

世界主要发达国家增强型地热系统应用研究

何金祥

(国土资源部信息中心,北京 100812)

摘要:本文简要回顾和介绍了世界主要发达国家增强型地热系统的研究现状,并对加强中国自己的增强型地热系统研究提出了建议。

关键词:发达国家 增强型地热系统 应用研究

所谓增强型地热系统(EGS)是一种不需要自然对流热水溶液的新型地热能源系统,其利用地球深处热源(多是花岗岩,称为干热岩)中的天然热,通过水力激发而产生地热资源。增强型地热系统以前被称为干热岩(HDR)。为延续历史,现也有学者用 EGS/ HDR 来笼统表示增强型地热系统。

在世界持续关注气候变化,不断开展节能减排,不断寻求发展新能源和可再生能源以及化石能源资源日益紧缺和核电安全受到争议的大背景下,增强型地热系统日益受到重视。因为地球深处地热资源极为丰富,一旦掌握了利用方法,将具有不可估量的意义。目前,世界上许多国家,特别是发达国家,正在加强增强型地热系统的研究和试验,以寻找和发现成本有效的可进行商业化规模的利用途径。

一、美国

美国是最先开展 EGS 应用研究的国家,EGS 最初被称为干热岩。1973~1992 年,美国能源部洛斯阿拉莫斯(Los Alamos)实验室在新墨西哥州的芬顿希尔(Fenton Hill)开展了干热岩能源应用研究项目(LASL-HDR)。项目分两阶段,1973~1979 年为第一阶段,水在地下约 3 公里深处进行循环试验,温度达到 150℃;项目第二阶段从 1980 年开始,计划目标深度为 4.5 公里,温度达到 330℃,但由于种种原因,最后水在 3.6 公里深处上做循环试验。因不能产生净能量输出,项目于 1992 年终止。1992 年后的 10 年,美国的地热能源应用

研究重点放在以提高现有地热资源生产率为目的的研究上。2002 财年,美国重新开始重视 EGS/HDR 技术研究,在加利福尼亚州美国海军武器空气站的科索(Coso)地热田区开展了一个试验项目,同时也对来自内华达州沙漠峰和加利福尼亚州玻璃山的新诱发(solicitation)地热系统进行了初步分析和研究。2003 财年,联邦政府拨出 350 万美元启动科索项目研究,研究目标是改善现有状况不佳钻井的渗透率,并完成沙漠峰和玻璃山两地地热利用的概念设计和可行性研究。2004 财年,政府又拨付 600 万美元,在上述 3 处地点进行进一步有关 EGS/HDR 的研究工作,包括一个地点的钻探与储集库(reservoir)激发实验和另一处的钻探一生产井等。

2006 年,由美国能源部资助、由 MIT 实施并提交的报告对美国 EGS/HDR 资源得出如下结论:①资源规模:报告计算的美国 3~10 公里深度总的 EGS/HDR 资源超过 13000ZJ,其中,200ZJ 是可提取的,随着技术的改善,这一潜力可提升至 2000ZJ,足以应付目前世界总能源的需求量数千年。报告认为,总的地热能源资源,包括地热和地压资源,等于 14000ZJ,大致为 2005 年美国一次能源利用总量的 14 万倍。②开发潜力:在未来 15 年,研发投入约达 10 亿美元,即一个煤电厂的成本。报告估计,到 2050 年,美国将安装 1000 亿瓦或以上的电力。报告进一步认为,对于保守和中等回收利用两种情况估计,可回收的资源(即用今天的技术是可获得的)将在 1.2~12.2 万亿瓦之间。③成本:报告发现,EGS/HDR 能够生产成本低达 3.9 分/千瓦时的电力,

收稿日期:2011-6-8

作者简介:何金祥,研究员,主要从事国土资源政策研究。

报告同时认为,EGS/HDR 成本对 4 个主要因素最为敏感,即热资源温度、以升/秒计量的流体流动系统、钻探成本和电力转换效率。

2009 年 3 月 4 日,美国能源部对增强型地热系统发出了两个资助机会通知,在未来 6 年中总计将提供达 8400 万美元的 EGS/HDR 研究投资,包括 2009 财年的 2000 万投资。2009 年 3 月 27 日,能源部又发出了另一个资助机会通知,该资助来自美国再投资与恢复法所规定的 350 百万美元投资,其中 8000 万美元具体用于 EGS/HDR 项目。另据最新报道,2011 年 6 月初,美国能源部地热技术项目(GTP)再次发出资助机会通知,计划就地热系统的研发问题与地热界扩大合作。能源部 GTP 的目标是把地热能源的成本降低到每千瓦时 6 美分。

二、澳大利亚

澳大利亚是目前开展 EGS/HDR 研究最活跃的国家之一。早在 20 世纪 90 年代,澳大利亚就开展了干热岩可行性研究。2000 年,澳大利亚通过了《可再生能源(电力)法》,规定了强制型的可再生电力目标(MRET),即到 2010 年,来自可再生能源产生的电力每年额外达到 9500 吉瓦小时。2006 年,澳大利亚联邦政府宣布了陆上能源安全计划,在地球科学局成立了地热项目组,并开展了 EGS/HDR 项目研究。2007 年,澳大利亚联邦政府制定了“地热路线图”计划,使澳大利亚成为世界上有明确地热资源利用目标的国家之一。2008 年,联邦政府设立了地热钻探项目,使从事地热利用的项目公司有机会在每个钻探项目中获得 700 万澳元的资助。

截至 2008 年 6 月,有 33 个公司在澳大利亚开展了寻找、钻探或开发 EGS/HDR 的工作。其中,在南澳州就有 23 个公司申请了 237 个地热许可证,涵盖面积达 110800 平方公里,占全澳大利亚的 80%。澳大利亚 EGS/HDR 工业的快速发展得益于该国的能源计划。澳大利亚能源计划规定,到 2025 年,可再生能源利用要达到能源总消费量的 25%,无疑,这一计划将大大促进澳大利亚绿色能源市场的发展。

到 2010 年年底,有 6 个以 EGS/HDR 为主业的公司 在澳大利亚证券交易所上市,它们是地球动力学有

限公司(Geodynamics Limited)、彼特拉瑟姆(Petratherm)、地热资源公司(Geothermal Resources)、KUTh、绿岩公司(Green Rock)和托伦斯(Torrens)公司。目前,世界上最大的 EGS/HDR 项目位于澳大利亚库帕盆地,正在由澳大利亚地球动力学公司进行试验开发。

三、欧盟(德国、法国、英国)

欧盟也是世界最早开展 EGS/HDR 应用研究的国际组织。德国、法国、英国、瑞士等国在 20 世纪 70 和 80 年代都相继开展了 EGS/HDR 研究。

德国在 1975 年就着手启动含有 EGS/HDR 目的的乌拉赫(Urach)研究钻孔的准备工作。自 1977 年开始,各种浅深度的 EGS/HDR 可行性研究相继在德国、英国和法国等国展开,包括 1984~1989 年间的法国 Le Mayet de Montagne EGS/HDR 项目等。

1986 年,德法两国启动了位于德法两国边界 Soultz-sous-Forêts 地区的苏茨(Soultz)EGS/HDR 项目。1987 年苏茨项目第一期工程钻探了第一个 2 公里深的钻孔并调查了莱茵-格拉本(Rhine-Graben)地区的结晶基底。1989 年,英国坎伯恩(Camborne)矿山学校(坎伯恩矿山学校是英国的 EGS/HDR 项目组)加入了苏茨 EGS/HDR 项目,从而正式形成了产业联合体。1990~1993 年,苏茨项目的第二期钻探了第二个 2 公里深度的钻孔,同时将第一个钻孔的深度加大到 3.5 公里。1994~1995 年,苏茨项目的第三期活动将第二个钻孔打到 3876 米深度并进行了生产试验,获取了 8 兆瓦的热力。1998~2000 年,位于苏茨的第二个钻孔延伸至 5060 米,进行了水力模拟和地震监测。2001 年,欧盟对苏茨 EGS/HDR 试验厂项目进行了规划和准备,同时在乌拉赫也规划和准备了另一个 EGS/HDR 研究试验厂。

苏茨 EGS/HDR 试验厂项目的主要目的是建立世界第一个 EGS/HDR 地热试验厂。项目在 2004 年正式启动,是先前苏茨项目活动的继续。2008 年 1 月,地面发电设施开始安装,以将热能转化为电能。该项目的附带目的是测试所选择设备的性能,以为未来更大工业规模的 EGS/HDR 安装(25 兆瓦或更大)建立技术和经济评价指标。该项目也计划对外开放,作为其他欧洲 EGS/HDR 项目团队的培训基地。苏茨试验厂项目是依据欧盟第六框架项目计划而开展资助的,由来自 3 个

表 1 1987 年以来苏茨项目的进展情况

1987~1991	1991~1998	1999~2007	2007~2009
勘探	上部热储集库 (GPK1/GPK2) 3600 米	深部热储集库 (GPK2/GPK3/GPK4) 5000 米	1.5 兆瓦电厂建设
· 钻探 GPK1 到 2000 米 · 取岩心 EPS1 到 2227 米	· 加深 GPK1 孔到 3600 米并进行水力学模拟 · 钻探 GPK2 到 3880 米并进行水力学模拟 · 在 GPK1 和 GPK2 间进行循环试验	· 加深 GPK2 到 5080 米并进行水力学模拟 · 钻探 GPK3 到 5100 米并进行水力学模拟 · 钻探 GPK4 到 5270 米并进行水力学模拟 · 在 GPK3(注入井)和 GPK2 与 GPK4(生产井)间进行循环试验	· 建设(涡轮机、发电机、热交换器、空气冷却系统) · 在 GPK2 孔 350 米和 250 米深处安装 ESP · 在 GPK4 孔 500 米深处安装 EPS · 深断裂系统勘查 · 电厂试验

不同成员国和一个关联国(挪威)的 9 名人员组成的联营体共同经营。苏茨项目到 2009 年底的主要进展见表 1。

自 2002 年以来,欧盟在第六框架计划(FP6)期间(2002~2006 年)先后资助了约 10 个 EGS/HDR 项目,预算总金额超过 2000 万欧元,其中,最大的项目(旗舰项目)是苏茨试验厂项目,投资 500 万欧元。在目前欧盟第七框架计划(2007~2013 年)下,已计划了更大的经费投入,将重点研究和了解与地热开发活动相关的诱发地震问题。

四、日本

日本事实上也是较早开展增强型地热系统研究的国家。早在 1974,日本贸工部(MITI)就启动了阳光项目(Sunshine Project),在此项目下,日本地质调查局开展了 EGS/HDR 项目研究,探索利用干热岩的可行性。1986~1991 年,日本新能源产业技术开发组织(NEDO)(该机构于 1980 年成立)与日本地质调查局合作在 Hijion 等地进行了一系列 EGS/HDR 实验,先后钻探了 HDR-1, HDR-2, HDR-3 等生产井,并在 1991 年进行了一个注入井与 3 个生产井的综合地下水循环实验(注入井编号为 SKG-2,在 1986 年前就已存在)。在 90 天循环实验中,每小时注水 60 吨,共注水 13.45 万吨,生产了 9.43 万吨热水和水蒸汽,生产水温度为 150~190℃。流体回收率为 78%,比 1989 年的生产试验回收率提高了近一倍。

1993 年,日本又制定了新阳光项目(New Sunshine

Project),开展了如下一些项目活动:①深位地热资源调查研究项目(FY1993 - 2000)。项目目标是,在浅部热资源已开发利用的地方,通过钻探一个深孔,评估利用 3~4 公里深处地热资源的可能性。钻孔地点位于东北日本的 Kakkonda 地区,该处自 1978 年以来一直有一 50 兆瓦电力厂在运作,另有一个 30 兆瓦电厂在 1996 年开始投产。项目研究预算为:1995 财年,294 百万日元;1996 财年,286 百万日元;1997 财年,290 百万日元;1998 财年,212 百万日元。②深地热资源勘探技术的基础研究项目(1986~1998 年)。研究目标是,更好地了解 and 评估自然状态的热液系统,改进热储集库(reservoir)对流体生产反应的地球化学和地球物理探测与预测方法。其中,1995~1998 财年的预算是:1995 财年 11 百万日元;1996 财年 9 百万日元;1997 财年 9 百万日元;1998 财年 12 百万日元。③热储集库体和热流特征技术开发项目(1997~2004 财年)。旨在通过对(热)储集库水文学特征和蒸汽生产条件下(热)储集库流体动力学的了解,开发用于热储集库管理的勘探技术。所研究方法将有效评估早期开发阶段的地热储集库,项目研究也将有效保持电力生产,甚至通过发现已利用区周围的新储集库,增加总容量。

近年来,在国际社会要求减少温室气体排放呼声不断增高和日本需要加强自身能源安全的大背景下,日本政府进一步加强了增强型地热系统研究和支持力度(主要是通过 NEDO)。截至 2008 财年底,NEDO 对日本全国 64 个地区进行了地热调查,包括开展地热勘探井钻探等。对私人企业的地热钻探活动,日本政府则通过 NEDO 给予财政补贴和技术支持,补贴比例一般可

表 2 世界主要发达国家 EGS/HDR 项目一览表

项目	类型	国家	规模(兆瓦)	电厂类型	深度(公里)	开发商	状况
Soultz	研发	法国(欧盟)	1.5	二元型(Binary)	4.2	ENGINE	运作
Desert Peak	研发	美国	11~50	二元型		能源部, Ormat, GeothermEx	开发
Landau	商业	德国(欧盟)	3	二元型	3.3	?	运作
Paralana (Phase 1)	商业	澳大利亚	7~30	二元型	4.1	彼特拉瑟姆公司	钻探
Cooper Basin	商业	澳大利亚	250~500	Kalina	4.3	地球动力学公司	钻探
The Geysers	示范	美国		Flash	3.5~3.8	AltaRock Energy, NCPA	暂停
Bend, Oregon	示范	美国		-	2~3	能源部, AltaRock Energy	许可
Ogachi	研发	日本		-	1.0~1.1	-	二氧化碳实验
United Downs, Redruth	商业	英国	10	二元型	4.5	地热工程有限公司	集资
Eden Project	商业	英国	3	二元型	3~4	EGS 能源有限公司	集资

资料来源: Wikipedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Enhanced_geothermal_system

达 50%。对钻探生产井或注入井或建造与电厂有关的管线等设施,补贴比例为 20%。自 2007 年以来,对“促进地方引入新能源项目”,最大补贴比例提升至 50%。2011 年 3 月 11 日日本 9.0 级大地震及随后的海啸引发了福岛第一核电站安全事故后,日本国内有识之士要求强化增强型地热系统研究和利用的呼声进一步高涨。

五、结语

随着人们对全球气候变化问题的日益关注和减少二氧化碳排放呼声的日益提高,人们对绿色能源和可再生能源的利用将更加重视。地热能作为一种重要的绿色能源,其储量巨大,有着无可比拟的优势和潜力。随着技术的进步,开发和利用地热资源将会成为新的能源利用方向和趋势。目前,世界主要发达国家的 EGS/HDR 项目一览情况见表 2。

在增强型地热系统中,除用水作为主要工作介质外,目前一些发达国家也在尝试用其他工作介质。据报道,昆士兰大学不久前建立的地热能源利用中心(Center for Geothermal Energy Excellence)目前获得一笔总额为 1830 万澳元的研究经费,用于开展 EGS/HDR

研究,其中大部分将用于开发二氧化碳作为介质的 EGS/HDR 技术研究。美国洛斯阿拉莫斯国家实验室和劳伦斯伯克利国家实验室近年所做的研究,则检验了超临界二氧化碳作为地热工作流体的应用情况,取得了良好效果。研究发现,在 EGS/HDR 系统中,二氧化碳有许多优势,包括更大的能量输出、最小的来自泵送和冷却的伴生损失、碳封存及最少的水利用等。

此外,在增强型地热系统研究中,各国间的合作力度也在不断增强。2011 年 3 月 9 日,澳大利亚著名的地热能源勘探与开发咨询公司——HDR 公司与欧洲三大公司——英国的 EGS 能源有限公司、德国的 BESTEC GmbH 公司和法国的 GPC Instrumentation Process SARL 公司——签署了谅解备忘录,成立了全球增强型地热系统集团,以共同研究、分享地热开发技术,推进地热产业进一步发展。

我国也应努力加强地热利用研究力度,特别是 EGS/HDR 系统研究,以缩小与发达国家间的差距,紧跟国际步伐,发现、找出和掌握适合我国地质情况的增强型地热系统,力求在不久的将来在利用研究领域中有我国的一席之地,有我们自己的新发现、新发展与新突破。我国应制定地热研究的长远规划,近期应制定 10 年规划或路线图计划,以目标明确、计划周全、稳步

(下转第 25 页)

高档住宅、写字楼、商业地产、高级宾馆、高档经营性文化设施等),具有较高的消费和投资双重属性的经营性项目用地,宜以拍卖方式供地。

协议方式。协议出让是土地有偿出让的一种有效方式,是行之有效的市场形式,不能完全排除和摒弃。它特别适合于工业用地,尤其是开发区工业用地项目和特定的工业项目。对出让前供需双方已经过充分协商,公示后,又无第二人竞投的项目用地,适合于协议出让,实现工业用地一个萝卜一个坑的“对应供应”。协议出让与土地出让中的腐败行为并无直接联系。在调查中,开发区和工业园处的负责人,列举一些项目并不完全适合于招拍挂,而更适合于协议出让。工业企业盈利主要来自劳动力、资本和技术,并非依靠土地自身增值,与房地产用地在性质上完全不同。挂牌的核心是公开、公平和公正,操作得当协议方式同样可做到。

四、通过“综合评标”完善现行招拍挂制度

座谈者多数认为,在当前体制下招拍挂是合理的、有效的交易制度,一是可以防止产生寻租腐败的不良现象;二是可以让国有资产价值得到最大限度的体现,利于保值增值;三是能加快城市建设资金的筹措,有利于城市化的推进。

但是,土地是公共资源,具有数量有限、不可再生等特点,因此,“价高者得”不能成为招拍挂制度的唯一原则或最高原则,要纠正实际操作中把有偿出让制度单纯理解为“价高者得”的倾向。特别是在当前房地产

市场处于敏感时期,可以通过“综合评标”或其他方法,设置土地有偿出让和投入开发的前置条件(门槛),避免投机行为和恶意操作,改变“只认钱不认人”的状况。

“综合评标”的关键在于构建评标体系,即指标设置及权数设定。综合调查意见,指标设置主要分两个方面或两个层次。

一是技术层面,主要是土地使用和开发条件。如,规定土地用途、容积率、节约集约程度、绿化比例、环境要求、建筑高度、建筑结构、销售限价、销售方式、开工时间、竣工时间、闲置处罚……等。甚至在土地出让中设置一些排他性条件来有效控制竞争对象,直接缩小了竞争面。

二是商务层面,主要是对投资购买人规定相关条件。如企业注册资本、企业资质、开发业绩(如开发量、获奖情况等)、银行信用等级、社会信用等级、社会信誉、社会责任、历史变迁、企业用地记录(有无闲置土地、有无违法用地、有无违反土地出让合同的行为)……等。确定其参加竞拍的资格。

在满足上述条件的基础上,运用数学模型和计算机工具等科学方法,实行人机结合、综合评价,经过一定的组成人员和按规定程序,进行科学、客观的评定后,按得分最高者的原则,择其最优者中标。

此外,在调查中,相关部门和单位提出了地块出让条件变更,出让合同开、竣工时间和条件认定,闲置土地认定和处置,企业生产用地退出机制,项目的企业拆迁置换土地,综合评标的指标体系和操作规程等问题。建议部有关单位,深入调查研究,并作出相应的法律规定,规范土地有偿出让活动和行为。

(上接第 52 页)

开展、强力推进(增强型)地热利用的产业化研究和开发,并适时制定相关鼓励性政策。尽管增强型地热系统目前还处于实验或试验阶段,经济前景还不十分明朗或难以预料,但笔者相信,经过若干年或数十年努力,增强型地热系统最终能在有效的成本效益基础上为人类提供源源不断的新能源和可持续能源,为保护地球、保护环境,维护人类的生存与发展作出举世公认贡献。

参考文献

[1]John Garnish.The Development Of HDR / EGS in Europe. Royal

Academy of Engineering, 8 April 2009http://www.raeng.org.uk/events/pdf/John_Garnish.pdf

[2]Enhanced geothermal systemhttp://en.wikipedia.org/wiki/Enhanced_geothermal_system

[3]Geothermal energy in the United States. http://en.wikipedia.org/wiki/Geothermal_energy_in_the_United_States

[4]Scope of the Geothermal Research in GSJ. <http://www.aist.go.jp/GSJ/dGT/scope.html>

[5]Hiroki SUGINO 1 and Toshihiro AKENO. 2010 Country Update for Japan. Proceedings World Geothermal Congress 2010. <http://b-dig.iie.org.mx/BibDig/P10-0464/pdf/0142.pdf>

[6]Malcolm Ward. EGS in Australia. <http://www.geothermal.org/10JulyAugust32.pdf>