

文章编号：1005-8451（2017）03-0006-04

车载接触网主导电回路状态检测系统研究

张文轩

（中国铁道科学研究院 基础设施检测研究所，北京 100081）

摘要：接触网主导电回路中的不良作用点长时间作用会导致器件温度升高并丧失机械强度，造成承力索断股、联接点断裂等危害，文章通过系统设计和关键技术研究，采取红外成像技术，实现车载接触网主导电回路状态检测系统，完成接触网主导电回路状态自动在线检测。并在高速综合检测列车上进行了检测运行试验，验证了系统的功能，系统可指导接触网设备维修维护。

关键词：接触网；主导电回路；红外成像；检测

中图分类号：U225 : TP39 **文献标识码：**A

State detection system of main electrical circuit of on-board catenary

ZHANG Wenzhuan

（Infrastructure Inspection Research Institute, China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China）

Abstract: Long term effect of defective points in main electrical circuit of catenary could increase device temperature, lose mechanical strength, cause the carrier cable broken, break the joint points. This article used infrared imaging technology to implement the state detection system of main electrical circuit of on-board catenary, complete the online automation detection of the main electrical circuit of the catenary. The system was tested and operated on the high-speed integrated inspection train. The function of the system was verified. The system could be used to guide the maintenance and repair of catenary equipment.

Keywords: catenary; main electrical circuit; infrared imaging; detection

主导电回路自牵引变电所引入接触网系统，在接触网系统内由承力索、接触网、电联接线、吊弦等诸多环节构成静态电接触导电回路，经过受电弓与接触网动态电接触环节将电能输送到车内动力环节。由于接触网悬挂结构复杂，器件种类繁多、形式多样，使得主导电回路电接触状态十分复杂。高速和重载铁路牵引电流具有富谐波、多变化特点，对于电接触环节中不良作用点影响巨大，长时间作用会导致器件温度升高并丧失机械强度，严重时造成承力索断股、接触网电腐蚀磨耗、联接点断裂、线夹脱落等，造成牵引供电故障或弓网事故^[1]。因此，基于红外成像技术的接触网主导电回路状态检测技术的研究具有十分重要的意义。

1 车载接触网主导电回路状态检测系统总体设计

系统安装于高速综合检测列车上，随高速综合

收稿日期：2017-01-04

基金项目：中国铁道科学研究院科研基金国际合作项目（1560YF4703）。

作者简介：张文轩，助理研究员。

检测列车的运行，通过实时的红外热像成像和可见光成像，及时检测接触网主导电回路温度场分布，并将其与可见光视频同步。通过对主导电回路温度场的实时分析，基于接触网设备的安装方式、结构以及供电方式，可实现主导电回路电接触不良点自动诊断，系统最高检测速度为 350 km/h。

1.1 硬件设计及安装技术方案

系统主要由红外相机、可见光相机、图像采集设备、工业控制计算机和图像分析处理软件等组成。其中，红外相机与可见光相机均安装在列车顶部，用于获取接触网红外视频图像与可见光视频图像。两相机平行安装，保证相机视野基本一致。红外相机能够采集接触网部件红外视频图像，反映部件温度等信息；可见光相机用于采集接触网可见光视频图像，与红外视频图像形成互补，更有利进行接触网部件的识别及状态评定。

为了获得较好的视场，在车顶安装定制了系统安装座，红外相机与可见光相机经过封装固定后安装在安装座上。封装结构如图 1 所示，安装位置如图 2

所示。

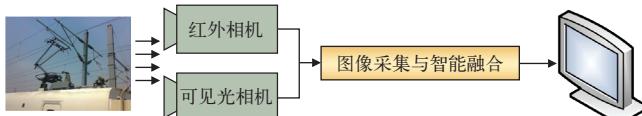


图1 检测系统结构示意图



图2 检测系统现场安装图

1.2 系统软件模块设计

系统软件基于可见光视频与红外视频的智能融合和实时同步，可利用可见光视频与红外视频的互补特征，有效地发现接触网主导电回路状态异常及弓网运行环境异常因素。两者结合，能够有效地对接触网故障点进行查找及诊断，及时找到影响接触网运行安全的相关因素。系统采用开发平台为 Visual Studio 2010，开发语言为 C++。系统软件采用模块化设计，主要由数据融合分发模块、实时显示模块、存储温度检测模块和自动曝光模块组成，如图 3 所示。

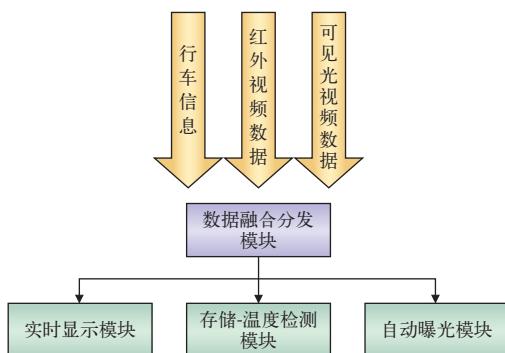


图3 系统软件模块结构图

总体设计采用观察者设计模式^[2]，数据融合分发模块融合行车信息、红外数据和可见光视频数据，将融合后的内容分发给观察此内容的模块；实时显示模块接收到的信息以合适的频率显示，以便使用者了解系统的状态、当前接触网的温度场和行车情况；存储温度检测模块将接收到的数据进行分析检测并

与数据一同进行存储；自动曝光模块是为了增强可见光视频显示效果，快速适应隧道等多种外部环境，根据预设效果值进行的动态调整画面功能。

1.3 系统数据交互

本检测系统采集接触网主导电回路温度场数据和可见光视频，通过反射内存卡接收综合里程系统的里程信息、通过网络接收同步预处理系统的线路信息，实现了自动接收行车信息、分类保存检测数据，自动化程度高、人工干预少。系统数据交互如图 4 所示。

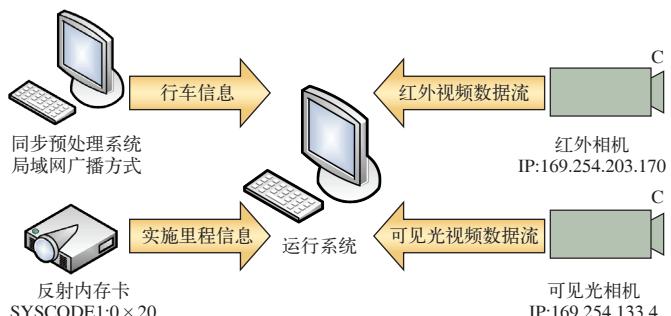


图4 系统数据交互图

2 接触网主导电回路状态检测系统关键技术

2.1 系统温度检测

温度测量是本系统最为关键和重要的部分。由于车顶设备的特殊性，需要密闭封装，根据红外热像仪对封装材料的温度敏感性特征，采用了特殊材料作为红外热像仪镜头部分的透视材料，不仅封装牢固密闭性好，而且透视效果好，具有极好的光学透过性、折射率并且色散热变化小^[3]。在 1~14 μm 范围内，无热散焦。透视材料安装位置如图 5 所示。

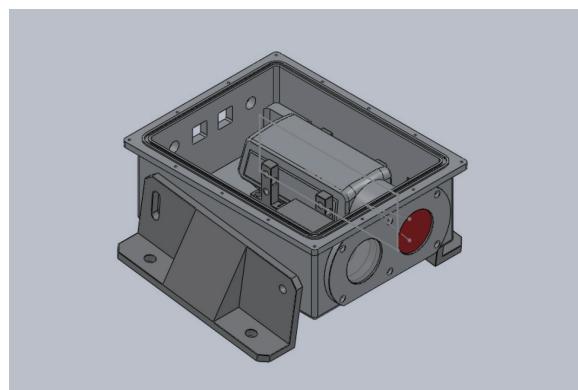


图5 检测系统部分封装结构设计

该封装结构不仅实现了设备的密闭性防止风雨

雪等环境对设备造成损坏和干扰，不影响温度测量，而且视场的角度可以调整，适应多种位置安装，便于调整增强设备的维护性和可扩展性。

2.2 红外视频数据的存储

红外热像仪的数据不同于可见光视频的数据可以进行直接压缩处理。根据其应用场景还要求能够还原回测量的温度值。红外温度数据的显示考虑了工作人员对红外视频的显示效果直观需求，将温度值动态映射到彩色空间。根据温度的变化范围，将最低温度映射到最暗，最高温度映射到最亮，中间值离散映射到对应的颜色，这种红外增强显示的方法可以改善显示效果。颜色索引映射的计算如式（1）所示：

$$Index_{color} = \frac{256 \cdot (x - x_{min})}{x_{max} - x_{min}} \quad (1)$$

式（1）中，

$Index_{color}$ —计算后的颜色索引，是颜色映射表的索引；

x —图像中需要映射的温度变量；

x_{max} —图像中的最大温度值；

x_{min} —图像中的最小温度值。

根据式（1）中的关系，如果存储的为颜色的索引值、该幅图像的最大温度值和最小温度值，根据逆变换算的温度如式（2）所示：

$$t = \frac{Index_{color} \cdot (x_{max} - x_{min})}{256} + x_{min} \quad (2)$$

将红外图像转换为索引图像后，对索引图像利用图像的压缩算法进行压缩，压缩后减少了占用的存储空间，而且也可以还原回原始测量温度。红外保存数据回放效果如图6所示。

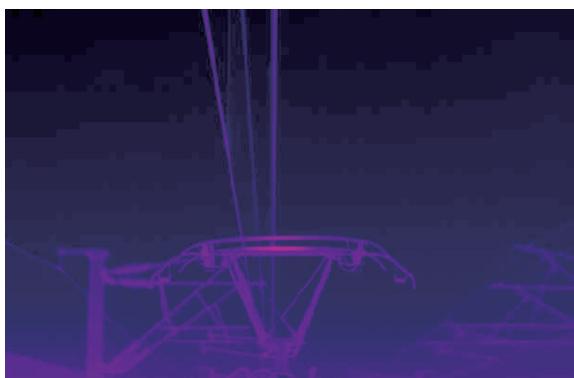


图6 检测数据回放效果图

2.3 实时回放技术

在检测的过程中，检测出缺陷需要及时地查看缺陷数据和邻近位置的数据，对缺陷进行分析，实时查看红外视频数据和可见光数据，同时也不影响检测和数据存储，是能够提高数据分析实效的重要功能。系统软件设计为实时数据源和回放数据源抽象出相同的关键操作，从逻辑上归纳出数据源抽象类。模块关键类设计为回放数据源类和实时数据源类继承数据源抽象类，实时显示模块调用数据源抽象类的数据接口，回放数据源和实时数据源分别实现各自的操作接口^[4]。关键类继承关系如图7所示，实时显示模块与各模块的关系图如图8所示。

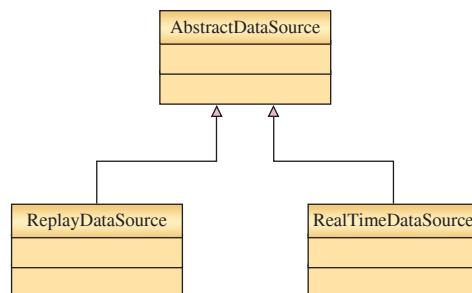


图7 实时回放关键类继承关系图

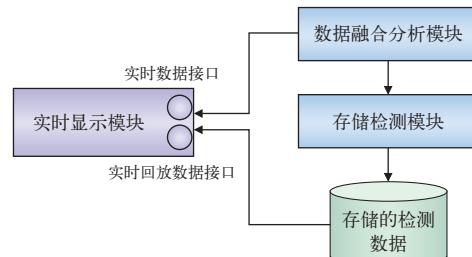


图8 实时显示模块与各模块的关系图

2.4 自动曝光算法

由于检测线路环境复杂桥梁隧道众多，可见光相机能够适应多种环境，清晰可靠地记录检测的环境为分析缺陷提供稳定的参考，需要可见光相机能够自动调整曝光值，但是由于相机的自动曝光曝光速度慢而且会出现闪烁的现象，这些都不可避免的影响了可见光视频的参考性。为此提出了二分法自动曝光算法，该算法将图像灰度值对应到曝光值范围，通过调整曝光值把图像的灰度值调整到预设的可以接受的范围内。通过实际应用该算法曝光速度快，适用于多种接触网检测环境。自动曝光的流程图如图9所示。

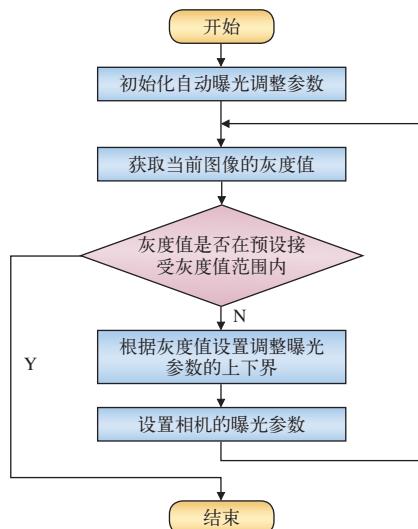


图9 自动曝光流程图

3 试验分析

在实际进行的动态检测中，发现了较为明显的接触网温度异常点，最高温度为149°C。通过检测数据分析，在本次运行检测过程中，系统同时识别出明显的弓网燃弧，燃弧位置位于分段绝缘器附件，主要由于分段绝缘器过度不平滑导致。通过本例分析，对系统的功能进行了验证，表明系统接触网主导电回路状态检测功能正常，缺陷位置识别正确，且红外视频数据和可见光视频数据同步精确。检测效果如图10所示，对应位置放大效果如图11所示。

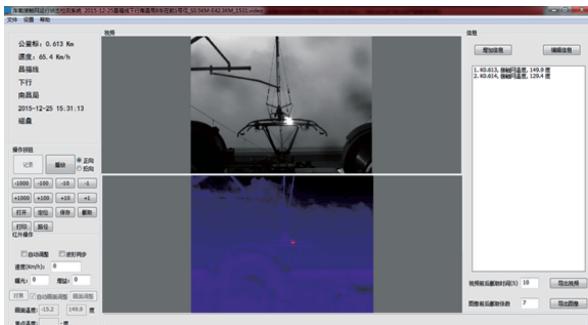


图10 实际检测效果图

4 结束语

通过大量的在高速综合检测列车上的检测试验，车载接触网主导电回路状态检测系统能够稳定地将可见光视频与红外视频智能融合和实时同步，利用可见光视频与红外视频的互补特征，可以有效发现接触网主导电回路状态异常及弓网运行环境异常，准

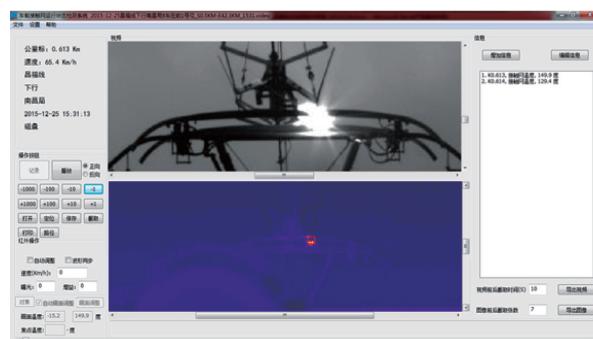


图11 对应位置放大后的效果图

确对接触网故障点进行查找及诊断，及时找到影响接触网运行安全的相关因素。

采用红外成像技术研究的车载接触网主导电回路状态检测系统应用在高速综合检测列车进行周期性检测，能够为接触网运营管理单位提供准确的接触网电气连接状态异常信息、接触网部件缺陷信息及检修建议，指导其进行设备维修维护，保证接触网设备安全稳定运行。

参考文献：

- [1] 白玉新. 接触网常见故障及对策研究 [J]. 中国铁路, 2009 (3) : 62-64.
- [2] Frank Buschmann, Regine Meunier, Hans Rohnet, et al. 面向模式的软件架构. 袁国忠, 译. [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2013.
- [3] 蔡毅, 王岭雪. 红外成像技术中的9个问题 [J]. 红外技术, 2013, 35 (11) : 671-682.
- [4] 黄磊. 面向对象开发参考手册 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2014.
- [5] 张文轩, 孙忠国. 基于红外测温技术的接触网电气连接状态检测系统开发与应用 [C]. 郑州: 高速铁路工务与供电养护维修安全技术交流会, 2014.
- [6] 李然. 红外测温技术与变电站图像监控系统的融合研究与实现 [J]. 电网技术, 2008 (14) : 80-85.
- [7] 史国强. 电气化铁路接触网主导电回路烧伤问题的探讨 [J]. 上海铁道科技, 2008 (2) : 28-29.

责任编辑 徐侃春