



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

列车运行控制系统

(第二版)

LIECHEYUNXINGKONGZHIXITONG

张铁增 主编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

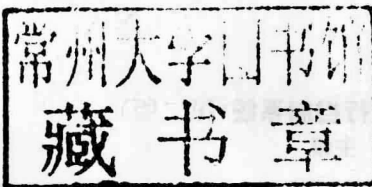


“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

列车运行控制系统

(第二版)

张铁增 主 编
林瑜筠 徐纯山 副主编
吕永昌 主 审



中国铁道出版社

2014年·北京

内 容 简 介

本书为“十二五”职业教育国家规划教材,经全国职业教育教材审定委员会审定。本书系统地介绍了列车运行控制系统的新技术和新设备。全书共六章,包括列车运行控制系统概述、机车信号车载设备、列车运行监控记录装置、CTCS-2 级列车控制系统、CTCS-3 级列车控制系统以及站内轨道电路电码化。

本书为铁路高职信号专业教材,也可供铁路信号工作人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

列车运行控制系统/张铁增主编.—2 版.—北京:
中国铁道出版社,2014.12

“十二五”职业教育国家规划教材

ISBN 978-7-113-19193-1

I. ①列… II. ①张… III. ①列车—运行—控制系统
—高等教育—教材 IV. ①U284.48

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 205415 号

书 名:列车运行控制系统(第二版)

作 者:张铁增 主编

责任编辑:吕继函

编辑部电话:010-63589185-3096

电子信箱:lvjihhan@tqbooks.net

封面设计:陈东山

责任校对:龚长江

责任印制:李 佳

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:北京新魏印刷厂

版 次:2009 年 1 月第 1 版 2014 年 12 月第 2 版 2014 年 12 月第 1 次印刷

开 本:787mm×1 092mm 1/16 印张:17.25 字数:448 千

印 数:1~3 000 册

书 号:ISBN 978-7-113-19193-1

定 价:35.00 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

第二版前言

本书为“十二五”职业教育国家规划教材,经全国职业教育教材审定委员会审定。伴随着铁路大提速,尤其是高速铁路的迅速发展,作为列车提速、高速的关键技术——列车运行控制技术取得了长足的进步。为紧跟铁路信号现代化的发展步伐,满足铁路运输对于人才培养的需求,2008年增设了《列车运行控制系统》课程。

本教材根据铁路高职教育铁道信号自动控制专业教学计划“列车运行控制系统”课程教学大纲编写,是在2009年《列车运行控制系统》的基础上全面修订而成的。依据中国铁路总公司《铁路技术管理规程》的要求,结合铁路现场列车运行控制系统使用的实际,重点介绍JT1-CZ2000型机车信号车载设备、CTCS-2级列车运行控制系统、CTCS-3级列车运行控制系统及站内轨道电路电码化。

我国铁路已用JT1-CZ2000型机车信号替代JT1-A/B型机车信号,故本教材对后者不再介绍。

为统一列车运行监控记录装置、机车信号及列车超速防护设备的技术政策和标准,便于测试和养护维修,已于2008年将列车运行监控记录装置由机务部门管理调整为由电务部门管理。因此,本教材增加了该部分内容。

为体现教材的先进性,本教材重点编写了CTCS-2级和CTCS-3级列车运行控制系统。

根据铁路现场的实际情况,站内轨道电路电码化不再发展闭环电码化,因此本教材不再介绍闭环电码化,而着重介绍叠加方式电码化。而且,为方便使用,叠加方式电码化电路图不再采用插页的方式,而与《计算机联锁图册》配套,用其中有关站内轨道电路电码化的图。

为帮助学生加深理解各章节的主要内容及培养学生的思维能力,本书在各章节后均附有复习思考题。

本教材由辽宁铁道职业技术学院张铁增任主编,上海铁路局吕永昌任主审。南京铁道职业技术学院林瑜筠、辽宁铁道职业技术学院徐纯山任副主编。锦州电务段单振宇、南京铁道职业技术学院束元、曹峰参编。其中,张铁增编写了第一、二章,徐纯山编写了第三章,林瑜筠、单振宇、束元编写了第四、五章,林瑜筠、曹峰编写了第六章。

本教材大部分内容为铁路近几年发展的列车控制新技术,在运用中设备会不断有所变化和和完善,加之编者水平有限,资料搜集不全,书中难免有不妥和错误之处,敬请广大读者批评指正。

编者
2014年7月

第一版前言

本教材由铁道部教材开发小组统一规划,为铁路职业教育规划教材。本教材是根据铁路高职教育铁道信号专业教学计划“列车运行控制系统”课程教学大纲编写的,由铁路职业教育铁道信号专业教学指导委员会组织,并经铁路职业教育铁道信号专业教材编审组审定。

伴随铁路大提速,尤其是第六次大提速,列车运行控制技术取得了长足的进步。为紧跟铁路信号现代化的发展步伐,满足铁路运输需求,增设《列车运行控制系统》课程。

《列车运行控制系统》依据铁道部 2006 年版《铁路技术管理规程》的要求,结合铁路现场列车运行控制设备使用的实际,重点介绍 JT1-CZ2000 型机车信号车载设备、CTCS-2 级列车运行控制系统及站内轨道电路闭环电码化。

我国铁路正在用 JT1-CZ2000 型机车信号替代 JT1-A/B 型机车信号,故对后者仅作简要介绍。为统一列车运行监控记录装置、机车信号及列车超速防护设备的技术政策和标准,便于测试和养护维修,铁道部已于 2008 年将列车运行监视记录装置由机务部门管理调整为由电务部门管理。因此,作为铁道信号专业教材,本书增加了该部分内容。

为体现教材的先进性,本书增编了用于我国 300~350 km/h 客运专线采用的 CTCS-3 级列车控制系统的内容。

为帮助学生加深理解各章节的主要内容及培养学生的思维能力,本书在各章节后均附有复习思考题。

列车运行控制技术在全路各铁路局发展不均衡,各地使用的制式会有所区别,各院校可根据本地区实际情况选学有关章节,并尽量做到因地制宜。

教材中用楷体编排的,中专可选学。

本教材由辽宁铁道职业技术学院张铁增主编,南京铁道职业技术学院林瑜筠副主编,华东交通大学职业技术学院涂序跃、南京铁道职业技术学院徐彩霞、辽宁铁道职业技术学院徐纯山参编。其中,张铁增、徐纯山编写了第一、二章,林瑜筠编写了第三、五章,涂序跃编写了第四章,徐彩霞、林瑜筠编写了第六章。全教材由洛阳铁路信息工程学校杨建光主审。2008 年 10 月在南昌召开了教材审稿会。参加审稿的有:内江铁路机械学校姚晓钟、李康标,武汉铁路职业技术学院张仕雄,柳州铁道职业技术学院李崇芬,天津铁道职业技术学院侯启同,西安铁路职业技术学院张玮和重庆铁路高级技校袁放。与会同志对该书进行了认真审议并提出了许多宝贵意见,在此深表谢意。

该教材首次出版,大部分内容为铁路近几年发展的列车控制新技术,在运用中设备会不断有所变化和完美,加之编者水平有限,书中难免有不妥和错误之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2008 年 12 月

目 录

第一章 列车运行控制系统概述	1
第一节 列车运行控制系统综述	1
第二节 ATP 概述	6
第三节 CTCS 概述	10
复习思考题	13
第二章 机车信号车载设备	14
第一节 JT1-CZ2000 型机车信号	14
第二节 机车信号低频信息定义、分配及使用	31
第三节 机车信号设备维护	39
复习思考题	42
第三章 列车运行监控记录装置	44
第一节 LKJ2000 型监控装置概述	44
第二节 LKJ2000 型监控装置系统组成及工作原理	49
第三节 LKJ2000 型监控装置软件原理	63
第四节 列车运行监控装置的相关设备	66
第五节 列车运行监控装置的维护	74
复习思考题	100
第四章 CTCS-2 级列控系统	101
第一节 CTCS-2 级列控系统总体结构	101
第二节 CTCS-2 级列控系统地面设备	104
第三节 CTCS-2 级列控车载设备	158
第四节 CTCS-2 级列控系统的维护	169
复习思考题	187
第五章 CTCS-3 级列控系统	188
第一节 CTCS-3 级列控系统运营需求	188
第二节 CTCS-3 级列控系统总体结构	191
第三节 CTCS-3 级列控地面设备	194

第四节 CTCS-3 级列控车载设备	213
第五节 CTCS-3 级列控系统的维护	224
复习思考题	238
第六章 站内轨道电路电码化	240
第一节 站内轨道电路电码化概述	240
第二节 电码化器材	242
第三节 叠加方式轨道电路电码化	247
第四节 站内轨道电路电码化的维护	262
复习思考题	267
附录 名词术语(缩略语)英中对照	268
参考文献	270

第一章

列车运行控制系统概述

第一节 列车运行控制系统综述

列车运行控制系统简称列控,是保证列车安全、快速运行的系统。列车运行控制系统的主要作用是完成列车的间隔控制和速度控制。完整的列车运行控制系统应包括车载设备和地面设备。

机车信号、列车自动停车装置、列车无线调度电话合称为“机车三大件”。自 20 世纪 80 年代开始在我国铁路迅速普及。它们对保证行车安全,提高运输效率起到了显著作用,也是我国列车运行控制系统的起点。

但长期以来,列车运行控制系统在我国铁路并未形成技术规范,未得到系统发展,一直是利用地面联锁和闭塞设备,配合车载机车信号和列车运行监控记录装置,采用司机人工控车为主的列车控制模式。直到 2003 年,原铁道部才制订发展中国列车运行控制系统(Chinese Train Control System,以下简称 CTCS)的规划。2007 年,在第六次大提速工程中,开始采用 CTCS-2 级列控系统。

伴随我国高速铁路的发展,列车运行控制系统已由以地面信号为主的机车信号、列车运行监控记录装置发展为以车载信号为主的具有超速防护功能的 CTCS-2 级和 CTCS-3 级列控系统。目前,在我国高速铁路上广泛应用了列车运行控制系统。

一、机车信号

我国铁路早期对列车运行的控制完全由司机根据地面信号显示人工完成。由于受到自然环境(如雾、大雨雪、风沙等)的影响以及隧道、弯道等地形条件的限制,司机难以做到全天候连续不断地在规定距离内确认地面信号显示,存在冒进信号的危险。尤其是在行车密度大、列车速度快及载重量大的区段,要求增加制动距离,发生冒进信号的可能性更大。因此,必须加装机车信号。

机车信号机设于司机驾驶室内。列车运行时,通过机车上的传感器接收列车运行前方轨道上的轨道电路信息,经译码使机车信号能复示前方地面信号的显示。司机行车时,以列车运行前方地面信号显示为主,以机车信号显示为辅。

机车信号能改善司机的瞭望条件,能较好地避免自然条件的干扰,提高司机接收信号的可靠性。

机车信号按机车接收地面信息的时机可分为点式、连续式和接近连续式三种。

点式机车信号用于非自动闭塞区段,在线路上某些固定地点,如进站信号机外方 1 200 m 和 400 m 处通过地面设备向机车传递信息。它利用地面感应器和机车感应器间的电磁耦合作用,从地面向机车传递信息。但仅在个别地点有显示,不能有效地保证行车安全,已被淘汰,

改为接近连续式机车信号。

接近连续式机车信号用于半自动闭塞区段,在车站的接近区段和站内正线接车进路及到发线股道上通过轨道电路连续地反映地面信号显示。

连续式机车信号用于自动闭塞区段,能在整条线路上连续不断地反映线路状态和运行条件。

早期,机车信号按接收轨面信息的特征,分为交流计数机车信号、移频机车信号和极频机车信号等。这些制式的机车信号主要是为了与运行在该区段内的自动闭塞或半自动闭塞区段的轨道电路信息制式相一致。

过去我国自动闭塞制式不统一,导致机车信号制式不统一,不利于机车长交路运行的实施,更不利于设备的养护和维修。为满足机车长交路的要求,研制了JT1-A型和JT1-B型通用式机车信号。该制式机车信号利用微机和数字信号处理技术,能自动识别各种制式的机车信号信息,可用于各种制式的自动闭塞和半自动闭塞区段。由于通用式机车信号的通用性和可靠性,20世纪90年代在我国铁路主要干线上已迅速普及。

长期以来,我国铁路是以地面信号为主体信号,司机主要依据地面信号显示行车,而机车信号只作为辅助信号使用。随着列车运行速度的提高,司机已无法直接凭视觉反应及时确认地面信号的变化。因此,为保证运行安全,提出了机车信号作为行车凭证的要求。于是对通用式机车信号进行了技术改进,研制出新一代JT1-CZ2000型机车信号。当地面发送设备十分可靠并满足故障—安全时,JT1-CZ2000型机车信号可作为行车凭证使用。

目前,我国铁路既有线已全部采用JT1-CZ2000型主体化机车信号。

二、列车运行监控记录装置

机车信号只是对地面信号的复示,并不能从根本上保证列车的运行安全。在总结列车运行事故教训的基础上,我国铁路在机车信号的基础上加装列车自动停车装置(ZTL)。

列车自动停车装置20世纪80年代在我国铁路获得了推广,并且从ZTL-1型发展到ZTL-3型。该装置与机车信号的显示发生联系,当列车运行前方地面信号显示红灯机车信号显示禁止信号时构成音响报警。司机应在规定时间内通过按压警惕按钮做出反应。如果司机未按压警惕按钮和未采取有效制动措施,当报警时间超过规定时间后,自动停车装置将打开列车制动系统内的放风阀,强迫列车自动停车。

自动停车装置的使用有效地消除了因司机失去警惕而造成的列车冒进信号事故。但是由于自动停车装置存在警惕按钮,司机在不清醒状态下,若通过习惯性地按压警惕按钮,仍会使自动停车装置不起作用。另外,列车自动停车装置ZTL功能简单,使用中并未能与列车运行中的速度控制发生联系。为有效地控制列车运行速度,减少列车超速或冒进信号引起的事故,必须要研制列车超速防护系统(ATP)。

在我国铁路列车超速防护系统处于开发和探索期间,全路有多家单位研制列车运行监控记录装置(LKJ)。1995年研制成功LKJ-93型,通过原铁道部技术鉴定并在全路普及。之后LKJ-93型又改进为LKJ2000型。随着LKJ的出现,列车自动停车装置ZTL早已被淘汰,到20世纪90年代末,几乎所有机车都安装使用了LKJ,范围遍及所有运营线路。

LKJ的主要功能是防止列车冒进进站信号机和出站信号机,监控列车运行速度,在司机欠清醒或失控的情况下,对列车实施紧急制动。同时起到“黑匣子”的作用,记录列车运行、机车运用及司机操作状况。LKJ对保证列车安全,改善对司机、机车的管理发挥了积极的作用。

但是, LKJ 的地面数据不是由地面实时传递的, 而是预先储存在机车上, 随着列车运行按列车坐标提取。运行中机车要不断地对标, 一旦发生对标错误或者地面数据变化而未及时更新, 将危及行车安全。同时 LKJ 的监控部分不符合列车超速防护系统所要求的故障—安全原则, 不具备实际意义的列车超速防护功能, 因此只能作为一种过渡设备使用。目前, LKJ 广泛运用于 160 km/h 以下的线路, 以及在采用 CTCS-2 级的线路作用后备设备使用。

三、列车超速防护

列车超速防护(ATP)是指列车能根据自身的运行速度和前方列车位置及线路状态对采取制动操作的时机作出逻辑判断, 对列车运行速度进行实时控制的技术。随着列车运行速度的增加, 完全由司机去完成控车任务是十分困难的。

当列车运行速度提高到 140 km/h, 列车紧急制动距离为 1 100 m; 列车运行速度提高到 160 km/h, 紧急制动距离为 1 400 m; 列车运行速度提高到 200 km/h, 紧急制动距离将超过 2 000 m, 而司机视觉能力对信号作出判断的最少时间为 3~5 s(遇到阴、雨、雪、雾判断更为困难)。随着列车速度的提高, 当判断时间内列车走行距离不能小于制动距离时, 便会构成不安全因素。因此, 随着列车运行速度的提高, 司机对信号判断的反应能力已不适应, 必须由列车超速防护系统去控制列车运行。列车超速防护系统在防止列车超速运行, 保证列车停车的准确性和及时调整列车运行速度方面具有较大优越性。

在列车超速防护区段一般采用轨道电路连续传递前行列车位置信息, 采用应答器传递线路参数及进路信息, 或者采用无线通信(简称无线)传输信息。例如, 根据前方列车位置通过轨道电路编码向钢轨传递表示不同速度等级的信号电流。列车上的传感器(接收线圈)接收信号电流后, 经车内信号接收器译解, 获得允许的限制速度。根据车轴上的速度传感器计算出列车走行的实际速度。将允许列车运行的限制速度与列车走行的实际速度送入车载微机系统进行比较。当实际走行速度超过限制速度, 则动作制动设备, 如实际走行速度低于限制速度, 则制动设备缓解, 而运行操作仍由司机完成。

20 世纪 90 年代初我国铁路在京广线郑武段电气化改造工程中首次引进法国 UM-71 轨道电路和 TVM300 带速度监督的机车信号, 即 U-T 系统。TVM300 采用滞后的阶梯型分级控制模式, 地面自动闭塞必须设置双红灯防护区段, 列车超速防护的制动方式只能采用紧急制动。经实践检验, TVM300 不适用于我国站间间隔小、客货混运的繁忙干线区段, 在运用中出现较多问题, 而不得不停止使用。

随后, 在广深准高速工程中, 采用了具有 UM71 与移频制式兼容功能的 ZLSK 型准高速客车速度分级控制系统。基本原理与 TVM300 相同, 但在制动模式上进行了改进。它依据闭塞分区的长度、坡道, 通过不同的低频信息将列车监控速度进行分级。系统为双机热备, 常用制动和紧急制动分用。

在川黔线进行过引进瑞典 ABB 公司的点式 ATP 试验。在京九线商阜段试验过 LCF 超速防护系统, 在北京环行铁道试验线进行过点连式 LSK-2000 和 LCF-200 系统的试验。

2002 年在我国第一条客运专线——秦沈客运专线建设中, 采用了法国 UM2000 型数字轨道电路和 TVM430 型带速度监督机车信号的列车超速防护系统。由 UM2000 提供地面信息, 包含闭塞分区长度、曲线坡度、监控速度等信息, 实现速度—距离模式曲线方式控制列车运行。

2006 年在青藏线采用增强型列车运行控制系统 ITCS。ITCS 是基于无线传输的虚拟自

动闭塞及超速防护系统,在较大车站采用计算机联锁,中、小车站及区间不设轨道电路和信号机,室外仅有转辙机和相应的电缆。

但是,在第六次大提速前,就全国铁路而言,还没有建立起完整的列车运行控制系统。

四、中国列车运行控制系统(CTCS)

中国列车运行控制系统(CTCS)是我国高速铁路保证列车行车安全、提高列车运行效率的重要技术装备,以有效的技术手段对列车运行速度、运行间隔进行实时监控和超速防护,同时能够减轻司机劳动强度、改善工作条件,提高乘客舒适度。

1. CTCS 标准的产生

列车超速防护系统是当今世界各国普遍采用的安全技术设备。按照“引进先进技术,联合设计生产,打造中国品牌”的总体要求,经过引进和吸收,我国已经具备了发展列车运行控制系统(CTCS)的基础和条件。

为满足高速铁路建设需求,通过对欧洲 ETCS 标准的引进、消化、吸收,并结合我国铁路大提速的成功经验,我国 2004 年构建了具有自主知识产权的列控系统标准,即《CTCS 技术规范总则(暂行)》。

CTCS 是中国列车运行控制系统(Chinese Train Control System)的英文字头。CTCS 是在保证列车安全运行前提下,以分级形式满足不同线路运输需求的列车运行控制系统。CTCS 根据功能需求和设备配置划分为 CTCS-0 级、CTCS-1 级、CTCS-2 级、CTCS-3 级和 CTCS-4 级五个级别。

CTCS-0 级由通用式机车信号和列车运行监控记录装置组成,为既有系统。

CTCS-1 级由主体化机车信号、安全型列车运行监控记录装置和点式应答器组成的点式信息作为连续信息的补充,可实现点连式超速防护功能。

CTCS-2 级是基于轨道电路和点式应答器传输控车信息并采用车地一体化设计的列车运行控制系统。

CTCS-3 级是基于无线传输信息,并采用轨道电路等方式检查列车占用的列车运行控制系统。

CTCS-4 级则是完全基于无线传输信息的列车运行控制系统。

CTCS 各级基本特征见表 1-1 所列。

表 1-1 CTCS 各级基本特征

项目	CTCS-0 级	CTCS-1 级	CTCS-2 级	CTCS-3 级	CTCS-4 级
运行速度	120 km/h 以下	160 km/h 以下	200~250 km/h	300~350 km/h	200~350 km/h
地面设备组成	轨道电路	轨道电路、应答器及 LEU	列控中心、轨道电路、应答器及 LEU	无线闭塞中心、列控中心、GSM-R 地面设备、轨道电路、应答器及 LEU	无线闭塞中心、GSM-R 地面设备
车载设备组成	通用机车信号、LKJ	主体机车信号、安全型 LKJ、应答器信息接收模块	ATP、LKJ	ATP、GSM-R 接收模块	ATP、GSM-R 接收模块
列车定位	车载测距	车载测距和应答器校准	车载测距和应答器校准	车载测距和应答器校准	车载测距和应答器校准

续上表

项目	CTCS-0级	CTCS-1级	CTCS-2级	CTCS-3级	CTCS-4级
控制模式	阶梯速度曲线	目标速度距离模式曲线	目标速度距离模式曲线	目标速度距离模式曲线	目标速度距离模式曲线
车地信息传输	轨道电路	轨道电路	轨道电路+点式设备	无线双向信息传输	无线双向信息传输
轨道占用检查	轨道电路	轨道电路	轨道电路	轨道电路等	GPS等
线路数据来源	车载数据存储芯片	车载数据存储芯片	应答器提供	无线闭塞中心(RBC)提供	无线闭塞中心(RBC)提供
闭塞方式	自动闭塞/半自动闭塞	自动闭塞/半自动闭塞	正向:自动闭塞 反向:自动站间闭塞	正向:自动闭塞 反向:自动站间闭塞	自动闭塞或移动闭塞
联锁方式	6502电气集中/计算机联锁	6502电气集中/计算机联锁	计算机联锁	计算机联锁	计算机联锁
调度指挥	TDCS/CTC	TDCS/CTC	CTC	CTC	CTC

2. CTCS 的应用

120 km/h 以下线路可采用 CTCS-0 级列控系统。全路大部分既有铁路均以地面信号机作为指挥列车的行车凭证,利用联锁和自动闭塞设备,配合车载“机车信号+监控装置”构成 CTCS-0 级,作为行车安全的辅助设备。加上司机的人工介入,CTCS-0 级可以满足 120 km/h 以下线路的使用要求。但由于地面提供的信息不足,CTCS-0 级不得不采用司机人工介入的方式,一旦司机失误,仍存在严重的不安全因素。随着列车的提速,延长交路,问题的严重性日益明显,亟须地面补充相关信息,以减少人工介入,消除安全隐患。

2007 年第六次大提速,既有线 200 km/h 提速改造采用 CTCS-2 级列控系统。CTCS-2 级列控系统是基于一轨道电路加应答器传输列车运行信息的点连式系统,是采用目标—距离模式曲线监控列车安全运行的列车运行控制系统。其基本原则是在既有自动闭塞系统上叠加列控系统,既满足动车组车载设备对地面信息的要求,又保证既有自动闭塞维持不变,兼容既有有机车运行控制的使用。

CTCS-2 级列控系统具有与列车运行监控装置 LKJ 的接口。当列车超速防护系统正常工作时,由 ATP 控车。当地面设备不满足 CTCS-2 级条件,或列车超速防护设备故障时,CTCS-2 级可降级为 CTCS-0 级,由 LKJ 控车。

200~250 km/h 高速铁路采用 CTCS-2 级列控系统。当然,用于高速铁路的 CTCS-2 级和既有线的 CTCS-2 级列控系统有所区别,它们的列控中心功能有所不同,前者将轨道电路纳入控制,并取消了站内电码化。

京津城际铁路是我国第一条 300~350 km/h 的高速铁路。其列车运行控制系统基于由轨道电路实现列车占用及空闲检查,由应答器和轨道电路传输行车许可等信息,并采用目标距离模式监控列车安全运行,实现 ETCS-1 级列控系统和 CTCS-2 级列控系统功能,命名为“CTCS-3D 级列车运行控制系统”(简称“CTCS-3D 列控系统”)。CTCS-3D 级地面子系统兼容 CTCS-2 级功能,满足既有线 200~250 km/h 动车组上线运行的要求。

300~350 km/h 高速铁路应采用 CTCS-3 级列控系统。CTCS-3 级列控系统是速度 300~350 km/h 高速铁路的重要技术装备,是我国铁路技术体系和装备现代化的重要组成部分,是保证高速列车运行安全、可靠、高效的核心技术之一。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的列控系统。CTCS-2级作为CTCS-3级的后备系统,在无线闭塞中心或无线通信故障时,由CTCS-2级列控系统控制列车运行。

五、站内轨道电路电码化

轨道电路是机车信号和列车超速防护的地面设备。

在自动闭塞区段,区间采用移频轨道电路,机车信号车载设备能直接接收移频信息。而站内采用的25 Hz相敏轨道电路或交流连续式轨道电路不能发送移频信息,当列车在站内运行时机车信号将中断工作。为了保证行车安全和提高运输效率,使机车信号在站内也能连续显示,需在站内原轨道电路的基础上进行电码化。

所谓站内轨道电路电码化,指的是非电码的轨道电路能根据运行前方信号机的显示发送各种电码。

电码化范围起初只包括正线(接车进路、股道和发车进路),在出现了危及行车安全的事故后,扩大到侧线,但是侧线轨道电路电码化范围仅仅是股道。

电码化起初采用切换方式。切换方式电码化是在被占用时转为发送移频信息,列车占用下一相邻轨道电路区段后恢复原轨道电路,即原轨道电路和电码化电路切换使用。最初采用固定切换方式,即本轨道电路区段被占用实现电码化时,起转换开关作用的轨道发码继电器固定在励磁状态,向轨道发送移频信息,待列车压入下一相邻轨道电路区段后,本区段的轨道发码继电器才落下,恢复原轨道电路。此种方式存在着在某些正常的调车作业或列车折返时已移频化的股道轨道电路不能自动恢复的缺点。

为此,改为采用脉动切换方式的轨道电路电码化。即某一轨道区段电码化时,使传输继电器处于脉动状态,当其励磁时向轨道发送移频信息,失磁时将原轨道电路设备接向钢轨,列车出清时轨道电路自动恢复。此方式不仅克服了上述缺点,而且可以做到移频化电路与车站联锁电路之间的联系最少,从而使各种车站的电码化电路做到基本统一。

在列车提速的情况下,当列车以较高速度通过站内较短的轨道电路区段时,由于传输继电器有0.6 s的落下时间而造成“掉码”,使机车信号不能连续工作,不利于行车安全。因此又出现了叠加方式的站内电码化。

叠加方式是指机车信号信息(如ZPW-2000)和原轨道电路信息(如25 Hz相敏)在轨道电路传输通道内同时存在。由于设有室内外隔离设备,叠加时两种信息互不影响。预叠加方式是指列车占用某一区段时,其列车运行前方与本区段相邻的下一区段也开始发码,即提前一个区段发码。采用预叠加方式发码时,可满足列车进站时站内均有两个区段同时发码,能保证机车信号及时可靠接收轨面信息,不会造成“掉码”。

目前正线多采用逐段预叠加方式,侧线采用叠加方式。

在CTCS-2级区段和CTCS-3级区段,车站和区间采用一体化(同制式)的轨道电路,就不需要站内电码化了。

第二节 ATP概述

一、ATP的基本概念

ATP(Automatic Train Protection),即列车运行超速防护。随着列车速度的提高和密度的加大,必须装备列车超速防护系统,来保证行车安全。对于高速铁路,ATP更是保证列车运

行安全的最重要的技术支持手段。ATP 不仅可用来保证列车之间的运行安全,还用于受曲线等线路条件、通过道岔、慢行区间等限制而需要限速的区段。因此限速等级是根据后续列车和先行列车之间的距离、线路条件等决定的。ATP 可对列车运行速度进行监督。当列车实际速度超过允许速度值时,控制列车进行常用全制动或紧急制动,使列车停车或减速。ATP 通过人—机界面 DMI 向司机显示列车运行速度、列车允许速度、列车目标速度及目标距离等信息,监控列车安全运行,能可靠地保证列车在运行中不超速、不冒进。

ATP 使铁路信号速度化,信号信息具备明确的速度含义,并根据这些信息对列车运行速度实时连续监控。地面列控信息主要根据进路、线路条件以及前后列车的运行位置,产生目标距离、目标速度允许速度等信息。ATP 车载设备依据接收到的信息,根据列车构造速度、制动性能计算出控制曲线,对列车是否遵守信号(速度)指令进行实际运行速度的监控。当列车在允许速度控制曲线以下运行时,ATP 车载设备相当于“机车信号”,只不过信号显示已不仅是灯光颜色,而是允许速度值的量化显示;当列车的实际运行速度接近或超过允许速度曲线规定的允许速度值时,ATP 车载设备就报警、制动,起到防止“两冒一超”的安全作用。也就是说,只要 ATP 设备正常工作,列车就不会发生“两冒一超”方面的行车事故。

ATP 系统是由地面信号设备(含列车占用检查、运行位置定位、信息传输等)和车载信号设备共同构成的系统。在列车占用检查和运行位置定位上,一般采用轨道电路、应答器等设备;在信息传输上,一般采用轨道电路、应答器以及 GSM-R 无线通信设备。车载设备采用以车载安全型计算机为核心的多系冗余系统。从世界各国的国家铁路来看,ATP 系统主要用于提速区段和高速铁路,驾驶操作包括列车加速等仍由司机完成,而防止“两冒一超”的安全性操作则由系统自动完成,这样就大大提高了提速区段和高速列车的安全保证等级。

二、ATP 的功能

ATP 的基本功能主要有:

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,防止列车超速、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,并具有轮径修正功能。

2. 人机交互

为司机提供必需的显示、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。司机输入装置配置必要的开关、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曲线时,则实施紧急制动。列车的减速制动完全由列车运行控制系统自动完成,不必司机人工介入。这样,可以适当缩短列车运行间隔时间,保证列车按时刻表运行。

4. 自动检测

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。

三、列车制动控制模式

列车制动控制模式经历了分级制动模式和一次制动模式。

1. 分级制动模式

分级制动模式也称为速度码阶梯控制方式,它以闭塞分区为单元,在每个闭塞分区内只设一个速度等级,根据与前行列车的运行距离来调整列车速度。分级制动模式又分为阶梯型和曲线型。

阶梯型分级制动模式俗称大台阶型。它将一个列车全制动距离划分为3~4个闭塞分区,每一闭塞分区根据与前行列车距离确定限速值。如法国TGV速度控制即采用该方式,速度分为270 km/h、220 km/h、160 km/h、0 km/h四个等级。当列车速度高于检查值时,列车自动制动。其为滞后监督方式,即在闭塞分区出口才监督是否超速,所以为确保安全,必须设有“保护区段”。阶梯型分级制动模式的速度曲线如图1-1所示。

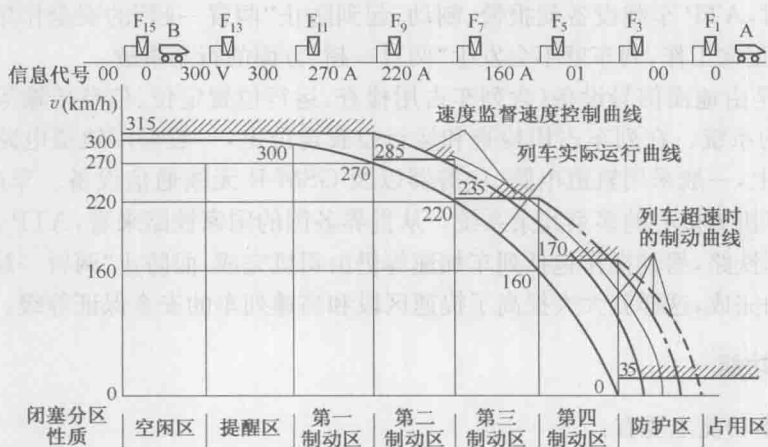


图 1-1 阶梯型分级制动模式的速度曲线

阶梯型分级速度控制方法虽然构成较为简单,但在安全、效率方面具有较多缺点。

所以,日本和法国在其新建高速铁路的 ATP 系统中,改为分级连续监控方式,即分段速度—距离模式曲线控制方式。模式曲线是根据该闭塞分区提供的允许速度值以及列车参数和线路常数由车载计算机计算出来的,列车速度在每个闭塞分区内是连续的,但是在两个闭塞分区的分界点上是不连续的。模式曲线控制方式的速度曲线如图 1-2 所示。

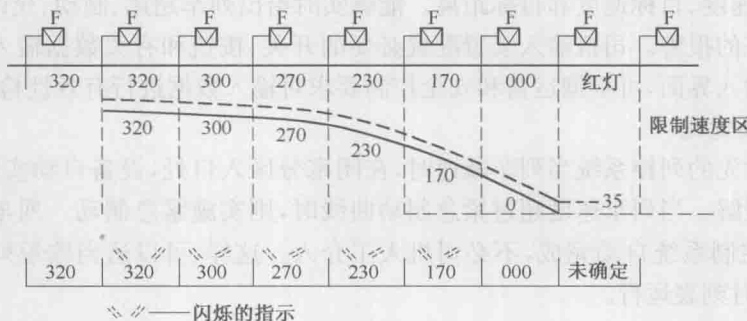


图 1-2 模式曲线控制方式的速度曲线

2. 一次制动模式

一次制动模式是按目标距离连续控制制动的,也称一次目标距离连续速度控制模式。根据距前行列车的距离或距运行前方停车站的距离,由车载安全计算机根据目标距离、列车参数和线路参数计算出列车制动模式曲线,按制动模式曲线控制列车运行。速度控制不再以一个闭塞分区为单位,而是以前行列车所占用闭塞分区的始端为追踪目标点实行一次制动方式。目标点相对固定,在同一闭塞分区内不依前行列车的走行而变化,而制动的起始点是随线路参数和列车本身性能不同而变化的。空间间隔的长度是不固定的,减少了追踪间隔,提高了列车运行效率。所以一次制动方式最能合理地控制列车运行速度,是列车自动控制技术的发展方向。一次制动模式曲线如图 1-3 所示。我国列控系统采用的是一次制动模式。

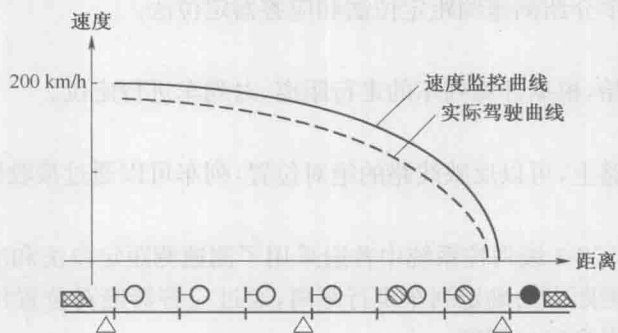


图 1-3 一次制动模式曲线

四、测速和测距

1. 测速

列车运行速度的测量非常重要,列车实际运行速度是速度控制的依据。该速度值的准确度和精度直接影响调速效果。

测速有车载设备自测和系统测量两种方法。车载设备自测有测速发电机、速度传感器等方法。系统测量有卫星测速和雷达测速等方法。

(1) 速度传感器测速

速度传感器安装在轮轴上,轮轴每转动一周,传感器输出一定数目的脉冲,这样脉冲的频率就与轮轴的转速成正比。

速度传感器将轮轴的转速变成电信号,传输给测速测距模块,经处理后提供给车载计算机。

由于线路条件、列车走行部、制动和起动等因素的影响,使得列车轮对发生空转和滑行等状况时,将直接影响测量精度。

为提高测速测距精度,列控车载设备的测速系统通常要求配置两套以上的速度传感器。同时要通过技术处理消除车轮空转、打滑以及车轮磨损带来的误差,以实时计算列车的运行速度。

(2) 雷达测速

用雷达波来侦测移动物体速度的原理源于“多普勒效应”。雷达天线发射波在传输中其反射波频率随与物体接近和远离而发生改变。通过其频率差值即可计算出物体与雷达的相对速度。

利用雷达测速,可以不从车轮旋转获得信息,因此可有效地克服因车轮空转和滑行等因素构成的误差。

在CTCS-3级列控系统中采用速度传感器测速和雷达测速相结合的方法。

2. 测距

如何测量距停车点的精确距离是列车运行超速防护系统的重要任务。测距是通过测速与轮径完成的,必须不断地对轮径进行修正。

五、列车定位

列车定位方法包括轨道电路定位法、测速测距定位法、应答器定位法、卫星定位法和陀螺仪定位法等。以下简单介绍测速测距定位法和应答器定位法。

1. 测速测距定位

从一个基准点开始,根据计算列车的走行距离,对列车进行定位。

2. 应答器定位

应答器安装于线路上,可以反映线路的绝对位置,列车可以通过接收到的应答器信息进行定位。

在CTCS-2和CTCS-3级列控系统中普遍采用了测速测距定位法和应答器定位法相结合的方法。即通过测速测距方法确定列车走行距离,通过应答器绝对位置作为基准点进行位置校验,修正累积误差,提高定位精度。

六、紧急制动和常用制动

紧急制动是将压缩空气全部排入大气,使副风缸内压缩空气很快推动活塞,施行制动,使列车很快停下来。紧急制动时,列车冲击大,中途不能缓解,充风时间长,不能使列车安全平稳地运行。

常用制动是直接控制列车主管压力使机车制动与缓解,不影响原有列车制动系统的功能。它缩短了制动空走时间,大大减小了制动时的纵向冲击加速度,使列车运行更安全和较舒适。

在常用制动失效后,可施行紧急制动。

七、人控优先和机控优先

ATP设备可通过开关选择可实现人控优先和机控优先。

人控优先是指司机按模式曲线控制列车运行。列车正常运行时设备不干预司机操作。当列车运行速度超过模式曲线规定的允许速度后,设备自动介入实施制动。

机控优先是指设备能够按照曲线模式自动控制列车速度。当列车速度高于模式曲线规定的允许速度后,列车自动实施常用制动并减速。一旦满足缓解条件设备将自动缓解。以上过程不需要司机参与。必要时司机可去追加操作。机控优先可以适当缩短两列车追踪间隔。

我国高速铁路列车控制均采用机控优先。

第三节 CTCS概述

CTCS是我国高速铁路信号系统的重要组成部分。CTCS以分级的形式满足不同线路运输需求,在不干扰司机正常驾驶情况下充分发挥列车超速防护(ATP)功能,有效地保证列车