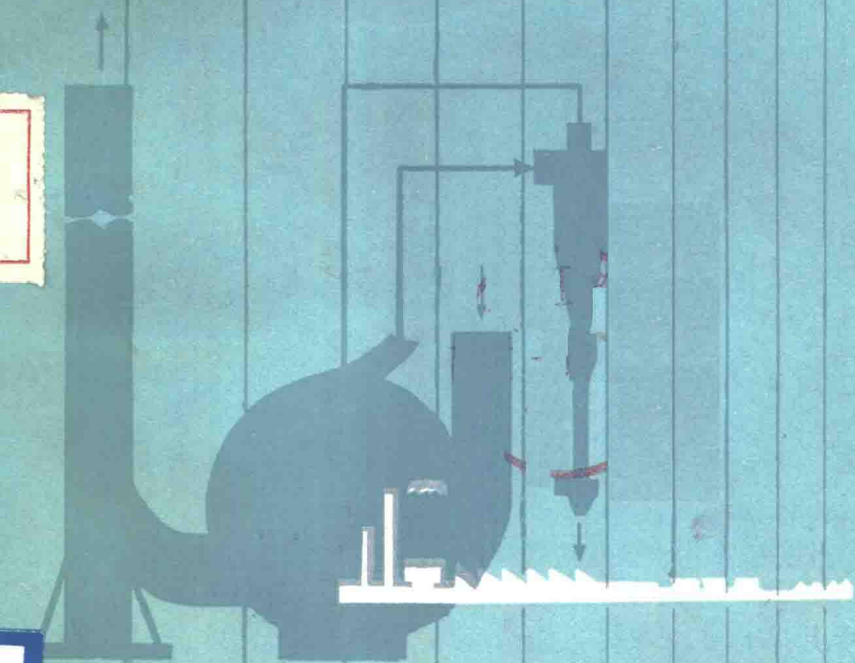


工业气体净化与除尘器 过滤器

[苏] B·H·乌索夫 等著
李悦 徐图 编译



黑龙江科学技术出版社

GONGYE QITI JINGHUA YU
CHUCHENQI GUOLUQI

工业气体净化与除尘器过滤器

〔苏〕B. H. 乌索夫 等著

李悦 徐图 编译

黑龙江科学技术出版社

一九八四年·哈尔滨

内 容 提 要

本书主要介绍苏联、美国与西德在消除除尘技术方面的新成果。全书以讨论的方式详细阐述了除尘器的气体净化机理，并列举了各种除尘器、过滤器的结构（介绍其设计、计算方法，比较了其技术经济效果）。此外，还针对各种具体工作环境提出了净化方案的设计选择等问题。

本书适于暖通专业及从事净化除尘的工程技术人员和科研人员阅读参考，对有关专业院校的师生，也有一定的参考价值。

Издательство «Химия», 1981г. МОСКВА 版译出。

封面设计：刘冀文

工业气体净化与除尘器过滤器

〔苏〕B. H. 乌索夫 等著

李悦 徐图 编译

黑龙江科学技术出版社出版

（哈尔滨市南岗区分部街28号）

长春新华印刷厂印刷·黑龙江省新华书店发行

开本787×1092毫米1/32·印张15.5·插页2·字数315千

1984年11月第一版·1984年11月第一次印刷

印数：1—2,710

书号：15217·122

定价：2.20元

编译者的话

随着国家工业现代化的进展，将会有越来越多的工业气体向空间排放，乃至污染环境，危及生态平衡和人类健康。因此，对于暖通专业和除尘技术工作者来说，清除其中有害的物质（悬浮的固体微粒、液滴及菌类等），已迫在眉睫。当然，在有些工厂里，尘埃是工艺过程的必然产物，这时除尘更是必不可少的。

目前，技术发达的国家，都非常注重除尘理论与除尘技术、设备的研究。为促进我国工业气体净化事业的发展，为专业人员提供一本有价值的实用的设计参考书，我们参照苏联1981年出版的《Очистка промышленных газов от пыли》一书进行了编译。本书主要介绍了苏联、西德和美国等国家在除尘方面的技术进展与成果。书中讨论了气体净化问题及除尘机理等内容，还为设计者展示了各种除尘器、过滤器的结构，并给出其设计计算方法及有关的技术经济指标数据，可供专业技术人员在设计中参考。

本书内容丰富新颖，以大量篇幅介绍了各种除尘器及过滤器等，作为一种专用工具书，本书具有一定的参考价值。

由于编译者水平有限，本书缺点及谬误之处在所难免，敬希读者不吝指正。

基本符号

a —单位接触表面，1/米，电晕电极与沉降电极之间的距离，米；

C_x —克宁格马—米林科修正系数；

C —单位质量热容量，焦耳/(公斤·度)；

D —扩散系数，米²/秒；直径，米；

d —直径，米；

d_M —质点的平均直径，米；

d_v —质点的气动直径，米；

d_{50} —除尘器中清除50%的质点直径，米；

E —电场强度，伏/米；

e —电子电荷， 1.6×10^{-19} 库仑；

F —力，牛顿；

G —质量流量，公斤/秒；

g —重力加速度，9.81米/秒²；

H, h —高度，米；

H_n —泡沫高度，米；

h_0 —盘中液体初始层厚，米；

i —比电流，安/米；

j —电流密度，安/米²；

K_w —湿式除尘的动力消耗量，千焦耳/1000米³气体；

k_c —波尔兹曼常数， 1.38×10^{-28} 焦耳/(度·千克分子)；

k —导热系数，瓦/(米·度)；

L, l —长度, 线性参数, 米;
 l_i —分子自由行程的平均长度, 米;
 l_p —质点惯性行程的长度, 米;
 M —1 千克分子的质量, 公斤/千克分子;
 m —液体的比流量, 米³/米³; 质量, 千克;
 n —质点浓度, 1 米³;
 n_n —离子浓度, 1 米³;
 P —压力, 帕斯卡;
 ΔP —气动阻力, 帕斯卡;
 q —电荷量, 库仑;
 R_1 —普适气体恒量, 8314 焦耳/(度·千克分子);
 r —半径, 米;
 S —除尘器的截面面积, 米²;
 S_0 —盘的自由截面, 米²/米²;
 T —绝对温度, K;
 t —温度, °C;
 U —电压, 伏;
 V —容积流量; 米³/秒; 容积, 米³;
 v —速度, 米/秒;
 v_{or} —气体的相对速度 (相对液滴、质点、绕流物体等), 米/秒;
 v_c —质点的沉降速度, 米/秒;
 w —质量速度, 公斤/(米²·秒);
 y —水蒸汽浓度, 公斤/米³;
 z —尘埃浓度 (含尘量), 公斤/米³;

- δ —膜层厚度，米；
 ϵ —物质的相对介电系数；
 ϵ_0 —介电常数， 8.85×10^{-12} 法拉/米；
 ζ —气体阻力系数；
 λ_0 —紊流度，米；
 μ —动力粘度，帕斯卡·秒；
 ν —运动粘度，米²/秒；
 ξ —清不完全（透过）系数；
 η —除尘效率；
 ρ —密度，公斤/米³；
 σ —表面张力，牛顿/米；
 σ_n —质点尺寸正则—对数分布的均方根偏差；
 σ_p —除尘器净化分效率分布函数的均方根偏差；
 τ —时间，秒；
 τ_p —松弛时间。

相似准则

$$Fr = \frac{v^2}{gl}; \quad Re = \frac{vl}{\nu}; \quad Sc = \frac{\nu}{D}; \quad Stk = \frac{d_p^2 \rho_p v_{0r}}{18\mu_c}$$

上角标

I—进口值；初参数；

II—出口值；终参数；

下角标

Γ —气体；

\mathcal{K} —液体；

\mathcal{H} —离子；

K—液滴；
П—气泡；
ПЛ—液膜；
Л—旋风分离器；
ч—质点；
C_n—层；
max—最大值；
эKB—当量值，悬浮质点的沉降参数
G—重力；
ω—离心力；
Stk—惯性力；
R—聚合（接触）；
D—扩散；
K_z—电力作用；
T—热斥；
D_e—扩散斥力。

目 录

编译者的话

绪言	1
第一章 气体除尘的物理基础.....	17
§ 1—1 质点沉降的基本原理.....	17
§ 1—2 质点的重力沉降.....	18
§ 1—3 质点的离心沉降.....	26
§ 1—4 惯性沉降.....	27
§ 1—5 啮合.....	32
§ 1—6 扩散沉降.....	34
§ 1—7 电力沉降.....	37
§ 1—8 热斥力.....	43
§ 1—9 扩散斥力.....	46
§ 1—10 紊流中质点的沉降.....	48
§ 1—11 应用电场使悬浮质点沉降.....	54
§ 1—12 各种因素作用下的除尘总效率.....	55
§ 1—13 悬浮质点的凝聚.....	56
第二章 干式机械除尘器.....	71
§ 2—1 尘埃沉降室.....	71
§ 2—2 惯性除尘器.....	78
§ 2—3 旋风除尘器.....	82

§ 2—4	旋流除尘器	103
§ 2—5	动力除尘器	108
第三章	湿式除尘器	118
§ 3—1	湿式除尘器的理论基础	120
§ 3—2	湿式除尘器效率计算	151
§ 3—3	湿式除尘器的气动阻力	159
§ 3—4	湿式除尘器润湿液体的导入	164
§ 3—5	空心式气体净化器	171
§ 3—6	填料式气体净化器	177
§ 3—7	盘式气体净化器	185
§ 3—8	带有可动球形填料层的气体净化器	195
§ 3—9	冲击惯性式气体净化器	202
§ 3—10	离心式气体净化器	207
§ 3—11	机械式气体净化器	218
§ 3—12	速度式气体净化器 (文吐里除尘器)	219
§ 3—13	气泡流失与液滴分离	237
第四章	过滤器	262
§ 4—1	过滤过程的一般概念及过滤器的分类	262
§ 4—2	纤维过滤器	264
1.	纤维过滤器中质点沉降的理论基础	265
2.	细净化纤维过滤器	272
3.	粗过滤器	277
4.	粗过滤器(预先净化器、粗纤维过滤器)	278
§ 4—3	空气过滤器	279
1.	三级空气过滤器	281

2.	油槽自洁式过滤器	284
3.	ϕ py型卷帘布式过滤器	285
4.	二级空气过滤器	286
5.	一级空气过滤器	287
§ 4—4	湿式过滤-除雾器	289
1.	低速纤维除雾器	293
2.	高速烟雾清除器	296
3.	网格除泡器	302
§ 4—5	纺织过滤器	306
1.	纺织过滤器的过滤材料	312
2.	玻璃纤维织物	315
3.	非纺织材料	317
4.	纺织过滤器的气动阻力	317
5.	纺织过滤器的安装原则	323
6.	纺织过滤器的再生方法	326
7.	反向射流吹气	334
8.	苏联生产的织物过滤器系列化结构	335
9.	纺织过滤器的计算方法	346
10.	织物过滤器的选择	349
11.	织物过滤器的运行	352
12.	除尘	354
§ 4—6	颗粒式过滤器	355
1.	颗粒式填料过滤器	356
2.	活动介质过滤器	359
3.	硬性粒状过滤器	359

4. 陶瓷过滤器	360
5. 金属陶瓷过滤器	361
§ 4—7 过滤技术的发展方向	364
第五章 电力过滤器	
§ 5—1 电力净化气体的物理基础	381
1. 电晕放电与电力过滤器的作用原理	381
2. 电晕放电电场中的质点充电	385
3. 质点在电力过滤器中的运动	387
4. 分散相对电晕放电的影响	339
5. 尘埃从沉降电极上流失问题	391
§ 5—2 现代电力过滤器电场特性	395
1. 平行板间针状电极排	395
2. 工业电极种类	404
3. 放电距离与电晕电极间距离的关系	409
4. 存在反电晕时的电场特性	411
§ 5—3 电力过滤器的分类	416
§ 5—4 沉降电极与电晕电极及其悬挂与摇振系统	418
1. 沉降电极	418
2. 电晕电极	421
3. 电的悬挂系统与摇振系统	426
4. 磁力脉动系统	429
5. 摇振	429
§ 5—5 电力过滤器的外壳与配气机构	432
§ 5—6 干式电力过滤器	438
1. ДГП及ДГПН型电力过滤器	440

2. ПГД型电力过滤器	440
3. ПГДС型电力过滤器	441
4. ДВП型垂直电力过滤器	442
5. УГТ型标准电力过滤器	448
6. УВ型标准电力过滤器	449
§ 5—7 湿式电力过滤器	453
1. ДМ型电力过滤器	453
2. ШМК型电力过滤器	455
3. СПМ—8型电力过滤器	455
4. ГМЦ型电力过滤器	456
§ 5—8 电力过滤器的供电	456
1. 供电状态及电压调节方法	456
2. 电力过滤器供电装置	462
3. 电力过滤器的高压电缆与绝缘子	463
§ 5—9 电力过滤器工作的强化	465
1. 电晕电流的分布及电晕电极的合理形式	465
2. 工业电力过滤器反电晕的产生	472
参考文献	476
第六章 除尘的经济问题	480
参考文献	485

绪 言

含有固体和液体悬浮质点的工业气体和空气，是由连续介质和分散相组成的双相系统。所谓连续介质，系指气体，而分散相，是指固态颗粒或液滴。这种双相系统称为气体分散系统或悬浮微尘。悬浮微尘可分三类：尘埃、烟和雾。

尘埃 由气态介质中的悬浮固体质点组成，这些悬浮质点是固体经机械研磨而成的粉末。例如，由粉碎机、研磨机、钻探机、机械加工机床以及包装材料、由粉末制成切割机中吸出的空气，即属悬浮微尘类。

烟 由压力很低且沉降速度很小的蒸汽质点组成。烟气尘埃系指蒸汽冷凝、蒸发以及化学和光化学反应时形成的悬浮微尘，其颗粒尺寸为0.1~5微米或更小些。

雾 由分散在气态介质中的液滴组成。液滴中可能含有溶解的物质或悬浮的固体微粒。雾通常是由蒸汽冷凝形成的，向气体介质喷射液体时也能形成雾。

为研究气体分散系统的特性，我们分别讨论多相系统的连续相与分散相的基本性质。

悬浮质点的基本性质

以后将详细讨论质点的形成方法，并对其特性进行分析。因此这里只限于讨论悬浮质点的主要性质。

质点的密度 可分为真实密度、堆积密度和视在密度。

堆积密度(与真实密度不同)考虑了尘埃质点间的空间填料。当质点结块时,堆积密度会增加1.2~1.5倍。

视在密度是质点质量与其所占空间(包括孔隙、空洞和不平度)的比值,光滑完整的物体正如其一次质点一样,其视在密度实际与真实密度相同。视在密度小于真实密度者见于可凝结或可烧结的一次质点的尘埃,例如炭黑及有色金属氧化物等。

质点的分散度 似乎颗粒的尺寸是主要参数,因为选择除尘器时,主要依据尘埃的分散度。图1示出了某些尘埃颗粒尺寸及除尘设备。

在烧结过程中,尘埃的一次质点化为烧结矿,亦即形成块状物。因此,气体净化技术中,所谓斯托克斯尺寸有重要意义。斯托克斯尺寸即是与已知非圆形质点或聚合体的沉降速度相同的圆形质点尺寸。

尘埃的分散成分,可表示为各种馏分质点的数目(或质量)。所谓馏分即尺寸位于一定范围内的质点的相对百分数。

将尘埃分散成分表示在对数坐标系中是最简便的方法。大多数工业尘埃质点的尺寸分布,遵从正则对数分布规律。因此,质点尺寸分布的积分曲线可表示为如下的解析式

$$D(d_q) = \frac{100}{\lg \sigma_q \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\lg d_q} e^{-\frac{\lg^2(d_q/d_M)}{2\lg^2 \sigma_q}} d \lg d_q \quad (1)$$

式中 $D(d_q)$ —— 小于给定尺寸 d_q 的质点相对含量;
 $\lg \sigma_q$ —— 已知分布函数的均方根误差;
 $\lg(d_q/d_M)$ —— 流动尺寸 d 与 q 给定尺寸分布的中心尺寸比值的对数。中心尺

寸即这样的尺寸，在此尺寸下，大于 d_m 的质点数等于小于 d_m 的质点数。

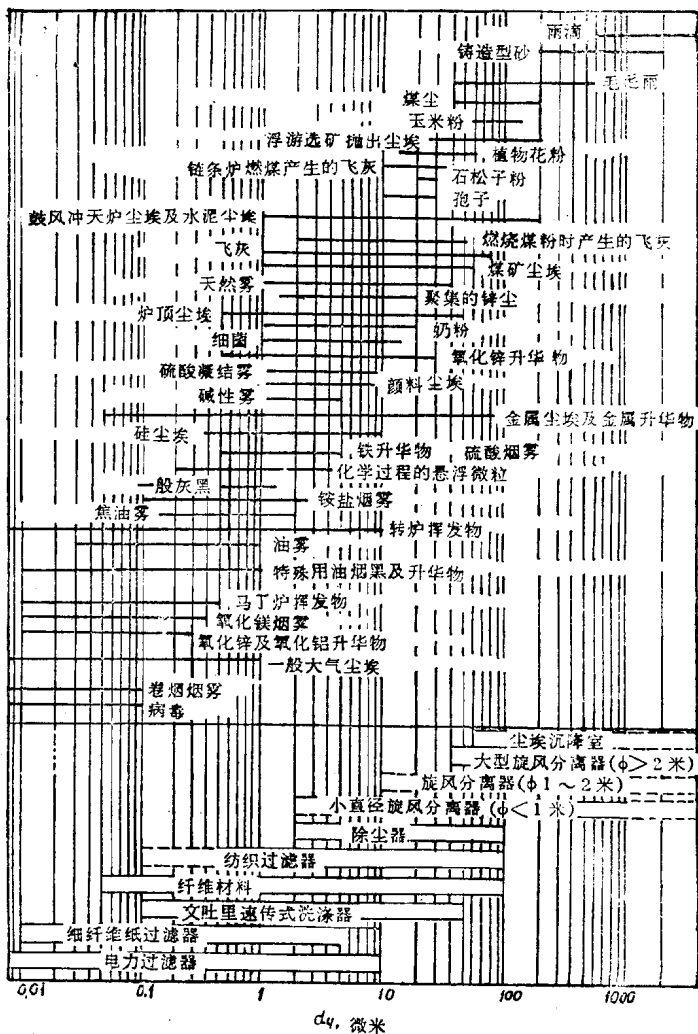


图1 悬浮质点的形式及其清除机构 (说明见正文)

$$t = \frac{\lg(d_q/d_M)}{\delta_q} \quad (2)$$

将式 (15) 代入式 (14) 得

$$D(d_q) = \frac{100}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-t^2/2} dt \quad (3)$$

公式 (3) 可用来制作或然率积分数字表, 以便进行各种计算。

可将按正则对数分布的质点积分曲线表示在或然率对数坐标系中, 这时积分曲线变为直线。基于分散度的分析, 作出曲线图后, 即可得出参数 d_M 和 d_q 的数值, 由 d_M 可得出 $D(d_q) = 50\%$, 而 $\lg \delta_q$ 根据下式求得

$$\lg \delta_q = \lg d_M - \lg d_{15.87} = \lg d_{84.13} - \lg d_M \quad (4)$$

式中 $d_{84.13}$ 和 $d_{15.87}$ —— 点的横坐标, 其纵坐标分别为 84.13% 和 15.87%

如果对于质点数目得到这种形式的分布, 则对其质量分布来说, 也具有相同的分布形式, 并且 $\lg \sigma_q$ 保持不变。这一事实是质点尺寸正则对数分布的重要性质。

除了质点的斯托克斯直径外, 除尘技术中, 还应用所谓质点的气动直径 d_{va} 。它是一个圆球的直径, 其沉降速度相当于密度为 1000 公斤/米³ 的质点沉降速度。 d_{va} 的数值可由下式确定:

$$d_{va} = d_p (\rho_p C_K)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

式中 ρ_p —— 质点密度, 公斤/米³;

C_K —— 克宁格马-米林克校正系数

有时质点的尺寸可用质点在静止空气中的自由沉降速度