

## 城市轨道交通

## 浅析地铁火灾报警系统的风险管理

周 琼

(成都地铁运营有限公司 自动化设备检修所,  
四川 成都 610081)

**摘 要:**为保证地铁火灾报警系统安全、稳定运行,通过RAM 分析办法确定现有系统存在较大运行风险,再运用风险矩阵分析找出风险关键点,结合成都地铁火灾自动报警系统特点,从设计、建设、运营维护各环节采取措施,最大限度降低设备故障发生概率,达到可接受的风险等级,从而提高系统整体可靠性,确保地铁运营安全。

**关键词:**成都地铁;火灾自动报警系统;RAM;风险矩阵;风险管理

中图分类号:U231+.96 文献标识码:B  
文章编号:1000-128X(2012)04-0066-02

火灾报警系统(Fire Alarm System,以下简称FAS)在发生火灾后能自动启动报警装置并联动相关环控设备,如果火灾探测报警系统可靠性问题导致系统报警延误,将延迟乘客的疏散时间,严重时将导致人员伤亡。因此FAS系统的可靠性直接影响地铁运营安全,如何提高该系统的稳定性并降低风险就显得日益迫切。

## 1 成都地铁火灾报警系统简介

成都地铁1号线FAS系统由17个车站、车辆段、控制中心的火灾报警控制主机、扩展工作站、综合监控系统工作站、综合监控为FAS提供的网络和FAS系统现场设备探测设备等组成,负责监控防火阀、消火栓、水泵、消防喷淋泵等的动作状况,对各建筑物的公共区、设备用房、电缆井和电缆夹层等进行火情探测,并接受现场火灾报警信号、显示报警部位、警示人们及时疏散或采取相应措施。

## 2 RAM 分析

## 2.1 等效可靠性框图

FAS系统中的关键性硬件设备:专用火灾报警主机、回路总线(含线缆和回路卡)输入/输出模块。因回路总线线缆在无外力作用下不会出现损坏或故障,所以在计算FAS系统回路总线的RAM值时,不考虑电缆本身的故障,只考虑FAS主机中的回路卡的故障率,就此可对典型车站FAS控制系统的可靠性框图进行简

化,可靠性框图如图1所示。本文主要对FAS系统简化版可靠性展开分析。

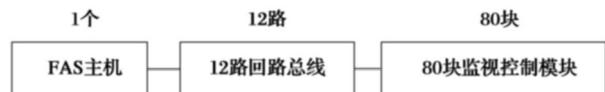


图1 典型车站FAS系统简化版可靠性框图

系统硬件配置及各设备MTBF(平均无故障时间)(故障率)MTTR(系统平均修复时间)以及RT(故障响应时间)参数如表1所示。

表1 FAS系统硬件配置及各设备参数

模块名称	数量	MTBF/h	MTTR/h	RT/h
专用火灾报警主机	1套	86 400	$1.157\ 41 \times 10^{-5}$	1
回路卡	12块	87 600	$1.141\ 55 \times 10^{-5}$	1
输入/输出模块	80个	86 400	$1.157\ 41 \times 10^{-5}$	1

说明:MTBF值是由现场数据、实验室测试数据共同决定的取值;MTTR值、故障响应时间RT是根据以往维护得出的经验值

## 2.2 RAM 指标计算

由以上可知,单车站FAS子系统的故障率 $\lambda_{\text{单}}$ 为

$$\lambda_{\text{单}} = \lambda_1 + 12 \times \lambda_2 + 80 \times \lambda_3 = 1.157\ 41 \times 10^{-5} + 12 \times 1.141\ 55 \times 10^{-5} + 80 \times 1.574\ 1 \times 10^{-5} = 1.074\ 49 \times 10^{-3}$$

单车站系统平均无故障时间:  $MTBF_{\text{单}} = \frac{1}{\lambda_{\text{单}}} = 931\ \text{h}$

全线17个站FAS子系统的故障率 $\lambda_{\text{全}}$ 为:

$$\lambda_{\text{全}} = 17 \times \lambda_{\text{单}} = 17 \times 1.074\ 49 \times 10^{-3} = 1.826\ 63 \times 10^{-2}$$

全线FAS子系统平均无故障时间:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = 55\ \text{h}$$

$$\text{系统可用性 } A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + RT}$$

硬件方面的硬盘及板卡模块可以迅速使用备用件替换,恢复过程小于1 h;工程承建公司和运营维保公司均拥有充足的工作经验丰富的技术人员和维保队伍,在系统出现故障后,能迅速响应到达现场,RT=2 h。

所以系统可用性为

$$A = \frac{55}{55 + 1 + 2} \times 100\% \approx 94.80\%$$

通过RAM计算分析后,发现FAS系统由于探头数量太多,无法满足可用性大于99.98%的地铁运营要求,存在较大风险。

## 3 风险矩阵分析

基于RAM计算分析的结果,再次运用风险矩阵对FAS系统主要构成设备由下而上地进行分析,分析结果如表2所示。

收稿日期:2012-03-01;收修稿日期:2012-05-04

表2 FAS系统风险矩阵表

系统	部件	位置	隐患分类	隐患说明	可能成因	影响组别			影响/后果	现有风险		
						乘客	员工	承包商		频率	严重性	等级
火灾报警系统	专用火灾报警主机	车站、车辆段及控制中心	意外	控制主机无法监测报警信号	设备故障	*	*		无法监控现场火灾报警设备,火灾时可能影响指挥灭火,发生火灾时延误对旅客的疏散时间,造成人员伤亡	G	4	R3
	紧急广播系统	车站、车辆段	意外	消防广播中断	设备故障	*	*		无法正常进行消防广播,火灾时可能延误对旅客的疏散时间,造成人员伤亡	G	4	R3
	消防联动控制盘	车站、车辆段及控制中心	意外	消防联动控制盘无法动作	设备故障	*	*		无法正常进行消防联动,火灾时无法及时进行相关联动,造成人员伤亡	G	4	R3
	消防电话系统	车站、车辆段及控制中心	意外	消防通信中断	设备故障	*	*		无法正常进行消防通信,火灾时延误灭火及旅客的疏散时间,造成人员伤亡	G	4	R3
	扩展工作站	运营控制中心、车辆段、车站	意外	消防系统不能正常运转	设备故障	*	*		无法正常显示设备当前状态,火灾时不能及时通知人员,有可能导致发生人员伤亡	G	4	R3

说明：风险等级为R1的隐患为必须消除该类风险；R2的隐患为必须将风险减低至最低实际可行的水平；R3的隐患为可忍受的风险，但仍须按成本效益尽量减低风险；R4的隐患为可接受的风险；\*表示“受到影响”；G表示可能的失效概率， $1E-4/年 < G < 1E-3$ 年

通过分析,表2中主要设备风险等级为R3,其中专用火灾报警主机失效将会导致整个FAS系统失效,因此降低专用火灾报警主机的风险等级是整个FAS系统可靠性提升的关键。

#### 4 解决措施

本文从FAS系统设计、建设、运营维护等方面入手,通过甄选性能稳定可靠的元器件、优化网络连接方式、加强运营维保管理等方法降低故障发生频率来降低系统风险等级,提升系统可用性。

在国内其他城市地铁实践基础上,选用可靠性高的CS51系列火灾报警主机、消防电话系统、ZA9341A消防联动控制盘,以上产品质量在多个地铁火灾报警系统的实施中得到验证。

在设计中为保证火灾报警信息的传输和火灾模式的多重启动,成都地铁在FAS主机与综合监控系统相连的同时,还采用硬线与环控监控系统连接,降低了系统整体失效的机率。

紧急广播在平时作为车站正常广播使用,火灾时由综合监控自动将广播音响强制切换到火灾事故广播状态,此设计既可满足消防预警需要,同时设备运行状态每天都能得到有效验证,从而降低该设备的故障发生机率。

消防联动控制盘采用间隔回路的方法设置探测器,能预防单个回路的失效导致整个消防联动控制盘失效,降低该设备失效机率。

在运营维保中为100%兑现预防性检修计划,引

入EAM系统科学管理计划性检修工单。该系统自动提前将检修计划作业工单弹出,作业人员作业完毕后,由生产调度关闭工单,实现对检修工单闭环式管理。

强化运营维保人员业务技能、应急处置能力培训。围绕设备故障处置频繁开展劳动竞赛、应急演练等活动,增强员工动手能力,提高应急应变素质。

#### 5 改进结果

在设计、建设、运营维护各环节采取一系列措施后,重新对上述设备进行了评定,评定结果如表3。

表3 改进后FAS系统各设备风险等级

项目	FAS 主机	紧急广播系统	消防联动控制盘	消防电话系统	扩展工作站
严重性	4	4	4	4	4
频率	H	H	H	H	H
风险等级	R4	R4	R4	R4	R4

说明：H表示可能的失效概率为 $1E-5/年 < H < 1E-4$ 年

从改进前后风险矩阵对比可以发现,各主要设备的风险发生频率降低,其风险等级均降至R4,达到了安全风险等级。

成都地铁1号线FAS系统自2010年9月份底开始试运行已逾500天,系统运行平稳,未出现一起消防设备事故。

#### 6 结语

通过对FAS系统实施风险管理,在设计、建设、运  
(下转第70页)

大量安装工作。这样改进后的节点组成结构大大简化,既降低了成本又减少了产生失效的风险点。

2)节点的优化

优化后节点如图7所示。优化主要包括以下几个方面:

通过改变橡胶及金属的形状,使其能够承受垂向、纵向及轴向的载荷;

增加垂向承载橡胶的面积,并增加橡胶的胶层厚度,以降低橡胶的应力应变;

金属外套由四瓣形式改为整体形式,这样金属外套与转臂内孔的配合改为过盈配合,保证节点不产生滑动;

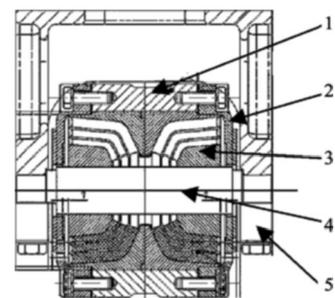
取消纵向方向上的金属止挡,避免产生金属之间的磨擦以及对周边橡胶的破坏。

5 改进效果

为了验证改进效果,对新老结构的节点进行了有限元分析对比,并对新转臂节点进行了疲劳试验及装车考核。

5.1 有限元分析对比

表3为新老结构在最大垂向力作用下的应力应变情况对比。从对比结果可知,新结构在应力应变方面要明显优于老结构,因此预期的使用寿命要优于老结构。



1——转臂; 2——端盖; 3——转臂节点及芯轴; 4——构架  
图6 改进后的节点组成

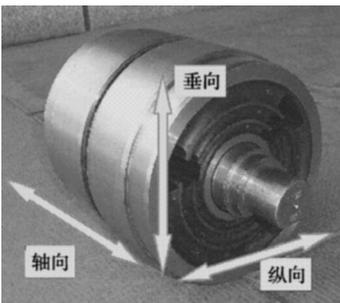


图7 改进后的转臂节点

表3 新老结构有限元分析结果对比

结构	应力 /MPa	应变
老结构	6.7	1.25
新结构	3.4	0.76

5.2 疲劳试验情况

为了预测新结构的使用寿命,对其进行了疲劳试验。试验条件如表4所示,完成疲劳试验后的产品完好,表面没有明显裂纹(见图8)。

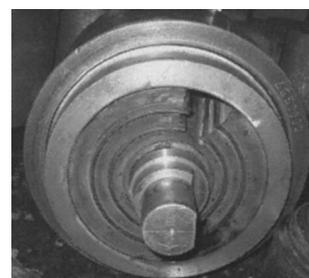


图8 疲劳试验后的转臂节点

表4 转臂节点疲劳试验条件

垂向预加载 / kN	疲劳条件	次数
34	纵向 ± 5 mm	1 000 000
34	垂向 ± 16 kN, 同时扭转 ± 6 °	5 000 000

5.3 装车考核情况

改进后的节点已装车运行将近2年,运用单位反馈情况良好,相比老结构半年不到就需更换,其使用寿命确实有了极大的提高。

6 结论

通过以上对新老结构节点的分析试验及实际运用情况的对比,可以得出以下结论:

改进后的转臂节点结构更合理,使用寿命更长。

改进后的转臂节点组成结构更简单,维护更简便,成本更低。

参考文献:

[1] 姚远,张红军,罗赟. 转臂轴箱定位节点位置对机车动力学性能影响分析[J] 机车电传动,2007(3): 27-29.  
[2] 王永冠,卜继玲,刘建勋. 轴箱转臂定位方式对弹性节点的影响[J] 铁道车辆,2009(11).

( 本 篇 文 章 为 南 车 株 洲 电 力 机 车 研 究 所 有 限 公 司 2011 年 度 学 术 交 流 论 文 )

(上接第67页)

营维保全过程采取有效的措施,最大限度降低了设备故障发生概率,提高了FAS系统可靠性,切实保障了地铁运营安全。

参考文献:

[1] 张文昱. 风险矩阵方法和模糊风险矩阵方法的若干拓展及其在应急管理评估中的应用[R] 武汉:中国科学院科技政策与管理科学研究所,2010.  
[2] EN50126-1999,应用于铁路的可靠性、可使用性、可维修

性、安全性(RAMS)规范及验证[S]

[3] 黄宏伟,叶永峰,胡群芳. 地铁运营安全风险现状分析[J] 中国安全科学学报,2008,18(7).  
[4] 章扬,陈辉,田源. 地铁综合监控系统的可靠性、可用性、可维修性、安全性设计[J] 城市轨道交通研究,2009(4).  
[5] 魏晓东. 城市轨道交通自动化系统与技术[M] 北京:电子工业出版社,2004.  
[6] 王海燕,郭晓蒙. 地铁火灾自动报警系统探讨[J] 消防科学与技术,2010,29(3).