

水泥厂烟气除尘与净化同时进行的新工艺^{*}

侯贵华

(盐城工学院 理化测试中心,江苏 盐城 224003)

摘要:在对水泥机立窑废气性质及除尘状况分析的基础上,设计了以生石灰为粉尘的捕获剂和 SO_2 的净化剂,以旋风收尘器与沉降室为粉尘分离设备的工艺流程。生产试验表明了该工艺的收尘效率可达 97%,脱硫率达到 76%,具有设备投入少,生产费用低,无二次污染的特点。

关键词:石灰;除尘;脱硫;机立窑

中图分类号:X701.3

文献标识码:A

文章编号:1671-5322(2002)04-0001-04

目前,水泥的窑用除尘方式有沉降室除尘、滤袋除尘、水雾除尘、电除尘等。这些方式虽均具有除尘的功能,但未考虑到对有害气体的净化问题。因此,随着可持续发展战略的实施及水泥总产量增加,研究新型的水泥窑用净化技术——具有除尘与净化有害气体双重功能的窑用废气处理技术,已是燃眉之急。本文在对水泥窑废气性质分析研究的基础上,提出了一种石灰干法除尘脱硫净化立窑废气的方法,以期对水泥窑废气的净化和收尘效率的提高提供新的思路。

1 水泥窑废气排放现状及废气的性质

我国 2000 年水泥产量已达近 6 亿 t,其中经 1400℃ 以上高温烧制的水泥熟料约 4.8 亿 t,产生粉尘 1380 万 t,排放 CO_2 4.4 亿 t、 SO_2 和 NO_x 等

有害气体 180 万 t^[1]。作为发展中国家,从国民经济的持续发展看,我国对水泥的需求量仍将有大幅度的增长。据预测,我国的大规模基础设施建设还将持续 30 年,到 2010 年我国水泥的年需求量将达 8 亿 t 以上。如此巨大的污染源,如果没有有效的净化工艺,将会造成严重的环境污染,带来无法估量的损失^[1]。

据统计,机立窑水泥的产量目前占全国水泥总产量的 60% 以上,在一段时期内,机立窑仍将存在并起一定作用,而机立窑排出的废气具有粉尘含量及湿含量高、温度较高、气体组分多及废气量大的特点,且各项指标均会随窑运行状况的变化而变化。我国部分企业机立窑废气特性参见表 1 和表 2。

表 1 水泥机立窑废气性质^[2]

Table 1 The feature of the smoke from cement vertical kiln

烟气量 $/(\text{Bm}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{c}^{-1})$	温度 $/^\circ\text{C}$	湿含量 $\%$	粉尘浓度 $/(\text{Bg} \cdot \text{m}^{-3})$	露点 $/^\circ\text{C}$	废气成分/ $\%$				
					CO_2	CO	SO_2	N_2 及 NO_x	O_2
2~3.5	60~300	8~20	2.5~8	45~55	8~18	3~10	0.5~3	70~75	1~8

由表 1 可知,水泥机立窑废气的各种性质均在较大的范围内波动,这对收尘器的稳定运行造成了不利的条件,烟气量的波动将影响收尘器处

理风量的合适选择,温度的波动对于耐高温性能较差的袋式收尘器的安全运行带来隐患,当环境温度变化时,废气较高的湿含量可能会结露,使袋

* 收稿日期:2002-09-03

基金项目:江苏省盐城市自然科学基金资助项目(S00012)。

作者简介:侯贵华(1963-),男,江苏盐城市人,盐城工学院副教授,南京工业大学在职博士生。

表2 机立窑废气中粉尘粒度组成^[2]

Table2 The particle distribution of the dust from cement vertical kiln

粒径分布/ μm	<15	15~20	20~30	30~40	40~88	>88
含量/%	40~52	18~20	6~8	6~8	20	4~8

式收尘器及各种收尘器的排灰系统运行不畅,进而堵塞。在废气成分中,大量的 CO_2 的排放,会造成大气温室效应,而 CO 是极强的还原性腐蚀气体, SO_2 是酸雨的主要前驱体之一,它对植物及自然界的各种物质的破坏早已为世人所知, NO_x 更是公认的致癌物质。

由表 2 可知,机立窑的废气所含粉尘粒度范围较宽,粒径分布不成正态分布,细颗粒含量多,小于 $15\text{ }\mu\text{m}$ 的颗粒占约 50%。而且粉尘的粒度分布会随窑煅烧操作方法及窑工况的变化而变化。

2 废气中粉尘的润湿性

固体粉料被液体吸附的难易程度称之为粉体的湿润性,其性质主要与粉体颗粒表面的结构状态、颗粒的化学组成有关,亦与润湿液体的表面张力等性质有关。测定物质润湿性的方法有多种,常用液体对试管中装有被测粉体的润湿速度或高度来表示。水雾粉尘器^[3]正是利用粉体的这一特性而设计的。它的基本原理为,当粉尘被水湿润后,质量增加,从而易于被重力法收尘器(如沉降室收尘)或离心力收尘器(如旋风收尘器)所收集,对于难以收集的微细粉尘颗粒,利用该原理可显著提高粉尘的收尘效率。

因此,加强对立窑粉尘表面结构及粉体性质的研究,选择易于润湿粉尘的溶液,使该溶液雾化,喷入立窑废气中,不仅能提高收尘器的收尘效率,同时由于某些溶液能吸收废气中的有害气体,从而达到收尘和净化废气的双重作用。但是,在水泥行业,该方面废气的处理方法尚待开发研究。

3 机立窑除尘设备比较

机立窑烟气除尘设备技术经济状况如表 3。在表 3 列出的 3 种收尘系统中,滤袋收尘系统的投资最大,水收尘系统的投资最小,后者约为前者的 1/3,实际上,袋收尘器和电收尘器系统较之水收尘还存在运转率低的缺点,而水收尘的泥浆处理十分困难。就目前中型立窑水泥厂来说,尽管袋收尘和电收尘的收尘效率高,但由于工厂经济

效益普遍不理想,采用这两种收尘方法的较少,所以简易的水收尘系统更易为工厂接受。

表3 水泥机立窑烟气除尘系统现状^[3]

Table 3 The situation of the dust collection system of cement vertical kiln

序号	项目	玻纤袋收尘	电收尘	水收尘
1	除尘介质	滤袋	电场	清水
2	系统装机容量/kW	> 100	> 60	35~40
3	投资总额/万元	> 100	> 80	30~40
4	运行费用(万元/年)	> 80	> 50	20~30
5	投资回收期/年			2~3
6	水泥成本增减(元/t)	+ (8~10)	+ (5~6)	- (1~2)
7	对操作技术要求	高	高	低
8	工艺适应性	怕结露	怕腐蚀	处理泥浆浆难
9	粉尘排放浓度/(mg·m ⁻³)	< 100	< 100	< 150

现有立窑收尘系统均未考虑废气中有害气体的净化,对粉尘的性质缺乏研究,未能充分利用立窑废气的性质设计除尘与净化废气系统。

4 一种新型烟气除尘与净化工艺的研究

4.1 原理

当磨细的生石灰与机立窑废气均匀混合,由于机立窑废气具有湿含量高的特点而生石灰粉具有强烈地与水反应的能力,这样,生石灰粉在整个收尘系统的行程路径中,吸收废气中的水分,形成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 将吸收废气中的 CO_2 和 SO_2 , 并吸附部分 NO_x , 使废气中有害成分得以净化或降低,同时, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 颗粒在运动过程中,与粉尘粘结,使粉尘颗粒质量增加,从而提高了收尘效率,达到净化废气和捕获粉尘的目的。

4.2 工艺流程

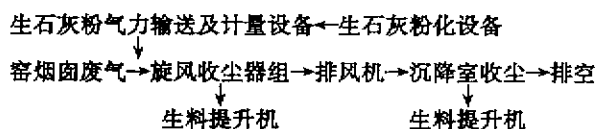


图1 生石灰净化除尘工艺流程简图

Fig.1 The flow chart of lime-desulfuration and dust collection

由图 1 可知,该工艺十分简单,考虑到一般立窑厂均设计有沉降室,因此仅需增加旋风收尘器组、排风机及生石灰粉碎和气流输送系统,因此该流程能适应众多机立窑厂的改造。

4.3 试验结果

某水泥厂机立窑,规格 3 m×11 m,熟料产量 12 t/h,黑生料煅烧法,浅暗火煅烧操作法,采用石

膏和萤石为复合矿化剂,原设有水幕除尘系统,经改造,增加了旋风收尘器组、生石灰粉碎与气力输送系统,得到如图1的除尘净化工艺。

试验用生石灰的化学成分如表4,其粒度分布如表5。

表4 生石灰的化学组成

Table 4 The chemical composition of lime

w%					
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	其它
1.37	1.20	0.22	94.65	1.72	0.84

表5 生石灰的粒度分布

Table 5 The particle distribution of lime

粒径/ μm	<10	10~20	20~30	30~40	40~80	>80
含量/%	6	22	38	26	5	3

在试验时,测定了不同加入量的生石灰时收尘系统收尘效率的变化,结果如图2所示,由图2可知,在加入10 kg/h至40 kg/h时,随生石灰加入量的增加,收尘效率显著增加,达到了97%,继续增加生石灰的加入量,收尘效率变化不大。由此可知,生石灰的最佳加入量为40 kg/h,另一方面,收尘效率并未随增加量的进一步增加而下降,这是由于生石灰的吸水性极强,粘结其它粉尘的能力强,所以生石灰本身不会成为粉尘排放到大气中。

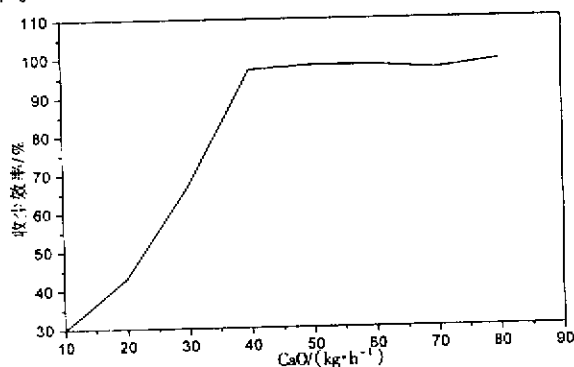


图2 生石灰的加入量对收尘效率的影响

Fig.2 Effect of lime content on the dusting efficiency

当生石灰的加入量为40 kg/h时,窑气中各参数的变化如表6所示,由表6可知,收尘效率达到了97%,排放量为135 Bmg/m³,达到了国家标准的排放指标,SO₂也被大量的吸收,排放量由未处理前的278 Bmg/m³降至处理后的76 Bmg/m³,净化效率达76%。另外,经测定,从旋风收尘器和沉降室所收集粉尘的平均水份为1.6%。

表6 机立窑废气除尘与净化效果

Table 6 The results of removal dust and desulfuration of vertical kiln smoke

	湿含量 /(Bg·m ⁻³)	粉尘浓度 /(Bg·m ⁻³)	SO ₂ /(Bg·m ⁻³)
未处理烟气	68	4.6	278
处理后烟气	59	0.135	67
效率/%	13	97	76

4.3 试验结果分析

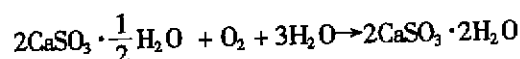
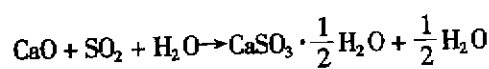
4.3.1 提高收尘效率的原因

当粉末状的生石灰加入到含湿的废气中后,由于它有极强的与水反应的能力,所以它迅速吸收废气中的水分,形成了Ca(OH)₂,自身的质量得以增加,并改变了运动速度,在随废气的运动过程中,由于不同粒径和质量粉尘具有不同的运动速度,所以当潮湿的Ca(OH)₂碰到粉尘粒子,将粘结该粒子,形成更大的粒子,粒子的质量得以增加,在旋风收尘器中受到的离心力增大,易于被分离出来;在沉降室内,由于废气运动空间的增大,其流速急速下降,废气在沉降室中有更长的停留时间,未能吸收水分的生石灰粉粒,或粒径较小的、未能被旋风收尘器分离的Ca(OH)₂得以充分地吸收废气中的水分,并在沉落的过程中,粘结粉尘粒子,使粒径较小的粉尘也被捕获而沉降下来。

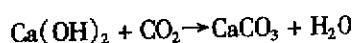
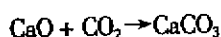
由于生石灰在吸湿并发生化学反应过程中,放出大量的热量,该热量补偿了废气在旋风收尘器和沉降室向环境中散发的热量,使废气的温度略有升高,这样降低了废气结露的可能性,保证了收集的粉尘为含水率低的粉体。该特点同常见的水幕水收尘^[2]相比,具有收集的粉尘易于输送和重新直接利用,避免了水收尘的二次污染。同时,由于废气中湿含量的降低,废气变淡,上升高度增加。

4.3.2 净化废气的原理

废气中的SO₂能与生石灰发生下列反应^[4]



废气中的CO₂还能与生石灰的发生下列反应^[5]



但由于废气中 CO_2 的含量很高,少量的生石灰的加入,将对废气中 CO_2 的量改变不大。

4.4 工程投资与效益分析

对于有沉降室的立窑水泥厂来说,需增加旋风收尘器组、离心排风机、立式粉碎机,气力输送泵等,计 28 万元。运行费用包括生石灰费、电费,约每月 1.5 万元。

器和沉降室为收尘设备,当生石灰加放量为 40 kg/h 时,收尘系统的收尘效率达到了 97%,脱硫率达 76%。这种收尘工艺具有收尘与脱硫效率高,设备投入少,生产费用低,无二次污染的显著特点。但该工艺的自动控制系统尚待开发研究。

5 结论

用生石灰作为粉尘捕获的原料,以旋风收尘

参考文献:

- [1] 杨南如.充分利用资源 开发新型胶凝材料[J].建筑材料学报,1998,1(1):19-25.
- [2] 干锦涛.机立窑高效湿法除尘[J].水泥工程,1997,(6):42-44.
- [3] 陈绍龙,吴诚,张昭忠,等.水泥立窑烟气湿收干排除尘工艺的研究[J].水泥,1998,(3):21-25.
- [4] 高翔,骆仲决,周劲松,等.新型多功能烟气净化装置的开发[J].环境科学学报,1999,19(4):362-367.
- [5] 赵毅,马双忱,李燕中.高活性吸收剂脱硫脱氮的研究[J].环境污染治理与设备,2000,1(5):72-77.

Study on the new technique of the dust removal and desulphurization for cement vertical kiln

HOU Gui-hua

(Center of Physical Testing and Chemical Analysis, Yancheng Institute of Technology, Jiangsu Yancheng 224003, China)

Abstract: On the basis of the analysis to the properties and the dust removal situation in cement industry, the technique was designed, which use lime as capture reagent of the dust and SO_2 , cyclone separator and sedimentary chamber as separate equipment. The results showed that, the dusting efficiency of the system can reach to 97%, desulphurizing efficiency to 76%, the system save the equipment need and casting cost, not re-pollute.

Keywords: lime dust; removal; desulphurization; cement vertical kiln