

项目一

城市轨道交通线网

“城市——让生活更美好”，城市是人类生活、工作密集度很高的场所，是人类进步与发展的产物。在现代城市化发展的历程中，城市的人口增长迅速。而随着城市人口的增加，城市的交通问题、环境问题、资源问题及住房问题凸显而出。这些问题一直在困扰着市政当局，这些问题解决不好，将严重制约城市的经济发展，进而制约城市化的发展。因此，搞好城市的规划和建设，解决城市化进程的交通、环境等问题，是现代城市发展的重中之重。

改革开放以来，我国经济得以高速增长，城市的建设日新月异，城市化进程在不断加快。现在，越来越多的城市，尤其是百万人以上的大城市，都遇到了城市交通问题。虽然我国城市交通基础设施的建设已取得了巨大的成就，但仍然难以满足人们对城市交通的巨大需求。城市道路面积的增长速度，远远赶不上城市机动车的增长速度；交通堵塞、交通事故、空气污染、噪声污染日趋恶化。优先发展城市公共轨道交通作为解决交通问题的有效途径，已成为全世界的共识。

城市轨道交通是一种建设周期最长、投资最大的交通基础设施。一旦建成，很难改变。城市轨道交通线网系统作为城市客运交通的大动脉，其线网规划的优劣不仅在很大程度上决定了线路建设工程的投资大小和难易程度、系统运营的效率与服务水平，而且直接影响到城市的总体布局形态，进而影响城市的社会经济发展和人们的生活方式，土地资源节约与环境生态的保护等问题。因此，城市轨道交通线网规划是城市轨道交通建设中至关重要的环节。

任务一 城市轨道交通定义及分类



学习目标

- (1) 了解城市轨道交通的基本概念。
- (2) 了解城市轨道交通的分类。



学习任务

城市轨道交通的由来、定义及各种城市轨道交通方式的特征。



工具设备

城市轨道交通资料图片及仿真三维立体图多媒体课件。



教学环境

轨道交通理实一体化教室、城市轨道交通企业现场。



基础知识

城市轨道交通是一种轨道运输方式，一般是采用以电能为动力的轮轨运转方式，是城市大运量的公共交通工具。

城市轨道交通是指以轨道运输方式为主要技术特征，以城市客运公共交通为服务形式的交通运输方式。自1863年在英国伦敦出现世界上第一条地下铁道线路以来，城市轨道交通经历了曲折的发展历程。近年来，随着科学技术的进步和城市的快速发展，城市轨道交通得到了快速发展，尤其是城市轨道交通的发展非常明显。

一、城市轨道交通的优势与局限

在现代城市化发展的历程中，城市的经济发展使得城市人口增加迅速，而随着城市人口的增加，城市的交通问题、环境问题、资源问题及住房问题等相继凸显而出。这些问题一直在困扰着市政当局，这些问题解决不好，将严重制约城市的经济发展，进而制约城市化的发展。因此，搞好城市的规划和建设，解决城市化进程中遇到的交通、环境等问题，是现代城市发展的重中之重。

（一）城市轨道交通的地位及作用

1. 城市轨道交通的地位

大力发展城市轨道交通事业是从根本上改善和解决城市的交通现状、促进城市可持续发展的重要举措。城市轨道交通的规划、建设和运营，带动城市向郊区扩展，从而使城市原有的规模得到扩大；同时，城市轨道交通的线路规划会促使城市的各种设施向线路两侧集中，从而促进城市沿轨道交通线路轴向发展，进而引领城市中心的变迁和原有格局的改变。因此，城市轨道交通的规划建设与城市的发展是紧密相关的，并对城市发展具有巨大的引导作用，城市结构会随着轨道交通的发展而不断变化。现代化的大都市以发展道路交通来完全满足客运需求是不现实的，城市不可能提供足够的土地来增加道路。因此，大容量、无污染、高效率、对改善环境有益的城市轨道交通日益成为城市交通发展的首选模式。城市规划的实质就是交通规划和用地规划，在规划轨道交通时要结合城市的定位、地理结构、人文景观、人口规模、用地规模等，使其适合城市未来的发展。

改革开放以来，随着我国经济的迅速发展和城市化进程的加快，客运交通量急剧增加，原有的城市交通系统在数量和质量上都不能满足城市发展的需求，发展快速便捷的城市轨道交通系统已逐渐得到各级政府和广大群众的重视。20世纪90年代以来，城市轨道交通系统的研究进一步深入展开，城市轨道交通建设进入了一个新的阶段。人们开始意识到轨道交通不但可以解决城市交通问题，更重要的是可以促进城市可持续发展，进而推动城市经济建设。

2. 城市轨道交通的作用

（1）改善城市交通现状。当前，我国大中城市普遍存在着道路拥挤、车辆堵塞、交通秩序混乱的现象，这已成为城市发展的“瓶颈”。随着我国城市规模和经济建设飞速的发



展，城市化进程在逐步加快，城市人口在急剧增加，大量流动人口涌进城市，人们出行和物资交流频繁，交通需求急剧增长，城市道路交通供需矛盾日趋紧张。发展以轨道交通为骨干，以常规公交为主体的公共交通体系，为城市居民提供安全、快速、舒适的交通环境，引导城市居民使用公共交通系统是国外大城市解决城市交通问题的成功经验，也是我国大城市解决交通问题的唯一途径。城市结构改变的一个重要因素就是人口的疏解。但是我国城市传统的以步行、自行车为主的交通方式，限制了城市人口的有机疏解。城市轨道交通具有快捷、安全、大容量等特点，不仅能及时疏解大量密集人群，而且由于其对沿线区域可达性的大大提高，对居民产生巨大的吸引力，可以诱导人们远离市中心居住，从而促进城市结构的改变。

(2) 环境保护。城市环境与交通有着极为密切的联系。城市环境恶化的一个重要原因在于汽车的尾气排放和城市道路的噪声。以汽车为主的城市道路交通对城市发展有着极为不利的影 响，它带来大气污染、交通事故增加和其他一系列社会问题。而轨道交通具有低能耗、无污染、安全等特点，它对于改善城市环境、增加城市环境容量有着极为重要的作用，对于建立新型生态城市结构具有重要的现实意义。

(3) 节约资源、减少能源。以地铁为主的城市轨道交通，一般修建在城市的地下，不仅用地比城市道路交通的汽车要少得多，而且由于其强大的运输能力，以及快速、安全等特点，更能促进城市人口密集在轨道两侧，促进城市用地集约化与居住环境改善的统一。促进城市形态和土地使用格局相应的调整，促进城市人口外延性的发展，也即人口分布于更宽广的地域。另外，地铁的能源是电力，与地面交通所消耗的能源相比是很少的。

(4) 拉动相关产业的发展。城市的轨道交通是一个系统工程，涉及其他行业较多，如房地产、制造、建筑、媒体及服务行业等。建设城市轨道交通，相关行业就要配合、配套。这样就给其他行业提供了发展的机会，同样也提高了城市人口的就业率，从而又推动了城市的经济发展。

(5) 战备防空。城市轨道交通在和平年代是城市的交通设施，是用于城市居民出行的交通工具。战争时期（或非常时期）轨道交通设施还能作为城市居民的防空掩体（避难场所）。例如，第二次世界大战期间，德国法西斯大举入侵前苏联时，莫斯科地铁昼夜不停地为卫国战争的胜利做出了巨大贡献。为躲避敌机的频繁空袭，地铁成为天然可靠的安全防空地。又如，当德国法西斯频繁空袭伦敦时，伦敦地铁就有 79 个地铁车站被用于防空掩体，并有一段 8km 的地铁线被用作装配厂，还有很多珍贵文物、精密仪器、急救药品也储藏在地铁里。第一、二次世界大战结束后，欧洲许多国家城市开始新建地铁的目的就是为了备战。

世界各国轨道交通的发展说明，轨道交通的发展无不和与之发展相配套的技术经济政策密切相关。我国城市轨道交通现已进入快速发展阶段，在把握机遇、快速发展的同时，更应重视城市规划作用，保持城市的经济增长及可持续性发展。因此，在正确的战略指导下，研究制定城市轨道交通的建设发展具有重大的现实意义。



（二）城市轨道交通的发展优势

城市轨道交通的优势主要体现在运能大、速度快、能耗低、污染少、安全可靠、舒适性佳和占地面积少等多个方面。

1. 运能大

现代化的轨道交通，先进科学技术的运用，使得列车行车密度和单列载客能力得到了大幅度的提高，从而大大地提高了城市轨道交通的运输能力，能够充分满足现代化城市大客流的需要。目前，大型地下铁道系统的高峰小时单向运能力可达6~7万人次。

2. 速度快

列车采用先进的电动车组动力牵引方式，具有良好的线路条件和自动控制体系，列车的快速运行安全有了保障。因此，现代城市轨道交通系统的列车运行速度比过去有了明显的提高。目前，地下铁道列车的最高运行速度能达到100km/h，旅行速度基本可达到35~45km/h，这在各种城市公共交通方式中是最快的。

3. 能耗低

由于城市轨道交通为大运量集团化客运系统，且又采用了多项高新技术，在客流得到保证的情况下，使得每位乘客的能源平均消耗远远低于其他任何一种城市交通方式。

4. 污染少

城市轨道交通一般均采用电力牵引动力方式，列车在运行过程中由于以电为能源产生动力，较之以燃油为动力的交通工具没有废气污染；就算采用以内燃机为动力的内燃动车组列车，也因大运量集团化运输方式，而使每位乘客所均摊的污染微乎其微。因而城市轨道交通有“绿色交通”之称，这正是现代都市可持续发展最为关注的问题——环境保护问题。

5. 安全可靠

由于城市轨道交通路线一般都采用立交方式而与地面其他交通方式完全隔离，不受地面交通干扰；现代化轨道交通一般都采用先进的信号安全系统来确保列车运行安全，因而受气候条件影响很小；轨道运输的准点性也是其他交通形式不可比拟的。因此，城市轨道交通是城市客运交通方式中可靠性最强的一种。尤其是在上、下班高峰时段及气候条件恶劣之时，对于时间观念极强的现代城市交通行为者而言，这点优势是至关重要的。

6. 舒适性佳

城市公共客运交通方式的舒适性主要表现在环境质量与拥挤度两个方面。对城市轨道交通系统而言，不论是车站的环境，还是途中车厢内的乘车环境，均因有现代化的环控设施保障（如采用全空调等）而使环境质量较佳；拥挤度则因轨道交通的快速性、准时性和列车间隔时间小带来的乘客候车时间短而得到较佳的调整。

7. 占地面积少

城市轨道交通一方面因大量采用立交形式，而大大减少了城市土地的占用，另一方面又因大运量集团化运输方式，而使乘客的交通行为人均所占的道路面积进一步减少。

城市轨道交通使得沿线土地得到有效利用和开发、城市的布局更加合理和方便市民的



出行，同时它增添了现代都市景观效应。因此，城市轨道交通的发展近年来在世界各地呈现出蓬勃向上之势，无论是在经济发达的国家与地区，还是在发展中国家和地区，城市轨道交通均成为发展城市交通的重要手段。

（三）城市轨道交通的局限性

城市轨道交通虽然有许多优点，然而在具体的发展过程中还存在建设投入大、线路建成后不易调整、运营成本高等局限性。

1. 建设投入大

为了使城市轨道交通的优势得到充分体现，城市轨道交通线路的修建往往需要立交，并且形成网络。由于城市轨道系统建设要求高，施工难度大，设备技术标准高，使得每公里线路的修建需要几亿元的投入，尤其是地下铁道每公里造价达 4~6 亿元之多。因此，城市轨道交通线路建设的一次性工程投资巨大，一个国家或地区的城市没有相当强的整体经济实力无法承受如此巨额的投资负担。

2. 线路建成后不易调整

城市轨道交通线路一般均是永久性结构（如地下隧道、高架桥结构等），建成后几乎无调整的可能性。因此，城市轨道交通线路的选线及路网规划应严格按照城市发展规划进行认真制定，否则，会造成极大的工程投资浪费。

3. 运营成本高、经济效益有限

城市轨道交通的运营成本主要包括设备投资成本、运营管理成本、设备维护成本和保养成本、能源消耗成本及员工的工资成本等。

由于轨道交通系统采用了科技含量较高的设备与设施，为了使这些设备、设施（如列车牵引系统、环境控制系统、车站机电设备系统、通信信号设备系统和高标准的防灾系统等）处于良好工作状态，就要加强日常维修和保养，而用于日常维修和保养的费用则很高；城市轨道交通系统需要人员素质较高，必须对员工进行定期的技术、安全培训，其培训教育经费也较高；此外，由于城市轨道交通运营系统的特殊性、站间距小、车站的服务项目多等，需用员工人数也较多，这都是城市轨道交通系统运营成本居高不下的原因。

城市轨道交通系统具有较强的公益性特征，较多地关注间接的社会整体效益，无法按运输成本核收票价，极易导致运营亏损。虽然已有少数城市轨道交通系统因乘客量巨大，产业开发经营较佳而达到略有盈余，但还是有众多的城市轨道交通系统处于“亏本经营”，依赖国家与地方政府、社会机构提供补贴。

二、城市轨道交通的种类

城市轨道交通发展不但呈现出速度快、数量多，而且呈现出类型多样化、设施更先进、管理经营更科学、整体效益更佳的趋势，随着城市化进程的发展，城市轨道交通的地位与作用正被重新估量。



（一）按基本技术特征分类

根据轨道交通系统基本技术特征的不同，城市轨道交通系统可分为市郊铁路、有轨电车、地下铁道、轻轨交通、独轨系统和磁悬浮系统等。

1. 市郊铁路

市郊铁路是连接城市市区与郊区，以及连接城市周围几十公里甚至更大范围的卫星城镇的铁路，它往往也是连接大中城市干线铁路的一部分，因此它具有干线铁路的技术特征，如轨道通常是重型轨道，与城市轨道交通系统中的地下铁道等其他类型不同，在市郊铁路上通常是市郊乘客列车、干线乘客列车和货物列车混行。

2. 有轨电车

有轨电车是一种在城市道路上修建轨道并采用空中架设输电系统的城市轨道交通系统，有轨电车通常采用地面线，有时也有隔离的专用路基和轨道，隧道或高架区间仅在交通拥挤的地带才被采用。有轨电车轨道系统的建设投资较小，见效较快，但运输能力相对也较小。自 1881 年德国发明了高压输电的电车供电系统后，柏林就建成了世界上第一条有轨电车线路。19 世纪后期和 20 世纪前期是有轨电车的发展高峰。旧式的有轨电车由于公共汽车及行人共用街道路权，且平交道口多，因而其运行所受的干扰多，速度慢。现代有轨电车与性能较差的轻轨交通已很接近，只是车辆尺寸稍小些，运营速度接近 20km/h。

由于近年来人们环保意识和能源危机意识的不断增强，有轨电车在世界不少城市有复苏的迹象，我国也有不少城市提出了恢复有轨电车的设想，其中备受瞩目的是天津泰达现代有轨电车项目。泰达现代有轨电车工程将分为两期，全程 30km。一期工程为试验段，全长 8.8km，南起轻轨洞庭路站，北至大学城北部的学院区北站；二期工程则将试验段向两端延伸，向北连接北塘，向南连接塘沽城区。试验段工程总投资（不含车辆）约 1.9 亿人民币，预计设置 14 座车站，全部为地面站，采用岛式站台。在车辆选择方面，将选用 8 列法国劳尔 Translohr 有轨电车。该车采用 100% 低底盘设计，地板与地面的距离尚不到 30cm，不但乘客们上下车十分方便，就连残疾人的轮椅也能毫不费力地推上车，人性化设计理念显露无遗。而橡胶制成的电车动力轮，将运行时的噪声减到最低，也会大大降低车辆对路面的损坏。广州市也有计划建设一条环海珠岛的有轨电车线路，既可作为海珠岛上的公共交通工具，又可作为沿珠江的观光旅游线路。法国巴黎街头的有轨电车如图 1-1 所示。



图 1-1 法国巴黎街头的有轨电车



3. 地下铁道

地下铁道的原始意义是修建在地下隧道中的铁路。随着地下铁道的发展，其线路布置已不仅仅局限在地下隧道中，而是根据需要可以布置在地面或采用高架的方式修建，但城区内的线路还是以地下为主。通过对世界各国地下铁道系统进行分类研究可知，根据地下铁道所采用的技术标准不同可将其分为重型地铁、轻型地铁与微型地铁三种类型，它们的运载能力因技术标准的不同差别很大。目前，地下铁道通常是指重型地铁，其单向小时最大运输能力在 30 000 ~ 60 000 人次之间，其服务范围主要集中在城市市区。

4. 轻轨铁路

轻轨铁路的原始含义是指车辆运行的线路所使用的钢轨比重型地铁所使用的钢轨轻。由于轻轨铁路的钢轨较轻，其整体的技术标准也低于地铁，因而轻轨的运输能力也远远小于地铁。早期的轻轨一般是直接对旧式有轨电车系统改建而成。在 20 世纪 70 年代后期一些国家开始修建全新的现代轻轨系统，使得轻轨系统的行车速度、舒适程度及噪声得到了很大改善。随着轻轨线路的高架，其相关技术标准也在与地铁接近，因而轻轨的运输能力也相应得到了提高，目前轻轨的单向小时最大运输能力能在 8 000 ~ 40 000 人次之间。轻轨的服务范围主要连接市区与郊区，构成市区与重点郊区的大运能通道。

5. 独轨系统

独轨系统是车辆或列车在单一轨道梁上运行的城市客运交通系统。独轨系统的线路通常采用高架结构，车辆则大多采用橡胶轮胎。从构造形式上还可分为跨骑式独轨与悬挂式独轨两种。悬挂式独轨交通如图 1-2 所示。跨骑式独轨是列车跨坐在轨道梁上运行的形式，而悬挂式独轨则是列车悬挂在轨道梁下运行的形式。独轨系统由于道岔转换时间较长而制约着通过能力，因而单向小时最大运输能力在 5 000 ~ 20 000 人次之间，但它的爬坡性能很好，适合于在地面起伏较大的城市修建。我国重庆市现已开通的轻轨线路就是采用的跨骑式独轨系统技术，如图 1-3 所示。



图 1-2 悬挂式独轨交通



图 1-3 重庆市跨骑式独轨交通

6. 磁悬浮系统

磁悬浮列车实际上是依靠电磁吸力或电动斥力将列车悬浮于空中并进行导向，实现列车与地面轨道间的无机械接触，再利用线性电机驱动列车运行。由于列车在牵引运行时与轨道之间无机械接触，因此从根本上克服了传统列车轮轨黏着限制、机械噪声和磨损等问题，所以它也许会成为人们梦寐以求的理想陆上交通工具。

磁悬浮系统的轨道往往也采用轨道梁的高架结构，它的时速可达到 500km 以上，是当今世界最快的地面客运交通工具，具有速度快、爬坡能力强、能耗低的优点，每个座位的能耗仅为飞机的 1/3、汽车的 70%，它运行时噪声小、安全舒适、不烧油、污染少。

中国乃至世界上第一条高速磁悬浮铁路商业运行线是 2001 年 3 月 1 日开工建设的上海磁悬浮列车示范线。上海磁悬浮列车示范线西起上海地铁 2 号线龙阳路车站南侧，东到浦东国际机场一期航站楼东侧，线路总长 31.17km，设计时速和运行时速分别为 505km 和 430km，总投资 89 亿元。上海磁悬浮列车如图 1-4 所示。目前，德国、日本等一些国家也正在规划建设城市磁悬浮交通。



图 1-4 上海磁悬浮列车

中低速磁浮列车时速约为一两百公里。一般认为，高速磁悬浮适合远距离交通，而中低速磁悬浮适合近距离交通。北京地铁的中低速磁悬浮交通示范线——S1 线（石门营—辛



果园)于2011年2月动工。S1线作为北京地铁6号线的西延段,连接通州和门头沟,全线长近20km,行车最高时速为100km左右,每公里投资超过6亿元人民币。北京地铁S1线采用的中低速磁悬浮列车如图1-5所示。



图1-5 北京地铁S1线采用的中低速磁悬浮列车

(二) 按路权使用及列车运行控制方式分类

根据城市轨道交通系统的路权使用情况不同,分为路权专用与路权混用。路权专用是指轨道交通系统的道路为独立道路系统,不与其他任何道路存在干扰;路权混用则指轨道交通线路与其他交通车辆共用道路,并且还与其他线路存在平面交叉。

根据列车运行控制方式的不同,城市轨道交通系统分为按信号控制列车运行和按视线可见距离控制列车运行两种方式。按信号控制列车运行方式安全性能好,可满足列车快速行驶;按视线可见距离控制列车运行方式安全性能较差,列车不宜快速行驶。

根据这两方面的分类组合,城市轨道交通系统就分为路权专用结合按信号控制列车运行类型、路权专用结合按视线可见距离控制列车运行类型和路权混用结合按可视距离控制列车运行类型三种。

路权专用结合按信号控制列车运行类型是市郊铁路、地下铁道、高技术标准的轻轨普遍采用的类型;路权专用结合按视线可见距离控制列车运行类型主要适合中低技术标准采用;路权混用结合按可视距离控制列车运行类型一般只在有轨电车这样低技术标准的轨道采用。

(三) 按高峰小时单向运输能力分类

根据城市轨道交通系统高峰小时单向运输能力的大小,轨道交通系统可分为高运量、中运量和低运量等类型。

高运量轨道交通系统的高峰小时单向运输能力在30000人次以上,该种类型的轨道交通系统主要有地下铁道和高技术标准的轻轨铁路。

中运量轨道交通系统的高峰小时单向运输能力为15000~30000人次,该种类型的轨道交通系统主要有轻轨铁路和独轨铁路。

低运量轨道交通系统的高峰小时单向运输能力为5000~15000人次,该种类型的轨



道交通系统主要有低技术标准的轻轨铁路和有轨电车。

应当指出以上分类并不是绝对的。事实上，在一些不同类型城市轨道交通系统之间并没有明确的、清晰的界限。专业文献资料表明，国外对同一种轨道交通系统有轻型地铁和轻轨等不同称呼的情况。

本书中后续项目所讲到的线路、轨道、道岔、车站、车辆段等，如无特殊说明，均是指轮轨运转技术体系的城市轨道交通。



案例

现代有轨电车

20世纪70年代以来，以汽车为主导的交通模式所带来的问题日显严重，能源危机、环境污染、土地紧缺、交通拥堵等问题，迫使欧洲发达国家重新将大容量的轨道交通作为发展城市公共交通的重点。由于中、小城市无法负担地铁的巨额投资，于是现代有轨电车在欧洲中、小城市应运而生。现代有轨电车应用以来，以其便捷性、舒适性及美观性受到市民和政府的肯定。在1978—2005年间，欧洲有数十座城市发展了现代有轨电车。

现代有轨电车运行可靠、舒适、节能、环保等特点，且其技术特性已与轻轨基本无异，如今多地方也开始在城市中改建或新增现代有轨电车线路，如法国斯特拉斯堡、瑞士日内瓦、西班牙巴塞罗那及我国的广州等城市。

现代有轨电车作为城市新兴的一种先进的公交方式，已完成了从传统到现代化的转变，在世界范围被普遍推广也充满了光明的前景。

现代有轨电车其形式呈现多样化，例如，Metrotram（专用路权的有轨电车）、Tramtrain（与铁路共享路权的有轨电车）、Cargotram（货运有轨电车）等运营理念的实现；第三轨供电的实践；单轨导向橡胶轮胎走行的导轨电车的诞生；低地板车辆生产技术、信号与控制技术的进步等。现代有轨电车往往成为城市的骨干交通模式，线路几乎全部穿过市中心。如哥德堡（Gothenburg）的有轨电车线网为明显的放射型，线路从市中心向郊区辐射。

现代有轨电车已成为中、小城市公交的骨干模式。欧洲的城市根据自己不同的经济实力及有轨电车的发展历史，采取了不同方式来更新、建设有轨电车线路，其主要方式有以下几种。

- (1) 改造原有有轨电车线路或废弃铁路。
- (2) 新建有轨电车线路。
- (3) 有轨电车与干线铁路共享轨道。

纵观欧洲的现代有轨电车系统，多数城市采用了旧线改造与新建线路相结合的方式。这种方式一方面可充分利用现有资源，降低建设成本；另一方面又可按需供给，在适当的地区布设新线，提高线路或整个网络的服务水平。同时在规划线路时，就要考虑到现代有轨电车与其他轨道交通（包括干线铁路与城市地铁）的兼容，为今后的灵活运营打下基础。现代有轨电车与旧式有轨电车的一个重要区别就是大量采用独立路权。



一般新建线路的独立路权区段占50%以上,从而保证了现代有轨电车的旅行速度在一个较高的水平。独立路权的形式又有很多种。

(1) 原有市郊铁路或工业铁路改造的线路,保留有碴轨道,因此线路与其他交通方式完全隔离。

(2) 采用草坪绿化带作为隔离物的专用路权。

(3) 轨道两侧铺设路缘石,高度适宜,平时起到提供独立路权的作用;当发生机动车严重堵塞或其他意外事故时,机动车又能够驶过路缘石,运行在有轨电车的线路上。现代有轨电车的另一个特点是对行人非常“友好”。

现代有轨电车与其他机动车相比,有固定的轨道,对于行人更加安全;且尾气排放少,噪声低,行人的步行环境更佳。因此商业街区常采用机动车禁行,而只允许“行人+有轨电车”的模式。此外,还有一些城市(如阿姆斯特丹)将有轨电车与公交车的路权共享。这种方式是一种新的尝试。尽管其维护费用比单纯运行有轨电车时高,但较好地保障了同一通道上公交车的优先权,使得原本是有轨电车专用的道路空间利用率大大提高。

任务二 城市轨道交通线网规划



学习目标

- (1) 了解城市轨道交通线网规划的过程。
- (2) 了解城市轨道交通线网规划的方法。
- (3) 了解城市轨道交通的线网结构。



学习任务

学习城市轨道交通线网规划的一般原则,学习城市轨道交通线网规划的过程和方法,学习城市轨道交通的线网结构。



工具设备

城市轨道交通资料图片及仿真三维立体图多媒体课件。



教学环境

轨道交通理实一体化教室,城市轨道交通企业现场。



基础知识

城市轨道交通是建设周期最长、投资最大的交通基础设施。一旦建成,很难改变。众所周知,交通与城市用地是密不可分的,城市轨道交通线网系统作为城市客运交通的大动脉,其线网规划的优劣不仅在很大程度上决定了线路建设工程投资大小和难易度、系统运营的效率与服务水平,而且直接影响城市的总体布局形态,进而影响城市社会经济发展和人们的生活方式、土地资源节约与环境生态的保护等问题。因此,城市轨道交通线网规划(以下简称线网规划)是城市轨道交通建设至关重要的环节,受到极大重视,也是某条城市轨道交通线路通过国家建设项目立项审批的主要依据之一。



一、线网规划概述

（一）线网规划的性质

线网规划是宏观性的控制性规划，决定了城市轨道交通最终的线网规模和结构。线网规划中的实施规划确定了可操作的实施方案，因此它又是指导性实施规划。而线网的分段建设又影响着城市分阶段的发展实现程度，因此根据线网规划年限，可分为近期规划与远景规划，是近远兼顾的长远性规划。

作为城市总体规划中的一项重要专业规划，线网规划的指导思想是“依据总体规划、支持总体规划、超前总体规划、回归总体规划”。这充分体现了线网规划与总体规划是“枝与根”的关系，线网规划既要适应和支持城市总体规划，又要适当超前性和滚动性，引导和推动总体规划的实施，使两者相辅相成。

同时，规划从来都是不断完善的，城市轨道交通路网规划一旦编制完成之后，在实施过程中会根据变化了的情况进行调整，原因如下。

- （1）城市的发展过程中可变因素较多。
- （2）工程技术的发展和轨道交通技术装备的发展日新月异，可能直接引起路网的修正。
- （3）人们的认识也是不断发展的，不会停止在同一个水平上。

基于上述原因，城市轨道交通路网规划应该看成一个过程，而不是一件一劳永逸的事。

（二）线网规划的目的和意义

城市轨道交通对于城市的发展、居民生活水平改善有着重要作用，系统建设具有不可逆性。如果城市轨道交通线网规划不好，不仅起不到积极的作用，还会导致城市无序发展、交通网络系统不协调、线路客流量少、投资无法收回等问题。因此线网规划的目的是保证建成线网能够对城市发展起积极作用，指导城市轨道交通工程持续发展，为政府部门决策提供可信的依据，保证今后工程建设的可实施性。

线网规划的目的和意义主要体现在以下几个方面。

1. 引导城市用地合理布局

由于城市轨道交通对城市土地开发有强大的刺激作用，将会对城市土地发展的方向、功能和强度产生深远的影响，因此，可以通过合理的线网规划引导城市有计划的向良好的城市布局和形态发展。例如，卫星城的建设可以利用城市轨道交通引导本区域开发；多条城市轨道交通线路提供的交通便利性保持城市中心区的繁荣等。

2. 支撑城市总体规划

城市轨道交通规划是城市总体规划的重要组成部分和环节，其建设需要在城市总体规划的背景下进行，同时城市总体规划的实施和发展也需要城市轨道交通的支撑。城市的健康发展不仅受到区域土地利用、规划方式的影响，还受到周边交通条件的影响。除了城市土地利用和其他城市交通方式以外，城市轨道交通规划还对区域经济的发展起着强大的支撑作用，成为城市总体规划中的重要组成部分。



3. 引导城市交通合理结构和布局

城市轨道交通线路建设发展往往是百年大计，作为城市交通的骨干，其他的交通需要与其协调配合。在既定城市轨道交通线网的基础上规划其他交通方式，能确保这些交通方式规划建设的合理性，避免重复建设和无序发展，最终达到整个城市交通系统的规模适中、结构合理、布局适当。

4. 引导线路建设相关用地规划

首先，城市轨道交通工程本身的线路建设用地需要预留，同时沿线的建筑及其他设施的建设需要有严格的要求，要与城市轨道交通工程在规划设计上协调配合，不能影响将来线路的建设。另外，还要充分考虑线路建设过程中的地面交通量的转移，否则会带来施工过程中施工难度大、拆迁费用高、交通拥堵、民众抱怨等问题。其次，有了线网规划，城市的一些公用设施，如道路立交桥、大型地下管线等的建设就可以与城市轨道交通建设相互协调、有机配合、协调发展。

5. 为城市轨道工程立项建设提供依据

在我国，城市轨道交通系统的建设大体划分为立项、可行性研究、设计、工程实施、运营接管、正式验收六大阶段。线网规划是立项阶段准备的项目建议书的重要组成部分。

（三）线网规划的原则

城市轨道交通线网在规划和设计过程中必须遵循以下原则。

（1）线网规划与城市发展规划紧密结合，留有发展余地，是城市轨道交通线网规划的基本原则。城市轨道交通线网规划是城市总体规划的重要组成部分，线网规划能够引导城市结构发展，有助于城市发展与城市结构调整的战略目标的实现，并与城市发展走廊相适应。因此，城市轨道交通的规划应结合城市的地理结构、人文景观、城市人口规模、用地规模、经济规模和基础设施规模等制定，并考虑城市规划发展方向留有向外延伸的可能性，适应城市的未来发展，充分考虑土地利用和交通的相互影响关系，处理好满足需求和引导发展的关系。

（2）满足城市主干客流的交通需求是轨道交通线网布线的根本原则。建设轨道交通的根本目的是要满足城市的交通需求，提高轨道交通分担率，调整城市结构和交通结构，解决交通拥挤、人们出行时间过长及乘车难等问题。因此线网规划应重点研究城市土地利用形态、人口与产业分布特征、现状及未来路网客流分布特点，使城市轨道交通能够最大限度地承担起骨干交通方式的作用，提高轨道交通的分担率。

（3）根据预测客流量和分布规律规划路网的形式和控制线网的密度，是路网规划的基本方法。城市轨道交通路网规划的效果主要体现在两方面：一是提高城市交通的供给能力，满足大容量交通出行的需要；二是使乘客享受到快速、方便、准确、安全、舒适的交通服务。城市居民每天出行的交通流向与城市的工作时间、形态、布局有密切联系，根据城市交通客流的预测结果，能够初步确定城市各主干道各时段高峰小时客流量和分布，以此为规划路网的基本形态，确定各线路的走向和规模。

（4）线路规划走向力求沿城市干道布设，各条线路上的客运量要尽量均衡，是线路规



划应遵循的基本要素。城市干道，尤其是主干道交通最繁忙，是客流汇集的地方，在主干道下布设城市轨道交通线路，有利于分流地面交通压力，和地面交通结合，形成立体交通体系。主干道地面空间较宽广，在工程实施时，能够减少拆迁量，工程量较少，对居民的干扰也相对要小一些。所以，在规划线路时，要尽量使线路沿城市干道布设，并且要以最短的线路连接大型交通枢纽（包括对外交通中心，如火车站、飞机场、码头和长途汽车站等）、商业中心、文化娱乐中心、生活居住小区等客流集散量大的场所，以减小线路的非直线比例，并缩短居民的出行时间。线路客运量要尽量均衡，便于设施利用和行车组织，降低运营成本；各条线路规划时，要统筹考虑均衡吸引客流能力范围，例如，穿越和停靠大规模客流集散点的次数大致均匀。

（5）城市常规公共交通网与城市轨道交通线网要衔接配合好，充分发挥各自的优势。常规公共交通是城市轨道交通的有力补充，接近于“门到门服务”，若能与轨道交通合理衔接，既方便了乘客，使其缩短出行时间，又能为轨道交通集散大量客流，使其充分发挥运量大的特点。只有这样才能充分发挥各自的优势和轨道交通的骨干作用。同时，线网端点处应尽量与市郊铁路相连接，未来的理想状态是不仅考虑换乘方便，而且应该考虑直通运行。例如，日本东京的地铁与市郊铁路制式相同，乘客不用换车即可到达郊区的目的地。

（6）线网要因地规划，与城市的性质、地貌地形相联系，确定合适的规模，合理的线路走向与埋深选择。根据所处地段城市布局的形态、沿线地面建筑、工程地质和工程水文条件、地貌地形特征、地下埋设物、拟采用的施工方法等情况，进行综合经济技术论证。另外，还要特别注意重点地下文物古迹保护、城市环境保护、施工地段交通组织、不良地质地段处理措施、重要地下管线和地下构筑物保护和迁移，以利于工程规模和工程投资的控制。

（7）合理规划城市轨道交通路网的附属设施。除了城市轨道交通的运营线路之外，线路的附属设施包括车辆段、牵变电所、行车调度控制中心。在规划线路时，合理规划好其位置和用地范围是十分重要的。例如，车辆段是线路的必要设施，不但要保证配属营运列车的停放需要，还要考虑检修专用线、设备维修车间、材料供应库等设施的设置。车辆段占地面积较大，尤其在城市用地十分紧张的情况下，应提前进行用地规划。牵变电所是为列车运营提供电力的重要设施，不但要位置合理，还要与城市供电网络相结合。

（8）保证规划的可持续性。

城市轨道交通线网中各条线路的规划与建设，要充分考虑城市近期与远景建设规划，与城市的发展和改造计划有机结合；路网建设与城市发展相匹配，以保证线网工程建设计划实施的连续性和整体性，工程技术经济上的可能性和合理性。

城市轨道交通线网是城市建设的百年甚至千年大计，它对城市发展的形态、规模、产业布局、居民出行乃至生活方式都会产生深远的影响。合理的路网规划能够促进城市土地利用的合理发展，避免城市基础设施（如交通设施、建筑、地下管线）的重复建设，减少线路建设阶段出现的问题。



二、线网规划过程

（一）线网规划特点

线网规划强调稳定性、灵活性、连续性的统一。稳定性就是规划核心在空间上（城市中心区）和时间上（近期）要稳定；灵活性是指规划延伸条件在空间上（城市外围区）和时间上（远期）要有灵活变化的余地；连续性是指线网规划要在城市条件不断变化的情况下进行不断地调整、完善。

城市轨道交通线网规划具有如下特点。

（1）线网规划虽是一项专业规划，但最终还是要回归城市总体规划，所以它必须依托城市内诸多因素的支持，相应的研究基础包括城市总体规划、城市社会经济发展目标和战略、城市综合交通规划和城市轨道交通建设现状。

（2）线网规划是综合性的专业交通规划，同时又是城市综合交通规划的延续和继承。由于城市轨道交通的规划和建设均会对城市规划格局产生相当程度的影响，因此，线网规划既要有相对的独立性，又要与城市总体规划有机地融为一体。

（3）线网规划体系涉及城市规划、交通工程、建筑工程及社会经济等多项专业，是一个包含多项子方法的集合体系。单纯依靠某项理论来指导整个研究过程是不现实的。线网规划是一个探索性很强的工作，关键在于探索一条统一的技术路线，将各子系统的研究有机地结为一个整体。

（4）线网规划作为一项复杂的系统工程，除本身各子系统具有复杂关系外，各种外界的影响因素和边界条件也会对线网规划产生不同程度的影响。因此，不能把线网规划作为一个孤立的系统进行规划，在线网规划过程中，既要重视其自身的建设运行机制，又要注重与外部环境及各影响因素的协调关系。

（二）规划内容

从规划实践来看，线网规划主要内容包括规划背景、线网构架研究和实施规划研究，后两者是线网规划的核心内容。

1. 规划背景研究

1) 线网规划现状调研

这是整个城市轨道交通线网规划的基础，包括城市现有的人文特征、自然条件、城市用地、城市经济发展程度、交通背景等方面的研究，分析城市轨道交通发展的必要性和可行性，确定线网规划的特殊性和针对性，明确需要解决的问题，如城区道路交通拥挤、区域间联系不足等，由此形成线网规划基础。

2) 确立轨道交通线网规划方向

线网规划的主要依据是城市总体规划和综合交通规划等。在分析城市总体规划、综合交通规划等相关规划的基础上，充分理解城市发展战略要求，轨道交通线网的规划需要同城市发展战略相一致，有时还要超前于城市发展，促进城市朝着规划的方向发展。特别是对于形成城市副中心的发展要求，城市轨道交通线网作用巨大。



3) 相关政策分析

分析已有的城市土地开发政策和交通政策体系,如交通需求管理政策、交通系统管理政策、轨道交通经营政策研究和不同交通方式之间衔接等,研究城市轨道交通线网规划的原则和技术手段。

2. 线网构架规划研究

线网构架规划研究是线网规划的核心部分,在规划背景研究的基础上,研究如何使线网规模与人们的出行需求相符合,线网几何结构与城市结构形态、城市发展规划相符合,并通过客流预测结果和评价方法对多个线网规划方案进行比选,确定最终的规划方案。规划方法要遵循科学性和公正性,规划的线网方案要体现层次性、稳定性和灵活性等。这部分研究的内容主要包括线网合理规模确定、线网构架设计、线网方案综合评价及作为评价依据的线网规划方案的客流预测。

3. 线网实施规划

线网实施规划是城市轨道交通线网规划可操作性的关键,如果由于缺乏线网实施规划致使可操作性不强,频繁改动造成线网不稳定,这就等于没有线网规划。线网实施规划体现了轨道交通工程的专业性和系统性,从工程、用地、经济方面研究推荐方案的可操作性,其具体内容及作用如下。

1) 线网用地范围的确定

为了预留线路的建设用地需要,要根据专业的要求绘制轨道交通线路的合理红线,根据轨道交通站点的功能和规模提出合理用地范围。

2) 综合基地的选址与规模研究

由于综合基地规模巨大,在城市中选址征地难度很大。因此,进行车辆基地选址和落实详细的专业规划是线网规划得以实施的前提。

3) 线路敷设方式及主要换乘节点方案研究

通过详细的线路敷设方式规划能够为下阶段土地详细控制规划提供必要的条件,通过确切的换乘节点方案,保证同一节点上不同时期建设的线路站点统一规划,降低相交时的工程难度。

4) 联络线分布研究

在城市轨道交通线网中,线路大多是独立运行的,与其他线路不互通列车。那么,通过联络线的建设能够使线网形成有机的整体,使得各条线路可以互通列车。在编制线网规划时,认真规划好联络线的分布位置,不但能够建立线网各条线路之间的联系,而且能够机动灵活地实现各线路的资源调配。

5) 修建顺序规划研究

城市轨道交通线路的修建顺序不仅对网络建设的可操作性起决定作用,而且直接影响城市轨道交通系统的运营效益,甚至影响城市交通的整体运行。

6) 城市轨道交通线网的运营规划

城市轨道交通规划、建设的最终目的是安全、快速、便捷地运送乘客,而与乘客直接



接触的阶段就是运营阶段，乘客的需求最终体现在运营的需求上，因此前期的规划、建设都需要考虑建成后线网的运营，如此才能使城市轨道交通社会效益最大化。

（三）规划步骤

城市轨道交通线网规划的过程如同其他系统工程问题的解决方法一样，也需要经历系统问题分析，明确规划目标；制定解决所存在的问题及实现所提出目标的规划备选方案；评价各个备选方案，提出推荐方案；实施和修订规划等阶段。

城市轨道交通线网规划涉及城市轨道交通需求分析和预测、城市轨道交通线网规模分析和估算、城市轨道交通线网方案设计和分析、城市轨道交通线网方案评价和选择等过程。现将城市轨道交通线网规划可以划分为以下几个步骤。

（1）收集和调查历年社会经济数据（GDP、人均收入）、土地利用数据（居住人口及岗位分布、流动人口）、路段交通量、OD 流量及流向资料，为现状诊断及客流预测提供基础数据。

（2）通过对轨道交通线网各路段的交通量（观测交通量或理论分配交通量）、拥挤度（或饱和度）、车速、行程时间等指标分析，对现状交通线网进行诊断分析，发现可能存在的问题。只有深刻认识到城市交通的关键问题所在，才能制定出合理且具针对性的规划目标，提出切实可行的规划方案。

（3）分析未来城市的人口总量（包括常住人口、流动人口）、居民出行特征（频率、距离、方式）、交通结构等方面的情况，对轨道交通客运需求进行预测，这是方案设计和评价的基础。

（4）城市发展战略研究。由于城市总体规划时限不超过 20 年，不能适应城市轨道交通线网规划时限（30~50 年）的要求，因而需要对远景的城市发展战略目标进行分析论证。分析论证的重点包括远景城市人口、工作岗位的数量及分布，城市发展形态与布局结构，中心区、市区范围的人口密度及岗位密度。

（5）城市综合交通战略研究。从城市交通总能耗、总用地量、总出行时间等角度论证不同时期的城市轨道交通客运份额的合理水平，确定不同时期城市轨道交通客运总量目标值。

（6）在现状诊断和需求预测的基础上，结合城市综合交通战略、城市轨道交通建设资金供给等方面确定未来（可以分为若干规划期）的城市轨道交通线网发展规模。

（7）根据城市轨道交通线网规模，结合客流流向和重要集散点编制线网规划方案。由于城市轨道交通枢纽需要具备一定的用地规模、施工条件及公交配合条件，因此，线网编制时往往需要先考虑重要换乘枢纽的站点位置。不同的规划方案可能对未来城市发展产生不同的影响，进而影响城市客流流向和流量，因此方案设计与客流预测相互作用，在具体预测过程中需要不断重复上述过程。

（8）针对各线网方案，利用预测的客流分布结果进行客流测试，得到规划线路各断面、各站点的客流量、换乘量及周转量等指标，为方案评价提供基础数据。

（9）建立评价指标体系，对各方案进行定性、定量的分析和比较。



(10) 选择较优方案,并结合线路最大断面流量等因素确定城市轨道交通的系统模式。值得注意的是,上述各步骤都是相互作用的,都可能反复循环。例如,在规划方案评价时,在深入分析既有方案的时候,可能会发现新的更具竞争力的方案;又如新情况出现、新政策的出台必然会影响需求预测结果的变化,这种反复并不少见。一个好的规划方案是在不断反复的过程中逐步完善的,通过这种反复循环的过程使得规划方案更加切合实际。但是,必须认识到规划的严肃性,规划方案一旦实施就不能轻易调整。

三、线网规划方法

线网规划是城市总体规划中的专项规划,在城市规划流程中,位于综合交通规划之后、专项详细控制性规划之前。线网规划是长远的、指导性的专项宏观规划。

(一) 规划范围与年限

线网规划的研究范围一般是规划的城市建成区。在研究范围内,还应进一步明确重点研究区域,即城市轨道交通线路最为集中的规划难点区域,重点研究范围应根据具体城市特点确定。

从规划年限来看,线网规划可划分为近期规划和远景规划。近期规划主要研究线网范围内修建顺序及对城市发展的影响,其年限应与城市总体规划的规划年限一致。远景规划是研究城市理性状态下(或者饱和状态),城市轨道交通系统合理的规划,因此没有具体年限。一般可以将城市总体远景发展规划、城区用地控制范围及其推算的人口规模和就业分布作为基础,确定线网远景规模的控制条件。

(二) 线网规划层次

城市轨道交通线网构架规划是一个庞大而复杂的系统工程,因此,线网构架方案研究必须分类、分层进行分析。“面”、“点”、“线”既是3个不同的类别,又是3个不同层次的研究要素。线网规划研究可分为以下3个层次。

1. 面

面指的是整体性研究,这既包含了对整个研究区域的整体性研究,也包括对规划范围的影响分析。面的研究主要包括以下内容。

- (1) 区域内土地配置情况和功能定位。
- (2) 区域内交通分布和方式划分。
- (3) 城市轨道交通的需求和供给分析。
- (4) 城市轨道交通线网整体形态。
- (5) 线网构架内各线路的功能分析和线网结构整合。
- (6) 线网中各线路的功能分析、相对关系、建设顺序、制式搭配、系统运营情况等。

2. 点

点是局部研究。点的研究主要包括以下内容。

- (1) 大型交通量的吸引、发生点分布。