

铬盐生产中窑尾余热再利用可行性分析

杨 海

(新疆沈宏集团技术部, 新疆吐鲁番 838014)

摘要: 综述了铬盐焙烧窑尾余热再利用的可行性。通过借鉴水泥生产窑外分解预热系统工艺, 论述了用铬盐焙烧窑尾余热来预热进窑物料的新工艺, 对工艺中存在的各种问题进行分析, 并提出了解决办法, 对经济效益和存在的风险进行测算和分析, 为铬盐生产窑尾余热的再利用提供了新思路。

关键词: 铬盐; 焙烧窑; 余热; 水泥; 利用

中图分类号: TQ021.3

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2008)05-0073-03

Feasibility analysis on utilization of waste heat from kiln in chromate production

YANG Hai

(Department of Technology, Sinkiang Sing Horn Group, Turpan 838014, China)

Abstract: The feasibility analysis on utilization of waste heat from kiln in the production of chromate is summarized. With the analysis of preheating system of cement kiln and its use of reference, the new process of preheating system for raw material by waste heat from roasting kiln is discussed, the problems which exist in the process are analyzed, and the corresponding treatment methods are put forward, the economic benefits and the risk which exist in the process are analyzed, it provides a new idea for recycling utilization of waste heat from roasting kiln.

Key words: chromate; roasting kiln; waste heat; cement; utilization

生产每吨铬盐熟料耗热量约为 6.0×10^6 kJ, 其中熟料形成热量为 1.5×10^6 kJ, 由废气带走的热量为 3.0×10^6 kJ, 而熟料、飞灰、筒体热损失的热量为 1.6×10^6 kJ, 可以看出废气带走的热量约占熟料总耗热量的 50%^[1]。如何把这部分热量再次利用起来成为研究者一直关注的话题。

对于废气的处理, 铬盐行业通行的做法有 2 种。一种方法是在窑尾增加余热锅炉, 废气经过余热锅炉降温处理后, 再经袋式除尘器对含尘气体进行净化后排空。余热锅炉和除尘器收集的粉尘与进窑生料混合后加入窑内。而余热锅炉所产生的蒸汽一般被放空或用于一些无关紧要的地方。其功能等同于一个降温设备, 仅保证进袋气体温度符合布袋使用温度。没有一家公司在设计或生产中把废气余热锅炉作为生产备用气源, 一般也不考虑用其发电, 况且余热锅炉的配置一般都比较小, 产汽量少, 根本无法担此重任, 而只有少数有独立供气系统的企业将余热产生的蒸汽并入总管中。另一种方法是在窑尾设置高温沉降室和散热室, 通过大面积的散热系统将进布袋除尘器的废气温度降下来, 这样一来, 所用的散热系统占地面积大、造价高, 需配置压力较大的风机。上述 2 种情况严格地说并非是余热的再次利

用, 而是为了降低废气温度而采取的一种无奈之举。笔者通过借鉴水泥生产窑外分解预热系统, 对铬盐生产中窑尾余热再利用的可行性进行了分析。

1 水泥窑外分解预热系统介绍

近几年来, 国家对高污染、高耗能企业的整治力度逐渐加大, 很显然铬盐行业是高污染和高耗能企业, 不符合行业政策和仍采用有钙工艺生产的铬盐单位将被陆续关停。铬盐行业将面临一场生死攸关的大变革。因此采用无钙等清洁生产、降低能耗的工艺已提到铬盐生产的重要议事日程上来。新疆沈宏集团公司已经采用无钙焙烧生产工艺, 同时也在优化部分工艺指标, 整个工艺将进一步完善, 完全符合清洁生产工艺, 但废气处理、降低能耗仍在探索之中, 并没有更好的良策对窑尾废气加以利用。

水泥行业也是一个污染重、能耗高的企业, 特别是湿法、干法中空、立窑工艺等高耗能工艺设备等逐渐被淘汰, 取而代之的是新型的干法窑对外分解悬浮预热系统, 该系统已得到政府的认可和推广。

水泥窑外分解预热系统是将原材料的预热和碳酸盐的分解反应置于煅烧窑外来进行, 利用余热来预热进窑物料, 可以大幅降低热耗, 减轻煅烧窑负

荷,从而提高窑产量。水泥窑外物料的预热是靠窑尾余热和分解炉完成的。其功能和效果显而易见。物料在五级旋风筒内与含尘热气体于悬浮状下充分接触,进行热交换,热交换效率高达 80%,物料从常温升至 600~800℃后进入分解炉,而气体从 800℃左右经热交换后从预热器出来被降低到 350℃左右。也就是利用窑尾的余热对进窑前的物料进行预热,以此来更好地利用余热,提高煅烧窑的产量,此举关键是大幅度降低了能耗。数据表明,同类型的窑外分解预热系统要比同一规格的中窑产量至少提高 30%,能耗约下降 20%^[2]。

据此,在铬盐生产中,笔者就能否借鉴水泥生产中预热系统的思路来解决铬盐行业的高耗能问题进行分析。

2 可能存在的问题

利用水泥窑尾系统的预热原理处理铬盐行业的窑尾余热问题,理论上应该是可行的。无钙焙烧机理表明:为了提高矿的氧化率,有多份专利技术采用炉料预氧化。预氧化物可在配碱后于 500~850℃即低于纯碱熔点(851℃)温度下焙烧 20 min。预氧化的作用是破坏铬尖晶石的结构,同时使其晶粒破碎、粒度减小。随着晶格中 Fe^{2+} 氧化形成赤铁矿离开原来晶格,原晶粒也遭破坏,部分铬也形成过度相 R_2O_3 ,使矿中铬更易氧化。预氧化的物料再焙烧,其氧化率比不预氧化的约高 20%。预氧化是在没有熔液的前提下进行的。无钙窑尾的温度一般约为 650℃,低于纯碱的熔点。此时氧气易于扩散进入铬尖晶石内部。如果不预氧化,炉料突遇高温,铬尖晶石结构未遭破坏前即被 Na_2CO_3 液膜包裹,需要氧气多,而氧气扩散困难,氧化率自然不高^[3]。因此窑尾余热对进窑物料进行预热有助于提高矿氧化率。但在实际运作中应该注意处理如下问题:

第一,物料离析后的均化问题。以铬盐无钙焙烧为例,混合生料的组分为铬铁矿、纯碱和返渣。3 种物料密度各不一样,粒径也不相同,铬铁矿和返渣密度基本接近 4 t/m^3 ,而纯碱的密度较小(约为 2.5 t/m^3)。当混合料与气流逆向充分接触后,一部分较小、较轻颗粒会被气流带出预热器,进窑生料的均匀性发生变化,甚至与设计指标相差较大。这种带出物料越多,离析情况就越严重。在正常生产中,当物料落入窑内和在窑内翻滚时,可能被气流带出窑外的物料量约占总物料的 5%,物料被收集后同步再

次进入窑内,虽然整个情况有所改变,但对正常焙烧影响不大。当采用窑外预热后,预热器的型式和物料种类与热气体接触方式、流速等因素决定了窑气带出物料量的多少。据此推算至少有 10% 的物料量,此数量的飞灰肯定会与设计指标偏差很大,影响到窑的焙烧和产品质量,所以预热器后的物料均化问题必须解决。

第二,出窑废气温度的降低。预热器的使用就是要通过热量交换提高进窑物料温度的同时,将废气温度降下来,在不增加降温设施的前提下,使布袋除尘器安全运行。铬盐生产中窑尾废气的温度约为 650℃,而布袋除尘器安全使用温度则小于 250℃,最好低于 200℃。因此必须通过设置和处理,尽可能地提高进窑物料的温度,最大限度地将废气热量传递给物料。所以在设计预热器时必须考虑物料在预热器内有足够的传热停留时间和充分的接触面积,从而增加物料吸热时间,在提高物料温度的同时降低废气温度。

第三,可能存在结垢问题。由于原料中硫和氯的存在,容易形成低共熔点物质,可能存在预热器中的结垢现象。在铬盐生产原理中由于二氧化硅的存在,物料在约 650℃时会形成有一定黏性但量较少的低共熔点物质,导致局部结垢。因此有选择性地使用原材料,不易使预热器中的物料温度升至到熔融温度,应该不会造成结垢而堵塞管道。

3 对设备性能的要求

从目前热交换设备的性能来看,能用于大生产的预热器有悬浮预热器和立筒预热器 2 种。悬浮预热器在传热性能上优于立筒预热器,但悬浮预热器成本较高。对于物料组分密度差异较大,均匀度要求较高的铬盐原料适应性较差。必须根据铬盐行业的自身特点和物料固有的特性,以及工艺要求等多方面因素,重点应放在立筒预热器传热原理的基础上,设计出一种适合铬盐预热的预热器。该预热器应具有物料与气体逆流充分热交换,物料在设备中有足够的受热时间,系统处于微负压,废气中粉尘带出量小于 10%,且温度能满足布袋除尘器要求。笔者经过查阅大量的资料,对物料的传热及飞扬将进行反复试验,并对热量和能量传递进行了详细的核算后与国内某预热器厂家共同合作,研制设计出了 YJYR 型预热器,专门用于铬盐行业对进窑物料的预热。

YJYR 型预热器是为铬盐生产专门研制开发的

一种高效传热设备,传热效率高达90%,物料自设备顶部加入预热器内,经强制分散后将物料打散均匀自由下落与上升热气体逆流接触,以传导、辐射、对流的方式传热,物料层状流动,不断翻滚碰撞,与热烟气充分交错式换热,具有不堵塞管道、通风面积大、物料与烟气交换时间长等优点。

为了解决偏析现象,二级除尘收集的粉尘通过提升设备再次进入预热器内部,使其在预热器内部不断内循环,从工艺上解决物料的偏析现象,但由于暂无法进行实际数据测量,这种内循环对物料的均匀度到底有多大的帮助还无从考虑,但从理论上讲应该是可行的。为了进一步消除进料内循环可能达不到预期效果而带来的弊端,在整个工艺布局上设置了机械均化工艺,以弥补提升内循环的均化效果。

4 预热工艺流程设计

4.1 工艺流程

根据上述分析,设计的铬盐生产窑尾余热利用工艺流程简图如图1所示。

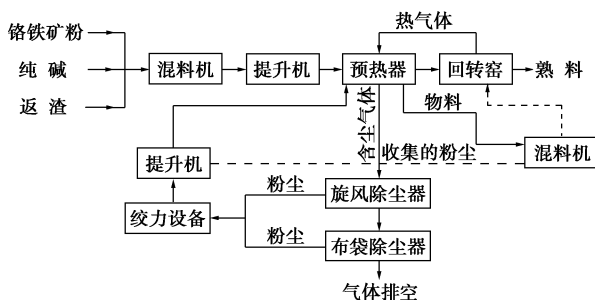


图1 窑尾余热利用工艺流程简图

4.2 相关工艺参数核算

以某厂无钙窑生产设备为例,以天然气为燃料,废气产生量为6万 m^3/h ,废气温度 600°C ,投料量17 t/h ,熟料产出量约为15 t/h ,设含热废气经热交换后,出预热器的废气温度为 200°C ,则其单位时间废气带走的热量为: $Q = V\varphi CT = 1.7 \times 10^7 \text{ kJ}/\text{h}$;预热器及相连接管道其表面温度与环境温度相差约 50°C ,热损失为300 kJ/h 。每吨熟料产生废气带走的热量为 $2.95 \times 10^6 \text{ kJ}$,单位时间废气产生热量则为 $4.4 \times 10^7 \text{ kJ}/\text{h}$ 。那么,用于物料传热且最终物料接受的热量为 $2.4 \times 10^7 \text{ kJ}$,此热量可以使总量为15 t 的这种物料温度上升到 400°C ,如果该部分热量用于生料向熟料的较变反应过程,则可生产熟料的量为4 t ,也即每小时可多生产熟料4 t ,产量约提高20%。

5 经济效益测算及风险评估

5.1 经济效益测算

(1)设备或设施增加部分:①增加原入窑提升机的高度约为15 m ,新增动力7.5 kW ;②新增预热器1台,价值约30万;③新增内循环提升机1台,高度约15 m ,新增动力7.5 kW ;④可能预留新增混料机,新增动力5.5 kW ;⑤新增非标管道连接;⑥新增旋风除尘器。上述新增设备及动力部分费用约为80万元。

(2)设备或设施削减部分:①削减高温烟仓及沉降室,削减废热锅炉;②削减回料提升机。上述削减部分费用约为50万元。如果是新上项目,该部分投资比计划投资多30万元。

(3)产量增加部分(或能耗降低部分):根据核算,可新增熟料产量约4 t/h ,新增红矾钠0.88 t/h ,产量提高约20%,如果不考虑产量增加,生产每吨熟料可以减少天然气消耗 36.3 m^3 。

5.2 风险评估

该技术主要存在的风险如下:

(1)偏析问题。根据无钙生产工艺理论,偏析问题是“结圈”的主要元凶,因此能否解决物料的偏析是该技术成败的关键。通过物料内循环可解决物料偏析问题,针对入窑和窑灰成分对比,适当增加某一成分的配料量,可保证入窑生料各成分量的稳定性,在设计中应考虑采用高效混料机作为解决偏析的备选方案,但能否从根本上解决偏析问题在目前的条件下无法验证,也无法从试验中得出结论。

(2)窑灰量也是影响物料均匀性的因素,在设计中以适当的速度可减少窑灰量,但前提应使大窑通风良好。为了尽可能减少窑灰量,可采用旋风除尘器对出预热器的含尘气体进行净化,较大限度地将捕集粉尘(生料)再次进入预热器,使进袋除尘的生料量减少至10%以下。主要旋风除尘器的增加会产生压损,引风机选型时应考虑到粉尘量到底有多少,各成分变化有多大,没有经验数据也无法试验。

(3)如果入窑生料存在较大的偏析现象,可导致窑中后部“结圈”,影响熟料质量和热工制度。

(4)该技术费用的投入为50万~80万元,实施时将影响大窑运转,施工周期大于30天。

(5)该技术所需设备布置时将影响窑尾的整个布局,可能需拆除部分设施。

(下转第77页)

荷与干燥室内换热器负荷的协调,保证机组连续生产。机组的工作状态为高压 1.28 MPa,冷凝温度 33℃;冷冻段低压 0.22 MPa,蒸发温度 -23℃;干燥除湿段低压为 0.42 MPa,蒸发温度为 -5℃。同时考虑冷冻室及干燥室、水箱的“漏热”问题,干燥室内冷凝器负荷为 675 W,干燥室内蒸发器 1 负荷为 300 W,冷冻室内蒸发器 2 负荷为 150 W。

2.2 喷射泵的调控

采用较成熟的气体动力函数法设计喷射泵^[3]。它针对一定参数的工作流体和引射流体,给定喷射系数和压缩压力中的一个量,确定另外一个量,进而确定喷射泵的几何尺寸。

蒸发器 1 制冷剂流量为

$$m_1 = \frac{q_1}{r_1} = \frac{300 \times 10^{-3}}{403.49 - 194.17} = 1.43 \text{ g/s}$$

蒸发器 2 制冷剂流量为

$$m_2 = \frac{q_2}{r_2} = \frac{150 \times 10^{-3}}{395.76 - 173.71} = 0.67 \text{ g/s}$$

喷射泵喷射系数 μ 为

$$\mu = \frac{m_1}{m_1 - m_2} = \frac{0.67}{1.43 - 0.67} = 0.88$$

工作流体压力 $p_P = 0.42 \text{ MPa}$,引射流体压力 $p_H = 0.22 \text{ MPa}$ 。

因

$$\frac{p_P}{p_H} > \frac{1}{\pi^*} = 1.80 (\pi^* \text{— 工作流体临界压比})$$

喷射泵内喷嘴形状应是缩放型的,工作流体在超音速状态下吸引引射流体。根据模拟计算得喷射泵出口压力为 $p_C = 0.26 \text{ MPa}$,由此确定喷射泵主要截面比,再根据流量很容易确定出喷射泵的几何尺寸,得出喷射泵设计工况下的结构。

喷射泵冷/热量的调节,分为质调和量调 2 种方法^[4]。质调是改变喷射泵中流体工作参数,即改变各个节流阀开度,进而改变流体压力;量调是通过改变喷射泵几何参数完成的,目前一般采用在喷射泵喉部加装调节针的方法,但此法加工实践起来较困难,同时还会对喷射泵内流体的流动产生不良影

响。本文以质调为例进行分析。

(1)保持压缩机吸气压力(喷射泵压缩压力)及干燥室内蒸发器 1 蒸发压力不变,改变节流阀 2 的开度对机组进行质调。冷冻温度随阀开度的减小而下降,同时使冷冻功率发生改变。

由图 2 可知,随着冷冻压力的降低,冷冻温度下降,同时喷射系数减小,流经冷冻换热器的工质量减小。原因是喷射泵处在最佳引起压力以下的亚极限工况。在设计工况下(引射压力为 0.22 MPa),喷射泵有约 0.67 g/s 的冷冻工质流量,150 W 的最大冷冻功率。减小喷射泵的引射压力,喷射系数下降,引射压力为 0.13 MPa 时,引射量为 0.23 g/s,冷冻功率只有 52 W。

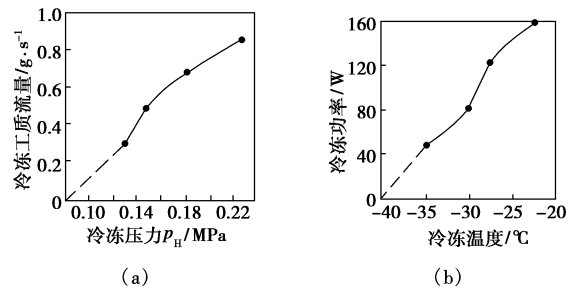


图 2 冷冻状况随压力、温度变化图

(2)若保证冷冻室内的温度恒定,对冷冻功率进行调节,将同时引起压缩压力(压缩机吸气压力)的变化,如图 3 所示。

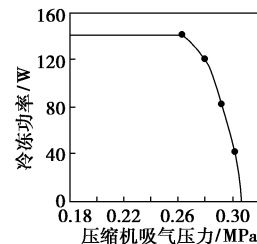


图 3 冷冻功率随吸气压力的变化图

引射流体压力恒定时,压缩压力对喷射系数产生直接影响。基本规律是:存在一最小压缩压力,当压缩压力大于此值时,喷射系数急剧下降,冷冻功率

(上接第 75 页)

(6)该技术在铬盐行业首次使用,没有经验可借鉴。因此该项目存在一定的投资风险。

该工艺仍可能存在进窑物料发生偏析的可能性,只要加强操作,特别是生产具有一定规律后,适当调整物料配比对稳定大窑生产工况和良性运行是很有帮助的,不存在物料在预热器内“结皮”、堵塞和

下料不畅现象,在选用喂料、混料、提升设备时应考虑设备的耐热性能。

参考文献

- [1] 丁翼,纪柱. 铬化合物生产与应用[M]. 北京:化学工业出版社,2003.
- [2] 汪澜. 水泥工程师手册[M]. 北京:中国建材工业出版社,1998.
- [3] 纪柱. 铬铁矿无钙焙烧工艺实验的经验[J]. 铬盐技术通讯,1992(2):40-68. ■