

气体净化设备的监测 和自动控制

冶金工业出版社

气体净化设备的监测 和自动控制

〔苏〕 Ю.Д.格列波夫 著
谭天祐 石建国 译

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书译自Ю.Д.格列波夫著《КОНТРОЛЬ И АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГАЗООЧИСТНЫМИ УСТАНОВКАМИ》一书，1982年。

本书阐述了气体净化设备监测和自动控制的特点和基本任务以及工业排放物净化过程监测的方法和仪器。书中根据自动调节的理论，着重研究了自动控制和自动调节的气体净化设备。同时，阐明了自动控制系统的设计、安装及调试的基本原则，并列举了气体净化设备自动调节系统标准单元的应用实例，其中着重介绍了电除尘器、袋式除尘器及湿式除尘器工作的自动化。

本书可供从事工业通风、劳动保护、环境保护以及工业物料回收方面的设计、科研和工程技术人员及管理人员使用，也可供高等院校有关专业的师生参考。

气体净化设备的监测和自动控制

(苏)Ю.Д.格列波夫 著

谭天祐 石建国 译

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张 6 5/8 字数 175 千字

1987年5月第一版 1987年5月第一次印刷

印数00,001~3,300册

统一书号：15062·4492 定价1.85元

前 言

目前，防止工业生产排出物的污染、保护环境，已成为具有全国意义和国际意义的突出问题之一。苏共中央及苏维埃国家，遵循保护大自然及合理利用自然资源的列宁主义原则，经常地和坚定地对保护环境问题给予极大的关心。

苏联制定了世界上第一个大气清洁度标准。苏联的大气环境受专门法律保护，并由各部联合组织具有广泛权力的气体净化和除尘设备技术监督检查处来监督这些法律的执行。颁发新的自然保护法（苏联1980年6月25日通过的“大气保护法”）是苏共中央和苏联政府对环境保护经常不断关心的鲜明体现。

苏联宪法最完整地反映了社会主义保护大自然的原则。苏联在经济领域中的成就，奠定了实现大型环境保护设施的坚实基础。国家仅在第十个五年计划期间就为此拨出了基本建设投资一百一十亿卢布。

苏联的学者、工程师及技术人员研制了高效气体净化设备，这些设备的技术经济指标超过了国外同类型设备。

此外，冶金工业参与执行的宏伟国民经济计划，要求采用新的不污染大气的生产工艺并进一步改进气体净化设备的结构及其使用条件。目前，没有气体净化设备的自动化，没有相应的组织技术措施来促进气体净化过程中减少或完全免除人力劳动，就不可能实现气体净化设备的高效工作。

根据在工艺过程中人员参加工作的程度，可分为下列几种类型的自动化：自动监测、自动调节及自动控制。自动监测可保证提供获得和处理工艺过程实时状态各种信息的必要条件。自动调节是指对所控制的过程通过自动装置保持给定的参数。自动控制可理解为对控制对象实现给定的连续工艺程序。可设置遥控装置、工艺信号装置及事故保护装置等作为切断自动装置或实现部

分自动化时的补充措施。

烟气净化设备自动化具有重大的社会意义。自动化可以提高气体净化设备的效率、改变劳动性质、提高生产率、改善劳动条件、降低事故率和提高气体净化设备工作的安全性。自动化可以从根本上完善、强化并创造出新的气体净化过程，而这些用人工控制是无法实现的。自动化的经济效益表现在：在气体净化过程能力和效率都提高的条件下降低电耗、水耗及压缩空气耗量。

从整体来说，苏联气体净化方法自动化的现有水平，许多指标都超过了最发达的国家。然而就自动化程度来说，许多气体净化设备还落后于一些主要的冶炼和热工设备。提高气体净化设备工作效率的任务，决定了气体净化过程的监测、调节和控制进一步自动化。解决这些任务的出发点，是在应用数学和计算机技术所取得的成就的基础上，对各种最优自动调节系统进行综合。因此当前迫切的任务在于研制监测含尘气流下述特性值的有效传感器，如含尘量、分散度、比电阻等。研制除尘和气体净化基本过程的最优自动化系统和最优控制的数学模型有着特殊的重要性。

因此解决除尘工程问题的专家应了解含尘气流监测的现代化手段、自动控制理论基础、调节和控制的现代化手段和自动化系统，以及在气体净化设备的设计中及其在冶金企业中运行时采用自动装置的可能性。

学习本课程的大学生，必须学完《热工测量及仪表》、《除尘理论基础》、《冶金工业中的除尘和气体净化》等课程，具备这方面的知识。

作者衷心感谢技术科学博士Ю.Г.亚罗申科、技术科学副博士B.M.索韦特金、Ю.П.帕夫连科、Г.М.阿利耶夫对本书提出的宝贵意见和建议。

目 录

前 言

第一篇 工业排放物净化过程的监测仪器	1
第一章 工业排放物监测的计量特点	1
1.1 含尘气流的基本特性	1
1.2 对净化过程监测仪器的要求	8
1.3 测量误差	9
1.4 必需的测量次数	12
1.5 粉尘浓度及分散度测量方法及仪器的分类	12
第二章 预采样的粉尘浓度测量方法及仪器	14
2.1 测量粉尘浓度的操作步骤	14
2.2 采样条件及采样系数的确定	15
2.3 浓度场系数	17
2.4 采样管结构	18
2.5 从采样气体中捕集粉尘的方法和装置	19
2.6 重量法测定粉尘浓度的仪器组装	23
2.7 重量法测量粉尘浓度的操作步骤	23
2.8 粉尘浓度的计算	23
2.9 重量法测定含尘浓度过程的自动化	25
第三章 粉尘浓度直接测量的方法及仪器	38
3.1 光测法	38
3.2 电测法	44
3.3 超声测尘仪	51
第四章 粉尘分散度的测定方法及仪器	53
4.1 机械方法	53
4.2 沉降法	57
4.3 流体动力法	63
4.4 光测法	78
4.5 电导法	87

第五章 工业粉尘理化性质的测定	90
5.1 空气渗透法测量粉尘比表面积	90
5.2 粉尘比电阻的测定	91
第二篇 气体净化设备的自动化	93
第六章 自动化系统的基本原理	93
6.1 自动调节系统的一般概念	93
6.2 元件和自动化系统的静态特性和动态特性	96
6.3 确定动态特性的试验方法	99
6.4 根据反应曲线确定动态参数	104
6.5 根据脉冲特性曲线确定动态参数	107
6.6 根据对象对周期扰动的反应确定动态参数	107
6.7 自动控制系统的分类	109
6.8 单元环节的概念及其特性	112
6.9 单元环节的连接	120
6.10 自动调节系统的稳定性、品质和可靠性	121
第七章 自动调节器	128
7.1 自动调节器的分类和调节规律	128
7.2 调节器种类的选择及其整定	134
7.3 自动调节器的元件	142
7.4 气动调节器	145
7.5 电动调节器	148
7.6 液压调节器	150
第八章 自动化系统的设计和运行	151
8.1 设计文件的制定	151
8.2 自动化系统的安装与调试	154
第九章 气体净化设备自动调节系统的标准部件	155
9.1 气体净化设备的温度调节	156
9.2 气体净化设备灰斗中的料位调节	157
第十章 气体净化设备工作的自动调节和自动控制	164
10.1 电除尘器净化气体过程的自动化	164
10.2 袋式除尘器净化气体过程的自动化	195
10.3 湿式气体净化设备净化气体过程的自动化	203

第一篇 工业排放物净化过程的 监测仪器

第一章 工业排放物监测的计量特点

1.1 含尘气流的基本特性

冶金炉窑排出的含尘气流是一不稳定的系统，该系统所具有的特征是粉尘浓度、尘粒粒径或分散度、尘粒的形状、密度、化学成分、爆炸性、尘粒的生物活性、电性及磁性等等，其中最重要的是粉尘浓度、分散度及电性。

粉尘浓度是指单位烟气体积中尘粒的质量或数量。对冶金炉排出烟气中的粉尘浓度进行监测，可以改进冶金生产工艺，减少产尘，并可用以评定气体净化设备的工作性能，保持气体净化系统的最优工作状况，以满足大气中空气清洁度的标准等等。由于粉尘浓度随时间而变化，其浓度范围又很广，建立统一的测试方法是困难的。

分散度是指不同粒级范围内的粉尘质量或数量百分数。测定分散度的重要技术意义，在于它可以对现有气体净化设备的效率进行客观的评价，而对新建的净化设备进行预测。当测定分散度时要解决两方面的问题，即确定各粒级内尘粒的大小及求出各粒级内尘粒所占的百分数。

在这种情况下，必须克服由于下述情况所造成的困难，即尘粒在气流中可能会凝聚成较大的聚合物（有时也可能产生相反的现象）。

凝聚是由于布朗运动所引起的，或者是由于尘粒在重力、电力、流体动力及其它力的作用下所作的有规则运动叠加于布朗运动之上而造成的。冶金生产中产生的粉尘，其形状、密度、颜色及粒度各不相同，使上述困难更为增加。尘粒的形状是由其形成的原

因所决定的。例如，铁蒸气在含氧炉气中凝结成球形氧化物；钛蒸气与氮化合后成立方体的结晶体；铝蒸气与氮化合后生成八面体的结晶体。由图1-1中可以看出，冶金生产排出粉尘的粒径大小，由粗分散性粉尘到高分散性粉尘，相差可达几个数量级。

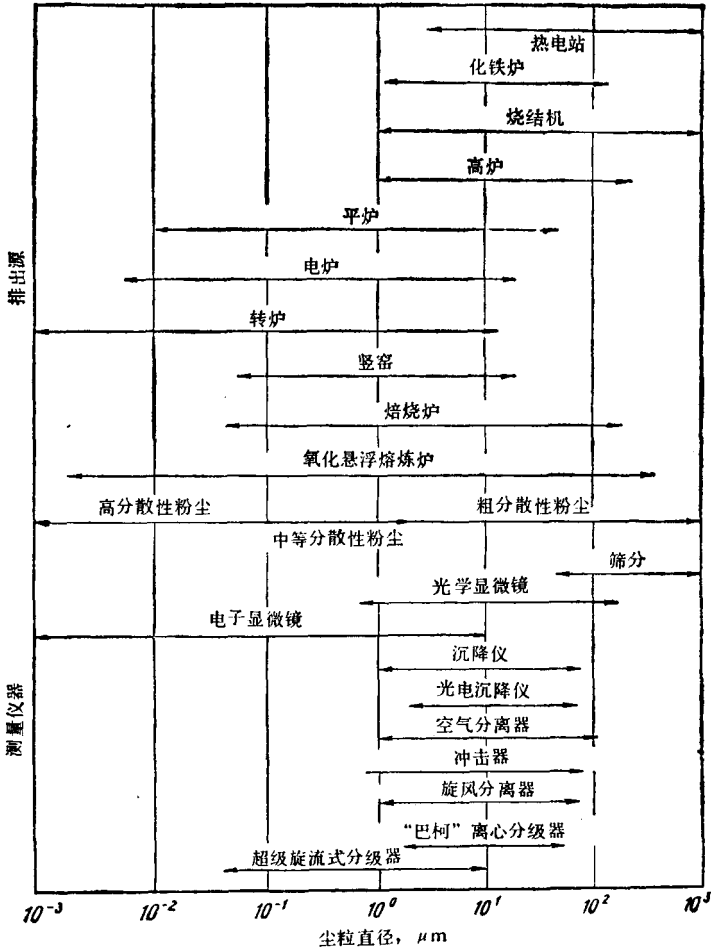


图 1-1 冶金生产排出粉尘的分散度及其测定仪器的使用范围

分散度测定结果，通常都表示成以粒径为自变量的微分分布曲线或积分分布曲线。由微分分布曲线（图1-2a），可以确定在粒径范围 $(x, x+dx)$ 内，尘粒所占的百分数。由微分分布曲线、横轴及在点 x_1 及 x_2 处的两条纵轴所包围的面积，表示粒径大小处于 x_1 到 x_2 的范围内尘粒所占的百分数（数量或质量）。微分分布曲线的优点是直观性强。积分分布曲线表示大于或小于给定粒径的所有尘粒所占的百分数（数量或质量）（图1-2b）。将微分曲线积分，可得积分曲线。反之，将积分曲线微分，可得微分分布曲线。这里存在下列简单的关系式：

$$f(d) = dD/dd = -(dR/dd) \quad (1-1)$$

$$D = \int_{d_{\min}}^d f(d) dd = \int_d^{d_{\min}} f(d) dd \quad (1-2)$$

$$R + D = 100\% \quad (1-3)$$

由这些方程式中可以得出：在经常遇到的粒径范围内，积分曲线有一拐点（微分曲线上的最大值），两条积分曲线在 $D=R=50\%$ 的点处相交。由于 D 及 R 曲线同样可由各种粒径的尘粒百分数依次累加而得，所以该曲线也称为累积分布曲线。如果通过试验测得各粒径有限区间内的尘粒百分数，则可得直方图，而不是

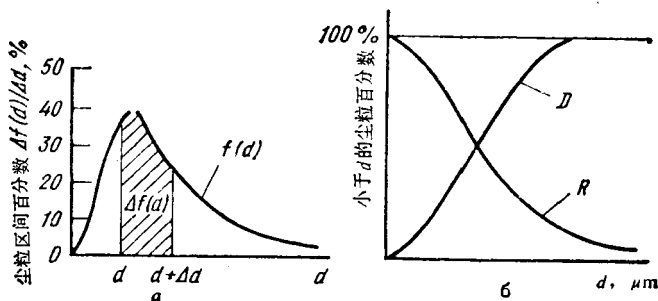


图 1-2 微分及积分分布曲线

$$a - f(d) = \frac{dD}{dd} = -\frac{dR}{dd}, \quad b - D + R = 100\% \quad R - \text{筛上累积分布曲线; } D - \text{筛下累积分布曲线}$$

连续曲线。

如果 $f(d)$ 能找到相应的数学表达式表示,则根据分散度进行的各种计算(例如粉尘表面积的计算或平均粒径的计算等)要简单得多。通常可以采用对数正态分布作为近似的函数式。对经过相当长时间研磨的粉尘(这时可以认为由于研磨所得的粉尘与原始物料的绝对粒度大小无关),A. H. 柯尔摩哥洛夫(A. H. Колмогоров)从数学上论证了采用对数正态分布作为它的粒径分布函数的可能性。按粉尘粒径大小的质量对数正态分布函数式为:

$$D(d) \rightarrow f(d) = \frac{1}{\ln \sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^d \exp \left[-\frac{(\ln d - \ln d_{50})^2}{2 \ln^2 \sigma} \right] d \ln d \quad (1-4)$$

式中 d_{50} ——中位径,它表示将粉尘的全部质量分成两相等部分时的尘粒直径,即小于 d_{50} 的所有粉尘的质量与大于 d_{50} 的所有粉尘的质量相等,各占总粉尘质量的50%;

$\ln \sigma$ ——尘粒粒径偏离其平均值的对数标准偏差。

中位径也称为几何平均径,可按下式计算:

$$\ln d_0 = \frac{\sum n \ln d}{\sum n} = \frac{n_1 \ln d_1 + n_2 \ln d_2 + \dots + n_n \ln d_n}{\sum n} \quad (1-5)$$

式中 $n_1, n_2, \dots, n_n$ ——各粒径所占的百分数。

在对数正态分布中对数标准偏差表示粒径的分散程度:

$$\ln \sigma = \sqrt{\frac{\sum [n(\ln d - \ln d_0)^2]}{\sum n}} \quad (1-6)$$

式(1-4)中的积分不可能用初等函数来表示。为了求得未知函数,可将其变换成新的自变量 t 的函数:

$$t = (\ln d - \ln d_{50}) / \ln \sigma \quad (1-7)$$

自变量 t 称为标准正态分布值，这一值的平均数为 0。经过上述代换，可得新自变量的函数：

$$D(d) = F(t) = F\left(\frac{\ln d - \ln d_{50}}{\ln \sigma}\right) \\ = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt \quad (1-8)$$

这一函数称为标准正态分布函数，其变化范围为 0 到 100%。

如果用横坐标表示 $\ln d$ ，而纵坐标表示标准正态分布函数的相应值，则分散度为一直线。利用对数概率纸很容易求出分布参数值 d_{50} 及 σ ， d_{50} 相应于 $t=0$ 的值，而 $D(d)=84.1\%$ 及 $D(d)=15.9\%$ 相应于 $t=\pm 1$ 的值。由此可得：

$$\ln \sigma = \ln d_{84.1} - \ln d_{50} = \ln d_{50} - \ln d_{15.9} \quad (1-9)$$

及
$$\sigma = d_{84.1}/d_{50} = d_{50}/d_{15.9} \quad (1-10)$$

若已知中位径 d_{50} 及 σ 值，则可由式 (1-10) 中计算 $d_{84.1}$ 或 $d_{15.9}$ ，并根据相应的筛下值作出分布曲线。作曲线时，有时还要利用其他一些参数，引如 d_{50} 及 $D(2d_{50})$ 或 d_{50} 及 $D\left(\frac{1}{2}d_{50}\right)$ 。

为简化分散度的计算，尘粒的大小假定为某一球体的直径。但是实际中很少遇到几何形状规则的尘粒，于是很难确定实际尘粒的大小。因此，引入几种当量直径的概念，其意义为：

- 1) 与尘粒投影面积相等的圆的直径 d_a ；
- 2) 与尘粒投影的周长相等的圆的直径 d_p ；
- 3) 与尘粒容积相等的圆球的直径 d_v ；
- 4) 与尘粒表面积相等的圆球的直径 d_s ；

5) 按尘粒在各种力场中运动速度计算的直径，例如 $d_{s, k}$ ，它是按在斯托克斯 (Stokes) 定理适用范围内的尘粒沉降速度计算的。

用不同的分散度测定方法测得的当量直径也不同。例如，光学法可测得 d_a ，沉降法和流体动力法测得 $d_{s, k}$ 。每一种方法所测得的值都不相同，因为各种方法都具有一定的，并不经常与其它

方法相同的使用范围。因此，分散度测定结果的对比性问题有着重要意义。利用尘粒的形状系数 f_a 及体积系数 k_a 的概念，可按下列各式分别计算尘粒的表面积及体积：

$$f_a d_a^2 = \pi d_v^2 \quad (1-11)$$

$$k_a d_a^3 = \pi d_v^3 / 6 \quad (1-12)$$

如果已知系数 f_a 及 k_a ，利用式(1-11)及式(1-12)可求出 d_a 与 d_v 之间的关系。根据对任意形状的尘粒所测得的长 l 、宽 b 及厚 h 的结果，可计算出系数 f_a 及 k_a 。这种尘粒的投影面积按下式计算：

$$s_a = \frac{1}{4} \pi d_a^2 = \alpha_a l b = \alpha_a n b^2 \quad (1-13)$$

式中 n ——尘粒的长度与其宽度的比值；

α_a ——尘粒的当量宽度与其实际宽度的比值。

尘粒的体积按下式计算：

$$v_a = s_a h_a = s_a c_a h = \alpha_a n b^2 c_a b / m \quad (1-14)$$

式中 m ——尘粒的宽度与其高度的比值；

c_a ——尘粒的当量厚度与其实际厚度的比值。

由式(1-13)、(1-14)可以得出计算体积系数 k_a 的方程式：

$$k_a = \alpha_a c_a n b^3 / (m d_a^3) = \pi \sqrt{\pi} c_a / (8 m \sqrt{\alpha_a n})$$

如果尘粒的各尺寸都相等，即 $l=b=h$ ①，或 $n=m=1$ ，则体积系数等于：

$$k_{p,a} = \pi \sqrt{\pi} c_a / (8 \sqrt{\alpha_a}) \text{ ②} \quad (1-15)$$

某些几何形状的尘粒的体积系数，其特征值如下：

	$k_{p,a}$	N	$N(k_{p,a})^{4/3}$
立方体	0.696	2.55	1.571
球体	0.524	1.86	0.785
棱柱体	0.328	4.36	0.986

① 原书误为 n ——译者注。

② 原书误为 $\pi / \sqrt{\pi} [c_a / (8 \sqrt{2 \alpha_a})]$ ——译者注。

形状系数 f_a 按下式计算:

$$f_a = 1.57 + \left[N \left(\frac{k_{p,a}}{m} \right)^{4/3} \frac{n+1}{m} \right] \quad (1-16)$$

k_a 及 f_a 值列入表1-1中。

表 1-1 冶金生产粉尘的 k_a 及 f_a 值及其比值

物 料	尘 粒 形 状	k_a	f_a	f_a/k_a	d_v/d_a
氧化铁 铝:	球 形	0.524	3.14	6.0	1.00
颗粒状	细 珠	0.32	2.75	8.6	0.85
团聚状	细 絮 状	0.02	1.60	80.0	0.34
合金铝	薄 片	0.25	2.67	10.7	0.78
电解铜	细 薄 片	0.18	2.32	12.9	0.70
钢	碎 片	0.36	2.65	7.4	0.88

d_a 、 d_s 及 d_v 之间的关系如下:

$$k_a d_a^3 = k_v d_v^3 = k_{s t h} d_{s t h}^3 = k_A A^3 \quad (1-17)$$

因此:

$$k_v = k_a \left(\frac{d_a}{d_v} \right)^3; \quad k_{s t h} = k_a \left(\frac{d_a}{d_{s t h}} \right)^3$$

$$k_A = k_a \left(\frac{d_a}{A} \right)^3 \quad (1-18)$$

取 $k_a = 0.25$ 及 $f_a = 2.60$, 对不同当量径, 各种方法所求得的尘粒直径比值如下:

当量径	d_a	d_s	d_v	$d_{s t h}$	A
d_x/d_a	1.00	0.91	0.78	0.69	0.71
d_a/d_x	1.00	1.10	1.28	1.45 ^①	1.41

下面举例说明所得关系式的应用。当用筛分法测定烧结过程产生粉尘分散度时, 筛孔孔径 $A = 152 \mu\text{m}$ 。分析尘粒的几何形状可得: $n = 1.5$, $m = 1.4$, $k_{p,a} = 0.43$ 。要求计算尘粒的表面积、体

① 原书误为0.45——译者注。

积及其投影直径 d_o 。首先计算 $Nk_{p,o}^{4/3}=0.96$,而由式(1-16)得 $f_a=2.59$ 。由式(1-15)可求得体积形状系数: $k_o=k_{p,o}/m\sqrt{n}=0.25$ 。然后求得比值 $d_o/A=1.41$ 。

其次计算: $k_A=f_a(d_o/A)^3=0.25\times 1.41^3=0.701$; $f_A=f_a(d_o/A)=2.59\times 1.41^2=5.15$ 。这时,尘粒的表面积: $f_A A^2=5.15\times 152^2\times 10^{-8}=11.9\times 10^{-4}\text{cm}^2$; 尘粒的体积: $k_A A^3=0.701\times 152^3\times 10^{-12}=2.46\times 10^{-6}\text{cm}^3$; 当量直径 $d_o=1.41A=214\mu\text{m}$ 。

用尘粒的总表面积 $s(\text{m}^2)$ 与尘粒的总体积 $v(\text{m}^3)$ 之比来表示粉尘的比表面积:

$$s_{y\pi}=s/v \quad (1-19)$$

或用尘粒的总表面积与其质量 $m(\text{kg})$ 之比来表示:

$$s_{y\pi}=s/m \quad (1-20)$$

粉尘的总表面积可以是指外表面积或指全表面积。粉尘的外表面积取决于其基本的几何形状,并可用空气渗透法测定,而全表面积是指分散相与介质接触的交界面面积,其中考虑了各种缝隙及开孔的表面积。这样,当计算 $s_{y\pi}$ 时应指出计算其总表面积的方法。

粉尘的电性能取决于粉尘层的比电阻($\text{Y}\Omega\text{C}$)。粉尘的比电阻又取决于粉尘层的厚度、湿度、温度、介质的化学成分及其它因素。在一般情况下,粉尘的比电阻($\Omega\cdot\text{cm}$)等于:

$$\rho=R s_o/h \quad (1-21)$$

式中 R ——粉尘层的电阻, Ω ;

s_o ——测定电极的面积, cm^2 ;

h ——粉尘层厚度, cm 。

为了简化比电阻的测试工作,测定电极尺寸的选择应使 $s_o/h=1$,这时式(1-21)的形式为:

$$\rho=R \quad (1-22)$$

1.2 对净化过程监测仪器的要求

为了使净化过程的监测仪器具有必需的计量指标,仪器应满

足某些规定的要求。

1. 仪器读数的变差应最小。变差是指在外界条件不变的情况下，相应于测定量同一实际值时，仪器重复读数之间的最大差值。变差产生的原因是在仪器中有余隙、磨损等等。

2. 仪器应能定期自动校正零点及校正刻度上的某一读数。

3. 灵敏度必需高，即测量装置应能对测定量的变化立即有所反应。用输出信号 Δx_{out} （指针摆动、记录笔的线性移动或角转动）与测定量 Δx （输入信号）之比来定量地评价仪器灵敏度的高低。例如，当粉尘浓度增加100mg，光电测尘仪的信号增加4.0mA，因此光电测尘仪的灵敏度为 $4\text{mA}/100\text{mg}=0.04\text{mA}/\text{mg}$ 。灵敏度阈值是指能够产生输出信号的测定量的最小值。

4. 监测仪器工作性能应可靠。测量装置的工作性能，应该能在要求的时间间隔内完成给定的功能，而保持其特性值在给定范围内不变。

5. 仪器动作应迅速（即由测定量开始变化到能测取读数的时间应该很短）；工作特性值应稳定；携带方便；使用质量良好；对粉尘浓度场及分散度分布的影响最小。

1.3 测量误差

从原则上说，每一测量值都具有误差 Δ ，误差可理解为读数值 x_a 与真值或实际值 x 之间的差：

$$\Delta = x_a - x \quad (1-23)$$

真值是指用没有误差的理想测量仪器所测得的值。实际上这一值都用实际值所代替，实际值是用测量精度较高的标准仪器所测得的。误差由许多因素的作用而产生，这些因素与测量对象、仪器结构、外界作用等等有关。对测量有着严重影响的因素所引起的误差称为系统误差。作用不大的因素所引起的误差称为偶然误差。系统误差可以通过引入修正值加以消除，该修正值的大小与误差值相同，符号相反：

$$\beta = x - x_a \quad (1-24)$$

如果在已知及相同条件下多次重复进行测量，则测得的值接

近于期望值(数学期望值), 期望值为无限多次测量结果的平均值。在这种情况下, 系统误差 Δc 可用下式表示:

$$\Delta c = m(x) - x \quad (1-25)$$

同样偶然误差 $\dot{\Delta}$ 可由下式计算:

$$\dot{\Delta} = x_i - m(x) \quad (1-26)$$

式中 x_i —— 单一测量值。

数学期望值可由下式决定:

$$m(x) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n}{1} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1-27)$$

当测定次数有限时, 为了计算 m_x 值, 可利用平均值:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

将 $\bar{x}$ 代入方程式(1-26), 可得:

$$\dot{\Delta}_i = x_i - \bar{x} \quad (1-28)$$

这时平均误差 $\dot{\Delta}_{cp}$ 及均方差 σ_{cp} 可按下式计算:

$$\dot{\Delta}_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n |(x_i - \bar{x})|}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \dot{\Delta}_i \quad (1-29)$$

$$\sigma_{cp}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \dot{\Delta}_i^2 \quad (1-30)$$

测量粉尘浓度、分散度的特点是: 根据直接测得的一系列参数值(温度、流量、压力、干净滤筒及积尘滤筒的质量等), 按相应的方程式进行计算才能求得粉尘浓度及分散度值。在一般情况下, 可以写出计算所求得值 u 是直接测定值 x, y, z 的函数:

$$u = f(x, y, z) \quad (1-31)$$

在这种情况下, 可按下式评定所求值的概率偶然误差:

$$\dot{\Delta}_u = \sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial x} \dot{\Delta}_x\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} \dot{\Delta}_y\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z} \dot{\Delta}_z\right)^2} \quad (1-32)$$

最大误差按下式计算: