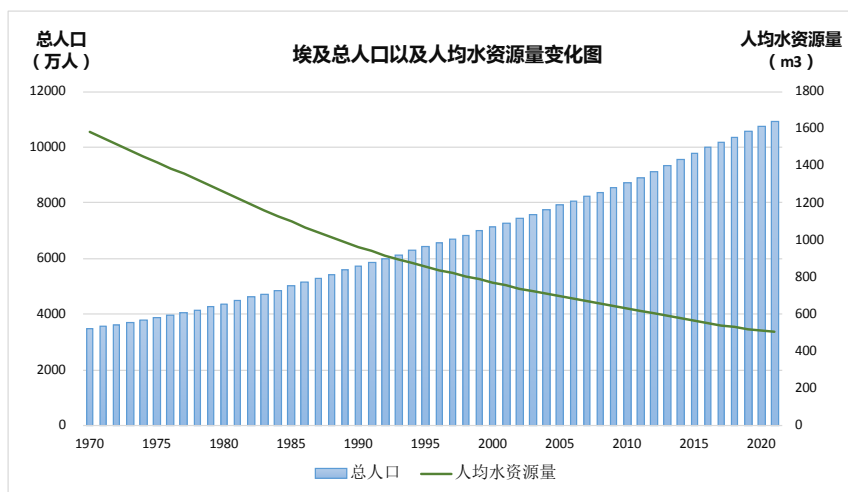


图 1.3-6 埃及近 50 年来总人口及人均水资源变化图

2021 年，埃及总统塞西表示，现在埃及的年人均水资源量已低于 560 m^3 ，而联合国将年水资源贫困线定为每人每年 1000 m^3 ，自 1991 年以来，埃及人就一直处于水资源的贫困线以下。预计到 2050 年，埃及的人口总量很可能将达到 1.7 亿，届时埃及的人均水资源量将会进一步下降至 320 m^3 ，从图 1.3-7 中的“缺乏”的量级跌入“绝对缺乏”量级，这必将会对埃及的社会经济发展、人民生产生活、生态安全等造成严重的制约。

① 中国水资源数据来源于国家统计局《中华人民共和国 2020 年国民经济和社会发展统计公报》

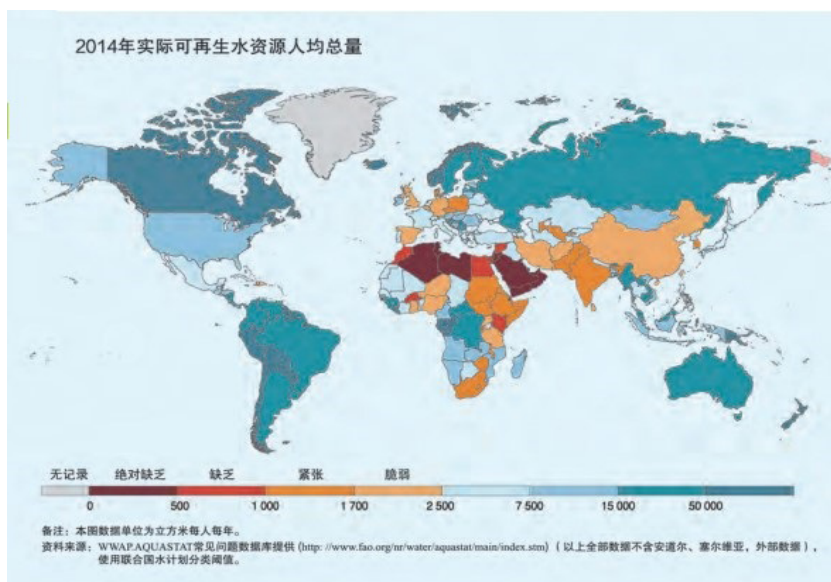


图 1.3-7 各国实际可再生水资源人均总量分布图^①

1.4 小结

水是生命之源，是人类生存繁衍和发展进步的物质基础。埃及地处撒哈拉沙漠地区，受副热带高压影响显著，高温少雨、气候干旱，天然降水非常稀少，水便越发显得珍贵。千百年来，尼罗河伴随着周期性的河水泛滥不仅为埃及人民带来了生命之源，也给埃及留下了肥沃的土壤，蕴育了灿烂的尼罗河文明。近几十年来，随着埃及人口的快速增加以及全球气候暖化效应加剧，埃及面临的水资源匮乏问题也越来越严重，水资源总量不足已经成了严重制约埃及经济发展、粮食安全、生态安全以及未来可持续发展的关键因素。如何利用好现有水资源，提高水资源的利用效率，加强循环利用，寻找新的水源，提升水资源的保障能力和治理能力，确保国家水资源的持久安全，为国家的长治久安、可持续发展以及民众福祉改善提供坚强保障已经成为埃及国家和人民必须直面的重大挑战。

^① 该图引自联合国《世界水发展报告（2015）——可持续发展世界之水》

2. 埃及农业的发展历程及面临的挑战

2.1 古代埃及的灌溉农业

埃及作为四大文明古国之一，创造了灿烂悠久的古代文明。奔腾的尼罗河水造就和滋养了尼罗河谷以及三角洲地区肥沃的农田，诞生了历史悠久的灌溉农业，为古埃及文明的发展和辉煌提供了重要的物质支撑。早在公元前 4000 多年，古埃及人就开始在尼罗河流两岸进行农业生产，他们通过引水灌溉的方式，在干旱的沙漠地区开展农业种植，并逐渐形成了以小麦、大麦、豆类等作物种植为主的农业体系。

尼罗河被埃及人奉为母亲河，但河水的泛滥与枯竭并非总是农业发展的利好因素。起初，尼罗河的定期泛滥将一些耕地过度灌溉，致使农业生产受到了很大的影响。古埃及人民在长期不断的探索 and 实践中，逐渐发展出了成熟的灌溉技术，他们充分利用水往低处流的原理，通过兴建灌溉工程，趋利避害，实现了对农田的均衡灌溉，保证了农业生产的顺利开展。古埃及人通过建设庞大、复杂的引水灌溉沟网络，实现了对大量农田的充分灌溉。此外，尼罗河水定期泛滥也为埃及河谷与三角洲地区的土地带来了丰富的矿物营养，这对农作物的健康成长非常有利。与其他地区的耕地相比，古埃及尼罗河流域的黑土地极其肥沃，也是古埃及的特有土壤。正是因为有充足的光照、河水的滋养、肥沃的土壤，古埃及的农业得以飞速发展，这也为古埃及文明的形成、发展、壮大提供了坚实的物质基础。

2.2 近代埃及的灌溉设施建设及农业发展

2.2.1 阿斯旺水坝工程的建设

尼罗河自南向北贯穿埃及全境，为埃及提供了 96% 的可再生淡水，哺育了埃及 96% 的人口，然而埃及仍有 94% 的国土被沙漠覆盖。解决“水—地—人”的矛盾是整个埃及实现可持续发展必须面对的核心问题。

19 世纪下半叶，埃及逐步沦为英国的殖民地，成为英国的棉花产地。埃及气候干旱，降水稀少，为了能种出更多棉花，英国人在埃及翻新和建造了一系列水利工程，其中就包括在阿斯旺修建的第一座水坝。为了区别后来的阿斯旺高坝，这座水坝也被人们称作低坝。该坝始建于 1898 年，1902 年完工。这是一座浆砌石重力坝，主要用于灌溉与发电。虽然这座水坝在防止水库淤积方面做得不错，采用“汛期排浑，非汛期蓄清”的管理方式，运行了 50 年都没有淤积，但无奈尼罗河的洪水太过凶猛，阿斯旺低坝不得不在 1912 年和 1934 年又进行了两次加高，坝高从 29m 变成了 53m，库容也增至 50 亿 m^3 。不过，即使进行了加高，水坝还是无法满足拦截尼罗河洪水的需要，1946 年尼罗河的洪水又几乎漫坝。此后，埃及人决定在低坝上游另建一座更加宏伟的高坝。

1960 年，在前苏联的帮助下，埃及人民在纳赛尔将军领导下开始在原水坝上游不远处建设全新的阿斯旺大坝。新坝为粘土心墙堆石坝，坝体高度 111m，当库区水位达到最高蓄水位 183m 时，水库的总库容为 1689 亿 m^3 ，可有效拦截尼罗河的洪水。此外，大坝所拦截的河水还可用于发电，水电站的总装机容量达 210 万 kW，设计年发电量 100 亿 kWh。整个工程于 1960 年 1 月 9 日开工，1967 年 10 月 15 日第一台机组投入运行。1970 年 7 月 15 日全部发电机组安装完毕并投入运行。1970 年 7 月 21 日，阿斯旺大坝正式竣工。

大坝蓄水后在上游形成了总库容达 1689 亿 m^3 的纳赛尔湖，它是世界第二大人工湖，大体上可以吞下尼罗河两年的径流量，可有效调节尼罗河的水量，具有巨大的防洪能力。1964 年大坝才完成了一期工程，就挡住了当年的洪水。之后又在 1975、1988 和 1996 年多次发挥防洪作用使埃及免遭洪水威胁，还使埃及躲过了 80 年代中期那场给整个非洲带来巨大灾难的严重干旱。大坝建成后，埃及政府得以大规模的开垦新的土地，全国耕地扩大了 53 万公顷。大量耕地得到了长年灌溉，并变为一年两熟或三熟。纳赛尔湖还成为埃及的渔业中心，1981 年鱼产量就达到 3.4 万吨。

2.2.2 埃及的新河谷计划

埃及除了开发利用尼罗河谷和三角洲地区的现有土地外，政府也一直在关注如何利用超过国土面积 90% 的沙漠地区。早在上世纪 50 年代，埃及政府就将注意力投向了埃及西部面积达 37.6 万 km^2 的沙漠地区，埃及政府还成立了沙漠

研究机构并组织有关专家对西部沙漠地区进行调查。调查结果表明，这一地区有 4725 万亩的土地经治理后适合耕种，而且这一地区还有大量的地下水资源可供开发利用。

阿斯旺大坝的建成以后，纳赛尔湖的蓄水量达了 1640 亿 m^3 ，这进一步坚定了埃及政府开发西部沙漠的信心和决心。1995 至 1996 年间，埃及政府对阿斯旺大坝及尼罗河谷以西的相关沙漠区域进行了综合研究，并最终确定了新河谷计划的实施方案。埃及计划投资 600 亿美元，用 20 年的时间把纳赛尔水库的淡水向西引入沙漠，将沙漠改造成良田和绿洲。该项工程规模巨大，被称为“新河谷计划”，也被称为“图什卡工程”。如果该工程能成功实施，那么埃及西部将多出一条“小尼罗河”。工程具体包括：在纳赛尔湖附近的图什卡湾建设一座日抽水量达 2500 万 m^3 的巨型扬水站；修建长约 850 km 的主输水渠道和 9 条支渠共同构成一个庞大的灌溉网，通过灌溉渠道将西部沙漠中的可耕地和 6 个主要绿洲连为一体，构成整个新河谷工程区。整个工程完工后，新开发土地面积将达 26 万 km^2 ，大片的沙漠土地将得到开发利用。在大开发区内除了兴建农业区外，还将建立工业区、商业区、居民生活区、旅游区，修建铁路、公路等基础设施以吸引人们迁往新河谷，减轻尼罗河谷当前所承受的巨大压力。



图 2.2-1 埃及新河谷计划示意图

1997年1月9日,随着穆巴拉克总统按动电钮,一阵爆炸声响彻云霄,埃及历史上最大的沙漠改造工程——图什卡工程正式动工。图什卡工程是当时埃及工期最长、工程量最大,耗资最多的治沙造田工程。为了保证工程按期完工并达到预期目的,埃及政府设立了由公共工程和水资源、农业、国防、电力和能源、工业、农村发展等多个部门组成的图什卡工程部长委员会,负责制定施工计划、解决工作中出现的问题以及调动各科研机构的专家、学者为工程建设献计献策等。为了吸引国际组织、阿拉伯以及其他区域国家的相关机构对工程进行投资,埃及政府还出台了一系列优惠政策,如在图什卡地区进行开发生产的国内外公司企业,可享受20年的免税待遇;这些公司所需的设备、原料免征关税;凡参与图什卡水渠工程建设的公司、企业享有以优惠价格购买已开发土地的权利,在图什卡地区进行投资的埃及公司可从国家银行得到优惠贷款等。

1998年,尼罗河上游爆发了一场大洪水,阿斯旺高坝受到了严峻挑战。为保护大坝,埃及及时打开了纳赛尔湖的泄洪渠闸门,滚滚洪水顺着泄洪渠涌入了西部沙漠地区,在地势低洼地的区形成了20多个卫星湖(图什卡湖群),总面积超过1500km²。这也引发了人们更为宏大的设想,即通过引洪灌溉将西部大片沙漠变为良田。但后期在工程推进过程中,由于多种原因的干扰,工程并没有达到预期的效果,图什卡湖群也因长期得不到足够的水源补给,亦开始渐渐萎缩。

2.2.3 其它土地开垦计划

沙漠土地开垦计划是埃及政府实施的一项长期战略。除了图什卡工程外,埃及政府还推出了其它一些引水治沙的工程。包括“新土地计划”、“和平渠工程”、“新三角洲”项目等。新土地(New Land)计划将尼罗河周边的沙漠改造成农田,最早于1952年提出。在1978年,新土地计划又启动了第二阶段工程。新土地计划主要分布在三角洲西边,通过Nubaria运河引尼罗河水进行灌溉,三角洲西边的奈伦特洼地附近的农业则主要依靠地下水灌溉,主要采用滴灌来提高水资源的利用率。和平渠工程(El-Salam Canal)引尼罗河水至埃及东部的西奈半岛开辟新的耕地。该工程将建设一条长达262km输水渠道,将尼罗河水引入西奈半岛北部地区的沙漠中,用于当地的沙漠土地开垦。新三角洲项目(New Delta Project)位于埃及尼罗河三角洲的西部,地中海沿岸地区,规划场区分布于拉德法拉格—达巴(Rawd Al Farag-Dabaa Axis Road)的公路沿线。该项目将会是埃

及有史以来最大的综合农业发展项目。

2.2.4 埃及的灌溉设施在规划建设中存在的问题

在过去的几十年内,埃及进行了规模巨大的灌溉工程建设和新农田开垦活动,也取得了令人瞩目的成就,但也有些工程可能并没有达到预期的目标,这其中有多重原因。但其中有一个根本性的原因值得特别关注,那就是多数灌溉工程并没有从根本上解决埃及水资源的绝对短缺问题,存在拆东墙补西墙的问题。现在埃及的三角洲地区由于人口激增,本身就存在水资源供应总量不足的问题,如果在上游再大量引水至西部沙漠地区,则河谷下游地区以及三角洲地区的缺水状况会更为严重。因此,未来埃及的水资源管理和开发的重要内容除了提高水资源的利用效率,坚持水资源循环利用外,开辟新的水资源供给方式才是有效缓解水资源危机的根本途径。

2.3 埃及农业发展现状

埃及国土面积为 100.01 万 km²,其可耕种的土地面积仅占国土总面积的 4%。根据埃及中央动员和统计局 2022 年统计年鉴,2020 年埃及全国可耕地面积总计为 397.07 万公顷,合 5956.1 万亩,人均耕地面积不到 0.58 亩,与我国人均耕地面积 1.38 亩相比,仅为我国人均耕地面积的 42%,约为世界人均耕地面积的 12%,土地资源严重匮乏。

埃及是典型的灌溉农业,其盛产农作物包括:小麦、玉米、稻谷、棉花和甜菜等,其中最为出名的是优质海岛长绒棉以及超级长绒棉,被誉为埃及的“白金”。埃及的各类作物种植面积最大的是小麦,其次是玉米。根据埃及中央动员和统计局的统计数据,2020 年埃及小麦的产量为 910.2 万吨,消费量为 2200.6 万吨,小麦自给率为 41.4%;玉米产量为 759.3 万吨,消费量为 1694.6 万吨,玉米的自给率为 44.8%;水稻产量为 480.4 万吨,消费量为 488.9 万吨,水稻的自给率为 98.38%。2020 年,埃及的人均小麦的消费量仅为 156.1kg,玉米的人均消费量仅为 90.7kg,水稻的人均消费量为 29.6kg。根据以上统计数据,埃及目前的主要粮食作物的自给率还是相对较低的,每年几乎有一半的粮食需求需要依靠进口来解决,埃及的粮食供给和粮食安全极易受到国际粮食价格和产量波动的影响。

除了主粮以外，埃及还大量生产蔬菜、水果、肉蛋奶等农副产品以及棉花等经济作物。根据埃及中央动员和统计局的统计数据，2020 年埃及产甘蔗 1533.6 万吨，洋葱 320 万吨，蔬菜 1168.5 万吨，土豆 678.6 万吨，水果 898.1 万吨。这些作物大部分用于满足埃及国内需求，其中也有一部分用于出口，为埃及换取外汇。2020 年埃及出口商品价值总额大小排序可见图 2.3-1 所示。由图可知，埃及除了和石油相关的能源产品外，剩余几项出口额度较大的都是来自于农业领域，包括成品服装在内，其涉农产品的出口总额达到了 459 亿埃镑，也是埃及获取外汇的重要途径之一。

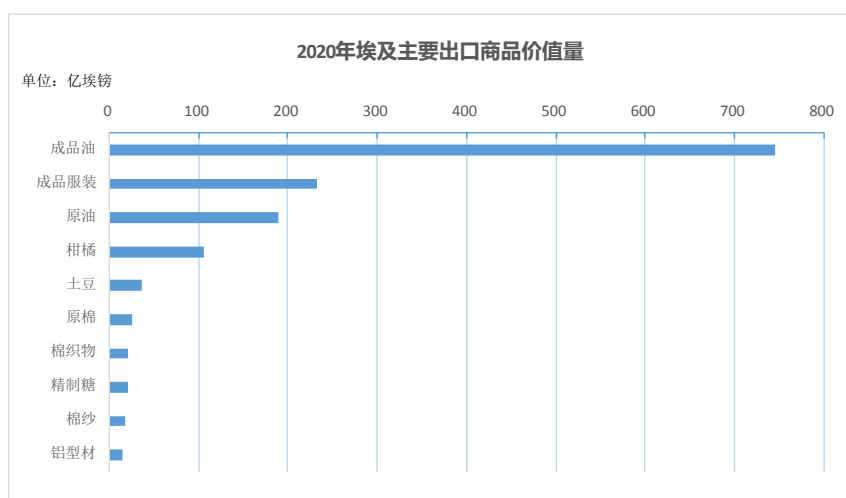


图 2.3-1 2020 年埃及主要出口产品价值数量分布图

2.4 埃及农业发展面临的挑战及应对策略

农业是埃及国民收入的重要来源，也是埃及自立自强的生命线。目前，埃及的粮食自给率并不高，每年都要花费大量外汇进口粮食。未来，随着埃及人口总量的快速增加，人民对于粮食、肉类、蛋奶、瓜果等农牧产品的总需求也会随之的增加，粮食的供需矛盾还会进一步加剧，自给率还会进一步降低。近两年，由于俄乌冲突以及各种地缘对抗的加剧，再加上全球气候变化带来的不利影响，国际市场的粮食供给也面临着巨大的挑战，国际粮价上涨明显，这进一步加大了埃及维护自身粮食安全的难度。未来，埃及农业在确保国家粮食安全，为经济发展

提供更多基础性支撑、提供更多就业机会等方面将会面临更为突出的挑战。具体包括：

（1）水资源总量的严重不足

水是生命之源，农业历来都是用水大户。根据联合国开发计划署（UNDP）发布的报告《阿拉伯地区的水治理》，农业用水占阿拉伯地区国家总用水量的85%，居民用水为8%，工业用水为7%。农业用水已经占到了水资源消费总量的绝对多数。正如本报告1.3.3小节所述，根据《1959年尼罗河河水充分利用协定》，埃及分到的尼罗河径流量为555亿m³。但目前，埃及依靠这些径流量也仅仅只是开发了本国领土总面积4%的土地，剩余96%的国土多为没有有效开发利用的荒漠，目前埃及所生产的主粮也只能满足了自身不到一半的实际需求。同时，水资源总量的短缺也引发了埃及农业用水、居民生活用水、工业生产用水之间的尖锐矛盾。水资源总量不足问题已经成为制约埃及农业发展甚至是整个国家和社会可持续发展的关键因素。

（2）耕地资源的严重不足

埃及全国领土面积为100.01万km²，但其耕地面积只占领土总面积的4%，埃及人均耕地面积仅为0.58亩，与我国人均耕地面积1.38亩相比，仅为我国人均耕地面积的42%，约为世界人均耕地面积的12%，埃及农业发展面临严重的耕地资源匮乏的制约。耕地资源的严重不足不仅制约了农业规模的扩大，也制约了结构的优化，因为有限的耕地资源需要首先应用于粮食作物的种植，而一些高附加值的经济作物的发展必然会受到抑制。同时，受耕地总量限制，埃及农业规模增长空间有限，无法为快速增加的农村人口提供有效的就业机会，导致大量农村人口涌入开罗等大城市，造成大城市的人口暴增，城市病严重。

埃及耕地资源总量不足，本质上还是水资源总量不足以及空间、时间分布不均所形成的。解决埃及耕地资源不足的根本，尤其是增加农业用地的总量，本质上还是解决水资源供给的问题。

（3）农业对国家可持续发展的支撑力度不足

农业在国民经济中发挥着基础性的作用。农业对于保障国家粮食安全、社会稳定、经济增长都起着非常关键的作用。但埃及由于水资源不足、耕地资源不足，农业发展的总规模受到了很大的限制，例如，目前埃及超过一半的小麦需求要依靠进口，且进口小麦80%都来源于俄罗斯和乌克兰。而由于俄乌冲突，黑海的

粮食运输通道阻塞,埃及的粮食安全受到了严重的影响。另一方面,由于耕地资源有限,埃及传统农业大国的优势无法体现,优势农产品的比较优势无法体现。埃及的长绒棉闻名于世,被称为“白色黄金”,但埃及长绒棉的产量以及整个埃及的棉纺织业规模在全球范围内并不突出,对国家宏观经济的拉动并不明显。根据埃及农业统计年鉴,2020年埃及的棉花总产量为22.9万吨,仅为当年世界最大棉花生产国印度棉花产量的3.5%。包括肉类、蛋奶、水果、蔬菜在内的各类农产品出口创汇的能力和规模还有待进一步大幅提升。

为了积极应对埃及农业发展面临的巨大挑战,积极应对埃及未来的人口增加给社会带来巨大压力,埃及农业领域的发展还需要以更大的魄力和更为宏大的战略加以应对,具体包括:

(1) 改进农业灌溉方式,大幅提升水资源利用效率。

水资源开发与综合高效利用是确保粮食安全的前提。缓解水资源短缺对埃及农业发展的制约,首先应提升农业用水的效率,改变原有的“漫灌”用水方式,大力普及滴灌、喷灌和微喷等节水灌溉技术,提高灌溉效率,大力推广滴灌、微灌等高效、节水灌溉方式,加强水利基础设施建设,加强输水沟渠的硬化和提升管网化水平,改善农田排水系统,大幅减少水资源的渗漏和蒸发损失。根据联合国开发计划署(UNDP)发布的报告《阿拉伯地区的水治理》,目前在阿拉伯地区,大约有80%的灌溉农田仍然采用了“大水漫灌”的方式,其灌溉的效率大约只有30%—40%,大力普及节水灌溉技术可节约大量的宝贵水资源。在埃及,政府也在积极推动现代灌溉系统的建设,积极促进滴灌、喷灌、中央枢纽灌溉等先进灌溉技术的应用^①。如果能大幅提升水资源的利用效率,也就相当于增加了水资源的供给。

(2) 提高再生水利用率,大幅提升淡化海水的利用规模

正如本文第一部分章节分析所述,水资源总量匮乏是埃及社会面临的核心问题,加大水资源的有效供给是解决水资源匮乏的治本之策。就埃及的自然条件来说,增加尼罗河径流量的可能性几乎没有了,要增加水资源供给就只能开辟新的途径,主要依靠以下两种途径:一是加大再生水的处理与利用率。城市居民生活、工业生产等会产生大量的污水、废水,农业灌溉也会产生大量盐碱化的灌溉

^① <https://english.ahram.org.eg/NewsContent/1/64/408582/Egypt/Politics-/PM-follows-up-on-progress-in-modernising-irrigation.aspx>

尾水排放，这些废水如果不加以处理直接排放，不仅会污染环境，同样也是对水资源的严重浪费。加强废水净化处理能力建设，提升再生水的重复利用率是扩大水资源有效供给的重要方法；二是加大淡化海水的利用率。海水占地球总水量的96.5%，用之不尽、取之不竭。埃及国土北、东两侧临海，无论在地中海沿海还是红海沿岸均有漫长的海岸线，具有进行大规模海水淡化的天然优势。大规模海水淡化是未来埃及解决自身水资源总量严重匮乏的最具有发展前景的关键手段。

事实上，埃及政府在近些年也积极采用各种措施，扩大水处理设施的建设，增加水资源的供给。在2020年时，就实施了一批水资源综合利用和海水淡化等项目，在北部地中海沿岸、东部红海沿岸兴建了一大批废水处理加工、海水淡化工厂与设施。近期，埃及的水务部门还启动了一项雄心勃勃的海水淡化发展计划，计划投入约150亿美元建设大规模海水淡化设施，以解决日益严重的水危机。

（3）建设现代化的综合水资源系统，大幅提升沙漠土地开垦力度

目前，埃及的耕地面积仅占国土总面积的4%，其余大部分国土因缺少淡水资源，成为没有充分利用的荒漠戈壁。未来，可通过建设现代化综合水资源系统，通过再造一条全新的“人造尼罗河”，将大量淡水输送到荒漠中，利用现代农业科学技术，将大量的沙漠、荒漠变为可耕种的农田，大幅提升埃及的耕地总量，从根本上缓解埃及的粮食安全问题，并为埃及经济社会的可持续发展提供基础性支撑。这些新开垦的耕地，除了用于增加粮食种植的土地供给外，还可为许多优势农产品的种植提供土地，通过加大棉花、糖料作物、油料作物、椰枣等高附加值农产品的种植，形成规模经济优势，增加埃及农业以及整个国家的经济实力和出口创汇的能力。

事实上，从上世纪五十年代以来，埃及在向沙漠进军的道路上就一直没有停歇，只是受制于水资源条件的制约，土地开垦的规模和速度还难以满足人口快速增长和社会经济发展的需要。近些年，在埃及政府的积极推动下，埃及开展了“百万费丹”、斋月十日城“十万费丹”、“四百万费丹”等众多的土地开垦计划。

2.5 小结

埃及具有悠久的农业发展史。埃及的农业是典型的灌溉农业，尼罗河水的灌溉对于埃及农业的发展至关重要。近代以来，埃及通过大规模的水利工程建设，有效提升了埃及农业种植的规模和产出。鉴于土地资源不足，埃及在过去的几十年间，不断加大了沙漠的开垦规模，通过多项大型沙漠开垦工程以期为农业发展提供更多的土地。但随着人口的快速增加和水资源条件的限制，目前埃及农业的发展现状还远不能满足需求，国家粮食的自给率依然不高，未来埃及农业发展依然面临巨大需求的拉动。未来，埃及农业产业的整体发展应在大力推广节水技术的基础上，进一步扩大水资源的供给，通过大幅提升农业种植规模提高粮食的自给率和经济作物的种植面积，提高农业产业的产出。尤其是要通过增加特色农作物的种植，提升埃及农业的国际竞争力，为埃及国家经济和人民生活的提升的发展提供基础性支撑。

3. 全球沙漠治理开发的典型经验介绍

沙漠是地球陆地生态系统的重要组成部分，且主要集中在地球的中低纬度地区。据统计，全球沙漠的总面积大约为 3140 万 km^2 ，约占全球陆地总面积的 21%。除此之外，全球大约还有 43% 的土地受到了土地荒漠化的威胁。随着全球人口总数的快速增加以及全球气候暖化带来的不利影响，耕地资源不足以及土地荒漠化已成为许多国家生存和可持续发展面临的重大挑战。保护好宝贵的耕地资源，开垦更多的新的可耕地，减缓土地荒漠化进程成为国际社会共同努力的目标之一。撒哈拉沙漠是世界上最大的沙漠，总面积达 860 万 km^2 ，覆盖了北非许多国家的大部分国土范围，可耕种土地资源不足问题在撒哈拉地区的许多国家显得尤为突出。开发利用好沙漠，发挥其最大潜力，将茫茫沙海变为良田，一直是许多身处沙漠地区国家和人民的美好向往。

3.1 中国新疆对沙漠地区的开发

中国是世界上沙漠面积较大、分布较广、沙漠化危害比较严重的国家之一。我国境内共分布有塔克拉玛干、古尔班通古特、巴丹吉林、腾格里等八大沙漠以及科尔沁、毛乌素、浑善达克、呼伦贝尔四大沙地。根据国家林草局发布的第六次全国荒漠化和沙化调查结果^①，截至 2019 年底，中国全国荒漠化土地面积 257.37 万 km^2 ，占国土总面积的 26.7%，其中沙化土地面积为 168.78 万 km^2 ，占国土总面积的比例为 17.5%。面对大面积的沙化土地存量以及国土荒漠化加剧带来的危害，中国人一直以来就非常重视沙地、沙漠的生态修复和治理，因地制宜采取了多种有效的方式方法，积极开展相关治理活动，形成了防沙治沙的中国方案，取得了显著的成效。

新疆位于我国的西北地区，总面积 166.49 万 km^2 ，是我国陆地面积最大的省级行政区。新疆地处亚欧大陆的腹地，由于山川和高原的阻隔，海洋水汽难以深

^① https://www.gov.cn/xinwen/2022-12/31/content_5734355.htm

入，导致新疆绝大多数地区降雨稀少、日照强烈、气候干旱，尤其是南疆地区，沙漠化程度很高。我国八大沙漠有三个位于新疆境内，分别是塔克拉玛干沙漠、古尔班通古特沙漠、库姆塔格沙漠。其中塔克拉玛干沙漠、库姆塔格沙漠又集中分布于天山以南地区。南疆大部地区年降雨量不足 100mm，而蒸发量却超过 2000mm，属典型的干旱气候，自然降水条件与埃及也较为接近。

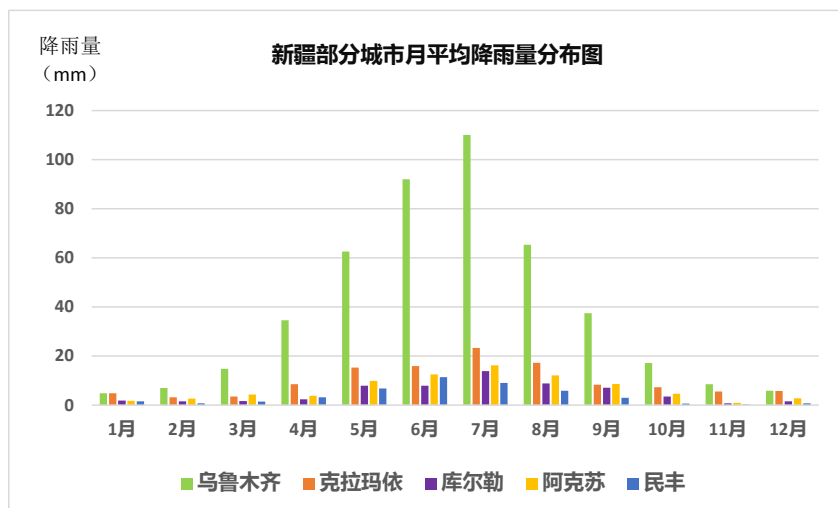


图 3.1-1 新疆部分城市的逐月降水量分布^①

由于新疆独特的地形和气候特点，新疆多数河流主要依靠高山积雪和冰川融水进行补给。昆仑山脉、天山山脉、阿尔泰山脉的积雪融水、冰川融水汇集到新疆的两大盆地，形成了新疆的河流水系，其中就包括了最大的内陆河——塔里木河。依靠塔里木河、额尔齐斯河、伊犁河、开都河等众多河流的滋养，在南北两大盆地的边缘形成了星罗棋布的绿洲，也形成了新疆独特的绿洲农业模式。

绿洲农业是新疆经济社会持续发展的基础。自新中国成立以来，新疆的土地开发开垦取得了巨大成绩，特别是上世纪 90 年代国家启动西部大开发以来，新疆的土地开垦进入了快车道。1950 年，整个新疆绿洲面积仅为 4 万 km^2 ，到 2023 年，新疆的绿洲面积已经达到了 16.2 万 km^2 、占新疆总面积的 9.7%^②，相当于整个突尼斯的国土面积。

① 以上数据来源于中国国家气象数据科学中心

② 以上数据来源于新疆维吾尔自治区政府官方网站

水是绿洲存续、发展、壮大的核心。以水为纽带，做好水资源的高效利用，做好土壤盐渍化控制是建设现代绿洲农业系统的重要环节。过去，新疆各族群众创造了著名的“坎儿井”，为荒漠、戈壁引来了雪山融水，滋养了众多的绿洲。如今，新疆通过两手发力，全面推动水资源开发利用的系统化、科学化和精细化利用水平。一方面通过加大水利工程建设，提升水资源的大范围调度和供给能力，为水资源安全提供根本性保障。改革开放四十年来，新疆的灌溉面积从 3899 万亩增加到 7455 万亩，渠道长度从 210km 增加到 59 万 km，防渗渠道从 130km 增加到 23 万 km，建成水闸 25306 座。截止 2021 年底，新疆已建成的大、中型水库就已经达到 182 座，水库蓄水总量 102.4 亿 m^3 ^①。另一方面通过全面推广农业高效节水技术，通过喷管、滴灌、膜下滴灌等先进灌溉技术的应用，大幅提高水资源的利用效率。

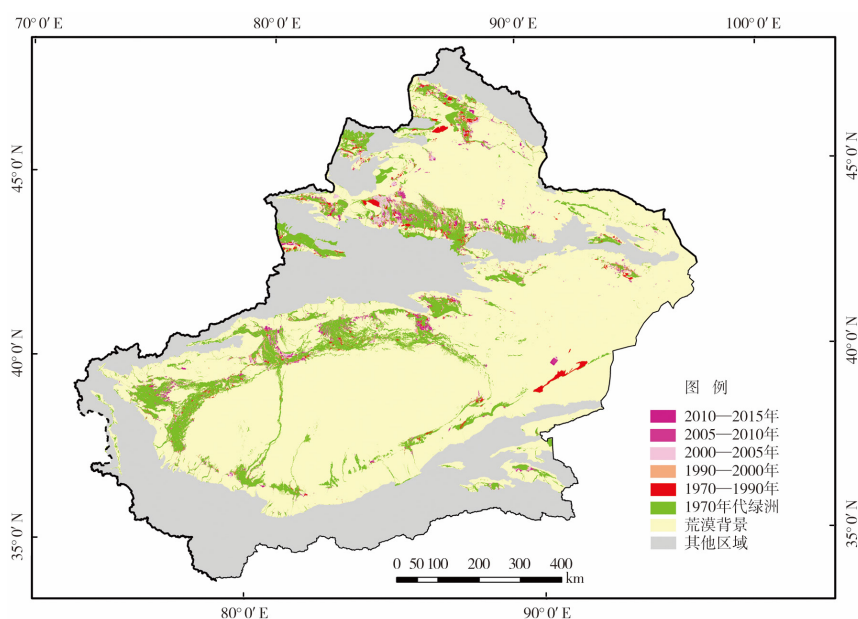


图 3.1-2 新疆 1970—2015 年绿洲分布及其扩张^②

水资源保障能力的提升对于新疆天然及人工绿洲的扩大起到了积极的支撑作用。20 世纪 90 年代中期以来，新疆的土地开发便进入了提高单产与扩大面积相

① 以上数据来自新疆维吾尔自治区水利厅《2021 年水资源公报》

② 《近 40 年新疆土地利用及其绿洲动态变化》，贺可、吴世新等人，干旱区地理，2018

结合的时期，国家西部大开发战略、一黑（石油）一白（棉花）战略、棉糖基地建设、促进林果业发展等战略的实施，从政策的角度鼓励了新疆土地的开发。同时随着经济发展以及人口的增长，土地开垦成为一种快速有效地增收手段。



图 3.1-3 新疆农田中的膜下滴灌设施

伴随着绿洲面积的扩大，新疆的农业生产也进入了以粮、棉、果、畜产业高效优质发展的新阶段。2022 年，新疆全区粮食总产达到 1813.5 万吨，棉花种植面积 3745.33 万亩，产量 539.06 万吨，占全国的比重达 90.2%，新疆作为全国优质商品棉基地的地位更加稳固，保障国家棉花战略安全的能力显著增强；林果面积 2100 多万亩，果品产量 1357 万吨，新疆已成为全国优质特色林果生产基地；番茄加工生产能力和产量居世界第三位，出口量居世界第一。红枣、杏、葡萄、巴旦木的面积和产量均为全国第一；畜产品生产保供能力持续提升，畜牧业产值 1305.3 亿元，是全国重要的畜产品生产基地^①。

新疆通过提升水资源治理能力的建设，有效扩大了绿洲的规模和生产能力，增加了土地供给，为新疆社会经济的协调发展提供了根本支撑。除了新疆以外，在中国的内蒙、甘肃、陕西等省区，人们通过对“沙戈荒”的综合治理与开发以及先进治沙防沙技术的创新及应用，大大降低了风沙危害，改善了生态环境，促

^① 以上数据来源于新疆维吾尔自治区政府官方网站

进了林、农、畜、果、旅游、新能源等产业的发展，对于逆转中国国土的荒漠化进程，促进当地的经济发展、人民生活水平提升起到了巨大的促进作用。

3.2 美国中央谷地的开发

美国是当今世界的头号经济强国，其国内生产总值（GDP）长期居世界首位。同样，美国在农业领域的综合实力也位居世界前列，是全球最大的农产品出口国。美国拥有得天独厚的地理条件，其国土中东部，即落基山脉以东地区，有广袤的密西西比大平原，地势平坦，土地肥沃，也是世界著名的黑土平原，非常适合大规模机械化的大农场生产模式。美国全国耕地面积约为 157.7 万 km^2 ，折合 23.7 亿亩，美国农业从业人口人均拥有耕地面积超过了 1000 亩，耕地资源非常丰富，加之美国农业科技发达，机械化、农场化经营程度很高，农业生产效率很高，大量的农产品产量、出口量均居世界首位。而美国落基山脉及其西部，一直到太平洋沿岸有着和东部截然不同的自然环境，尤其是美国西南部地区，这里多高山、戈壁、荒漠、盐沼，多数地区气候干燥、降雨稀少，非常不利于农业生产。但在西部的加利福尼亚州，却有一处盆地是个例外，这里就是美国西部富庶的粮仓——中央谷地（Central Valley）。



图 3.2-1 中央谷地卫星影像图^①

^① 该卫星影像图来自于互联网

中央谷地（Central Valley）是位于美国加利福尼亚州中部的大地槽，坐落于海岸山脉与内华达山脉之间，为南北狭长的冲积平原。中央谷地与埃及北部地区气候类似，均属地中海式气候，年降雨量主要集中在冬春季节。夏秋季主要受副热带高气压带控制，日照强烈，降雨稀少，蒸发量大，炎热干燥。谷地北部地区多年平均降水量为 760mm，南部只有 200-400mm，部分地区甚至不到 100mm。整体而言，北部地区降水较多、耕地较少，南部地区耕地较多、降水较少，水资源分布与农业开发对水资源的需求之间存在时间和空间上的错位。

中央谷地的兴起源于美国早期的“西进运动”以及“淘金热”。但早期的中央谷地还近乎是一片荒漠，土地贫瘠，并不适宜耕种。随着大量淘金者的涌入这里人口也开始增加，人们不得不加大了对荒漠的开发。随着中央谷地灌溉体系的建设和不断完善，中央谷地也逐渐成为美国重要的水果和蔬菜生产基地，成为全世界农业产出效率最高的地区之一。

（1）中央河谷工程

为解决加州中央谷地水资源短缺问题，早在 1919 年，一位美国地质勘测局的地质学家就首次提出了在加州进行大规模跨流域调水的理念，其后经过长期反复的完善和运作，调水方案终于在 1933 年获得加州公民投票通过。工程于 1935 年开工，这就是著名的“中央河谷工程（Central Valley Project）”。中央河谷工程共建有 20 座水库、11 座水电站及 9 座泵站，共约 800km 的输水引水渠道。主要作用就是将河谷北部萨克拉门托河的多余水量调至南部缺水的圣华金河谷，并向谷地中部的大部分地区提供农业灌溉用水和市政居民生活用水，工程平均年调水量为 61 亿 m^3 。工程建立后可保护中央谷地的北部地区免受洪水灾害的威胁；另外，还可为中央谷地中部地区的大片新开垦土地提供充足的灌溉用水，促进农业发展农业；再有，可以有效缓解河谷南部地区的水资源短缺问题，促进该区域经济发展。

中央河谷计划修建了多项重点工程^①，具体包括了沙斯塔水库（Shasta Reservoir）、特里尼蒂水库（Trinity Reservoir）、福尔瑟姆水库（Folsom Reservoir）、圣路易斯水库（San Luis Reservoir）、特雷西泵站（Tracy Pumping Station）、三角洲 - 门多塔渠道（Delta-Mendota Canal）、三角洲横渠（Delta

^① 相关项目信息来自美国国会研究局《中央河谷项目运营：背景与立法》，2017

Cross Canal) 等。其中最为关键的工程是沙斯塔水库, 大坝高 183m, 总库容达 56 亿 m^3 , 水电站的发电装机容量经过更新后达到了 710MW, 沙斯塔水库是中央河谷计划中主要的蓄水和发电设施, 起到了有效调节萨克拉门托河水流量的作用, 提高了下游导流坝和引水渠的水资源利用率并起到了有效防治萨克拉门托-圣华金三角州的洪水泛滥的作用。



图 3.2-2 中央河谷工程及其相关设施^①

^① 该图源自美国国会研究局《中央河谷项目运营：背景与立法》，2017



图 3.2-3 沙斯塔水库大坝

（2）加利福尼亚州的北水南调工程

二战后，加利福尼亚州经济飞速发展，这使得水资源不足的问题再次变的突出，谷地地下水位严重下降。曾经尝到调水甜头的加州政府，此时开始考虑通盘解决加州北涝南旱问题。1945 年加州立法机构授权进行了全州规模的水资源普查，为北水南调工程进行了全面的论证和准备。1960 年加州全民公决以微弱优势通过的调水工程方案。

调水工程首先在北部山区的奥罗维尔（Oroville）打响，并在此修筑了奥罗维尔大坝（Oroville Dam），形成了巨大的奥罗维尔湖（Lake Oroville）。奥罗维尔大坝为粘土坝，坝高 235m，坝长 2109m，水库库容 43.17 亿 m^3 ，为整个调水工程最大的蓄水库。整个水库于 1968 年建成，水库建成后既可以控制北部经常泛滥的洪水，还可以引水向南，经费瑟河、萨克拉门托河及人工沟渠水道逐步将水调到南部。1973 年，加州调水工程的主体工程完工，1990 年达到了设计输水能力。其后，加州又陆续兴建了大小多个调水工程。最终，整个调水工程包括了 28 个大坝和水库，22 个抽水站。主要输水渠道干渠全长 715km，其中明渠 620km，隧道 19km，压力管道 66km。如今，随着用水区域和用量的增加，分支渠道和设施仍在不断扩展。调水工程的年平均调水量已达近 50 亿 m^3 。加州通过

不懈的水利设施建设，使可灌溉农田面积达到了 2000 多万亩，有力的促进了加州经济的发展。

（3）加利福尼亚州农业发展现状

加州属地中海式气候，夏季阳光充沛，中央谷地地势平坦，冲积层深厚，除了缺水以外，具有发展农业的天然优势。而加州通过调水工程建设，使水资源在空间和时间上进行了重新分配，为农业发展创造了绝佳的条件，目前，加州已经成为美国人口最多、灌溉面积最大、农业产出最高，总体经济实力最强的一个州。加州的农业既传承了美国农业机械化、规模化经营的优势，又有着精耕高产的现代化、集约化特点。

根据美国农业部（USDA）国家农业统计局（NASS）数据，2021 年加州的农业总产值约 511 亿美元，占美国农业总产值的 13%，农牧场数量超过了 6.9 万家，用于耕种和畜牧的土地面积为 971 万公顷，全美超过 66% 的水果、坚果和 62% 的蔬菜均由加州生产。其中产值前十的农产品包括：乳制品 / 牛奶、葡萄、杏仁、牛、草莓、开心果、生菜、西红柿、核桃、大米。



图 3.2-4 加州的葡萄种植园^①

加州葡萄产量占全美总量 90% 以上，遥遥领先于纽约州、华盛顿州、宾夕法尼亚州等主产区，是名副其实的“葡萄大州”。这也使得加州的葡萄酒产业享誉世界。2022 年，加州的葡萄酒产业及相关衍生行业总计为美国经济贡献了 1705 亿美元，为加州本地经济贡献了 730 亿美元，大约占全美葡萄酒经济的 50% 以上。2021 年美国水果及坚果产量为 2638 万吨，其中加州产量为 1645 万吨，

^① 该图来自于互联网

占全国总量的62.4%。自2000年以来,加州一直是美国第一大水果出口州,2021年,加州新鲜水果出口额达28亿美元,加工类水果出口额达24亿美元。

(4) 加利福尼亚州农业灌溉系统面临的挑战

加州的许多引水灌溉基础设施从开始建设至今已快接近百年了。随着经济的快速发展,尤其是人口的不断增加以及气候变化带来的挑战已经让整个加州的供水系统不堪重负。目前,加州的人口已经超过了4000万,整个谷地范围内的地表天然径流量早已不能满足社会经济发展的需要,整个灌溉系统对于地下水的依赖也越来越大。过度开采地下水势必会造成较为严重的生态和地质后果,出现了地表下沉,地下水水位下降、水质恶化等。根据美国地质勘探局的数据,在过去100年里,中央谷地一些地区的地下水位在干旱时已下降了200m,地下水位的下降还引发了一些地区地下水中砷元素的增加,恶化了地下水的水质。截至1970年,加州南部的圣华金谷地就有超过一半的区域地表下沉超过了0.3m。到1980年时,局部地区的下沉甚至超过了9m^①,地表下沉对于地表设施和建筑等构成了严重的威胁。另外,近些年频发的干旱也给加州的供水系统造成了严重的威胁。美国地球物理学联合会2016年12月发布的一份报告指出,中央谷地的蓄水层可能在2030年代枯竭。积极开拓新的水源已经成为中央谷地未来发展必须应对的重大挑战。

3.3 沙特对沙漠地区的开发

沙特阿拉伯王国(简称“沙特”)位于中东的阿拉伯半岛,周边分别与约旦、伊拉克、科威特、卡塔尔、阿联酋、阿曼、也门相邻,东濒波斯湾,西临红海。沙特国土总面积为225万km²,约为埃及国土面积的两倍,总人口3481万,约为埃及的三分之一。海岸线全长2448km。沙特国土多为高原,西部红海沿岸为平原地形,东部为山地和平原,北部和南面均为沙漠,大内夫得沙漠位于北部,鲁卜哈利沙漠位于南部,其中鲁卜哈利沙漠是世界上最大的流动沙漠。沙特为全球沙漠面积第二大的国家,仅次于澳大利亚,沙特全国沙漠面积约为86万km²。沙特西部高原地区属地中海气候,夏季炎热少雨,冬季凉爽湿润。其他地区多

① Water availability and land subsidence in the Central Valley, California, USA. Claudia C. Faunt, etc. Hydrogeol J (2016) 24

为亚热带沙漠气候。夏季炎热干燥，最高气温可达 50 摄氏度以上。冬季气候温和，最低温度在 10℃ 左右。总体来看沙特全国降雨量稀少，年平均降雨量不超过 200mm。沙特也是全球少数几个没有河流的国家之一。气候干旱严重制约了当地农业、畜牧业以及林草等行业的发展。

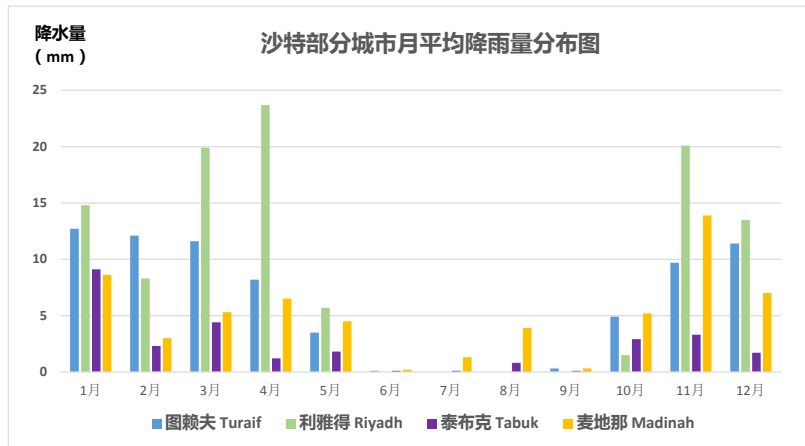


图 3.3-1 沙特部分城市月平均降雨量分布图^①

由于自然环境限制，沙特过去的可耕地资源非常有限，可耕地面积只占全国国土总面积的 1.6%，主要散布在沙漠中的各个绿洲之中。可耕地资源严重不足，粮食总产量也就非常有限，沙特需要依靠外部进口来解决自己的粮食问题。在沙特发现石油以后不久，沙特就成为了全球最重要的石油出口国，石油出口给沙特带来了大量的财富，也使沙特有能力来解决自身的水资源短缺以及粮食安全问题。沙特解决水资源供给和粮食安全问题主要采用了一下措施：

（1）通过大量开采地下水将沙漠变为农田，增加粮食生产。

同埃及一样，沙特也有许多的地下含水层，蕴藏有大量古老的化石水。例如在沙特阿拉伯的西北部地区、约旦南部地区分布有 Disi-Saq 含水层，其中位于约旦境内的部分被称为 Disi 含水层或 Ram 含水层，在沙特境内被称为 Saq 含水层或 Saq-Tabuk 含水层。该砂岩含水层形成于古生代的寒武纪到奥陶纪，覆盖面积约为 30.8 万 km²，其中沙特境内含水层的淡水蕴藏量约为 7400 亿 m³^②。在过

① 以上图表中降水量数据来源于世界气象组织网站

② Inventory of Shared Water Resources in Western Asia, United Nations Economic and Social Commission for Western Asia; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2013.

去的几十年间，沙特通过大量开发深层地下水，改造贫瘠的沙漠用于发展农业，并已形成了巨大的规模，也使沙特一度从原有的粮食进口国变为粮食出口国。图 3.3-2 为沙特阿拉伯在北部与约旦接壤地区的沙漠开垦活动卫星影像图。

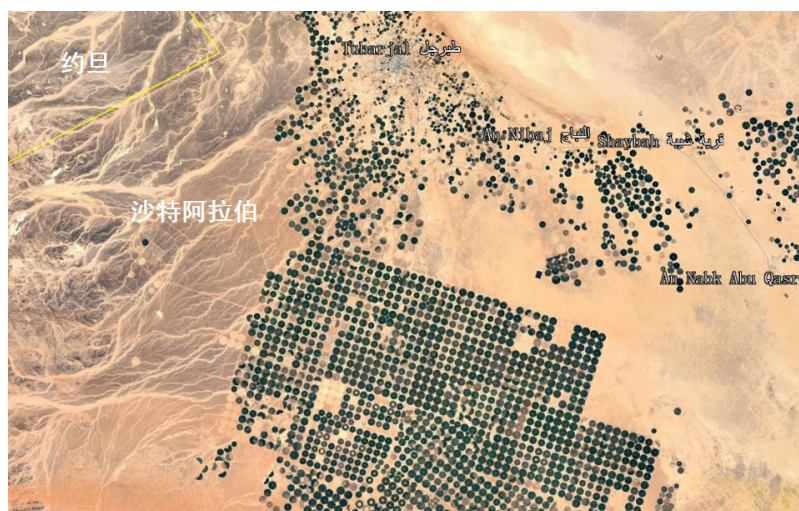


图 3.3-2 沙特北部的圆形沙漠农田^①

图中的绿色圆点即为中心轴式灌溉系统所形成的沙漠农田。当前，沙特的圆形沙漠农田不仅分布在北方地区，在西北地区、中部地区、南部地区、首都附近也都有分布。中心轴式灌溉系统在运作时围绕中心轴旋转，对农作物进行旋转式喷洒灌溉。灌溉系统的用水取自当地的地下含水层，整个圆形区域的直径约为 1km。中心轴式灌溉系统具有一定程度的自动化特性，洒水的喷头也可横向移动，不仅可以有效的控制和管理水量，提高用水效率，还节约了劳动力成本，另外它还可以用来喷洒肥料和杀虫剂等。由于深层地下水的具有水源可靠、取用灵活的特点，是农业开发非常稳定可靠的水源保障。得益于地下水的帮助，在过去的 30 多年沙特的农业发展取得了惊人的成就，沙特不仅实现了从沙漠到农田的神奇转变，还实现了从食品进口国到食品出口国的转变。在上世纪 90 年代，沙特自产食物不仅能够满足内需，还可以大量出口到外国，一跃成为全球第六大粮食出口国。后来，为了节约宝贵的不可再生的地下水资源，沙特减少了小麦等谷物的产量，但增加了水果和蔬菜的生产，其中产量较高的水果主要有西瓜，葡萄，

^① 该图来源于谷歌卫星图片

以及柑橘类水果等等，蔬菜包括了洋葱、南瓜、西红柿等。



图 3.3-3 中心轴式灌溉系统所形成的沙漠农田

2023 年 7 月，沙特环境、水、农业副大臣曼苏尔·穆沙蒂（Mansour al-Mushaiti）在出席第 43 届联合国食品 and 农业组织大会时表示，2022 年沙特的农业生产总值达 1000 亿里亚尔（合 266 亿美元），同比增长 38%。2022 年是沙特农业经济对整个国家经济发展贡献度占比最高的一年，2022 年沙特的椰枣、水果、橄榄、咖啡豆、大米、扁豆等农作物取得全面丰收，特别是沙特的椰枣产业，有多达 300 多个品种出口海外，创造了 75 亿里亚尔（约 20.6 亿美元）的出口成绩。

（2）加大水利设施的投入，提高国家对水资源的供给和调节能力

由于沙特绝大部分国土均为干旱的沙漠环境，不利于洪水的存储，但沙特还是在不断的增加国内的水利设施，提高对于洪水以及其他水资源的储存和调度能力。如今，沙特已经在全国各地修筑了 220 座水坝，蓄水能力达 8 亿 m^3 。这些水主要应用于农业，并通过数千英里的灌溉渠和沟渠，输送到各大农田。

（3）加大海水淡化的规模，从根本上提高淡水资源的供给能力

沙特的地表水资源量仅约为 20 亿 m^3 ，根本无法满足其国内工农业生产和居民生活对水资源的基本需求。除了大量抽取地下水外，沙特还加大了海水淡化力度。相对而言，海水淡化是来源最为丰富且持续的水资源供给方式。海水淡化使用的原水是地球上储量最为丰富的海水，具有取之不竭、用之不尽的特点，是人

类解决淡水资源不足的终极解决方案。但海水淡化也存在能耗高、资金与技术密集、使用成本高等不足。沙特依靠石油积累的巨额财富支撑，不断加强在海水淡化领域的能力建设。目前沙特已是全球海水淡化领域生产规模最大的国家，其海水淡化能力已占全球总量的 20% 以上。沙特的海水淡化公司（SWCC）是全球最大的海水淡化公司，截至 2022 年，该公司旗下经营着 30 家海水淡化厂，每天可生产 660 万 m^3 淡水，2022 年全年生产的淡水总量已超过 20 亿 m^3 ^①。

根据沙特环境、水和农业部 2020 年统计报告，沙特的年用水需求量约为 160 亿 m^3 ，其中农业用水约占 67%，工业用水约占 10%，城市居民用水约占 23%。水资源供给的主要来源还是地下水的开采。长期大量开采地下水已经使部分地区的地下水水位出现了显著的下降，部分地区地下水资源面临枯竭的风险，为此沙特政府启动了国家水战略，加强了对水资源的综合治理，包括对部分沙漠农田进行休耕，暂停饲料种植等，还包括加强雨水收集，加强废水的回收和处理，支持再生水用于灌溉农业发展等，全面保障国家的用水安全。另一方面，沙特目前的海水淡化产业每年也要消耗大量的化石能源，不仅造成了大量温室气体的排放，也降低了沙特化石能源的出口能力。为此，沙特也在积极探索可再生能源用于海水淡化的实现途径，通过可再生能源的大量使用，不仅可以降低海水淡化的碳排放，还可进一步降低获取淡水的成本。

3.4 小结

自第二次世界大战结束以来的 70 年间，全球的总人口已从二十多亿迅速增长到如今的八十亿。人口的快速增长使得全球的粮食、水、能源的供给出现了前所未有的压力。确保本国的粮食安全、水资源安全、能源安全便成为世界各国政府需要考虑的头等大事。本章节对全球范围内一些国家和地区在过去的几十年间，为解决自身发展中面临的水、地、粮矛盾，加强各类水资源的统筹规划，发挥水资源在农业生产中的关键作用，改造荒漠、沙地用于农业生产并取得巨大经济效益的案例进行初步分析，通过上述案例分析，我们可以看到：

（1）通过改善水资源的供给，将沙漠或是荒漠地区改造为农田，开展农业

① 该数据引自沙特海水淡化公司（SWCC）2022 年度报告

生产，解决粮食安全问题，拓展农业高质量发展的新空间在技术和经济上是具有可行性的。中国、美国、沙特、以色列包括埃及自身在内的许多国家在干旱农业开发方面已经积累了大量有用的经验和做法，包括引水调水工程的规划、建设与开发、水资源的有效供给、农田灌溉新模式的探索，沙化土地综合治理和改造、土壤盐碱化的控制、适宜沙漠气候的优势农产品选育种等，这些技术和经验对于世界各国积极拓展本国农业发展空间，提升农业发展品质均有很强的借鉴意义。

（2）水资源开发要坚持可持续和绿色发展的原则。尽管中东地区许多国家都有储量巨大的地下淡水资源，但过量的和不科学的开发地下水资源会对当地的生态环境、地下水环境等产生严重负面影响，部分地区的已有实践经验已经证明了这点，而且从更长远的角度来看，大量开采地下水用于农业开发也具有不可持续性。海水淡化是具有可持续发展特征的水资源供给新模式，但传统的借助消耗大量消耗化石能源的方式进行海水淡化，增加了化石能源的消耗以及温室气体的排放，会形成对化石能源的新依赖，采用绿色、可持续的新能源用于海水淡化是改善干旱地区水资源供给的长久之策。

（3）在沙漠和荒漠地区进行农业开发需要资本和技术的持续不断投入。从以上案例分析可以看到，将沙漠和荒漠地区改造为农田，就是在沙漠或荒漠中重新构建一个全新的人造农业生态系统，需要修建大量的供水设施、引水工程、高效灌溉系统等，需要形成一套新的作物选育、种植体系，尤其是海水淡化系统以及功能系统的建设，均需大量的资金和技术的投入。在这一进程中，政府需要加强顶层制度设计，建立有效的激励机制，需要厘清政府和市场各自发挥作用的机制与界限，一方面要保证公共资金的有效供给，更重要是的吸引和鼓励大量的私人资本的投入，保障整个开发模式能形成良性循环。同时还应加强国际合作，促进各国在该领域开发经验、技术以及资金的相互交流和合作。

4. 新能源与海水淡化用于埃及沙漠开发的 潜力分析

埃及作为地处撒哈拉大沙漠地区拥有过亿人口的区域性大国，如何确保自身的水安全和粮食安全进而实现国家的可持续发展，已成为埃及整个国家和社会面临的重大挑战。未来，随着埃及总人口的进一步快速增加以及全球气候暖化对中东非地区造成的干旱效应加剧，上述矛盾将会更加尖锐。但另一方面，随着全球科技革命的快速发展以及全球能源转型的不断演进，新能源发电以及海水淡化等领域创新技术的快速迭代，各类创新技术的应用成本也越来越低，这又为埃及应对上述重大挑战提供了历史性机遇。

4.1 海水淡化技术的应用前景分析

4.1.1 海水淡化技术简介

海水淡化（Seawater Desalination）是从海水中获取淡水的技术和过程。人们对于海水淡化技术的探索具有悠久的历史。在大航海时代，欧洲的探险家就在航海过程中，尝试用煮沸海水的方法制造淡水。1884 年英国建成了第一台船用海水淡化装置用以解决远洋航运中的饮水问题。1990 年出现了多级闪蒸的专利。1930 年反渗透和电渗析的概念被提出。到了 1970 年代，中东地区因为石油产业拉动，经济迅速发展，人口快速增加，使得整个地区对淡水资源的需求与日俱增，海水淡化也由于自身技术的不断突破，很快便成为区域内国家解决淡水资源短缺的现实选择。

海水淡化的技术路线种类很多，包括热法、膜法、冷冻法、电渗析法、离子交换法、水合物法等多种类型。目前全球范围内大规模采用的主要是热法（蒸馏法）和膜法（反渗透法）。所谓热法也叫蒸馏法，即通过加热海水使其蒸发，再将蒸汽冷凝后收集淡水，实现水盐分离的技术。这种方法具体又包括了多级闪

蒸（Multi-Stage Flash, MSF）、多效蒸馏（Multi-Effect Distillation, MED）、蒸汽压缩蒸馏（Vapor Compression Distillation, VCD）、太阳能蒸馏（Solar Distillation, SD）等。其中应用较为广泛的是多级闪蒸和多效蒸馏。膜法中应用最为广泛和最有发展前景的就是反渗透膜法（Reverse Osmosis, RO）。

（1）多级闪蒸（MSF）

多级闪蒸（MSF）是指将加热的海水依次通过多个温度、压力逐级降低的闪蒸室，进行蒸发和冷凝进而产生淡水的蒸馏淡化方法。由于多级闪蒸过程中加热面和蒸发面分开，使得传热面上的结垢减少，可有效提高传热效率。多级闪蒸海水淡化装置是一种大型海水淡化装置，可与火力发电厂联合建设。火力发电厂的余热可用来加热海水，电水联产可以大大降低综合生产成本。该技术方法具有产量大、技术成熟且运行安全、可靠的特点，目前在中东市场仍然占有一定的比例。具体流程工艺示意图 4.1-1 所示。

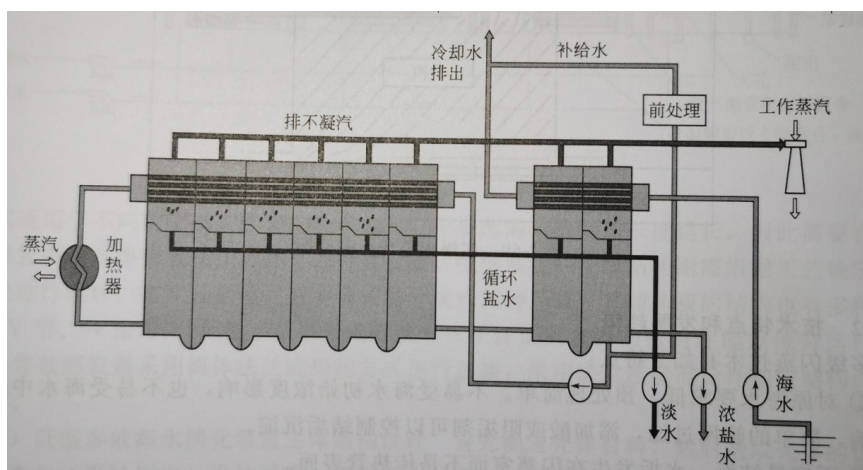


图 4.1-1 多级闪蒸发工艺流程图^①

（2）多效蒸馏（MED）

多效蒸馏（MED）是利用多级蒸馏器，将海水逐级进行加热使其产生蒸汽，通过蒸汽冷凝后得到淡水的工艺方法。按照最高海水蒸发温度的高低，多效蒸馏又可分为高温多效蒸馏和低温多效蒸馏。具体来讲，低温多效蒸馏是指海水的最高蒸发温度不超过 70℃ 的海水淡化方法。低温多效蒸馏可避免和延缓蒸馏设备

^① 图 4.1-1 和图 4.1-2 源自《海水淡化技术与工艺》，高从堦、阮国岭主编

的腐蚀和结垢问题，同时由于海水的蒸发温度低，可以降低传热材料的成本和增加传热面积，因而低温多效蒸馏可以达到较高的造水比。

低温多效蒸馏因其技术优势及灵活的设备组合方式，可以有效利用多种低品位热源，可与发电厂实现电水联产，可以利用柴油机的余热进行制水，可与固体废弃物的焚烧炉结合进行海水淡化，还可利用工业冷却水和工业废热以及太阳能、地热等进行海水淡化，具有非常灵活多样的应用场景。具体工艺流程见图 4.1-2 所示。

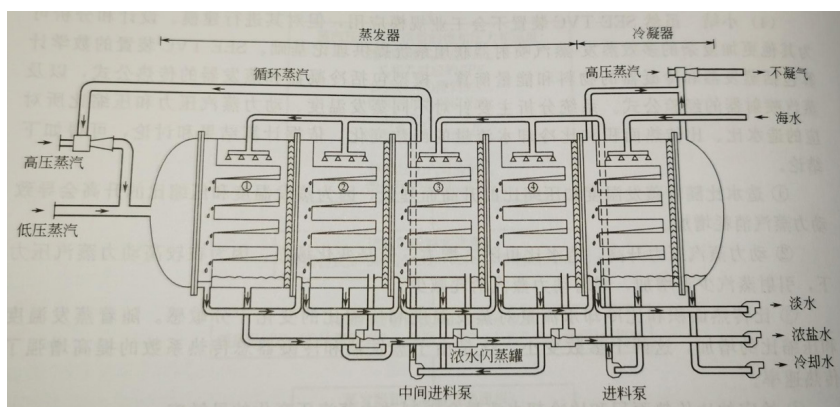


图 4.1-2 低温多效蒸馏工艺流程图

（3）反渗透法（RO）

反渗透法（RO）是指通过对溶液施加一定大小的压力，使溶剂在膜的低压侧渗出的一种膜分离操作方法，因为它与膜的自然渗透方向相反，故称为反渗透。在利用反渗透法淡化海水时，在膜的低压侧得到的是淡水，在高压侧得到的是高浓度的含盐尾水。目前，用于海水淡化的半透膜主要是芳香族聚酰胺类膜元件。该膜含有孔径小至纳米级别的微孔，在一定的压力作用下，水分子可以通过膜的微孔，而源水中的无机盐、重金属离子、有机物分子、胶体、细菌、病毒等杂质是无法通过反渗透膜的，从而将透过膜的纯水和无法透过膜的浓缩原水分离开来。反渗透海水淡化技术在生产淡水过程中没有水的相变过程，具有能耗低、脱盐率高、产出水质量高的特点，是目前海水淡化领域非常具有发展前景的淡化方法。

4.1.2 海水淡化技术发展及应用现状

随着全球经济的发展和人口的快速增加，在过去的几十年间，全球的海水淡

化行业发展迅猛。尤其是在中东、非洲等干旱地区,由于当地水资源本身比较匮乏,大力发展海水以及苦咸水淡化产业就成为该区域内国家的优先选项。根据国际水务情报 (Global Water Intelligence, GWI) 的统计,截至 2022 年,全球海水淡化工厂的数量已迅速增长到了 2.1 万多个,全球海水淡化总产能已达 1.09 亿 $\text{m}^3/\text{天}$ 。自 2000 年以来,全球海水淡化产能已增加了近五倍。2022 年,全球海水淡化产能就新增了约 440 万 $\text{m}^3/\text{天}$; 2023 年,全球新增的海水淡化产能预计将达到 480 万 $\text{m}^3/\text{天}$ 。目前中东国家约占全球海水淡化产能总量的 50%, 仅在波斯湾地区, 预计 2022-2023 年度地区国家的新增产能将会占到全球新增产能的 40.9%^①。

目前, 沙特阿拉伯是世界上拥有海 (咸) 水淡化设备规模最大的国家。沙特的海水淡化公司 (SWCC) 是全球最大的海水淡化公司。截至 2022 年, 该公司旗下经营着 30 家海水淡化工厂, 每天可生产 660 万 m^3 的淡水, 承担着沙特全国近 70% 的淡化水的生产, 2022 年沙特海水淡化公司生产的淡水总量已超过 20 亿 m^3 。除了沙特阿拉伯以外, 波斯湾周边的阿联酋、卡塔尔、科威特、阿曼也都是淡化海水的生产大国。2022 年, 阿联酋 42% 的饮用水来自于海水淡化, 科威特为 90%, 卡塔尔为 90%, 阿曼为 85%。除此之外, 随着干旱的加剧和人口增长等因素的驱动, 北非、美洲乃至亚洲等许多非中东地区的海水淡化产业也逐步发展起来了, 美国、中国等国的海水淡化产业也正在经历快速发展的阶段。2020 年中国的水淡化处理能力已经达到了 161.5 万吨 / 天, 相较于 2010 年的不足 60 万吨 / 天增长了 2.7 倍。截止 2020 年, 埃及共有 81 座在运的海水淡化工厂, 总生产能力为 91.4 万 $\text{m}^3/\text{天}$, 其中位于地中海沿岸的马特鲁省 (Matrouh) 是目前埃及拥有海水淡化容量最多的省份, 其海水淡化产能约占整个埃及总产能的 33%^②。

目前, 全球的海水淡化工厂既包括了日产能不足 1000 $\text{m}^3/\text{天}$ 的微型工厂, 也包括了许多日产能超过 100 万 $\text{m}^3/\text{天}$ 的巨型工厂。例如, 沙特阿拉伯的 Ras Al Khair 海水淡化厂其产能已经达到了 103.6 万 $\text{m}^3/\text{天}$, 在沙特阿拉伯、卡塔尔和阿联酋等国的海水淡化工厂中, 仅单台设备的日产能就超过了 20 万 $\text{m}^3/\text{天}$, 卡塔

① 数据来源: GWI DesalData

② 数据来源: 《Water desalination in Egypt; literature review and assessment》, Yasser Elsaie etc., Ain Shams Engineering Journal Volume 14, Issue 7, July 2023

尔的 Umm al Houf 海水淡化工厂的产能就已经达到了 90 万 $\text{m}^3/\text{天}$ ^①。当前全球约有 3 亿人的基本用水要由淡化水保障。到 2030 年，全球海水淡化的产能规模将会翻倍，海水淡化产业越发在社会经济活动中显现出极端重要性，其地缘政治意义也越发凸显。

从技术路线来看，起初大多数（特别是在海湾国家）的海水淡化工厂多采用热法脱盐工艺，包括了多级闪蒸和多效蒸馏，其中多级闪蒸在热法工艺中占到了绝大多数的份额。随着技术的进步，反渗透膜法由于具有能耗较低、运营成本较低、产水成本较低的优势，近年来，其在全球范围的市场份额迅速上升。据统计，目前反渗透膜法的在全球海水淡化领域的占比已经达到了 69%。根据世界上最大的海水淡化公司——沙特海水淡化公司（SWCC）的发展计划，2023 年该公司将会实现其拥有的反渗透法淡化容量超过多级闪蒸法淡化容量的情况。其具体容量变化见图 4.1-3 所示。

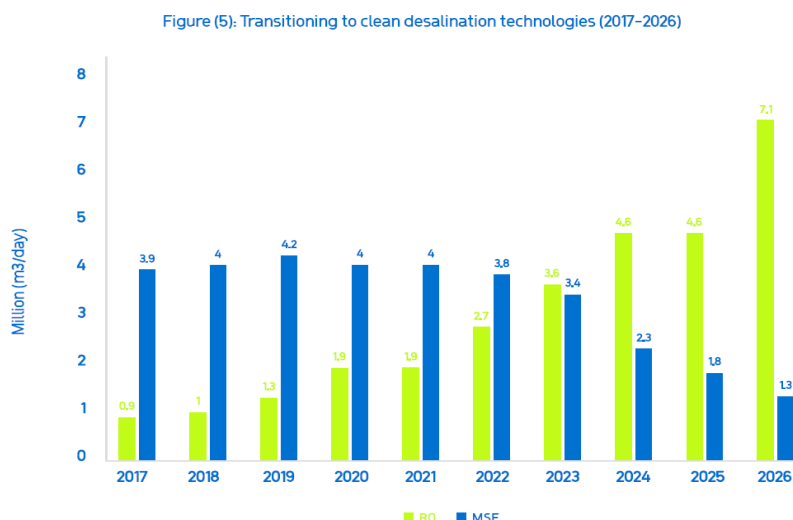


图 4.1-3 沙特海水淡化公司不同技术路线淡化容量对比图 ^②

4.1.3 海水淡化技术应用和发展面临的挑战

近些年海水淡化产业的快速发展为许多国家和地区，尤其是像中东、北非以

① 数据来源：Umm al Houf 公司官网，<https://ummalhouf.net/>

② 该图摘自沙特海水淡化公司发布的报告《The Evolution of Water Reverse Osmosis Technology》

及一些海岛等淡水资源严重匮乏的地区缓解日益严重的淡水供应危机起到了极大的支撑作用，但海水淡化技术在中也面临着一些不容忽视的负面因素。首先是海水淡化对于能源的大量消耗并由此产生的显著的温室气体排放问题，其次是海水淡化工厂排放的大量高盐度尾水对当地海洋生态环境产生的不利影响。

海水淡化是高耗能产业。不同的淡化工艺路线其耗能水平也有很大差异，目前的成熟工艺中以热法技术的单位能耗为最高。热法工艺中多级闪蒸法（MFS）的单位能耗为 19.6-27.3 kWh/m³、多效蒸馏法（MED）为 14.5-21.4 kWh/m³、机械蒸汽压缩法（MVC）为 7-12 kWh/m³。膜法海水淡化工艺的单位能耗相对较低，其中反渗透法（RO）为 2.5-3 kWh/m³^①。根据沙特海水淡化公司（SWCC）发布的相关数据，其所属大型反渗透海水淡化设备的单位能耗可以达到 2.7 kWh/m³，小型淡化装置的单位能耗可以达到 2.27 kWh/m³。目前，该公司也正在通过技术路线的转型，通过提升反渗透淡化设备的建设，逐步替代原有的多级闪蒸设备，将海水淡化的单位能耗从 15 kWh/m³ 降低到 3 kWh/m³。2020 年，该公司的二氧化碳排放量为 5500 万吨，随着反渗透设备占比的增加，预计到 2025 年，其二氧化碳排放量有望快速下降到 2290 万吨。在海湾地区，各国的海水淡化工厂绝大多数还是依靠石油、天然气等常规化石能源来满足淡化过程对能源的大量需求，因此海水淡化的过程必然伴随着大量化石能源的消耗和大量温室气体的排放。未来随着海水淡化产业规模的快速扩大，整个产业对于能源的消耗也会逐步增大，会增加上述能源输出国自身的能源消耗，减少其可供出口的能源份额，这也不利于上述石油输出国通过出口化石能源增加收入。我们以埃及为例可以进行一个简单估算，假定其全国现有的 550 亿 m³/ 年的淡水资源全部由反渗透海水淡化而来，按照 3 kWh/m³ 的能耗来计算，仅在淡水生产这个环节，每年就需要消耗大约 1650 亿 kWh 的电，如果这些电能全部依靠埃及境内的现有天然气资源发电来解决，那么每年大约需要用掉 360 亿 m³ 的天然气，根据 BP 发布统计数据，2022 年埃及全国的天然气产量为 678 亿 m³，按照上述假设，仅海水淡化一个产业就可以用掉埃及一半以上的天然气产量。而且就目前埃及的天然气总储量来说，如果全部用于海水淡化，也仅够埃及使用 63 年。因此，无论是对传统化石能源的消耗，还是大量温室气体排放对环境气候的严重影响，依赖化石能源扩大海水

① 以上数据来源于《The Geopolitics of Seawater Desalination》，Marc-Antoine Eyl-Mazzega 和 Élise Cassignol, Ifri, 2022 年 9 月。

淡化产业的规模，不具有可持续性。未来海水淡化产业发展必须走绿色、可持续的发展道路，必须建立在依靠可再生能源来解决海水淡化用能的技术基础上，以降低对于化石能源的依赖，大幅减少二氧化碳等温室气体的排放，尽早实现海水淡化产业的“碳中和”的目标，以适应当前全球碳减排的时代要求。

另一问题就是大量高盐度尾水排放对于海洋生态环境的影响。当前，无论是采用热法工艺的淡化设备，还是采用反渗透法工艺的淡化设备，它们在进行海水淡化时都需要向海洋排放大量高盐度的尾水。按照目前的工艺水平，尾水的盐度大约是正常海水盐度的 1.5-2 倍，同时由于海水原水在进行预处理时还会加入许多化学药剂，这些药剂也可能在一定程度上对于海洋生态环境造成影响，另外热法工艺海水淡化由于尾水温度高于原水的温度，可能还会对海洋造成一定程度的热污染。这些问题都需要在海水淡化产业发展过程中，通过不断加强理论研究、实际监测和调查研究，并通过不断的改进淡化工艺、改进排放方式，增加适当工程措施等多种方法加以解决。国际海水淡化协会（IDA）能源与环境委员会曾于 2019 年发布立场文件^①，该协会在经过对大量运行中的海水淡化工厂及其排放海域的跟踪、调查和研究并得出结论：“世界各地的长期经验表明，海水淡化厂的排放对环境是安全的，不会对工厂排放区内的海洋栖息生物造成负面影响。虽然海水淡化厂使用了少量的化学物质来提升原水的处理效果，但这些化学物质与传统水处理厂中使用的化学物质没有什么不同，并且经过专门选择，不会对海洋水生生物的生存环境造成毒性和危害。”同时我们还应注意到，世界范围各个地区的海洋盐度是变化的，不同地区、不同种类的海洋生物对于海水盐度变化的适应能力也是不同的，不同海域的海底地形、海水深度、洋流、波浪等自然因素均存在很大差异，同时海水淡化工厂浓盐水的排放规模和方式也会对海洋环境产生不同的影响效果，要确保海水淡化产业实现环境友好型发展，不会对海洋环境造成负面影响，必须要结合当地具体的环境，进行深入的调查研究，选择合适的淡化技术路线、原水处理方式、尾水排放策略，确保尾水排放不会对海洋环境造成负面影响。

4.1.4 海水淡化产业的发展前景分析

近些年，随着全球人口的快速增加以及全球气候暖化带来的不利影响，许多

^① 《Sustainable Management Of Desalination Plant Concentrate - Desalination Industry Position Paper》，IDA World Congress on Desalination and Water Reuse 2019/Dubai, UAE

国家和地区遭遇到了严重的水资源危机。在此背景下，海水淡化产业也顺势进入了一个快速增长期。根据国际海水淡化协会（IDA）发布的数据，2022 年全球海水淡化工厂的总数已达 2.1 万多个，全球海水淡化总产能已达 1.09 亿 $\text{m}^3/\text{天}$ ，相较于 2000 年，总产能已经增长了近五倍。根据 Market Research Future（MRFR）发布的报告，2021 年全球海水淡化产业的市场规模为 153.3 亿美元，预计未来全球海水淡化市场的总规模将会从 2022 年的 164.8 亿美元增加到 2030 年的 333.8 亿美元，年均复合增长率将达到 8.93%，呈现快速增长的态势，具体预测结果见图 4.1-4 所示。

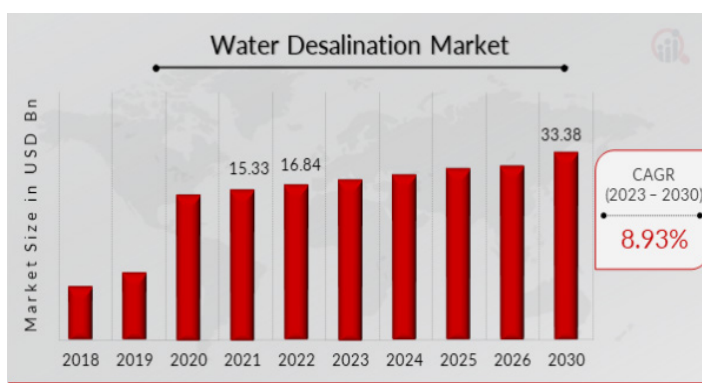


图 4.1-4 全球海水淡化市场规模预测图^①

许多国家尤其是中东和北非地区这些常规水资源比较匮乏的国家，为适应未来社会经济发展和人口增长对于水资源需求的快速增长，纷纷制定了长期行动计划，用于引导和激励本国海水淡化产业的健康快速发展。2018 年，沙特启动了国家水战略，提出了五项战略目标：确保在紧急情况和非紧急情况下持续获得足量的水；提高水资源的可持续性和效率；促进海水淡化产业的发展；加强水资源管理和监测能力；促进国际合作与地区水资源管理。该战略表明，沙特已经将促进海水淡化产业的列为国家水战略的五大支柱之一。2022 年，在第三届中东和北非海水淡化项目论坛上，沙特水务公司的相关人员表示，沙特已经公布了 60 多个水务项目，总价值达到了 93.3 亿美元，这些工程将会使沙特在未来继续保持全球最大的海水淡化市场的地位^②。2017 年，阿联酋能源和基础设施部公布了

① 数据来源：Secondary Research, Primary Research, MRFR Database and Analyst Review

② <https://www.seetao.com/details/145257.html>

《阿联酋水安全战略 2036》，该战略旨在确保阿联酋未来无论在正常还是紧急情况下都能可持续的获得水资源。战略重点包括三个部分：水需求管理计划、供水管理计划和应急生产分配计划，而水安全战略的重点在可持续发展方面，其主要目标除了将水的再利用率提高到 95%，同时还提出了要推动整个阿联酋供水网络的互联互通。目前，阿联酋的海水淡化产能约占世界总产能的 14%，预计到 2030 年其海水淡化产能将会增加到 330 万 $\text{m}^3/\text{天}$ 。2016 年，埃及政府公布了“埃及 2030 愿景”。愿景提出，到 2030 年埃及要将非传统水资源的使用占比提升到 40%；要将污水的处理率提升到 80%；要将包含再生水在内的人均水资源拥有量提高到 $950\text{m}^3/\text{年}$ ^①。以上目标的公布必将进一步激发埃及提升包括海水淡化、苦咸水淡化以及废水处理在内的水处理产能的动能。2020 年，埃及的水务管理部门启动了一项雄心勃勃的海水淡化发展计划，以应对因人口增加和需求增加而造成的水资源供给危机，该计划为期 30 年，总计投资约为 150 亿美元，目标是到 2050 年也就是在计划后续的第二阶段和第三阶段，埃及将要建成约 142 座海水淡化工厂，实现 $640\text{万 m}^3/\text{天}$ 的海水淡化产能^②。具体中东北非地区各国未来海水淡化产能预测见图 4.1-5 所示。

Evolution of Seawater Desalination Capacities in the Middle East and North Africa (in millions of m^3/day)

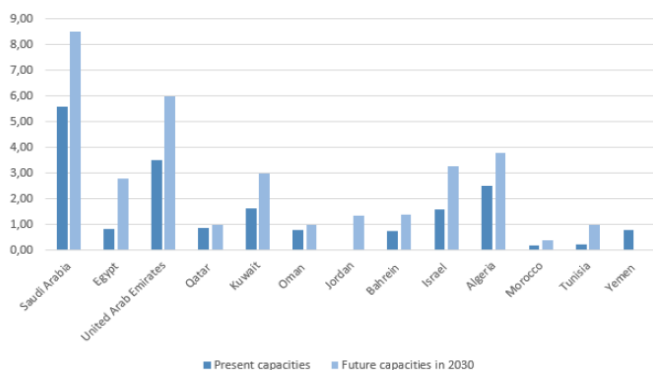


图 4.1-5 中东和北非地区海水淡化产能当前与 2030 年变化图

① 以上数据来源于《Egypt Vision 2030》

② 以上数据与图 4.1-5 均来源于《The Geopolitics of Seawater Desalination》，Marc-Antoine Eyl-Mazzega 和 Élise Cassignol, Ifri, 2022 年 9 月。

另一个影响未来海水淡化产业发展的因素就是淡化成本的变化。在过去的几十年间，淡化海水的制水成本持续下降，有力助推了海水淡化产业规模的快速增长和应用场景的不断拓展。一般来说，海水淡化的成本会因技术路线、规模大小、地理位置和能源成本等因素的不同而有所差异。从技术路线的角度来看，反渗透膜法的淡化成本要低于传统的热法的淡化成本，近些年随着反渗透膜法技术路线的快速普及，显著的降低了海水淡化的成本；考虑到规模效应，海水淡化工厂的规模越大，淡化海水的成本也相应就越低。对于大型淡化工厂而言，每立方米淡化海水的平均成本约为 0.5 美元，而小型淡化工厂的制水成本则可能要飙升到 1.25 美元及以上。对于海湾地区国家，由于拥有丰富的化石能源资源，用能成本较低，也会相应的降低海水淡化的成本。十年前，海湾地区的淡化工厂的制水成本约为 1 美元 / m^3 ，但如今的大型工厂（产能超过 50 万 m^3 / 天）甚至可以降到非常有竞争力的 0.5 美元 / m^3 以下，沙特阿拉伯的延布四期（Yanbu IV）海水淡化项目的制水成本为 0.47 美元 / m^3 ，阿联酋迪拜哈斯彦（Hyssyan）海水淡化项目的制水成本已经降为 0.365 美元 / m^3 。关于能源成本方面，就目前市场占比较高的反渗透膜法海水淡化项目，其能耗支出要占到项目总运行成本的 45% 左右，所以能源价格对于淡化水的最终成本具有非常重要的影响，对于中东地区这些化石能源资源非常丰富的能源生产国来说，其用能成本低，这也是海水淡化得以在中东地区蓬勃发展的主要原因。未来，随着可再生能源在海水淡化领域的不断普及以及可再生能源成本的不断下降，海水淡化的成本也会进一步的下降，这对于中东北非地区的大规模推广海水淡化技术将是有力的推动因素。

4.2 埃及发展新能源海水淡化的潜力分析

4.2.1 埃及海水淡化产业的发展概况

埃及的海水淡化始于 100 多年前，主要是为一些位于沿海和偏远地区的石油和电力公司的员工提供饮用水。当时的海水淡化基本采用的热法淡化技术。后来，随着沿海以及偏远地区的人口增长和城市逐步扩张，埃及在 20 世纪 70 年代中期便开始采用更为先进的海水淡化技术来解决淡水供应问题。在 1975 年至 1982 年间，埃及共采用了三种不同类型的电渗析海水淡化设备进行海水淡化，装置容

量从 50~1000m³/天不等。到 2022 年，埃及已经在马特鲁、北西奈、南西奈、红海、伊斯梅利亚、苏伊士各省共建成了 81 座海水淡化厂，总淡化处理能力达到了 91.37 万 m³/天。其中，位于马特鲁省的阿拉曼（El Alamein）海水淡化厂和埃尔加拉拉（El Galala）海水淡化厂的日处理能力均已达到 15 万 m³/天。具体各省淡化产能容量分布如表 4.2-1 所示^①。

表 4.2-1 埃及各省现有海水淡化厂的分布概况

省份名称	海水淡化工厂数量	淡化容量（万 m ³ /天）
马特鲁省（Matrouh）	18	30.25
红海省（Red Sea）	17	10.97
北西奈省（North Sinai）	29	5.21
南西奈省（South Sinai）	14	16.10
伊斯梅利亚省（Ismailia）	1	0.24
苏伊士省（Suez）	2	28.60
合计	81	91.37

另外，埃及还有 11 座总淡化容量为 46.5 万 m³/天的海水淡化厂正处于建设中，不久也将陆续完工，具体项目概况见表 4.2-2 所示。

表 4.2-2 埃及各省现有在建海水淡化厂概况

省份名称	海水淡化工厂	淡化容量（万 m ³ /天）
马特鲁省（Matrouh）	东马特鲁海水淡化工厂	6.5
塞得港（Port Said）	西塞得港项目	2.0
	东塞得港项目	15
北西奈省（North Sinai）	阿里什和谢赫祖维德市海水淡化项目	10
北西奈省（South Sinai）	纳卜克项目二期	0.6
苏伊士省（Suez）	艾因苏赫纳扩建项目	7
亚历山大港（Alexandria）	马尔贝拉项目	0.2
代盖赫利耶省（Dakahlia）	新曼苏拉项目	4.0
红海省（Red Sea）	埃尔沙拉滕扩建项目	0.6
	阿布拉马德扩建工程	0.3
	哈拉耶布扩建工程	0.3

埃及在《2020-2050 年国家水资源计划》中提出。未来埃及将淡化水的

① 以上数据及相关信息来源于《Water desalination in Egypt: literature review and assessment》，Yasser Elsaie etc., Ain Shams Engineering Journal 14 (2023) 101998

产量由 2020 年的 85 万 $\text{m}^3/\text{天}$ 提升到 130 万 $\text{m}^3/\text{天}$ ，并计划到 2050 年达到了 640 万 $\text{m}^3/\text{天}$ 。除了公共资金的投入外，埃及还将支持私营部门通过 PPP 方式参与到海水淡化项目的开发建设中。

4.2.2 埃及新能源发电潜力分析

埃及位于撒哈拉大沙漠的东北部地区，属中纬度地区，其北部为典型的地中海式气候，南部为热带沙漠气候。全境受副热带高压影响显著，埃及多数地区全年日照强烈、天气炎热、降水稀少，太阳能资源非常丰富，具有巨大的开发利用潜力。根据 Solargis 发布的太阳能资源数据，埃及全境的太阳能辐射由北向南逐渐增强，地中海沿岸地区的太阳能资源最低，南部的沙漠地区的太阳能辐射水平最高，北部沿海地区的水平面年总辐射量约为 $2050\text{kWh}/\text{m}^2$ ，而在南部沙漠地区的水平面年总辐射量可以达到 $2400\text{kWh}/\text{m}^2$ 。具体资源分布见图 4.2-1 所示。

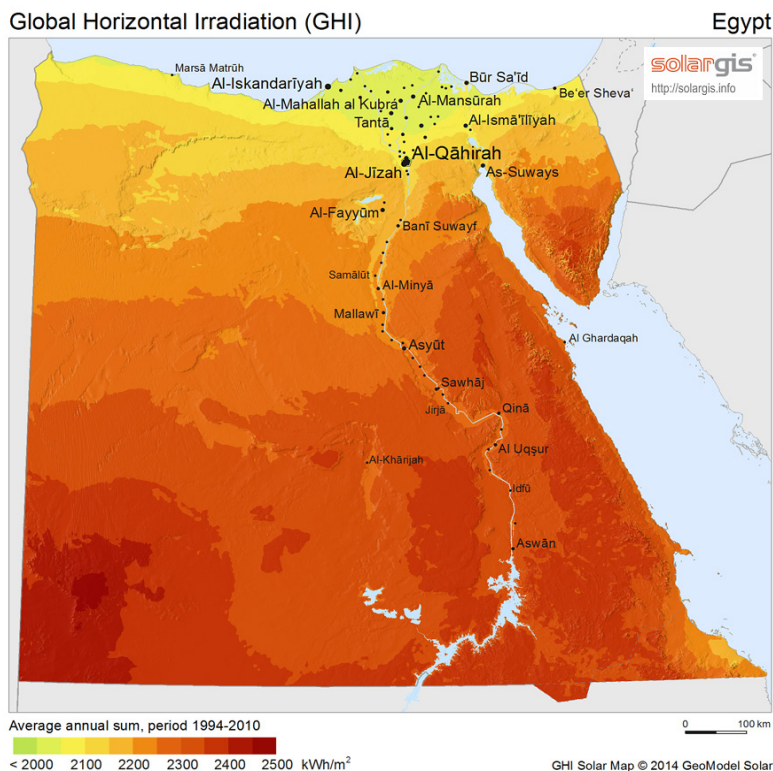


图 4.2-1 埃及太阳能资源分布图

整体来说，埃及的太阳能资源丰富程度与我国太阳能资源最为丰富的青藏高原相当，开发条件优越。根据全球能源互联网组织 2022 年所发布的《一带一路国家风光资源评估报告》^①，埃及全境的太阳能资源年理论蕴藏总量为 2289 万亿 kWh，可供集中式开发的太阳能光伏发电潜在装机规模为 552.19 亿 kW，集中式光伏年平均可利用小时数为 2041h，年发电量可以达到 112.70 万亿 kWh，这个量已接近 2022 年全球总发电量的 4 倍^②。按照 2035 年光伏发电的预估造价水平测算，埃及光伏发电度电成本低于 3 美分的经济开发容量可达到 465.09 亿 kW，这个容量几乎是发电总装机容量多年来位列世界第一的我国 2023 年总装机容量的 16 倍，开发潜力巨大。

就埃及的风能资源来说，因受到北半球西风带和东北信风的影响，埃及的风能资源也是非常丰富，全国 100m 高度年平均风速超过 6m/s 的地区占比很高，尤其是苏伊士湾一带，有很多区域 100m 高度年平均风速甚至超过了 10m/s，极具开发潜力。具体埃及全国风能资源分布见图 4.2-2 所示。

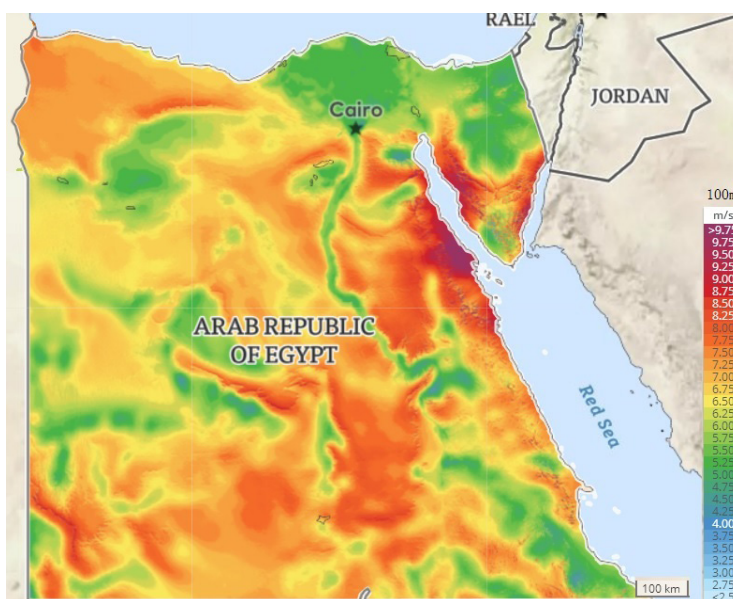


图 4.2-2 埃及全国 100m 高度年平均风速分布图^③

① 《一带一路国家风光资源评估报告》，黄瀚、肖晋宇等人完成，全球能源互联网组织，2022 年 5 月

② 该数据源自毕马威与英国能源研究所联合发布的《世界能源统计年鉴》（2023）

③ 该风资源图谱来自 Global Wind Atlas 网站，<https://globalwindatlas.info>

根据全球能源互联网组织 2022 年所发布的《一带一路国家风光资源评估报告》，埃及全境的风能资源年理论蕴藏总量为 17.26 万亿 kWh，可供集中式大规模开发的风能资源潜在装机规模为 32.51 亿 kW，集中式风电年平均可利用小时数为 2600h，年发电量可以达到 8.45 万亿 kWh，按照 2035 年风力发电预估造价水平测算，埃及风力发电度电成本低于 5 美分的经济开发容量可达到 28.43 亿 kW，度电成本低于 4 美分的经济开发容量可达到 23.31 亿 kW，度电成本低于 3 美分的经济开发容量可达到 7.51 亿 kW，开发潜力巨大。

埃及的风能发电和太阳能光伏发电的起步较早。早在 1986 年，埃及就建立了新能源和可再生能源管理局（NREA），用以落实埃及政府的新能源发展战略并负责为埃及提供和引进能达到商业规模的新能源技术。1993 年埃及建立了第一个商业性风电试验项目，装机容量为 5MW。2001 年埃及与德国、丹麦、西班牙合作在苏伊士湾的扎法拉纳地区（Zafarana）建设的埃及第一个大型风电场的首期工程投入了运营，埃及的风电装机容量达到了 68MW^①。到 2021 年底，埃及已建成并投入运营的风电装机容量为 1632MW，包括了扎法拉纳（Zafarana）风电场（540MW）、埃尔扎伊特湾（Gulf of El Zayt）风电场（580MW）、拉斯加里卜（Ras Ghareb）风电场（262MW）、西岸（West Bank）风电场（250MW）；在建的风电容量为 1252MW，包括了苏伊士湾（Gulf of Suez）风电场（252MW）、阿蒙内特（Amunet）风电场（500MW）、红海风能风电场（500MW），此外还有 1800MW 风电项目正在开展前期工作^②。其中，阿蒙内特（Amunet）风电场（500MW）现正由中国电建集团进行建设中，预计项目于 2025 年投入运行。

埃及的太阳能发电同样起步较早。起初主要是一个分散式的或屋顶光伏之类的小项目。2011 年，在全球环境基金（GEF）和日本国际合作银行（JBIC）资金支持下，埃及建设完成了 140MW 天然气和太阳能联合循环电站，其中太阳能光伏发电的装机容量为 20MW，这也成为埃及的第一座太阳能发电站。目前，埃及建设的规模最大的太阳能光伏发电项目就是本班太阳能产业园（Benban Solar Park）项目。该项目位于埃及南部阿斯旺省尼罗河西岸的沙漠地区，总占地面积为 37 平方千米，总建设容量达到了 1.8GW，年总发电量达到了 3.8TWh，包含

① Global Wind Report 2008, GWEC

② 该风能信息与后续太阳能发电项目均源自埃及新能源和可再生能源管理局（NREA）2022 年报

了 41 个项目区域，总投资超过了 40 亿美元。



图 4.2-3 埃及的本班光伏产业园^①

根据埃及新能源和可再生能源管理局（NREA）的统计，截至 2021 年底，埃及国内已投入运行的太阳能发电项目的总装机容量达到了 1808MW，在建的太阳能发电项目容量为 700MW，另外还有 20MW 的项目处于前期开发过程中。

综上分析，埃及经过二十多年的发展，风能和太阳能资源的开发已经形成了一定的规模，也积累了许多宝贵的经验，但相较于自身极为丰富的太阳能和风能发电的资源潜力，以及许多新能源发展领先国家迅猛的发展态势来说，目前埃及的太阳能发电、风力发电的开发和利用程度都还是相对较低的，未来仍有极大的开发利用空间。具体包括以下方面：通过大力发展太阳能和风能发电对现有以化石能源为主的电力系统进行结构性调整，在满足未来埃及电力需求增长的同时，提升埃及电力系统的绿色低碳化水平，降低电力生产中二氧化碳的排放量；还包括通过大力发展太阳能、风能制氢、制氨等新兴产业，充分发挥当地的资源优势，创造新的价值增长点；再有就是将太阳能、风能等清洁能源与海（咸）水淡化、废（污）水处理、地下水抽取、水资源的跨区和反向输送、农业灌溉等领域结合起来，实现清洁能源生产、水资源分布态势、农业战略布局、宏观经济布局、整体国土区域规划等方面的协调发展，探寻埃及经济增长的新动力。

4.2.3 风电和太阳能发电用于海水淡化的潜力分析

正如前节所述，海水淡化是一个高耗能的过程，海水淡化过程消耗的能量约是处理普通江河湖泊淡水资源所需能量的十倍之多。多级闪蒸法进行海水淡化时，

^① 该图源自“Brief review on Egypt’s renewable energy current status and future vision”，Nour A. Moharram etc. Energy Reports 8 (2022) 165–172

每立方淡化水通常需要消耗掉 80.6kWh 的热能外加 2.5-3.5kWh 的电能，而大规模反渗透法每生产一立方米的淡化水仅需要消耗 3.5 至 5.0kWh 的电力。目前全球海水淡化主要还是依赖化石能源，要实现海水淡化产业的可持续、大规模快速发展，海水淡化与太阳能、风电等绿色、清洁能源的结合是必由之路。实际上，目前除了太阳能发电、风能发电以外，许多其它类型的可再生能源包括光热、水电、地热、生物质能、潮汐能等也都可用于海水淡化，包括核能在海水淡化领域也有非常广泛的应用前景。而各类能源应用于海水淡化的形式既包括了供热的利用方式，如太阳能光热、地热、生物质供热、核能供热与热法淡化技术的结合，也包括了将各类能源转化为电能进而应用于海水淡化的方式。综合考虑目前各类技术路线的市场成熟度、应用成本以及市场适应性等多方面因素，以太阳能光伏发电、风电与反渗透膜法相结合可能是目前最具有推广价值的可再生能源海水淡化方式。

首先，近些年反渗透膜淡化技术路线发展迅速，市场占有率迅速提升，相较于热法淡化技术路线具有显著的能效优势，大幅降低了淡化水的用能成本；再者反渗透膜淡化技术具有明显的模块化特征，淡化设备的规模大小可以灵活设置，适应性很强；反渗透膜淡化技术直接使用电能来驱动整个淡化工艺流程，可以非常容易的实现与风电、太阳能光伏发电项目的联合运行，结合方式灵活多样，不受各自场地布置的限制，极大的提高了该技术路线的适应性。其次，近些年来，全球范围内太阳能光伏发电以及风力发电成本的大幅下降为进一步降低反渗透膜法的用能成本提供了可能。根据国际可再生能源署（IRENA）发布的数据^①，从 2010 年至 2022 年，全球新投运的陆上风电项目的加权平准化度电成本已经从 0.107 美元 /kWh 下降到了 0.033 美元 /kWh，加权平准化度电成本下降了 69%，加权平均总装机成本从 2186 美元 /kW 下降到了 1274 美元 /kW，降幅达 42%；同期，全球新投运的大型集中式光伏发电项目的加权平准化度电成本也从 0.445 美元 /kWh 下降到了 0.049 美元 /kWh，加权平准化度电成本下降了 89%，加权平均总装机成本从 5124 美元 /kW 下降为 876 美元 /kW，降幅高达 83%。2023 年 11 月，根据沙特电力采购公司（SPPC）公布的相关招标结果^②，位于沙特境内装机容量

① Renewable Power Generation Costs in 2022, IRENA, 2023.

② <https://guangfu.bjx.com.cn/news/20231116/1343764.shtml>

为 1.1GW 的 Al Henakiyah 光伏项目的中标价格为 0.0168 美元 /kWh，装机容量为 400MW 的 Tabarjal 光伏项目的中标价为 0.0171 美元 /kWh，而在沙特能源部主导的国家可再生能源项目（NREP）框架下的第二轮采购计划中，装机容量为 600MW 的 Al Shuaiba 光伏项目曾经报出了 0.0104 美元 /kWh 的超低售电价格。

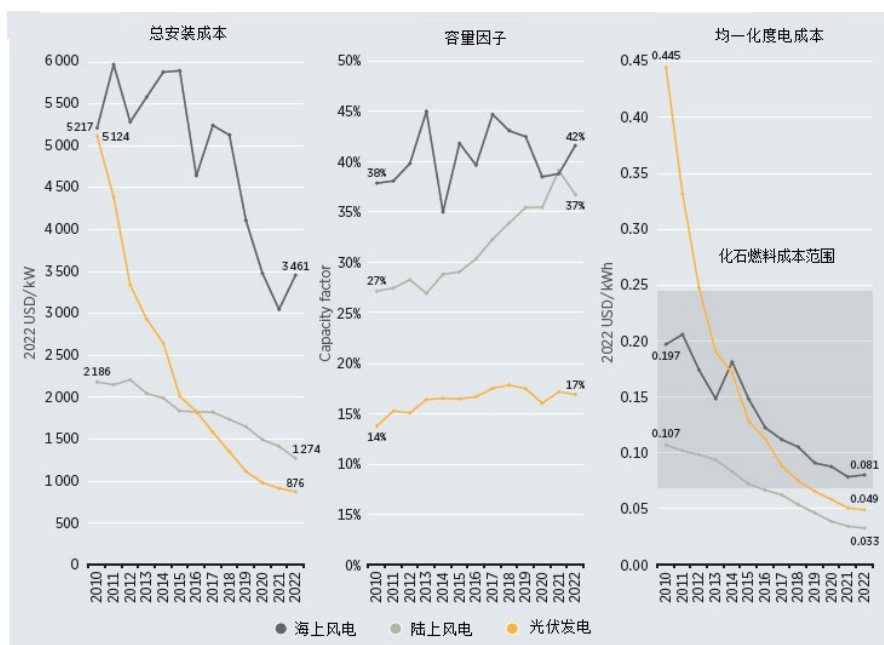


图 4.2-4 国际可再生能源署发布的全球风电和太阳能光伏发电成本变化

根据国际能源署(IEA)和国际可再生能源署(IRENA)的联合预测,未来5年,全球将有超过80%的新增风电、光伏发电的成本将会低于化石能源发电成本^①。而对于目前占主流地位的反渗透海水淡化技术来说,其能源成本约占总运营成本的45%左右,能源成本对于淡化成本的影响显著。大量采用绿色、可再生的光伏发电、风电不仅可有效降低海水淡化的成本,还可减少淡化过程中的二氧化碳排放。

中东北非地区的第一个商业化光伏与海水淡化结合项目于1981年在沙特阿拉伯的吉达建成,该项目由一个装机容量为8kWp的光伏发电系统为海水淡化

^① Renewables 2023, IEA

过程提供能源,该装置的淡化产量仅为 $3.2 \text{ m}^3/\text{天}$ ^①。目前,由中国电建所属山东电建三公司与西班牙阿本戈公司 (Abengoa) 共同建设的位于沙特阿拉伯朱拜勒市 (Jubail City) 的光伏与海水淡化相结合的朱拜勒 -3A 独立水厂项目已经建成投产,其产能已经达到了 $60 \text{ 万 m}^3/\text{天}$,该项目配套建设了用装机容量为 45.5 MW 的太阳能光伏电站,提供了海水淡化工厂每日所需的 20% 的电量,每年可减少 6 万吨二氧化碳的排放。该项目每立方米淡化水的能耗已经低至 2.8 kWh ,淡化水的价格低至了 $0.41 \text{ 美元}/\text{m}^3$,展示了光伏发电应用于海水淡化并实现海水淡化过程低碳化发展的巨大潜力。

埃及具有丰富的太阳能和风能资源,埃及在风电和太阳能发电领域已经取得了显著的成就,也建设了众多的陆上风电项目、光伏项目等,具体就包括了规模巨大的本班光伏园。如前文所述,本班光伏园区的年总发电量为 3.8 TWh ,这里我们进行一个简单的估算,我们假设将本班光伏园的全部光伏发电量用于膜法海水淡化,假设电能利用效率为 80%,反渗透法生产单位立方米淡化水所需电量按 3 kWh 计算,则本班光伏园区的年发电量能满足反渗透膜法生产 10.1 亿 m^3 淡化海水所需的能量,假设埃及全年要生产大体与尼罗河流量相当的 550 亿 m^3 的淡化海水,则需建设 54 个本班光伏园规模的光伏发电项目即可满足需求,而 54 个本班光伏园项目需要的土地面积大约为 2000 km^2 ,这个面积只占整个埃及国土面积的 0.2%。由以上简单计算可以看出,埃及拥有开发建设新能源 + 海水淡化项目的丰富的能源资源条件。

同时还应意识到,风电、太阳能光伏发电具有间歇性、不稳定性、季节性的特点,而海水淡化生产具有显著的连续性特点,单纯依靠具有显著波动性的光伏发电、风电为反渗透法海水淡化提供电能供应从技术角度看是不具有可行性的,必须要配备储能或与其它形式的供能方式相结合,才能保障海水淡化过程的正常运转。例如在朱拜勒 -3A 海水淡化项目中,光伏发电只提供了淡化过程 20% 的电能需求,此外还是要依靠传统的化石能源来满足剩余的能源缺口及平抑光伏发电的波动性。未来,要进一步提升可再生能源在海水淡化能源需求中的占比,还需进一步加强相关领域的研究和探索,通过更为科学的风、光、储多种供能方式

① Recent progress in renewable energy based-desalination in the Middle East and North Africa MENA region, Enas Taha Sayed, etc. Journal of Advanced Research 48 (2023) 125-156

互补搭配,进一步提升海水淡化中的清洁能源的比例。目前,将风能、太阳能、地热能、生物质能等新能源与海水淡化相结合的研究也是非常多,可采用的储能方式也很多,抽水蓄能、化学电池储能、压缩空气储能、储热等多种储能方式也都可以用于风-光-储-海水淡化的综合系统开发。未来,可通过进一步建设更多的风-光-储-海水淡化综合项目提升整个“新能源+海水淡化”行业利用可再生能源的规模,有效降低海水淡化行业的温室气体排放总量,摆脱传统化石能源资源不足对行业发展的制约,实现在提升国家水资源安全的同时而不显著增加国家的温室气体排放总量。另外,在建设新的海水淡化项目时,还需要以系统的观念出发,强化顶层设计,将风电和太阳能光伏发电项目以及整个电力系统的建设进行统筹规划,充分发挥各自优势,实现风能资源、太阳能资源、储能系统、电力传输系统、海水淡化系统协调发展。

4.3 新能源海水淡化用于埃及沙漠开垦及农业发展的潜力分析

在过去的几十年间,埃及一直没有停止向沙漠进军的进程。例如,通过实施图什卡工程(Toshka Project),埃及在其南部的沙漠腹地开垦了大量新增农业用地。埃及在纳赛尔水库边上修建了穆巴拉克巨型泵站,将尼罗河水送入 310km 的庞大输水渠道,再通过无数支渠所构成的灌溉网,为图什卡洼地区域的沙漠开垦提供了淡水水源,工程计划每年从尼罗河取水 50 亿 m^3 。2021 年,埃及水资源和灌溉部长穆罕默德·阿卜杜勒·阿蒂博士在接受记者采访时表示,图什卡工程在政府干预以及该部和其他各部委联合努力下,已经取得了成功。他表示,根据相关卫星图像统计,图什卡工程开垦的种植土地面积已经达到了 8.5 万费丹(3.57 万公顷),工程现状见图 4.3-1、图 4.3-2、图 4.3-3 所示。



图 4.3-1 图什卡工程开垦的沙漠农田（摄影 David Degner/Getty）

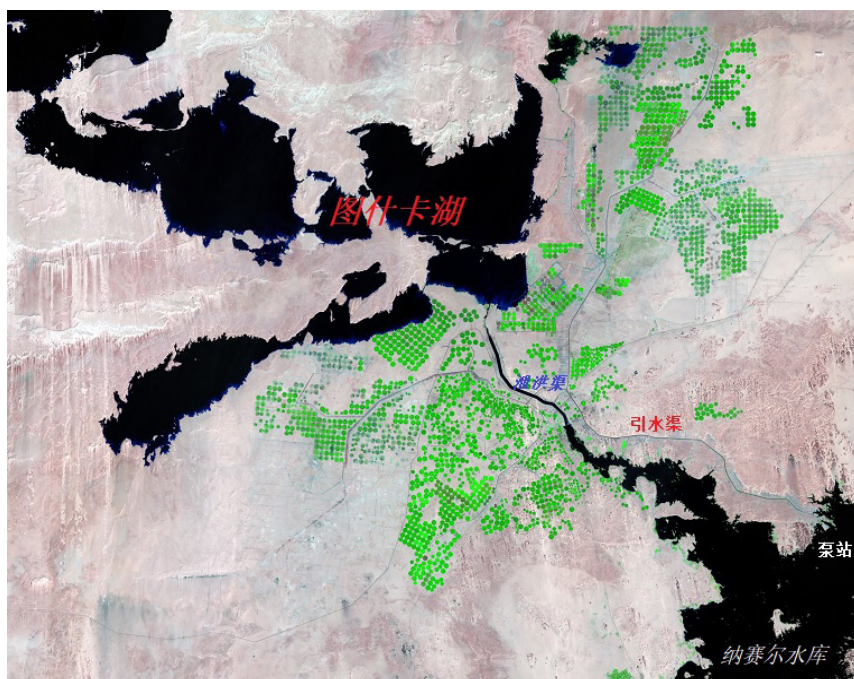


图 4.3-2 埃及南部图什卡湖群附近的沙漠农田^①

^① 原图由美国 Landsat 卫星于 2023 年 2 月拍摄，<https://eros.usgs.gov/earthshots/irrigated-fields>

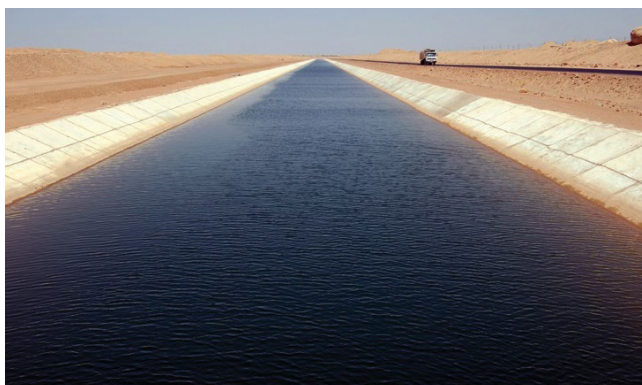


图 4.3-3 图什卡工程建设的引水渠（摄影 Dana Smillie/Getty）

同时，在尼罗河三角洲的东西两翼，埃及也在不断推进相应的土地开垦工程，包括了新三角洲项目（New Delta Project）及和平渠工程（El-Salam Canal）等。新三角洲项目（New Delta Project）位于埃及尼罗河三角洲的西部，地中海沿岸地区，规划场区分布于拉德法拉格—达巴（Rawd Al Farag-Dabaa Axis Road）的公路沿线。根据埃及总统发言人巴萨姆·拉迪（Bassam Rady）的介绍，该项目为埃及有史以来最大的综合农业发展项目，项目将计划开垦 1 亿费丹（42 万 km^2 ）的土地^①。为开垦上述区域，埃及还将在此区域修建人工河，该人工河工程将是埃及近年来最为重要的大型水利工程之一，它由 3 条渠道组成。该工程与其他灌溉渠道不同的是，它需要将水输送至比尼罗河水位高出了 100 多米的沙漠地区。具体项目位置见图 4.3-4 所示。



图 4.3-4 新三角洲项目（New Delta Project）位置示意图

① 本段信息以及图 4.3-4 均引自 <https://english.ahram.org.eg/NewsContent/1/64/407998/Egypt/Politics-/Sisi-urges-immediate-implementation-of-agricultura.aspx>，原文中的数字可能有误，仅供参考。

和平渠工程（El-Salam Canal）位于尼罗河三角洲东部以及西奈半岛的北部地区。该工程主要是通过建设一条长达 262km 输水渠道（El-Salam Canal），将尼罗河水在下穿苏伊士运河后，引入西奈半岛北部地区的沙漠中，用于当地的沙漠土地开垦。该工程输水最远可达到北西奈的首府阿里什（Arish）。将尼罗河水引入北西奈地区的设想远在上个世纪六十年代就已经提出来了，但直到九十年代工程才真正付诸实施。该像工程通过引水计划共计开发 62 万费丹（26.04 万公顷）的土地，其中苏伊士运河西部为 22 万费丹（9.24 万公顷），北西奈地区 40 万费丹（16.8 万公顷）。和平渠工程计划每年输水量为 44.5 亿 m^3 / 年的流量，其中每年约有 22 亿 m^3 / 年的淡水由尼罗河供应，并通取水口进入输水渠，其余每年 22.5 亿 m^3 的水量由农田的灌溉排水提供，分别来自 Bahr Hadous 和 Lower Serw 两个排水集水沟。具体和平渠工程分布见图 3.4-5 所示。



根据以上分析，尽管目前埃及在其南部、西北部、东北部地区对于沙漠的开垦规模比较大，但相对于埃及沙漠地区巨大的开发潜力来说，其开发力度还是非常有限的。例如，在西奈半岛，其北部就有大量地势相对平坦的沙漠地区可以用于开垦，具体面积包括了北西奈省北部大部地区、伊斯梅利亚省运河以东部分、

① 该图引自 Development of El-Salam Canal Automation System, Noha Samir Donia, Environmental Studies and Researches Institute, Ain Shams University, Cairo, Egypt, Journal of Water Resource and Protection, 2012, 4, 597-604

苏伊士省运河以东部分，整个区域未来可开发的沙漠面积约为 1.16 万 km^2 ，几乎相当于尼罗河三角洲总面积的一半，且该区域北部地区属地中海式气候，适宜进行灌溉农业开发，西侧紧邻苏伊士运河，区位优势明显，具有很高的开发价值。具体区域分布特征见图 4.3-6 所示。



图 4.3-6 西奈半岛北部部分沙漠地区卫星影像图

未来，可以充分利用西奈半岛东西两侧丰富的风能资源，建设大型风电基地，并在北部的荒漠地区建设大型太阳能发电基地，在地中海沿岸建设大型海水淡化基地，利用大型风电基地、太阳能发电基地产生的清洁电力进行海水淡化，同时在整个西奈半岛北部规划更大规模的输水系统，并利用上述清洁电力通过大型泵站将淡化海水以及和平渠输送的尼罗河水进行统筹调配，将整个灌溉系统覆盖更广的沙漠区域，进而将半岛北部更多的沙漠地区改造为农田，用于农业开发，充分利用地中海式气候的优势，进行高效灌溉农业开发，形成优势农业产业。

同样，位于埃及西北部的马特鲁省的北部大部地区，也有大量未开垦的荒漠地区，总面积超过 8 万 km^2 ，其中紧邻地中海的沿海平原地区，其面积就有近 5000 km^2 。这些平原区域紧邻地中海，也属地中海式气候，降水条件也要明显好于内陆地区。具体区域特征分布见图 4.3-7 所示。目前，埃及已经在地中海沿岸建设了十多座海水淡化工厂，未来还可进一步扩大海水淡化的规模，重构马特鲁省沿海地区的输水灌溉系统，形成更大面积的农业开发区域。



图 4.3-7 马特鲁省地中海沿岸部分地区卫星影像图

对于埃及南部新河谷省沙漠地区的开发，可通过在红海沿岸建设大型清洁能源基地以及大型海水淡化基地，并通过建设大规模输水渠道或管道实现淡化海水的远距离输送，通过淡化海水与尼罗河水以及当地的深层地下水统筹调度及应用，扩大图什卡洼地地区沙漠开垦规模以及农业种植规模，后续还可通过进一步扩大输水规模，继续向北输水，加大图什卡以北的巴里斯绿洲（Baris Oasis）、哈里杰绿洲（Al Kharja Oasis）、达赫莱绿洲（El Dakhla Oasis）、费拉菲赖绿洲（El Farafra Oasis）等绿洲以及周边沙漠的规模化开发。通过扩大各大绿洲的棉花种植面积，逐步形成埃及的“超级长绒棉”产业规模优势，扩大当地的劳动力吸纳能力，增强埃及农业的竞争力和国家总体经济实力。

4.4 小结

随着全球人口的增加和粮食安全问题的日益凸出，利用淡化海水来解决农业发展中的水资源短缺问题已成为许多国家的优先考虑的重要事项。在过去的 15 年间，西班牙、以色列、摩洛哥、突尼斯以及美国的加利福尼亚等国家和地区的人们已经越来越多的将淡化海水作为种植高回报农作物的灌溉水源。例如，西班牙

牙在塞古拉河流域（Segura River Basin）就利用淡化海水进行了大规模农业开发的相关实践^①。埃及境内沙漠广布，同样面临着严重的水资源短缺问题，同时埃及又有丰富的风能、太阳能资源，漫长的海岸线，大力开发以清洁能源驱动的海水淡化产业，利用淡化海水进行大规模的沙漠开发和利用，扩大农业生产规模，改变国土战略布局，是埃及实现国家和民族长久可持续发展的可行之路、必由之路。

^① Multidisciplinary assessment of the agricultural supply of desalinated seawater in south-eastern Spain, V. Martínez-Alvarez etc. Desalination, Volume 548, 15 February 2023

5. “能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式对埃及发展的积极意义

早在约 7000 年前，尼罗河谷地区就已经诞生了以灌溉农业为基础的农耕文明。依靠尼罗河水的滋养，广袤的撒哈拉大沙漠为埃及打开了一条绿色的口子，形成了富饶的河谷绿洲和三角洲绿洲，哺育了生活在这片土地上的人们，诞生了灿烂的农业文明。时至今日，由于人口的快速增加，经济的发展，尼罗河已经无法为当地的人们提供足够的水源供给，蜿蜒的尼罗河谷和美丽的三角洲也已经无力再为更多的埃及人提供足够的发展空间，开罗等大城市早已人满为患、拥挤不堪。埃及的可持续发展受到了水资源不足、土地资源不足、生存空间不足以及粮食安全的严重制约。埃及人要建设自己国家和民族更加美好的未来，就必须下定决心、转变思路、开拓创新，充分借助现代科技进步及全球化带来的红利，通过不断实践和探索来找出适合自己的发展新途径，拓展新的生存空间，进而实现整个国家和民族的可持续发展。当前，席卷全球的能源转型正在深入推进，能源科技进步一日千里，以风力发电、太阳能光伏发电以及新型储能技术为代表的新能源发电技术正在以前所未有的规模改变着我们的用能方式。随着新能源发电成本的快速降低，进一步降低了新能源技术利用的门槛，极大的丰富了新能源发电技术的应用场景。

“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式便是充分利用全球新能源技术及海水淡化技术进步带来的新机遇，将其用于解决埃及面临的水资源不足、土地资源不足、生存空间不足等诸多挑战，旨在为埃及社会的可持续发展探索出一套可行的解决方案。

5.1 “能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式的具体含义

(1) 能

所谓“能”就是充分抓住当前全球新一轮能源技术革命带来的历史性机遇，利用埃及境内丰富的可再生能源资源，尤其是极为丰富的太阳能和风能资源，以及大量适宜进行太阳能和风能资源开发的土地资源，通过大规模的太阳能、风能

资源利用设施的建设开发以及新型的智能化、绿色化能源电力传输、配送综合网络的建设，不仅为埃及整个国家的社会发展、经济转型以及城市化、工业化、电气化进程提供廉价、充足的清洁能源供应，减少现有能源电力系统的温室气体排放，同时也为埃及的海水（苦咸水）淡化系统、废（污、尾）水处理系统的建设和运营、水资源的综合调度、输送、分配与利用以及农田灌溉系统等提供充足的能源支持，推动埃及整个能源体系的转型，有效保障埃及国家的能源安全、应对气候变化以及可持续发展。

“能”的核心是埃及国内丰富的太阳能、风能资源的规模化开发以及以高比例可再生能源供应为主的新型智能化电力系统的建设。通过太阳能、风能发电项目的开发建设，大幅提升埃及整个能源体系的低碳化水平，降低温室气体的排放，提升清洁能源的生产规模和供应能力，并为落实埃及国家自主贡献（NDC）目标提供坚强支撑。

（2）水

所谓“水”就是针对埃及面临的水资源总量严重不足的问题，充分利用当前海水淡化技术进步和成本下降带来的机遇，进行大规模海水淡化能力的建设，大幅提升埃及国家初级水资源的供给能力，在保护环境以及坚持可持续发展的前提下，加强苦咸水处理能力建设，提升对于境内深层地下水资源的开发和利用，并进一步提升废（污）水、农业灌溉尾水的处理，提升水资源的循环使用水平，通过多渠道扩大水资源的供应能力，建立更为科学和市场化的水资源管理及交易体系，高效的利用好现有淡水资源，缓解埃及国家发展面临的水资源总量严重不足的困扰。同时基于全新的水资源供给消费模式、科学规划全国的水资源输送、分配和供应网络体系，打造一条全新的“人造尼罗河”，重构埃及全国的水资源的配置格局，为埃及重构国土功能区划和开发格局，国家经济力量和人口的重新布局以及促进埃及国家基本自然资产的增值提供基本条件。

“水”的首要目标是通过大规模海水淡化工程以及污（废、尾）水再生设施的建设，缓解城市居民、工商业用水紧张的问题，并为新行政首都以及众多新城的建设提供可靠的水源保障。未来，随着海水淡化成本的进一步下降，大幅提升淡化海水在整个水资源供给中的占比，形成来源多元的综合性水资源供应格局，规划建设埃及国家级水资源输配送网络，包括在现有基础上进一步拓展骨干输水渠道的覆盖范围等，满足大规模农业开发对水资源的基本需求，将埃及的人均水资源占有量提升至 $1000\text{m}^3/\text{年}$ 以上，实现再造一条尼罗河的目标。

(3) 沙

所谓“沙”就是借助水资源供给能力的提升，结合埃及以往沙漠开垦和现有其它各国沙漠治理以及发展干旱农业的最近技术和先进经验，以更大的力度和规模扩大对于更广范围的沙漠或荒漠地区的开垦力度，减缓荒漠化对于农业发展的制约。通过大幅增加农田的数量，提升和改造农田的基本生产能力，改善埃及可耕地面积总量严重不足、区域分布不合理、人均农业用地严重偏低的局面，缓解因人口过快增长给土地资源带来的巨大压力，缓解粮食作物、经济作物对土地资源的争夺，缓解因土地资源权属关系过于分散造成的不利于现代化农业集约化、规模化发展的困境，缓解城镇化建设与农业发展之间的用地矛盾。增加埃及国家的自然资产价值量，拓展国家经济发展的战略空间。通过对不同区域的沙漠、荒漠的大规模开垦，形成土地权属较为简单的新土地，形成土地所有、开发、使用的新模式，为埃及建立适宜现代农业规模化、集约化发展的新模式提供物质基础。通过形成新的土地资源集中区，为优化国土空间、重新构建国土功能区划和开发格局，国家经济力量和人口的重新布局提供有力支撑。

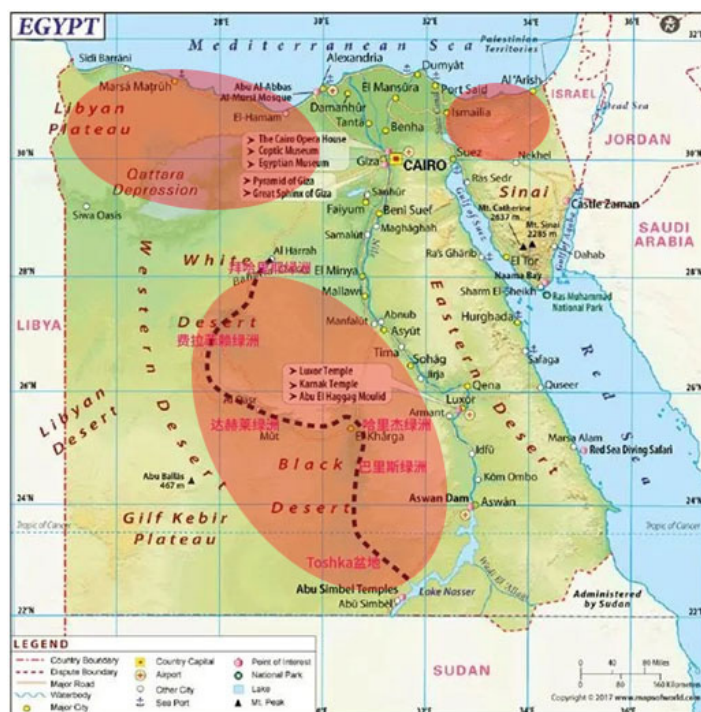


图 5.1-1 埃及沙漠开垦主要区域示意图

“沙”的首要目标是通过大型引水工程的建设,以现有尼罗河水以及再生水为水源,做好已规划的“新三角州”项目、“和平渠”项目、新三角洲项目涉及区域的沙漠开垦任务,并努力提升开垦的质量。未来,可逐步提升淡化海水、淡化苦(咸)地下水的比例和规模,进一步扩大沙漠开垦的范围,在埃及国内形成更大规模的沙漠开垦和农业产业规模。

(4) 农

所谓“农”就是充分利用埃及沙漠或荒漠地区土地开垦的成果,借助现代干旱农业的新技术,扩大埃及农业种植规模,提升基本粮食作物的种植规模和产量,提升埃及的粮食自给率,确保国家粮食安全;同时利用新增的土地种植面积,扩大埃及特色优势农产品以及各类经济作物的种植面积和产量,提升埃及的农业竞争力和国家出口换汇能力,尤其是扩大埃及“长绒棉”的规模和产量,提升埃及棉花产业在全球棉花市场的影响力,重振埃及“长绒棉”的国际品牌形象和竞争力,为埃及棉纺织以及服装加工等产业的发展提供有力支撑。再有,通过发展甘蔗、蔬菜、瓜果、椰枣等特色经济作物,提升农业增加值和竞争力。通过农业产业规模的扩大以及产业链的延伸,为埃及社会创造更多的就业机会,减缓埃及人口快速增加给社会带来的巨大就业压力,进一步突显农业在国家经济发展中的基础性地位。

“农”的首要任务是提升国家粮食自给率,基本实现粮食自给,确保国家粮食安全,减少粮食采购对国家外汇储备的大量占用。远期目标是通过优势农产品整体产业规模和能力的提升,增强埃及农业的综合竞争力和出口创汇能力,尤其是建设埃及“长绒棉”的品种优势,并带动埃及的纺织、服装加工、食品加工等轻工业的发展,打造国家经济增长的新动力。

(5) 城

所谓“城”就是借助现代可再生能源技术与海水淡化技术发展带来的新机遇,以及国家水资源系统的建设成就,打破原有水资源分布格局对于城市布局、人口以及产业规模等方面的制约,在一些具有显著区位优势或是具有巨大开发潜力和战略价值的地区建设新的城市,或是扩大现有城市规模,优化现有城市产业规模等,从而达到优化国土空间战略布局,促进区域协调发展、更好确保国家国土安全等目标。

古往今来,世界各国的城市发展基本遵循了依水而建的原则,城市庞大的人

口规模必须要有可靠的水源供应。在我国历史上，著名的楼兰古城以及交河古城就因为气候变迁、水源匮乏而最终消失在历史长河中。目前，埃及的主要人口分布以及主要的城市均位于面积只占国土总面积 4% 的尼罗河河谷及或三角洲的绿洲以内，而位于绿洲以外的大片区域，人口密度很低。近些年，随着人口的快速增加以及中东北非地区城市化进程的加快，大量人口向开罗的大城市集中。目前，埃及的开罗就面临着非常突出的“城市病”，亟需通过建设新城疏解城市的人口压力。而埃及也正是通过建设新行政首都来解决上述问题的，建设中的新首都在开罗老城以东的荒漠中，开罗新城建成后，将会有效分流原开罗老城的许多城市功能，缓解其人口过于集中弊病。此外，埃及还在积极规划“第四代城市”（Fourth Generation Cities）的建设，共计规划了包括新行政首都在内的 37 个城市，其中新行政首都、新阿拉曼和新曼苏拉共计 17 个新城正在建设中，还有新苏伊士、新罗塞塔和新贝尼马扎尔等 14 个城市处于战略规划阶段。未来，埃及全国预计将会规划建设 61 座新城，总面积将达到 250 万费丹^①。2024 年 2 月，埃及住房部和阿联酋投资部在埃及新首都联合签署了一项协议。根据协议，双方将在埃及地中海海岸的拉斯赫克马地区（Ras Al Hekma）建设一座新城，以促进埃及国内旅游业的发展并吸引更多外国投资。阿联酋阿布扎比控股公司（ADQ）将为新城建设投资 350 亿美元，新城总建设面积将超过 170km²，预计未来，阿联酋在整个项目实施过程中的投资将达到至少 1500 亿美元。该新城将能够容纳数百万的居民，并为埃及青年提供数百万个就业机会。新城建设项目具体包括了住宅区、国际酒店和旅游度假区、中央商务区、医院、学校和大学等众多设施^②。事实上，除了埃及以外，沙特阿拉伯目前也在红海沿岸的沙漠中从零起步建设一座现代化的城市——NEOM 新城。根据规划，该城将是百分之百使用可再生能源的低碳城市，将通过海水淡化城市提供水源供给。未来，中东地区的新城建设将是当地实现新型城市化建设的重要途径之一。

“城”的首要核心目标是完成“开罗新城”（New Cairo City）的建设并逐步完善城市功能，增强其对区域经济发展形成辐射能力。未来，“城”的目标是结合埃及的区域发展布局的调整，充分发挥苏伊士运河世界航运枢纽的区位优势，

① <https://english.ahram.org.eg/NewsContent/50/1216/416262/AlAhram-Weekly/Special/Building-Egypt%E2%80%99s-G-cities.aspx>

② <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1792017822288480958&wfr=spider&for=pc>

在地中海沿岸、红海沿岸、苏伊士运河两岸等区域建设新的工业开发区、新的枢纽城市、旅游度假城以及其它功能性城市等，也包括在埃及的沙漠腹地建设新的居民定居点以及绿洲城市化等，为内陆地区的农业以及经济的发展提供支撑等，进而优化埃及的整体的国土区划战略布局。



图 5.1-2 正在建设中的埃及新首都^①

5.2 “能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式的内在逻辑

（1）模式是利用系统性思维解决复杂问题的有益尝试

近些年，随着人口的快速增加，埃及社会面临的各类压力也不断上升。诸如粮食的生产与供应、基本的医疗卫生服务保障、教育、就业、居民收入提升、环境恶化以及水资源短缺等等都成为埃及政府以及整个社会必须高度关注和着力解决的重大问题。尤其近两年的新冠疫情、俄乌冲突、中东局势紧张、美元加息等因素更让埃及面临了巨大压力。美元加息导致资本外流，埃及面临了严重的外汇短缺问题，埃镑贬值严重，这都为埃及经济的进一步发展增加了不小的难度。要解决埃及的各类难题，必须要采用系统性、整体性思维，既要注意到埃及面临的

^① 该图来自互联网

各类问题之间的关联性，也不能忽略外部国际大环境对于埃及的影响。在当前国际综合国力竞争日趋激烈的背景下，埃及需要同过自身的努力，进一步增强埃及经济在全球范围的综合竞争力，更具体的一点说，就是要打造自己在国际市场的拳头产品，增强埃及经济的出口换汇能力。目前，埃及的外汇收入主要来源于石油产品的出口、苏伊士运河的过境收入、侨汇、旅游收入。其中，近两年中东以及红海地区的局势紧张对埃及苏伊士运河的过境收入也产生的显著的影响。未来埃及要克服国际局势的不利影响以及国内的各项挑战，亟需进一步拓宽国家出口创汇的能力。“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式正是基于上述背景而提出的。

“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式的显著特征是要充分结合埃及的资源禀赋和区位优势，将埃及可再生能源产业的发展、国家水资源安全、国土开发、农业发展、城市化进程这些重大问题进行系统性的统筹考虑，畅通起这些重要领域之间的有机联系，培育出全新的具有全球竞争力的新产业、新产品，以增加国家的外汇收入，实现埃及相关产业的飞跃式发展。

对于能源领域来说，目前埃及的能源消费结构仍以化石燃料为主。2023 年埃及的石油、天然气、煤炭占其一次能源消费总量的比例为 93.9%，而包括水电在内的可再生能源的占比仅为 5.8%^①，埃及要顺应全球应对气候变化的大势，降低碳排放强度，实现能源转型，压力巨大。如果单纯依靠化石能源容量的替代来推进以可再生能源为主的新型能源体系的建设，埃及将会面临发展速度缓慢、动力不足的问题。正如本文 4.2-2 小节所述，埃及早在 2001 年就建设了第一个大型风电场，当年埃及的风电装机容量为 68MW，而当时中国的风电总装机容量为 402MW，为埃及的 5.9 倍。而到了 2023 年，中国风电总装机容量规模已经为埃及的 233.8 倍，光伏发电领域也面临相似的状况。相较于中国甚至相较于许多国家，埃及的可再生能源发展速度都明显偏弱。究其原因，中国受益于快速推进的工业化和城镇化进程，有巨大的国内需求拉动，而埃及其国内电力需求增长缓慢，电力投资回收周期较长，发展可再生能源的动力不足。近些年，埃及政府提出要大力发展本国的绿氢产业，并于 2023 年 8 月成立了国家绿氢委员会，该委员会专职于推动和监督国家绿氢战略的实施^②，埃及此举一个目的就是想利用“可再生

① 该数据引自毕马威公司发布的《世界能源统计年鉴 2024》

② <https://english.ahram.org.eg/NewsContent/3/12/507526/Business/Economy/Egypt-establishes-National-Council-For-Green-Hydr.aspx>

能源+绿氢”模式来拓展埃及对可再生能源需求。同样,推动建立“能-水-沙-农-城”模式也是利用埃及可再生能源资源丰富以及海水淡化以及水处理领域高耗能的特点,为埃及的可再生能源的快速发展提供强有力的需求拉动。

对于水资源领域来说,目前埃及建设的很多调水工程只是部分缓解了埃及水资源的时空分布矛盾,并没有从根本上解决埃及水资源总量严重不足这个主要矛盾。埃及现有海水淡化产业主要以化石能源为主,未来发展面临化石能源供应总量的限制、海水淡化用能成本过高、温室气体排放等限制性因素。因此,必须大力发展可再生能源与海水淡化联合开发的模式,通过规模化的开发,既解决化石能源总量不足、温室气体排放等因素的制约,又可利用淡化海水改善埃及水资源总量不足的问题。根据前述 4.2-3 小节分析,埃及拥有巨大的可再生能源开发潜力,开发建设“可再生能源+海水淡化”产业链条几乎不受任何能源资源方面的制约。埃及人完全可以通过大规模的“可再生能源+海水淡化”产能建设将埃及的“水龙头”紧紧握在自己手中,抵消由于埃塞俄比亚建设复兴大坝带来的不利影响。

对于沙漠开垦和农业发展来说,无论是埃及南部的图什卡工程,还是北部西奈半岛的沙漠开垦,都面临水资源总量不足问题。大规模从尼罗河干流引水,会使现有耕地面临水资源供应不足的问题。未来必须通过海水淡化、苦(咸)水、污(废)水处理等方式增加水资源的供应总量。同时,对于大规模的沙漠开垦,不可避免的会遇到灌溉用水的输送以及供水水位高度提升中的用能问题,也包括地下水抽取、终端农田喷管和滴灌等设备的用能问题,在这方面,可通过大力发展分布式可再生能源的方式为上述过程提供有效的能源供给。只有解决了水资源的供应问题,埃及的农业发展才能形成规模效应,才能有效解决粮食安全问题和农业的高质量发展问题。目前埃及的耕地只占国土总面积的 4%,开垦沙漠,增加可耕地的面积,扩大农业产业规模,未来仍有巨大的发展空间。反过来看,沙漠的开垦和农业的大规模发展,整个涉农产业最终的价值创造又可为可再生能源产业的发展、海水淡化及水资源处理产业提供可靠的现金流回馈,从而形成整个产业链的良性互动。

对于城市发展来说,充足的能源供给和水资源供给、污水处理是城市发展和正常运行的基本保障。同时、大量的城市人口也需要大量的食物供给,通过大力发展“能、水、沙、农”可以满足“城”在发展过程中的各项基本需求。同时,城市也是能源和水的重要消纳场所,“城”的发展也有效拉动对于“能”、“水”“农”

的需求。在中东的其它地区，例如阿布扎比、迪拜、多哈等城市均是依靠海水淡化提供的水源供给，才使昔日海边的一个个小小的渔村得以发展成为具有世界影响力的中心城市。

通过以上分析我们不难发现，“能”、“水”、“沙”、“农”、“城”这些不同领域间存在着相互影响、相互制约的关系，而“能”是贯穿“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式的最底层的基础性支撑要素，“水”则是整个模式的关键性核心要素。中东许多国家都是临海的国家，尽管面临淡水资源不足的问题，但海水资源却是取之不尽用之不竭的，随着海水淡化技术的进步，完全可以通过大力发展海水淡化产业来解决淡水资源不足问题。淡化海水某种程度上可以看作是“能”的一种衍生品。同样，农业是利用植物的光合作用，将阳光和水、二氧化碳转换为我们人类所需的食物的过程，食物本身也是能量载体，同时也是水的载体。农业归根到底也可以看作是能量转换、传递、积累的一个过程。埃及就提出过“虚拟水资源”的概念，即通过进口粮食，也就是进口“虚拟水资源”来解决自身实际水资源不足的问题^①。通过解决水资源问题，也可为解决粮食问题提供了基本条件。“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式就是要充分利用以上不同领域间的相互关系，利用系统性思维，通过构建全新的发展模式，为埃及社会解决国家可持续发展面临的系统性挑战提供方案。

（2）模式充分利用了新技术革命带来的历史性机遇

我们都知道，以风能、太阳能为代表的新能源技术经过多年发展已经日臻成熟。早些年，世界各国的风电、太阳能光伏发电项目由于自身成本较高，必须依赖于相关的扶持政策，即必须依靠政府的补贴才能维持正常运营。但近些年来，如本文 4.2-3 小节所述，随着全球范围内新能源技术革命的不断深入，技术进步和规模效应使得全球范围内风电和太阳能光伏发电的成本出现了大幅下降，全球许多地区的风电和太阳能光伏发电的度电成本已经显著的低于传统化石能源的发电成本。以风电和太阳能光伏发电为代表的新能源技术已经进入了规模化快速普及发展期。而且，我们完全可以预见，未来随着风电和太阳能光伏发电规模的快速扩大，技术水平的进一步提升，新能源发电的度电成本还会进一步下降。同样，对于海水淡化技术来说，其商业化应用也有几十年的历史。但过去很长一段时间

^① 《Water Governance in the Arab Region——Managing Scarcity and Securing the Future》，UNDP.

内，海水淡化主要以耗能较高的热法工艺为主，这使得海水淡化的成本长期居高不下，也制约了其大规模推广。但目前，反渗透膜法工艺的大规模应用显著的降低了海水淡化过程中能耗以及其它设备成本，使得大幅降低海水淡化成本成为可能。同时，反渗透膜法工艺的应用规模可根据需求灵活调整，有极强的场景适应能力。未来，随着整个海水淡化产业规模的继续扩大，海水淡化的成本有望进一步下降。在此背景下，大力发展“新能源 + 海水淡化”模式来解决水资源的供给不足问题迎来了历史性的新机遇，通过规模化发展“新能源 + 海水淡化”产业，可显著降低海水淡化的绿色溢价（Green Premium），并争取早日实现绿色溢价的由正转负，形成整个产业可持续、规模化发展的良好势头。

综上，“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式这是由于上述领域内的技术进步带来的历史性机遇，通过缓解水资源压力，促进沙漠开垦、农业发展，城市化等提供基础性支撑。

（3）模式充分利用了埃及特有的规模优势

埃及是非洲大陆以及中东地区具有重要影响力的大国，国土面积 100.01 万 km²。截至 2022 年，埃及总人口已经达到了 1.03 亿^①，为非洲大陆第三人口大国，也是整个中东北非地区人口最多的国家。预计未来，埃及的人口还将快速增加。中国有句名言：再小的问题乘以 14 亿都会变成很大的问题。这句话在埃及也具有类似的意义。作为一个人口过亿的国家，解决埃及普通民众的用水问题、粮食供应以及脱贫等众多问题中的任何一项都是个规模浩大的工程，具有显著的规模效应。正如本文 1.3-3 小节所述，埃及是一个人均水资源非常匮乏的国家，现在埃及的年人均水资源量已低于 560m³，低于联合国确定的水资源贫困线。如果要将埃及的人均水资源量提升到 1000m³，从总量上来讲，就是要再给埃及增加一条尼罗河的概念。同样，在解决粮食供给方面，目前埃及主粮的自给率并不是很高。2020 年，埃及的小麦仅为自给率为 41.4%，玉米自给率为 44.8%，近些年埃及每年进口的小麦总量在 1000 万吨左右，玉米也在 900 万吨左右，埃及主粮对外依存度过高使其很容易受到国际粮食价格波动和供应链稳定性的影响，同时对外采购粮食还要消耗埃及大量的外汇储备，给国家维护国际收支平衡带来了巨大压力。要确保本国的粮食安全就必须要提高粮食自给率。根据埃及目前的状况，要实现

① 该数据来源于埃及中央公共动员与统计局（CAPMAS）《2022 年埃及人口统计年鉴》

粮食自给率则需将现有粮食生产规模再扩大一倍以上。所以要实现埃及粮食生产的现代化和规模化，并为国家经济发展提供更强的基础性支撑，就需要整个农业生产的规模在现有基础上进行更大规模的扩张。综上，目前整个埃及社会无论是对水资源还是对于主要粮食作物都存在巨大的刚性需求，这也为“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式提供了巨大的需求空间，成为模式发展的强大动力来源。

从另一方面看，目前埃及适宜人类居住和农业开发的绿洲只占整个国土面积的 4%，其余 96% 的国土均为沙漠、荒漠、山地所覆盖，存在规模巨大的待开发国土空间。同时埃及有着丰富的太阳能、风能资源，有着大量适宜进行太阳能、风能资源开发的国土区域，存在着大量适宜进行农业综合改造、待开发的沙漠、荒漠。正如本文 4.2-3 小节所述，仅仅利用埃及国土 0.2% 的面积所开发的太阳能发电项目所产生的电力就已经能满足生产一条尼罗河水量规模的淡化海水所需的能量。所以，埃及巨大的未开垦国土空间为大规模推广“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式提供了充足的发展条件和发展空间。

当前，埃及社会面临的突出问题就是人口的快速增长，现在埃及已经是一个人口过亿的国家了。尽管埃及政府从上世纪八、九十年代就开始着手控制人口过快增长，但成效并不明显。过快的人口增长给埃及社会带来的巨大的就业压力。根据埃及中央公共动员与统计局（CAPMAS）发布的数据，过去十年间埃及的平均人口年增长率达到了 2.32%，高于同期全球总人口增长率。2022 年，埃及 15 岁至 60 岁劳动人口数量占总人口的比重达 59.1%，这也使得埃及面临巨大的就业压力。图 5.2-1 为埃及总人口年龄分布图，埃及的人口年龄分布图呈现金字塔形状，年龄越小的人口占比越高，这也预示未来埃及人口还有很大的增长动力。这也意味着未来相当长时间内，解决就业将是埃及社会面临的巨大挑战。根据埃及中央公共动员与统计局（CAPMAS）发布的数据，2022 年埃及的平均失业率达到了 7.3%，其中女性失业率高达 15.2%，而在红海省、北西奈省女性失业率竟然高达 48% 甚至以上^①。所以，大力推进“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式，无疑将通过新能源开发、海水淡化、能源网络重构、输水网络建设、沙漠土地开垦、农业种植、农产业加工以及众多衍生行业创造大量的就业机会，为埃及的经济发展注入强大动力。而且也只有埃及这样的体量的国家，才能为“能 - 水 - 沙 - 农 -

^① 以上数据与图 5.2-1 来源于埃及中央公共动员与统计局（CAPMAS）《2022 年埃及人口统计年鉴》

城”模式的实施提供足够的规模效应，形成国家的比较优势，进而促进模式更好的发展。与周边其它阿拉伯国家的游牧传统不同，埃及自古就是一个农耕文明，就像中华文明一样，千百年来，农业生产的传统已经是深深刻在埃及人心灵深处的历史烙印。在新时代，以新技术构建埃及全新的农业大发展模式将是埃及人的必然选择。

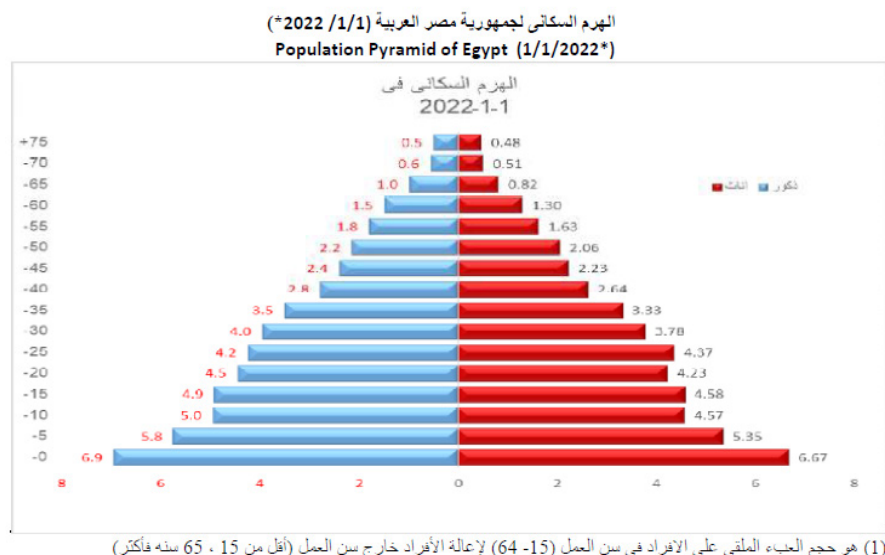


图 5.2-1 埃及总人口年龄结构分布图

(4) 产业政策体系的构建是模式成功的关键

当前，随着全球政治多极化、经济全球化趋势的深入发展，第三世界的崛起已成为时代的显著特征，越来越多的第三世界国家期望通过自身的发展和实力的提升进而在世界格局的演进中发挥更大的作用。同时，全球也正普遍经历着新一轮科技革命和产业变革的洗礼。以信息技术、新材料技术、新能源技术、生物技术、海洋技术等为代表的新兴技术群正通过广泛渗透、交叉融合的形式重塑世界的力量格局。许多第三世界国家也真切期望能利用新一轮科技革命和产业变革带来的历史性机遇，实现自身经济的快速发展和产业的升级，进而实现国家的可持续发展和长治久安。而要实现上述目标，国家能力建设，尤其是适合新兴技术和产业集群发展的产业政策体系的建设就显得非常重要。

产业政策（Industrial Policy）是政府部门为了实现一定的经济和社会发展目

标而对某些产业的形成和发展过程进行干预的各种政策的总和。产业政策包括了关税和贸易保护政策,税收优惠、土地、信贷等补贴,工业园、出口加工区,研发活动中的科研补助,经营特许权,政府采购,强制性规定等等。产业政策的主要功能是弥补市场失灵,有效配置资源,优化产业组织结构,促进企业有效竞争,科学调整产业布局,保障区域产业协调发展,引导产业技术升级,增强产业国际竞争力等^①。对于很多新兴技术,其产业发展多数尚处于产业成长周期的幼稚期或成长期,此时行业的综合竞争力和市场份额都相对有限,企业投入较大但盈利能力相对有限,外部市场环境的不利因素还相对较多,这时亟需政府部门提供必要的政策扶持,完善市场机制建设,保证整个产业的健康成长。例如,在过去的二十年间,以风力发电和太阳能发电技术为代表的新能源发电技术在全球范围的迅速崛起和普及就与各国新能源领域的激励政策密不可分。

在中国,2005年2月28日,全国人大常委会通过了《中华人民共和国可再生能源法》,并于2009年12月26日对《可再生能源法》进行了进一步修改和完善。此后,中国以《可再生能源法》为基础,确立了可再生能源领域的多项基本制度,为中国风电和太阳能发电产业在全球范围内的快速崛起提供了坚实的政策环境保障。具体来说,通过确立可再生能源发展中的“总量目标制度”,突出了可再生能源发展目标的法律强制性特点,相关主体发展可再生能源同时具有了履行法律规定义务的特点,客观上强化了市场主体大力发展新能源的决心和信心;通过确立“强制上网制度”消除了风电、太阳能光伏发电因其固有的间歇性特点而被电网拒收的可能性;通过建立“上网电价制度”确保了风电、太阳能光伏发电企业收益预期的稳定性,降低了融资难度,保障了发电企业合理的投资收益;通过设立“可再生能源专项基金”和“费用补偿制度”有效克服了风电、太阳能光伏发电在发展初期因成本高、市场竞争力不强而形成了市场阻力,更加公平的分担了风电、太阳能光伏发电生产、输送和消费环节的权利和义务,保护了各方的积极性^②。政府主管部门通过密切关注中国风电、太阳能发电产业以及市场在不同阶段的发展特点及时制定或调整相应的产业政策,有效的克服了行业在发展过程中面临的诸如研发能力不足、恶性竞争、送出及消纳困难等各类难题,保障了中国

①《产业政策与国家发展——新结构经济学的视角》,林毅夫,北京大学国家发展研究院网站

②《论中国可再生能源政策体系形成与完善》,任东明,电器与能效管理技术,(2014 No.10)

风电和太阳能发电产业整体性的快速、健康发展。目前,中国已成为全球最大的可再生能源生产国和消费国,风电、太阳能光伏发电行业的整体市场规模和综合势力已多年稳居世界第一。

“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式涉及新能源发电、电力传输、储能、海水淡化、地下苦咸水淡化、污(废)水处理、大规模水资源输送、沙漠开垦与盐碱治理、农业开发以及城市建设等众多领域。贯穿整个模式链条的内在要素是“能”,而“能”又具体表现为电力、水以及粮食、高附加值农产品等具体产品形态。模式涉及的不同领域以及各类具体产品之间又有非常复杂的交换关系、供需关系以及复杂的外部干系人网络。同时模式的推进还能产生诸如减少温室气体排放、保护环境、提升国家水资源安全、提高粮食供应安全、促进就业等众多的正外部性效果。对于模式的正外部性也应进行合理的补偿,这需要政府通过制定相应的政策机制予以落实。总之,要实现模式的顺利实施,必须要有科学、公平、合理、完善的政策体系与之配套。

比如在新能源发电领域,就全球范围来说,当前越来越多的新能源发电项目采用了独立发电商模式(IPP)。该模式下,新建发电项目主要通过项目融资方式解决项目建设及运维过程中的资金需求,而项目是否能够产生稳定、可靠的现金流就成为决定项目可融资性的关键因素。在埃及,政府制定了多项法律和法规用以促进可再生能源的发展,这些法律、法规为私营部门参与风电、光伏项目提供了有效的法律保障。此外政府主管机构还颁布了固定上网电价政策(Feed-in-Tariff)从政策层面确保了发电项目未来有稳定的收入预期,同时项目公司通过与电力公司签订长期购电协议的方式,从执行层面确保项目收益的稳定,进而实现项目融资的可行性。在可再生能源发电与海水淡化项目耦合的模式下,新能源发电项目、电网系统、海水淡化项目可能存在地理位置上不同、所有权关系的不同以及多种供需关系模式,这里必然出现很多新的情况和模式。如何构建双(多)方之间稳定的电力交易机制,确保电价稳定和电力供应的可靠稳定,最大限度降低双方的投资风险也需要政府以及相关机构针对具体情况研究并制定相应的政策机制,以便对各方利益予以保障。在这方面目前,中国企业在海外新能源开发中积极推动的“电 - 矿 - 冶 - 工 - 贸”联动发展模式也面临类似的情况^①。在多利益

① 《“电 - 矿 - 冶 - 工 - 贸”联动发展模式研究》,全球能源互联网发展合作组织

主体的关系协调中，亟需项目所在国政府能因地制宜制定相应的保障性政策，规范各方的权力责任义务，减少项目开发中的不确定性。

又如在水资源的管理与供应方面，自二十世纪中叶以来，埃及政府就深刻的认识到水资源对国家可持续发展的重要性，相继推出了多项治水政策，专注于可持续利用水资源以满足本国不断增长的用水需求。从 1975 年到 2016 年间，埃及发布了《国家水资源总体规划》、《国家水资源政策》、《至 2050 年水资源发展与管理战略》等多个水资源管理的国家规划或政策文件，旨在通过水资源的可持续管理及四大基本支柱（即开发水资源、合理使用水资源、防治水体污染、为水资源的综合管理创造优越环境）来实现埃及的水安全^①。在日本、美国、荷兰等国及相关国际组织的外援帮助下，经过多年的发展，埃及已经建立了较为成熟的水资源综合治理体系，进一步提升了水资源的利用效率，改善了灌溉条件和强化了水资源综合管理区的建设。大量用水者协会的成立加强了农户与政府之间的联系，激发了农户参与管理的积极性。但是我们必须看到，埃及现有水资源管理、供应和使用的政策机制都是基于常规水资源的，主要就是尼罗河水。现有机制下，外国政府以及国际组织为埃及的涉水基础设施建设提供了大量援助，埃及政府也对其进行了大量的投入，这也使得埃及各类终端用户的用水费用是非常低的，对于占有水资源消耗量绝大部分的农业灌溉用水来说，其用水成本几乎为零。埃及现有水价机制没有体现出水资源稀缺性对于价格的影响。在“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式下，现阶段无论是通过可再生能源耦合海水淡化得到的淡化水，地下苦咸水淡化得到的淡水，其成本都要显著的高于现有常规水资源的价格，如何平衡两者的价格差异，还需要进行深入实践和研究，综合各方利益进行政策机制创新。其中一个关键因素就是要在价格机制中体现出资源稀缺性因素。

如上所述，“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式涉及众多领域的利益主体，其中包括了国家和政府、公用事业单位、私人投资商、社群以及个人等，既涉及短期利益也包含长期利益，还有显性利益和隐形利益，这些因素都需要在政策制定过程中予以平衡。通过政策平衡，最终达到总体利益的最大化。政策的制定也具有极强的实践属性，需要在具体执行过程中，结合不同阶段的发展特点，通过及时总结实践经验，不断完善整体政策体系，实现模式的发展初衷。

^① 《埃及水资源综合管理：动因、实践与挑战》，李晨、冯璐璐，《阿拉伯世界研究》2024 年第 2 期

5.3 “能 - 水 - 沙 - 农 - 城” 模式下中埃双方的合作机会

中国和埃及都是拥有灿烂历史的文明古国。两国都有悠久的农业发展历史。进入新世纪以来，随着全球化进程的不断深入以及全球气候变化带来的新挑战，中埃两国在各自发展进程中也都面临了全新的机遇和挑战。几十年来，中国通过实施全方位的对外开放、对内改革的国家发展战略，实现了国家政治、经济、科技、文化等各方面综合实力的大幅提升，目前已经成为全球第二大经济体，并建立了全球最为完备的产业链体系，拥有了强大的工业研发及制造能力。同样在农业领域，中国目前已经是全球最大的粮食生产国，无论是农业的种植规模、产量还是农业科技发展水平都有了长足进步，这也为中埃双方的全面合作奠定了坚实的合作基础。

（1）中国积极推进新型能源体系建设为中埃能源合作提供了坚实基础

近些年，为积极应对气候变化、环境风险挑战、能源资源约束等日益严峻的全球性问题，中国政府提出了推动经济社会发展全面绿色转型，加快构建清洁低碳的新型能源体系的发展战略，以便为中国经济社会持续健康发展提供有力支撑，为维护世界能源安全、应对全球气候变化、促进世界经济增长做出积极贡献。目前，中国的能源产业在市场规模、技术创新、标准体系建设、产业链及产能建设等方面都取得了举世瞩目的成就，这无疑也为推进中国与世界各国在能源领域的合作奠定了坚实的物质基础。

——中国已成为全球最大的可再生能源市场

目前，中国已成为全球最大的可再生清洁能源生产国和消费国，整体市场规模已多年稳居世界第一。根据国际可再生能源署（IRENA）发布的数据，截至 2023 年底，中国全国的可再生能源总装机容量为 1453.7GW，居世界第一。具体来说，截至 2023 年底，中国全国水电总装机容量为 421.5GW，占全球水电总装机容量的 29.9%，其中抽水蓄能电站的总装机容量为 50.94GW，占全球抽水蓄能总装机容量的 36.4%；风电装机容量为 441.9GW，占全球风电总装机容量的 43.4%，其中海上风电的总装机容量为 37.29GW，占全球海上风电总装机容量的 51.32%；太阳能发电装机容量达到了 609.9GW，占全球太阳能发电总装机容量的 43.0%。根据中国国家统计局发布的数据，2023 年中国的水电、风电、太阳

能发电的总发电量已经达到了 2755.87TWh，占全国总发电量的比例已经超过了 29%，可再生能源发电已成为中国电力系统中增长最快的部分。此外，中国地域辽阔，地区间差异大，资源禀赋差异显著，使得中国在可再生能源开发过程中，也形成了各类不同的开发应用场景，包括河流的梯级开发和调度模式，风电光伏的大基地开发模式，水风光储多能互补开发模式以及农光互补、光伏 + 沙戈荒治理等多种模式，这些多场景开发模式也为其它国家和地区的可再生能源开发提供了有益的借鉴。尤其是中国的光伏 + 沙戈荒治理模式对于埃及等中东区域国家进行大规模荒漠化治理具有一定借鉴意义。

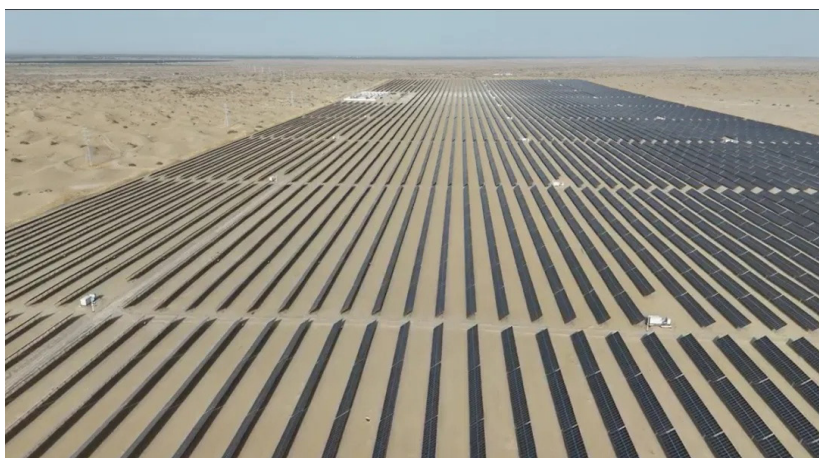


图 5.3-1 塔克拉玛干沙漠边缘的华能二师 300 兆瓦光伏发电项目^①

——中国在可再生能源技术领域已经成了显著的领先优势

中国在可再生能源领域的快速进步离不开自身在可再生能源技术领域的不断创新和进步。在水电领域，2022 年全面投产的白鹤滩水电站代表了中国水电技术发展的最新成就，该电站全部采用了中国自己设计生产的全球单机容量最大的 100 万 kW 水轮发电机组，标志着中国的水电装备研发和制造技术已经处于世界领先水平。在风电领域，中国企业也在机组单机容量、可靠性等重要指标上不断创造新的记录。2023 年 9 月，全球首台 16 兆瓦海上风电机组在福建平潭海域投产发电，该机组是全球已投产的单机容量最大、叶轮直径最大的风电机组。该机型的投运标志着中国在大容量海上风机的研发、制造、安装等领域达到了国际领

^① https://www.sohu.com/a/784886499_121471337

先水平。此外，中国在风电工程设计、施工、吊装等方面的能力也在迅速提升。包括各类新型及超高风机塔筒技术不断涌现，深远海海上风电设计施工技术不断取得突破。



图 5.3-2 全球首台 16 兆瓦海上风电机组吊装现场^①

在太阳能发电领域，中国企业在电池转换效率、成本控制等体现企业核心竞争力的领域已经多年保持了世界领先的地位。2024 年 5 月，中国光伏制造企业隆基自主研发的晶硅异质结太阳能光伏电池（HBC）光电转换效率达到 27.30%，再次刷新了该类型晶硅光伏电池转换效率的世界纪录。2023 年 11 月，隆基自主研发的晶硅 - 钙钛矿叠层电池实现了 33.9% 的转换效率，再次创造了该技术路线的新记录。目前，众多中国光伏组件制造企业在 TOPCon、异质结、钙钛矿等多个技术路线上均在不断取得新的技术突破。此外，近年来中国光伏企业还通过大力推进智能光伏提升计划，推动企业在光伏基础材料、太阳能电池及部件的智能化制造，智能化生产装备的研发与应用，整体制造工序的智能化衔接方面不断取得新的突破，并通过资源动态调配、工艺过程精确控制、人机协同作业和精益管理等手段，努力打造全新的智能化制造示范工厂。

——中国已经建立了完善的可再生能源技术标准体系

随着可再生能源产业发展和技术进步，中国在可再生能源技术标准体系建

^① <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1769996761113570421&wfr=spider&for=pc>

设方面也取得了巨大的成绩。目前，中国已经建立了从国家标准化管理部门到可再生能源行业主管部门、从全国标准化技术委员会到可再生能源行业标准化技术委员会等基本完善的可再生能源标准化管理机制，初步构建了从《中华人民共和国可再生能源法》到国家可再生能源发展规划以及一系列相关政策，再到国家、行业、团体等不同层级的可再生能源技术标准之间相互配套衔接的制度体系。在水电领域，现有技术标准体系涵盖了通用基础、规划及设计、设备装备、建造验收、运行维护、工程造价、改造退役等水电工程各个环节、各专业的技术标准，共涉及具体技术标准 800 多项。在风电技术领域，整个标准体系涉及风电场规划设计、施工与安装、运行维护管理、风电并网管理技术、风力机械设备、风电电器设备等共计 180 多项。在太阳能光伏发电领域，现有标准体系包括了通用基础、光伏设备制造、光伏材料、光伏电池和组件、光伏部件、光伏系统及应用等 7 个方向 35 个小类。

——中国在可再生能源领域已经形成了强大的产能优势

中国在可再生能源领域的快速发展离不开强大产能优势的支撑。目前中国已经建立了全球最为完整的制造业体系，这为中国在可再生能源领域各类能源装备设备的研发、制造、运行维护提供了极大的便利，也为中国企业“走出去”开展国际合作提供了便利。在水电领域，2023 年中国全年新增投产水电装机容量达到了 8.04GW，核准以及在建抽水蓄能电站容量超 158GW。在风电领域，中国风电整机制造企业表现同样优异。根据彭博新能源财经公布的 2023 年全球风电新增装机量与整机制造商排名，金风科技以 16.4GW 的新增装机容量蝉联全球第一。在全球风电整机制造商新增容量排名前五位中，中国企业占据了四席，显示了中国企业的巨大竞争优势。2023 年全球风电新增装机总容量达 118GW，而中国市场就达到了 77GW，贡献率高达 65%，中国市场已成为推动全球风电增长的主要动力。2023 年中国风电整机制造商在海外的新增装机容量达到了 1.7GW，遍及全球 20 个国家。在太阳能发电领域，2023 年全球光伏组件制造商前 10 强全部为中国企业，中国企业在全球光伏组件制造市场的份额已经超过 80%。另外，根据中国光伏协会发布的数据，2023 年中国光伏企业出口硅片 70.3GW，同比增长超过 93.6%；出口电池片 39.3GW，同比增长 65.5%，出口光伏组件 211.7GW，同比增长 37.9%，中国光伏组件制造企业为全球光伏发电产业的快速发展提供了有力支撑。

综上所述,中国经过几十年艰辛的发展,已经建立了庞大、成熟和富有活力的可再生能源市场体系,形成了完善的技术标准体系和强劲的科研创新能力,建成了世界上最为完整的可再生能源设备研发、制造产业链。中国所具有的先进且规模巨大的产能优势和强大的科技创新优势与埃及构建现代化能源体系,建立区域能源交易枢纽的发展愿景形成了鲜明的互补优势。中国构建新型能源体系的成果、积累的宝贵经验和人才技术优势为中国与埃及以及中东各国在构建新型能源电力体系,可再生能源项目的规划、设计、建设以及产能合作等领域的深入合作奠定了坚实的物质基础。

(2) 中国在涉水领域的建设经验为中埃合作提供了有益的借鉴

中国是一个水旱灾害多发的国家。一部中华民族的发展史、文明史,就是一部治水史,就是兴水之利、除水之害的发展史^①。从古代的大禹治水、修建都江堰、郑国渠、京杭大运河以及历代的黄河治理再到当代的黄河小浪底水利枢纽、三峡工程、南水北调等众多的伟大水利工程的建设,无不彰显着中华民族自强不息、追求天人合一、人与自然和谐共生的民族精神以及敢于探索、勇于创新的豪迈勇气。

——中国在水资源调配和水利工程建设方面积累了丰富的实践经验

自改革开放以来,中国对水资源的综合治理和开发利用也驶入了快车道。中国除了兴建了大量的水力发电工程设施以外,还开发建设了大量的水利工程,以提高应对各类水旱灾害的能力及水资源综合利用的效率。2002年12月,中国开工建设了世界上规模最大的综合性跨流域调水工程——南水北调工程。工程总体方案为在长江下、中、上游分别规划三个调水区,并建设东、中、西三条调水线路。其中,东线工程从长江下游的扬州江都抽引长江水,利用京杭大运河及与其平行的河道逐级提水北送,并连接起调蓄作用的洪泽湖、骆马湖、南四湖、东平湖。出东平湖后分为两条输水线路:一路向北,最终达到天津;另一路向东,最终达到胶东的烟台、威海。中线工程是从丹江口水库引水,沿线开挖引水渠道江水自流向北,跨过方城垭口后,沿黄淮海平原西部边缘北上,在郑州以西下穿黄河后沿京广铁路西侧一路北上,直达北京、天津。中线工程全长1432km。西线工程是在在长江上游通天河、支流雅砻江和大渡河上游筑坝建库,开凿输水隧洞,将长江水调入黄河上游。南水

^① https://www.gov.cn/jrzq/2008-10/29/content_1135008.htm

北调工程规划最终调水规模 448 亿 m^3 ，其中东线 148 亿 m^3 ，中线 130 亿 m^3 ，西线 170 亿 m^3 ，工程建总工期将持续 40 ~ 50 年^①。截至 2024 年 6 月，已完工的南水北调东中线一期工程累计调水已经突破 729 亿 m^3 ，成为沿线 44 座大中城市的重要水源，直接受益人口达 1.76 亿人^b。

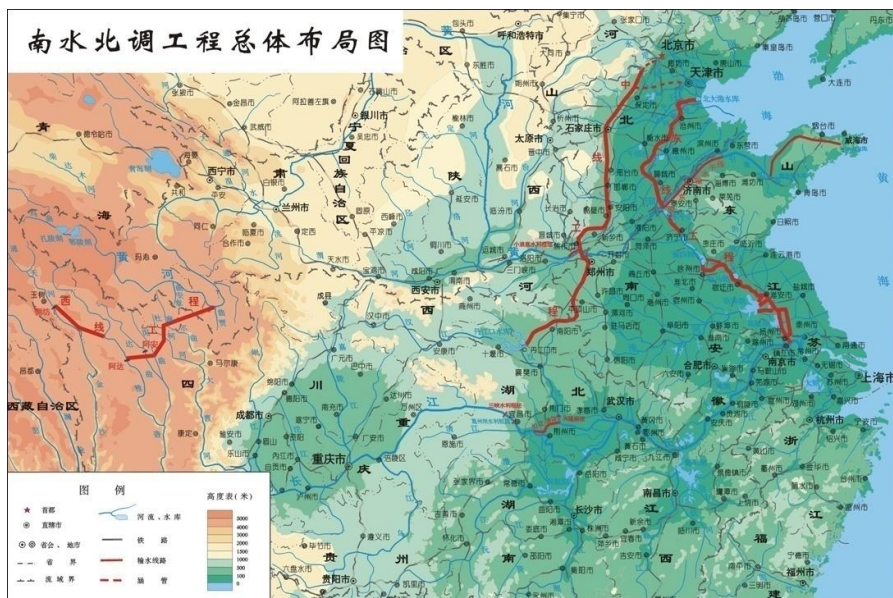


图 5.3-3 南水北调工程总体布置图

除典型工程外，近几十年来，中国不断加大水利领域的投资力度，建设了长江干堤加固工程、黄河下游标准化堤防建设、引江济淮、引汉济渭、滇中引水、珠江三角洲水资源配置等一大批江河防洪、农田灌溉、城乡供水等水利基础设施。通过不懈努力，中国已建立了完善的流域防洪工程体系，提高了整体河道泄洪能力和洪水调蓄能力；实施了国家水网重大工程，构建了国家水网主骨架和大动脉，强化了国家重大水资源配置工程与区域重要水资源配置工程的互联互通能力；实施了河湖生态环境复苏工程，重塑和保持了河流健康的生命形态；推进智慧水利建设，以数字化、网络化、智能化促进了水利行业的高质量发展。根据中国水利发展统计公报（2023），目前中国已建成各类水库 94877 座，水库总库容

① 以上信息包括图 5.3-3 来源于中华人民共和国水利部南水北调司官方网站，http://nsbd.mwr.gov.cn/zw/gcgk/gczs/202209/t20220918_1608832.html

② https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202406/content_6958169.htm

9999 亿 m^3 ，其中大型水库 836 座，总库容 8077 亿 m^3 ；建成 5 级及以上江河堤防 32.5 万 km ；建成流量为 $5\text{m}^3/\text{s}$ 及以上的水闸 64460 座；建成日取水大于等于 20m^3 的供水机电井或内径大于等于 200mm 的灌溉机电井共 521.6 万眼，建成各类装机流量 $1\text{m}^3/\text{s}$ 或装机功率 50kW 以上的泵站 91324 处；建成设计灌溉面积 2000 亩及以上的灌区共 21340 处，耕地灌溉面积达 4007.5 万公顷^①。

——中国在水处理及海水淡化领域取得了长足的进展

自改革开放以来，随着社会经济的快速发展，中国的水务行业发展迅速。无论是总的供给保障能力、供水网络覆盖度还是行业的规模、技术水平都有了长足进步。根据中国国家统计年鉴（2023），2022 年中国全社会的总用水量为 5598.2 亿 m^3 ，其中农业用水为 3781.3 亿 m^3 ，工业用水为 968.4 亿 m^3 ，居民生活用水为 905.7 亿 m^3 ，其中城市的总供水能力就已经达到了 674.4 亿 m^3 ，城市供水管道长度 110.30 万 km ，城市供水普及率到达了 99.4%^②。中国城市的供水规模已经快接近尼罗河的年径流总量了。近些年，中国水务行业规模以上企业的营业收入规模持续增长，2016 年突破了 2000 亿元，2019 年突破 3000 亿元，2022 年突破 4000 亿元，2023 年已经达到了 4704 亿元。整个行业呈现出了快速发展的态势，综合竞争力显著提升。

在污水处理以及再生水利用方面，中国的总体污水处理能力和技术水平也不断提升。根据中国生态环境部发布的《2022 年中国生态环境统计年报》，截至 2022 年底，全国纳入调查的污水处理厂共有 13527 家（含日处理能力 500 吨以上的农村污水处理设施），设计处理能力为 3.16 亿吨 / 日，2022 年全年处理污水总量为 895.0 亿吨，其中生活污水为 793.4 亿吨，占污水总处理量的 88.7%。产生的污泥量为 4757.9 万吨，污泥处置量为 4737.5 万吨^③。2022 年，中国城市的污水处理厂数量已经达到 2894 座，处理能力为 2.16 亿吨 / 日，年处理污水总量为 626.89 亿吨，城市污水处理率已经达到了 98.11%，城市的排水管道总长度已经达到 91.4 万 km 。城市污水处理已经为中国污水处理的主力军。相对来说，中国农村地区的污水处理水平还比较低，未来仍有巨大的发展空间。2023 年 7 月，中国国家发改委、生态环境部等部委联合发布了《环境基础设施建设

① 《全国水利发展统计公报（2023）》，中华人民共和国水利部编，水利水电出版社，2024.6.

② 《中国统计年鉴（2023）》，国家统计局，<https://www.stats.gov.cn/sj/ndsj/2023/indexch.htm>

③ https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/sthjtnb/202312/t20231229_1060181.shtml

水平提升行动（2023—2025 年）》提出：到 2025 年，中国的环境基础设施处理处置能力和水平要有显著提升，计划新增污水处理能力 1200 万 $\text{m}^3/\text{日}$ ，新增和改造污水收集管网 4.5 万 km ，新建、改建和扩建再生水生产能力不少于 1000 万 $\text{m}^3/\text{日}$ ^①。2022 年，中国对再生水的利用总量已经达到了 175.8 亿 m^3 ，占全国总供水量的 2.9%。近些年，中国不断加强了对污水处理领域的技术研发力度，目前中国在该污水处理领域的专利申请量一直排在世界前列。当前，中国污水处理厂常用的生化处理技术包括：传统的活性污泥工艺（CAS）、序批式反应器工艺（SBR）、厌氧 - 好氧工艺（AO）、厌氧 - 缺氧 - 好氧工艺（A2O）、氧化沟工艺（OD）和膜生物反应器工艺（MBR）等。其中，厌氧 - 缺氧 - 好氧工艺（A2O）、氧化沟工艺（OD）因能耗强度较低，应用范围最广泛^②。纵观整个行业，中国污水处理企业的实力也在不断增强，产业集中度不断提升，已经形成了以北控水务等企业为龙头的日处理量 1000 万吨级以上的大型骨干企业。同时，中国企业还积极“走出去”参与“一带一路”建设，建设了孟加拉国达舍尔甘地污水处理厂（见图 5.3-4 所示）、吉尔吉斯斯坦伊塞克湖州巴雷克奇污水处理厂、突尼斯苏塞哈姆渡污水处理厂等污水处理项目，极大的改善了当地的水环境质量和人民生活质量。



图 5.3-4 中国电建集团在孟加拉建设的达舍尔甘地污水处理厂^③

① https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202308/content_6899984.htm

② 《中国污水处理行业温室气体减排关键问题及对策》，彭栓等人，环境科学，2024-04-29.

③ 该图来源于新华网，http://www.xinhuanet.com/world/2022-08/24/c_1211679234.htm

在海水淡化领域，中国国内的市场规模增长迅速，根据中国国家自然资源部海洋战略规划与经济司发布的《全国海水利用报告（2023）》，截至2023年底，全国现有海水淡化工程共计156个，总的淡化产能达到了252.3万吨/日，相较于2022年增加了7.04%。其中，日产能在万吨级及以上的海水淡化工程有55个，产能230.07万吨/日，占总产能的比例为91.2%。具体中国历年海水淡化规模变化趋势见图5.3-5所示。

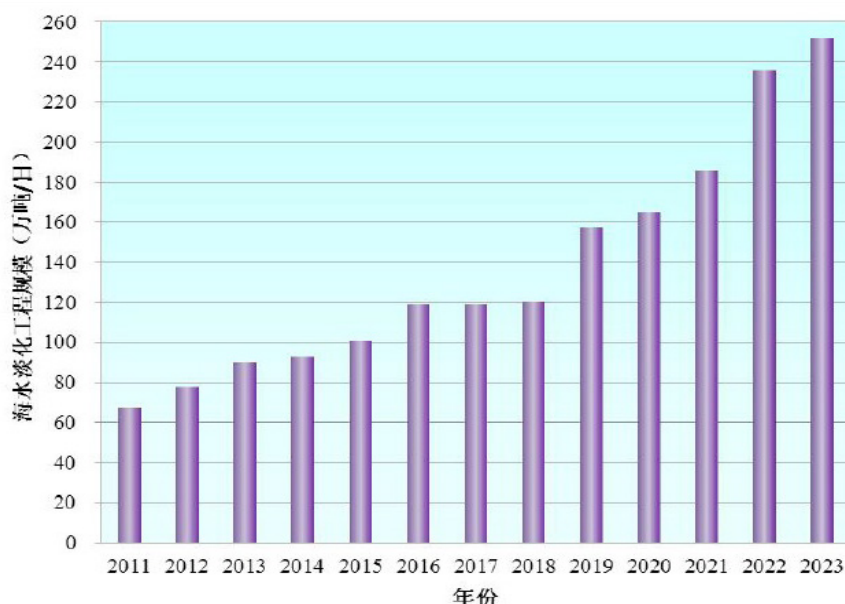


图 5.3-5 中国历年海水淡化规模

目前，中国国内的淡化海水主要用于工业和居民生活用水。其中，工业用水主要集中在沿海地区的电力、石化、钢铁等高耗水行业，生活用水主要集中在海岛地区以及天津、青岛两个沿海城市。经过多年努力，目前中国已初步形成了反渗透、多效蒸馏两大技术研发和装备制造体系，在新方法、新技术、新材料的研发方面也日渐活跃。过去，中国在反渗透膜法淡化技术的核心材料——反渗透膜领域曾长期依赖进口，整个市场几乎被国外企业所垄断。近些年，中国在该领域取得了显著的进步，形成了一批行业内的具有较强竞争力的骨干企业。在科技创新方面，国家已将海水淡化关键核心技术研发纳入了国家中长期科技发展规划、

“十四五”国家科技创新规划，并开展超大型膜法、热法脱盐和浓盐水高值化利用科技创新研究，布局建设了国家海水资源利用技术创新中心，重点突破反渗透膜组件、高压泵、能量回收装置等关键核心技术装备，加强聚砜、无纺布等关键基础原材料研制，开发绿色预处理、新型药剂、智能化监控、标准化运维等技术，实现海水淡化的高效能、低成本应用。此外，中国海水淡化企业还大力践行“走出去”战略，深入参与了众多国际知名海水淡化工程的开发和建设。其中以中国电建旗下山东电建三公司的成就最为突出。自 2018 年以来，山东电建三公司已经成为全球最大的海水淡化工程总承包商。在中东地区，山东电建三公司以总承包（EPC）方式承建了沙特拉比格三期、沙特朱拜勒二期、沙特朱拜勒 3A、沙特朱拜勒 3B、沙特拉比格四期、阿联酋迪拜哈斯彦等众多大型海水淡化项目，也包括了日产水量达 90 万 m^3 的全球在建最大的反渗透膜式海水淡化项目——阿布扎比塔维勒海水淡化项目^①。

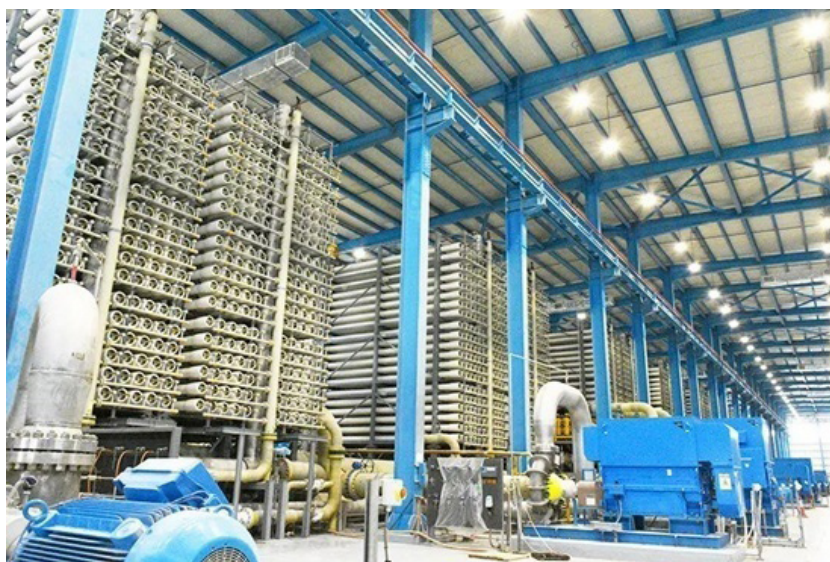


图 5.3-6 阿布扎比塔维勒海水淡化项目^②

这些年来，中国在大江大河的洪水治理、水资源的跨流域调配、全国综合水网的构建、城市供水、污水处理、海水淡化等众多的涉水领域取得了长足的发展，

① 以上信息引自国复咨询网站报告《中企在海外建设海水淡化项目远超国内海淡规模》，<https://www.goalfore.cn/a/5209.html>

② 该图源自中国电建集团官网 https://www.powerchina.cn/art/2022/11/10/art_7449_1550208.html

积累了丰富的经验，也形成了强大的产能优势和科研优势。在涉水领域，中国和埃及无论是在技术与经验交流，还是相关领域内各类项目的规划、设计、建设、运营、管理以及投资、设备供货、产能合作等等，都有着巨大的合作空间。具体来说，诸如大规模的海水淡化设施的开发与建设，内陆地区的苦咸水处理、城市污水处理、大规模输水工程建设以及深层地下水资源（努比亚砂岩含水层）的科学开发利用等众多领域，中埃双方都有巨大的合作空间。

（3）中埃两国对于涉农产业高质量发展的迫切需求为双方合作提供了强大动力

中国是农业大国，也是人口大国。在中国历史上，粮食短缺问题也经常成为引发社会动荡甚至政权更迭的重要原因。因此，中国自古就有“农为邦本，本固邦宁”、“务农重本，国之大纲”的国家治理思想。自新中国成立以来，中国政府始终坚持将解决好“农业、农民、农村”问题作为治国理政的优先考虑事项，坚持抓好粮食生产，深入推进农业供给侧结构性改革，加快推进农业现代化，走出了一条具有鲜明中国特色的农业发展之路。近些年来，中国农业生产结构不断优化，基础地位更加稳固，国家的整体粮食安全得到了切实保障。根据中国国家统计局发布的数据，自改革开放以来（1979—2023年），中国农林牧渔业年总产值的复合增长率达到了5.5%。2023年中国全国粮食总产量达到6.95亿吨，相较于1949年增长了5.1倍，人均粮食产量493公斤，已连续多年超过世界平均水平，也高于国际公认的400公斤粮食安全线。其中，2023年稻谷产量为2.07亿吨、小麦产量为1.37亿吨，玉米产量2.89亿吨。中国的粮食生产实现了“谷物基本自给、口粮绝对安全”的发展目标，也为中国确保国家安全、社会稳定、经济发展提供了基础性保障。同时，中国在经济作物种植方面也取得了显著的成就。2023年，中国经济作物播种面积达到了7.9亿亩，比1949年增长了2.7倍。粮经生产结构更加均衡。2023年，中国全国蔬菜种植面积达到了3.4亿亩，产量8.3亿吨，果园面积1.9亿亩，园林水果产量2.4亿吨^①。蔬菜水果品种多样，品质不断提升，并且实现跨地区、反季节供应，极大改善了民众的饮食营养结构，民众的获得感显著提升。发展经济作物对于优化农业结构，提高农民收入，繁荣农村

① 以上信息来源于国家统计局网站 https://www.stats.gov.cn/sj/sjjd/202409/t20240923_1956627.html

经济等都发挥了巨大作用，同时中国本土优势农产品的出口不仅提升了国家的贸易竞争力，也为全球食品体系供应能力的提升做出了贡献。中国人用了不到半个世纪的时间，用占全球9%的耕地、6%的淡水资源成功养育了全球近20%的人口。中国的成功经验对于世界上其它仍旧遭受粮食短缺问题困扰的国家具有非常重要的借鉴意义。

但也要看到，中国的粮食安全基础仍不稳固，中国已连续多年粮食进口量超过1亿吨。除了大豆的进口明显增加之外，食用植物油、食糖、肉类、奶类等重要副食品的进口量也逐步增加。根据中国农业部发布的数据，在2020年中国的粮食进口量就达到了1.4亿吨，占国内总产量的20%以上；食用植物油对国际市场的依赖大约在70%；糖类的进口量已经达到了500万吨，已超过国内年消费量的30%；牛肉、奶制品的国际依赖度也在30%以上^①。加大农业领域的国际合作是中国农业未来高质量发展的重要组成部分。近些年，许多中国的涉农企业积极“走出去”利用许多国家土地资源丰富、气候条件优越的优势，同时又发挥中国企业的资金、技术、人才、市场优势，大力发展涉农产业。此举不仅有力提升了所在国农业生产的水平和规模，提高了当地的农产品的供给能力，同时还通过优势农产品向中国的出口，增加了当地的外汇收入，也可提升中国国内农产品供应链的可靠性。例如，山东高速集团国际合作公司所属新纪元公司在苏丹东部加达里夫州投资开展了棉花种植业务，棉花种植面积超过20万亩，带动了周边几十个村庄、5000多家农户发家致富，并提供超过40000个就业岗位，极大提升了当地人民的生活水平，该项目还获评“全球减贫最佳案例”^②。目前，埃及农业发展也面临这解决粮食安全这个艰巨的历史性使命，中埃两国在农业领域有着极强的互补性，无论是解决粮食安全问题还是推动农业的可持续高质量发展，双方都有巨大的合作空间和前景。

^① 以上信息来源于农业部官网 http://www.moa.gov.cn/xw/qg/202303/t20230327_6424007.htm

^② <https://www.chinacsi.cn/newsinfo/1286974.html>



图 5.3-7 山东高速集团在苏丹开发的棉花种植项目

中国地域辽阔，气候多样，不同区域有着不同的农业主导产业和特色。中国西部地区沙漠、荒漠、戈壁广布，降水稀少、气候干旱，与中东地区的气候有较高的相似度。近些年，中国不断加强对于西部地区涉农基础设施的投入，大力提升农田水利设施的综合保障能力以及农田灌溉系统的技术水平，显著提高了绿洲农业的发展质量，并通过积极拓展荒漠、戈壁等地类的开发潜力，有效增加了农业土地资源的利用效率，提高了土地使用率和土地质量。本文在第三章中已经对中国新疆地区多年来大力发展绿洲农业、加强沙漠、荒漠开垦力度，发展高效、优势农业的典型案例进行了介绍。中国的成功经验以及中国企业积累的技术、人才优势等对于中埃两国在埃及实施进一步扩大沙漠开垦力度，提升灌溉农业的科技含量、壮大农业发展规模方面都具有极强的借鉴意义。尤其是中国新疆地区的长绒棉产业的发展经验对于中埃双方共同合作发展埃及境内的棉花种植和加工产业具有极强的借鉴意义，双方在扩大埃及棉花产业的种植规模，培育形成埃及优势农产品品牌方面存在巨大的合作发展空间。

近些年来，中国农业发展一个非常显著的特征就是科技对农业发展的贡献率快速提升。2023 年，全国农业科技进步贡献率 63.2%，比 2012 年提升 8.7 个百分点，农业科技整体水平已经跨入世界第一方阵。核心种源的“卡脖子”问题得到了缓解，畜禽、水产核心种源自给率分别超过 75% 和 85%，农作物良种覆盖率超过

96%，科技对粮食增产的贡献率达 45% 以上^①。当前，随着全球科学技术革命的快速推进，物联网、大数据、人工智能、区块链等新一代信息技术与农业产业深度融合，数字农业、智慧农业已成为中国农业向现代化转型升级的重要驱动力。在农业科技方面，中埃双方也有巨大的合作空间。实际上，目前中埃双方已经开展了广泛而又深入的合作，例如中国的宁夏大学与埃及的艾因沙姆斯大学合作建立的智能节水灌溉实验室，在埃及开展了风光智能节水灌溉的试验研究，并与当地企业合作，示范推广 3 万多亩。该系统较当地的技术节水 20% 以上，对埃及发展节水农林业、提高农林业综合生产能力具有很好的推动和支撑作用^②。未来，中埃双方还可以在包括沙漠地区土壤改良、盐碱治理、农作物育种、病虫害防治、农产品深加工等众多领域开展深入具体的科研以及产业合作。

（4）中国城镇化以及城市建设经验为埃及的新型城镇化提供了有益借鉴

城镇化是各个国家走向现代化的必由之路。自改革开放以来，中国自身经历了全球规模最大、持续时间最长的快速城镇化进程，大量农民进入城市工作和生活，带动了城市规模的快速扩大、产业升级和功能提升。根据中国国家统计局发布的数据，改革开放之初的 1978 年，中国的城镇化率仅为 17.92%，城镇人口仅为 1.72 亿。到 2023 年末，中国的城镇化率已经上升到 66.16%，城镇人口达到了 9.3 亿，增长了 5.57 倍。截至 2023 年底，中国城市数量达到了 694 个，全国城区实体地域面积达到了 6.2 万 km²，全国 19 个城市群承载了 70% 以上的人口、贡献了 80% 以上的国内生产总值^③。“两横三纵”城镇化战略格局^④已经初步形成。长三角、珠三角、京津冀三大国际化城市群的国际竞争力持续提升，长江中游、山东半岛、成渝、粤闽浙沿海地区等众多城市群正在快速推进各自的一体化发展进程。

① 以上信息来源于国家统计局网站 https://www.stats.gov.cn/sj/sjjd/202409/t20240923_1956627.html

② 以上信息来源于人民网 <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1725065761952849322&wfr=spider&for=pc>

③ 以上信息来源与国家统计局网站 https://www.stats.gov.cn/sj/sjjd/202409/t20240923_1956628.html

④ “三纵两横”城镇化战略格局是指以陆桥通道、沿长江通道为两条横轴，以沿海、京哈京广、包昆通道为三条纵轴的全国城市化战略格局。“两横三纵”为主的布局将成为中国城市化战略。

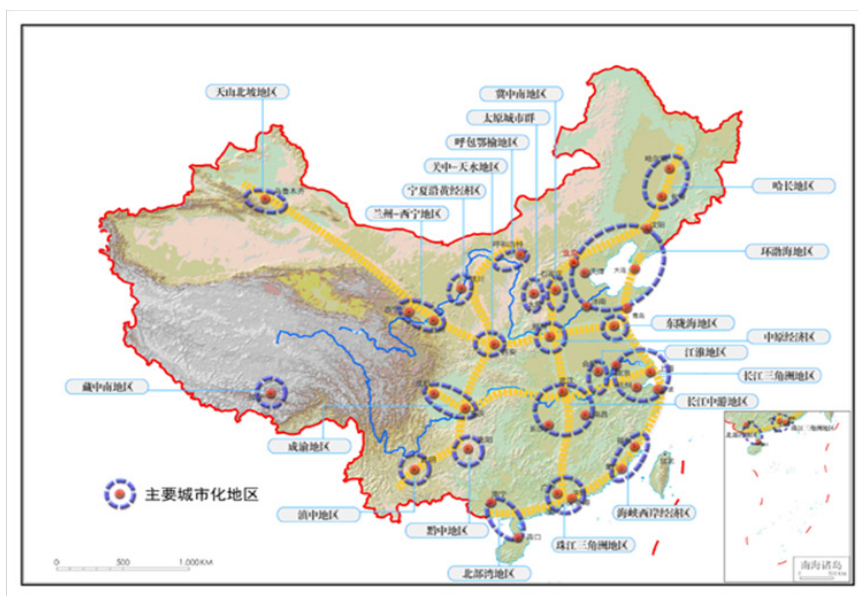


图 5.3-8 中国“两横三纵”城镇化战略总布局

近几十年来，中国围绕提高居民生活质量和城市运行效率，大力推进城市的基础设施体系化建设，不断增强城市的综合保障与服务能力。截至 2022 年底，全国城市道路长度已经超过了 55.2 万 km，城市轨道交通建成和在建总长度达到 1.44 万 km，城市供水普及率、燃气普及率、污水处理率分别达到了 99.39%、98.05%、98.11%，全国供水和排水管道总长度达到了 202 万 km，累计开工建设的城市综合管廊达 7094 km^①。此外，根据第七次全国人口普查数据，中国城市、镇家庭户人均住房建筑面积分别达到了 36.52 m²、42.29 m²，中国建成了全球最大的住房保障体系，累计建设了各类保障性住房和棚改安置住房 6300 多万套，1.5 亿多群众实现了安居梦，低保、低收入住房困难家庭基本实现应保尽保^②。

在中国的现代化城市建设过程中，深圳特区与雄安新区的开发建设是具有典型意义的特别案例。伴随着中国改革开放的发展历程，位于南海之滨的深圳仅仅用了四十多年时间，就从一个毗邻香港的小渔村迅速崛起为中国的第三大城市经济体，成为一座充满活力和创新力，常住人口高达 1700 万的国际化城市，中国

① 以上统计数据来源于国家统计局 https://www.stats.gov.cn/sj/sjjd/202409/t20240923_1956628.html

② 《开创城市高质量发展新局面》，倪虹，《求是》，2023/20。

改革开放的一面旗帜、创新发展的一个标杆。2023 年深圳市的地区生产总值高达 3.46 万亿元人民币，相较于 1980 年增长了 1 万多倍^①。如今的深圳以科技创新闻名于世，拥有全球第三大集装箱港、亚洲最大的陆路口岸，是中国的五大航空港之一。深圳全市的科技人才大军已经超过了 200 万，并孕育出了华为、中兴、腾讯、比亚迪、大疆等一大批具有国际竞争力的高科技企业，是名副其实的“创新之都”。四十年来，深圳的快速成长和巨大成功不仅来源于中国中央政府坚定的政策支持，更是深圳自身坚持先行先试、大胆创新，秉承“杀出一条血路”的勇气和“敢为天下先”的锐气，突破各种旧有思想观念和体制机制障碍，不断改革探索干出来的。2020 年 10 月，中国中央政府发布了《深圳建设中国特色社会主义先行示范区综合改革试点实施方案（2020 - 2025 年）》，提出要通过在重点领域和关键环节改革上赋予深圳更多的自主权的方式，支持深圳在更高起点、更高层次、更高目标上推进改革开放，率先完善各方面制度，构建高质量发展的体制机制，推进治理体系和治理能力的现代化，加快形成全面深化改革、全面扩大开放新格局，推动更高水平深港合作，增强深圳在粤港澳大湾区建设中的核心引擎功能，努力将深圳创建为社会主义现代化强国的城市范例^②。



图 5.3-9 深圳市区域鸟瞰^③

① https://www.sznews.com/news/content/2024-08/26/content_31171547.htm

② https://www.gov.cn/zhengce/2020-10/11/content_5550408.htm

③ 该图片来源于深圳市推进粤港澳大湾区建设网 http://www.szgba.gov.cn/zx/gqdt/content/post_1191932.html

2019年01月02日，中国政府公开发布了《雄安新区总体规划（2018—2035年）》的批复意见。意见指出：未来雄安新区的建设要在紧抓疏解北京非首都功能这个“牛鼻子”的同时，要通过不断改革创新体制机制、建设完善基础设施、提供优质公共服务、优化营商环境、科学规划功能布局等措施促进生产要素合理有序的流动，不断增强雄安新区的内生发展动力；要坚持以资源环境承载能力为刚性约束条件，统筹好生产、生活、生态三大空间的关系，形成“一淀、三带、九片、多廊”的生态空间结构；要以建设绿色低碳之城为目标，推广绿色低碳的生产生活方式和城市建设运营模式；要通过确立水资源开发利用红线，实行最严格的水资源管理制度，科学构建集约高效的供排水系统，大力推进海绵城市的建设；要通过优化能源结构，建设绿色电力供应系统和清洁环保的供热系统，推进本地可再生能源的利用；要通过合理布局地下基础设施网络，有序利用地下空间。意见提出：未来雄安新区应以建设国际一流的创新型城市为目标，积极实施创新驱动发展战略，高起点布局高端高新产业，改革创新人才发展机制，集聚国内外高端创新要素，建设实体经济、科技创新、现代金融、人力资源协同发展的现代产业体系；要坚持数字城市与现实城市同步规划、同步建设，适度超前布局智能基础设施，打造智能城市信息管理中枢。建立城市智能运行模式和智能治理体系，打造具有深度学习能力、全球领先的数字智能城市^①。

截至2024年4月1日，雄安新区已正式成立7年了。7年以来，雄安新区高标准高质量扎实推进各项建设工作，一座高水平、现代化的新城正在拔地而起。“地上雄安、地下雄安、云上雄安”三座新城同步规划、同步建设，现已初具规模。在地上，4000多栋楼宇拔地而起，500多千米的数字化道路四通八达；在地下，城市综合管廊已达144km，水电气暖网所有市政设施管线全部隐藏在其中；在云上，雄安城市计算中心这个“城市大脑”已汇聚了超过200亿条城市数据，智慧工地、智慧气象、智慧社区、智慧生态系统正在有序运转。目前，雄安新区的383个重点项目已累计完成投资6712亿元，开发面积达到184km²。雄商高铁、雄忻高铁、京雄快线等重大基础工程正在加快建设，京雄高铁已经全线通车，国贸中心等一批标志性项目正在有序推进。同时，雄安新区的承载力和吸引力也在不断增强，目前新区已累计对接企业2000余家，并有70家创新型企业进驻雄安

① 以上信息源自中国中央政府网站，https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2019-01/02/content_5354222.htm

科技园。此外，雄安新区至今已经累计造林 47.8 万亩，绿化面积 73.8 万亩，森林覆盖率从新区设立前的 11% 增加到了 34.9%，一座绿色之城已经初步显现。

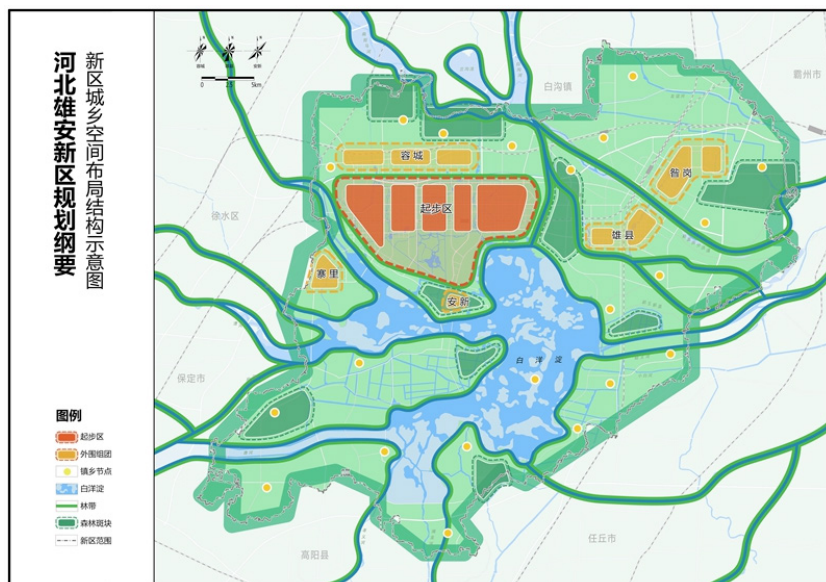


图 5.3-10 雄安新区城乡布局规划图



图 5.3-11 雄安新区容东片区夜晚景象^①

① 以上数据信息及图 5.3-8 均源自中国雄安官网，http://www.xiongan.gov.cn/2024-04/01/c_1212348002.htm

中国在过去四十年的城镇化进程中，走完了西方国家百年的城镇化之路，城市建设取得了举世瞩目的成就，创造了世界城镇化发展的新奇迹。未来，中国的城镇化进程仍将进一步加速推进。预计五年后，中国的城镇化率将会达到70%^①，进一步接近发达国家的水平。中国人在这个规模空前且快速推进的城镇化过程中，积累了丰富的现代城市规划、开发、建设、运营、治理的经验和能力，中国城镇化取得的非凡成就就是中国经验和能力的最佳体现。中国在世界城镇化进程中已从“跟随者”向“领跑者”快速转变。同时，中国城市的发展经验可以为其他发展中国家提供有益借鉴，可为共建人类命运共同体贡献中国智慧和中国经济。截至2022年，埃及的城市化率仅为42.9%^②，未来还需进一步提升城市化人口的比例。当前，埃及正在大力推进新行政首都的建设，以缓解开罗等城市已有的“城市病”，未来埃及还将大规模推进“第四代”新城的建设。中埃两国在新城的规划、开发、建设、运营、投资等各个环节都有巨大的合作机会。目前，已有中国建筑股份有限公司参与了埃及新行政首都中央商务区（CBD）项目的建设，这也是中埃共建“一带一路”的重点工程，项目总占地面积为62.8万m²，包含了20个高层建筑单体及配套市政工程等^③。未来，在埃及的城镇化进程推进中，在涉及城市建设的规划、设计、建设、投资以及城市供水（包括海水淡化）、水环境治理、污水处理、电力、通信设施建设、数字化城市建设、园区开发等众多领域中埃双方都有广阔的合作空间。

（5）“一带一路”倡议和金砖合作机制为中埃双方合作提供了广阔舞台

“一带一路”倡议(The Belt and Road Initiative, 缩写BRI)是“丝绸之路经济带”和“21世纪海上丝绸之路”的简称。2013年9月7日，中国国家主席习近平在访问哈萨克斯坦纳扎尔巴耶夫大学时发表演讲，提出了共同建设“丝绸之路经济带”的畅想。同年10月3日，习近平主席在印度尼西亚国会发表演讲，提出共同建设“21世纪海上丝绸之路”倡议，“一带一路”倡议由此诞生。“一带一路”倡议一经提出，就得到全球范围的积极响应。在各方的共同努力下，这一倡议已从蓝图变成了广受欢迎的全球公共产品和最具包容性的国际合作平台，已为各国

① 国务院关于印发《深入实施以人为本的新型城镇化战略五年行动计划》的通知 https://www.gov.cn/zhengce/content/202407/content_6965542.htm

② 该数据来源于埃及中央公共动员与统计局（CAPMAS）《2022年埃及人口统计年鉴》

③ http://www.scio.gov.cn/gxzl/ydy1_26587/jmw1_26592/jmw1_26593/202403/t20240314_837874_m.html

经济发展、民生改善带来了实实在在的好处。截至 2023 年 6 月底，中国与五大洲的 150 多个国家、30 多个国际组织签署了 200 多份共建“一带一路”合作文件，形成一大批标志性项目和惠民生的“小而美”项目^①。

埃及是最早与中国开展共建“一带一路”合作的国家之一。早在 2014 年 12 月塞西总统访华期间，埃方就表示，中方提出的共同建设丝绸之路经济带和 21 世纪海上丝绸之路的倡议具有重要意义，符合两国未来的合作利益。埃方愿同中方共同探讨在此框架下的合作^②。2016 年 1 月，在习近平主席访问埃及期间，双方共同签署了《中华人民共和国政府和阿拉伯埃及共和国政府关于共同推进丝绸之路经济带和 21 世纪海上丝绸之路建设的谅解备忘录》，同时双方还表示要加强倡议框架下的各项合作，包括电力、新能源和可再生能源、运输和铁路、道路和港口等基础设施、农业、农业加工和土地改良、渔业资源、电子和电力工业等先进工业、银行业及其他将商定的产业项目。中方愿与埃方就有关项目探讨开展融资合作等^③。2024 年 5 月，在塞西总统访华期间，双方签署了《中华人民共和国和阿拉伯埃及共和国关于深化全面战略伙伴关系的联合声明》，双方同意未来将继续推进产业本土化和技术转移，努力扩大中国在埃产业投资，具体包括电动汽车制造、电子设备、太阳能电池板制造、化学工业、建筑材料以及现代农业技术等多个领域。同时中方还表示，支持埃方维护自身水安全、粮食安全和发展利益的正当权利。中埃双方表示，国际社会应共同努力，应对威胁全球安全与稳定的热点和核心问题，实现经济复苏，解决粮食安全、水资源短缺、气候变化和荒漠化防治问题^④。目前，中埃双方在“一带一路”机制下，开展了富有成效的高层对接和务实合作，并取得了丰硕的成果，其中包括了埃及新行政首都中央商务区、斋月十日城电气化铁路、中埃泰达苏伊士经贸合作区、发射埃及 2 号卫星等众多项目。此外，双方还续签了本币互换协议，埃及成功在华发行了熊猫债以及埃及加入亚洲基础设施投资银行、加入新开发银行并在 2024 年成为金砖机制成员等。

① 《共建“一带一路”：构建人类命运共同体的重大实践》白皮书，https://www.gov.cn/zhengce/202310/content_6907994.htm

② 《中华人民共和国和阿拉伯埃及共和国关于建立全面战略伙伴关系的联合声明》，https://www.gov.cn/xinwen/2014-12/23/content_2795621.htm

③ 《中华人民共和国和阿拉伯埃及共和国关于加强两国全面战略伙伴关系的五年实施纲要》，<http://politics.people.com.cn/n1/2016/0121/c1001-28074920.html>

④ 《中华人民共和国和阿拉伯埃及共和国关于深化全面战略伙伴关系的联合声明》，<https://www.yidaiyilu.gov.cn/p/0QOTLTJ8.html>

“金砖国家”的概念最早由美国高盛公司的首席经济学家吉姆·奥尼尔在2001年提出的,最初是引用了巴西(Brazil)、俄罗斯(Russia)、印度(India)、中国(China)四国英文名称的首字母组成缩写词“BRIC”,特指全球的新兴市场。中国媒体和学者将其译为“金砖国家”。2006年巴西、俄罗斯、印度和中国四国外长在联合国大会期间举行了首次会晤,开启了金砖国家合作的序幕。2011年11月,金砖国家领导人在法国戛纳二十国集团领导人峰会前夕举行了首次非正式会晤。同年,南非(South Africa)正式加入金砖国家后,其英文名称变为“BRICS”。2024年1月1日,沙特阿拉伯、埃及、阿联酋、伊朗、埃塞俄比亚成为新的金砖国家正式成员。金砖国家扩员后,总人口占世界的比重将从40.7%升至44.9%,经济总量将从24.7%升至27.1%,货物贸易出口份额从20.2%上升至24.8%。金砖国家合作机制将为各成员国提供更多的合作机制和平台,打造更具竞争力和更加公平合理的产业分工模式。扩员后金砖国家合作机制中合作重点领域将包括:推动传统和可再生能源领域合作,加强农业、纺织、钢铁、汽车等传统产业的产能合作,推动高技术产业的创新合作,推动关键共性、前沿引领和颠覆性技术实现新突破。此外,金砖国家还将重点加强金融领域的合作,为产业合作提供良好的货币金融环境。将进一步深化支付清算体系的合作,积极探索建立统一的本币支付清算体系,推动支付系统的互联互通,加强各国在数字货币、移动支付等领域的合作,吸引更多新兴经济体央行和金融机构参与多边央行数字货币桥项目,提升跨境支付效率^①。

中国是“一带一路”倡议的发起国,也是金砖国家合作机制的创始成员国之一。在埃及国内,上至政府高层、智库、大学,下至民间机构、普通民众普遍对埃及参与共建“一带一路”以及加入金砖国家合作机制抱有积极态度,认为“一带一路”倡议与埃及“2030愿景”高度契合,埃及加强与中国在“一带一路”和金砖机制下的合作,不仅有利于促进了埃及的经济发展,也还给埃及民众带来实惠^②。我们应当看到,“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”领域很多项目的开发和建设都属于开发周期长、牵扯领域广、投资巨大的重点项目,亟需相关法律和政策体系的支撑。中埃双方在上述领域的合作离不开双方政府层面积极有效的协调与沟通。

① <https://world.chinadaily.com.cn/a/202407/31/WS66b460f8a310054d254ebf6d.html>

② 《中东大国的“一带一路”认知研究——以伊朗、埃及与沙特为例》,刘世吾,上海外国语大学,2021.6

共建“一带一路”机制以及金砖国家合作机制为双方在“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”领域的合作提供了重要的协调与沟通平台，进一步扩展了两国在相关领域的合作空间。实际上，除了“一带一路”机制和金砖国家合作机制，中埃之间还有“中非合作论坛”机制以及“中阿合作论坛”机制等，这些多边合作机制以及中埃之间已有的双边合作机制等都为中埃双方在“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”领域的合作提供广阔舞台。

综上所述，在过去的几十年间，中国一个拥有十几亿人口的发展中大国，全面推进改革开放，推动经济社会持续快速发展，用几十年时间走完了发达国家几百年走过的工业化历程，完成了人类历史上规模最大的城镇化和工业化进程。目前，中国已是世界第二大经济体并建成了世界上最为完整的产业体系，拥有了强大的制造能力。在“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”等众多领域，中国也都建立了强大的供给能力，拥有丰富的开发建设经验。自 2014 年以来，中国国家主席习近平已经在多个场合多次强调了“中国欢迎各方搭乘中国发展的快车、便车，欢迎世界各国和国际组织参与到合作中来”的观点。当前，全球面临应对气候变化，推动能源体系低碳、清洁化转型以及实现联合国 2030 可持续发展议程目标的艰巨任务，在此背景下，中国和埃及作为人口众多的发展中大国，充分考虑双方的互补优势，加强在“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”以及众多领域的合作，符合双方的长远利益，也有广阔的发展空间。

5.4 “能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式面临的挑战

“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式的提出旨在利用当前全球新一轮技术革命带来的历史性机遇，直面埃及社会长期可持续发展遇到的重大历史性挑战，通过构建全新的产业链和价值链，打造埃及社会新的经济增长点，以期在日益激烈的国际竞争中培育新的竞争力。模式涉及能源电力、水资源开发、水利基础设施建设、沙漠开垦、农业开发、城市建设等众多领域的大规模开发建设活动，上述领域的开发活动往往具有涉及面广、开发周期长、技术复杂、资金需求量大等特征，在模式推进中不可避免会遇到众多挑战。如何克服上述挑战，本身也将成为模式不断完善的一个内在过程。

（1）技术方面的挑战

模式提出要充分抓住当前全球新一轮能源技术革命带来的历史性机遇，充分利用埃及丰富的太阳能和风能资源，通过大规模的太阳能、风能资源利用设施的建设开发，构建适合未来各类应用场景的新型电力系统，满足“水”、“沙”、“农”、“城”领域以及埃及氢能发展战略的具体用能需求。同时我们也应看到，由于风能、太阳能天然具有间歇性、随机性、波动性，“反调峰”特性明显，大规模并网后系统要有足够的调峰容量；再者，风电和太阳能光伏发电容量的增加会使系统的总体惯量减小，电网的抗扰动能力下降，容易诱发频率和电压的失稳问题；此外，风电和太阳能光伏发电往往还面临供需双方在时、空分布上的极大不平衡。因此，构建以高比例可再生能源为特征的新型电力系统必须要克服可再生能源波动性带来的各种负面影响，需要充分重视系统的灵活性以及数字化、智能化建设，提高多能协同互补、源网荷储协同配合、多网融合互联的能力。增强系统灵活性除了加强对现有各类发电机组的灵活性改造、挖掘水电的调节能力、加大跨区联网和调度能力外，各类储能技术应用也将是重要手段。现有储能技术路线包括了抽水蓄能、电化学储能、压缩空气储能、飞轮储能等多种形式，各类储能技术路线在技术成熟度、应用场景、市场规模、成本等方面也有很大差异，其中以抽水蓄能技术的部署规模最大。根据国际水电协会（IHA）最新发布的《2024世界水电展望》，截至2023年全球抽水蓄能的总装机容量为182GW，占全球各类电力储能总容量的90%以上^①。中国近些年为配合风电、太阳能光伏的大规模建设，也在积极推进国内抽水蓄能电站的建设。2023年中国的抽水蓄能的总装机容量为50.94GW，居世界首位^②。抽水蓄能具有技术成熟、储能成本低、电网响应迅速、储能容量大、适宜大规模建设等显著优势，非常适合为电网提供灵活性服务。除了抽水蓄能外，电化学储能近些年也迎来一个发展新高潮。根据国际能源署（IEA）发布的数据，2023年全球包括汽车、公共汽车、卡车以及全球电力行业使用的电池储能总容量超过了85GW，并呈现迅猛发展的势头。各国在推动以风电、太阳能光伏发电为特征的新型电力系统的建设中遇到的挑战和采用的方法或建设侧重点可能会有所不同。埃及风能、太阳能资源丰富，但埃及水资源

① 《2024 World Hydropower Outlook——Opportunities to advance net zero》, iha.

② 该数据来源于国家能源局官网，https://www.nea.gov.cn/2024-09/13/c_1310786100.htm

匮乏，且分布高度集中，这对抽水蓄能电站的选址和建设非常不利。如何因地制宜，结合埃及自身特点为构建新型电力系统提供有效、廉价、低碳的灵活性服务还需在实践中不断的探索。

在涉水领域，尽管海水淡化的成本出现了大幅下降，但与常规水资源的使用成本相比仍有一定差距，未来要扩大海水淡化的使用规模，特别是将淡化海水应用于耗水量最大的农业生产部门，还需要进一步加强技术攻关，提升海水淡化的产水效率并进一步降低能源消耗，尤其是可再生能源与海水淡化的耦合模式还处于发展初期阶段，仍有大量技术问题需要克服。具体淡化技术本身来说，还需进一步加大对效率更高、成本更低、耐久性更好的反渗透膜材料及其它辅助设备的研发，并继续探索和研发其它的更为高效和绿色的海水淡化替代技术路线等。另外，大规模发展海水淡化还需关注其对海洋生态环境的影响。埃及的红海沿岸分布有大量的珊瑚礁群，并有非常丰富的海洋物种资源，大规模发展海水淡化产业必须加强尾水排放对于海洋生态环境影响的监测和应对。再有，埃及内陆地区分布有大面积的努比亚砂岩含水层，蕴藏有海量的深层地下水。对于这种可不再生的水资源，如何在确保不会造成地质、生态负面影响的前提下，充分借鉴他国的经验教训，加强对其合理利用，为社会创造更多的价值也是非常值得研究的问题。

在沙漠开垦和农业发展中，越来越多的实践证明，技术进步对于行业发展越来越具有举足轻重的作用。在沙漠开垦和干旱农业发展过程中，如何更有效的实现防沙固沙并处理好土壤的盐碱问题是需要结合当地具体情况进行不断探索的。需要结合水利工程的建设、生物措施、科技手段的综合运用来实现上述目标。同时，从种植角度培育更多耐干旱、耐盐碱、高产、高效的旱地作物新品种也是沙漠农业得以成功的关键因素。中国和埃及在农业科技领域已经开展了众多富有成效的合作，中国科学院、中国农业科学院等科研院所在沙漠化治理、土壤改良、旱作农业等方面已于埃及相关机构开展了科研合作，未来双方还可就沙漠的规模化开垦和改造以及旱地农业集约化发展、优势作物种育中遇到的各类技术问题开展合作研究。

（2）资金筹措方面的挑战

“能-水-沙-农-城”模式涉及能源电力、水资源开发、沙漠开垦、农业开发、水利基础设施建设、城市建设等众多领域，这些领域的多数开发活动都属资金密集型项目，需要大量的长期资金投入。例如在“能”的领域，在本文 4.2.1 节

就曾粗略的做过估算。如果要实现每年生产大体与尼罗河流量相当的 550 亿 m^3 的淡化海水,仅考虑太阳能光伏发电提供电力的话,则需要建设 54 个本班光伏园规模的光伏发电项目,按照本班光伏园目前 40 亿美元的总投资额估算,建设 54 个本班光伏园约需要 2160 亿美元的资金投入。而且除了光伏电站的建设投入以外,在新型电力系统建设中,包括电网扩建、储能设施、智能化建设等方面也需要巨额的资金投入。在“水”的领域,模式提出要在埃及实现“再造一个尼罗河”的海水淡化目标,也就是年海水淡化总规模达到 550 亿 m^3 。这里我们以阿联酋境内由中国电建集团所属山东电建三公司承建的阿布扎比塔维勒海水淡化项目为例来估算资金投入。塔维勒项目采用了反渗透膜淡化技术,日产水规模为 90 万 m^3 ,全年可产水 3.24 亿 m^3 。如果要实现海水淡化总量 550 亿 m^3 的目标,需建设 170 个塔维勒海水淡化项目。按照目前塔维勒海水淡化项目 8.7 亿美元的建设投资,实现 550 亿 m^3 的海水淡化目标需要投入资金 1478 亿美元。此外,在“水”的领域内,除了海水淡化工厂的建设外,重新构建区域或全国的水资源输配送网络系统也是需要巨额的资金投入。在“沙”、“农”、“城”领域的开发中,也都是需要大量资金投入的。例如在“城”的领域,目前仅新行政首都一期项目的投资就已超过 500 亿美元,未来随着新行政首都建设的持续推进,无论是对公共资金还是私人资金的需求依旧十分巨大。同样,未来埃及其它新城的建设也同样需要巨量资金的投入。因此,“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式的推进对于埃及的融资能力和融资机制建设将是重要考验。“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式涉及埃及国内众多领域的基础性开发建设,如能顺利实施必将彻底改变埃及的整体国土开发布局,而且它也是建设规模接近万亿美元的相当长周期内的一系列开发活动,也将为埃及国内和国际众多金融机构提供巨大的投资机会和空间,必将对埃及未来的发展产生深远的影响。

按照世界银行的分类标准,目前埃及属中低收入国家之列。2023 年财年,埃及国内生产总值为 3871 亿美元,人均国内生产总值为 3644 美元,其整体经济实力在全球各经济体中大约排名 38 位左右,与亚洲的马来西亚、非洲的南非、南美洲的哥伦比亚等国大体相当。就目前埃及整体经济实力来说,要实现模式所需的大规模融资还将面临巨大挑战。自 2014 年塞西总统执政以来,埃及逐步清除了 2011 年“革命”引发的动荡因素,社会及政治局逐步势趋于稳定,营商环境也逐步改善,各方面发展也取得了显著成效。但随后因受全球“疫情”冲击以

及俄乌冲突、美联储加息等外部因素的影响，埃及的国际收支失衡问题再次凸显，外汇短缺，埃镑出现了大幅贬值，外债压力显著增加，这对埃及的融资环境也产生了显著的负面影响。具体埃及各项宏观经济指标见表 5.4-1 所示。

表 5.4-1 埃及重要宏观经济指标^①

主要指标	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	2022/23
国内生产总值（亿美元）	3179	3825	4233	4752	3871
实际国内生产总值增长率（%）	5.5	3.5	3.3	6.6	3.8
通货膨胀率（%）	13.9	5.7	4.5	8.5	21.6
人均国内生产总值（美元）	3214	3802	4146	4563	3644
净国际储备（亿美元）	443.5	382	405.8	333.8	348.1
外国直接投资（亿美元，净值）	82.4	74.5	52.1	89.4	100
旅游业收入（亿美元）	125.7	98.6	48.6	107.5	136.3
苏伊士运河收入（亿美元）	57.3	58	59.1	70	87.6
外债规模（亿美元）	1087	1235	1379	1557	1647

如表 5.4-1 所示，埃及在 2022/23 财年的国内生产总值的年增长率从前一年的 6.6% 下降到了 3.8%，而通货膨胀率确飙升到了 21.6%。再加上俄乌冲突造成的粮食供应短缺以及物价快速上涨，这些都严重影响了埃及普通民众的生活。另外根据国际货币基金组织（IMF）的数据，2022/23 财年末埃及政府的债务总额为 9.74 万亿埃镑，占国内生产总值的比例已经高达 95.9%^②，已高于全球 93% 的平均水平，仅偿还债务利息就给埃及政府财政带来了巨大压力，政府债务违约的风险显著加大。根据埃及央行数据，2023 年 6 月底埃及的外债总额为 1647 亿美元，其中短期外债 281 亿美元，占比 17%；中长期外债 1366 亿美元，占 83%。从债务主体看，政府对外负债约 827 亿美元，占 50.8%；中央银行负债 423 亿美元，占 26%；银行业负债 193 亿美元，占 12%；其他部门负债 186 亿美元，占 11.4%，政府机构为外债的主要举债者。实际上，造成目前埃及财政状况恶化除了外部因素外，也有内部的因素，具体来说包括了埃及政府长期以来实施的粮食、能源补贴政策以及埃及政府大力推进新行政首都建设而大举举债造成的影响。但我们也应看到，苏伊士运河带来的过境收入、旅游业收入、侨汇收入、化石能源出口收入这些收入项目对于埃及维持国际收支稳定也发挥着重要作用。根据国际

① 该表中数据以及后续外债数据均源自《对外投资合作国别（地区）指南 - 埃及（2023 年版）》，商务部

② 以上统计数据该数据源自国际货币基金组织网站，<https://www.imf.org/en/Countries/EGY>

货币基金组织（IMF）的预测，从中长期看，埃及经济还是有望保持较快增长，政府的负债率也将会逐步好转。

在“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式涉及众多开发建设项目中，诸如可再生能源发电项目、海水淡化项目、污废水处理项目、农业开发项目等都是适合私人投资参与的领域。目前，埃及的可再生能源开发，包括本班光伏园的建设以及诸多海水淡化项目的建设都有私人资本的参与。实际上，早在 2006 年埃及财政部就成立了公私合作伙伴（Public-Private-Partnership, PPP）关系中心，2011 年埃及人民议会颁布了《基础设施、服务及公共领域私人合营法》（2011 年第 67 号），第 67 号法案及其执行条例以法律规范的形式为埃及 PPP 项目的运行构建起了一个政府监管体系^①。埃及政府希望通过公私合营模式（PPP）能吸引更多的私人资本投资于国内的大型基础设施领域。多年来，中东地区的主要石油出口国积累了大量的金融财富，建立了许多的主权财富基金。在当前能源转型背景下，许多主权财富基金都对新能源项目开发、水资源开发等基础性行业表现了浓厚的兴趣，这对于“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式的推进、资金的筹措也是非常有利的因素。近些年，随着中国经济实力的增强，中国金融行业的全球竞争力也在快速提升。根据中国人民银行发布的数据，截至 2023 年末，中国的广义货币（M2）余额已经达到了 292.27 万亿元人民币^②，表明中国金融体系已拥有巨额的金融资源。随着人民币国际化进程的加快以及中国资金融资成本的进一步降低，中国金融资本也必将成为推动“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式的重要力量。目前，中国政府已经设立了“中非基金”、“丝路基金”、“中非产能合作基金”、“一带一路绿色投资基金”等用于支持“一带一路”机制下的双边和多边投资开发合作等^③。2023 年 10 月，埃及在中国资本市场成功发行了首笔 35 亿元人民币的熊猫债券，主要用于绿色交通、可再生能源、可持续水管理和卫生设施等领域，这对于拓宽中国资金用于埃及的基础性行业建设的途径是一次非常有意义的尝试^④。未来，借助金砖合作机制以其它双多边合作机制，中埃双方在金融领域及项目投、融资方面的合作空将降将无比广阔。

① 《埃及 PPP 模式政府监管法律制度研究》，李蕊，硕士学位论文，湘潭大学，2019。

② <http://www.pbc.gov.cn/diaochaotongjisi/resource/cms/2024/01/2024011714335887444.pdf>

③ <https://www.yidaiyilu.gov.cn/p/95040.html>

④ https://www.boc.cn/aboutboc/bi1/202310/t20231016_23891633.html

（3）营商环境方面的挑战

营商环境是企业生存、经济发展的土壤。良好的营商环境是一个地区、一个国家推进经济持续健康发展的必备条件。埃及自 2011 年发生革命后，国内政局就始终处于动荡之中，各种抗议示威、暴力冲突此起彼伏，使原本脆弱经济雪上加霜，外汇和财政收入也大幅减少，也严重影响了外界对于埃及经济发展的信心。

自从 2014 年 5 月，塞西当选新一任埃及总统后，埃及的政局及社会才逐步趋于稳定，营商环境便利度也有所改善。作为“军事强人”，塞西总统通过对国家政权的强力把控，有效维护了国家政权的稳定，保证了埃及各项政策及改革措施的持续稳定。2016 年，埃及政府公布了《可持续发展战略：埃及 2030 愿景》，确立了“经济繁荣、社会正义、环境友好”三大发展维度，对埃及 2030 年前的经济、社会、环境等领域设定了全面的发展目标，并确立了力争 2030 年让埃及成为世界性经济强国，经济总量进入世界前 30 强之列的整体发展目标^①。同年，为配合国际货币基金组织（IMF）的贷款计划的实施，埃及还推出了一系列重大改革举措，包括放开汇率、寻求国际贷款、银行私有化、引入增值税、抬高烟草税率和逐步取消燃料和电力补贴等措施，进一步加大埃及的对外开放。同时，塞西总统还批准了《国家所有制政策文件》，确定了将私营部门在国家投资中的比重从 30% 提升到 65% 的目标，将国家投资率提高 25%-30%，以实现 7%-9% 的经济增长以及扩大出口和增加就业机会^②。为进一步改善营商环境，近年来埃及政府还采取了一系列政策措施，包括在管理体系方面，埃及成立了由总统直接领导的最高投资委员会和政府总理亲自主持的部际投资协调委员会，由总统亲自担任负责人就是要进一步强化高层决策力量，提升投资领域工作效率。在法律体系方面，埃及出台或修订了《投资法》、《工业许可法》、《破产法》、《公司法》、《所得税法》等法律法规，并允许私人资本进入天然气销售、电力和铁路建设等垄断行业，《投资法》还针对不同地区制定了相应的税费减免、投资成本返还、土地划拨、外籍用工等优惠政策。2023 年 5 月，塞西总统主持召开最高投资委员会会议，在企业注册许可、投资优惠、外籍人员居住证等方面审议通过了 22 项行政改革和投资激励措施。埃及政府通过各类政策的制定，旨在进一步增强埃及的营商环

① 《Sustainable Development Strategy:Egypt' s Vision 2030》,Ministry of Planning, Monitoring and Administrative Reform,Cairo, Egypt

② 《阿拉伯埃及共和国投资环境评价报告 2024》，大公国际资信评估有限公司，清华大学一带一路战略研究院

境,为实现经济发展和民众的“体面生活”而创造条件。根据世界银行发布的《2020年营商环境报告》,埃及在全球190个国家和地区中位居第114名。

但从全球范围来看,埃及的营商环境便利度水平仍处于中等水平,在提升政府行政效率、打击官僚腐败、增强财税制度的稳定性以及透明性等方面还存在诸多不足。由于政府存在官僚腐败行为以及政府行政效率低下,在埃及办理各类行政许可和审批工作手续繁琐且耗时较长,例如,在埃及办理施工许可及产权登记所需的手续个数分别为20和9个,而中东北非地区的均值为15.7和5.4个;在办理产权登记、纳税、跨境贸易及合同执行方面所需时间均比中东北非地区的平均水平更加冗长。在税收方面存在的问题主要包括:一是涉税制度缺乏稳定性,由于近年来埃及在各领域大力推行改革,涉税制度变化较频繁,影响跨境投资者投资决策;二是税收征管政策透明度较低,部分税收管理事项存在职责交叉、边界模糊等问题。一些税收政策规定过于笼统、缺乏操作细则,增加了纳税人的税收遵从成本。在法律与监管环境方面,埃及对外资还存在诸多的准入限制,例如外资可以租赁或运营方式参与农业项目,但不能单独拥有农业项目的土地所有权,在西奈半岛投资或收购任何在西奈半岛持有土地的公司,需要获得西奈半岛发展局的特殊许可^①。

此外,埃及国内依然存在恐怖主义、宗教冲突的风险,这也会对“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式涉及的各类项目的开发和建设活动产生一定的负面影响,尤其是涉及西奈半岛区域的开发活动。自塞西总统上台以来,埃及政府一直对西奈半岛的武装分子采取了强力的镇压政策,但军方目前仍难以实现对西奈半岛的有效管控。近几年,埃及国内的极端伊斯兰主义者虽已被排挤出了埃及的政治舞台,但一些极端分子仍试图通过恐怖袭击等方式破坏现有政治局面的稳定。长期以来,埃及社会还面临宗教冲突的威胁,其中科普特人与穆斯林的冲突最为突出。在埃及基督徒也是伊斯兰极端主义者的主要袭击目标之一。目前,埃及国内的局势日趋稳定,政府也采取了许多世俗化的政策,避免发生大规模的宗教冲突事件,但宗教冲突风险仍然存在^②。

在“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式推进过程中,埃及军方的影响也是一个不容

① 《阿拉伯埃及共和国投资环境评价报告2024》,大公国际资信评估有限公司,清华大学一带一路战略研究院

② 《“一带一路”基建指数国别报告--埃及》,中国对外承包商会,2023年12月。

忽视的重要因素。埃及现代共和国是由军队发动革命而建立的,军方力量在埃及的国家力量格局中占据着核心地位。纳赛尔总统、萨达特总统、穆巴拉克总统以及现任塞西总统等均为军人背景。军队作为国家主权的捍卫者,天然成为国家政权稳定的重要支柱。在历次中东战争中以及收回苏伊士运河的战争中,军队均发挥了重要作用,随之军方的影响力也深深的嵌入到埃及国家政治、经济的众多领域。埃及军方不仅拥有强大的军事力量,也拥有很强的经济力量和生产力量。埃及军事生产部监管着 20 多个军事商业企业,埃及国防部控制着数十个军事商业企业,由埃及政府建立的阿拉伯工业化组织至少控制着 12 家军事商业企业。这些企业的生产服务领域涉及制造业、建筑业、工程施工、交通运输、能源、采矿、食品加工、服务业等众多门类,工业产品涉及军工产品、钢铁、水泥等多个类别。例如,在埃及新行政首都建设过程中,许多工程建设项目都有埃及国防工程局的参与,在埃及的沙漠开垦中,也有军方力量的参与。在“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式推进过程中,也要充分考虑军方的重要作用和影响,加强与军方的沟通与合作,以更好推动模式涉及的各项开发建设活动。

(4) 区域地缘政治风险带来的挑战

埃及位于为欧、亚、非三大洲的交汇处,扼守着大西洋、地中海通往印度洋、太平洋的咽喉要道——苏伊士运河,战略地位极其关键。这里既是古埃及文明的发源地,也是不同文明间交流、交往的要冲以及各类势力角逐的重点区域。目前,中东地区是全球范围内民族矛盾、领土争端、宗教冲突、地缘冲突最为集中的地区。近代自以色列建国以来,以色列已和巴勒斯坦以及周边包括埃及在内的阿拉伯国家爆发了数次中东战争,这些冲突及战争带来的后遗症到直到今日仍未消退,巴勒斯坦与以色列之间关于领土主权、生存权的斗争目前甚至越演越烈。本轮巴以冲突的发生地——巴勒斯坦的加沙地区就紧邻埃及的北西奈省,冲突的持续升级也给埃及带来了严重的地缘安全风险。不仅如此,埃及周边或邻近的国家包括利比亚、苏丹、也门、叙利亚局势演变以及伊朗核问题、极端组织“伊斯兰国”等议题也都会对埃及国家安全造成冲击,并对埃及的经济发展、社会稳定产生不利影响,干扰外界对埃及以及中东地区的投资信心,进而影响中埃双边的贸易、投资、工程承包等领域的合作,这对于“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式下的各类项目合作也是不容忽视的重要因素。

中东北非地区是全球油气资源最为丰富和集中的地区之一,而且埃及也是

一个油气生产和出口国，红海和苏伊士运河也是全球重要的能源运输通道。石油、天然气是现代工业和交通运输的重要能源，中东北非地区的油气生产对于全球的能源供应和价格稳定具有重要影响。当年，数次中东战争引发的石油危机对全球经济产生了巨大影响。例如第一次中东战争爆发时，全球油价就猛然上涨了两倍多，持续的石油危机对各发达国家的经济造成了严重的冲击，触发了第二次世界大战之后最为严重的全球经济危机。在这场危机中，美国的工业生产下降了14%，日本下降了20%以上，所有工业化国家的经济增长都出现了明显放缓^①。正是由于油气资源对于国家安全和经济发展的至关重要性，美国自上世纪初便开始对中东地区给予了高度关注，并逐步通过经济控制、文化输出、军事干预等手段实现对中东北非地区的介入与控制。据估计，到1944年美国石油公司所控制的石油储量占中东地区总探明储量的占比已从二战前的10%增加到了42%。1969年尼克松上台后，美国通过扶持伊朗、沙特并将其作为自己中东战略的“双柱”而成为中东地区唯一的霸权国。1981年里根总统上台后，在其发布的《国家安全战略报告》中表示，美国在中东的主要利益诉求包括维护地区稳定、盟国（以色列、沙特）的安全、遏制和减少苏联的影响和保证石油的供应。为了阻止威胁的出现，美国将直接介入海湾地区国家间的冲突，这也为后来美国发动沙漠风暴行动（海湾战争）奠定了政策基础。整个20世纪80年代，美国在中东开展了一系列军事行动。1991年，美国联合多国部队针对伊拉克发动了第一次海湾战争，后又在2003年3月发动了第二次海湾战争，使用军事手段推翻了伊拉克的萨达姆政权，维持了美国在中东的强大影响力。中东地区油气资源储量丰富，而石油又是美国的全球金融霸权重要支柱之一，掌控中东对于美国保持美元主导地位至关重要。以色列作为美国的盟友，直接服务于美国在中东的战略利益。美国通过军事和经济援助让以色列稳居中东，使得整个中东的局势始终保持一定的紧张度。通过以色列的军事和政治存在，美国不仅可以时刻控制中东的石油、天然气的输出，还能以“以色列保护者”的姿态深度介入中东事务，确保自己的对于地区地缘格局的影响力。

埃及为中东北非地区具有重要影响力的大国，其与美国的关系也经历了诸多曲折。1974年埃及调整外交政策，恢复了与美国的正式外交关系，同时美国也

^① https://baike.baidu.com/item/%E7%9F%B3%E6%B2%B9%E5%8D%B1%E6%9C%BA/3602?fi=ge_al

开始为埃及提供经济和军事援助。多年来，埃及也逐步认识到与美国保持良好外交关系对于解决中东地区的诸多热点问题以及自己与以色列之间的许多矛盾争端都是非常必要的^①，在政治、军事等诸多方面，埃及与美国保持了良好的外交关系。近期，美国又向埃及提供了 13 亿美元的军事援助，以便埃及能在本轮巴以冲突中发挥更大的斡旋作用^②，这反映出美国想对埃及进一步发挥影响力的意愿。但由于美国长期以来对以色列的一味偏袒，也使得包括埃及在内的中东诸国对美国心生不满。近几十年来，埃及历任领导人都非常重视中埃关系，中国提出“一带一路”倡议后，埃及通过多种方式和多个场合给予了积极响应，表示“一带一路”倡议与埃及的“2030 愿景”、“体面生活”倡议高度契合，共建“一带一路”符合中埃双方的共同利益。2024 年 1 月 1 日，埃及正式成为金砖合作机制的成员国，埃及期望通过金砖合作机制为自身发展创造更好的外部条件。当前世界格局正经历深刻调整，大国博弈加剧，在此背景下，中埃双方的各类务实合作不能忽视外部不利因素带来的各项挑战。

5.5 小结

“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式是在综合考虑了世界多个国家以及埃及过去的沙漠开垦经验的基础上提出的。模式旨在通过借助新一轮科技以及能源革命带来的新机遇，通过大规模发展“可再生能源 + 海水淡化”产业为埃及解决水资源困局提供可行方案，力图从根本上解决埃及面临的水资源总量严重不足的制约，并通过大规模的沙漠开垦为埃及农业发展、工业发展、城市建设提供基本条件，通过大力发展现代灌溉农业并努力实现埃及农业的规模化、集约化、产业化发展，通过埃及特色优势农业产业的培育提升埃及农业以及特色农产品在全球的竞争力、影响力，为埃及的经济发展提供新动力并为埃及的贫困人口脱贫提供更多机会。同时，借助埃及水资源供给模式和格局的变革，为埃及的城镇化发展以及国土布局的深刻调整提供基本物质支撑。本章还深入分析了中国在“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”领域取得了成就和积累的经验，全面揭示了中国积极参与埃及“能 - 水 - 沙 - 农 -

① 《穆巴拉克时期埃及与美国关系研究》，王振琴，兰州大学硕士研究生学位论文，2014.5.

② <https://apnews.com/article/egypt-us-military-aid-human-rights-blinken-416c7e79e287c8ff937ba7b7a0be515d>

城”实践的能力和机遇。“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式的实践过程也是埃及积极探索适合埃及国情的发展道路的过程,只有牢牢把握埃及社会的根本需求“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式才能具有强大生命力,才能不断克服各种困难,持续为埃及社会带来更大价值。

6. 结语

埃及是中东北非地区具有重要影响力的区域性大国。近些年，随着经济的发展、城市化进程的推进、人口的快速增加以及全球气候变化带来的不利影响，埃及自身面临了严重的水资源短缺、粮食短缺、土地资源不足、国土发展空间不足等诸多因素的制约，国家的长治久安和可持续发展面临巨大压力。为此，多年来埃及政府也采取了一系列的措施，实施了多项重大项目，为解决上述重大挑战进行了不懈的努力和探索，但仍没有从根本上解决上述问题。鉴于当前全球能源科技快速发展，尤其是新能源发电技术的进步与普及，水处理技术的进步以及经济全球化带来的重大机遇，这些都为埃及全面系统的解决上述重大挑战提供了重要的历史机遇。基于以上考虑，本文在充分借鉴多国沙漠治理和灌溉农业发展经验的基础上，系统分析了在埃及实施“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式的可行性、必要性以及面临的重要机遇和挑战，旨在为埃及实现国家经济持续增长和可持续发展，民众福祉以及国家综合竞争力的提升提供思路。该模式充分利用了“能”、“水”、“沙”、“农”、“城”各产业领域间的逻辑关系，旨在通过打造全新的产业体系和价值创造体系，形成埃及社会经济发展的新引擎，实现对国家经济的持续拉动。同时，需要特别指出的是，“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式是一项涉及领域众多、持续时间长、规模浩大的系统性工程，需要包括政府、企业、民众在内的各种社会力量的大规模参与和长期的努力，而且必须要对实践中可能遇到的挑战和困难有充分的估计。模式的成功实施还需特别注意以下因素：

——要充分利用全球化和新一轮科技革命带来的机遇和优势

当今世界正处于百年未有之大变局中。全球化和科技革命的浪潮以前所未有的规模和力度深刻的改变了人类历史发展进程，并将继续影响和塑造人类未来的发展。近几十年来，全球化的迅猛发展极大的释放和提高了人类社会的生产力，促成了商品大流通、贸易大繁荣、资本大流动、科技大发展、人员大流动，形成了囊括众多国家的全球化产业链、价值链和供应链。从埃及的发展历程看，19世纪中叶以埃及棉花种植业的大爆发为标志，埃及便开启了融入全球经济体系的

历程。随后,伴随着苏伊士运河的开凿,埃及成为世界贸易体系中具有重要影响力的一环。尽管近代以来,埃及的全球化过程有着浓厚的殖民地色彩,但埃及从来没有放弃在全球化进程中实现国家独立自主发展的努力。20 世纪六十年代,埃及依靠前苏联的帮助修建了举世闻名的阿斯旺大坝,它为埃及农业的发展和国家安全提供了更为有利的物质条件,使埃及能够更为有效的抵御洪水、干旱等自然灾害,阿斯旺大坝也成为埃及走向现代化的重要标志性工程。如今,埃及的经济发展与全球经济体系有着更为密切的联系。天然气出口、旅游收入、侨汇以及苏伊士运河收入是目前埃及最为重要的获得国际收入的方式,它们对埃及经济和社会稳定起到了重要作用。在过去的几十年间,埃及政府和领导人也一直在希望能进一步利用全球经济一体化带来的机遇实现国家经济的发展。例如,埃及在 1995 年 6 月就已经申请加入了世界贸易组织,并积极支持减少关税壁垒还多次降低了进口关税。政府也通过制定法律、改善营商环境等措施来吸引外国投资者。但总的来说,当前埃及经济的国际竞争力还有待进一步提升。从全球范围看,近些年尽管反全球化思潮、贸易保护主义有抬头的趋势,一些国家也不断推出所谓“脱钩、断链”的政策,但纵览近代以来全球众多经济体走向成功的经验,无不是遵循对外开放原则,坚持积极融入全球化的市场体系,并借助全球市场的优势资源和机遇,包括技术、资金、人才等关键要素来不断壮大自己,打造属于自己的优势产业和独特竞争力。例如,埃及近些年就吸引了来自中东地区的大量主权基金的投资,这对埃及的经济稳定起到的非常重要的作用。再者,“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式的目标是充分发挥埃及的气候资源优势,通过规模化的沙漠开垦增加可耕种土地面积,提升埃及的粮食自给率,大幅度扩大经济作物种植面积,构建埃及全新的灌溉农业体系,提升埃及“长绒棉”的种植规模 and 市场份额,打造埃及“长绒棉”的国际新名片。同时通过其它各类高附加值经济作物的种植,借鉴美国加州“阳光农业”的先进经验,增加埃及农业品的总体出口规模,提升埃及经济的国际竞争力。所以说,在“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式的实践过程中,秉持开放、合作、共赢的理念是非常关键的,善于利用国际化的资源 and 市场空间是模式成功的重要条件。

——要充分利用中国崛起带来的历史性机遇

中国的崛起是当今世界格局的重要特征,也是全球南方崛起的重要标志之一。中国作为全球南方的当然一员,同广大全球南方国家一道,一直致力于践行真正

的多边主义，倡导平等有序的国际经济新秩序，致力于推动多极化、普惠包容的经济全球化。2013 年金秋中国政府提出了共建“一带一路”倡议，目前中国已同包括埃及在内的 150 多个国家和 30 多个国际组织签署了“一带一路”合作文件，“一带一路”倡议已成为最受欢迎的国际公共产品和最大规模的国际合作平台，也产生了丰硕的合作成果。此外，中国还积极推动了金砖合作机制并提出构建人类命运共同体的倡议，所有这些表明，中国的崛起代表着团结合作、开放共赢、平等尊重，代表着对奉行实力至上、恃强凌弱、巧取豪夺、零和博弈、结盟对抗的国际旧秩序的摒弃，代表着合作共赢，共享发展成果，让发展成果更多更公平地惠及各国人民，代表着告别赢者通吃和两级分化。因此，中国的崛起对于全球南方国家具有更为特别的意义，它为全球南方国家探索适合本国国情的强国富民道路提供了重要的借鉴和参考，也极大的增强了全球南方国家走自己的道路的信心和决心。目前，中国已是世界第二大经济体且已保持了多年的快速发展势头。中国已经建成了全球最为完备的工业体系，拥有强大的研发能力、生产能力、建设能力。中国在农业、水利、电力、水处理、城市建设等众多领域取得成就和积累的宝贵经验对于“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式的实践具有很高的借鉴价值，也是重要的物质支撑。“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式的实施也应把握以上新型国际秩序理念带来的历史性机遇，谋求合作共赢。从另一方面来看，“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式对于中国自身来说也是重要发展机遇。中国的各类机构、企业等积极践行“走出去”战略，参与埃及市场“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式的实践，也有利于展现自身特长，进一步拓展自身的市场空间，同时也是以具体行动表明了中国构建人类命运共同体的坚定决心。“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式涉及了新能源发电、海水淡化、污（废）水处理、水利建设、沙漠开垦、灌溉农业开发、农产品加工处理、城市建设等众多领域，中国企业参与埃及市场的“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”的具体实践要注意发挥体系化优势，加强产业链、价值链上下游的有效配合，充分体现“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式的内在的系统性关系，将中埃双方在“能 - 水 - 沙 - 农 - 城”模式下的互惠合作产生最大效益，造福两国人民。

综上，近些年来，尽管埃及社会和经济的全面发展面临着水资源短缺、土地资源不足、国家发展空间不足等问题的制约，但全球科技进步和新产业的发展又为埃及应对上述挑战提供了重要机遇，全球化时代全球南方国家的互惠合作又为埃及实现发展目标提供了强大助力。中国国家主席习近平曾提出“要进行伟大斗

争、推进伟大事业、实现伟大梦想”。埃及要解决自身发展中面临的上述重大挑战，实现国家的可持续发展，让更多埃及人过上更加体面的生活就是埃及的伟大事业，伟大梦想。在埃及为实现伟大梦想而奋斗的历程中，中国有能力也有意愿为埃及的发展添砖加瓦，共谋发展。