

地热资源勘探开发技术与发展方向

孙焕泉¹, 毛 翔^{2,3}, 吴陈冰洁^{2,3}, 国殿斌^{2,3}, 王海涛⁴,
孙少川^{2,3}, 张 英⁴, 罗 璐^{2,3}

- (1. 中国石油化工集团有限公司;
2. 中国石化集团新星石油有限责任公司;
3. 中国石化地热资源开发利用重点实验室;
4. 中国石化石油勘探开发研究院)

摘 要: 地热资源是重要的非碳基可再生能源, 具有本土能源、稳定可靠、绿色低碳等优势。21 世纪以来, 我国地热直接利用规模稳居世界首位, 特别是中深层地热供暖利用快速增长, 成为我国在世界地热产业中的鲜明特色。但与此同时, 受限于我国绝大部分地区处于板块内部, 东部用能旺盛区尚没有规模中高温地热资源发现, 我国地热发电产业发展缓慢。基于对我国地热资源分布特征和开发利用情况的分析, 总结归纳了我国中深层地热勘探开发利用技术现状, 包括地热系统形成机制、选区评价技术、热储描述技术、可持续开发技术及“取热不耗水”关键工程技术等。地热能若要在能源转型中发挥更重要作用, 未来需要向品位更高、应用范围更广的深层地热资源进军。建议持续加强基础理论研究和原始技术创新, 尽快摸清我国深层地热资源家底, 攻关高温钻完井、复杂结构井、深层热储改造、井下换热、干热岩 EGS 工程等关键技术, 推进“地热+”多能协同, 加大示范项目建设和应用市场培育。同时, 需要建立健全政策法规制度体系, 加大政策支持和管理监督力度, 为地热产业健康、规范、可持续发展营造良好的环境。

1 背景介绍

地热资源是指地球内部的热能及其相关流体和有用成分, 这些资源可以被人类经济地开发利用。根据温度的不同, 地热资源可以分为高温资源(温度在 150 摄氏度以上)、中温资源(温度在 90 至 150 摄氏度之间)以及低温资源(温度低于 90 摄氏度)。从埋藏深度和存在形态来看, 地热资源又被划分为浅层地热资源(深度不超过 200 米)、中深层地热资源(深度在 200 至 3000 米之间)以及深层地热资源(深度超过 3000 米), 其中中深层和深层资源还包括水热型和干热岩型地热资源。地热能是地热资源的核心部分, 它存在于地球内部的岩石、土壤、流体和岩浆中, 具备储量庞大、普遍存在、稳定可靠等特性。地热能的应用范围广泛, 包括发电、供暖(制冷)、温泉疗养、工业用途等, 作为五大非碳基可再生能源之一, 在全球能源转型和减少温室气体排放的过程中扮演着关键角

色。根据《中国地热能发展报告(2018)》的数据, 全球地热能基础资源总量达到 1.25×10^{27} 焦耳, 其中 5 千米以浅的地热能基础资源量为 1.45×10^{26} 焦耳, 相当于 4.95×10^7 亿吨标准煤; 这些可开发利用的地热资源潜力主要集中在亚洲、北美洲和南美洲, 占全球的 70% 以上。

地热资源作为一种关键的非化石可再生能源, 在我国的能源结构转型中扮演着越来越重要的角色。2021 年, 我国非化石能源在一次能源消费中的占比达到了 16.6%, 并且根据国务院发布的《2030 年前碳达峰行动方案》, 我国计划到 2030 年将非化石能源的消费比重提升至大约 25%。为了实现这一目标, 地热能的开发已被纳入国家战略。2021 年, 国家发改委等部门发布了《关于促进地热能开发利用的若干意见》, 旨在到 2025 年使地热能供暖(制冷)面积比 2020 年增长 50%, 并使全国地热能发电装机容量翻一番。到

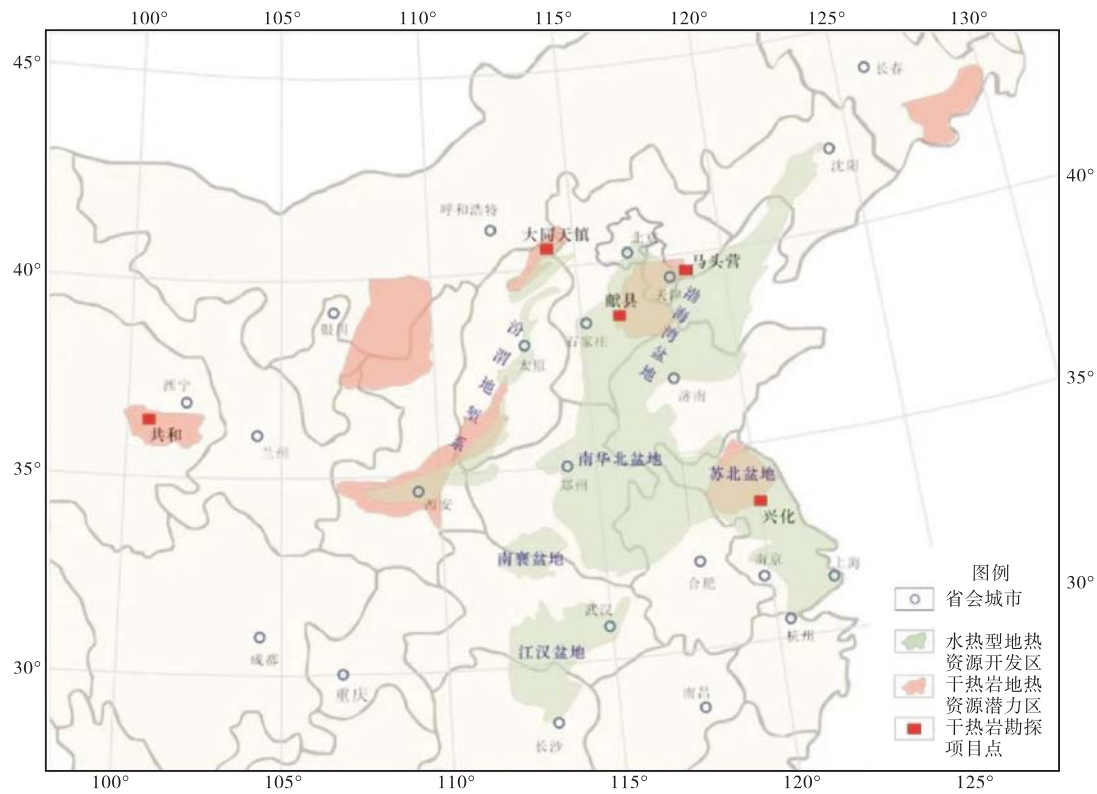
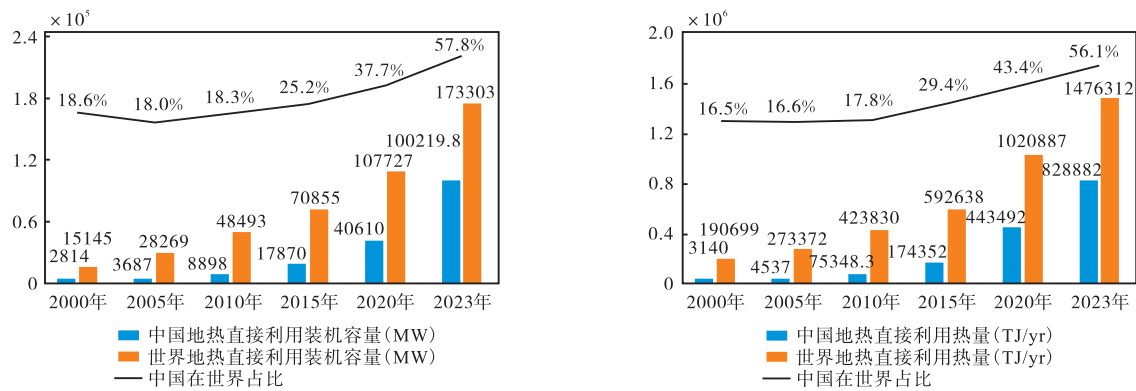


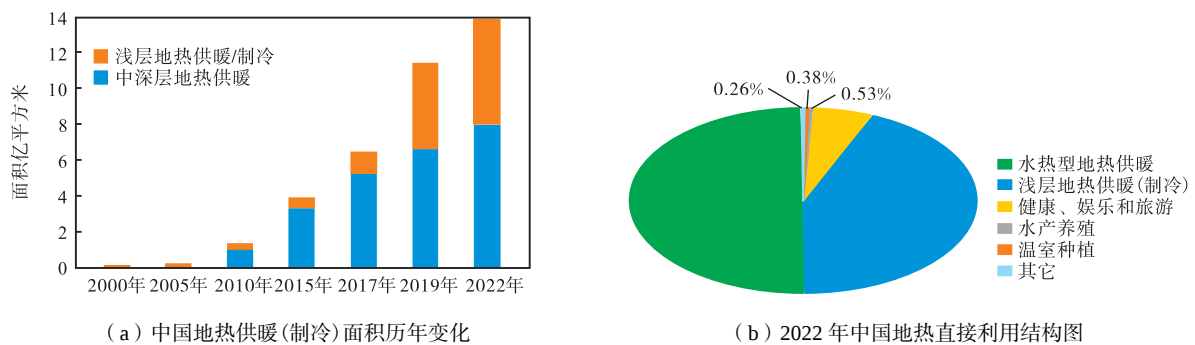
图1 我国中东部地热资源主要开发区域分布图



(a) 直接利用装机容量变化

(b) 直接利用热量变化

图2 21世纪以来中国地热直接利用装机容量和直接利用热量变化



(a) 中国地热供暖(制冷)面积历年变化

(b) 2022年中国地热直接利用结构图

图3 中国地热供暖(制冷)面积历年变化;2022年中国地热直接利用结构图

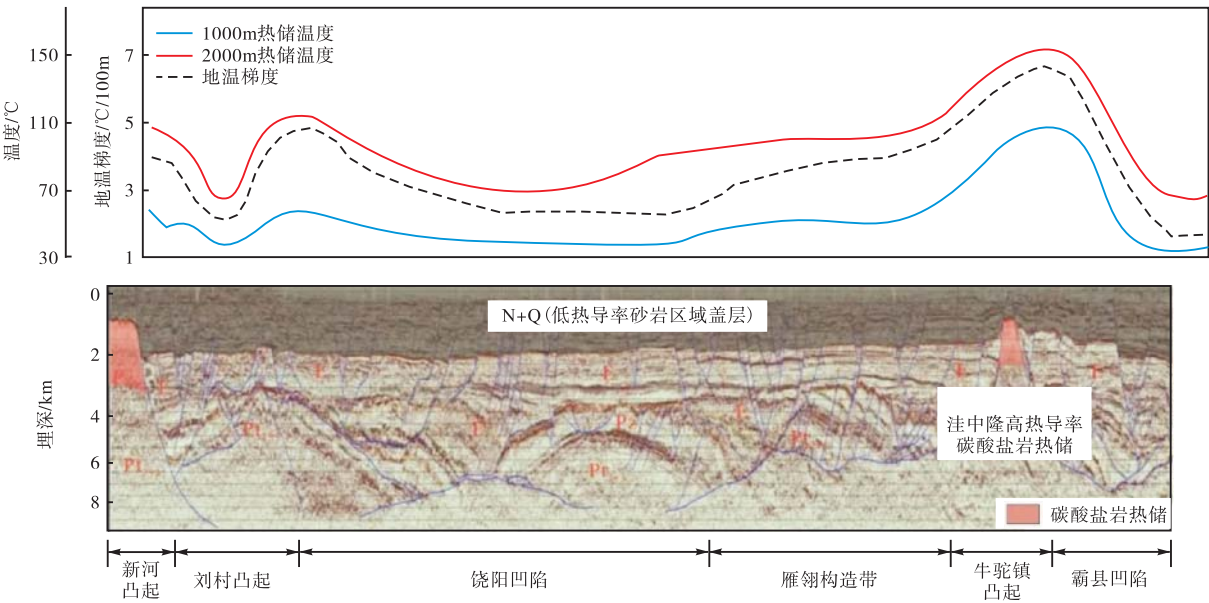


图4 我国京津冀地区典型地热地质剖面

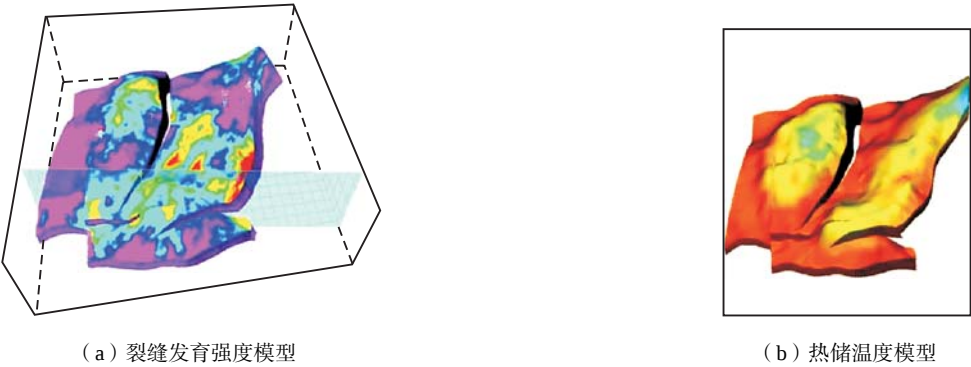


图5 雄安新区蓟县系雾迷山组碳酸盐岩热储建模成果图

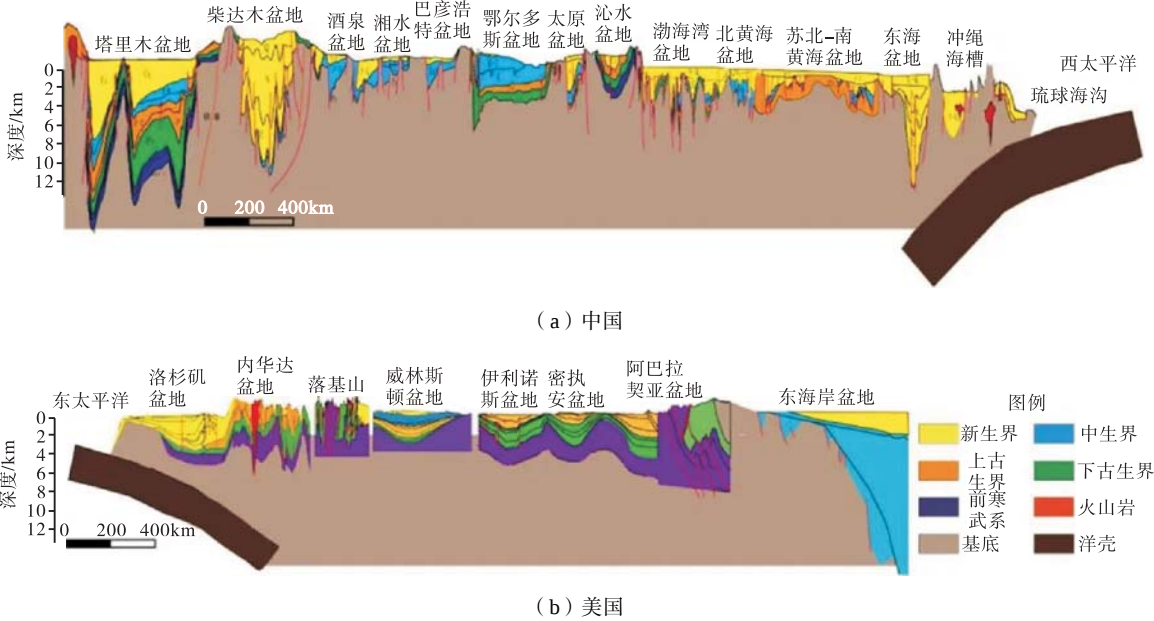
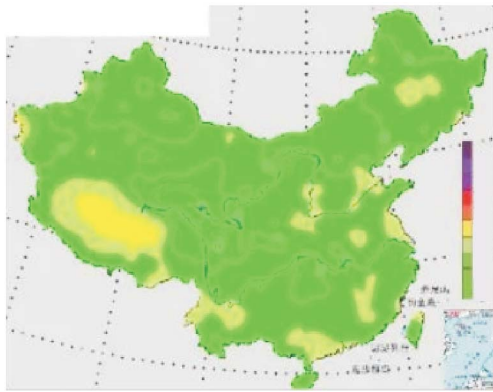
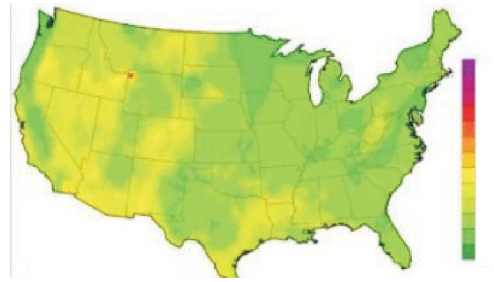


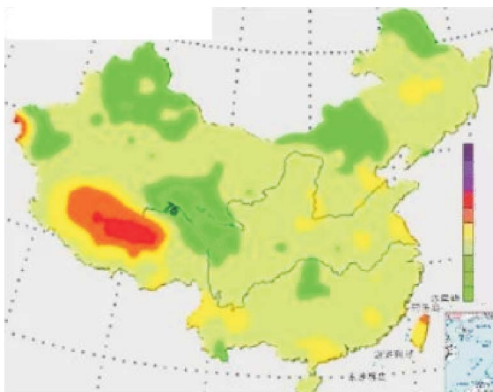
图6 中美大陆地区纬向剖面图



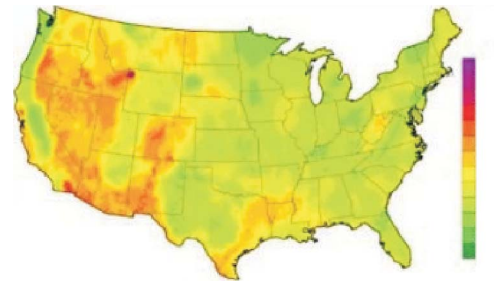
(a) 中国 3.5km 深度地层温度



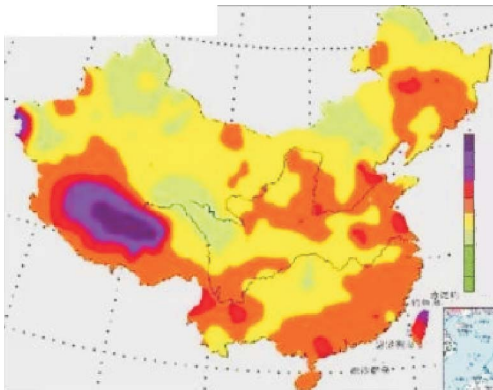
(b) 美国 3.5km 深度地层温度



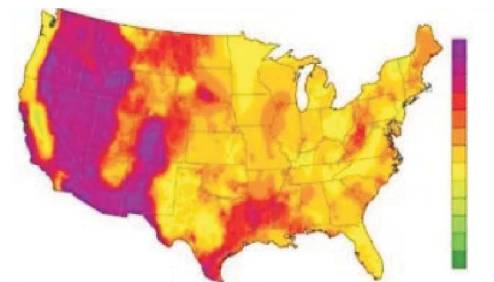
(c) 中国 5.5km 深度地层温度



(d) 美国 5.5km 深度地层温度



(e) 中国 10km 深度地层温度



(f) 美国 10km 深度地层温度

图 7 中美大陆地区 3.5km、5.5km、10km 温度对比图(单位: °C)

2035 年,这两项指标都力争比 2025 年再翻一番。习近平总书记在 2022 年 1 月的中共中央政治局集体学习中强调了加快发展包括地热能在内的新能源的重要性。同年 6 月,国家发改委和能源局等部门联合发布的《可再生能源发展“十四五”规划》中,也提出了“积极推进地热能规模化开发”的目标,这涵盖了中深层地热能供暖制冷、浅层地

热能开发以及地热能发电等多个方面。

我国已稳居全球地热能直接利用的领先地位,无论是浅层还是中深层地热资源的利用都位居世界前列。根据 2023 年世界地热大会发布的数据,中国在全球地热直接利用装机容量中占比高达 57.8%,使用的热量也占到了全球总量的 56.1%。得益于理论和技术的不断创新突破,我国

的地热能得到了规模化的工程应用[7],尤其是中深层水热型地热资源在供暖领域的应用不断扩大,对北方地区的清洁供暖和大气污染防治起到了显著作用。在干热岩和增强型地热系统(EGS)的开发上,已在青海共和、琼北、河北唐山马头营等地进行了钻探、热储改造和试验性发电的相关工作(图 1)。尽管目前地热发电的发展速度较慢,但由于其能够同时承担稳定基础负荷和调峰负荷的功能,预计在未来以新能源为主的电力系统中将扮演更加重要的角色。总体来说,科学、高效、可持续地开发地热资源,对于确保国家能源安全、加速构建清洁、低碳、安全、高效的能源体系,具有重大的战略和现实意义。

2 结 论

(1) 地热资源作为一种关键的非碳基可再生能源,在确保国家能源安全和推动实现碳达峰、碳中和目标方面扮演着重要角色。我国在地热能直接利用方面已取得显著成就,截至 2022 年底,地热直接利用的装机容量已达到 100219.80 兆瓦。尤其是中深层水热型地热供暖,已成为地热直接

利用的主流方式,在北方地区的清洁供暖和大气污染防治中起到了关键作用。

(2) 我国在中深层水热型地热资源的勘探与开发技术方面已有初步成果。在勘探领域,已建立了以隆起和凸起区为重点的优质碳酸盐岩地热资源勘探策略和多尺度选区评价方法。在开发技术上,已形成了以三维地质建模为工具的热储评价技术、基于多场耦合传热原理的地热可持续开发技术,以及实现“取热不耗水”的关键工程技术。

(3) 未来地热产业的发展将朝向开发更高品质、更广应用场景的深层地热资源。为此,需持续加强基础理论和技术创新,加快掌握我国深层地热资源的详细情况,并解决高温钻完井、复杂结构井、深层热储改造、井下换热、干热岩 EGS 工程等关键技术问题,推动地热与其他能源的协同发展。

(4) 为了促进地热产业的健康、规范和可持续发展,国家应当制定相应的法律法规和支持政策,并完善管理制度体系,以营造一个有利于地热产业发展的良好环境。

转自《地学前缘》中国地质大学 2024, Vol.31, No.1

山东出台每口地热井最高支持 100 万元行动计划

地热加 报

山东省人民政府发布《“十大创新”“十强产业”“十大扩需求”行动计划(2024—2025 年)的通知》,“三个十大”行动计划工程化、项目化、清单化特色突出,着眼 2024、2025 两年,分年度拉出目标任务,每项重点任务、每条推进措施都逐一落实到牵头部门和配合部门。

“三个十大”行动计划是山东省着力塑造全省绿色低碳高质量发展“十个新优势”的关键抓手。山东省委、省政府坚持以推进“十大创新”构筑高质量发展强劲引擎,以壮大“十强产业”加快构建现代化产业体系,以实施“十大扩需求”增强经济发展内生动力,系统谋划思路举措和突破路径。

《通知》强调,提速发展清洁能源,加大能源绿色低碳发展支持力度。推进中深层地热能项目建设,按照“先建设、后补贴”原则,省级与项目所

在市给予一定资金补贴。围绕中深层地热能开发,在济南、东营、德州等重点市,建成一批“地热能+”多能互补、地热能供暖“低碳社区”等标杆工程;筛选不超过 100 口建设规范、技术先进、示范效果显著的中深层地热井,对每口井最高支持 100 万元,以点带面促进中深层地热能开发利用。充分发挥浅层地热能技术成熟、适用广泛优势,加大供暖(制冷)推广应用;将符合条件的新建小区浅层地热能项目,纳入省级重点项目库,给予电价支持。

《通知》还提出,推进绿色能源智慧开发。依托五大清洁能源基地建设,系统开展数字化智能化集成创新。加强数字技术在生物质能、氢能、地热能、抽水蓄能等领域的应用,促进可再生能源开发利用。

下转第 27 页