

C005095

713.066

730-2

88/1-4

# 双鸭山煤田呼吸性粉尘的研究

赵书田 晁钟春 毛铁林 李向文 王福生 马显启

(双鸭山矿务局)

中国地质图书馆



CS00084130

摘 要

鉴于煤矿粉尘对井下安全生产和工人身体健康的危害,作者运用空气动力学和统计学原理,对矿井气象条件下的全尘和呼吸性粉尘进行了深入研究,明确了两者间的概念界限,并通过两种型号全新仪器的井下对比性监测,显微镜下逐粒分析和计算机程序处理,对双鸭山煤田具体条件下的8对生产矿井,227个采掘工作面,2166个产尘作业空间的飞扬粉尘进行数千次观测研究,从而得出了呼吸性粉尘与全尘的百分比关系;找出了呼吸性粉尘的粒径峰值;弄清了防治呼吸性粉尘的可行措施。同时还研究了国内外尘肺病防治的最新成果,根据煤、矽肺病患者死亡肺内粉尘沉积量推算出煤矿全尘、呼吸性粉尘安全卫生允许浓度标准的计算方法。

## 一、煤矿呼吸性粉尘标准研究的提出

煤矿呼吸性粉尘是矿井粉尘能够进入人体呼吸系统对人体危害较大的极细微的粉尘。从卫生角度讲,应是能够进入呼吸系统又能导致尘肺病的细微尘粒。目前,很多先进的采煤国家都已制定并采用了呼吸性粉尘监测的标准曲线,但我国至今还没有呼吸性粉尘标准,对这个课题的研究还欠深入。近几年来,煤炭部科研部门应用光电原理研制出呼吸性粉尘( $10\mu\text{m}$ 以下)的测定仪器,并已批量生产,也从国外引进了呼吸性粉尘测定仪器( $7\mu\text{m}$ 以下)。为摸清井下粉尘产生和分布运动规律,我们曾组织了两次全局性粉尘分布情况大普查,撰写了《双鸭山局呼吸性粉尘所占比重的显微镜分析》。通过井下观测和大量的显微镜下观察及微机处理分析,初步解决了下述几个有争议的问题:(1)全尘和呼吸性粉尘的概念;(2)呼吸性粉尘和全尘的百分比关系;(3)呼吸性粉尘标准;(4)呼吸性粉尘的防治。

## 二、煤矿呼吸性粉尘的概念

呼吸性粉尘的概念在我国粉尘研究领域还很不明确,特别是人们通常所说的矿井生产环境的粉尘浓度是否即为呼吸性粉尘浓度,很多文献刊物上讲的也含糊不清,有的书刊甚至完全混淆了呼吸性粉尘和全尘的概念界线,用呼吸性粉尘代替了全尘。实际上井下飞扬的粉尘

中呼吸性粉尘只是其中的一部分。

### 1. 全尘

在掘进和回采过程中,凡能够弥漫飞扬于产生作业空间或悬浮于井巷风流中的矿物微粒都是矿井粉尘,即通常所说的全尘。全尘的概念是以井下风流吹浮力为基本前提的,而井下主要巷道和采掘工作面采用的风速为0.15—4.0m/s,在这个风速限度范围内能够飞扬或随风浮游的粉尘都算为全尘。根据空气动力学原理,不同粒径的粉尘粒子的悬浮速度(垂直速度),可按下式求算,即

$$v = \frac{d^2(\gamma_s - \gamma)}{18\mu}, \quad (1)$$

式中  $v$ ——粉尘悬浮风速, m/s;

$d$ ——尘粒粒径, m;

$\mu$ ——气体的粘滞系数, kg·s/m<sup>2</sup>;

$\gamma_s$ ——尘粒的重率, kg/m<sup>3</sup>;

$\gamma$ ——空气重率, kg/m<sup>3</sup>(计算时可忽略)。

用上式计算,比重为2.5的岩尘,在垂直风速大于0.15—4.0m/s的井巷条件下,粉尘可以悬浮或飞扬的粒径约为230 $\mu$ m;对于比重为1.4的煤尘,当垂直风速大于0.25—4.0m/s时,可悬浮煤尘的粒子直径可为77—306 $\mu$ m。这是在风速方向与粉尘自然沉降方向相反的情况下计算出的,但在矿井产生作业环境中,这种理想状态的粉尘悬浮情况是不多的。因为除立眼开凿施工外,通常是在水平巷道或倾斜采场中,粉尘自然沉降方向与风流方向垂直或成一定倾斜角度相交。在倾斜的采煤工作面,煤体被破碎后,随着粉尘产生的第一推动力(滚筒切割时的离心力或火药爆破时的膨胀压力)而飞扬起来的煤尘,受到倾斜风流吹掠,这时尘粒所受到风力作用而产生加速沉降的风速,并不是倾斜风速的全部,而只是倾斜风速的分速度即垂直向下的那部分。这样,吹浮起相同的粉尘粒子,在倾斜巷道条件下比在垂直巷道条件下所需要的风速也是完全不同的。越是平缓的巷道,倾斜风流的倾角越小,需要吹扬粉尘的风速就越大,当风流方向与粉尘自然沉降方向互相垂直时,需要吹扬粉尘的风速就达到最大值。据试验研究资料,在水平风流里能使粉尘悬浮的速度要比垂直风流里大7—8倍,即在井下风速为0.15—4.0m/s的条件下,在水平巷道内能够被风吹扬悬浮的粉尘粒径要比在垂直风流中小得多。对于比重为2.5的岩尘和比重为1.4的煤尘,在煤矿安全规程允许的风速条件下,最大的飞扬粉尘粒子约在16—85 $\mu$ m和29.3—115.7 $\mu$ m左右。煤矿井下相对湿度较高,一般粉尘都不同程度的吸湿,在尘粒表面形成水膜,使尘粒增重,这样在风流速度不变的情况下,飞扬的粒径与干燥的理想试验条件下飞扬的粒径相比,肯定还会小一些。

根据从井下采集的近百个粉尘样品,利用640倍显微镜分析的结果来看,采掘工作面实际飞扬的粉尘粒径也确实小于理论计算粒径。在双鸭山矿区18个掘进工作面,风流速度均在0.3—0.8m/s之间,工作面作业人员主要活动的空间为距工作面5—10m范围之内,按测尘规定采集尘样,通过显微镜分析,8600个岩石尘粒中最大粒径都低于45 $\mu$ m,显微镜下发现粒径最大的为42 $\mu$ m仅3粒。在9个采煤工作面,风速为0.25—1.9m/s,煤尘粒径都低于100 $\mu$ m,最大尘粒定向投影62 $\mu$ m,大于45 $\mu$ m的共12粒,占煤尘总粒数的0.01%。当然,由于某种原因,在矿井生产条件下,可能出现局部风速超限的情况,这里不进行讨论。根据上述讨论和

分析,我们认为,所谓矿井全尘应定义为在矿井生产条件下能弥漫飞扬于工人作业空间并能在空气中悬浮一定时间,对生产和工人身体健康有危害的那部分粉尘。从保健和安全意义上来讲,岩尘的危险主要表现在对人体呼吸系统的直接危害和导致矽肺病。能够进入人体呼吸系统之中,并存留在气管和支气管以至肺泡内的粉尘,一般都小于 $45\mu\text{m}$ ,换言之, $45\mu\text{m}$ 以上的粉尘对人体直接危害并不明显。由此看来,从广义上讲,岩石全尘应为能够飞扬于产生作业空间对安全和人体健康有害的全部粉尘;但从卫生学角度看,岩尘全尘的概念应指 $45\mu\text{m}$ 以下的全部岩石粉尘。

## 2. 呼吸性粉尘

对呼吸性粉尘的理解和认识,世界各国看法上是有差异的。因此各国制定的呼吸性粉尘采样效能曲线也是不尽相同的。

1959年在南非召开的第四次国际尘肺会议上,通过了英国医学研究协会拟制的对呼吸性粉尘选择的特性曲线(即著名的约翰内斯堡 BMRC 曲线)。曲线规定:对 $1\mu\text{m}$ 至更小粒径的粉尘粒子有100%的效能;对 $5\mu\text{m}$ 粒径的粒子有50%的效能;对 $7\mu\text{m}$ 以上粉尘的粒子有零效能。也就是说采样检测的呼吸性粉尘只是 $7\mu\text{m}$ 以下的, $7\mu\text{m}$ 以上的粉尘由陶析器分离出来不进行检测,因而不算呼吸性粉尘。美国原子能委员会经过研究提出的呼吸性粉尘采样曲线要求:对 $2\mu\text{m}$ 至更小粒径的粉尘有100%效能;对 $3\mu\text{m}$ 粒径的粒子有50%的效能;对 $10\mu\text{m}$ 或更大粒径的粉尘粒子有零效能。美国环保局(1978年)还曾提出以 $15\mu\text{m}$ 以下的粒子为可吸入粉尘。建议在一些分级采样器中以粒径 $2.5\mu\text{m}$ 为界分级,分别采样。苏联和东德共同提出的呼吸性粉尘选择特性曲线,要求第一段采样器滞留效率为:  $10\mu\text{m}$ 以下的尘粒含95%, $5\mu\text{m}$ 以下的尘粒含40—60%, $2\mu\text{m}$ 以下的尘粒含5%。也就是说他们采测的呼吸性粉尘尚有5%是大于 $10\mu\text{m}$ 的粉尘,因而呼吸性粉尘概念在粒径尺寸上也就超过了 $10\mu\text{m}$ 的界线。

纵观上述几条有代表性的呼吸性粉尘采样特性曲线,不难看出,呼吸性粉尘一般是7或 $15\mu\text{m}$ 以下的细微粉尘。根据医学研究,粉尘粒径大于 $20\mu\text{m}$ 的尘粒是不会进入呼吸性支气管的;大于 $6\mu\text{m}$ 的尘粒一般是不会进入肺泡管的;大于 $2\mu\text{m}$ 的尘粒是不易进入肺泡囊的。一般来说,在肺内阻留和沉着的粉尘中直径大于 $5\mu\text{m}$ 的就很少了,而上呼吸道粉尘的阻留情况恰好相反,阻留率较高的是7— $10\mu\text{m}$ 以上的尘粒。日本室内环境标准中规定,空气中悬浮粒状污染物粒径的上限为 $10\mu\text{m}$ 。因为粒径 $10\mu\text{m}$ 左右往往是细菌的载体,悬浮状物质的粒径分布绝大多数是小于 $10\mu\text{m}$ 的粒子。根据国内外试验结果和我局调查结论,我们认为,呼吸性粉尘的概念应定义为7— $10\mu\text{m}$ 以下的细微粉尘。

## 三、呼吸性粉尘和全尘的百分比关系

呼吸性粉尘在矿井全部粉尘中占多大比重,这是制定呼吸性粉尘浓度标准的重要依据之一。为了弄清两者的百分比关系,我们用了三种观测方法进行研究:

- ① 呼吸性粉尘和全尘对比性普查测量;
- ② 不同产尘环境中的粉尘样品显微镜下分析;
- ③ 观测和显微镜分析获得的数据进行微机处理和统计学分析。

全尘和呼吸性粉尘的对比性测定均分别采用KBC型采尘器和ACH-1型呼吸性粉尘测定

仪。全尘测定为滤膜采样，感量为万分之一，半自动天平称重，呼吸性粉尘仅采测  $10\mu\text{m}$  以下的细微粉尘。在对比性测定过程中分全局普遍观测和重点矿井逐工序跟班连续监测两种方法并列进行。日常性对比普测，全局一共观测了394个产尘点和有粉尘污染的巷道。356组岩尘样品中，呼吸性粉尘占全尘的22.06%；138组煤尘样品中，呼吸性粉尘占全尘的13.37%。重点矿井研究性监测主要选在我局开采史上有代表性的岭西矿、宝山矿和七星矿进行。先后采集了3016个全岩、半煤岩和全煤的全尘和呼吸性粉尘样品。实测的全尘与呼吸性粉尘的百分比如表1。

双鸭山局不同种类粉尘呼吸性粉尘所占百分比

表 1

矿 井	粉尘种类	测尘点数 (对)	全 部 粉 尘		呼 吸 性 粉 尘		呼 吸 性 粉 尘 占全尘百分比 (%)
			采 尘 量 (mg)	平均浓度 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	采 尘 量 (mg)	平均浓度 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	
七星煤矿	全 岩	236	3245.0	13.75	337.5	1.43	10.42
	全 煤	250	6985.0	27.94	427.0	1.71	6.11
	半煤岩	41	578.5	14.11	52.6	1.23	9.09
宝山煤矿	全 岩	308	2781.2	9.03	985.6	3.20	35.50
	全 煤	173	3479.0	20.11	991.3	5.73	28.52
	半煤岩	171	1592.0	9.31	571.2	3.34	35.87
岭西煤矿	全 岩	82	364.9	4.45	186.9	2.23	46.80
	全 煤	160	3276.8	20.48	256	1.60	7.81
	半煤岩	67	741.7	11.07	172.1	2.57	23.20
双鸭山局 (平均)	全 岩	626	6391.2	10.21	1510.4	2.41	23.6
	全 煤	583	10464.0	17.95	1674.3	2.87	15.99
	半煤岩	299	5824.4	19.48	795.9	2.66	13.67

粉尘分散度分析采用滤膜涂片显微镜下计数逐粒分析法，与常规方法不同的是，常规分析采用显微镜下定向投影来计算分级粒数，这对重量分散度计算影响较大。用显微镜分析时采用尘粒显微镜下几何形状纵横双向投影的新方法，将尘粒按显微镜下的形状在图纸上逐个描绘。如果纵横投影差在  $2\mu\text{m}$  之内的尘粒按球体计算，直径取两者的算术平均值；如投影差大于  $2\mu\text{m}$  的尘粒则按柱体考虑。然后再按粉尘分散度的四个分级区间求得各区间的粉尘量占整个粉尘样品（观察 200 粒）的百分比，即重量百分比。这种方法比常规方法的精确度提高 15—20% 左右。在显微镜分析处理数据过程中，采用了 PC-1500 型微型计算机。

据 37 个采掘工作面的 30 个煤尘样品和 28 个岩尘样品的显微镜分析，获得了不同岩性的粉尘数量分散度和重量分散度。大量实测数据表明，在划分粉尘分散程度的四个等级 ( $0-2\mu\text{m}$ ;  $>2-5\mu\text{m}$ ;  $>5-10\mu\text{m}$ ;  $>10\mu\text{m}$ ) 中，数量百分比从小粒径级到大粒径级是逐渐减少的；而重量百分比则相反，从小粒径级到大粒径级是逐渐增大的，见表 2、3 和图 1。这种关系说明过去某些科技文献中单纯用粉尘数量分散度来衡量粉尘对人体健康和矿井安全的危害性是不全面的。

从上述几种方法测定的全尘与呼吸性粉尘百分比关系（表 4）中可以看出，井下对比性测定方法，呼吸性粉尘所占比重偏低，其原因主要是呼吸性粉尘测定仪的显示值和计重浓度

双鸭山局呼吸性煤尘重量

和数量分散度对比

表 2

内 容	分散度			
	0—2	>2—5	>5—10	>10
数量百分比 (%)	50.87	32.43	11.92	4.96
重量百分比 (%)	3.37	16.58	24.88	55.33
	19.95		24.88	55.33
	44.67			55.33

注：共采测 9 个机采工作面 30 个粉尘样品。

双鸭山局呼吸性岩尘重量

和数量分散度对比

表 3

内 容	分散度			
	0—2	>2—5	>5—10	>10
数量百分比 (%)	61.64	18.87	10.36	9.17
重量百分比 (%)	0.82	8.04	20.16	69.55
	8.86		20.16	69.55
	29.02			69.55

注：表中  $100 - 69.55 - 29.02 = 1.43$  为计算误差之和，分散度单位， $\mu\text{m}$ 。共采测 18 个掘进工作面，28 个粉尘样品。

的差值较大，一般大于  $\pm 25\%$ ，甚至可能大于  $50\%$ 。在双鸭山煤田地质和矿井生产条件下，一般岩尘的呼吸性粉尘约占全尘的  $30.43-33.24\%$ ；而煤尘中的呼吸性粉尘比重实测结果和显微镜分析计算结果差距较大，显微镜的计数观察计算，呼吸性粉尘占  $44.84\%$ ，而井下 KBC 和 ACH 测定仪对比测定，呼吸性粉尘平均占  $20.35\%$ ，误差达  $100\%$ 。

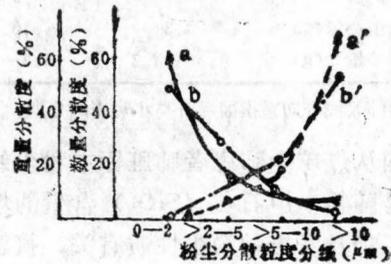


图 1 双鸭山煤田粉尘重量和数量分散度关系  
a—岩尘数量分散度；b—煤尘数量分散度；a'—岩尘重量分散度；b'—煤尘重量分散度

双鸭山局呼吸性粉尘对比测定结果

表 4

检测方法	检测产尘点数		呼吸性煤尘所占百分比 (%)	呼吸性岩尘所占百分比 (%)	备 注
	煤尘(处)	岩尘(处)			
显微镜观测	30	28	44.84	33.43	数据经微机处理
研究性实测	583	925	15.99	23.6	KBC和ACH对比测量
日常性普测	122	348	13.37	22.06	用上述仪器1985年以前对比测定
抽查性实测	16	8	31.7	30.5	1982年在七星矿采样

注：表中呼吸性粉尘指小于  $10\mu\text{m}$  以下的粉尘。

#### 四、煤矿呼吸性粉尘浓度标准的商榷

呼吸性粉尘的浓度标准应该是保障作业人员身体健康的安全极限指标。医学上大量研究和尘肺病死患者尸体解剖结果都表明，尘肺病患者的病情进级和严重程度与沉积在肺部的粉尘量有密切关系。不同进展情况的尘肺病患者肺部的粉尘沉积量也不相同。这里讲的粉尘沉积量与粉尘吞食量是不同的。能够进入肺组织（肺泡囊）的只是  $5\mu\text{m}$  以下的粉尘，在肺内被肺细胞吞食并沉积在肺组织内的只是  $2-5\mu\text{m}$  以下的。苏联原子能委员会经试验证明小于  $10\mu\text{m}$  的煤尘悬浮于空气之中，通常可以进入人的呼吸系统，并表明呼吸性粉尘的特征：所有小于  $2\mu\text{m}$  的尘粒和  $5\%$  的  $3.5\mu\text{m}$  的呼吸性粉尘及稍小的尘粒都可以进入人的肺部组织。英国对尘肺

病死患者进行解剖检查,用电子显微镜观察沉积在肺部的煤尘,发现沉积煤尘85%都小于2—2.5 $\mu\text{m}$ 。典型的尘肺死患约有60—90g煤尘沉积于肺部。正因如此, A. K. 辛哈博士曾独特地指出:“尘肺的定义是粉尘(煤尘)在肺部的沉积”。英国南威尔士煤矿工人肺部蓄积的粉尘量较当地居民平均高10倍以上。国外尘肺病理研究资料的统计数字介绍,一般I期尘肺病患者肺部蓄尘量为5.3—19.2g; II期尘肺病患者肺部蓄尘量为4.5—30.8g; III期尘肺病患者肺部蓄尘量为17—44g,而同地区城镇居民的肺部蓄尘量只有0.12—0.66g,平均为0.5g左右。尘肺病患者的病变升级与肺部蓄尘量的关系如表5。

国外煤矿工人右肺粉尘蓄积量和尘肺病变关系

表 5

尘肺X线分期	0	I	II	III	该地区城镇居民
尘肺病例数	17	9	10	9	26
平均右肺粉尘总量(g)	4.3	10.5	14.5	26.7	0.4
蓄尘量(g)	1.4—14.2	5.3—19.2	4.5—30.8	17.0—44	0.12—0.66

注:表中尘肺X线分期系指国际分类小阴影的分期。

英国从煤矿尘肺患者肺脏标本粉尘组成成分和尘肺病变过程研究中看到,尘肺病变的严重程度是随粉尘中石英( $\text{SiO}_2$ )含量的增加而逐渐加剧的,就是说,尘肺的纤维性病变程度和工人工种及所接触粉尘性质有关,接触含石英成分高的粉尘比接触含石英成分低的粉尘,其危害性大,病变也进展得快。接触岩尘与接触煤尘相比,岩尘含有石英( $\text{SiO}_2$ )成分高,当粉尘浓度相同时,长时期接触岩尘的患者,其尘肺病理改变就严重。这种统计关系如表6。

我国煤矿工人肺内粉尘量

和X射线诊断分期 表 6

病例号	X线诊断	肺 内 粉 尘		
		两肺含尘量(g)	灰分(%)	游离二氧化硅含量(%)
1	0—I	19.327	14.8	2.524
2	0—I	13.531	24.6	3.693
3	I	28.147	26.0	4.696
4	I	26.161	11.5	1.723
5	I	23.681	18.7	2.623
6	I <sup>+</sup>	39.466	30.7	2.454
7	II	70.734	16.3	2.607

注:表内数字摘自北京矿务局职防所资料。

从疑似煤肺到I期煤肺肺内粉尘量平均为22.17g。

解剖病理研究资料报道的一期矽肺肺内粉尘沉积量基本是一致的。

研究资料说明,影响矿工尘肺病发生的主要原因一是在长期接触粉尘的作业环境中粉尘吞食量;二是接触的粉尘性质,即粉尘中的石英( $\text{SiO}_2$ )含量。改变煤矿形象,开创文明生产局面,保障工人身体健康,重要的任务之一是要防治矽尘危害,确保工人一生不患尘肺病,这是制定煤矿粉尘浓度标准,也是制定煤矿呼吸性粉尘浓度标准的重要依据和基本前提。

江西省赣州有色冶金研究所用接尘量寿命表相关回归法计算和分析盘古山矿1959—1966年开始接尘的1085名工人的累计接尘量,推算出要把尘肺病患控制在1%以下的工作年限和粉尘浓度为:2mg/m<sup>3</sup>可工作15.13年;1.008mg/m<sup>3</sup>时为30年。并用这些资料推算30名I期矽肺患者平均肺内石英滞留量为3.7+1.9g,26名0—I期工人平均为3.3+1.4g,考虑到冶金矿山粉尘中游离二氧化硅含量为30—60%,平均为40—50%的实际情况,估算出实际矿尘的沉积量约为10—12.75g左右。这与国外矽肺病患尸体

根据我局的试验观测结果和国内外医学界的研究,我们认为安全可靠的煤矿粉尘浓度标准应低于下述公式计算的结果,即

$$C = \frac{1000V}{60QTDNK} \quad (2)$$

式中  $C$ ——许可的粉尘浓度,  $\text{mg}/\text{m}^3$ ;  
 $V$ ——工人一生37年可能吸入的粉尘量,  $\text{mg}$ ;  
 $Q$ ——工人呼入空气量,  $\text{L}/\text{min}$ ;  
 $N$ ——工人一生工作年限 (37a);  
 $D$ ——一年工作日 (平均300d);  
 $K$ ——肺内粉尘滞留率 (经验或实测值);  
 $T$ ——每天工作时间 (平均取4—6 h)。

不同作业场所和劳动强度,工人呼吸空气量是不同的,考虑到我国目前机械化程度和整个工作班平均劳动量,可按中等劳动强度35L/min计算呼吸量。一年最多工作日为300个工作日,每班最长纯工作时间为4—6 h (采煤4 h,掘进6 h)。借鉴国内外医学界的尘肺病理研究,一般煤肺病患在进展到I期之前要吞食并在肺内沉积粉尘约为 $16.43 \pm 4.1\text{g}$ 左右,最大在22g左右。而矽肺病患者,由于矽尘含有游离二氧化硅成分较高,一般是1.9—4.0g左右即有可能进展为I期矽肺。为计算方便最低取平均安全极限值为4g,作业人员呼吸量按中等劳动强度35L/min,这样利用式(2)和上面表2和表3中的实验值,按肺内沉积粉尘小于等于 $2\mu\text{m}$ 的尘粒约占总尘量的85%计算,便可以求出作业环境的粉尘的允许浓度范围,即

$$\begin{aligned} C_{\text{煤全}} &= \frac{22000 \times 1000}{35 \times 60 \times 4 \times 300 \times 37 \times \left( \frac{3.37}{100} \div \frac{85}{100} \right)} \\ &= \frac{22000000}{93240000 \times 0.0396} \\ &= 5.96 (\text{mg}/\text{m}^3), \\ C_{\text{矽全}} &= \frac{4000 \times 1000}{35 \times 60 \times 6 \times 300 \times 37 \times \left( \frac{0.82}{100} \div \frac{85}{100} \right)} \\ &= \frac{4000000}{139860000 \times 0.00965} \\ &= 2.964 (\text{mg}/\text{m}^3). \end{aligned}$$

上述计算的粉尘浓度实际为产生作业环境的全部粉尘浓度。呼吸性粉尘只是其中的一部分,根据我局上述大量观测和微机处理的结果,呼吸性粉尘的允许浓度标准应为

$$C = C'K_1(1 \pm a), \quad (3)$$

式中  $C'$ ——全尘允许浓度,  $\text{mg}/\text{m}^3$ ;  
 $K_1$ —— $10\mu\text{m}$ 以下呼吸性尘粒占百分比, %;  
 $a$ ——测尘仪器允许最大误差, %。

利用式(3)可分别求出煤尘、岩尘允许的呼吸性粉尘浓度标准为

$$C_{\text{煤}} = 5.96 \times \frac{44.85}{100} \times \left(1 \pm \frac{30}{100}\right) \\ = 1.9 - 3.5 (\text{mg}/\text{m}^3),$$

$$C_{\text{岩}} = 2.964 \times \frac{33.24}{100} \times \left(1 \pm \frac{30}{100}\right) \\ = 0.7 - 1.2 (\text{mg}/\text{m}^3).$$

根据上述推算,同时考虑到我国煤矿现有技术条件,欲将煤矿尘肺的发病率进行有效地控制,我国煤矿粉尘的岩尘和煤尘呼吸性粉尘的浓度标准可分别定为 $1.5\text{mg}/\text{m}^3$ 和 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。这样同世界一些主要采煤国家的呼吸性粉尘标准(如表7)也就基本趋于一致。

世界一些采煤国家煤矿呼吸性粉尘标准 表7

国 别	煤尘浓度标准 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	岩尘浓度标准 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )
英 国	5	3
苏 联*	4	2
波 兰	4	2
捷 克	5	2

\*  $2\text{mg}/\text{m}^3$ ,  $\text{SiO}_2$  10-70%;  $4\text{mg}/\text{m}^3$ ,  $\text{SiO}_2 < 10\%$

值得补充说明的是式(3)的全尘允许浓度是指整个工作班累计平均粉尘浓度,它应按下式确定,即

$$C' = \frac{Q_1 t_1 + Q_2 t_2 + Q_3 t_3 + Q_4 t_4}{T}, \quad (4)$$

式中  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$ ——打眼、放炮、装运及其他工序累计平均粉尘浓度,  $\text{mg}/\text{m}^3$ ;

$t_1, t_2, t_3, t_4$ ——打眼、放炮、装运及其他工序的累计时间, min;

$T$ ——整个工作班时间, min。

式(4)中的单工序平均粉尘浓度系指采用连续监测仪每隔一定时间间隔测得粉尘浓度值的全工序累计平均粉尘浓度值。

式(2)中肺内粉尘滞留率问题,以往职防资料中均取0.02,我们根据显微镜下研究和微机处理分析认为:还是以国内外关于肺内沉积的粉尘85%以上均为 $2-2.5\mu\text{m}$ 以下的研究结论为合适,这与我国一些局矿对疑似矽肺患者的长期观察结果也基本相符。

## 五、研究结论

根据我局大量观测研究、归纳分析,初步得出如下几点研究结论:

### 1. 煤矿呼吸性粉尘标准

为确保煤矿工人的健康,呼吸性粉尘标准应为:在井下采掘工作面和有行人的巷道风流中,若粉尘含游离二氧化硅含量小于10%,呼吸性粉尘浓度不得超过 $5\text{mg}/\text{m}^3$ ;若粉尘中含游离二氧化硅含量大于10%,呼吸性粉尘浓度不得超过 $1.5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

### 2. 呼吸性粉尘粒径峰值

大量浮游粉尘样品的显微镜下观察发现,不论岩尘还是煤尘,其分散度的自然状态常常在 $1\mu\text{m}$ ,  $2\mu\text{m}$ 和 $5\mu\text{m}$ 的粒径位置上出现峰值。第一高峰是 $1\mu\text{m}$ ,约占30—35%;第二个高峰是 $2\mu\text{m}$ ,约占30—38%。这是深入研究防治呼吸性粉尘的重点之一。

### 3. 呼吸性粉尘的防治

目前,湿式作业和以风力冲淡排除粉尘的方法仍是煤矿防尘的重要手段。但试验证明,单纯以“风、水”治尘,对呼吸性粉尘作用效果并不理想。图2,3为七星矿实测的采掘工作面回风流40—50m范围内粉尘沉降曲线。从曲线可以看出,在井下使用机组割煤喷雾洒水和使用风钻喷雾打眼的产尘条件下,在粉尘污染的40—50m回风流中,全尘与呼吸性粉尘的沉降速度和递减幅度相比有明显的差异。全岩掘进工作面两台风钻打眼(如图3),粉尘产生后沿回风流浮游了40m,全尘浓度下降了64.5%,而呼吸性粉尘才下降了35%;采煤工作

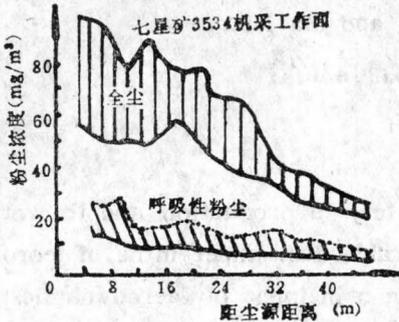


图2 采煤工作面粉尘沉降曲线

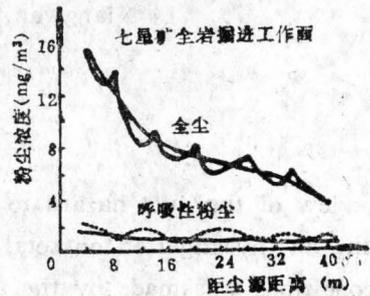


图3 全岩掘进工作面粉尘沉降曲线

面机组迎风割煤距尘源48m,全尘浓度下降70%,而呼吸性粉尘仅下降38%。对呼吸性粉尘的防治单纯采用“风、水”措施,尚不能达到根治的目的,必须采用多种配套措施,实现综合治理。根据试验,喷雾洒水对呼吸性粉尘的捕获沉降能力不足30—50%,而采用除尘器、集尘器对呼吸性粉尘的除尘效率一般都可达75—90%以上。因此,我国粉尘防治技术必须由目前的以风水为主的单一的湿式作业措施,逐渐向除尘器除尘与湿式作业并用的方向发展;能否在井下高尘作业环节大面积推广采用高效除尘器,这是我国煤矿能否彻底根治尘害的一个急待解决的大课题。

### 作者简介

赵书田,男,40岁,工程师。1975年毕业于阜新矿业学院采矿系,现任双鸭山矿务局通风救护处主任工程师,东北粉尘情报站秘书长,从事煤矿通风安全技术工作。曾先后在《煤炭科学技术》、《煤矿设计》、《煤矿安全》、《工业安全与防尘》等刊物上发表40余篇论文。

晁钟春,男,40岁,工卫医师。1977年结业于鸡西卫生学校,现从事煤矿通风防尘工作。曾在《煤矿安全技术》上发表“呼吸性粉尘所占比重的显微镜分析”文章。

毛铁林,男,44岁,工程师。1970年毕业于武汉测绘学院测量系,现从事煤矿通风防尘工作。

李向文,男,39岁,助理工程师。1968年毕业于鸡西煤炭工业学校,现任局通风处救护队副大队长,从事矿山救护工作。

王福生,男,44岁,钻工。现从事煤矿通风防尘工作,曾在《煤炭科学实验》等刊物上发表文章。

马显启,男,46岁,技术员。1985年结业于山西矿业学院,现从事煤矿通风防尘工作。曾在《东北煤炭技术》上发表文章。

## STUDY ON RESPIRABLE DUST IN SHUANGYASHAN COALFIELD

Zhao Shutian, Chao Zhongchun, Mao Tielin,  
Li Xiangwen, Wang Fusheng and Ma Xianqi

*(Shuangyashan Mining Administration)*

### Abstract

In view of the dust hazard to underground safety in production and to worker's health, an investigation on total dust and respirable dust under mine meteorological conditions was made by the authors by using principles of aerodynamics and statistics. The boundary of their concepts was defined. Thousands of measurements were made of the airborne dust at 2166 dust producing points of 227 coal faces and heading faces in 8 mines in Shuangyashan coalfield, by using two types of new instruments for monitoring and microscopes for particle analysis. As a result, relation of respirable dust and the total dust by percentage and the peak value of particle size of respirable dust are found. The feasible measures for prevention and control of respirable dust is understood. The recent results of prevention and control of pneumoconiosis both at home and abroad are investigated. The method for calculating the permissible concentration of total dust and respirable dust is established which is based on the quantity of dust deposited in the lung of patients who died of pneumoconiosis.