

多工艺联合洗井和抽水试验在 CGSD-01 井中的应用

陈浩文¹, 宋志彬¹, 和国磊¹, 李胜涛², 许本冲¹, 马汉臣¹, 杜焱森¹, 殷国乐¹

(1. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000;

2. 中国地质调查局水文地质环境地质调查中心, 河北 保定 071051)

摘要:天津东丽湖 CGSD-01 井为地热勘探井, 设计井深 4000 m, 完钻井深 4051.68 m。为最大程度清理钻井过程中对含水层的堵塞, 本井采用了焦磷酸钠洗井、压缩空气洗井和酸化洗井 3 种工艺方法联合洗井, 并先后进行 2 次抽水试验。联合抽水试验表明多工艺联合洗井效果理想。本文主要阐述了 CGSD-01 井洗井及抽水试验施工工艺, 以期今后同类研究及施工提供有益的借鉴。

关键词:地热井; 联合洗井; 抽水试验; 焦磷酸钠洗井; 压缩空气洗井; 酸化洗井

中图分类号: P634; TE249 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2019)06-0008-06

Application of multi-process combined well flushing and pumping test in Well CGSD-01

CHEN Haowen¹, SONG Zhibin¹, HE Guolei¹, LI Shengtao²,

XU Benchong¹, MA Hanchen¹, DU Yaosen¹, YIN Guoyue¹

(1. *The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China;*

2. *Center for Hydrogeology and Environmental Geology, CGS, Baoding Hebei 071051, China*)

Abstract: The CGSD-01 well is a geothermal exploration well drilled in Donglihu, Tianjin. The design depth of the well is 4000m and the completion depth is 4051.68m. In order to clean up the blockage of aquifer in the drilling process, sodium pyrophosphate, compressed-air and acidification were used to wash the well, and pumping tests were carried out twice. The pumping test shows that the multi-process combined well flushing is effective. This paper mainly describes the well purging and pumping test process of Well CGSD-01 so as to provide useful reference for similar research in the future.

Key words: geothermal well; combined well flushing; pumping test; sodium pyrophosphate well flushing; compressed-air well flushing; acidification well flushing

0 引言

随着社会经济的快速发展, 化石能源日益短缺, 生态环境不断恶化。而地热能源作为一种绿色低碳的可再生清洁能源, 受到了越来越多的关注。地热能源在供暖、发电、种植养殖、温泉洗浴等领域广泛应用, 在人类的日常生活中扮演着越来越重要的角色。我国地热分布广泛, 地热资源的开发在京津冀、山东、陕西等多地快速发展并逐渐形成产业化。天津地热资源丰富, 目前开采的主要层位为蓟县系雾

迷山三、四段, 但部分地区开采潜力已达极限。为探测新的地热储层, 提高可开采量, 着力支撑京津冀重点地区地热资源调查工作, 中国地质调查局实施了天津东丽湖地热科学钻探一井(CGSD-01 井) 钻井工作, 该工程隶属于“全国地热资源调查评价与勘查示范工程”^[1]。

洗井是地热井成井工艺中非常重要的环节, 其直接影响地热井的产量。洗井工作后还需进行抽水试验, 以更准确地进行地热井产量的评价。本文介

收稿日期: 2019-04-18; 修回日期: 2019-05-21 DOI: 10.12143/j.tkgc.2019.06.002

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: 陈浩文, 男, 汉族, 1988 年生, 工程师, 硕士, 地质工程专业, 主要从事钻探技术、设备及工艺的研发工作, 河北省廊坊市金光道 77 号, 409812829@qq.com。

引用格式: 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, 25.

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, 25.

绍 CGSD-01 井多工艺联合洗井及抽水试验施工工艺,可为今后类似的工程提供参考。

1 工程概况

CGSD-01 井为地热探采结合井,位于天津市东丽区丽湖西南角。工作区所处大地构造位置为华北准地台(Ⅰ)—华北断坳(Ⅱ)—沧县隆起(Ⅲ)—潘庄凸起(Ⅳ)的中部东侧。CGSD-01 井为设计井深 4000 m 直井,覆盖层以下定深取心,完钻井深 4051.68 m。其实际井身结构(见图 1)如下^[2]。

- (1)一开井段:井径 444.5 mm,深度 1469.84 m,下入 Ø339.7 mm 套管;
- (2)二开井段:井径 311.2 mm,深度 2262.75 m,下入 Ø244.5 mm 套管;
- (3)三开井段:井径 215.9 mm,深度 4051.68 m,下入 Ø177.8 mm 套管,其中筛管长度 320.34 m。

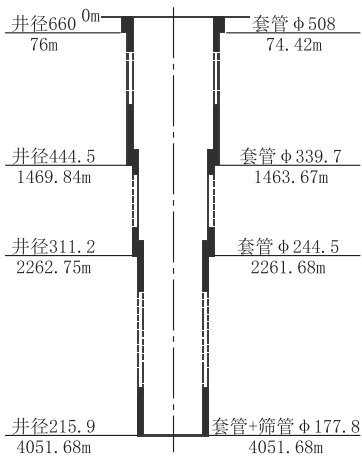


图 1 CGSD-01 井井身结构
Fig.1 Casing program of well CGSD-01

潘庄凸起分布的地层由新至老分别为新生界、古生界和中、新元古界。CGSD-01 井实际钻探揭露揭层情况见表 1。

表 1 实际揭露地层特征^[3]
Table 1 Actual exposed strata characteristics

地 层				底板埋深/m	地层厚度/m	岩 性 特 征
界	系	组	段			
新 生 界 (Cz)	第四系(Q)			355	355	粘土、粉细砂互层
	新近系(N)	明化镇组(Nm)	上段	790	435	砂岩为主,与泥岩互层
			下段	1160	370	泥岩为主,与砂岩互层
		馆陶组(Ng)		1460	300	砂砾岩
古 生 界 (Pz)	寒武系(Є)	张夏组(Єz)		1778	318	鲕粒灰岩
		馒头组(Єm)		1930	152	上段泥页岩,中下段白云岩、灰岩为主
		昌平组(Єch)		1976	46	白云质灰岩
		景儿峪组(Qnj)		2186	210	泥灰岩、灰岩
中、新 元 古界(Pt)	青白口系(Qb)			2259	73	砂岩、泥页岩
	蓟县系(Jx)	雾迷山组(Jxw)	四段	2896	637	白云岩
			三段	3715	819	白云岩夹泥岩
			二段	4051.68(未穿)	336.68(未穿)	白云岩

2 洗井工艺及流程

在钻井作业中,采用泥浆作为循环介质,含水层不可避免被泥浆、岩屑污染堵塞,影响后期抽水试验的结果^[4]。因此,在抽水试验前,需先进行洗井作业。目前常用的洗井方法很多,主要为机械洗井与化学药剂洗井。机械洗井包括活塞洗井、二氧化碳洗井、压缩空气洗井等,化学药剂洗井包括焦磷酸钠洗井、盐酸洗井等。一般地热井洗井工艺流程如图 2 所示^[5],本井采用焦磷酸钠洗井、压缩空气洗井与酸化洗井相结合的工艺,以求尽量清除井壁泥皮,达到增大含水层孔隙率的目的^[6]。

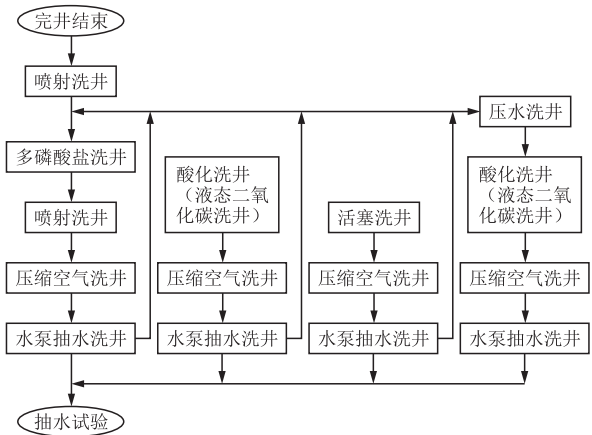


图 2 地热井一般洗井工艺流程
Fig.2 Geothermal well purging process

2.1 焦磷酸钠洗井

钻井结束后首先进行焦磷酸钠($\text{Na}_4\text{P}_4\text{O}_{13}$)洗井作业。焦磷酸钠与粘土发生络合作用,形成不易沉淀的水溶性络离子,在压缩空气洗井过程中可排出孔外。同时磷酸根带有强负电荷,可吸附粘土晶体含 Ca^{2+} 、 Al^{3+} 、 Mg^{2+} 棱角部位,使粘土离子之间斥力增强;同时磷酸根离子产生吸附时带进水化膜,增加了粘土颗粒的水化。通过以上分散作用,使井壁的泥皮被逐渐分解成泥糊状,从而达到破坏泥皮的目的^[7]。

焦磷酸钠洗井溶液浓度一般为 0.8%~1.2%,由于 CGSD-01 井出水层井段施工时间较短,泥浆对井壁的堵塞程度不严重,故选用 0.8%浓度的焦磷酸钠洗井溶液。CGSD-01 井出水层位为雾迷山二段(3715~4051.68 m),根据层位厚度,计算出管内及管外环空间隙体积,配置焦磷酸钠溶液 11.27 m³。施工前先将钻杆下入井底,通过泥浆泵将焦磷酸钠溶液注入井内,再注入泥浆将焦磷酸钠溶液顶替至 3715~4051.68 m 井段。注入阶段共替出泥浆 21 m³,浸泡 7 h 后用清水替换焦磷酸钠溶液。

2.2 压缩空气洗井

本井在完成焦磷酸钠洗井后,开始压缩空气洗井作业。通过向井内持续注入高压空气,使井内水柱上下震荡破坏井壁泥皮;同时高压空气推动井内水柱间断性喷出井口,随着井喷,井内瞬时形成负压,井壁裂隙堵塞物被吸入井内,有助于含水层的疏通出水^[8]。

根据本井水位高度及压缩空气洗井所需气量,选用压力 6 MPa,风量 10 m³/min 空压机进行压缩空气洗井作业。本井利用 $\varnothing 127$ mm 钻杆将高压空气输送至井内,钻杆下入深度 633 m,静水位深度 148 m。压缩空气洗井持续 21 h,共上喷 38 次(图 3),直至水清沙净结束洗井,技术参数如表 2 所示。

表 2 压缩空气洗井参数

Table 2 Compressed-air well purging parameters

上水间隔 时间/min	上水持续 时间/min	上水前空压 机压力/MPa	上水后空压 机压力/MPa	出口温 度/℃	单次出 水量/m ³
30~40	5	4.5~5	2.5~3	85	约 40

2.3 酸化洗井

酸化洗井是利用化学反应的手段来提高地热井的出水量,对于岩溶不发育的白云岩十分有效。酸化洗井常用稀释后的工业盐酸,其与地层中的碳酸盐岩和泥浆发生化学反应,使其溶解。酸化反应一方面盐酸可以进入地层裂隙,与岩石反应达到增大



图 3 压缩空气洗井

Fig.3 Compressed-air well purging

间隙的目的;另一方面盐酸可以和堵塞在孔隙中的岩屑和泥浆等污染物反应,达到疏通孔隙的目的^[9]。对于非碳酸盐地层(如砂岩、砾岩、火山岩等),可采用土酸(氢氟酸与盐酸混合液)洗井,氢氟酸能有效溶解石英、硅酸盐类,盐酸能有效溶解方解石及碳酸盐岩胶结物,其原理与盐酸洗井相似^[10]。本井在进行完焦磷酸钠洗井与压缩空气洗井作业后,进行了第一次抽水试验,根据抽水试验结果,经过专家研讨认为本井产量仍有提升的空间,为改善储层渗流能力,决定增加酸化洗井。

酸化前根据物探测井解释成果(表 3),选取雾迷山二段中一类及二类裂隙层位岩屑进行室内物理化学性质的试验分析,尽可能模拟井下压力和温度条件来选择合理配比的酸化液压材料,对储层进行有效改造,增加尽可能多的产量^[11]。经室内试验,本井采用 18%盐酸溶液并配以一定量的缓蚀剂、助排剂、铁离子稳定剂、防膨剂等。这些添加剂的作用如下^[12]:

- (1)缓蚀剂:减轻套管受盐酸的腐蚀作用。
- (2)助排剂:有利于酸液的排返。
- (3)铁离子稳定剂:防止游离铁离子以氢氧化铁形式沉淀,造成二次堵塞污染。
- (4)防膨剂:防止水敏性地层膨胀。

现场进行酸化洗井作业,酸化洗井主要设备如图 4 所示,施工程序如下:

- (1)下管:下入 $\varnothing 89$ mm 油管至 3500 m,封隔器下深 2350 m,打压座封封隔器。
- (2)井口安装:井口安装 250 型采油树。
- (3)配液:现场配置酸液,稀释酸液需用清水。
- (4)地面管线试压:接好地面施工管线,高压管汇

表 3 CGSD-01 地热井物探测井热水储层解释成果												
Table 3 Interpretation results of hot water reservoir geophysical logging in Well CGSD-01												
层号	起始深度/m	终止深度/m	厚度/m	自然伽马/API	电阻率/(Ω·m)	声波时差/(μs·m ⁻¹)	泥质含量/%	孔隙度/%	渗透率/10 ⁻³ μm ²	含水饱和度/%	井温/℃	解释结论
1	3715.00	3801.30	86.30	9.23	129.76	176.15	5.28	5.00	0.379	100.00	98.06	二类裂缝
2	3805.20	3808.00	2.80	30.78	61.51	196.67	18.75	3.65	0.776	100.00	98.86	二类裂缝
3	3811.80	3813.90	2.10	34.29	32.25	211.41	30.73	5.60	0.304	100.00	98.92	一类裂缝
4	3821.40	3823.00	1.60	25.90	77.73	184.56	19.94	3.07	0.036	100.00	99.01	二类裂缝
5	3875.00	3879.10	4.10	21.74	120.99	169.58	16.26	1.50	0.004	100.00	99.67	三类裂缝
6	3886.80	3888.50	1.70	24.89	118.60	176.89	17.01	2.07	0.031	100.00	99.85	二类裂缝
7	3911.00	3915.20	4.20	21.32	109.94	179.72	10.24	2.99	0.030	100.00	100.64	二类裂缝
8	3916.60	3917.60	1.00	33.36	59.53	204.34	21.63	4.58	0.463	100.00	100.69	二类裂缝
9	3929.00	3932.40	3.40	15.31	219.43	160.90	8.58	1.24	0.001	100.00	100.91	三类裂缝
10	3958.70	3963.90	5.20	26.50	103.09	176.20	20.31	1.56	0.009	100.00	101.33	三类裂缝
11	3965.40	3970.70	5.30	17.84	263.90	187.17	12.46	5.42	0.560	100.00	100.17	一类裂缝
12	4022.40	4025.20	2.80	22.04	96.42	171.94	16.18	1.82	0.010	100.00	103.17	二类裂缝
13	4028.80	4031.40	2.60	25.34	76.58	178.62	17.13	2.14	0.012	100.00	103.34	二类裂缝



图 4 酸化洗井作业主要设备

Fig.4 Main equipment for acidizing operation

清水试压 10 MPa,不刺不漏为合格。

(5)平衡:井口环空灌满清水。

(6)泵酸:采用双压裂车同时泵酸,泵注程序如表 4 所示。

表 4 泵注程序						
Table 4 Pump injection schedule						
序号	作业内容	施工液名称	数量/ m ³	泵压/ MPa	排量/(m ³ · min ⁻¹)	需用时间/ min
1	正挤	盐酸溶液	100.0	≤10	0.5~1.0	120.0~240.0
2	正挤	清水	14.0	≤10	0.5~1.0	14.0~28.0

(7)排酸:气举洗井排酸至 pH 值为 7 结束。

(8)撤场:将排出酸液用罐车拉走处理;酸洗设备收好撤场。

3 抽水试验工艺及流程

在洗井结束后进行抽水试验,目的是获得地热井

的实际出水量和水位的动态变化^[13],评价含水层的富水性,为评价合理开发地下水提供可靠的依据^[14]。抽水试验按水位稳定性可分为稳定流抽水和非稳定流抽水^[15]。按抽水井与观测孔关系可分为单孔抽水和多孔抽水。本井所取水层为雾迷山组二段,未揭穿整个含水层,在此选用单孔稳定流抽水试验。

CGSD-01 井对雾迷山组二段(3715~4051.68 m 井段)共进行 2 次抽水试验。在完成焦磷酸钠洗井与压缩空气洗井后,进行第 1 次抽水试验;在完成酸化洗井后,进行第 2 次抽水试验。2 次抽水试验步骤相同,所用设备如图 5 所示,规格参数如表 5 所示。

表 5 抽水试验设备参数				
Table 5 Pumping test equipment parameters				
序号	名称	规格	单位	数量
1	潜热水泵	200QJ140-190/10	个	1
2	堰箱	直角三角堰箱	个	1
3	摄氏温度计	电子式	个	2
4	泵管	Φ140 mm 套管	m	190
5	水位计	测线+微安表	m	400
6	钢板尺	精度 1 mm	个	1

抽水试验过程主要分为以下几个步骤。

3.1 止水检测

对 Φ177.8 mm 套管与 Φ244.5 mm 套管重叠段进行止水,防止在对雾迷山组二段进行抽水试验时,雾迷山组三、四段含水层中的地下水经套管重叠位置进入井内;对雾迷山组三段与二段地层分界线附近套管外进行止水,防止在对雾迷山组二段进行抽水试验时,雾迷山组三、四段含水层中的地下水经筛管外进入井内。



图 5 抽水试验设备
Fig.5 Pumping test equipment

本井采用电测井的方式进行止水检测。电测井结果显示 $\varnothing 177.8\text{ mm}$ 套管与 $\varnothing 244.5\text{ mm}$ 套管重

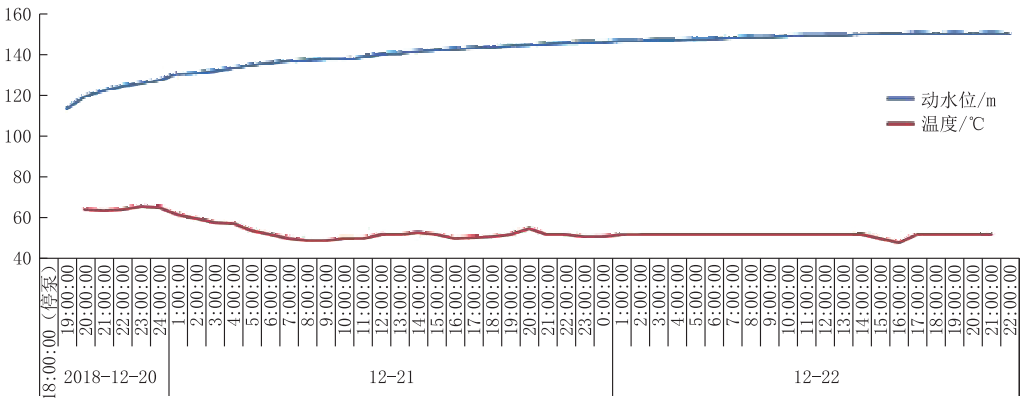


图 6 试抽水静水位恢复曲线
Fig.6 Static water level recovery chart for test pumping

3.3 抽水试验

抽水试验共进行 3 次降深的稳定流抽水试验,降深顺序先深后浅。第 1 次依抽水设备能力进行最大降压抽水,其余 2 次流量值分别为最大流量的 2/3 和 1/3 进行。最大降深抽水试验延续时间 $\leq 48\text{ h}$,稳定延续时间 $\leq 24\text{ h}$;中、小降深稳定延续时间分别不少于 12 h、8 h。各次降压抽水的水泵吸水管口的安装深度应该相同。抽水试验时,动水位、出水量和出口

叠段(2111~2170 m 井段)与雾迷山组二段、三段分界处(3695~3605 m 井段)固井质量优,止水效果满足要求。

3.2 试抽水

在进行正式抽水试验前,以抽水设备能力作一次最大降深试验抽水,时间要求延续 24 h,或达到最大降深后的持续时间 $\leq 2\text{ h}$ 。通过试抽水,全面检查抽水设备的运转情况和工作效果,初步了解水位降深值与涌水量的关系,以便正式抽水时合理选择水位的降深。本井共进行了 4 次试抽水,最终确认采用扬程 190 m、水量 $140\text{ m}^3/\text{h}$ 的潜热水泵,泵下入深度 190 m。本井在试抽水时,根据以往经验选用 $\varnothing 127\text{ mm}$ 钻杆下入井内作为泵管,但本井所用的潜水泵流量大,经常出现泵超载停机故障,后改用 $\varnothing 140\text{ mm}$ 套管作为泵管后,再无停泵现象。试抽水达到最大降深 3 h 后结束,整个过程共持续 9.5 h。结束后静候观察静水位变化,每隔 1 h 记录动水位及温度值。最后连续 6 h,水位虽呈锯齿状轻微波动(图 6),但每小时升降最大差值 $\geq 10\text{ cm}$,符合规范要求,可进行正式抽水试验,静候观察时间总计 52 h。

温度在抽水后的第 1、2、3、4、6、8、10、15、20、25、30、40、50、60、80、100、120 min 的时间顺序观测,以后每隔 30 min 观测一次,直至抽水结束。动水位采用测绳测量,精度至毫米;流量采用三角堰箱测量,精度至毫米;温度采用电子温度计测量,精度至 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

大、中降深抽水试验结束后立即观测恢复水位。观测时间按 1、2、3、4、6、8、10、15、20、25、30、40、50、60、80、100、120 min 的时间顺序观测,以后每隔 30

min 观测一次,直到稳定,持续时间 ≤ 8 h。恢复水位应恢复到初始水位,若恢复不到初始水位且总观测时间 >72 h,可停止观测。

两组抽水试验结果见表 6、表 7。

表 6 第一组抽水试验(酸化洗井前)结果

Table 6 The first set results of pumping tests (before acidizing)

次 数	持续时 间/h	恢复时 间/h	出水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	出口温 度/ $^{\circ}\text{C}$	动水 位/m	静水位/ m	水位降 落/m
1	62	8	130.2	98.5	171.85	143.09	28.74
2	24	8	94.5	98.5	143.55	143.09	-0.46
3	16	8	43.9	94.0	118.83	143.09	-24.26

表 7 第二组抽水试验(酸化洗井后)结果

Table 7 The second set results of pumping tests (after acidizing)

次 数	持续时 间/h	恢复时 间/h	出水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	出口温 度/ $^{\circ}\text{C}$	动水 位/m	静水位/ m	水位降 落/m
1	48	8	147.6	98.5	154.01	161.83	-7.82
2	16	8	101.6	98.5	132.60	161.83	-29.23
3	14	8	59.6	95.0	119.62	161.83	-42.21

4 结语

(1)通过多工艺联合洗井,可明显改善地热井产能。特别是酸化洗井,通过 2 组抽水试验数据可看出其出水量以及动水位数值的明显变化,经计算 CGSD-01 井每天涌水量从酸化洗井前 3120 m^3 提升至 4800 m^3 。

(2)在进行洗井作业前,需制定标准的施工规范并贯彻实施。特别是在酸化洗井过程中,由于酸液需高压注入且有强腐蚀性,现场安全管理必须重视。酸洗后排出酸液需用罐车运输处理,不能随意排放,造成环境污染。

(3)本井开始进行抽水试验时,由于泵管口径与潜水泵流量不匹配造成多次停机故障,因此,在今后类似工程中,应根据潜水泵流量选取合理通径的泵管,统筹考虑两者的匹配性。

(4)抽水试验时,出口流量采用三角堰箱计量,在用钢板尺测量水位高度时存在一定误差。特别在冬天进行抽水试验时,高温地热水遇到冷空气产生大量水雾,使读数更为困难。在今后施工中,建议采用电子流量计,用多种方法进行计量,以提高测量精度,消除读数误差,保证抽水试验准确性。

参考文献(References):

[1] 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.
[2] 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.
[3] 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.
[4] 任良治,李勤义,熊章华,等.地热井洗井工艺探讨[J].地下空间与工程学报,2010,6(S2):1574-1577.
REN Liangzhi, LI Qinyi, XIONG Zhonghua, et al. Investigation on flushing process for geothermal well[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2010,6(S2):1574-1577.
[5] 柯柏林,丁连靖,周艳富,等.地热井洗井及增产工艺技术探讨[J].城市地质,2008,3(1):5-10.
KE Bailin, DING Lianjing, ZHOU Yanfu, et al. A discussion on the washing and production-increasing technologies of geothermal wells[J]. Urban Geology, 2008,3(1):5-10.
[6] 胡郁乐,张惠.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,2013:66.
HU Yule, ZHANG Hui. Drilling and completion techniques of deep geothermal well[M]. Wuhan Hubei: China University of Geosciences Press, 2013:66.
[7] 刘东柱.采用综合、特色洗井法改善地热井完井指标[J].科技信息,2010,2(23):472-473.
LIU Dongzhu. Comprehensive and unique well purging methods for improvement of geothermal well completion index[J]. Science & Technology Information, 2010,2(23):472-473.
[8] 凌安航,谭扬军.气举-酸化联合洗井技术在地热资源开发中的应用[J].价值工程,2018,37(21):139-140.
LING Anhang, TAN Yangjun. Application of gas lift-acidification combined well-cleaning technology in geothermal resources development[J]. Value Engineering, 2018,37(21): 139-140.
[9] 刘咏康.论地热井洗井及增产工艺技术[J].内燃机与配件,2017,(10):121-122.
LIU Yongkang. Geothermal well purging and production boosting technology[J]. Internal Combustion Engine & Parts, 2017,(10):121-122.
[10] 杨树栋,李权修,韩修廷,等.采油工程[M].山东青岛:中国石油大学出版社,2001.
YANG Shudong, LI Quanxiu, HAN Xiuting, et al. Oil extraction engineering[M]. Qingdao Shandong: China University of Petroleum Press, 2001.

模拟研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(8):64—68.

MA Su, LIU Baochang. Numerical simulation study on force and hydraulics of surface set large particle synthetic diamond bit[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(8):64—68.

[9] 李奇龙.螺杆钻具在地热井钻探中的应用初探[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(3):56—58.

LI Qilong. Application of screw drill in geothermal well drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(3):56—58.

[10] 李萌,刘凤,聂海滨,等.C5LZ172×7.0 型螺杆钻具壳体螺纹副强度分析[J].石油矿场机械,2013,42(4):53—57.

LI Meng, LIU Feng, NIE Haibin, et al. Analysis of housing threads' strength for C5LZ172×7.0 downhole motor[J]. Oil Field Equipment, 2013,42(4):53—57.

[11] 闫园园,王大陆,张宝林,等.微页 1 井页岩气钻井取心技术应用[J].钻采工艺,2016,39(5):91—92.

YAN Yuanyuan, WANG Dalu, ZHANG Baolin, et al. Application of shale gas drilling and coring technology in Huiye Well-1[J]. Drilling & Producing Technology, 2016,39(5):91—92.

[12] 王鸿远,李忠寿,张庆华,等.涪陵页岩气井新工具的应用与经济评价[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(7):24—30.

WANG Hongyuan, LI Zhongshou, ZHANG Qinghua, et al. Application and the economic evaluation of new tools in Fuling Shale Gas Wells[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(7):24—30.

[13] 王国庆,王建波,陈广,等.焦页非常规页岩气井优快钻井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(10):17—21.

WANG Guoqing, WANG Jianbo, CHEN Guang, et al. Optimized and fast drilling for construction of Jiaoye unconventional shale gas well[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(10):17—21.

[14] 田明锦,曹函,孙平贺,等.离子稳定剂 ENI 对湘西北页岩气储层护壁机理的初探[J].煤田地质与勘探,2018,46(3):1—8.

TIAN Mingjin, CAO Han, SUN Pinghe, et al. Preliminary study on borehole wall protection mechanism of ionic stabilizer ENI for shale gas reservoir in northwestern Hunan[J]. Coal Geology & Exploration, 2018,46(3):1—8.

[15] 赵虎,司西强,王爱芳.国内页岩气水基钻井液研究与应用进展[J].天然气勘探与开发,2018,41(1):90—95.

ZHAO Hu, SI Xiqiang, WANG Aifang. Water-based drilling fluid and its application to China shale gas reservoirs[J]. Natural Gas Exploration and Development, 2018,41(1):90—95.

(编辑 韩丽丽)

(上转第 13 页)

[11] 王平,宗振海,李振杰,等.酸化液压技术在地热增产中的应用分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(10):30—33.

WANG Ping, ZONG Zhenhai, LI Zhenjie, et al. Application analysis on acidification and crushing technology for increasing geothermal yield[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011,38(10):30—33.

[12] 徐云鹏.酸化压裂工艺在碳酸盐岩层地热开发中的应用[D].北京:中国地质大学(北京),2014.

XU Yunpeng. Acid fracturing technology and its application in geothermal development of carbonate rocks[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2014.

[13] 郝刚强,王智慧,姜亚东.地热井施工流程及工程控制技术探讨[J].西部资源,2015,(1):105—106.

HAO Gangqiang, WANG Zhihui, JIANG Yadong. Discussion on geothermal well construction process and engineering control technology[J]. Resources, 2015,(1):105—106.

[14] 安丽丽,刘志军.地热井成井工艺[J].科技创新与应用,2016,(27):136.

AN Lili, LIU Zhijun. Geothermal well completion technology[J]. Technology Innovation and Application, 2016,(27):136.

[15] 刘柏根.单孔稳定流抽水试验资料的计算机处理与绘图[J].陕西煤炭,2014,33(2):63—64.

LIU Baigen. Computer processing and drawing on pumping test data of single hole with stable flow[J]. Shaanxi Meitan, 2014,33(2):63—64.

(编辑 韩丽丽)