

多种测温方法在青海共和干热岩 GR1 井中的应用

马哲民¹, 谭现锋^{1,2}, 郝俊杰³, 刘 肖^{1,2}

(1. 山东省鲁南地质工程勘察院(山东省地勘局第二地质大队), 山东 济宁 272100;

2. 山东省地热清洁能源勘查开发工程研究中心, 山东 济宁 272100;

3. 山东省地质矿产勘查开发局第二水文地质工程地质大队, 山东 德州 253072)

摘要:干热岩钻孔温度是干热岩型地热资源评价的重要指标,目前大多数地勘工作的温度测量仪工作温度大都在 180℃ 以下,然而随着干热岩钻孔深度和温度的增加,受钻孔内高温、高压的影响,出现超出仪器测温范围或测温数值不准确的情况。为此,本文利用青海共和干热岩 GR1 井采用 BZM 电子多点测温仪、MTCHT-H 型测温仪以及多组温度计的方式进行了多种方法的单点测温,同时结合 SKD-3000B 井车测温、GRY-1 型钻孔轨迹测量仪等多点连续测温方式进行对比分析。结果表明,单点测温结果更接近真实地层温度,但单点测温效率低,精度差;GRY-1 型钻孔轨迹测量仪因隔热装置隔绝,温度传导效率较慢,测温结果偏低。需要进一步开发准确、有效、经济的高温井下温度测量仪器或方法。

关键词:干热岩;钻孔测温;高温测量;单点测温;多点连续测温

中图分类号:P634;TE249 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2020)12-0042-07

Application of various temperature measurement methods in Well - GR1 in Qinghai Gonghe hot dry rock

MA Zhemin¹, TAN Xianfeng^{1,2}, HAO Junjie³, LIU Xiao^{1,2}

(1. Shandong Lunan Geological Engineering Survey Institute (The Second Geological Brigade of Shandong Geological Survey Bureau), Jining Shandong 272100, China;

2. Shandong Geothermal Clean Energy Exploration and Development Engineering Research Center, Jining Shandong 272100, China;

3. Second Hydrogeological Engineering Geological Brigade of Shandong Geological and Mineral Exploration and Development Bureau, Dezhou Shandong 253072, China)

Abstract: Temperature is an important indicator for evaluation of hot dry rock geothermal resources. At present, most temperature measuring instruments for geological survey work only can work below 180℃. However, with the increase of the depth and temperature in hot dry rock drilling, downhole temperature may exceed the tool measurement range, or error may occur in temperature measurement due to high temperature and high pressure. During drilling of hot dry rock Well - GR1 in Qinghai Gonghe hot dry rock, single-point temperature measurement was performed with BZM electronic multi-point thermometer, MTCHT - H thermometer and multiple groups of thermometers in conjunction with multi-point continuous temperature measurement with the SKD - 3000B logging truck and GRY - 1 borehole inclinometer. Comparison of the measurement results show that single-point temperature measurement is closer to the real temperature, but it has low efficiency and poor accuracy; the GRY - 1 tool gives lower temperature due to slow temperature transmission caused by heat insulation. It is necessary to develop accurate, effective and economical high-temperature measuring instruments or methods.

Key words: hot dry rock; drilling temperature measurement; high temperature measurement; single-point temperature measurement; multi-point continuous temperature measurement

0 引言

干热岩是不含或仅含少量流体,温度高于 180

℃,其热能在当前技术经济条件下可以利用的岩体,是一种未来的清洁能源。青海省作为我国重要的生

收稿日期:2020-05-27; 修回日期:2020-09-13 DOI:10.12143/j.tkgc.2020.12.007

作者简介:马哲民,男,汉族,1990 年生,工程师,地质工程专业,硕士,主要从事水工环、地热资源方面研究工作,山东省济宁市建设东路 272 号,ma00811873@163.com。

通信作者:谭现锋,男,汉族,1977 年生,研究员,中国地质大学(武汉)地质工程专业博士在读,主要从事深部地热资源勘探与开发、采煤沉陷区综合治理与生态修复工作,山东省济宁市建设东路 272 号,geotan1977@126.com。

引用格式:马哲民,谭现锋,郝俊杰,等.多种测温方法在青海共和干热岩 GR1 井中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(12):42-48.
MA Zhemin, TAN Xianfeng, HAO Junjie, et al. Application of various temperature measurement methods in Well - GR1 in Qinghai Gonghe hot dry rock[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(12):42-48..

态屏障,如何缓解当地化石能源紧缺,实现绿色能源开发问题具有重要的现实意义。根据青海省干热岩资源初步评价结果,共和盆地干热岩理论资源总量折合标准煤 6410 亿 t,若仅开采其中的 2%,折合标准煤 128 亿 t,约为 2016 年全国能源总消耗量的 3 倍。初步探明的共和盆地恰卜恰干热岩体,埋深 2104~2500 m,面积 247 km²,温度 150~236 ℃,是迄今我国钻获埋藏最浅、温度最高的干热岩体。估算深部 3~6 km 100 年内的潜在发电装机容量为 780 万 kW。由此可见,加大共和盆地干热岩勘查开发力度,实现干热岩发电规模化、经济开发,将对改善区域经济发展发挥出重要的作用。

干热岩勘查开发是国家能源结构调整的需要,是地质勘查工作升级换代的需要,是经济社会可持续发展的需要。摸清干热岩资源储量家底,是干热岩资源开发的重要基础,而温度是影响干热岩资源储量评价的重要指标,因此,提高井下高温条件下的温度测量精度和可靠程度是非常必要的。

青海共和盆地干热岩勘查项目由中国地质调查局和青海省自然资源厅共同组织实施。共和盆地是

处于昆仑—秦岭纬向构造带与河西系构造复合部位,于新近纪初形成的断陷盆地,其北侧是青海南山断褶隆起带,南侧是河卡山—贵南南山断褶隆起带,西为鄂拉山断褶隆起带,东为瓦里贡山断褶隆起带^[1-5]。GR1 井位于青海省共和县恰卜恰镇恰卜恰河谷内,是目前国内完钻深度最深、温度最高的一口干热岩井,完钻深度 3705.42 m,井底温度 236 ℃。

1 GR1 井概况

1.1 钻孔基本概况

GR1 干热岩勘查孔位于青海省海南藏族自治州共和县恰卜恰镇。根据本孔实钻资料结合测井等地质资料,本井主要钻遇地层有:第四系(Q)、新近系(N)、古近系(E)。GR1 井上部主要为粘土、泥岩、砂岩等,结构松散;下部以砂岩和花岗岩为主。局部地层较为破碎,部分孔段破碎严重,特别是花岗岩地层,2800 m 处蚀变严重。

1.2 井身结构

青海省共和县恰卜恰镇干热岩 GR1 井基本参数见表 1、图 1。

表 1 钻孔井身结构
Table 1 Drilling structure

井段	井径/mm	深度/m	井管规格/mm	井管长度/m	井管下入深度/m
一开	444.5	0~301.26	Ø339.7×9.65	301.50	—0.24~301.26
二开	311.0	301.26~1500.00	Ø244.5×8.94	1220.47	279.53~1500.00
三开	215.6	1500.00~3361.12	Ø178×8.05	1888.12	1473.00~3361.12
四开	152.0	3361.12~3705.42	裸孔		

2 GR1 井测温

GR1 井属于高温干热岩钻井,完钻井深 3705.42 m,井底温度超过 200 ℃,泥浆密度 1.3 g/cm³,井内液柱压力超过 48 MPa,测温仪器面临高温、高压的挑战,为准确测量钻孔温度,井队先后采用了多种手段进行温度测量(见表 2)。

表 2 测温方法
Table 2 Temperature measurement methods

序号	井深/m	测量仪器	备注
1	0~1600	BZM 电子多点测温仪	单点测温,仪器停留井底 1 h
2	1700~2100	MTCHT-H 型测温仪	单点测温,仪器停留井底 1 h
3	2100~3300	多组温度计	单点测温,仪器停留井底 30 min,取温度计读数平均值
4	3300~3600	未进行单点测温	井深过大未进行单点测温
5	3705.42	多组温度计	单点测温,仪器停留井底大于 2 h

2.1 BZM 电子多点测温仪测量

BZM 电子多点测量仪由测量单元、数据线和电脑专用软件组成(见图 2),测量时将测量单元通过钻杆或钢丝绳绞车送至井底,停留 1 h 后提出,测量单元提出后与电脑连接,读取测量数据^[6-11]。

BZM 电子多点测量仪设计测量温度范围 0~100 ℃,GR1 井在 1600 m 处测量到井底温度 96.37 ℃,预计 1700 m 处温度将超过设备的测量范围,因此,1600 m 以深采用其他设备进行井底测温。0~1600 m 井底单点测温结果见图 3。

2.2 MTCHT-H 型测温仪测量

MTCHT-H 型测温仪与 BZM 电子多点测量仪测量原理及测量方法基本相同^[12-13],测量时将测量单元通过钻杆送至井底,停留 1 h 后提出,读取测量数据。MTCHT-H 型测温仪可测量的最高温度为

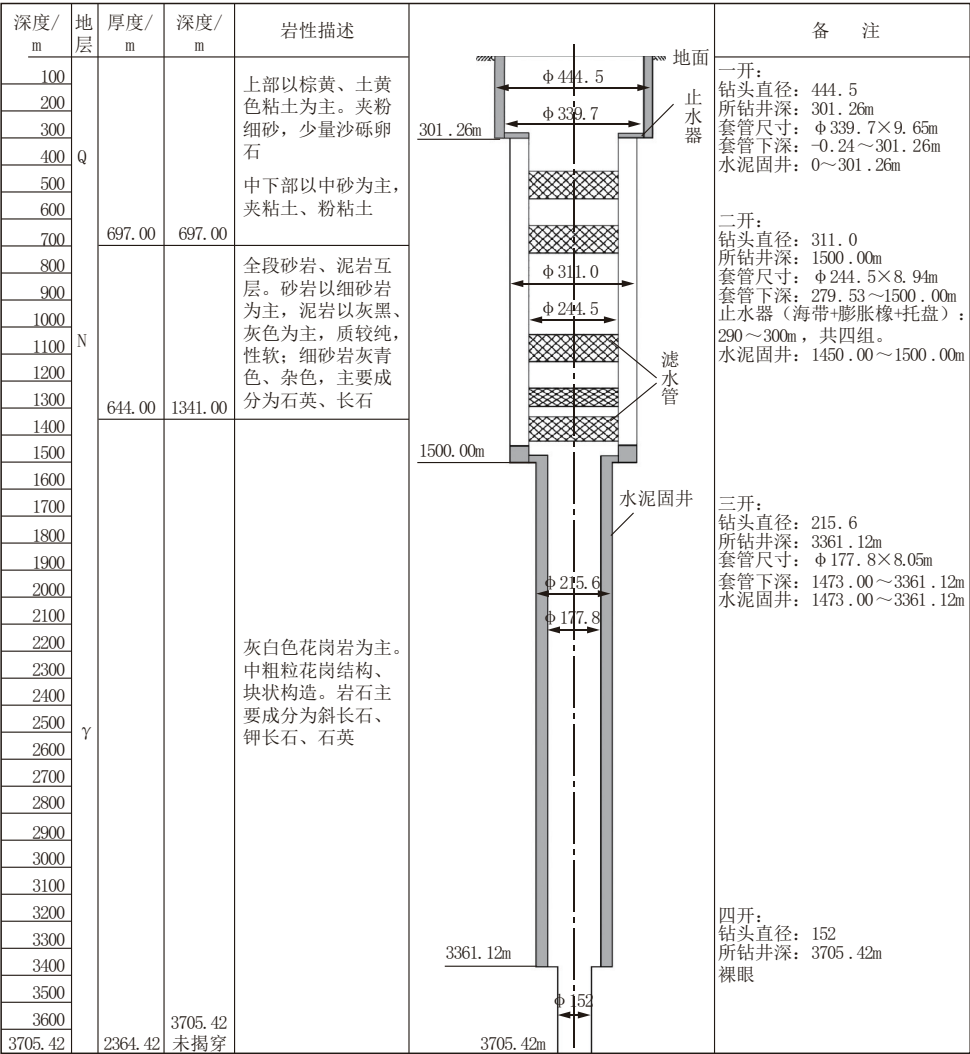


图 1 青海共和干热岩 GR1 井井身结构
Fig.1 Structure of Qinghai Gonghe hot dry rock Well – GR1



图 2 BZM 电子多点测量仪
Fig.2 BZM electronic multi-point thermometer

130 ℃,2100 m 处温度达 125.67 ℃,预计 2100 m 以深将超过适用范围。1700~2100 m 单点测温数据见图 4。

2.3 多组温度计测量

GR1 井 2100 m 以深井底温度超过 120 ℃,测温仪不再适合井底测温,因此采用多组高温水银温度计(见图 5)下入井底的方式进行测温^[14]。同时由于井底深度大,如果采用钻杆将温度计送入井底,提

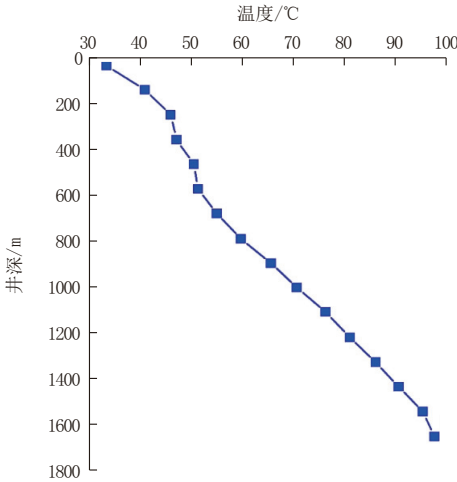


图 3 0~1600 m BZM 电子多点测温仪测温曲线
Fig.3 Logging curve with BZM electronic multi-point thermometer from 0 to 1600m

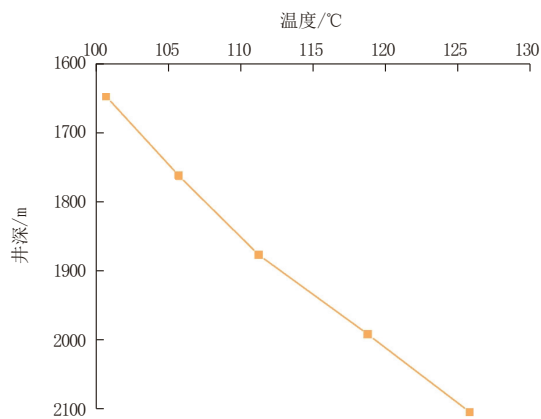


图 4 1700~2100 m MITCHT-H 型测温仪测温曲线

Fig.4 Logging curve with MITCHT-H thermometer from 1700 to 2100m



图 5 多组温度计

Fig.5 Grouped thermometer

下钻时间长,因此采用钢丝绳绞车的方式将温度计送入井底,停留 30 min 后提出,取温度计读数平均值为井底温度。温度计最高测量温度 300 °C。

表 3 井底多组温度计测温数据

Table 3 Logging data with multiple grouped thermometers at the well bottom

序号	测量时间	温 度 计 读 数/℃												最大	最小	平均
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
1	2017—03—29	216	216	220	216	208	214	204	212	208	212	220	204	213		
2	2017—04—09	212	218	224	232	234	226	225	217	218	215	234	212	222		
3	2017—05—24	220	220	222	220	220	221	220	229	224	236	236	220	223		
4	2017—08—24	224	242	224	226	224	229	226	223	226	218	242	218	226		

单点测温全部结束后绘制了单点测温数据图 7,GR1 井在 2800 m 温度超过 150 °C,并对孔底 3705.42 m 处进行了 4 次单点测温,最高温度达 242 °C,最后一次测温平均温度为 226 °C。全孔地温梯度 6.02 °C/100 m。

3 多点连续井温测量

为验证单点测温数据的准确性及获取完整全井测温曲线,GR1 井在钻进过程及完钻后进行了多点连续测温。测量如表 4 所示。

3.1 SKD-3000B 型测井车测温

采用多组温度计测量至 3400 m 处时,由于井底压力大,地层有破碎等多种原因,测量设备上提时发生卡钻事故,此后由于风险太大,3400 m 及以下未进行单点测温工作。2200~3300 m 单点测温数据如图 6 所示。

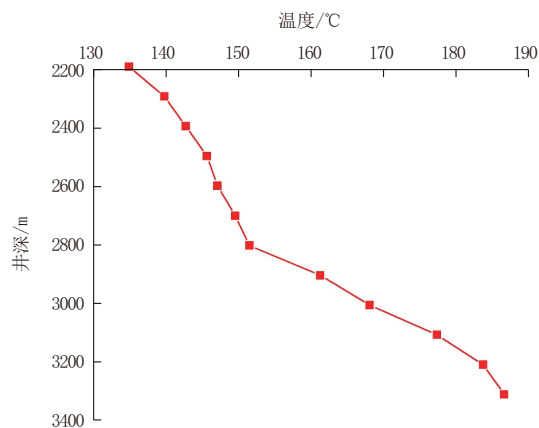


图 6 2200~3300 m 多组温度计测量测温曲线

Fig.6 Logging curve with grouped thermometers from 2200 to 2300m

2.4 井底多组温度计测温

GR1 井完钻深度 3705.42 m,完钻后采用多组温度计(每组 10 只温度计)进行了 10 次孔底测温,送入方法为钻具送入,测量时钻井液静止时间 ≥ 3 d,温度计在井底静止时间 > 2 h,测量数据如表 3 所示。

表 4 多点连续测温情况

Table 4 Multi-point continuous temperature measurement

序号	测量时间	测 量 仪 器	测量井段/m	测量时 井深/m
1	2016-01-14	SKD-3000B 测井车	0~1376	1378.00
2	2016-08-22	SKD-3000B 测井车	0~3350	3350.00
3	2017-07-13	GRY-1 型钻孔轨迹测量仪	0~3700	3705.42

2016 年 1 月 14 日和 2016 年 8 月 22 日采用 SKD-3000B 型测井车(见图 8)在二开、三开结束后对钻孔进行了 2 次地球物理测井工作,对测量井段进行了多点连续测温^[15-20]。

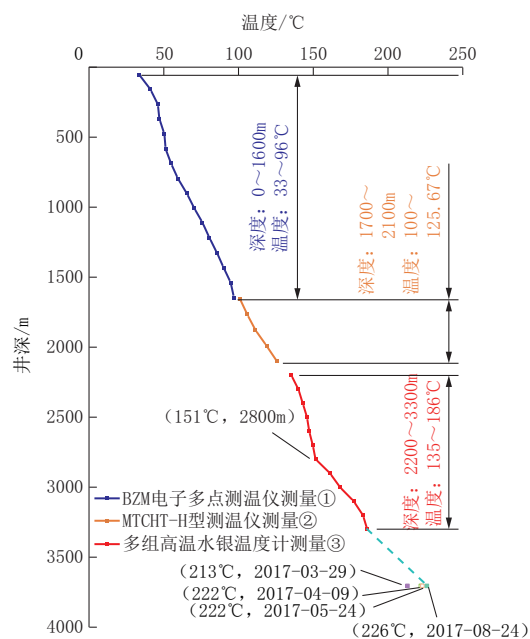


图7 不同深度3种单点测温方式测温曲线

Fig.7 Logging curve with 3 single-point temperature measurement methods at different depths



图8 SKD-3000B型测井车测温

Fig.8 Multi-point continuous temperature measurement with SKD-3000B well logging truck

2016年1月14日进行了二开测温工作,测量井段0~1376 m,测量时井深1378.00 m;2016年8月22日进行了三开测温工作,测量井段0~3350 m,测量时井深3350.00 m。测温结果如图9所示。

从测井测温曲线和单点测温曲线走势可以看出,2次测井比较有效地反映了井段的地温趋势。由于2种测温都是在停钻不久进行的井温测井,停钻时间不长导致了井内泥浆温度与地层的真实温度之间有偏差。

3.2 GRY-1型钻孔轨迹测量仪

2017年7月13日—2017年7月15日,采用GRY-1型钻孔轨迹测量仪对全孔进行了多点测温工作,测量探头钻具送入,数据采集10 s/组,探头在孔底停留1 h。

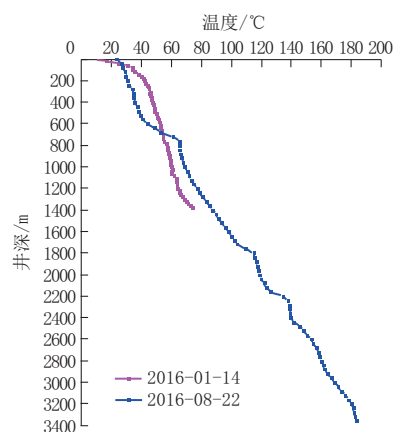


图9 SKD-3000B型测井车测温曲线

Fig.9 Logging curve with SKD-3000B well logging truck

7月14号18点下钻至3700 m处,停留孔底1 h后提钻,7月15号19点测量单元提出地面,连接电脑读取数据,取得测温原始数据15427组,数据整理后如图10所示。

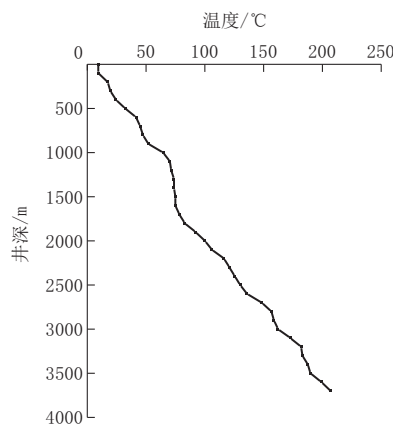


图10 GRY-1型钻孔轨迹测量仪测温曲线

Fig.10 Temperature logging curve with GRY-1 borehole inclinometer

从原始数据中得出,GR1井在井深2721 m处温度达到150 °C,在井深3610 m处温度达200 °C,3700 m处温度207 °C。

4 测温探讨

4.1 井底不同时间的单点测温数据对比

GR1井完钻时间2016年11月8日,对比不同时间的单点测温温度(见表5),发现距离完钻时间越长,井底温度越高。说明GR1井完钻289 d后仍未达到稳态温度,随着时间推移,温度将趋于稳定,目前尚无法提供稳态测温结果。

4.2 不同测温方法取得的数据对比

表 5 GR1 井井底不同时间的单点测温数据
Table 5 Single-point temperature measurement data of Well - GR1 at different times

序号	测量时间	距离完钻 时间/d	温度计读数/℃		
			最大	最小	平均
1	2017-03-29	141	220	204	213
2	2017-04-09	152	234	212	222
3	2017-05-24	197	236	220	223
4	2017-08-24	289	242	218	226
平均值					221

对比发现,3 种测温方式都能比较有效地反映井段的地温趋势(图 11),在 3000 m 左右温度达到干热岩的评价温度 180 ℃,井底温度大于 200 ℃,GR1 井在 1341 m 进入花岗岩层,计算得 GR1 井基岩段地温梯度 4.95~5.91 ℃/100 m(表 6),属于高温地热系统。

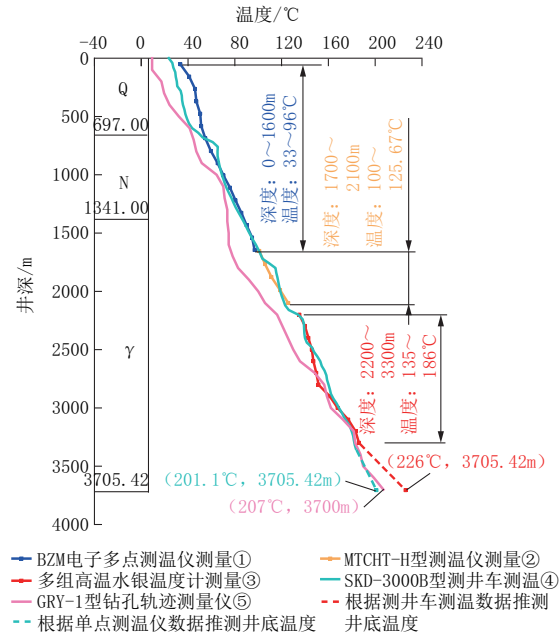


图 11 GR1 井不同测温方法测温曲线

Fig.11 Comparison of temperature measurement curves between different temperature measurement methods in Well - GR1

表 6 GR1 井地温梯度计算结果
Table 6 Well - GR1 temperature gradient calculation results

深度/m	地层	地温梯度/[℃·(100 m) ⁻¹]			
		单点测温	井车测温	钻孔轨迹测量仪	平均值
0~697	Q	2.47	5.24	5.53	4.41
697~1341	N	4.80	4.34	4.48	4.54
1341~3705.42	γ	5.91	4.95	5.65	5.50
全孔地温梯度/ [℃·(100 m) ⁻¹]		5.22	4.89	5.42	5.18

注:本次地温梯度从深度 200 m 开始计算。

同时从整体测温结果来看,单点测量和测井车

测温的数值整体大于 GRY - 1 型测温仪的测温数值。单点测量和测井车测温都是在停钻时间<2 h 内进行的测温,温度更接近泥浆温度,即地层的瞬态温度,瞬态温度应小于地层的真实温度。

采用 GRY - 1 型测温仪测得的井底温度为 207 ℃,测量日期是 2017 年 7 月 14 日,此时距离停钻已有 248 d,而 5 月 24 日和 8 月 24 日 2 次测得的孔底温度分别为 223 ℃和 226 ℃,推测 GRY - 1 型测温仪测得的温度偏低,推测原因在于测温仪测量单元外部由金属保温瓶隔热装置隔绝,温度传导效率较慢,测量单元在井底停留时间 1 h,停留时间较短,导致最终数据偏小。

5 其它测温方式

除了前文所述测温等方式,目前分布式光纤温度监测系统逐渐被应用于高温井下测温。该系统以光纤后向拉曼散射技术与光时域反射技术为基础,利用拉曼散射的反斯托克斯光对环境温度的敏感效应,实现光缆沿线的长距离分布式温度测量,系统测温范围:-20~350 ℃。实现了钻孔静态温度的分布式测量。但在实际应用过程中发现该套系统的精度、安装以及便携度方面仍有待提高。

6 结论

(1)GR1 井在 3000 m 左右温度达到干热岩的评价温度 180 ℃,井底 3705.42 m 处温度>200 ℃,基岩段地温梯度 4.95~5.91 ℃/100 m,属于高温地热系统。

(2)GR1 井完钻后 289 d 测得的井底温度最大 242 ℃,最小 218 ℃,平均 226 ℃,仍未达到稳态温度,随着时间推移,温度将趋于稳定,预计稳态温度>230 ℃。

(3)采用多种测温仪对 GR1 井进行测温,并采用测温平均值进行评价,最大限度地发挥了每种测温仪器的精度,较真实地反映了地层温度的真实情况,在 2100 m 以浅井温<130 ℃,测温可采用单点测量仪进行测量,2100 m 以深温度升高,我国现用于地勘工作的测量仪工作温度大都在 180 ℃以下,因此缺少专业的测量设备,只能采用单点式留点温度计测量,温度计测量效率低,精度差,需要进一步开发准确有效经济的单点测量方法。

(4)GRY - 1 型测温仪可用于多点测量,但本次测量出现较大误差,建议测量时减慢提下钻速度,增

加孔底停留时间。

(5)本孔井底温度尚未达到稳态温度,建议继续对GR1井进行测温,建立有时间参数的温度测量数据,确定稳态温度。

参考文献(References):

- [1] 郑宇轩,单文军,赵长亮,等.青海共和干热岩GR1井钻井工艺技术[J].地质与勘探,2018,54(5):1038-1045.
ZHENG Yuxuan, SHAN Wenjun, ZHAO Changliang, et al. The drilling technology for the GR1 well in hot-dry rock of Gonghe, Qinghai Province [J]. Geology and Exploration, 2018,54(5):1038-1045.
- [2] 周策,罗光强,李元灵,等.GRY-1型超高温干热岩地层钻孔测斜仪研制及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(4):44-48.
ZHOU Ce, LUO Guangqiang, LI Yuanling, et al. Development and application of GRY-1 borehole inclinometer for ultra-high temperature hot dry rock drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(4):44-48.
- [3] 张志,唐联级,杨爱华.测井井下仪器温度性能指标的筛选方案与评价[J].石油管材与仪器,2019,5(6):84-87.
ZHANG Zhi, TANG Lianji, YANG Aihua. Evaluation and the scheme of screening temperature performance index of well logging instruments[J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2019,5(6):84-87.
- [4] 周策.超高温干热岩光纤测井温度传感系统研究[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会.第十九届全国探矿工程(岩土钻掘工程)学术交流年会论文集,2017:314-317.
ZHOU Ce. Research on temperature sensing system of optical fiber logging of ultra high temperature hot dry rock[C]// Mineral Engineering Committee, Geological Society of China. Special for the Nineteenth National Exploration Engineering (Drilling and Tunneling) Academic Conferences, 2017:314-317.
- [5] 南海西部攻克超高温高压测井难题[J].海洋石油,2017,37(1):68.
Overcoming the problems of ultra-high temperature and high pressure logging in the western South China Sea[J]. Offshore Oil, 2017,37(1):68.
- [6] 王界益,高秋涛.超高温高压井测井技术及应用[J].测井技术,2008,32(6):556-561.
WANG Jieyi, GAO Qiutao. Logging techniques and their application in ultra high temperature and pressure wells[J]. Well Logging Technology, 2008,32(6):556-561.
- [7] 龚浩,朱传庆,徐明,等.从钻井测温曲线看地下水流向及油气储藏条件——以川东南地区丁山1井为例[J].地质科学,2010,45(3):853-862.
GONG Hao, ZHU Chuanqin, XU Ming, et al. The reservoir conditions in southeast Sichuan Basin: A study on temperature logging curve of Dingshan 1[J]. Chinese Journal of Geology, 2010,45(3):853-862.
- [8] 陈雄.地球物理方法在干热岩勘查中的应用研究[D].长春:吉林大学,2016.
CHEN Xiong. Research on the application of geophysical methods in hot dry rock prospecting[D]. Changchun: Jilin University, 2016.
- [9] 吴岑宏.地热井探测中的超高温测井技术研究[J].中国煤炭地质,2018,30(4):70-73.
WU CenHong. A study on ultrahigh temperature well logging technology in geothermal well prospecting[J]. Coal Geology of China, 2018,30(4):70-73.
- [10] 侯克均.甘孜地区高温地热储层测井识别与评价[J].工程地球物理学报,2018,15(3):308-312.
HOU Kejun. Identification and evaluation of high temperature geothermal reservoir in Ganzi region[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2018,15(3):308-312.
- [11] 臧德福,王树松,郭红旗.高温测井仪器研制[J].石油仪器,2010,24(2):1-2,5,101.
ZANG Defu, WANG Shusong, GUO Hongqi. Development of high temperature logging tools [J]. Petroleum Instruments, 2010,24(2):1-2,5,101.
- [12] 李卫卫,饶松,唐晓音,等.河北雄县地热田钻井地温测量及地温场特征[J].地质科学,2014,49(3):850-863.
LI Weiwei, RAO Song, TANG Xiaoyin, et al. Borehole temperature logging and temperature field in the Xiongxin geothermal field, Hebei Province[J]. Chinese Journal of Geology, 2014,49(3):850-863.
- [13] 郑乃川.基于电力载波的高温测井系统设计与实现[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2015.
ZHENG Naichuan. Design of high temperature petroleum logging system based on PLC[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2015.
- [14] Manuel (Manny) E. Gonzalez,白梅岭.可靠的高温测井技术[J].国外油气勘探,1996,8(6):785-786.
Manuel (Manny) E. Gonzalez, BAI Meiling. Reliable high temperature logging technology[J]. Equipment for Geophysical Prospecting, 1996,8(6):785-786.
- [15] 朱迎辉,廖意,罗文波,等.水平井光纤测温及井温曲线应用技术[J].油气地球物理,2012,10(1):22-24.
ZHU Yinghui, LIAO Yi, LUO Wenbo, et al. The technology of temperature test and application of temperature profiles in horizontal wells[J]. Petroleum Geophysics, 2012,10(1):22-24.
- [16] 刘琼.提高测井仪器耐高温性能方法的研究[J].石化技术,2016,23(12):247.
LIU Zong. Study on the method of improving high temperature resistance of logging tools[J]. Petrochemical Industry Technology, 2016,23(12):247.
- [17] 华北工程测井完成高温干热岩勘查井项目施工[J].供热制冷,2019(9):21.
North China Engineering Logging completes works of high-temperature hot dry rock exploration well project[J]. Heating & Refrigeration, 2019(9):21.
- [18] 付勇路,李鹏举,李勇勇,等.高温地层对孔隙度测井的影响[J].测井技术,2018,42(5):525-529.
FU Yonglu, LI Pengju, LI Yongyong, et al. Influence of high-temperature formation on neutron porosity logging[J]. Well Logging Technology, 2018,42(5):525-529.
- [19] 郝俊杰.矿井探测中的超高温测井技术分析[J].世界有色金属,2018(22):219-220.
HAO Junjie. Analysis of ultra-high temperature logging technology in mine detection[J]. World Nonferrous Metals, 2018(22):219-220.
- [20] 黎晗.测井仪器耐高温性能优化方法试验研究[J].长江大学学报(自科版),2018,15(11):28-32,5.
LI Han. Experimental study on optimization method of high temperature resistance of logging tools[J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2018,15(11):28-32,5.

(编辑 韩丽丽)