

新型干法预分解窑耐火材料的合理使用

Rational Use of New Dry Pre-decomposition Kiln Refractories

肖风华

Fenghua Xiao

淮南舜岳水泥有限责任公司 中国·安徽 淮南 232072

Huainan Shunyu Cement Co., Ltd., Huainan, Anhui, 232072, China

摘要: 新型干法预分解窑属大型生产设备, 在熟料煅烧过程中, 熟料烧成温度在 1450 °C 以上, 窑内的高温气体温度达 1700 °C 甚至接近 2000 °C。与熟料煅烧、冷却等相关的热工设备、管道和下料溜子内部须设置合适的耐火材料, 以确保设备的长期高效运行。

Abstract: The new dry precalciner kiln is a large-scale production equipment. During the clinker burning process, the clinker burning temperature is above 1450 °C, and the high-temperature gas temperature in the kiln reaches 1700 °C or even close to 2000 °C. Proper refractory materials must be set inside the thermal equipment, pipes and blanking chutes related to clinker burning and cooling to ensure long-term and efficient operation of the equipment.

关键词: 新型干法预分解窑; 耐火材料; 质量管控; 成功案例

Keywords: new dry pre-decomposition kiln; refractories; quality control; success stories

DOI: 10.12346/etr.v4i9.7080

1 引言

新型干法窑窑内温度高、转速快; 窑系统所用原燃料中的有害成分碱、硫、氯等诸多不利因素降低了耐火材料的使用寿命。一般情况下, 窑内烧成带、过渡带、前窑口、窑头燃烧器、三次风管弯头等部位耐火材料的使用周期更短, 因此总结、研究新型干法预分解窑耐火材料的合理使用, 延长耐火材料的使用周期非常重要^[1]。

2 新型干法水泥窑对耐火材料的基本要求

在新型干法预分解窑上, 耐火材料主要用于预热器、分解炉、回转窑、三次风管、篦冷机、燃烧器等。要求耐火材料在预分解窑上使用的过程中具备以下性能。

2.1 耐高温性强

预分解窑内的最低温度都在 1000 °C 以上, 要求耐火材料长时间暴露在高温下不变形、保持一定的强度, 即要求耐火材料的高温荷重软化温度要高。

2.2 热震稳定性好

在开、停窑以及设备运转不稳定的情况下, 窑内温度会发生较大变化, 要求窑内耐火砖的热震稳定性要好, 急冷急热时不易发生龟裂或者剥落现象。

2.3 热化学稳定性好

窑内 SO₂、CO₂ 等气体、熔渣、碱都会侵蚀窑衬, 破坏砖体的组织结构。耐火砖要具有良好的热化学稳定性, 高温下能够抵抗各种化学侵蚀。

2.4 孔隙率要低

窑衬气孔率高会导致窑内腐蚀性气体大量渗入窑衬, 造成窑衬腐蚀损坏, 因此要求窑衬的孔隙率要低。

2.5 抗耐磨性能及抗机械应力强

窑内高温物料的翻滚及高温气流的侵蚀, 均会对窑衬造成较大的磨损, 要求窑衬具有较好的耐磨性和抗机械应力强度, 特别轮带部位耐火砖受轮带及窑体的双重机械应力影响, 该部位耐火砖的抗机械应力强显得尤为重要。

【作者简介】肖风华 (1975-), 男, 中国安徽淮南人, 助理工程师, 从事水泥工程行业研究。

2.6 烧成带砖具有良好的挂窑皮性能

窑皮对窑衬能起到很好的保护作用，窑衬挂上窑皮，可以使窑衬不受高温气流侵蚀、高温物料磨损，利于新型干法水泥窑的长期安全运转。

2.7 耐火砖的外观要求

为了确保砌筑质量，要求耐火砖的形状和外形尺寸符合设计要求，尺寸标准的耐火砖有利于提高砌筑质量及施工进度，防止掉砖及抽签事故的发生^[2]。

3 耐火材料的选型

水泥窑用耐火材料是水泥熟料生产过程中的最为关键的常用材料，耐火材料的选型及在熟料生产过程中的耐火材料使用周期与熟料产质量、窑的运转率存在直接关联。耐火材料的选型是决定窑炉使用寿命的第一个关键环节。

3.1 前窑口及窑头燃烧器

前窑口耐火浇注料在高温环境下应具备足够的耐火强度、机械强度、热震稳定性、耐碱性以及良好的抗高温熟料侵蚀性能等，使用周期一般是6~9个月。建议采用钢纤维刚玉质浇注料或改良型窑口专用耐火浇注料。窑头燃烧器与前窑口部位相比，生产过程中热工制度更加频繁、温差更大、受碱性气体及熟料细粉冲刷更严重，燃烧器头部约一米处的浇注料易开裂、剥落、磨蚀等，使用周期一般是3~5个月，要求窑头燃烧器部位的浇注料具有优异的抗磨损性能和热震稳定性，建议采用钢纤维刚玉质喷煤管专用浇注料或改良型喷煤管专用耐火浇注料。

成功案例：某公司前窑口部位、窑头燃烧器原设计方案使用刚玉质浇注料，前窑口浇注料使用周期在6个月内，燃烧器浇注料使用周期在3个月内，明显影响了窑的长期安全运行。经分析研究，为了延长浇注料使用周期，采取以下两个改进措施：①改用钢纤维刚玉质浇注料，其抗磨损及耐高温性能优于刚玉质浇注料。②窑头燃烧器在煨烧过程中只在窑内0~100 mm处移动。因窑头燃烧器始终位于窑口附近，在生产过程中，防止了窑内高温气体烧伤燃烧器头部浇注料，又使窑口浇注料表面挂上一层窑皮，减少熟料对窑口浇注料的冲刷。通过以上两个改进措施，既延长了燃烧器浇注料的使用周期，也延长了窑口浇注料使用周期。窑头燃烧器浇注料使用周期达半年以上，窑口浇注料使用周期达一年以上。

3.2 回转窑

窑内烧成带应选用易挂窑皮的碱性砖，如镁铁尖晶石砖；没有窑皮保护的过渡带宜选用镁铝尖晶石砖或系列硅莫砖等；分解带宜选用抗剥落高铝砖（Al₂O₃含量为70%）或普通硅莫砖系列。后窑口因砖型设计困难，一般选用特种高铝

质耐火浇注料，主要有刚玉质浇注料、莫来石质浇注料等。

成功案例：笔者所在公司新型干法水泥窑窑内耐火砖原设计方案如表1所示。

表1 新型干法水泥窑窑内耐火砖原设计方案

0~2.66 m (冷却带)	2.66~26.66 m (烧成带)	26.66~36.66 m (过渡带)	36.66~59.66 m (分解带)
窑口浇注料、方镁石尖晶石砖	120 环直接结合镁铬砖	50 环方镁石尖晶石砖	115 环抗剥落高铝砖

在生产过程中，窑内冷却带、烧成带末端21~27 m处耐火砖使用周期只有9个月，窑筒体27~32 m处温度始终偏高，一直在380℃左右。

停窑检修，进窑检查发现窑内过渡带方镁石尖晶石砖比较完好，烧成带后端21~27 m处直接结合镁铬砖挂不上窑皮。经分析，窑内耐火砖使用周期偏短的主要原因是烧成带砖过长所致；窑体27~32 m处温度偏高是方镁石尖晶石砖导热系数较大所致。经分析研究，对原方案进行技改，新方案如表2所示。

表2 新方案

0~20 m (烧成带)	20~37 m (过渡带)	37~59.6 m (分解带)
窑口浇注料、96 环直接结合镁铬砖	85 环特种硅莫红砖	113 环抗剥落高铝砖

新方案中去除了冷却带，煨烧过程中窑头燃烧器在窑内0~100 mm处移动，确保了烧成带（0~20 m）窑皮比较好，烧成带砖因有窑皮保护，使用周期达1年以上。过渡带特种硅莫红砖耐磨性能好、导热系数低，窑体20~37 m处温度一般在242℃~320℃范围内波动，但由于特种硅莫红砖抗机械应力差，二档轮带下特种硅莫红砖的使用周期在10个月以内，导致了烧成带砖与过渡带砖检修不同步。经多次实地考察调研，过渡带部位决定使用硅刚玉砖，厂方承诺硅刚玉砖在二档轮带下能使用2年。经过多年使用，硅刚玉砖在二档轮带下的使用周期达1年半以上。

经过多年的生产实践，笔者所在公司新型干法水泥窑窑内耐火砖衬的最终技改方案如表3所示。

表3 新型干法水泥窑窑内耐火砖衬的最终技改方案

0~20 m (烧成带)	20~40 m (过渡带)	40~59.6 m (分解带)
窑口浇注料、96 环镁铁尖晶石砖	100 环硅刚玉砖	98 环普通硅莫砖

技改后，窑内耐火砖衬的使用周期明显延长，减少了停窑检修的频率、缩短了检修时间，利于新型干法窑的长期安全运行，为公司创造了良好的经济效益。

4 不动装备

为减少筒体散热，不动设备内衬采用硅酸钙板作隔热层，

高铝质材料作为工作层。变形部位、顶盖、直墙等部位体, 选用易于施工的耐火浇注料, 规范风管部位选用耐火砖衬。

①窑头罩及篦式冷却机高温端。该部位壳体为直墙, 生产过程中环境温度一般低于 1150 °C, 选用低水泥高强度耐火浇注料, 主要有高强高铝质、钢纤维莫来石质浇注料等。

②预热器各级旋风筒、分解炉、下料管、上升烟道等易结皮部位。新型干法窑所用原燃料中的碱、硫、氯等有害成分的含量较多, 再加之有时操作不当, 易导致结皮频繁; 当使用空气炮、高压水枪清理时, 不仅比较危险, 而且影响浇注料的寿命。该部位多采用高强抗结皮碳化硅浇注料, 具有极好的耐碱性、抗结皮性、耐磨性。

③三次风管弯头及阀门部位。通常情况下, 含熟料细粉的三次风温度在 750 °C ~ 950 °C, 风速在 20 m/s 以上, 对该部位耐火衬料磨损非常严重、三次风阀板易损坏, 耐火衬料使用周期一般 3~6 个月, 该部位宜采用耐磨性能好的耐火浇注料或硅莫砖。

④窑口下直墙、斜坡落料处、篦冷机前端顶部浇注料受到从窑口出来的高温熟料及高温热气的冲刷, 所受热负荷比较高; 窑头罩顶部靠近三次风管处承受粉尘气流冲刷也比较严重。这些部位施工比较困难, 对材料的流动性和早期强度要求较高, 宜采用高温性能好、抗热震稳定性强、又具有耐磨等特点的高强耐磨浇注料。

⑤篦式冷却机低温部位一般选用高铝质、莫来石质耐火浇注料。与熟料接触的篦冷机矮墙部位, 一般选用钢纤维增强、高耐磨浇注料、碳化硅质浇注料或改进型专用矮墙砖等。

⑥余热发电部位。窑尾余热温度 ≤ 350 °C, 窑头余热温度 ≤ 600 °C。窑头余热管道温度虽不高, 但受粉尘冲刷较严重, 由于管道内不易施工, 多采用龟甲网耐磨陶瓷涂料。施工现场, 采用人工或机械方式把耐磨陶瓷涂料涂抹在管道表面。耐磨陶瓷涂料的优点是: 早期强度高、耐磨性好、具有优良的韧性和抗震性、不需支模浇注, 在管道内施工极为方便。窑头收尘沉降室多采用普通耐磨高铝质浇注料^[3]。

5 耐火材料施工过程中的质量管控

预分解水泥窑的特点是管道多、部分管道不规则、热工测点多、砖型多, 耐火材料施工难度较大。

5.1 前窑口浇注料的施工质量管控

前窑口浇注是整个窑系统施工工作中的重中之重, 需派专人重点跟踪施工质量, 窑口专用浇注料库存保管时间不宜超过 6 个月。锚固件耐热钢材质建议用 0Cr25Ni20, 锚固件焊接建议用耐热钢 A402 焊条满焊。

①施工前检查窑口护铁、挡砖圈烧损、窑体表面变形及氧化情况。若出现窑口护铁松动、挡砖圈脱焊, 须对护铁及

挡砖圈重新加固; 烧损严重的护铁及挡砖圈须更换。对窑体变形部位进行确认, 并对变形部位锚固件尺寸作相应调整。已局部氧化的窑体部位需对焊接处打磨后才能进入焊接锚固件的工序。

②锚固件焊接。焊接前, 须对锚固件材质和焊条品种进行确认, 确保符合设计要求。锚固件间距为 220 mm × 220 mm 呈“十字形”交错焊接, 并预留好膨胀空间。窑口高温部位, 建议在锚固件上缠一层电胶布, 确保锚固件在高温下膨胀时不至于损伤窑口浇注料。

③支模。尺寸准确, 模具牢固, 模板间无缝隙, 防止在振捣过程中出现漏浆现象。

④浇注料的施工。为了防止窑口浇注料在点火升温过程中出现爆裂现象, 用水量尽量少用, 一般按生产厂家允许用水量的下限控制。浇注前须把施工部位的灰尘等杂物清理干净, 可用风管清吹。

⑤浇注料内预留的膨胀缝需根据生产厂家的要求留存。一般环向每 1000 mm 设置一道膨胀缝, 窑口高温部位预留的膨胀缝厚度建议为 6 mm。

⑥施工过程中, 在与浇注料接触的耐火砖表面刷一层比较厚的防水涂料, 做好防水措施。窑口浇注完工后, 定好窑位 12 h 内不得再次转窑。

5.2 窑内耐火砖的砌筑质量管控

①窑内施工时注意事项: 砌砖时须使用木锤、橡皮锤等柔性工具, 不得使用铁锤直接砌砖。耐火砖砌筑过程中杜绝出现大小头倒置、倾斜、混浆、灰缝不均、爬坡、张口、砖体鼓包、缺棱少角等。

②砌筑前对窑体进行全面检查, 壳体要清扫干净并打磨平滑。

③砌筑时要做到两个 100% 贴紧: 耐火砖与窑体要 100% 贴紧、耐火砖环向之间要做到 100% 贴紧。

④加强锁砖的控制: 每环砖用于锁砖的数量不得超过四块, 锁砖只能用原状砖, 不得用加工砖, 锁砖不得连用, 且与窑体紧贴; 每环锁紧铁板的数量一般不超过四块, 若需用多块铁板锁紧时, 铁板应均匀分布在整个锁砖区域内, 严禁连用。

5.3 隔热保温材料的施工质量管控

隔热保温材料多采用硅酸钙板和陶瓷纤维板, 其施工质量的控制要点是: 粘结剂涂抹均匀, 粘贴牢固, 板与板之间无大的缝隙。隔热板在顶部使用时, 需用细扎丝绑扎牢固, 否则易脱落。

5.4 预热器、篦冷机、窑头罩、三次风管、窑尾烟室等部位浇注料施工质量的管控

耐火浇注料施工前, 首先应检查锚固件是否焊接牢固,

沥青漆是否涂刷。浇注料直墙及管道部位杜绝大面积支模、浇注,每次以 $1.5\sim 2\text{ m}^2$ 浇注为佳,并预留 3 mm 膨胀缝,借助于振动棒把浇注料震密实,防止出现蜂窝状。顶盖浇注是施工中的重点和难点,在施工过程中,浇注料的水分不宜过多加入,可以按生产厂家允许用水量的上限控制。预热器旋风筒顶部开有许多浇注孔,能够满足多点进料的施工要求,施工时使用振动棒把浇注料震密实,不要加入过多水分。施工浇注若加入的水分过多,会使浇注料骨料与细料出现分层现象、细料流失,使浇注料初凝时间延长,降低浇注料强度,影响使用效果。

预热器托砖板部位、人孔门、脚手架孔以及测温测压孔、撒料盒接口等位置,施工时一般不会支模浇注,采用手工涂料。注意尽量用灰刀使浇注料密实、表面平整、与砖连接处不出现错台。窑尾烟室浇注料若施工不当可能在生产过程中造成积料,模板拆除后需对浇注料表面打磨,使浇注料表面光滑,减少积料的形成。

6 结语

新型干法预分解窑在生产过程中,因原材料、原煤、设备规模及生产过程中热工制度的波动使窑内耐火材料所承受的高温、热化学、机械应力不同,很难用一种或几种耐火材料来配套整个窑系统。同一种耐火材料在不同生产线上使用部位和数量也不尽相同;同一部位使用同一种耐火材料,由于原料、原煤、操作参数的调整等,每次使用周期和耐火材料磨损情况也不相同。为了使耐火材料在新型干法预分解窑上发挥到最佳使用效果,最好的办法是在实践中不断优化。

参考文献

- [1] 黄世谋.水泥回转窑烧成带用耐火砖无铬化研究进展[J].耐火材料,2014,48(1):70-73+76.
- [2] 魏博.水泥回转窑烧成带用耐火砖的应力缓和特性[J].耐火与石灰,2015,40(3):40+42.
- [3] 曾大凡.水泥回转窑用耐火材料的选材和配套[J].水泥技术,1997(2):30-32.