

低水泥用量耐火材料在球团回转窑中的应用

徐景海^{1,2} 刘福来²

(1.北京科技大学;2.首钢矿业公司)

摘要 论述了低水泥用量耐火材料的优越性和球团回转窑的烘炉制度。从低水泥用量耐火材料的研制与应用、耐火材料锚固件材质和形状的确定、回转窑预制耐火砖规格的确定、回转窑砌筑方法的选择、回转窑耐火材料施工质量的控制等方面介绍了首钢球团厂为提高球团回转窑热震稳定性所进行的一系列研究与实践。通过不断的研究和改进,首钢球团厂回转窑的热震稳定性得到了有效提高,整体使用寿命由1.5 a提高到2.5 a以上,为球团回转窑用高技术耐火材料的推广应用提供了重要的经验,促进了链篦机—回转窑—环冷机氧化球团技术在国内的迅猛发展。

关键词 球团回转窑 低水泥用量耐火材料 热震稳定性

Application of Low Cement Refractory Material in Rotary Pelletizing Kiln

Xu Jinghai^{1,2} Liu Fulai²

(1. University of Science and Technology Beijing 2. Mining Co. of Capital Steel)

Abstract The superiority of low cement refractory material and the heating-up system of rotary palletizing kiln are discussed. The paper describes the series of research and practice made in the Sintering Plant of Capital Steel to improve the heat-shock stability of the rotary palletizing kiln, including the development and application of low cement refractory material, determination of the material quality and shape of the anchoring pieces for refractory material, the size of the prefabricated firebricks for the rotary kiln, the selection of the rotary kiln lining method and the control of the quality of refractory material construction in the rotary kiln. The heat-shock stability of the rotary kiln in the Sintering Plant of Capital Steel has been effectively raised through continuous research and improvement with the total service life lifted from 1.5 a to above 2.5 a, which has provided important experience in spreading the application of hi-tech refractory material in rotary palletizing kiln and promoted the rapid development of the domestic grate-rotary kiln-circular cooler oxide palletizing technology.

Keywords Rotary palletizing kiln, Low cement refractory material, Heat-shock stability

21世纪,氧化球团技术迅猛发展,特别是链篦机—回转窑氧化球团生产工艺得到大力推广和应用,球团回转窑也正向大型化发展,对窑衬承受热力强度的能力要求越来越高,其主要技术要求是具有较高的热震稳定性。

在链篦机—回转窑法氧化球团的诸多生产设备中,回转窑是心脏。回转窑系统的生产过程是处于高温条件下的、动态的、多因素的复杂体系。窑衬在运行过程中,持恒性和周期性地承受着由于“温度—机械”作用而产生的挤压、剪切、拉伸、扭曲、摩擦、振动、冲刷、高温熔融、温度急变等因素的影响,导致耐火衬体产生脱层剥落、松动抽出、断缝炸裂、掉砖红窑。随着球团回转窑的大型化、高效化,使生

产中长期以来普遍存在的主要矛盾之一的窑衬问题日趋尖锐,因而回转窑用耐火材料已成为挖掘生产潜力,提高效益,实现优质、高产、低耗和长期安全运转的关键。同时,窑衬砌筑和烘炉制度也十分重要。实践证明,即便是优质配套的耐火材料,若砌筑失误或烘炉不当,也难以实现长周期安全运转。

1 低水泥用量耐火材料的优越性

耐火材料对于骤冷骤热的温度变动的抵抗性能称为热震稳定性,过去亦称为热稳定性、耐急冷急热性或温度急变抵抗性。它是耐火材料的一个重要性能指标,是回转窑设计、选材和生产操作的依据之

徐景海(1964-)男,北京科技大学环境与土木工程学院博士研究生,首钢矿业公司副总经理,高级工程师,064404,河北省迁安市。

一。

低水泥用量型耐火材料在上世纪 80 年代成为耐火浇注料发展的潮流。现在发达国家的工业窑炉上 ,采用的不定形耐火材料大部分已被低水泥用量型耐火浇注料所替代。日本、丹麦等国已推出数种牌号的低水泥用量型耐火浇注料 ,其性能大大超过以往的耐火浇注料 ,使用效果非常显著。

传统耐火浇注料中水泥含量在 15% ~ 30% 之间 20 世纪 70 年代出现的中温强度不下降的水硬性耐火浇注料 ,水泥含量在 8% ~ 12% 之间 ,80 年代出现的水硬性耐火浇注料 ,水泥含量在 5% 以下 ,并称之为低水泥用量型耐火浇注料。前两种耐火浇注料的结合强度是靠水泥结合剂的水化及硬化产生胶凝所致 ,而水泥是低熔点物质 ,高温下对耐火浇注料产生熔剂作用 ,水泥含量越高 ,熔剂作用越大 ,热性能越差 ,而且靠水泥本身使耐火浇注料产生足够的强度是非常困难的。另外 ,水泥含量高 ,浇注料在施工使用过程中的用水量必然加大 ,从而影响耐火浇注料强度的正常发挥 ,造成材料的气孔率增大 ,使耐磨性等一系列热性能降低 ,导致浇注料的使用寿命短。

低水泥用量型耐火浇注料由于水泥含量在 5% 以下 ,并由于超细粉颗粒的特殊效能 ,使其堆集容重增大 ,用水量降低至 7% 以下。强度的发挥不但借助于水泥的水化及硬化 ,同时还借助于超细粉的固化凝聚作用 ,使其热性能大幅度提高。低水泥用量型耐火浇注料改善了以往耐火浇注料强度低的弊病 ,而且施工性能也得到改善。同时 ,低水泥用量型耐火浇注料与以往对应材质的耐火浇注料相比 ,成本并未提高。因此 ,低水泥用量型耐火浇注料是球团回转窑用耐火材料的最佳选择。

2 回转窑烘炉制度

烘炉是影响耐火材料使用效果的关键环节 ,其作用主要是排除耐火材料中的游离水及化合结合水。烘炉得当 ,可以提高窑炉及热工设备的使用寿命 ,否则 ,水分排除不畅通 ,可使耐火材料产生裂纹、剥落 ,甚至引起爆裂事故。

在耐火材料的拌制过程中 需加入必要的水或其它液体胶结剂 ,水硬性耐火材料还需浇水养护等 ,因此已硬化的耐火材料中含有较多量的水分。

耐火材料中的含水量与其成型方法、胶结剂种类和用量以及外添加剂的品种和用量等因素有关。如振动、捣打和机压等成型方法 ,其用水量或液体胶结剂用量依次递减 ;当在耐火材料中掺加适当的减水剂后 ,在保持相同施工性能的前提下 ,用水量可以显著减少 ,有利于缩短烘炉时间 ;胶结剂种类不同 ,实际带进的水量也有较大差别。

另外 耐火材料在成型过程中 ,气体不易排除 ,会形成较多的封闭气泡 ,破坏耐火材料的毛细结构 ;又由于成型时拌和物泛浆 ,使耐火材料表面形成较致密的硬壳 ,因此耐火材料内的水分也不易排除。据计算 ,一定量的水如变成同质量的 100 ℃ 蒸汽 ,体积将膨胀近 1 700 倍。耐火材料如升温过快 ,单位时间内产生的气体太多而来不及排除时 ,耐火材料内将产生很大的张力 ,如超过其抗拉强度 ,即会开裂 ,如果二者相差特别悬殊时 ,则可能剥落或爆裂。所以 烘炉时 ,在耐火材料排水剧烈的阶段 ,必须缓慢升温。

综上所述 ,烘炉制度(即烘炉曲线)应依据胶结剂种类以及是否添加外添加剂、成型方法、砌体厚度和炉内排气条件等具体情况来制订。另外 ,也应考虑在加热过程中某些耐火材料的晶型转化等问题。

一般来说 ,在低温阶段应缓慢升温 ,且应有较长的保温时间。考虑到炉内温度与耐火材料的实际温度间有一定温差 ,可将排除游离水的温度定为 150 ℃ ,大量排除化合水和结晶水的温度定为 350 ~ 500 ℃。因此 ,在 600 ℃ 前应严格控制升温速度 ,600 ℃ 以上 ,只要保证耐火材料的内外温差不大 ,则可较快速升温 ,直至使用温度。回转窑的烘炉制度如表 1 所示 ,一般情况下均可参照执行。

耐火材料是预先不煅烧的 ,因此要严格掌握烘炉制度。烘好的窑炉 ,如需停炉后再开炉使用 ,允许采用较快的升温速度(硅质耐火材料除外) ,但一般不得鼓冷风或浇水降温。

烘炉时 ,测温点的设置要有代表性。一般应设置在温度最高、升温最快的部位 ,并应使热电偶接近或接触耐火材料工作面。在利用热工设备原有温度控制仪表时 ,要注意审核测温点是否符合要求 或考虑实测温度与耐火材料温度差值后制订烘炉曲线 ,不可盲目使用。

表 1 球团回转窑烘炉制度

温度 /℃	砌体厚度 < 200 mm			砌体厚度 200 ~ 400 mm			砌体厚度 > 400 mm		
	升温速度 /(°C · h⁻¹)	时间/h 单项	累计	升温速度 /(°C · h⁻¹)	时间/h 单项	累计	升温速度 /(°C · h⁻¹)	时间/h 单项	累计
常温 ~ 150	20	7	7	15	9	9	10	13	13
150 ± 10, 保温		24	31		32	41		40	53
150 ~ 350	20	10	41	15	13	54	10	20	73
350 ± 10, 保温		24	65		32	86		40	113
350 ~ 600	20	13	78	15	17	103	10	25	138
600, 保温		16	94		24	127		32	170
600 ~ 使用温度	35			25			20		

烘炉所用热源一般无特殊要求,如煤气、热风、木柴、煤、重油均可,但必须能够控制升温速度,且要避免局部过热。实践证明,低温阶段最好采用煤气或柴油烘炉,不宜采用重油。如用木柴烘烤时,要注意炉内温度的均匀性。当温度达到 500 ~ 600 °C 时,则可逐渐开启烧嘴,进行烘炉。

在烘炉过程中,应有烘炉记录并仔细观察耐火材料的排水情况,必要时对烘炉曲线做适当的调整,以保证烘炉质量。

3 首钢球团厂提高回转窑热震稳定性的生产实践

首钢球团厂为国内第一家百万 t 以上规模的氧化球团生产企业,始建于 1985 年。原设计采用煤基直接还原生产工艺,年产量 30 万 t, 主体工艺设备为 4 m × 52 m 链篦机、φ 4.7 m × 74 m 回转窑、φ 3.7 m × 50 m 冷却筒,于 1986 年 6 月建成,开始金属化球团生产;1989 年 3 月 18 日转产氧化球团,2000 年 7 月 ~ 10 月进行了以改进冷却方式为主的工艺优化改造,形成了 4 m × 41.4 m 链篦机—φ 4.7 m × 35 m 回转窑—φ 12.5 m 环冷机氧化球团生产新工艺,设计年产能 100 万 t, 2003 年 4 月份,第二条年产量 200 万 t 的 4.5 m × 56 m 链篦机—φ 5.9 m × 38 m 回转窑—φ 18.5 m 环冷机氧化球团生产线竣工投产,形成了氧化球团年产能总能力 300 万 t 以上的规模。首钢球团厂氧化球团工艺和技术的优化与回转窑热震稳定性的不断提高密不可分。

3.1 低水泥用量耐火材料的研制与应用

以有效提高球团回转窑耐火材料热震稳定性为目标,首钢球团厂与河南巩义市特种炉料厂共同对粘土质、磷酸盐、高铝质、低水泥、莫来石质等耐火材料先后进行了研究和试验,最终于 2000 年研究出性能较佳的 3 种球团回转窑用耐火材料。

(1)回转窑窑头、窑尾缩口部位使用的钢纤维低水泥莫来石浇注料。其主要性能见表 2。

万方数据

表 2 缩口用钢纤维低水泥莫来石浇注料主要性能

项 目	指 标
Al ₂ O ₃ 含量/%	≥68
耐压强度(110 °C × 24 h)/MPa	≥90
耐压强度(1 150 °C × 3 h)/MPa	≥120
抗折强度(1 10 °C × 24 h)/MPa	≥11
抗折强度(1 150 °C × 3 h)/MPa	≥14
体积密度(110 °C × 24 h)/(g · cm ⁻³)	≥2.45
烧后线变化率(1 150 °C × 3 h)/%	±0.3
热震稳定性(1 100 °C, 水冷)/次	45
荷重软化温度(0.2 MPa × 2%)/°C	1 480

(2)回转窑窑身使用的钢纤维低水泥莫来石浇注料。其主要性能见表 3。

表 3 窑身用钢纤维低水泥莫来石浇注料主要性能

项 目	指 标
Al ₂ O ₃ 含量/%	≥72
耐压强度(110 °C × 24 h)/MPa	≥70
耐压强度(1 300 °C × 3 h)/MPa	≥110
抗折强度(110 °C × 24 h)/MPa	≥8
抗折强度(1 300 °C × 3 h)/MPa	≥14
体积密度(110 °C × 24 h)/(g · cm ⁻³)	≥2.6
烧后线变化率(1 300 °C × 3 h)/%	±0.3
热震稳定性(1 100 °C, 水冷)/次	40
荷重软化温度(0.2 MPa × 2%)/°C	1 520

(3)回转窑窑身底部使用的轻质高强浇注料。其主要性能见表 4。

表 4 窑身底部用轻质高强浇注料主要性能

项 目	指 标
Al ₂ O ₃ 含量/%	≥40
耐压强度(110 °C × 24 h)/MPa	≥3
耐压强度(1 100 °C × 3 h)/MPa	≥10
体积密度(110 °C × 24 h)/(g · cm ⁻³)	≤1.3
烧后线变化率(1 100 °C × 3 h)/%	±0.6
导热系数 W/(m · K)	0.35

3.2 耐火材料锚固件材质和形状的确定

锚固件按材质可分为两类,一类是非金属锚固件,另一类是金属锚固件。只有金属锚固件才能适

宜回转窑使用。金属锚固件可制作成各种形状和规格,不同的形状和规格对耐火材料热震稳定性的影响差异较大。经过多次研究和试验,最终选择了利于耐火材料整体热震稳定性有效提高的金属锚固件形状和规格。

回转窑锚固件应使用 $\phi 12\text{ mm}$ 或 $\phi 14\text{ mm}$ 的不锈钢圆钢,制作成“Y”字形状。整体高度应为耐火材料厚度的 $2/3$,底面 30 mm 必须平直,以利于与窑钢甲紧密接触。

3.3 回转窑预制耐火砖规格的确定

预制砖宽度过小,影响预制砖本身的抗折强度,宽度过大,则预制砖与窑钢甲不能紧密接触。因此预制砖的规格直接影响着球团回转窑耐火材料整体热震稳定性的提高。

为了满足耐火材料热震稳定性的要求,球团回转窑预制砖宽度应为窑内径的 0.04 左右,高度应为窑内径的 $0.046 \sim 0.049$,长度的选择应以适宜人工搬运为前提,即预制砖的质量应控制在 $60 \sim 70\text{ kg}$ 为宜,同时预制砖本身的金属锚固件须与砖成为一体,在宽度的两侧各伸出长度 $25 \sim 30\text{ mm}$ 的两个平直锚固钩。

3.4 回转窑砌注方法的选择

耐火材料可预制成型,也可现场浇注。砌注方法的选择直接影响着耐火材料的热震稳定性,因此,究竟采用那种方法,要依据工程特点和具体情况而定。

窑头和窑尾部位采用现场浇注、窑身部位采用预制砖与现场浇注相结合的方法,应是球团回转窑最佳的砌注方法,并且现场浇注的宽度应控制在预制砖宽度的 $1 \sim 1.5$ 倍。首钢球团厂 2000 年将现场浇注的宽度由原预制砖宽度的 2 倍降低到 1.5 倍,又于 2003 年降低到 1 倍,使耐火材料的热震稳定性有效提高,同时在现场浇注部位的底面使用 1 层 $40 \sim 60\text{ mm}$ 厚的轻质预制板,对于降低辐射温度、节约能源也取得了较好效果。

3.5 回转窑耐火材料施工质量的控制

耐火材料的施工质量是直接影响到回转窑整体热震稳定性的一个关键环节之一,因此,必须严把施工质量关,并按以下原则严格控制。

(1)回转窑需更换部位的钢甲上残留的锚固钩必须清理,残留的锚固钩高度和宽度不大于 2 mm 。

(2)窑砖运输过程中必须慢慢放置,窑钩与砖成直角,达到与窑钢甲紧密接触的目的。

(3)为保证施工进度,宜采用窑砖集中整体砌注、集中捣打的方法。

(4)捣打带锚固钩的各部位,使其尺寸准确、角度规范,特别是底面 30 mm 必须平直,以免影响焊接。锚固钩数量应控制在每平方米内不少于 25 个。

(5)搅拌好的料要尽快使用,浇注时来料必须一次震捣完毕,从出料到震捣时间不能超过 20 min ;振动棒插点要均匀,不允许漏震,待返浆后再将震动棒缓慢拔出,严禁震动棒拔出后出现缝隙。

(6)浇注料凝固时间原则不少于 30 min ,凝固时间因水份的大小以及环境温度的高低而变化,严禁强度不够时转窑。

4 结语

首钢球团厂自 2000 年 10 月份开始,与河南巩义市特种炉料厂共同研究出适宜球团回转窑各部位使用的低水泥用量耐火材料,通过对砌注方法和锚固钩规格、形状的合理改进以及严格控制耐火材料施工质量和烘炉制度,使球团回转窑热震稳定性有效提高,整体使用寿命由 2000 年以前的 1.5 a 提高到 2.5 a 以上。首钢球团厂提高球团回转窑热震稳定性研究与实践,促进了国内球团工业的发展,尤其是进入 21 世纪后,链篦机—回转窑—环冷机氧化球团技术发展迅猛,目前国内 60 万 t 以上规模的链篦机—回转窑—环冷机氧化球团生产厂家已有 30 余家,百万 t 以上的也有 20 余家,加快了与国际先进生产工艺的接轨。

参 考 文 献

- [1] 李晓明,吴清顺.耐火混凝土 [M].北京:冶金工业出版社,1993.
- [2] 王维邦,等.耐火材料工艺学 [M].北京:冶金工业出版社,1988.
- [3] 任国斌,等. $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ 系实用耐火材料 [M].北京:冶金工业出版社,1989.

(收稿日期 2006-06-15)

欢 迎 投 稿

欢 迎 订 阅