

KUANGJING FENCHEN
KONGZHI GUANJIAN LILUN
JIQI JISHUGONGYI DE
YANJIU YU SHIJIAN

矿井粉尘 控制关键理论 及其技术工艺的 研究与实践

■ 周 刚 程卫民 陈连军 著

煤炭工业出版社

工学者和创新团队发展计划资助 (IRT0843)

然科学基金项目资助 (51074100)

山东省自然科学基金项目资助 (ZR2010EM016)

山东科技大学学术著作出版基金资助出版

山东科技大学科研创新团队支持计划项目资助 (2010KYTD106)

矿井粉尘控制关键理论及其 技术工艺的研究与实践

周 刚 程卫民 陈连军 著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书以理论分析为基础,以技术工艺工程实践为核心,汇集了近年来矿井粉尘防治的最新科技成果。书中系统地阐述了矿井采掘工作面防尘的基本原理及相关的粉尘治理措施。全书共7章,内容包括:绪论,煤层结构与煤尘的基本微观性质,射流雾化及喷雾降尘的基础理论,厚煤层组合式注水技术及工艺,薄煤层炮采工作面防尘技术及工艺,综掘工作面防尘技术及工艺,综采(放)工作面防尘技术及工艺。

本书可供普通高等学校、科研院所相关领域的研究和教学人员,以及从事煤炭行业的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

矿井粉尘控制关键理论及其技术工艺的研究与实践/
周刚,程卫民,陈连军著. —北京:煤炭工业出版社,
2011

ISBN 978-7-5020-3802-1

I. ①矿… II. ①周… ②程… ③陈… III. ①粉尘-
防尘 IV. ①TD714

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 015423 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址: www.cciph.com.cn
北京房山宏伟印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*
开本 787mm×1092mm¹/₁₆ 印张 12¹/₂
字数 295 千字 印数 1—1 500
2011 年 5 月第 1 版 2011 年 5 月第 1 次印刷
社内编号 6612 定价 36.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

前 言

随着我国煤矿生产规模的逐步扩大，粉尘安全隐患和职业健康问题将变得更为严重。煤矿井下生产现场的高浓度粉尘，轻则降低矿工的劳动生产率，影响矿井的产量和效益，重则导致矿工患尘肺病长期不能治愈而死亡，或导致粉尘爆炸，甚至引发瓦斯爆炸事故，造成重大人员伤亡和经济损失。因此，本书的出版对于指导矿井粉尘防治工作，提升综合防尘整体水平，从而保障煤矿企业的安全生产、改善作业地点的工作环境、保护煤矿工人的身心健康具有重要的现实意义。

在本书的写作过程中，兖矿集团有限公司、枣庄矿业（集团）有限责任公司各级领导及基层各矿通防部门给予了大力支持和帮助，在此表示感谢！

由于作者水平有限，时间仓促，错误和不当之处在所难免，恳请读者批评指正！

作 者

2010 年 12 月

目 次

1 绪论	1
1.1 国内外矿井粉尘防治技术的研究与发展	1
1.2 矿井采掘工作面粉尘防治技术分类	8
1.3 矿井粉尘防治技术展望	9
2 煤层结构与煤尘的基本微观性质	11
2.1 煤层结构	11
2.2 煤体孔隙率、比表面积及其测定	12
2.3 煤尘的粒度、粒径分布及其测定	15
2.4 煤尘的湿润性及其测定	24
2.5 煤尘的荷电性及其测定	27
3 射流雾化及喷雾降尘的基础理论	31
3.1 喷嘴射流雾化机理	31
3.2 粉尘绕雾滴的运动分析	36
3.3 喷雾降尘机理	39
3.4 基于颗粒动力学理论的雾滴场与粉尘场流动数学模型	41
4 厚煤层组合式注水技术及工艺	49
4.1 煤层注水降尘机理	49
4.2 注水钻孔相关参数	52
4.3 组合式注水工艺	57
4.4 厚煤层组合式注水技术应用效果分析	65
4.5 厚煤层组合式注水的特点和作用	73
5 薄煤层炮采工作面防尘技术及工艺	75
5.1 薄煤层炮采工作面现场粉尘分析	75
5.2 湿式打眼工艺及其完善	76
5.3 薄煤层干式打眼泡沫除尘技术工艺	79
5.4 薄煤层短壁快速注水技术	90
5.5 快速注水表面活性剂添加工艺	95
5.6 薄煤层炮采工作面多功能全自动爆破喷雾系统	97

6 综掘工作面防尘技术及工艺	106
6.1 综掘工作面局部通风方式	106
6.2 综掘工作面封闭式控尘系统	109
6.3 综掘封闭式控尘技术试验与应用	114
6.4 薄煤层综掘封闭式降尘技术	127
7 综采（放）工作面防尘技术及工艺	136
7.1 综放工作面粉尘浓度和分散度分布规律	136
7.2 综放工作面负压二次降尘技术及其装置的研发	142
7.3 综放工作面液压支架喷雾降尘装置的优化设计	157
7.4 综放工作面综合降尘智能控制系统	174
参考文献	192

1 绪 论

矿尘是指在矿山生产和建设过程中所产生的各种煤、岩微粒的总称,主要包括煤尘、岩尘和水泥矿尘。矿尘如果得不到有效的控制,势必会严重危害矿工的身心健康,同时也给矿井安全生产造成很大的威胁。矿尘的主要危害有:影响矿工身心健康,引起尘肺病、硅肺病等职业病。据卫生部不完全统计,截至 2007 年底,全国煤矿累计报告的尘肺病例达 363895 例,死亡 84793 例,近 15 年平均每年新发尘肺病患者约 5800 例,每年造成直接经济损失近 60 亿元人民币。而且,某些矿尘在一定条件下可以引起爆炸。据相关文献报道,煤炭行业作业环境中的矿尘浓度范围为 $0.2 \sim 6000 \text{ mg/m}^3$,超标率接近 90%。2007 年国有重点煤矿中 532 处矿井煤尘具有爆炸危险,占 87.4%;乡镇小煤矿中约占 71.4% 的矿井煤尘具有爆炸危险;而全国煤矿高达 58.8% 的矿井煤尘具有强爆炸性,瓦斯参与煤尘爆炸所造成的重大特大事故占煤矿事故中的很大比重。此外,矿尘还具有加速机械磨损、缩短精密仪器的使用寿命、降低工作场所能见度等危害。

1.1 国内外矿井粉尘防治技术的研究与发展

1.1.1 综采放顶煤工作面粉尘防治技术

1.1.1.1 国外现状

国外一些主要产煤国家,如美国、澳大利亚、俄罗斯等国家,煤矿生产机械化程度高,粉尘产生量成倍地增加。因此,国外对煤矿粉尘的尘源抑制给予了很大的重视,美国、西欧早在 20 世纪 50 年代已开始研究。

国外煤矿非常重视综放工作面粉尘综合防治。一是普遍采取煤层注水并添加湿润剂预湿煤体等防尘措施;二是采用采煤机内外喷雾、高压喷雾、吸尘滚筒和隔离尘源等综合降尘措施;三是采用通风除尘。

国外各主要产煤国家都普遍认为,煤层注水预湿煤层是综放工作面最基本、最有效的防尘措施。如德国各产煤州矿山监察局都明文规定,回采工作面在采煤前对煤体必须进行注水。注水泵多采用压气驱动泵,并采用恒定流量控制阀,实现了多孔动压同时注水,最多可达 40 个孔。封孔方式有液力自动胀紧封孔器、PVR 快速凝固物封孔和针对瓦斯压力很高等特殊条件下的双回路封孔器。为了使煤层注水状况适应于被湿润煤体的渗透特点,前苏联乌克兰科学院矿山力学研究所等研制出能自动调节注水参数的 YHP 型注水泵,它能根据煤层的渗透性和注水压力自动调整注水量,实现了最佳的煤层注水参数,提高了液体在煤体中分布的均匀性。法国煤炭中心研制了流量控制器和连续注水装置,使煤层注水实现了自动化。

采煤机割煤是综放工作面的主要尘源。英国研制成功的吸尘滚筒是降低采煤机割煤产生呼吸性粉尘的最有效途径之一,已在英国 20% 以上的长壁工作面推广使用。井下试验和应用表明,吸尘滚筒对呼吸性粉尘的捕集效率高达 95%,与普通截齿冲洗喷雾的滚筒

相比,切割时粉尘的产生量减少了40%~80%。此外,还可冲淡瓦斯、减少截齿与煤壁摩擦产生火花的可能性。原联邦德国也试验研究了另一种指数回转体形吸尘滚筒,可使割煤时的粉尘浓度降低25%~30%。

美国、前苏联和德国等还先后应用或试验研究了高压水喷雾对降低滚筒割煤时呼吸性粉尘产生量的影响。美国矿业局匹兹堡研究中心试验研究的长壁工作面高压水辅助切割技术,在工作水压为12.7 MPa时,可以显著降低割煤时的呼吸性粉尘产生量,与传统的内喷雾相比,降尘率达到77%。前苏联煤矿机械设计研究院研制的采煤机高压水喷雾洒水用TKO-CBO全套设备,在外喷雾水压为8 MPa、内喷雾水压为1.2~1.5 MPa时,降尘率可以达到96%~98%,而单位耗水量又可降低30%。原联邦德国在瓦尔苏姆矿也试验研究了高压水喷雾对滚筒截割区内粉尘湿润、沉降的影响,试验表明,在工作水压为6~6.5 MPa条件下,采煤机周围的粉尘浓度平均降低30%~35%。此外,澳大利亚和英国也在试验研究采煤机高压喷雾。

机组喷雾降尘主要是喷嘴布置方式和无阻塞喷嘴。英国的研究表明,为了最大限度地湿润煤尘,需要在产生地点喷洒水雾,即在截齿与煤体接触处(向截缝洒水)湿润煤尘。美国矿业局研制成功无阻塞的喷水装置,其主要构件是一个直径为7.5 cm的水力旋流器。它可以垂直或水平安装,也可以任意倾斜安装。试验表明,它可减少停机时间,降低成本和提高生产率。采煤机内外喷雾降尘效果的首要问题是保证水质洁净,其次是合理的喷雾参数。德国通过提供足够的水压和水量,并采取细过滤器净化内喷雾的水质等技术措施,确保内外喷雾取得了良好降尘效果。美国使水经过粗过滤器、水力旋流器和精过滤器三级过滤系统,得到了高度净化水,解决了内喷雾堵塞问题。

此外,前苏联还在卡拉干达煤田广泛使用压气喷雾、泡沫除尘等方法降低采煤机滚筒割煤时的粉尘产生量。美国试验研究并应用了降低滚筒转速、增大截深、风帘隔离尘源、水力除尘器和通风除尘等多种长壁工作面粉尘控制技术,取得了较为明显的防、降尘效果。英、美、澳等国还研究产尘少的采煤机,选择合理的切割参数,试验移架放顶时的自动喷雾等措施。

为了提高注水防尘效果,改善水对煤的湿润能力,许多国家都添加了湿润剂。在长壁开采中喷洒含有表面活性剂水溶液防尘是前苏联、美国和德国井下广泛使用的降尘方法。前苏联研制的低毒性、高效率СИТАНОЛДТ-7液体湿润剂和СТС固体湿润剂都具有良好湿润煤的能力,配合适宜的注水工艺,可使综放工作面的粉尘浓度降低70%~80%,比预注纯水降尘率提高了20%~30%。湿润剂的使用浓度一般为0.1‰~1.5‰。美国在矿内用浓度为0.1%的表面活性剂ALFONW₁₀₋₅₀。水除尘效果表明:采用普通水、表面活性剂水溶液及表面活性剂加NaCl的水溶液时,对1.8~3.0 μm粒级的粉尘减少量分别为3%、91%。德国选用CaCl₂作为注水添加剂,显著提高了抑制粉尘产生的作用。

1.1.1.2 国内现状

“七五”期间,煤炭科学研究总院和国内相关矿业类院校合作研究的“缓倾斜中厚煤层综采工作面综合防尘技术”(包括长钻孔非金属注水管深封孔煤层注水技术、采煤机含尘气流控制与净化装置及液压支架自动喷雾降尘装置),为我国煤矿综采工作面粉尘的防治提供了一套较为完整的技术,重点解决了长钻孔煤层注水中不留金属管,实现快速、深封孔以及液压支架自动喷雾控制等技术难题。

针对综采放顶煤工作面生产工艺的现状,我国研究开发了包括厚煤层注水工艺、采煤机摇臂径向雾屏控制粉尘技术,用于液压支架移架、放煤时的多功能自动喷雾控制阀,破碎机、转载点密闭尘源等粉尘控制技术。

采煤机摇臂径向雾屏控制粉尘技术,是在采煤机摇臂的上侧,靠近滚筒的直线段布置一组喷嘴,在端部弧面布置一组喷嘴,当滚筒割煤时,两组喷嘴同时喷雾,即可在采煤机靠人行道一侧形成一道径向雾屏,一方面阻止粉尘向人行道扩散,避免污染作业环境,另一方面捕集和沉降粉尘。在喷雾压力为 1.8 MPa,喷嘴流量为 11 L/min 的条件下,对总粉尘的降尘效率可达 80%。

综放工作面在自移式液压支架移架和放煤过程中将产生大量粉尘,20 世纪 70—80 年代,液压支架的防尘主要采用人工控制的手动喷雾,使用不便、效果较差。为此,中国矿业大学于 1989 年首先研制成功了 YZK 型液压支架自动喷雾控制阀,它能使支架在降柱、移架、推移刮板输送机过程中自动喷雾降尘,升柱完毕后停止喷雾,实现了高效降尘目的,填补了国内空白。20 世纪 90 年代初,经过多次修改、完善,使其体积更趋小型化,性能更加可靠。近几年来,又研制成功了用于综采放顶煤液压支架自动喷雾的多功能控制阀,既能用于支架降柱、前移过程中的自动喷雾降尘,又能对放煤口实施在放煤过程中的自动喷雾降尘。这种多功能控制阀,已获国家专利。此外,山东科技大学与兖矿集团合作,在综放液压支架喷雾降尘用喷嘴优选及支架全断面喷雾降尘装置研发等方面也取得了显著的成果。

我国许多煤矿还采用煤层注水、采空区灌水湿润煤体等措施。回采工作面采用煤层注水防尘,一般降尘率为 60%~90%。在机采工作面使用内外喷雾和煤层注水防尘方法,可使煤尘浓度降到 30 mg/m^3 。

早在 20 世纪 60 年代,我国冶金部门曾对表面活性剂除尘进行过研究,80 年代才逐步兴起。特别是近 30 年来发展很快,并在部分煤和非煤矿山推广应用,取得良好效果。目前,我国对湿润剂的研究以试验为主,采用的方法有表面张力测定法、沉降法、滴液法、毛细管上下向渗透法、动力试验法及 Zeta 电位测定法等,研究内容集中于阴离子、阳离子及非离子表面活性剂对粉尘湿润能力的改善程度。目前,我国矿山应用的湿润剂种类主要有:降尘剂 FC-I、渗透剂 JFC、除尘剂 CHJ-I、高效化学除尘剂 J-85、化学除尘剂 T-85、湿润剂 SR-I、湿润剂 SR-II、除尘助剂 R_1-89 、高效化学降尘剂 DS-I、降尘剂 DA-85、湿润剂 SDLY、湿润剂 HY、HB 等。北京科技大学的金龙哲教授研发的 NCZ-1 型粘尘阻燃粉剂和注水降尘用粘尘棒也达到了很好的除尘效果。

1.1.2 综掘工作面粉尘防治技术

1.1.2.1 国外现状

20 世纪 70 年代,德国研究的附壁风筒配合湿式除尘器在解决机掘工作面高浓度粉尘问题方面取得了较好的成效。同期波兰研究成功了煤矿用袋式除尘器及其专用的对旋轴流式通风机 ($2 \times 26 \text{ kW}$),该除尘器的处理风量为 $330 \sim 350 \text{ m}^3/\text{min}$ 、工作阻力为 2000 Pa (接近湿式过滤式除尘器),配合附壁风筒在断面积为 20 m^2 以上的机掘工作面使用后,使司机处的总粉尘浓度和呼吸性粉尘浓度分别下降到 21.4 mg/m^3 和 9.7 mg/m^3 ,降尘效率分别达 93.27% 和 90.53%。

20 世纪 90 年代,为了降低袋式除尘器的体积,以便将干式除尘技术广泛推广,美国

研究成功了安全高滤速过滤材料并对袋式除尘器进行了完善。研究出符合抗静电、阻燃性能要求且在高过滤风速 ($3.5 \sim 4.0 \text{ m/min}$) 条件下具有高集尘效率的矿用安全高效除尘滤料; 由于滤料过滤风速的提高, 在相同处理风量 ($230 \sim 250 \text{ m}^3/\text{min}$) 条件下, 使袋式除尘器的体积减小了近 41%。该除尘器的处理风量为 $224 \text{ m}^3/\text{min}$, 工作阻力为 2083 Pa , 总粉尘和呼吸性粉尘的除尘效率分别达到 99.3% 和 95.5%。

1.1.2.2 国内现状

20 世纪 80 年代, 为了解决小断面巷道掘进的粉尘治理, 我国煤炭科学研究总院重庆分院开发出处理风量较小 ($90 \sim 130 \text{ m}^3/\text{min}$) 的机掘工作面湿式旋转栅除尘器, 其对总粉尘和呼吸性粉尘的除尘效率分别达到 99% 和 88.5%。

由于湿式除尘技术比干式除尘技术具有投资少、体积较小的优点, 因此, 针对我国煤矿机掘巷道的特点, 在进行干式除尘技术完善提高的同时, 煤炭科学研究总院重庆分院又与波兰 KOMAG 采矿机械化中心合作, 开展了适合中国煤矿机掘工作面生产技术条件的高效湿式除尘技术的研究。该技术包括高效涡流控尘装置、高效旋流除尘器及其配套移动系统。高效涡流控尘装置将比原来的附壁风筒产生的附壁效应还强 7 倍左右, 控尘效果更好; 高效旋流除尘器的处理风量为 $250 \sim 350 \text{ m}^3/\text{min}$ 、工作阻力为 1800 Pa , 它集多种除尘器原理于一体, 对总粉尘和呼吸性粉尘除尘效率分别达到 99% 和 94%~98%, 其技术性能已接近袋式除尘器的水平, 并且其脱水效果十分理想。目前, 该套技术的全部样机已加工完毕, 正进行试验, 它的研究成果将使我国煤矿机掘湿式除尘技术水平上一个新台阶。

为了保证机掘工作面的压抽风量匹配, 使得在长距离掘进时不因抽出式风量大于压入式风量而在工作面出现循环风, 在研究机掘工作面高效防尘技术的同时, 煤炭科学研究总院重庆分院又研发了 KDZ-I 型对旋式局部通风机作为其配套压入式风机, 其功率为 $2 \times 26 \text{ kW}$ 、工作风量为 $250 \sim 450 \text{ m}^3/\text{min}$ 、工作风压达 $2500 \sim 6600 \text{ Pa}$, 全压效率为 80%, 噪声不大于 15 dB (比 A 声级), 由于其工作压力高, 因此能长距离供风, 且能保障工作面的供风量。

近几年, 我国潞安矿业集团公司还研究成功了综掘工作面风幕湿式离心降尘系统, 即自主研发改造了布风器向工作面送风, 通过现场工业性试验, 实现了引射风流和湿式离心除尘器的有效组合, 确保了司机位到除尘风机出口段的巷道都是新鲜风, 有效降低了综掘工作面的煤尘浓度, 降尘效率达到 90% 以上。山东科技大学还与兖矿集团、枣矿集团等单位合作, 研发了综掘工作面挡尘帘、空气风幕、新型高效 SKZC 型附壁风筒封闭式除尘系统以及薄煤层综掘工作面封闭式高分子泡沫降尘技术, 取得了很好的降尘效果, 生产现场呼吸性粉尘的降尘率高达 97% 左右。

1.1.3 炮采(掘)工作面粉尘防治技术

1.1.3.1 湿式钻眼降尘技术

炮采(掘)工作面打炮眼和打锚眼是主要产尘环节。多年来, 我国淮南矿业集团通过对配水器、空心钻杆及其合理参数配置的研究, 确保了打眼时不再干式钻眼, 降尘效率可达 90% 以上, 最高可达 95%。山东科技大学还与兖矿集团北宿煤矿合作, 研发了湿式打眼自动补偿供水器、湿式钻孔注水器, 打眼时粉尘浓度可降到 10 mg/m^3 以下。

1.1.3.2 水炮泥降尘技术

爆破是炮采(掘)工作面的又一个主要产尘环节, 虽然爆破时工人撤出了现场, 但

使用水炮泥对及时熄灭爆破火焰以及减少爆破粉尘的意义非常大,长期以来一直使用普通水来充填,由于煤对水的不亲和性,效果不是太好。近年来,我国大同矿业集团经过试验,在普通水炮泥中添加表面活性剂来改善水炮泥润湿的性能,降尘效果明显提高,粉尘浓度可降低40%~80%。

1.1.3.3 自动爆破喷雾降尘技术

为减少爆破粉尘向外扩散,以前只在巷道中安装了水幕,爆破前撤人时即开启,经常造成巷道积水。近年来,我国借鉴美国、澳大利亚等采煤发达国家的经验,研发了各种机械式(利用冲击波)、电磁式(声控)等自动爆破喷雾降尘装置,使用效果很好,有效阻隔了爆破粉尘向外扩散。比如,山东科技大学研发了具有爆破前(后)自动洒水降尘和爆破时自动喷雾除尘两大功能的新一代薄煤层炮采工作面多功能全自动爆破喷雾系统,通过在兖矿集团北宿煤矿的现场应用,验证了该系统具有很好的降尘效果,爆破后工作面平均粉尘浓度仅为 13.5 mg/m^3 。

1.1.3.4 干式钻眼捕尘技术

当不能采用湿式钻眼时,必须采用干式捕尘措施,防止钻眼时粉尘的产生。目前,国内外广泛采用的干式捕尘方法是中心式抽尘单机捕尘技术。干式孔口泡沫捕尘法已在一些矿山进行工业性实验,待进一步改进后方可大量推广。该种除尘方法存在的主要缺点,是泡沫的含水量及其使用寿命尚不能很好地满足捕尘的要求,在结构上只适用于单机使用。前苏联研究的一项成果,即采用中心抽尘的集中捕尘系统,可以克服单机捕尘存在的缺点,该捕尘系统主要是将钻眼时产生的大量粉尘集中送到大型的除尘装置中进行处理。

1.1.3.5 其他防降尘技术

炮采(掘)的其他产尘点还有小刮板输送机机头、回柱放顶、人工装煤、铺网等辅助环节,采取的防降尘技术措施主要是喷雾和洒水。此外,为净化风流,工作面的回风巷还使用了净化水幕,再辅以及时冲洗,确保了煤尘不堆积。

1.1.4 国内外其他一些先进的防尘技术

1.1.4.1 冲击水浴喷雾式除尘

冲击水浴喷雾式除尘是借助水与气体作相对运动的过程中,液体介质与尘粒在惯性碰撞、截留、扩散及凝聚等效应的作用下,尘粒被液体介质所捕获,从而达到除尘的作用。除尘器的下部为盛水水槽,与进气管连接的喷口直接插入水面,来自进气管的含尘气体经喷口喷出,直接冲击液层并急剧改变流动方向,气体中密度较大的尘粒,在惯性力的作用下,落入水中实现第一次净化。气流以较高的速度喷出时,在液面附近激起大量的泡沫和水花,并与未落入水中的尘粒接触碰撞得到第二次净化。穿过泡沫、水花层的气流,在上部空间受到两层喷头喷出的雾化液体的淋浴,得到第三次的净化。净化后的尾气到达水箱顶部,受到雾沫液滴的淋浴和排气管口的喷头喷出的雾帘屏障的强洗,实现第四次净化。净化后的空气排入大气。

1.1.4.2 磁化水降尘技术

水是一种抗磁性的物质,由成对的电子的分子组成,在磁场中都存在着一个微弱的排斥力,当外加一个磁场后,能使原来的抗磁性物质发生磁化,并建立起与原有磁场相反的磁矩。这一外加的磁矩使水的内聚力下降,也就是使水的黏度和表面张力下降。磁化处理后,降低了水的硬度、电导率,净化了水质和提高了水的渗透压力,更主要的是改变了水

的晶格结构,使复杂的长链变成短链结构,从而使水珠变细变小,提高雾化程度,增加了与粉尘的碰撞凝聚机会,特别是对呼吸性粉尘的捕捉能力加强。磁化水可提高固-液界面的吸附作用和润湿作用,其降尘效果十分显著。

根据前苏联的实验结果证实:水流过磁场强度为 2200 Oe [1 Oe 相当于 $(1000/4\pi)\text{ A/m}$] 的磁化器时,流速为 $0.3\sim 0.5\text{ m/s}$,与未磁化的水相比,对岩尘而言除尘效果可提高 $2\sim 3$ 倍,对煤尘可提高 1.8 倍左右。磁化设备比较简单,一次建成后可长期使用。目前,我国煤矿推广应用的磁水器主要有 TFL 型高效磁化喷嘴降尘器、RMJ 型系列磁水器等。

1.1.4.3 泡沫除尘

泡沫除尘是用专门的泡沫发生装置向尘源喷射泡沫,刚刚生成的矿尘被无间隙泡沫覆盖得以湿润,失去飞扬能力。泡沫除尘同喷雾洒水除尘相比,其耗水量减少一半以上。这种除尘技术在美国、前苏联、波兰等国家得到广泛应用,并已研究出定型的符合安全卫生和使用要求的廉价发泡剂。还根据不同的尘源要求,研究出不同型号的泡沫除尘配套系列设备。泡沫除尘适用于尘源较固定的作业地点,如综采机组、带式输送机等,一般除尘率可达 90% 以上。目前,IIO-1 型和 PAC-NA 型泡沫剂在矿山除尘方面有较好的除尘效果。

1.1.4.4 超声雾化技术

这种除尘方法的特点是在局部密闭的产生尘点中,安装利用压缩空气驱动的超声波雾化器,当高速气流冲击雾化器的共振腔时,在气流出口与腔之间由于聚能而产生超声场,水流经超声场时,水迅速被雾化成浓密的微细水雾,这种雾的粒径比普通喷雾器喷出的雾滴粒径小得多。雾滴迅速捕集凝聚微细粉尘,使粉尘特别是呼吸性粉尘很快沉降在产尘点,实现就地抑尘。由于其捕尘机理与普通喷雾捕尘完全不同,在捕尘中耗水量极少,被称为超声雾化捕尘,避免了使用干式、湿式除尘器带来的问题和清灰工作的二次污染以及普通喷雾水量过大的弊病。

1.1.4.5 流质薄膜除尘技术

英国伦敦铁路学院发明了一种控制煤尘的新方法,可大大减轻煤炭在运输过程中对环境的污染。这种新方法非常简单,它是利用一层薄膜罩住煤炭。制造薄膜所用的原料是旧汽车轮胎和油罐中取出的油脚。先将旧轮胎粉碎并与油脚混合,再用蒸气烘烤混合物,使橡胶溶化;冷却后再加一份油脚,再次加热。为了增加黏合力,可加入表面活性物质。把得到的流质喷洒到煤上,它会在煤的表面结成一层薄膜,煤尘就再也不会飞扬了。用这种方法处理过的煤的燃烧值不会降低,还能避免煤在运输过程中的损耗。

1.1.5 矿尘测量技术

医学研究已经证明,生产性矿尘中的游离二氧化硅,是致尘肺的主要矿物成分,因此,当今世界各国矿山的安全规程中,对作业现场空气中矿尘浓度限值的规定,都是以矿尘中游离的二氧化硅含量为依据。我国《煤矿安全规程》对此也作了规定。如何准确快速地检测出作业场所的矿尘浓度,对于安全生产和人身安全都至关重要。目前,世界各国使用的测尘仪器主要有 2 类:矿尘采样器和直读式快速测尘仪。使用采样器采集尘样,通过称重和计算得出矿尘浓度值。由于采样器测量值准确度高,在很多国家定为标准矿尘浓度测定仪器,但这类测尘仪器需要称重、烘干、采样、再烘干、再称重及计算等一系列烦

琐的过程,因此存在不能及时反映现场环境矿尘浓度的缺点。采用直读式快速测尘仪,使用简便,可以在生产场所立即读出矿尘浓度的相对值,经换算可直接测得现场矿尘浓度的数值,这种测尘仪主要有射线测尘仪、压电晶体质量测尘仪和光散射式测尘仪。该类测尘仪是充电式的,有的虽然能连续使用8~24 h,但是间歇式的测量,不能实时连续的监测。因此研究并开发推广矿尘实时在线监测监控系统是当前研究的热点。

1.1.6 粉尘浓度在线监测技术

国外对粉尘浓度在线监测技术研究较早,主要有电容法、 β 射线法、光散射法、光吸收法、摩擦电法、超声波法、微波法等粉尘浓度在线测量方法。目前市场上主要采用光散射法、光吸收法、摩擦电法进行粉尘浓度在线监测,形成的产品较多,并成功地应用于烟道粉尘浓度测量和煤矿井下粉尘浓度测量上。

国外有代表性的产品为英国的 Sims lin 系列监测仪以及其升级产品 OSIRIS 粉尘传感器和计算机粉尘监测系统;德国丁达尔公司生产的 TM 系列粉尘仪;俄罗斯研制的 $\pi-101$ 型自动测尘仪;日本柴田 LV-5E、P5 系列微电脑粉尘仪;美国研制的 RAM 系列实时粉尘监测仪、粉尘雷达和 Auburn 公司生产的 3400 型粉尘监测仪。国内粉尘浓度在线监测技术的发展较晚,主要以采样器、直读式测尘仪为主,但最近几年,随着信息技术的发展及光电子技术、计算机技术的提高,煤炭科学研究总院重庆分院最先在国内开发出了 GCG500 型粉尘浓度传感器。国内其他厂家也陆续引进、开发出了粉尘浓度传感器。

国内外粉尘浓度在线监测技术大多采用光散射法原理,但在其测量误差、测量范围和工作电流上有所差别。国外仪器大多采用分段方式测量,而且工作电流较小,除 Sims lin-II 之外,其他测尘仪的测量准确度较高,但粉尘浓度测量范围偏小。国内仪器测量范围宽、准确度低、工作电流大,其中 GC1000 型粉尘浓度传感器测量误差达到了 25%。

1.1.7 粉尘作业个人防护用品

防尘口罩是现阶段矿工最常用、最有效的粉尘个人防护用品,这里笔者仅以防尘口罩的发展概述为例说明。美、德、日生产的防尘口罩加工工艺先进,其造型和组合适合佩戴要求,滤料过滤效率高,佩戴舒适、不闷气。国产防尘口罩的阻尘率普遍偏低,与国外的相比有较大的差距。影响防尘口罩阻尘率的主要因素有 2 个:①防尘口罩的泄漏率;②防尘口罩所用滤料的过滤性能。同时,对防尘口罩性能的检测技术也提出了较高的要求,国外对使用于 $10\ \mu\text{m}$ 以下的呼吸性粉尘环境的防尘口罩的阻尘率,普遍采用 NaCl 气溶胶进行试验。我国用于阻尘效率的试验介质与日本、美国等国家的试验介质在粒径方面有较大的差距。其测试产品的阻尘率即使标明大于 95%,而实际上是达不到的。

1.1.8 粉尘职业健康管理机制与机构

国外一些主要采煤工业国家如美国、澳大利亚、波兰、俄罗斯、英国、德国等在粉尘监测管理立法上比较完善,一般情况下粉尘技术装备的除尘效果较好。在国外的煤炭行业,职工安全健康研究和管理机构比较完善。如美国安全业务工作机构在煤矿较为集中的地区都设有基层技术研究单位,负责执行法规控制粉尘的技术研究、分析实验、设备制造、测试仪表等工作;安全监察工作机构下设安全健康研究部门,负责对全国安全监察官员的安全法规教育和安全技术培训工作;健康研究院下设职业病研究所,负责煤矿职业病发病情况和防治的研究工作;健康技术中心下设煤矿粉尘部,负责对粉尘采样分析,掌握接尘工人的档案,提供煤矿粉尘状况和提供制定安全法律的依据以及安全仪表、设备、

防尘技术的鉴定工作；各地区的安全环保实验室下设有粉尘实验室，负责井下采样、分析实验、提供粉尘情况的工作。劳工部下属的安全部门都属政府机关，对煤矿实行监督检查的职权，这种完善的管理体制做到了监督检查有数据，制定法规有依据，安全管理有机构。上述国外先进的管理模式值得国内煤炭行业学习借鉴。

为了确保呼吸防护用品能正确有效使用，美国、日本、加拿大、澳大利亚等国还制定了《呼吸防护用品的选择、使用及维护标准》。内容包括操作程序、选择原则、使用者的训练、环境评估、防护用品的检测、使用检测合格的呼吸防护用品、健康检查等。各国规定在选择原则上有些不完全相同，如欧盟等国家规定：在缺氧与立即致危状况下，只能使用正压操作自给呼吸面罩；一般有害物质暴露状况下，使用输气管面罩或是对特定有害物质具有防护功能的净气管面罩等。目前，我国呼吸防护用品现场研究几乎为空白，在呼吸防护用品的设计、生产、性能检测、选择、使用和监督管理等方面均与国外有明显的差距。

我国政府非常重视职业病的防治工作，1987年国务院颁布了《中华人民共和国尘肺病防治条例》，明确规定粉尘作业工人要佩戴符合国家标准防尘用品。1992年国家颁布了GB/T 2626—1992《自吸过滤式防尘口罩通用技术条件》（代替GB 2626—1981）是防尘口罩的基础标准，包括主题内容和使用范围、国际通用的防尘口罩分类、技术要求、检验方法、检验规则等。标准整体技术要求具有20世纪80年代末国际先进水平。

2001年10月我国政府颁布的《中华人民共和国职业病防治法》强调了职业病防治工作坚持以预防为主、防治结合的方针，实行分类管理、综合治理。2002年又颁布了《呼吸防护用品的选择、使用和维护》推荐标准，但是，该标准缺乏呼吸防护用品的现场研究资料，对个人防护用品选择、使用仍然有相当的技术难度和风险，与国外有明显的差距。但如何提高呼吸防护用品技术性能的检测水平，以及选择适合使用者佩戴，又能达到现场防护要求的现场研究，是贯彻《中华人民共和国职业病防治法》和尘肺病防治工作亟待解决的问题。

1.2 矿井采掘工作面粉尘防治技术分类

在当前煤矿生产技术的条件下，矿井综合防尘应包括这样的含义，即从矿井采、掘、机、运、通五大系统，到各系统的各生产工序、各个环节都必须采取综合性防治粉尘的有效措施。这种措施不是单纯的某一项或某两项，也不是带有工序性空白环节的间隔性防尘措施，而是在任一产尘工序，任一产尘环节上都必须采取一项和几项行之有效的防尘措施，或者以某一项措施为主，某几项措施为辅，实现多种措施同时并举，使作业空间的粉尘浓度达到国家规定的卫生标准，真正消除或控制住矿尘危害，杜绝煤尘事故。

根据我国煤矿现阶段的防尘技术条件和技术设备，矿井综合防尘措施可大致归纳为五大类，具体为减尘、降尘、捕尘、排尘和阻尘，这也是综合防尘的五大环节。

1.2.1 减尘

减尘就是减少和抑制尘源，这是防尘工作治本性措施。它包括2个方面：一是减少各个产尘工序的产尘总量和单位时间内的产尘量，从产尘数量上把关；二是减少对人体危害最大的呼吸性粉尘所占的比例，在降尘质量上设防。例如，煤层预湿注水或诸如化学试剂，上分层采空区灌水注浆，湿式凿岩和电煤钻水打眼，水封爆破和爆破充填水炮泥，改革截齿和钻具，减少炮眼的数量，寻求最佳截割参数等都属于减尘措施。减尘措施是实现

粉尘浓度达到国家标准的根本途径。在矿井综合防尘实践中应优先考虑采用这类措施。

1.2.2 降尘

降尘是使悬浮于空气（或风流）中的粉尘及早地沉降，以减少浮游粉尘浓度的防治性措施。现阶段煤矿降尘主要是利用水雾适宜风速和其他办法加速粉尘的沉降。井下多采用洒水喷雾降尘，即利用压力水通过各种喷雾装置形成具有一定速度的细小雾粒、与浮游粉尘碰撞接触来湿润粉尘，迫使粉尘加速沉降。试验表明，不同的雾粒直径、雾粒速度和密度，对不同粒度的粉尘有不同的效果。一般来说，对于小于 $5\sim 7\text{ }\mu\text{m}$ 的呼吸性粉尘采用喷雾洒水效果并不明显。除洒水降尘外，还可以采用湿润剂降尘和泡沫降尘等新技术。

1.2.3 捕尘

捕尘是一项将空气中浮游粉尘聚集起来处理的聚歼性措施，它主要是利用吸尘器和捕尘器来完成。吸尘器和捕尘器主要是利用扩散、碰撞、直接拦截、重力、离心力等原理使粉尘与空气分离，以降低空气中的浮游粉尘浓度，或者使粉尘连同空气一起通过含水雾滤层被收集捕捉、沉淀排出。国外煤矿多半采用的是湿式捕尘器，捕尘效率达到 $80\%\sim 90\%$ 以上。目前，虽然我国煤矿使用除尘器除尘还很不普遍，但在煤矿生产实践中，一部分除尘器已经在井下发挥了一定的作用。

1.2.4 排尘

排尘是以加强通风为手段，利用新鲜风流冲淡、排除采用前述防尘措施尚未沉降的那部分浮游粉尘。以风治尘首先要有合理的通风系统，实行分区通风，尽量避免含尘污风串入井下作业场所；其次是在安全条件允许情况下，改变通风方式，避免高浓度粉尘长时间污染工作面 and 巷道；三是调整风速，寻求最佳排尘风速，提高通风排尘能力。

1.2.5 阻尘

阻尘是通过戴各种防尘口罩和防尘矿帽实现个体防护的一项补救性措施。戴防尘口罩是阻止粉尘进入人体的最后一道关卡。根据资料介绍，武安-II型防尘口罩的阻尘率高达 98% 。戴与不戴防尘口罩，人体吸入的粉尘量相差近 50 倍。

我国煤矿常用的防尘口罩有普通纱布口罩、过滤式防尘口罩和过滤式送风口罩 3 种。煤矿防尘技术措施的分类及其具体内容如图 $1-1$ 所示。

1.3 矿井粉尘防治技术展望

虽然现阶段国内外在煤矿粉尘防治方面取得了一定的成效，但随着煤矿机械化程度的提高，开采强度的增大，矿井的防尘问题日益突出。今后国内外提高防尘效果的研究趋势将体现在以下 4 点：

(1) 如何综合防尘。由于煤尘产生的源头多、类型复杂，在实际防尘工作中，并非防尘措施越多煤尘治理越好，而应根据尘源的具体类型，有选择地实施合适的综合防尘技术，才能经济而有效地控制粉尘。

(2) 合理地选择通风方式和工作面风量是通风除尘的关键，适时合理确定工作面风量，使工作面风量既有利于排放瓦斯，又有利于工作面防尘和防火，使工作面的风速达到最优排尘风速。

(3) 提高工作面喷雾除尘系统的自动化水平。采煤机、液压支架、掘进机等机电设备的喷雾降尘的自动化水平还有待于进一步提高，此外，加强对喷雾设备的系列化生产，

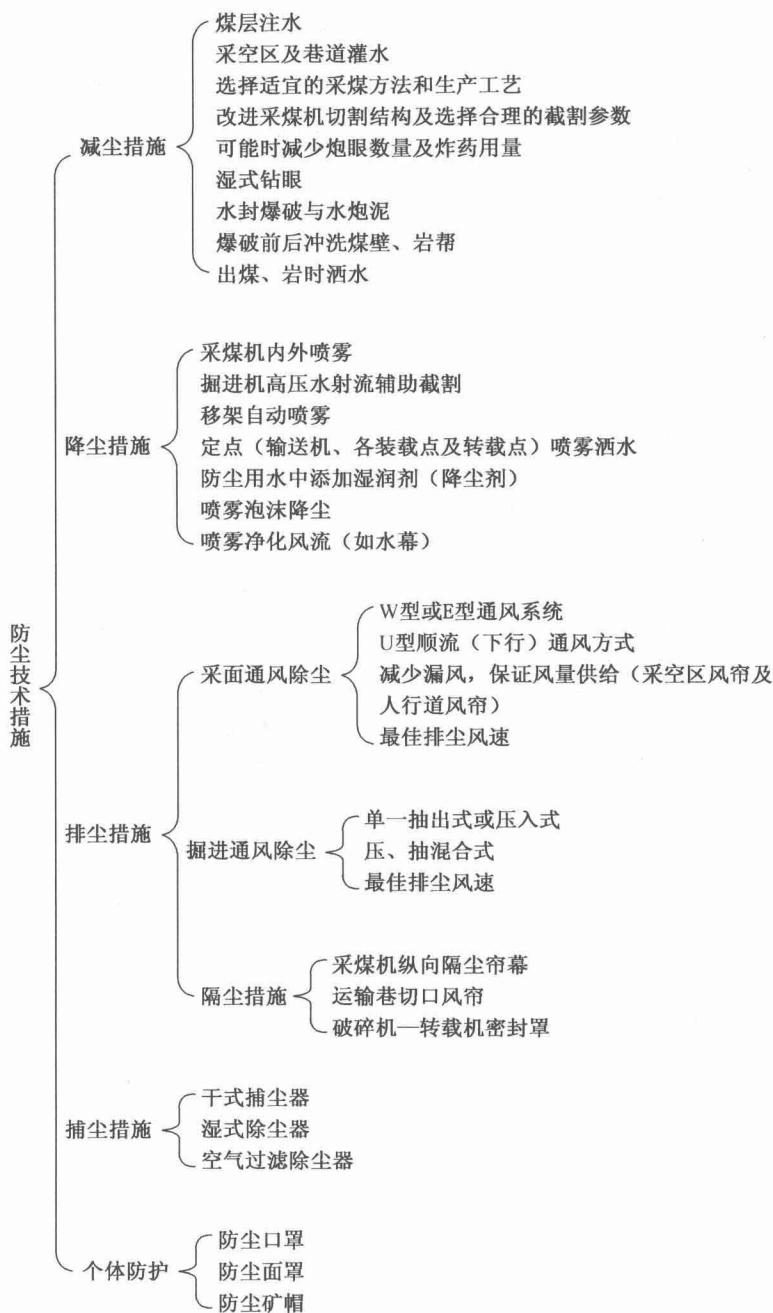


图 1-1 矿井防尘技术措施分类及内容

尤其在使用性能上有待较大的提高。

(4) 综合防尘管理制度的健全。推广现有矿尘监测成果,并向多点、远距离、大面积实时连续监测监控方向发展;在矿井粉尘综合防治评价系统的基础上,建立矿尘控制技术评价指标体系,使控制方案达到最优化;建立更合理的矿尘危害程度评估体系,使矿尘造成的危害最小。

2 煤层结构与煤尘的基本微观性质

要想对矿井控尘理论和高效降尘技术工艺进行深入研究,首先就必须对煤层结构及煤尘的基本微观性质进行理论分析和实验研究,从而为煤层注水、喷雾降尘和化学抑尘等方面的研究提供基础数据。

2.1 煤层结构

当水在煤层中的裂隙、孔隙内均匀存在时,才能使每层充分湿润。因此首先对煤层的裂隙、孔隙应有一个基本了解。煤体内有无数的裂隙、孔隙,按其成因、存在状态和分布情况大体可有如下4种。

2.1.1 层理

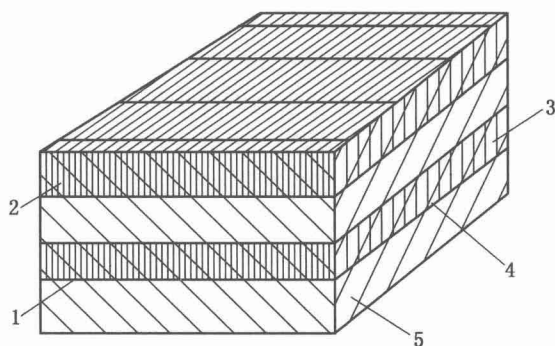
煤层的层理面是在成煤过程中所形成的各种煤岩成分的分界面。层理虽然没有直接使煤体(或使煤体和围岩间)断裂开来,但却使煤体沿层理方向产生了一个弱面。注水时,水容易从这个弱面压入通过,因此在研究煤层注水时,我们把它纳入裂隙加以讨论。通常所见的是连续性的水平层理,也有断续性的层理或斜状层理。当煤层属均一致密的块状构造时(如某些暗淡型煤或腐泥煤),层理则不明显。当煤层注水时,层理面常可成为一个连续通道,使水到达整个煤层的待湿润范围。

2.1.2 内生裂隙

煤体的内生裂隙是因煤层在成煤和变质过程中,受上覆岩层压力和湿度的作用,使煤炭中凝胶化物质的分子结构压紧并重新排列,体积收缩产生内张力,而形成了裂隙。它的形成与地质构造运动和采动影响等外界动力无关,因此称为内生裂隙。在各种煤岩成分中,以镜煤和亮煤中的内生裂隙最为发育。它通常垂直于层理面,裂隙面平坦而光滑,往往呈两组互相垂直的裂隙组,其中裂隙密度较大的一组称为主裂隙组,另一组称为次裂隙组(图2-1)。内生裂隙的发育程度,是用煤体某一断面上沿层理方向每5 cm长度内肉眼观察的裂隙数目来表示的。它和煤的变质程度紧密相关,常常用以判别煤的变质程度,同时也是影响煤层注水难易的一个因素。

2.1.3 外生裂隙

煤层形成后,受地质构造运动的剪切作用,按受力方向和强度不同,产生了与层理面斜交的外生裂隙。它能产生于各种煤岩成分或各种煤岩类型的煤体中(图2-1),外生裂隙常与层理面斜



1—层理面; 2—主内生裂隙组; 3—次内生裂隙组;
4—外生裂隙; 5—镜煤或亮煤

图2-1 内生与外生裂隙