



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

“十二五”国家重点图书

高速铁路安全建设工程技术研究及应用系列丛书



中国轨道交通学术文库

高速铁路接触网

安全可靠性及可维修性研究

GAOSUTIELU JIECHUWANG
ANQUANKEKAOXING JI KEWEIXIUXING YANJIU

戚广枫 著
肖晓晖 审



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

013026170

U238
19



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

“十二五”国家重点图书

高速铁路安全建设工程技术研究及应用系列丛书



中国轨道交通学术文库

高速铁路接触网 安全可靠性及可维修性研究

GAOSUTIELU JIECHUWANG
ANQUANKEKAOXING JI KEWEIXIUXING YANJIU



戚广枫 著
肖晓晖 审



北航

C1633431

U238/19

西南交通大学出版社

• 成 都 •

图书在版编目 (C I P) 数据

高速铁路接触网安全可靠性及可维修性研究/ 戚广枫著. —成都: 西南交通大学出版社, 2012.12
(高速铁路安全建设工程技术研究及应用系列丛书.
中国轨道交通学术文库)
“十二五”国家重点图书
ISBN 978-7-5643-2077-5

I. ①高… II. ①戚… III. ①高速铁路—接触网—可靠性—研究②高速铁路—接触网—可维修性—研究 IV.
①U238②U225

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 289217 号

“十二五”国家重点图书

高速铁路安全建设工程技术研究及应用系列丛书
中国轨道交通学术文库

高速铁路接触网安全可靠性及可维修性研究

戚广枫 著

责任编辑	李芳芳
特邀编辑	胡芬蓉
封面设计	墨创文化
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	四川省印刷制版中心有限公司
成品尺寸	185 mm×260 mm
印 张	27
字 数	657 千字
版 次	2012 年 12 月第 1 版
印 次	2012 年 12 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-2077-5
定 价	138.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562



铁路作为国民经济大动脉、国家重要基础设施和大众化交通工具，对我国经济社会的发展至关重要。随着我国经济社会的快速发展和人民生活水平的大幅提高，迫切要求铁路进一步发挥安全、快速、便捷、绿色的运输优势，更好地服务于人们生产生活的需要。目前，我国电气化铁路总里程突破 3 万 km，居世界第二，截止到 2011 年初，高速铁路运营里程已达 8 358 km，总量居世界第一。高速铁路整个技术系统的稳定性、科学性、安全性和耐久性也日益受到更多的关注。

高速铁路接触网系统是整个高铁技术系统的关键组成部分，在保证铁路运行安全方面无疑十分重要，但在当前技术和资源条件下，如何确定这个系统的可靠性、可用性、可维修性和安全性（RAMS）的理性需求和目标，把握好具体的“度”，以往受科技水平、手段或认识的局限，鲜有科学的答案。纵观全世界范围内，有关接触网特种设备和系统的具体可靠性、可用性或维修性的定量分析数据和科学依据极度匮乏，其中各项指标的内在关联和规律更是亟待深入研究和总结。

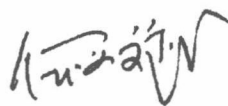
中铁第四勘察设计院集团有限公司（简称“铁四院”）成立于 1953 年，在全国勘察设计百强企业排名中始终位居前列，隶属于世界企业五百强——中国铁建股份有限公司。建院五十多年来，承担完成了全国既有

铁路勘察设计任务的三分之一，2003 年以来承担的铁路客运专线占全国的 50% 以上，设计建成武广、郑西、沪宁、沪杭、京沪等高速铁路近 4 000 km，成为中国高速铁路勘察设计的主力军和领跑者。铁四院拥有数千公里的开通运营项目实践经验，具备了从 RAMS 系统理论全面总结高速铁路接触网安全可靠性的条件，特别是“十一五”以来，在国家和铁路行业技术政策的引导下，以“围绕市场需求、结合工程设计”为方针，不断深化“以企业为主体、市场为导向”的技术创新体系建设，不断加大科技投入，先后承担了铁道部科研课题 70 余项，自主立项开展科研、业务建设课题研究 1 100 余项。2002 年伊始，铁四院组织科研团队，在集团公司副总工程师、教授级高工戚广枫的带领下，系统研究攻关高速铁路接触网 RAMS 这一世界性技术难题，运用现代可靠性理论和先进的计算机仿真手段，全面进行可靠性分析和安全性评估技术研究并全面参与了相关工程的可靠性现场实测与试验工作，成果斐然，如“接触网系统的可靠性、安全性和可维修性分析与研究”于 2006 年获得湖北省科技进步二等奖；结合武广客运专线工程，第一次在铁路供电技术领域提出“高速铁路牵引供电设备维修设施、维修方案”，2006 年提出“武广客运专线系统 RAMS 保障计划”并成功实施；2009 年以来还承担着铁道部科研项目“牵引供电系统安全评估技术研究”等相关重点课题的研究。

本书首次完整系统地阐述了上述接触网 RAMS 特征并揭示其内在关联，结合近年可靠性理论应用实践和大量的工程研究设计经验，提出了有针对性的维修系统建议方案，对将要建立的高速铁路接触网的 RAMS 体系、明确行业 RAMS 指标、安全性分析评估技术推广可望起到积极的促进作用。

应作者要求，作此序，通过出版本书分享我们的可靠性工程设计实践经验，共同推进我国铁路接触网系统的科学发展，以满足日益增长的对铁路运输高安全性、高可靠性的社会期望。

院长
中铁第四勘察设计院集团有限公司
党委书记



2012 年 3 月于武汉



2009 年底,我国电气化铁路总里程突破 3 万 km,居世界第二。随着京津城际铁路、武广客专和郑西高铁时速 350 km 的长大干线铁路开通,以及试验速度达到更高的沪宁城际、沪杭高铁、京沪高铁等一大批工程陆续建成投入运行,我国高速铁路逐渐成网。2011 年,我国高铁 250 km/h 以上的铁路里程已达 8 358 km,总量、速度居世界第一。预计到 2020 年,我国铁路营业里程将达到 12 万 km,其中电气化铁路比重将达到 60%,预计运输 40 亿人次、40 亿吨货物。根据对北京、上海、广州居民的随机调查,66.9% 的出行者首选火车。据不完全统计,有 17 个国家希望与中国合作,开发本国的高铁,中国高铁正在走向世界。中国高速铁路被世界称为“中国名片”。

现代高速铁路对社会和经济的影响越来越大,随着社会期望追求更高速度、更安全可靠的高质量运输的需求得到进一步加强,高速铁路技术系统的稳定性、科学性、安全性和耐久性也日益受到更多的关注。电力牵引的作用是通过电气化铁道安全运送旅客和(或)货物,牵引供电的目标就是保证电力牵引车辆不间断地、可靠

地、安全地运行。这种社会期望和铁路运输需求,对高速铁路系统中与行车速度、安全有密切关联的电气化接触网系统提出了高标准的挑战和要求。为保证高速铁路高速度、高密度地运行,要求牵引供电系统应具有高可靠性和安全性,从而保证人身和设备安全。

任何事故的发生虽然有其突发性和偶然性,发生的概率有其必然性,但事故是可以预测、预防和控制的,这对高速铁路接触网系统同样适用。高速铁路接触网的 RAMS 有其自身的规律和特点,需要专门研究方能采取有效对策。

现代科技的进步带来的技术研究手段日新月异,可靠性理论和安全性分析方法的迅速发展,使得我们能够通过模型风洞试验和风振现场试验、数值有限元分析及验证、工程现场实测的方法来深入研究高速接触网悬挂结构的荷载效应和传递机理,采集应力-时间历程数据,并通过雨流计数统计分析方法等科学手段归纳整理,研究接触网响应特征的规律性,结合材料科学进行设备零部件的工况分析、疲劳寿命预测和疲劳可靠性分析,初步探索新型的超高速接触网的可靠性规律,进行安全性水平评估研究,从而深入研究 RAMS 的特征。今天,我们已经具有高铁 3 000 ~ 5 000 km 的运营经验和 10 000 km 的设计施工、现场检测的实践经验,具备了从 RAMS 的理论高度进行总结并从根本上解决和控制接触网安全可靠性的条件。当前我国电气化铁路已经到了建立高速铁路接触网的 RAMS 体系、提出 RAMS 指标并结合安全性分析评估的过程与实施加以完善、推广的应用阶段。

虽然安全可靠性是热点课题,但此前的研究内容和方法一般局限在理论或概念层面,缺乏对可靠性、可用性或维修性的定量数据分析,结合安全性分析、维修体系的设计具体内容也较为罕见。本书第一次系统性地阐述了完整的 RAMS 具体目标,并揭示了其内在关联性,提出了明确的可以参照或采用的高速铁路 RAMS 系统指标,结合近年可靠性理论实践和工程

研究设计经验提出了有针对性的维修系统建议方案,期望早日建立一个具有高可靠度和安全基础动态可控的接触网系统。本书具有很强的实用性和针对性,可供电气化铁路牵引供电系统研发、管理、设计、施工等单位的安全生产和工程技术人员参考使用。现代 RAMS 基本概念和科学方法的普及和推广应用,必将对建设我国一流的高速铁路运营体系、体现一流的管理水平目标起到切实的、积极的促进作用。

在本书主要内容的研究和编著过程中,得到了中铁第四勘察设计院集团有限公司的大力支持。中铁第四勘察设计院集团有限公司院长和党委书记对本书的编写给予了极大的关怀,并于百忙之中为此书拨冗作序。王玉泽、许克亮、余心沪、刘文兵对全书进行了审阅,提出了许多宝贵意见,在此一并表示感谢。

本书由中铁第四勘察设计院集团有限公司戚广枫编著,武汉大学肖晓晖参与了本书第2章主要内容的编写,提出了许多宝贵建议,并审核了本书中有关可靠性和疲劳分析的相关章节。武汉理工大学阮杰、中铁第四勘察设计院集团有限公司李红梅、吴德昌提供了大量书中所引用的接触网零部件的应力分析、接触网动力学分析、现场试验数据、安全性管理等技术资料。中铁第四勘察设计院集团有限公司曾钦源、阮云斌也参与了本书的编写工作。

本书还存在很多不足之处,敬请广大读者提出宝贵意见。



2012年3月



1 接触网系统的 RAMS 体系和目标	1
1.1 高速铁路接触网的可靠性评估指标	6
1.2 高速铁路接触网的可靠性、可用性和可维修性 水平及目标	7
1.2.1 高速铁路接触网的可靠性、可用性	7
1.2.2 新建高速铁路的可靠性水平与目标值	8
1.2.3 高速铁路接触网的可用性、可维修性 及目标	10
1.3 高速铁路接触网的安全性	11
1.3.1 接触网系统安全性分析概述	11
1.3.2 研究范围、目标、指标及生命周期	12
1.3.3 安全性研究标准及依据	13
1.4 高速铁路接触网 RAMS 设计中的具体实例分析	14
1.4.1 工作应力范围	14
1.4.2 设计的优化和合理使用零部件	15
1.4.3 载荷对可靠性水平的影响	16
1.5 接触网 RAMS 设计的基本方法综述	17
1.5.1 接触网系统可靠性分析的工作条件	17

1.5.2	接触网可靠性理论研究模型的原始参数和 研究条件的选择	19
1.5.3	接触网安全性分析方法	26
2	接触网失效模式及可靠性基本模型研究	31
2.1	基于故障树模型的接触网系统可靠性分析	34
2.1.1	常用的可靠性建模方法	34
2.1.2	接触网的故障树模型	36
2.1.3	接触网的可靠性评价指标	41
2.1.4	串并联可修复系统中可靠性指标的计算	45
2.1.5	全国铁路接触网故障统计数据分折	46
2.1.6	接触网可靠性评估示例	47
2.2	接触网系统疲劳可靠性建模的基本方法	52
2.2.1	可靠性的定义	52
2.2.2	接触网系统的可靠性模型	53
2.2.3	接触网系统的可靠性指标分配	54
2.2.4	接触网系统的疲劳可靠性分析	56
2.3	接触网系统的动应力-时程分析及载荷谱统计	63
2.3.1	系统有限元模型	63
2.3.2	接触网系统的统计载荷谱	65
2.3.3	关于载荷确定的必要简化和说明	69
2.4	基于三维建模的接触网关键零件的有限元分析	70
2.4.1	电气化铁道接触网零部件的三维设计与 分析方法的研究探讨	72
2.4.2	接触网零部件三维特征几何造型设计	73
2.4.3	接触网零部件的三维几何结构设计	73

2.4.4	接触网零部件结构有限元分析	74
2.4.5	运用可靠性研究成果对研究的对象进行清理, 突出过程中的控制	77
2.5	接触网系统的动态应力分析和疲劳可靠性评估	78
2.5.1	接触网悬挂系统的分析	78
2.5.2	接触网腕臂结构的分析	94
2.5.3	腕臂结构的有限元仿真数据处理	102
2.5.4	接触网现场测试数据的时间历程与频谱图	104
2.5.5	基于实测数据的时速 350 km 及以上高速铁路接触网系统 可靠性分析研究	111
2.6	接触网可靠性评估软件的研发	119
2.6.1	接触网可靠性评估软件的主要功能	119
2.6.2	接触网可靠性评估实例	120
2.7	接触网可靠性研究结论与分析	121
2.7.1	对部颁标准 TB 零部件的总体评价	121
2.7.2	对今后电气化铁道接触网系统零部件设件的优化建议	123
2.7.3	建立接触网可靠性体系的研究基础的必要性	124
2.7.4	对新建的高速铁路接触网, 可以事先获得 完整的接触网系统可靠性水平	124
3	接触网系统的安全性分析	127
3.1	接触网系统安全性分析概述	129
3.1.1	研究范围	130
3.1.2	研究目标	131
3.1.3	安全指标	131
3.1.4	生命周期	132

3.1.5	研究标准及理论依据	133
3.2	接触网系统安全性管理组织机构及责任分析	136
3.2.1	组织机构	136
3.2.2	人员的责任分配	137
3.2.3	设计联络	138
3.2.4	人员素质要求	138
3.2.5	独立性	138
3.3	接触网系统安全性分析技术	138
3.3.1	概 述	138
3.3.2	风险日志	140
3.3.3	初步风险分析	143
3.3.4	系统故障模式、故障结果及危害程度分析	143
3.3.5	系统分析与子系统分析	144
3.3.6	接口风险分析	145
3.3.7	运营、维护系统风险分析	145
3.3.8	系统可靠性模型	166
3.3.9	设计安全复核	166
3.3.10	安全审查	166
3.3.11	可靠性计划	167
3.3.12	可维护性计划	167
3.3.13	系统集成计划与试运营计划	167
3.3.14	运用安全性报告	167
3.3.15	设计事故报告	167
3.4	初步风险分析	168
3.4.1	概 述	168

3.4.2	目 的	168
3.4.3	计 划	169
3.4.4	初步风险分析团队	169
3.4.5	系统概况	169
3.4.6	初步风险分析工作流程	170
4	接触网系统的可靠性设计	179
4.1	初步风险分析可靠性设计的内容和步骤	181
4.2	接触网系统可靠性设计分析的技术方法	182
4.3	相关可靠性研究对设计的意义	182
4.3.1	对接触网零部件设计的参考	183
4.3.2	对结构系统设计的参考	184
4.4.3	对零部件设计和相关标准制定的参考	187
4.4	工程设计方案中采用可用度指标进行规划研究和分配	189
4.4.1	根据可靠性水平和可用性要求开展维修系统的设计	189
4.4.2	新建工程项目的电气化维修系统设计原则和工作规律	190
5	高速铁路接触网设备零件安全可靠性的综合评估与改进方法	193
5.1	目前接触网零件设备存在的主要问题和改进措施	195
5.2	对电气化接触网零件系列进行深化研究并提出 改进的技术方法	197
5.2.1	在继承和总结的基础上提高和扬弃	197
5.2.2	运用可靠性研究成果对研究对象进行清理, 突出过程中的关键环节控制	198

5.2.3	对零件研究设计中加强特殊设计和非标设计	
	环节控制的建议	202
5.3	对工程设计和建设管理的相关建议	204
5.3.1	对建设管理程序进行完善,以适应迅速发展中的	
	用户要求	204
5.3.2	明确可靠性要求和使用寿命等用户的系统目标	205
5.4	可靠性体系是确定供电段及其电气化维修设施、维修方案的	
	设计依据	207
6	高速铁路电气化接触网的维修性研究	209
6.1	根据项目的可靠性水平和可用性要求开展维修系统设计	211
6.1.1	客运专线的特点和对维修系统的要求	211
6.1.2	国内外较高的可用性水平和维修性要求	212
6.1.3	具体工程对可用性的具体要求	213
6.2	电气化维修系统设计和维护工作计划编制的原则	213
6.2.1	对无备用的接触网系统应按照固有可用度的指标要求	
	进行抢修设施布点和规模设计	213
6.2.2	随着列车对数的增加,接触网维修工作量应	
	相应增加	216
6.3	高速铁路或客运专线的变配电设备的维修工作计划简述	216
6.3.1	维修计划	217
6.3.2	具体的维护内容、周期和维护专用工具	217
6.4	高速铁路或客运专线接触网设备的维修规律和计划研究	218
6.4.1	维修策略	219
6.4.2	抢修预案	220
6.4.3	日常维护	225

6.4.4 具体的维护内容、周期和维护专用工具	226
6.5 维修设施的规划和建议的维修方案	244
6.5.1 维修体系的设想	244
6.5.2 关于未来维修体系的建议	247
结 语	251
附 录	255
附录1 某高速铁路接触网振动监测数据	257
附录2 某城际铁路接触网振动监测数据	270
附录3 接触网动应力测试数据雨流计数结果	283
附录4 接触网零件疲劳参数	296
附录5 接触网零部件静力三维有限元分析	299
附录6 接触网零件的疲劳可靠性评估	399
附录7 由连接系数 z 求可靠度 R	412
附录8 本书所涉及符号的定义	413
参考文献及技术资料	415

1

接触网系统的 RAMS体系和目标

