

# 中国煤矿灾害防治技术的研究现状与发展趋势

方树林<sup>1,2</sup>

- (1. 煤炭科学研究总院 开采设计研究分院 北京 100013;  
2. 天地科技股份有限公司 开采设计事业部 北京 100013)

**摘要:**从分析中国煤矿安全生产形势入手,从瓦斯、煤尘、火灾、水害和顶板事故等5个方面阐述了矿井主要灾害的类型和特点,概括了近年来灾害防治技术领域所取得的研究成果。重点介绍了瓦斯抽放技术、煤与瓦斯突出防治技术、工作面防尘技术、突水水源探测技术和巷道顶板支护技术等方面的最新研究成果,并分析了现阶段防灾技术发展中的不足,指出了理论基础薄弱、设备水平低下、防灾效果不明显等问题。最后对今后矿井灾害防治技术的发展方向和研究趋势提出了展望。

**关键词:**煤矿灾害; 矿井安全; 防治技术

中图分类号:TD77

文献标识码:A

文章编号:1006-6772(2012)01-0090-04

## Research status and development tendency of coal mine disaster prevention and control technology in China

FANG Shu-lin<sup>1,2</sup>

- (1. *Research Institute of Mining Design, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China;*  
2. *Mining & Designing Department, Tiandi Science & Technology Co., Ltd., Beijing 100013, China*)

**Abstract:** According to analysis of safety and production situation of coal mines in China, elaborate the types and characteristics of coal mine main disasters, including gas explosion, coal dust pollution, fire disasters, water burst and collapse of roof. Introduce recent research status of coal mine disaster prevention and control technology. Emphasize gas drainage technology, coal and gas outburst prevention technology, working face dustproof technology, water burst detection technology, tunnel roof support technology and so on, whose deficiencies are also analyzed at the present stage. Point out that theoretical basis is instability, equipments are unadvanced, the effect is not obvious. At last, prospect this technology's development tendency and research status.

**Key words:** coal mine disaster; coal mine safety; disaster prevention and control technology

中国煤炭资源储量丰富,目前煤炭在一次能源消费结构中所占比重最大,但煤层赋存条件复杂、安

收稿日期:2011-12-08 责任编辑:孙淑君

基金项目:国际科技合作与交流专项(S2011ZR0423)

作者简介:方树林(1987—),男,安徽枞阳人,2005年毕业于中国矿业大学采矿工程专业,现在煤炭科学研究总院攻读采矿工程硕士研究生。

全形势严峻,矿井灾害一直是影响煤矿安全生产的重要因素之一。长期以来,国内各大科研机构围绕中国煤矿存在的各种灾害进行了深入研究并取得了一系列成果<sup>[1-4]</sup>,对矿井重大灾害的预防和治理起到了重要作用。但是,中国煤矿灾害防治领域还存在诸多关键技术难题尚未解决,事故总量和伤亡人数仍然偏高,安全生产形势依然严峻。

## 1 煤矿灾害的主要类型

### 1.1 瓦斯灾害

瓦斯灾害是煤矿最严重的灾害之一,主要表现在瓦斯爆炸和煤与瓦斯突出,一旦发生,直接摧毁矿井设施,威胁人员生命安全,甚至迫使煤矿停产。中国煤矿几乎全是有瓦斯涌出的矿井,全国煤矿每年的瓦斯涌出量超过100亿 $\text{m}^3$ ,国有重点煤矿中高瓦斯和突出矿井占49.18%。值得注意的是,随着矿井开采深度的增加,煤层瓦斯压力增加,不少原来浅部为非突出的矿井转化为突出矿井,突出强度和频度随深度增加而明显增大。

### 1.2 煤尘灾害

煤尘是煤炭开采的伴生物,其主要危害是威胁工人身体健康和引发粉尘爆炸。煤尘属于呼吸性粉尘,井下作业人员长期吸入煤尘后,会患呼吸道疾病、尘肺病甚至肺癌。据有关资料统计结果表明,中国煤矿接触煤尘作业的人数多达250万,尘肺病人数累计达21.2万人,患病率高达8.5%,每年因尘肺死亡人数在2500人左右。另外,井下空气中的煤尘达到一定浓度时,在一定的温度和火源下就可能引发煤尘爆炸。中国煤矿中具有煤尘爆炸危险的矿井占煤矿总数的60%以上,煤尘爆炸指数在0.45以上的煤矿占16.3%。2005年黑龙江七台河东风煤矿发生的特大煤尘爆炸,伤亡219人,直接经济损失4293万元。

### 1.3 矿井火灾

矿井火灾是煤矿主要灾害之一,矿井火灾一旦发生,轻则影响安全生产,重则烧毁煤炭资源和物资设备,造成人员伤亡,甚至引发瓦斯、煤尘爆炸。中国是一个矿井火灾灾害较严重的国家,几乎所有的产煤区都存在自然发火危险。据不完全统计,全国每年因煤层自燃形成的矿井火灾数百起以上,其中以内因火灾居多,影响煤量上百亿吨,煤炭

资源损失量在2亿t左右,平均发火率为0.318次/Mt。

### 1.4 矿井水害

煤矿在建设 and 生产过程中,常常受到水的危害。煤矿水害主要是矿井突水,由于来势凶猛、水量大,一旦防范措施采取不力或排水能力不足,往往会造成严重经济损失甚至人员伤亡。中国是世界上受水灾危害最严重的主要产煤国之一,据统计,目前国有重点煤矿中受水害威胁的矿井约占矿井总数的48%以上。以2010年山西华晋焦煤王家岭煤矿3.28特大透水事故为例,事故由小窑老空水透水所致,造成153人被困井下,后经全力抢救,115人获救,另有38名矿工遇难。事故造成经济损失数亿元,仅抢险花费就超过1亿元,共排出水量约45900 $\text{m}^3$ 。

### 1.5 顶板事故

顶板事故是矿井开采过程的采、掘、维修工作面或是在已掘成的巷道等处所发生的冒顶、片帮、掉矸等人身伤亡和非伤亡生产事故的统称,是煤矿中最常见、最容易发生的事故。国内外煤矿事故统计资料表明,顶板事故在各类事故中占有较大的比例,中国顶板事故的伤亡人数占全国煤矿总伤亡人数的38%。近几年,随着高档普采和综采的发展,采煤工作面顶板事故防治技术的提高,顶板事故有所下降,但仍然占有很高的比例,如2009年的统计资料表明顶板事故死亡人数占全国煤矿总死亡人数的35.7%。

## 2 煤矿灾害防治技术研究现状

### 2.1 瓦斯灾害防治技术

矿井瓦斯灾害的治本措施是煤层瓦斯抽放,包括本煤层、邻近煤层、穿煤层和采空区等不同层位和地点瓦斯的抽放。近年来,试验研究成功多种实用的瓦斯抽放技术<sup>[5-6]</sup>,如本煤层工作面边掘边抽技术、邻近层开采卸压瓦斯抽放技术、穿层上向钻孔瓦斯抽放技术和采空区埋管抽放技术。瓦斯灾害治理的重点是煤与瓦斯突出防治和瓦斯爆炸预防<sup>[1-2]</sup>。前者的主要成果是建立了具有中国特色的“四位一体”防突技术体系,即突出危险性预测、防治突出措施、防突措施效果检验和安全防护措施。近几年研究的重点在突出区域的预测和监测方面,研制成功

以钻孔钻屑量来判断煤层突出危险的 ATY、WTC 瓦斯突出预测仪和基于声发射、电磁辐射原理的工作面突出危险性连续监测技术与设备。后者的主要成果是开发了瓦斯爆炸危险性预测评价技术和防治专家系统,建立了矿井瓦斯爆炸危险性评价模型,并引进和研制了基于光学、热学原理的  $\text{CH}_4$  测定仪和传感器,为煤矿井下提供了新的瓦斯检测和报警技术。

## 2.2 煤尘灾害防治技术

由于煤炭开采必然产生煤尘,使得采煤工作面成为煤矿井下粉尘的主要来源,因此工作面防尘技术是煤尘灾害防治的重点,包括对采煤产生的粉尘实施高压水喷雾降尘技术措施,从源头减少煤尘的产生量;在液压支架、放煤口实施自动控水喷雾降尘技术,进一步降低粉尘浓度;在转载点安装气流循环除尘装置,用密闭罩将尘源与外界隔离,在罩内引射气流循环除尘。主要研究成果<sup>[1 2 7-8]</sup>有:改进和完善了系列湿式除尘器的技术特性,提高了除尘效率;研究了声波雾化、磁化水、预荷电喷雾降尘等新技术,提高了水喷雾降尘的效果;重点开发了布袋除尘器,总粉尘和呼吸性粉尘的除尘效率分别达 99.5% 和 95.5%,有效控制了呼吸性粉尘。

## 2.3 矿井火灾防治技术

矿井火灾是制约煤矿安全发展的重要因素。近年来,中国煤矿的防灭火技术有了较大的发展与提高<sup>[1 2 9]</sup>。①在火灾预测方面:标志气体仍然是煤矿火灾预测最主要的技术手段,通过对代表性煤样进行自燃模拟试验,研究得出煤样在低温氧化期、加速氧化期、激烈氧化期 3 个阶段的灵敏气体指标;同时,研制了火灾束管检测系统及与之配套的煤矿专用气相色谱分析仪、红外线分析仪和井下气体传感器;煤自燃倾向性色谱吸氧鉴定法及其专用仪器 ZRJ-1 型煤自然界燃性测定仪,已在中国煤矿普遍推广和应用。②在火灾治理方面:针对外因火灾中最为严重的胶带输送机火灾,先后研制出多种胶带输送机火灾检测和自动灭火装置,如 DFH 型、KHJ-1 型、KJS50004 型胶带输送机火灾监测系统;针对内因火灾,一种行之有效的防灭火措施是灌浆,围绕灌浆发明了多种新型灌浆材料及添加剂,开发出新型悬浮剂、胶凝剂、复合胶体材料及配套工艺设备和以粉煤灰、黄泥为骨料的气固液三相泡沫。

## 2.4 矿井水害防治技术

煤矿水害是矿井基建、生产过程中一种常见的灾害,长期以来中国在煤矿防治水技术方面取得了长足的发展<sup>[1 2 10]</sup>。①水源探测方面,开发了基于不同原理的各种探测技术和设备,包括三维地震勘探技术、瞬变电磁探测技术、音频电透探测技术、KJ117 型矿井水情实时监测系统、ARISE 数字地震勘探仪和 YJSY(A) 型水位遥测仪等;②水害治理方面,特别针对矿井水患的预处理,研究了局部注浆加固、底板改造技术、帷幕截流、主动疏水降压技术和防隔水煤(岩)柱留设等技术措施。

## 2.5 顶板事故防治技术

顶板事故防治包括工作面(采场)顶板事故防治和巷道顶板事故防治。①工作面(采场)顶板事故防治<sup>[11]</sup>:近年来,采煤工作面普遍采用单体支柱、综采支架和滑移支架等先进支护装备,有效控制了顶板的大面积冒顶现象。②巷道顶板事故防治<sup>[12]</sup>:不同类型的巷道支护技术各不相同。对于服务年限较长、地位比较重要的开拓大巷和车场硐室,要求支护强度高,一般采用锚网索+喷射混凝土支护技术;对于服务年限较短、地质条件较好的采准巷道,目前井下应用最多的是锚网支护;而对于开采条件复杂的巷道,往往采用各种复合支护技术,并加强支护的强度和刚度<sup>[13-14]</sup>。

## 3 煤矿灾害防治技术发展中的问题

尽管中国在煤矿重大灾害防治技术领域取得了突出成绩,井下安全生产形势也呈现逐步好转的态势,近几年煤矿安全生产情况见表 1<sup>[15]</sup>,事故起数和伤亡人数依然偏高如图 1 所示,说明现阶段煤矿灾害防治技术发展仍显不足,还存在以下几方面问题<sup>[16]</sup>。

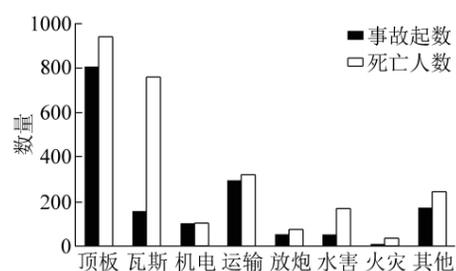


图 1 2009 年全国煤矿各类事故起数和死亡人数统计

表1 2005年—2010年中国煤矿安全生产情况

年度	煤炭总产量/亿t	事故总起数	总死亡人数	重大以上事故起数	重大以上事故死亡人数	百万吨死亡率
2005年	21.1	3341	5986	58	1739	2.810
2006年	23.2	2945	4746	39	744	2.041
2007年	25.2	2421	3786	28	573	1.485
2008年	27.2	1954	3214	38	707	1.182
2009年	30.5	1616	2631	20	509	0.892
2010年	32.4	1403	2433	24	532	0.749

(1) 煤矿防灾技术理论基础薄弱。长期以来,由于缺乏足够的重视和支持,中国煤矿科技资金投入严重不足,研发设施落后,科研力量分散,导致煤矿防灾技术的基础理论研究薄弱,对诸如煤与瓦斯突出、矿井突水和火灾爆炸等主要灾害发生机理的认识仍停留在假说阶段,对灾害演化过程的了解不全面,从而影响了灾害预测预报与控制技术的发展。

(2) 防灾技术现场推广与应用受到制约。由于煤矿生产地质条件差异性大,井下作业场所流动性频繁,灾害防治技术工艺性强、可复制性差,使得一些适用的防灾技术和科研成果在现场的全面推广与应用受到制约,特别是最新的先进防灾设备没有得到及时采用,导致完善的煤矿安全科技支撑体系尚未形成。

(3) 关键防灾技术和设备尚未取得突破,灾害防治效果不明显。中国煤矿企业自主创新能力弱,产学研结合不紧密,成果转化率较低,导致关键防灾技术和设备与国外还存在一定差距,核心检测元件寿命和稳定性不够,煤矿整体防灾效果不明显。

#### 4 煤矿灾害防治技术的发展趋势

(1) 瓦斯灾害治理技术。研究的重点应放在研究适合高地应力、高瓦斯、松软突出煤层条件下的超长大定向水平钻孔钻机与钻进工艺及瓦斯抽放技术上;进一步提高煤层瓦斯含量和突出危险性预报的准确性<sup>[17]</sup>,实现瓦斯地质绘图的自动化;此外,研究井下与地面、煤与煤层气协调开发技术也是今后的发展方向。

(2) 煤尘治理技术。研发与采掘机械配套的大风量高效率除尘器,最大限度地降低采掘工作面的产尘量,从源头减少全矿井的尘源;研究新型实用除尘技术,如泡沫活化剂除尘、生物试剂除尘、磁化水除尘和超声除尘;个体防护技术也是解决防尘的

重要手段,开发高阻尘率送风防尘口罩、压风呼吸器和防尘安全帽等。

(3) 火灾防治技术。探索煤层自然发火期快速测试方法,提高火灾监测传感器的稳定性和精度,是火灾预测预报技术的发展方向;隐蔽火源探测一直是火灾防治领域的世界性难题,今后可以借助某些辅助手段(如红外线、雷达波、预埋探测器)在提高探测准确度方面进行探索性研究。

(4) 水害防治技术。开展超前突水探测技术的可靠性研究,确定深部富水带位置与地下水流速、矿井隐伏导水构造及老空区积水状态等;随着现代计算技术发展起来的数值模拟方法为矿井水害防治技术研究提供了新的手段,使得矿井突水过程的三维仿真及突水位置的准确预测成为可能。

(5) 顶板事故防治技术。积极研究和掌握顶板围岩性质、覆岩活动规律,加强对顶板冒落危险性的预测;进行正确的支护控顶设计,合理选择支护类型;侧重探索深部复杂困难条件下新型有效巷道支护技术。

#### 5 结 语

由于煤矿生产地质条件复杂多变,时时受到瓦斯、煤尘、水、火和顶板等灾害的威胁;煤矿生产是多系统交叉作业,生产工艺繁杂;还存在人员素质不高,安全装备水平低下,防灾技术基础薄弱等客观现实和条件,导致中国煤炭工业健康发展状况与其主导地位不对称。因此,只有依靠科技进步,研究和掌握灾害发生的规律和特性,将矿井采掘活动与冲击地压、冒顶片帮、煤与瓦斯突出、透水等各种矿山灾害有机的联系在一起,形成一套完整的煤矿安全开采与矿井灾害控制体系,有效降低事故发生率,减少死亡人数,实现安全科学采煤。

参考文献:

[1] 王显政, 杨富, 朱凤山, 等. 煤矿安全新技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2002.

[2] 宋元文. 煤矿灾害防治技术 [M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 2007.

[3] 黄俊, 牛艳萍, 芦山. 影响煤矿安全的因素与防治对策 [J]. 洁净煤技术, 2007, 13(3): 94-96.

[4] 卢鉴章, 刘见中. 煤矿灾害防治技术现状与发展 [J]. 煤炭科学技术, 2006, 34(5): 1-5.

[5] 江成玉, 李春辉, 苏恒瑜. 瓦斯绿色开采技术的实现及其资源化 [J]. 洁净煤技术, 2010, 16(4): 1-3.

[6] 陈铭, 王继仁. 煤矿瓦斯灾害防治技术的研究 [J]. 煤炭技术, 2009, 28(3): 1-3.

[7] 庞成, 王宏图. 谈煤矿井下煤尘防治 [J]. 重庆职业技术学院学报, 2008, 17(2): 149-150.

[8] 马汉鹏, 王德明. 矿井粉尘防治技术探讨 [J]. 洁净煤技术, 2005, 11(4): 68-70.

[9] 苏加德. 矿井火灾防治技术的发展现状及趋势 [J]. 鸡西大学学报, 2005, 5(1): 52-60.

[10] 董书宁, 靳德武, 冯宏. 煤矿防治水实用技术及装备 [J]. 煤炭科学技术, 2008, 36(3): 8-10.

[11] 李建伟. 回采工作面顶板事故原因分析及控制措施 [J]. 煤, 2007, 16(5): 46-50.

[12] 祁永峰. 巷道顶板事故防治技术探析 [J]. 煤, 2009, 18(8): 66-69.

[13] 康红普. 复杂地质条件巷道支护现状与发展趋势 [A]. 中国煤炭工业可持续发展的新型工业化之路——高效、安全、洁净、结构优化, 中国科协 2004 年学术年会第 16 分会场论文集 [C]. 北京: 煤炭工业出版社, 2004.

[14] 康红普, 王金华. 煤巷锚杆支护理论与成套技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2007.

[15] 国家煤矿安全监察局. 2010 年度全国煤矿事故分析报告汇编 [R]. 北京: 国家煤矿安全监察局, 2010.

[16] 邵军. 我国煤矿安全技术的现状及发展方向 [J]. 煤炭科学技术, 2005, 35(5): 1-3.

[17] 黄俊, 许洪峰. 矿井未开采区瓦斯涌出量的预测 [J]. 洁净煤技术, 2005, 11(1): 59-60.

(上接第 78 页)

递增,基本达到了气流的均匀分布。而由工况二的图像可知,激冷环上喷嘴速度分布相对不均匀,气流的射入方向主要为一组对喷方向。通过对比可知,工况一能够达到强化换热的目的。

### 3 结 论

通过对气化炉激冷环内部流场的冷态数值模拟,可以得到以下基本结论:

(1) 数值模拟结果和实验测试值吻合度较好,具有较高的可靠性。

(2) 针对 2 种工况的模拟可知,由于气流的惯性作用,激冷环喷出的速度最大处主要集中在进气管道附近,气流进入激冷环后速度依次递减,当两股气流在环内交汇时,速度会有一定的增大。

(3) 通过 2 种工况的对比可知,激冷环采用四进气管道结构时,激冷环上的喷嘴速度基本能够均匀分布,达到对合成气强化换热的目的。

参考文献:

[1] 陈国艳, 张忠孝, 代百乾, 等. 气流床固态排渣实验研究 [J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(23): 73-79.

[2] 周国锋, 张忠孝, 李振中, 等. ICCC 系统燃气轮机变工

况对气化岛性能的影响 [J]. 洁净煤技术, 2010, 16(6): 40-44.

[3] 倪建军, 梁钦锋, 郭庆华, 等. 气化炉与辐射锅炉接口的传热流动数值模拟 [J]. 高校化学工程学报, 2009, 23(1): 57-63.

[4] Ligang Zheng, Edward Furinsky. Comparison of Shell, Texaco, BGL and KRW gasifiers as part of IGCC plant computer simulations [J]. Energy Conversion and Management, 2005, 46(11-12): 1767-1779.

[5] 王亦飞, 吴宏涛, 贺必云, 等. 新型旋流降膜式洗涤冷却环的开发与研究 [J]. 华东理工大学学报(自然科学版), 2005, 31(6): 752-755.

[6] 彭宇慧, 代正华, 龚欣, 等. 气流床煤气的部分水激冷流程研究 [J]. 化学工程, 2010, 38(2): 83-86.

[7] 陶志远, 张克锋. 水煤浆气化炉激冷环运行分析及结构改进 [J]. 大氮肥, 2008, 31(5): 322-324.

[8] 李铁, 李伟力, 袁竹林. 下降管内壁激冷水降膜流动特性 [J]. 东南大学学报(自然科学版), 2006, 36(6): 962-966.

[9] 陈意心, 王亦飞, 梁铁, 等. 新型洗涤冷却室内气液两相的分布特性 [J]. 化工学报, 2008, 59(2): 322-327.

[10] M. El Haj Assad, Markku J. Lampinen. Mathematical modeling of falling liquid film evaporation process [J]. International Journal of Refrigeration, 2002, 25(7): 985-991.