

文章编号:1672-8785(2015)01-0012-04

# 基于红外热成像技术的在线扫描 测温系统设计

唐华明 许博文 王 斐

(重庆邮电大学信号处理与片上系统研究所重庆市重点实验室, 重庆 400065)

**摘 要:** 近些年, 随着我国经济的快速增长, 如何更高效地利用各项资源越来越受到人们的关注。在实际工业生产中, 如何将观察变得更加简单一直都是大家关注的焦点。这种需求意味着相应的系统必须具有很强的实时性、很好的稳定性和高度的精确性等。为了解决工业生产中遇到的问题, 根据红外测温理论研发出了可在线扫描并实时显示结果的测温系统。该系统包括软件和硬件两个方面, 也涉及光学原理和测温点校正等理论难点。本文的创新点和难点是如何利用红外镜头精确地采集到相应的红外温度数据, 如何将该类数据进行有效整合, 传送到 PC 端, 如何在 PC 端实时描绘出动态的观察图形, 以及如何增加创新性的高温点自动追踪等辅助性功能。

**关键词:** 测温系统; 红外热成像; 非接触测温; 在线扫描

中图分类号: TP391

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1672-8785.2015.01.002

## Design of Online Scanning Temperature Measurement System Based on Infrared Thermal Imaging Technology

TANG Hua-ming, XU Bo-wen, WANG Fei

(Chongqing Key Laboratory of Signal and Information Processing, Chongqing University of  
Posts and Communications, Chongqing 400065, China)

**Abstract:** In recent years, with the rapid growth of China's economy, the more effective use of various resources has received more and more attention. In the practical industrial production, how to observe easier has always been the focus of attention. This demand means that the corresponding system should have strong real-time performance, good stability and high accuracy, etc. To solve the problems in the industrial production, a temperature measuring system which can scan and display results on line in real time is developed according to the infrared temperature measuring theory. The system includes software and hardware and also involves several theoretical difficulties in optical principles and temperature measuring point correction. The innovation points and difficulties of the system are how to use an infrared camera to collect the corresponding infrared temperature data accurately, how to integrate the data and send the data to a PC effectively, how to describe the dynamic observation of the graphics in the PC and how to increase the automatic tracking of high temperature points and other auxiliary functions.

**Key words:** temperature measurement system; infrared thermal image; non-contact temperature measurement; online scan

收稿日期: 2014-12-01

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (61275099); 重庆邮电大学文峰创新创业基金项目 (cxjj2014003)。

作者简介: 唐华明 (1989-), 男, 四川南充人, 硕士, 主要研究图像处理 and 红外热成像技术。

E-mail: rezone2010@163.com

## 0 引言

与接触式测温方法相比, 红外测温具有响应时间短、非接触、使用安全及使用寿命长等优点。但在工业中, 人们仍然希望有一种可以在线扫描与测温相结合的红外测温系统为其生产服务。考虑到红外测温自身的种种优越性、工业的实际需求以及红外在线扫描测温的可行性, 可以利用红外状态监测和诊断技术的技术特性即远距离、不接触、不取样、不解体, 准确、快速和直观等特点来实时在线监测和诊断电气、水泥领域等工业设备的大多数故障<sup>[1]</sup>。

我们设计的红外在线扫描测温系统以水泥回转窑测温为应用背景。在水泥工业中, 水泥熟料的煅烧是整个生产过程中最重要的工艺环节, 而回转窑则是该工艺的核心。在新型干法水泥生产中, 实时监测水泥回转窑的热工情况已变得日益重要。由于窑内温度过高时, 热振荡会过大。这不但会损坏窑衬, 严重时将会殃及窑筒体。如果窑体的损坏情况过于严重, 则会直接带来人身安全、设备安全事故和经济损失等巨大威胁<sup>[2]</sup>。

目前, 工业应用中有多种检测窑筒体温度的方法。传统的方法是人工定时到现场测量窑筒体表面的温度。这种测量方法的缺点是劳动强度大、跟踪能力差并且具有滞后性, 遇到问题不能及时做出反应, 甚至会忽略危险情况, 从而导致重大经济损失。还有一种测温方法是在窑头安装高温工业电视和在窑尾安装比色高温计。这种方法不能掌握整个窑筒体的温度分布情况, 容易导致红窑事件的发生。而我们设计的测温系统克服了以上困难, 它能够实时监测整个窑筒体中任意位置的温度分布情况。

## 1 系统设计与其功能

### 1.1 温度检测方法选择

目前, 市场上的测温方式大体分为接触式测温和非接触式测温两种。前者利用热力学传导原理, 采用热敏器件(比如热电阻、热电偶等)紧贴被测物体进行温度的测量。由于水泥回

转窑在工作时始终处于转动状态, 这种测温方式存在诸多技术难点, 故目前人们很少使用。后一种测温方式是利用红外辐射原理对回转窑表面温度进行测量, 按检测的时间间隔可以分为实时测温和非实时测温两种。实时测温是指红外扫描仪每扫描一行回转窑的温度数据, 就立即更新热像图和温度分布曲线等。选择探测器时, 多元探测器由于低温制冷问题没有得到很好解决, 在应用上受到很大的限制。因而, 目前仍以单元探测器为主。非实时测温方法由于受数据计算与处理的限制, 无法实时得到窑体的温度分布参数。该方法虽然检测速度慢, 不能对窑筒体进行实时监测, 但其结构简单, 监测方便<sup>[3]</sup>。综合各方面因素, 本系统选用了基于红外辐射的非接触测温方案。

### 1.2 系统功能

实时温度监测能在回转窑旋转一周时立即给出温度分布等参数, 具有监测速度快、精确且实时的特点。实时温度监测方式可分为光机扫描式和电子扫描式, 我们选择了光机扫描式温度监测。

本系统的详细功能设计总结如下:

#### (1) 测温功能

这是整个系统最基本的组成部分, 也是测温系统最重要的数据来源, 需要高性能测温设备的支持。我们自行设计了一套基于红外辐射原理的测温设备, 该设备可利用高性能 DSP 处理器实现数据采集、数据预处理和温度校正等算法, 将温度测量数据通过一定的协议发送給上位机软件。

#### (2) 回转窑的旋转同步

经认真分析研究, 决定在回转窑传动装置底座上加装接近开关, 同时在回转窑筒体表面焊接接近开关挡片。当接近开关和挡片靠近时, 同步信号会被触发, 控制板即认为窑筒体已经旋转了一圈。

#### (3) 高速数据缓存和数据存储

针对数据量庞大、处理数据要求较高的情况, 我们直接在内存中设计了一个缓冲队列, 以应对高速的数据处理。

#### (4) 数据存储

以伪彩图片的形式定时存储采集的温度图像, 用户可自行设置保存时间间隔, 也可以查看特定时间段的数据以及实施快进和倒退功能。

#### (5) 其他功能

该系统具有报警功能, 即当实际最高温度超过用户所设定的阈值时, 系统将发出警告; 当温度恢复正常时, 系统会自动取消告警。此外, 为方便安装人员调试系统, 还专门设定了调试菜单选项。

## 2 系统原理分析

本系统采用红外辐射测温、高速旋转扫描、计算机实时数据处理与 OpenGL 图像显示等先进技术, 实现对回转窑筒体表面温度的非接触实时监测, 并通过配套的温度监测软件迅速而直观地揭示出窑筒体的高温热斑位置、窑皮脱落位置和结圈大小等重要信息, 可帮助操作人员及时了解窑内的情况<sup>[4]</sup>。窑筒体扫描系统的组成如图 1 所示。

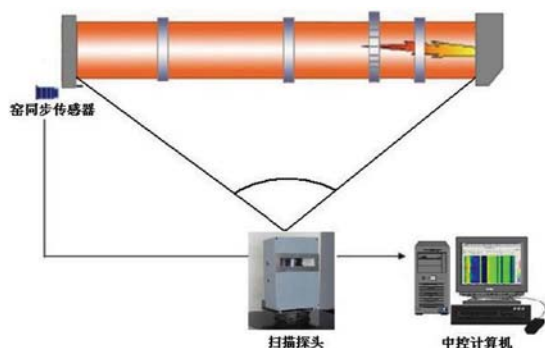


图 1 系统组成的示意图

#### (1) 红外扫描仪

红外扫描仪主要由光学、机械和电子三大部分组成。光学部分由透红外膜密封窗、反射棱镜、透镜和滤光片组成。高速旋转的棱镜将收集到的从不同角度射来的红外线发射到透镜, 然后透镜再把它们传播到红外探测器。机械部分由高速电机和金属外壳组成。电机驱动棱镜旋转, 采集不同角度辐射的红外光。金属外壳起保护作用。电子部分由红外探测器和控制模块组成, 红外探测器将红外能量转化为电信号, 其测

温范围在  $100\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 500\text{ }^{\circ}\text{C}$  之间; 控制模块负责信号放大、数据模数转换和数据基本算法处理, 并与上位机通讯, 完成数据交换等。

#### (2) 数据传输

传输方式可选择同轴电缆、网线或光纤传输, 同时支持 RS-485 协议和 TCP/IP 协议, 负责红外扫描仪和上位机之间的通讯。

#### (3) 工业 PC 机

工业 PC 机用于完成和红外扫描仪的双向通讯, 接收红外扫描仪发送的温度数据, 在客户端界面实时显示, 向红外扫描仪发送控制数据, 完成预定的控制任务。

系统中的扫描仪实物如图 2 所示。

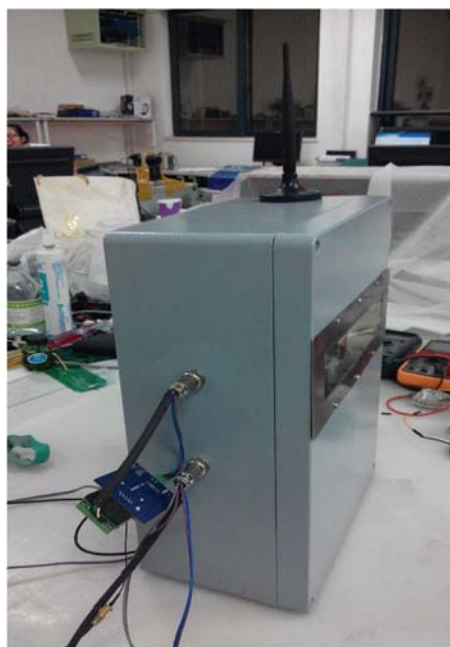


图 2 扫描仪实物图

## 3 系统软件设计

软件部分接收窑筒体扫描仪采集的数据, 控制扫描仪的工作状态参数, 并对收到的数据进行分析、处理和显示。从通讯双方的角色来看, 整个窑筒体测温系统采用的是 C/S 架构。其中, 筒体扫描仪为客户端 (Client), 上位机软件为服务器 (Server)。设计温度监测软件时, 主要借鉴了 MVC 设计模式和多线程技术, 以保证系统运行的高效性<sup>[5]</sup>。整个系统的设计框架如图 3 所示。

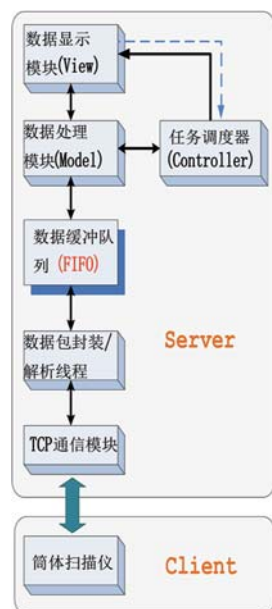


图 3 系统设计框架

#### 4 系统测试与分析

图 4 是现场测试的 60 m 长的窑筒体温度分布曲线图。从图 4 可以看出, 窑筒体表面温度可被精准检测, 当前行温度和最高行温度在大多数情况下保持一致, 这证明没有出现可能导致告警的情况, 即窑筒体表面温度正常。偶尔最高行温的异常突出会被及时检测到。

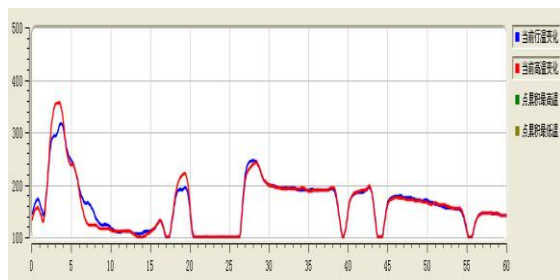


图 4 实时温度曲线图

工作人员到现场每间隔 1 m 用点温枪读取一次温度, 将得到的数据跟扫描仪测试数据进行对比, 如图 5 所示。可以发现, 与传统的人工点温枪测温相比, 本文的测温方法准确, 且更加自动化, 更加人性化。

图 6 所示的二维热像展开图以不同的颜色标记筒体表面温度的分布情况, 反映窑的轴向和径向二维温度分布情况, 图中附带的温度色

度标尺可以用来确定筒体表面各点的温度。通过该图可以看出窑内是否有结圈、掉转、红窑现象以及出现上述情况的几何尺寸和窑面上的精确物理位置。同时, 该二维图像里的十字图标表示了当前实时的最高温度点。

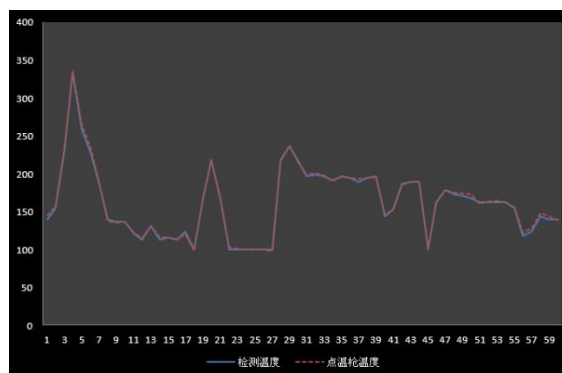


图 5 数据对比图

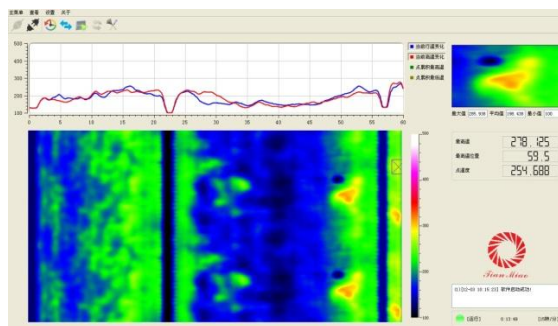


图 6 二维红外热图像

#### 5 总结

测温系统是我们多年来研究的重要课题, 如何设计生产出高自动化和人性化的系统也是我们研究的目标和难题。在很多领域中, 红外检测技术已经变成了核心技术, 具有广泛的应用范围和深厚的理论积累。所以, 如何将二者有效地结合起来, 使它们相互弥补和促进是本文所关注的重点。

在硬件和软件层面, 我们都实现了既定目标, 集合了众多方面的理论知识和算法研究以及编程设计, 如模糊 PID 算法控温、透镜等如何安放、高精度实时测温 and 在线即时显示等, 这些为后续的深入研究开发奠定了基础。

(下转第 29 页)