

第二届全国工业防尘学术会议

论 文 集

(一)

粉尘性质及测试技术

中国劳动保护科学技术学会工业防尘专业委员会

中国建筑学会暖通空调专业委员会

一九八七年八月

目 录

1、发展中的工业防尘技术

冶金部安全环保研究院

严兴忠

2、个体粉尘采样器

中国预防医学科学院环境卫生与卫生工程研究所

张希仲 刘 凡 刘光铨

3、无动力等速尘粒采样器

中国预防医学科学院环境卫生与卫生工程研究所

常德华 王裕功

4、微机控制便携式气溶胶颗粒质量监测仪的测量原理研究与 样机研制

中国预防医学科学院环境卫生与卫生工程研究所

成子奇 周光发

5、个体监测采样器的研究

中国预防医学科学院环境卫生与卫生工程研究所

崔玉琰 张希仲 周光发 蔡世雄 王瑛

6、粉尘中游离二氧化硅的定量测定

中国科学院地质研究所

黄伯龄

7、对修订我国粉尘浓度标准的几点看法

冶金部马鞍山矿山研究院

刘振刚

8、羽状烟气的比例摄影测量技术及其应用

同济大学机械系

李强民

9、尘源特性研究引论

成都市环境保护设备厂

付自强

10、旋转圆盘单分散气溶胶发生装置研制报告

冶金部安全环保研究院

倪守邦 苏建文 董雪予

11、DF多功能测尘仪研制及应用

冶金部安全环保研究院

董雪予 周泽云

发展中的工业防尘技术

严兴忠

冶金部安全环保研究院

工业防尘已被称之为“迅速发展中的技术”〔1〕，其所以被称为发展中的技术，是因为现实对该项技术发展有迫切要求，也因为该项技术正在迅速发展且尚很有发展余地。

各个国家都制订了控制工业粉尘的技术标准。随着人们对粉尘危害认识的加深，被控空气中悬浮粉尘的标准趋于严格，不少国家近年调整后的工作区粉尘浓度及排出浓度的允许值较过去降低〔2〕，不少国家工作区粉尘浓度的国限值既包括总粉尘浓度，又包括呼吸性粉尘浓度〔3〕，个别国家大气飘尘允许浓度已改以呼吸性粉尘来计量〔4〕。

实现对工业粉尘的有效控制将耗费大量的资金、电能及原材料。据日本钢铁工业统计，钢铁厂大气污染控制（主要是工业防尘）所耗资金占该工业总投资的13.6%，部份生产厂除尘通风能量消耗占金厂1/3〔5〕。因而，确保被控效果的前提下，减少工业防尘措施的投资、能耗及原材料消耗已成为很引人注目的课题。

确保控制效果又能降低各种消耗的唯一途径系寻求更有效能的控制技术，使其能更有效、更全面地实现对工业粉尘的控制，而且能在确保控制效果的条件下减少资金消耗、能量及原材料消耗。

目前尘源控制已逐步将主要注意力由固定、集中、连续 产生源转移至移动、分散、阵发性尘源 (Fugitive Emissions) [6]。不仅应用一般的密闭、局部排气措施,为获得更佳控制效果并节省能耗,广泛地应用了吹吸式局部排气装置。应用该原理进而发展移动式空气幕 [7], 启闭自动操作的整体密闭排气措施 [8]。对有些工艺将生产厂房整体作为气流可控区间,并将除尘净化设备安设于屋顶,收到节省投资及能耗的效果 [9]。

为满足排出浓度的严格限制并便于回收利用收集粉尘,除尘装备偏重发展并运用高效、干式的电除尘器及布袋除尘器。近期来,电除尘器迅速发展脉冲供电技术、宽间距板线配置、予荷电技术、调质措施及以计算机优化控制电除尘器等,运用这些技术不仅使电除尘器对一般粉尘有很好的净化效果,即使对比电阻值超过 $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 的高比电阻粉尘的收集已非难事 [1], 有些措施,如应用脉冲供电或应用计算机控制电除尘器运行尚成功地使电除尘器节能 50~70% [10][11]。为开拓电除尘器的应用领域,正试验将其应用于净化高温、高压、易燃、易爆的含尘气体 [12]。布袋除尘器发展了多种反吹清灰技术,目前正采取辅以声能清灰措施 [13], 或应用静电布袋集尘技术 (Advanced Elektro Static Stimulation of Fabric Filtration, AESFF) 降低过滤阻力,提高气布比,减少设备投资 [14]。也应用了多种高强度耐温过滤材料及布袋自动监视及检漏技术,使布袋除尘器应用条

件大为扩充，形成唯一能与电除尘器相抗衡的一种除尘装备，当前已应用的大型布袋除尘器其单台过滤气体量已达到370余万立方米每小时，应用于55万千瓦发电机组锅炉废气净化〔13〕。

为适应矿山通风风源净化的要求，也为了实现了对微细颗粒物的控制，研制出多种多样的微细粒子净化装置，一种湿式纤维层过滤器已可以做到单体过滤风量 $4\text{ m}^3/\text{s}$ ，阻损为 1.4 KPa 时对呼吸性矿尘的过滤效率达 90.4% ，总粉尘过滤效率为 99.25% 〔15〕，其他如静电液滴洗涤器、湿式离心分离器均有较好的微粒捕集性能〔16〕。

为了能正确、及时评价工作区、大气中粉尘浓度、粒度及成份，各种粉尘检测手段得到极迅速发展，特别是粉尘粒度分级的采样、测量装置，应用各种传感元件的快速粉尘测量仪器〔17〕，及应用近代电子技术、计算技术、图像显示技术而形成的自动统计、自动运行、自动记录的粉尘浓度、粒度和成分的分析仪器。

工业防尘技术的发展带动对粉尘属性的研究，已出现不少关于粉尘粒子图像，粉尘比电阻、荷电性、粉尘流变学性质、粉尘吸湿性等方面研究结果，也发展了多种多样如标准尘粒发生装置、粉尘运动状况、粉尘沉积、凝并状况的观测手段。

认为工业防尘技术很有发展余地，努力寻求更全面、周密控制工业粉尘的方法，在确保工业防尘效果的基础上减少控制投资，降低能耗及原材料消耗对我国做好工业防尘工作尤为重要。

首先，我国工业粉尘危害仍很严重。虽然我们已做了大量工业防尘工作，也出现一批粉尘作业场所合格率超过90%以上的工矿企业及环境治理有显著成绩的单位。但是，目前不少企业大部份作业场所粉尘浓度仍超过国家规定的卫生标准〔18〕，我国仍是世界上环境污染物排放量最大的国家之一〔19〕，发展中的乡镇企业防尘工作更为落后〔20〕。以致目前矽肺、尘肺发病仍有增长趋势〔18〕，粉尘仍是城市及自然环境中的主要污染物，因此，有大量的工业防尘工作要做。

其次，我们是发展中国家，资金来之不易，对于有限的资金既希望将其很好地用于扩大再生产，又需解决生产过程中所必须解决的问题。我们更希望获得效果好、投资省、能耗、原材料消耗少的工业防尘技术。

再次，我国既要发展一批骨干的大型企业，又要充分发挥并调动各方面积极因素，利用分散的资金与资源，因而，在相当长期内必然存在地方中小企业及分散的乡镇企业。工业尘源不可能很集中，这些分散的工业更缺乏经济上的承担能力，工业防尘技术的发展必须适应这一情况。

根据国际上工业防尘技术发展的总趋势，联系我国工业防尘技术的实际需要，我们应在更开闢的领域里发展工业防尘技术，挖掘工业防尘技术的潜力。

1、注意发挥综合防尘治理措施的效果

我国五十年代即提出“水、密、风、护、革、管、教、查”的八字防尘综合措施〔21〕，在当时防尘技术较目前落后的条件下已使部份工厂、矿山获得粉尘合格率90%以上的效益。若能进一步发展该方面技术，发挥综合防治效果，将可以进一步显现其在防尘方面的作用。

在综合防尘技术中宜将管理技术作为防尘技术的重要组成部分，即研究科学地管理、调整生产工艺、生产装备、防尘装备，使其获得最佳防尘效果。

应用水或湿法作业，对小区域或劳动者个人进行防护早已显示其防尘效果，但待进一步与生产工艺紧密配合，改善其运用的可靠性与稳定性，形成便于应用的通用设备。

密、风两项技术是当前已受重视并广为应用的措施，但发展中仍存在偏重除尘装备而忽略烟生技制的倾向〔22〕，因此，宜于更强调尘源控制技术的研究。

2、积极汲取、引用国外先进防尘技术

对国外已行之有效的工业防尘技术宜不失时机地消化、引进，以便可很快提高我国工业防尘技术水平。

国外电除尘技术中正发展的宽间距、脉冲供电、予荷电、调质、移动极板、高能电晕脱硫、氮等技术；布袋除尘器正发展多种耐温、高强度过滤材料、耐温陶瓷过滤材料、静电布袋除尘器、静电颗粒层除尘器；净化呼吸性粉尘用的湿式纤维层过滤器等技术均宜汲取

为我所用。

在尘源控制方面大密闭或全厂房组织气流和静空区分散尘源控制技术都值得引用。

在检测及试验研究器材方面，特别是一些快速、自记测尘仪、粉尘性质、粒子的观测仪器宜尽快形成国内产品。

3、挖掘潜力，开拓工业防尘新技术

电收集技术仍有潜力可挖，如将电收集技术用于尘源控制、寻求电除尘器内最佳的板线形式及其组合方式，根据净化工艺自动调整参数实现电除尘器最佳运行等的技术均有其发展余地。多机理综合除尘技术亦有广阔开发前途，在尘源控制方面对吹吸式进一步发展运用及对小型粉尘作业场所密闭、组织气流的技术措施仍有其发展余地。

4、加强粉尘性质及属性的研究

只有了解粉尘才能更好地治理粉尘，因此，积极进行粉尘属性及性质的研究，并将该方面的研究与防尘技术措施紧密联系起来，对优选技术方案及正确确定设计参数将会有实际意义。

5、根据实际需要确定粉尘控制标准，从严要求。

工业粉尘控制标准只能根据粉尘对人体与环境危害条件来确定，实现标准往往存在技术与经济上的困难，经济上的可能性又依赖于技术方案的选择，技术的选择能动性很大，是多因素的综合效果。因而，宜于要求技术适应需要、严格标准促进技术发展。当前国际

上已注意对呼吸性粉尘控制，宜于加强对呼吸性粉尘检测、标准等方面的研究，逐步实现对总尘及呼吸性尘的全面控制。

参 考 文 献

- (1) G. B. Nichols "Particulate Matter Control---
The Rapidly Advancing Technology" Proceedings,
Sixth Symposium on the Transfer and Utiliz-
ation of Particulate Control Technology,
Vol 1 November (1986)
- (2) 陈国华 "美国矽肺防治及粉尘卫生标准情况简介"
冶金安全 №3 (1984)
- (3) 刘后金等 "矿山粉尘浓度标准和测尘技术发展动向"
冶金部安全环保研究院 (1981)
- (4) S. Meyers, " The Regulatory Framework for
Future Particulate Technology needs " Pro-
ceedings Fifth Symposium on the Transfer and
Utilization of Particulate Control Tech-
nology, Vol. 1 February (1986)

(5) 朱根逸 “从宝钢引进工程剖析国外钢铁企业污染控制技术
技术的几个主要问题” 冶金安全 №3 (1980)

(6) C. Cowherd J.S. Kinsey D. IHarmon
"Identification, Assessment, and Control of
Fugitive Particulate Emissions" Proceedings
Sixth Symposium on the Transfer and Utili-
zation of Particulate Control Technology
Vol3 (1986)

(7) M. W. Duncan. S. C. Yung et al.
" Pilot Demonstration of Air Curtain
Control of Bougant Fugitive Emission"
Proceedings Fifth Symposium on the
Transfer and Utilization of Parti-
culate Control Technology Vol. 1
Feb. (1986)

(8) H P Good fellows et al.
"Process Fugifive Paticulates -----
Design Methods For Enclosures" Procee-
dings: Sixth Symposium on the Transfer
and Utilization of Particulate Control
Technology Vol3 Nov. (1986)

(9) 黎在时 “电炉除尘技术的现状和展望”

工业安全与防尘 № 6 (1 9 8 7)

(10) F. Neulinger. HSchummer

"Computer Optimized Precipitators-----Operational Experience and Test Results" Proceedings: Second International Conference on Electrostatic Precipitation
Nov. (1984)

(11) K Porle, Y Matsui

" Practical Equipment Now Available for Pulse Energization will save Energy and Improve Performance" Proceedings Second International Conference on Electrostatic Precipitation
Nov. (1984)

(12) P.L.Feldman KS Kamcer

"High-temperature, High-Pressure Electrostatic Precipitation Current Status" Proceedings: Second International Conference on electrostatic precipitation
Nov. (1984)

(13) RA. Winch LJ. Pflug.

"Start-up and Operation of Reverse-Air Fabric Filter on A 550 MW Boiler" Proceedings: Fifth Symposium on the Transfer and Utilization of Particulate Control Technology Vol3 Feb.(1986)

(14) L.S. Hovis "Economics of Advanced Electrostatic Stimulation of Fabric Filtration" Proceedings: Sixth Symposium on the transfer and Utilization of Particulate Control Technology Vol3 Nov. (1986)

(15) 煤炭部安全情报中心站粉尘分站 "集尘技术发展状况"
国内外煤矿粉尘防治技术资料选编(1986)

(16) 冶金环保情报网 "对八种微粒控制装置进行评价"
冶金环保情报资料《微粒控制技术》(1981)

(17) 劳动人事部粉尘检测技术指导站 "粉尘检测技术"
《工业安全与防尘》№5(1987)

(18) 冶金工业部安全环保局 《冶金安全年鉴》1984

(19) 冶金工业部安全环保局 《冶金环保年鉴》1983~1984

(20) 邵强、彭泰瑞 "乡镇企业防尘现状与展望"

第一届全国工业防尘学术会议论文集 (1985)

(21) 武汉冶金安全训练班 《冶金矿山通风防尘》
冶金出版社 1976

(22) 许邦令 "有关尘源控制技术现状分析"

第一届全国工业防尘学术会议论文集 (1985)

个体粉尘采样器

张希仲 刘 凡 刘光铨

(中国预防医学科学院 环境卫生与卫生工程研究所)

一、前言

应用个体采样方法与吸入性粉尘卫生标准来评价作业场所中粉尘对人体的危害程度是目前一种较为科学的方法。吸入性粉尘卫生标准规定了在所有粒径范围内的粉尘中哪些是能够进入人体呼吸系统的粒子,个体采样测量结果是由工人佩戴在呼吸带的仪器测得的时间加权浓度。由于粉尘浓度在时空上的差异以及粉尘分散度的不同造成现有方法采样结果可能进入人体内的粉尘剂量相关系数很小。而个体采样器能够比较真实地提供粉尘对人体危害程度的数据。现在世界上许多国家研制了多种个体采样器,可以测定接触粉尘浓度和呼吸性粉尘浓度,并将它作为评价作业环境对人体危害程度的标准采样仪器〔1〕。国内此类仪器的研究工作起步较晚,近几年虽也研制了几种个体采样器,但都未能推广应用。本文采用冲击器结构作为个体采样器的分粒装置,可同时测定呼吸性粉尘浓度,仪器具有收集性能稳定、结构简单、体积小、重量轻、使用方便等优点,便于在基层工矿企业广泛应用。

个体采样器是对作业场所进行卫生学评价的一种测试仪器,它所测定的粉尘浓度为一个工作班的呼吸性粉尘(Respirable Dust)浓度和个人接触粉尘的时间加权平均浓度(TWA),因此

必须满足相应的卫生标准的要求。即对采样器应提出如下要求。对于采样入口应满足总粉尘的标准；对于分粒装置应符合呼吸性粉尘的卫生标准。本文以我国关于总粉尘的国家标准及ACGIH呼吸性粉尘卫生标准为依据。

二、个体采样器的设计思想

自六十年代以来，国外个体采样及冲击器理论的研究有了很大发展，有关的实验数据及理论模型逐渐建立。根据Marple等人的最新研究结果〔2，3〕，本文认为描述冲击器内部流场的Stokes方程与描述粒子运动轨迹的Newton方程的解可分别表示为，

$$f(Re, u, v, x, y) = 0$$

$$f(St_K, u, v, x, y, t) = 0$$

如果冲击器内部流场一定时， St_K 数就决定了粒子的运动轨迹。在几何相似的冲击器内其收集效率是粒子运动轨迹的函数，

$$\eta = f(Re, St_K)$$

当 Re 在100~3000范围内变化时， $\eta = f(St_{Ks0})$ 变化不大。因此在几何相似及流体动力学相似的冲击器内，可用 St_K 数来控制收集效率，使得求解复杂的Stokes方程与Newton方程的问题简化为工程设计上用无因次数 $St_{Ks0}^{\frac{1}{2}}$ 等于常数来控制收集效率的问题。根据这一简化的理论模型，本文采用基本公式对个体采样器各个参数进行设计计算。

$$St_{Ks0}^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{C_{pq} V_0}{9 \mu D_0} \right)^{\frac{1}{2}} d_p$$

当采用冲击式分粒装置去拟合ACGIH卫生标准曲线时，存在着冲击器收集效率曲线斜率较大而卫生标准曲线斜率较小的问题。

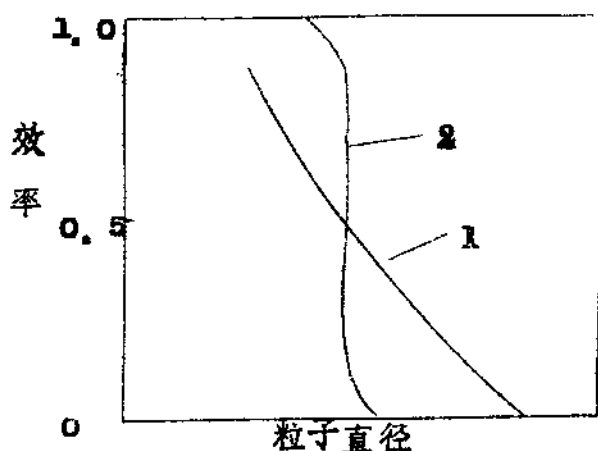


图1 冲击器穿透曲线与卫生标准曲线

1——ACGIH

2——冲击器穿透曲线

〔图1〕。国外许多学者曾提出一些解决方法，例如采用复合喷嘴结构、在捕集板上涂油等，但这些方法都给采样器的加工或使用带来一定困难。由冲击器理论可知，当喷嘴 Re 较小时，喷嘴内边界层变厚，出口速度呈二次方分布，出口断面各点速度差异较大，使得粒子在出口不同位置具有不同的惯性，从而捕集效率曲线比较平滑。本文正是根据这一原理，在不改变采样流量及 $d_{p_{50}}$ 的前提下，以多喷孔结构代替单喷孔结构，降低了喷孔 Re 来解决这一问题。通过数学推导有下列关系式，

$$\text{当 } Q_1 = fQ_0 \text{ 时, } D_1 = f^{\frac{1}{3}}D_0, \quad Re_1 = f^{\frac{2}{3}}Re_0$$

即，当喷孔流量 Q 降低 f 倍时，喷孔直径 D 降低 $f^{\frac{1}{3}}$ 倍，而喷孔 Re 降低 $f^{\frac{2}{3}}$ 倍。

个体采样器由单喷孔变为8个喷孔， Re 由1000降低到200。使冲击器的性能曲线能够更好地模拟ACGIH卫生标准曲线。

在监测个人接触浓度时，个体采样器所捕集的粒子应为每个工人呼吸区域内的总粉尘，因此应尽量减少粒子在入口处的损失。个体采样器由工人佩戴在工作车间等室内使用，可以认为是在静止空气中采样，应符合汇点流动模型〔4〕。在静止空气中采样，必须考虑由于粒子的惯性力及重力作用对采样真实性的影响。当采样口吸入速度大于2.5倍的粒子沉降末速度时，重力对于吸入效率的影响不大于4%，当采样口直径大于1.0倍的粒子停止距离时，粒子惯性力对于吸入效率的影响小于1.6%。满足上述两项要求的采样口直径可由下式表出：

$$1.0 \left(\frac{Q\tau}{4\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \leq D \leq \frac{2}{5} \left(\frac{Q}{\pi g \tau} \right)^{\frac{1}{2}}$$

式中，D——采样器入口直径；

Q——采样器流量；

g——重力加速度；

τ——粒子张弛时间。

按照这个公式设计出的个体采样器入口，对于2.5微米粒子，吸入效率为0.94。

在设计中还考虑了减小粒子反弹、增加采样器容尘能力的方法。冲击器内的粒子反弹会造成大粒子的收集效率降低。个体采样器在 $d_{p,0} = 3.5$ 微米的冲击板前，加一级预处理级，将大粒子捕集下来，使到达第二级的能够产生反弹的大粒子的数量很少，以达到保持接集效率不降低的目的。另外由于采用多喷孔结构，喷孔Re降低，也减小了粒子反弹。个体采样器在过滤层上有两级冲击板，喷嘴由单个改为多个，使得器尘面积大大增加，提高了采样器的容