

粉尘浓度的连续监测

〔苏〕A. П. 克里门科 等著

柴振荣 译

吴安 校

新时代出版社

粉尘浓度的连续监测

〔苏〕 A. II. 克里门科 等著

柴振荣 译

吴安 校

新 时 代 出 版 社

内 容 简 介

本书专门阐述工业粉尘浓度的连续监测问题。书中介绍了化学、建筑材料、面粉等工业企业排放的粉尘性质；提出了对工业粉尘监测仪器的要求，叙述了工业排气道粉尘浓度的测量方法，着重评价了光学测量方法的优点；介绍了苏联和其他国家研制的工业用光学测尘仪的结构及技术性能；同时，展望了工业粉尘监测的发展前景。

读者对象：从事工业企业工艺和通风排尘监测与净化工作的工程技术人员，亦可供高等院校攻读大气保护专业课程的学生参考。

НЕПРЕРЫВНЫЙ КОНТРОЛЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЫЛИ

А. П. Клименко

В. И. Королев

В. И. Шевцов

Издательство «Техника» 1980

*

粉尘浓度的连续监测

〔苏〕А. П. 克里门科 等著

柴振荣 译 吴安 校

新时代出版社出版 新华书店北京发行所发行

国防工业出版社印刷厂印刷

787×1092 毫米 32 开本 4.25 印张 87 千字

1984年3月第1版 1984年3月北京第1次印刷

印数：0,001—4,500册

统一书号：15241·34 定价：0.47 元

译者序

工业生产过程中，通过烟囱和通风系统不断向大气排放各种粉尘，也有某些工艺设备在操作过程中所产生的粉尘直接进入大气。这些工业粉尘，一方面污染空气，危害人体健康，破坏生态平衡；另一方面，许多粉尘经回收处理，可以成为有用的原材料，而某些粉尘本身就是宝贵的原料、半成品或成品。可见，对粉尘的排放实行有效的监测，进而控制和减少粉尘的排放，实乃一项紧迫而又具有重大经济和社会意义的任务。

现在人们已经拥有足够的技术手段，来大大降低工业企业的排尘量。在大气保护工作中，工业粉尘的连续监测有着重要的意义。通过连续监测，可以透彻分析工业企业的排尘状况，最合理地解决防止空气污染的各项任务。

工业粉尘的连续监测，有助于达到下列各项目标：揭示企业排尘的基本规律；探求除尘设备的最佳工作状态，研究各种因素对除尘效率的影响；提出采用最有效的净化手段的方案；及时报告除尘设备的故障；就超出允许排放标准的严重情况发出信号；根据除尘设备的状况预报排放量。

本书专门研讨工业粉尘连续监测的有关问题及解决途径。现将其介绍给我国读者，相信对环保工作将有所裨益。

由于水平所限，译文中难免存在缺点和错误，欢迎读者批评指正。

IV

本书翻译过程中，曾得到张曾杨、李泽民、张敬贤诸同志的帮助，在此谨表衷心的感谢。

目 录

工业粉尘排放源	1
化学工业企业排放的粉尘	1
建筑材料工业企业排放的粉尘	6
其他工业企业排放的粉尘	9
对粉尘浓度连续监测仪器的基本要求	15
对测尘仪的要求	15
测尘仪的使用条件	17
关于测尘仪适应现代生产要求问题	19
监测的可信度, 测量区域和取样装置安装	
位置的选择	21
粉尘浓度连续监测方法与测量转换器的选择	31
吸收式光学测尘仪	42
粉尘浓度光吸收测量法	42
苏制吸收式光学测尘仪	58
其他国家公司生产的吸收式光学	
测尘仪	61
散射式光学测尘仪	69
含尘气流的光散射性质	69
粉尘浓度光散射测量法	75
苏制散射式光学测尘仪	90
其他国家公司生产的散射式光学测尘仪	107

VI

粉尘浓度监测的展望	108
粉尘的多点监测	108
工业粉尘监测的经济效果	110
工业粉尘浓度监测的展望	112
参考文献	126

工业粉尘排放源

化学工业企业排放的粉尘

随着化学工业的迅速发展，排入大气的物质急剧增加。各种排放物不仅污染大气，而且对人体健康十分有害。有害物质多系有机物，按其物理化学特性，一般均具有挥发性，容易在周围环境中散布。其中有些物质，还是初次出现。除此而外，还往往生成二次化学反应物质，其危害性要远远超过原物质〔61〕。

化学工业部门所进行的大气保护工作，主要有以下几个方面：为新建项目制定和利用更加完善的工艺过程；确立新的方法进行有害排放物的净化和废物的利用；通过对老厂改造，减少其有害物的排放量，以及对陈旧的老厂采取关闭措施。

苏联化学工业部系统，已有约 200 个大型环境保护项目投产，总处理能力为 6 亿/千万米³〔26〕。仅仅集中投资的净化设施和其他环境保护项目的建设，就耗资 7 亿 3 千万卢布。一批大型综合净化设施在顺利运行，其中有：莫吉廖夫化学纤维生产联合企业，每昼夜处理能力为 15 万米³；伏尔加格勒烧碱生产联合企业，每昼夜处理能力为 13 万米³；切尔卡塞氮气生产联合企业，每昼夜处理能力为 8 万米³。

为了防止化学工业有害排放物对环境的污染，需要大量的投资。例如，美国齐伏隆化学工业公司，仅在建立净化设施

和为了减少排放物而改进主要生产工艺上，在一个化肥厂就耗资 150 万美元，约占该厂总投资的 50 %。再如西德，仅化学工业每年的环境保护基建投资就约为 15 亿马克，而运转费用则为 20 亿马克〔56〕。

无机肥料生产企业排放的粉尘 无机肥料工业，是国民经济的重要部门之一。其生产持续发展，预计到 1990 年无机肥料及原料磷的产量将增加 1 ~ 2 倍〔25〕。

化学工业生产磷、氮、钾肥和复合肥料以及微量元素肥料。在原料运输、成品的机械加工和热加工以及分装与装卸过程中，均产生大量的粉尘。现代过磷酸钙工厂的粉尘浓度为 3 ~ 79 毫克/米³，但筛选和破碎机处的粉尘浓度要高得多，可达 380 ~ 640 毫克/米³。在氮肥生产中，操作间的粉尘浓度为 4 ~ 10 毫克/米³。而在复合肥料生产中，成品间的粉尘浓度最高。由于在该操作间进行产品的最后机械加工和热加工，粉尘含量可达 2.5 ~ 51 毫克/米³。在微量元素化肥生产中，分装间筛选机处的粉尘浓度约为 3.3 ~ 54.6 毫克/米³。

由于无机肥料的生产特点，对大气的排放物含有多种成分，计有过磷酸钙、磷钙土及尿素（氮肥生产）等的粉尘。以波兰人民共和国为例，磷肥厂的排放系数为 1.1%（每加工一吨原料排放 1.1 公斤粉尘），同时磷的粉尘约占粉尘总量的 50 %〔82〕。

无机肥料生产企业所排放的粉尘，为细分散度粉尘。例如，过磷酸钙粉尘颗粒的尺寸有 96.5 % 在 1.4 微米以下。磷粉尘颗粒的平均直径为 17 微米。作者曾利用 ЭИП-11 型分散度测定仪，对戈麦尔化工厂氟盐车间排入大气的氟化铝粉尘分散度组成进行了研究。所用仪器为全自动的，测定频

粒尺寸范围为 $1 \sim 100$ 微米, 误差 $\pm 12\%$ 。图 1 为所得直方图。粉尘为多分散度的, 但有一个明显的最大值。颗粒为凸起形的, 最大与最小直径比接近 1。

无机肥料生产企业排放的粉尘, 具有很大的毒性。粉尘损害鼻、咽、喉粘膜, 并引起周围神经系统、骨骼肌肉系统、肝脏、支气管等疾患以及粘膜炎。

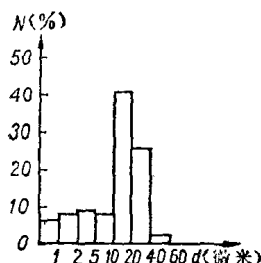


图 1 氟化铝粉尘颗粒直方图

日用化工企业排放的粉尘 日用化工企业与住宅建筑物间按保健要求设置的距离一般最小。其排放物在较低高度进入大气, 通风系统的排放物大大超过工艺过程中的排放物。

粉状合成洗涤剂工厂的表面活性物质, 对大气的污染最为严重。其每昼夜总排尘量为 $5 \sim 167$ 公斤〔10〕。与此同时, 粉状合成洗涤剂的生产逐年不断增长〔46〕。合成洗涤剂生产工艺过程中产生的大量粉尘, 污染厂房和空气, 对人体危害很大。这种粉尘成分复杂, 既有表面活性物质, 诸如烷基芳基磺酸盐、烷基磺酸盐、硫酸钠、硅酸钠、粗制碳酸钠等, 也含有机化合物, 诸如羧基乙基纤维素和颜料等。实际上, 合成洗涤剂生产的各个阶段均有粉尘产生。随着干燥剂一起排入大气的粉尘数量最大。虽然经过串联在一起的粉尘沉降室、旋风除尘器、多管旋风除尘器和洗涤器的预先净化, 干燥剂仍可将 1.4% 以下的产品带入大气。如果干燥塔的生产能力为每昼夜 100 吨, 则在干燥剂净化后每昼夜排入大气的粉尘

计算量可达 120~1380 公斤。

不管粉尘的成分怎样，人吸入含尘浓度大的空气，会刺激呼吸道，造成粘膜炎，有时也能引起胃肠病。表面活性物质毒性不大，但往往刺激皮肤，引起过敏反应。在装卸碳酸钠时，工人手部皮肤发生麻木现象，并造成鼻粘膜溃烂。

对于生产粉状合成洗涤剂企业所排放的粉尘，专门作了毒性研究[14]。使用《光明》牌洗衣粉粉尘，对动物进行了试验研究。该粉尘为细分散度的，72%的颗粒尺寸在 2 微米以下。实验表明，粉尘浓度为 17~75 毫克/米³时，可导致心血管系统、神经系统、骨髓、肝脏和肾脏功能的某种变化。结果确定：《光明》牌洗衣粉在空气中的界限浓度为 17 毫克/米³；对上呼吸道刺激作用界限为 10 毫克/米³；生产工房空气中粉尘的极限允许浓度为 3 毫克/米³。

对于含 22% 磺烷油的《荷花》牌洗衣粉，粉尘的极限允许浓度为：生产工房空气中——2 毫克/米³；居民区近地空气层中——0.1 毫克/米³[43]。为了满足上述标准，净化装置的总除尘效率不得低于 98.2%。

对于生产《荷花》牌、《海鸥》牌、《行星》牌粉状合成洗涤剂企业的排放物，曾用 ЭИП-11 型仪器研究了粉尘的分散度组成。图 2 为所得直方图。在测量之前，粉尘先用筛眼孔径为 50~60 微米的筛子过筛。所得结果与沉降分析数据之差为 10~20%。

此外，还用显微检测法研究了《荷花》牌洗衣粉的形状和分散度组成[6、17]。研究结果用《明斯克-22》型电子计算机进行了统计处理。结果确定，粉尘颗粒为凸起形的，外形平均统计系数为：

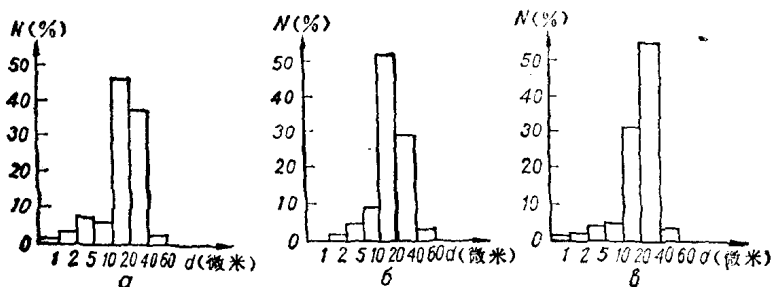


图2 粉状合成洗涤剂粉尘颗粒直方图

a—《荷花》牌；б—《行星》牌；в—《海鸥》牌。

$$\bar{k}_\phi = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{d_{i\text{ макс}}}{d_{i\text{ мин}}} \quad (1)$$

式中 $d_{i\text{ макс}}$ 、 $d_{i\text{ мин}}$ ——分别为 i 颗粒的最大与最小尺寸；

$n=600$ ——颗粒的数量；

$\bar{k}_\phi=1.2$ ，即大多数颗粒实际上为球形的。

颗粒尺寸为 5~200 微米。颗粒平均统计直径为 50 微米。

根据显微检测法所得分散度分析结果，绘出了颗粒数 $N(d)$ 按直径 d 分布的直方图（图3）。对于所得实验分布，得出颗粒数按尺寸的密度分布函数解析表达式如下：

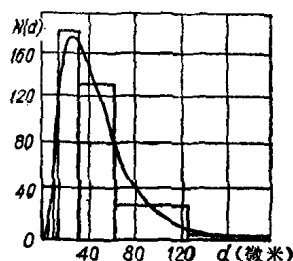


图3 《荷花》牌洗衣粉尘粒直方图及颗粒数按尺寸分布的解析曲线

$$N(d) = 7.93 \cdot 10^{-5} d^4 \exp(-1.5d^{0.5}) \quad (2)$$

由图可见，颗粒按尺寸的分布曲线向右偏移，不对称

数为 1.865。颗粒尺寸在 5 ~ 105 微米范围以内者占 95%，所研究全部尘粒直径的算术平均值为 49 微米，即同平均统计直径相差 2%。

建筑材料工业企业排放的粉尘

建筑材料企业排放的粉尘，占苏联所有工业部门总排放量的 27.4%。其中以水泥、石灰、石膏等无机胶凝材料生产排放的固体颗粒，对大气的污染最为严重。

水泥生产企业排放的粉尘 水泥生产过程，由采石场、备料、焙烧和磨细几个车间完成。粉尘污染主要是焙烧和磨细车间造成的，备料车间（湿法生产）和运输车间次之。

备料车间的粉碎机、升降机和干燥滚筒，在处理粘土和石灰石的时候均产生粉尘。该车间干燥滚筒排出的废气中，粉尘浓度达 15~40 克/米³。采用干法生产时，原料研磨机也产生粉尘，排出空气的粉尘浓度达 40~50 克/米³。而在湿法生产时，该过程不产生粉尘。回转式水泥窑排出的废气含尘量达 10~20 克/米³。在磨细车间，水泥磨细机在运转过程中产生粉尘。磨细机排出空气的粉尘浓度达 120 克/米³。水泥的总逸走量约为 6%。根据文献[38]的数据，粉尘逸走量为投窑原料量的 5~25%。

水泥粉尘为细分散度粉尘。其中大多数颗粒尺寸小于 10 微米。根据文献[45]的数据，下列设备排出的粉尘中尺寸小于 10 微米的尘粒以质量百分比计算分别为：磨煤机——30%，回转窑——42%，水泥磨细机——28%。回转窑排放粉尘的分散度极不稳定，主要取决于工艺条件，另外也取决于气流速度。下面列出不同工艺条件下，回转窑排放物中尺寸小于

10微米颗粒的百分比含量:

回 转 窑	10微米以下颗粒含量(%)
装有旋风式热交换器	63~87
湿法生产(原料为白垩)	40~68
湿法生产(原料为石灰石与泥灰岩)	20~50

对美国 101 座水泥厂的调查表明, 各厂排放的粉尘中颗粒尺寸小于 30 微米者占 85% [54]。

排放物中粉尘的化学成分, 取决于水泥的化学成分, 并且变化很大。它的碱与硫酸酐含量高于原料中的含量。粉尘中含有熟料, 未分解的原料颗粒和氧化钙。按照文献 [45] 的数据, 粉尘的成分包括: 氧化硅——14.7%; 氧化铝——8.56%; 氧化钙——36.7%; 氧化镁——22.2%; 氧化铁——2.7%。原料与粉尘中碱性氧化物的比例不同, 但没有得出硅酸盐与氧化铝饱和系数变化的普遍规律。由于窑内工作规范不同, 甚至同一个窑粉尘的化学成分也会有很大的变化。

水泥粉尘的密实密度约为 2540~3300 公斤/米³。此种粉尘的粘合力极强, 这对除尘设备的运转可靠性不利。水泥粉尘的电气性质, 取决于温度、气体介质的含水量以及粉尘的化学成分与分散度组成等许多因素。粉尘的电阻率在 $2.5 \times 10^{11} \sim 1.4 \times 10^5$ 欧姆米之间。

水泥粉尘是若干种呼吸器官职业病的诱因。粉尘促使嗅觉分辨器官和植物神经系统对刺激的感应能力下降, 还使长期居住在空气被水泥厂污染情况下的儿童发生某些其他生理变化。水泥粉尘的有害作用, 在很大程度上与直接作用于呼吸器官及皮肤粘膜的强碱反应和吸湿性有关。刺激作用主要

来自氧化钙。

如果抽气不良，又不能有效地净化，水泥厂就可以成为空气的严重污染源。例如，年产量 40 万吨的水泥厂，可在半径 2 公里的范围内使大气的含尘量达到 20 毫克/米³。

除尘工艺过程的效率，在很大程度上取决于根据粉尘的物理化学性质（浓度、温度、电阻等）所选用的除尘设备。

苏联目前采用的除尘设备，有旋风除尘器、多管旋风除尘器和布袋除尘器。例如，奥恰科夫钢筋混凝土构件厂使用的除尘器为 MΦY-24 和 ΦB-30 型布袋除尘器。而在主要污染源为混凝土搅拌机、钢筋车间、木工车间和造型准备工段的契尔吉佐夫钢筋混凝土构件厂，混凝土搅拌机配用旋风除尘器；水泥库配用 ΦBK-30 型布袋除尘器；木工机床则配用气体净化科学研究所（莫斯科）设计的 LIH-15 型旋风除尘器。

东德的建筑材料工业，采用电除尘器、布袋除尘器和旋风除尘器来清除水泥厂废气中的粉尘。经过除尘器后的粉尘残含量分别为：旋风除尘器——500 毫克/米³；布袋除尘器——20~500 毫克/米³；而在电除尘器后则很少，仅为 20~35 毫克/米³〔79〕。虽然采取了上述措施，但每年向大气的排尘量仍达 18~19 万吨。

美国、加拿大、瑞士和印度，采用电除尘器、旋风除尘器、布袋除尘器进行除尘工作，或几者结合使用。采用上述设备，可将成品损失率降低至 0.3%（瑞士）、1.2%（加拿大）、2%（美国）、9.75%（印度）。

下面所列为美国采用的除尘设备效率〔55〕。

除 尘 设 备	除尘效率 (%)
旋风除尘器	70~80
旋风除尘器 + 电除尘器 (老式)	95
电除尘器 (老式)	90
电除尘器 (新式)	99~99.9
布袋除尘器	99~99.9

石灰生产工业企业排放的粉尘 苏联石灰生产逸尘总损失为 4~5%，每年达 900~1000 万卢布。粉尘以细分散度的为主，颗粒尺寸小于 0.28 微米，40% 化学成分为氧化钙和氧化镁。排放物中的粉尘浓度相当高，可达 1210~3700 克/米³。

其他工业企业排放的粉尘

面粉工业企业排放的粉尘 面粉的粉尘属于有机粉尘，为典型的电介质。面粉粉尘的颗粒尺寸差异极大，由 0~100 微米不等。其中高级面粉的颗粒基本上在 30 微米以下，一级面粉的颗粒在 30~70 微米之间，二级面粉的颗粒在 100 微米以上。在磨粉机内面粉粉尘颗粒平均尺寸为 15~20 微米。下面为面粉不同组分的百分含量〔27〕。

每种组分颗粒尺寸(微米)	每种组分含量 (%)
80~54	7.4
54~44	15.7
44~35	11.1
35~28	14.8
28~23	14.4
23~6.1	36.6

文献[16]的作者采用显微检测法,进行了面粉粉尘的分散度分析研究。分析物为高级面粉(放大280倍),采用煤油作分散液。研究结果(图4)表明,面粉粉尘是颗粒尺寸为5、21与34微米的三个单分散度粉尘之混合物。其中主要是尺寸为5微米的颗粒(35.1%),尺寸为21微米的颗粒占10%,尺寸为34微米的颗粒占2.6%,即颗粒含量比为14:4:1。

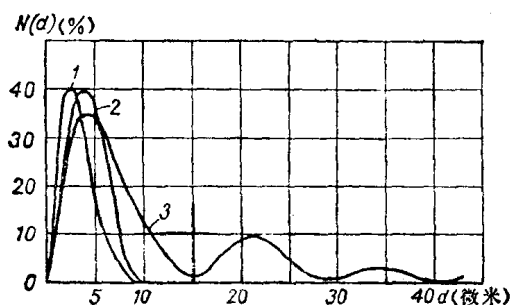


图4 粉尘分散度组成曲线

1—煤粉(细微组分); 2—含石英粉尘; 3—面粉粉尘。

文献[34]介绍了面粉粉尘分散度组成随时间变化的研究结果。研究对象为复式吸尘器气流中的粉尘。复式吸尘器运转5小时后粉尘分散度组成的变化甚微,说明除尘设备运转状况稳定。

面粉工业的除尘设备广泛采用旋风除尘器。使用旋风除尘器对空气进行二次净化的效果最佳。表1所列为面粉生产各工段排入大气的粉尘浓度与净化系数[37]。

热电厂排放的粉尘 在锅炉、工业炉等固定设备燃用各种燃料过程中,有大量的固体尘粒(粉尘、灰尘、烟尘)