

高速铁路管理人员和专业技术人员培训教材



专业关键技术教材

# CTCS-3级列车运行控制系统

© 中国铁路总公司

CTCS-3JI

LIECHE YUNXING KONGZHI XITONG

中国铁道出版社  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

高速铁路管理人员和专业技术人员培训教材

专业关键技术教材

# CTCS-3级 列车运行控制系统

中国铁路总公司

中国铁道出版社  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

## 内 容 简 介

本书为中国铁路总公司组织编写的高速铁路管理人员和专业技术人员培训教材之一,是信号专业关键技术教材。全书共九章,主要包括:CTCS-3 级列控系统车载设备、无线闭塞中心(RBC)、临时限速服务器(TSRS)、信号系统安全数据网、GSM-R 在 CTCS-3 级列控系统中的应用、CTCS-3 级列控系统测试技术、CTCS-3 级列控系统工程应用设计等。

本书适用于高速铁路信号专业技术人员培训,也可供列控系统运用管理人员学习,对各类职业院校相关师生学习也有重要的参考价值。

### 图书在版编目(CIP)数据

CTCS-3 级列车运行控制系统/中国铁路总公司编著.

—北京:中国铁道出版社,2013.11

高速铁路管理人员和专业技术人员培训教材

ISBN 978-7-113-16849-0

I. ①C… II. ①中… III. ①列车—运行—控制系统  
—技术培训—教材 IV. ①U284.48

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 142241 号

书 名: 高速铁路管理人员和专业技术人员培训教材  
CTCS-3 级列车运行控制系统  
作 者: 中国铁路总公司

责任编辑:徐 清 编辑部电话:(路)021-73146 电子信箱:dianwu@vip.sina.com  
(市)010-51873146

封面设计:郑春鹏  
责任校对:马 丽  
责任印制:陆 宁

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:北京米开朗优威印刷有限责任公司

版 次:2013 年 11 月第 1 版 2013 年 11 月第 1 次印刷

开 本:787 mm × 1 092 mm 1/16 印张:12.5 字数:291 千

书 号:ISBN 978-7-113-16849-0

定 价:52.00 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



# Preface

## 前言

党的十六大以来,在党中央、国务院的正确领导下,我国铁路事业得到了快速发展,目前,中国高速铁路运营里程已经位居世界第一。在建设和运营实践中,我国高速铁路积累了丰富经验,取得了大量创新成果。将这些经验和成果进行系统总结,编写形成规范的培训教材,对于提高培训质量、确保高速铁路安全有着十分重要的意义。为此,中国铁路总公司组织相关专业的技术力量,统一编写了这套高速铁路管理人员和专业技术人员培训系列教材。

本套培训教材共分高速铁路行车组织、机务、动车组、供电、工务、通信、信号、客运 8 个专业,每个专业分为科普教材、专业关键技术教材和案例教材三大系列。科普教材定位为高速铁路管理人员普及型读物,对本专业及相关专业知识进行概论性介绍,学习后能够基本掌握本专业所需的基本知识、管理重点、安全关键;专业关键技术教材定位为高速铁路专业技术人员使用的学习用书,对本专业关键技术进行系统介绍,学习后能够初步掌握本专业新技术和新设备的运用维护关键技术;案例教材定位为高速铁路岗位人员学习用书,对近年来中国高速铁路运营实践中发生的典型案例及同类问题的处理方法进行总结归纳,学习后能为处理同类问题提供借鉴。

本书为信号专业关键技术教材《CTCS-3 级列车运行控制系统》。CTCS-3 级列车运行控制系统是中国列车控制系统(CTCS)的重要组成部分,是我国在掌握 CTCS-2 级列车运行控制系统基础上,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 CSM-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。

全书共九章,主要内容包括:CTCS-3 级列控系统车载设备、无线闭塞中心(RBC)、临时限速服务器(TSRs)、信号系统安全数据网、GSM-R 在 CTCS-3 级列

控系统中的应用、CTCS-3 级列控系统测试技术、CTCS-3 级列控系统工程设计等。

本书由莫志松主编,郑升副主编,陈建译主审。参加编写人员有:蔡伯根、上官伟、王剑、杨悌惠(第一章),李开成、刘大为、程荫杭(第二章),刘岭、黄卫中、陈锋华、崔俊锋、郝晓燕、陈志强、牛道恒、李智、李剑、石海丰、王猛、邓绅(第三章),吴永、张苑、罗松、叶峰、江明、耿宏亮、周兴韬、代萌、李建清、刘安、聂磊、王晓林、陈旭(第四章),岳朝鹏、史增树、廖亮(第五章),李强、杨挺、薛亮(第六章),钟章队、熊杰、李旭、邱士萍(第七章),唐涛、张勇、闻映红、赵洪军、周晔、刘长波、禹志阳、卢佩玲、开祥宝(第八章),邢毅、刘鸿飞、戚书亚、吴泳洁(第九章)。参加审定人员有:刑世佩、王海忠、赵阳、李开成。本书编写过程中,还得到了北京交通大学郑伟、袁磊、燕飞、刘雨,中国铁道科学研究院杨志杰、范明、游兮、程剑锋、赵阳、郑一祥、徐效宁、徐乐英、易海旺,北京全路通信信号研究设计院有限公司贾琨,北京和利时公司徐悦、何春明等专家的大力支持与帮助,在此一并表示衷心感谢。

由于近年来高速铁路技术发展较快,同时编者的水平及精力所限,本书内容不全面、不恰当甚至错误的地方在所难免,热忱欢迎使用本书的广大读者以及行业内专家学者对本书提出批评、指正意见,以便编者对本书内容不断地改进和完善。

编 者

二〇一三年六月



# Contents 目 录

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第一章 绪 论               | 1  |
| 第一节 列车运行控制系统概述        | 1  |
| 第二节 CTCS 列控系统概述       | 6  |
| 第二章 CTCS-3 级列控系统综述    | 10 |
| 第一节 CTCS-3 级列控系统的技术要求 | 10 |
| 第二节 CTCS-3 级列控系统组成    | 13 |
| 第三节 CTCS-3 级列控系统工作原理  | 15 |
| 第三章 CTCS-3 级列控系统车载设备  | 19 |
| 第一节 系统构成              | 19 |
| 第二节 主要功能和工作原理         | 20 |
| 第三节 工作模式              | 27 |
| 第四节 列控车载设备构成          | 31 |
| 第五节 检修维护              | 42 |
| 第四章 无线闭塞中心            | 48 |
| 第一节 系统构成              | 48 |
| 第二节 主要功能和工作原理         | 49 |
| 第三节 设备接口              | 60 |
| 第四节 设备结构              | 62 |
| 第五节 检修维护              | 73 |
| 第五章 临时限速服务器           | 84 |
| 第一节 系统构成              | 84 |
| 第二节 主要功能和工作原理         | 84 |
| 第三节 设备接口              | 94 |
| 第四节 设备结构              | 96 |
| 第五节 检修维护              | 99 |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 第六章 信号系统安全数据网 .....                | 104 |
| 第一节 功    能 .....                   | 104 |
| 第二节 组网结构 .....                     | 105 |
| 第三节 通信接口 .....                     | 107 |
| 第四节 数据网监测 .....                    | 108 |
| 第五节 检修维护 .....                     | 109 |
| 第七章 GSM-R 在 CTCS-3 级列控系统中的应用 ..... | 111 |
| 第一节 GSM-R 系统结构及功能 .....            | 111 |
| 第二节 CTCS-3 级列控系统对 GSM-R 的需求 .....  | 112 |
| 第三节 CTCS-3 级列控系统的车地通信流程 .....      | 116 |
| 第四节 GSM-R 系统网络规划与优化 .....          | 123 |
| 第八章 CTCS-3 级列控系统测试技术 .....         | 127 |
| 第一节 测试方法 .....                     | 127 |
| 第二节 实验室仿真测试 .....                  | 136 |
| 第三节 现场测试 .....                     | 150 |
| 第四节 联调联试 .....                     | 157 |
| 第五节 互联互通测试 .....                   | 166 |
| 第九章 CTCS-3 级列控系统工程应用设计 .....       | 181 |
| 第一节 RBC 工程应用设计 .....               | 181 |
| 第二节 TSRS 工程应用设计 .....              | 182 |
| 第三节 应答器工程应用设计 .....                | 182 |
| 附录 名词术语英(缩略语)中对照 .....             | 190 |
| 参考文献 .....                         | 193 |

# 第一章 绪 论

CTCS-3 级列控系统是中国列车运行控制系统 (CTCS) 的重要组成部分,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。本章主要介绍 CTCS 概述以及 CTCS-3 级列控系统的特点与创新点。

## 第一节 列车运行控制系统概述

### 一、列控系统及功能

列车运行控制系统(简称列控系统)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,同时也能提高行车效率。系统包括地面设备与车载设备两部分,地面设备提供监控列车所需要的线路允许速度、行车许可等基础数据;车载设备将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,列控系统按照以下方式进行分类。

1. 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、连续地向车载设备传输控制信息。连续式列控系统地对车的信息传输手段包括轨道电路、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特点,是一种连续式和点式相结合的列控系统。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。点连式列控系统如图 1—1 所示。

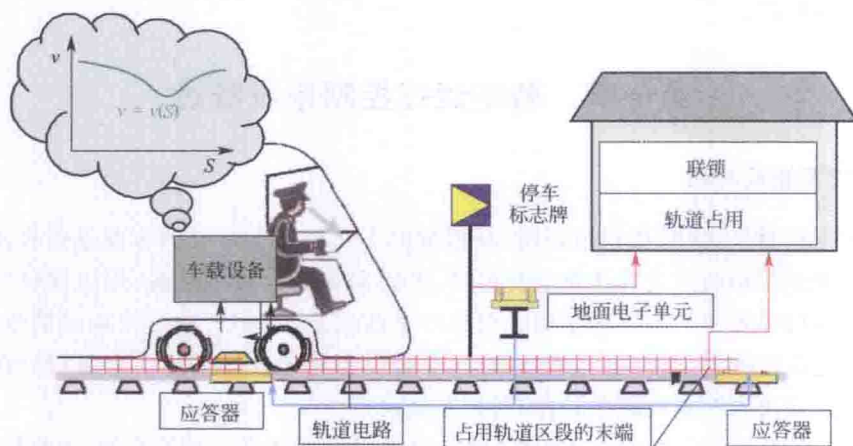


图 1—1 点连式列控系统

2. 按照控制模式,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。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、制动性能等确定的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入口为目标点,向列车传送目标距离、目标速度等信息。目标距离连续速度控制模式曲线示意图如图 1—3 所示。

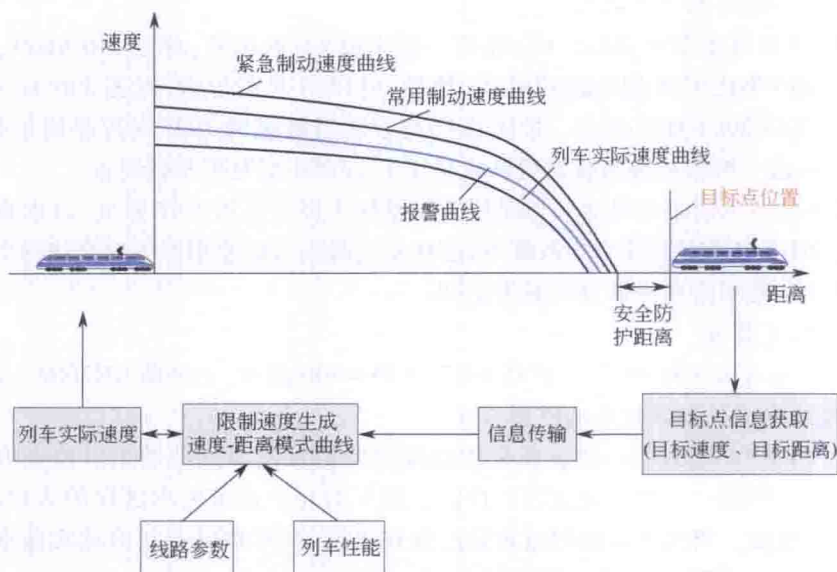


图 1—2 速度-距离模式曲线控制方式

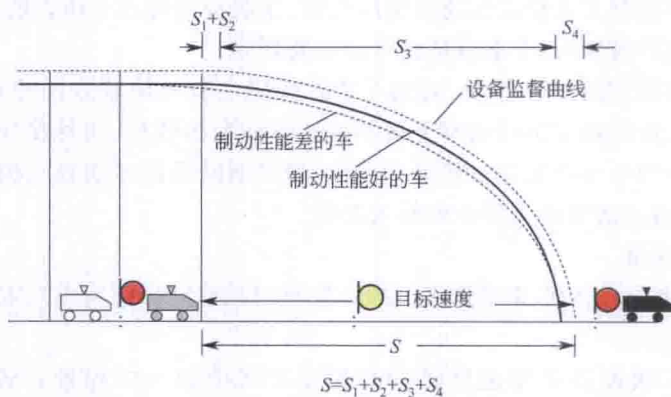


图 1—3 目标距离连续速度控制模式曲线示意图

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

3. 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,车载设备实施常用制动后,当列车速度低于缓解速度时,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,车载设备实施常用制动后,当列车速度低于缓解速度时,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

#### (一)国外列控系统发展过程

1964年10月日本东海道新干线(东京—新大阪)开通运营,时速210 km/h,采用ATC列控系统。1980年法国高速铁路东南线(巴黎—里昂)开通运营,时速270 km/h,采用了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了LZB80型列控车载设备。

目前国外已投入使用的高速列车运行控制系统主要有法国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,它们都是采用司机制动优先的控制方式。

UM71 + TVM300制式的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,车载设备则自动实施制动。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,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,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差性能的列车为依据,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,而对于列车制动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要受到较大影响。

##### 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车载设备传输56 bit的数据。车载设备根据来自地面的信息和各开通闭塞分区间的编号,求取与前方列车的距离,再根据该计算距离和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系统是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,它将来自地面列控中心的信号放大,并通

过轨道电缆传送给机车,它同时也将来自机车的信号放大,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,这种列控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的情况下,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,联合制订的一种列车运行控制系统技术规范。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 ERTMS/ETCS(European Railway Traffic Management System/European Train Control System,以下简称 ERTMS/ETCS)技术规范。

1989 年以来,在欧盟委员会资助下,制订了技术规范,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。ETCS 已经在法国、德国、意大利、西班牙、瑞士、瑞典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。

##### (二)我国列控系统发展过程

我国研究和发展铁路列车运行控制系统已有约 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车运行控制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,确定了发展高速、先进、适用和可持续发展的中国铁路列车运行控制系统(Chinese Train Control System,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。2004 年铁道部颁布了《CTCS 技术规范总则》,确定了 CTCS 的总体技术框架,总则发布了 CTCS-0 级到 CTCS-4 级共 5 个等级的系统框架。

2007 年 CTCS-2 级列控系统在全路第六次大面积提速中成功实施应用,包括京哈、京广、浙赣等多个干线。

2007 年年底铁道部成立 C3 攻关组,依托武广和郑西等高速铁路建设项目,开展 CTCS-3 级列控系统的创新研发工作。集中全路主要技术力量,对总体方案、系统集成、系统评估展开了深入研究,相继颁发了 CTCS-3 级列控系统总体技术方案、应答器应用原则、测试案例、系统评估办法等系列标准规范,建成了 CTCS-3 级列控系统仿真测试实验室,实现了无线闭塞中心(RBC)和车载设备等关键设备的国产化,创建了具有自主知识产权的 CTCS-3 级列控系统技术标准体系和技术平台。

2009 年底首次开通了武广高速铁路,后续相继开通了郑西、沪宁、京沪、广深港、沪杭、合蚌、京石武、哈大等高速铁路。截止到 2012 年底,中国高速铁路累计运营里程达到 9 356 公里。

## 第二节 CTCS 列控系统概述

### 一、CTCS 的基本功能

CTCS 列控系统运用了保证列车安全运行,提高列车运行效率的重要技术,包括车载设备层、地面子设备层和网络传输层,是以分级形式满足不同线路运输需求的列车运行控制系统。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、临时限速和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车载设备的功能,并具有轮径修正能力。

#### 2. 人机交互

为机车乘务员提供必须的显示、数据输入及操作装置。能够以字符、数字及图形等方式显示列车运行速度、允许速度、目标速度和目标距离。能够实时给出列车超速、制动、允许缓解等表示以及设备故障状态的报警。机车乘务员输入装置应配置必要的开关、按钮和有关数据输入装置。具有标准的列车数据输入界面,可根据运营和安全控制要求对输入数据进行有效性检查。

#### 3. 设备制动优先

设备制动优先的列控系统当列车减速时,在闭塞分区入口处,设备自动实施制动,低于目标速度后自动缓解。当列车速度超过紧急制动速度曲线时,则实施紧急制动。列车的减速制动完全由列控系统自动完成,不必司机人工介入。设备制动优先的列控系统可以适当缩短列车运行间隔时间,提高运输效率。

#### 4. 检测功能

具有开机自检和动态检查功能,具有关键数据和关键动作的记录功能及监测接口。

### 二、CTCS 的体系结构

CTCS 的体系结构按地面设备层、网络传输层和车载设备层配置。

#### 1. 地面设备层

地面设备层主要包括无线闭塞中心、临时限速服务器、列控中心、轨道电路和点式设备、接口单元、无线通信模块等。列控中心和无线闭塞中心是地面设备的核心,根据行车命令、列车进路、列车运行状况和设备状态,通过安全逻辑运算产生控车命令,实现对运行列车的控制。

#### 2. 网络传输层

CTCS 网络分布在系统的各个层面,通过有线和无线通信方式实现数据传输,地面设备由安全数据网连接,车载设备和无线闭塞中心之间的通信由 GSM-R 实现。

#### 3. 车载设备层

车载设备层是对列车进行操纵和控制的主体,具有多种控制模式,并能够适应轨道电

路、点式传输和无线传输方式。车载设备层主要包括车载安全计算机、轨道电路信息读取模块、点式信息接收模块、无线通信模块、测速测距模块、人机界面和记录单元等。

### 三、CTCS 的分级

列控系统包括地面设备和车载设备,根据系统配置按功能划分为 5 级。见表 1—1。

表 1—1 CTCS 分级表

| 等 级        | 适 用 范 围                                                        |
|------------|----------------------------------------------------------------|
| CTCS-0/1 级 | 160 km/h 客货共线铁路采用 CTCS-0 级或 CTCS-1 级列控系统                       |
| CTCS-2 级   | 200 km/h 客货共线铁路采用 CTCS-2 级列控系统                                 |
| CTCS-3 级   | 250 km/h 高速铁路优先采用 CTCS-3 级列控系统,300 km/h 及以上高速铁路采用 CTCS-3 级列控系统 |
| CTCS-4 级   | 面向未来的列控系统                                                      |

#### (一) CTCS-0 级

CTCS-0 级由通用机车信号和运行监控装置构成。

#### (二) CTCS-1 级

由主体机车信号 + 安全型运行监控记录装置组成。面向 160 km/h 以下的区段,在既有设备基础上强化改造,发展基于应答器提供基础数据的列车运行监控装置(LKJ)技术,实现列车运行安全监控功能。

#### (三) CTCS-2 级

CTCS-2 级是基于轨道电路传输信息的列车运行控制系统,采用车地一体化设计;地面可不设通过信号机,凭车载信号行车。

##### 1. 地面子系统组成

地面子系统由列控中心、ZPW-2000(UM)系列轨道电路和点式信息设备等设备组成。列控中心根据列车占用情况及进路状态计算行车许可及静态列车速度曲线并传送给列车。轨道电路完成列车占用检测及列车完整性检查,连续向列车传送控制信息;车站与区间采用同制式的轨道电路。点式信息设备用于向车载设备传输定位信息、进路参数、线路参数、限速和停车信息等。

##### 2. 车载子系统组成

车载子系统由车载安全计算机、轨道电路信息读取器、应答器信息接收单元、司法记录单元、人机界面、速度传感器、列车接口单元、轨道电路信息接收天线、应答器信息接收天线等部件组成。车载安全计算机对列车运行控制信息进行综合处理,生成控制速度与目标距离模式曲线,控制列车按命令运行。轨道电路信息读取器完成轨道电路信息的接收与处理。应答器信息接收单元完成点式信息的接收与处理。司法记录单元对接收信息、与运行管理相关的数据系统状态和控制动作进行记录。人机界面完成车载设备与司机交互的设备。速度传感器完成实时检测列车运行速度并计算列车走行距离。

#### (四) CTCS-3 级

CTCS-3 级列控系统是基于 GSM-R 无线通信实现车地信息双向传输,无线闭塞中心生

成行车许可,轨道电路实现列车占用检查,应答器实现列车定位,并具备 CTCS-2 级功能的列车运行控制系统;地面可不设通过信号机,凭车载信号行车。

#### 1. 地面子系统组成

地面子系统由无线闭塞中心(RBC)、无线通信(GSM-R)地面设备、点式设备、轨道电路和临时限速服务器组成。无线闭塞中心(RBC)是采用无线通信手段的地面列车间隔控制系统。它根据列车占用情况及进路状态向所管辖列车发出行车许可和列车控制信息。所使用的数据通道不能用于话音通信。无线通信(GSM-R)地面设备作为系统信息传输平台完成车地间大容量的信息交换。点式设备主要提供列车定位信息。轨道电路主要用于列车占用检测及列车完整性检查。

#### 2. 车载子系统组成

车载子系统由无线通信(GSM-R)模块、点式信息接收模块、测速模块、设备维护记录单元、车载安全计算机、人机接口和运行管理记录单元组成。无线通信(GSM-R)车载设备作为系统信息传输平台完成车地间大容量的信息交换。点式信息接收模块完成点式信息的接收与处理。测速模块实时检测列车运行速度并计算列车走行距离。设备维护记录单元对接收信息、系统状态和控制动作进行记录。车载安全计算机对列车运行控制信息进行综合处理,生成目标距离模式曲线,控制列车按命令运行。人机接口是车载设备与机车乘务员交互的接口。运行管理记录单元规范机车乘务员驾驶,记录与运行管理相关的数据。

### (五) CTCS-4 级

CTCS-4 级是基于无线传输信息的列车运行控制系统;可实现虚拟闭塞或移动闭塞;CTCS-4 级由 RBC 和车载验证系统共同完成列车定位和列车完整性检查;CTCS-4 级地面不设通过信号机,凭车载信号行车;CTCS-4 级列控系统未来的发展方向,目前尚未形成标准体系。

### (六) CTCS 级间关系

CTCS 具有明确的级间关系,如下所示:

- 符合 CTCS 规范的列车运行控制系统应能满足车载设备互联互通的运用要求。
- 系统级间转换应自动完成。
- 系统地面、车载配置在系统故障条件下应允许降级使用。
- 系统级间转换应不影响列车正常运行。
- 系统各级状态应有清晰地表示。

## 四、CTCS-3 级列控系统与国外列控系统的比较

CTCS-3 级列控系统通过 GSM-R 无线通信网络,实现信息的连续传输,实时性更强;同时由于具有双向传输通道,地面系统可以实时接收列车发送的列车数据、列车状态等信息,用于地面系统的运算及对列车的监控,系统性能显著提高。与国外的列控系统相比,CTCS-3 级列控系统的技术特点见表 1—2 所示。

## 五、CTCS-3 级列控系统创新点

CTCS-3 级列控系统是世界上第一个使用 GSM-R 无线通信系统实现时速 350 km/h 列车运行控制的列控系统,也是我国拥有自主知识产权的列车运行控制系统。这一系统在技

表 1—2 CTCS-3 级列控系统与国外列控系统比较表

| 列控系统<br>比较项目 | CTCS-3 级<br>列控系统      | ETCS 系统              | 德国 LZB<br>系统         | 法国 U/T 系统<br>(TVM430) | 日本 DS-ATC<br>系统      |
|--------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| 列车控制方式       | 连续速度控制的<br>速度-距离模式曲线  | 连续速度控制的<br>速度-距离模式曲线 | 连续速度控制的<br>速度-距离模式曲线 | 分段速度控制的<br>速度-距离模式曲线  | 分段速度控制的<br>速度-距离模式曲线 |
| 车地通信方式       | 无线通信                  | 无线通信                 | 轨道电缆                 | 数字编码轨道<br>电路          | 数字编码轨道<br>电路         |
| 车地通信特点       | 实时双向                  | 实时双向                 | 实时双向                 | 地对车为连续                | 地对车为连续               |
| 列车定位方式       | 应答器                   | 应答器                  | 电缆交叉点                | 轨道电路边界                | 轨道电路边界               |
| 列车占用<br>检查方式 | 轨道电路                  | 轨道电路/计轴              | 计轴                   | 轨道电路                  | 轨道电路                 |
| 传输信息量        | 较大                    | 较大                   | 较大                   | 较小                    | 较小                   |
| 传输速度等级       | kbit/s                | kbit/s               | kbit/s               | bit/s                 | bit/s                |
| 互联互通         | 易于开放                  | 易于开放                 | 受限制                  | 受限制                   | 受限制                  |
| 制动方式         | 设备制动优先为<br>主,司机制动优先为辅 | 司机制动优先               | 司机制动优先               | 司机制动优先                | 设备制动优先               |

术上的重大创新集中表现在以下四个方面:

1. 首次通过无线通信的方式实现了对长大距离范围内时速 350 km 列车的安全可靠运行控制。攻克了无线安全传输技术,确保在时速 350 km 及以上速度条件下列控系统安全数据的双向、实时传输。主要设备及系统均采用了冗余配置,保证设备在长距离及长时间不间断运行。故障导向安全的设计技术贯穿于整个系统设计及实现,保证系统的高安全性,通过了系统安全评估。

2. 完成了 CTCS-2/CTCS-3 级列控系统控车模式集成。满足了全路“一张网”规划下的 CTCS-3/CTCS-2 不同等级的线路跨线运行要求。实现了在 CTCS-2/CTCS-3 不同等级间不停车切换,提高了旅客舒适度,并保证了运营效率。在 GSM-R 无线网络故障情况下,具备 CTCS-3 级降级到 CTCS-2 级的功能,提高了系统可用性。

3. 创建全速、全景、全速综合设计集成平台和一整套测试验证方法。自主研制并搭建了基于半实物仿真的 CTCS-3 级列控系统平台,支撑 CTCS-3 级列控系统方案验证、关键设备研发、系统集成、工程数据测试、互联互通测试和故障在线及诊断。建立了用于 CTCS-3 级列控系统测试的案例库。为列控技术研究、产品研制和运营维护的可持续发展提供长期技术支持。

4. 构建了完整的技术标准体系。建立符合中国国情、路情的,全路统一的,互联互通的,具有世界一流水平的高速铁路 CTCS-3 级列控系统技术体系。制定了囊括研发、生产、施工、维护等各个环节的标准规范,按照标准先行原则,开展技术创新工作。为中国高速铁路列控技术快速持续发展奠定了坚实基础。

CTCS-3 级列控系统在速度等级、系统功能、仿真测试、标准体系等方面,均处于国际领先水平。

## 第二章 CTCS-3 级列控系统综述

CTCS-3 级列控系统是基于无线通信系统实现地面与列车控制信息双向实时传输的列控系统。本章主要介绍 CTCS-3 级列控系统的技术要求、运营场景、工作原理和地面设备与车载设备的系统组成,将 CTCS-3 级列控系统的运行原理做了全面的阐述。

### 第一节 CTCS-3 级列控系统的技术要求

#### 一、系统的技术特点和基本功能

CTCS-3 级列控系统是基于 GSM-R 无线通信系统实现车地信息双向传输,无线闭塞中心(RBC)生成行车许可,轨道电路实现列车占用检查,应答器实现列车定位,并具备 CTCS-2 级功能的列控系统。

CTCS-3 级列控系统满足运营速度 350 km/h 及以上、最小追踪间隔 3 min 的要求。

因此,CTCS-3 级列控系统具有以下技术特点:

- (1) 基于 GSM-R 无线通信实现车地信息双向传输;
- (2) RBC 生成行车许可;
- (3) 轨道电路实现列车占用检查和列车完整性检查;
- (4) 应答器实现列车定位;
- (5) 具备 CTCS-2 级功能。

CTCS-3 级列控系统的基本功能有:

- (1) 向司机提供安全驾驶列车的必要信息;
- (2) 监控列车及调车运行;
- (3) 采用 GSM-R 无线通信系统实现车地信息双向传输;
- (4) 具备自动过分相功能;
- (5) 满足跨线运行的运营要求;
- (6) 具有轨道占用检查和列车完整性检查功能;
- (7) 采用固定自动闭塞,以目标距离连续速度控制模式监控列车运行;
- (8) 具有设备制动优先和司机制动优先两种控制方式,且一般采用设备制动优先控制方式;
- (9) 具有常用制动和紧急制动两种制动模式;
- (10) CTCS-3 级具备临时限速功能;
- (11) CTCS-2 级列控系统功能作为后备模式。

CTCS-3 级列控系统车载设备速度容限规定如图 2—1 所示。