

中国典型干热岩潜力区的地热深井部署

杨立中¹ 孙占学¹ 刘金辉¹ 王安东² 万建军²

(1. 东华理工大学 水资源与环境工程学院 江西南昌 330013; 2. 东华理工大学 地球科学学院 江西南昌 330013)

[摘要]我国干热岩开发研究领域起步晚,在深部地质、地热、水文地质、钻探、地球物理等多方面存在难题。高温深井钻探的难度大、投资高和风险大,布井是高温地热资源开发需解决的首要问题。科学布井可以降低钻探难度、风险和投资。干热岩试验靶区遴选结果显示:羊八井、腾冲、漳州等为我国典型干热岩开发潜力区。但我国干热岩地热深井钻探超前于基础理论研究,钻探存在盲目性、低效性和不确定性。本文对上述 3 个典型干热岩潜力区的地热深井部署条件做了分析,其结果具有重要理论价值和实践价值,可促进我国干热岩开发研究。

[关键词] 干热岩 高温地热深井 地热发电

[中图分类号] P314 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2017)02-06

DOI:10.13712/j.cnki.dzykt.2017.02.016

Yang Li-zhong, Sun Zhan-xue, Liu Jin-hui, Wang An-dong, Wan Jian-jun. On deployment of high-temperature deep geothermal wells in typical areas with hot dry rock potential in China[J]. *Geology and Exploration* 2017, 53(2): 0355-0360.

引言

我国在能源紧缺和环境问题上面临挑战,与此同时,地热能的开发利用受到重视。目前,地热能开发利用模式由传统的旅游度假、洗浴、疗养逐渐向供暖、制冷、种植、养殖和发电转变。其主要目的在于减少使用化石能源,实现节能减排和美化环境。即在地热能开发转型前期充分开发 200m~3000m 深度内的中低温地热资源,实现大面积供暖和制冷,在此基础上研发干热岩电技术,开发 3km~10km 深处的干热岩资源。

发达国家干热岩发电技术起步早,持续时间长。目前处于试验期和商业开发攻关阶段。我国处于干热岩靶区遴选和深井科学钻探阶段,尚未开展干热岩发电试验(陈梓慧等 2015; 廖志杰等 2015; 陆川等 2015)。干热岩靶区遴选结果显示:处于板块构造活动区的西藏羊八井、大面积花岗岩体分布区的福建漳州和近代火山活动区的云南腾冲等地热活动区干热岩开发潜力较大(甘浩男等 2015; 马峰等,

2015)。深井科学钻探方面处于理论论证阶段,工艺还不成熟,将面临高投资、高风险和高难度挑战(谭慧静等 2015; 李亚琛等 2016)。目前,仅在福建漳州实施 4000m 干热岩科学钻探井(蔺文静等, 2015)。因此,本文就干热岩地热井布井问题进行分析讨论。

1 干热岩地热井类型与布井要素

1.1 地热井类型

常规地热井可分为地质探井、探采结合井、开采井和回灌井四种类型。干热岩地热资源与水热型地热资源不同,其埋深大、温度高、以传导型为主。因此,干热岩地热井与常规地热井必然存在差异。目前,我国对干热岩地热井没有统一分类标准(蔺文静等 2012; 汪集旻等 2012; 廖志杰等 2015)。但干热岩地热井应结合我国干热岩开发研究现状进行分类。依据科学钻探、发电试验、商业开采及监测等目标,可分为地质、地热科学探井、探试结合井、探试采结合井、开采井、回灌井(注水井)和监测井 6 种

[收稿日期] 2016-05-03; [修改日期] 2016-11-12; [责任编辑] 陈伟军。

[基金项目] 国家自然科学基金大型盆地和东南沿海典型地区深部水文地质调查与综合评价(编号:12120114025101)资助。

[第一作者] 杨立中(1989年-),男,硕士研究生,从事地热地质、地热水文地质及干热岩开发方面的研究工作。E-mail: 214724746@qq.com。

[通讯作者] 孙占学(1962年-),男,教授,博士研究生导师,长期从事地热学、地热水文地质学及水文地球化学方面的教学及科研工作。E-mail: zhxsun@ecit.cn。

类型。

1.2 布井要素

在干热岩开发研究过程中,布井是关键一步,牵制着后续各项工程实施。国外干热岩开发试验过程中钻井布局各异,取得结果各异。介于国外已有的干热岩钻井布置经验,我国典型干热岩潜力区地热井布井应高度重视布井方位、布井位置和井距(Michelle *et al.* 2006; Brown *et al.* 2012)。布井方位的选择是后期热储建造的关键,布井位置则是能否钻获高温的前提和后期监测的基础,井距限制了井与井之间联通。此外,断裂构造、地热场、地球物理、基底、盖层、地热水文地质等条件也是布井时应考虑的因素。

(1) 布井方位

我国在石油勘探过程中进行过类似于人工压裂的高压注水工作,取得丰富成果的同时也有经验教训。主要教训之一就是基岩内注水后不知水的去

向,与预测不相符(廖志杰等 2015)。国外在干热岩人工压裂过程中裂隙展布方向与预测方向也不大不一致(Brown *et al.* 2012)。上述现象表明地应力场与人工热储延展方向密切相关。因此,在布井时应高度重视地应力的特征,尤其是最大主应力方向,沿最大主应力方向布井非常有利于后期人工热储的建造。结合大地构造特征(廖志杰等 2015),我国典型干热岩潜力区地热井布井方位分别为:羊八井地区为近南北(S-N)向、腾冲地区为近南北(S-N)向、漳州地区为北西-南东(NW-SE)向。

(2) 布井模式

目前,国外有“纯人工压裂”、“天然裂隙-人工压裂”和“天然裂隙-断层-人工压裂”三种布井模式,分别将干热岩地热井布置在无天然裂隙和断层发育的岩体中、有一定天然裂隙发育的岩体中和有天然裂隙和断层发育的岩体中(Michelle *et al.*, 2006)。不同布井模式的优缺点见表1。

表1 不同干热岩布井模式效果统计表

Table 1 Statistics of effects of different deployment ways of hot dry rock wells

布井模式	优点	缺点	存在风险
纯人工压裂	钻进液漏失、井壁坍塌和卡钻少,钻进顺利	人工压裂和热储联通难度大	钻井耗资大,增大投资或者导致各环节资金不平衡
天然裂隙-人工压裂	人工压裂和热储联通难度较小	钻进液漏失、井壁坍塌和卡钻明显	压裂时压力过大会引起取热介质“短路”而降低温度
天然裂隙-断层-人工压裂	人工压裂和热储联通难度小甚至无需人工压裂	孔斜、漏失、卡钻严重	钻进困难

(3) 井距

在干热岩试验中井距没有具体的范围。但如果要实现深部热储建造和井与井之间的联通,过大的井距会增大风险和大投资,过小的井距又没有高温保证和商业开发价值。国际上干热岩地热井井距大致在500m~1000m之间,我国则为200m~1000m(曾义金等 2015; 吴立进等 2016)。

(4) 地热场

一个地区地热场主要由大地热流、地温梯度、地下温度和温度等值线等地热参数体现。其中,大地热流是综合性参数,能直观反映地热场特征,高地热参数可以保证在较浅处揭露高温,而地温梯度和地下温度和温度等值线则可体现温度场的分布(汪集旻等 2001)。因此,干热岩地热井易布置在高地热异常区。

(5) 断裂构造

断裂构造具有良好的导热性和控热性,且与地震密切相关。活动断层往往暗示着地下能量集聚,

易获得高温热储。断裂的这两个特征能为干热岩地热井布置指明方向。为干热岩地热井提供热源特征,同时可以为微震监测井布井提供依据。

(6) 地热水文地质

地热水文地质条件在干热岩深井布井中十分关键,在干热岩深井钻进过程中难免会遇到导水断裂,有时增强型地热系统则需建造在断层与裂隙系统中,人工热储建造和循环介质均是水。因此,地下热水补给、径流、排泄特征、水岩作用、热水化学特征、物理特征、放射性同位素特征等地热水文地质特征显得尤为重要。准确获得深部热水水文地质特征可促进注水井和生产井科学布井,预防和降低热水对设备的腐蚀和井内坍塌、化学堵塞、卡钻等事故,为后期发电试验提供保证。

(7) 基底与盖层

高地热异常只是形成干热岩的必要条件之一,此外,存在规模较大的高热导率、高生热率基底和较厚的低热导率盖层有利于深部热量向浅部传输和保

存。可见,在典型干热岩潜力区地热井宜选址于基底和盖层条件较好的地段。

(8) 地球物理

在干热岩勘探中常采用重力场、地磁场、人工地震、大地电磁、大地电流、热红外遥感等地球物理勘探方法获取深部断裂构造、岩性、热源、热储温度、热储规模等方面的信息。这些物探资料可为干热岩地热井的布置提供深部构造、岩性、热源、热储等依据。

2 典型潜力区地热井布井分析

依据布井方位、井距、模式、地热场、断裂构造、基底、盖层和地球物理等因素,对羊八井、腾

冲、漳州三个典型干热岩潜力区地热井布井进行分析。

(1) 羊八井

目前,羊八井运行着我国唯一一座高温地热电站,该电站已有近半个世纪的历史。由于长期进行回灌或者少回灌开采,热田水位下降,导致天然地热景观消失。尽管地热发电历史悠久,但区内深部干热岩地热资源和现存的高温水热资源增强型开采研究程度低。为促进区内高温地热资源进一步开发,对羊八井高温地热井布井条件进行分析(见表 2)(廖志杰等,1982;沈显杰等,1984;康文华等,1985;周安朝等,2010)。

表 2 羊八井高温地热井布井条件

Table 2 Deployment conditions of high-temperature deep geothermal wells in Yangbajing

布井条件	特征	作用
地应力	最大主应力近南北(SN)向	沿近 SN 方向布井有利于人工压裂和热储联通
地热场	大地热流 >85mW/m ² 地温梯度 45℃/km 揭露最高温度 329.8℃ 普遍出现井喷	能在较浅处获得高温
断裂构造	NE 向深大断裂发育 NW 向新构造断裂发育	导热、导水性良好,对地热井钻进不利,可降低人工压裂和热储联通难度
地热水文地质	水化学类型以 Cl-Na 型为主	发生化学堵塞和化学腐蚀可能性小
盖层	厚度 300m~700m	有利于热量保存
基底	燕山期花岗岩	导热、产热能力良好
井距	200m~500m	确保热储联通
地球物理	5km~15km 存在高温熔融体	存在浅部高温热源

由表 2 可知,羊八井地区高温地热钻井条件非常优越,而且已有近半个世纪的高温地热发电经验。具备了良好的干热岩开发和高温水热系统增强型开发基础。因此,羊八井地区可以布置探试采结合井。热田位于断裂交汇区,适合采取“天然裂隙-人工

压裂”或者“天然裂隙-断层-人工压裂”布井模式,可沿近南北向布置探试井、探试采结合井及回灌井和监测井。如果克服卡钻、孔斜和坍塌等断裂区钻井难题,其获得干热岩发电试验成功的可能性极大,是我国目前干热岩发电研究的最佳选址。

表 3 腾冲高温地热井布井条件

Table 3 Deployment conditions of high-temperature deep geothermal wells in Tengchong

布井条件	特征	作用
地应力	最大主应力近南北(SN)向	沿近 SN 方向布井有利于人工压裂和热储联通
地热场	大地热流 73.7 mW/m ² ~120.5mW/m ² 、地温梯度局部 >15℃/100m, 出露温泉温度大于当地沸点、普遍出现井喷	能在较浅处获得高温
断裂构造	SN 向深大断裂发育、EW 向新构造断裂发育	导热、导水性良好,对地热井钻进不利,可降低人工压裂和热储联通难度
地热水文地质	水化学类型较复杂阳离子以 Ca ²⁺ 、Na ⁺ 为主,阴离子以 HCO ³⁻ 、Cl ⁻ 、SO ₄ ²⁻ 为主	可能引起化学堵塞和化学腐蚀
盖层	厚度 >300m	有利于热量保存
基底	燕山期花岗岩	导热、产热能力良好
井距	200m~500m	确保热储联通
地球物理	7km 处存在岩浆囊	存在浅部高温热源

(2) 腾冲

腾冲地以其独特的火山-地热景观闻名于世,目前地热开发主要以温泉疗养和旅游为主。深部高温干热岩地热资源开发研究程度较低,尚未进行深井钻探。其高温深井钻探条件分析见表3(廖志杰等,1997;廖志杰等,1999;上官志冠等,2000;郭婷婷,2012;吴焯等,2013)。

由表3可知,腾冲地区与羊八井都具备良好的高温地热钻井条件,能在较浅处获得高温,具备高温地热发电潜力。但大规模地热发电会抽取大量地下水,可能造成水位下降,破坏天然地热景观,将对区

内旅游业造成重大损失。因此,腾冲目前适合布置地质、地热科学探井。若将来能实现高效回采,在允许开发的条件下,可沿近南北向布置探试井、探试采结合井和探采井。

(3) 漳州

漳州地热田闻名于国内外,地热开发主要以温泉洗浴-花卉-养殖等梯级开发为主。区内深部高温干热岩地热资源有一定的调查和研究基础,正在施工我国第一口4000m干热岩科学钻探井,漳州地区干热岩深井钻探条件分析见表4(庞忠和,1987;蔺文静等,2015;王安东等,2015;杨立中等,2016)。

表4 漳州高温地热井布井条件

Table 4 Deployment conditions of high temperature deep geothermal wells in Zhangzhou

布井条件	特征	作用
地应力	最大主应力近北西-南东(NW-SE)向	沿近NW-SE方向布井有利于人工压裂和热储联通
地热场	大地热流 85 mW/m ² ~ 115mW/m ² 、地温梯度 30℃/km ~ 40℃/km、揭露最高温度 121.5℃	高地热异常,有利于获得浅部高温
断裂构造	NE向深大断裂发育、NW向新构造断裂发育	导热、导水性良好,对地热井钻进不利,可降低人工压裂和热储联通难度
地热水文地质	水化学类型较为复杂,阳离子以Na ⁺ 、Ca ²⁺ 为主,阴离子以HCO ₃ ⁻ 、Cl ⁻	可能存在化学堵塞和化学腐蚀
盖层	盖层条件较差,普遍小于200m	不利于热量保存
基底	燕山晚期期花岗岩闪长岩	导热能力良好、产热能力(4.2μW/m ³)中等偏高
井距	200m~500m	确保热储联通
地球物理	12km存在低阻体,推测为岩浆囊	可能存在浅部高温热源

由表4可知,漳州地区也具备一些高温地热发电试验条件,但其盖层条件较差,花岗岩大面积裸露,不利于热量储存。目前高温地热发电试验方面条件不及羊八井和腾冲,在4km内获得高温的可能性较小。因此,漳州地区适合布置干热岩地质、地热科学探井。

3 结论

(1) 干热岩地热井可分为地质、地热科学探井、探试结合井、探试采结合井、开采井、回灌井(注水井)和监测井6种类型。

(2) 干热岩深井布井影响因素众多,在布井时应优先考虑构造断裂、地热场、地应力、基底、盖层、地球物理、地热水文地质、井距等因素。

(3) 对比显示羊八井是我国干热岩深井钻探和发电试验最佳选址,获得干热岩发电试验成功的可能性较大。

[References]

Brown DW, McLaren S, Sandiford M, Hand M. 2012. Mining the earth's heat: hot dry rock geothermal energy [M]. Berlin: Heidelberg:

43-150

Chen Zi-hui, Zheng Ke-yan, Jiang Jian-jun. 2015. Discussion on the development strategy of hot dry rock in China [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 42(03): 162-166 (in Chinese with English abstract)

Gan Hao-nan, Wang Gui-liang, Lin Wen-jiug, Wang Xiao, Ma Feng, Zhu Xi. 2015. Research on the occurrence types and genetic models of hot dry rock resources in China [J]. Science Technology Hevian, 33(19): 22-27 (in Chinese with English abstract)

Gou Ting-ting. 2012. The Rehai geothermal field its formal modle in Tengchong [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology: 1-104 (in Chinese with English abstract)

Kang Wen-hua, Li De-lu, Bai Jia-qi. 1985. Geothermal geology geothermal field of the Yangbajing in Xijang (Tibe) [J]. Bulletin of the Institute of Geomeomechanics Cags, 06: 17-79 (in Chinese with English abstract)

Liao Zhi-jie, Wan Tian-feng, Zhang Zhen-guo. 2015. The enhanced geothermal system (EGS): Huge capacity and difficult exploitstion [J]. Earth Science Frontiers, 22(1): 335-344 (in Chinese with English abstract)

Lu Chuan, Wang Gui-ling. 2015. Current status and prospect of hot dry rock research [J]. Science Technology Hevian, 33(19): 13-21 (in Chinese with English abstract)

- Li Ya-chen, Duan Chen-yang, Zheng Xiu-hua. 2016. Best practices for high temperature geothermal drilling[J]. *Geology and Exploration*, 52(01): 0173 - 0181(in Chinese with English abstract)
- Lin Wen-jing, Wang Feug-yuan, Gan Hao-nan, Ma Feng, Wang Gui-ling. 2015. Site selection and development prospect of a hot dry rock resource project in Zhangzhou geothermal field, Fujian Province [J]. *Science Technology Hevien*, 33(19): 28 - 34(in Chinese with English abstract)
- Lin Wen-jing, Liu Zhi-ming, Ma Feng, Liu Chun-lei, Wang Gui-ling. 2012. An estimation of HDR resources in China's Mainland [J]. *Science Technology Hevien*, 33(5): 807 - 811(in Chinese with English abstract)
- Liao Zhi-jie. 1982. Setting of the geothermal activities of Xizang(Tibet) and a discussion of associated heat source problems [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, (02): 70 - 78(in Chinese with English abstract)
- Liao Zhi-jie, Yin Zhen-wu, Jia Xi-yi, Lu Wei-xin. 1997. Conceptual model of the Rehai(hot sea) geothermal field in Tengchong, Yunnan Province, China [J]. *Geological Journal of China Universities*, 03(02): 212 - 221(in Chinese with English abstract)
- Liao Zhi-jie. 1999. Vol canism and geothermals in Tenchong County, Yunnan Province, China [J]. *Geological review*, 45: 934 - 939(in Chinese with English abstract)
- Ma Feng, Sun Hong-li, Lin Wen-jing, Gan Hao-nan, Wang Gui-ling. 2015. Target site selection and index matrix evaluation of EGS trial project in China [J]. *Science Technology Hevien*, 33(8): 41 - 47(in Chinese with English abstract)
- Michelle Kubik Ehinola O A, Akpanowo M A. 2006. The future of geothermal energy - impact of enhanced geotherma (EGS) systems on the United States in the 21st century [R]. Massachusetts Institute of Technology: 100 - 150
- Pang Zhong-he. 1987. Zhangzhou Basin geothermal system - genesis model, energy pottential and the occurrence of thermal water [D]. Beijing: Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences: 1 - 270(in Chinese with English abstract)
- Shangguan Zhi-guan. 2000. Structure of geothermal reservoirs and the temperature of mantle lerived magma hot source in theTengchong [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 16(1): 83 - 90(in Chinese with English abstract)
- Tan Hui-jing, Zhou Dan, Chen De-nan, Li Ya-chen, Zheng Xiu-hua. 2015. Research on performance of foam agents for foamed cement used in high temperature geothermal wells [J]. *Geology and Exploration*, 51(6): 1181 - 1186(in Chinese with English abstract)
- Wang Ji-yang, Hu Sheng-biao, Pang Zhong-he, He Li-juan, Zhao Ping, Zhu Chuan-qing, Rao Song, Tang Xiao-yin, Kong Yan-long, Luo Lu, Li Wei-wei. 2012. Estimate of geothermal resources potential for hot dry rock in the continental area of China [J]. *Science Technology Hevien*, 30(32): 25 - 31(in Chinese with English abstract)
- Wu Li-jin, Zhao Ji-chu, Li Ai-yin, Xing Sheng-xia. 2016. Key issues of geothermal resource exploitation and utilization in the depression area of northern Shandong Province [J]. *Geology and Exploration*, 52(2): 0300 - 0306(in Chinese with English abstract)
- Wu Ye, Lu Yu-bei, Chen Ying. 2013. Research on the air drilling test in the Tengchong volcano geothermal - ectonic zone [J]. *Geology and Exploration*, 49(3): 0528 - 0533(in Chinese with English abstract)
- Wang An-dong, Sun Zhan-xue, Liu Jin-hui, Hu Bao-qun, Wan Jian-jun, Yang Li-zhong. 2015. Radiogenic heat production of rocks from Zhangzhou, SE China and its implications for thermal regime of lithosphere [J]. *Science Technology Hevien*, 33(24): 41 - 45(in Chinese with English abstract)
- Yang Li-zhong, Liu Jin-hui, Sun Zhan-xue, Wand An-dong, Wan Jian-jun, Zhou Yi. 2016. Study of the characteristics of radioactive heat production rate and hot dry rock resources potential in Zhangzhou City [J]. *Modern Mining*, 03: 123 - 133(in Chinese with English abstract)
- Zeng Yi-jin. 2015. Technical progress and thinking for development of hot dry rock (HDR) geothermal resources [J]. *Petrol Drilling Techniques*, 43(02): 1 - 8(in Chinese with English abstract)
- Zhou An-chao, Zhao Yang-sheng, Guo Jin-jing, Zhang Ning. 2010. Study of geothermal extractton scheme of hot dry rock in Tibetan Yang-bajing region [J]. *Chinese Journal Rock Mechanics and Engineering*, 19(02): 4090 - 4095(in Chinese with English abstract)

[附中文参考文献]

- 陈梓慧, 郑克棧, 姜建军. 2015. 试论我国干热岩地热资源开发战略 [J]. *水文地质工程地质*, 42(03): 162 - 166
- 甘浩男, 王贵玲, 蔺文静, 王 潇, 马 峰, 朱 喜. 2015. 中国干热岩资源主要赋存类型与成因模式 [J]. *科技导报*, 33(19): 22 - 27
- 郭婷婷. 2012. 云南腾冲热海地热田特征及成因研究 [D]. 昆明: 昆明理工大学: 1 - 104
- 康文华, 李德禄, 白嘉启. 1985. 西藏羊八井热田地热地质 [J]. *中国地质科学院地质力学研究所所刊*, 06: 17 - 79
- 廖志杰, 万天丰, 张振国. 2015. 增强型地热系统: 潜力大、开发难 [J]. *地学前沿*, 22(01): 335 - 344
- 陆 川, 王贵玲. 2015. 干热岩研究现状与展望 [J]. *科技导报*, 33(19): 13 - 21
- 李亚琛, 段晨阳, 郑秀华. 2016. 高温地热钻井的最佳实践 [J]. *地质与勘探*, 52(01): 173 - 181
- 蔺文静, 王凤元, 甘浩男, 马 峰, 王贵玲. 2015. 福建漳州干热岩资源选址与开发前景分析 [J]. *科技导报*, 33(19): 28 - 34
- 蔺文静, 刘志明, 马 峰, 刘春雷, 王贵玲. 2012. 我国陆区干热岩资源潜力估算 [J]. *地质学报*, 33(5): 807 - 811
- 廖志杰. 1982. 西藏地热活动的背景及热源问题的讨论 [J]. *北京大学学报*, (02): 70 - 78
- 廖志杰, 贾希义, 尹正武, 吕维新. 1997. 腾冲热海地热田的概念模型 [J]. *高校地质学报*, 03(02): 212 - 221
- 廖志杰. 1999. 腾冲火山和地热 [J]. *地质评论*, 45(增): 934 - 939
- 马 峰, 孙红丽, 蔺文静, 甘浩男, 王贵玲. 2015. 中国 EGS 示范工程靶区选址与指标矩阵评价 [J]. *科技导报*, 33(8): 41 - 47
- 庞忠和. 1987. 漳州盆地热系统 - 成因模式. 热能潜力与热水分布规律的研究 [D]. 北京: 中国科学院地质与地球物理研究所: 1 - 270
- 上官志冠. 2000. 腾冲热海地热田热储结构与岩浆热源的温度 [J]. *岩石学报*, 16(01): 83 - 89

- 谭慧静,周丹,陈德南,李亚探,郑秀华. 2015. 用于高温地热井泡沫水泥泡沫剂性能研究[J]. 地质与勘探, 51(06): 1181-1186
- 汪集旻,胡圣标,庞忠和,何丽娟,赵平,朱传庆,饶松,唐晓音,孔彦龙,罗璐,李卫卫. 2012. 中国大陆干热岩地热资源潜力评估[J]. 科技导报, 30(32): 25-31
- 吴立进,赵季初,李艾银,邢生霞. 2016. 鲁北拗陷区地热资源开发利用关键性问题研究[J]. 地质与勘探, 52(02): 300-306
- 吴焯,卢予北,陈莹. 2013. 腾冲火山地热构造带空气钻探试验研究[J]. 地质与勘探, 49(03): 527-533
- 王安东,孙占学,刘金辉,胡宝群,万建军,杨立中. 2015. 漳州地区岩石放射性地球化学特征及岩石圈热结构[J]. 科技导报, 33(24): 41-45
- 杨立中,刘金辉,孙占学,王安东,万建军,周毅. 2016. 漳州岩体放射性生热率特征及干热岩资源潜力[J]. 现代矿业, 03: 123-128
- 曾义金. 2015. 干热岩热能开发技术进展与思考[J]. 石油钻探技术, 43(02): 1-8
- 周安朝,赵阳升,郭进京,张宁. 2010. 西藏羊八井地区高温岩体地热开采方案研究[J]. 岩石力学与工程学报, 19(02): 4090-4095

On Deployment of High - Temperature Deep Geothermal Wells in Typical Areas with Hot Dry Rock Potential in China

YANG Li-zhong¹, SUN Zhan-xue¹, LIU Jin-hui¹, WANG An-dong², WAN Jian-jun²

(1. School of Water Resources & Environmental Engineering, East China University of Technology, Nanchang Jiangxi 330013;

2. School of Geoscience Engineering, East China University of Technology, Nanchang, Jiangxi 330013)

Abstract: In our country, the research of hot dry rock development started late, and there exist many difficult issues in this field involving deep geology, geotherm, hydrogeology, drilling, and geophysics. Among them, the high - temperature well drilling is the facing the issues of large difficulty, high investment and high risk. Reasonable deployment of wells is fundamental for the development of high - temperature geothermal resources, which can reduce the drilling difficulty, risk and investment. The selection results of test targets show that the Yangbajing, Tengchong, and Zhangzhou are typical hot dry rock areas with development potential. But the deep geothermal well drilling is in advance of basic theory research, leading to blindness, low efficiency and uncertainty in drilling projects. This work has analyzed the deployment conditions of deep geothermal wells in the three typical areas of hot dry rock potential aforementioned, and the results are of high theoretical and practical values, and can promote the research of China's development of hot dry rock resources.

Key words: hot dry rock, high - temperature deep geothermal well, geothermal power generation

