



第3章

城市轨道交通线网规划

城市轨道交通是一项投资大、周期长、涉及面广、影响深远的大工程,其建设直接影响城市的基本布局和功能定位,对城市发展有极强的引导作用,有利于促进城市结构调整、土地利用布局优化,对城市交通结构、经济发展及城市环境都有巨大的影响。轨道交通一旦建成,就很难再进行改造、扩建,因此,作为城市轨道交通建设的前期工作——线网规划,就显得非常重要,它是保证城市轨道交通建设科学性、合理性、经济性和可实施性的关键环节。

城市轨道交通系统是城市交通系统的子系统,而城市交通系统又是城市这个开放系统的子系统,城市轨道交通的发展必须和城市的发展相适应。有资料表明,过去西方一些城市对线网规划研究并不系统,主要利用市场经济杠杆来决定城市轨道交通建设方案。例如,不少早期建成城市轨道交通网络的城市中,往往在中心区局部有多条城市轨道交通线路集中在一条交通走廊内,重合很长的距离。这种情况不仅使得线网结构不合理,而且造成工程难度增加,致使投资增加,甚至造成城市中心区土地畸形发展。虽然这些城市目前已经普遍意识到没有进行科学的长远规划所带来的“贻害”,但限于线网已经基本形成规模,对这种规划的完善也仅仅是“补丁”式的。目前,我国正处于城市化快速发展期,考察发达国家城市化进程中的经验教训,不难发现,一个没有统一规划的盲目发展的城市势必带来一系列难以解决的问题,例如交通阻塞、环境污染、生活质量下降等,这些“城市病”日益引起世界范围的广泛关注。经过反思,人们开始认识到造成这些恶果的最根本原因在于只重视短期效应,没有从可持续发展的角度来看待城市的发展,缺少长远的、宏观的、统一的规划。因此,世界各国越来越重视城市的规划问题。一个没有规划蓝图的城市被认为是一个没有发展潜力的城市。现代都市的一个显著特征是公共交通工具正逐步成为城市交通的主流,尤其是大容量快速轨道交通因为具有污染小、速度快、安全准点等优点,日益得到人们的青睐,发展前景广阔。因此,科学合理的城市轨道交通线网规划对未来的城市发展具有重要意义。

3.1 线网规划的基本原则和主要内容

3.1.1 线网规划的意义

城市轨道交通线网规划是城市综合交通规划中的一项专项规划,是指依据城市总体规划和城市综合交通规划,在分析城市交通发展规律和影响因素的基础上,来确定适应未来城市交通需求的轨道交通线网规模、结构布局、技术制式和建设时序,并提出城市轨道交通设施用地的规划控制要求,其意义和作用主要体现在以下几个方面:

(1) 支持城市总体规划的实施和发展。交通系统是城市发展方向的关键,它影响到城市结构和城市形态。城市轨道交通作为城市客运的骨干系统,其建设将影响城市土地发展的空间方向和功能水平,对城市土地的发展有强大的刺激作用。以瑞典首都斯德哥尔摩轨道交通为例,新城建设环绕在斯德哥尔摩中心周围,通过放射状的区域轨道交通系统与市中心相连,如图 3-1 所示。因此,城市总体规划中的发展目标需要轨道交通系统的规划支持,这些发展目标主要包括城市土地发展方向和格局、交通发展战略目标两方面。

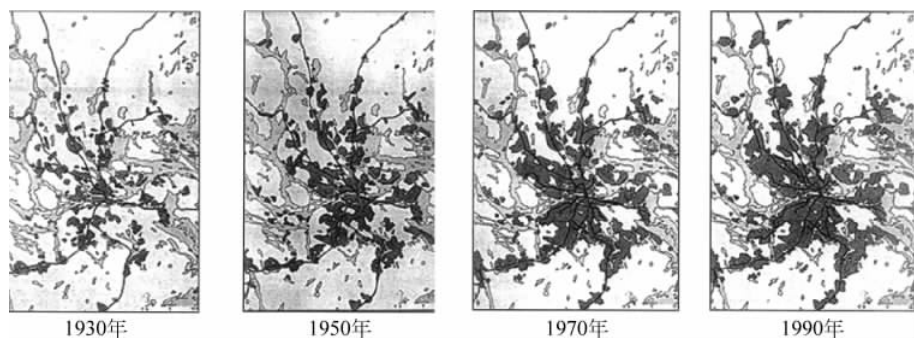


图 3-1 斯德哥尔摩:轨道交通引导的区域发展(1930—1990 年)

(2) 有利于城市科学制定经济发展规划。城市轨道交通是有史以来最大规模的城市基础设施建设项目,耗资巨大,而且其线网建设一般都是持续数十年甚至上百年的浩大工程,无论在强度和时间方面都会对城市经济发展产生巨大的影响。所以,如果没有一个稳定、合理的线网规划和修建计划,将会影响城市制定经济发展计划和合理安排财政支出。

(3) 有利于城市各项基础设施的建设。凡在城市轨道交通沿线兴建的城市建筑、道路立交桥、共同管沟及大型地下管线,只要与城市轨道交通工程在规划设计上进行协调配合,做到统一规划、综合设计、分步建设,就可起到事半功倍的作用。有了线网规划,城市建设与城市轨道交通建设就可以相互协调、有机配合、协调发展。

(4) 为控制轨道交通建设用地提供基础。线网规划为城市规划部门控制城市轨道交通工程建设用地提供依据。城市轨道交通工程需要较长的规划筹备和建设周期,其用地范围有严格的技术要求,如果不进行线网规划预留城市轨道交通走廊和用地,将面临未来施工过程中交通疏散困难、施工难度增大、拆迁费用高涨等难题。

(5) 为快速轨道工程立项建设提供依据。城市轨道交通系统的建设大体可分为立项、可行性研究、初步设计、施工图设计、工程项目建设、运营接管等几个阶段。在第一阶段——

立项阶段准备的项目建议书包括以下内容:

- ① 城市轨道交通线网总体规划;
- ② 项目建设的必要性和可行性;
- ③ 项目建设的工程概况;
- ④ 客流初步预测;
- ⑤ 工程投资概算和经济评价;
- ⑥ 项目的资金筹措。

因此,线网规划是轨道工程立项建设的依据,可以为政府部门提供可靠的决策依据。

可见,城市轨道交通线网规划具有重大意义。线网规划的优劣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。一个合理的线网规划不仅能为政府部门提供可靠的决策依据,而且还能促进城市有效利用地上、地下空间,引导城市可持续发展。

3.1.2 线网规划的主要原则

作为城市公共交通骨干的轨道交通系统,要最大限度地满足居民的出行需求,改善城市交通拥堵的现状,提高轨道交通的分担率。因此,线网的规划要遵循一定的原则。

(1) 线网布局要与城市主客流方向一致。城市轨道交通首先要满足的是居民现在的和未来的交通需求,解决城市交通拥堵、居民乘车难和出行时间长等问题。因此,线网规划应研究城市现状和未来土地发展方向、城市结构形态、人口分布特点、就业岗位分布特征、道路交通情况等,目的是了解和预测城市现状和未来居民出行的主客流方向,使轨道交通能最大限度地承担交通需求大通道上的客流,真正实现轨道交通的骨干作用,提高轨道交通的经济效益和社会效益。

(2) 规划线路要尽量经过或靠近大型客流集散点。大型客流集散点主要有对外交通枢纽点(如火车站、飞机场、码头和长途汽车站等)、文化娱乐中心(如足球场、大剧院等)、商业中心、大型生活居住小区、大学城和大型生产厂区等,轨道交通线路要尽量经过或靠近这些客流集散点,一来可以增加轨道交通客流,二来方便居民直达目的地,减少换乘,提高可达性。

(3) 路网布设要均匀,线路密度要适量,乘客换乘要方便。从工程的实施来讲,近期建设项目与远期建设项目有换乘关系的,要基本稳定,以便使先期建设的线路为后期建设项目预留好条件,如果这种相互关系处理不好,要么造成近期投资浪费,要么造成远期实施困难,或花费昂贵的费用加固既有线,致使工程投资增加。

(4) 线网规划要合理确定建设标准和形式。不同的城市轨道交通系统的建设投资、适应的服务水平、运行指标各不相同,因此,轨道交通线网规划应结合城市特点,充分考虑城市轨道交通多元化的趋势,合理确定轨道交通网络中各线路的建设标准和形式。

(5) 线网规划要考虑资源共享。一个城市规划的轨道交通线路往往长达数百千米,规划的轨道交通线路有十几条,考虑到城市用地的局限性,往往会将轨道交通各种资源进行共享,即两条或多条轨道交通线路合用同一资源,如车辆段和主变电站等。以车辆段为例,车辆段(场)是轨道交通车辆停放和检修的场所,占地面积大。在轨道交通建设初期,一条轨道交通线路常配一个车辆段,但随着轨道交通建设线路条数的增加,受城市用地的限制,每建设一条轨道交通线路就增加一个车辆段难以实现。这就要求在线网规划阶段,统筹考虑车辆段在整个轨道交通线网中的位置和规模,以及车辆段与各条正线之间出入线的布局与数量。

3.1.3 线网规划的范围和年限

线网规划的研究范围应与城市总体规划保持一致,一般是指城市规划区,是线网规划编制的重点范围,即城市轨道交通线路最为集中、规划难点也最为集中的区域。在市域范围,应结合市域城镇发展和交通需求特征,研究规划建设城市轨道交通系统的必要性。需要规划建设城市轨道交通系统的城市,规划范围应增加市域空间层次。市域城镇连绵地区超出城市行政辖区范围的城市,可将城市行政辖区范围以外的城镇连绵地区作为规划编制的协调范围。

从规划年限来看,线网规划可划分为远期规划和远景规划。远期规划年限应与城市总体规划的年限一致,主要研究规划年限内修建线路的具体走向、修建顺序以及对城市发展的影响,其规划年限一般为20年左右。远景规划是根据城市总体的远景发展规划、城市用地控制范围、预测的远景城市人口规模和就业岗位分布等基础资料,对远景城市轨道交通线网布局提出总体框架性方案,其规划年限一般为50年左右。

线网规划考虑的年限越长,研究涉及的范围越广,得到的结果也更为宏观,因而应遵循“近期适细,远期可粗”的规划原则。

3.1.4 线网规划的主要内容

城市轨道交通系统投资大、建设周期长,对社会影响深远。如何确保城市轨道交通系统良好的社会效益和经济效益,科学、合理地制定线网规划是至关重要的一步。

线网规划属于宏观性、长期性、控制性、指导性规划,其主要任务是协调城市总体规划和综合交通规划对城市轨道交通的总体要求,对城市轨道交通线网起到宏观控制作用。线网规划涉及的专业面广,综合性强,技术含量高。从实践操作来看,线网规划的主要内容可以分为三部分:前提与基础研究、线网架构的研究和线网实施规划的研究。

1. 前提与基础研究

前提与基础研究是调查线网规划所需的背景资料,主要是指城市总体规划和城市综合交通规划情况。调查的城市总体规划背景资料具体包括城市的经济现状和经济增长能力、城市现状和未来土地的发展方向、城市结构形态、城市现有人口数量和分布特点、未来各年限预测的人口数量和分布情况以及城市现有和未来的就业岗位分布等。调查的城市综合交通规划背景资料具体包括城市各项相关的交通政策、城市对外交通的现状和未来分布特征、城市现有的道路线网情况以及各种城市交通方式的现状及未来期望的出行分担率情况等。除此之外,调查的资料还应包括城市工程地质情况、城市文物古迹的分布情况等。

线网规划所需的背景资料涉及面广,包括各个领域的方方面面,其中还有一部分资料具有不确定性。因此,对调查所得的资料要进行反复分析和论证,最大限度地确保资料的可靠性和有效性,从中总结出指导线网规划的技术政策和规划原则。

2. 线网架构的研究

线网架构研究是线网规划的核心内容。这部分研究主要以理性分析为主,主要内容包括线网合理规模的研究、线网方案的构思、线网方案的客流分析以及线网方案的综合评价。通过匡算线网的合理规模,分析线网的形态结构,测试线网的客流情况,确定初步的线网方案。对确定的线网方案再进行反复评价和优化,最终确定较优的规划方案。

3. 实施规划的研究

线网规划研究所确定的较优的规划方案要最终得以实施,还需进一步研究实施规划。城市轨道交通系统专业性强,线网是否可行受很多工程和经济条件的限制,往往一个条件不能满足就影响整个系统建设的可行性,因此必须以方案规划的形式提出具体的安排。实施规划是城市轨道交通规划可操作性的关键,主要研究内容包括建设顺序、工程条件和附属设施的规划。具体内容包括各条轨道交通线路的建设先后顺序、线路的敷设方式、主要换乘节点的方案研究、附属设施(如车辆段)规模大小和具体选址研究、城市轨道交通线网的运营管理规划、联络线分布研究以及城市轨道交通与其他交通方式之间的衔接和换乘等。由于规划可实施性研究是保证线网可行性的重要因素,因此,这部分研究与之前的方案架构研究是一个循环过程。

3.1.5 线网规划的技术路线

线网规划涉及的影响因素众多,而各因素之间又相互影响,仅仅靠专家经验和少数几次定性定量分析难以获得满意的线网方案,因此,必须在“方案设计—分析评价—比较筛选”的循环过程中,有效地将定性分析和定量分析有机结合起来,不断提高规划者自身的认识,最终得出更有价值的线网方案。技术路线是线网规划的基本程序和主要指导思想,它体现了线网规划各阶段的工序流程,反映各工序之间的逻辑关系、研究内容和阶段成果。线网规划工作的一般技术路线如图 3-2 所示。

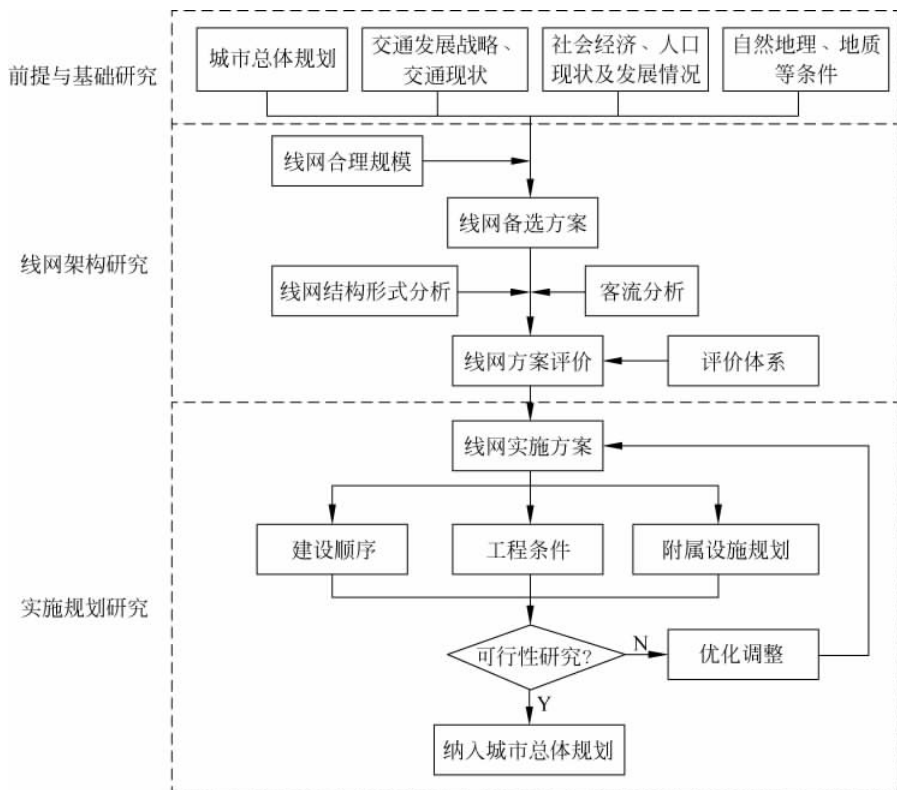


图 3-2 线网规划的技术路线

3.2 线网合理规模和结构形态

3.2.1 线网合理规模

在进行城市轨道交通线网规划时,一个十分重要的问题就是如何根据城市的现状及其发展规划、城市的交通需求和城市经济的发展水平等,从宏观上合理地确定城市轨道交通线网的规模。所谓合理规模,实际上就是城市轨道交通方式合理的供给水平。由于交通需求和交通供给是动态的平衡过程,因此合理规模也是相对的。

城市轨道交通线网规模对线网建设的效益及城市交通状况的改善有着极大影响。网络规模过小,远期城市交通需求得不到满足;网络规模过大,不仅增加初期投资,而且会增加建成后的运营负担。城市轨道交通线网规模的合理确定,是城市规划部门、政府部门及轨道交通运营公司共同关心的问题。它为后续确定线路布局、网络结构及优化,以及估算总投资量、总输送能力、总经营成本和总体效益等工作的开展奠定基础。因此,合理的轨道交通规模不仅是线网规划的宏观控制量,而且是一项至关重要的投资依据,为决策者提供决策的辅助依据。

1. 线网规模的影响因素

线网规模的影响因素有城市规模、城市交通需求、城市财力因素、城市基础设施投资比例、城市交通发展战略及政策和国家政策等。

一方面,线网规模受城市形态及布局、城市人口、城市面积、城市交通需求、城市国民生产总值和城市基础设施投资比例等因素的直接影响。另一方面,这些影响因素也相互制约,如城市人口、城市面积、城市形态及布局对城市交通需求造成影响;国家交通政策、城市交通发展战略及政策、城市国民生产总值对城市基础设施投资比例造成影响;城市交通发展战略及政策又受国家交通政策大环境的影响。这种相互影响和关联的复杂关系构成了一个大系统,如图 3-3 所示。

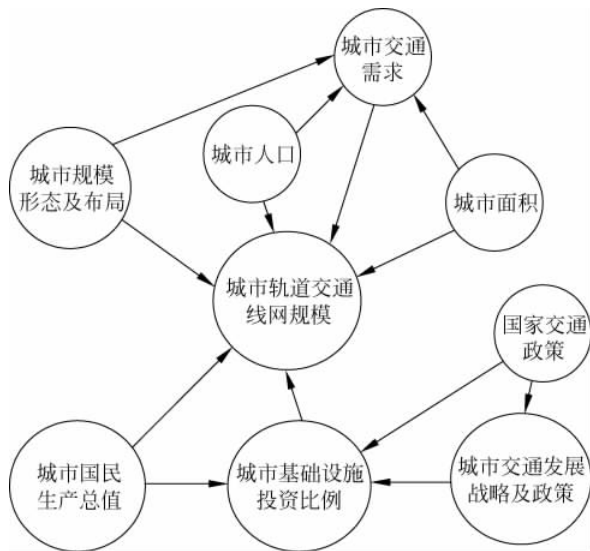


图 3-3 线网规模与其影响因素之间的相互关系

线网规模的影响因素众多,但每个因素的影响作用却不同。有资料表明,城市交通需求和城市基础设施投资比例是城市轨道交通线网规模最直接的影响因素,城市形态及布局、城市人口、城市面积通过城市交通需求对线网规模产生间接的控制作用,城市规模、国民生产总值和城市交通发展战略及政策则决定了城市基础设施投资比例,体现了城市经济实力对线网规模的影响。

2. 线网合理规模的确定方法

线网合理规模主要从“需求”与“可能”两大方面分析。“需求”是以城市总体规划、人口分布、出行强度和出行总量分析为基础,根据城市交通方式构成及其比例,分析城市轨道交通规划需求的规模;同时,以城市结构形态为基础,分析线网合理密度和服务水平需求的规模。“可能”是从城市国民经济总产值中提取一定比例建立专项建设资金,分析城市财政经济的承受能力和工程的正常实施进度。

一般可用负荷强度法和线网密度法来推算线网的合理规模。

(1) 负荷强度法。负荷强度是指轨道交通线网每日单位长度(千米)的平均客流量,单位为万人次/(千米·日)。负荷强度法是利用城市公共交通客流量为基数,根据轨道交通规划目标(承担公共交通客流量的比例),除以线网平均负荷强度来估算线网规模的上下限。计算公式为

$$L = \frac{\alpha\beta Q}{q} \tag{3-1}$$

式中, L 为线网规划的总长度,km; Q 为远期城市出行预测总客流量,万人次; α 为远期公共交通在出行总客流量中分担客流的比例; β 为远期城市轨道交通在公共交通客流量中分担客流的比例; q 为线路负荷强度,万人次/(千米·日)。

远期城市出行预测总客流量可以通过交通需求预测获得, α 、 β 和 q 的取值对轨道交通线网总长度影响很大。

α 的取值与居民出行特征、未来交通发展战略有关。从国外发达城市的情况看,公共交通在城市客运交通结构所占比例较高,如纽约公共交通年客运量占城市总客运量的 86%,东京公共交通年客运量占城市总客运量的 70.6%,莫斯科公共交通年客运量占城市总客运量的 91.6%。我国大城市与国外发达城市相比,道路面积率低、人口密度大,城市客运交通结构不尽合理,最主要的反映就是公交比例过低。因此,在当前公交优先发展的交通发展政策下,我国大城市要大力发展以城市轨道交通为骨干、常规公交为主体的公共交通系统,远景公共交通的出行率应为 30%~50%。

β 的取值与城市规模、综合交通发展水平、轨道交通的规划目标有关。我国城市根据自身的实际情况,在 0.3~0.6 间取值。实际上,从国外一些大城市的轨道交通运行数据看,巴黎达到 0.65,纽约达到 0.55,墨西哥城达到 0.43,莫斯科是 0.4。表 3-1 列出了国内一些城市轨道交通线网规划中 β 的取值。

表 3-1 国内部分城市轨道交通线网规划轨道交通方式
占公共交通方式的比例

单位: %

城市	北京	上海	广州	沈阳	青岛	长春
β 取值	50~55	50~55	45~50	60~88	60~65	21



世界几大城市轨道交通网络的负荷强度,一般可分为两种模式:一种是高运量、低密度的线网,负荷强度高,如莫斯科、东京等;另一种是低运量、高密度的线网,负荷强度低,如巴黎、伦敦、柏林等。表 3-2 列出了世界几大城市轨道交通负荷强度指标值。

表 3-2 世界几大城市轨道交通负荷强度 单位:万人次/(千米·日)

城市	东京	莫斯科	伦敦	柏林	纽约	巴黎
负荷强度	3.17	3.32	0.32	0.85	0.71	1.64

根据我国城市的实际特点,轨道交通建设应当采用高运量、低密度、高负荷的线网,只有这样才能以最少的投资获得较大的经济效益。我国城市 q 值一般在 1.5~3.0 选取。

(2) 线网密度法。城市轨道交通线网密度指单位指标的轨道交通线网长度。单位指标可以是面积,也可以是人口数量。计算公式如下:

$$L = A\delta \quad \text{或} \quad L = P\delta \quad (3-2)$$

式中, L 为线网规划的总长度,km; δ 为线网密度,km/km² 或 km/万人; A 为城市规划区面积,km²; P 为城市规划区总人口,万人。

线网密度法的关键在于对线网密度进行合理取值,获得合理线网密度的一个有效途径是类比分析。针对研究对象城市,选择国际上轨道交通发展较好的同类城市作类比,对其城市轨道交通线网密度进行分析。表 3-3 列出了世界几大城市轨道交通线网密度指标值。

表 3-3 世界几大城市轨道交通线网密度

线网密度	莫斯科	东京	巴黎	伦敦	纽约
面积线网密度/(km/km ²)	0.21	0.39	0.73	0.24	0.44
人口线网密度/(km/百万人)	26.5	25.3	90.9	140	61

3.2.2 线网结构形态

一个城市的轨道交通线路一般是 3 条以上,这些线路相互组合,并受各个城市具体的人文地理环境、城市用地布局、居民出行流向分布等条件制约,便形成了千姿百态的路网形态。典型的轨道交通线网结构形态有无环放射式、网格式和有环放射式 3 种。

1. 无环放射式线网

无环放射式线网是以城市某一区域(如城市中心区或 CBD 区域)为核心,在全方位或一个或多个扇形区域,对称或不对称地放射发展,所有轨道交通线路交汇于一点或中心的结构,其交汇点往往为大型换乘中心。采用该结构形式的城市,线网中心点的可达性很好,中心区与外围区之间的联系非常方便,有利于中心区客流的疏散,有助于保证市中心的活力,而且由一条线到其他任意一条线,只需一次换乘即可到达目的地,换乘次数少,乘客非常方便。无环放射式线网突出的优点:一是方向可达性较高,二是符合一般城市土地利用强度由中心区向外围区递减的特点。但这种形式的线网,由于没有环形线,城市外围组团之间缺少直接的轨道交通联系,居民出行需要经过市中心区的换乘站中转,或是需要通过其他地面交通方式来实现,交通联系很不方便,这种不便程度随着城市规模的扩大而增大。无环放射式结构线网适合于有明显的市中心、城市规模中等且城市外围组团之间客流量不大的城市。

该结构形态是由城市轨道交通线路从城市中心区域向外放射而成,如果轨道交通线路都集中经过城市同一地方,容易造成该地方客流组织混乱,并增加施工难度和工程造价。因此,在实际轨道交通线网规划中,一般将多线线路的一点集中交汇改为在一定区域范围内的多点交汇,形成若干的X形、三角形线路关系,如华盛顿就采用了这种结构形态,在城市中心区域形成两两相交的形式,如图3-4所示。

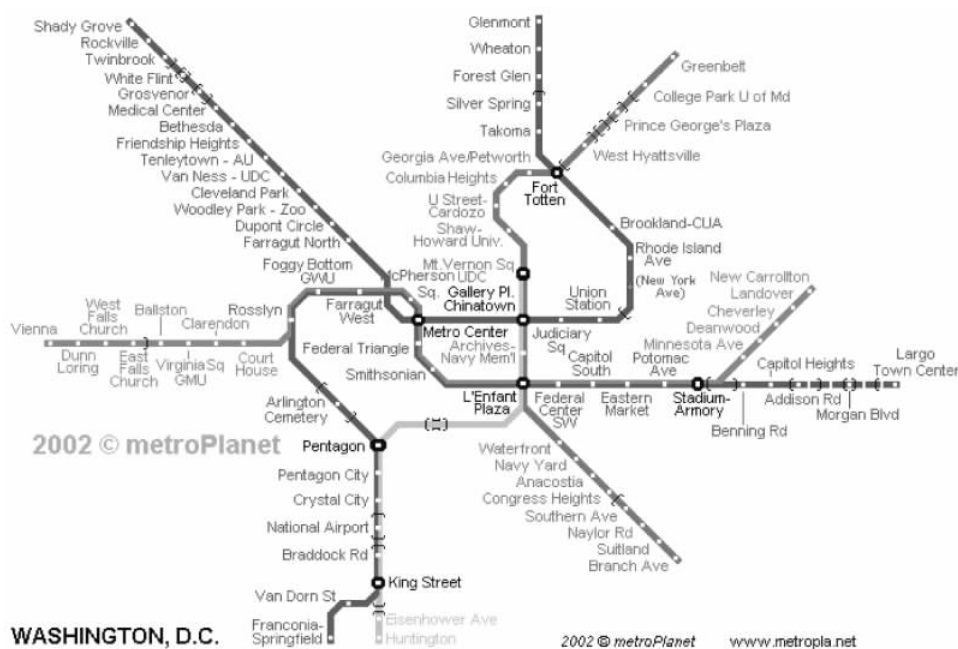


图 3-4 华盛顿轨道交通线网形式

采用无环放射式结构形态的城市较多,比较有代表性的城市有布达佩斯、波士顿等。但在实际中,有些城市由于自然、地理条件的限制,如天然的湖泊、山脉的存在,阻断了城市向四周均匀发展,故轨道交通线路也不能均匀布设,即线路放射程度不均匀。有扇形放射的,如芝加哥,由于密歇根湖的存在,轨道交通线网采用扇形放射,如图3-5所示;也有向两侧放射布设轨道交通线路的,如斯德哥尔摩,由于水域的分割,城市分为南北两部分,因此轨道交通网络也就采用以水为界向南北两侧放射的结构形态,如图3-6所示。

2. 网格式线网

网格式线网结构形态的各条线路纵横交叉,形成方格网,呈棋盘状,有时也称为棋盘式结构形态。

网格式线网线路分布比较均匀,客流吸引范围较大;线路按纵横两个走向,多为相互平行或垂直的线路,乘客容易辨识方向;换乘站较多,纵横线路间的换乘方便,线网连通性好。但这种线网由于线路走向比较单一,对角线方向的出行距离较长,外围区到市中心的出行常需换乘,且平行线路之间换乘也很麻烦,一般需要换乘两次或两次以上。当线网密度较小、平行线之间间距较大时,平行线间的换乘是很费时的。在相同的线网规模下,网格式线网的吸引范围要比放射式线网的低。据苏联有关研究,网格式线网的运输效率较有环放射式线网低18%。网格式结构线网适合于中心区发展比较均匀、市区呈片状发展且街道呈棋盘式



图 3-5 芝加哥轨道交通线网形式

布局的城市。

目前,世界上已建有轨道交通线路的城市中,采用这种线网结构的并不多见,其中比较有代表性的城市是墨西哥城、北京、西安。北京市地处平原,其特有的棋盘形道路格局决定其规划的轨道交通线网的核心是“三横三纵一环”的网格格式线网,为了扩大线网的覆盖范围,在外围增加周边线路和支线,如图 3-7 所示。西安的轨道交通线网由 2 条南北向线路、2 条东西向线路和 2 条斜向线路组成,其间有些线路为了增加与平行线路间的交叉机会而呈 L 形,如图 3-8 所示。