

冶金防护译丛

(25)

(通风防尘专辑)

湖南冶金防护防治研究所

— 九八四 — 十二 —

目 录

利用湿式粉尘洗涤器过滤井下风流	1
通风工程中风流的再循环和南非深部金矿的冷却	15
从烟气中消除和回收三氧化二砷的活性炭法的中间试验	32
织物过滤器的粉尘穿透力—高压电场与针孔形成的影响	52
新型的使之带电的浮游粒子物性测定法	62
新南威尔士煤炭工业测定呼吸性粉尘的新标准和新方法	71
过滤分离器在捷克斯洛伐克社会主义共和国的发展和新 的FKB型高效过滤器	87
平巷工作面的压入式局扇通风气流	99

利用湿式粉尘洗涤和过滤井下风流

(P.A. Booth-Jones et al)

摘 要

在井下再循环通风风流中，应用湿式粉尘洗涤和过滤控制粉尘的方法已进行了验证。所研究的理论模型描述了工作面粉尘的过滤和再循环。从模型得出的结论和对井下空气中石英粉尘颗粒粒径的分布的测定，用来估算所要求的粉尘过滤效率，以便保证再循环系统中呼吸性粉尘浓度在安全的范围内。

文中对典型的直接喷雾室冷机的粉尘过滤特点进行了论述，说明了这样的室冷机虽然能顺便除去一些大的粉尘颗粒，但对呼吸性粉尘的除尘效果很差。

本文研究了喷雾冷却室的粉尘洗涤特征，冷却室是由一排喷雾口所组成，位于一套空气型喷嘴的上游。所测定的集尘效率与上述模型所要求的效率进行了比较。

结论是，湿式粉尘洗涤和过滤在南非金矿控制粉尘浓度可以取得良好的效果。

在南非金矿，近来对再循环风流进行了充分的研究。现场试验表明，在从地表抽入相等的风量的条件下，工作面的再循环通风可以有效地用来利用冷却能而不发生任何其他麻烦问题。在许多再循环方案中，适当地过滤再循环风流中的粉尘，对控制粉尘来说是头等重要的事情，并且需要研制过滤大流量空气中的

粉尘的制造方法（典型的是大于 $40\text{ M}^3/\text{s}$ ）

循环风流的大量冷却，可以很简单地由直接喷雾室来进行。这项技术在南非金矿已得到很好的使用。如果能够把这些空冷喷雾室与粉尘洗涤设备结合起来，那末喷雾室就完全成为了空调设备，它具有清洁和冷却空气的两个作用。就是在这种思想指导下，对上述的设想进行了研究。

南非金矿最有害的粉尘成分是呼吸性结晶石英（ SiO_2 ）测定表明，石英岩粉尘占整个呼吸性粉尘质量的很大部分。对于湿式洗涤用的滤膜，其过滤效率与颗粒的大小有关。如果能有效去除石英颗粒，那末滤膜的分级除尘效率在呼吸性范围内一定会高。因此，在使用时，仔细测定滤膜的分级效率是很重要的。

在这篇文章中，再循环系统要求的滤膜效率已经确定，这种确定，是基于典型再循环方案中粉尘状况的数学模型和测定井下粉尘中石英颗粒的粒径分布而作出的。

对典型的地下室空冷喷雾室过滤性能的测定表明，其对呼吸性范围内的石英颗粒的分级除尘效率是不理想的。为了提高分级除尘效率和评价气体雾化水喷雾对呼吸性粉尘的除尘效果，开展了实验室湿式粉尘洗涤用过滤性能的研究，得出了这种洗涤用在雾化喷嘴工作范围内的性能。

过滤再循环的粉尘浓度：除尘效率的调整

图1表明了一个再循环系统。对粉尘浓度过滤和再循环的联合效果进行了理论分析，见附录。图2表明了典型地下条件下预测的粉尘浓度。

从理论分析中可以得出许多结论

(1) 如果不进行过滤，再循环绿毫不会导致回风中粉尘浓度的增加。当应用粉尘过滤时，回风中的粉尘浓度总是随着再循

环风量的增加而减少的。(图2)

(2) 混合进口风流中的粉尘浓度可以高于或低于进风的粉尘浓度, 这主要取决于再循环部分R值和过滤效率E(混合进风涉及到进口鲜风的总量和需要过滤再循环的面风比例)

然而存在一个叫做临界效率 E_c 的过滤效率, 对整个再循环风量来说, 它能保证混合进风的粉尘浓度总是保持等于或小于进风的粉尘浓度。临界除尘效率 E_c 以下列方程式给出:(见附录)

$$E_c = 1 / \left[1 + \frac{\text{进风粉尘强度}}{\text{工作面的产生强度}} \right]$$

例如: 如果进风流量为 $16 \text{ M}^3/\text{s}$, 颗粒粒径 $0.7 - 1 \mu\text{m}$ 的粉尘浓度是 $0.07 \text{ mg}/\text{M}^3$, 而工作面的产生强度为 $3 \text{ mg}/\text{s}$, 那末在这样的条件下:

$$E_c = 1 / \left[1 + \frac{16 \times 0.07}{3} \right] = 0.73$$

分级效率的这一临界值的意义是, 对于任意的循环风量, 返回的和混合进风的粉尘浓度, 总是有循环时比没有循环时的要低。(见图2)

(3) 当过滤效率几乎达到100%时, 空气质最有一个明显的改善, 但是要获得这样高的过滤效率, 只有增大能最和投资。由临界效率定出了过滤效率的较低范围(见附录方程10)显然, 效率的高低取决于使用的具体条件。大量的实际和理论研究指出, 临界效率或者说归定的滤料性能的下限, 不应小于70%。

因此, 应用对呼吸性粉尘的除尘效率为70-90%的滤料似乎是合适的, 而且在再循环方案中经济上是合理的。

地下室冷喷雾室的过滤效率

选择一个具体再循环通风现场，作为试验场所，对空气中的粉尘粒径分布和室冷喷雾室的分级除尘效率进行了测定。这种资料是目前研究所需要的，因为它揭示出了呼吸性粉尘的载荷，以及一般室冷室的性能是否适合所要求的分级效率。粒径的分布是用PIXE单孔级联冲击皿（样品是由颗粒诱发的X射线发射物来分析的，发射物产生基本的物质粒径分布，石英粒径的分布可以由硅数据推断出来）和安德逊2000多孔级联冲击皿（样品用重量分析）来测定的。

采样是在室冷喷雾室的上部回风中和喷雾室的下风流中进行的，石英颗粒的粒径分布用PIXE分析仪进行，其结果如图3所示。回风中，70%的物质，其粒径在4 μm 以下，30%为1 μm 以下。由于凝聚作用，16 μm 级的粉尘浓度有明显的增加。

在下向风流中，由于喷雾的洗涤作用，绝对浓度减少，粒径分布有所改变，70%的颗粒物在1 μm 以下。这两种分布作出的分级效率曲线见图4。类似地，对从安德逊采样皿样品中获得的总粉尘，其分级效率已进行了计算，也可以从图4中看出来。

PIXE和安德逊冲击皿收集的样品表明，效率随颗粒粒径的增加而增加，对于较大的粉尘颗粒，其效率可达100%。对于分别由PIXE和安德逊冲击皿采集的样品，粒径为0.50和0.95 μm 的尘粒，其效率为50%，这种差异是由仪器的差别引起的。然而，两条曲线都说明了这样一个结论，即对1 μm 以下的尘粒，室冷喷雾室的效率达不到最小临界效率 E_c ，也就是以前得出的70%。因为大部分呼吸性石英粉尘原于亚微粉尘范围，因此，这种形式的喷雾室的分级效率对于绝大多数再循环方案来说，都不能维持需要的空气品质。

实验室粉尘洗涤口的过滤特性

对于用湿式洗涤的技术过滤粉尘进行了大量的研究，但是只应用气体雾化喷雾而不采用文丘里流，对于大流量低浓度粉尘中的亚微部分，几乎没有一种技术是有效的。对于有关亚微尘粒的效率，目前还特别缺乏资料。

这种型式的洗涤口的一个重要问题是对除去亚微颗粒所需要的能量，在气体雾化喷雾室中，实际上这种形式的洗涤口所需要的所有的能量被用来形成液滴和使之获得动能。研究中，在一个受控的测试管道中安装了一组风雾化喷嘴；用来测定密封的洗涤口和室冷喷雾室的粉尘洗涤性能。

测试设备

图5(略)为测试设备示意图，雾化喷嘴由一组9个6.5 mm直径的喷嘴组成。喷嘴组的工作特性见图6(雾滴的尺寸是由厂家确定的)所选的雾化喷嘴适合于井下应用；6.5 mm直径喷嘴由于喷嘴周围空气的覆盖作用而减少磨损因而不太可能堵塞和损坏。

在试验装置中，含尘气流被压进一个水平的管道，经过雾化喷嘴后空气直接向上进入一系列“粗的”水雾(雾滴直径一般为1—2 mm)，这种典型的方案被用在地下大容积空冷机中。这些水雾由8个V型喷嘴产生，以3.5升/s的流速供给8°C的冷水。然后，空气经过一个除雾器排出来。空气的流量可以在25~5 m³/s范围内改变，相应的管道内空气速度为2—4 m/s。

实验室应用的粉尘由地下袋式过滤器收集，粉尘经与水混合形成泥漿，把泥漿喂入一个引导喷嘴，置于进气测定断面上风流5 m处。仔细控制供给引导喷嘴的压缩空气的压力，粉尘浓度可以在旧浓度的10%以内重新产生，5%范围内的粉尘浓度可维

持30分钟，进风中粒径在 $0.05-25\mu m$ 范围内的粉尘浓度可在 $0.2-6mg/m^3$ 之间变化。

颗粒浓度和粒径分布由一个石英晶体微天平(QCM)联级冲击口来测定。测定地点的雾化喷嘴的上风流(进口)和除湿口之后的风流中(出口)、气溶胶采样机构由一个按Belyaev和Levin推荐的形式设计的等动力采样头组成。由于风流以 $500 \times 10^{-6} M^3/s$ 的高流速经过采样管和以 $4 \times 10^{-6} M^3/s$ 的低流速经过冲击口，为了冲击的需要，应用两级采样的方法。进行采样，要特小心维持稳定的温度和湿度，因为冲击口中应用的压电石英晶体对这些参数的任何变化都很敏感。

试验及其结果

开始只应用雾化喷嘴进行试验，下向风流的粗喷雾没有工作。试验的目的是为了在雾化喷嘴群工作状态下的广泛范围内，测定洗涤口的分级效率。通过喷嘴的水的流量变化范围为 $0.02-1.7$ 升/s，供给喷嘴的压缩空气压力变化范围为 $100-400 KPa$ ，管道内风的额定流量保持为 $3.6 M^3/s$ 不变，进口粉尘浓度为 $2 mg/M^3$ ，供给水的温为 $14^\circ C$ ，以上这些参数都经过实验装置的工作检验后定出的。要过滤的管内气流温度为干球 $30^\circ C$ ，湿球 $16^\circ C$ (相对湿度为25%)，

有关洗涤口的一些重要参数是那些在洗涤口内部影响实际颗粒捕捉机理的参数。对于大于 $0.5\mu m$ 的颗粒，湿式洗涤口主要的捕尘机理是颗粒与集尘水滴之间的惯性力。影响惯性力捕尘的主要因素是尘粒的大小和密度，液滴的尺寸，尘粒与液滴的相对速度，以及集尘液滴的数目。为了综合这些变化的参数和定量分析所需的能量，最好是把洗涤口的性能与所消耗的压缩空气的能量

另联系起来进行研究。然而还有一个必须考虑的参数是水流对于要过滤的空气流量之比，通常叫做液/气比。这些参数说明了洗涤塔所有能量的消耗并由此推论出内部除尘机理进行的程度。

图7表明了粒径在 $0.05 \sim 25$ 范围内三种不同能耗下的分级效率。高能耗曲线(4.4 KJ/m^3)接近于以前归定的标准，即对整体呼吸性粉尘，最小的除尘效率为70%；低能耗曲线明显地不能令人满意，它类似于井下空冷喷雾室的特性(图4)。

高能耗曲线表明，对于粒径为 $0.2 \mu\text{m}$ 的颗粒，效率最低(这与其他高能试验的趋势相符合)。这个最小的效率被认为是在洗涤塔内部由于液滴的蒸发而产生颗粒所致。

对内部产生的颗粒测定表明，颗粒分布的峰值在 $0.2 - 0.4 \mu\text{m}$ 范围内。

液/气比对于洗涤塔性能是一个关键的因素。低液/气比(0.1)即使能耗大，集尘效率还是很低；高液/气比(0.5)即使能耗较小，集尘效率也会较高。图8表明了这两种液/气比的分级效率。在第二组试验中，测试塔的效果类似于洗涤塔下风流中空冷喷雾室(粗喷雾)的效果。总之，粗粒喷雾对洗涤塔的分级效率来说是很低的。

把风导入喷嘴喷雾区的结果，在喷嘴可观察到文丘里效应。瓶室气压升高；水流量大时，这种效应使得某些水雾循环返回到喷嘴出口部的低压区。以高压空气导入喷嘴的作用特别大，并且在洗涤塔的另一边可获得 100 Pa 的静压。

九个喷嘴中的6个喷嘴在管道中心线成 15° 再度安装，以一个大约 30° 的喷雾再成锥形喷雾。由于管道内的空气速度不足以使雾体偏斜，估计第三个喷嘴由于冲击管壁而失去作用，在实际洗涤塔中，只要仔细安排雾化喷嘴的位置，就可减少液滴的损失。

结 论

喷嘴空气压力 and 水的流量是影响洗涤口性能的两个主要参数。如果空气压力 and 水的流量没有调整到最佳的状态，那末洗涤口可能消耗大的能量而工作不好。因为估计有三分之一的雾化水雾在试验管壁上损失掉，因此对于试验的洗涤口来说，计算出来的能量是保守的。在能耗 $3.75 \text{ KW}/(\text{m}^3/\text{s})$ ，液/气比为 $0.4 \text{ 升}/\text{m}^3$ 时，分级效率最佳。这与其他气体雾化喷雾洗涤口和文丘里洗涤口的能耗相比较，后者有着类似的分级效率。

洗涤口中的风速在 $2-4 \text{ m/s}$ 范围内改变时，分级效率减少得很小。由于液滴的蒸发而产生尘粒，因此对一定粒径的尘粒，除尘效率显著地下降。在矿山环境中，回风中的相对湿度一般为 90% ，可以供给洗涤口 5°C 的水，由于上述机理（液滴蒸发）而产生的尘粒可以减少，因此效率会有所提高。

曾经作过大量的试验，这儿列出的这是部分数据。很明显地，要想优化洗涤口的性能，雾化喷嘴应该适合工作的条件。

当再循环的比例大于 0.7 （典型设计情况），洗涤口或喷雾冷却室的呼吸性粉尘的集尘效率为 70% 时，粉尘浓度可以较大幅度地降低。

本文所描述的研究工作是南非金矿应用再循环系统的主要研究工作的一部分，目前正着手研究湿式洗涤技术的最佳应用。

附录

再循环系统中的粉尘浓度

下面提出了一个简单的原理，可以用来预测再循环和粉尘过滤器对工作区域混合进风和回风中的粉尘浓度的联合影响，从混合

进风可推论出新鲜进风的总量和回风中要过滤了的再循环风量。
再循环和过滤系统的概况如图1所示。

- Q_i 进口风量, m^3/s
 Q_r 再循环风量, m^3/s
 d_i 进风粉尘浓度, mg/m^3
 d_m 混合进风粉尘浓度, mg/m^3
 d_f 再循环风流粉尘浓度(过滤后), mg/m^3
 D 工作面的产生强度, mg/s
 E 过滤装置效率, $0 \leq E \leq 1$
 R 再循环比例, $0 \leq R \leq 1$

定义:

$$R = \frac{Q_r}{Q_i + Q_r} \quad (1)$$

$$E = \frac{d_r - d_f}{d_r} \quad (2)$$

到达点2的粉总量(图1)下式计称:

$$(Q_i + Q_r)d_r = Q_id_i + Q_rd_f + D \quad (3)$$

整理方程2得到

$$d_f = d_r(1 - E) \quad (4)$$

把(4)式代入到(3)式,整理得:

$$d_r = \frac{Q_id_i + D}{Q_i + Q_rE} \quad (5)$$

联系式(1), d_r 可写成

$$d_r = \left[d_i + \frac{D}{Q_i} \right] / \left[\frac{RE}{1-R} + 1 \right] \quad (6)$$

可见, 如果不过滤 ($E=0$), 上式可简化为:

$$d_r = d_i + \frac{D}{Q_i} \quad (7)$$

式(6)表明, 只要过滤效率不为 0, 当再循环比例 R 增加时, 回风中的粉尘浓度总是减少的。

出口粉尘浓度 d_r 也可由下式计算

$$d_r = d_m + \frac{D}{Q_i + Q_r}$$

把式(1)和式(6)代入上式并整理, 混合进口的粉尘浓度可写成:

$$d_m = \left(\left[d_i + \frac{D}{Q_i} \right] / \left[\frac{RE}{1-R} + 1 \right] \right) - \frac{D}{Q_i} (1-R) \quad (9)$$

方程(9)表明, 混合进风的粉尘浓度可以高于或低于进风中的粉尘浓度, 这主要取决于再循环风另比例 R 和过滤效率 E 。但是存在一个可以叫做临界效率的过滤效率 E_c 对于所有的 R 值它将保证混合进风的粉尘浓度维持在等于或小于进风中的粉尘浓度。

E_c 的值可以由下式得出:

$$\frac{\partial(d_m)}{\partial R} = 0$$

当 $R=0$ 时得到

$$E_c = 1 / \left[1 + \frac{Q_i d_i}{D} \right] \quad (10)$$

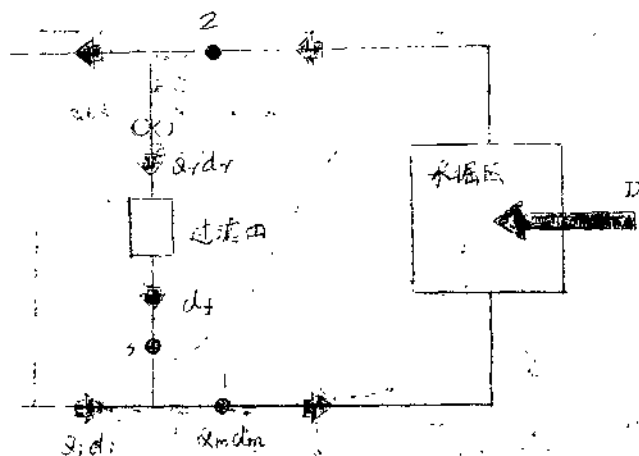
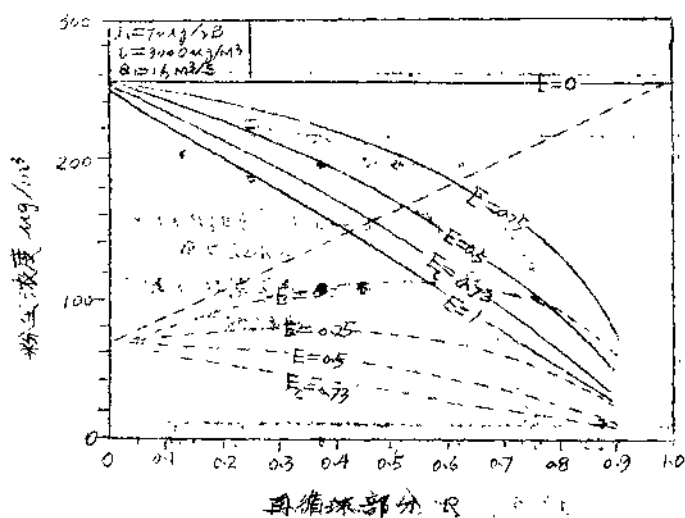


图1 循环风流中带有粉尘过滤器的
典型循环系统(符号定义见附录)



根据附录方程6和9计算出的回
风和混合进风中的粉尘浓度

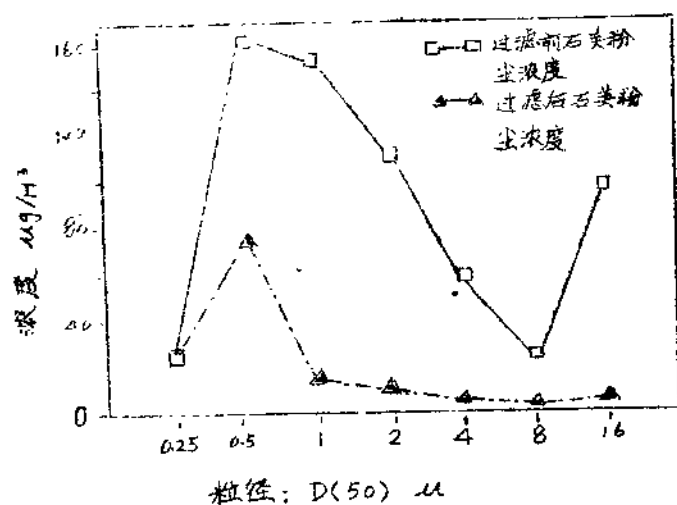


图3. 多级冲击皿样品经由PIXE分析得出的石英粒径的分布

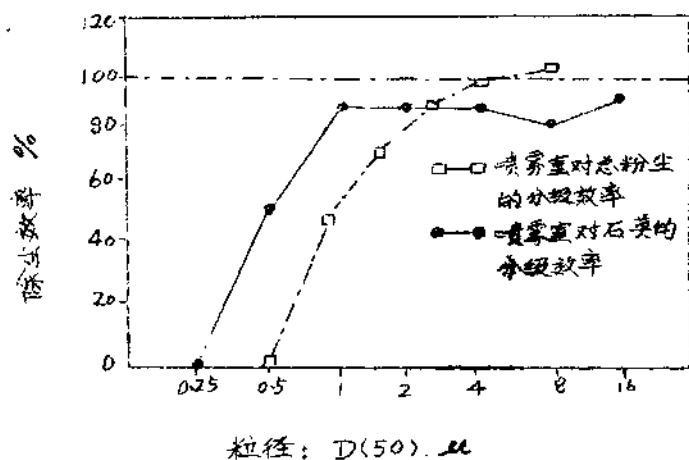


图4. 由多级冲击采样皿上、下风流所计测出的地下采冷喷雾室的分级除尘效率

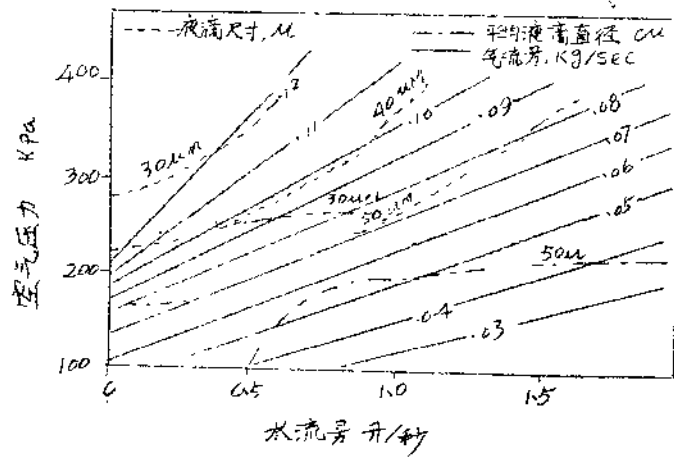


图6. 雾化喷嘴的水雾特征与喷嘴条件的关系

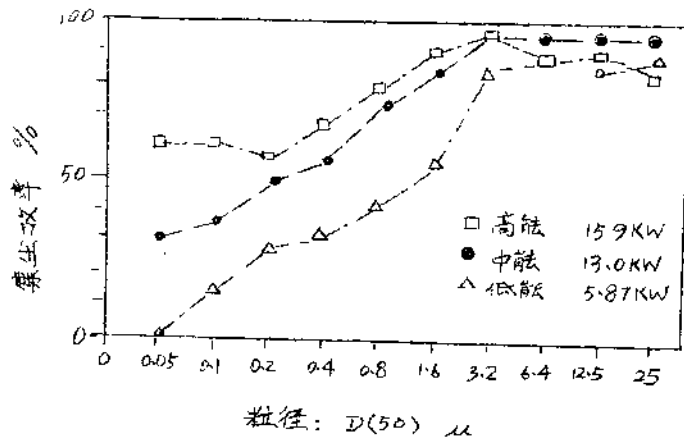


图7. 在三种不同供能情况下雾化喷嘴洗涤口的分级除尘效率结果

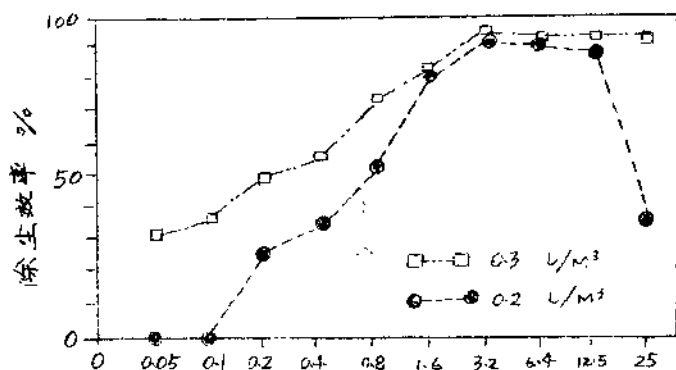


图8、液/气比为0.3和0.2 L/M³时的分级除尘效率曲线。液/气比0.3 L/M³时，能耗13 KW；
液/气比为0.2 L/M³时，能耗16 KW

[Third International Mine Ventilation Congress,
Harrogate, England, pp 209~213, 1984,
彭端生译 翟啟光校]

通风工程中风流的再循环 和南非深部金矿的冷却

(RC Burton et al)

摘要:

本文简单介绍通风工程和深部矿中的冷却中存在的一些问题,描述利用大规模有控制的风流再循环系统的潜在优点,探讨在早期模型上发展起来的、比较适用于南非金矿的一系列理论模型。文章还详细地说明了在南非矿山所做的有控制的风流再循环系统的一些主要试验,并将试验数据和理论模型相比较,进而给出了当发生危险情况时用来^使循环风流停止的安全系统,最后得出有控制的风流再循环系统是有助于正常通风的一种实用、有效和安全系统的结论。

地热在南非深部开采的金矿是主要的环境灾害之一。在一般开采深度1623米时,围岩温度为 38°C ,在3476米的最深开采地点,围岩温度高达 54°C 。除了由于高温围岩传递的有效热另外,进风气流^使的温度也由于空气的自动压缩而增高。

随着深度的增加,未经冷却的进风气流不能为工作面提供适宜的温度,因而需要大量的致冷设备。一般,致冷方法有三种:第一,大功率的致冷机可以安装在地表,或者安装在井下主要进风道,在空气进入各工作地点之前将其冷却;第二,当进风井距工作地点较远时,进风气流^使的温度可能升高到人们不能接受的程