

景洪市嘎栋地热井特征及成井工艺总结分析

罗文行, 孙国强, 房艳国, 叶浩, 龚成, 游小川
(长江三峡勘测研究院有限公司〈武汉〉, 湖北 武汉 430074)

摘要:景洪盆地内蕴藏有丰富的地热资源。通过对景洪市嘎栋地热资源勘查地热井地质、施工情况及成果进行介绍, 结合勘查施工实践, 针对地热资源勘查开发、地热钻井施工、成井工艺及钻井过程中地质问题等有关内容进行经验总结并分析, 对地热地质条件与地热井施工之间结合进行一些经验探讨, 并对现行地热井规范中关于井身结构设计、取水层位确定、单井资源量计算等问题提出一定疑问。旨在通过实践及疑问探讨, 力图找出为地热资源勘查开发提供值得借鉴的经验和教训。

关键词:地热资源勘查; 地热地质; 地热井; 成井工艺; 景洪盆地

中图分类号: P634; TE249 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2016)10-0257-04

The Features of Geothermal Well in Gadong of Jinghong City and the Well Completion Technology/LUO Wen-xing, SUN Guo-qiang, FANG Yan-guo, YE Hao, GONG Cheng, YOU Xiao-chuan (Three Gorges Geotechnical Consultants Co., Ltd., Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: There are abundant geothermal resources in Jinghong basin. Based on the geological conditions of geothermal well for geothermal resources exploration, construction conditions and the achievements, combined with the practice and experiences obtained in geothermal resources exploration, this paper summarizes and analyzes the geological issues related to geothermal resources exploration, geothermal well drilling, completion technology and well drilling; and discusses the relation between geological conditions and geothermal well construction. Some questions for the specifications in the current standard for geothermal well are raised, such as well body structure design, water level determination and calculation of single well resource, which is meant to find out valuable experience and lessons for geothermal resources exploration by practice and discussion.

Key words: geothermal exploration; geothermal geology; geothermal well; well completion technology; Jinghong basin

地热能是一种新型的清洁资源和能源, 它集热、矿、水为一体, 在洗浴、医疗保健、供暖、发电、种植与养殖、矿泉饮用等领域有着广泛的应用。所以, 地热资源的开发利用, 不仅可以取得显著的经济和社会效益, 更重要的是还可以取得明显的环境效益。

景洪市为云南省西双版纳傣族自治州州府所在地, 坐落于景洪盆地内, 是国家著名的旅游风景名胜。盆地内蕴藏着较为丰富的地热资源, 通过对地热资源的勘查, 达到对该地区地热水资源的合理开发利用。景洪市嘎栋地热井位于景洪市嘎栋村, 本文主要针对该地热井钻井过程中遇到的问题及一些经验进行总结探讨。

1 地质概况

1.1 区域地质概况

研究区属三江印支褶皱系的南延部分, 地处青

藏滇缅构造体系中段与三江经向构造带复合部位。以澜沧江断裂为主体的北西—南东向构造形迹, 景洪盆地以北构造线为 $320^{\circ} \sim 340^{\circ}$, 向南以弧形弯曲转为 $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$, 呈向东突出的弧形构造。澜沧江大断裂带向北延入西藏, 向南延入缅甸境内。该断裂带是晋宁运动以后逐步形成和发展的, 在漫长的地质发展过程中, 对区内沉积建造、岩浆活动、构造变动均有明显的控制作用。澜沧江断裂以西, 广泛分布上元古界(包括部分下元古界)澜沧群蛇绿岩、复理石建造; 晚古生代—三叠纪是上升隆起为一地背斜; 卡尼期末地槽褶皱回返, 在地背斜之山间盆地中堆积了侏罗系、白垩系磨拉石及红色建造; 澜沧江断裂以东, 至少在晚古生代就已经发展成为一强烈沉降的优地槽拗陷带, 三叠纪时尤为剧烈, 沿深断裂及其东侧岛弧型海底火山大量喷溢, 形成印支旋回优地槽型巨厚之中酸性、中基性火山沉积建造。

收稿日期: 2016-07-07; 修回日期: 2016-09-10

作者简介: 罗文行, 男, 汉族, 1983年生, 高级工程师, 地热开发研究中心主任, 博士, 从事深部地热资源勘查研究工作, 湖北省武汉市东湖新技术开发区光谷创业街99号, luowx@cug.edu.cn。

研究区出露地层主要有第四系的冲积、洪积、残积、坡积层,侏罗系花开左组(J_2h)的泥岩、砂岩及粉砂岩,三叠系小定西组(T_3x)的凝灰质砂泥岩、凝灰岩、凝灰质角砾岩夹熔岩、粉砂质泥岩、泥岩夹碎屑砂岩,三叠系忙怀组(T_2m)的流纹岩、英安岩、硅质岩、砂砾岩、泥岩,二叠系上统(P_2)的板岩、片岩以及中性火山岩、岩屑砂岩、硅质岩;出露的岩浆岩主要有燕山期侵入岩(δ_5^2),岩性为闪长玢岩、闪长岩、石英闪长岩、部分花岗闪长岩,以及印支期侵入岩(γ_5^1),岩性为黑云二长花岗岩、黑云花岗岩、及少量花岗闪长岩、斜长花岗岩。

1.2 研究区地热地质条件

研究区地热系统属于中低温对流型地热系统,满足了地热资源形成的基本条件,包括热源、水源、储集层及保温盖层等,其主要特点表现如下。

(1)研究区热源来源并无特殊的附加热,主要靠本研究区区域大地热流量供热和维持,虽然研究区及周边出露较多岩浆岩,但其均属于印支期,时代久远,早已冷却,不可能作为研究区地热异常的附加热源。

(2)中低温对流型地热系统中的地下水必须有足够的水量和一定的循环深度,才能构成一个从补给、径流、存储到排泄的地下水环流系统,并在地下径流过程中逐渐被加热,形成中低温热水。研究区水源补给主要来自于大气降水及地表径流,水量补给较为丰富。

(3)研究区及周边发育有规模较大的澜沧江主断裂及其次生断裂,地热井周边也发育有规模较大的景洪盆地东边界断裂,根据前人资料中对于这些断裂的研究及地球物理资料显示,这些区域大断裂切割较深,其发育为地下水的深部循环提供了便利的流通条件,同时断裂破碎带的发育也为地下热水的储存提供了较为理想的空间,形成较为理想的储集层。

(4)研究区区域主要地层为砂岩、粉砂岩、板岩、硅质岩、火山岩及岩浆岩等,这些岩石导热率较小,均可作为较好的保温岩层。

以上分析,研究区具备良好热源、水源、储集层及保温盖层等地热资源形成必要条件,可形成理想的从补给、径流、存储到排泄的地下热水循环系统,从而形成较为理想的地热水资源,地热地质条件较好。

1.3 地热井钻遇地质情况

钻井施工实际钻遇地层显示研究区上三叠统小定西组下段(T_3x^1)与二叠系上统(P_2)地层直接接触,二者之间呈不整合接触,本地热井钻探揭露的实际地层见表1。

表1 嘎栋地热井揭露地层表

地层代号	井段/m	地层岩性	厚度/m
第四系(Q)	0~10	残坡积物,粘土层含砂砾石	10
小定西组下段(T_3x^1)	10~365	上部主要为灰色砂岩、粉砂岩及灰黑色粉砂岩、泥岩,下部主要为浅青灰色砂岩、粉砂岩	355
二叠系上统(P_2)	365~2105	主体为灰—灰黑色的板岩夹部分砂岩,下部可见夹有灰绿色的硅质岩及变质砂岩	1740

通过钻探情况、岩屑编录情况分析,本地热井井段从600~2105 m共钻遇6处裂隙发育带或破碎带,即该井的主要产水段,分别在640~650、695~705、1258~1263、1410~1420、1795~1810、1810~2105 m,地层属于二叠系上统,岩性表现为灰—灰黑色的板岩夹部分砂岩以及灰绿色的硅质岩及变质砂岩,这些井段在钻井施工过程中多出现了泥浆漏失、掉钻、卡钻等现象,岩屑编录资料显示这些井段返出的岩屑多含有石英颗粒、岩屑多有锈斑发育等现象,地球物理测井解释结果中这些井段多解释为裂隙发育段,这些不同方面的现象均可作为对应井段发育裂隙及破碎带的证据。

这些井段中异常规模较大、较明显井段即主要产水段有3段,分别为:在1410~1420 m钻进过程中返出岩屑颗粒粒径极大,多在2 cm左右,最大可达3 cm,并伴随有卡钻、掉钻现象;在1785~1810 m段钻进过程中漏浆严重,漏浆总量达130 m³,每小时漏浆量>20 m³,该井段岩屑锈斑发育普遍,并可见较多的石英颗粒;在1810~2105 m段钻进过程中持续漏浆,漏浆总量346.7 m³。

与本项目第一阶段勘查论证中音频大地电磁测深结果对比,640~650、695~705 m井段对应音频大地电磁测深剖面中的深度600~800 m的电阻率异常突变带;1258~1263、1410~1420 m井段对应音频大地电磁测深剖面中的深度1200~1600 m电阻率低阻异常带;1785~2105 m井段作为该井漏浆量最多的井段,对应音频大地电磁测深剖面中的深度1750~2105 m电阻率异常突变带。

本地热井所钻遇断裂破碎带及裂隙带主要受控

于景洪盆地边界断裂及其次生断裂,其中 1785 ~ 2105 m 井段的破碎带即为盆地主边界断裂(东西走向)的主断裂破碎带向下延伸部分,与本地热井设计初衷将盆地主边界断裂破碎带作为本井储热水层一致。

2 成井井身结构

通过对全井岩屑、物探测井资料以及钻井过程现象资料认真分析和研究,在确保有效进行地热水资源开发的情况下,完成了成井施工。

本次成井终孔深度 2105.00 m,其井身结构如图 1 所示。

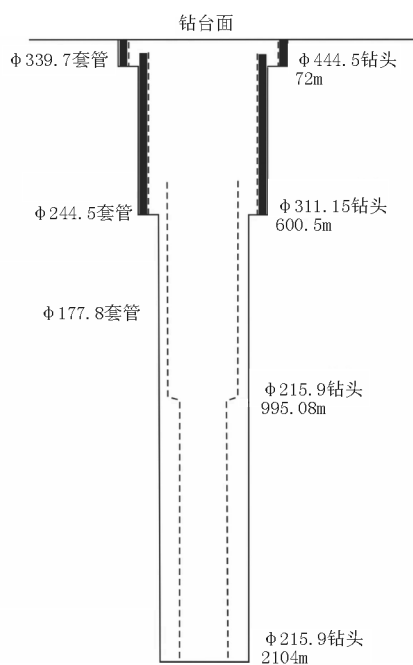


图 1 嘎栋地热井井身结构示意图

一开井段 0 ~ 72 m,井径 444.5 mm,在见完整基岩后下 $\varnothing 339.7$ mm 石油无缝套管并水泥固结;二开井段 72 ~ 600.5 m,井径 311.15 mm,下 $\varnothing 244.5$ mm 石油无缝套管并水泥固结永久封隔上部低温水, $\varnothing 244.5$ mm 与 $\varnothing 339.7$ mm 套管重叠 31.8 m;三开井段 600.5 ~ 2105 m,井径 215.9 mm 钻至终井,井段 583.84 ~ 995.08 m 下入 $\varnothing 177.8$ mm 石油套管,其中下入滤水管井段为 641.45 ~ 675.98 m、687.43 ~ 710 m;井段 995.08 ~ 2105 m 下入 $\varnothing 139.7$ mm 石油套管,其中滤水管下入井段为 1236.19 ~ 1291.37、1371.21 ~ 1462.3、1541.88 ~ 1620.56、1677.33 ~ 1733.26、1790.11 ~ 1991.86、2014.43 ~ 2082.41 m。 $\varnothing 177.8$ mm 石油套管与 $\varnothing 139.7$ mm 石油套管二者之间采用变径接头连接,二开井段未采取任何止水措施。套管下入数据见表 2。

3 抽水试验及水质评价利用

该井利用深井潜水泵进行抽水试验,抽水试验依据《地热资源地质勘查规范》(GB/T 11615—2010),实施了 2 个降深的稳定流抽水试验,最大降深抽水稳定持续时间 > 48 h,通过抽水试验数据对该井水文地质参数及资源量进行计算,为合理开发本区域地下热水资源提供了可靠依据。

该井井底温度 81.71 °C,井口水温 60 °C,出水量 31.25 m³/h,相应的热能资源量 1417.4 kW,年开采累计热能为 7.45 × 10⁷ MJ。该地热井地热水 pH 值为 7.4,总硬度 97.24 mg/L,水化学类型 HCO₃ - Na⁺ 型弱碱性水,水质达到医疗价值指标为水温、

表 2 嘎栋地热井套管下入数据表

序号	井段	直径/mm	材质	下管长度/m	备注
1	地表管(0 ~ 72 m)	339.7	石油管 J55	72	
2	一开管 (40.2 ~ 600.5 m)	244.5	石油管 J55	560.30	与 $\varnothing 339.7$ mm 井管重叠 31.8 m
3	二开管 (583.84 ~ 995.08 m)	177.8	石油管 J55	411.24	与 $\varnothing 244.5$ mm 井管重叠 16.66 m 滤水管井段为:641.45 ~ 675.98、687.43 ~ 710 m
4	二开管 (995.08 ~ 2105 m)	139.7	石油管 J55	1109.92	与 $\varnothing 177.8$ mm 井管采用变径接头连接 滤水管井段为:1236.19 ~ 1291.37、1371.21 ~ 1462.3、1541.88 ~ 1620.56、1677.33 ~ 1733.26、1790.11 ~ 1991.86、2014.43 ~ 2082.41 m

氟、偏硼酸及偏硅酸,达到命名矿水浓度指标为偏硅酸,可命名为含氟含偏硼酸偏硅酸温热水,适宜作理疗、洗浴及保健用水。

4 存在的问题及经验探讨

4.1 钻井工序及钻井设计问题

由于目前钻井同径固井止水技术相对成熟,所以钻井结构设计可以不一定按照《地热钻探技术规程》(DZ/T 0260—2014)中建议的常规地热井井身结构(四开)设计,而仅施行3次变径(三开),具体操作为:一开井段为封固地表软弱土层段,二开井段为泵室段,口径设置应满足抽水泵要求及长期开发需求,同时也要达到封隔二开段地下低温水的作用的目的,三开井段口径可一直施工至终孔,其优点表现为在三开井段施工过程中可对该井段地质情况资料进行充分收集,通过对资料的分析,可达到对三开井段做出全面的了解的目的,进而可以灵活的确定三开井段固井止水位置,达到根据地热水资源开发需要灵活合理的选择取舍储取水层及盖层,合理处理水温与水量的矛盾,极大的降低地热井失败(不能产水或因固井判断错误导致的出水水温偏低而不能进一步采取补救措施)的风险,从而也进一步降低了施工成本。

4.2 取水层位的确定

取水层位的判断必须根据钻井过程中的钻进施工异常记录、简易水文观测资料、地质编录资料、地球物理测井以及前期地质调查和地球物理探测资料进行综合分析判断,而不能是简单的将地球物理测井解释出的裂隙层及水层作为单一证据为取水层依据。本井主要取水段分别在640~650、695~705、1258~1263、1410~1420、1795~1810、1810~2105 m,这些井段在钻井施工过程中多表现出掉钻、卡钻、泥浆漏失现象,岩屑中多有石英颗粒及铁染锈斑的发育,地球物理测井结果在这些井段多为裂隙发育段,而且这些井段都与前期音频大地电磁测深剖面电阻率异常突变带有较好的吻合,根据这些多方面的资料结合该井测温结果最终确定该井取水层的位置就位于以上这些井段,抽水试验的结果也很好的印证了这一点。

4.3 关于地热资源储量计算问题

《地热资源地质勘查规范》(GB/T 11615—2010)中建议“对单个地热开采井,应依据井产能测试资料按井流量方程计算单井的稳定产量,或以抽水试验资料采用内插法确定。计算使用的压力降低值一般不大于0.3 MPa,最大不大于0.5 MPa,年压力下降速率不大于0.02 MPa”。本井做了3个降深的抽水试验,降深值分别为 $S_1 = 104.99$ m、 $S_2 =$

55.37 m、 $S_3 = 39.0$ m,对应出水量分别为8.368、5.243、4.132 L/s,单位涌水量分别为0.0797、0.0945、0.1059 L/(s·m),本次试验中最大降深对应的动水位为151.59 m,其高程远高于本井取水层位的顶板位置,所以生产过程中以该最大降深值开采利用地热水资源也具合理性,但须长期对该地热井水位、水温及对周边地形影响等信息进行动态监测,进一步确认其合理性。

5 结语

由以上实例分析,《地热资源地质勘查规范》(GB/T 11615—2010)中关于地热井开采量确定的压力降低值规定,其合理性存在一定的疑问,而笔者认为对于地热井的生产能力的计算,建议依据较长时间的动态观测以及结合地热井所处的地质环境来确定其合理的压力降低值,而不应该不考虑地热井地质条件就单纯设定一个限定值,这样的限定极易造成地热井资源浪费或资源过采。

对于地热井合理的开采量的确定,笔者认为需要依据大量的不同地质条件下的地热井长期动态监测数据来进行研究总结,从而进一步指导地热资源勘查开发利用,特在此将该问题提出,望广大从业者能够对此问题进行深入的讨论交流研究!

参考文献:

- [1] 王虎,陈怡,段德培,等.贵州省深部地热钻井现状与发展建议[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(2):45-47,52.
- [2] 赵岩,仲玉芳.贵州雷山县CK1地热勘探井施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(10):32-35,40.
- [3] 胡郁乐,张惠,等.深部地热钻井与成井技术[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2013.
- [4] 毕玉荣.地热资源开发应用现状及前景综述[J].石油石化节能,2011,(10):7-10,48.
- [5] 卢子北.地热资源开发与问题研究[M].河南郑州:黄河水利出版社,2005.
- [6] 中国地质调查局.水文地质手册[M].北京:地质出版社,2012.
- [7] 徐培武.HD-1井地热井特征及成井工艺[J].中国煤田地质,2001,13(2):100-101.
- [8] 柯柏林.地热井(水井)工程项目质量管理[J].北京地质,2003,15(2):25-28,48.
- [9] 孙春晖.中低温对流型地热系统及其研究方法简介[J].世界地质,1999,18(1):89-91.
- [10] 李保株,李峰,周沛洁.云南景洪盆地地热地质特征及成因分析[J].地质与勘探,2011,47(5):929-934.