

井工开采中巷道掘进技术与施工质量控制

张海龙

准格尔旗神陶煤炭运销有限责任公司营沙壕煤矿 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘要:在井工开采中,巷道掘进技术与施工质量控制直接影响矿井安全及生产效率,需综合应用先进设备、智能系统与精细化管理。智能化掘进设备应用,采用盾构机替代传统炮掘工艺,效率提升5-6倍,减少人工接触粉尘与噪音风险。配备矿用液压臂架式起吊装置、巷道清煤机等设备,实现设备安全吊装和浮煤高效清理(人工清煤效率从3米/班提升至30米/班)。掘进工艺优化,钻爆法:严格钻眼定位(中心眼误差 $\leq 50\text{mm}$)、光面爆破技术减少围岩扰动,配合装载机与运输车快速出渣。综合机械化掘进:大功率掘进机结合自动截割与煤流平衡系统,实现连续高效作业。

关键词:井工开采;巷道掘进技术;施工质量控制

巷道掘进需以智能化装备提升效率(如盾构机、清煤机器人),通过锚杆精准支护、光面爆破减扰、AI视频监控保障质量,结合严格的地质灾害防控(瓦斯、涌水)和文明施工标准(管线吊挂、底板平整),实现安全高效生产。

1 巷道掘进定义目的

(1)定义。巷道掘进指通过开挖岩体并实施支护,在地下形成通道(如井筒、巷道、硐室)的施工过程。具体包括:作业实质:采用钻爆法、机械掘进(如掘进机、盾构机)或综合工艺破碎岩体,同步完成临时支护,构建地下空间。工程范畴:涵盖矿山开拓巷道(主井、副井)、准备巷道(采区上山/下山)及回采巷道(工作面运输巷等)的挖掘。

(2)目的。巷道掘进的核心目的是为地下资源开采和工程运行提供基础设施保障:资源开采通道:构建煤炭、矿石运输路径,实现地下资源向地面的高效转运。形成采煤工作面所需的回采巷道,为采煤设备提供作业空间。安全保障系统:建立通风网络,排出有害气体(如瓦斯),输送新鲜风流。设置排水沟、管线通道,防治水害并维持系统稳定。工程功能扩展:服务交通隧道、水利涵洞、市政管道等地下工程建设。满足军事工程、地下仓储等特殊空间需求。

2 巷道掘进在井工开采中的重要性

(1)保障开采通道畅通。资源运输基础,掘进形成的巷道(如工作面运输巷、回风巷)是煤炭从采煤工作面运至地面的唯一通道,直接影响开采效率与连续性。快速掘进技术(如综合机械化掘进)可缩短巷道建设周期,避免采掘接续紧张,支撑矿井稳产高产。采煤作业空间支撑,回采巷道的掘进为采煤机、液压支架等大型

设备提供安装与操作空间,是采煤作业的先决条件。掘进效率低将导致采煤工作面“等米下锅”,制约整体产能释放。

(2)构建安全防护体系。灾害防控核心载体,巷道构成矿井通风网络主干,通过合理布局实现瓦斯稀释、粉尘排出及新鲜风流输送,降低爆炸与窒息风险。排水沟、管线通道集成于巷道内,可及时疏解涌水隐患(如淋水段需设导水槽)。围岩稳定性控制,掘进同步支护(如锚杆+金属网)可即时加固破碎岩层,预防顶板垮塌、冲击地压等事故。智能化掘进设备(如掘锚一体机)通过“掘支同步”技术,将临时支护与永久支护时效压缩60%,减少空顶暴露风险。

(3)驱动智能化升级。技术革新突破口,智能化掘锚机器人应用激光导航、5G远程操控,实现截割精度 $\leq 5\text{cm}$ 、巷道成型平整度提升25%,推动“少人化、无人化”作业。自动截割与煤流平衡系统将单班作业人数从13人精简至8人,效率提升20%以上。新质生产力体现,盾构机、掘锚一体机等装备突破“截割-支护”协同瓶颈,月进尺显著提升(如 24m^2 断面巷道单排作业周期压缩至6分钟)。

3 巷道掘进主要方法

(1)钻眼爆破法(炮掘)。技术原理,通过凿岩机钻孔→装填炸药→爆破破碎岩体→装载运输矸石→支护巷道的工序完成掘进。核心设备:气腿式凿岩机(硬岩)、光面爆破技术(控制巷道成型)。适用场景,适用于各类岩层(尤其硬岩),成本低、灵活性强,占比约95%。倾斜巷道应用:上山掘进:利用重力自溜运输矸石,坡度 $15^\circ\sim 30^\circ$ 时采用耙斗装岩机。下山掘进:需解决排水与防跑车问题,配备“倒拉牛提升系统”+三级跑车

防护装置。

(2) 综合机械化掘进(综掘)。技术原理,采用悬臂式掘进机连续切割煤岩,配套转载机、带式输送机实现破岩、装运一体化。智能化升级:激光导航+远程操控,截割精度 $\leq 5\text{cm}$,巷道成型平整度提升25%。适用场景,煤巷及中硬以下岩层,月进尺可达800~1200米。典型工艺:掘锚一体机实现“截割-支护-锚固”同步,单排作业周期压缩至6分钟。

(3) 连续采煤机掘进(连采机掘)。技术原理,使用连续采煤机多刀截割煤岩,配合梭车或运煤车快速转运。工序:截割→装煤→转运→支护循环作业。适用场景,煤层稳定、埋深浅的矿区,效率可达综掘的1.5倍。限制:不适用于高瓦斯、破碎顶板条件。

4 巷道掘进施工质量控制要点

(1) 掘进过程精细化控制。断面成型控制,采用激光指向仪精准定位,确保巷道中线偏差 $\leq 50\text{mm}$,高度、宽度误差控制在 $-50\sim+200\text{mm}$ 范围内。硬岩层应用光面爆破技术,残眼率需达80%以上,减少超挖;软岩层使用掘进机截割,截割精度 $\leq 5\text{cm}$ 。下山掘进时底板需平整无台阶,上山掘进抹角长度 $\leq 500\text{mm}$ 且垂直度达标。水害与粉尘防治,淋水段立即安装导水槽并开挖底板水沟,防止积水漫流(积水深度 $\leq 0.1\text{m}$)。转载点配备喷雾降尘装置,皮带运输区无撒煤,浮煤厚度不超过皮带托辊。

(2) 支护质量关键要求。支护材料与工艺,锚杆预紧力 $\geq 50\text{kN}$,屈服强度不低于 335MPa (符合MT/T 1104-2009标准),锚索深入稳定岩层3~5m。破碎顶板采用“锚杆+金属网+喷射混凝土”联合支护,锚杆间距 $\leq 1.2\text{m}$ 。全断面模板台车使用率 $\geq 95\%$,确保混凝土支护无蜂窝麻面。工艺时效性,智能化掘锚一体机实现“截割-支护”同步,单排支护周期 ≤ 6 分钟,减少空顶暴露风险。下山掘进配备三级跑车防护装置(挡车栏+阻车器+安全绳)。

(3) 标准化与文明施工。现场管理规范,风水管路吊挂高度统一,螺栓满装8条,贴流向标识;每50米设里程标志及垃圾框。工作面照明全覆盖(白灯),图牌板区、皮带转载点光线充足。质量追溯体系,建立“一杆一码”数据库,锚杆施工信息全程可追溯。严格履行“五不准”:无设计不准施工、材料不合格不准使用等。

(4) 动态监测与改进。实时监测手段,安装顶板离层仪和收敛计,按GB 50384-2007标准监测围岩变形。数字孪生系统实时预警超欠挖、碰撞风险,远程修正截割轨迹。地质超前预控,下山掘进前实施瞬变电磁法超前

探水,钻孔深度 $\geq 30\text{m}$;断层带采用TSP203探测构造。

5 巷道掘进质量问题处理方法

(1) 地质异常问题处理。断层破碎带,“起落平穿洞”五字法:遇断层时采用“起”(加大坡度)、“落”(减小坡度)、“平”(斜巷变平)、“穿”(穿入断层另一盘)、“洞”(巷道拐弯)调整层位。超前支护:采用前探梁临时支护,缩小棚距至正常值80%,锚杆加密至 $\leq 0.8\text{m}$ 间距。软岩变形,三软煤层治理:顶板破碎带采用“锚杆+金属网+喷射混凝土”联合支护;帮部增设玻璃钢纤维锚杆,控制煤壁风化脱落。底鼓防控:底板铺设反拱砼层,深度 $\geq 0.5\text{m}$,或注浆加固软弱岩层。

(2) 支护失效问题处理。锚杆锚索失效,材料追溯:执行“一杆一码”制度,扫描二维码查验锚杆屈服强度($\geq 335\text{MPa}$)及锚固剂有效期。预紧力强化:扭矩扳手检测预紧力($\geq 50\text{kN}$),锚索深入稳定岩层 $\geq 3\text{m}$,张拉力误差 $\leq 5\%$ 。冒顶片帮防控,顶板离层监测:每50m安装顶板离层仪,变形量 $> 10\text{mm}$ 时补打锚索。空顶作业禁止:严格执行“敲帮问顶”,迎头10m内爆破后必须加固支护。

(3) 成型缺陷问题处理。超欠挖修正,光面爆破控制:硬岩层残眼率需 $\geq 80\%$,超挖量 $\leq 100\text{mm}$;欠挖部位用风镐修整。智能截割校准:综掘机启用激光导航系统,自动纠正轨迹偏差(精度 $\leq 5\text{cm}$)。巷道积水治理,导水系统优化:淋水段安装导水槽+底板水沟,积水深度 $\leq 0.1\text{m}$;下山掘进配三级排水泵。

(4) 管理漏洞整改。质量责任追溯,跟班队长负责制:当班支护质量由队长全程监督,验收台账24小时内存档。“五不准”原则:无设计、材料不合格、未探水、无措施、人员未培训不准施工。文明施工规范,管线标准化:风水管吊挂高度统一,贴流向牌;每50m设里程标志+垃圾框。设备维护:液压系统油温 $> 65^{\circ}\text{C}$ 时停机检修,杜绝油管泄漏(背环错位率 $\leq 1\%$)。处理要点:地质异常超前探(瞬变电磁法+钻孔)+支护失效即时补强(锚索加密)+施工全程标准化(从材料到验收闭环)。

6 巷道掘进安全与风险管理

(1) 重大灾害防控。瓦斯突出治理,区域防突:执行“穿层钻孔+底板抽放巷”双重消突,采用机械扩孔造穴技术提升单孔瓦斯抽采量50%。动态监测:掘进面配置双甲烷传感器(机载+工作面),风瓦电闭锁响应时间 ≤ 10 秒。顶板风险管控,破碎顶板加固:顶板破碎段采用“双液注浆(高分子材料+超细水泥)+U型钢加强支护”,空顶距严格 $\leq 0.5\text{m}$ 。离层实时预警:每50m布置

顶板离层仪,位移量 $>10\text{mm}$ 自动触发锚索补强指令。

(2) 关键作业安全控制。贯通风险防控,超前探测:贯通点20m前启动“长探短掘”,停掘工作面设栅栏+警标,保持正常通风。通风预调:提前制定通风系统调整方案,避免风流紊乱导致瓦斯积聚。设备操作规范,掘进机安全区:截割头落地需加防护罩,铲板前方严禁站人,截割臂摆动区设红外警戒。运输防控:斜巷执行“行车不行人”,绞车钢丝绳断丝率 $\leq 5\%$,声光报警装置全覆盖。

(3) 管理机制强化。四位一体责任落实,严格执行“班组长+安检员+瓦检员+防突工”联合安全确认制,每班开工前风险评估签字存档。精细化管理抓手,反“三违”机制:推行“现场签字确认+申诉通道”,违章行为与绩效强挂钩。

7 巷道掘进预防安全事故方法

(1) 顶板事故预防。地质风险预控,掘进前通过超前钻探、三维地质雷达探测岩层结构,精准识别断层破碎带并制定专项支护方案。破碎顶板采用“双液注浆(高分子材料+超细水泥)+U型钢加强支护”,空顶距严格 $\leq 0.5\text{m}$ 。支护强化措施,顶板离层仪每50m布置一组,位移量 $>10\text{mm}$ 自动触发锚索补强指令。严格执行“敲帮问顶”制度,危岩挑撬后立即封闭裂隙,严禁空顶作业。

(2) 瓦斯超限防控。动态监测与闭锁,工作面配置双甲烷传感器(机载+工作面),风瓦电闭锁响应时间 $\leq 10\text{s}$ 。瓦斯抽采采用机械扩孔造穴技术,提升单孔抽采量50%以上。超限排放技术,应用“三通风筒调风法”控制瓦斯浓度:泄风口开度逐步调整,保障排出浓度 $<1.5\%$ 。贯通前20m启动“长探短掘”,预调通风系统防止风流紊乱。

(3) 设备作业安全。掘进机操作规范,截割臂摆动区设红外警戒,铲板前方严禁站人;停机时截割头落地并加装防护罩。斜巷运输执行“行车不行人”,绞车钢

丝绳断丝率 $\leq 5\%$ 且声光报警全覆盖。智能设备监护,AI摄像机实时识别人员违规进入危险区、未佩戴安全装备等行为,准确率 $>99\%$ 。物联网监测设备温度/振动数据,故障预警提前率达85%。

(4) 管理机制优化。责任闭环体系,建立“班组长+安检员+瓦检员”联合安全确认制,每班开工前风险评估签字存档。隐患治理执行“巡查→整改→验收”标准化流程,72小时内完成闭环。

8 智能化设备在井工开采中应用前景

(1) 技术突破方向与前沿应用。全流程无人化作业,远程操作系统:超视距控制技术支持千米外精准操作掘进机,恶劣环境下人员撤离率提升90%。智能协同管控:AI算法实时优化“截割-支护-运输”流程,煤矿实现10米超大采高工作面地面远程割煤。自适应开采技术,煤岩识别突破:截割电流/电压感知岩性变化,自动调整截割参数,精度误差 $\leq 5\text{cm}$ 。地质动态建模:TSP203+三维地质雷达构建数字孪生模型,超前修正断层带截割轨迹。

(2) 安全效益升级。风险智能防控,顶板离层预警:每50米部署离层仪,变形超限自动触发锚索加固指令。AI视觉监控:煤矿胶带跑偏、人员睡岗识别率达99%,事故响应时间缩短至10秒。环境本质安全,粉尘智能治理:封闭式除尘系统+精准喷雾,工作面粉尘浓度下降80%。瓦斯联动调控:通风系统根据瓦斯浓度自动调整风量,超限区域人员撤离效率提升3倍。

总之,应急能力提升,维修巷道时预留逃生通道,确保冒顶堵塞时人员可撤退。定期演练瓦斯超限撤离流程,超限区域人员撤离效率提升3倍。

参考文献

- [1]王萍.井工开采中巷道掘进技术与施工质量控制探讨.2022.
- [2]刘晓玲.关于井工开采中巷道掘进技术与施工质量控制分析.2023.