

基于直接透巷工艺的煤矿地面管道井成井技术 研究与应用

栗子剑¹, 张晶¹, 赵江鹏¹, 李健², 车路², 肖富刚²

(1. 中煤科工西安研究院(集团)有限公司, 陕西 西安 710077; 2. 淮北矿业(集团)有限责任公司, 安徽 淮北 235000)

摘要:为了解决煤矿区地面管道井采用“掘巷找井”方式连通巷道与井眼存在的辅助工作量大、成本高,井下切割地面井管道动火作业存在安全隐患等问题,创新提出了地面管道井直接透巷解决方案。通过分析安全透巷过程影响因素,采用优化后的二开透巷井身结构,研究了透巷状态下技术方案,形成了地面管道井直接透巷新型透巷成井技术,变“巷找孔”为“孔找巷”。根据不同工况,提出二开一次成井和二开二次成井两种工艺,解决不同井眼尺寸一次成井的问题,避免井下二次开挖。该技术在淮北矿区排水管道井的现场试验及推广应用表明,二开结构管道透巷井工艺技术安全可靠、节约成本、有效减少煤矿井下辅助工作量,研究成果可对不同矿区地面管道井实施提供重要参考依据。

关键词:地面管道井;直接透巷;钻井工艺;固井工艺;人工井底

中图分类号:TD231;P634 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2025)04-0089-07

Research and application of well completion technology of ground pipeline wells in coal mines based on direct penetrating roadways

LI Zijian¹, ZHANG Jing¹, ZHAO Jiangpeng¹, LI Jian², CHE Lu², XIAO Fugang²

(1. CCTEG Xi'an Research Institute (Group) Co., Ltd., Xi'an Shaanxi 710077, China; 2. Huaibei Mining (Group) Co., Ltd., Huaibei Anhui 235000, China)

Abstract: In order to solve the problems of high auxiliary workload, high cost, and great safety hazards in connecting roadways and wells in coal mine areas using the “excavating tunnel to locate well” method, as well as the safety hazards of cutting ground borehole pipelines under fire operation underground, an innovative solution of direct penetrating roadway was proposed. The factors affecting safe roadway penetration were analyzed, two-section casing program was optimized, the technical scheme in the penetration state was studied, and the innovative ground pipeline well penetrating roadways technology was formed, transforming “roadway finding well” into “well finding roadway”. According to different working conditions, two types of processes, one-time borehole completion and two-time borehole completion, were proposed to solve the problem of different borehole sizes being completed at once, and avoiding underground secondary excavation. The field trial and promotion application of the technology in Huaibei mining area drainage pipeline well demonstrated that two-section casing program pipeline well penetration roadway process technology is safe, reliable, cost-effective, and effectively reduces the auxiliary workload in underground coal mine. The research results provide an important reference for implementing ground pipeline roadways in different mining areas.

Key words: ground pipeline wells; direct penetrating roadways; drilling technology; cementing process; artificial bottom hole

收稿日期:2024-11-02; 修回日期:2025-03-13 DOI:10.12143/j.ztgc.2025.04.012

基金项目:国家重点研发计划课题任务“救援孔高效钻进及轨迹控制关键技术”(编号:2022YFC3005903-3)

第一作者:栗子剑,男,汉族,1984年生,助理研究员,油气井工程专业,硕士,研究方向为钻井及完井工程,陕西省西安市高新区锦业一路82号,nat196@163.com。

引用格式:栗子剑,张晶,赵江鹏,等.基于直接透巷工艺的煤矿地面管道井成井技术研究与应用[J].钻探工程,2025,52(4):89-95.

LI Zijian, ZHANG Jing, ZHAO Jiangpeng, et al. Research and application of well completion technology of ground pipeline wells in coal mines based on direct penetrating roadways[J]. Drilling Engineering, 2025, 52(4): 89-95.

0 引言

随着煤炭工业快速发展,地面管道井在煤矿区供水、下料、应急排水、注氮防灭火、电缆敷设、瓦斯排放等领域的应用越来越广泛,为矿井安全、高效生产提供了重要保障。目前,管道井通常采用正循环钻进至预定岩层或煤层中,再逐级扩孔后下套管完井,最后通过井下巷道掘进方式“发掘”出井眼,通过割、焊方式与井下管路实现连通。该工艺在煤矿管道井施工中得到广泛应用,但存在以下弊端:(1)若完钻位置距巷道较近,在钻进或固井过程中,钻井液或固井水泥易压漏地层溃入巷道;(2)若完钻位置距巷道较远,掘巷找井施工条件复杂,辅助工作量大;(3)掘巷找井后,需要通过切割与焊接方式将管道井与井下管路连接,增加矿井安全风险。中煤科工西安研究院(集团)有限公司依托国家重点研发计划项目课题“复杂地层地面大直径救援井高效钻进及安全透巷技术”开展了地面大直径救援通道快速构建技术研究,并取得阶段性成果^[1]。在现有研究基础上,创新提出一种管道井干孔透巷钻完井工艺,变“巷找孔”为“孔找巷”,最大限度地减

少了井下巷道掘进工作量,同时避免了井下管路割、焊作业,保障矿井安全生产。

1 透巷管道井设计

透巷管道井技术核心是通过上部井段精准轨迹控制,钻进至设计安全透巷位置后,采用无液相钻进方式贯穿巷道。因井下巷道或硐室已形成,管道井应优先选定井下透巷位置,从而确定地面管道井施工地点,采取地面井直井贯通透巷,完钻后下套管固井。

1.1 井身结构

由于管道井用途不同,井身结构设计也有所区别。结合施工区域地质条件和工作管规格,透巷管道井应遵循“自下而上”逐次设计套管规格及井径的总体原则。同时,井眼与套管的环空间隙是保障后续固井质量的重要因素。根据实践经验,当井径<508 mm时,环空间隙应≥18.5 mm,当井径≥508 mm时,环空间隙应≥50.8 mm。此外,还应保证钻头与套管的匹配度,降低套管下入难度,提高套管居中度,确保固井质量。

表1 常规透巷管道井井身结构
Table 1 Casing program of conventional tunnel pipe wells

序号	工 作 管		技 术 套 管		井 口 导 管		备 注
	套管外径/mm	井径/mm	套管外径/mm	井径/mm	套管外径/mm	井径/mm	
1	219.1~250.8	311.15	339.7~355.6	444.5	508	660.4	根据具体需求可调整技术套管或导管为二开结构
2	273~310.6	347.6	406.4	508	630	780	
3	339.7~355.6	444.5	508	660.4	720	960	
4	406.4	508	630	780	830	1010	
5	508	609.6	720	960	1000	1250	
6	630	780	830	1010	1140	1400	
7	720	960	1000	1250			二开结构
8	880	1080	1200	1400			
9	1060	1310	1360	1500			

如采用三开井身结构,则需要在导管和工作管之间增加一层技术套管,将上部不稳定地层封固后再下入工作管。为满足套管下入要求需要增扩上部井段井径,增加了建井的成本和周期,故不具有推广价值。

本文提出了基于二开结构直接透巷的管道井成井方式,如图1所示。依据地质资料、地层含水情况,透巷区域地层完整度,工作管直径等因素分为

一次成井和二次成井两种方式。无论采用一次成井还是二次成井,钻探过程中都需预留安全透巷井段,最后利用空气钻进裸眼透巷,区别在于两种成井方式工作管下入方式、固井工艺有所不同。

1.2 安全透巷设计

设计合理的垂向安全透巷距离可降低精准透巷作业的难度,也能有效预防上部井段作业时钻井液、水泥浆、岩屑等大量溃入目标巷道。通常安全

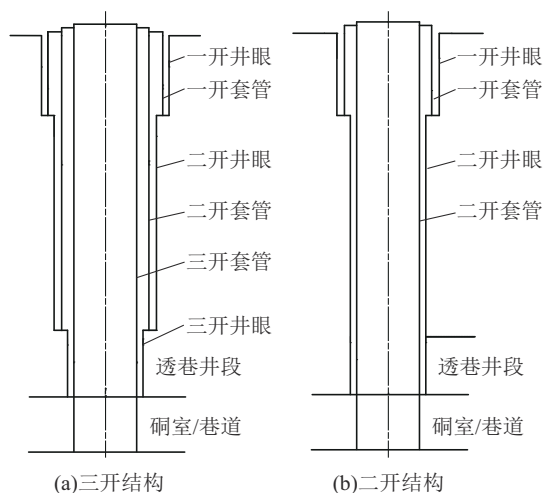


图1 典型透巷管道井结构示意图

Fig.1 Structure schematic diagram of typical tunnel pipe well

透巷距离采用理论分析、数值模拟和现场经验等方式确定,研究表明当透巷井段长度增加到15 m以上时,顶板塑性应变降低,随着透巷井段长度继续增加,侧帮塑性应变受挤压作用增大^[2-5]。在透巷井段无异常地层的前提下,为确保透巷位置精准,同时降低透巷裸眼段坍塌风险,安全透巷预留距离应 ≥ 20 m。

透巷管道井靶点通常设计在目标巷道或硐室的平面中心点。假设透巷目标区域长度为 L ,设计长度为 B ,其精度的基本要求:长度方向极限偏差距离 $D_L \leq L/2$,宽度方向极限偏差距离 $D_B \leq B/2$ ^[6]。

2 钻进工艺

2.1 上部地层钻进工艺

上部地层采用先导井眼钻进至安全透巷预留距离,再逐级扩孔,最后采用气动潜孔锤钻进完成透巷^[7-9]。因此,透巷井段以上部分先导孔轨迹质量是精准透巷的保障。先导井眼防斜保直钻进的传统工艺是通过满眼、钟摆或偏轴等钻具组合采用“悬空吊打”的方式钻进,其弊端是机械钻速慢,效率较低。为提高施工效率,可采用无线随钻测量系统+单弯螺杆+扶正器的方式,以小钻压复合钻进为主,实时监测井斜是否超出设计要求,如需调整轨迹,利用单弯螺杆向井斜超标相反方位滑动钻进实现纠斜。此方法在提高钻进效率的同时可有效地控制井斜,保证透巷前井眼轨迹质量。

2.2 透巷成井工艺

如图2所示,二开一次成井方式钻进至安全透巷井段后,将井内液体循环介质替出,更换气动潜孔锤的方式进行透巷段钻进,通常透巷段采用气举正循环钻进,也可选择气举反循环钻进,以减少循环介质对井壁冲蚀,提高施工安全性^[10-11]。透巷后一次性下入工作管,由于井内无液体浮力作用,地面钻机需承载全井套管重力载荷,故适用于井深较浅或直径较小的管道井。建议套管静载荷不超过钻机额定钩载的70%,使用此工艺成井。

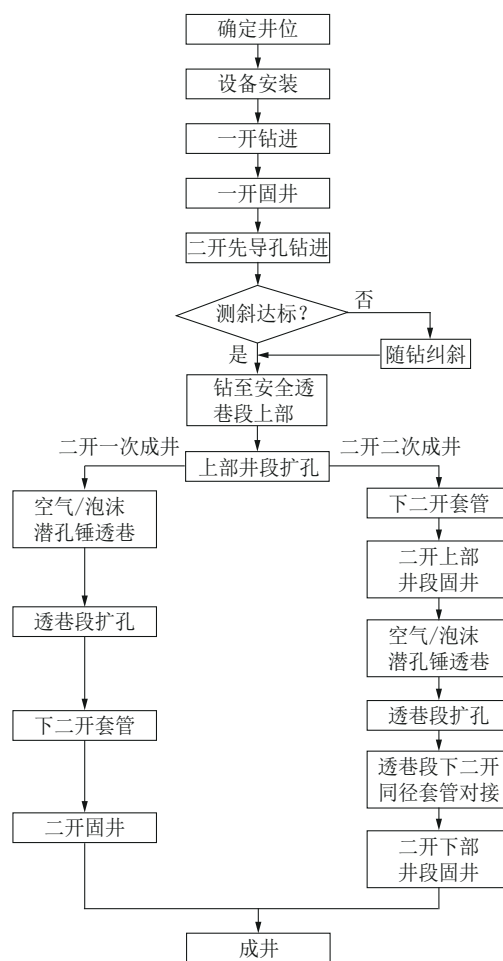


图2 二开结构透巷井成井流程

Fig.2 Flow chart of the completion of the tunnel with two-section

二开二次成井管道井施工至安全透巷井段后先下入上部井段工作管,固井完成第一次成井,再使用空气钻进完成透巷井段钻进后安装下部同径工作管,下部井段固井成井。为提高透巷钻进的安全性,可在空压机出气端泵入泡沫剂作为复合循环

介质注入井内,提高井底的携岩、携水能力。此工艺未透巷前第一次固井对透巷顶板地层承压性要求较高,适用于大直径、井深较深或钻机载荷无法满足一次成井要求的工况。

2.3 透巷井下安全处理措施

透巷前应精准探明贯通区地层结构、含水层及老空区分布,预防透水或瓦斯突出事故。针对破碎顶板或高应力区域,需采用锚索、架棚等强化支护措施,降低冒顶风险^[12-14]。贯通前井下人员需撤离巷道,并迁移透点附近15 m内的设备、电缆,或采用挡板及缓冲材料进行防护,避免损坏。需建立专项应急预案,明确透水、瓦斯异常等突发事件的处置流程。贯通过程需由通风、地质、安全等部门联合指挥,实时监测数据共享,确保通风系统调整、排水设施启动等环节无缝衔接。贯通后及时清理巷道内矸石与积水,修复受损支护结构,并评估贯通点处围岩稳定性,避免后续井下作业中出现事故。

3 固井及完井工艺

3.1 二开一次成井

透巷钻进完成后进行扩孔作业,下入工作管至井下预留巷道/硐室,由于下部已实现透巷,需设置人工井底保障固井作业顺利进行^[15]。但是人工井底的承压能力有限,如水泥浆液柱压力超过人工井底承受极限就会导致人工井底失效,进而导致固井失败。为提高人工井底及地层承压能力,采用“人工井底+双级固井”的固井方案,如图3所示。

设计一种可调节托盘建立人工井底。首先将工作管下至井底,由目标巷道内安装托盘等附件,然后在上托盘和井筒环空填充密封材料,最后通过调距丝杠压实上托盘和顶板的间隙,确保人工井底在一级固井过程中的密封性能。通过分级固井的方式先封固底部井段,增强人工井底的承压能力,再进行剩余井段固井,降低固井漏失的风险。

固井通过压差式分级箍结合井下反注水泥浆的方式实现。下层分级箍入井前使其循环孔处于开启状态,随工作管一同下入设计位置,一级固井由井下反注水泥浆。分级固井流程如图4所示。图4(a),上紧调节丝杠,密封上托盘,由安装在上托盘的注浆管注入水泥浆;图4(b),当人工井底和分级箍之间的套管环空充满水泥浆时,多余的水泥浆从

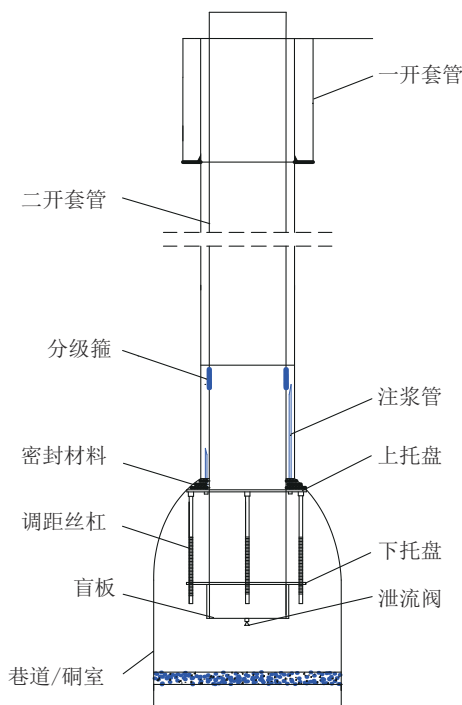


图3 二开一次成井示意

Fig.3 Diagram of two-section and one time completion

分级箍开启的循环孔流入到套管内,通过套管底部泄流阀可观测到返浆,由此确认一级固井注浆是否完成;图4(c),候凝72 h后进行二级固井,由地面注入的水泥浆从分级箍循环孔上返地面,同时打入关闭塞;图4(d),二级固井水泥碰压,分级箍循环孔关闭,二级固井完毕,拆除人工井底,再进行扫塞。

3.2 二开二次成井

二开二次成井工艺流程如图5所示。图5(a),第一次成井是指在钻至安全透巷距离后进行上部地层扩孔钻进,先下入二开上部套管,预留对接螺纹或茬口,上部地层一次固井封固不稳定地层或出水地层,候凝72 h;图5(b),第二次成井是指采用空气钻进透巷至设计巷道/硐室,再采用反井钻进的方式将透巷井段扩孔,再从巷道内反接同径工作管与上部套管对接,安装人工井底,封固下部工作管环空;图5(c),二次固井,从井下反挤水泥浆对下部透巷段进行封固,水泥浆通过套管预留观测孔流至套管内;图5(d),二次固井,套管内水泥浆液面需高过套管预留观测孔。二次固井候凝完毕,扫塞后拆掉人工井底^[16-18]。此方案通过上下二次下入同径工作管的方式实现二开结构成井。

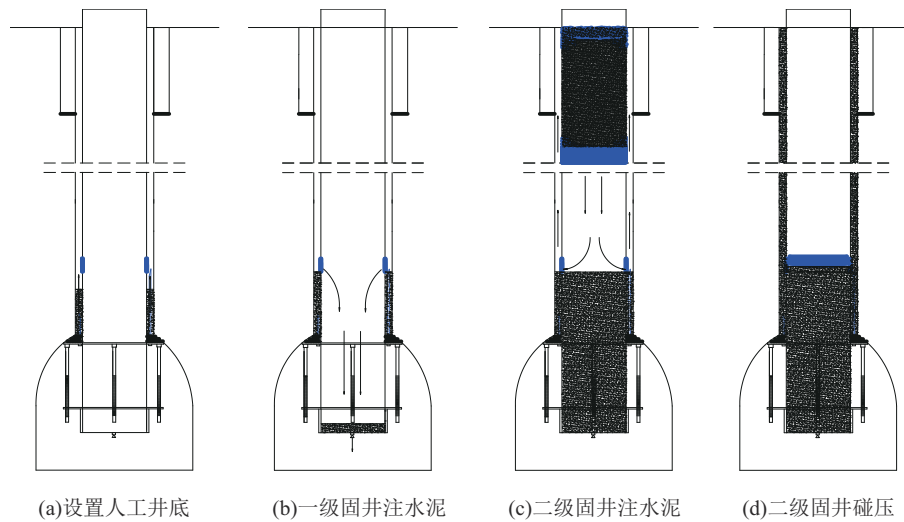


图4 二开一次成井分级固井流程

Fig.4 Flow chart of two-section and one time cementing well

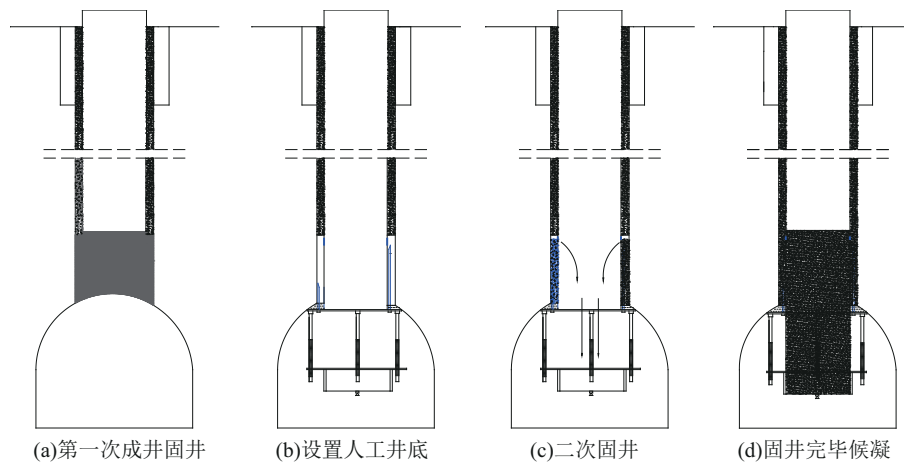


图5 二开二次成井分级固井流程

Fig.5 Flow chart of two-section and two times cementing well

4 现场应用

4.1 朱仙庄煤矿管道井

朱仙庄煤矿管道井设计井深457.6 m,采用二开一次成井方式。一开下 $\varnothing 377\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 无缝钢管,坡口对焊连接,工作管为 $\varnothing 219.1\text{ mm} \times 11.43\text{ mm}$ N80石油套管,全井套管静载荷约为286 kN。施工采用TSJ2000型钻机,额定钩载850 kN,可满足套管下入需求。距巷道顶板不小于20 m段采用空气钻进完成透巷,降低钻孔内浆液漏入巷道的风险。透巷巷道顶板岩性为中细粒砂岩,中细粒、浅灰色,较为致密。

4.1.1 钻具组合

一开钻具组合: $\varnothing 311.15\text{ mm}$ 钻头+ $\varnothing 216\text{ mm}$

(1.25°)单弯螺杆钻具 $\times 1$ 根+ $\varnothing 203\text{ mm}$ 定向接头+ $\varnothing 203\text{ mm}$ 无磁钻铤(内置MWD) $\times 1$ 根+ $\varnothing 127\text{ mm}$ 加重钻杆+ $\varnothing 127\text{ mm}$ 钻杆;

一开扩孔钻具组合: $\varnothing 311.15/\varnothing 444.5\text{ mm}$ 扩孔钻头+双母接头+ $\varnothing 203\text{ mm}$ 钻铤+ $\varnothing 127\text{ mm}$ 钻杆;

二开透巷段前钻具组合: $\varnothing 311.15\text{ mm}$ 钻头+ $\varnothing 203\text{ mm}$ (1.25°)单弯螺杆钻具 $\times 1$ 根+ $\varnothing 203\text{ mm}$ 定向接头+ $\varnothing 203\text{ mm}$ 无磁钻铤(内置MWD) $\times 1$ 根+ $\varnothing 127\text{ mm}$ 加重钻杆+ $\varnothing 127\text{ mm}$ 钻杆;

二开透巷段钻具组合: $\varnothing 311.15\text{ mm}$ 潜孔锤钻头+DHD112冲击器+ $\varnothing 165\text{ mm}$ 钻铤 $\times 5$ 根+ $\varnothing 127\text{ mm}$ 钻杆。

4.1.2 钻进参数

一开钻至基岩内 20 m 中完, 0~295.00 m 为 $\varnothing 444.5$ mm 孔径, 下 $\varnothing 377$ mm $\times$ 10 mm 护壁管, 采用泥浆作为循环介质, 钻压为 10~30 kN, 转速 40~60 r/min, 排量 35~40 L/s。

二开安全透巷距离设计为 25 m, 透巷安全距离以上部分采用泥浆作为循环介质, 钻压为 20~40 kN, 转速 40~60 r/min, 排量 30~35 L/s。透巷前换为空气正循环钻进, 因在地层在透巷前有少量出水现象, 故采取空气携水(泡沫)方式钻进, 转速 20~30 r/min, 钻压 15~20 kN, 空压机额定风量 ≥ 40 m³/min, 压力 3.2 MPa, 泡沫浓度 0.5%。

4.1.3 固井完井

透巷后下入 $\varnothing 219.1$ mm $\times$ 11.43 mm 工作管, 并安装一组分级固水泥器(循环孔开启状态), 从巷道底部安装人工井底, 一次固井水泥浆密度为 1.5 g/cm³, 固井过程中出现人工井底和井壁缝隙漏浆现象。分析漏失原因为硐室上部岩石存在松动裂隙, 在透巷钻进后轴向和纵向载荷会增大裂缝范围, 固井时受水泥浆液柱压力作用, 形成漏失通道。后在注入水泥浆中加入直径 3~5 mm 细砂, 同时在环空和人工井底上托盘之间加入遇水膨胀材料, 有效解决了一次固井漏失问题。

一次固井结束后候凝 72 h, 二次固井由井口泵入密度为 1.85 g/cm³ 的水泥浆, 尾浆密度为 1.6 g/cm³, 打入关闭塞, 按每次 2 MPa 阶梯增压至 10 MPa。压力瞬时至 15 MPa, 确定分级固水泥器循环孔关闭, 稳压 5 min 后无泄压, 完成二次固井。

4.2 临涣煤矿管道井

临涣煤矿东翼地面低浓瓦斯抽采系统管道井, 设计井深 453.5 m, 终孔位置在管道井预留硐室顶板, 岩性为灰色细粒砂岩, 厚度约为 13 m, 采用二开二次成井方式。一开孔径 $\varnothing 1400$ mm, 设计深度 255 m, 下置 $\varnothing 1140$ mm $\times$ 20 mm 的 20#螺旋焊管。二开孔径为 $\varnothing 960$ mm, 下入工作管为 $\varnothing 720$ mm $\times$ 20 mm 的 20 号无缝钢管。采用空气钻进透巷的安全透巷距离为 21.5 m。

4.2.1 一次成井

一开套管下设完毕后, 采用 $\varnothing 311.15$ mm 钻头施工先导钻孔至安全透巷井深, 逐级采用 $\varnothing 550$ 、 $\varnothing 800$ 、 $\varnothing 960$ mm 钻头扩孔。由于二开一次下入 $\varnothing 720$ mm $\times$ 20 mm 的工作管质量 150 t, 为保证下入安全,

在套管下部加装“双浮箍”采用“浮力法”下放工作管至设计井深。无缝钢管采用焊接形式连接, 并对焊缝进行探伤, 确保焊接质量。此外, 在套管鞋处预留丝扣以便与下部套管连接, 并加装丝扣保护装置。二开一次固井将上部工作管封固, 候凝 72 h, 一次成井完成。

4.2.2 二次成井

扫塞后进行举水作业, 下入 $\varnothing 311.15$ mm 潜孔锤钻头实现精准透巷, 钻具组合为: $\varnothing 311.15$ mm 潜孔锤钻头 + DHD112 冲击器 + $\varnothing 165$ mm 钻铤 $\times 5$ 根 + $\varnothing 127$ mm 钻杆。采用反井方式由透巷点向上扩孔逐级扩孔至 $\varnothing 960$ mm。

二次成井所用 $\varnothing 720$ mm $\times$ 20 mm 的工作管制成 1.5 m/根短节, 由特质“引导器”与首根套管反扣连接, 由钻具提升形成一体结构, 再通过千斤顶群组将第二根套管与首根套管对扣, 利用下部特质转盘将两根套管短节正扣连接, 以此类推, 完成下部工作管连接。通过地面钻具将下部工作管串上提至上部工作管预留丝扣处, 完成丝扣连接后倒出“引导器”将上下工作管连成一体。下入井下窥视仪检查, 工作管连接无误后安装人工井底进行二次固井, 完成二次成井工作。

5 结论

(1) 采用直接透巷方式实施煤矿地面管道井, 变“巷找井”为“井找巷”, 规避了掘进施工和井下动火作业的安全隐患, 保障了矿井安全生产秩序稳定。

(2) 针对二开结构透巷管道井的实施特征, 提出了二开一次成井和二开二次成井的工艺流程, 解决了不同工况条件下透巷钻进和分级固井的难题。

(3) 淮北矿区两口大直径管道井的成功试验, 表明二开结构透巷管道井对不同工况有良好的适应性, 有效减少了煤矿井下辅助工作量及配套费用支出, 在类似条件矿井具备推广应用前景。

参考文献(References):

- [1] 郝世俊, 莫海涛. 地面大直径应急救援钻孔成孔工艺设计与分析[J]. 煤田地质与勘探, 2021, 49(1): 277-284.
HAO Shijun, MO Haitao. Design and analysis of hole-forming technology for surface large diameter emergency rescue borehole [J]. Coal Geology & Exploration, 2021, 49(1): 277-284.
- [2] 刘明军, 郝世俊, 郑玉柱, 等. 大直径救援井安全透巷技术研究

- [J].煤炭科学技术,2022,50(3):118-126.
- LIU Mingjun, HAO Shijun, ZHENG Yuzhu, et al. Study on safe tunneling penetration technology for large diameter rescue wells[J]. Coal Science and Technology, 2022,50(3):118-126.
- [3] 郝世俊,张晶.大直径救援井高效钻井技术及装备现状与展望[J].煤炭科学技术,2021,49(4):75-81.
- HAO Shijun, ZHANG Jing. Development status and prospect of high-efficiency drilling technology and equipment for large-diameter rescue wells[J]. Coal Science and Technology, 2021,49(4):75-81.
- [4] 莫海涛,郝世俊,赵江鹏.煤矿区地面大直径钻孔成孔关键技术与装备[J].煤炭科学技术,2021,49(5):190-197.
- MO Haitao, HAO Shijun, ZHAO Jiangpeng. Key technology and equipment of hole-forming for surface large diameter borehole in coal mine area[J]. Coal Science and Technology, 2021,49(5):190-197.
- [5] 苏海,刘应科,何宇雄,等.大直径地面钻井井身稳定特性分析及工程控制[J].煤炭安全,2015,46(11):189-192.
- SU Hai, LIU Yingke, HE Yuxiong, et al. Stability characteristics analysis of large diameter surface drilling wellbore and engineering control[J]. Safety in Coal Mines, 2015,46(11):189-192.
- [6] 张强.大口径井先导孔精确中靶技术研究[J].煤炭工程,2016,48(9):81-83.
- ZHANG Qiang. Research on accurate target hitting technology for pilot hole drilling of large diameter well[J]. Coal Engineering, 2016,48(9):81-83.
- [7] 付军辉.采区瓦斯地面井井身结构设计及安全防护研究[J].煤炭工程,2020,52(5):48-53.
- FU Junhui. Study on structure design and safety protection of gas surface well in mining area[J]. Coal Engineering, 2020,52(5):48-53.
- [8] 韩尚孝,杨晓奇.基岩水井采用泡沫潜孔锤钻进实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013(10):19-22.
- HAN Shangxiao, YANG Xiaoqi. Practice of bedrock well drilling by foam DTH hammer[J]. Exploration Engineering(Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013(10):19-22.
- [9] 窦蓬,崔国杰,张晓斌,等.非标准尺寸井身结构在渤中区域中深层探井设计中的应用[J].钻采工艺,2021,44(1):33-37.
- DOU Peng, CUI Guojie, ZHANG Xiaocheng, et al. Unconventional casing program for medium-deep prospecting well in Bozhong area[J]. Drilling & Production Technology, 2021,44(1):33-37.
- [10] 莫海涛,郝世俊,叶根飞.煤矿区大口径井二开先导孔下导管钻进技术[J].煤田地质与勘探,2014,42(4):106-108.
- MO Haitao, HAO Shijun, YE Genfei. Drilling technology with guide pipe in the second section pilot hole of large-diameter well in coal mining area[J]. Coal Geology & Exploration, 2014,42(4):106-108.
- [11] 韦海瑞,孙红波,贾明浩,等.大口径地面钻孔救援技术与装备发展[J].钻探工程,2023,50(2):143-149.
- WEI Hairui, SUN Hongbo, JIA Minghao, et al. Development of technology and equipment for large-diameter borehole surface rescue[J]. Drilling Engineering, 2023,50(2):143-149.
- [12] 田宏亮,张阳,郝世俊,等.矿山灾害应急救援通道快速安全构建技术与装备[J].煤炭科学技术,2019,47(5):29-33.
- TIAN Hongliang, ZHANG Yang, HAO Shijun, et al. Technology and equipment for rapid safety construction of emergency rescue Channel after mine disaster[J]. Coal Science and Technology, 2019,47(5):29-33.
- [13] 曹东风.大口径瓦斯钻孔穿越煤矿采空区钻井工艺[J].中国煤炭地质,2015,27(1):55-56,76.
- CAO Dongfeng. Drilling technology of large diameter gas drainage borehole through coalmine gob area[J]. Coal Geology of China, 2015,27(1):55-56,76.
- [14] 周兢.煤矿大口径工程井钻井技术研究[J].中国煤炭地质,2016,28(1):58-62.
- ZHOU Jing. Study on coalmine large diameter engineering well drilling[J]. Coal Geology of China, 2016,28(1):58-62.
- [15] 崔万豪,刘修刚.煤矿区透巷钻孔终孔固井技术研究及应用[J].煤炭技术,2024,43(6):33-36.
- CUI Wanhao, LIU Xiugang. Research and application of final hole cementing technology for drilling through-hole in coal mine areas[J]. Coal Technology, 2024,43(6):33-36.
- [16] 李永春,赵敏,祝建红.大口径盐卤井超长裸眼段的分级固井工艺[J].云南化工,2024,51(5):164-166,170.
- LI Yongchun, ZHAO Min, ZHU Jianhong. Graded cementing technology for ultra long open hole section of large-diameter brine wells[J]. Yunnan Chemical Technology, 2024,51(5):164-166,170.
- [17] 王永全,崔秀忠,巩建雨.大口径瓦斯抽放井施工工艺[J].中国煤炭地质,2009,21(1):65-66,70.
- WANG Yongquan, CUI Xiuzhong, GONG Jianyu. Construction technology of large diameter gas drainage wells[J]. Coal Geology of China, 2009,21(1):65-66,70.
- [18] 袁志坚,熊亮.大口径瓦斯抽排井施工扩孔分级设计优选探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014(11):17-19.
- YUAN Zhijian, XIONG Liang. Discussion on optimization of reaming grading design of large diameter gas drainage well construction[J]. Exploration Engineering(Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014(11):17-19.

(编辑 王跃伟)