

陶瓷工业节能减排技术丛书

陶瓷企业废气处理 技术及典型案例

曾令可 李 萍 刘艳春 王 慧 侯来广 编著



中国建材工业出版社

陶瓷企业废气处理技术及典型案例

曾令可 李萍 刘艳春 王慧 侯来广 编著

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

陶瓷企业废气处理技术及典型案例/曾令可等编著

· 一北京:中国建材工业出版社,2017.9

(陶瓷工业节能减排技术丛书)

ISBN 978-7-5160-2018-0

I. ①陶… II. ①曾… III. ①陶瓷工业—有害气体—
废气治理 IV. ①X701

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第219086号

内 容 简 介

本书是著者近十多年来,在完成及参与完成的科研项目中陶瓷企业废气处理技术的基础性研究工作及陶瓷行业代表性企业在废气处理中实践技术的总结。本书在分析国内陶瓷行业窑炉烧成陶瓷产生的有害废气成分污染环境、危害人体健康和动植物生长发育、给社会健康发展和人类进步造成极大影响的基础上,介绍了多家典型陶瓷企业和环保企业合作共同解决了陶瓷企业废气有害污染的治理案例,大大丰富而且促进了陶瓷窑炉热工理论的研究,为陶瓷窑炉结构的优化、操作条件的优化、陶瓷窑炉研究技术的提高以及节能减排提供了必要的理论和应用基础。这些成果已在生产实践中得到应用,并在陶瓷窑炉工程中发挥了很大作用,大大地促进了陶瓷工业的可持续发展。

本书可供无机非金属材料工程、硅酸盐工程以及特种陶瓷工程领域中,从事窑炉烧成技术研究、有害废气除污工程研究、设计、生产的工程技术人员、操作工人及高等院校教师和学生阅读或参考借鉴。

陶瓷企业废气处理技术及典型案例

曾令可 李萍 刘艳春 王慧 侯来广 编著

出版发行:中国建材工业出版社

地 址:北京市海淀区三里河路1号

邮 编:100044

经 销:全国各地新华书店

印 刷:北京雁林吉兆印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:15.25

字 数:370千字

版 次:2017年9月第1版

印 次:2017年9月第1次

定 价:86.80元

本社网址:www.jcbs.com 微信公众号:zgjcgychs

本书如出现印装质量问题,由我社市场营销部负责调换。联系电话:(010) 88386906

前言

《羊城晚报》2000年7月18日B2版以醒目的大标题报道“陶瓷厂烟尘令黄皮树(岭南佳果之一)秃顶”——三水华盛果园年收成3.5万千克的优质无核黄皮水果因陶瓷厂的污染而“颗粒无收”。这到底是天灾还是人祸?! 2001年4月16日该报在珠三角新闻中报道“千亩农田欲哭无泪”——三水白坭镇由于受陶瓷厂的污染,秧苗一天天枯萎,蔬菜无法生长。其实广东的深圳、东莞、南海、潮州、清远、河源等地及全国其他瓷区已多次出现因陶瓷厂烟囱废气污染而造成附近农民果树及农作物枯死失收等纠纷。另该报2000年6月5日A2版有一条更惊人的报道“广州是酸雨之城”,出现酸雨的频率已上升到62.6%,即不到两场雨便有一场是酸雨的比例,使广州成为全国第二大酸雨发生区。专家们普遍认为,广州地区的酸雨与珠江三角洲地区,特别是佛山、南海、顺德、东莞、增城、清远和河源(即广州的周边)的近千座陶瓷窑炉排放有害气体所造成的污染不无关系。

我国陶瓷窑炉使用的燃料主要为煤转气、重渣油、轻柴油及少量天然气、液化石油气等,燃料在陶瓷窑炉中燃烧产生的废气中含有大量的 CO_2 、 RO_x (粉尘)、 SO_2 、 NO_x 及CO等。据统计,我国大气中90%的 SO_2 、85%的 CO_2 、80%的 RO_x 和50%的 NO_x 来自煤的燃烧,其中煤炭燃烧后排放出来的温室气体 CO_2 占我国全部燃料燃烧排放 CO_2 总量的85%。我国 CO_2 的排放量已占世界第二位(13.6%),每年因燃料燃烧可产生数百亿吨的温室气体,使地球产生温室效应,对人类的生态环境已造成重大的威胁和严重的后果。窑炉燃烧产生的 SO_2 占我国大气中 SO_2 的90%以上,它是有害气体,与空气中的水蒸气结合生成亚硫酸和硫酸,对森林植被、农作物、建筑物、文物古迹、牲畜及人类本身等均有很大的危害。而在废气中,危害最大且又最难处理的是氮的氧化物 NO_x , NO_x 是形成酸雨及生成光化学雾的重要因素之一。 NO_x 的含量为15ppm时对人的眼睛有刺激作用,达到25ppm时,人只要接触数小时,就会发生肝水肿。由于它对人体健康和动植物生长发育有着直接的危害,故 NO_x 的排放问题越来越引起人们的重视,各国对 NO_x 的排放控制越来越严格。

我国是陶瓷生产大国,建筑卫生陶瓷、日用陶瓷、工艺美术陶瓷产量均居世界第一,拥有大小窑炉上万座,年耗标准煤上亿吨。在燃烧的陶瓷窑炉中,1t煤含有5~30kg的硫燃烧后生成 SO_2 ,而 SO_2 在空气中遇水所产生的酸雾的毒性比 SO_2 高10倍。陶瓷的烧成温度一般比较高,绝大多数在1000℃以上,部分达到1500~1600℃。 NO_x 主要是在高温燃烧过程中产生,其中的氮少量来自原料,大部分来自空气中,在高温中同氧原子化合生成氮氧化物。陶瓷烧成的温度越高,产生的 NO_x 量越多;空气过剩系数越大,氧氮的浓度越大,则 NO_x 越容易生成;陶瓷窑炉内高温区越长,气体在高温区停留时间越长,

则 NO_x 产生得越多。故陶瓷窑炉废气中 NO_x 的含量比较高,有的高达几百甚至上千 ppm。可见 NO_x 在大气污染中已占了非常重要的位置,已达到了非整治不可的地步。

《陶瓷企业废气处理技术及典型案例》一书全面介绍了国内外在废气处理技术方面的研究现状和最新工作进展,特别是对目前产生量最大、影响最明显的几种废气有害成分的处理及清除问题进行了分析。本书可为陶瓷工作者们提供陶瓷企业废气处理最新的信息和有益的帮助,使人们对解决陶瓷企业废气污染的问题有所启迪,主要内容包括窑炉烟气中粉尘的处理、 SO_2 污染物的处理、氟的处理、 CO_2 的分离回收处理及重金属的处理等。

为了探讨 NO_x 在陶瓷窑炉中的生成机理,找到陶瓷烧成中影响 NO_x 生成的主要因素,在国家自然科学基金及广东省自然科学基金项目资助下,借助计算流体力学(CFD)软件,建立相应数学模型,对生产中的陶瓷窑炉进行模拟研究,结合实测窑炉中 NO_x 的动态产生量,研究多功能 TiO_2 光催化涂膜及光催化红外复合涂膜的制备方法,涂膜抑制、催化、净化 NO_x 的作用,为减少及治理陶瓷窑炉中 NO_x 的排放进行了基础性研究工作。

由于陶瓷种类繁多,陶瓷企业废气的综合处理技术涉及面很广,属于多学科交叉的领域,而且处理技术进步很快,书中疏漏和错误之处在所难免,希望本书的出版能对陶瓷企业废气处理技术和可持续发展起到积极作用。

本书在第9章列举了几家陶瓷企业和相关的环保公司合作,并成功解决了陶瓷企业生产有害气体处理问题的典型案例,是陶瓷工作者和环保工作者们多年来艰辛而执着研究的结果。本书不仅在相关理论上能给读者以启示,在工艺实践上更有重要的参考价值。

参与本书撰写工作的还有刘平安、程小苏、方海鑫、史琳琳、张永伟、张顺、朱文成、曾嘉浩、周梅、吕海涛、高富强、张集发、任雪谭、漆小玲、汪小彪等。为使本书更系统完整,书中还引用了同行的许多文献资料、实验数据及研究成果,在此向所有被引用文献的作者和同行深表谢意。

感谢国家自然科学基金项目“高温陶瓷窑炉内 NO_x 的生成机理及综合防治的基础研究(50276017)”及广东省自然科学基金项目的资助。

感谢广东东鹏控股股份有限公司钟保民、曾德朝、林赤峰及黎小春,江苏科行环保科技有限公司陈学功、李想,佛山赛因迪环保科技有限公司黄建起,广州绿华环保科技有限公司李明玉,佛山市合璟节能环保科技有限公司,佛山华清智业环保科技有限公司万杏波及珠海旭日、珠海市白兔陶瓷有限公司宁红军、黄安民,佛山欧神诺陶瓷股份有限公司封珍、柯善军,清远市冠星王陶瓷有限公司霍沃,广东科达洁能股份有限公司陈水福、周鹏,蒙娜丽莎集团股份有限公司麦荣坚、刘一军,广东萨米特陶瓷有限公司张永伟、简润桐等总经理或工程师,给本书的完成提供翔实资料。

由于作者知识水平有限,错误在所难免,加之陶瓷企业废气处理技术领域的发展速度很快,国家对环保指标要求越来越严格,许多新的工艺技术和研究成果在书中反映得不够全面或不够及时,请读者原谅并给予批评指正。

作者
2017年8月

目 录

第1章 窑炉烟气中粉尘的处理	1
1.1 重力除尘器	1
1.1.1 工作原理	1
1.1.2 技术特点	2
1.2 旋风除尘器	2
1.2.1 基本结构	2
1.2.2 技术特点	3
1.3 传统布袋除尘器	3
1.3.1 工作原理	3
1.3.2 技术特点	3
1.4 低压脉冲布袋除尘器	4
1.5 喷淋塔除尘器	4
1.5.1 工作原理	4
1.5.2 技术特点	5
1.6 静电除尘器	5
1.6.1 工作原理	5
1.6.2 技术特点	5
第2章 烟气中化学有害气相 SO_2 污染物的处理	7
2.1 SO_2 的来源以及脱硫的意义	7
2.2 脱硫处理方案	7
2.2.1 前端脱硫处理	7
2.2.2 末端脱硫处理	8
2.3 末端脱硫的方法	8
2.3.1 湿法脱硫	8
2.3.2 半干法脱硫	12
2.3.3 干法脱硫	14
第3章 陶瓷窑炉内 NO_x 生成机理及治理技术	16
3.1 氮氧化物的环境危害	16
3.2 燃烧过程中 NO_x 的生成机理	16
3.2.1 热力型 NO_x	16
3.2.2 快速型 NO_x	17

3.2.3 燃料型 NO_x	17
3.3 燃烧过程中影响 NO_x 生成的因素	18
3.3.1 燃料的性质	18
3.3.2 过剩空气系数	18
3.3.3 燃烧温度	19
3.3.4 其他影响因素	20
3.4 燃烧过程中 NO_x 的治理技术	20
3.4.1 全氧燃烧及分段燃烧技术	20
3.4.2 脉冲燃烧技术	21
3.4.3 高温空气燃烧技术	22
3.4.4 还原法	23
3.4.5 等离子技术	24
3.4.6 微波技术	25
3.4.7 微生物法	25
3.4.8 电化学法	26
3.4.9 活性炭吸附法	27
3.4.10 氯酸氧化法	27
3.4.11 TiO_2 光催化法	27
第4章 陶瓷窑炉中 NO_x 产生的模拟研究	28
4.1 陶瓷窑炉模拟研究现状	28
4.2 FLUENT 软件简介	28
4.2.1 功能强、适用面广	29
4.2.2 高效、省时	30
4.2.3 建有污染物生成模型	30
4.3 FLUENT 在陶瓷窑炉模拟中的应用	31
4.4 NO_x 生成数学模型的建立	31
4.4.1 几何模型的建立	31
4.4.2 非预混燃烧模型的建立	33
4.4.3 prePDF 数学模型的选取	33
4.4.4 FLUENT 湍流模型与传热模型的选取	39
4.4.5 NO_x 生成模型的选取	43
4.4.6 边界条件的确定和物性参数的选取	49
4.4.7 数值计算方法	53
4.5 数值模拟及结果分析	55
4.5.1 升温速度对 NO_x 生成的影响	55
4.5.2 烧成气氛对 NO_x 生成的影响	57
4.5.3 温度、烟气停留时间(速度)对 NO_x 生成的影响	59
4.5.4 燃料对 NO_x 生成的影响	64
4.5.5 釉料和坯料对 NO_x 生成的影响	67

第5章 多功能 TiO_2 光催化涂膜的制备及抑制 NO_x 有害成分的研究	70
5.1 TiO_2 光催化剂的制备及掺杂改性	70
5.1.1 制备 TiO_2 光催化剂的溶胶-凝胶工艺	70
5.1.2 TiO_2 光催化剂的掺杂改性	70
5.2 光催化涂膜的制备及性能研究	74
5.2.1 反应原理	75
5.2.2 实验方法	76
5.2.3 TiO_2 光催化剂加入量对涂膜光催化性能及与基底附着力的影响	78
5.2.4 涂膜厚度对涂膜光催化性能的影响	79
5.2.5 热处理对涂膜性能的影响	80
5.2.6 与溶胶-凝胶涂膜的对比	84
5.2.7 涂膜宏观性能评价	84
5.2.8 涂膜的失活与再生	85
5.2.9 太阳光照下的光催化反应	87
5.2.10 实验小结	88
5.3 TiO_2 光催化涂膜催化净化 NO_x 的应用研究	89
5.3.1 光催化脱除 NO_x 的机理	89
5.3.2 光催化实验	90
5.3.3 NO_x 光催化氧化实验	94
5.3.4 实验小结	97
5.4 光催化红外复合涂膜的制备及性能研究	98
5.4.1 复合涂膜的研制	98
5.4.2 涂膜的光催化效率	98
5.4.3 涂膜的 XRD 谱分析	100
5.4.4 涂膜的 TEM 照片分析	101
5.4.5 影响涂膜红外发射率的因素	101
5.4.6 实验小结	105
第6章 氟的处理	106
6.1 湿法脱氟处理工艺	106
6.1.1 水吸收法	106
6.1.2 碱液吸收法	107
6.2 干法脱氟处理工艺	107
第7章 CO_2 的分离回收处理	108
7.1 CO_2 的物理处理法	108
7.1.1 CO_2 的物理吸收法	108
7.1.2 CO_2 膜分离法	108
7.1.3 低温蒸馏法	109
7.1.4 变压吸附法	109

7.2 CO ₂ 的化学处理法	109
7.2.1 化学吸收法	109
7.2.2 化学吸附法	109
第8章 烟气中重金属的处理	110
8.1 烟气中重金属的来源	110
8.2 烟气中重金属污染物的脱除	110
8.2.1 飞灰的固化技术	110
8.2.2 高温熔融处理法	111
8.2.3 化学稳定法	111
8.2.4 吸附法	111
8.2.5 催化氧化法	112
第9章 陶瓷企业烟气处理实用工艺与设备	113
9.1 双碱法脱硫工艺改进及脱硫塔分析	113
9.1.1 双碱法脱硫原理	113
9.1.2 烟气脱硫工艺及对比	114
9.1.3 脱硫塔系统	116
9.1.4 窑炉烟气的 SNCR 法脱硝	120
9.1.5 效果	122
9.2 超低排放环保岛解决方案——针对建陶烟气治理	123
9.2.1 协同脱硫除尘一体化治理技术取代传统双碱法的优势	123
9.2.2 工艺流程	125
9.2.3 工艺过程实物图	126
9.2.4 烟气处理测试结果	126
9.2.5 技术特色	129
9.3 络合吸收还原 (CAR) 脱硝技术	129
9.3.1 CAR 脱硝工艺流程	129
9.3.2 CAR 脱硝优缺点分析	129
9.3.3 烟气处理测试结果	129
9.4 陶瓷行业烟气多种污染物协同控制技术与装备项目实例	130
9.4.1 项目研究目的	130
9.4.2 项目技术领域及主要内容	131
9.4.3 项目主要结构及特点	131
9.4.4 主要性能参数与指标	137
9.4.5 技术特点及适用范围	138
9.4.6 项目研究过程	139
9.4.7 技术原理	140
9.4.8 技术路径及工艺流程	141
9.4.9 实施步骤及现状测试调研	141

9.4.10	总体方案及图纸设计	145
9.4.11	装配调试及运行	147
9.4.12	工业运行与后续检测	149
9.4.13	项目的创新点	152
9.4.14	试点项目研究过程中遇到的难题及解决方法	157
9.4.15	国内外同类研究及技术对比	162
9.4.16	质量保证措施	164
9.4.17	效果	165
9.5	建筑陶瓷烟气一站式净化技术与装备项目实例	166
9.5.1	项目研究目的	167
9.5.2	项目技术领域及主要内容	167
9.5.3	项目的主要结构及特点	168
9.5.4	主要性能参数与指标	170
9.5.5	技术特点及适用范围	171
9.5.6	项目研究过程	172
9.5.7	试点示范项目前期调研与分析	174
9.5.8	总体方案及图纸设计	176
9.5.9	工业运行与后续检测	177
9.5.10	试点项目研究过程中遇到的难题及解决方法	178
9.5.11	项目的创新点	197
9.5.12	国内外同类研究及技术对比	198
9.5.13	结论	200
9.6	广东萨米特陶瓷有限公司案例	200
9.6.1	公司环保现状	200
9.6.2	环保治理指导思想	201
9.6.3	喷雾塔的烟气处理	202
9.6.4	窑炉烟气治理设计	212
9.7	陶瓷行业烟气脱硝工程应用	227
9.8	蜂窝陶瓷隧道窑烟气净化处理技术与装置应用	228
9.8.1	蜂窝陶瓷隧道窑烟气净化处理技术	229
9.8.2	应用效果	230
参考文献	参考文献	231

第1章 窑炉烟气中粉尘的处理

粉尘是指能悬浮在空气中的固体颗粒。在工业生产中产生的粉尘叫做工业粉尘，如果对于工业粉尘不加以控制，会造成对作业环境的破坏和大气环境的污染。在陶瓷生产过程中，从原材料的加工、成型、施釉、烧成到抛光磨边都会产生大量的工业粉尘。随着国家对环境保护的重视，尤其是近几年来媒体及公众对雾霾的热议，使得政府对陶瓷行业清洁生产的相关要求不断加大，促使陶瓷企业对工业粉尘的控制达到一个新的水平。

陶瓷在生产过程中产生粉尘的点较多，分布比较散，其中陶瓷窑炉烟气中的粉尘较难处理。由于烟气温度高并且其中还含有多种化学气相，因此对烟气处理的工序较为复杂。本章主要介绍烟气中粉尘的来源以及处理方法。

烟气中粉尘的来源分为两大部分，一部分来源于燃料的不完全燃烧。目前大部分陶瓷企业的能源为煤炭，通过煤炭转气的形式给窑炉提供热量，而煤被加热到 $350 \sim 600^{\circ}\text{C}$ 时，大量释放出以碳氢化合物为主的挥发分，进入炉膛空间。但是在低温缺氧条件下挥发分不可能正常燃烧，发生裂化、脱氢、叠合、环化而生成含碳量多的苯环物质——碳黑；不完全燃烧生成环烃物质——烟炱；还可能因还原反应而分解出游离的碳粒。另一部分是喷雾干燥塔及窑炉中存在的陶瓷粉尘由高温烟气带出而产生的。

目前新建企业大气污染物排放浓度限值中使用水煤浆作为燃料的排放颗粒物浓度限值为 $50\text{mg}/\text{m}^3$ ，使用油、气作为燃料的排放颗粒物浓度限值为 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 。随着环保政策的不断收紧，未来企业大气污染物的排放浓度限值将不断降低，企业应当为更严格的环保要求预留空间和技术准备。烟气的除尘工艺很多，按照除尘设备的类型不同，可以分为重力除尘器、旋风除尘器、静电除尘器以及布袋除尘器等。

1.1 重力除尘器

1.1.1 工作原理

重力除尘器除尘的工作原理是突然降低气流流速和改变流向，较大颗粒的灰尘在重力和惯性力作用下，与气流分离，沉降到除尘器锥底部分。重力除尘器是借助于粉尘的重力沉降，将粉尘从气体中分离出来的设备。粉尘靠重力沉降的过程是烟气从水平方向进入重力沉降设备，在重力的作用下，粉尘粒子逐渐沉降下来，而气体沿水平方向继续前进，从而达到除尘的目的。其结构如图 1-1 所示。

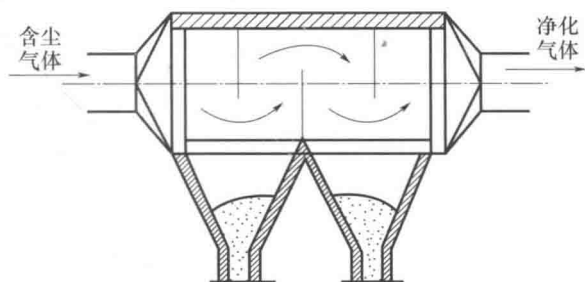


图 1-1 重力除尘器示意图

1.1.2 技术特点

在重力除尘设备中, 气体流动的速度越低, 越有利于沉降细小的粉尘, 从而提高除尘效率。因此, 一般控制气体的流动速度为 $1 \sim 2\text{m/s}$, 除尘效率为 $40\% \sim 60\%$ 。在气体流速基本固定的情况下, 重力除尘器设计得越长, 挡板数量越多, 则越有利于提高除尘效率, 但与此同时, 设备相对就越庞大, 占地面积增大, 投资费用增高, 因此重力沉降设备长度一般不超过 10m 。

重力除尘设备的总体特点是设备结构简单、施工方便、造价低廉, 但是占地面积大、效率低, 只适合用于初级除尘。

1.2 旋风除尘器

1.2.1 基本结构

旋风除尘器的基本结构一般由进气口、筒体、锥体、排气管及集尘箱等组成, 其结构如图 1-2 所示。除尘机理是使含粉尘的气流做旋转运动, 借助于离心力使粉尘粒从气流中分离并捕集于器壁, 再借助重力作用使尘粒落入灰斗。根据含尘气流流入方式的不同, 又可分为切流反转式及轴流式两种。切流反转式旋风除尘器中含尘气流的运动轨迹是流体从进气管进入旋风筒后, 由直线运动变为旋转运动, 并在流体压力及筒体内壁形状影响下螺旋下行, 朝锥体运动, 含尘气体在旋转过程中产生离心力, 使密度大于气体的粉尘颗粒克服气流阻力移向边壁, 颗粒一旦与器壁接触, 便失去惯性力而在重力及旋转流体的带动下贴壁面向下滑落, 最后从锥底排灰管排出旋风筒。旋转下降的气流到达锥体端部附近某一位置后, 以同样的旋转方向在除尘器中由下折返向上, 在下行气流内侧螺旋上行, 最终连同一些未被分离的细小颗粒一同排出排气管。流体在旋风筒内的流线类似双螺旋线, 通常将外侧螺旋下行的气流称为外旋流, 将内侧螺旋上行的气流称为内旋流。轴流式是靠导流叶片促使气流旋转的, 因此也叫导流叶片旋转式。

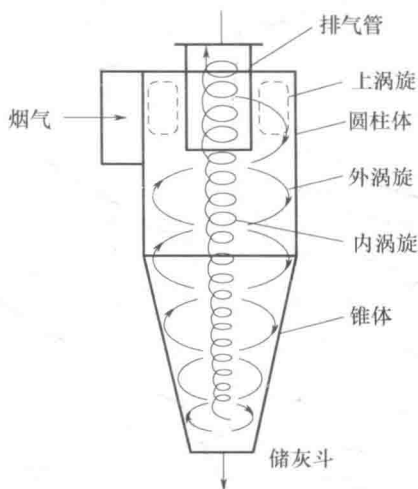


图 1-2 旋风除尘器示意图

1.2.2 技术特点

旋风除尘器适用于净化大于 $1 \sim 3\mu\text{m}$ 的非黏性、非纤维的干燥粉尘。它是一种结构简单、操作方便、耐高温和阻力较高（ $80 \sim 160\text{mm}$ 水柱）的净化设备，其除尘率可以达到 $80\% \sim 95\%$ 。

旋风除尘器的总体技术特点是设备结构简单、施工方便、占地面积小、维护方便、造价低廉，对于粗颗粒具有较好的除尘效率，但对于微尘的除尘效率低下，因此旋风除尘器也只适用于初级除尘。

1.3 传统布袋除尘器

1.3.1 工作原理

布袋除尘器的工作原理是含尘烟气通过多孔过滤材料，尘粒被过滤下来，过滤材料捕集粗粒粉尘主要靠惯性碰撞作用，捕集细粒粉尘主要靠扩散和筛分作用，滤料的粉尘层也有一定的过滤作用，如图 1-3 所示。布袋除尘器除尘效果的优劣与多种因素有关，但主要取决于滤料。布袋除尘器的滤料就是合成纤维、天然纤维或玻璃纤维织成的布或毡。根据需要再把布或毡缝成圆筒或扁平形滤袋。根据烟气性质，选择出适合于应用条件的滤料。通常，在烟气温度低于 120°C ，要求滤料具有耐酸性和耐久性的情况下，常选用涤纶绒布和涤纶针刺毡；在处理高温烟气（ $<250^\circ\text{C}$ ）时，主要选用石墨化玻璃丝布；在某些特殊情况下，选用碳素纤维滤料等。

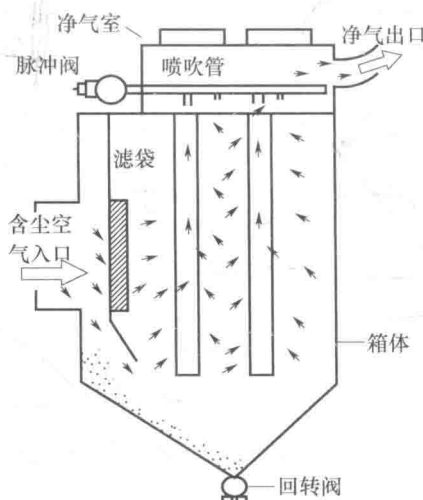


图 1-3 传统布袋除尘器示意图

1.3.2 技术特点

布袋除尘器在除尘过程中对烟气通过滤料的速度有较为严格的要求。一般取过滤速度为 $0.5 \sim 2\text{m}/\text{min}$ ，对于大于 $0.1\mu\text{m}$ 的微粒效率可达 99% 以上，如果烟气通过的速度过大，会增大布料的阻力损失，降低除尘率，同时也会降低布料的使用寿命。

1.4 低压脉冲布袋除尘器

低压脉冲布袋除尘器是在传统布袋除尘器的基础上改进而成的，其结构如图 1-4 所示。它不同于传统布袋除尘器的地方主要是清灰处理阶段。传统布袋除尘器的清灰压力要求较高，在 $200 \sim 700\text{kPa}$ 范围内，造成布袋的使用寿命降低。为了提高布袋的使用寿命，降低机械成本和减少在清灰过程中的能耗，在传统布袋除尘器的基础上开发出了低压脉冲布袋除尘器技术。它的清灰过程是先切断净气出口风道，使布袋处于无气流通过的状态（分室停风清灰）。然后开启脉冲阀用压缩空气进行脉冲喷吹清灰，清灰空气压力低于 100kPa ，切断阀关闭时间足以保证在喷吹后从滤袋上剥离的粉尘沉降至灰斗，避免了粉尘在脱离滤袋表面后又随气流富集到相邻滤袋表面的现象，使滤袋清灰彻底，并由可编程序控制仪对排气阀、脉冲阀及卸灰阀等进行全自动控制。

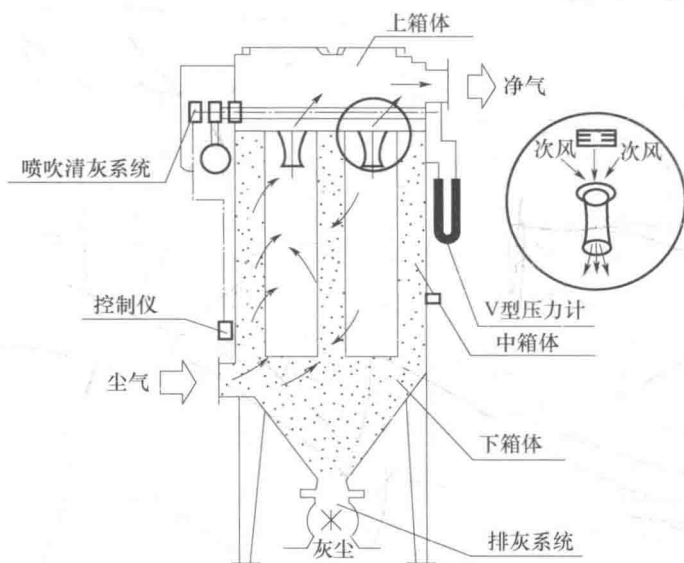


图 1-4 低压脉冲布袋除尘器示意图

1.5 喷淋塔除尘器

1.5.1 工作原理

喷淋塔除尘器的工作原理是在除尘器内由水通过喷嘴喷成雾状，当含尘烟气通过雾状空间时，因尘粒与液滴之间的碰撞、拦截和凝聚作用，尘粒随液滴降落下来而除尘，如图 1-5 所示。在循环喷淋系统中装置高压喷嘴和高效填充材料，使喷液能达到雾化状态，当喷淋水和含尘气体接触时，气体中的可吸收粉尘溶解于液体中，会形成气体、固体混合液体。但由于塔内设置了固液分离器，大部分大颗粒的固体颗粒被收集，喷淋水又重新循环。随着时间的延长及溶液中的吸收质浓度不断增大，吸收速度会不断减慢。因此，在此时要更换喷淋液体，使含尘废气与新鲜的喷淋液结合，更有利于含尘废气的吸收，

达到最佳的处理效果。

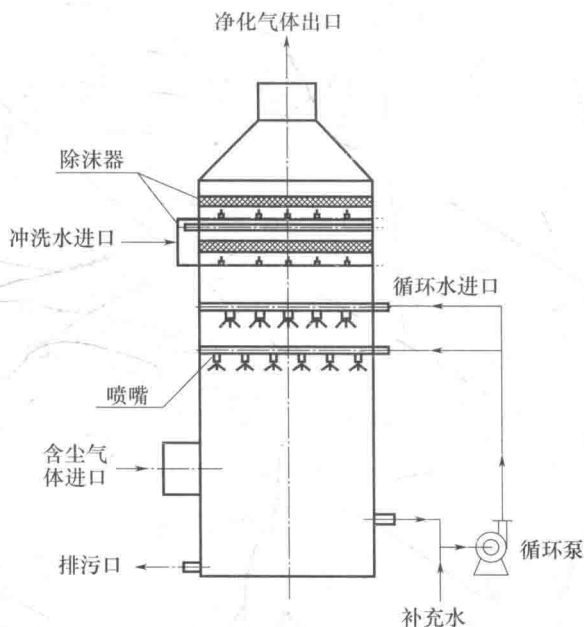


图 1-5 喷淋塔除尘器示意图

1.5.2 技术特点

这种除尘器的最大特点是构造简单、阻力较小、操作方便。其突出的优点是除尘器内设有很小的缝隙和孔口，可以处理含尘浓度较高的烟气而不会导致堵塞。又因为它喷淋的液滴较粗，所以不需要雾状喷嘴，这样运行更可靠。喷淋式除尘器可以使用循环水，直至洗液中颗粒物质达到相当高的程度为止，从而大大简化了水处理设施。它的缺点是设备体积比较庞大，处理细粉尘的能力比较低，需水量比较多，所以常用来去除粉尘粒径大、含尘浓度高的烟气。

1.6 静电除尘器

1.6.1 工作原理

静电除尘器的工作原理是烟气中灰尘尘粒通过高压静电场时，与电极间的正负离子和电子发生碰撞而荷电（或在离子扩散运动中荷电），带上电子和离子的尘粒在电场力的作用下向异性电极运动并积附在异性电极上，通过振打等方式使电极上的灰尘落入收集灰斗中，使通过电除尘器的烟气得到净化，达到保护大气、保护环境的目的。其结构如图 1-6 所示。

1.6.2 技术特点

1.6.2.1 静电除尘器的优点

(1) 净化效率高，能够捕集 $0.01\mu\text{m}$ 以上的细粒粉尘。

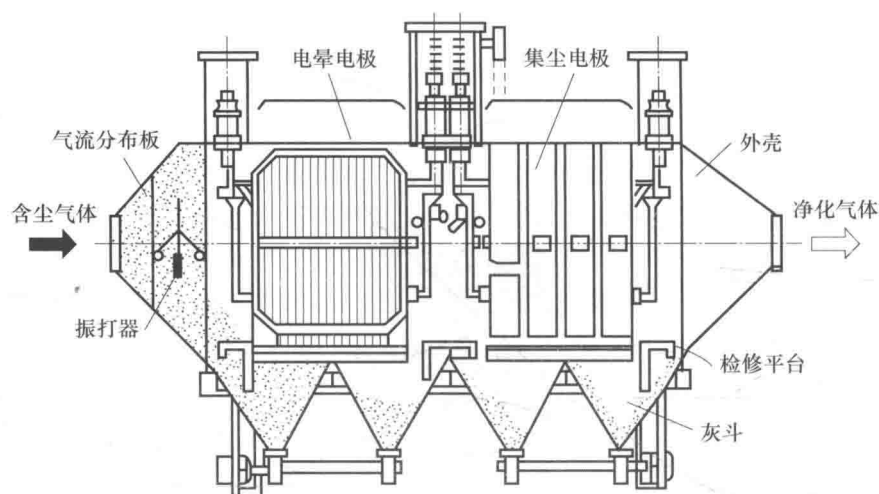


图 1-6 静电除尘器示意图

(2) 阻力损失小，阻力一般在 20mm 水柱以下，和旋风除尘器比较，即使考虑供电机组和振打机构耗电，其总耗电量仍比较小。

(3) 允许操作温度高，如 SHWB 型电除尘器最高允许操作温度为 250℃，其他类型还有达到 350 ~ 400℃ 或者更高的。

(4) 静电除尘器处理气体量大。

(5) 静电除尘器可以完全实现操作自动控制。

1.6.2.2 静电除尘器的缺点

(1) 静电除尘器设备比较复杂，要求设备调运和安装以及维护管理水平高。

(2) 静电除尘器对粉尘电阻有一定要求，所以对粉尘有一定的选择性，不能使所有粉尘都获得很高的净化效率。

(3) 静电除尘器受气体湿度、温度等操作条件的影响较大，同一种粉尘如在不同温度、湿度下操作，所得的效果不同。有的粉尘在某一个温度、湿度下使用效果很好，而在另一个温度、湿度下由于粉尘电阻的变化几乎不能使用电除尘器去除。

(4) 静电除尘器一次投资较大，卧式的静电除尘器占地面积较大。

第2章 烟气中化学有害气相 SO_2 污染物的处理

陶瓷生产过程中烟气主要来源于喷雾干燥塔及烧成窑炉,其中喷雾干燥塔的主要污染物是粉尘,烧成窑炉则产生 SO_2 和 NO_x ,这两种化学成分是形成酸雨的主要原因,大量酸雨的形成会给地球、人类和环境造成极大的危害。随着环保政策的不断推动,陶瓷企业对生产过程中有害气体的处理技术也在不断地更新升级,目前对于以上两种有害气体的处理已经有了较为成熟的处理办法及设备。

2.1 SO_2 的来源以及脱硫的意义

陶瓷窑炉烟气中的 SO_2 一部分来自于自身含硫燃料,另一部分来自于需要烧制的陶瓷原料。陶瓷原料中的硫化物一部分来自于其本身的矿物岩石,还有一部分来自于坯体粉料在喷雾干燥塔中吸收热风炉燃烧时形成的硫氧化合物。这些含硫化合物在烧成窑炉内经过高温燃烧生成 SO_2 气体。

二氧化硫是大气中的主要污染物之一,是衡量大气是否遭到污染的重要标志。世界上有很多城市发生过二氧化硫危害的严重事件,使很多人中毒或死亡。在我国的一些城镇,大气中二氧化硫的危害较为普遍且严重。二氧化硫进入呼吸道后,因其易溶于水,故大部分被阻滞在上呼吸道,在湿润的黏膜上生成具有腐蚀性的亚硫酸、硫酸和硫酸盐,使刺激作用增强。上呼吸道的平滑肌因有末梢神经感受器,遇刺激就会产生窄缩反应,使气管和支气管的管腔缩小,气道阻力增加。上呼吸道对二氧化硫的这种阻留作用,在一定程度上可减轻二氧化硫对肺部的刺激,但进入血液的二氧化硫仍可通过血液循环抵达肺部产生刺激作用。同时,二氧化硫还是酸雨的重要来源,酸雨给地球生态环境和人类社会经济都带来严重的影响和破坏。研究表明,酸雨对土壤、水体、森林、建筑、名胜古迹等均带来严重危害,不仅造成重大经济损失,更危及人类生存和发展。我国是世界产煤和燃煤大国,由燃煤排放的二氧化硫造成的酸雨已影响到全国 40% 近 400 万平方千米的面积,且还在扩大。1998 年国务院批文正式确定了控制二氧化硫污染的政策和措施,对二氧化硫排放进行总量控制。如到 2010 年二氧化硫排放量控制在 2000 年排放水平之内,“两控区”内所有城市环境空气二氧化硫浓度全部达到国家标准,酸雨控制区降水 $\text{pH} < 4.5$ 地区的面积要明显减少。新建、改建燃煤含硫量大于 1% 的电厂必须建立脱硫设施。燃煤含硫量大于 1% 的电厂在 2010 年前分批建成脱硫设施或采取其他具有相应效果的减排二氧化硫的措施。

2.2 脱硫处理方案

2.2.1 前端脱硫处理

所谓的前端脱硫处理指的是通过减少原料中硫成分的含量以及燃料中硫的含量来降低在陶瓷烧成过程中 SO_2 的生成。对于陶瓷原料来说,自身含硫主要来源于黄铁矿,而陶瓷原料