

A.F. 塔加尔特 主编

选矿手册

风力分级和收尘

第二卷 第六分册

冶金工业出版社

79.4073

713

2-6

选 矿 手 册

第二卷 第六分册

风力分級和收尘

A.F.塔加尔特 主編

苏联版学术編輯 C.M.雅修克維奇教授

李显光 譯

31552 / 29



A. F. Taggart
СПРАВОЧНИК ПО ОБОГАЩЕНИЮ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ (ТОМ II)

Металлургиздат (Москва 1950)

选矿手册 (第二卷 第六分册)

风力分级和收尘

李显光 译

冶金工业出版社出版 (北京市灯市口甲45号)

北京市书刊出版业营业许可出字第093号

冶金工业出版社印刷厂印 新华书店发行

— * —

1959年8月第一版

1959年8月北京第一次印刷

印数 3,012 册

开本 850×1168, 1/32, 81,000 字, 64页 2²⁰/₃₂, 插页 2。

— * —

统一书号 15062·1873 定价 0.39元

选矿手册第二卷系苏联冶金出版社組織波立金等根据塔加尔特主編的英文选矿手册 1945 年版編訂出版的。

参加苏联版选矿手册第二卷編輯工作的有：C.E. 安德列也夫、B.A. 庫利宾、Г. А. 韓和 M.A. 爱格列斯。学术編輯为 C.M. 雅修克維奇教授。

中譯本系根据苏联冶金出版社 1950 年出版的「选矿手册」第二卷並参考英文「选矿手册」1945 年版本譯出的。

全卷共分六篇，由第四篇到第九篇，中譯本暫分六分冊出版：第一分冊为第四篇破碎，第二分冊为第五篇湿式磨碎，第三分冊为第六篇干式磨碎，第四分冊为第七篇篩分，第五分冊为第八篇湿式分級，第六分冊为第九篇风力分級和收尘。

本書为第二卷第六分冊專門闡述风力分級和收尘的問題。

本手册的讀者对象为：从事选矿工作的工程技术人员；此外对在各工业部門、科学研究和設計部門及高等和中等工业学校中从事地質、采矿、矿物、冶金、建筑、机械、化工等工作的人员亦可作为参考。

目 录

第九篇 风力分級和收尘

第一章 基本原理	1
----------	---

收 尘

第二章 基本概念	8
第三章 重力作用下的沉降	10
第四章 基于惯性力的分离	13
第五章 空气(气体)过滤器	29
第六章 水洗滌器	33
第七章 电气收尘	37
第八章 除尘装置的设计	39
第九章 除尘装置	55
第十章 气力輸送(低压)	61

按粒度的风力分級

第十一章 前言	63
第十二章 应用在工业上的分級器	79

第九篇 风力分級和收尘

第一章 基本原理

风力分級和收尘可被認為是固体和气体混合物的各組份之間的各种型式的相对运动，正如湿式分級、脫水、濃縮和过滤可被認為是固体和液体之間相类似的相对运动一样。在两种情况下都可应用同一的基本原理；但考虑到相应介質的密度和粘度引起液体和气体的运动规律不同，因此这两种情况是有差别的。

定义 工业上所通称的“收尘”是指这样的一种作业，在作业中存在于气体內所有的或者实际上是所有固体的微粒都自气体分离出来^①。

风力分級是这样的一个过程，在过程中位于气流內各种大小不同的微粒互相分离出来。这种分离过程的产生是由于較粗的粒子在空間的某些点自气流中分离出来，而同时較細的粒子則可通过較长的距离才分离出来。

灰尘的粒子是如此的小以致在气体中沉降很慢，甚至当气体很少运动的时候它們也极長時間以悬浮状态存在。

微粒在气体中的运动定律

固体微粒之間和固体微粒与它們悬浮于其中的气体之間的相对运动由以下因素来决定：a) 粒度、分布范围、形状、比重、溫度和分散度；b) 气流方向速度、压力、密度、粘度、溫度、气体湿度；c) 收尘设备的形状、大小和表面特点。

液体和气体內固体混合物之間的相似性 液体和气体內的微細固体粒子的混合物之間有很有趣的相似性，虽然这一相似性在实际上还没有被利用。

含有多种粒度物質的混合物在管中运动时同时按粒度而分級。

^① 在我們的条件下，为了使工作气氛不危害健康並且作为防止矽肺及其他因灰尘而引起的疾病的预防措施，收尘还有其特殊意义——編者。

当适当搅拌分散的物质时在它的表面将产生波浪状的运动。气流通过同一种类的粉末物质时将会发生和蒸发相类似的作用，这是因为以一定速度穿过粉末物质的上升气流会带走一定数量的粉末（和蒸发相似）。单位时间内从单位表面积逸出的一定体积的气体总是含有同一重量的固体（就是说被饱和了），同时被带走的固体量将随气流的速度增加而增大（与在压力不变的情况下温度所引起的作用相同）并且当速度超过临界值时所有粉末将全部升起来，这情况和液体相类似，相当于沸点。

在气体中当微粒沉降而且它们相互之间并不相撞时（自由沉降），微粒的沉降速度可近似的用下列方程式来表示：

$$P = Kr^n \rho u^{2-n} \quad (1)$$

式中 P ——介质对固体运动微粒所给予的阻力；

K ——常数，对于各种形状的微粒及对于固体微粒和气体间的各种相对速度均具有各种不同的值；

r ——球形微粒的半径；

n ——幂次，表示微粒速度在那一个范围内，其值由 V 来决定；

ρ ——气体密度；

u ——动粘度，等于 $\frac{\mu}{\rho}$ ，式中 μ 是绝对粘度；

V ——微粒和气体间的相对速度。

当 V 很小即为层流性质时， $n = 1$ 而方程式（1）即具有斯托克斯所提出的形式（第八篇第一章）：

$$P = Kr\mu V; \quad (2)$$

当 V 较大，围绕粒子的气体运动成为湍流性质时， $n = 2$ 而方程式（1）即具有牛顿所提出的形式（第八篇第一章）：

$$P = Kr^2 \rho V^2. \quad (3)$$

这些关系式的曲线相交于相同的坐标值上，而没有一个方程式能满足交叉点以外的数值。

对于两者之间的部份曾提出过很多的方程式。

当 $n = \frac{3}{2}$ 时可得到实际上经常采用的方程式

$$P = Kr^{\frac{3}{2}} \rho V^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

在静止气体中的微粒当以初速为 0 的速度下降时，很快就获得一定的速度（末速度），此时空气对于下降微粒所给予的阻力和微粒所受的重力相

等。

从这一等式可得 (G = 微粒重量即它所受的重力 P)

$$G = v(r - \rho)g, \quad (5)$$

式中 v —— 微粒体积;

r —— 微粒比重;

g —— 重力加速度。

移項整理后可得以下方程式

$$V_T = K \left[(r - \rho) \frac{r}{\rho} \right]^{1/2}; \quad (6)$$

$$V_A = \frac{K(r - \rho)r^2}{u\rho}; \quad (7)$$

$$V_n = \frac{K(r - \rho)^{3/2}r}{u^{1/2}\rho^{1/2}}; \quad (8)$$

式中 V_T , V_A 和 V_n 为湍流、层流和过渡性質时的末速度。

沉降的近似方程式①。方程式 (6), (7) 內各項相乘所得的 $\rho^x r^y$ 和 $r^x r^y$ 比較起来其值甚小, 因此略去 $\rho^x r^y$ 一值可以获得如图 6 所示的近似速度, 图 6 的数值系相当于大气压力下和温度为 21' 11° 时所得的值。

对于带有无定形微粒的細碎物質, 其 K 值可用实验来确定。

碎石英的沉降末速度的实验数据示于图 1, 从这里可以看出, 这些数据是以下列形式来满足方程式 (6), (7), (8):

$$V_T = 71 \sqrt{\frac{r(r - \rho)}{\rho}}; \quad (9)$$

$$V_A = 143 \frac{r^2 r - \rho}{\mu}; \quad (10)$$

$$V_n = 200 \sqrt{r} \left(\frac{r - \rho}{\rho} \right) \left(\frac{r}{v} - 10.5 \right); \quad (11)$$

式中

$$\bar{r} = \sqrt[3]{\frac{9\mu^2}{2g\rho(r - \rho)}} \quad (12)$$

$\bar{r}$ 是服从斯托克斯定律的球形微粒的最大半径。

① 灰尘沉降的理论基础见于 1947 年版的化学工程师手册第二卷, 其中並考虑到雷诺准数和阻力系数。引用 H. H. 耶哥洛夫和 Л. Г. 車諾巴耶夫的具体方法作为計算用——閱者。

对于碎石类 r 值可作为等于 50 微米。

斯托克斯定律适用范围的低界限是这样来确定，即当微粒的大小接近气体分子的平均自由程时，因而它所受到的碰撞数将较通常为少。

对小于 0.1 微米的微粒基伯斯规定应当采用校正系数：

$$V_K = V_A (1 + K' \lambda / r), \quad (13)$$

式中 V_K ——校正后的速度；

$$K' = 0.86;$$

λ ——气体分子的平均自由程的长度。

静止空气中的沉降速度列于表 1。

表 1

静止空气中的沉降速度

微粒大小 微米	沉 降 速 度, 厘米/秒		
	球状, 比重 1.0 温度 21.1°	不规则形颗粒, 比 重 2.5	球状, 比重 3
5000	889	1596	—
1000	401	—	—
500	282	239	—
100	30.1	—	91.5
74	—	—	48.8
50	7.52	12.2	16.9
25	—	—	5.08
10	0.301	—	0.915
5	0.0752	0.0122	—
1	12.7①	—	0.00914
0.5	3.56①	5.85①	—
0.1	0.127①	—	—
0.05	—	0.202①	—

① 厘米/小时。

在低的固体浓度下水平和垂直导管内供运输用的气体速度列于表 2。

表 2 的数据适合以下方程式：

$$V_r = 8.15 r d^{0.398} (r+1); \quad (14)$$

$$V_n = 10.2 r d^{0.570} (r+1), \quad (15)$$

式中 V_r 和 V_n 相当于水平和垂直导管内的速度，米/秒，而 d 是微粒的直

径，毫米。

已经提到过颗粒大小为 1 至 10 微米的飞灰会沉积在烟道的水平部份，因此为了保持烟道清洁，气体的速度必需很大。

空气输送的能量损失 已经提到过当空气流的灰尘浓度不很高，即达到 2.8 克/立方米时，空气运输的压头损失和水力运输的压头损失相接近。当灰尘浓度很大时由于导管自由截面积的减小和微粒表面的不平整因而气流的阻力增加。

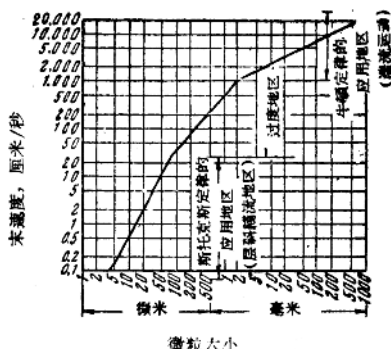


图 1 石英微粒在空气中的沉降速度

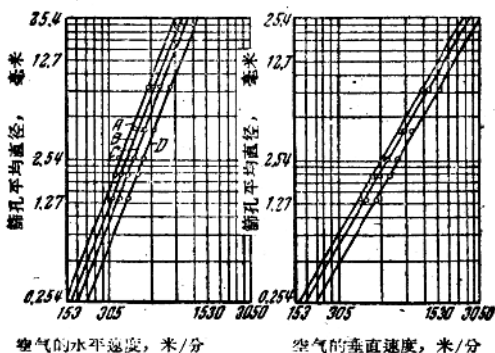


图 2 供运输固体物质的空气速度

A—渣；B—煤；C—无烟煤；D—石英

当把空气和悬浮其中的尘粒之和作为气流的密度时，可以得出足够可靠的压力降。

在弯曲部份及其连接管道上含尘气流的性质是不能确定的，这时的阻力可作为等于清洁空气阻力的一倍。

混合物速度 为了确定导管水平部份内含尘气流的速度可以利用以下公式：

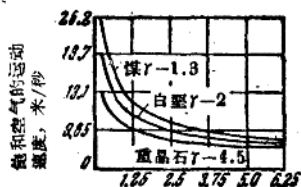
$$V_r = 3.25 \sqrt{d\gamma}, \quad (16)$$

式中 V_r ——空气速度，米/秒；

d ——微粒直径，毫米；

γ ——微粒比重。

要带动 1 公斤粒度为 0.127 毫米的球形粉末状的各种物质所使用的空气体积和水平导管内的饱和气流速度之间的关系列于图 3。



每公斤固体所消耗的空气量，立方米

图 3 水平导管内固体成份和速度之间的关系

在设计过程中当按图 3 选择速度时，必需考虑到安全系数，以防止由于速度、气流方向改变地区的物料分布(离心分离)、微粒粒度和形状及给入速度等的变化而引起的灰尘沉降。

建议取安全系数为图中速度值的 1.5 倍。

水平方向的气流对沉降的粉末状微粒的作用 为了用实验方法来确定

水平气流的作用规律曾把碎石类自水平的长方形灰尘沉降室上面的缝隙以垂直方向装入其内。沿沉降室通过气流并顺室底在距给入点不同距离处收集沉积的粒子。除尘室的大小是：宽度 686 毫米，深度 762 毫米。

微粒在水平方向所经之路的长度列于图 4 的 A，而物料的粒度特性则表示于图 B。

每一部份的物料都经过筛析，其结果表示在右图的对数坐标纸上。在这种情况下中线和每一部份微粒的几何平均直径都位于直线长的 50% 上^①。

图 B 上的垂直线说明应有的理想分类条件，因此离开垂直位置的每一条曲线说明了靠近几何平均直径的微粒分布情况。

距装入灰尘的地点愈远，曲线的倾斜度将减小，这是由于最细的微粒沿

① 所得结果并不完全符合——编者。

沉降室运动时其紊流性质将增加（不均匀性），而且微粒也具有更多的棱角形状。

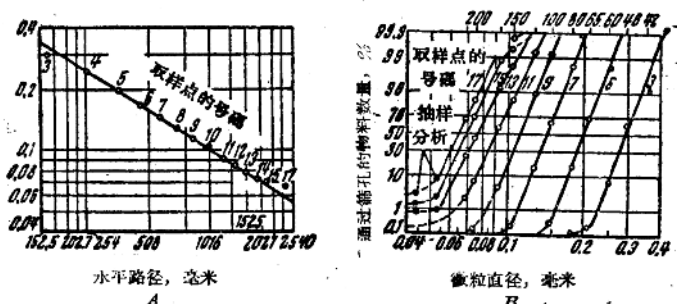


图 4 水平气流内的微粒沉降速度：A—路径，B—大小

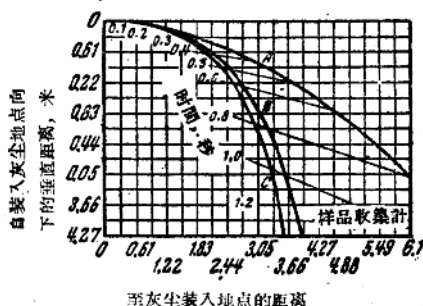


图 5 静止空气中粉末状物料（灰尘）的轨迹

A—空气的阻力没有计算（微粒很大）；B—微粒大小（粒度）0.91 毫米；C—微粒大小（粒度）0.83 毫米

图 A 的直线的纵坐标相当于图 B 曲线上 50% 的点，这直线可作为微粒按粒度平均分布的证据，而分布的均匀性保证了这个分类方法的使用。

磨碎的粉末状物料在静止空气中的沉降已经被研究过。比重 1.84 的固体微粒当浓度为 1.05 克/立方米时是以 7.62 米/秒的速度吹入水平沉降室内。

沉降物料的试样收集在集尘斗内，它们分布的地点示于图 5。

物料的筛析如下：14 网目 0%；14—20 网目 70%，20—28 网目 30%，23 网目 0%。

这些数据 and 图上所示运动微粒的理论轨迹是足够准确的相一致。

收 塵

第二章 基本概念^①

收尘是自气体中除去灰尘的作业。这项作业的目的如下：a) 改善劳动条件，g) 防止周围环境为灰尘染污，b) 防止含尘空气进入机器或过程中，r) 实现利用被净化的空气的可能性，x) 回收全部的物料，e) 减少建筑物的维持费用和设备的磨损。

净化程度主要是由当地条件和灰尘的性质来决定^②。

各种型式的收尘器广泛的被使用着，其中每种的特点是各有一定的效率范围。

影响到设备选择和决定设备条件的因素如下：a) 灰尘的性质和特性，c) 单位时间内应当分离出来的灰尘数量，b) 输送气体及其本身的灰尘的温度，r) 水份含量，x) 收尘设备所在的地方，e) 作业的连续性。

收尘设备的效率是按照净化后空气中的灰尘含量来评定的，而不是按照所收回的灰尘数量。

有害的工业灰尘的颗粒大小在很大范围内变动，收尘时最常见的是从50到1微米的微粒。

胶体状灰尘的含量按重量计算是不大的。

表2列出通常生产作业中所常遇到的灰尘的颗粒大小。第6表列出一些主要数据以供互相比较工业灰尘和其他气体悬浮物之用。

收尘设备的类型 根据灰尘分离过程中所依据的物理原理，工业上的收尘设备包括五种类型：

- 1) 按重力作用而工作的沉降室；
- 2) 基于惯性力的作用而工作，且具有隔板和离心分离器的沉降室；

① 气体悬浮物的分类载于化学工程师手册第二卷第497至498页——编者。

② 根据苏联工厂的调查数据，工业气体中的悬浮物含量由生产的种类来决定，变动于2至40克/米³之间。在个别情况下固体微粒的数量超过100甚至200克/立方米（当磨碎和干燥时），见化学工程师手册第二卷第500页——编者。

表 2

自然灰尘的平均近似尺寸

灰尘种类 (来源)	平均尺寸 微米	灰尘种类 (来源)	平均尺寸 微米
大气灰尘.....	0.5	大理石生产.....	1.5
铸件喷砂清理.....	1.4	皂石.....	2.4
花岗岩的生产.....	1.4	锯灰尘.....	2.2
破碎间.....	1.4	青铜灰尘.....	1.5
筛分间.....	1.3	无烟煤矿井:	
圆盘磨粉机.....	0.9	а) 粗磨房间内.....	1.0
铸造厂铸型拆开时.....	1.4	б) 矿井空气.....	0.9
铸造车间通常的空气.....	1.2	в) 煤的运送.....	1.0
滑石工厂.....	1.5	г) 煤的装车.....	0.8
片岩工厂.....	1.7	д) 岩石的运送.....	1.0

3) 被广泛采用的布袋收尘器;

4) 洗滌设备, 如洗滌塔;

5) 电收尘器。

通常采用的各种型式的收尘设备, 它们所能分离出来的灰尘颗粒尺寸, 列于表 3。

表 3

沉积在工业设备内微粒的近似的最小尺寸

收 尘 设 备 种 类	微粒的最小尺寸, 微米
重力作用的.....	200
带栏灰设备的惯性的.....	50—150
离心力的:	
а) 大的旋风机.....	30—60
б) 不大的旋风机.....	5—30
в) 机械的.....	5—30
г) 洗滌设备和洗滌塔.....	0.01—30
过滤器.....	0.1—0.5
电收尘器.....	0.001—1.0

第三章 重力作用下的沉降

从气体中除去灰尘的最简单和最经济的方法就是降低气流的速度，因而比较粗的颗粒便可落入尺寸不大的沉降室内。

在这些室中为了改善分离过程而采用拦灰和导向的叶片。沉降室的主要用途就是把粗的颗粒预先分离出来，因而减少后面高效率设备的灰尘负荷。

沉降室的设计

供沉降用的微粒的平均速度应当通过实验来决定。

可以用筛分或其他适当方法来决定灰尘的大小和根据斯托克斯方程式的公式及从图 6 上的常数来计算沉降速度。

在属于紊流性质时对于不论用那一种方法而求得的沉降速度，在空气运动速度为 18.3 米/分时都应当引用等于 0.51 的修正系数^①。

沉降室的一般形式见于图 7 a。图 7 a 所示的只是简单地把烟道扩大，使得气流通过速度能够减小至必需值。室 a 通常有一个或者更多的转向挡板来把沉降物料排除入集灰斗中。

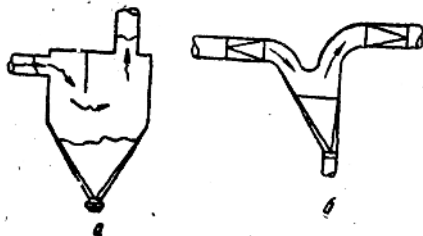


图 7 转向式的灰尘捕集器

通过按重力原理而工作的沉降室的空气速度应在 0.02—0.6 米/秒的范围内，这样才能保证获得良好的分离条件，但是由于制造具有这个速度的设备的基建费用和工作面积不够以致通常很少采用低于 1.5 米/秒的速度^②。但是由于沉降室尺寸不够这个速度便没能达到。

① 根据苏联选矿研究设计院的数据在极高速度时应当引入修正系数——编者。

② 这当然是指美国的情况——编者。

为了使沉降室能正确工作必須遵守下列等式：

$$t = \frac{h}{V_k},$$

式中 V_k ——需要沉降的最小微粒的末速度。

近似的

$$t = \frac{hbl}{Q},$$

式中 b ——宽度； l ——沉降室的长度，因而得

$$bl = \frac{Q}{V_k},$$

沉降室内空气的水平速度

$$V_r = \frac{Q}{hb}$$

或

$$\frac{h}{l} = \frac{V_k}{V_r}.$$

沉降室里的压头损失是由入口和出口孔之間空气流所受的阻力来决定。

假如沉降室是简单的长方形状，则压头损失值可为 1.5 乘进入部份的动压头。

当空气流畅通时即进入沉降室的管道呈扩张状态而管道出口逐渐变小时，则空气流的压头损失减少至 0.75 乘进入部份的动压头。

比值 $\frac{h}{l}$ 是由以下因素来决定，即：地位限制、所希望的入口地点和保持气流平均通过沉降室截面的必要性。

例 固体微粒的比重等于 3.0，而小于 74 微米的微粒应当除去。空气的量是 5.65 立方米/秒。試驗的速度 $V_r = 0.3$ 米/秒，按表 1 对于 74 微米的微粒的 V_k 值是 0.49 米/秒，那么

$$\frac{h}{l} = 0.5 \frac{V_k}{V_r}$$

(計算的修正系数是 0.5) $= 0.5 \frac{0.49}{0.3} = 0.82$ 。

截面积

$$\frac{5.65}{0.3} = 18.8 \text{ 平方米。}$$

$\frac{h}{b} = \frac{1}{2}$ 是足够可靠的比值，那么 $h=3.06$ 米； $b=6.12$ 米； $l=3.73$ 米。

当比值 $\frac{h}{l} = 0.82$ 和 $h=10$ 时， l 值不可能等于 18.3 米。
