

国内外热能开发利用现状及前景分析*

王贵玲

张发旺 刘志明

(南京大学地球科学系) (中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北正定)

摘 要 截止 1992 年底, 世界上约 70 个国家赋存着可供商业利用的地热资源, 地热能发电总装机容量达 6 275MW, 地热能的非电利用即直接利用的总热力容量为 11 385MW, 由于环境、资金及地热资源的固有特征的限制, 1986 年之后, 世界范围内地热资源开发强度下降。

关键词 地热发电 直接利用 投资

1 地热能发电利用

世界上有 20 多个国家应用地热流体发电, 截止到 1992 年底, 地热发电总装机容量达 6 275MW, 其中美国、菲律宾、墨西哥、意大利、新西兰、日本、印度尼西亚、萨尔瓦多地热发电总装机容量均大于 100MW^[1]。世界地热发电总装机容量在 1944~1960 年增加 7.9%; 1978~1985 年间增长速度最快, 年平均增长率为 17.2%, 在这一时期, 新增 7 个国家利用地热发电, 总数达到 17 个国家; 1985~1992 年新增 4 个国家。80 年代, 由于 1973 年和 1979 年世界范围内的石油危机, 应用地热流体发电的投资迅速增加。

地热能发电利用的一大益处在于, 它可以很经济地建立相对较小的发电机组(与水力发电相比)。在一些电力市场较小的发展中国家, 建立 15~30MW 的地热电站比建立 100~200MW 的水力发电站要容易的多。由于在地热系统中, 地下流体的运移距离很大, 且地热能发电需要的水量也很小, 因此地热发电非常稳定, 它不受月或年降水量大小的影响。

地热发电有 3 种类型, 即干蒸汽、湿蒸汽或扩容蒸汽和中间介质。干蒸汽电站应用蒸汽热储发电, 将蒸汽从井中直接传输到发电机组, 这类热田单机组发电为 35~120MW, 在印度尼西亚、意大利、日本以及美国均建有此类电站, 这些电站的总发电量占地热能总发电量的一半。世界上大多数地热田属液态热储, 湿蒸汽或扩容蒸汽地热电站应用液态地热系统中的热液流体发电, 在地表首先通过 1~2 个压力步骤, 将大部分液态水扩容为蒸汽, 然后输送到发电机组发电, 此类电站单机组发电在 10~55MW。中间介质发电也应用液态地热系统发电, 但由于热储温度较低, 不能通过压力变化扩容成蒸汽而发电, 只能通过低沸点的中间介质来发电, 一般单机组装机容量小于 3MW。

2 地热能直接利用

地热能的直接利用存在广泛的市场, 截止到 1990 年, 世界上已有 14 个国家地热能直接利用的总热力容量大于 100MW(详见表 1)^[1], 表 1 中的其他一栏表示总热力容量为 1~99MW 的国家的总和。

地热能直接利用的技术性、可靠性、经济性、环境的可接受性已被世界各地的实际利用所证实。与地热能发电利用相比较,直接利用存在多方面的益处^[2],如①直接利用的热效率为 50%~70%,而发电利用的热效率仅为 5%~20%;②直接利用的投资小且周期短;③无论高温或低温地热资源均可进行直接利用。因此,直接利用在世界范围内应用最广泛。然而,地热能的直接利用常常受到地域的限制,因为很少将地热蒸汽或热水传输很远的距离,一般直接利用均在地热田的附近进行,而地热发电则可将电力传送到很远的地方。世界上最长的热水输送管道为冰岛雷克雅未克市的城市供热系统输送管道,主管道长为 63km^[3]。地热能直接利用的造价差别很大,一般为 2 美分/kW·h。

表 1 地热能直接利用总热力容量大于 100MW 的国家

Table 1 Total capacity of geothermal resources direct uses in the world

国 家	流量/kg·s ⁻¹		热力容量/MW		能量/GW	
	1985 年	1990 年	1985 年	1990 年	1985 年	1990 年
保加利亚		2647		293		770
中国	3540	9534	393	2143	1945	5527
捷克斯洛伐克		728		105		276
法国	2340	2971	300	337	788	886
匈牙利	9533	12155	1001	1276	2615	3354
冰岛	4579	4595	889	774	5517	4290
意大利	1745	1520	288	329	1365	1937
日本	26101	31311	2686	3321	6805	8730
新西兰	559	252	215	258	1484	1763
牙买加	1380	1380	251	251	987	987
前苏联	2735	7722	402	1133	1056	1978
土耳其	1355	2012	166	246	423	625
美国	1971	3355	339	463	390	1420
南斯拉夫		806		113		602
其他	1965	2393	142	343	582	1761
合计	57803	83381	7072	11385	23957	35906

注:引自 1995 世界地热大会论文集

世界上将近 70 个国家赋存着可供商业性利用的地热资源。地热流体用于非电利用的总热力容量为 11 385MW,与 Gudmundsson1985 年的调查相比较,过去的 5 年中增长率为 60%,年平均增长率约 10%。1985 年之后,在中国和前苏联地热直接利用的热力容量迅猛增加,中国增加 5 倍,前苏联则增加了 3 倍。表 1 中忽略了热泵及温度小于 35℃ 热液流体的利用情况,而热泵利用增加很快。1993 年,美国建成一个 2 072MW 的热泵系统,年产热量为 2 402GW。Lund 估计,世界范围内目前已建立约 6 000 个热泵系统,Lund 希望在全美国范围内,大量使用热泵供暖和制冷。这些热泵与空气源热泵比较可节能 30%,与纯电力或常规燃料供热及制冷比较可节能 60%。Rybach 等人于 1992 年报道,1980 年之后在瑞典已建立了 40 000 个供热系统,利用钻孔 90 000 个,利用温度为 10~20℃,单井热量 10kW。据估算,到 2010 年,垂直封闭循环单元将占据空气源热泵市场的 15%。

1990 年 Freeston 教授的报告中没有详细介绍地热流体如何进行直接利用。Lindal 于 1973 介绍了一个所谓的 Lindal 图,详细说明了地热能直接利用的范围,在此之后,由 Gudmundsson 于 1982 年对此图进行了更为详细的解释^[3]。由于地热流体与地下的矿物和岩石

接触,流体中通常含有盐份和气体,这些成分将会对地表设备产生影响,如腐蚀和结垢,不过,这些问题是可以解决的。Lindal 于 1992 年研究了地热能在工业方面的利用,列出了利用地热能的几个方面,其中地热干燥是最常用的。Lindal 也研究了应用地热蒸汽和地热水的不同,利用蒸汽即为常规方法,利用地热水则存在一些新的技术问题。Lindal 于 1992 年引用了 15 个国家利用地热水进行各种产品的干燥、造纸、矿物和化学物质的提取、食品、橡胶、皮革、洗浴和印染以及石油回复等领域。据报道有 7 个国家应用蒸汽进行相似的工作。

3 地热能开发投资

地热研究和开发的投资类型与石油和天然气类似,方式很多,即技术研究和开发、地热勘查(应用地质、地球物理、地球化学方法)、钻探、地热田开发等。地热电站通常建于地热田的边界,但电力传送并入国家电网则传输很长距离。表 2 中给出了 1973~1982 年和 1983~1992 年不同地域地热投资状况,表中仅包括 1973~1992 年间总投资超过 200 万美元的国家,其中有地热研究、开发、地热能发电利用,电力利用不考虑电力传送(从电站到国家电网);另一方面,直接利用投资估算包括地热资源分布到区域供热系统、农业或工业利用点的地热蒸汽和水的传输。

据统计,1983~1992 年期间,全世界地热能开发总投资 14.331 亿美元中,用于科研、地热田开发、发电利用、直接利用的比例分别为 20%、34%、32% 和 13%。

表 2 1973~1982 年和 1983~1992 年世界地热开发投资(百万美元)

Table 2 The investment of geothermal development in the period of 1973 to 1982 and 1983 to 1992 in the world

地区	年限/a	研究	地热田开发	利 用		投资类型		合计
				发电	非电	公共	私人	
非洲	1973~1982	28	31	70		129		129
	1983~1992	34	78	30	1	143		143
亚洲	1973~1982	634	722	742	350	866	1582	2448
	1983~1992	1520	1488	998	752	2161	2597	4758
拉美	1973~1982	72	148	263	1		484	484
	1983~1992	62	338	292	1	693		693
新独立国家	1973~1982	13	118	30	166	296	31	327
	1983~1992	27	229		344	536	64	600
美国	1973~1982	1178	375	750	50	1014	1339	2355
	1983~1992	666	1669	2780	53	496	4672	5168
西欧	1973~1982	379	597	230	618	1807	17	1824
	1983~1992	661	1005	382	707	2390	365	2755
大洋洲	1973~1982	22	10		2	32	2	34
	1983~1992	12	40	160	2	212	2	214
合计	1973~1982	2326	2001	2085	1187	4628	2971	7599
	1983~1992	2982	4847	4642	1859	6631	7700	14331

注:引自 1995 世界地热大会论文集

4 地热能利用的市场可竞争性

在 1973 年石油危机之后,很多国家利用地热资源发电和非电利用总热力容量达到数百

兆瓦。1973 和 1978 年石油价格的突然增加,加快了地热开发的步伐,并在地热利用家族中增加了一些新成员国。

1985 年原油价格从每桶 27 美元降至 12 美元,改变了地热能的市场竞争力,所以,80 年代后期很多国家延迟了地热项目投资或将之取消。

现已证实,即使在现今石油价格较低的情况下,地热能与其他能源相比也有商业竞争力。在一些发展中国家和东欧,从能源利用的环境效益出发,需要最新的技术和经济来支持开发地热资源。

1992 年在西班牙召开的世界能源会议(WEC)上讨论了“未来世界的能源”,并提出了全球和区域能源前景,这一研究侧重于经济发展、能效和环境效应三个方面。单就美国来说,若石油价格一直保持现在的低水平,能源部希望在 2010 年以前,地热发电装机容量年增长率为 5.4%,如果石油价格再度上升,希望年增长率上升为 6.9%。

在中国、前苏联和东欧一些国家,广泛利用低温地热资源进行供暖、食品加工等,也大大提高直接利用的年增长率。美国计划在今后的 20 年中热泵增长率达到 17%,这将预示着热泵应用将在其它工业化国家迅猛增长。假设地热直接利用年平均增长率为 10%,到 2000 年将达到 30 000MW,2010 年为 77 000MW,2020 年为 200 000MW。假设发电利用和直接利用的单价一样(1982~1992 年),且考虑直接利用与发电利用的价格变化等多种因素,在未来的 10 年中,地热投资可望达到 160 亿美元。

5 我国地热研究与地热能开发

5.1 地热研究与地热资源勘探

目前,中国共有 40 多个地热研究与开发机构,其中 15 个从事地热地质勘探,25 个从事地热能利用地面工程设计与施工,30 个地热公司。

自 50 年代末期开始,我国地热工作者对北京小汤山、京津唐、湖南灰汤、湖北三里畈、河北东部平原、广东东部等地区进行了地热勘查,并全面研究了我国热水分布规律、分带性及中国地热资源特征,编写了地下热水普查勘探方法,编制了 1:1500 万中国地热资源分布图。70 年代后期,对羊八井地热田开展地热地质调查、勘查与评价工作,建立羊八井高温地热电站和东部低温地热试验电站。迄今已勘探地热田面积 677km²。

近年来,国家的总投入逐年减少;“八五”期间国家投入 400 万元开展地热研究,但到“九五”国家对地热研究的投资大幅度降低。而与此同时,全国各地在中低温地热资源直接利用方面,利用地方资金如雨后春笋般崛起。

5.2 我国地热能利用现状

中国是世界上地热能利用最早的国家之一,利用历史可以追溯到 2000 多年以前。但真正科学地大规模开发、研究始于本世纪 70 年代。经过 30 多年的研究与勘探,基本形成了我国地热利用的主格局,即以天津为重点开展城市供热、以羊八井为重点进行发电利用。

5.2.1 地热发电 我国地热发电始于 1970 年,是中间介质发电的先驱之一,比如河北的后郝窖、湖北的灰汤等低温试验电站,但由于缺乏商业价值,均相继关闭。1977 年在西藏羊八井建立第一个高温地热发电机组,装机容量为 1MW,到 1994 年总装机容量为 25.18MW,电力全部供给拉萨市,占拉萨市总需电量的 40%。1996 年在羊八井打出高温高产地热井,

可建1个10MW发电机组。最近拟在云南腾冲热海地热田建1个10MW的地热电站,前期工作正在进行中。

5.2.2 热能直接利用 依据1990年的统计数字,我国热能直接利用在世界上位居第二,总热力容量为1945MW。热能直接利用项目主要包括:农业、印染、干燥、供热、工业加工等。利用最好的4个省(区)有①河北(占全国的24%),主要用于养鱼、洗浴和温室;②天津(占全国15%),用于供暖和养鱼;③山东主要用于洗浴和养鱼;④西藏自治区用于温室。

中国地热利用发展最快的是供暖和养鱼。例如,天津塘沽,在过去的几年里,建成供130000人供热的区域供暖系统。陕西建立2个面积分别为30000m²和66000m²的鱼塘,这可能是世界上应用地热养鱼规模最大的渔场,主要用于养殖非洲鱼苗。在北京小汤山建立的鸵鸟养殖场,现有成年鸵鸟300余只,若每只以3万元计算,合900多万元人民币,养殖周期为3~5年,其经济效益非常显著。

5.3 影响我国热能大规模开发利用的主要问题

5.3.1 热能开发的环境效应 热能一直以“清洁能源”而著称,但有些地方在地热资源的开发利用中有时会引起一些环境问题,这些问题包括:地面沉降、噪音、热污染、化学污染等,其中地面沉降破坏性最大。当从地热储中过量抽取地热流体后,改变了原系统的压力分布,从而产生地面沉降,沉降与地质条件密切相关。在冰岛的Svartsengi和意大利的Larderello地热田,年平均沉降量分别为11mm和32mm,而在新西兰的Wairakei地热田开采区外的一个小区域内,年沉降量高达400mm。我国天津市地面沉降与大量抽取地下水有直接关系。

5.3.2 资金短缺 由于我国尚属发展中国家,经济相对落后,国家财力不足,这就决定了国家不可能拿出可与西方国家均衡的资金开发地热资源。另外,地热资源开发的初期投入较大,这也是西方国家地热开发资金短缺的一个主要原因。

5.3.3 地热资源在地域分布上的不均衡 中国大陆的高温地热资源主要分布在我国西南的西藏自治区和云南省,这两个省区地处偏僻、交通不便、经济较落后,加之云南水利资源丰富,西藏风能和太阳能资源丰富,这在很大程度上制约了区内高温地热资源的开发。云南西南部高温地热资源丰富,但由于区内气温较高,热能非电利用前景较差,因此,大量150℃以下的水白白流失。如1996年在云南瑞丽完成两个千米深孔,孔口温度在110℃以上,但由于达不到发电温度要求,至今尚未开发。

中低温地热资源主要分布在我国东南沿海、辽东及胶东半岛,内陆地区主要分布在中新生代断陷盆地,埋藏深度较大。而温泉出露区大都地处偏僻的山区,交通不便,经济落后,所有这些都增加了地热开发的成本,限制了地热资源的广泛利用。

5.3.4 地热开发技术问题 地热投资的高低及资源利用是否合理,不仅直接与地热前期勘探、钻探、规划等有关,而且与地热利用技术存在密切关系。新技术新方法的应用不仅可以减少投资,而且可以大大节约资源,减少浪费。

如天津地区各地热井普遍安装高频调速器,初步统计可节电20%~30%,节约地热资源10%~20%,利用地热水的二次循环或低温大流量供热,即提高了低温地热资源可利用性,又解决了地热尾水排放温度高的问题。这都是成功的经验,我们可以借鉴,并不断研究

其他领域的可行方法,达到节约资源、省电、安全、高效的目的。

5.4 建 议

地热能的利用不仅符合环境保护的大前提,而且随着勘探和利用技术的提高,已具有市场竞争性,有广阔的开发利用前景。为了充分利用和保护这一宝贵的清洁能源,在地热开发与管理中应根据整个地区的经济发展规划和布置,“统一规划、统一管理、合理布局、综合利用、以热养热”。在统一规划指导下,推动地热开发的商业化、规模化,开拓利用新领域;严格地热资源开发审批制度,使其在科学的监督下进行,加强综合利用,避免资源浪费,管理规范、法制化、科学化,建立完善的监测体系,加强科研,指导生产。

参 考 文 献

- 1 Proceedings of the World Geothermal Congress. Italy, 1995.
- 2 Wang Guiling. Simulation of fractured low-temperature geothermal system by lumped parameter models. Proceedings of International Workshop on Groundwater and Environment, 1992.
- 3 Bodvarsson G S. Mathematical modeling of the behavior of geothermal systems under exploitation. Ph. D. Thesis, University of California, Berkley, California, 1982, 353.

An Analysis of Present Situation and Prospects of Geothermal Energy Development and Utilization in the World

Wang Guiling Zhang Fawang Liu Zhiming

(*Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, CAGS, Zhengding, Hebei*)

Abstract By the end of 1992, there had been 21 countries that used geothermal fluids to generate electricity, and the geothermal resources had commercial utilization value in 70 countries. The total capacities are 6 275 MW and 11 385 MW for electric use and direct use, respectively.

Key words geothermal power generation direct use investment