

[故障预警]

极早期铁路信号楼火灾监测系统设计与应用

文/刘金瑞
中国铁路设计集团有限公司

分析现阶段铁路信号楼中的隐患监测方案及设备存在的不足之处，针对铁路信号楼特殊环境，设计一种极早期温度、烟雾预警方案，阐述该监测方案的核心关键技术。现场应用结果表明，该监测方案具有良好的适应性及可行性，为铁路信号楼极早期火灾监测提供监测方案。

截至2023年底，我国电气化铁路运营里程已超过10万km，其中高铁运营里程已超过4.8万km，同时电气化铁路运营里程以每年超过10%的增速高速发展，电气化铁路运营里程的高速增加导致了铁路信号楼的暴增。铁路信号楼为电气化铁路远程控制及监控装置，信号楼中存在大量的半自动远程控制装置，一般设置在车站附近，为了方便快速瞭望，一般设有多层楼层，楼层中往往含有大量的电气化装置及铁路沿线信号通信系统，受到运行年限的影响，可能出现绝缘老化以及电源老化的情况，而长时间带隐患运行可能出现短路进而引发信号楼火灾，从而导致铁路信号楼设备损坏。铁路信号楼维系着铁路的稳定运行，一旦信号楼设备出现损坏，可能导致列车无法按照既定的站内信号运行，严重威胁乘客人身安全，同时可能造成恶劣的社会影响。

针对铁路信号楼可能出现的用电安全问题，大量学者从各个方面进行了研究。一部分学者从电器设备出现短路绝缘时特征进行研究，采用烟雾报警的形式进行预警，利用烟雾报警器进行采集，当铁路信号楼中电器设备出现大量烟雾时，烟雾报警器进行报警，从而远程提醒铁路信号楼监管人员进行处理。受到烟雾报警器的附灰及采集局限性的影

响，可能出现大量误报漏报的情况，同时当电器大量产生烟雾时，可能电器设备已经临近起火边缘，不能够完全实现热隐患的排查；另一部分学者采用红外探测装置进行信号楼关键装置的恒定测温，当装置出现温升超过红外装置设定值后进行主动预警，从而实现热隐患的排查，受到红外装置的监测局限性，以及高昂的成本的影响，无法实现铁路信号楼的全范围覆盖，从而尚未得到推广。

鉴于现阶段市面上监测装置存在的问题，本文提出一种适用于铁路信号楼的极早期热隐患监测系统，该监测系统采用前段监测终端加后台系统自动分析计算的方式，通过信号楼内电器设备热隐患产生的粒子数量实现极早期的热隐患报警，从而防止铁路信号楼内火灾的产生。

背景

铁路信号楼内大部分为铁路沿线信号灯、监控装置及远程半自动控制装置，担负着高速列车稳定运行的重任，现阶段随着我国“八纵八横”逐步落地，大部分新建铁路高速列车信号楼个数更多，信号楼内监测装置及线路更为复杂，其信号楼内监测装置基本采用220 V市电进行供电，部分远程监测装置以及通信线路由于绝缘老化以及220 V市电

电源老化的原因，监控装置长期带安全隐患运行，这就导致信号楼内存在监测装置接地或者电源短路的风险，长此以往，容易导致信号楼内出现火灾进而影响铁路安全生产。现阶段铁路信号楼内远程监控设备基本为远程摄像头、烟雾报警装置和红外装置，以上装置可监测位置有限，而烟雾报警装置由于报警机能的影响，可能存在大量误报、漏报的情况，能进行正确的预警也是烟雾达到一定浓度的情况下，由于信号楼内均为低压设备，基本无人值守或者存在少量人员值守的情况，因此上述现阶段应用于铁路信号楼的监测装置适用性相对较弱，存在大量半自动远程监控铁路沿线装置的信号楼的极早期远程监控极其重要。

极早期铁路信号楼热隐患监测系统

应对于现阶段铁路信号楼内远程监控装置存在的局限性，本文从铁路信号楼内部装置分布以及楼层面积大小情况设计一种信号楼内极早期热隐患监测系统。该系统包含信号楼内状态监测采集装置、通信系统、监测主站和后台系统算法。

1. 极早期铁路信号楼热隐患监测装置

极早期铁路信号楼热隐患监测装置安装于铁路信号楼内电气设备相对较为密集的区域，该监测装置主要由监测主机、分布式传感器构成，主机如图1所示。一般直接悬挂于靠近市内220 V电源的开阔墙壁上，采用220 V市电给监测终端供电，该处为防止同一回路下可能出现负荷过载的情况，一般采用单独回路给主机进行供电；另一方面传感器安装于信号楼楼层顶部，该传感器采用主动吸气式方式进行空气中微观粒子成分的检测，正常情况下，铁路信号楼内当空气中微观粒子成分超过一定的标准后，进行主动预警。



(a) 极早期火灾预警监测主机模块



(b) 吸入式传感装置

图1 铁路信号楼极早期热隐患监测终端

2. 通信系统

极早期火灾预警监测主机模块在本地仅能实现

简单的烟雾粒子的处理，其系统的计算以及处理算法位于后台服务器系统中，监测终端与后台服务器的通信采用GPRS的形式进行传输，一方面用于上传主机模块采集的铁路信号楼内粒子数量情况；另一方面用于接收后台服务器下发给主机的远程命令，用以保证监测终端以及传感装置的稳定运行。

3. 监测主站

上述采集终端以及传感器通过主动吸入空气，进行成分简单分析，将数据上传至中心站，中心站对原始数据进行解析分析，通过后台系统的算法计算铁路信号楼内空气中电气设备燃烧前释放的气体的含量，当空气中气体含量超过一定标准时，进行主动的短信推送预警，在铁路信号楼内警报灯开始闪亮报警，同时中心站系统可将预警数据上传至云系统，图2为铁路信号楼极早期火灾预警主站功能图。

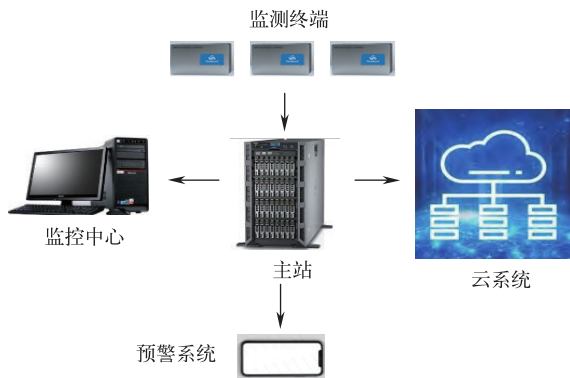


图2 铁路信号楼极早期火灾预警主站功能图

4. 系统算法

铁路信号楼极早期火灾预警装置仅能实现现场的数据采集以及简单的分析，通过装置的本身将明显误报数据剔除，其主要的数据处理方案还是通过主站中算法进行主动识别，现场监测传感器通过主动吸入形式进行分析空气中微观粒子的含量，利用激光源对吸入的气体进行监测，对端采用光学监测器进行监测，处理过后的粒子含量以 $1 \times n$ 的单个举证数列的形式上传至主站中，在后台利用算法进行上传的数据矩阵进行监测。

1) 假设铁路信号楼采集的原始信号为 $P_n=[1,2,\dots,n]$ ，首先对原始信号进行初始处理，若矩阵 P_n 的最大值小于系统设定常数 A ， A 为经验设定值，与铁路信号楼中空气粉尘含量直接相关，则

判定该组数据无效, 不对该组数据进行以下步骤操作。对满足条件的矩阵 P_n 进行滤波操作

$$Z_i = \frac{\sum_{i=-n}^n |2n+1-2i| P_n}{\sum_{i=-n}^n |2n+1-2i|} \quad (1)$$

式中, P_n 为监测终端经过光学监测器处理后上传给中心站的原始数据矩阵, 经过上述滤波函数之后去除原始函数中可能存在的尖刺以及不平稳信号, 其中 n 为采用长度, i 为采样序列号, 得出新的矩阵函数 Z_i 。

2) 对新获得的函数 Z_i 进行傅里叶积分变换

$$F(\omega) = F(Z_i) = \int_{-\infty}^{\infty} Z(i) * e^{-wj} di \quad (2)$$

傅里叶积分变换获取的为 Z_i 函数的频率分布情况, 读取信号分布最大积分量为 M , 选取剩余积分量为之和为 N , 选取 M 、 N , 之后求取 M 、 N 的比例

$$\frac{M}{M+N} < 0.6 \quad (3)$$

若满足上式情况, 则证明铁路信号楼中不存在热隐患, 若上述比值 ≥ 0.6 , 则证明铁路信号楼可能存在热隐患, 需要查看空气中温度以及湿度的变化情况进行预警;

3) 集合监测装置召回的温度以及湿度, 利用召回的温度以及湿度对比当天工况中上传的温度及湿度变化, 在铁路信号楼中若存在热隐患情况, 则召回的温度以及湿度情况对比, 若存在明显变化, 同时满足上述步骤2) 中 M 、 N 的分布情况, 则直接预警; 若空气中湿度以及温度未发生明显变化, 则先不预警, 继续观察上传数据情况。

现场应用

1. 应用背景

以山东济南某货运枢纽信号楼为例, 该货运枢纽线路投运较早, 设备运行年限长, 目前信号楼室内基本采用烟雾报警装置, 鉴于运行年限原因, 于2022年安装了极早期热隐患监测系统。2023年某天, 设备出现示警。次日, 技术人员携设备前往现场, 对其进行隐患排查。当运维人员开启所有负载时, 现场设备再次发出预警信号。

2. 系统分析

当该信号楼内系统启动时, 现场监测装置经过

装置内光学监测装置上传到上位机后台系统的矩阵数据 P_n 进行处理, 以采样点为横轴, 以矩阵值为纵轴, 则其处理后得到的波形如图3所示。

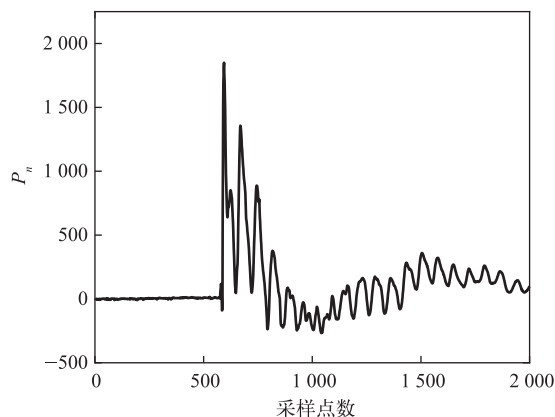


图3 经过检测终端光学装置处理后上传波形

集合监测终端上传的日常工况情况, 对该信号楼内 A 值设定为1 800, 上述装置经过处理之后 A 值为2 120, 明显大于 A 值, 满足触发条件, 对该波形数据进行傅里叶积分变换, 从而计算其频谱分布情况, 如图4所示为该数据频谱分布情况。

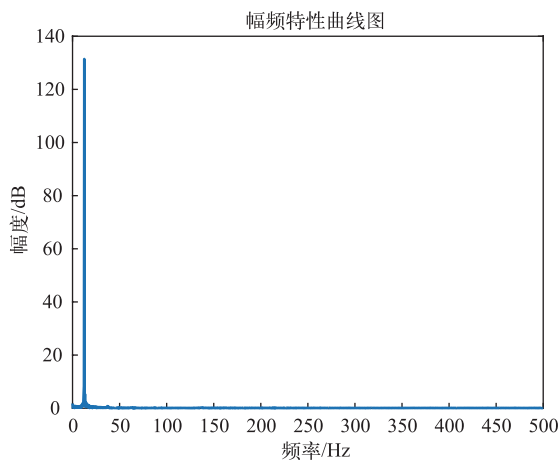


图4 经傅里叶积分变换后数据

如图4所示为图3经过傅里叶积分变换出来的波形数据, 依据上述步骤进行成分分析计算, 可知 M 为130, N 为30, 有

$$\frac{M}{M+N} = \frac{130}{130+30} = 0.8125 \geq 0.6 \quad (4)$$

满足触发条件, 同时对比工况温度与湿度发现存在明显变化, 因此, 判定该处存在热隐患, 从而进行预警。

该信号楼运维人员在收到预警短信后, 进行铁

路信号站楼层火灾隐患排查，经排查，2号低压出线柜微粒子浓度持续上升，5 min后出线柜冒出火花，315 A断路器跳闸，通过上述方法进行计算，利用监测终端多次上传的数据进行计算，多次结果一致。随后对该出线柜各配电箱进行排查，发现某40 A断路器照明开关B相接线处出现绝缘老化，线缆部分接地短路。导致2号低压出线柜315 A断路器过负荷，发生闪络，内部绝缘材质被烧焦，图5为现场排查图片。



图5 现场排查图片

结束语

- 1) 现阶段应用于铁路信号楼中的火灾预警监测方法多是采用摄像头、烟雾报警器，其可能存在大量的误报、漏报的情况，导致应用效率不高。
- 2) 本文从铁路信号楼电气设备以及走线情况进

行分析，设计一种铁路信号楼热隐患监测系统。该系统通过监测终端采集数据集合后台数据分析，结合温度、湿度情况进行精确预警。现场应用结果表明该系统具有良好的适应性以及预警的准确性，为铁路信号楼火灾预警提供了良好的适应性方案。EA

(收稿日期：2024-06-07)

参考文献

- [1] 张娟. 铁路电力配电系统可靠性研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2014.
- [2] 李锋. 浅谈配电的维护与安全使用[J]. 区域治理, 2018(43): 187.
- [3] 丁德鑫, 史金伟, 严亚琦. 告警直传在电力调度系统中研究与应用[J]. 电力科学与工程, 2014, 30(12): 55-6.
- [4] 桂俊华. 基于风险管理的铁路供电维修安全管理研究[D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2021.
- [5] 王鹏飞, 张喆, 樊新学. 基于Mie散射理论的粉尘浓度测量研究[J]. 科技创新与应用, 2021(33): 67-71.
- [6] 刘小虎. 粉尘浓度测量技术研究[D]. 西安: 西安工业大学, 2013.

