

多元化火灾自动探测报警系统的研究

王艳秋 裴春梅

(北京电子科技职业学院 电信工程学院 北京 100016)

摘要:为了有效地监测煤矿井口低压电缆的电气火灾,研究设计了“多元化”的监测方案:1)继电保护(包括选择性漏电保护和过流保护),防止电气故障造成电缆发热而引发的内因火灾事故;2)感温火灾探测报警和感烟火灾探测报警或红外火灾探测报警,用于探测外部高温引发的初期火灾,并作为继电保护的后备保护;3)视频监控,作为值班人员用肉眼识别和确认火灾的直观手段。将3种方案有机的结合,通过试验样机的运行监测能够实现低压电缆电气火灾的有效监测,最后给出了实际的工程应用。

关键词:多元化;电气火灾;探测报警

中图分类号: TN7 文献标识码: A 国家标准学科分类代码: 510

Study on diversified system for fire automatic detecting & alarming

Wang Yanqiu Pei Chunmei

(Telecommunication Engineering School, Beijing Polytechnic, Beijing 100016, China)

Abstract: A diversified project for electrical fire is proposed in this paper, in order to effectively monitor the electrical fire of low voltage cables in coal mine wellhead. Firstly, it is relay protection, to prevent fire accident caused by cable heating because of electrical fault. Secondly, it is temperature fire detection alarm, smoke fire detection alarm or infrared fire detection alarm, to detect initial fire caused by external high temperature, and to be the backup of relay protection. Thirdly, it is video monitoring, to provide basis of fire determination for the person on duty. To combine the three, can realize the effective monitoring of electrical fire. And it also gives practical engineering applications at last.

Keywords: diversified; electrical fire; detection alarm

0 引言

在井工开采的煤矿井口附近通常敷设有多条低压电缆和下井高压电缆,这些电缆为操车系统、装车系统、照明系统、信号系统、矿灯充电系统等重要的辅助系统提供电能,一旦出现无计划停电事故,煤矿的安全生产就会受到严重威胁。但是,煤矿主副井口的现实环境相当恶劣,空气中含有大量的粉尘,煤尘积聚在动力电缆表面,严重影响电缆的散热能力,当电缆长期过载且继电保护拒动时,电缆的绝缘物质就有可能被点燃。另外,潮湿的煤尘长期堆积也有可能引起自燃。电缆火灾发生时能以20 m/min的速度传播^[1],井口的烟囱效应更是“火上浇油”,其危害是相当严重的。

虽然技术的进步现在常用的电缆是阻燃或难燃电缆,但是这种电缆仍然有可能发生火灾-电缆延燃火灾,跟其他普通电缆相比其自燃起火温度提高到了480 ℃。在外部点

火源的情况下,温度在270 ℃以下仍然会释放大量的可燃气体和烟雾,而这些可燃气体随时都有可能被点燃,如果预防不当,从而会导致火灾的发生。美国的电缆耐火研究表明,不仅阻燃电缆支持燃烧,而且涉及阻燃电缆的火灾比起非阻燃的含聚氯乙烯的电缆火灾更难扑灭^[2]。

在国内外电力系统发生的各类重大事故中,电缆火灾事故所占比例是比较大的。电缆火灾事故可以分为内因事故和外因事故。内因事故就是由于电缆内部的电气故障引发的火灾。电气故障包括电缆短路、过载、相不平衡、火花放电和漏电等。外因事故就是由外部热源引发的火灾。

综合以上电缆火灾的分析,本文提出了多元化火灾自动探测报警的方案。1)针对电缆可能发生的故障以及非正常运行状态,进行电气火灾的监测并且实施继电保护及时切断供电电源,防止热量积聚,从而杜绝电气火灾的发生。2)针对电缆外部的高温热源引起的电缆火灾进行自动探测。3)针对敷设在井口电缆沟等电缆桥架上的线型火灾感

温探测器和点式感烟探测器等都不可避免地存在误报警现象,也就是当探测器周围的温度短暂上升到动作温度值而又开始下降时,探测器依然会发出报警信号,所以值班人员在控制室接到报警信息时必须到现场确认是否真的发生了火灾。如果当距离较远而又确实发生了火灾时,就会失去处理早期火灾的宝贵时间。为了解决这一矛盾,采用“可视化火灾探测报警”方案,当接到火灾报警信号后,主控室的计算机屏幕上自动出现报警点的视频画面,值班人员“眼见为实”,立刻得到火灾确认,迅速采取相应措施。

1 多元化火灾自动探测报警系统的组成

《火灾自动报警系统设计规范》GB 50115-98 根据火灾自动报警系统联动功能的复杂程度及报警系统保护范围的大小,将火灾自动报警系统分为控制中心报警系统形式、集中报警系统形式和区域报警系统形式 3 种类型,文献[3-6]也提出了类似的 3 种类型。随着电子技术的迅速发展和计算机软件技术在现代消防中的广泛应用,火灾自动报警系统的结构、形式越来越灵活多样,很难精确的划分成几种固定的形式^[7]。智能化是火灾自动报警系统的未来发展趋势,这种智能化的系统可以组合成具有多种形式的自动报警网络,例如,可以组合成区域报警和集中报警系统,还可以组合成控制中心报警和区域报警系统,也可以组合成控制中心报警和集中报警系统等等,而各个组合之间的区别是很细微的^[8]。本系统选用的是集中火灾报警系统的形式。

集中火灾报警系统一般由两台及以上区域显示器(或区域火灾报警控制单元)、集中火灾报警控制单元、火灾探测器、手动火灾报警按钮、电源及火灾警报装置等组成。各个区域火灾报警控制单元传送过来的火警信号由集中火灾报警控制单元负责接收,同时它还负责控制火灾警报装置发出声、光警报信号,启动消防设备^[9-10]。通用的集中火灾报警系统结构^[11]形式如图 1 所示。

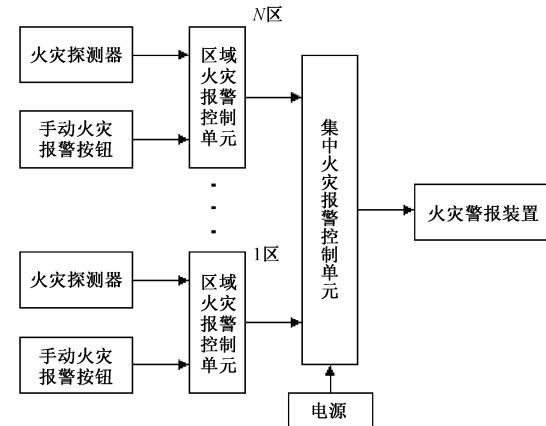


图 1 通用的集中火灾报警系统结构

本文研究设计的多元化火灾自动探测报警系统的基本形式,如图 2 所示。该系统由漏电保护报警系统、感温探测报警系统和视频监控报警系统 3 个子系统组成。该系统的网络结构如图 3 所示。

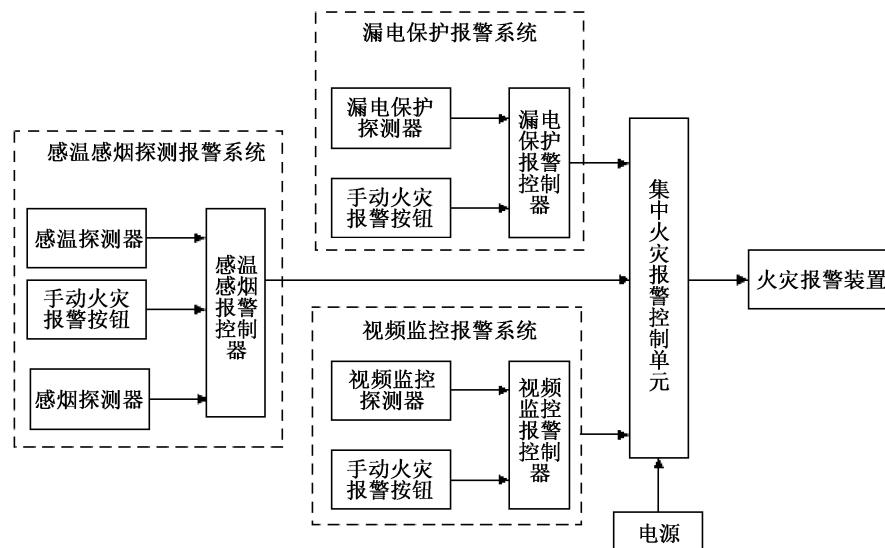


图 2 多元化火灾自动探测报警系统结构

1.1 漏电保护报警系统

漏电保护报警系统由上位机(漏电保护报警控制器)和下位机(漏电保护探测器)组成。下位机的安装位置是在配电控制室内。下位机主要由 DSP 信号处理模块(信号

处理包括运算处理和数据采集)、信号调理模块(由放大电路、滤波电路和 A/D 换转换电路组成)、继电器输出模块和液晶显示模块等组成,通过 RS-485 总线可以完成上位机和下位机之间的通信。下位机硬件结构如图 4 所示。

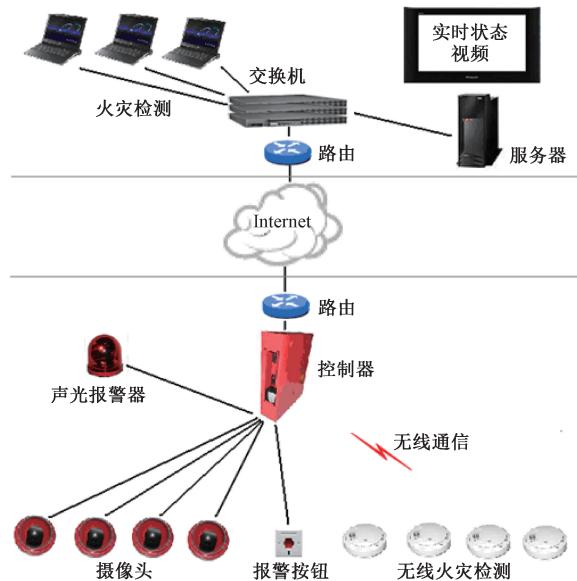


图 3 多元化火灾自动探测报警系统的网络结构

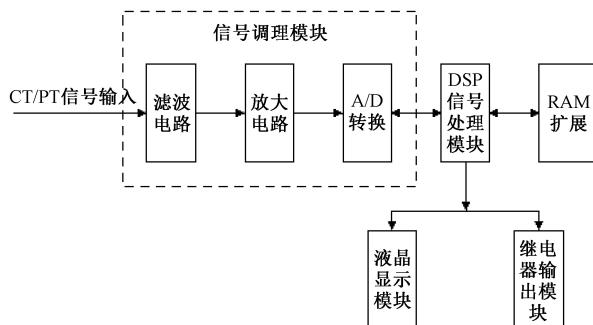


图 4 漏电保护系统下位机硬件结构

信号调理模块的功能是将零序电流互感器(CT)输出的电流信号和零序电压互感器(PT)输出的电压信号通过滤波、放大、A/D 转换等电路转换成可供 DSP 直接处理的数字信号^[4]。该模块可实现 16 路信号同步采集,也就是说可以同时接收 14 路零序电流信号和 1 路 2 分支零序电压信号,这样确保实现了 CT/PT 信号的同步^[12]。

DSP 数字信号处理模块的作用是进行状态判断,进行信号的运算和处理,通过 RS-485 总线将处理好的数据传送给上位机,实现人机对话和远程监控,方便技术人员查找和排除故障^[13]。

为了便于安装和调试,信号调理模块、DSP 信号处理模块、继电器输出模块和电源模块均设计成接插式,这种设计更有利于提高系统的可靠性。

1.2 感温感烟探测报警系统

感温感烟探测报警系统由上位机(感温感烟报警控制器)和下位机组成。下位机由多个感温探测器和感烟探测器组成:感烟探测器安装在副井井口进车侧和副井井口出车侧,感温探测器安装在电缆沟和低压配电室内。感温探

测器由接线盒、感温电缆、终端盒组成。感温探测器不仅可以监测感温电缆的短路故障、开路故障,还可以进行定温报警,实现故障报警、火灾报警的功能。对于电缆区域的火灾探测,如电缆隧道、廊道、夹层等区域,感温电缆可以采用正弦波接触式敷设(动力电缆不需要更换检修时)或直线悬挂敷设(此种方式为抽换电缆方便)^[14]。为了避免探测器受到应力作用而造成机械损伤,采用专用的夹具对感温电缆加以固定^[1]。感温探测器的动作性能的受热长度为 1 m。感烟探测器采用红外光束感烟探测器,由相互分离且相对安装的光敏接收器和红外发射器组成。当探测区域处在正常的监测状态时,光敏接收器接收到的红外发射器发射的红外光束强度是一个稳定在一定范围内的数值;如果有烟雾进入到探测区域内,红外光束被烟雾遮挡使得光敏接收器接收到的红外光束的强度变低,当红外光束的强度低于设定的某个数值时,说明烟雾的浓度达到了报警的数值,这时感烟报警控制器控制蜂鸣器、指示灯发出报警信号。感温感烟探测报警系统硬件结构如图 5 所示。

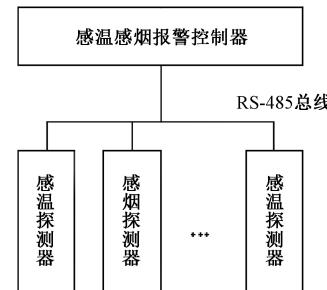


图 5 感温感烟探测报警系统硬件结构

1.3 视频监控报警系统

1) 视频监控报警系统的组成

视频监控报警系统由摄像头和视频监控控制器组成,视频监控控制器主要负责完成视频数据采集、逻辑控制、数据网络传输等几个任务。每个视频监控控制器最多可配备 4 个开关量输入通道和 4 个摄像头。当探测区域内的发出报警信号时,视频控制器开始将事先配置好的摄像头数据压缩后通过网络(如局域网、企业网、Internet、无线网等)上传给火灾报警控制器,并在其显示器上显示相应的视频图像,辅助值班人员确认火灾的真实性。

2) 火灾图像检测的智能识别

火灾图像可以通过使用其颜色特性来进行描述。图像中有 3 种不同的颜色像素元素 R、G 和 B,可以从这 3 个独立的元素 R、G、B 中提取颜色像素,来用于颜色检测。根据 RGB 数值,R、G、B 颜色通道相对应的关系是 R>G, G>B。对捕捉图像的组合条件可以写成 R>G>B。在火焰颜色检测中,R 比其他颜色像素更加重要,因此 R 成为在火灾 RGB 图像中最主要的颜色通道。把火灾中红色的临界值用 RTH 来表示。对于火灾颜色图像,对 R 施加的

条件是超过预先确定的临界值 RTH。具体的 RGB 火灾探测算法流程如图 6 所示。

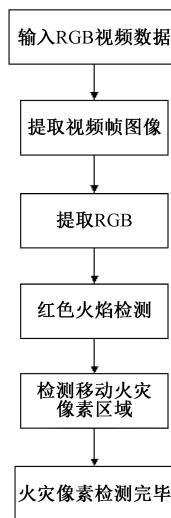


图 6 RGB 火灾探测算法流程

3) 火焰区域颜色特征提取

火焰的颜色特征是火焰图像的静态视觉特性之一,它对火灾图像的判断具有重要的意义。本文采用颜色矩的方法来提取火焰区域颜色特征提取,这种方法即简单又实用,而且它能够用矩来表示视频图像中的颜色分布信息。图像中的颜色主要分布在低阶矩当中,所以采用图像中颜色的一阶中心矩、二阶中心矩和三阶中心矩来表达图像的颜色分布。其公式如式(1)~(3)所示。

$$M_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H(P_i) \quad (1)$$

$$M_2 = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (H(p_i) - M_1)^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

$$M_3 = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (H(p_i) - M_1)^3 \right]^{1/3} \quad (3)$$

式中:N 代表视频图像的像素总和; $H(p_i)$ 代表图像在色彩空间中第 i 个像素的 H 分量。

通过采集 5 个图像序列代入式(1)~(3)进行计算,并求出 5 个计算结果的平均值,其结果如表 1 所示。

表 1 火焰图像分割区域及其他常见干扰物图像色调分量试验计算值

图像	一阶中心矩	二阶中心矩	三阶中心矩
	平均值	平均值	平均值
电气火灾火焰	0.082 3	0.089 4	0.184 2
工作人员	0.322 1	0.288 2	0.407 8
运动车辆	0.543 8	0.150 9	0.352 8
模拟井口照明设备	0.360 5	0.243 2	0.399 2
模拟井下矿车车灯	0.313 4	0.199 1	0.190 4

从表 1 的数据可以得出,火焰图像分割区域像素色调分量值的一阶中心距、二阶中心距和三阶中心距同设定的干扰物之间的数值差异相对较大;同时还可以观察到在模拟井下环境的干扰项之间其像素色调分量值之间的差异并不明显,这给煤矿井下提取的视频图像中的火焰区域分割带来了充足的理论依据。

2 实际工程应用

本系统是一套煤矿副井口的电气火灾自动监测报警系统,即对副井口附近主要区域,如矿灯房、井口等候大厅、井口进车侧、出车侧以及电缆沟等区域进行火灾实时监控,整套系统主要包括 3 大部分:1)漏电保护系统;2)感温感烟探测报警系统;3)视频图像监控系统。漏电保护报警系统由漏电保护报警控制器(上位机)和漏电保护探测器(下位机)组成。感温感烟探测报警系统包括报警控制器、线型感温火灾探测器、防爆红外光束感烟火灾探测器等组成。视频监控系统主要包括红外摄像头、视频图像数据传输装置、计算机系统等。

本系统在某煤矿的应用设计如下:矿灯房拟布设 3 个感烟探测器,安装在天花板上,拟布设 4 个摄像头,布置在 4 个角落;井口等候大厅拟布设感烟探测器 3 只,安装在天花板上,布设 2 个摄像头,安装在两侧墙壁上;井口进车侧是进风口,空气流动剧烈,拟安装 3 套防爆红外光束感烟火灾探测器,在该区域拟布设 2 个摄像头;井口出车侧也是进风口,空气流动剧烈,但风向不同,拟安装 3 套防爆红外光束感烟火灾探测器,2 个摄像头;敷设下井电缆的电缆沟,拟安装 2 套感温探测器;低压配电室内也敷设有成捆的电缆,拟安装 1 套感温探测器,1 个摄像头。具体的防护探测区域探测器使用类型、以及拟布设数量情况如表 2 所示。

表 2 防护探测区域和探测器类型

序号	防护探测区域	探测器类型及拟布设数量	摄像头数量
1	矿灯房	感烟探测器 3 只	4
2	井口等候大厅	感烟探测器 3 只	2
3	井口进车侧	防爆红外光束感烟火灾探测器 3 套	2
4	井口出车侧	防爆红外光束感烟火灾探测器 3 套	2
5	电缆沟	感温探测器 2 套	0
6	低压配电室	感温探测器 1 套	1

试验样机采集的 3 个子系统运行监测数据波动曲线如图 7 所示,能如实地反映电缆设备的实际工作情况,并对异常情况进行准确报警。

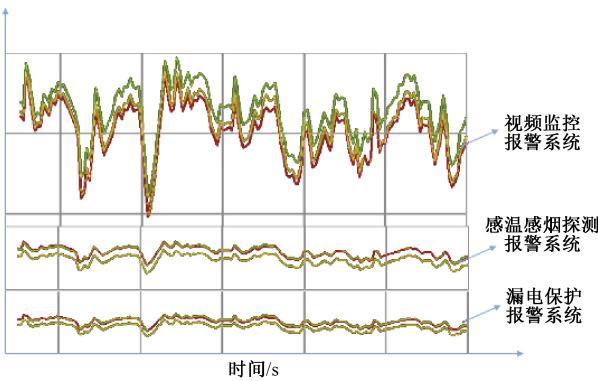


图 7 3 个子系统运行监测数据波动图

3 结 论

随着国家对煤矿安全的高度重视,将促进火灾探测手段、探测功能的日益多样化,对煤矿火灾探测技术的要求也将越来越严格,因此在这一领域的研究还需将进一步的深入,如将无线通信应用到动力电缆火灾探测,文献[15]提出在 900 MHz 左右为煤矿井下无线通信系统传输信号的最佳频段。本文介绍了一套多元化的火灾自动探测报警的方案,理论分析与样机现场实验表明,这种多元化火灾自动探测报警系统可以从电缆故障及非正常运行状态、电缆外部的高温热源、误报警 3 个方面对煤矿主副井口的电缆火灾进行在线监控,在线监测可以积累大量的数据,将被实验设备的当前实验数据和以往的监测数据相结合,用各种数值分析方法进行及时、全面地综合分析判断,就可以发现和捕捉火灾发生的隐患,确保煤矿井下的安全生产运行、从而减小由于预防性试验间隔长所带来的误差。

参考文献

- [1] 王艳秋,王彦文,裴春梅.动力电缆火灾自动探测报警系统的研究[J].电气应用,2010,29(20):56-58.
- [2] GB 50414-2007,钢铁冶金企业设计防火规范[S].
- [3] 吴龙标,袁宏永,疏学明.火灾探测与控制工程[M].合肥:中国科学技术大学出版社,2013:137-140.
- [4] 盛建.火灾自动报警消防系统[M].天津:天津大学出版社,1999:2-5.
- [5] 黄浩忠.火灾自动报警系统简明设计手册[M].北京:中国建材工业出版社,2001:33-40.
- [6] GB 50115-98,火灾自动报警系统设计规范[S].
- [7] 唐海.火灾自动报警系统分类新说[J].建筑电气,2009,28(7):25-26.
- [8] 孙景芝,韩永学.电气消防[M].北京:中国建筑工业出版社,2016:135-156.
- [9] GA 5-91,手动火灾报警按钮技术要求及试验方法[S].
- [10] GA 385-2002,火灾声和/或光报警器技术要求及试验方法[S].
- [11] GB 16806-97,消防联动控制设备通用技术条件[S].
- [12] 王彦文,富永疆,高彦.集散式选择性漏电保护系统的研究与实现[J].机电工程技术,2004,33(12):52-53.
- [13] 王彦文,高彦.煤矿供电技术[M].徐州:中国矿业大学出版社,2012:250-286.
- [14] GB 16280-2005,线型感温火灾探测器技术要求及试验方法[S].
- [15] 孙继平,李继生,雷淑英.煤矿井下无线通信传输信号最佳频率选择[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2005(3):378-380.

作者简介

王艳秋,硕士、讲师,主要研究方向为电力系统自动化。

E-mail:wyqwwq@163.com