

· 检测与仪表 ·

## 新型转炉出钢下渣检测的试验研究

马竹梧, 万雅竞, 马少仿

(冶金自动化研究设计院, 北京 100071)

**摘要:** 主要叙述转炉出钢检测夹渣的必要性。目前国内外检测夹渣的方法包括电磁感应法和红外热成像法。根据这些方法存在的问题以及生产实际的需要, 开发一种采用测温仪表的低成本方案检测夹渣。此外, 本文还论述了仪表选择中的问题。本方案在首钢集团进行试验并取得了初步成功, 为今后的研究指出了方向。

**关键词:** 转炉; 下渣检测; 电磁感应; 热成像; 温度

**中图分类号:** TF524; TH811 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7059(2008)05-0054-04

## Experiment and research of new type slag detection during tapping for BOF

MA Zhu-wu, WAN Ya-jing, MA Shao-fang

(Automation Research and Design Institute of Metallurgical Industry, Beijing 100071, China)

**Abstract:** Necessity of slag detection during tapping steel for basic oxygen converter is discussed. At present, slag detection method include electromagnetic induction method and thermal imaging method at home and abroad. According to practical requirement in production and through analysis of existing problems in both methods, a low cost slag detection scheme with temperature measuring instrument was developed. The scheme has been successfully tested in Shougang Group. Proposal is presented for further works.

**Key words:** converter; slag detection electromagnetic induction; thermal imaging; temperature

### 0 前言

在转炉炼钢过程中, 为了除去铁水的其它杂质, 如硅、磷、硫等, 需要进行吹氧和添加一些副原料进行冶炼, 生成钢水及钢渣。钢水较重, 在炉中沉于底部; 钢渣大多数为非金属氧化物, 浮在钢水上面。当冶炼结束开始出钢时, 钢水从出钢口流到钢包中, 钢水和钢渣在炉中液位逐渐下降。当钢水快要流尽时, 钢渣逐渐流出, 这时, 钢水和钢渣呈混合体(夹渣)。由于钢渣影响钢水质量(因为转炉渣中不稳定氧化物(如 FeO, MnO)和杂质(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)影响钢的质量、化学成分和成本)及操作(如脱硫不能很好进行, 形成一层钢渣后, 会阻碍往钢水中添加合金、增碳等添加剂和稳定剂等), 此外, 若夹杂物过多, 钢水不洁净, 易于堵塞出钢

口, 使钢包的耐火层磨损严重。因此, 必须测出钢水下渣情况, 以便及时挡渣或停止出钢。

目前, 国内大多数炼钢厂在出钢过程中, 出钢结束时间仍由操作工根据钢水和炉渣颜色进行判断和操纵, 这需要操作人员具有一定的工作经验, 因此具有很大的主观性。而且炉渣刚在出钢口出现时很难由视觉判断出来, 即便对于有经验的操作工来说, 当钢流夹渣量为 15% ~ 20% 时才有可能发现, 小于此值就无法分辨夹渣现象, 再加上现场环境恶劣, 影响操作人员的判断, 因此造成大量炉渣夹带的问题。不但影响产量, 而且影响钢的质量。实践证明, 若采用自动炉渣检测装置可解决上述问题, 而且可以获得很大的经济效益, 据奥钢联统计, 有效的出钢和探渣系统可以保证:

收稿日期: 2008-05-06; 修改稿收到日期: 2008-06-25

作者简介: 马竹梧(1930-), 男, 广东广州人, 教授级高级工程师, 主要从事冶金自动化的研究及应用工作。

- (1)下渣量最少;
- (2)脱氧剂和合金用量减少;
- (3)回磷减少;
- (4)钢包耐材寿命延长;
- (5)改善钢水脱硫;
- (6)钢水成分更准确。

其投资在几个月就可收回,基于以上原因装设下渣检测系统刻不容缓。

## 1 方案选择

国内外试验研究或生产应用的示渣方法大致有下列几种:(1)电阻法。在出钢口外侧安装一对电极,出钢时,电极间电阻小,回路通过一定的电流,当钢流混渣时,电阻增加,电流急剧下降。(2)噪音法。在出钢口和钢包分别安装微音器,根据出钢时钢流摩擦产生的噪音、钢流落入钢包液面产生的打击声,检测这两个微音器的电混成信号,并按其频率变化确定钢流混渣状态。(3)光谱法。出钢时,向钢流投射激光,分析由激光激起钢液中钢、渣光谱的特征,并根据分析值的变化测知渣的流出。(4)电磁法、辐射能法。连续记录出钢时钢流辐射能、温度的变化,依据在同一温度下,钢液、炉渣表面辐射能不同而表面黑度有差别的原理来判别钢与渣。(5)热成像法。

上述各种示渣方法虽然不少已获得专利,但比较准确并达到实用化的主要是电磁法和热成像法。

(1)电磁法示渣系统。瑞典 Studsvik 公司、德国 AMEPA 公司都生产类似的电磁感应示渣系统。目前大型钢铁厂大都采用 AMEPA 公司的电磁感应法下渣检测系统(国内也生产类似的系统),其原理见图1。当向线圈通入交变电流时,在被测物体产生涡流,这种涡流的分布、相位是线圈几何形状、频率和被测物体电导能力的函数,磁场由二次线圈测定,由该电磁场的振幅和相位可推测出被测材料和物体的形状。

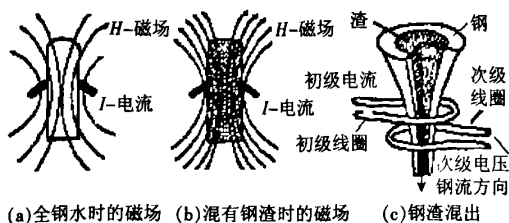


图1 电磁感应式示渣测量原理图

Fig 1 Principle of magnetic inductance type slag detection

AMEPA 钢渣检测系统包括传感器、前置放大器 and 外显示控制器等。传感器由两个同心线圈(也有采用发射线圈和接收线圈方式)构成,套在钢包水口上,见图2。在钢水流过时,钢水与渣的磁导不同,炉渣的电导率仅为钢液的1%,如果钢流中含有少量炉渣,涡流就会减弱,磁场则增强,因此,可以区分钢与渣,出现渣时,发出带渣报警并显示。

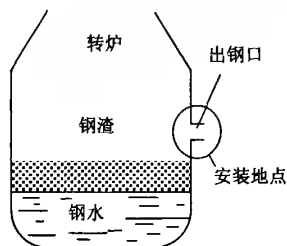


图2 电磁感应式传感器位置示意图

Fig 2 Sketch map for position of magnetic inductance type sensor

(2)热成像式示渣系统<sup>[1]</sup>。用摄像机对准钢流摄像,监测出钢钢流表面,利用红外频率范围内钢水和炉渣的不同辐射行为,即红外线范围内熔渣的放射率较钢水高的物理原理,用图像处理技术,通过计算机分辨是钢水还是渣,当出现渣时,显示并报警,如图3~4所示。

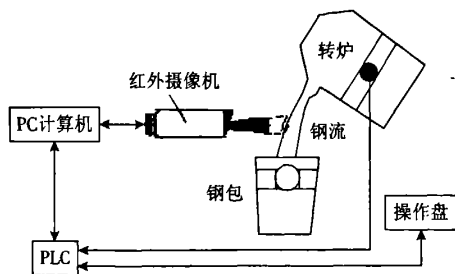


图3 热成像式示渣系统

Fig 3 Sketch map for thermal imaging type slag detection system

调查表明,开始不少工厂使用电磁感应法进行转炉下渣检测,但之后都相继改为热成像式示渣系统,如日本 NKK 公司福山厂三炼钢以前采用电磁感应原理,在出钢口埋入线圈传感器装置来检测炉渣,由于受出钢口形状的影响,经常发生误报现象,导致可靠性下降;后来采用了由德国 AMEPA 公司生产的热成像炉渣检测系统。奥钢联认为,常规电磁探渣系统有一个线圈是放在出

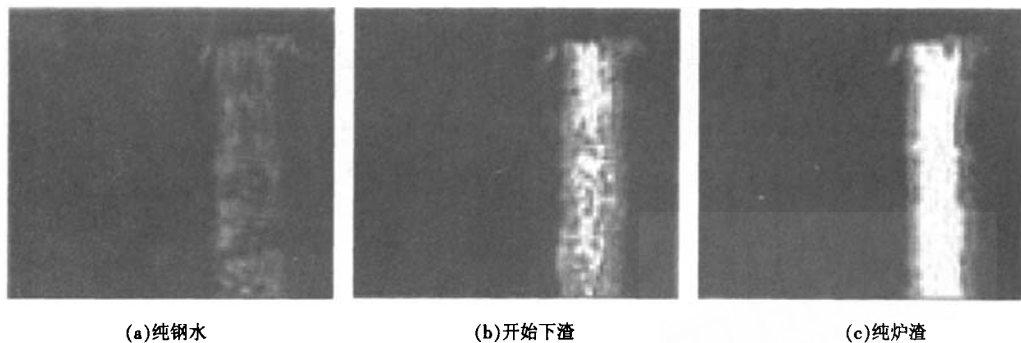


图4 热成像式示渣系统钢流画面

Fig 4 Picture for liquid steel stream of thermal imaging type slag detection system

钢口附近,由于暴露在高温环境下,加上机械负荷较大,一般要求的维修工作量也较大,而这类维修一般在转炉砌炉时进行。系统一旦在计划砌炉时间之外出现问题,就会降低系统的作业率或中断正常的转炉生产以进行维修。电磁探渣系统的另外一个缺点是设备用于新出钢口时其功能一般会受损,直至出了若干炉钢之后才会正常,因此往往头几炉出钢时不使用探渣系统的早期预警功能。为此,奥钢联开发了新型热成像炉渣检测系统。宝钢认为电磁感应下渣检测系统难以维护或效果不尽理想,常常导致操作工必须使用肉眼来观察钢流下渣情况。然而,由于烟气、灰尘等因素使操作工很难及时发现转炉出钢过程中的下渣时刻,故倾向使用热成像炉渣检测系统(AMEPA TSD系统)。但是,普遍认为热成像炉渣检测系统很昂贵,对大型转炉较为适合。

基于以上调查和研究分析,面对众多的大、中、小转炉,应该寻求一种有效、便于安装维护以及低成本的下渣检测系统。因此,确定采用无接触、使用寿命长和工作可靠的系统,为此使用类似图3的系统,但采用直接测量钢流温度的方法。研究表明,由于钢水和渣的辐射率即黑度系数不同,故即使钢水和熔渣有相同的温度,红外高温计仍可判定熔渣的温度较钢水高而可以检测到熔渣出现,熔渣和钢水的放射率差值越大,高温计越易检测到熔渣的出现,见图5<sup>[2]</sup>。这样,便有可能使用红外高温计系统替代复杂和昂贵的热成像系统。

## 2 红外高温计的选择

红外高温计是辨别下渣的最终装置,因而它的选择至关重要。比较了多种红外高温计之后,我们选择了美国威廉姆逊公司(Williamson)的双

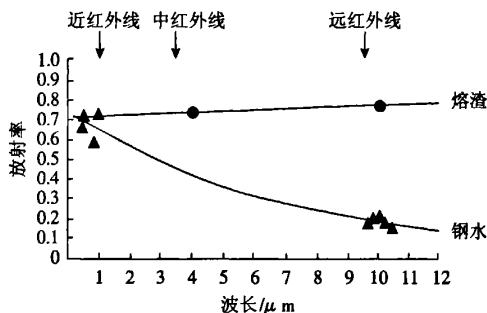


图5 钢水和熔渣与对应波长的放射率

Fig 5 Emissivity of corresponding wavelength between liquid steel and slag

波长红外高温计,它和传统工业双色高温计一样,都是基于普朗克定律和维恩公式基本原理,测量相邻两波长的辐射能量,通过比值计算消除干扰,获得温度值。由于威廉姆逊双波长红外高温计在传感器的结构原理、波长选择及抗干扰能力的算法等方面有自己独特的专利技术,因此该产品具有测量精度高、长期稳定性好和抗干扰能力强等特点。

(1)传感器结构。传统工业双色高温计的两个滤光片对应于两个检测器,而且重叠放置,即称之为叠层双检测器。这两个检测器分别将过滤(波长为 $\lambda_A$ 和 $\lambda_B$ )后的辐射能量转变成电信号,输出到比例运算电路,从而获得与温度有关的信号。这种设计使波长 $\lambda_B$ 的选择也受到了 $\lambda_A$ 的带宽限制。此外,由于两个检测器的性能不可能做到完全一致,所以环境条件的变化会引起较大的温度误差,且不易修正。威廉姆逊双波长传感器的设计克服了上述缺点,将两个滤光片安装在同一个调制盘上,被测物体辐射的能量被调制成两波长(可根据应用任意选择)下的单色辐射能量,

交替地投射到单一的检测器上。

(2)信号稀释因数。在实际应用中,测量光路中会存在着各种干扰介质,如:烟雾、水雾、蒸汽、粉尘、氧化层、不干净的视窗或是机械障碍,导致传感器接收到的能量衰减。一般红外高温计对这些干扰介质都进行了补偿,不同厂家的红外高温计有不同的补偿能力,即补偿系数。这个补偿系数又称之为信号稀释因数 $\eta$ ,传统工业双色高温计的量程上限 $\eta$ 值最大为25:1,即说明传感器在量程上限接收到的能量衰减95%还能保证测量精度。而威廉姆逊双波长传感器在整个量程内任意点能量衰减95%都能保证精度。由于它在量程上限的 $\eta$ 值为1500:1,所以即使能量衰减99.9%也能保证传感器的测量精度。因此,威廉姆逊双波长传感器具有较强的抗干扰能力。

(3)波长选择。由于传统工业双色高温计的上层探测器既要对一个波段具有较高的响应,又要允许另一个波段通过。因此,它的两个波段的选择受到了一定的限制,在红外辐射测温实际应用中,影响温度测量精度最重要的干扰介质是水汽或水膜,所以在红外辐射测温仪的波长选择时主要考虑的是红外光对水的透过率。威廉姆逊双波长传感器可以很方便地避开水的吸收带分别选择两个波长。

(4)传感器的长期稳定性。传感器的长期稳定性主要取决于硅探测器的热稳定性。硅探测器在波长大于 $0.96\mu\text{m}$ 或小于 $0.6\mu\text{m}$ 时,探测器的零点输出随环境温度的变化而变化。对于普通工业双色高温计,波长选择 $0.7\sim 1.08\mu\text{m}$ ,部分波段大于 $0.96\mu\text{m}$ ,是导致零点输出不稳定的因素之一;另外采用的叠层双检测器也会因两个检测器老化引起的性能参数不一致造成零点漂移,有的厂家采用加热两个检测器来解决这个问题,但这样会降低传感器对于低温段的灵敏性,这也是它的稀释因数低的原因之一。威廉姆逊双波长红外高温计选择了 $0.7\sim 0.8\mu\text{m}$ 波段,并采用单检测器,从而保证了传感器的长期稳定性。

此外,威廉姆逊双波长红外高温计还备有适应不同环境和用途的应用软件,故能较较好地应用于钢铁企业不同的场合,而其他公司的产品没有这样的软件,只能靠人工手动调整。

### 3 现场试验结果

2006年在首钢集团二炼钢厂210t转炉上进

行了红外下渣检测系统的现场试验,该系统原理如图6所示。

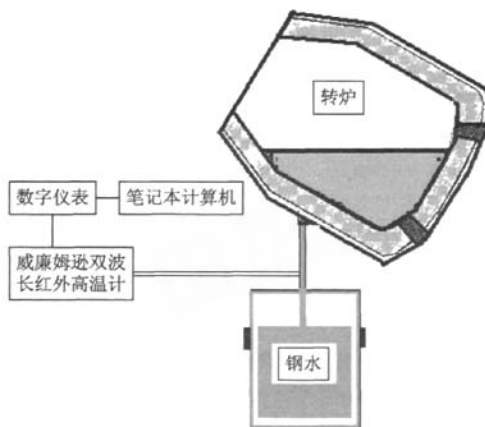


图6 新型下渣检测试验系统

Fig 6 Experiment system for new type slag detection

由于转炉出钢过程中,现场温度较高且环境恶劣,故使用的威廉姆逊双波长红外高温计被安放在距出钢流大约5m的距离,经人工调整,对准出钢钢流1/2处,通过电缆将信号传送到5m以外的威廉姆逊数字式显示仪表并连接笔记本电脑。试验共进行了两次,测量结果相同,如图7所示。可以看出钢水夹渣时出现明显的尖峰,与人工观察完全一致。

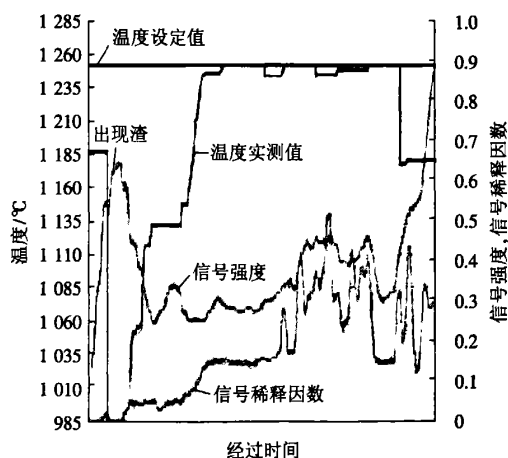


图7 测定结果

Fig 7 Measurement result

### 4 结论及今后工作

从上述试验可以看出,用双波长红外高温计  
(下转第65页)

近,速度给定越小,反爬速度越慢。当剪刀速度达到最大速度的1%时,保持这个速度,当剪刀到达起始位时,PLC再次产生中断,封锁6RA70,使剪刀准确停在起始位。

### 3 特点

我院的起停式飞剪控制有几个特点:

(1)倍尺精度高。由于轧线速度很高,控制时间上有任何微小差异,都会影响倍尺精度。例如:轧线速度为16 m/s,PLC的扫描周期会造成80 mm的误差,DP网的传输时间会造成>200 mm的误差。因此,在剪切信号的发出、剪刀定位等与倍尺精度有关的关键信号上,采用了高速计数器中断、高速计数器直接输出与DP网传输并存方式,避免了由于PLC扫描周期影响和DP网传输时间长造成的长度误差,提高了倍尺精度。

(2)防止定位干扰。本体接近开关信号是飞剪定位的关键点,当这个信号发出后,开始测算剪刀位置,如果有干扰信号误动作,飞剪定位就会出现误差,严重时还可能出现连剪。为此,我们采用了如下方法:当PLC发出飞剪启动信号时,打开本体接近开关信号通道,接近开关信号便可进入PLC,当PLC接到接近开关信号后,立即关闭这个通道,将干扰信号阻挡于门外,有效地解决了干扰问题。

(3)测长计数累加。在设计中,我们没有采用剪切一次,高速计数器清零一次的方法。这是由于清零信号晚于剪切信号,必须在倍尺设定时把这段长度减去,而当轧机速度变化时,这段长度是变化的。为此,我们采用了不断累加的方法,即:首先将首段长度作为预置值,首段长度为式(3)计算出的 $L_{\text{预置}}$ ,剪切一次后,将 $L_{\text{倍尺}} + L_{\text{预置}}$ 作为预置

值,剪切二次后,将 $2L_{\text{倍尺}} + L_{\text{预置}}$ 作为预置值,以此类推。采用这种方法以后,有效地解决了这个问题。

(4)实现尾部优化。尾部长短不一的问题一直是困扰生产线的问题。尤其是在坯料不规矩的生产厂,矛盾更为突出。坯料不规矩使最终轧材的长度差别很大,尾部不是太短上不了冷床,就是太长跑出冷床。按部就班地按不变的倍尺剪切已不适应,为此,我们采用尾部优化方法。首先,计算钢尾到达RJ2时的轧材长度 $L$ :

$$L = (TV_{\text{轧}} + L_1 + C_1) \quad (5)$$

式中, $T$ 为钢尾从RJ2至RJ3的时间,这个时间可通过PLC测出; $V_{\text{轧}}$ 为成品轧机的线速度; $C_1$ 为钢尾到RJ2时A4的现行计数值。

计算出 $L$ 后,便可得知继续按正常倍尺剪切所剩的尾部长度时,如果尾部长度小于上冷床的最短长度,就将尾部前一段的长度设置更改为 $L_{\text{倍尺}} - L_{\text{定尺}}$ (定尺长度)或 $L_{\text{倍尺}} - 2L_{\text{定尺}}$ ,也就是将1倍或2倍定尺长度移给尾部,很好地解决了尾部过短的问题。其中,定尺长度可在触摸屏或上位机上输入。

### 4 结束语

由于我们在飞剪的设计上充分考虑了各种因素对飞剪的动作可靠性、倍尺精度产生的影响,因而,我院在各厂家运行的飞剪以其可靠性高、倍尺精度高、智能性好的优良品质,最大限度地满足了用户的各种需要,受到用户和同行的一致好评,达到了国内先进水平,也拓宽了市场份额。然而,我们还要不断创新、完善,争取用更少的硬件实现更高的控制精度。

[编辑:沈黎颖]

(上接第57页)

直接测量夹渣是可能的,它比热成像方法的成本低。但还须进行进一步的试验,以期获得更高的测量精度,包括最佳波长的选择、各种钢种的适应性、有无误报等。到完全实用化后,还须配置成套装置,包括自动控制系统(如报警、控制挡渣板等)。

### 参考文献:

[1] M Borz, P Jin. 转炉出钢口闸板的新型红外摄像控制法

IRIS[J]. 钢铁, 2002, 37(5): 22-24.

M Borz, P Jin. IRIS—A new infrared-camera-based method of gate-unit control during converter tapping[J]. Iron and Steel, 2002, 37(5): 22-24.

[2] 李江, 周继刚, 钟志敏, 等. 红外成像技术在宝钢300 t转炉中的应用[J]. 钢铁研究, 2007, 35(6): 18-21.

Li Jiang, ZHOU Ji-gang, ZHONG Zhi-min, et al. Application of infrared imaging technology in 300 t converter of Baosteel[J]. Research on Iron and Steel, 2007, 35(6): 18-21.

[编辑:魏方]