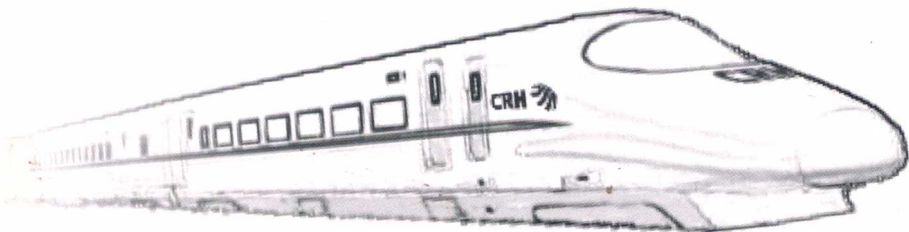


信息化与工业化 两化融合  
研究与应用丛书

# 高速列车运行控制系统

宁 滨 唐 涛 编著  
李开成 董海荣



 科学出版社

信息化与工业化两化融合研究与应用丛书

# 高速列车运行控制系统

宁 滨 唐 涛 编著  
李开成 董海荣

科 学 出 版 社

北 京

## 内 容 简 介

高速列车运行控制系统是保障高速铁路行车安全、提高运输效率的关键技术和核心装备,是高速铁路的“大脑和神经系统”。本书重点介绍了高速列车运行控制系统的原理、结构、关键技术和目前世界上高速铁路中正在应用的几个典型高速列车运行控制系统,并阐述了高速列车运行控制系统的仿真与测试技术、方法以及安全保障体系。

全书共9章,第1章为绪论;第2章介绍高速列车运行控制系统原理和结构;第3章介绍高速列车运行控制系统关键技术;第4章介绍欧洲列车运行控制系统(ETCS);第5章介绍中国列车运行控制系统(CTCS);第6章介绍高速磁悬浮列车运行控制系统;第7章介绍高速列车运行控制系统的仿真与测试;第8章介绍高速列车运行控制系统安全保障;第9章对高速铁路和高速列车运行控制系统未来的发展做出展望。

本书可供研究高速铁路列车运行控制系统的科研工作者和工程技术人员阅读,也可作为相关专业的本科生和研究生的教学参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

---

高速列车运行控制系统 / 宁滨等编著. —北京: 科学出版社, 2012  
(信息化与工业化两化融合研究与应用丛书)

ISBN 978-7-03-036115-8

I. 高… II. 宁… III. 高速列车-运行-控制系统 IV. U284.48

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 286813 号

---

责任编辑:姚庆爽 / 责任校对:刘亚琦  
责任印制:张 倩 / 封面设计:黄华斌

**科学出版社** 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

**三河市骏杰印刷厂** 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2012年12月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2012年12月第一次印刷 印张:16 3/4

字数:318 000

**定价: 70.00 元**

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 《信息化与工业化两化融合研究与应用丛书》序

传统的工业化道路,在发展生产力的同时付出了过量消耗资源的代价:产业革命 200 多年以来,占全球人口不到 15% 的英国、德国、美国等 40 多个国家相继完成了工业化,在此进程中消耗了全球已探明能源的 70% 和其他矿产资源的 60%。

发达国家是在完成工业化以后实行信息化的,而我国则是在工业化过程中就出现了信息化问题。回顾我国工业化和信息化的发展历程,从中国共产党的“十五大”提出“改造和提高传统产业,发展新兴产业和高技术产业,推进国民经济信息化”,到党的“十六大”提出“以信息化带动工业化,以工业化促进信息化”,再到党的“十七大”明确提出,“坚持走中国特色新型工业化道路,大力推进信息化与工业化融合”。这充分体现了我国对信息化与工业化关系的认识不断深化。

工业信息化是“两化融合”的主要内容,它主要包括生产设备、过程、装置、企业的信息化,产品的信息化和产品设计、制造、管理、销售等过程的信息化,其目的是建立起资源节约型产业技术和生产体系,大幅度降低资源消耗;在保持经济高速增长和社会发展过程中,有效地解决发展与生态环境之间的矛盾,积极发展循环经济,这对我国科学技术的发展提出了十分迫切的战略需求,特别是对控制科学与工程学科提出了十分急需的殷切期望。

“两化融合”将是今后一个历史时期里,实现经济发展方式转变和产业结构优化升级的必由之路,也是中国特色新型工业化道路的一个基本特征。为此,中国自动化学会与科学出版社共同策划出版《信息化与工业化两化融合研究与应用》,旨在展示两化融合领域的最新研究成果,促进多学科多领域的交叉融合,推动国际间的学术交流与合作,提升控制科学与工程学科的学术水平。丛书内容既可以是新的研究方向,也可以是至今仍然活跃的传统方向;既注意横向的共性技术的应用研究,又注意纵向的行业技术的应用研究;既重视“两化融合”的软件技术,也关注相关的硬件技术;特别强调那些有助于将科学技术转化为生产力以及对

国民经济建设有重大作用和应用前景的著作。

我们相信,有广大专家、学者的积极参与和大力支持,以及编委的共同努力,本丛书将为繁荣我国“两化融合”的科学技术事业、增强自主创新能力、建设创新型国家做出应有的贡献。

最后,衷心感谢所有关心本丛书并为丛书出版提供帮助的专家,感谢科学出版社及有关学术机构的大力支持和资助,感谢广大读者对本丛书的厚爱。

中国自动化学会理事长

2010年11月

## 前 言

随着石化能源危机和环境污染等问题日益严重,发展绿色环保的交通工具成为世界各国的共同目标。随着国家“十二五”综合交通运输体系规划的颁布,建设智能化的综合交通运输体系已经作为国家发展战略之一。轨道交通,特别是高速铁路,已经成为综合交通运输体系的骨干。在过去的十年间,通过自主创新和引进消化吸收再创新,中国高铁初步构建了高速铁路技术体系,获得了快速的发展。目前,我国高速铁路的运营里程已达 7500 多公里,成为世界高速铁路运营里程最长的国家。可以肯定,未来十年,仍是中国高速铁路发展的黄金时期。

高速列车运行控制系统作为高速铁路的“大脑和神经系统”,是确保高速列车运行安全和运输效率的关键技术和核心装备,在高速铁路发展中处于重要的地位。为适应铁路发展需要,2002 年,中国铁路提出中国列车运行控制系统(Chinese Train Control System, CTCS)技术框架,结合高速铁路建设,面向高速铁路的 CTCS-3 级列车运行控制系统技术规范体系及装备体系已逐渐形成,并在高速铁路的建设和运营中发挥了重要作用。2011 年 7 月 23 日甬温线特别重大铁路交通事故发生后,列车运行控制系统的安全性和可靠性引起人们的高度关注。那么,高速列车运行控制系统到底具有哪些功能?它是如何构成的?其工作原理是什么?包含哪些关键技术?作为高速列车运行安全的重要保障技术之一,系统本身的安全性和可靠性如何通过技术和管理手段进行保障?我国高速列车运行控制系统与其他国家的高速列车运行控制系统相比,有什么特点?处于何种水平?这是本书试图阐述的重点。

北京交通大学列车运行控制研究团队,依托“轨道交通控制与安全国家重点实验室”和“轨道交通运行控制系统国家工程研究中心”等平台,数十年来,一直根据国家轨道交通快速发展的需要,致力于列车运行控制系统的理论、方法、关键技术、集成和开发等方面的研究工作,始终坚持理论联系实际,不仅掌握了该领域一些关键技术,开发出了一批核心装置并成功应用(数字化通用机车信号和 CBTC 系统),还注重从工程实践中凝练科学问题,寓教于研,培养了一批骨干人才,从技术和人才方面有力地支撑了国家轨道交通包括高速铁路的发展。从 20 世纪 90 年代中期开始跟踪研究欧洲列车运行控制系统(European Train Control System, ETCS)项目进展,主持和参加了多项轨道交通列车运行控制领域的国家、铁道部和北京市重大项目以及国际交流与合作项目,全面参与了 CTCS 标准、相关技术规范制定以及高速列车运行控制系统 CTCS-3 在中国高速铁路上的互联互通测

试等工作。2010年,完成了具有完全自主知识产权的基于通信城市轨道交通列车运行控制(Communication Based Train Control, CBTC)系统的研发,并作为示范工程成功应用于北京亦庄线和昌平线,使我国成为继德国、法国和加拿大之后第四个掌握该项核心技术并投入运营的国家。正是在多年来实践和积累的基础上,完成了本书的著述。

随着高速铁路在中国的快速发展,无论是在学术交流中,还是与高铁第一线的技术人员和管理人员的接触中,我们都深切感受到了高铁科研工作者、工程技术人员和高等院校学生等迫切需要全面系统地了解高速列车运行控制系统原理、结构和应用等方面的最新研究内容和进展。为此,我们想尽早出版一本系统地介绍高速列车运行控制系统理论与应用方面的专著,并将数年来团队在研究和开发中,特别是在高速列车运行控制系统实践中积累的成果与大家分享和交流。虽然高速列车运行控制系统相关的文献不少,介绍欧洲 ETCS 和中国 CTCS 等系统的文献也多能见到,但如何从系统中综合凝练出共性问题,详细介绍高速列车运行控制系统基本原理和方法等方面的论著却未见到。作为该领域的教育和科研工作者,我们有责任来做这件事。但真正开始写作之后,我们才发现撰写这样一本著作的难度远远超出了最初的想象:许多概念和术语没有完全统一,甚至在一些理论和方法的研究上还存在着不同的观点。尤其“7·23 事故”发生后,如何进行高速列车安全高效运行和安全保障体系的研究,更引起我们深刻的反思。所以,尽管困难重重,我们仍然尽最大的努力撰写本书。

全书共 9 章,第 1 章简要介绍了高速铁路和高速列车运行控制系统在世界范围内的发展概况。第 2 章对高速列车运行控制系统基本原理和基本结构进行了深入的阐述和分析。第 3 章围绕高速列车运行控制系统涉及的主要关键技术如安全计算机、车-地通信、列车测速和定位等方面进行详细的介绍。第 4~6 章围绕高速列车运行控制系统几个典型系统,如欧洲列车运行控制系统(ETCS)、中国列车运行控制系统(CTCS)和高速磁悬浮列车运行控制系统进行分类描述。第 7 章介绍了高速列车运行控制系统仿真与测试。第 8 章探讨建立高速列车运行控制系统安全保障体系。最后对高速铁路和高速列车运行控制系统未来发展的方向进行展望。

衷心感谢团队余祖俊、郜春海、蔡伯根、袁磊、马连川、陈磊、燕飞、孙绪彬、陈姚、周达天、荀径等博士对本书著述给予的支持和协助,他们以不同的形式、在不同的程度上对本书著述和出版做出了重要贡献。感谢北京交通大学轨道交通控制与安全国家重点实验室高童欣、张凌莺、覃高友、刘超、郭亮、杨晓霞、高士根、欧阳任海、康元磊和张梦杨等研究生,他们为完成本书做了大量的辅助工作,如绘图、排版和文字修正等。此外,团队长期以来的工作得到铁道部、科技部、财政部、国家发展和改革委员会以及北京市的大力支持。多年来,与轨道交通领域许多高校、研究院

所、铁路局和有关企业的专家及技术人员进行的讨论、交流和合作都使我们受益匪浅,我们无法一一列出他们的名字,在此对所有支持我们的领导、同事和同仁表示衷心的感谢。最后,感谢家人长期以来对我们的工作给予的理解和支持。

感谢国家支撑计划课题“高速列车运行控制系统技术及装备研制”、国家 863 计划课题“高速铁路信号系统安全认证与评估技术研究”、铁道部科技发展项目“CTCS-3 级列控系统深化研究”、教育部新世纪优秀人才支持计划“高速列车多目标优化运行及人因分析”等项目的资助。

由于水平有限,书中难免存在疏漏,热忱欢迎读者把对本书的任何意见和建议及时反馈给我们,以便有机会对本书做进一步改进。

作 者

2012 年 10 月于北京交通大学

轨道交通控制与安全国家重点实验室

作者信箱:hrdong@bjtu.edu.cn



## 《信息化与工业化两化融合研究与应用丛书》编委会

顾问委员会 戴汝为 孙优贤 李衍达 吴启迪 郑南宁 王天然  
吴宏鑫 席裕庚 郭雷 周康 王常力 王飞跃

编委会主任 吴澄 孙优贤

编委会副主任 柴天佑 席裕庚 吴宏鑫 褚健 王飞跃 王成红

编委会秘书 张纪峰 卢建刚 姚庆爽

### 编委会委员(按姓氏笔画排序)

于海斌(中国科学院沈阳自动化研究所)

王龙(北京大学)

王化祥(天津大学)

王红卫(华中科技大学)

王耀南(湖南大学)

卢建刚(浙江大学)

朱群雄(北京化工大学)

乔非(同济大学)

刘飞(江南大学)

刘德荣(中国科学院自动化研究所)

关新平(上海交通大学)

许晓鸣(上海理工大学)

孙长银(东南大学)

孙彦广(冶金自动化研究设计院)

李少远(上海交通大学)

吴敏(中南大学)

邹云(南京理工大学)

张化光(东北大学)

张纪峰(中科院数学与系统科学研究院)

陈杰(北京理工大学)

陈虹(吉林大学)

范铠(上海工业自动化仪表研究院)

周东华(清华大学)

荣冈(浙江大学)

段广仁(哈尔滨工业大学)

俞立(浙江工业大学)

胥布工(华南理工大学)

桂卫华(中南大学)

贾磊(山东大学)

贾英民(北京航空航天大学)

钱锋(华东理工大学)

徐昕(国防科学技术大学)

唐涛(北京交通大学)

曹建福(西安交通大学)

彭瑜(上海工业自动化仪表研究院)

薛安克(杭州电子科技大学)

《信息化与工业化两化融合研究与应用丛书》序

前言

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 概述 .....	1
1.2 高速列车运行控制系统 .....	5
1.2.1 日本高速列车运行控制系统 .....	6
1.2.2 欧洲高速列车运行控制系统 .....	7
1.2.3 中国高速列车运行控制系统 .....	9
1.3 高速磁悬浮列车运行控制系统.....	10
1.4 本书的基本框架.....	12
<b>第 2 章 高速列车运行控制系统原理和结构</b> .....	13
2.1 概述.....	13
2.1.1 高速列车运行控制系统的原理 .....	13
2.1.2 高速列车运行控制系统的结构 .....	16
2.2 中央控制子系统.....	20
2.2.1 原理 .....	20
2.2.2 结构 .....	22
2.3 地面控制子系统.....	23
2.3.1 原理 .....	23
2.3.2 结构 .....	26
2.4 车载控制子系统.....	28
2.4.1 原理 .....	28
2.4.2 结构 .....	30
2.5 通信网络子系统.....	32
2.5.1 地面通信网络 .....	32
2.5.2 车-地通信网络.....	32
<b>第 3 章 高速列车运行控制系统关键技术</b> .....	36
3.1 概述.....	36
3.2 安全计算机.....	37
3.2.1 基本需求.....	37
3.2.2 容错计算机 .....	38

3.2.3	软硬件安全设计 .....	45
3.2.4	安全输入输出接口 .....	54
3.3	RAMS 设计 .....	59
3.3.1	RAMS 各要素之间的关系 .....	59
3.3.2	影响系统 RAMS 的因素 .....	60
3.3.3	高速列车运行控制系统 RAMS 的管理 .....	61
3.3.4	若干安全标准 .....	64
3.4	车-地通信 .....	65
3.4.1	GSM-R 无线通信 .....	66
3.4.2	安全通信 .....	73
3.4.3	38G 无线通信系统 .....	74
3.5	列车测速和定位 .....	75
3.5.1	轮轴测速 .....	76
3.5.2	雷达测速 .....	82
3.5.3	查询应答器定位 .....	84
3.5.4	卫星导航定位 .....	85
3.5.5	多传感器信息融合的测速定位 .....	88
<b>第 4 章</b>	<b>欧洲列车运行控制系统 .....</b>	<b>90</b>
4.1	ETCS 简介 .....	90
4.1.1	ETCS 系统构成 .....	91
4.1.2	ETCS 运行模式 .....	95
4.1.3	ETCS 主要特点 .....	95
4.2	ETCS-1 级列车运行控制系统 .....	96
4.2.1	无注入功能的 ETCS-1 级概述 .....	96
4.2.2	有注入功能的 ETCS-1 级概述 .....	97
4.2.3	原理和特点 .....	97
4.3	ETCS-2 级列车运行控制系统 .....	98
4.3.1	概述 .....	98
4.3.2	原理和特点 .....	99
4.4	ETCS-3 级列车运行控制系统 .....	100
4.4.1	概述 .....	100
4.4.2	原理和特点 .....	100
4.5	ETCS 三个主要等级的特征和功能比较 .....	101
4.6	等级转换 .....	102
4.7	ETCS 在高速铁路中的应用 .....	103

<b>第 5 章 中国列车运行控制系统</b> .....	106
5.1 CTCS 系统分层结构 .....	106
5.2 CTCS-2 级列控系统 .....	107
5.2.1 系统组成 .....	107
5.2.2 车载系统工作模式 .....	110
5.2.3 基本工作原理 .....	111
5.3 CTCS-3 级列控系统 .....	119
5.3.1 系统组成 .....	120
5.3.2 运营场景 .....	123
5.3.3 基本工作原理 .....	125
5.4 CTCS-3 级与 CTCS-2 级列控系统比较及应用 .....	136
5.4.1 CTCS-3 级与 CTCS-2 级列控系统比较 .....	136
5.4.2 CTCS-3 级和 CTCS-2 级列控系统的运用情况 .....	137
<b>第 6 章 高速磁悬浮列车运行控制系统</b> .....	139
6.1 高速磁悬浮列车系统的特点 .....	139
6.2 运行控制系统组成 .....	140
6.3 基本功能 .....	144
6.4 磁悬浮系统运行模式 .....	148
6.4.1 A 模式——正常运行模式 .....	149
6.4.2 B 模式——降级运行模式 .....	149
6.4.3 C 模式——维护运行模式 .....	150
6.5 列车运行模式和列车驾驶模式 .....	150
6.5.1 列车运行模式 .....	150
6.5.2 列车驾驶模式 .....	151
6.5.3 列车运行模式转换条件 .....	151
6.6 系统功能介绍 .....	151
6.6.1 操作控制准备 .....	151
6.6.2 运行准备 .....	152
6.6.3 列车运行执行 .....	155
6.7 38G 无线通信 .....	157
6.7.1 系统组成 .....	157
6.7.2 系统关键技术 .....	159
<b>第 7 章 高速列车运行控制系统的仿真与测试</b> .....	163
7.1 仿真平台总体架构 .....	163
7.1.1 仿真目标 .....	163
7.1.2 仿真模型与算法 .....	164
7.1.3 基于最小系统的仿真平台 .....	166

7.2	测试	183
7.2.1	系统测试方法	183
7.2.2	CTCS-3 测试案例	185
7.2.3	CTCS-3 测试序列	187
7.3	互联互通测试	189
7.3.1	互联互通测试的重要性	189
7.3.2	互联互通测试方法	190
7.3.3	互联互通测试平台示例	192
<b>第8章</b>	<b>高速列车运行控制系统安全保障</b>	<b>195</b>
8.1	高速列车运行控制系统安全保障总体架构	195
8.2	安全管理	197
8.2.1	安全管理的基本思想	197
8.2.2	安全管理的要素	198
8.2.3	安全管理的实施框架与模式	201
8.2.4	安全管理的过程要素	203
8.2.5	安全管理中的配置管理	205
8.3	安全论证	206
8.3.1	安全论证的作用	207
8.3.2	安全论证中的证据与假设	209
8.3.3	安全证明文件的定义与类型	209
8.3.4	安全证明文件开发需求	210
8.3.5	安全证明文件的结构	210
8.4	独立安全评估(ISA)	213
8.4.1	独立安全评估的定义	213
8.4.2	独立安全评估的作用	214
8.4.3	安全评估各方的职责和任务	215
8.4.4	独立安全评估中的活动	222
8.4.5	独立安全评估的专业资质需求	224
8.5	列车运行控制系统安全保障案例分析	225
8.5.1	CBTC 系统的安全管理体系	225
8.5.2	CBTC 系统安全论证	229
8.5.3	CBTC 系统安全评估	231
<b>第9章</b>	<b>展望</b>	<b>238</b>
9.1	高速铁路的发展	238
9.2	高速列车运行控制系统的发展	239
	<b>参考文献</b>	<b>245</b>

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 概 述

铁路自 19 世纪初诞生以来,在近 200 年的发展历史中,对人类文明发展与社会进步发挥了重要的作用。随着汽车、高速公路和航空事业的发展,铁路的作用一度逐渐淡化。然而,“大运量”、“低成本”等运输特点使铁路行业依然保有发展潜力,直至 1964 年 10 月,时速 200km 日本东海道新干线的开通,揭开了世界高速铁路发展的新篇章,铁路在世界各国的发展也开始从“夕阳工业”走向新生。半个世纪以来,高速铁路先后在日本、法国、德国、西班牙和中国等多个国家得到了快速发展。

根据国际铁路联盟定义,高速铁路是指新建线路设计时速 250km,或改造原有线路使其时速达到 200km 以上的铁路。“狭义”上的高速铁路是指传统的轮轨式高速铁路;而“广义”上的高速铁路则包含使用磁悬浮技术的高速轨道运输系统。目前,世界上有代表性的高速铁路列车有日本新干线列车、法国 TGV 列车、德国 ICE 列车和中国 CRH 列车,其中高速铁路轮轨式最高运营时速为法国 320km,上海磁悬浮运营线最高时速为 431km。

无论是城市轨道交通,还是干线铁路,特别是高速铁路,作为一种绿色的大众化交通工具,在综合交通运输体系中发挥的骨干作用已成共识。同公路和航空运输相比,高速铁路在节能、环保、占地少、全天候运行和安全等方面都具有明显的优势。高速铁路已经成为一个国家或地区的“名片”,对促进经济发展,改变人们的时空观念,发挥着重要的作用。这一点,无论在日本、欧洲,还是在中国都得到了证实。作为一个集现代技术为一体的复杂巨系统,高速铁路的发展还对现代制造业和重大装备技术等具有较大的带动作用,尤其对中国的信息化、城镇化和现代化的发展具有重要的推动作用。

在中国,第一条真正意义上的高速铁路是 2008 年北京奥运会开幕前开通的京津城际高速铁路,线路全长 120km,开通时速为 350km。随后相继开通了武汉至广州、郑州至西安和北京至上海(简称京沪高速铁路)等多条高速铁路。特别是 2011 年 7 月开通的京沪高速铁路,是世界上一次建成开通运营最长的高速线路,其线路长度为 1318km,开通时速为 300km。中国是目前世界上拥有高速铁路线路运营里程最长的国家,开通运营的高速铁路里程超过 7500km,在建总里程近 10000km。根据规划,到 2020 年,中国将建成近 1.8 万 km 的高速铁路网。

高速铁路系统可以分为固定设施、移动设施和高速列车运行控制三大部分,其中固定设施部分包括线路、桥梁、隧道(通常简称线、桥、隧)和牵引供电等地面设施;移动设施部分即动车组(或机车车辆部分);高速列车运行控制部分(即高速列车运行控制系统)包括中央控制子系统(即调度系统)、地面控制子系统、车载控制子系统和通信网络子系统,如图 1-1 所示。高速铁路系统是在高速列车运行控制系统的指挥和控制下,使高速列车在线路上安全高效地运行。

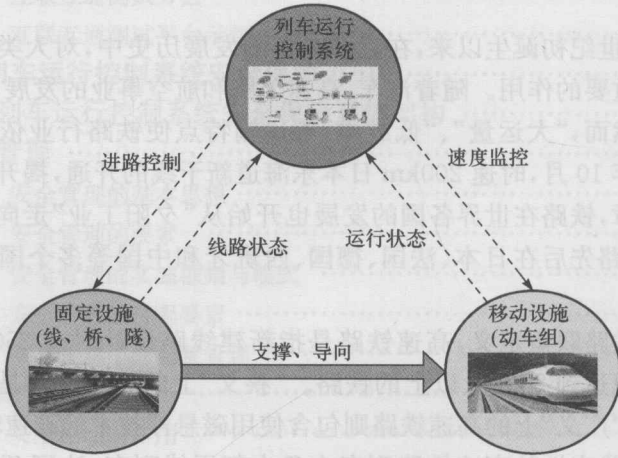


图 1-1 高速铁路系统

高速铁路中常见的其他控制系统有高速列车车载控制系统和牵引供电控制系统,其中高速列车车载控制系统是对列车的变压、变流和制动装置等实施牵引和制动控制的系统,该部分已在动车组设计制造时完成。牵引供电控制系统是对列车提供正常供电电源的系统,如全线供电系统的设计、供电分区的设置、换相点设置和过分相控制等,该部分在高速铁路建设时完成。

高速列车运行控制系统是对列车运行的进路方向、列车间隔和运行速度实施控制的系统,从某种意义上讲不能独立存在,往往依附于高速列车和线路。根据线路和列车的运行状态,通过获得列车的牵引和制动性能,运行控制系统实现对列车加速、减速和停车等控制功能,而列车的牵引则又需要通过牵引供电控制系统提供电能等。上述三类控制系统既有密切联系,又有明确的分工。因而,在高速列车运行的过程中控制系统间通过协同作用使高速列车安全和高效运行。本书主要探讨的是高速列车运行控制系统。

高速列车运行控制系统(俗称信号系统)是保障高速铁路行车安全、提高运输效率的关键技术和核心装备,是高速铁路的“大脑和神经系统”。传统铁路的列车运行控制系统由地面信号显示为主的自动闭塞、机车信号和自动停车构成,当列车速度超过 160km/h,司机难以用肉眼及时识别地面信号和有效对列车运行实施控

制。因此,许多国家对传统的列车运行控制系统所能适应的最高车速进行了规定,如法国铁路规定时速不得高于200km,德国联邦铁路规定时速为160km。当高速列车以时速200km以上运行时,为确保列车运行安全和提高行车密度,必须采用以车载速度信号显示为主的高可靠和高安全的高速列车运行控制系统予以保障。

高速列车运行控制系统的车载控制子系统根据从地面接收的速度控制信息自动生成并给司机显示目标速度和限制速度等信息,以便司机进行高速列车的驾驶。当高速列车运行速度超过其限制速度,车载控制子系统将自动实施制动(常用制动或紧急制动)迫使列车降速或停车,最终确保高速列车行车的安全。作为一个高速列车运行控制系统,除完成其应有的功能外,其特殊性体现在以下三个方面。

首先是安全性和可靠性。高速列车运行控制系统与高速列车的安全运行密切相关。作为铁路的信号系统,列车运行控制系统自铁路诞生以来就存在。随着列车运行速度的不断提高,列车脱轨、颠覆、追尾和正面冲突造成的灾难越来越严重,对列车运行控制系统安全性和可靠性的要求就越来越高。高速列车运行控制系统的安全性,通常遵循“故障-安全”原则,即系统发生故障时只能显示“红灯”(或降速信息等)确保高速列车安全停车(或减速),而不能显示“绿灯”或其他信息使列车继续高速运行,从而避免追尾、颠覆或其他事故发生等。

高速列车运行控制系统的第二个特殊性在于系统的二次设计。高速列车运行控制系统并不是一个“确定”的系统,与动车组、线路、车站的布局及运输组织等相关,是一个覆盖所有线路和涉及线路上所有运行的高速列车的复杂巨系统。因此,在高速列车运行控制系统的“最小核心系统”研发完成以后,针对不同线路和不同类型的高速列车,需要进行系统的二次设计。所谓“最小核心系统”,是包含一个标准站场、局部线路和固定列车设计的一个覆盖线路、站场和列车等的最小系统,确保其联锁、逻辑等功能以及系统的可靠性和安全性。高速列车运行控制系统属于一个“量体裁衣系统”,其开发和二次设计的完成需要有专业性的辅助设计系统支持。

高速列车运行控制系统的第三个特殊性在于验证、安全评估和认证。无论是“最小核心系统”,还是具体应用系统,都存在可靠性和安全性的验证问题,即对系统进行实验室仿真验证、现场试验验证和中试等。高速列车运行控制系统在运营中复杂性不断提高、技术不断完善及升级,当系统投入运行以后,与现场应用“相同”的仿真系统仍旧被保留,用于后续系统的维护、升级和人员培训等。近年来,平行系统的概念也应用于轨道交通和高速铁路系统的研究中。除了进行上述系列测试、验证和试验,还应对高速列车运行控制系统进行独立的第三方安全评估和认证,从而保障系统的高安全和可靠性,使系统的风险得以分散和可控。不同于传统的测试、检测和鉴定,作为国际上通行的有效方法,第三方独立的安全评估和认证是一个安全保障的过程控制。



高速列车运行控制系统由中央控制子系统、地面控制子系统、车载控制子系统和通信网络子系统 4 个子系统构成,如图 1-2 所示。其中,地面控制子系统包括车站系统、区间及沿线的装置等,通信网络子系统包括有线网络和车-地无线通信等。从系统控制涉及的范围和对象来看,高速列车运行控制系统是一个复杂系统,不仅与线路和动车组有关,也与运营的动、静态数据有关,还与各种设施的状态、天气和地震等灾害监测结果有关。

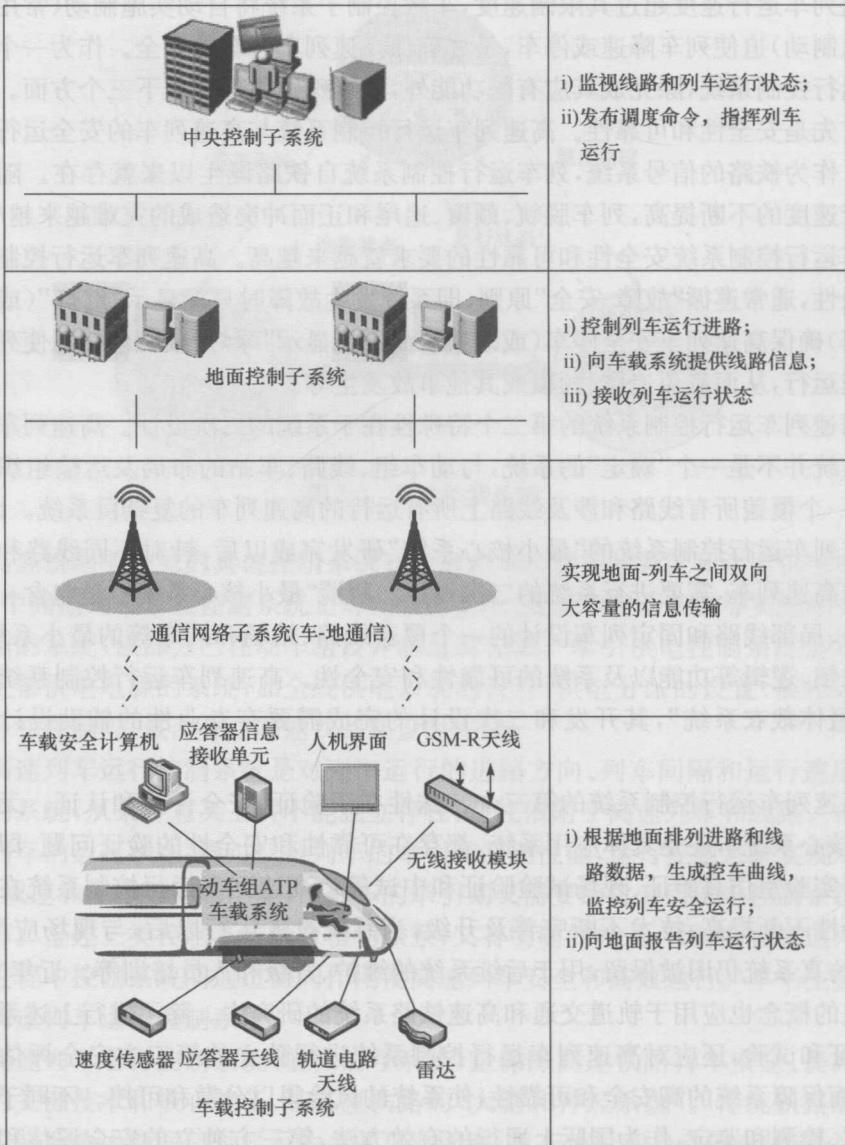


图 1-2 高速列车运行控制系统的分层结构