

天津 CGSD-01 地热调查井固井技术

胡晋军¹, 和国磊², 耿志山¹, 张立丽³, 宋志彬², 张耀⁴

(1.天津中油渤星工程科技有限公司,天津 300451; 2.中国地质科学院勘探技术研究所,河北廊坊 065000;
3.中国石化胜利石油工程有限公司固井技术服务中心,山东东营 257000; 4.山西能源学院,山西晋中 030600)

摘要:CGSD-01 井是天津地区的一口深层水热型地热资源调查井。针对井下漏失、水层活跃、选择性固井及长期耐高温等复杂情况,通过采用抗高温防窜水泥浆体系,优选橄榄型水泥伞,应用筛管顶部尾管注水泥和正注反挤固井工艺,综合形成一套适合该井的固井技术。通过现场应用,固井过程中未发生漏失及水窜,隔层封固可靠,为该地区深层地热井固井提供了示范。

关键词:天津;地热井;固井;漏失

中图分类号:P634;TE256 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2020)01-0026-05

Cementing technology for Tianjin CGSD-01 geothermal survey well

HU Jinjun¹, HE Guolei², GENG Zhishan¹, ZHANG Lili³, SONG Zhibin², ZHANG Yao⁴

(1.Tianjin Bo-Xing Engineering Sci-Tech Co., Ltd of CPOE, Tianjin 300451, China;

2.The Institute of Exploration Techniques of CAGS, Langfang Hebei 065000, China;

3.Shengli Oil Field Petroleum Engineering Co., Ltd., Cementing Technology Service Center of Sinopec,

Dongying Shandong 257000, China;

4.Shanxi Institute of Energy, Jinzhong Shanxi 030600, China)

Abstract: CGSD-01 well is a deep hydrothermal geothermal resource survey well in Tianjin. For complex situations such as downhole circulation loss, active aquifers, selective cementing and long-term high temperature resistance, a set of cementing technology was developed for the well with use of the high-temperature-resistant anti-channeling cement slurry system, the olive-shaped cement basket, cement slurry injection through the liner on top of the screen pipe, and combination of direct injection and top reverse squeeze. Field application indicated there was no leakage and water channeling during the cementing process, and the cementation of the isolation layer was reliable, providing a demonstration for other deep geothermal wells in the area.

Key words: Tianjin; geothermal well; cementing; loss

地热资源的开发与应用具有十分广阔的前景,国内的地热开发以中低温为主,井深多为 2000~3000 m^[1-3]。CGSD-01 井完钻井深 4051.68 m,是该区最深的地热调查井。其井身结构为:Ø339.7 mm 一开套管×1463.67 m+Ø244.5 mm 二开尾管×2261.68 m+Ø177.8 mm 三开尾管筛管复合管柱×4051.68 m^[4-8]。存在着固井深度大、井内漏失、温度高、固井难度大等问题。

1 固井难点

CGSD-01 井固井过程中主要存在以下难点^[5-9]:

(1)地层漏失。三开井段为该井热储目的层,属于中元古界蓟县系雾迷山组岩溶裂隙型热储层,采用 Ø215.9 mm 钻头钻至 2783 m 发生严重漏失,钻井液密度为 1.13 g/cm³,降低钻井液密度至 1.08 g/cm³,加入堵漏材料循环堵漏处理后建立微弱地

收稿日期:2019-08-30 DOI:10.12143/j.tkgc.2020.01.005

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“京津石地热资源调查(中国地质科学院勘探技术研究所)”(编号:DD20179032)、“天津潘庄凸起构造区地热资源调查(中国地质科学院勘探技术研究所)”(编号:DD20179622)

作者简介:胡晋军,男,汉族,1985年生,工程师,石油工程专业,主要从事石油天然气固井技术研究工作,天津市塘沽福建北路1088号石油科技大厦7楼,huji001@cnpc.com.cn。

引用格式:胡晋军,和国磊,耿志山,等.天津 CGSD-01 地热调查井固井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(1):26-30.

HU Jinjun, HE Guolei, GENG Zhishan, et al. Cementing technology for Tianjin CGSD-01 geothermal survey well [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(1):26-30.

层平衡,后续顶漏钻进至完钻,持续伴有漏失现象,漏速 $1\sim 8\text{ m}^3/\text{h}$,固井时易发生漏失导致漏封目标隔层,固井失败且补救困难。

(2)选择性固井。CGSD-01 井工程目的为分层采水,管柱下部为滤水筛管,上部为尾管,要求固井分别封固雾迷山组三段与二段隔层(3625~3715 m)和尾管重叠段(2107.16~2261.68 m),常规固井工艺难以满足工程需求。

(3)水窜。雾迷山组三段与二段的隔层仅 90 m,尾管重叠段为 154.52 m,封固段较短且上下水层活跃,固井时易水窜形成窜流通道导致有效封隔失败,无法进行分层采水。

(4)电测井底静止温度 $104.3\text{ }^\circ\text{C}$,采水层段静止温度 $98.5\text{ }^\circ\text{C}$,需要长期监测采水,后期地层传温稳定后温度会升高,高温条件下水泥石强度快速衰退会导致封隔失效,因此对水泥石的抗高温强度衰退性能要求高。

2 水泥浆设计

2.1 设计原则

(1)良好的防窜性能。要求水泥浆有较短的稠化过渡时间和静胶凝过渡时间(一般认为小于 30 min 具有较好的防窜能力),窜流量为 0,有利于阻止固井时上下水层窜流^[10-11]。

(2)稠化时间可控,满足安全施工要求^[12]。

(3)良好的抗高温强度衰退性能。长期高温条件下水泥石强度衰减明显,渗透率急剧增大,地层流

体侵入导致层间互窜,考虑后期地层传温和长期采水,需要水泥石具有良好的抗高温强度衰退性能^[13]。

2.2 水泥浆性能

(1)防窜性能。应用美国 Chandler5265 水泥浆静胶凝强度测试仪、7025 增压稠化仪和 7150 水泥浆窜流分析仪进行评价测试(见表 1),由表 1 可知,在较宽的温度范围及稠化时间范围内,基体抗侵防窜水泥浆静胶凝强度过渡时间(48 Pa 过渡至 240 Pa) $\leq 12\text{ min}$,稠化过渡时间(30 Bc 过渡至 100 Bc) $\leq 9\text{ min}$,都较短,窜流量为 0,说明水泥浆具有良好的防气窜性能。图 1 为 $90\text{ }^\circ\text{C}$ 条件下的防窜试验曲线,窜流量为 0,图 2 为 $90\text{ }^\circ\text{C}$ 条件下的静胶凝强度试验曲线,过渡时间 10 min。水泥浆配方:胜潍 G 级水泥+4%BCG-200L 基体抗侵防窜剂+0.5%BCD-210L 减助剂+0.1%G603 消泡剂+BXR-200L 缓凝剂+44%淡水。水泥浆密度 $1.90\text{ g}/\text{cm}^3$,稠化和静胶凝强度试验压力 21 MPa,防窜试验压力 2.1 MPa。

表 1 水泥浆防窜性能

Table 1 Anti-channeling performance of cement slurry

温度/ $^\circ\text{C}$	稠化时间/ min	静胶凝强度过 渡时间/min	稠化过 渡时间/min	窜流量/ mL
50	345	12	9	0
70	265	10	3	0
90	205	10	4	0
110	303	11	5	0
130	389	12	4	0

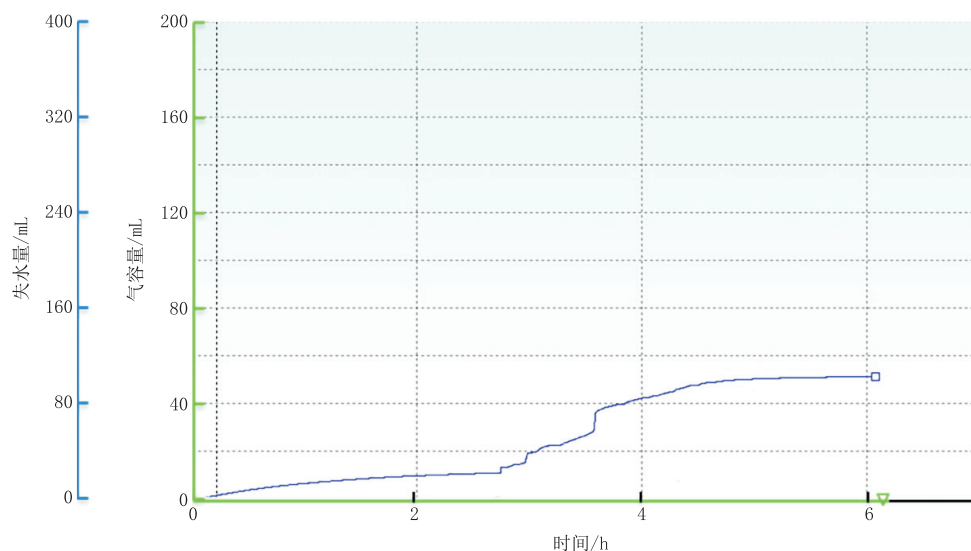


图 1 水泥浆 $90\text{ }^\circ\text{C}$ 防窜试验曲线

Fig.1 Anti-channeling test curve of cement slurry at $90\text{ }^\circ\text{C}$

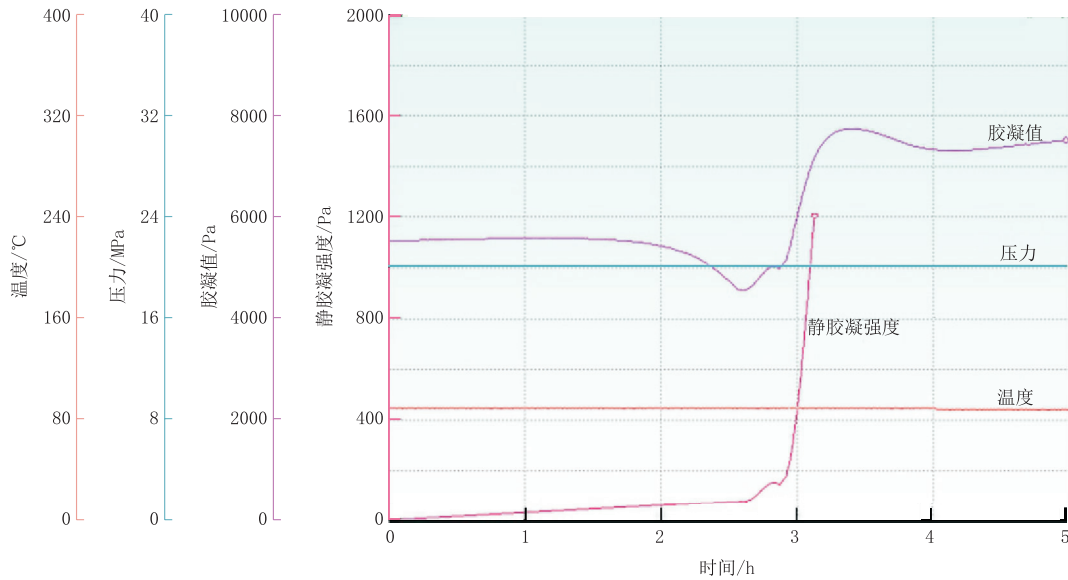


图2 水泥浆 90 °C 静胶凝强度试验曲线

Fig.2 Static gelling strength test curve of cement slurry at 90°C

(2) 稠化时间线性可控(图3)。基浆配方:胜潍 G 级水泥 + 0.5%BCD - 210L 减阻剂 + 0.1%G603 消泡剂 + 44%淡水。

1号:基浆;

2号:基浆 + 4%BCG - 200L 基体抗侵防窜剂;

3号:基浆 + 4%BCG - 200L 基体抗侵防窜剂 + 0.2%BXR - 200L 缓凝剂;

4号:基浆 + 4%BCG - 200L 基体抗侵防窜剂 + 0.25%BXR - 200L 缓凝剂。

由图3可知:在水泥浆中加入油井水泥缓凝剂 BXR - 200L,稠化时间随着 BXR - 200L 加量的增加而线性增加,在较宽的温度范围内稠化时间 1~6 h 线性可控,能够满足固井安全施工要求。

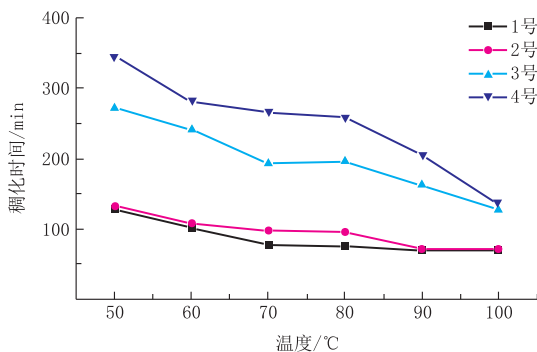


图3 水泥浆稠化时间线性控制图

Fig.3 Thickening time linear control chart of cement slurry

(3) 抗高温强度衰退性能(见表2)。由表2可知:在基体抗侵水泥浆中加入热稳定剂,高温条件下

水泥石强度稳定,28 d 强度无衰退。水泥浆配方:胜潍 G 级水泥 + 35%热稳定剂 + 4%BCG - 200L 基体抗侵防窜剂 + 0.5%BCD - 210L 减阻剂 + 0.1%G603 消泡剂 + 0.25%BXR - 200L 缓凝剂 + 44%淡水。水泥浆密度 1.90 g/cm³,水泥石养护压力 21 MPa。

表2 水泥石强度衰退性能

Table 2 Strength decay performance of cement stone

温度/°C	1 d 抗压强度/MPa	7 d 抗压强度/MPa	28 d 抗压强度/MPa	强度衰退
95	19.1	23.7	24.1	无
115	21.3	26.5	26.9	无
135	24.7	30.8	31.4	无

综上可知:该水泥浆体系具有良好的防气窜性能、稠化时间线性可控,良好的抗高温强度衰退性能,能够满足本井固井施工的需要。

3 固井工艺技术

3.1 固井工具

针对井下漏失情况,采用水泥伞。水泥伞可以悬浮支撑水泥浆,防止水泥浆下沉,降低漏失风险^[14]。对比3种类型的水泥伞(见图4),橄榄型水泥伞结构稳定结实可靠,可以较好地悬浮支撑水泥浆,不影响管柱的上提下放,并有弹性扶正器的作用。

3.2 固井工艺



(a) 伞型水泥伞 (b) 改良伞型水泥伞 (c) 橄榄型水泥伞

图 4 不同类型的水泥伞

Fig.4 Types of cement baskets

针对地热调查井选择性固井要求,采用筛管顶部尾管注水泥+正注反挤复合固井工艺。筛管顶部尾管注水泥固井工艺结合了筛管顶部注水泥和尾管注水泥工艺,对复合管串中的套管部分通过注水泥封固^[15-16]。水泥浆从送入钻具注入,流经尾管到达筛管顶部开孔短节,进入环空上返,实现封固隔层 3625~3715 m。保证尾管悬挂器不带封隔器,通过送入钻具反挤水泥实现封固尾管重叠段 2107.16~2261.68 m。

固井管柱设计(由下到上):筛管串(底部割爪)+盲管(盲管上下各加 1 个水泥伞)+1 根套管+开孔短节+浮箍+1 根套管+球座+套串管+尾管悬挂器+送入钻具。

施工流程:筛管顶部尾管注水泥→关井候凝 8 h→尾管顶部反挤水泥→关井候凝 24 h。

4 现场应用及效果

(1)固井管柱组合(由下到上):筛管串 4040.33~3708.27 m+盲管 3708.27~3708.07 m(盲管下部水泥伞位置 3719.99 m,盲管上部水泥伞位置 3696.40 m)+1 根套管 3708.07~3696.40 m+开孔短节 3696.40~3695.50 m+浮箍 3695.50~3695.00 m+1 根套管 3695.00~3683.28 m+球座 3683.28~3682.95 m+套串管 3682.95~2111.72 m+尾管悬挂器 2111.72~2107.16 m+送入钻具 2107.16~0 m。复合管柱尺寸 $\Phi 177.8$ mm,尾管悬挂器尺寸 $\Phi 244.5$ mm \times $\Phi 177.8$ mm,送入钻具尺寸 $\Phi 127$ mm。

(2)固井施工过程:下入尾管筛管复合管柱及送入钻具→循环钻井液 1 个循环周,为降低漏失风险,用清水将钻井液全部替出,用清水再循环 1 个循环周,循环排量 1.1 m³/min,压力 6.5 MPa→投球憋

压 10 MPa 坐挂尾管悬挂器→憋压 18 MPa 憋通球座→下压 50 kN 旋转倒扣 50 圈,上提管柱悬重正常,判断丢手成功→循环清水,循环排量 1.1 m³/min,压力 7 MPa→注入前置液 4 m³→注入密度 1.90 g/cm³ 的水泥浆 3.4 m³,排量 0.7 m³/min,压力 5 MPa→释放钻杆胶塞→替钻井液 51 m³→碰压 10 MPa,放回水不倒返→上提 3 m,提出中心管→循环清水 2 个循环周→起钻 5 柱→关井候凝 8 h→下钻 5 柱→循环清水 1 个循环周→试挤正常→注前置液 1.9 m³→注入密度 1.90 g/cm³ 的水泥浆 2.9 m³,排量 0.7 m³/min,压力 4 MPa→替钻井液 17.6 m³→起钻 10 柱→循环钻井液 1 个循环周→关井挤水泥,挤入 2.6 m³,排量 0.1 m³/min,压力 3 MPa 升至 7 MPa→憋压 7 MPa 候凝 24 h。

筛管顶部尾管注水泥施工顺利,未发生漏失及水窜,尾管重叠段小排量反挤水泥顺利完成。雾迷山组三段与二段隔层和尾管重叠段封固良好,分层采水试验顺利进行。

5 结论

(1)抗高温基体抗侵防窜水泥浆体系综合性能较好,具有良好的防窜性能,静胶凝强度过渡时间 ≤ 12 min;稠化过渡时间 ≤ 9 min,窜流量为 0;稠化时间线性可控 1~6 h;高温强度无衰退。该水泥浆体系适用于该地区地热井的固井作业。

(2)橄榄型水泥伞能悬浮支撑水泥浆,降低漏失风险,防止水泥浆下沉,对于该地区井下漏失严重且采用筛管顶部尾管注水泥的地热井比较适用。

(3)优化后的筛管顶部尾管注水泥加正注反挤固井工艺,能够满足地热井选择性固井要求,实现深部地层分层采水的目的。

参考文献(References):

- [1] 王培义,马鹏鹏,张贤印,等.中低温地热井钻井完井工艺技术研究与实践[J].石油钻探技术,2017,45(4):27-32.
WANG Peiyi, MA Pengpeng, ZHANG Xianyin, et al. Drilling and completion technologies for geothermal wells with medium and low temperatures [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2017, 45(4): 27-32.
- [2] 李波.天津地热资源可持续开发利用对策研究[D].天津:天津大学,2017:16.
LI Bo. Study on sustainable development and utilization countermeasure of geothermal resources in Tianjin [D]. Tianjin: Tianjin University, 2017:16.
- [3] 卢予北,李艺,卢玮,等.新时代地热资源勘查开发问题研究

- [J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(3):1-8.
LU Yubei, LI Yi, LU Wei, et al. Research on the exploration and development of geothermal resources in the new era[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(3):1-8.
- [4] 陈浩文,宋志彬,和国磊,等.多工艺联合洗井和抽水试验在CGSD-01井中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(6):8-13.
CHEN Haowen, SONG Zhibin, HE Guolei, et al. Application of multi-process combined well flushing and pumping test in Well CGSD-01[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(6):8-13.
- [5] 和国磊,宋志彬,胡志兴,等.东丽湖地热钻探CGSD-01井钻完井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(4):7-13.
HE Guolei, SONG Zhibin, HU Zhixing, et al. Summary of drilling and completion technology for well CGSD-01 in Dongli Lake geothermal drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(4):7-13.
- [6] 钱洪强,王娟,孙玉东,等.天津地区地热钻井中地层漏失分析及堵漏方法选择[J].地质调查与研究,2016,39(3):226-230.
QIAN Hongqiang, WANG Juan, SUN Yudong, et al. Analysis of leakage formation and selection of leaking stoppage methods in geothermal well drilling in Tian Area[J]. Geological Survey and Research, 2016, 39(3):226-230.
- [7] 许本冲,和国磊,宋志彬,等.浮力下管技术在天津东丽CGSD-01地热调查井中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(4):14-17.
XU Benchong, HE Guolei, SONG Zhibin, et al. Setting casing with buoyancy in the CGSD-01 geothermal well[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(4):14-17.
- [8] 杜焱森,宋志彬,和国磊,等.天津东丽湖CGSD-01井取心问题及技术探索[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(3):13-19.
DU Yaosen, SONG Zhibin, HE Guolei, et al. Core drilling in Well CGSD-01 in Tianjin Dongli Lake[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(3):13-19.
- [9] 高鹏举,刘凡柏,王跃伟,等.4000m地质岩心钻机在天津东丽区地热资源调查中的示范应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(1):13-21.
GAO Pengju, LIU Fanbai, WANG Yuewei, et al. Demonstration application of 4000m geological core drilling rig in geothermal resources investigation in Dongli District of Tianjin[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(1):13-21.
- [10] 初永涛,张林海,刘洋,等.水泥浆防窜能力综合评价方法[J].断块油气田,2013,20(5):678-680.
CHU Yongtao, ZHANG Linhai, LIU Yang, et al. Comprehensive evaluation method of anti-gas channeling ability of cement slurry[J]. Fault-block Oil & Gas Field, 2013, 20(5):678-680.
- [11] Zhu Haijin, Qu Jiansheng, Liu Aiping, et al. A new method to evaluate the gas migration for cement slurries[R]. SPE 131052, 2010.
- [12] 李真祥,刘伟,步玉环,等.宽温带缓凝剂的合成与室内评价[J].钻采工艺,2009,32(5):73-76,128.
LI Zhengxiang, LIU Wei, BU Yuhuan, et al. Synthesis and laboratory evaluation of wideband retarder[J]. Drilling & Production Technology, 2009,32(5):73-76,128.
- [13] 刘崇建.油气井注水泥理论与应用[M].北京:石油工业出版社,2001:147-149.
LIU Chongjian. Theory and application of oil and gas well cementing[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001:147-149.
- [14] 张明昌.固井工艺技术[M].北京:中国石化出版社,2016:120.
ZHANG Mingchang. Cementing technology[M]. Beijing: Sinopec Press, 2016:120.
- [15] 马红伟,安娜.正注反挤固井工艺技术研究与应[J].石化技术,2017,24(4):104.
MA Hongwei, AN Na. Research an application of positive injection reverse cementing[J]. Petrochemical Industry Technology, 2017,24(4):104.
- [16] 宋本岭,黄志刚,张伟,等.免钻免捞筛管顶部固井工艺研究与现场试验[J].石油钻探技术,2016,44(4):72-76.
SONG Benling, HUANG Zhigang, ZHANG Wei, et al. Study and field test on the top cementing technology of screen pipe free from drilling and fishing[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2016,44(4):72-76.

(编辑 韩丽丽)