

彬长矿区高家堡矿井大直径排水钻孔施工技术

李源汇^{1,2}

(1. 河南省资源环境调查四院有限公司, 河南 郑州 450016; 2. 河南省大口径钻井工程技术研究中心, 河南 郑州 450016)

摘要:彬长矿区高家堡矿井位于黄陇侏罗纪煤田中部,主采煤层上覆洛河组砂岩含水层,具巨厚、低渗、富水性不均等特点,随着开采深度增加,矿井水害严重威胁安全生产,现有排水系统难以满足需求,急需扩容。为此构建集中排水系统,实施大直径排水钻孔施工,成孔直径 $\Phi 950$ mm,深810 m,开创性地利用“套管内径大小头+焊接螺纹钢筋圈+预制钢筋钩”制作套管水泥浮力塞的方法,安装了378.8 t排水管路。在该地区实施大直径排水钻孔施工中,钻遇地层条件复杂,易发生孔壁垮塌、缩径卡钻等事故,施工穿越巨厚洛河组砂岩含水层,部分孔段岩石可钻性差,钻进效率较低,工程整体难度大。针对此类问题,本文提出了控制钻井液失水、优化钻具组合和维护钻井液性能等针对性解决措施,取得了良好的实践应用效果,为矿区水害防治提供了可行性方案。

关键词:大直径排水孔;浮力塞;下管;固井;洛河组

中图分类号:TD745;P634.5 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2025)04-0139-07

Construction technology for large diameter drainage drilling in Gaojiabu Minefield, Binchang mining area

LI Yuanhui^{1,2}

(1. The Fourth Institute of Resources and Environment Investigation of Henan Province, Zhengzhou Henan 450016, China; 2. Henan Provincial Mine Large Diameter Drilling Engineering Technological Research Center, Zhengzhou Henan 450016, China)

Abstract: The Gaojiabu Mine in the Binchang mining area is located in the middle of the Huanglong Jurassic Coalfield. The main coal seam is overlaid by the Luohe Formation sandstone aquifer, which is characterized by great thickness, low permeability and uneven water abundance. As the mining depth increases, water hazards in the mine seriously threaten safe production. The existing drainage system is unable to meet the demand and needs to be expanded. Therefore, a centralized drainage system was constructed, in which large-diameter drainage boreholes were implemented, with a borehole diameter of $\Phi 950$ mm and a depth of 810 m. A novel method was adopted to fabricate the casing cement buoyancy plug using “casing inner diameter reducer+welded threaded steel ring+prefabricated steel hook”, and 378.8 t of drainage pipelines were installed. During the construction in this area, complex geological conditions were encountered, and accidents such as borehole collapse, and stuck pipe due to hole shrinkage were prone to occur. The construction passed through the thick Luohe Formation sandstone aquifer with poor rock drillability in some sections, resulting in low drilling efficiency and high overall project difficulty. To address these issues, this paper proposed targeted solutions such as controlling drilling fluid loss, optimizing drilling assembly, and maintaining drilling fluid performance, which achieved good practical application results and provided a feasible solution for water hazard prevention and control in the mining area.

Key words: large diameter drainage hole; buoyancy plug; casing; cementation; Luohe Formation

收稿日期:2024-10-10; 修回日期:2025-01-24 DOI:10.12143/j.ztgc.2025.04.018

基金项目:河南省自然资源厅科技攻关项目“矿产资源综合利用重载设备研发与关键技术研究”(编号:2023-10);河南省豫地科技集团科技项目“绿色矿山灾害防治特大直径超大吨位管道井工程钻井关键技术研究及应用”(编号:JTZDKY202403)

作者简介:李源汇,男,汉族,1987年生,高级工程师,安全工程专业,硕士,从事矿山大口径与煤层气钻井技术工作,河南省郑州市郑东新区商鼎路70号,592951565@qq.com。

引用格式:李源汇.彬长矿区高家堡矿井大直径排水钻孔施工技术[J].钻探工程,2025,52(4):139-145.

LI Yuanhui. Construction technology for large diameter drainage drilling in Gaojiabu Minefield, Binchang mining area[J]. Drilling Engineering, 2025, 52(4): 139-145.

0 引言

大口径排水钻孔在众多工程领域中具有至关重要的地位,荷兰早在1927年采用多级扩孔回转钻进法钻进直径2.7 m、深达130 m的竖井,随后钻孔的直径、深度、适用地层和应用领域不断扩大^[1]。美国所钻大口径排水孔的最大深度达1960 m,展现了其在大口径深部钻探方面的强大技术实力^[2]。我国大口径排水钻孔起步较晚,1959年建造水库土坝时,在防渗墙施工中曾用冲击钻打直径1 m、最深53 m的成排钻孔^[3]。随着经济建设的快速发展,大口径排水钻孔的直径、深度均不断增加,2024年莱州市瑞海矿业有限公司排水钻孔孔深突破1500.49 m,孔径575 mm,为国内矿山最深大直径排水钻孔。

然而在实际施工过程中,大直径排水钻孔技术仍面临着重重挑战,如复杂多变的地质条件,破碎地层的坍塌隐患、深厚砂层的流沙与涌水威胁、高压水地层的突水风险,同时钻孔精度控制难度极高,无论是对垂直度的严格要求,还是方位角的精准把控,都对施工技术带来极大难度;孔壁稳定性保障更是复杂,护壁技术要求高,长期稳定性维护也面临诸多难题。深入剖析这些难点,对推动大口径排水钻孔施工技术的发展,具有重要意义。

彬长矿区位于黄陇侏罗纪煤田中部,地处陇东黄土高原东段。矿区主采煤层上覆洛河组砂岩含水层,具有巨厚、低渗、富水性不均一的特征,区内矿井受洛河组含水层水害影响较大,严重威胁矿井安全生产和矿工生命安全^[4-6]。近年来,随着矿区内矿井开采深度的增大,井下巷道与上覆地层之间裂隙进一步增加,洛河组砂岩含水层引起的矿井水害日益严重^[7-9]。以矿区内水害形式较为典型的高家堡井田为例,其洛河组含水层巨厚,井田首采盘区厚度318.00~509.93 m,平均400.35 m,且含水层富水强,单位涌水量最大为2.248 L/s·m,预测的煤层顶板导水裂缝带高度远大于煤层与洛河组之间的间距,煤层埋深千余米,井下测量洛河组含水层水压力可达7.4 MPa,根据矿井涌水实际分析计算最大涌水量达到6004 m³/h,矿井水害防治技术难度显著增大。在此背景下,矿井现有排水系统远不能保证生产正常接续、产能稳定,需进行再扩容,通过构建集中排水系统,实施地面深井大直径排水钻孔,布置排水管道实现矿井水向地面直排,以增加矿井排水能力^[10]。

设计施工大直径排水孔成孔直径 $\varnothing 950$ mm,深度810 m,由于排水钻孔孔径大、深度大,孔壁稳定性保障复杂,不仅要保证施工过程中孔壁的稳定,还要确保使用过程中孔壁的长期稳定性。钻孔采用套管护壁的方式,钻孔内安装的排水管路质量达378.8 t,排水管路质量远大于设备提升能力,考虑在现有设备基础上,通过增加辅助装置来增强提升力。此外钻孔施工需穿越巨厚洛河组高压含水层,钻遇地层条件复杂,高压水可能会导致孔壁破裂,进而引发涌水、突泥等事故。基于此,我单位在该地区运用现有的钻探技术和钻探设备对深孔大直径排水钻孔的施工工艺进行了有益尝试,取得了较好的实践应用效果。

1 工程概况

1.1 地层概况

钻遇地层自上而下依次为第四系(Q),白垩系下统环河华池组(K₁h)、洛河组(K₁l)、宜君组(K₁y),侏罗系中统安定组(J₂a)、直罗组(J₂z)、延安组(J₂y),侏罗系下统富县组(J₃f),三叠系上统胡家村组(T₃h)。

其中第四系上部岩性为更新统黄土、黏土、砂质黏土,下部为中砂、砾石层,中砂松散状,夹大量小砾石,砾石层位于底部,成分以花岗岩砾为主,充填中砂;白垩系下统洛河组岩性为紫红、棕红色巨厚层状细—粗粒长石砂岩,砂岩成分主要为石英、长石,是区内主要含水层;侏罗系中统直罗组岩性以灰绿、浅灰色砂岩为主,砂岩细—中粒,成分以石英为主,局部含小砾石,砾石成分以石英岩块为主,砾径1~5 cm;侏罗系中统延安组为含煤地层,岩性以河沼相砂泥岩为主;终孔层位三叠系上统胡家村组上部为一套灰黑色水平层理极其发育的泥岩,下部为灰绿色石英砂岩。

1.2 施工技术要求

- (1) 钻孔偏斜 $\geq 1^\circ/100$ m,孔底最大投影偏距 ≥ 3 m。
- (2) 终孔下入 $\varnothing 720$ mm排水管路810 m,套管对焊接牢固,焊接强度不低于其本身强度。
- (3) 固井后,水泥固结体抗压强度 > 10 MPa。
- (4) 工程交付时排水管内及管壁不淋水,管内残留水位高度 ≥ 5 m,管底沉渣 ≥ 0.5 m。

2 施工难点分析

- (1) 易垮塌、缩径的位置。侏罗系延安组以泥

岩为主,钻井液与地层接触时间长,黏土矿物易膨胀,孔壁稳定性差,易发生孔壁垮塌、缩径卡钻等复杂井况。要做好防范措施,尤其是要控制钻井液失水,确保钻井液性能持续稳定优质^[11-13]。

(2)可钻性差的位置。可钻性差的孔段主要位于白垩系下统洛河组和侏罗系中统直罗组,岩性以石英砂岩为主,局部含砾石,要及时优化钻具组合。

(3)穿越巨厚洛河组砂岩含水层。钻孔揭露洛河组砂岩地层厚度大,含水丰富,钻进施工时钻井液性能多变且难以维护,钻井液黏度过高,孔壁泥皮厚而强度低,在地层压力、起下钻过程中抽吸力和冲击力的作用下,泥皮大面积脱落,易造成起、下钻遇阻现象。钻井液黏度过低时,又造成失水量增大和孔壁坍塌掉块等,孔内难以形成稳定的泥皮保护孔壁,因此维护好钻井液性能是应对的关键。

(4)下套管作业难度大。本工程排水管路质量达 378.8 t,选用的设备最大提升能力 1300 kN,套管总质量是设备极限提升能力的 2.9 倍,此外套管柱刚性大,缺乏柔性,整个下管作业周期长,对下管前孔内钻井液性能和孔壁稳定性要求高,要对下管作业的施工组织、套管浮力塞设计制作、安装位置选择与套管柱结构进行合理设计^[14-19]。

(5)固井水泥量大。本工程孔壁与套管的环状容积达到 250 m³,理论需要干水泥 260 余吨,需要在短时间内将大量的水泥浆连续注入到孔内置换出泥浆并上返至地面,对固井工艺、固井设备和施工组织要求较高,如何保证大环容套管的固管质量也是本项目的施工难点^[20-22]。

3 钻孔结构及钻进工艺选择

3.1 钻孔结构

依据孔深、完钻的孔径和地层层序、目的层等要求,采用二开结构:

一开孔径 $\varnothing 1300$ mm,孔深 30 m,钻过第四系黏土、砾石层,见完整基岩后,下入 $\varnothing 1100$ mm $\times$ 14 mm 的表层套管,用 P.O 42.5 普通硅酸盐水泥固井。目的是封隔上部主要黏土、砂层和砾石层,防止孔壁垮塌、缩径、确保下步钻孔施工安全。

二开孔径 $\varnothing 950$ mm,完钻孔深 810 m,全孔下入 $\varnothing 720$ mm $\times$ 24 mm(长 535.5 m)和 $\varnothing 720$ mm $\times$ 32 mm(长 274.5 m)的直缝钢管,并采用 P.O 42.5 普通

硅酸盐水泥固井。

3.2 施工工序

根据排水钻孔的结构,其施工工序见表 1。

表 1 钻孔施工工序
Table 1 Drilling construction process

开次	孔径/mm	钻进孔段/m	备 注
一开	311	0~30	导向孔
	550		一级扩孔
	780		二级扩孔
	950		三级扩孔
	1150		四级扩孔
	1300		五级扩孔,下表层套管固井
二开	311	30~810	导向孔
	550		一级扩孔
	780		二级扩孔
	950		三级扩孔,下排水管固井

3.3 钻探设备选择

根据钻孔结构、地层条件、负荷情况等,采用动力电驱动的 TSJ3000 型水源钻机,主要钻探设备见表 2。

表 2 主要钻探设备
Table 2 Main drilling equipment

设备名称	型 号	工作能力	备 注
钻机	TSJ-3000	最大输出扭矩 30 kN·m	
钻塔	AG31-130	大钩载荷 1300 kN	配 2.1 m 平台
泥浆泵	CQ3NB-1300A	缸径 190 mm 时额定排量 51.85 L/s	

施工配套钻具为: $\varnothing 159$ 、178、203 mm 钻铤与 $\varnothing 185$ mm 无磁钻铤, $\varnothing 127$ mm 钻杆, $\varnothing 216$ mm 单弯螺杆(1.25°)。配套钻头为: $\varnothing 311$ mm PDC 钻头, $\varnothing 550$ 、780、950、1200 mm 组合牙轮钻头或组合复合片刮刀钻头,MWD 无线随钻测斜仪,固控系统等。

3.4 钻具组合及钻进参数

根据井深、地层岩性和设计的开钻次序, $\varnothing 311$ mm 先导孔施工采用螺杆定向复合钻进,分级扩孔采用塔式、大直径钻铤的钻具组合,满足扩孔钻进所需的钻压与转速,实钻采用的钻具组合见表 3、钻进参数见表 4。

表3 钻具组合
Table 3 Bottom hole assembly

开次	钻具组合	备注
一开 (0~30 m)	先导孔: Ø311 mm 牙轮钻头+双母接头+Ø203 mm 钻铤×1根+变径接头+Ø178 mm 钻铤×1根+变径接头+Ø127 mm 钻杆	随孔深逐步加钻铤
	分级扩孔: 组合牙轮钻头(或组合复合片刮刀钻头)+双母接头+双母接头+Ø203 mm 钻铤×1根+变径接头+Ø178 mm 钻铤×1根+变径接头+Ø127 mm 钻杆+Ø203 mm 钻铤×1根+变径接头+Ø178 mm 钻铤×1根+变径接头+Ø127 mm 钻杆	
二开 (30~810 m)	先导孔: Ø311 mm PDC 全面钻头+7LZ216×7 单弯螺杆马达(弯度 1.25°)+定向接头+Ø203 mm 无磁钻铤×1根(内装无线随钻测斜仪)+Ø203 mm 钻铤×1立柱+变径接头+Ø178 mm 钻铤×2立柱+变径接头+Ø159 mm 钻铤×2立柱+变径接头+Ø127 mm 钻杆	
	分级扩孔: 组合牙轮钻头(或组合复合片刮刀钻头)+双母接头+Ø203 mm 钻铤×1立柱+变径接头+Ø178 mm 钻铤×2立柱+变径接头+Ø159 mm 钻铤×2立柱+变径接头+Ø127 mm 钻杆	

表4 钻进参数
Table 4 Drilling parameters

开次	钻进方法	转速/ (r·min ⁻¹)	钻压/ kN	泵量/ (L·s ⁻¹)
一开	先导孔钻进	43~113	50~80	52
	扩孔钻进	43~93	60~120	52
二开	先导孔复合钻进	43~93	60~120	41~52
	扩孔钻进	43~93	60~120	52

4 钻探施工

4.1 一开钻进(0~30 m)

一开采用 Ø311 mm 牙轮钻头施工先导孔钻进至孔深 30 m, 后依次分级扩孔钻进, 成孔孔径 Ø1300 mm, 孔深 30 m。Ø1100 mm×14 mm 的表层套管采用内插法固井, 注入水泥浆 11.3 m³(P.O 42.5 普通硅酸盐水泥 13.5 t), 水泥浆返出地面, 水泥浆平均密度 1.75 g/cm³。

4.2 二开钻进(30~810 m)

(1) 二开先导孔采用无线随钻测斜仪(泥浆脉冲 MWD)进行轨迹跟踪监测的 7LZ216×7 单弯螺杆马达(弯度 1.25°)加 Ø311 mm PDC 全面钻头的复合钻进技术。孔段 290~620 m 钻遇巨厚洛河组砂岩, 砂岩渗透性强, 钻井液失水严重, 孔内形成虚泥饼, 起下钻遇阻情况严重, 需要反复冲扫, 每 30~50 m 进行一次短起下消除黏钻隐患。730~770 m 岩性为中、粗粒砂岩, 成分主要为石英, 泥质胶结, 钻头泥包较为严重, 钻进进尺缓慢, 通过调整钻井液性能, 加大包被剂(主要为聚丙烯酸钾)的使用量, 同时降低失水量(提高聚阴离子纤维素及聚丙烯腈铵盐加量), 适当提高钻井液密度及泥浆泵排量。

由于在钻进过程中一直保持钻井液密度 < 1.20 g/cm³, 钻孔施工未发现明显涌水。二开 Ø311 mm 复合钻进平均机械钻速 4.36 m/h。

(2) 二开在 Ø550 mm 扩孔施工中, 前期钻井液失水较大, 孔内形成虚泥饼, 钻井液中岩粉多, 孔底沉渣多, 下部钻孔易堵塞, 需要反复透小眼后才能扩孔。上部华池组地层硬度大, 进尺较慢; 洛河组部分层位含砾粗砂岩(含花岗岩砾), 砾径较大, 扩孔过程中岩石对组合复合片刮刀钻头磨损较快, 需要频繁起下钻查看钻头; 在施工至孔深 610 m 之后(洛河组底部, 岩性以粉砂岩、中砾岩为主, 含石英, 部分泥钙质胶结), 进尺突然变慢, 伴随钻井液孔内涌出大量暗红色泥团, 泥团直径 5~20 mm, 造成钻井液黏度突然增大, 流动性差, 现场采取措施多次进行稀释、外排, 并及时加入化学剂调整性能。本段下入的 Ø550 mm 组合复合片刮刀钻头磨损非常严重, 更换为组合牙轮钻头后, 一直存在扒车、震跳现象, 起出钻头牙轮掌损坏同样严重, 现场增加钻铤数量后有所好转, 该段一直持续至直罗组底界, 进入延安组后, 钻进效率有所提高, 二开 Ø550 mm 扩孔钻进平均机械钻速 1.63 m/h。

在 Ø780 mm 和 Ø950 mm 孔径扩孔施工中, 由于扩孔扭矩大, 钻机扒车、震动弹跳非常严重, 造成钻机设备、钻头及钻具出现不同程度的磨损, 组合牙轮钻头起钻后超过一半的轮掌需要全部更换, 增加了钻机机械维修和钻头复修的时间; 扩孔过程中岩石对钻头磨损较快, 需要频繁起下钻检查钻头有无掉掌、脱落情况, 一定程度上增加了辅助作业时间。在孔深 695.9~696.5、702.6~703.1、710.6~712.4 m

3个井段,出现了明显的坍塌、掉块现象,孔底打捞出石块最大直径达25 cm,为钻孔施工和下管作业带来较大隐患。同样在洛河组底部、直罗组地层钻进时,地层造浆严重,钻井液含砂量高,钻进过程密度、黏度易偏大,需要不断加入大量化学剂降黏,增加钻井液流动性,尽可能减少钻头泥包,提高进尺效率。二开 $\varnothing 780$ mm扩孔钻进平均机械钻速1.95 m/h, $\varnothing 950$ mm扩孔钻进平均机械钻速1.91 m/h。

5 下套管施工

本工程排水管路质量远大于设备提升能力,现场采用“套管内径大小头+焊接螺纹钢筋圈+预制钢筋钩”进行套管水泥浮力塞制作,结合漂浮法下管工艺完成总质量378.8 t的排水管路安装^[18]。

5.1 套管柱结构

孔内安装的排水管路共810 m,管柱结构见表5。

表5 管柱结构
Table 5 Casing structure

孔深/m	套管型号	套管长度/m
0~5.5	$\varnothing 720$ mm $\times$ 32 mm直缝管	5.5
5.5~413.5	$\varnothing 720$ mm $\times$ 24 mm直缝管	408
413.5~665.5	$\varnothing 720$ mm $\times$ 32 mm直缝管	252
665.5~678	浮力塞套管	12.5
678~798	$\varnothing 720$ mm $\times$ 24 mm直缝管	120
798~810	$\varnothing 720$ mm $\times$ 32 mm直缝管	12

注:665.5~670.5 m套管壁厚为32 mm,670.5~678 m套管壁厚为24 mm。

5.2 浮力塞结构

浮力塞套管由 $\varnothing 720$ mm $\times$ 24 mm套管与 $\varnothing 720$ mm $\times$ 32 mm套管焊接而成,全长12.5 m,内部水泥塞总长11 m,用P.O 42.5普通硅酸盐水泥灌注;其中下部为长7.5 m壁厚24 mm套管,内部水泥塞长7 m;上部为长5 m壁厚32 mm套管,内部水泥塞长4 m。浮力塞整体结构图如图1所示。

在套管内部水泥塞位置,每间隔1 m焊上一圈8号螺纹钢筋,设计焊接螺纹钢筋10层,并在套管内设置3层倒钩,每层4个,从而使浮力塞能够承受更大的支撑力,保证套管安装工作安全、顺利进行,浮力塞内部结构见图2。

5.3 浮力塞抗剪强度验算

根据设计的浮力塞结构建立受力模型^[23],见图3。

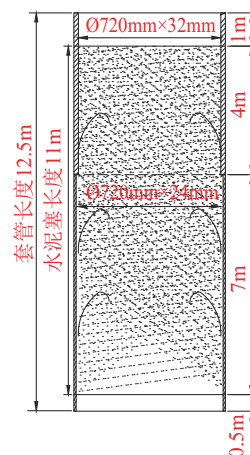


图1 浮力塞结构示意图

Fig.1 Buoyancy plug structure



图2 浮力塞内部结构

Fig.2 Internal structure of buoyancy plug

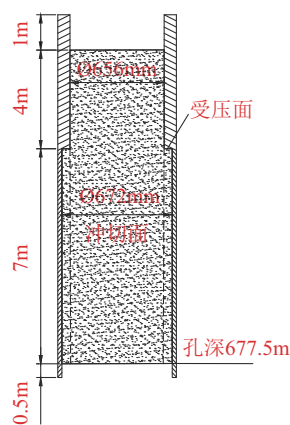


图3 浮力塞受力模型

Fig.3 Force model for buoyancy plug

取管壁与水泥柱之间的摩阻力值 $f=20$ kPa,则管壁所能提供的摩擦力 $F_1=\sum_{i=1}^n \pi d_i l_i f_i=460$ kN。

参考425号普通硅酸盐水泥28 d抗折强度 $\tau=$

6.5 MPa, 则其抗冲切承载力 $F_2 = \pi dl\tau = 96008 \text{ kN}$ 。

钻井液密度 ρ 取 1.24 g/cm^3 , 水泥塞底部压力 $F_3 = \rho ghA = 2918 \text{ kN}$ 。

由于 $F_3 < F_1 + F_2$, 故抗冲切强度满足要求。

受压面抗压验算: 425号普通硅酸盐水泥 28 d 抗压强度 $\tau_0 = 42.5 \text{ MPa}$, 要求抗压面积 $[A_1] \geq F_3 / \tau_0 = 0.06865 \text{ m}^2$ 。在水泥塞变径台阶处实际受压面积 $A_0 = 0.01668 \text{ m}^2 < [A_1]$, 不能满足抗压要求。通过在水泥塞增焊螺纹钢筋的方法, 可视为等效增加受压面积。螺纹钢筋直径 8 mm, 1 层螺纹钢筋可增加受压面积为: $A_1 = 0.01668 \text{ m}^2$, 10 层增加受压面积 $A' = 0.1668 \text{ m}^2$, 总受压面积 $A = A_0 + A' = 0.18348 \text{ m}^2 > [A_1]$, 安全系数为 $= 2.67$, 浮力塞能满足抗压要求。

根据上述计算, 浮力塞同时满足抗冲切强度和抗压强度要求。

上述验算过程, 水泥塞底部压力 $F_3 = 2918 \text{ kN}$ 是按井口拉力表为零时计算的理论压力, 实际下管时浮力塞底部受力 $F'_3 = \text{套管总重力} - \text{拉力表读数} - \text{套管自身浮力} \approx 2470 \text{ kN}$ 。

据此计算要求的抗压面积 $[A_1]' \geq F'_3 / \tau_0 = 0.05812 \text{ m}^2$ 。实际安全系数达到 $A / [A_1]' = 3.16$ 。计算结果验证, 水泥浮力塞抗剪强度可以满足下管需要。

5.4 套管下沉过程分析

$\Phi 720 \text{ mm} \times 32 \text{ mm}$ 套管单根长 12 m, 质量约 6.51 t, 单根本体产生的浮力 (钻井液密度 1.24 g/cm^3) 约 10.3 kN, 每下一根大钩称重理论增加约 54.8 kN; 在套管柱中加入浮力塞后, $\Phi 720 \text{ mm} \times 32 \text{ mm}$ 套管空管段产生的浮力为每根 50.4 kN, 浮力塞以上每下一根套管大钩称重增加约 4.4 kN。由上述理论得出, 当套管型号为 $\Phi 720 \text{ mm} \times 24 \text{ mm}$ 时, 每下一根套管 (全部在浮力塞以上) 大钩称重减少约 11.2 kN。

5.5 浮力塞安装位置

钻塔理论提升能力为 1300 kN, 下管最大荷载控制在 60% 以下, 浮力塞安装位置为第 12 根套管, 下入深度为距孔底 132 m。即钻孔下部先下入一根 $\Phi 720 \text{ mm} \times 32 \text{ mm}$ 套管, 再下入 10 根 $\Phi 720 \text{ mm} \times 24 \text{ mm}$ 套管, 之后下入浮力塞套管, 浮力塞入井后再下入 $\Phi 720 \text{ mm} \times 32 \text{ mm}$ 套管, 最后一根 $\Phi 720 \text{ mm} \times 32 \text{ mm}$ 套管下入时大钩理论荷载最大为 645.4 kN (实际施工为 590 kN), 继续下入 $\Phi 720 \text{ mm} \times 24 \text{ mm}$ 套管, 大钩荷载逐步减少, 最终全部排水套管顺利下入井内。

6 固井施工

排水管固井采用井口密封内插管固井工艺, 采用 P.O 42.5 普通硅酸盐水泥, 水泥浆按水灰比 0.6~0.8 制备, 密度 $1.60 \sim 1.75 \text{ kg/cm}^3$ 。固井设备为两台 YL5222TSN 型固井车, 累计注浆 243.6 m^3 , 固井用时 3 h 40 min, 水泥浆返出地面。

7 结论

(1) 开展了彬长矿区深井大直径排水钻孔的钻探施工实践, 总结了一套大直径钻孔穿越复杂地层的钻井工艺技术, 侏罗系延安组易坍塌缩径、白垩系下统洛河组和侏罗系中统直罗组可钻性差、巨厚洛河组砂岩含水层钻井液性能难控等问题, 分别提出控制钻井液失水、优化钻具组合、维护钻井液性能等精准解决方案, 为本地区类似大直径工程井施工提供参考。

(2) 开创性地利用“套管内径大小头+焊接螺纹钢筋圈+预制钢筋钩”制作套管水泥浮力塞, 配合漂浮法下管工艺, 巧妙地将重力转化为浮力助力安装, 在排水管路安装领域具有创新性和领先性, 为类似大质量管路安装工程提供全新的工艺思路。

(3) 面对固井水泥量大, 需短时间内注入大量水泥浆并保证固管质量的难题, 从固井工艺、设备及施工组织多方面协同创新, 探索出了适用于大环状容积套管固管的有效方式, 实现了大水泥量固井作业的工艺与组织创新。

(4) 大直径工程井安装的套管管柱刚性大, 缺乏柔性, 整个下管作业周期长, 要优化下管作业施工组织, 确保下管期间孔内钻井液性能和孔壁稳定, 降低下套管事故率。

参考文献 (References):

- [1] 郭树才, 胡浩权. 煤化工工艺学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012. GUO Shucai, HU Haoquan. Coal Chemical Technology [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2012.
- [2] 宋志彬. 全套管钻进套管柱损坏机理与应用技术研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2013. SONG Zhibin. Damage mechanism of the casing string and applied research of full casing drilling method [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2013.
- [3] 余挺, 叶发明, 陈卫东. 深厚覆盖层筑坝地基处理关键技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2020. YU Ting, YE Faming, CHEN Weidong. The Key Technology of Foundation Treatment for Building Dam on Deep Overburden Key Technology of Foundation Treatment for Building Dam on Deep Overburden [M]. Beijing: China Waterpower Press, 2020.

- [4] 董振波, 戚鹏博, 胡少文. 彬长矿区井筒施工的防治水措施[C]//陕西省煤炭学会2014年学术年会. 西安: 陕西省煤炭学会, 2014: 83-86.
DONG Zhenbo, QI Pengbo, HU Shaowen. Water prevention and control measures for wellbore construction in Binchang mining area [C]//Shaanxi Coal Society 2014 Academic Annual Meeting. Xi'an: China Coal Industry Publishing House, 2014: 83-86.
- [5] 卫建军. 洛河组砂岩地层立井冻结施工安全评价及灾害控制技术[D]. 西安: 西安科技大学, 2015.
WEI Jianjun. Research on safety assessment and hazard control technology of shaft freezing construction in Luohe group sandstone stratum [D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2015.
- [6] 林磊. 高家堡煤矿洛河组砂岩沉积控水规律研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2020.
LIN Lei. Study on the law of sandstone sedimentation control in Luohe group in Gaojiabao coal mine [D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2020.
- [7] 杜文斌, 郑杨帆, 耿明奇. 彬长矿区高家堡井田白垩系下统富水性及水力连通试验分析[J]. 中国煤炭地质, 2015, 27(5): 38-41.
DU Wenbin, ZHENG Yangfan, GENG Mingqi. Analysis of lower Cretaceous water yield property and hydraulic connectivity test in Gaojiabao Minefield, Binchang mining area [J]. Coal Geology of China, 2015, 27(5): 38-41.
- [8] 邢延团. 黄陇煤田顶板巨厚含水层防供水综合技术研究[J]. 煤矿开采, 2016, 21(4): 134-137.
XING Yantuan. Waterproof and supply synthesis technique of extra thickness aquifer in roof of huanglong coal field [J]. Coal Mining Technology, 2016, 21(4): 134-137.
- [9] 任东彬. 高家堡矿井大流速自流水地层冻结技术初探[J]. 建井技术, 2014(S1): 28-31, 66.
REN Dongbin. Initial discussion on large velocity artesian ground freezing technology of Gaojiapu mine [J]. Mine Construction Technology, 2014(S1): 28-31, 66.
- [10] 孙福勋. 巨厚含水层下煤层顶板突水机理及水害危险性预测——以高家堡煤矿为例[D]. 青岛: 山东科技大学, 2017.
SUN Fuxun. Water intrush mechanism and prediction of water hazard in coal seam under the thick confined aquifer [D]. Qingdao: Shandong University of Science and Technology, 2017.
- [11] 周晓华. 高家堡煤层高压注水高效封孔技术及装备研究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2019.
ZHOU Xiaohua. High-efficiency sealing technology and equipment for high-pressure water injection in Gaojiapu coal seam [D]. Qingdao: Shandong University of Science and Technology, 2019.
- [12] 樊腊生, 刘伟, 张统得, 等. 四川沐川大口径地质调查井(川沐地2井)钻探施工技术[J]. 钻探工程, 2021, 48(12): 43-53.
FAN Lasheng, LIU Wei, ZHANG Tongde, et al. Drilling of a large diameter geological survey well (Well Chuanmudi-2) in Muchuan County of Sichuan Province [J]. Drilling Engineering, 2021, 48(12): 43-53.
- [13] 莫海涛. 彬长矿区大口径井钻杆断裂事故分析与处理[J]. 煤炭工程, 2014, 46(2): 31-33.
MO Haitao. Analysis and treatment on drilling pipe broken accident of mine large diameter shaft in binchang mining area [J]. Coal Engineering, 2014, 46(2): 31-33.
- [14] 白领国, 袁志坚. 大直径工程井成井下管方法探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014(2): 33-36.
BAI Lingguo, YUAN Zhijian. Discussion on casing running for large diameter engineering well [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014(2): 33-36.
- [15] 周兢. 煤矿大口径工程井钻井技术研究[J]. 中国煤炭地质, 2016(1): 58-62.
ZHOU Jing. Study on coalmine large diameter engineering well drilling [J]. Coal Geology of China, 2016(1): 58-62.
- [16] 彭桂湘. 大口径工程井套管事故及预防技术措施[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(8): 47-50, 53.
PENG Guixiang. Casing failure in large diameter project well and the prevention technique [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010, 37(8): 47-50, 53.
- [17] 吴松贵, 杨健, 尹德战, 等. 大口径瓦斯抽排钻孔套管稳定性分析[J]. 安徽理工大学学报(自然科学版), 2011, 31(1): 41-44, 50.
WU Songgui, YANG Jian, YIN Dezhan, et al. Analysis of stability of casing pipe of large diameter borehole for gas extraction from coal seams [J]. Journal of Anhui University of Science and Technology (Natural Science), 2011, 31(1): 41-44, 50.
- [18] 杨健, 孙家应, 余大有, 等. 煤矿地面大口径瓦斯抽排钻孔施工关键技术[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(11): 60-62, 27.
YANG Jian, SUN Jiaying, YU Dayou, et al. Key technology of large diameter gas drainage borehole drilling at surface ground of mine [J]. Coal Science and Technology, 2010, 38(11): 60-62, 27.
- [19] 张楠. 深大直径瓦斯抽排钻孔套管在软硬交互地层的稳定性研究[D]. 合肥: 安徽建筑大学, 2014.
ZHANG Nan. Study on the stability of large diameter deep gas drainage borehole casing in the interface of hard and soft stratum [D]. Hefei: Anhui Jianzhu University, 2014.
- [20] 吴春贵, 王正军, 何春, 等. 煤矿大口径工程井井口密封内插法固井技术[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2012, 32(6): 124.
WU Chungui, WANG Zhengjun, HE Chun, et al. Sealing and insertion cementing technology for large caliber engineering wells in coal mines [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2012, 32(6): 124.
- [21] 姚平均, 李韶利, 陈道元, 等. 煤田超大口径套管固井技术[J]. 石油钻采工艺, 2013, 35(1): 31-33.
YAO Pingjun, LI Shaoli, CHEN Daoyuan, et al. Cementing technology by super diameter casing in coal field [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2013, 35(1): 31-33.
- [22] 袁志坚. 提吊加浮力塞下管法在大口径瓦斯抽排孔的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(1): 27-29.
YUAN Zhijian. Application of pipe installation by suspending and buoyant valve in large diameter gas discharging hole [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2008, 35(1): 27-29.
- [23] 白领国, 李源汇. 钢板式浮塞下管工艺在煤矿大口径工程井中的应用[J]. 钻探工程, 2021, 48(6): 95-101.
BAI Lingguo, LI Yuanhui. Casing running process with the steel buoyancy plug for large diameter wells at coal mines [J]. Drilling Engineering, 2021, 48(6): 95-101.

(编辑 王文)