

DOI: 10.13228/j.boyuan.issn1005-4006.20190104

7号连铸机的NKK液位PID控制参数及结晶器流场优化

丛铁地, 姜学锋, 王玉平

(本钢板材股份有限公司炼钢厂, 辽宁 本溪 117000)

摘 要: 本钢三连铸的单流宽板坯连铸机从达涅利公司引进, 于2008年12月4日建成投产, 结晶器液位控制采用NKK技术。介绍了7号连铸机生产超低碳钢过程中, 结晶器液位出现不稳定性波浪的原因, 并通过改进NKK液位控制工艺, 微调PID控制参数, 以及优化结晶器流场等措施, 提高了宽幅汽车板生产时的结晶器液位控制精度, 并且解决和消除了不稳定性波浪的问题, 使宽幅汽车板的轧制成材率大幅提升。

关键词: 宽幅汽车板; NKK液位; PID控制参数; 结晶器流场; 不稳定性波浪

文献标志码: A **文章编号:** 1005-4006 (2020)02-0010-04

NKK level PID parameters tuning and mould flow mode optimization for slab caster No.7

CONG Tie-di, JIANG Xue-feng, WANG Yu-ping

(Steel-Making Plant, Bengang Steel Plates Co., Ltd., Benxi 117000, Liaoning, China)

Abstract: The single line slab caster of Benxi Steel is introduced from Danieli company, which is established on the December 4th of 2008. The mould level is controlled by NKK. The reasons for mould level unstable waves during casting ULC steel grades are introduced during the production of ultra-low carbon steel by No.7 continuous casting machine, and the mould level control accuracy is increased by some measures, such as improving NKK level process and tuning its control PID parameters and optimizing mould flow mode. After that, mould level control accuracy for wide automobile plate production and its coil final quality are increased. The problems of random travelling waves are solved and eliminated, and the rolling yield of wide width automobile plate is greatly increased.

Key words: wide automobile plate; NKK level; PID control parameters; mould flow mode; random travelling waves

本厂新建的7号单流宽板坯连铸机从意大利达涅利公司引进, 于2008年12月4日建成投产, 设计浇铸断面210/230/250 mm×(1 000~2 200) mm, 现今已知生产230 mm厚度断面。从设计上讲, 由于配置了结晶器多功能电磁搅拌技术, 以及其他如结晶器液压振动、动态轻压下和动态二冷控制等先进技术, 而且浇铸断面范围更广, 因此适合生产宽幅汽车板。但是, 达涅利公司提供的NKK液位检测装置, 自投入使用以来, 一直不稳定, 尤其在生产汽车板时, 结晶器液面波动较大, 而且时常出现液面左右晃动, 不稳定性波浪等问题, 严重地影响了汽车板的轧制质量^[1], 成材率较低, 不能满足生产工艺要求。

1 NKK液位系统的标定

生产超低碳钢时, 结晶器和弯曲段的二冷配水情况见表1。

表1中, 回路1、2分别是结晶器宽侧和窄侧足

辊冷却水。回路3~6是弯曲段上半部和下半部的内、外弧冷却水。

结晶器宽侧和窄侧冷却水流量分别设计为6 120和480 L/min, 生产超低碳钢时, 保持不变。

对比6号双流连铸机和老系统的结晶器液位控制精度, 以及老系统生产汽车板的经验, 我们认为需要对7号单流连铸机的结晶器液位控制进行研究, 使控制精度达到生产汽车板的工艺要求。

NKK液位探头通过连接杆固定在结晶器振动盖板上, 在浇注过程中, 随着结晶器的振动而做上下周期性的运动, 因此需要标定检测系统对结晶器振动是否有补偿, 即结晶器振动时的液位数值是否与静止时的数值相同。

利用快穿停机时间, 使用校正装置对NKK探头的检测数值进行在线测量。我们发现, 在结晶器振动和静止时的数值基本相同, 见表2。其线性关系如图1所示。

表1 超低碳钢结晶器和弯曲段二冷配水

Table 1 Ultra-low carbon steel mould and secondary cooling water distribution in the bending section

拉速/ ($\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$)	回路2/ ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$)	回路3/ ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$)	回路4/ ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$)	回路5/ ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$)	回路6/ ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$)
0.50	62	89	91	67	72
0.65	75	143	148	131	139
0.80	82	178	184	160	168
0.95	98	286	249	244	213
1.10	102	321	278	278	243
1.25	129	409	354	381	332
1.40	159	444	387	418	364
1.55	172	516	450	493	429
1.70	185	548	478	529	461
1.85	196	609	532	625	545
2.00	201	634	559	689	599

表2 在线测量NKK探头液位数值

Table 2 Numerical value of NKK measured on line

校正板到探头下表面的距离/ mm	铸流操作盘上的结晶器液位 数值/mm
0	198.5
10	188.3
20	178.3
30	168.3
40	158.3
50	148.5
60	138.5
70	129.5
80	119.0
90	110.0
100	99.5
110	89.5
120	79.9
130	70.0
140	60.1
150	50.2
160	40.2
170	30.0
180	19.9
190	10.4
200	-0.4

从上述表2和图1可以看出,NKK液位数值与校正板到探头下表面的距离间成线性关系。因此可以确定,浇钢使用结晶器自动液位控制过程中,NKK探头的液位检测没有问题,同时也排除了振动补偿对液位检测的影响。

2 结晶器液位出现不稳定性波浪的原因分析

在排除NKK检测系统对结晶器自动液位控制精度的影响后,我们有必要对生产汽车板时,结晶器液面出现大的波动,以及不稳定性波浪的原因进

行分析。

在浇次70 654,钢种SEDDQJ,断面230 mm×1 780 mm,整体浸入水口上进行试验。当拉速1.0 m/min,结晶器液面波动大时,对结晶器宽侧足辊和弯曲段的二冷水流量进行了在线修改,增加50%。如图2所示。

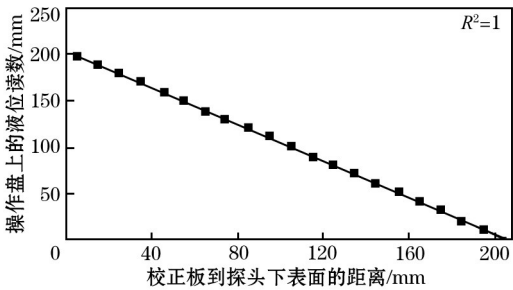


图1 液位数值与校正板到探头下表面距离的线性关系
Fig.1 Linear relationship between level numerical value and distance from calibration plate to bottom of sensor

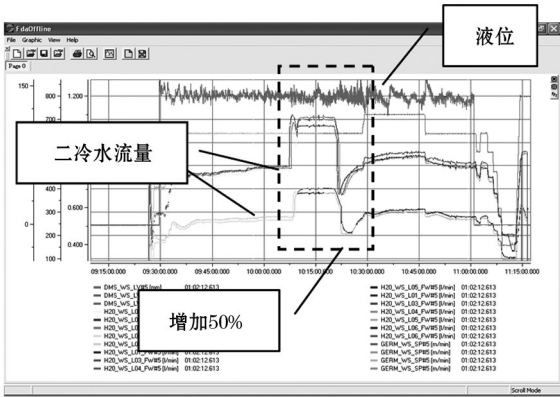


图2 结晶器宽侧足辊与弯曲段二冷水流量及液位的FDA曲线
Fig.2 Mould level FDA curve for cold water flow rate and liquid level of mould wide side foot roll and bending section

从图2可以看出,增加结晶器宽侧足辊与弯曲段的二冷水流量 50%对液位波动无改善效果,看来不是由于铸坯辊间鼓肚造成的结晶器液面波动。

同时,对夹持辊电机扭矩、转速,轻压下及液位波动频率等进行了在线跟踪检测分析,未发现鼓肚、扇形段支承辊弯曲变形、铸坯打滑和稳定型波浪等情况^[2]。因此,我们需要对其他因素进行分析。

3 PID控制参数的微调与优化

7号单流连铸机的结晶器液位控制系统是由基于NKK系统数值基础上,PID增益参数控制的,因此,如何微调和优化PID控制参数,降低因结晶器流场不稳定或水口堵塞等客观因素^[3],对自动液位控制精度的影响,就显得十分重要。

在70 659(230 mm×1 690 mm)、70 662(230 mm×1 300 mm)和70 665(230 mm×1 780 mm)等汽车板浇次上,在不同拉速下,根据结晶器液位的控制水平,对PID参数进行微调试验,发现不同的PID控制参数设置,对结晶器液位控制精度是有影响的。结合之前的试验和原始PID参数设置,对NKK液位系统的PID控制参数表及使用范围进行了规范,见表3和表4。

表3 浇铸断面与PID控制表的匹配
Table 3 Corresponding relationship between section and PID control table

PID控制表	浇铸断面/mm
1号	<1 200
2号	1 200~1 450
3号	1 450~1 650
4号	1 650~1 850
5号	>1 850

表4 各个PID控制表中的参数设置
Table 4 Detailed parameters setting for each PID control table

参数	1号表	2号表	3号表	4号表	5号表
总PID	0.45	0.45	0.47	0.47	0.53
PID KP	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
PID KI	0.04	0.04	0.04	0.04	0.02
PID KD	0.32	0.32	0.32	0.32	0.42
总PID减小	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
误差率/%	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
拉速补偿	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
液位过滤系数/S	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12

4 结晶器流场优化

在进行微调、优化结晶器液位PID控制参数的同时,我们对不同类型的浸入水口也在汽车板浇次上进行了试验,分别在70 659、70 662和70 665浇次上,对目前现有的3种类型的浸入水口进行测试。这3个浇次对应的3种类型浸入水口的设计如图3~图5所示。这3种类型浸入水口试验时的基础数据,见表5。浇铸70 659浇次时的结晶器液面控制情况如图6所示。

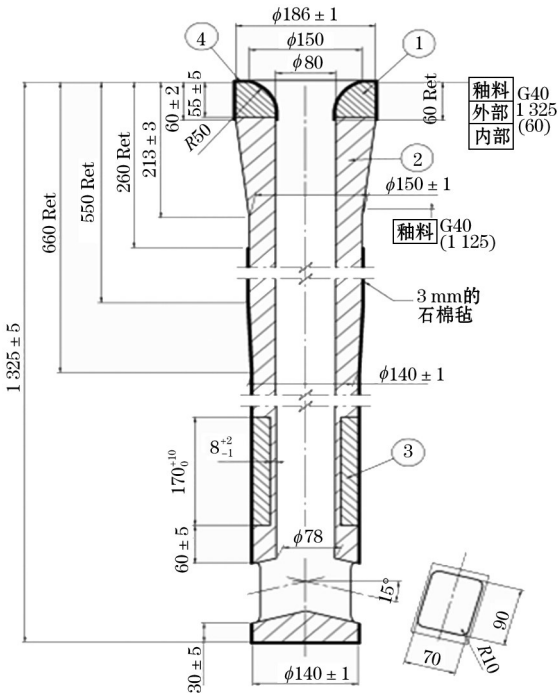


图3 整体浸入水口(mm)
Fig.3 One piece SEN

浇铸70 665浇次时的结晶器液面控制情况如图7所示。从图7可以看出,整个浇次的结晶器液位波动范围基本控制在±3 mm以内,即使从浇次中期开始,塞棒开口度逐渐上涨,而且从现场观察,液面波浪程度较小。对比使用整体浸入水口(图3)的70 659浇次,在拉速相对高的情况下,70 665浇次的结晶器液位控制精度更高,且不稳定型波浪更小,说明此次试验的大断面分体浸入水口对1 780 mm断面下,稳定和提高结晶器液位控制水平有较大帮助。

另外,我们还发现,对于图4中的普通分体浸入水口,在稳定结晶器液面上是可以代替图3所示的整体浸入水口。

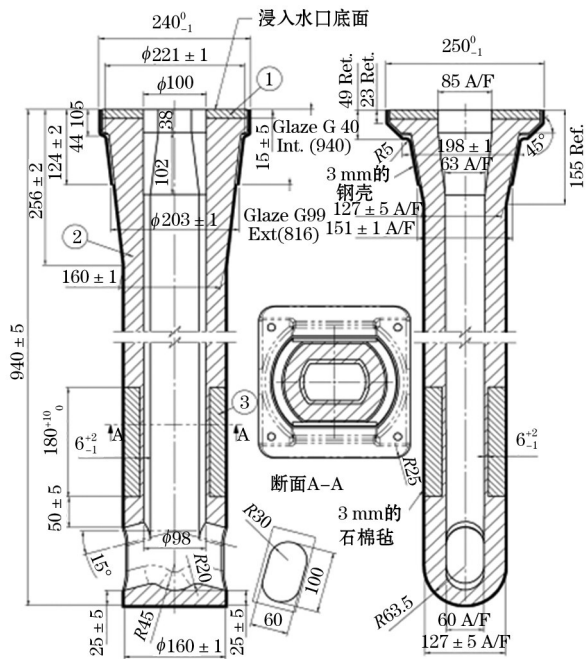


图4 普通的分体浸入水口 (mm)

Fig.4 Normal two pieces SEN

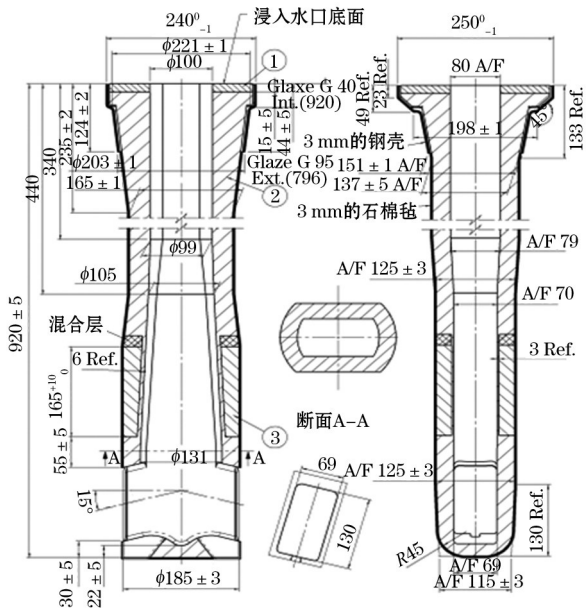


图5 大断面分体浸入水口 (mm)

Fig.5 Big steel flow rate two pieces SEN

表5 不同浇次对应的浸入水口

Table 5 Submerged nozzle for different sequence

浇次	浇铸断面/mm	浸入水口类型
70 659	1 690	整体浸入水口
70 662	1 300	普通分体浸入水口
70 665	1 780	大断面分体浸入水口

基于以上试验,我们对3种类型浸入水口的使

用进行了规范,生产汽车板时,如果浇铸断面低于1 600 mm,使用图4所示的普通分体浸入水口;如果浇铸断面不低于1 600 mm,使用图5所示的大断面分体浸入水口,这主要是考虑到两种水口的通钢量设计上的区别。

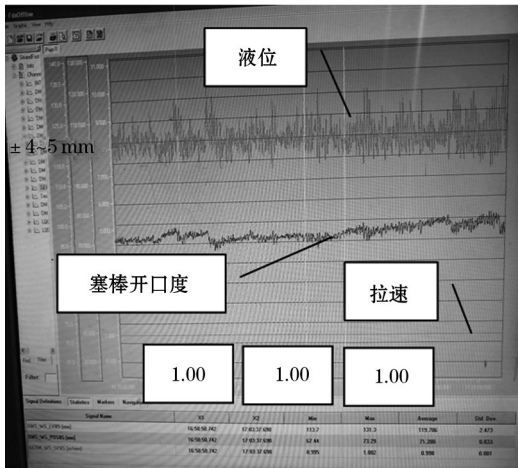


图6 拉速1.0 m/min下结晶器液位的FDA曲线

Fig.6 Mould level FDA curve for casting speed 1.0 m/min

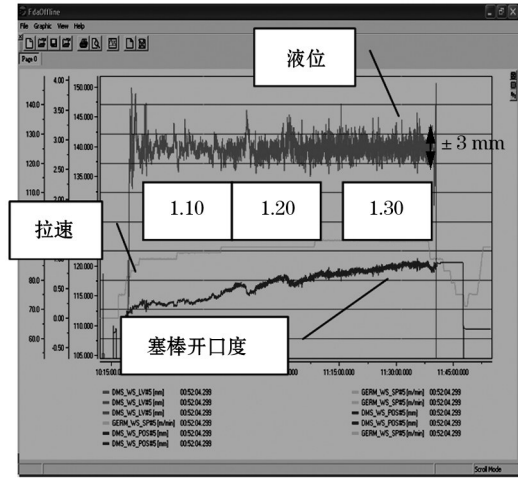


图7 不同拉速下结晶器液位的FDA曲线

Fig.7 Mould level FDA curve for different casting speed

5 结论

(1) 在水口不堵塞时,结晶器液面波动大的主要影响因素为结晶器流场不稳定,与铸坯辊间鼓肚、扇形段支承辊弯曲变形、铸坯打滑和稳定型波浪等因素无关。

(2) 优化NKK液位系统的PID控制参数可以起到减小结晶器液面波动的作用,将不稳定型波动的影响降低。

(3) 根据汽车板浇次浇铸断面来匹配相应的浸入水口,能够进一步优化结晶器流场,提高结晶器液面的控制精度。

(下转第22页)