



李德文,隋金君,赵政,等.“十四五”以来煤矿粉尘防治新技术及发展方向[J].矿业安全与环保,2024,51(6):1-8.
LI Dewen, SUI Jinjun, ZHAO Zheng, et al. Control technology and development direction of coal mine dust from the 14th Five-Year Plan Period[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2024, 51(6): 1-8.
DOI: 10.19835/j.issn.1008-4495.20240774

扫码阅读下载

“矿山粉尘在线监测预警与智能防控”专题

“十四五”以来煤矿粉尘防治新技术及发展方向

李德文^{1,2}, 隋金君^{1,2}, 赵政^{1,2}, 郑磊^{1,2}, 马威^{1,2}, 巫亮^{1,2}, 陈建阁^{1,2}

(1. 煤矿灾害防控全国重点实验室, 重庆 400037; 2. 中煤科工集团重庆研究院有限公司, 重庆 400037)

摘要:“十四五”以来,我国井工煤矿和露天煤矿在粉尘治理和粉尘监测方面取得了较大进展,对预防煤矿尘肺病和煤尘爆炸起到重要作用。论述了“十四五”期间取得的大采高液压支架系列防尘、综采工作面回风巷控风除尘技术及成套装备、快掘工作面长压短抽自适应控风除尘、喷浆机器人及综合除尘、无动力光散射粉尘浓度监测、新型静电感应式粉尘浓度监测、沉积粉尘监测、露天煤矿运输道路粉尘综合防治等煤矿粉尘防治新技术及装备,分析了现有煤矿粉尘防治技术及装备存在的不足,提出了粉尘防治技术的发展方向。

关键词:煤矿;粉尘防治;粉尘监测;最新进展;发展方向

中图分类号:TD714 **文献标志码:**A **文章编号:**1008-4495(2024)06-0001-08

Control technology and development direction of coal mine dust from the 14th Five-Year Plan Period

LI Dewen^{1,2}, SUI Jinjun^{1,2}, ZHAO Zheng^{1,2}, ZHENG Lei^{1,2}, MA Wei^{1,2}, WU Liang^{1,2}, CHEN Jiange^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Coal Mine Disaster Prevention and Control, Chongqing 400037, China;

2. CCTEG Chongqing Research Institute, Chongqing 400037, China)

Abstract: In order to effectively prevent and control coal mine dust and improve the working environment of mines, this study discusses the latest progress and practical application effects of China's coal mine dust control technologies and equipment during the 14th Five-Year Plan Period. The specific details could be described as the dust control in fully mechanized mining face, dust control and dust removal in return airway of fully mechanized mining face, adaptive dust control and dust removal in long pressure and short suction of fast mining face, spraying robot and dust comprehensive treatment, monitoring of non dynamic light scattering dust, new electrostatic induction dust concentration monitoring, sedimentation dust monitoring, and comprehensive control of open-pit coal mine dust. As summarizing and analyzing the shortcomings of existing coal mine dust control technologies and equipment, this study provided prospects for the development direction of coal mine dust control technologies in China.

Keywords: coal mine; dust prevention; dust monitoring; latest progress; development direction

收稿日期:2024-08-22;2024-11-15 修订

基金项目:国家重点研发计划项目(2023YFC2509305);
重庆市博士“直通车”项目(CSTB2023NSCQ-BSX0010)

作者简介:李德文(1964—),男,四川岳池人,博士,研究员,中国煤炭科工集团首席科学家,主要从事粉尘防治和尘肺预警方面的科研工作。E-mail:cqmkyldw@163.com。

粉尘危害是煤矿五大灾害之一。高浓度的粉尘不仅影响煤矿智能化设备设施中传感元件的可靠性,还会引发煤尘爆炸、诱发煤工罹患尘肺病。随着国内煤矿开采强度的不断加大,煤矿粉尘生产尘量增大,尘肺病患率不断攀升^[1]。因此,高浓度粉尘的防治一直是煤矿亟待解决的重要难题^[2-5]。

近十几年来,我国职业病新发病例虽然有所下降,但每年新增病例仍然超过 1 万例。截至 2022 年底,全国累计报告尘肺病达 65.3 万例,且大部分为煤矿从业人员^[6]。煤矿粉尘职业危害形势仍十分严峻^[7]。

近年来,国家对煤矿安全生产和粉尘危害的防治越来越重视,粉尘职业危害防治已被列入国家战略与重大需求。《中华人民共和国尘肺病防治条例》《尘肺病防治攻坚行动方案》《“健康中国 2030”规划纲要》等文件明确要求^[8],要加强高危粉尘、高毒物品等职业病危害源头治理。“十三五”期间,国家将“矿山职业危害防治关键技术及装备研究”列为重点研发项目,研发出煤矿大采高综采工作面粉尘高效治理技术、呼吸性粉尘浓度传感器、硫化氢防治技术等国际领先的粉尘监测、治理技术及装备,以及金属矿山粉尘治理技术及装备等一批先进技术和装备,显著提升了我国煤矿、金属矿的职业危害防治技术水平。但仍存在许多不足,譬如大采高综采工作面粉尘高效治理技术仅适用于采高大于等于 6 m 的工作面,而对 6 m 以下采高的工作面不适用;工作面回风巷的高浓度粉尘治理尚为空白;快掘工作面的粉尘治理技术还比较落后;静电感应式粉尘浓度传感器还存在缺陷等。

为解决上述问题,我国在“十四五”期间继续加大了煤矿粉尘防治关键技术及装备的研发力度。在采煤工作面,研发出大于等于 4 m 大采高液压支架系列防尘技术、综采工作面回风巷控风除尘技术及成套装备;在综掘工作面,开展了快掘工作面长压短抽自适应控风除尘技术、喷浆机器人及综合除尘技术的研究。在粉尘监测方面,研发出无动力光散射式粉尘浓度监测技术和新型静电感应式粉尘浓度监测技术。在煤尘爆炸预防方面,研发了沉积尘传感器。在露天矿粉尘防治方面,研发了露天矿运输道路智能洒水抑尘系统等。这些研究使得我国煤矿粉尘防治水平得到进一步提高。笔者对这些技术进行介绍,并提出下一步的研究方向。

1 综采工作面粉尘防治

综采工作面是煤矿井下主要的粉尘产生场所,产尘量约占全矿井总产尘量的 60%^[9]。综采工作面的粉尘是防治的重点和难点。

“十四五”以来,研究者深入研究了大采高综采

工作面和综采工作面回风巷除尘技术。

1.1 大采高综采工作面液压支架系列防尘技术

粉尘运移规律研究表明,液压支架降柱移架产尘是大采高综采工作面人员作业区域粉尘的主要来源,占比达 55.13%~71.61%,且采高越大占比越高^[10-11]。“十三五”期间,中煤科工集团重庆研究院有限公司(以下简称“重庆研究院”)研发的液压支架封闭导尘技术及扭簧式防尘装置,解决了采高大于等于 6 m 的液压支架移架粉尘治理难题。该技术通过对相邻支架间的间隙进行密闭,兜接间隙处洒落的粉尘,并将其导移至液压支架掩护梁后方采空区内,有效控制了降柱移架产生的扩散,人行道风流中的呼吸性粉尘浓度降低了 85%以上。

“十四五”以来,基于该项技术,针对不同采高综采工作面液压支架的结构特点和防尘需求,又研发出推移式、拉簧式液压支架防尘装置,解决了采高大于等于 4 m 的液压支架移架粉尘治理难题,呼吸性粉尘浓度降低了 88%以上。结合“十三五”期间的成果,形成了大采高液压支架系列防尘技术及装备。大采高液压支架系列防尘装置如图 1 所示。

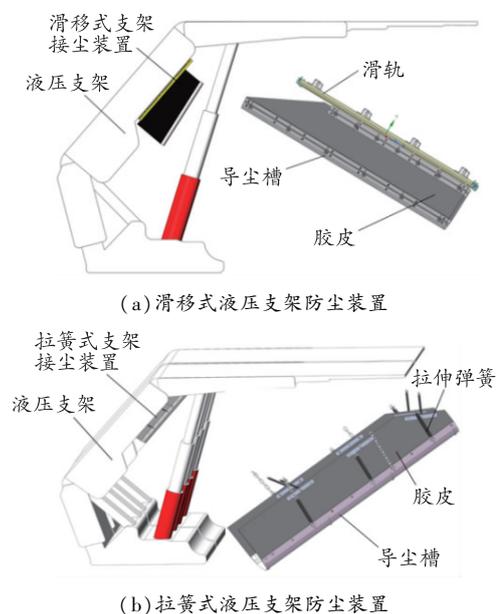


图 1 大采高液压支架系列防尘装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the dust-proof device for the series of high mining hydraulic supports

近年来,大采高液压支架系列防尘技术及装备已在陕煤集团曹家滩、小保当、红柳林、张家岭、柠条塔等煤矿,以及国家能源集团补连塔、大柳塔、三道沟等 8 对矿井应用(降尘效果见表 1),极大地改善了煤矿井下作业环境,取得了显著的经济和社会效益。

表 1 液压支架密闭装置降尘效果
Table 1 Dust reduction effect of different forms of hydraulic support sealing devices

序号	矿井名称	工作面	采高/m	密闭装置形式	原始呼吸性粉尘质量浓度/($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	治理后呼吸性粉尘质量浓度/($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	降尘效率/%
1	曹家滩煤矿	122107 综放工作面	6.0	扭簧式	152.40	16.10	89.44
2	曹家滩煤矿	122110 综放工作面	6.0	滑移式	148.80	12.80	91.40
3	红柳林煤矿	25212 综采工作面	5.6	滑移式	178.50	15.80	91.15
4	张家岭煤矿	2203 综采工作面	7.8	滑移式	176.42	17.54	90.06
5	三道沟煤矿	85219 综采工作面	6.4	滑移式	78.33	8.79	88.78
6	大柳塔煤矿	52607 综采工作面	4.2	拉簧式	168.40	16.70	90.08
7	补连塔煤矿	12513 综采工作面	8.0	滑移式	114.60	7.20	93.72
8	小保当煤矿	112203 综采工作面	6.3	拉簧式	445.00	51.00	88.54

1.2 综采工作面回风巷控风除尘技术及成套装备

实践表明:对综采工作面进行粉尘治理后,进入回风巷的总粉尘质量浓度仍高达 $100.00 \text{ mg}/\text{m}^3$ 以上,其中微细粉尘占比高,极难沉降,最终会进入到总回风巷污染空气。为此,重庆研究院在掌握回风巷端头区域粉尘运移规律的基础上,研制出适用于回风巷的控尘装置,以及基于阵列式旋流除尘原理的大风量矿用除尘器,形成了综采工作面回风巷控风除尘成套技术及装备,实现了对含尘风流的进一步净化。除尘器处理风量不低于 $2\,000 \text{ m}^3/\text{min}$,总粉尘降尘效率达 90% 以上。该技术先后在陕煤集团涌鑫矿业公司沙梁煤矿和安山煤矿应用后,距端头 $40\sim 50 \text{ m}$ 的回风巷内总粉尘质量浓度降低 85% 以上,呼吸性粉尘质量浓度降低 73% 以上,并将能见度由不足 1.5 m 提高至 50.0 m 以上。综采工作面回风巷控风除尘系统及除尘器结构如图 2 所示,回风巷控风除尘成套技术及装备降尘效果见表 2。

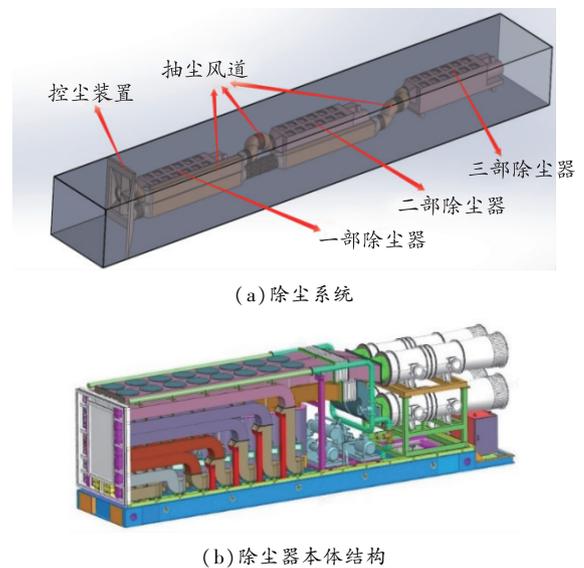


图 2 综采工作面回风巷控风除尘除尘器结构及除尘系统示意图
Fig. 2 Schematic diagram of dust collector structure and the control air and dust removal system for the return air roadway of the fully mechanized mining face

表 2 综采工作面回风巷控风除尘成套技术及装备降尘效果
Table 2 Application effect of air control and dust removal technology and complete equipment in the return airway of the fully mechanized mining face

应用地点	总粉尘质量浓度/($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)		总粉尘降尘效率/%	呼吸性粉尘质量浓度/($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)		呼吸性粉尘降尘效率/%	备注
	治理前	治理后		治理前	治理后		
沙梁矿 144205 工作面	117.06	13.10	88.81	58.25	10.23	82.43	距端头 $40\sim 50 \text{ m}$ 的
安山矿 133106 工作面	147.39	21.96	85.10	85.59	22.34	73.89	回风巷内

2 掘进工作面自适应控风除尘技术

在综掘工作面长压短抽控风除尘技术的基础上,重庆研究院、山东科技大学等国内科研单位近两年又开展了快掘工作面机载除尘技术和长压短抽系统的自适应控风除尘技术、喷浆机器人等技术及装备的研究。

2.1 快掘工作面长压短抽自适应控风除尘技术

相比于综掘工作面,快掘工作面掘进速度更快(每班进度 10 m 以上),产尘强度更高^[12-13]。并且由于掘

锚机自带的除尘器风量较小($200\sim 250 \text{ m}^3/\text{min}$),与工作面压入风量($400\sim 500 \text{ m}^3/\text{min}$)很不匹配,导致收尘效率低,工作面粉尘污染问题十分严重。为此,重庆研究院开发了处理风量大($400\sim 500 \text{ m}^3/\text{min}$)的新型湿式除尘器,为抽出风量与压入风量的最佳匹配创造了条件。由于掘锚工作面生产中一般采用掘锚机后配套梭车运输的方式,梭车来回行走使除尘器在该区域无固定安设位置,为此将除尘器的体积设计得较小,以充分利用掘锚机空间,实现设备机载配

套。机载式除尘器示意图如图 3 所示。

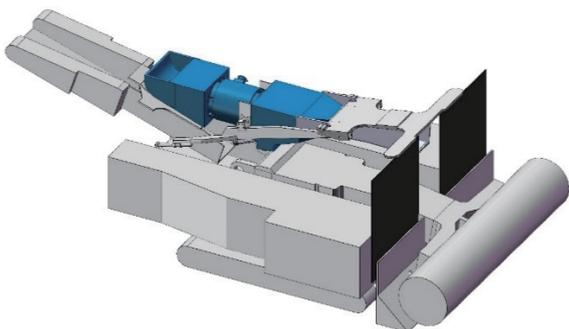


图 3 机载式除尘器示意图

Fig. 3 Schematic diagram of airborne dust collector

为解决粉尘粘附风机叶片破坏风机动平衡,影响设备使用寿命的问题,除尘器的风机采用后置式设计,使含尘气流的净化发生在风机叶轮前,通过此项技术提高了设备的使用寿命。该技术在小保当、黄玉川等矿应用后,使司机处呼吸性粉尘质量浓度降低至 10.00 mg/m^3 以下,降低了 92% 以上。

为了使综掘工作面长压短抽通风除尘参数实时匹配,以保障工作面综合降尘效率,山东科技大学研究团队对长压短抽各参数间的匹配关系进行了进一步的研究,重庆研究院在多参数协调机制研究基础上,研发出自适应控风除尘系统,如图 4 所示。



图 4 长压短抽自适应控风除尘系统平台

Fig. 4 Long pressure and short suction adaptive wind and dust removal system platform

该系统既能监测粉尘、瓦斯、风量、距离等参数,还能自动调节除尘器抽尘风量、控风装置的控风量、控风装置到端头的距离等参数。系统平台实时监测工作面的降尘效率,当一个参数发生变化时,其余参数将根据调控模型进行自适应调整,使降尘效率保持在 90% 以上。

2.2 喷浆机器人及综合除尘技术

目前国内井工煤矿掘进工作面喷射混凝土时以潮喷为主,其工作过程如下:通过 50~60 m 长的管道,将喷射机人工上料、喷浆机搅拌后得到的混合物料输送至喷枪,依靠人工或机械手向巷道喷射混凝土^[14]。上料、搅拌与混凝土喷射环节是潮喷的三大

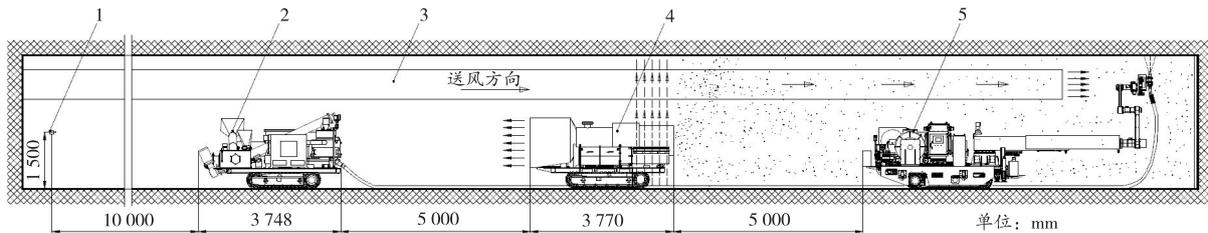
产尘源,总粉尘质量浓度均高达 350.00 mg/m^3 以上。

目前国内主要的喷浆装备是潮式喷浆机。近年来,国内部分科研机构开展了针对自动上料喷浆机、湿式喷浆机、喷浆机器人的研究。但现场应用发现,湿式喷浆机存在维护困难、工艺要求较高等问题,因此一直未能得到推广。喷浆机器人遥控喷浆,对操作人员技能水平要求较高,且喷浆工艺参数无法保证,物料回弹率高,喷浆质量也无法保证,同时喷射产生对危害操作人员的问题也未能得到改善,客户认可度较低,产品还不够成熟,无法进行市场推广应用。

为此,重庆研究院在掌握喷浆作业粉尘运移规律的基础上,设计研发了集螺旋物料定比例输送、喷

浆机半封闭微负压控尘、干式除尘的上料除尘装置,使喷浆机处呼吸性粉尘质量浓度降低 95% 以上,解决了喷浆机处的粉尘危害难题,降低了上料人工劳动强度;针对喷射区域产尘治理难、粉尘危害大的问题,研发了基于复杂巷道自动规划避障、越障,喷浆巷道三维激光扫描、自主规划喷浆路径、自动喷浆的喷浆机器人,实现了喷射少人化的目标,喷浆工艺参数得到了保障,物料反弹率降低到 15% 以下;针对喷

射产尘严重污染下风侧风流的问题,研究出涡流控尘、高效湿式除尘的履带式控除尘装置,使回风流中的粉尘质量浓度降低了 95% 以上。有效地解决了喷浆机产尘点多、粉尘量大,以及喷射产尘难以治理的技术难题,使喷浆机下风侧 10~15 m 区域巷道内的粉尘时间加权平均质量浓度降低到 4.00 mg/m^3 以下,满足了《煤矿安全规程》要求。装置具体布置如图 5 所示。



1—粉尘采样器;2—上料除尘装置;3—供风风筒;4—履带式控除尘装置;5—喷浆机器人。

图 5 喷浆机器人及上料除尘装置布置示意图

Fig. 5 Layout diagram of spraying robot and feeding and dust removal device

该技术河南能源陈四楼煤矿进行了应用,使喷浆机处总粉尘质量浓度降低了 98.3%、呼吸性粉尘质量浓度降低了 95.9%;履带式控除尘装置综合降尘效率达到了 97.1%。最终使喷浆机下风侧时间加权平均质量浓度降低到 3.44 mg/m^3 。目前,正在陕煤集团红柳林煤矿应用。

用。现场安装如图 6 所示。

3 粉尘连续监测技术

3.1 无动力光散射式粉尘浓度监测技术

在煤矿井下,需要对 CH_4 、 CO 、粉尘等多参数同时进行实时监测,伴随采掘距离的增加,供电电缆长度也不断延长,线损功耗也不断加大,导致长距离多参数同时监测难以进行。因此,降低传感器的功耗成为亟待解决的问题。



图 6 无动力粉尘浓度传感器现场安装图

Fig. 6 Installation diagram of unpowered dust concentration sensor on site

目前采用的光散射粉尘浓度传感器均以风机为动力将含尘气流抽入待测单元进行测定^[15-17],但这种方式增加了传感器的功耗和重量。

3.2 新型静电感应式粉尘浓度监测技术

静电感应法检测粉尘浓度的原理:在煤尘的产生和运动过程中,由于摩擦作用带有一定量的静电荷,附有静电荷的动态粉尘在静电探测电极表面感应出波动电压信号,分析这些感应信号的波动强度与粉尘浓度的关系,即可计算得到粉尘浓度^[18-19]。

为了解决以上问题,重庆研究院、煤炭科学技术研究院、常州研究院等单位研究了光散射无动力粉尘浓度监测技术。其中,重庆研究院采用多角度光散射技术研发的无动力粉尘浓度传感器,降低了传感器功耗(24 V 时,电流从 100 mA 降低至 40 mA),将正常工作电缆长度延长至 5 km,粉尘浓度的监测误差低于 15%,同时提升了手工维护的便捷性。

静电感应法粉尘浓度传感器具有免维护的优势,经过十几年的发展,技术逐渐成熟。2014 年,该传感器首次开发成功时,测量下限偏高、功耗较大,当粉尘质量浓度低于 50.00 mg/m^3 时,测量误差超过标准要求(15%);传感器的工作电流达 90 mA(24 V DC)。“十四五”以来,通过设计高灵敏度的静电探测电极,测量下限降低至 10.00 mg/m^3 ,实现了 $10.00 \sim 1\,000.00 \text{ mg/m}^3$ 宽量程的粉尘浓度精准检测;通过优化风筒结构,降低了风筒内部的风速,传感器的额定工作电流降低到 35 mA(24 V DC)。静电感应法

该项技术先后在锦界、补连塔等煤矿进行了应

粉尘浓度监测技术水平得到了显著提升。

4 沉积粉尘传感器

实时监测煤矿沉积粉尘质量对保障煤矿安全具有重要作用。煤矿在作业过程中产生的大量粉尘会随着风流扩散,并在巷道的底部、两帮、设备表面等地方沉积,形成沉积粉尘^[20]。在冲击波作用下,具有一定厚度的沉积粉尘重新扩散到空气中,可达到或超过粉尘浓度爆炸下限,形成粉尘爆炸隐患,对煤矿工人和矿井的安全构成重大威胁。

“十四五”期间,重庆研究院研发出的 GFC100(A)型沉积粉尘传感器,实现了煤矿沉积粉尘质量的实时在线监测。该传感器由传感器的主机和传感器探头 2 个部分组成,质量测量范围为 0~100.0 g,分辨率 0.1 g,测量误差 ± 0.1 g。

5 露天煤矿运输道路粉尘综合防治技术

露天矿运输道路扬尘是露天矿的主要尘源点之一,是除爆破作业外产生量最大的产生点^[21]。由于运输道路大多为土质简易路面,且运输卡车载重大、扰动大、动态性强,导致产尘多、产尘点不固定,粉尘防治非常困难^[22]。

目前道路粉尘治理主要采取洒水车降尘,存在以下问题:①洒水对道路扬尘抑制时间较短,洒水频率高,劳动强度大;②耗水量高,而部分矿区水资源匮乏,难以保证洒水降尘的用水,且洒水量过高会导致路面摩擦因数减小,运输卡车在经过坡度道路时会产生打滑现象;③洒水量由工作人员凭经验控制,难以准确把握。

为此,“十四五”以来,重庆研究院研制出经第三方无毒无害检测的运输道路生物自降解高效保湿型抑尘剂,通过试验研究,得到了在不同气象条件(温度、湿度、风速等)及运输卡车碾压特性影响下的抑尘效率的计算模型。在此基础上,研发出一套集“感知—控制—执行”于一体的露天矿运输道路智能洒水抑尘系统。该系统通过实时监测运输路段温度、湿度、风速等气象条件,运用智能控制系统嵌入的算法模型,实时监测路面抑尘效率,当抑尘效率降低至目标值(90%)以下时,系统根据当前气象条件计算出最佳的智能喷淋桩的喷洒参数(喷洒水量、抑尘剂添加比例、喷洒压力、喷洒范围等)和喷洒路径,对运输道路进行洒水抑尘,使其抑尘效率始终保持在设定值(90%)以上。由于在洒水抑尘过程中添加了保湿型抑尘剂,路面抑尘时间相较于清水,有效延长

了 50%以上,大幅降低了洒水抑尘的用水量。同时,智能控制系统中嵌入了喷洒水量和运输卡车摩擦因数的数学模型,可根据当前道路的坡度计算出最大允许喷洒水量,有效避免运输卡车打滑。

该项技术先后在陕西神延煤炭有限责任公司西湾露天煤矿和甘肃窑街煤电天宝露天矿进行了工业性试验,试验结果表明:该系统可实现运输道路粉尘污染的智能化高效治理,抑尘效率可持续维持在 90%以上,相较于洒水车抑尘,平均耗水量减少了 54%,并且可有效避免运输卡车打滑。抑尘效果对比如图 7 所示。



(a) 治理前车辆扬尘



(b) 治理后车辆扬尘

图 7 露天煤矿运输道路抑尘效果对比
Fig. 7 Comparison of dust suppression effects on transportation roads in open-pit coal mines

6 存在的问题及发展方向

6.1 存在的问题

随着国家对煤矿粉尘灾害越来越重视,研发投入持续增加,煤矿粉尘防治技术及装备取得了长足的进步,达到了较高的水平。但由于我国煤矿数量多、分布广、煤层赋存条件及生产技术条件差异大,加上开采强度的迅猛增大,现有防尘技术及装备仍不能完全满足煤矿粉尘灾害防治的需要。主要存在以下问题:

1) 综采工作面的粉尘浓度仍严重超标。我国有三分之二以上的煤矿的煤体属于难注水煤层,其注水难题一直未能得到解决,根本性防尘措施的效果

尚未得到有效发挥;同时,采煤机的内喷雾降尘技术一直未攻克,割煤时的产尘量还未能得到有效抑制;研究的 4 m 以上大采高综采工作面液压支架粉尘治理技术效果显著,工作面的粉尘浓度降低了 90% 左右,但采高小于 4 m 的综采工作面液压支架的粉尘治理技术水平还较低,效果较差。

2) 虽然综掘、快掘工作面长压短抽自适应控风除尘技术的研究成果为掘进工作面粉尘防治提供了安全及持续高效的技术及装备,但是,适应于不同条件的控风风幕的技术指标体系尚未建立,适应于自适应控风除尘系统变化的智能化湿式除尘器、压入式风筒快速接续技术等尚属空白,工作面粉尘超标的问题还存在。自适应控风除尘技术的运行高效性、可靠性还有提升空间。

3) 在粉尘监测技术方面,国外发达采煤国已从监测粉尘浓度向更为科学地监测人体二氧化硅吸入量的方向转变,而我国还停留在粉尘浓度上。

4) 粉尘职业危害监测预警精度还比较低,尚不能满足尘肺病精准监测的需求。

5) 防止沉积煤尘爆炸的技术研究还刚起步,沉积煤尘引起的煤尘爆炸危险控制技术还不成熟。

6.2 煤矿粉尘防治技术发展方向展望

随着我国煤矿采掘装备智能化水平的迅速提高,伴随无人化、少人化开采技术的推广,针对采掘工作面粉尘治理及粉尘职业危害监测预警等方面出现的新问题缺乏有效解决手段。因此,未来煤矿粉尘防治技术的主要研究方向如下:

1) 在综采工作面,研究难注水煤层的注水工艺及装备,使割煤时的呼吸性粉尘产生量减少 50%~70%;研究采煤机内喷雾降尘技术及装备,减少采煤机割煤时的粉尘产生量 80% 以上;研究采高小于 4 m 的综采工作面液压支架新型粉尘治理技术,使液压支架移架时的粉尘浓度降低 85% 以下。通过这 3 种措施,使工作面的粉尘产生量进一步减小,工作面的粉尘浓度接近或达到《煤矿安全规程》的限值要求。

2) 在掘进工作面,研究不同巷道断面大小、不同生产技术条件及不同环境条件下的控风除尘技术,建立控风除尘风幕技术指标体系,研发智能化湿式除尘器、压入式风筒快速接续技术。为综掘工作面的智能化高效防尘奠定基础。

3) 粉尘中游离二氧化硅含量的快速测定技术研究:短期内实现测定时间少于 30 min 的目标,最终实现在线连续监测。结合呼吸性粉尘浓度传感器,

实现人体内二氧化硅累积吸入量的实时测定,最终达到对尘肺病的精准预警。

参考文献(References):

- [1] 中国煤炭工业协会. 2023 煤炭行业发展年度报告 [R/OL]. <https://www.coalchina.org.cn/index.php?a=show&catid=464&id=152581>. CHINA NATIONAL COAL ASSOCIATION. 2023 annual report on the development of the coal industry [R/OL]. <https://www.coalchina.org.cn/index.php?a=show&catid=464&id=152581>.
- [2] 李德文,赵政,郭胜均,等.“十三五”煤矿粉尘职业危害防治技术及发展方向[J]. 矿业安全与环保,2022,49(4):51-58. LI Dewen, ZHAO Zheng, GUO Shengjun, et al. “13th Five-Year Plan” coal mine dust occupational hazard prevention and control technology and development direction [J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2022, 49(4): 51-58.
- [3] 李德文,郑磊,许圣东,等. 防尘标准化对煤矿粉尘防治的促进作用分析[J]. 中国煤炭,2022,48(6):80-84. LI Dewen, ZHENG Lei, XU Shengdong, et al. Analysis of promoting effect of dust prevention standardization on coal mine dust prevention [J]. China Coal, 2022, 48(6): 80-84.
- [4] 李德文,隋金君,刘国庆,等. 中国煤矿粉尘危害防治技术现状及发展方向[J]. 矿业安全与环保,2019,46(6):1-7. LI Dewen, SUI Jinjun, LIU Guoqing, et al. Technical status and development direction of mine dust hazard prevention and control technology in China [J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2019, 46(6): 1-7.
- [5] 程卫民,周刚,陈连军,等. 我国煤矿粉尘防治理论与技术 20 年研究进展及展望[J]. 煤炭科学技术,2020,48(2):1-20. CHENG Weimin, ZHOU Gang, CHEN Lianjun, et al. Research progress and prospect of dust control theory and technology in China's coal mines in the past 20 years [J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(2): 1-20.
- [6] 代静,彭方达,吴智君,等. 粉尘接触人群生物监测研究进展[J]. 中国职业医学,2024,51(1):105-110. DAI Jing, PENG Fangda, WU Zhijun, et al. Research progress on biological monitoring of dust-exposed populations [J]. China Occupational Medicine, 2024, 51(1): 105-110.
- [7] 樊晶光,张建芳,王海椒,等. 我国煤矿尘肺病防治现状、问题与对策建议 [J]. 职业卫生与应急救援,2021,39(1):1-5. FAN Jingguang, ZHANG Jianfang, WANG Haijiao, et al. Present situation and problem of pneumoconiosis prevention and control in coal mines and proposed countermeasures in China [J]. Occupational Health and Emergency Rescue, 2021, 39(1): 1-5.
- [8] 袁亮,薛生,郑晓亮,等. 煤矿井下空气质量革命技术现状与展望 [J]. 工矿自动化,2023,49(6):32-40. YUAN Liang, XUE Sheng, ZHENG Xiaoliang, et al. Current situation and prospects of air quality revolution technology in coal mines [J]. Journal of Mine Automation, 2023, 49(6): 32-40.
- [9] 成连华,曹东强,郭慧敏,等. 基于过程方法的煤矿粉尘综合防治评价体系构建及应用 [J]. 煤矿安全,2021,52(8):182-187. CHENG Lianhua, CAO Dongqiang, GUO Huimin, et al. Construction and application of coal mine dust comprehensive control assessment system based on process method [J]. Safety in Coal Mines, 2021, 52(8): 182-187.
- [10] 莫金明,马威. 大采高综采工作面负压除尘微雾净化装置应用研究 [J]. 煤炭学报,2023,48(3):1267-1279.

- MO Jinming, MA Wei. Application research on negative pressure dust removal and micro mist purification device for high mining height fully mechanized mining face [J]. Journal of China Coal Society, 2023, 48 (3): 1267-1279.
- [11] 黎志, 马威, 张设计, 等. 8 m 特大采高工作面粉尘综合防控技术研究及应用 [J]. 矿业安全与环保, 2021, 48 (4): 60-67.
- LI Zhi, MA Wei, ZHANG Sheji, et al. Research and application of comprehensive prevention and control technology of dust in working face with 8 m extra large mining height [J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2021, 48(4): 60-67.
- [12] 王宏, 钟普恒, 杨俊磊. 半煤岩巷快掘工作面综合防尘系统设计与应用 [J]. 煤矿机械, 2023, 44 (11): 160-162.
- WANG H, ZHONG P H, YANG J L. Design and application of comprehensive dust prevention system for fast excavation working face in semi coal rock roadway [J]. Coal Mine Machinery, 2023, 44(11): 160-162.
- [13] 杨征, 庄学安, 陈真, 等. 快掘工作面粉尘污染规律模拟及防尘技术探讨 [J]. 煤矿机械, 2022, 43(2): 79-82.
- YANG Zheng, ZHUANG Xue'an, CHEN Zhen, et al. Simulation of dust pollution law and discussion on dust prevention technology in fast-tunneling working face [J]. Coal Mine Machinery, 2022, 43(2): 79-82.
- [14] 陈波, 龚小兵. 煤矿小型巷道喷浆机械手结构设计 [J]. 煤矿机械, 2024, 45 (5): 103-106.
- CHEN B, GONG X B. Structural design of spraying robot arm for small coal mine tunnels [J]. Coal Mine Machinery, 2024, 45 (5): 103-106.
- [15] ZHANG Z P. The design of low-concentration dust detection system based on Mie scattering theory [J]. Journal of Physics: Conference Series, 2022, 2196(1): 012006.
- [16] 陈建阁, 李德文, 许江, 等. 基于光散射法无动力粉尘质量浓度检测技术 [J]. 煤炭学报, 2023, 48 (增刊 1): 149-158.
- CHEN J G, LI D W, XU J, et al. Detection technology of unpowered dust concentration based on light scattering method [J]. Journal of China Coal Society, 2023, 48 (Sup. 1): 149-158.
- [17] 李晨沛, 王跃社, 廖作杰. 气溶胶生长过程的微观动力学研究 [J]. 工程热物理学报, 2020, 41 (2): 386-391.
- LI Chenpei, WANG Yueshe, LIAO Zuojie. Study on the microscopic dynamics of aerosols evolution [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2020, 41 (2): 386-391.
- [18] CHEN J G, NIE Z H, ZHAO F Y, et al. Improving the stability of electrostatic induction dust concentration detection using Kalman filtering algorithm aided by machine learning [J]. Process Safety and Environmental Protection, 2023, 174: 882-890.
- [19] 张昊. 基于粉尘层调控的静电场中颗粒物高效捕集研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2021.
- ZHANG Hao. Study on particle removal enhancement in electrostatic field by dust layer adjustment [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2021.
- [20] 上官云飞. 煤矿井下沉积粉尘的矿物学、地球化学特征及氧化潜势研究 [D]. 武汉: 中国地质大学, 2022.
- SHANGGUAN Yunfei. Mineralogical, geochemical characteristics and oxidative potential of deposited dust in underground coal mine [D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2022.
- [21] 颜杰, 王晓东, 张禹, 等. 哈尔乌素露天煤矿粉尘监测与防治策略实践 [J]. 中国煤炭, 2023, 49(增刊 1): 71-76.
- YAN Jie, WANG Xiaodong, ZHANG Yu, et al. Practice of dust monitoring and prevention strategies in Harwusu open-pit coal mine [J]. China Coal, 2023, 49(Sup. 1): 71-76.
- [22] 霍文, 栾博钰, 周伟, 等. 基于环境因素的露天煤矿粉尘质量浓度预测 [J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2021, 40(5): 409-414.
- HUO Wen, LUAN Boyu, ZHOU Wei, et al. Prediction of dust mass concentration in open-pit coal mine based on environmental factors [J]. Journal of Liaoning Technical University (Natural Science), 2021, 40(5): 409-414.

(责任编辑: 林桂玲)