

世界直接利用地热资源的现状

张季生, 吴功建

(中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037)

摘要: 介绍了自 1990 年以来对地热能研究和开发的现状, 尤其是 1995 年在意大利如开的国际地热会议和 1997 年在日本召开的国际干热岩会议的有关信息, 综述了近 10 a 来世界地热研究和开发的进展, 并希望通过世界地热研究和开发现状的了解, 促进我国地热资源的进一步合理开发利用。

关键词: 地热资源; 热泵; 干热岩

中图分类号: P314; TK529 文献标识码: A 文章编号: 1000-8918(2001)02-0090-05

传统能源, 像煤、石油等, 对环境的污染是十分严重的, 世界各国一直在研究开发新能源, 尤其是再生能源, 以逐渐减少对传统的能源的耗费。地热能由于储存量巨大, 对环境的负面影响非常小, 被称之为清洁能源, 因此, 被世界各国列为重点研究开发的新能源之一。为了推动世界范围内对地热能的开发利用, 国际地热协会积极召开国际会议, 总结和交流地热能研究和开发问题。文中, 主要介绍了自 1990 年以来对地热能研究和开发的现状, 尤其是 1995 年在意大利召开的国际地热会议和 1997 年在日本召开的国际干热岩(HDR/HWR)会议的有关信息, 试图对近 10 a 来世界地热研究和开发的进展进行综述, 重点是世界直接利用地热资源的进展。作者希望读者通过对世界地热研究和开发现状的了解, 来促进我国地热资源的进一步开发利用。

1 世界地热开发利用的现状

目前人类对地热的利用分为两大类: 一类是地热发电; 另一类是直接利用, 像地热采暖、洗浴、游泳、养鱼等。自 1990 年以来, 世界地热研究和开发都取得了比较大的进展。据 Stefansson and Fridlefsor(1998)的统计, 1997 年世界 46 个国家利用地热能发电和直接利用地热的情况如表 1。

从表 1 可以看出, 1997 年 46 个国家利用地热发电达 43 756 GWh/a, 而对地热能的直接利用达 36 910 GWh/a。在欧洲地热发电量占 46 个国家总发电量的 10%, 而地热能的直接利用则为 50%; 在美洲地热发电量占 53%, 而地热能的直接利用则为 11%; 在亚洲、大洋洲和非洲地热发电量与地热的直接利用所占的份额是相当的。

J. W. Lund(1996)曾对世界地热直接利用做过统计, 供暖占地热直接利用总量的 33%; 温泉浴与游泳等为 19%; 温室为 14%; 利用热泵进行供暖和制冷为 12%; 养鱼为 11%; 其他工业利用为 10%。

尽管受石油和天然气价格的影响, 但是在 1975 ~ 1995 年间利用地热发电的年平均增长率

表 1 1997 年世界 46 个国家利用地热发电和直接利用地热情况

	发电			直接利用	
	装机容量 MW	总产量		总产量	
		GWh/a	%	GWh/a	%
欧洲共同体	754	3 832		3 719	
欧洲其他国家	112	471		14 790	
整个欧洲	866	4 303	10	18 509	50
北美洲	2 849	16 249		3 984	
中、南美洲	959	6 869			
整个美洲	3 808	23 118	53	3 984	11
亚洲	2 937	13 045	30	12 225	33
大洋洲	365	2 901	6	1 837	5
非洲	45	390	1	355	1
总计	8 021	43 756		36 910	

达 7%。如此高的增长率,使得地热能成为人类开发单一能源最高增长率的能源之一。在过去 10 a 间对地热能直接利用的年平均增长率也达到 6%。

2 热泵的应用

一般人们认为,温度较高的地下热水或蒸汽的埋藏深度不超过 3 km 的地热田才具有经济效益。但是,由于近 10 a 来热泵(geothermal heat pump)技术的成熟和推广,使世界上所有国家的中低温地热田都能得到开发。当供暖时热泵用地球作热源,而当制冷时用地球作热池。这样极大地改变了只能在少数地质条件较好的地区开发地热的限制。

瑞士由于没有温泉,曾被称为无地热资源的国家。由于采用了热泵,地热能的利用每年达 228 GWh/a (Rybach and Goran, 1995)。如果以瑞士每人对地热的消费水平来计算,在阿尔卑斯的北部和乌拉尔的西部的欧洲国家对地热消费的总量将达 11 400 GWh/a,接近目前整个欧洲对地热消费的总量(18 500 GWh/a)。

美国是世界上利用热泵技术进行供暖和制冷最好的国家。据统计结果,到 1997 年底,一共有 300 000 台热泵在运行,对住户、学校和商业大楼进行供暖和制冷。总计提供了 8 000 ~ 11 000 GWh/a 的热能。需要说明的是,用热泵进行供暖和制冷,比传统的空气空调具有更高的效率,同时减少引起温室效应的气体的排放,并减轻了电力系统用电高峰时的由于使用空调的负荷。另外,采用热泵由于减少了室外设备,于是减少了噪音。1995 年美国热泵消费协会(Geothermal Heat Pump Consortium)筹集了 1 亿美元来推广热泵技术,计划到 2000 年将热泵的销售由每年 40 000 台增加到 400 000 台。

3 干热岩研究的进展

干热岩(hot dry rock)是 70 年代由美国加州大学 Los Alamos 实验室研究人员提出的,其基本思想是在高温但无水或渗透率的热岩体中,通过水力压裂等方法制造出一个人工热储,将地面冷水注入地下深处以获取热能,然后将热水导出地面进行发电。20 多年来西方发达国家像美国、日本、法国、英国、德国等投入巨资进行研究,主要是因为干热岩体蕴藏能量巨大,据估计,在深度 6 km 以内仅美国干热岩体中就蕴藏有 47×10^{22} J 的能量,即相当于全美蕴藏能量的 6 000 倍。80 年代, H. Takahashi 提出湿热岩(hot wet rock)的概念,他认为湿热岩(HWR)热储已经存在天然的裂隙和少量的水,但是,仍需要将冷水注入地下深处以获取热能,其开采技术同

干热岩(HDR)。干热岩和热水系统都是极端情况。

20多年来干热岩理论与技术都取得了很大进展,目前美国开发的干热岩系统已可支持10 MW的发电站的运行,并在运行过程中只有很小的压力损失,水的流失仅为注入水的7%。但是,由于人们期望干热岩所提供的热能可以成为传统能源的替代能源之一,因此,希望建成更大的干热岩系统。从经济的角度来看,当注水井与抽水井之间的距离为500~800 m,才能达到商业运行的目的。于是带来一系列的理论和技術上的困难。目前最困难的问题是人们对干热岩系统连结部分的裂隙的分布并不十分掌握,以及在人工热储中水的流失问题。法国科学技术人员,建成了双井间距为450 m的热储,目前干热岩系统已可支持10 MW的发电站的运行。为了达到商业化的目的,他们正在往深部继续钻进,直到地下的温度达210℃。日本科学技术人员,在钻探过程中采用微地震成像技术,指导钻探以避免与断裂相交,减少了水的流失。

4 地热开发对环境的影响

地热开发中对环境的影响主要有以下几个方面:一些有害的化学物质的排放,对地下热水过度的抽取导致地面沉降,噪音、热效应以及对景观的破坏等。

地热流体中含有多种气体,主要为氮、CO₂和一些硫化氢,以及其他少量的有害物质,像氢、硼、汞等。早期在地热开采中将有毒废水随意排放,导致在地热田附近地区及河流遭到污染。再有,当地下热水的开采量超过补给水的水量时,会导致地面沉降。目前在国外主要地热开发利用的国家,上述问题基本上已得到有效的抑制。人们在开采地热能的同时,通过采用去除废水中有害的物质和将含有有害物质废水直接回灌到地下的方法,有效地避免了上述污染问题。

众所周知,常规能源(像煤、石油等)对环境的污染是十分严重的,燃烧石油向空气中散发的CO₂所产生的温室效应是当前引起人们极大关注的问题,而在大量城镇中冬季用煤取暖所引起环境污染的问题比石油更为严重。世界上每年对环境污染改造的经济投入是十分可观的。目前国外一些国家采用征收环境税的方法对传统能源的开发进行部分限制,并鼓励人们进行新能源的研究与开发。

尽管地热开发也存在对环境污染的问题,但是与其他常规能源相比,其影响是很小的。只要人们对地热开发中存在的污染问题进行科学研究、仔细地做工程设计并在开发中不断地检测,完全可以将对环境的负面影响降低到最小,使地热能成为名副其实的清洁能源。

5 合理地开发地热资源

地热能常常被称为再生能源(renewable resource)。这是由于地球内部可以源源不断地给人类提供热能。但是,当人类对地热资源的开采超过热储能够恢复的限度时,热储便会逐渐枯竭,即热储遭到破坏。而温泉不存在上述问题,对于用热水泵抽热水的地热井来说,过度抽取地下热水,则存在热储被破坏的危险。对一个成功的地热工程来说,关键的问题是对热储的大小进行仔细地计算,并且在开采过程中进行检测,使得开采量与补给量达到平衡,这样就可以使热储寿命延续至设计的要求,甚至于超过设计的要求。从某种意义上讲,地热科技人员更愿意将地热能称为可维持能源(sustainable resource)。他们强调,在热储开采过程中,热储的焓、温度、热水的抽取量、压力等参数达到平衡,那么,这样的开采是可以维持的,亦即这样的开采是合理的。

为了使热储可持续开采,通常采用2种方法:一是像法国采用回灌,另一方法是像冰岛季

节性关闭热水井。冰岛在冬季由于采暖,大量抽取热水,而使地下热水的水位下降,到夏季,他们关闭一些热水井,使地下热水的水位得以回升。采用回灌,则需要打回灌井,无疑会增加投资。但是有人做过计算,由于打回灌井从而延长热储的寿命,在经济上是合算的,应避免有意或无意地对地热资源破坏性开采。

6 地热资源开发在竞争中不断发展

在国外,能源开发竞争十分激烈,地热资源开发既要与传统的能源(例如煤、石油、天然气等)进行竞争,又要与新能源(例如太阳能、风能等)进行竞争。竞争的本质是经济的竞争、价格的竞争。只有在经济竞争中处于有利地位,才能生存与发展。

在冰岛,地热采暖的价格约为 1.1 ~ 1.6 美分/kWh,与用石油进行采暖相比,其价格仅为后者的 20% ~ 30%。冰岛是石油进口国,用地热采暖可以减少进口石油,每年可减少外汇 1.1 亿美元。

在希腊,能源的价格由国家来定,据 A. Beke(1996)统计,用柴油采暖的价格每千瓦时为用电采暖价格的 50%,而用地热采暖的价格仅为柴油采暖价格的 40%。

国外十分注意成本合算,尽量降低地热能源的价格。只有这样才能推广地热能源,才能在市场上占有一定的份额。

例如,在德国 Berlin 地热田建立的地热发电厂,从 1996 年开始施工至 1999 年建成,耗资 118 万美元,发电能力为 56 MW,平均每千瓦投资 2 100 美元。现雇佣 72 名工作人员维持发电厂的运行。无疑,延长发电厂的寿命,可以创造更多的利润。

在美国,由于热泵技术的成熟,使得热泵在全国得到推广。现在从普通房屋和公寓至居住面积为 278 m² 的住房,每月支付供暖和制冷费 15 ~ 40 美元,这是一般家庭都能付得起的。热泵运行维护的费用较低,但是安装费用较高,安装热泵室内设备费用同传统空气源空调相比要高,而室外设备的费用比室内设备费用多 2 倍。但是,由于采用热泵供暖和制冷比用电和石油便宜,估计 3 ~ 6 a 节省的费用就可以将多支付的安装费用抵消。另外,安装热泵可以更好地调节湿度,减少噪音,因此,还是受到居民的欢迎。目前热泵年销售已获得包括石油、天然气、电供暖、制冷装置及热泵在内的 1% 的市场份额。

地热能不但要与传统的能源进行竞争,而且还要与新能源包括太阳能、风能的竞争。在德国, Martin Kaltschmit(1994)对直接利用地热在经济上进行统计,在较好的条件下 0.2 ~ 0.94 美元/kWh,在条件差一些的地方价格会更高。因此,与太阳能、风能相比,他们更多地考虑开发太阳能、风能。

西方一些国家利用经济杠杆,合理地引导市场的价格规则,鼓励新能源的开发研究。因为从经济全过程来看,虽然当前传统能源的成本较低,但是考虑到后期对污染处理的巨额费用,光从目前的传统能源的价格高低来评价新能源的价格,是不公平的,不利于新能源的开发研究。因此,各国都有一些相应的政策,鼓励对新能源的开发研究。例如,有的国家对传统能源采取征收污染处理税的方式加以限制。在日本,国家对一些地区投资进行勘探,以减少地热开发的风险。

7 讨论

1. 目前人类利用地热发电已达 43 756 GWh/a,地热的直接利用 36 910 GWh/a。但是据估计人类利用地热发电的潜力可达 12 000 TWh/a。人类能够直接利用的地热资源十分丰富,估

计为 600×10^9 TWh,按目前的水平来看尚可开发 500 万 a,即目前我们只利用了地热资源的很小一部分,还有很大的发展余地。

2. 与地热发电相比,直接利用地热具有较高的效率。直接利用地热对热能的利用率为 50%~70%,而地热发电为 5%~20%。在我国中低温地热资源丰富,利用中低温地热资源进行发电目前存在一定困难,但是对地热资源进行直接开发利用,却有广阔的前景。对地热资源进行直接开发利用的投资相对地热发电要少得多,积极对地热资源的直接利用比较适合我国的国情。

3. 热泵正在逐渐受到人们的重视,美国、德国、瑞士、瑞典、法国等国家都在加紧推广热泵的应用,尤其是美国。我国中低温地热资源十分丰富,采用热泵会大大地拓宽地热的应用领域,使我国的地热资源的开发利用量得到极大的增加。这对于改善环境污染的状况,减少传统能源的消耗具有重要意义。

4. 根据联合国关于环境的会议(1991,1997),限定欧洲共同体在 2008 年~2012 年期间,引起温室效应气体的排放要低于 1990 年排放水平的 8%。这样促使欧洲加紧对包括地热能、太阳能、水力、风能在内的新清洁能源进行开发研究。

我国地热资源十分丰富,直接利用地热资源的数量一直居世界前列。据任湘等 1990 年向国际地热能研讨会提交的国家统计报告,非电直接利用地热能 4.122×10^{13} J/a,居世界第 3 位。自 90 年代以来,我国利用地热资源发展很快,超过世界平均发展水平。据美国地热资源理事会 1997 年年会提供的情况,我国地热直接利用的数量已居世界首位,但是我国直接利用地热资源的技术一直比较落后。为了改变落后的情况,目前我国积极引进和消化国外的先进技术,不断地缩小我国与世界发达国家的技术差距。

随着人们环境意识的增强,利用地热能可以减少引起温室效应的作用,以及地热能丰富的蕴藏量与可持续开采的特点,会使地热能在未来几十年能源生产中起到重要的作用。

参考文献:

- [1] Hutterer G W. The status of world geothermal power production 1990—1994 [J]. Geothermics, 1996, 25(2): 165—187.
- [2] Freeston D H. Direct uses of geothermal energy 1995 [J]. Geothermics, 1996, 25(2): 189—214.
- [3] Fridleifsson I B, Freeston D H. Geothermal energy research and development [J]. Geothermics, 1994, 23(2): 175—214.
- [4] Ade Hiroyuki, Duchane D V, Parker R H et al. Present status and remaining problems of HDR/HWR system design [J]. Geothermics, 1999, 28: 573—590.
- [5] Ade Hiroyuki, Niitsuma Hiroaki, Murphy H. Summary of discussions structured academic review of HDR/HWR reservoirs [J]. Geothermics, 1999, 28: 671—679.
- [6] Agioutantis Z, Bekas A. The potential of district heating using geothermal energy: A case study, Greece [J]. Geothermics, 2000, 29: 51—64.
- [7] Axelsson G, Dong Zhilin. The Tanggu geothermal reservoir (Tianjin, China) [J]. Geothermics, 1998, 27: 271—294.
- [8] Pratsch L W. A household world by the year 2000 [J]. Geothermal resources council bulletin, 1996, 25(1): 25—31.
- [9] Karkoulias V, Mendrinou D. Report on geothermal energy in Europe [J]. Geothermal resources council bulletin, 1995, 24(10): 336—344.
- [10] Fridleifsson I B. Geothermal direct use around the world [J]. Geothermal resources council bulletin, 1998, 27(8): 235—239.
- [11] Japan geothermal energy association. Annual report on geothermal energy development in Japan-1995 [J]. Geothermal resources council bulletin, 1996, 25(3): 113—118.
- [12] Rodriguez J A. Power plant development at the Berlin geothermal field-EI salvador [J]. Geothermal resources council bulletin, 2000, 29(1): 33—36.

- [13] Kaltschmitt M ,Wiese A. Potentials and costs of renewable sources of energy in the Federal Republic of Germany[J]. Energy sources ,1994 ,16(2) :185—193.
- [14] 陈墨香 ,汪集 ,邓孝. 中国地热资源形成特点和潜力估计[M].北京 :科学出版社 ,1994.
- [15] 王均 ,周家平. 华北平原中低温地热资源及其利用的环境影响[M].北京 :地震出版社 ,1994.
- [16] 汪集 ,熊亮萍 ,庞忠和. 中低温对流型地热系统[M].北京 :科学出版社 ,1993.
- [17] 黄尚瑶. 中国温泉资源(1:600 万中国温泉分布图说明书) [M].北京 :中国地图出版社 ,1993.

THE PRESENT STATE OF DIRECT UTILIZATION OF GEOTHERMAL RESOURCES IN THE WORLD

ZHANG Ji-sheng ,WU Gong-jian

(*Institute of Geology ,Chinese Academy of Geological Sciences ,Beijing 100037*)

Abstract : This paper mainly recounts the state of the research and exploitation of geothermal energy in the world since 1990 , especially the information related to the International Geotherm Conference held in Italy in 1995 and the International HDR Conference held in Japan in 1997 , and gives a summarized description of the advances in the research and exploitation of geothermal resources in the past ten years. It is the authors ' hope that the understanding of the present state of the geothermal research and exploitation in the world can stimulate the further rational exploitation and utilization of geothermal resources in China.

Key words : geothermal resource ; heat pump ; HDR

作者简介 :张季生(1950 -) ,男 ,江苏省盱眙县人。1989 年毕业于西安地质学院 ,获应用地球物理学硕士学位 ,研究方向为区域重磁勘探。现为 中国地质科学院地质研究所岩石圈研究中心研究员 ,已发表论文数 10 余篇。