

基于激光定位与扫描的钢包温场测量方法

刘 军^{1,2}, 孟宪武², 次 英³, 方江雄^{1,2}, 侯庆明², 车仲轩², 杨 凤^{1,2}

(1. 东华理工大学核技术应用教育部工程研究中心, 江西南昌 330013;

2. 东华理工大学地球物理与测控技术学院, 江西南昌 330013; 3. 东北大学信息工程学院, 辽宁沈阳 110819)

摘 要: 钢包是连接炼钢与浇注环节的容器,即将承接炼钢炉的注入钢水的钢包容器内壁温度直接决定了炼钢炉的出钢温度,与企业节能降耗密切相关.钢包在装盛钢水前的热修工位由行车吊装放置,其放置后的绝对位置难以固定,从而导致温场分布无法确定.针对此现状,本文提出了一种激光定位与扫描的钢包温度场测量方法,先利用定位激光确定被测钢包所处的空间坐标,再由主测量平台执行机构带动扫描激光与红外测温传感器扫描钢包内壁面获取钢包内壁各被测点的测距与温度值,根据空间坐标关系,将被测点测距值映射为钢包坐标数值,从而得到钢包内壁各点坐标与温度值,即温场分布.现场实验表明:该方法可实现钢包温场的获取,坐标定位不确定度 $\leq 3.0\text{mm}$;温度测量最大误差 4.7°C ,最小误差 0.5°C ,平均误差小于 3.3°C ,达到较高定位与测量精度,为基于温度信息的冶金工艺控制提供重要参数信息.

关键词: 红外测温; 钢包; 内壁温度; 激光定位; 扫描

中图分类号: TB921 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2019)05-1017-06

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn> **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2019.05.006

Solution to Temperature Field Measurement of the Ladle Based on Laser Positioning and Scanning

LIU Jun^{1,2}, MENG Xian-wu², CI Ying³, FANG Jiang-xiong^{1,2},
HOU Qing-ming², CHE Zhong-xuan², YANG Feng^{1,2}

(1. Engineering Research Center of Nuclear Technology Application (East China University of Technology),
Ministry of Education, Nanchang, Jiangxi 330013, China;

2. School of Geophysics and Measurement-Control Technology, East China University of Technology, Nanchang, Jiangxi 330013, China;

3. School of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang, Liaoning 110819, China)

Abstract: Ladle is a container which used to connect the steel-making and pouring sections. The tapping temperature of the steel-making furnace is directly determined by the temperature of the inner wall of the ladle, which is closely related to the energy saving and consumption Reduction of the enterprise. Before the ladle is filled with molten steel, the ladle is placed in the hot repair station by driving. The absolute position of the ladle after placement is difficult to fix, resulting in a temperature field distribution that cannot be determined. So, this article presents a method for measuring the temperature field of ladle by laser positioning and scanning. Firstly, the positioning laser is used to determine the spatial coordinates of the ladle. Then, the actuator of the main measurement platform drives the scanning laser and the infrared temperature measurement sensor to scan the inner wall surface of the ladle to obtain the distance measurement and temperature of each measured point on the inner wall of the ladle. According to the spatial coordinate relationship, the distance measurement values of the measured are mapped to the ladle coordinate values, therefore we obtained the coordinates and temperature values of the inner wall of the ladle. So the temperature field distribution is obtained. The field experiment shows that the method can obtain the temperature field of the ladle, the coordinate positioning uncertainty is no more than 3.0mm ; the maximum error of temperature measurement is 4.7°C , the minimum error is 0.5°C , and the average error is less than 3.3°C . The method achieves to

收稿日期:2018-10-11;修回日期:2018-12-31;责任编辑:马兰英

基金项目:国家自然科学基金(No. 51304050, No. 61866001);江西省自然科学基金(No. 20171BAB202028, No. 20161BBE53006);东华理工大学核应用教育部工程研究中心开放基金(No. HJSJYB2016-9, No. HJSJYB2016-1);东华理工大学研究生创新项目基金(No. DHYC-201805)

high positioning and measurement accuracy, it will provide important information for steel-making control based on temperature information.

Key words: infrared temperature measurement; ladle; inner wall temperature; laser positioning; scanning

1 引言

连铸生产中,钢包是连接炼钢和浇注工序的中间容器,钢包容器温度则是影响炼钢出钢温度控制与质量的关键因素.钢包最外层为钢壳,内部为耐火材质构成的内衬,内衬分为保温层、永久层和工作层.在实际生产过程中,由于钢包内衬的工作层与钢水直接接触,钢包内壁温度在一定程度上直接决定了炼钢出钢温度,因此是钢包准备工序重点关注参数.准确地掌握准备工段钢包内壁温度分布数据是保证后续炼钢质量、安全生产以及节约成本的重要先决条件.

目前钢铁冶金现场对于钢包内壁温度普遍采用单色红外点测获取准备工段钢包内壁点的温度,无法确定测温点坐标,从而无法进一步确定后续的钢包内各点温度.郑德忠等^[1]提出了对 CCD 光谱相应曲线寻迹的数字滤光温度场测量,该方法简单有效,然而其在高温、粉尘等现场环境存在连续工作寿命与安全维护的困难.石琳等^[2]提出将高炉炉缸壁三维简化为二维的温度场数学模型;程树森等^[3]提出柱坐标系考虑凝固潜热的二维非稳态炉缸、炉底温度场数学模型;Li 等^[4]采用有限元法计算轧制过程和间接轧制过程中工作辊任意截面的温度场;G. P 等^[5]采用非线性集总参数模型对钢包的热动力学进行建模,利用雅克比矩阵非线性观测器对温度进行估计.基于 ANSYS 等有限元分析软件的数学模型建立对模拟热应力分析有一定的参考价值,但由于操作环境恶劣和炼钢工艺参数不确定,实际应用困难^[5].沈雪华等^[6]采用基于收发分体声波换能器结合 Markov 径向基拟合重建温度场分析工业过程控制中的温度场分布,该方法精度高,抗干扰性强,但声波换能器的安装复杂且困难.

本文提出一种基于激光定位与扫描的钢包温场测量方法,利用定位激光检测确定被测钢包所处的空间坐标,再由主测量平台执行机构带动扫描激光和红外测温传感器扫描钢包内壁面,根据空间坐标关系,将钢包内壁面各被测点对应的扫描激光测距值进行三维映射为钢包坐标数值^[7],与系统获取的对应被测点的温度结合,从而得出钢包内壁各点的温场分布.

2 测量系统及原理

2.1 测量系统

若要测量处于周转中的钢包内壁温度,显然应选择选择在钢包为未装盛钢水且处于位置相对固定的工位以便测量.因所有在线使用的钢包在完成每个浇次后,须

到热修工位后进行底吹和内壁吹扫,此时钢包横向放置在相对固定的支座上,因此将热修工位作为钢包内壁温场测量工位.

本文温场测量系统由定位激光、主测量平台、扫描激光、红外测温探头及数据计算与主控模块等构成.由于每次浇注完的钢包被行车吊装回到热修工位,不能保证钢包放置的绝对位置不变,因此采用定位激光用以定位钢包位置;扫描激光与测温传感器由主测量平台执行机构带动扫描钢包内壁分别获取距离数据和温度数据,数据计算与主控模块则将距离和温度数据转换成钢包内壁温度分布数据.

2.2 测量流程及原理

本文测量方法具体流程与原理如下:

(1) 钢包位置定位.定位激光由 2 个水平对称安装的激光传感器组成,将定位激光发射与接收所在平面视为定位参考平面,定位激光分别获取钢包底部平面的两点与定位参考面的距离(测距值);根据该两点测距值得出钢包底部平面相对于定位参考平面的定位偏移和定位偏移角,通过定位偏移与偏移角确定钢包位置定位坐标.

(2) 钢包内壁扫描.本文系统主测量平台是能执行水平和垂直方向旋转的机构,平台底座水平面安装,扫描激光安装于旋转机构上.主测量平台与激光能测水平角、竖直角和空间距离,故可利用该测量平台测量钢包内壁被测点的空间坐标.在温度场测量时,根据系统设定角度步距驱动控制带动测量激光对钢包内壁面进行扫描,获取各被测点温度值的同时,获取各点与测量激光点的距离数据,从而获取钢包内壁面各点相对主测量平台旋转支点(参考点)的测量距离与测量偏移角.

(3) 温场数据映射还原.为了获得钢包内壁各被测点坐标,必须将激光所测数据转换到钢包坐标系中.分别建立测量坐标系和钢包坐标系,根据离线标定的位置参数和通过定位激光获得的测量坐标系与钢包坐标系的位置参数,再将钢包内壁各点的测量距离与测量偏移角映射到钢包坐标系,完成三维数据映射,转换成钢包坐标信息^[8,9],结合各点温度测量数据,从而获得钢包内壁温场分布信息^[10-13].

3 测量方法实现

3.1 钢包坐标映射

本文测量系统包括定位系统和测量系统,均安装

在固定位置,二者相对位置不变,故,相对空间关系可离线确定.而每次吊装放置的钢包,无法精确放置,将产生前后偏移和水平偏转角.本文通过定位激光传感器 1 和定位激光传感器 2 分别获得钢包底部两个被测量点距离分别为 L_1 和 L_2 .则钢包底部平面相对于定位参考平面偏移为 L_d 、偏移角 θ 可通过公式(1)求得.

$$\begin{cases} L_d = \frac{L_1 + L_2}{2} \\ \theta = \arctan \frac{|L_2 - L_1|}{d} \end{cases} \quad (1)$$

式中: d 为激光传感器 1 和激光传感器 2 之间的垂直距离,为已知值.

在测量工位上,因吹扫工艺需要,钢包底部高于钢包口,包口和包底轴向与水平面夹角 α 固定不变(钢包放置支座固定),因此仅钢包偏移 L_d 和偏移角 θ 为待测值,其它位置参数坐标已知.主测量平台扫描激光初始位置相对于钢包外壁底部圆心的在放置钢包支座的左右方向、垂直水平面方向的偏移分别为 x_0 、 z_0 ,相对于与定位参考平面的距离 L , x_0 、 z_0 、 L 均可离线标定.同时又因 L_d 和 θ 可由式(1)得到,故,钢包和测量系统的相对位置已确定.

为实现扫描激光对钢包各被测点的测距值转换成钢包包壁坐标,本文建立 2 个坐标系,分别为扫描测量坐标系 M 和钢包坐标系 S (如图 1 所示). M 坐标系以扫描激光初始位置(水平放置)中心为测量坐标原点 O' ,平行于扫描激光传感器平面的水平方向为 X 轴,

激光光线方向为 Y 轴,竖直方向为 Z 轴. S 坐标系以钢包外壁底部圆心为坐标原点 O ,垂直底部平面方向为 Y 轴,钢包底面竖直向方向为 Z 轴,钢包底面垂直 Z 方向为 X 轴,坐标系示意图如图 2 所示.为了区分, M 坐标系的 X 、 Y 、 Z 轴分别用 X_M 、 Y_M 、 Z_M 表示,坐标用 (x_m, y_m, z_m) 表示; S 坐标系的 X 、 Y 、 Z 轴分别用 X_S 、 Y_S 、 Z_S 表示,坐标用 (x_s, y_s, z_s) 表示.显然,若要最终获得钢包内壁各点位置坐标,即需将 M 坐标系中的扫描激光对钢包内壁点的测距坐标转换到 S 坐标系中.

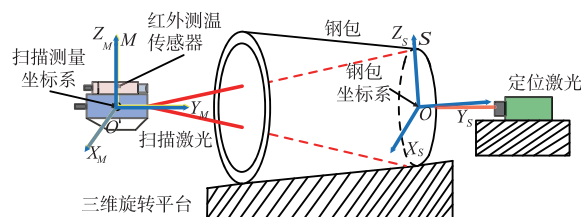


图1 钢包与激光测量坐标系

显然, S 坐标系和 M 坐标系之间存在平移变换和旋转变换, M 坐标系原点 O' 相对 S 坐标系的位移为 ${}^S P_{M-org} = [x_0, L - L_d, z_0]^T$, M 坐标系相对 S 坐标系的姿态为 ${}^S R_M$.假设扫描激光的水平偏角分别为 β 和 φ (可通过获取主测量平台旋转偏角得到),则 M 坐标系的点和 S 坐标系的点之间有以下关系:

$$p_s = {}^S R_M \cdot p_m + {}^S P_{M-org} \quad (2)$$

式中: p_s 为 S 坐标系坐标; p_m 为 M 坐标系坐标.

式(2)具体坐标系变换运算为:

$$\begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-\alpha) & -\sin(-\alpha) \\ 0 & \sin(-\alpha) & \cos(-\alpha) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos(-\theta) & -\sin(-\theta) & 0 \\ \sin(-\theta) & \cos(-\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos\beta & -\sin\beta & 0 \\ \sin\beta & \cos\beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi & -\sin\varphi \\ 0 & \sin\varphi & \cos\varphi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_0 \\ \frac{2L - L_d}{2} \\ z_0 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} x_m \cos(\theta - \beta) + y_m \sin(\theta - \beta) \cos\varphi - z_m \sin(\theta - \beta) \sin\varphi + x_0 \\ -x_m \cos\alpha \sin(\theta - \beta) + y_m [\cos\alpha \cos(\theta - \beta) \cos\varphi + \sin\alpha \sin\varphi] - z_m [\cos\alpha \cos(\theta - \beta) \sin\varphi + \sin\alpha \cos\varphi] + \frac{2L - L_d}{2} \\ x_m \sin\alpha \sin(\theta - \beta) - y_m [\sin\alpha \cos(\theta - \beta) \cos\varphi - \cos\alpha \sin\varphi] + z_m [\sin\alpha \cos(\theta - \beta) \sin\varphi - \cos\alpha \cos\varphi] + z_0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

根据式(3)即可实现测量坐标系的数据到钢包坐标系的转换,获得钢包内壁定位信息.

3.2 钢包内壁温度测量

钢包内壁测温通过由光学通路和光电转换器件构成的红外测温探头获取被测点(测量视场范围靶面)的红外辐射能量实现.本文红外测温探头光学视场为对称的圆锥形状,根据测温原理,建立如图 2 所示的辐射测温模型.为便于计算,将被测靶面统一处理投影到钢包内壁底面.图 2 中 ds 为投影平面上某一圆环上的微元面,窄带滤光片只允许某一较窄波段范围内的红外

光通过.故,光电转化红外探头最终所获得的能量即为测温探头光学视场范围内(即,被测靶面可视范围)的所有钢包内壁微元面辐射能量作用的总和.

在钢包内壁辐射测温模型基础上,假设:

(1)在被测靶面投影平面上的所有的钢包内壁微元面为朗伯辐射体.

(2)在较小的测温视场内,钢包被测点范围所有点的温度均相等(等于被测温度).

(3)窄带滤光片的带宽足够窄,入射到光电转换探头的光为单色光.

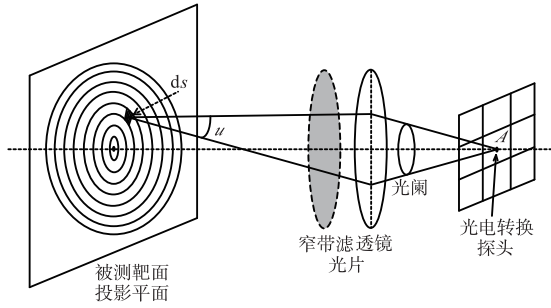


图2 钢包内壁辐射测温模型

根据测温模型,可得到红外测温探头输出电压表达式为:

$$U_o(\lambda, T) = \frac{k_1 \eta_\lambda q S}{h \nu_\lambda} \int_s k_2 \pi L(\lambda, T) \sin^2\left(\frac{u}{2}\right) ds \quad (4)$$

式中: λ 为红外传感器探测的单色光中心波长; T 为被测微元面 ds 的温度(即被测扫描点温度); k_1 为电荷-电压变换因子,为常数; η_λ 为波长为 λ 的单色光量子效率; q 为电子的电荷量; S 为探头感光面面积; h 为普朗克常数; ν_λ 为波长为 λ 的单色光频率; t 为探头感光时间; k_2 为光学通路的透射率; $L(\lambda, T)$ 为被测微元面在温度为 T 、波长为 λ 的单色辐射出度,其表达式为:

$$L(\lambda, T) = \frac{c_1}{\pi} \int_{\lambda-\frac{\Delta\lambda}{2}}^{\lambda+\frac{\Delta\lambda}{2}} \frac{\varepsilon_{eff}(\zeta, T)}{\zeta^5 e^{\frac{c_2}{\zeta T}}} d\zeta \quad (5)$$

式中: c_1 和 c_2 分别为普朗克第 1 和第 2 常数; $\Delta\lambda$ 为窄带波长带宽; $\varepsilon_{eff}(\zeta, T)$ 为被测微元面的单色有效发射率。

对于单色光而言,认为 $\varepsilon_{eff}(\zeta, T)$ 值与波长无关,且在装盛钢水前钢包内壁温度约为 $700 \sim 1000^\circ\text{C}$ 的变化范围内为固定值,用 $\varepsilon_{eff}(\lambda, T)$ 表示,可通过标定确定,故:

$$L(\lambda, T) = \frac{c_1 \varepsilon_{eff}(\lambda, T)}{\pi \lambda^5 e^{\frac{c_2}{\lambda T}}} \Delta\lambda \quad (6)$$

$$U_o(\lambda, T) = \frac{k_1 \eta_\lambda q S}{h f_\lambda} \int_s k_2 \pi \left(\frac{c_1 \varepsilon_{eff}(\lambda, T_s, T)}{\pi \lambda^5 e^{\frac{c_2}{\lambda T}}} \Delta\lambda \right) \sin^2\left(\frac{u}{2}\right) ds \quad (7)$$

式(7)中 k_1 、 η_λ 、 q 、 S 、 h 、 f_λ 、 t 、 k_2 、 λ 、 $\Delta\lambda$ 、 c_1 、 c_2 、 $\varepsilon_{eff}(\lambda, T)$ 均为常数或已知量。

显然,测温探头输出电压 $U_o(\lambda, T)$ 与钢包被测点被测温度 T 为一一对应关系,即 T 值可由系统获取的 $U_o(\lambda, T)$ 值确定。

4 实验与分析

本系统根据现场温度和测量工位等情况,测量装置固定安装距离钢包口 $2.5 \sim 3.2\text{m}$ 的距离. 为了保证系统长期稳定工作,温场测量系统除了引入冷却压缩空气吹扫,还配备了工业空调与环境温度测量报警等装置,以达到保护目的。

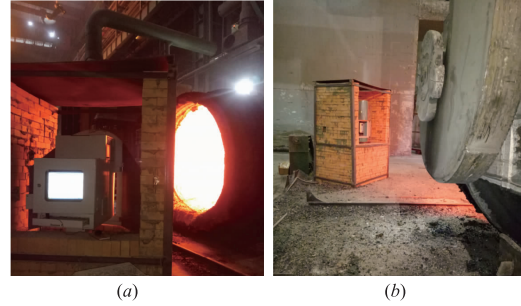


图3 钢包温度场测量系统现场测试

本文在某钢铁厂对周转使用中的钢包进行了测试,如图 3 所示,并利用单点测量比对验证钢包温场测量结果。

该现场的新钢包的结构参数为:包口外径: 3560mm ;包口内径: 2827mm ;包底外径: 3411mm ;包底内径: 2699mm ;高度: 4150mm 。

为了表示方便,本文实验测量结果的钢包内壁坐标信息用网格分块表示,测量获取温度场如图 4 所示,沿钢包口开始的单次轨迹扫描测量数据如图 5 所示. 激光测量数据与对比验证(等待钢包冷却)数据对比如表 1 所示。

表 1 实验与验证对比

测量验证点	钢包运转次数	定位不确定度 (mm)	温度测量误差 ($^\circ\text{C}$)
左侧钢包口	10	1.1	3.6
	31	1.1	2.3
	42	1.3	2.5
	65	0.8	2.8
渣线顶部	10	2.9	4.2
	31	2.1	4.0
	42	2.6	3.3
	65	1.8	2.3
包壁包底交界	10	0.8	2.3
	31	1.1	2.9
	42	0.7	2.3
包底中心点	65	0.8	1.9
	10	0.2	0.6
	31	0.2	2.6
	42	0.3	1.2
	65	0.2	4.5

由图 4 与图 5 可知,从曲线整体变化而言,本文方法测量获取的温场曲线整体符合钢包温场变化,与人工采用单点测温验证对比数据则如表 1 所示. 经统计,本文测量点定位利用激光多点交叉验证,定位不确定

度 $\leq 3\text{mm}$;温度测量与单色测温比对验证最大(绝对)误差 4.7°C ,最小误差 0.5°C ,平均误差小于 3.3°C 。

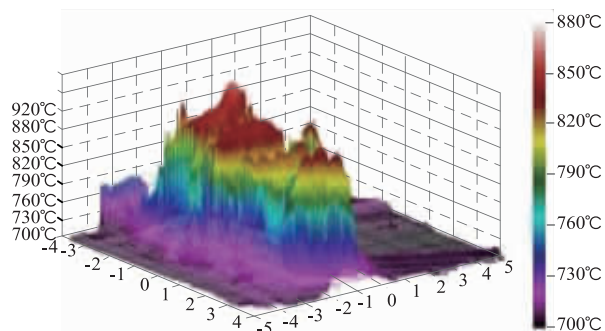


图4 钢包内壁温度场测量结果

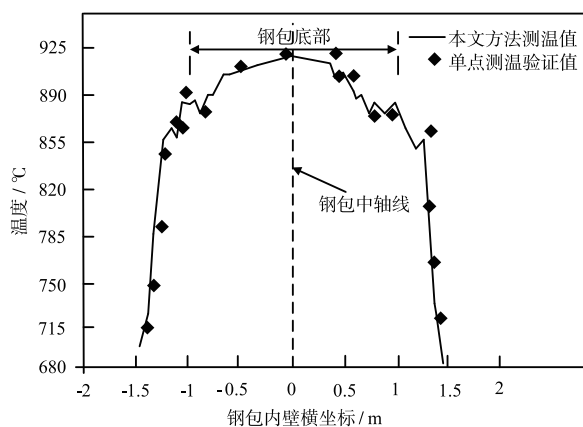


图5 单次轨迹扫描温场测量结果

5 结论

本文针对钢铁冶金现场钢包温度场难以测量,提出一种基于激光定位与扫描的温场测量方法,得出结论如下:

(1) 利用定位激光确定被测钢包整体的空间位置,再由主测量平台执行机构带动的扫描激光获取钢包内壁面各点坐标。

(2) 建立扫描坐标系和钢包坐标系,再根据定位关系将扫描坐标系数据映射至钢包坐标系,完成了钢包内壁被测点的定位。

(3) 红外测温传感器获取的各被测点测温值与被测点坐标定位相结合,实现了钢包内壁温度场的获取。

经现场实验表明,本文测量点定位不确定度 $\leq 3.0\text{mm}$;温度测量最大(绝对)误差 4.7°C ,最小误差 0.5°C ,平均误差小于 3.3°C 。本文方法,达到较高定位与测量精度,为基于温度信息的冶金工艺控制提供了重要参数信息。

参考文献

[1] 郑德忠,周颖慧.单 CCD 数字滤光温度场测量[J].电子

学报,2009,37(12):2774-2777.

ZHENG De-zhong, ZHOU Ying-hui. Digital filtering for temperature field measurement using a single CCD camera [J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(12): 2774-2777. (in Chinese)

[2] 石琳,李志玲,张景.高炉炉缸壁三维简化为二维的数值模拟建模[J].钢铁研究学报,2011,23(02):21-24.

Shi Lin, Li Zhi-lin, Zhang Jing. Modelling study of three-dimensional simplified as two-dimensional numerical simulation for blast furnace hearth [J]. Journal of Iron and Steel Research, 2011, 23(02): 21-24. (in Chinese)

[3] 程树森,杨天钧,左海滨,全强,王泽愨,吴启常.长寿高炉炉缸和炉底温度场数学模型及数值模拟[J].钢铁研究学报,2004,16(1):6-9.

CHENG Shu-sen, YANG Tian-jun, ZUO Hai-bin, QUAN Qiang, WANG Ze-min, WU Qi-chang. Mathematical model and numerical simulation of temperature field for hearth and hearth bottom of long campaign blast furnace [J]. Journal of Iron and Steel Research, 2004, 16(1): 6-9. (in Chinese)

[4] LI Chang-sheng, YU Hai-liang, DENG Guan-yu, et al. Numerical simulation of temperature field and thermal stress field of work roll during hot strip rolling [J]. Journal of Iron and Steel Research (International), 2007, 14(5): 18-21.

[5] Phanomchoeng G, Chantranuwathana S, Charunyakorn P. On-line ladle lining temperature estimation by using bounded jacobian nonlinear observer [J]. Journal of Iron and Steel Research (International), 2016, 23(8): 792-799.

[6] 沈雪华,熊庆宇,石欣,等.基于收发分体声波换能器的二维温度场重建[J].仪器仪表学报,2015,36(8):1715-1723.

Shen Xuehua, Xiong Qingyu, Shi Xin, et al. Two-dimensional temperature field reconstruction based on split type acoustic transducers [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2015, 36(8): 1715-1723. (in Chinese)

[7] Javidi B. Integral three-dimensional imaging with digital reconstruction: Opt lett, US 20020114077 A1 [P]. 2002.

[8] Li W, Su X, Liu Z. Large-scale three-dimensional object measurement; a practical coordinate mapping and image data-patching method [J]. Applied Optics, 2001, 40(20): 3326-3327.

[9] Scott W R, Roth G. View planning for automated three-dimensional object reconstruction and inspection [J]. ACM Computing Surveys, 2003, 35(1): 64-96.

[10] Wen C D. Investigation of steel emissivity behaviors: Examination of multispectral radiation thermometry (MRT) emissivity models [J]. International Journal of Heat &

Mass Transfer, 2010, 53(9):2035 – 2043.

- [11] Nie B, He X, Zhang C, et al. Temperature measurement of gas explosion flame based on the radiation thermometry [J]. International Journal of Thermal Sciences, 2014, 78(3):132 – 144.
- [12] Wen C D, Lu C T. Suitability of multispectral radiation thermometry emissivity models for predicting steel sur-

face temperature [J]. Journal of Thermophysics & Heat Transfer, 2015, 24(3):662 – 665.

- [13] Hagqvist P, Sikström F, Christiansson A K. Emissivity estimation for high temperature radiation pyrometry on Ti-6Al-4V [J]. Measurement Journal of the International Measurement Confederation, 2013, 46(2):871 – 880.

作者简介



刘 军 男, 1981 出生, 江西省安福人. 东华理工大学地球物理与测控技术学院副教授, 主要研究方向为过程参数检测、系统建模、信号处理等.
E-mail: jun_liu_2003@163.com



孟宪武 男, 1996 出生, 江西省抚州人. 东华理工大学硕士研究生, 主要研究方向为信号处理, 系统误差分析.
E-mail: 1525818015@qq.com