

· 系统与装置 ·

基于逻辑判断的板坯漏钢预报系统研究

孙立根, 张家泉

(北京科技大学 冶金与生态工程学院, 北京 100083)

摘要:对结晶器铜板热电偶温度的 4 种不同信号模式进行了分析, 发现应用模式下不同温度信号模式在传播速度和变化趋势上存在明显的差异。针对目前国内引进的板坯漏钢预报系统因无法调整其预报参数而造成的高漏报、误报率, 利用 VC++ 编程语言开发了可调整预报参数并可显示热相图的逻辑漏钢预报系统, 并利用国内某厂的实际生产数据进行了实验。实验结果表明: 该系统运行稳定, 能够更有效地对浇铸过程中的漏钢事故和铸坯有关表面缺陷进行预报。

关键词: 连铸; 漏钢预报; 逻辑判断

中图分类号: TF777 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7059(2009)01-0016-05

Research on slab leakage prediction system based on logic judgement

SUN Li-gen, ZHANG Jia-quan

(School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology Beijing,
Beijing 100083, China)

Abstract: With analysis of four temperature signal modes, remarkable differences between temperature variation trend and spreading speed of different modes were found. For existing imported slab leakage prediction system, there are high failing and missing rates because prediction parameters can not be modified. Based on VC++ programming language, a new logic leakage prediction system was developed, and in the system, prediction parameters can be modified and hot phase diagram can be displayed. The system has been tested by use of practical data in a certain plant. Results show that the system runs steadily, and possible leakage and related slab surface defects in casting process can be predicted effectively.

Key words: continuous casting; leakage prediction; logic judgement

漏钢是连铸过程的灾难性事故之一, 据悉一次典型的漏钢损失高达 20 万美元之巨^[1]。特别是在当前提高浇铸速度、提高设备利用率的高效连铸背景下, 连铸的漏钢率大大增加, 因此开发出能对即将发生的漏钢事故作出有效预警的漏钢预报系统成为高效连铸必须解决的问题。

国外早在 20 世纪 80 年代就开始了针对粘结漏钢的实质性研究, 目前国外以及国内进口的大型板坯、薄板坯铸机上均装备有漏钢预报系统, 典型的有 Inspat Inland 公司的 Pilot 结晶器在线监控

系统^[2]、日本 Kawasaki 钢铁公司的单排热电偶监测系统^[3]、美国 LTV 钢铁公司的 MTM 双排热电偶监测系统^[4]、法国 Sallac Fos 公司的 Sallac Fos 三排热电偶监测系统^[5]以及蒂森·克虏伯公司的 BASYS 监测系统^[6]等。这些系统都取得了一定的效果, 使得漏钢事故率基本降低到每年一次以下。而与此同时, 国内漏钢预报技术的发展并不是很顺利, 尽管引进的设备均装备有这一系统, 但由于其是无法改动预报参数的黑箱, 特别是基于神经网络的预报系统, 在改变生产条件的情况下经常

收稿日期: 2008-06-10; 修改稿收到日期: 2008-11-23

作者简介: 孙立根 (1983-), 男, 河北张家口人, 博士研究生, 研究方向为现代连铸工艺与技术。

出现误报,严重影响连铸生产的顺利进行,从而遭到现场工人一定程度的抵制。因此开发具有针对性的有效的漏钢预报系统成为国内发展高效连铸的当务之急。

目前对漏钢预报的研究按原理可分为基于逻辑运算的系统和基于神经网络的人工智能系统。虽然人工智能在反应速度和模式识别上有一定的优势,但由于我国在该领域研究还存在欠缺并且相应的数据也不够全面,这就使得因训练数据缺乏代表性而导致人工智能系统尚达不到其应有的效果,因此开发基础的基于逻辑运算的漏钢预报系统成为解决当前问题的最佳路径,并且可以为将来漏钢预报系统朝人工智能方向的升级提供充足的数据支持。

北京科技大学早在 2005 年就开始针对这一问题进行了研究,并于 2008 年 5 月开发出基于逻辑判断的板坯漏钢预报系统,并采用某厂实际生产数据进行验证。测试结果表明,该系统运行稳定,能够更有效地对浇铸过程中的漏钢事故和与铸坯有关的表面缺陷进行预报。

1 模型的预报机理

1.1 结晶器中典型的温度信号模式

结晶器中典型的温度信号分为正常、表面缺陷、粘结漏钢以及角部漏钢 4 种模式^[7]:

(1)正常模式。正常生产过程中,嵌在结晶器铜板中的上下 2 排热电偶检测到的温度值应是较平直的 2 条曲线,只有微小的波动。

(2)表面缺陷模式。这种模式的产生,是由于保护渣熔化不好或者渣条卷入弯月面,影响了板坯的表面质量。此外,凝固坯壳若发生纵向裂纹,也会出现这种模式。其特征是 2 排热电偶检测的波形均有一个波谷,波谷的出现可能与结晶器和已凝固坯壳间形成的气隙有关;另外,熔化不好的渣块随坯壳下降,滑移到埋设热电偶的位置,也可能形成一个波谷。出现这种情况时,常会导致一些表面质量问题。表面纵裂的传播速率大大高于拉坯速度,上下部热电偶几乎同时探测到温度变化,出现此类模式,往往并不会导致漏钢,它只是一种表面缺陷,可并入质量问题中,以便必要时由后续工序对铸坯产品进行处理。

(3)粘结漏钢模式。当粘结发生时,撕裂点经过热电偶所处的位置时一般会出现这种温度模式。粘结发生时,铸坯撕裂点不仅沿纵向传播,而

且以 $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 角沿结晶器面横向传播,拉坯速度越大,角度越大。裂纹向下传播的速度为拉坯速度的 $50\% \sim 80\%$ 。通过位于上下两排同列热电偶,可以检测出这种裂纹的纵向传播,其模式都有先升后降的趋势,此类模式也可由位于同排相邻的热电偶进行裂纹的横向传播检测。

(4)角部漏钢模式。角部漏钢模式形成的原因是,在结晶器的角部冷却过强,凝固坯壳收缩使得坯壳与结晶器之间形成缝隙,后续钢水溢过先期形成的弯月面,进入这些缝隙后凝固,导致拉坯阻力增大,出现坯壳下降不畅,在此部位可能形成拉裂。拉裂点经过埋设在结晶器角部的热电偶时,常会出现这种模式的温度信号。这种事故多发生在更换中间包、结晶器液面较低及拉速较低的情况,这时结晶器铜板冷却很好,已凝固的铸坯在角部形成缝隙,此时因拉坯速度变化或其他原因导致结晶器液面波动,后续钢水溢过弯月面时便进入该缝隙。此外,在线调节结晶器宽度时,保护渣进入角部,也会形成这样的缝隙。

1.2 预报机理

通过对结晶器内 4 种典型的温度信号模式的分析可知:

(1)正常模式下,上下排热电偶所测得的温度波动范围不大,而表面缺陷模式、粘结漏钢模式和角部漏钢模式均存在较大的温度波动,这样就使得我们可以通过已有数据得到两个超过正常模式的临界温度值,把表面缺陷模式与正常模式、漏钢模式与正常模式分开。

(2)表面缺陷多是由于夹渣或纵裂而产生,这一缺陷的典型特点是高温坯壳与结晶器铜板热面之间的距离(产生气隙或是渣条侵入)加大,使得热电偶所测温度出现下降。

(3)粘结漏钢最明显的特征是粘结热点的下降速度低于拉坯速度,坯壳断裂,钢液渗出后会使得热电偶所测得的温度大幅上升,并且随着粘结热点(破损点)的下降所测温度会出现一个明显回落,当热点经过下排热电偶时就会出现下排温度超过上排温度的现象。

(4)角部漏钢以悬挂漏钢为主,典型的悬挂漏钢特征是上排热电偶由于离破损坯壳较近,因此受钢液渗出或是初生坯壳大大减薄影响温度明显上升,下排热电偶处则由于坯壳减薄而出现明显的温度上升,但因钢液未渗出,使得其温度并未超

过上排热电偶的测温值。

(5)纵裂与粘结漏钢的最主要区别是传播速度,纵裂的传播速度大大高于拉坯速度,夹渣的传播速度与拉坯速度一致,而粘结传播速度通常为正常拉速的 50% ~ 80%,这一典型的区别有利于我们判断夹渣、纵裂以及粘结漏钢的产生。

(6)测温热电偶可以通过位置分为相邻的纵向或横向热电偶组合对,横向组合较纵向而言反应速度快,但精度低于纵向组合^[7],考虑到反应时

间相差不多,故选择精度更高的纵向组合更合理。

基于以上 6 点分析,我们可以发现结晶器温度信号的 4 种模式有着本质的区别,这也为我们开发基于逻辑判断的漏钢预报系统提供了可能。

2 漏钢预报系统开发及测试结果

2.1 系统开发

根据上述理论,我们设计了三层逻辑判断结构,具体的逻辑运算方式如图 1 所示。

但就漏钢预报的实现而言,仅有以上理论是

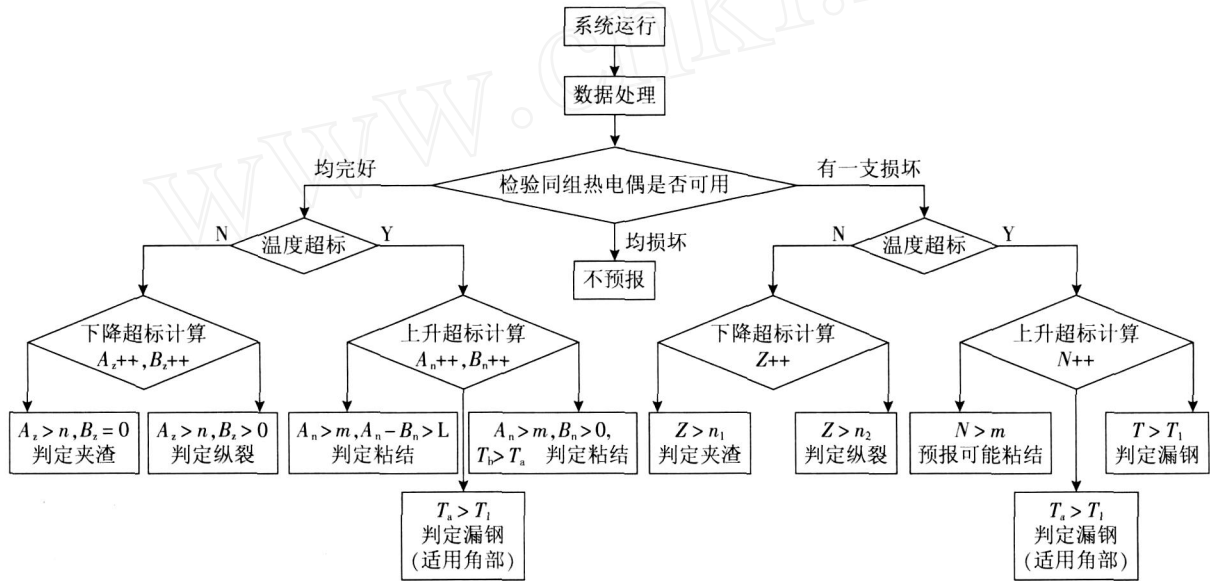


图 1 三层逻辑判断结构

Fig. 1 Three-layers logical construction

A_z, B_z —上、下两排热电偶关于表面缺陷的逻辑计数; A_n, B_n —上、下两排热电偶关于漏钢的逻辑计数; Z, N —单热电偶时表面缺陷和漏钢两个方面的逻辑计数; T_a, T_b —上、下两排热电偶的测温值; n —表面缺陷判定参数; L —传播时间参数; n_1 —单热电偶条件下的夹渣判定参数; n_2 —单热电偶条件下的纵裂判定参数; m —单热电偶条件下的粘结参数; T_1 —温度极限值; T —正常工作的热电偶的测量温度

不够的,因此针对温度信号的处理我们开发了所测温度的热相图显示、信号的延时采集、变条件下的标准确定以及失常信号的筛选去除等辅助技术,其中热相图为系统的一个显示模块,其余几项技术包含在数据前处理即数据显示模块中。在此基础上,我们利用大型程序软件 VC++ 开发出了具有预报快捷、界面友好的拥有上下两排共 32 支热电偶的漏钢预报系统。

本系统共有 5 个模块,分别为:

(1)参数输入模块。在此模块中可以通过选定浇铸的钢种和断面得到相应的浇铸过程专家建议,并且通过预报参数的输入对漏钢行为进行判断,控制系统启动。

(2)热相图显示模块。图 2 显示了典型的粘

结漏钢发生时热相图的变化,同时该界面还有进出水温度曲线、中包温度曲线以及液面波动、拉速变化曲线等连铸过程中需要关注的的数据。

(3)温度曲线显示模块。如图 3 所示,针对热电偶温度显示的典型性,我们按纵向热电偶布置分组,同时此界面还显示有热电偶的运行状态。

(4)数据显示模块。在本模块中通过点击“数据更新”按键可以查看当前已经过去的时间内 30 组数据状况,这为对温度曲线进行分析提供了方便。

(5)实时预报结果显示模块。本模块不仅显示当前所产生缺陷的位置及时间,还会将本次浇铸产生的问题汇总到右侧文本框内,并且可以存储至相关文件,以备后续数据分析之用。

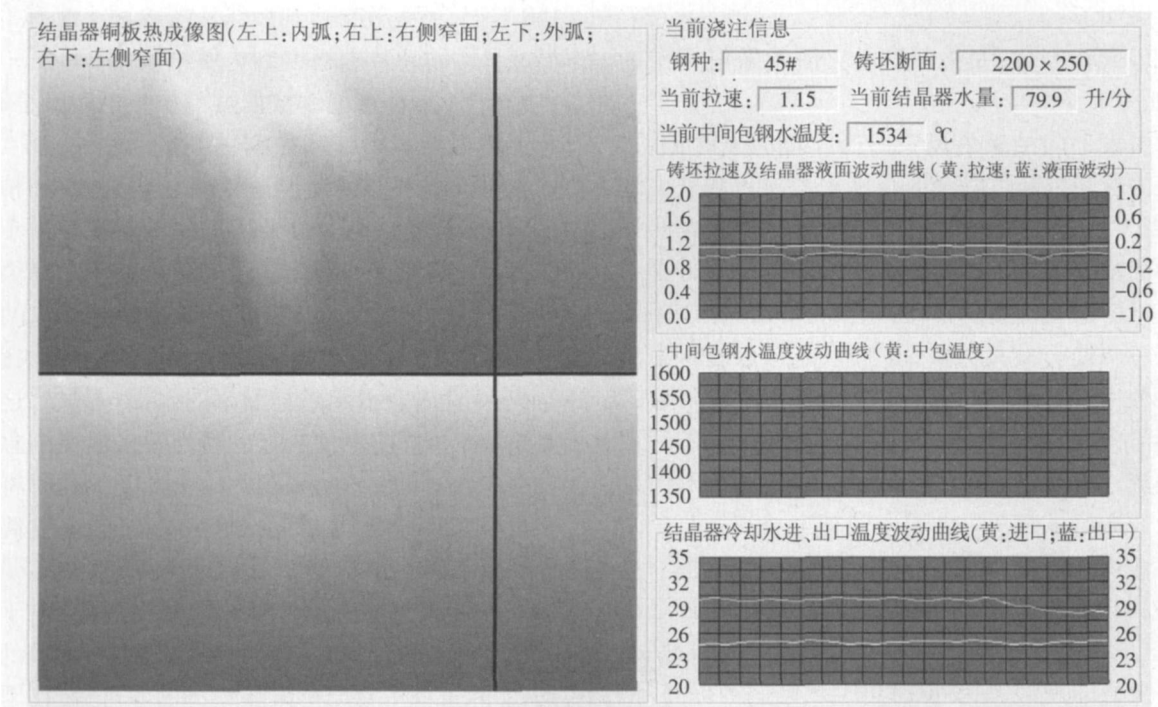


图 2 热相图模块

Fig. 2 Hot figure map module

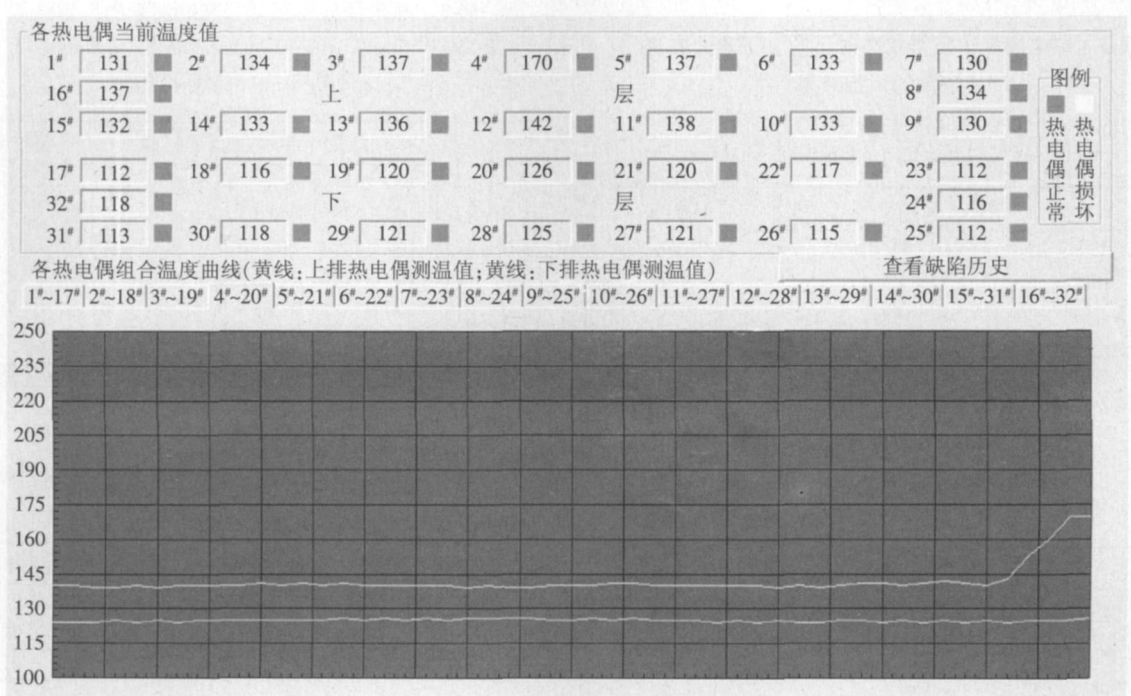


图 3 温度曲线显示模块

Fig. 3 Temperature signal curve showing module

2.2 测试结果

通过对国内某厂实际生产数据的大量采集,本实验从温度信号数据库中提取温度数据 1 200 条,其中包括粘结漏钢数据 8 段,悬挂漏钢数据 2

段,表面缺陷数据 5 段和表面夹渣数据 5 段。对于相关参数的制定以拉速为 1.2 m/m in 为标准,当拉速发生变化时系统会通过实际拉速与基准拉速的关系来自动调整相应参数的大小。具体的实

验结果如下:

(1) n, n_1, n_2 变化对表面夹渣和缺陷判定的影响

由表 1 的结果可以看出当 n 设为 4 时,通过设定的逻辑判断可以全部找出表面夹渣和表面缺陷;当 n 设为 3 时,夹渣判定条件变苛刻,有两处大的温度波动被误判为表面夹渣;当 n 变得更小时误报率会变得更高;而当 n 设为 5 时,由于条件放宽有两处表面夹渣被漏判,但由于系统考虑到了纵裂传播速度较快的因素,因此表面缺陷模式全部命中;而当 n 过大时,其对夹渣和纵裂的判定条件进一步放宽,因此预报正确率极低,仅对两处长纵裂做出了判断。由表 2 的结果可知当有一个热电偶损坏时,只要相应的参数设置合理,依旧可以得到相对理想的表面夹渣和表面缺陷判定结果,这也说明表面夹渣和表面缺陷的判定,特别是表面夹渣的判定,主要依靠单个热电偶的探测;但与此同时由于配对热电偶的损坏使得纵裂的误报率有所上升,这也是单一时间判定条件的缺陷所导致的必然结果。

表 1 热电偶处于正常状态时不同 n 下表面夹渣和缺陷的判定结果

Table 1 Report results of surface defect and surface inclusion by different n for normal condition

n	夹渣	缺陷	正确率 / %	误报率 / %	漏报率 / %
3	7	5	83.3	16.7	0
4	5	5	100	0	0
5	3	5	80	0	20
10	0	2	20	0	80

表 2 单个热电偶工作时不同 n_1, n_2 下表面夹渣和缺陷的判定结果

Table 2 Report results of surface defect and surface inclusion by different n_1 and n_2 for one thermocouple working

n_1	n_2	夹渣	缺陷	正确率 / %	误报率 / %	漏报率 / %
4	8	5	6	90.9	9.1	0
5	8	3	6	72.7	9.1	18.2
4	10	5	5	100	0	0
5	10	3	5	80	0	20

(2) m, L, T_1 变化对悬挂漏钢和粘结漏钢判定的影响

表 3 和表 4 分别是热电偶完好时和单个热电偶工作时对粘结漏钢和悬挂漏钢的判定结果。其中表 3 中的 7 组数据分别是 m, L 和 T_1 单独变化时的预报结果:当 m 设为 8, L 设为 12.5, T_1 设为

160 时,预报效果达到最佳。当 m 减小时有 2 段温度异常波动数据被误判为粘结漏钢;而当 m 增大时,有 1 段粘结漏钢数据被漏报。当 L 减小时,有 1 段温度异常波动数据被判定为粘结;而当 L 增大时,1 处粘结漏钢被先后报为悬挂漏钢和粘结漏钢。 L 的变化均增加了误报率,这主要是由于粘结漏钢时检测到的峰值温度与悬挂漏钢的峰值温度一样,都是钢水直接与结晶器壁接触导致的结果,因此对 L 的控制是区分粘结和悬挂的关键。当 T_1 变化时会引起悬挂漏钢的误报与漏报,这主要是由于悬挂漏钢最明显的特性就是温度的急剧升高,当 T_1 大于悬挂漏钢的峰值温度参数时将不会预报悬挂漏钢。从表 4 中可以看到,热电偶损坏对漏钢的判定有着显著的影响,不仅粘结漏钢均被先后判为悬挂漏钢和粘结漏钢,而且由于延时参数的缺失使得粘结漏钢的判定出现大量的误判,实际过程中会严重影响生产的顺利进行,因此热电偶测温设备的维护是漏钢预报系统能否正常运行的关键。

表 3 热电偶处于正常状态时漏钢的判定结果

Table 3 Report results of breakout by different m, L and T_1 for normal condition

m	L	$T_1 /$	悬挂	粘结	正确率 / %	误报率 / %	漏报率 / %
6	12.5	160	2	10	83.3	16.7	0
8	12.5	160	2	8	100	0	0
10	12.5	160	2	7	90	0	10
8	11	160	2	9	90.9	9.1	0
8	14	160	3	7	90	10	0
8	12.5	155	4	8	83.3	16.7	0
8	12.5	170	0	8	80	0	20

表 4 单个热电偶工作时漏钢的判定结果

Table 4 Report results of breakout by different m and T_1 for one thermocouple working

m	$T_1 /$	悬挂	粘结	正确率 / %	误报率 / %	漏报率 / %
6	160	11	13	41.7	58.3	0
8	160	11	12	43.5	56.5	0
10	160	11	9	50	50	0

以上实验结果证明,系统通过修正预报参数可以显著提高预报的成功率,并进一步降低漏报和误报率。与此同时,由于该系统具有预报信息以及预报时间的自动保存功能,因此可以方便地从数据库中找到相应的缺陷以及漏钢所对应的数据,以便在实际生产过程中通过调整预报参数来

(下转第 25 页)

系统的准确性与完整性。离线仿真系统实现方法如下:根据工艺流程,通过编制程序模拟现场设备的 I/O 状态,新系统根据仿真程序输出来模拟现场设备的 I/O 状态运行,并在 HM 画面上显示。

离线仿真调试的难点在于根据工艺流程编制程序模拟现场设备 I/O 的状态。编制程序时必须考虑到不同工艺状态时各 I/O 的动作顺序与动作状态,同时必须考虑每个工艺流程的设备详细动作状态,编制的仿真程序要如实再现整个工艺流程,不遗漏每个 I/O,因此编制仿真程序的工作量很大。

系统改造过程中离线调试替代大部分在线调试,由 L1 模拟信号发生系统不间断模拟完整的 L1 过程,并且在停机改造及定修日,完成了与 L3 及相关接口的调试。

对于精整区域的改造,由于停机改造时间仅限于 24 h,没有时间更新 A1~A15 变频器,为了完成精整热送线的改造,又要保证 2[#]连铸机的正常生产,因此开发出新老系统共存的在线调试技术,根据新老变频器不同的通信方式编制两套程序。

(上接第 20 页)

进一步降低实际生产中的误报以及漏报率,进一步提高系统的精度,并且可为今后的研究提供数据的保障,完成向漏钢预报人工智能化方向的升级。

3 结论

由于不同温度信号模式在传播速度以及温度变化趋势上存在着明显的差异,因此可以以此为基础来区分缺陷模式和漏钢模式。

作者提出的漏钢预报系统通过调整预报参数可以大幅提高系统的预报精度,在 100% 成功报出的基础上进一步降低误报率。该系统的特点在于:温度数据显示采用纵向热电偶分组,增强了温度数据曲线显示的典型性。

三层逻辑判断较复杂的逻辑判断而言简单、快捷,在数据预处理的基础上能够更快地对当前数据做出判断。

通过 VC++ 开发的系统具有界面友好,与现场设备易于连接的优点。

参考文献:

- [1] Emling W H, Dawson S. Mold instrumentation for breakout detection and control[C]. ISS Steelmaking Conf. Proc. Washington: Iron and Steel Society, 1991: 197-217.

在 9 月 7 日热送线投入运行时,新的热送线 PLC 控制原来老的变频器。最后在精整线设备投入运行之后分步对老的变频器进行更换。

4 结束语

宝山钢铁股份有限公司宝钢分公司 1[#]连铸机及 KIP/CAS 三电系统改造后,新系统自 2006 年 10 月投入生产至今运行稳定。本次改造的成功实施,虽难以计算直接经济效益,但有助于使 1[#]连铸机自动化设备达到国际先进水平,彻底解决了三电系统的硬件老化、备品备件无法解决并随时可能严重影响生产的隐患,保证了炼钢厂生产的正常顺行,同时为炼钢厂采用世界最先进技术、使操作管理自动化水平赶上世界一流水平打下了良好基础。

本次改造的成功实施还体现了宝钢各参加单位在大规模技改方面的工程管理能力,并在连铸精整区域这个特定共用系统的不停机改造技术方面开创了前所未有的高效成功范例。

[编辑:夏宁]

- [2] Blazek K E, Saucedo I G. Characterization of the formation, propagation, and recovery of sticker/hanger type breakouts[J]. ISIJ Int, 1990, 30(6): 435-443.

- [3] Itoyama S, Yamanaka H, Tanaka S, et al. Prediction and prevention system for sticking-type breakout in continuous casting[C]. ISS Steelmaking Conf. Proc. Warrendale: Iron and Steel Society, 1988: 97-102.

- [4] Emling W H, Thiel R P, Baker H D, et al. Practices and statistical methods used to increase caster productivity and enhance steel quality for demanding customer applications [C]. 4th International Conference on Continuous Casting. Brussels: Verlag Stahleisen, 1988: 49-64.

- [5] Tsuneoka A, Ohashi W, Ishitobi S, et al. Measurement and control system of solidification in continuous casting mold[C]. ISS Steelmaking Conf. Proc. Detroit: Iron and Steel Society, 1985: 3-10.

- [6] 兰若. 避免拉漏系统——BASYS [J]. 钢铁, 1999, 34(11): 76-77.

- [7] 胡志刚, 毕学工, 陈崇峰, 等. BP 网络在漏钢模式识别中的应用研究 [J]. 武汉科技大学学报 (自然科学版), 2000, 23(2): 121-124.

- HU Zhi-gang, BI Xue-gong, CHEN Chong-feng, et al. Study on the application of breakout pattern recognition by BP network [J]. Journal of Wuhan Yejin University of Science and Technology, 2000, 23(2): 121-124.

[编辑:夏宁]