

铁路运输

--行车安全保障体系理论及技术研究

张殿业 耿志修 王家驹 金键 著

内 容 简 介

本书分为上下两篇，上篇是理论与方法探讨，以“人—机—环”系统为核心，包括铁路行车安全概述、可靠性理论研究、相关理论与方法、铁路行车安全保障体系、监测检测技术和管理信息系统。下篇是实例与方案研究，将上篇建立起来的行车安全理论运用到京津线行车安全保障体系的方案设计上，包括规划方案和实施方案研究，建立起京津线行车安全保障体系的综合评价系统。

适合于从事铁路行车安全研究人员、各铁路局和分局安全相关人员以及交通运输专业的本科生、研究生使用。

前 言

安全是铁路永恒的主题,铁路运输安全水平直接决定了铁路在运输市场中的竞争能力、市场形象和经济效益,与铁路运输业自身的发展和生存息息相关,对经济稳定发展和社会良性运转意义重大。随着行车密度的加大和速度的提高等对安全的要求越来越高,确保铁路运输行车安全是世界各国同行共同关心的课题。

铁路行车安全保障体系的可靠性是铁路安全面临的重要问题之一,也是系统工程、安全工程、可靠性工程、人机工程等交叉和融合的边缘领域。人们通过分析以设备为主的系统故障率、故障时间、可靠性指标,过渡到研究人、设备以及环境的系统结构、故障机理、能力匹配及安全可靠性指标。描述人及环境因素对行车系统设备运行的影响以及他们之间的相互作用。

本研究是西南交通大学与北京铁路局共同承担铁道部课题(2001X007)《京津线铁路行车安全技术及应用的研究》,在此基础上从“人—机—环境”系统对铁路行车安全进行分析,建立人、设备、环境各子系统的可靠性模式,确定整个系统的可靠性模糊综合评价方法及“人—机—环境”系统安全可靠性理论体系。同时,本研究还系统地提出铁路行车安全监测技术体系、安全信息管理体系,为铁路行车安全监测、管理和决策提供依据。

课题组研究人员:

北京铁路局:耿志修、王家驹、张奋、吴景穆、劳急功、彭家先、李连庆、甄跃、李振华、戴伟跃、张志建、阎志强、朱楚生、马建国、施厚龙、张易、郝林青、沈勇、俞明昌、王晋刚、肖榜全、封维村、蔡漫丽、王树芝、邓贵祥、汪智、贾全有等。

西南交通大学:张殿业、金键、曲思源、唐优华、张光远、龙俊仁、郭孜政、沈海剑、吴海涛、李宗平、张俊、翟婉明、周美玉、王黎等。

在研究中引用了一些专著及论文的有关数据、观点等,谨向有关作者表示衷心的感谢。尽管全体人员试图把研究成果描述得比较完整和全面,但由于研究所涉及领域范围内容太大,加上时间紧迫,不妥之处,敬请读者批评指正。

张殿业

2002年4月4日

目 录

上 篇 理 论 与 方 法 探 讨

第一章 铁路行车安全概述

- 1.1 世界铁路发展概况
- 1.2 世界铁路事故
- 1.3 国外铁路行车监控系统概况
 - 1.3.1 日本综合防灾报警系统
 - 1.3.2 德国 MAS90 型防灾报警系统
 - 1.3.3 日本和英法两国的隧道防灾系统
- 1.4 我国铁路行车安全概况

第二章 行车安全可靠性研究

- 2.1 行车安全可靠性研究概述
 - 2.1.1 行车安全可靠性基本概念
 - 2.1.2 研究目标、内容及方法
 - 2.1.3 技术路线
- 2.2 铁路行车安全危险因素权重分析
 - 2.2.1 危险因素汇总
 - 2.2.2 危险因素权重分析
- 2.3 存在单危险因素下系统可靠性研究
 - 2.3.1 故障单元数据结构
 - 2.3.2 单元可靠性参数计算与分析
- 2.4 多危险因素下系统可靠性的叠加研究
 - 2.4.1 人子系统多因素条件下可靠性计算
 - 2.4.2 设备子系统多因素下可靠性计算
 - 2.4.3 环境子系统多因素下可靠性研究
- 2.5 系统可靠性综合评价模型研究
 - 2.5.1 系统可靠性计算
 - 2.5.2 系统可靠性分配

- 2.5.3 系统可靠性分级研究
- 2.6 铁路行车安全保障系统风险性评价模型研究
 - 2.6.1 可靠性、安全性和风险性
 - 2.6.2 系统的风险性评价
 - 2.6.3 故障树的建立及数学表达
 - 2.6.4 系统故障树的评价
 - 2.6.5 普通系统故障模式的危害度评价
 - 2.6.6 故障模式的模糊危害度评价

第三章 行车安全相关理论和方法

- 3.1 铁路行车系统演化规律理论
 - 3.1.1 耗散结构原理概述
 - 3.1.2 系统熵变机理
 - 3.1.3 铁路行车系统的耗散结构原理
- 3.2 行车安全系统工程
- 3.3 安全预测方法
 - 3.3.1 特尔斐法预测
 - 3.3.2 马尔可夫预测
 - 3.3.3 灰色系统预测

3.4 综合评判与决策

第四章 铁路行车安全保障体系研究

- 4.1 铁路行车安全保障体系概述
- 4.2 建立铁路行车安全保障体系的必要性
 - 4.2.1 我国铁路近十年行车事故分析
 - 4.2.2 我国铁路建立行车安全保障体系的必要性
- 4.3 铁路行车安全保障体系的功能
- 4.4 铁路行车安全保障体系实施框架
 - 4.4.1 行车人员安全保障系统
 - 4.4.2 设施设备安全保障系统
 - 4.4.3 环境安全报警保障系统

- 4.4.4 行车安全应急救援系统
- 4.4.5 行车安全基础管理系统
- 4.5 铁路行车安全保障体系的综合评价
- 4.6 高速铁路行车安全保障体系初探
 - 4.6.1 世界高速铁路发展概况
 - 4.6.2 高速铁路行车安全的主要特点
 - 4.6.3 高速铁路行车安全保障体系
- 4.7 国外铁路安全保障体系新动向

第五章 铁路行车安全监测检测技术

5.1 地对车监测系统

- 5.1.1 货物列车超限监测
- 5.1.2 货物列车超偏载监测
- 5.1.3 货车垂下品监测系统
- 5.1.4 车辆运行状态地面监测系统
- 5.1.5 车辆轮对监测装置
- 5.1.6 车号自动识别系统

5.2 车对地监测系统

- 5.2.1 轨道状态动态检测装置
- 5.2.2 轨道检测车
- 5.2.3 机车故障诊断系统

5.3 地对地监测系统

- 5.3.1 车站微机联锁系统
- 5.3.2 红外线轴温报警系统
- 5.3.3 防洪安全监测系统
- 5.3.4 滑坡监测系统
- 5.3.5 隧道监测系统
- 5.3.6 远程桥梁监测系统
- 5.3.7 道岔状态监测系统
- 5.3.8 道口安全监测系统

5.3.9 调车作业监测系统

5.4 车对车监测系统

5.4.1 列车运行监控记录装置

5.4.2 列车尾部防护装置

5.4.3 车载无线数据传输装置

5.4.4 机车信号监测装置

5.4.5 机车轴温监测装置

第六章 铁路行车安全保障体系信息系统

6.1 概述

6.1.1 基本概念

6.1.2 系统功能及特点

6.2 系统分析

6.2.1 行车安全影响因素分析

6.2.2 信息需求分析

6.3 系统总体设计

6.3.1 系统设计原则

6.3.2 系统设计思路

6.3.3 系统设计

6.4 信息系统各子系统设计

6.4.1 安全信息网规划

6.4.2 数据库设计

6.4.3 监测系统设计

6.5 信息系统整合

6.5.1 铁路各信息系统概述

6.5.2 信息系统间接口分析

6.5.3 铁路综合信息系统的构建

下 篇 实 例 与 方 案 研 究

第七章 京津线行车安全保障体系规划方案研究

7.1 京津线概述

7.1.1 总体概况

7.1.2 既有线现状

7.1.3 京津线安全现状及存在的主要问题

7.2 行车安全保障体系结构规划

7.2.1 总体结构

7.2.2 安全信息处理决策分析结构

7.2.3 安全管理系统结构

7.2.4 站段安全生产系统结构

7.3 行车安全保障体系信息规划

7.3.1 系统需要收集的安全信息

7.3.2 系统安全信息处理层次

7.3.3 系统要求提供的信息服务

7.4 行车安全监测子系统规划

7.4.1 安全监测子系统概述

7.4.2 安全监测子系统选择及研发

7.4.3 安全监测子系统布局

7.5 行车安全数据处理规划

7.5.1 原始数据处理

7.5.2 统计数据

7.5.3 数据库

7.6 行车安全保障体系可靠性分析规划

7.6.1 可靠性信息规划

7.6.2 可靠性实测数据表及评价结果表规划

7.6.3 行车设备可靠性维修规划

7.6.4 行车安全监控系统结构可靠性规划

7.6.5 系统网络可靠性规划

7.7 行车安全保障体系网络规划

7.7.1 网络要求

7.7.2 网络结构

7.7.3网络协议规划

7.7.4网络安全可靠性规划

第八章 行车安全保障体系实施方案

8.1行车安全保障体系第一阶段实施方案

8.1.1现有和研制中的监测设备

8.1.2第一阶段目标

8.1.3第一阶段实施方案

8.2行车安全保障体系第二阶段实施方案

8.2.1实施基础

8.2.2第二阶段目标

8.2.3第二阶段实施方案

8.3京津线行车安全保障体系第三阶段实施方案

8.3.1实施基础

8.3.2第三阶段目标

8.3.3第三阶段实施方案

8.4结论和建议

参考文献

上篇

第一章 铁路行车安全概述

1.1 世界铁路发展概况

铁路是近代运输的先驱，具有运量大、运距长、舒适、安全的独特优势。铁路不仅加速了工业的发展，促进了经济的繁荣，也为加强国家以及地区间的经济文化交流做出了贡献。

“Rail”，词意是铁路，最初的意思是木栏杆。1630 年，英国人 Beaumont 将木头铺在地上，使矿山运输车辆易于通行，车辆的动力是人力或畜力，在当时就称为“Rail”。

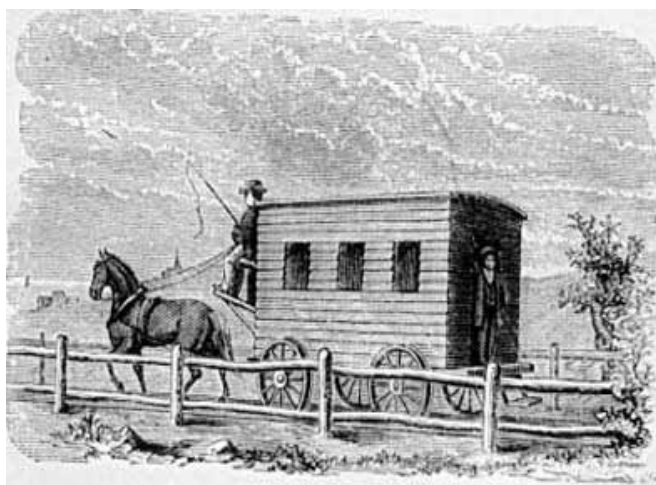


图 1-1-1 最初的“rail”

轨道的材料从木头发展到生铁，又从生铁、熟铁，最后发展到了钢轨，而机车是随着蒸汽机的发明才诞生的。

1825 年的 9 月 27 日，英国的 Stockton 和 Darlington 两个城市之间，修建了世界上同时办理客运和货运业务的铁路，从此揭开了世界铁路运输的序幕。



图 1-1-2 世界第一条铁路在英国开通时的情景

继英国之后，很多国家纷纷兴建铁路。从 19 世纪到 20 世纪的 100 多年里，欧美各国兴起了大规模的“筑路高潮”。铁路的修建和发展，极大地推动了世界经济的发展和人类社会的进步，开创了 19 世纪蒸汽牵引的铁路时代。

进入 20 世纪后，铁路的安全性和舒适性引起人们特别的关注，使得铁路发展进入成熟时期。英国、德国、美国等国的铁路建设，都达到了历史的顶峰。

20 世纪 20 年代出现的汽车及以后高速公路的发展，在中短途运输上对铁路造成了很大威胁。随后 20 世纪 60 年代兴起的航空运输又在长途运输上成为铁路的重要竞争对手。公路、航空等新兴运输方式的迅速崛起，使得各种运输方式间的竞争更加激烈。到了 20 世纪 80 年代，铁路在公路和航空的夹击下，急速衰退。

然而人们发现公路和航空的过度发展，不仅带来了日益严重的交通堵塞问题，还带来了能源危机和环境污染，更可怕的是公路和航空的安全形势严峻，事故造成的人员伤亡要比铁路严重得多：如果人们从安全性去选择交通运输方式的话，首选仍是铁路。

与此同时，铁路则实行了牵引动力现代化、高速铁路、城市轨道交通、重载运输等多方面共同发展的战略，充分发挥其运量大、节能环保的优势，特别是行车安全可靠保障技术的不断加强，重新唤起了人们对铁路的选择。

目前世界上铁路发达的国家主要有德国、日本、英国、美国、中国等，分析这些国家的铁路发展历史，不难发现在当代运输业中铁路所占的重要地位。

德国第一条铁路是 Nurnberg—Furth 铁路，它于 1835 年 12 月 7 日建成，全长 6 公里。



图 1-1-3 德国第一条铁路开通时的情景

1990 年 10 月 3 日德国统一，德国铁路开始进入了统一后的合并管理及发展时期。主要改革战略是：强化和其他运输方式的合作竞争意识；坚持实施提速战略，发展高速铁路；建立快捷货运体系，紧抓铁路安全和机制创新，实现铁路现

代化。这些改革所示使得铁路在与公路、航空等各种运输方式的竞争中一举胜出。

英国是世界最早开创铁路的国家。1825 年，“Stephenson”蒸汽机车行驶在英国的 Stockton 至 Darlington 的全长约 40 公里的铁路上，作为煤炭运输工具，揭开了列车货运的序幕。1830 年，英国的 Liverpool 至 Manchester 间的客运列车是世界上第一列客车，揭开了客运列车的序幕。此后，英国铁路建设发展很快，到 1890 年，铁路总里程达到 3.2 万 km，全国性路网形成。

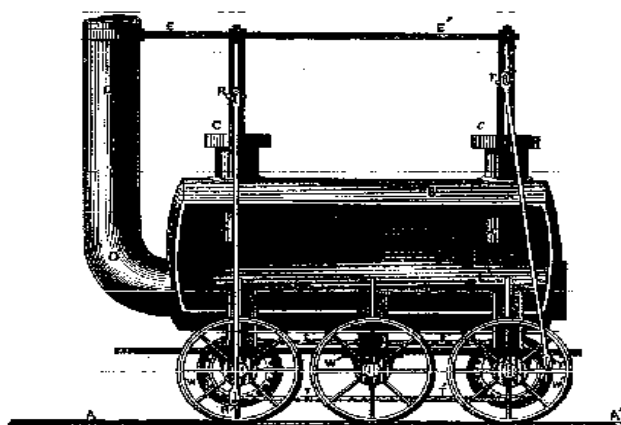


图 1-1-4 著名的 Stephenson 机车

1948 年英国国铁（BR）成立。随着经济的发展和各种运输方式的竞争加剧，英国铁路受到巨大威胁，BR 对之采取相应的对策，实行铁路的私有化，包括线路公司上市，全部为私人股份，25 个客运公司和 6 个货运公司全部卖给私人等。由于实行私有化后，线路基础设施建设薄弱，最终导致铁路安全的恶化，接连不断发生的铁路事故，使得改革最终于 2003 年 3 月宣告失败。但这并没有改变铁路在英国交通运输中的重要地位，客货运量的连年增长，说明英国铁路—这条世界上历史最久的铁路仍有着旺盛的生命力。

相对而言，美国铁路修建较晚，19 世纪处，美国出现了铁轨。1830 年 5 月 24 日从 Baltimore 至 Eli 的长 21km 第一条公用客货运输铁路建成，揭开了美国修建铁路的序幕。

由于公路和航空在美国的兴起，加上政府政策的倾斜，结果在 20 世纪 60 年代。美国铁路从顶峰跌到了低谷。在强大的竞争压力下，美国铁路不断缩减。至 1989 年铁路已经拆除了一半，铁路被视为“夕阳工业”。

但随着环境的恶化和能源危机的出现，美国政府开始重新重视铁路。通过政府的补助和相关法案，美国铁路得到了复兴。美国铁路货运周转量仍保持世界第一，客运则在积极与航空公路进行竞争，由于“9.11 事件”的影响，铁路的安全优势显得更为突出，大量客流涌向铁路，铁路客运显示了良好的发展势头。美

国政府若能再加以适时的改革，美国铁路仍将巩固其在运输业中的主导地位。



图 1-1-5 美国铁路重新向公路发起挑战

日本是亚洲铁路建设起步较早的国家，1872 年 10 月，京滨铁路的建成与运营，标志了日本铁路的诞生。

二战后的日本铁路得到了高速发展，成为工业发展的“火车头”。随着其他运输方式的竞争，加上经营的不善，日本铁路也出现了危机。1964 年，日本铁路开创了世界铁路发展的新纪元，世界上第一条高速铁路—东海道新干线建成通车，同时，日本铁路经营收入首次出现赤字。



图 1-1-6 日本东海道新干线通车仪式

面对严峻形势，日本铁路实行了改革：继续发展高速铁路，建成合理路网，开发研制先进的技术装备。改革的效果相当可观，运营效益得到增长，铁路安全

也得到很大改善，新干线创造了世界上最好的高速铁路行车安全记录，日本铁路已经牢牢占据了其在各种运输方式中的主导地位。

我国铁路建设起步较晚。1881 年，由清政府洋务派的主持修建的唐山至胥各庄铁路，成为中国自办的第一条铁路。

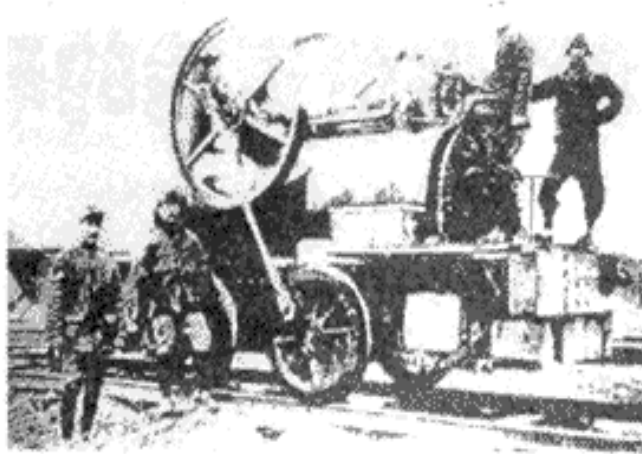


图 1-1-7 中国自己生产的第一辆机车——“龙”号

1894 年中日甲午战争后，帝国主义国家乘机对清政府施加压力，吞噬和瓜分中国的路权。1911 年，中华民国成立，解散了各省商办铁路公司，把各省已经建成和正在兴建的铁路全部收归国有，用以抵借外债。1928 年，南京国民政府执政以后，主要以官僚买办资本与国外垄断资本“合资”方式来修建铁路。

各国在华修建的铁路标准不一，装备杂乱，造成了旧中国铁路的混乱落后局面，铁路的安全状况更为严峻。1949 年新中国成立时，只有 2.2 万公里的铁路，其中由中国自己修建的铁路不足 40%，而且近一半由于战争破坏而处于瘫痪状态，能通车的只有 1 万多公里，并且事故不断。

新中国成立后，对反复遭受战争破坏的铁路，进行了艰巨的“抢修、抢通”斗争。国家组建了铁道部，统一管理全国铁路的运输生产、基本建设和机车车辆工业。1950 年 6 月，全路颁布和实施了统一的《铁路技术管理规程》，首次正式给出了全路铁路行车安全的管理规范，彻底改变了旧中国铁路管理分散、各自为政的状况。

从 1953 年开始，国家进入有计划发展国民经济的时期。到 1980 年铁路经过了五个“五年计划”的建设，取得了出色成绩，全国铁路网骨架基本形成，同时，加快改造既有线路，扩大运输能力，缓解了部分地区的运输紧张状况。

进入九五以后，铁路建设的步伐明显加快，加上铁道部连续实施的提速战略，中国铁路又一次焕发了青春。此外，秦沈客运专线的开通、京沪高速铁路的修建提上日程，无一不显示了铁路在中国交通运输中的主导地位。



图 1-1-8 秦沈专线上奔驰的“中华之星”高速列车

综观世界，当代铁路正以其能耗小、污染少、快捷、安全的强劲优势，吸引了世界上越来越多国家的注意力，铁路重新受到了重视。可以预见，铁路正处在其大变化、大改革、大发展的时代。

1.2 世界铁路事故

安全是铁路的首要工作，也是铁路与其他运输方式竞争的主要优势。忽视了安全，将是铁路事故的发生，给铁路带来毁灭性灾难，使铁路失去市场竞争力。

世界上第一次铁路事故是在 1830 年英国的 Liverpool 到 Manchester 铁路通车时发生的，遇难者是威廉·赫斯基森，当时英国议会议员，前任内阁大臣。当他站在轨道上谈话时，被“铁路之父”Stephenson 设计的著名的“Rocket”机车撞倒，并于当晚死亡。

英国历史上最大的铁路事故是 1915 年的 Quint inshill 火车相撞事故，1915 年 5 月 22 日早晨，英格兰和苏格兰间的西海岸铁路上交界附近的 Quintinshill 站，有 3 列火车正在等待通行信号，其中一列车停在干线的上行轨道上，另两列车停在会车线上。第 4 列火车是运兵专列，正在上行轨道上向南行驶。约在 6 时 45 分，军车以 110 千米以上的时度猛撞停在上行轨道上的那列火车。失事列车的碎片散落在两条轨道上。1 分钟后，自 London 开来的快车猛烈地冲入残骸堆中。大约有 227 人丧命，250 人受伤。这起英国铁路史上最严重的事故的起因是：一名信号员忘记了有一列火车停在上行轨道上而错误发令允许军车继续前驶，导致了惨剧的发生。



图 1-2-1 Quintinshill 事故中的死伤者被安放在铁路边的田地上



图 1-2-2 Quintinshill 火车相撞事故中毁坏的车辆

20 世纪 90 年代以来，随着英国铁路的私有化，铁路设备的老化，维修更新的不及时，英国铁路安全状况日益恶化。1997 年以来已经发生严重的铁路事故共 13 起，造成 59 人死亡，数百人受伤。其中最严重的一起发生是在 1999 年 10 月，当时两列高速行驶的列车相撞，造成 31 人死亡，245 人受伤。2002 年 5 月 10 日，英国铁路又发生了新世纪的第一重大事故。火车从 London 出发，在行至 London 北部的 Potters Bar 车站时突然脱轨，撞向车站附近的一座桥，5 名乘客当场丧生，另有一人在被送往医院后经抢救无效死亡。此外，还有 80 余人受伤，其中 15 人伤势严重。事故原因是铁路线路设备的老化。



图 1-2-3 London 事故中翻出轨道的机车



图 1-2-4 London 事故中被毁的车辆转向架

世界上铁路事故发生最频繁的国家要属印度，1997—2002 年印度共有 2370 多人死于火车事故，仅 99 年就有 616 人死于非命，2000 年就有 260 多起铁路事故。铁路事故的频繁发生不仅是由于铁路设备的陈旧落后外，铁路员工的失职也是很大的因素。如 2002 年 8 月 2 日凌晨，一列满载旅客的列车与一列邮车在西孟加拉邦西里古里 80 公里以外的盖萨尔车站相撞并发生爆炸，6 节客车车厢、8 节邮车车厢被炸毁，死亡人数达到 500 人，1000 多人受伤。