

分类号: U215.8
UDC: 621

学校代码: 83801
密级: 公开

工程硕士学位论文

题目: 高速铁路异物侵限监测系统可靠性研究

英文题目: Study on the reliability of the foreign

invasion detection system for high speed railway

版 权 声 明

此服务仅提供文献资料内容的1/3复制件,供用户学习、研究或学校课堂教学、科学研究使用。
作者姓名 江信学 导师姓名 史宏
申请学位 工程硕士 培养单位 中国铁道科学研究院
工程领域 计算机技术 研究方向 铁路异物侵限
答辩委员会主席 熊杰 评阅人 王彤 赵伯明

论文提交日期:

年 月

中国铁道科学研究院学位论文

原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品或成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本声明的法律结果由本人承担。

论文作者签名：

日期： 年 月 日

关于学位论文使用授权说明

作者了解中国铁道科学研究院研究生部有关保留、使用学位论文的规定，即：研究生在校攻读学位期间论文工作的知识产权单位属中国铁道科学研究院。中国铁道科学研究院有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的纸质文档和电子文档，允许学位论文被查阅和借阅，可以公布学位论文的全部或部分内容，可以采用复印、缩印或其他手段保留、汇编学位论文。保密的学位论文在解密后遵守此规定。

☐ 公开 ☐ 保密（保密期： 年 月至 年 月）

学位论文作者签名： _____ 导师签名： _____

签字日期：

签字日期：

致 谢

雄关漫道真如铁,而今迈步从头越。紧张而又难忘的研究生生涯就要结束了,借此论文完成的时刻,对帮助过我的各位领导、老师以及同学表示感谢。

首先我要感谢的是史宏老师,论文是在他悉心的指导下才得以完成的。史老师渊博的知识,谦和的态度给了我极大的帮助和影响。感谢王彤老师、武明生老师以及王瑞老师在论文写作期间,及在合福高铁现场测试期间提供的各种帮助。

感谢孙地新老师和张庆老师及铁科院的其它各位老师在学习、生活各方面都给予我无微不至的关心与指导,为学生倾注了大量的心血,付出了辛勤的劳动。

最后感谢我的家人,他们的理解和付出使我能够工作十余年之后还有机会在铁科院专心完成我的学业。使我在中国铁道科学研究院研修学院中愉快地度过了2年多的学习和生活,最后向所有曾经给予我和关心过我帮助过我的人表示衷心的感谢!



摘 要

高速铁路是一项采用大量新技术,高标准建设的复杂系统工程。高速铁路异物侵限监测系统为减少自然灾害及异物侵限对高速铁路行车的影响,保障其安全高效运营起到了重要作用。但在应用过程中也暴露出一些问题和缺陷,特别是异物侵限监控的稳定性不高,出现误报次数较多。本课题通过收集分析国外高速铁路异物侵限系统的主要监测方式、技术特点及发展趋势。对我国高速铁路既有异物侵限监测系统的应用现状、存在问题进行调研分析。建立系统可靠性模型和现场试验验证研究现有异物侵限监测系统的可靠性水平。对提高现有异物侵限监测系统提出了改进措施和建议,并研究提出了高速铁路异物侵限监测系统技术条件,为推进我国高速铁路异物侵限系统的改进和发展提供技术支持。

关 键 词 防灾、异物侵限、可靠性

Abstract

High speed railway is one of a large number of new technologies, complex system engineering construction of a high standard. High speed railway intrusion monitoring system for natural disaster reduction and foreign invasion effect on high-speed railway, an important role in the security and efficient operation of its security. But in the application process also exposed some problems and defects, especially the stability of foreign invasion monitoring is not high, a large number of false positives. This topic through the collection and analysis of operation and development trend of technical characteristics of the main monitoring mode, foreign invasion of foreign high speed railway limited system of high speed railway in China, both the application status, foreign invasion monitoring system research and analysis of the existing problems. Study on establishment of system reliability model and field tests verify the reliability level of the existing intrusion monitoring system. To improve the existing intrusion monitoring system put forward the improvement measures and suggestions put forward and research of high speed railway foreign invasion technology condition monitoring system, in order to promote the foreign invasion of China's high-speed railway the system improvement and development to provide technical support.

Keywords: high-speed railway , foreign invasion, reliability

目 录

摘要.....	I
Abstract.....	II
1 引言	1
1.1 研究背景	1
1.2 国外高速铁路异物侵限监测系统发展情况.....	1
1.2.1 日本	1
1.2.2 法国	9
1.2.3 德国	12
1.2.4 意大利	13
1.2.5 西班牙	14
1.3 我国高速铁路异物侵限监测系统发展情况	15
1.4 本文主要内容介绍	17
2 异物侵限监测系统在国外的应用情况调查	18
2.1 异物侵限监测系统总体情况	18
2.2 异物侵限监测系统运用情况调研	19
2.3 数据分析	29
2.3.1 故障分类.....	29
2.3.2 故障时间分布	30
2.4 本章小结	32
3 高速铁路异物侵限监测系统需求分析	33
3.1 高速铁路网沿线地理概述	33
3.2 高速铁路行车组织概述	34
3.3 异物侵限对运输生产的影响	35
3.4 紧急处置方案.....	36
3.5 业务过程建模（功能与数据）	37
3.5.1 功能需求.....	37
3.5.2 信息需求.....	37
3.6 性能指标需求.....	38

4 异物侵限监测方案对比分析	40
4.1 异物侵限监测技术	40
4.1.1 非接触式异物侵限监测技术	40
4.1.2 接触式异物侵限监测技术	41
4.2 异物侵限监测技术对比	42
4.3 适合我国高速铁路特点的异物侵限监测方法.....	44
5 系统可靠性分析及现场试验验证	45
5.1 系统可靠性定性分析	45
5.1.1 系统结构.....	45
5.1.2 典型异物侵限监测系统构成表	46
5.1.3 系统逻辑结构	50
5.1.4 共因故障分析	50
5.2 系统可靠性定量分析	53
5.2.1 故障树模型.....	53
5.2.2 系统可靠性.....	53
5.3 现场试验	56
5.3.1 试验环境及设备	56
5.3.2 系统可靠性试验	59
5.3.3 监测电网老化试验	60
5.4 改进措施及建议.....	61
6 结论和展望	62
参考文献	63
作者简历及科研成果.....	66
学位论文数据集.....	67

Orders to record

In this paper.....	I
The Abstract.....	II
1 Introduction.....	1
1.1 Research background.....	1
1.2 The foreign high speed railway foreign invasion monitoring system development limited.....	1
1.2.1 Japan.....	1
1.2.2 France.....	9
1.2.3 Germany.....	12
1.1.4 Italy.....	13
1.2.5 Spain.....	14
1.3 High speed railway in our country foreign invasion monitoring system development limited.....	15
1.4 This paper main content.....	17
2 Foreign invasion monitoring system in the domestic application situation investigation.....	18
2.1 Foreign body contamination limit monitoring system as a whole...	18
2.2 Foreign invasion monitoring system using limited research.....	19
2.3 Data analysis.....	29
2.3.1 Fault classification.....	29
2.3.2 Fault time distribution.....	30
2.4 This chapter summary.....	32
3 High speed railway foreign body contamination limit monitoring system requirements analysis.....	33
3.1 High speed rail network along geographical overview.....	33
3.2 Summary of high-speed railway traffic organization.....	34
3.3 The influence of foreign body contamination limit of transportation production.....	35

3.4 Emergency disposal plan.....	36
3.5 Business process modeling (function and data).....	37
3.5.1 Track of functional requirements.....	37
3.5.2 Information demand.....	37
3.6 The performance index requirements.....	38
4 Foreign invasion monitoring scheme comparison and analysis.....	40
4.1 Foreign invasion monitoring technology limited.....	40
4.4.1 Non-contact foreign invasion monitoring technology limited...	40
4.1.2 Contact foreign invasion monitoring technology limited.....	41
4.2 Foreign invasion monitoring technology limited contrast.....	42
4.3 Suitable for the characteristics of high-speed railway in our country foreign body contamination limit monitoring method.....	44
5 System reliability analysis and field test.....	45
5.1 System reliability qualitative analysis.....	45
5.1.1 System structure.....	45
5.1.2 Typical foreign invasion monitoring system composition table limited.....	46
5.1.3 The system logic structure.....	50
5.1.4 Ensuring common cause failure analysis.....	50
5.2 System reliability quantitative analysis.....	53
5.2.1 The fault tree model.....	53
5.2.2 System reliability.....	53
5.3 Field test.....	56
5.3.1 Test environment and equipment.....	56
5.3.2 System reliability test.....	59
5.3.3 Monitoring grid aging test.....	60
5.4 The measures and Suggestions for improvement.....	61
6 The conclusion and prospect.....	62
References.....	63

The author resume and scientific research.....	66
Dissertation data set.....	67

1 引言

1.1 研究背景

2005 年,铁科院和成都局合作,在既有成都铁路局管段易滑坡地段安装位移传感器检测滑坡灾害的发生;2006 年,北京铁路局在京原线部分隧道口安装视频监控设备,监控人员通过视频监控系统检测异物侵限事件。自 2008 年京津城际开通开始建设异物侵限监测系统,截至到 2012 年底,共有京沪、武广等 20 余条高速铁路/客运专线设置了异物侵限监测点,总计有 663 处异物侵限监测点,主要采用接触式双电网异物侵限监测技术。京津城际全线设置 5 处异物侵限监测点,单根监测电缆布设在水平金属网上方;随着高速铁路建设的发展,对异物侵限监测技术不断进行完善;2009 年,将单根监测电缆改为两根监测电缆,同时将监测电缆封闭到复合材料中;2010 年将水平监测电网改为垂直方式。但在实际应用中,由于缺少基础研究、试验验证,没有验收/检修相关标准等原因,异物侵限监测系统应用效果不好,问题较多,主要表现在设备自身故障较多,误报率较高。

1.2 国外高速铁路异物侵限监测系统发展情况

1.2.1 日本

(1)日本新干线防灾监控系统

日本是一个地震、滑坡、暴雨、台风等自然灾害频繁的国家,日本 100 多年铁路的发展历史也可以看作是与灾害作斗争的历史。自 1965 年开始,日本在雪崩、落石防护设施和改线,路堤、路堑的边陡防护,隧道、桥梁的加固等方面进行了投资,结果全国灾害数逐年减少。但是,随着结构物的老化、河流河床下降及坡面风化,到了 1986 年仍每年有近千件灾害发生。由此可见,单纯用投资的方法还不能够使灾害完全消除。针对这种情况,采取事先预测灾害,一旦有险情,立刻命令列车慢行或停车的办法。即使灾害发生也不致于发生重大事故。尽管在上个世纪 80 年代每年平均仍然有灾害 2400 多件,但因灾害引起的列车脱轨事故每年平均仅有 4.6 起,而且其中造成旅客和职工伤亡事故的仅仅只有 0.8 起,统计数据如表 1-1。(日本《土木技术》,1987,Vol 42, No.8)

表 1-1 灾害引起的列车脱轨事故

Table 1-1 disasters caused by the train derailment accidents

年份 类别	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	十年 平均
路堑破坏 和路堤破 坏		1	1	3	2	6	3	2	3	2	2.3
雪崩				5			3		2		1
落石	1	2	3				1	1			0.8
其他		1	1				1	1		1	0.5
小计	1	4	5	8	2	6	8	4	5	3	4.6
发生伤亡 的事故			1	2	1	2			1	1	0.8

日本高速铁路开业当初(1964 年)装备了列车集中控制装置(CTC,Centralized Traffic Control),变电所遥控集中控制装置(CSC, Centralized Substation Control),列车无线装置等,进行运转集中化管理。之后,针对列车密度的增加,在山阳新干线冈山开通之际(1975 年),引进了 COMTRAC(COMputer aided TRAffic Control),并于东北上越新干线开业(1982 年)时一起搬迁到调度所。在北陆新干线建成之际(1997 年),将东北上越、北陆新干线等的各分系统统一为新型的新干线综合安全监视系统(COSMOS,Computerized Safety,Maintenance and Operation systems of Shinkansen),主要功能有运输计划管理、设备情报监视、供电系统控制和维修作业管理,其中设备情报监视功能包含管理、处理沿线的防灾情况及设备、机器的故障,从监视装置接收故障情报,再传输给中央装置,同时接收中央装置的控制情报,实现其功能的系统结构图如图 1-1。

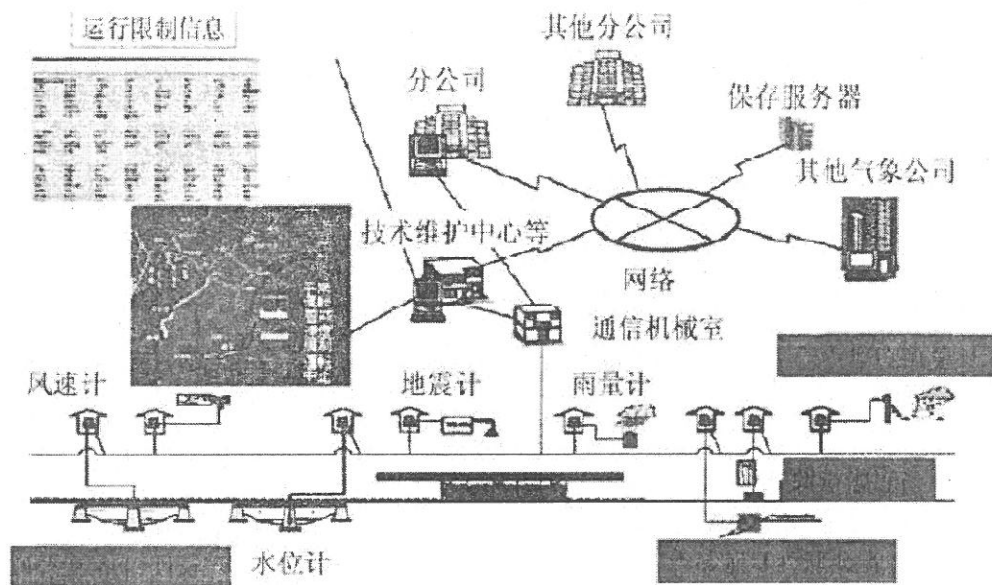


图 1-1 新干线综合防灾信息系统

FIG. 1-1 Shinkansen comprehensive disaster prevention information system

新干线综合防灾信息系统包含了对沿线地震、风速、雨量、积雪、桥梁基础冲刷和水位、塌方、轨温等监测和相关的控制。轨温计、路堑塌方光纤探测仪、地震仪、水位计、积雪深度探针、风速计、冲刷仪、雨量计等现场传感器实测的数据，经现场信息通信设备室汇总，分别实时传输给技术中心和分公司，分公司将实测数据实时传输给采集装置，再通过互联网传输给中央控制室进行分析处理，控制列车运行状态。在公路跨越铁路或与铁路并行地段，虽已设置了防护工程，但仍不能避免汽车或落物进入铁路限界，因此新干线还设置了异物侵限监测装置，以便在事件发生时迅速控制进入该区间的列车停车。新干线的限界障碍监测装置有电缆检测式和光缆检测式两种，前者是通过冲击物切断检测柱或检测电缆而报警；后者是在沿线布设光缆，由通信机械室发出光信号，经各检测点分光再返回机械室而判断有无落物侵限情况，电缆检测式限界障碍监测装置在 60 年代初至 90 年代应用较为广泛，自 1997 年以后，新干线对于限界障碍监测装置应用较为广泛的是光缆检测式装置。

(2) 新干线防灾监控系统电缆检测式限界障碍监测装置

新干线电缆检测式限界障碍监测装置由如下构成：检测装置如检测柱或检知网、检测电线和信号电缆、中间连接设备如主控制箱和报警防护装置如车站、工

区报警器和列车防护设备、检测继电器。当从外部的冲击切断检测柱或检测电网时，安装在信号机械室内的检测继电器则无励磁，此时 ATC 信号表示停车。其构成如图 1-2 所示。

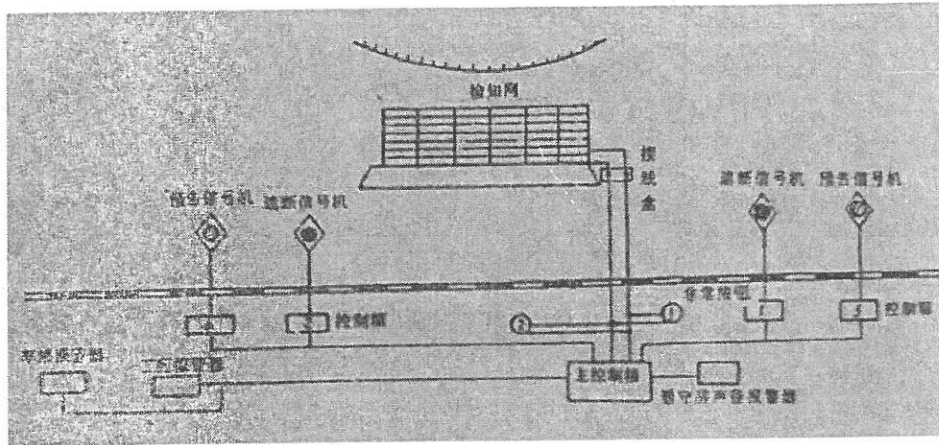


图 1-2 新干线测柱、检知网式限界障碍监测装置构成图

Figure 1-2 Shinkansen column, detector threshold barrier monitoring device of network constitutes a figure

检测柱构造如图 1-3 所示。在塑料水泥方柱（绝缘体）之内，埋有固定在周围有强化材料（玻璃纤维等）的检测铜线（1.6mm 硬铜绝缘线）。安装时，将检测柱用 U 型螺栓固定在上部扶手上，将下部插入铁框中固定在混凝土基础上。当限界内障碍将扶手碰倒或检测柱折断时，柱内铜线则被切断。

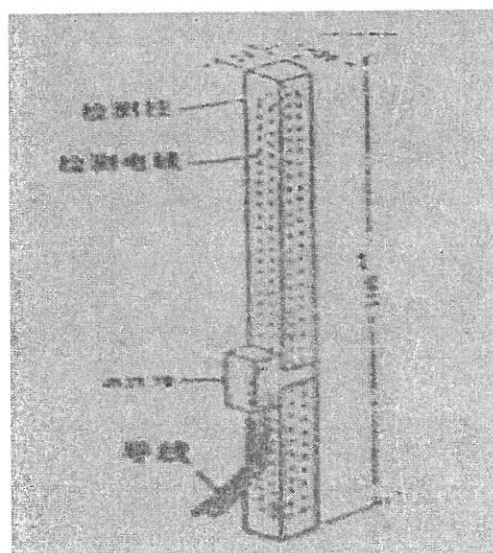


图 1-3 限界障碍检测柱

Figure 1-3 limit obstacle detection column

检测电网结构图如图 1-4 所示。

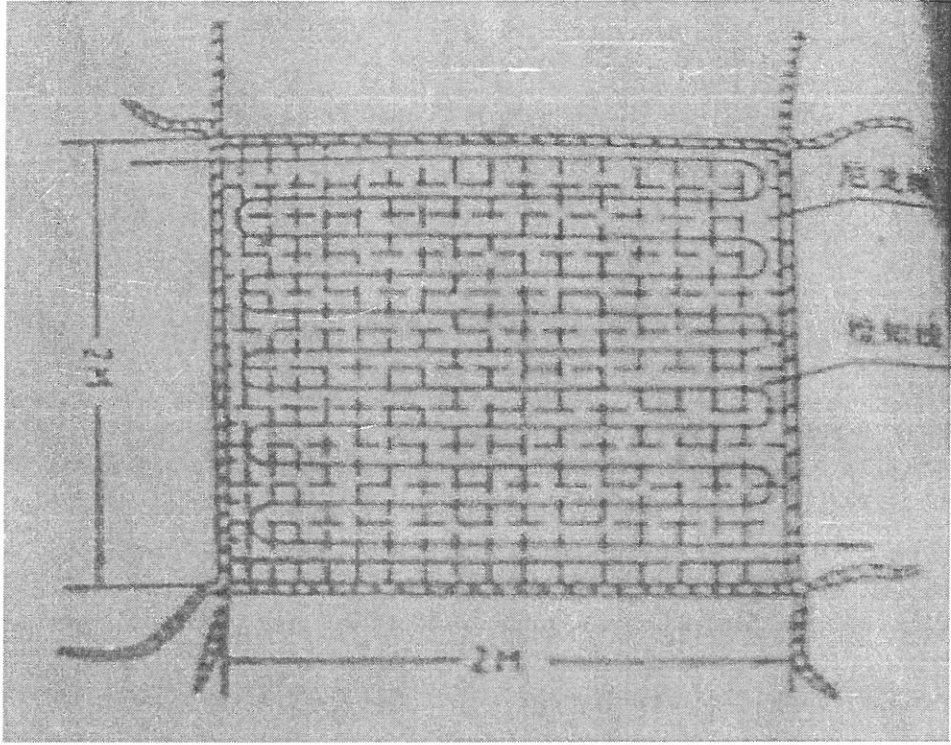


图 1-4 限界障碍检测电网

Figure 1-4 limit obstacle detection power grid

限界障碍监测装置的电路构成图如图 1-5 所示。用信号电缆连接各检测柱，安装在机械室的监测继电器 LEMPR 平时是处于励磁状态。当检测柱或检测电网折断，LEMPR 则无励磁，ATC 信号立即显示停车，同时也通过 CTC 显示在中央调度室上。

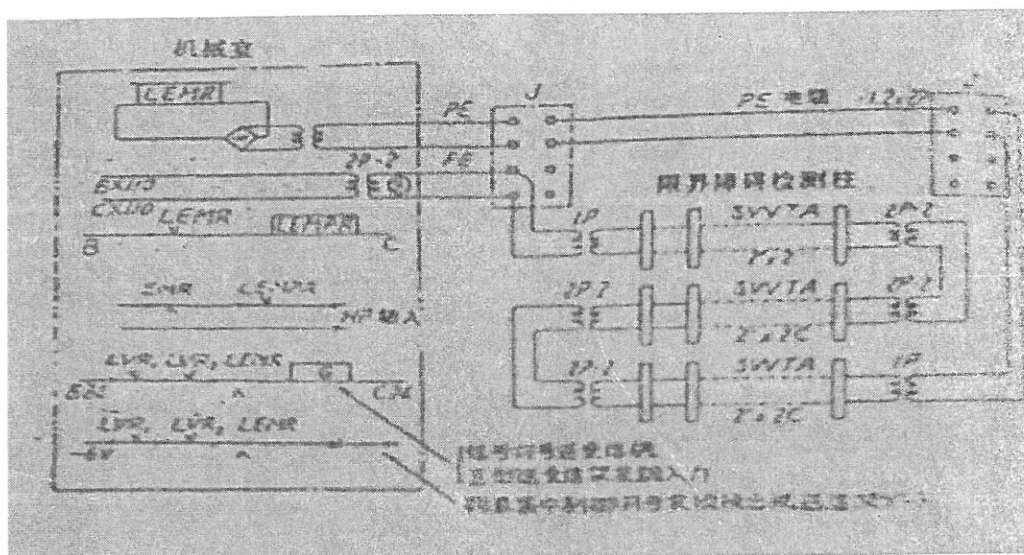


图 1-5 限界障碍监测装置电路图

Figure 1-5 limit barrier monitoring device circuit diagram

但是，由于此类装置电路故障，ATC 表示停车信号的情况也时有发生，一般是由于检测柱或检测电网下部电线接点因振动而被折断造成，此类装置也仅在山阳新干线设置了 1 处，在长野新干线设置了 2 处。

(3) 新干线防灾监控系统光缆检测式限界障碍监测装置

新干线光缆检测式限界障碍监测装置监测原理是在沿线布设光缆，由通信机械室发出正常光信号，经各检测点后再返回机械室。如果发生异物侵限情况，异物对光信号传输产生干扰，可以通过对光信号衰变情况，判断异物侵限事件。其现场布设图如图 1-6 所示。

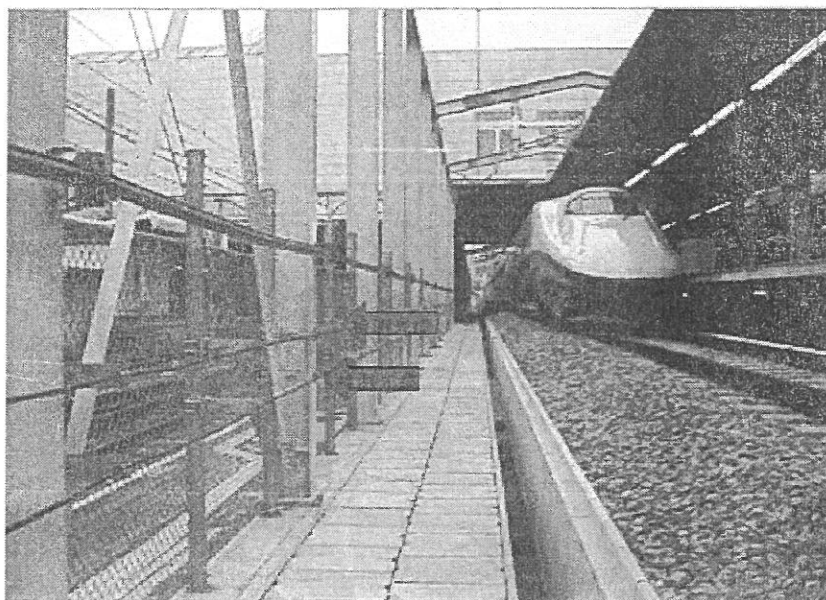


图 1-6 限界障碍光缆检测式监测装置

Figure 1-6 limit barrier cable detection type monitoring devices

其工作原理图如图 1-7、图 1-8 和图 1-9 所示。

正常工作状态

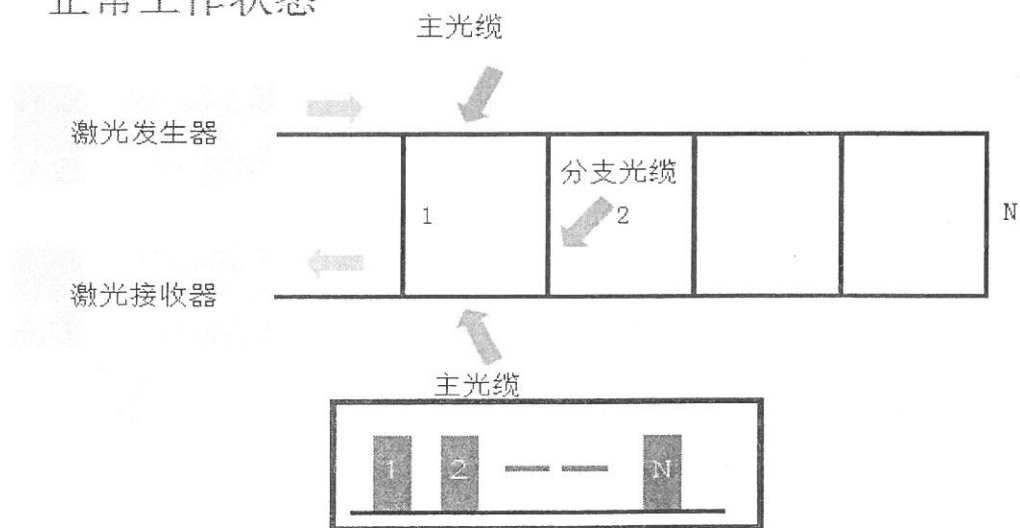


图 1-7 未发生限界障碍事件光缆检测式监测装置工作状态

Figure 1-7 not limit barrier incident optical cable test type monitoring devices working condition

异物侵限状态

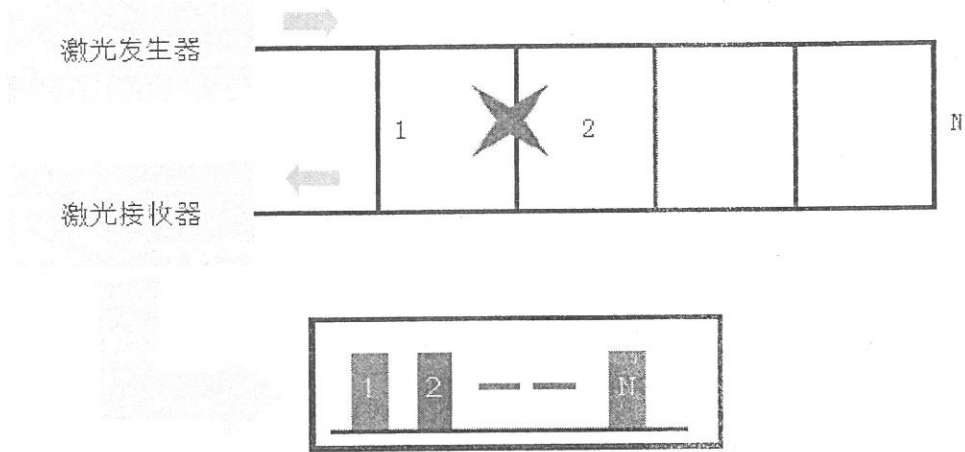


图 1-8 发生异物侵限事件时光缆检测式监测装置工作状态

Figure 1-8 foreign body contamination limit incident optical cable test type monitoring devices
working condition

报警评判

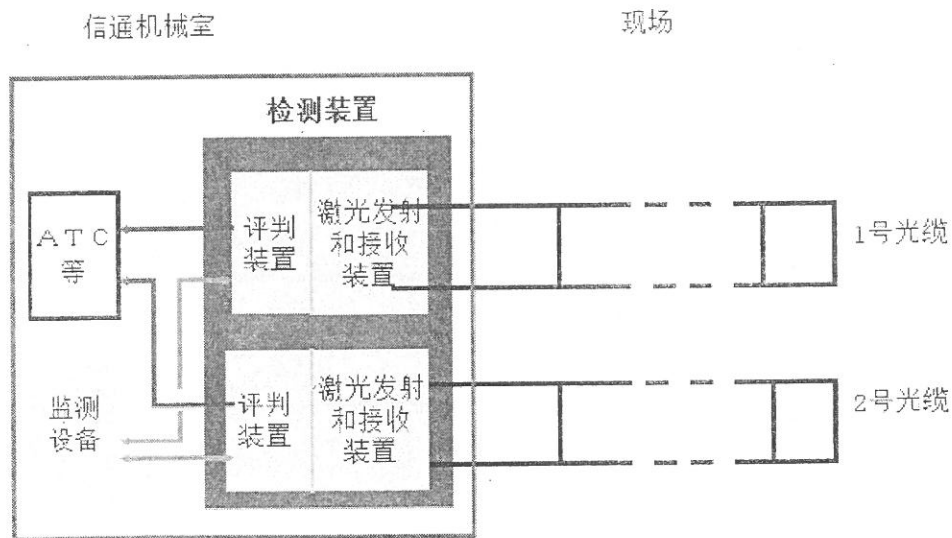


图 1-9 发生异物侵限事件时光缆检测式监测装置报警原理

Figure 1-9 foreign body contamination limit incidents when cable detection monitoring alarm
principle

1.2.2 法国

(1) 法国高速铁路防灾监控系统

地中海线防灾安全监控的中心设在马赛, 主要基于 SNCF 的通讯网络。但与日本新干线所不同的是, 法国的防灾安全监控系统由许多独立运行的监测系统构成, 各监测系统并未进行合并。主要包括异物侵限监测、地震监测、风监测和防护开关。

(2) 电网式异物侵限监测

地中海线的上跨铁路公路桥分通行机动车桥和不通行机动车仅通行人畜的两种, 通行机动车的公路桥上均安装了完善、材质很好、经久耐用的金属防护网, 在防护网外端安装的两根绝缘电缆, 每根电缆分别与一个发射/接收装置相连, 每个接收器都与继电器相连, 构成异物侵限报警, 如图 1-10 所示。

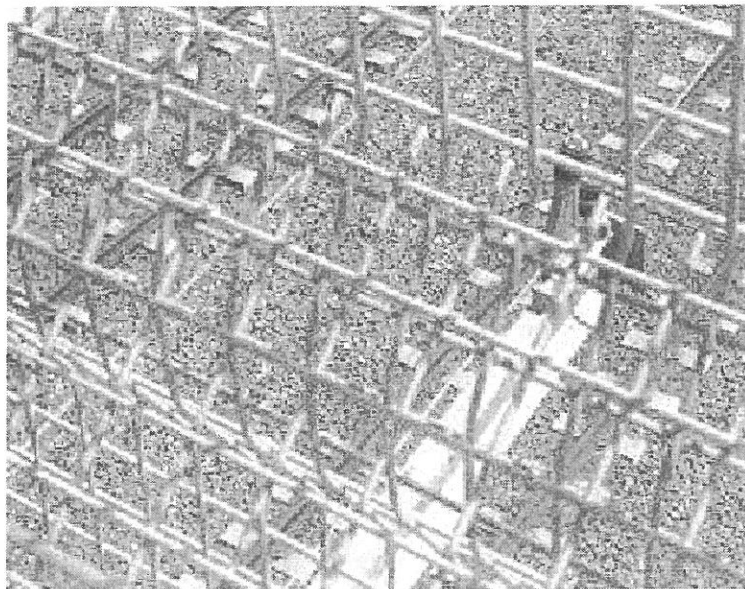


图 1-10 异物侵限双电缆检测电网装置

Figure 1-10 foreign body contamination limit double grid cable test device

检测原理是两根绝缘电线使用不同频率的模拟信号, 接收器收到信号后吻合继电器吸起; 当一个接收器没有收到信号时, 则仅会发出警报信息, 系统不动作; 当同一地点的两个继电器都没有收到信号时, 系统动作, 继电器落下, 传送给列控中心, 控制运行中的列车停车, 现场监测电网如图 1-11、1-12、1-13 所示。

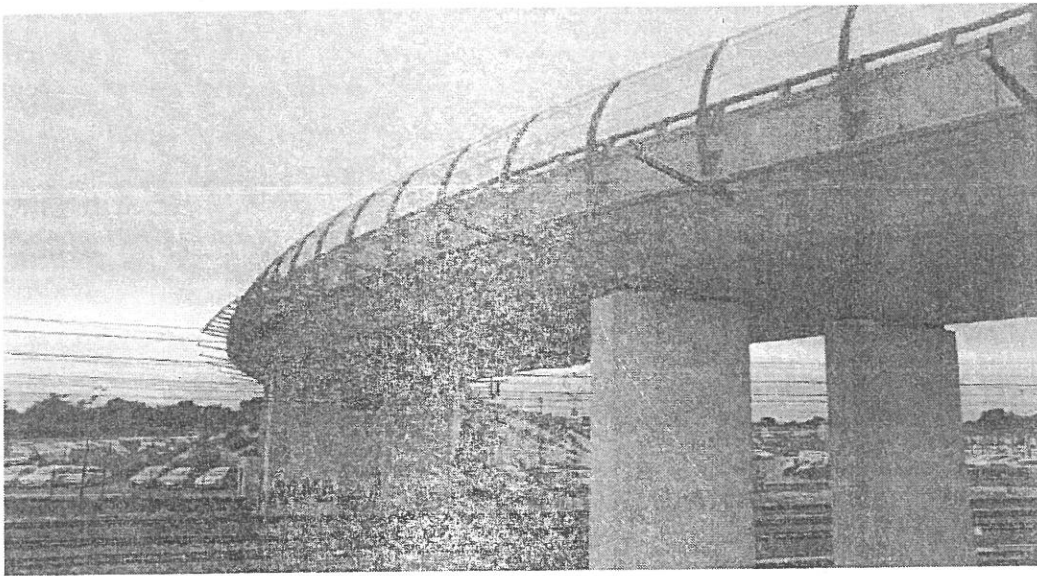


图 1-11 法国高速铁路异物侵限监测电网全景

Figure 1-11 French foreign invasion monitoring grid panoramic limited high-speed railway

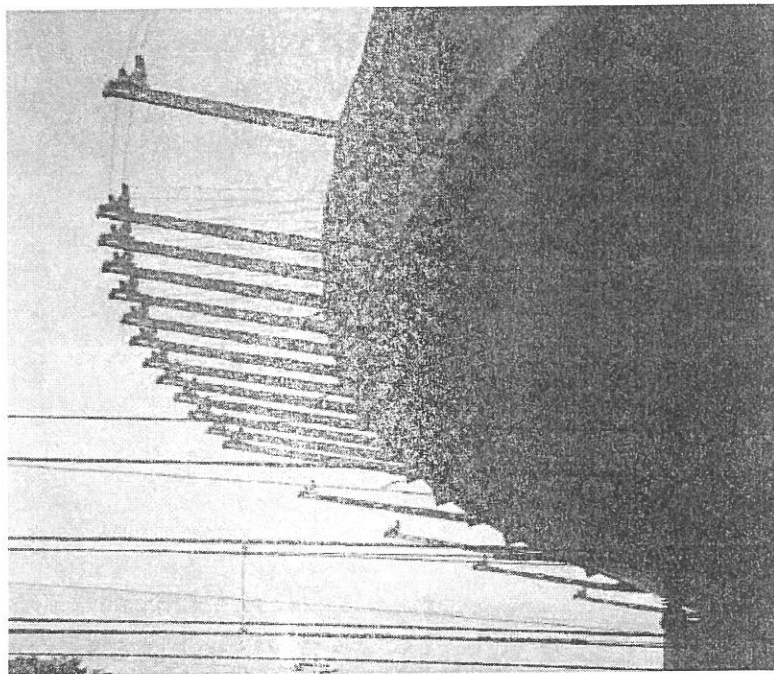


图 1-12 法国高速铁路异物侵限监测电网架设结构

Figure 1-12 French foreign invasion monitoring grid set up limited high-speed railway structure

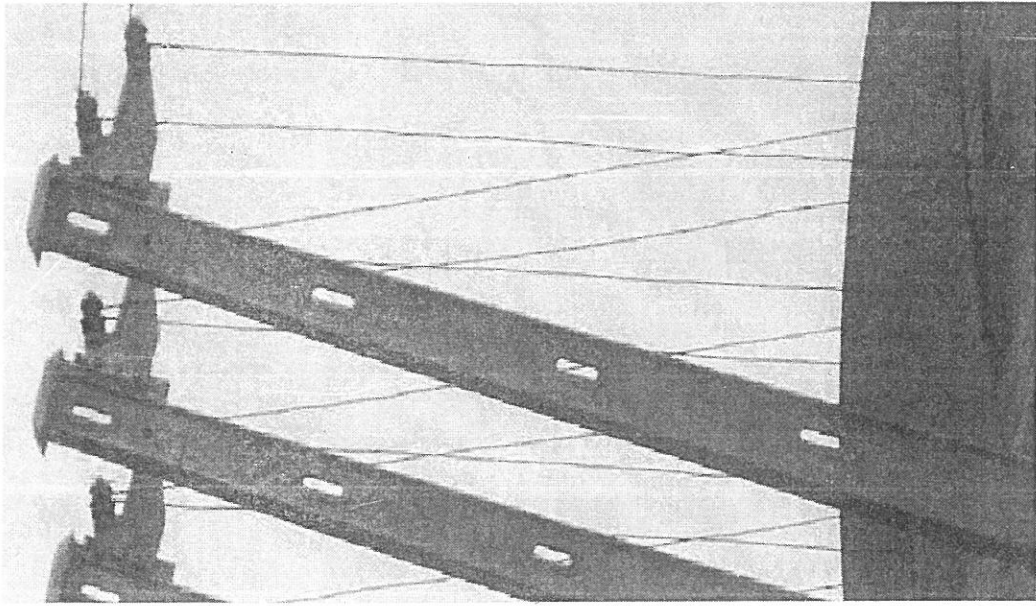


图 1-13 法国高速铁路异物侵限监测电网布线方式

Figure 1-13 French foreign invasion monitoring grid limited wiring way high-speed railway

(3) 非接触式异物侵限监测

法国国家光学与电子科学研究院提出的使用 UWB 雷达技术来监测车站站台股道内是否有乘客入侵并加以警报。它的工作原理如图 1-14, 在地铁站台的 A 端安装脉冲长度为 1ns 的脉冲发生装置, 在另一端安装接收装置, 接收对端的脉冲信号。调整设备角度使其覆盖整个站台的轨道面, 使其能够正确检测到从地铁站台平面上侵入股道空间的物体如乘客 B。

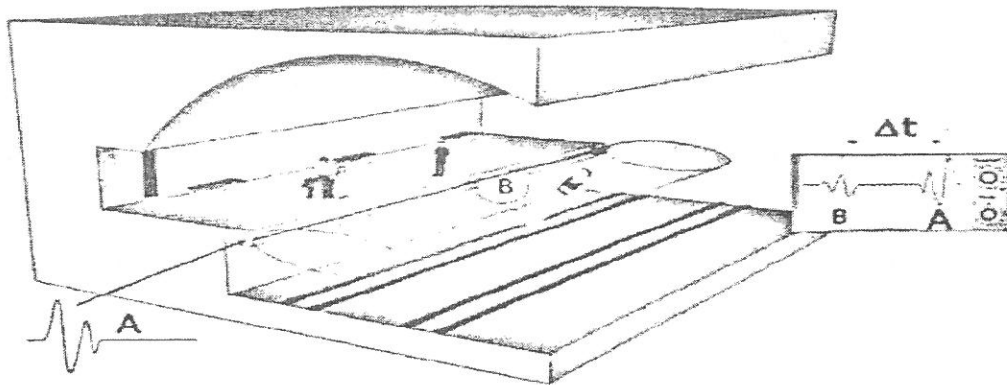


图 1-14 UWB 法雷达站台安全检测报警系统图

Figure 1-14 method of UWB radar station security detection alarm system diagram

1.2.3 德国

德国高速铁路采用的防灾报警系统为(MAS90), 功能强大的车载故障监测和诊断是它的主要特点, 利用无线通信与地面维修中心构成集维护、故障监测、行车控制等功能于一体, 为列车运行提供安全保障。除可以监测线路设备的使用状态外, 还可识别和及时报告自然环境(包括塌方、风、雪)对行车运输安全的影响, 以及移动装置发生损坏的情况。该防灾系统在全线南、北、中段设有中央控制单元(SZE), 每个单元相互连通; 每个 SZE 又与设在沿线总站信号楼内的各种报警和记录单元(MRE)相连, 并与之进行信息和命令交流。MRE 接受来自沿线的探测报警仪器收集的信息。这些探测报警装置主要有: BMA 火灾报警仪; WMA 风测量仪(在所有桥梁上安装); LSMA 隧道气流报警器(在长度大于 1.5km 的隧道内安装); 隧道口坍方报警信号装置(EMA); HOA903 型热轴探测器; 隧道两端及隧道内每 1000 m 设置应急电话(NR), 仅需扳动手柄就可打开主机箱, 紧急呼叫的用户具有绝对的优先权。德国高速铁路与日、法两国不同, 属于客、货混运型, 而且其隧道长度约占线路总长度的 $1/3$, 因而, 隧道内的行车运输安全成为其安全保障的重中之重, 除了采用防灾安全监测系统外, 还制定了特别严格有效的防范措施以及运营方案。

1.2.4 意大利

罗马到那不勒斯的高速铁路在上跨铁公路桥和隧道口安装微波异物侵限检测装置, 能够检测到在检测区域内的出现在线路上的异物, 但不对人、小动物和小物体进行检测, 该系统达到欧洲 SIL4 安全检测标准, 其现场布置图如图 1-15 所示。

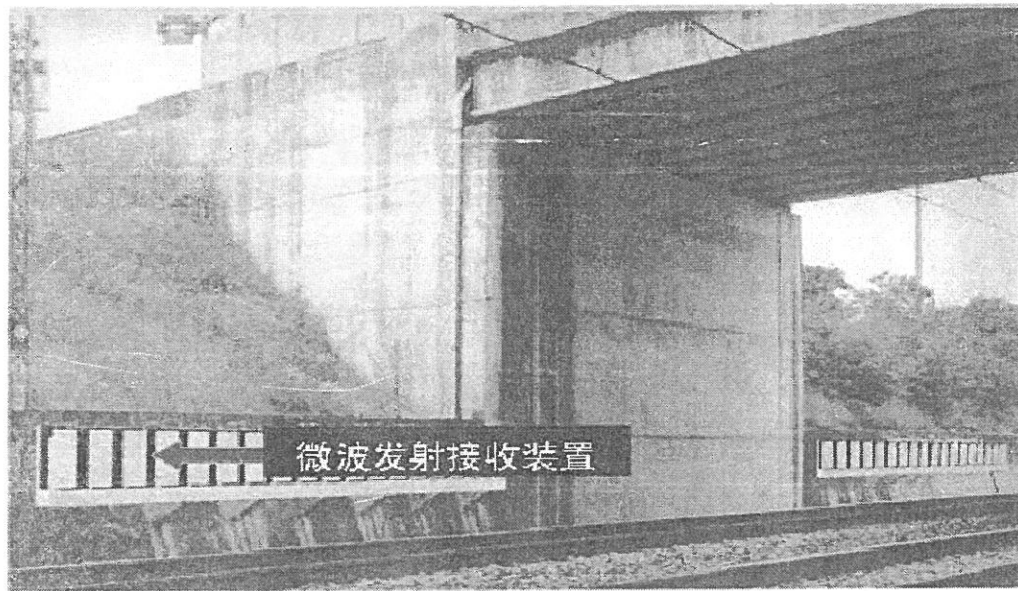


图 1-15 意大利高速铁路异物侵限微波检测装置

Figure 1-15 Italian high-speed railway foreign body contamination limit microwave detection device

其工作原理在线路路肩一侧安装微波发射装置,另外一侧安装微波接收装置,控制逻辑单元通过对被落物遮挡微波的计算,得出落物的大小,按照预设报警级别,采取相应的报警措施,如图 1-16 所示。

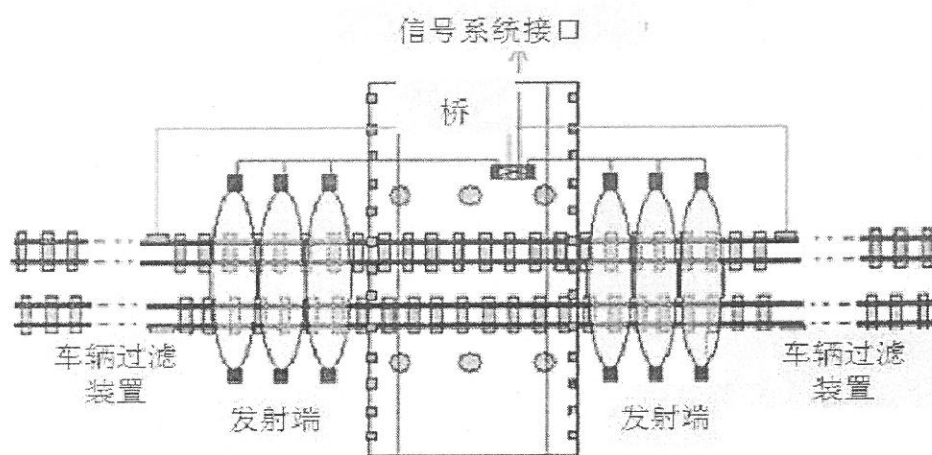


图 1-16 意大利高速铁路异物侵限微波检测装置原理图

Figure 1-16 Italy high-speed railway foreign body contamination limit the principle diagram of the microwave detection device

1.2.5 西班牙

近几年西班牙高速铁路实现了跨越式的发展，其从德国引进了 Velaro 型高速列车。2008 年 2 月 20 日，随着 621 公里长的马德里-巴塞罗那高速铁路通车，标志着西班牙的高速铁路的发展达到了一个重要的里程碑。根据西班牙政府的规划，2020 年时西班牙投入运营的高速铁路长度将达到 1 万公里。为保证形成安全，西班牙的高速铁路在隧道口等容易发生异物侵限（落石）的路段，安装了基于红外线光幕的落物检测系统，可以检测尺寸超过 $0.5\text{m} \times 0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$ 的异物，其系统工作原理如图 1-17 所示。

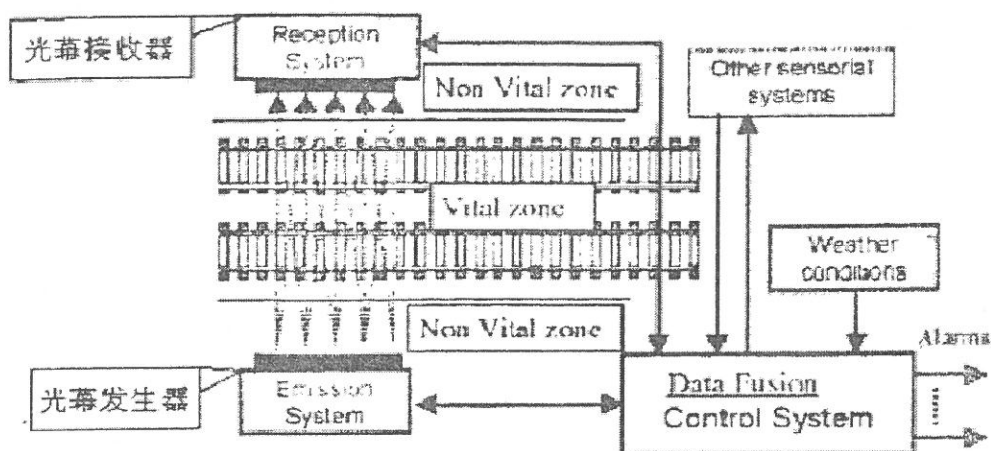


图 1-17 西班牙高速铁路光幕式异物侵限微波检测系统原理图

Figure 1-17 Spanish high-speed rail light episodic foreign body contamination limit microwave test system schematic diagram

1.3 我国高速铁路异物侵限监测系统发展情况

异物侵限对高速行驶的客专列车的危害毋庸置疑，自中国的客运专线筹备建设伊始，便投入了大量的力量进行异物侵限监测技术的研究。2003 年，铁科院、铁一院协助建设单位完成青藏线异物侵限的防治工作。2005 年，铁科院和成都局合作，在既有成都铁路局管段易滑坡地段安装位移传感器检测滑坡灾害的发生；2006 年，北京铁路局在京原线部分隧道口安装视频监控设备，监控人员通过视频监控系统检测异物侵限事件。自 2008 年京津城际开通以来，铁科院、铁三院、京津城际公司在京沪高速铁路异物侵限检测的研究基础上，形成京津城际高速铁路异物检测技术方案，并在京津城际建成异物侵限监测系统，截至到

2012 年底,共有京沪、武广等 20 余条高速铁路/客运专线设置异物侵限监测点,总计有 663 处异物侵限监测点,主要采用法国接触式异物侵限监测技术。京津城际全线设置 5 处异物侵限监测点,单根监测电缆布设在水平金属网上方,为第一代异物侵限监测设备,如图 1-18 所示。

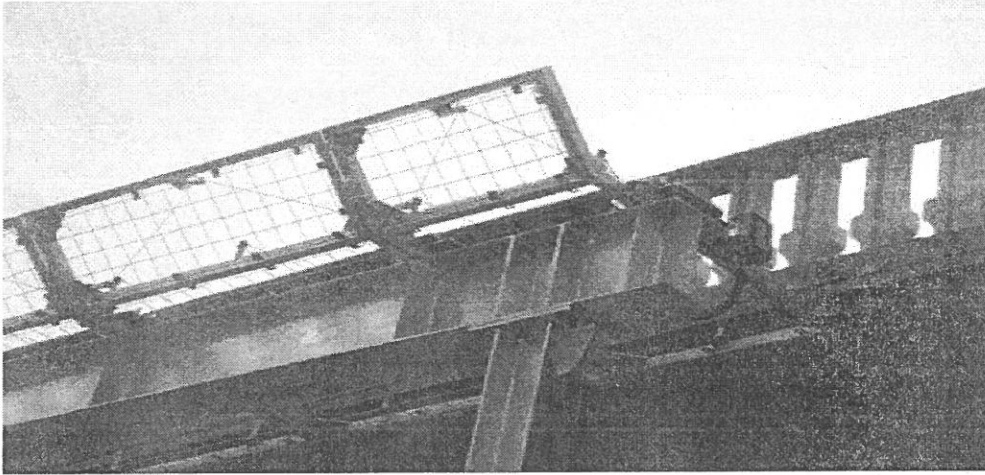


图 1-18 第一代铁路异物侵限监测设备

Figure 1-18 first generation railway foreign invasion monitoring equipment limited

随着高速铁路建设的不断发展,对异物侵限监测系统不断进行完善,2009 年,将单根监测电缆改为两根监测电缆,同时将监测电缆封闭到复合材料中,为第二代异物侵限监测设备,如图 1-19 所示。

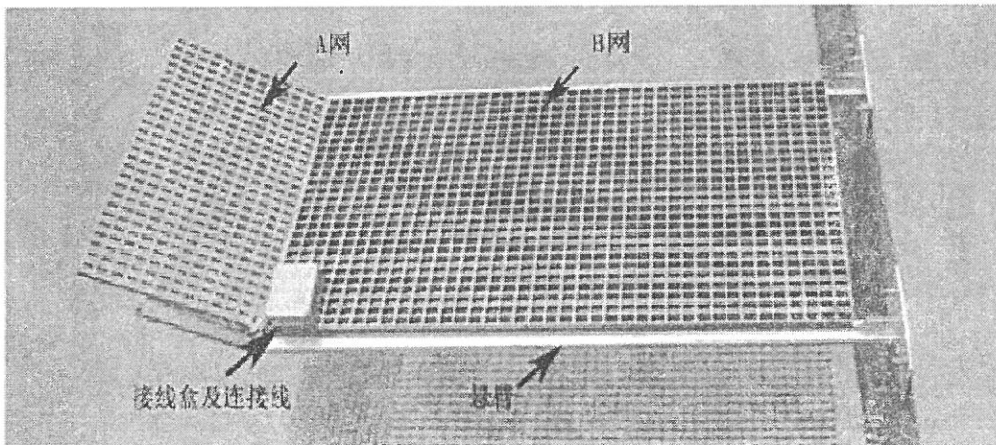


图 1-19 第二代异物侵限监测设备

Figure 1-19 the second generation of foreign body contamination monitoring equipment limited

2010 年将水平监测电网改为竖直监测电网，为第三代异物侵限监测设备，如图 1-20 所示。

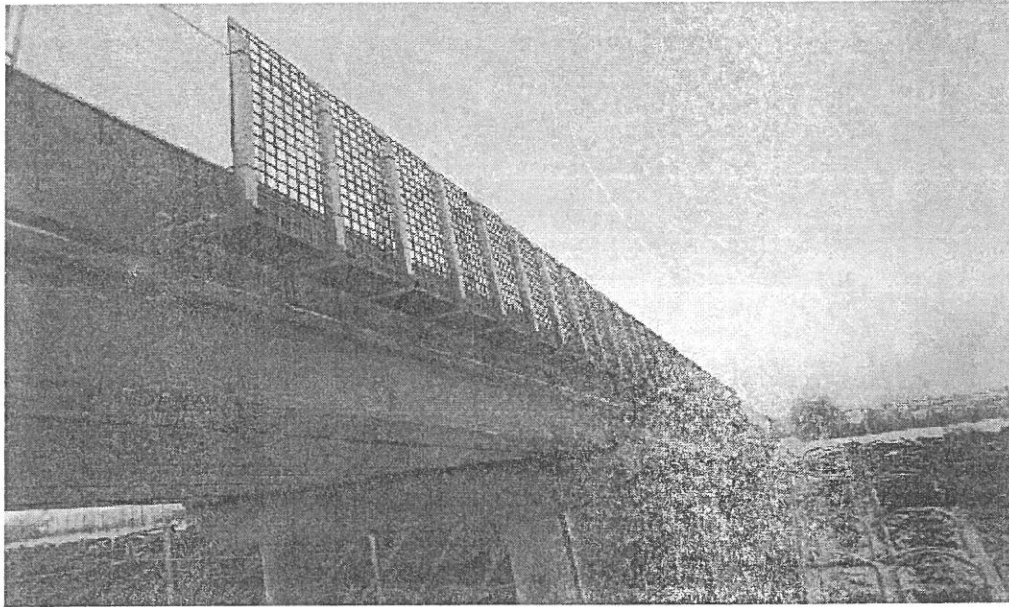


图 1-20 第三代异物侵限监测设备

Figure 1-20 foreign invasion of the third generation limit monitoring equipment

1.4 本文主要内容介绍

通过对我国高速铁路异物侵限监测系统当前存在的主要问题进行深入调查分析,并逐一理顺目前存在的问题。借鉴国外高速铁路异物侵限监测成熟经验,结合我国高速铁路异物侵限监测功能需求特点,搭建异物侵限监测系统模拟测试环境,提出提高既有异物侵限监测系统可靠性的改进措施,为提高异物侵限监测系统可靠性和稳定性提供技术支持。对既有异物侵限监测系统的应用现状、存在问题进行深入的调研。分析国外高速铁路异物侵限系统的主要监测方式、技术特点及发展趋势。研究提出我国高速铁路异物侵限监测系统功能需求。研究提高既有异物侵限监测系统可靠性的技术措施。研究建立既有异物侵限监测系统试验模拟环境,对既有上线异物侵限监测系统进行试验测试,检验系统的可靠性等技术指标。研究提出提高既有异物侵限监测系统可靠性的改进措施及建议。对比分析多种异物侵限监测方法,研究提出适合我国高速铁路的异物侵限监测方案。

2 异物侵限监测系统在国内的应用情况调查

2.1 异物侵限监测系统总体情况

截至 2012 年在已开通的 20 条客运专线上已布设共计 663 处异物侵限监测点，现场监测设备均为单电网或双电网式，具体数据如表 2-1 所示。

表 2-1 异物侵限监测设备数量明细表

Table 2-1 foreign invasion monitoring equipment limited quantity list

序 号	开 通 时	线 路 名	数 量
1	2008	京 津	5
2		甬 台 温	10
3		温 福	7
4	2009	武 广	115
5		郑 西	110
6		石 太	34
7	2010	福 厦	51
8		沪 宁	71
9		昌 九	24
10		沪 深	19
11		海 南 东	52
12		长 吉	13
13	2011	京 沪	27
14		合 武 (	34
15		广 珠	0
16		广 深	9
17	2012	龙 厦 线	5
18		汉 宜	14
19		哈 大	41
20		京 石 武	22
总 计			663

2.2 异物侵限监测系统运用情况调研

(1) 杭深线(福厦段)异物侵限监测子系统运用情况

杭深线(福厦段)沿线设置异物侵限监测点 51 处,该系统 2010 年 4 月 23 日正式开通运行,运行期间 2012、2013 年故障数据统计如表 2-2 所示。

表 2-2 杭深线(福厦段)异物侵限监测子系统

Table 2-2 hangzhou- shengzheng line (the period of fuzhou) foreign body contamination limit monitoring subsystem

2012、2013 年故障数据统计表

时间	设备	故障现象	次数	原因
2012-2-1	工务终端	工务段防灾终端无监控数据显示	1	网络故障
2012-3-3	监控主机	K720+691 主控板 1 网络通讯状态异常	1	网络故障
2012-4-1	监测电网	K1066+377 异物上跨桥单电网断线	1	
2012-4-30	调度终端	福厦台防灾终端无法显示	1	网络故障
2012-7-23	监测电网	厦门工务段管内杭深线 K1023+802 防灾系统异物监测点“1 电网 2 断线”报警。	1	
2012-7-23	监测电网	厦门工务段管内杭深线 K1023+802 防灾系统异物监测点“1 电网 3 断线”报警。	1	

2012-7-23	监测 电网	厦门工务段管内杭深线 K1023+802 防灾系统异物监测点“1 电网 4 断线”报警。	1	
2012-8-17	传输 网络	调度所福厦台防灾系统终端 K1119+140 异物侵限监控点故障（基站主控板与服务器通信通道故障），对应轨道电路（上下行）显示非正常占用状态。	1	
2012-12-24	监测 电网	杭深线泉州至晋江 K1054+166 异物报警（黄网），经检查铁路上跨 K1054+166 防灾系统无异物侵限，5:45 在调度所办理泉州至晋江 K1054+166 异物桥停用。	1	
2013-4-18	监测 电网	2013 年 4 月 18 日 23 时 40 分段调度接调度所电话：杭深线前场至角美间 K1124+700 至 K1126+800 上、下行线红轨，误报。	1	
2013-8-3	监测 电网	2013 年 8 月 3 日 2:02 分，路局调度所温福台、福州枢纽台列车调度员发现防灾终端界面右下角“温福风、雨、异物服务器字体闪红”和左下角“描述栏内”出现多条报警自检信息提示。	1	通信段网络故障造成
2013-8-25	监测 电网	2013 年 8 月 25 日 16:32 分，福厦调度终端、福厦工务处调度终端、厦门工务段调度终端出现 K0987+327 异物桥黄网报警，16:39 分黄网消失，设备恢复正常。	1	网片腐蚀老化或者接线接触不良等造成黄网
2013-8-27	传输 通道	8 月 27 日 10:28，经调度所反映：杭深线温福台、福州枢纽台、福厦台防灾监控系统异常报警，现场设备脱离监控。	1	网络中断
2013-9-22	监测 电网	异物工点联合试验时发现 K0681+522 异物侵限点断网时 K0682+361 异物侵限点红网；K0682+361 异物侵限点断网时 K0682+319 异物侵限点红网；K0682+319 断网时 K0682+299 红网；K0682+299 断网时 K0681+522 红网。	4	机柜配线端子混线造成

从以上数据来看，出现设备故障报警较多的主要为网络故障和监测电网故障，其也是造成异物侵限监测系统误报的主要原因。

（2）杭深线（温福段）异物侵限监测子系统运用情况

杭深线（温福段）沿线设置异物侵限监测点 7 处。该系统 2009 年 10 月 2 日开通试运行，2011 年 3 月 8 日正式开通运行，运行期间 2012、2013 年故障数据统计如表 2-3 所示。

表 2-3 杭深线(温福段)异物侵限监测子系统故障数据统计表

Table 2-3 hangzhou-shengzheng line (wen-fu section) foreign body contamination limit monitoring subsystem fault data statistics

时间	设备	故障现象	次数	原因
2013-1-11	监控终端	路局调度所温福台列车调度员发现防灾终端界面异常。	1	防灾调度终端网口物理松动。
2013-1-15	监控终端	路局调度所温福台列车调度员发现防灾终端界面黑屏, 无数据显示。	1	长时间停电, 备用 UPS 存储电量耗尽。

从以上数据来看, 出现设备故障报警主要为网络故障和电源功能不完善。

(3) 昌九城际异物侵限监测子系统运用情况

昌九城际沿线设置异物侵限监测点 24 处。该系统 2010 年 9 月 15 日正式启用, 运行期间 2012、2013 年故障数据统计如表 2-4 所示。

表 2-4 昌九城际异物侵限监测子系统故障数据统计表

Table 2-4 prosperous nine inter-city foreign invasion monitoring subsystem fault data statistics

时间	设备	故障现象	次数	原因
2012-2-28	监测电网	K93+926 处异物网侵限报警	1	厂家维护人员误操作
2012-8-23	监控单元	昌九城际 K061+191 基站 K059+489、K060+123 异物侵限监测点分别于 2012 年 8 月 23 日 14: 23 分, 15:33 分发生异物侵限电网闪红报警。	2	主控板故障, 无法自动切换至备板
2013-2-2	调度终端	路局调度所厦深、昌九台防灾系统终端分别于 12: 18 分、14: 26 分发生防灾终端界面黑屏, 无数据显示故障。	2	显示器电源线接口存在虚接情况
2013-5-29	监测电网	异物监测点 K033+776 电网 1B 状态闪黄, 终端设备显示异常。	1	防灾电源 UPS 输入交流空开跳闸
2013-7-8	监测电网	公跨铁异物侵限装置红网状态”, 列控信号此时无异常显示, 3 秒后防灾系统调度终端自动恢复正常显示。23: 12 分, 再次出现红网状态, 随即又自动恢复正常显示。	1	
2013-9-12	监测电网	转动电网 2 断开按钮时, 防灾终端无任何异物侵限告警信息。	1	更换通信基站内监控单元电网 2 一层防雷因后故障消除

从以上数据来看, 出现设备故障报警的主要原因为接口松动、电源单元功能

不完善和硬件故障。

(4) 郑西客运专线异物侵限监测子系统运用情况

郑西客运专线沿线设置异物侵限监测点 110 处, 监控单元 65 个。该系统 2009 年 10 月 10 日开工, 2010 年 2 月 6 日开通, 运行期间故障数据部分统计如表 2-5 所示。

表 2-5 郑西客运专线异物侵限监测子系统部分故障数据统计表

Table 2-5 zheng -xi passenger dedicated line foreign invasion monitoring subsystem limited
portion of the failure data statistics

时间	设备	故障现象	次数	原因	解决方案
2010 年 4 月至 2010 年 8 月	监控 单元	交流无法转 换、交流无输 出、UPS 供电故 障	24		
2010 年 2 月至 2010 年 5 月	监控 单元	网络异常	90		
2010-2-1 至 2010-2-8	监测 电网	设备故障报 警、1s 后恢复 正常	455		
2010-2-7	监测 电网	误报, 现场检 查无异常	1	轨旁控制器防 雷单元被击穿	
2010-3-1	监测 电网	误报, 现场检 查无异常	1		现场检查无异 常
2010-3-10	监测 电网	误报, 现场检 查无异常	1	通信故障	目视行车通 过, 现场检查 后恢复
2010-3-2	监测 电网	误报, 现场检 查无异常	1		现场检查无异 常
2010-5-21	监控处 理设备	防灾系统瘫痪	1	终端配置过低	对终端的硬盘 进行跟换、升 级配置
2010-6-30	监测 电网	误报, 现场检 查无异常	1	监测板卡故障	更换监测板卡
2010-10-23	监控处 理设备	无数据显示	1	监控数据处理 中心 UPS 耗尽	
2011-7-24	监测 电网	误报, 反复出 现自动消失后 数小时又红光 带	1		现场检查无异 常

从以上数据来看, 造成设备故障报警较多的主要因素为电源单元功能不完善和网络异常, 造成异物侵限误报影响行车的原因有防雷、现场通信故障和部件故

障以及电源单元电能耗尽。

(5) 长吉城际异物侵限监测子系统运用情况

长吉城际沿线设置异物侵限监测点 13 处, 监控单元 65 个。该系统 2010 年 9 月 20 日开工, 2010 年 11 月 30 日竣工, 2011 年 1 月 1 日投入运营, 运行期间故障数据部分统计如表 2-6 所示。

表 2-6 长吉城际异物侵限监测子系统部分故障数据统计表

Table 2-6 changji inter-city foreign invasion monitoring subsystem limited portion of the failure data statistics

时间	故障现象	次数	原因
2011 年 1 月	外电无输入	531	
2011 年 1 月	网络通讯异常	20071	
2011 年 1 月	异物侵限设备报警	134	
2011 年 2 月	网络通讯异常	71536	
2011 年 2 月	异物侵限设备报警	545	
2011 年 3 月	外电无输入	69	
2011 年 3 月	网络通讯异常	26954	
2011 年 3 月	异物侵限设备报警	10407	
2011-5-29	K88+479 电网 1 断线报警	1	接线处接触不良
2011-6-13	K22+887 电网 1 断线报警	1	接线处接触不良
2011-3-28	K22+887 异物侵限监测点脱离监控	1	监控主机 J010 与 ZH10512 针端子接线松动

从以上数据来看, 造成设备故障报警较多的主要因素为电源单元功能不完善和网络异常, 造成异物侵限误报影响行车的原因主要为接线松动。

(6) 武广高速铁路异物侵限监测子系统运用情况

武广高速铁路沿线设置异物侵限监测点 115 处, 监控单元 130 个, 36 个信号中继站, 该系统 2010 年 4 月 23 日投入运营。在 2010 年, 武广高速铁路防灾监控系统设备故障报警次数统计如表 2-7 所示。

表 2-7 武广高速铁路防灾监控系统设备故障报警次数统计表

Table 2-7 wuhan-guangzhou high-speed railway disaster prevention monitoring system

equipment failure alarm number TAB

时间	次数
2010 年 5 月	377742
2010 年 6 月	36552
2010 年 7 月	38846
2010 年 8 月	34215
2010 年 9 月	3302
2010 年 10 月	1542
2010 年 11 月	1040
2010 年 12 月	1765

在 2010 年至 2012 年, 异物侵限现场监测设备故障报警次数统计入表 2-8 所示。

表 2-8 武广高速铁路异物侵限现场监测设备故障报警次数统计表

Table 2-8 wuhan-guangzhou high-speed railway foreign body contamination limit field monitoring

equipment failure alarm number TAB

时间	次数
2010 年	97148
2011 年	1938
2012 年	81

其中 2011 年异物侵限监测子系统设备报警次数统计如表 2-9 所示。

表 2-9 2011 年武广高速铁路异物侵限监测子系统故障报警次数统计表

Table 2-9 wuhan-guangzhou high speed railway in 2011 foreign body contamination limit

monitoring subsystem, fault alarm number TAB

通信故障	6897
异物侵限设备故障	1938
市电失效	167
UPS 单套故障	336
监控终端故障	436
监控单元故障	100
监控单元网络通道故障	208

异物侵限监测子系统误报影响行车的统计数据如表 2-10 所示。

表 2-10 异物侵限监测子系统误报统计表

Table 2-10 foreign body contamination limit monitoring subsystem misstatement TAB

时间	故障原因
2010-4-19	现场检查无异常
2010-5-30	市电失效, UPS 电能耗尽
2010-5-31	空开保护性断电, UPS 电能耗尽导致红光带
2010-12-20	市电失效报警被忽视, UPS 电能耗尽导致红光带
2011-2-2	UPS 输出到 AC 转 DC 电源设备模块的空开上口的接线松动, 导致 DC24V 断电, 导致异物控制器、基站控制器断电, 出现所有继电器全部落下
2011-2-3	UPS 输出到 AC 转 DC 电源设备模块的空开上口的接线松动, 导致 DC24V 断电, 导致异物控制器、基站控制器断电, 出现所有继电器全部落下
2011-5-14	现场雨监测点防雷效果不好, 雷击后没有完全泄流, 部分电流回流后造成雨单元空开跳闸进而 UPS 自我保护瞬间断电后落物继电器落下造成

从以上数据来看, 武广高速铁路异物侵限监测子系统在各个环节均有较多的

设备故障报警,比较突出的是网络和异物侵限双电网的故障,另外异物侵限监测子系统误报影响行车的原因大部分为 UPS 电能耗尽或空开跳闸等电源单元功能不完善所导致。

(7) 海南东环异物侵限监测子系统运用情况

海南东环高速铁路沿线设置异物侵限监测点 52 处,监控单元 39 个,16 个信号中继站,该系统 2010 年 12 月 31 日投入运营,在 2011 年异物侵限监测子系统设备故障报警 305 次,引起报警的主要情况如表 2-11 所示。

表 2-11 2011 年海南东环高速铁路异物侵限监测子系统故障报警次数统计表

Table 2-11 2011 hainan east ring high-speed railway foreign body contamination limit monitoring subsystem, fault alarm number TAB

故障现象	次数
异物设备故障	66
监控单元单套故障	70
监控单元双套故障	18
市电失效	29
UPS 单套故障	7
终端通信中断	102
开关电源故障	13

在 2011 年异物侵限监测子系统有两次误报影响行车,明细如表 2-12 所示。

表 2-12 异物侵限监测子系统误报统计表

Table 2-12 foreign body contamination limit monitoring subsystem misstatement TAB

时间	故障原因
2011-4-10	28#基站防灾监控单元 52#端子保险管材质不良,保险管被烧断后,基站通往中继站的电路中断后,造成中继站的上行继电器落下
2011-4-18	轨旁箱内 2 个整流盒内部二极管同时被击穿,导致双电网断电,落物继电器落下

从以上数据来看,海南东环异物侵限监测子系统在各个环节均有较多的设备故障报警,比较突出的是网络、异物侵限双电网和各硬件质量的故障,另外异物侵限监测子系统误报影响行车的原因主要为防雷单元功能不完善所导致。

(8) 沪深(甬台温)异物侵限监测子系统运用情况

沪深(甬台温)高速铁路沿线设置异物侵限监测点 10 处, 监控单元 48 个, 该系统 2009 年 9 月 28 日投入运营, 截至 2012 年 4 月 24 日异物侵限监测子系统误报 25 次, 其中 2011 年 23 次, 2012 年 2 次, 运行期间故障数据部分统计如表 2-13 所示。

表 2-13 沪深(甬台温)异物侵限监测系统设备故障报警次数统计表

Table 2-13 csi (ningbo-taizhou-wenzhou) foreign body contamination limit monitoring system

equipment failure alarm number TAB

时间	故障类型	次数
2010	监控单元设备报警	5
	外电失效	291
	UPS 故障	4588
	监控主机	3
	异物监测模块	178
2011	监控单元设备报警	6
	外电失效	447
	UPS 故障	2851
	监控主机	11
	异物监测模块	114
2012	监控单元设备报警	2
	外电失效	148
	UPS 故障	344
	异物监测模块	3
	双电网	67

从以上数据来看, 沪深(甬台温)高速铁路异物侵限监测子系统在各个环节均有较多的设备故障报警, 比较突出的是监控主机及监测模块故障、电源单元功能不完善和电网质量引起的设备故障报警。

(9) 沪宁城际异物侵限监测子系统运用情况

沪宁城际沿线设置异物侵限监测点 71 处, 监控单元 32 个, 该系统 2010 年 7 月 1 日投入运营, 截至 2012 年 4 月 24 日异物侵限监测子系统误报 2070 次, 运行期间故障数据部分统计如表 2-14 所示。

表 2-14 沪宁城际异物侵限监测系统设备故障报警次数统计表

Table 2-14 shanghai-nanjing intercity foreign invasion monitoring system equipment failure alarm

limited number TAB

时间	故障类型	次数
2010	UPS 故障	1
	异物监测双电网	1027
2011	通信电缆	335
	异物监测双电网	651
2012	异物监测双电网	56

从以上数据来看,沪宁城际异物侵限监测子系统主要是由电网质量引起的设备故障报警以及误报警。

(10) 沪杭高速铁路异物侵限监测子系统运用情况

沪杭高速铁路沿线设置异物侵限监测点 19 处,监控单元 16 个,该系统 2010 年 10 月 1 日投入运营,截至 2012 年 4 月 24 日异物侵限监测子系统由于双电网设备故障在 2012 年造成误报 4 次。

(11) 京沪高速铁路异物侵限监测子系统运用情况

京沪高速铁路沿线设置异物侵限监测点 14 处,该系统 2011 年 6 月 28 日投入运营,截至 2012 年 4 月 24 日异物侵限监测子系统故障数据部分统计如表 2-15 所示。

表 2-15 京沪高速铁路异物侵限监测系统设备故障报警次数统计表

Table 2-15 the beijing-shanghai high speed railway foreign invasion monitoring system equipment

failure alarm limited number TAB

时间	故障类型	次数
2011	监控单元设备报警	802
	UPS 故障	122
	异物监测双电网	32
2012	监控单元设备报警	5
	UPS 故障	4
	异物监测双电网	1

从以上数据来看,引起京沪异物侵限监测系统设备故障报警的主要原因是监控单元故障、电源单元问题和电网的质量。

2.3 数据分析

2.3.1 故障分类

从调研数据来看,设备故障报警共计 153297 次,有详细记录的误报 47 次。其中设备故障报警次数分析如图 2-1 所示。

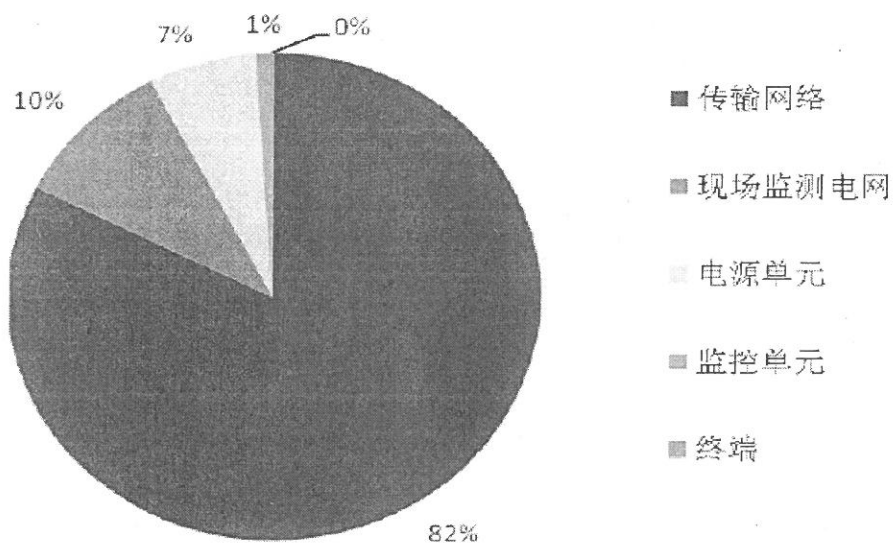


图 2-1 设备故障报警次数分类汇总

Figure 2-1 collect classified equipment malfunction alarm number

其中异物侵限监测系统误报次数分析如图 2-2 所示。

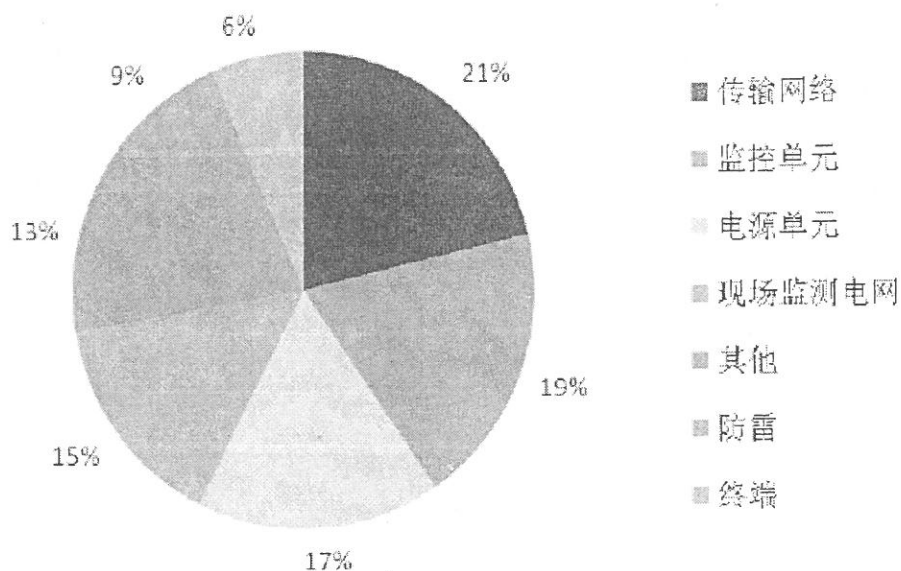


图 2-2 异物侵限监测系统误报原因分类汇总

Figure 2-2 a foreign invasion monitoring system misstatement limited reason classification summary

对比故障报警数据和误报记录的数据, 依据经验, 应该存在部分设备报警数据是由于天窗点设备维护和检修造成的。

2.3.2 故障时间分布

依据掌握的数据, 甬台温线高速铁路设备故障报警次数统计如图 2-3 所示。

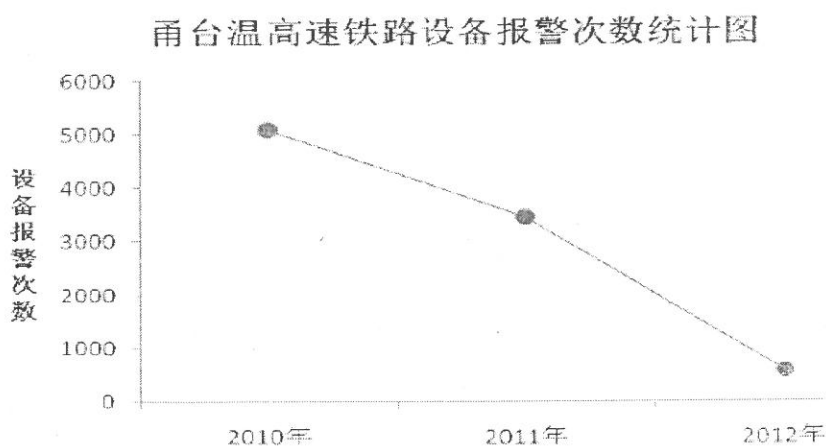


图 2-3 甬台温高速铁路设备报警次数统计图

Figure 2-3 ningbo-taizhou-wenzhou high-speed rail equipment alarm statistical figure number

沪宁线高速铁路设备故障报警次数统计如图 2-4 所示。

沪宁高铁设备报警次数统计图

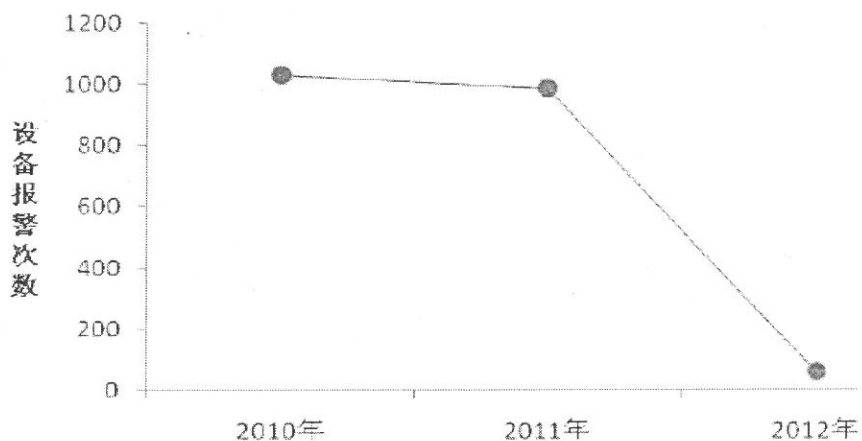


图 2-4 沪宁高速铁路设备报警次数统计图

Figure 2-4 shanghai-nanjing high-speed rail equipment alarm statistical figure number

从以上数据来看,基本上可以认为高速铁路异物侵限监测系统在开通运营的头一至二年内属于系统的早期失效期,故障率较高,在第三年开始基本进入系统的偶然失效期,此时系统基本趋于稳定,此阶段的可靠性水平可以认为是系统的可靠性水平,之后随着设备的老化将进入系统的耗损失效期,高速铁路防灾安全监控系统的故障率水平变化应如图 2-5 所示。

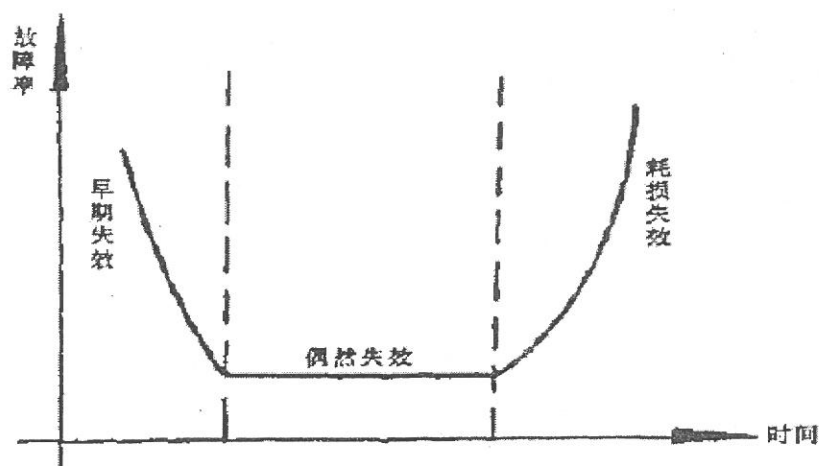


图 2-6 高速铁路防灾安全监控系统故障率随时间变化图

Figure 2-6 high-speed railway disaster prevention security monitoring system failure rate variation over time

因而,从调研数据来看,高速铁路防灾安全监控系统可靠性方面亟需解决的问题是系统的早期失效期时间太长,系统稳定后的可靠性水平不够高,然后需要对系统的可靠性进行长期的监测,确定系统进入耗损失效期的时间,及时进行维修更换和整改,防止系统可靠性突然下降。

2.4 小结

综合调研情况和数据分析,总结现有异物侵限监测系统可靠性方面存在的问题主要为设备故障、误报发生率较高,主要表现在:

- (1) 在设备硬件方面:存在接口松动等引起设备故障报警的情况,存在异物侵限监测电网出现老化,部分监测网内部电缆已氧化产生铜绿和部分监测电网托架锚固螺栓锈蚀的现象,存在防雷、电源空开保护等功能不完善,存在因雷击,空开跳闸等引起的异物侵限误报的情况;
- (2) 在网络传输方面:存在因网络故障引起的大量设备报警的现象;
- (3) 在设备维护方面:因异物侵限监测电网和监控单元的设置地点的特殊性导致日常维护较困难。

3 高速铁路异物侵限监测系统需求分析

3.1 高速铁路网沿线地理概述

为了改变我国铁路建设和运营的现状,减少我国铁路运营和发达国家之间的差距,这几年来我国加大了对铁路工程建设的投资。2004年1月,国家原则通过《中长期铁路网规划》,明确了中国铁路网中长期建设目标。2008年11月,我国又出台了扩大内需的十项措施,其中措施之一就是加大铁路等基础设施的建设。根据这一措施,铁道部(当时,现为中国铁路总公司)对《中长期铁路网规划》进行了调整。规划目标为:到2020年时,中国铁路网总里程将达到12万公里。这对促进我国经济持续快速稳定增长、全面建成小康社会,是十分必要的。建设高速铁路,是规划里最主要的内容。到2020年的目标是:建成高速铁路1.6万公里,形成“四纵四横”高速铁路骨架。建成珠江三角洲、长江三角洲、环渤海圈地区快速客运系统铁路2000公里。通过高速铁路的建设和既有线提速持续推进,建成铁路快速客运网。实现2000公里左右范围内夕发朝至;4000公里左右范围内一日到达。

1) “四纵”高速铁路:

- (1)北京——上海高速铁路,贯通京津至长江三角洲东部沿海经济发达地区;
- (2)北京——武汉——广州——深圳高速铁路,连接华北和华南地区;
- (3)北京——沈阳——哈尔滨(大连)高速铁路,连接东北和关内地区;
- (4)杭州——宁波——福州——深圳高速铁路,连接长江、珠江三角洲和东南沿海地区。

2) “四横”高速铁路:

- (1)徐州——郑州——兰州高速铁路,连接西北和华东地区;
- (2)杭州——南昌——长沙——昆明高速铁路,连接华中和华东地区;
- (3)青岛——石家庄——太原高速铁路,连接华北、华东和西南地区;
- (4)南京——武汉——重庆——成都高速铁路,连接西南和华东地区。

3)三个城际客运系统

珠江三角洲地区、长江三角洲地区、环渤海地区城际客运系统,覆盖区域内的主要城镇。为了实现这一规划的要求,2004年,国务院先后批准立项甬温(宁波——温州)、福厦(福州——厦门)、温福(温州——福州)、合武(合肥——武汉)、京津(北京——天津)、合宁(合肥——南京)、武广(武汉——广州)、郑西(郑州——西安)、石太(石

家庄—太原)等 9 条设计时速超过 200km/h 的高速铁路项目,总里程达 3000 多千米。截至 2013 年已建成并开通运营客运专线 20 余条,总里程已达 1 万余千米。



图 3-1 中长期高速铁路网规划示意图

Schematic figure 3-1 medium to high speed rail network planning

通过《中长期铁路高速铁路网规划示意图》可知,我国高速铁路网与高速公路网有大量的交叉点,异物侵限监测系统的建设直接关系到高速铁路运营安全的需求。

3.2 高速铁路行车组织概述

在对国外高速铁路的运输组织模式的分析研究基础上,结合我国铁路已有的对高速铁路运输组织模式的研究成果,根据世界发达国家高速铁路运输组织的发展方向。我国高速铁路承担跨线的大部分中长途客流和本线的高速客流,既有线承担少量的慢车客流和货物运输。我国高速铁路在很长的一段时间都将作为高速铁路使用,它的运输组织模式采用“不同速度的列车共线匹配运行”的模式,最终才能发展为全高速的运输组织模式。“不同速度的列车共线匹配运行”的运

输组织模式是指:在高速铁路跨线的列车和本线列车共线运行,除了本线列车全部采用动车组以外,跨线列车也可采用动车组,但动车组的等级是不同的,它们的最高运行速度存在差异,从而形成不同速度的旅客列车,同时在高速铁路上运行的局面。与外国铁路相比,我国铁路具有客货共线运输、开行方案复杂、运行密度高、线路长等一系列特点,既有线网络与高速铁路网络在端点站、大型车站和枢纽等区域与既有线关联密切,特别是始发站与动车段之间的走行线路,因为受地形地势等原因限制,难以做到无干扰的立体化运行。另外,为了减少旅客换乘,方便旅客出行,通常会采用动车组跨线运行的模式,这必将为我国铁路的调度指挥和运输组织带来新的挑战。我国高速铁路行车调度指挥系统改变传统行车组织方式为按计划作业,广泛采用基于信息通信技术的调度集中系统 CTC/TDCS 和列控系统 CTCS3,并与行车计划、运行图编制系统、基础设施和载运工具的养护维修计划等系统最大限度的集成。高速铁路运输计划是经过统筹考虑和反复优化的,各个运输业务单元严格按照运行图作业。公路跨高速铁路的异物侵限将可能导致严重的人员伤亡和经济损失和整个铁路运输过程的失序,公路跨高速铁路的异物侵限监测系统将对高速铁路行车调度指挥系统提供有效的支撑。

3.3 异物侵限对运输生产的影响

随着列车运行时速的不断提高,对列车运输安全也提出了更高的要求。高速列车的运行与人民群众生命财产安全息息相关,已经成为国家的重大生命线工程。自然灾害(洪水、雪、雨、风、地震等)或地质沉陷、轨温、异物侵限、突发事件等对于高速列车的运行危害性特别大,尤其是铁路异物侵限等灾害,由于其具有突发性的特点,在列车运行速度达 200km/h 时,即使是轻微的危害也可能会导致危害国家财产和人民群众生命安全的重大事故。在高速铁路比较发达的日本、德国、法国等,都在高速铁路工程建设的前期就开始制定针对异物侵限的异物侵限监测系统,以防或减少异物侵限对高速铁路运输安全的危害。因而高速铁路异物侵限监测系统对保障高速列车运行安全具有重大的经济意义和社会意义。

3.4 紧急处置方案

高速铁路异物侵限监测系统紧急处置子系统是高速铁路发生异物侵限而采

取的紧急处置措施,使处于事件影响范围内运行中的列车尽快停车,主要措施为通过列控系统控车,为争取宝贵处置时间,减少人工干预,采取发生报警后自动紧急处置,具体处置方案如下: 异物侵限报警紧急处置采用与列控系统相连的自动紧急处置方式,接口采用 AX 型继电器并符合故障-安全原则,处置流程如下:

- 1) 列控中心收到报警信息后,自动发出停车信号。此时该报警信号也自动传送至调度中心的监控终端(双重确认)。
- 2) 值班调度在收到报警信息,通过视频等辅助手段发现灾害没有对行车安全造成威胁时,启动该区间的临时行车命令(由停车信号改为瞭望行车信号),向列车司机通报情况。
- 3) 值班调度员收到报警信号后,通过视频等辅助手段发现灾害现场影响行车安全,在自动启动停车信号的同时,下达停车调动命令,向列车司机通报情况。
- 4) 停车期间值班调度调整整个线路的列车运营图。
- 5) 临时期间,通过该区间的列车减速行车。
- 6) 监控中心的值班人员下达现场排障任务单。
- 7) 维修人员应在报警信号发生后 1 至 4 小时赶到事故现场。行车密度高的线路可提高响应速度。
- 8) 列车司机、调度中心、监控中心与现场人员在此期间相互保持联络(通过 GSM-R 手机及调度电话)。
- 9) 维修人员到现场排障后,按动解锁开关发出解锁信号,同时通过 GSM-R 手机通报现场情况。
- 10) 值班调度收到解锁开关信号,发出临时行车命令。
- 11) 维修人员观察现场后,发现可简单恢复现场检测设备,立即进行恢复。无条件恢复时,通过 GSM-R 手机上报监控中心,并提出恢复方案及所需条件。
- 12) 调度中心收到现场恢复信号后,下达恢复正常行车命令。
- 13) 列车司机得到调度员发出的恢复正常行车的命令后,恢复正常行车。
- 14) 监控中心打印完整的事故及处理报告。
- 15) 监控中心应继续监督完成现场检测设备的恢复工作。

3.5 业务过程建模(功能与数据)

- (1) 行车指挥人员通过可视化界面,实时监测灾害报警信号,并按照灾害发生应急预案及时启动应急处置预案。
- (2) 基础设施维修人员根据设备检修规程制定检修计划,通过可视化界面,实时监控铁路防灾设备运行状态,并对发生故障的设备及时排查和维修作业。
- (3) 管理人员主要是中国铁路总公司、铁路局(客专公司)和各级管理人员,查询系统的设备状态、报警、预警和监测等信息,制定灾害发生处置应急预案,自动生成各类统计表格。按工作性质区分,防灾安全监控系统用户可分为:基础设施维修、行车指挥和管理人员等 3 类用户群。

3.5.1 功能需求

高速铁路异物侵限监控系统必须满足以下几个基本功能要求:

- (1) 异物侵限事件的实时监控、传输和集中存储;
- (2) 异物侵限监测设备、继电器、监控单元、监控中心设备及网络通道的状态监控;
- (3) 异物侵限事件分析、评判、报警;
- (4) 针异物侵限事件的紧急处置措施;
- (5) 与调度指挥、列车控制、基础设施维修、应急救援等相关系统信息共享和交换;
- (6) 监测报警和设备状态信息查询和统计;
- (7) 与行车调度指挥系统具备接口。

3.5.2 信息需求

异物侵限监控系统数据主要包括基础数据、监测数据、报警、统计及设备档案等五类。

- (1) 基础数据,包括基础代码、数据字典等,这类数据由应用子系统共用。
- (2) 监测数据,由现场监测设备实时产生,数据自动采集,长期保存。
- (3) 报警数据,依据监测数据分析生成报警数据,长期保存。
- (4) 统计分析数据,对监测、报警等信息进行汇总统计后生成的各类报表,供管理人员使用,长期保存。
- (5) 设备档案和处理预案,包括数据库服务器、应用服务器、SAN 存储、路由

器、网络交换机、网闸、监控单元、双电缆检知网、轨旁控制箱等设备履历、布局图、设计及安装相关技术资料、图纸等。这类数据需要人工整理和录入,供查询检索使用。

3.6 性能指标需求

异物侵限监控系统是分布采集、集中处理的集中监控系统(CCS),系统与高速铁路列车运行控制系统相连,传递列车控制信号,保障高速铁路动车运行安全稳定。异物侵限监控系统联调联试工作是对系统进行动态检测,对工程质量和系统集成安全运行状态进行全面测试和检查。异物侵限监控系统软件的测试是系统联调联试的主要内容。依据 GB/T 8566《软件生存周期过程》和 GB/T16260《产品质量》,异物侵限监控系统联调联试工作针对系统内、外部质量测试,侧重于测试基于外部视角的软件产品特性的总体。使用外部度量所测量和评价的质量,典型地方法是当软件执行时,利用模拟数据分别在实际环境和模拟环境中用测试。在联调联试阶段,大多数故障都应该可以被发现和消除。标准的外部质量度量模型如图 3-2 所示。



图 3-2 外部质量度量模型

Figure 3-2 external quality measurement model

异物侵限监控系统联调联试工作由功能性测试、可靠性测试、易用性测试、效率测试、维护性测试等组成。

(1) 功能性是指防灾安全监控系统提供满足明确和隐含要求的功能的能力。

包括异物侵限实时监测功能、异物侵限报警功能、异物侵限临时限速通车功能、异物侵限远程恢复功能、数据查询统计分析功能、与列控系统接口

功能测试等。

- (2)可靠性是指在规定条件下使用时，异物侵限监控系统维持规定的性能的能力。数据库处理设备、应用服务器、监控单元主机、UPS 供电设备、传输网络等的冗余切换。
- (3)易用性是指在规定条件下使用时，异物侵限监控系统被理解、学习、使用和吸引用户的能力。报警方式、监控与报警界面、系统操作与使用方式等。
- (4)效率是指在规定的条件下使用时，相对于所用资源的数量，防灾安全监控系统可提供适当性能的能力。异物侵限报警时效性、数据监测实时性等。
- (5)维护性是指异物侵限安全监控系统可被修改的能力。修改包括纠正和改进，或软件对功能需求及环境变化的适应。网络链路工作状态、数据处理设备、现场监测设备、监控单元设备的监控等。

4 异物侵限监测方案对比分析

4.1 异物侵限监测技术

异物侵限监测技术作为铁路安全运行的一项重要保障,国内外的研究人员进行了大量的研究工作,各种不同的异物侵限检测方法也都存在或多或少的工程实践。目前来看,异物侵限监测的方法一般分为接触式和非接触式两种,其中接触式异物侵限监测技术应用较为广泛的主要是电网监测和光缆监测,其主要原理是通过检测电网中电信号通断的时间及位置或光缆中光信号通断的时间及位置来判断异物侵限事件,非接触式异物侵限监测技术主要有视频识别、微波、激光扫描和红外线,其主要原理是通过检测激光、红外线、微波等的特征量的变化(如波长、频率、振幅)来实现对检测对象的特征参数(如温度、速度、形状、位置)的监测。随着中国高速铁路的不断发展与列车运行时速的快速提高,对保障高速铁路行车运输安全的防灾安全监控系统提出越来越多的要求。铁路异物侵限事件的发生具有不可预测、无规律可循、突发性等特点,严重影响行车运输安全,甚至会导致车毁人亡的可怕灾难性的后果。因而,如何可靠、安全、高效的对异物侵限事件进行监控,已发展成为铁路工程建设必须面对的重要课题。

4.1.1 非接触式监测技术

a) 微波监测方式,在铁路路肩一边安装微波接收装置,另外一边安装微波发射装置,逻辑控制单元通过对被异物遮挡微波的运算,得出异物的大小,按照预先设定的报警级别,采取对应的报警方案。

b) 红外线探测方式的原理与微波方式相近,通过落物在坠落过程中对红外线的阻挡,发出报警信号。红外探测方式具有成本适中、易于维护、安装方便等特点。但由于其测量媒质的特殊性,其精度和灵敏度易受外界影响,比如,夜间车灯、太阳光的照射等。另外,红外探测方式不能测量异物的质量,容易受飘落物的干扰,例如,纸张、塑料袋和树叶遮挡红外探测器也会激发报警。同时,该方式无法判别异物的形状和大小。

c) 视频监测方式是通过视频监控技术的动态分析功能,通过对观测点视频图案的实时动态分析,计算异物的形状和大小。经计算后,发出侵限报警信号。这种监测方法维护量小,安装方便,利用画面可以直观的观看到现场的实际情况。但是, 红外监测方法一样,容易受外界干扰影响。视频监测技术一般可作为其

它方案的辅助方案。

d) 雷达监测技术是通过监测雷达实时探测异物的速度和距离,通过数据分析计算出落物落点的具体位置,为判断异物是否侵限铁路提供正确的信息。雷达监测是一项具有广阔应用前景的技术,具有监测范围宽、性能可靠稳定、不受各种地形地貌影响、全天候使用、具备重复使用性、设备不易损坏、安装维护比较简单、后期维护成本低等特点,可在铁路防灾监测中发挥积极作用。分析表明雷达监测具有以下优点:

- (1) 系统监测范围广;
- (2) 不受气候、光照度影响,全天候 24 小时工作;
- (3) 灵敏度高,能够对小落物目标进行测速、测距;
- (4) 具备落物轨迹跟踪功能,可联动摄像机进行图像识别处理;
- (5) 具备一定抗干扰能力,自动滤除行人、列车、飞鸟以及飞扬物等目标。

但是,雷达技术也存在以下问题:

- (1) 雷达不能自动识别落物类型,尚需视频辅助;
- (2) 不能准确定位落物落地位置,需其他技术手段辅助判别

e) 光缆探测技术是在沿线布设光缆,由源点发出光信号,经各监测点后再返回源点,各监测点通过光信号的衰减判断是否发生侵限情况及危害程度。

4.1.2 接触式监测技术

a) 双电网传感器监测方式是两根绝缘电线两端分别连接使用不同频率的模拟低频信号的发送器和接收器,发送器不断发送固定频率的模拟信号,接收器实时接收模拟信号。当两个接收器同时收到信号时,系统运行正常;当只有一个接收器收到信号时,不会发出侵限报警信息,而提示预警信息;当两个接收器都接收不到信号,则会立即发出异物侵限报警信息。此方案最大的优点是没有漏报,只要有质量大于防护网的承受能力,横截面大于双电网的网格的异物坠入防护网内,同时破坏了双电网的网格就会生成报警。另外,双电网对实际工况的适应能力非常强,可以根据被监测物的大小、形状、地形等需要,任意扩展。双电网监测是较简便有效、实用、及可靠的一种检测方法,这种方法在国内外已有广泛的应用。

b) 倾角传感技术是一项比较新型的传感技术。当传感器受到异物侵限引起倾角传感器发生角度的改变, 直接引起电平信号的通断 (或输出角度变化值来供软件来判断), 以实现报警的功能。该方案的优点是误报少、监测可靠。但为了达到防护范围的需要, 存在安装传感器结构复杂、数量较多等缺点。

c) 光纤光栅是利用紫外暴光技术在光纤芯中引起折射的周期性变化而形成的。光纤光栅中周期性结构分布的折射率, 引起某一特定波长光的反射, 形成光纤光栅的反射谱。反射光的波长对温度、应力和应变敏感, 当环境温度、应力或应变发生变化时, 光纤光栅反射光的峰值波长漂移, 通过对波长漂移量的度量可以实现对温度、应力和应变的感测。此方案的优点是抗干扰能力强、不怕雷击、可实现远距离监测、寿命长、节能、维护容易。但也存在许多缺点, 如成本高、传感器安装要求高、可靠性和安全性不高、被检测光波的波长易受温度影响而发生漂移等。

4.2 异物侵限监测技术对比

下面从不同监测方法的系统构成、功能、性能、适用范围等方面对不同监测方法进行对比。

(1) 系统构成

表 4-1 不同监测方法系统构成对比

Table 4-1 make contrast different monitoring methods system

监测方式	方法	系统构成	判断逻辑	造价	安装	配套工程	维护工作量
红外线	动态	简单	简单	较低	简单	无	较小
微波	动、静态	复杂	复杂	高	复杂	无	较小
视频	动、静态	简单	复杂	较高	简单	传输通道、照明	较小
雷达	动态	简单	复杂	低	简单	无	较小
光缆	动态	简单	复杂	较低	简单	无	大, 需要申请天窗时间
双电网	动态	简单	简单	低	简单	防护网	大, 需要申请天窗时间
倾角传感技术	动态、静态	简单	简单	较高	简单	无	较小
光纤光栅	动态	简单	简单	高	复杂	防护网	较小

(2) 功能

表 4-2 不同监测方法功能对比

Table 4-2 different monitoring methods feature comparison

监测方式	上下行报警	监测尺寸	监测重量	监测范围
红外线	否	是	否	监测范围小, 无法监测细长、数量大的落物, 无法监测已落到轨道中的异物
微波	是	是	否	监测范围较大
视频	是	是	是	直观、监测范围大
雷达	否	否	否	监测范围大、距离远
光缆	否	否	否	监测范围小、无法监测细长、数量大的落物, 无法监测已落到轨道中的异物
双电网	否	否	否	监测范围小、无法监测细长、数量大的落物, 无法监测已落到轨道中的异物
倾角传感技术	否	是	否	监测范围小, 只能监测某一个角度
光纤光栅	否	否	否	可实现远距离监测

(3) 性能

表 4-3 不同监测方法性能对比

Table 4-3 different monitoring methods performance contrast

监测方式	准确性	可靠性	外界干扰
红外线	较高	较高	容易受阳光、灯光、报纸、塑料袋等干扰
微波	高	较高	否
视频	高	较高	容易受夜间、雪、雨、雾等天气和气候的影响
雷达	高	较高	否
光缆	较高	高	否
双电网	较高	高	否
倾角传感技术	高	高	否
光纤光栅	较高	较高	容易受温度影响而发生漂移

版 权 声 明

此服务仅提供文献资料内容的1/3复制件, 供用户学习、研究或学校课堂教学使用。

严禁用户超出《中华人民共和国著作权法》规定的合理使用范围使用文献, 如用户违法使用文献, 造成侵权行为的, 相应的法律责任由用户承担。

(4) 适用范围

表 4-4 不同监测方法适用范围对比

Table 4-4 different monitoring methods applicable scope

监测方式	公跨铁立交桥	公路与铁路并行处	隧道口	铁路正线
红外线	✓	✓	✓	
微波	✓		✓	
视频	✓	✓	✓	✓
雷达	✓	✓	✓	
光缆	✓	✓	✓	✓
双电网	✓	✓	✓	
倾角传感技术	✓	✓	✓	
光纤光栅	✓	✓	✓	

通过上文对比、实际的工程应用和广泛的试验,事实证明非接触式异物侵限监测方案有易维护、受地形影响小、范围广、监测距离远、易于安装以及可对落入监测范围内的异物进行特征识别的优点。但非接触式探测技术同时也存在可靠性低、入侵判断复杂、飘浮物、易受光线和自然环境干扰,误报率相对比较高等严重缺点,是导致其在高速铁路工程中实际应用相对较少的一项主要原因。接触式异物侵限检测方案,特别是双电网检测技术,凭借其检测信号抗干扰能力强、更准确、更稳定及能准确定位故障的报警位置,同时其系统可靠性更高,易安装、工程造价相对较低,结构更简单等优点,得以在铁路工程中较为广泛应用。但是,双电网传感器在实际的使用过程中,仍时有系统不稳定,误报率高等缺点。通过对误报原因的逐个排查,除去设备施工工艺、质量等方面的原因外,日常故障主要集中在 UPS(不间断电源)故障、双电网传感器本身故障以及通信网络故障等方面引起的误报警。

4.3 适合我国高速铁路特点的异物侵限监测方法

异物侵限监测系统作为一种行车安全保障设备,监测过程是否误报、漏报是正常工程中选择的重要依据。通过上文分析可知,双电网传感器技术凭借它的监测信息更稳定、准确,抗干扰能力更强,可准确判断故障及报警位置,系统可靠性比较高,工程造价相对较低,结构相对简单,易安装等这些优点,得以在铁路防灾工程中广泛地应用。法国地中海高速全线、日本新干线、西班牙等高速铁路都采用双电网配合其他辅助监测的方法。随着中国双电网工艺的改进,双电网误报率正在明显下降。因此,考虑到监测的可靠性和工程投入,建议我国高速铁路采用双电网结合视频监控的方式的异物侵限监测方法。另外,考虑到双电网的构成复杂,导致故障节点多、故障风险高的情况,基于雷达的无接触式异物侵限监测方式凭借其较强的环境适应性可以作为备选方案。

5 系统可靠性分析及现场试验验证

5.1 系统可靠性定性分析

5.1.1 系统结构

自 2008 年京津城际开通以来, 异物侵限监测技术一直随着高速铁路的建设而发展着, 但异物侵限监测的组成部分及系统结构基本没有变化, 一般由现场监测电网、轨旁控制箱、监控单元、电源单元、报警继电器、接口继电器、监控处理设备、终端及传输网络等组成, 其系统结构如图 5-1 所示。

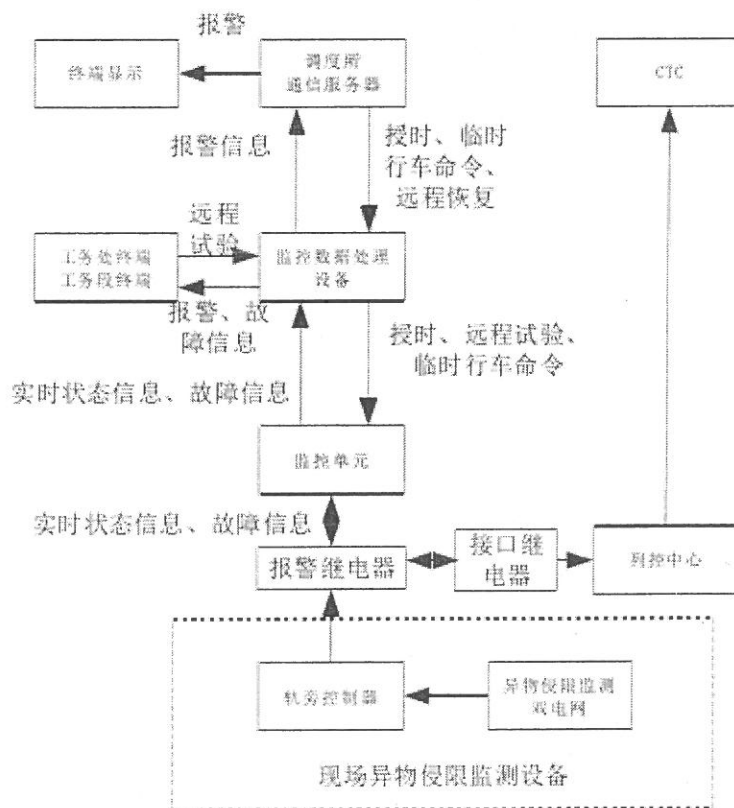


图 5-1 异物侵限监控系统系统结构图

Figure 5-1 foreign invasion monitoring system of limited system structure

现场监测设备一般安装在跨越铁路的公路桥两侧, 将 L 型支架固定在桥梁上, L 型支架的水平部分布置维护通道, 竖直部分布设双电网监测传感器。每条监测电缆的终端均使用电缆终端器结束, 监测区输出的信号电缆将顺桥梁的桥墩引下来, 与安装在高速铁路旁边路肩上的轨旁控制器相连。现场监测设备的结构示意图如图 5-2 所示。

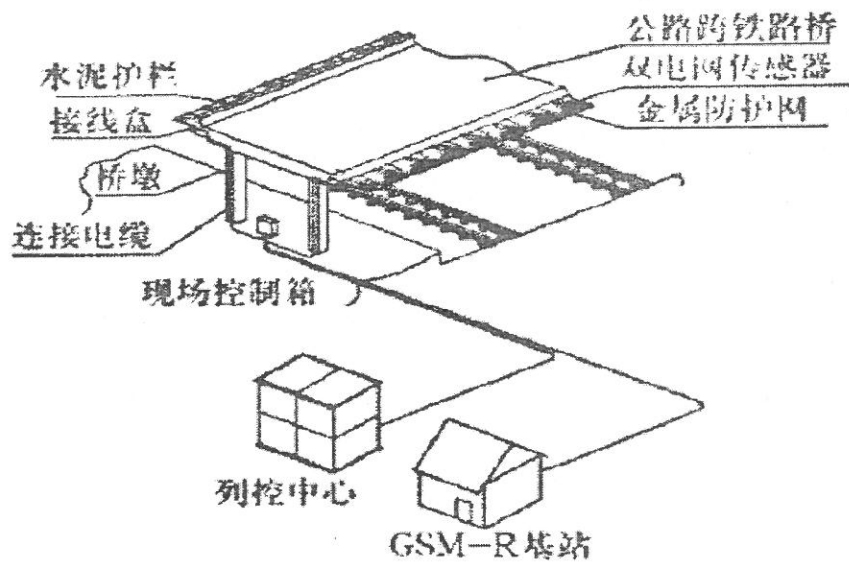


图 5-2 异物侵限监控系统现场监测设备结构示意图

Figure 5-2 a foreign invasion monitoring system limited field monitoring equipment structure diagram

5.1.2 典型异物侵限监测系统构成表

现场异物侵限监测系统主要有 4 种，其组成如表 5-1 所示。

表 5-1 典型异物侵限监测系统构成表

Table 5-1 the typical foreign invasion monitoring system composition table

线路名称	开通时间	系统型号/供货商	监控处理设备	现场监控单元		异物侵限监测点		监控终端	
				监控单元	数量	型号及技术指标	数量	型号及技术指标	数量
郑西高铁	2010.2.6	今创	交换机: HIRSCHMANN 系列 Power MICE112S-L3P 交换机 服务器: 标准 2U 结构的 SUN 系列 SPARC Enterprise T5120 型号数据库服务器 数据库服务器: SUN 系列 SPARC Enterprise T5120 服务器 应用服务器: 采用了板插拔式结构可根据现场实际情况, 对应用服务器进行配置。 磁盘阵列: 采用 SUN 系列的 SUN	GSM-R 基站监控单元分为风雨基站监控单元、异物基站监控单元、风雨和异物基站监控单元 防灾专用电源: 监控单元中均含有 2 个 JCFZ6280 防灾专用电源 UPS		由监测防护网 (内嵌双电网传感器)、轨旁控制器、安装附件和传输线缆等组成 监测防护网内部电网与轨旁控制器	110	研华工控机 IPC-610 和 PHILIPS 显示器作为监控终端。通过交换机与机	

			STORAGETEC 2540 SERIES ARRAY 磁盘阵列 协议转换器: 2 台 CTC ED el 协议转换器, 协议转换器一端 通过 RJ45 口与 MOXA 交换机连 接, 另一端通过同轴电缆连接 到通信机房的 SDH 配线架上, 通过专用通道连接到郑州调 度所内的通信机房。	监控单元主机: 风雨监控单元主 机为标准 4U 机架 式结构; 异物监 控单元主机 6100。 继电器组合结 构: 每个 JCFZ6410 继电组 合内部有 6 个继 电器。		采用专用电 缆连接, 轨 旁控制器与 GSM-R 基站 监控单元与 列控中心均 采用铁路信 号屏蔽电缆 连接。	柜内部 服务器 连接。	
沪深 (甬 台 温、 温 福) 客专	200 9.9 .28	今 创	设置于台州南, 主要技术指标 包括: 1) 数据库服务器 型号: SUN SPARC Enterprise T5120/1U/500G/CPU 2*4 核/ 系统架构 SPARC 2) 磁盘阵列 型号: SUN STORAGETEC 2540/2T/RAID5+ 热备盘 3) 应用服务器 型号: JCFZ8100, 工作电压: DC5V 4) 网络交换机 型号: MAXA PT-7828, 端口数量: 24 5) NTP 时钟服务器 型号: DNTS-81-W-0, 协议: NTP 6) UPS 电源 型号: 山特 Array Mp 系列, 双机热备, 功率: 10KVA, 输入: AC220V, 输出 AC220V。	1) 监控主机 型 号: JCFZ8100, CPU: L X800, 内存: 128M, 闪存: 128M CF 卡 操作系统: 嵌入式系统 2) UPS 主机型号 JCFZ6310, 电池 型号: 风帆, 12V24Ah 电池数 量: 4 3) 继电器组合 型号: JWXC-1700	50	双电网传感 器	11	4
沪宁 城际 高铁	201 0.7 .1	辉 煌	设置于苏州火车站 1) 双机热备专用容错应用服 务器 2) 双机热备专用容错数据库 服务器 3) 存储磁盘阵列 配置 RAID5 冗余 4) 双套核心三层交换机 5) 双套在线式冗余 UPS 电源, 双机冗余供电, 电池供电时间 不少于 30 分钟 6) 电源接入设置室内 B 级防	TFFZ-JKDY01(风 、雨监测) TFFZ-JKDY02(双 电网监测) TFFZ-JKDY03 (风、雨、双电 网监测) TFFZ-JKDY04 (风、双电网监 测) TFFZ-JKDY05(风 监测)	56	传感器型 号: TFFZ-CKT-0 1 轨旁控制器 型号: GPKZH-1/中 国	70	3

			雷箱					
沪杭 高铁	201 0.1 0.1	今 创	设置于余杭南, 主要技术指标包括: 1) 数据库服务器 型号: SUN SPARC Enterprise T5120/1U/500G/CPU 2*4 核/系统架构 SPARC 2) 磁盘阵列 型号: SUN STORAGETEC 2540/2T/RAID5+ 热备盘 3) 应用服务器 型号: JCFZ8100, 工作电压: DC5V 4) 网络交换机 型号: 赫斯曼 MS4-28-L3P, 端口数量: 24 5) NTP 时钟服务器 型号: DNTS-81-W-0, 协议: NTP 6) UPS 电源 型号: 山特 Array Mp 系列, 双机热备, 功率: 10KVA, 输入: AC220V, 输出 AC220V。	1) 监控主机 型号: JCFZ8100, CPU: L X860, 内存: 128M, 闪存: 128M CF 卡 操作系统: 嵌入式系统 2) UPS 主机型号 JCFZ6310, 电池 型号: 凤帆, 12V24Ah 电池数量: 4 3) 继电器组合 型号: JWX-1700	21	双电网传感器	19	4
海南 东环	201 0.1 2.3 0	辉 煌	设置于海口东火车站 1) 双机热备专用容错应用服务器 2) 双机热备专用容错数据库服务器 3) 存储磁盘阵列 配置 RAID5 冗余 4) 双套核心三层交换机 5) 双套在线式冗余 UPS 电源, 双机冗余供电, 电池供电时间不少于 30 分钟 6) 电源接入设置室内 B 级防雷箱	TFFZ-JKDY01 (风、雨监测) TFFZ-JKDY02 (双电网监测) TFFZ-JKDY03 (风、雨、双电网监测) TFFZ-JKDY04 (风、双电网监测) TFFZ-JKDY05 (风监测)	39	传感器型号: TFFZ-CKT-01 轨旁控制器型号: GPKZH-1/中国	52	
武广 高铁	201 0.4 .23	世 纪 瑞 尔	设置于长沙南站、广州南站 1) 双机热备专用容错应用服务器 2) 双机热备专用容错数据库服务器	CR-NMS-FZ 防灾安全监控系统现场监控单元。	13 0	防灾异物监测防护网传感器型号: FZSPW-01 轨旁控制器	91	

			3) 存储磁盘阵列 配置 RAID5 冗余 4) 双套核心三层交换机 5) 双套在线式冗余 UPS 电源, 双机冗余供电, 电池供电时间不少于 240 分钟 6) 电源接入设置室内 B 级防雷箱		型号: CR-F0D-FCU			
长吉 城际	201 1.1 .1	今 创	设置于吉林站 交换机: 赫斯曼 HIRSCIMANN 3U 结构 数据库服务器: SUN 系列 SPARC Enterprise T5120 服务器 应用服务器: 采用子板插拔式结构, 2 台 4U 结构 8100, 双机冗余。 磁盘阵列: 采用 SUN 系列的 SUN STORAGETEC 2540 SERIES ARRAY 磁盘阵列 UPS 电源 型号: 山特 Array Mp 5K, 双机热备, 功率: 10KVA, 输入: AC220V, 输出 AC220V。		L 型	13		
京津 城际	200 8.8 .1	今 创	设置于永乐维修地 1) 服务器: HP proliant bl 580 G4 2) 磁盘阵列: HP MSA500-G2 3) 防灾交换机: CISCO WS-C3560 4) 工控机: IPC-610 5) UPS: CLOCKS/ (SANTAK) C2KRS 6) 串口服务器 MOXA Nport 5230	7000WD、WXP520	JCFZ6110(主控板)、 JCFZ6150(电网板)、 JCFZ6151(调度板)、 JCFZ6210(主机电源板)、 JCFZ6230(异物电源板)	5		
石太 客专	201 0.8 .1	世 纪 瑞 尔	设置于阳泉北 1) 使用 Styatus 生产的型号为 ftSERVER 服务器; 配置至强四核 2.0G*1/4G 内存 /1TB*2; RAID1/双千兆网卡 2) 使用 H3C 生产的型号为 RT-MSR3060-AC-AS 的交换机, 配置 2 千兆/4SIC/GMIM 安全记		公跨铁 28 处, 隧道口 4 处, 型号: CR-F0D-01	32		

		性, 16 端口百兆二层交换机 MM 模块 6 块, 4 端口百兆二 层交换 SIC 模块 2 块, 双机热 备 3) 使用中达电通生产的型号 为 N+ 系列 (5-7-11KVA) ups, 配中达电通生产的 12V 40Ah 蓄电池 40 块。					
--	--	---	--	--	--	--	--

5.1.3 系统逻辑结构

高速铁路异物侵限监控系统由现场监测电网、轨旁控制箱、监控单元、电源单元、报警继电器、接口继电器、监控处理设备、终端及传输网络等组成, 系统的逻辑结构与自然结构不同, 系统中任意一功能部分故障都会导致整个系统的故障, 故逻辑结构由各组成部分以串联方式构成, 其中监控单元, 数据处理设备, 网络传输及供电采用了二级冗余, 系统的逻辑结构图如图 5-3 所示:

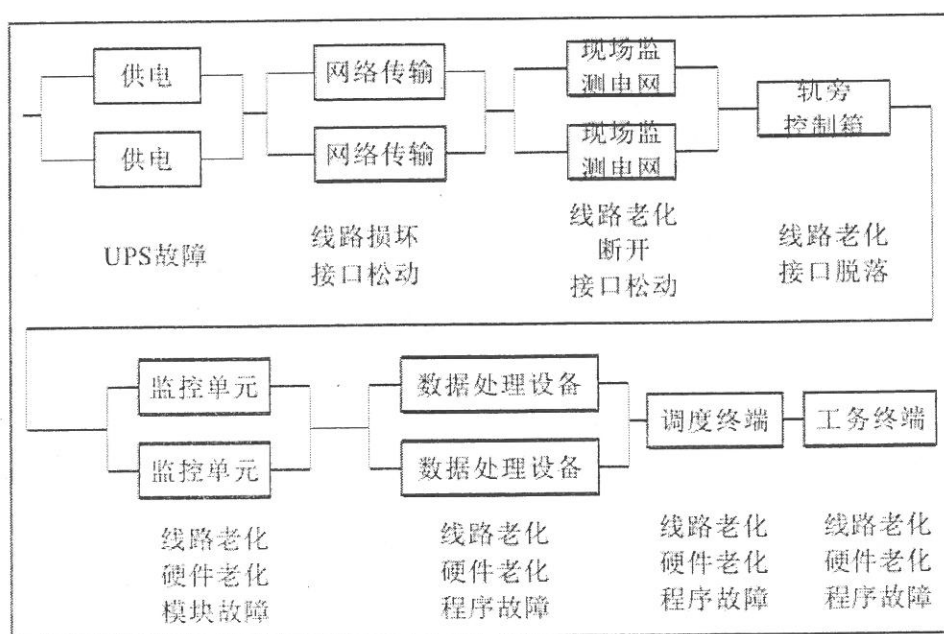


图 5-3 系统逻辑结构图

Figure 5-3 system logic structure

5.1.4 共因故障分析

1. 故障集合

与防灾监控系统共因故障有关的原因主要有以下五大类:

a) 外部的环境, 包含灰尘、温度、湿度、电磁干扰等;

- b) 设计缺陷, 包含未意识到的相互关系、公共因素以及故障关系等;
- c) 运行和维修错误, 包含错误刻度、不正确的试验、过时的规程、不小心的维修等;
- d) 外部灾害, 包含台风、火灾、洪水、地震等;
- e) 功能缺陷, 包含对现象的错误理解、不适当的保护以及不适当的仪器仪表等。

2. 预防措施

克服设备随机故障的一个主要方法是冗余技术, 但是由随机故障引发的几个冗余部件设备失效的概率是很小的。所以, 单采用冗余技术不能很好解决共因故障问题。在解决这类问题时, 充分利用各种措施的组合是有效的。故障安全导向设计、试验、功能多样性、实体隔离、监督、以及管理方法在评价异物侵限监控系统时必须予以充分考虑, 如表 5-2 所示。

表 5-2 共因故障的预防措施

Table 5-2 due to the failure of prevention measures

故障类别	可能的预防措施
外部的的工作环境	功能多样化, 设计的管理, 运维的管理, 故障安全导向模式, 已被证实的设计, 产品标准化, 设备多样化
设计缺陷	功能多样化, 实体隔离, 设计的管理, 运维的管理, 故障安全导向模式
维修出错	功能多样化, 运维的管理, 设备多样化
外部灾害	功能多样化, 实体隔离, 设计的管理, 运维的管理, 设备多样化
功能缺陷	功能多样化, 设计的管理, 运维的管理, 设备多样化

3. 系统对共因故障灵敏度的评估

表 5-3 防灾安全监控系统中设备的故障模式与原因因素关系的共因故障表

Table 5-3 disaster prevention safety monitoring system of equipment failure mode and cause of factors in the relationship between total table because of malfunction

故障	(故障设备及故障模式)	监测电网故障	监控单元故障	数据库服务器及应用服务器故障	UPS 故障 (包含供电)	网络 (包含交换机及接线故障)
外部的 工作环境	灰尘	*	*	*		
	湿度	*	*	*		
	温度	*	*	*		
	振动	*	*	*		*
	电磁干扰	*	*			
设计缺陷	未意识到的相互关系			*		
	公共因素		*	*		
	故障关系		*	*		
运行和 维修错误	错误刻度	*	*			
	不正确的试验	*	*	*		
	过时的规程	*	*		*	
	不小心的维修	*	*	*	*	*
外部灾害	台风	*				*
	火灾	*	*	*	*	*
	洪水	*			*	*
	地震	*	*	*	*	*
功能缺陷	对现象的错误理解		*	*		
	不适当的保护	*			*	*
	不适当的仪器仪表	*	*			*
*: 表示可能会引起设备产生故障						

5.2 系统可靠性定量分析

5.2.1 故障树模型

对应于异物侵限监控系统逻辑结构图 5-3 的故障树模型如图 5-4 所示:

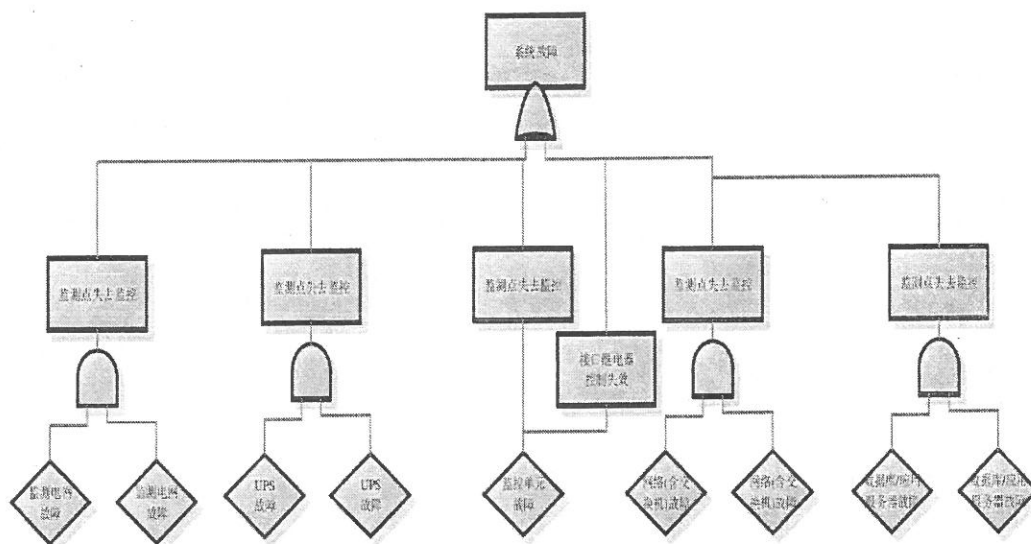


图 5-4 异物侵限监控系统故障树模型

Figure 5-4 foreign body contamination limit monitoring system fault tree model

选取典型线路武广客专的异物侵限监控系统进行分析,武广客专异物监控系统由 91 处异物侵限监测点,2 处监控数据处理中心,130 套监控单元及配套的网路、供电及相关终端组成。该异物侵限监控系统的故障树模型属于串并联结合的工作系统。

5.2.2 系统可靠性

1. 异物侵限监控系统可靠性水平

设备在时间 $(0, t]$ 的可靠度 $R(t)$ 一般由以下公式计算:

$$R(t) = \exp[-\int_0^t \lambda(t) dt] \quad (1)$$

其中 $\lambda(t)$ 为设备的失效率, $\lambda(t)dt$ 是时间间隔 $(t, t+\Delta t]$ 内的设备故障概率。

对于异物侵限监控系统,设备安装和调试期间一般为早期失效期,在系统耗损失效期来临之前一般需进行维修更换和整改,防止系统可靠性突然下降,对于系统可靠性的计算一般是基于系统的偶然失效期,即设备的失效率 $\lambda(t)$ 为常数 λ ,则式(1)可简化为:

$$R(t) = \exp(-\lambda t) \quad (2)$$

即设备的可靠度在一定失效率 λ 情况下与时间的关系如图 5-5 所示:

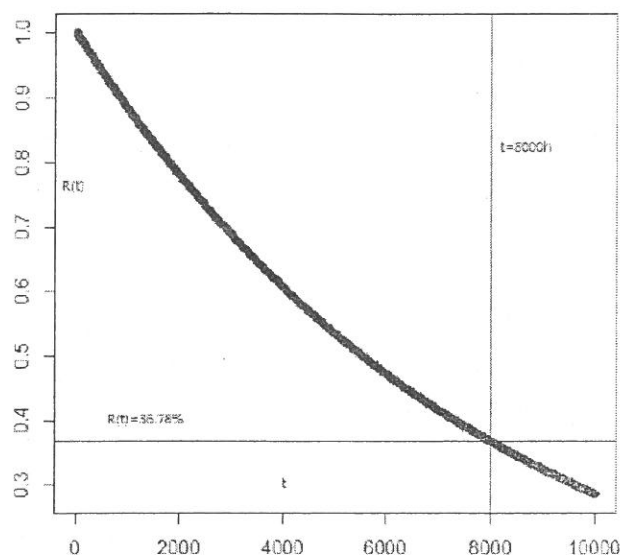


图 5-5: 在失效率 $\lambda = 1/8000 h^{-1}$ 时设备可靠度与时间的关系

设备的平均无故障工作时间 MTBF 为:

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t) dt = \int_0^{\infty} \exp(-\lambda t) dt = \frac{1}{\lambda} \quad (3)$$

考虑异物侵限监控系统的故障树模型, 则武广客专防灾安全监控系统在时间 $(0, t]$ 内的可靠度 $R_s(t)$ 为:

$$R_s(t) = [R_w(t)]^{91} [R_j(t)]^{130} [R_c(t)]^2 R_n(t) R_d(t) R_x(t) \quad (4)$$

其中 $R_w(t)$ 、 $R_j(t)$ 、 $R_c(t)$ 、 $R_n(t)$ 、 $R_d(t)$ 、 $R_x(t)$ 分别为异物监测现场设备、监控单元、监控数据处理中心、网络、供电及其他终端在时间 $(0, t]$ 内的可靠度。

则系统的平均无故障工作时间 $MTBF_s$ 为:

$$MTBF_s = \int_0^{\infty} R_s(t) dt \quad (5)$$

若异物侵限双电缆的平均无故障工作时间为 2×10^5 h, 监控单元的平均无故障工作时间为 2×10^5 h, 数据处理中心的平均无故障工作时间为 1×10^5 h, 供电、网络设备及其他终端的平均无故障工作时间为 2×10^5 h, 则计算武广高速铁路异物侵限系统的平均无故障工作时间 $MTBF_s$ 为:

$$MTBF_s = \frac{1}{\frac{91}{2 \times 10^5} + \frac{2 \times 130}{3 \times 2 \times 10^5} + \frac{2 \times 2}{3 \times 1 \times 10^5} + \frac{3}{2 \times 10^5}}$$

$$= 1091(\text{h}).$$

2. 异物侵限监控系统故障次数的分布

从前文分析可知异物侵限监控系统失效时间 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 是服从指数分布的独立

随机变量, $\sum_{i=1}^n x_i$ 服从伽马分布, 在 $[0, t]$ 时间之内, 设备发生故障少于 n 次的概率为:

$$p(y < n, T \leq t) = p\left(\sum_{i=1}^n x_i > t\right) \quad (6)$$

在 $[0, t]$ 时间之内, 设备发生故障 n 次的概率为:

$$p(y = n, T \leq t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t} \quad (7)$$

武广高速铁路异物侵限系统一年内发生故障的次数概率分布如图 5-6 所示:

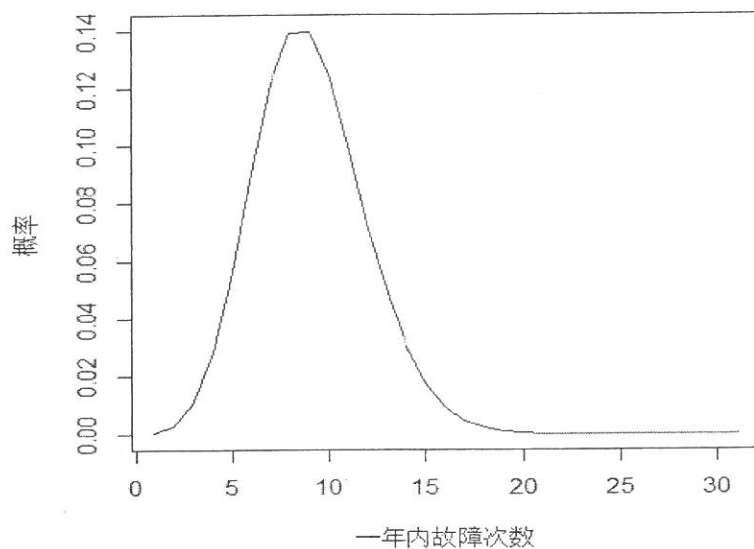


图 5-6 故障次数的概率分布

Figure 5-6 failure frequency probability distribution

即按设计要求,武广高速铁路异物侵限系统一年内发生故障的次数大于 13 次的概率应小于 5%。

5.3 现场试验

5.3.1 试验环境及设备

铁科院在高速铁路国家工程实验室搭建了一套异物侵限监测系统的试验环境,现场布局如图 5-7 所示。

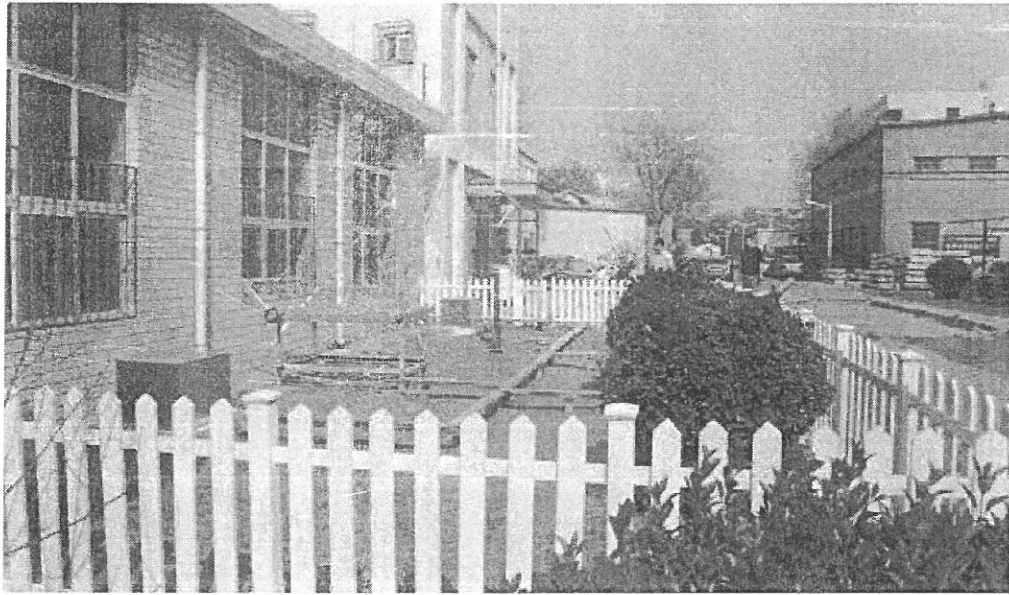


图 5-7 异物侵限监测系统试验环境

Figure 5-7 foreign invasion monitoring system test environment

现场监测电网和轨旁控制箱如图 5-8、5-9 所示。

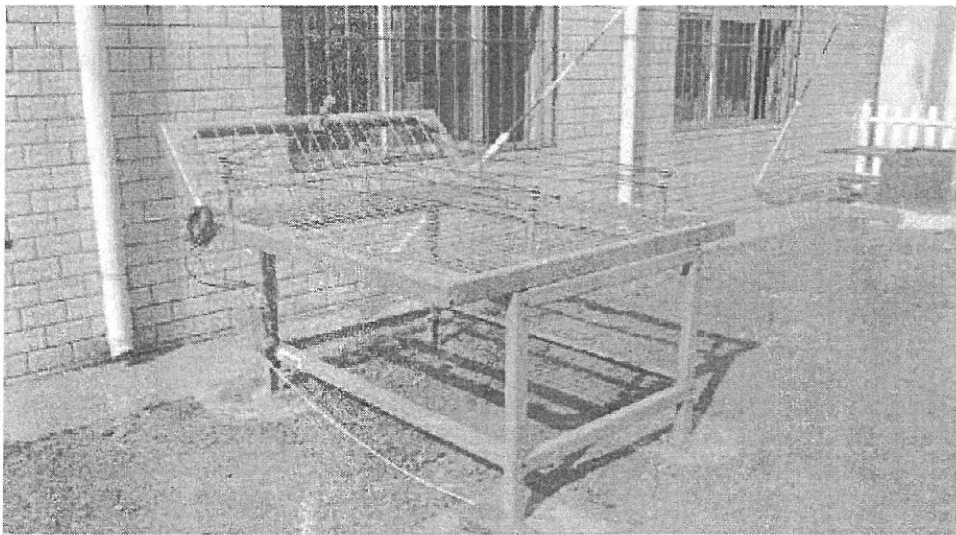


图 5-8 异物侵限监测电网

Figure 5-8 foreign invasion monitoring grid

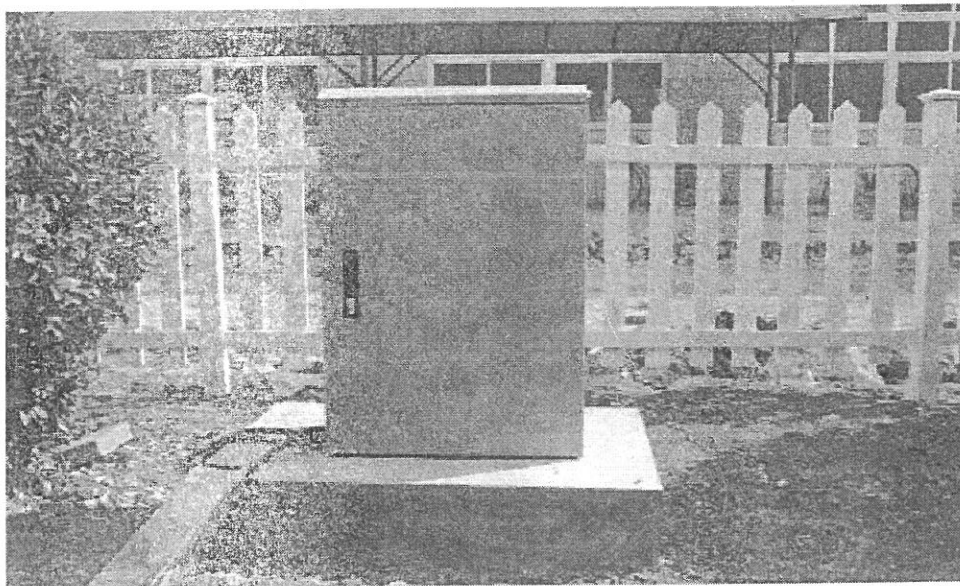


图 5-9 轨旁控制箱

Figure 5-9 wayside control box

监控单元如图 5-10 所示。

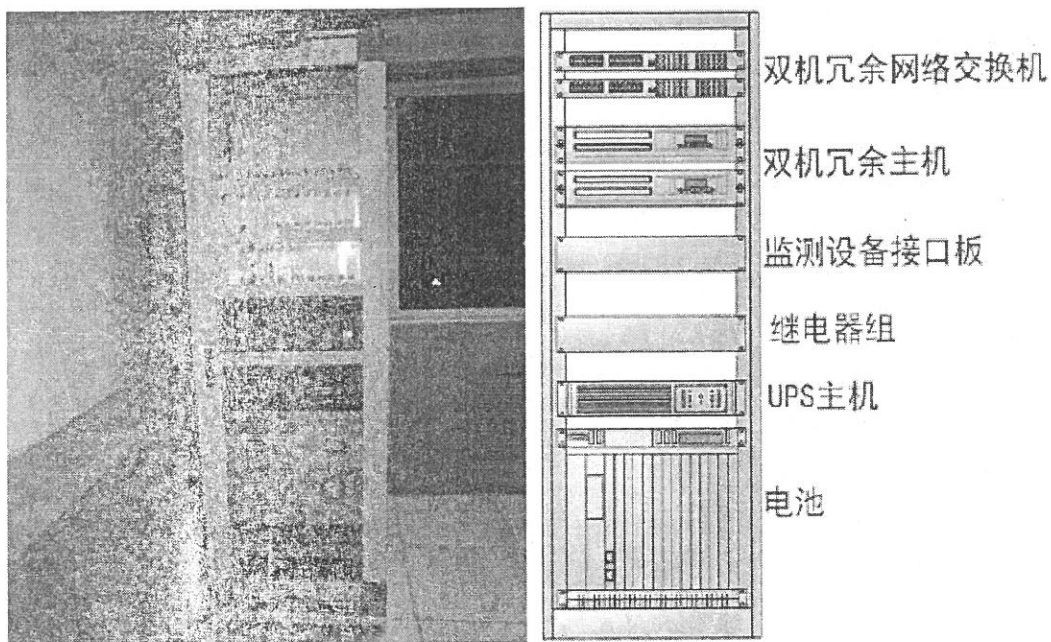


图 5-10 监控单元

Figure 5-10 monitoring unit

异物侵限监测终端显示界面如图 5-11 所示。

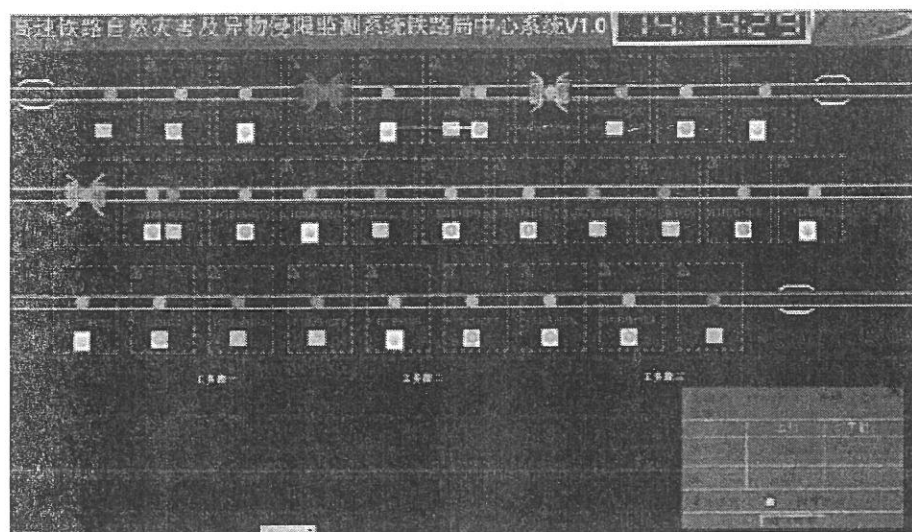


图 5-11 监控终端界面

Figure 5-11 monitor terminal interface

5.3.2 系统可靠性试验

异物侵限监测系统可靠性验证,从试验原理来讲需要应用统计学的抽样理论,它的目的是为了验证产品的可靠性水平达到了标准的可靠性水平,通常采用定时截尾试验方法。电子设备的可靠性水平通常由失效率给出,可靠性符号、最大失效率和等级名称对应情况如表 5-4。

表 5-4 可靠性符号、最大失效率和等级名称

Table 5-4 name symbols, biggest failure rate and reliability level

可靠性等级名称	可靠性等级符号	最大失效率 (1/h)
亚四级	YS	3×10^{-4}
四级	S	1×10^{-4}
亚五级	YW	3×10^{-5}
五级	W	1×10^{-5}
亚六级	YL	3×10^{-6}
六级	L	1×10^{-6}
亚七级	YQ	3×10^{-7}
七级	Q	1×10^{-7}
八级	B	1×10^{-8}

验证电子设备可靠性的方案可以从表 5-5 中选择。

表 5-5 验证试验方案 (置信度 90%)

Table 5-5 validation test plan (90% confidence level)

失效率 等级	截尾时间 T (10 ⁴ h)					
	C=0	C=1	C=2	C=3	C=4	C=5
YS	0.00768	0.013	0.0177	0.0223	0.0266	0.0324
S	0.023	0.0389	0.0532	0.0668	0.0799	0.0972
YW	0.0768	0.13	0.177	0.223	0.266	0.324
W	0.23	0.389	0.532	0.668	0.799	0.972
YL	0.768	1.3	1.77	2.23	2.66	3.24
L	2.3	3.89	5.32	6.68	7.99	9.72
YQ	7.68	13	17.7	22.3	26.6	32.4
Q	23	38.9	53.2	66.8	79.9	97.2
B	230	389	532	668	799	972
注: 其中 C 为合格判定数。						

对于高速铁路异物侵限监测系统, 若失效率为 $\lambda=1 \times 10^{-4} h$ 即其失效率等级为四级, 代号为 S, 可选取 C=3 的可靠性验证试验方案, 选取截尾时间应为 $0.0668 \times 10^5 h$, 也就是 6680h 内出现 3 次以内故障的话, 那么可判定它的可靠性水平达到了标称需要的水平。在试验期间, 异物侵限监测系统未出现过影响系统功能的设备故障, 可以认为在工艺、供电、网络有保障的情况下, 单监测点的异物侵限监测系统可靠性水平是高于 MTBF= $1 \times 10^4 h$ 的。

5.3.3 监测电网老化试验

对四家厂家提供的监测电网样品进行了紫外老化和热老化试验, 试验结果如表 5-6 所示。

表 5-6 老化试验结果

Table 5-6 aging test results

	拉伸强度检测结果/Mpa			
	辉煌	佳讯飞鸿	世纪瑞尔	今创
标准试验条件	134.5	133.4	70.6	64.7
紫外老化 (0.76W.m ⁻²) 240h	133.5	123.2	69.5	61.8
指标变化率	-0.74%	-7.65%	-1.56%	-4.48%
热老化 (100℃ ×240h)	124.6	99.5	66.5	64.7
指标变化率	-7.36%	-25.41%	-5.81%	-0.00%

综合试验结果, 监测电网应选取拉伸强度大于 100 Mpa, 紫外老化 (0.76W.m⁻²) 240h 拉伸强度变化率不高于 5%, 热老化 (100℃×240h) 拉伸强度变化率不高于 10%的产品。

5.4 改进措施及建议

设备故障报警和误报率高在系统开通运营早期比较明显, 可以确定此阶段为异物侵限监测系统的早期失效期, 提高异物侵限监测系统的可靠性首要解决的问题即缩短系统的早期失效期, 改进的措施有:

在设备硬件及功能方面:

- (1) 在设备进场之前必须有严格的检测检验, 确保设备的质量过硬;
- (2) 在设备安装过程中必须严格依据相关的工艺要求进行施工。

在系统运营的供电、网络等环境方面:

应适当延长系统安装后的调试期, 在调试期对可能出现的问题进行测试并将之完善的解决, 确保在开通运营后不会发生同样的问题。在异物侵限监测系统运行趋于稳定后, 应对异物侵限监测系统所有设备进行全面的监测和记录, 定期的维护, 利于延长系统的稳定运行期, 并能在系统进入老化耗损期之前进行维修和更换, 降低因设备老化引起的设备故障报警和误报率。

6 结论和展望

高速铁路异物侵限监测系统安全级别高,一旦漏报将引起严重的事故,误报又会影响行车秩序,特别是误报率高对行车秩序的影响又极为严重,因而需要系统具有很高的可靠性。针对文章的分析结果,对提高高速铁路异物侵限监控系统可靠性可以采取以下原则:

(1) 使用预防性维修办法,在某个固定的时间期限内,不管欲替换的配件是否失效,均用一些新的配件来替换。

(2) 在保证冗余设计的合理性前提下,对可靠性相对较低的部件使用并联冗余配置,同时也就保证不降低系统的可用性。

(3) 对于可靠性低的关键环节特别关注,可以考虑用高级材料代替。对于可靠性高的环节在不致大幅降低可靠性的条件下可以适当降低材料费用。既能提高可靠性,又能满足系统成本要求。

(4) 保持系统模块化的结构,在能满足性能要求的前提下使系统尽量简单易懂,。既保证维修的方便性,又能增加系统的有效度。

对提高高速铁路异物侵限监控系统可靠性提出以下建议:

(1) 建议培养高速铁路异物侵限监控系统专业专职维护人员,以保障系统故障的及时准确处理,达到提高系统可靠性的要求。

(2) 建议对异物监测双电网连接点进行焊接,以提高其可靠性。

(3) 对异物监测双电网传感器及轨旁箱进行定期检修,若发现存在故障隐患,及时维修或者更换,以保障异物监测双电网传感器的可靠性。

(4) 建议提高 UPS 断电后的供电能力。配电箱、电源开关及 UPS 故障引起的故障较多,建议考虑更换可靠性更高的新产品。

(5) 对网络接口进行固定,减少因接口松动引起的网络通信故障。对网络设备定期检测,保障网络通信顺畅。

(6) 对于系统中由于软件引起的 BUG 问题,厂家应及时升级处理,从而提高系统的可靠性。

参考文献

- [1] 王彤, 史宏, 王前, 等. 客运专线异物侵限监控系统技术的研究[J]. 铁路计算机应用, 2009, 18(7): 8-10.
- [2] 中国高速铁路安全对策考察小组. 日本新干线安全对策[J]. 中国铁路, 1999, 11(12): 47—51.
- [3] 铁道第三勘察设计院. 铁建设[2004]15 号, 京沪高速铁路设计暂行规定 Is]. 北京: 中国铁道出版社, 2003—03 — 01.
- [4] 石耀忠. 京津城际轨道交通防灾安全监控系统简析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2008(4): 37—41.
- [5] 铁道第四勘察设计院. 新建铁路郑州至西安客运专线修改初步设计 JR]. 武汉: 铁道第四勘察设计院, 2005.
- [6] 王彤 史宏 刘承亮. 高速铁路防灾安全监控系统[C]. 第五届中国智能交通年会. 北京: 电子工业出版社, 2009: 25-27.
- [7] 苏晓声. 丹麦哥本哈根的地铁建设. 现代城市轨道交通, 2008(2): 59-61
- [8] 刘金山. 铁路落石塌方检测报警光线光栅系统应用方案研究[J]. 铁道勘测与设计, 2006(4): 13—17
- [9] 陈希孺. 概率论与数理统计[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2006:136-143.
- [10] 高惠璇.应用多元统计分析.北京:北京大学出版社,2005
- [11] 余祖俊. 微机监测与控制应用系统设计[M]. 北京: 北方交通大学出版社, 2001: 204
- [12] TB/T 2468-93 铁路信号产品可靠性要求评定方法. 中华人民共和国铁道

部, 1993.

[13] 薛毅. R 统计建模与 R 软件. 清华大学出版社, 2007.

[14] 茆诗松. 可靠性统计. 北京: 高教出版社. 2008

[15] 铁科技[2013] 35 号 高速铁路自然灾害及异物侵限监测系统总体技术方案
(暂行) [S]

[16] 铁建设 [2013] 44 号 高速铁路工程静态验收技术规范[S]

[17] 铁建设 [2013] 45 号 高速铁路工程动态验收技术规范[S]

[18] 铁总运[2013] 142 号 高速铁路自然灾害及异物侵限监测系统维护试行办法
[S]

[19] 运基信号 [2009] 719 号 信号系统与异物侵限监控系统接口技术条件[S]

[20] 铁运 [2010] 28 号 高速铁路防灾安全监控系统管理办法 (暂行) [S]

[21] Siegfried Mockel, Frank Scherer, Peter F. Schuster. Multi-Sensor Obstacle Detection
on Railway Tracks[D]. Wesbaden, Germany: Stein Bildverarbeitungssysteme. 2003

[22] Fernando J. Alvarez, J. Ureña, M. Mazo. Ultrasonic Sensor System for Detecting
Falling Objects on Railways[D]. Parma, Italy: University of Parma. 2004.6

[23] Juan Jesus Garcia, Jesús Ureña, Manuel Mazo, et al. Reliability improvement of
obstacle detection in an IR barrier[D]. Alcala de Henares. Madrid, SPAIN: University of
Alcala. 2006

[24] Juan Jesus Garcia, Jesus Ureña, Alvaro Hernández. Efficient Multisensory Barrier
for Obstacle Detection on Railways[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation
Systems, 11(10). 2010

[25] Arvind Hari Narayanan, Paul Brennan and Ralph Benjamin. Railway Level Crossing

- Obstruction Detection Using MIMO Radarp].London, United Kingdom:University College London.2011.10
- [26] Giovanni Garibotto, Marco Corvi, Carlo Cibelet.3D Moving Obstacle Detection System (3DMOS)[C] .Proceedings of the 12th International Conference on Image Analysis and Processing.2003
- [27] 程为.高速铁路异物侵限监控系统设计[D].武汉理工大学, 2010.
- [28] 何茜.基于双目立体视觉的高速铁路异物侵限监测系统研究[D].北京交通大学.2011
- [29] 韩志文.基于立体视觉的地铁异物侵限分析[D].北京交通大学.2012
- [30] 陈根重.基于单目视觉的轨道交通异物侵限检测方法研究[D].北京交通大学.2013
- [31] 王守宝.铁路高速客运专线运输组织及运行图仿真研究[D].兰州交通大学.2008
- [32] 王洋.京沪高速铁路跨越或并行既有铁路施工异物侵限报警技术研究[D].北京交通大学.2010
- [33] 徐超.高速铁路综合防灾安全监控系统的研究[D].中国铁道科学研究院.2010
- [34] 夏阳.客运专线运输组织相关问题研究[D].西南交通大学.2005
- [35] 胡跃进.石太客运专线建设及运输组织若干问题研究[D].西南交通大学.2006
- [36] 杨玲玲.铁路异物侵限监控技术方案及监控系统危险因素分析研究[D].西南交通大学.2014

附录F 作者简历及科研成果清单表格样式

一、作者简历 江信学 男 1980 年 12 月生 福建建瓯人 2003 年毕业于吉林大学通信工程学院，后就职于南昌通信段

二、攻读学位期间科研成果

一、参加科研项目					
序号	项目名称	项目来源	项目下达编号	本人承担的任务	
二、发表学术论文					
序号	发表论文名称	发表时间	发表刊物、会议名称	ISSN 刊物号或 SCI、EI、ISTP 检索号	作者排名
1	铁路防灾专用配电箱设计分析	2015年8月	通信电源技术	ISSN 1009-3664	
三、获得各类科技奖项					
序号	获奖项目	获奖等级	获奖时间	证书号/专利号	颁奖部门

(说明：此表如一页未填完可续页)

附录 G 学位论文数据集页

作者姓名	江信学	学号	T2013034	
关键词 (3 个)	密级 (保密、公开)	中图分类号	UDC	论文选题来源 (国家级、省部级、自选)
防灾 异物侵限 可靠性	公开	U215.8	621	自选
学位授予单位	学位授予单位代码	学位类别	学位级别	
中国铁道科学 研究院	83801	专业学位	工程硕士	
前置学位授予 单位	前置学位授予时间	前置学位证书编号	前置学位授予专业	
论文中文题目		论文英文题名		论文 语种
高速铁路异物侵限监测系统可靠性研究		Study on the reliability of the foreign invasion detection system for high speed railway		中文
培养单位名称	中国铁道科学研究院	培养单位地址	北京市海淀区大柳树路 2 号	
培养单位代码	83801	邮编	100081	
导师姓名	史宏	导师职称	研究员	
答辩委员会主 席	熊杰	论文评阅人		
答辩委员会成 员	熊杰 王彤 车德慧 赵伯明 戴贤春	王彤 赵伯明		
电子版论文提 交格式	推荐格式: MSword 或 pdf			
论文总页数	67			