

# 国内外地热产业发展现状与展望

■ 庞忠和 罗霖 龚宇烈

## 地热能以及地热资源

地球内部蕴藏着巨大的热量,即地球内热。地球内热来自两个途径:一是在地球形成之初宇宙物质的重力势能转化来的热,这些在地球形成之后没有耗散完的剩余部分热至今仍然储藏在地核与地幔之中;二是地球内部的放射性同位素元素衰变产生的热。放射性元素生热是地球内热的重要组成部分,地热能其实也是天然的核能转化而来的。

地热资源是指地球内热中在现有经济技术水平下可以为人类开发利用的部分。按照空间分布和赋存状态,地热资源可以分为以下三类:浅层地热资源、水热型地热资源、干热岩地热资源。

地热是清洁能源,基本上不排放污染物。地热取之于地球内热,是一种可再生能源。地热的优势主要表现为三个方面:(1)资源量巨大。我国水热型地热资源每年可开采量折合标准煤 19 亿吨,相当于我国 2015 年煤炭消耗的 50%,全国 336 个地级以上城市浅层地热资源每年可开采量折合标准煤 7 亿吨,相当于我国 2015 年煤炭消耗的 19%,埋深在 3~10km 的干热岩资源量折合标准煤 856 万亿吨;(2)热源连续稳定,利用效率高。在可再生能源大家族中,地热发电的能源利用效率最高(平均 73%),可作为基础负荷;(3)CO<sub>2</sub>减排优势明显。与传统的锅炉供暖相比,基于热泵技术的地热供暖其 CO<sub>2</sub>排放量减少 50%;若热泵所耗电力来自清洁能源,则没有 CO<sub>2</sub>排放。

全球一共有四个地热带,分别是:大西洋中脊地热带,东非裂谷地热带,环太平洋地热带以及地中海-喜马拉雅地热带。我国处于两个全球

性地热带上,西南地区的喜马拉雅地热带是地中海-喜马拉雅地热带的一段,而东部的台湾地热带则属于环太平洋地热带的一部分。除此之外,全国其他地区形成了广泛分布的中低温地热系统。

## 世界地热产业发展历史和现状

地热能利用可分为发电利用和直接利用两类。

地热发电至今已有 100 多年的历史。1904 年,意大利人在拉德瑞罗(Larderello)地热田建成了世界上第一台试验性地热发电机组,开了地热发电之先河。1913 年,他们建成了第一座商业性地热电站。此后,新西兰、美国和日本等国家相继建成了商业性地热电站。

对温度不同的地热资源,有四种基本的地热



英国地热



瑞丽地热电厂一期1.2兆瓦

发电方式,分别为干蒸汽发电、闪蒸发电、双工质发电和全流发电。干蒸汽发电主要用于高温蒸汽型地热田。闪蒸发电是采用降压扩容的方法从地热水中产生蒸汽,推动汽轮机发电。双工质发电一般用于中低温地热流体,间接加热低沸点工质推动透平发电。全流发电可以允许气液两相流体直接进入膨胀机进行发电。

截至2015年,世界地热发电的总装机容量为12.6GW(10<sup>9</sup>瓦)。从各类机组装机容量上对比,闪蒸发电系统占据主导地位占有所有系统的61.7%,利用高温地热资源的干蒸汽凝汽式发电也占到了22.7%,而面向中低温地热资源的双工质发电近年来发展很快,已占据14.2%。

地热直接利用包括地热供暖、制冷、养殖、烘干、温泉洗浴等,其中地热供暖在地热直接利用领域中应用最为广泛。在浅层地热供暖/制冷中,常采用地源热泵技术,它是以浅层地热作为热泵夏季

制冷的冷却源、冬季供暖供热的地热源,同时实现供暖、制冷和生活用热水的一种系统,在我国、美国和北欧多国广泛应用。

截至2015年,世界地热直接利用的总装机容量为70.33GW,直接利用总装机容量世界排名前五的国家分别为:中国,17.87GW;美国,17415MW;瑞典,5600MW;土耳其,2886MW;德国,2848MW。

### 我国地热产业发展简史和现状

20世纪70年代,我国各地掀起开发利用地热的热潮,先后在西藏羊八井、广东丰顺等地建成了试验性地热电站,目前除西藏羊八井和广东丰顺地热电站外,其他均已停运。

我国地热发电经历了近20年的停滞,近年来,地热发电有所起色,2009年在西藏羊八井新增2MW,2010年华北油田新增400kW,2011年西藏羊易分别新增400kW和500kW,2014年青海共和新增160kW。截至2014年底,我国地热发电总装机容量为27.28MW,世界排名第18位。西藏羊易地热田有望成为我国第二个规模化地热电站,目前16MW地热发电项目已进入工程实施阶段,未来电站规模将达32MW。

我国自20世纪90年代以来,在北京、天津、保定(雄县)等城市开展中低温地热供暖等直接利用工作。目前,我国的浅层和水热型地热能供暖/制冷技术已基本成熟。

我国地热供暖遍布天津、北京、河北、陕西,山东等华北地区,在东北和西南、西北地区也有规模应用。2015年底天津市地热供暖面积达到2500万平方米,约占全市集中供暖总面积的6%,是全国利用地热供暖规模最大的城市。河北雄县依托地热供暖打造了“雄县模式”,建成了我国首座“无烟城”。截止2015年底我国地热供暖面积达到1.02亿平方米。

2005年以来开发浅层地热的地源热泵技术得到了迅速发展,2009年底我国地源热泵装机容量已

位列第二，全国推广应用面积突破1亿平方米，此后我国地源热泵进入高速发展期，2016年底全国推广应用面积已达4.78亿平方米，地源热泵年均增长速度达到27%，极大带动了世界地源热泵的快速发展。

近年来，国家颁布多项政策支持地热发展，有效指导和促进了地热开发利用，尤其是浅层地热能供暖/制冷的“热泵技术”等已经成熟，综合指标位列世界先进水平，利用规模快速增长。

## 世界和我国地热产业发展趋势

### 1. 世界地热产业的发展趋势

未来世界地热能产业主要有三个热点发展方向：一是超临界地热流体的开采和利用；二是增强地热系统；三是水热型地热资源的开发利用，包括发电技术与直接利用，以及将两者有效结合的梯级利用技术。

#### (1) 超临界地热流体的开采技术

这是高温水热型地热资源的一个特例，是更好地利用岩浆热源的一种方式，即通过岩浆囊附近打深钻孔，开采超临界流体。以冰岛的深钻计划为典型代表。冰岛深钻计划是由冰岛国家能源局和多家能源公司在2000年成立的深层高温地热研究计划，目的是利用深井钻得火山口岩浆囊附近的高温高压流体进行发电，将地热能开发技术拓展到新的领域，大大提高发电效率。2016年12月，冰岛深钻计划的深井成功勘探至4500米深的火山内部，未来将提取400°C以上的深部超临界流体进行发电试验，预计其发电能力达30~50MW，是普通地热钻井发电能力的6~10倍，能够为数万户家庭提供电能。若该计划取得成功，不仅可以满足冰岛当地的电力需求，更将为世界提供超临界流体这一崭新的清洁能源利用技术，充分利用具有巨大潜力的地热资源。美国也有类似的计划，比如著名的现代岩浆地热系统-黄石公园地热系统估计发电潜力达6GW，但计划尚未付诸实施。

#### (2) 增强地热系统技术

干热岩地热资源是指赋存于地下高温(大于150°C)岩体中可以开采的地热能。干热岩地热资源在板块内部的不同地域广泛分布，具有更为巨大的开发利用潜力。但是，埋藏深度较大，距地表3~10km的深处，因深度大、岩石渗透性差开采难度很大。在我国东部地区，干热岩埋藏深度比世界上其它地区更深。干热岩的吸引人之处在于其巨大的开发利用潜力，比如，据粗略估算，我国大陆地区3~10km深度范围的干热岩地热资源按2%的比例计算的话，可开采资源相当于 $14.3 \times 10^{12}$ 吨标准煤，是我国2010年一次能源消耗总量的4400倍。

干热岩地热资源需要通过人工压裂形成人工储层才能得以开采，即增强地热系统技术。这一项技术的研发工作始于上个世纪70年代的美国，之后，日本、英国、德国、法国和澳大利亚等国家先后进行了干热岩地热开采与发电试验研究。但是，至今都没有实现经济可行的商业化运行。

我国起步较晚，近年来在钻井、压裂、微地震监测、数值模拟等方面的技术都有了一定的储备。2013年以来，我国先后在东南沿海地区、松辽平原地区、华北地区和青藏高原等重点地区实施了干热岩勘查，2017年在青海共和盆地开展干热岩勘查并于



冰岛地热

4000米深度钻获温度高于200°C的干热岩体,这是我国干热岩勘查的重要进展,为下一步开展干热岩试验性开发奠定了基础。

国家的能源转型,以及页岩气开采等相关技术的研发为干热岩地热资源的开发利用技术的发展提供了新的机遇。可以预期,长远来讲,干热岩的开发是全球和我国地热产业的发展趋势之一。

### (3) 水热型地热资源的规模化开发利用


水热型地热资源的开发利用技术逐步走向完善,包括地热发电和直接利用中关键技术。地热资源勘查评价技术、高效换热技术、梯级开发循环利用等技术的发展,保障我国中低温直接利用实现了规模化。应用地热尾水回灌技术,可以实现地热田的采灌平衡,维持储层压力,延长地热田的寿命,避免地热尾水排放造成环境污染和地面沉降等地质灾害。通过在地热水供热系统中加入热泵,可以反复取热,降低地热尾水的温度,将低品位热能转化为高品位热能,提高地热资源的利用率。应用梯级开发循环利用技术,与热泵技术相结合,可以对开采出的地热水进行多级换热、梯级利用,提高地热

资源的利用率。在我国的天津、北京、等地采用梯级开发技术建立了多项地热利用示范工程,如天津在华馨公寓供暖工程中应用两级换热一级提热的梯级开发技术,开采出的90°C热水首先经过钛板换热器供给管网系统,排出的50°C低温热水再进入二级钛板换热器提供给地面辐射式采暖系统,然后再利用热泵技术将25°C的热水进行提温取暖,最后回灌至地下。在雄安新区,地热供暖已经实现了对雄县县城的全覆盖,供暖能力达到450万平方米,规模化应用带来了显著的社会经济效益。

## 2. 我国地热产业的发展趋势与目标

2017年1月,我国发布的《地热能开发利用“十三五”规划》明确了“十三五”期间的重点任务为:一是组织开展地热资源潜力勘查与选取评价;二是积极推进水热型地热供暖;三是大力推广浅层地热能利用;四是地热发电工程;五是加强关键技术研发;六是加强信息监测统计体系建设;七是加强产业服务体系

建设。我国大型沉积盆地中蕴含丰富的中低温地热资源,主要热储类型有砂岩孔隙型热储和基岩裂隙-岩溶型热储,其中裂隙-岩溶型地热储的开发利用条件更加优越。我国碳酸盐岩的分布总面积占陆地面积的三分之一,裸露面积约为90万平方公里,隐伏面积达250万平方公里以上。雄安新区和北京市均在岩溶型热储覆盖的渤海湾盆地内,且热背景较好,未来在雄安新区和北京市副中心的建设中,地热能将大有作为。

在高温地热发电方面,我国西南地区属于喜马拉雅高温地热资源分布区,资源品质优越。目前西南地区已成为我国地热发电的主战场,除了西藏羊易外,西藏古堆和当雄、云南瑞丽以及四川康定等地均有望实现地热规模化发电,高温地热发电产业的发展也迫切需要我国自主地热发电技术的支撑。

(作者单位:前两位为中国科学院地质与地球物理研究所,第三位为中国科学院广州能源研究所)



中国地热