包钢大方坯连铸结晶器液位稳定性控制研究*[1]

高 勇[1],谌智勇[1],孟保仓[2],周 彦[2]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司炼钢厂,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 结晶器钢水液位稳定性是影响连铸坯质量的重要因素。文章研究了包钢结晶器钢水液位控制原理与局限性,研发了新的结晶器钢水液位三维测量方法与稳定性控制技术,优化了操作工艺,提升了结晶器钢水液位稳定性控制水平,减少了铸坯中的夹杂物,提高了钢坯的质量与性能。

关键词: 连铸坯; 结晶器; 钢水液位
中图分类号: TF777.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2019)03-0019-03
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.03.007

Research on Controlling Stability for Liquid Level of Continuous Casting Crystallizer for Bloom of Baotou Steel

Gao Yong[1], *Chen Zhi-yong*[1], *Meng Bao-cang*[2], *Zhou Yan*[2]

(1. *Steel-making Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The stability for liquid level of molten steel for crystallizer is an important factor affecting the quality of continuously cast bloom. In this paper, the control principle and limitations for liquid level of molten steel for crystallizer of Baotou Steel are studied. A new three-dimensional measurement method and stability control technology for it are researched and developed so that the operation process is optimized, its control level is improved, the inclusions in continuously cast bloom are reduced as well as the quality and performance of bloom are improved.

Key words: continuously cast bloom; crystallizer; liquid level of molten steel

连铸作业过程中的“非稳态浇注”是导致铸坯内外部质量缺陷的主要原因,其中结晶器钢水液位波动是主要形式之一,其产生铸坯内部卷渣,夹杂物超标等多种缺陷,是导致铸坯成材后质量缺陷的主要原因之一[1-2]。

为提高钢轨质量与性能,包钢深入研究了传统结晶器钢水液位控制原理与缺陷,研发了新的结晶器钢水液位测量方法与稳定性控制技术,使产品质量得到了提高。

* 收稿日期:2019-03-19
作者简介:高 勇(1983-),男,内蒙古鄂尔多斯市人,工程师,现从事连铸工艺技术及管理工作。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1 大方坯连铸结晶器液位控制装备

包钢5#大方坯连铸机为6机6流铸机，半径12 m，流间距1 650 mm，铸坯断面280 mm×380 mm，正常拉速0.62～0.67 m/min。铸机采用了结晶器电磁搅拌和电动数字伺服结晶器非正弦振动，配置了自主设计的动态轻压下技术，为生产高质量连铸坯提供设备保障。

当前，结晶器液位检测与控制装置主要有同位素放射源(Cs137、Co60)液位计、电磁液位计、电涡流液位计、红外线液位计和超声波液位计等。包钢大方坯连铸机采用同位素Cs137液位计，其特点是结构简单，检测灵敏，性能稳定。同位素Cs137液位计系统结构，主要由放射源和探测器组成的检测系统、二次仪表和PLC组成的控制处理系统、电动缸和塞棒组成的传动执行系统等三部分组成。

2 影响结晶器液位稳定性的因素

2.1 放射源测量控制局限性

同位素Cs137液位计工作原理是同位素放射源Cs137发射γ射线穿过结晶器内钢水，被另一侧的探测器所接收，当结晶器内钢水液位超过设定的上(下)限时，检测系统所检测到的γ射线强度就会改变，控制系统通过检测到的γ射线的强度变化来反映钢水液位的高度，从而通过传动执行系统驱动电动缸关闭(打开)塞棒，来控制钢水流量，实现液位控制在限定范围内。

同位素Cs137液位计系统虽然能够实现实时检测和控制结晶器内钢水液位，但也存在放射线检测钢水液位范围过窄等不足。当放射源Cs137发射的γ射线穿过结晶器内被检测钢水时，只能反映放射线所经过的通道内液位的高低变化，而不能反映整体结晶器钢水液面的三维波动情况。

2.2 连铸操作中影响因素

结晶器钢水液面的波动情况与中包水口安装过程中的定位与精度密切相关，中包水口安装位置过高、水口侧孔偏离、对中不好等都会引起结晶器钢水液面波动大，容易形成卷渣[3]。包钢中包水口安装过程中存在以下问题。

(1)由于中间包在长期使用中产生“塌腰”变形，原操作方法使得水口按照统一的标准安装后，其插入深度波动在120～150 mm的范围内，见图1。

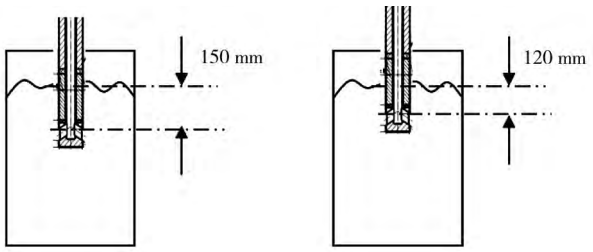


图1 插入深度波动情况

(2)原工艺中包水口安装精度主要依靠操作人员使用直尺或目测等方法来保证，安装精度不高，尤其可能导致水口侧孔和结晶器侧面中心线有偏离角，见图2。

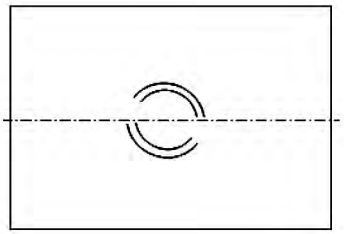


图2 目测水口装包情况

(3)原工艺中包水口的流间距使用统一为1 650 mm，实际生产中在每次更换结晶器后，流间距变化在1 640～1 670 mm波动，导致各流实际对中效果不良，见图3。

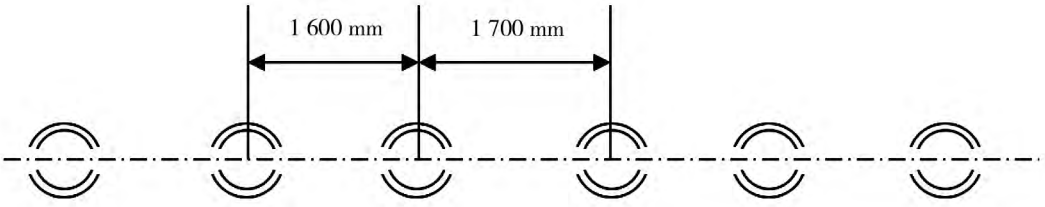


图3 流间距存在偏差情况

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

对存在质量缺陷的铸坯进行试样分析，发现部分夹杂中含有 K、Na 元素，且其成分与保护渣非常类似，因此可以判定为结晶器内液面波动保护渣卷入凝固钢坯所致。

3　三维测量与稳定性控制优化措施

3.1　结晶器钢水液位的三维测量

基于当前结晶器液位检测的局限性，提出了对结晶器钢水液位进行三维测量的新方法，进而形成了全套操作工艺，提升结晶器液位稳定性控制水平。

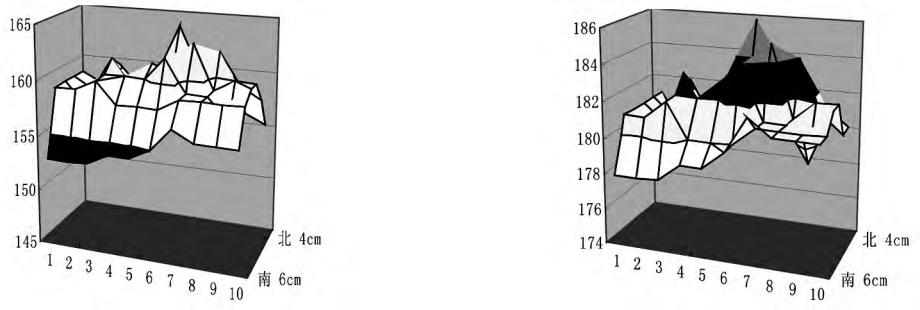
使用插钉板准确测量结晶器内钢水液位波动的三维立体图，并对测量结果进行分析。具体方案如下：

(1) 制作插钉板。由两块钢板上面制作三排，每排由数支钢丝组成。

(2) 开展插钉板检测试验，分别对中包水口插入 110 mm 与 135 mm 两个深度，选取同一浇次不同流，同一流不同浇次进行测量。

(3) 试验实施方法。结晶器内保护渣层厚度保持在 40 mm，将插钉板的钢丝浸入钢液，放置约 5 min左右，取出测量融化后钢丝长度。

(4) 数据测量及分析。将测量的长度数据统计分析，分别绘制三维波形图，反映出各自工况下结晶器液面三维波动情况，见图 4。



(a) 110 mm　　(b) 135 mm

图 4　插入深度插钉法测量数据分析

从图 4 可以看出，中包水口插入 110 mm 时，液面波动上下值最大相差 11 mm；中包水口插入 135 mm时，液面波动上下值最大相差 8 mm，说明插入深度控制在 135 mm 时结晶器液位波动最小。

3.2　结晶器钢水液位稳定性控制优化措施

(1) 确保中包水口插入深度准确。依据结晶器钢水液位三维测量的试验结果分析，确定中包水口插入深度为 135 mm，同时为了有效实现插入深度要求，采用在法兰盘上垫钢板对中包包底进行了改造。包底法兰处焊接 10～30 mm 钢板弥补包底“塌腰”变形，以避免在座砖下垫耐火泥抬高座砖装水口，将软接触变为硬接触，实现了插入深度的稳定控制。

(2) 中包水口安装三维精确定位。为保证浸入式水口在实际生产中与结晶器的相对位置，从三个维度上进行精确定位：水口内外弧方向精确定位，保证各流水口在一条直线上；水口流间距准确定位，保证各流水口间距与流间距一致；水口插入深度精确定位，通过增加包底垫板，保证浸入式水口插入结晶器内的长度一致。

4　优化效果分析

(1) 对结晶器钢水液位进行测量统计分析，优化前液位波动在 4～5 mm，优化后液位波动在 2～3 mm，液位稳定性增加。

(2) 对优化后铸坯表面质量进行取样分析，优化后的插入深度实现了结晶器流场的优化和保护渣使用性能的优化，改善了铸坯表面质量。

(3) 对优化后中包和水口使用寿命进行统计，优化后的方法降低了浸入式水口的机械冲刷侵蚀，浸入式水口寿命延长了 2 h 左右，中包整体寿命延长至 900 min，中间包连浇炉数相应由 15 炉提高到 17 炉，提高了连浇炉数。

(下转第 33 页)

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

当某些原因，导致放散点火管意外熄灭，放散煤气依然存在时，系统将自动重新点火，保证放散的气体可靠、充分的燃烧，确保系统的安全。

4　运行效果

4.1　安全环保

放散塔系统经改造运行至今，系统运行可靠，基本免维护，运行费用基本为零，并能够实现稳定点火运行。通过使用放散煤气自身作为伴烧气源对放散塔系统进行改造，能够保证剩余煤气安全可靠地实现点火后放散，减少对大气的污染、避免了直接对空放散可能引起的中毒事故的发生。

放散塔高度 60 m，维护人员维检过程难度较大，尤其天气条件恶劣时，操作维护人员无法高空作业，此改造实施后，降低了操作人员劳动强度，由每班检查一次减至每天检查一次，减少一半工作量。同时，也降低了操作过程发生危险的机率。

但也存在不足，点火系统高压电气装置的安全问题，要求严格执行规程，避免高压电气事故的发生。

4.2　经济效益

由于采用了高压电弧代替焦炉煤气作为点火伴烧气源，大大节约了作为伴烧气源的高品质的焦炉煤气。原来放散塔所需点火伴烧焦炉煤气用量为 30 m^3/h，按我公司焦炉煤气定价 20 元/GJ 来计算，每年可节约焦炉煤气折合人民币为 $300 \times 0.0168 \times 20 \times 24 \times 365 = 883\ 008$ 元。

采用新型点火系统后，维检成本、冬季保温蒸汽等消耗大幅降低，焦煤伴烧管道阀门、蒸汽管道阀门、疏水器等设施的更换每年节省 2 万余元。

5　结束语

7#、8#高炉煤气放散系统改造后，运行至今一直处于无故障运行状态，解决了原点火系统可靠性差的问题，现有改造充分体现了设计理念的先进性、设备运行的可靠性和安全性，使放散煤气得到了充分燃烧，即保护了环境又保障了安全。

参　考　文　献

[1]　童志权. 工业废气净化与利用 [M]. 北京: 化学工业出版社，2001.

(上接第 21 页)

(4) 对优化后生产的 20 个浇次的 U71Mn 钢做低倍统计，见表 1。

表 1　U71Mn 钢轨探伤数据统计

浇次数	钢种	炉数	0～1 级比率/%
20	U71Mn	256	≥98.5

从表 1 数据表明，工艺优化后铸坯质量改善明显。

5　结论

(1) 研究了包钢大方坯连铸结晶器钢水液位控制原理，对结晶器钢水液位稳定控制局限性进行了分析，提出了结晶器钢水液位三维测量方法与稳定性控制技术，优化了操作工艺。

(2) 操作工艺优化后改善了浇铸过程中的结晶器钢水液位稳定性，减少了铸坯中的夹杂物，铸坯的内部与表面质量得到明显改善。

参　考　文　献

[1]　任安超，吉玉，周桂峰，等. 高速铁路用钢轨的产品标准及生产工艺评述 [J]. 武汉工程职业技术学院学报，2010，22(6)：10－13.

[2]　彭冰. 重轨钢连铸技术的发展现状 [J]. 武钢技术，2009，47(6)：58－62.

[3]　陈永，李桂军，苟淑云. 提高重轨钢连铸大方坯质量的技术 [J]. 钢铁钒钛，2002，23(4)：41－46.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net