

高温烟气袋 滤除尘技术

——振打式玻纤扁袋除尘器

胡源 编著



冶金工业出版社

76.165
4731

高温烟气袋 滤除尘技术

——振打式玻纤扁袋除尘器

胡 源 编著

冶金工业出版社

内 容 简 介

本书系统地介绍了高温烟气袋滤除尘技术，重点介绍炉、窑的高温除尘技术及快装、振打式玻纤扁袋除尘器，对扁袋型除尘器、玻纤滤布、振打清灰的论述尤为详尽，是高温烟气采用布袋除尘器的专题论述。全书密切结合实际，内容深入浅出。

本书是从事有关专业设计和制造的工程技术人员和技术工人的工具书，也可供从事环境保护和劳动卫生工作的人员及大专院校师生和其他有关人员参考。

高温烟气袋滤除尘技术 ——振打式玻纤扁袋除尘器 胡 源 编著

冶 金 工 业 出 版 社 出 版 发 行

(北京北河沿大街展览院北巷33号)

新华书店总店科技发行所经销

冶金工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张 9 7/8 字数 261 千字
1990年12月第一版 1990年12月第一次印刷

印数 00,001~2,000册

ISBN 7-5024-0770-7

X·26 定价7.30元

序

环境保护已成为全球性的重要问题，我国已将环境保护列为基本国策之一，颁布了《环境保护法》。党的十三大报告指出：“人口控制、环境保护和生态平衡是关系经济和社会发展全局的重要问题。……在推进经济建设的同时，要大力保护和合理利用各种自然资源，努力开展对环境污染的综合治理，加强生态环境的保护和合理利用各种自然资源，努力开展对环境污染的综合治理，把经济效益、社会效益和环境效益很好地结合起来”。当今我国环境问题中最突出的是城市烟尘污染。

我国城市大气质量以颗粒物最严重，几乎全部超标，而二氧化硫的日平均浓度只有三分之一的城市超标。因此在目前条件下，大气污染防治的主要重点是烟尘治理。我国首次工业污染源调查结果表明，每年排入大气的烟尘量约有1204万t，其中排放量最大的行业为：电力蒸汽热水375.6万t，占31.2%；建材非金属矿物制品313.4万t，占26%；黑色金属冶炼及压延加工113.4万t，占9.4%。这些烟尘几乎全部与煤的燃烧有关，而煤炭占我国能源的四分之三，这一趋势在本世纪内已成定局。

从世界范围来看，大气污染也很严重，联合国一份报告中说：“只有20%的世界城市居民所呼吸的空气达到可以接受的水平”。据统计，每年排入大气的烟尘达到1亿t。为了减少烟尘污染，国外首先采取严格排放标准的措施，如美国对大部分冶金尘源的排放标准要求在 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 以下，西德1986年通过的新排放标准规定任何尘源不得超过 $50\text{mg}/\text{m}^3$ ；其次是发展高效除尘设备，其中特别是发展袋式除尘器和电除尘器。

袋式除尘器在除尘装置中是一种除尘性能最好、能满足当前最严格的排放标准要求、最可信赖的除尘设备。随着耐高温过滤材料的发展，国外已较多地将玻璃纤维滤布袋式除尘器用于电站

锅炉与工业锅炉、干法水泥转窑、电弧炉等炉窑的烟气除尘，国内也已在这些领域试验和使用，积累了经验并取得了较好的成果。

本书的作者胡源（鞍山钢铁公司设计研究院高级工程师）早在1965年即提出振打式玻纤扁袋除尘器雏形，继而在鞍钢、长春第一汽车制造厂及全国各地推广。为开拓高温烟气除尘应用领域，作者于1978年在鞍钢第一炼钢厂建立了这种试验装置，利用吹氧炼钢平炉排烟进行除尘试验，取得了充足的各项实验数据，为后来这种设备的开发和结构完善打下了基础。

胡源同志研制的振打式玻纤扁袋除尘器实属国内外首创。其可贵的发明要点集中体现在：（1）充分利用玻纤滤布抗拉最强、断裂延伸率最低、耐高温、易清灰的优点，创造了独特的在单体箱内拉紧安装滤袋结构；（2）采用冲击振打进行滤袋清灰，机械设备简单可靠，清灰效率高、节省能源；（3）充分发挥扁袋能最有效合理利用空间的特点，使除尘器单位容积内的过滤面积高达 $40\text{m}^2/\text{m}^3$ 以上，为普通圆袋除尘器的4~5倍；（4）采用积木式单元组合方式，各过滤单元100%在制造厂造好，便于大型化和快速安装。因此，该除尘器无论占地还是造价均明显优于一般的圆袋除尘器，从而具有良好的市场竞争力，近年来已被较多的用户接受，在热风冲天炉、煤粉锅炉、木泥烧成回转窑、合金电炉、炭黑炉等炉窑烟气除尘上均已有效地使用。

我国现有燃煤锅炉约30万台，它们已成为城市烟尘的主要污染源。为此在“七五”国家重点科技攻关环保项目中列了一项“锅炉烟气高效除尘、低气布比袋滤技术研究”课题，经全国范围招标、投标与评标，胡源的振打式玻纤扁袋除尘器一举中标。自1987年起，他的课题组又建立了冷、热态试验装置，两年来进行了效率、阻力、振打清灰强度和清灰效果等除尘规律多方面的实验研究，充实了理论分析数据和结构优化经验。

胡源同志孜孜不倦20余载精心研究高温烟气袋滤除尘技术，发明了我国独创的振打式玻纤扁袋除尘器。本书是他研究工作的

经验总结。书中图文并茂，理论充实，实用性强。此书的出版必将对高温烟气除尘作出较大的贡献。

胡源同志锲而不舍的治学精神，素为通风除尘界的同行们钦佩。精诚所至，金石为开。故乐为之作序。

中国劳动保护科学技术学会理事
中国环境保护工业协会袋式除尘委员会付主任委员
劳动部劳动保护科学研究所高级工程师

胡鉴序

目 录

序.....	Ⅰ
第一章 高温烟气袋滤除尘技术	1
第一节 高温烟气特性及有关参数的测定	1
第二节 高温烟气和常温含尘空气除尘概述	7
第三节 布袋除尘器的优势	14
第四节 烟气的含湿量及酸气成分对袋滤过程的影响	16
第五节 袋滤除尘的工作温度和露点的控制	20
第六节 过滤捕尘机理及滤布的除尘过程	31
第七节 袋滤除尘对滤布的要求	51
第八节 滤布上的附灰层在过滤过程中的重要作用	54
第九节 滤袋的清灰过程	58
第十节 滤袋的各种清灰方法及特点	61
第十一节 振打和反吹清灰的适用性	68
第二章 快装、振打式玻纤扁袋除尘器	74
第一节 基本实用性能	75
第二节 扁袋型与圆袋型除尘器的占地比较	95
第三节 本体结构和组装滤袋的单体箱	98
第三章 玻纤滤布性质及扁袋制作	110
第一节 玻纤滤布的制造及发展过程简述	111
第二节 玻纤滤布的化学性质	114
第三节 玻纤滤布的物理性质	116
第四节 玻纤滤布的表面化学处理	121
第五节 玻纤滤布的种类及选用	126
第六节 玻纤扁袋的缝制	140
第七节 拉紧、外滤式玻纤扁袋承受负压的程度	143
第四章 玻纤扁袋除尘器的清灰	147
第一节 高频振动清灰的原理及设备	148
第二节 冲击振打清灰的原理及设备	155

第三节	振打和反风联合清灰的原理及设备	166
第四节	测定振打力以检验单体箱的结构和安装质量	167
第五章	除尘器本体的配套部件	172
第一节	积灰漏斗	172
第二节	放灰阀及灰尘处理装置	177
第三节	截流阀门和调节阀门	185
第四节	清灰设备的自动控制箱、柜	188
第五节	基础、检修平台及走梯	190
第六节	除尘风机	192
第六章	玻纤扁袋除尘器现场安装	195
第一节	除尘系统组成及现场安装	195
第二节	安装场地选择	201
第三节	进、排风管及其连接	203
第四节	负压或正压使用	206
第五节	连续或间断操作	208
第七章	除尘系统概述	209
第一节	除尘系统的特性	209
第二节	除尘系统的调试	222
第三节	除尘系统的使用维护和停用检修	225
第四节	除尘系统的技术经济问题	231
第八章	振打式玻纤扁袋除尘器的应用	249
第一节	常温含尘空气工业除尘	249
第二节	炉、窑的高温排烟除尘	256
附录1	湿空气焓湿图	298
附录2	含水蒸气及三氧化硫蒸气的气体的露点	299
附录3	含水蒸气及氯化氢蒸气的气体露点	300
附录4	含水蒸气及氟化氢蒸气的气体的露点	301
附录6	玻纤扁袋除尘器的型号规格	302
	参考文献	307

第一章 高温烟气袋滤除尘技术

随着工业生产的迅速发展，污染物的排放量大幅度增加。对作业环境和大气来说，主要污染物是粉尘。而除尘的任务是从各类含尘气体中将粉尘，特别是微尘清除下来，以防止微尘对人体健康和环境的危害。为此，一方面需要将生产设备产生的粉尘（连同透载粉尘的气体）予以捕集，使其不能散发出来危害作业环境；另一方面需要清除含尘气体中的粉尘，使其达到国家规定的粉尘浓度排放标准后再排入大气，以保护环境。

含尘烟气的除尘方法很多，其中捕集效率高的方法主要有：采用水力的湿式除尘；采用电力的电除尘；采用袋滤方法的袋式除尘等。

现在袋滤除尘方法最为通行适用，对过滤机理和影响除尘过滤的一些重要因素的了解，是选好、管好、用好这种除尘器的关键。

袋式除尘器的特点很多，主要有：除尘效率最高、建设费用较低、处理含尘气体量可大可小、适用性强等。近年来袋滤除尘及有关技术有了长足的进步，今后还将进一步发挥更大的作用，而较系统地、深入地掌握这项技术，又是推广的关键。

第一节 高温烟气特性及有关参数的测定

一、高温烟气特性

高温烟气是燃烧或其它化学变化过程的产物，包括固体颗粒和各种气体成分。燃料的成分有碳、氢、氧、氮、硫、水分、灰分以及其它杂质（如氟、砷、钒、钠盐等），由于燃料在空气中的完全燃烧，在烟气中形成了二氧化碳、水蒸气、氮、二氧化硫、三氧化硫、飞灰等。如果燃烧过程进行得不完全，烟气中还含有不完全燃烧产物，如一氧化碳、甲烷和乙炔等碳氢化合物，

产生了不完全燃烧产物的有害成分。

烟气除尘和常温除尘利用袋式除尘器的方法是一致的，但烟气具有温度、水分、含酸成分等，对袋滤除尘过程成功与否起到决定性的影响。可以说，切实处理好这些关系，必须依靠测定的定量数据。

掌握高温烟气的特性及有关除尘参数，必须从测定入手，即测出高温气体中颗粒物的含量、分级粒度、堆比重、真比重、烟气流量、压力、温度、湿度和气体与颗粒物的成分等；灰尘的一些和除尘净化有关的特性，如吸湿性、粘结性、琢磨性和静电性等。以上这些特性和参数关系到高温烟气除尘装置的正确选用与运行效率。

二、除尘参数测定

测定目的归纳起来有下列几点：

(1) 全面了解尘源情况，以便合理周密地选定除尘系统的各项设备，制定有关措施和相应的操作制度。

(2) 检查除尘系统的效能是否符合现行排放标准的规定。

(3) 分析和评价所测定的除尘系统（或除尘设备）的效能和使用状况，并总结经验。

(4) 为环境保护研究和经济影响分析提供可靠的数据。

为保证取样的可靠性，通常需要对试样采取保护措施，例如，要保持试样温度以防冷却。另外测定某些污染物质往往极为困难，有时即使化学分析和观测仪器并用，也得不到满意的测定效果，因此还需要参照相似工艺过程所积累的经验，因为在运行中参数不稳定的情况是不能忽视的。

1. 测定的位置

为取得具有代表性的样品，应尽可能将测定位置选在气流平稳的管道上，距弯头、阀门和其它变径管段上、下游大于6倍直径的直管道处。测定烟尘浓度时，避免选择水平烟道灰尘堆积的位置，应优先考虑浓度分布比较均匀的垂直管段。采集烟气中气态污染物质样品时，可不受上述原则约束。

2. 测孔和测点 (采样点)

测孔直径随所采用的测量探头尺寸而定。测点数按烟道断面尺寸和形状划分为适当数量的等面积同心圆环或小方块决定。

3. 气体的湿度表示

气体 (通常指空气或烟气) 中常含有少量水蒸气, 气体的湿度是表示气体中含有水蒸气多少亦即含湿程度, 一般有二种表示方法。

(1) 绝对湿度 (x), 指单位质量或单位体积湿气体中所含水蒸气的质量 (kg/kg 或 kg/m^3)。当湿气体中水蒸气的含量达到在该温度下所能容纳的最大值时的气体状态, 称为饱和状态。

(2) 相对湿度 (φ), 指单位体积气体的密度 ρ 与其中所含水蒸气密度 ρ' 之比, 这一比值也等于湿气体中水蒸气的分压力 p 与同温度的饱和蒸气压力 p' 之比。相对湿度与温度密切相关, 即当气体的温度升高时, 相对湿度减少; 湿度降低时, 相对湿度增加。

相对湿度 (φ) 用百分数表示:

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho'} \times 100\% = \frac{p}{p'} \times 100\% \quad (1-1)$$

一般多用相对湿度表示气体的干湿程度, 并采用干、湿球温度计。测出干、湿温度差, 然后查附录 1, 即可得出相对湿度。

4. 烟气状态参数的测定

计算烟气流速、烟气量和污染物浓度时, 必须研究烟气的湿度、压力和含湿量等主要状态参数。管道内烟气压力测量如图 1-1 所示。

烟气的含湿量通常是指湿烟气中与 1kg 干烟气共存的水气量。由于干燥剂氯化钙吸收水分, 所以根据定量的烟气通过氯化钙时, 氯化钙增加的重量即可求得水分的含量。

5. 气体的重度

在除尘工作中, 必须测定流量, 但往往需先测定不含尘空气的重度, 然后予以修正, 以算出烟气的重度, 从而推导出处理过

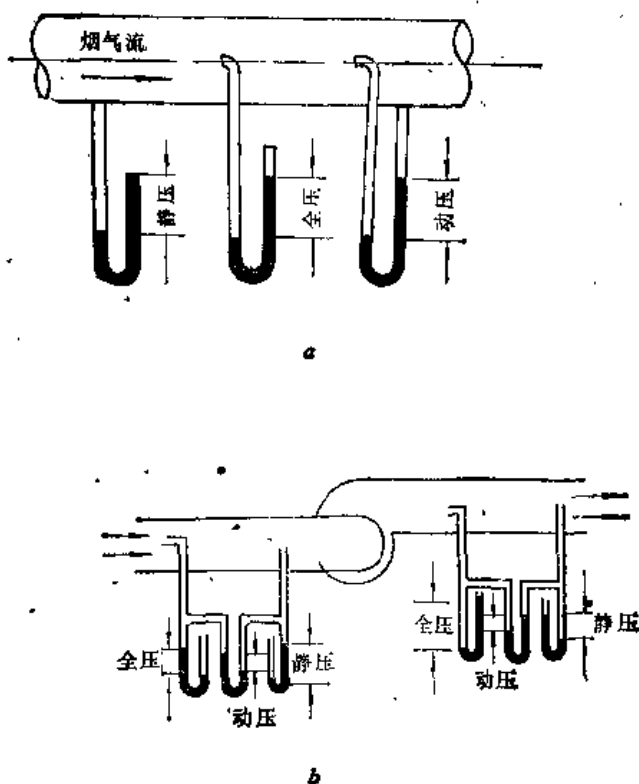


图 1-1 管道内烟气的压力测量

a—管道内烟气压力测量；b—排烟机前后烟道烟气的测量

程的各种温度下的体积流量。

不含尘空气的重度、温度和压力的关系，可根据下列公式计算：

$$\gamma_t = \gamma_H \times \frac{T(p_H \pm \Delta p)}{(T+t)p_H} \quad (1-2)$$

式中 γ_H ——1.29kg/m³ (不含尘空气在0℃和压力 $p_H=1\text{kg/cm}^2$ 下的重度)；

t ——气体温度，℃；

T ——273℃；

p_H ——标准大气压力, Pa;

Δp ——气体压力与 p_H 的差。

干空气重度与温度的关系, 示于图1-2中 $\phi=0$ 的曲线。完全饱和状态时水蒸气含量曲线示于图1-3。

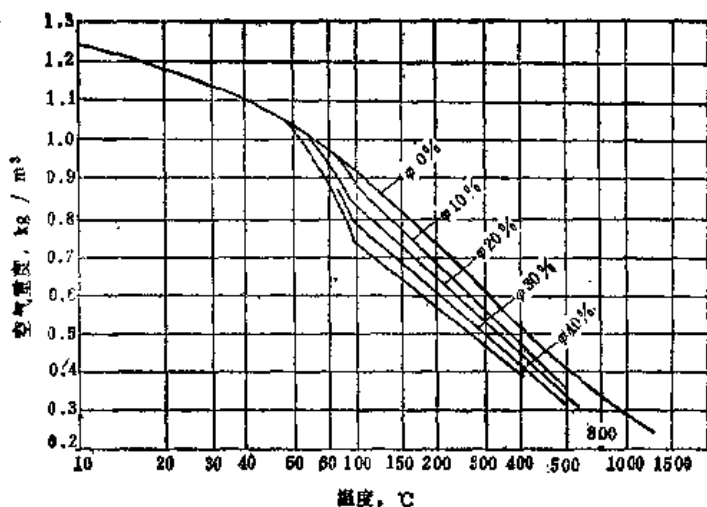


图 1-2 空气温度与重度的关系

当除尘系统的压力或负压不超过2000Pa时, 气体的重度随压力的变化可以略去不计。因为它所引起的气体容积重量的变化不超过2%, 流速的变化不超过1%。

含尘气体混合物的重度决定于含尘量, 可按下列式计算:

$$\gamma_{G_1} = (\gamma_t + G) \quad (1-3)$$

式中 G ——在 $t^\circ\text{C}$ 时, 1m^3 空气或气体中粉尘的量, kg;

γ_t ——在同一温度下纯净空气或气体的重度, kg/m^3 。

如果在 $t_1=0^\circ\text{C}$ 时, 含尘气体中粉尘的量为 $G_1 \text{ g}/\text{m}^3$, 那么在 $t_2^\circ\text{C}$ 时, 气体中所含粉尘的量 G_2 应等于:

$$G_2 = G_1 \times \frac{\gamma_1}{\gamma_H}$$

含水蒸气的空气混合物的重度按下式计算:

$$\gamma_i = \frac{p_{H_2O, \pi}}{RT} \times \left(1 - 0.378 \times \frac{\varphi \cdot p_{H_2O, \pi}}{R} \right) \quad (1-4)$$

式中 $p_{H_2O, \pi}$ —— $t^\circ\text{C}$ 下饱和水蒸气压力，或水蒸气分压力；

R ——干空气的气体常数， $R=29.27$ ；

φ ——空气的相对湿度，等于 1m^3 空气中所含的水汽量与同样温度下同体积空气中饱和水蒸气量的比值。

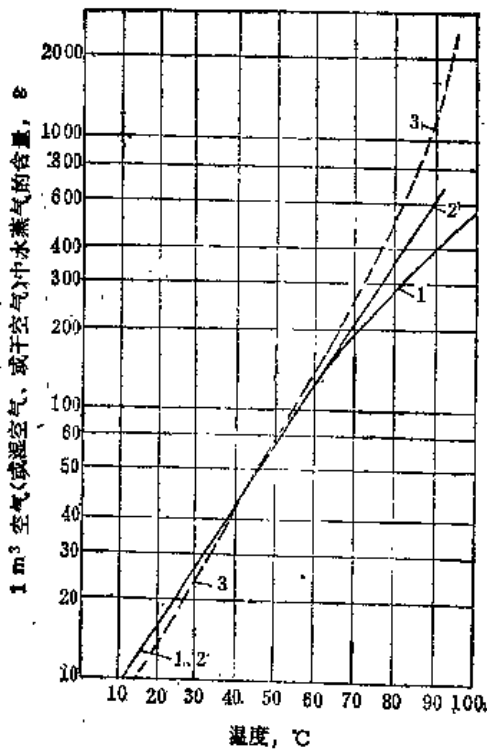


图 1-3 完全饱和时水蒸气含量

1— 1m^3 空气中水蒸气的含量，g；2— 1kg 湿空气介质中所含水蒸气量，g；3— 1kg 干空气中所含水蒸气量，g

从式 (1-4) 中看出，湿空气混合物的容重比干空气来得轻，但当温度在 20°C 以下，相对湿度低于 20% 时混合物容重的

变化可以略去不计，所引起的误差不会超过0.2%。

气体重量可以根据其分析结果或各组成的容积含量来计算。

此时必须考虑到气体分析只测定了某种气体在总的干混合气体容积中所占的容积分数。水蒸气的容积还要另行测定。

如设 $\gamma = 1.39 \text{ kg/m}^3$ （标准状况下）的干空气仅占70%的容积，其余30%系重度为 0.804 kg/m^3 （标准状况下）的水蒸气，则混合气体的重度为：

$$\begin{aligned}\gamma_{\text{混合}} &= 1.39 \times 0.7 + 0.804 \times 0.3 \\ &= 1.207 \text{ kg/m}^3 \text{ (标准状况下)}.\end{aligned}$$

在缺乏很精确的气体分析结果时，可以认为：如 $t = 0^\circ\text{C}$ 时空气重度 $\gamma_H = 1.29 \text{ kg/m}^3$ （标准状况下）；水泥煅烧熟料的回转窑完全燃烧的产物不含水蒸气时， $\gamma_H = 1.38 \text{ kg/m}^3$ （标准状况下）；水泥湿法生产时，包括水蒸气在内烟气的 $\gamma_H = 1.2 \text{ kg/m}^3$ （标准状况下）。

烟道上任意一点的折算烟气容积按下式计算：

$$V = V_0 \left(1 + \frac{t}{273} \right) \quad (1-5)$$

式中 V ——任意点的体积， m^3 ；

t ——任意点的温度， $^\circ\text{C}$ ；

V_0 ——标准状况下的体积， m^3 ；

$1/273$ ——烟气每增加 1°C 所增加的体积。

6. 烟气中硫酸雾 (SO_3) 的测定

烟气中的硫酸雾是促进冷凝的主要成分，其测定方法可以采用铬酸钡比色法或氯化钡比浊法，但温度滴定法的测定速度快，测定的数据稳定，准确度高。也可以按烟气中含酸和水的成分进行计算，详见本章第五节。

第二节 高温烟气和常温含尘空气除尘概述

工业炉、窑排烟除尘工艺，是从常温除尘发展完善而成的，形成过程从简单到复杂。但除尘标准和一些原则、要求则是基本

一致的。简述于下。

一、除尘净化的程度与排放浓度标准

一般情况下，烟、尘排放浓度越低越好，但限于技术和经济条件，很难达到理想要求。为此国家环保部门按污染的不同情况及危害性大小，制订了必须遵守的允许最高排放浓度。

在原料破碎、筛分、物料转运等过程中，由于机械冲击、抖动而扬散在环境空气中的粉尘，以及燃料燃烧、冶炼、焙烧等过程产生的烟尘，散发到操作区和周围环境中形成的污染物，是污染大气的来源。根据统计资料，这类污染物质在工业生产约占污染物质——“三废”的一半以上。

为保证达到国家卫生标准要求，我国现阶段对工人作业地点空气中的含尘浓度（均指浮游在空气中的飘尘，粒径在 $10\mu\text{m}$ 以下）作了规定。含游离二氧化硅 $\leq 10\%$ 以下的粉尘，工作地点的最高允许浓度为 $10\text{mg}/\text{m}^3$ ；含有石棉、水泥、重金属或某些有机物等成分的粉尘，最高允许浓度为 $2\sim 6\text{mg}/\text{m}^3$ ；含游离二氧化硅 10% 以上的不准大于 $2\text{mg}/\text{m}^3$ 。

由于规定的作业地点的最高允许浓度很低，即使用高效除尘器也达不到此要求，因此一般不允许经过除尘后的气体特别是烟气就地排放，而利用高架源予以扩散、稀释至基本无害的程度。

对烟囱高度的规定是： $1\sim 35\text{t}/\text{h}$ 的锅炉为 $20\sim 45\text{m}$ ，并应高出 200m 以内的建筑物 3m 以上。对于电站锅炉的排放浓度，则是根据烟囱高度，规定允许不同的排放量；对某些物质如石棉、二氧化硅等粉尘，排放浓度不能高于 $150\text{mg}/\text{m}^3$ （标准状况下）；对锅炉烟气，排放标准因功能区不同而分为三类，分别为 200 、 400 、 $600\text{mg}/\text{m}^3$ （标准状况下），黑度 1 、 1 、 2 级。含游离二氧化硅 10% 以上的烟气，含尘排放浓度不能大于 $100\text{mg}/\text{m}^3$ ，含游离二氧化硅 10% 以下的其它粉尘不能大于 $150\text{mg}/\text{m}^3$ 。炼钢炉的

① 粉尘中的游离二氧化硅，是指没有与金属及金属氧化物化合而以结晶形态存在的二氧化硅。

排尘不能大于 $150\sim 200\text{mg}/\text{m}^3$ 。还规定了居民区允许飘尘最大落地浓度为 $0.15\sim 1.5\text{mg}/\text{m}^3$ ，允许降尘量按国家卫生标准为每月 $6\sim 8\text{t}/(\text{km})^2$ 。

当前，布袋除尘器、电除尘器或湿式除尘器，属于在一般情况下单独使用即可达到排放要求的三种高效除尘设备。要达到排放标准，除上述三种外，其它类型除尘器几乎都不能单独使用。

二、灰尘、烟尘情况

在常温加工、运输过程中扩散到空气中的尘粒叫灰尘，一般都较粗；在烟气中的含尘叫烟尘，由高温氧化、降温凝结而成，一般较细。灰尘和烟尘总称为粉尘。含有粉尘的烟气或空气统称为含尘气体。在含尘气体中悬浮的粉尘具有不同的大小和性质。例如在原料破碎、粉磨、爆破或其它机械加工各种固体时所形成的灰尘，粒径约为 $5\sim 50\mu\text{m}$ 或更大一些。金属冶炼、升华、凝结、爆料爆烧及其它化学反应所产生的烟尘粒径，大多小于 $5\mu\text{m}$ 。另外还有更小、更密集的光化学微尘。

各种含尘气体的有关除尘的物理性质，如尘粒的分散情况、密度、荷电、粘结性、温度、湿度、吸附各种物质的能力等都不相同，这些性质对粉尘产生、凝聚及从气体中分离（即除尘）都有很重要的影响。

1. 气体含尘浓度

是指单位体积的气体内含粉尘的量，用 mg/m^3 表示，其中体积在没有另行标注的情况下，均指在 20°C 下的体积。烧煤、烧油的炉窑，其排放烟气的颜色用黑度表示。

2. 粉尘比重

由于测试方法和应用范围不同，它可分为堆比重（即容重），假比重、真比重三种。在计算上述三种比重时，粉尘单位体积重量可视为同一数值，但单位体积则有各自不同的含意。

(1) 堆积比重的单位体积包括：*a*、尘粒本身；*b*、尘粒表面吸附的空气体积；*c*、尘粒本身的微孔；*d*、尘粒之间的空隙。

(2) 假比重的单位体积仅包括上述*a*、*b*、*c*项。