



“十二五”国家重点出版物出版规划项目

GAOSU TIELU LIECHE YUNXING KONGZHI JISHU
—CTCS-3 JI LIECHE YUNXING KONGZHI XITONG

高速铁路列车 运行控制技术

——CTCS-3级列车运行控制系统

□ 莫志松 郑升 主编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



“十二五”国家重点出版物出版规划项目

高速铁路列车运行控制技术

——CTCS-3级列车运行控制系统

莫志松 郑升 主编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

本书通过对 CTCS-3 级列车运行控制系统技术攻关与创新工作的总结和凝炼,从基础理论、关键技术、工程实践等方面进行深入浅出、全面系统地介绍,帮助我国从事高速铁路研究开发、工程实施、运营维护、使用管理等技术人员,能够更加深入地了解 and 掌握 CTCS-3 级列车运行控制系统的基本结构、工作原理、关键技术和测试方法等内容。

本书可供高速铁路相关专业技术人员、运用和管理人员学习,对各类职业院校相关师生也有重要的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

高速铁路列车运行控制技术:CTCS-3 级列车运行控制系统/莫志松,郑升主编. —北京:中国铁道出版社,2016.5
ISBN 978-7-113-21284-1

I. ①高… II. ①莫… ②郑… III. ①高速铁路—列车—运行—控制系统 IV. ①U284.48

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 310228 号

书 名:高速铁路列车运行控制技术——CTCS-3 级列车运行控制系统
作 者:莫志松 郑 升 主编

策 划:崔忠文
责任编辑:徐 清 崔忠文 电 话:(市)010-51873147 电子信箱:dianwu@vip.sina.com
(路)021-73147

封面设计:崔丽芳
责任校对:孙 玫
责任印制:陆 宁 高春晓

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街 8 号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:中国铁道出版社印刷厂

版 次:2016 年 5 月第 1 版 2016 年 5 月第 1 次印刷

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:19 字数:464 千

书 号:ISBN 978-7-113-21284-1

定 价:68.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

《高速铁路列车运行控制技术》 编写委员会

主 编 刘朝英

副主编 覃 燕

成 员(按姓氏笔画排序)

李文涛 李 凯 郑 升 袁湘鄂

莫志松 曹 玉 靳 俊

序

近年来,我国高速铁路快速发展,取得了举世瞩目的成就。高速铁路列车具有运行速度快、追踪间隔时间短的显著特点。为确保行车安全,必须采用高可靠、高安全的列车运行控制系统。

中国列车运行控制系统(简称 CTCS)技术体系是充分吸取了国际列控系统的先进经验,并结合中国国情进行系统集成创新的成果,具有自主知识产权,其技术水平已跨入世界先进行列。

CTCS 既包括地面设备,也包括车载设备,是车地一体化的综合控制系统。支撑 CTCS 的主要设备包括:CTCS-3 级、CTCS-2 级列控车载设备,调度集中设备,轨道电路设备,计算机联锁设备,无线闭塞中心(RBC),列控中心(TCC),临时限速服务器(TSRS)等。列控地面设备根据联锁进路信息、列车追踪信息、允许速度信息、线路坡度信息等形成列车行车许可,由列控车载设备控制列车安全地运行。CTCS 在应用中不断成熟和完善,为我国高速铁路的快速发展创造了条件。我国高速铁路按照 200~250 km/h 高速铁路信号系统以 CTCS-2 级列控系统为主,250~350 km/h 高速铁路信号系统以 CTCS-3 级列控系统为主进行规划建设。

为了完整地呈现中国列车运行控制系统技术体系,反映铁路科研人员长期辛勤耕耘的创新成果,我们编写了《高速铁路列车运行控制技术》,使我国从事高速铁路研究开发、工程实施、运营维护、使用管理等相关技术人员,能够更加深入地了解中国列车运行控制系统的基础理论、关键技术、工程实践和相关技术规范。

《高速铁路列车运行控制技术》包括五个分册,分别是《调度集中系统》《CTCS-3 级列车运行控制系统》《CTCS-2 级列车运行控制系统》《ZPW-2000 无绝缘轨道电路系统》《计算机联锁系统》。

高速铁路列车运行控制技术凝聚着一大批科研、建设、运营工作者的智慧和汗水。谨以此书,献给为中国高速铁路列车运行控制技术创新拼搏奉献的同志们。

编写委员会
2015 年 12 月

前 言

列车运行控制系统是保障列车安全运行,提高运输效率的重要行车装备。我国铁路系统坚持自主创新,瞄准世界一流标准,发挥后发优势,在研究国外典型铁路列车运行控制系统技术体系和关键技术应用的基础上,结合我国国情和路情,大力开展中国铁路列车运行控制系统的研究与建设。2009年12月26日,采用CTCS-3级列车运行控制系统的武广高速铁路成功开通运营,列车运行时速达350公里,标志着我国高速铁路列车运行控制技术已经达到世界先进水平。

CTCS-3级列车运行控制系统是中国列车运行控制系统(CTCS)的重要组成部分,是在CTCS-2级列车运行控制系统的基础上,通过技术进一步提升构建的高速列车运行控制系统标准体系和技术平台。它采用GSM-R无线通信系统,实现地面与列车控制信息双向实时传输,满足我国高速铁路高速度、高密度及不同速度等级动车组跨线运行的要求。

高速铁路列车运行控制系统是一项十分复杂的系统工程,本书通过对CTCS-3级列车运行控制系统技术攻关与创新工作的总结和凝练,旨在从基础理论、关键技术、工程实践等方面进行深入浅出、全面系统地介绍,使我国从事高速铁路研究开发、工程实施、运营维护、使用管理等相关技术人员,能够更加深入地了解 and 掌握CTCS-3级列车运行控制系统的基本结构、工作原理、关键技术、测试方法和相关技术规范。

本书由莫志松、郑升主编,具体编写分工如下:

第一章由蔡伯根、上官伟、王剑、杨悌惠编写;

第二章由李开成、程荫杭编写;

第三章由罗松、江明、刘安、石海丰、陈锋华、崔俊锋、蔡伯根、上官伟、王猛编写;

第四章由江明、刘安、张苑、聂磊、邢毅、李建清、吴永编写;

第五章由刘岭、王猛、崔俊锋、刘佳欣、陈志强、牛道恒、李智、李剑编写;

第六章由钟章队、熊杰、蒋文怡、李旭、邸士萍编写;

第七章由江明、汪小亮、耿宏亮、杨剑编写;

第八章由唐涛、张勇、闻映红、朱云、周炜、赵洪军、刘长波、禹志阳、赵阳、卢佩玲、开祥宝编写;

第九章由宋晓风、付刚、王勇、蔡宏宇、江明编写。

在本书的编著过程中,还得到了中国铁道科学研究院杨志杰、范明、游兮、程剑锋、徐宁、李辉,中铁电化局设计研究院贾琨,和利时公司何春明,北京交通大学郑伟、袁磊、刘雨、严细辉、刘江、陈斌、盛昭等单位和相关人员的大力支持,在此表示感谢。

随着我国高速铁路技术的不断发展,中国列车运行控制系统必将进一步发展与完善,期望本书能对我国高速铁路列车运行控制系统的深入研究有所帮助。由于时间和水平有限,不妥之处望给予指正。

编者
2016年2月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 列车运行控制系统概述	1
一、列控系统及功能	1
二、列控系统的分类	1
三、列控系统的发展	4
第二节 CTCS 列控系统概述	5
一、CTCS 的基本功能	5
二、CTCS 的体系结构	6
三、CTCS 的分级	6
四、CTCS-3 级列控系统与国外列控系统的比较	8
第三节 CTCS-3 级列控系统的发展	8
一、高速铁路的发展需求	8
二、CTCS-3 级列控系统的技术规范	9
三、CTCS-3 级列控系统的功能完善	10
第二章 CTCS-3 级列控系统综述	13
第一节 CTCS-3 级列控系统的技术要求	13
一、技术特点和基本功能	13
二、运营场景	14
三、列控车载设备工作模式	15
第二节 CTCS-3 级列控系统组成	16
一、地面设备	16
二、列控车载设备	18
第三节 CTCS-3 级与 CTCS-2 级列控系统比较	18
第三章 CTCS-3 级列控系统运营场景	20
第一节 正常状况下运用时的运营场景	20
一、注册与启动	20
二、注销	22
三、进出动车段	23
四、等级转换	24

五、行车许可	30
六、RBC 切换	44
七、自动过分相	50
第二节 特殊状况下运用时的运营场景	52
一、重联与摘解	53
二、临时限速	57
三、调车作业	61
四、人工解锁进路	63
第三节 故障状况和灾害情况下运用时的运营场景	64
一、降级情况	65
二、灾害防护	72
三、特殊进路	73
第四章 CTCS-3 级列控系统地面设备	75
第一节 无线闭塞中心	75
一、RBC 主要功能	77
二、RBC 工作原理与关键技术	83
三、RBC 的系统结构	86
四、RBC 外部接口	91
第二节 临时限速服务器	95
一、临时限速服务器的功能	96
二、临时限速服务器的结构及接口	96
三、临时限速的工作原理	97
四、临时限速命令设置	104
第三节 其他地面设备	107
一、列控中心	107
二、应答器	110
三、轨道电路	117
第四节 信号系统安全数据网	122
一、功能	122
二、组网结构	123
三、通信接口	125
四、数据网监测	126
第五章 CTCS-3 级列控系统车载设备	128
第一节 功能及工作原理	129
一、列控车载设备功能	129
二、列控车载设备工作原理	131
第二节 关键技术	133

一、测速测距技术	133
二、车地信息传输技术	135
三、列车控制模型	137
四、列车接口技术	141
五、CTCS-3/CTCS-2 切换技术	143
六、安全技术	145
七、行车许可结合轨道电路信息技术	146
第三节 硬件构成	151
一、车载安全计算机	151
二、GSM-R 无线通信单元	151
三、轨道电路信息读取器	152
四、应答器传输模块	152
五、列车接口单元	152
六、记录单元	153
七、人机界面	153
八、测速测距单元	154
九、电源	155
第四节 工作模式	155
一、工作模式简介	155
二、模式转换	156
第五节 外部接口	157
一、与动车组接口	157
二、与地面设备的空气间隙接口	158
第六章 GSM-R 在 CTCS-3 级列控系统中的应用	159
第一节 GSM-R 系统结构及功能	159
一、GSM-R 系统结构	159
二、GSM-R 网络子系统及其功能	159
第二节 CTCS-3 级列控系统对 GSM-R 系统的需求	160
一、对 GSM-R 网络的业务需求	160
二、对 GSM-R 网络的配置要求	161
三、对 GSM-R 网络的 QoS 要求	163
第三节 CTCS-3 级列控系统的车地通信流程	164
一、通信流程	165
二、通信协议	168
第四节 GSM-R 系统网络规划与优化	170
一、GSM-R 系统的网络规划技术	170
二、GSM-R 系统的网络优化技术	171
三、GSM-R 网络的服务质量评估技术	173

第五节 面向 CTCS-3 级列控系统的核心技术	174
一、冗余组网技术	174
二、GSM-R 网络接口监测技术	175
三、GSM-R 中的干扰与干扰检测技术	181
第七章 信息安全传输	185
第一节 CTCS-3 级列控系统信息安全风险分析	185
第二节 车地无线网安全通信技术	187
一、车地安全通信系统设计	187
二、安全通信报文结构	188
三、报文加密技术	192
第三节 地面设备安全通信技术	194
一、地面安全通信系统设计	194
二、安全层报文结构	195
第四节 密钥管理技术	198
一、密钥的功能	198
二、密钥管理	199
三、技术控制流程	200
四、CTCS-3 级密钥相关设备管理	204
第八章 CTCS-3 级列控系统测试技术	205
第一节 测试方法	205
一、功能特征的提取方法	205
二、测试案例的生成方法	208
三、测试序列生成方法	211
四、测试案例应用举例	214
第二节 实验室仿真测试	214
一、实验室仿真测试概述	215
二、实验室仿真测试功能结构	216
三、实验室仿真测试内容及测试方法	221
四、实验室仿真测试流程	225
五、实验室仿真测试的关键技术	225
第三节 现场测试	227
一、低速试验线测试	227
二、试验段测试	230
第四节 联调联试	234
一、各子系统调试	235
二、静态调试	237
三、动态调试	240

四、运行试验	241
第五节 互联互通测试	242
一、设备方实验室测试	242
二、第三方互联互通实验室测试	245
三、现场测试	253
第六节 电磁兼容测试	256
一、实验室测试	256
二、现场测试	260
第九章 京沪高速铁路 CTCS-3 级列车运行控制系统	263
第一节 京沪高速铁路 CTCS-3 级列车运行控制系统工程概况	263
一、京沪高速铁路工程	263
二、京沪高速铁路信号工程范围	264
三、京沪高速铁路信号工程总体设计原则	264
第二节 京沪高速铁路 CTCS-3 级列车运行控制系统技术方案	266
一、主要设计原则	266
二、信号系统设备配置	267
三、列控系统技术方案	268
四、信号安全数据网技术方案	273
第三节 京沪高速铁路 CTCS-3 级列车运行控制系统接口	278
一、RBC 与安全数据网接口	278
二、RBC 与 GSM-R 接口	278
第四节 京沪高速铁路 CTCS-3 级列车运行控制系统枢纽实施方案示例	279
一、虹桥枢纽工程概况	279
二、RBC 切换	281
三、临时限速	281
附录 名词术语英(缩略语)中对照	283
参考文献	287

第一章 绪 论

本章概述列车运行控制系统(简称列控系统)的基本概念,从基本功能、体系结构、系统分级等方面对 CTCS 进行详细介绍,在此基础上阐述 CTCS-3 级列控系统的发展需求、技术规范等内容。

第一节 列车运行控制系统概述

一、列控系统及功能

列控系统是根据列车在线路上运行的客观条件和实际情况,对列车运行速度及制动方式等状态进行监督、控制和调整的技术装备,用以保证行车安全和提高行车效率。系统包括地面设备与列控车载设备两部分,地面设备提供监控列车所需要的允许速度、行车许可等基础数据;列控车载设备对地面传来的信息进行处理,形成列车速度控制数据及列车制动曲线,监控列车安全运行。

列控系统具有保障行车安全、保证运输效率及保证乘客舒适度等功能,主要包括:

1. 保障行车安全

危及行车安全的因素是多方面的,列控系统通过技术手段来识别、消除或减弱这些因素。当发现危及行车安全的因素时,列控系统立即向列车发出停车或降速命令,保证列车不驶入危险区段或运行速度低于该区段的允许速度。

2. 保证运输效率

列控系统根据列车的运行速度、制动性能等条件确定列车最小安全制动距离,控制同一线路上运行的列车以最小追踪间隔安全运行,最大限度提高线路通过能力。

3. 保证乘客舒适度

列控系统采用一定的控制方式,控制列车以其最优状态安全、高速、舒适、正点运行,为每位乘客提供最优质的服务。

二、列控系统的分类

根据不同的分类原则,列控系统可按照以下方式进行分类。

1. 按车地信息传输通道

根据车地信息传输通道不同,列控系统可分为点式列控系统、连续式列控系统和点连式列控系统。

(1) 点式列控系统

点式列控系统采用地面应答器,在固定地点向列车传递控车信息,实现列车安全控制。

(2) 连续式列控系统

连续式列控系统的地面控制中心可实时、连续地向列控车载设备传输控制信息。连续式列控系统对车的信息传输方式包括轨道电路、轨道电缆(交叉环线)、波导管、漏泄电缆、无线通信等。

(3) 点连式列控系统

点连式列控系统兼顾了点式和连续式列控系统的优点,是一种连续式和点式相结合的列控系统。列控车载设备从轨道电路提供实时的连续信息中得知前方轨道区段空闲数量、进出站信号开放状态等信息,再根据应答器信息提供的轨道区段长度、坡度和速度等线路数据,从而控制列车的运行。如图 1-1 所示。

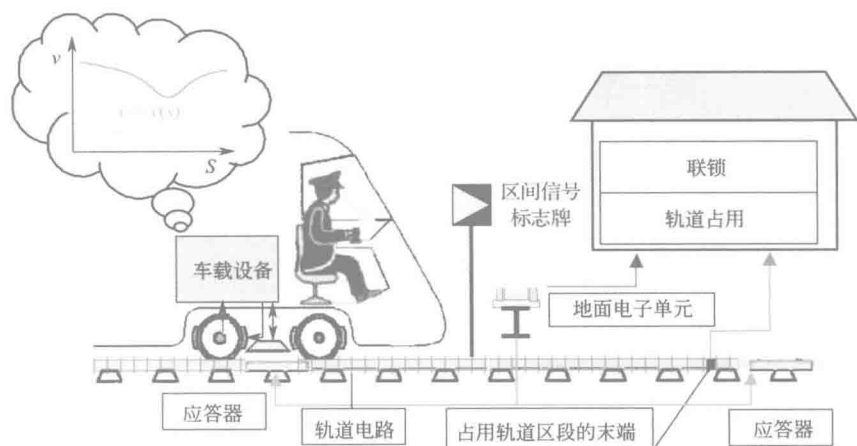


图 1-1 点连式列控系统示意图

2. 按控制模式

根据控制模式,可分为速度码阶梯控制方式和速度-距离模式曲线控制方式。

(1) 速度码阶梯控制方式

速度码阶梯控制方式,在一个闭塞分区内只控制一个速度等级,即在一个闭塞分区中只按照一种速度判断列车是否超速。阶梯控制方式又可分为出口检查方式和入口检查方式。

(2) 速度-距离模式曲线控制方式

速度-距离模式曲线是根据目标速度、线路参数、列车参数、制动性能等确定地反映列车允许速度与目标距离间关系的曲线,如图 1-2 所示。速度-距离模式曲线反映了列车在各点允许的速度值。列控系统根据速度-距离模式曲线实时给出列车当前的允许速度,当列车超过当前允许速度时,设备自动实施常用制动或紧急制动,保证列车能在停车地点前停车。

根据制动曲线的形状,速度-距离模式曲线可分为分段速度控制和连续速度控制。

(1) 分段速度控制

分段速度控制模式是将轨道区段按照制动性能最差列车安全制动距离要求,以一定的速度等级将其划分成若干固定区段。一旦这种划分完成,每一列车无论其制动性能如何,其与前行列车的最小追踪距离只与其运行速度、区段划分有关。

(2) 连续速度控制

连续速度控制的制动模式采用根据目标距离、目标速度的方式确定目标距离连续速度控

制模式曲线,该方式不设定每个闭塞分区速度等级,采用一次制动。以前方列车占用闭塞分区或限速区段入口为目标点,向列车传送目标距离、目标速度等信息。如图 1-3 所示。

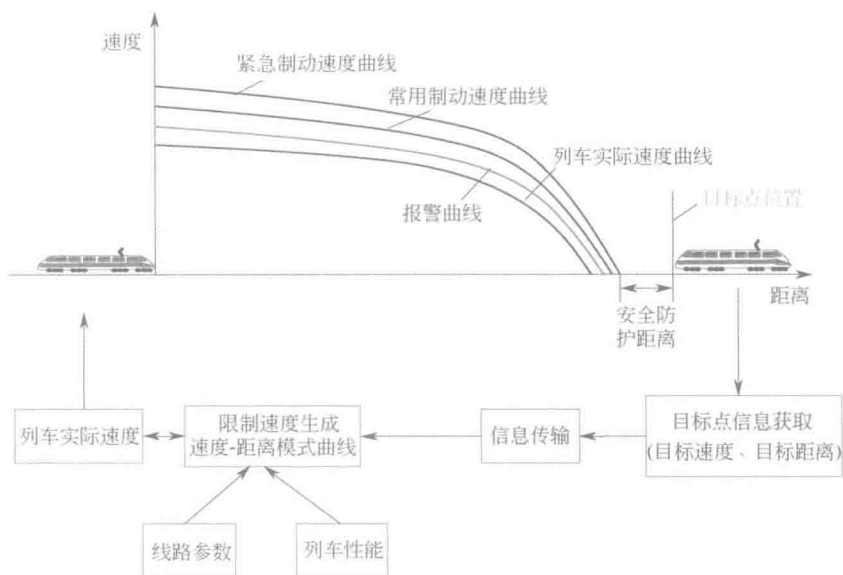


图 1-2 速度-距离模式曲线控制方式

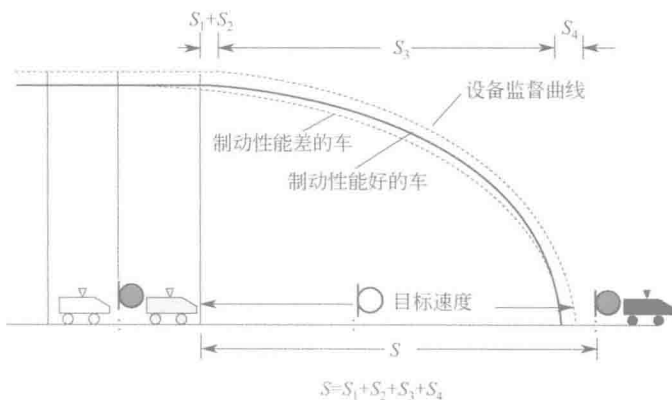


图 1-3 目标距离连续速度控制模式曲线示意图

S_1 —司机反应距离; S_2 —列控车载设备反应距离; S_3 —制动距离; S_4 —安全保护距离

3. 按人机关系

根据人机关系,可分为设备制动优先方式和司机制动优先方式。

(1) 设备制动优先方式

在设备制动优先方式下,列控车载设备实施常用制动后,当列车速度低于缓解速度时,列控车载设备自动停止输出相应等级的常用制动命令,不必司机人工介入。

(2) 司机制动优先方式

在司机制动优先方式下,司机负责包括降速等环节在内的驾驶全过程操纵;列控车载设备实施常用制动后,当列车速度低于缓解速度时,列控车载设备向司机提示允许缓解信息,司机

按压缓解按键后,缓解常用制动。

三、列控系统的发展

1. 国外列控系统发展过程

1964年10月世界上第一条高速铁路日本东海道新干线(东京—新大阪)开通运营,速度210 km/h,采用ATC列控系统。1980年法国第一条高速铁路东南线(巴黎—里昂)开通运营,速度270 km/h,采用U/T(UM71+TVM300)列控系统。德国进行基于轨道电缆的LZB列控系统的研究,并于1988年在富尔达—维尔兹堡高速新线区段采用LZB80型列控车载系统。

国外已投入使用的高速列控系统主要有法国U/T系统、日本新干线ATC系统、德国LZB系统和欧洲ETCS系统等,这些系统最根本的差别在于对高速列车超速后的控制方式以及车地间信息传输方式有所不同。

(1) 法国U/T系统

法国U/T系统有两种制式,一种是UM71+TVM300制式,一种是UM2000+TVM430制式,均采用司机制动优先的控制方式。

UM71+TVM300制式的列控车载设备采用速度码阶梯控制方式中的出口检查方式。每一个闭塞分区内只按照一个允许速度进行控制。列车的允许速度为本区段的入口速度,即上一区段的目标速度。当列车速度超过规定的允许速度时,列控车载设备自动实施制动。采用速度码阶梯控制方式的U/T系统需要设置保护区段。

UM2000+TVM430制式的列控车载设备采用分段速度控制的速度-距离模式曲线控制方式。司机按照模式曲线控制方式给出的速度值运行时,列控车载设备将不干预司机正常操作;当列车速度超过规定的允许速度时,列控车载设备将自动实施制动。

采用分段速度控制的U/T系统,其列车追踪间隔主要与闭塞分区的划分和车速有关,而一般闭塞分区长度的确定是以线路上最坏性能的列车为依据,这种设计方式适合运行在法国高铁线路上的列车性能的基本情况,而对于实行列车性能差别较大的高中速混合运行的线路,采用这种模式运输能力则受到较大影响。

(2) 日本ATC系统

日本ATC系统分为ATC系统和DS-ATC系统(即数字ATC系统),它们都采用设备制动优先的控制方式。

ATC系统的列控车载设备采用速度码阶梯控制方式中的入口检查方式,不需设置保护区段。

DS-ATC系统的列控车载设备采用连续速度控制的速度-距离模式曲线控制方式。地面数字编码轨道电路向列控车载设备传输56 bit的数据。列控车载设备根据来自地面的信息和各开通闭塞分区的编号,求取与前方列车的距离,再根据该计算距离和列控车载设备存储的线路数据,以及制动性能、最高允许速度等车辆性能,计算列车可以运行的距离和允许速度,从而计算目标距离连续速度模式曲线,监控列车安全运行。

(3) 德国LZB系统

LZB系统采用轨道电缆作为车地信息连续双向传输的媒介。轨旁地面接收/发送设备是将轨道电缆与控制中心联系起来的中继设备,将来自地面列控中心的信号放大,并通过轨道电缆传送给列控车载设备,同时也将来自列控车载设备的信号放大,并通过一定的通信网络传



送给 LZB 地面列控中心。

LZB 系统将列车连续速度控制的列控模式用于对高速列车的实际控制,这种控制模式打破了传统闭塞区段分段控制的概念,列车的制动由传统的分段多次制动变为一次制动,其制动过程由列车自身参数、列车至变速点线路参数以及变速点的速度决定,而与传统轨道闭塞分区速度参数无关。其列车追踪间隔主要根据每一列车的制动性能、实际速度确定的安全制动距离自动调节,因此在各种性能不一样的列车混合运行情况下,可以最大限度地提高线路的通过能力,同时一次制动方式的性能也与列车实际制动方式相吻合。

(4)ETCS 系统

ETCS 系统是欧洲各信号厂商在欧洲共同体的支持下,为克服欧洲各国信号制式互不兼容,保证高速列车在欧洲铁路网内互通运行,联合制订的一种列控系统技术规范。欧盟已通过立法(Directive 96/48/EC),欧洲高速铁路要强制实行欧洲铁路运输管理系统/欧洲列车控制系统(以下简称 ERTMS/ETCS,即 European Railway Traffic Management System/European Train Control System)技术规范。

1989 年以来,在欧盟委员会资助下,制订了 ERTMS/ETCS 技术规范,定义了系统框架和系列标准,并已纳入国际铁路联盟(UIC)标准。ERTMS/ETCS 整个发展研究过程可以分为 5 个阶段:制定基本规范、评估与分类、测试与改进、标准化及应用推广。目前 ETCS 已经在法国、德国、意大利、西班牙、瑞士等国家投入商业运行。与此同时,ETCS 技术规范也在不断完善,并建立了 ETCS 技术规范修改完善的制度。

2. 我国列控系统发展过程

我国研究和发​​展铁路列控系统已有约 20 年时间,尤其是 2000 年后,我国列控系统的研究、建设取得迅猛发展。

2002 年铁道部在研究国外典型铁路列控系统技术体系和关键技术应用的基础上,本着设备兼容、互联互通和技术发展的原则,确定发展高速、先进、适用和可持续发展的中国铁路列控系统(Chinese Train Control System,以下简称 CTCS)的战略目标。2003 年在 UIC 北京年会上,铁道部宣布 CTCS 的基本架构和分级,并于 2004 年颁布了《CTCS 技术规范总则(暂行)》,确定 CTCS 的总体技术框架,发布 CTCS-0 级到 CTCS-4 级共 5 个等级的系统框架。

第二节 CTCS 列控系统概述

一、CTCS 的基本功能

CTCS 列控系统是为了保证列车安全运行,并以分级形式满足不同线路运输需求的列控系统。在不干扰机车乘务员正常驾驶的前提下有效地保证列车运行安全。它的基本功能包括:

1. 安全防护

防止列车无行车许可运行,防止列车超过进路允许速度、线路结构规定的速度、机车车辆构造速度、临时限速及紧急限速以及铁路有关运行设备的限速运行,防止列车溜逸。测速环节应保证一定范围内的车轮滑行和空转不影响列控车载设备的功能,并具有轮径修正能力。