

·检测与仪表·

高炉雷达料面成像系统的设计与实现

陈先中¹,丁爱华^{1,2},吴 昀¹

(1. 北京科技大学 信息工程学院,北京 100083; 2. 唐山学院)

摘要:针对高炉生产现场实时确切掌握高炉内部料面形状分布和变化的迫切需要,建立基于图像处理的高炉料面在线检测模型,并基于雷达物位计、数据采集卡、PLC控制系统和上位机进行了系统集成。综合曲线放样建模和曲面拟合或插值的优缺点,建立基于专家系统带权值的双算法综合料面生成模型,采用最小二乘法曲面拟合算法和 NURBS 曲面全局插值算法进行曲面拟合,生成料面,通过合理选取雷达数量,选定雷达检测点,最大程度地使雷达测量结果逼近实际料面情况。

关键词:高炉;雷达;料面形状;成像

中图分类号: TF325.3; TN953 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7059(2009)02-0052-05

Design and implementation of radar burden imaging system in blast furnace

CHEN Xian-zhong¹, DING Ai-hua^{1,2}, WU Yun¹

(1. School of Information Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China; 2. Tangshan College)

Abstract: Due to urgent requirement of mastering distribution and change of burden surface in blast furnace production, an on-line detecting model of blast furnace burden was established based on image processing. The system was integrated with radar level meter, data acquisition card, PLC and PC. Synthesizing advantage and disadvantage of curve layout modeling and surface fitting or interpolating, burden model was built by use of dual algorithm with weight based on expert system. Surface fitting was carried out and burden surface was generated by use of least square method and NURBS. Radar measuring result is best close to actual burden surface through reasonable selection of radar number and radar measuring location.

Key words: blast furnace; radar; burden surface distribution; imaging

0 引言

高炉内部工作环境极其恶劣,直接检测料面情况非常不易。为了控制料面形状,需要测量出炉顶炉料的分布形状,而高炉炉顶的高温、高压、粉尘环境,给测量带来了很大的困难。最早是根据操作人员的经验由人工操作保证高炉的布料和火力状态,使得高炉操作带有很大的经验性和随

意性,无法保证准确度,而且不利于布料操作优化。目前也有很多的监测系统能够对高炉料面进行单个点的监测控制。传统上对封闭高炉料面的监视一般仅限于用机械探尺采集数据。机械探尺虽然准确可靠,但缺点是不能遍历炉顶料面的每一点,造成分析炉内料面分布的难度较大。针对这种情况,人们研究开发出一些新的监测手段,如

收稿日期:2008-11-11;修改稿收到日期:2008-12-12

基金项目:国家“863”计划探索项目(2006AA04Z177);毫米波国家重点实验室开放课题(K200801)

作者简介:陈先中(1966-),男,安徽合肥人,教授,博士,主要从事高炉雷达的料位检测、高炉料位成像系统、信号处理与高精度算法、医疗仪器等方面的研究工作。

炉窑的视频监测系统,在高温下可以看见炉内的布料状态、炉内火焰和炉边火焰的发展情况,但在光线较暗、料位很低时,看不见炉内的布料情况;也有运用红外成像技术,对料面表面的红外图像进行分析,通过检测高炉料面的温度分布来间接推算高炉料面的分布,优点是可以根据像素值和像素之间的关系构造三维图像,全面反映炉顶料面形状,缺点是在低温区效果不好。上述方法都存在一定的局限性。由于微波信号的传播特点,使得雷达料位测量比起红外、超声、激光等料位计在某些特殊环境下更具有优越性。^[1-2]

多年来,人们一直致力于高炉现象的模拟与解析,以达到掌握炉况,更好地控制高炉的目的。随着信息技术的发展,研究者们逐渐在高炉信息检测中引入数学建模思想,并将计算机技术、多媒体虚拟技术引入到高炉检测中,将高炉封闭空间转变成可视化的操作过程。为高炉的安全生产和操作优化提供了更为可靠的依据^[3]。

本文以某钢铁企业的高炉为研究背景,建立基于图像处理的高炉料面在线检测模型。该模型运用成功的工业雷达技术,使用多台雷达的测量数据,以多点拟合曲面、数学建模与仿真显示整个料面的形状,为高炉布料操作优化的实现提供了有效的途径。

1 系统结构

系统工作流程如图 1 所示。雷达向高炉料面发出雷达波,并根据回波数据判断料面是否正确。来源于各个雷达的电信号经数据采集卡送入计算机,计算机根据各自雷达倾斜的角度和高炉参数,推算高炉的料面位置,并计算料面的下降速度,再经过一系列软件处理算法,产生料面模型,并将此结果实时显示。

根据单点雷达覆盖高炉内料面的有效面积,可以计算出所需雷达的最低数量。多雷达在确定安装位置时遵循以下几个原则:均匀分布原则、炉体最小应力分布原则、圆周可布雷达区域的垂直优先原则、倾斜角最小原则。此外,雷达安装时,须在高炉炉顶打开探测孔,在其上方焊接套筒,雷达的发射接收天线深入到套筒内接近炉体处,并在连接法兰处安排相应的吹除冷却系统,从而有效保障雷达在粉尘和热气流波动的情况下,稳定地采集到所需数据。雷达及辅助设施安装方式如图 2 所示。另外,套筒上的温度传感器,能够监控

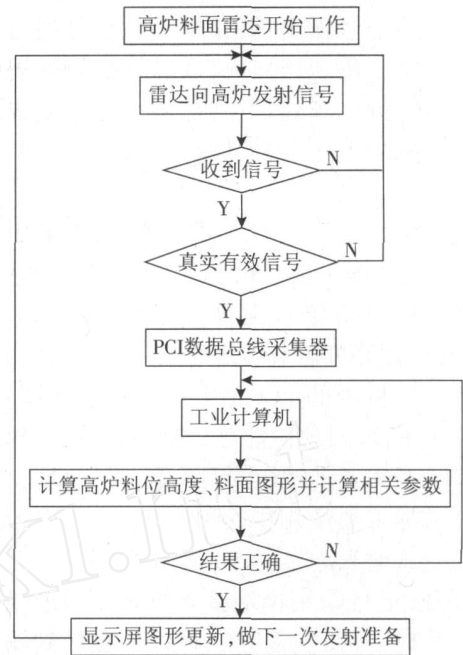


图 1 系统工作流程图

Fig. 1 Flow chart of the system

雷达附近温度的变化,防止温度突变给雷达测量造成的不利影响,雷达测量值和温度值可以在现场显示并送入 PLC 进行数据处理。当雷达系统超温、超限、断电、停气时,自动声光报警。

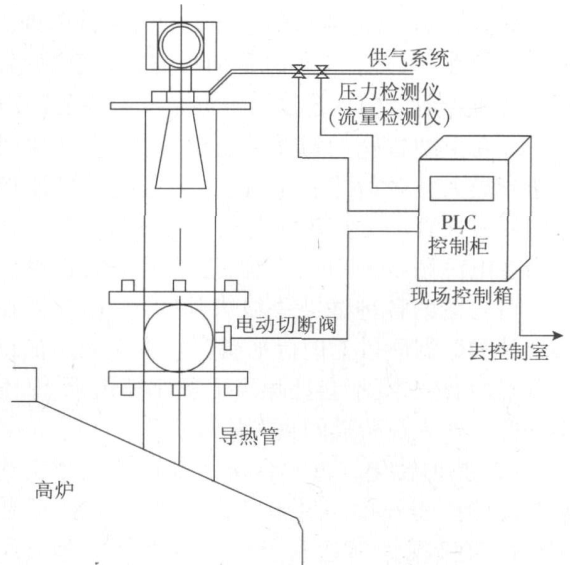


图 2 雷达及辅助设施安装工艺图

Fig. 2 Installation sketch of radar and auxiliary facilities

2 数据处理及料面生成

2.1 雷达多路数据采集

数据采集由三部分组成:安装在高炉顶部的雷达将其探测的料位物理信号转换成 4 ~ 20 mA

的标准模拟信号输出;雷达输出的信号通过电缆传送给数据采集卡,再转换成计算机能够识别的数字信号供进一步处理;将电流信号转换成采集卡可以识别的电压信号,同时对信号进行初步的稳定与处理。

与传统仪器组建的测试系统相比,采用基于 PCI 总线的数据采集在性能、灵活性、易用性和低价格等方面具有绝对优势。仪器硬件采用插入式,具有与计算机插卡同样的尺寸,将硬件插卡直接插入计算机中的 PCI 槽上即可构成测试系统。基于以上考虑,对比性能与价格后,最终选择研华 PCI-1716 插入式多功能数据采集卡。

在数据采集应用中,模拟量输入基本上都是电压形式输入。为了达到准确测量并防止损坏应用系统,信号采用单端输入方式。当测量一个单端信号时,只需一根导线将信号连接到输入端口,被测的输入电压以公共地为参考。没有地端的信号源称为“浮动”信号源,在这种模式下,PCI-1716 为外部浮动信号源提供一个参考地。

2.2 数据预处理

在使用测量获取的测点数据构建三维模型之前,还要进行以下步骤的处理工作:噪声处理,增强数据的合理性;将雷达数据转化为高程数据,统一坐标数据单位,使所有的数据具有统一的基准。

(1)噪声处理。无论采用何种方式获取数据,都不可避免地会在有效数据中混杂不合理的噪声点。如在某种特殊的雷达波反射条件下,雷达回波遭到极大的散射或者干扰,就会造成丢失波形或者回波失真。工业现场大功率设备的频繁启动也会在电源系统中引入干扰,造成虚假的尖峰信号。可以借助各种滤波手段去除噪声,但必须在实时性和数据质量上进行平衡^[4]。本文采用加权 N 点平均滤波,既不会让噪声干扰建模效果,又不会滤除工作人员所需的真实信息。

(2)数据转化。每一台雷达都返回一个雷达至料面的路程长度。对于竖直安装的雷达,此数据可以直接视为雷达到采样点水平面的竖直距离;而对于倾斜安装的雷达,则需要通过三角函数关系,获知雷达至采样点水平面的准确距离。

(3)统一坐标数据单位。由于预期的采样数据不仅来自雷达,还有可能来自机械探尺,在未来的开发中,还会加入诸如温度等信息,这样就面临着一个对齐数据的问题。我们建立了一个采样数

据矩阵,在其中加入一些条件信息,这样有助于在编程时对数据进行处理。

2.3 多雷达分布理论及安装

料面形状的描述是建立料层分布数学模型的关键点。针对料面形状的描述,不能简单地基于一条料面剖面曲线放样形成的中心对称的圆环虚拟料面,而是需要基于少量的检测点生成全面的料面模型。多雷达的分布,直接影响到料面的形成与模型的优劣。所以需要综合运用曲线放样和曲面拟合、插值的方法,确定多雷达的合理分布,为现场的需要服务。

综合分析曲线放样建模和曲面拟合或插值的优点和缺点,在曲面拟合或插值的基础上,引入曲线放样建模径向等距分布思想,即在尽量均匀分布雷达测点的同时,使雷达在径向上符合等距分布的特征。在此基础上,采取曲线和曲面两种算法,生成高分辨率的剖面曲线,获得携带完整料面信息的料面模型。同时建立一个基于专家系统的带权值的双算法综合料面生成模型——给两种算法生成的料面数据分别乘上一定的权值,其结果作为最终料面效果。权值的确定取决于不同的工况和状态。此种方法经过本系统的雷达虚拟安装功能的检验,完全能够使分布的测点最大程度地携带料面的各种信息。

考虑到高炉的布料筒和布料溜槽,空间上存在无法安装的区域,因此实际上有效安装雷达的位置和空间十分有限。图 3 所示是一种多雷达计算机辅助虚拟设计系统安装示意图(以 6 个雷达料位计为例),根据上述雷达安装原则,将雷达安装位置确定在高炉本体的垂直投影面的料面圆环

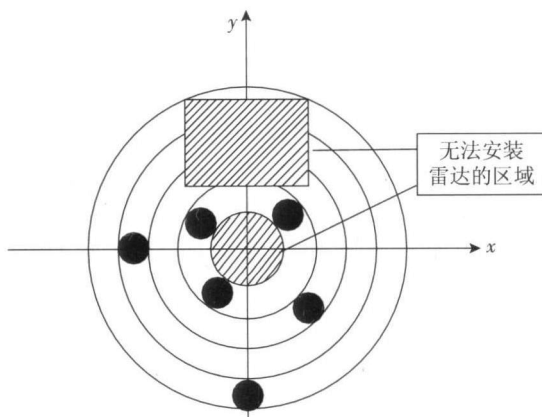


图 3 高炉雷达测点实际分布效果图

Fig. 3 Actual distribution points of blast radar

上。将该圆环分为 4 个环区,在高炉斜面上的水平投影位置,用等间隔方法,布置 4 个雷达,即垂直安装 4 台雷达。另外在内环靠近炉中心位置倾斜安装两台雷达,实行料面的全覆盖。

2.4 料面拟合算法

采用最小二乘法时,产生的拟合数据并不精确通过原始数据点,但是生成的多项式函数能够被运用在诸如趋势分析等情况。采用 NURBS 曲面全局插值方法时,曲线曲面能够精确通过原始数据点,但是仅仅能够在现有的数据之间进行插值,并不能够生成曲线曲面方程^[5]。在获取雷达测量信息后,要进行数据拟合,形成光滑的曲面图像,将两种算法结合来实现。但这两种算法对于数据点集合都有一定的要求,即需要把数据转化为符合矩形特征、均匀分布的数据集合。而高炉内部料面为典型的圆环曲面,且雷达探测点的位置分布不可能达到最为理想的状态,经常为了迁就现场的工作环境而使得雷达安装位置偏离理想状态。这就需要在曲面拟合算法上做出一定的调整,对于原始数据集合进行坐标投影和修正,使其符合标准算法的要求。

具体方法是:建立一个以高炉纵向中轴线为原点、横坐标为角度(最小二乘法角度范围为 0 ~

360°;NURBS插值法角度范围为 0 ~ 360°+某角度,具体数值按照满足算法边界条件的需要而定)、纵坐标为径向距离 r 的坐标系。这样,圆形曲面拟合问题就转化为一个标准的矩形区域曲面拟合。

针对安装位置不规则的雷达测量点分布,采取区域分组的办法,在每个区域取一个平行于纵轴、且经过此区域中心的标准直线,并以此直线为新的坐标纵轴、算出测量点到此直线上的投影函数关系。这样,零乱分布在圆形区域内的数据点集合就可以适用标准的矩形域曲面拟合算法。

3 成像系统的软件设计

多雷达成像系统设计好后,对高炉炉内的料面形状进行了仿真建模。本成像系统是一个适用于高炉生产现场的可视化系统,可以依据现场环境的各项数据,真实再现工业现场的场景,尤其是能够重现高炉整体及其各层平台,并可以对雷达和其附加装置在炉顶的安装位置、角度有直观了解。本系统对于历史数据的显示采用三维建模技术,显示某一时间段内的数据变化趋势。程序编制采用被广泛使用的 Visual C++ .NET 2003,并使用 OpenGL 图形应用编程接口增强图形绘制能力,以适应高强度图形显示的需求。

图 4 为多雷达虚拟安装系统,只需输入相关

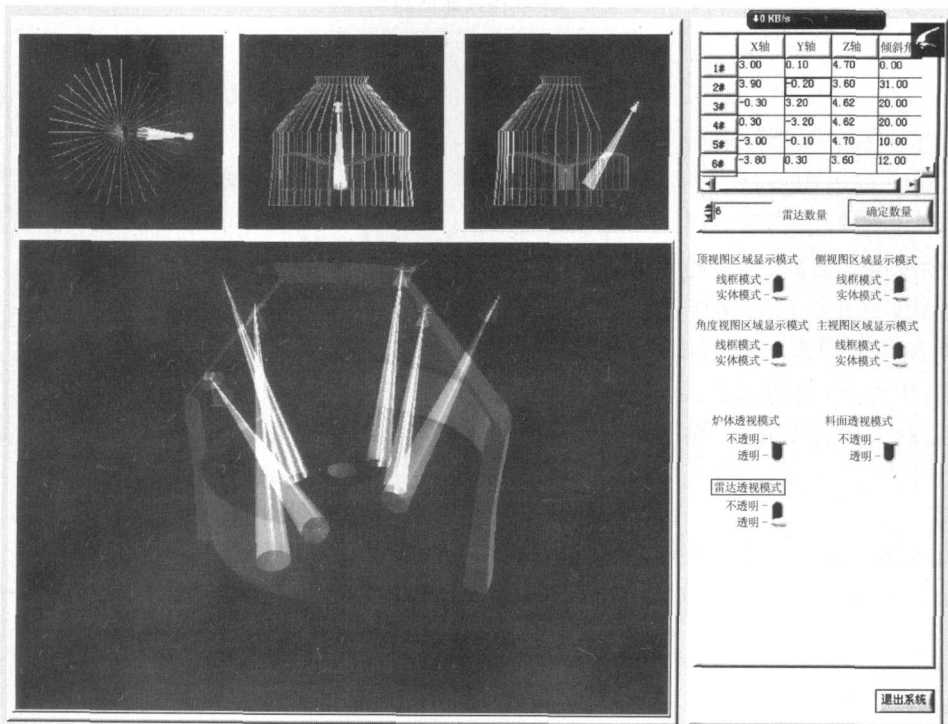


图 4 多雷达安装图

Fig. 4 Installation sketch of multi-radars

的雷达位置角度参数,雷达的图形效果就能在三维环境中显示出来。根据雷达波束角度,实现了雷达波束的模拟显示,可以直观地看到雷达波束在高炉内部传播的效果及反射途径。通过手动调整雷达位置角度,直到找到最为合理的参数,由软

件生成相关的技术报告,提出具体的安装数据,为技术人员参与施工时,提供量化的标准和规范。图 5 为显示的高炉三维料面情况,利用三维技术,将整个数据随时间的变化趋势以曲面的形式显示。

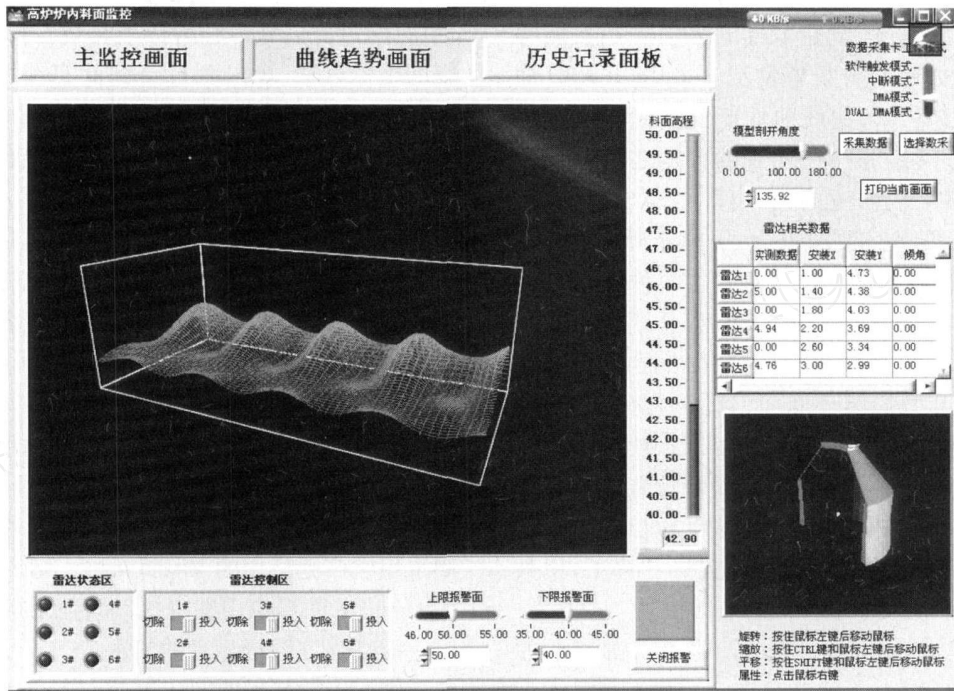


图 5 高炉料面的曲线分布

Fig. 5 Curve distribution of blast furnace

4 结论

本文主要建立基于图像处理的高炉料面在线检测模型,并基于雷达物位计、数据采集卡、PLC控制系统和上位机进行了实现。引用多台雷达的测量数据,以多点拟合曲面、数学建模与仿真显示整个料面的形状,为高炉布料操作优化的实现提供了有效的途径。工业现场的测试表明,此系统能够承受高温、压力、粉尘的影响,回波数据稳定,距离分辨率高,料面仿真度好,可靠性高。

参考文献:

- [1] LU Jin, CHEN Xian-zhong, ZHANG Zheng A novel algorithm in the FMCW microwave liquid level measuring system[J]. Measurement Science and Technology, 2006 (7): 135-138
- [2] 李德平,王亚林,马晓红. 远红外摄像机在莱钢炼铁生

产中的应用[J]. 山东冶金, 2002, 24(1): 57-58

LI De-ping, WANG Ya-lin, MA Xiao-hong Application of far-infrared photography instrument in ironmaking production of Laigang [J]. Shandong Metallurgy, 2002, 24 (1): 57-58

- [3] 马竹梧. 21世纪初钢铁工业自动化发展趋势、进展和对策[J]. 可编程控制器与工厂自动化, 2005(6): 6-12
- MA Zhu-wu Development trends progress and countermeasure of iron and steel industry automation in the initial stage of 21 century [J]. Programmable Controller & Factory Automation, 2005(6): 6-12
- [4] 马明建. 数据采集与处理技术[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2005.
- [5] Piegl L. On NURBS: a survey[J]. IEEE Computer Graphics & Application, 1991, 11(1): 55-71.

[编辑:魏方]

欢迎订阅《冶金自动化》杂志