工程与管理科学
Engineering and Management Science
第 8 卷◆第 9 期◆版本 1.0◆2026 年
文章类型：论文|刊号（ISSN）：2705-0637(P) / 2705-0645(O)

暗立井大直径反井钻机钻井技术探讨

薛永
四川芙蓉川南建设工程有限公司　四川宜宾　644000

DOI：10.32629/ems.v8i9.22115

[摘　要] 随着煤矿井下生产系统不断完善，暗立井、煤仓等地下井筒工程需求持续增加。反井钻机凭借机械破岩扰动小、成井速度快、作业人员无需进入裸井等优势，已经成为大直径暗立井优先选用的施工工艺。大直径分体钻头受井下转运空间制约，对组装工艺、地层适配、安全管理提出更高要求。开展软岩条件下大直径反井钻井技术研究，对提升暗立井施工安全水平、推进井下井筒机械化建设具有重要工程现实意义。

[关键词] 暗立井；大直径；反井钻机；钻井技术

引言

针对软岩地层大直径暗立井反井施工中分体钻头组装困难、孔壁失稳、卡钻堵矸等工程难题，结合上湾煤矿 12 煤四盘区暗立煤仓工程实践，从设备选型、分体扩孔钻头标准化安装、钻进参数优化、全过程安全管控开展研究。通过地面预检、井下分段组装、力矩紧固、软岩钻进参数调控，实现井筒高效成型。工程实践表明该工艺可压缩井下高危作业时长，控制钻孔偏斜，消除吊装拼装重大隐患，可为矿区同类暗立井施工提供技术参考。

1 工程概况与设备选型

1.1 工程概况

本文依托上湾煤矿 12 煤四盘区暗立煤仓工程，该井筒属于井下暗立井，无地面开挖工序，井筒荒直径 6.8m，净直径 6.0m，设计深度 34m，荒断面 36.30 ㎡。井筒穿越侏罗系延安组砂质泥岩与细砂岩互层，普氏系数 f=4~6，岩体节理发育，属于典型软岩地层，局部存在裂隙微量淋水，不存在大型突水构造；井筒上口（硐室）为 12 煤全煤层，下口（硐室）为 22 煤全煤层。

施工巷道布置于 12 煤四盘区主运大巷内，北接辅运大巷，南邻回风大巷。作业空间受限，井下缺少大型起重设备，施工依托矿井既有通风、排水、供电系统开展作业。本工程工艺流程：浇筑钻机基础→安装钻机及各系统并调试→自上而下钻进Φ350mm 导孔贯通下层巷道→22 煤下水平组装Φ6.8m 塔式分体扩孔钻头→自下而上扩孔成型→锁口浇筑→自上而下锚网喷临时支护→自下而上钢筋混凝土永久支护→煤仓仓体及钢结构安装。

1.2 地层施工特点

井筒围岩为砂质泥岩、细砂岩互层，岩体节理裂隙发育，软岩受钻进扰动易出现孔壁剥落、片帮，扩孔过程产生抱钻、堵矸风险；局部裂隙淋水会加剧泥岩风化，进一步降低围岩自身稳定性。大直径井筒裸壁暴露阶段，围岩存在掉块风险，需要严格控制钻进参数，缩短围岩裸露时间，配套完善排矸、围岩监测措施，保障井筒成型质量与现场作业安全。

1.3 主要设备技术参数

本工程选用 ZFY7.0/400/600 反井钻机，钻机最大扭矩 300kN·m，最大提升拉力 6000kN，额定推力 1300kN，主轴转速 0～18r/min 可调；配置Φ350mm 导孔钻头，配套Φ6.8m 塔式分体扩孔钻头，钻杆单根长度 1.5m，泥浆泵功率 185kW，设备参数满足 34m 深度井筒反井施工条件。

Φ6.8m 塔式分体扩孔钻头采用分层塔式分体结构：上层Φ3.5m 中心钻头分为 2 块，单件自重 6t，承担中心先导扩孔；下层Φ6.8m 外扩分体 2 块，单件自重 9t，实现井筒全断面开挖；边角补强组件 2 件，单件自重 1t，用于消除拼接缝隙，保障井筒圆度；连接螺栓全部采用 12.9 级 M30×170 高强螺栓，设计紧固预紧力 2000N·m。

2 大直径分体扩孔钻头标准化安装工艺

受井下巷道运输、起吊条件限制，大直径扩孔钻头必须分块运输至下水平硐室现场组装。传统井下直接拼装模式缺少地面预检，转运捆绑不规范，螺栓无统一力矩管控，易出现构件缺陷、对接错位、螺栓松紧不均，诱发扩孔过程钻头开裂重大设备事故。本文构建“地面预检验－井下转运－硐室封闭组装－力矩终紧验收”完整标准化工艺流程。

2.1 地面预组装与检验工序

在地面工业场地设置钻头预处理工位，钻头下井之前完成全套预检工作，从源头消除构件缺陷，减少井下返工。

（1）构件清点检查：将中心钻头、外扩分体、边角补强件、高强螺栓、连接板分类码放，检查滚刀磨损、螺纹孔变形、焊缝开裂、连接板弯曲变形，不合格构件严禁入井。

（2）地面预拼接调试：对Φ3.5m 两段中心钻头开展地面试对接，对齐螺栓孔预装螺栓，标记对位刻度线，降低井下对位调整难度。

（3）螺纹防护：清理螺纹孔内部砂石铁锈，均匀涂抹润滑脂，避免井下泥水造成螺纹锈蚀卡死。

（4）转运捆绑：各分体构件使用 40T 双链四点捆绑，增设防滑隔离垫，防止井下运输颠簸磕碰构件表面与螺纹接口。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

文章类型：论文|刊号（ISSN）：2705-0637(P) / 2705-0645(O)

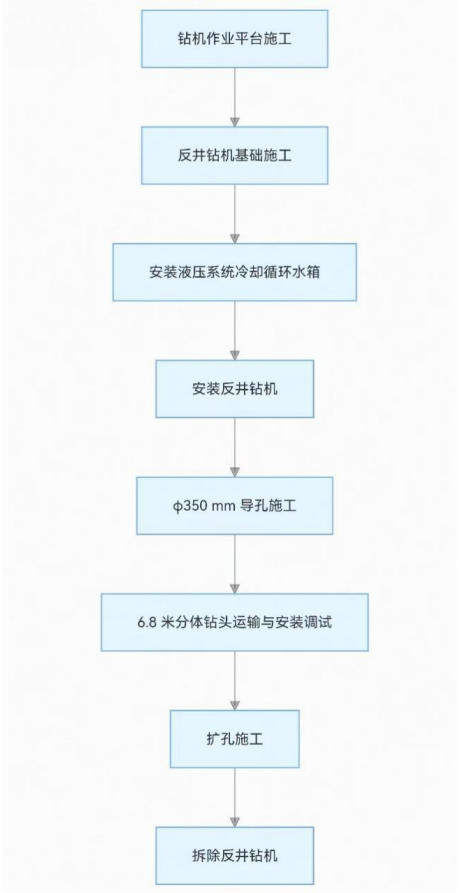

图 1　软岩地层大直径分体扩孔钻头反井钻井施工流程框图

2.2 井下安全转运标准化流程

（1）运输设备配置：大重量钻头分体采用 WC25EJ 支架搬运铲车转运，边角小件使用防爆装载机转运，井下行驶速度严格控制≤10km/h。

（2）巷道沿途管控：转运路线前后 30m 设置警戒标识，专人沿途监护，避让巷道管线、支护构件，落实“行人不行车，行车不行人”制度。

（3）硐室摆放：钻头组件运至煤仓下口硐室，统一堆放在透孔点 5m 以外，禁止直接放置孔口正下方，防止坠物掉入导孔。

（4）转运收尾：全部构件运输到位，转运车辆驶入避险硐室，切断动力，拉手刹、安放阻车器，完成转运作业。

2.3 井下作业面封闭及工器具配置

（1）隔离防护：组装硐室前后 20m 设置 1.5m 高铁质封闭围栏，上锁挂牌，禁止无关作业人员进入。

（2）工具配套：储备足量 12.9 级 M30×170 螺栓，配置 40T 起重葫芦、力矩扳手、风炮扳手、敲帮问顶钢钎、道木等配套机具。

（3）通讯保障：煤仓上下口分别安设防爆直通电话，配备防爆手机，钻机操作台和井下组装人员双向实时通讯；通讯信号不清晰严禁开展起吊作业。

（4）前置隐患处置：组装作业开工前完成敲帮问顶，清除顶帮浮矸，确认无片帮冒顶风险，方可开展钻头拼装作业。

2.4 分段组装标准化操作工序

2.4.1 起吊帽预装

钻机钻杆下放距离底板 0.4m，执行停机、断电、闭锁操作；两名作业人员协同将专用起吊帽丝扣完全旋紧钻杆底端，确认满扣无滑丝现象。

2.4.2Φ3.5m 中心钻头对接

起重链条连接起吊帽与地面预检的中心钻头，所有作业人员撤离至钻头 5m 以外安全区域，井下人员通知上口钻机司机低速提升钻杆；钻头提升到孔口下方 0.3m，确认钻杆与钻头中心垂线重合，缓慢落钻落地，停机断电闭锁；拆除起吊链条、吊帽并转移至安全区域存放；钻机低速 1- 2r/min 下放钻杆，侧面人工观察对位，一旦出现咬口错位立即停机微调，直至两端中心钻头完全贴合。

2.4.3Φ6.8m 外扩分体分步组装

将中心钻头整体提升距离底板 1m 高度，对接孔提前预装高强 M30 螺栓；装载机推送单侧Φ6.8m 分体至中心钻头下方，人工微调孔位对齐，通知钻机缓慢落钻，插入定位销完成螺栓初紧；重复操作完成另一侧外扩分体对接，安装贯通连接螺栓，使两段外扩钻头形成完整环形结构。

2.4.4 边角补强组件装配

底板铺设道木找平工位，装载机配合 40T 链条起吊边角补强件，对位完成人工初固螺栓；钻机将整体钻头抬升离地 0.2m，旋转 180°，对称安装另一侧边角件，保障钻头圆周受力均匀。

2.4.5 统一力矩终紧与质量验收

拼接部位先使用风炮扳手初紧，再使用力矩扳手逐颗复检，螺栓预紧力严格执行 2000N·m，做好力矩检查记录；安装连接板封堵拼接缝隙，检查滚刀转动灵活性，钻头无翘曲、拼接位置无错台；清理硐室内工具、杂物，机具统一收纳工具箱，钻头组装全部完成。

3 软岩地层反井钻进参数优化技术

3.1 导孔钻进优化措施

导孔质量直接决定井筒整体垂直度。0-8m 浅层段加装扶正器，采用低速低压模式钻进；每钻进 15m 增设稳定钻杆，持续监测钻孔垂直度；软岩段降低推进速度，规避孔壁受挤压变形；提高循环泥浆配比，充分携带岩粉，防止泥岩段发生抱钻事故，保障导孔精准贯通上下水平巷道。

3.2 扩孔钻进参数匹配方案

（1）起步阶段：钻头初次接触岩层，会遭遇原有锚杆、钢筋网构件，转速控制 3- 5r/min，轻压慢进，避免滚刀冲击破损软岩围岩以及原有支护结构。

（2）正常扩孔阶段：砂质泥岩软岩地层转速 8- 12r/min，钻压下调至钻机额定钻压 60%；遇到细砂岩硬

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

岩段适度提升钻压，实现不同岩性参数动态适配。

（3）贯通前管控：钻头距离上口基础剩余 2.5m 时，钻压减半，转速降至最低；设置专人持续观测井口围岩、混凝土基础是否出现开裂、沉降，平稳完成贯通作业，防止贯通瞬间载荷突变引发设备、围岩破坏。

3.3 井下清矸管控

扩孔破碎岩渣依靠自重坠落至下水平巷道，矸石堆积过高会造成堵孔，同时恶化巷道通风条件。要求装载机每循环及时清理掉落矸石，孔底矸石堆积高度超过 0.5m 必须停机开展清渣作业，严禁带矸继续扩孔，规避卡钻、堵孔风险，保障排矸系统持续可靠运行。

4 全过程一体化安全管控体系

4.1 专项风险辨识和防控对策

4.1.1 硐室顶板片帮冒顶风险管控

硐室预捞净矸、空顶区域为主要风险源，存在片帮冒顶隐患。开工前，钻头组装间硐室专项执行敲帮问顶制度；在空顶区域提前加密补打锚杆锚索，确认围岩稳定合格后方可开展组装作业；作业期间安排专职人员不间断观测顶板及两帮围岩变化，发现掉矸、裂隙扩张征兆立即停止作业，人员撤离至安全区域。

4.1.2 大件起吊链条破损变形风险管控

大件起吊、起重链条破损变形易引发特殊打击伤害。起重葫芦、链条、吊具每班开工前全面外观检查；严格落实起重作业 “十不吊” 硬性规定，存在裂纹、磨损、变形的不合格吊具严禁投入使用；起吊过程设置警戒隔离，严禁人员从吊件下方通行或停留。

4.1.3 人员闯入组装封闭硐室碰撞伤人风险管控

非作业人员误入组装封闭硐室，易发生设备碰撞伤人事故。硐室前后 20m 设置硬质防护围栏，井上锁挂警示牌；作业全程安排专人现场警戒值守，实行封闭式管理，严禁无关人员进入施工区域；设备转运、吊装交叉时段增设警戒人员，严防人员误闯作业危险区域。

4.2 装载机及登高作业管控

装载机操作人员必须持证上岗，大件转运全程专人指挥，人员距设备的安全距离大于 5m，遵守井下行车制度。登高作业禁止抛掷扳手、螺栓等小件，构件采用绳索传递，作业下方设置警戒区；人字梯、作业平台使用前检查结构强度，单人登高作业系好安全带并必须配备专人扶梯监护，杜绝高空坠落风险。

4.3 一通三防与机电安全

组装作业开启风流净化水幕，作业人员佩戴防尘面罩；便携式瓦斯检测仪布置作业点上风侧，瓦斯浓度≥1.0%立即停工、组织人员撤离；井下全部电气设备选用矿用隔爆型，电缆无破损，机电检修执行停电挂牌上锁流程，杜绝机电事故发生。

5 现场应用成效

5.1 施工效率提升

采用地面预检 + 井下分段标准化组装工艺后，整套 Φ6.8m 分体扩孔钻头井下组装总时长由原计划 3 天缩短至 2 个班以内，减少井下高危作业时长；软岩优化钻进参数后，单循环扩孔进尺稳定 2m / 班，无卡钻停机故障，整体反井成井工期节约约 4 天。

5.2 安全风险闭环管控

落实围栏封闭、起吊标准化、车辆专项管控体系后，大件吊装、高空作业、井下运输类零违章、零轻伤事故，分体钻头拼接错位、螺栓松动等质量隐患全部消除，规避扩孔过程钻头分体脱落重大设备事故。

5.3 成井质量达标

导孔贯通偏差控制在设计允许范围内，偏目标点东侧方向 +0.05m，扩孔井筒荒直径实测 6.82- 6.85m，符合 +50mm 规范允许偏差；软岩段无大面积孔壁坍塌，后续铺网喷临时支护基面平整，无需人工修整，配套支护施工效率同步提升。

结束语

软岩暗立井大直径反井钻井，重点要做好分体扩孔钻头标准化安装、软岩钻进参数匹配和现场安全管控。依托上湾煤矿工程实践形成的成套工艺，有效解决井下组装对位难、软岩孔壁失稳等问题，施工安全和成井质量可靠。该技术适配矿区暗立井、煤仓工程，对同类项目具有较好的推广应用价值。

[参考文献]

[1]涂新斌,熊江,戎骏,等.超大直径反井钻机镶齿滚刀运动学特性及破岩模式分析[J].能源与环保,2025,47(9):285-290.

[2]茹松楠,张宇鹏,李云龙,等.大直径全断面反井钻机钻杆动静力学特性分析[J].煤矿机械,2025,46(8):100-104.

[3]杨木林,程守业,宋亚新,等.反井钻机施工大直径风井工程结构稳定性评价方法研究[J].煤炭工程,2024,56(2):39-44.

[4]李如洋,朱向辉,郭寿松.采动影响下暗立井稳定性及支护关键技术研究[J].能源技术与管理,2023,48(5):84-85+99.

[5]李福年,朱阳川,龚安红,等.引水竖井大直径反井钻机一次成型施工消耗量研究[J].云南水力发电,2023,39(5):158-161.

[6]缪志炳,邱晓念.暗立井反井施工一次成井法施工技术[J].江西煤炭科技,2022,(3):18-20.

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.