

煤矿开采井下采煤技术

郭少峰

山西高平科兴云泉煤业有限公司 山西 高平 048400

摘要: 本文介绍了煤矿开采井下采煤技术, 涵盖传统、综合机械化与智能化采煤技术, 阐述了采煤工艺优化、顶板管理、通风与瓦斯治理、煤尘与火灾防治等关键技术环节, 并展望了智能化与自动化、绿色开采、高效集约化及多技术融合等发展趋势, 为煤矿井下采煤技术的优化与升级提供参考。

关键词: 井下采煤技术; 综合机械化; 智能化采煤; 顶板管理; 绿色开采

引言

煤矿开采是能源获取的重要途径, 井下采煤技术直接影响开采效率与安全。随着科技进步, 传统采煤技术不断革新, 综合机械化与智能化采煤技术逐渐普及。本文深入探讨井下采煤技术的分类、原理及关键技术环节, 并分析其发展趋势, 以为煤矿开采提供技术支持, 推动行业技术进步与可持续发展。

1 井下采煤技术分类与原理

1.1 传统采煤技术

爆破采煤技术以炸药爆破作为破煤手段。爆破参数设计是关键环节, 炮眼布置依据煤层厚度、硬度及顶板条件确定, 采用单排眼、双排眼或三花眼等形式, 保证炸药能量均匀作用于煤体。装药量需精准把控, 过少难以有效破碎煤层, 过多则会造成煤块过度破碎、产生粉尘且易引发顶板事故。其工艺流程涵盖多个步骤, 使用凿岩机或煤电钻打眼, 完成后按设计向炮眼装填炸药与雷管, 采用正向或反向起爆方式爆破^[1]。爆破后及时支护, 用木支柱、金属摩擦支柱等支撑顶板, 防止垮落, 随后通过人工或机械将破碎煤炭装载、运出工作面。普通机械化采煤技术实现了破煤与装煤环节的机械化。采煤机沿工作面往复运行, 滚筒旋转截齿破碎煤层, 破碎煤炭经螺旋滚筒装入刮板输送机。采煤机与刮板输送机协同作业, 牵引速度与运输能力需匹配, 确保煤炭及时运出。顶板管理采用单体液压支柱支护, 支柱按一定间距排列形成体系, 通过液压系统实现升降, 提供足够支撑力维持顶板稳定, 作业人员根据顶板压力变化调整支撑强度与密度。

1.2 综合机械化采煤技术

综合机械化采煤工艺整合采煤机、刮板输送机、液压支架“三机”设备。采煤机负责破煤与装煤, 刮板输送机完成煤炭运输, 液压支架则承担顶板支护与移架作业。“三机”配套需考虑设备尺寸、性能参数的适配

性, 采煤机截割高度与液压支架支撑高度匹配, 刮板输送机运输能力与采煤机落煤量对应。连续开采与自动化控制技术使采煤作业连续进行, 减少设备启停次数。采煤机通过电牵引系统实现自动行走, 液压支架由电液控制系统驱动, 按设定程序自动完成降架、移架、升架等动作, 提升开采效率与安全性。长壁综合机械化采煤在工作面布置上, 沿煤层走向或倾向布置长壁工作面。走向长壁开采时, 工作面沿煤层走向推进, 倾向长壁开采则沿煤层倾向推进。开采过程中, 运用顶板动态监测技术, 通过压力传感器、位移监测仪实时采集顶板压力、位移数据。依据监测数据优化支护参数, 调整液压支架工作阻力、移架步距, 确保顶板稳定, 避免顶板事故发生, 保障采煤作业持续开展。

1.3 智能化采煤技术

自动化采煤系统实现采煤设备自主运行。采煤机配备自动驾驶装置, 基于惯性导航、激光定位技术, 沿预设路径精准截割煤层, 通过记忆截割功能学习并重复人工操作轨迹, 实现自动截割。液压支架电液控制系统可远程操控支架动作, 接收控制指令后, 自动完成降架、移架、升架、推溜等工序, 各支架间协同动作, 保持支护连续性。远程监控与智能决策依托井下环境感知与数据传输技术。各类传感器分布于工作面及巷道, 采集设备运行参数、环境瓦斯浓度、顶板压力等数据, 通过工业以太网、无线通信网络实时传输至地面监控中心。监控中心利用大数据与AI技术分析数据, 构建采煤工艺优化模型, 针对煤层变化、设备异常等情况, 自动生成调整方案, 如优化采煤机截割速度、调整液压支架支护强度, 实现采煤作业的智能化决策与精准控制。

2 井下采煤关键技术环节

2.1 采煤工艺优化

采高与截深参数选择直接影响采煤效率与安全。采高依据煤层厚度确定, 需在设备能力与顶板稳定性间平

衡。薄煤层开采时,采高贴近煤层厚度,减少无效破岩;厚煤层开采若采用分层开采,每层采高需适配支架支撑能力与采煤机截割范围。截深关乎单次截割煤炭量,硬煤层截深较小防止设备过载,软煤层可适当加大提高效率。截深与滚筒直径、叶片螺旋升角协同设计,保障装煤效果。采高和截深还需与工作面的推进速度相协调,避免因参数设置不当导致采煤与运输环节脱节。采煤机截割速度与牵引速度匹配是连续作业关键。截割速度决定破煤效率,过快易导致截齿磨损加剧、煤块破碎不均;过慢则降低产量。牵引速度需与截割速度联动,保证滚筒截割的煤炭能及时被装载运输^[2]。两者匹配关系受煤层硬度、夹矸情况影响,硬煤或含矸石时降低截割与牵引速度,避免设备损坏。通过调节采煤机电动机功率输出、牵引系统调速装置,实现速度动态调整。实际操作中,还需根据采煤机的热负荷情况,合理控制运行时长,防止电机过热影响设备性能和使用寿命。

2.2 顶板管理技术

支护设备选型基于顶板条件与开采工艺。液压支架适用于厚煤层、顶板压力大的工作面,其自移式结构可快速支护顶板,电液控制系统实现降架、移架、升架自动化操作。单体支柱多用于薄煤层或辅助支护,配合铰接顶梁组成支护体系,通过液压泵站控制支柱升降,操作灵活且成本较低。特殊地质条件下,可采用垛式支架、掩护式支架增强对破碎顶板、冲击地压的防护能力。对于破碎顶板,可选用具有较强护顶性能的掩护式液压支架,其掩护梁能有效阻挡冒落矸石,保护作业人员和设备安全。顶板压力监测与支护策略调整依赖实时数据反馈。压力传感器安装于液压支架立柱或单体支柱,持续采集顶板压力值;位移监测仪布置在巷道顶板,测量下沉量。当压力超阈值或位移速率异常时,系统预警提示。根据监测数据,动态调整支护参数。增大液压支架工作阻力抑制顶板下沉,缩短移架步距减少空顶时间;单体支柱支护时,加密支柱间距或增设戗柱、抬棚增强稳定性,确保采掘空间安全。在顶板压力剧烈变化区域,可采用超前支护技术,提前对顶板进行加固,防止顶板事故发生。

2.3 通风与瓦斯治理

通风系统设计根据工作面布局与瓦斯涌出量确定。U型通风方式应用广泛,进风巷与回风巷分别布置于工作面两侧,风流单向流动,结构简单但存在上隅角瓦斯积聚问题。Z型通风通过改变进回风路径,将回风巷布置在采空区一侧,利用采空区漏风稀释瓦斯。Y型通风引入额外进风巷,增强通风能力,适用于高瓦斯工作面。

通风系统需保证合理风速,避免风速过低瓦斯积聚、过高扬起煤尘。在设计通风系统时,还需考虑巷道的通风阻力,合理选择通风设备,确保风流能够稳定输送到各个作业区域。瓦斯抽采与浓度监测技术保障作业安全。预抽采技术在开采前通过钻孔抽取煤层瓦斯,降低瓦斯含量;边采边抽在工作面推进时,利用钻孔或埋管抽取涌出瓦斯。瓦斯浓度监测依靠分布式传感器网络,设置于工作面、回风巷等关键位置,实时传输数据至监控中心。浓度超标时,自动切断工作面电源,启动应急通风程序,通过压风自救系统为作业人员提供新鲜空气。为提高瓦斯抽采效果,可采用水力压裂技术,通过高压注水在煤层中形成裂缝,增加瓦斯的流动通道,提高抽采效率。

2.4 煤尘与火灾防治

煤尘抑制技术从源头减少粉尘产生。喷雾降尘通过在采煤机、输送机转载点等产尘部位布置喷雾装置,高压水雾湿润煤尘,使其沉降。泡沫除尘利用发泡剂产生泡沫覆盖产尘面,增大煤尘与泡沫接触面积,提高降尘效率。负压吸尘装置通过局部通风机形成负压,将含尘空气吸入净化系统处理后排放,降低作业区域粉尘浓度。还可采用煤层注水技术,在开采前向煤层注水,增加煤体湿度,从源头上减少煤尘产生。火灾预警与灭火系统构建安全防线。温度传感器、一氧化碳传感器实时监测井下环境,当温度骤升或一氧化碳浓度异常时触发报警。惰性气体灭火通过注入氮气、二氧化碳,降低氧气浓度抑制燃烧;凝胶灭火将凝胶材料注入火源区域,凝胶覆盖煤体隔绝氧气,通过自身吸热降低周围温度,抑制火势蔓延。灭火系统与矿井监控系统联动,自动选择最佳灭火方案,快速响应火灾险情,减少灾害损失。在一些容易自燃的煤层,可采用均压通风技术,调节通风压力,降低采空区的漏风量,抑制煤炭氧化自燃。

3 井下采煤技术发展趋势

3.1 智能化与自动化

无人化工作面技术实现采煤设备远程操控。采煤机通过激光导航与惯性定位,沿预设轨迹自主运行,操作人员在地面监控中心调整截割参数;刮板输送机根据煤量自动调节运转速度,避免过载或空转;液压支架借助电液控制系统,随采煤机推进自动完成移架、支护动作。三者协同响应地面指令,形成闭环作业系统,减少井下人员数量^[3]。智能巡检机器人替代人工完成高危区域巡查。机器人搭载高清摄像头与各类传感器,沿轨道或自主行走,实时采集设备温度、振动数据与巷道环境参数。故障诊断系统对采集数据分析,识别轴承磨损、液

压泄漏等异常,通过算法预判设备故障趋势,提前发出维护提示,降低突发停机概率。

3.2 绿色开采技术

保水开采技术致力于减少采煤对地下水的破坏。通过研究煤层与含水层的空间关系,采用充填开采、条带开采等特殊工艺。充填开采将矸石、膏体等材料充入采空区,支撑顶板减少沉降,阻断地下水渗漏通道;条带开采通过合理规划采留煤柱,控制顶板变形,维持地下水系统稳定。研发隔水帷幕注浆技术,在开采区域周边形成隔水屏障,保护地下水资源,实现煤炭开采与生态保护的协调发展。煤矸石充填与地表沉陷控制技术有效解决矸石堆积与地表塌陷问题。将煤矸石破碎加工后,通过管道输送或机械运输填充采空区,替代传统垮落法管理顶板。充填过程中,采用压实设备提高矸石密实度,增强支撑效果。利用实时监测系统对地表沉降进行动态观测,根据沉降数据调整充填工艺参数,如充填速度、充填量等,确保地表建筑物与生态环境安全。该技术能够实现矸石资源化利用,减少环境污染。

3.3 高效集约化开采

大采高与超大采高采煤技术大幅提升开采效率。大采高液压支架与大功率采煤机配合,实现一次性采出6米以上煤层高度。支架采用高强度材料与稳固结构设计,增强对厚煤层顶板的支护能力;采煤机优化截割滚筒与截齿结构,提高破煤能力。超大采高开采技术进一步突破煤层厚度限制,通过改进设备结构、加强顶板管理,实现8米甚至更高煤层的高效开采,减少分层开采带来的工序复杂性与资源浪费。短壁连采与快速搬家技术适应复杂地质条件与提高开采灵活性。短壁连采机在不规则煤层、边角煤区域作业,通过连续采煤与快速支护,实现小区域高效开采。快速搬家技术通过模块化设计液压支架、可拆解运输的刮板输送机等设备,采用专用运输车辆与吊装装置,缩短工作面设备搬迁时间。从工作面

停产到新工作面投产,整套设备搬迁可在数天内完成,提高设备利用率,降低开采成本。

3.4 多技术融合

5G通信与物联网在井下采煤中发挥关键作用。5G网络凭借高速率、低延迟特性,保障设备远程控制指令的快速传输与海量数据的实时回传。物联网技术将井下设备、传感器、人员等连接成网络,实现设备状态、环境参数、人员位置等信息的全面感知与共享。通过智能网关将设备数据上传至云端平台,管理人员可通过手机、电脑等终端实时查看生产动态,进行远程决策与协同管理,提升整体生产效率。虚拟现实(VR)与增强现实(AR)辅助采煤作业。VR技术用于人员培训,构建逼真的井下作业场景,学员可在虚拟环境中学习设备操作、应急避险等技能,降低培训成本与风险。AR技术在实际作业中,通过智能头盔将虚拟信息叠加到真实场景,如显示设备安装步骤、维修指南、安全警示等,辅助工人快速完成复杂操作,提高作业准确性与效率,同时减少因人为失误导致的安全事故。

结束语

煤矿开采井下采煤技术正朝着智能化、绿色化、高效集约化及多技术融合方向发展。这些趋势不仅提升了开采效率与安全性,还促进了煤炭资源的可持续利用与生态环境的保护。未来,随着技术的不断创新与完善,井下采煤技术将更加成熟与先进,为煤炭行业的持续发展注入新的活力。

参考文献

- [1]贾少雄,孟浩,聂晓迪,等.煤矿开采中井下采煤技术应用研究[J].内蒙古煤炭经济,2023(17):142-144.
- [2]郭永红.煤矿开采中井下采煤技术及采煤工艺选择[J].矿业装备,2023(3):80-82.
- [3]王彦林.煤矿井下采煤技术中存在的问题及应对策略初探[J].西部探矿工程,2023,35(1):106-108.