

# 水文地质深孔抽水试验工艺技术探索

张家军<sup>1</sup>, 雷艳<sup>2</sup>

(1. 河南省地质矿产勘查开发局第五地质勘查院, 河南 郑州 450001; 2. 中国地质大学(武汉), 湖北 武汉 430074)

**摘要:**以河南省禹州市张得区煤详查钻探项目 ZK2208 钻孔为例,通过采用合理的成井结构、套管异径双重止水、焦磷酸钠 + CO<sub>2</sub> 洗井、钻机 + 千斤顶提拔长观孔内套管等各种工艺措施,有效解决了顺利下入套管、一次性有效止水、有效洗井、顺利提拔套管等各种施工技术难题,顺利完成了 1300 多米水文地质深孔的施工,达到了地质设计与有关规范的要求。

**关键词:**水文地质深孔;抽水试验;套管止水;洗井;提拔套管

中图分类号:P641.7 文献标识码:B 文章编号:1672-7428(2015)05-0040-06

**Technical Exploration of Pumping Test Process in Deep Hydrogeological Hole/ZHANG Jia-jun<sup>1</sup>, LEI Yan<sup>2</sup>** (1. No. 5 Institute of Geo-exploration of Henan, Zhengzhou Henan 450001, China; 2. China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

**Abstract:** Take the example of ZK2208 in detailed survey project of Yuzhou of Henan Province, with rational well drilling structure, water stop by different diameter casings, well washing by sodium pyrophosphate and CO<sub>2</sub>, casing pulling for long term observation hole with drill and jack, the difficulties of casing running, one trial effective water stop, effective well washing and smooth casing pulling have been overcome, a deep hydrogeological hole of more than 1300m in depth has been completed according to the geological design and related regulations.

**Key words:** deep hydrogeological hole; pumping test; water stop by casing; well washing; casing pulling

水文地质钻孔施工中,抽水试验是非常重要的一个环节,其结果的准确性直接影响对矿区水文地质条件和矿藏开采安全性的正确评价。而抽水试验中往往又会遇到套管下不到位、套管止水无效、套管无法提拔而无法封闭钻孔等一系列技术难题<sup>[5]</sup>,特别是超过 1000 m 的深孔,这些问题会更加突出。

## 1 工程概况

禹州市张得区煤详查钻探项目布设的 9 个水文地质钻孔(另有 45 个地质孔),既是地质孔,又是抽水试验孔,设计工作量 10365 m,实际共完成有效钻进尺 10239.05 m,抽水 17 层。其中,单孔最深终孔孔深 1337.70 m(ZK2208),抽水最深的层位为 ZK2208 钻孔的 C<sub>2t</sub> 下,位置为 1281~1314 m 段。本项目共布设 7 个长期水文观测孔,观测周期为一年。经现场验收,钻孔的钻探施工一次性优良率达到 100%,抽水试验的一次性优良率达到 100%,经最终验收,9 个水文孔中特级孔占 2 个,乙级孔占 7

个。

## 2 勘查区地质特征及水文地质条件<sup>[2]</sup>

根据钻探施工及电测井揭示的地质资料,自上而下地层主要为第四系黄土层,含粘土、砂质粘土、亚砂土及砂、砾;三叠系,含下统和尚沟组;下统刘家沟组;二叠系上统,含石千峰组,本组为河床相沉积,含第九、第八、第七煤段;二叠系下统,含第六、第五、第四、第三、第二煤段,其中二<sub>1</sub>煤为主要可采煤层,局部地段分叉为 2 层;石炭系上统太原组,主要含一煤段;下部为石炭系上统本溪组和寒武系上统长山组、凤山组。

张得区位于禹州煤田南部景家洼向斜北翼东段,地表无基岩出露。基岩地下水来自西北部低山丘陵补给区,勘查区处于深部循环排泄区。地下水埋藏深,排泄条件差,致使地下水径流由山区向东南方向运移缓慢,使本区岩溶水不够发育,而以岩溶裂隙水为主。

收稿日期:2014-07-23;修回日期:2015-04-15

作者简介:张家军,男,汉族,1968年生,高级工程师,从事钻探技术及管理方面的工作,河南省郑州市高新区莲花街56号河南地矿高新大厦1006室,450001zhangj68@126.com。

其主要含水岩组及主要隔水岩组自下而上简述如下。

(1) 主要含水岩组。主要为寒武系白云质灰岩含水岩组,石炭系太原组上段及下段石灰岩含水岩组,二<sub>1</sub>煤层顶板砂岩裂隙含水岩组,四<sub>9</sub>煤、五<sub>4</sub>煤、七<sub>4</sub>煤顶板砂岩裂隙含水岩组。

(2) 主要隔水岩组。本区对地下水的阻隔作用自下而上的层位为:石炭系本溪组铝土岩、铝土质泥岩隔水层;石炭系太原组中段界于L<sub>7</sub>—L<sub>4</sub>灰岩之间,由泥岩、砂质泥岩、间夹薄层细粒砂岩的碎屑岩段;二<sub>1</sub>煤层底板碎屑岩段隔水层;二叠系石盒子组碎屑岩段隔水层。

### 3 工程质量要求<sup>[3]</sup>

#### 3.1 煤心采取

按确定的煤层厚度计算,煤层的长度采取率 $\leq 75\%$ 。按煤心送样质量计算,质量采取率 $\leq 60\%$ 。煤层结构清楚,煤心不污染,不燃烧变质,不混入杂物。

#### 3.2 钻孔岩心采取率

甲级孔含煤地层采取率二叠系不低于70%、石炭系不低于50%,顶底板围岩不低于50%,破碎带不低于40%。第三、四系要求取心的钻孔,同一岩性采取率为:粘土、亚粘土层、粘土夹砾石层不低于60%,砂、砂砾层不低于30%,卵石、砾石层不低于20%;岩性分层合格率不低于70%。特级孔各地层采取率提高10%。

#### 3.3 钻孔孔斜

0~200 m为直孔,超过200 m孔斜按钻探规程中特级孔要求施工,即每百米的孔斜 $\geq 1^\circ$ ,以利于抽水试验时设备安装及下井壁管止水时顺利施工。

为防止孔斜超差,在施工中按有关规定进行中途测斜,要求开孔50 m测量一次,以后每100 m测量一次,并依据测斜资料进行微机孔斜换算。为准确换算歪斜钻孔见煤点的坐标,验收煤层附近应有测斜点。钻孔最下一个测斜点应尽量接近孔底( $\geq 50$  m)。

#### 3.4 钻孔简易水文地质观测

钻孔均从上石盒子组开始进行观测,按《煤田地质勘探钻孔简易水文地质观测规程》的相关要求进行,观测和详细记录钻进中涌(漏)水、掉块、塌孔、逸气、涌砂等现象发生的层位和深度,测量涌

(漏)水量,观测钻进中回次水位和冲洗液消耗量的变化。

#### 3.5 水文地质编录

描述岩心的岩性、结构构造、裂隙性质、裂隙密度、岩石的风化程度和深度以及岩溶形态、大小、充填情况、发育深度,统计裂隙率、岩溶率。

#### 3.6 其它

钻孔施工尽量采用清水钻进,抽水段采用液态CO<sub>2</sub>洗井。

钻孔揭露多个含水层时,测定分层稳定水位。分层抽水试验和分层测水位的钻孔,必须严格止水,并检查止水效果。

水文地质孔终孔后均进行水文物探测井工作。

### 4 ZK2208 钻孔的钻进施工概况

#### 4.1 钻进设备的选择

根据地层条件、钻孔深度以及地质方的要求,安排HXY-6B型液压钻机进行钻进施工,使用BW250型泥浆泵、K407型四角钻塔,Ø50 mm外丝钻杆,配备Ø68 mm钻铤。

#### 4.2 钻孔结构

根据地层情况及甲方的要求,按照地质设计,使用Ø155 mm硬质合金钻头开孔,施工过第四系地层后,换用Ø133 mm金刚石钻头及复合片钻头施工,待穿过平顶山砂岩后,使用Ø94 mm金刚石钻头、复合片钻头施工至终孔。待测井工作结束后,将Ø94 mm钻孔扩大至Ø133 mm到抽水段的上部约20 m,下部再扩大至Ø113 mm到抽水段。

#### 4.3 冲洗液的选用<sup>[6]</sup>

冲洗液配方为:清水+优质膨润土+CMC+火碱+腐植酸钾。

冲洗液的性能要求为:粘度为18~20 s,密度1.02~1.06 g/cm<sup>3</sup>,失水量 $\geq 10$  mL/30 min,含砂量 $< 3\%$ ,pH值7~10;破碎、易坍塌、漏失地层的泥浆粘度为22~25 s,失水量 $\geq 10$  mL/30 min,含砂量 $< 3\%$ ,pH值7~10。

#### 4.4 钻进施工

ZK2208钻孔设计孔深1320 m,2011年3月6日开始钻进施工,采用普通钻具正循环回转钻进工艺,全孔采取岩心。2011年7月23日钻进施工结束,终孔孔深1337.70 m。共采取可采煤层4层,单层煤层最厚(二<sub>1</sub>煤)5.25 m。7月27日电测井结

束,1337 m处的钻孔顶角为 $8.7^\circ$ ,方位角为 $342^\circ$ ,煤层位置、厚度、孔斜等指标完全满足地质设计要求。

## 5 抽水试验

根据施工时所取岩心及电测井结果,ZK2208 钻孔二<sub>1</sub>煤顶的孔深约为1231 m, $C_{t_2}$ 下部的位置约为1281 m,按照地质设计要求,该钻孔抽水位置分别为1281~1314 m( $C_{t_2}$ 下抽水段)和1158~1231 m(二<sub>1</sub>煤顶抽水段)。由于该孔长观层位为二<sub>1</sub>煤顶,经研究决定先抽 $C_{t_2}$ 下的那层水,后抽二<sub>1</sub>煤顶层位水。

### 5.1 抽水试验方案的确定

(1)抽水试验的工具:抽水试验设备选用100QJ16-81/24型三相深井泵。

该深井泵的功率为7.5 kW,流量为 $16\text{ m}^3/\text{h}$ ,扬程为81 m,轴向压力为1500 N,泵的外径为96 mm,出水口的直径为50 mm,最大潜水深度为350 m。

(2)洗井方法的选定<sup>[5]</sup>:先用焦磷酸钠溶液浸泡钻孔,空压机振荡洗井,后用液态 $\text{CO}_2$ 洗井,以达到将抽水段岩层的裂隙完全疏通的目的。

(3)抽水试验前的准备工作:在抽水试验开始前,按顺序应先扩孔,然后调整泥浆、下套管、止水、洗井,最后进行抽水试验。

### 5.2 抽水段下部孔段的封闭

#### 5.2.1 $C_{t_2}$ 下抽水段下部孔段的封闭

电测井工作结束,抽水试验方案确定后,用岩心管将碎石送到孔底,填碎石至1324 m处,然后在地面上将粘土粉、米石、水泥、纤维素液、麻丝等混合,团成粘土球,放入 $\text{O}89\text{ mm}$ 岩心管内,用钻杆一次次送到1324 m及以上位置,并分次捣实,直到1314 m处(抽水段的下部不能用水泥砂浆封闭,以免堵塞抽水段地层的缝隙,影响抽水效果)。

#### 5.2.2 二<sub>1</sub>煤顶抽水段下部孔段的封闭

第一次抽水试验工作结束,套管提拔上来后,开始封闭二<sub>1</sub>煤顶抽水段下部孔段。在约1250 m处放入约 $\text{O}90\text{ mm}$ 木塞架桥,木塞外缠上海带并用扎丝绑牢,同样送入米石、粘土球至约1231 m处并捣实,抽水段下部孔段封闭工作完成。

### 5.3 扩孔与清孔

该钻孔第四系地层深121.2 m,故用 $\text{O}155\text{ mm}$ 钻头施工钻孔至130 m,见完整基岩。

使用 $\text{O}113\text{ mm}$ 钻头将下部 $\text{O}94\text{ mm}$ 的钻孔扩大至1281 m处,再使用 $\text{O}133\text{ mm}$ 钻头将下部 $\text{O}113$

mm的钻孔扩大至1150 m处(预留几米待抽该层水时再扩),以方便进行1281~1314 m( $C_{t_2}$ 下抽水段)和1158~1231 m(二<sub>1</sub>煤顶抽水段)部位的抽水试验。扩孔工作于2011年8月13日结束。

扩孔后钻孔结构示意简图如图1所示。

扩孔工作完成后,需要认真、彻底地清理钻孔。清孔时 $\text{O}50\text{ mm}$ 钻杆下部带2 m长 $\text{O}89\text{ mm}$ 岩心管,下带相应规格钻头,钻头内倒焊上细钢丝,做成钢丝钻头。在距钻头约35 m的钻杆上,带上长4~5 m $\text{O}127\text{ mm}$ 的取粉管。待孔内沉渣达到要求时,清孔工作完成。清孔钻具组合如图2所示。

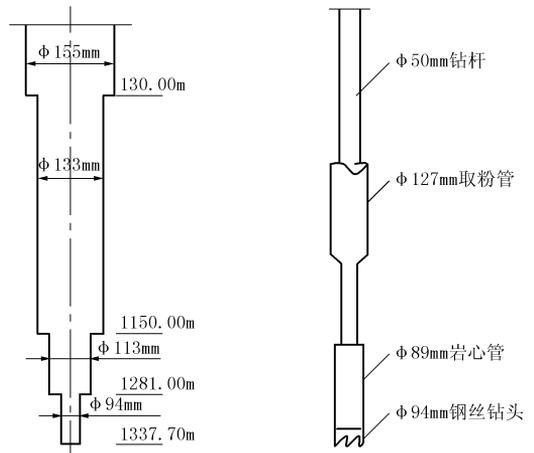


图1 扩孔后钻孔结构示意图 图2 清孔钻具组合

清孔工作完成后,用加长岩心管顺孔,然后替换泥浆。

### 5.4 抽水试验

#### 5.4.1 $C_{t_2}$ 下层位的抽水试验

##### 5.4.1.1 下套管

2011年8月16日开始下套管,17日夜间结束,施工比较顺利。

下套管前,准备好废机油、丝扣油或黄油,按比例混合成液态,用作套管外壁润滑。

首先下入 $\text{O}146\text{ mm}$ 套管至130 m。套管的下部缠上海带,用扎丝绑牢,孔口用编织袋塞住,并用黄土填实,以防砂石等杂物落入孔壁与套管间的间隙内。

$\text{O}146\text{ mm}$ 套管固定后,开始下内层套管。内层套管有3种规格,最下部为 $\text{O}89\text{ mm}$ 套管,长约2.5 m,中间约980 m的套管为 $\text{O}108\text{ mm}$ ,最上部的300 m套管为 $\text{O}127\text{ mm}$ 。各种规格的套管间均用变径接头连接。

### 5.4.1.2 抽水段止水

按照设计,采用异径双重止水方案。1314 m 以深采用泥球封闭止水;根据钻孔岩心编录及物探测井资料,上部止水设计在 1279 ~ 1281 m 段,止水材料选用遇水膨胀橡胶和牛油石棉盘根。

在最下部长约 2.5 m 的  $\phi 89$  mm 套管的外部距管口 0.5 m 的地方,点焊上一  $\phi 110$  mm 的圆盘,圆盘的上部 2 m 段直至  $\phi 89$  mm 套管与  $\phi 108$  mm 套管的变径处,管外缠上牛油石棉盘根,用扎丝扎紧。在变径接头上部的  $\phi 108$  mm 套管外再缠上一层膨胀橡胶,长度约 2 m,并用扎丝扎紧。这种止水有双重保险:第一,利用孔径的差异,下套管时将  $\phi 110$  mm 圆盘往上挤压脱焊,使牛油石棉盘根受到挤压并对外膨胀,紧贴孔壁,起到止水的作用;第二,利用膨胀橡胶的特性,在一定时间内,膨胀橡胶开始膨胀并紧贴孔壁,起到止水的作用。见图 3。

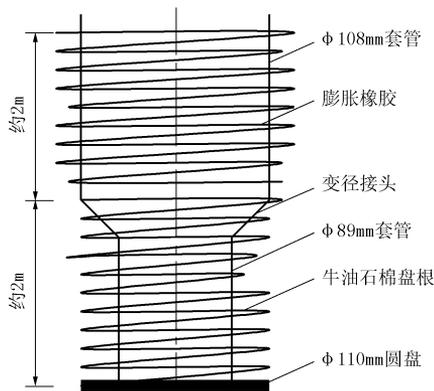


图3 止水结构示意图

### 5.4.1.3 止水效果检验

止水效果采用泵压法检验:将  $\phi 127$  mm 套管上口封闭,在密封盖上安装压力表,用泥浆泵往孔内送水并稳定压力,30 min 后检查压力下降情况,同时检查套管外部有无涌水现象,判断止水是否合格。经检验,止水合格。

止水效果检验的装置见图 4。

### 5.4.1.4 抽水段洗井和抽水前测量孔深

本次洗井采用了以下几种方法:先用空压机震荡洗井;然后在抽水段注入 8% 焦磷酸钠溶液浸泡钻孔;最后用液态  $\text{CO}_2$  洗井。焦磷酸钠浸泡 24 h 后开始分 3 次往孔内注入 400 kg 液态  $\text{CO}_2$ , 进行洗井。洗井结束后取水样观测,水样清澈,达到规范要求后,停止洗井进行孔深测量,此时孔深 1314.43 m。

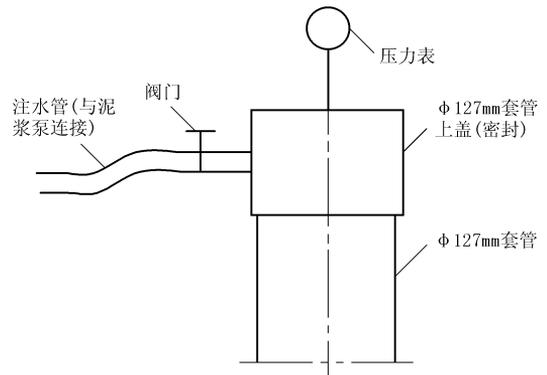


图4 止水效果检验装置简图

### 5.4.1.5 抽水试验

根据抽水前对该钻孔的水位观测,确定 92.30 m 为含水层的静止水位,根据抽水技术要求进行试验抽水,从 2011 年 8 月 28 日 14 时开始持续 52 h,最大降深为 269.74 m,稳定流量为 0.199 L/s。

根据规范和设计要求,对该含水层采用裸孔稳定流抽水、非稳定流水位观测要求的方法进行 3 次降深抽水试验。

在第三次降深结束前采取水样,取全分析水样一个。并于 2011 年 9 月 3 日下午 17 时开始持续 25 h,进行水位恢复。

水位恢复结束后进行孔深测量,沉渣厚度 0.10 m,满足规范要求。

### 5.4.1.6 起拔套管

第一次抽水试验结束后,将泥浆池中存储的泥浆回灌到钻孔中,将清水完全替换出来,然后使用钻机和 120 t (1200 kN) 液压千斤顶提拔内层套管。由于时间较短,套管提拔较顺利。

### 5.4.2 二、煤顶层位的抽水试验

第一次抽水试验结束,套管完全提拔上来后,开始准备第二次抽水试验。

第二次抽水试验的孔径及下套管情况见图 5。

#### 5.4.2.1 下套管

下套管的程序如上面所述,因  $\phi 146$  mm 套管未提拔上来,故这次只需下内层套管,内层套管为  $\phi 127$  和 108 mm 套管 2 种。下套管时间为 9 月 7—8 日下午。

#### 5.4.2.2 抽水段止水

按照设计,采用异径双重止水方案。下部 1231.00 m 以深采用泥球封闭止水;上部在 1158 m 处止水,止水材料选用遇水膨胀橡胶和牛油石棉盘根,

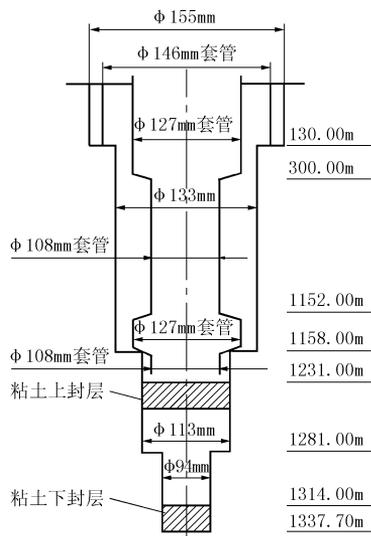


图5 第二次抽水(二,煤顶)时钻孔结构及套管结构示意图

对上部含水层进行隔离。止水措施同上。

#### 5.4.2.3 止水效果检验

止水效果检验方法同上。

#### 5.4.2.4 抽水段洗井和抽水前测量孔深

本次洗井同样采用了上述几种方法。洗井结束后进行了孔深测量。

#### 5.4.2.5 抽水试验

根据抽水前对该钻孔的水位观测,确定 112.30 m 为含水层的静止水位,根据抽水技术要求进行试验抽水,从 2011 年 9 月 16 日上午 8 时开始持续 192 h,最大降深为 271.30 m,稳定流量为 0.444 L/s。

根据规范和设计要求,对该含水层采用裸孔稳定流抽水、非稳定流水位观测要求的方法进行 3 次降深抽水试验。

抽水试验结束后,同样按规范进行了采取水样、水位恢复、沉渣厚度测量等工作。

### 5.5 长观

抽水试验工作结束后,进入水文长观阶段,本次长观时间为 1 年。

### 5.6 起拔套管

长观工作结束后,按照有关施工规范及甲方安排,需要将钻孔内的套管提拔上来,并将相应孔段用水泥砂浆封闭。

#### 5.6.1 施工机械的确定

安排一台 HXY-6B 型钻机进行提拔套管施工,配 18 m “II” 型钻塔,Ø50 mm 外丝钻杆,使用 BW250 型泥浆泵。

为了有效提拔套管,现场备 120 t (1200 kN) 液压千斤顶一台。

#### 5.6.2 施工方案的确定

按照“先里后外”的顺序,先提拔内层套管。

提拔套管前,先制备泥浆,并将钻杆下至孔底套管,保证套管内全部为泥浆。

用公丝锥或套管接头将钻杆与套管牢固联接,使用钻机+液压千斤顶向上强力提拔套管。内层套管提拔完成后,再提拔外层套管。

在提拔套管的过程中,极有可能出现拔不动套管或套管拔断的情况,遇到这种情况时,可加工偏心割刀,或购买水力割刀,从内部将套管分段割断,然后再分段提拔,直至全部将套管拔出或脱离需要封闭的孔段。

在提拔套管的过程中,如果采取了多种方法,仍出现需要封闭孔段的套管不能拔出的情况,将在需要封闭孔段的下方将套管割断,并将封孔段的上下方密封,采用高压注浆的方式将套管内、套管与孔壁之间用水泥砂浆封闭。

#### 5.6.3 提拔套管及封孔

起拔套管施工从 2013 年 11 月 16 日开始,按制定好的施工方案经过 3 个月的艰苦工作,到 2014 年 3 月 3 日顺利结束(其中 2014 年 1 月 24 日至 2 月 10 日为春节假期),除 ZK0408 钻孔遗留约 300 m Ø108 mm 套管在钻孔内外(在非封闭孔段),其它钻孔的套管全部起拔出来,完全达到地质设计及规范要求。

ZK2208 钻孔起拔套管时间为 2014 年 1 月 3 日—22 日,共计 20 d。

待把孔内套管取出后,在征得甲方同意后按照《封孔技术设计书》要求进行封孔施工。

## 6 经验与体会

(1) 新型止水材料及止水方法的应用,不仅保证了分层抽水试验的效果良好,而且保证了套管的顺利提拔。

止水不仅是为了保证抽水试验的真实准确,同时也是保证能否顺利起拔套管的一个重要措施。本次施工的几个水文地质钻孔,采用的止水材料均是牛油石棉盘根+膨胀橡胶,止水方法是异径双重止水法,均一次止水成功,经多次检验,效果良好,没有出现漏、渗现象。孔口止水工作也做的很好,保证上

部的泥浆或其它杂质没有流入或渗入孔内。

(2)抽水试验的顺利进行,首先要保证钻孔一次性达到地质设计的要求。

本次施工的9个水文地质钻孔,不仅要保证钻孔的垂直度、岩心的采取率,还应保证几个可采煤层的采样必须符合地质设计及有关施工规范,保证不出现煤层打薄、打厚、丢失现象,对于二<sub>1</sub>煤需要采取瓦斯样本的钻孔,要保证瓦斯一次性采取成功,坚决不能出现补采煤样的事故。

水文孔施工时,钻孔垂直度、方位角要求比一般的地质孔更高。本次水文孔施工从施工开始就一直强调钻孔的垂直度,采取的措施主要有:保证施工中钻机水平,天车、立轴、孔口三点一线,经常检查钻具的弯曲度,不符合标准的坚决不能下入孔内,使用 $\varnothing 68$  mm 钻铤直至终孔等。最后经电测井,钻孔的垂直度均满足要求,而且孔斜为连续渐变,没有突然加大或减小的情况。

(3)起拔套管时,提升机械要有力、均匀、平稳。

本次起拔套管,使用的依然是 HXY-6B 型钻机,该型号钻机最大扭矩  $7800\text{ N}\cdot\text{m}$ ,立轴最大提拔力  $200\text{ kN}$ ,卷扬最大提升力  $85\text{ kN}$ 。最重要的是,起拔套管时,该钻机用力比较均匀、平稳,没有忽大忽小、忽快忽慢现象,保证了套管的顺利拔出。

## 7 结语

抽水试验的准确性直接影响对矿藏开采安全性的评价,而水文地质钻孔的施工质量是影响抽水试验准确性的保证。禹州市张得区煤详查钻探项目9个水文地质钻孔,在保证钻孔垂直度、岩心采取率等的基础上,制定了合理的抽水方案,采取了有效的止水、起拔套管、洗井等技术措施,保证了抽水试验的顺利进行和准确性。

## 参考文献:

- [1] DZ/T 0227—2010,地质岩心钻探规程[S].
- [2] 河南省地质矿产勘查开发局第一地质调查队.河南省禹州市张得区煤详查设计[R].2009.
- [3] 河南省地质矿产勘查开发局第一地质工程院.河南省禹州市张得区煤详查水工环地质工作专项设计[R].2010.
- [4] 杨国红.水文地质钻探及水文钻孔施工实践的探讨[J].科学之友,2013,(4):20-21.
- [5] 郑世书,陈江中,刘汉湖,等.专门水文地质学[M].江苏徐州:中国矿业大学出版社,1999.
- [6] 乌效鸣,胡郁乐,贺冰新,等.钻井液与岩土工程浆液[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2002.
- [7] 王达,何远信,等.地质钻探手册[M].湖南长沙:中南大学出版社,2014.
- [8] GB 12719—1991,矿区水文地质工程地质勘探规范[S].