

嵇敬文編譯

工厂有害物质 通风控制的原理和方法

中国工业出版社

知
乎
知

知
學

PDG

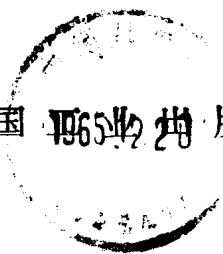
86.3631
641

嵇敬文編譯

工厂有害物质 通风控制的原理和方法

15364

中国工业出版社



本书专门论述在工业生产过程中，运用全面通风和局部抽气来稀释、排除灰尘、毒气等有害物质，使之不致危害人体的基本原理和設計方法；并以局部抽气为论述重点。

全书共分十章。第一章讲与通风控制有关的有害物质动力性质以及灰尘分散到空气中的原理，第二章讲全面通风，第三章到第九章讲局部抽气，第十章讲观察和测定技术。

本书可供从事通风和劳动保护工作的工程技术人员、設計研究人員参考，也可供設有通风课程的大专学校做为教学参考书。

工厂有害物质通风控制的原理和方法

嵇敬文編譯

中国工业出版社編輯出版(北京修德門西10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $7^{3/16}$ ·插頁2·字數186,000

1965年4月北京第一版·1965年4月北京第一次印刷

印數0001—7,010·定价(科四)0.95元

統一書号: 15165·3648(綜合-36)



序

这几年，我国虽然出版了不少有关通风方面的书籍，但是，据我所知，比較系統全面地专门讲解有害物质通风控制的书籍还没有。編譯这本书就是在这方面的一个尝试。

本书主要是采用 W.C.Hemeon: Plant and Process Ventilation, Drinker and Hatch: Industrial Dust, J.M.Dalla-Valle: Exhaust Hoods, 和 John L.Alden: Design of Industrial Exhaust Systems 四书中的有关材料編譯而成，尤以第一本书为主。有些地方还补充了最近国外杂志上的資料。因为原书用的是英制单位，很多实验图表都是根据英制单位数据繪制成的，更改有困难，所以全书仍采用英制单位，而在书末附有英制公制換算表，以供讀者查閱。

限于水平，书中一定有很多缺点，甚至錯誤，希望得到广大讀者批評指正，以便今后修訂。

編譯者

目 录

引 言	1
第一章 空气污染物的动力性质和灰尘分散的机理	3
§ 1 灰尘、烟、雾、气体和蒸气	3
§ 2 颗粒的降落	4
§ 3 颗粒的投射	16
§ 4 污染物的比重与惯性对通风控制的影响	19
§ 5 尘化	23
§ 6 二次空气运动	27
第二章 全面通风	30
§ 1 空气分布	30
§ 2 换气率	33
§ 3 工业溶剂的通风	35
第三章 局部抽气的一般原理	47
§ 1 抽气罩的型式	47
§ 2 控制惯性物和控制细灰尘的区别	51
§ 3 等速面	53
第四章 外部抽气罩的空气动力特性	60
§ 1 圆形和矩形抽气口	60
§ 2 条缝形抽气口	67
§ 3 比较复杂的抽气口	68
第五章 外部抽气罩和抽气室的设计与应用	74
§ 1 外部抽气罩的设计方法	74
§ 2 外部抽气罩的应用	83
§ 3 抽气室的设计和应用	90
§ 4 经济的抽气室和外部抽气罩设计方法	93
第六章 物料处理系统的灰尘控制	103

00003

VI

§ 1	誘導空氣的計算	103
§ 2	抽氣封閉罩的設計	121
§ 3	幾種主要生產設備的灰塵控制	122
第七章	熱過程的排氣	133
§ 1	熱體造成的氣流	133
§ 2	傘形罩	138
§ 3	熱過程抽氣罩內的热壓作用	151
第八章	吹吸系統	159
§ 1	自由射流的特性	159
§ 2	敞口槽上吹吸系統的設計	166
§ 3	空氣幕	172
第九章	局部抽氣系統的設計	176
§ 1	管道輸送速度	176
§ 2	預防抽塵系統堵塞和磨損的方法	182
§ 3	系統阻力	187
第十章	現場調查	206
§ 1	空氣污染源的位置	206
§ 2	誘導氣流的測定	208
§ 3	利用靜壓決定空氣流量	210
§ 4	壓力測定	217
§ 5	控制效果的鑑定	220
§ 6	風機性能的估計	221
附录:	英制、公制換算表	224

引 言

用通风的方法来控制工业生产中产生的灰尘和毒气等有害物质是工业卫生技术措施的主要内容之一。这个方法可以分成两大类：一类是全面通风，另一类是局部抽气。

全面通风的作用，主要是以清洁空气和緩地連續冲淡生产場所全部空气中的有害物质，使之不超过容許浓度。因此，也可以称之为稀释通风。虽然在大部分情况下全面通风不如局部抽气好，但也有一些場所使用它是有利的。例如，当車間內遍布有害物质发生源，而产生的有害物质数量不大，能够用适当的风量充分加以稀释的地方，采用全面通风就比较經濟有效。

局部抽气是，不等有害物质散布到工作場所空气中以前，就从形成的地方把它吸入抽气罩，經過管道系統排至建筑物外面，或被空气净化設備净化后再排出去。

要使通风措施得到最好的效果，必須在进行設計以前对每一个准备通风的生产过程的特性分別加以充分研究。因为有害物质需要控制的程度和应当采用的控制方法受許多因素的影响，很少可以同样对待的。

首先，通风措施的目标是要使工作場所空气中有有害物质浓度不超过标准，而各种有害物质的最高容許浓度差別頗大，这样，能够应用的方法和設計数据也就不同。有些容許浓度很低的有害物质控制起来是相当困难的。

設計通风控制系統的难易，容許浓度还不是唯一的决定因素，同样重要的另一因素是有害物质的产生率。有时一种剧毒物质虽然容許浓度极低，但是每单位時間产生的数量很少，那么控制起来就比较容易。

进行通风控制是否困难还有一个有影响的因素，是有害物质

发生源。虽然有很多形成灰尘和有害气体的地方完全可以依靠肉眼观察，但也有看起来不明显的。如果不能把所有发生源都检查出来，就难以取得良好的通风效果。

各种生产过程促使有害物质分散的机理是不同的，因而应当采取的与之相适应的措施也就不同。即使是同一种生产过程，由于操作方法不一样，可以采用的控制措施也会有差别。

设计通风控制系统，气流是个重要问题。如果抽气罩本身的气流特性不能适应需要，车间中的气流影响抽气罩抽吸有害物质，或是全面通风的气流分布不当，就要发生排除或稀释有害物质的效果不好或工人由于局部风速过大而感到不舒适等问题。

仅仅从上面提到的一些因素就能看出，要成功地设计一套控制有害物质的通风装置，并不是十分简单的事。必须充分掌握与这门技术有关的各种客观规律，使它达到十分完善的程度，才能满足需要。

一般说来，工程技术的发展过程往往要通过三个阶段。在第一阶段，可以广泛应用的原理是十分缺乏的，所能利用的往往只是不很明确的经验数据。这些数据颇难很恰当地普遍引用。这时，进行设计并取得良好效果，主要依靠设计人员的经验。在第二阶段，经验已经结晶为若干原理，而设计则变成应用这些原理的实践。当经验更加发展时，就可能达到第三阶段，在此阶段，设计原理广泛地化为手册、数据的形式。这样，就有可能由设计经验不足的人来完成设计工作。自然，在第一阶段也有数据手册，但在第三阶段主要的不是增加经验数据，而是着重根据基本规律得出一系列相互有关连的数据。

若干年来，用通风控制有害物质这门工程技术，虽然有了不少进步，但仍有许多地方在很大程度上还处在第一阶段，这和完善地控制有害物质的要求是不相适应的。因此，还需要从事这项工作的工作人员，很好地发展这一工程技术。

第一章 空气污染物的动力性质和灰尘分散的机理

§1 灰尘、烟、雾、气体和蒸气

这一章要讨论的是空气污染物与空气的运动关系，这是运用通风控制有害物质这门技术的基础。从这个角度出发，我们需要按物理性质而不是按卫生性质将污染物分类。这样，一般可以分成以下几类：

(1) 灰尘 (dust) 是分散在空气中的很小的固体。它的形成，除去破碎以外，没有其他任何化学的或物理的变化。在大气中悬浮的尘粒尺寸大部分为0.25到20微米，而以0.5到5微米的数量最多。

(2) 烟 (fume) 是在包含状态变化的某些化学或物理过程——通常是氧化、升华、蒸发和冷凝的热过程中形成的为空气传播的固体颗粒。虽然烟颗粒的尺寸有一部分和灰尘一致，但总的说来，要比灰尘小得多。一般是在0.5微米以下。用电子显微镜可以看出，处在0.01微米到0.1微米范围内的占很大数量。

产生烟的一种普通现象是，高温的熔融金属，如铅或锌，迅速挥发并氧化成氧化铅或氧化锌的固体颗粒：



金属 蒸气 空气 烟

某些盐，象氯化铵，当温度升高时不经过熔融状态而升华，到周围大气中冷却后就凝结成很小的烟颗粒。

蜡也可以在高于它们的熔点时挥发。当温度降低时，蒸气又凝结成很细的为空气传播的颗粒悬浮物。油烟的形成过程与此相同，但它是成为液态的微小油滴，这和固体蜡不同，故以归入“雾”一类为宜。

在有些情况下灰尘和烟的界限很难明显划分。例如，燃烧粉煤产生的飞灰，虽然是从剧烈的化学和物理过程中形成的，但因其颗粒粗，还是归入灰尘一类较好。熔融的铅表面迅速聚集一层氧化铅膜，一经搅动就为空气传播，这种物质是灰尘还是烟也可以讨论。

(3) 雾 (mist) 是悬浮在空气中的微小液滴。液体可以经过不同的途径雾化成雾。例如，聚集在液面上的泡沫状小气泡，当泡膜破碎时，就造成雾。升到电镀溶液表面上来的氢气泡便是电镀溶液的雾的发生源。落入液槽的液流也造成泡和雾。海盐在条件有利于形成泡沫时，也由同样的机理为空气所传播。

如果液体是固体的水溶液，成雾后水蒸发掉，就形成和溶解在水中的物质成分相同的悬浮于大气中的干颗粒系。干的悬浮颗粒的尺寸是原来溶液中的固体浓度和构成雾的原来液滴尺寸的函数。从喷漆室抽出的空气中干物质的颗粒尺寸比较粗，就因为它们是由包含直径几百微米的大液滴的雾形成的，而且在原来的液态漆中固体浓度高。

(4) 气体和蒸气 (gas and vapor) 是和空气分子密切混合的分子分散体。气体在普通温度下除非受到高压不能以液态存在。蒸气通常是在普通温度下由液体气化而成。

§2 颗粒的降落

灰尘分散到空气中的状况和对灰尘的控制，都与颗粒的动力性质密切相关。因此，在讨论灰尘的分散和控制之前，需要先了解颗粒的动力特性。现在就对固体或液体颗粒在自由降落和水平投射时，速度与距离之间的关系分别加以说明。

颗粒在空气中运动受到空气的摩擦阻力，阻力的大小决定于相对的空气流动的性质，它包括层流、紊流和介于二者之间的介流（或称过渡流）三种类型。对于一定形状的颗粒[●]，流动形式

● 这里和后面的讨论，除另有说明者外，均用于球形颗粒。

可以根据雷诺数 Re 来确定。

在层流和介流以及介流和紊流之间没有明确的界限。颗粒自由降落时，流动性质，即空气阻力的逐渐变化见图 1-1。它表明，当颗粒速度增加而增加雷诺数时，相对的空气扰动的变化情况。

不管相对运动的主要形式是哪一种，在空气中运动的颗粒受到的阻力均可用下式计算：

$$F_R = \frac{C \rho u^2 A}{2g} \quad (1)$$

式中： F_R ——阻力，磅；

ρ ——空气的密度（在标准温度和压力时为0.075磅/呎³）；

u ——相对于空气的颗粒速度（呎/秒）；

A ——颗粒的投影面积（呎²）；

C ——阻力系数，为无因次数；

g ——重力加速度。

系数 C 的值随雷诺数 Re 变化，如图1-2。该图中球形颗粒的曲线是根据赖勃尔和西菲尔德（Lapple and Shepherd）得出的表1-1中的数值绘制的。

关于颗粒在静止空气中降落的速度-时间和速度-距离的关系，如果不计浮力，可以根据下列基本方程式求得：

$$F = Mg - F_R$$

$$Ma = Mg - \frac{C \rho A u^2}{2g}$$

$$a = \frac{du}{dt} = g - \frac{C \rho A u^2}{2W}$$

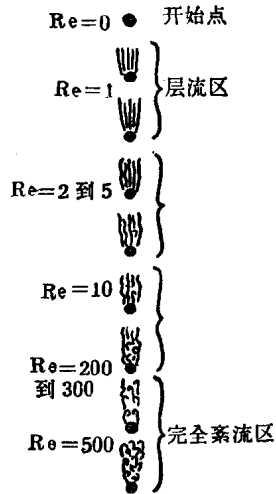


图 1-1 颗粒从静止状态开始降落时，空气扰动发展的情况

$$dt = \frac{du}{g - \frac{C\rho Au^2}{2W}} \quad (2)$$

式中 F ——净加速度力(磅)；

M ——质量或 W/g ；

W ——重量(磅)；

a ——净加速度。

其他符号同前。

表 1-1 球形颗粒的阻力系数, C

Re	C	Re	C	Re	C
0.1	240	50	1.50	20000	0.45
0.2	120	70	1.27	30000	0.47
0.3	80	100	1.07		
0.5	49.5	200	0.77	50000	0.49
0.7	36.5	300	0.65	70000	0.50
1.0	26.5	500	0.55	100000	0.48
2	14.4	700	0.50	200000	0.42
3	10.4	1000	0.46	300000	0.20
5	6.9			400000	0.084
7	5.4	2000	0.42	600000	0.10
10	4.1	3000	0.40	1000000	0.13
		5000	0.385		
20	2.55	7000	0.390	3000000	0.20
30	2.00	10000	0.405		

相当于各种速度的降落距离为

$$\begin{aligned} \Delta S &= \int_{u_0}^u u dt \\ &= \int_{u_0}^u \frac{u du}{g - \frac{C\rho Au^2}{2W}} \end{aligned} \quad (3)$$

利用此式即可得到計算各个流动区域速度-距离关系的式子。

下面我們分別看一看顆粒自由降落的三种运动。

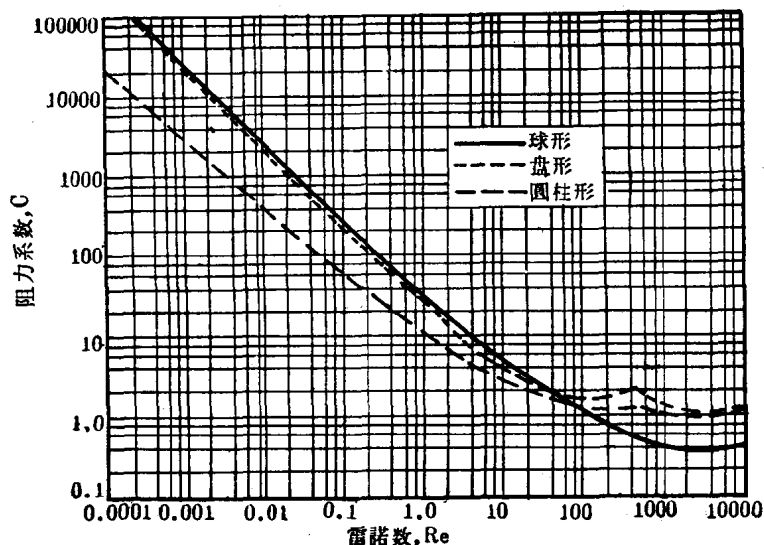


图 1-2 阻力系数和雷诺数的关系

(1) 因重力降落的层流运动 从图1-2可以看出, 直到 Re 值大約为 1 时, 斜率为常数; 在这个范围内,

$$C = \frac{24}{Re}$$

是层流区域。将这个 C 值代入一般方程式(1), 并应用 $Re = \frac{Du\rho}{\mu}$,

$A = \frac{\pi D^2}{4}$ (这里 D 都是顆粒直径, 呎), 就得到著名的斯托克斯定律 (Stokes law):

$$F_R = \frac{3\pi\mu Du}{g} \quad (4)$$

1. 末端速度 受重力 F_g 作用的顆粒在该力同阻力平衡时就

达到末端速度 u_t 。

$$F_g = \frac{\pi}{6} D^3 \rho_s$$

ρ_s ——固体颗粒的密度。

当 F_g 等于阻力时，得到

$$\frac{\pi}{6} D^3 \rho_s = \frac{3\pi\mu Du}{g} \quad (5)$$

因此，

$$u = u_t = \frac{g\rho_s D^2}{18\mu} \quad (6)$$

代入 $g=32.2$; $\rho_s=62.4Z$ (Z 是比重, 水=1); $D=\frac{d_m}{3.05 \times 10^5}$ (d_m 是颗粒直径, 微米); 空气粘度 $\mu=1.3 \times 10^{-5}$, 这个式子可以用更简便的形式来表示:

$$u_t = 9.23 \times 10^{-5} Z d_m \quad (7)$$

2. 速度增加率 将 C 代入式(3)积分, 就导出颗粒在达到层流范围内的末端速度之前, 处于加速状态期间, 速度和距离关系的方程式

$$S = \frac{u_t^2}{g} \left[2.3 \log \frac{u_t}{u_t - u} + \frac{u}{u_t} \right] \quad (8)$$

这里 u_t 可从式(7)求得, g 为32.2。

(2) 因重力降落的介流运动 这个区域内, C 和 Re 之间的关系不象层流区域那样简单。因此, 不可能简单而精确地导出阻力和末端速度。但是, 西菲尔德 (Shepherd) 已经证明, 在 $C-Re$ 图(图1-2)中的一根直线可以近似地表明这个区域的真实关系, 并得出下式

$$C = \frac{18.5}{Re^{0.6}} \quad (9)$$

应用这个 C 值和 $Re = \frac{Du\rho}{\mu}$, 得到

$$F_R = \frac{18.5}{2g} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \rho^{0.4} u^{1.4} D^{1.4} \mu^{0.6}$$

以 $\rho=0.075$ 和 $\mu=1.3 \times 10^{-5}$ 代入, 可以进一步将该式简化为

$$F_R = 0.94 \times 10^{-4} u^{1.4} D^{1.4} \quad (10)$$

1. 末端速度 当阻力和重力相等时, 就可以象层流那样得出介流末端速度近似值

$$u_t^{1.4} = 0.56 \times 10^4 \rho_s D^{1.6}$$

代入 $\rho_s = 62.4Z$ 和 $D = d_m / (3.05 \times 10^5)$, 得到

$$u_t = 0.49 \times 10^{-2} d_m^{1.14} Z^{0.72} \quad (11)$$

我们可以应用根据赖勃尔和西菲尔德的数据和方法作出的 $CRe^2 - Re$ 图(图 1-3)来确定 u_t 值。相当于末端速度 u_t 的 CRe^2

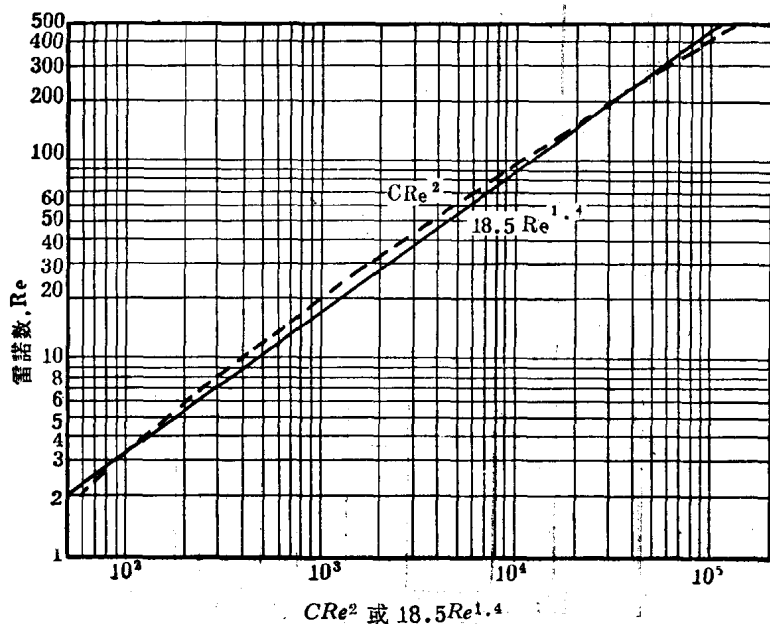


图 1-3 介流区域 CRe^2 和 Re 的关系。并以 $18.5Re^{1.4}$ 和真实数值比较

值見下式:

$$CRe^2 = \frac{4g\rho(\rho_s)D^3}{3\mu^2} = 41.9 \times 10^{-6} Z d_m^3 \quad (11a)$$

例: 求一比重 $Z = 3$ 的 100 微米球形颗粒末端速度。

解: 在末端速度时的 CRe^2 值是

$$CRe^2 = 41.9 \times 10^{-6} (3)(10^2)^3 = 126$$

从图 1-3 查出相当于 $CRe^2 = 126$ 的 Re 值是 4,

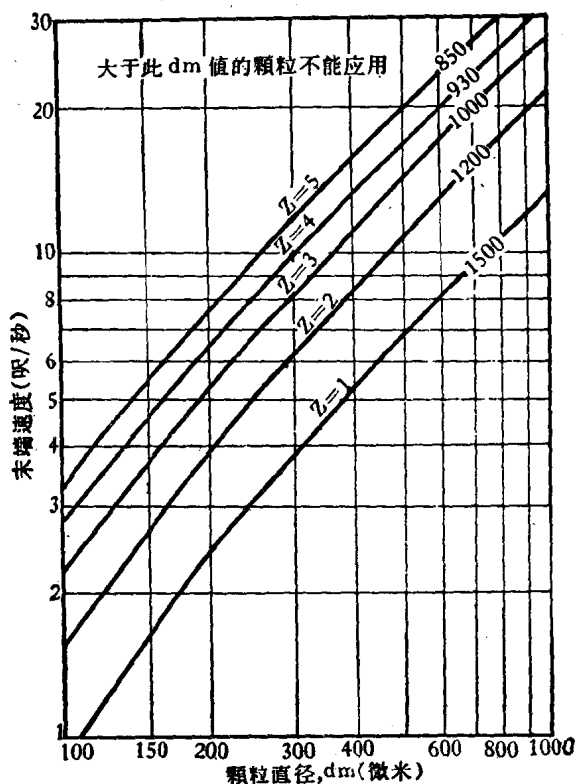


图 1-4 根据 $CRe^2 - Re$ 图求出的介流区域颗粒的末端速度

于是

$$Re = 4 = 0.0188 d_m u_t$$

这里 $d_m = 100$, 故

$$u_t = 2.1 \text{ 呎/秒}$$

为了便于参考, 现在在图 1-4 中画出按上例说明的方法计算出的末端速度。

在 $Re = 2$ 到 $Re = 500$ 的整个区域内, $C = 18.5/Re^{0.6}$ 是个相当好的近似值。从图 1-3 可以看出它和更正确的数值相一致的程度。根据这一点, 我们可以定出介流的上限相当于雷诺数 500, 虽然实际上两个区域是逐渐转变的。

2. 速度增加率 如果象层流和紊流运动那样, 用式 (9) 的 C 值代入式 (3) 积分, 将要得出一个非常麻烦的式子。比较简单的办法是根据赖勃尔和西菲尔德的基本方程式来发展 u , 和 S 的关系。

利用式 (2), 将速度 u 并入 $Re (Re = Du\rho/\mu)$, 可以得出

$$\frac{\Delta Re}{\Delta t} = \frac{\mu A (\phi - C Re^2)}{2DW}$$

这里 $\phi = 4g\rho_s \rho_s D^3 / 3\mu^2$, 其他符号同前。该式可化为

$$\frac{\Delta Re}{\Delta t} = \frac{0.15 \times 10^5}{Z d_m^2} (41.9 \times 10^{-6} Z d_m^3 - C Re^2) \quad (12)$$

用式 (12) 计算一些连续点可以制成 $u-S$ 曲线。其步骤用下例说明。

例: 作出一直径 $d_m = 500$ 微米, 比重 $Z = 1$ 的球形颗粒因重力降落时速度-距离关系的近似曲线。

解: $Re = 0.0188 d_m u = 9.4u$

从式 (12)
$$\Delta t = \frac{17.3 \Delta Re}{5240 - C Re^2}$$