地热资源的利用及其面临的若干问题

孙艺伟
(中国石化华北石油局国际工程公司,河南 郑州 450006)

摘　要:地热资源是一种具有巨大开发前景和潜力的清洁替代再生资源,在当前我国乃至全球面临能源短缺"瓶颈"时期,研究其分布、形成、储藏、运移机理、开采模式,及其对生态环境的影响等,具有重要的意义。通过分析国内外地热资源的分布、研究和开发利用现状,初步探讨了中国地热资源开发与研究中面临的若干问题,并对地热资源的开发与研究前景等方面提出相应的建议。

关键词:地热;热泵;再生资源;环境
中图分类号:TK529;TE249　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1672 - 7428(2010)10 - 0044 - 04

Geothermal Resources Utilization and the Relative Issues/*SUN Yi-wei* (North China Petroleum Bureau, Sinopec, Zhengzhou Henan 450006, China)

Abstract: Geothermal resources are clean substitute renewable resource with great developing prospect and potential, the study on the distribution, formation, reserves, migration mechanism, mining pattern and the influence on ecological environment has great significance. By the analysis on the distribution, study and the current situation of development and utilization, primary discussion was made on the issues in geothermal resources development and relative suggestions were put forward.

Key words: geothermal resources; heat pump; renewable resources; environment

0　前言

随着我国经济的飞速发展,令人不容乐观的高投入、高消耗、高污染、低产出和低效益的现状,已日益引起人们的重视。全球变暖、温室效应以及频发的因气候引发的灾害性事件,唤醒了人们对低碳生活、清洁能源和可再生能源的需求。

地热是指地下温度在 25°以上或高于当地恒温带 10°的水流或岩土层所蕴藏的热能,作为一种清洁的、可再生能源,是 21 世纪继水能、太阳能、风能、核能等之外的另一种环保能源,具有巨大的市场潜力。据美国能源部估计,全球地热能相当于煤和油气资源能量的 5 万倍左右。

我国拥有丰富的地热资源,可供开发地热资源约合 30 亿 t 标准煤,具有较好的开发前景和潜力。目前开发水平和利用程度极低,仅相当于 30 万 t 标准煤。在全球面临能源危机时期,若能充分开发利用地热资源,不仅可增加能源储备,节约大量的标准煤,还可缓解煤矿开采、运输、加工和燃烧等引发的一系列破坏耕地、水土流失、地面沉降地质灾害和大气污染等问题。研究地热资源的分布、形成、储运、运移机理和开采模式,以及地热资源的开发利用中是否产生新的生态、环境破坏和相应的地质灾害等不利效应,具有极为重要的现实意义。

1　地热资源的分布与利用现状

1.1　资源分布

地热资源是地球内部的长寿命放射性同位素热核反应产生的热能。按储存形式,可分为蒸汽型、热水型、地压型、干热岩型和熔岩型 5 大类。据估计,地球内部放射性元素衰变产生的热量,平均每年 5.0×10^{17} kcal。1981 年 8 月,肯尼亚内罗毕联合国新能源会议统计,全球低热能的潜在资源相当于现在能源消耗总量的 45 万倍,地下热能资源约为煤碳的 1.7 亿倍。

地热资源可分为高温对流、中低温对流、低温对流 3 种类型(如表 1 所示),主要分布在环太平洋地热带、地中海、喜马拉雅地热带、大西洋中脊地热带、红海亚丁湾东非裂谷地热带、其他地热地区 5 个地热异常带(如表 2 所示),即构造板块边缘一带的温泉、火山和地震多发区。

据预测,在距地表 2000 m 以浅的范围内,约有相当于 137 亿 t 标准煤的地热资源量。若开采 1%,则相当于 1.37 亿 t 标准煤。从板块构造和地热异常分布区域看,我国属地热资源丰富的国家,不仅有

收稿日期:2010 - 09 - 10
作者简介:孙艺伟(1966 -),男(汉族),山东烟台人,中国石化华北石油局工程师,物理化学专业,从事石油工程管理工作,河南省郑州市陇海路 199 号,hbjhwxm@126.com。

表 1　地热资源类型及分布情况

分类	温度/℃	分布特征	分布地域
高温对流型	≥150	资源量较集中	主要集中在环太平洋地热带通过的台湾省,地中海－喜马拉雅地热带通过的西藏南部和云南、四川西部
中温和低温对流型	90～150 <90	资源量较集中	主要分布在福建、广东、湖南、湖北、山东、辽宁等省
低温对流型	<90	资源分布面广	主要分布在华北、松辽、四川、鄂尔多斯等地区。400 万 km^2 的沉积盆地的地热资源也比较丰富,除青藏高原外,地温梯度呈现由东向西逐渐变小的趋势。跟油气或其他矿产资源如煤碳等处在同一盆地之中。目前已发现的水温在 25 ℃以上的热水点(包括温泉、钻孔及矿坑热水)约 4000 余处,分布广泛。温泉出露最多的西藏、云南、台湾、广东和福建,温泉数约占全国温泉总数的 1/2 以上;其次是辽宁、山东、江西、湖南、湖北和四川等省,每省温泉数都在 50 处以上

表 2　世界五大地热异常带分布

地热分布带	地域	
	中国分布特征	国外分布特征
环太平洋地热带	台湾马槽	太平洋板块与美洲、欧亚、印度板块的碰撞边界,即从美国的阿拉斯加、加利福尼亚到墨西哥、智利,从新西兰、印度尼西亚、菲律宾到中国沿海和日本,如美国的盖瑟斯地热田,墨西哥的普列托、新西兰的怀腊开和日本的松川、大岳等地热田
地中海、喜马拉雅地热带	西藏羊八井以及云南腾冲地热田	欧亚板块与非洲、印度板块的碰撞边界,从意大利直至中国的滇藏。如意大利拉德办地热田
大西洋中脊地热带		大西洋板块的开裂部位,包括冰岛和亚速尔群岛的一些地热田
红海、亚丁湾、东非裂谷地热带		包括肯尼亚、乌干达、扎伊尔、埃塞俄比亚、吉布提等国的地热田
其他地热地区	胶东、辽东半岛及华北平原地热田	除板块边界形成的地热带外,在板块内部靠近边界部位,在一定的地质条件下也有高热流区,也蕴藏了一些中低温地热,如中亚、东欧地区的一些地热田

构造活动带热异常,而且有大中型沉积盆地热异常,如云南、西藏、河北等地热田。

1.2　地热利用的现状

地热的利用主要包括高温热发电和中低温热能的直接利用 2 种。近年来,随着对地热资源的利用研究和投入,荷兰海尔伦地热发电站利用煤矿废弃矿井通道,从地下 800 m 深处取热水产生蒸汽发电,同时将发电机排放的二氧化碳液化泵入其他废旧矿井封存,以实现二氧化碳“零排放”。德国 15% 的新修建筑物中,以地下水开采井、井下换热器以及换热桩等技术获取浅部约 200 m 以深的地热资源,供房屋取暖以及制冷(降温),可节能 75% 减少二氧化碳排放 20% ～25%。美国谷歌公司给 Alta Rock 能源公司投资 624 万美元,开发可降低“增强地热系统”成本并能提高开采效率的新技术;给波特开采公司投资 400 万美元,研发扩大地下热岩开采范围的新技术;给美国南方卫理公会大学地热试验室提供近 49 万美元,用于研究北美的地热能源的规模和分布,甚至于研究美国境内的火山蕴含的热能利用。澳大利亚已利用 5700 余个石油和矿藏钻孔绘出全国地热能分布图。据美国地热资源委员会(GRC)调查,全球 18 个国家开发地热总装机容量在 5827.55 MW 以上,美国、菲律宾、墨西哥、意大利、新西兰、日本和印尼等国家装机容量已超过 100 MW。

我国的地热资源丰富,对地热的研究方面,羊八井热田深部高温资源形成机制研究,填补了我国高温地热成因机理的空白,建立了西藏羊八井高温地热系统模型,确定了大陆非火山型高温热田新类型,提交了西藏羊八井热田深部高温资源 110 MW 发电装机容量成果。在浅层地热利用研究中,探讨了承压含水层抽水、回灌、井筒壁降深及径向渗流速度变化、径向渗透系数的影响,探讨了地热资源的补给和内部循环以及对环境影响等。但地热资源的开发利用程度很低,利用年均增长尚不足 10%,与世界地热能热利用年均增长 13% 相比,还有一定差距。

我国高温地热资源主要用于发电,如西藏羊八井热田 1977 ～1991 年的 14 年间建起装机容量 25.18 MW 的地热站。另外在朗久、那曲、广东丰顺、湖南灰汤分别建有装机容量 1～2 MW 的小规模的地热电站。中地温地热资源主要用于非电直接利用,如云南腾冲等地的供暖、制冷、水产养殖、旅游疗养。截至 1999 年底,非电直接利用的热水流量约 644 m^3/s,相当于每年提供 1.6×10^5 MJ 的热能。浅层低温热源的热泵采能以年 20% 左右的增长速度,如陕西咸阳、中地公司与冰岛合资的绿原能源地热,已经成功开凿 29 口地热井,年采地热水 3.0×10^6 m^3 用于 2.0×10^6 m^2 供暖等,每年可节约燃煤 2.0×10^5 t,减少工业垃圾 3.0×10^4 t,减少废气排放 1.9×10^4 t。

根据我国地热开发利用现状、资源潜力评估,预测地热产业规划目标如表 3 所示。

1.3　热泵应用现状

热泵是地热资源的利用技术中重要的一环,是利用少量电能、从低品位热源(如空气、土壤、自然

表 3 我国地热产业规划目标

阶段	发电装机/MW	单井发电潜力/MW	单机发电/MW	采暖/($\times10^7$ m^2)	单井地暖/($\times10^5$ m^2)	单个地暖区/($\times10^6$ m^2)
初期	30	=10	10	0.96		建立示范区
中期	40~50	12	12	1.5	1.0~1.5	0.5~1.0
远期	75~100	25	=12	2.2~2.5	1.5	=1.0
目标	2010 年,地热发电装机达 75~100 MW,地热采暖达到 2.5×10^7 m^2。热能利用总计约相当于 1500 万 t 标准煤当量					

水体、工业废水等)中吸取热量,从而达到节约部分高位能(煤、石油、燃气、电能等)的一种热力装置。

地源热泵技术起源于欧美等发达国家,经过几十年的发展已得到了广泛的应用。1934 年,美国通用公司就安装地下水源热泵采能系统。40~50 年代,欧美等国兴起第一次地源热泵采能技术的研究和应用高潮。但由于技术、经济等原因直到 70 年代,随着全球性能源危机的到来,地源热泵再次受到广泛的关注。瑞典 1990 年后地源热泵以每年约 1000 套的速度增长。1995~2000 年间,全球地源热泵比 1995 年之前增长了 327%,其中美国仅 2000 年就安装了近 4 万套。利用地源热泵冬季供暖、夏季制冷及提供日常生活热水,作为经济、高效、可持续的浅层地热能开发手段,在欧美等发达国家得到了广泛应用,并以较快速度保持稳定增长的势头。

热泵有空气热泵、土壤源热泵和水源热泵等。其中,地下水源热泵主要开采浅层地热能,需要地下水作为载体。为确保地热系统长期、稳定运行,必须具备充足的地下水资源条件。在保护地下水资源的同时,维持稳定供水,通常需要将换热后的地下水全部近距离回灌。主要有单井系统(同井抽灌)、对井系统(一抽一灌)和多井系统(一眼抽水井对应多眼回灌井)3 种模式。具体抽灌模式的选取,视含水层的回灌率和单井设计抽灌量而定。通常,单井系统适用于含水层厚度较大、回灌率较高的地区,如粗砂、卵砾石含水层。对井系统常用于回灌率适中的地区。

国内地源热泵技术研究起步相对较晚,目前已有北京、天津、河北、内蒙古、河南及山东等 20 多个省(市、自治区)在推广应用地源热泵空调技术,主要用于政府办公楼、住宅和医院等建筑,作为清洁能源具有美好的市场前景。

2 地热资源利用中面临的若干问题

随着地热资源应用的迅速发展,全球对此提出了更新、更高的要求。目前,国内地热资源利用仍处于初级阶段,对地热资源的认识、勘探和规划利用等方面均处于探索阶段,使得资源应用、研究和环境之间出现了一些未知的、急需解决的问题。

2.1 对地热资源认识不足

2.1.1 地热资源是否可以再生

通常人们认为地热资源是可再生的能源,地热资源能否再生?这与资源补给和消耗有关。地热来源于地球内部的放射性元素衰变释放的能量。由于地质构造不均性,地热多沿板块构造带、火山、地震等的活动带循环,即地热有一热能通道。因板块、火山、地震等活动的周期性特性,在运动停止或很缓慢时,热能通道将会关闭或形成大幅度的缩径,从而可能导致地热的补给不足。另外,浅部地层中蕴藏着少量放射性物质,其衰变能也是浅层地热能的补给之一。由此推测,地热资源能否再生,主要取决于热储层的补给量是否大于等于人工抽取和自然消散的热能,不一定是取之不竭的。

2.1.2 现今利用的部分低温地源热泵系统是否在“利用地热”

低温地热能在世界很多地区应用相当广泛,国内正处于一个兴起阶段。有人认为地下只要存在 5 ℃的温差,就有较大利用价值,浅层低温空调就是以此为基础设计的。这种小温差热能采暖,有多大经济效益?较多提及的是这种运行成本较原来的燃煤取暖要低多少?对大气的污染排放减少了多少?据地源热泵与其他能源供暖方式的运行费用对比(以 2008 年 7 月的价格为基础),煤、天然气、轻柴油、电、地源热泵的费用比例分别为 1∶2.65∶8.48∶5.93∶1.63。地源热泵运行成本高于用煤,如果考虑设备的安装成本、运行年限和运行过程中可能对地下水等造成的不利影响,这种对比优势将不复存在。

2.2 勘探与规划不足

我国正处于地热开发的初级阶段,国内的地热资源分布和规划尚有待于进一步的工作,具体的全国性地热勘探与规划仍停留于计划上。实际的勘探和利用主要由少数国有企业和大量的小规模民营模式,作为全国性的勘探与规划仍然欠缺,导致前期不合理开采形成大量的浪费和资源性破坏。

地热资源要开发就必须对地热资源进行勘查弄清其分布。从某种意义上讲属于地勘单位“自己的那份蛋糕”,虽没有绝对优势但仍处于较大的优势地位,在开发上应有绝对的主动权、占有举足轻重的地位。

1968 年,地质部华北石油局第三普查勘探大队

(简称三普)奉令承担天津市原河北省地质局大院、红旗养鸭场和抗大十一中三口防震水文观测井施工,其中红旗养鸭水文观测井自喷 70 ℃热水,成为当时全国第一口较深地热井,从而推动津京地区乃至全国的地热开发利用。在其后的油气普查中不断发现和利用地热,1970 年在甘肃泾川施工的“泾参1井”涌出热水,平凉地区就此修建了温泉疗养院。1973 年与陕西第一水文队合作在西安电影制片厂完成的“西热 6 井”,成井测试水量 32 m^3/h,水温 63.9 ℃,创全国地热钻井(2000.41 m)、人工投砾(1600 m)最深等多项记录。1977 年在内蒙古伊盟施工的“伊深 2 井”,完井后自溢热水,无偿交给地方开发利用。1978 年以后我国地热开发逐渐形成规模,中国石化华北石油局所属的三普、五普、九普分别在渭河盆地、北京及山西晋南等地区完成多口地热钻井。创建了“山西最深自流地热井”、“陕西地热第一井”等一批地热钻井样板工程。将常规石油钻井中先进和成熟的工艺技术与相关的水文及地热钻井工艺技术有机结合,在地热钻井中引入钻井液工艺技术,摒弃水井钻井通行的土般 + 碱的原始分散型钻井液,针对不同地层采用不同钻井液体系和配方确保施工顺利,保护水层。完井从沿用水井过滤管投砾止水,到针对不同水层采用包网缠丝滤水管、缠丝滤水管、裸眼完井、滤水管 + 射孔等完井工艺方法。止水方法采用海带加伞状橡胶金属托盘混合止水器等,确保了每个水层的畅通和寿命。洗井作业从原始的反复抽吸,引入高压喷射冲洗、活塞抽吸、压风机气举洗井、二氧化碳气举酸化、高能气体压裂等洗井工艺方法。充分利用现有石油钻井装备,结合优选钻头、钻井参数,推广喷射钻井、优质钻井液等工艺技术,形成了局部地区地热钻井施工的配套工艺技术。

2.3　监督和管理欠缺

长期以来,一些地方简单地将地热混同于地下水,形成了地热管理部门、水资源管理部门等多头审批、监管的局面,引发“九龙治水”乱象,给地热开发、资源保护、企业经营等带来诸多不利影响。对地热勘探、规划和认识不足,直接导致监督和管理滞后。这主要体现在以下几个方面。

2.3.1　没有一套完整的监督和管理体系

目前,国内没有形成一套完整的监督和管理体系。在项目的研发、施工、投产、环保和可持续发展方面,如果没有监管,必然导致地热资源的不当浪费,甚至破坏。

对地热资源的管理,国内相关的法律法规已出台不少。但浅层地热缺乏有针对性的技术规范,深层地热资源管理尚无相关的技术规范。

2.3.2　地下水水质保护不足

地热利用以地下热蒸汽和地热水为主,干热岩应用甚少。都需要进行地下水循环或回灌,一定程度上会改变地下水水质。一些不规范开采对地下水水质和水量补给平衡影响更大。

2.3.3　水温的回归

对储层的热承载能力研究不清,过量开采,地热补给不平衡,导致水温无法回归至原来的恒温特征,致使局部地段出现热污染或冷窎,从而影响生态环境和农业发展。

2.4　地热利用对环境的副作用

在利用地热资源的过程中,水温度的改变、水质的变化、水循环的不平衡等因素,很可能会对生态环境、浅层地下水资源、地下水质、地温场等产生破坏和热污染,甚至会出现地面沉降、岩溶塌陷和地裂缝等地质灾害。

3　结论与建议

地热资源是非常有前途的一种清洁替代能源,具有广阔的应用前景,为此,宜就地热资源的开发利用与内在机理等方面尽快开展更深层次和更大领域的研究。需要尽快加强以下几个方面的工作:

(1)提高地热资源在国内的应用程度和分布认识,强化对地热资源的来源、储藏、循环以及再生机理方面的研究,强化地热开发利用与生态环境、地质灾害的关系、以及变害为利的研究。

(2)探索地热开采的勘探、规划、利用与监督管理等配套机制,削减地热资源灾难,提高地热资源的开发和再利用。

参考文献:

[1]　马最良,吕悦. 地源热泵系统设计与应用[M]. 北京:机械工业出版社,2007. 3 - 15,32 - 36,46,188 - 190.
[2]　GB 11615 - 89,地源热泵地质勘查规范[S].
[3]　朱家玲,苗常海,董志林,等. 地热水源热泵技术应用前景[J]. 太阳能学报,2002,23(6):692 - 695.
[4]　韩再生. 浅层地热能的属性和利用[A]. 姜建军,等. 地温资源与地源热泵技术应用论文集(第二集)[C]. 北京:地质出版社 2008.
[5]　GB 50366 - 2005,地源热泵系统工程技术规范[S].
[6]　李宇,张远东,魏加华. 利用水源热泵开采浅层地温能若干问题的探讨[J]. 理论探讨,2007,(3):11 - 16.
[7]　王芳,范晓伟,周光辉,等. 我国水源热泵研究现状[J]. 流体机械,2003,31(4):57 - 59.