



浅谈轮窑的热工制度和内燃焙烧

晏拥华 贵州省建材科研设计院
尚江山 山东临沂天元砖业有限公司

烧制砖瓦烧成工序的热工制度包括温度制度、压力制度、燃烧气氛等,是砖瓦生产过程中最关键的工艺过程之一。根据制品的特点和原料的性能,根据焙烧过程中发生的一系列物理化学反应规律,制定出合理的焙烧热工制度,并且采用正确的焙烧方法实现产品的优质高产。所以,轮窑的热工制度及焙烧技术不仅关系到企业的产品质量,而且关系到企业的经济效益。

1 温度制度

1.1 温度制度的基本要求

温度制度以温度曲线表示,它表明在焙烧过程中温度随时间的变化关系。温度曲线一般分为四个阶段,即由预热升温阶段、最高焙烧阶段、保温阶段和冷却阶段曲线所组成。

预热升温阶段是砖坯通过烟气预热缓慢升温,慢速脱水,排除入窑坯体的残余水分,有利于大量水汽随烟气及时排出窑外,否则,砖坯表面很容易因产生水汽凝聚而出现裂纹。砖坯进入预热阶段后,在 200℃ 以前是排除残余水分阶段,200~500℃ 是排除砖坯结构水的阶段。实验证明:1g 水在常温下由 0℃ 突然升高到 200℃ 所产生的蒸汽体积是原来水的体积的 99 倍,升温过快会使坯体爆裂,甚至倒塌,由此可见,砖坯在预热阶段缓慢升温是十分必要的。

另外,坯体预热升温到 573℃ 时, β -石英转为 α -石英的同时,产生 0.8% 的体积膨胀,所以在此阶段要特别注意缓慢升温,防止制品裂纹。

最高焙烧阶段是砖坯达到烧成温度的阶段,最高焙烧温度由原料的性质决定的,如煤矸石烧成砖的最高烧成温度一般定为 1050℃,但是,在略低温

度下,较长时间的保温也可以完成对烧成的要求。最高焙烧温度适当低些,保温时间长些,使燃烧的热量能够得到充分的利用,制品烧成比较均匀,这种焙烧方法叫做“低温长烧”。

保温阶段,严格讲是温度保持不变,即温度不随时间而变化,这段时间即为保温时间。保温阶段是伴随焙烧阶段出现的,也就是最高焙烧温度保持不变的一段高温点,这段的焙烧时间称为保温时间。在轮窑操作中,工人习惯把焙烧带到冷却带之间的一段称为保温段,实际这是一个过渡阶段,即由烧成温度逐渐降低而向冷却阶段过渡的阶段。

砖坯烧成后,随着火向前行进,制品开始进入冷却阶段,制品冷却时将产生正常的收缩现象。制品在红热温度阶段,应缓慢冷却,以防止出现冷却裂纹(炸纹或哑音裂纹)。而在红热温度以下的低温阶段,因砖体与气流温度差逐步缩小,冷却速度很慢,可以加快冷却。

制品在冷却阶段要特别注意两点:一是制品从焙烧阶段进入冷却阶段后冷却的速度很快,当制品在 573℃ 时,因 α -石英转变为 β -石英的同时,产生体积收缩,所以,在此阶段必须缓慢冷却,以避免制品产生裂纹;二是在 400℃ 以下时虽然可快速降温,但是在 230℃ 时,又因方石英产生快速体积收缩,所以这时若冷却过快,制品也会产生裂纹。

1.2 最高烧成温度和烧成温度范围

烧成温度范围,就是指在焙烧过程中,能够保证制品质量指标(尺寸、性能)的烧成温度波动范围。最高烧成温度是指某种原料制成的砖坯在焙烧过程中达到该温度时,不会出现影响制品性能的变形或其他缺陷。最高烧成温度是建立在原料抵抗烧

颗粒结构得到改善;颗粒结构界面接触点的增大,提高了颗粒间的粘着力,也提高了产品的质量。

④反压后产力的减少同时也减少了机械设备事故的发生。

结变形性能的烧成参数。德国艾森(ESSEN)砖瓦研究所提出:砖坯在 $0.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 的荷重下产生 0.5% 变形软化的温度,称为最高允许烧成温度(加热时,没有保温时间)。高温荷重变形试验所得的曲线,结合热膨胀曲线可确定出烧成温度的大致范围。

从砖坯在焙烧过程中出现熔融并开始收缩时,就进入了烧成状态,此时的温度可定义为开始烧成温度,随着温度的增高,收缩不断增大;当收缩即将出现负增长时的温度为最终烧成温度。但是,烧成砖瓦制品在焙烧中所产生的液相最终的要求只能是一小部分,大约为 2% 或更小,因为在高温下过量的液相将会出现塑性流动并在坯体的荷载下引起严重的变形。

通过试验,在砖坯开始烧成温度与最终烧成温度之间,可选择一个适宜的温度作为制品的烧成温度。烧成温度的确定是考虑了坯体和窑内温度分布的不均匀性,以确保制品都能达到烧成温度,即不出欠火砖,又不会出现过火砖。在短时间较高的烧成温度和较长时间的略低温度下进行的焙烧都能达到相同的烧成质量,这就是高温快速烧成操作时,应采用烧成温度上限,而低温长烧操作时,可以采用烧成温度下限。

2 压力制度

压力制度是指轮窑在焙烧过程中,沿预热带、焙烧带和冷却带窑道长度方向上的压力分布规律。将三带各点的压力值连成曲线即为压力曲线。窑内压力是由窑门进风和排烟产生气体流动而形成的,窑内压力是焙烧操作的重要技术参数。压力制度决定着窑内气体流动的运动状态,从而影响着热量的交换,影响着砖坯燃烧所需要的空气量的供应及所产生的烟气的排出量的大小;影响着窑内温度分布的均匀性。所以,压力制度是保证焙烧温度实现的重要条件,必须适量、正确地调控窑内压力,使其合理稳定。

窑内压力小于外界大气压力时,为负压(-),反之,则为正压(+),而在负压(-)向正压(+)过渡时,必然有一点的前后压力相等,即为零压,故该点称为零压点(0压点)。“0压”点是指压力曲线上的一点而言,而在窑道内实际是一个面,即实际上存在一个“0压”面。

在轮窑焙烧操作中,一般采用正负压操作,即预热带和焙烧带为负压而烧成带与冷却带交界处是“0压”,而冷却带是正压。

焙烧带处于微负压有利于加煤操作,也因微负压能保证窑内断面上下温度比较均匀。

3 燃烧气氛

焙烧过程中必须控制一定的气氛性质,它决定着燃烧程度的强弱。气氛性质分为三种,即氧化气氛、还原气氛和中性气氛。这些气氛的形成,主要取决于燃烧时空气量的充足与否。

空气量适当时,则形成中性气氛;空气量充足时,则形成氧化气氛;空气量不足时,燃烧不够充分,则形成还原气氛。还原气氛燃烧速度慢,轮窑蹲火时,则控制窑内形成还原气氛;氧化气氛燃烧较强,升温快,轮窑的烧成带应控制较强的氧化气氛。内燃烧砖瓦,采用较强的氧化气氛,控制空气过剩系数为 1.3 左右,不仅使焙烧带火度强,而且也有利于预热带的缓慢预热升温,防止出现黑心砖。总之,正常焙烧时,不能使预热带的后半部分和焙烧带形成还原气氛。

4 内燃烧砖

4.1 内燃烧砖的形式

有半内燃烧砖与全内燃烧砖两种方式,是一种热利用率较高的焙烧方法。由于燃料在坯体内部燃烧直接加热坯体,加热效率高,窑内最高温度在坯体内部,窑内气流温度比坯体温度低,与外燃砖比较,窑内向外散发的热量相对减少,所以内燃烧砖能降低单位产品的热能消耗。另外,内燃烧砖还可以广泛利用煤矸石、粉煤灰、炉渣等工业废渣,具有节能、利废和改善环境等优点。

半内燃烧砖是泥料中掺配部分燃料和热值较低的其他工业废渣(如粉煤灰、煤矸石、炉渣等),在焙烧过程中从窑顶投煤孔向窑内投一定的煤量补充热值。为了保证焙烧火度均匀,大多数砖厂都采用半内燃烧砖工艺,其内燃程度一般以 75% 左右为宜,也就是内燃料的热量为烧成需要总热量的 75% 左右。

全内燃烧砖是泥料内掺配热值等于或高于焙烧所需要的热值,不需要外投煤焙烧,这种情况多见于全煤矸石烧结砖、高掺量粉煤灰烧结砖。全内燃烧砖与半内烧砖相比,可以降低煤耗 50% ,但火度不易控制,易出现黑心砖、焦砖,甚至发生倒窑。

4.2 砖坯内燃发热量的确定

焙烧砖燃料消耗量的计算有两种方法:经验指标法和热平衡算法。热平衡算法是将窑炉的各项热收入量和支出量,根据收支平衡算出拟用窑炉



轮窑煤耗指标表

名称		标准砖	砖瓦混装	
			标准砖	平瓦
码窑密度, 块/m ³		220~260	最少达 35~80	最高达 140~115
内燃程度	人工干燥, kcal/块	850~950	850~950	1200~1350
	自然干燥, kcal/块	500~600	500~600	800~900
燃料消耗 (包括内燃与投煤)	人工干燥, t 标煤/万块	1.3~1.8	1.3~1.8	1.8~2.0
	自然干燥, t 标煤/万块	0.8~1.0	0.8~1.0	1.2~1.5
坯体入窑水分, %		<8	<8	<6

的燃料消耗量。热平衡计算是比较复杂的,一般很少使用。但是对于新型的窑炉设计,由于缺乏经验指标,必须采用热平衡算法,以进行窑炉设计与供窑炉运行操作参考。

生产中经常使用的是经验指标法。该方法是在大量实践基础上总结出的燃料消耗数据,具有足够的准确性和实用性。经验数据法确定的燃料消耗量与窑炉的结构、原料的焙烧温度、操作条件有关。

表中煤耗指示有一定的波动范围,使用时要根据下列情况选用:

(1) 砖的焙烧温度的影响:砖的焙烧温度是由原料焙烧特性确定的,一般粘土砖、页岩砖的焙烧温度为 950℃左右,故在选取热量指标时取下限;煤矸石砖和高掺量粉煤灰砖的焙烧温度一般在 1040℃左右,在热耗指标范围内应取上限。

(2) 成型水分的影响:采用人工干燥工艺方案的砖坯成型水分高的热耗指标取上限,成型水分较低的可在指标中取下限。

4.3 生产中对发热量的控制

热耗指标表中,煤耗量是按标准煤发热量(7000kcal/kg)来确定的,在实际生产中采用的煤炭发热量均低于标准煤。生产中实际煤耗指标计算方法如下:

$$\text{实际煤耗指标} = \text{标准煤耗指标} \times 7000 / Q_{\text{实}} (t)$$

式中: $Q_{\text{实}}$ ——生产用煤的实际发热量(kcal/kg)

在实际生产中,内燃掺量达到焙烧燃料的 80%~90%较为理想。这样既能实现窑炉的快烧和降低焙烧工人的劳动强度,改善装出窑的操作环境,又能便于走火的控制。

5 差热焙烧

差热焙烧是根据窑炉的性能和窑道内上、下、边部、中部的温度差异,将不同内燃程度的砖坯,采

用交替搭配的码窑方法,达到既使各部温度均匀,又节省外投燃料的目的。差热焙烧的具体做法:

(1) 根据窑内温差大小定出不同掺量的内燃砖坯的码放比例。

(2) 内燃砖坯掺热量的确定

上、下、边部码放掺热量大的砖坯,中部码放掺热量低的砖坯。例如:中部码放砖坯的掺热量为 325kcal/块左右,而上、下、边部的砖坯内掺量约为中部的 2.5 倍,即 810kcal/块。在制坯时按内燃的掺量大小分别生产,并设标记,以备装窑时识别。

具体部位的码法:外边火眼和窑门处多码一些高内燃坯,中部火度容易大,多码些低内燃的砖坯;弯窑外边多码高内燃砖坯,里面多码低内燃砖坯,以使窑内温度分布均匀。

(3) 砖坯的掺配比例计算:

$$Q = \frac{n_1 + n_2 \cdot x}{1 + x}$$

式中: Q ——内燃砖坯最佳发热量(一般取 650kcal/块);

n_1 ——第一种内燃砖坯发热量(kcal/块);

n_2 ——第二种内燃砖坯发热量(kcal/块);

x ——第二种内燃砖坯与第一种内燃砖坯的掺坯配比例。

例如:入窑砖坯有发热量 1000kcal/块和 400kcal/块两种,1000kcal/块的掺码量为单位。计算 400kcal/块的砖坯掺码比例是多少?

已知: $n_1=1000\text{kcal/块}$, $n_2=400\text{kcal/块}$,

$$Q=650\text{kcal/块} \quad \frac{1000+400x}{1+x} = 650$$

解得 $x=1.4$ 即掺码比例为: 1 : 1.4

也就是每千块 1000kcal/块的砖坯,需掺码 1.4 万块 400kcal/块的砖坯。