

全国煤矿安全培训统编教材

矿尘防治

国家煤矿安全监察局人事培训司 组织编写

A类

中国矿业大学出版社

全国煤矿安全培训统编教材

矿 尘 防 治

(A 类)

国家煤矿安全监察局人事培训司 组织编写

编写	傅 贵	金龙哲
	徐景德	
审定	卢鉴章	方裕璋
	陈东科	李东芳

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书较系统地阐述了煤矿粉尘的基本性质、危害、检测与防治技术,并给出了煤尘爆炸、瓦斯煤尘爆炸事故案例及其勘查方法。

本书是煤矿安全监察人员、煤炭企业经营管理者、安全专职管理人员及煤矿区队长安全上岗培训的统编教材,也可作为大中专院校师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

矿尘防治/傅贵,金龙哲,徐景德编. —徐州:中国矿业大学出版社,2002.6

全国煤矿安全培训统编教材

ISBN 7-81070-500-8

I. 矿... II. ①傅...②金...③徐... III. 煤尘—除尘—技术培训—教材 IV. TD714

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第029736号

书 名 矿尘防治

编 写 傅 贵 金龙哲 徐景德

责任编辑 白海新

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

印 刷 北京京科印刷有限公司

经 销 新华书店

开 本 850×1168 1/32 印张 5.125 字数 130 千字

版次印次 2002年6月第1版 2003年2月第2次印刷

印 数 5001~10000 册

两册定价 20.00元(本册定价 12.00元)

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

全国煤矿安全培训统编教材编审委员会

总顾问	路德信			
主、任	黄玉治			
副主任	周心权	闫永顺		
委 员	王树鹤	付建华	梁嘉琨	石少华
	李文俊	安里千	段 刚	陈国新
	蔡 卫	徐景德	王金石	王素锋
	瓮立平			

出版说明

搞好煤矿安全生产是保护国家财产和人民群众生命安全的一件大事，它关系到国民经济的发展和社会的稳定。随着我国社会主义市场经济体制的发展，煤炭工业面临着良好的发展机遇，煤炭企业正在向高产、低耗、安全和集约化生产方向发展。但是，煤炭企业安全生产形势仍较为严峻：一方面，煤矿开采水平正在不断加深，生产条件更加复杂化；另一方面，一些煤炭企业仍然存在着盲目追求最大经济效益、不重视安全生产的行为。因此，依法加强对煤矿企业安全生产的监察，通过培训全面提高煤矿企业从业人员的安全素质，是非常必要的。

为了适应我国煤炭工业管理体制改革的需要，国务院于1999年成立了国家煤矿安全监察局，建立了新的煤矿安全监察管理体制。国务院批准的《煤矿安全监察管理体制改革的实施方案》中，赋予国家煤矿安全监察局“组织、指导煤炭企业安全生产技术培训工作，负责煤炭企业主要经营管理者安全资格认证工作”的职能。2000年经国务院批准，又成立了国家安全生产监督管理局，国家煤矿安全监察局与其合署办公。国务院批准的《国家安全生产监督管理局（国家煤矿安全监察局）职能配置、内设机构和人员编制规定》中，赋予国家安全生产监督管理局（国家煤矿安全监察局）“组织、指导本系统安全生产监察人员、煤矿安全监察人员的培训、考核和全国企业安全生产技术培训工作；依法组织、指导并监督特种作业人员的考核工作和企业经营管理者安全资格考核工作”的职能。

为了履行好国务院赋予我们的有关安全培训方面的职能，规范煤矿安全生产技术培训工作，保证培训质量，在总结安全培训工作

经验，借鉴国外发达国家矿山安全培训课程体系的基础上，国家煤矿安全监察局人事培训司组织有关高校、安全技术培训中心和煤炭企业等单位的教授、专家和安全工程技术人员编写了这套模块式“全国煤矿安全培训统编教材”。这套教材不仅反映了传统的煤矿安全生产技术知识，也引进了成熟的煤矿安全生产新知识、新技术，并且针对培训对象的工作类别、专业和文化程度的不同，就其撰写文体、内容深度和广度的差异分为 A、B 两类。A 类教材内容较深，强调内容的科学性、新颖性和实用性，主要适用于国家煤矿安全监察人员、从事煤矿安全培训的教师、煤炭企业主要经营管理者及安全专职管理人员、区（队）长等；B 类教材内容较浅，强调内容的实用性，主要适用于班（组）长、各种作业人员（含特种作业人员）、企业安全检查员等。模块式教材避免了不同工种系列的同一课程教材内容的重复，便于选择较合适的作者重点撰写，内容覆盖面广，融科学性、实用性、系统性于一体，是对各类煤矿安全人员进行安全资格培训（复训）和考核的统编教材，也是各类煤矿安全人员上岗后不断巩固、提高安全生产知识的工具书，同时，也可供有关管理人员、工程技术人员及大专院校的师生参考。

本套教材在编审过程中，得到了中国矿业大学（北京校区）、华北科技学院、焦作工学院、黑龙江科技学院，有关省级煤矿安全监察局、煤矿安全技术培训中心、煤炭企业等单位的大力支持。在此，谨向上述单位表示谢意。

本书由傅贵、金龙哲、徐景德编写，由卢鉴章、方裕璋、陈东科、李东芳审定。

国家煤矿安全监察局人事培训司

2002 年 2 月

目 录

第一章 煤矿粉尘概论	(1)
第一节 粉尘的概念	(1)
第二节 粉尘的产生源	(6)
第三节 粉尘的基本性质	(7)
思考题	(11)
第二章 粉尘的危害	(12)
第一节 我国煤矿工人尘肺病状况概述	(12)
第二节 尘肺病的发病原因及影响因素	(14)
第三节 煤尘爆炸	(16)
思考题	(23)
第三章 粉尘检测与管理	(24)
第一节 粉尘浓度及其检测	(24)
第二节 粉尘浓度检测方法与技术	(28)
第三节 游离二氧化硅含量测定	(36)
第四节 粉尘的分散度测定	(39)
第五节 煤矿防尘管理	(40)
思考题	(42)
第四章 煤矿粉尘防治技术	(43)
第一节 概述	(43)
第二节 减尘技术措施	(44)
第三节 矿井通风排尘	(62)
第四节 掘进除尘及除尘器	(68)
第五节 煤矿湿式除尘技术	(78)
第六节 物理化学降尘技术	(88)

第七节 个体防护	(105)
思考题	(106)
第五章 煤尘爆炸事故防治及勘察	(108)
第一节 煤尘爆炸事故概述	(108)
第二节 煤尘爆炸事故的过程分析	(115)
第三节 煤尘爆炸事故的防治	(122)
第四节 煤尘爆炸事故的勘察	(131)
第五节 典型瓦斯煤尘爆炸事故案例剖析	(138)
思考题	(151)
参考文献	(153)

第一章 煤矿粉尘概论

采矿生产过程中产生的粉尘通称为矿尘。采矿对象有金属、煤及其他非金属矿物之分,采矿过程中应用的设备、材料也有钢质、木质、砖瓦、水泥等不同类别,采矿工艺过程也不尽相同。因此,各类矿山采矿过程中产生的粉尘在性质、危害、分析与监测方法、防治技术措施等方面也有很大差别,在相关的矿山安全法律、法规和标准中对不同类别的粉尘也有不同的规定。在煤矿,常见的粉尘主要有煤尘、岩尘、水泥粉尘,它们是矿尘防治的重点,也是本书讨论的重点。本书中如无特别说明,粉尘主要是指上述三类粉尘的煤矿粉尘。掌握粉尘的概念、产生规律、产生场所和基本性质是研究煤矿粉尘防治技术的基础。

第一节 粉尘的概念

一、粉尘的分类

粉尘即细微煤岩颗粒^{*}。悬浮于空气中的粉尘一般称为浮尘;沉积在地面、器物表面、井巷四壁的粉尘则称为落尘。按粉尘成分分,煤矿粉尘可分为煤尘、岩尘、水泥粉尘等;按粉尘被人体吸入的状况分,煤矿粉尘分为呼吸性粉尘和非呼吸性粉尘;按粉尘的来源分,其分为生产性粉尘和非生产性粉尘。

二、预备知识

(一) 粉尘中游离二氧化硅含量

粉尘中的游离二氧化硅含量是指粉尘中未与金属氧化物结合

* 因为讨论不同方面的粉尘问题,所用的煤岩颗粒大小及其量度方法都有所不同,所以不宜以煤岩颗粒的大小来定义粉尘。

的游离态二氧化硅占粉尘质量的百分比。游离二氧化硅常以结晶态存在，它在粉尘中的含量对尘（煤、矽）肺病的发生发展起重要作用。其含量高，粉尘的致病力强。所以各国粉尘卫生标准均根据粉尘中游离二氧化硅含量的不同规定有不同的粉尘浓度控制标准。

二氧化硅（分子式为 SiO_2 ）是地壳中最常见的氧化物，也是许多岩石和矿物的重要组成成分。其存在状态有两种，除游离态以外，还有结合态，即同其他化合物一起形成硅酸盐矿物，如长石（ $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ ）等。煤层中常伴有夹石、游离二氧化硅等。煤系地层中游离二氧化硅的含量随地层沉积环境不同而有很大变化。从煤种看，无烟煤中游离二氧化硅的含量高于烟煤中游离二氧化硅的含量。但煤、岩石中游离二氧化硅的含量与煤尘、岩尘中的游离二氧化硅含量并不相同，应以实测为准。

（二）采样效率曲线

粉尘采样器对粉尘粒度大小的分级性能曲线称为采样器的采样效率曲线。采样效率曲线主要有 BMRC、AEC、ACGIH 曲线三种（图 1—1）。BMRC 曲线由英国医学研究会 BMRC（British Medical Research Council）于 1952 年提出，AEC、ACGIH 分别由美国原子能委员会 AEC（Atomic Energy Commission）和美国

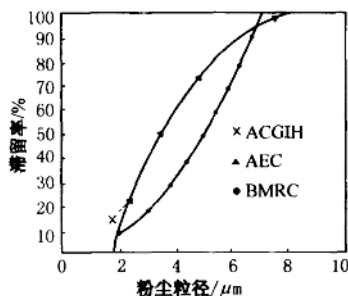


图 1—1 采样器采样效率曲线

工业卫生学会 ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) 于 20 世纪 50 年代提出。ACGIH 曲线在 AEC 曲线基础上作了适当修改, 规定粒径小于或等于 $2\ \mu\text{m}$ 的尘粒的吸入百分数为 90%。世界各国广泛采用 BMRC、ACGIH 曲线作为呼吸性粉尘采样器的标准采样效率曲线。

要理解采样效率曲线的意义, 可以假想一个具有呼吸性粉尘和非呼吸性粉尘分级采样功能的冲击式粉尘采样器。这个假想的冲击式粉尘采样器由两级采样装置组成, 第一级采样装置以钢片为粉尘载体, 采集非呼吸性大颗粒粉尘, 第二级采样则以滤膜为粉尘载体采集呼吸性的小颗粒粉尘 (图 1-2)。当启动抽气泵时, 含尘空气按图示方向进入采样器, 大颗粒粉尘将因惯性冲击、粘结作用而被擦有粘性油的一级采样装置中的钢片所捕集。钢片上采集到的非呼吸性粉尘质量占通过采样器总粉尘质量的百分比称为采样器对大颗粒粉尘的截留率, 对应采样效率曲线上的坐标点; 未被一级采样装置截留、到达二级采样装置而被滤膜采集到的呼吸性粉尘占通过采样器总粉尘质量的百分比称为采样器小颗粒粉尘的透过率。透过一级采样的粉尘量实际上是人体呼吸时吸入肺泡区粉尘量的模拟, 即采集到的呼吸性粉尘。应当注意, 非呼吸性粉尘不是不能吸入人体呼吸系统, 而只是不能进入肺泡区。当然上面所述的模拟与人体呼吸状况是有一定误差的。

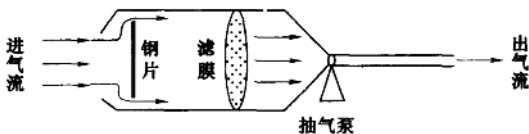


图 1-2 分级采样器原理

我国煤矿应用的呼吸性粉尘采样器对粉尘的分级性能被要求符合 BMRC 采样效率曲线。

(三) 空气动力学直径

空气动力学直径是指与被测粒子在静止空气中具有相同终末沉降速度、密度为 1.0 g/m^3 的球的直径。它是粉尘防治技术中应用较多的一种直径，原因是它与粒子在流体中运动的动力特性密切相关。

三、粉尘的定义

(一) 煤尘

煤尘的一般含义为“细微颗粒的煤炭粉尘”。但随应用场合不同而又有不同的严格定义，这一点值得注意。在评价作业场所空气中呼吸性粉尘状况时，将二氧化硅含量低于 10% 的煤炭粉尘定义为煤尘，而在评价作业人员接触呼吸性煤尘状况时，将游离二氧化硅含量小于 5% 的煤炭粉尘定义为煤尘。

(二) 岩尘

岩尘一般是指细微颗粒的岩石粉尘。在评价作业场所空气中呼吸性岩尘状况时，也使用“矽尘”一词表示岩尘。这两个名词的含义应该是相同的。岩尘（矽尘）中游离二氧化硅含量一般大于 10%。

(三) 水泥粉尘

煤矿井上下有些场所生产、应用水泥或水泥制品时产生水泥粉尘。例如，煤矿井下的典型场所为锚喷作业点，大量使用水泥，产生水泥粉尘。

(四) 呼吸性粉尘与非呼吸性粉尘

呼吸性粉尘的一般含义是“能被吸入人体肺泡的浮尘”，否则为非呼吸性粉尘。其严格含义有不同表述方法（如作业场所呼吸性粉尘等），但其基本含义是用符合 BMRC 标准采样曲线的采样器在空气中采集到的粉尘颗粒。对于岩尘、煤尘、水泥粉尘，根据应用场合的不同，国家和行业标准对呼吸性粉尘有不同的严格定义。

1. 呼吸性煤尘

在评价作业场所粉尘状况时，用符合 BMRC 曲线的采样器在作业场所采集到的所含有游离二氧化硅小于 10%，空气动力

学直径小于 $7.07\ \mu\text{m}$ 的粉尘称为呼吸性煤尘。在评价作业人员接触粉尘状况时,将符合 BMRC 曲线的采样器置于作业人员身体上呼吸范围内所采集到的游离二氧化硅含量小于 5%,空气动力学直径小于 $7.07\ \mu\text{m}$ 的粉尘称为呼吸性煤尘。

2. 呼吸性岩(砂)尘

在评价作业场所粉尘状况时,用符合 BMRC 曲线的采样器在作业场所采集到的所含有游离二氧化硅大于等于 10%,空气动力学直径小于 $7.07\ \mu\text{m}$ 的粉尘称为呼吸性岩尘(矽尘)。在评价作业人员接触粉尘状况时,将符合 BMRC 曲线的采样器置于作业人员身体上呼吸范围内所采集到的游离二氧化硅含量大于等于 5%,空气动力学直径小于 $7.07\ \mu\text{m}$ 的粉尘称为呼吸性岩尘(矽尘)。

3. 呼吸性水泥粉尘

呼吸性水泥粉尘是指游离二氧化硅含量大于等于 10%,用符合 BMRC 曲线的采样器采集到的空气动力学直径小于 $7.07\ \mu\text{m}$ 的水泥粉尘。

(五) 生产性粉尘与非生产性粉尘

生产性粉尘是指生产过程中产生的粉尘。煤炭生产过程中伴随煤和岩石破碎而产生的煤矿粉尘是生产性粉尘的一种。常使用生产性粉尘一词描述直接产生于生产过程、作业场所的粉尘。

(六) 浮尘与落尘

浮尘是悬浮于矿井空气中的粉尘。由于浮尘飘浮于矿井空气中,所以有随人的呼吸进入呼吸道的可能,所以粉尘卫生标准都是以浮尘为规定对象的。落尘则是因自重而降落,沉积在巷道顶、帮、底板和物体上粉尘。浮尘经过一定时间可以变为落尘,落尘受扰动后也可以飘浮在空气中。空气中浮尘浓度一般较低,为数 mg/m^3 数量级以下,短时间内可能达到数 g/m^3 数量级,甚至达到 $45\ \text{g}/\text{m}^3 \sim 112\ \text{g}/\text{m}^3$ 的煤尘爆炸下限。我国有一系列关于浮尘浓度的控制标准,但关于落尘没有相应的规定。有些国家规定落尘的有关测定标准。

第二节 粉尘的产生源

为准确测定煤矿粉尘的性状、评价安全生产水平和作业人员所受尘害状况及有针对性地采取粉尘控制技术控制粉尘产生量,就必须了解和掌握煤矿粉尘的产生源。矿井的主要尘源在采煤工作面、掘进工作面,煤岩装运、转载点,其他工作场所也产生大量粉尘。

一、采煤工作面尘源

采煤工作面的主要产尘工序有采煤机落煤、装煤、液压支架移架、运输转载、运输机运煤、人工撬煤、放炮及放煤口放煤等。

采煤工作面的各种产尘工序的产尘机理一般可分为摩擦和抛落两种机制,前者产生的大颗粒粉尘较多,后者产生的呼吸性粉尘较多。采煤机截煤产尘相对于其他工序来说,摩擦为主要产尘机制,其产生的呼吸性粉尘较多,因此经常更换截齿以保持截齿的锐利很重要。目前,各工序的产尘特点研究尚不充分,有待进一步加强,以便有针对性地采取粉尘控制措施。

二、综采放顶煤工作面粉尘产生机制

综采放顶煤开采技术是 20 世纪 90 年代以来在我国大面积推广的比较先进的采煤方法,但工作面粉尘问题也引起较多关注。综采放顶煤工作面的产尘环节主要有采煤机落煤、放煤、移架、装煤和运煤五大工序。从微观方面分析,煤尘产生可分为摩擦、抛落和摩擦与抛落相结合等三种方式。

摩擦产尘发生在煤与煤、煤与岩石之间,也发生在煤与截齿及其他机械设备之间。采煤机截煤时,其截齿与煤体接触给煤体以挤压力,推动煤体移动、破坏,截齿首先与煤接触,不可避免地在两者之间产生摩擦,产生煤尘;同时,煤体被挤压部分要产生移动、破坏,在移动过程中,同煤体其他部分及煤块产生摩擦,产生粉尘。类似地,在放煤、移架、装煤和运煤过程中,也

发生这种煤与煤、煤与机械设备之间的摩擦产生现象。

机械割煤时，煤块在滚筒动力作用下发生抛落现象，抛落时煤块要发生破碎产生尘。顶煤在放落和运输、移架过程中，这种抛落产生尘也是普遍情况。

煤块在斜向抛落于其他物体之上时，既与该物体产生摩擦，也伴有破碎，即抛落与摩擦相结合的产生尘方式。事实上，严格意义上垂直抛落是不存在的，总是在抛落时伴有摩擦。

三、掘进工作面的产生尘

掘进工作面的产生尘工序主要有机械破岩（煤）、装岩、放炮、煤矸运输转载及锚喷等。一般而言，掘进工作面各工序所产生的粉尘含游离二氧化硅成分较多，对人体危害大，操作人员很有必要进行个体防护作为其他粉尘控制措施的补充。统计资料也表明，掘进工人的尘肺病发病率比采煤工人高，这也是由于掘进工人接触的粉尘具有较高的游离二氧化硅含量所致。

四、其他产生尘源

巷道维修的锚喷现场、煤炭装卸点等也都产生高浓度粉尘，尤其是煤炭装卸处的瞬时粉尘浓度有时高达数 g/m^3 ，有时甚至达到煤尘爆炸浓度界限，十分危险，应予以充分重视。

此外，地面煤炭装运、煤堆、矸石山等由于风力作用也产生大量粉尘，使矿区周边空气环境受到严重的污染，对居民健康和植物都造成十分不利的影响。

第三节 粉尘的基本性质

煤矿生产过程产生粉尘一般都不伴有化学变化，因此飘浮于空气中粉尘的化学成分与其来源物料的化学成分基本相同。煤炭、岩石往往由多种矿物成分组成，这些成分的硬度有差别，某些成分较易破碎形成细小颗粒，某些成分密度较小，其细小颗粒容易飘浮到空气中，所以飘浮于空气中的粉尘，其成分与原始物料略有不同，但这种差别一般很小，工程上常把煤炭、岩石的化

学成分与煤炭、岩石粉尘成分等同对待。

一、密度

单位体积粉尘的质量称为粉尘的密度，这里的粉尘体积不包括尘粒之间的空隙，所以密度为粉尘的真密度，单位为 kg/m^3 。物质密度与粉尘的真密度是不相同的，因为粉尘在形成过程中，其表面甚至其内部可能形成某些孔隙。只有表面光滑又密实的粉尘的真密度才与其物质密度相同，通常形成粉尘的物质密度比它所形成的粉尘密度大 20% ~ 50%。

二、粉尘的比表面积和表面能

物料被粉碎为微细的粉尘，其总表面积显著增加。单位质量（或单位体积）粉尘的总表面积称为粉尘的比表面积。

由于粉尘的比表面积增大，它的表面能也随之增大，增强了表面活性。在研究粉尘的湿润、凝聚、附着、吸附、燃烧等性能时，必须考虑其比表面积。例如微细粉尘的表面吸附能力增强，容易吸附空气而在尘粒表面形成气膜，降低了尘粒间的凝聚以及影响其尘粒的湿润性，更难于把粉尘从空气中捕捉分离出来。

三、粉尘的凝聚与附着

细微粉尘增大了表面能，即增强了尘粒的结合力。一般把尘粒间互相结合形成一个新的大尘粒的现象称作凝聚；尘粒和其他物体结合的现象称作附着。粉尘的凝聚与附着是在粒子相距非常近时，由于分子间的引力作用而造成的。一般尘粒间距离较大，需要有外力作用使尘粒间碰撞、接触，促使其凝聚和附着。这些外力有分子间力、静电力等。

四、粉尘的润湿性

液体对固体表面的润湿程度取决于液体分子对固体表面作用力的大小，而对同一粉尘尘粒来说，液体分子对尘粒表面的作用力又与液体的力学性质即表面张力的大小有关。表面张力愈小的液体，对尘粒越容易润湿。不同性质的粉尘对同一性质的液体的亲和程度是不相同的，这种不同的亲和程度称为粉尘的润湿性。

粉尘润湿性还与粉尘的形状和大小有关，球形粒子的润湿性

比不规则形状的粒子要小；粉尘越细，亲水能力越差。例如，石英的亲水性好，但粉碎成粉末后亲水能力却大大降低。粉尘的润湿性用粉尘与液体的接触角来衡量。接触角是从固体的粉尘粒子表面经过液相到达液体表面所经过的角度。亲水性粉尘（如石英、方解石粉尘）与水的接触角小于 60° ，湿润性差的粉尘（如滑石粉、焦炭粉及经热处理的无烟煤粉等）与水的接触角在 $60^\circ \sim 85^\circ$ 之间，疏水性粉尘（如碳黑、煤粉等）与水的接触角大于 90° 。

在除尘技术中，粉尘的湿润性，是选用除尘设备的主要依据之一。对于浸润性好的亲水性粉尘（中等亲水、强亲水），可选用湿式除尘器。为了加强液体（水）对粉尘的浸润，往往要加入某些湿润剂，以减少固、液之间的表面张力，增加粉尘的亲水性，提高除尘效率。

五、粉尘的光学特性

粉尘的光学特性包括粉尘对光的反射、吸收和透光程度等。可以利用粉尘的光学特性来测定粉尘的浓度和分散度。通过含尘气流的光的强度减弱程度与粉尘的透明度和形状有关，但主要取决于粉尘粒子的大小及浓度。尘粒粒径大于光波波长和小于光波波长对光的反射和折射作用也是不相同的。

对于直径大于波长的尘粒，通过的光强服从几何光学的“平方定律”，即正比于尘粒所遮挡的横断面面积。当粒径大于 $1\ \mu\text{m}$ 时，通过的光强实际上与波长无关。

六、自燃和爆炸性

当煤等可燃性物料被研磨成粉料时，总表面积增加，系统的表面自由能也增加，从而提高了粉尘的化学活性，特别是提高了氧化产热的能力，这种情况在一定条件下会转化为燃烧状态。粉尘的自燃是由于粉尘氧化而产生的热量不能及时散发，而使氧化反应自动加速所造成的。

各类可燃性粉尘的自燃温度相差很大。根据不同的自燃温度可将可燃性粉尘分成两类。第一类粉尘的自燃温度高于周围环境