

# 关中盆地地热钻井施工常见问题预防及处理方法探讨

陈建兵, 王振福

(陕西地矿集团有限公司, 陕西 西安 710054)

**摘要:** 陕西关中盆地地热资源丰富, 开发利用程度较高。地热钻探是地热开发利用的主要手段, 地热钻探施工中常见问题有地层坍塌、粘性土造浆、钻头泥包、钻井液性能恶化、钻具落井等问题。通过实例对这些常见问题的原因进行分析, 探讨了预防措施及处理方法。

**关键词:** 关中盆地; 地热井; 地热钻探; 钻井液; 井壁坍塌; 钻头泥包

**中图分类号:** P634   **文献标识码:** B   **文章编号:** 1672-7428(2019)07-0021-07

## Prevention and treatment of common problems in geothermal drilling in Guanzhong Basin

CHEN Jianbing, WANG Zhenfu

(Shaanxi Geology and Mining Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi 710054, China)

**Abstract:** Guanzhong Basin in Shaanxi is rich in geothermal resources which has a high degree of development and utilization. Geothermal drilling is the main means for geothermal exploitation; however many problems are often encountered in drilling operations, including borehole collapse, mud production from clayey soil, drill bit balling, deterioration of drilling fluid properties, lost drilling tools. This paper analyzes the causes of these problems by examples, and discusses the prevention and treatment measures.

**Key words:** Guanzhong Basin; geothermal wells; geothermal drilling; drilling fluid; borehole collapse; drill bit balling

### 0 引言

关中盆地地热资源丰富, 区域内发育数条深大断裂, 主要有秦岭北侧山前大断裂, 余下一铁炉子断裂, 渭河断裂, 骊山北侧断裂, 临潼—长安断裂<sup>[1]</sup>, 断裂的存在为盆地内地热田的形成提供了必要的条件, 通过地下水这个载体, 形成了多个带状热储和层状热储<sup>[2]</sup>。区内新生界沉积厚度最大达 7000 m, 从上而下依次沉积有第四系秦川群、三门组; 新近系张家坡组、蓝田—灞河组、高陵群; 古近系白鹿塬组、红河组、甘河组<sup>[3]</sup>。地层的埋藏厚度在各地区差异较大, 盆地内新生界埋藏浅的地区地热开发以裂隙水为主, 而盆地中心地区地热开发以层状热储为主, 开发利用程度较高, 开采的热储层有张家坡组热储层、蓝田—灞河组热储层、高陵群热储层、白鹿塬组热储层<sup>[4]</sup>。

关中盆地内地热勘查开发以地热钻探的方式为主。天然出露的带状热储类型, 钻井深度一般控制在 1000 m 以浅; 隐伏的盆地型层状热储, 钻井深度目前已经超过 4000 m。地热井常采用二开井身结构, 一开为泵室段, 钻孔直径一般为 444.5 mm, 二开孔径为 241.3 mm<sup>[5-6]</sup>。钻井施工中常遇到第四系松散层坍塌、粘性土造浆、钻头泥包、高温导致钻井液性能恶化、钻具落井等一系列问题(见表 1)<sup>[7]</sup>。笔者对参与过的近百口地热井施工中出现的问题总结发现, 盆地内第四系松散层坍塌问题主要出现在井位处于渭河及其大的支流的河漫滩的地热井, 施工中绝大多数都会出现不同程度的坍塌问题; 粘性土造浆和泥包钻头多发生在第四系下部及新近系地层中; 高温导致钻井液性能恶化问题一般发生在 3000 m 以深的超深高温井施工中。

收稿日期: 2019-01-03; 修回日期: 2019-04-02   DOI: 10.12143/j.tkgc.2019.07.004

作者简介: 陈建兵, 男, 汉族, 1974 年生, 高级工程师, 地质工程专业, 硕士, 主要从事地热资源勘查开发和地质灾害防治工作, 陕西省西安市碑林区雁塔北路 100 号, 313180332@qq.com。

引用格式: 陈建兵, 王振福. 关中盆地地热钻井施工常见问题预防及处理方法探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(7): 21-27.

CHEN Jianbing, WANG Zhenfu. Prevention and treatment of common problems in geothermal drilling in Guanzhong Basin[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(7): 21-27.

表1 地热井(部分)施工中发生的问题及事故汇总  
Table 1 Summary of common problems in geothermal drilling

序号	井名	井深/m	存在问题及事故	问题及事故的位置
1	西瑞基地地热井	2900	浅部松散层坍塌,无法继续施工	井位位于古河道,20~120 m井段
2	裕兴农业地热井	3250	浅部松散层坍塌,无法继续施工	井位位于古河道,20~100 m井段
3	游乐园地热井	2820	浅部松散层坍塌,钻进困难	井位位于渭河南岸,20~240 m井段
4	未央湖地热井	2800	浅部松散层坍塌,钻进困难	井位位于渭河南岸,20~240 m井段
5	咸阳 R1 地热井	2861	浅部松散层坍塌,钻进困难	30~200 m井段
6	闫家滩新村地热井	3406	浅部松散层坍塌,钻进困难	井位位于古河道,20~180 m井段
7	佳佳地产地热井	4082	浅部松散层坍塌,钻进困难	30~200 m井段
8	进丰村地热井	3950	浅部松散层坍塌,钻进困难	20~200 m井段
9	天正花园地热井	3200	浅部松散层坍塌,钻进困难	井位位于渭河北岸,20~240 m井段
10	路邦科技地热井	3830	浅部松散层坍塌,钻进困难	井位位于渭河南岸,20~220 m井段
11	渭热 2 号地热井	3800	浅部松散层坍塌,钻进困难	井位位于渭河南岸,20~220 m井段
12	渭热 4 号地热井	3900	浅部松散层坍塌,钻进困难	井位位于渭河南岸,20~230 m井段
13	金 2 号地热井	2802	浅部松散层坍塌,钻进困难	井位位于渭河北岸,20~240 m井段
14	华阴一号地热井	3200	浅部松散层坍塌,钻进困难	井位位于渭河南岸,50~200 m井段
15	大白杨村地热井	2500	粘性土造浆,泥浆性能变化	一开 200~300 m井段
16	港务区地热井	2650	粘性土造浆,钻进速度变慢	200~360 m井段
17	煜阳基地地热井	2600	粘性土造浆,钻进速度变慢	200~400 m井段
18	龙泉地产地热井	2461	粘性土造浆,钻头泥包,无进尺	新近系高陵群地层
19	南姜村地热井	3310	粘性土造浆,钻头泥包	一开井段 200~400 m 粘性土地层
20	WR1 号地热井	2771	钻头泥包,钻进速度较慢	新近系高陵群地层
21	WR3 号地热井	2900	钻头泥包,钻进速度较慢	新近系高陵群地层
22	WR5 号地热井	2986	钻头泥包,最后无进尺	新近系高陵群地层
23	WR7 号地热井	3000	钻头泥包,钻进困难	新近系高陵群地层
24	西瑞基地地热井	2900	井漏导致坍塌埋钻事故	新近系地层
25	石油大学地热井	3616	井涌导致坍塌埋钻事故	新近系地层
26	裕兴农业地热井	3250	起钻过程中坍塌埋钻事故	第四系下部,510~600 m井段
27	阳光小区地热井	3600	钻井液性能恶化导致卡钻事故	钻井完钻后测井作业通井过程中
28	文博地产地热井	3800	高温导致钻井液性能恶化	钻井完钻后测井作业通井过程中
29	佳佳地产地热井	4082	高温导致钻井液性能恶化	3300 m 以深井段
30	进丰村地热井	3950	高温导致钻井液性能变化	3500 m 以深井段
31	渭热 4 号地热井	3900	高温导致钻井液性能变化	3500m 以深井段
32	污水处理厂地热井	4080	钻杆、钻铤落井事故	3300 m 以深古近系甘河组砾岩地层
33	楼观台地热井	2100	钻具落井埋钻事故	一开卵砾石地层
34	凯豪地产地热井	1356	钻具落井事故	元古界宽坪群基岩地层

## 1 第四系松散层坍塌的预防及处理

盆地中第四系浅部地层比较松散,在一些河流漫滩、古河道内,沉积有较厚的松散砂层(见图1)。钻进中当钻井液粘度低、密度小时,有些较大颗粒物不能正常携带出井;或者因排量过大,钻井液长时间冲刷井内同一位置出现垮塌,孔内出现“大肚子”,岩屑不能正常返回,沉积井底,导致钻进速度变慢,甚至影响正常施工。

### 1.1 问题及原因

以西瑞粮油基地地热井为例,开孔后地表以下5 m 钻遇较厚的松散砂层,钻进至30 m后,接单根时探底井底已有2~3 m的沉砂,开泵缓慢冲洗至

井底继续钻进,以后每接一次单根,都需开泵冲砂,井底的沉淀物也越来越多,钻井液的消耗较大,储备量不足,只能采用清水补充,钻进井深到100 m时,井底的沉砂已经超过了10 m,无法接单根,处理过程中还出现轻微埋钻现象,导致无法施工。同样的问题也出现在裕兴农业地热井施工中。

这些处于古老河床的地热井,开孔地层以砂层为主,粘土含量极低,并含有大量的砂砾石,地层松散,渗透率极强,钻井液消耗量较大,如果钻井液粘度低,会出现携砂和护壁困难,井壁垮塌,地层中的砂砾石以及卵石不能被钻井液正常携带到地面,滞留在井底,往往钻进几十米或者近百米后,不能继续施工,被迫停工,处理事故时间往往长达一个星期。



图 1 松散砂层岩心及岩样

Fig.1 Cores and cutting samples in loose sand

出现此类问题的原因主要有第四系松散砂层本身胶结差,易坍塌,井壁容易失稳;其次是地层孔隙度大,漏失严重,施工准备不足,钻井液储备量少,发生漏失时,用清水补充钻井液,导致性能不稳定,粘度低,携砂能力差;第三就是沉砂不能及时排出地面,冲砂时钻头在一个位置长时间停留,导致井壁破坏,携砂更加困难。

## 1.2 预防及处理

在井位处于老河床,地层中沉积了较厚的砂层、砂砾石及卵石地层的地热井施工中,一定要做好表层准备工作,提前了解地层情况,钻井液性能要适宜地层的需要,钻井液储备量要充足。

钻井液使用膨润土、Hv-CMC 以及纯碱等材料。钻井液性能要求高粘度,具备携带和悬浮岩屑的能力,同时要具有很强的护壁能力。钻井液储备量应满足钻穿该地层的损失量,在钻遇高漏失的砂砾卵石松散地层时,及时补充性能稳定的钻井液,保证施工正常进行。

以上措施在后期几口井表层施工中得到了充分的验证:灞河西岸冯家滩地热井、东大村地热井地表下 1~2 m 就是巨厚的砂层,厚度超过百米,几乎没有粘土层,地层多以砂、砂砾石、卵石为主,虽然也有井底沉砂,但提前储备了两倍于一开容积的钻井液,钻井液用膨润土、Hv-CMC 及纯碱配置而成,膨润

土提前 24 h 进行了预水化,钻井液的粘度达到了 35 s,施工较为顺利,未出现坍塌问题及事故。

地热井表层施工中出现坍塌问题时,较轻微时应及时改善钻井液性能,保证钻井液有较高的粘度及护壁性能,防止坍塌进一步扩大。西瑞粮油基地地热井就是处理不及时以及处理方法措施不当,导致坍塌严重不能正常施工,最后采取了用粘性土填井重新施工。

## 2 粘性土造浆问题的预防及处理

在钻遇较厚的粘性土地层时,钻井液粘度会急剧上升,固相含量增大,密度升高,含砂量变大,钻井液性能恶化使钻进速度明显降低,易发生井下复杂情况,或者引发钻井事故。

### 2.1 问题及原因

以煜阳基地地热井为例,在未钻遇纯粘土层时,钻井液性能良好,钻进速度较快。该地热井钻进到 200 m 以深就钻遇第四系粘土地层,粘土水化后逐渐进入钻井液体系,钻井液性能发生变化(见表 2),密度迅速上升至  $1.20 \text{ g/cm}^3$  以上,粘度达 40~50 s,流动性变差;钻进速度明显变慢,钻时由 1~2 min/m 变为 5~10 min/m;钻井液性能急剧恶化,井壁上形成较差的厚泥皮,起下钻时出现了拔活塞,钻杆接头上粘附较多泥饼;短起下开泵循环时,泵压比原来高出 50% 以上;钻井液成块状,上返困难,井口还出现了大量的泥条。

表 2 煜阳基地地热井钻井液及钻时变化对应

Table 2 Drilling time vs drilling fluid properties in geothermal drilling at the Yuyang base

井深/m	钻井液密度/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	钻井液粘度/ s	平均钻时/ ( $\text{min} \cdot \text{m}^{-1}$ )
200	1.10	30	
230	1.11	31	1.0
255	1.13	32	1.2
270	1.16	35	2.0
280	1.18	38	3.0
290	1.19	40	3.0
295	1.20	45	6.0
300	1.21	50	6.0

还有就是在新近系地层钻进时,泥岩中的粘性土含量较高,容易悬浮于钻井液中,如果钻井液中的固相含量不及时清除净化,也会出现钻井液密度增大、粘度升高,造成钻速下降问题,甚至出现吸附卡钻事故<sup>[8]</sup>。

粘性土造浆的主要原因是地质原因,这类地层中粘性土含量高、纯度大,而粘性土易水化,悬浮于钻井液中。其次是人为因素,施工人员对地层资料信息了解不够,没有制定应对措施,施工中生产责任意识差,没有及时发现问题并做出处理措施。

## 2.2 预防及处理

施工前收集周边钻井资料,了解地层情况,对于厚度大于100 m的粘性土地层,要制定专项预案,施工中发现岩样连续为粘性土,钻井液密度、粘度变化率超过10%以上时,应立即加密测量钻井液性能,从1 h测量一次改为30 min一次。如果密度、粘度快速增大,立即采用以下措施:一是要加大低粘度钻井液的补充量,对井内钻井液进行稀释;二是要增加钻井液絮凝处理剂的用量,降低钻井液中的固相含量<sup>[9]</sup>;三是必要时使用离心机、除泥器等钻井液固控设备,降低固相含量,控制好钻井液性能。如果钻井液密度、粘度已经过高,处理困难,可重新配置新液,对井内钻井液进行缓慢置换,直到性能基本达到钻井需要,然后按要求进行性能维护。

## 3 坍塌埋钻问题的预防及处理

出现井壁坍塌的原因主要是地层疏松破碎,胶结程度差。有的坍塌问题出现在第四系松散砂层,有的出现在新近系中一些硬脆性地层之中;其次就是井内压力失衡、井壁失稳,一般当钻孔中的液柱压力低于地层压力时,就会出现地层坍塌,不及时处理,就会出现井下复杂情况甚至埋钻事故。

### 3.1 问题及原因

以石油大学新校区、中粮兴平基地及裕兴农业等地热井出现的坍塌埋钻事故为例。石油大学新校区地热井钻进至井深3600 m时,钻遇异常高压地层,井内液注压力低于地层压力,地层中的热水缓慢渗入,不断稀释钻井液,夜班光线较差不易观察,施工人员没有及时发现这个异常现象,等发现时钻井液密度已经由 $1.13 \text{ g/cm}^3$ 变为 $1.08 \text{ g/cm}^3$ ,停泵观察涌水量已经变大,在起钻过程中井壁坍塌,上提遇阻,倒划眼后坍塌严重,开泵困难,发生了塌孔埋钻事故。

裕兴农业地热井完钻后起钻止600多米时突然遇阻,不能上提下放,开泵不能建立循环。经检查发现灌浆管线出现阻塞,起钻过程中泥浆没有灌入井内,井内液面下降过多,液柱压力降低导致井壁坍塌

发生埋钻卡钻事故。

中粮兴平基地地热井埋钻原因是钻遇漏失地层,当钻进至2545 m时,突然出现泵压下降现象,经检查发现井口不返浆,起钻过程中遇阻严重,强力起出5柱钻具后,发生埋钻事故钻具卡死。

地热井出现坍塌埋钻事故的原因有地质因素和人为因素两个方面。施工中钻遇异常高压地层时,地层中的热水就会涌入井内,稀释钻井液,井筒压力下降,造成井壁失稳坍塌埋钻;另外就是钻遇漏失地层,井内液面迅速下降<sup>[10]</sup>,液柱压力降低,井壁失稳,地层坍塌出现埋钻事故;还有就是不按操作规程施工造成井内液面下降,液柱压力降低,出现井壁失稳坍塌埋钻。当然也有出现上述复杂情况时,处理不及时或者措施不当造成事故的发生。

## 3.2 预防及处理

坍塌埋钻是一种较为恶性的钻井事故,容易导致钻孔报废,因此要预防此类钻井事故的发生。一般要求在钻井前必须熟悉地质基础资料,了解是否存在异常高(低)压地层或者裂隙易漏地层,根据情况编制专项方案,制定一系列的预案措施。钻遇高压地层应准备一定数量的加重剂,钻遇低压易漏地层应准备堵漏材料并储备充足的钻井液量,施工中要按照工程设计严格规范操作,钻遇异常地层时注意观察钻井液的变化情况,出现异常情况按制定的预案进行处置;另外在起钻过程中,严格执行操作规程,按要求灌注钻井液,保持井筒液柱压力平衡。

坍塌埋钻初期,应尽快建立循环,尽量活动钻具,循环出坍塌物,恢复井眼畅通。石油大学新校区地热井出现坍塌埋钻后,一直采用小排量循环,安排有经验的司钻不停的活动钻具,最终解卡,提出钻具。采用加重剂调配钻井液,从塌孔位置划眼通井直至井底,成功处理了这次坍塌埋钻事故。

裕兴农业地热井埋钻后,不能建立循环,采用了倒扣套铣的方法。该井坍塌位置较浅,坍塌井段较短,最后成功处理埋钻事故。

中粮兴平基地地热井也采用倒扣套铣的方法,套铣了半月时间因处理成本太大放弃套铣方案,最后在井内侧钻完井,报废了1000多米井段。还有些井因成本原因不能处理只能报废移井位重新施工。

## 4 钻头泥包问题的预防及处理

钻头泥包一般发生在塑性粘土泥岩地层中,粘

性土水化后在钻头上吸附,随着时间的推移,吸附物越来越多,直至包住钻头(见图 2)。钻头泥包后表现为钻速变慢,起钻困难,出现拔活塞现象等。

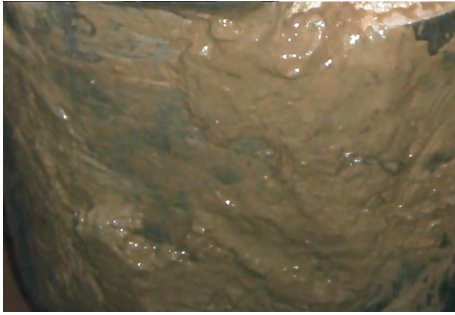


图 2 钻头泥包

Fig.2 Drill bit balling

#### 4.1 问题及原因

咸阳文林路的文热二号、文热五号及泾阳县龙泉时代新城等地热井,施工中钻遇新近系中新统高陵群一套纯泥岩地层时(见图 3),出现了钻速减慢现象,没有及时采取处理措施,到后来钻速越来越慢,最慢时达 100 min/m 以上(正常钻速 10 min/m),起出钻头发现整个钻头被红色粘性土包死。另外在一些地热井表层施工中也遇到了较厚的粘土层,表现为钻井液的粘度急剧增高,钻速变慢,起钻时阻力较大,起出钻头后都发现钻头全部泥包。



图 3 新近系红色泥岩岩心及岩样

Fig.3 Cores and cutting samples of red mudstone in Neogene

发生钻头泥包的地层中一般富含高岭土、蒙脱石、伊利石、绿泥石等粘土矿物,其颗粒细小,水化后进入钻井液体系中,造成钻井液固相含量升高,粘度增大,同时粘土矿物水化吸附在钻头上,不及时清除,就会造成钻头自洁能力下降,钻头被包住,钻速下降。

#### 4.2 预防及处理

钻头泥包与钻遇地层关系极大,在施工前应详细了解地层情况,钻进过程中应及时观察上返的地层岩屑,如果发现地层变为粘性土或粘性泥岩时,密切注意钻井液性能的变化,控制好钻井液的粘度,当粘度有上升趋势,应立即添加聚合物等化学药剂降低粘度,同时,加大钻井液泵排量,将岩屑快速冲离钻头部位,避免包住钻头。

当判断钻头出现轻微泥包时,可采用较高转速结合大排量对钻头进行清洗,减小钻头泥包程度,并每隔一段时间采取这种措施,钻穿此类地层后,钻头泥包情况就会解决。如果泥包严重,可以起钻清除。

### 5 高温导致钻井液性能恶化问题的预防及处理

地热井下温度直接影响钻井液的流变性、粘度及稳定性<sup>[11]</sup>。关中盆地的地温梯度一般在 3 °C/100 m 以上,3000 m 以深的地热井井下温度普遍在 100 °C 以上,钻进施工中在地面测量钻井液循环温度为 60~70 °C(见表 3),低温条件下的钻井液体系在高温时性能就会发生变化,导致出现井下复杂情况或者井下事故,影响钻井施工。

表 3 部分地热井测井井底温度及钻井液地面温度

Table 3 Drilling fluid surface temperature and borehole bottom temperature logged in some geothermal wells

井名	井深/m	电测井井底温度/°C	地面测钻井液温度/°C
北冶人和地热井	3460	128	64
佳佳地产地热井	4082	123	70
进丰村地热井	3950	138	72
路邦科技地热井	3830	137	70
渭热 2 号地热井	3800	130	70
渭热 4 号地热井	3900	129	68
雅卓花园地热井	3500	120	68
文博地产地热井	3800	128	68
军体校地热井	3800	120	68

#### 5.1 问题及原因

文博地产地热井钻井深度为 3800 m,完钻后进行测井前的通井作业,下钻距离井底约 50 m 时,发

现下放阻力较大,随即开泵循环,开泵较为困难,泵压较高,井内流出的钻井液流动性明显很差,测量钻井液粘度达 90 s,比正常的几乎高出 1 倍。阳光小区地热井也是在完钻通井时出现钻井液性能恶化,循环过程中还压漏地层,发生了吸附卡钻事故。

上述地热井深度大、井下温度高,其中文博地产地热井物探测井井底温度 128 °C,阳光小区地热井井底温度也在 120 °C 以上。阳光小区地热井施工前没有预判到井温对钻井液的影响,导致钻井液出现了轻微固化现象,流变性变差,粘度升高,井下出现了复杂情况,最终发生了卡钻事故。

## 5.2 预防及处理

高温下钻井液性能发生变化,一般都是钻井液药品抗温性能差造成的。不同的地区的地温梯度差异较大,因此施工前要准确预测地热井的井底温度,采用合适的钻井液处理药品,目前关中盆地地热井施工中抗高温钻井液药品一般使用磺化沥青粉、磺化褐煤、磺甲基酚醛树脂以及一些包被剂,这些药品在高温下能保证钻井液的流变性,并且具有一定的防塌性能。

井下高温导致钻井液性能恶化时,应采用抗高温药品改善和调整钻井液性能。文博地产地热井立即采用调整钻井液性能的方案,向原钻井液中分别添加 0.5 t 磺化褐煤及磺甲基酚醛树脂,处理钻井液约 100 m<sup>3</sup>,缓慢循环一周后,钻井液粘度恢复到 42 s,性能趋于稳定(见图 4)。后期测井、下套管等完井作业非常顺利。阳光小区地热井出现钻井液性能恶化并导致卡钻事故后,施工单位分析原因,紧急从厂家购置抗高温钻井液处理药品,重新配置新钻井液,历时半个多月时间,成功处理卡钻事故,井下恢复正常,后期施工顺利完成。



图 4 性能稳定的钻井液  
Fig.4 Drilling fluid with stable properties

## 6 钻具落井问题的预防及处理

钻具断落是钻井过程中经常碰到的事故。钻具断落之后,如不及时处理,还会发生卡钻事故。钻具断落原因一般是由于钻具疲劳折断、机械破坏、短路循环出现钻具刺断、扭断钻具等。

### 6.1 问题及原因

咸阳污水处理厂地热井在施工中钻遇古近系渐新统甘河组地层,该套地层以砾岩为主,地层较为坚硬,钻进中频繁出现跳钻现象,施工中多次发现泵压下降,钻进无进尺,上提钻具发现悬重降低,提钻后检查钻具落井。该地热井施工中共发生钻具落井事故 5 次,有钻铤断落事故,有钻杆断落事故。周至楼观台地热井钻遇地层也是以砾岩为主,钻进中跳钻很严重,发生了多次钻铤落井事故。

钻具落井的主要原因是地层原因,多发生在砾岩或基岩地层(见图 5),这类地层一般硬度大,易发生跳钻现象,如果钻具组合中未安装减震装置,频繁的跳钻导致钻具丝扣出现疲劳破坏,从而出现钻具的落井事故。还有就是钻具质量原因,钻具长期使用会出现不同程度的损伤,如果不进行探伤置换就会埋下安全隐患,施工中遇到井下复杂情况就容易发生钻具断落事故。



图 5 基岩岩心及岩样

Fig.5 Cores and cutting samples of bedrock

### 6.2 预防及处理

为了减少或者防止钻具断落事故,施工中要加强钻具管理,定期对钻具进行探伤,使用中要严格检

查丝扣磨损情况, 钻具使用后要进行防锈防腐处理, 有问题的钻具坚决不入井使用。同时为了减少事故损失, 施工现场要配备打捞钻具的公锥、母锥、打捞筒等常用捞具, 保证出现钻具事故时能及时处。钻井过程中严格按照钻井规程操作, 防止人为原因造成钻具扭断、刺漏落井事故; 同时施工中要认真负责, 发现钻具异常情况要及时判断处理, 保证第一时间发现, 第一时间处理, 防止事故恶化。

丝扣损坏的钻具落井事故, 一般采用公锥打捞, 钻具本体损坏或者内径变形的事故采用母锥、打捞筒处理(见图 6)。咸阳污水处理厂地热井施工现场配备了公锥等打捞工具, 所有的事故都是一次处理成功。周至楼观台地热井发生钻具落井事故后, 由于钻进速度较慢, 施工人员没有及时发现, 岩屑将“落鱼”卡住, 使用公锥打捞时, 井下钻具卡死, 采用套铣筒套铣到钻头位置后, 才将落井钻具捞出。



图 6 打捞筒打捞钻具

Fig.6 Fishing drilling tools with the overshot

## 7 结语

通过以上案例分析可知, 关中盆地地热井钻井施工问题产生的最主要原因为地质原因。处于古河道的第四系砂层松散、厚度大, 容易出现钻井液漏失和井壁坍塌现象; 粘土地层易水化造浆; 异常压力地层容易出现井内压力失衡; 超深井下温度高, 会导致钻井液性能变化; 基岩及卵砾石地层岩石硬度大, 会出现“跳钻”现象, 易产生钻具疲劳破坏。其次就是人为原因, 施工人员责任心不强, 不按操作规程施工。井下事故的发生一般都不是单方面的原因, 往往是多重原因叠加, 因此, 在地热井钻井施工中, 只有采用科学的技术和合理的工艺, 严格按照施工规范和要求, 才能减少或者避免钻井事故的发生。

## 参考文献 (References):

- [1] 王兴. 渭河盆地地热资源赋存与开发[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2005.  
WANG Xing. Occurrence and development of geothermal resources in Weihe Basin[M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 2005.
- [2] 张大民. 关中地区地热井成井工艺探讨[J]. 陕西煤炭, 2008, 27(2): 49-50.  
ZHANG Damin. Geothermal well completion technology in Guanzhong Region of Shaanxi Province[J]. Shaanxi Coal, 2008, 27(2): 49-50.
- [3] 张世富, 李志军. 西安地热井施工技术和成井工艺[J]. 中国煤田地质, 1999, 11(4): 66-67.  
ZHANG Shifu, LI Zhijun. Drilling and completion technology of geothermal wells in Xi'an Region[J]. Coal Geology of China, 1999, 11(4): 66-67.
- [4] 杨梦辉. 关中盆地地下水开发利用研究[J]. 地下水, 2012, 34(3): 75-76.  
YANG Menghui. Development and utilization of geothermal water in Guanzhong Basin, Shaanxi Province[J]. Ground Water, 2012, 34(3): 75-76.
- [5] 卢予北. 地热井常见主要问题分析与研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2004, 31(2): 43-47.  
LU Yubei. Analyses and study on common problems in geothermal well[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2004, 31(2): 43-47.
- [6] 闫小利, 郑树楼, 王振福. 陕西关中地区深层地热井成井工艺探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(5): 36-39.  
YAN Xiaoli, ZHENG Shulou, WANG Zhenfu. Discussion on deep geothermal well completion technology in Central Shaanxi Area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010, 37(5): 36-39.
- [7] 蒋希文. 钻井事故与复杂问题[M]. 北京: 石油工业出版社, 2006.  
JIANG Xiwen. Drilling incidents and complex problems[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2006.
- [8] 李连生. 第三系地层中地热井施工常见的主要问题[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2004, 31(9): 59-60.  
LI Liansheng. Main problems existing in geothermic well drilling in Tertiary Formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2004, 31(9): 59-60.
- [9] 李慧. 浅谈聚合物钻井液[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2011, 31(11): 81.  
LI Hui. Polymer drilling fluids[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2011, 31(11): 81.
- [10] 李国栋. 地热钻井技术的若干问题[J]. 地下水, 2008, 30(1): 85-86, 88.  
LI Guodong. Some issues with geothermal well drilling technology[J]. Ground Water, 2008, 30(1): 85-86, 88.
- [11] 易灿, 闫振来, 郭磊. 井下循环温度及其影响因素的数值模拟研究[J]. 石油钻探技术, 2007, 35(6): 47-49.  
YI Can, YAN Zhenlai, GUO Lei. Numerical simulation of circulating temperature and its impacting parameters[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2007, 35(6): 47-49.