

# 加热炉长寿命探研及生命周期经济性分析

陈来正,孙鹏鹏,郑军,王建范

(莱芜钢铁股份有限公司 型钢厂,山东 莱芜 271104)

**摘要:**介绍了莱钢型钢厂中型线步进式加热炉的设计特点以及延长加热炉使用寿命的生产维护措施,并对加热炉生命周期经济性进行了分析。该加热炉采用了一体化设计,空气、煤气双预热,隔墙及压下设计等一系列先进的设计理念,实施了合理的工艺、管理、操作及维护措施,有效地延长了加热炉的使用寿命,提高了其生命周期,加热炉已安全运行11 a。

**关键词:**步进式加热炉;长寿命;生命周期;经济性

**中图分类号:** TG307

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-4620(2010)02-0011-04

## 1 前言

莱钢型钢厂中型加热炉为多点供热的三段步进梁式加热炉,有效炉长为26 300 mm,内宽8 700 mm;加热炉以高炉、焦炉混合煤气为燃料,设计加热能力:热装130 t/h,冷装110 t/h;现使用坯料断面尺寸:240 mm×375 mm、275 mm×380 mm、320 mm×410 mm;加热温度为1 250~1 300 ℃,烧嘴形式为FHC-Ⅲ低NO<sub>x</sub>型,数量40个,其中均热段14个,加热段14个,预热段12个;侧出料、下排烟方式,加热炉本体设备采用开路循环水冷却,空、煤气双预热。加热炉与4#连铸机形成连铸—热送热装—连轧短流程生产工艺。

中型加热炉1998年设计制造,设计产能50万t/a,投产以来已安全稳定运行11 a。自2005年起年实际产能已超过100万t,超出设计生产能力的100%,到2008年底已累计生产型钢738万t。目前该加热炉炉况良好,炉体、耐火材料、步进设备、燃烧设备等主体设备运行正常,钢坯加热质量良好,燃料单耗稳定在0.97 GJ/t,各种热工参数均保持在正常水平,成为探讨长寿命加热炉及加热炉生命周期经济性相关问题的优秀案例。

加热炉生命周期分为设计建造、生产维护、报废、再循环4部分,其中影响加热炉使用寿命的是设计建造和生产维护两部分。本研究从设计建造和生产维护两部分分析延长加热炉使用寿命的措施。

## 2 加热炉的设计特点

1)一体化成熟设计。中型加热炉是中型型钢生产线的一部分,由新日本制铁株式会社(NSC)提供全部详细设计,在技术上负总责,并负责提供全套电

气控制及仪表控制设备、全套液压控制装备、加热炉烧嘴和步进机械设备。由莱钢负责其他机械设备、结构件的制作安装及基础土建。

该设计为新日铁公司成熟设计,与轧线采用一体化设计,其可靠性、稳定性、前后工序协调性均得到了充分保障,保证了该加热炉的建设使用均有成熟经验可以遵循,为加热炉的长期稳定运行打下了良好的基础。

2)空气、煤气双预热。空气、煤气双预热是中型加热炉的重要设计特点之一。一方面采用空气、煤气双预热可以有效利用废气中的热量,提高了加热炉的热效率;另一方面双预热可以明显改善高焦混合煤气在炉内的燃烧状况,保证了燃料的充分燃烧。上述两方面共同作用降低了加热炉的燃料需求量,减小了加热炉的燃烧强度,有效保护了烧嘴等加热炉关键部件。

3)隔墙及压下设计。中型加热炉采用三段式设计,预热段、加热段、均热段利用耐火砖隔墙和炉顶压下半开式隔离。隔墙和压下设计将炉膛分为3部分,加强了烟气的扰动,提高了传热效率,减少了热耗,对不同区域燃烧气氛和烟气温度的独立控制有重要作用,区域独立控制提高了区域燃烧气氛和烟气温度的可控性,利于降低预热段和其他热量需求小的区域对温度的要求,保护了烧嘴和炉体耐火材料,延长了它们的使用寿命。

4)侧向、纵向区域独立控制燃烧器相结合。中型加热炉上部预热段、加热段、均热段、下部均热段均采用纵向烧嘴,下部预热段、加热段采用侧向烧嘴,各区域烧嘴煤气、空气量均可以单独控制。采用这种设计在加热炉生产能力波动时能够保证炉内沿炉宽方向均匀供热,灵活调节供热分配,达到了区域热量供需平衡,避免了部分区域出现热量过多导致的超温现象,降低了热耗,保护了耐火材料。

5)耐热滑轨设计。中型加热炉加热过程中,钢坯不直接与步进梁接触,而是与步进梁上的耐热滑

收稿日期:2009-11-26

作者简介:陈来正,男,1964年生,1990年毕业于华东冶金学院热能工程专业。现为莱钢型钢厂高级工程师,从事热工工艺及热工材料与设备的管理与研究工作。

轨接触,耐热滑轨由优质耐热合金制作,分块由特制的卡件固定在冷却水管上。这种设计不但避免了钢坯黑印的产生,同时保护了步进梁冷却水管,延长了步进设备的使用寿命。

6)高温可塑料耐火材料主体。中型加热炉耐火材料主体由耐高温可塑料捣打而成,一体式结构,强度高,结构坚固,抵抗热冲击能力强,保温隔热效果好。高强度的可塑料主体是加热炉长期稳定运行的基础,同时保护了外部设备不受高温冲击。

7)严格的新炉烘烤操作。加热炉建成后,砌体和浇注料中含有大量的游离水和结晶水,而加热炉是在高温状态下工作,因此必须按照烘炉制度进行烘烤,使砌筑料中的水分完全析出直至加热至工作状态完全干燥。同时浇注料需要通过烘烤结晶达到一定的烧结强度并消除内部的应力。如果操作不当,浇注料会发生龟裂、膨胀、内应力等危害,影响加热炉的加热质量和使用寿命。中型加热炉建成后,按照浇注料特性,严格遵循烘炉曲线进行了加热炉烘烤,消除了耐火材料中的水分,浇注料结晶良好,

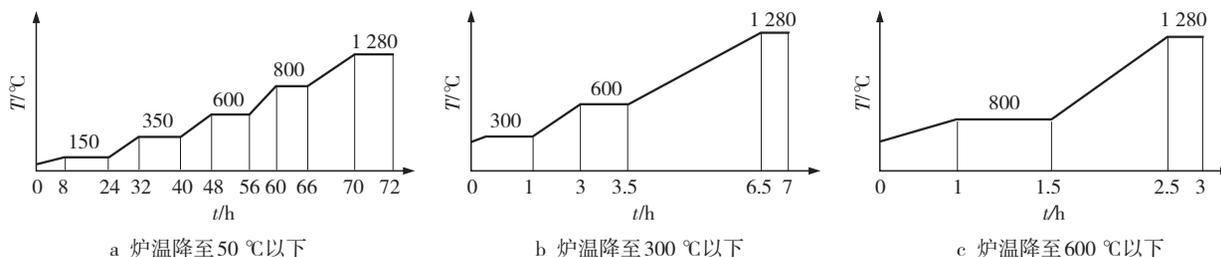


图1 加热炉降至不同温度重新点火时的烘炉曲线

3)建立《规格档案》,实现降温轧制。高温是造成加热炉耐火材料及相关设备损害的重要因素之一,温度越低,加热炉损伤越小,使用寿命越长。中型加热炉通过与轧机协调,在满足生产的前提下,尽可能降低钢坯出炉温度,按照工艺下限加热钢坯。对每个规格的加热温度进行跟踪记录,形成《规格档案》,实现了低温限轧制。这种工艺一方面节约了燃料消耗,另一方面也保护了加热炉耐火材料和设备,对延长加热炉使用寿命有明显效果。

4)净环水冷却。冷却水管金属腐蚀速度受水质及温度影响,温度越高、水中杂质含量越高金属腐蚀速度越快。中型加热炉步进设备、各辊道、上料机、出料机、液压设备及各仪表等高温环境中工作设备部件均采用净环水冷却,循环水量660 t/h。净环水冷却工艺降低了冷却水中各种离子及杂质的含量,降低了冷却水对加热炉设备的腐蚀强度,有利于各设备长期稳定运行。

5)洁净煤气。中型加热炉采用高炉、焦炉混合煤气作为燃料,高炉煤气及焦炉煤气中均含有大量的有害成分,直接使用会对加热炉煤气管道、燃烧

消除了内部应力,炉体结构坚固强度高,保证了加热炉长期稳定运行。

### 3 延长加热炉使用寿命的生产维护措施

#### 3.1 工艺措施

1)完善的工艺制度。中型生产线建成以后,莱钢组织专家和技术人员编制了《莱芜钢铁股份有限公司型钢厂中型生产线工艺技术规程》,本规程详细规定了中型加热炉的工艺方法、工艺流程、工艺标准、技术要求等各项工艺制度,保证了加热炉各项工艺操作有规章可循,有规定可依,确保了各项操作的准确性与合理性,使设备安全稳定运行。

2)合理的烘炉制度。按照点检定修制度,每年中型型钢生产线都要进行严格的停产检修。检修完成后,按照烘炉制度,加热炉炉温降至600℃以下后按照烘炉曲线(见图1)进行烘炉操作。这样保证了耐火材料在降温过程中吸收的水分和产生的内应力完全消除,保证了耐火材料维持原有的强度和抗热冲击能力,保证了加热炉长期稳定运行。

器、换热器等设备造成腐蚀。为了降低煤气中有害成分的含量,在运送前首先对煤气进行净化处理,同时中型加热炉换热器前及各区域烧嘴前均设有排污阀,排出煤气中夹带的水蒸汽及部分有害成分,最大程度地提高煤气纯净度,降低煤气的腐蚀性,保护了煤气输送及燃烧设备。

#### 3.2 管理措施

1)严格的人员管理。中型加热炉所有职工均通过莱钢型钢厂三级培训考核后进入工作岗位,并按照培训规划定期进行培训学习,员工思想进步、技能过硬、工作能力强。作为中型加热炉操作者的中型轧钢车间加热大班为型钢厂首批莱钢集团公司AAA级学习型班组,学习氛围浓厚,技能水平高超,从2000年以来,有20多人获得型钢厂技能比武大赛加热工技术状元及技术能手称号,是型钢厂能力突出的拳头团队。中型加热炉高素质的工作团队为各项工作顺利开展提供了人员保证。

2)严格的设备管理。为了保证设备的安全稳定运行,中型加热炉制定了完善的设备管理制度,保证操作控制人员随时掌握设备状态,当设备出现异常

时,维修人员能够及时解决。根据点检制度,加热炉区全部设备每班次由加热工点检2次以上,相关机械及液压设备、电气设备分别由钳工、电工再次点检,发现问题及时通报调度室并整合人员进行处理,将设备隐患消灭在萌芽状态,避免了重大设备事故的发生,确保了设备的稳定运行。

3)严格的工艺管理。中型加热炉投产同时,与中型加热炉相关联的工艺方法、工艺流程、工艺标准、技术要求得到了同步贯彻实施。以温度工艺为例,加热炉温度制度见表1(温差均为30℃)。

表1 中型加热炉加热温度制度

坯料规格/ mm	钢种	出钢 温度/℃	均热 温度/℃	加热 温度/℃
240×375	Q235、Q345、	1 200~1 240	1 200~1 280	1 200~1 280
275×380	SS400	1 200~1 250		
320×410	Q235、SS400	1 260~1 280	1 280~1 300	1 280~1 300
	Q345		1 280~1 320	1 280~1 320
240×375	GR50、SM490	1 180~1 230	1 200~1 250	1 200~1 250

按照加热炉工艺规程,不同规格、不同温度的钢坯采用相对应的加热温度,新规格、新品种开发时,新的加热工艺同步制定。这些措施保证了每种规格钢坯加热过程中都能得到最有效的加热,保证了加热炉负荷一直保持在在可承受范围内,提高加热质量的同时保护了加热炉各设备。

### 3.3 操作措施

1)三勤操作。加热炉生产过程中,工作人员贯彻执行“三勤操作”(勤观察、勤调整、勤联系)要求,根据炉内状况、前后工序状况和煤气情况随时调整加热炉煤气流量、空气流量、炉压、装炉制度等各项操作参数,使加热炉保持在最佳工作状态,即在保证生产、保证安全前提下消耗尽可能少的煤气,控制在尽可能低的温度下。“三勤操作”模式是加热炉操作的精髓所在,是加热炉各项工作中都应遵循的一个原则,对加热炉各项工作的开展都有借鉴意义。

2)火焰长度控制。中型加热炉烧嘴火焰长度可调,通过调节与助燃风机相连的中心风阀门开口度可以调节中心风的压力,同时调整助燃空气使用量也会影响中心风压力进而影响烧嘴火焰长度。

部分情况下受助燃风量需求变化的影响,中心风压力过高或过低都会造成炉内温度分布不均匀,甚至产生火焰冲刷钢坯、步进梁或者隔墙的情况,对加热炉造成极大损伤。在日常操作中,工作人员一定要随时注意火焰的喷射方向和喷射长度,确保火焰高温区在理想的空间区域内,杜绝火焰冲刷加热炉设备和钢坯的情况,保护加热炉设备。

3)柔性升降温。骤然升降温对加热炉耐火材料及设备都会造成很大的热冲击,骤冷骤热过程中由

于加热炉各设备材料及温差变化不一致会造成变形差异,这些差异的存在会导致各设备、各材料相互之间及其内部产生内应力,当内应力超过材料本身的承受能力时,加热炉会出现耐火材料龟裂破碎、设备之间紧密性下降甚至变形的情况。

为了杜绝这些情况的发生,加热炉在升降温过程中一直执行柔性升降温制度,即控温降温和控温升温,控制加热炉温变速度,杜绝内应力过大现象的产生,保护了加热炉设备。

4)严格控制烟气温度。加热炉烟气完成加热钢坯任务后仍具有较高的温度,中型加热炉利用这部分烟气的余热预热空气及煤气,但是烟气温度并不是越高越好,一方面受换热器材料限制,过高的烟气温度会大大加快换热器金属构件的腐蚀速度,另一方面过高的烟气温度会导致煤气预热温度过高造成安全隐患。在加热炉生产操作中,相关人员通过调节烟道闸板开口度及稀释风机开口度严格控制换热器前烟气温度,使之不高于850℃,保护了换热器及气体管道,延长了他们的使用寿命。

5)提高热装率。比较加热炉冷装及热装条件下的热输入(见表2)可知,在两种不同的装炉条件下,钢坯对加热炉燃料燃烧热的需求差别很大,冷装条件下燃烧热需求是热装条件下燃烧热需求的200%,即冷装条件下燃烧负荷是热装条件下的2倍。可见提高钢坯热装率对降低加热炉燃烧负荷具有明显影响。中型加热炉在生产过程中,保持与炼钢4#连铸机高度协调,尽可能达到加热速度与4#机热送速度相一致,提高热装率,降低加热炉热负荷,减轻加热炉各设备工作压力,保护了加热炉设备。

表2 加热炉热输入 kJ/kg

项目	燃料 燃烧热	燃料 显热	氧化铁皮 生成热	助燃空气 显热	坯料 显热	余热 回收	合计
冷装	1 354	65	45	13	10	235	1 722
热装	665	30	45	6	501	107	1 354

### 3.4 维护措施

1)点检定修。中型加热炉维护过程严格遵守点检定修制度,每班次对加热炉可视设备进行细致的点检并将检查结果记录在《加热炉设备点检表》上,动态掌握加热炉现状;每年还会根据生产状况安排年修,对加热炉进行彻底检查检修,不放过细枝末节的缺陷,修补破损材料,更换老化及损伤部件,确保加热炉设备整体保持在良好的工作状态。

2)耐火材料维护。为了进一步提高加热炉的热效率,降低加热炉工作温度及排烟温度,保护加热炉辊道、受热件、热电偶、换热器等设备,对加热炉耐火材料进行了修补和补充。

2006年开始在炉子内壁上贴制1层厚度为40

mm的多晶莫来石耐火纤维砖来优化炉子工艺技术。多晶莫来石纤维具有质量轻、耐高温、热导率低、储热量少、抗热震性好、化学性能稳定等优点,可按需要加工各种异形件,对提高加热炉热阻有明显作用。

本次选用的多晶莫来石耐火隔热纤维制品型号

为OSM-PMF-100(PMF1600),厚度40 mm;成分:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 72%~75%,(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+SiO<sub>2</sub>)99.6%,Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.073%;性能:加热收缩率(1 500 ℃×24 h)≤1%,容重100 kg/m<sup>3</sup>,比热1.24 kJ/(kg·K),导热系数(1 400 ℃)0.387 W/(m·℃),使用温度≤1 500 ℃。

贴制前后生产数据对比见表3。

表3 贴制前后煤气单耗与月产量对比

项 目	贴制前(2007年)							贴制后(2008年)						
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	平均	1月	2月	3月	4月	5月	6月	平均
煤气单耗/(GJ·t <sup>-1</sup> )	1.10	1.08	0.99	1.00	1.01	1.06	1.04	0.91	1.04	0.92	0.96	0.91	0.90	0.94
产量/万t	9.10	8.60	8.82	9.00	9.28	8.42	8.87	9.20	7.63	8.50	8.90	9.41	9.21	8.82

从表3可以看出,贴制多晶莫来石耐火纤维砖后,煤气单耗最大为0.96 GJ/t,较贴之前有明显的下降。这表明加贴多晶莫来石纤维后加热炉热负荷明显下降,减小了对加热炉各设备的工作压力,保护了加热炉。

2007年4月大修期间,在加热炉预热段喷涂高温辐射涂料,并对喷涂前后各部位温度进行对比(生产同一规格:H346×174),结果见表4(平均温度)。

表4 喷涂高温辐射涂料前后各部位温度/℃

项目	喷涂前(3月28日)			喷涂后(4月14日)		
	热电偶值	内壁温度	外墙温度	热电偶值	内壁温度	外墙温度
均热段	1 280	1 255	282	1 279	1 259	278
加热段	1 278	1 264	273	1 283	1 265	275
预热段	1 195	1 190	274	1 206	1 230	246

由表4可知,喷涂高温辐射涂料改善了传热环境,加热炉外墙温度明显降低(如预热段由274 ℃降为246 ℃),有效降低了炉墙散热,不仅可以降低燃料消耗量又能较好地保护加热炉外围设备,延长它们的使用寿命。

3)氧化铁皮及时清理。加热炉生产过程中不可避免地会产生氧化烧损并造成氧化铁皮在加热炉底积聚,氧化铁皮大量堆积以后会改变加热炉空间结构,恶化煤气燃烧环境,降低加热炉传热效果,甚至落入水封槽损坏刮渣板。中型加热炉在长时间检修时组织人员清理炉底氧化铁皮,使炉内空间尽可能达到原设计要求,保证各设备正常运转。

#### 4 加热炉生命周期经济性分析

分析加热炉生命周期经济性必须统筹考虑加热炉生命周期各个阶段的经济性,而加热炉生命周期为单循环,因此其生命周期经济性与各阶段经济性具有线性可加的特点。

加热炉生命周期分为设计建造、生产维护、报废、再循环4个阶段,其中报废及再循环阶段经济价值变化微小且对整体影响不大,故可以忽略不计,本研究仅对加热炉设计建造和生产维护两个阶段生命

周期的经济性进行分析。

##### 4.1 支出项分析

加热炉费用支出主要包括初期建设投入支出与日常生产维护支出两部分。

加热炉设计建造总支出是与时间无关的固定值,但是在该加热炉使用周期内计算其年均设计建造支出则与使用年限成反比。例如:假定1座加热炉设计建造费用5 000万元,如果该加热炉使用5 a,即年均设计建造费用为1 000万元;如果该加热炉使用10 a,则年均设计建造费用只有500万元。分析可知,年均支出才是加热炉经济性分析中设计建造支出的可比项。

通常情况下,加热炉使用时间越长年均日常维护费用越大,但维护费用较高时出于经济性和安全性考虑,一般会将该加热炉淘汰,生产维护阶段加热炉日常维护费用通常相差不大,此处不予分析,假定加热炉使用过程中年均维护费用不变。

因此,加热炉年均费用支出=总设计建造费用/使用年限+年均维护费用。显然,加热炉使用寿命越长,从加热炉支出项分析,加热炉经济性越高。

##### 4.2 收入项分析

在设计建造阶段,加热炉是不会产生效益的。而加热炉建设周期长,通常需要几个月时间,加热炉建设期间整条生产线都无法生产。由于本课题考虑加热炉生命周期经济性,故本计算时间跨度包含加热炉整个生产维护阶段。

假定正常生产时生产线每月创造效益W万元,加热炉设计建造需要M个月,加热炉寿命为N年,则在R(R≥H,即包含整个生产维护阶段的时间跨度)月内生产线创造的总收入S为:

$$S = RW - \{ [R / (12N)] + 1 \} \times M \times W; \text{ 年均收入} = S / N.$$

因此,加热炉使用寿命N越长,从加热炉收入项分析加热炉经济性越高。

综上分析可知,加热炉使用寿命越长,其设计建造及生产维护阶段经济性越高,其全生命周期经济性也越高。

(下转第16页)

温度不低于65℃。使煤粉的流动性得到进一步提高,便于喷吹。

### 2.3 提高喷吹罐压

由于喷吹罐充压用氮气压力较低(0.55~0.62 MPa),不能满足喷煤需要,将喷吹用压缩空气(压力0.70~0.77 MPa)管道与氮气管道部分互通,可将氮气压力提升至0.65~0.70 MPa,但喷吹用压缩空气压力降为0.68~0.72 MPa。2009年5月经协调将氮气压力提高至0.68~0.73 MPa,基本保证了喷煤所需氮气压力。降低补气流量,浓相喷吹,补气流量降为100~150 m<sup>3</sup>/h,最低为90 m<sup>3</sup>/h,固气比可达72 kg/kg。高炉全风口喷煤,实现广喷、匀喷。确保小时喷煤量准确,通过及时核算和调整,将小时喷煤量误差控制在喷煤量的3%以内。

## 3 改造效果

经过提高磨机台时产量,提高磨机出口温度,提高氮气压力,降低补气流量,广喷、匀喷,各高炉小时喷煤量提高了2 t左右。期间高炉喷煤比提高的同时,降低了焦比、燃料比。2009年3~8月青钢高炉燃耗指标见表1。

表1 2009年3~8月青钢高炉燃耗指标 kg/t

月份	焦比	煤比	焦丁比	综合焦比	燃料比
3月	360.14	142.92	21.66	490.722	524.72
4月	355.05	157.27	17.59	494.054	529.90
5月	337.48	167.39	23.48	488.990	528.35
6月	324.72	169.46	28.61	481.890	522.99
7月	344.11	157.57	31.80	494.010	533.48
8月	333.35	166.61	28.89	488.300	528.85
平均	342.48	160.20	25.34	489.660	528.05

## 4 存在的问题

提高喷煤量以后,在喷吹能力极限情况下操作,喷煤系统同时也表现出一些异常现象,主要表现为:1)不同的喷吹罐(各喷吹罐形状、大小一致)在相同罐压、相同补气阀开度下补气流量不同,喷吹罐充压时间也不一样,造成短时间喷吹量的波动。2)喷吹罐内煤粉喷完后须将罐内压力放散至<10 kPa才能重新装煤粉,转至备用罐,喷吹量提高以后,罐压只能放散至50 kPa,否则将影响装煤粉,高罐压装煤粉易将煤粉仓顶破,造成煤粉泄露,浪费煤粉和污染环境。因此,还需要对设备、检测和自动化系统进行改造。

## Practice of Increasing Coal Injection Rate of Qingdao Steel's BF

LI Yong-lin, GUAN Zun-wei, YUAN Ting-wen, LIU Ai-min, JIANG Zuo-qiang

(Qingdao Iron and Steel Holding Group Co., Ltd., Qingdao 266043, China)

**Abstract:** By transforming the below coal tube of raw coal bunker and enhancing the pinch of roller, the grinding capacity raised 12~18 t/h. The performance of coal powder was improved by controlling the granularity, water and temperature of the coal powder. And by enhancing the pressure of nitrogen and the pressure of spray pot, playing down flux of renew gas and wide and equal injection so on, the pulverized coal injection quantity of every BF raised 2 t/h, reducing the cost of fuel.

**Key words:** blast furnace; pulverized coal injection; coal ratio; coke ratio

(上接第14页)

## 5 结论

5.1 加热炉长寿命安全稳定工作是可以人为因素实现的,延长加热炉使用寿命的影响因素包括

设计建造、生产维护工艺措施、生产维护管理措施、生产维护操作措施、生产维护维护措施五大方面。

5.2 加热炉的经济性与加热炉的使用寿命有关,且加热炉使用寿命越长其生命周期经济性越高。

## Research of the Long-life Reheating Furnace and the Analysis of Its Life-cycle Economy

CHEN Lai-zheng, SUN Peng-peng, ZHENG Jun, WANG Jian-fan

(The Section Plant of Laiwu Iron and Steel Co., Ltd., Laiwu 271104, China)

**Abstract:** This article introduced the design features of the walking beam furnace in the medium section line in Laiwu Steel Section Plant and the production maintenance measures to prolong the service life of the furnace, and analyzed the life-cycle economy of the furnace. The furnace adopted a series of advanced design concepts, such as, integrated design, double preheating technology for air and gas, partition and depressing design. The service life of the furnace was extended by implementing reasonable process measures, management measures, operation measures and maintenance measures, improving its life cycle. The furnace has been safely running for eleven years.

**Key words:** walking beam furnace; long life; Life cycle; economy