

“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
全国铁道职业教育教学指导委员会规划教材
高等职业教育城市轨道交通信号控制专业系列规划教材

城市轨道交通 列车自动控制系统维护

CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG LIECHE ZIDONG KONGZHI XITONG WEIHU

林瑜筠 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

全国铁道职业教育教学指导委员会规划教材

高等职业教育城市轨道交通信号控制专业系列规划教材

城市轨道交通 列车自动控制系统维护

林瑜筠 主 编

朱 宏 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,也是全国铁道职业教育教学指导委员会规划教材,是高等职业教育城市轨道交通信号控制专业系列规划教材之一。全书共分5个项目,主要内容包括:ATC系统认知、ATC系统基本原理认知、基于轨道电路的ATC系统维护、CBTC系统维护和单轨交通ATC系统认知。本书密切结合各地城市轨道交通的实际,并纳入最新的科技成果。

本书主要作为高等职业技术学院城市轨道交通通信信号专业的教材,也可作为城市轨道交通工程技术人员和信号维护人员的培训教材和参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通列车自动控制系统维护/林瑜筠

主编. —北京:中国铁道出版社,2014. 11

“十二五”职业教育国家规划教材 全国铁道职业教育
教学指导委员会规划教材 高等职业教育城市轨道交通
信号控制专业系列规划教材

ISBN 978-7-113-19158-0

I. ①城… II. ①林… ②赵… III. ①城市铁路—自
动控制系统—高等教育—教材 IV. ①U239.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第200408号

书 名:城市轨道交通列车自动控制系统维护

作 者:林瑜筠 主编

责任编辑:吕继函 编辑部电话:010-63589185-3096 电子信箱:lvjih@tqbooks.net

封面设计:郑春鹏

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:北京市新魏印刷厂

版 次:2014年11月第1版 2014年11月第1次印刷

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:16.5 字数:423千

印 数:1~3 000册

书 号:ISBN 978-7-113-19158-0

定 价:33.00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)51873170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659

前言

PREFACE

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;同时也为全国铁道职业教育教学指导委员会规划教材,是高等职业教育城市轨道交通信号控制专业系列规划教材之一。

城市轨道交通(包括地下铁道和轻轨交通)具有运量大、速度快、安全可靠、污染轻、受其他交通方式干扰小等特点,对缓解城市交通拥挤、改善乘车困难、提高行车速度、减少空气污染是行之有效的。因此,城市轨道交通是现代化都市所必须的。20世纪90年代以来,我国城市轨道交通加快了建设步伐,尤其是进入21世纪,迎来了城市轨道交通建设的高潮,除北京、上海、天津、广州、深圳、南京、大连、长春、武汉、重庆、成都、沈阳、西安、杭州、苏州、佛山、长沙、宁波、无锡、哈尔滨、郑州已建成规模和档次不同的地铁和轻轨并进行扩展和延伸外,青岛、福州、南昌、南宁、合肥、贵阳等正在建设,兰州、石家庄、太原、常州、厦门、徐州已批准建设,还有的正在筹建。我国城市轨道交通呈现着十分广阔的发展前景。

在城市轨道交通的各项设备中,信号设备是非常重要和关键的,具有不可替代的作用。城市轨道交通的安全、速度、输送能力和效率与信号系统密切相关,采用ATC系统已成为城市轨道交通的共同选择。ATC系统是城市轨道交通信号系统的核心和关键,ATC系统不仅是城市轨道交通安全运行的保证,而且实际上已成为城市轨道交通调度指挥和运营管理的中枢神经。选择合适的ATC系统可以产生巨大的经济效益和社会效益。

城市轨道交通ATC系统的技术含量高,具有网络化、综合化、数字化、智能化的现代化系统的技术特征。努力使更多信号工作人员掌握现代化ATC系统的基本知识和基本技能,提高广大信号工作人员的技术水准,以充分发挥现代化信号系统的作用,是城市轨道交通信号发展中亟须解决的问题。为满足相关院校城市轨道交通信号控制专业学生学习的需要,以及城市轨道交通发展对技术培训的需要,编写了本书。

全书分为ATC系统认知、ATC系统基本原理认知、基于轨道电路的ATC系统维护、CBTC系统维护、单轨交通ATC系统维护五个项目。除阐述基本组成和基本原理外,对我国各地城市轨道交通所采用的ATC系统,尤其是CBTC系统进



行了比较详细地介绍。

由于城市轨道交通信号系统不要求兼容,故制式纷杂且各具特色,尤其是ATC,尽管编写过程中尽量涵盖,但不可能面面俱到。各地各校在组织学习时,可根据实际需要予以选用。

本书最后附有名词术语英中文对照表,在阅读正文遇到英文缩写不解时,可查阅此表。

本书由南京铁道职业技术学院林瑜筠任主编,北京地铁运营技术咨询股份有限公司赵炜任副主编,上海地铁维护保障有限公司朱宏任主审。编写分工如下:林瑜筠编写项目1、项目5,赵炜编写项目2,南京铁道职业技术学院朱柏洋编写项目3,南京铁道职业技术学院束元编写项目4。南京铁道职业技术学院赵德生、曹锋、王文波、邓丽敏、孔筱筱参加了资料收集、文字整理、图表绘制和校对工作。

由于我国城市轨道交通信号系统,尤其是ATC系统,引入多国技术,制式纷杂,资料难以搜集齐全,再加上编者水平所限,时间仓促,书中不免有错误、疏漏、不妥之处,恳望读者批评指正,以不断提高本书水平,为我国城市轨道交通信号事业的发展尽绵薄之力。

编者
2014年3月

目录

CONTENTS

项目 1 ATC 系统认知	1
典型工作任务 1 ATC 系统概况认知	1
典型工作任务 2 ATC 系统选用	10
典型工作任务 3 ATC 系统运用模式认知	12
典型工作任务 4 试车线认知	16
项目小结	17
复习思考题	18
项目 2 ATC 系统基本原理认知	20
典型工作任务 1 ATP 系统基本原理认知	20
典型工作任务 2 ATO 系统基本原理认知	38
典型工作任务 3 ATS 系统基本原理认知	45
项目小结	64
复习思考题	66
项目 3 基于轨道电路的 ATC 系统维护	67
典型工作任务 1 基于轨道电路的 ATC 系统认知	67
典型工作任务 2 西屋 ATC 系统认知	70
典型工作任务 3 西门子 ATC 系统认知	92
典型工作任务 4 US&S ATC 系统认知	108
典型工作任务 5 ALSTOM ATC 系统认知	127
典型工作任务 6 国产化试验型准移动闭塞 ATP 系统认知	141
典型工作任务 7 基于轨道电路的 ATC 系统维护	150
复习思考题	158



项目 4 CBTC 系统维护	159
典型工作任务 1 CBTC 系统认知	159
典型工作任务 2 LCF-300 型 CBTC 系统认知	177
典型工作任务 3 西门子 CBTC 系统认知	188
典型工作任务 4 Sel Trac S40 CBTC 系统认知	192
典型工作任务 5 Urbalis TM 型 CBTC 系统认知	205
典型工作任务 6 US&S CBTC 系统认知	216
典型工作任务 7 CITYFLO650 型 CBTC 系统认知	224
典型工作任务 8 SPARCS 型 CBTC 系统认知	230
典型工作任务 9 CBTC 系统维护	236
项目小结	241
复习思考题	242
项目 5 单轨交通 ATC 系统认知	243
典型工作任务 1 单轨交通信号系统认知	243
典型工作任务 2 单轨交通 ATP/TD 系统认知	244
项目小结	249
复习思考题	249
附录 名词术语英(缩略语)中对照	250
参考文献	257

项目 1 ATC 系统认知



项目描述

本项目介绍 ATC 系统的概况,包括定义 ATC 系统的组成和功能;介绍固定闭塞式、准移动闭塞式和移动闭塞式三种 ATC 系统的基本概念、特点、技术优势和工作原理;概要介绍点式和连续式 ATC 系统的基本结构和工作原理。本项目是 ATC 系统的入门向导。

在了解 ATC 系统概况的基础上,介绍 ATC 系统的选用、ATC 系统控制模式、驾驶模式及模式转换。



教学目标

1. 通过本项目的学习,建立 ATC 系统的基本概念,懂得固定闭塞式、准移动闭塞式和移动闭塞式 ATC 系统的基本情况和特点,了解点式和连续式 ATC 系统的结构和工作原理。
2. 了解 ATC 系统的选用原则。
3. 了解 ATC 系统的不同控制模式、驾驶模式及各种模式的转换。

典型工作任务 1 ATC 系统概况认知

1.1.1 工作任务

1. 了解 ATC 系统的定义、组成和功能。
2. 掌握固定闭塞式、准移动闭塞式和移动闭塞式 ATC 系统的基本概念、特点、技术优势和工作原理。
3. 掌握点式和连续式 ATC 系统的结构和工作原理。

1.1.2 知识链接

1. ATC 系统定义

列车自动控制(Automatic Train Control,ATC)系统是城市轨道交通信号系统的最重要的组成部分,它实现行车指挥和列车运行自动化,能最大程度地保证列车运行安全,提高运输效率,减轻运营人员的劳动强度,发挥城市轨道交通的通过能力。ATC 系统的技术含量高,运用了许多当代重要的科技成果。

2. ATC 系统的组成和功能

列车自动控制 ATC 系统包括三个子系统:列车自动防护(Automatic Train Protection, ATP)、列车自动运行(Automatic Train Operation,ATO)、列车自动监控(Automatic Train



Supervision, ATS)。

ATC 系统包括三个原理功能:ATS 功能、ATP/ATO 功能和 PTI 功能。

ATS 可自动或由人工控制列车进路及向行车调度员和外部系统提供行车信息。ATS 功能主要由位于 OCC 内的设备实现。

ATP/ATO 功能在联锁功能的约束下,根据 ATS 的要求实现列车运行的控制。ATP/ATO 功能有三个子功能:ATP/ATO 轨旁功能、ATP/ATO 传输功能和 ATP/ATO 车载功能。ATP/ATO 轨旁功能负责列车间隔和报文生成;ATP/ATO 传输功能负责发送感应信号,包括报文和 ATP/ATO 车载设备所需的其他数据;ATP/ATO 车载功能负责列车的安全运营、列车自动驾驶且给信号系统和司机提供接口。

PTI 功能是通过多种渠道传输和接收各种数据,在特定的位置传给 ATS,向 ATS 报告列车的识别信息、目的号码和乘务组号及列车位置数据,以优化列车运行。

3. 不同闭塞制式的 ATC 系统

按闭塞制式,城市轨道交通 ATC 系统可分为:固定闭塞式 ATC 系统、准移动闭塞式 ATC 系统和移动闭塞式 ATC 系统三种。

(1) 固定闭塞

固定闭塞将线路划分为固定的区段,不论前、后列车的位置,还是前、后列车的间距都是用固定的地面设备(如轨道电路等)检测和表示的。线路条件和列车参数等均需在闭塞设计过程中加以考虑,并体现在地面固定区段的划分中。

由于列车定位是以固定区段为单位的(系统只知道列车在哪个区段中,而不知道在区段中的具体位置),所以固定闭塞的速度控制模式必然是分级的,即台阶式的。在这种制式中,需要向被控列车“安全”传送的只是代表少数几个速度级的速度码。固定闭塞方式,无法满足进一步提高系统通过能力和安全性的要求。

传统 ATP 采用固定闭塞,通过轨道电路判别闭塞分区占用情况,并传输信息码,需要大量的轨旁设备,维护工作量较大。此外,传统方式还存在以下缺点:

- ①轨道电路工作稳定性易受环境影响,如道床阻抗变化、牵引回流干扰等。
- ②轨道电路传输信息量小,要想在传统方式下增加信息量,只能通过提高信息传输的频率。但是如果传输频率过高,钢轨的集肤效应会导致信号的衰耗增大,从而导致传输距离缩短。
- ③利用轨道电路难以实现车对地的信息传输。
- ④固定闭塞的闭塞分区长度是按最长列车、满负载、最高速度、最不利制动率等不利条件设计的,分区较长且一个分区只能被一趟列车占用,不利于缩短列车运行间隔。
- ⑤固定闭塞系统无法知道列车在分区内的具体位置,因此列车制动的起点和终点总在某一分区的边界。为充分保证安全,必须在两列车间增加一个防护区段,这使得列车间的安全间隔较大,影响了线路的使用效率。

(2) 准移动闭塞

准移动闭塞(Quasi Moving Block),也可称为半固定闭塞,解释为“预先设定列车的安全追踪间隔距离,根据运行前方目标状态设定列车的可行车距离和运行速度,介于固定闭塞和移动闭塞之间的一种闭塞方式”。

国外也将准移动闭塞系统纳入固定闭塞式 ATC 系统范畴,并注明其属于“可走行距离模式”。由于固定闭塞式 ATC 系统与具有“可走行距离模式”的固定闭塞式 ATC 系统无论在系



统构成模式、控制方式及发展前景方面都有很大差异,故后者称为准移动闭塞式。

准移动闭塞对前、后列车的定位方式是不同的。前行列车的定位仍沿用固定闭塞的方式,而后续列车的定位则采用连续的或称为移动的方式。为了提高后续列车的定位精度,目前各系统均在地面每隔一段距离设置一个定位标志(可以是轨道电路的分界点或信标等),列车通过时提供绝对位置信息。在相邻定位标志之间,列车的相对位置由安装在列车上的轮轴转轴数累计连续测得。

由于准移动闭塞同时采用移动和固定两种定位方式,所以它的速度控制模式,必然既具有无级(连续)的特点,又具有分级(台阶)的性质。若前行列车不动而后续列车前进时,其最大允许速度是连续变化的,而当前列车前进,其尾部驶过固定区段的分界点时,后续列车的最大速度将按“台阶”跳跃上升。

由于准移动闭塞兼有移动和固定的特性,与“固定”性质相对应的设备,必须在工程设计和施工阶段完成,而被控列车的位置是由列车自行实时(移动)测定的,所以其最大允许速度的计算最终只能在车上实现。

为了使后续列车能够根据自身测定的位置,实时计算其最大允许速度,必须用报文向其提供运行前方线路的各种参数及前行列车处在哪个区段上的信息。所以从信息传输的角度来说,设有地对车单向安全数据通信是准移动闭塞的基本技术特征。

准移动闭塞在控制列车的安全间隔上比固定闭塞进了一步。它通过采用报文式轨道电路辅之环线或应答器来判断闭塞分区占用并传输信息,信息量大,可以告知后续列车继续前行的距离,后续列车可根据这一距离合理地采取减速或制动,列车制动的起点可延伸至保证其安全制动的地点,从而可改善列车速度控制,缩小列车安全间隔,提高线路利用效率。但准移动闭塞中后续列车的最大目标制动点仍必须在先行列车占用闭塞分区的外方,因此它并没有完全突破轨道电路的限制。

(3) 移动闭塞

移动闭塞(Moving Block)可解释为“列车安全追踪间隔距离不预先设定,而随列车的移动不断移动并变化的闭塞方式”。

1) 移动闭塞的基本概念

移动闭塞的特点是前、后两列车都采用移动式的定位方式。在准移动闭塞中,前行列车本身也具有移动定位的能力,只是因为没有将列车本身定位的结果传给地面,所以不能供后续列车使用。也就是说,在准移动闭塞的基础上,只要增设车对地的安全数据通信,将前行列车的移动定位信息,安全地经由地面传给后续列车,便能构成移动闭塞。

移动闭塞可借助感应环线或无线通信的方式实现。早期的移动闭塞系统大部分采用基于感应环线的技术,即通过在轨间布置感应环线来定位列车和实现车载计算机(VOBC)与车辆控制中心(VCC)之间的连续通信。现今而,大多数先进的移动闭塞系统已采用无线通信系统实现各子系统间的通信,构成基于无线通信技术的移动闭塞。

2) 移动闭塞的特点

移动闭塞具有如下特点:

- ①线路没有固定划分的闭塞分区,列车间隔是动态的,并随前一列车的移动而移动。
- ②列车间隔是按后续列车在当前速度下所需的制动距离,加上安全余量计算和控制的,确保不追尾。



- ③制动的起点和终点是动态的,轨旁设备的数量与列车运行间隔关系不大。
- ④可实现较小的列车运行间隔。
- ⑤采用地—车双向传输,信息量大,易于实现无人驾驶。

3) 移动闭塞的技术优势

①移动闭塞是一种新型的闭塞制式,它克服了固定闭塞的缺点。基于无线通信的列车控制(Communications Based Train Control, CBTC)则是实现这种闭塞制式的最主要技术手段。采用这种方法以后,实现了车—地双向、大容量的信息传输,达到连续通信的目的,在真正意义上实现了列车运行的闭环控制。当列车和车站一开始通信,车站就能得知所有列车的位置,能够提供连续的列车安全间隔保证和超速防护,在列车控制中具有更好的精确性和更大的灵活性,并能更快地检测到故障点。而且,移动闭塞可以根据列车的实际速度和相对速度来调整闭塞分区的长度,尽可能缩小列车运行间隔,提高行车密度进而提高运输能力。此外,这种系统与传统系统相比将大大减少沿线设备,车载设备和轨旁设备的安装也相对较容易,维修方便,有利于降低运营成本。

②移动闭塞系统通过列车与地面间连续的双向通信,提供连续测量本车与前车距离的方法,实时提供列车的位置及速度等信息,动态地控制列车运行速度。移动闭塞制式下后续列车的最大制动目标点可比准移动闭塞和固定闭塞更靠近先行列车,因此可以缩小列车运行间隔,有条件实现“小编组、高密度”,从而使系统可以在满足同等客运需求条件下,减少乘客候车时间,缩小站台宽度和空间,降低基建投资。

③移动闭塞还常常和无人驾驶联系在一起。两者的结合能够避免司机的误操作或延误,获得更高的效率。

④无线移动闭塞的数据通信系统对所有的子系统透明,对通信数据的安全加密和接入防护等措施可保证数据通信的安全。由于采取了开放的国际标准,可实现子系统间逻辑接口的标准化,从而有可能实现路网的互联互通。采取开放式的国际标准也使国内厂商可从部分部件的国产化着手,逐步实现整个系统的国产化。

4) 移动闭塞的工作原理

移动闭塞与固定闭塞的根本区别在于闭塞分区的形成方法不同,移动闭塞原理示意图如图 1.1 所示。移动闭塞系统是一种区间不分割、根据连续检测先行列车位置和速度进行列车运行间隔控制的列车安全系统。这里的连续检测并不意味着一定没有间隔点。实际上该系统把先行列车的后部看做是假想的闭塞区间。由于这个假想的闭塞区间随着列车的移动而移动,所以叫做移动闭塞。在移动闭塞系统中,后续列车的速度曲线随着目标点的移动而实时计算,后续列车到先行列车的保护段后部之间的距离等于列车制动距离加上列车制动反应时间内驶过的距离。

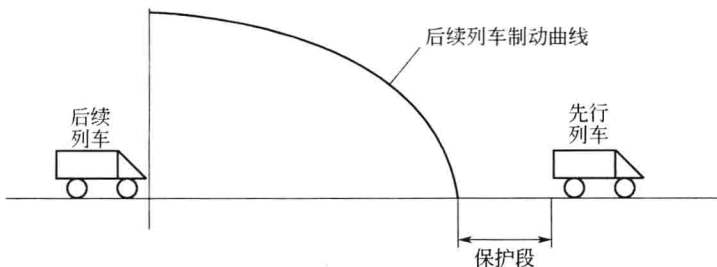


图 1.1 移动闭塞原理示意图



移动闭塞技术在对列车的安全间隔控制上更进了一步。通过车载设备和轨旁设备连续的双向通信,控制中心可以根据列车实时的速度和位置动态地计算列车的最大制动距离。列车的长度加上这一最大制动距离并在列车后方加上一定的防护距离,便组成了一个与列车同步移动的虚拟分区,移动闭塞系统的安全行车间隔如图 1.2 所示。由于保证了列车前后的安全距离,两个相邻的移动闭塞分区就能以很小的间隔同时前进,这使列车能以较高的速度和较小的间隔运行,从而提高运营效率。

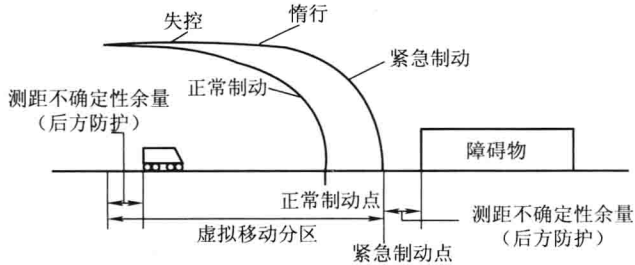


图 1.2 移动闭塞系统的安全行车间隔

无线移动闭塞系统的组成主要包括无线数据通信网、车载设备、区域控制器和控制中心等。其中,无线数据通信是移动闭塞实现的基础,通过可靠的无线数据通信网,列车不间断将其标识、位置、车次、列车长度、实际速度、制动潜能和运行状况等信息以无线的方式发送给区域控制器。区域控制器追踪列车并通过无线传输方式向列车发送移动授权,根据来自列车的信息计算、确定列车的安全行车间隔,并将相关信息(如先行列车位置、移动授权等)传递给列车,控制列车运行。车载设备包括无线电台、车载计算机和其他设备(如传感器、查询器等)。列车将采集到的数据(如车辆信息、现场状况和位置信息等)通过无线数据通信网发送给区域控制器,以协助完成运行决策,同时对接收到的命令进行确认并执行。

5) 移动闭塞 ATC 系统分类

移动闭塞 ATC 系统就车一地双向信息传输速率而言,可分为:基于感应环线传输方式和基于无线通信的传输方式两种。基于无线通信的传输方式按无线扩频通信方式可分为:直接序列扩频和跳频扩频方式;按数据传输媒介可分为:自由空间波、裂缝波导管和漏泄电缆等传输方式。

4. 不同结构的 ATC 系统

ATC 按地面信息的传输方式分为点式和连续式两种结构。

(1) 点式 ATC 系统

点式 ATC 系统因其主要功能是实现列车超速防护,所以又称为点式 ATP 系统。它靠点式应答器传递信息,用车载计算机进行信息处理。

点式 ATC 系统的主要优点是采用有源、高信息容量的地面应答器,该系统结构简单、安装灵活、可靠性高、价格明显低于连续式 ATC 系统。

点式 ATC 系统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,但后续列车已驶过地面应答器,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。

1) 点式 ATC 系统的基本结构

点式 ATC 系统的基本结构如图 1.3 所示,由车载设备和地面设备组成,主要是地面应答器、轨旁电子单元 LEU(又称为信号接口)及车载设备。

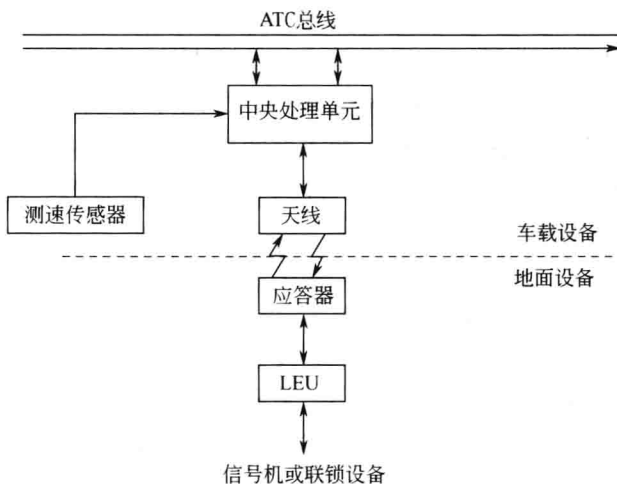


图 1.3 点式 ATC 系统的基本结构

①地面应答器

地面应答器通常设置在信号机旁或设置在一段需要降速的缓行区间的始、终端。不论什么形式的地面应答器,其共同特点是无源的,接收车载设备发射的能量,供内部电路与回答发送用,其内部寄存器按协议以数码形式存放,实现列车速度监控及其他行车功能所必需的数据。置于信号机旁的地面应答器,用以向列车传递信号显示信息,因此需要通过接口与信号机相连。地面应答器内所存储的部分数据受信号显示的控制,此接口即轨旁电子单元 LEU。置于线路上的地面应答器通常不需与任何设备相连,所存放的数据往往是固定的。

当列车驶过地面应答器且车载应答器与地面应答器对准时,车载应答器首先以一定的频率,通过电磁感应方式将能量传递给地面应答器,地面应答器的内部电路在接收到来自车上的能量后即开始工作,将所存储的数据以某种调制方式(通常用频移键控 FSK 方式)通过电磁感应传送至车上。车载应答器与地面应答器之间的能量与数据传输如图 1.4 所示,其中 100 kHz 为能量通道,850 kHz 为数据传输通道,50 kHz 为增大可靠性而设置的监督通道。

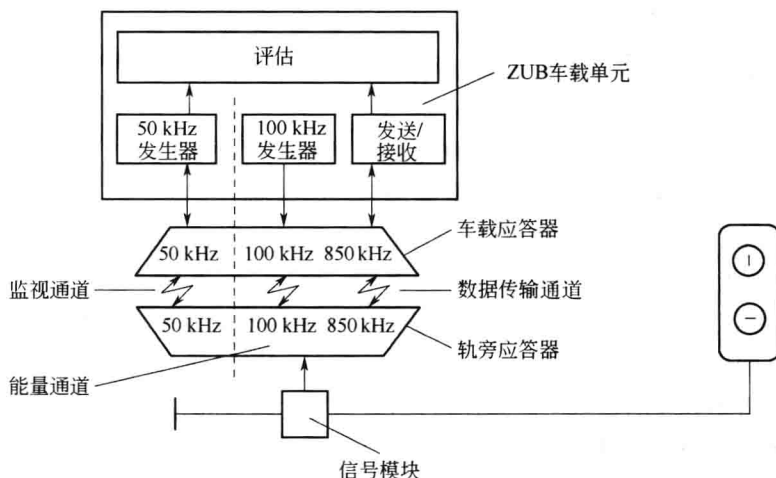


图 1.4 车载应答器与地面应答器之间的能量与数据传输



② 轨旁电子单元 LEU

轨旁电子单元是地面应答器与信号机之间的电子接口设备,其任务是将不同的信号显示转换为约定的数码形式。LEU 是一块电子印制电路板,可根据不同类型的输入电流输出不同的数码。

③ 车载设备

车载设备由车载应答器、测速传感器、中央处理单元、驾驶台上的显示、操作与记录装置等部分组成,点式 ATC 系统车载设备组成如图 1.5 所示。

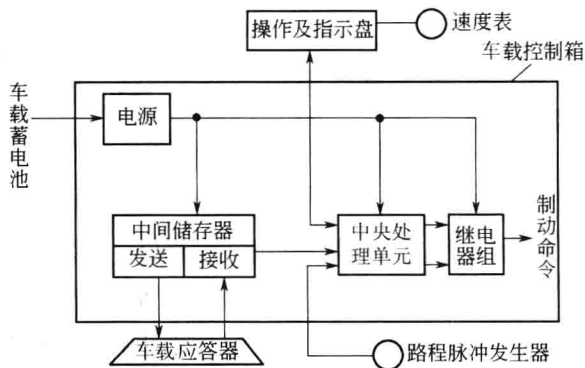


图 1.5 点式 ATC 系统车载设备组成

a. 车载应答器

车载应答器完成车—地的耦合联系,将能量送至地面应答器,接收地面应答器所储存的数据并传送至中央处理单元。

b. 测速传感器

测速传感器通常装在轮轴上,根据每分钟车轮的转数与车轮直径,在中央处理单元内换算成列车目前的速度。

c. 中央处理单元

中央处理单元的核心是安全型计算机,它负责对所接收到的数据进行加工处理,形成列车当前允许的最大速度,将此最大允许速度值与列车的现有速度值进行比较,以决定是否给出启动常用制动乃至紧急制动的信息。从车载应答器传向地面应答器的高频电磁能量也是由它产生的。

d. 驾驶台上的显示、操作与记录装置

经过一个接口,即可将中央处理单元内的列车现有速度及列车最大允许速度显示出来,这种显示可以是指针式或液晶显示屏方式,按照需要,还可显示出其他有助于司机驾驶的信息,如距目标点的距离、目标点的允许速度等。对于出现非正常的情况(如出现超速报警、启用常用或紧急制动),都可以由记录仪进行记录。

2) 点式 ATC 系统的基本原理

点式 ATC 系统的车载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,输出控制命令并向司机显示。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,车载中央控制单元根据地面应答器传至车上的信息及列车自身的制动率(负加速度),计算得出两个信号机之间的速度监控曲线。点式列车



超速防护系统的速度监控曲线如图 1.6 所示。

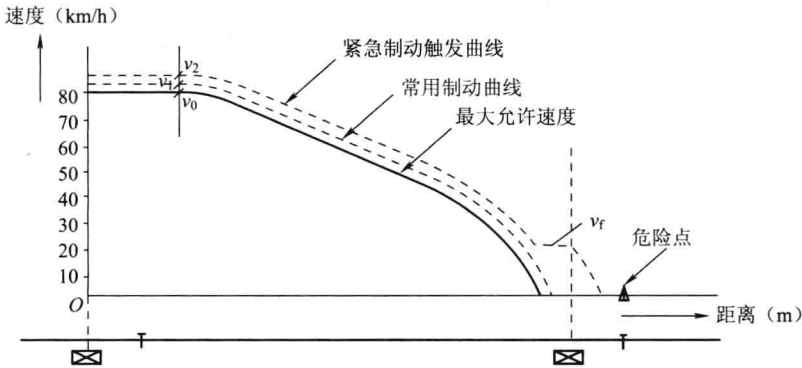


图 1.6 点式列车超速防护系统的速度监控曲线

v_0 : 所允许的最高列车速度。

v_1 : 当列车车速达到此值时, 车载中央控制单元给出启动常用制动(通常为启动最大常用制动)的信息, 列车自动降速至 v_0 以下。若列车制动装置具有自动缓解功能, 则在列车速度降至 v_0 以下时, 制动装置即可自动缓解, 列车行驶趋于正常; 若列车制动装置不具备自动缓解功能, 则常用制动使列车行驶一段路程后停下, 列车由司机经过一定的手续后重新人工启动。

v_f : 当列车车速达到此值时, 车载中央控制单元给出启动紧急制动的信息, 确保列车在危险点的前方停住。

3) 地—车之间的数据传递

地—车应答器之间的数据传递是一种按协议的串行数码传输方式, 电码以移频键控方式传送。为了防止干扰, 载频通常在 800 kHz~1 MHz, 数码速率一般为 50 kbit/s。如西门子公司的 ZUB200 所采用的电码结构如图 1.7 所示。

000000001	80~100 bit 有用位	32 bit 安全校核
-----------	----------------	-------------

图 1.7 ZUB200 所采用的电码结构

ZUB200 的电码分为四大部分: 起始同步码、信息码、安全监视码、终止码。

起始同步码用来识别一组电码的开始, 车上、地下实现同步。首先约定在信息码中不允许出现连续八个“0”位及连续八个“1”位, 然后以“000000001”作为起始同步码, 以“11111110”作为终止同步码。

信息码一般是以电码组合的方式来传递有关信息。由于用户要求及实际情况千差万别, 因此无一定的定格可言。按目前的技术水平, 信息码已可达上千 bit。

点式 ATC 系统的主要缺点是信息传递的不连续性, 有时会对列车运行产生不利影响。

(2) 连续式 ATC 系统

按地—车信息传输所用的媒体分类, 连续式 ATC 系统可分为有线与无线两大类, 前者可分为利用轨间电缆与利用数字编码音频轨道电路两类。按自动闭塞的性质, 连续式 ATC 系统可分为移动闭塞、准移动闭塞和固定闭塞。按地—车所传输信息的内容, ATC 系统可分为



速度码系统与距离码系统。

1) 基于轨道电路的连续式 ATC 系统

ATC 系统有速度码系统和距离码系统两种。不论是速度码系统还是距离码系统,都基于轨道电路作为传输信息的通道,完成列车占用检测和发送 ATP 信息。

① 速度码系统(Speed Code System)

速度码系统通常使用频分制方法,采用的是移频轨道电路,即用不同的低频频率来代表不同的允许速度。系统根据前行列车的位置,向轨道电路发送相应的低频频率,车上的传感器接收到该低频频率,经译解得知当前的允许速度,与测速传感器测得的实绩运行速度进行比较,决定是否采取制动措施。

这类制式在信息传递与车上信息处理方面比较简单,从地面传递给列车的允许速度(限速值)是阶梯分级的,只能构成固定闭塞。这对于平稳驾驶、节能运行及提高行车效率都是非常不利的。因此,速度码系统已逐渐被能实时计算限速值的距离码系统所取代。

② 距离码系统(Distance Code System)

距离码系统从地面传至车上的是前方目标点的距离等一系列基本数据,车载计算机根据地面传至车上的各种信息(包括区间的最大限速、目标点的距离、目标点的允许速度、区间线路的坡度等)及储存在车载单元内的列车自身的固有数据(如列车长度、常用制动及紧急制动的制动率、测速及测距信息等),实时计算出允许速度曲线,并按此曲线对列车的实绩运行速度进行监控。

由于信息电码的多样性和复杂性,所以距离码系统必须使用时分制数字电码方式,按协议来组成各种信息。距离码系统采用数字编码音频轨道电路,是使用广泛的 ATC 系统,我国大多数城市轨道交通的 ATC 一度采用这种系统。

由于数据传输、实时计算及列车车速监控都是连续的,所以速度监控是实时、无级的,可以有效地实现平稳驾驶与节能运行,构成准移动闭塞。但是,钢轨不是一种理想的信息传输通道,铁质材料对音频信号的衰耗很大,集肤效应非常明显,限制了轨道电路的有效长度,此外,钢轨之间的漏泄、轮轨之间的接触电阻等因素均会影响轨道电路的性能。通过轨道电路传输难以实现列车与地面间的大容量信息交换。

然而,权衡性能、价格、安全可靠与可用性等诸方面的因素,用音频数字轨道电路构成的连续式 ATC 系统在城市轨道交通中仍得到广泛的应用。

2) 采用轨间电缆的 ATC 系统

采用轨间电缆的 ATC 系统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、列车长度、制动率、所在位置、实际速度经电缆传给控制中心。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)通过电缆送至列车,由车载计算机计算其允许速度。

采用轨间电缆的 ATC 系统,其信息传递的连续性是以昂贵的轨间电缆为代价的,维修费



用也高,而且轨间电缆的存在给线路养护工作带来了不便,因此目前较少采用。

3)无线 ATC 系统

无线 ATC 系统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至编码器,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,馈送至无线通道向列车发送。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,对列车进行监控。

用无线通道实现地—车数据传输的 ATC 才是真正意义上的移动闭塞,被认为是最先进的 ATC 系统。目前,许多公司均开发出了各自的移动闭塞技术并已广泛应用。

1.1.3 相关规范、规程与标准

《地铁设计规范》17.2 列车自动控制(ATC)系统中规定的主要 ATC 制式。

典型工作任务 2 ATC 系统选用

1.2.1 工作任务

了解对 ATC 系统的水平等级、可用性、设计能力的规定和 ATC 系统的选用原则。

1.2.2 知识链接

1. ATC 系统的水平等级

为确保行车安全和线路最大通过能力,根据国内外的运营经验,一般最大通过能力小于 30 对/h 的线路宜采用 ATS 和 ATP 系统,实现行车指挥自动化及列车的超速防护。在最大通过能力较低的线路,行车指挥可采用以调度员人工控制为主的 CTC 系统;最大通过能力大于 30 对/h 的线路,应采用完整的 ATC 系统,实现行车指挥和列车运行自动化。

ATO 系统对节能、规范运行秩序、实现运行调整、提高运行效率等具有重要的作用,但不同的信号系统设或不设 ATO 会使运营费用差异较大,不过即使是通过能力为 30 对/h 的线路,有条件时也可选用 ATO 系统。

根据运营需要,信号系统还应满足最大通过能力为 40 对/h 的总体要求。

对于城市轨道交通,通过能力的发挥往往受制于折返能力,而折返能力与线路条件、车辆状态、信号系统水平等因素有关。因此;通过能力要求较高时,折返能力需与之相适应,必须对上述因素进行综合研究、设计。

2. ATC 系统的可用性

ATC 系统应满足本系统设备和通信、供电等相关系统设备故障的特殊条件下安全行车的需要。ATC 系统应能降级运用,实现故障弱化处理,满足故障修复的需要。

信号系统降级运用是指系统由自动控制降级为人工控制,由遥控变为局控,由实现全部功能至仅完成部分功能等,对于某些 ATC 系统,可能存在系统设备故障失去列车位置检测并可能波及较大运营范围。若系统无后备的列车位置检测及后备模式,将不利于系统故障时的安全行车和故障后运营的恢复,因此类似的系统可考虑深层次的系统后退运行方式,包括投入后备系统的运用模式。后备模式及其具体要求应根据用户需要及系统设备的可靠性、可用性和