

水泥烧成系统余热回收 采暖换热器研制、开发与应用

杨建朴¹, 赵玉国²

(1.天津朴诚科技有限公司, 天津 300130; 2.朝阳重型矿山机器有限公司, 辽宁 朝阳 122000)

1 干法烧成系统余热采暖简介

本装置适用于水泥干法烧成系统。主要是用于回收水泥烧成系统尾气中的热量。在水泥烧成过程中, 预热器作为其主要热工设备之一, 作用是对粉状物料进行预热、分解。它利用回转窑产生的高温尾气的同时, 向分解炉的炉体内部喷入煤粉, 形成喷腾燃烧, 所以在预热器下部的分解炉内, 温度大约在 900~1 100 。经过五级旋风系统的换热之后, 排出预热器的尾气温度大约为 350~400 ; 篦冷机接收由回转窑烧成后产生的 1 370 的热熟料, 通过鼓风机鼓入冷却风冷却到 70 +环境温度后排出, 在这个过程中鼓入的冷却风被热熟料加热, 其中 800~1 200 的热空气被重复利用到烧成系统中, 而未被利用的废气温度大约在 350~400 。在现有的烧成系统中, 这部分热量通过管道喷水的增湿、降温而损失掉。本装置的采用, 可以有效地回收这两部分热能, 把这两部分热能转化到采暖、洗浴等生活设施, 可以有效达到节约能源、降低煤耗的目的。

预计本装置采用以后, 可节约水泥厂的采暖锅炉, 节省建设投资约 80 万元, 年节约采暖煤约 1 950t。

本产品于 2006 年初天津朴诚科技有限公司提出构想, 并与朝阳重型矿山机器有限公司联合开发, 由后者负责制作。经过工程技术人员的艰苦劳动, 于 2006 年 8 月开发成功, 并于当年应用于天津朴诚公司设计的山西中条山新型建材有限公司 2 500t/d 生产线。该公司的余热采暖系统主要用于其办公室的冬季采暖, 职工宿舍的采暖和职工浴池的洗浴。入冬以来, 应用于窑头的采暖换热器系统工作稳定, 厂区办公室和职工宿舍的环境温度保持在 20 以上, 并随时为职工浴池提供热水。

2 开发过程与计算验证

2.1 几项关键技术

本换热系统包括以下几部分: 给水循环系统、换热器系统、换热器支架、旁路系统、管道及暖气系统。以上系统中, 必须解决以下几个关键问题:

(1) 关键技术之一——换热管的换热效率。在工况条件下, 热气体与流体管道之间必须有足够的热交换, 才能保证在管道中的水流过管道时, 达到所需要的温度。因此需采用具有高换热效率的管道系统。

(2) 关键技术之二——换热管道系统的材料选择。在废气管道中, 换热管的工作条件是相当恶劣的: 它必须承受 350 以上的环境温度, 废气中含有大量的粉尘, 废气的流动速度 >15m/s, 同时在换热管内部流动着 100 以下的水, 普通的金属材料不能满足本换热系统所要求的耐热、耐腐蚀、耐磨损的要求。所以应采用一种能够满足上述要求的金属材料。

(3) 关键技术之三——循环水水质的稳定性。本换热系统要求水质必须是软化后的水, 以防止在水流动过程中结垢, 堵塞管道。在水进入系统之前, 必须设置水质软化装置。

(4) 关键技术之四——管道连接处防漏。由于本系统属于热工设备, 设备在运行过程中必然产生由于温度的变化带来的热膨胀, 使管道的连接处容易造成开裂漏水。必须解决和消除由于系统热变形对管道连接处的影响。

2.2 计算举例

现在以 2 500t/d 级水泥厂办公区采暖换热器验证计算举例:

2.2.1 初始参数

(1) 熟料产量: 2 500t/d 级



- (2) 换热器安装位置: 冷却机废气风管
- (3) 风管内风量: 150 000Nm³/h
- (4) 废气进口温度: 170 (加入冷风后)
- (5) 废气出口温度: 100
- (6) 换热介质: 软水
- (7) 介质流量: 114t/h
- (8) 进水温度: 70
- (9) 出水温度: 95

2.2.2 相关参数计算

(1) 采暖系统得到的热量

$$E = \alpha V \times [t_1 \times c_1 - t_2 \times c_2 \times (1 + \phi\%)] \quad (1)$$

$$= 0.9 \times 150\,000 \times [170 \times 1.306 - 100 \times 1.301 \times 1.03]$$

$$= 11\,882\,295 \text{ (kJ/h)}$$

式中: E—换热器得到的热量(kJ/h);

—换热器的散热损失系数(0.9);

V—进入换热器的风量(Nm³/h);

t₁—进入换热器的废气温度();

c₁—进入换热器的废气比热(kJ/Nm³h, c₁₇₀=1.306)

t₂—换热器排出的温度();

c₁—排出换热器的废气比热(kJ/Nm³h, c₁₀₀=1.301);

φ—换热器漏风系数(3%)。

(2) 热水量的估算

按采暖规范, 热水的供水温度 95 , 回水温度 70 , 供回水温差 t = 25 , 换热器得到的热量即热水吸收的热量, 水量计算如下:

$$Q = E / (t \times 4.1868) \quad (2)$$

$$= 11\,882\,295 / (25 \times 4.1868)$$

$$= 113\,522 \text{ (kg/h)}$$

(3) 锅炉的效率计算

余热锅炉的效率计算与常规锅炉计算不同, 因为余热锅炉排出的热量常常受到生产线工艺参数的影响, 不是想利用多少就能利用多少, 如窑尾废气的利用就受到生料磨烘干的影响。计算如下:

$$= E / E \quad (3)$$

$$= E / (V \times t_1 \times c_1)$$

$$= 11\,882\,295 / (150\,000 \times 170 \times 1.036)$$

$$= 44.98\%$$

(4) 采暖面积计算

$$A = E / (3\,600 \times q \times 10^{-3}) \quad (4)$$

$$= 11\,882\,295 / (80 \times 10^{-3})$$

$$= 41\,258 \text{ (m}^2\text{)}$$

式中: A—采暖建筑物的建筑面积(m²);

q—采暖热指标, 根据“城市热力网设计规范 CJJ34-2002” q=80W/m²。

以上采暖面积如采用常规采暖锅炉供热, 将消耗标准煤:

$$11\,882\,295 / (7\,000 \times 4.1868 \times 0.6) = 675.7 \text{ (kg/h)}$$

注: 一般采暖锅炉效率约 60%。

按年采暖天数 120d 计算, 年节约标准煤 675.7 × 24 × 120 = 1\,946\,016 (kg) 1\,946 (t)

2.3 换热器特点

此换热器具体说来就是高温流体与低温流体之间的热交换装置。从设计角度和使用角度来选择, 采用复合式换热装置。这种换热装置的优点是: 当其他条件相同时, 复合式的流体温度差比较均匀, 复合式的流体传热量也比较高, 传热效率可以达到 30% 以上。另外, 当其他条件相同时, 换热器壁的温度也比其他形式的低, 因此对材料的耐热性要求也相对低一些。

产品设计过程中, 以换热器的换热管道系统作为核心装置, 换热器的整个换热过程都依靠本核心装置来实现。为了增加换热效率, 换热管采用螺旋翅管的结构, 以增加换热面积。翅片的作用有两个: 一是增加管道与外面热风之间的等效换热面积。另外是对管壁本身起到保护作用, 当含有大量高速粉尘的热气体通过时, 粉尘首先冲刷的是管道外面的翅片而冲刷不到管壁, 当管壁外面的翅片受到磨损, 逐渐磨损掉后, 才能直接冲刷管壁。每个换热管设计寿命为 5 年。管道的外形及零部件见图 1。

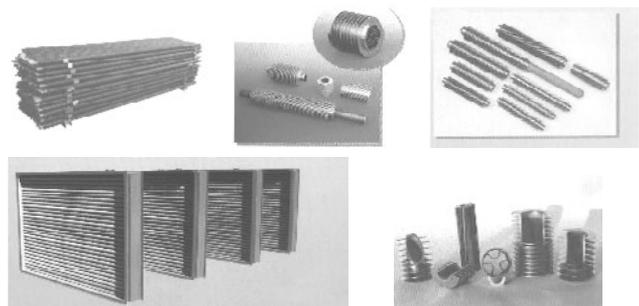


图1 换热管及零部件外形图片

换热管管道采用镍基钎焊, 是在高温和还原气氛下, 靠融化的镍铬合金焊料将基管和翅片连接的先进焊接工艺。经过绕片、喷粉(镍铬合金粉)、高温烧结等十余道工序将翅片钎焊于基管上。这种换热

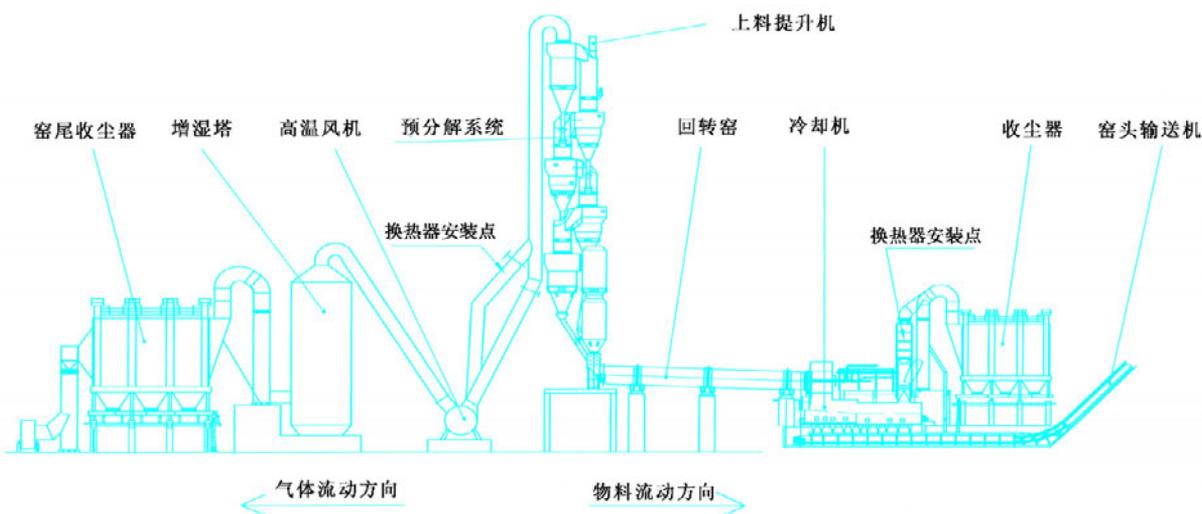


图2 中条山2 500t/d生产线烧成系统工艺流程及换热器安装点示意图

管利用封闭的管内介质和外部的高温气体进行热传导, 具有极高的导热性能和抗热磨蚀性能。由镍铬合金焊料将基管和翅片焊接组成的换热器管组换热效率高、结构紧凑、流体阻力低。

3 水泥厂应用案例

从系统工艺简图 2 可以看出, 此换热器的安装位置有两处, 其一是在冷却机废气排放管道处; 其二是在预热器废气管道与高温风机之间。

本产品在山西中条山新型建材有限公司投入使用后, 用户反映使用效果良好, 系统工作稳定。厂家使用的换热器技术参数见表 1。

入口废风量设计值	50 000Nm ³ /h
入口废气温度设计值	170
废气成分	热空气
废气阻力	450Pa
废气入口压力	-300Pa
废气出口温度	100
换热器入口含尘浓度	20g/Nm ³
废气含尘性质	水泥熟料颗粒, 最大粒径1.5mm, 比例约2%
换热器废气流程	下进上出
换热器总漏风量	3%
被加热水量	40t/h
进水温度	70
出水温度	95

热平衡验证计算

(1) 水的热量变化

$$Q_{\text{水}} = V_{\text{水}} C_{\text{水}} (t_1 - t_2) \\ = 40 \times 1\,000 \times 4.186\,8 \times (95 - 70)$$

$$= 4.187 \times 10^6 \text{ (kJ)}$$

(2) 气体的热量变化

$$Q_{\text{气}} = V_{\text{气}} C_{\text{气}} (t_1 - t_2) / \\ = 50\,000 \times 1.097 \times (170 - 100) / 0.75 \\ = 5.119\,3 \times 10^6 \text{ (kJ)}$$

比较来说 $Q_{\text{气}} > Q_{\text{水}}$

中条山废风量仅仅 50 000Nm³/h, 因此产热水 40t/h, 如果按文章中的 150 000Nm³/h 计算, 热水产量将达到约 120t/h。

不论从验证计算还是实际应用均可得出结论: 换热器系统的工作完全可以满足供暖要求。

4 结论

(1) 在目前新型干法系统中, 废气温度在 350~400 。对这些热量进行利用现在有两条途径: 即余热发电系统和余热采暖系统。余热采暖系统主要是用于北方水泥厂的冬季取暖。如果是窑头废气为 250 上下最为合适, 而不少窑型的废气温度是在 250 左右, 这样的前提下在考虑采暖更合理一些。

(2) 本产品是在现阶段成熟的新型干法水泥烧成技术基础上, 对原工艺、装备加以改进提高。开发的初衷就是为了节约水泥生产过程中的能源消耗, 是充分适应国家的能源政策, 对现阶段在水泥制备工艺方面已经领先的新型干法烧成工艺的一个有利的补充, 它使新型干法水泥制备技术在节能降耗方面变得更加完善。