

[轨道交通]

高速铁路轨旁设备安全巡检装置研究与设计

文/中国铁路呼和浩特局集团有限公司呼和浩特供电段 魏念龙

目前，安装于高铁及动车组运行路径周边的各类标志标识、沟槽盖板等轨旁设备，其可能的松动、脱落等已经成为高铁及动车组安全运行的重要隐患。针对此问题，提出了一种高速铁路轨旁设备安全巡检装置方案并进行了设计，实现了对高速铁路轨旁设备的自动化巡检和成像。

近年来在高速铁路运营中每年均可见几起轨旁设备脱落击打动车组的事故故障问题，各案例虽未导致严重的运输安全事故，但是也对运输秩序造成较为严重的影响，尤其是在春运、暑运等特殊时期。高速铁路因为高速旅客运输的特点，对其轨旁设备的巡检问题应当加强管理，但是目前轨旁巡检技术和装置的研究处于起步阶段，工务、电务和供电等各专业均设有轨旁设备，但是市场上没有同类或相似装置供选择，对其巡检主要依靠人工步行或添乘机车进行巡视，因此研究高速铁路轨旁设备一体化巡检装置具有很高的实用价值和现实意义。

巡检内容

1. 专业需求

高速铁路轨旁设备巡检主要包括。

1) 盖板设备。主要包括桥上梯盖板、梁端异型盖板、栏杆构件和步行板；隧道内水沟和检查井盖板；路基段

两线间检查井盖板。

2) 电缆附属设备。主要是轨旁电缆、光缆沟槽盖板及固定件。

3) 标识标志设备。主要为线路半公里标、公里表、警冲标和接触网分相标、断合标和终端标等。

4) 隧道附挂设备。主要包括隧道内洞室门(防护门)、照明灯具、隧道壁附挂线索及固定件、通风风机及电缆、隧道内独立设置标识标志，以及洞内箱变、接触网补偿装置和 AT 所设施设备等等。

5) 其他设备。主要接触网隔离机构箱、坠砣限制架、防护挡板、接地线及跳线、附挂与接触网支柱上其他附属设备和声屏障等。

2. 存在问题

目前，安装于高铁及动车组运行径路周边的各类标志标识、沟槽盖板、辅助行车类和安全防护等轨旁设备，其可能的松动、脱落和倒伏，已经成为高铁及动车组安全运行的重要隐患，但是当前对其巡检依旧采用传统的

老方法。如采用人工上线或者在网围栏外利用望远镜等工具进行巡视检查,通过照相或笔记的方式对其进行记录,但是存在作业人员安全风险大、效率低下、占用天窗时间和受环境等外界影响严重等诸多问题;如采用登机车方式进行巡视检查,则由于列车运行速度快,尤其是在动车组上人眼根本无法识别线上轨旁设备是否完好;如果采用登机车录像方式进行巡视检查,则一是由于受拍摄角度等因素影响,无法对轨旁设备进行良好的成像,加之机车(动车组)前挡风玻璃反光的影响,在隧道内几乎为一片白光或黑光,成像根本无法使用。另外加上巡检人员如果巡检不到位,其巡检信息的可靠性将极大地降低。

巡检装置设计

高速铁路轨旁设备安全巡检装置整体设计采用模块化设计,方便使用时组装,成像系统工业级高频高速相机,并辅以光照补偿、自动控制等技术,实现相机触发的自动触发控制、拍摄图像的采集与存储,并通过人机交互界面实现管理人员对巡检装置及拍摄情况的掌控。系统整体组成如图1所示。

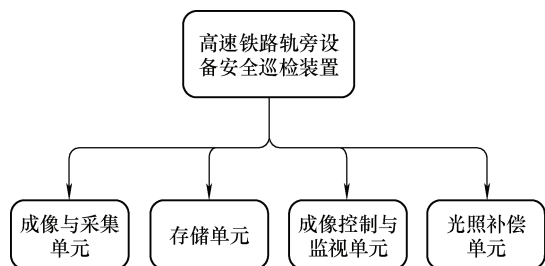


图1 系统组成

1. 成像单元

为了能够实现对各专业需求的综合统筹,装置选择检测成像范围为接触网支柱根部向田野侧延伸2500 mm,在隧道内能够覆盖隧道壁地面以上2000 mm,成像范围基本覆盖专业轨旁巡检范围,同时如果设置成像角度调整装置,能够根据个性化需求进行角度调整,为了能够清晰地反映分辨高速铁路轨旁各专业的各类标志标识、沟槽盖板和辅助行车类、安全防护等设备异常状态,包括变形、缺失、松脱、部件转动、移位和裂损等缺陷故障,装置选用 Baumer 高速工业相机进行成像,该相机分辨率为5120×3840 px,满幅拍

摄帧率为12 fps,传感器类型为35 mmCMOS,如果假定选择的镜头为50 mm,那么经过测算巡检过程中的最小物距为5 m,该相机的视场为3600 mm×2400 mm,如果将该相机架设在既有的高铁接触网检测车上,那么单位时间相机成像照片与高铁线路的长度比约为1.94,完全满足轨旁设备安全巡检要求。

按照轨旁设备巡检最小5 m的物距和50 mm焦距镜头测算,该相机成像照片上每一像素所代表的实际长度为0.51 mm×0.30 mm,轨旁设备最小的装置为M12固定螺栓,其外接圆直径约为22 mm,相当于约42个有效像素用于成像,完全能够识别轨旁设备上固定螺栓螺母是否脱落,能够提前预判轨旁设备缺陷。

2. 存储单元

高速铁路轨旁设备安全巡检装置通过成像方式对轨旁设备进行巡检,后期经过人工分析或自动识别判断缺陷,因此需要对成像图片进行存储,工作站本身需要装置成像过程进行控制和监视,不适宜作为存储单元,且如果采用工作站存储后期还需转储,影响工作效率,因此本装置设计采用外接硬盘方式进行高速数据的存储,通过对实际拍摄图像的检测,每张照片的大小约0.1 MB,按照500 km单行别检测范围测算,则约需要存储50万张照片,需要的存储空间为50 G,如果考虑到列车运行速度变化和检测公里数的增加,则需要进一步扩大存储空间,加之高速存储,因此选择2TB SSD高速硬盘作为存储介质。

3. 控制监视单元

相机的控制、参数设计和监视采用软件方式进行,软件基于VC开发,利用Baumer相机双千兆位以太网接口实现对相机的控制、相关参数设置、数据实时采集与存储等功能。

- 1)实现对高速工业相机的控制,相机数据采集开始、暂停和结束。
 - 2)实现对实时采集图像存储路径的选择。
 - 3)相机参数的配置,如曝光时间、接口、快门延时、增益(数字或模拟)和触发间隔。
 - 4)相机状态、补光装置同步触发状态监控。
- 软件测试状态如图2所示。

(下转第75页)

剪、可剥夺型的多任务内核，而且没有任务数限制。并且提供了任务管理、时间管理、信号量、消息队列、内存管理、记录功能、软件定时器和协程等实时操作系统所需的所有功能。Free RTOS 操作系统具有源码公开、可移植、可裁减及调度策略灵活的特点，可以免费用于商业产品，开放源码更便于对操作系统进行深度裁剪以适应自己的硬件。

在通信协议实现方面，NUC980DF61Y 软件平台集成了开源的轻量级 TCP/IP 协议栈 LwIP2.1.2，基于该协议栈实现无线网络和双网口的网络通信，为电力业务提供网络支持。

NUC980DF61Y 软件平台采用 Yaffs2 作为 NAND flash 文件系统。Yaffs2 是一个专门为 NAND Flash 设计的文件系统。它采用了类日志结构，结合 NAND Flash 的特点，提供了损耗平衡和掉电保护机制，可以有效地避免意外掉电对文件系统一致性和完整性的影响。因而能够保证电力业务数据的可靠存储。

2. FTU 软件设计

结合软件平台的多任务特性，软件采用模块化设计，主要包括模拟量信息采集与计算模块、保护逻辑处理模块、无线通信模块、I/O 口控制模块和 IEC101/104 规约处理模块，并定义了各功能任务间的消息交互机制。

同时针对交流采样特点，根据软件平台优先级合理分配任务，保证个任务或功能模块的协调运行，提高了系统的稳定性和实时性。

FTU 的主程序主要完成硬件模块的自检与初始化及各个任务和任务同步所需的信号量的创建，然后启动操作系统。自此 CPU 的控制权交由操作系统管理，操作系统根据各任务优先级对任务进行管理和状态切换。不仅满足了多任务的实时性要求，同时还满足了配电系统对 FTU 功能多样化和智能化的要求。

结束语

基于本文设计开发的馈线终端，具有实时模拟量的采集计算、故障检测、线路保护、录波文件及历史文件的存储、IEC101 规约、IEC104 规约等功能。实验运行表明，该设备具有良好实时性，特别是遥信处理和保护处理等有较高的响应速度；能很好满足线路监测的实时和智能化需求，同时能保证与配电系统之间的通信和控制的稳定可靠。在完成本设计全部功能的前提下，NUC980 仍具备丰富的存储、计算资源，具有强大的扩展性以适应越来越复杂的配电网功能需求。EA

(收稿日期：2020.11.17)

(上接第 67 页)

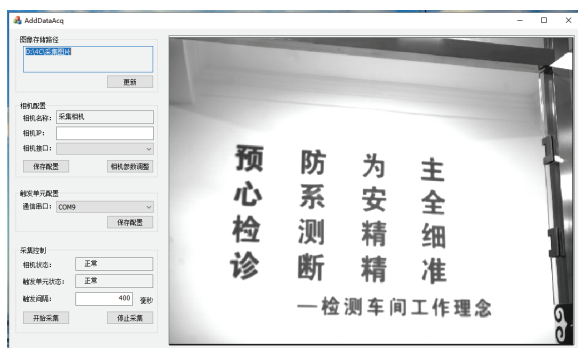


图 2 软件效果（试验测试状态）

结束语

高速铁路轨旁设备安全巡检装置试验室调整测试完成后，2020 年 9 月，在唐呼线呼和浩特东至卓资山间，利用高铁接触网检测车进行的现场测试与验证，

验证结果显示成像能够满足对轨旁设备的成像需求，光照补偿装置满足需求，存在单元正常，成像能够识别轨旁装置及其安装零部件变形、缺失、松脱、部件转动、移位和裂损等缺陷故障，通过对缺陷问题上传 6C 数据中心，实现了缺陷的闭环管理，实际运用效果良好。

鉴于目前高铁和旅客安全的极端重要性，为减轻轨旁设备对运输的影响，降低职工劳动强度，提供巡检质量，轨旁设备的现代化巡检已经必不可少，因此在专业融合背景下，该装置具备模块化、轻便、操作组装简单等优点，能够有效地提高巡检质量和可靠性，保障轨旁设备安全，有较高的实际运用价值和推广价值，本装置目前正在进一步优化结构。EA

(收稿日期：2021.01.06)