

勇于探索 追求卓越

——上海地铁运营有限公司科技大会 (2006)

论文集

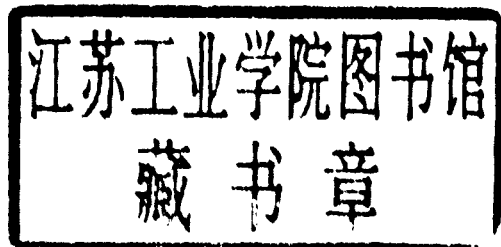
上海地铁运营有限公司 编

上海交通大学出版社

勇于探索, 追求卓越

——上海地铁运营有限公司
科技大会(2006)论文集

上海地铁运营有限公司 编



上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书为上海地铁运营有限公司科技大会(2006)论文集,共收编论文 113 篇。内容分为运营策略与综合管理、运营管理、运营安全管理、票务管理、车辆技术、供电技术、信号技术、通信技术、工务与监护技术、机电设备技术等 10 个大类。集中体现了上海轨道交通事业发展过程中的管理创新和技术创新成果,展示了上海地铁运营有限公司广大员工追求卓越、勇于探索的精神。

图书在版编目(CIP)数据

勇于探索,追求卓越.上海地铁运营有限公司
科技大会(2006)论文集/上海地铁运营有限公司编.
—上海:上海交通大学出版社,2006
ISBN 7-313-04552-2

I. 勇... II. 上... III. 地下铁道—铁路工程—上海市—学术会议—文集 IV. U231-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 099149 号

勇于探索,追求卓越

——上海地铁运营有限公司科技(2006)论文集

上海地铁运营有限公司 编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:张天蔚

常熟市华通印刷有限公司印刷 全国新华书店经销

开本:890mm×1240mm 1/16 印张:29.5 字数:920 千字

2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月第 1 次印刷

印数:1—750

ISBN 7-313-04552-2/U·137 定价:128.00 元

版权所有 侵权必究

上海地铁建设近十几年来，高速度地建成并投入运行了上海地铁一、二、三、四、五号线，^对解决上海交通问题，发挥了重要作用。但由于历史原因，上海地铁建设比欧美等发达国家晚了一百四十余年，上海地铁开始运行以来只有十多年时间，对于地铁这个庞大而复杂的、高技术含量的系统工程，还需要在长期运行中不断地发现问题解决问题以求完善和提高。上海地铁运营公司各专业的管理和技术人员悉心研究了上海地铁在初期运行中遇到的实际问题，在运营策略与综合管理、运营安全管理、票务管理、车辆技术、供电技术、信号技术、通信技术、工务与监护技术与机电设备技术等各方面撰写了百余篇论文出版了论文集。这些论文学习运用各有关专业的先进技术理论，针对地铁运营中的实际问题进行了分析研究，提出处理与改进意见。这里积累了作者们在地铁运营管理工作中的^{上海}一些心得体会和实际经验。这不仅有利于提高地铁运营管理工作水平，对今后地铁设计施工建设亦有参考价值。由于上海地铁运营还处于初期阶段，高级的地铁网络化运行尚待形成，论文集中各种对分析和处理问题的见解不免有偏颇不足之处，望地铁界的专家学者惠予指正。

刘建航

前 言

《勇于探索,追求卓越——上海地铁运营有限公司科技大会(2006)论文集》在各方的共同努力下正式出版了。这本论文集凝聚了公司员工多年来在轨道交通运营管理上的心血,是广大专业技术人员和管理人员智慧的结晶。

这本论文集共收录了 113 篇论文,内涵丰富,紧贴实际,具有鲜明的特点:一是作者范围广,既有公司各级管理人员,又有运营一线的专业技术人员;二是专业面宽,涵盖了车辆、供电、通信、信号等轨道交通运营的各个专业领域,同时也包含了网络化运营等综合管理类研究;三是紧密结合轨道交通运营管理的实践。汇集的这些论文是公司专业技术人员和管理人员对实践经验的总结和积累,对运营管理中的热点和难点问题进行攻关的体会和心得。

从这本论文集中,我们可以看到,上海地铁运营有限公司传承了开创上海地铁从无到有有新纪元的历史,在运营管理中不断前进发展的印记;我们可以看到,公司始终贯彻“科学技术是第一生产力”的思想,坚持技术引进与自主创新相结合,积极开展科研攻关,努力破解技术难题,为轨道交通安全运营提供强有力的技术支撑;我们可以看到,广大专业技术人员和管理人员不畏艰难、敢于突破,勇于创新、精益求精的可贵精神。相信这本论文集的出版,将激励我们继往开来,不断提高科技对轨道交通运营管理的贡献率;同时,也希望这本论文集能为轨道交通的同行提供有益的参考和借鉴。

面对世界轨道交通技术日新月异的发展,面对上海城市轨道交通网络化运营的要求,我们要提升站位,贯彻“自主创新,重点跨越,支撑发展,引领未来”的科技工作指导方针,按照公司发展战略规划和科技创新规划纲要,坚持以科技进步为先导,采用“机制先行、文化倡导、全员参与、加强整合”的基本策略,充分发挥科技进步对提升网络化运营水平和企业管理绩效的推动力,努力打造世界一流的地铁运营商!



2006 年 8 月

目 录

运营策略与综合管理

上海轨道交通安全运营若干关键技术研究	周 淮 等	(3)
上海轨道交通网络化运营管理研究	周 淮 等	(11)
上海轨道交通运营绩效评价研究	叶 彤 等	(16)
月度经济责任制考核体系的建立和应用	叶 彤 张少勤	(21)
巴黎 RER 线对上海轨道交通建设的启示	邵伟中	(26)
上海轨道交通专营权经济与法律问题研究	唐民皓 等	(30)
乘客心理研究与运营服务质量提高	朱小瑶	(34)
3 号线车站机电设备社会化维修的管理机制	吴云文	(40)
2 号线运输能力的提高措施分析	苗秋云 田益峰	(43)
城市轨道交通后勤保障模式研究	李恽诤	(47)
城市轨道交通计量管理初探	丁建中 等	(52)

运营管理

上海轨道交通运营客流分析	周 淮 王如路	(57)
1 号线上海南站改造工程运营组织管理	周庆灏 等	(66)
城轨交通列车运行图计算机编制的键问题研究	朱效洁 等	(71)
运用“CSI”持续提高地铁运营服务质量的实践	朱小瑶	(76)
灰色预测法在城市轨道客流预测中的应用	吴 强	(80)
轨道交通网络化运营客流分析方法	赵宇军	(84)
断面客流在轨道交通运营中的统计方法	瞿 斌	(87)
上海轨道交通列车司机值乘方案优化	殷 峻 沈世舫	(91)
上海轨道交通调度生产管理信息系统建设	艾文伟	(95)
上海轨道交通实现无人驾驶的可行性分析与对策	蔡 于	(98)
上海轨道交通换乘系统初步研究	沈 巍	(101)

运营安全

基于 PHA 和 Petri 网的城市轨道交通安全性分析	周 淮 赵惠祥	(107)
城市轨道交通事故故障应急处置相关问题研究	邵伟中 等	(111)
城市轨道交通系统运营安全和可靠性问题分析	朱效洁 等	(115)
城市轨道交通系统的安全性与其可靠性	余世昌 赵惠祥	(118)
城市轨道交通系统可靠性指标及其计算	余世昌 赵惠祥	(122)

上海轨道交通共线运营非正常事件处置研究	殷峻	(125)
上海轨道交通网络防灾管理平台建设方案	郭子欢	(128)
SACEM 故障时的行车安全策略	崔勇	(133)

票务管理

AFC 运营系统“一票通”改造工程的组织与实施	邵伟中 王子强	(139)
上海城市轨道交通票价票制研究	朱效洁	(147)
上海轨道交通售检票系统技术接口一致性研究	王子强	(151)
城市轨道交通智能卡收费管理网络系统研究	殷锡金	(160)
AFC 系统无人售票模式探讨	芮立群	(165)
AFC 中央系统维护模式研究	周晓	(169)
AFC 网络构架形式及安全性	翁春慧	(174)
上海轨道交通“一票通”AFC 系统软件接口设计	李文祥	(178)
非接触式 IC 卡在地铁自动售检票系统中的应用及其发展趋势	张嘉岭	(182)

车辆技术

采用“均衡修”提升列车可靠性及投运率研究	周俊龙 程祖国	(187)
DC01 型电动列车辅助逆变器启动失效分析及其解决措施	余强等	(191)
DC01 型电动列车辅助逆变器控制器及应急启动功能的改善	陈鞍龙等	(194)
上海地铁车辆客室车门可靠性技术研究	朱小娟等	(198)
1 号线车辆空调系统故障分析与改进	浦汉亮	(204)
MSP43F133 在直流列车主控制器及参考值转换器试验台上的应用	陆彬	(209)
地铁列车客室车门故障的 QC 分析	王建兵等	(212)
地铁车辆客室车门故障原因及整改措施	王建兵等	(215)
DC01 型电动列车 TCU 及其插件板微机检测装置	钱存元等	(219)
数字信号处理器在 3 号线列车安全检测系统中的应用	王方程	(223)
地铁列车气制动系统分析与故障诊断	吴文兴	(227)
3 号线地铁列车安全保护装置	金浩 穆华东	(232)
地铁车辆转向架构架的强度试验和分析	王建兵等	(235)
上海地铁车辆人字弹簧的国产化研制及其应用	王生华	(238)
气动车门增加自动检测功能设计	何伟荣	(241)
地铁车厢乘车站名动态显示的设计和应用	何伟荣	(244)
平轮在线自动检测方法综述	王方程	(246)
上海地铁车辆运行与检修的质量管理	宓群恩	(249)
地铁列车救援运载小车的设计	董辉 汪伟	(253)
AC01/AC02 型电动列车辅助逆变器测试台构建	石璇 沈涛	(257)
AC02 型列车辅助逆变器三相交流输出过压监控故障分析	顾耀君	(261)
电动列车故障应急处置手册的编制	彭友坤 杜晓红	(265)

供电技术

上海轨道交通直流电力电缆的故障统计与分析	达世鹏 等	(271)
局部放电试验在地铁整流变压器中的应用	伊桂玲 达世鹏	(274)
基于 PLC 的变电站自动化系统设计	潘志群	(277)
1 号线 SCADA 系统通道改造	于 伟	(280)
防止 33kV GIS 组合电器误操作的技术措施	达世鹏	(284)
3 号线电力自动化系统中 PLC“闭锁”的解锁方案	黄志明	(287)
电压互感器故障分析及解决方案	李跃进	(290)
变频串联谐振耐压试验原理分析	史文钊	(295)
无人值守与远动复位的试验研究	黄志明	(298)
影响地铁迷流因素分析验证及其防护	宋政严 等	(301)
补偿电容器谐波危害及其对策	程 锦	(306)
馈线绝缘子断裂分析及对策	蒋义华	(309)
轨道交通电力系统接管投运程序的规范化	曹 莉	(312)
2 号线节约用电技术方案	陶章荣	(315)

信号技术

直流电力牵引中不平衡电流及谐波对地铁信号系统的影响	朱 宏 王 伟	(321)
轨道交通牵引回流方式对轨道电路的影响分析	郭玉臣 等	(324)
2 号线岔区轨道电路分析	刘金叶	(327)
3 号线轨道电路分析	张 郁 黄佩伟	(329)
车载信号系统制动保证单元的原理及调整方法	徐宏基	(334)
列车自动监控系统的安全维护	关秋雁	(336)

通信技术

2 号线车地通信(TWC)系统分析	余 辉	(341)
上海城市轨道交通通信传输网组网探讨	阮 文	(344)
上海地铁运营远程图像监控系统方案设计与应用	严婵琳	(347)
折射路由法在光分组交换网络中的运用	戴翌清 唐棣芳	(351)
1 号线 SDH 传输系统网管及故障的分析与处理	柏伟萍	(355)
上海轨道交通光传输设备的故障诊断与处理	王 珣	(358)
1、2 号线无线通信系统的噪声干扰问题及抗干扰措施	翁迅骞	(361)
MPEG-2 编码技术在视频监控中的应用	樊 盈	(364)

工务与监护

上海地铁监护实践	王如路 刘建航	(369)
上海地铁长期运营中纵向变形的监测与研究	王如路 刘建航	(376)
东方路下立交工程施工期间的地铁监护	王如路 于 斌	(381)

地铁运营隧道上方深基坑开挖卸载施工的监控	王如路 刘 海	(385)
4 号线盾构隧道穿越地铁运营线路的监护工程	王如路 等	(391)
轨面不平顺调整方法研究与应用	钱一新	(398)
地下结构变形缝渗漏水处理方法	朱 妍	(402)
盾构法隧道道床与管片间加固补强技术研究	朱 妍	(405)
小半径曲线钢轨的磨耗控制	张津宁	(408)
无缝线路应力放散及其调整方法	周 亮	(410)
变形缝止水带施工工艺改进措施	李 仑	(413)
2 号线中山公园车站变形缝渗漏水处理方法	高 翔	(415)
地铁工务网络报修系统设计与实现	张俊峰	(418)
软土地铁运营隧道病害现状及成因分析	叶耀东	(422)

机电设备

地铁车站采用冰蓄冷中央空调方案的可行性研究	黄建林 等	(429)
地铁车站冷水机组自动化控制应用	王季秋	(432)
地铁防火阀联动控制可靠性分析及其改进措施	黄建林	(435)
1 号线上体馆车站南环控电控室继电器柜改造	冯惠群	(438)
1 号线车站机电设备自控系统中文化图形软件的开发	于庆庆	(441)
1 号线废水泵站的技术改造	董必凡	(444)
区间隧道水泵控制方式的改进	严祖安	(447)
2 号线陆家嘴等车站 AFC 设备布局改造	苗秋云 张 颀	(451)
地铁降压站远程监测系统建设方案	李 祝 周科达	(454)
地铁隧道的通风排烟问题及其解决措施	徐景星	(457)

运营策略与综合管理

上海轨道交通安全运营若干关键技术研究

周 淮¹,江秀臣²,赵惠祥³,邵伟中¹,
周俊龙¹,徐瑞华³,朱小娟¹,余世昌¹

(1. 上海地铁运营有限公司, 2. 上海交通大学, 3. 同济大学)

摘 要: 针对上海轨道交通运营安全性与可靠性关键技术方面存在的问题,按总体、预防、预警、应急处置等 4 个技术体系开展了理论与应用研究。总体研究包括:城市轨道交通运营安全性与可靠性框架及其指标体系构建,系统运营安全性与可靠性分析。预防研究包括:列车客室车门系统安全及可靠性技术研究与应用,多项车门技术改进与优化措施研究及其实施;新型控制器研制,分级启动和专用 DC/DC 变换器研制;轨道交通电力系统调度典型操作票智能专家系统研制。预警研究包括:牵引变电站直流 1 500 V 馈出电缆在线监测系统的智能化在线监测设备研制,高频轨道电路参数测试仪研制。应急处置研究包括:轨道交通事故故障的产生机理,事故故障信息管理系统和应急预案管理系统开发研制。

关键词: 轨道交通,运营,安全性,可靠性,关键技术

近年来,轨道交通已成为上海市公共交通体系中不可或缺的重要组成部分。与此同时,轨道交通的运营安全性和可靠性也日益成为社会关注的焦点。因此,通过科技创新与实施来提高和确保上海轨道交通网络和相关系统的运营安全性和可靠性,是运营管理面临的一项重大而又紧迫的历史使命。上海市科委贯彻“以企业为主体”、“应用为先导”的原则,将“上海轨道交通运营安全”列入了 2003 年上海市重大科技攻关计划。

本文针对目前我国城市轨道交通运营安全性与可靠性方面缺乏理论层面上的系统研究状况,开展事故故障产生机理及其影响传播规律、系统安全性与可靠性分析评估方法、应急处置机制等方面的研究;针对上海轨道交通列车车门与逆变器设计缺陷、电力调度操作与电缆状态监测、轨道电路工作状态检测等运营安全性与可靠性关键问题,开展预防技术、预警技术和应急处置技术等方面的技术研究和成果实施;针对运营安全性与可靠性管理需求,开发研制了系统安全性与可靠性分析与评估、事故和故障信息管理、事故和故障处置预案管理等专用软件系统。项目技术路线如图 1 所示。

1 总体研究

1.1 运营安全性与可靠性框架

采用安全系统工程和系统可靠性工程的观点,对城市轨道交通系统的运营安全性工程及其研究和运营可靠性工程及其研究所包含的内容进行归纳分析,构建了运营安全性框架和运营可靠性框架,如图 1 和图 2 所示。

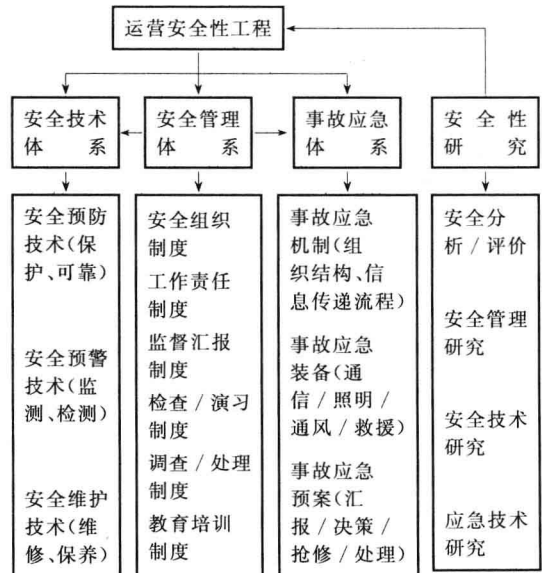


图 1 运营安全性框架图

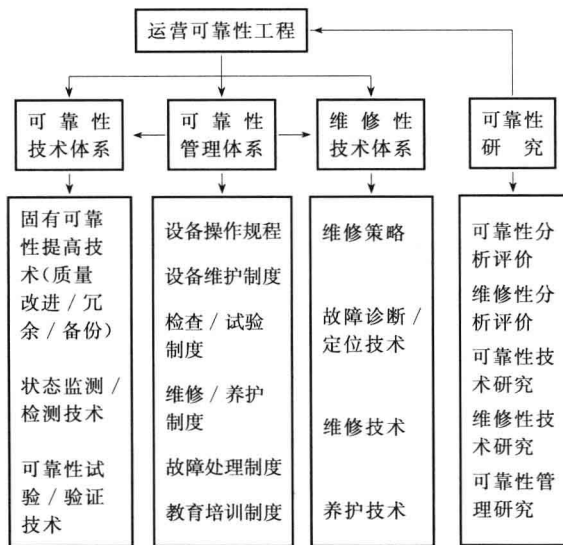


图2 运营可靠性框图

1.2 运营安全性分析

根据对上海轨道交通的现场调研和事故记录统计资料,进行了危险物源、危险能源、危险功能源3个危险因素分析,确定了11类共62种潜在的危险状态,得出了系统潜在危险状态清单。对各种潜在危险状态按系统、子系统、子系统界面、操作与支持4个专项分析进行初步危险分析(PHA),确定出每项潜在危险状态的引发原因、触发事件、导致事故的严重级别、危险状态发生频率、触发事件发生概率、事故发生频率、危险等级、预防与改进措施等内容,最终形成按危险等级由高到低进行排列的安全评价项目列表。列表中排列靠前的潜在危险状态需要在安全管理和项目改造中特别给予关注。分析结果显示,危险等级为B级的潜在事故有3项,C级的有31项,D级的有14项。

1.3 运营可靠性分析

根据上海轨道交通设施的功能和结构,将轨道交通系统划分为系统、子系统、设备、部件、元件5个层次。以子系统为分析对象,部件为基本单元,根据现场调研和故障记录统计资料,分别对车辆、通号、供电、线路、车站5个子系统进行了故障模式、影响及危害性定性分析(FMEA)和定量分析(CA),得出各基本单元的各种潜在单点故障模式、故障原因、故障对局部/上层/系统的影响、故障发现方法、应急与改进措施、故障危害严重度,以及单元故障率、故障模式频数比、故障影响概率、故障模式危害度、单元危害度等内容。分析共确定了489种潜在的故障模式,并以此确定了反映各基本单元危害严重度和危害度的危害性矩阵。

1.4 运营可靠性指标体系

以“保障乘客准时到达目的地”为运营可靠性基本要求,定义运营可靠性为:系统在规定的条件下和规定的时间内,完成列车按运行图准时到达各站的能力;运营可靠度定义 $R(t)$ 为列车按运行图准时到达各站的概率,即 $R(t) = P(T \geq t)$ 。另外,对运营故障间隔时间 T 、运营故障分布函数 $F(t)$ 、运营故障、运营故障概率密度 $f(t) = dF(t)/dt$ 、运营故障率 $\lambda(t) = f(t)/R(t)$ 、平均运营故障间隔时间 $MTBF = \int t f(t) dt$ 、运营恢复性、运营恢复度 $M(t) = P(Q < t)$ 、运营故障恢复率 $\mu(t)$ 、运营故障时间 Q 、平均运营故障时间 $MTTR = \int t \mu(t) dt$ 等指标给出了相应的定义。

根据以上定义可确定系统运营状态变化过程符合可修系统的马尔可夫模型。根据马尔可夫状态转移理论,系统状态转移矩阵方程为:

$$\begin{bmatrix} P'_0(t) \\ P'_1(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\lambda & \mu \\ \lambda & -\mu \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_0(t) \\ P_1(t) \end{bmatrix},$$

其解 $P_0(t) = \mu/(\mu + \lambda) + \exp[-(\mu + \lambda)t] \lambda/(\mu + \lambda)$ 定义为系统动态运营利用率 $A(t)$,稳态解 $P_0 = \mu/(\mu + \lambda)$ 定义为系统稳态运营利用率 A ,即:

$$A = \mu/(\mu + \lambda) = MTBF/(MTBF + MTTR)$$

$$MTBF = 1/\lambda = (T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_{N+1})/(N+1)$$

$$MTTR = 1/\mu = (Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_N)/N$$

运营利用率综合了通常用的“正点率”和“兑现率”所表达的含义。根据上海地铁运营有限公司运行月度报告,上海轨道交通1、2、3号线2004年记录的运营故障次数及恢复时间,得出:1号线 $A_1 = 0.997$,2号线 $A_2 = 0.998$,3号线 $A_3 = 0.998$ 。

1.5 分析评估软件研制

软件基于PHA, FMECA及故障树分析(FTA)原理,采用SQL SERVER 2000作为数据库系统,VB 6.0和VC++6.0编程,在Windows2000中文平台上进行编制。软件采用功能模块化程序结构,由信息管理、安全性分析评估、可靠性分析评估、故障树分析等4大功能模块组成。软件采用人机对话界面对信息进行管理,通过控制菜单和图标来实现系统的功能操作,图形化和数字化显示分析或评估结果。

2 客室车门系统研究

2.1 车门可靠性分析

针对上海轨道交通系统现有列车的3种不同类

型客室车门(内藏门、塞拉门和外挂门)所存在的缺陷和运行中出现的故障进行了统计分析,并采用FMEA方法和FTA方法进行了可靠性分析。通过对车门各组成单元潜在的各种故障模式及其对车门系统功能的影响进行分析,寻找导致车门故障发

生的原因和原因组合,识别所有潜在故障模式,并把每一个故障模式按其危害严重程度进行分类,提出了可实现的改进措施、改进运行和维修方案,以提高车门可靠性。其中所建立的塞拉门运营故障树总图如图3所示。

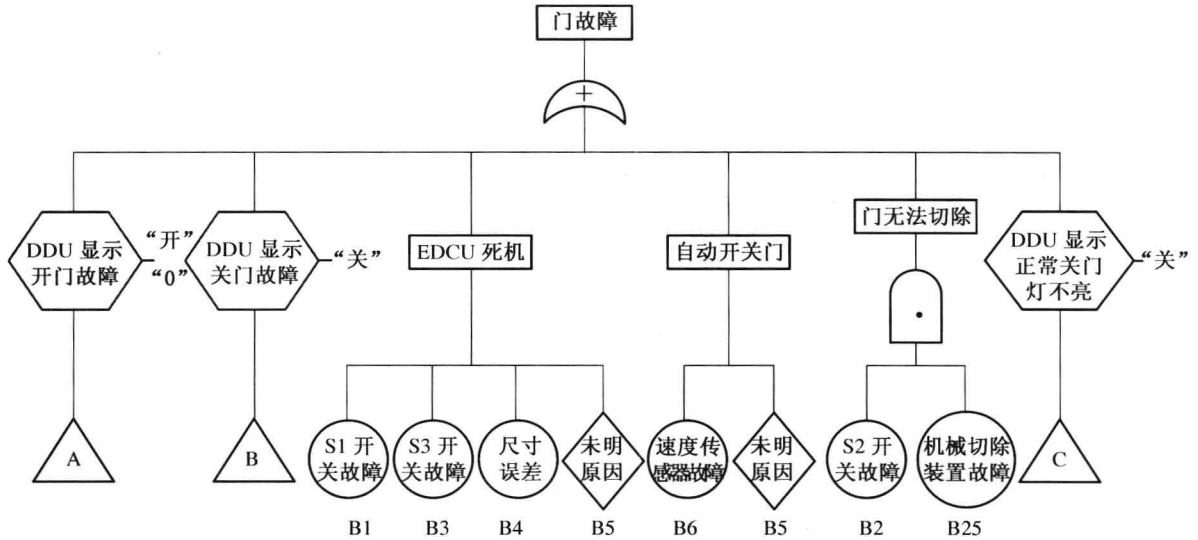


图3 塞拉门故障树总图

由图3可见,发生车门故障任一最小割集均会导致顶事件车门故障的发生,因此以最小割集的事件组合作为改进设计和维修方案制定的依据。

2.2 车门设计技术改进与优化

通过以上可靠性分析,对所发现的3种车门存在的故障模式及其组合,提出了相应的改造措施。

(1) 塞拉门改造措施。针对车门结构薄弱的零部件结构进行了改造。对车门关闭功能如障碍物探测功能和关门夹紧力大小等进行了优化。规范了车门尺寸的调整方法,改善了车门驱动系统的工作状况。对车门电路进行了整改,实现了单扇门再关门功能。

另外,采取了增加门控旁路开关的措施。在AC03型列车的试运营过程中,多次发生因客室车门故障而又无法判断故障车门的位置和原因,也曾发生过对故障车门无法实施切除,这些均导致了牵引系统自动封闭,使得列车无法自行退出运营,从而必须要其他列车进行救援的事故,给正线的运营带来很大影响。根据现有其他列车的运营经验,司机室内设有车门“门控旁路开关”,可以实现对客室车门的旁路,从而避免列车牵引系统的封闭。

(2) 内藏门改造措施。内藏门改造措施主要有对驱动气缸活塞的零部件进行技术改造,以解决伸缩管强度不够的缺陷。对护指橡胶的硬度和刚度进行分析和试验,提出合理的参数值以满足车门检

测障碍物功能和防夹伤功能。通过对车门节流阀进行调整解决了车门解锁气缸的故障。针对门复位弹簧销、开关门止挡和门钩限位销的结构进行技术改造以增加强度。分析与研究S1和S2限位开关故障的原因并全面实施改造。在车门开门电路中并联加装开关元件,以提高开/关门功能的可靠性。对车门控制的中间继电器的不同供货商的相同型号进行研究和试验,以提高继电器固有高可靠性。采用冗余措施,并联安装继电器或并联连接继电器的空余出头,以提高车门控制系统的可靠性。

(3) 外挂门改造措施。分析了客室车门的结构和控制原理,针对客室车门产生的故障现象,编写司机现场排除故障的应急处理办法。对车门系统的密封性进行研究和试验,以保证客室的压力要求,提高在隧道内运营的舒适性。调整车门控制软件的相关参数,如减小车门在障碍物探测后再次打开的宽度以及缩短车门打开状态的停顿时间,以适应上海大客流的实际运营需求。

3 列车辅助逆变器启动失效分析及其新型控制器研制

通过理论及试验分析,研究了DC01型电动列车逆变器启动失效机理,研制了分级启动与启动专用DC/DC变换器,改造与优化了逆变器控制器。

课题研制过程分为三个阶段: 试验分析阶段、地面与装车调试阶段以及控制器改造与优化阶段。

3.1 试验分析阶段

为查找蓄电池电压降落造成车辆逆变器启动失效的原因, 首先在实验室中模拟蓄电池电压跌落时启动逆变器的各种工况。通过模拟各种工况下的启动试验, 记录了启动正常与启动失效时的各种波形与数据。通过失效机理分析得出结论:

(1) 由于蓄电池电压较低, 在启动过程中斩波器输出的直流电压 U_{DX} 上升时, 控制电源电压 U_{110} 也按相同的规律上升, 当 U_{110} 大于蓄电池端电压 U_B 时, 控制电源输出电流 I_{110} 冲击较大而导致启动失效。

(2) 从故障代码 F161、F105 和 F201 等来看, 这些故障的原因是蓄电池电压跌落过大, 或是对控制电源的干扰, 或是由不明原因造成的误触发等引起的。

分析结果表明, 蓄电池电压较低时逆变器启动失效的原因并不是一个单纯因素造成的, 而是控制电压、控制电流及相应的干扰等综合因素造成的。

3.2 改造与装车调试阶段

从上述分析可以看出失效的原因大致有 3 个方面: ① 干扰, ② 控制电源电流冲击, ③ 蓄电池电压降落大。为此, 从控制电路出发, 采取了以下改造措施来解决启动逆变器失效问题: ① 采用抑制干扰措施, 即在 110VDC 控制电源输出端加装滤波电路; ② 在控制器的控制电路板中, 对原来设定的参数值进行调整; ③ 研制和加装车辆逆变器启动专用 DC/DC 变换器。

加装启动专用 DC/DC 变换器的目的是当蓄电池电压跌落较大时, 经 DC/DC 变换器使其输出电压仍能保证逆变器正常启动的控制电压值。该变换器装于 112# 电动列车的两个单元 A 车的 AB 箱中。经过几个月的跟踪试验检查, 该变换器工作正常, 对该列车通过多次蓄电池应急放电试验后, 辅助逆变器均能正常启动。

DC01 型电动列车安装该启动专用 DC/DC 变换器后, 可以不用应急电池启动, 因而不仅解决了蓄电池电压跌落带来的启动问题, 而且还减轻了应急电池的负担, 甚至可以不用或取代应急电池, 从而带来可观的节约效益。

3.3 控制器的改造与优化阶段

在研制辅助逆变器的新型控制器中, 保留了上述的研究成果, 同时采用分级启动的原理, 同样解决了目前辅助逆变器存在的当蓄电池电压跌落而

启动失效加上采用应急电池启动又不能实现正常启动的严重问题。考虑到原 GTO 辅助逆变器中的这类规格的 GTO 器件目前已淘汰, 采用新一代性能更好的 IGBT 模块替代, 所研制的新型控制器对 GTO 和 IGBT 辅助逆变器是通用的。

4 电力调度典型操作票系统

电力调度典型操作票系统为保障电力系统操作安全提供了一个智能型操作票生成专家系统。该系统通过采集电力系统的设备运行状态, 针对现有系统的现状, 结合本系统的操作条件, 在操作之前自动形成满足工作条件的操作票。调度员可以根据这个操作票进行发令, 从而保证了操作发令的正确性。此外, 该套系统还具有操作票管理打印、操作权限和操作规程的管理、操作时一次图形的生成和显示、实时数据采集等功能, 同时留有与其他设备的通信接口, 可满足电力调度多方面的需求。

4.1 系统结构设置与功能特点

电力调度典型操作票系统根据不同的使用要求采用了不同的编程方案, 既有客户机/服务器方式, 也有浏览器/服务器方式。所有数据库及核心处理程序均集中在服务器端。系统功能框图如图 4 所示。

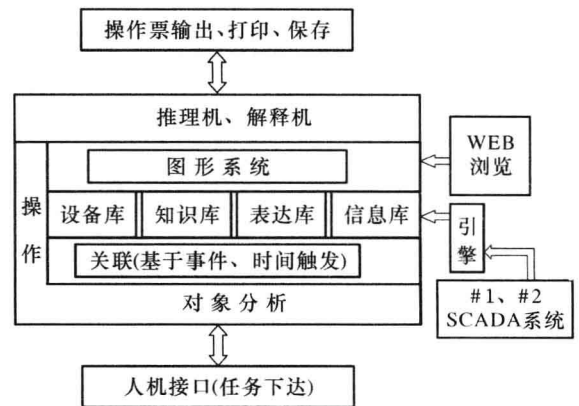


图 4 电力调度典型操作票系统功能框图

系统可以实现以下方面的功能: ① 电力系统图生成, 为 Client/Server 程序, 用于提供绘制地铁电力系统图的功能; ② 典型操作票开票, 为 Client/Server 程序, 用于根据生成的电力系统图进行电力典型操作票开票和管理; ③ 临时操作票开票, 为 Client/Server 程序, 用于值班电工生成临时使用的电力操作票; ④ 电力系统图浏览, 为 Web 客户端程序, 用于显示上海轨道交通 1 号线主变、各牵引站、降压站的供电系统图; ⑤ 操作票培训, 为 Web 客户端程序, 用于典型操作票的仿真培训; ⑥ 操作票考

试,为 Web 客户端程序,用于典型操作票的仿真考试;⑦ 调度日志,为 Web 客户端程序,用于电力调度的日志输入、修改、查询以及交接班文档的输入、修改、查询等调度信息管理;⑧ 信息查询,用于公用文档、操作票规程、考试记录及临时操作票等的查询;⑨ 系统配置,用于管理员进行用户管理、试题管理、准考证管理等系统功能设置;⑩ 实时采集,用于从现场控制系统中采集所有设备的状态,并写入典型操作票数据库,提供其他功能的调用和显示。为实现上述功能,系统对进入的用户进行权限分级,不同用户将使用不同的功能项。系统管理员根据实际要求配置相应的用户级别。

4.2 系统功能模块

系统由以下功能模块组成:电力系统图生成系统、典型操作票开票系统、临时操作票开票系统、WEB 网页设计、电力系统图浏览、操作票培训和考试、调度日志、信息查询、系统设置、实时采集系统。

(1) 电力系统图生成模块提供了生成电力系统图的方便工具。通过选取工具菜单上的各种设备并拖至系统图相应位置,即完成该设备的绘制。对每个设备,可以直接在系统图上改变初始状态,并可以修改许多相关的设置。

(2) 典型操作票开票系统是整个系统的核心,采用的开票方式不同于手工开票模式,其核心是基于图形化的操作。用户完全通过模拟电力设备的操作来实现开票,期间仅需要对某些辅助操作进行一些输入和修改即可完成整个开票过程,操作简便直观,不易出错。

(3) 临时操作票的开票系统与典型操作票开票系统类似,是为了让值班员开出一些典型操作票中没有包含的一些操作内容,供实际运行时使用。与典型操作票开票系统不同的是,临时操作票开出的票保存在系统特别设计的表中,供当班操作员和系统管理员调用。

(4) WEB 网页设计是电力操作票的基础工作,如电力系统图绘制、操作票和临时操作票管理等。面向管理员任务的功能采用 Clinet/Server 编程方式,面向值班员任务的功能则采用 Web/Server 的编程方法,以方便用户使用。为此,系统大量采用了 ASP 和 JAVA 技术,并采用 ActiveX 控件,以满足复杂的操作控制和处理。

(5) 电力系统图浏览功能用于值班员或其他科室人员动态了解电力系统状态,以便对其进行分析。电力系统图浏览控件采用 ActiveX 控件,可以

直接打开系统图绘制模块所生成的全部系统图,并根据实时系统采集的设备状态数据,每 15 秒刷新一次系统画面,基本上可以做到与实际系统同步。

(6) 操作票培训和考试功能用于地铁值班电工仿真学习典型电力操作票。系统中培训过和考试采用的是同一个 ActiveX 控件,系统会自动根据输入参数的情况选择培训或考试的功能。目前采用的方案是所有培训工作通过 VIP 用户进入,对培训的具体内容实时判断操作的正确或错误,并在错误时给出正确的操作步骤。对考试工作,先由系统管理员禁用 VIP 用户,再设置考题和准考证号,然后参加考试的人员分别用自己的用户进入系统参加考试。系统对考试的每一步操作都进行记录,同样也对操作过程的对错进行判断,与培训不同的是,考试过程不提示正确的步骤。

(7) 调度日志功能用于实现调度内容和交接班记录的计算机管理。调度日志功能根据当前日期和时间,以及系统中设定的排班表,自动地计算当前的班号和值号,并对登陆的用户进行分析,只有当班人员具有日志和交接班记录的填写、修改功能。

(8) 信息查询系统属于标准的 WEB 应用,其功能较为简单。主要包括公用文档查询、单一操作票规程查询、全部规程查询、临时操作票查询、考试记录查询等。这里面主要是对具体的功能按照用户级别进行了限制。对公用文档的查询,采用了独立的界面,并调用 Acrobat 程序显示文档。

(9) 系统设置功能用于用户管理,并对系统的一些应用作初始化设置,主要包含对操作票考试的初始化设置工作,即进行试题设置和准考证设置。

(10) 实时采集系统用于系统从控制系统中读取模拟数据和开关数据,以便系统能够实时反映地铁电力设备的真实情况。电力系统图在绘制时需要对所有动态设备和模拟数据进行选点配置,以便在实时模式下,系统会根据配置表刷新数据或状态。

5 直流 1 500 V 馈出电缆在线监测系统研究

5.1 局部放电评估电缆绝缘状态技术

由于牵引变电站直流 1 500 V 馈出电缆的电压等级相对较低,因此在研究局放信号的检测技术基础上重点研究了该类电缆发生放电的条件,局部放电信号特性与直流电缆绝缘状态的关系等相关技术,特别研究了接近火花放电的局部放电特征并建立了专家系统。

5.2 直流泄漏电流评估电缆绝缘状态技术

当在直流馈出电缆上施加直流电压时,它与大地之间存在一个电场。由于介质的绝缘性能总是相对的,因而在电场的作用下电荷可穿过电缆的绝缘层,形成漏电流。当漏电流增大时,电缆的绝缘电阻下降、绝缘性能降低,因此可以通过监测直流电缆的漏电流来分析电缆的绝缘性能。在解决非接触弱电流信号的测量技术的基础上,通过对实验室老化模型的研究,探索了直流泄漏电流数值大小与电缆绝缘状态的关系,并给出了相应判据。

5.3 监测系统工作原理

监测系统通过监测直流电缆的放电信号为主、监测电缆泄漏电流为辅,对直流馈出电缆绝缘状况实现智能在线监测与评估,所有监测信号均采用非接触式测量。监测系统由信号传感器组单元、前置数据采集预处理单元以及后台监控单元3部分组成,其工作流程和监测对象电气结构如图5和图6所示。

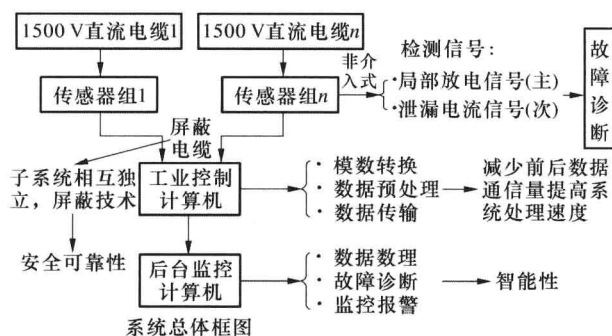
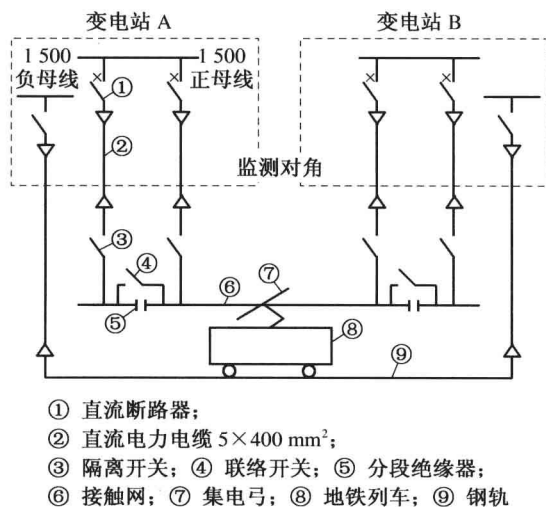


图5 监测系统工作流程



- ① 直流断路器;
② 直流电力电缆 $5 \times 400 \text{ mm}^2$;
③ 隔离开关; ④ 联络开关; ⑤ 分段绝缘器;
⑥ 接触网; ⑦ 集电弓; ⑧ 地铁列车; ⑨ 钢轨

图6 监测对象电气结构示意图

5.4 监测系统参数

- ① 直流放电监测系统信号响应带宽: $2 \sim 7 \text{ M}$ 。

② 直流放电监测系统灵敏度: 传感器最小检测信号电流折合到原边 $100 \mu\text{A}$; 模数转换精度 $1/(2^{12}-1)$ 。③ 抗干扰技术: 局部放电在线监测一个关键技术就是干扰信号的剔除,本系统综合使用了前端硬件抗噪和后台软件滤波分析相结合的抗干扰技术,整个系统采取良好的屏蔽措施。④ 微电流传感器量程: $0 \sim 100 \text{ mA}$;分辨率: $30 \mu\text{A}$;耐电流冲击能力: 500 A 持续 30 秒, 300 A 持续 3 分钟。⑤ 数据处理功能: 建立了专家系统监测分析软件,综合使用了频域分析、小波分析、模式识别以及数据统计处理等数据处理算法,具有故障自动分析,识别功能;后台服务器配有 SQL 数据库软件,具有数据统计、查询、显示、打印及报警功能;多通道并行实时处理系统最大可实现 20 根电缆同步实时在线监测。⑥ 系统自启动功能: 系统具有定时自启动,并支持掉电运行 3 分钟,来电自启动功能。

6 轨道电路基本参数研究

6.1 轨道电路参数算法

城市轨道交通的道床电阻是一个分布参数,通常用每公里钢轨线路具有的泄漏导纳 \dot{Y} 表示,它决定了从一根钢轨经过轨枕、道碴、大地等流到另一根钢轨的漏电流大小。道床电阻的数值取决于线路上部建筑的结构特性、环境因素及大地的导电率等各种因素。因此,轨道电路基本电气参数由钢轨阻抗 \dot{Z} (钢轨电阻 R 和钢轨电抗 ωL 的向量和) 和泄漏导纳 \dot{Y} (泄漏电导 G 和泄漏容抗 ωC 的向量和) 组成。应用四端网链接的理论,可推导出以下单位钢轨阻抗和泄漏导纳计算式:

$$\begin{cases} \dot{Z} = R + j\omega L = \dot{Z}_c \cdot \dot{\gamma} (\Omega/\text{km}) \\ \dot{Y} = G_d + j\omega C = \frac{\dot{\gamma}}{\dot{Z}_c} (\text{S}/\text{km}) \end{cases}$$

根据以上公式,只要求出轨道电路的特性阻抗和传输常数,则由复数的实部和虚部对应关系,可以得出以下轨道电路的基本参数:

单位钢轨阻抗: $\dot{Z} = \dot{Z}_c \cdot \dot{\gamma} = A + jB = R + j\omega L$ (Ω/km); 单位钢轨电阻: $R = A$; 单位钢轨电感: $L = B/\omega$; 单位漏泄导纳: $\dot{Y} = \frac{\dot{\gamma}}{\dot{Z}_c} = E + jF = G_d + j\omega C_d$ (S/km); 单位道碴泄漏电导: $G_d = E$; 单位道碴电阻 $r_d = \frac{1}{G_d}$ ($\Omega \cdot \text{km}$); 单位道碴电容 $C_d = \frac{F}{\omega}$ ($\mu\text{F} \cdot \text{km}$)。