

中南矿冶学院
收塵及烟氣淨化講義

(一)

何福煦 合編
任鴻九

中南矿冶学院教务处印刷厂印

1959年

收尘及烟气净化讲义

(1957年秋重工业冶金专业用)

何福熙编

第一章 绪论

§ 1. 有色冶金工业收尘及烟气净化的重要性

在生产有色金属时，大多数工艺过程（例如焙烧、熔炼、挥发、干燥等过程）都有烟尘产生。目前，有色冶金工业中，大量使用浮选精矿，以及在生产过程中采取各种强化措施，都使有色金属生产过程中，产生相当多的烟尘。

有色冶金工业的烟尘中，不仅含有许多有价值的有色金属和非金属组分，而且也往往含有有毒的物质。因此，无论从清洁卫生着想，无论从原料综合利用着想，或者从提高冶金工业的质量指标与数量指标着想，都必须尽可能避免地将烟尘收集起来，否则就会造成有色金属的巨大损失，回收率低，以及不合乎安全卫生的劳动条件。

收尘及烟气净化是有色金属生产中的重要环节，其主要任务是：

1) 回收烟气中有价值的金属以及提高金属的实收率和综合利用原料——大家知道，有色金属矿石大都是复杂的矿石，含有许多其他金属元素，经过浮选处理之后所得的精矿非常细，因而在焙烧、煅焙、或熔炼过程中，就有相当部分的细精矿被气流夹带到烟尘中去，另外在火法冶金过程中，矿石或精矿中的各种金属在高温下发生物理化学变化的结果，亦有部分或全部呈挥发物状态被烟气带走。表 1.1 所列是某些冶炼过程的炉气烟尘情况以及烟尘中主要金属的含量情况。

表 1.1 某些冶炼过程中炉气的烟尘情况

烟尘种类	炉气中烟尘含量, 克/米 ³	烟尘佔原料量的百分比, %	烟尘中主要金属含量, %
铅和锡的古风炉熔炼	3-20	3-13	5-60% Pb 或 Sn

鉛和錫的反射爐熔煉	1-4	3-10	5-60% Pb 或 Sn
冰銅或銀銻的吹煉	3-10	3-7	Cu 或 Ni 達 25%
黃銅的反射爐熔煉	1-3	1-6	Zn 達 70%
在迴轉窯中燒結鋁礬土 (蘇打石灰燒結法)	5-20	6-10	15-25% Al_2O_3
迴轉窯煨燒氧化鋁	20-130	8-24	98% Al_2O_3
反射爐熔煉陽極泥	0.5-1.5	5-20	5% Ag; 0.02% Au
錒精砂或銅精砂沸騰煨燒	—	40-50	—
多膛爐煨燒輝鉬砂	—	18	5% MoO_3

有色冶金工廠的煙塵，除了含主要金屬外，尚含有許多其他金屬及稀有金屬。例如，鉛煙塵中除鉛外，還含有錒、鎘、砷、銻、銻、銀、鎳、鈦、鎢等；銅煙塵中除銅外，還含有鉛、錒、砷、金、銀、錳、碲等。

被爐氣帶走的煙塵，其數量往往佔生產過程物料總平衡的重要部分，所損失的物料，有時價值很高。在某些場合下，煙塵是某些生產過程的主要產品（例如氧化砷、氧化錒的利用），但在另外一些場合下，煙塵則提取某些分散性金屬及稀有金屬的尾料來源。例如，鉛錒煙塵是提取鎘、銅、鈦、鎢、鎳等金屬的重要原料，輝鉬砂煨燒煙塵則是目前生產鉬的唯一原料。如果收塵設備不好，不僅主要金屬的實收率低，而且許多有價值的有色金屬、稀散金屬及貴金屬也就裝散了。這就說明了收塵工作對提高金屬實收率及綜合利用原料的重要意義。

解放後，我國有色金屬冶煉工業得到了很大的發展，除了恢復、整頓並擴建了原有的有色冶金工廠外，還新建了許多新的有色冶金企業。解放前的舊中國祇能生產 8 種有色金屬，但經過短短的八、九年時間，在金屬生產的數量上，已掌握了 64 種有色金屬及半金屬的生產技術（放射性金屬鈾、鐳、釷、鈾、鎂不在此內）。到 1957 年止，我國已工業化生產的有色金屬已達到

收尘及烟气净化讲义 (卷轻稿 五)

22种，至大跃进的1958年一年内，我国又研究试制成了42种金属，至此，我国已几乎佔领了周期表中所有金属元素的生产功能。随着金属生产种类的增多，烟尘收集的技术也就复杂起来了。

目前，我国各有色冶金工厂的收尘效率高低不一，高者达98%，低者亦有仅达20-30%的，但一般则在60%左右。因此，加强有色冶金工厂的收尘工作，已成为我国有色冶金工作者们的重要任务。

应该指出，在土法冶炼战线上，采用土办法或者土洋结合的办法来收集土法冶炼过程中所产生的烟尘，对发展我国国民经济是有重大意义的。

2> 利用烟气中的废热和气体——有色冶金工厂的烟气往往是高温的热气，可以用来产生蒸汽和预热空气，此外，烟气中尚含有 SO_2 、 CO 、 CO_2 等气体，可以用来制造硫酸、元素硫、液体 SO_2 、发动内燃机、及碳酸化处理等之用。

为了利用烟气中的废热和有用气体，必须先将烟气中的尘灰降至允许的限度，以满足下一步工业技术上所提出的要求。例如，利用烟气的废热预热空气时，若不经过适当的清除尘粒，则换热器不可能满意地工作；再如利用烟气中的 SO_2 制硫酸时，亦规定烟气中尘灰的允许含量（ <0.2 克/米³），否则，尘灰不仅影响硫酸的质量，同时还影响制酸过程的顺利进行。

有色冶金工厂废气和废热的利用是非常重要的，在设计新的工厂和选择生产流程时，应优先考虑采用完善的收尘设备，以便最大限度地回收烟尘和利用废气及废热。

3> 消除烟尘和烟气对工人和附近居民健康的影响——有色金属冶炼工厂的烟尘和烟气往往是含有毒的，其中常含有 SO_2 、 CO 、 As_2O_3 、 Cd 、汞蒸气、铅蒸气等……等有毒物质，如果没有良好的收尘及烟气净化设备，就会使车间劳动条件变坏，危害工作人员的身体健康。同时，从烟囱排出去，对附近居民的健康，也有严重的影响。

4> 消除烟尘和烟气对工厂附近农作物及其他工业生产设备的有害影响——烟害对农作物的生长，有严重的影响，甚至使农作物枯萎。使农作物枯萎或妨害农作物生长的原因，是由于烟气中的有害气体（特别是 SO_2 ）及落在土壤上的灰尘所造成的。

灰尘及有害气体对厂内及工厂附近的某些机器设备也有很大

的危害性。例如，生产中所用的自动控制仪表，如果受到烟尘的污垢或侵蚀，就会带来控制失调，仪表寿命缩短，而影响生产操作。如果灰尘沉积在露天配电所变压器及其他没有盖子的电气设备上，亦会造成停电及引起短路等事故。某些机械设备的运动部分（如轴、轴承、活塞、气缸等）有灰尘卷进去时，就会加剧磨损，而影响机械设备的寿命。

由上五所列举的几点看来，有色冶金工程的收尘和烟气净化就显得十分重要了。

§ 2. 烟尘产生的原因

有色金属生产过程中形成烟尘的原因可分为两类：

1 > 机械原因——装料时微细颗粒被流动的烟气和排风机作去的空气所带走而产生的烟尘。例如，物料在装卸、破碎、筛分、运送、干燥、焙烧等作业过程所产生的烟尘，都属于这一类。

2 > 由挥发物冷凝而产生的烟尘——在火法冶金过程中，某些有色金属常呈元素状态或化合物状态（氧化物、硫化物、氯化物等）挥发逸出。当温度降低时，这些挥发物便冷凝成细粒的烟尘。有色冶金工程的烟气中常夹有大量的挥发物，这是有色冶金工程烟尘的最大特点。

由机械原因而产生的烟尘叫机械烟尘，由挥发物冷凝而成的烟尘叫化学烟尘。

机械烟尘与化学烟尘之间在细度、组成以及物理性质等方面有很大的差别。机械烟尘的颗粒比较大（大于10微米），其组成（化学组成与物质组成）颇与原始物料相近，容易用普通的收尘设备来收集（例如旋风收尘器等）。而化学烟尘的颗粒则非常细小（从十分之几微米到几微米），组成与原始物料发生化学变化时所形成的组成相近，难于用普通的收尘设备来捕集，只能在布袋和电收尘器中才能收集下来。

在各个不同的冶炼过程中所形成的烟气中的含尘量及烟尘量是不全的。在正常情况下，各种冶炼过程所产生的烟气含尘量及烟尘量列表1.2中。

表 1.2. 各种冶炼过程烟气含尘情况

冶炼过程	烟气含尘量, 克/米 ³	烟尘量, 占炉料重量的%
鼓风机熔炼	3-20	3-13
反射炉熔炼	0.5-5	0.5-3
机械多膛炉熔炼	2.5-15	4-15
沸腾熔炼	<50	<40
冰铜吹炼	0.5-2	0.5-3
含锌物料吹炼	<10	<7
回转窑处理氧化铝	20-130	8-24

§ 3. 烟尘的性质

1) 烟尘颗粒的大小——根据尘粒的大小和分散程度的不同, 烟尘可分为三类:

a) 灰尘——由直径大于 10 微米 (0.01 毫米) 的固体微粒组成, 灰尘容易因本身重量的作用而沉降下来。例如, 铸砂、磨矿、干燥、焙烧、烧焙, 和熔炼时所生成的分散系, 都属于这一类。

b) 烟露——由直径为 0.1—10 微米的微粒组成, 能长久地以悬浮状态分散在烟气中而不沉降下来。由气相转为液相时的尘粒属之。

B) 烟——由小于 0.1 微米的微粒组成, 烟是最稳定的分散系。由气相转为固相时的尘粒属之。

有色冶金工厂的烟尘通常是由机械烟尘与化学烟尘所组成, 其粒度变化范围很大, 从百分之几微米到数百微米。有色冶金工厂某些烟尘的粒度故列于表 1.3 中。

表 1.3. 有色冶金工厂某些烟尘的特性

烟尘种类	烟尘产生地类	平均直径, 微米	比表面 (厘米) ² /克	比重, 克/厘米 ³
铜精砂干燥	电收尘器第一室	2.49	6830	3.63

	电收尘室第二室	2.50	6470	3.73
古月炉炼铝	快速收尘器	2.0	7300	4.21
	电收尘器	0.77	18500	4.23
锌精矿焙烧	烟尘沉降室	8.5	1680	4.59
	烟道	6.8	2430	3.63
	电收尘器	2.1	6320	4.47
再生金屑熔炼 (为铜)	冷却器前端	2.3	7300	3.64
	冷却器末端	1.7	10200	3.51
	布袋收尘器	0.5	26300	4.36

大于10微米的烟尘很容易在烟道及烟尘沉降室中沉降下来。在结构最完善的旋风收尘器中，特别是在湿式旋滴收尘器中，尺寸达4—5微米的烟尘，能够被完全捕集起来。然而极细的挥发物在淋洗塔、旋风收尘器和其他构造简单的收尘设备中进行收集时，收尘效率不高，很难令人满意，在很多情况下，其效率常低于30~50%。为了有效地捕集挥发物，需要更完善、更复杂的收尘设备，在有色金属工厂中，目前主要是采用(1)布袋收尘器及(2)干式和湿式电收尘器来收集挥发物(化学烟尘)。

2> 烟尘颗粒的形状——烟尘颗粒的形状大都是类似球状或立方体状的，但也有条状或纤维状的(例如ZnO)。

烟尘外形和强度对收尘设备的磨损有一定的影响，不规则而具有尖锐边缘的烟尘对金属的磨损程度比球状烟尘大数倍；球状烟尘对金属的磨损小些，但球状烟尘长时间与金属表面撞击时，会引起塑性变形及金属表面组织改变，因而金属表面亦遭到损坏。烟尘对设备的损坏情况与烟尘的强度有密切的关系，强度小的烟尘当撞击金属时，自己反被破坏，很少损坏金属。

烟尘的形状对电收尘也产生一定的影响，表面光滑的球状烟尘不易放出电荷，而表面粗糙不规则的烟尘，则较易放出电荷。

3> 烟尘的比重——烟尘的比重用视比重表示，其数值视烟

尘颗粒的大小和形状而异。烟尘的视比重比原始物料的真比重小得多，颗粒越细，其视比重亦小。视比重大的烟尘能较完全地在烟道、沉降室及旋风收尘器中沉降下来。某些冶金作业所产生的烟尘的比重见表1.3。

4 > 烟尘的比重 γ ——比重 γ 为单位重量物质的表面积，用 $\frac{\text{厘米}^2}{\text{克}}$ 表示。比重 γ 与颗粒直径成反比，即烟尘颗粒越细，其比重 γ 越大。因此，比重 γ 可作为衡量颗粒细微程度的标志(见表1.3)。

5 > 烟尘的导电性——烟尘的导电性是影响电收尘器效率的重要因素，不同导电性的烟尘在电收尘器中的行为是不同的。金属粉末、炉粉等尘粒导电性良好，疏化物的尘粒则属中等，金属氧化物(例如 ZnO 、 PbO 、 As_2O_3 等)则是导电性差的尘粒。导电性太好和不导电的烟尘都难于在电收尘器中收集起来。在电收尘的实际操作中，烟尘应具有适当的导电性。

改善烟尘导电性最简单的方法是增加烟尘的湿度，此时，烟空气中的烟尘颗粒即在稍高于露点的温度下，在其表面积附有水蒸气薄膜，使烟尘的导电性增加，当接近收尘电极时，很容易放出自己的电荷。但是，过分增加烟尘的湿度，则使烟尘过于导电，以致在电极上粘附起来，亦招致不良的结果。实践证明，静电收尘时，不仅导电性差的烟尘应加润湿，而且导电性良好的烟尘(例如炉尘、金属尘粒)也宜于加以润湿。在此种情况下，水蒸气薄膜增加烟尘的接触电阻，使难于获得新的电荷，而改善收尘的状况。

6 > 烟尘的润湿性是影响湿法收尘的因素之一，润湿性良好的尘粒与液体相遇时，即进入液体中，不致被气流带走；而润湿性不好的尘粒则留在液体表面上，逐渐形成一层尘粒，阻止烟尘润湿，使烟尘又被气流带走，而不能收集下来。

烟尘的润湿性视烟尘颗粒的形状、大小、表面积状况、以及是否含有可燃物而定。粗粒的烟尘及球状烟尘的润湿性比细粒的及不规则的烟尘为好。烟尘的比重 γ 越大，吸附在烟尘表面的气体较多，以致难于被液体的润湿。挥发物烟尘较粗，其润湿性比机械烟尘差些。炉尘及焦粉的润湿性差，故烟尘中含有少量可燃物时，则其润湿性要坏。

7 > 烟尘的粘结性——烟尘在烟道及收尘设备的壁上粘结，

将影响收尘工作的正常进行，并降低收尘效率。例如，上海冶炼厂炼铜回转炉排出的烟气中含有氧化锌（ ZnO ）， ZnO 粘结在烟道及旋风收尘器的壁上，因而堵塞烟道及使旋风收尘器的降温不好及增大阻力，影响炉子和收尘的正常操作。

烟尘的粘结与烟尘的颗粒大小及烟气中有无蒸气冷凝物亦有关。烟尘粘结的原因是由于烟气中夹带有相当多的细粒烟尘，尘粒与尘粒之间许多接触点，在分子聚合力的作用下，逐渐结合起来而形成粘结物。烟尘的颗粒越细，其比表面积越大，接触点亦多，因此，粘结物的坚实程度随烟尘颗粒的减小而增加，随烟气带走的粗粒烟尘，不仅不粘附在设备上，反而有破坏粘结物的作用。如果烟气中含有蒸气时（金属化合物蒸气及水蒸气），金属化合物蒸气的冷凝将加速粘结物的形成，水蒸气的凝结亦使烟尘粘附。水滴的亦现或由于烟气温度的关系，或由于喷水冷却时蒸发不完全，或由于吸入大量冷风所致。在不同情况下，应采取相应的措施以防止烟气中水气的凝结。

8 > 烟尘的化学活性——有色冶金中的烟尘，特别是细粒的烟尘，比表面积大，且其中往往含有未氧化的金属、炭、金属硫化物，和元素硫等物质，当这些物质迅速氧化来不及散开所放出的热时，就会引起自燃现象。例如，上海冶炼厂氧化锌粉常有自燃现象。及时从烟道及烟斗中取出积存的烟尘，是避免自燃现象发生的方法之一。

§4. 收尘方法的分类

有色冶金工厂所采用的收尘设备，种类很多，按照收尘设备的构造和工作原理，分为以下几类：

1 > 干法收尘或机械收尘——此法是利用机械力（重力或离心力）的作用，使悬浮的尘粒沉降而达到烟尘与烟气分离的目的。属于这类的收尘设备有烟道、烟尘沉降室及旋风收尘器等。

烟道及烟尘沉降室仅利用重力的作用使烟尘沉降下来，这种设备仅能收集粗粒的烟尘（大于10微米），而细粒的烟尘是很难或不能用此种设备来收集。

旋风收尘器是利用离心力的作用使烟尘沉降下来。比烟道及烟尘沉降室比较，旋风收尘器能收集较细的烟尘，在旋风收尘器中，尺寸达4~5微米的烟尘能较完善的被收集起来。在很多

情况下，在有色冶金二厂中，它已代替了占地面积大而笨重的收集粗粒烟尘的烟尘沉降室。

2 > 湿法收尘——此法原理含有悬浮尘粒的烟气与水或其他液体相接触，当气体冲击到润湿的器壁时，烟尘即为器壁所吸附；或当气体与喷洒的液滴相遇时，液体粘附在尘粒上，增大尘粒的重量，而使之降落。

凡在旋风收尘器中不能收集的机械烟尘，湿法收尘几乎都有效。湿法收尘的效率一般较高，可达90%左右。

常用的湿法收尘设备有淋洗塔、湿式旋风收尘器、快速收尘器、泡沫收尘器等。

3 > 过滤收尘法——此法是利用一种具有许多细孔的材料作过滤介质，使烟气通过而将其中的悬浮的尘粒与烟气分开。此种设备的收尘效率很高，一般在94~97%，且可高达99%，能收集小于1微米的尘粒。

过滤用的介质种类繁多，有色冶金二厂常用棉织品或毛织品作过滤介质，因此，这种设备又称为布袋收尘器。

4 > 静电收尘——此法系使烟气中的尘粒在一种强烈的电场内沉降下来。电收尘器能收集极细的其它设备所不能收集的尘粒。电收尘器有干式及湿式两种。电收尘的效率很高，但由于考虑到经济条件，一般的收尘效率限于在90~99%之间。

除了上述各类收尘设备外，超声波技术近数年来也在收尘方面得到应用。

有色冶金二厂烟尘的组成，在大多数情况下，是十分复杂的，为了回收烟尘中的所有有价值的成分，用一种收尘设备往往不能达到目的，常需将数种收尘设备组合起来使用方能获得令人满意的结果。

第二章 烟道及烟尘沉降室

§1 烟道

烟道是联接炉子与收尘设备的管道，其主要用途虽不在于收尘，但亦按其作用而收集一部分烟尘。

烟道有砖烟道（通常为矩形拱顶）及铁烟道（通常为圆形）两种，专为收尘而用的烟道，则称为收尘烟道（相当于烟尘沉降室，见图 2.1）。

收尘系统所用的烟道是根据高炉废气温度和收尘的技术要求而有时采用砖烟道及铁烟道的。在一般情况下，当废气温度较高时（ 7600°C ），则用砖砌烟道或用衬有耐火砖及石棉等的铁烟道（后者可以避免漏气现象），而收尘系统的架空部分、冷却部分及与收尘设备相连接的部分则用铁烟道。

通常在烟气进行初步净化前，常希望一部分烟尘（约 25%，一般是粗粒的机械烟尘）能在烟道中沉降下来，而以后的烟道主要是输送烟气，则不宜使烟尘在烟道中沉降下来。

烟尘是否在烟道中沉降下来，主要看烟气在烟道中的流速而定。在有色金属厂中，当烟道起一部分的收尘作用时，烟气的流速可取 6~8 米/秒；如果烟道用作输送烟气时，则烟气速度应取大些（15~20 米/秒），这样烟尘才不致沉积下来。

烟道断面积的大小，视烟气量和烟气流速而定，可用下式表示：

$$F = \frac{Q_t}{w}$$

式中：F —— 烟道断面积，米²；

Q_t —— 在温度 $t^{\circ}\text{C}$ 时的烟气量，米³/秒；

w —— 烟气在烟道中的流速，米/秒。

当烟道起部分的烟尘沉降作用时，式中的 w 可取 6~8 米/秒。

烟道的长度视设备及收尘设备的配置情况而定，没有一定的规定。在设计烟道时，烟道的转弯次数应尽量少以减少阻力，同时，烟道漏风现象亦应最少以免降低烟气中 SO_2 的浓度及升高烟气中水分的含量。此外，烟道还需要良好的保温或散热装置及

从烟道中取出堆积的烟尘的装置(集尘斗)。同时,还要考虑安装与修理是否方便。

§2. 烟尘沉降室

烟尘沉降室和收尘烟道是利用烟尘本身的重量以收集烟尘的设备,这是最古老的收尘方法。在第一次世界大战以前,生产规模不大的冶金工厂,产生的炉气量较少,烟尘沉降室乃一种流形的净化烟气的设备。而现代化的冶金工厂中则很少采用它,仅作初步净化烟气之用,只是在很少有的情况下才会靠它来保证烟尘的收集作用。但是我们仍要对它进行了解,在某些特殊的情况下还要需要应用这种收尘设备作主要收尘工具,特别在目前我国的具体情况下,在两条腿走路,洋土并举,全民办冶金工业的方针指导下,则更有现实意义。

烟尘沉降室是长方形断面用砖或石块砌成的设备,它的构造十分简单,没有其他的特殊的机械设备,这是它的最大特点(见图2.2)。由于烟尘沉降室的断面积大大超过了烟道的断面积,因而从烟道进入沉降室的烟气速度大大减小(减小10~20倍)。当烟气以缓慢的速度流过沉降室时,烟气中的粗粒烟尘在重力作用下遂沉积于室底,而烟雾等微细颗粒则被烟气带走。但是,由于某些细粒的烟尘有凝聚现象,这种收尘设备还有可能收集小于10微米的尘粒。例如,新生成的氧化锌、氧化铜、氧化砷、氧化镉与砒烟等在干燥气体中很容易凝聚。上海冶炼厂炼铜电炉排出的烟气中的氧化锌尘粒,由于凝聚作用,在收尘系统中表面冷却器中沉降下来的氧化锌佔全部氧化锌的30%,这是一个明显的例子。

收尘烟道及烟尘沉降室的构造示于图1及图2。

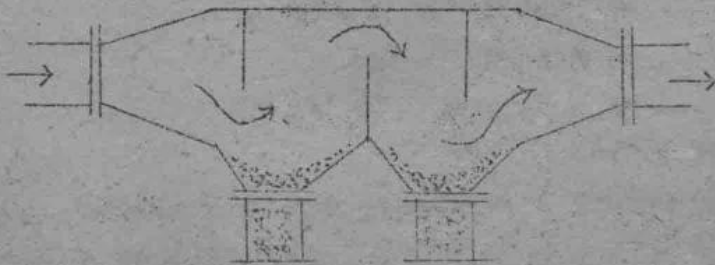


图 2.1 收尘烟道

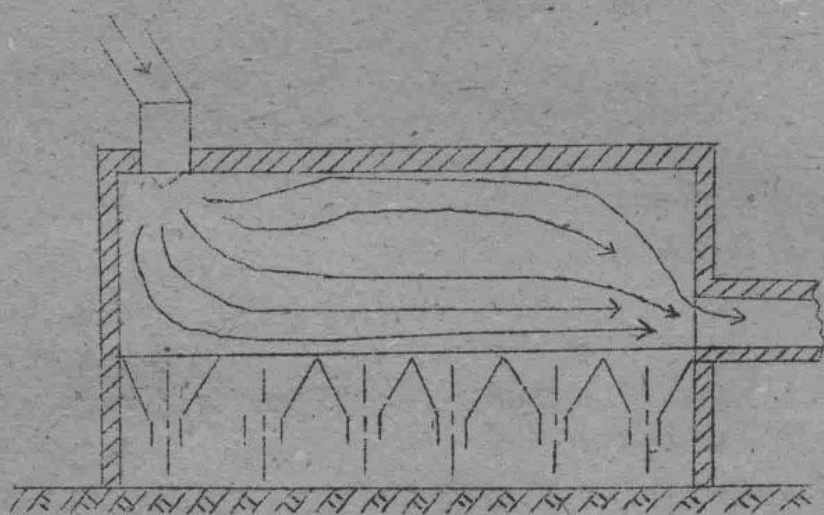


图 2.2. 烟尘沉降室。

§3. 沉降和沉降速度

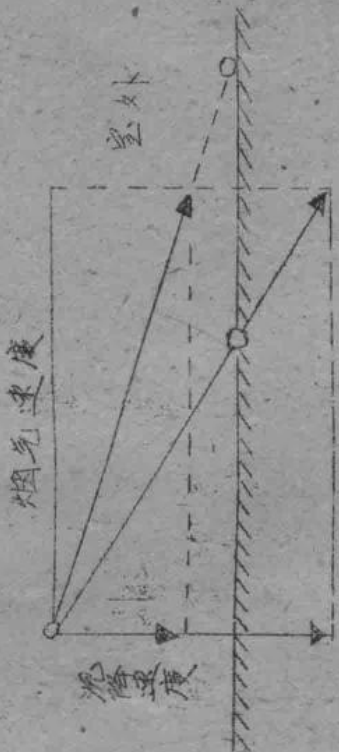
在沉降室中，悬浮于烟气中的尘粒的运动情况，可用平行四边形表示，水平方向为烟气运动方向的速度，垂直方向为尘粒向下沉降的速度，平行四边形的对角线代表尘粒在重力作用下向下沉降的方向与绝对速度。从图 2.3 可以看出，若烟气速度一定，尘粒的重量愈大，则尘粒愈容易沉降到室底；当尘粒的重量一定时，烟气的速度愈大，则尘粒将被烟气带到较远的地方才做沉降下来，若烟气速度太大，则尘粒不能在沉降室中沉降下来，而仍以悬浮状态被烟气带走。

当物体在真空中降落时，其速度可按下式求得：

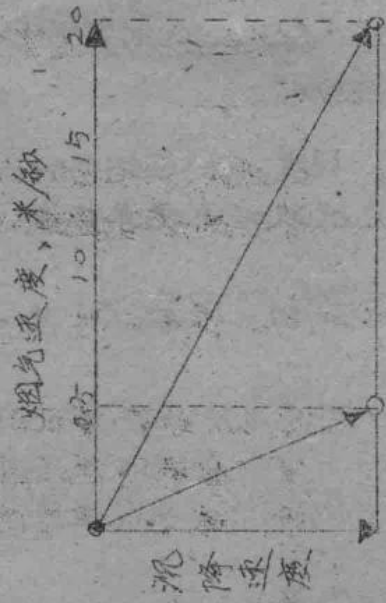
$$W = g \tau \quad (1)$$

式中 W —— 降落速度，米/秒；
 τ —— 降落时间，秒；
 g —— 重力加速度，米/秒²。

此公式对较大物体在空气或其他气体介质中降落也是适用的，因为在这种情况下，介质的阻力并不大，整个作用力也不过降低 0.05~0.1%。但对于小于 100 微米或更小的颗粒来说，气



b. 烟气速度一定时的情况



a. 尘粒重量一定时的情况

图 2.3. 烟气沉降图解

体介质的阻力就显著大了，此公式不能适用

当悬浮的颗粒在气体介质中藉其本身的重力作用而降落时，最初为等加速运动，由于气体分子不断的运动，力图阻碍悬浮的颗粒向下降落，经过若干时间后，当气体介质的摩擦阻力等于重力时，就成为等速运动，此时颗粒即以固定的速度下降。这种相等的降落速度称为沉降速度，以 w_0 表示。

球形颗粒在气体介质中降落所受到的阻力 S ，通常按牛顿定律求之，即

$$S = \rho \times F \times \gamma_2 \times \frac{w_0^2}{2g} \quad (2)$$

式中 w_0 —— 球形颗粒的沉降速度，米/秒；

F —— 球形颗粒在其降落的方向上的投影面积，米²；

S —— 阻力，仟克；

γ_2 —— 气体介质的密度，仟克/米³；

ρ —— 阻力系数 (无因次)。

设球形颗粒的直径为 d ，密度为 γ_1 ，则颗粒下落的重力 f_g 为：

$$f_g = \frac{\pi d^3 \gamma_1}{6} \quad (3)$$

而气体介质对球形颗粒而产生之浮力 f_b 为：

$$f_b = \frac{\pi d^3 \gamma_2}{6} \quad (4)$$

因此，颗粒在气体介质中下落的净重力为：

$$\begin{aligned} f_g - f_b &= \frac{\pi d^3 \gamma_1}{6} - \frac{\pi d^3 \gamma_2}{6} \\ &= \frac{\pi d^3}{6} (\gamma_1 - \gamma_2) \end{aligned} \quad (5)$$

当颗粒在气体介质中下落的净重力为气体介质的摩擦阻力 S 所抵消时，颗粒即以等速运动下降，故得：

$$\begin{aligned} \frac{\pi d^3}{6} (\gamma_1 - \gamma_2) &= S \times F \times \gamma_2 \times \frac{w_0^2}{2g} \\ &= S \times \frac{\pi d^2}{4} \times \gamma_2 \times \frac{w_0^2}{2g} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\therefore \text{阻力系数 } S = \frac{4gd(\gamma_1 - \gamma_2)}{3\gamma_2 w_0^2} \quad (7)$$

$$\text{沉降速度 } w_0 = \sqrt{\frac{4gd(\gamma_1 - \gamma_2)}{3\gamma_2 S}} \quad (8)$$

阻力系数 S 是一个变数，与介质的重度、粘度、颗粒的形状和大小及运动有关，各种不同形状物体的阻力系数乃雷诺准数 Re 的函数。

图 2.4. 所示为球形物体与圆柱体沉降时的阻力系数 S 与雷诺准数 Re 的关系，乃由实验确定的数值。

固体微粒在气体中沉降时，所遇到的介质阻力与流体流动中的摩擦阻力完全类似，因而固体微粒的沉降亦可分为滞流、过渡流与湍流三个区域。为了便于计算，对于球形物体，此三个区域中 S 与 Re 的关系以公式表示如下：

$$(1) \text{ 滞流区域, } Re < 1, S = 4/Re = \frac{24 \pi \eta}{d w_0 \gamma_2} \quad (9)$$

$$(2) \text{ 过渡流区域, } Re = 1 \sim 500, S = 18.5/Re^{0.6}, \quad (10)$$

$$(3) \text{ 湍流区域, } Re = 500 \sim 150,000, S = 0.44, \quad (11)$$

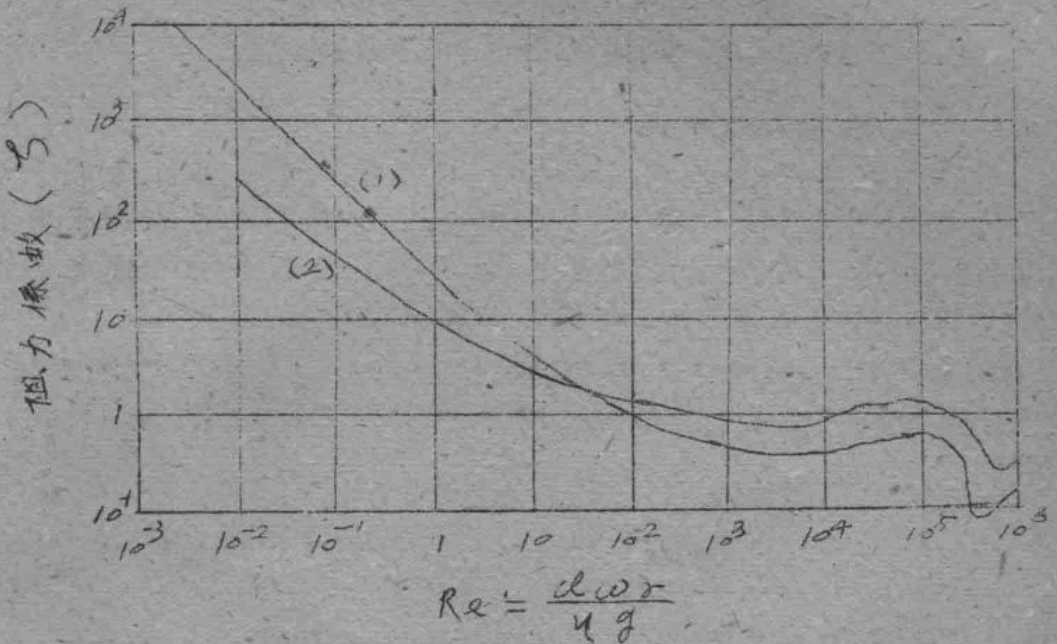


图 2.4 球形物体与圆柱体的阻力系数
(1) 球形物体 (2) 圆柱体

对烟尘沉降来说, 属层流沉降性质, 即 $Re < 1$, 将(7)式代入(7)式, 得:

$$w_0 = \frac{d^2 (\rho_1 - \rho_2)}{18 \eta} \quad (12)$$

上式即为著名的斯托克斯公式, 式中 η 为气体介质的粘度(千克-秒/米²)。斯托克斯公式适用于直径为 3~100 微米的颗粒。

颗粒在气体介质中降落时, 由于气体的重度故值很小, 可以忽略不计, 因此(11)式可写为:

$$w_0 = \frac{d^2 \rho_1}{18 \eta} \quad (13)$$

必须指出, 上式系根据光滑球形物体导出, 但实际上悬浮在烟气中的尘粒多非球形, 且不一定光滑, 非球形和不光滑的物体沉降时, 其阻力系数 k 的数值较光滑球形为大, 故其实际沉降速度较理论计算值为低。

§4. 烟尘沉降室设计原则

(一) 普通烟尘沉降室

当烟气进入沉降室时，烟气中的尘粒一方面在重力作用下以 w_0 的沉降速度向下降落，另一方面又以等于烟气流速 w 的速度通过沉降室。因此，沉降室应有足够的长度，才能使烟气离开沉降室以前，使尘粒有足够的时间落在室底上（参看图25）。

设 t_0 为烟尘沉降室底所需的时间（秒）， t 为烟气通过沉降室所需的时间（秒）， H 为沉降室的高度（米）， l 为沉降室的长度（米），则

$$t_0 = \frac{H}{w_0} \quad ; \quad t = \frac{l}{w} \quad (14)$$

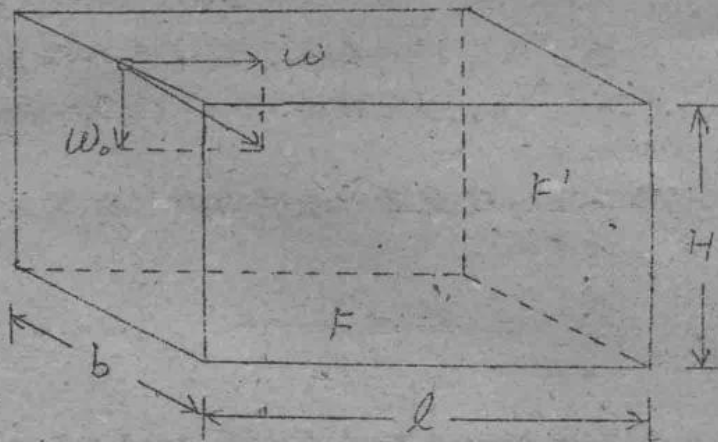


图25. 烟尘在沉降室中沉降情形

为了使尘粒能在沉降室中沉降下来，则：

$$t \geq t_0 \quad , \quad \text{即} \quad \frac{l}{w} \geq \frac{H}{w_0} \quad ; \quad (15)$$

$$\therefore l \geq w \frac{H}{w_0} \quad , \quad \text{或} \quad w \leq \frac{w_0 l}{H} \quad (16)$$

沉降室的生产能力为：

$$Q = F' w = b H w = b H \left(\frac{l}{t} \right) \quad (17)$$

$$\text{或} \quad Q \leq b H \left(\frac{l}{t} \right) \leq b H l \left(\frac{w_0}{H} \right) \leq b l w_0 \leq F w_0 \quad (18)$$