

矿井粉尘译文集

煤炭科学研究院重庆研究所编译

-53

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书编入了英国、美国、苏联、日本、西德等国有关粉尘防治技术的文章共27篇。书中介绍了粉尘的特性及其危害、煤尘与空气混合物的燃烧性和爆炸性、呼吸性粉尘的检测和各种防尘方法与设施,以及防、隔爆措施等内容。可供从事粉尘防治工作的科研、设计和生产部门的工程技术人员及矿业院校师生学习参考。

矿 井 粉 尘 译 文 集

煤炭科学研究院重庆研究所编译

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张 10 $^{7/8}$

字数 239 千字 印数1—2,000

1981年1月第1版 1981年1月第1次印刷

书号15035·2366 定价1.15元

前 言

随着我国采煤机械化、自动化水平的不断提高，高效采煤机、掘进机的应用，矿井中的粉尘量亦日益增加，这对矿工的健康以及安全生产的威胁也日趋严重。因此，加强对粉尘的性质、危害及其检测方法的研究，并采取有力的降尘措施，改善作业环境，保证安全生产具有十分重要的意义。为此，我们编译了《矿井粉尘译文集》一书，供广大从事防尘工作的科研、设计和生产人员，了解国外防尘技术的情况，以推动我国粉尘防治工作的发展。同时为了便于读者综观国外的防尘技术概况，还编写了“国外煤矿防尘技术”一文，置于卷首。

本书承蒙侯运广及煤炭科学研究院抚顺研究所、煤炭部情报所的部分同志帮助审校，在此表示感谢。书中不妥之处，请批评指正。

目 录

前 言

国外煤矿防尘技术·····	1
粉尘的特性·····	20
粉尘石英含量的危害性·····	37
煤尘、空气混合物的燃烧下限、引燃能量及 火焰温度·····	46
工业悬浮粉尘采样·····	61
呼吸性粉尘采样器的新发展及其在煤矿中的 应用·····	74
论复杂结构煤的湿润·····	87
煤矿防尘的现状·····	94
英国煤矿防尘·····	109
苏联马克尼在煤矿防尘方面的科研工作·····	127
除尘效果的研究·····	135
采煤机抑尘法·····	140
呼吸性煤尘的抑制和控制·····	152
防尘措施·····	161
水空气喷射器的参数·····	172
采煤工作面煤尘的预防·····	184
采煤机的泡沫抑尘法·····	191
水空气喷射器在采煤机运转时的灭尘效果·····	202
卡拉干达煤田各矿井的防尘·····	209

美国矿业局关于除尘及改善通风的研究工作	215
着眼于防尘的通风	224
开采有夹石层厚煤层的防尘经验	235
连续采煤机上旋流集尘器的抑尘	246
煤矿高压洒水降尘	263
关于巷道中粉尘的控制	308
防止煤尘爆炸传播用自动岩粉飞散装置的研制	320
煤矿防尘	332

国外煤矿防尘技术

刘崇友

煤矿防尘技术，是现代煤炭工业必不可少的安全措施之一。特别是七十年代以来，国外矿井由于机械化、自动化水平日益提高，高效的采煤机、掘进机以及液压支架的广泛采用，煤矿开采强度愈来愈大，煤尘产生量也愈来愈多。煤尘爆炸，粉尘对劳动卫生条件和生产的危害也愈来愈突出。实践表明：煤尘爆炸将给矿井带来突然的毁灭性的灾难，而在平时，煤矿产生的粉尘又像“软刀子”一样严重地威胁着矿工的生命。据不完全统计：英国在1911年~1941年期间曾发生146次煤尘爆炸事故，美国1925年至1945年间，也发生过30次爆炸事故。至于粉尘引起尘肺病的比例，也是十分惊人的。美国现有井下工人尘肺病发病率达10~15%，而在日本，也高达39%左右。煤矿粉尘危害的严重性，也逐渐为国外所认识和重视。不少国家为了有效地防治粉尘，都先后制定了劳动保护条例，规定了作业环境粉尘浓度标准。比如英国，规定采煤作业时煤尘浓度不得超过8毫克/米³，岩石作业粉尘浓度不得超过3毫克/米³，而从1972年起，又降低为2毫克/米³。惨痛的教训和劳动保护条例的实施，也进一步推动了煤矿防尘技术的发展。目前，国外煤矿采用的主要防尘措施有以下几个方面。

一、煤 层 注 水

煤层注水在国外目前仍是一项行之有效的防尘技术措施。其实质是：在采煤之前，利用钻孔向煤层注入压力水（或水溶液）使压力水通过煤层的节理和裂隙，在水的压力和煤的毛细管力的作用下渗入到煤的孔隙中去，以增加煤的水份，起到湿润煤体的作用。多年来的实践证明：煤层注水不仅对防治煤尘有良好的效果，而且对处理瓦斯、消除有害气体、缓和冲击地压等都有良好的作用。因此，国外几个主要产煤国家，都广泛推行煤层注水方法。例如苏联，仅在顿巴斯矿区，就对 1000 多个有煤尘和瓦斯的工作面进行了注水；在波兰，有 75% 的工作面，采用了注水降尘；在比利时，60% 的煤矿使用了注水方法。当前国外煤层注水工艺发展的趋向是：研制先进的注水专用设备及仪表，推行长钻孔连续注水工艺，以及根据不同煤层条件，寻找合理的注水参数等。

1. 煤层注水方式及注水方法

按照钻孔的位置、方向和发展，煤层注水可分为短钻孔注水和长钻孔注水方式。注水方式的选择主要由矿山地质、采煤技术及钻机、封孔及注水设备等条件而定。所谓矿山地质及采煤技术因素是：煤层倾角、厚度、产状及地质变化情况、围岩性质、工作面长度、工作面推进速度等。

目前，在国外长钻孔连续注水方式应用得比较普遍，与短钻孔相比，它主要具有下列优点：①一个钻孔能湿润较大区域的煤体；②湿润煤体的工作独立于采煤工艺循环之外；③高压注水的过程长，水份完全可以充分渗入煤层的孔隙和裂隙；④可以利用同一钻孔来抽放瓦斯和湿润煤体。长钻孔

注水方式的缺点是：打钻成本高，定向打钻和封孔都较复杂。在考虑煤层注水方式时，应首先考虑矿山地质方面的因素，煤层赋存特征是选择煤层注水方式的主要条件。在煤层埋藏情况不好时，应考虑垂直于工作面的注水方式，当围岩有吸水和膨胀性质时，一般采用短钻孔注水方式比较安全。

煤层注水的方法分以下几种：静压注水、泵压注水和脉冲注水。一般多采用泵压注水的方法。所谓静压注水，就是利用矿井水的静压力把水注入到煤层中。由于它的压力低，所以仅适用于透水性良好的煤层，这种注水方法既简单又经济。静压注水是在准备工作面采用，注水的时间长，一般都获得良好的湿润效果。但对于多数煤层来说，透水性并不太好，在这种情况下就必须采用水泵向煤层注水，即泵压注水。这种方法，一般都在准备工作面进行，即预先湿润煤体，但也有采用边采边注的。

脉冲注水是利用柱塞少且是偶数的柱塞式水泵供水，由供水的不均匀性而产生水流脉冲的特点进行注水。在低透水性的煤层中，脉冲注水具有提高湿润煤体的效果，但在透水性好的煤层中，将引起相反的效果。

2. 煤层注水参数的确定

煤层注水参数包括：钻孔长度、钻孔间距、钻孔深度、注水压力、注水速度和注水量等。

注水参数取决于煤层的物理力学性质，也取决于矿山地质和采矿技术因素，一般由计算方法确定，然后在注水试验中进行考察和修正。

1) 短钻孔方式注水参数的确定

(1) 钻孔长度 $L_{短}$ 。应超过每昼夜采煤进尺0.3米。

即

$$L_{短} = L + 0.3, \text{ 米}$$

式中 L —— 每昼夜采煤进尺，米。

(2) 封孔深度。取决于煤体附近工作面处的裂隙，对于坚硬的煤不应小于 1 米，软煤和有裂隙的煤不小于 1.5~2 米。

(3) 钻孔间距。一般根据 0.3~0.5 米的邻近间距计算出煤层的吸水量，经过试验确定出钻孔之间的距离。

(4) 钻孔注水量 $Q_{\text{水}}$ 按下式计算：

$$Q_{\text{水}} = 1.19qBmL_{\text{短}}, \text{ 升}$$

式中 q —— 1 米³ 的煤体的耗水量，升；

B —— 钻孔间距，米；

m —— 煤层厚度，米；

$L_{\text{短}}$ —— 钻孔长度，米。

单位耗水量要从降低空气含尘量 70~90% 这个前提出发，由试验最后确定。

(5) 注水速度。由单位时间注入煤层的水量来确定。最好的注水速度应当是不发生煤层涌水并达到最大吸水量。

(6) 注水压力。取决于煤层的透水性。由于煤层具体条件不同，注水压力也不同。

(7) 注水时间 t 。由钻孔的注水量及注水速度来确定。

$$t = \frac{Q_{\text{水}}}{q'}, \text{ 分}$$

式中 q' —— 注水速度，升/分。

2) 长钻孔注水参数的确定

(1) 钻孔直径。一般由钻具确定，取 45~160 毫米之间，从密封良好出发，取 45~100 毫米的孔径为宜。

(2) 钻孔长度 $L_{\text{长}}$ 。它取决于工作面长度，一般由下

式确定：

$$L_{\text{长}} = L - 20, \text{ 米}$$

式中 L —— 工作面长度，米；

(3) 封孔深度。取决于煤层的裂隙度。有效的封孔深度应保证在注水过程中，受水湿润的范围在达到钻孔间距一半之前，不得沿煤层裂隙向巷道涌水。

(4) 钻孔间距。按注水区的渗透情况而定，它取决于煤层厚度和非均匀系数。

(5) 注水压力。这是湿润煤体的重要参数，它不应太高而引起涌水，也不能太低而使水不能注入煤层。

(6) 注水速度。应使煤层最大限度地吸水，一般取 20~25 升/分。

(7) 湿润煤体的耗水量。决定于煤层孔隙的吸水能力。一个钻孔的总注水量 Q 由下式计算：

$$Q = \frac{B \cdot L \cdot m \cdot \gamma \cdot \eta_{\text{孔}}}{1000}, \text{ 米}^3$$

式中 B —— 钻孔间距，米；

L —— 长壁工作面长度，米；

m —— 煤层厚度，米；

γ —— 煤的容重，吨/米³；

$\eta_{\text{孔}}$ —— 有效孔隙率，%。

(8) 钻孔注水时间 T 。各煤层都不一样，取决于注水量和注水速度。

$$T = \frac{Q}{q}, \text{ 小时}$$

式中 Q —— 注水量，米³；

q —— 注水速度，米³/时。

3) 合理注水参数的确定 要使注水取得最佳效果,必须根据煤层条件,选取合理的注水参数。即选择合理的初始注水压力、注水速度、钻孔注水量、钻孔长度、封孔深度、孔间距、注水时间等。这些参数互相联系和影响,同时与采矿地质因素有关。苏联对基捷洛夫斯基煤田12号层在各种地质开采条件下,用数学统计的方法,得出了如下的合理参数的经验公式。

初始压力 P 和单位注水速度 v 之间有如下关系:

$$P - P_0 = Kv$$

式中 P ——初始注水压力, 公斤/厘米²;

v ——单位注水速度, 升/分·米;

P_0 ——给定条件下的最小注水压力, 公斤/厘米²;

K ——说明煤层性质的系数, 公斤·米/厘米²·升。

P_0 和 K 值的经验公式为:

$$P_0 = 156 - \frac{78}{0.001H + 0.5}$$

$$K = 6.75f - 3$$

式中 H ——开采深度, 米;

f ——煤的硬度系数。

最佳初始注水压力值的波动范围可按下式确定:

$$2.5P_0 < P < 3P_0$$

在一个采区内每点的湿度增加值不小于1%的条件下, 当 $L \leq 30$ 米时, 合理的孔间距 B 可用下式确定:

$$B = \sqrt{2L \cdot l}$$

式中 L ——钻孔长度, 米;

l ——封孔深度, 米。

最佳耗水量 q 定为40升/吨, 这个值足以使煤层中的水

达到饱和并不导致煤层的破坏。

用上述公式确定 P_0 、 K 、 P 后即可利用前述 $P - P_0 = Kv$ 式求出注水的合理速度 v 。

$$v = \frac{P - P_0}{K}, \text{ 升/分} \cdot \text{米}$$

它与水泵流量的关系如下式：

$$v = \frac{Q}{Z_B}, \text{ 升/分} \cdot \text{米}$$

式中 Q ——水泵的理论流量，升/分；

Z_B ——钻孔透水部分的长度，米。

在深部注水时，钻孔密封深度 Z_r 应超过破碎带（即在压缩带内），即

$$Z_r \geq B_0$$

式中 B_0 ——破碎带的宽度，米。

则选定设备的最佳钻孔长度为：

$$L = Z_r + Z_B, \text{ 米}$$

钻孔内水的消耗量 V 为：

$$V = q \cdot \gamma L \cdot B \cdot m, \text{ 升}$$

式中 q ——水的消耗量，升/吨；

γ ——煤的容重，吨/米³；

L ——钻孔长度，米；

B ——孔间距，米；

m ——煤层厚度，米。

注水时间 T ：

$$T = \frac{V}{60 \cdot Q}, \text{ 小时}$$

式中 V ——钻孔内水的消耗量，升；

Q——水泵额定或平均生产率，升/分。

3. 煤层注水专用设备

煤层注水设备包括水泵、封孔器和钻机。对煤层注水泵的要求是：注水速度小而压力高。这种水泵分为轻便式和移动式。前者具有体积小、重量轻的优点，但效率低。目前，后者在矿井中获得了广泛的应用。国外改进注水泵结构的方向是：根据煤层渗透特性和注水过程的特点，制造具有自调式装置的注水泵。

封孔器是煤层注水设备的另一个重要部分。封孔器应当在注水方式和需要的压力下，保证封孔质量和动作的可靠性。国外目前使用的封孔器有机械式和液压驱动式。液压驱动式是利用注水压力的能量自动封孔的。

国外注水打钻的专用钻机，正向重量轻、体积小、移动灵活、效率高的方向发展。值得注意的是：美国已研制出一种钻孔导向器。使用这种导向器能使钻头沿着煤层预定的轨迹前进。这种装置由穿孔部分和导向部分构成。在靠近钻头处，穿孔部分装有一个控制钻头的机构；在导向部分装有一个辐射源，辐射探测器和按照所接受的探测信号操纵钻头沿预定轨迹前进的电气装置和机械装置。它用于煤体中打长孔钻之用。

二、设计和研究产生煤尘量少的采掘机械

采煤机械和掘进机械的合理参数，对粉尘量的产生，有着很大的影响。煤尘产生量越多，标志着机械无效消耗的能量也越大。这种不利因素不仅给劳动卫生及安全方面带来危害，也影响着机械效能的进一步发挥。美国矿业局明尼阿波利斯城采矿研究中心正在研究产生呼吸性粉尘最少的采煤机

的最佳参数。研究测定的数据包括采煤机截齿类型、截齿锐度、截齿间距、截割速度、截割深度和截割角等。试验表明：截割深度增大时，空气中呼吸性粉尘会大幅度降低。当截深为2.1厘米时，煤尘产生量为0.8厘米截深时的50%，为截深1.25厘米时的20%。用小型采煤机在“匹兹堡”煤层的试验表明：截割速度也和截割深度一样，对粉尘的产生也有很大的影响。例如把速度从60转/分减小到15转/分时，空气中呼吸性粉尘含量则减少51%。

改变采煤机的各种参数，对粉尘产生也有很大的影响。例如美国对456型采煤机根据不同的采煤机参数作过试验，即采用截割速度为5转/分，截深为4厘米，截齿间距为5厘米和截割速度为9转/分，截深为7.5厘米，截齿间距为2.5厘米的两组参数的煤尘产生量加以对照，尽管在相同采煤量的条件下，但采用第二组参数时，回风流中呼吸性粉尘却降低了40%。同时也表明：采煤机最佳截割参数将显示出采煤机煤尘生成量减少，而生产能力则相应提高。

英国煤炭局，对采煤机的合理参数，也作了广泛深入的研究。他们认为：减少煤尘产生的有效办法就是增加“大颗粒”的破碎物。因此采煤机可用增加截深来做到这一点。通过实验和截割理论的研究证明：单纯增加截深，只比浅截深煤尘产生量稍少一点，要紧的是每个截齿还必须有足够的间隙角以免摩擦，而且截齿的长度及锋利程度也是十分重要的。因此，在增加截齿的同时，采煤机滚筒每行齿间的横距离也应当合适，使每个截齿都具备有效的工作空间。截齿太多不仅会影响后面的截齿的截深减小而产生过多的粉尘，同时也使后面的截齿造成“振动”和“空转”。英国的巴克尔于1969年证明了这一事实：将英国煤炭局采煤机截齿去掉

20~30%，速度从 0.5 米/分提高到平稳的速度 3 米/分，结果煤尘生成量显著减少。波默罗伊发现：齿间最合适的距离大约是截割深度的两倍。

利用高压细射流来破碎煤和岩石的新的水力采掘机械，在国外受到了高度的重视。它不仅使矿井获得最新技术装备，同时，也为根本上解决粉尘的灾害提供了有效途径。1975年，美国矿业局与密苏里——里拉大学共同研制和试验了水射流切割头作为长壁工作面的采煤机械。这种采煤机械，采用了水力割槽、机械破碎、犁煤板犁煤等机构联合构成。高压水采用二级增压装置以提供2000公斤/厘米²到 5000 公斤/厘米²以至 17000 公斤/厘米²的压力。试验证明用水射流切割头来取代目前的滚筒采煤机是可能的。

三、研制用于井下各种生产条件的高效捕尘器

捕尘器是减少空气中粉尘的一种有效方法。用捕尘器捕尘在其他工业部门中早已有所应用。但地面使用的捕尘器一般体积大、效率低、不能移动，不适于井下作业环境。特别是采掘工作面，空间小、煤尘产生量大、尘源经常移动，同时动力还将受到煤尘、瓦斯因素的限制，因此，研制一种结构简单、体积小、安全高效、能随采煤机和掘进机一起移动的捕尘器，已成为国外研制捕尘器的重要目标。

美国唐纳森公司，在这方面作了不少研究。1970年2月，该公司开始设计利用小直径惯性分离器与湿式凝聚喷雾装置来控制可吸入粉尘的装置——新型旋流集尘器。这种集尘器的原理是，把直径很小的微型旋流管组合在一起，在组装的旋流管前用喷嘴进行喷雾，水滴、空气和煤尘混合后，在小旋流管内作旋转运动，由于离心力的作用，煤尘与水混

合后变成的煤泥，从导管排出，与切割下来的煤一起被运输机运走。这种集尘器，于1971年底在煤矿井下采煤机上进行过试验，已初步获得成功。它的显著优点在于设计和安装方面的灵活性，它可以根据不同的煤层条件，设计成不同外形尺寸的集尘器，以满足井下的空间要求。现已制造出处理能力为 $56.6\sim 311.3$ 米³/分的各种类型的集尘器。

美国在连续采煤机上还研究了另一种新型捕尘装置——即安装在采煤机上的不锈钢叶片旋流捕尘器。这种捕尘器唯一的除尘装置是一个不锈钢叶轮转子，以它来清除吸入的大部分粉尘。捕尘器内壳有一不锈钢的衬垫。它的最大直径处为高38.1厘米，宽119.4厘米，外壳厚1.9厘米。这种捕尘器的最大优点在于，结构简单不需要清扫和保养。美国矿业局，对这种捕尘器作了多次试验。在吸入风量为201米³/分，转速为2000转/分时，测得除尘效率为87.1%，而在转速为2500转/分时，效率达到94.6%，（上述效率是指对清除0.68~8.64微米的粉尘而言。）可见捕尘效率与叶轮转速有关。

研究结构简单、压力损失小的另一种捕尘器——湿式纤维层捕尘器，在国外也受到重视。美国、英国都相继试制了这种捕尘装置。它的主要结构是由一层厚度为 $1/4\sim 3/4$ 英寸松编织的小直径（0.0035英寸）不锈钢丝构成，在钢丝层前方装有喷水装置。由于喷雾完全湿润了钢丝层表面，含尘空气在通过钢丝层网时，被捕捉下来，这种捕尘器，一般耗水量为4.5~22升/分，压差为75~375毫米水柱，效率达93~98%左右。

文丘里管捕尘器，也是国外使用较多的一种捕尘器。它的结构主要由雾化器、稳压管及脱水器组成。当含尘气体与

水雾进入稳压管的喉管后,气流速度迅速增加,高速含尘气流的冲击与液体进一步雾化、碰撞和接触,使尘粒凝聚于液滴上,经过扩散静压得以恢复,而进入脱水器中凝聚的粉尘与水滴分离开来,达到除尘的目的。文丘里捕尘器的捕尘效率高,可达90~98%以上。但负压损失也大,一般为175~500毫米水柱。

在苏联,近年来也研制了各种各样的捕尘器。ΠИИ-150矿用吸尘泵,综合了风机和集尘器的功能。该装置包括带有直通外壳的风机,它具有外型尺寸小的优点,因此,它被用于安装在采煤机上。ΠИИ-150型吸尘泵的处理风量为137米³/分,单位水耗量为0.15升/分,捕尘效率达96.1%。ΠВГ-1型振动捕尘器可以和离心式及轴流式风机一起工作。这种装置是通过在风机或捕尘器前方洒水,含尘空气通过吸入管,与洒水液混合,然后被引到专门的涡流装置中,细分散性粉尘在此被湿润和凝聚而变大,然后这种混合物被引到分离煤粉的旋流喷嘴中,煤泥通过排放管进入容器内,而被净化了的空气排入矿井空气流中。ΠВГ-1型捕尘器具有效率高,处理风量大等突出优点。以ΠВГ-1型为例,它的处理风量能力为240米³/分,而对于10微米以下的粉尘却有高达95.6%的捕尘效率。

近年来,国外煤矿井下广泛采用了水空气喷射器和压气喷射器作为通风抑尘的一项有效措施。这种装置具有体积小、重量轻、噪音低、结构简单等优点,因而在采掘工作面得到了广泛的使用。

苏联研制的ЭБВЛ-200型水空气喷射器,具有较好的捕尘效果。这种装置是利用一定压力的水作为工作介质,当水以高速从喷嘴喷出时,在喷嘴周围形成负压,空气进入喷射器