

铁路运输

自动化理论与技术

TIELU YUNSHU
ZIDONGHUA LILUN YU JISHU

第二版

刘 澜 甘 灵◇编著



西南交通大学出版社

铁路运输自动化理论与技术

(第二版)

刘 澜 甘 灵 编著

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

铁路运输自动化,是以信息技术为核心的现代科技与传统铁路运输业交融创新而成的一项系统工程,是世界包括中国铁路的现实和未来。本书在构建铁路运输自动化体系的基础上,论述了实现运输自动化的基本原理、自动化理论与技术,系统总结了中国铁路运输自动化的系统规划与实践,并对运输作业过程中的几个关键环节和子系统自动化的实现,在微观层面上就系统设计、模型与算法、计算机与网络应用技术等问题进行了深入研究,给出了相应成果,为铁路运输自动化领域的研究开发提供了一个知识技术体系和一系列深化途径。

本书可作为高等院校交通运输工程专业研究生与高年级本科生的教材,也可作为交通运输规划与管理、系统工程等专业研究生与高年级本科生、铁路运输部门技术人员、电子信息类技术人员进修使用或科研参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

铁路运输自动化理论与技术 / 刘澜, 甘灵编著. —
2 版. —成都: 西南交通大学出版社, 2015.6
ISBN 978-7-5643-3939-5

I. ①铁… II. ①刘… ②甘… III. ①铁路运输 - 自动化系统 IV. ①U29-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 122657 号

铁路运输自动化理论与技术

(第二版)

刘 澜 甘 灵 编著

责任编辑 李芳芳
封面设计 墨创文化

出版发行 西南交通大学出版社
(四川省成都市金牛区交大路 146 号)

发行部电话 028-87600564 028-87600533

邮政编码 610031

网 址 <http://www.xnjdcbs.com>

印 刷 四川森林印务有限责任公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm

印 张 18.25

字 数 456 千

版 次 2015 年 6 月第 2 版

印 次 2015 年 6 月第 6 次

书 号 ISBN 978-7-5643-3939-5

定 价 39.80 元

课件咨询电话: 028-87600533

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

第二版前言

本书是2006年出版的高等学校交通运输专业规划教材《铁路运输自动化理论与技术》第二版。从第一版面世至今已经8年,期间我国铁路系统、特别是高速铁路有了重大的变化和进步。政府政策方面:铁路政企分开,进行了体制改革和机构调整;铁路系统向社会资本放开了城际铁路、市域铁路、资源开发性铁路和支线铁路的所有权和经营权;制定《铁路主要技术政策》,以保障我国高速铁路快速发展。系统建设方面:中国高速铁路网成为目前世界上规模最大、运营速度最快的“双最”高铁;中国高速铁路发展将以“四纵四横”为重点,构建快速客运网的主要骨架,逐步实现客货分线运输。技术革新方面:我国铁路已普及应用中国列车运行控制系统(CTCS),通过积极发展和应用地理信息、卫星导航、数字移动通信、云计算、互联网及物联网等现代信息技术,使得我国铁路运输管理与控制进入了信息化和智能化的时代。工程建设方面:2009年最高时速350千米的京港高铁武广段开通运营,2011年6月30日新中国成立以来一次建设里程最长、投资最大、标准最高的京沪高铁通车;2014年11月初,发改委批复了黔江至张家界至常德铁路、新建柳州至梧州铁路、郑州至万州铁路这3个投资均超过100亿的铁路项目。之后连续批复大理至瑞丽铁路、辽宁锦州港至内蒙古白音华铁路、玉溪至磨憨铁路项目,这些项目总投资额超过2000亿元。

为了适应新形势的发展需求,对第一版进行了修订,新的版本重新梳理了我国铁路运输自动化技术的发展状况,反映了在高速铁路、重载运输、智能铁路和信号控制等方面的技术进步;并且,根据新的铁路技术规范及作业标准,对轨道、中间站、牵引计算、信号等方面内容进行了更新、修正和补充,新增了智能铁路技术、中国列控系统、北斗卫星通信技术等内容;按照铁路运输管理体系的结构、称谓和职责等变化,对原有的表述进行了改进;同时,根据现场应用的变化,对部分内容进行了删减、合并等调整,使本书的结构及内容更加合理和充实。

在第二版修订中,博士生骆晨协助进行了资料收集、各章节修订内容初稿的撰写和后期校对工作。

现代信息技术条件下的铁路运输自动化发展迅速,全面信息化、智能化是铁路运输自动化技术的发展方向,也是一项长期的、综合的系统工程,需要我们在学习工作和实践中持续创新和发展。

鉴于作者的视野局限、学识浅陋,书中难免存在不当之处,敬请读者批评指正!

作者

2015年5月

第一版前言

铁路运输自动化,是以信息技术为核心的现代科技与传统铁路运输业交融创新而生成的壮丽图景,已成为交通运输工程实践的主流,也是世界、包括中国铁路运输的现实和未来。

铁路运输自动化的进程总是伴随着人类科学技术水平的发展历程。作为一项传统产业,铁路运输最初是靠行车人员通过手信号或其他简单方式来控制列车安全有序地运行。随着微电子技术和数字计算机的发明与应用,铁路信号及系统控制技术的发展出现了重大的变化,一种表现是微电子化;另一表现则是集成有关技术和装备,形成具有多种运输功能的大系统。而人类的运动机能包括信息处理能力,对这种大规模、高速度、高精度和高信息负荷的作业控制已难以应付,这种大系统的运动必然是通过信息技术、智能技术来完成管理和控制的自动化过程,经济全球化和信息技术的迅猛发展,为世界铁路,特别是铁路运输自动化的发展提供了强大的物质技术保证。从 20 世纪 50 年代起,一系列运输自动化系统陆续问世:1964 年,在美国伊利诺伊州奇特菲(Gateway)建成了世界上第一个计算机控制的自动化编组站;1964 年,美国南太平洋铁路公司 SP,着手开发了世界上第一套运输管理现代化系统——综合作业处理系统(TOPS);1964 年,日本东海道新干线采用了与自动闭塞相结合的列车自动控制系统(ATC);1965 年,德国推出了连续无线列车控制系统(LZB),这些都是世界铁路最早实现的列车速度——间隔自动调整系统。1966 年,美国联合道岔信号公司 USS,推出了计算机控制的调度集中,以后发展为计算机辅助调度系统(CAD)(我国通常称为行车指挥自动化系统),具有进路控制和一般列车运行调整功能。得益于计算机、网络通信、卫星定位和传感器等技术突破性的发展,从 20 世纪 80 年代中期以来,铁路运输自动化系统又有了新的进展,各国普遍致力于开发列车运行控制与行车调度指挥一体化的新系统。如美国的先进列车控制系统(ATCS)、加拿大的先进铁路电子系统(ARES)、日本的列车控制系统(CARAT)、法国的连续实时控制系统(ASTREE)等,这些系统分别采用了查询应答器技术、GPS(全球定位系统)技术、多普勒雷达技术、车载测速和计时技术等,并且都采用计算机技术和移动无线数据通信技术来处理、传输信息和指令。到了 80 年代末 90 年代初,美国 USS 公司设计和装备的奥马哈(Omaha)和杰克逊维尔(Jacksonville)两个调度中心,更是集成了当代最新科技成果,能够监视和调度 30 000 km 铁路网上全部列车的运行,每个调度员平均管理 1 000 km 左右的区段,改变了传统的分散调度模式。这充分反映出运输自动化系统是多种科学技术(主要是自动化技术、系统理论与方法、交通运输科学)相互融合的产物。以铁路运输工程专业为核心,由计算机技术(Computer)、通信技术(Communication)和控制技术(Control)构成的 3C 综合技术已成为铁路运输自动化的重要基础,并且,随着运输需求的日益多样化,系统管理和控制的精细程度与复杂性都成倍增长,智能技术(Intelligent Technology,简称 IT)必将在运输自动化系统中发挥越来越重要的作用。

交通运输工程学科在高新技术条件下也有了广泛、深入地发展,运输自动化已成为国内

外交通运输实践的主流。由于有关成果散见于列车控制、行车组织、客货运输、计算机应用和数字通信等不同专业方向的理论研究和实践,本书意在对此进行总结、归纳并深化,丰富和完善本学科的理论技术体系及其内涵。书中介绍分析了有关实现运输自动化的基础理论,包括概念、思想方法及其适用性,阐述了当今中国铁路运输自动化系统的结构、功能等发展状况,以四个技术专题从研发角度展示了实现运输自动化系统的理论与技术应用。全书以“基础篇”、“系统篇”和“专题篇”三篇共二十章的内容,诠释了通过多层次的系统集成融合实现运输自动化的思想和方法。

在多年的教学、科研工作中,本人形成了“运输自动化与交通控制”和“交通运输信息理论与技术”的研究方向,并将上述方向上的一些研究成果汇聚、编撰,形成本书。书中包含了来自有关领域的理论与实践的经典或最新成果,更包含了我的合作者、我的研究生们的辛勤劳动。交通运输学院党委书记甘灵副教授鼓励和支持了本书的撰写与出版,共同统筹全书内容,并在第十八章的专题研究中给予了重要的指导;研究生周天星主研了第二十章的专题研究,魏方华主研了第十八章的专题研究,殷原、蒋涛、罗毅分别参与了第二章至第六章、第七章至第十章、第十一章至第十六章的编写,殷原参与了第十七章的成果整理,魏方华、苗沁、夏明雷在第二十章的专题研究中参与了系统现场调试与应用培训工作。

正如运输自动化系统是基于多学科及专业方向的交叉领域,本书引用了一些专著、论文和资料的思想观点、技术方法及数据等,在此特向有关作者表示衷心的感谢!

我还要特别感谢西南交通大学出版基金给予本书出版的资助!感谢西南交通大学出版社给予的大力帮助!感谢彭其渊教授、程嘉宝高级工程师(教授级)的热情推荐和有益建议,感谢严余松教授、熊天文教授、魏德勇高级工程师(教授级)的认真审阅和指正,相信这种扶持的成效会在学科发展、人才培养等多方面长久地显现。

由于铁路运输自动化是一个日新月异的发展领域,加之本人学识水平所限,书中还存在不少问题和缺点,希望读者批评指正。

刘 澜

2006年1月

目 录

基 础 篇

第 1 章 总 论	1
1.1 运输服务	2
1.2 作业控制与管理	5
1.3 系统划分与融合	9
1.4 系统特性与研究方法	10
1.5 机构改革与职能转换	12
第 2 章 铁路线路及车站	13
2.1 铁路线路的构造	13
2.2 铁路线路的平面	14
2.3 区间线路纵断面	15
2.4 站坪平面及纵断面	18
2.5 铁路车站概述	20
2.6 中间站	23
2.7 区段站	25
2.8 编组站	27
2.9 铁路枢纽	30
第 3 章 牵引计算	35
3.1 机车牵引力	35
3.2 列车运行阻力	38
3.3 列车制动力	40
3.4 列车运动方程式	41
3.5 列车牵引质量	45
3.6 牵引计算电算化	48
第 4 章 信号控制	49
4.1 车站信号控制	49
4.2 区间信号控制	55
4.3 自动闭塞	57

4.4 机车信号	60
4.5 列车运行自动控制与安全防护	61
4.6 调度集中	62
第5章 列车运行组织	63
5.1 车流组织	63
5.2 列车运行图分类及要素	66
5.3 列车运行图的编制方法	70
5.4 机车车辆运用及调度工作	72
第6章 铁路通过能力	77
6.1 车站通过能力	77
6.2 车站到发线通过能力计算	79
6.3 车站改编能力	80
6.4 区间通过能力	82
6.5 铁路区间通过能力的加强	85
第7章 自动控制理论	89
7.1 自动控制概述	91
7.2 自动控制系统的数学模型	94
7.3 典型控制理论	99
7.4 自动控制系统的状态及性能要求	102
第8章 自动检测技术	106
8.1 检测系统及其基本特性	106
8.2 传感器	109
8.3 检测信号处理	116
第9章 通信技术	117
9.1 通信系统的一般模型	117
9.2 通信系统分类与通信方式	120
9.3 移动通信系统	123
9.4 卫星通信系统	130
9.5 铁路无线通信系统	133
第10章 企业综合自动化	135
10.1 管理信息系统	135
10.2 决策支持系统	136
10.3 专家系统	138

系 统 篇

第 11 章 铁路运输管理信息系统及其拓展	140
11.1 TMIS 概述	140
11.2 TMIS 主要应用子系统	144
11.3 铁路运营管理信息系统	150
第 12 章 编组站综合自动化系统	153
12.1 概 述	153
12.2 驼峰自动化系统	155
12.3 编组站货车信息处理系统 (YIS)	162
第 13 章 行车指挥自动化系统	165
13.1 概 述	165
13.2 车站进路控制与调度集中	166
13.3 列车调度指挥系统 (TDCS)	168
13.4 国内外一些行车自动化系统	172
第 14 章 计算机编制列车运行图	175
14.1 概 述	175
14.2 计算机编制列车运行图技术	176
14.3 网状线路列车运行图编制系统	179
第 15 章 铁路客运自动化系统	182
15.1 概 述	182
15.2 客票发售与预订系统	182
15.3 铁路行包管理自动化系统	185
15.4 旅客信息服务系统	187
第 16 章 铁路货运管理自动化系统	189
16.1 概 述	189
16.2 货运站作业管理自动化	189
16.3 铁路货物运输生产计划编制自动化	191
16.4 集装箱运输管理系统	192
16.5 铁路货运电子商务平台	194

专 题 篇

第 17 章 列车速度—间隔控制理论与应用	197
17.1 概 述	197

17.2	系统基本理论及关系	199
17.3	速度—间隔控制方案的解算	202
17.4	系统可靠性分析	207
17.5	客运专线列车速度控制方案优化	211
17.6	自动闭塞条件下追踪行车模拟	215
第 18 章	车站能力计算微机综合集成系统	220
18.1	车站能力计算查定原理与方法	220
18.2	系统设计	229
18.3	软件开发与应用	231
18.4	系统评价与完善	242
第 19 章	车站咽喉通过能力可视化计算集成系统	244
19.1	基本方法综述	244
19.2	系统设计	251
19.3	车站咽喉通过能力优化数学模型与算法	253
19.4	计算机模拟及参数采集	258
19.5	可视化计算的实现	260
19.6	系统应用	263
第 20 章	集装箱节点站箱号追踪信息网络查询系统	264
20.1	集装箱运输管理信息化	264
20.2	原成都东站集装箱运输生产分析	266
20.3	信息追踪网络的组建	268
20.4	功能设计与实现	272
20.5	数据库设计	279
20.6	系统应用与评价	280
参考文献		281

基础篇

第1章 总论

从1825年世界第一条铁路在英国诞生之日起直到今天,铁路得到了极大的发展,同时它对于推动人类社会进步,促进经济、文化发展也起到了巨大作用。作为一项传统产业,铁路运输的自动化进程始终与自然科学众多领域的理论与技术(包括人类学、社会学等科学技术)的进步相互关联,并在与其交融中不断发展,成为高科技产业。

自20世纪70年代以来,由于各种运输业,特别是汽车和航空工业等新兴产业的迅速发展,越来越明显地使一度垄断交通运输的铁路受到严重的冲击。因此,铁路现代化受到其他运输方式的挑战。同时,由于电子技术、信息技术等新技术革命浪潮的出现,给铁路这个传统产业的现代化注入了新的血液,使其发生新的转变,出现了铁路中短距离和大城市间客运高速化,大宗货物直达重载化,运营管理自动化等。以重载、高速和信息化为典型特征的新一代铁路不仅是国民经济发展水平和国家综合科技水平的重要标志,而且成为相关产业和技术发展的巨大的推动力。目前,世界许多国家都在结合各自的国情,积极推进其铁路运输现代化的进程。已经实现现代化铁路运输的美国、英国、德国、法国、日本和以俄罗斯为主的前苏联地区,都在研究和开发新一代铁路运输自动化系统及相关技术。

实际上,铁路运输的发展总是引领着现代科技向交通运输领域的转移和应用。例如,现代自动化理论与技术中的重要概念,如反馈、闭环、故障、安全及联锁等均诞生于铁路。最早产生于铁路的车辆定位技术——轨道电路(1872年),用于通过防止车辆碰撞、实现安全保障和提高效率的技术系统——半自动闭塞系统(1890年),自动闭塞系统(1910年)和联锁系统(1925年)已成为现代交通运输系统中不可或缺的重要技术基础;交通运输系统的信息化也是从铁路运输行业开始的,其标志是1958年投入运行的计算机化的行车指挥系统和1960年投入运营的计算机化的运营管理系统。第一个运输自动化系统首先是在美国伊利诺伊州奇特菲(Gateway)建成的(1964年),这世界上第一个计算机控制的自动化编组站,具有驼峰作业过程控制和业务组织与管理信息两个子系统。我国铁路自“七五”以来,不断加强自动化、信息化技术推广应用。推行了一系列的系统应用,如面向安全保障的计算机联锁系统、列车运行状况监控系统、计算机化的自动闭塞系统和列车运行控制系统;面向运营管理和服务水平提高的铁路运输管理信息系统(TMIS)、车号自动识别系统(ATIS)、客票发售与预定系统(TRS)和列车调度指挥系统(TDCS)等覆盖全国的大规模信息系统;车号自动识别系统已经完整地覆盖全路、包括广域网、城域网、地区网、本地网与接入网在

内的通信基础设施。其中某些业务系统已达到甚至超过同期的国际先进水平。

如果以铁路运营三要素——列车重量、速度和密度来衡量运输自动化系统的实现,美国和加拿大等国铁路侧重于发展长、大、重列车,主要体现在重载货运技术上;日本和西欧铁路侧重于发展短、轻、快高速列车,主要体现在高速列车运行控制技术上;而前苏联铁路则采取重量和密度兼顾,在行车组织和列车驾驶优化上都有独特成果。如果以铁路的两种运输——(客、货运)比重来分析,则美国、加拿大等国以货运为主;日本、德国等国主要以客运为主,而前苏联铁路则客货并重发展。各个国家发展现代化铁路的方向是不一样的,内容表现有很大的差异,各有侧重。但重载货运、高速客运、高密度行车技术、集装箱运输以及运输管理计算机网络信息系统,已经成为未来世界铁路的发展趋势。

1.1 运输服务

1.1.1 高速铁路

高速铁路是当今世界铁路高新技术的一项重大成就和安全的现代交通工具。由于它具有运行速度快、安全性能好、经济效益高、能源消耗低和环境污染小等诸多优点,在许多国家得到了迅猛发展,成为世界铁路的新潮流。

世界上首先提出高速铁路建设方案的是日本铁路技术研究所的科研人员。1964年10月世界上诞生了第一条高速铁路——日本东海道新干线。东海道新干线全长为515.4 km,列车最高速度为210 km/h,东京至大阪间运行时间为190 min(后来缩短到176 min)。日本东海道新干线高速铁路的建成,在国际上产生了巨大影响,在技术和安全上解除了人们对于建设高速铁路的疑虑,并且当时该条线路仅用8年时间就收回全部投资,从而促进了世界高速铁路的蓬勃发展,给各国铁路带来了新的生机。后来陆续完成山阳、东北、上越等新干线,最新型的500系列车最高时速达300 km/h。日本的实践充分证明,在激烈的竞争中,铁路只有实现高速运输才可能保持在交通运输中的骨干作用。

虽然新干线的速度优势不久之后就被法国的TGV(Train a Grande Vitesse)超过,但是日本新干线拥有目前最为成熟的高速铁路商业运行经验——近50年没有出过任何事故。第一条TGV是1981年开通的巴黎至里昂线,最初这种电动高速列车的时速为250 km/h,此后不过几个月,TGV就打败法国航空,拥有了这条线路的最大客源。在1982年的试验运行中,TGV创造了当时的318 km/h的高速轮轨时速,从此TGV一直牢牢占据高速轮轨的速度桂冠。1989年巴黎至波尔多的大西洋线通车运营,1993年7月巴黎至里尔的第三条高速铁路北部线正式通车,目前TGV的纪录是1991年创下的515.3 km/h,这三条高速铁路正以300 km/h的时速从事商业运营。法国TGV的最大优势在于传统轮轨领域的技术领先,在20世纪50年代中期即已利用电力机车牵引列车创造了时速为331 km/h的世界纪录。法国TGV在利用传统技术和降低造价上获得的成功,增加了很多国家建设高速铁路的信心,从而进一步推动了世界高速铁路的发展。

德国ICE(Inter City Express)的研究开始于1979年,使得德国在建立高速行车理论方面居世界领先地位,很早以前就论证了采用轮轨系统可将列车速度提高到300 km/h的可行性。德国从1991年开始使用高速铁路系统,并把发展高速铁路作为实现铁路现代化的根本途

径。ICE 高速列车开始进行商业运转后,其最高营运速度可达 280 km/h。有关高速铁路行车、线路设计、桥梁设计规范、噪声防护规定等也较为完善。

瑞典、英国因是岛国,铁路网已很密,不宜再为高速列车修建高标准的新线,其特点是改造和利用既有线路,运行高速列车,借助于机车车辆技术适应原有线路发展高速铁路。英国采用了机车牵引式的 Inter City 225 高速列车,瑞典则采用 X2000 型摆式车体配用径向转架的高速列车,1990 年 9 月瑞典第一列 X2000 高速列车投入斯德哥尔摩至歌德堡之间的运营,平均时速为 200 km/h,最高时速为 250 km/h。

法国、意大利、西班牙、南非、美国等相继有了高速铁路;英国、比利时、荷兰、挪威、葡萄牙、瑞士、奥地利、俄罗斯、波兰、捷克等都制订了建设高速铁路的计划。欧盟还规划建设泛欧高速铁路网。中国台湾也修建了一条客运专用高速铁路,正线全长为 345 km,最高运营速度 315 km/h,于 2007 年 3 月正式通车。中国大陆的高速铁路到 2013 年年底已突破 10 000 km,在建规模 12 000 km,开通了时速 350 km/h 的世界最快高铁运营线路。同时,还有时速 120 km/h 及以上线路超过 40 000 km、时速 160 km/h 线路超过 20 000 km,中国成为世界上高速铁路运营里程最长、在建规模最大的国家。

高速铁路运输的发展推动了技术的创新,世界许多国家正在研制多种磁悬浮铁路,这种技术使车体在轨道上浮起一定高度,然后以直流电机作为动力推动列车前进。日本磁浮列车在 2003 年达到过 581 km/h 最高时速。德国科学家曾预测,到 2014 年磁悬浮列车采用新技术后,时速将达 1 000 km。中国上海已经建成了磁悬浮列车运营线,全长 29.863 km,最高运营速度 430 km/h,部分时段运营速度 300 km/h,这也是世界上第一段投入商业运行的高速磁悬浮列车。近年来,有专家倡导真空管道运输,就是在管道内利用真空原理,设计一种真空磁垫列车,以 600~1 000 km/h 超高速运行。可见,随着科技的进步,高速铁路将日新月异、不断创新。

1.1.2 重载运输

重载运输代表了铁路货物运输领域的先进生产力,在美国、加拿大、澳大利亚、南非、巴西、瑞典等国家,通过采用重载运输极大地提高了铁路劳动生产率,他们的铁路货运收入均达到了很高的水平,像俄罗斯、印度等一些国家在重载运输方面也取得了良好的效果。综合各国重载列车的发展水平,1986 年 10 月国际重载运输会议把各种不同形式的重载列车重量标准规定为至少应当达到 5 000 t。

北美是重载运输发展最早的地区。20 世纪 70 年代末,美国一级铁路开始了重载运输,由于其在运输能力、劳动生产率 and 安全可靠方面的优势,得到了广泛的重视和发展。澳大利亚的纽曼矿山铁路线全长为 427 km,是一条单线内燃机牵引准轨铁路,建于 1969 年,归属 BHP 公司。BHP 公司从 1973 年开始研究采用重载运输技术,劳动生产率逐年提高,成本逐年下降,2000 年与 1980 年相比,燃油消耗下降了 43%,每百万吨矿石运输所需人力从 30 人下降到 5 人,机车车辆无故障运行距离由 300 万 km 上升到 920 万 km,可靠性上升了 3 倍,机车车辆利用率提高了 36%,车轮、钢轨寿命提高了 3~5 倍。2000 年 BHP 矿山公司的全年效益(利润)高达 500 亿澳元,创造了历史最高水平,其中重载运输发挥了重要作用。

类似的例子还有澳大利亚的昆士兰煤运重载铁路,它全部是轨距为 1 067 mm 的窄轨铁

路,连接着昆士兰六大煤矿系统与煤炭输出港口的六个大煤炭码头,煤运重载铁路线全长为 2 000 km,其中 70% 是电气化铁路;南非铁路有两条重载铁路线,OREX 铁矿重载铁路为单线准轨,全长为 860 km,COALink 运煤重载铁路为窄轨复线,全长为 600 km,这两条线在 20 世纪 70 年代末采用重载运输技术;还有瑞典铁路北部的挪威—瑞典矿山铁路(LKAB)全长为 540 km,是瑞典北部专用的矿山铁路,开行了轴重为 30 t、全长 740 m、68 辆编组、8 500 t 牵引重量的重载列车。

20 世纪 80 年代以后,我国铁路先后在一些主要铁路干线上多次进行 5 000 t 级及 1 万 t 以上重载列车的运行试验,在此基础上,我国第一条双线电气化重载列车运煤专线——大秦线自 1992 年 9 月 10 日起正式开行了 10 000 t 级重载列车。尤其是进入 21 世纪后,我国铁路的重载运输与提速战略相配合,在客运大面积提速的前提下,5 000 t 重载列车的开行范围已遍及五大繁忙干线,重载新线也正在修建。而且,在既有干线上既开行提速旅客列车,又开行 5 000 t 以上重载货物列车,在客货混运线路上实现提速、重载目标成为国际首例。

当前国际重载运输的技术水平集中体现在以下几方面:

(1) 大功率重载机车技术。主要包括三相交流异步电机轻量化,采用 IGBT 大功率牵引变流器和基于网络(现场总线)控制系统,通信协议多采用 TCN 国际标准,具有智能化故障诊断功能。

(2) 重载货车技术。体现在大轴重、低自重、低动力作用。货车轴重多在 30 t 以上,部分铁路达到 40 t,普遍采用低合金钢及铝合金、不锈钢轻量化车体,配备自导向径向转向架或导向臂式转向架、高强度车钩、大容量缓冲器,部分重载货车采用牵引杆技术,提高车轮材质,增强抗剥离性。

(3) 重载列车同步操纵。采用机车无线同步操纵 LOCOTROL 和电控空气制动 ECP 两种方式。目前 LOCOTROL 已发展到第四代,接口简化且具有更高的可靠性,其主要优势为可提供最佳动力分配和制动操作,减少列车在陡坡运行时的车钩受力,更快地加速和减速,增加牵引效率和减少滚动阻力,更快地制动缓解动作,可将多个短列车连接成一个长列车。ECP 采用信息技术直接用计算机控制列车中每辆货车制动缸的制动和缓解,加快了制动速度、缩短了制动距离,降低了车辆间纵向冲动力,优越性非常明显,有线通信方式适用于固定编组单元列车,无线方式比较灵活,但需在每节车辆安装电源和无线收发装置。

(4) 重载列控均由调度集中控制中心指挥。CTC 系统均采用双套设备,以确保 CTC 系统的高安全性、高可靠性和高可用性;调度集中系统功能齐全,显示内容丰富、显示界面灵活,CTC 主要功能正向智能化、系统化、综合化方向发展。基于无线通信的列车自动运行控制系统 CBTC 以 GPS 局部决策系统(LDS)为核心,包括决策管理、速度自动控制、列车故障控制、路旁集成检测监控、道口报警、机车动力控制及安全警报、车站进路优化、列车自动操纵(无司机)等子系统。与传统基于轨道电路的列车控制系统比较,CBTC 优势主要表现在整体性强,系统结构简洁,支持双向运行,可根据需要使用不同的调度策略,实现移动闭塞,可优化列车驾驶的节能算法,提高节能效果。

(5) 工务工程。国外对重载铁路轴重大、货运强度高的运营条件,在线路、轨道结构、路基、桥梁及设备的监测与养护等方面采取了不同技术措施,包括提高线路技术标准;重视轮轨关系,把轨道-车辆作为一个系统考虑,先从轮轨关系出发采取措施降低轮轨作用力,再

考虑轨道结构的强化,在运营维护中对轮轨进行协调管理;强化轨道结构和线下基础设施,重载铁路采用预防性维修,研发先进检测和监测技术,识别车辆和线路状态及缺陷。

(6)重载线路养护维修都采用预防性维修,实行钢轨预防性打磨,通过轨承式和车载式轮轨润滑实现轮轨摩擦管理,同时也对车辆进行预防性维护,改善轮轨相互作用;加强钢轨探伤和几何状态检测,制定合理预防性维修计划,采用大机养护来保持线路的良好状态;加大检测与监测力度,为预防性维修提供设备状态依据。

1.2 作业控制与管理

列车在速度、密度、重量和系统规模上的发展,已大大超出了人的体力、脑力反应的承受极限,实现自动化是必由之路。基于运输活动的实质及其实践,结合系统论和自动控制理论的基本思想,运输自动化反映在过程控制自动化和运营管理自动化两个方面。

1.2.1 过程控制自动化

过程控制自动化的核心思想就是直接控制活动设备在固定设备上的移动,实现安全、优质和高效的自动化过程。为此,如何开发和运用先进的列车运行控制系统,是运输生产自动化的关键所在。

1.2.1.1 列车运行控制

列车运行控制的关键是对列车运行速度及间隔的控制。自动控制系统应根据列车当前速度、与前行列车的间隔、线路条件及信号系统给定的列车最大容许速度限制等条件对列车的运行速度进行控制并满足有关的安全、时间和物理约束。国内外列车控制系统的发展经历了ATS, ATP 到 ATC 和 ATO 的不同阶段,但是绝大部分列车控制系统的功能都没有超出列车制动控制的范围。为真正实现列车运行全过程自动控制的目标,新型的列车控制系统应满足以下技术要求:

1. 控制响应、信息处理的快速性和实时性要求

德国 ALCATEL SEL 的连续式列车运行控制系统(LZB),每隔约 2.25 s 就有一次车载设备和轨间电缆节点之间的双向信息交换,如此高密度的信息量,必然要求系统的控制响应和信息处理能力快速、准确,具有实时性。

2. 系统控制的灵活性、适应性

高度自动化的运输系统,同样必须有灵活的运用方式,适应不同运输条件下的运行模式,如系统的降级使用。上述 LZB 系统既可以在带闭塞分区间隔和地面信号控制系统下运行,也可以在带闭塞分区间隔而没有地面信号控制系统的条件下运行,还可以基于绝对制动距离按移动闭塞方式运行。

3. 系统功能的高度集成化

列车控制系统不仅具有对列车运行速度进行高质量控制的基本功能,而且还必须具有对高速机车车辆的关键部件和状态进行在线检测、监视、诊断和决策支持等多种功能,以保证整个高速列车控制系统的高度可靠性、安全性和实用性。

4. 开放的系统结构体系

列车控制系统必须具有基于多处理器计算机控制系统和网络的开放式结构,以确保控制系统各组成单元能协调地互联成具有集列车控制、监督和管理为一体的具有综合功能的复杂信息系统。

5. 控制系统的高度智能化

列车控制系统应能对包括加速、恒速、制动调速及安全停车等列车整个运行过程实施有效且高品质的控制,最终目标是使列车控制系统真正向以系统控制为主、司机参与监督为辅的方向发展。采用智能控制和智能自动化技术改造或重构适应高速度、高密度要求的铁路自动化系统,已成为必然的趋势。

上述关于列车控制系统的技术要求,在一般特性上同样适用于以列车运行为核心的其他作业过程控制,包括与支持移动设备运动的有关作业过程的自动控制,例如编组站自动化驼峰的推峰速度控制、间隔调速和目的调速控制,以及指令信息的通信控制等。

因为铁路运输是以机车和众多的车辆组成列车的形式运行,货运列车还必须在指定地点进行解体 and 编组,同时在路网上要进行列车流和车流的调整。所以,过程控制自动化还体现在上述微观过程的系统实现上,即行车作业自动化和编组站作业自动化。

1.2.1.2 行车自动化

行车指挥自动化是利用计算机技术,在电气集中、自动闭塞和调度集中的环境中和高速度、高密度行车的线路上,为列车调度工作提供可靠的信息,完成以下几个基本环节的自动化过程:

(1) 列车速度控制。关于列车起动、停车和加、减速控制,对于行车安全来说,关键是防止超速运行和停车控制。

(2) 列车间隔控制。保证列车追踪运行时的行车安全和通过能力。

(3) 列车进路控制。可以根据列车实际运行轨迹和列车运行图,控制沿线车站列车的到达、出发和通过进路开放及转换。

(4) 运行图管理和列车运行调整。它可以制订列车运行计划,对列车运行进行实时监控,并进行一系列分析判断,为列车调度指挥提供运行调整方案;还可以自动描绘列车实际运行图,对运行指标进行统计分析等管理。

因此,行车指挥自动化可以看作是过程综合控制自动化系统,世界各国铁路的行车自动化系统,实质上是对上述几个基本环节实现不同程度的实时自动控制。例如:日本新干线的行车指挥自动化系统(COMTRAC, COMputer aided TRAffic Control system)就是一个很成功的系统。该系统由实施计划子系统、运行管理子系统和运行控制子系统三部分组成,它可以为列车、车辆、乘务员编制、修正运行图和运量波动时的车辆运用计划,在基本计划的基础上,制定每天列车和车辆运用计划,监视和预测列车运行状况,对列车运行紊乱时列车运行图的变更信息进行处理,将列车运行图的变化信息、列车晚点等信息传送给车站,并同时传输车辆、乘务员运用及资料管理的信息;它还可以根据列车运行图设置列车进路。这个系统的建成大大提高了日本铁路计划和统计工作的及时性和准确性,提高了列车运行的安全性和正点率,取得了显著的社会效益和经济效益,使日本铁路运输管理面貌一新。

中国铁路建设的行车调度指挥系统 TDCS (Train operation Dispatching Command System)

是经调度监督、传统 CTC 和 DMIS 几个技术阶段发展而成的,是将通信、信号、计算机网络、数据传输、多媒体等融为一体的多级集中式综合型现代化运输调度指挥系统。其核心功能是实现中国铁路总公司、各区域性铁道部(含同级集团公司,下同)、铁路局对全路、全局的行车进行实时、集中、透明指挥,可以用自动化的手段调整运输方案,采用最佳方案控制进路指挥行车,并在大型客运站中,使旅客向导和站调的列车信息实现真正的自动化,该系统以站、段为基础,实行铁总和路局两级调度指挥管理体制,呈现铁总、路局和车站 TDCS 系统的三层网络体系结构,并向分散自律系统发展。

行车指挥和列车控制两个系统长期以来相对独立,平行发展,互不干扰。随着铁路运输事业的进一步发展,将行车指挥和列车控制结合起来已经成为一个重要的研究方向。20 世纪 80 年代中期以来,各国开发的新一代行车自动化系统将列车控制与行车指挥两个系统结合为一个统一体,调度中心可以指挥和调整列车运行以及开放进路,必要时还可以直接控制列车的间隔和速度。具有代表性的新一代系统有:美国和加拿大相继开发的先进的列车控制系统(ATCS)和先进的铁路电子系统(ARES),法国开发的实时列车自动跟踪系统(ASTREE),日本开发的计算机和无线电辅助列车控制系统(CARAT)等。

1.2.1.3 编组站自动化

编组站是制造和加工列车的工厂,过去一直依靠繁重复杂的体力劳动和脑力劳动支撑着列车的生产。随着机械、液压控制、信息技术的发展和应用,20 世纪 60 年代至 70 年代,编组站作业机械化和自动化程度不断提高,到 80 年代已发展为成熟的技术和系统。美国于 1964 年建成了世界上第一座较为完善的综合自动化编组站,此后加拿大、德国、法国、日本以及苏联等国家先后建立了不同程度的综合自动化系统。我国在 20 世纪 70 年代开始编组站自动化系统的研究工作,相继在多个编组站实现了程度不同、调速工具多样的自动化系统。1990 年建成的郑州北站自动化系统是我国第一个综合自动化编组站,其主要指标已达到国际先进水平。编组站自动化系统大大改善了运输生产人员的劳动条件,提高了通过能力和改编能力,缩短了车辆周转时间,提高了劳动生产率,使编组站的面貌获得了根本改观。编组站自动化系统包括各种列车到达、解体、编组和出发的全部作业过程的自动控制以及作业计划的自动编制、执行和处理,它的过程控制系统包括:驼峰自动化系统和列车进路控制系统。

1.2.1.4 计算机编制列车运行图

列车运行图是铁路组织各部门生产活动的最重要的基础性生产计划,反映了铁路为国民经济其他部门服务的质量水平。国外从 20 世纪 50 年代开始进行计算机编制列车运行图的研究,如苏联从 50 年代开始尝试用模拟人工算法、试探法、逻辑代数法和数学规划法编制单线列车运行图;日本在 70 年代利用光笔根据每一列车运行线的编制要求,向计算机输入信息,通过人机对话进行编图;美国、英国、德国、加拿大等也先后进行了计算机编制列车运行图的研究。我国自 20 世纪 60 年代初开始对运用计算机编制列车运行图进行了大量的研究,一些高校如西南交通大学、北京交通大学、兰州交通大学和铁道部科学研究院等采用数学模型和实用模拟等变通的方法对不同的问题进行了深入细致地研究,无论在理论上还是实际开发方面均取得了显著的成果。目前比较成熟的、应用效果较好的计算机编制列车运行图系统有:全路直通客车方案编制系统,列车运行图计算机编制系统,网状列