

陶瓷窑炉的经济运行与节能方法

商超兵

(湖北兴成建陶有限公司, 黄梅 435500)

摘要 系统地分析了陶瓷窑炉在运行中发生的各种费用, 制定了合理的窑炉经济运行目标, 并对陶瓷窑炉的节能提出了有效的措施, 相信对陶瓷窑炉的节能降耗工作具有一定的指导作用。

关键词 窑炉, 燃料, 空气过剩系数, 优化, 节能降耗

0 前言

陶瓷工业窑炉节能是当今现实生产中的重要课题。由于能源日趋紧张, 能源价格不断上涨, 陶瓷工业窑炉的节能已更为迫切, 更显得重要。如何在保证产品加热均匀的情况下, 使单位产品的烧成成本最低, 是现代陶瓷窑炉运行与管理的主要内容之一。在窑炉的运行中发生的各种费用, 如投资折旧费用、能耗费用、环保费用、废品费用、管理费用等, 分析这些费用并在它们之间作出平衡, 可使窑炉处于经济运行状况, 同时制定合理的节能措施, 可有效地使单位产品的烧成成本费用降至最低。通过生产实践, 结合有关资料对陶瓷窑炉的经济运行与节能降耗作如下探讨。

1 产品烧成成本费用分析

产品的烧成总成本费用基本上由 3 部分组成: 固定成本、可变成本、废品成本。下面将对这些成本费用进行一一分析。

1.1 固定成本

固定成本包括窑炉投资的折旧费用、利息支出、生产和经营开支等等。这些成本在一定时期内是相对稳定的, 不受窑炉工作状况的直接影响, 仅与经济环境变化的有关规定相关, 而且窑炉管理者一般无法改变或支配这些成本。

在固定成本中, 最重要的是窑炉投资的折旧费用。假设 M 为窑炉投资的分摊率, C 为窑炉投资(元), N 为窑炉年工作时间(h), G 为窑炉的产量, 即包含了合格产品和废品的总产量(kg/h), 则窑炉单位时间单位产品的投资折旧费用 C_1 (元/kg·h) 为:

$$C_1 = (M \cdot C) \cdot (N \cdot G \cdot N)^{-1} \dots\dots\dots (1)$$

年分摊率 M 可由下式计算:

$$M = i \cdot (1+i)^n [(1+i)^n - 1]^{-1} \dots\dots\dots (2)$$

式中 i —年利率; n —窑炉的寿命, 年。

1.2 可变成本

可变成本包括窑炉的燃耗、电耗、耐火材料消耗、窑炉维修、环保等的成本, 它们与窑炉的工作状况和操作有关。

1.2.1 窑炉的燃耗费用

窑炉的燃耗与窑炉的工作制度有直接关系, 它可表示为产品产量的多项式关系。确定窑炉的燃耗需要建立窑炉的传热数学模型, 分析计算在满足烧成质量的不同产品产量时的窑炉燃耗。

对于燃料炉, 建立炉膛总热平衡方程有:

$$B_t(Q_d + Q_a) = Q_L + Q_m + Q_g \dots\dots\dots (3)$$

式中: B_t —窑炉的总燃耗, kg/h 或 m^3/h ; Q_d —燃料的低发热量, kJ/kg 或 kJ/m^3 ; Q_a —单位燃料的回收热量, kJ/kg 或 kJ/m^3 ; Q_L —窑炉的热损失(包括炉墙散热和蓄热、通过炉门孔的辐射热损失、窑车吸收热等, 烟气带走的物理热除外), kJ/h; Q_m —产品吸收的有效热, kJ/h; Q_g —烟气带走的物理热, kJ/h。

上述各项热量计算如下:

$$Q_L = \xi \cdot B_t \cdot Q_d \dots\dots\dots (4)$$

$$Q_m = G \cdot \Delta H_m \dots\dots\dots (5)$$

$$Q_g = B_t \cdot V_n \cdot C_g \cdot t_g \dots\dots\dots (6)$$

$$Q_a = L_n \cdot C_a \cdot t_a \dots\dots\dots (7)$$

式中 ξ —窑炉热损失系数($0 < \xi < 1$), 它的数值取决于窑炉的温度和炉墙材料及结构、窑车材料及结构; ΔH_m —产品热焓量的增值, kJ/kg; V_n —单位燃料的实际烟气生成量, m^3/kg ; C_g —烟气在温度 t_g 下的比热, $kJ/m^3 \cdot ^\circ C$; T_g —烟气出炉温度, $^\circ C$; L_n —单位燃料的实际空气消耗量, m^3/kg 或 m^3/m^3 ; C_a —空气

在温度 t_a 下的比热 $\text{kJ}/\text{m}^3 \cdot \text{C}$; T_a —空气的预热温度, C 。

由式(3)~(6)得窑炉的燃耗量为:

$$B_t = G \cdot \Delta H_m \cdot [(1 - \xi) \cdot Q_d + Q_a] - V_n \cdot C_g \cdot t_g^{-1} \dots\dots\dots(8)$$

若燃料的价格为 C_f (元/kg 或元/ m^3) 则窑炉单位产品的燃耗费用 C_F (元/kg \cdot h) 为:

$$C_F = C_f \cdot B_t = C_f \cdot \Delta H_m \cdot [(1 - \xi) \cdot Q_d + Q_a - V_n \cdot C_g \cdot t_g^{-1}] \dots\dots\dots(9)$$

1.2.2 窑炉的电耗费用

窑炉耗电的各种风机(助燃空气风机、冷却风机、排烟风机等) 装料机械(或炉料输送机械)等的电耗,它们或与窑炉装料量(如装料机械或炉料输送机械的电耗) 直接有关,或与窑炉装料量间接有关(如助燃空气风机、冷却风机、排烟风机电耗等)。

1) 助燃空气风机的电耗

风机的耗电量 N_B (kW \cdot h/h) 由下式计算:

$$N_B = V \cdot H \cdot (1000 \cdot \eta_N)^{-1} \dots\dots\dots(10)$$

式中: V —助燃空气风机的风量(m^3/s), 由下式计算:

$$V = B_t \cdot L_n \cdot (1 + t_0/273) / 3600 \dots\dots\dots(11)$$

式中 t_0 —风机进口处的空气温度(C);

风机的全风压 H (Pa) 由下式计算:

$$H = (P_d - P_0) + h_{s,L} + W_d^2 / 2 \cdot \rho_a \dots\dots\dots(12)$$

式中: P_d —烧嘴前空气压力, Pa; P_0 —大气压力, Pa; $h_{s,L}$ —风机吸风管的阻力损失, Pa; $h_{d,L}$ —风机排风管的阻力损失, Pa; W_d —空气从喷嘴喷出的速度, m/s ; ρ_a —空气的密度 kg/m^3 ; η_N —风机连同传动轴和电机的总效率。

当空气管路、换热器、烧嘴型号等确定后, H 还可以表示为燃耗量 B_t 的函数如下:

$$H = a + b \cdot B_t^2 \dots\dots\dots(13)$$

式中: a 、 b —为相应的系数, 它们与空气管路的大小及布置、换热器、烧嘴型号等有关。

2) 排烟风机的电耗

排烟风机的电耗 N_C 仍可由式(9)计算, 其中风量 V 计算式为:

$$V = B_t V_n (1 + t_g/273) / 3600 \dots\dots\dots(14)$$

当烟气管路大小及布置、排烟温度等确定后, 风机的全风压 H 仍可由式(12)计算, 其中系数 a 、 b 取决于烟气管路大小及布置、排烟温度、炉膛压力等。

3) 装料机械或炉料输送机械的电耗

装料机械或炉料输送机械的电耗 N_p (元/kg \cdot h) 的计算与产品的装炉量有关, 可由下式估算:

$$N_p = 9.8 \cdot L_f \cdot C \cdot f \cdot (3600 \cdot \eta_p)^{-1} \dots\dots\dots(15)$$

式中: L_f —装料车运行长度; f —装料车与车轨的摩擦系数; η_p —装料车连同传动轴和电机的总效率。

4) 冷却风机的电耗

冷却风机的电耗 N_c 的计算亦可按式(9)计算, 其中冷却风量由具体窑炉的工作制度来确定。

5) 燃料输送装置的电耗

如当窑炉使用液体燃料(重油、柴油等)时, 油泵的电耗, 其计算可参考风机的方法计算。

6) 其它装置的电耗

如各种控制装置等的电耗, 这种电耗一般较小, 可近似地认为是一常数。这样, 窑炉单位产品的总耗费用 C_E (元/kg \cdot h) 为:

$$C_E = C_o \cdot (N_B + N_C + N_P + N_C) / G \dots\dots\dots(16)$$

式中 C_E —电价, 元/kWh。

窑炉单位产品的综合能耗费用(包括燃耗费用和电耗费用) C_{ET} (元/kg \cdot h) 可表示为:

$$C_{ET} = C_F + C_E \dots\dots\dots(17)$$

窑炉单位产品的综合能耗费用综合考虑了窑炉的燃料消耗费用和电能消耗费用, 因而它比单纯的燃耗费用要全面, 因为窑炉的电能消耗在窑炉的运行过程中也是很大的, 而从节能角度出发, 不仅要节约燃料, 还要节约电能。

1.2.3 窑炉的耐火材料消耗及维修费用

窑炉的耐火材料消耗及维修费用直接受窑炉生产情况的影响, 在选用耐火材料及计算窑炉炉衬厚度时, 要综合考虑窑炉工作制度(如炉温、炉内气氛等)及经济环境的影响。当一定时期内窑炉的工作较稳定时, 这部分费用也可计入固定成本中。

1.2.4 窑炉的环保费用

环保费用主要是污染物(主要是 CO_2 、 NO_x 、 SO_2 、烟尘、污水等)的排放及处理所需支付的费用。在环保要求日益严格的情况下, 窑炉的环保工作将是窑炉管理的重要内容之一, 其费用支出将占越来越大的比重。窑炉污染物的排放量与窑炉的燃耗量、窑炉温度、燃烧方式、窑炉的密封状况等直接相关, 如 CO_2 的排放量直接取决于燃耗量和空气过剩系数, NO_x 取决于炉温、燃烧方式、烟气中的含氧量等, 因此窑炉的环保费用也可表示为产品产量的函数。

1.3 废品成本

生产任何产品都不可避免会产生废品, 这一方面

不仅浪费原材料而且造成原材料的损失费用,另一方面也在“生产”这些废品时花费了以上的所有费用(如投资折旧费用、管理费用、能耗费用、电耗费用、环保费用等),因此,它也应包含在总合格产品的成本中。如假设废品率为5%,要得到1 000 kg的合格产品,就必须成形1 053 kg的待烧件,那么1 000 kg的合格产品,就要把1 053 kg的全部成本计算在内。废品成本与产品产量直接有关,同时也与窑炉的工作状况有一定的关系。在废品率一定的情况下,产品产量越大,产品的废品成本就越大。

2 窑炉的经济运行

窑炉的经济运行就是使单位产品的烧成成本费用最低。对于连续式窑炉,单位产品以小时产量(kg/h)计算,对于间歇操作的窑炉,则以每炉装料量(或每炉烧成周期)计算。

建立窑炉炉膛传热数学模型、制品加热模型、制品冷却模型、炉墙导热模型、窑车导热模型、燃烧污染物生成模型、废品模型、维修模型等,可以确定窑炉的单位产品的燃料费用、电耗费用、环保费用、废品成本费用、维修费用等随产品产量的变化关系,从而确定窑炉的最佳产品烧成产量,使单位产品的烧成成本费用最低,使窑炉的运行达到经济化。单位产品的各种成本与单位产品的关系见图1。

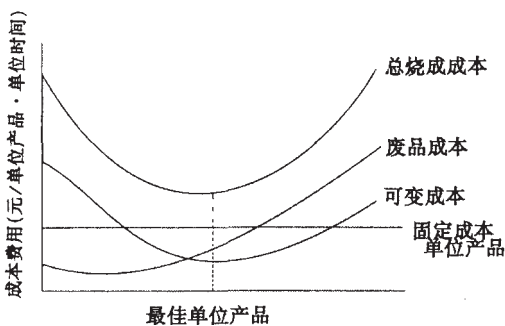


图1 陶瓷窑炉的运行优化

3 窑炉节能降耗的方法

3.1 窑炉燃料煤气化

目前,随着企业对洁净燃料需求量的不断增加,而可利用能源的开发程度有限,相应的燃料价格也在逐步提高。如何降低单位产品能耗,直接关系到产品的运行成本和产品利润率,关系到企业的生存和发展。笔者曾对几家墙地砖生产企业的成本进行测算,采用天然气、煤气作为燃料的窑炉,燃料成本

占生产总成本的20%~22%,而采用柴油作为燃料的窑炉,燃料成本占生产总成本的25%以上。因此,窑炉燃料与节约能源,降低产品成本和提高产品质量有关。笔者曾对人工直接烧煤、发生炉煤气、重油和焦炉煤气进行过热经济分析,其结果是,人工直接烧煤时,燃料的利用系数和窑炉的热效率最低,且燃料消耗最多,其次是发生炉煤气和重油。烧焦炉煤气(代表高热值煤气)最好,热效率最高,燃料消耗最少。其主要原因是人工直接烧煤时,空气过剩系数(α)最大,燃烧过程热效率低,排出废气量多,热损失大,化学和机械不完全燃烧大(两者加起来大约达到15%左右),高温系数小,燃烧温度低,这就增大了燃料消耗。烧发生炉煤气,虽气化时有损失(约25%~30%),但由于燃烧时 α 小,燃烧过程效率高(约可提高20%),高温系数大,燃烧温度高,可以抵偿。因此,烧煤气不但技术先进、经济合理,而且符合我国国情,符合陶瓷工业窑炉热工技术发展方向。可以说,陶瓷窑炉燃料煤气化是陶瓷窑炉节能降耗的重要方法之一。

3.2 窑炉的调整

通过合理地调整窑炉的工作状况,可有效地达到节能降耗的目的,具体方法如下:

(1)调整产品的坯、釉配方,降低烧成温度。烧成温度的高低,直接影响到燃料消耗。据估算,烧成温度在1 200℃的辊道窑,温度降低5℃,燃料的消耗可以降低5%~8%。所以,采用低温快烧的窑炉,其能耗水平相应较低。目前,一些低温快烧的窑炉,其能耗水平可以达到2 177.14 kJ/kg瓷以下。

(2)加快窑炉的运行速度,缩短产品的烧成周期。窑炉烧成速度的提高,使产品烧成周期缩短,可大大提高产品的产量,而产品的总能耗并不会成比例地增加。目前,一些窑炉的烧成周期从最初设计的50多分钟到70多分钟调整缩短到20多分钟,产量几乎翻了一番多,相应的单位产品能耗也降低到原来的70%左右,节能降耗的效果十分明显。

(3)烧成制度的优化是控制窑炉燃料消耗的关键。在实践中发现,有的窑炉烧成制度在未优化前,单位产品的能耗很高,经过优化烧成制度后,其能耗大大降低,甚至降低到原来的60%以下。

(4)合理地划分窑炉温度的控制区间。温度区间的合理划分对烧成制度的稳定有着重要的意义。同时,应合理地设置挡火闸板与挡火墙。如果挡火墙位置及尺寸设计不合理,将会导致窑头的排烟风机

排烟量的增加,增大了热耗。

3.3 调整窑炉空气系数

对于陶瓷窑炉(尤其是辊道窑)来说,在进砖量一定的条件下,窑温受天然气流量、空气流量以及空气系数的影响。如某窑炉所配套的助燃风机为9~19.5、6 A、11 kW,调整前风机处于全开启状态,粗略估算其空气过剩系数在1.8以上,后对此风机逐步进行调整,同时对窑头排烟风机的排烟量进行调整。当助燃风机阀门调至原开启量的一半,排烟风机调至原开启量的2/5时,能耗指标降到大约1.96 MJ/kg瓷,此时窑压达到最佳状态,窑头冷空气吸入量也降到最小,在排烟引入干燥窑后热能得到进一步利用。由此可见,通过调整窑炉空气系数,在提高燃烧温度,降低氮氧化物的同时,排烟量大大减少,热能的浪费也大大减少,进一步提高了节能效果。

3.4 窑炉余热的利用

陶瓷窑炉余热的利用依然是窑炉节能降耗的有效方法。窑炉余热的利用主要体现在冷却换热风的利用、烟气的利用及窑炉表面散热的利用。根据笔者对多条辊道窑、隧道窑的热平衡测试,隧道窑的这三部分带走的热量占窑炉能耗总量的近70%,辊道窑达到72%以上。因此,合理地利用这三部分的热量对节能降耗有着深层次的意义,其具体方法如下:

(1)窑炉冷却换热风的热源因其很洁净且温度较高,一般可以直接使用。比如用于干燥窑的坯体干燥、卫生瓷成形车间的采暖、粉料的烘干、封闭气幕的利用、搅拌风的利用、作助燃风等。辊道窑可以将其作助燃风、搅拌风及坯体干燥等。

(2)窑炉的烟气因含有部分的不完全燃烧组分

和一定的湿气,所以,可利用的范围比冷却换热风小,由于烟气带出的热量占窑炉总能耗的20%左右,且温度高达50~200℃,因此,仍然有着很高的利用价值。烟气的利用可分两种方法:其一,直接利用。如将烟气送入干燥窑进行坯体干燥,卫生瓷厂可以根据实际情况将烟气送入成形车间采暖等。其二,间接利用。间接利用的方法是将烟气通过高效的换热器进行换热,将烟气带出的热量通过换热器对洁净的空气进行加热,这样,被加热的洁净空气便可以广泛的得到应用。

(3)窑炉表面散热的利用从表面上看可利用价值不大,实际上还是有一定的利用价值。例如,利用烟气对助燃风、搅拌风等进行加热,经过加热后的助燃风、搅拌风带入窑内的热量可以间接地节约燃料。

4 结 语

从经济观点出发,对陶瓷窑炉运行过程中发生的各种费用进行分析,并在这些费用之间作出平衡,不仅使窑炉的单位产品的烧成成本费用最低,而且通过对这些费用进行动态分析,还可以找出窑炉的费用在哪些方面大,在哪些方面小,从而对窑炉进行必要的技术改造。另外,加强陶瓷窑炉的节能降耗,将会对陶瓷工业降低能耗,降低产品成本,提高产品质量,提高经济效益有十分现实的意义。

参 考 文 献

- 1 于丽达,陈庆本. 陶瓷设备热平衡计算[M]. 北京:轻工业出版社,1990
- 2 韩小良. 窑炉的经济运行分析. 陶瓷[J] 2001(4) 27~29
- 3 贾书雄,李刚. 陶瓷窑炉的节能方法. 陶瓷[J], 2001, (3) 47~48

日本研制成功干压釉技术

由于抛光砖加工需要长时间抛光,电、水、磨具消耗大,而且产生的废水与废品难于处理,又易在生产现场造成很大污染,目前国际抛光砖市场已经严重供大于求,又由于抛光砖过度光滑、亮光刺眼及容易吸污染脏,现在欧美及日本等国家开始限制使用抛光砖产品,在此环境下,日本研制开发的干法施釉生产的压釉瓷砖产品得以问世。

日本某公司开发研制的干法施釉技术,是在抛光砖二次布料基础上将干粒釉压成型,干粒釉在经过1200℃以上温度烧成时色料产生扩散,形成有层次感、色泽图案鲜艳但无光的耐磨釉面。干压釉瓷砖釉面出现凹凸不平的立体感,经过铺筑后有利于耐磨防滑,由于此类干法施釉瓷砖吸水率低,仅达0.5%以下,因此产品强度高,较其他瓷砖更加耐磨防污,在国际市场上显示出良好的前景。