

中国地热发电开发现状与前景

郑克桢¹, 潘小平²

(1. 中国能源研究会地热专业委员会, 北京 100081; 2. 北京地热工程研究所, 北京 100037)

摘要 回顾了我国地热发电的发展历程, 应该克服“技术上可行、经济上不可行”的“历史性的偏见”。地热发电技术成熟, 虽投资成本稍高, 但可以替代和节省常规能源, 减少污染和二氧化碳排放; 再从国际原油价格大幅波动, 最高时已接近每桶 150 美元来看, 肯定是有竞争力的。我国藏滇地带有高温地热资源分布, 可用于地热蒸汽发电; 中低温地下热水中温度较高者可以先发电, 再将排水作综合利用。我国已开始增强型地热系统这一领域的研究工作。

关键词 地热发电 双工质循环 增强型地热系统

1 中国地热发电历程回顾

20 世纪 70 年代初, 世界面临第一次石油危机, 世界各国普遍重视新能源的开发, 中国也掀起了地热能开发的热潮, 在全国建成了 7 个中低温地热发电厂, 并先后都试验发电成功。它们是: 广东丰顺县邓屋, 92℃, 300kW; 湖南宁乡县灰汤, 98℃, 300kW; 河北怀来县后郝窑, 87℃, 200kW; 山东招远县汤东泉, 98℃, 300kW; 辽宁盖县熊岳, 90℃, 200kW; 广西象州市热水村, 79℃, 200kW; 江西宜春县温汤, 67℃, 100kW。

这些中低温地热资源发电, 利用的是扩容闪蒸法或双工质循环法^[1]。全部发电系统设备主要是利用废旧的小发电机组改造, 又自行设计了地热管路系统, 既没有采用进口设备, 也没有聘请外国专家, 使地热发电首次在中国自主试验成功。虽然发电量较小, 没有连接地区电网, 仅供当地使用, 但至少都成功运行了几年。至 70 年代后期, 除上述前 2 家电厂外, 其余的 5 处陆续关停。

另一方面, 高温地热的蒸汽发电于 20 世纪 70 年代中期开始在西藏进行。1976 年成立了西藏地热地质大队, 开始在羊八井地热田勘探, 地热电厂的设计和筹建工作也在同步进行。随着第一批高温地热井的钻成, 井口喷出 150~160℃ 的两相(蒸汽+热水)地热流体, 1977 年国庆节前夕, 1000kW 高温地热发电试验机组试验发电成功。由此, 地热勘探和电厂建设同时进行, 至 1991 年期间, 陆续完成 8 台机组安装, 使羊八井地热电厂达到 25.1MW 的总

装机容量^[2]。羊八井地热电厂被誉为世界屋脊上的一颗明珠^[3], 在当时拉萨电力紧缺的状况下, 曾担负拉萨平时供电的 50% 和冬季供电的 60%, 至今还每年发电 $1.2 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 左右。

除羊八井之外, 西藏阿里地区朗久地热电厂于 1983 年建厂, 1985 年投产 2MW 装机; 那曲地热电厂于 1993 年建厂, 1994 年投产 1MW 装机。前者因地热井产汽量不足, 后维持 1 台机组 400kW 出力间断运行; 后者 1999 年因井口结垢堵死而停运。

目前我国地热发电的现状是维持 24.78MW 装机容量, 年发电量近 $1.3 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$, 居世界地热发电排名第 15 位。

2 克服“历史性的偏见”

20 世纪 70 年代末, 我国 5 座中低温地热发电厂陆续关停, 其主要原因是认为这类地热发电在技术上可行, 但经济上不可行, 也就是“不赚钱”, 不具备商业性。

从技术上来说, 中国地热专家确实是“有一手”, 就拿 67℃ 地热水能发电 100kW 来说, 应该说至今仍是世界纪录。只是在当时的历史条件下, 我们没有在国际上发表论文, 因此缺失了文献记载这个历史纪录。而 2006 年美国在阿拉斯加建成 74℃ 温泉地热发电 200kW, 因为发表了论文, 至今还称其为

作者简介: 郑克桢, 高级工程师, 中国地质大学(武汉)客座教授, 长期从事地热能勘查和技术开发研究工作, 现任中国能源研究会地热专业委员会主任。 E-mail: kyzheng@public3.bta.net.cn

“世界最低温度发电”。

诚然,经济评价是必须的,但是我们受“中低温地热发电经济上不可行”的影响太深。从发展的眼光来看,那已经成为一种“历史性的偏见”。由于这种偏见的影响,也可能是自我满足于我国中低温地热直接利用能量排名世界第一的现状,所以几十年来不少研究者都一直主张,中国地热发展应以中低温地热直接利用为主,没必要发展地热发电^[4]。

为什么说是“历史性的偏见”呢?因为没有进行系统的对比。如果用燃煤发电来做对比,则50MW以下的小机组效率低、污染大,而300MW以上的超临界机组和700MW以上的超超临界机组效率提高,污染降低,所以我国在节能减排中要关停一批小机组,这是正确的。然而,地热发电与燃煤发电不是同一类技术,单从发电投资成本来比是不正确的。中国的地热专家也认为,地热发电投资高,中低温地热发电经济上不合算。地热发电的投资约1万元人民币建1kW装机,美国人2006年在阿拉斯加的投资是1300美元建1kW装机,折合人民币略低于1万元。我们将此与燃煤电厂几千元建1kW装机来比确实是投资成本高,但是应该看到,中低温地热发电没有污染,可实现“减排”。另一方面,近期国际原油期货价格大幅波动,最高时已接近每桶150美元,如此来比地热发电的成本对燃油发电就很有挑战性,肯定是优越得多。另外,如果单从“清洁能源”的角度来说,太阳能光伏发电约10万元投资建设1kW装机,但目前仍在推广,仍在不少地方扩大应用,并没有人说这是“超不经济”的,而中低温地热发电对比太阳能光伏发电具有绝对优势。

也许我们看不起“200kW”之类的小型地热发电,认为这在电网地区似乎是多此一举,何必不用低价的电网供电呢?这又是一种偏见。几十年来双工质循环发电技术在世界上已有极大进步,国外有一批工厂利用余热搞双工质发电,虽然仅发电几百千瓦,相对工厂的总耗电来说相差悬殊,但他们还是在这么做着。也许是受《京都议定书》规定的减排目标所迫,但至少充分说明我们过去所说的“不经济”是一种偏见。至少当时的“不经济”从社会和能源发展的角度来看,是会变成“经济”可行的。

3 地热发电潜力巨大

地热发电有3种方式,一是利用高温地热蒸汽

发电,二是用中低温地下热水发电,第三种称为增强型地热系统的开发。

3.1 高温地热蒸汽发电

意大利1904年首次试验成功利用高温地热蒸汽推动汽轮机发电。100多年来,该技术已得到不断改善和发展。2007年世界上共有24个国家建立了地热电厂,总装机容量9700MW。美国的地热发电居世界第一,为2687MW装机容量。意大利的拉德瑞罗地热田和美国的盖依瑟斯地热田都是干蒸汽地热田,即从井口喷出的是100%高温蒸汽,不含水分,直接用输送管送往汽轮机就能发电了。另外,新西兰、日本、冰岛等都是湿蒸汽地热田,井口喷出高温两相流体,既有蒸汽又含水,这种情况要先实行汽、水分离,然后蒸汽去发电,热水另作利用。世界上的高产地热井,温度能达300℃,甚至350℃,井口工作压力能达7~17bar(1bar=0.1MPa,下同),流量能达500t/h,单井地热发电潜力能达30MW。

我国西藏羊八井地热田ZK4001地热井,井口工作压力15bar,工作温度200℃,汽水总流量302t/h,其中蒸汽流量37t/h,单井发电潜力12.58MW^[5]。

我国西藏另一处已经勘探评价的羊易地热田,最高温度207℃,工作温度105~190℃,闭井压力2.8~9.4bar,工作压力0.95~11.3bar,单井汽水总流量32~373t/h,其中蒸汽流量3.5~100t/h,热田目前可建厂的地热发电潜力30MW。

我国西藏南部经四川西部至云南西部,属于全球性地中海—喜马拉雅地热带东段^[6],带内有温泉1000余处,其中高于当地沸点的有81处。目前开发用于发电的仅羊八井地热田1处,完成勘探评价的有羊易地热田1处,其余丰富的高温地热资源仅在青藏铁路沿线的谷露、董翁、续迈、吉达果等10余处进行过详细勘查,所有这些勘查过的地热田其地热发电潜力为 13.75×10^4 kW。西藏地热资源普查估算的资源总量为 2.99×10^8 kW^[7]。如此丰富的地热资源正等着我们去勘探查明,以供投入开发。

我国地热发电技术还赶不上世界先进水平,因为10余年来没有新建电厂的需求。然而羊八井地热电厂已发电31年,近年还每年生产电力 $(1.15 \sim 1.26) \times 10^8$ kW·h,年运行超过6000h,这属于世界的中上水平。如果我们抓紧努力,加强研究,是可以赶上世界先进水平的。

高温地热资源是高品位的能源,我国西藏羊八井一眼井具有 12.58MW 的发电能力,属世界上资源潜力的中上水平,这样的品位优势是其他可再生能源望尘莫及的。地热电厂一年可以运行 6000h 以上,是太阳能和风能年运行小时的 2 倍以上。

3.2 中低温地热水发电

中低温地热水发电主要是应用双工质循环法,即利用地下热水加热某种低沸点的有机工质,该工质的沸点仅 30℃ 左右,因此靠中低温地下热水加热后,就能产生 3~5bar 的压力,就可以推动汽轮机发电。从汽轮机流出的发电后的有机工质气体,可由压缩机再转化为液态,再去参与下一轮循环。

我国 20 世纪 70 年代的中低温地热水发电已具备相当水平,至少创造了 67℃ 世界最低温度发电的实例。但是,30 年来这一技术领域没有扩大应用,在跨入市场经济后,没有市场需求,因此技术上未取得新的进步。然而,在这 30 年中,世界上中低温地热水发电技术却在不断研究进步,使整套发电系统的效率得以提高,成本得以降低。

近些年来,我国还在研究开发另一种中低温地热水发电技术,称为螺杆膨胀动力机。其发电原理就是螺杆压缩机的逆向应用,即压缩机是靠电力驱动而产生压力,现在将中低温地热水(也可以是工厂余热、含污液热水等)或汽液混合物以一定压力送入螺杆膨胀动力机,就能使动力机运转而发电。这一技术在国外也属于探索性的创新技术。我国自 20 世纪 80 年代起开始研究,制成了 5kW 的试验机组。1993 年又作为国家“八五”攻关项目开始工业试验机的技术研究,并通过国家级专家评审验收。此后,深圳市某公司接手进一步研究开发,已实现 300kW 机组在工厂余热发电应用,现还能生产 1500kW 机组^[8]。

我国有 3000 多处天然温泉,其中温度在 60℃ 以上的占 24%,即 730 余处,我国还有 3000 多眼地热井,其中温度高于 80℃ 的至少有百余眼,这些资源可以用作中低温地热水发电考虑。实际上,发电只是利用这些地热流体的高温段资源,例如将 90℃ 热水用于发电至 70℃ 排出,而这些排出的 70℃ 热水仍可应用于目前的综合地热直接利用。

3.3 增强型地热系统的前景

2008 年 3 月,一份名为《地热资源的将来》的研

究报告引起美国能源部的震惊。美国马萨诸塞理工学院完成了这份历时 3 年的研究报告,该报告的副标题是“美国 21 世纪增强型地热系统的冲击”,报告全文 372 页。这项研究计划的目的,是面对美国的人口增长、社会电气化的发展,考虑美国长期能源供应的安全,对抗可能因油价波动或供应中断而招致的经济不稳定,提出地热能能否在 2050 年提供 1×10^8 kW 发电的基础容量。研究结果发现,增强型地热系统,或称工程型地热系统(即以前所称的干热岩),可以提供这样的电力和热量供应。增强型地热系统是潜力巨大的本土化资源,不像现在开发的水热型高温地热资源那样受地域限制,而且这种清洁能源导致的环境影响最小,还可做到合理的开发投资和竞争性优势的运行成本,该技术的商业化规模可望在 10~15 年内实现。研究报告估算全美国增强型地热系统的资源基础超过 1300×10^4 EJ ($E = 1 \times 10^{18}$, 下同),还估算了其可开采量超过 20×10^4 EJ,这是美国 2005 年基本能源消费量的 2000 倍^[9]!

增强型地热系统在世界上已有 30 多年的研究历史,但只局限在美国、英国、法国、德国、日本、澳大利亚等少数国家。为达到商业性开发目标,3000~5000m 钻井技术和热电转换技术等也都作过研究。在这种俗称“干热岩”的岩体中,通常是只有热,没有裂隙或孔隙,没有渗透性,没有地热流体,所以需要靠井下“压裂”,在高温岩体中造出人造裂隙,连通地下网络,便可以从一眼井灌入冷水,从另一眼井产出高温流体。

过去,我国仅有少数学者发表论文或著作,探讨这一领域,但并未实地开展这一研究。2007 年,中国能源研究会地热专业委员会与澳大利亚 Petratherm 公司签订了合作协议,共同承担“中国工程型地热系统资源潜力的研究”项目^[10]。中澳专家已联合在一些可望有潜力的选定地区开展了初步调查,采集了一些试验样品,进一步的分析测试、模型研究等工作正在逐步进行中。中国是一个具有一定经济实力的大国,更是能源需求的大国,既然美国的增强型地热系统有如此巨大的潜力,在中国也应该大有希望。我们应该跨入这一新的领域,为中国将来的能源发展做出一定的贡献。

4 结语

我国地热发电只保留了西藏羊八井地热电厂,

该厂 31 年来一直在为拉萨供电做贡献。20 世纪 70 年代我国利用中低温地下热水的 7 个发电厂寿命不长,因“技术上可行、经济上不可行”的观点而中途夭折。我国西藏和云南的高温地热资源可利用其蒸汽发电;应用双工质循环技术可以使中低温地下热水发电,然后再作综合利用。世界上少数发达国家研究的“增强型地热系统”拥有巨大潜力,有望在不远的将来替代人类的基础能源。中国应该,也正在开始步入这一领域的研究。

在我国提倡节能减排的形势下,地热能作为可再生能源的一员,资源潜力丰富,地热发电技术成熟,虽投资成本略高,但可以做到具有竞争力的商业性应用,从而在我国能源结构中发挥作用。

参考文献:

- [1] 郑克棧.地热资源的和谐开发与保护[C]//郑克棧,潘小平,董颖.中国地热资源开发与保护——全国地热资源开发与保护考察研讨会论文集.北京:地质出版社,2007:13-16.
- [2] DOR Ji.Geothermal resources and utilization in Tibet and the Himalayas[C]//FRIDLEIFSSON E B.Workshop for decision makers on direct heating use of geothermal resources in Asia.Iceland: Orkustofnun, 2008: 15-23.
- [3] 吴方之.世界屋脊上的一颗明珠——西藏羊八井地热电站[M]//郑克棧.中国地热勘查开发 100 例.北京:地质出版社, 2005:90-91.
- [4] 刘时彬.中国地热资源开发利用现状以及发展趋势分析[C]//刘久荣,郑克棧,刘时彬,等.北京地热国际研讨会论文集.北京:地质出版社,2002:25-30.
- [5] 多吉.羊八井高温地热田的深部勘探[M]//郑克棧.中国地热勘查开发 100 例.北京:地质出版社,2005:19.
- [6] 张兆兴,段亚东.云南腾冲热海是地热电力开发的最佳热田[C]//刘时彬,李宝山,郑克棧.全国地热产业可持续发展学术研讨会论文集.北京:化学工业出版社,2005:131-135.
- [7] BAO Yunqiao, ZHENG Keyan, LIU Huihong. Geothermal role in renewable energy development in Tibet, China[C]//GRC. Geothermal Resources Council Transactions, Vol.30: Geothermal resources——securing our energy future. USA: Geothermal Resources Council, 2006:607-609.
- [8] 胡达,胡亮光.螺杆膨胀动力机利用地热资源发电的技术应用[C]//郑克棧,潘小平,董颖.中国地热资源开发与保护——全国地热资源开发与保护考察研讨会论文集.北京:地质出版社,2007.
- [9] MIT-led Interdisciplinary Panel. The Future of Geothermal Energy——Impact of Enhanced Geothermal Systems(EGS) on the United States in the 21st Century[M]. Massachusetts: MIT, 2008:372.
- [10] ZHENG Keyan. China-Australia cooperation study of hot dry rock[J]. IGA News, 2007(69):13.

(编辑 张 峰)

Status and Prospect of Geothermal Generation Development in China

Zheng Keyan¹, Pan Xiaoping²

(1. Geothermal Council of China Energy Research Society, Beijing 100081;

2. Beijing Geothermal Engineering Institute, Beijing 100037)

[Abstract] The paper reviews the development course of China's geothermal generation, pointing out that it's necessary to overcome such "historical prejudice" as "technically feasible, economically infeasible". Geothermal generation enjoys mature technology. Though it requires relatively high investment, it can substitute and save conventional energy as well as reduce pollution and emission of CO₂. Also considering the drastic fluctuation of the international oil prices, approaching the height of 150 US dollars per barrel, geothermal generation is bound to be highly competitive. In China, there are rich high temperature geothermal resources in Tibet-Yunnan geothermal zone, suitable for steam feeding geothermal power generation. Those higher temperature geothermal water of the medium-low temperature geothermal zones can be used for power generation first and its discharge water can be further used for comprehensive purpose. China has begun the research work in the field of enhanced geothermal systems.

[Keywords] geothermal; generation; twin work substance circle; enhanced geothermal systems