文章编号: 1000-6761(2002)03-1819-05

回转窑式废弃物焚烧炉的设计

钱惠国
(上海应用技术学院 环境与能源工程系, 上海 200233)

摘 要: 分析了各工业废弃物的燃烧特征, 给出了焚烧系统的设计思路以及重要设备的计算方法, 并在实际中得到检验。图 2 表 1 参 3

关键词: 回转窑; 焚烧炉; 余热锅炉
中图分类号: TK 229.92 **文献标识码**: A

0 引 言

随着全民对环保意识的增强, 垃圾对环境的污染日渐引起全民的重视, 垃圾处理技术的有效应用直接关系到垃圾处理的彻底与否。垃圾焚烧是解决垃圾减量化、无害化的最直接、最有效的方法。本文就化工行业中工业废弃物(工业垃圾)焚烧处理的设计思路和设计方法作一阐述。

1 工业废弃物焚烧处理系统工艺流程概要

工业废弃物的种类比较繁多, 大部分是有毒、有害物质, 而且不易自然降解, 只有经过焚烧和除尘器除尘处理才能达到环保排放要求。所以, 一个完整的焚烧处理系统需要考虑如下几个方面: ①废弃物按类分拣; ②对大块污泥进行粉碎处理; ③一燃室的废弃物加热、分解、焚烧; ④二燃室对未燃尽的可燃物进行再次焚烧燃尽; ⑤高温烟气进行余热回收; ⑥烟气除尘净化; ⑦达标排放。

针对工业废弃物的特点, 有些废弃物具有一定的酸性, 燃烧后废气中含有 NO_x、SO_x 化合物。因此, 在用喷淋除尘净化过程中, 在循环水中加入一定量的碱性添加液, 达到中和目的, 使排出的废气达到大气污染防治要求[1]。

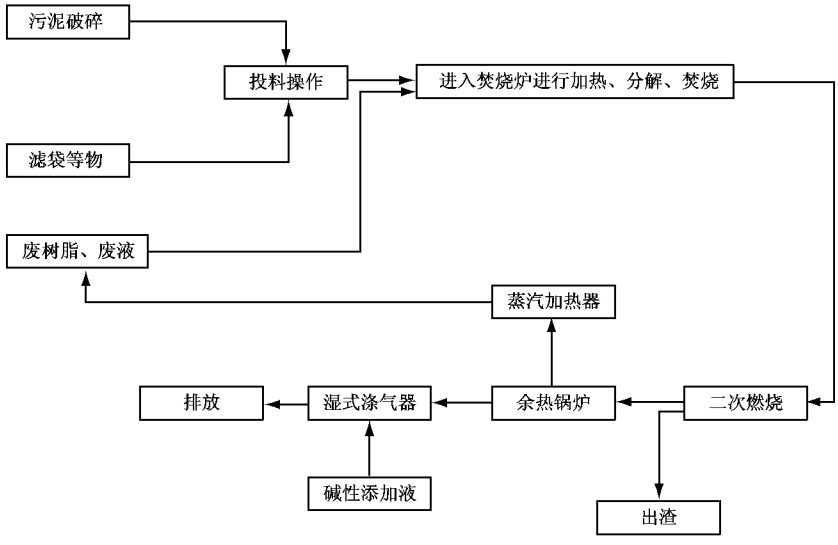

图 1 工业废弃物焚烧系统工艺流程图

收稿日期: 2001-07-19 **修订日期**: 2001-10-09
作者简介: 钱惠国(1964 9-), 男, 工程师, 现为上海交通大学在读研究生。主要从事环境保护和能源利用领域的教学和科研方面的工作。已发表学术论文 6 篇。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2　焚烧炉的设计思路及热工计算方法

焚烧的化学过程是很简单的, 它包括碳和氢的燃烧。工业废弃物在焚烧炉中充分焚烧的因素是: 需要有与废弃物相匹配的助燃空气, 并能使空气与废弃物中的碳、氢有良好地接触, 即助燃空气的混合情况: 废弃物在炉内的接触时间, 即滞留时间; 反应进行时的温度三个方面。工业废弃物焚烧炉的炉型确定, 需考虑工业废弃物中各类废料的形态、颗粒大小以及它们的燃烧特性, 进行综合评估, 重点确保最难焚烧的废弃物的燃烧条件, 同时兼顾其它易处理的废弃物。

一般工业废弃物
- 污泥类
  - 来源: 来自于污水沉淀地
  - 热值范围: 4181.6～5018kJ/kg
  - 燃烧特点: 难着火
  - 处理方法: 粉碎预处理, 并在炉内不断翻动, 增加与高温气体的接触面积
- 纤维类
  - 来源: 各种过滤用布料尼龙织物
  - 热值范围: 16726～22999kJ/kg
  - 燃烧特点: 易着火
  - 处理方法: 直接投入炉内, 在适当温度下即可烧尽
- 树脂类
  - 来源: 产品下脚料和不合格产品
  - 热值范围: 41816kJ/kg 左右
  - 燃烧特点: 雾点状态下极易着火燃烧
  - 处理方法: 采用燃油烧嘴喷入炉膛, 作为燃料燃尽

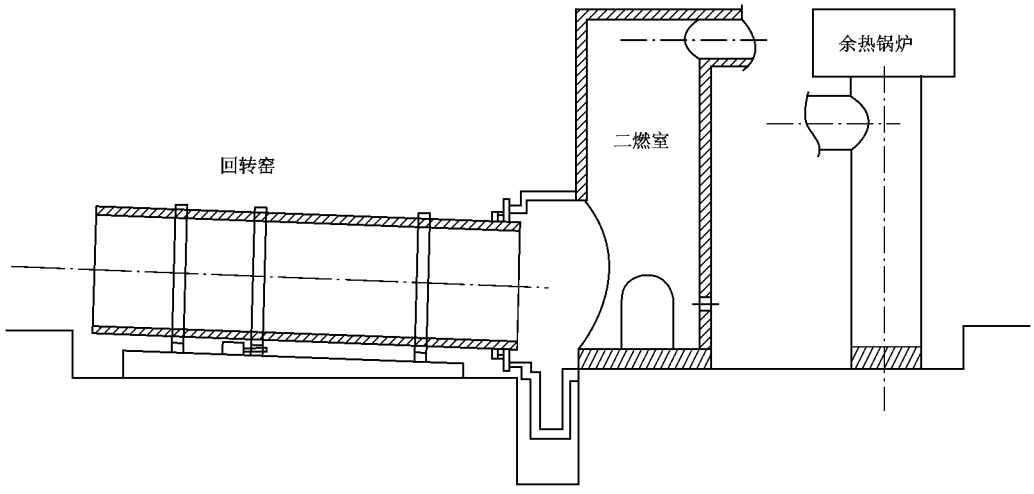

图 2　回转窑和二燃室及余热锅炉结构示意图

对工业废弃物进行燃烧特性分析得: 污泥的燃烧特性最劣, 因此在选用和设计炉窑时, 应重点考虑到污泥的燃烧情况, 当污泥在炉内焚烧完毕, 那么其它的易燃物也应已燃尽。由于污泥热值低、块粒大, 并且含水率在 50% 以上, 必须经过预处理将污泥粉碎, 以增大其与热烟气的接触面积, 同时应在干燥、热解、焚烧过程中, 不断翻动、搅拌, 使污泥与空气充分混合, 根据污泥的特点, 则应将一燃室设计为回转窑式焚烧炉。

回转窑式焚烧炉是在圆柱形金属壳内砌筑耐火砖, 水平安放稍有倾斜。通过炉体整体转动达到垃圾均匀混合并沿倾斜角度向出料端移动。回转窑式焚烧炉须配备二次燃烧室, 垃圾在回转窑炉内分解气化产生可燃气体, 其中未燃尽的可燃气体在二次燃烧室内达到完全燃烧。图 2 是回转窑和二燃室及余热锅炉结构示意图。

其它纤维类废弃物通过污泥加料口送入炉内, 进行焚烧处理。对于树脂废弃物可分为热溶性

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

和热固性两种。热固性树脂在加热温度不高时, 其不溶化, 反而变硬, 但温度升高到一定程度时, 热固性树脂也会溶化并能燃烧起来; 可采用与污泥一样的投料方式送入焚烧炉进行焚烧。而热溶性树脂在加热温度升高时, 其粘度下降, 当树脂加热到一定温度时, 其流动性大大增强, 可采用加热拌送至炉前, 采用机械方式将树脂用喷嘴喷入焚烧炉进行焚烧, 并可充当焚烧炉燃料之用, 起到一举二得的功效。

焚烧炉的热工计算是比较复杂的, 它要考虑到工业废弃物的种类和其本身的热值和水份。这里只作一般的工程计算。

2.1　辅助燃料量(V)的计算

我们从上面的工业废弃物特性一览表中看出: 只有污泥发热量低, 需要辅助燃料燃烧才能使污泥烧尽, 其它类废弃物着火后均能稳定燃烧燃尽, 不需要外加辅助燃料, 即辅助燃料量为:

$$B = \frac{\left[14p \times 4.18 - \left(1 - \frac{p}{100}\right) Q_1\right] W_1}{Q_{DW}} \quad (\mathrm{kg/h}) \tag{1}$$

式中　p —— 污泥含水率, %

Q_1 —— 干固体污泥燃烧发热量, kJ/kg

W_1 —— 需焚烧的污泥量, kg/h

Q_{DW} —— 辅助燃料的发热量, kJ/kg

2.2　计算焚烧所需的空气量 L_k

焚烧所需的空气量包括工业废弃物燃烧的空气耗量(L_f)和辅助燃料燃烧的空气耗量(L_k) 2 个部份。

废弃物焚烧每小时所需空气消耗量(L_k)经验公式

$$L_k = \alpha \frac{1.01}{4180} \times \left[Q_1 W_1 \left(1 - \frac{p}{100}\right) + Q_2 W_2 + Q_3 W_3 + 0.5\right] \quad (\mathrm{Nm^3/h}) \tag{2}$$

式中　α —— 焚烧废弃物所需的空气消耗系数, 一般取 1.5～2.2

Q_1, Q_2, Q_3 —— 各类焚烧物的单位热值, kJ/kg

W_1, W_2, W_3 —— 每小时处理各类焚烧物的重量, kg/h

1.01, 0.5 —— 经验系数

4180 —— 折算系数, 指每燃烧产生 4180kJ 热量理论消耗空气为 1Nm^3

2.3　燃烧以后的总产气量(V_n)

燃烧以后的总产气量等于各类废弃物焚烧后的产气量及污泥中水份蒸发量之和。

各类废弃物焚烧后的产气量(V_f)为:

$$V_f = 1.1 L_k \quad (\mathrm{Nm^3/h}) \tag{3}$$

污泥中水份蒸发量(V_q)为:

$$V_q = 1.25 \frac{p}{100} W_1 \quad (\mathrm{Nm^3/h}) \tag{4}$$

所以: 燃烧以后的总产气量为:

$$V_n = V_f + V_q = 1.1 L_k + 1.25 \frac{p}{100} W_1 \quad (\mathrm{Nm^3/h}) \tag{5}$$

2.4　回转窑式焚烧炉的尺寸计算

焚烧炉包括干燥带和燃烧带。

干燥带所需容积(V_a)为:

$$V_a = \frac{0.09 W_1 \cdot p}{1000} \quad (\mathrm{m^3}) \tag{6}$$

燃烧带所需容积(V_b)为:

$$V_b = \frac{Q_1 W_1 \left(1 - \frac{p}{100}\right) + Q_2 W_2 + Q_3 W_3}{3.5 \times 10^5 \times 4.18} \quad (\mathrm{Nm^3}) \tag{7}$$

回转窑式焚烧炉的总容积(V)为

$$V = V_a + V_b \tag{8}$$

回转窑式焚烧炉的直径与长度之比为 1∶(5～12) 进行设计, 应视工业废弃物焚烧难易来确定取值大小。

3　应用举例

某化工企业原工业废弃物进行分类后将污泥、树脂送至砖瓦厂, 置于砖窑中进行焚烧处理, 滤纸、滤袋则在本企业内的立式焚烧炉进行处理。随着环保意识的提高以及砖瓦厂对该企业的废弃物处理费用的增加, 决定在本厂内扩建焚烧设备, 对本厂的工业废弃物进行分类统计得:

表 1　工业废弃物分类

工业废弃物种类	重量(kg/D)	每小时产生量(kg/h)	热值(4.18 * kJ/kg)	占重量百分比(%)
污泥(含水 50%)	6000	250	1200	20
滤纸、滤袋、塑料	22500	937.5	5000	75
树脂	1500	62.5	10000	5

日产生废弃物平均为 30t。

分析: 为了能更有效地确保污泥的焚烧处理质量, 决定采用回转窑式焚烧炉, 滤纸、滤袋、塑料

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

和热固性树脂也在污泥加料口投料, 热溶性树脂则加热后用燃油喷咀喷入炉膛内焚烧处理。

(1) 回转窑式焚烧炉热工计算

辅助燃料量(B)的计算(使用柴油, 热值为 9500×4.18 kJ/kg)

$$B = \frac{\left[14p \times 4.18 - \left(1 - \frac{p}{100}\right) Q_1\right] W_1}{Q_{DW}} = \frac{\left[14 \times 70 \times 4.18 - \left(1 - \frac{70}{100}\right) \times 1200 \times 4.18\right] \times 250}{9500 \times 4.18} = 16.3 \quad (\mathrm{kg/h}) \tag{9}$$

焚烧废弃物所需的实际空气量(L_k)

取空气消耗系数 $\alpha = 1.8$, 则:

$$L_k = \alpha \frac{1.01}{4180}\left[Q_1 W_1 \left(1 - \frac{p}{100}\right) + Q_2 W_2 + Q_3 W_3\right] = 1.8 \times \frac{1.01}{4180} \times \left[1200 \times 250 \times \left(1 - \frac{70}{100}\right) + 5000 \times 937.5 + 10000 \times 62.5\right] \times 4.18 = 9821.75 \quad (\mathrm{Nm^3/h}) \tag{10}$$

废弃物焚烧后的产气量(V_n):

$$V_n = 1.1 L_k + 1.25 \frac{p}{100} W_1 = 1.1 \times 9821.75 + 1.25 \times \frac{70}{100} \times 250 = 11022.67 \quad (\mathrm{Nm^3/h}) \tag{11}$$

回转窑尺寸的计算: 包括干燥带所需容积(V_a)和燃烧带所需的容积(V_b)

$$V_a = \frac{0.09 W_1 p}{1000} = \frac{0.09 \times 250 \times 70}{1000} = 1.58 \quad (\mathrm{m^3}) \tag{12}$$

$$V_b = \frac{Q_1 W_1 \left(1 - \frac{p}{100}\right) + Q_2 W_2 + Q_3 W_3}{3.5 \times 10^5 \times 4.18} = \frac{\left[1200 \times 250 \times \left(1 - \frac{70}{100}\right) + 5000 \times 937.5 + 10000 \times 62.5\right] \times 4.18}{3.5 \times 10^5 \times 4.18} = 15.44 \quad (\mathrm{m^3}) \tag{13}$$

回转窑式焚烧总容积:

$$V = V_a + V_b = 1.58 + 15.44 = 17.02 \quad (\mathrm{m^3}) \tag{14}$$

考虑到产量的增加, 工业废弃物增多的可能性, 在设计时加 20% 余量。回转窑式焚烧炉的设计容积为 $V_s = V \times 1.2 = 17.02 \times 1.2 = 20.424\ \mathrm{m^3}$。

在确定焚烧炉直径和长度比时, 考虑到树脂是通过端面喷咀喷入的, 因此取直径尽量大, 便于布置燃烧器和废弃物加料口, 取其给定范围的下限, 确定直径: 长度比为 1∶5, 设直径为 D, 则长度为 $5D$, 即:

$$V_s = \frac{1}{4}\pi D^2 \times (5D)$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4V_s}{5\pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 \times 20.424}{5\pi}} = 1.73 \quad (\mathrm{m}) \tag{14}$$

长度 $L = 5D = 8.65\ \mathrm{m}$

(2) 焚烧系统各主要设备性能参数

① 回转窑式焚烧炉(一燃室)

作用: 工业废弃物热解、焚烧。

有效尺寸 L: 直径 1.73m; 长度 8.65m。

倾角: 3°。

回转窑转速: 0.1～5r/min(采用变频电机调速)。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

固体废弃物进行方式: 污泥破碎预处理, 液压传动连续进料。

固体废弃物在一燃室中停留时间: 0.5～1.5h。

一燃室空气消耗系数: 0.5～2。

一燃室炉内设计温度: 850～950 ℃。

② 二燃室

作用: 使在一燃室中未燃尽的可燃气体达到完全燃烧。

有效尺寸: 直径 2.6m, 高度 6m。

烟气在二燃室中停留时间: 1～3s。

二燃室设计炉温: 1000～1100 ℃。

二燃室空气消耗系数: 1.2～2。

③ 余热锅炉

作用: 有效利用烟气余热并降低烟气温度, 有利于后。

选用余热锅炉形式: 选用立式余热锅炉。

余热锅炉工作压力: 0.8MPa。

余热锅炉出力: 1.5t/h。

④ 半干式喷淋除尘器

作用: 净化废气, 并使用碱性添加液中和烟气中酸性化合物。

基本尺寸: ϕ1500×3000。

循环水添加量: 300～600kg/h。

⑤ 排烟系统

作用: 排放烟气。

烟囱高度: 35m。

烟囱材料: A3 钢板, 内涂防腐材料。

排烟方式: 排烟机强制排烟。

4 结 语

回转窑式焚烧炉的开发和应用是垃圾焚烧操作走向机械化的一个重要步骤。因自动地对垃圾具有连续翻动作用, 对于低热值的污泥或生活垃圾的焚烧尤其有效、彻底。

回转窑式焚烧炉结构比较复杂, 且有转动部件, 密封有困难, 设备投资费用比较高, 并且运行费用也较高, 所以从技术经济比较的角度来看, 回转窑式焚烧炉的焚烧量应具有一定的规模, 才能发挥较好的运行效益。

参考文献:

[1] 钢铁厂工业炉设计参考资料. 冶金工业出版社.

[2] 康韦 RA, 罗斯 RD 著. 工业废物处理手册[M]. 工人出版社, 1983: 412～415.

[3] 金儒霖, 刘永龄. 污泥处理[M]. 中国建筑工业出版社, 1982: 253～256.

Design of Rubbish-Burning Furnace in Revolving Tubular Kiln-Model

QIAN Hui-guo

(Shanghai Intitute of Technology, Shanghai 200233, China)

Abstract: This paper analyzed the combustion characteristic of all kinds of waste rubbish in chemical industry, putting out the designing way of combustion system and calculating way about main equipment, and proved in the practice. Figs 2, table 1 and refs 3.

Key words: revolving tubular kiln; burning furnace; waste heat boiler

· 书讯 ·

《电气工程施工要点与技术规范全书》已经出版

本书共分 4 卷 11 篇, 内容包括: 建筑电气安装工程基础知识; 施工图识; 技术装备; 室外线路安装施工要点与技术规范; 室内配线施工要点与技术规范; 建筑电气工程线施工要点与技术规范; 常用电气设备器具、建筑物防雷、接地及火灾危险场所电气装置、弱点系统工程安装施工要点与技术规范; 电气安装工程质量评定和交工验收; 电气工程施工常用数据等。定价 880 元(免收邮挂费)。另有《电气工程标准规范综合应用手册》, 邮购价 140 元;《现代建筑电气设计施工实用手册》, 邮购价 253 元。邮购地址: 北京 55 信箱清平书店　金莉收; 邮编: 100053。电话: (010) 83154081。户名: 北京清平书店有限公司　帐号: 0981106810001; 开户行: 招商银行展览路支行。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net