

项目 1 概 述

【项目描述】

1. 城市轨道交通的概念、类型与城市道路交通相比具有的优点。
2. 城市轨道交通系统的设备组成及各部分的作用。
3. 列车运行控制系统的组成及主要技术条件。
4. 城市轨道交通信号系统的特点。
5. 城市轨道交通各信号基础设施的作用、构成及工作原理。
6. 行车闭塞法的概念及实现区间闭塞的基本方法。
7. 各种闭塞制式的工作原理及技术特点。

【项目目标】

1. 了解城市轨道交通的概念、类型，与城市道路交通相比具有哪些优点。
2. 了解城市轨道交通系统的设备组成及各部分的作用。
3. 理解列车运行控制系统的组成及主要技术条件。
4. 了解城市轨道交通信号系统的特点。
5. 掌握城市轨道交通各信号基础设施的作用、构成及工作原理。

6. 理解行车闭塞法的概念和实现区间闭塞的基本方法。
7. 掌握各种闭塞制式的工作原理及技术特点。

典型工作任务 1 城市轨道交通概述

【工作任务】

1. 了解城市轨道交通的概念及类型。
2. 理解城市轨道交通与城市道路交通相比具有的优点。
3. 掌握城市轨道交通系统的设备组成及各部分的作用。

【知识准备】

一、城市轨道交通的概念及类型

在我国国家标准《城市公共交通常用名词术语》中，将城市轨道交通定义为“通常以电能为动力，采取轮轨运转方式的快速大运量公共交通之总称”。国际轨道交通有地铁、轻轨、市郊铁路、有轨电车以及磁悬浮列车等多种类型，号称“城市交通的主动脉”。轨道交通是一种独立的有轨交通系统，它提供了资源集约利用、环保舒适、安全快捷的大容量运输服务方式，能够按照设计的能力正常运行，与其他交通工具互不干扰，具有强大的运输能力、较高的服务水平、显著的资源环境效益。根据轨道交通的特性，从广义上讲，车辆运行在导轨上的交通都应称之为轨道交通。但是，在轨道交通发展的历史进程中，人们又把铁路运输称之为大铁路，与轨道交通区别开来。因此，轨道交通不包括大铁路。

轨道交通是因为城市经济的发展和道路交通的拥挤而产生的。在轨道交通的发展过程中，其基本上作为城市公共交通系统的一个重要组成部分而发展的，因此，人们把它称之为城市轨道交通。在我国，随着区域经济和城市群的发展，人们又把连接这些地

区的城际铁路也称为轨道交通。轨道交通有多种类型，如地铁、轻轨、有轨电车、跨座式独轨、磁浮列车、城际列车等。每一种类型都有其应用范围，像地铁比较适合在大城市的中心区客流密集度极高的路段建设；轻轨适合在中等客流密集度的路段建设；跨座式独轨适合在地形复杂（丘陵）的区域建设；城际列车主要应用于城市与城市之间或城镇之间；磁浮列车主要应用于对旅行速度要求较高的区域之间。

1. 地 铁

地铁（Metro 或 Underground Railway 或 Subway）是地下铁道的简称，是城市快速轨道交通的先驱。地下铁道是由电气牵引、轮轨导向、车辆编组运行在全封闭的地下隧道内，或根据城市的具体条件，运行在地面或高架线路上的大容量快速轨道交通系统。地铁不仅具有运量大、速度快、安全、准时、节省能源、不污染环境等优点，而且可以在建筑群密集而不便于发展地面和高架轨道交通的地区大力发展。

地铁路网的基本形式有：单线式、单环线式、多线式、蛛网式等。每一条地铁线路都是由区间隧道（地面上为地面线路或高架线路）、车站及附属建筑物组成。根据地铁主要在地下运行、运量大、造价高的特点，比较适合在大城市的中心区客流密集度极高的路段建设。受客流分布以及地铁修建的周边条件等的因素的影响，地铁主要有 3 种形式，即地下线、地面线、高架线；对应的车站为地下站、地面站、高架站。世界上最早的地铁于 1863 年在英国伦敦建成，其干线长度为 6 km，牵引机车为蒸汽机车。我国第一条地铁线路的建设在北京，开工于 1965 年，1969 年 10 月 1 日北京地铁第一期工程投入试运营，目前北京地铁已开通 18 条线路。

2. 轻 轨

轻轨是反应在轨道上的荷载相对于铁路和地铁的荷载较轻的一种交通系统，称之为轻轨。轻轨交通原来的定义是指采用轻型轨道的城市交通系统。当初使用的是轻型钢轨，而如今的轻轨已采用与地铁相同质量的钢轨。所以，目前国内外都以客运量或车辆轴重（每根轮轴传给轨道的压力）的大小来区分地铁和轻轨。轻轨现在指的是，运量或车辆轴重稍小于地铁的轻型快速轨道交通。轻轨交通建设标准也低于地铁，因而其国产化进程容易推进。轻轨是适合我国大、中城市，特别是中等城市的轨道交通方式。

3. 磁悬浮列车

磁悬浮列车是根据电磁学原理，利用电磁铁产生的电磁力将列车浮起，并推动列车前进的高速交通工具。由于它运行时悬浮于轨道之上，因而没有轮轨的摩擦，突破了轮轨黏着极限速度的限制，成为人们理想的现代化高速交通工具。磁浮列车分为常导型、超导型及永磁悬浮 3 大类。常导型也称常导磁吸型，以德国高速常导磁悬浮列车为代表，

它是利用普通直流电磁铁电磁吸力的原理将列车悬起，悬浮的气隙较小，一般为 10 mm 左右。常导型高速磁悬浮列车的速度可达 400~500 km/h，适合于城市间的中长距离快速运输。而超导型磁悬浮列车也称超导磁斥型，以日本 MAGLEV 为代表。它是利用超导磁体产生的强磁场，列车运行时与布置在地面上的线圈相互作用，产生电动斥力将列车悬起，悬浮气隙较大，一般为 100 mm 左右，速度可达 500 km/h 以上。

4. 城际轨道交通

城际轨道交通 (Urban Railway) 是由电气或者内燃牵引、轮轨导向，车辆编组运行在城市内部和城市群之间，线路技术、设施与干线铁路基本相同，是以提高市民旅行速度为目的公交型轨道交通。

城际轨道交通的作用是促进本地区社会经济全面快速地发展，加快区域融合，促进区域经济一体化，促进现代工业、旅游事业快速发展。城际列车的旅行速度一般为 160~300 km/h。我国已研发的适用于城际轨道交通列车有电动车组、内燃车等。如“中华之星”高速动车组，时速达 270 km，定员 772 人；“先锋号”快速动车组，时速 200 km 以上，定员 424 人；“中原之星”动车组，时速 160 km，总座席数 548 个，可以满足最高运行速度 160 km/h 站站停列车的运输要求。

5. 有轨电车

有轨电车 (Tram 或 Streetcar) 是使用电力牵引、轮轨导向、1 辆或 2 辆编组运行在城市路面线路上的低运量轨道交通系统。1908 年，我国第一条有轨电车交通线在上海建成通车，在随后的年代里，我国的北京、天津、武汉、沈阳、哈尔滨、长春、鞍山等城市都相继修建了有轨电车，在当时我国城市的公共交通中发挥了骨干作用。虽然旧式有轨电车行驶在城市道路中间，与其他车辆混合运行，又受到路口红绿灯的控制，运行速度很慢，正点率低而且噪声大，加减速度性能较差，但仍不失为居民出行的便捷交通工具。随着汽车工业的迅速发展，大量的汽车涌上街头，城市道路明显地出现拥挤，于是世界上各大城市都纷纷拆除有轨电车线路，改修运量大的地铁或轻轨交通。目前，随着城市发展、科技的进步，逐步开始修建现在新型有轨电车，2006 年 12 月 6 日，天津滨海新区开发区重新开通了现代化的有轨电车，成都有轨电车——西南地区第一个城市有轨电车项目，目前正处于建设阶段。

按照国际标准，城市轨道交通列车可分为 A、B、C 3 种型号，分别对应 3 m、2.8 m、2.6 m 的列车宽度。凡是选用 A 型或 B 型列车的轨道交通线路称为地铁，采用 5~8 节编组列车；选用 C 型列车的轨道交通线路称为轻轨，采用 2~4 节编组列车，列车的车型和编组决定了车轴重量和站台长度。上海轨道交通 3 号线采用 6 节编组 A 型列车，有 90% 的线路都是在高架上，但是按照车型分类标准仍然属于地铁线路；上海轨道交通 6 号线

采用 4 节编组 C 型列车，有 70% 的线路都是在隧道内，但是按照车型分类标准仍然属于轻轨线路。A 型车是目前最高端的城市轨道交通列车。其特点是车体宽和编组大，A 型车宽度为 3 m，上海轨道交通 10 号线采用的阿尔斯通地铁列车宽度达到 3.2 m；6 节编组 A 型地铁列车最大载客量为 2 460 人，上海轨道交通 1、2 号线的阿尔斯通和西门子 8 节编组 A 型地铁列车最大载客量达到 3 280 人。B 型车和 C 型车的造价和技术含量要小于 A 型车。城市轨道交通分为地铁和轻轨两种制式，地铁和轻轨都可以建在地下、地面或高架路上。

二、城市轨道交通的优点

在城市各种公共交通中，轨道交通具有运量大、速度快、安全可靠、污染低、受其他交通方式干扰小等特点，是现代化城市的重要基础设施，是缓解城市道路交通压力的有效方式，与城市道路交通相比具有以下优点。

(1) 运量大，用地省。一条复线轨道交通线路与一条 16 车道的公路具有大体相同的运输能力。

(2) 速度快、准时。一般城市公共汽车时速为 10~20 km，地铁时速为 40~80 km，且不受其他交通方式干扰，可保证乘客迅速、准时地到达目的地。

(3) 污染小、环保。轨道交通以电力作为动力，是清洁、绿色的交通方式。

(4) 能耗低。每一单位运输量能源消耗量，轨道交通系统仅为公共汽车的 3/5，私人用车的 1/6。

(5) 安全可靠。由于轨道交通采用了更高的技术标准和更严格的管理措施，比公路交通的安全性高得多。

三、城市轨道交通系统的设备组成及作用

城市轨道交通系统主要以轨道承载列车运行为导向，以信号系统为控制手段，是集中、快速输送旅客的轮轨系统。其设备构成主要分为线路和车站、车辆和牵引供电、信号和通信、其他设备[包括供电系统、自动售检票系统(AFC)、火灾自动报警系统(FAS)、车站环境与设备监控系统(BAS)等]。上述系统直接服务于运营管理，是城市轨道交通的硬件设备，是安全运营的物质基础和技术保证。

1. 线路和车站

每一条城市轨道交通线路都是由线路、车站及其附属建筑物组成。城市轨道交通线

路是城市轨道交通车辆运行的基础，按空间设置位置有地下、地面和高架 3 种形式。

车站是城市轨道交通的重要组成部分，是集散客流的基本设施。车站按其功能分为 4 种：中间站、区域站（折返站）、换乘站、终点站。车站间的距离在市区宜为 1 km 左右，在郊区不宜大于 2 km；地下车站一般由地面出入口、中间站厅、地下站台组成。高架结构车站由地面出入口、高架站厅、高架站台组成。站台类型有岛式站台、侧式站台、混合式站台。

车辆段用于列车停留、折返、临修及检修。包括停车库、检修库、运用管理部门、管理与服务部门。

城市轨道交通线路按其在运营中的作用，分为正线、辅助线和车场线。辅助线包括折返线、渡线、联络线、停车线、出入线、安全线等。车场线指牵出线、停留线及车辆段内各种作业线和试车线。

2. 车辆和牵引供电

车辆是城市轨道交通的重要组成部分，应具有先进性、可靠性和实用性，满足容量大、安全、快速、美观和节能的要求。城市轨道交通车辆有动车和拖车，带司机室车和不带司机室车等多种形式。动车又分为带有受电弓的动车和不带受电弓的动车。在运营时采用动拖结合、固定编组，形成电动车组。

车辆由车体、转向架、牵引缓冲连接装置、制动装置、受流装置以及内部设备组成。

接触网是城市轨道交通的输电网。通过电动车组的受电弓和接触网的滑动接触，牵引电能就由接触网进入电动车组，驱动牵引电动机使列车运行。牵引变电所向接触网供电有单边供电和双边供电两种方式。

接触网分为架空式接触网和接触轨式接触网。架空式接触网由接触悬挂、支持装置、支柱与基础等组成，要考虑跨距、弛度和张力。接触轨是沿牵引线路敷设的与走行轨道平行的附轨，由电动车组伸出的受流器与其接触而取得电能。

3. 信号与通信

城市轨道交通信号设备的主要作用是保证行车安全和提高线路通过能力，是城市轨道交通的主要技术装备。城市轨道交通要求信号设备安全性高、通过能力大，保证信号显示距离、抗干扰能力强，可靠性高、自动化程度高。

城市轨道交通信号系统具有完善的列车速度监控功能、联锁关系不复杂、车辆段独立采用联锁设备、自动化水平高等特点。

城市轨道交通信号基础设备主要包括继电器、信号机、转辙机、轨道电路等，它们是城市轨道交通信号系统的重要基础设备，它们的运用质量和可靠性，是信号系统正常运行和充分发挥效能的保证。

联锁设备是城市轨道交通的重要信号设备，用来在车站或车辆段实现联锁关系，建立进路、控制道岔的转换和信号机的开放，以及进路解锁，以保证行车安全。联锁设备分为正线车站联锁设备和车辆段联锁设备。

列车自动控制（ATC）系统是城市轨道交通信号系统最重要的组成部分，它能实现行车指挥和列车运行自动化，能最大限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。目前用于我国城市轨道交通的 ATC 系统基本上是从国外引进的，列车自动控制（ATC）包括 3 个子系统：列车自动防护（ATP）、列车自动运行（ATO）、列车自动监控（ATS）或调度集中（CTC）。ATC 功能包括：ATS 功能、联锁功能、列车检测功能、ATC 功能和 PTI 功能。

按照闭塞实现的方式，城市轨道交通的闭塞可分为固定闭塞、移动闭塞和介于两者之间的准移动闭塞。准移动闭塞式和移动闭塞式 ATC 系统可以实现较大的通过能力，对于客运量变化具有较强的适应性，可以提高线路利用率，具有高效运行、节能等作用，并且控制模式与列车运行特性相近，能较好地适应不同列车的技术状态，其技术水平较高，具有较大的发展前景。

ATP 按地面信息的传输方式分为点式和连续式两种。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，前者又可分为利用轨间电缆与利用数字编码音频轨道电路两类。按地-车之间所传输信息的内容，ATC 系统可分为速度码系统与距离码系统。ATC 系统的发展方向是基于通信的列车自动控制系统——CBTC。

ATC 系统包括控制中心自动控制模式、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、车站自动控制模式、车站人工控制模式等。

城市轨道交通列车的主要驾驶模式包括列车自动运行驾驶模式、列车自动防护驾驶模式、限制人工驾驶模式、非限制人工驾驶模式以及自动折返驾驶模式。

城市轨道交通必须配备专用的、完整的、独立的通信系统，以集中统一指挥，构成城市轨道交通各部门之间的有机联系，保证城市轨道交通列车运行的安全、可靠、准点，实现行车调度和列车运行自动化。

城市轨道交通通信网由光纤数字传输、数字电话交换、广播、闭路电视监控、无线通信等系统组成，包括传输系统、公务电话系统、专用电话系统、无线通信系统、广播系统、时钟系统、闭路电视监控系统、电源及接地系统。

城市轨道交通通信按功能分为专用通信、自动电话通信、有线广播通信、闭路电视、无线通信、其他通信。

4. 其他设备

城市轨道交通其他设备包括上述 3 类设备以外的供电系统、自动售检票系统和门禁系统、火灾自动报警系统和自动灭火系统、车站机电设备、环境与设备监控系统、综合监控系统。

城市轨道交通供电系统是最重要的基础能源设施，为各种用电设备提供动力电源，确保轨道交通列车和照明、通风、空调、排水、通信、信号、防灾报警、自动扶梯等各系统的正常运行。供电系统包含供电局地区变电所与轨道交通主变电站之间的输电线路、轨道交通供电系统内部牵引降压输配电网络、直流牵引供电网和车站低压配电网、电力监控系统、防雷设施和接地系统等。

变电所可分为主变电所、牵引变电所、降压变电所、牵引降压混合变电所。电源及供电系统采用集中供电方式，中压供电网络与牵引供电系统共用，电压等级为 33 kV，电源由主变电所供给。车站及区间动力、照明负荷由车站降压变电所供应，供电电压为 0.4/0.22 kV。

供电系统按满足一、二级负荷要求，两路电源供电。

动力照明供电范围为各车站和区间、车辆段、综合维修基地的所有动力照明用电，城市轨道交通物业用电。

电力监控 (SCADA) 系统对城市轨道交通供电系统变电所、牵引网设备进行实时控制监视和数据采集，使调度管理人员通过监控系统实时地监视供电系统设备的运行情况，及时掌握和处理供电系统的各种事故、报警事件，准确实施调度指挥、事故抢修和事故处理，保证供电的可靠性、安全性。

自动售检票系统 (AFC) 用于自动售票、自动检票和自动统计、结算。它是集机械、电子、计算机应用、计算机网络管理、通信传输、票务政策及票务管理等功能于一体的控制系统和信息管理系统。AFC 系统通常由中央计算机、车站计算机、票房售票机、自动售票机、进/出闸机、验票机和车票等部分组成。

门禁系统的功能主要是方便授权人员在受控情况下方便地进入设备管理区域。门禁系统由中央计算机、车站计算机、主控制器、电源箱、就地控制器、读卡器、电子锁、员工票以及通信网络组成。

火灾自动报警系统 (FAS)，对城市轨道交通全线进行火灾探测、报警和控制。FAS 有中央和车站两级监控。FAS 系统由图形控制中心系统、车站级火灾自动报警系统和现场设备组成。

城市轨道交通的主变电站、变配电站、信号设备室及车站控制室等一些电子电气用房采用自动灭火系统进行保护。自动灭火系统由存储输送灭火介质的网管子和探测报警的控制子系统组成，平时由自动灭火系统的控制子系统来监视防护区的状态，火灾时能自动报警，并按预先设定的控制方式启动灭火装置，达到扑救防护区火灾的目的。

车站机电设备包括通风与空调设备、给排水及消防设备、屏蔽门/安全门、防淹门、自动扶梯。

城市轨道交通地下车站的内部空气环境采用通风或空调系统进行控制，分为通风系统和空调系统。通风空调系统按控制区域分为隧道通风系统和车站通风空调系统两大部分。隧道通风系统分成区间隧道通风系统和车站隧道通风系统。车站通风空调系统分成车站公共区通风空调系统（大系统）、车站设备管理用房通风空调系统（小系统）和空调水系统。

城市轨道交通给排水系统包括给水系统、排水系统、水消防系统。给水系统包括车站、区间生产、生活给水系统。排水系统由雨水系统、污水系统和废水系统组成。

屏蔽门系统是为了在城市轨道交通地下车站达到节能与保护乘客安全的目的而设置的；为了起到保护乘客的目的，在高架车站则常常设置全高安全门或半高安全门。屏蔽门系统主要由门体、门机、电源与控制等部分组成。其中控制系统主要由屏蔽门中央接口盘、屏蔽门就地控制盘、门控单元以及通信介质及通信接口构成。屏蔽门/安全门的控制方式控制系统实现系统级控制、站台级控制和手动操作 3 级控制方式。

为防止突发事故造成隧道破裂后江水、湖水涌进车站和地下区间而使事故扩大，在穿越江河、湖泊的地下区间进出水域的两端适当位置设防淹门。防淹门包括闸门、门槽、启闭机、锁定装置、密封等部件。防淹门控制系统以每个门体为相对独立的控制子系统，完成防淹门开、关门的控制。在控制中心及相关车站可通过主控系统网络监视设备的运行状态。

自动扶梯、电梯设置在车站和出入口。自动扶梯将地面上的乘客送入地下站台或高架站台，以及将地下站台或高架站台上下车的乘客送到地面。电梯、楼梯升降机主要为行动不方便的乘客提供出入城市轨道交通的一条无障碍通道，也兼作在设备更换维修时运输设备零部件。

典型工作任务 2 城市轨道交通信号系统概述

【工作任务】

1. 理解列车运行控制系统的组成及主要技术条件。
2. 了解城市轨道交通信号系统的特点。

3. 掌握城市轨道交通各信号基础设施的作用、构成及工作原理。

【知识准备】

一、列车运行控制系统的组成及主要技术条件

城市轨道交通信号系统是保证列车运行安全，实现行车指挥和列车运行现代化，提高运输效率的关键系统设备。现代信息类技术的迅速发展，促进了轨道交通系统的技术装备和管理现代化。近年来，轨道交通信号领域在应用计算机、通信和自动控制等先进技术的基础上，集成了行车调度指挥、区间闭塞、车站联锁和车载运行控制，构建了列车运行控制系统，实现了列车运行全过程的防护控制与管理，使行车指挥与控制迈向了自动化、数字化、智能化的现代化控制领域。

在现代轨道交通系统中，信号与其他相关专业在技术之间的关系变得密不可分，列车运行控制系统突破了信号相对独立的控制技术理念，将信号技术和轨道交通运输类相关专业的技术进行交叉融合，综合了通信、车辆、线路、牵引、制动以及运输调度指挥等专业技术的行车相关要素，形成了轨道交通系统运营、控制与管理的高技术平台，不仅在行车安全方面提供了根本保障，而且在行车自动化控制、运营效率的提高及管理自动化等方面，提供了完善的功能，极大地促进了轨道交通运营管理现代化发展。因此，列车运行控制系统被列为轨道交通重点发展的技术，成为轨道交通现代化的重要标志之一。

列车运行控制系统（简称列控系统）就是对列车运行全过程或一部分作业实现调度指挥、防护与控制的系统。其特征为：调度指挥系统按照运行图计划发出列车运行指令，列车通过车站和线路设备获取地面行车信息和命令，车载设备控制列车运行。在保障列车运行安全的前提下，调整与前行列车之间保持的距离，提高行车效率，同时减轻司机劳动强度、改善工作条件、提高乘客舒适度。列车运行控制系统示意图如图 1-1 所示。

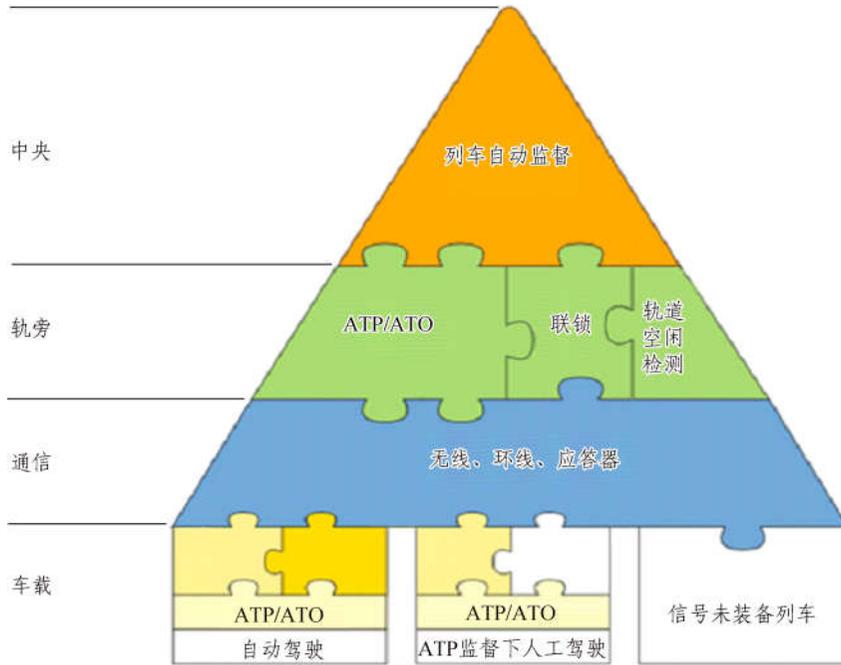


图 1-1 ATC 框架

轨道交通领域中，列车运行自动控制系统 ATC (Automatic Train Control) 包括 3 个子系统：

- (1) 列车自动监控系统 ATS (Automatic Train Supervision)。
- (2) 列车超速防护系统 ATP (Automatic Train Protection)。
- (3) 列车自动驾驶系统 ATO (Automatic Train Operation)。

在我国城市轨道交通领域中，全面应用了列车运行控制系统 ATC，装备了高水平的 ATS、ATP 和 ATO 系统，实现全线运营的列车监督和追踪、自动排进路、运行自动调整、列车自动防护、自动驾驶等功能，列控系统装备达到了全自动化的水平。在技术平台上，采用基于通信的列车控制系统（CBTC 系统）是今后城市轨道交通领域列控的技术发展趋势。基于通信的列车控制系统需要达到的主要技术条件有：

(1) 列车自动控制系统必须以安全、可靠、技术先进实用和经济合理为宗旨，并满足确保行车安全、提高运输效率和改善服务质量的要求。

(2) 列车自动控制系统选型应根据城市轨道交通路网规划的要求，综合考虑技术的发展方向，在满足安全、运营功能需求的前提下充分考虑各条线系统设备制式的兼容性以减少工程投资。

(3) 列车自动控制系统设备的选型和设计，应重点考虑 ATS、联锁设备、轨旁 ATP/ATO 的设备功能，引进设备应满足国产化的要求。

(4) 正线宜配备完整的列车自动控制 (ATC) 系统, 包括列车自动防护 (ATP) 子系统、列车自动驾驶 (ATO) 子系统和列车自动监控 (ATS) 子系统和计算机联锁子系统。正线全线均纳入列车自动控制 (ATC) 系统控制范围, 车辆段另设联锁设备单独控制。

(5) 列车自动控制系统应具有高安全性、可靠性和可用性, 凡涉及行车安全的设备必须满足故障-安全的原则。

(6) 列车自动控制系统主要行车指挥设备的计算机系统应采用热备冗余结构, 正线联锁、ATP 子系统等安全设备的计算机系统应采用安全型冗余结构的计算机系统。

(7) 列车自动控制系统设备的配置应有利于行车组织和运营管理, 满足运营要求, 实现行车指挥自动化、网络化和智能化。

(8) 正线列车自动控制系统应具有安全、灵活、可靠的控制模式, 且须具有降级使用和后备运营模式。正常情况下由中央自动控制, 必要时中央调度员可实现人工控制, 在中央 ATS 系统设备或中央至车站的通道发生故障时, 可由车站级现地控制, 以减小对运营的影响。

(9) 遵循右侧行车制原则, 正线区段 (包括车辆段出入段线、存车线、折返线) ATP 功能按双线双方向、ATO 功能按单方向运行设计。

(10) 系统应满足列车最高运行速度、全线旅行速度及远期行车间隔的要求。

(11) 系统设备均按远期能力一次设计、配置, 预留线路延伸系统扩展的容量需求, 同时兼顾与轨道交通线网其他线路的接口要求。

(12) 系统设备须具备抗电磁干扰的能力, 高架及地面信号设备还应具有防雷措施。

(13) 信号系统设备在实现国产化后, 应确保 ATS、ATP、ATO、计算机联锁等子系统间的接口安全、正确、可靠。

(14) 系统应能满足与地铁车辆、通信、屏蔽门/安全门、综合监控等系统以及与其他地铁线路的信号系统接口要求。

(15) 系统所有室外设备的安装必须满足设备限界的要求。所采用的设备、器材必须满足使用环境要求, 设备结构紧凑, 便于安装和维护。

二、城市轨道交通信号系统的特点

城市轨道交通信号系统沿袭铁路的制式, 但由于其自身的特点, 与铁路的信号系统有一定的区别。城市轨道交通信号系统的特点是:

1. 具有完善的列车速度监控功能

城市轨道交通所承担的客运量巨大，对行车间隔的要求远高于铁路，最小行车间隔达 90 s，甚至更小，因此对列车运行速度监控的要求极高。

2. 数据传输速率较低

城市轨道交通的列车运行速度远低于铁路干线的列车运行速度，最高运行速度通常为 80 km/h，所以信号系统可以采用速率较低的数据传输系统。但是，随着城市轨道交通信号自动化技术的不断发展，对信息需求越来越多，信号系统也逐步采用速率较高且独立的数据传输系统。

3. 联锁关系较简单但技术要求高

城市轨道交通的大多数车站没有配线，不设道岔，甚至也不设地面信号机，仅在少数有岔联锁站及车辆段才设置道岔和地面信号机，故联锁设备的监控对象远少于铁路车站的监控对象，联锁关系远没有铁路复杂。除折返站外全部作业仅为旅客乘降，非常简单。通常一个控制中心即可实现全线的联锁功能。

城市轨道交通信号自动控制最大的特点是把联锁关系和 ATP 编/发码功能结合在一起，且包含一些特殊的功能，如自动折返、自动进路、紧急关闭、扣车等，增加了技术难度。

4. 车辆段独立采用联锁设备

城市轨道交通的车辆段类似于铁路区段站的功能，包括列车编解、接发列车和频繁的调车作业，线路较多，道岔较多，信号设备较多，一般独立采用一套联锁设备。

5. 自动化水平高

由于城市轨道交通的线路长度短，站间距离短，列车种类较少，行车规律性很高，因此它的信号系统中通常包括自动排列进路和运行自动调整的功能，自动化程度高，人工介入极少。

三、城市轨道交通信号基础设施

城市轨道交通信号基础设施主要包括信号机、转辙机、轨道电路、计轴器等，它们是城市轨道交通信号系统的重要基础设施。

1. 信号机

城市轨道交通多采用 LED 色灯信号机，在城市轨道交通中，列车的运行速度不取决

于信号显示，即信号为非速差信号。允许信号的绿灯、黄灯并不表示列车的运行速度，而是代表列车的运行进路是走道岔直股还是弯股。

城市轨道交通的地面信号机设于列车运行方向右侧，在地下部分一般安装在隧道壁上。特殊情况可设于列车运行方向的左侧或其他位置。

高柱信号机具有显示距离远，观察位置明确等优点，因此车辆段的进段、出段信号机（以及停车场的进场、出场信号机）均采用高柱信号机。而其他信号机由于对显示距离要求不远，以及隧道内安装空间有限，一般采用矮型信号机，如图 1-2 所示。

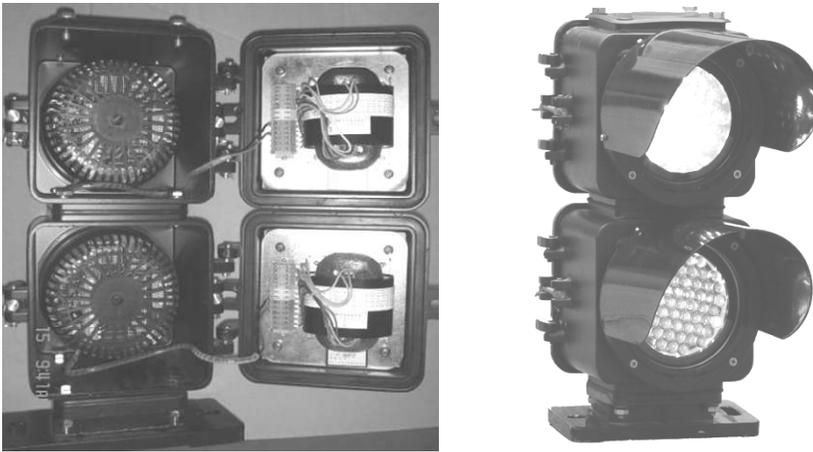


图 1-2 LED矮型信号机

1) LED 信号机工作原理

信号机内部结构由变压器、点灯模板、LED 发光盘 3 部分组成，工作原理为：110 VAC 电源到 AC IN，经过变压器降压后到整流桥（KB），R16、ML 是防冲击电压和浪涌电压；经整流桥出来后 AC 交流变成 DC 直流后直接供电给 LED 发光盘，R1~R12 是限流电阻，限制 12 路中的每路电流在额定范围内；R13、R14、R15、D1、D2、D3 组成门限电路，R15 是用来调整门限电压（出厂的门限电压默认值为 60VAC）。

2) LED 信号机常见故障及排除故障方法

LED 信号机常见故障及排除方法见表 1-1。

表 1-1 LED 信号机常见故障及排除方法

序号	故障状态	可能故障原因	排除故障方法
1	整个 LED 发光盘不能点亮	点灯变压器有输入电压、无输出电压	更换变压器
		点灯变压器输入、输出电压正常	更换光源
		检查光源上的电源输入线是否接触良好	将光源的电源输入线取下重新接

			到输入端子上
2	变压器烧坏	检查光源点灯模板上的 TVS 是否击穿，造成短路	更换光源和变压器
3	发光盘上有束 LED 发光管不能点亮	发光盘与点灯模板的连接线接触不良	将点灯模板上万可端子的每束连接线取下重新接到万可端子上
		一束 LED 中有一个或几个 LED 损坏	更换光源
4	信号机构内部漏水	检查灯箱盖上的密封圈损坏，箱盖锁紧螺母没有拧紧，前置镜的固定螺丝松动	更换箱盖密封圈，重新拧紧箱盖锁紧螺母，紧固前置镜上的固定螺丝
5	信号机工作电流偏低	信号机发光盘的 LED 发光管有损坏	更换光源
		信号机一次侧输入端电压偏低	调整变压器二次侧输出端子
6	信号机工作电流偏高或过高	变压器输入端子上的压敏电阻击穿	更换压敏电阻或整个变压器组件
		光源上的 TVS 击穿造成变压器二次侧短路	更换 TVS 或整个光源

2. 轨道电路

轨道电路是由钢轨线路和钢轨绝缘构成的电路，主要监督列车的占用、传递行车信息，用于自动、连续检测这段线路是否被机车车辆占用，也用于控制信号装置或转辙装置，以保证行车安全。城市轨道交通中轨道电路一般用于车场，如成都地铁 1、2、4 号线中车辆段、停车场使用 50 Hz 相敏轨道电路。

50 Hz 相敏轨道电路室外包括 BGD-B 送端轨道变压器、BZD-B 受电端中继变压器，室内 50 Hz 相敏轨道电路接收设备为微电子相敏接收器，包括微电子 WXJ50-II 相敏接收器，调相防雷器 TFQ，故障报警盒 BJH。50 Hz 相敏轨道电路使用两套 WXJ50-II 相敏接收器，共同驱动一个轨道继电器，其两套设备中只要有一套正常工作，就能保障系统正常运行，进一步提高了系统的可靠性；如果其中一套发生故障，能及时报警，并通知维修人员进行维修，而且对其中单套维修时，不影响系统使用。

3. 转辙机

转辙机是转辙装置的核心和主体，除转辙机本身外，还包括外锁闭装置（内锁式方式没有）和各类杆件、安装装置，它们共同完成道岔的转换和锁闭。城市轨道交通的正线一般采用 9 号道岔，车辆段（停车场）一般采用 7 号道岔。成都地铁车辆段、正线均使用 ZDJ9 型交流电动转辙机。

ZDJ9 型交流电动转辙机是国内自主研发的新一代交流电转机，如图 1-3 所示，ZDJ9 电转机主要由电动机、减速器、摩擦联结器、滚珠丝杠、推板套、动作板、锁块、锁闭铁、接点座组成、动作杆、锁闭（表示）杆等零部件组成，结构采用模块化设计，便于

维护和维修。主要传动部件滚珠丝杠寿命长、传动效率高；摩擦联结器采用片式粉末冶金摩擦方式，在正常的维护下可以保证转换力的稳定；接点座和锁闭铁根据转辙机安装的牵引点位置不同分为可挤型和不可挤型，静接点片采用铍青铜片，动接点环为铜钨合金，耐磨损、使用寿命长。接线端子采用德国 WAGO 专用端子，电气性能稳定可靠。机盖采用达克罗，防锈能力强。

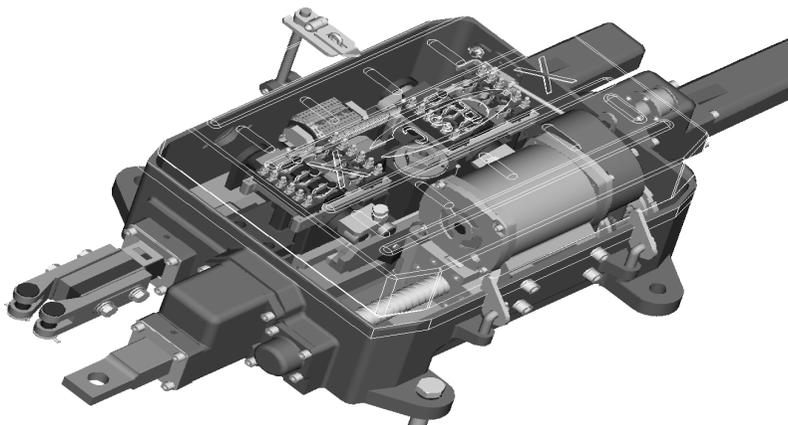


图 1-3 ZDJ9 型交流电动转辙机

1) 转辙机的传动原理

电动机接通电源后，电机上的小齿轮通过齿轮箱中的传动齿轮进行两级减速把动力传递到摩擦联结器的齿轮上；通过摩擦联结器中的内外摩擦片的摩擦作用，把齿轮的旋转运动传递到滚珠丝杠上。滚珠丝杠把传动齿轮的旋转运动转换成与丝杠联结的推板套的水平直线运动；推板套水平直线运动，推动安装在动作杆上的锁块，在锁闭铁的辅助下使动作杆水平运动，完成道岔的锁闭功能。

2) 转辙机的表示原理

转辙机表示功能的完成是由动作板、接点座组成、表示杆共同完成的。推板套动作的同时，安装在推板套上的动作板随着推板套一起运动；动作板开始运动后，动作板滑动面一端的斜面推动与起动片联结的滚轮，切断表示，同时接通下一转换方向的动作接点；当动作到位时，滚轮从动作板滑动面落下，动作接点断开，同时表示接点接通，给出道岔表示。在这一过程中，滚轮通过左右支架的作用，使检查柱抬起或落入表示杆槽内，达到检测道岔状态的作用。

3) 转辙机的挤脱及挤岔表示原理

挤岔时，当挤脱器中的锁闭铁在动作杆上的锁块作用下，脱离挤脱柱，在锁闭铁上的凹槽推动水平顶杆，水平顶杆推动竖顶杆，竖顶杆推动动接点支架，从而切断表示，

非经人工恢复锁闭铁，不可能再接通表示。

4. 计轴设备

计轴设备和轨道电路一样，都是检查区间是否有列车或车辆占用的检查监督设备，是利用轨道传感器、计数器来记录和比较驶入和驶出轨道区段的轴数，以此来确定轨道区段的占用和空闲。其工作不受道床、轨道状态和气候条件等的影响，但是相比于轨道电路，不能检查断轨，不能传输其他与行车有关的信息，且计轴容易经常受扰，需要人工复位。

计轴设备的工作原理是：当列车驶入，车轮进入轨道传感器作用区时，轮对经过传感器磁头时，向驶入端处理器传送轴脉冲，轨道区段驶入端处理器开始计轴，驶入端处理器首先判定运行方向，确定对轴数累加计数还是递减计数。列车进入轨道区段，驶入端计轴器对轮轴进行累加计数，并发出区段占用信息，同时，驶入段处理器经传输线向驶出端处理器发送驶入轮轴数，列车全部通过驶入端计轴点时，停止计数。当列车到达区段驶出端计轴点时，由于列车是驶离区段，驶出端计轴器进行减轴运算，同时再传送给驶入端处理器，列车全部通过后，两站的微机同时对驶入区间和驶离区间的轮轴数进行比较运算，两站一致时，证明进入区段的轮轴数等于离开区段的轮轴数，可以认为该区段已经空闲，发出区间空闲信息表示，当无法证明进入区段的轮轴数等于离开区段的轮轴数时，则认为区间仍将处于占用状态。世界各大铁路公司都有相应的计轴产品，如 Alctel 的 AzLM，GE 的 SCA，SIEMENS 的 AzS350U 等。而成都地铁 1 号线使用 AzLM 型计轴，2、4 号线使用 ACS2000 型计轴。

1) AzLM 型计轴设备

AzLM 计轴系统由下列部件组成，如图 1-4 所示。

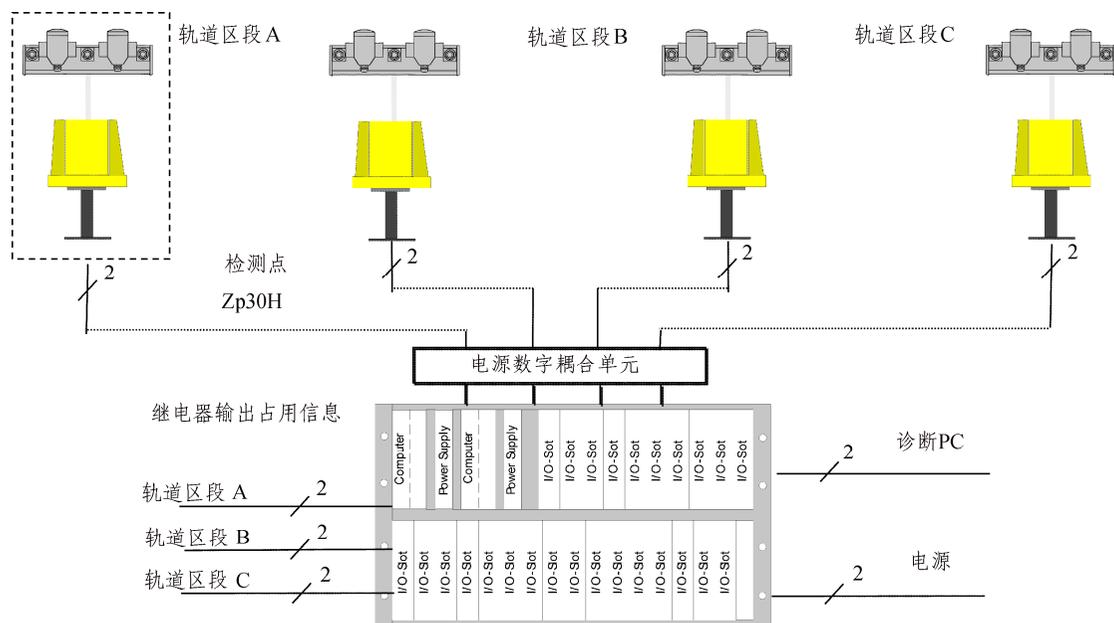


图 1-4 AzLM 计轴系统

- (1) 轨旁检测点 (ZP30H) : 由轨道磁头、电子单元 E-Es 及密闭安装盒组成。
- (2) 计轴评估器 (ACE) : 由具有串行和/或并行 I/O 口的安全计算机模块组成。联锁接口可配置为串行 (以太网)、并行 (继电器/光电耦合器) 或两种均可。
- (3) 检测点与计轴评估器间的数据传输和供电线路。

2) ACS2000 型计轴设备

ACS2000 型计轴设备分为室内和室外设备两部分, 如图 1-5 所示。在轨道区间的始端和末端各有一个车轮传感器, 它和评估板一起用于对列车轮对信息的检测。每个车轮传感器包含 2 组系统, 用于对列车行车方向判别。每个车轮传感器用四芯信号电缆同一个评估板相连接, 该电缆为车轮传感器供电并将车轴数据传送给评估板。计轴系统的计轴板 ACB 把所有相连接的计数探头的车轴数据进行处理, 并将所检测区段的空闲与占用结果以继电器接口条件的方式向相关的系统 (如联锁系统) 输出 (区段空闲输出 $DC \geq 21.6 V$, 区段占用输出 $DC \leq 2 V$)。同时可提供用于用户维护与监测的接口。

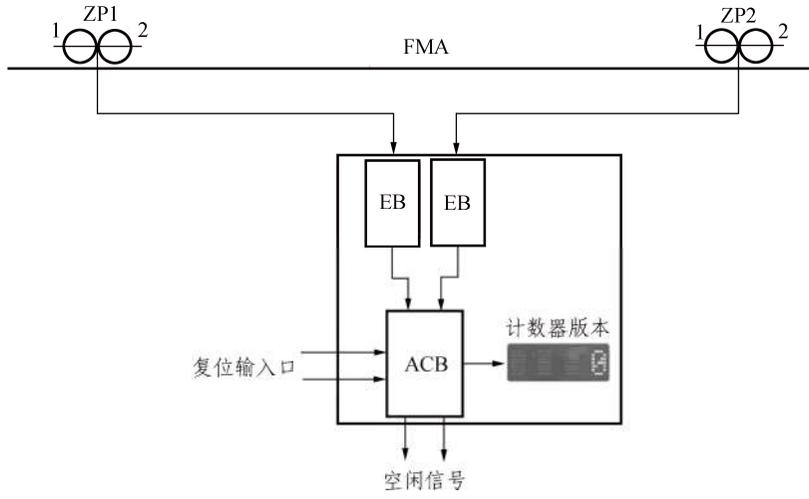


图 1-5 ACS2000 型计轴系统