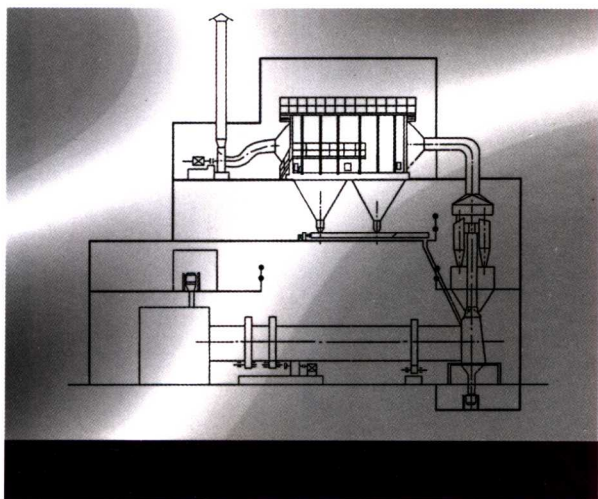


唐国山 唐复磊 编著

水泥厂电除尘器 应用技术



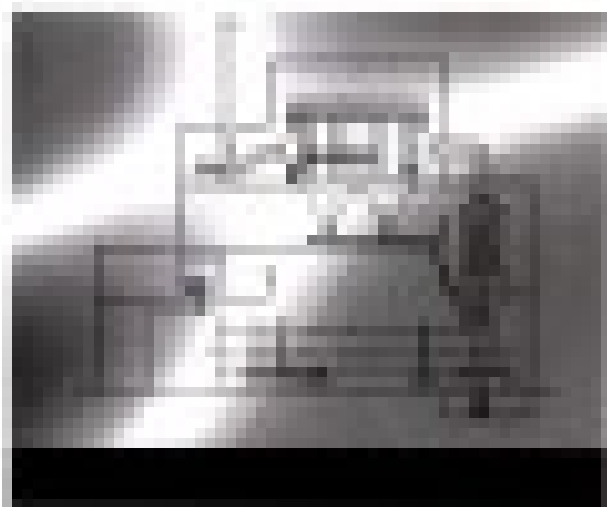
Chemical Industry Press



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

张维忠 张维忠 张维

水泥厂电除尘器 应用技术



Chemical Industry Press



化学工业出版社
CHEMICAL INDUSTRY PRESS

水泥厂电除尘器应用技术

唐国山 唐复磊 编著



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

水泥厂电除尘器应用技术/唐国山, 唐复磊编著.

北京: 化学工业出版社, 2004.8

ISBN 7-5025-6100-5

I. 水… II. ①唐…②唐… III. 水泥-化工厂-
静电除尘器 IV. TQ172.861

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 090182 号

水泥厂电除尘器应用技术

唐国山 唐复磊 编著

责任编辑: 陈丽 徐娟

文字编辑: 王金生

责任校对: 郑捷

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社 出版发行
环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市昌平振南印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 14½ 插页 1 字数 434 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6100-5/X·525

定 价: 36.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

我国是水泥生产的大国，全国共有 7000 多家水泥厂装备有 13000 余台水泥窑，每家水泥厂又有数十个排放点和扬尘点。其中回转窑等主机多配有电除尘器，立窑应用电除尘器也日益增多。2003 年我国水泥总产量达 8.63 亿吨，比 1990 年增产 2.9 亿吨，居世界首位。同时水泥工业又是对大气污染的大户。1990 年水泥污染物排放量为 972 万吨，至 2003 年降至 647 万吨。这表明我国的烟尘治理已有一定的成效，然而距环境要求还相差很远。特别是最近国家重新修订了《水泥工业大气污染物排放标准》，与之要求的差距就更大了。新标准强化了对污染物排放的规定，不但规定了粉尘、烟尘的排放浓度（标准状态下）都低于 $30 \sim 50 \text{mg/m}^3$ ，还规定了二氧化硫、氮氧化物、氟气体的排放标准。这样在诸多除尘器中电除尘器要首当其冲地担负起高效除尘的责任。

要用好电除尘器，使其经常保持稳定高效运行，就要求设计的命中率要高，制造加工的质量要好，安装精度要精，维护管理的水平也要高。这几个环节密不可分，对于水泥厂用户来说尤为重要。为了实现上述目标，作者积数十年从事电除尘技术的科学研究和设计工作的经验体会，以及历届全国电除尘学术交流会议的交流经验成果编著此书，希望能对我国的环保事业尽一份微薄之力。

本书从实用性出发，力求简明扼要，通俗易懂，回避了高深理论的叙述和烦琐数学公式的推导，所介绍的内容均接近实际。内容包括电除尘器的基本原理与性能、机械结构与供电特性，特别对水泥生产工艺过程中的尘源属性以及对电除尘器性能的影响进行了较为详细的论述，对于安装调试、运行维护管理等内容也系统地加以介绍。电除尘器的安装是突出强调的环节，因为产品是以零部件、组装件等散件的形式发往现场，设备的组合、安装、调试及试验均在现场进行，如何保证整台设备的性能达到设计要求，现场的安装是一项极为复杂而繁重的环节，因此本书特编写电除尘器安装的技术

术要求作为附录列于书后。安装精度高的设备还要用户维护管理好，三分设备七分管理是有道理的。

本书能为从事电除尘器的设计研究、安装调试和维护管理人员、岗位工人提供一定的帮助，如能有所启发是作者最大的心愿。

由于作者水平有限，经验不足，加之掌握的资料不多，难免出现疏漏之处，敬请读者批评指正。

编著者

2004年8月

内 容 提 要

本书侧重于电除尘器的实际应用，重点介绍造型计算，设备安装、调试和运行应用过程，维护管理等方面，使电除尘器能够充分发挥其效能。主要内容有电除尘理论和性能、机械结构和供电系统、水泥厂尘源和电除尘器的应用、电除尘器运行使用和维护，电除尘器的安装技术要求作为附件列后，以便有据可循。

本书可供从事电除尘器科研设计、安装调试和维护管理人员、岗位工人阅读，也可供大专院校环境工程系师生和各级环保部门的工程技术人员参考。

目 录

第 1 篇 电除尘的基础理论和结构

第 1 章 概论	1
1.1 电除尘技术发展历史	1
1.2 电除尘原理与特点	3
1.3 电除尘器的分类	7
1.4 电除尘器的应用领域	7
第 2 章 电除尘理论和性能	9
2.1 电除尘的机理和条件	9
2.2 电晕放电机理	11
2.3 电场	28
2.4 尘粒荷电	38
2.5 粉尘回收	46
2.6 影响收尘性能的诸因素	65
2.7 某些参数的测量	88
第 3 章 电除尘器的机械结构	99
3.1 概述	99
3.2 壳体	108
3.3 支架基础	118
3.4 灰斗和卸灰装置	119
3.5 进(出)气箱和气流分布装置	121
3.6 收尘极系统	131
3.7 电晕极系统	140
3.8 电极在电场内的配置	154
3.9 振打装置	156
第 4 章 供电系统	173

4.1	高压供电设备	173
4.2	脉冲供电机组	205
4.3	微机控制	208
4.4	供电方式	218
4.5	低压供电设备	218
4.6	低压配套件	220

第2篇 水泥厂尘源和电除尘器的应用技术

第5章	概论	225
第6章	水泥厂尘源和电除尘器的应用	234
6.1	水泥窑	234
6.2	熟料算式冷却机	293
6.3	回转烘干机	300
6.4	粉磨设备	310
6.5	破碎机尘源	327
6.6	包装机尘源	336
6.7	皮带输送机尘源	337
6.8	局部尘源参数选择和电除尘器的应用	339
第7章	电除尘器的选型和计算	347
7.1	原始数据	347
7.2	确定收尘效率	347
7.3	求取有效断面积 S	348
7.4	求取总收尘面积 A	349
7.5	计算气体在电场停留时间 t	349
7.6	计算临界电场强度 E_0	350
7.7	计算临界电晕电压 U_0	351
7.8	计算电晕电流密度 i_0	351
7.9	计算电晕区电场强度 E_c	352
7.10	计算收尘区的电场强度 E_p	353

7.11	求气体的黏度·····	353
7.12	求理论粒子驱进速度·····	355
7.13	气体体积折算·····	355
7.14	用空气冷却的气体量·····	356
7.15	计算收尘效率·····	356

第3篇 电除尘器运行使用和维修

第8章	电除尘器使用与维护 ·····	359
8.1	电除尘器运行·····	359
8.2	电除尘器操作维护规程·····	362
8.3	电除尘器安全技术管理规程·····	369
8.4	故障及处理措施·····	370
第9章	电除尘器管理和检修 ·····	384
9.1	概论·····	384
9.2	运行管理·····	386
9.3	维护保养和检修·····	388
9.4	检修后的试验测定·····	391
附录	电除尘器安装的技术要求 ·····	392
参考文献	·····	451

第 1 篇 电除尘的基础理论和结构

第 1 章 概 论

1.1 电除尘技术发展历史

对静电力的认识始于 18 世纪,应用静电效应第一个演示静电沉积的装置出现在 1820 年前后。1850~1878 年国外又发现电火花与无声电晕放电的静电沉积作用。第一个将电除尘应用于工业烟尘净化的是英国人洛奇 (Lodge),他在 1885 年为炼铅厂建造了一台电除尘器,但未能成功。1907 年美国科特雷尔 (Cottrell) 发明了同步机械整流器直流电源,有效地应用电除尘器捕集硫酸厂排出的酸雾。从 1910 年开始到 20 世纪 50 年代末,电除尘器用来净化有色金属冶炼厂 (铜、铅、锌)、水泥厂、纸浆和造纸厂、电站、钢铁厂的高炉和平炉以及碱性吹氧炼钢炉等排放的工业烟气,取得明显的除尘效果。

电除尘技术是理论发掘—试验—应用这样无限循环的发展过程。对电除尘技术有着卓越贡献的除洛奇和科特雷尔以外,还有如施密特 (Schmidt) 采用细金属丝作为电晕放电极;霍尔 (Hall) 研制了以火花率作为控制参数的饱和电抗器高压直流电源,而后又用可控硅取代饱和电抗器;多依奇 (Deutsch) 确立了除尘效率与收尘表面积和气体量之间的数学表达式;怀特 (White) 采用小挡板的平板电极以及高比电阻粉尘的反电晕影响的试验研究;沃尔科特 (Wolcott) 等进行火花放电的研究;奥格尔斯比 (Oglesby) 和尼科尔斯 (Nichols) 提出了包括影响除尘器性能的理论 and 经验

因素在内的除尘器的数学模型；第一个发现宽间距电除尘技术的是海瑞茨（Heinrich），但在工业上应用并促进其发展，对国际有深远影响的是日本的增田闪一。

随着世界范围内的大气环境保护的要求日益强化，能源危机和能源种类的变化以及电除尘器应用领域不断扩大，电除尘的结构、性能和控制方式也逐渐成熟完美。其演变过程：按气体流动方向从垂直—水平；收尘电极从管筒式—平板式；电晕放电极从细金属丝—星形或螺旋线—锯齿芒刺（或管芒刺）等—刚性电极；电极振打方式是顶部—侧部；极板间距由窄间距—常规间距—宽间距；结构形式是立式（管筒式或板板式）—板卧式；供电电源由最初感应起电机—同步机械整流器—电子管整流器—硒整流器—硅整流器；调压控制方式由手动自耦变压器—饱和电抗器与磁放大器—可控硅—脉冲供电。

电除尘器的应用范围已普及整个工业领域，其处理粉尘方式可以是干式的，也可以是湿法洗涤式或者电除雾式的。我国的电除尘器处理气体能力由 $2 \times 10^3 \sim 2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{h}$ ，水泥工业最大一台的处理气体能力为 $5.9 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

我国应用电除尘器始于 20 世纪 40 年代，水泥厂有两台混凝土极板式的，冶金行业两台网式和棒棒式的。新中国成立后的 50～60 年代，水泥、有色金属、钢铁等工业相继从东欧和前苏联引进立式或卧式电除尘器，有的已通过消化吸收国产化。70～80 年代，我国电除尘技术发展很快，各工业部门普遍开展试验研究和应用，取得令人瞩目的成就。如 1972 年由二部一委组织 11 个单位联合设计 SHWB 系列的 9 个规格板卧式电除尘器，国内有了定型标准化设备。我国的宽间距电除尘技术研究成果是继日本以后的一大突破，首先应用电站锅炉和水泥干法回转窑。各行业分别研制和设计了专用电除尘器。同时，由于国内外的技术交流，各行业又引进了国外先进的电除尘技术和装备，更加促进我国电除尘技术的发展。如第四届国际电除尘会议在北京召开。电力部门从德国 Ruthmuhle、瑞典 Flakt、美国 Lodge-Cottrell 和 GE、美国 Castlet 等公

司引进电站锅炉用的电除尘器；有色金属企业从日本住友、德国 Lurgi 等公司引进电除尘器；钢铁企业从日本新日铁、瑞士 Elex 等公司引进各种专用电除尘器；水泥工业从日本的住友与三菱、丹麦 F. L. Smith 等公司引进水泥窑和冷却机用的电除尘器，还从德国 Lurgi 公司引进水泥装备用的电除尘器制造技术并已国产化，等等。据不完全统计，目前国内已投运的大、中、小型电除尘器约 1300 台。国内电除尘器采用脉冲供电机组，微机控制以及中央微机带浊度信号反馈的闭环控制系统正在实施。

1.2 电除尘原理与特点

电除尘基本过程是由气体电离至尘粒荷电；荷电尘粒移动至沉积（收尘）；振打清除被捕集的尘粒这三个阶段所构成的。工业电除尘器中尘粒的荷电，是通过阴阳极间的电晕放电产生大量离子并使其附着在尘粒上来实现的。到目前为止，电除尘技术的理论尚未完备，还属于经验工程的学科，它涉及许多学科，诸如电物理学、电化学、气溶胶工艺学、化学工程学、电子学、电气工程学、空气动力学、机械工程学、公用工程学等。电除尘器运行情况的优劣取决于设计的命中率、制造精度、安装质量、供电特性以及维护管理等各方面。

电除尘器是世界公认的高效除尘设备之一。同旋风除尘器、袋式过滤器、颗粒层除尘器、洗涤器（湿式或文丘里式）相比较，只有电除尘器才能将电的作用力直接施加在烟气中的尘粒上，使荷电尘粒从烟气中分离出来，因没有能量转换，故耗电量也最低，压力损失为 100~300Pa。而旋风除尘器是凭借机械力即离心力作用，分离与捕集烟气中的尘粒，压力损失为 500~1500Pa。机械力是由电能转换来的，需要增加电功率以克服压力损失，对于尘粒直径小于 $20\mu\text{m}$ 的，其除尘效率随尘粒直径减小而急剧降低；袋式过滤器是借助于施加在悬浮尘粒上的空气动力、惯性力和一定的静电力，通过滤袋的过滤作用将烟气中尘粒过滤在滤袋上面，形成粉尘层后

表 1-1 水泥工厂常用除尘器及适用范围

作用原理	除尘器型号和名称	粉尘性质	允许含尘浓度 $/g \cdot m^{-3}$	允许气体温度/ $^{\circ}C$	净化效率		过滤风速 $/m \cdot s^{-1}$	阻力 $/mmH_2O$	使用地点
					颗粒/ μm				
重力	除尘室	大于 $50\mu m$, 密度大的粉尘	不限	不限	<1	$1 \sim 5$	$5 \sim 10$	$5 \sim 10$	回转窑、立窑、烘干机用于第一级收尘
离心力	旋风除尘器	CLT/A 型			<5	<10	<10		
	扩散式除尘器	CLP 型			<10	<20	$40 \sim 60$		
过滤	袋式除尘器	CLG 型	~ 60	<400	<15	<40	$15 \sim 22$	$50 \sim 150$	收尘
	人工振打式机械振打式(脉冲喷吹)逆气流式(脉冲喷吹)压差式(反吹风、冷风门)	大于 $5\mu m$ 干的非纤维粉尘			<15	<40	$15 \sim 18$	$50 \sim 150$	冷却机、烘干机、窑
	颗粒层除尘器	0.1 ~ $100\mu m$ 干的非纤维粉尘	<70	棉织品	<30	<50	$18 \sim 25$	$60 \sim 160$	破碎、磨粉、包装机、输送机、库顶、立窑料封管、回转烘干机
	泡沫除尘器	0.5 μm 以上粉尘	<70	毛织品	<90	<99	$0.4 \sim 0.6$	$80 \sim 100$	
湿法洗涤	水浴除尘器	0.1 ~ $100\mu m$ 非水化性粉尘	<70	毛织品	<90	<99	$0.9 \sim 1.5$	$80 \sim 100$	
	GLS 型旋筒式水膜除尘器	0.1 ~ $100\mu m$ 非水化性、非黏固性、非纤维粉尘	$15 \sim 70$	<100	<90	<99	$2 \sim 4$	$80 \sim 120$	
	电收尘器	0.1 ~ $20\mu m$ 的非纤维粉尘和煤尘	<70	玻璃纤维	<90	<99	$0.4 \sim 0.9$	$100 \sim 150$	
	卧式立式电收尘器	0.1 ~ $20\mu m$ 的非纤维粉尘和煤尘	<300	<300	<90	<99	0.5	$80 \sim 200$	
静电	电收尘器	0.1 ~ $20\mu m$ 的非纤维粉尘和煤尘	<70	<350	<70	<70	$1.5 \sim 2.5$		破碎机
	电收尘器	0.1 ~ $20\mu m$ 的非纤维粉尘和煤尘	<70	<400	<20	<50	$10 \sim 20$	$50 \sim 150$	烘干机
凝聚	中低压文氏管收尘器	0.1 ~ $20\mu m$ 的非纤维粉尘和煤尘	~ 40	<300	<95	<98	$0.5 \sim 3.0$	$10 \sim 20$	回转窑、磨机、烘干机
	高压文氏管收尘器	0.1 ~ $20\mu m$ 的非纤维粉尘和煤尘	~ 60	<300	<95	<98	$0.5 \sim 3.0$	$10 \sim 20$	回转窑、磨机、烘干机

注: $1mmH_2O \approx 9.8Pa$ 。

被捕集下来，粉尘层加厚压力损失增大，压力损失为 1500～2000Pa；湿式洗涤器是依靠空气动力与惯性力将烟气中尘粒驱进到液面内，达到除尘目的，压力损失为 3000～10000Pa。表 1-1 列出各种类型除尘器优缺点的比较，图 1-1 所示为各种类型除尘器捕集粉尘粒径不同和分级效率的关系曲线，表 1-2 列出各种类型除尘器捕集尘粒的粒径范围。可见旋风除尘器只能捕集大粒径粉尘或作为高效除尘器的前置级，只有电除尘器与袋式过滤器被看做高效除尘设备。

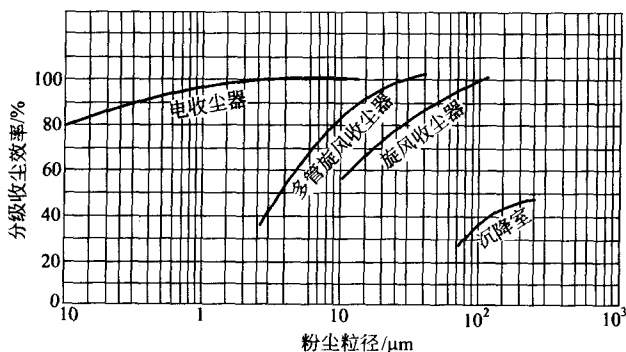


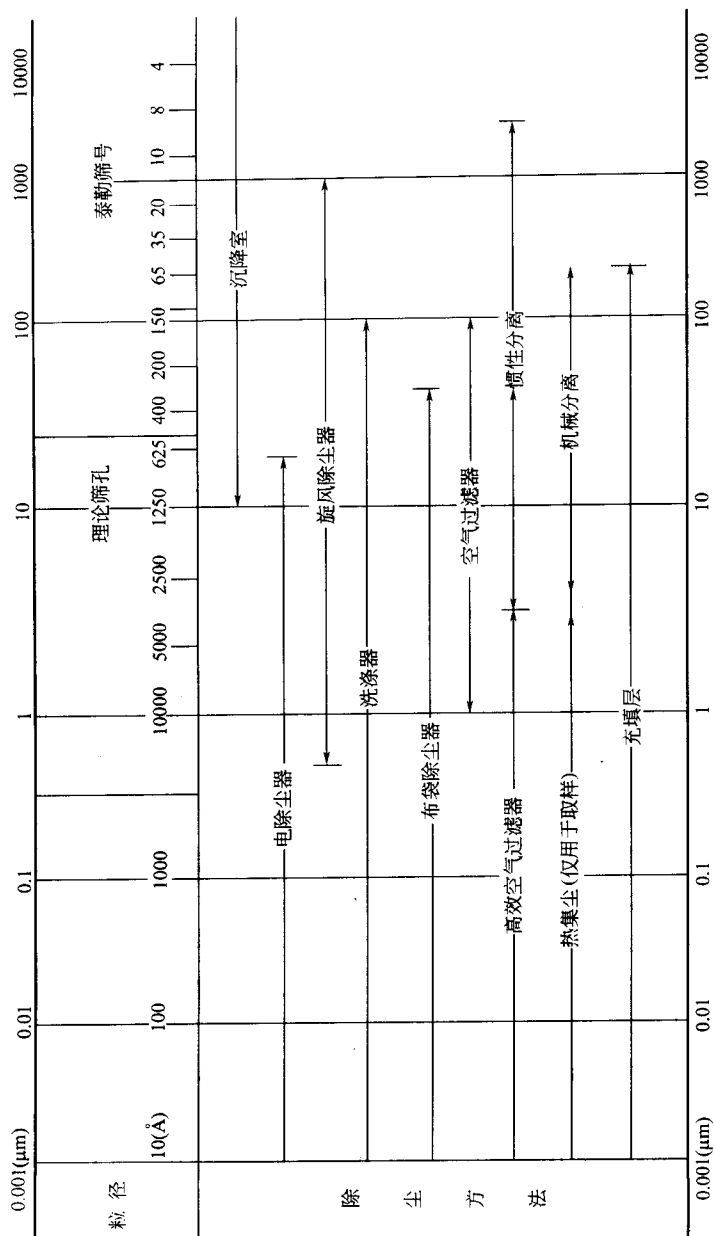
图 1-1 粉尘粒径不同和分级收尘效率的关系

同其他种类型除尘器相比较，电除尘器具有如下特点。

- ① 处理气体量大，可达 $10^6 \text{ m}^3/\text{h}$ 。
- ② 处理高温 350°C 与高湿 40%（体积）气体。
- ③ 压力损失低，约 100～300Pa，耗电量约 $0.1 \sim 0.8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ （每小时处理 1000 m^3 气体）。
- ④ 捕集细微粉尘的除尘效率高，可达 99% 以上。
- ⑤ 日常维护费用低，因为转动件和易耗件少，耗电量低。

缺点是初次投资高，除尘效率受粉尘比电阻支配；钢材消耗量大；对制造、安装和操作水平要求较高等。

表 1-2 尘粒与尘粒分散相的特性



1.3 电除尘器的分类

按收尘极的形式可分为管筒式与平板式。

按气体在电场内的运动方向可分为立式（垂直接流动）和卧式（水平流动）。

按电极的清灰方式可分为干式和湿式。

按粉尘荷电和收尘区域可分为单区和双区。

按极板间距（通道宽度）分为窄间距、常规（普通）间距和宽间距。

按处理气体的温度分为常温型（ $\leq 300^{\circ}\text{C}$ ）和高温型（ $300\sim 400^{\circ}\text{C}$ ）。

按处理的气体压力分为常压型（ $\leq 10000\text{Pa}$ ）和高压型（ $10000\sim 60000\text{Pa}$ ）。

1.4 电除尘器的应用领域

1.4.1 有色金属工业

重金属冶炼：铜冶炼包括载流干燥机、反射炉、闪速炉、转炉、渣贫化电炉、制酸工艺系统。

轻金属冶炼：氧化铝或氢氧化铝焙烧回转窑、阳极焙烧炉。

1.4.2 钢铁工业

烧结厂：烧结机的机头和机尾、熔剂系统等。

炼铁厂：高炉、高炉出铁场、高炉原料系统等。

炼铁厂：平炉或吹氧平炉、转炉、电炉等。

轧钢厂：火焰清理机、油雾净化回收等。

铁合金厂：电炉、钼精矿焙烧炉。

耐火材料厂：镁砂煅烧回转窑、活性石灰回转窑、黏土干燥机等。

1.4.3 水泥工业

水泥窑：立窑、湿法窑和立波尔窑、干法长窑和新型干法窑