

# 中国地热资源概况及开发利用建议

李文，孔祥军，袁利娟，高剑，沈鹏飞，冯浩，郝伟俊，何云成  
(北京市地热研究院，北京 102218)

**摘要：**地热资源是一种绿色低碳、可循环利用的可再生能源。我国地热资源丰富、分布范围广，可开发利用潜力巨大。本文在介绍我国地热资源类型、高中低温地热资源分布规律、我国地热资源在实际可开发利用能力的基础上，分析我国当前地热资源开发利用的现状，并建议我国加紧制定具有针对性的扶持政策，积极推动地热行业整体发展；加大针对地热行业的监管力度，确保地热资源可持续的发展；鼓励地热领域的科技创新，提高相关的技术水平，加速针对中低温地热资源和干热岩方向的研究；拓宽地热资源多领域的应用，建立地热资源的阶梯利用体系。

**关键词：**地热资源；开发利用；建议

中图分类号：P314 文献标识码：A 文章编号：1004-4051(2020)S1-0022-05

## General situation and suggestions of development and utilization of geothermal resources in China

LI Wen, KONG Xiangjun, YUAN Lijuan, GAO Jian, SHEN Pengfei, FENG Hao,  
HAO Weijun, HE Yuncheng  
(Beijing Geothermal Institute, Beijing 102218, China)

**Abstract:** Geothermal resources is renewable energy with the characteristics of low-carbon and recyclable. In China, geothermal resources are abundant and widely distributed, with great potential for development and utilization. Based on the introduction of the types of geothermal resources, the distribution law of geothermal resources in high, middle and low temperature, and the actual exploitable capacity of geothermal resources in China, this paper analyzes the current situation of the development and utilization of geothermal resources in China, and suggests that China should speed up the formulation targeted support policies to promote the development of the overall geothermal industry actively; to strengthen the supervision of geothermal industry to ensure the sustainable development of geothermal resources; to encourage scientific and technological innovation in the field of geothermal, improve relevant technical level, and accelerate the research on medium and low temperature geothermal resources and dry hot rocks; to broaden the application of geothermal resources in many fields, and establish a ladder utilization system of geothermal resources.

**Keywords:** geothermal resources；development and utilization；suggestion

地热资源是绿色、可再生清洁能源的典型代表，其储量大、分布广、稳定性好、利用系数高的特点，使其在现今可利用的清洁能源中具有相当强的竞争力。据不完全统计，地球内部的整体热量约为已知

全球煤炭总储量的 1.7 亿倍，其中，实际可利用的热量相当于 4 948 万亿 t 标准煤。在资源紧张、环境污染制约着经济可持续发展的今天，充分了解我国地热资源特点，合理开发利用现有地热资源是缓解

能源供给压力,保障经济建设持续高速、可持续发展的有效途径。

## 1 地热资源概况

### 1.1 地热资源分类

地热资源是指赋存在地球内部岩土体、流体和岩浆体中,满足现阶段经济要求,可被人类开发和利用的热能。目前可利用的地热资源主要包括:天然出露的温泉、以热泵技术开采利用的浅层地温能、通过人工地热井直接开采的地热流体及干热岩中的地热资源。

地热资源通常以热储介质、构造成因、水热传输方式等因素划分为不同类型。其中,以热储介质进行划分,可分为孔隙型、裂隙型和岩溶裂隙型;以构造成因划分,可分为沉积盆地型和隆起山地型;以水热传输方式划分,可分为传导型和对流型。在结合常用划分类型的前提下,进一步综合考虑地热温度范围、可被开发利用方式等相关重要影响因素,通常将地热资源分为浅层地温能、水热型地热能和干热岩型地热能三种类型(表 1)。

表 1 地热资源分类

Table 1 Geothermal resources classification

分类	浅层地温能	水热型地热能			
		低温地热能	中温地热能	高温地热能	干热岩
温度	深度<200 m	温度<90 ℃	90 ℃≤温度<150 ℃	温度>150 ℃	温度>200 ℃
范围	温度<25 ℃	90 ℃	150 ℃	150 ℃	200 ℃

浅层地温能是蕴藏在岩土体、地下水和地表水中具有开发利用价值的低位热能,其可开采深度通常小于 200 m,地温普遍低于 25 ℃<sup>[1]</sup>,又被称作浅层地热能。浅层地温能主要控制影响因素是浅层地温场,其赋存成因是基于地下 200 m 深度内与近地表处的温度差值而形成的能量<sup>[2]</sup>,主要包括浅层岩土体、地下水以及相关地表水所包含的热能<sup>[3]</sup>。现阶段浅层地温能多采用地埋管热泵系统、地下水水源热泵系统等相关技术进行利用,通过冬、夏两季反向温度补给实现地温场的动态平衡,从而保证系统的长期循环可利用,主要用于城市冬季供暖和夏季制冷。

水热型地热能是通常所说的深部地热资源,泛指赋存在埋藏深度较深的天然地下水及其水蒸气中的地热资源。根据温度差异可分为:高温地热资源(温度≥150 ℃)、中温地热资源(90 ℃≤温度<150 ℃)以及低温地热资源(温度<90 ℃)。水热型地热资源

量十分巨大,具有很好的开发利用价值,是现阶段地热勘查开发利用的常规资源。据统计,我国已知中深层水热型地热资源量约为国内浅层地温能资源量的 100 倍。

干热岩是指其热能在满足现有经济技术条件要求,可被开发利用的,且自身不含或仅含少量流体,温度不低于 180 ℃的岩体,常又称作增强型地热系统,或工程型地热系统。现阶段,较为常见的干热岩是多种变质岩或结晶岩类岩体,其中包括黑云母片麻岩、花岗岩、花岗闪长岩等。干热岩的开发利用简单说就是通过注水井(回灌井)高压注水形成人工制造的面状热储构造,通过注入低温水使其沿裂隙运移,并与周围的高温岩石进行热交换,再将产生的高温高压水或水汽混合物从生产井中采出并进行利用,最后通过注入井将利用后的尾水返回地下,以此形成闭合回路。现阶段,由于深部勘查、深部钻头、人工造储等技术的限制,干热岩的利用还未实现完全的规模化和商业化,但欧洲针对干热岩的增强型地热系统技术发展相对较快,全球在运行的增强型地热系统项目共计 14 个,其中 10 个分布于欧洲各国<sup>[4]</sup>。

### 1.2 全球地热资源分布

受大地构造运动等诸多因素影响,在全球范围内地热资源的分布是极度不平衡的。按温度划分,高温地热资源主要集中在板块生长、开裂的大洋扩张脊和板块碰撞、衰亡的消减带部分,同时少数存在于部分板块内部常出现高温活动的热点、热柱处。而中低温地热资源则广泛分布在各板块内部,主要存在于由褶皱山系及山间盆地等构成的地壳隆起区和以中新生代沉积盆地为主的沉降区内。

高温地热资源整体分布具有明显的不均一型,根据各板块界面的地理分布和自身的力学特征,可将全球高温资源划分为 4 个高温地热带(图 1),即环太平洋地热带、地中海-喜马拉雅地热带、红海-亚丁湾-东非裂谷地热带和大西洋中脊地热带<sup>[5]</sup>。

环太平洋地热带位于太平洋板块分别与欧亚板块、印度板块、美洲板块的碰撞边界处,可分为 3 个地热亚带,包括东太平洋中脊、西太平洋岛弧及东南太平洋缝合线。其已知分布范围包括阿留申群岛、勘察加半岛、千岛群岛、日本、中国台湾地区、菲律宾、印度尼西亚、新西兰、智力墨西哥以及美国西部。该地热带热储温度在 250~300 ℃ 范围内较为常见,并具有高温热流显著、造山活动年轻和活火山活动强烈等特征。分布于此地热带的较为著名的地热田包括美国的盖瑟尔斯、长谷、罗斯福;墨西哥的赛罗、

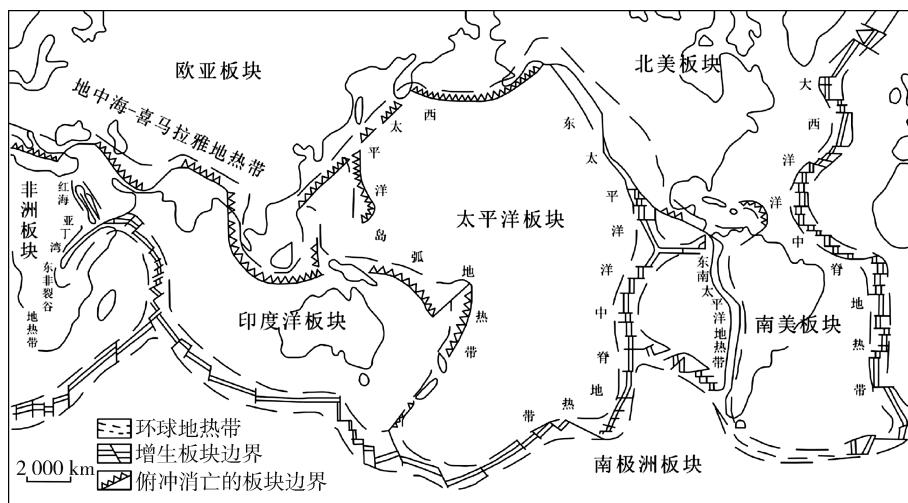


图 1 环球地热带分布

Fig. 1 Distribution of the global geothermal resources zones

普列托；新西兰的怀腊开；中国的台湾马槽；日本的松川、大岳等。地中海-喜马拉雅地热带位于欧亚、非洲及印度洋等大陆板块碰撞边界处。其分布范围西起意大利，向东延伸到土耳其、巴基斯坦直至中国云南省西部。该地热带，其主要的成因构造特征包括年轻的造山运动、现代火山作用以及岩浆侵入显著等。在此地热带中较著名的地热田包括建有世界第一座地热发电站意大利的拉德瑞罗地热田，中国云南腾冲地热田以及中国西藏羊八井。红海-亚丁湾-东非裂谷地热带位于阿拉伯板块与非洲板块的边界处，北起红海沿岸中脊扩张带，南至亚丁湾，其间与东非大裂谷连接，其中主要包括吉布提、埃塞俄比亚、肯尼亚等多国的大小地热田。该地热带热储温度普遍超过 200 °C，并以显著的断裂活动、高热流以及现代火山作用为主要特征。大西洋中脊地热带位于大西洋板块开裂部位，绝大部分存在于大洋底部，其位于洋中脊出露海面的部分主要在美洲、欧亚、非洲等板块边界处展布，较著名的地热田包括冰岛的克拉弗拉、纳马菲雅尔和雷克雅未克等高温地热田。该地热带热储温度多在 200 °C 以上，具有热流温度高、高温地热活动强烈、活火山作用以及地震活动频繁等特征。

### 1.3 中国地热资源分布

我国已知地热资源丰富，已探明资源总量约占全球地热资源总量的 8%，相当于 4 000 多亿 t 标准煤<sup>[6]</sup>。受区域地层构造和水文地质条件影响，整体以低温地热资源为主，且分布较为广泛，但整体分布并不均匀，具有较为明显的地带性和规律性。

我国水热型地热资源主要集中分布在东部地区、东南沿海、台湾、环鄂尔多斯断陷盆地、藏南、川

西和滇西等相关地区。受地中海-喜马拉雅高温地热带和环太平洋高温地热带控制，我国高温地热资源多分布于藏南、滇西、川西和台湾等地区，并形成了两个主要的高温地热区<sup>[7]</sup>：一是藏南-川西-滇西地区；二是台湾地区，其中，藏南和台西等地区的热流值最高，最高可达 300 mW/m<sup>2</sup>，平均值亦超 150 mW/m<sup>2</sup><sup>[8]</sup>。而我国中低温地热能则主要分布于诸如东部地区华北盆地、河淮盆地、松辽平原、苏北盆地、江汉平原以及西部环鄂尔多斯断陷盆地、西宁盆地等 15 个大型沉积盆地和山地的断裂带上，其区域性大地热流平均值为 80~30 mW/m<sup>2</sup> 不等。

浅层地温能和干热岩受其自身的形成机理影响，分布更为广泛，可利用范围更广，几乎遍及全国各地。其中，由于第四系松散层具有易钻进、富水性好等特点，区域内第四系松散岩层常作为开发浅层地温能的首选。而位于板块或构造地体边缘的火山活动频繁，或地壳较薄的地区则是干热岩开发利用潜力最大的地方。中国西部的滇西地区和东部台湾中央山脉两侧部位多出现强烈的水热活动，具有形成水热系统的必要条件和基础，是我国干热岩开发利用的主要靶区<sup>[9]</sup>。

### 2 我国地热资源开发利用潜力

我国地热资源的开发利用具有巨大的潜力和广阔的前景。目前可确定的地热田总数超 250 处，出露温泉总数多达 2 334 个，地热开采井成井总数超 5 800 口，已知水热型地热资源量折合标准煤超过 12 500 亿 t，年可开采量折合标准煤累计达 18.65 亿 t，已减少 CO<sub>2</sub> 排放量超 37 亿 t。其中，已探明高温地热资源量折合标准煤多达 141 亿 t，年可开采量折合标准煤累计为 0.18 亿 t，估算可发电量超 846 万 kW；

已探明中低温地热资源量折合标准煤超 12 300 亿 t,年可开采量折合标准煤累计超 18.5 亿 t,估算可发电量超 150 万 kW<sup>[10]</sup>。

根据统计分析原国土资源部的相关数据,我国浅层地温能资源总量折合标准煤超 95 亿 t,年可利用量折合标准煤累计约为 3.5 亿 t。通过合理有效的开发利用,年可节约标准煤有望达 2.5 亿 t,可减少 CO<sub>2</sub> 排放量可达 5 亿 t<sup>[11]</sup>。且结合浅层地温能的开发利用方式分析,在全国范围内地理管热泵系统适宜区占总面积的近 30%,较适宜区超 50%;地下水热泵系统适宜区占总面积的 11%,较适宜区占近 30%。现已分析确认,在全国 336 个地级或地级以上城市的土地面积中,超 80% 的土地面积是适宜利用浅层地温能对建筑物进行取暖和制冷的,这可充分说明我国有相当一部分城市和地区具有开发利用浅层地温能的条件和潜力。

在干热岩方面,我国已探明干热岩资源潜力巨大,已被列为最具潜力的战略替代能源之一。据分析证实,我国地下 3 000~10 000 m 范围内干热岩资源总量折合标准煤可达 860 万亿 t,其中温度介于 150~250 ℃ 间的干热岩资源折合标准煤为 215 万亿 t。若能将我国干热岩资源总量的 1% 进行合理利用,即相当于当前全国年资源消耗总量的 2 020 倍。

### 3 我国地热资源开发利用现状

我国对地热资源的开发利用向前可追溯至两千多年前,是较早利用地热的国家之一。在新中国成立后,国家高度重视对地热资源的利用,1956 年起,原地质部与卫生部联合开展了针对医疗热矿水的水文地质勘查,选择了地热地质条件较好的 15 处典型温泉,其中较为著名的包括北京小汤山、辽宁汤岗子、南京汤山、广东从化等。20 世纪 70 年代,地热资源的开发利用在我国掀起了第一次高潮,地热资源被大范围的应用在实际生产生活中。1977 年,西藏羊八井高温地热发电站成功建立,我国地热发电技术有了长足进步。我国地热资源现有的开发利用方式,根据利用方式可分为直接利用和发电两种。

#### 3.1 地热直接利用

在经济发展方式转变的推动作用下,我国地热资源的开发利用再现活力。我国已经形成了以供暖、医疗、洗浴为主体,水产养殖、温室种植为辅的地热资源综合利用体系。其中,用于洗浴和疗养的共占 47.55%,用于供暖的占 30.77%,其他占 21.68%。21 世纪以来,我国地热直接利用的年利用量以及地热直接利用的相关设备总容量连续多年稳居世界第一。

目前,我国正大力推进以地热资源代替传统资源为建筑物供暖的资源利用方式,以减轻资源供给压力,为环保助力。在全国范围内,超过 30 个省市区应用地热资源进行供暖,地热供暖总面积位居世界第一。现阶段,以水热型地热资源进行供暖的总面积达 4.3 亿 m<sup>2</sup>,而已开发的浅层地温能则主要用于供暖制冷。据不完全统计,截至 2017 年,沈阳市应用浅层地温能供暖面积超 5 000 万 m<sup>2</sup>,北京市超 2 000 万 m<sup>2</sup>,全国总利用面积超 1 亿 m<sup>2</sup>。随着地热行业技术水平的提高,深层换热体系、酸化压裂技术等相关技术方法的出现,地热资源利用效率有了明显提高。近十年,我国地热资源利用的平均年累计增长率近 30%,远高于世界增长速度。

#### 3.2 地热发电

我国地热发电可追溯至 20 世纪 70 年代,曾先后建立建成 7 个中低温地热发电厂,分布在广东邓屋、湖南灰汤、河北郝窑、山东招远、辽宁盖县、广西象州及江西宜春等地,并在西藏阿里地区、那曲地区以及著名的羊八井建成了 3 个高温地热发电厂。现阶段除广东邓屋 300 kW 的试验电站和西藏羊八井 25.18 MW 的高温地热发电厂继续运行,其余各发电站受发电量较小、产气量不足、无连接地区电网或机组老化等原因影响已陆续关停。目前,我国地热发电仍维持在装机容量 24.78 MW,年发电量约为 1.3×10<sup>8</sup> kW·h,位居世界第 15 位。

### 4 我国地热资源开发利用建议

我国地热资源自身条件优越,储量丰富,分布范围广,开发利用潜力巨大,但现今整体行业发展水平尚处在起步阶段,资源开发利用程度仍需进一步提高。为了使地热资源得到更好地开发利用,提高其整体利用效率,达到缓解能源需求压力的目的,本文提出如下观点。

#### 4.1 制定扶持政策,带动行业发展

地热资源作为绿色环保新能源,具有初期投资大、风险高、成本收益慢等特点,严重制约着地热行业的发展。因此,需要国家在鼓励开发利用绿色能源的同时,建立完善相关的法律法规,制定具有针对性的扶持政策,带动地热行业的发展。对利用地热资源进行供暖、发电、种植或养殖的企业和单位加大优惠政策倾斜,并给予一定程度的财政支持,调动相关企业和单位的自主性和积极性,使得整个地热行业不断向前发展和进步。

#### 4.2 加大监管力度,确保持续发展

由于针对地热资源的管理责任不清、监管力度不严等原因,导致部分地区还存在勘查不规范、利用

不合理的现象,对水热型地热资源的利用还存在只采不灌或多采少灌的现象,这严重影响了地热资源的高效可持续利用。现今,地热资源已被划分在矿产资源范畴内,属于能源矿产的一种。在其勘查、开发和利用的过程中应明确监管主体,加大监管力度,切实做到科学勘查、合理开发、高效利用,严格控制地热开采井和回灌井的比例,确保地热资源的可持续发展。

#### 4.3 鼓励科技创新,提高技术水平

在技术层面上,我国地热资源的开发利用遇到了诸如科学技术水平较低、施工方法手段有限等问题,导致在开发利用过程中难以充分利用我国现有的地热资源,实现地热资源的高效利用。加强科技创新是地热资源开发利用的必要条件,以技术带动发展是解决地热资源开发利用程度不足的最有效的办法。

1) 加速针对中低温地热资源的技术研究。我国针对中低温地热资源的开发利用程度相对较差,高温地热资源无论是在直接利用还是在地热发电中都更受偏爱,而我国中低温地热资源更为普遍且潜力巨大。应加速推进针对中低温地热资源的相关技术研究,并参考诸如热伏中低温发电等国际前沿的技术原理,力求充分合理的利用我国中低温地热资源。

2) 尽快开启针对干热岩的技术研究。干热岩的发展前景良好,其热能蕴藏量大、温度高、系统稳定的特点极具吸引力。目前,世界上许多国家都开始了针对干热岩的试验和研究,而我国对干热岩的勘查开发利用总体还处于空白<sup>[12]</sup>。尽快开启针对干热岩的技术研究,攻克相关技术难题,使干热岩中的热能得到充分合理利用,将对我国能源结构调整起到质的改变。

#### 4.4 拓宽地热应用领域,建立阶梯利用体系

我国地热资源的用途主要集中于洗浴和供暖,少数地区用于种植、养殖等其他方面。总结其整体利用方式仍存在结构单一,利用效率不高等问题,未能全面发挥地热资源的功能作用。我们应在实际利用中,做好利用规划,扩大地热资源的应用领域范围,并建立阶梯利用体系。依据地热资源的温度情况,首先可将高温地热资源用于供暖和发电等高消耗方向,再用于洗浴、种植、养殖等低消耗方向,从而形成阶梯利用体系,实现对地热资源的充分利用,避免浪费的现象发生。

#### 参考文献

- [1] 刘爱华,郑佳,李娟,等.浅层地温能和地热资源评价方法对比[J].城市地质,2018,13(2):37-41.
- [2] 奚英波,郑桂森,卫万顺.浅层地温能资源开发利用发展综述[J].地质与勘探,2013,49(2):379-383.
- [3] LUAN Yingbo, ZHENG Guisen, WEI Wanshun. Review of the shallow geothermal energy resources development and utilization[J]. Geology and Exploration, 2013, 49(2):379-383.
- [4] 周总瑛,刘世良,刘金侠.中国地热资源特点与发展对策[J].自然资源学报,2015,30(7):1210-1221.
- [5] ZHOU Zongying, LIU Shilinag, LIU Jinxia. Study on the characteristics and development strategies of geothermal resources in China[J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(7):1210-1221.
- [6] 郑人瑞,周平,唐金荣.欧洲地热资源开发利用现状及启示[J].中国矿业,2017,26(5):13-19.
- [7] ZHENG Renrui, ZHOU Ping, TANG Jinrong. Current status and enlightenments of geothermal development in Europe[J]. China Mining Magazine, 2017, 26(5):13-19.
- [8] 徐世光,郭远生.地热学基础[M].北京:科学出版社,2009:103-113.
- [9] 尹玉龙.中国地热资源及其潜力评估[J].科技与创新,2018(5):57-58.
- [10] YIN Yulong. Assessment of geothermal resources potential of China[J]. Science and Technology & Innovation, 2018(5):57-58.
- [11] 陈墨香,汪集旸.中国地热研究的回顾和展望[J].地球物理学报,1994(S1):320-338.
- [12] CHEN Moxiang, WANG Jiayang. Review and prospect on geothermal studies in China[J]. Chinese Journal of Geophysics, 1994(S1):320-338.
- [13] 刘江科.中国地热资源及其潜力评估[J].中国高新技术企业,2016(33):134-136.
- [14] LIU Jiangke. Assessment of geothermal resources potential of China[J]. China High-Tech Enterprises, 2016(33):134-136.
- [15] 赵阳升,万志军,康建荣.高温岩体地热开发导论[M].北京:科学出版社,2004:191-198.
- [16] 王贵玲,张薇,梁继运,等.中国地热资源潜力评价[J].地球学报,2017,38(4):449-459.
- [17] WANG Guiling, ZHANG Wei, LIANG Jiyun, et al. Evaluation of geothermal resources potential in China[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2017, 38(4):449-459.
- [18] 白雪华,孙君,刘秋晓.完善我国地热能资源开发利用工作的建议[J].矿产保护与利用,2014(5):4-7.
- [19] BAI Xuehua, SUN Jun, LIU Qiuxiao. Proposal on improving of development and utilization of geothermal energy resources in China[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2014(5):4-7.
- [20] 冉恒谦,冯起赠.我国干热岩勘查的有关技术问题[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(10):17-21.
- [21] RAN Hengqian, FENG Qizeng. Some technical issues on hot dry rock exploration in China[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010, 37(10):17-21.