

首钢高强度机械用钢生产线分段步进式 加热炉的技术设计

苗为人 戚开民 陈国海

(北京首钢国际工程技术有限公司,北京 100043)

[摘要] 本文简要介绍了分段步进式加热炉在炉型、主要设备、燃烧系统、控制系统方面的技术特点。

[关键词] 分段步进式 加热炉 节能

TECHNIQUE OF SHOUGANG HIGH - STRENGTH WALKING - BEAM SUBSECTION FURNACE

Miao Weiren Qi Kaimin Chen Guohai

(Beijing Shougang International Engineering Technology CO., LTD, Beijing 100043)

[Abstract] Technique of walking-beam subsection furnace in the furnace profile, mostly equipment, combustion system and control system were briefly introduced in the paper.

[Key words] walking-beam subsection furnace, heating furnace, energy-saving

1 概述

首钢高强度生产线年产50万吨精品棒材,是首钢实施产品结构调整的一项重要工程。该工程从2004年初开始进入项目的前期准备阶段,轧线部分引进奥钢联波密尼公司的整套技术。加热炉区部分由首钢设计院负责总承包。

首钢高强度生产线配套采用侧进侧出上下加热分段步进梁式加热炉。2004年6月份开始施工图设计,9月初加热炉部分所有图纸全部发完,12月底开始加热炉设备安装。2005年6月21日正式点火烘炉,8月9号加热炉正式出第一根红钢。

2 加热炉技术参数

炉型:侧进侧出分段步进梁式加热炉

加热炉有效面积: $28.96 \times 10 = 289.6 \text{ m}^2$

加热能力: 140 t/h

加热坯料: $180 \times 180 (200 \times 200) \times 10000 \text{ mm}$

加热钢种: 优碳钢、冷墩钢、合结钢、齿轮钢、弹簧钢、轴承钢等

钢坯温度: 装炉温度:常温; 出炉温度: 950 ~ 1050°C

出炉钢坯温度差: $\leq 20^\circ\text{C}$ (长度和截面方向)

燃料: 混合煤气 $2000 \times 4.18 = 8360 \text{ kJ/Nm}^3$

空气预热温度: $450 \sim 500^\circ\text{C}$

装出料辊道中心距: 28960 mm

加热炉内宽: 10788 mm

加热炉全长: 30488 mm

加热炉外宽: 11716 mm

3 加热炉的基本设计思想和技术措施

钢坯断面尺寸较大,而且加热钢种多,钢坯加热温度控制要求高,这是本次加热炉设计中要考虑的几个重要因素。综合考虑以上因素,最终加热炉考虑采用侧进侧出上下两面加热分段步进梁式加热炉,配备先进、高效、可靠的电控及仪表控制系统。加热炉设计中主要采用的技术措施如下:

①采用合理、简单及有效的炉型结构。按照节能型炉子要求确定加热炉炉长,合理分布加热炉各段炉长。

②在炉子预热段与加热炉、加热段与均热段之间炉底设置隔墙,炉顶设置压下,以便单独控制各段炉温,并利于控制加热炉炉压。

③在加热的钢坯与水冷支撑梁之间,采用等高

度而材质不同的耐热垫块，水梁在均热段及加热段之间断开并错位。这样既可以大大消除钢坯与支撑梁接触处的黑印，并缩小接触处和两个支撑梁间钢坯表面的温差；又可以缩小投资成本。

④在加热炉烟道上设置带插入件的金属管状空气预热器，将助燃空气预热到 450~500℃，以回收出炉烟气带走的热量，降低燃料消耗量。由于煤气是采用的高焦转混合煤气，含杂质比较多，因此没有采用煤气预热器。

⑤合理配置水冷支撑梁及立柱以减少水冷管的表面积。支撑梁及立柱采用耐火棉纤维毡及自流浇注料的双层绝热，水冷梁采用汽化冷却系统运行，这些都可以大大减少冷却水的吸热损失和冷却水的用量。

⑥加热炉炉前和炉顶工作层采用低水泥浇注料整体浇注，根据不同温度段使用不同牌号的低水泥浇注料；采用高绝热性能的耐火纤维毡保温，炉顶表层再涂抹一层保温膏，使整个炉顶的密封性更好，减少散热损失。炉内多晶莫来石贴面块和高温节能涂料的应用有效降低炉体散热，节约燃料，改善操作环境。

⑦炉底设置两套双轮斜轨式步进机构，各采用一对提升液压缸，整体采用一个平移液压缸，两套步进结构之间通过可以相对位移的装置进行连接，从而可以实现两套步进机构之间单独动作，又可以实现其同时动作，从而满足不同的钢种加热情况下的不同步进机械动作需求。该机构带有良好的升降框架和平移框架的定心装置，步进机构易于安装调整，维修量少，运行可靠。

4 坯料运行过程综述

加热炉坯料采用炼钢厂提供的连铸坯。经检查、清理后的合格连铸坯，由吊车从坯料堆放场吊运至步进式上料台架；再由步进式上料台架通过移钢小车移送到入炉辊道；钢坯在入炉辊道上完成测长、称重，合格钢坯由入炉辊道及炉内入料悬臂辊道送入加热炉，并控制辊道速度使钢坯按布料图在炉内装料悬臂辊道上准确定位；超长或弯曲过大等不合格的钢坯由废钢剔除机构剔出并收集后运走。然后对齐推钢机前进，将钢坯推齐并向前推一定距离，完成钢坯的沿炉长方向定位，对齐推钢机返回原位置。对齐推钢机行程由 PLC 根据钢坯布料图计算设定。

坯料入炉根据钢坯布料图完成沿炉宽方向和炉长方向的定位后，步进梁（两段步进梁同时）开始动

作。首先提升液压缸推动提升框架下部 12 个滚轮沿斜轨向上运动，这时平移框架不动，提升框架上升，步进梁将坯料托起至上极限位置。然后，提升框架不动，平移液压缸牵引平移框架前进一个步距，最后以同样的方式完成下降和后退的动作。步进梁下降过程中，将钢坯放到固定梁上，步进梁在下位返回原始位置，完成一个步进动作。如此经多次循环，钢坯从装料端一步步移向出料端，同时完成其加热过程，根据坯料截面尺寸的不同，步进梁设计有两种步距，分别为 280 mm 和 300 mm。在轧线事故延迟，或因产量要求低，步进循环之间的间隔时间较长时，步进梁自动定位，保持与固定梁等高，此时坯料由所有水梁支撑，避免产生弯曲。另外，根据需要，步进梁可实现手动逆循环，将炉内坯料一步步从装料端退出炉外。

坯料到达出料端，步进梁将坯料自动放入处理出料悬臂辊上，打开出料炉门，高速启动出料悬臂辊道坯料出炉。

5 炉型

加热炉炉型结构如图 1 所示。

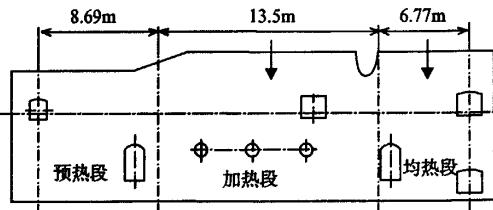


图 1 步进梁式加热炉炉型结构示意图

加热炉有效长度 28.96 m，内宽 10.6 m，加热炉沿炉长方向分预热段、加热段和均热段三部分，各段长度见上图。其中预热段约占整个炉长的三分之一，这样可以较大限度的回收烟气中的预热。

在炉型设计中，预热段炉顶下压，预热段和加热段之间炉底设有隔墙防止热量从加热段直接辐射到预热段，降低烟气出炉温度，保护装料设备，减少设备维护。同时，可以造成在预热区的炉气循环是紊流的，使炉气和坯料之间进行良好的热交换，保证坯料在进入加热区之前的温度均匀。在加热段和均热段之间设有炉顶无水冷压下梁和炉底隔墙，从而保证各段的炉温控制更加精确。

加热段下、均热段下部都采用 MQT 型带中心风的长火焰可调烧嘴，加热段下部采用侧部烧嘴供热，均热段下部采用端部烧嘴供热；上加热、上均热都采用 BMP 型平焰烧嘴。根据目前的最新烧嘴技术性

能在 $10\sim12$ m 坯料的加热炉中,采用侧烧嘴也是完全能够满足钢坯加热的均匀性。

在烧嘴布置上,采用上部全部均热,加热段下部侧烧,均热段下部端烧,这样即简化了炉型结构,使之更加合理有效;又可以使这种大方钢坯升温更加均匀,可控,满足其加热工艺要求;还可以减轻生产工人的操作和维修强度。

加热炉采用下排烟,在装料端墙下部设有 6 个排烟口,烟气由此排出炉外,通过总集烟箱进入烟道。

6 加热炉主要设备

6.1 装料装置

加热炉的装料装置包括入炉悬臂辊道、炉内缓冲挡板和装料推钢机等设备。炉内装料辊道包括 8 支悬臂辊,由变速交流电机单独驱动。辊身为倒锥形,使钢坯靠近炉子端墙运行,在辊道上靠近端墙处带有辊环,可防止钢坯撞击端墙。辊身和辊轴采用内部设水流导管间接水冷却。

缓冲挡板为水冷弹簧式,安装在与装料炉门相对的炉墙上,其目的是为了防止在事故情况下,入炉钢坯冲撞炉墙,损坏炉衬。在入炉钢坯完成定位之后,由装料推钢机将坯料在装料辊道上推直,保证所有坯料从同一位置开始其加热过程。推钢机采用液压驱动,共 4 个推杆,推杆带有导向机构,且根据坯料截面大小的不同,其行程可以调节。

6.2 水梁和立柱

加热炉有 4 根固定梁(出料端为 5 根)和 4 根活动梁,见图 2。水梁的布置首先要保证指定长度范围坯料的装炉,同时考虑允许的坯料最大和最小外悬量以及合理的水梁间距。

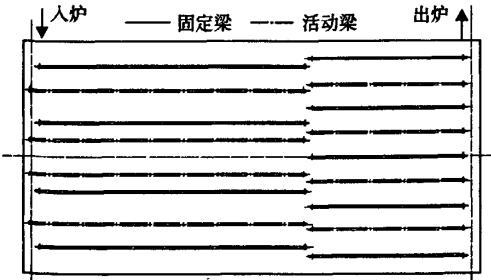


图 2 水梁布置示意图

水梁为双管设计,即用钢板将两根管连在一起,一上一下布置。水梁上焊有耐热合金垫块,低温段采用 ZGCr25Ni20 合金,高温段采用耐高温的 Co20 合金。水梁双管设计与单管设计相比,当惯性矩相

同时,管径大大减小,从而减轻水梁对坯料的遮蔽,减少加热黑印。研究发现,黑印的产生 85% 是因为梁的遮蔽效应造成的,15% 是由于坯料与水梁垫块间的接触。

步进水梁采用交错分段布置,加热段和预热段水梁一体,均热段水梁单独一体。在均热段,固定梁和活动梁等间距布置,在加热段和预热段水梁错位,即每根水梁与均热段水梁偏置 $250\sim450$ mm 间距,这样在加热段由于梁的遮蔽造成的坯料冷区在均热段不再受到遮蔽,而离开加热段时坯料最热的区域在通过均热区时受到遮蔽。实际上,这也是减少黑印最好的方法。交错步进梁可使“黑印”温差降至 $15\sim20$ ℃。固定梁和步进梁都由立柱支撑,固定梁立柱与炉底钢结构相连接,步进梁立柱则穿过炉底固定在平移框架上,炉底开孔采用水封。水梁和立柱由锅炉钢管制成,使用耐火浇注料和陶瓷毡双层绝热,其冷却方式采用汽化冷却。

6.3 步进机构

炉底设置两套双轮斜轨式步进机构,上层为平移框架,下层为提升框架;采用两对提升液压缸,一个平移液压缸驱动,两套平移框架和提升框架之间通过可以相对位移的装置进行连接。提升框架上下共有 12 对滚轮,沿炉宽方向分两列布置,下面的滚轮靠斜轨座支承,上面的滚轮支承平移框架。

为保证步进机构运动中的横向稳定性,每套步进机构设有 4 套定心装置,分为上定心和下定心。在步进梁前进或后退过程中,固定在平移框架上的上定心轮沿着固定在提升框架上的滑板滚动。下定心装置固定在底座上,滑板固定在提升框架上,在步进梁上升或下降过程中,滚轮沿着滑板滚动。这样无论是步进梁的升降还是进退,这 4 套定心装置都可以对步进梁的横向位移加以限定,防止坯料在炉内跑偏。步进梁的上升行程和下降行程均为 100 mm,总升降行程 200 mm,前进和后退行程分为 280 mm、300 mm 两种。步进周期为 40 s。

步进机构采用全液压驱动。每套提升框架由 2 个液压缸驱动,两套平移框架统一由 1 个液压缸驱动。活动梁的水平及升降运动都是变速运动,从而实现钢坯与步进梁的“软接触”,即“轻拿轻放”,以减小梁的震动,从而避免梁及立柱的包扎材料和钢坯氧化铁皮脱落,并防止划伤钢坯表面。

6.4 出料装置

出料装置主要是指出料悬臂辊道。炉内共有 9 支出料辊道,其结构型式和装料悬臂辊道相同,只是

出料悬臂辊道的辊身材质比装料悬臂辊道要好。

6.5 出渣系统

坯料加热过程中产生的氧化铁皮,一部分经由炉底开孔落入水封槽内,靠刮渣板自动刮向装料端,由于在装料端水封槽向上倾斜,形成干渣定期清理。同时在出料辊道下部炉底设有排渣口,定期排放此处落下的氧化铁皮。

7 加热炉燃烧系统

加热炉配有两台助燃风机,一用一备,由 10 KV

电机直接驱动。风机入口设调节阀和消音器,使助燃空气压力可以调节,减少噪音。

为有效利用烟气中的余热,提高炉子热效率,在烟道内设置有金属管状换热器,将助燃空气预热到 450~500℃。换热器的保护有两种措施:当换热器前烟气温度太高时,往烟道内掺入冷风,以降低烟气温度;在助燃空气温度过高的情况下,自动打开热风放散阀放散部分热风。

烧嘴布置见前述,加热炉燃料分配及烧嘴配置见表 1。表中流量单位为 m³/h,压力单位为 Pa。

表 1

分段步进梁式加热炉燃料分配及烧嘴配置

序号	项目	计量	均热段		加热二段		加热一段		合计
		单位	上部	下部	上部	下部	上部	下部	
1	燃料供热分配比	%	15	19	23	28	7	8	100
2	燃料分配量	m ³ /h	3360	4256	5152	6272	1568	1792	22400
3	烧嘴个数	只	24	10	30	10	12	4	90
4	设计烧嘴燃烧能力	m ³ /h	140	425.6	171.7	627.2	130.7	448	
5	烧嘴型式		平焰	调焰	平焰	调焰	平焰	调焰	
7	烧嘴安装位置		炉顶	端部	炉顶	侧部	炉顶	侧部	
8	配备烧嘴能力	m ³ /h	200	650	250	800	200	650	
9	各段配备供热分配比	%	21.4	29	33.5	35.7	10.7	11.6	141.9
10	煤气压力	Pa					6000~8000		

8 控制系统

加热炉控制系统的上位机系统采用内置 SIE-MENS 1613 以太网卡,进行以太网网络通信。监控软件分别用的是三套西门子 STEP 400 和 WINCC 5.1 系统软件,分别监控炉区坯料运行系统,燃烧及炉温控制系统和加热炉汽化冷却控制系统。计算机操作系统为 Windows2000。

8.1 炉区坯料运行系统

炉区坯料运行系统是指坯料从上料台架至出料炉门之间的所有炉区运行设备的连锁电气控制。既可以单个设备的手动顺序控制,又可以所有设备的连锁自动运行控制,可以实现炉区坯料运行的一键完成“装钢、出钢”操作。

8.2 燃烧及炉温控制系统

加热炉燃烧及炉温控制是采用基于 PLC 的控制系统,包括加热和燃烧控制系统(一级)及加热优化控制系统(二级)。一级控制系统回路控制理论包括:燃烧的双交叉限幅控制、相邻区域的主从控制、过剩空气的流量补偿、炉压的自动调节和前馈控制等。这些使炉子过程控制有了很大进步,从而降低燃料消耗,减少铁皮损失,提高产品质量。

8.3 汽化冷却控制系统

加热炉汽化冷却控制系统采用和加热炉基础自

动化系统同一类型系统,即 SIEMENS S7-300 控制系统。主要包括以下控制功能:

①汽包水位自动调节:通过检测汽包蒸汽流量、汽包水位、汽包给水量进行汽包水位的三冲量调节,调节汽包给水量的大小使汽包水位保持在设定值要求的范围内。

②汽包蒸汽压力自动调节:检测汽包蒸汽压力,通过开关汽包蒸汽放散阀控制汽包压力在安全值范围内。

③软水箱水位自动调节:检测软水箱水位,控制软水箱入口给水调节阀的流量,稳定软水箱的水位在设定值的范围内。

④动力设备的启动采用连锁控制:一台断电的情况下另一台自动启动,两台都断电的情况下,柴油机泵(汽动泵)自动启动。

9 结束语

从 2005 年 8 月份投入运行近三年以来,加热炉运行稳定,各项性能指标都达到了设计要求。2006 年 10 月份、2007 年 11 月份各进行了一次年度的停炉检修,通过对加热炉的检查,炉墙、炉顶基本上没有裂纹、脱落的情况;步进梁保温除了少量的裂纹外也是完全没有脱落的情况;装出料悬臂辊道除有三个焊接的辊身卡块掉了外,其他部分完好无损。