

综采工作面架后自动化充填设备设计与关键技术研究

尚东生

国电建投内蒙古能源有限公司 内蒙古 鄂尔多斯 017209

摘要:为解决综采工作面架后空顶区塌陷、资源回收率低及生态环境破坏等问题,本文开展综采工作面架后自动化充填设备设计与关键技术研究。在梳理架后充填工程需求与现有技术短板的基础上,确立设备设计方向,构建“采充协同-参数调控-高效密实-智能控制”一体化体系。通过研发核心技术,突破传统设备自动化不足、充填效果差的问题。设备采用模块化设计,各模块协同实现充填过程动态监测与精准控制。因此,设备充填效率与密实度大幅提升,有效控制顶板下沉,为综采工作面安全高效开采与绿色充填提供技术支持,具备重要工程应用价值与推广前景。

关键词:综采工作面;架后充填;自动化设备

引言:随着煤炭开采强度提升,综采工作面架后空顶区引发的顶板事故、资源浪费及地表沉陷问题愈发突出,架后充填技术成为有效解决方案。传统充填设备依赖人工操作,存在效率低、参数控制不准、与采煤工序协同性差等问题,无法满足现代化开采需求。近年自动化技术在采矿领域的应用,为设备升级提供了契机。本文聚焦架后自动化充填设备设计与关键技术,旨在开发适应复杂工况的设备,实现采充工序无缝衔接与充填过程精准管控,推动煤炭开采向安全、高效、绿色转型,为同类工程提供参考。

1 综采工作面架后充填工程需求与技术基础

1.1 核心概念界定

综采工作面架后充填是综合机械化采煤过程中一项极为关键的工程技术。在综合机械化采煤作业里,液压支架后方会形成空顶区,这一区域若不及时处理,极易引发一系列安全隐患。而架后充填便是针对此空顶区,借助专用设备,依照特定要求将充填材料精准填充并压实。其目的在于支撑顶板,有效减少围岩变形,从而保障采煤作业的安全与稳定。该技术并非单一学科知识的简单应用,而是融合了采矿工程、岩土力学、材料科学等多学科理论。其核心原理是借助充填体与围岩之间的协同作用,构建起一个稳定的地下结构体系。综采工作面作为煤炭开采的核心区域,具有开采强度大、推进速度快、围岩应力变化显著等显著特征。这就要求架后充填不仅要切实保障顶板控制的安全,避免顶板事故的发生,还要能够与采煤工序实现高效协同,确保整个采煤流程的顺畅进行。自动化充填设备作为实现该技术的核心载体,以智能监测为坚实基础、精准控制为核心要点,能够自主完成材料输送、布料、压实等一系列工序,与传统人工干预模式截然不同,实现了充填过程的

自动化连续运作,是架后充填技术从“被动防控”迈向“主动调控”的关键保障。

1.2 工程需求分析

安全需求无疑是架后充填工程的首要考量因素。在采煤作业中,空顶区若未能得到及时有效的处理,就如同在地下埋下了一颗“定时炸弹”。顶板离层垮落、液压支架失稳等事故随时可能发生,这些事故一旦发生,将严重威胁到井下作业人员的生命安全,给煤矿企业带来巨大的损失。在资源利用方面,传统开采方式往往会预留大量的保护煤柱,这无疑造成了资源的极大浪费。而架后充填技术的出现,为解决这一问题提供了有效途径。通过该技术,可以显著减少煤柱的留设,从而提高煤炭资源的回收率,实现煤炭资源的高效利用。从环保需求来看,充填作业具有独特的优势。它能够消纳煤矸石、粉煤灰等工业固废,将这些原本被视为废弃物的物质转化为有用的资源,实现废弃物的资源化利用^[1]。还能有效控制地表沉陷,减少对生态环境的破坏,保护我们赖以生存的自然环境。在生产协同需求方面,随着采煤机械化程度的不断提高,工作面的推进速度日益加快。传统充填设备由于效率低下,难以匹配采煤节奏,导致采充作业无法同步开展,影响了整体生产的连续性。因此,必须通过自动化升级来提升充填效率,实现采充同步进行,保障煤矿生产的高效、稳定运行。

2 综采工作面架后自动化充填设备总体设计

2.1 设计原则与目标

综采工作面架后自动化充填设备设计遵循四大核心原则。安全优先原则要求设备具备完善防护系统,适应高粉尘、高振动、空间狭小的工作面环境,实时监测运行状态与围岩情况,保障作业安全。协同高效原则强调设备与采煤机、液压支架等综采设备的动作协同,通过

数据交互实现采充工序无缝衔接，避免冲突并提升整体效率。智能可靠原则体现为设备拥有自主感知、决策与调控能力，可根据工况变化调整参数，降低故障率以保障连续运行。经济适用原则要求在满足性能的同时，优化结构设计，选用高性价比元器件，控制制造成本与运维费用。设计目标聚焦充填效率、密实度、自动化率、协同响应及可靠性，确保设备能适配现代化综采工作面的生产需求。

2.2 总体结构设计

综采工作面架后自动化充填设备采用“模块化集成+移动平台”的总体设计方案，主要包含五大功能模块。移动承载模块以履带式行走机构为基础，配备液压调平系统，可适应起伏底板，通过与液压支架联动实现同步移动，确保充填作业紧跟采煤进度。充填材料输送模块采用“螺旋输送机+高压注浆泵”组合，螺旋输送机将储料仓干料送至搅拌单元，与水混合后由高压注浆泵输送至充填区域，满足密实度要求。布料压实模块配备可伸缩布料管与液压振动压实板，布料管实现全方位旋转布料，保障材料均匀分布，振动压实板通过高频振动提升充填体强度。智能监测控制模块负责设备运行的监测与调控，动力供给模块为各系统提供稳定动力，两者集成于操作舱实现集中管理^[2]。

2.3 各功能模块详细设计

移动承载模块的履带式行走机构采用高强度耐磨履带，张紧度可通过液压油缸自动调节，行走速度能根据推进需求灵活调整；液压调平系统配备多个调平油缸与倾角传感器，当设备倾斜超过安全范围时自动启动调平，保障作业稳定。充填材料输送模块的螺旋输送机采用双螺旋结构，叶片选用耐磨材料，输送量可按需调节；搅拌单元采用卧式双轴搅拌设计，确保材料混合均匀，避免结块；高压注浆泵配备压力反馈装置，压力异常时自动卸压，防止管路堵塞。布料压实模块的布料管采用耐磨钢管，可伸缩且旋转精准；振动压实板的振动参数与压力可根据材料特性调整。智能监测控制模块配备PLC控制器与通信模块，实现参数实时显示与远程控制；动力供给模块以防爆电机为核心，配备液压与冷却系统，保障动力稳定供应。

3 架后自动化充填设备关键技术研发

3.1 采充协同驱动技术

采充协同驱动技术是实现充填与综采设备同步作业的核心，核心在于构建“采煤-支护-充填”多设备协同控制体系，通过数据交互与动作联动消除工序间的时空冲突。该技术采用分布式控制架构，在采煤机、液压支架

与充填设备上分别安装智能控制节点，各节点通过无线通信实现实时数据共享，包括设备位置、运行状态、支撑高度等关键信息。基于模糊控制算法构建协同控制模型，以采煤机推进状态为输入，动态计算充填设备的移动速度、充填量等参数，通过精准调节实现动作同步。当采煤机完成一定推进距离后，系统自动控制液压支架调整状态，同时指令充填设备移动至对应位置启动作业，确保充填区域与采煤区域保持合理距离。针对突发工况，设置应急协同机制，设备故障时立即预警并调整其他设备状态，避免事故扩大，保障作业连续。

3.2 充填参数自适应调控技术

充填参数自适应调控技术旨在根据工作面地质条件与充填工况的动态变化，实时调整材料配比、注浆压力、布料速度等关键参数，实现充填体质量与效率的最优平衡。该技术以多传感器融合监测为基础，在充填区域布置围岩应力、充填体密度、料位等各类传感器，实时采集工况数据，通过数据处理提取特征，精准识别工况变化趋势。基于神经网络构建参数预测模型，以地质条件（围岩硬度、煤层特征）和工况参数（空顶规模、采煤速度）为输入，输出最优充填参数，为调控提供依据。采用模糊控制算法实现参数动态调控，当监测到充填体密实度不足时，自动提高注浆压力与振动频率；当材料存量偏低时，主动降低充填速度并发出补料预警。通过这一技术，有效提升充填参数调控精度，保障充填体质量稳定，避免因参数不当导致的充填缺陷。

3.3 高效密实充填技术

高效密实充填技术通过优化材料流动特性与压实工艺，实现充填材料快速填充与高效密实，提升充填体承载能力。材料输送环节采用“脉动注浆+管道防堵”技术，借助注浆泵的脉动输出增强材料流动性，减少管道内沉积；管道内壁设置耐磨防粘涂层，配备堵塞监测装置，压力突变时启动高压反冲洗，确保输送顺畅。布料环节采用“分区布料+精准定位”模式，根据空顶区形状尺寸划分多个子区域，通过激光定位引导布料管精准移动，实现材料均匀分布，消除充填盲区。压实环节开发“振动-静压复合压实”工艺，先以高频振动排出材料内空气、降低孔隙率，再通过静压压实板施加恒定压力，进一步提升密实度^[3]。该技术有效改善充填体结构，降低孔隙率，提升抗压强度，同时加快充填速度，较传统技术显著提升充填效率与密实效果，为顶板稳定提供可靠保障。

3.4 自动化控制系统集成技术

自动化控制系统集成技术是实现充填设备全流程自

自动化作业的核心支撑力量,采用了“分层控制+集中管理”的先进架构,将设备控制科学地分为设备层、控制层与监控层三个层级。设备层犹如整个系统的“手脚”,由各类执行机构与传感器组成。执行机构采用液压与电动结合的驱动方式,这种创新设计兼顾了响应速度与控制精度,能够精准地完成材料输送、布料压实等具体动作。同时,传感器如同系统的“神经末梢”,负责实时采集各种数据,为后续的控制提供准确依据。控制层以PLC为核心控制器,搭载嵌入式操作系统,如同系统的“大脑”,实现对设备层的实时控制。通过内置的先进算法,能够完成参数调控、故障诊断等复杂功能,并通过工业以太网与监控层进行高效的数据交互。监控层则如同系统的“眼睛”和“指挥中心”,由上位机监控系统与移动终端组成。上位机采用组态软件开发,具备运行状态显示、参数设置、数据查询等丰富功能;移动终端通过无线通信实现远程操控与故障预警,方便管理人员随时随地实时掌握作业情况。另外,系统还集成了故障诊断与自修复功能,能够快速定位故障并发出预警,部分轻微故障还能自动修复,大大降低了人工干预的需求。

4 设备性能测试与优化改进

4.1 设备性能测试

为全面验证综采工作面架后自动化充填设备的性能,搭建包含模拟工作面的试验平台,模拟不同地质条件与工况开展系统性测试,重点围绕充填效率、充填体质量、自动化控制效果及设备可靠性等核心指标进行评估。测试过程中,模拟工作面再现了实际开采中的围岩应力变化、底板起伏等典型工况,通过传感器实时采集设备运行数据。从测试结果来看,设备充填效率与密实度均达到设计要求,能够稳定匹配采煤工序节奏。自动化控制方面,设备与综采设备的协同配合顺畅,参数调控响应及时,可根据工况变化自主调整运行状态。可靠性测试中,设备连续运行多日,整体保持稳定,仅出现少量轻微故障,且系统能及时预警并处理。同时,测试也发现部分问题,如在复杂地形移动时灵活性有待提升,材料湿度波动时参数调控精度略有下降,为后续优

化改进提供了明确方向^[4]。

4.2 优化改进措施

针对性能测试中发现的问题,从结构设计、控制算法、硬件配置三方面制定优化改进措施。结构优化上,对移动承载模块的履带机构进行改进,采用多轮系独立驱动设计,提升设备在复杂地形的转向灵活性与地面适应性,同时优化履带板纹路,增强抓地力。控制算法方面,升级参数自适应调控模型,引入工况预测模块,结合历史数据与实时监测信息提前预判材料湿度、围岩应力等参数变化,提升调控精度与响应速度;优化采充协同算法,增强多设备数据交互的实时性与稳定性,避免信号延迟导致的协同偏差。硬件配置上,更换部分高精度传感器,提升数据采集的准确性;在材料输送模块增设湿度检测装置,实时监测材料特性变化;对设备关键部位进行强化设计,选用更耐磨的材料,延长易损部件使用寿命。优化后的设备经过二次测试验证,各项性能指标均有提升,有效解决了此前存在的问题。

结束语

本文聚焦综采工作面架后自动化充填设备设计与关键技术,针对传统设备自动化、采充协同问题,提出“模块化集成+智能调控”方案,研发核心技术,构建一体化设备。经测试改进,设备达设计要求,充填效率质量提升,实现采充同步自动化作业。其解决空顶区难题,提升资源回收率与固废利用率,具工程价值。不过,极端工况适应性待完善,未来将结合先进技术提升自主决策力,优化性能,推动技术发展,保障采矿生产。

参考文献

- [1]王县.煤矿综采工作面自动化技术的应用[J].数字通信世界,2020(3):193-193.
- [2]梁吉智,韩培毅,郭天骏,贾少毅.综采工作面智能化装备关键技术与应用[J].煤炭科学技术,2021,49(S1):59-62.
- [3]曹小龙.综采智能化工作面开采关键技术分析[J].内蒙古石油化工,2021,47(04):83-84.
- [4]王凯永,邱恩贤,郭帅.彭庄煤矿综采工作面智能化开采技术探究[J].冶金管理,2023,(23):30-32.