

铁路职业教育铁道部规划教材

# 列车运行控制系统

LIECHEYUNXINGKONGZHIXITONG

TIELU ZHIYE JIAOYU TIEDAONU GUIHUA JIAOCAI

张铁增 主编

中国铁道出版社  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



铁路职业教育铁道部规划教材

# 列车运行控制系统

张铁增 主 编  
杨建光 主 审



中国铁道出版社

2009年·北京

## 内 容 简 介

本书为铁路职业教育铁道部规划教材。系统地介绍了铁路列车运行控制系统的概况,机车信号车载设备、列车运行监控记录装置、CTCS-2 级列控系统、CTCS-3 级列控系统、站内轨道电路电码化的设备和工作原理。

本书为铁路高职、中专信号专业教材,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. —北京:中国铁道出版社,2009. 1

铁路职业教育铁道部规划教材

ISBN 978-7-113-09519-2

I. 列… II. 张… III. 列车—运行—控制系统—职业教育—教材 IV. U284. 48

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 211344 号

书 名: 列车运行控制系统

作 者: 张铁增 主编

---

责任编辑: 武亚雯 电话: 010-51873134 电子信箱: zhuminjie\_0@163.com

编辑助理: 朱敏洁

封面设计: 陈东山

责任校对: 张玉华

责任印制: 金洪泽 陆 宁

---

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 河北省遵化市胶印厂

版 次: 2009年1月第1版 2009年1月第1次印刷

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 11.5 插页: 3 字数: 287千

书 号: ISBN 978-7-113-09519-2/TP·3118

定 价: 26.00元

---

### 版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部调换。

电 话: 市电(010)51873170, 路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话: 市电(010)63549504, 路电(021)73187

# 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,武汉铁道职业技术学院张仕雄,柳州运输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。

# 目 录

<b>第一章 列车运行控制系统概述</b> .....	1
第一节 列车运行控制系统综述.....	1
第二节 ATP 概述 .....	7
第三节 机车信号低频信息定义、分配及使用 .....	11
复习思考题.....	18
<b>第二章 机车信号车载设备</b> .....	20
第一节 JT1 型通用式机车信号.....	20
第二节 JT1-CZ2000 型机车信号 .....	30
复习思考题.....	49
<b>第三章 列车运行监控记录装置</b> .....	51
第一节 LKJ2000 型监控装置概述 .....	51
第二节 LKJ2000 型监控装置系统组成及工作原理 .....	56
第三节 LKJ2000 型监控装置软件原理 .....	66
第四节 监控装置相关设备.....	70
复习思考题.....	76
<b>第四章 CTCS-2 级列控系统</b> .....	77
第一节 CTCS-2 级列控系统结构 .....	77
第二节 CTCS-2 级列控系统基本工作原理 .....	79
第三节 CTCS-2 级列控车载设备 .....	80
第四节 车站列控中心.....	89
第五节 地面电子单元(LEU) .....	104
第六节 应答器.....	107
复习思考题.....	112
<b>第五章 CTCS-3 级列控系统</b> .....	113
第一节 CTCS-3 级列控系统运营需求 .....	113
第二节 CTCS-3 级系统结构 .....	115
第三节 CTCS-3 级列控车载设备 .....	118
第四节 CTCS-3 级列控地面设备 .....	121

复习思考题.....	132
<b>第六章 站内轨道电路电码化.....</b>	<b>133</b>
第一节 站内轨道电路电码化概述.....	133
第二节 电码化器材.....	134
第三节 叠加方式轨道电路电码化.....	147
第四节 闭环电码化.....	153
复习思考题.....	174
<b>名称术语英(缩略语)中对照.....</b>	<b>176</b>
<b>参考文献.....</b>	<b>178</b>

# 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、快速运行的设备。完整的列车运行控制系统应包括车载设备和地面设备。根据使用的制式不同,列控系统的车载设备包括机车信号、列车运行监控记录装置 LKJ 和列车超速防护设备 ATP 等。列控系统的地面设备包括轨道电路、应答器、车站列控中心和无线通信等。

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,也是我国列车控制技术的起点。

但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。长期以来,是利用地面联锁和闭塞设备,配合车载机车信号和监控装置,采用司机人工控车为主的列车控制模式。直到 2002 年,铁道部才宣布发展中国列车运行控制系统(CTCS)的规划。在第六次大提速工程中,既有线 CTCS-2 级列控系统逐步形成。

目前正在建设客运专线的 CTCS-2 级和 CTCS-3 级列控系统。

#### 一、机车信号车载设备

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。由于地面信号显示有时会受到自然环境(如雾、风沙、大雨雪等)的影响以及地形的限制,难以做到全天候连续不断地显示。这样必然会影响司机的正常驾驶,可能造成列车降速运行,甚至产生冒进信号的危险。因此,必须在司机室内加装机车信号。

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,经译码保证机车信号机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。当出现风、雪、雨、雾等气候条件不良或隧道、弯道等地形条件不良时,司机往往不能在规定距离内确认信号显示,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,要求增大制动距离,发生冒进信号的可能性更大。当机车上采用机车信号后,就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。

点式机车信号是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,用于非自动闭塞区段。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是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,广泛用于半自动闭塞区段。

连续式机车信号能在整条线路上连续不断地反映线路状态和运行条件,用于自动闭塞区段。连续式机车信号能连续地显示列车运行条件,大大改善司机的劳动强度,保证了行车安全。

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应用。

在我国铁路列车运行控制系统发展过程中,长期以来是以地面信号为主体信号的,就是说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,提出了机车信号主体化的要求。于是在全面总结通用式机车信号运用经验的基础上,对通用式机车信号进行了大量的技术改进,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。我国铁路正在将JT1-A/B更换为JT1-CZ2000,近期完成。

## 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。随着列车运行重大事故的不断出现,在总结教训的基础上我国铁路在机车信号基础上加装列车自动停车装置ZTL。

列车自动停车装置在20世纪80年代在我国铁路获得了推广使用,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。机车上加装列车自动停车装置ZTL后,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在司机室内构成音响报警。司机应在规定时间内通过按压警惕按钮做出反应。如果司机失去警惕、精神不集中,未按压警惕按钮和采取有效制动措施,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。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。此外,自动停车装置报警时,司机在操纵列车的同时还必须兼顾按压警惕按钮,给司机的正常操作带来一定的影响。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,必须要开发研制列车超速防护系统(ATP)。

就在我国铁路列车超速防护系统正处于开发和探索期间,全路有多家单位研制成功了列车运行监控记录装置LKJ。1995年研制成功LKJ-93型,通过铁道部技术鉴定并在全路迅速普及。之后LKJ-93型又改进为LKJ-2000型。随着LKJ的出现,目前我国铁路列车自动停车



装置 ZTL 已被淘汰,到 20 世纪 90 年代末,几乎所有机车都安装使用了列车运行监控记录装置 LKJ,范围遍及国家铁路所有运营线路。

列车运行监控记录装置 LKJ 的主要功能是监控列车运行速度,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“黑匣子”的作用,记录列车运行、机车运用及司机操作。列车运行监控记录装置 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,由列车运行监控记录装置构成的列车超速防护其地面数据不是由地面实时传递,而是预先储存在机车上,随着列车运行按列车坐标提取。运行中机车要不断对标,一旦发生对标错误将危及行车安全。同时列车运行监控记录装置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,只能作为一种过渡设备使用。

### 三、列车超速防护

列车超速防护系统(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,由司机去完成这一任务是十分困难的。

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,必须靠列车超速防护系统去控制列车运行。

可见,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。

随着列车运行速度的不断提高,铁道部对列车超速防护系统(ATP)的使用作出了要求。2006 版《铁道技术管理规程》(简称《技规》)第 95 条规定“最高运行速度不超过 160 km/h 的列车,机车信号设备与列车运行监控记录装置结合使用,或采用列车超速防护系统。最高运行速度超过 160 km/h 的列车,应采用列车超速防护系统”。我国铁路第六次大提速,列车运行时速超过 160 km/h 的动车组均已装备了列车超速防护系统。

在列车超速防护区段一般采用轨道电路或应答器来检查列车的占用和出清,并构成信息发送条件。机车上设有信息接收器,当列车运行速度超过 ATP 装置所指示的速度时,ATP 的车上设备就发出制动命令,使列车自动制动。当列车速度降至 ATP 所指示的速度以下时,便自动缓解,而运行操作仍由司机完成。

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。

由于自动停车装置不能有效地保证行车安全,为了有效地控制列车运行,减少列车冒进超速行驶引起的事故,更为了适应我国铁路提速的需要,必须加速发展列车超速防护系统。

为此,20 世纪 90 年代初在京广线郑武段电气化改造工程中,引进了 TVM300 带速度监督的机车信号,它是和 UM71 配套使用的列车超速防护系统。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 不适用于在我国站间隔小、客货混运的繁忙干线区段,再加上国内工程配套存在的种种问题,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短、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。在京九线商埠段试验过 LCF 超速防护系统,在北京环形铁道试验线进行点连式 LSK-2000 和 LCF-200 系统的试验。

2003 年在秦沈客运专线上采用基于 UM2000 数字轨道电路的 TVM430 型列车运行控制系统,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、CTCS

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。我国已具备发展列车运行控制系统的基础,在铁路快速发展的进程中,应结合既有线提速、客运专线和高速铁路建设进行总体规划,系统设计,分步实施,积极发展,逐步连成集 TDCS/CTC 和 CTCS 为一体的列车运行控制中心,对列车进行安全控制,实现行车指挥的综合现代化。

2003 年,铁道部组织全路有代表性的信号控制专家组成专家组,参照 ETCS 欧洲列检标准,研究制定了我国的 CTCS 发展装备暂行技术标准,即《CTCS 技术规范总则(暂行)》。CTCS 就是中国列车运行控制系统(Chinese Train Control System)的英文字头。

CTCS 系统分为 CTCS-0 级、CTCS-1 级、CTCS-2 级、CTCS-3 级和 CTCS-4 级五个级别。

CTCS-0 级为既有线的现状,是由通用式机车信号和列车运行监控记录装置组成的系统。

CTCS-1 级是由主体化机车信号、安全型列车运行监控记录装置和点式应答器组成的系统。

CTCS-2 级是基于轨道电路(模拟或数字轨道电路)传输信息的列车运行控制系统。

CTCS-3 级是基于无线(GSM-R)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(GSM-R)传输信息的列车运行控制系统。

CTCS-2 级以上设备具备超速防护功能。

160 km/h 以下线路可采用 CTCS-0 级或 CTCS-1 级列控系统。全路大部分既有铁路为 160 km/h 以下线路,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,作为行车安全的辅助设备。加上司机的人工介入,CTCS-0 级可以满足当前的使用要求。但由于地面提供的信息不足,CTCS-0 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,交路延长,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。

2000年,结合哈大线电化工程,实现了通过增加应答器替代司机人工介入的操作,基本形成CTCS-1级列控系统的框架模式。此后又先后在兰青线、渝怀线、大秦线等安排了“主体机车信号+监控装置+应答器”的试验,进一步验证了CTCS-1方案的可行性。目前CTCS-1的有关标准尚未确定,还没有系统进行研究。尽早完成CTCS-0向CTCS-1的过渡,是进一步提高我国铁路列车运行安全的重要保障。

既有线200 km/h提速改造和200~250 km/h客运专线应采用CTCS-2级列控系统。CTCS-2级列控系统是基于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记录装置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-1级或CTCS-0级,由LKJ控车。

2007年4月第六次大提速,200 km/h区段装备了CTCS-2级列控系统,CTCS-2区段延展里程5500 km,其中860 km延展里程满足提速至250 km/h的要求。铁道部已确定200 km/h~250 km/h客运专线采用CTCS-2级列控系统。当然,用于客运专线的CTCS-2级和既有线的CTCS-2级列控系统有所区别,它们的车站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。用于客运专线的CTCS-2级已在合宁客运专线等使用。

300~350 km/h客运专线应采用CTCS-3级列控系统。CTCS-3级列控系统是时速300~350 km/h客运专线的重要技术装备,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。目前,CTCS-3级列控系统已确定总体技术方案,正在积极研制,不久将在武广、郑西等客运专线上使用。

我国第一条高速铁路——京津城际客运专线采用ETCS-2列控系统,CTCS-2作为后备模式。

CTCS等级比较见表1-1。

表1-1 列控系统等级比较表

CTCS等级	CTCS-0级	CTCS-1级	CTCS-2级	CTCS-3级	CTCS-4级
地面设备组成	轨道电路	轨道电路、应答器及LEU	车站列控中心、轨道电路、应答器及LEU	车站列控中心、GSM-R地面设备、轨道电路、无线闭塞中心	车站列控中心、(GSM-R)地面设备、无线闭塞中心
车载设备组成	通用机车信号、运行监控记录装置(LKJ)	主体机车信号、应答器信息接收模块、安全型运行监控记录装置	ATP(含机车信号、应答器信息接收功能)、LKJ	GSM-R接收模块、ATP	GSM-R接收模块、ATP
地对车信息传输	多信息轨道电路	多信息轨道电路+应答器	多信息轨道电路+应答器;或数字轨道电路	无线通信双向信息传输	无线通信双向信息传输

续上表

CTCS 等级	CTCS-0 级	CTCS-1 级	CTCS-2 级	CTCS-3 级	CTCS-4 级
适用区段	160 km/h 及以下	160 km/h 及以下	200 ~ 250 km/h 提速干线和高速 新线	300 ~ 350 km/h 高速新线	特殊线路
对应欧洲标准			ETCS-1 级	ETCS-2 级	ETCS-3 级

## 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。

叠加方式是在被占用时原轨道电路和电码化电路同时起作用,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叠加起来使用,两种电路由隔离器隔离而互不影响。预叠加方式是提前在列车占用前一相邻轨道电路区段时电码化就叠加使用,可提前一个区段发码,能保证机车信号及时接收移频信息,不会造成“掉码”。

站内轨道电路电码化原为开环系统,即地面只有发送设备,各轨道电路区段是否有移频信息,不得而知。站内轨道电路电码化闭环检测系统具有检测功能,设有检测盘,对各轨道电路区段移频信息进行检测,发现某区段未有发码信息即予以报警,构成闭环检测系统。

电码化方式,目前正线多采用预叠加方式,侧线采用叠加方式。在主要干线正线则推广闭环方式。

客运专线站内采用与区间相同的轨道电路,就不需要电码化了。

## 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分级或连续监督。当列车实际速度超过允许值时,控制列车进行常用全制动或紧急制动,使列车停在显示红灯的信号机或停车标志前方。ATP 以仪表指示方式,即车内信号方式向司机给出列车应有速度、目标距离、目标速度等显示,司机按车内数字式速度信息操纵机车运行。可见,该种控制方式能可靠地保证不超速、不冒进。

ATP 的核心是铁路信号速度化,要求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,在分级速度控制时,产生不同的出口速度信息;在采用速度—距离模式曲线控制时,产生目标距离、目标速度等信息。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、超过允许速度曲线时,ATP 车载设备就报警、卸载、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,一般采用轨道电路或计轴器等信号设备;在信息传输上,一般采用模拟轨道电路、数字轨道电路、轨道环线、应答器以及无线通信设备。车载设备早期往往采用模拟或数字集成电路等纯硬件构成,当今则主要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和高速列车的安全保证等级。

我国铁路列车提速后,列车制动距离增加,信号显示距离不足,现行信号显示制式和列车速度控制方式难以满足行车安全的要求。列车运行速度超过 160 km/h 时,司机难以辨认地面信号,以司机为主的列车控制系统难以保证列车的安全运行,必须发展 ATP。

### 二、ATP 的功能

ATP 的功能主要有:

- (1) 停车点防护;
- (2) 超速防护;
- (3) 列车间隔控制(移动闭塞时);
- (4) 测速测距;
- (5) 车门控制。

### 三、ATP 的分类

ATP 按地面信息的传输方式分为点式、连续式和点连式三种。

#### (1) 点式 ATP

系统由车上设备和地面设备组成。车上设备接收信号点或标志点的应答器信息,还接收列车速度和制动压力信息,输出控制命令和向司机显示。地面应答器向列车传送每一信号点的允许速度、目标速度、目标距离、线路坡度、信号机号码等信息。应答器本身无源,接收车上应答器发射的能量,供内部电路与回答发送用。

点式 ATP 难以胜任列车密度大的情况,如后续列车驶过地面应答器时,因前方区段有车,它算出的速度曲线是一条制动曲线。后续列车驶过后,尽管前行列车已驶离,但后续列车因得不到新的信息只能减速运行,直到抵达运行前方的地面应答器才能加速。

#### (2) 连续式 ATP

连续式 ATP 包括轨道电路、轨间电缆和无线等传输方式。

##### ① 轨道电路方式

采用轨道电路传输列车控制信息是最普遍的方式。此时轨道电路既作为检测列车的设备,又发送列车控制信息。

如法国的 TGV 铁路采用 UM71 无绝缘移频轨道电路为基础的列车控制系统,日本新干线 ATC 采用音频轨道电路单边带调制方式。

但轨道电路利用钢轨传输信息,钢轨的传输性能不理想,集肤效应非常明显,传输距离受到限制,通过轨道电路传输难以实现机车与地面间的大容量信息交换。

##### ② 轨间电缆方式

利用轨间铺设的电缆传输信息。控制中心储存线路的固定数据:区间线路坡度、弯道、缓行区段的位置及长度等。经联锁设备,将沿线的信号显示、道岔位置等信息传送至控制中心。列车将其数据:如载重量、车长、制动率、所在位置、实际速度传给控制中心。控制中心的计算机根据这些数据计算出该时刻的列车允许速度。此速度值经电缆传送给运行在线路上的相应列车。列车获得此速度值,一方面显示出来,另一方面对列车速度进行监控。这种方式统一指挥全部列车运行,遇有发生行车晚点或其他障碍,可极迅速地将行车命令传给列车。但控制中心故障则全线瘫痪。因此采用另一种控制方式,控制中心将有关信息(线路坡度、缓行区段位置、目标距离或目标速度等)传送至机车,由车载计算机计算其允许速度。

如德国铁路的 LZB 系统就采用轨道电缆,既用于传输信息,又用于列车定位。1978 年在汉堡—不来梅区段正式投入运用,每天控制 74 次 200 km/h 的特快列车。

但轨道电缆及其铺设方法与机械化养路作业存在着矛盾,造价和维修费用高,未得到推广。后来又研制了用微波代替轨道电缆进行传输。

##### ③ 无线方式

利用无线通信的方式传输信息。地面编码器生成编码信息,通过轨道天线向车上发送。信号显示控制接口负责检测要发送的信号显示,并从已编程的数据中选出有用数据送编码器,同时选出与限制速度、坡度、距离等有关的轨道数据。编码器用高安全度的代码将这些数据编码,经过载波调制,馈送至轨道天线向机车发送。轨道天线可用轨道本身,也可采用环线。车上接收设备接收限制速度、坡度、距离后,由车载计算机计算出目标速度,对机车

进行监控。

美国自 1984 年以来利用全球定位系统(GPS)对列车进行跟踪、定位和测速,定位误差 20~50 m,测速误差±1.6 km/h。用静止卫星定位,精度可达 2~7 m,在卫星定位的基础上开发无线列车控制系统。

(3)点连式 ATP

利用轨道电路传输连续信息,应答器传输点式信息,构成列控系统。

四、分级制动和一级制动

列车制动控制模式分为分级制动模式和一级制动模式。

1. 分级制动

分级制动是以闭塞分区为单元,根据与前行列车的运行距离来调整列车速度,各闭塞分区采用不同的低频频率调制,指示不同的速度等级,在此基础上确定限速值。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。对 270 km/h 和 220 km/h,检查值高于标定值 15 km/h;对于 160 km/h,检查值高于标定值 10 km/h;对于 0 km/h,留有 35 km/h 开口。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。

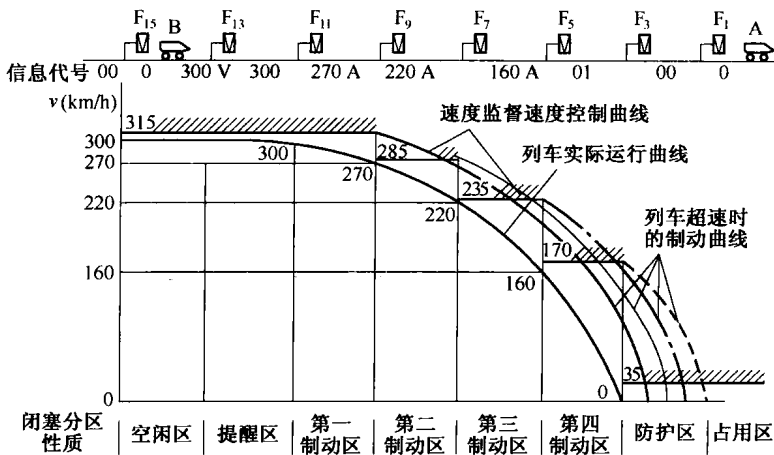


图 1-1 阶梯型分级制动模式的速度曲线

阶梯型分级速度控制方法虽然构成较为简单,但具有较多缺点:

- ① 设有保护区段,会影响通过能力;
- ② 由于其在闭塞分区出口处才给出下一闭塞分区的允许入口速度,司机有时会措手不及;
- ③ 列车在进站信号机前停车或进站停车时,司机怕“撞墙”引起紧急制动,往往要压低速度运行,影响运输效率。

所以,日本和法国在其新建高速铁路的 ATP 系统中,改为速度—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(或将各种制动模式曲线储存调用)。模式曲线控制方式的速度曲线如图 1-2 所示。

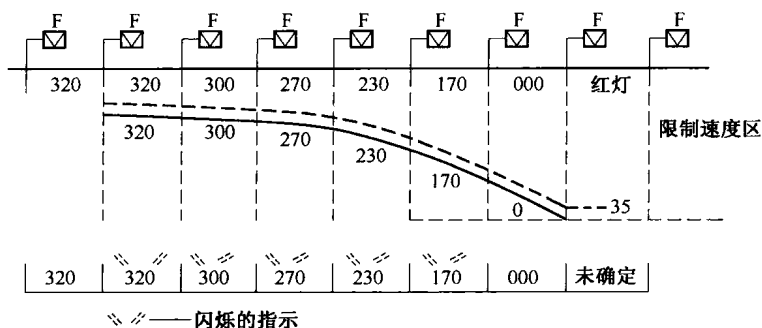


图 1-2 模式曲线控制方式的速度曲线

### 2. 一级制动

一级制动是按目标距离制动的,也称目标距离控制模式。根据距前行列车的距离或距运行前方停车站的距离,由控制中心根据目标距离、列车参数和线路参数计算出列车制动模式曲线,或由车载计算机予以计算,按制动模式曲线控制列车运行。信息传输有数字编码轨道电路传输和无线传输两种方式。无论何种方式,传输的信息必须包括线路允许速度、目标速度、目标距离。一级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。一级制动模式曲线如图 1-3 所示。

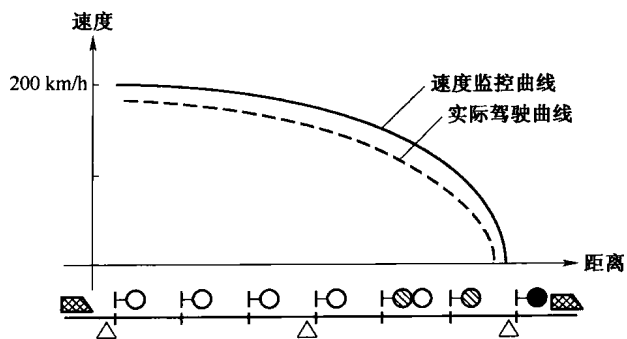


图 1-3 一级制动模式曲线

## 五、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、路程脉冲发生器、光电式传感器和霍尔式脉冲转速传感器等方法。系统测量有卫星测速和雷达测速等方法。

#### ① 测速发电机

早期采用测速发电机测速。测速发电机安装在车轮轴头上,它发出的电压与车速成正比,



该电压经处理后产生模拟量和数字量两个输出,分别用来驱动速度表和进入车上主机用于速度比较。测速发电机简单,但在低速范围内精度较差,可靠性也不高。

### ②路程脉冲发生器

其核心部件是一个16极的凸轮,随着车轮的转动,发生一系列脉冲,车速越快,脉冲数越多,只要在一定时间内记录下脉冲的数目,即能换算成列车的实际速度。

### ③光电式传感器

随着车轮的转动,光线不断地通过和被阻挡,使光电式传感器产生电脉冲,记录脉冲数目来测量车速。

### ④霍尔式脉冲转速传感器

车轮转动时,使霍尔式传感器产生频率正比于车轮转速的信号,来进行测速。需采用两路测速,以对机车车轮空转、蠕滑、抱闸等引起的误差进行修正。

## 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。

## 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。法国的TVM300车载设备利用紧急放风阀控制列车制动。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、舒适。

在常用制动失效后,可施行紧急制动。

## 第三节 机车信号低频信息定义、分配及使用

### 一、机车信号信息定义

机车信号信息分配过去没有统一的标准,主要是因为机车交路短及设计部门间设计不统一。如UM71制式的低频信息14.7 Hz京广线郑武段表示为U码,机车信号显示黄灯;在广深线表示为LU码,机车信号显示绿黄灯,在沈山线及京山线表示为U2码,机车信号显示黄2灯。低频信息14.7 Hz向LKJ或防超设备输出的信息也不一致。如在京广线、郑武段、沈山线及京山线为001,在广深线为101。低频信息16.9 Hz在京广线、郑武段表示为LU码,在广深线表示为L码,在沈山及京山线表示为U码,向LKJ或超防设备输出的信息也不相同。以上情况对机车交路的延长及规划和发展主体化机车信号及列车超防设备是十分不利的。为此,铁道部颁布了《机车信号信息定义及分配》(TB/T 3060—2002),对机车信号信息分配制定了统一标准,实现了我国机车信号低频信息的统一。

列车提速对行车安全和运输效率提出了新的要求,随着列车提速,所需机车信号地面信息越来越多。《机车信号信息定义及分配》对机车信号信息的含义进行了明确的规定。

#### 1. 半自动闭塞区段

L码——准许列车按规定速度运行,机车信号显示一个绿灯。