

Thermodynamic Study of 3000 Type Drying System

Yong Pan

Sany Heavy Energy Co., Ltd., Changsha, Hunan, 410100, China

Abstract

Taking the 3000 type drying system as an example, the sandstone with a water content of 5% is the research object, and the heat required for heating and drying the sandstone from a normal temperature of 20°C to 170°C and the calculation of the air volume and power of the draft fan are analyzed.

Keywords

drying; thermodynamics; exploration

3000 型烘干系统热力学研究

潘勇

三一重能有限公司, 中国·湖南长沙 410100

摘要

以3000型烘干系统为例,以含水率为5%的砂石为研究对象,分析砂石从常温20°C加热烘干到170°C所需的热量和引风机风量、功率的计算。

关键词

烘干; 热力学; 探索

1 引言

沥青搅拌设备的用电成本与燃料消耗成本是沥青混凝土拌和设备运行中最主要成份。以3000型沥青搅拌设备为例,它的生产能为240t/h,总装机功率在700~900kW范围内,以年生产20万吨沥青混合料计算,消耗约1400吨标准柴油,消耗的电能约480万kW·h。沥青搅拌设备能源消耗的绝大部分用于沥青路面施工所需物料的干燥和加热。对于目前的中国国产设备,在标准工况下,每生产1t热物料需要消耗约7kg柴油或等热值的其他燃料,该成本约占整个沥青混合料成本的12%以上,是真正意义上的“耗能大户”^[1]。由此可见,烘干筒热力学研究对于沥青搅拌设备具有很大的意义。

2 烘干系统中砂石料烘干加热计算

烘干系统是沥青搅拌设备的主要部件之一,主要作用是加热和烘干冷骨料,并将冷骨料加热到沥青混合料所需的温度,将含水量控制在所需范围内。为了排除冷骨料中的水份,烘干系统必须将骨料中的水份加热烘干转化为水蒸气,同时

将骨料加热到所需温度。

烘干滚筒按不同的作用分为四个工作区域:进料区、热交换区、燃烧区和出料区。

(1)物料进料区的叶片一般为螺旋型,采用螺旋线型进料,其作用是将骨料导入烘干滚筒内并快速向前移动。

(2)中间部位是热交换区,为强化热气与骨料的热交换,装有平行于筒轴线的提升、抛洒叶片,利用叶片将骨料多次提升和自由抛洒,在滚筒内形成密集均匀的料帘,以利于热气流穿过料帘进行热交换,物料可在较短的时间内从热气中充分吸收热量,使骨料充分吸收燃料的热能。

(3)靠近燃烧器处为燃烧区,为了保证燃烧区火焰的充分燃烧,在该区域内装有特殊结构的含料叶片,他可以使骨料在移动过程中滚动被提起,并紧贴滚筒内壁且不会落下挡住火焰,让滚筒筒壁上的热量充分传递到骨料上,而且减少了由于燃油和骨料撞击造成的不充分燃烧的损失、减少筒壁散热的损失和热辐射对筒壁的伤害。此过程不允许有料帘存在,所以一般安装平面叶片,这个区的叶片的主要作用是加快物料的移动并使物料进一步升温至沥青混凝土成品料生产

要求的温度。

(4) 尾部为出料区,其作用是让骨料迅速进入出料口卸出。

物料在烘干筒内的滞留过程可以分为物料和水分预热、物料烘干、物料加热三个阶段。烘干筒叶片的主要功能是:导料、均流、扬料、阻料,有序地控制物料在筒体内的运动和干燥过程。因此,不同区域的叶片结构不同,叶片的结构、排布要根据烘干过程各阶段的特点进行。对于烘干筒的叶片型式,不同厂家有不同的设计思路。这就导致烘干筒的叶片布置方式多种多样。但是,每种烘干筒的叶片型式都应是在大量的试验和模拟研究基础上形成的,只有通过干燥材料和干燥介质以及干燥过程的传热、传质深入研究才能最终优化成型。L型叶片是目前应用最广泛的叶片,大多数的沥青搅拌设备烘干筒叶片布置中都有此种叶片。最常见的L型叶片有直角型和钝角型,基本结构分别如图1(a)、(b)所示。另一种常见的叶片为圆弧过渡型,叶片呈现弧形或由L型叶片进行再次折弯形成,如图1中的(c)(d)所示,这种叶片相对于L型叶片具有更好的撒布均匀性。此外,在一些设备中,还会见到T型叶片,如图1中的(e)所示。这种叶片将抛撒区域集中于烘干筒横截面的两侧,从而保证了中心火焰的有效燃烧,适用于烘干筒燃烧区域。

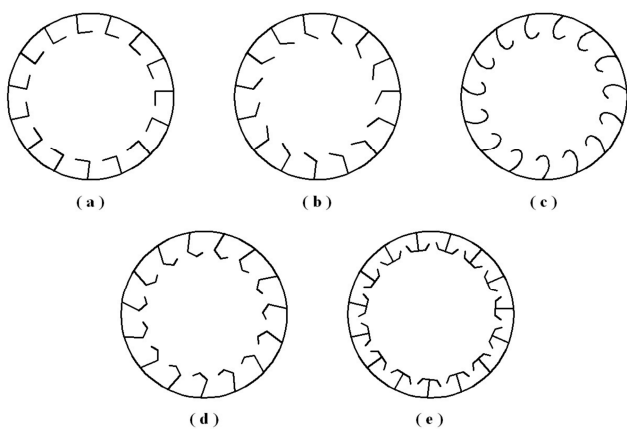


图1 烘干滚筒叶片型式

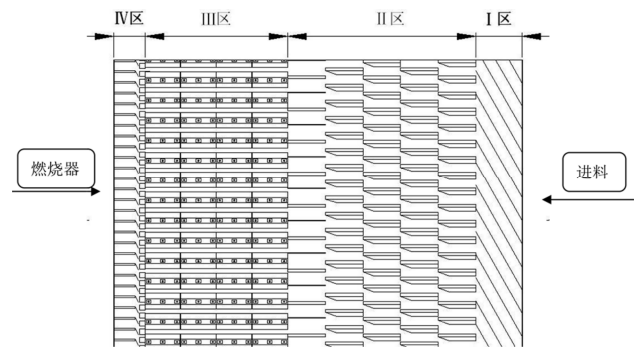


图2 烘干滚筒展开图

如图2所示:

I区叶片为螺旋导料叶片,采用了12片均匀分布的螺旋板,与端面的夹角为 30° 。

II区段为烘干区段,主要作用是对物料进行预热和烘干,II区叶片为刮料叶片,叶片的设计应能使物料在该区段内多次提升和自由抛撒,并达到均匀、分散,形成比较密集的料帘,使物料与烟气进行充分的热交换。

III区为火焰区,物料在向前移动的过程中不能形成阻挡火焰的料帘,否则容易形成机械式不完全燃烧,这些油滴随尾气排出进入除尘器,对过滤布袋产生损害,进而影响除尘效果。III区叶片为含料叶片,叶片呈“盒型”结构,共有3排,每排均布11片。

IV区段为卸料区,主要作用是快速卸料,由一排30片均布提料叶片构成。

额定烘干能力(t/h): 250(标准工况:骨料平均含水率5%,环境温度 20°C)。

为了确定烘干系统每小时工作所需的热量,必须研究矿料的烘干和加热过程。矿料的烘干过程可以分三个阶段进行:矿料和水分的预热;矿料的烘干(蒸发);烘干的矿料加热到工作温度。

物料烘干基本过程为:热烟气与冷物料表面接触,由于热烟气与物料间的温度差,导致热烟气通过对流形式把热量传给物料表层,然后通过热传导传向物料内部。颗粒物料表面水分蒸发后传向热烟气,物料内部的水分扩散其表面。热质传递是同时而反向的交换过程,机理比较复杂,因此,首先需要做以下几点假设:

- (1) 物料为均匀的球形物体;
- (2) 忽略物料在烘干加热过程中的体积收缩;
- (3) 冷物料温度及其含水率均匀分布;

(4) 物料表面与热烟气间的热交换是对流换热, 然后以热传导的方式传向物料内部;

(5) 蒸发只发生在物料表层, 水由物料内部扩散到表层;

(6) 在烘干筒的横截面上, 气体温度均匀, 烘干过程主要在物料的抛落阶段, 颗粒物料下落过程中与气流的相对速度恒定。

烘干筒热平衡计算:

烘干筒的总传热量 Q 大体分为三个方面: 烘干筒的有效利用热能, 即蒸发物料水分所需热量 Q_1 和物料加热至生产温度所需热量 Q_2 ; 热损失, 包括废气及水蒸汽带走热量 Q_3 和烘干筒体表面散热损失 Q_5 ; 燃料不完全燃烧带来的损失 Q_4 。即:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5$$

(1) 第 I 加热区段消耗热量 (kJ/h): 假设矿料在外界空气温度为 t_1 ($t_1=20^\circ\text{C}$) 时进入烘干塔内, 在第 I 加热区段中, 矿料和水分都被预热到可使水分蒸发的温度 $t_2=95^\circ\text{C}$ 。

$$Q_{I(t)} = Q'_{I(t)} + Q''_{I(t)} = c_M Q_\delta (t_2 - t_1) + c_B Q_B (t_2 - t_1) \\ = 0.837 \times 237.5 \times 10^3 \times (95 - 20) + 4.1816 \times 12.5 \times 10^3 \times (95 - 20) = 18.83 \times 10^6 \text{ (kJ/h)}$$

公式中: $Q'_{I(t)}$ —每小时预热矿料所耗热量 (kJ);

$Q''_{I(t)}$ —每小时预热矿料内水分所耗热量 (kJ);

c_M —矿料比热容, $c_M=0.837\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$;

Q_δ —按干矿料计算的生产率 (kg/h),

$$Q_\delta = 250 \times 1000 \times 95\% = 237.5 \times 10^3 \text{ (kg/h)}$$

Q_B —每小时从矿料内排除水分的质量 (kg/h),

$$Q_B = 250 \times 1000 \times 5\% = 12.5 \times 10^3 \text{ (kg/h)}$$

c_B —水的比热容;

t_1 —进料温度, $t_1=20^\circ\text{C}$;

t_2 —水的蒸发温度, $t_2=95^\circ\text{C}$ 。

(2) 第 II 区段消耗热量 (kJ/h): 在第 II 加热区段中, 水分在 $t_2=95^\circ\text{C}$ 的温度下被蒸发掉。

$$Q_{II(t)} = Q'_{II(t)} + Q''_{II(t)} = Q_B \gamma + c_p Q_B (t_0 - t_2) \\ = 12.5 \times 10^3 \times 2269 + 1.926 \times 12.5 \times 10^3 \times (110 - 95) = 28.72 \times 10^6 \text{ (kJ/h)}$$

公式中: $Q'_{II(t)}$ —每小时从矿料中蒸发水分所耗热量 (kJ);

$Q''_{II(t)}$ —把水蒸气加热到废气温度所耗热

量 (kJ);

γ —气化热, $\gamma=2269\text{kJ}/\text{kg}$;

c_p —蒸气比热容, $c_p=1.926\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$;

t_0 —废气温度, 取 $t_0=110^\circ\text{C}$ 。

(3) 第 III 区段消耗热量 (kJ/h): 在第 III 加热区段中, 为保证混合料拌和均匀, 骨料温度应控制在 $160^\circ\text{C} \sim 175^\circ\text{C}$ 之间。

$$Q_{III(t)} = c_M Q_\delta (t_3 - t_2) = 0.837 \times 237.5 \times 10^3 \times (170 - 95) \\ = 14.91 \times 10^6 \text{ (kJ/h)}$$

公式中: t_3 —矿料加热温度, 取 $t_3=170^\circ\text{C}$ 。

(4) 烘干系统内有效利用的总热量 (kJ/h)

$$Q_{0(t)} = Q_{I(t)} + Q_{II(t)} + Q_{III(t)} = 18.83 \times 10^6 + 28.72 \times 10^6 + 14.91 \times 10^6 \\ = 62.46 \times 10^6 \text{ (kJ/h)}$$

(5) 每小时经塔壁散失在大气中的热损失

$$Q_{IV(t)} = 3600 A_\delta B_\delta L_\delta (t_\delta - t_B) h \\ = 3600 \times 2 \times (3 + 2.5) \times 20 \times (200 - 20) \times 0.0236 \\ = 3.364 \times 10^6 \text{ (kJ/h)}$$

公式中: $Q_{IV(t)}$ —热损失 (kJ);

$A_\delta, B_\delta, L_\delta$ —烘干塔的长度、宽度和高度 (m);

t_δ —塔壁平均温度, $t_\delta=200^\circ\text{C}$;

t_B —空气平均温度, $t_B=20^\circ\text{C}$;

h —塔壁向外界空间的传热系数 [$\text{kW}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$];

(6) 烘干系统的总耗热量 (kJ/h)

$$Q_{(t)} = Q_{0(t)} + Q_{IV(t)} \\ = 62.46 \times 10^6 + 3.364 \times 10^6 = 65.824 \times 10^6 \text{ (kJ/h)}$$

(7) 每吨热骨料所耗燃油量

$$m = Q_{(t)} / (42000 \times 250) \\ = 65.824 \times 10^6 / (42000 \times 250) = 6.269 \text{ (Kg/t)}$$

(8) 燃料小时耗量计算

当每千克的燃烧产物通过烘干塔时, 其温度从 t'_4 降到 t_0 , 此时传给矿料的热量为 $q_{y(t)}$ (KJ/kg):

$$q_{y(t)} = c_{cp1} t'_4 - c_{cp2} t_0 \\ = 1.25874 \times 2000 - 1.07165 \times 110 = 2399.6 \text{ (KJ/kg)}$$

公式中: c_{cp1} —在温度 t'_4 时, 燃烧产物的平均比热容 [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$], $c_{cp1}=1.25874\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$;

c_{cp2} ——在温度 t_0 时, 燃烧产物的平均比热容 [kJ / (kg · °C)], $c_{cp2}=1.07165$ kJ / (kg · °C) ;

t'_4 ——燃气温度, 2000°C。

则每千克燃料燃烧产物带给烘干塔的热量为:

$$Q_{y(t)} = q_{y(t)} \sum m \\ = 2399.6 \times 17.2324 = 41350.87 \text{ (KJ/kg)}$$

公式中: $\sum m$ ——燃烧产物的总质量, 17.2324kg。

此时燃料小时耗量为:

$$m_T = Q_{(t)} / Q_{y(t)} \\ = 65.824 \times 10^6 / 41350.87 = 1591.8 \text{ (kg/h)}$$

(9) 烘干系统中排出的废气容积

$$V_{D_o, G_1} = [m_T(m_1/\rho_1 + m_2/\rho_2 + m_3/\rho_3 + m_4/\rho_4 + m_5/\rho_5) + Q_B / \rho_2] (1 + t_0/273) \\ = [1591.8 \times (3.0828/1.977 + 1.172/0.805 + 12.4544/1.251 + 0.4932/1.429 + 0.03/2.926) + 12500/0.805] (1 + 150/273) = 5.693 \times 10^4 \text{ (m}^3\text{)}$$

公式中: V_{D_o, G_1} ——从烘干塔中排出的废气容积 (m³/h);

ρ_1 ——二氧化碳气 CO₂ 密度值, $\rho_1=1.977$ kg/m³;

ρ_2 ——水蒸气 H₂O 密度值, $\rho_2=0.805$ kg/m³;

ρ_3 ——氮气 N₂ 密度值, $\rho_3=1.251$ kg/m³;

ρ_4 ——氧气 O₂ 密度值, $\rho_4=1.429$ kg/m³;

ρ_5 ——二氧化硫气 SO₂ 密度值, $\rho_5=2.926$ kg/m³;

3 引风机处理风量计算

根据烘干系统的工作状况, 考虑漏风及其它因素, 确定本除尘器的处理风量为:

$$L_B = 5.693 \times 10^4 \times 1.12 = 6.376 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$$

(1) 除尘器、烟道等的漏风量按过滤气体流量的 10% 选取。

(2) 烘干系统漏风量按过滤气体流量的 2% 选取。

主楼负压通道传递的风量约 $L_c=6000$ m³, 即风机流量为:

$$L_B + L_c = 6.376 \times 10^4 + 6000 = 6.98 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$$

4 风机功率计算

输送气体状态下实际风压:

$$H_{\text{实}} = 0.386 \cdot H \cdot B / (273 \pm t) = 0.386 \times 4200 \times 760 / (273 + 20) \\ = 4205.16 \text{ pa} \\ = 429.1 \text{ 毫米} \cdot \text{水柱}$$

公式中: H——除尘系统总阻力, 4200pa;

B——使用条件下大气压, 760 毫米·水柱。

配用电机时, 按工作状态下引风机实际所需功率:

$$P_{\text{实}} = L_B \cdot H_{\text{实}} \cdot K / (102\eta \cdot \eta_1 \cdot 3600) \\ = 6.98 \times 10^4 \times 429.1 \times 1.3 / (102 \times 0.85 \times 0.98 \times 3600) \\ = 127.3 \text{ Kw}$$

公式中: K——安全系数, 取 1.3;

η ——风机效率, 取 0.85;

η_1 ——机械传动效率, 取 0.98。

5 结论

(1) 本文以 3000 型烘干系统为例, 对烘干系统热力学分析, 得出该设备烘干滚筒热效率与热平衡计算方程, 有助于深入分析烘干加热过程。

(2) 本研究成果可供设计人员用于选取引风机的风量和功率。

参考文献

[1] 尹友中. 干燥滚筒内压力的影响和调节 [J]. 北京: 工程机械与维修, 2011.