



21世纪职业教育立体化精品教材  
新时代课程思政建设配套教材

# 城市轨道交通 列车运行 自动控制技术

主 编 张庆玲 韩 冰  
副主编 张桂源 白 冰 王东亮  
参 编 李 巍 南 洋 唐萧萧  
        吕 娜 丁相庆  
主 审 方振龙

### 图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通列车运行自动控制技术/张庆玲, 韩冰主编. —南京: 江苏凤凰教育出版社, 2022. 6

ISBN 978-7-5499-9731-2

I. ①城… II. ①张… ②韩… III. ①城市铁路—轨道交通—列车—自动控制—职业教育—教材 IV.

①U284.48

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2022)第 002951 号

### 书 名 城市轨道交通列车运行自动控制技术

---

主 编 张庆玲 韩 冰  
责任编辑 汪立亮  
出版发行 江苏凤凰教育出版社  
地 址 南京市湖南路 1 号 A 楼, 邮编: 210009  
出 品 江苏凤凰职业教育图书有限公司  
网 址 <http://www.fhmooc.com>  
印 刷 天津市蓟县宏图印务有限公司  
厂 址 天津市蓟县天津专用汽车产业园福山大道 14 号  
电 话 022-29140509  
开 本 787 毫米×1 092 毫米 1/16  
印 张 12  
版次印次 2022 年 6 月第 1 版 2022 年 6 月第 1 次印刷  
标准书号 ISBN 978-7-5499-9731-2  
定 价 43.00 元  
批发电话 025-83658831  
盗版举报 025-83658873

---

图书若有印装错误可向当地经销商申请调换  
提供盗版线索者给予重奖

# 前言

随着我国列车技术水平的发展,以地铁和轻轨为代表的城市轨道交通成为人们主要的出行方式之一,在人们的生活中起着重要的作用。城市轨道交通的安全、速度、输送能力和效率都与它的运行控制系统密切相关,采用列车运行自动控制技术已成为各地轨道交通的共同选择。为了便于城市轨道交通专业学生学习和掌握城市轨道交通列车运行自动控制技术,我们编写了本书。

全书共分为四个教学项目,分别为城市轨道交通列车运行控制系统认知、列车运行相关设备认知、ATC 系统认知和典型 ATC 系统。书中引入大量企业实际工作案例,并采用大量实物图片,让学生直观认识城市轨道交通列车运行控制系统的各部件,并能模仿操作动作完成实操训练。本书编写时注重理论与岗位实际操作相结合,理论知识以直观表达、适度够用为原则,实训操作内容以便于操作、客观适用为原则,将理论与实际操作相衔接,便于工学结合的项目化教学课程的教学实施。另外,本书融合“课程思政”理念,设计了“育人目标”“思政园地”等模块,旨在坚定学生理想信念、厚植爱国主义情怀、加强品德修养、增长知识见识、培养奋斗精神,提升学生综合素质。

本书由长春职业技术学院具有多年教学经验的教师以及长春市轨道交通集团有限公司和中车长春轨道客车股份有限公司关键技术岗位的工程师联合编写,张庆玲、韩冰任主编,张桂源、白冰、王东亮(长春市轨道交通集团有限公司)任副主编,李巍、南洋、唐萧萧、吕娜、丁相庆(中车长春轨道客车股份有限公司)参与编写。具体编写分工如下:韩冰、吕娜编写项目一,李巍、唐萧萧编写项目二,南洋、白冰编写项目三,张桂源、韩冰编写项目四;唐萧萧负责全书课程思政内容的编写,韩冰负责统稿,张庆玲负责数字化资源的统筹和开发工作。王东亮、丁相庆为本书的编写提供了相关的行业数据、企业操作规程以及参考资料,



并对本书的体例设计及内容编写提出了重要意见。本书由方振龙主审并提出了宝贵建议。

本书可作为职业院校城市轨道交通通信信号、车辆驾驶与车辆检修等专业教材，也可作为其他轨道交通类专业选修课教材，还可作为轨道交通企业职业培训教材。

本书在编写过程中得到了长春市轨道交通集团有限公司的大力支持，主要内容参照了南京地铁、长春地铁、上海地铁的有关资料，在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不足之处，恳请广大读者不吝赐教。

编者

# 目录

## 项目一 城市轨道交通列车运行控制系统认知



课题一 列车运行控制系统概述 .....	2
课题二 列车运行控制系统关键技术 .....	7
课题三 ATC 系统概述 .....	21

## 项目二 列车运行相关设备认知



课题一 信号机 .....	36
课题二 信号继电器 .....	43
课题三 轨道电路 .....	51
课题四 转辙机 .....	57
课题五 计轴器 .....	63
课题六 查询应答器 .....	65
课题七 联锁设备 .....	71

## 项目三 ATC 系统认知



课题一 ATP 系统 .....	80
课题二 ATO 系统 .....	90
课题三 ATS 系统 .....	102



项目四 典型 ATC 系统



课题一 TBTC 系统 .....	128
课题二 CBTC 系统 .....	148
课题三 单轨交通 ATC 系统 .....	171

附录 名词术语英中对照



参考文献



# 项目一

# 城市轨道交通列车运行控制系统认知

## 知识目标

1. 了解列车运行控制系统及其发展历程。
2. 理解列车运行控制的基础理论。
3. 初步认识ATC系统。

## 育人目标

1. 通过学习，熟练掌握城市轨道交通列车运行控制系统的组成及各部分的功能与工作原理，培养运用“整体与部分关系”的逻辑思维能力分析与解决问题。
2. 通过学习，明确城市轨道交通列车运行控制系统的关键作用，培养职业责任担当，总结、反思意识与创新精神，积极为城市轨道交通现代化建设贡献力量。

## 重点难点

1. 城市轨道交通列车运行控制系统的闭塞方式。
2. 城市轨道交通列车测速及定位方法。
3. ATC系统的组成、功能及分类。
4. ATC系统的控制模式。



## 案例引入

### 案例叙述：

1837年8月11日，美国弗吉尼亚州苏福克市一列载运木材的火车高速往东行驶，迎面撞上另一列来自弗吉尼亚州兹茅斯市的早班客运列车。客运车厢的前三节遭到猛烈撞击，火车上超过200位乘客受伤。1840年出版的雕刻作品《汽船灾难和铁路车祸》描绘出当时撞击的瞬间。

### 案例分析：

自 1825 年世界上第一条铁路建成以来，这是第一例导致乘客丧生的对撞事故。当时的列车运行控制完全由每列车的司机独立完成，一旦司机失去警惕或出现错误操作，就极易造成安全事故。这次事故的发生引发了人们对于列车运行安全性的思考，也促进了列车运行控制系统的发展。

## 课题一 列车运行控制系统概述

列车运行控制系统是指用于控制、监督、执行和保障列车运行安全，以轨道交通信号控制技术和通信技术为基础发展起来的，集列车运行控制、行车指挥、设备检测和信息管理于一体的综合控制系统。它的主要作用是保证行车安全和提高运行效率，随着科学技术的发展，特别是近年来微电子、计算机、通信、智能控制等技术的突飞猛进，现代的列车运行控制系统还起到了促进运营管理现代化、提高城市客运的综合运力和服务质量的作用。

### 一、列车运行控制系统的发展历程

列车运行控制系统是伴随着城市轨道交通的出现而诞生的。早期的列车运行控制系统以信号系统为主要发展体系，列车运行安全主要依赖于司机的职业素质。随着计算机技术和网络技术的迅速发展，信号系统与通信系统不断融会贯通，逐渐形成了现代先进的列车运行控制系统。纵观其整个发展历程，大体上可以分为以下 5 个发展阶段。

#### 1. 人工控制阶段

1825 年，世界上出现了第一条铁路——英国的斯托克顿—达灵顿 (Stockton-Darlington) 铁路，由一人骑着马在前面挥旗呐喊，引导列车前进，如图 1-1 所示。夜间使用车站窗口的蜡烛烛光指挥行车，约定以烛光点亮作为停车信号，烛光熄灭作为允许运行信号。由于烛光常被风吹灭，所以发生了多起冒进停车地点的行车事故。



图 1-1 斯托克顿—达灵顿铁路



1832年，美国在纽卡斯尔—法兰西堂铁路线上开始使用球形固定信号装置，以传达列车运行的消息：若列车能准时到达，则悬挂白球；若列车晚点，则悬挂黑球。这种信号机每隔5 km安装1架。铁路员工用望远镜瞭望，沿线互传消息。

## 2. 机械装置控制阶段

1841年，戈雷格里(Gregory)发明了易于被司机辨认的臂板信号机(见图1-2)，轨道信号进入了机械装置控制阶段。这种信号机白天利用臂板的位置、形状来显示信号，夜间利用灯光的颜色和数目来显示信号。它模仿人们举手发出信号的动作，约定以举起臂板作为停车信号，但由于牵引臂板动作的导线常发生折断事故，在应该发出停车信号时不能发出停车信号，容易使列车冒进而造成伤亡事故。

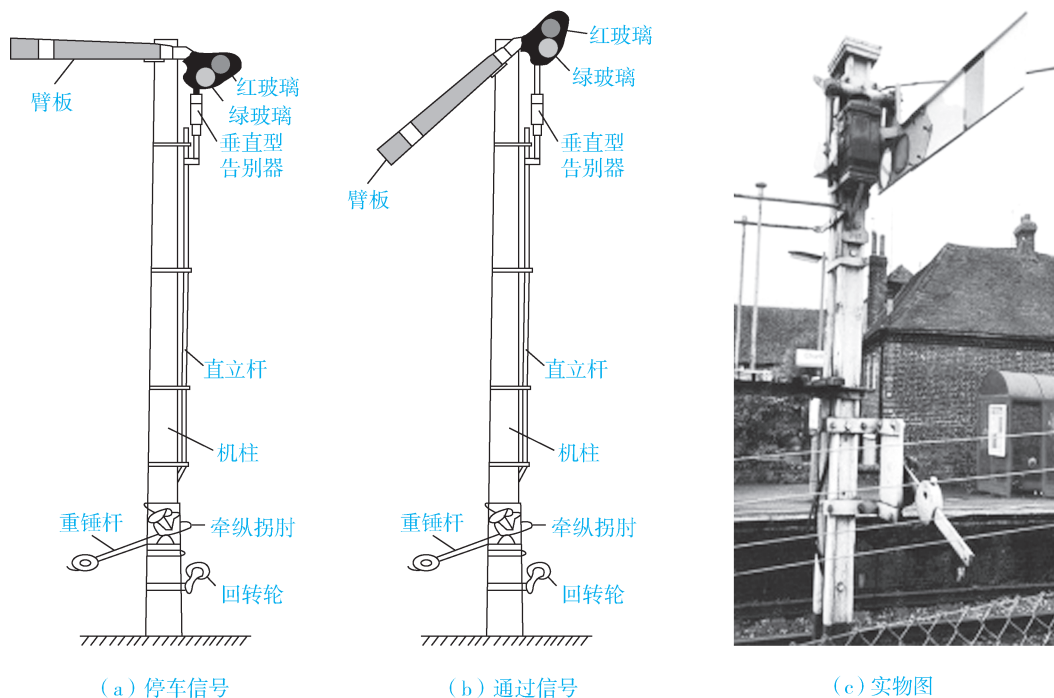


图 1-2 臂板信号机

## 3. 电气控制阶段

以继电器联锁系统和色灯信号机为代表的电气控制阶段开始于20世纪30年代，列车运行控制系统依靠路旁信号机来传递不同的行车信息，列车运行安全取决于司机的视觉条件、驾驶技术和经验。前、后列车间的空间间隔由相邻信号机之间的距离来决定，司机根据地面信号的显示，按照行车规则操纵列车运行。

在这种传统的列车运行控制系统中，地面信号显示行车信息的能力有限，列车控制较大程度上还是依赖于司机，且信号机的位置不能随意改变，列车间隔控制的灵活性较差，由于存在着这些不足，所以系统的安全性不高，效率较低。如今，随着城市轨道交通列车运行速度越来越快，行车间隔时间越来越短，对安全的要求也越来越高，这种传统的列车运行控制系统也逐步被淘汰。

#### 4. 电子控制阶段

从 20 世纪 60 年代开始,电子器件和计算机开始应用于列车运行控制系统,列车运行控制系统迎来了快速发展的阶段,成为智能化的车载控制系统。

采用先进的城市轨道交通列车运行控制技术,能大大提高行车的安全性,使各种由于人为的疏忽、设备的故障而产生的事故发生率降至最低,从而有效地减少交通事故的发生。由于在列车运行控制中心的计算机和列车车载计算机之间建立了可靠、有效的信息交换通道,所以列车运行的一切实时信息(如车次、速度、位置等)都可经通道向控制中心发送,从而在控制中心内将整条线路的实时状态显示在行车指挥人员面前。如图 1-3 所示为常州地铁控制中心。与此同时,一切与列车运行有关的信息(如线路状态、前方列车的位置和前方停车点的位置等)也可通过同一个通道发送给列车车载计算机,从而得出实时的最佳速度并显示在驾驶台上,由司机手动或自动操纵,使司机驾驶更加从容有序、胸有成竹,使列车运行处于最佳状态。



图 1-3 常州地铁控制中心

控制中心与列车车载计算机之间的协调工作,使运输效率得到最充分的发挥,大大降低了司机的劳动强度和工作难度,甚至司机的任务仅限于监督设备的运行状态。此外,采用城市轨道交通列车运行控制技术,还可以避免不必要的突然减速和加速,这不仅提高了行车的稳定性,对节能也具有重要的作用。

#### 5. 基于通信技术的控制阶段

20 世纪 70 年代,随着通信技术的发展,尤其是无线通信技术的广泛应用,以信号控制为核心的传统轨道交通信号系统开始演变成基于通信技术的轨道交通运行控制系统。

无线通信可以实现大信息量的双向通信,除了能满足列车控制的需要外,还可用于行车指挥信息,满足城市轨道交通信息化对固定设备与移动体之间大容量信息交换的要求。基于通信的列车控制(Communication-Based Train Control, CBTC)系统,可以实现双向信息传输,具有更高的传输速率和更多的信息量。CBTC 系统借助于先进的无线通信技术,使列车运行摆脱对传统轨道电路的依赖,甚至可以突破新型数字轨道电路行车间隔的瓶颈,实现真正意义的移动闭塞,行车间隔大大缩短,系统在实时性增加,从而提高运能与安全性。CBTC 系统是城市轨道交通列车运行控制技术的发展方向。

## 二、城市轨道交通列车运行控制系统

在城市轨道交通系统中，列车运行速度虽然不是很高，但站间距离短，列车运行过程中追踪间距较小且行车间隔时间较短，行车间隔最短可能仅 90 s，甚至用时更短。因此，既要保证行车安全，又要保证行车的效率和准确性，对列车运行控制系统有着更高的要求。以列车速度自动控制为中心的列车自动控制(Automatic Train Control, ATC)系统成为城市轨道交通列车运行控制系统的共同选择。

信号系统和通信系统是城市轨道交通列车运行控制系统的关键技术装备。随着通信技术的发展，尤其是无线通信技术的广泛应用，ATC 系统的控制模式已经由信号控制为核心的传统的基于轨道电路的列车控制(Track-Circuit Based Train Control, TBTC)系统逐渐演变成通信信号一体化的 CBTC 系统，并在此基础上向着自动化、网络化、智能化的方向发展。

## 三、我国城市轨道交通列车运行控制系统的发展

我国城市轨道交通起步较晚，因此列车运行控制系统的发展起点较高，固定闭塞、准移动闭塞已能满足我国目前对列车运行控制的要求，而移动闭塞的 CBTC 系统是城市轨道交通列车运行控制系统的发展方向。我国城市轨道交通列车运行控制系统的发展大致经历了 3 个阶段：初创阶段、过渡阶段和发展阶段。

### 1. 初创阶段

我国城市轨道交通列车运行控制系统是随北京地铁的兴建而起步的。1965 年 7 月 1 日，我国第一条地下铁路——北京地铁一期工程动工兴建(见图 1-4)，该地铁于 1969 年 10 月建成通车。根据当时的国情，决定全部设备由国内自己研制，同时要求设备必须具有较高的技术水平。借鉴已有铁路的相关经验，信号项目主要为复线自动闭塞(包括机车信号和自动停车)、调度集中、列车自动驾驶和继电联锁。通过这几项技术，实现行车集中调度、集中监控和列车运行自动化。该项目完全独立自主地为中国第一条地铁提供了一整套设备，技术起点较高，为后续的安全运营奠定了坚实的基础。但是受历史条件限制，某些规章制度难以落实到位，产品类型繁多也给日后的运营和维修带来较多困难。例如，乘客导向系统仅为有线广播，没有和列车的到发时刻相匹配，所以使用性能较差。



图 1-4 北京地铁开工典礼

## 2. 过渡阶段

1971年，北京地铁二期工程开工建设，要求采用“行车指挥与列车运行自动化”系统。该线路于1984年开通，其信号控制系统大多采用国产设备。1986年，北京地铁通过引进消化，研制出一套机车信号系统，并用这套系统替换了环线全部机车信号系统，从而提高了车载设备的可靠性。1990年，北京地铁对环线调度集中进行了技术改造，研制“微机调度集中系统”，并于1993年开通使用，该调度集中系统的功能和技术指标已经超出传统调度集中(Centralized Traffic Control, CTC)系统许多，距现在普遍采用的ATC系统的性能只有一步之遥。该系统从1993年至今正常运行了20多年，已成为调度员工作中的得力工具。

进入20世纪90年代以后，随着我国改革开放的步伐加快、经济的快速发展、城市人口的急剧膨胀，各大城市都进入了建设城市轨道交通的高潮。但是由于我国地铁建设起步较晚，经验积累还较欠缺，使得国产信号设备技术水平较低，只能提供配套设备，而且系统研制条块分割，不能提供一体化的完整系统，所以没有合适的国产地铁信号系统可用。再加上建设地铁向国外贷款，利用外资的附加条件是必须购买该国设备，因此纷纷引进国外先进的地铁信号设备。

在这一阶段我国城市轨道交通进入了大量建设时期，信号设备的研制工作也逐步展开，信号设备从传统的有绝缘轨道电路、继电联锁、机车信号、自动停车、调度监督、调度集中逐步向无绝缘轨道电路、计算机联锁、列车超速防护、列车自动监控等现代信号设备系统进行过渡和发展。

## 3. 发展阶段

从1994年至今，我国城市轨道交通建设进入了快速发展期。广州、上海、深圳、武汉、重庆和南京等轨道交通线路的信号系统先后采用了德国西门子公司、美国US&S公司、法国阿尔斯通公司和日本信号公司等各具特色的ATC(列车自动控制)系统。2002年和2003年，武汉轻轨与广州地铁3号线相继从加拿大阿尔卡特公司引进采用移动闭塞方式的ATC系统，它是基于感应环线通信的移动闭塞系统。

采用引进设备后，大大缩短了运行间隔，提高了安全性和通过能力，但由于国内外的电源质量、道岔结构、轨道施工工艺等存在差异，所以引进的ATC系统在我国的应用效果不像在国外那么好，而且引进的设备也带来后续的诸多问题。

① 造价昂贵，耗资巨大，同时要花费大量资金用于设备维修和更新，很难产生良好的经济效益和社会效益，也难免受制于人。

② 返修渠道不畅，维修成本太大，备品备件得不到保证，维修十分困难。

③ 制式混杂，给路网的扩展、管理带来极大的困难。

照此发展下去，必将严重阻碍我国城市轨道交通的发展，同时不符合国家的产业政策，所以有必要走国产化的道路，对引进的先进技术消化吸收，移植铁路成熟的信号技术，结合我国城市轨道交通的特点和需要进行自主研究，尽快提供国产化的成套ATC技术。这是我国城市轨道交通信号技术发展的必由之路，也必将降低造价，促进城市轨道交通发展。

我国从1999年初开始推行城市轨道交通设备的国产化政策。其主要目的在于降低建

设投资，使国家及地方在财力上能够承受。另一个目的是充分吸收借鉴国外的先进技术，研究开发具有自主知识产权的城市轨道交通相关技术并进行设备产品本土化生产制造，提升中国城市轨道交通行业的技术水平并逐步减少对国外产品的依赖。

经历十几年国产化发展，我国在一些信号系统的关键技术上取得了突破性的进展，北京交通大学联合北京地铁研发的 CBTC 系统 ATP/ATO 核心装备，在北京地铁亦庄线、昌平线实现工程应用，并逐步拓展到全国多个城市；铁科院与广州地铁联合研发的整套 CBTC 系统，应用于广州地铁 7 号线，并陆续在长沙、重庆等城市推广；通号公司、卡斯柯公司等单位也相继研发成功自主化 CBTC 系统，并实现了工程实际应用。我国近年来实现了完全自主化列车控制系统的部分线路情况见表 1-1。

表 1-1 我国近年来实现了完全自主化列车控制系统的部分线路情况

城市	线路/项目	国内厂商	技术特点	运营情况
大连	轻轨 3 号线	通号公司 ATS、计算机联锁轨道电路、北京交大提供车载 ATP	模拟轨道电路	2004 年
长春	轻轨净月线	通号公司提供全套信号系统	数字编码轨道电路	2008 年
北京	亦庄线	北京交大 ATP/ATO、卡斯柯 ATS、计算机联锁	CBTC	2010 年
	昌平线	和利时总包集成、北京交大 ATP/ATO、卡斯柯 ATS、计算机联锁	CBTC	2010 年
广州	7 号线	铁科院提供全套 CBTC 系统	CBTC	2016 年

目前随着我国城市轨道交通事业的蓬勃发展，各大城市纷纷选择 CBTC 技术作为信号系统的首选制式。以 CBTC 作为城市轨道交通列车运行自动控制系统自主化突破口，能够摒弃轨道电路复杂的数学模型、有限的流量、受环境影响的不确定性等局限，最大限度地利用通信信息领域最新技术成果，实现我国城市轨道交通列车运行自动控制系统自动化、网络化、智能化的跨越式发展。

## 课题二 列车运行控制系统关键技术

城市轨道交通能够大容量、快速、安全地完成运输任务，需要不断根据列车在线路上运行的客观条件和实际情况，对列车的运行速度和控制方式等状态进行监督、控制和调整。而在监督、控制和调整的过程中，需要借助多种技术手段和方法来实现。

### 一、闭塞方式

在组织列车运行时，通过设备或人工方式控制，使连续发出的列车保持一定间隔安全

行车的办法，称为行车闭塞法，简称闭塞。

第一例导致乘客丧生的列车对撞事故的发生，让人们意识到了闭塞的重要性，英国人首先应用了时间间隔法来实现闭塞，即列车按照事先规定好的时间由车站发车，使前行列车和追踪列车之间必须保持一定时间间隔的行车方法。这种方法存在的问题是，当先行列车在途中遇到突发情况停车或晚点等非正常情况时，后续列车无法预知，依然按照既定时间间隔发车，有可能会发生追尾事故。为了克服这种缺陷，后来人们又提出了空间间隔法。

空间间隔法，即把线路划分为若干个区间(或分区)，在每个区间(或分区)内同时只准许一列车运行，使前行列车和追踪列车之间必须保持一定空间距离的行车方法。我国的城市轨道交通线路以车站为分界点划分为若干个区间，采用区间作为列车运行的空间间隔。这种方法能严格地把列车分隔在两个空间，可以有效地防止列车追尾和正面冲突事故发生，确保列车运行安全。目前常说的闭塞可以默认为空间间隔闭塞法，定义为用信号或凭证保证列车按照空间间隔法运行的技术方法。

目前用于城市轨道交通 ATC 系统的闭塞方式有 3 种：固定闭塞、准移动闭塞和移动闭塞。

### 1. 固定闭塞

如图 1-5 所示，固定闭塞将线路划分为固定的闭塞分区，前后车的位置都是用固定的地面设备来检测的；闭塞分区用轨道电路或计轴装置来划分。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一个区段中，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是分级的，需要向被控列车传送的信息只有速度码。

固定闭塞式 ATC 系统的分界线是进/出站信号机、防护信号机、分界点信号机或分界标。行车凭证是车载信号绿色灯相对应的速度值和出站信号机的稳定绿色灯光。追踪目标是本次列车所占用闭塞分区的终端。列车间隔为若干个闭塞分区，而与列车在分区内的实际位置无关，制动的起点和终点总是某一分区的边界。主体信号为车载信号的绿色灯光相对应的速度值。

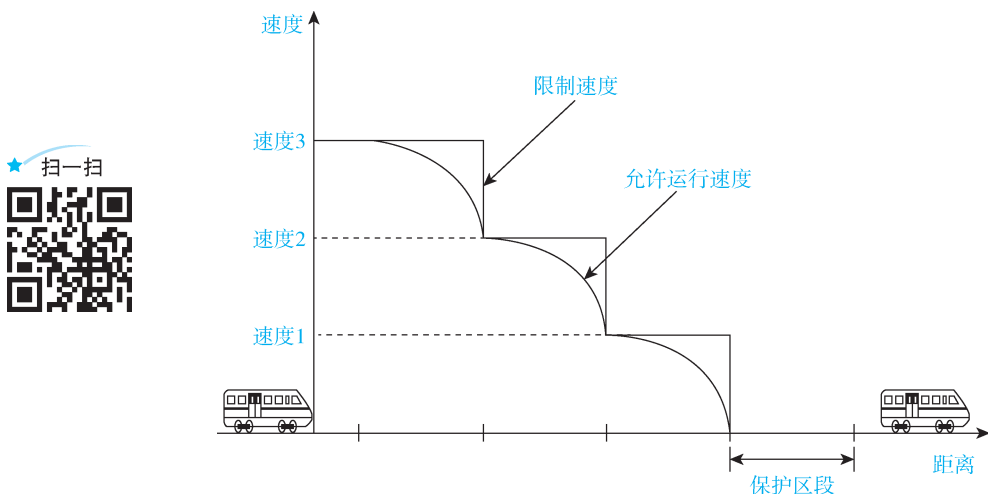


图 1-5 固定闭塞示意图



固定闭塞的闭塞长度较大，并且一个分区只能被一辆列车占用，因此不利于缩短列车运行间隔。除此之外，由于无法知道列车的具体位置，需要在两辆列车之间增加一个防护区段，所以列车的安全间隔较大，影响了线路的使用效率。

## 2. 准移动闭塞

如图 1-6 所示，准移动闭塞对前后列车的定位是不同的，前行列车的定位依然沿用固定闭塞方式，而后续列车的定位则采用移动的(或称为连续的)方式，即后续列车可以定位更加精确。为了提高后续列车的定位精度，目前各系统均在地面间隔段距离设置一个定位标志(轨道电路的分界点、信标和计轴器等)，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测速装置连续测得。

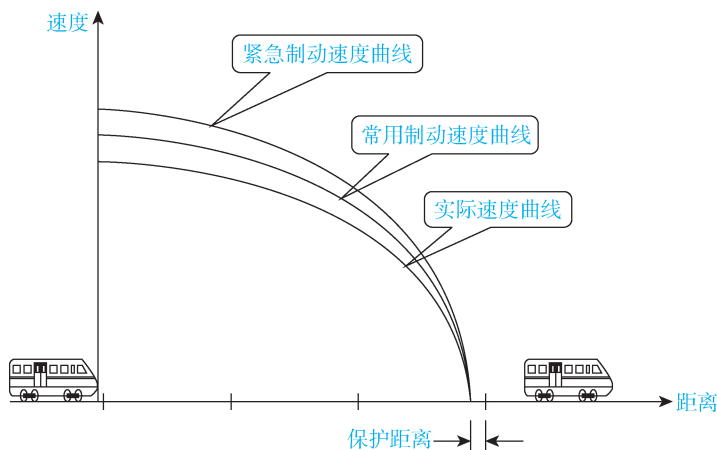


图 1-6 准移动闭塞示意图

★ 扫一扫



准移动闭塞 ATC 系统的分界线是出站信号机、防护信号机、分界点信号机或分界标。行车凭证是车载信号相对应的目标速度曲线值。追踪目标是先行列车的所在闭塞分区的始端。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，确保不冒进前行列车占用的闭塞分区；制动的起点是动态的，终点是固定在某一分区的边界处。主体信号是车载信号的绿色灯光相对应的速度值，地面信号机不点灯。

由于准移动闭塞采用了固定和移动两种方式，所以其速度控制模式既有连续的特点，又有阶梯的性质。由于被控列车的位置是由列车自行实时(移动)测得的，所以其最大允许速度的计算最终是在车载设备上实现的。

准移动闭塞在控制列车安全间隔方面比固定闭塞更进一步，可以告知后续列车继续前行的距离，后续列车也可以通过这一距离合理地减速或制动，从而改善列车控制方法，缩短时间间隔，提高线路的使用效率。

但是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的占用分区中，因此没有完全突破固定闭塞的限制。

## 3. 移动闭塞

如图 1-7 所示，移动闭塞基于车—地无线通信系统，将地面控制中心计算的移动授权

信息发送给车载设备，由车载计算机进行实时计算，算出列车最大允许速度曲线，并按此曲线对列车实际速度进行监控，达到超速自动防护的目的，确保列车安全运行。

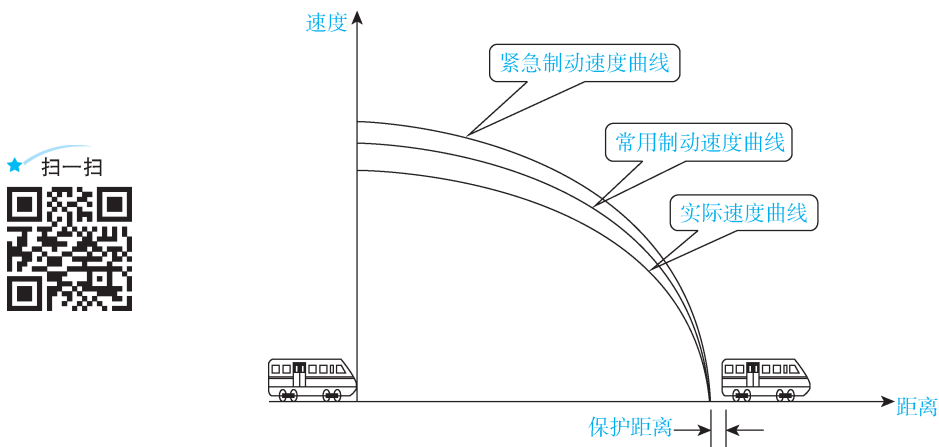


图 1-7 移动闭塞示意图

移动闭塞的分界线是由无线系统传输的列车移动授权终点划分的。行车凭证是车载信号相对应的目标速度值。追踪目标点是先行列车的尾部加上一定的安全距离。主体信号为车载信号的绿色灯光相对应的速度值，地面信号机不点灯。

移动闭塞已经没有将线路分成若干个闭塞分区概念，列车监督运行间隔是动态的，并随先行列车的移动而移动，该间隔是按后续列车在当前速度的所需制动距离加上安全余量实时计算和控制的，确保追踪运行不会追尾，列车的制动时机、制动起始点和终点均是动态的，其目的是最大限度地利用列车特性全速运行，尽可能地缩短列车运行间隔，最有效、最合理地利用区间有限空间，提高区间的通行能力。

## 二、速度控制模式

ATC 系统中，对列车运行的控制不仅需要行车闭塞法从空间上将列车运行的线路间隔开来，还需要在不同的闭塞方式下采用不同的速度控制模式，科学合理地控制列车的速度，在确保安全的前提下实现最小列车运行间隔。

列车的速度控制模式主要有两种：分级速度控制和速度一目标距离模式曲线控制。

### 1. 分级速度控制

分级速度控制是指以一个闭塞分区为单位，每个闭塞分区设计一个目标速度，无论列车在该闭塞分区中处于什么位置，都需要根据限定的速度判定列车是否超速。分级速度控制的列车追踪间隔主要与闭塞分区的划分、列车的性能和速度有关。它包括阶梯式和曲线式两种。

#### (1) 阶梯式分级速度控制

阶梯式分级速度控制方式不需要距离信息，只要在停车信号与最高速度间增加若干中间速度信号即可实现，因此需要传输的信息量较少，设备相对比较简单，又可分为超前式



和滞后式。一个闭塞分区的进入速度称为入口速度，驶离速度称为出口速度。

①超前速度控制方式，又称为出口速度控制方式，限定列车的出口速度值，控制列车的速度不得超过给定的出口速度，该速度控制方式采用设备控制优先的方法。如图 1-8 所示，从最高速度至零速度的列车实际减速运行线为分段曲线组成的一条不连贯的曲线组合。因为列车驶出每个闭塞分区前均必须把速度降至速度控制线以下，否则设备会自动引发紧急制动，所以超前对出口速度进行了控制，不会冒出闭塞分区。

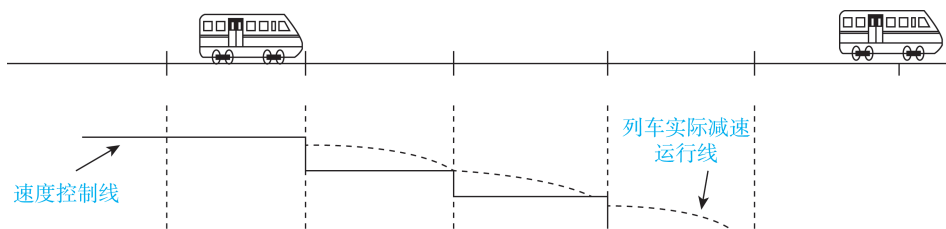


图 1-8 超前速度控制示意图

②滞后速度控制方式，又称为入口速度控制方式，限定列车的入口速度值，监控列车的速度在本闭塞分区不超过给定的入口速度，该速度控制方式采用人控优先的方法。如图 1-9 所示，从最高速度至零速度的列车实际减速运行线为分段曲线组成的一条不连贯曲线组合。因为在每一个闭塞分区，列车速度只要不超过给定的入口速度，就不会碰撞滞后式速度控制线，考虑万一列车失控的情况，在本闭塞分区的出口(下一闭塞分区的入口)处的速度超过了给定的入口速度，碰撞了滞后速度控制线(撞墙)，此时触发设备会自动引发紧急制动，列车必然会越过第一红灯进入下一闭塞分区，所以必须要增加一个闭塞分区作为安全防护区段，俗称双红灯防护。

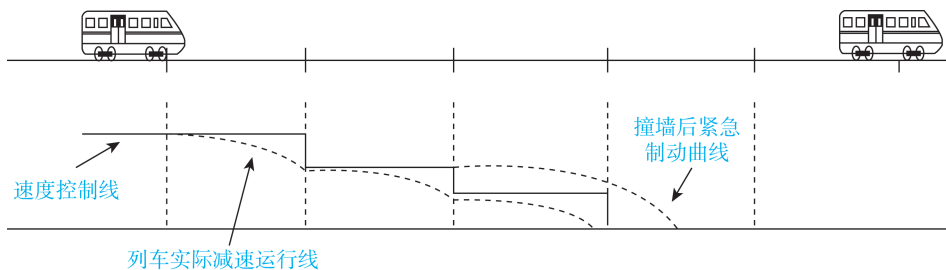


图 1-9 滞后速度控制示意图

## (2) 曲线式分级速度控制

曲线式分级速度控制要求每个闭塞分区的入口速度和出口速度用曲线连接起来，形成一段连续的控制曲线，曲线控制方式和阶梯控制方式一样，每一个闭塞分区只给定一个目标速度。控制曲线把闭塞分区允许速度的变化连续起来。如图 1-10 所示，从最高速度至零速度的列车控制减速线为分段曲线组成的一条不连贯的曲线组合，列车实际减速运行线只要在控制线以下即可。如果超速碰撞了速度控制线，设备会自动引发制动。因为速度控制是连续的，所以不会超速太多，紧急制动的停车点不会冒出闭塞分区，可以不用再增加一个闭塞分区作为安全防护区段，但设计时要考虑留有适当的安全距离。

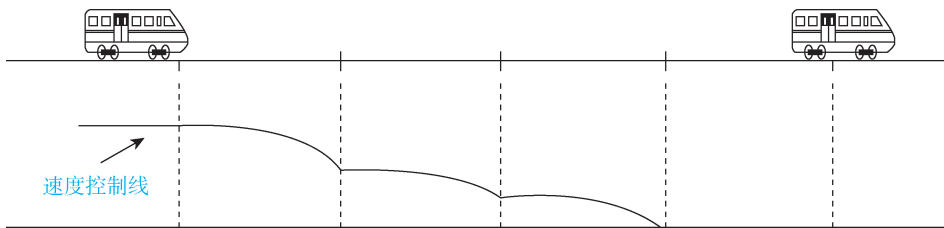


图 1-10 曲线式分级速度控制示意图

## 2. 速度—目标距离模式曲线控制

速度—目标距离模式曲线控制采取的制动模式为连续式一次制动速度控制方式，如图 1-11 所示。根据目标距离、目标速度及列车本身的性能确定列车制动曲线，不设定每个闭塞分区的速度等级。如果以前行列车占用的闭塞分区入口为追踪目标点，则为准移动闭塞；若以前方列车的尾部为追踪目标点，则为移动闭塞。

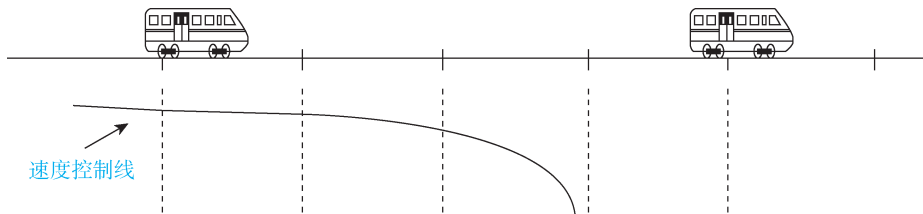


图 1-11 速度—目标距离模式曲线控制示意图

当列车实际速度超过速度控制曲线的允许速度时，自动实施制动，使列车减速。列车速度低于允许速度后，制动缓解。与分级速度控制相比，闭塞分区滞后速度控制方式需增加保护区段；而闭塞分区超前速度控制方式在每一闭塞分区必须考虑制动空走距离，分区长度要增加。

因此采用速度—目标距离模式曲线控制方式，可以提高区间的通过能力，但需要从地面向列车传递更多的信息，除了目标点速度信息外，还要有分区长度、坡度等信息。线路参数可以通过地对车信息实时传输，也可以事先在车载信号设备中存储，通过核对取得。因为给出的制动速度控制曲线是一次连续的，需要一个制动距离内所有的线路参数，地对车信息传输的信息量相当大，可以通过无线通信、数字轨道电路、轨道电缆、应答器等地对车信息传输设备传输。

速度—目标距离模式曲线控制的列车制动的起始点是随线路参数和列车本身性能不同变化的，空间间隔的长度是不固定的，比较适用于不同性能和速度的列车的混合运行，其追踪运行间隔要比分级速度控制小，提高了空间通过能力，减速比较平稳，乘客的舒适度也有所提高。

## 三、测速技术

在城市轨道交通中，要保证列车运行的安全和高效，测速定位系统必须能够为列车运行控制系统实时、准确地提供列车的运行速度和位置，这就需要测速的方法有较高的实时性和精确度。城市轨道交通系统中常用的测速设备包括测速发电机、轮轴脉冲速度传感器

及多普勒雷达。根据速度信息的来源，可以把测速方式分为两大类：轮轴旋转方式和无线方式。轮轴旋转方式测速的主要方法是测速发电机测速和轮轴脉冲速度传感器测速。无线方式测速的主要方法是多普勒雷达测速。

### 1. 测速发电机

测速发电机通常安装在列车两端车轮外侧，如图 1-12 所示。它包括一个齿轮和两组带有永久磁铁的线圈，齿轮固定在轮轴上，随车轮转动，线圈固定在轴箱上。轮轴转动，带动齿轮切割磁力线，在线圈上产生感应电动势，其频率与列车速度(齿轮的转速)成正比。这样列车的速度信息就包含在感应电动势的频率特征里，经过频率—电压的变换，把列车实际运行的速度变换为电压值，通过测量电压的幅度得到速度值。

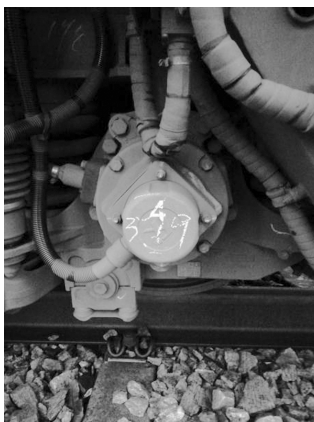


图 1-12 测速发电机

测速发电机所产生的交流电的频率与轮径值有关。在速度相同时，直径大的车轮输出的速度电压频率低，反之则频率高。因此需设置一个车轮直径补偿电路，以消除不同直径的车轮所产生的差异。

发电机线路故障或列车运行速度为零时，发电机的电压频率均为零，因此为了确保发电机故障遵守“故障—安全”原则，规定在频率变换电路中，列车速度为零时，也产生一定的频率值；当频率为零时，设备可以报警或自动停车。

### 2. 轮轴脉冲速度传感器

轮轴脉冲速度传感器安装在列车两端的车轮外侧，如图 1-13 所示。通过在轴承上安装传感器装置，车轮每旋转一周，传感器装置输出一定数量的脉冲信号，对脉冲信号进行计数，测出脉冲信号的频率即可得出列车运行的速度。传感器装置通常采用基于霍尔效应的脉冲速度传感器或基于旋转式光栅的光电传感器。



图 1-13 轮轴脉冲速度传感器

当列车的轮对产生磨损、空转、滑行等情况时，采用脉冲传感器测速的误差较大，而且用此种方法计数时，不能区别列车前进还是后退。但是这种方法简便、易于实现，目前在城市轨道交通中，其是较为常用的测速定位方法。

### 3. 多普勒雷达

多普勒雷达安装在列车两端的底部，如图 1-14 所示。雷达始终向轨面发射电磁波，由于列车和轨面之间有相对运动，该波到达地面后又反射回来，来回两次都产生频率变化，根据多普勒频移效应原理，如果列车在前进状态，反射的信号频率会高于发射的信号频率；反之，则低于发射的信号频率。而且，列车运行的速度越快，两个信号之间的频率差距会越大。通过测量两个信号之间的频率差，就可以获取列车的运行方向和即时的运行速度。

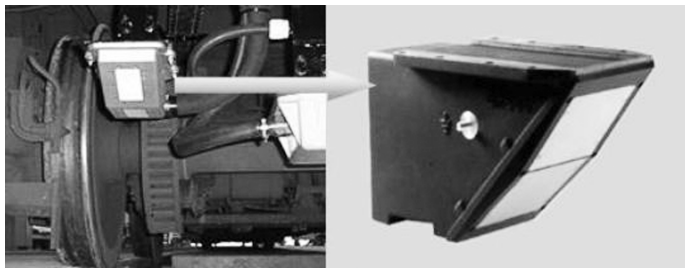


图 1-14 多普勒雷达

多普勒雷达测速方法的设备通常比较复杂，容易受到地面条件的制约，若地面不够光滑会导致电波散射现象较为严重，加大测量难度，影响测量准确性。但是此种方法能够减少利用轮轴旋转方式的测速方法因车轮磨损、空转、打滑等造成的误差，而且可以判断列车运行方向并持续测速，因此通常与测速发电机或轮轴脉冲速度传感器配合使用。

## 四、定位技术

城市轨道交通列车运行密度高、站间距离短、安全性要求高，分布于轨旁和列车上的列车自动控制系统及列车本身需要实时了解列车在线路中的精确位置；需要根据线路中列车的相对位置实时地对每一列车进行监督、控制、调度及安全防护，在保证列车运行安全的前提下，最大限度地提高系统的效率，为乘客提供最佳的服务。

列车定位技术在列车运行控制系统中占有非常重要的地位，其精确度和可靠性是影响

列车安全防护距离的重要因素，关系到列车的运行间隔，影响到城市轨道交通系统的效率；其定位原理和采用的传感器是影响列车运行控制系统制式的重要因素，关系到可采用的闭塞制式，影响列车运行控制系统的兼容性和生命周期费用。目前，在世界各国城市轨道交通列车自动控制系统中使用的列车定位方式主要有以下几种。

### 1. 轨道电路定位

轨道电路定位是一种粗精度检测列车位置的方式。轨道电路将钢轨分成不同的区段，在每个区段的始端和终端加上发送、接收设备，构成一个闭合电流(信息传输回路)。当无列车占用时，轨道继电器励磁吸起，代表区段空闲；当列车进入区段时，列车轮对将两根钢轨短路，电流(信息)不能到达接收端，接收端继电器失磁落下，对应地点亮红色信号灯，表示区段占用，达到列车定位的目的。

轨道电路定位方式的优点是经济、方便、可靠性高，既可以实现列车定位，又可以检测轨道的完好情况，且无须对当前设备做大的改动即可实现列车定位；缺点是定位精度取决于轨道电路的长度，不精确，无法构成移动闭塞。利用数字轨道电路对列车进行定位是城市轨道交通系统中应用较为普遍的技术手段。

### 2. 计轴器定位

计轴器是一种特殊的列车定位装置，适用于某些无法采用轨道电路定位的场合，如图 1-15 所示。近年来，我国城市轨道交通也逐渐在各线路广泛使用计轴器定位技术。计轴器定位继承了轨道电路定位的诸多特点，和前述的轨道电路定位一样，这种方法的定位安全性较高，精度较差，通常也需与测速装置结合起来使用。由于不依赖于轨道电路，其对环境的适应性更强，维护量相对较小；但不能作为车一地信息传输的通道，也无法检测出断轨故障。



图 1-15 计轴器

### 3. 查询应答器定位

基于查询应答器的定位方法也是广泛采用的列车定位方式，它可以在设置查询应答器的相应点给出列车定位信息。作为列车定位系统，查询应答器的维修费用低，使用寿命长，且能在恶劣条件下稳定工作，具有很高的定位精度。它同时还具有很高的可靠度，可以在任何气候、任何地点(包括 GPS 作用不到的地区)可靠地工作；并且还具有维修简便、运行费用较低等一系列优点。缺点是只能给出点式定位信息，存在设置间距和投资规模之间的矛盾。目前一般采用混合定位法，即用其他定位方法测距，以查询应答器纠正累计误差。

### 4. 测速定位

轨道电路、计轴器定位技术的定位精度都比较低，在对列车的位移和运行的速度实施精确控制时是远远不够的。为了提高列车定位的精度，目前在现实中比较广泛地应用了测

速定位作为辅助定位方式。

测速定位是指通过不断测量列车的即时运行速度，对列车的即时速度进行积分(或求和)得到列车的运行距离。由于测速定位获取列车位置的方法是对列车运行速度进行积分或求和，故其误差是累积的，而且测速定位属于相对定位，它无法获取列车的初始位置及绝对位置。为了提高测速定位的精度和系统的稳定性及可靠性，通常采用轮脉冲速度传感器、多普勒雷达速度传感器、加速度计与查询应答器组合使用，进行多传感器信息融合列车测速定位。

### 5. 交叉感应环线定位

由于轨道电路在实现车一地通信时受钢轨、道床条件的限制较大，成为制约列车提速、提高行车密度的“瓶颈”，于是人们在轨间敷设电缆作为车一地通信的信道。通常采用的方法是在两根钢轨之间敷设等距交叉感应环线，一条线固定在轨道中央的道床上，另一条线固定在钢轨的颈部下方，它们每隔一定距离(25 m 或 50 m)做交叉，如图 1-16 所示。当列车经过每个电缆交叉点时，车载设备检测到环线内信号的极性变化，并对极性变化的次数进行计数，从而确定列车行驶过的距离，达到列车定位的目的。

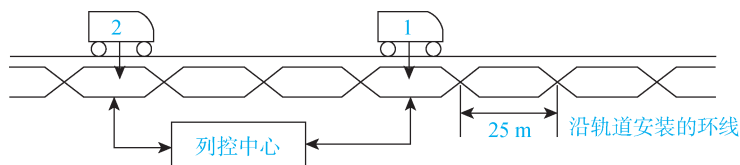


图 1-16 交叉感应环线定位

交叉感应环线定位方式成本较低，也比较容易实现，但只能实现列车的相对定位，每隔一段距离就要对列车的位置进行修正，而且定位精度受交叉区区长度的限制，如果交叉区比较窄，位置脉冲就可能漏计。

### 6. 无线扩频列车定位

无线扩频列车定位的基本原理是在地面沿线设置无线基站，无线基站不断发射带有其位置信息的扩频信号，列车接收到由无线基站发送的扩频信号后，算出列车与信息之间的时钟差，并根据该时钟差求出与无线基站之间的距离，同时接收 3 个以上无线基站的信息就可以得到列车的即时位置。

无线扩频列车定位的特点是抗干扰性强、隐蔽性强，易于实现码分多址和抗多径干扰，定位比较精确，但投资较大。

### 7. IPS 定位

惯性定位系统(Inertial Positioning System, IPS)根据牛顿力学定律，通过测量列车的加速度，将加速度进行一次积分得到列车的运行速度，再进行一次积分即可得到列车的位置(包括经度、纬度和高度)，从而实现对列车的定位。

IPS 定位的显著优点是环境适应性强，它不受天气、电磁场等影响，属于一种高安全性的定位方式。它随时可以采集列车的位置信息(连续采集、连续积分)，在小范围内测量精度也较高，而且该种方法获取的信息种类较多，如列车的方向、位置、速度等。但是这

种方法是一种相对定位方式，必须获得列车的初始位置信息后方可得到列车的即时位置；同时，与其他定位方式一样，也存在误差积累的缺陷，因此通常与其他定位方式结合使用，作为提高定位精度的手段或弥补某些定位方法的缺陷。

### 8. 航位推算系统定位

航位推算(Dead Reckoning, DR)系统由测量航向角的航向传感器和测量距离的位移传感器组成。典型的航位推算系统传感设备能够测量出正在行驶的车辆运行距离、速度和方位，在短时间内这些传感器的精度较高，但如果时间长就需采取措施，以避免累计误差。

### 9. 漏泄波导管定位

在CBTC系统中，采用漏泄波导管实现车一地双向信息通信是目前的一种新型技术方法。在轨道沿线敷设波导管，波导管顶部固定距离有裂缝实现漏泄，通过波导管裂缝通信计数(列车运行距离=波导管裂缝间距×相对起始点开始检测到的裂缝数)，既能传递相关的列车控制信息，又能精确计算列车位置，实现列车定位功能，如图1-17所示。

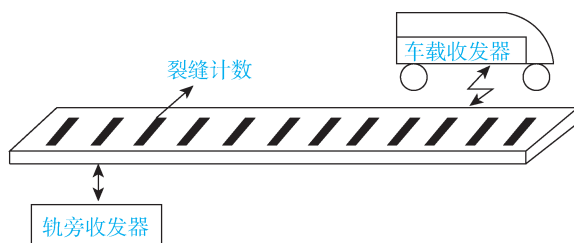


图 1-17 漏泄波导管定位示意图

随着城市轨道交通向高密度、高自动化的方向发展，列车自动控制技术越先进，对列车定位技术的精密度的要求也越高。原有的、单一的定位技术已无法胜任行车安全和指挥系统对它的要求，因此先进的列车控制系统可结合多种列车定位技术来弥补各自固有的缺陷，提高定位的精确度，以适应城市轨道交通的发展趋势。在实际应用中，固定闭塞和准移动闭塞由轨道电路或计轴器等设备作为闭塞分区列车占用的检查，就能粗略地进行列车定位，再配合测速测距就能实现精度较高的列车定位，还可以加上查询应答器进行累积误差校准。而针对目前城市轨道交通发展的主要趋势CBTC系统中的移动闭塞，经过闭塞制式、投资成本、抗干扰性能、定位精度、实时性综合分析，以及其所处环境的特殊性，采用基于测速的列车定位方法，并用查询应答器的定位方法对测速定位进行校正的方案比较理想。同时，为了兼具列车完整性检查功能，最好的方法是列车头、尾部均安装无线通信设备，一旦头、尾的通信中断，则认为列车完整性出现了问题。

## 五、车一地无线通信技术

车一地通信是在ATC信号系统中，实现车载设备与轨旁设备之间数据信息传输的非安全通信子系统。前面介绍的轨道电路、应答器可以作为车一地信息传输的通道，但是轨道电路和应答器由于传输信息量小，无法实现精确实时定位，不能实现移动闭塞。随着无

线局域网(Wireless Local Area Network, WLAN)技术的不断发展,无线通信的可靠性和安全性取得了飞速的发展,各种无线通信技术在城市轨道交通系统中得到广泛应用。

WLAN 是便捷的无线数据传输系统,利用射频(Radio Frequency, RF)技术,取代双绞铜线所构成的局域网络。WLAN 的网络结构有两种。一种是无中心网络,也称为对等网络,如图 1-18 所示,覆盖的服务区称为独立基本服务集(Independent Basic Service Set, IBSS),网络中各个移送终端之间相互通信,结构简单、组网灵活,但是不能与有线网络互联互通。另一种是有中心网络,也称为结构化网络,如图 1-19 所示,覆盖的服务区域称为基础结构的基本业务集(Basic Service Set, BSS),网络中各个移动终端都与接入点(Access Point, AP)通信,通过 AP 可以与其他终端通信,也可以通过 AP 同其他网络通信。AP 在网络中起着中心协调实体的关键作用,提供移动终端在 BSS 内的注册、认证和管理等功能。另外,根据组网要求,AP 还可以包括很多附加特性,如防火墙、网络地址翻译、动态主机配置协议(Dynamic Host Configuration Protocol, DHCP)服务器等。

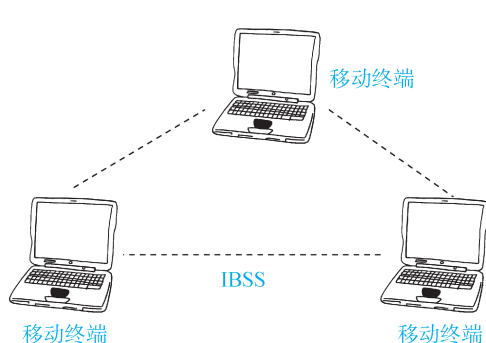


图 1-18 WLAN 无中心网络

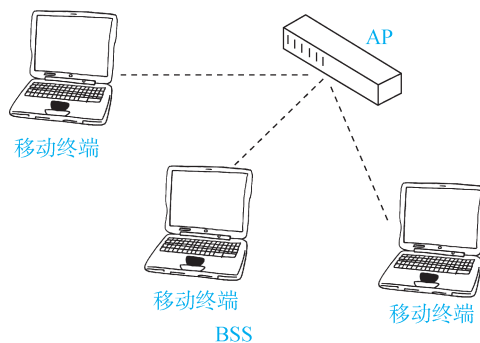


图 1-19 WLAN 有中心网络

典型的 WLAN 组网是由 1 个 AP 和多个移动终端构成的覆盖网络,允许移动终端在 BSS 内移动。随着 WLAN 业务扩大,也可以配置多个 BSS 来提供由骨干网连接的扩展覆盖,又称为分布式系统(Distributed System, DS)。骨干网连接多个 BSS 集合构成的覆盖网络称为扩展的业务集(Extended Service Set, ESS)。DS 可以是任何类型的网络(有线、无线),一般采用由电气和电子工程师协会(Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE)确立的 IEEE802.3 标准的以太网。移动终端可以在 ESS 的覆盖范围内各个 BSS 之间移动,并且能够接收和发送分组数据,称为漫游或越区切换。移动终端不仅可以与 ESS 内的其他移动终端相互通信,也可以和与 DS 相连其他网络中的终端相互通信。典型的扩展业务集 WLAN 的基本结构如图 1-20 所示。



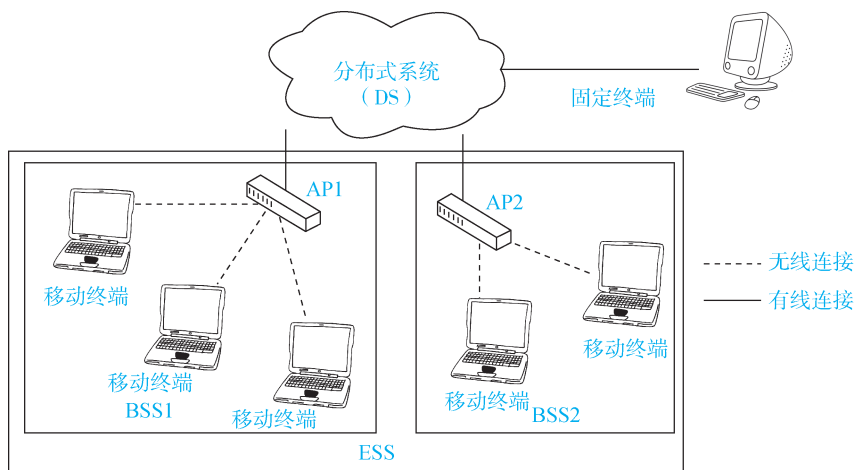


图 1-20 典型的扩展业务集 WLAN 的基本结构

依据 IEEE802.11 标准，传输速率可达 54 Mbit/s，工作在 2.4 GHz 免费 ISM (Industrial Scientific Medical) 频段上可以采用多种与频率相匹配的传输天线，目前在世界城市轨道交通系统中，根据传输媒介不同，可分为三类：无线自由波、漏泄波导、漏泄同轴电缆。

### 1. 基于无线自由波的车—地通信方式

无线自由波是由天线把传输线上传播的导行波，变换成在自由空间中传播的电磁波。城市轨道交通中，常采用定向天线，能够在一个方向或几个特定方向上发射及接收电磁波特别强，而在其他的方向上发射极接收电磁波则为零或极小的一种天线，具有较大的前向增益，能够有效抑制后向信号，适合应用在城市轨道交通的隧道场景中。

基于无线自由波的车—地通信常应用在地下隧道这种相对封闭的环境里，不会受到开阔空间其他类型的电磁干扰的影响。采用 WLAN 技术组网方式，在轨道沿线布置一定间隔的 AP 并带有定向天线作为传输媒介，同时列车两端分别配置定向天线，作为列车车载无线终端设备的传输媒介，这样列车行驶到 AP 的覆盖区域内，完成 WLAN 通信链路的注册、登陆、通信等过程，当从一个 AP 进入另一个 AP 区域时，发生了通信漫游，完成了越区切换的场景。

由于定向天线组网简单灵活、成本较低，所以具有广泛的应用前景。为了保证无线自由波场强覆盖的完整性，避免覆盖“盲区”，保证通信的质量和可靠性，AP 布局配置要经过大量现场测试，一般在隧道内每隔 200 m 左右设置一套，并采用红蓝双网冗余覆盖，保证无线全网覆盖，保证车—地通信链路的丢包、延时、带宽、切换时间的服务质量达标。

### 2. 基于漏泄波导管的车—地通信方式

漏泄波导管(见图 1-21)是一种中空铝制矩形管，顶部等间隔开有窄缝，以使无线载频信息沿波导管裂缝向外均匀辐射；在波导管附近适当位置的无线接收单元，可以接收和发送信号，并通过处理得到有用的数据。相较于定向天线，漏泄波导管传输有性能平稳和抗干扰能力强的优点，在城市轨道交通系统的车—地通信方向的发展前景广阔，常应用于城

市轨道交通中地上开阔区段或高架运营场景中。

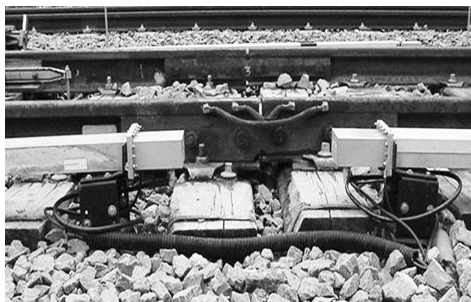


图 1-21 漏泄波导管

基于漏泄波导管的车—地通信是以漏泄波导管为 WLAN 的通信媒介，实现轨旁无线设备和车载无线设备之间的列车状态和控制等信息交换。轨道沿线敷设漏泄波导管，当地面控制中心发射出电磁波沿波导管传输时，在波导管内传输的电磁波从波导管缝隙槽孔辐射到周围空间，在其外部产生漏泄电场，列车从中获取信息能量，从而实现车—地通信。同样，列车车载无线单元发出电磁波，在波导管外部产生漏泄电场，也会耦合到波导管中，实现与控制中心通信。

### 3. 基于漏泄同轴电缆的车—地通信方式

漏泄同轴电缆(见图 1-22)是一种特殊的同轴电缆，它与普通同轴电缆的区别在于其外导体上开有用作辐射的周期性槽孔。漏泄同轴电缆既具有信号传输的作用，又具有天线的作用，通过对外导体的缝隙开口的形状和角度等结构的设计，可均匀发送和接收电磁波能量，实现对电磁场盲区的覆盖，常应用于城市轨道交通中隧道弯道处等易形成覆盖盲区的区段。

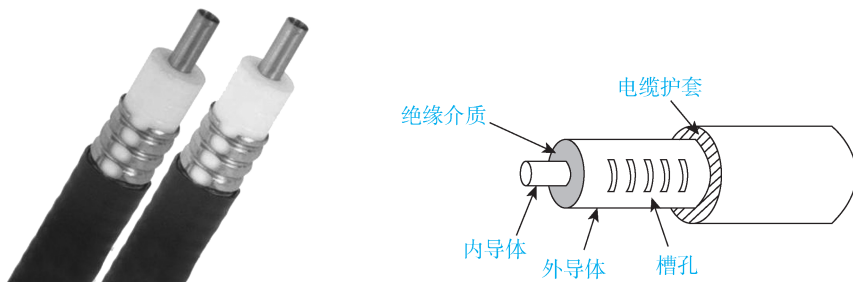


图 1-22 漏泄同轴电缆

基于漏泄同轴电缆的车—地通信是以漏泄同轴电缆为 WLAN 的通信媒介，实现轨旁无线设备和车载无线设备之间的列车状态和控制等信息交换，实现车—地间双向大容量即时通信，从而实现移动闭塞，缩短列车运行间隔，提高运营效率。

从场强分布来看，通过漏泄同轴电缆辐射的信号场强在隧道区间内分布较均匀，并且受环境影响较小，但是由于漏泄同轴电缆在高频段 2.4 GHz 带宽生产工艺要求比较高，并且成本较高，价格昂贵，所以漏泄同轴电缆作为 WLAN 传输媒介并未大范围应用到城市轨道交通系统中。

## 课题三 ATC 系统概述

### 一、ATC 系统的发展

ATC(列车自动控制)系统是将先进的控制技术、通信技术、计算机技术与轨道交通信号技术融为一体的具有行车指挥、控制、管理功能的自动化系统。它是保障轨道交通行车安全、提高运输效率的核心,也是标志一个国家轨道交通技术装备达到现代化水准的重要组成部分。ATC 系统能替代司机的部分甚至全部作用,大大地提高了行车的效率和安全性,使得因人为疏忽、设备故障而产生的事故率降至最低。

列车运行控制技术随电子技术的发展于 20 世纪 60 年代开始出现。苏联于 1958 年首次成功研制了较低级的行车自动化系统,1962 年在莫斯科地铁使用。美国于 1960 年在纽约地铁试运行列车自动驾驶系统。20 世纪 70 年代以来,各国地铁都开始向着综合自动化的方向发展。美国于 1972 年 9 月在旧金山海湾采用城郊快速运输系统,这个系统的控制中心安装了两台计算机(一主一备),能同时指挥和控制 105 列列车执行运行图。1971 年 7 月 23 日英国在维多利亚线上实现行车自动化,开通线路全长 22.4 km。1972 年法国在巴黎地铁东西快线线上实现自动调度,利用列车自动操纵设备实现了自动驾驶,较全面地实现了列车行车指挥和列车运行自动化。我国于 1975 年在北京地铁线路开始使用自己研制的行车自动化系统,1976 年开始使用国产电子计算机,初步实现了轨道交通行车指挥自动化。

城市轨道交通行车自动化的功能包括低级阶段功能和高级阶段功能。低级阶段的基本功能是由自动闭塞、自动停车、车站联锁和调度集中控制来完成的,高级阶段的基本功能则叠加了行车指挥自动化和列车运行自动化中的 ATO 系统以及若干自动检测设备。为了保证行车安全,在行车自动化系统中还配置列车无线调度电话,使行车调度员和司机之间可以随时进行通话。

由于城市轨道交通大多运送的是乘客,所以对列车运行控制系统的安全性、可靠性要求较高。列车运行控制系统最基本的组成是人工控制信号设备,叠加自动控制信号设备,再叠加行车的全自动控制系系统。这样在高级系统失灵时,低级系统仍能完成运转。此外,在自动化控制系统中都要相应增加的安全可靠措施,如在应用计算机时尽可能增加多机冗余系统。

### 二、ATC 系统的组成

ATC 系统包括列车自动防护(Automatic Train Protection, ATP)系统、列车自动驾驶(Automatic Train Operation, ATO)系统和列车自动监控(Automatic Train

Supervision, ATS)系统 3 个子系统, 它是一套完整的管理、控制、监督系统。3 个子系统既相对独立又相互联系, 实现地面控制与车上控制相结合、就地控制与中央控制相结合, 构成了一个以安全设备为基础, 集行车指挥、运行调整及列车运行自动化等功能于一体的自动控制系统。

ATC 系统的设备分布于控制中心、车站、轨旁及列车。ATC 系统的结构如图 1-23 所示。

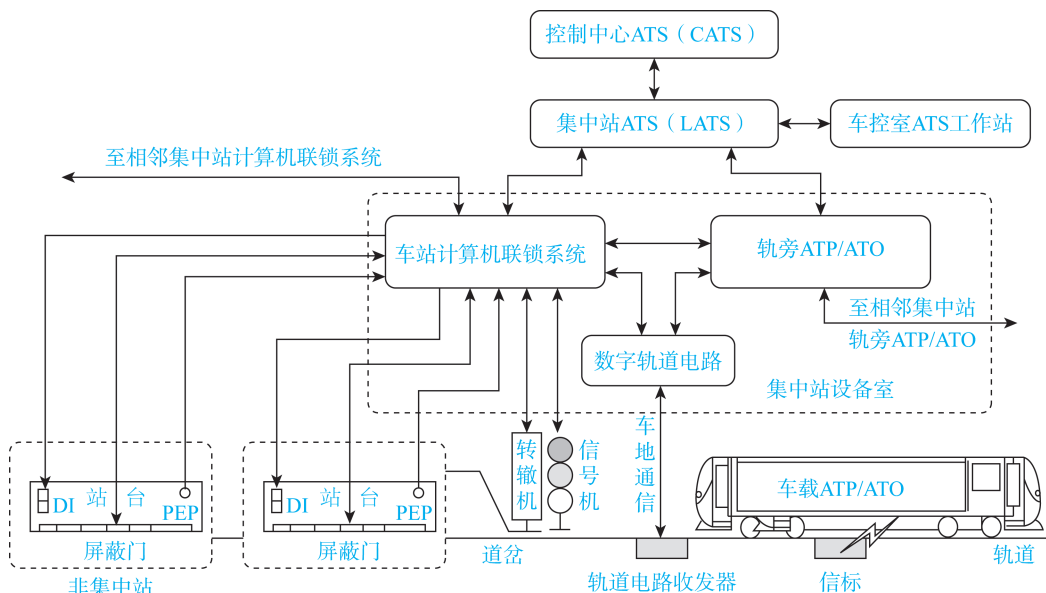


图 1-23 ATC 系统的结构

控制中心 ATS 指挥列车运行, 实现控制中心与全线车站设备室之间的实时数据信息交换, 调度员通过调度员工作站下达行车控制命令。现场的列车在线信息、车次号信息以及道岔、信号机的状态信息等, 均由大屏幕显示及调度员工作站的 CRT 显示。

联锁集中站设备室接收调度员的控制指令, 通过联锁装置, 排列进路、开放信号, 并将列车在线信息、信号设备的状态信息等传送给控制中心。通过 ATP 系统的轨旁设备, 发送列车检测信息, 以检查轨道区段内有无列车占用并向列车发送限速命令或允许运行的目标距离信息、门控命令、对位停车指令等。

车载 ATP/ATO 设备, 接收地面送来的调度指令和 ATP 速度命令或距离信息, 完成速度自动调整和车站程序对位停车, 实现列车的自动运行; 并将列车的运行状态和设备状态信息传送给控制中心。

### 三、ATC 系统的功能

ATC 系统包括五个原理功能: ATS 功能、联锁功能、列车检测功能、ATC 功能和列车识别功能。

#### 1. ATS 功能

可自动或人工控制进路, 进行行车调度指挥, 并向行车调度员和外部系统提供信息。

ATS 功能主要由位于控制中心内的设备实现。

### 2. 联锁功能

响应来自 ATS 功能的命令，在随时满足安全准则的前提下，管理进路、道岔和控制信号机，将进路、轨道电路、道岔和信号机的状态信息提供给 ATC 功能。联锁功能由分布在轨旁的设备实现。

### 3. 列车检测功能

列车检测功能一般由轨道电路或相应的计轴设备完成。

### 4. ATC 功能

在联锁功能的约束下，根据 ATS 的要求实现对列车运行的控制。ATC 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 ATC 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，并且给信号系统和列车司机提供接口。

### 5. 列车识别功能

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和列车位置数据，优化列车运行。

## 四、ATC 系统的特点

- ①将先进的控制技术、通信技术、计算机技术与轨道交通信号技术融为一体。
- ②能够对线路的空闲/占用情况进行检测。
- ③车载信号属于主体信号，可以直接给司机指示列车应遵循的安全运行速度。
- ④对运行中的列车进行测速、定位。
- ⑤ATC 系统是一种行车安全控制设备，自动监控列车运行速度，有效地防止由于司机失去警惕或错误操作酿成超速运行、列车颠覆、冒进信号或列车追尾等事故。
- ⑥为满足行车安全控制需要，给司机指示安全可靠的速度指令，它通过安全可靠的、大容量的车地之间信息传输系统传输安全控制信息。

## 五、ATC 系统的分类

城市轨道交通 ATC 系统按闭塞制式可以分为固定闭塞式 ATC 系统、准移动闭塞式 ATC 系统和移动闭塞式 ATC 系统；按照通信方式可以分为点式 ATC 系统和连续式 ATC 系统。

### 1. 点式 ATC 系统

点式 ATC 系统因其主要功能是防护列车超速，所以又称为点式 ATP 系统。它利用点式设备传递信息，利用车载计算机进行信息处理。该系统的优点是设备简单，安装灵活，维护方便，可靠性高，价格明显低于连续式 ATC 系统。缺点是自动化程度不高，不利于

列车的平稳驾驶，行车间隔较大，难以胜任列车密度大的情况。例如，后续列车驶过地面应答器时，因前方区段有车占用，所以需要对其进行速度控制，但是前方列车驶离之后，后续列车得不到新的信息，仍需要执行限速控制，直到前方列车抵达下一个地面应答器，这种限速才能解除，会造成行车间隔增大。

#### (1) 点式 ATC 系统的基本结构

点式 ATC 系统主要由地面应答器、轨旁电子单元(Lineside Electronic Unit, LEU)及车载设备 3 部分组成。如图 1-24 所示为点式 ATC 系统的基本结构。

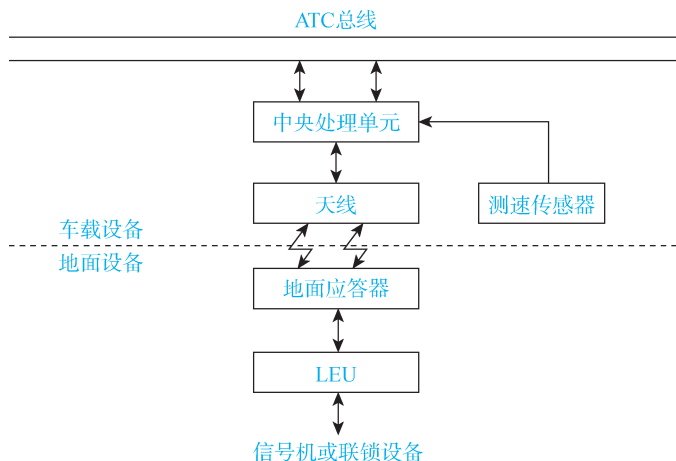


图 1-24 点式 ATC 系统的基本结构

①地面应答器。地面应答器通常设置在信号机旁或者设置在一段需要降速的缓行区间的始、终端。它接收车载设备发射的能量，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，因此需要通过接口电路与信号机相连。地面应答器内所存储的部分数据受信号显示的控制。此接口电路即轨旁电子单元(LEU)。置于线路上的地面应答器有时不需与任何设备相连，所存放的数据往往是固定的。

②轨旁电子单元。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 是一块电子印刷版，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、中央处理单元以及驾驶台上的显示、操作与记录装置等部分组成，如图 1-25 所示。

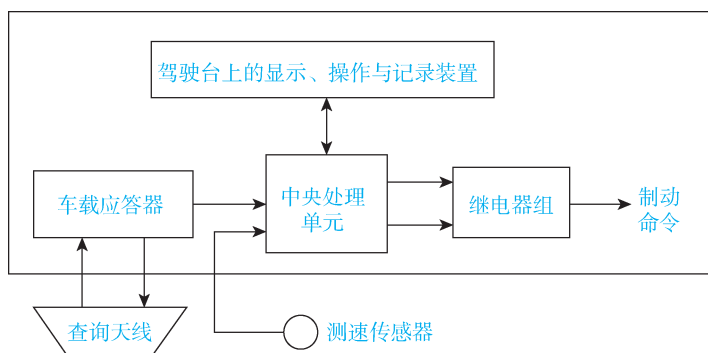


图 1-25 点式 ATC 系统车载设备组成

a. 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：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：核心是安全型计算机，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命令。从车载应答器传向地面应答器的高频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。对于非正常的情况，如超速报警、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，以及接收列车速度和制动信息，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。

如图 1-26 所示，车载中央控制单元根据地面应答器传至车上的信息以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。

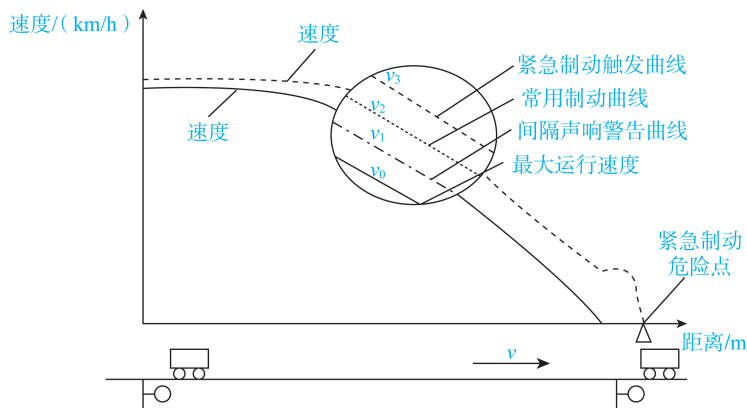


图 1-26 点式 ATC 系统的速度监控曲线

图中：

$v_0$ ——所允许的最高列车速度；

$v_1$ ——当列车车速达到此值时，车载中央处理单元给出声响报警，如果此时司机降速，使车速低于  $v_0$ ，则警报自动取消；

$v_2$ ——当列车车速达到此值时，车载中央处理单元给出启动常用制动(通常为启动最大常用制动  $v_0$ )的命令，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，列车需由司机经过一定的手续后重新人工启动；

$v_3$ ——当列车车速达到此值时，车载中央处理单元给出启动紧急制动的命令，确保列车在危险点的前方停住。

## 2. 连续式 ATC 系统

按地—车信息所用的传输媒体分类，连续式 ATC 系统可分为有线和无线两大类，有线连续式 ATC 系统又可分为利用数字音频轨道电路和利用轨间电缆两类。

### (1) 利用数字音频轨道电路的连续式 ATC 系统

该 ATC 系统分为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，其轨道电路都被用作双重通道：当轨道电路区段无车占用时，轨道电路发送的是轨道电路检测信号或检测码；当列车驶入轨道区段时，立即转发速度信号或有关数据电码。

①速度码系统。速度码系统通常使用频分制方法，采用的是移频轨道电路，即用不同的频率来代表不同的允许速度，由控制中心通过信息传输媒体将列车最大允许速度直接传至车上。这类制式在信息传递与车上信息处理方面比较简单。

但是，速度码系统从地面传递给列车的允许速度(速度值)是阶梯分级的，在轨道电路区段分界处限速值是阶梯式的(见图 1-27)，对平稳驾驶、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。

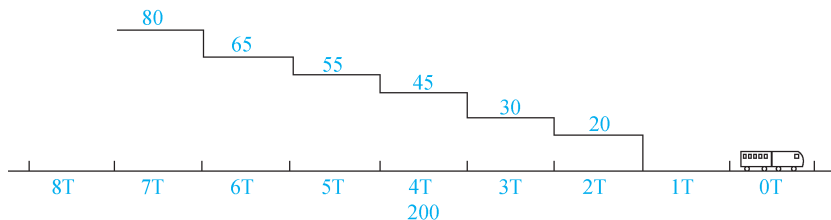


图 1-27 阶梯式限速曲线

②距离码系统。距离码系统由于采用的信息电码存在多样性和复杂性，所以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，是目前使用较广泛的 ATC 系统，我国大多数城市轨道交通的 ATC 系统就是采用这种系统。

距离码系统从地面传至车上的信息是前方目标点距离等一系列基本数据，车载计算机根据地面传至列车的各种信息(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)以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际运行速度进行监控。

由于数据传输、实时计算以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。但是这种制式的信息传输是比较复杂的。

不论是速度码系统还是距离码系统, 数字音频轨道电路都是将前方目标距离的数据从地面传至车上, 车载设备处理获取的信息, 实时计算允许速度曲线, 并按此曲线控制。

随着城市轨道交通的发展, 基于轨道电路的列车控制方式的各种弊端也逐渐显现出来。这种列车控制方式, 以钢轨作为信息传输的通道, 传输频率受到很大限制, 导致车一地的通信容量很小, 同时信息的传输受到牵引回流的影响, 传输性能不够稳定; 又因为这种制式所实现的主要是准移动闭塞, 距离移动闭塞还有一定差距, 所以列车间隔的进一步缩短和列车速度的提高受到很大的限制。

#### (2) 利用轨间电缆的连续式 ATC 系统

利用轨间电缆的连续式 ATC 系统的主要设备有控制中心设备、轨旁设备和车载设备, 如图 1-28 所示。

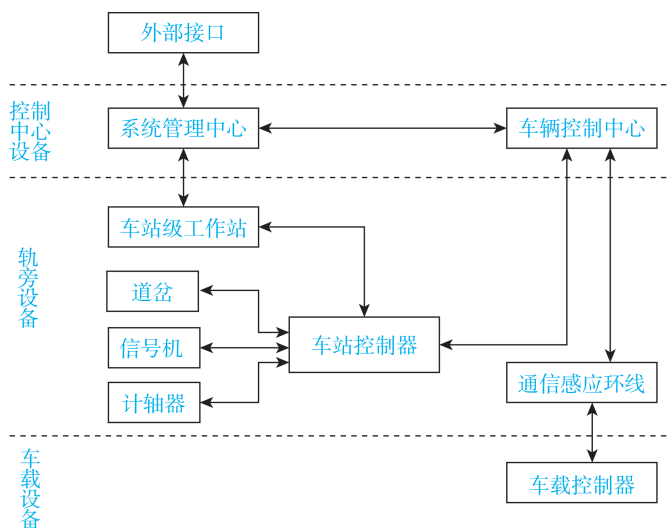


图 1-28 利用轨间电缆的连续式 ATC 系统的组成

利用轨间电缆的连续式 ATC 系统利用轨间敷设的电缆传输信息。轨间电缆是车一地通信的唯一通道, 为了抗牵引电流干扰的同时完成列车定位功能, 轨间电缆每隔一段距离(如 25 m 或 50 m)做一次交叉。利用轨间电缆的交叉配置可以实现列车的定位, 每当列车驶过电缆的交叉点, 通过检测信号极性的变化及计数来确定列车的实际位置, 如图 1-29 所示。

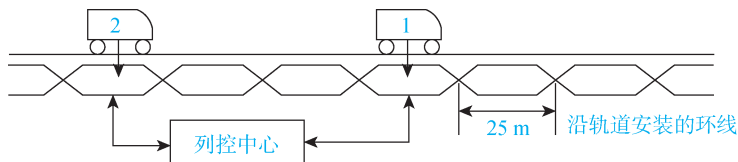


图 1-29 利用轨间电缆的列车运行和定位

控制中心储存了线路的固定数据(如线路坡度、曲线半径、道岔位置、环形区段的位置与长度等)。联锁系统将线路的信号显示、道岔位置等信息传递给控制中心,列车也将其列车速度、列车长度、载质量等通过电缆传给控制中心,控制中心计算机根据这些数据计算出列车此时的允许速度,再经电缆传给线路上行驶的对应列车,对列车实现控制。这种方法可以由控制中心统一指挥所有运行列车,但是如果控制中心出现故障,将会导致全线瘫痪。另一种方法是控制中心和联锁系统将线路、目标速度等信息通过电缆传输给列车,由车载计算机计算其允许速度,从而对列车实现控制。

利用轨间电缆的连续式 ATC 系统的信息传输使用的金属电缆线价格昂贵,且电缆易故障,不利于线路养护,维修费用也很高,所以目前大多数城市轨道交通运营企业采用无线式 ATC 系统。

### (3)无线式 ATC 系统

无线式 ATC 系统利用无线通信的方式传输列车信息。地面编码器生成编码信息,将列车的限制速度、坡度、距离等有关数据通过天线发送到列车上,由车载处理单元对信息进行处理,计算出列车目标速度,对列车进行控制。

用无线通道实现车一地数据传输的 ATC 系统才是真正意义上的移动闭塞。无线通信采用波导管、漏泄电缆和无线空间天线 3 种方式。

## 六、ATC 系统的选用原则

ATC 系统中的列车自动防护(ATP)系统、列车自动驾驶(ATO)系统和列车自动监控(ATS)系统 3 个子系统并不是必须同时存在的。

ATO 系统对节能、规范运行秩序、实现运行调整、提高运行效率等方面具有重要的作用,不同的信号系统设或不设 ATO 系统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。

对于城市轨道交通,行车间隔的设置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。

在城市轨道交通的规划建设阶段,选用合适的 ATC 系统主要需要按照以下原则。

- ①对规划线路的客流进行充分预测,以运能要求为依据选择 ATC 系统。
- ②在满足性价比的基础上选用技术较先进的主流 ATC 产品。
- ③充分考虑今后该系统功能的拓展性和与其他线路的互联互通性。

基于以上原则,通常对发展迅速、经济实力雄厚、交通需求大、客流量大、人口密集的城市或地区,可选用先进的无线移动闭塞方式的 ATC 系统,这样既可以极大地提高运输效率,缩短行车间隔,又便于与城市轨道交通线网中的其他线路互联互通,节能降耗,构建安全绿色的城市轨道交通网络。

对于我国发展较快、有一定经济实力、人口数量较多的大多数城市,可考虑选用准移动闭塞方式的 ATC 系统。该系统能实现较大的通过能力,对于客运量变化具有较强的适

应性，同时具有高效、节能等优势，并且控制模式与列车运行特性较接近，能较好地适应不同类型列车的技术状态。综合考虑，其技术水平较高，具有较大的发展前景。

点式 ATC 系统技术水平相对较低，但仍然可以满足最小行车间隔为 2 min 左右通过能力的要求，且其价格相对低廉，因此对于一些经济欠发达地区或行车效率要求不太高的城市轨道交通线路更为适用。

## 七、ATC 系统的控制模式

ATC 系统应包括下列控制模式：控制中心自动控制模式(CA)、控制中心自动控制时的人工介入控制或利用 CTC 系统的人工控制模式(CM)、车站自动控制模式、车站人工控制模式。

每种模式说明了操作对给定车站和归属控制地段中的列车运行所采取的控制等级，一个系统在同一时间只能处于一种模式。各控制等级应遵循的原则是车站人工控制优先于控制中心人工控制，控制中心人工控制优先于控制中心的自动控制或车站自动控制。

### 1. 控制中心自动控制模式

在控制中心自动控制模式下，列车进路命令由 ATS 进路自动设定系统发出，其信息来源是时刻表及列车运行自动调整系统。控制中心调度员可以对列车运行自动调整系统进行人工干预，使列车按调度员的意图运行。

### 2. 控制中心自动控制时的人工介入控制或利用 CTC 系统的人工控制模式

在控制中心自动控制时，控制中心调度员也可关闭某个联锁区或某个联锁区内部分信号机或某一指定列车的自动进路设定，直接在控制中心的工作站上对列车进路进行控制。在关闭联锁区自动进路设定时，控制中心调度员可发出命令，利用联锁设备自动进路控制功能，随着前行列车的运行，自动排列一条后续列车的固定进路。在自动进路功能出现故障的情况下，调度员可以人工设置进路。

在 CM 模式中，车站的人工控制转到 ATS 系统。一旦车站工作于该模式，则由 ATS 系统启动控制而不由车站控制计算机启动控制。然而，车站控制计算机继续接收表示，更新显示和采集数据。

### 3. 车站自动控制模式

在控制中心设备故障或通信线路故障时，控制中心将无法对联锁车站的远程控制终端进行控制，此时将自动进入列车自动监控后备模式，由列车上的车次号发送系统发出的带列车去向的车次信息，通过远程控制终端自动产生进路命令，由联锁设备的自动功能来自动设定进路，即随着列车运行自动排列一条固定进路。

### 4. 车站人工控制模式

当 ATS 因故不能设置进路(不论采用人工方式还是自动进路方式)，或由于某种运营上的需要而不能由中心控制时，可改为现地操纵模式，在现地操纵台上人工排列进路。

车站自动控制和车站人工控制也可合称为车站控制(Local Control, LC)。当车站工作于 LC 模式时，不能由 ATS 系统启动控制。然而，ATS 系统将收到表示，更新显示

和采集数据。对车站控制计算机而言，这是唯一可用的控制模式。

### 5. 控制模式间的转换

#### (1) 转换至车站操作

只有当控制中心 ATS 已经发出相应的命令时，才能转换到车站操作模式。因此，所有转换只能由车站操作员操作才能有效实施。

当处于转换模式时，不用考虑特别检查联锁条件，自动运行功能不受影响。

即使转换至车站操作，联锁显示还应该传输至控制中心 ATS，仅由车站操作站的打印机执行对显示和命令的记录。

#### (2) 强制转换至车站操作

在没有收到控制中心 ATS 发出的命令时，也可以转换至车站操作。通过一个已经登记的转换操作可以转换至车站操作，并且联锁系统的所有转换操作仅能由车站操作员来执行。

#### (3) 转换至控制中心 ATS 操作

只有当车站操作已经发出释放的命令时，才能转换到控制中心 ATS 操作，然后控制中心 ATS 确认它。因此，所有转换只有由控制中心操作员操作才能有效实施。在这种情况下，只有正常的转换操作才能被接受。随着转换至控制中心 ATS 操作，控制中心 ATS 可以执行所有运行的操作。但是只有车站操作才能有效实施以下转换操作：当车站操作故障时，在没有车站操作的释放命令的情况下，也可以转换至控制中心 ATS 操作。



## 拓展阅读

### 信号系统的国产化之路

1999 年 2 月，国务院发布《关于城市轨道交通设备国产化的实施意见》(国办发[1999]20 号)，标志着我国城市轨道交通步入国产化阶段。随后国家先后发布了一系列城市轨道交通设备国产化的政策文件，明确规定：所有地铁建设必须保证国产化率达到 70%。国家鼓励采取自主开发、联合研制、消化吸收引进技术、系统集成等多种方式实施国产化。其中，信号系统的国产化是重点工作之一。

2010 年 12 月底，交控科技股份有限公司自主研发的基于通信的列车控制系统(CBTC 系统)在北京亦庄线投入使用，打破了国外厂商对信号系统技术的垄断。2015 年 12 月，中国铁路通信信号股份有限公司完成了北京地铁 8 号线全线点式 ATC 系统向 CBTC 系统的全功能升级。北京市华铁信息技术开发总公司自主研发的 CBTC 系统应用于广州地铁 7 号线，该线于 2016 年 12 月开通，是我国首条全国产化信号系统线路。2017 年 7 月，浙江众合科技股份有限公司自主研发的 BiTRACON 型 CBTC 系统在杭州地铁 4 号线开始试运营。2017 年底，卡斯柯信号有限公司自主研发的无人驾驶 GoA3 等级的 TRANAVI 型 CBTC 系统在上海地铁 17 号线全功能开通。我国成功走上了一条赶超世界先进列车运行控制技术的自主化发展道路。

随着城市轨道交通行业的快速发展，自动化和智能化需求不断提高，全自动运行



(FAO)系统成为城市轨道交通信号技术的发展方向。2017年底,我国首条具有自主知识产权的全自动运行线路——北京地铁燕房线正式开通运营。燕房线FAO系统达到城市轨道交通领域的最高自动化等级,填补了国内技术的空白,被列为“国家发改委增强制造业三年行动计划(2015—2017)”的重大成果。2019年3月19日,国家发改委组织召开了北京地铁燕房线示范工程现场会。燕房线示范工程取得的重要成果是推动我国城市轨道交通装备自主创新迈出的重要一步。燕房线的各项指标说明,自主化全自动运行系统在总体技术性能上与国外同类产品处于同一水平,部分关键指标优于国外同类产品。燕房线的示范成功为我国城市轨道交通全自动运行技术装备的发展和应用奠定了良好基础。

2018年底,具有自主知识产权互联互通信号系统的国家发改委重大示范工程“重庆市轨道交通环线东北段”正式开通运营,这是我国城市轨道交通信号系统互联互通的首次应用,解决了城市轨道交通领域世界级难题,形成了中国标准的CBTC互联互通产业链。同时,在中国城市轨道交通协会的带领下,我国完成了信号系统互联互通标准的制定工作,共完成LTE-M的5个系列、19个规范以及信号系统的系统、接口、测试和工程4个规范。



### 项目小结

本项目介绍了列车运行控制系统的发展历程和城市轨道交通列车运行控制系统,还分析了列车运行控制系统的闭塞方式、速度控制模式、测速技术、定位技术及车—地无线通信技术,重点讲解了ATC系统的发展、组成、功能、特点、分类、选用原则及控制模式。要求通过本项目的学习,初步认识ATC系统,并能根据不同城市的发展情况选用合适的城市轨道交通ATC系统。



### 思考与练习

1. 什么是列车运行控制系统?
2. 简述列车运行控制系统的发展过程。
3. 城市轨道交通ATC系统有哪些闭塞方式?分别是怎样实现闭塞的?
4. 列车运行速度控制模式有哪几种?采用速度—目标距离模式有哪些优势?
5. 城市轨道交通中通常采用哪几种测速方式?简述每种方式的测速过程。
6. 城市轨道交通中常用的列车定位方式有哪几种?各有什么优缺点?
7. 列车运行控制系统有哪些车—地通信方式?不同的方式各有什么特点?
8. ATC系统包含哪些子系统?
9. ATC系统的设备主要分布在哪些地方?各设备之间是怎样协同工作的?
10. 在城市轨道交通的规划建设阶段,选用合适的ATC系统主要应按照哪些原则?根据所在城市的规模和交通需求,你认为应该怎样配置ATC系统?
11. ATC系统有哪几级控制模式?其优先级如何?简述各级控制模式的控制过程。

## 地铁“中枢神经”守护者——孙树旗

当最后一班地铁停运，隧道里的电源关闭，许多人即将进入梦乡的时候，孙树旗的工作才刚刚开始。

孙树旗是天津轨道交通集团地铁运营公司的一名信号工区长。每天晚上11点，孙树旗进行上工前的准备，作业点在常人无法进入的隧道里，那里不通风、湿度大，关键是各处密布着高压电缆。因此，穿戴安全服、绝缘鞋是必不可少的。孙树旗每天的作业要持续到凌晨4点30分，结束后他才可以搭首班地铁回家，而这样的工作他已经坚持了两个春夏秋冬。

两年来，孙树旗一直承担着天津地铁1号线信号系统改造任务。下到地铁隧道里五六米深的电缆沟槽，上到利用吊车完成高架信号设备维护，“上天入地”已经成为孙树旗习以为常的事情。

## 三十三载“守护”地铁信号系统

地铁信号系统就像是人类大脑的中枢神经系统，关系到整个地铁的运营。其系统庞大，涉及调度指挥、运营管理、安全防护、自动驾驶等诸多专业门类，而孙树旗的工作便是对地铁信号系统进行日常维护和故障抢修。

孙树旗18岁中专毕业后就进入天津地铁工作，如今52岁的他已经扎根信号设备维护领域33个年头。

所有的故障抢险中，道岔故障因影响面较大、抢修时间有限，特别具有挑战性。“道岔是列车变换线路和折返运行的关键设备，如果长时间故障，会严重影响整条线路正常运营。”孙树旗说。

虽然故障不是时时发生，但经历一次绝对令人惊心动魄。2018年初，某天凌晨3点的时候，正在倒休的孙树旗接到紧急电话，海光寺地铁站出现道岔故障，但具体是什么故障情况不明。赶到现场时，地铁已经开始运营，为了保证不影响正常客运，孙树旗带着两个徒弟在不断电的情况下进入隧道作业。

“两个徒弟跟着我，成功与否、决策是否正确都要承担，但是更要有自信。”到达故障点需要经过交叉密布的铁轨，铁轨下都有高压，因此下去作业前对行走路线和来车时如何规避都要熟记于心。孙树旗说，当道岔出现移位、松动时，通过机械设备转换成电子信号便会发出警报，抢险前他会先对故障做出预判，进入作业区再着力检查抢修。“自信还是来源于你的专业知识、基础储备。”最终经过排查，孙树旗通过临时锁闭道岔的方法化解了此次危机，待一天运营结束后，他还要返回故障点进行细致的抢修工作。

多年的故障抢险经验让孙树旗赢得了同事和领导的信任，每遇重大、疑难和涉及面广的事故时，在现场总能看到他的身影。

从实践中总结抢险技巧 地铁老员工经验不老

每次抢险结束后，对于故障性质、如何抢修以及处理故障的不足之处，孙树旗都要进行总结。他说：“维修工不光是出大汗，新时代的工人还要会总结、能创新。”

为了解决道岔难题，孙树旗梳理大量故障案例，深入研究设备图纸和原理，总结提炼出“道岔控制故障快速修复”六步操作法。此项创新工作法改变了传统故障查找模式，利用研发出的“道岔故障模型诊断卡”，仅需6个步骤就能迅速找到并修复故障点，解决了道岔故障诊断困难，使故障处理时间平均节省50%以上，大幅度减轻了由于设备故障给地铁安全运营带来的影响。目前，此操作法已经应用于天津地铁1号线3个设备联锁区域、8个设备集中站、42组道岔所有控制设备。

“孙师傅是一个智慧、认真、乐观和会反省的人。”天津地铁通号中心维修工冉昭辉评价道。冉昭辉3年前进入地铁工作，也曾受到过孙树旗的指导。“对于在维修中发现的问题，解决不了的，孙师傅都会列出问题清单给我们总结，这样下次遇到同样问题的时候，我们就能迎刃而解了。”

空降40个徒弟 “师傅”一人一策传本领

1984年，孙树旗进入天津地铁工作，从跟着师傅看电路图、掌握机械原理，到如今30多年过去了，孙树旗也已带出了一茬又一茬徒弟。

2006年，新的地铁1号线即将开通运营，新进来的信号维护人员大都是刚毕业的学生，技术水平和动手能力亟待提高。“一下子来了40个徒弟，由我负责组织培训、考核、演练并组建工区。”孙树旗说，压力大，但为了帮助新员工快速成长成才，首先他自己提前做好功课，然后组织班组成员结合实际设备开展理论培训和实操演练，针对个别接受较慢的学员，他一个个讲解，一个个进行考核。“我的方法是讲授完毕，再让学员们依次谈心得，巩固记忆。”

此外，孙树旗还主持编写了《信号系统技术需求书》《折返站道岔故障处理规程》等12项关键作业指导书和故障查找手册共逾23万字，以及《信号专业职工职级评定初、中、高三级题库》共1500多道试题、30多项实操科目和3套培训教材。作为一名地铁老员工，孙树旗见证了地铁的发展历程，也帮助了许多优秀青年走上管理或领导岗位。曾接受过他指导的学员都已分散在天津地铁不同的线路上，其中有6个徒弟还当上了工区长。现在，孙树旗每年固定开展的培训和演练达到24项，覆盖350人次，他将自己在工作中获得的知识 and 经验毫无保留地传授给了身边的年轻员工。

付出总有回报，孙树旗和团队研发的地铁1号线信号UPS电源故障报警装置曾荣获城投集团职工优秀技术创新成果，其本人也先后获得“津门工匠”、全国轨道交通行业维修能手、天津市第六届科技传播之星等称号，多次被评为天津城投集团先进生产者、天津轨道交通集团先进生产者。

“我理解的工匠精神，首先要树立爱岗敬业的价值观，干一行爱一行；有职业担当，能够承担起工作职责；持之以恒，耐得住寂寞，抵得住诱惑。其次要有创新创业精神，学会利用先进的技术来完善规程和标准，不断地挑战自我。”孙树旗如是说。