

煤矿掘进机械化程度提升对生产效率的影响研究

刘宇浩

国家能源集团神东煤炭集团 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘要：掘进机械化通过技术替代人力、优化工序和安全保障，显著提升了单进水平与综合工效。然而，设备可靠性、地质适应性及管理水平仍是制约因素。未来需以智能装备研发与管理创新双轮驱动，进一步缩小与国际先进工效差距。煤矿机械化掘进作业线是通过配套多类设备实现巷道掘进全流程机械化的集成系统，其核心目标是提升掘进效率、保障施工安全并降低劳动强度。

关键词：煤矿；掘进机械化程度提升；生产效率的影响

机械化掘进作业线通过设备协同大幅提升了巷道施工效率与安全性，尤其在煤巷领域已接近国际水平。未来需聚焦岩巷高效破岩装备研发、掘支运智能联动及中小矿井技术推广，以全面实现“少人化、智能化”掘进目标。

1 煤矿机械化掘进作业线的介绍

1.1 核心定义与组成。综合机械化掘进作业线指在巷道掘进中，将破岩（煤）、装载、运输、支护、通风、除尘、供电等工序设备协同集成，形成高效均衡生产的完整体系，实现掘进全程机械化。其典型配置包括：掘进设备：悬臂式掘进机（煤巷）、液压钻车或全断面掘进机（岩巷），负责破碎岩煤；装载转运设备：星轮/耙爪装载机构配合刮板输送机或胶带转载机，实现连续出矸；支护系统：锚杆钻车或液压锚杆钻机，完成顶帮支护；辅助系统：除尘装置（如喷雾系统）、通风设备、材料运输设备及智能控制系统。

1.2 主流作业线类型与适用场景。根据地质条件和工序需求，煤巷高效掘进线，悬臂式掘进机+单体锚杆钻机：适应性广，成本较低，但支护与掘进交替进行，效率受限；连续采煤机+锚杆钻车：多用于中厚煤层，可实现平行作业，进尺速度较快；掘锚一体化机组：截割与支护同步，月进尺可达3000米以上，代表当前最高效模式。岩巷钻爆法作业线。耙斗装载机为主：经济实用，但凿岩机械化水平低，劳动强度大，适用于中小煤矿；液压钻车+侧卸式装载机：深孔爆破效率高，配套梭车或皮带机运输，适合大断面岩巷；全断面掘进机（TBM）：适用于长距离硬岩巷道，一次性成型，但成本高、灵活性低。

1.3 作业流程与技术创新。标准工艺流程，截割：掘进机破碎煤岩→装运：星轮装载至刮板机→转运：经转载机至皮带→支护：锚杆钻车打锚杆/喷浆；循环推进

中需配合通风除尘、供电保障及安全监测。智能化升级方向，自主导航与远程操控：如EBZ200H型掘进机搭载激光导航系统，实现自动截割与坡度追踪；集成联动控制：通过中央集控平台一键启停设备，实时监控故障与环境参数（如瓦斯浓度）；新型辅助技术：泡沫除尘替代传统喷雾，显著降低粉尘危害。

1.4 现状与挑战。普及率：2019年全国煤矿掘进机械化率超60%，大型煤企达90%，但岩巷机械化仍不足；效能瓶颈：设备可靠性差（机电故障占比29%）、复杂地质适应性弱、中小煤矿技术人才短缺制约发展；国际差距：中国全员工效仅为先进国家的1/5，深孔掘进、智能协同等技术需突破。

2 煤矿掘进机械化程度提升对生产效率的具体影响

2.1 煤矿掘进机械化程度提升如何提高生产效率。加速掘进速度，工序协同优化，掘锚一体机实现截割与支护同步，消除传统交替作业的空档期，巷道掘进周期缩短25%以上，月进尺最高突破3000米。自移机尾、机载临时支护等配套设备减少设备移动时间，单循环作业效率提升30%。精准截割技术，激光导航+惯性定位系统控制巷道断面成型精度，超挖欠挖率降低25%，避免返工修正耗时。智能截割路径规划使硬岩综掘机日均破岩量达120立方米，较传统爆破效率提升50%。降低人力依赖与强度。用工数量锐减，智能钻车将迎头支护人员从8人减至3人，远程操控掘进机减少高危岗位暴露。后路运输采用单轨吊集中控制，物料运输人员减少60%，单班用工压缩40%。劳动强度下降，机械化装运替代人工扒岩，装运效率提升200%，工人体力消耗降低50%。安全与质量协同提效。事故率显著下降，机械化减少人工进入顶板破碎区、高瓦斯区域频次，顶板事故率降低35%。设备集成除尘系统使作业面粉尘浓度下降80%，职业病风险大幅降低。工程质量提升，液压锚杆钻车保障锚杆预紧力

达标率超95%，支护失效导致的返修量减少40%。动态调整支护参数（如M3钢带应用），避免过度支护造成的材料浪费。管理效能优化。精益生产组织，推行“一班一汇报、一日一碰头”动态跟踪机制，班组间进尺竞赛使无效工时减少15%。单轨吊与迎头物料周转时间从3小时压缩至1.5小时，设备待料空转率下降50%。激励机制创新，工分考核与单进奖励挂钩（如日进10米奖1万元），职工积极性提升使月进尺增长42.98%。面临挑战与突破方向。当前瓶颈，机电故障占影响因素的29%，复杂岩层下设备适应性不足。中小煤矿技术人才短缺，机械化效能仅释放60%。增效路径，智能升级：推广掘支运机器人集群，实现全流程无人化（如中国煤科智能掘锚机组）。装备革新：研发硬岩高效破岩装备（如TBM改良型），提升岩巷机械化水平。

2.2 煤矿掘进机械化如何降低安全事故率。直接消除高危作业场景，减少人员暴露风险，迎头空顶作业消除：掘锚一体机集成临时支护装置，工人无需进入未支护区域作业，顶板坍塌风险下降35%。远程操控替代近身操作：智能掘进机实现50米外远程截割，规避片帮、瓦斯异常区直接伤害（如2024年万鑫煤业事故因无证近身操作致死）。重体力劳动替代，机械装运替代人工扒矸，避免搬运砸伤、矸石滑落风险，装运环节事故率下降70%。履带式物料搬运车减少人工扛运，腰部损伤等职业病发生率降低60%。设备本质安全升级，机电防护设计，防爆电器与闭锁装置杜绝电火花引爆瓦斯（机电火花引发瓦斯爆炸占比40%-45%）。自移机尾消除传统拖移时的挤压、碰撞风险。智能安全监控，机载瓦斯传感器实时预警，浓度超限自动停机，重大爆炸事故风险降低90%。除尘系统集成粉尘浓度监测，喷雾/泡沫降尘使作业面粉尘浓度下降80%，尘肺病风险锐减。工程质量与工艺优化，顶板支护可靠性提升，液压锚杆钻车保障锚杆预紧力达标率 $> 95\%$ ，支护失效导致的顶板事故减少40%。“短掘快支”工艺（如过断层时锚网索联合支护）避免空顶时间过长。巷道施工标准化，激光导航控制巷道断面成型，超挖率降低25%，减少局部应力集中引发的冒顶。自适应支护系统根据地压数据动态调整参数，避免支护不足或过度。管理协同与人为失误防控，规范操作流程，设备闭锁逻辑强制顺序启停（如油泵未启动时截割头无法动作），杜绝误操作（如2024年徐某国误触截割按钮致死事件）。VR事故模拟培训提升风险辨识能力，违章操作率下降50%。机电故障预防体系，预防性维护降低故障率：如运河煤矿“包机制”定期巡检，机电事故停工减少29%。

2.3 煤矿掘进机械化后人力需求如何变化。作业人员数量大幅减少，核心工序减员，迎头作业人员压缩：智能钻车、掘锚一体机等设备实现截割与支护同步，支护人员从传统8人降至3人；远程操控技术使掘进机司机无需近身操作，高危岗位直接取消。后路运输集约化：单轨吊集中控制系统替代人工搬运，物料运输人员减少60%以上，单班用工总量压缩40%。全行业劳动力规模下降，2023年煤炭采选业从业人员较2018年减少70.1万人（下降20.2%），机械化替代是主因之一。人力结构向技术型转型，低技能岗位加速淘汰，扒矸、清煤等重体力劳动被机械装运设备替代（如矿用清煤机），此类岗位需求锐减。炮掘工艺逐步淘汰，传统打眼、装药等人工工序减少，炮掘工作面限员降至12人（非灾害矿井）。高技能岗位需求上升，设备操作与维护：掘进机司机、智能系统监控员等需持证上岗，特种作业人员配置标准化（如每台大型绞车配4名操作工）。技术管理岗位增强：预防性维护、数据化管控需求增加，机电工程师与数据分析师占比提升。政策强制推动“减人提效”，国家层面限员规定，灾害严重矿井综掘面单班作业人数不得超过18人，非灾害矿井不超过16人；炮掘面分别限员15人和12人。国家安监总局“机器换人”计划明确要求：地质简单巷道掘进减员50%以上，复杂条件减员60%以上。地方执行细则落地，省要求产能 ≥ 500 万吨矿井单班入井 ≤ 450 人，并通过人员定位系统实时监控。煤矿需制定减员计划，优化交接班流程（ ≤ 2 小时），减少井下瞬时人数。挑战：结构性失衡与转型阵痛，技术人才短缺，中小煤矿面临智能化设备操作、维护人才缺口，设备效能仅释放60%。特种作业人员（如瓦斯检查工、安全监测工）需持证上岗，培训周期长。

3 如何提升煤矿掘进的机械化程度

3.1 核心装备迭代升级。智能掘锚一体机，替代传统分体设备，实现截割与支护同步，单循环效率提升30%以上（如布尔台煤矿应用后支护钻臂增至13个，支护量翻倍）。高效辅助设备配套，自移机尾：取消链条拖拽，延伸带式输送机效率提升50%；单轨吊+履带搬运车：物料周转时间从3小时压缩至1.5小时，减少人工干预；矿用清煤机/巷道修复机：替代人工清理浮煤，重体力岗位减少60%。硬岩破岩技术突破，引入改良型TBM或智能截割路径规划系统，硬岩日均破岩量达 120m^3 ，较爆破效率提升50%。

3.2 工艺革新与协同优化。掘支锚一体化作业，应用“短掘快支”工艺，空顶时间减少40%（如过断层时锚网索联合支护）；液压锚杆钻车保障锚杆预紧力达标率 $>$

95%，返修量降低40%。柔性连续运输系统，大跨距桥式转载机（行程50m）配合自移机尾，满足“日进百米”连续转运需求。数字化施工控制，激光导航+惯性定位系统降低超挖率25%，减少断面修正耗时。

3.3 管理机制创新。精益生产组织，推行“一班一汇报、一日一碰头”动态跟踪，无效工时减少15%；优化交接班流程（≤2小时），降低井下瞬时作业人数。差异化激励机制，工分考核与单进奖励挂钩（如日进10米奖1万元），职工积极性提升带动月进尺增长42.98%；设置设备应用2-3个月考核过渡期，动态调整单价核算标准。

3.4 人才与技术保障。技能转型培训，“课堂+实操+考核”三维培训锻造技术梯队（如煤矿掘锚机专项培训）；预防性维护体系，建立设备健康档案数据库，实施振动频谱监测，故障停机时间下降62%；智能化运维平台，机载传感器实时监测瓦斯/粉尘，超限自动停机，重大事故风险降低90%。

3.5 政策与资源支持。国家强制导向，灾害矿井掘进面单班限员18人，非灾害矿井≤16人；新建/改扩建煤矿需按智能化标准设计，2025年大型煤矿实现采掘系统智能化。财政与技术扶持，智能化煤矿产能占比已达45.9%，享受先进产能差别化政；首台（套）重大技术装备示范应用支持（如能源局推广掘进机器人集群）。

4 如何通过培训提升煤矿掘进人员技能

4.1 核心技能标准化培训。设备精细化操作，掘进机操作规范：强化设备启停闭锁流程、截割路径规划训练，杜绝误触按钮导致的伤亡事故（如闭锁逻辑强制油泵优先启动）。支护质量管控：培训锚杆预紧力检测、支护时机判断（空顶时间≤10分钟），确保支护达标率

>95%。灾害应急能力，瓦斯超限处置演练：机载传感器报警后30秒内完成停机撤人流程；顶板冒落模拟实训：通过VR重现断层带冒顶场景，提升活矸辨识与木垛接顶技能。

4.2 分层培训体系设计。新员工三维培养，理论奠基：矿井地质构造、岩石硬度分级等基础知识（课时占比30%）；师带徒实操：掘进机切割头角度控制、炮眼间距计算等手把手教学；岗位认证考核：通过故障模拟测试（如输送机卡链处理）方可独立上岗。在岗人员技能跃升，智能装备专项培训：TBM硬岩掘进参数调整、自移机尾协同控制；数据分析能力：解读地质探测数据（如定向钻探岩层报告），动态优化掘进方案。

4.3 智能化培训技术应用。沉浸式实训平台，VR事故模拟系统：还原片帮伤人、瓦斯积聚场景，提升风险预判能力；数字孪生运维：设备健康状态实时推演，培训故障诊断响应速度。移动学习工具，事故案例库APP：推送支护失效、运输碰撞等典型事故动画解析；岗位技能微课：切割头更换、除尘系统维护等10分钟实操指南。

总之，机械化掘进作业线通过设备协同大幅提升了巷道施工效率与安全性，尤其在煤巷领域已接近国际水平。未来需聚焦岩巷高效破岩装备研发、掘支运智能联动及中小矿井技术推广，以全面实现“少人化、智能化”掘进目标。

参考文献

[1]王凤.浅谈煤矿掘进机械化程度提升对生产效率的影响.2023.

[2]刘华.关于煤矿掘进机械化程度提升对生产效率的影响研究.2022.