



Quanguo Meikuang Fangchen Jiangchen Jishu

全国煤矿 防尘降尘技术

中国煤炭工业协会 编
贵州盘江投资控股(集团)有限公司

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

全国煤矿防尘降尘技术

中 国 煤 炭 工 业 协 会 编
贵州盘江投资控股(集团)有限公司

中国矿业大学出版社

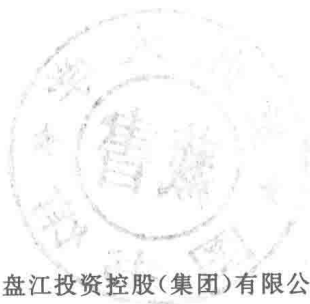
图书在版编目(CIP)数据

全国煤矿防尘降尘技术 / 中国煤炭工业协会, 贵州
盘江投资控股(集团)有限公司编. —徐州: 中国矿业大学
出版社, 2014. 9

ISBN 978 - 7 - 5646 - 2395 - 1

I. ①全… II. ①中… ②贵… III. ①煤矿—除尘—
文集②煤矿—降尘—文集 IV. ①TD714—53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 155355 号



书 名 全国煤矿防尘降尘技术
编 者 中国煤炭工业协会 贵州盘江投资控股(集团)有限公司
责任编辑 杨 廷 李 敬
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
开 本 889×1194 1/16 印张 41 彩插 8 字数 1185 千字
版次印次 2014 年 9 月第 1 版 2014 年 9 月第 1 次印刷
定 价 160.00 元

(图书出现印装质量问题, 本社负责调换)

《全国煤矿防尘降尘技术》编委会

编委会主任	王显政			
编委会副主任	梁嘉琨	彭建勋	张仕和	
编委会成员	路耀华	赵岸青	姜智敏	孙之鹏
	田会	解宏绪	刘峰	王虹桥
	金磊夫	周炳军		

主 编	彭建勋			
副 主 编	孙守仁	孙朝芦	徐再刚	杨树勇
编辑组成员	张宏	汤家轩	陈养才	刘富
	陈奇	李玉环	黄寿卿	易国晶
	葛维明	秦彦磊	李德文	余兆星
	任万兴	郭胜均	祖自银	杨俊哲
	葛春贵	胡能应	杨景旺	旷永华
	杨五毅	强辉		

前言

党和国家始终把人民群众的生命安全放在首位,坚持以人为本,遵循“安全第一,预防为主,综合治理”方针,实施科学和安全发展战略,强化安全生产责任体系建设,落实企业主体责任,加强安全监管,全面构建长效机制,有效防范、坚决遏制重特大事故,实现了安全生产形势的稳定向好。2013年度,全国煤矿共生产煤炭36.8亿吨,建成了450多处安全高效矿井、680多处一级安全质量标准化矿井,百万吨死亡率降到0.288,创造了历史最好水平。

但是,煤矿井下防尘降尘工作还有不足,煤尘和瓦斯煤尘爆炸事故时有发生,国家安全生产监督管理总局、国家煤矿安全监察局《关于加强煤尘防治工作防范煤尘爆炸事故的紧急通知》(安监总煤装[2014]85号)强调:“我国煤矿历史上曾多次发生重特大煤尘爆炸事故和瓦斯煤尘爆炸事故。目前,煤尘爆炸仍然是我国煤矿安全的主要威胁之一,必须保持高度警觉。”另外,粉尘还严重危害了职工身体健康,导致大量人员提前失去劳动能力和过早死亡,并产生巨大经济损失。据国家卫生计生委统计,截止到2010年底,全国累计报告尘肺病676541例,死亡149110例,病死率为22.04%。全国每年因尘肺病造成的直接损失达100亿元以上,间接损失在200亿~300亿元,近几年,以每年2万例以上的速度增加,截至2013年底,全国累计尘肺病约75万例,其中煤炭行业尘肺病患者占50%以上。因此,做好煤矿井下防尘降尘工作,不仅是煤矿防范重大事故的安全工程,还是造福矿工的健康工程和维护矿区秩序的和谐工程。

为加强全国煤矿防尘降尘的理论研究,总结经验和做法,交流新技术、新工艺、新装备的发展和应用情况,中国煤炭工业协会向煤炭企业、科研部门、院校、设备制造企业及有关专家征集技术论文近260篇,从中遴选123篇,涉及防尘理论研究、新技术除尘、防尘降尘管理和湿式除尘、通风除尘、综合防尘等具体技术与方法,是现阶段煤矿防尘降尘理论研究和实践的最新成果,具有重要的参考价值。

本书的论文征集和编辑工作,得到了煤炭行业管理部门、协会、煤炭企业、科研机构、院校和有关专家的大力支持和帮助。在此,谨对他们和在本书编辑过程中作出贡献的人们表示衷心感谢!由于时间紧、任务重和编辑者的水平有限,其中疏漏在所难免,恳请读者批评指正。

编委会

2014年9月16日

目次

综 述

国内外煤矿粉尘防治技术发展历程及趋势·····	李德文	(3)
煤尘爆炸特性研究现状及发展方向·····	司荣军,等	(17)
大容量全肺灌洗治疗尘肺病 10046 例次报告·····	张振国,等	(22)

1 防尘理论与新技术

泡沫降尘技术的机理及应用·····	祖自银,等	(31)
粉尘防治关键技术及装备研究·····	郭峰,等	(36)
煤质成分对煤尘爆炸特性影响实验研究·····	司荣军,等	(41)
负压二次降尘装置在采煤工作面的应用·····	轩利豪	(46)
采煤工作面防尘新技术的研究与应用·····	杨景旺,等	(50)
尘克抑尘系统在综采工作面的应用·····	张聪华,等	(54)
防尘网在煤矿掘进工作面中的应用·····	王向阳,等	(62)
负压二次降尘除尘装置在综采工作面的研究应用·····	丁建兵,等	(65)
负压诱导式除尘装置在煤矿井巷防尘工作的应用·····	宋海波	(69)
煤矿粉尘第三方检测检验科技服务平台的构建研究·····	李德文,等	(72)
掘进工作面泡沫降尘技术研究·····	邓云武	(78)
光控自动喷雾装置在煤矿降尘中的运用·····	孟厦,等	(83)
大功率综掘机在岩巷、半煤岩巷除尘系统中的应用·····	张旭臣,等	(86)
灰分及挥发分对煤尘爆炸性鉴定火焰长度的影响·····	刘楠琴	(91)
建新煤矿自动升降式扑尘装置的研究与应用·····	张兴文,等	(95)
钻孔除尘装置的研制及其应用·····	范付恒	(98)
除尘器逆向喷雾雾粒运动轨迹建模与应用·····	巫亮	(103)
梁北矿岩巷综掘工作面矿用泡沫抑尘技术的应用·····	王涛,等	(110)
袋式除尘器在我国煤矿岩巷掘进工作面的应用·····	荔军	(113)
高效水炮泥爆破防尘技术的应用·····	吴奎斌	(118)
混凝土喷射机除尘技术研究·····	李浩	(122)
高压脉动水力锤击煤层注水技术研究·····	李波	(129)
泡沫降尘技术在薛湖矿钻孔除尘中的应用·····	李东风,等	(135)
基于电荷感应法粉尘浓度检测技术研究·····	陈建阁	(140)
浅谈泡沫降尘技术在建新煤化公司的应用·····	张兴文,等	(146)
软煤层顺层钻孔风排渣施工孔口降尘技术·····	陈斌	(149)
神宝能源公司火车装车站粉尘治理新技术·····	马志勇,等	(155)

基于 RSM 的呼吸性粉尘旋风分离器采样效率数值研究	惠立锋	(160)
水分子改性与粉尘治理的研究	梁旺亮	(167)
综采工作面红外线自动洒水降尘研究	冯晓晖	(172)
新型降尘材料在综掘工作面防尘中的应用	刘承宇,等	(176)
基于 Nafion 膜的粉尘样气处理技术	焦敏	(181)
露天矿道路抑尘剂的研究和应用	赵文忠,等	(185)
综放工作面煤壁速效预湿自动控尘装置的研究与应用	邵光磊,等	(192)
综掘工作面泡沫抑尘技术研究	王静虎	(196)
基于功率监测的除尘风机变频风量推算方法	尹震飏,等	(200)
综掘工作面强力降尘装置的研究	杨景旺,等	(207)
采煤工作面支撑压力对煤体湿润效果影响分析	张平	(210)

2 防尘降尘管理

百矿集团防尘降尘技术的应用实践与管理	蒋运良,等	(219)
以人为本 科学治尘 促进企业安全和谐发展	杨景旺,等	(225)
浅析尘肺病的发病机理及其预防措施	孙鹏飞	(230)
加强煤矿防尘降尘技术管理工作 确保员工健康	惠金杰	(234)
“四位一体”管理“无尘化”矿井建设的研究与实践	马勇,等	(239)
煤矿清洁化生产集成管理技术的探索与应用	翟召湖,等	(247)
煤矿职业病防治重在防尘	温文增	(252)
浅谈煤矿“三无”清洁生产管理法	翟召湖,等	(256)
潞安矿区矿井粉尘防治模式构建	李超	(259)
浅谈煤矿综合防尘管理中的“六个三”工程	王世平	(266)
矿业集团公司“无尘化”矿井管理体系的构建	杨瑞斌,等	(271)
某煤业集团煤工尘肺病发病分析	罗大彬	(275)

3 湿式除尘

煤层注水降尘技术在长平公司的应用研究	李海贵,等	(283)
炮掘工作面防尘效果测试及技术改进分析	武光辉,等	(287)
新型喷雾与割运水电闭锁技术在矿井防尘中的应用	王兆喜,等	(293)
成庄矿综放工作面煤尘抑制剂注水降尘的应用	王龙飞	(298)
矿井粉尘浸润性实验研究及活性剂的选取	刘玉卫,等	(304)
XF-360 微型水幕问世及实践中的应用	王朋	(312)
安装红外感应定时洒水装置降低胶轮巷运输过程中产生的粉尘	李彦鹏	(315)
二位一体风水联动远程喷雾在掘进生产中的应用	王广青,等	(319)
KCS-450D 湿式除尘器在 EBZ120 型综掘机上的应用	陈德虎,等	(324)
邯矿集团郭二庄煤矿综采工作面自动洒水降尘装置的技术改进	吴月春	(327)
风筒口喷雾在掘进工作面的实践应用	郭福军,等	(330)
掘进工作面利用浅孔预抽瓦斯钻孔进行短壁煤层注水及效果分析	郜艳丽,等	(333)
基于极限平衡区宽度的煤层注水技术改进探讨	刘庆龙	(337)

煤层注水工艺在中厚煤层综采工作面的应用与实践·····	董健	(343)
大采高综采工作面煤层注水防尘技术应用·····	王海宾,等	(347)
煤巷综掘工作面煤层注水除尘技术研究·····	王涛,等	(353)
气液喷雾弱水降尘技术研究·····	彭厚红,等	(359)
兴隆庄煤矿煤层注水参数的测定·····	周波,等	(362)
赵庄矿综采工作面自动洒水降尘系统的研究·····	曹利波	(369)
赵庄煤业综采工作面煤层注水技术的应用·····	段建恒	(374)
综采工作面动压煤层注水降尘试验的有效性·····	徐培思	(379)
综采工作面煤层注水防尘技术应用与探讨·····	张其朋,等	(383)
综掘工作面高压喷雾降尘影响因素分析与工艺实践·····	吕明飞,等	(387)
自动洒水降尘装置及其应用·····	邓成峰	(393)

4 通风除尘

综掘工作面分段控风控尘技术研究·····	陈芳	(401)
大功率除尘风机在锚喷作业的应用研究·····	陆永强	(407)
湿式螺弦风机在掘进工作面的应用·····	薛闯	(411)
湿式振弦除尘风机在综掘工作面粉尘治理中的应用·····	顾科科	(414)
仙亭煤矿通风防尘现状及对策·····	王志强	(418)

5 综合防尘

坚持标本兼治,创建无尘绿色矿井·····	余兆星,等	(425)
大采高综采工作面综合防尘技术实践·····	温俊三,等	(430)
大佛寺煤矿 40110 综放面综合防尘技术研究与应·····	张亚潮,等	(435)
综合降尘措施在金佳矿 11181 综采工作面的应用浅析·····	施凯,等	(441)
梨树煤矿防尘技术创新·····	张健	(448)
新发煤矿掘进工作面综合防尘治理浅析·····	刘畅峰,等	(452)
火石咀煤矿防尘降尘现场技术管理应用·····	滑海利	(455)
急倾斜综采工作面综合防尘技术研究·····	秦荣,等	(460)
掘进面综合降尘技术·····	尹豹	(464)
李雅庄矿综采工作面粉尘综合防治技术研究·····	樊启文	(468)
煤矿综掘工作面的综合防尘技术·····	刘彦杰,等	(476)
综放工作面综合防尘治理·····	陈成果	(482)
徐庄煤矿“四位一体”综合防尘技术研究·····	陈洲,等	(486)
综合控降尘技术在现代化瓦斯矿井掘进工作面的应用研究·····	马威	(496)
煤尘危害分析与综合防尘降尘技术的应用·····	刘小锋	(501)
煤矿防尘技术研究·····	白永忠,等	(505)
煤矿粉尘防治成套技术研究与应·····	王金宝,等	(510)
煤矿综合防尘技术的有效应用·····	王利强	(516)
大屯矿区综合防尘技术存在的问题及对策·····	吴奎斌	(522)
南屯煤矿综采工作面综合防尘技术应用效果·····	郝迎格,等	(526)

千万吨级无尘化矿井建设技术探索与实践	李超,等	(531)
浅埋高硬度低质煤层开采综合防尘技术研究	丁增强,等	(538)
浅谈急倾斜采煤工作面粉尘综合防治技术	孙占海,等	(544)
岩巷综掘工作面粉尘防治技术探讨及应用	陈小绳,等	(551)
晓南矿井下粉尘综合治理	曲宝,等	(556)
高瓦斯大风量综采面粉尘防治难点及对策探讨	张建斌,等	(565)
姚桥煤矿综掘工作面湿式通风除尘系统的应用	李波	(572)
永安煤矿综放工作面综合防尘技术应用实践	侯文毅,等	(577)
采煤工作面综合防尘技术的研究应用	路永贵,等	(580)
综放工作面防尘降尘技术分析	贾康民	(583)
煤矿综合防尘技术	王静虎	(589)
综合防尘技术在大倾角超长工作面的应用与思考	邢玉强	(592)
综合降尘技术在高家梁煤矿的应用	袁地镜,等	(599)
煤矿防尘降尘技术与管理	李子木	(607)

6 其 他

大倾角综放工作面防尘技术	齐怀远,等	(613)
关于瓦斯、煤尘爆炸监控预防综合一体化可行性研究	颜成龙	(617)
可拆式隔爆水棚在孟村矿井的应用	高刚,等	(621)
盈盛煤业爆破压入式通风掘进空间内粉尘分布规律与防尘系统设计研究	孙奇,等	(624)
矿井粉尘在线监测及自动除尘系统设计及应用	李国为	(632)
提高煤层注水效果的研究与应用	张培军,等	(639)
资源整合矿井粉尘综合治理管理经验与技术探讨	邢海军	(643)

综 述

国内外煤矿粉尘防治技术发展历程及趋势.....	李德文	(3)
煤尘爆炸特性研究现状及发展方向.....	司荣军,等	(17)
大容量全肺灌洗治疗尘肺病 10046 例次报告.....	张振国,等	(22)

国内外煤矿粉尘防治技术发展历程及趋势

李德文

(中煤科工集团有限公司重庆研究院,重庆 400037)

摘 要 文章阐述了国内外煤矿粉尘防治发展历程。从煤矿井下粉尘防治技术、监测技术和标准体系建立方面,分析了国内外目前煤矿粉尘防治技术现状和实际应用情况,并通过现状分析提出煤矿粉尘防治存在问题和未来发展趋势。

关键词 煤矿粉尘;技术现状;发展趋势

1 国内外煤矿防尘历史沿革

迅速发展的采矿工业为国民经济发展和现代化建设提供了丰富的矿产资源,同时也对矿山工业卫生工作提出了新的任务和课题。几十年来,为控制矿山粉尘危害,国内外投入了大量的人力、物力和财力,在尘肺病致病机理研究、法规和标准研究、粉尘监测仪器研发和推广、防治技术研究方面进行了卓有成效的工作,矿山企业的工作环境和劳动条件得到了较大的改善。国内外煤矿防尘大约经历了三个阶段:第一阶段是对粉尘危害的认知和尘肺病的高发阶段;第二阶段是粉尘卫生标准的制定与尘肺病预防技术的研发阶段;第三阶段是尘肺病高效控制阶段。

国内外对粉尘危害的认知和尘肺病的高发阶段约在 20 世纪 50 年代前后,50 年代前国内外的采掘机械化程度较低,粉尘产生量较小,粉尘危害的严重性没有突出出来,人们对粉尘危害的认知程度不高。随着国外矿井机械化水平日益提高,煤矿开采强度愈来愈大,粉尘的产生量也越来越多,粉尘的危害也越来越突出。1925~1945 年间,英国、美国等发达国家煤矿井下工人的尘肺病发病率达 10%~15%,日本高达 39%。在这个过程中发达国家对粉尘的危害开始认知和研究,英国是研究呼吸性粉尘最早的国家之一,早在 50 年代末,就开始了呼吸性粉尘在肺内沉降规律和空气中呼吸性粉尘采样方法等方面的研究。在 1959 年南非约翰内斯堡举行的第二届国际尘肺会议上,英国医学研究委员会和美国原子能委员会提出了关于呼吸性粉尘在肺内沉降曲线和对呼吸性粉尘采样器技术要求的建议并获得通过。由英国医学研究委员会推荐的选择曲线,不允许沉降速度超过 1.5 mm/s(直径 7.1 μm 的单位密度球形颗粒的沉降速度)的任何颗粒进入这个采样器。它只允许沉降速度 0.75 mm/s 的颗粒 50% 进入采样器。由美国原子能委员会建议的曲线,后来经美国工业卫生医师协会稍加修改并采用。几乎同时,法国也提出了一条类似的曲线,这条曲线被应用在

作者简介:李德文,博士,1983 年以来一直从事煤矿粉尘防治等研究工作,先后主持或参加有关粉尘防治方面的国家科技攻关课题、省部级课题的研究工作,共获得科研成果 50 余项、专利 10 项、科技进步奖 8 项。完成技术咨询、技术服务项目近 100 项,2000 年获得煤炭系统专业技术拔尖人才。中煤科工集团重庆研究院有限公司院长助理兼粉尘研究所所长、学科带头人,是中国煤炭工业劳动保护科学技术学会粉尘专业委员会主任委员、煤矿安全标准化技术委员会粉尘防治及设备分会主任委员。E-mail:cqmkylw@163.com;电话:023-65239366,13608306701

CPM 测尘仪上。

20 世纪 60 年代初英国国家煤炭局组织英国的一些职业医学研究机构开展呼吸性煤尘的监测,并着重进行了呼吸性粉尘暴露量与煤工尘肺患病率关系的研究。这些研究工作包括劳动卫生、职业流行病学、职业病诊断学、职业病理学的实验研究等许多内容。这是一个十分复杂的研究项目,其研究结果和主要数据既为英国与美国制定呼吸性粉尘的卫生标准奠定了基础,也为其他国家开展类似的研究工作提供了参考。

粉尘卫生标准的制定与尘肺病预防技术的研发阶段约在 20 世纪 60 年代~80 年代。随着各国科研工作者对尘肺病的认知和研究的深入,同时为了抑制尘肺病的高发,发达采煤国家开始制定粉尘卫生标准严格控制作业人员的接尘浓度,并着手研制粉尘检测仪器和粉尘治理技术。

(1) 粉尘卫生标准的制定

在 20 世纪 60 年代末,英国、美国首批公布了呼吸性粉尘的卫生标准。以后,在 70 年代,德国、澳大利亚、法国、西班牙、捷克斯洛伐克、芬兰、南斯拉夫等国家相继制定和公布了呼吸性粉尘的卫生标准。进入 80 年代,日本等国参考美国的标准也公布了各类粉尘的呼吸性粉尘卫生标准。目前,几乎所有矿业国家都公布了呼吸性矿尘的卫生标准,尽管其表达的方法不同和对接触限值的具体数值不尽相同,但就各国政府都充分认识测定呼吸性粉尘在控制粉尘危害和防止尘肺病的重要意义而言是完全一致的:国外制定呼吸性粉尘卫生标准的过程,主要经历了两个历史阶段:第一阶段主要是在 70 年代以前,这一阶段主要是进行关于呼吸性粉尘采样器的研制,以及呼吸性粉尘接触量与尘肺发病之间剂量反应关系的研究。在此基础上,英、美等几个工业化国家首先制定和公布了呼吸性粉尘的卫生标准。第二阶段是 70 年代以后到现在,主要是对制定的呼吸性粉尘卫生标准做进一步修订,进而提出呼吸性粉尘的危害程度分级标准,还有一些国家则借用欧美等国的研究经验,甚至直接引用美国标准的主要内容,公布了本国呼吸性粉尘卫生标准。在第一阶段的研究工作中,最主要的成果之一就是进行了剂量—反应关系的研究,它为确定呼吸性粉尘接触限值提供了科学依据。目前,国际上比较著名的关于呼吸性粉尘接触量与煤工尘肺发病概率的剂量—反应曲线主要有三条,即 Jacobsen 曲线(英国),Reisner 曲线(德国)以及最近公布的 Hurley 曲线。著名的 Jacobsen 曲线是由苏格兰的爱丁堡职业医学研究所 M. Jacobson 教授提出来的。1982 年 Hurley 等人曾提出了一条与 Jacobsen 曲线类似的模型,后来又发表了对英国 24 个煤矿所做的 25 年的回顾性流行病学研究结果,它们对 30 534 名煤矿工人的 PMF 患病情况做了调查,采用 logistic 回归模型对呼吸性粉尘累积接触量与 PMF 的发病率进行了分析,得出一个不同粉尘浓度下工作 15 年 PMF 发病率的估计曲线。1953~1973 年的粉尘接触资料是应用经验公式进行推算的。1973 年后采用丁泽尔示波器测定呼吸性粉尘的浓度(以散射光为单位)。后来,Reisner 又应用 BAT-1 采样器与德国煤矿中使用的 TBF50 采样仪的测定结果,根据相应的标准曲线,把获得的数据换算成质量浓度(mg/m^3)。Reisner 将这些暴露浓度作为观察对象的接触剂量,对所有矿工定期进行 X 射线胸片检查(X 射线采用约翰内斯堡分级标准),根据这些资料分析了 CWP 患病率与累积粉尘接触量之间的关系。

上述研究结果为世界各国制定呼吸性粉尘卫生标准的工作打下了较好的基础。20 世纪 80 年代以后的呼吸性煤尘卫生标准基本上都采用了这些结果,有些国家应用这些研究结果所提供的数据,作为自己国家制定呼吸性粉尘卫生标准的依据,有的国家甚至直接采用了美国等国家的接触限值。日本在 70 年代末开始了呼吸性粉尘的研究工作,于 80 年代初公布了各类粉尘的呼吸性粉尘阈值。其主要技术路线是根据原有的总粉尘浓度的卫生标准,利用呼吸性粉尘与总粉尘浓度之间的比值,推算出相应的接触限值,并将其作为日本的呼吸性粉尘卫生标准。日本制定呼吸性粉尘卫生标准的经验给我们的启示是,结合本国实际借用国外的先进经验是制定呼吸性粉尘卫生标准的捷径。这种方法简便易行、时间短、耗费低。但由于呼吸性粉尘与总粉尘的比值在不同的作业场

所、不同种类的粉尘中差异颇大,很难用一个固定的公式去全部套用,如何确定呼/总值还有待今后做进一步的研究。各国采用呼吸性粉尘卫生标准后,有利地促进防尘降尘工作,使其在防尘的工程技术措施及监督管理措施方面都有一些明显的进步。以美国为例,自从 70 年代公布了呼吸性粉尘卫生标准以来,全国煤矿的粉尘浓度呈明显的下降趋势,尤其是尘肺发生危险性最高的掘进作业的粉尘浓度下降最为明显;英国的情况也与美国类似,70 年代以来,粉尘浓度逐年下降,到 70 年代末已降至 4 mg/m^3 。

防尘措施的效果可通过尘肺发病率的指标反映出来。进入 80 年代以来,在许多严格执行呼吸性煤尘卫生标准的国家,煤矿已完全杜绝了尘肺新发病例的出现。当然,防止尘肺病发生和发展的因素是多方面的,但呼吸性粉尘卫生标准的制定和贯彻执行也起到了积极的作用。

(2) 呼吸性粉尘检测仪器的研制历程

有关呼吸性粉尘的概念和定义有一个逐渐完善的过程,各国学者对此有不同的看法。1952 年英国医学研究委员会首先承认了呼吸性粉尘的定义:呼吸性粉尘是指能到达肺泡,并引起尘肺的粉尘。该委员会还选用水平淘析器,作为粉尘粒子的标准分选器,规定呼吸性粉尘是指那些能通过水平淘析器的粉尘。1959 年国际尘肺会议接受了这个呼吸性粉尘的定义。

Daeiws 根据自己做的研究工作,对呼吸性粉尘采样器提出了以下要求:理想的呼吸性粉尘采样器,应以粉尘粒子的大小为函数,其分离效率曲线应符合如表 1 所列的要求。

表 1 采样器分离效率曲线应符合的要求

粒径/ μm	2.2	3.2	3.9	4.5	5.0	5.5	5.9	6.3	6.9	7.1
沉着率/%	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

1961 年美国原子能委员会卫生安全处,在一次会议上对呼吸性粉尘定义又作了规定。认为呼吸性粉尘是指吸入的、能通过没有纤毛肺组织的那部分粉尘。因而,相应的分选采样器所收集的粉尘粒子,只指慢性阻留在肺内的不溶性粉尘,并不包括溶解在体液中的粉尘。由于这种限制,规定呼吸性粉尘采样器分离尘粒的性能应符合如表 2 所列的要求。

表 2 采样器分离尘粒的性能应符合的要求

粒径/ μm	≥ 10	5	3.5	2.5	≤ 2
沉着率/%	0	25	50	75	100

国内外有不同类型的呼吸性粉尘采样器,但根据其分离尘粒原理的不同,大致可分为两大类:

① 两级呼吸性粉尘采样器。在英国和美国,水平淘析器和旋风离心器是使用最广泛的两级采样器。这些采样器的主要特点是:使用滤膜作为第二级采样,即把呼吸性粉尘采集在滤膜上,这样有利于对尘粒进行分析和测定。

在日本,为了不同的采样目的,可选择使用小流量($1\sim 2\text{ L/min}$)的呼吸性粉尘采样器,或大流量($20\sim 30\text{ L/min}$)的呼吸性粉尘采样器。目前,国外研制的呼吸性粉尘采样器,采样的流量大小不同,但多使用小流量($1.7\sim 2.5\text{ L/min}$)的采样器,以便能测定一个工作班的呼吸性粉尘浓度。

② 多级的呼吸性粉尘采样器。1967 年 Reiter 等人研制了一种测尘滤膜,这种测尘滤膜可以选择性地采集一定粒度范围内的粉尘粒子。其采集尘粒的性能类似于人体呼吸道沉着率的模型,因此,在每张滤膜上阻留的粉尘粒子就代表呼吸道一定区域内粉尘粒子的沉着率。通过实验表明,在第一级滤膜上采集的粉尘粒子代表了气管内的沉着率;第二级滤膜采集的尘粒代表支气管内的沉着率;第三级滤膜上的尘粒代表肺泡沉着率;在最后一级滤膜上的尘粒则代表可以呼出来的微细

粒子。该种采样方法仅代表用口呼吸时,粉尘粒子在各区域内沉着的情况。

国外对呼吸性粉尘的研究是很重视的,不但从理论上进行了广泛探讨,而且将有关呼吸性粉尘采样技术应用于生产现场,在寻求呼吸性粉尘与尘肺发病关系方面也进行了研究。并且,结合本国实际情况,提出了符合生物学作用的呼吸性粉尘容许浓度。呼吸性粉尘采样器的出现,对粉尘卫生学的研究产生了积极的影响。

最初设计的采样器多用于工业卫生监测和采集生产车间空气中工人呼吸带的粉尘浓度。在不同的生产作业现场,使用两级粉尘采样器采集的大量粉尘样品表明,采样器第一级采集的粉尘,其粒径都比较大。

1961年 Lippmann 等人用 HASL 离心式粉尘采样器,在铍冶炼厂采集了粉尘样品,并对生产环境空气中的呼吸性粉尘和总粉尘浓度作了比较。结果表明,对铍尘来说,呼吸性粉尘占总粉尘量的 15%~50%。Ayatt 也用 HASL 离心式粉尘采样器在铀矿进行了粉尘采样,证明在大多数情况下,呼吸性粉尘浓度在 1%~10% 之间。而在矿物粉碎的工序中,呼吸性粉尘的浓度一般都要比较高。

Ayer 做了粉尘中游离二氧化硅含量的比较实验。在花岗岩工厂进行了粉尘采样,使用静电沉降器采集的粉尘样品中,游离二氧化硅的平均含量为 18%,而用陶析器或旋风离心机采集的粉尘样品中,游离二氧化硅含量为 7%。在铸造行业采集的粉尘样品表明,空气中粗大粉尘的游离二氧化硅含量为 29%,而通过水平陶析器的粉尘中游离二氧化硅含量为 7.5%。由于这种差别较大,所以在评价某种粉尘对机体的危害时,应该测定工人呼吸带的呼吸性粉尘浓度,并测定呼吸性粉尘中游离二氧化硅的含量。因为呼吸性粉尘的生物学意义甚大,与尘肺的发病有直接关系。

1977 年日本木村菊二等人在以金属冶炼为主的 31 个工厂 361 个作业场所采集了粉尘样品,对各作业场所空气中总粉尘和呼吸性粉尘的重量比率关系进行了研究。测定的结果,呼吸性粉尘与总粉尘浓度之间的比率,依粉尘种类和粉尘扩散条件的不同而异。一般来说,呼吸性粉尘与总粉尘浓度的比率为 1:2~1:16,在特殊情况下,它们的比率为 1:30。由于这两者的差异很大,所以,要了解它们的规律,还需进一步加强研究。

20 世纪 60 年代初期,英国、美国、日本等国又相继开始研究制造个体呼吸性粉尘采样器,随后研究的多种采样器相继问世,多数个体采样器既能监测总粉尘浓度又能监测呼吸性粉尘浓度,属两级采样器。随着世界各国科学工作者对尘肺病的深入研究,各种呼吸性粉尘采样方法和个体连续呼吸性粉尘采样方法几乎同时发展起来。通常的做法是在固定产尘生产场所采用定点采样;而在流动性产尘作业场所,作业工人佩戴呼吸性粉尘个体采样器进行个体接触浓度的采测。英国对个体呼吸性粉尘监测非常重视,在联邦政府制定的《矿山安全健康法》中被规定为标准采样方法,并在不同地区设有专门机构负责全国矿山呼吸性粉尘监测工作。法国的有关专家认为,对从事流动性作业的接尘工人用个体采样器采样最为适合,固定点采样并不总是反映这些工人的粉尘接触水平,采样周期的增加并不能提高采测的准确性。世界卫生组织(WHO)在其推荐的保证健康接触限值的建议中认为个体采样和定点采样都是有意义的,关键是应采取有很好可比性的标准化方法和采样仪器。

采样仪器和粉尘采样方法的确定是根据各国的粉尘浓度卫生标准而确定的。并用总粉尘浓度卫生标准和呼吸性粉尘浓度卫生标准的国家也很多;当时我国和前苏联只采用总粉尘卫生标准。我国从 20 世纪 70 年代初期开始研制个体粉尘采样器,1972 年中国医学科学院卫生研究所研制了 GFC-I 型个体粉尘采样器。此后,重庆、上海、太原、马鞍山、徐州等地的科研单位也先后研制出了个体粉尘采样器。但由于我国从 1949 年以后一直执行定点瞬时总粉尘浓度的粉尘监测制度,而个体呼吸性粉尘采样方法在现场生产中始终没有推广,它只能供调查研究粉尘危害情况使用,没有成为矿山企业的常规粉尘监测方法。

1990年5月劳动部组织煤炭、冶金、化工、有色、全国总工会和卫生部等有关部委召开了“关于呼吸性粉尘监测”的论证会,会上有关专家领导一致同意尽快开展我国矿山行业的呼吸性粉尘监测,并通过了“矿山个体呼吸性粉尘监测的实施方案”。

1991年4月劳动部矿山局在河北省唐山市组织召开了有煤炭、冶金、化工、有色、司法有关部委所属的26个矿山个体呼吸性粉尘监测试点培训班,正式开展了个体呼吸性粉尘监测的试点工作。在试点过程中,为适用个体呼吸性粉尘监测工作的推行,1992年劳动部又组织制定了《矿山个体呼吸性粉尘测定方法》(LD 38—1992)、《作业场所空气中呼吸性煤尘接触浓度管理标准》(LD 39—1992)、《呼吸性粉尘个体采样器技术条件》(LD 40—1992)、《作业场所空气中呼吸性岩尘接触浓度管理标准》(LD 41—1992)等四项行业标准,并于1993年7月1日正式实施。

(3) 粉尘治理技术的研究历程

为了达到卫生标准对粉尘浓度的控制要求,世界发达采煤国家对粉尘的治理技术逐步开展研究。在此期间国外主要对煤层注水抑尘技术、减少采掘机械产尘量的技术、高效除尘器技术、高效喷雾降尘技术、泡沫降尘技术、磁化水抑尘技术、黏尘软膏抑尘技术、通风除尘技术及个体防护技术进行了深入研究,开发出了相应的设备,摸索出了达到最佳降尘效率的防尘工艺参数。

20世纪60年代,美国矿业局采矿研究中心研制出了产生呼吸性粉尘最少的采煤机的最佳参数,使采煤机割煤过程中呼吸性粉尘浓度比原来减少了51%;80年代初美国主要研究煤炭在运输过程中的粉尘问题,通过在运输过程中润湿煤,利用喷雾结合胶带刷条,同时对装载机和破碎机实施完全密封来减少粉尘飞扬程度。英国煤炭局对采煤机的合理参数也做了广泛深入的研究,通过增加截深的方法减少了呼吸性粉尘的产生量。1970年美国唐纳森公司研制出了新型旋流除尘器,除尘效率高达95%;80年代初,苏联也研制了各种各样的除尘器,其中研制的吸尘泵除尘效率达96%以上,研制的振动除尘器的呼吸性粉尘除尘效率高达90%。

英国的粉尘治理技术研究始于50年代初,英国矿业研究所先后研究出防尘供水保障系统、刨煤机喷雾降尘装置、支架移架降尘装置、进风流净化系统、采煤机内外喷雾降尘系统和煤层注水技术。

80年代以前我国各个矿区处于小窑改造阶段,煤矿开采机械化程度比较低,矿井产能普遍较小,矿井粉尘污染还不是很严重,粉尘问题未受到重视。矿井在防尘方面只建立了基本的防尘静压供水系统,初步探索在采煤工作面进、回风巷进行煤层静压注水实验,取得一定成果。80年代以来,随着矿井采掘机械化程度的提高、开采强度的加大,产尘强度也随之增大,粉尘危害也急剧增大。科研院所和各矿区围绕降低作业场所高浓度粉尘,解决隔绝瓦斯煤尘爆炸的技术和装备进行了大量的科研实践工作,并取得了一定成绩。同时,进行了煤矿降尘技术和装备的研制工作,出现了大量降尘效率较高、使用方便的设备,将我国煤矿防尘技术推向一个新的水平。

尘肺病高效控制阶段始于90年代初,随着我国煤炭行业高产高效综采、综掘工作面的迅速发展,工作面产量、风量不断增大,尤其是综采放顶煤开采技术的发展和广泛应用使得煤矿井下生产过程中的粉尘产生量急剧增加,原有的粉尘防治技术及装备已不能满足目前粉尘防治工作的需要。根据实际情况,主要采取隔绝高浓度粉尘,控制粉尘扩散区域等方式来减少粉尘对作业人员的危害。如隔尘气幕机、控、除尘系统等被大量应用在采掘工作面防尘实践中。同时随着矿井尘肺病人数的不断增多,呼吸性粉尘防治作为一项重点工作。以降低呼吸性粉尘为中心开展一系列防尘技术的研究工作,取得了一批技术含量高,以高效控制呼吸性粉尘为目标的降尘技术,如声波雾化降尘技术、预荷电喷雾降尘技术、磁化水喷雾降尘技术等,可使呼吸性粉尘降尘效率达70%以上,取得较好效果。

国外在解决采煤工作面粉尘污染,尤其是移架过程中的产尘问题时,采取特殊的喷嘴布置方式,避免了操作人员受到喷雾淋水。德国将喷头布置在支架上方,移架时喷雾润湿支架上方煤岩

体,同时防止后部粉尘进入人行道;美国则在支架侧护板喷雾,减少漏煤矸产生。

在掘进工作面,德国多采用机械除尘。在掘进机上安设机械除尘装置,在靠近巷帮一侧挂设隔壁风筒,保证新鲜风流以紊流状态吹向迎头,最终被吸入除尘装置,经除尘装置净化后排至巷道回风区域。美国煤矿掘进主要采用连采机作业,因此连采机运行时的产尘是最主要的尘源。首先采取尘源控制方式使得空气和水被用于稀释、抑制、改变方向及捕集粉尘,避免连采机操作人员过度暴露于呼吸性粉尘中。同时研制合适的喷雾降尘系统、通风和除尘设备提供最全面的呼吸性粉尘控制措施。进入 21 世纪以后国内外煤矿粉尘防治工作无论从管理方法、模式还是新产品、新技术、新手段研究方面都进行技术创新。主要的发展方向是从粉尘防治技术及装备和粉尘监测两个方面进行。

近年来致力于研究出适应不同瓦斯含量煤矿的井下粉尘综合治理成套技术及装备。同时通过起草粉尘防治技术和产品标准,促使粉尘防治实现了从总粉尘防治向呼吸性粉尘防治的成功过渡。出现了特殊煤层注水工艺技术、采煤工作面尘源跟踪喷雾降尘系统、掘进面快速注水降尘技术、高压远程喷雾、泡沫除尘装置、全断面水幕降尘等新工艺、新技术、新装备。

近十几年来,粉尘测量仪表的研制与生产有较大发展。粉尘浓度监测方面主要采取粉尘采样器、直读式测尘仪和粉尘浓度传感器相结合的方法进行。目前用于生产的粉尘采样器和测尘仪达到十余种。我国目前已有部分煤矿企业已经推广使用粉尘浓度在线监测技术,以监测促防治,收到了良好效果。另外,从国内外煤矿粉尘监测技术的发展来看,粉尘监测正逐步由短时间单地点测量向长时间大面积在线监测的方向发展。

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、德国等国在煤矿井下防尘技术上,通常采用高压喷雾添加抑尘剂、湿式除尘风机、负压吸尘滚筒、泡沫除尘等方法除尘。在粉尘监测管理立法上比较完善,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;健康技术中心下设有煤矿粉尘部,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。

2 国内外煤矿粉尘防治现状

2.1 国内煤矿粉尘防治现状

2.1.1 粉尘治理技术

目前,我国煤矿粉尘防治正逐步与国际接轨,正从治理总粉尘为主向治理呼吸性粉尘过渡,粉尘监测也从短时间断监测向连续在线监测发展。在采煤工作面,在加强煤层注水的同时,重点开展了对采煤机、液压支架及放煤口粉尘的高效治理技术的研究。研究成功的采煤机高压外喷雾降尘技术、采煤机尘源智能跟踪高压喷雾降尘技术及液压支架、放煤口自动高压喷雾降尘技术,使采煤机司机处空气中的含尘浓度下降了 82%~93%,放煤工操作处的总粉尘浓度和呼吸性粉尘浓度分别下降了 84.7%和 67.5%,支架下风流 7 m 处的总粉尘浓度和呼吸性粉尘浓度分别下降了 74.6%和 61.1%,有效地降低了含尘气流的粉尘浓度。

在破碎机处使用声波雾化降尘技术、预荷电喷雾降尘技术和高压喷雾降尘技术,对总粉尘和呼吸性粉尘的降尘效率分别高达 85%~97.7%和 87.1%~97.9%,显著降低了破碎机工作时粉尘对空气的污染。