

# 第23届国际采矿安全会议论文集

PROCEEDINGS OF THE 23RD INTERNATIONAL  
CONFERENCE OF SAFETY IN MINES RESEARCH  
INSTITUTES



中国统配煤矿总公司安全管理局  
煤炭科技情报研究所

C9000125(2)

第23届  
国际采矿安全会议论文集

PROCEEDINGS OF THE 23RD INTERNATIONAL  
CONFERENCE OF SAFETY IN MINES RESEARCH  
INSTITUTES

中国统配煤矿总公司安全管理局

煤炭科技情报研究所

一九九〇年十月

# 前 言

第23届国际采矿安全会议于1989年9月11日~15日在美国华盛顿召开。参加这次会议的有21个国家的225名代表。这次会议共征集论文100篇,其中在会上宣读了79篇,会场张贴了21篇。论文内容包括:矿井火灾,胶带输送机火灾,自然发火,甲烷,矿井通风,救护和灾变后恢复,煤与岩石突出,炸药,爆炸,安全工程以及新技术。

为了借鉴国外的经验,学习先进的安全技术,以促进我国煤矿采矿安全技术的发展和提高,保障煤矿安全生产,我们选择了42篇论文编辑成册。由于水平所限,时间仓促,难免有失误之处,敬请读者批评指正。

本论文集的翻译出版得到很多同志的支持,在此谨向参予本论文集的选题、译校、编辑、出版工作的同志致以衷心的感谢。

中国统配煤矿总公司安全管理局  
煤炭科技情报研究所

责任编辑 华慧雯

# 目 录

矿井火灾安全防护对策	〔法国〕C.斯维克林斯基等 ( 1 )
烟雾与一氧化碳的关系及其对改进矿井火灾监测工作的意义	.....
	..... 〔美国〕C.D.利顿 ( 8 )
井下胶带输送机的防火	..... 〔民主德国〕P.弗洛尔许茨等 ( 13 )
煤炭自燃的综合防治方法	..... 〔苏联〕B.M.阿伯拉莫夫等 ( 18 )
防治内因火灾的科学原理与实施方法	..... 〔苏联〕M.H.苏齐洛夫斯基等 ( 21 )
矿山火灾的预防	..... 〔匈牙利〕Z.博齐等 ( 27 )
矿井火灾检测与控制的实用指南	..... 〔英国〕M.J.赫伯特 ( 31 )
南非煤矿沼气预测方法	..... 〔南非〕A.P.库克 ( 38 )
矿井通风系统的可靠性	..... 〔苏联〕K.S.乌沙可夫等 ( 45 )
煤矿井下粉尘的防治	..... 〔苏联〕B.基林 ( 52 )
南非矿山研究院在南非煤矿采用自救器中所起的作用	..... 〔南非〕D.R.帕多 ( 57 )
火灾后密封矿井中空气的长期分析	..... 〔美国〕R.L.德里克等 ( 63 )
测定被埋矿工位置的新方法	..... 〔奥地利〕N.H.耐斯勒尔等 ( 73 )
井下工作人员的监测系统	..... 〔日本〕S.松长等 ( 81 )
煤矿火灾和爆炸事故用的各种自救器和系统的比较及其发展趋势	.....
	..... 〔联邦德国〕B.普林茨等 ( 87 )
法国煤矿防治围岩动力现象的经验	..... 〔法国〕J-P.乔森等 ( 95 )
捷克斯洛伐克采矿工业岩石突出的预防	..... 〔捷克斯洛伐克〕A.斯科拉比斯等 ( 103 )
新斯科舍悉尼煤田采用水力压裂技术预防突出的试验	.....
	..... 〔加拿大〕T.R.阿斯顿等 ( 109 )
捷克俄斯特拉发—卡尔维纳煤田煤与瓦斯突出	.....
	..... 〔捷克斯洛伐克〕D.帕夫莱克等 ( 115 )
煤与瓦斯突出预防措施有效性的预测和检查自动化系统	.....
	..... 〔苏联〕O.A.科列索夫等 ( 119 )
利用氡泄出和流动特点预测突出的可能性	..... 〔波兰〕J.莱贝茨卡等 ( 124 )
煤层中微震监测	..... 〔美国〕G.A.罗厄尔 ( 131 )
瓦斯突出的数据管理和扫描系统	..... 〔匈牙利〕J.亚诺希斯等 ( 139 )
英国乳化炸药实验室试验及煤矿现场试验	..... 〔英国〕N.L.希思科特等 ( 142 )
闪电与浅煤矿的安全	..... 〔南非〕K.A.齐 ( 148 )
在有瓦斯和煤尘危险煤矿中提高爆破作业的安全性	.....
	..... 〔保加利亚〕A.巴纳伊奥托夫等 ( 156 )
供爆破工作者使用的闪电报警方法	..... 〔美国〕L.D.桑蒂斯 ( 160 )
矿山安全和健康管理局 ( MSHA ) 对煤矿中使用炸药的新规定	.....
	..... 〔美国〕H.C.弗莱克士 ( 171 )
煤矿爆炸事故的预防和抑制	..... 〔美国〕M.J.沙布柯等 ( 176 )

苏联煤矿防尘和防止煤尘爆炸方法的改进·····	〔苏联〕 Ю. П. 斯莫尔奇科夫等 (188)
甲烷煤尘混合物的可燃性及爆炸传播·····	〔西班牙〕 J. G. 多伦特等 (192)
井下煤尘爆炸时岩粉棚隔爆作用分析·····	〔波兰〕 P. 克西斯托里克 (198)
莱克林恩实验矿煤尘爆炸研究的最新结果·····	〔美国〕 E. S. 魏斯等 (203)
捷克斯洛伐克井工煤矿环境监测·····	〔捷克斯洛伐克〕 O. 赫尔维卡等 (214)
瓦斯矿井中瓦斯含量及风流的监测与控制·····	·····
·····	〔南斯拉夫〕 M. M. 武其克、〔美国〕 J. H. 韦尔什 (221)
利用计算机确定井下火灾位置·····	〔美国〕 L. W. 利基等 (229)
矿用机车的制动·····	〔英国〕 R. H. 米切尔等 (237)
煤矿井筒提升钢丝绳的安全性·····	〔加拿大〕 L. B. 盖勒等 (245)
提升容器下行超载时的过卷保护·····	〔联邦德国〕 E. 海巴赫 (253)
澳大利亚井工煤矿的自动化·····	〔澳大利亚〕 N. S. 巴鲁恰等 (257)
个人用照明、气体监测和定位装置·····	〔西班牙〕 J. L. 富恩特斯-坎蒂亚娜等 (262)
矿用气体传感器的发展趋势·····	〔英国〕 J. G. 弗思等 (266)

# 矿井火灾安全防护对策

〔法国〕 C.斯维克林斯基 R.络德尔 C.弗罗热 J.比库尔特

## 内 容 提 要

矿井火灾是矿井主要危险之一。煤的自然燃、煤尘和瓦斯爆炸都会引起矿井火灾，对此，我们已进行了长期研究。最近以来，矿井中越来越多地使用化学材料或各种聚合材料。这些材料能改善井下劳动条件，并能提高生产的经济效益。不过，在防治矿井火灾的安全使用方面却带来了新的问题。因为要特别注意其在火灾中的耐热性能和毒性影响。

这篇论文主要介绍针对井下火灾的一些安全防护对策。

一首先，要对火灾过程进行分析研究，介绍巷道壁喷涂合成材料后在火灾过程中的变形情况，对材料性能作定量分析（试验是在法国煤炭研究中心的试验巷道中进行的，巷道喷涂面积为 $100\text{m}^2$ ）；

一对巷道中各种站台、躲避设施（充气峒室）及其装备在火灾中的具体情况作分析研究，制定出在发生火灾时的集体性保护措施；

一对发生火灾时呼吸器（微型Apeva型）的功能作分析研究，制定出在火灾中个人的保护措施；

一制定对矿井火灾的安全防护措施。

## 引 言

在井工矿中，井下火灾早已为人们所知。它的发生当然是与具有自然性质的可燃物质分不开的，例如煤、硫以及生产必需的坑木、电气线路、输送机胶带、油脂等。

目前，在井下生产中，还越来越多地使用化学材料或合成材料，当然这些材料比传统使用的材料有许多使用上的便利之处。

但是另一方面，在这些材料中有些本身就是可燃物，或者是不同程度的易燃性物质，而且在燃烧过程中会释放出大量有害气体。因此，合成材料在矿井中使用给矿井火灾带来了新的问题，特别是火灾蔓延与气体毒性方面。

这样，我们认为有必要对这些合成材料存在的问题进行分析研究，防止发生危险，并制定出在矿井发生火灾时对人员保护的安全措施。

安全防护措施的要点是：

一预防：应通过规定程序来选择材料（如输送机的胶带），在必要时，按实际规模进行试验后再选定材料，例如大面积巷道壁喷涂材料；

一检测：选择检测装置，确定它们的安放位置，目的是达到快速、可靠的检测；

一报警：一旦测得险情，向所有有关人员进行快速报警；

一即时保护：佩戴呼吸器，对人员进行即时保护，呼吸器挂在腰带上，在某些场合也可放在巷道端头。呼吸器应在人员到达“充气峒室”之前提供必要的保护，即使空气中充满有毒气体或是氧气不足也不会对人员带来影响；

一撤离准备：应先进入“充气峒室”，这种峒室由压缩空气管路送入未经污染的新鲜空气。从最近的工作地点撤入“充气峒室”的人员在管理人员的带领下作撤离的准备。

在充气峒室里，可以使用的东西有：

一长时间使用呼吸器所需的备用气筒；

一电话机，通过电话可以了解到当时的处境，确定最佳的撤离路线以及掌握与救护工作有关的其它情况；

一一张巷道平面图，在图上可以找到撤离路线。

下面将介绍在合成材料（现场安装材料与预制材料）、充气峒室以及呼吸器方面最新的研究工作与研究成果。

## 合成材料着火性能

在研究矿井火灾时，为能实际模拟火灾发生情况，研究井下工程中使用新型合成材料与器材后出现的问题，法国煤炭研究中心于1983年开始使用专门研究井下火灾的试验巷道。

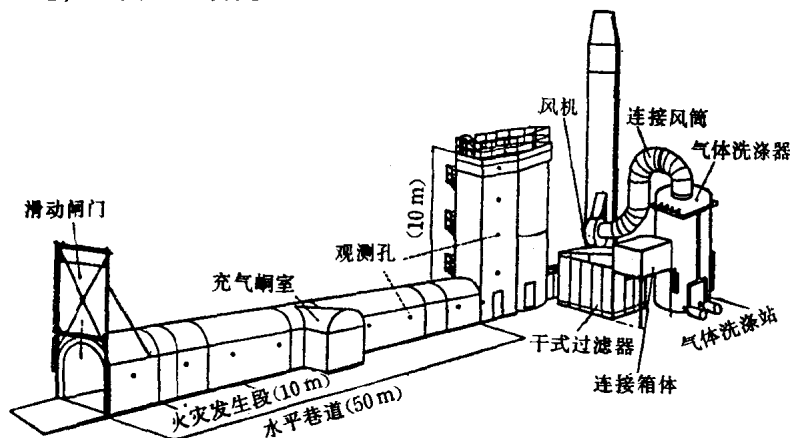


图1 矿井火灾试验巷道

### 矿井火灾试验巷道

这个试验巷道见图1，在悉尼召开的一次会上所提交的一篇论文中已完整地介绍过（R. 索文，1985年）。在这里仅提示以下几点：

一为进行有关的试验，试验巷道包括一段断面为 $10\text{m}^2$ 的水平巷道，长50m；另一段断面为 $6\text{m}^2$ 的垂直巷道，高10m。水平巷道的一半长度处有一个峒室，用于进行充气峒室的研究；

一试验巷道装有一套排烟清污装置；

一试验巷道中的最大风速可达 $1.5\text{m/s}$ 。

### 已经法国煤炭研究中心检验过的合成材料

井下最常见的火灾是输送机胶带发热燃烧引起的。最近发生的几起事故说明这类火灾不

仅对人身安全，而且对生产都会产生严重影响。

在井下工程中大量使用的其它合成材料中，泡沫材料占据越来越多的比重，广泛用于加固地层、封堵、快速密闭以及巷道喷护。

最先的研究计划中包括研究以PVC与氯丁橡胶为基本材料的输送机胶带以及尿醛树脂发泡材料，检验它们在矿井火灾中的各项性能。这项研究计划是在欧洲共同体煤钢联营总部的资助下进行的（J.丹格罗，1986年）。

三条输送机胶带的试验结果表明，在我们给定的试验条件下，即引燃300kg杨树劈柴模拟火灾发生，结果是不一样的：15m长的500型胶带全部烧毁（氯丁橡胶胶带）；800型的氯丁橡胶胶带烧毁了6.4m；而以PVC为基本材料的1250型胶带除了2.3m一段象三明治那样夹在劈柴堆中以外，其余的均未烧毁。火焰的蔓延速度限制在15~18cm/min。两条氯丁橡胶胶带试验时速度比这慢，所以火焰就自行熄灭了。

关于试验胶带着火后释放物质的毒性问题则为：CO达到很高浓度，HCl的浓度也很高，这是由于大量的HCl气体在试验巷道中聚集在一起。按测得的浓度来看，这两种气体结合在一起会对生理造成很严重的影响，而且还发现在生成的炭黑中有芳烃类物质。还有一点要指出，无论是氯丁橡胶胶带还是PVC胶带在燃烧时都有浓烟产生。

尿醛树脂泡沫材料的试验情况是这样的：先用这种泡沫材料喷涂在巷道壁上，再堆上300kg木柴引燃。经过一段时间受热分解，在泡沫材料的表面便释放出大量气体。一经可燃性气体引燃，很快着火蔓延开来。喷涂过的巷道壁面全被烧毁。泡沫材料在分解过程中散逸出大量的氢氰酸以及氮的氧化物。现在，这种泡沫材料已不再用来喷涂巷道壁，它已被酚类树脂所取代。

### 酚醛泡沫材料着火性能

试验报告记录如下：

巷道壁用酚醛树脂泡沫材料喷涂，喷涂面积100m<sup>2</sup>，平均厚度5cm；四周及顶部都喷过泡沫的巷道长10m多一点。

在巷道中堆放300kg木柴，使得堆放的木柴够得到整个巷道的喷涂部分。用1重油和0.51酒精引燃。

各处放置探测器监测火灾过程：

一在泡沫材料表面和内部放置热电偶；

一在试验巷道的风流下方、水平巷道中距火灾发生区段38m处，垂直巷道中以及出口处均放置热电偶；

一在火灾发生区段放置风速计；

一在火灾发生区段的风流下方放置暗度计。

一沿巷道布置若干个烟雾取样点，能够对CO、CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>的浓度进行连续测定；串联排列布置气泡吸收器，以便对氟利昂、酚、甲醛进行定量分析并回收炭黑。

### 试验过程及情况观察

试验时巷道内的风量为27000m<sup>3</sup>/h，风速为0.75m/s左右。

从木柴堆点火算起，整个试验持续75min。



在火焰的炙烤下，巷壁喷涂的泡沫材料先是变红，然后被烧毁，继而发生爆裂；多处呈现白炽状态，不时地闪出火星（在试验进行到13min30S和15min时）。

柴堆塌落（第16min时）后，巷道内的温度急速下降；在第36min的末尾，仅剩一部分泡沫还处在白炽状态；进行到39min时，火势大为减弱，已不能重新燃起。

### 仅用木柴堆点火试验

随着火灾的发展，为确定泡沫材料逐渐受到影响的程度和评价火灾产生的后果，特地未经喷涂的巷道段点燃柴堆作对比试验。

各种探测器与分析仪器的布置方式与喷涂泡沫材料的巷道段完全相同。

### 试验结果（热变形和毒性分析）

在这样的试验条件下，我们看到在另一段巷道中的泡沫材料状态正常，即使是最靠近柴堆的地方，仍能留在原处，只是在其表面有烧焦的现象。

泡沫材料本身没有使火灾蔓延开来，着火燃烧的时间与柴堆燃烧的持续时间相同。

从巷道各个高度上记录到的温度数据汇集成两条曲线，这两条曲线分别代表光有柴堆的巷道和既有柴堆又有泡沫材料的巷道，曲线见图2。

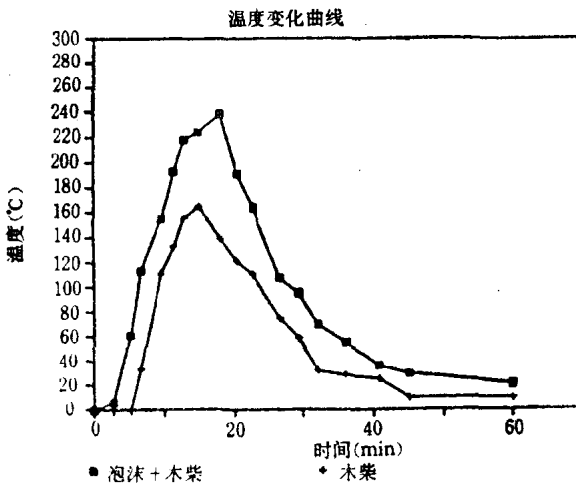


图2 试验过程中的温度变化曲线

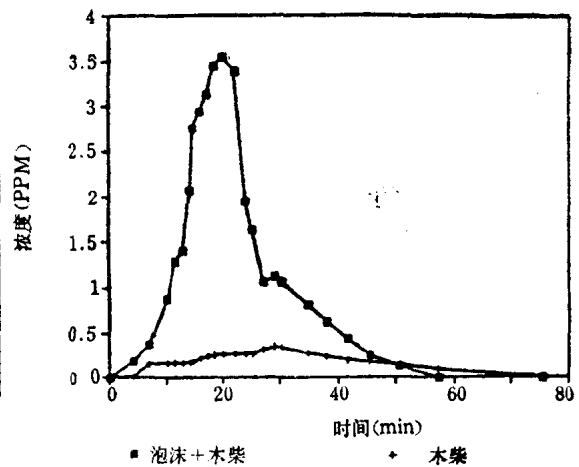


图3 试验中一氧化碳浓度变化曲线

尽管没使火焰蔓延开来，受热的泡沫材料还是在很大程度上将热量传递给了风流。

关于所释放出气体的毒性问题，主要还是CO（见图3）。一氧化碳的浓度变化是由于泡沫材料的分解引起的，最高达到约3500ppm。在整个火灾期间，这样高的浓度仅持续了几分钟。除了CO以外，对产生的氟利昂、酚、甲醛各类物质也逐一进行了分析研究。在给定的试验条件下，测得各类气体的平均浓度为：

氟利昂:	18ppm
酚:	3ppm
甲醛:	2.7ppm

最后，我们还要记住，在这样的火灾环境中，人员的安全必须考虑到空气中氧气的含量。在这次试验中，氧的含量降低到15%。

另外还做了一个试验，这个试验是靠近300kg柴堆放置三把金属油壶，里面盛着树脂。

在模拟火灾过程中，这三把油壶一般都是塞紧的，由于受热，里面的树脂不断分解，先是在塞子边缘冒出淡淡的烟雾，继而油壶发生破裂。

油壶破裂以后，树脂便从油壶中洒出，但是没有着火燃烧。这是因为它具有复杂的成分（它是一种水溶液，含有矿物油和氟利昂）。

其它合成材料（聚胺酯、丙烯酸酯）在火灾过程中释放气体的毒性及其在不同条件下的贮存问题，即主要成分的研究将在法国煤炭研究中心继续进行研究。

## 充 气 洞 室

井下使用的合成材料一旦着火，应按预先拟好的撤离计划将人员集中到通风良好的地点，然后再按确定的路线将人员撤到地面。

但如果撤离路线沿途的巷道内涌入了有毒气体或氧气含量减少，则应按规定先进入充气洞室。

充气洞室是与外界空气完全隔离的封闭场所，但仍会受到高温或烟雾的侵袭。洞室由压缩空气管路送风，里面的压力稍为高些。

充气洞室可作如下用途：

一作为遇险人员等待地面消息的可靠集结地，以便在最安全的条件下组织撤退。

一在发出火灾警报以后，可作为撤退过程中的中转站；佩戴APEVA（隔离式呼吸器）的工人进入充气洞室以后可以更换呼吸器的气筒（它的使用寿命一般为20min左右）而不致发生意外，然后再接着撤退；

一作为躲避烟雾影响的停留地，遇险人员可以在里面待机，等待装备精良的救护队前来营救。

### 充气洞室的性能

试验报告记载如下：

法国煤炭研究中心在欧洲煤钢联营资助下所作的充气洞室试验，目的在于确定遇险人员能受到保护的程 度，不仅在受到有毒气体或窒息性气体的侵袭时，而且在烟雾过大，温度过高时都应能得到保护。同时，通过试验，找到一种柔性材料作为洞室的挡帘，其性能、结构和安装使用能起到隔火、隔热、隔绝有毒气体的作用，从而在火灾发生时提供有效、持久的保护。

在这样的想法下设计了两种不同的洞室方案：

一由丘宾筒构成的洞室，可以在巷道的中央就地砌筑；

一在巷道的一侧开凿洞室，再用能隔热、隔离有毒气体的材料作洞室的挡帘。

试验工作就是将洞室置于火灾烟雾包围的环境中，以达到按照我们的意愿来控制火灾发生时的热量。

一种以连续方式保证所需热量（随风机的风量变化而变化）的气体燃烧器已经研制成功。这种可调式燃烧器的功率调节范围为1000~10000kw，布置在巷道的入口处。

试验中考虑到了以下几个重要因素：

一巷道与洞室之间的自然通风（充气问题）；

一巷道中烟雾与洞室内空气之间的热交换；

一柔性挡帘材料的耐热性能。

按目前的设计,对这两种充气峒室的性能和特征进行分析评价以后,还对如何达到其最佳使用条件作了深入研究,其中包括:

- 一用洒水器将窜入峒室以内的烟雾进行冷却;
- 一用洒水的方式将丘宾筒筒体冷却;
- 一用洒水的方式将挡帘冷却;
- 一向峒室内送入冷风;
- 一对丘宾筒式的充气峒室进行隔热处理。

## 试验结果

对资料库内收藏的试验资料进行的分析表明,在离火灾发生区段几百米的范围内平均温度可达 $100\sim 200^{\circ}\text{C}$ 。我们的实验设施可以再现这个温度。

### “丘宾筒式”充气峒室的性能

首先对这种充气峒室的隔气性进行了试验,确定了将内部气体全部排除所需送入的风量,绘制了在单位时间内能排除的气体体积与需排除体积之间的通风关系曲线。通过这条通风曲线可以确定在充气峒室受到烟雾污染时在人员进入之前应先送入的新鲜风量:即送入的新鲜风量至少应是峒室容积的5倍。当巷道中的温度达到 $200^{\circ}\text{C}$ 时,必须以 $300\text{Nm}^3/\text{h}$ 的风量向充气峒室里送风,使峒室内保持稍高的压力( $15\sim 25\text{pa}$ )。

接着,我们的试验工作是确定充气峒室在有或者没有冷却装置的情况下,峒室内部温度随巷道温度变化的情况。主要的试验结果如下:

在巷道平均温度达到 $100^{\circ}\text{C}$ 时,充气峒室内部的温度迅速上升到 $80\sim 85^{\circ}\text{C}$ 。

通过洒水将丘宾筒筒体冷却,洒水量为 $2.5\text{m}^3/\text{h}$ 时,可将内部温度降到 $60^{\circ}\text{C}$ ,洒水量如为 $6\text{m}^3/\text{h}$ ,内部温度则可降到 $40^{\circ}\text{C}$ 。

如果巷道中的温度达到 $160^{\circ}\text{C}$ ,充气峒室的内部温度虽经洒水,仍会超过人体的承受能力,达到 $65^{\circ}\text{C}$ 。

如果巷道中的温度达到 $200^{\circ}\text{C}$ ,则充气峒室经洒水以后内部温度保持在 $100\sim 110^{\circ}\text{C}$ 左右。

### 巷道侧的充气峒室性能

向这类峒室内送入 $300\text{Nm}^3/\text{h}$ 的压风就可以使内部达到较高的压力( $5\sim 10\text{pa}$ ),对气样进行分析表明,在这样的送风条件下,不管巷道中达到多高的温度,峒室内原先的空气可被排除干净。

用玻璃纤维制成的三种柔性挡帘也进行了试验:挡帘上面涂上了海帕伦(氯磺酰化聚乙烯合成橡胶)或硅酮树脂。试验证明有五种材料具有很好的耐火特性。

通过测量充气峒室内的气温得出以下结果:

一柔性挡帘洒水以后,如果其外面的温度达到 $200^{\circ}\text{C}$ 的话,几十分钟的试验过程中,峒室内部的温度不超过 $25\sim 35^{\circ}\text{C}$ ;

一柔性挡帘经过冷却,充气峒室内的温度上升速度为 $0.15^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ;停止对挡帘进行冷却,温度的上升速度则加快到 $4^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

不论挡帘外巷道中的温度达到多高(一般能达到 $70\sim 220^{\circ}\text{C}$ ),充气峒室中的平均温度

都不会超过人体所能承受的温度60°C。

尽管巷道侧旁的充气峒室其性能要比巷道中布置的丘宾筒式隐蔽所好，但由于安全方面的考虑，我们仍要强调这样一个原则：在发生井下火灾时，充气峒室不应该是久留之地，它只是一个紧急情况下的暂时躲避所，以便在最佳条件下进行撤退作好准备。

## 携 带 式 呼 吸 器

井下出现有毒气体，或者由于缺氧不能正常呼吸时，必须在短时间内准备好呼吸保护装置。

为满足这样的要求，法国煤矿都使用自携式呼吸器，这种呼吸器有的放在作业点附近，有的则挂在矿工的腰带上。

这种呼吸器是隔离式的，里面有一个KO<sub>2</sub>气筒，提供必需的氧气。不管当时空气中成分如何都可以供人呼吸。

挂在腰带上的呼吸器已被推广使用。

呼吸器的重量仅为2 kg，在撤退过程中可供使用20~30min。里面原配的气筒可用备用气筒更换，这样还可以延续使用70~90min。

对呼吸器进行试验时，记录的使用时间见下表：

供 气 量	原配气筒	备用气筒
35l/min 30l/min 10l/min	26min 31min 110min	72min 88min 6h5min

备用气筒一般放在充气峒室中，充气峒室应设置在呼吸器原配气筒用完，备用气筒能接替得上的地点，还要照顾到各个作业点，使其都能衔接得上。

在井下实际条件下对呼吸器的隔离功能进行了试验，井下试验当然是在通行条件最典型的采区进行的。按使用时间与行走距离将观测情况进行了记录，其结果如下：

采区地段	原配气筒的使用情况	
	使用时间 (min)	行走距离 (m)
倾斜工作面	33	1870
倾斜采区巷道	18	1010
急倾斜采区巷道	38	1470

根据上述实际试验结果，必须将充气峒室布置在留有一定安全系数的地点。

## 结 语

这方面的试验研究工作还在继续进行，以期取得更加丰硕的成果。以上介绍的一些主要情况说明，今后对井下火灾的早期预报以及快速反应将是改善井下安全条件的重要手段。

参考文献 [略]

(蔡 飞译 高志坚校)

# 烟雾与一氧化碳的关系及其对改进 矿井火灾监测工作的意义

〔美国〕 C.D.利顿

## 内 容 提 要

通过试验研究来确定矿井中可燃物（包括木材、煤炭、运输胶带）在明火燃烧和阴燃时产生的烟雾和一氧化碳之间的相对关系。数据表明，阴燃时产生的一氧化碳量要比烟雾量低得多。人们发现，即使在明火燃烧阶段，一氧化碳也和烟雾的增加有关，烟雾的标准报警浓度相当于6ppm的一氧化碳，阴燃时只相当于2ppm范围内的一氧化碳浓度。本文以此为基础，讨论了矿井火灾的早期检测报警问题。试验结论明确地表明，处在火灾的发展阶段利用烟雾传感器可比一氧化碳传感器较早测出火情。

## 前 言

矿井火灾会对井下人员产生严重的危害。如果在火灾发生初期不能准确及时地测出而加以扑灭，则火灾就会蔓延扩大而越烧越烈。当火势增强时，烟雾和一氧化碳的产生量也会随之增加。烟雾可能到达一定的临界值，烟雾弥漫看不清周围情况，使矿工难于沿避灾路线撤退。同样，一氧化碳浓度的上升会进一步增加危险程度，使矿工撤离机会大为减少。

以燃料为火源的火灾，在井下能够很快地从一个地点向另一个地点发展和蔓延。点燃气体或液体燃料发生的火灾，其扩展速度是十分迅速的。这些地区的火灾可以用具有自动灭火功能的自动监测系统扑灭。点燃固体可燃物发生的火灾，蔓延过程往往较长，为预报这类火灾，可沿巷道合理布置火情传感器，以便在火区扩大之前有足够的时间来撤离人员或就地扑灭。

易着火的固体可燃物包括输送机胶带、木材、煤炭、电缆以及这些固体可燃物的组合。这些可燃物从点燃发展成猛烈的火焰之前都要经历一个很长的阴燃过程。为了检测这类火灾，目前使用的是一氧化碳传感器，一氧化碳浓度的报警值一般设定到10或15ppm。但是过热的输送机胶带也会释放出浓度较低的一氧化碳，对这种低浓度的一氧化碳，传感器的检测灵敏度较差，加上风流会冲淡一氧化碳的浓度而使传感器不能发出报警信号。其它固体可燃物也会发生类似的情况。

然而，发生这类火灾时都要产生大量的烟雾，如果采用烟雾传感器，这类火灾总是能够被测出的。下面的章节将讨论一氧化碳和烟雾的生成以及如何把这两种火情传感器有效地应用在井下，以监测井下火灾的发生。

## 烟 雾 和 一 氧 化 碳 的 产 生

一般讲，阴燃既会产生烟雾，又会释放出一氧化碳。但是，它们的产生机理是很不相同的。一氧化碳是可燃物中的碳与周围环境中的氧气发生化学反应产生的。进一步讲，一氧化碳产生多少取决于可燃物中碳的含量（通常用重量%表示）和可燃物的温度，并且与可燃物中的碳和其它分子的化学结构有关。以煤和木材为例，在150~200°C较低的温度（甚至低于自然发热温度）时，就会产生一氧化碳。对于输送机胶带等合成材料，则产生一氧化碳的温度就较高，这是由于胶带中的碳含量和化学结构不同的原因。

另一方面，烟雾粒子是在发热过程中产生的，可燃物表面发热向四周释放出固体颗粒物质，同时散发出高分子量的气体，这些物质与气体结合在一起形成了烟雾。大多数可燃的固体物在100~200°C温度范围内会产生烟雾，当固体物表面的温度上升时，烟雾颗粒的扩散量就会增加。

在火焰燃烧时，燃烧的高温会促进一氧化碳的产生，同样，在燃烧时，一氧化碳的生成量会随着燃料与氧气的比例减小而增加，其原因是二氧化碳的产生会减少供氧量而且燃料中的碳大部分与氧结合而生成一氧化碳。当燃烧发生在氧气与燃料比值高时（如在通风良好的地点），一氧化碳的生成量和火势的强度直接有关，即：在氧气与燃料比值高的情况下，产生一氧化碳量最少。随着火势增强，氧气与燃料比值下降，火区单位面积产生的一氧化碳量就会增高。

在燃烧时火焰产生的烟雾是由烟灰粒子构成的，在离开火焰过程中颗粒结合在一起，粒径增大。固体燃料的燃烧温度接近1500°k，由于燃烧的烟灰粒子辐射出能量，而使火焰呈淡黄色。同一氧化碳一样，随着氧气与燃料的比值下降，烟雾的产生量也随之增高。在氧气与燃料比值高的情况下，烟雾的产生量接近最小值。

在阴燃和产生火焰时烟雾和一氧化碳的产生途径确实是不相同的。应当指出的是，通风风流会对烟雾和一氧化碳起稀释作用，使一氧化碳和烟雾的浓度降低。当讨论一氧化碳和烟雾浓度的测定值时，这种稀释作用必须加以考虑。

所有的一氧化碳传感器的计量单位均采用ppm，1ppm的一氧化碳相当于每m<sup>3</sup>空气中有 $2.69 \times 10^{19}$ 个一氧化碳分子，或每m<sup>3</sup>空气中有1.25mg的一氧化碳，烟雾的计量单位是每单位体积空气中烟雾的颗粒数或单位体积空气中烟雾颗粒的质量。然而烟雾传感器通常采用烟雾的光密度（OD）来作为其计量单位。烟雾的光密度是表示烟雾对能见度的影响程度。光密度愈大，则能见度愈低。光密度是烟雾颗粒的数量、质量及烟雾粒子平均直径的函数。

## 试 验

为了确定井下可燃物阴燃和起火燃烧时一氧化碳和烟雾的浓度，在一条中等规模的试验巷道里进行了试验。以前曾报道过（依根，1986和1987），试验巷道呈方形断面，断面积为0.64m<sup>2</sup>，长10m，巷壁用耐火砖砌筑。在巷道出口处装有一台扇风机，可产生0.20~2.0m/s的风速。

除煤以外，所有的试验都是用安设在巷道底板上的天然气燃烧器来点燃的。点燃后，立即关闭燃烧器，试验的可燃物就燃烧起来。煤燃烧试验时，由埋在煤堆中的三个电热器来点火，下面所列的燃烧试验数据均为可燃物燃烧稳定状态时的数值。

在所有阴燃试验中，均采用电热器使可燃物加热到稳定的阴燃状态。下面所列的所有数据均为稳定阴燃状态的数值。对于胶带输送机来说，阴燃试验则由电热器加热到表面温度275°C，450°C和600°C。其它可燃物的表面温度只加热到450°C。

气体和烟雾是在巷道中离阴燃点约8m的下风处抽出，在该处阴燃产生的烟雾与通风风流完全混合。这种测定烟雾对能见度影响的方法比较特殊，是在距气体和烟雾采样管的上风头约0.15m处安装一个三波长检测器（卡什多拉尔，1979），烟雾对能见度影响的测定用0.45 $\mu\text{m}$ 、0.63 $\mu\text{m}$ 和1.0 $\mu\text{m}$ 三个波长。烟雾的光密度单位用 $\text{m}^{-1}$ 表示，此值是0.45 $\mu\text{m}$ 和0.63 $\mu\text{m}$ 测定值的平均数。

各次试验中一氧化碳值均用ecolyzer型2100一氧化碳分析器测定，测定范围分两档：0~100和0~500ppm。分析器的精度为全刻度的 $\pm 1\%$ 。烟雾浓度用锥形元件振荡式微量天平（TEOM）（帕塔什尼克，1986）来测定，其精度为全刻度读数的 $\pm 5\%$ ，标准设定值为200 $\text{mg}/\text{m}^3$ 。

风速用双向风流测定器测定（麦卡弗里，1976），其精度为指示读数的 $\pm 7\%$ 。

所有气体、烟雾和风速均由PDP11/44电子计算机记录，然后输入大型VAX11/780电子计算机进行分析和处理。

## 试验结果

由同时测得的一氧化碳ppm值，烟雾质量浓度 $M_0$ 和烟雾光密度OD值这三个数值计算出三个比值是有其特殊意义的：

1. 第一个比值为 $R_1$ ，是烟雾的光密度OD（单位为 $\text{m}^{-1}$ ）与烟雾质量浓度（单位为 $\text{mg}/\text{m}^3$ ）之比， $R_1$ 表示单位质量浓度的烟雾对能见度的影响程度。 $R_1$ 值愈大，则能见度愈低； $R_1$ 值愈小，则烟雾减低能见度的能力较弱，即能见度较高；

2. 第二个比值为 $R_2$ ，是烟雾的光密度和一氧化碳的ppm值之比。此值十分重要，因为它提出了烟雾和一氧化碳传感器报警限值的有效相关数值；

3. 第三个比值为 $R_3$ ，是烟雾质量浓度和一氧化碳质量浓度之比值，这两个数值均以 $\text{mg}/\text{m}^3$ 为计量单位。此值的重要性在于它可表示不同可燃物和不同燃烧阶段（阴燃或明燃）所产生的烟雾和一氧化碳的相关浓度值。

图1所示为试验物料在阴燃和明火燃烧时所获得的平均数据。图中带黑点的竖条代表阴燃时的平均值；而带斜道的竖条则代表火焰燃烧时的平均值。从这些数据，值得注意的有以下几点：

1. 所有试验物料的数据表明，火焰燃烧过程的 $R_1$ 值比阴燃时高，即火焰产生的烟雾对能见度的影响要大得多；

2. 所有试验物料的数据表明，火焰燃烧时的 $R_2$ 值比阴燃时低，其原因是在火焰燃烧时温度较高，产生的一氧化碳较多；

3. 所有试验物料的数据表明，在阴燃时 $R_3$ 值远高于火焰燃烧时，其原因在于阴燃时温度较低，产生的一氧化碳较少。

此外，还测到了变压器油起火燃烧时的数据和PVC风障阴燃时的数据：

变压器油起火燃烧的数据是：

$R_1=0.27$ ， $R_2=0.067$ ， $R_3=0.26$ 。

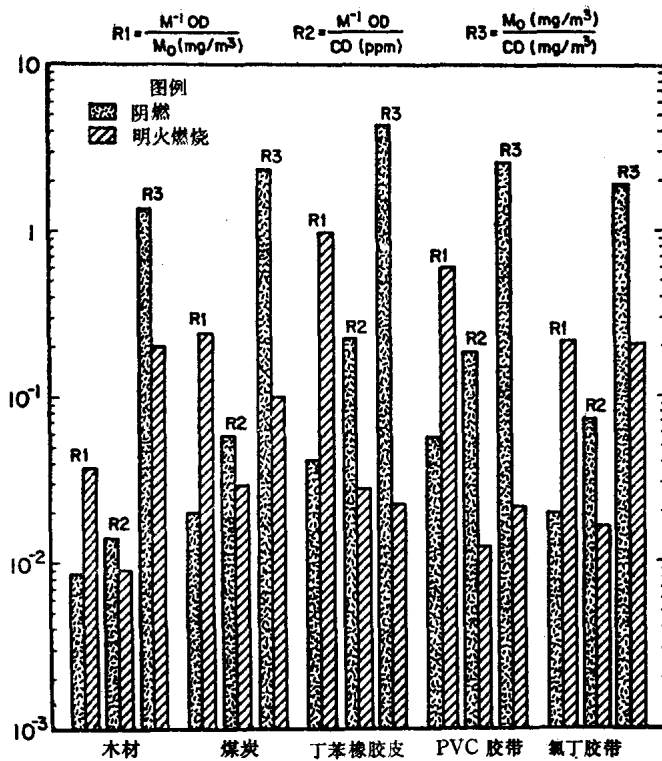


图 1 阴燃和明火燃烧阶段的三个比值

风障阴燃的数据是：

$R1=0.02$ ,  $R2=0.046$ ,  $R3=1.84$

## 火灾检测

根据上述数据可计算出以下数值：

1. 在一氧化碳传感器的设定限值为15ppm时烟雾的平均光密度值和影响视力程度；

在一氧化碳报警限值为15ppm时3m以内的烟雾影响视力程度的相对值 表 1

燃 料	3m内影响视压程度%	
	火焰燃烧	阴 燃
木材	73	47
煤炭	73	92
丁苯橡胶胶带	70	100
聚氯乙烯胶带	42	100
氯丁橡胶胶带	51	92
变压器油	95	-
聚氯乙烯风障	-	82



2. 在烟雾传感器的设定限值为 $0.10\text{m}^{-1}\text{OD}$ 时一氧化碳浓度的平均值。

表1中列出了在一氧化碳传感器报警限值为 $15\text{ppm}$ 时，在 $3\text{m}$ 距离内的视力降低程度%。说明在一氧化碳浓度达到报警限值时，火焰产生的烟雾（平均值）能使能见度大大降低，而在阴燃时烟雾能把能见度降到很低的程度。

表2所示为在烟雾传感器报警限值为 $0.1\text{m}^{-1}$ 时的一氧化碳值。

表2明显地说明了烟雾传感器比一氧化碳传感器所具有的优越性。无论在阴燃和火焰燃烧的情况下，烟雾传感器的报警信号均可早于一氧化碳浓度达到 $15\text{ppm}$ 的报警限值之前发出。

在烟雾传感器报警限值为 $0.1\text{m}^{-1}\text{OD}$ 时一氧化碳的相对值 表 2

燃 料	火焰燃烧时CO ppm	阴燃时CO ppm
木材	11.1	7.1
煤炭	3.4	1.8
丁苯橡胶胶带	3.7	0.5
PVC胶带	8.3	0.6
氯丁橡胶胶带	6.3	1.4
变压器油	1.5	-
PVC风障	-	2.2

表3所列为在烟雾传感器报警限值为 $0.1\text{m}^{-1}\text{OD}$ 时烟雾和一氧化碳的质量浓度（平均值，均以 $\text{mg}/\text{m}^3$ 表示）。

表中说明，在火焰燃烧时烟雾质量浓度大大低于一氧化碳的质量浓度。而阴燃时，则烟雾质量浓度平均比一氧化碳浓度约高2.5倍，说明一氧化碳产生量很少。

在烟雾传感器报警限值为 $0.10\text{m}^{-1}\text{OD}$ 时，烟雾和一氧化碳的质量浓度（ $\text{mg}/\text{m}^3$ ） 表 3

燃 料	火焰燃烧		阴 燃	
	烟雾质量	CO质量	烟雾质量	CO质量
木材	2.7	13.9	11.9	8.9
煤炭	0.42	4.3	5.0	2.2
丁苯橡胶胶带	0.10	4.6	2.4	0.57
PVC胶带	0.17	10.4	1.8	0.69
氯丁橡胶胶带	0.48	7.8	5.3	1.7
变压器油脂	0.37	1.9	-	-
PVC风障	-	-	5.0	2.1

（下转第30页）