

# 炉窑排烟 高温袋滤除尘技术

## 振打式玻纤(涤纶) 扁袋除尘器

胡源 陈水 著

中国建材工业出版社

ZHENDASHI BOXIAN (DILUN)  
BIANDAI CHUCHENQI

LUYAO PAIYAN GAOWEN DAILU CHUCHEN JISHU

# 炉窑排烟高温袋滤除尘技术

——振打式玻纤(涤纶)扁袋除尘器

胡源 陈水 著

中国建材工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

炉窑排烟高温袋滤除尘技术: 振打式玻纤(涤纶)扁袋除尘器/胡源, 陈水著. —北京: 中国建材工业出版社, 2008. 3  
ISBN 978-7-80227-399-3

I. 炉… II. ①胡…②陈… III. 工业炉窑—烟气—净化—振打装置: 除尘器 IV. TK175

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 025189 号

## 内 容 简 介

本书较系统地介绍了炉窑排烟高温袋滤除尘技术及应用, 重点论述了机械振打式玻纤(涤纶)扁袋除尘器。包括除尘器的结构与安装, 滤料的性能及选用, 滤袋的制作及安装, 炉窑排烟的特点与除尘技术, 机械冲击振打清灰的原理, 高温袋滤除尘技术的应用等。

作者总结了 30 多年除尘工作的实践经验, 首创了节能降耗环保型的机械振打式玻纤扁袋除尘方法, 解决了高温除尘过程中的清灰冷凝糊袋等问题, 大幅度地提高了滤袋的使用寿命, 广泛地应用于冶金、建材、化工、矿山等行业。

本书适合从事除尘工程设计、制造和应用工作的工程技术人员使用, 亦可供环境保护、工矿企业的科技人员及大专院校师生参考。

### 炉窑排烟高温袋滤除尘技术

——振打式玻纤(涤纶)扁袋除尘器

胡源 陈水 著

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 14.5

字 数: 357 千字

版 次: 2008 年 3 月第 1 版

印 次: 2008 年 3 月第 1 次

书 号: ISBN 978-7-80227-399-3

定 价: 27.00 元

本社网址: [www.jcbs.com.cn](http://www.jcbs.com.cn)

本书如出现印装质量问题, 由我社发行部负责调换。联系电话: (010)88386906

# 目 录

<b>第一章 烟气袋滤除尘概述</b> .....	1
<b>第一节 纤维滤料过滤除尘</b> .....	2
一、纱线基本过滤单元, 进步到以纤维或更细的微孔过滤 .....	2
二、滤料在高温、常温及空气过滤除尘的应用 .....	2
三、袋式、电气及湿式除尘对比 .....	2
<b>第二节 炉窑排烟的性质及高温情况下除尘</b> .....	6
一、炉窑排烟的性质 .....	6
二、排烟除尘防止冷凝结露 .....	6
三、排烟中含适量水气和酸成分对降低除尘器的运行阻力有利 .....	10
<b>第三节 排烟除尘产生冷凝的危害及预防措施</b> .....	13
一、烟气的露点温度计算 .....	13
二、控制排烟除尘冷凝结露的措施 .....	14
三、管道的保温 .....	16
<b>第四节 滤袋的过滤除尘和清灰过程</b> .....	17
一、过滤捕尘机理及滤料的过滤除尘 .....	17
二、滤袋上附灰层的形成及其重要作用 .....	28
三、袋滤均匀有效清灰, 才能保证整个滤袋发挥作用 .....	30
四、滤袋清灰时表面附灰层的受力分析 .....	32
五、使附灰层与滤袋表面分离的两个力 .....	33
六、使附灰层脱离滤袋表面的方法与必要条件 .....	33
七、爆发力是最有效的清灰作用力, 耗能少, 均匀彻底 .....	33
八、机械冲击振打, 彻底解决了高温除尘清灰难题 .....	34
<b>第五节 几种常用的滤袋清灰方法</b> .....	35
一、压缩空气脉冲反吹风 .....	35
二、反吹风或反吸风 .....	35
三、机械振动联合反吹风 .....	35
四、拉紧外滤式涤纶(玻纤)扁袋常温振打清灰 .....	36
五、拉紧外滤式玻纤扁袋高温振打辅以反风清灰 .....	37
六、袋式除尘器的各种清灰方法比较 .....	37
七、玻纤(涤纶)扁袋除尘器采用机械振打清灰的优点 .....	38

<b>第六节 微细粉尘的危害及环境保护的要求</b> .....	39
一、微细粉尘的危害性 .....	39
二、环境保护的要求 .....	41
<b>第三章 炉窑排烟在高温情况下的袋滤除尘技术</b> .....	43
<b>第一节 排烟冷却降温</b> .....	43
一、概述 .....	43
二、排烟冷却交换的热量计算 .....	44
<b>第二节 四种烟气的冷却方法及冷却设备的选用</b> .....	46
一、间接水冷热交换的面积计算及水冷却设备的选用 .....	46
二、间接空气冷却器的总传热量计算空气冷却降温设备 .....	47
三、直接向烟气内喷水或水雾使烟气冷却降温 .....	49
四、直接向烟气中掺入空气冷却降温 .....	50
<b>第三节 高温炉窑排烟除尘采用振打式玻纤扁袋除尘器的优越性</b> .....	51
一、利用烟温余热和玻纤的耐高温优势 .....	51
二、振打式玻纤扁袋除尘器结构合理,使用寿命长 .....	52
三、振打式玻纤扁袋除尘器用在高温、高浓度除尘的优点 .....	52
<b>第四节 炉窑排烟高温除尘的关键技术</b> .....	54
一、机械冲击振打辅以少量反风是高温除尘彻底清灰的最佳组合 .....	54
二、除尘器从下部进风上部出风,能使内部温度均匀并减少烟气流动阻力 .....	55
三、除尘系统卸灰运出的设计 .....	55
<b>第五节 除尘器内温度的控制</b> .....	57
一、高温烟气工作温度的控制 .....	57
二、除尘器内可燃性积灰的自燃及其预防 .....	58
三、可燃气体与空气或氧气的混合物引起爆炸的条件 .....	59
<b>第三章 常温岗位除尘及过滤除尘的发展</b> .....	61
<b>第一节 常温岗位除尘</b> .....	61
一、生产作业岗位的粉尘含量与排放标准 .....	61
二、除尘技术的发展 .....	62
三、除尘器的选择与安装 .....	64
四、防止扬尘逸散的辅助措施 .....	65
<b>第二节 空气过滤除尘</b> .....	66
一、振打式玻纤扁袋除尘器用于空气过滤除尘 .....	67
二、空气过滤技术的发展 .....	67
三、汲取经验和教训,合理采用机械振打式涤纶扁袋除尘器 .....	67
四、纳米技术用于空气净化的展望 .....	68

<b>第四章 机械振打式玻纤扁袋除尘器的研究、试用及完善</b> .....	69
<b>第一节 概述</b> .....	69
<b>第二节 机械振打清灰的优越性</b> .....	69
一、机械高频振动清灰的原理及振动器 .....	69
二、机械冲击振打清灰的原理 .....	71
三、振打锤的质量、振打次数及锤击中心的选择确定 .....	73
四、振打滤袋单体箱,验证清灰力的大小、均匀程度和合理分布 .....	74
五、振打滤袋单体箱,优化结构方案并形成评判清灰力均匀分布的检测质量标准 .....	77
<b>第三节 拉紧扁袋振打和松弛圆袋反吹清灰的比较</b> .....	80
一、结论 .....	80
二、综合分析 .....	80
<b>第四节 内部简单支衬、拉紧安装外滤式扁袋的优点</b> .....	81
一、优点 .....	81
二、衬网的作用 .....	81
三、衬网的构成与实验 .....	82
<b>第五节 扁袋与圆袋除尘器的占地(平面或空间)计算</b> .....	83
一、同一过滤面积,扁袋和圆袋的占地比较 .....	83
二、相同空间,扁袋与圆袋的过滤面积比较 .....	84
三、机械振打式扁袋除尘器和压气脉冲反面喷吹圆袋除尘器的综合比较 .....	84
<b>第六节 除尘器运行的过滤速度、阻力和滤袋清灰周期的关系</b> .....	85
一、影响袋式除尘特性的因素及除尘工艺参数的确定 .....	85
二、拉紧外滤式扁袋过滤除尘过程的观察与测试 .....	87
<b>第七节 基本实用性能的实验研究</b> .....	88
一、常温实验 .....	88
二、热态实验概述 .....	94
三、热态实验分析 .....	94
四、实验结论 .....	98
<b>第五章 机械振打式扁袋除尘器与机械振动小型(就地式)扁袋除尘器</b> .....	99
<b>第一节 除尘器本体和组装滤袋的单体箱结构</b> .....	100
一、本体外壳保温结构及尘、净端间隔密封 .....	101
二、振打清灰提升内部锤头的水平传动压杆通过除尘器外壁处的密封 .....	104
三、振打清灰设备和滤袋单体箱的安装 .....	105
四、单体箱及其金属结构 .....	105
<b>第二节 扁袋制作及安装</b> .....	106
一、滤料的选配及滤袋的加工缝制 .....	107



二、滤袋在单体箱内安装	109
<b>第三节 玻纤(涤纶)扁袋除尘器的机械振打清灰设施</b>	110
一、小型(就地式)除尘器高频振打器清灰设备	110
二、常温除尘清灰冲击振打回转或提升传动设备	112
三、高温除尘清灰振打辅以少量反风的提升传动设备	113
四、锤头提升传动系统	114
<b>第四节 除尘系统组成的基本模式</b>	114
一、系统组成的种类	114
二、系统组成的基本原则	115
三、A型与AB型除尘系统	116
四、T型除尘系统	117
五、G型除尘系统	118
六、小型炉窑的排烟除尘系统	119
<b>第五节 除尘器使用实例</b>	120
一、常温岗位除尘	120
二、空气(新风)过滤除尘	120
三、炉窑排烟在高温情况下除尘	121
<b>第六章 高温、常温除尘用滤料</b>	126
<b>第一节 玻纤滤料的制造及发展</b>	127
<b>第二节 玻纤滤料的化学性质</b>	128
<b>第三节 玻纤滤料的物理性质</b>	129
<b>第四节 玻纤滤料的表面处理</b>	131
一、玻纤表面薄膜的形成与抵抗氟化氢腐蚀的措施	131
二、各种表面处理化学制剂的作用	133
三、表面处理方式	133
<b>第五节 玻纤滤料的种类及选用</b>	134
一、织物结构	134
二、连续玻纤滤布	137
三、玻纤膨体纱滤布	137
四、玻纤针刺毡及薄膜复合滤料	139
<b>第六节 涤纶(聚酯)纤维及其热处理后的理化性质</b>	140
<b>第七节 普通型和高强低伸型涤纶针刺毡及其应用</b>	143
一、涤纶针刺毡滤料在常温使用的特点	144
二、涤纶针刺毡滤料用于振打式扁袋除尘器的优点	144
三、涤纶针刺毡滤料的应力应变	144
四、涤纶针刺毡的品种	145

第八节	涤纶滤料只能用于常温除尘	145
第九节	微孔薄膜复合滤料、过滤筒及塑烧板	146
	一、表面过滤除尘技术	146
	二、微孔薄膜复合滤料制作与特性	147
	三、微孔薄膜复合滤料的选择与应用	147
	四、过滤筒	149
	五、塑烧板	149
	六、滤料及其表面处理	150
第七章	机械振打式玻纤(涤纶)扁袋除尘器的附属件	152
第一节	集灰灰斗的结构及卸灰、运输	152
	一、灰斗的结构	152
	二、兼作中间仓储灰的几个室共享大灰斗	154
	三、从灰斗内卸灰	155
	四、卸灰及运输	156
第二节	阀门的分类与用途	159
	一、截断阀门	159
	二、调节阀门	161
	三、灰斗的卸灰阀门	161
第三节	除尘系统的烟温监控温度计及显示滤袋运行阻力的 U 形压力计	163
	一、运行的信号显示	163
	二、运行的温度监控	164
	三、停车和短暂停车的温度控制	164
	四、滤袋运行阻力的显示	164
第四节	除尘器清灰的操作控制	165
	一、间断运行清灰的操作控制	166
	二、连续运行清灰的操作控制	166
第五节	除尘用排烟机	167
	一、离心式除尘风机的特性	167
	二、结构	167
第六节	振打式玻纤扁袋除尘器实用技术	169
	一、采用卧式拉紧安装玻纤扁袋	169
	二、除尘器的质量监督	169
	三、扁袋或圆袋过滤面积和滤袋个数的计算	171
	四、除尘器优劣的判断	171
	五、降低滤袋积累过大的剩余阻力	172
	六、除尘系统的除尘效率及风压、风量的简易检验	172



七、SO <sub>2</sub> 达标排放控制 .....	173
八、袋式除尘器在鞍钢的应用 .....	177
<b>第八章 机械振打式玻纤(涤纶)扁袋除尘器现场安装</b> .....	182
<b>第一节 安装场地的选择</b> .....	182
<b>第二节 因地制宜, 选择除尘器的高度与占地面积</b> .....	182
<b>第三节 机械振打式扁袋除尘器现场安装</b> .....	183
一、除尘器的组成 .....	183
二、现场安装 .....	184
<b>第四节 除尘器进、排风管道的布设</b> .....	188
一、总管与支管的设置 .....	188
二、上进风与下进风的优缺点 .....	189
<b>第五节 除尘器的负压或正压</b> .....	190
一、负压式 .....	190
二、正压式 .....	191
<b>第六节 除尘器的操作室、排烟机室及灰斗放灰室</b> .....	192
<b>第七节 设备基础与配套设施</b> .....	193
<b>第九章 除尘系统的特性、调试及操作维护</b> .....	195
<b>第一节 除尘系统的特性</b> .....	195
一、烟气含尘浓度、黏度对阻力的影响 .....	196
二、风机叶轮旋转方向对性能的影响 .....	196
三、风机运转时流量过大或不足现象 .....	197
四、管网的特性及喘振发生与防止 .....	199
五、风机的流量和压力调节 .....	199
六、风机的联合工作问题 .....	200
<b>第二节 排烟机的噪声及振动控制</b> .....	201
一、噪声的一般概念 .....	201
二、消声的措施 .....	202
<b>第三节 除尘系统的调试</b> .....	202
一、冷态调试 .....	202
二、热态调试 .....	203
<b>第四节 使用操作维护规程、停用计划检修内容</b> .....	205
一、操作维护中的一些问题 .....	205
二、运行参数监测显示 .....	206
三、停用检修 .....	207

<b>附 录</b> .....	210
一、湿空气焓湿( <i>I-d</i> )图 .....	210
二、空气的密度、饱和水蒸气压力和饱和绝对湿度(压力为 1atm)表 .....	211
三、含水蒸气及三氧化硫蒸气的气体露点 .....	212
四、含水蒸气及氯化氢蒸气的气体露点 .....	213
五、含水蒸气及氟化氢蒸气的气体露点 .....	213
六、KB II 型机械振打式扁袋除尘器规格尺寸 .....	214
七、中国环境保护产品关于机械振打式玻纤扁袋除尘器认定的技术条件 .....	215
八、振打式玻纤(涤纶)扁袋除尘器的技术鉴定、评论与推广 .....	217
<b>主要参考文献</b> .....	221

# 第一章 烟气袋滤除尘概述

随着工业生产、生活的不断发展，向周围空间排放的灰尘和污染物大幅度增加。对作业环境和大气保护来说，主要污染物是粉尘。因此必须进行除尘，特别是将排烟中的微尘清除下来，以免对人体健康和环境保护造成危害。目前，国家已制定了各类炉窑排放和粉尘扬散标准，凡排放不达标造成危害的，不允许排放。

除尘的范围包括以下几个方面：

常温工业除尘：包括原料开采运输、粉碎筛分、加工扬尘，将设备的产尘点密封起来，防止向周围扩散，使含尘空气或含尘气体通过密封罩吸入除尘器，除尘后达到国家规定的排放标准后向规定高度的空中排放。

空气过滤：从环境吸入经过滤除尘达到洁净要求后的新风，供空调、设备冷却降温 and 保洁使用，新风净化工艺属于常温除尘范畴，只是采用除尘的滤料必须为毡类或微孔薄膜复合滤料，设备进、出口的含尘浓度均低得多。

炉窑排烟在高温情况下除尘，简称高温除尘。高温除尘是指炉窑排烟在 120 ~ 250℃ 的情况下，利用高温排烟所具有的温度优势，防止在除尘过程中水气冷凝，既可以使掺入的空气减少，又节约了冷却设备，使除尘过程稳定进行。与常温（50℃）、中温（50 ~ 120℃）除尘比较，它是一项正在快速发展的专门技术，技术经济方面的优点突出，为近年来炉窑排烟除尘日益广泛采用。

各式燃煤炉窑产生的煤烟型粉尘，是我国主要的大气污染源，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。国家还要求实现排放总量控制，在可能的情况下，除尘效率越高和排放浓度越低越好，以保护环境不致恶化，有利于持续循环生产。

含尘烟气的除尘方法很多，其中捕集效率高的主要有：采用水力的湿式除尘，采用电力的电除尘，采用袋滤的袋式除尘等。袋式除尘器的常温和高温除尘原理是一致的，只是增加了温度和湿气对除尘过程的影响，自然要求增加适当措施以防止危害。

科学技术促进了袋式除尘器结构和所使用的滤料迅速发展，实现了品种多、除尘效率高和除尘器配套更加默契、实用性强的特点，改变了过去袋式除尘器占地大、结构复杂、清灰耗能多以及滤料品种单一、滤袋使用寿命短的缺点，已进入广泛实用的除尘器行列。

袋滤除尘方法涵盖面广，通行适用，并具有广泛的发展远景。它除尘效率最高，排放浓度可以按用户要求作到最低，建设方便，回收可利用的灰尘简便，使用费低，维护简易。特别是用在高温烟气除尘，已经形成了一项专门技术，使除尘的效果有保证，投资大为减少，处理量不受限制，适用性强等。近年来由于广泛地使用，袋滤除尘技术取得了长足的进步，今后在烟气高温除尘领域将会发挥更大的作用。

## 第一节 纤维滤料过滤除尘

袋式除尘器的关键之处在于它使用的滤料，它直接关系到除尘的效果；其次是除尘器的结构，如采用扁袋型拉紧安装的除尘器结构、机械振打清灰。用于常温和高温除尘，安装使用非常简单方便，大幅度降低了除尘器占地和投资。

### 一、纱线基本过滤单元，进步到以纤维或更细的微孔过滤

袋式除尘为纤维过滤或微孔薄膜与颗粒过滤的组合作用。由纱线纺织组成的滤布过滤单元为单线，由纤维集束加捻而成，纤维拧紧后透气性差，织成平纹布的交织点多，透气完全依靠由经、纬纱线交叉形成的织孔，只能组成平面过滤场；将部分纬纱膨化成的膨体纱滤布，纬向纱线膨松、微孔多，又在滤孔上面形成了不同程度的单纤维覆盖，改善了透气性又提高了除尘效率；毡类滤料是以纤维为过滤单元，用多层纤维网片针刺到只起支承作用的基布上面，形成了空间过滤，极大地提高了过滤性能。从除尘性能看：微孔薄膜复合滤料，具有毡类滤料的优点，形成了更易清灰的表面过滤。由于毡类实行高度机械化、自动化生产，过滤面并进行表面加工处理，加工工艺简便规范，质量好，价格低廉，为更广泛使用创造了条件。

### 二、滤料在高温、常温及空气过滤除尘的应用

含尘烟气的温度是选择滤料首先要考虑到的问题，应保证烟温不致影响滤袋的使用寿命。

纤维工业为 20 世纪发展最快的工业之一，到现在已品种齐全，其产品已广泛应用于工业与民用，亦用于环保部门的除尘、空气净化和隔热、吸收噪声等诸多方面，特别是在高温和常温除尘的使用发展最快。目前已替代了除尘效率低下、转移污染的各式湿式除尘器，并已经出现替代在除尘过程中产生新污染物质的电除尘器实例。对于使用繁琐、粗纤维层高速容尘式或中效纤维过滤器等，已被简便适用的低过滤速度、大型机械振打式涤纶扁袋过滤器代替，其使用简便、寿命长、维护工作量小、发展的速度快。

### 三、袋式、电气及湿式除尘对比

尽管除尘器的种类很多，形式多样，但结合具体工艺的实用性来考核，除尘效果佳的往往为数不多。可达到除尘后允许的排放浓度、满足现在工作场所卫生、环境保护要求的只有三种，即湿式除尘器、电气除尘器和袋式除尘器。它们的共同特点是：用于常温和高温烟气除尘，除尘效率较高、一般均能满足现在达标排放的要求；它们不同之处也很多，如除尘效率（特别是分级除尘效率）、经济性（运行能耗、滤袋使用寿命等）、维护难易、安装占用的空间等。

#### 1. 常用三种高效除尘器对比

袋式除尘器具有最广泛的实用性，适应寒冷地区，无二次污染，无腐蚀，便于维护，回收粉尘简便，排放温度高有利于扩散稀释；以过滤的稳妥方法实现除尘，它能够有效的清除危害性最大的呼吸性微尘。一般来说，大颗粒灰尘既不构成对人体的危害，也不属于除尘攻

关对象。袋式除尘器的除尘效率可高达 99.92% 以上，一般的滤料排出浓度也在  $20\text{mg}/\text{m}^3$  以下，是电除尘器和湿式除尘器所不及的。袋式除尘器的大小（即过滤面积多少）只与所处理的烟气流量有关，与除尘效率、灰尘的比电阻等关系不大，对危害大的  $0.5\mu\text{m}$  以下的微尘，除尘效率较高的干式电除尘器只能除掉 20%，而通过袋式除尘器后，除尘效率达 95%。对于粒径小于  $2\mu\text{m}$  的灰尘粒子，电除尘器对超细飞灰的捕集率较低，约 1%（ $2.5\mu\text{m}$  至亚微米）进入大气，表面富集微量重金属元素和有机污染物，对人的健康和生态环境危害很大，用低硫煤虽然减少了硫化物排放量，却降低了除尘效率。而袋式除尘器的分级效率高干电除尘器，常安排袋式除尘器在把关的最后位置。目前粉煤灰年排放已达 1.5 亿 t 以上。使用低硫煤提高了比电阻、但降低了电除尘器的效率。传统的电除尘器对超细颗粒及其驱体的控制较差，而且在高温运行过程中，还会导致前驱体合成新的强毒物质如二噁英等。而袋式除尘器不仅不产生新生的毒害物质，而且与此相反，在除尘的同时，还存在吸附起脱硫脱氮氧化物的作用。

电除尘器的经济排放浓度为  $100\text{mg}/\text{m}^3$ ，低于此值就很不经济，因为电除尘器的大小（收尘极板的面积）除与流量有关外，还与除尘效率有关，而且除尘效率对所处理的含尘比电阻和烟气中的水分和三氧化硫等很敏感，一有变化，常引起很大波动。

除袋式除尘器和电除尘器广泛用于排烟除尘外，湿式除尘器也有应用，湿式除尘器曾因没有适当干式的、耐温的过滤材料，是当时排烟除尘的主要设备而大量使用，时至现在，因本体投资少（排放污水不加处理，保温可靠没有冰冻的地方），在一些企业还用于烟气除尘。但其给排水量大，污泥处理、生产维护费用高，特别是烟气中的酸成分溶于水后、腐蚀性很强，使除尘系统的酸腐蚀难以解决；排烟经水洗降温后，降低了温度，致排烟扩散欠佳，排放的污染物容易集中起来，对局部地区危害大，设备寿命短，维护工作量大，污泥的装、卸和利用很困难。而且湿式除尘器必须在高压喷洗烟气时才能除掉微尘，动力消耗大，一般情况下均比袋式除尘器的除尘效率低。因此，湿式除尘器已被逐渐淘汰。

从大气尘害治理技术发展的过程来看，用袋式除尘器收集干灰，有利于实现灰尘回收、增加成品或原料资源，提高污染控制技术的经济效益。在多年的应用中，常温袋式除尘器已发挥了很大作用；如今，袋式除尘器已被烟气除尘广泛采用，并已发展到在高温的情况下除尘，排放出口的扩散情况好，矮烟囱可以起到高烟囱的扩散作用。人们已从实践经验中认识到干式除尘器、特别是采用袋式除尘器的优点。今后，袋式除尘器除用于一般除尘外，将会广泛用于各种高温炉、窑排烟除尘。

与玻纤滤料配套的扁袋除尘器，它具有占地小，清灰耗能低，结构简单的优点。采用冲击振打拉紧组装外滤式滤袋的过滤单元，简称单体箱，清灰力量大，周期长，运行阻力低。拉紧安装滤袋，克服了玻纤滤料怕折、怕磨的缺点，发掘了它耐拉的优点，使用寿命长。

近年来，化学合成纤维工业迅速发展，不仅进一步促进、完善了袋式除尘器，而且发展了新产品，开发出了占地小、滤袋寿命长和节能的新型袋式除尘器。

袋式除尘器是一种应用时间较长的设备，早期的滤袋材质是天然纤维，用人工振动清灰，因而应用受到限制。20 世纪 50 年代后，由于反吹型和脉冲喷吹型滤袋清灰的发明与应用，实现了由单室组成的袋式除尘器连续使用，从而使微尘的清除效率提高，阻力稳定，过滤速度高，设备简便的袋式除尘器得到了应用。推广袋式除尘器，有无适当滤料是关键。20 世纪 50 年代以前使用的滤料主要是棉、毛织品，以后才出现合成纤维。新型滤料玻璃纤维

耐用、耐腐蚀、耐高温、低阻损、易清灰的特点，为用于高温排烟除尘提供了非常有利的条件，打破了多年来处理 200℃ 左右含尘烟气只能采用造价很高、又不便管理的电除尘器或湿式除尘器的局面。30 多年来，袋式除尘器已稳定从常温发展到高温烟气除尘领域，并大幅度降低了造价，实用稳妥，受到普遍欢迎。玻璃纤维（简称玻纤）因为已有专业厂生产，有半个多世纪的发展历史，随着它的发展已逐渐有效地使用在高温除尘。在我国，玻纤的原材料蕴藏丰富，生产成本低，耐温性能好，是范围最广的耐高温滤料。前一阶段、玻纤滤袋大多数是做成圆袋使用，实践证明存在重大缺点，如占地大、滤袋维护不便、反吹滤袋清灰二次扬尘消耗动力大、清灰时受磨、寿命达不到应有的时间等，这些均亟待改进，以克服发展中的障碍。长期以来，我们在使用袋式除尘器的过程中，汲取了实践经验，在设计中不断革新，20 世纪 70 年代前，已基本设计成“快装、振打式玻纤扁袋除尘器”，并逐渐形成系列产品，克服了反吹圆袋除尘器的上述一些重大缺点。在常温使用，取得了很好的效果；在高温除尘上试验，国家“七五”期间制订了重点科技联合攻关研究专题，和国内资深专家合作，使这种除尘器的配套、基本理论等方面均得到了完善，并应于各种高温炉、窑在高温条件下除尘，并迅速遍及全国各地。

## 2. 袋式除尘器具有吸附某些有害气体和油雾的独特优势

流体混合物与多孔性固体接触时，流体中的某一组分或某些组分可被吸附到固体表面上，并在固体表面上浓集，到一定程度后需要再生即活化处理。某些除尘作业的吸附剂即滤料表面上的附灰层，因经常清灰更换快，为高效吸附使用具备了良好条件，使吸附净化能够保持长期连续运转。

在除尘工作中，有可能利用所除下来的灰尘的特性，吸附排风中的有害成分，既不增加设备，实施起来也很方便。

用活性炭吸附有机溶剂蒸气，用分子筛吸附氮氧化物以及用树脂吸附二氧化硫等均已在工业上应用。用吸附法净化相当彻底，可以脱除或回收浓度较低的气态污染物，从而获得很清洁的空气。

利用过滤的除尘方式，其基础结构和原理与固定床反应器的吸附基本一致，可利用袋式除尘器的滤袋在除尘时形成的附灰层具备的固有吸附特性吸附某些有害气体。也可预先添加适宜的吸附剂，实现更加有效的吸附，使之在除尘的同时吸附排气中的有害气体，是很有必要研究并加以利用的。在这里具备了吸附要求的工艺条件：温度降和微压差以及吸附的时间；需要时间的长短则可以用过滤速度来调节。

可以在使用袋式除尘器的同时，利用其附灰层充分吸附排烟中的有害气体，因为附灰层是由微细粉尘组成的，是一种微孔多且疏松的固体泡沫，和风流接触的面积大，吸附量大，而且均匀性好。滤袋频繁清灰，作为吸附剂的附灰层更新快、活性强。例如：在制造电焊条的切、拔丝车间，从拉丝孔中排出的扬尘，含碳素、氧化铁等成分和有机润滑剂。附灰层对有机物异味吸附力较强，正好用以吸附润滑拉丝孔的润滑剂、牛脂在高温下挥发出来的异味物质。如任其排放，还造成车间雾气蒙蒙，能见度降低。当排风通过过滤速度较低、较厚的附灰层后，取得了较好的除尘和去异味的效果。如铝厂电解铝产生有害烟气氯化氢，利用生产原料氧化铝为吸附剂，净化效率达 98%。

有害的重金属微粒大都附着在 2 $\mu\text{m}$  以下的灰粒上，因此，采用袋式除尘器对减轻大气中重金属污染更为有效。



袋式除尘器能脱硫吗？回答是肯定的。据国外有关文献报道，对滤袋预附助滤吸附剂吸附气、液相烟雾技术，为袋式除尘器开发了新的应用领域。用于燃煤锅炉在除尘的同时进行脱硫已获得成功，并在工业上应用。

水泥工业排放的二氧化硫，主要是燃煤中硫化物和原料中的含硫物，在一定温度下分解的产物。由于水泥生产以石灰石为主要原料，而石灰石（包括其分解的氧化钙）是目前脱硫技术中的主要脱硫剂。因此，水泥工业的脱硫有其先天性的有利条件，在煅烧过程中产生的二氧化硫就在同一过程中一部分被生料粉吸收并经煅烧而以  $\text{CaSO}_4$  的形式固定在水泥熟料中，排放在烟尘中的另一部分回收后作为水泥的掺合料。

回转窑煅烧熟料，窑头燃煤，窑尾加生料，与在电力行业中向炉内喷钙脱硫有些相似，同时可吸收大部分二氧化硫。而立窑煅烧熟料，生料和煤粉作成黑料球，这与固硫型燃煤技术——燃烧中脱硫有些相似，也能吸收大部分的二氧化硫。

当立窑烟气采用袋式除尘器净化时，烟气经过滤袋上的附灰层，尘层中的碱性物质（ $\text{CaO}$ ）会对烟气中的二氧化硫再次吸附。尽管烟气经过滤料层时接触时间较短，但一定厚度的粉尘层相当于一个固定床反应器，加之尘层还具有温度，烟气中的残留二氧化硫会与碱性物质反应而实现了袋式除尘器的脱硫作用。

如广东石井水泥厂，5台机立窑均采用大型反吹风玻纤袋式除尘器净化烟气，当地监测站对二氧化硫（ $\text{SO}_2$ ）进行监测，5台袋式除尘器其平均脱硫率达90%以上，其实测数据列入表1-1，当然，对于某些数据还需要更多的场合验证分析。

表 1-1 水泥机立窑排烟、除尘吸附脱硫实测数据

机立窑的袋式除尘器编号		1	2	3	4	5
$\text{SO}_2$	入口	90.58	141.78	141.08	67.74	120.64
	出口	9.19	12.26	11	7.63	11.31
吸附脱硫效率（%）		89.8	91	92.2	89	90.6

如北京某水泥厂，回转窑采用袋式除尘器除尘，系统的脱硫率也相当高，达88%。该厂为2000t/d规模，窑尾烟气量约40万 $\text{m}^3/\text{h}$ ，采用大型反吹玻纤圆袋除尘器净化烟气，设计中烟气以两种方式进入袋式除尘器，一种方式是全部烟气经冷却塔降温后再进入袋式除尘器，测得系统脱硫率为88%，这其中冷却塔喷水也有一定的脱硫作用；另一种方式是为利用余热烘干生料，约40%的高温烟气引入生料磨，烘干生料后，再从冷却塔通过，与其余烟气汇合一起进入袋式除尘器，其脱硫率为78%。

上面两个实例，都是按照工艺流程设计而达到一定的脱硫目的，这可以说工艺流程本身就具有脱硫的作用。分析其作用，主要有两个因素：一是粉尘本身就有脱硫剂——碱性物，另一个就是具有一定的温度，如果对这两个因素进行分析试验，找出它们的影响关系和最佳参数，相信脱硫率会更高。有资料介绍，垃圾焚烧排烟利用催化过滤技术、分解“二噁英”使之无害化，采用一种特殊的覆膜滤料，在过滤除尘的同时除掉有害物质“二噁英”，然后进一步利用覆膜夹层中的“里米尼亚”滤层催化分解“二噁英”成分，分解成无害的 $\text{HCl}$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$ 。经过广泛测定，均净化到0.1~0.2 $\text{ng}/\text{m}^3$ 。

对油雾等黏性排气，如焦油、沥青烟气等，过滤时易黏结在滤料上无法清除，应视浓度

情况，喷入适量粉尘予以吸附，然后一起过滤回收；对浓度小的，则可在滤料表面预附一层干灰，并采取较低的过滤速度。钢铁企业，精轧过程飞起的潮湿氧化铁粉过滤，目前采用脉冲喷吹的塑烧板除尘器，也不妨试用造价低得多的、低滤速的振打式玻纤扁袋除尘器。

## 第二节 炉窑排烟的性质及高温情况下除尘

烟气的含湿量即水气成分对温度很敏感。即使在夏天高温的晚上，大气温度下降，也会凝结成雾而影响视线。

### 一、炉窑排烟的性质

烟气在正常情况和大气一样，属于理想气体，但降温至露点后水气变态凝结露。

含尘烟气的湿度对除尘过程不利，但只发生在烟气的相对湿度 100% 时或水气达到露点产生冷凝水时，以它为状态的分界线。烟气含湿量虽然较大，但温度不降到露点是不冷凝的。

众所周知，大气中所含的水气是随着温度的变化而变化。通常，在干旱地区的大气含湿量可能低到占空气重的 0.02%；高温地区可能高达 6.0% 以上。当温度降低时，就出现水气变态，由原来的气态水变成液态水或更冷的固态冰雪。大气中的水气变态，引起变化的本质是温度，而引起大气的相对湿度变化的唯一因素也是温度。

烟气和大气不同之处是：煤在燃烧后变成含水的物质，常含较多的水分和少量酸成分，温度也较高，一般烟气中的水分变态冷凝的温度比大气的要高得多，如 250℃ 的烟气含湿（水气）量比空气的高得多，为 10% 以上。如这样的烟气在密闭的容器内冷却至 100℃，相对湿度将达 100%，即出现露水；同样情况的大气冷却，因含湿量少就不会出现露水。

正常情况下，常温的含尘空气在除尘过程中所含水气和空气中的其他成分一样，可视为理想气体。常温除尘一般不考虑温度变化，因此，除尘系统非常简便。对烟气除尘，一开始就要慎重对待烟气的温度问题，要和采用滤料的温度相适应；在除尘过程中要求水气不发生变态，一般在露点 30~50℃，以保证安全运行。因此，烟气除尘工作人员了解一些空气和排烟的物理现象，对做好这项工作是不可少的。

### 二、排烟除尘防止冷凝结露

对于安装在室外不保温的除尘器，冬季室外为 -10℃ 时，在内壁有冷凝水出现，加热至 40℃ 时，冷凝水消失。烟囱排烟出口达到 70℃ 才停止喷水滴，白烟减小。

引起烟气相变即状态变化的主要因素是除尘的烟气的温度（热量）和相对湿度变化。

要找出烟气变化的规律，必须了解空气的物理性质以及如何利用湿空气的焓湿（温湿）图即  $I-d$  图，见附录一。

空气是几种主要气体和其他杂物的混合物，数量常变化的是其中的水蒸气，含量随空气的温度和大气压力在较大范围内变化。

干空气和水蒸气的混合物叫做湿空气，在 -30~150℃ 的温度范围内，可以将湿空气看作是理想气体，它的变化规律遵循理想气体定律。

空气的主要参数包括湿空气的热焓 ( $I$ )、湿量 ( $d$ )、湿空气温度 ( $t$ )、相对湿度 ( $\varphi$ )。

若在同一大气压力下，知道其中两个参数，可计算出其他两个参数，但计算非常复杂。如利用温湿图 ( $I-d$  图)，可以很方便地表明空气的状态以及空气状态的变化过程。

如湿空气的压力不变，按水气含量查  $I-d$  图，即可知道降到某温度后会出现变态结露。

烟气和湿空气相比，增加了促进水气在较高温度下产生相变的酸成分，可根据酸成分和水两种成分的含量通过公式计算或查专用图表，得出降温出现结露的温度。

研究排烟中含水和酸成分，主要问题是为了保证除尘过程的稳定性，防止发生水蒸气相变，降温出现露点。露点的计算方法详见第一章第三节。

### (一) 气-液相变的一般概念

烟气的温度是产生相变的主要参数，一般在常温下除尘，没有温度变化，只考虑粉尘性质，因而比较简单。在高温条件下除尘，由于排烟是在燃烧、冶炼等过程中产生的，具有高温、含湿和含酸成分，一旦降温产生结露就威胁着除尘过程的安全。

#### 1. 相与相变

相是指系统中物理性质均匀的部分，它与其他部分之间由一定的分界面隔离开来。例如，由水和气组成的系统中，气是一个相，水是另一个相，共有两个相。

不同相之间的相互转换，就称为相变。相变包括两类，即一级相变和二级相变，在一定的压强下，相变总是在一定的温度下才发生。

#### 2. 相变的潜热

在一级相变中，虽然系统的温度不变，但要吸收或释放热量，这种热量称为相变潜热。相变潜热与发生相变的温度有关，一定种类的单位质量的物质，在一定温度下的相变潜热都是一定的。

### (二) 气-液相变规律

#### 1. 汽化

汽化是物质由液相转变为气相的过程，是凝聚的相反过程。汽化有两种形式，即蒸发和沸腾。液体汽化时需要吸收热量，这部分热量称为汽化热，是相变潜热的一种。

#### 2. 汽化热

汽化热是单位质量在保持温度不变的情况下，由液相转变为气相所吸收的相变潜热，等于单位质量的两种物质，在相同条件下由气相转变为液相所释放的相变潜热。汽化热随物质种类的不同和汽化温度的不同而异，例如：1 摩尔 (mol) 的水，在  $50^{\circ}\text{C}$  汽化，汽化热为 42780 焦耳 (J)，而在  $100^{\circ}\text{C}$  汽化，汽化热为 40680 焦耳 (J)。

#### 3. 蒸发

蒸发是液体汽化的一种形式，是在任何温度下，在液体表面上发生的汽化现象。从微观上看，蒸发就是液体分子从液面离去的过程，分子离开液面时，需要克服表面层中其他液体分子的引力而作功，所以只有热运动能较大的分子才能脱离液面。如果不从外界补充能量，蒸发的结果将使液体温度下降。既然液体分子可以从液面离去，那么气相分子也可以返回液面。所以，蒸发实际上是由于同一时间内从液面离去的分子数，多于从液面外进入液体的分子数所致。

#### 4. 凝结

物质由气相转变为液相的过程，称为凝结，是汽化的相反过程，蒸汽凝结时要释放热量，这部分热量等于汽化热。