

大气污染控制工程 讲义

第一节 大气污染及其危害

一、大气污染的基本概念

早在英国爱德华二世(1284~1327)年代，这位国王就曾想通过严禁使用煤来处理燃煤产生的烟气污染问题。他曾颁布了一道法令：“无论是谁被发现燃烧煤，他就是有罪的，都将受到杀头的惩罚”。由此可见，大气污染自古有之。如同其他污染控制同样，大气污染控制技术和工程、设备也是在大气污染到了一定的程度、顺应时代需要的产物：控制技术的研究与工程应用的重要推进原因是严重的大气污染事件的刺激。

美国的Donora是一座钢铁小城，在1948年仅有3家重要工厂：钢铁厂、电线厂和锌板厂。在1948年的最终一种星期，浓浓的烟雾笼罩着这个小城，逆温层使得工厂排放的烟雾难以从山谷中扩散出去。到星期五，烟雾变得尤其浓，据报道碳颗粒几乎一动不动的悬浮在空中，能见度非常低，以致于当地人都迷失了道路，到星期五为止，卫生部门和医院里充斥了需要就诊的呼救。死亡发生在凌晨2点钟，直到午夜有17人死亡，这时人们才意识到问题的严重性，立即组织了医疗救济。

虽然Donora事件在美国强迫人们认识并重视了大气污染，但到英国发生相似的劫难并引起同样的认识之间又相隔了4年。1952年伦敦的“烟雾杀手”事件是在同样的气象条件下发生的，在地面上浓密的烟雾与寒冷以及从煤炉里产生的烟混合引起了少见的黄色烟雾，并且持续了1个多星期，能见度很低，以致公共汽车的售票员不得不到车前步行引导汽车穿过大街，烟雾发生2天后来，当地的死亡人数急剧上升，到达数百人。二氧化硫浓度多上述二个污染事件的发生，人们到70年代才开始关怀大气污染问题并试图进行控制，大气污染的公害才得以缓和。

我国的大气污染也已经到了十分严重的地步。我国以煤炭为重要一次能源，1996年生产与消费均占一次能源的75%，这种在相称长的时期内不会发生大的变化。大概72%的工业和蒸汽燃料、52%的化工原料和92%的民用燃料来自于煤炭，其中最大的用煤行业是电力，其他为化工、冶金、建材、采矿等行业及民用，它们共占煤炭消耗总量的83%。以煤炭为主的能源构造给环境带来了严重的威胁，我国大气污染以烟煤型污染为特性，燃煤电力提供了90%以上的热力和电力。但目前氮肥厂和煤气厂大多数造气炉除尘仍然采用较落后的盲肠式惯性除尘器或湿法除尘。前者的除尘效率很低，导致了严重的环境污染，后者不仅高端的热能不能回收，挥霍了大量水资源，同步导致了二次污染。据记录，由于燃煤1997年我国向大气中排放二氧化硫1852吨、粉尘1565吨。我国汽车工业的飞速发展导致了日益严重的尾气污染问题，1995年我国汽车尾气中CO的排放量为770万吨、HC和CO₂排放量为350万吨。上海市重要交通路口的C

O和HC的日平均浓度分别到达 $6.54\text{mg}/\text{m}^3$ 和 $0.66\text{mg}/\text{m}^3$ 。

二、大气污染物的种类及其性质

大气污染物主要有气态污染物(如二氧化硫和一氧化碳)与颗粒态污染物(如烟尘、飞灰、气雾)，其中颗粒分为液体和固体两种，以固体颗粒污染物为主,如粉尘、烟、飞灰、黑烟等，液体颗粒污染物如水雾、油雾、碱雾、酸雾等。

1， 气态污染物种类及其性质

气态的污染物是以分子状态存在的污染物。最重要的气态污染物有：碳氧化物(一氧化碳、二氧化碳)、硫氧化物(硫化氢、二氧化硫、三氧化硫)、氮氧化物(一氧化氮、二氧化氮)和碳氢化合物，臭氧也应当列入，由于它对大气有潜在的影响。

大气污染物的浓度一般表达成每立方米多少微克，以及ppm。

在25℃、760

mmHg(1大气压下)，ppm和 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的换算公式是：1ppm=1体积的污染物/10⁶体积的气体(污染物+空气)。

表1 重要空气污染物及其特性与危害性

名称	分子式	重要特性	危害性
二氧化硫		无色，强烈的窒息气味，极易溶于水形成亚硫酸	危害作物生长；腐蚀材料；毒害人体，如导致鼻炎、咽喉炎、嗅觉障碍，严重时导致肺炎和窒息等。形成酸雨，破坏土壤和水体环境及生态。
三氧化硫		溶于水形成硫酸	具有强烈的腐蚀性；在大气中遇水成为硫酸酸雾，形成酸雨，导致植物枯死。
硫化氢		浓度低时有腐蛋味，浓度高时无味	刺激眼睛和呼吸道，浓度高时使人中毒死亡
二氧化氮			

	无色，相对惰性，在燃烧中不会产生，常在隔绝空气的瓶中用作载体	刺激呼吸器官，导致咳嗽、头疼等，严重时死亡。引起光化学烟雾。
一氧化氮	无色气体	引起光化学烟雾。
二氧化氮	橙色或棕色气体	光化学烟雾构成中的重要成分
一氧化碳	不完全燃烧的产物，无色无味气体	CO与血红蛋白结合，导致缺氧、窒息；长期呼吸含低浓度的CO，导致慢性中毒。
二氧化碳	无色，无味气体	完全燃烧产生，也许会影响全球的气候
臭氧		危害作物和财产，重要产生于光化学烟雾形成的气候
碳氢化合物		对人体的危害重要是导致呼吸道和皮肤疾病，如皮炎、呼吸道和眼睛的炎症，以及头晕、乏力、咳嗽等。具有致癌作用。引起光化学烟雾。
铅		乏力、苍白、头疼、食欲不振
烟尘及粉尘		呼吸道病症、尘肺、肺气肿等。

2， 颗粒态污染物的种类及其性质

颗粒态污染物的分类如下：

(1)尘埃：a,直接由正在传递或处理的物质上带走的固体颗粒如煤、灰和水泥；b，直接从正在机械加工的原材料上散发的固体物质，如木材厂的木屑。c，那些用于机械加工的传递材料如喷砂和砂磨中的砂，从稻谷传送机和煤清洗工厂发生的灰尘也归于此类。尘埃中具有相对大的颗粒，如水泥尘埃大概粒径为 $100\mu\text{ m}$ 。

(2)烟尘：一种固体颗粒，一般是金属的氧化物，在升华、蒸馏和煅烧或化学反应过程中由蒸汽冷凝而成，如锌和铝氧化物来自于高温过程中挥发的金属冷凝和氧化，尘埃的粒径很小，为 $0.03\sim 0.3\mu\text{ m}$ 。

(3)雾：通过蒸汽的冷凝或者化学反应所形成的液滴，如硫酸酸雾的形成。二氧化硫气体变成液体是由于其露点为 22°C ，三氧化硫颗粒是吸湿性的，雾的直径一般为 $0.5\sim 3.0\mu\text{ m}$ 。

m。

(4)烟：由于含碳物质的不完全燃烧而形成的固体颗粒。空气燃烧中，碳氢化合物、有机酸、二氧化硫、二氧化氮也会产生，烟的粒径大概为 $0.05\sim 1\mu\text{m}$ 。

(5)水珠：由原始液体的雾化形成的液态颗粒。

三、大气污染源

自然界和人类每天都向大气中排放许多物质，都也许是大气污染源。

自然界自身活动过程所产生的颗粒物质如植物花粉、真菌的孢子、森林起火产生的烟雾、火山爆发产生的尘埃以及风将裸露土壤的表层浮土吹起而导致灰尘和微生物细胞向大气中转移等，在一定状况下均有也许成为污染大气、危害人体健康的污染源。此外，自然界中由于微生物活动产生的硫化氢、氨气、二氧化氮和甲烷以及二氧化碳也是大气污染物的重要构成。

大气的人为污染源主要有：居民生活(燃烧多种燃料)、工业生产、交通运送三类，其中交通运送具有移动性的特性。

由于人口增长、工农业生产的迅速发展等原因，自二次世界大战以来人类的活动成为大气的重要污染源。可以说：大气污染控制就是怎样削减由于人类活动排放到大气中的污染物量以及对排放的大气污染物进行净化。

工业生产过程中的重要大气污染物有：

- (1)二氧化硫：化石燃料的燃烧、火力发电厂、有色金属冶炼厂、硫酸厂、炼油厂等；排放大量二氧化硫将形成酸雨。一般无污染的降雨pH大概为5.6，但酸雨的pH可以减少到2甚至更低。低pH不仅影响水体中鱼类的生存，也将导致重金属的溶解释放，加剧了问题的严重性。酸雨降落到附近的土壤，使得植物枯死。酸雨使得原本酸性的土壤愈加不合用于作物的生长，从而成为不毛之地。
- (2)氮氧化物：机动车尾气和化工生产中以及微生物发酵、农产品加工中都产生大量的氮氧化物。氮氧化物的污染危害性重要来自于二氧化氮，当二氧化氮参与大气的光化学反应时，形成光化学烟雾。
- (3)碳氢化合物：包括烷烃、烯烃、苯以及多环芳烃等，重要来自于石油化工业、有机合成工业。此外，作物生长过程中也向大气中排放大量的甲烷，作物焚烧过程中产生大量的二氧化碳和烟雾等。污染危害性：许多碳氢化合物具有明显的致癌性，如多环芳烃；碳氢化合物参与大气的光化学反应，生成光化学烟雾。
- (4)碳氧化物：属于气体污染物中排放量最大的一类污染物，排放源重要有燃料燃烧和机动车以及微生物对有机碳化合物的氧化分解等。其中，二氧化碳是“温室效应”气体。
- (5)重金属：从汽车排放出来的尾气具有铅颗粒。铅的排放与含铅汽油(使用四乙醚铅作为防爆剂)有关。从运送中来的气体污染物包括一氧化碳、氮氧化物和碳氢化合物重要是由于趋轴箱、化油器和油箱的不完全燃烧及蒸发所产生的。

(6)氟化物：冶矿行业排放大量的氟化物、烟尘、粉尘、氯气、氯化氢和铅等污染物。

(7)生活、产业等活动产生恶臭物质成为大气污染的一种新的和重要的来源。

表2 几种工业生产向大气中排放的重要污染物

行业	工厂	排放的重要污染物
电力	火力发电厂	烟尘、二氧化碳、一氧化碳、二氧化硫、苯并芘
冶金	钢铁厂	烟尘、二氧化硫、一氧化碳、氧化铁尘、氧化锰尘
	有色金属冶炼厂	粉尘(含多种重金属)、二氧化硫
	炼焦厂	烟尘、二氧化硫、一氧化碳、硫化氢、酚类、苯、萘、烃类
建材	水泥厂	水泥尘、烟尘
机械	机械加工	烟尘
轻工	造纸厂	烟尘、硫尘、硫化氢
	仪表厂	汞、氰化物
	灯泡厂	烟尘、汞
化工	石油化工厂	二氧化硫、硫化氢、氰化物、氮氧化物、氯化物、烃类
	氮肥厂	烟尘、氮氧化物、一氧化碳、氨气、硫酸酸雾
	氯碱厂	氯气、氯化氢、汞蒸汽
	化学纤维厂	烟尘、硫化氢、氨气、二硫化碳、甲醇、丙酮等。
	合成橡胶厂	丁间乙烯、苯乙烯、乙烯、异丁烯、异戊二烯、丙烯腈、二氯乙烷
	农药厂	砷、汞、氯气、农药

第二节 环境空气质量原则和大气污染物综合排放原则

一、环境大气质量原则

表3 各项污染物的浓度限值(mg/Nm³)

污染物名称	取值时间	浓度限值		
		一级原则	二级原则	三级原则
二氧化硫SO ₂	年平均	0.02	0.06	0.10
	日平均	0.05	0.15	0.25
	1小时平均	0.15	0.50	0.70
总悬浮颗粒物	年平均	0.08	0.20	0.30
TSP	日平均	0.12	0.30	0.50
可吸入颗粒物	年平均	0.04	0.10	0.15
PM ₁₀	日平均	0.05	0.15	0.25
氮氧化物NO _x	年平均	0.05	0.05	0.10
	日平均	0.10	0.10	0.15
	1小时平均	0.15	0.15	0.30
二氧化氮NO ₂	年平均	0.04	0.04	0.08
	日平均	0.08	0.08	0.12

1小时平均	0.12	0.12	0.24
-------	------	------	------

二、 大气污染物综合排放原则(排气筒高度为15 m时的有组织排放， 部分)

表4-4 既有污染源大气污染物综合排放原则

序号	污染物	最高容许排放浓度mg/Nm³	最高容许排放速率(kg/h)		
			一级	二级	三级
1	二氧化硫	1200(硫、二氧化硫和其他含硫化合物生产)	1.6	3.0	4.1
2	氮氧化物	1700(硝酸、氮肥和火炸药生产)	0.47	0.91	1.4
3	颗粒物	22(碳黑尘、染料尘)	禁排	0.6	0.87
4	氯化氢	150	禁排	0.30	0.46
5	铬酸雾	0.080	禁排	0.009	0.014
6	硫酸雾	1000(火炸药厂)	禁排	1.8	2.8
7	氟化物	100(普钙工业)	禁排	0.12	0.18
8	氯气*	85	禁排	0.60	0.90
9	铅及其化合物	0.90	禁排	0.005	0.007
10	汞及其化合物	0.015	禁排	0.00018	0.00028
11	镉及其化合物	1.0	禁排	0.060	0.090
12	铍及其化合物	0.015	禁排	0.00013	0.00020
13	镍及其化合物	5.0	禁排	0.18	0.28
14	锡及其化合物	10	禁排	0.36	0.55
15	苯	17	禁排	0.60	0.90
16	酚类	115	禁排	0.12	0.18
17	氰化氢*	2.3	禁排	0.18	0.28
18	硝基苯类	20	禁排	0.060	0.090
19	沥青烟	280(吹制沥青)	0.11	0.22	0.34
20	石棉尘	20	禁排	0.65	0.98

*排放筒高度不低于25 m

表4-5 新污染源大气污染物综合排放原则

序号	污染物	最高容许排放浓度mg/Nm³	最高容许排放速率(kg/h)	
			二级	三级
1	二氧化硫	960(硫、二氧化硫和其他含硫化合物生产)	2.6	3.5
2	氮氧化物	1400(硝酸、氮肥和火炸药生产)	0.77	1.2
3	颗粒物	18(碳黑尘、染料尘)	0.51	0.74
4	氯化氢	100	0.26	0.39
5	铬酸雾	0.070	0.008	0.012
6	硫酸雾	430(火炸药厂)	1.5	2.4
7	氟化物	90(普钙工业)	0.10	0.15
8	氯气*	65	0.52	0.78
9	铅及其化合物	0.70	0.004	0.006
10	汞及其化合物	0.012	0.00015	0.00024

11	镉及其化合物	0.85	0.050	0.080
12	铍及其化合物	0.012	0.00011	0.00020
13	镍及其化合物	4.3	0.15	0.24
14	锡及其化合物	8.5	0.31	0.47
15	苯	12	0.50	0.80
16	酚类	100	0.10	0.15
17	氰化氢*	1.9	0.15	0.24
18	硝基苯类	16	0.050	0.080
19	沥青烟	140(吹制沥青)	0.18	0.27
20	石棉尘	10	0.55	0.83

第三节 污染物排入大气后发生的物理和化学变化

正如废水排放到天然水体中那样，污染物排放到大气后将发生一系列的物理和化学过程，重要是指污染物在大气中的扩散(稀释)、沉降以及污染物和污染物之间、污染物与大气中其他物质之间发生化学反应。这些物理和化学过程综合的成果使得污染物的浓度发生变化，化学反应产生许多新的化学物质，这些过程也许使得污染的危害性减弱，也有也许使得污染的危害性加剧。同步由于大气自身的特殊性(空间容量、雷电、物质构成等)，从而导致了污染物在大气中变化过程的独特性。此外，大气不是微生物的良好生存场所，因此大气中微生物对污染物的吸取和转化作用也远不及水体、土壤环境。

一、 污染物在大气中的扩散和稀释

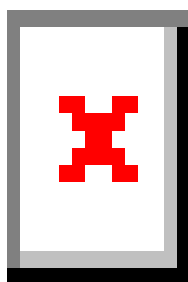
大气对污染物的稀释扩散是大气环境容量的一种重要方面。在废气浓度较低、危害性相对较小或排放总量小的场所下，常用烟囱将废气或烟尘排放到一定高度的空中，使得污染物向更广范围进行扩散，到达稀释并减少污染危害的目的，这种做法是实用并且合理的。

废气或烟尘在烟囱中借助于烟囱对气流的动力和废气自身的热浮力的作用从烟囱口排出，进而继续上升，然后在大气中扩散。废气或烟尘在大气扩散过程中，与周围大气发生能量互换和物质转移，直到与周围大气的速度、温度等基本相近时废气或烟尘便伴随大气运动而浮沉和扩散，最终与大气融为一体。

废气或烟尘在大气中的扩散与许多原因有关，如废气或烟尘的性质(比重、温度)、气象条件(风力、风向、气温、湿度)、烟囱高度等，其中气象条件是最重要和难以人工控制的原因。

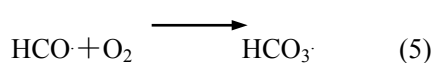
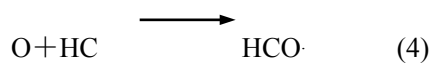
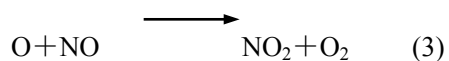
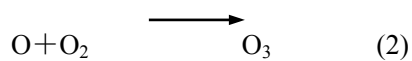
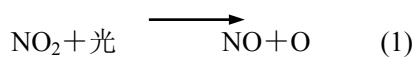
在大气中扩散，废气或烟尘在外观上往往具有一定的几何形状，此称为烟羽。烟羽的形状一般有五种：波浪形、锥形、扇形、屋顶形、熏烟形，重要与气象条件有关。

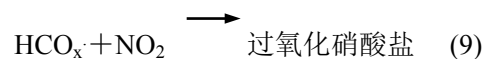
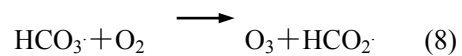
图1 烟羽形状



二、 污染物在大气中的化学反应

大气污染过程中，原污染物或初级污染物在大气中往往由于一系列的化学反应而形成二次污染物。众所周知的洛山矶光化学烟雾就是二次污染物形成的成果，如下表所示是光化学烟雾中的重要化学反应。





上述反应的环节阐明了在汽油和其他染料的燃烧过程中所形成并排放到大气中的二氧化氮由于阳光的作用而产生了臭氧，臭氧就是二次污染物，它与碳氢化合物反应形成一系列的化合物，包括醛类、有机酸和环氧化合物。这样，大气就可以被看作为一种巨大的反应器，反应过程中不停有新的污染物形成，使得污染状况越来越复杂。

第一节 大气污染控制的基本原理和特点

与水污染控制相似，大气污染控制的主线出发点也是倡导清洁生产、改革工艺技术和改造生产设备，尽快能地削减污染物的排放量。同样，在污染物的排放前也应当充分考虑资源和能源的回收运用，如：废气或烟尘中 useful 物质的搜集和回用、废热的回用、酸性废气作为碱性废水的中和药剂等。在必须排放时，要采用对应的措施减少污染的危害性，详细措施有：污染源位于居民区的下风向(与污水排放口设置在给水水源地下游同样)；合理运用大气的环境容量和自净能力，建造烟囱(如同污水的排放口)实行高空排放；在污染源进行废气及烟尘的处理，使其到达一定规定后再排放等。就技术原理来说，废气或烟尘的处理与净化过程中广泛使用到物理措施(如扩散稀释、沉淀、离心、阻隔、吸取)、化学措施(如燃烧、催化氧化)、物理化学措施(如吸附)和生化措施(如生物滤池对废气的净化)以及尘渣和污泥的妥善处置。这些处理措施和净化设备在工程应用中可以单独使用，但往往是有机地组合成一种完整的处理工艺系统，这些方面与污水处理具有很大的共性。

与水污染控制不一样，大气污染控制具有许多独特之处，表目前：污染物成分的特殊性；许多废气或烟尘的温度较高；污染物在大气中扩散稀释过程较在水体中更为复杂，同步受气象原因的影响更为明显；废气或烟尘的处理、净化技术以及设备的选择、设计和制造也与水污染控制有一定的差异。此外，交通运送大气污染的移动性，也是大气污染控制特殊性的一种方面。

第四节 大气污染控制技术与设备

表6 大气污染控制中的重要技术措施和设备：

大气污染控制技术	物理法	分离	重力除尘、离心除尘、静电除尘、过滤除尘、洗涤除尘；溶剂吸取；物理吸附；换热
		扩散	烟囱高空排放
	化学法	分离	化学吸附
	生物法	转化	燃烧、催化转化

一、污染物的扩散稀释

废气或烟尘中污染物在大气中的稀释扩散受气象条件(大气稳定度、大气温度和湿度)、
烟气性质(比重、温度、排出速度)以及障碍物状况所影响。

大气处在稳定状态时，污染物不易稀释扩散，污染物会积聚在地面导致污染；大气处在不稳定状态时，污染物易于稀释扩散，污染物对地面的影响得以缓减。对烟气的大气扩散形成障碍的重要有：山谷和街谷将导致烟气中烟尘降落、地面浓度增高，加剧污染危害。因此，为发明良好的扩散稀释条件，设计中应使得因此高于200

m半径范围内的障碍物5 m以上。

烟囱有效高度的计算：

$$h_{\text{效}} = h_{\text{窗}} + h_{\text{动}} + h_{\text{浮}} \quad (10)$$

式中： $h_{\text{窗}}$ —烟囱高度(m)

$h_{\text{动}}$ —烟气动能引起的上升高度(m)

$h_{\text{浮}}$ —烟气浮力引起的上升高度(m)

最大落地浓度和距离的计算：

$$C_{\text{最大}} = \frac{Q}{V_{\text{风}} \cdot h_{\text{效}}^2 \cdot C_y} \quad (10)$$

$$X_{\text{最大}} = (h_{\text{效}}/C_z)^{2/(2-n)} \quad (11)$$

式中： $C_{\text{最大}}$ —最大落地浓度(g/m³)

$X_{\text{最大}}$ —最大落地浓度处距烟囱的距离(m)

Q —污染物排放量(g/s)

C_z 、 C_y —水平和垂直方向上的扩散系数

$V_{\text{风}}$ —平均风速(m/s)

n —随大气稳定性而变的萨顿扩散系数

二、污染物的分离

1, 除尘

除尘技术, 更广义地说是非均相分离技术, 它波及粉尘的捕集、净化、回收等问题。

许多烟气中具有固体颗粒状污染物, 使用除尘设备将它们从烟气中分离出来, 到达净化烟气、减少排放量的目的。

除尘设备按其起作用的技术原理划分主要有: 重力除尘设备、离心除尘设备、惯性除尘设备、洗涤除尘设备、阻隔除尘设备、静电除尘设备等。

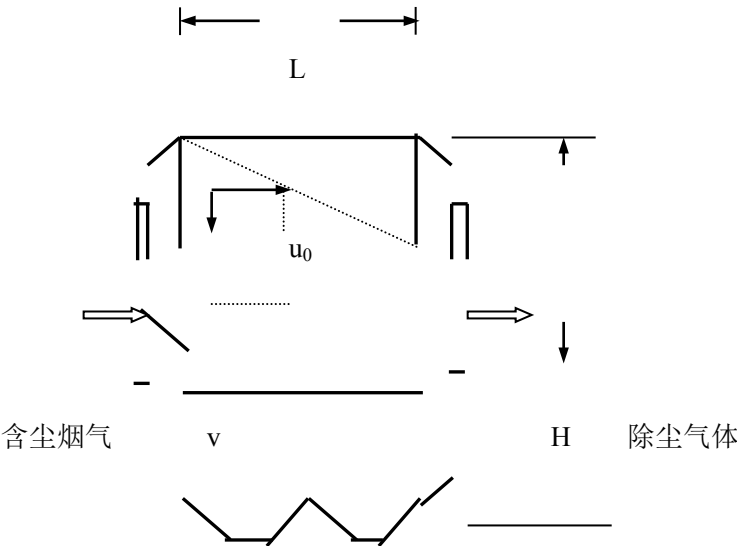
(1)重力除尘设备

重力除尘设备类似于污水处理中的沉淀池(如图2所示), 其关键部分是重力沉降室, 按气流方向分为: 平流式沉降室和垂直式沉降室两种。烟气中的固体颗粒物由于比重相对较大, 在重力沉降过程中逐渐与烟气主体分离开来, 并沉淀到除尘设备的尘斗。

影响颗粒物重力沉降分离效率的原因主要有: 烟气的过流速度、颗粒的大小和比重、布气效果等。烟气过流速度越小, 则除尘效率越高, 但过流速度太小则除尘设备的长度太大, 投资费用增高。一般控制烟气过流速度为 $1\sim 2\text{m/s}$, 除尘效率为 $40\sim$

60%。除尘设备的进气和出气口要注意防止气流的短流和偏流问题，必要时安装气流分布板，并控制设备的总阻力损失为50~130Pa为合适。与污水处理的沉淀池相似，有时在重力沉降室的高度上增长几块水平隔板，以提高烟气过流量和除尘效率。特点：构造简朴、投资少、压力损失小(50~150Pa)，维修管理轻易；体积大、效率低，合用于除去100μ m以上的尘粒，一般作为预处理设备。

图2 含尘烟气的重力沉降室示意图



(1)离心除尘设备

通过烟气在设备中的回转导致离心力场，尘粒由于离心力汇集在除尘器内壁，并在重力作用下沉降到灰斗，气流在除尘器中心形成内涡旋，从而将尘粒从烟气中分离出来，又称为离心除尘器、旋风除尘器。

如图3所示是通用型离心除尘器内气流状态。

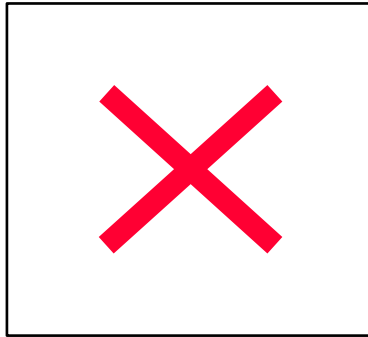


图3 通用型离心除尘器内气流状态

离心除尘器具有构造简朴、造价较低、没有运动部件等特点，合用于清除粒径为10微米以上的尘粒，许多状况下是作为预除尘装置出现的，除尘效率为70%以上，压力损失为500~1500Pa，设备的入口速度为8~12m/s左右。合适增长筒体高度、较小筒体直径均有助于提高除尘效率(增长气流在圆筒内的旋转圈数和强化离心力场)，但直径过小，则除尘轻易逃逸，高度太大，阻力损失加大。一般筒体总高度(包括灰斗)为直径的5倍为宜。离心除尘器的卸灰部分应保证严密无缝(保证灰斗部分处在负压状态)，否则将严重影响除尘效率(灰都中尘粒被气流重新带走)。注意及时排灰。合适提高进气速度：防止细、软、潮、粘的颗粒在除尘器内壁结块，减少除尘效率、增长阻力损失。

(3)惯性除尘设备：使含尘烟气急剧变化气流风向，尘粒由于惯性力而偏离流线(尘粒的惯性力对于气流的惯性力)并撞击在挡板上，实现尘粒与气流分离的一种除尘设备。重要有弯管式、百叶窗式和多层填料隔板式三种，如下图4所示是多种惯性除尘设备的工作原理示意图。

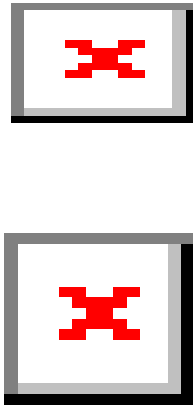


图4 惯性除尘器工作原理

碰撞即为阻力损失，故这种除尘设备的压力损失较大，为 $200\sim 1000\text{Pa}$ (取决于设备型式)，但除尘效率较高，为 $50\sim 70\%$ 。在实际应用中，这种设备一般作为预处理设备，用来分离较大、较重的颗粒，对 $25\mu\text{m}$ 以上的尘粒除尘效率为 $65\sim 85\%$ 。对于粘结性和纤维性粉尘，由于堵塞不适宜使用惯性除尘器。

(4)湿式除尘设备：在湿式除尘器中水与含尘气体的接触有三种形式，即：水滴、水膜和气泡，使用湿法除尘的前提条件是粉尘的亲水性好。

湿式除尘器型式包括喷淋式（水流自上向下喷成雾状，尘粒和液滴之间的碰撞、拦截和凝聚等作用使得尘粒随液滴降落下来）、旋风式(又称为水膜式除尘器，水流经喷嘴沿切线方向在圆筒内壁形成薄膜，含尘烟气也沿切线进入圆筒，但两种流体的方向相反，尘粒在离心力作用下紧贴筒壁运动并被水膜粘附，从烟气中分离出来)。

湿式除尘器的特点：除尘的同时也能清除废气中气态污染物；捕集的粉尘不会产生飞扬；设备构造简朴、阻力小(喷淋式和旋风式)、操作以便；可以处理高湿和有爆炸危险的气体。缺陷是设备庞大、效率较低，对高温烟气中的热能不能进行回收运用，导致能源的挥霍，并且洗涤除尘后排放大量的含尘污水，需要进行妥善处置；设备腐蚀问题和冬季防冻问题。

湿式除尘器的除尘效率：阻力损失为250～500Pa，停留时间为20～30s，对10 μ m以上的尘粒除尘效率为70%左右。

如图5、图6所示是喷淋除尘器和湿式旋风水膜除尘器的构造和构造原理。

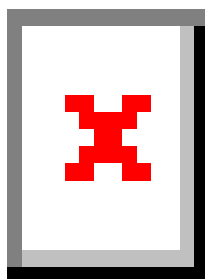
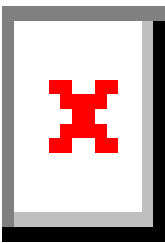


图5 喷淋除尘器构造和工作原理

图6 湿式旋风水膜除尘器构造和工作原理

在工业污染治理中，可以使用某些工业废水作为旋风水膜除尘器的洗涤介质，到达以废治废的目的。如某印染厂采用碱性精炼废水作为洗涤介质对锅炉废气进行消烟除尘处理，烟气流量为 2×10^4 m³，废水流量为50 T/d，除尘率到达85%以上，同步对废水起到了预调整(减少pH)和预处理(减少COD)作用。



进气速度为15m/s以上，阻力损失为500~1500Pa，对1μm以上尘粒除尘效率为88%~99%)、水浴式、泡沫式、填料式、喷射式等。可以将粒径为0.1~20μm的液体或固体粒子从气流中清除，同步可以清除气流中的溶解性气态污染物。

表7 多种湿式除尘器的比较

类型	设备	比较
----	----	----

喷雾接触型	喷淋塔	用雾化喷嘴将液体雾化成细小液滴，气体是持续相，与之逆流运动。阻力损失小，液体消耗多，合用于清除几μm以上的微粒。
	喷射洗涤器	高压喷嘴雾化，气液同向流，阻力损失大，合用于清除1μm以上的微粒。
	离心洗涤器	将离心分离与湿式除尘结合起来，可捕集1μm以上的微粒，阻力损失中等。
气体雾化型	文丘里管洗涤器	使用高速气流吸入液体并雾化成细小液滴，合用于清除1μm以下的微粒和粘性粉尘。
液膜型	填料塔	设置填料使得液体形成大面积的液膜，提高两相接触效果，合用于清除几μm以上的微粒。进气浓度太高将导致填料堵塞。
	湍流塔	填料为塑料球、玻璃球或卵石球，气流可以将球浮动起来，液体从上下双向喷入床层，两相接触强度高，合用于清除1μm左右的微粒，阻力损失大。
鼓泡接触型	泡沫洗涤器	筛板上保持一定高度的液体层，气流由下向上通过液层形成泡沫。
	冲击泡沫洗涤器	气体鼓泡后又冲击到上面挡板上，两相接触强度高，合用于清除1μm以上的微粒，离子损失较小。

表8 多种湿式除尘设备的基本运行参数

名称	基本流速m/s	液气比 cm ³ /m ³	压力损失Pa	除尘效率%
喷淋式	0.1~2	2~3	100~500	70
旋风式	15~50	0.5~1.5	1000~1500	90~95
水浴式	10~20	1	1000~1500	80~95
泡沫式	5~15	1~3	500~800	95~99
填料式	0.5~1	2~3	500~2500	85~90
文氏管式	60~90	0.3~1.5	3000~8000	99
喷射式	10~20	10~50	1000~2023	90

表9 湿式旋风水膜除尘器的除尘效果

除尘对象	粉尘粒径(μm)	进口浓度 (g/N m^3)	出口浓度 (g/N m^3)	除尘效率 (%)
锅炉飞灰	>2.5	1.12~5.9	0.046~0.106	88~98.8
铁灰石焦炭飞灰	0.5~20	6.9~55	0.069~0.184	99
石灰窑飞灰	1~25	17.7	0.576	97
铅反射炉烟气	0.5~2	1.15~4.6	0.053~0.092	95~98

表10 湿式文丘里管除尘器的除尘效果

除尘对象	进口浓度 (g/N m^3)	出口浓度 (g/N m^3)	除尘效率 (%)
炭黑	7.68	0.12	98.44
石灰窑石灰和氧化钠尘粒	16	0.045	99.09
氧化铝生产硅铝粉	2.0	0.005	99.75

(5)阻隔除尘设备：又称为过滤式除尘设备，其基本工作原理与污水的过滤净化和污泥的过滤脱水基本相似。按照过滤介质的基本型式分，阻隔除尘设备主要有两种：布袋除尘器和颗粒层除尘器。

含尘烟气在通过多孔介质时被截留、较大尘粒由于碰撞而被捕集、尘粒静电吸附(气流、介质和尘粒摩擦生电)。伴随除尘的进行，介质表面积聚的尘粒越来越多，阻力损失越来越大，但除尘效率也越来越高。在实际应用中过滤材料可以制成袋、筒、抽屉、管状、平板等型式。如下图7是滤筒式除尘器的滤筒构造及其工作示意图。

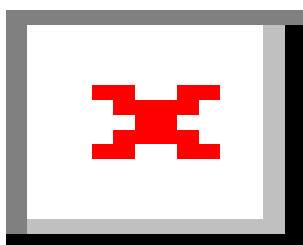
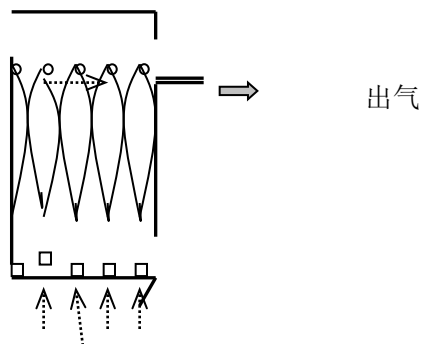


图7 滤筒式除尘器及其滤筒构造

滤筒式除尘器的起始阻力损失为250~400Pa、终了的阻力损失为1250~1500Pa，对细小粉尘(1-5 μ m)以上的粉尘除尘效率为99.99%。

a,布袋除尘器：在袋式除尘器中，滤袋可以做成多种形状，如扁袋式、抽屉式、滤筒式等，其中布袋除尘器中以扁袋除尘器使用最广泛，它具有除尘效果好，处理能力大的长处。

图8 扁袋式除尘器的工作原理示意图



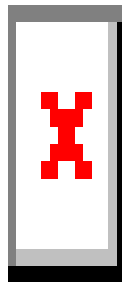
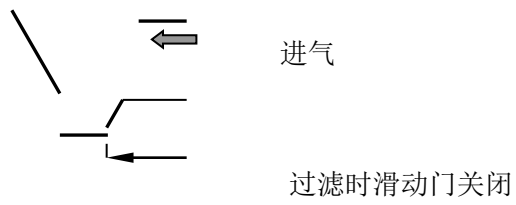


图9 除尘布袋构造

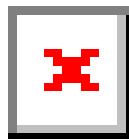


图9 除尘抽屉构造

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/018116004056006106>