

增强型地热系统在黑龙江的应用前景

祁福利, 鲁守刚, 梁双庆, 郑春晓

(黑龙江省九〇四水文地质工程地质勘察院, 黑龙江 哈尔滨 150027)

摘要:从黑龙江省地热资源开发现状、黑龙江省干热岩分布特征、增强型地热系统特点几方面,论述了增强型地热系统在黑龙江的应用前景,并对增强型地热系统的利用提出了建议。

关键词:地热资源;干热岩;增强型地热系统

中图分类号:TE249;P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2013)S1-0179-03

Application of Enhanced Geothermal Systems in Heilongjiang Province/QI Fu-li, LU Shou-gang, LIANG Shuang-qing, ZHENG Chun-xiao (Heilongjiang Province 904 Hydrogeology Engineering Geology Investigations Institute, Harbin Heilongjiang 150027, China)

Abstract: This paper present the in several aspects, such as development situation of geothermal resources of Heilongjiang province, the distribution features of hot dry rock of Heilongjiang province and the characteristics of Enhanced geothermal systems. This paper discusses the application of enhanced geothermal systems in heilongjiang, and give advice of the use of enhanced geothermal systems.

Key words: geothermal resources; hot dry rock; enhanced geothermal systems

0 引言

随着全球化石燃料总量的减少及其开发利用带来的环境恶化程度加剧,可再生且无污染的地热资源倍受人们关注。“干热岩”是一种清洁的可再生能源,是地热资源的主要组成部分,科学开发利用“干热岩”,对于减少二氧化碳排放、发展低碳经济具有重要的意义。

增强型地热系统是在“干热岩”的基础上提出来的。“增强”即这种地热资源所蕴藏的地下热能,比“浅层地热资源”所具有的能量要“增强”很多。美国能源部的定义是采用人工形成地热储层的方法,从低渗透性岩体中经济地采出相当数量深层热能的人工地热系统。目前,增强地热系统(EGS)已经成为国际上利用地热能的主流方式,用于开采地下3~10 km的低渗透岩体中的地热资源。

从黑龙江省的经济发展水平、干热岩的资源条件、开发利用技术等方面来说,开展“增强型地热系统”的试验研究,具有一定的可行性。

1 国内外研究现状

20世纪70年代,美国 Los Alamos 国家实验室在新墨西哥州的芬顿山,开始世界上最早的干热岩研究,即开采深埋于距地表4~6 km深处的花岗岩、

花岗闪长岩等,温度在150~650℃之间的干热岩。保守估计地壳中干热岩所蕴含的能量相当于全球所有石油、天然气和煤炭所蕴藏能量的30倍。20世纪80年代,英国、日本、瑞典相继开展了试验。90年代,干热岩技术进入实际应用阶段。到目前为止,中国干热岩资源开发及其技术研究尚属空白。仅少数科研单位做了理论探讨并参与了干热岩和EGS国际合作。国家对干热岩地热资源勘查投入严重不足,全国大部分地区尚未开展干热岩勘查,基础地热地质勘查工作薄弱,勘查手段不完善,后备资源不足。

2 黑龙江省地热资源开发现状

黑龙江省是工业大省,是能源消耗大省,也是地热资源大省。仅林甸县地热田,面积3746 km²,初步探明其静态储量可达1810亿m³,相当于44个密云水库,是迄今为止国内发现的最大的中低温地热田。通过断裂传导,在林甸、杜蒙、大庆、肇源附近,2000~3000 m深度地温大于40℃,这些地区聚集储藏了丰富的地热资源。近年来,我省除以大庆、林甸等松嫩平原腹地发现大型地热田外,在牡丹江、绥化、哈尔滨、佳木斯均发现了优质地热田,截止目前,我省地热水已经应用于供暖供热、洗浴疗养、种

收稿日期:2013-06-30

作者简介:祁福利(1967-),男(汉族),吉林辽源人,黑龙江省九〇四水文地质工程地质勘察院党委书记、院长、高级工程师,岩土工程专业,吉林大学硕士研究生在读,黑龙江省哈尔滨市中源大道2299号904大厦,904qfl@163.com。

植养殖、工业利用等领域。

3 浅层地热资源的开发利用前景问题

浅层地热资源因其分布普遍,埋藏浅开采利用较易风险小,利用热泵换热技术开采,既可供热采暖又可制冷空调实现资源的可持续利用,资源可利用的潜力大。就采暖供热,在黑龙江地区广泛应用。但浅层地热资源的大量开采在一些地区造成了地下水位大幅度下降、地面沉降等后果,同时浅层地热的温度、水量等难以满足高附加值的相关领域,诸如发电、工业加工等的需要。

4 高温地热水发电的开发利用前景问题

高温地热水发电,仍需要探索。我国高温地热资源比较少,主要分布于西藏和云南地区,其次是东部的台湾北部地区,地热发电在地域上受到局限。黑龙江地区的地热资源几度有过用于发电的设想和安排,但由于该项目风险大,并且当地煤炭资源丰富,用于发电似更有价值。

5 黑龙江“干热岩”分布特征

冉恒谦、冯起赠提出东北沉积盆地区和黑龙江五大连池近代火山地区是重点干热岩发育区。根据黑龙江省地热资源形成的地质条件,地热资源前期勘查成果,按地质构造盆地(断裂)规模大小划分出五种类型地热重点勘查区块,即松嫩大型断(拗)陷盆地区、中型断(拗)陷盆地区、小型山间盆地区、大型断裂地带、近代火山岩浆型地热区。判断某地方是否有干热岩存在的潜力,最明显的标志是看地温梯度是否有异常,或地下一定深度(2000~5000 m)温度是否达到150℃以上,结合资料进行判断,五个区块均可能有“干热岩”分布。

(1)松嫩大型裂谷盆地地热区。松嫩盆地基底是前侏罗纪的变质岩和岩浆岩,以石炭二叠系浅变质岩系分布最广;盖层为陆相沉积岩及火山岩。盆地内岩浆岩的分布约占盆地基底面积的1/3,以华力西和印支期花岗岩分布面积最大,燕山期花岗岩次之,加里东花岗岩最小。

(2)三江、兴凯湖中型裂谷盆地地热区。三江中新生代断(拗)陷亦具裂谷发育阶段,堆积了巨厚的中生界。深大断裂是导热通道,部分地带基底花岗岩放射性矿物蜕变释热及活动断裂摩擦生热聚热均为热源条件。亦具有良好的碎屑岩热储层,盖层局部不连续。

(3)裂谷地热区。汤原断陷盆基底花岗岩分布广泛,深部有热源(幔源热源与花岗岩放射性元素蜕变热流),这就确定了盆地内地热的物源。

(4)山间盆地型地热区。勃利盆地、宁安盆地和鸡西盆地处于老爷岭地块中,为中生代断陷盆地,基底为下元古界区域变质岩、混合岩。

(5)火山岩浆型地热区。五大连池区块属于火山岩浆型地热区,黑龙江省第四纪火山喷发主要为基性玄武岩浆,位于地壳下层或上地幔。

6 增强型地热系统特征

全球“干热岩”蕴藏的热能十分丰富,比蒸汽型、热水型和地压型地热资源大得多,比煤炭、石油、天然气的热能总和还要大。在较浅层的干热岩资源中,蕴藏的热能等同于100亿夸特(即quad,1夸特相当于18000万桶石油,而美国2001年能源消耗总量是90夸特)。这些能量是所有热液地热资源评估能量的800倍还多,是包括石油、天然气和煤在内的所有化石燃料能量的300倍还多。“干热岩”主要为变质岩或结晶类岩体,其温度范围在150~650℃之间,较常见的岩石有黑云母片麻岩、花岗岩、花岗闪长岩以及花岗岩小丘等。

增强型地热系统通过注入井注入水在地下实现循环,进入人工产生的、张开的连通裂隙带,水与岩体接触被加热,然后通过生产井返回地面,形成一个闭式回路。这个概念本身是一个简单的推断,是模仿天然发生的热水型地热循环系统。在此闭合回路系统中不排放废水、废物、废气、对环境没有影响。天然的干热岩没有热储水库,需在岩体内部形成网裂缝,以使注入的冷水能够被干热岩体加热形成一定容量的人工热储水库。

增强型地热系统技术的重点在于地下部分,包括地球物理勘探、钻井、压裂、注水等技术,地面上的技术与传统技术基本相同。

(1)地球物理勘探。建立增强型地热系统的第一步是进行地球物理勘探,地震反射波和可控源音频大地电磁测深推断基底斜坡界面对应重力低异常,可认为重力低异常为花岗岩引起,作为盆地热源可能存在干热岩。利用数据处理、解释、反演技术研究,建立地质-地球物理勘查模型,圈定干热岩的有利部位,确定钻孔位置。钻至目的层,达到可利用的岩体温度,进一步核实和量化特定的资源及相应的开发深度。地球物理勘探是项目成败的关键。我国已建立了一套比较完整的地热勘探技术和评价方

法,具备了大规模开发地热的能力,还颁布了国标、部标等技术规范。

(2) 钻探。国内石油天然气行业钻井技术相对成熟,有丰富钻井经验,其钻井技术接近国际先进水平。一般情况下,钻 4000 m 的深井,上井口直径为 500 mm,底部直径为 216 mm。中间每 1000 m 变径一次。井壁用无缝钢管密封。钻井时间可长可短,国内钻 4000 m 深井约需一到一年半时间。

为进一步提高采热能力,提高投入产出比可以采用水平井+多级压裂改造技术,使一口注入水平井与两口采出水平井取得数十口以上直井的采出效果。

目前水基钻井液耐温极限为 240 ℃,这需要采用抗高温处理剂,并配套采用抗高温增效处理剂,油基钻井液体系可以进一步提高钻井液的抗温能力,但对于干热岩来说,与油气井钻井不同,油基钻井液会对储层造成污染,从而增加发电期间水处理成本。300 ℃以上温度国内外应用较成功的是采用泡沫钻井液体系,防止循环流体过热导致液体汽化。

完井一般可以采用裸眼完井,但对于上部套管及管外水泥环来说,要经受高温水(汽)的考验。因此在套管设计时应考虑预应力固井,并考虑套管的强度在高温下衰退,一般水温达到 200 ℃时,套管强度下降达到近 20%,因此干热岩井,特别是采出井套管应考虑更大的安全系数。

固井的水泥浆体系需要考虑抗高温能力,目前的水泥浆体系抗高温极限在 180 ℃左右,对于干热岩固井来说可能难以达到要求,但是可以通过固井前充分循环冷却的方式,使固井时循环温度达到满足固井的要求。固井水泥石的抗温能力是保证水泥环长期有效封隔的关键。目前在稠油开发中已应用成功的加砂水泥可以大幅度提高水泥石的抗温能力。一般水泥中加砂量在 30%~40%,可以适应稠油热采井采用 300 ℃过热蒸汽进行吞吐开采的要求。

(3) 压裂。待两口井钻探工作结束后,向井内注入压力液,并施以约 200 个大气压的压力,将压力液压入岩石细小缝隙中,压力液中含有细小胶体可支撑裂隙,不让已张开裂缝闭合,待两口井裂隙有一定数量的交叉后,便形成人工换热系统的通路。压裂的缝隙越多越分散,越有利于流体的热交换。压裂工作质量是影响增强型地热电站装机容量的关键,目前技术上也基本成熟。

最早的模式是美国洛斯阿拉莫斯国家实验室提

出的“人工高压裂隙模式”,即通过人工高压注水到井底,干热的岩石受水冷缩作用形成很多裂隙,水在这些裂隙间穿过,即可完成进水井和出水井所组成的水循环系统热交换过程。第二种模式是英国卡门波矿产学校提出的“天然裂隙模式”,即较充分的利用地下已有的裂隙网络。已有的裂隙虽然一方面阻止了人工高压注水裂隙的发育,但另一方面当人工注水时,原先的裂隙会变宽或错位更大,增强了裂隙间的透水性。在这种模式下,可进行热交换的水量更大,而且热量交换的更充分。第三种模式是在欧洲 Soultz 干热岩工程中由研究人员提出来的“天然裂隙-断层模式”。这种模式除了利用地下天然的裂隙,而且还利用天然的断层系统,这两者的叠加使得热交换系统的渗透性更好。该模式的最大优势也是最大的挑战,即不需通过人工高压裂隙的方式连接进水井和出水井,而是通过已经存在的断层来连接位于进水井和出水井之间的裂隙系统。

(4) 注水。通过压裂,使注入井-生产井之间建立高渗透性的裂隙体系,冷水流过热储层,渗进岩石的缝隙吸收热量,再通过生产井水或蒸汽抽回地面。

7 增强型地热系统在黑龙江的可行性分析

(1) 我国多次开展了全国范围内的地质、水文地质、地热地质、石油地质等调查,确定黑龙江省干热岩分布,为 EGS 科学开发利用示范基地的选址奠定了基础。

(2) 石油天然气行业在勘探、钻井、储层造成和改造方面都有很好的技术和经验,应发挥其优势。科研单位和石油天然气行业应共参加此项研究工作,并利用已废的油气钻井,特别是深井,作为增强型地热的资源井,进行试验、研究。

(3) 美国能源部资助、由 MIT 实施并提交的报告对美国 EGS 资源做出的报告发现增强型地热系统能够产生成本低至 3.9 分/千瓦时的电力。增强型地热系统在成本上具有可行性。

(4) 增强型地热系统整个换热过程是在一个封闭的系统内进行,没有温室气体排放、土地使用适度、总的环境影响小,未来具有巨大开发的潜力。

8 建议

(1) 通过干热岩的资源分布及潜力评估,提出黑龙江增强型地热系统开发利用的优先选区。

(下转第 184 页)

3.5 钻孔质量控制措施

(1) 钻机安装前进行钢筋砼基座设计与施工, 确保基础稳固。设备安装时保证天车中心、转盘中心及钻井中心处于同一铅垂线上, 施工中随时对基座四脚进行沉降观测、及时校正;

(2) 下 DN350 玻璃钢井管及 $\varnothing 480$ 、273、219 mm 护孔管时均对井(套)管中心进行复核, 其与钻井中心偏差 ≥ 10 mm;

(3) 钻具组合: 钻头 + 导正器 + 钻铤 + 导正器 + 钻铤 + 单(双)壁钻杆 + 主动钻杆。导正器长度 > 10 m, 变径施工时采用上一口径导正器;

(4) 孔深校正分别于孔深 46.50、99.87、202.29、298.97、334.52、400.76、500.75 m 处进行, 校正误差为 $-30 \sim +100$ mm。

4 完成水文质量指标

4.1 各井段工作量(表2、表3)

表2 井段工作量

井段/mm	施工位置/m	工作量/m
$\varnothing 500$	0 ~ 46.50	46.50
$\varnothing 311$	46.50 ~ 99.87	53.37
$\varnothing 244$	99.87 ~ 202.29	102.42
$\varnothing 194$	202.29 ~ 334.52	132.23
$\varnothing 152$	334.52 ~ 500.75	166.23

表3 井管下入位置及长度

名称	孔深段/m	长度/m
DN350 mm 玻璃钢井管	0 ~ 46.50	46.50
水泥固井	0 ~ 46.50	46.50
$\varnothing 273$ mm 飞光管	47.00 ~ 87.00	50.00

4.2 水文参数指标

(上接第181页)

(2) 通过干热岩的综合地球物理勘查技术研究和干热岩地热资源量评价研究, 为寻隐伏干热岩提供有效的勘查手段。

(3) 通过对干热岩钻探关键技术与装备研空, 为干热岩的勘查提供新的钻探工艺技术。

(4) 开展增强型地热系统示范工程, 为今后开展增强型地热系统研究、开发利用和其他相关的科学研究提供试验基地。

参考文献:

[1] 冉恒谦, 冯起赠. 我国干热岩勘查的有关技术问题[J]. 探矿工

该井共进行4次现场抽水试验, 最后一次作3次降深抽水, 最长连续抽水44 h, 稳定时间 > 24 h, 成果为: 最大降深 11.40 m, 涌水量 276.4 t/h、5.28 L/(s·m), 返水温度 88 °C。

地下水水化学特征为: 总矿化度 12.9 g/L, 总硬度 3629.9 mg/L, pH 值 7.7, 属中性水; 阳离子以 Na^+ 为主, 含量 3465.5 mg/L, 占阳离子毫克当量总数的 75.3%, 其次为 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} , 含量分别为 559.36、531.86 mg/L, 分别占 11.6% 和 11%; 阴离子以 Cl^- 为主, 含量高达 7482.43 mg/L, 占阴离子毫克当量总数的 93.8%, 其次为 SO_4^{2-} , 含量为 435.63 mg/L, 占 5.5%。水质类型为“氯化钠型水”。具有水位浅、水量大、降深小、温度高、水质好等特点, 具有广阔的开发利用前景。

5 结语

(1) 终孔后物探测井井斜为 $1^\circ \sim 2^\circ$ 。

(2) 钻井严格按照设计图纸、招标文件与相关专家会议要求施工, 钻遇基岩地层破碎复杂, 孔内坍塌严重, 通过采取在效技术措施, 各项技术参数符合设计及规范要求, 具有成井质量高、温度高、水量大、降深小、水位浅、水质好、开发价值高等特点, 被评定为优良工程, 为福建省最大单井日出水量水文机井, 名列全国十大高产地热机井之一, 同时它的成功钻施对闽南地区花岗岩地层大直径深井钻探具有积极的指导意义。

注: 本井经中国能源协会地热专业委员会评为 2007 年全国最高产地热井, 名列全国地下水高产能第八位。

程(岩土钻掘工程), 2010, 37(10): 17-21.

- [2] 许靖. 黑龙江省地热资源开发利用方向[J]. 科技与企业, 2012, (2): 113.
- [3] 康玲. 增强型地热系统(EGS)的人工热储技术[J]. 机械设计与制造, 2008, (9).
- [4] 毛宏举. 增强型地热发电技术及广东省应用前景分析[J]. 新能源及工艺, 2010, (5): 25-27.
- [5] 隋学文. 黑龙江省地热能资源开发利用研究[J]. 应用能源技术, 2011, (2): 1-3.
- [6] 田延山. 中国地热资源的勘查开发和利用管理[J]. 资源开发与利用, 1999, (11): 22-23.
- [7] 李川, 王时龙. 干热岩在地热发电中的应用[J]. 热力发电, 2008, (11): 35-37.
- [8] 万志军, 赵阳升. 高温岩体地热开发的技术经济评价[J]. 能源工程, 2004, (9): 11-15.