

高等职业教育优质校建设轨道交通通信信号技术专业群系列教材

# 城轨列车运行自动控制

主 编 韦成杰 李珊珊  
副主编 阎一文 王秀玄  
主 审 穆中华

西南交通大学出版社

· 成 都 ·



# 前 言

本书针对企业岗位任务来设置具体内容，根据岗位能力需求设定学习目标。按工作任务确定教学单元，按现场工作任务进行教学设计。课程内容主要讲授城市轨道交通列车运行控制系统的原理、设备组成和设备维护内容及方法。全书分为概述、ATS 列车运行自动监控系统、车站及轨旁设备、车载设备四个项目，关注学生的认知和能力结构，任务驱动、项目导向。

本课程教学中突出教学做一体化，结合实验设备和多媒体教学资源，素质、知识与能力“三位一体”课程教学目标，统筹安排课程教学内容、组织实施和教学评价。整个教学过程应以学生为主，教师负责原理和实做方法的讲授，并对学生的学习和操作练习进行及时指导和考核，共同讨论解决学习和实操过程中遇到的问题，并进行总结和分析，达到理论指导实践，实践验证和深化理论学习的目的。

本书配有相关的教学课件和立体化的教学资源，不仅可用于学校教学工作，也适用于企业职工的培训 and 自我提升。本书还同步配备相关的测试习题库，可用于理论知识的考核。

本书由郑州铁路职业技术学院韦成杰、李珊珊担任主编，负责课程的整体设计和全书统稿，由中国铁路北京局集团有限公司北京电务段阎一文、郑州铁路职业技术学院王秀玄担任副主编，郑州铁路职业技术学院穆中华担任主审。具体编写分工如下：韦成杰编写了项目二的任务一到任务三和任务五，李珊珊编写了项目四的任务一到任务三，王秀玄编写了项目二的任务四和项目三的任务二到任务四，阎一文编写了项目一的任务一，河南辉煌科技股份有限公司李福建编写项目三的任务一和项目四的任务四，确山县政府电子政务中心任向锋编写了项目一的任务二和任务三。

本书在编写的过程中，参考了大量专家和学者的研究成果，参考了郑州地铁 1 号线、2 号线、5 号线，成都地铁等信号设备的资料，河南辉煌科技股份有限公司李福建项目经理，中国铁道科学研究院集团有限公司管伟军、郑州电务段闫晓莉科长等行业技术骨干提供了重要技术支持，为内容设置提供了现场岗位需求上的宝贵建议，在此表示最诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏和不足之处，请读者批评指正。

编 者

2021 年 5 月





# 目 录

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 项目一 城轨列车运行控制系统基本认知 .....        | 1   |
| 任务一 城轨列车运行控制系统的发展历程 .....       | 1   |
| 任务二 城轨列车运行控制系统的关键设备及技术方法 .....  | 9   |
| 任务三 城轨列车自动控制系统的基本认知 .....       | 25  |
| 项目二 ATS 设备认知 .....              | 40  |
| 任务一 安萨尔多 ATS 中心设备认知 .....       | 44  |
| 任务二 安萨尔多 ATS 车站设备认知 .....       | 65  |
| 任务三 ATS 控制中心设备的接口描述 .....       | 74  |
| 任务四 Urbalis888 ATS 中心设备认知 ..... | 84  |
| 任务五 Urbalis888 ATS 车站设备认知 ..... | 99  |
| 项目三 轨旁设备认知 .....                | 105 |
| 任务一 ZC 区域控制器设备认知 .....          | 107 |
| 任务二 数据存储单元设备认知 .....            | 126 |
| 任务三 信标设备认知 .....                | 139 |
| 任务四 DCS 设备认知 .....              | 144 |
| 项目四 车载设备认知 .....                | 158 |
| 任务一 TOD 设备认识 .....              | 160 |
| 任务二 车载外围设备维护 .....              | 176 |
| 任务三 车载控制器 .....                 | 186 |
| 任务四 知识拓展 .....                  | 201 |

附 录 城市轨道交通列控系统相关英文缩写对照表 .....208

参考文献 .....209

# 项目一 城轨列车运行控制系统基本认知

## 任务一 城轨列车运行控制系统的发展历程

### 一、城市轨道交通的出现

在人类文明发展进程中，城市数量不断增多，城市规模和人口急剧增加，出现了大量人口由分散的农村向城市集中的社会现象，即“城市化”。为了方便人们的出行，实现货物大量交换，降低生产、生活的成本等历史原因，城市交通工具出现了，城市轨道交通系统也应运而生。

#### 1. 城市轨道交通出现的原因

城市交通是城市形成与发展的必然产物，是为城市服务的最重要的基础设施，是城市经济发展的纽带和命脉。但是由于道路交通需求的过分增长，不断暴露出大量问题：

（1）交通拥堵。交通拥堵已经成为城市交通的头号问题，不仅增加了市民出行时间、精力、财力等的消耗，而且使交通事故频繁发生。如图 1-1-1 所示为某城市交通拥堵现象。



图 1-1-1 某城市交通拥堵现象

- （2）环保问题。
- （3）土地消耗。
- （4）全球变暖。
- （5）能源消耗。
- （6）城市分散化。

以上出现的城市交通问题，让我们重新认识城市交通发展的规律，探索城市交通的可持续发展，这成为世界所有城市关注的焦点。经济发达国家城市的交通发展历史告诉我们，只有采用大运量的城市轨道交通系统，才能从根本上改善城市公共交通的“恶疾”。

伦敦是地铁的诞生地。英国律师皮尔逊（Charles Pearson）投资建设的地下城市铁路（Metropolitan Railway）于1863年1月10日正式通车运营。这条地铁全长6.5 km，采用蒸汽机车（见图1-1-2）。皮尔逊被誉为“地铁之父”，“Metro”也成为世界大多数国家城市轨道交通的标志和代号。

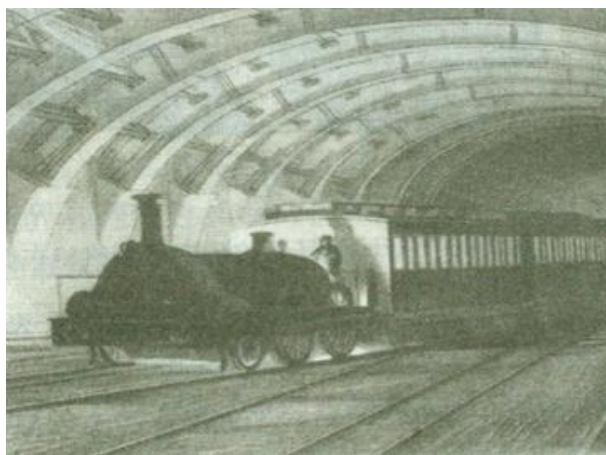


图 1-1-2 世界第一条地铁——伦敦地铁

1863—1899年，英国伦敦和格拉斯哥、美国纽约和波士顿、匈牙利布达佩斯、奥地利维也纳及法国巴黎共5个国家7座城市率先建成地铁。截止到2005年，欧洲、美洲、亚洲的140多个城市建成地铁、轻轨等，线路总长度超过了8 620 km。

自1965年我国第一条城市轨道交通线路（即北京地铁一期工程）开工建设以来，截止到2010年9月，全国已有北京、上海、广州、深圳、南京、天津、重庆、武汉、长春、大连、成都、沈阳12个城市的轨道交通投入运营。线路总长达到1 270 km。此外，全国已有29个城市获得批复建设，至2020年，线路规划总里程将达6 100 km，所需车辆将超过3万辆。如图1-1-3所示为北京地铁1号线。



图 1-1-3 北京地铁1号线

## 2. 城市轨道交通的类型

城市轨道交通种类繁多，技术指标差异较大，世界各国的评价标准各不相同，不同的国家有不同的标准和分类方法。按照我国 2007 年颁布的《城市公共交通分类标准》，城市轨道交通主要分为 7 类：地铁、轻轨系统、单轨系统、有轨电车、磁悬浮系统、自动导向轨道系统和市域快速轨道系统。

### 1) 地 铁

地下铁道简称地铁 (Metro、Underground Railway、Subway、Tube)，是城市快速轨道交通的先驱。地铁是电力牵引、轮轨导向、轴重相对较重、具有一定规模运量、按运行图行车、车辆编组运行在地下隧道内 (见图 1-1-4) 或地面及高架线上的快速轨道交通。地铁采用标准轨距 1 435 mm，最高速度 80 ~ 100 km/h，平均速度 30 ~ 40 km/h，受电方式为 DC 1 500 V 和 750 V，采用架空线或第三轨受电；行车间隔 90 ~ 120 s，行车密度高；断面客流 4 万 ~ 8 万人次/小时；地下隧道一般距地面 10 多米甚至达 20 多米；地铁适用于出行距离较长、客运量需求较大、人口超过 100 万的大城市。



图 1-1-4 地下铁道

### 2) 轻轨系统

轻轨系统 (Light Rail Transit, LRT) 是在有轨电车基础上改造发展而来的城市轨道交通系统 (见图 1-1-5)。它采用一种轨道上的荷载相对铁路和地铁的荷载较轻的交通系统，客流量 0.6 万 ~ 3 万人次/小时，是运量或车辆轴重稍小于地铁的轻型快速轨道交通，造价为地铁的 1/2。轻轨适用于出行距离离市中心 20 km、客流量相对较小、人口在 10 万到 100 万的城市。



图 1-1-5 轻轨

### 3) 单轨系统

单轨也称独轨 (Monorail), 是指通过单一轨道梁支撑车厢并提供导引作用而运行的轨道交通系统, 全部为高架线路, 车体比承载轨道要宽。根据支撑方式不同, 单轨分为跨座式和悬挂式两种: 跨座式 (见图 1-1-6) 是车辆跨坐在轨道梁上行驶, 跨座式轨道由预应力混凝土制作, 车辆运行时走行轮在轨道上平面滚动, 导向轮在轨道侧面滚动导向; 悬挂式是车辆悬挂在轨道梁下方行驶, 悬挂式轨道大多由箱型断面钢梁制作, 车辆运行时走行轮沿轨道走行面滚动, 导向轮沿轨道导向面滚动导向。单轨电车的走行轮采用特制的橡胶轮胎, 振动和噪声大为减少; 两侧装有导向轮和稳定轮, 控制列车转弯, 运行稳定可靠; 适应各种复杂地形, 造价为地铁的 1/3, 占地少、建设工期短。



图 1-1-6 单轨电车

### 4) 有轨电车

有轨电车 (Tram、Streetcar) 是使用电车牵引、轻轨导向、1~3 辆编组运行在城市路面线路上的低运量轨道交通系统 (见图 1-1-7)。经改造后现代有轨电车与性能较小的轻轨交通已很接近, 只是车辆稍小, 运营速度接近 20 km/h。目前, 我国长春等城市还存在有轨电车运营线路。





图 1-1-7 有轨电车

### 5) 磁悬浮交通

磁悬浮交通 (Magnetic Levitation For Transportation) 是一种靠磁悬浮力 (即磁的吸引力和排斥力) 来推动运行的交通系统 (见图 1-1-8)。磁悬浮列车主要由悬浮系统、推进系统和导向系统三大部分组成, 行走时不需接触地面, 只受来自空气的阻力, 最高速度可达 500 km/h。2003 年 1 月 4 日, 上海磁悬浮列车正式开始商业运营, 速度达到 430 km/h, 是世界上第一条商业化运营的磁悬浮专线。



图 1-1-8 磁悬浮交通

### 6) 自动导向轨道系统

自动导向轨道系统 (Automated Guideway Transit, AGT) 是有电气牵引, 具有特殊导向、操作和转向方式的胶轮车辆, 单车或数辆编组运行在专用轨道梁上的中小运量的轨道运输系统 (见图 1-1-9)。AGT 车辆在线路上可无人驾驶自动运行, 车站无人管理, 完全由中央控制室集中控制, 自动化水平高。2007 年, 我国天津开通了滨海新区亚洲首条胶轮导轨线路。



图 1-1-9 自动导向系统

### 7) 市域快速轨道系统

市域快速轨道系统通常分为城市快速铁路和市郊铁路。城市快速铁路是指运营在城市中心，包括近郊城市化地区的轨道系统，其线路采用电气化，与地面交通大多采用立体交叉。市郊铁路（见图 1-1-10）是指建在城市郊区，把市区与郊区，尤其是与远郊联系起来的铁路。市郊铁路一般和干线铁路设有联络线，线路大多建在地面，部分建在地下和采用高架，列车编组 4~10 辆，最高速度可达 100~120 km/h，运能与地铁相同，但由于站距较地铁长，运行速度超过地铁，平均速度可达 80 km/h 以上。



图 1-1-10 市郊铁路

## 3. 城市轨道交通系统的特点

城市轨道交通是一个庞大而复杂的系统，它将土木工程、建筑、机械、电机电器、自动控制、计算机、通信、信号等领域协调有序地联合在一起，与其他城市公共交通相比，具有明显的优势。主要特点如下：

(1) 运量大。地铁和轻轨交通运送能力都在几万人次/小时，而公共汽车等公路交通仅为 8 000 人次/小时。



(2) 速度快。城市轨道交通采用专用线路，不受其他交通工具的干扰，最高速度可达 80 km/h，平均速度为 30~40 km/h，能够保证乘客准时、迅速到达目的地。

(3) 污染少。城市轨道交通相对公路交通，噪声小、污染轻，对城市环境不构成威胁。

(4) 能耗低。采用大运量集团化客运系统和多项高新技术，按每运送一位乘客的能源消耗评价，城市轨道交通是其他任何一种城市交通运输方式无法比拟的，并且其对能源的适应性也相当强。

(5) 可靠性强。城市轨道交通由于采用先进的列车控制系统，并将可靠性理念植根于城市轨道交通系统的设计、施工、运营、维护等阶段，这是其他交通运输方式无法达到的。

(6) 舒适性佳。与常规公共交通相比，目前城市轨道交通多采用自动运行一次性曲线控制，平稳减速和加速，具有良好的运行特性。同时，车辆、车站采用空调、电梯、引导装置、自动售票等直接为乘客服务，形成良好的乘车环境。

(7) 占地面积小。城市轨道交通主要采用地下隧道或高架桥，有效利用地下和地上空间，特别有利于缓解大城市中心区过于拥挤的问题，能提高土地利用价值，并能改善城市景观。

以上优势，使城市轨道交通系统成为公共交通重要的优先发展方式。

城市轨道交通系统和铁路运输密不可分，它们同为轨道交通，通信信号系统及设备组成的列车控制系统，指挥列车安全运营，提高线路利用率。但是和城际铁路系统相比，城市轨道交通系统存在许多不同之处。

(1) 运营范围不同。城市轨道交通运行范围是城市和市郊，往往几十千米；铁路运输线路纵横数千千米，形成主要干线及支线，连接城乡。

(2) 运行速度不同。城市轨道交通最高速度不超过 80 km/h；铁路运输一般都在 120 km/h 以上，高速铁路达到 300 km/h。

(3) 服务对象不同。城市轨道交通对象单一，只有市内客运服务；铁路运输提供客、货混运服务。

(4) 路网布局结构差异。城市轨道交通大部分线路在地下和高架，均为双线，各线之间一般不过线运营。正线一般采用 9 号道岔，车辆段采用 7 号道岔；城际间铁路没有跨座式和悬挂式结构。

(5) 站段构成及功能差异。城市轨道交通一般车站多为正线，多数非集中站也没有道岔，没有复杂的咽喉区，换乘站多为立体方式。车辆段只有相当于城际铁路区段站一样的车辆检修功能，完成停放和大量的列车编解、接发车和调车作业。

(6) 车辆差异。城市轨道交通采用电动车组，没有城际铁路那样的机车和车辆的概念。

(7) 供电设施差异。城市轨道交通供电包括直流牵引电力和动力照明供电，没有电气化铁路的说法。

(8) 通信信号要求。城市轨道交通列车密度高、行车间隔短、普遍采用列车自动监控和列车自动运行的信号控制方式，建立自成体系的独立完整的内部通信网（包括广播和闭路电视）。

(9) 运输组织管理差异。城市轨道交通运营组织简单，一般只完成进、出段作业、折返作业，没有越行、交会，正线上一般没有调车作业，易于实现自动监控。

## 二、国内外城轨列车运行控制系统发展历程

### 1. 国外城轨列车运行控制系统发展历程

在过去的近 200 年历史中，列车运行控制系统首先应用在城际铁路上，后来引入城市轨道交通系统中。列车运行控制系统在诞生之初主要是以信号系统为主要发展体系，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，信号系统与通信系统等不断融合，其发展历程大体上可以划分为以下几个阶段。

#### 1) 人工控制

1825 年，世界上第一列列车在英国运行，采用人持信号旗骑马引导列车前行。

1832 年，美国铁路线开始使用球形固定信号装置，传达列车运行信息。铁路员工通过望远镜瞭望，观察球形的颜色，沿线互传消息。

1839 年，英国铁路开始使用电报传递列车消息。

#### 2) 机械装置控制

1841 年，英国铁路出现了臂板信号机。

1851 年，英国铁路使用电报机实现闭塞。

1856 年，J.萨克斯贝发明了机械联锁机。

1866 年，美国利用轨道接触器检查闭塞区间占用。

1867 年，出现点式自动停车装置，强制列车在显示停车信号的信号机前停车。

1872 年，美国人 W.鲁滨孙发明了闭路式轨道电路。

#### 3) 电气控制

20 世纪 30 年代到 60 年代，出现了继电器联锁系统、色灯信号机及车载辅助信号等，司机依靠路旁信号机来传递不同信息驾驶列车。

#### 4) 电子控制

20 世纪 60 年代，电子器件和计算机开始被大量应用，列车自动控制（Automatic Train Control, ATC）系统出现在日本新干线上，采用机控为主、设备优先的方式。

20 世纪 70 年代，随着地面信息传输技术（应答器、轨道电路和轨间环线电缆等）和列车信息接收技术的不断完善，出现了点式 ATC 系统、点连式 ATC 系统，如法国的 TVM 系统、德国的 LZB 系统和日本的 ATS-P 系统等，具有实时速度监控功能。世界上一些著名信号公司：法国阿尔斯通（ALSTOM）、德国西门子（SIEMENS）、英国西屋（Westinghouse）、瑞典安达（Adtranz）、美国 US&S 等，相继推出基于数字轨道电路的准移动闭塞 ATC 系统。

20 世纪 80 年代，车载设备功能不断扩大，距离-速度模式曲线、自动实施常用制动和紧急制动、自动驾驶、节能运行等被应用于列车控制。

20 世纪 90 年代后，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演变成以无线车地通信和移动闭塞为特点的基于通信的轨道交通运行控制系统（Based

Communication Train Control, CBTC)。

## 2. 我国城轨列车运行控制系统发展历程

我国轨道交通列车控制系统发展相对较晚，自 1965 年北京 1 号线工程动工兴建以来，信号系统经历了自动闭塞、调度集中、列车自动驾驶和继电联锁等初始阶段。

1971 年，北京地铁 2 号线开工建设，采用国产信号系统，随后北京地铁八通线和上海地铁 1 号线分别引进西屋和阿尔斯通公司的 ATC 系统，信号系统逐步向无绝缘轨道电路、微机联锁、列车超速防护、列车自动监控等现代信号系统发展。

1994 年至今，城市轨道交通快速发展，信号设备大规模从国外引进，造成了造价昂贵、设备维修困难、指令混杂、兼容性差等问题，提供国产化 ATC 系统成为亟待解决的问题。

2010 年 12 月 30 日，国内首条具有完全自主知识产权 CBTC 列车控制系统示范工程——北京地铁亦庄线（见图 1-1-11）正式开通试运营。北京交通大学研发的具备完全自主知识产权的 CBTC 核心技术和系统装备，经历了实验室研制、试车线试验、运营线中试后的正式工程应用，实现了“自动驾驶”“无人折返”“安全运营”三项目标，使中国成为继德国（西门子）、法国（阿尔斯通）、加拿大（阿尔卡特）后第四个成功掌握该项核心技术并成功应用于实际运营线路的国家，对推动北京市和我国城市轨道交通运行控制系统国产化和产业化具有重要意义。

当代城市轨道交通列车控制系统，应该以车站、区间、车辆控制及行车调度指挥自动化的一体化为目标，实现通信系统的相互融合，突破功能单一、控制分散、通信信号相对独立的传统技术理念，推动列车运行控制系统向数字化、智能化、网络化和一体化方向发展。



图 1-1-11 北京地铁亦庄线

## 任务二 城轨列车运行控制系统的关键设备及技术方法

在大运量高速度的需求下，城市轨道交通系统必须在保证安全的前提下逐渐缩短列车行车间隔，提高列车运行速度和运行效率。

列车运行控制系统用于控制、监督、执行、保障城市轨道交通列车运行安全，它以轨

道交通信号控制技术、通信技术和计算机技术为基础，是集成列车运行控制、行车指挥、设备检测和信息管理的综合控制系统。

列车运行控制系统最基本的作用主要有以下两个方面：

### 1) 确保在途列车安全运行

安全是行车基本要求，也是最终目标。高速运行的列车既要与前行列车保持足够的安全距离，同时也要防护本次列车，使后续列车与之保持安全距离。

### 2) 追求更高的运营效率

运营效率是表征一个国家经济是否发达的标志之一。扩大线路通过能力，获得最大运能，是运营效率的主要内容。

作为轨道交通列车运行控制系统，安全和高效是其追求的两大目标。能否安全高效运行，首先取决于列车运行控制系统的性能。随着科学技术的发展，城市轨道交通列车运行控制系统自动化水平不断提高，大大提高了列车运行的安全性能和运营效率。

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，对列车运行速度和控制方式等状态进行监督、控制和调整，而这一过程中需要依靠大量设备和技术来完成。

## 一、应答器

应答器是一种基于电磁耦合原理构成的高速点式数据传输设备，是列车自动保护系统（ATP系统）的关键部件。它能实现车地间数据交换，为列车提供ATP所需的各种点式信息，包括进路长度、岔区长度、闭塞分区长度、坡度、限速信息等，确保列车在高速运行状态下的安全。

### 1. 应答器的工作原理

应答器是利用无线感应原理在特定地点实现列车与地面间相互通信的一种数据传输装置。当列车上的查询器通过设置于地面的应答器（见图1-2-1）时，应答器被发自车上的查询器瞬态功率激活并进入工作状态，它向运行中的列车连续发送存于其中的可供列车自动控制或地面指挥用的各种数据，但此数据传输只在查询器与应答器的有效作用范围之内进行；当查询器随列车运行到有效作用范围之外时，应答器不再工作，直至被下次列车上的车载查询器功率再次激活。



图 1-2-1 查询应答器

### 1) 无源应答器

应答器本身不具备电源，只有当查询器位于其耦合谐振位置时，从车载查询器送出的高频信号作为电源给应答器，使应答器中事先已存储的报文发送给车载查询器。存储的信息一旦固定在应答器后，只能原封不动地读出，不可改变。

### 2) 有源应答器

有源应答器由控制模块和接口部分组成，接口部分与 LEU（轨旁电子单元）连接，可实时改变传送的数据报文，又称可变信息应答器。控制模块是整个电路的控制核心，用于判断数据来源并发送该数据。当接口工作电源通路后，它首先判断出接口来的数据是否有效。若有效，则控制模块将接口传来的数据进行 FSK（数字调频）调制后，输出到数据收发模块，经功率放大后，由耦合线圈发送。若该数据无效或无数据，则使用存储在报文存储器中的数据。接口工作电源仅用于与 LEU 交互的接口电路，不给控制模块和数据收发供电，因此，有源应答器只有在车载查询器出现时，控制模块不间断发送数据。

### 3) 轨旁电子单元

轨旁电子单元（LEU）是地面有源应答器与联锁系统的信号机之间的电子接口设备（见图 1-2-2），是一块电子印制板，任务是将信号机不同的信号显示转换成约定的数码形式，通过地面有源应答器发送车载查询器，为列车提供实时的信息。

有源应答器与 LEU 通信故障时，有源应答器可以自动切换到无源应答器工作模式，发送预先存储在应答器中的默认报文。LEU 与应答器通信中断时，有源应答器有保证行车安全的缺省报文。



图 1-2-2 轨旁电子单元

#### 4) 车载查询器

车载查询器包括车载查询器主机和天线（见图 1-2-3）。查询器主机检查、校验、解码盒传送接收到的报文，选择激活位于机车两端的任一天线，与列车运行控制系统进行单向或双向传输，并具备自检和诊断功能。车载查询器天线置于列车两端底部。当天线的导体通过高频电流时，在其周围空间会产生电场与磁场，电磁场能离开导体向空间传播，形成辐射场。发射天线正是利用辐射场这种性质，使车载主机传送的高频信号经过发射天线后能够充分向空间辐射。地面应答器被激活后，应答器在其电磁波传播的方向发射另一个高频信号，天线会产生感应电动势，此时与天线相连的接收设备的输入端就会产生高频电流，完成信息传输。



图 1-2-3 车载查询器天线

## 2. 查询应答器功能

### 1) 列车定位

列车定位设备存在着测量误差，特别是长距离行驶后，这个误差会不断累积，直接影响列车定位的精度，沿线路每隔一段固定距离会安装一个地面应答器设备，当列车经过时，通过检测该定位点，获知列车的确切位置，从而消除定位设备所产生的累积定位误差，辅助列车定位。

### 2) 车地通信

地面应答器可以把一些固定的地理信息，如轨道的弯道曲率及长度、坡道坡度及长度、限速区段长度及限速值等固定信息和位置信息一起存储在应答器中，传输给列车。

### 3) 临时限速信息的传输通道

由于施工作业或出现其他紧急情况时，会临时限制列车的运行速度，由控制中心通过轨旁电子单元将临时限速信息传送给地面有源应答器，当列车经过时传递给车载设备，从而完成对列车速度的控制，保证列车安全。

## 二、测速技术

城市轨道交通中，为保证列车运行安全和高效运营，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数据，并要求测速的方法有较高的实时性和精确度。根据速度信息的来源可将测速技术分为利用轮轴旋转方式和利用无线方式直接检测列车速度。

## 1. 测速发电机

测速发电机（见图 1-2-4）通常会安装在列车两端车轮外侧，包括一个齿轮和两组带有永久磁铁的线圈，齿轮固定在机车车轮轴上，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，其频率和列车速度成正比，这样列车速度信息就包含在感应电动势的频率特征里，经过换算为电压后，把列车实际运行速度变换为电压值，通过测量电压的幅度得到速度值。



图 1-2-4 测速发电机

发电机线圈故障或列车运行速度为零时，发电机的电压频率均为零，这样可能由于零速原因不明，而导致安全事故。为了确保发电机线圈故障遵守故障-安全原则，规定：频率变换电路中，车速为零时也产生一定的频率值；当频率值为零时，就可以排除线圈故障，准确判断车速为零，设备就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（见图 1-2-5）安装在列车两端的的车轮外侧。通过在轴承上安装传感器装置，车轮每旋转一周，传感器装置就会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。

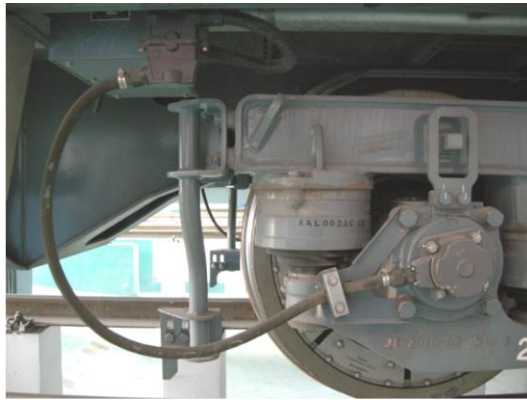


图 1-2-5 速度传感器

脉冲信号的频率与轮径值有关，列车轮对可能由于磨损、空转、滑行等原因，导致速度值误差变大，需要配置一个轮径补偿电路，以消除不同直径的车轮所产生的差异。而且这种方法无法判断列车运行方向，同时对光测量设备的抗冲击性要求也比较高。但是此方法非常简易，易于实现，目前在城市轨道交通中，这是一种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（见图 1-2-6），始终向轨面发射电磁波，由于列车和轨面之间有相对运行，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，反射的信号频率高于发射的信号频率；反之，则低于发射的信号频率；运行速度越快，频移越大。通过测量频移就可以获得列车运行方向和运行即时速度。



图 1-2-6 雷达

多普勒雷达测速法的设备比较复杂，易受到地面条件制约，如地面不够光滑会导致电波散射现象较严重，加大测量难度，同时影响测量准确性。但是此种方法能够克服脉冲速度传感器轮对磨损、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，可作为脉冲速度传感器测速的辅助方法。



### 三、列车定位技术

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，其精度和可靠性是影响列车安全防护距离的重要因素之一，关系到列车的运行间隔，影响到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之一，会关系到可采用的闭塞制式，影响到列车运行控制系统的兼容性和生命周期费用。目前，在世界各国轨道交通列车自动控制系统中主要使用的列车定位方式如下。

#### 1. 轨道电路定位

轨道电路（见图 1-2-7）定位实际上是固定闭塞分区占用检测的结果。轨道电路将钢轨分成不同区段，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，对应点亮红色信号灯，表示区段占用，实现列车定位的目的。



图 1-2-7 轨道电路

轨道电路定位的优点是经济方便、可靠性高，可以检测断轨情况和轨道占用，并实现列车定位。缺点是定位精度取决于轨道电路或闭塞分区的长度，精度较差，无法实现移动闭塞。

#### 2. 计轴器定位

计轴器定位同轨道电路一样，是固定闭塞分区占用检测的结果。利用轮轴传感器、计数器来记录和比较驶入和驶出轨道区段的轴数，以此确定轨道区段的占用或空闲。

每个计轴点都有两组轮轴传感器（见图 1-2-8），当车轮经过时，两组轮轴传感器 I 和 II 各产生脉冲。若正方向驶过，传感器 I 先于传感器 II 产生脉冲信号；反之，则可确定反方向驶过。这样通过传感器产生轴脉冲在时间顺序上不同，根据两组脉冲的时序可判定列

车的运行方向。

当列车出发，车轮进入轮轴传感器作用区时，微机开始计轴，轮对经过传感器磁头时，向微机发送轴脉冲，微机开始计数，判定运行方向，确定轮轴数是累加计数还是递减计数。系统规定：凡进入区段的轮轴数进行加轴运算，凡离轴区段的轮轴数进行减轴运算。

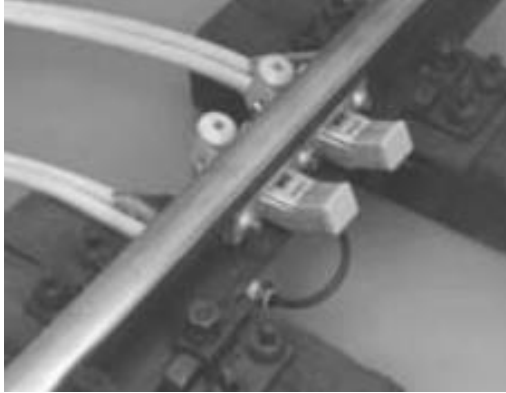


图 1-2-8 计轴器磁头

计轴器定位的优点是它具有检查区段占用与空闲、判断运行方向的功能，而且不依赖轨道线路的道床情况和轨道电路，对环境的适应性更强，定位安全性较高，维护量相对较小。缺点是定位精度较差，不能作为车地信息传输的通道，也无法检测断轨情况。

### 3. 应答器定位

应答器（见图 1-2-9）定位是一种辅助定位，可以设置应答器的相应位置点给出列车定位信息。列车从车辆段出库进入正线运营时，转换轨区域设置一定间隔距离的应答器，列车经过第一个地面应答器，车载查询器就会读取存储的数据信息，实现列车点式定位，经过第二个地面应答器时，就可以确定列车运行方向，用于辅助测速定位方法中初始位置和运行方向的确定；在站台区域轨道设置一定间隔距离的应答器，用于精确定位，确保安全准确停车；在站间正线设置一定间隔距离的应答器，用于消除测速定位方法中由于轮对磨损、空转、打滑等原因产生的累积误差，辅助列车精确定位。

应答器定位的优点是定位精度和可靠性较高、恶劣条件影响较小、使用寿命较长，易于维护。缺点是自身只能给出点式定位信息，无法实现连续实时定位。



图 1-2-9 应答器

#### 4. 测速定位

测速定位是通过不断测量列车的即时运行速度，对列车运行速度进行时域上积分（求和）的方法得到列车运行距离。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（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。通常采用脉冲速度传感器、多普勒雷达速度传感器、加速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，提高测速定位的精度和系统稳定性及可靠性。

#### 5. 交叉感应回线定位

交叉感应回线（见图 1-2-10）是在两根钢轨之间敷设等距交叉感应回线，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。当列车经过每个电缆交叉点时，车载设备检测到回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，达到对列车定位的目的。

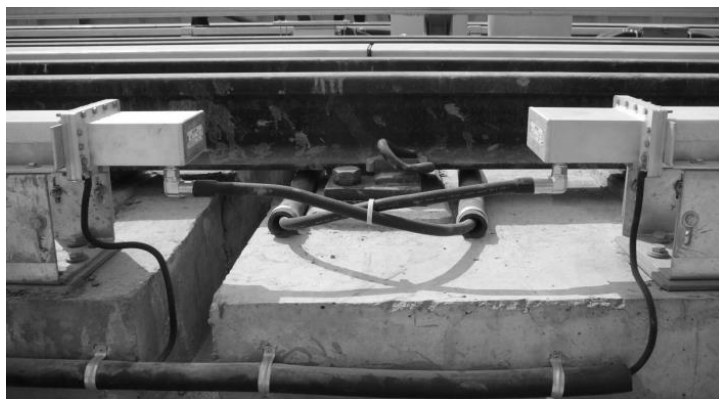


图 1-2-10 交叉感应回线

交叉感应回线定位的优点是避免轨道电路受钢轨、道床条件的限制，成本较低，实现简单。缺点是定位精度较差，受交叉区长度的限制，如果交叉区比较窄，位置脉冲可能漏计。

#### 6. 无线扩频列车定位

无线扩频定位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息后，求解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，就可求出列车的即时位置。

无线扩频列车定位的优点是抗干扰性强、隐蔽性强，易于实现码分多址和抗多径干扰。

#### 7. 惯性定位

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后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、高度），从而实现列车的定位。

惯性定位的优点是环境适应性强，不受天气、电磁场影响，定位精度高，能够获得的信息种类较多，如列车的方向、位置、速度等。缺点是无法获得初始位置和存在累积误差。

## 8. 航位推算系统定位

航位推算系统（Dead Reckoning, DR）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，常用的是惯性传感器。惯性传感器包括陀螺仪和加速度计。陀螺的输出信号是沿输入轴方向与角速度成正比的电压信号。加速度计的输出信号是沿输入轴方向与惯性加速度和重力加速度分量成正比的合成信号。

航位推算系统定位的优点是不受外界环境影响，精度比较高。缺点是存在累积误差。

## 四、车地无线通信技术

车地通信是在 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、应答器可以作为车地信息传输的通道，但是轨道电路、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、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 网络结构有两种：一种是无中心网络，也称对等网络，覆盖的服务区称为自助基本业务集（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，也称结构化网络，覆盖的服务区域称为基础结构的基本业务集（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（DHCP）服务器等。

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（BSS），允许移动终端在 BSS 内移动。随着 WLAN 业务的扩大，也可以配置多个 BSS 来提供由骨干网连接的扩展覆盖，由分布式系统（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（ESS）。DS 可以是任何类型的网络（有线、无线），一般采用 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，如图 1-2-11 所示。

依据 IEEE802.11g 标准，其传输速率可达 54 Mbit/s，工作在 2.4 GHz 免费 ISM 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，车地无线通信可分为三类：无线自由波、漏泄波导、漏泄同轴电缆。

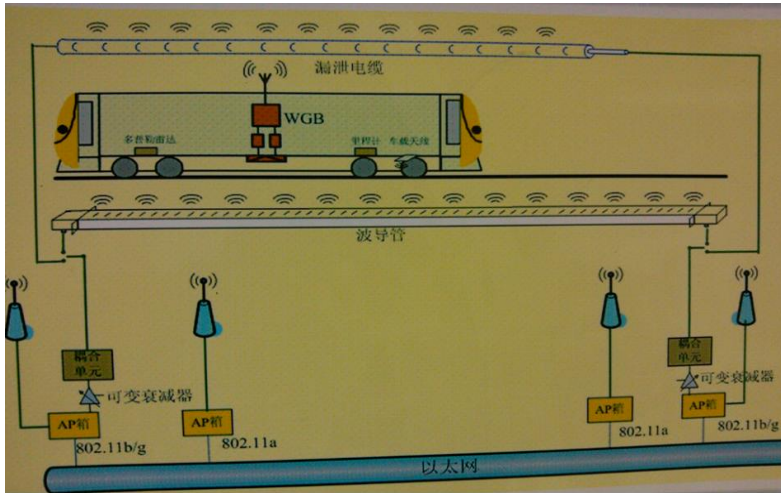


图 1-2-11 CBTC 系统车地无线通信示意

### 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的电磁波特别强，而在其他方向上发射及接收电磁波为零或极小的一种天线。这种方式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，常应用在地下隧道相对封闭的环境里，不致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、登录、通信等过程，当从一个 AP 进入另一个 AP 区域时，发生通信漫游，完成越区切换的场景。

由于定向天线（见图 1-2-12）组网简单灵活、成本比较低，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 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（QoS）达标。

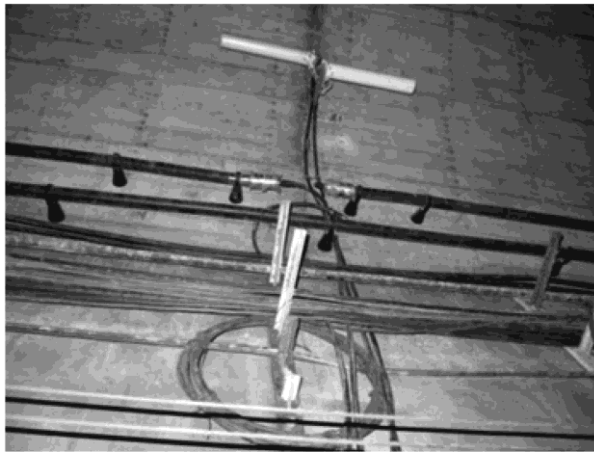


图 1-2-12 定向天线

## 2. 基于漏泄波导的车地通信方式

漏泄波导管是一种中空铝制矩形管，顶部等间距开有窄缝，以使无线载频信息沿波导裂缝向外均匀辐射，如图 1-2-13 所示。在波导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，漏泄波导具有传输性能平稳和抗干扰能力强的优点，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。

基于漏泄波导的车地通信是以漏泄波导为 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，实现与控制中心的通信。



图 1-2-13 漏泄波导管

## 3. 基于漏泄同轴电缆的车地通信方式

漏泄同轴电缆（见图 1-2-14）是指在同轴电缆的外导体上开有均匀的缝隙或槽孔，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，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。

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，并且价格昂贵、成本较高，因此，漏泄同轴电缆作为 WLAN 传输媒介并未大范围被应用到城市轨道交通系统中。

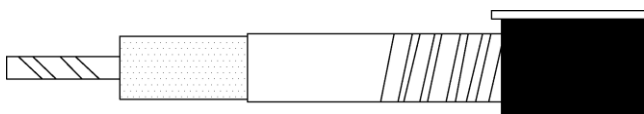


图 1-2-14 漏泄同轴电缆示意图

## 五、闭塞方式

ATC 系统是根据列车在线路上运行的客观条件和实际情况，对列车运行的速度和控制方式等状态进行监督、控制和调整的技术装备。在车站区间内，使连续发出的列车保持一定的间隔，避免造成列车正面冲突或追尾事故，高效组织列车安全运行的方法叫作行车闭塞法，也称闭塞。

1840 年之前，列车运行采用时间间隔的区间行车组织方法。时间间隔法是列车按照事先规定好的时间由车站发车，先行列车发出后，间隔一定的时间再发出同方向的后续列车，使先行列车和后续列车追踪时保持一定的时间间隔的行车的方法。这种方法的缺点是不能有效确保行车安全。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，可能会发生追尾事故，安全无法保证，更无法实现高效运营，为了解决这个问题，提出了空间间隔法。

空间间隔法，即把线路划分为若干区间（或分区），在每个区间（或分区）内同时只准许一辆列车运行，使先行列车和后续列车追踪时保持一定的空间距离的行车方法。我国轨道交通线路以车站为分界点，划分为若干区间，采用区间作为列车运行空间间隔。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。

ATC 系统按照闭塞制式有三种：固定闭塞式、准移动闭塞式、移动闭塞式。

### 1. 固定闭塞式

如图 1-2-15 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；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。

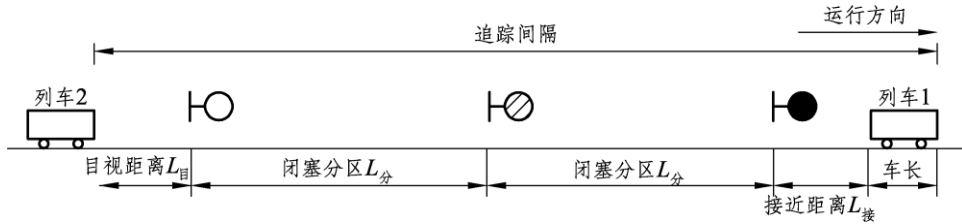


图 1-2-15 固定闭塞示意

固定闭塞式 ATC 系统的分界线是进站信号机、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稳定绿色灯光。追踪目标是前方列车所占用闭塞分区的入口处。先行列车所在区间的始端和本次列车所在分区的终端之间空间间隔是若干个固定的闭塞分区。主体信号为车载信号的绿色灯光相对应的速度值。

固定闭塞的闭塞长度较大，并且一个分区只能被一列车占用，所以不利于缩短列车运行间隔。因为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距离，这使得列车间的安全间隔较大，影响了线路的使用效率。

## 2. 准移动闭塞式

如图 1-2-16 所示，准移动闭塞对前后列车定位是不同的，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一段距离设置 1 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。

准移动闭塞 ATC 系统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。追踪目标点是先行列车所在闭塞分区的始端。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。

准移动闭塞在控制安全列车安全间隔方面比固定闭塞更进一步，可以预告追踪列车的目标距离，追踪列车也可以通过这一距离合理地采取减速或制动，从而可以改善列车控制，缩短时间间隔，提高线路使用效率。

但是准移动闭塞中后续列车的最大目标制动点仍然是前行列车占用闭塞分区入口处加上一段防护距离，因此没有完全突破固定闭塞的限制。



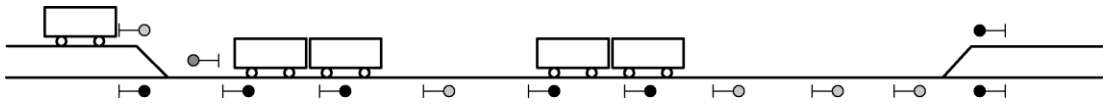


图 1-2-16 准移动闭塞示意

### 3. 移动闭塞式

移动闭塞是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，确保列车安全运行。

移动闭塞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。

如图 1-2-17 所示，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，确保追踪运行不能追尾，列车制动时机、制动起始点和终点均是动态的，其目的是最大限度利用机车车辆特性全速运行，尽可能缩短列车运行间隔，最有效、最合理利用区间有限空间，提高区间通行能力。

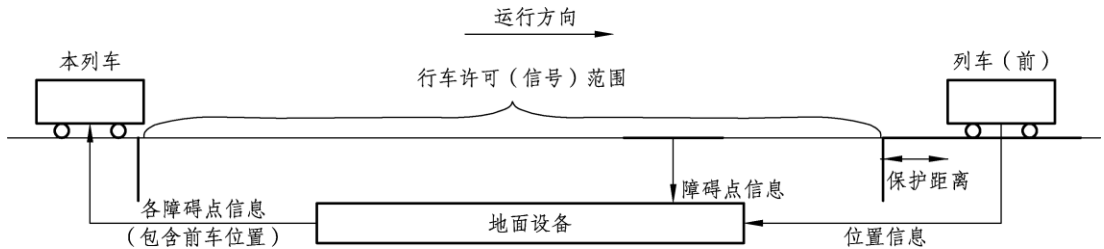


图 1-2-17 移动闭塞示意

## 六、速度控制模式

ATC 系统中，对列车控制不仅需要行车闭塞法从空间上根本将列车运行的线路间隔开来，并且不同闭塞制式采用不同的速度控制模式，科学合理地控制列车速度，确保在安全的前提下实现最小列车运行间隔。

### 1. 分级速度控制

分级速度控制是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。分级速度控制系统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，包括阶梯式和曲线式。

#### 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，它又可分为超前式和滞后式。其中，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。

超前速度控制方式，又称为出口速度控制方式，事先给出各闭塞分区列车的出口速度值，控制列车行驶在该闭塞分区出口前不得超过该出口速度值，如图 1-2-18 所示。采用设备控制优先的方法，即列车驶出每个闭塞分区前均必须将超前速度降至出口限制速度控制线以下，否则设备就会自动启动制动，因此，超前对出口速度进行了控制，不会冒出闭塞分区。

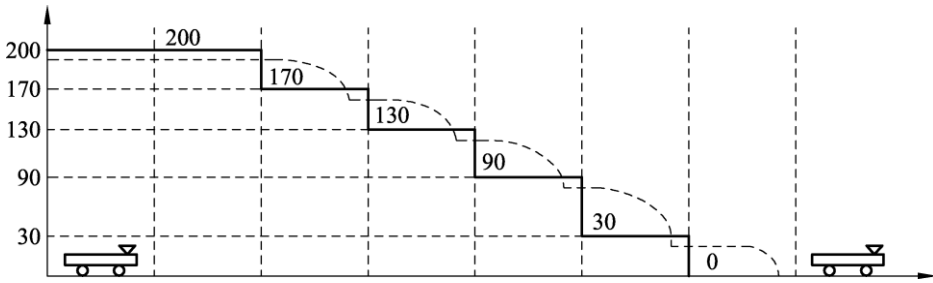


图 1-2-18 超前速度控制示意

滞后速度控制方式，又称为入口速度控制方式，事先给出列车进入各闭塞分区入口的速度值，监控列车在本闭塞分区运行的速度不得超过给定的入口速度值，如图 1-2-19 所示。采用人控优先的方法，在每个闭塞分区列车速度只要不超过给定的入口速度值，就不会碰触滞后式速度控制线。但是考虑一旦列车失控，本闭塞分区出口，即下一闭塞分区入口处的速度超过了给定的入口速度值，即发生所谓的撞墙，此时触发设备自动引发制动，列车必然会越过第一红灯进入下一个闭塞分区，因此有必要增加一个闭塞分区作为安全防护区段，俗称双红灯防护。

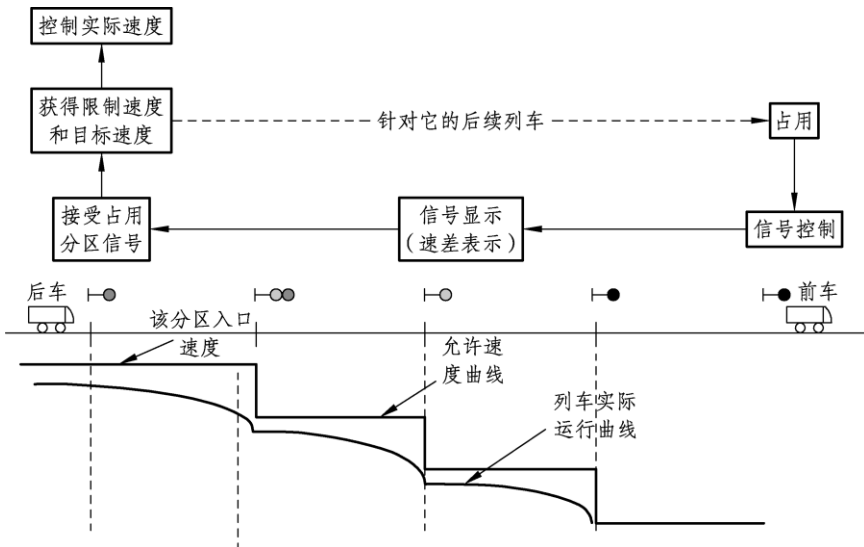


图 1-2-19 滞后速度控制示意

## 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，也叫作准移动闭塞模式，如图 1-2-20 所示。把闭塞分区允许速度的变化连续起来，从最高速至零速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，一旦撞墙，设备自动引发制动。由于速度控制是连续的，紧急制动停车点不会冒进，可以不需要增加闭塞分区作为安全防护区段，设计时考虑适当的安全距离。

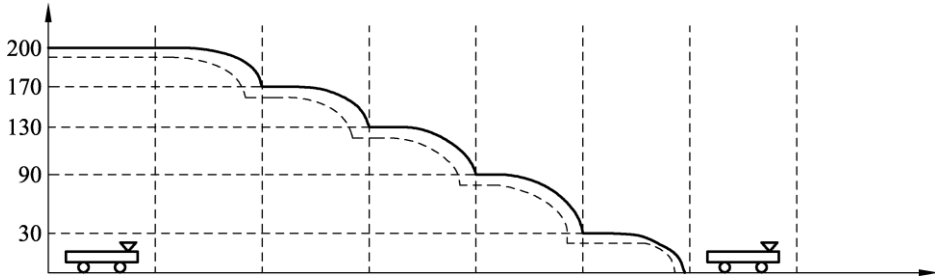


图 1-2-20 曲线式分级速度控制示意

## 2. 速度-目标距离模式控制

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，根据目标距离、目标速度及列车本身的性能确定的列车制动曲线，不设置每个闭塞分区的速度等级，如图 1-2-21 所示。若先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；若以先行列车的尾部为追踪目标点，则为移动闭塞。

速度-目标距离模式曲线的列车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，比较适用于不同性能和速度的列车混合运行，其追踪间隔要比分级速度控制小，提高了区间通过能力，减速比较平稳，旅客舒适度有所提高。

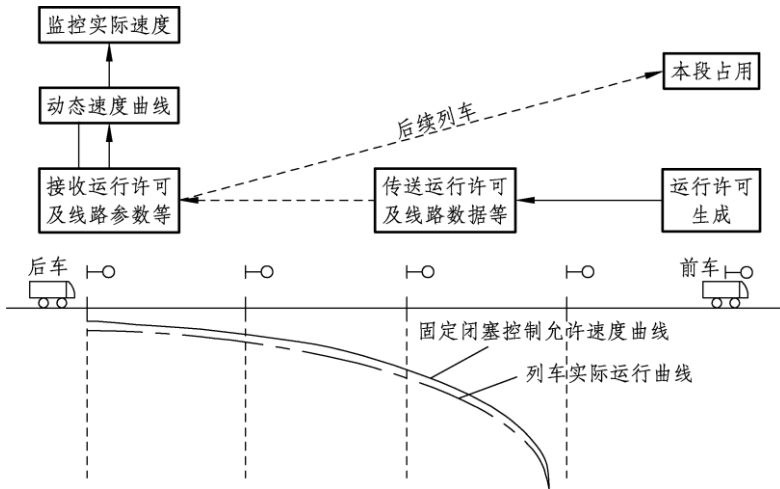


图 1-2-21 速度-目标距离曲线控制示意

## 任务三 城轨列车自动控制系统的的基本认知

### 一、ATC 系统组成及特点

ATC 系统是城市轨道交通列车运行控制系统最重要的组成部分，按系统功能划分，通常包括列车自动监控系统( Automatic Train Supervision,ATS )、列车自动防护系统( Automatic Train Protection, ATP )和列车自动运行系统( Automatic Train Operation, ATO )三个子系统。ATC 系统按设备布置地域划分，包括控制中心设备、车站及轨旁设备、车辆段设备、试车线设备、车载 ATC 设备，如图 1-3-1 所示。

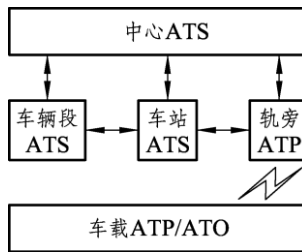


图 1-3-1 ATC 系统结构示意图

ATC 系统需设置行车指挥中央控制中心，沿线各车站设计为区域性联锁，其联锁设备放在控制站（一般为有岔站，也称集中站）。列车配置车载控制设备。中央控制中心与控制站通过有线数据网连接，地面控制信号设备与列车采用无线通信进行信息交互。ATC 系统传输的信息直接与列车运行安全有关，因此，数据传输要求比一般通信系统安全性、可靠性、实时性更高。

ATC 系统改变了传统的信号控制方式，可以连续、实时地监督列车的运行速度，自动控制列车的制动系统，实现列车的超速防护。列车控制方式可以为人工驾驶，也可以为设备实时自动控制，使列车根据其自身条件自动调整追踪间隔，提高线路的通过能力，其特点如下：

（1）将先进的控制技术、通信计算、计算机技术与轨道交通信号技术融为一体的安全控制系统。

（2）能够对线路空闲/占用进行检测。

（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）具有对运行中的列车测速、定位功能。

（5）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可能酿成超速运行、列车脱轨、冒进信号或列车追尾事故，它是一种行车安全控制设备。

（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。

### 二、ATS 系统认知

城市轨道交通列车运行自动监控 ATIS 系统是监督和控制列车按运行图运行，使列车运行最佳化和稳定化的控制系统。当出现非正常情况或设备故障时，通过该系统可使之对运行图所带的不利影响最小。

ATIS 系统主要是实现对列车运行及所控制的道岔、信号等设备运行状态的监督和控制，为行车调度人员显示出全线列车的运行状态，监督和记录运行图的执行情况，在列车因故偏离运行图时及时做出调整，辅助行车调度人员完成对全线列车运行的管理。

ATIS 在 ATP 和 ATO 系统支持下，根据运行时刻表完成对全线列车运行的自动监控，可自动监控和控制正线列车进路，并向行车调度员和外部系统提供信息。ATIS 系统为非安全系统，它的全部或任何一部分故障以及不正确操作，不会影响列车运行安全。ATIS 系统通过 ATP 系统有效防止了由于 ATIS 系统故障或不正确操作可能导致的对列车运行的危害。

ATIS 系统主要有如下功能：

### 1. 管理信号设备

ATIS 可以接收联锁系统的远程监控信息，如道岔位置、信号机状态、进路、车次号等，并在调度员工作站和综合显示屏上显示。

### 2. 列车描述

ATIS 系统为每辆列车编制唯一的识别号，识别号一般由 3 位车次号和 2 位目的地号共 5 位数字组成。在列车每次到达折返站后，ATIS 系统根据运行图自动在控制中心更改该列车的识别号，并显示于司机驾驶时的显示器上。列车识别号是 ATIS 系统自动追踪列车时使用的索引标识号，该号码显示在 ATIS 图形化人机界面的站场图上，标识相关联列车当前所处的位置。根据调度指挥的需要，该列车识别号对应计划表号、车次号等运行计划标识。

### 3. 自动进路设置

自动进路只适用于列车正向的运行，主要包含以下几种自动进路：

(1) 通过进路控制中心或车站 ATIS 调度员先开放进路，再将该进路的入口信号机设置成通过信号模式。在列车通过后，不需要 ATIS 系统干预，而由联锁系统自动再次建立的进路。

(2) 目的地触发进路以列车识别号中的目的地为基础，由车站 ATIS 自动设置的进路。

(3) 接近触发进路当特定的触发轨被占用后由车站 ATIS 自动建立的自动进路，用于从入口信号机只有一条进路可办理的进路。

### 4. 运行图调整

ATIS 系统主要通过停站时间和站间运行时间等方式，对特定列车按照列车的运行图进行调整，与其他列车可能的延迟无关。

### 5. 运行图管理

运行图管理主要包括离线运行图管理和在线运行图管理。

(1) 离线运行图管理。运行图确定了运行日内正常的列车运行计划，这里的运行日是指一年中任何工作日、双休日或节假日。离线运行图管理功能通过图形用户界面供计划员建立和修改运行图。

(2) 在线运行图管理。每天在正线运营前，调度员在已创建的运行图内选定一个并创建为当天运行计划，ATS 按照当天运行计划进行列车自动调整。在运行过程中，调度员使用运行图菜单可对运行图进行某些调整，如调度员可在运行图上添加一列列车计划、删除一列列车计划或更改一列列车计划，ATS 系统将按照调度员修改后的计划自动调整线路上运行的列车。

### 三、ATP 系统认知

列车自动防护系统 (Automatic Train Protection, ATP) 是列车运行超速防护核心安全系统，负责列车的安全运行，完成保证安全的各种任务，必须符合故障-安全原则。

ATP 连续检测列车的位置和速度，监督列车必须遵循速度限制、车门控制，追踪所有装备信号设备的列车，考虑联锁条件，并为列车提供移动授权，实现与 ATS、ATO 及车辆系统接口及进行信息交换，可分为车载 ATP 和地面 ATP 两部分。

ATP 系统的主要功能如下：

#### 1. 列车定位

定位任务能及时确定列车在路网中的地理位置。通常，ATP 系统是利用查询应答器及速度传感器和雷达完成列车定位的。安装在线路上某些位置的应答器用于列车物理位置的检测，每个应答器发送一个包括识别编号 (ID) 的应答器报文，由应答器天线接收，在车载 ATP 单元的线路数据库里存有应答器位置，这样确定列车在线路上的确切基准位置，由速度传感器和雷达执行列车位移测量。

#### 2. 测速与测距

通常采用速度传感器和雷达对列车速度和距离进行精确检测。列车实际速度是施行速度控制的依据，速度测量的准确性直接影响速度控制的效果。列车的位置直接关系到列车运行的安全，通过确定列车实际位置，才能保证列车之间的运行间隔，以及能够在接近障碍物或限制区之前停下或减速。

为补偿轮径磨损和由于轮径磨损而造成的维护服务间隔期内轮径的改变，使用雷达和查询应答器重新同步的方法，当列车经过应答器时，正确的位置被识别。在这些应答器之间，雷达和测速传感器一起确定准确的列车速度和距离。

为了避免空转和打滑带来的不利影响，雷达可以有效补偿这种误差，保证 ATP 系统获得准确的列车位置。

#### 3. 速度监督与超速防护

城市轨道交通中速度限制分为两种：固定速度限制和临时性速度限制。

(1) 固定速度限制是在设计阶段设置的，ATP 车载设备中都存储着整条线路上的固定限速区信息，包括列车最大允许运行速度、列车最大允许速度和区间最大允许速度。

(2) 临时限速用于在一些特殊区段来降低允许速度，该功能满足在特殊地段要求较低速度的运行要求，如正在进行的一些轨道作业。控制中心 ATS 操作员按照安全程序人工设置，设定的数据会从 ATS 系统传送给 ATP 轨旁单元，ATP 轨旁单元通过通信通道把所有的临时限速发送到车上，车载 ATP 接收来自轨旁 ATP 的移动授权和联试限速信息。

#### 4. 停车点防护

通常停车点就是危险点，危险点在任何情况下都不能越过，否则会导致危险情况发生。例如，站内有车时，车站的起点即是必须停车点，在停车点的前方通常还设置一段防护段，ATP 系统通过计算得出的紧急制动曲线即以该防护区段入口点为基准，保证列车不超越入口点。此外也可以在入口点设置一个列车滑行速度值（如 5 km/h），一旦需要，列车可在基准上加速或停在危险点前方。

#### 5. 列车间隔控制

列车间隔控制是一种既能保证行车安全，防止两列车发生追尾事故，又能提高运行效率，使两列车的间隔最短的信号概念。固定闭塞下，列车的间隔是靠自动闭塞系统来保证的，列车间隔以闭塞分区为单位，当采用准移动闭塞和移动闭塞时，闭塞分区长度与位置是不固定的，是随着前方目标点的位置、后续列车的实际速度及线路参数而不断改变的。

#### 6. 车门控制

车门自动开闭是否由司机手动操纵，关键是要对安全条件进行严格的监督，防止列车在站外打开车门、在站内打开非站台侧的车门、在车门打开时列车起动等情况发生。只有 ATP 系统检查所有安全条件均已满足时，才给出一个控制命令，打开车门。

列车停站时间结束时，轨旁 ATP 设备停发开门信息，关闭车门。轨旁 ATP 确定车门关闭并锁闭后，向车载 ATP 发送移动授权信息，车载 ATP 收到后，再次确定车门关闭且锁闭后，允许列车发车。

#### 7. 站台屏蔽门控制

当列车进站且停在允许误差范围内时，司机操作或 ATO 发送开门指令，经过 DCS 系统至 CI，PSD 系统接收 CI 的开门指令，执行相应自动解锁、开门等操作，同时 PSD 状态指示装置做出相应的响应动作。

当列车离站时，司机操作或 ATO 发送关门指令，经过 DCS 系统至 CI，PSD 系统接收 CI 的关门指令，执行相应的关门、锁闭等操作，当所有屏蔽门关闭并锁闭后，PSD 系统向 CI 发送“屏蔽门关闭且锁闭”信息，并通过 DCS 系统至车载 ATP，列车被允许离站，同时 PSD 状态指示装置做出响应动作。

## 8. 紧急停车功能

特殊情况下，按压设在车站上的紧急停车按钮，就可以通过信号系统车载 ATP，启动紧急制动，使列车停止运行。

## 9. 给出发车命令

车载 ATP 检查有关安全启动条件（如车门是否关闭且锁闭、司机操作手柄是否置于零位、ATP 系统是否处于正常工作状态）并确认符合安全后，才允许列车发车。

## 10. 列车溜逸防护

当列车后退超过一定距离，为了防止列车继续倒退或溜逸，立即启动紧急制动。

## 11. 停稳监督

列车停稳是在站内打开车门和站台屏蔽门的安全前提，为了确定列车停稳，车载 ATP 实时监督雷达和测速传感器的信息。

# 四、ATO 系统认知

列车自动运行系统主要用于实现“地对车控制”，根据地面控制中心的指令自动完成对列车的起动、牵引、惰行、制动，送出车门和站台安全门的开关信号，使列车以最佳工况安全、正点、平稳地运行。ATO 为非故障-安全系统，其控制列车自动运行，主要目的是模拟最佳司机驾驶，实现正常情况下高质量的自动驾驶。

ATO 系统必须受 ATP 系统监督，执行超速防护功能，否则实施制动。制动按用途和制动效率主要分为常用制动和紧急制动。

常用制动的特点是作用比较缓和，制动过程比较长，只使用全制动能力的 20% ~ 80%。

紧急制动的特点是实施全制动能力，制动比较迅猛，乘客可能惯性摔伤。

因此，一般情况下首先使用常用制动，只在紧急情况或突发事件下使用紧急制动。

制动曲线如图 1-3-2 所示。车载 ATP 计算和监督列车紧急制动曲线，列车速度一旦触发该曲线，列车获得最大减速度，立即启动紧急制动，以保证列车停在停车点，这是一种非正常的运行状态，应尽量避免发生，必须经过一段时间的制动缓解并得到确认后列车才能重新启动。

常用制动曲线由车载 ATP 计算获得，当列车速度达到该曲线值时，应给出告警，但不启动紧急制动，提示司机常用制动减速。

列车实际速度曲线由车载 ATO 系统计算获得，正常运行情况下 ATO 自动驾驶停车制动曲线，通常减速度制动设置为  $0.75 \text{ m/s}^2$  左右，以实现平稳减速和停车。



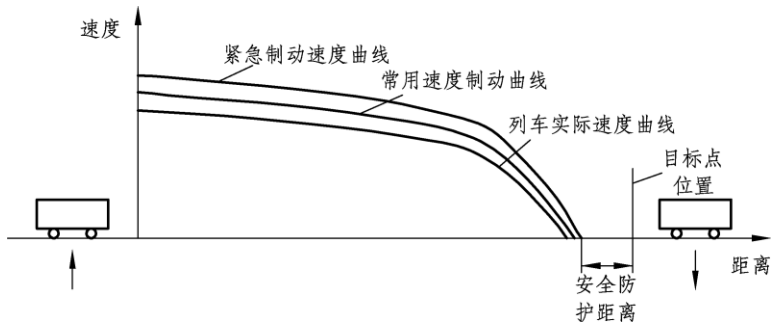


图 1-3-2 制动曲线示意

ATO 系统的主要功能如下：

### 1. 自动调整列车运行速度

列车起动、停止和速度调节必须按司机指令或 ATS 的输入，通过 ATO 系统控制执行，使列车巡航速度、加速、减速、惰行和冲击率控制在规定的乘客舒适度范围内，同时列车速度必须保持在 ATP 防护速度曲线下。

### 2. 车站精确停车

采用查询应答器、无线通信、测速传感器和雷达等定位及测速方法实现列车车站定点精确停车。

### 3. 列车区间运行时分的控制

ATO 自动驾驶模式下，可根据 ATS 的调整指令改变列车在区间的走行时间。

### 4. 车门和屏蔽门控制

ATP 监督对车门和屏蔽门进行控制，可人工或自动开启关闭车门和屏蔽门。列车停在站台维持开门时间由 ATS 建立，并受 ATO 自动控制。

### 5. 与 ATS、ATP 子系统交换信息

与 ATS、ATP 子系统交换信息，共同实现列车无人自动折返及驾驶室自动换向。

### 6. 允许速度

ATO 速度控制器提供列车在轨迹任意点的对应速度值，

### 7. 向车载 PIS 提供信息

向车载 PIS 提供信息，显示下一站、目的地站和时间，并触发语音播报。

### 8. 巡航/惰行

按照时刻表自动实现列车区间运行的惰行控制，同时节省资源，保证最大能量效率。

## 五、ATC 系统类型

按照车地通信方式 ATC 系统可以分为点式和连续式两种。

### 1. 点式 ATC 系统

点式 ATC 系统因其主要功能是防护列车速度，所以又称点式 ATP 系统。它采用点式设备传递信息，用车载计算机进行信息处理。

#### 1) 点式 ATC 系统的基本结构

点式 ATC 系统由车载设备和地面设备组成，主要有地面应答器、轨旁电子单元（Line-side Electronic Unit, LEU）及车载设备。

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，因此需要接口电路与信号机相连，此接口电路即轨旁电子单元。地面应答器内所存储的部分数据受信号显示的控制。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。

轨旁电子单元是地面应答器和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 是一块电子印刷板，可根据不同类型的输入电流输出不同的数码。

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、操作和记录装置等部分组成。

车载应答器：完成车地耦合电磁联系，将能量送至地面应答器，接收地面应答器所存储的数据并传送到中央处理单元。

测速传感器：通常安装在轮轴上，根据每分钟车轮上转数与车轮直径在中央处理单元内换算成列车目前速度。

中央处理单元：核心是安全型计算机，负责对所接收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的速度值进行比较，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。

驾驶台上的显示、操作和记录装置：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，还可以显示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。对于出现非正常的情况，如出现超速报警、启动常用或紧急制动，都可以有记录仪进行记录。

#### 2) 点式 ATC 系统的基本原理

如图 1-3-3 所示，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。

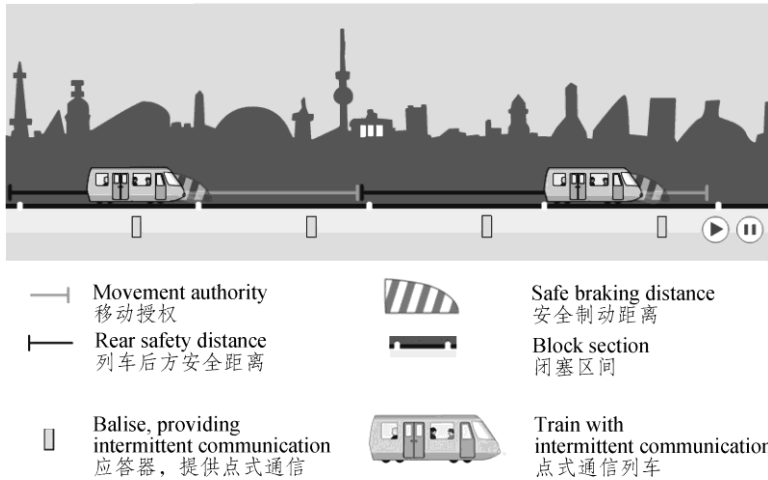


图 1-3-3 点式 ATC 原理示意

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），计算得出的两个信号机之间的速度监控曲线。

最大运行速度——所允许的最高列车速度。

间隔音响警告曲线——当列车车速达到此值时，车载中央处理单元给出音响报警，如果此时司机警惕降速，使车速低于最大运行速度，则一切趋于正常。

常用制动曲线——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）的信息，列车自动降速至最大运行速度以下。若列车制动装置具有自动缓解功能，则在列车速度降至最大运行速度以下时，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，列车由驾驶员经过一定的手续后重新人工启动。

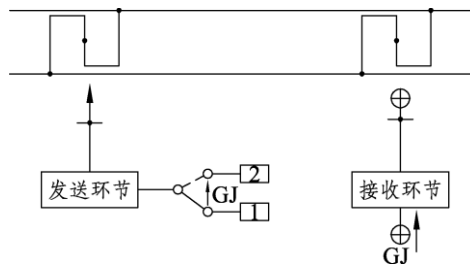
紧急制动触发曲线——当列车车速达到此值时，车载中央处理单元给出启动紧急制动的信息，确保列车在危险点的前方停下。

## 2. 连续式 ATC 系统

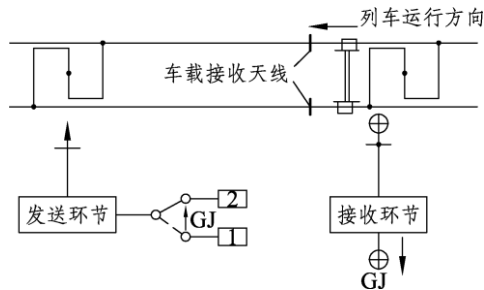
按车-地信息所用的传输媒介分类，连续式 ATC 可分为基于轨道电路、基于轨间电缆、基于无线通信三种。

### 1) 基于轨道电路的连续式 ATC 系统

如图 1-3-4 所示，该 ATC 系统有速度码系统和距离码系统，其轨道电路都用作双重通道：当轨道电路区段无车占用时，轨道电路发送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。



(a) 轨道检测码发码电路



(b) ATC 码发码电路

图 1-3-4 基于轨道电路的 ATC 系统示意

### (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介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，速度分级是阶梯式的。

但是，由于速度码系统从地面传递给列车的允许速度是阶梯分级的，在轨道电路区段分界处限速值是阶梯式的，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，速度码系统已逐步被能实时计算限速值的距离码系统代替。

### (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。

距离码系统从地面传至车上的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（区间的最大限速、目标点距离、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，并按此曲线对列车实际运行速度进行监控。

由于距离码系统数据传输、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，以钢轨作为信息传输的通道，传输频率受到很大限制，导致车地通信容量很低，同

时信息的传输受到牵引回流的影响，传输性能不够稳定。这种制式所实现的主要是准移动闭塞，所以列车间隔的进一步缩短和列车速度的提高都受到很大限制。

### 2) 基于轨间电缆的连续式 ATC 系统

采用轨间电缆的列车控制系统，是利用轨间铺设的电缆传输信息的，轨间电缆是车地通信的唯一通道，为了抗牵引电流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来确定列车的实际位置。

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、载重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此时的允许速度，再经过电缆传给线路上行驶的相应列车，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，但是如果控制中心故障将导致全线瘫痪。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对列车实现控制。

### 3) 基于无线通信的连续式 ATC 系统

此方式是通过无线通信方式传输车地通信，无线通信媒介按照不同运营环境可分为无线自由波、漏泄波导管、漏泄同轴电缆。

如图 1-3-5 所示，列车向地面通过无线通信系统实时汇报列车位置，地面 ATP 根据联锁提供的进路信息、列车位置信息以及中心 ATS 设置的限速信息等信息为列车计算移动授权，并通过无线通信系统发送给列车，车载控制器根据移动授权信息及列车限速信息等状态信息计算目标距离曲线，对列车进行控制，这种基于通信的列车控制系统（Communication Based Train Control, CBTC）是目前最先进的 ATC 系统之一。

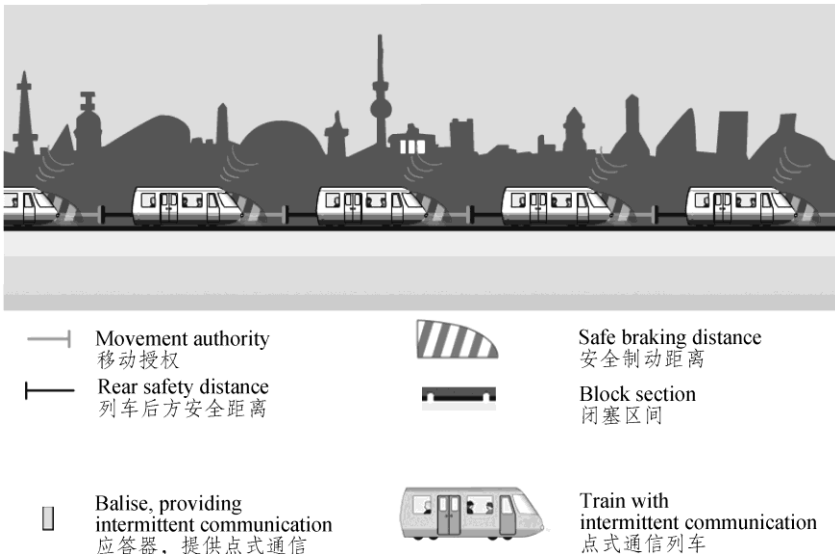


图 1-3-5 基于无线通信的 ATC 系统示意

CBTC 系统是采用先进的计算机、通信、控制技术连续监测列车运行移动闭塞方式的列车运行控制系统，它摆脱了轨道电路等判别列车对闭塞分区的占用与否的限制，突破了固定（准移动）闭塞的局限性，较传统系统具有更大的优越性。

目前，国内外城市轨道交通在建、规划建设、既有线改造等，大都采用 CBTC 系统，这大大提高了信号系统的安全性，并有效提升了线路运营效率。目前著名的 CBTC 系统提供商有加拿大阿尔卡特（ALCATEL）和庞巴迪（Bombardier）、法国阿尔斯通（ALSTOM）、德国西门子（SIEMENZ）、美国安萨尔多（ANSALDO）、中国交控科技（TCT）等。

## 六、安萨尔多 CBTC 系统基本认知

郑州地铁 1 号线正线信号系统采用基于无线通信列车控制系统（CBTC），同时还提供了 CBTC 功能故障情况下的点式 ATP 列车超速防护系统，包括列车自动防护 ATP、列车自动运行 ATO、列车自动监控 ATS、正线计算机联锁 CI 四个子系统。其 ATC 核心的系统主要由安萨尔多公司提供。

### 1. 系统组成

如图 1-3-6 所示，CBTC 信号系统主要由控制中心 ATS、车站 ATS/LCW 现地控制工作站、区域控制器、车载控制器、联锁控制器、数据存储单元、数据通信系统等子系统和设备组成。

#### 1) 中央列车自动监控子系统（ATS）

ATS（列车自动监控）是用于城市轨道交通 ATC（自动列车控制）系统的一个子系统。它是基于现代数据通信网络的分布式实时计算机控制系统，通过与 ATC 系统中的 ATP（自动列车保护）、ATO（自动列车驾驶）和 MLK II（微机联锁）子系统的协调配合，完成对高密度城市轨道交通信号系统的自动化管理和全自动行车调度指挥控制，包括中心 ATS 和车站 ATS。

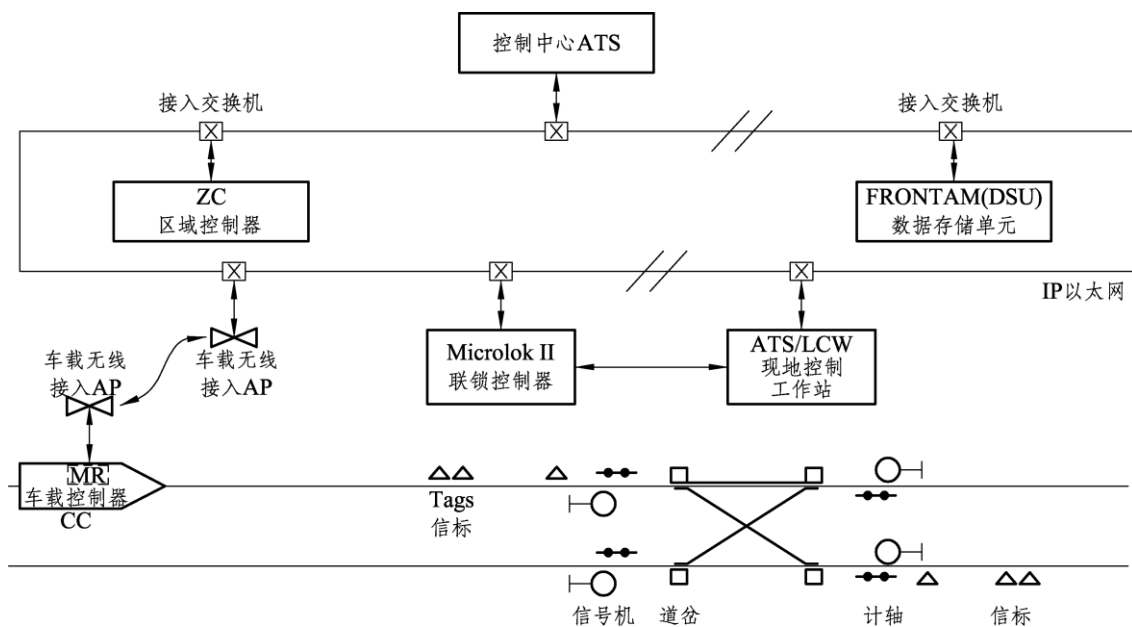


图 1-3-6 CBTC 系统架构

ATS 系统监督功能是将列车运营及轨旁设备的状态和信息，通过控制中心或车站的调度终端实时显示出来，调度员可以通过这些终端屏幕，实时了解和掌握列车的实际运行情况以及轨旁信号设备的显示情况，以便及时对行车作业进行分析和调整，保证全线运营安全、高效、有序。

ATS 系统控制功能是向轨旁联锁系统发出指令办理进路，指挥列车按照列车运行图来运行。ATS 可以绘制列车实际运行图，并动态地对偏离运行图的列车进行调整。

ATS 系统的主要特点如下：

- (1) 系统关键单元的 1+1 防护，故障情况下无须人工干预的热备切换。
- (2) 集中后备架构，在中央故障时仍可完成自动控制功能。
- (3) 模块化的软件设计，灵活适应用户的需求，并可满足系统扩容的需要。
- (4) 对于涉及安全的操作，提供二次确认。
- (5) 符合人机工程原理的标准化图形用户界面。
- (6) 全系统的时钟同步。

## 2) 区域控制器

区域控制器安装在轨旁，是基于处理器的安全控制器。每个区域控制器通过数据通信子系统和车载控制器连接。区域控制器通过运用 CBTC 的移动闭塞概念，确保列车的安全运行。

区域控制器基于已知的障碍地点和预计的交通荷载，确定预定义的地区（区域）内所有列车的移动权限。区域控制器接收临时限速（TSR）指令以及该区域内列车发出的位置信息。区域控制器与 Microlok II 接口，以控制和表示轨旁设备。每个区域控制器都以三选二表决配置为基础。

### 3) 数据存储单元

数据存储单元用来保存轨道数据库数据。临时速度限制储存在区域控制器中。

### 4) 联锁控制器 MicroLok II

MicroLok II 负责安全执行传统联锁功能。MicroLok II 从辅助列车检查计轴系统中获得列车位置信息。Microlok II 与轨旁设备有接口，如转辙机、LED 信号机等。为保证正确的 CBTC 运行，Microlok II 还与区域控制器（ZC）有接口。

如果区域控制器出故障，列车的安全运行通过联锁控制器和轨旁 LED 信号机来实现。如果数据通信子系统或车载控制器出现故障，列车以地面信号显示作为主体信号运行。另外，如果数据通信子系统（无线部分）出现故障，系统提供超速防护功能并防止列车冒进红灯信号。

### 5) 集成了 ATS 车站工作站和本地控制工作站功能的工作站

集成了 ATS 工作站/本地控制工作站功能的工作站位于设备集中站的本地调度室。该工作站通常用于监督列车运行，也可用于联锁的人工控制。

当中央和本地 ATS 功能均不可用时，Microlok 自动设置正线追踪的直通进路，并在终端站自动提供折返进路，通过本地操作终端实现联锁进路的设置和取消。

### 6) 车载控制器

车载控制器包括基于微处理器的控制器、相关速度测量及位置定位传感器（在地面应答器的辅助下）。车载设备与列车的各子系统接口，并通过数据通信子系统与区域控制器接口。车载控制器负责列车定位、执行允许速度、执行移动授权以及其他有关的 ATP 和 ATO 功能。车载控制器采用三取二表决方式。每端的 ATO 有一套冗余的设备，如果一个 ATO 单元故障，同一端的另一个 ATO 单元将接替工作。这种切换是自动的，不需要人工干预。

五种列车驾驶模式：ATO 自动驾驶模式（AM），连续式 ATP 监控下的人工驾驶模式（ATPM），点式 ATP 监控下的人工驾驶模式（iATP），限制人工驾驶模式（RM）和非限制人工驾驶模式（NRM）。另外，还有一种用于自动折返的模式（ATB），可以实现无人自动折返。

### 7) 数据通信子系统

数据通信子系统使用 UDP/IP 协议提供开放的通信接口和体系架构，在信号系统各设备之间提供双向的、安全的数据交换。数据通信子系统应用国际通行的协议：有线网使用 IEEE 802.3，无线通信使用 IEEE 802.11g，它是一个非安全（Non-vital）的系统，但是通过其传送的消息受安全算法的保护。系统设计能够消除单个独立故障或多个相关故障对系统的影响，通信系统对列车控制操作是透明的，DCS 能够满足系统对于数据传输延时和数据率的要求。

以太网为所有子系统提供了相互通信的途径。系统提供双环冗余骨干网络，ATS 接入骨干网络是通过有线交换机实现的。

## 2. 系统接口



CBTC 系统各子系统接口如图 1-3-7 所示。

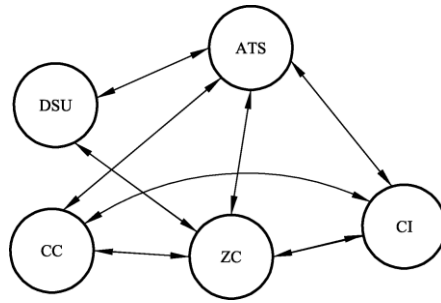


图 1-3-7 CBTC 系统各子系统接口示意

#### 1) ATS 与 ZC 间接口

ATS 与 ZC 接口信息主要包括列车占用信息、移动授权终点信息、临时限速信息、确认信息及告警信息等。

#### 2) ATS 与 CI 间接口

ATS 与 CI 接口信息主要包括轨旁设备（信号机、计轴区段、屏蔽门、紧急停车按钮等）状态信息、进路状态信息、命令交互信息。

#### 3) ATS 与 DSU 间接口

ATS 与 DSU 接口信息主要包括临时限速信息及告警信息等。

#### 4) ATS 与 CC 间接口

ATS 与 CC 接口信息主要包括列车识别号、计划时刻表号、扣车请求、统一时钟信息、运行方向、停稳信息、停车时间、下一站运行等级及告警信息等。

#### 5) ZC 与 CC 间接口

ZC 与 CC 接口信息主要包括移送授权信息、临时限速信息、无人折返信息、数据库版本号信息、列车运行状态、速度、位置、级别、驾驶模式、完整性等。

#### 6) ZC 与 DSU 间接口

ZC 与 DSU 接口信息包括临时限速信息、数据库版本号信息等。

#### 7) CC 与 CI 间接口

CC 与 CI 间接口信息包括打开/关闭屏蔽门信息。

总之，CBTC 系统各子系统在独立执行各自功能的同时密切配合，协同控制，共同实现了 CBTC 系统各项功能。

## 七、卡斯柯 Urbalis888 系统基本认知

Urbalis888 是由卡斯柯信号有限公司及其母公司 Alstom 联合开发的 CBTC 信号系统，其中，列车自动监控系统（ATS）、微机联锁（CBI）、维护支持子系统（MSS）为卡斯柯自

主开发，列车自动控制（包含 ATP、ATO 逻辑结构见图 1-3-8）、数据通信系统（DCS）由 Alstom 开发，目前卡斯柯已经将 ATP、ATO、DCS 实现国产化。

ATP/ATO 包含下列子系统或设备：车载计算机 CC——在自动控制和人工控制下都能负责监督和控制的行车安全。

车载人机界面 DMI：驾驶员人机界面。

区域控制器 ZC：负责计算线上所有列车的自动防护包络。这些自动防护提供给 CBTC 列车及运行在点式模式下的列车，ZC 将该信息发往它管辖区域内的每辆列车的 CC。

线路控制器 LC：管理临时限速（TSR），确保 LC 与 ZC 间的同步性以及管理 ATP 和 ATO 的数据及软件版本。

信标 Beacon：完成列车动态初始化和重新定位功能，以及在后备模式下向列车提供进路信息。

欧式有源编码器 LEU（Product used in ATP/ATO）：欧式编码器（LEU）和信标也为轨旁 ATC 设备，其中欧式编码器（LEU）设置于集中站信号设备室中，信标设置于轨旁。

CBI 子系统：确保轨旁控制的安全，如“控制信号处于正确的显示”。

ATS 子系统：实现信号监控、列车管理、列车追踪控制、计划管理、运行线路管理、培训与维护、系统管理、时钟同步、告警事件管理、历史回放、统计报告，以及与外部系统接口。

维护支持子系统 MSS：实现对 URBALIS CBTC 各子系统（ATS、ATC、CBI、DCS）设备状态和报警信息实时监测。

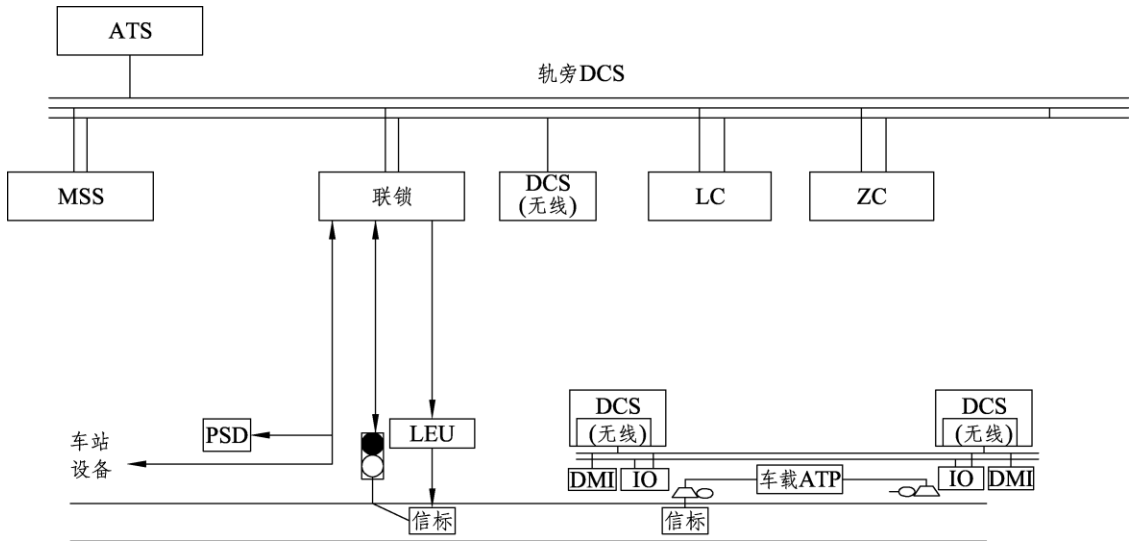


图 1-3-8 ATP/ATO 子系统逻辑结构