

# 基于红外热传感测温的新型火灾早期预警系统研究

黎国梁 谈夏林 梁一铭 曹忠源

钦州市消防救援支队

DOI:10.12238/etd.v2i1.3335

**[摘要]** 大型煤堆场容易因积伏潜热发生自燃,导致大面积火灾。本课题研究运用热红外传感非接触测温的优点,结合传统视频监控视频,构架了一套新型的早期火灾预警系统。从建模机理分析、硬件设置、软件设计及系统构架等方面,详细介绍了早期预警系统的优点。以煤堆场码头的消防安全监控为应用实例,说明了系统的实用性和可靠性。

**[关键词]** 红外热传感; 温度测定; 火灾预警

**中图分类号:** O551.2 **文献标识码:** A

## 引言

暴露放置于空气中的煤,由于氧化放热导致温度逐渐升高,当达到着火点(300~350℃)即发生自燃。码头的大型煤堆场往往较容易因局部自燃而发生过大面积较大的火灾。传统的摄像头视频监控,只能靠值班人员从视觉上,对一些外观表象的冒烟、冒气等现象进行主观判断。火灾的辨识与判断依赖主观性,同时值班人员的漏岗、睡岗也是实时消防安全监管体系下的漏洞,都会延误最佳的消防扑救时间。早期发现并预警火灾,并及时采取相应的处置措施成为值得研究的课题。

本课题以钦州港某码头企业为研究对象,该企业为海运装载方便,在码头前沿设置数个万吨级煤堆场。堆场临时存放的物质为褐煤,燃点低(270°左右),遇水容易发生氧化反应放热,尤其在夏季储存超过两个月甚至一个星期就易发生自燃。红外热传感测温技术具有非接触、远距离的优点,笔者综合运用红外测温 and 计算机视频辨识技术,探索研发了一套新型的可用于大型煤堆场的早期火灾预警系统。

## 1 红外测温原理

任一高于绝对零度的物体都会以电磁波的形式向外发射出辐射能,由黑体辐射定律可得到黑体温度红外辐射与波长及温度的关系<sup>[1]</sup>。波长在0.76~1000μm

范围内的电磁波属于红外波段。普朗克根据量子统计理论建立了黑体在不同温度下的光谱辐射出度 $M_{b\lambda}$ 随波长 $\lambda$ 的分布规律,表示为:

$$M_{b\lambda} = C\lambda^{-5} [\exp(\frac{C_2}{kT}) - 1]^{-1} \dots \dots (1)$$

从零到无穷大波长范围内积分普朗克公式就得到黑体积分辐射出度:

$$M_b = \int_0^{\infty} M_{b\lambda} d\lambda = \int_0^{\infty} C\lambda^{-5} [\exp(\frac{C_2}{kT}) - 1]^{-1} d\lambda = \sigma T^4 (2)$$

即为斯蒂芬—波尔茨曼定律,式中 $\sigma$ 为斯蒂芬—波尔茨曼常数。

因物体材料性质和表面状况的不同,引入辐射系数 $\epsilon$ <sup>[2]</sup>,代入以上式(1)和(2),煤堆场的光谱辐射功率和全辐射功率表示为:

$$P_{\lambda T} = \frac{\epsilon C_1}{\lambda^5 (e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1)} \text{ 和}$$

$$P_T = \int_0^{\infty} \epsilon P_{\lambda T} d\lambda = \epsilon \sigma T^4$$

以上述理论为基础,辐射测温方法是根据工作时使用的光谱参量的不同来分类的,通常可以分为全辐射测温法、亮度测温法以及双波长(比色)测温法。辐

射和亮度测温的精度受物体发射率的影响很大,采用双波长测温法可改进这一问题<sup>[3]</sup>。

综上,红外测温系统是利用物体的辐射能量与温度有关而达到测温目的。将普朗克公式在探测器工作波长范围内积分可以得出目标辐射率的大小与目标温度间存在着固定的对应关系,用红外探测器测出目标的热辐射功率,就能计算出目标的表面温度。由此,通过使用光谱仪器对煤堆堆表面红外辐射、色温的测定,经校准就能应用到对煤堆堆表面温度的非接触式远距离测定。

## 2 建模分析机理

大型煤堆场的自燃由内至外,内层的初期燃烧往往从堆场外观上无明显现象,内部热量的传递过程受化工传热机理控制。根据热力学第二定律,凡是存在温差的地方就有热能自发地从高温区向低温区传递。物体各部分之间不发生相对位移时,导热现象规律遵循傅立叶定律。煤堆场内部传热形式以热传导为主,引入等温面和温度梯度的概念,将其按稳态温度场传热建模。即:

$$\text{温度梯度 } \text{grad} \bar{t} = \lim_{\Delta n \rightarrow 0} \frac{\Delta t}{\Delta n} = \frac{\partial t}{\partial n}$$

据傅立叶定律,单位时间内通过物体截面的导热热量与温度变化率和截面成正比,即:

$$dQ = \lambda ds \frac{\partial t}{\partial n}$$

建立的模型将煤堆场视由无数的微元体构成, 三维空间的传热微分方程按傅立叶定律, 导入 $x=x+dx, y=y+dy, z=z+dz$ , 微元平面的热量分别为:

$$(\Psi_{x+dx})_x = (\Psi_x)_x + \frac{\partial(\Psi_x)_x}{\partial x} dx =$$

$$(\Psi_x)_x + \frac{\partial}{\partial x} [-\lambda A (\frac{\partial t}{\partial x})_z dydz] dx ;$$

$$(\Psi_{y+dy})_y = (\Psi_y)_y + \frac{\partial(\Psi_y)_y}{\partial y} dy =$$

$$(\Psi_y)_y + \frac{\partial}{\partial y} [-\lambda A (\frac{\partial t}{\partial y})_z dx dz] dy ;$$

$$(\Psi_{z+dz})_z = (\Psi_z)_z + \frac{\partial(\Psi_z)_z}{\partial z} dz =$$

$$(\Psi_z)_z + \frac{\partial}{\partial z} [-\lambda A (\frac{\partial t}{\partial z})_z dx dy] dz ,$$

对于微元体, 按能量守恒定律, 任一时间间隔内有以下热平衡关系:

导入微元体的总热流量+微元体内热源生成热量=导出微元体的总热流量+微元体热力学能增量, 其他两项分别为: 微元体内热源生成热量

$\Delta Q_1 = \Psi dx dy dz$  和热力学能增量,

$\Delta Q_2 = \rho c \frac{\partial t}{\partial \tau} dx dy dz$  综上推导出

热平衡方程表示为:

$$\rho c \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y}$$

$$\left( \lambda \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{\partial t}{\partial z} \right) + \Psi$$

方程即为煤堆场三维空间温度场的热传导模型。方程的求解较为复杂, 需要计算机编程辅助解决。

MATLAB是美国MathWorks公司出品的数学工具软件, 专用于数据分析、无线通信、深度学习、图像处理与计算机视

觉等领域, 笔者运用了其中的模型预测控制工具箱进行煤堆场微元体温度的计算并绘制三维温度场。具体做法如下:

先用一个无限细化的三维矩阵模拟出煤堆场温度分布情况, 采用函数 meshgrid(xi, yi, zi, ……) 产生网格矩阵, 取仪器最小可测温度分辨率, 将空间分布矩阵按相同比例细化均分, 使取值点在空间坐标上接近连续变化, 通过温度场中通过任一点截面的曲线也是可求导的, 使用三次样条插值 spline 函数得出光滑的分布曲线。红外测温仪采集反馈回来的表面温度数据分布 interp2 二维插值, 热力学方程作为边界条件并求解预测值。计算出网格矩阵空间各点的拟合值后, 采用三维曲面函数 surf 绘制出温度场曲面 (图1所示)。

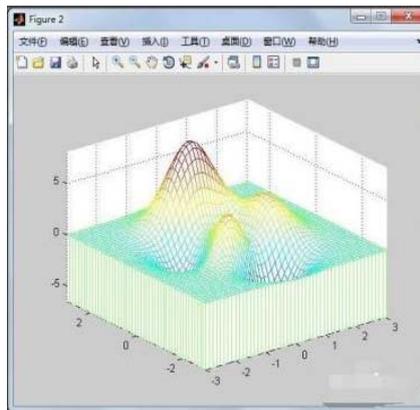


图1 三维空间的温度分布场

经MATLAB绘制出温度场模型, 可得出整个堆垛内任一微元体温度的曲面拟合值, 结合仪器测定的表面温度值即可推算出煤堆场内层温度的预测值, 校准后与设定的预警值对比, 如果超出预警值则立即发出早期火灾报警提示。通过仪器实验测定积累的数据, 不断迭代进热力学传热模型方程计算, 完善模型的自适应性和稳定性。

### 3 系统组成

本研究课题设计的基于红外热传感早期火灾预警系统主要由中前端智能探测系统、管理平台系统、传输系统、电源系统等组成。前端智能探测系统由红外热成像仪、高清监控摄像头, 智能分析模块三个主要部分构成的一体机, 红外热像仪作为设备的探测仪器, 不但可以

自动探测被监控对象实时温度的情况, 还能通过高清摄像机的进一步配合人工视觉观测。现场布置的红外热传感前端探测器的监控距离为5000米的高温热源, 架设于码头煤堆场附近的办公楼楼顶, 呈高空俯视状态, 并全区域覆盖旋转扫描堆场 (水平转动 $0.1^\circ \sim 100^\circ /s$ 上下转动 $0.1^\circ \sim 60^\circ /s$ , 无限位转动)。本系统采用全覆盖式探测, 凡是出现在画面中的物体都可进行消防预警监控。监控现场平面如图2所示。以单片机为核心的智能分析模块可实现数据整合与算法分析, 具备温度探测、主动识别、火灾预警等功能。

管理平台系统主要实现视频信号的图像显示、时间告警、参数设置、录像控制, 远程控制、数据压缩处理、网络传输、系统控制管理, 并向控制室值班人员提供实时准确的、全面的、清晰的、可操作的现场实时图像及火灾预警信息, 集中反映在人机交互的计算机软件界面。考虑到本系统前端红外探测器设置的环境位于海边码头, 且煤堆场粉尘较多, 工作环境情况复杂, 为确保系统运行稳定性, 选用了光缆传输系统。

### 4 系统功能

本预警系统直接安装在计算机主机上即可运行, 具有可视化便于操作的界面, 可实现实时主动监测温度。监控画面同时显示出煤堆场实物监控的人工视觉视频和红外热像图, 堆垛任一点的即时温度也可将鼠标箭头直接移到控画面图像, 立即可以显示读出。摄像头可设定为全区域全时旋转扫描, 实现覆盖区域监测并火灾预警。通过算法分析, 煤堆场内层温度由仪器测定的表面温度值, 经MATLAB建立的计算模型得出预测值, 并对比预警上限值, 如超过设定限值, 系统自动预警提示并弹出报警窗口, 同时实时记录监测时间、对象位置、测定温度等预警信息。此时, 值班人员可根据现场情况及早采用大型机械翻开煤堆散热, 避免因堆垛内层自燃蔓延扩大为大面积火灾。

### 5 结论

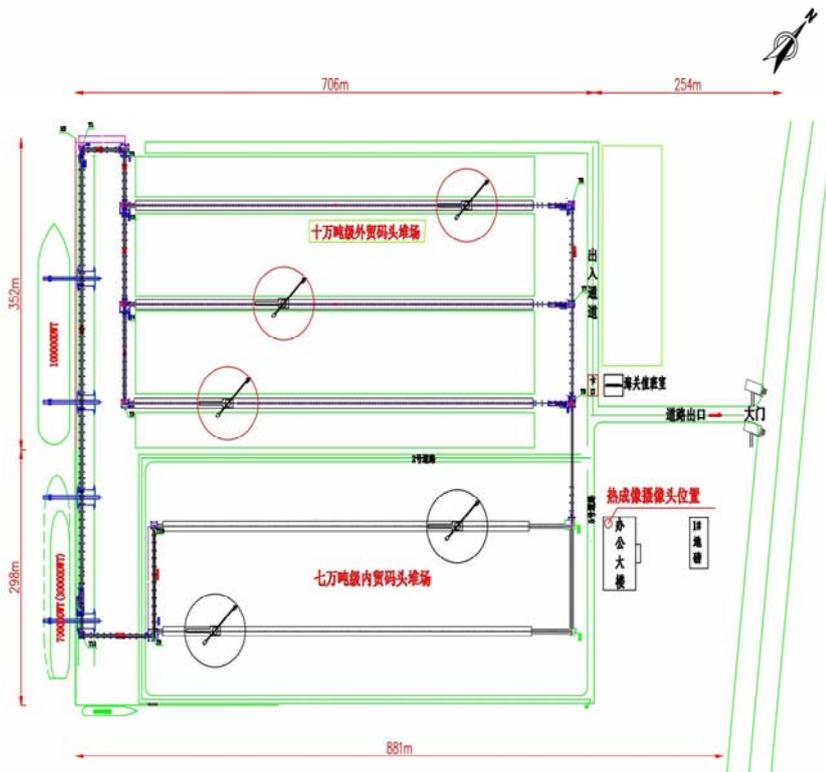


图2 监控现场平面布置图

本文针对码头大型煤堆场因自燃发  
生火灾突显出消防安全隐患,从煤发生

自燃传热的机理,视频监控的漏洞及人  
员值班情况等各方面影响因素进行全面

分析,综合运用热红外传感测温技术、视频分析算法等,通过建模分析,研发了一套新型的火灾早期预警系统。从实验结果看,新系统具有远距离测定、可视化操作、自动侦测预警、便于操作等优点,虽然大气的传输作用、物体发射率以及背景环境等因素也会对红外测温精度有一定影响,但在码头堆场的实际应用中可靠性高,误报率低,基本实现了对煤堆场内层的积聚潜热早期火灾预警,进而及时采取前期处置干预措施,避免大面积火灾发生,全面提升了经营企业的消防安全管控水平。

[参考文献]

[1]孙鹏.红外测温物理模型的建立与论证[D].吉林:吉林大学,2006.  
[2]崔昊杨,杨春旭,唐忠.基于labVIEW和红外测温技术的电力设备运行状态监测系统的设计与实现[J].上海电力学院学报,2011,27(1):46-47.  
[3]邢冀川,刘广荣,金伟其.双波段比色测温方法及其分析[J].红外技术,2002,24(6):73-76.