



模块

1

城市轨道交通线网规划概述



知识要点

- (1) 掌握城市轨道交通的定义、分类与作用。
- (2) 了解城市轨道交通线网规划的意义。
- (3) 了解城市轨道交通线网规划的原则。
- (4) 了解城市轨道交通线网规划的内容。

任务 1.1 城市轨道交通概述

《城市公共交通分类标准》(CJJ/T 114—2007)中对城市轨道交通的定义为:采用轨道结构进行承重和导向的车辆运输系统,是依据城市交通总体规划的要求,设置全封闭或部分封闭的专用轨道线路,以列车或单车形式,运送相当规模客流量的公共交通方式。《城市公共交通分类标准》(CJJ/T 114—2007)中规定城市轨道交通主要包括地铁系统、轻轨系统、单轨系统、有轨电车、磁浮系统、自动导向轨道系统和市域快速轨道系统等。

城市轨道交通是城市公共交通的骨干,具有节能、省地、运量大、全天候、无污染(或少污染)、安全等特点,属绿色环保交通体系,特别适用于大中城市。

1.1.1 城市轨道交通的作用

城市轨道交通作为解决城市交通问题的最重要的公共交通方式之一,其作用主要体现在以下几个方面:

(1)城市轨道交通是城市公共交通的主干线,是运送客流的大动脉,是城市的生命线工程。城市轨道交通建成运营后,将直接关系到城市居民的出行、工作、购物和生活。

(2)城市轨道交通是世界公认的低能耗、少污染的“绿色交通”,是解决“城市病”的一把金钥匙,对于实现城市的可持续发展具有非常重要的意义。



(3)城市轨道交通是城市建设史上最大的公益性基础设施,将对城市的全局和发展模式产生深远的影响。为了建设生态城市,应把“摊大饼”式的城市发展模式改变为伸开的手掌状模式,而手掌状城市发展的骨架就是城市轨道交通。城市轨道交通的建设可以带动城市沿轨道交通廊道的发展,促进城市繁荣,形成郊区卫星城和多个副中心,从而缓解城市中心人口密集、住房紧张、绿化面积小、空气污染严重等城市通病。

(4)城市轨道交通的建设与发展有利于提高市民出行的效率,节省市民的时间,改善市民的生活质量。国际知名的大都市由于轨道交通十分发达、方便,人们出行很少乘用私人车辆,主要依靠地铁、轻轨等轨道交通,因此城市交通秩序井然,市民出行方便、省时。

1.1.2 城市轨道交通的特点

1. 城市轨道交通具有较大的运输能力

城市轨道交通由于高密度运转,列车行车时间间隔短,行车速度快,列车编组辆数多,因此具有较大的运输能力。城市铁路的单向高峰每小时的运输能力最大可达6万~8万人次;地铁可达3万~7万人次,甚至达到8万人次;轻轨可达1万~3万人次;有轨电车能达1万人次。城市轨道交通的运输能力远远超过公共汽车。据文献统计,地铁每千米线路年客运量可达100万人次以上,最高达1200万人次,如莫斯科地铁、东京地铁、北京地铁等。城市轨道交通能在短时间内输送较大的客流,据统计,地铁在早高峰时1h能通过全日客流的17%~20%,3h能通过全日客流的31%左右。

2. 城市轨道交通具有很高的准时性

城市轨道交通列车由于在专用行车道上按运行图运行,不受其他交通工具干扰,不会出现线路堵塞现象,并且不受气候影响,是全天候的交通工具,因此具有可信赖的准时性。

3. 城市轨道交通具有较高的速达性

与常规公共交通相比,城市轨道交通列车由于运行在专用行车道上,不受其他交通工具干扰,因此有较高的运行速度,有较高的启、制动加速度。此外,城市轨道交通多数采用高站台,列车停站时间短,乘客上下车迅速、方便,而且换乘方便,从而可以使乘客较快到达目的地,缩短了乘客的出行时间。

4. 城市轨道交通具有较高的舒适性

城市轨道交通列车具有较好的运行特性,车辆、车站等装设有空调、引导装置、自动售票机等直接为乘客服务的设备。因此,城市轨道交通具有较好的乘车条件,其舒适性优于公共电车、公共汽车。

5. 城市轨道交通具有较高的安全性

城市轨道交通列车由于运行在专用轨道上,没有平交道口,不受其他交通工具干扰,并

且有先进的通信信号设备,因此极少发生交通事故,安全性较高。

6. 城市轨道交通能充分利用地下和地上空间

大城市地面拥挤,土地费用昂贵。城市轨道交通充分利用了地下和地上空间,不占用地面街道,能有效缓解由于汽车大量普及而造成的道路拥挤、堵塞等现象,有利于城市空间的合理利用,特别有利于缓解大城市中心区过于拥挤的状态,提高了土地的利用价值,并能改善城市景观。

7. 城市轨道交通的系统运营费用较低

城市轨道交通由于主要采用电气牵引,而且轮轨摩擦阻力较小,与公共电车、公共汽车相比较节省能源,运营费用较低。

8. 城市轨道交通对环境的污染小

与公共汽车相比,城市轨道交通列车由于采用电气牵引,因此不产生废气污染。城市轨道交通的发展还能使公共汽车的数量减少,进一步减少了汽车的废气污染。由于在线路和车辆上采用了各种降噪措施,城市轨道交通一般不会对城市环境产生严重的噪声污染。

9. 城市轨道交通沿线综合开发潜力大

城市轨道交通的地理位置和客流特点使其沿线具有非常大的综合开发潜力,对沿线进行房地产、商业、广告、物业等开发,能够充分发挥轨道交通骨干交通的作用,扩大客流吸引范围,带动轨道交通沿线的经济快速发展,同时也利于建设资金筹措。

1.1.3 城市轨道交通系统的组成

城市轨道交通系统属于集多专业、多工种于一身的复杂系统,包括设备系统和运营管理系统两大部分。设备系统主要由线路系统、车辆系统、通信系统、信号系统、供电系统、车站机电设备系统等组成,运营管理系统主要包括行车管理系统、客运管理系统和安全管理系统三大部分,具体如图 1-1 所示。其中,线路系统主要包括轨道、车站与车辆基地、桥梁与隧道;车辆系统主要包括车辆机械部分、车辆电气部分、车辆制动部分及车辆控制部分等;通信系统包括通信传输子系统、无线通信子系统、公务电话子系统、图像监控子系统、广播子系统、时钟子系统、电源子系统、乘客导乘与信息服务系统及自动售检票系统(automatic fare collection system, AFC)等;信号系统主要指列车自动控制(automatic train control, ATC)系统,主要包括列车自动监控(automatic train supervision, ATS)系统、列车自动防护(automatic train protection, ATP)系统、列车自动驾驶(automatic train operation, ATO)系统三个部分;供电系统主要包括变配电系统、接触网系统(分为架空接触网和接触轨);车站机电设备系统主要包括自动扶梯系统、屏蔽门系统、通风系统、空调系统、给排水系统、环境与设备监控系统(building automation system, BAS)、火灾自动报警系统(fire alarm system, FAS)等。

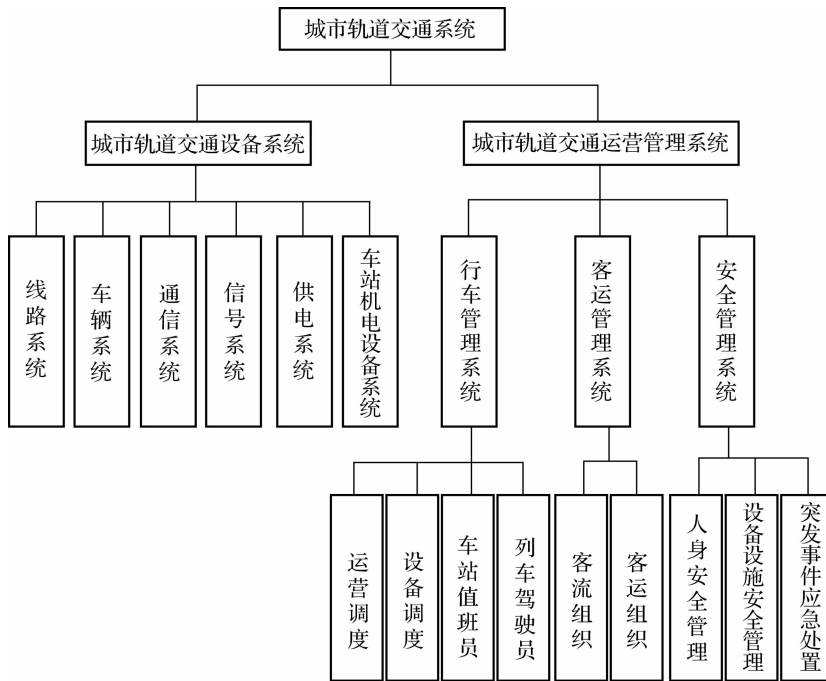


图 1-1 城市轨道交通系统的组成

城市轨道交通系统是围绕安全行车这一中心而组成的有序联动、时效性极强的系统,其运输组织、功能实现、安全保证均应遵循轨道的客观规律。在运输组织方面,要遵循集中调度、统一指挥、按运行图组织行车的原则;在功能实现方面,各有关专业,如线路、车站、隧道、车辆、供电、通信、信号及机电设备等均应保证状态良好、运行正常;在安全保证方面,主要依靠行车组织和设备正常运行来保证必要的行车间隔和正确的行车线路。

城市轨道交通系统采用以计算机处理技术为核心的各种自动化设备,从而代替人工的、机械的、电气的行车组织、设备运行系统和安全保证系统。例如,列车自动控制系统可以实现列车自动驾驶、自动跟踪、自动调度;电力监控系统(power supervisory control and data acquisition system, SCADA)可以实现主变电所、牵引变电所、降压变电所等设备系统的遥控、遥信、遥测和遥调;环境与设备监控系统和火灾自动报警系统可以实现车站环境控制的自动化和消防、报警系统的自动化;自动售检票系统可以实现自动售票、检票、分类等功能。这些系统全线各自形成网络,均在控制中心(operation control center, OCC)设中心计算机,实现统一指挥、分级控制。

1.1.4 城市轨道交通的分类

城市轨道交通种类繁多,技术指标差异较大,世界各国评价标准不一,并无严格的分类。同时,城市轨道交通在世界范围内发展较快,国家、地区、城市及服务对象的不同等,使城市轨道交通发展成为多种类型。目前,对城市轨道交通尚无十分统一的分类标准,不同的分类方法可以分出不同的结果。城市轨道交通按容量(运送能力)大小可分为高容量、大容量、中

容量和小容量城市轨道交通,按导向方式可分为轮轨导向和导向轨导向城市轨道交通,按线路架设方式可分为地下、高架和地面城市轨道交通,按线路隔离程度可分为全隔离、半隔离和不隔离城市轨道交通,按轨道材料可分为钢轮钢轨系统和橡胶轮混凝土轨道梁系统城市轨道交通,按牵引方式可分为旋转式直流、交流电机牵引和直线电机牵引城市轨道交通,按运营组织方式可分为传统城市轨道交通、区域快速轨道交通和城市铁路。

城市轨道交通按运能范围、车辆类型及主要技术特征可分为有轨电车(tram 或 streetcar)、地铁(metro, underground railway 或 subway)、轻轨(light rail transit, LRT)、磁浮轨道交通(magnific levitation for transportation)、城市铁路、单轨交通系统、新交通系统(automated guideway transit, AGT)七类。

1. 有轨电车

现代有轨电车是使用电力牵引、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,如图 1-2 所示。



图 1-2 现代有轨电车

有轨电车是最早发展起来的城市轨道交通之一,一般设在城市中心,穿街走巷运行,具有上下车方便的特点。

有轨电车起源于城市公共马车,为了多载客,人们把马车放在铁轨上。随着电动机的发明和牵引电力网的出现,世界上第一条投入商业运行的有轨电车线于 1888 年 5 月在美国弗吉尼亚州里士满市开通。到 20 世纪 20 年代,美国的有轨电车总长达 25 000 km。到 20 世纪 30 年代,欧洲各国、日本、印度和中国的有轨电车有了很大发展。1906 年,中国第一条有轨电车线在天津北大关至老龙头火车站(今天津站)建成通车。随后,上海、大连、长春、鞍山、北京、南京等城市相继修建了有轨电车或电铁客车。有轨电车在当时的城市公共交通中发挥了重要作用。

旧式有轨电车单向运输能力一般在 1 万人次/小时以下,通常采用地面路线,与其他车辆混合运行,运行速度一般为 10~20 km/h。由于旧式有轨电车存在运能低、挤占道路、噪声大等问题,因此,在 20 世纪五六十年代,世界上各大城市纷纷拆除有轨电车线路,改建运量大的地铁或轻轨轨道交通。中国的有轨电车在 20 世纪 50 年代末已被拆得所剩无几,仅大连、



长春、鞍山 3 座城市保留。其中,大连对有轨电车进行了改造,使其成为城市的一张名片。

旧式有轨电车已停止了发展,基本上完成了它的历史使命。现代有轨电车在旧式有轨电车的基础上进行了彻底的技术革新,包括低地板程度、无网供电技术、系统噪声、载客量等,经改造后的现代有轨电车与性能较差的轻轨轨道交通已很接近,只是车辆尺寸稍小一些,运营速度有所提升,单向运能可达 2 万人次/小时(车辆连挂)。

现代有轨电车和旧式有轨电车的区别如表 1-1 所示。

表 1-1 现代有轨电车和旧式有轨电车的区别

电车种类	现代有轨电车	旧式有轨电车
走行部制式	继承了钢轮钢轨的制式,同时引入了橡胶轮与导向轨的技术,增加了胶轮导轨的制式	钢轨车轮走行在钢制轨道上
低地板程度	完全采用独立旋转车轮转向架、合理设置车厢内部纵坡、减小车轮尺寸等方法,形成了 100%低地板有轨电车,极大地方便了乘客使用	采用高地板,乘客上下车需要通过车门处的踏步,影响了乘客的上下车速度且不利于残障乘客上下车
振动和噪声	采用新的制造工艺,车辆减振性能好;使用弹性车轮,降低了轮轨之间的噪声,车体使用隔音材料,噪声小	采用传统制造工艺,隔音效果差,振动和噪声大
载客量	模块化组装,可以根据客流需求增减车辆模块,必要时还可以两车连挂运行以提高运输能力	仅采用单车运行,运量不足
空调	有空调	无空调
耗能	耗能比旧式有轨电车低	耗能高,不节能
运行速度	一般为 20~80 km/h	一般低于 40 km/h

2. 地铁

地铁是城市快速轨道交通的先驱,如图 1-3 所示。根据《地铁设计规范》(GB 50157—2013)的规定,地铁是指在城市中修建的快速、大运量、用电力牵引的轨道交通。列车在全封闭的线路上运行,位于中心城区的线路基本设在地下隧道内,中心城区以外的线路一般设在高架桥或地面上。地铁的运能单向在 3 万人次/小时以上,最高可达 6 万~8 万人次/小时。运行速度可达 60 km/h 以上,最高速度可达 120 km/h。可为 4~8 辆编组,车辆运行最小时间间隔可低于 1.5 min。地铁的驱动方式有直流电机、交流电机、直线电机等。地铁造价昂贵,每千米投资为 3 亿~6 亿元人民币。地铁有建设成本高、建设周期长的弊端,但同时又具有运量大、建设快、安全、准时、节省能源、不污染环境、节省城市用地等优点。地铁适用于市民出行距离较长、客运量需求大的城市中心区域。国家规定,常住人口超过 200 万的大城市就可以修建地铁。地铁的主要技术参数如表 1-2 所示。



图 1-3 地铁

表 1-2 地铁的主要技术参数

序号	项目	技术参数	序号	项目	技术参数
1	高峰小时单向运送能力/人	3 万~7 万	9	安全性和可靠性	较好
2	列车编组	4~8 辆,最多 11 辆	10	最小曲线半径/m	300
3	列车容量/人	3 000 以上	11	最小竖曲线半径/m	3 000
4	车辆构造速度/ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	80~120	12	舒适性	较好
5	平均运行速度/ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	60	13	城市景观	无大影响
6	车站平均间距/m	600~2 000	14	空气污染、噪声污染	小
7	最大通过能力/ (对 \cdot 小时 $^{-1}$)	30	15	站台高度	一般为高站台
8	与地面交通隔离率	95%			

地铁由于大部分线路在地下或高架通行,因此技术水平要求较高,可靠性和安全性要求也较高。地铁系统与国家干线铁路一样,主要由线网、轨道、车站、车辆、供电系统、通信信号等设备构成,要求各部门能够有机结合、协同动作,最大限度地完成输送任务。

3. 轻轨

轻轨(light rail transit,LRT)是在有轨电车的基础上改造发展起来的城市轨道交通系统,如图 1-4 所示。轻轨是在轨道上的荷载比铁路和地铁轻的一种交通系统。



图 1-4 轻轨



轻轨原来的定义是采用轻型轨道的城市交通系统。轻轨最初使用的是轻型钢轨,现在轻轨已采用与地铁钢轨相同质量的钢轨。在城市轨道交通中,采用中型铁路系统,能适应远期单向高峰小时客流量1万~3万人次的称为轻轨铁路,采用大载客量车厢,能适应远期单向高峰小时客流量3万~7万人次的称为地铁;又或者以轴重来区分,轴重小于13 t为轻轨,轴重大于13 t为地铁。这两种划分方式现在只出现在中国内地,如大连地铁3号线单向最大高峰小时客流量少于3万人次,属于轻轨。

轻轨一般采用地面和高架相结合的方法建设,路线可以从市区通往近郊。轻轨车辆包括C型车辆和L_c型车辆。C型车辆的列车编组一般为1~3辆,L_c型列车通常可由2辆、4辆或6辆组成。列车采用铰接式车体。轻轨由于采用了线路隔离、自动化信号、调度指挥系统和高新技术车辆等措施,因此最高速度可达80 km/h,克服了有轨电车运能低、噪声大等缺点。

轻轨由于具有投资少(每千米造价为0.6亿~1.8亿元人民币)、建设周期短、运能高、灵活等优点,因此发展很快。经过100多年的发展,轻轨已形成三种主要类型:钢轮钢轨系统、线性电机牵引系统和橡胶轮轻轨系统。

(1)钢轮钢轨系统。钢轮钢轨系统即新型有轨电车,是应用地铁先进技术对老式有轨电车进行改造的成果。

(2)线性电机牵引系统。线性电机牵引系统是曲线性电机牵引、轮轨导向、车辆编组运行在小断面隧道及地面和高架专用线路上的中运量轨道交通系统。20世纪80年代,加拿大成功研制出了线性电机驱动的新型轨道交通车辆。它采用线性电机牵引、径向转向架和自动控制等高新技术,降低综合造价近20%。它与轮轨系统兼容,便于维护和救援,具有较强的爬坡能力。线性电机技术在加拿大、日本、美国都取得了较大的成功,由此研制的线性电机列车也投入了使用。线性电机列车在我国的广州和北京也有应用。由于线性电机列车具有车身矮、重量轻、噪声小、能通过小半径曲线和爬坡能力强等优点,可以轻便地钻入地下、爬上高架,因此是地下与高架接轨的理想车型。以线性电机做动力,其意义还在于引起了轨道车辆牵引动力的变革。

(3)橡胶轮轻轨系统。橡胶轮轻轨系统采用全高架运行,不占用地面道路,具有振动小、噪声小、爬坡能力强、转弯半径小、投资少等优点。

4. 磁浮轨道交通

磁浮轨道交通是指利用磁力作用使车辆浮在导轨上行驶的客运交通系统。磁浮列车是利用常导磁铁或超导磁铁产生的吸力或斥力使车辆浮起,用以上的复合技术产生导向力,用直线电机产生牵引动力,使其成为高速、安全、舒适、节能、环保、维护简单、占地少的新一代交通运输工具。

磁浮列车属于一种现代高科技轨道交通工具。1922年,德国工程师赫尔曼·肯佩尔(Hermann Kemper)提出了电磁浮原理,继而申请了专利。20世纪70年代以后,随着工业化国家经济实力的不断增强,为提高交通运输能力以适应其经济发展和民生的需要,德国、

日本、美国等国家相继开展了磁浮运输系统的研发。中国对磁浮列车的研究工作起步较晚,1989年3月,国防科技大学研制出中国第一台磁浮试验样车。1995年,中国第一条磁浮列车试验线在西南交通大学建成,并且成功进行了稳定悬浮、导向、驱动控制和载人运行等时速为30 km的试验,标志着中国已经掌握制造磁浮列车的技术。2016年5月6日,中国首条拥有完全自主知识产权的中低速磁浮线路——长沙磁浮快线正式通车。截至2018年12月,中国拥有磁浮线路的城市有上海、成都、唐山、长沙、北京等。

5. 城市铁路

城市铁路(见图1-5)是指由电气或内燃机牵引,线路设施与干线铁路基本相同,车辆编组运行在城市中心或市郊、市郊与市郊、市郊与新建城镇之间,服务对象以城市公共交通客流(短途、通勤乘客)为主。



图 1-5 城市铁路

城市铁路通常分成城市快速铁路和市域铁路。

(1)城市快速铁路。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,通常采用电气牵引,与地面交通大多采用立体交叉。

(2)市域铁路。市域铁路是指建在城市郊区,把市区与郊区,尤其是远郊联系起来的铁路。市域铁路一般设有与干线铁路的联络线,设备与干线铁路相同,线路大多建在地面,部分建在地下或高架。其运行特点接近干线铁路,只是服务对象不同。

市域铁路是城市铁路的主要形式。市域铁路是伴随着城市规模的扩大、卫星城的建设而发展起来的,通常使用电力牵引和内燃机牵引,列车编组多为4~10辆,最高速度可达100~160 km/h。市域铁路运能与地铁相同,但由于站距较地铁长,因此运行速度超过地铁,可达80 km/h以上。

6. 单轨交通系统

单轨交通系统也称作独轨交通系统,是指通过一条大断面轨道梁支撑车厢并提供导引作用而运行的轨道交通系统,其最大的特点是车体比承载轨道宽。按支撑方式的不同,单轨交通通常分为跨座式和悬挂式两种:跨座式是指车辆跨骑在轨道梁上行驶的形式,悬挂式是指车辆悬挂在轨道梁下方行驶的形式,如图1-6所示。



图 1-6 单轨交通
(a)跨座式 (b)悬挂式

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。悬挂式轨道大多由箱形断面钢梁制作,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。

单轨交通车辆采用橡胶轮,电气牵引,最高速度可达 80 km/h,运行速度为 30~35 km/h,列车通常为 4~6 辆编组,单向运送能力为 1 万~3 万人次/小时。

单轨交通历史悠久,早在 1821 年英国人达尔默(P. H. Dalmer)就发明了单轨铁路,并因此获得发明专利。1888 年,法国人在爱尔兰铺设了长约 15 km 的跨座式单轨铁路,采用蒸汽机车牵引,从此有动力的单轨交通走向实用化阶段,但存在车厢摇摆、噪声大等问题。1893 年,德国人朗根(Eugen Langen)发明了悬挂式单轨电车,1901 年在伍珀塔尔开始运营,线路长 13.3 km,其中 10 km 跨河架设,成为利用街道上空建设单轨铁路的先驱。这条线路至今仍在使用,成为该城市的一个历史景观。

随着科学技术的进步,单轨交通技术日臻成熟,轨道、车辆和通信信号都有了很大发展,再加上单轨交通可以利用道路和河流的上方空间,因此单轨技术受到一定的重视。特别是 1958 年研制出跨座式、混凝土轨道和橡胶充气轮胎的单轨制式,即目前所称的 ALWEG 型。美国、日本、意大利等许多国家都建设了这种形式的单轨轨道交通,其中日本是使用单轨最多的国家。

我国首条跨座式单轨线路是在有“山城”之称的重庆修建的。重庆轨道交通 2 号线一期工程于 2004 年完工,全线于 2006 年开通,单轨客车技术从日本引进,经中车集团长春轨道客车股份有限公司的技术人员消化、吸收、再创新,终于制造成功。跨座式单轨交通十分适合重庆道路坡陡、弯急、路窄的地形特点,同时由于结构轻巧、简洁、易融于山城景色而取得较好的景观效果。

与轻轨交通相比,单轨交通有很多突出的优点。由于单轨客车的走行轮采用特制的橡胶车轮,所以振动和噪声大幅度减小;列车两侧装有导向轮和稳定轮,能控制列车转弯,运行稳定可靠。高架单轨因轨道梁仅为 85 cm 宽,不需要很大空间,可适应复杂地形的要求,同时对日照和城市景观影响小。单轨交通占地少、造价低、建设工期短,它的工程建造费用仅为地铁的 1/3。但是,单轨交通也存在一些问题,如橡胶轮与轨道梁摩擦会产生橡胶粉尘,对环境有轻度污染,列车在运行中发生事故时救援比较困难。

7. 新交通系统

新交通系统是一个模糊的概念,不同国家和城市对此都有不同的理解,目前还没有统一和严格的定义。广义上认为,新交通系统是那些所有现代化新型公共交通方式的总称。狭义上新交通系统则定义为由电气牵引,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轨道运输系统,如图 1-7 所示。



图 1-7 新交通系统

在新交通系统中,车辆在线路上可无人驾驶自动运行,车站无人管理,完全由中央控制室的计算机集中控制,自动化水平高。新交通系统与单轨交通系统有许多相同之处,但也有不同之处,其中最大的区别在于该系统除有走行轨外,还设有导向轨,故新交通系统也称为自动导轨交通。新交通系统的导向系统可分为中央导向方式和侧面导向方式,每种方式又可分为单用型和两用型。所谓单用型,是指车辆只能在导轨上运行,两用型则指车辆既可以在导轨上运行,又可以在一般道路上行驶。

新交通系统自 1963 年由美国西尼电气公司研发面世后,在世界许多地方逐渐被推广采用,尤以日本和法国应用最多,他们的新交通系统无论是在技术还是规模方面都处于领先地位。世界各地已有几十条规模不等、用途不同、具体构造也有所不同的新交通系统线路。日本将高架单轨和新交通系统看作现代化的象征,故从 1976 年起做出规定,新交通系统可使用国家的财政资助,因而促进了新交通系统的发展。

中国内地的新交通系统处在起步阶段,天津市为纪念天津有轨电车百年,于 2006 年在滨海新区开通了全长 7.6 km 的亚洲首条胶轮导轨线路,北京市于 2008 年奥运会前开通了服务于首都机场 T3 航站楼的新交通系统,上海市也于 2009 年开通了胶轮导轨电车。中国台湾地区的台北市 1994 年建成、1996 年 3 月投入运营的木栅线(中山中学至木栅动物园)线路全长 10.8 km,其中高架线 10 km、地下线 0.8 km,采用轻型自动化车辆(vehicle automatique léger, VAL)制式,属于中运量新交通系统。中国香港于 20 世纪 90 年代后期建设的新机场,为接运乘客也建成了一条长约 1 km、采用 VAL 制式的从登机厅到机场主楼的新交通系统。

城市轨道交通经过较长时间的发展,不同运量等级的线路有不同形式的交通系统适应,在同一等级线路上,有多种可供选择的交通形式。



1.1.5 城市轨道交通的发展现状

我国城市轨道交通的建设发展历程主要分为三个阶段,分别为起步阶段、规划高潮阶段、快速发展阶段,如表 1-3 所示。

表 1-3 我国城市轨道交通的建设发展历程

阶段	阶段名称	时间	标志性事件
第一阶段	起步阶段	1965 年	北京地铁 1 号线开通
第二阶段	规划高潮阶段	20 世纪 90 年代至 21 世纪初	北京、上海、广州 3 个城市地铁建设全面开展
第三阶段	快速发展阶段	2003 年至今	截至 2013 年年末,全国已开通城市轨道交通线路 87 条

2000 年以来,中国每年新运行轨道交通里程都在 50 km 以上,有多个年份(2003 年、2005 年、2007 年、2009 年、2010 年、2013 年)新通车里程在 100 km 以上,显示出中国地铁及轻轨建设步入快速发展阶段。

前瞻产业研究院发布的《2018—2023 年中国城市轨道交通行业市场前瞻与投资战略规划分析报告》数据显示,2011—2017 年,我国城市轨道交通运营线路条数及里程逐年增长(见图 1-8)。截至 2016 年年末,共计 30 座城市已开通运营轨道交通线路,共计 133 条线路,运营线路长度高达 4 153 km。截至 2017 年年末,共计 35 座城市开通运营轨道交通线路,共 171 条线路,总里程高达 5 083 km,车站 3 269 座。其中,城市轨道交通建设以地铁为重心,上海、北京、广州、深圳密度最大。

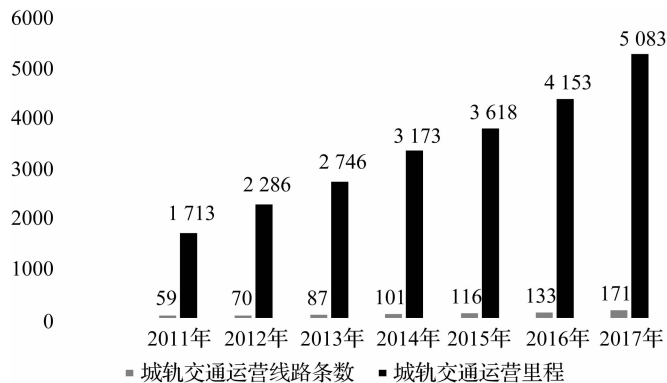


图 1-8 2011—2017 年我国城市轨道交通运营线路条数与里程情况(单位:km)

随着我国城市轨道交通快速发展,轨道交通行业发展趋势呈现出以下两个特点。

1. 投资规模快速增长趋势

随着城市化进程的逐步加速,我国的城市轨道交通建设有望迎来黄金发展期。在国家

宏观政策的引导和扶持下,在“十三五”期间,全国城市轨道交通将会有 3 000 km 左右新建线路并投入运营,将会进入另一个蓬勃发展时期。图 1-9 预测了 2019—2023 年中国城市轨道交通运营线路的长度。

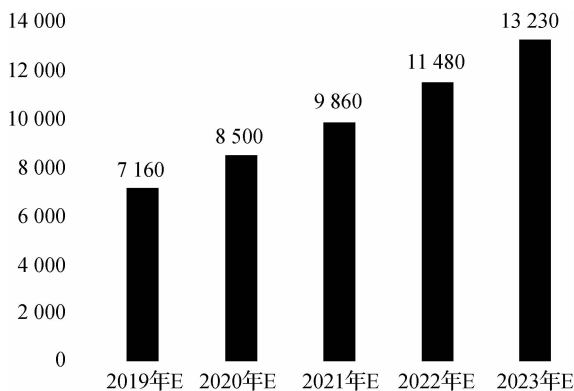


图 1-9 2019—2023 年中国城市轨道交通运营线路长度预测

2. 城市轨道交通类型多元化发展趋势

随着经济发展,城镇化速度不断加快,特别是东部沿海区域城镇化率不断提高,致使城市市区规模越来越大,某些地区的城市规模也越来越大,城市轨道交通需求增大,城市轨道交通规划的范围和延伸的里程已覆盖了城市与乡镇的大部分区域,为城市轨道交通发展注入了新的活力。城市轨道交通不再单单以发展地铁为主,城市轻轨加快了城市轨道交通的建设速度。随着科学技术的进步,不同类型的城市轨道交通进入了并行发展时期,呈现多元化发展态势,并开始注重轨道交通与城市环境的协调发展。

在经济特别发达的一些地区,如珠三角、长三角、京津冀经济区,城市轨道交通开始向城际轨道交通领域拓展。

总体看来,中国城市轨道交通建设呈现多元化发展趋势,需要做好以城市为主的轨道交通枢纽规划。目前,我国常用的城市轨道交通制式主要包括地铁、轻轨、现代有轨电车、中低速磁浮系统、跨座式单轨线路(如重庆单轨较新线)、线性电机线路(如广州地铁 4 号线、5 号线)、市域快速轨道系统(如天津滨海线)等。

任务 1.2 城市轨道交通线网规划设计概述

1.2.1 城市轨道交通线网规划的目的与意义

城市轨道交通属于城市大型基础设施,与城市用地密不可分。城市轨道交通线网规划作为城市总体规划(见图 1-10)的一个重要组成部分,必须支持城市总体规划提出的城市发



展战略。因此,城市轨道交通线网规划的指导思想为“依据总体规划、支持总体规划、超前总体规划、回归总体规划”。

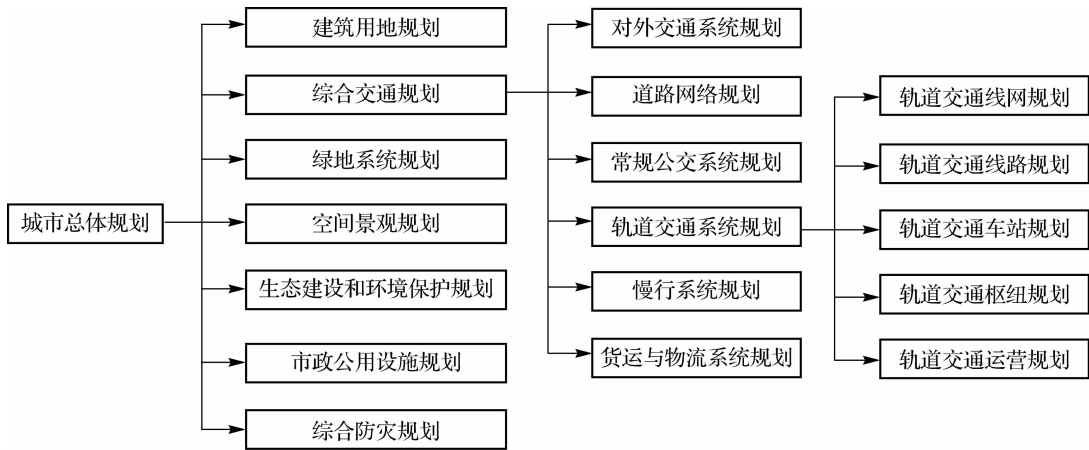


图 1-10 城市总体规划的内容

城市轨道交通线网规划是指在一定线路规模条件下,确定路网的形态及各条线路走向的决策过程,实质是寻求“交通需求”和“交通供给”的动态平衡关系。从需求角度来看,城市轨道交通线网规划需要考虑的内容有:新城区建设和旧城区改造等土地发展要求、人口及就业变化情况、交通发展目标和城市重要建设项目的衔接等。从供给角度来看,城市轨道交通线网规划需要考虑的内容有:线网合理的规模和构架,各条线路合理的运输方式,正线、联络线、车站和车场的位置等。

城市轨道交通建设是庞大而复杂的系统工程,具有不可逆性,线路一经建成便不可更改。因此,规划布局合理和规模适当的线网就显得非常重要,线网规划直接影响城市交通结构的合理性、工程项目的经济效益及社会效益。用地控制、规划导向均与线网直接相关,若线网规划出现失误,后期则难以挽回。

1. 城市轨道交通线网规划的目的

城市轨道交通线网规划的目的可归纳为以下几点:

(1)缓解城市中心区尤其是商业区交通的供需矛盾,强化土地资源所能提供的交通供给。

(2)提升主要出行方向(主要交通走廊)交通系统的速度和容量,以便于主城区外围与中心区的联系。

(3)串联城市大型客流集散点(交通枢纽、商业服务中心、行政中心、规划大型居住区、规划工业区、娱乐中心等),实现客流的合理疏导。

(4)加强对外交通与市区的联系,方便卫星城镇与市区的联系,增强城市的辐射能力。

(5)以高品质的供给引导交通方式选择的良性转移。

(6)节约能源,避免大气污染,改善环境。

(7)启动内需,聚集商贸及房地产开发项目,支持旧城改造和新区开发项目,并成为城市产业发展的新增长点。

2. 城市轨道交通线网规划的意义

城市轨道交通线网规划在整个城市轨道交通建设过程中起着非常重要的作用,为各个阶段的实施提供了重要依据。

(1)线网规划是城市总体规划的重要组成部分,是城市轨道交通工程项目建设报审、立项的必要条件,是线路设计的主要依据。

(2)线网规划是确定城市轨道交通建设规模、修建顺序及编制城市轨道交通近期建设规划的依据。

(3)线网规划是确定线网结构、换乘车站和换乘形式的基本依据。

(4)线网规划是城市轨道交通工程建设用地规划控制的重要依据,有利于控制和降低工程造价。

(5)线网规划是城市轨道交通系统分阶段建设的基础,利于使城市轨道交通建设和运营进入良性循环并保持可持续发展的势态。

(6)线网规划方案会影响城市结构和城市的形态与功能,对城市土地的发展有强大的刺激作用,其内容将支持城市总体规划的实施和发展。

因此,城市轨道交通线网的科学、合理规划可支持城市总体规划的实施和发展,有利于城市制定科学的经济发展规划,有利于城市各项设施的建设,可为控制城市轨道交通建设用地提供基础,为城市轨道交通工程立项建设提供依据。

1.2.2 城市轨道交通线网规划的原则

线网规划的总体思想主要体现为以下几点:遵循总体规划,做好总体布局;强化建设与管理相结合的理念,合理控制规模;重点做好换乘站的结构和功能规划,发挥枢纽的最佳效益。线网规划的原则主要体现在以下五个方面。

1. 网络化的原则

城市轨道交通枢纽不是独立存在的,它的正常运转依靠周边的城市交通网络的支持,两者之间是相互制约的互动关系。在设计城市轨道交通枢纽时,应该对该区域的交通状况及发展有一个全面、系统的认识,并以此为基础对城市轨道交通枢纽进行合理的功能定位。单体设计的作用是十分有限的,只有建立起一个系统的交通网络的概念,才是做好城市轨道交通枢纽设计的前提和基础。

2. 城市化的原则

城市轨道交通枢纽是解决城市交通问题的重要基础设施,但在其发挥交通运输功能的同时,往往会对城市的整体结构和城市空间的完整性、连续性产生一定的负面影响。因此,



在城市轨道交通枢纽(及其他类似的交通建筑)的设计中必须引入城市设计的观念。不能让城市活动终止于建筑之外,而应该渗透于建筑之中,使城市轨道交通枢纽成为城市的一个有机的组成部分。

3. 发展的原则

任何建筑都会随着实际需求的变化而改变自身的功能定位,城市轨道交通枢纽尤其如此。“交通”本身就是一个动态的概念,它是随着社会的发展而变化的。作为城市交通体系中一个有机的组成部分,城市轨道交通枢纽必须具备对这种变化的适应能力。同时,随着商业文化的冲击,城市轨道交通枢纽也不可能是单纯的交通建筑,它必须是适应市场需求的集诸多城市功能于一身的综合体。

4. 环保的原则

城市轨道交通枢纽容纳的不仅是人,还有公交车、出租车、城市轨道交通车辆等交通工具。这些交通工具所产生的噪声、振动、废气等对城市环境和建筑的空间质量有严重的负面影响,这些都是设计中需要重点解决的问题。同时,城市轨道交通枢纽作为一种对城市发展有着重要影响的建筑,其环保的意义远不局限于一座建筑的范畴。只有建立起一套环保的交通体系,才有可能产生环保的城市轨道交通枢纽建筑。

5. 人性化的原则

建筑的发展从始至终都贯穿着对人性的理解与思考。以上这些设计原则归根结底体现在“以人为本”的设计理念中,人性化的设计原则是城市轨道交通枢纽设计的根本原则。城市轨道交通枢纽是人使用的建筑,而非交通工具的建筑,建筑的空间也必须是人性化的空间。要把“以人为本”的设计理念落实于实践之中,就需要切实地分析和掌握人在城市轨道交通枢纽中的活动规律,并把它体现在城市轨道交通枢纽设计的各环节之中。

1.2.3 城市轨道交通线网规划的要点

根据国内外城市轨道交通线网规划的经验,在线网规划设计时应注意以下几个方面。

1. 线网规划要与城市客流预测相适应

城市客流量与城市规划布局有着密切的关系,轨道交通只有沿着主客流方向布设,才能最大限度地满足居民快速、方便的出行需求,充分体现城市轨道交通客运量大的优势,从而提高城市的社会效益和经济效益。

2. 线网规划必须符合城市的总体规划

城市轨道交通的规划应结合城市的地理结构、人文景观、人口规模、用地规模、经济规模和基础设施规模等因素制定,还要考虑到城市的规划发展方向,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。

3. 规划线路要尽量沿城市主干道布设

沿主干道布设的轨道交通线路能够满足居民日常生活(工作、学习或购物)的外出换乘需要,最大限度地吸引客流,使经济效益和社会效益显著提高。此外,还可以减少拆迁,便于工程施工,减少对城市居民生活的干扰。

4. 规划线路布置要均匀

线网密度、换乘条件及换乘次数与出行时间的关系较大,直接影响着吸引的客流量。因此,线网密度要适量,乘客换乘要方便,换乘次数要少。每条规划线路的客运量要尽量均匀,便于设施利用和行车组织,降低运营成本;规划每条线路时要统筹考虑、均衡吸引客流能力范围,如穿越和停靠大规模客流集散点(如商业中心、文化娱乐中心、大型生活居住小区、火车站、长途汽车站等)的次数要大致均匀。

5. 大城市的交通组织要构成立体交通体系

大城市交通组织的发展以城市轨道交通为骨干,以常规公共交通为主体,以其他交通方式为辅助,构成多方位、多层次、立体的交通体系。城市轨道交通线网要与城市常规公共交通网衔接、配合好,充分发挥各自的优势。

6. 线网规划要因地制宜

规划城市轨道交通线网时要与城市性质、地貌地形相联系,确定合适的规模。在规划线路走向、敷设方式和埋深时,要考虑所处地段的的城市布局形态、沿线地面建筑物、工程地址和工程水文条件、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,还需要特别注意重点文物古迹保护、城市环境保护、不良地质地段处理措施、重要地下管线及地下构筑物的保护和迁移,以利于控制工程规模和工程投资。

7. 合理规划线网的附属设施

合理规划城市轨道交通线网的附属设施,如车辆基地、牵引变电所、行车控制调度中心等。规划车辆基地时不仅要考虑配属运营列车的停放需求,还要考虑检修专用线、设备维修车间、材料线、办公楼等设施的设置,因占地面积较大,应提前进行用地规划。牵引变电所是为列车运营提供电力的重要设施,确保位置合理的同时还要与城市供电网络相结合。

8. 保证规划的可持续性

规划城市轨道交通线网时应考虑城市近期与远期的建设规划,与城市发展和改造计划有机结合,规划好各条线路的修建顺序和修建区段。线网建设要与城市发展相匹配,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。

9. 尽可能利用既有的铁路设施

利用既有的铁路设施既可以减少地面拆迁,又可以解决困扰广大市民的铁路道口交通通行的难题。例如,上海地铁3号线就充分利用了淞沪、沪杭两条铁路线。

1.2.4 城市轨道交通线网规划的内容

城市轨道交通线网规划主要包括城市背景研究、线网架构研究和实施规划研究等内容。

1. 城市背景研究

城市背景研究主要是对城市的人文背景和自然背景进行研究,从中总结轨道交通线网规划的技术政策和规划原则,其主要的研究依据是城市总体规划和综合交通规划等。城市背景研究的具体内容包括城市现状与发展规划研究、城市交通现状与规划研究、城市工程地质分析、既有铁路利用分析和建设必要性论证等。

城市现状与发展规划研究主要是对城市性质、城市地理环境、城市地形地质概况、城市区域与人口、城市布局、国民经济和社会发展规划等内容进行研究。

城市交通现状与规划研究主要是对城市道路交通现状、道路网结构和布局、城市客运交通的发展和现状、城市交通发展总体战略、城市轨道交通现状等内容进行研究。

2. 线网架构研究

线网架构是线网规划的核心,通过多规模控制—方案构思—评价—优化的研究过程,规划较优的方案。线网架构研究的内容主要包括合理规模研究、线网方案的构思、线网方案客流测试、线网方案的综合评价。

线网架构研究的重点内容是线网结构,主要根据城市的形态确定线网的基本形态,根据城市的客流走廊分布及大型的客流集散点来确定线路的具体走向。

线网的线路越长、条数越多,所构成的线网结构就越复杂。最常见的、最基本的线网结构的形态有棋盘式、星形式、条带式、无环放射式和有环放射式等。

(1) 棋盘式。棋盘式线网由纵向和横向的平行线交织而成,呈格栅状或棋盘状[原始结构如图 1-11(a)所示],也称为网格状,如比利时布鲁塞尔的城市轨道交通线网[见图 1-11(b)]。

棋盘式线网的特点是单元线路布设均匀,平行线路多、线路顺直,线路交叉点少,适用于发展均匀、街道为棋盘式布局的城市,如北京的城市轨道交通线路网就是棋盘式。棋盘式线网的优点有线网布线均匀,换乘节点能分散布置,线路顺直,工程易于实施。其缺点主要有线路走向比较单一,对角线方向的出行需要绕行;平行线路间的相互联系较差,换乘需要通过第三线来完成。

(2) 星形式。星形式线网是指所有线路从市中心向外呈放射状的线网结构[原始结构如图 1-12(a)所示],其换乘站多位于市中心的客流集散中心,如俄罗斯圣彼得堡城市轨道交通

线网[见图 1-12(b)]。这种结构的优点是所有的线路都通达市中心,市郊与市中心联系便利;所有线路间都可以实现直接换乘,换乘次数最少。其缺点是换乘站客流过于集中,换乘客流间相互干扰较大,容易引起混乱与拥挤,并且市郊之间的联系不便,必须经过市中心换乘。

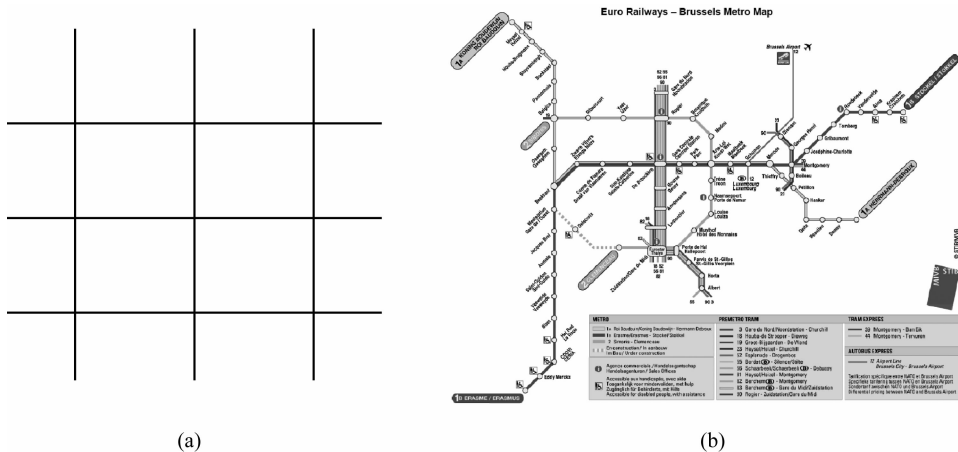


图 1-11 棋盘式结构

(a)棋盘式的原始结构 (b)比利时布鲁塞尔的城市轨道交通线网

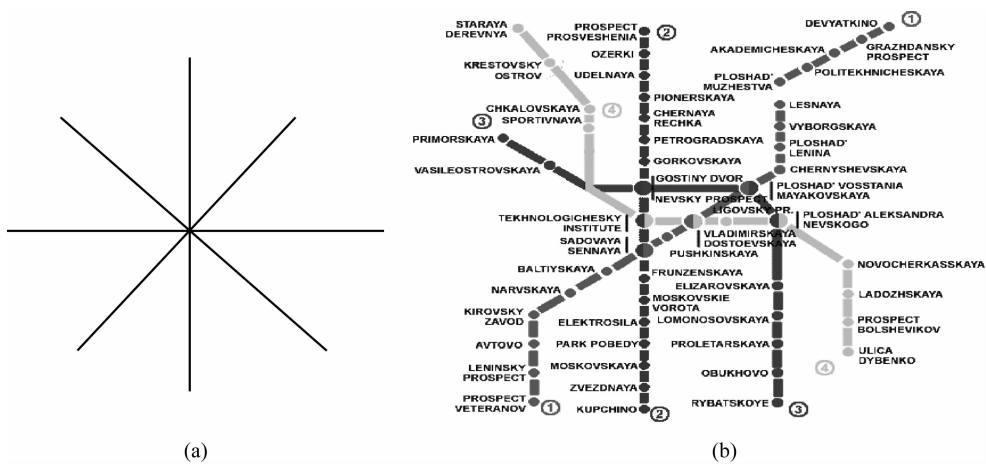


图 1-12 星形式结构

(a)星形式的原始结构 (b)俄罗斯圣彼得堡的城市轨道交通线网

(3)条带式。条带式又称树状式,是指几条线路交汇于一条主干道上的结构,且在线网中没有形成网格结构,形同树枝状[原始结构如图 1-13(a)所示],如阿根廷首都布宜诺斯艾利斯的城市轨道交通线网[见图 1-13(b)]。这种线网结构连通性差,线路间换乘不方便,多数线路间至少要换乘 2 次才能实现互通,而且客流分布不均,主干路上换乘站之间的路段担负着大量的换乘客流,给线路的行车组织带来较大困难。

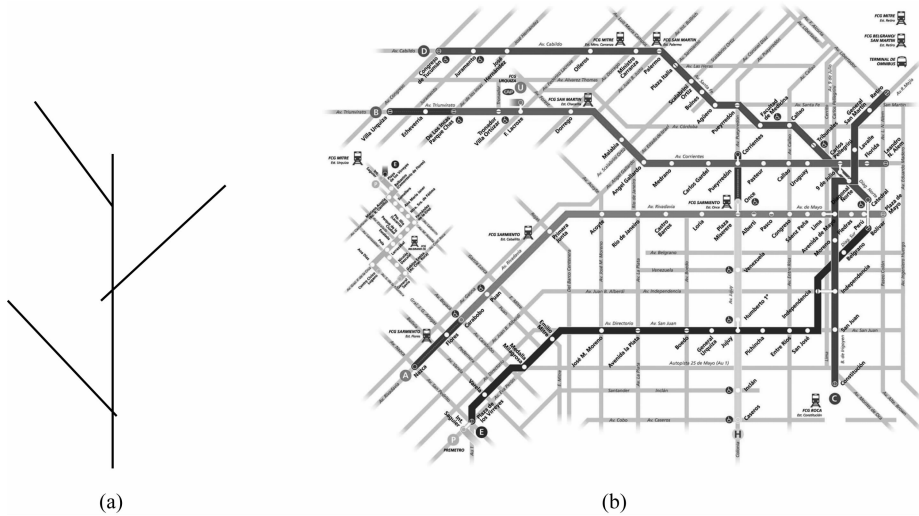


图 1-13 条带式结构

(a)条带式的原始结构 (b)布宜诺斯艾利斯的城市轨道交通线网

(4)无环放射式。无环放射式是由 3 条以上穿过市中心的直径线或从市中心发出的放射线构成的,线路交汇所形成的网格多为三角形的结构,其原始结构如图 1-14(a)所示。中国台北捷运线路图即为无环放射式,如图 1-14(b)所示。这种线网结构的特点是以城市中心区为核心,呈全方位或扇形放射发展,基本骨架包括至少 3 条相互交叉的线路,逐渐扩展、加密。

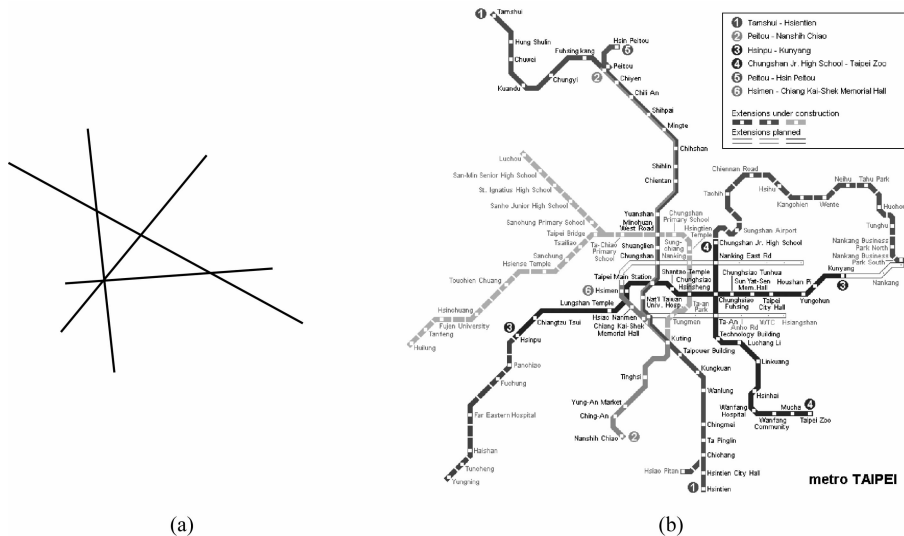


图 1-14 无环放射式结构

(a)无环放射式的原始结构 (b)中国台北捷运线路图

该种结构的优点是方向可达性较高,符合一般城市由中心区向边缘区土地利用强度递减的特点;缺点是需避免城市中心区的线路过多,以免造成工程处理困难和换乘客流过于集

中的情况,以及郊区之间的联系不便。一般采用在外围增加弦线或大环形线来优化线网。

(5)有环放射式。有环放射式是在无环放射式结构的基础上增加环线而形成的线网结构[原始结构如图 1-15(a)所示],常见于一些规模很大的城市,如莫斯科[其城市轨道交通线网如图 1-15(b)所示]、巴黎、东京等。这种结构具有放射式结构的全部优点,环形与所有径向线都能直接换乘,整个线网的连通性更好,线路间换乘更方便,而且能有效缩短市郊间乘客利用轨道交通出行的行程和时间。

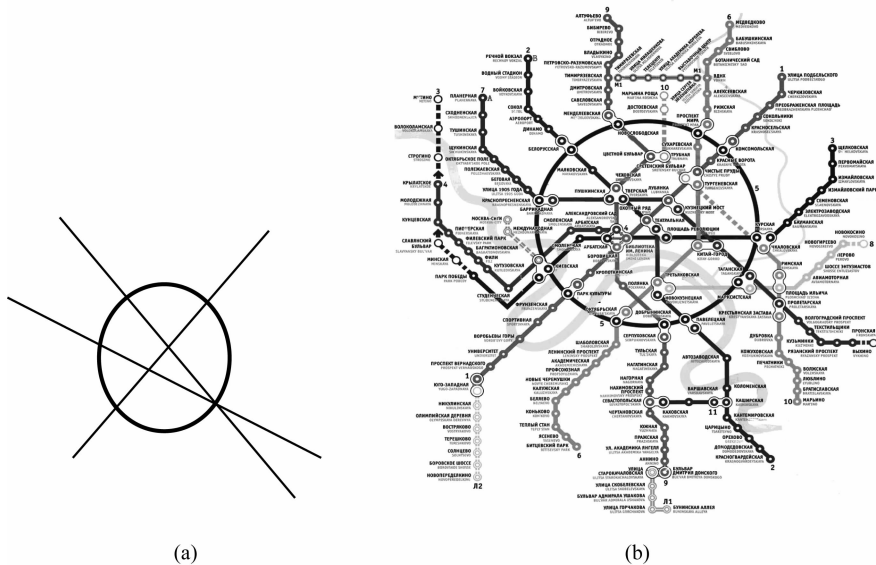


图 1-15 有环放射式结构
(a)有环放射式的原始结构 (b)莫斯科城市轨道交通线网

环线的主要作用是加强中心区边缘各客流集散点的联系,以及通过换乘分流外围之间的客流,以减轻中心区的交通压力。环线的采用须十分谨慎。城市轨道交通环线截流城市外围之间客流的作用往往受换乘条件的限制,城市轨道交通环线的客流取决于以下两点:一是环线自身串联的客流集散点的规模;二是环线的分流功能,即出行者对换乘不便与交通拥挤的选择和平衡。

在研究线网结构时需要考虑的因素较多,既有定量的,又有定性的,应进行多方案比选,从中优选出最佳方案。实际上,大多数城市的轨道交通线网因时就势,形态往往比较复杂,而不是简单地呈现单一的特征结构,它们往往是由多种单一线网结构有机结合而形成的一个完整的线网形式。

3. 实施规划研究

实施规划是轨道交通线网规划可操作性的关键,集中体现了轨道交通的专业性,其主要研究内容是工程条件、建设顺序、附属设施规划。实施规划研究的具体内容包括车辆基地的选址与规模研究、交通模式的选择、线路敷设方式及主要换乘节点方案的研究、修建顺序规



划研究、轨道交通线网的运营规划研究、联络线分布研究、轨道交通和地面交通的限界研究、重点地段和其他交通衔接枢纽的控制用地研究等。

1.2.5 城市轨道交通线网规划的方法

概括来说,城市轨道交通线网规划有两种主要方法:一种是以定性分析为主、定量分析为辅的线网规划方法,一种是以定量分析为主、定性分析为辅的线网规划方法。定性分析是指对城市背景的深入分析,对方案问题、工程问题的比较论证,对远景各种边界条件的合理判断等;定量分析是指利用先进的预测模型,对远景交通需求分布进行预测。有关方法介绍如下。

1. 点线面要素层次分析法

点线面要素层次分析法以城市结构形态和客流需求的特征为基础,对基本的客流集散点、主要的客流分布、重要的对外辐射方向及线网结构形态等内容进行分层研究,充分注意定性分析和定量分析相结合、快速轨道工程学与交通客流测试相结合、静态与动态相结合、近期与远景相结合,经多方案比较得出结果。

城市轨道交通线网规划是一个庞大而复杂的工程,因此线网构架研究必须分类、分层进行。“点”“线”“面”既是三个不同的类别,又是三个不同层次的研究要素。

(1)“点”的分析。“点”代表局部、个体性的问题,即客流集散点、换乘节点和起终点的分布。客流集散点即客流发生、吸引点,是轨道交通设站服务、吸引客流的发生点。

(2)“线”的分析。“线”代表方向性问题,即轨道交通走廊的布局。道路交通网络,即城市客流流经的路线,尤其是主要交通走廊,是分析和选择线路走向的基本因素。

(3)“面”的分析。“面”代表整体性、全局性的问题,即线网的结构和对外出口的分布形态。在进行线网构架方案研究时,“面”上的因素是控制构架模型和形态的决定性因素,这些因素包括城市地位、规模、形态、对外衔接,以及线网的作用和地位、交通需求、线网规模等。

2. 功能层次分析法

功能层次分析法是指根据城市结构层次和组团的划分,将整个城市的轨道交通线网按功能分为三个层次,即骨干层、扩展层、充实层。骨干层与城市基本结构形态吻合,是基本线网骨架;扩展层在骨干层的基础上向外围扩展;充实层是为了增加线网密度,提高服务水平。

3. 逐线规划扩充法

逐线规划扩充法是指以原有的轨道交通线网为基础进行线网规模扩充,以使其适应城市发展。为此,必须在已建线路的基础上调整、规划其他未建线路,来扩充新的线路,并将每条线路依次纳入线网,形成最终的线网规划方案。

这种方法的优点是投资效益高,便于迅速疏通、缓解城市交通拥挤最严重的路段;缺点是不易从总体上把握线网构架,不易达到引导城市发展、形成合理城市结构的目的。

4. 主客流方向线网规划法

主客流方向线网规划法的要点是根据城市居民的交通需求特点,确定近期最大限度地满足干线交通需求、远期引导合理的城市结构和交通结构形成的功能特点,进行初期、近期和远期的交通需求空间分布特点的量化分析,并结合定性分析与经验,提出若干轨道交通线网规划方案。具体做法是在现状与未来道路网上进行交通分配,按照确定的原则绘制流量图,根据流量图确定主客流的方向,然后沿主客流方向布线,提出若干线网规划方案。

总体来看,城市轨道交通线网规划方法是以交通分析为主导,以定性分析和定量分析相结合、静态和动态相结合、近期规划与远期规划相结合为原则的。

思考与练习

- (1) 城市轨道交通的种类有哪些?
- (2) 结合自身经历,讨论城市轨道交通发展给你的生活带来了哪些变化。
- (3) 城市轨道交通线网规划的意义和原则分别是什么?
- (4) 城市轨道交通线网规划的主要内容有哪些?
- (5) 城市轨道交通线网规划的主要方法是什么?