

京唐 2150mm 大型高效板坯铸机过程控制系统的优化应用

原禄春^{1,2}, 刘珂¹, 张家泉¹

(1. 北京科技大学, 北京 100083; 2. 首钢京唐钢铁联合有限责任公司, 唐山 063200)

摘要: 首钢京唐钢铁联合有限责任公司 2150mm 板坯连铸机是一台主要引进国外新技术、新装备大型高效化板坯连铸机。在生产过程中, 通过对动态轻压下模型、二冷配水模型等关键技术的优化, 铸机生产被动局面得到缓解, 铸坯质量不断改善。2010年, 实现铸机年产量 175 万吨, 单机无漏钢浇钢 153 万吨; 铸坯质量显著提高, 铸机高技术高附加值产品比例明显提高, X52~X80 管线钢、高强结构用钢、汽车用板等已批量生产。

关键词: 高效板坯连铸机; 动态轻压下; 动态配水

Optimization and Application of the Advanced Process Control Technologies in the Slab Caster With Maximum Width of 2150 mm

YUAN Lu-chun^{1,2}, LIU Ke¹, ZHANG Jia-quan¹

(1. University of Science & Technology Beijing, Beijing 100083, China; 2. Shou Gang Jing Tang United Iron and Steel Co Ltd., Tangshan 063200, Heibei, China)

Abstract: The high efficient slab caster in Shou Gang Jing Tang, with maximum width of 2150mm, is mainly equipped with foreign process control technologies at the very beginning. Due to the production schedule, equipment problems and other factors, the casting speed and production efficiency are routinely limited to a low range and the production quality fluctuates heavily. To improve slab quality and enhance production efficiency, the key technologies are studied and improved for practical application. Especially, the parameters for dynamic soft reduction model and dynamic secondary cooling model are optimized. With the optimization of these technologies for efficient production, the annual production of this slab caster has increased up to 1.75 million ton in 2010, and 1.53 million ton of which are continuously casting without breakout accident. The proportion of high value-added steel grades in production has increased obviously. The mass quality production for pipe line steel(X52~X80)、high strength structure steel and the steel grades used in automobile industry has been realized.

Key words: high efficient slab caster; dynamic soft reduction; dynamic secondary cooling

首钢京唐钢铁项目是国家“十一五”规划重点建设项目, 钢铁厂产品定位以满足国民经济发展和国家产业政策的需要为原则, 以市场为导向, 建设 21 世纪国际先进水平的精品板材基地。2150mm 高效板坯连铸机由达涅利设计并制造, 采用大包下渣检测、电磁制动、液位自动控制及自动浇钢、动态配水、动态轻压上等先进技术。投产后, 受生产节奏、设备等因素影响, 事故时有发生, 生产过程中拉速较低、作业率不高, 产能无法发挥。为此, 在应用过程中对其中影响高效化生产的关键控制技

术, 尤其是动态轻压上和动态配水技术进行了工艺优化应用, 取得了良好效果。

1 过程控制系统优化应用

1.1 动态轻压下模型优化

连铸轻压下 (soft reduction) 系指在铸坯凝固末端一个合适的两相区内利用当地的夹辊或其它专门设备, 对铸坯在线实施一个合适的压水量, 用以抵消铸坯凝固末端的体积收缩, 避免中心缩孔

(疏松)形成;抑制凝固收缩而引起的浓化钢水流动与积聚,减轻中心宏观偏析程度的铸坯凝固过程压力加工技术。能够在线跟踪铸坯的热状态,并根据其当时的实际凝固位置实施轻压下称之为动态轻压下(dynamic soft reduction)^[1]。

动态轻压下的应用前提是铸坯热状态的准确跟踪,执行机构的动作到位是动态轻压下的设备保障,这要求扇形段本体有足够的强度,避免在高温环境中辊子受到铸坯反力而产生变形。动态轻压下最终体现为控制扇形段辊缝值,京唐大型高效板坯铸机共设计了19个扇形段,全部采用带位移传感器的夹紧油缸进行辊缝远程控制,精度可以达到(± 0.1) mm。

京唐公司2150mm高效板坯铸机的动态压下模型由意大利达涅利公司整套提供。达涅利设计的轻压下技术为3段式压下,总压下量为2.0mm X 3=6.0mm,压下量相对较大。

在实际浇钢过程,当铸机拉速变化时,随着压下位置的上移,多次发生滞坯或甩钢现象,致使铸机无法正常浇注,扰乱生产节奏。为此,必须对轻压下模型进行优化,以确保铸机稳定生产。根据“减少扇形段压下量、增大扇形段出口铸坯厚度”的原则,对铸机轻压下参数进行优化。将铸坯压下量由原来的6mm减小为4mm,同时,铸坯厚度增厚5mm。

1.2 二冷系统的优化

1) 采用二冷动态控制

投产初期,铸机二冷控制方式为静态配水,根据生产钢种、拉速等选择水表。然而,生产过程中铸机受生产节奏、钢水温度及漏钢预报异常报警等因素影响,拉速波动较大,导致铸坯在二次冷却过程中热状态波动较大,铸坯易产生质量缺陷。因此,静态配水模式无法满足铸坯质量要求。由于采用动态配水控制模式,能够在拉速产生波动时,对各冷却区水量进行合理的优化,铸坯的凝固进程及热状态能够得到有效的控制,铸坯质量能够得到有效改善^[2]。因此,应品种开发及质量提高的要求,及时增加了动态配水模型。

2) 采用宽幅配水模式

该铸机沿铸坯宽度方向每排有6个喷嘴,分宽、中、窄三个回路控制,喷水量和喷水宽度受浇注断面的影响,即连铸机的二冷喷嘴的喷淋范围分为最大、中间和最小三个幅切范围。为使铸坯得到全面均匀的冷却并避免宽幅喷嘴堵塞,二冷区0-8段均采用宽幅配水模式。

3) 加强喷嘴的检修维护,减少喷嘴堵塞,优化二冷条件

针对二冷气雾喷嘴容易堵塞的问题,一方面,定期清理过滤器,更换滤芯,对过滤器排水,把影响降到最低;另一方面,将连铸总管及后支管管路碳钢质管路及阀门改为不锈钢质。

1.3 漏钢预报系统优化

该铸机结晶器漏钢预报系统由达涅利设计,通过监测铜板温度的变化趋势来预测是否有粘结、漏钢情况。该漏钢预报系统采用6排热偶来检测铜板的温度,具备在线钢水热状态显示功能,方便直观,有利于现场操作。热像图界面如图1所示。产生粘结漏钢时的典型结晶器铜板热像图如图2所示。

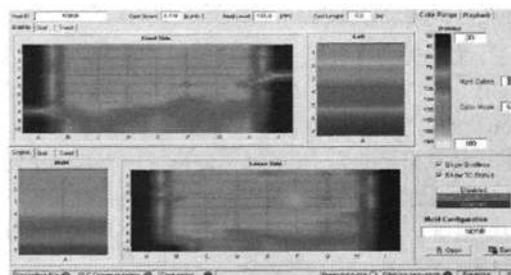


图1 正常浇注过程热象图

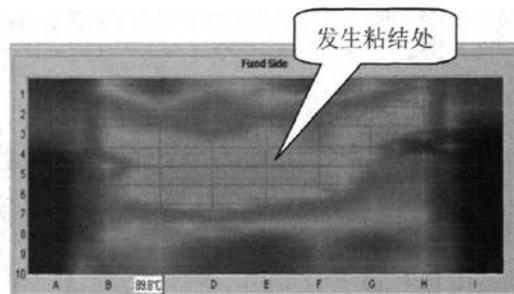


图2 发生粘结现象时热象图状态

漏钢预报系统的误报将会导致铸机的突然降速,对铸机的顺行及铸坯质量的控制不利。由于该漏钢预报系统热电偶数目较多(共168个),且热电偶工作条件恶劣,导致故障热电偶数目相应增多,误报率较高。

为减少铸机误报对铸机顺行带来的不利影响,一方面,采用新型热点偶,改用整体式航空插头,以提高热电偶稳定性;另一方面,在平时的生产过程中加强维护与安装。

1.4 大包下渣检测系统与倾动功能

该铸机采用 AMEPA 公司技术,在大包滑板中安装感应线圈,通过比对渣钢之间的电流来确定下渣,可使铸机钢水收得率最优化,并且能减少板坯夹杂。

在投入使用大包下渣检测系统的同时,结合大包倾动功能,在大包浇铸末期,通过改变叉臂角度(倾斜 3°),将钢包内钢水尽可能的浇铸到中间包内,提高钢水收得率。

在浇注普通碳素结构钢时下渣检测灵敏度按 50% 设定、在浇注品种钢时下渣灵敏度按 20% 设定。

1.5 中间包在线吹氩、中间包快换

为做好铸机全程保护浇注,减少开浇炉次钢水的二次氧化,在生产焊丝钢、IF 钢时,开浇采用中间包在线吹氩操作。

为了提高铸机作业率,根据铸机设备功能,适时采用中间包快换生产。

1.6 结晶器液位自动控制和变渣线操作

铸机采用 VUHZ 结晶器电磁液位检测器,该设备使用涡流检测方法,具有无辐射、响应时间短、对电磁制动和电磁搅拌有抗干扰能力,同时具备自检核功能。

SEN 水口在结晶器保护渣渣线部位的侵蚀是提

高 SEN 水口寿命的限制性环节,为提高连浇炉数,减少水口使用成本,采取了中包自动升降变渣线技术。

1.7 优化保护渣,杜绝漏钢事故

在连铸生产中,漏钢是恶性破坏性事故,它不仅打乱了企业的正常组织生产,而且降低了铸机的作业率、增加了生产成本及工人的劳动强度,降低了企业的经济效益,因此,漏钢是衡量连铸机生产水平的重要标志。

漏钢主要分为粘结漏钢、渣漏、裂纹漏、操作漏钢。随着浇钢工水平的提高,漏钢主要表现为粘结漏钢和裂纹漏钢。在此,主要从保护渣方面进行优化,在确保润滑的基础上减少铸坯缺陷。

为减少铸坯表面横裂纹发生率,保护渣调整思路如下。

- 1) 适当降低保护渣的碱度,降低析晶率,增加润滑预防粘结;
- 2) 保证较高转折温度,延缓传热,达到控制表面纵裂的目的;
- 3) 适当提高粘度,使渣膜分散均匀,一方面既能避免渣膜分散不均引起的热相图不稳和纵裂纹,又能改善钢渣表面的张力达到控制表面横裂纹的目的。

保护渣指标调整方向表 1 所示。

表 1 保护渣指标优化目标值

	R	T _m /℃	粘度/Pa·s	转折温度/℃
正常产品	1.44	1151	0.104	1199
优化指标	1.39±0.02	1160±20	0.12±0.01	>1190

针对纵裂问题,对保护渣指标进行微调:

1) 使用高碱度保护渣:碱度决定析晶率,析晶率决定从弯月面到结晶器下口铸坯的摩擦力和传热速度,对控制粘结尤为重要。宝钢、迁钢包晶钢的生产过程中均采用高碱度保护渣。

2) 提高保护渣的熔点:在原有基础上上调 5~10℃,使结晶温度提高 5~10℃,达到延缓传热控制表面纵裂的目的。

为进一步降低纵裂发生率,一方面,要求连铸机的进水温度控制在 28~35℃。由于铸机因检修停机时间较长,水温较低,检修后的第一个浇次,不安排对纵裂敏感性较强的包晶系列钢种;另一方面,加强结晶器管理,控制铜板厚度差不大于 3mm;

控制中间包过热度 $\leq 30^\circ\text{C}$,目前中间包过热度 $\leq 30^\circ\text{C}$ 比例达到 95%。

1.8 提高钢水洁净度,减少水口堵塞

首钢京唐公司采用“BOF—RH—CC”工艺生产低碳钢系列钢种时,遇到的主要问题有水口结瘤(套眼)。目前低碳钢所占比例约 50% 左右,在采用 RH 工艺生产时,因套眼现象严重,被迫更换 SEN 水口,影响铸机恒拉速,不仅影响产能,严重时扰乱生产计划。为此,开展提高钢水洁净度攻关,减少套眼机率,同时提高铸坯质量水平。主要措施有:

- 1) 重点控制转炉吹炼终点的游离氧 F[O],这决定着铝铁的加入量,即决定着钢中 Al₂O₃ 的产生数量。

2) 采取非镇静出钢, 视转炉终点氧活度, 出完钢后渣面添加缓释脱氧剂, 缓释脱氧剂用量如表 2 所示。

表 2 缓释脱氧剂用量

转炉终点氧/ppm	用量/kg
小于 400	不加
=400	100
400~600	150
600~800	250
800~1000	350
大于 1000	400

3) 合理控制 RH 环流量, 保证环流效果保证 RH 纯脱气时间不少于 8min。

4) 加强 RH 设备管理, 杜绝漏气现象, 避免后期调铝, 处理结束后确保 15 分钟以上的镇静时间。

5) 铸机进行开浇吹氩, 做好全保护工作。

2 系统优化应用生产效果

铸机实施高效化及炼钢厂工艺路线优化后, 铸机各项指标得到了进一步提高, 拉速由原来的 1.2m/min, 提高到目前的 1.5m/min 左右, 连浇炉数目前达到 11 炉/浇次, 铸坯质量合格率达到 96.7% 以上, 溢漏率 0.05% 以下, 单机产能具备了年产 250 万吨的能力。具体优化操作效果如下:

2.1 动态轻压下技术

经过参数优化后, 铸机未发生一起滞坯或甩钢现象, 达到了模型优化的基本目的。在满足生产的基础上, 通过铸坯表面温度检测、射钉试验, 对轻

压下参数进一步优化, 铸坯中心偏析、中心疏松质量等级达到 0.5 级以下, 铸坯内部质量较好。

2.2 二冷配水系统优化

采用动态二冷配水之后, 铸机各冷却区水量依据当地铸坯的实时热状态优化调整水量, 消除了拉速波动对铸坯热状态的影响, 稳定了铸坯内部质量, 特别是改善了季节差异变化时带来的质量波动。

采用宽幅配水模式后, 加强了铸坯角部冷却, 避开了典型钢种的第三脆性区, Q345B 钢种的边部裂纹发生率由原来的 6.2% 降为 1% 以下; 边部喷嘴堵塞的现象得到明显改善, 为生产大断面铸坯创造了良好的喷淋条件。

采用不锈钢质连铸总管、后支管及阀门, 并加强喷嘴过滤器的检修及维护后, 二冷喷嘴堵塞现象明显改善, 解决了二冷水喷淋不佳带来的质量缺陷。

2.3 完善漏钢预报系统

采用新型热电偶, 加强生产过程中的维修与安装后, 该系统的报警率由原来的 8.2 次/100 炉, 降为目前的 0.4 次/100 炉, 为铸机恒拉速浇注创造的必要条件。

2.4 大包下渣检测系统

采取大包下渣检测系统后, 下渣量得到了有效控制, 提高了钢水收得率 (包内余钢量控制在 1 吨/包), 减少了下渣对中间包内钢水带来的二次污染。

2.5 中间包在线吹氩、中间包快换

采用中间包开浇吹氩操作, 对中间包内钢水温降无影响, 其中钢水铝损减少约 40ppm, 成品增 N 小于 3ppm。在线吹氩炉次铝损及增 N 情况见表 3。

表 3 中间包在线吹氩炉次钢水铝损及增 N 情况

序号	炉次	Al 损, ppm	Als 损, ppm	N, ppm
1	102A03124	48	58	1.8
2	102D02639	80	80	1.0
3	102A03471	40	40	7.0
4	101C04008	40	40	1.0
平均		52	54.5	2.7

目前, 铸机共进行快换中间包操作 33 次, 涉及 SS400、SS400+B、Q345B、SDX51D、SPHC 5 个钢种, 断面从 1050-2050mm, 共计 7 个断面, 其中进行一浇次快换中包两次, 最高连浇 44 炉。

2.6 结晶器液位自动控制 and 变渣线操作

采用结晶器电磁液位检测器以后, 运行稳定, 结晶器液位波动控制在 +3mm 以内达 99% 以上。采用变渣线操作以来, 即提高了 SEN 水口寿命, 又提高

了大包套管的使用寿命。

2.7 优化保护渣，杜绝漏钢事故

通过保护渣性能的优化，加强结晶器进水温度、结晶器铜板厚度、中间包过热度的控制以来，漏钢率大幅降低。以1#机为例，达到了浇钢153万吨未漏钢好成绩，铸坯表面纵裂率由原来的2.1%降到0.2%左右。

2.8 提高钢水洁净度，减少水口堵塞

通过一系列措施的逐步落实，水口堵塞率由原来的25%左右，降至15%左右，连铸水口堵塞现象得到了缓解，确保了铸机连浇操作的顺利进行。

3 结论

首钢京唐2150mm高效连铸机在原有设计的基础上，逐步实现了动态配水、动态轻压下、漏钢预防系统、大包下渣检测、结晶器液位自动控制、中

包车自动升降、中间包快换等一系列新技术、新功能的优化应用与二次开发，实现了铸机的高效化生产，具体指标如下：

1). 铸机各项指标得到了提高，拉速由原来的1.2m/min，提高到目前的1.5m/min左右，连浇炉数目前达到11炉/浇次，溢漏率0.05%以下，单机产能具备了年产250万吨的能力。

2). 铸坯质量稳定提高，质量合格率达96.7%以上，低部检验0.5级以下，除管线钢、汽车板等钢种外，实现了热送，热送率达70%以上。

参考文献：

- [1] 崔立新. 板坯连铸动态轻压下工艺的三维热-力学模型研究[D]. 北京: 北京科技大学, 2006.
- [2] 韩占光, 王国新, 张家泉, 崔立新, 钱亮. 基于多模型控制的连铸二冷动态配水模型[J]. 系统仿真学报, 23(2), 2011.