

浮力下管技术在天津东丽 CGSD-01 地热调查井中的应用

许本冲, 和国磊, 宋志彬, 马汉臣, 秦如雷
(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要: CGSD-01 井是中国地质调查局部署在天津市东丽区的一口 4000 m 深的地热调查井, 对天津东丽湖地区深层地热资源评价具有重要意义, 对成井质量要求较高。中国地质科学院勘探技术研究所结合“4000 m 地质岩心钻探成套技术装备”项目成果 XD-40 型钻机试验, 在钻机钩载能力较小的情况下, 创新性地采用浮力下管技术完成了该井一开直径 339.7 mm 深度达 1467 m 的套管下入作业, 为后续施工打下了良好的基础。本文介绍了浮力下管技术的理论分析和实际应用。

关键词: 地热调查井; 浮力下套管; CGSD-01 井; 天津东丽

中图分类号: P634; P413 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2019)04-0014-04

Setting casing with buoyancy in the CGSD-01 geothermal well

XU Benchong, HE Guolei, SONG Zhibin, MA Hanchen, QIN Rulei

(The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: The CGSD-01 well, as a 4000m deep geothermal survey well deployed by CGS, is of great significance to the evaluation of deep geothermal resources in Dongli Lake District, Tianjin. The quality requirement on the well completion is high. The Institute of Exploration Techniques, CAGA, while testing of the drill rig XD-40 developed under the research program “4000m Geological Core Drilling Technology and Equipment”, innovatively set the first tier casing of 339.7mm to 1467m by use of the buoyancy-assisted casing setting process with the less hook load of the drill rig, laying a good foundation for upcoming drilling operations. This paper introduces the theoretical analysis and practical application of setting casing with buoyancy.

Key words: geothermal well; setting casing with buoyancy; CGSD-01 Well; Dongli Tianjin

1 工程概况

CGSD-01 井是由中国地质调查局部署的地调项目“京津石地热资源调查”和“天津潘庄凸起构造区地热资源调查”, 由中国地质科学院勘探技术研究所(以下简称勘探所)在天津市东丽区组织实施的一口 4000 m 深的地热调查井。通过施工该井, 对摸清天津东丽湖地区深部热储的地质结构与空间分布、物性特征, 获取系列地热-水文地质参数, 评价深层地热资源及其可利用性具有重要意义。

2 钻井设备

该井由勘探所自主研发的 4000 m 地质岩心钻机 XD-40 完成一开钻井、下套管以及二开钻井的工作, 由于钻机提升系统能力不足, 后续施工更换 ZJ40 型钻机进行, 直至完井。

XD-40 型地质岩心钻机主要参数见表 1。

3 井身结构

CGSD-01 井开孔 $\Phi 660.4$ mm, 钻至井深 76 m,

收稿日期: 2018-12-17; 修回日期: 2019-02-18 DOI: 10.12143/j.tkge.2019.04.003

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“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)、“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)

作者简介: 许本冲, 男, 汉族, 1988 年生, 工程师, 机械设计制造及其自动化专业, 主要从事钻探新技术、新设备、新工艺的研发工作, 河北省廊坊市金光道 77 号, xbc028@foxmail.com。

引用格式: 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, 23.

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, 23.

表 1 XD-40 型地质岩心钻机参数表^[1]

Table 1 Parameters of XD-40 drill rig

井架平台	井架型式	K 型
	净空高度/m	31
	承载力/kN	1350
	二层台高度/m	16.5
	天车轮系	5×6
升降系统	主电机功率/kW	400
	单绳最大提升力/kN	150
	钩速/(m·s ⁻¹)	0~1.1
顶驱系统	最大扭矩/(N·m)	12000
	转速/(r·min ⁻¹)	0~600
	吊环	150 t 单臂吊环
	吊卡	150 t 液压吊卡
转盘系统	最大扭矩/(N·m)	20000
	转速/(r·min ⁻¹)	0~200
	通孔直径/mm	444.5
高压管汇系统	工作压力/MPa	35
	公称通径/mm	107

下入 $\Phi 508$ mm 表层套管 74.22 m; 一开 $\Phi 444.5$ mm 钻至井深 1469.84 m, 下入 $\Phi 339.7$ mm 套管 1463.67 m; 二开 $\Phi 311.2$ mm 钻至井深 2262.75 m。在 1405.24~2262.75 m 井段下入 $\Phi 244.5$ mm 套管 857.51 m; 三开 $\Phi 215.9$ mm 钻至井深 4051.68 m, 在 2111.72~4051.68 m 井段下入 $\Phi 177.8$ mm 套管 1939.96 m。井身结构如图 1 所示。

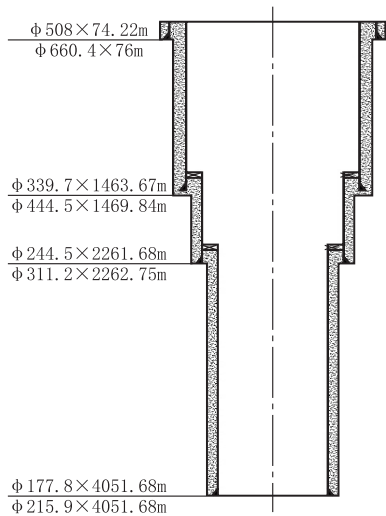


图 1 CGSD-01 井井身结构

Fig.1 Casing program of Well CGSD-01

4 浮力下管理论分析

由于 XD-40 型钻机最大钩载为 1350 kN, 一开套管直径和下入深度较大, 常规下套管工艺无法保证套管安全下入孔底, 因此采用浮力下套管工艺

进行施工, 即下管时套管内掏空一定深度, 不全部灌满泥浆, 使套管产生浮力, 减少钻机钩载。浮力下套管示意图如图 2 所示。

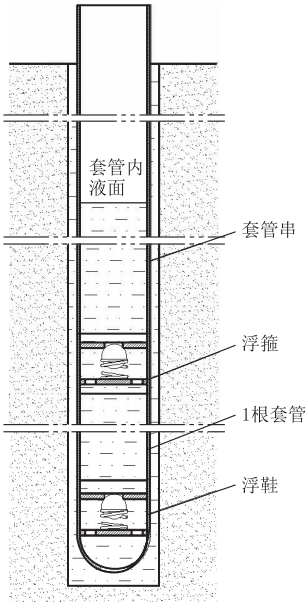


图 2 一开浮力下管示意图

Fig.2 Setting the first tier casing with buoyancy

4.1 套管浮力计算^[2-4]

根据钻井设计, 一开套管串结构如表 2 所示。

表 2 一开套管串结构(自下至上)

Table 2 Tier-1 casing string(bottom-up)

序号	名称	直径/mm	下深/mm	钢级	壁厚/mm
1	浮鞋	339.7	1464.27		
2	1 根套管	339.7	1463.67	N80	12.19
3	浮箍	339.7	1452.33		
4	套管串	339.7	1452.07	N80	12.19
5	套管串	339.7	1297.45	N80	10.92
6	套管串	339.7	849.64	J55	10.92

计算套管全部入井后浮重 M_1 :

$$M_1 = M - (\rho_{\text{泥浆}} M / \rho_{\text{套管}}) \quad (1)$$

式中: $\rho_{\text{泥浆}}$ ——泥浆密度, 取 1.2 g/cm^3 ; M ——套管总质量, 取 132 t; $\rho_{\text{套管}}$ ——套管密度, 取 7.85 g/cm^3 。

计算出套管在井内浮重 $M_1 = 111.8 \text{ t}$ 。

根据技术要求, 套管浮箍反向承压能力为 5 MPa, 即允许套管内泥浆液面比套管外环空泥浆液面高度低值 h :

$$h = 100P / \rho_{\text{泥浆}} \quad (2)$$

式中: P ——浮箍反向承压, 取 5 MPa。

经计算, $h = 416.7 \text{ m}$ 。考虑到套管下放时惯性

力的影响,取套管内泥浆液面比环空液面低 400 m。

此时,套管浮重 M_2 为:

$$M_2 = M_1 - 10^{-6} \cdot \rho_{\text{泥浆}} h_1 \frac{\pi(D-2t)^2}{4} \quad (3)$$

式中: h_1 ——套管内外液面高度差,取 400 m;
 D ——套管外径,取 339.7 mm; t ——套管壁厚,取 10.92 mm。

此时套管在井内浮重 $M_2 = 73.7$ t,满足 XD-40 型钻机钩载的安全载荷。

4.2 套管抗挤毁强度校核

套管挤毁损坏不仅与地质条件、固井工艺及套管柱设计有关,还与套管本身性能密切相关。已有的研究表明,套管的钢级、径厚比、屈服强度、几何缺陷和残余应力等因素对套管的抗外压挤毁性能都有影响^[5-8]。在钢级和规格一定的情况下,几何缺陷和残余应力对套管抗挤性能的影响程度还不确定^[8-10]。本工程案例校核套管强度,不考虑上述影响因素对结果的影响。

从现有计算公式来看,套管抗挤毁强度和套管材料的屈服强度有直接关系,材料的屈服强度越高,其抗挤毁能力越高,反之亦然^[11-12]。由于 N80 材质的机械性能高于 J55 材质,因此选取 J55 钢级壁厚 10.92 mm 的套管进行抗挤毁强度校核。

根据 API 5CT 标准取值,J55 材质屈服强度 $\sigma_s = 379$ MPa,抗拉强度 $\sigma_b = 517$ MPa,弹性模量 $E = 2.1 \times 10^5$ MPa,泊松比 $\mu = 0.3$ ^[13-16]。

根据公式^[17-18]:

$$P_e = \frac{2E}{(1-\mu^2)(D/t)(D/t-1)^2} \quad (4)$$

$$P_y = 2.308\sigma_s \frac{D/t-1}{(D/t)^2} \quad (5)$$

计算出:套管外压失稳压力 $P_e = 16.4$ MPa,套管内表面屈服压力 $P_y = 27.2$ MPa。

400 m 泥浆液位差产生的外压 P_H :

$$P_H = \rho_{\text{泥浆}} g h_1 \quad (6)$$

式中: g 取 9.8 N/kg。

经计算 $P_H = 4.7$ MPa,小于套管的外压失稳压力 P_e 和内表面屈服压力 P_y ,因此套管不会因为环空泥浆的外压挤压产生变形损毁。

5 作业程序及注意事项^[19-20]

下套管固井作业对后续钻井、完井的顺利进行

有着重要的影响,下管作业前需要做好充分的准备工作,作业中需要人员、设备紧密配合,确保下管作业万无一失。

下套管作业程序主要包括两大部分,下套管前的准备工作和下套管作业。

5.1 下套管前准备工作

(1)对钻机提升系统进行彻底检查和维护保养,包括绞车及操控装置、钻塔、天车和游车等部件,根据套管规格准备井口工具,确保设备状态良好,工具齐全,对发电机等应急设施进行检查,确保工作正常。

(2)套管入场后,要整齐平放在管架上,码放高度不超过 3 层。

(3)对套管螺纹和护丝进行检查,确保套管螺纹没有缺陷,连接可靠。

(4)对套管进行编号,使用标准通径规对入井套管逐根通径,丈量每根套管长度,并做好记录。

(5)对全井段进行同径套管通井,确保井眼畅通、井壁平滑,套管能够一次性准确下放到位。

(6)对井内泥浆进行维护,添加适量润滑剂,减小下套管时的摩阻,降低井内事故发生的概率。

5.2 下套管作业及注意事项

(1)按照场地编号顺序提吊套管,并对入井套管的编号、长度进行记录和校核。

(2)套管对扣之前不得卸下端部护丝;防止螺纹磕碰损坏。

(3)卸掉护丝后需擦干净套管外螺纹表面残余污物,然后在外螺纹上均匀涂抹专用螺纹脂。

(4)对扣时慢速下放套管,垂直对扣,人工扶正套管,对扣成功并入扣 2~3 圈后,再用套管钳上扣,严格依据标准《下套管作业规程》(SY/T 5412-2016)和厂家技术规范,按照不同钢级的套管额定扭矩上紧螺纹。

(5)平稳提放套管,控制下放速度,避免冲击载荷,每下入 10 根套管,向套管内灌注 5~6 m³ 泥浆,严禁沉渣进入套管堵塞或卡死浮箍、浮鞋逆止阀。

6 施工过程

2018 年 1 月 9 日,CGSD-01 井进行一开下套管作业(参见图 3)。按作业程序对扣、引扣,涂抹专用螺纹脂。下放速度控制在 0.3 m/s,遇阻吨位不超过 40 kN。靠近浮箍、浮鞋的套管,每 2 根灌孔一

次;下入 200 m 套管后,每 10 根套管灌孔一次。当套管下至 1065 m 时,停止向套管内灌注泥浆,继续下管至设计深度。套管下到设计深度后,接循环系统,小泵量顶通,循环泥浆 2 h 后进行固井作业。下管用 30 h,下到设计深度时套管悬重 74.2 t,与设计吻合。



图 3 CGSD-01 井一开下套管

Fig.3 Running in hole of tier-1 casing of Well CGSD-01

7 结语

CGSD-01 井一开钻穿第四系和新近系地层,钻孔口径和深度较大,下入套管串尺寸大,质量大,对钻机载荷能力要求高,浮力下管工艺可有效减轻下套管作业对钻机的负荷需求,保障工程的顺利进行。落实各种技术保障措施,可有效提高下套管作业的质量和效率。严格按照规范要求进行作业,保证作业安全和作业质量,避免因操作不当造成井下套管事故或安全生产事故。

参考文献 (References):

- [1] 刘凡柏,高鹏举,任启伟,等.4000 m 交流变频电驱岩心钻机的研制及其在地热井的工程应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(10):40-46.
LIU Fanbai, GAO Pengju, REN Qiwei, et al. Development and application of 4000m AC frequency-conversion core drill [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(10):40-46.
- [2] 余大有,陈月化,唐志宏.加临时浮力塞自平衡浮力下管技术研究[J].四川建材,2014,40(4):92-94.
YU Dayou, CHEN Yuehua, TANG Zhihong. Research on the self-balancing sinking pipe technology by temporary buoyancy plug[J]. Sichuan Building Materials, 2014,40(4):92-94.
- [3] 马力.钻井浮力阀下管技术的实践与理论研究[J].科技创新导报,2016,13(26):21-22.
- [4] 钱魏魏,姚直书.自平衡下管法的工作管强度和稳定性数值模拟[J].四川建材,2012,38(6):42-43.
QIAN Weiwei, YAO Zhishu. Self balance tube pipe work for strength and stability numerical simulation[J]. Sichuan Building Materials, 2012,38(6):42-43.
- [5] 蔡正敏,张军,申朝廷,等.非均匀载荷下套管椭圆度对抗挤强度的影响[J].石油矿场机械,2010,39(5):20-23,74.
CAI Zhengmin, ZHANG Jun, SHEN Chaoting, et al. Effect of ovality on collapse strength of casing pipe under non-uniform loading[J]. Oil Field Equipment, 2010,39(5):20-23, 74.
- [6] 韩建增,张先普.残余应力对套管抗挤强度影响的有限元分析[J].钻采工艺,2000,24(2):41-43.
HAN Jianzeng, ZHANG Xianpu. Effects of residual stress on casing collapse resistance[J]. Drilling & Production Technology, 2000,24(2):41-43.
- [7] 王建军,林凯,申昭熙,等.几何尺寸影响下的高钢级套管挤毁变形探讨[J].石油机械,2010,38(3):72-74.
WANG Jianjun, LIN Kai, SHEN Zhaoxi, et al. Discussion on the collapse deformation of high-grade casing under the influence of geometric size[J]. China Petroleum Machinery, 2010, 38(3):72-74.
- [8] 王军,毕宗岳,张峰,等.石油套管抗挤性能研究[J].焊管,2013,36(9):20-24.
WANG Jun, BI Zongyue, ZHANG Feng, et al. Study on the collapse resistance property of oil casing[J]. Welded Pipe and Tube, 2013,36(9):20-24.
- [9] 李平全.套管抗挤特性及高抗挤套管[J].钢管,2007,36(1):57-60.
LI Pingquan. Casing collapse resistance and high collapse resistance casing[J]. Steel Pipe, 2007,36(1):57-60.
- [10] FUAT K, JOSEF N, ALLWOOD ROBERT L. Effect of thickness variation on collapse pressure of seamless pipes[J]. Allwood Ocean Engineering, 2010,(37):998-1006.
- [11] 龚伟安.美国石油学会关于套管挤毁压力计算理论及其应用[J].石油钻采工艺,1981,(6):11-22.
GONG Weian. Calculation theory and application of casing crushing pressure of American Petroleum Institute[J]. Oil Drilling & Production Technology, 1981,(6):11-22.
- [12] 胡文平,张来斌,樊建春.套管挤毁问题研究现状及发展趋势[J].石油矿场机械,2006,35(5):1-4.
HU Wenping, ZHANG Laibin, FAN Jianchun. Research status and future trends of the casing collapse problem[J]. Oil Field Equipment, 2006,35(5):1-4.
- [13] 王珂,王双来,朱世东,等.J55 特殊螺纹接头油管的强度性能分析[J].机械强度,2016,38(4):799-804.
WANG Ke, WANG Shuanglai, ZHU Shidong, et al. Strength properties analysis of J55 tubing premium connection[J]. Journal of Mechanical Strength, 2016,38(4):799-804.

- troleum Drilling Techniques, 2013,41(5):26-30.
- [7] 艾军,张金成,臧艳彬,等. 涪陵页岩气田钻井关键技术[J].石油钻探技术,2014,42(5):9-15.
AI Jun, ZHANG Jincheng, ZANG Yanbin, et al. The key drilling technologies in Fuling Shale Gas Field[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014,42(5):9-15.
- [8] 杨国圣,张玉清. 涪陵页岩气工程技术实践与认识[M].北京:中国石化出版社,2015.
YANG Guosheng, ZHANG Yuqing. Practice and understanding of Fuling Shale Gas Engineering Technology[M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2015.
- [9] 陈勉,邓金根,吴志坚. 岩石力学在石油工程中的应用[M].北京:石油工业出版社,2006.
CHEN Mian, DENG Jingen, WU Zhijian. Application of rock mechanics in petroleum engineering[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2006.
- [10] 曾义金.页岩气开发的地质与工程一体化技术[J].石油钻探技术,2014,42(1):1-6.
ZENG Yijin. Integration technology of geology & engineering for shale gas development [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014,42(1):1-6.
- [11] 陈平,刘阳,马天寿.页岩气“井工厂”钻井技术现状及展望[J].石油钻探技术,2014,42(3):1-7.
CHEN Ping, LIU Yang, MA Tianshou. Status and prospect of multi-well pad drilling technology in shale gas[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014,42(3):1-7.
- [12] 沙贞银,杜俊伯,向进,等.涪陵页岩气田钻井提速方案及实施效果分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(7):31-36.
- SHA Zhenyin, DU Junbo, XIANG Jin, et al. A scheme for drilling rate improving in Fuling Shale Gas and its implementation effects analysis[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(7):31-36.
- [13] 刘匡晓,王庆军,兰凯.涪陵页岩气田三维水平井大井眼导向钻井技术[J].石油钻探技术,2016,44(5):16-21.
LIU Kuangxiao, WANG Qingjun, LAN Kai. Large diameter hole steering drilling technology for three-dimensional horizontal well in the Fuling Shale Gas Field[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2016,44(5):16-21.
- [14] 陶现林,徐泓,张莲,等.涪陵页岩气水平井钻井提速技术[J].天然气技术与经济,2017,11(2):31-35.
TAO Xianlin, XU Hong, ZHANG Lian, et al. Fuling Shale Gas horizontal well drilling speed-up technology[J]. Natural Gas Technology, 2017,11(2):31-35.
- [15] 刘虎,段华,沈彬亮,等.焦石坝地区海相页岩气水平井优快钻井技术[J].西部探矿工程,2016,28(6):59-61.
LIU Hu, DUAN Hua, SHEN Binliang, et al. Fast drilling technology for marine shale gas horizontal wells in Jiaoshiba Area[J]. West-China Exploration Engineering, 2016,28(6):59-61.
- [16] 张金成.涪陵页岩气田水平井组优快钻井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(7):1-8.
ZHANG Jincheng. Optimal and fast drilling technology for horizontal wells in Fuling Shale Gas Field[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(7):1-8.

(编辑 韩丽丽)

(上接第 17 页)

- [14] American Petroleum Institute. TR 5C3/ISO 10400:2007, Technique report on equations and calculations for casing or tubing; and performance properties tables for casing and tubing [S]. Washington DC: API, 2007:39-47.
- [15] American Petroleum Institute. TR 5C3/ISO 13679:2002, Recommended practice on procedures for testing and tubing connections [S]. Washington DC: API, 2002:9-30.
- [16] 王治国,刘玉文.宝钢特殊螺纹油管的设计分析[J].宝钢技术,2000,(6):54-57,62.
WANG Zhiguo, LIU Yuwen. Design analysis of Baosteel premium connection of drill pipe[J]. Bao Steel Technology, 2000,(6):54-57,62.
- [17] 李连进,王惠斌,宗卫兵,等.石油套管残余应力对抗压溃强度影响的数值模拟[J].钢铁,2005,40(6):51.
LI Lianjin, WANG Huibin, ZONG Weibing, et al. Study of effect of residual stress on compressive strength of casing pipe by FEM[J]. Iron and Steel, 2005,40(6):51.
- [18] 申昭熙,冯耀荣,解学东,等.套管抗挤强度分析及计算[J].西南石油大学学报,2008,30(3):139-142.
SHEN Zhaoxi, FENG Yaorong, XIE Xuedong, et al. Casing collapse resistance analysis and calculation[J]. Journal of Southwest Petroleum University, 2008,30(3):139-142.
- [19] 马智强.套管及下套管复杂情况[J].科技致富向导,2013,(30):228.
MA Zhiqiang. Casing and complexity of running casing[J]. Guide of Sci-tech Magazine, 2013,(30):228.
- [20] 周子棠.下套管作业过程要点探析[J].内蒙古石油化工,2015,(3):75-77.
ZHOU Zitang. Analysis on the key points of running casing [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2015,(3):75-77.

(编辑 韩丽丽)