包钢宽厚板加热炉节能实践*

徐建东，赵 超，张大治

（内蒙古包钢钢联股份有限公司薄板坯连铸连轧厂，内蒙古 包头 014010）

摘 要： 针对包钢宽厚板生产线加热炉燃耗高等问题，文章主要分析了影响加热炉燃耗的 6 个因素，包括生产效率、燃烧效率、废气热量损失、炉表散热损失、板坯热量回收、板坯出炉温度。通过减少供热能力、增强保温、改善空煤气混合方式、提高板坯入炉温度、降低板坯出炉温度、优化待轧降温制度及稳定炉膛压力等 7 项整改措施，加热炉燃耗得到大幅降低。

关键词： 加热炉；节能

中图分类号： TF068 **文献标识码：** B **文章编号：** 1009－5438(2017)05－0041－04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.05.012

Energy Saving Practice on Heating Furnace of Heavy Plate in Baotou Steel

XU Jian－dong, ZHAO Chao, ZHANG Da－zhi

(*CSP Plant of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp.*, *Baotou* 014010, *Nei Monggol*, *China*)

Abstract: In view of the high fuel consumption for heating furnace in heavy plate production line of Baotou Steel, in the paper it is mainly analyzed six factors that affect the fuel consumption of heating furnace, including production efficiency, combustion efficiency, waste gas heat loss, furnace surface heat loss, slab heat recovery and slab discharge temperature. The fuel consumption of heating furnace is greatly reduced through seven rectification measures, such as reducing heating capacity, enhancing heat preservation, improving air gas mixing way, increasing slab charging temperature, decreasing slab discharge temperature, optimizing the cooling system for slab to be rolled and stabilizing furnace pressure.

Key words: heating furnace; energy saving

近几年中国钢铁工业发展非常迅速，生产规模和产品档次都接近世界先进水平，但是吨钢制造所需能耗控制水平却比较落后，还处于高耗能粗放式大规模生产。为了实现钢铁工业可持续发展，国务院出台了“节能减排，钢铁产业结构调整，淘汰落后产能”的政策。在此引导下，多数先进钢厂开始向低能耗、清洁环保、高附加值产品方向发展。对于一般轧钢厂来说，能耗最大的是加热炉，工序能耗比例占 70% 左右，污染气体排放比较严重。包钢宽厚板 4 100 mm 轧机生产线于 2007 年 10 月 28 日投产，配套有 1 座推钢式和 2 座步进式，共 3 座连续式加热炉，加热能力 410 t/h，装出钢方式为端进端出，钢坯规格 250 mm×2 200 mm×3 100 mm，燃料为焦转混合煤气，采用常规空气预热烧嘴加热技术。

1 存在问题

1.1 加热炉利用率低

3 台加热炉设计的额定产量为 410 t/h。实际生产过程中，由于精整线的能力不足和宽厚板市场的原因，设计加热能力不能较好发挥。板坯在炉加热时间平均都在 6 h 以上，3 座加热炉平均小时产量 180 t/h，最大产量 300 t/h，平均利用系数 0.44，最大利用系数 0.73。板坯在高温下保温时间过长，平均氧化烧损达到 1.3% ~1.5%，废气温度平均 500 ℃

* 收稿日期：2017－06－30

作者简介：徐建东(1979－)，男，内蒙古包头市人，工程师，现从事热工技术工作。

以上，助燃热空气经常出现高温报警，热风放散固定20%的开度，烟道掺冷风机一直处于运行状态，助燃空气预热器保护管组2年更换一次。

1.2 助燃空气过剩量大

设计加热能力大，实际轧制节奏缓慢，产量低加热负荷较小，板坯在炉内吸热量偏低，近50%的热量被废气带走排放到大气中。一般正常轧制生产时，煤气流量调节范围只有设计流量的30%；事故待轧时，煤气调节阀关到最小10%，炉膛温度不能降低到目标值，只能靠增加助燃空气过剩量来降低火焰温度和炉膛温度，热平衡测试3座加热炉实际残氧量超过5%[1]。

1.3 炉顶外表温度高

设计加热炉炉顶部位砌筑耐火材料与厚度：致密高铝浇注料230 mm，硅酸铝纤维毡(RT) 30 mm，纤维浇注料(0.6) 70 mm，总厚度330 mm。经测温枪检测，炉顶外表温度均超标，详见表1。部分烧嘴周边和U形压火梁锚固件的周围，有漏红和热气外溢的现象。

表1 加热炉表面温度 ℃

外表面散热温度	炉顶实际温度	国标要求温度[2]
均热段	144	≤140
加热段	152	≤140
预热段	109	≤105

1.4 燃烧温度不均匀

宽厚板加热炉燃烧器有常规式平焰烧嘴和调焰烧嘴两种类型，炉顶使用平焰烧嘴，炉墙使用调焰烧嘴。烧嘴燃料为转炉和焦炉混合煤气，热值(7 942±500) kJ/m^3，压力(8 000±500) Pa；烧嘴空气为经过废气预热的热空气，热风温度为400～450 ℃。调焰烧嘴正中心位置是冷风通道，助燃风机加压的冷风未经过空气预热器直接到烧嘴；其四周有一根煤气通道，煤气在烧嘴出口圆周等分成6部分；在煤气通道的外圈是带有旋转导流装置的热风通道，此通道火焰为短焰；在短焰通道的外圈是长焰热风入口，即烧嘴的最靠外边缘，出口有6个，等分分布在烧嘴的周边，见图1。经过长期的观察发现，调焰烧嘴在短焰状态下，烧嘴砖发黑，且板坯沿长度方向温度不均匀。

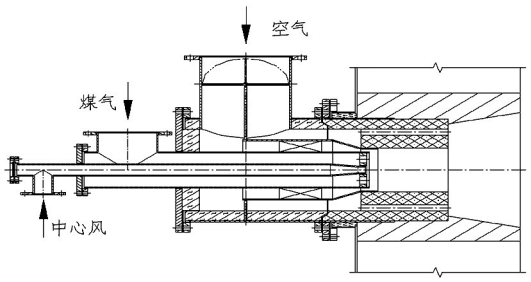


图1 调焰烧嘴示意图

1.5 板坯入炉温度低

宽厚板生产线品种多，档次高，规格复杂，厚度范围8～130 mm，强度范围195～890 MPa，多数使用在大型建筑、大型机械和高危环境下，是板材质量要求最高的生产线。实际生产中，由于受热装钢板表面裂纹的影响，大量高温铸坯切割下线后在板坯库进行缓冷。经检测，板坯最高入炉温度只有100.9 ℃，而连铸坯直接入炉表面温度可达到700 ℃左右，钢坯的显热没有被充分利用。

1.6 出炉温度高

高强钢化学成分见表2。

表2 高强钢设计化学成分(质量分数) %

C	Si	Mn	Nb	V	Ti	Cr
0.08～0.10	0.35～0.45	1.70～1.8	0.050～0.060	0.05～0.06	0.010～0.020	0.23～0.33

在实际生产中，大量的数据证明，Si含量较高的钢质，只有出炉温度达到1 230～1 250 ℃，才能保证一次氧化铁皮除鳞干净[3]。目前钢种成分设计，60%的钢种w[Si]均在0.35%以上，所以为了保证板坯除鳞干净，炉膛温度控制均在(1 275±20) ℃，剩下40%的低Si钢种炉膛温度均在(1 200±20) ℃。

1.7 待轧降温制度

事故待轧，炉膛降温幅度小，提温时间太长[4]。其待轧降温制度见表3。

表3 待轧降温制度表

待轧时间/h	提温时间/h	一加炉膛降温/℃	二加炉膛降温/℃	均热炉膛降温/℃
≤1		0	0	0
≤2	1.0	-30	-30	-30
≤3	1.5	-60	-60	-60
≤4	2.0	-100	-100	-100
≤8	4	关烧嘴	1 000	1 000

1.8　炉压控制

装钢和出钢过程中，炉膛压力波动范围在 1 ~ 15 Pa，设定目标压力 8 Pa，炉膛温度随之波动 20 ℃左右。当炉门打开时，炉膛压力随之减小到 1 Pa，炉温降低 20 ℃；当炉门关闭时，炉膛压力随之增大到 15 Pa，炉温升高 20 ℃。炉膛温度波动导致板坯出炉温度精度差，管线钢板坯加热质量受到影响。当炉膛压力降到 1 Pa 时有吸冷风现象，加剧了板坯氧化烧损；当炉膛压力升高到 15 Pa 时，炉门出现窜火炉气外溢，炉顶缝隙增大漏红溢气窜火。

2　节能措施

2.1　提高加热炉利用率

为了解决设计加热能力过大，实际加热负荷过小，导致燃耗高的问题，我们停了一座推钢式加热炉，使用两座步进式加热炉生产，然后根据不同品种规格的生产节奏，再停一加热段一半的烧嘴，使得预热段延长 25%，当热装率较高时，使用一台步进式加热炉提高产量满足轧机生产。经过计算与当前实际产量相吻合，加热炉平均利用系数达到 0.78（国家标准加热炉利用率，2 座时 0.80 ~ 0.75，3 座时 0.75 ~ 0.70），单炉热装最高利用系数可达到 0.80。应用到实际生产之后，板坯烧损可达到 1%，废气温度平均降低了 100℃，助燃空气不再出现高温报警，热风放散无需打开，烟道参冷风机不再启动，助燃空气预热器保护管组寿命延长到 4 年更换一次。在炉膛温度升降时，煤气流量可调节范围较大，无需用助燃空气的过剩量来控制炉膛温度。引入热值仪在线检测数值后，空燃比自动控制，空气过剩系数1.05 ~ 1.15。空气使用量减少了，助燃风机停 1 台，由原来的 3 用 1 备调整为 2 用 2 备，板坯烧损减少了0.3% ~ 0.5%，废气量减少了 30%。

2.2　降低炉表散热损失

加热炉炉顶耐火层的厚度受炉顶钢结构强度的限制无法再增加，只能采取加强保温和密封的措施降低外表温度。加热炉中修时，炉墙和炉顶内壁粘贴了“莫来石纤维贴面块”，纤维外表喷涂了远红外高温涂料[5]，烧嘴周边和 U 形压火梁锚固件周围漏红部位，采取浇注料粉料和水玻璃或稀释磷酸（磷酸与水 1∶1 混合）搅拌成糊状，热态时浇灌到缝隙内密封，炉内保温效果和辐射黑度均得到了提高，检测数据见表 4。

表 4　改善后加热炉炉顶表面温度　　℃

外表面散热温度	炉顶实际温度	标准要求温度
均热段	120	≤140
加热段	125	≤140
预热段	90	≤105

2.3　改善燃烧温度不均匀

针对烧嘴砖发黑，板坯长度方向温度不均匀的问题，将调焰烧嘴短焰混合方式改为长焰混合，且增加中心风二次助燃，观察烧嘴砖变亮，火焰长度明显变长，板坯长度方向的温差大幅减小。燃烧效率得到了有效改善，炉膛温度得到了提高。

2.4　提高板坯装炉温度

经过研究实验，利用高温板坯表面淬火冷却技术[6]，解决了钢板表面热装裂纹缺陷，实现了高温板坯直接热装批量生产。现在月平均热装比例最高可达到 72%，装炉板坯平均表面温度达到 450 ℃，成熟的钢种有普碳钢、锰钢、风电钢和部分低合金结构用钢，及不要求机械性能的优质碳素结构钢，轧制厚度规格从 8 ~ 60 mm，成品机械性能和表面质量都满足客户要求。

2.5　降低出炉温度

具体通过调整钢质的化学成分，达到降低出炉温度的目的，调整后化学成分见表 5。

表 5　调整后的化学成分（质量分数）　　%

C	Si	Mn	Nb	V	Ti	Cr
0.08 ~ 0.10	0.18 ~ 0.28	1.60 ~ 1.7	0.050 ~ 0.060	0.05 ~ 0.06	0.010 ~ 0.020	0.23 ~ 0.33

降低出炉温度是节约燃耗的直接手段，而 Si 含量是降低出炉温度的主要制约因素。通过优化成分设计，跟踪产品性能的稳定性，实现了 w [Si] 降低到 0.3% 以下的目标。板坯出炉温度降低了 30 ~ 50 ℃，一次氧化铁皮除鳞率提高到了 98%，完全满足钢板机械性能和表面质量要求。

2.6　优化待轧降温制度

遇到待轧情况，及时足量地减少燃料供给量，而当待轧结束时，恢复正常供热所需煤气量。要实现出炉钢温的准确控制，以提高加热质量，同时最大限度地节能。对于钢坯出炉温度来说，通过控制燃料流量来控制钢坯温度，可以避免炉温设定值控制中热电偶温度的滞后性，优化后的待轧降温制度表见表 6。

表6 优化后的待轧降温制度表

待轧时间/h	提温时间/min	加热段/%	均热段	混煤热值/(kJ·m^{-3})
0.5	开轧后提温	流量减10%	流量不变	8 360
1.0	提前20	流量减20%	流量减10%	7 942
2.0	提前40	流量减30%	流量减20%	7 524
3.0	提前60	流量减40%	流量减30%	7 106
4.0	提前60	流量减50%	流量减40%	7 106
4.0~8.0	提前120	上下烧嘴关	阀开度10%	4 050
8.0~16.0	提前180	上下烧嘴关	下烧嘴关闭	4 050

2.7 减小炉膛压力波动范围

装出钢过程炉膛压力波动受炉门开启和烟道闸板调节影响波动大。烟道闸板调节炉膛压力改为模糊控制,且具有前置控制功能,见图2。采用比例系数和积分时间双重调节,收敛速度快,超调小且抗干扰能力强,烟道闸板运行平稳。再加自动前置控制,炉门开的动作启动时,炉压设定值增加5 Pa,炉门开到位后,炉压设定值减5 Pa;炉门关的动作启动时,炉压设定值减5 Pa,炉门关到位后,炉压设定值增加5 Pa。炉压波动范围从1~15 Pa减少到6~10 Pa,不进冷风,不窜火、不外溢炉气,炉膛温度得到了稳定控制。即节约了能源,保证了加热质量,又保护了炉体。

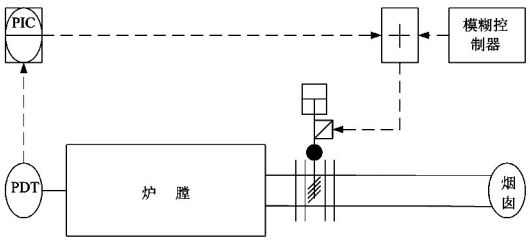


图2 炉膛压力模糊及前置控制程序图

3 应用效果

通过以上措施的实施,加热炉平均利用系数达到了0.78,2017年1—4月份吨钢煤气燃耗均超过历史最好成绩,平均吨钢煤气消耗降低10.15元/t,4月份最低达到34.87元/t;废气温度平均降低100 ℃,废气量减少了30%,炉膛温度平均降低30 ℃,炉顶外表温度平均降低25 ℃,平均装炉温度提高到450 ℃,降低氧化烧损0.3%。

4 结论

(1)不断提高加热炉的生产效率,最大可能减少燃料的空耗;提高炉体保温效果,减少散热损失;优化空煤气混合方式,提高燃料的燃烧效率;提高板坯入炉温度,回收铸坯自带的热量;优化钢种化学成分,降低板坯出炉温度,满足轧制要求;制定合理的待轧降温制度,减少事故状态下燃料空耗;提高自动化控制水平,减少人为操作调节不及时导致的浪费。

(2)烟气排放前只进行了空气预热,剩下400 ℃的余温还可以再利用,譬如煤气预热、蒸汽过热、引入低沸点工质发电等;全部钢种都采用连铸坯直送技术,板坯装炉表面温度700 ℃,心部温度850 ℃,在宽厚板实现连铸连轧技术。

(3)从板坯加热模型入手,实现二级全自动控制加热。先用“黑匣子”测试技术校准二级模型板坯计算温度,然后投入二级自动控制模型,根据板坯入炉温度、加热时间、板坯抽出温度和轧机返回温度,二级自动计算各段所需炉膛温度,并根据轧机反馈数据进行自动优化设定参数。

参 考 文 献

[1] 曾有文. 轧钢加热炉空气消耗系数的影响及控制[J]. 工业加热,2005,34(3):61-63.
[2] GB/T 15319—94,火焰加热炉节能监测方法[S].
[3] 中村. 板坯加热时氧化铁皮的高温剥离性[J]. 宽厚板,1997,3(6):42-45.
[4] 杨宗山. 连续加热炉供热最优控制[J]. 冶金能源,1992,11(6):37-41.
[5] 曾正明. 工业炉修理手册[M]. 北京:机械工业出版社,1997.
[6] 王秉铨. 工业炉设计手册[M]. 北京:机械工业出版社,1996.