

国外主要产煤国家 综采工作面综合防尘技术

煤炭科技信息研究所
河南省义马矿务局
煤科总院重庆分院

一九九三年

目 录

前言	(3)
一、煤层注水	(5)
(一)水在煤层中的渗透及其影响因素	(6)
(二)判断煤层注水难易程度的指标和方法	(10)
(三)注水方法与实施	(11)
(四)提高煤层注水湿润效果的方法	(42)
(五)监控仪表或检测方法	(54)
二、采煤机落煤的防尘措施	(56)
(一)滚筒采煤机的防尘措施	(56)
(二)刨煤机采煤的防尘措施	(82)
三、自移支架移架时的防尘措施	(92)
(一)德国	(92)
(二)法国	(97)
(三)前苏联	(97)
(四)美国	(98)
四、全充填管理顶板的防尘措施	(99)
(一)风力充填作业的防尘	(99)
(二)用建筑材料充填料的防尘	(101)
五、综采工作面与顺槽交叉处的防尘措施	(105)
六、综采工作面顺槽输送机转载点的防尘措施	(107)

(一)采用康夫洛自动喷雾降尘装置.....	(107)
(二)防尘罩隔离尘源抽尘净化含尘空气.....	(109)
(三)泡沫除尘.....	(112)
七、通风排尘	(119)
(一)综采面的新型通风系统.....	(119)
(二)合理控制风速.....	(122)
(三)下行通风.....	(125)
八、部分国家的矿山粉尘浓度标准	(126)
结 束 语.....	(129)
主要参考文献.....	(130)

前 言

数十年来的大量实践充分证明,综合机械化采煤能充分发挥各种采煤设备的能力,实现开采集中化,并能降低劳动强度、大幅度增加产量、提高效率和改进安全。因此,国外主要产煤国家的综合机械化采煤发展非常迅速。凡是条件适合的矿井,均先后全部实现了综合机械化采煤。如英国,1971年的综采程度为88%,1975年就上升至92%;原西德1972年为53.1%,1975年上升至81.2%,1986年已达97.4%;原苏联乌克兰共和国1988年达66%;波兰据近年统计已达98%。国外综合机械化高速发展足以表明,它是构成矿井现代化的核心。

在这些主产煤国家中,随着综采的高速发展,随之带来的严重问题是产尘强度增大。据国外考察,回采工作面,特别是综采工作面是矿井的主要尘源,它的产尘量占全矿总产尘量的比例最大。据资料统计,未采取综合防尘措施的综采工作面,其呼吸性粉尘浓度有的高达 $3000\sim 5000\text{mg}/\text{m}^3$ 以上。据原苏联煤矿估计,在其4.7亿t的井下煤炭产量中,约有12万 m^3 的煤炭被粉碎成了粉尘,飞扬在矿井空气中。在全世界发生的煤尘爆炸事故中,75%发生在采煤工作面(主要是综采面)及其附近的巷道中。为了保证综采设备的能力得以充分发挥,保证作业人员的身体健康和促进安全生产,国外各主要产煤国家均把综采工作面的防尘问题,作为矿井防尘工作的重点。

围绕综合机械化开采的尘害治理问题,各主要产煤国家都进行了大量的研究试验工作。如第二次世界大战后的原西德,从本世纪五十年代末期开始,就大力加强了对煤矿粉尘防治技术的研究工作。专业研究机构不断加以健全、完善,研究手段装备一新,研究经费采取多渠道始终予以保证,并十分重视基础理论研究工作,使粉尘防治技术能随煤矿生产和其它领域科学技术的发展不断有所创新和实践,适应高效防治高强度采掘产生严重的需要。在此基础上,对煤矿作业场所的粉尘状况实行科学的分级管理,对不同健康状况的作业人员允许在不同含尘级条件下工作做出了具体规定,并严格执行,从而有效控制了煤矿粉尘对矿工的职业性危害和基本保证了矿井安全生产。

目前,一些采煤机械化程度高的国家,如美国、英国、原西德、原苏联、波兰、法国和日本等,对综采工作面采取了行之有效的综合防尘措施。虽然各国煤层的地质条件、煤的物理机械性质和开采技术条件等不完全相同,但各国综采工作面所采取的主要综合防尘措施却大同小异。归纳起来,这些综合防尘措施主要包括三个方面:即采用煤层注水预湿煤体,减少落煤产尘;改进采煤机械的结构和选用合理的截割参数,降低采煤时的产尘强度;采用喷雾洒水、各式除尘器和集尘器等方法捕捉已产生的浮游粉尘。

一、煤层注水

国外早在 20 世纪 40 年代就开始从事煤层注水防尘的研究工作。法国于 1943 年进行了短钻孔煤层注水试验,并成功地推广。波兰于 1956 年开始了煤层注水防尘试验,推广应用面逐年增大,迄今为止,几乎所有的采煤工作面均采用了煤层注水防尘。60 年代以来,原西德、英国、原苏联、比利时等国都进行了大量的注水防尘试验和广泛的推广应用。如原西德,至 1988 年底共有采煤工作面 173 个(综采面占 97%以上),除其中的 12 个属特殊情况不能实施注水防尘外,余下的 161 个采煤工作面全部实行注水,占 93%;法国北部煤田 89%煤产量都是通过注水后采出的。这些国家之所以如此广泛采用煤层注水防尘,是因为通过长期实践充分证明,煤层注水不仅对防治煤尘有良好效果,而且对抑制瓦斯涌出、降低回采工作面温度、减少煤壁片帮、减少冲击地压和提高劳动生产率等均有较好的作用。因此,这些国家多年来一直认为,无论从矿井生产、安全、防尘效果、经济效益等诸方面来衡量,都应把煤层注水作为采煤工作面,特别是综采工作面最主要的防尘措施,常抓不懈、持之以恒。

煤层注水防尘的效果是十分显著的,根据原西德的试验,只要对每立方米原生煤炭注入 10L 水,就能获得较好的降尘效果;如果注入煤体的水量能达到 $15\text{L}/\text{m}^3$,即可显著降低呼吸性粉尘的产生。这项措施对总粉尘的降尘效率一般为 70~

80%，个别的可高达90%以上。在比利时，每吨煤如能注入11 L水，对总粉尘的降尘效率可达95%；对0.5~5 μ m的细粉尘可达65%。

（一）水在煤层中的渗透及其影响因素

关于压力水在煤层中的渗透及其影响因素问题，国外进行过大量研究与试验。煤层注水防尘，是通过钻孔并利用水的压力将水注入即将回采的煤层中，使煤体得以充分湿润，降低采煤时的产尘强度。注入煤层中的水，沿着煤的裂隙，通过孔隙向被裂隙分割的煤块渗透并储存于裂隙与孔隙之中。水在煤层中作渗透运动的动力是水的压力、煤的孔隙对水的毛细管力、水的重力及水分子扩散力等。阻碍水在煤层中作渗透运动的阻力是裂隙面阻力、孔隙的摩擦力及瓦斯压力等。因此，影响水在煤层中渗透，即煤体被预湿的主要因素是煤的裂隙和孔隙状态，以及与此有关的其它因素。

1. 煤的裂隙与挥发份

煤体具有很多裂隙，这是它的结构特征之一。煤体被破裂后，两侧煤块沿破裂面没有或仅有很微小位移者，称为裂隙，即所谓节理。煤体在成煤和变质过程中，煤的凝胶化物质，由于受压力和温度的作用，内部结构被压紧，体积收缩而形成的裂隙为内生裂隙，亦称原生裂隙；煤层形成后，受地质构造运动的作用，煤体又会产生一些裂隙，这种裂隙称为外生裂隙；煤层受开采影响而产生的裂隙称为次生裂隙。煤层的透水性能与煤的裂隙发育程度、裂隙宽度及裂隙方向有密切关系，而内生裂隙的发育程度又与煤的变质程度有直接关系，如图1所示。

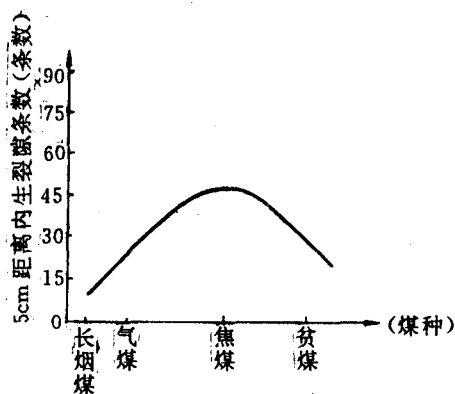


图1 内生裂隙发育程度与煤的变质程度的关系

原苏联斯阔琴斯基矿业研究所对液体沿煤层流动的特点进行深入研究后发现了如下规律：

(1) 在与主要原生裂隙面和层理面平行的方向上渗透系数数值最大。

(2) 在与主要原生裂隙面垂直而与层理面平行的方向上渗透系数数值较小。

(3) 在与主要原生裂隙面平行而与层理面垂直方向上渗透系数数值最小。

(4) 中等变质程度的煤渗透系数数值最大。

(5) 低变质程度的煤渗透系数数值中等。

(6) 高变质程度的煤渗透系数数值最小。

煤体各向异性不同方向上的渗透系数 K 与可燃挥发份 V^r 有如下关系式：

$$K = a_1 v' - a_2 (v')^2 - a_3, \quad \text{cm/s} \quad (1)$$

式中 a_1, a_2, a_3 ——就煤的各向异性不同方向而言,通过试验求得的经验系数(见表 1)

渗透系数 K 越大,渗透性就越好,也就越容易注水,防尘效果就越好。由煤的各向异性不同方向上的渗透系数变化与煤的可燃挥发份含量可得出如图 2 所示的曲线。

表 1 煤的各向异性不同方向上的经验系数

方 向	a_1	a_2	a_3
与主要原生裂面 隙面平行 a_1	57×10^{-7}	1.2×10^{-7}	94×10^{-7}
与主要原生裂面 隙面垂直而 层理面平行 a_2	42×10^{-7}	0.9×10^{-7}	70×10^{-7}
与主要原生裂面 隙面平行而 层理面垂直 a_3	27×10^{-7}	0.6×10^{-7}	46×10^{-7}

裂隙尺寸对煤的各向异性的性质影响很大:含有小于 $5\mu\text{m}$ 的裂隙的煤层,各向异性影响最大;具有较大裂隙的煤层,各向异性的影响较小。

2. 煤的孔隙

煤体含有大量孔隙,煤体的孔隙性是其结构的又一特征,孔隙之间基本上是连通的。水在孔隙中开始层流渗透的最小孔隙直径为 $0.1\mu\text{m}$,能有较强层流渗透的直径需大于 $1\mu\text{m}$ 。这一范围的孔径,按孔隙分类属于过渡孔,即大于过渡孔的孔隙才是有效渗透的孔隙。

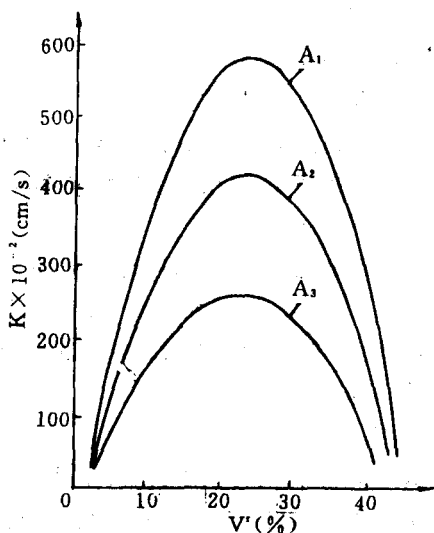


图2 渗透系数与煤的挥发份含量的关系

为了衡量煤的多孔程度,采用孔隙率来表示。所谓孔隙率是指孔隙的总体积与煤的总体积的百分比。国外对烟煤的研究结果表明,当孔隙率小于4%时煤层的透水性极差,不能实施注水;当孔隙率大于5%时,煤层的透水性良好,能实施注水;当孔隙率达到15%,煤层的透水性和湿润效果都很好。唯有褐煤例外,虽然它具有很高的孔隙率,但其本身的自然充水率也很高,其裂隙极不发育,注不进水,也不需注水。

3. 上覆岩层压力与支承压力

煤层埋藏深度不同,它所承受的地层压力也不同,裂隙与孔隙的尺寸随煤层埋藏深度增加而缩小,因此煤层的渗透性能亦随埋藏深度增加而降低。煤层所承受的上覆岩层压力 P_0 可用下式表示:

$$P_d = 9.8 \times 10^{-3} H r_{cp}, \text{MPa} \quad (2)$$

式中 H ——煤层埋藏深度, m ;

r_{cp} ——上覆岩层的平均密度, t/m^3 。

在长壁工作面的超前支承压力带内,或应力集中区内,煤的裂隙与孔隙尺寸都将缩小,煤层的渗透性能降低。

4. 煤的坚固性系数

煤的坚固性系数常用 f 表示。国外研究表明,在一定硬度和强度范围内的煤, f 值较小的渗水性好,较容易注水; f 值较大的煤渗水性差,较难注水。但对于极松软易破碎成煤粉的煤则例外,这类煤层是很难注水的。

5. 液体的性质

煤属于疏水性物质,具有与水不甚亲合的特点。但如果在注入煤层的水中加入适量湿润剂(表面活性剂),能显著降低水的表面张力,从而能提高对煤层的湿润能力及渗透系数,增加注水防尘的效果。

(二)判断煤层注水难易程度的指标和方法

煤层注水的难易程度虽然已在前述的渗透系数 K 中表达出来,但由于煤层的结构比较复杂,单纯用渗透系数 K 来衡量煤层注水的难易程度尚有一定的局限性,为此国外又提出了判断注水难易程度的综合评估方法和指标。

这种方法是通过注水试验,按煤层的单位吸水量整体指标 Φ_0 对各类煤层的渗透性及湿润性作出综合评估。所谓单位吸水量 Φ_0 是指压力梯度等于 1 时,单位时间内 1cm^2 钻孔表面积上的吸水量。其计算式为:

$$\Phi_0 = \frac{Q}{P_0 t_0 S_0}, \text{cm}^3/\text{MPa} \cdot \text{s} \quad (3)$$

式中 Q ——一个钻孔的吸水量, cm^3 ;
 P_0 ——初始(最大)注水压力, MPa ;
 t_0 ——在压力为 P_0 时注水持续时间, s ;
 S_0 ——钻孔吸水表面积, cm^2 。

在式(1)中已表明煤的渗透系数 K 与其可燃挥发份 V 有密切关系, 因此在应用煤层单位吸水量 Φ_0 来判断煤层注水的难易程度时, 也应考虑它的可燃挥发份含量 V 这一重要因素。应用 Φ_0 和 V 值判断煤层注水难易程度的指标和方法见表 2。

表 2 注水难易程度的判断指标及方法

煤层类别	Φ_0 值($\text{cm}/\text{MPa} \cdot \text{s}$)	V 值(%)	注水难易程度
第一类	0.04~0.08	10~30	易注水煤层
第二类	0.03~0.06	>30	较容易注水煤层
第三类	0.01~0.05	<10	难注水煤层

(三) 注水方法与实施

国外的主要产煤国家, 经过长达几十年的试验, 根据不同矿井的地质条件及采矿技术条件 and 生产劳动组织形式, 即煤层的倾角、厚度、产状、地质破坏带、围岩的性质、回采工作面的进度及工作面的长度等创造出了多种注水方法, 归纳起来, 主要有如表 3 所列的四种。注水方法与岩层压力的关系如图 3 所示。

长钻孔注水方法具有湿润范围大、湿润均匀、对生产干扰小和适应综采推进速度快等特点。因此, 当煤层的厚度大于 1.3m 没有或只有较小的走向断层、煤层倾角稳定、顶底板吸水后对

表 3 国外煤层注水方式及各自的特点

注水方法	钻孔地点	钻孔长度(m)	特 点
长钻孔注水	工作面回风巷或运输巷单侧钻孔;也可在工作面回风巷和运输巷双侧同时钻孔	>30	在煤层的原始应力区域注水
短钻孔注水	在回采工作面垂直于煤壁方向钻孔	<6	在煤层的卸压带范围内注水,煤层裂隙发育、透水性强、注水压力低。
深孔注水	在回采工作面垂直于煤壁方向钻孔	$6\sim 20$ 或 >20	在煤层的集中压力带范围内注水,裂隙不发育、透水性差、注水压力高。
远距离注水 (煤层外部巷道注水)	在煤层的顶板或底板岩巷中钻孔	不定	在降低应力区的煤层中,或瓦斯卸压煤层中注水

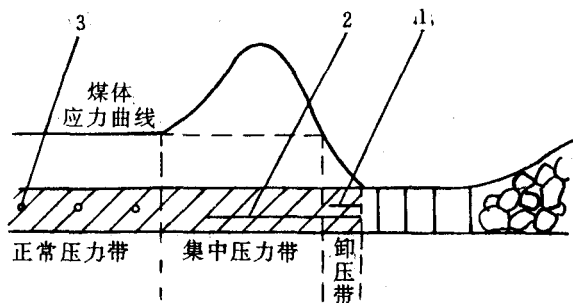


图 3 注水方法与岩层压力的关系

1——短钻孔, 2——深钻孔, 3——长钻孔

其稳定性无严重影响、煤(烟煤)的孔隙率大于 4% 时, 应首先考虑采用这种注水方法。

短钻孔注水方法具有对地质条件和围岩性质适应性强的特点。当没有预先掘出回采巷道或预掘长度不够,而又不能在工作面的回风巷或运输巷进行长孔注水时,可用它作为辅助注水方法。因这种方法无特殊施工要求,可适用于所有煤矿。但是这种注水方法的缺点是:它只能作用在煤层的卸压带范围内(即采动影响区内);要求维修班人员较多,且维修时间长;在薄煤层中应用困难大,并增多了不安全因素。要使这种注水方法更简易和完善,必须进一步发展安全可靠的轻型工作面钻孔设备。

深孔注水不仅具有短孔注水的优点,而且钻孔数量亦较少,湿润范围大,但注水压力高。因此,如果煤(烟煤)的孔隙率大于4%,并能在采煤作业循环中安排得出足够的注水作业时间,可考虑采用这种注水方法。

远距离注水是从顶底板岩巷向煤层注水。前西德对这种注水方法进行过多次试验,都获得成功,不仅防尘效果好,而且在任何情况下均未发现有副作用。但是这种注水方法的应用前提是:煤层外要有合适的岩巷;须使用专门的钻孔及注水设备;要有专门的经验;钻孔和注水的监测及操作要求极其细致与精确。由于需具备的使用条件较多,因此这种注水方法至今尚未得到广泛应用。

1. 长钻孔注水

1) 钻孔

(1) 钻孔布置

A. 单向钻孔布置

在走向长壁采煤工作面的回风巷或运输巷,沿煤层倾斜方向平行于工作面布置下向孔或上向孔,如图4所示。

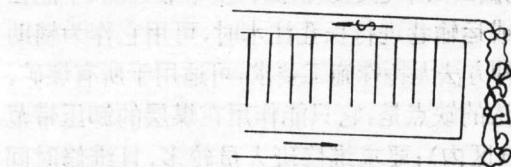
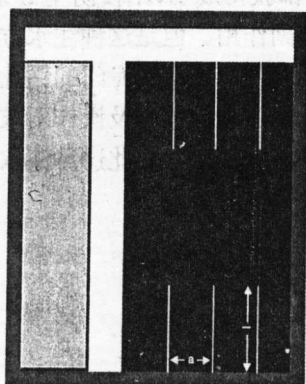


图4 钻孔单向布置示意图

B. 双向钻孔布置

单向钻孔布置方式难于湿润全工作面的煤体。如在煤层倾角变化太大,或工作面中部有走向断层等情况下,可在工作面回风巷与运输巷同时布置钻孔,如图5所示。在美国,所有长壁工作面都是后退式开采,注水作业与采煤作业互不干扰,因此一般都是应用长钻孔单向或双向布置注水。



$$L = 20 \sim 80 \text{ m}$$

$$a = 20 \sim 50 \text{ m}$$

图5 钻孔双向布置示意图(德国)

C. 钻孔伪斜布置

当煤的裂隙很发育,而且主裂隙与工作面推进方向的夹角达 $50^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 时,为使钻孔与主裂隙垂直或者增大两者的夹角,可采取钻孔伪斜布置方式,如图 6 所示。

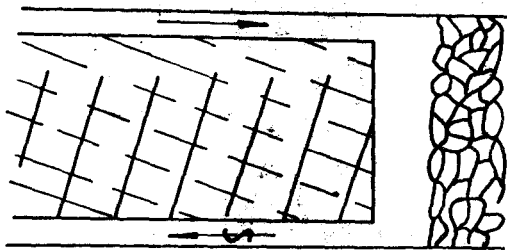


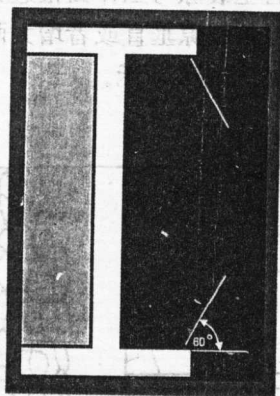
图 6 钻孔伪斜布置示意图

D. 钻孔沿对角线布置

为了适应瓦斯涌出量高和围岩塑性大等条件,欧洲的许多国家主要采用前进式长壁采煤法,如前西德占 60% 以上,英国占 90% 以上。当综采工作面准备出的超前巷道的长度超过 50m 时,这些国家一般都是采用沿工作面的对角线布置钻孔向煤层注水,如图 7 所示。

A. 钻孔直径

钻孔直径一般在 $\Phi 42\sim\Phi 56\text{mm}$ 之间,视使用的钻孔设备及封孔方式与煤的物理性质而定。采用岩石电钻打孔时,钻孔直径可较小,采用钻机打孔时,钻孔直径一般都较大;对软而易碎的煤层应选用较小的直径钻孔,对硬度较大的煤层可采用较大直径钻孔。当采用不同形式的封孔器封孔时,应根据不



I 约为 40 m

α 约为 60°

图 7 钻孔沿对角线布置示意图(德国)

同封孔器的要求确定钻孔直径;当采用水泥砂浆封孔时,封孔段的钻孔直径随手工或机械操作而异,但至少要大于 55mm。

B. 钻孔长度

(2) 钻孔参数

(a) 钻孔单向布置的钻孔长度按下式计算:

$$L = L_s - S, \text{m} \quad (4)$$

式中 L ——钻孔单向布置的长度, m;

L_s ——工作面长度, m;

S ——保留煤体宽度(一般取 $S = 20\text{m}$, 透水性极强的下向孔, 可取 $S = L_s/3$), m。

(b) 钻孔双向布置的钻孔长度按下式计算:

$$L = \frac{L_s}{2} - 15, \text{m} \quad (5)$$

(c) 前西德钻孔沿综采面对角线布置的钻孔长度接近