文章编号: 1672-8785(2015)04-0020-04

远程红外高温测试系统的设计

梁金辉

(中国电子科技集团公司第二十七研究所,河南郑州 450047)

摘 要:为了能实时测量高温场的温度分布及图像,提出了基于红外探测技术、光电转换技术的高温测试系统的总体设计方法,完成了硬件的选型与设计及系统处理与控制软件的开发。系统采集到的高温温度场的图像数据经过串行网络信号转换器、光端机的转换,实现了温度场数据的远程传输及处理;图像数据处理计算机控制指令通过 光端机对图像采集单元的参数及运行进行控制。本测试系统最后被成功应用于某型试验,远程取得了温度场的瞬时温度分布。实验结果验证了红外高温测试系统的有效性 与实用性。

关键词: 红外焦平面探测器; 高温测试; 红外图像; 串行网络信号转换器

中图分类号: TN21 文献标志码: A DOI: 10.3969/j.issn.1672-8785.2015.04.004

Design of Remote Infrared High-temperature Measurement System

LIANG Jin-hui

(The 27th Research Institute of China Electronics Technology Group Company, Zhengzhou 450047, China)

Abstract: To measure the temperature distribution and image of a high-temperature field, a general design method of a high-temperature measurement system based on infrared detection and photoelectric conversion techniques is proposed. The selection and design of hardware and the development of processing and control software for the system are completed. The image data of a high-temperature field collected by the system are converted by both a serial Ethernet converter and optical terminals. Then, they are transferred remotely for processing. Finally, a computer for image data processing sends control commands for controlling the parameters and operation of the image collection unit through optical terminals. This measurement system is used in a particular test successfully and the instantaneous temperature distribution of a temperature field is obtained remotely. The validity and practicability of this infrared high-temperature measurement system are verified by the experimental result.

Key words: infrared focal plane array; high-temperature measurement; infrared image; serial Ethernet converter

0 引言

随着瞬态高温测试技术在航空、航天和化 学等领域的广泛应用,人们对测试设备的测 量准确度、温度测量上限及环境适应性等也提 出了更高的要求。测温方式分非接触型和接触 型两种。传统的接触型测温是一种把传感器放

收稿日期: 2015–02–02

作者简介:梁金辉(1980-),男,河南郑州人,硕士,主要从事动态测试、电子装备系统测评技术的研究。 E-mail: liangguxing@sohu.com 在和物体同样的热均衡环境下,使传感器和物体的温度保持一致的测温方式。这种测温方式 的测量准确度很高,但响应速度慢,会干扰目标 温场,而且其温度上限因受材料限制无法达到 2000°C以上^[1]。非接触型测温是利用被测物体表 面的热辐射和温度之间的关联来完成测温的, 传感器不需要接触被测物体的表面,因而克服 了接触型测温方式的缺点。

物体时刻都以电磁波的形式向外辐射能量, 红外成像技术正是利用这种特性对温度进行探测的^[2]。由于被测物体产生的辐射范围大的高温温度场会危及人员的安全和测试设备的安全运行, 这就对测试设备提出了更高的要求。本系统利用红外探测技术和光纤技术, 不仅可实现远距离温度场的准确测试, 保障设备及人员的安全, 而且也便于对高温温度源的集中监测和控制。

1 红外热辐射测温原理

在自然界中,温度高于绝对零度的物体向 四周辐射的电磁波包含了 0.175 μm~100 μm 的红 外线。如果一物体在任何温度下对任何波长的入 射辐射能的吸收比都等于 1,此物体即为绝对黑 体。反射系数小于 1 的物体被称为灰体。黑体的 光谱辐射功率 *M_{eb}*(λ,*T*) 与绝对温度 *T* 之间满足 普朗克定理:

$$M_{eb}(\lambda, T) = c_1 \times \lambda^{-5} \times (e^{c_2/\lambda T} - 1)^{-1} \qquad (1)$$

式中, λ 为波长, c₁、 c₂为常数。由式 (1) 可 以得到黑体光谱射出度与温度的关系曲线, 每 条曲线满足斯忒藩 - 玻耳兹曼定律:

$$M_B(T) = \sigma \times T^4 \tag{2}$$

式中, $M_B(T)$ 为辐射出射度, σ 为常数, 大小为 5.67×10⁻² W·cm⁻²K⁻⁴^[3]。物体的红外辐射功率 与物体表面热力学温度的 4 次方以及物体表面 的发射率成正比。斯忒藩 – 玻耳兹曼定律是红外 测温技术的理论基础。

2 系统的总体设计

2.1 系统的组成及工作原理

本系统采用光纤传输方式实现远程的监 控、数据传输与控制。系统主要由红外焦平面 探测器、数据传输、处理与控制和校准等功能模 块组成。系统的原理框图如图1所示。

红外辐射经过红外滤光镜头,到达红外焦 平面探测器,输出的电压信号经钳位和放大等 预处理后,由 A/D 转换成 14bit 数字图像信号, 然后由固定图形噪声消除电路及响应率非均匀



图 1 红外高温测试系统的原理框图

性校正后,存入帧图像存储器中;图像经低电压 差分信号(Low-Voltage Differential Signal, LVDS) 编码成串行信号,再经过以太网转换模块变换, 按TCP/IP协议传输至光端机;经过电光转换,以 网络信号传送给图像数据处理计算机进行处理 。数据处理计算机通过串口对远端摄像机发出 控制指令,并接收从摄像机返回的状态信息;控 制电机驱动模块根据指令内容控制摄像机的调 焦、开始和停止等动作。

便携式激光瞄准测温仪为系统的标校设备。它对红外摄像机进行标校,以确保系统测 量数据的准确性。

2.2 红外探测器的实现

根据工作温度的不同, 红外探测器分为致 冷型和非致冷型。致冷型红外探测器属于光子 探测器, 工作时定向生成的光生电荷正比于入射 的红外辐射通量电信号。当温度过高时, 暗电流 和噪声的增大会严重影响探测器的性能, 故需 要配备昂贵的制冷器以维持其工作在 77 K 左右 的温度下^[4]。非致冷型焦平面阵列属于热探测 器, 它利用探测元件吸收由入射的红外辐射能量 引起的温升, 并在此基础上借助各种物理效应 将温升转变成电量。

本系统选用 FLIR 公司生产的 PHOTON320 型红外焦平面探测器。它是一种非制冷 324×256 元的氧化钒 (VO_x) 长波红外焦平面阵列,可实现 热辐射到电信号的转换。该焦平面阵列具有好 的图像质量和灵敏度,可探测小于 85 mK 的温 差。探测器上的连接器接口用于电源连接和指令 输入、视频输出,可完成 14bit 的 LVDS 串行图 像数字信号输出。

2.3 数据传输

LVDS 技术的核心是采用极低的电压摆幅高速差动传输数据,可以实现点对点或一点对多点的连接,理论上传输速度可达到 1.923 Gbps^[5]。 本系统采用大恒图像 DH-PA080IR-P 型数字网络信号转换器,实现 LVDS 串行图像数据的网络转换,以适应 TCP/IP 协议的传输。 LVDS 串行网络信号转换器与前端红外摄像机的连接 关系如图 2 所示。红外焦平面探测器的连接器接口、数据时钟 SD_CLK+ 和 SD_CLK- 、帧同步时钟 SD_FSYNC+ 和 SD_FSYNC- 、数据输出 SD_DATA+ 和 SD_DATA- 均为 LVDS 信号格式, 它们可与 15 针的数字网络信号转换器实现硬件 的电气连接。



图 2 LVDS 串行网络信号转换器与红外摄像机硬件的 连接关系

以太网格式的红外图像数据是经过以太网 光端机的信号调制、光电转换实现远程温度图 像数据的传输的。本系统选用 MOXA 公司生产 的 IMC-101-S-SC-T 型以太网光端机,远端以太 网光发射机提供 100BaseTX*sim*100BaseFX 光电 转换,以用于数据的远程传输;网络信号格式的 数据再经过近端以太网光接收机的转换,最后传 送到图像数据处理计算机以进行处理。

红外探测器的控制指令和探测器状态信息 的远距离传输由 RS485 光端机实现。 MOXA 公司的 TCF-142-S-ST-T 型光端机具有 RS-232/422/485 串口和单模光纤信号相互转换的能 力,传输距离最远可达 40 km。 RS485 光端机为 成对使用,一个在图像数据处理计算机本地,另 一个在温度数据采集端。图像处理计算机通过 COM1 端口与本地 RS485 光端机连接,实现控制 指令的发送。控制指令经过光纤传送到位于远 端图像采集端的 RS485 光端机,转换成 485 串口 信号。 485 串口信号控制红外摄像机的调焦等 参数配置及动作操作,同时将摄像机的状态信 息返回给数据处理计算机。控制信号通过 RS485 光端机传输的硬件连接关系如图 3 所示。



图 3 数据处理计算机与 RS485 光端机的连接关系

2.4 数据处理与控制的实现

温度场图像数据的处理与控制由红外高温 测试系统处理与控制软件实现。系统处理与控 制软件基于 Visual C++ 6.0 软件环境开发,可实 现每秒 9 帧的 320×240 像素的温度场数字图像 数据采集与处理,分析温度分布情况,记录红外 测温数据信息通及红外视频数据,并完成系统 的工作参数和运行等控制。系统处理与控制软 件的部分界面如图 4 所示。

摄像机控制部分是处理与控制软件的核 心,它能实现红外摄像机单元的监视控制和红 外镜头的电动调焦功能,能实时采集红外热图 像,能通过图像分割实现目标区域划分,实现区 域内最高温度、最低温度以及平均温度实时测 量以及最高温度点实时跟踪;当被测物体温度 超过预设的报警温度时,报警图片显示区会显 示报警图片,报警图片以1帧/s的频率更新并 自动记录。



图 4 系统处理与控制软件的部分界面

高级设置界面如图 5 所示。由图可知,最多 可以实现 4×4 个分区中的每个分区内的温度实 时监测;根据所测对象的不同,可调整发射率, 实现测量设备的校准功能;根据预设的自动录 像温度,当超过此温度时就可自动开始录像。



图 5 高级设置界面

3 试验结果分析

用本测试系统对主要成份为铝的金属板产 生的高温温度场进行了测量。测试系统放置在 离铝板 20 m 处,与板形成一定的角度,并使铝板 的表面尽可能充满测试设备的红外镜头窗口。 因为发射率是影响设备精度的主要参数,测量 前,采用雷泰公司的高精度便携式激光瞄准测温 仪对本系统进行了校准。分析发现,当金属板的 发射率为 0.8 时,本系统测的数据更接近目标的 真实温度值。

设置报警温度值后,当金属板在测温设备 窗口内某一分区的温度达到报警温度时,报警 图片显示区会显示报警图片,报警记录表格中 会进行记录并以文件形式把它保存下来。

经实际测试验证,该红外高温测试系统的 设计满足要求,并取得了较真实可信的物体温 度场数据。这表明利用光电转换技术实现远程红 外高温测试系统是可行的。

4 结论

提出了一种利用红外焦平面阵列探测器、 LVDS 串口转以太网转换器、以太网光端机和 RS485 光端机,实现远距离高温温度场红外图 像、温度数据测量及远程监控的红外测试系统。 该系统不受气候条件的影响,不仅可全天候实 (下转第42页)