

第一章 绪 论

第一节 城市轨道交通发展

经济发展到一定程度后,将加快城市化进程,导致城市人口越来越多,城市的交通问题日益突出,严重地制约了城市经济的发展,同时也影响了城市居民的生活质量,为此,寻求合理的交通方式已是大城市所面临的重要课题之一。近年来,我国学者通过总结国外城市轨道交通发展的经验教训,认为建立以轨道交通为骨干、以公共交通为主体、采取多种交通方式相互协调的综合交通系统是解决大城市交通问题的较好方法。

最早的城市轨道交通起源于 1832 年在美国纽约的第 4 大街,它把数量较多的马车车辆联接起来,放在钢轨上,以马群作为牵引力,用于解决城市公共交通,即有轨马车。

1863 年,英国伦敦建成了世界上第一条地下铁道,其出发点是将地面火车移至市区的地下,形成大容量的客运系统,用以解决城市的公共交通,在当时只能采用蒸汽机车牵引。由于线路和车站均设在地下,所以就称为地下铁道(Under Ground Railway)。随后,法国巴黎引进了这种新的交通系统,但由于巴黎地形的特殊性,部分线路位于地下,而有些线路则采用地面线的形式,如果借助于伦敦地下铁道的英文命名法,就不准确,于是就用 Métrol(古法语“城市”的意思)来命名巴黎的城市轨道交通线。截至第二次世界大战爆发之前,世界上共有 11 个城市建成地铁交通系统,它们主要分布在欧洲,如表 1-1 所示。

表 1-1 二次世界大战之前建成地铁的城市

序号	城市名称	通车年份	列车最大编组 (veh)	最短行车间隔 (min:s)
1	伦敦	1863	8	1:45
2	布达佩斯	1896	5	2:15
3	格拉斯奇	1896	2	3:30
4	维也纳	1896	6	2:00
5	巴黎	1900	9	1:39
6	波士顿	1901	4	3:00
7	柏林	1902	8	2:30
8	汉堡	1912	4	2:00
9	马德里	1919	6	2:30
10	东京	1927	10	1:50
11	莫斯科	1935	7	1:20

在发展地铁交通系统的同时,由于德国在 1881 年建成了世界上第一条电气化铁路,所以,有轨电车在世界各地得到迅速发展,并成为大城市的重要公共交通工具,但由于其噪声

大、舒适性差,第二次世界大战之后,又由于汽车工业的发展,使原来的有轨电车纷纷被拆除或更新。20世纪70年代石油危机之后,人们对原来有轨电车的低污染和节能性进行了重新认识,在此基础上发展了轻轨(Light Rail Transit)交通系统,使得轻轨交通得到了迅速发展,表1-2为1989年之前世界上建成轻轨交通系统的主要城市。

表 1-2 世界城市轻轨概况

洲	国家	城市	人口 (万人)	始运 年份	系统 类型	线路 数	运营线路 (km)		车站 数量	轨距 (mm)	牵引供电		运营速度 (km/h)	年客运量 (亿人次)
							全长	地下 线			方式	电压 (V)		
	英国	伦敦	670	1863	地铁 轻轨	9 2	408 15	167	15 273	1435	第三轨	630 750	33	7.69 (86~87)
	法 国	里昂	113.3	1987	地铁(胶轮) 地铁(齿轮)	3	14 2.4	14	22	1435	导向轨 架空轨	750	28	1.02(87)
		里尔	89.3	1983	地铁(胶轮)	1	13.3	8.55	18	2060	导向轨	750	35	0.3(86)
		格勒诺 布尔	15.6	1987	轻轨	1	9		22	1435	架空线	750	750(最大)	
		南特	24.2	1985	轻轨	1	10.6		22	1435	架空线	750		
	德 国	波恩	38.5	1981	轻轨	2	7.2	7.2	6	1000	架空线	600	80(最大)	
		科隆	92	1968	轻轨		35.1		28	1435	架空线	750		
		多特蒙 特	57.9	1986	轻轨	7	100.4		190	1435	架空线	600		0.44(86)
		埃森	62.6		轻轨	3	19	13	23	1433	架空线	750		0.009(86)
		汉诺威	51.4	1975	轻轨	6	69	13	112	1435	架空线	600		0.97(86)
		卡尔斯 鲁厄	29.6	1987	轻轨	7	46			1435	架空线	750		
		莱因- 鲁尔	15.5		轻轨		119.2		160	1345	架空线	600, 750		
		斯图加 特	56.2		轻轨	12	113	10	205	1435 1000	架空线	750		0.91(86)
		希腊	雅典	95.7	1925	轻轨	1	25.84	3	21	1435	第三线	600	30
	意大利	都灵	106.9	1987	轻轨	1	9.6			1445	架空线	580	75	
洲	荷兰	鹿特丹	56	1968	地铁 轻轨		42	32	32	1435	第三线	750	42	0.636(86)
		乌德 勒支	23	1983	轻轨	1	17.9			1435	架空线	750	28	0.074(87)
	瑞典	哥德堡	42.4	1987	轻轨	8	114.9			1435	架空线	610, 750	21.9	0.882(87)
	瑞士	纳沙 特尔	6.36		轻轨		9	15	15	1000	架空线	630		0.026(86)
	比 利 时	安特 卫普	52.8	1975	轻轨	10	79.7	21	21	1000	架空线	600	31	0.326(86)
		布鲁 塞尔	112.1	1976	地铁 轻轨	1 3	24.1 11.9	52	52	1435	第三轨 架空线	900 600~ 700	30	1.9(86)
		沙勒 罗瓦			轻轨	8	132	75	75	1000	架空线	600		
	奥地 利	维也纳	152.7	1976	地铁	3	34.4	18.6	39	1435	第三轨	750	34.4	1.978(86)
				1897	轻轨	2	8.4	1	11		架空线			

续表

洲	国家	城市	人口 (万人)	始运 年份	系统 类型	线路 数	运营线路 (km)		车站 数量	轨距 (mm)	牵引供电		运营速度 (km/h)	年客运量 (亿人次)
							全长	地下 线			方式	电压 (V)		
美 洲	美 国	波士顿	267.8	1897	地铁 轻轨	4	125.5	24	84	1435	第三轨 架空线	600	31	1.197(87) 0.243(87)
		布法罗	33.9	1985	轻轨		10.3	8.37		1435	架空线	650		1.197(86)
		克利夫兰	63.7	1955	地铁 轻轨	1	30.6	0.8	18	1435	第三轨 架空线	600	48	0.075 (87~88)
						2	21.2		29					
		纽瓦克	31.4		轻轨		6.9	2	11	1435				0.0566(86) 0.0463(86)
		费城	170	1907	轻轨	3	41.05		73	1435	第三轨 架空线	600	32	
				1969	地铁	3	62.08		74	1435 1581	架空线 第三轨	600 700	60	
		匹兹堡	40.3	1987	轻轨		16.98	2.4		1580	架空线	600	88	0.2104(87)
		波特兰	36.6	1986	轻轨	1	24		24	1435	架空线	750	80	0.0826(86)
		萨克拉 门托	30.4	1987	轻轨		29.3		27	1435	架空线	750		0.0723 (86~87)
圣迭戈	96	1981	轻轨		35.3		22	1435	架空线	600				
圣何塞	68.2	1987	轻轨	1	32		33	1435	架空线	750	80	0.1		
加 拿 大	卡尔加里	59.3	1981	轻轨	4	28.3	2.13		1435	架空线	600	80	0.312(87)	
	埃德蒙顿	53.2		轻轨	1	10.5	2.25	8	1435	架空线	600			
	温哥华	41.4	1986	轻轨		21.4	1.6	15		侧轨供电	600		0.35(86)	
亚 洲	日本	广岛	105.5		轻轨	1	16.1		20	1435	架空线	600	60	
	菲律宾	马尼拉	172.8	1985	轻轨		14.5		18	1435	架空线	750	70	1.015
非 洲	突尼斯	突尼斯	46.9	1985	轻轨	1	10		11	1440	架空线	750		0.25 0.14 (86~87)

第二节 城市轨道交通的主要术语

前苏联专家纳乌莫夫先生于 1956 年在唐山铁道学院最先在国内开设地下铁道课程，这里的“地下铁道”更确切地说应该是“Métro”，而不仅仅指地下部分（英文中的 Underground Railway 或“Subway”），为了避免词义的歧义，在我国就用地铁来对应“Métro”，即依据国际隧协将地铁定义为轴重较重、单方向输送能力在 3 万人次/h 以上的城市轨道交通系统，它

可以修建在地下、地面或采用高架的方式；在我国台湾地区，地铁的含义则是指台北铁路地下化，即随着台北的经济发展，城区也在扩展，使得原来的一段铁路从新市区中穿越，为了避免与地面其他交通方式的干扰，将这段市区铁路改建到地下，台湾称之为“铁路地下化”，简称“地铁”。而城市轨道交通系统在台湾称为“捷运”（城市里的快捷运输系统）。

轻轨（Light Rail Transit, Light metro），相对地铁来说运量较小，在原有轨电车的基础上利用现代技术改造发展的城市轨道交通系统，运输能力为 1.5~3 万人次/h。与地铁相同，轻轨也可以修建在地下、地面或采用高架的方式。

有轨电车（Tram, Tramway），单方向的运输能力在 1 万人次/h 以下。

独轨（Monorail），分为跨座式和悬挂式两种，运量较小，0.4~1.6 万人次/h。

市郊铁路（Suburban Railway），是联接城区和郊区之间的有轨公共交通线，在郊区部位的站距较长，运量在 8 万人次/h。

现阶段，将城市中在固定轨道上运行车辆的交通系统称为城市轨道交通。除了前面提到的 5 种之外，还包括导轨、磁悬浮等交通方式。

城市轨道交通系统用于城市客运方面，有以下最基本的概念：客流、客运量、居民流动度及运程。

所谓客流，是指在某一区段上单位时间内朝一个方向或往返旅客的实际数目或预计数目。

客运量，是指城市各个区段上单位时间内单程或往返运送的或需要运送的旅客数目。对运输枢纽、车站、停车站来说，客运量便是所容纳的旅客数目，即上车、下车或换车的旅客总数。

居民流动度，是指城市客运量除以居民总数，即每年每一居民的平均出行次数，它由城市大小、居民密度、居民生活条件及工作条件、城市运输情况而定。

运程，即每一旅客一次乘行的平均距离。它取决于市区的大小及形式、城市运网的总延长公里（即发达程度）以及现有的各种运输形式。

第三节 我国城市轨道交通的发展前景

北京地铁于 1965 年 7 月 1 日开始修建一期工程，1971 年正式通车。天津地铁于 1970 年动工并于 1980 年开通一条长 7.4km 的运营线，上海地铁一号线于 1995 年建成，广州地铁一号线于 1998 年建成。

表 1-3 列出了我国已建成的城市轨道交通工程和部分在建及拟建的工程。在我国台湾省台北市，于 20 世纪 80 年代中期建成了淡水线、木栅线等城市轨道交通，其中，木栅线采用高架橡胶轮方式。现已建成的城市轨道交通系统列于表 1-4，其中，土城、板桥和南港线为同一条线路。此外，还有正在建设的芦洲线、内湖线、淡水线的延伸线和新店线的延伸线。台北的城市轨道交通系统为改善台北路面交通拥挤起到了良好的作用。

表 1-3

我国城市轨道交通状况表

	线路名称	建设阶段 (建成年份)	线路长度 (km)	车站数量 (座)
已 建 成	北京地铁一期工程	1969	23.6	17
	香港地铁系统	1979~1985	43.2	38
	北京地铁环线	1981	16.1	12
	天津地铁一期工程	1980	7.4	8
	香港屯门轻便铁路	1988~1995	31.75	57
	上海地铁1号线	1995	16.36	13
	上海地铁1号线延伸线	1996	5.25	3
	香港机场快速铁路	1998	34	7
	北京地铁复一八线	1999	11.5	10
	上海地铁2号线	1999	19.1	13
	广州地铁1号线	1998	17.78	16
	上海地铁明珠线	2000	24.98	19
	在 建	广州地铁2号线		17.81
深圳地铁1号线			25.3	22
上海明珠线二期			22	19
上海R1北延伸段			12.4	9
上海M8			23.3	22
上海R4			35	17
上海莘闵轻轨			17.4	13
南京地铁1号线			16.9	16
北京城市铁路			41	16
北京地铁八通线			19	11
武汉轻轨1号线			15.9	12
青岛地铁1号线			16.4	13
筹 建	北京地铁11号线		10.2	7
	北京至十三陵		31.4	14
	上海轻轨L4线		25.4	22
	上海地铁M7线		33.2	26
	重庆轻轨1号线		16.4	13
	沈阳轻轨1号线		22.3	19
	大连轻轨		13.7	13
	成都地铁一期		14.7	15
	西安地铁1号线		19.7	16
杭州轻轨1号线		14.1	13	

表 1-4

我国台北市城市轨道交通系统

线路名称	线路长(km)	车站数量(座)
淡水	22.8	20
新店	10.3	12
木栅	10.9	12
土城	5.6	5
板桥	7.0	7
南港	10.3	8
新庄	19.7	15
中和	5.4	5

上世纪 60 年代建成的北京地铁和 80 年代天津地铁是基于平战结合的思想,即地铁是城市人防工程的一个组成部分,所以,大量的地下工程都考虑了人防荷载和战时的紧急疏散待避功能等。上世纪 80 年代后期修建的城市轨道交通的出发点是解决城市的交通问题,并以此改善城市的投资环境,同时带动城市经济的发展,在形式上朝多样化的趋势发展。上世纪 90 年代修改城市轨道交通的理念,主要体现“以人为本”的思想,既要解决交通问题,更重要的在于改善环境。

上海市的明珠线一期工程,利用原淞沪铁路的线路地址,依照现代地铁的标准,由地面线改造成高架线,避免了与地面其他交通的相互干扰。大连计划建造的城市轨道交通系统,也将对原来的有轨电车进行改造而建成轻轨交通系统。

在建造方法方面,早期的北京地铁充分利用旧城改造的时机而大量地采用明挖法。上海地铁区间隧道充分考虑地层的特性采用盾构法施工,车站则采用围护结构明挖法施工。上海的城市轨道交通系统随着修建数量的增加,其周边的制约也越来越多,难度也越来越大,在建的 M8 线有两个区间采用异形双圆盾构施工来解决线间距问题,目前正在研究开发采用三圆盾构修建车站。广州地铁和南京地铁由于地质条件的变化较大,既有盾构法、明挖法,也有浅埋暗挖法,因地制宜地采用多样化的方法以适应不同地质条件施工的需要。

第四节 本书的主要内容

城市轨道交通系统是建设在市区以快捷舒适地运送乘客为目的的交通系统。要实现这一目标,将涉及众多的专业知识,比如交通规划、车辆、供电、环控、信号与通信系统等。所有的专业设施,都将通过车站建筑,协调地布置在车站这一局促的空间之中,所以,土建专业人员有必要对土建之外的城市轨道交通系统中的相关专业有所了解,以便更好地处理专业之间的接口。所以,本教材的编写思路,首先是介绍城市轨道交通网的规划原则和基本方法;其次,是介绍线路、轨道结构和车站建筑功能,以便优化车站设备布局和管理控制车站规模,让从事土建专业的技术人员了解现代城市轨道交通的设备系统。本教材的重点,是车站和区间结构工程的设计和施工。

第二章 城市轨道交通路网

第一节 路网方案设计的过程

轨道交通路网方案设计影响因素众多,又与其他交通方式一起承担城市交通任务,由于人的认识的局限性,光靠定性分析或少数几次的定量分析都难以获得满意的路网方案,必须切实有效地把定性分析与定量分析有机地结合起来,构成定性分析与定量分析的循环,在这种循环中逐渐推进规划者的认识深度。路网方案设计的基本步骤可归纳如下:

(1) 在选择了轨道交通发展模式后,拟定路网规模。

(2) 建立城市的初始研究对象交通路网。该路网的线路包含主要的道路及现有的轨道交通线路,为简化计算分析工作,可以不包括那些次要的道路,因为它们对轨道交通客流分析影响很小。路网的节点,也不一定是全部的道路交叉点,而主要是客流集散点及主要道路的交叉点。

(3) 交通路网客流特征分析收集历年的交通统计资料,进行必要的交通调查,进行城市综合交通的交通分布预测;建立交通方式划分及交通分配模型,对规划年度初始研究对象交通路网进行交通分配,了解路网中各条交通线路的主要客流走向、分布及大小。

(4) 轨道交通初始路网方案设计。综合考虑城市主要客流分布、一定规模下的路网形态特征及其功能特点以及城市的地理、地形、地质、环境等因素,拟定一个或多个初始轨道交通路网方案,其中许多方面依赖于定性分析,而不完全依据定量分析来决定。因此,为减少计算分析工作量,应该请有经验的行家进行这项工作。由于轨道交通客运能力大,对城市发展的影响深远,因此,方案的拟定往往要在城市交通战略分析的基础上进行。

(5) 路网方案分析。对各方案进行定量分析和定性分析。定量分析是根据已建立的评价模型进行计算,获得某些定量评价指标。例如,把各个轨道交通路网方案加入到初始研究对象交通路网中,进行规划年度的路网交通分配,获得各路线的客流量、饱和度、财务评价指标,等等。定性分析是对各方案的经济效益和社会效益进行全面的分析。

(6) 路网方案评价、比较和筛选。建立路网评价指标体系,对各路网方案进行比较和筛选。

(7) 路网方案更新及优化。良好的路网设计方案并不是一下子就设计出来的,而是通过“方案设计—分析评价比较筛选”这一过程的反复作用之后才能获得。在上述分析、评价与比选过程中,规划者不只是为了筛选出现有的较优方案,更重要的是要通过分析和比较过程中获得的信息及领悟,更深刻地认识城市交通的现状及其发展变化规律,挖掘出那些被遗漏的有比较价值的路网设计方案。对所形成的新路网方案,连同本轮评价刚刚筛选出来的较优方案一起,进入下一轮的分析评价与比选过程。如此循环往复,不断筛选出或获得更有价值的方案。这是一个动态的过程,也是逐步趋优的过程。由此可见,方案设计与方案分析评价是紧密相连并且相互交替进行的。同样,在这个过程中,可能会发现原先确定的路网规模需要调整,这时,需要在调整后再重复上述过程。在分析评价过程中,需要把定量分析

与定性分析有机地结合起来,规划者在方案设计及分析评价方面的经验会加速这个过程,同时,规划者、有关专业的专家及决策者之间的相互交流也是很有益处的。这个过程如图 2-1 所示。

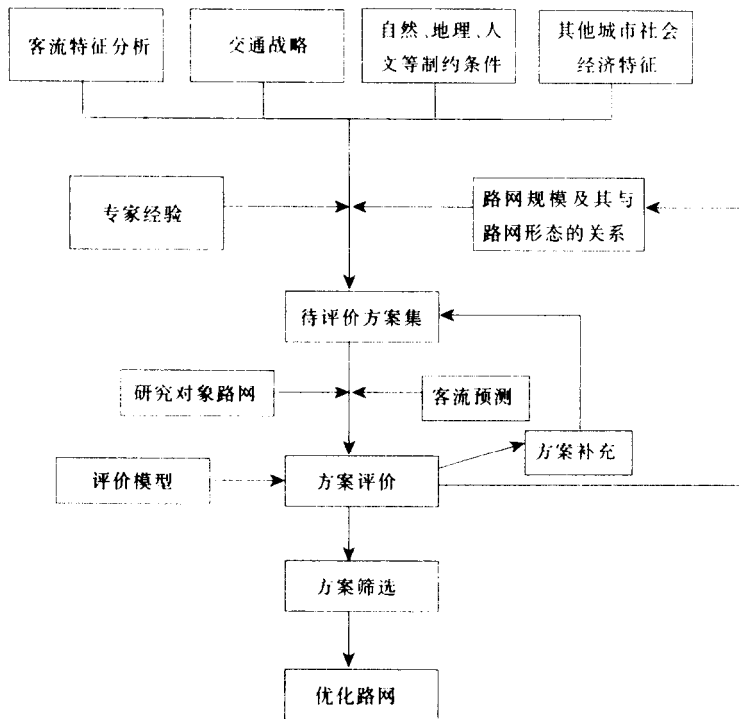


图 2-1 轨道交通路网方案设计过程示意图

第二节 路网方案设计的基本方法

一、编制规划路网的基本思路

目前,编制规划路网的基本思路主要分为两种。一种是通过客流分析找出主要的客流走廊,沿客流走廊布线,再结合集散点分布、换乘点及车辆段(停车场)布设的可能性等加以调整。另一种方法则是先确定主要换乘枢纽,然后结合主要客流走廊布设线路。前者是先有线后有点,后者是先有点后有线。

路网方案设计的技巧则依赖于对路网基本结构形态特性的认识。不同的路网形态对路网运营效率及城市发展有着非常重要的影响,因此在路网设计之前,应该深入了解路网设计的影响因素及一些基本路网形态结构的特点。

二、影响路网方案设计的主要因素

城市轨道交通设施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。设计城市轨道交通路网时,首先必须很好地分析及预测其相关区域内的客流需求,因为迅速有效地运送客流是轨道交通建设的直

接且主要的目的。第二，要保证轨道交通能够顺利建成并正常投入运营，其线路位置必须满足城市地形、地质、历史文物等自然条件及人文地理条件的限制要求。第三，快速轨道交通建成后往往要使用百年以上，为了节省运输成本，减少乘客出行时间，提高路网运输效率，设计时应充分考虑轨道交通路网的运营特点。

（一）与客流有关的因素

（1）城市性质及地位。城市现在及其所规划的性质与地位，在战略上决定着城市的人口、用地发展规模及潜力，也决定着对其外部区域的影响力。

（2）城市人口与土地利用规模及分布形态。城市人口密度、房屋建筑密度、工作岗位及商业区的集中程度对客流的产生及其流向有重要影响，因此，要分析现状及规划的城市人口分布及大型客流集散点分布，包括重要的工业区、商业网点、文化中心、旅游点、住宅区等。

（3）市内公共交通枢纽及对外交通枢纽。城市内部公交枢纽、火车站、码头、航空港等是客流集散的重要场所，其现在及规划位置对城市客流的分布也有着重要的影响。

（二）轨道交通规划和建设的各种制约条件

（1）城市自然地理条件。城市的地质、地形、地貌等自然条件会限制城市轨道交通的线路走向及位置。

（2）城市人文地理条件。必须遵守国家对于历史文物、自然风景区的保护等方面的法规，当轨道交通的线路位置与之相抵时必须避让或重新确定线路走向。另外，城市既有的地面建筑物、地下建筑物、地下管线对轨道交通选线也有一定的影响。

（3）城市经济基础。轨道交通建设需要花费巨大的投资，城市的经济实力会影响城市轨道交通路网规划的合理规模的确定，也会影响规划路网的实施进度。

（4）轨道交通的建筑特点。轨道交通线路位于地下隧道内，还是在高架桥或地面上，所考虑的因素都有所不同。

（三三）与运营有关的影响因素

（1）路网结构。同样的线路长度按不同的结构组成的路网，对路网中各条线路负荷的空间分布、运输效率以及路网的后续发展等都有影响。

（2）线路的起终点及换乘站的位置。线路的起终点决定线路的长度，不仅影响线路的运营组织及效率，还在一定程度上决定车辆段及停车场的位置。同时，它又是特殊的车站，将来其周围的土地利用强度有可能大大提高。换乘站的位置将是人流集中的场所，对其周围的土地利用会产生重要的影响，因此，其设计必须要与城市规划相互结合起来。例如，东京的新宿站在建成换乘站之前的人口密度并不高，但是在此建成换乘站后，大量的人流经过此地，逐渐使其发展成东京重要的副中心。

三、路网方案设计的原则

轨道交通路网设计的一般原则如下：

（1）路网应在城市总体规划的基础上，根据远景客流预测分析，正确把握土地利用与交通之间的相互作用关系，合理选择路网布局，以适应城市将来的发展。

(2) 线路应考虑与城市地面公共交通、城市对外客运交通枢纽（火车站、轮船码头、长途汽车站、航空港）的联系，以适应城市总体规划的交通结构。如，瑞士建立高速城市交通系统，将地铁与欧洲高速铁路相衔接，在旅行时间、运输量、费用和安全方面得到最大的效果。

(3) 线路尽可能直接连接大型客流集散点。如，主要工业区、大型住宅区、商业或文化中心、公交枢纽、机场、火车站、码头、长途汽车站等，便于乘客直达目的地。

(4) 线路要沿主要客流方向布置，在多个客流方向中加以选择时应以减少换乘量及改善换乘条件为主要原则。

(5) 为加强中心城对周围区域的辐射力及吸引力，通常线路宜贯通市区。

(6) 力争多设换乘点，尽量使得城市内任意起终点间的乘客出行至多换乘 1 次即可到达目的地，即尽量避免换乘 2 次及其以上的情况，因为这会使旅客在途时间大为增加。同时，为提高运输效率，换乘点应分散布置，不宜过分集中。

(7) 选择线路走向要考虑城市的自然人文地理等制约条件，注意历史文物保护，减少对重要地面建筑和地下构筑物的影响。

(8) 线路经过中心城区时，宜以地下线为主，以减少拆迁、噪声、振动、与城市交通的相互干扰，站距不宜太大，1km 左右较合适；经过郊区时，在不破坏自然风景的前提下可选择地面或高架形式，以降低建设成本。

(9) 规划线路时要考虑车辆段、停车场和联络线的位置；若几条线路共用一个车辆段时，应设置连接两线的联络线。

第三节 路网基本结构

在轨道交通路网中，其线路交叉的布置方式可分为两种基本类型：

(1) 各条线路在不同标高的平面上相交。在交叉处采用分离式的立体交叉，路网中各条线路独立运营，不同线路上的列车不能互通，乘客必须通过交叉点处的换乘站中转才能到达位于其他线路上的目的地车站这样的路网称为分离式路网。见图 2-2(a)。

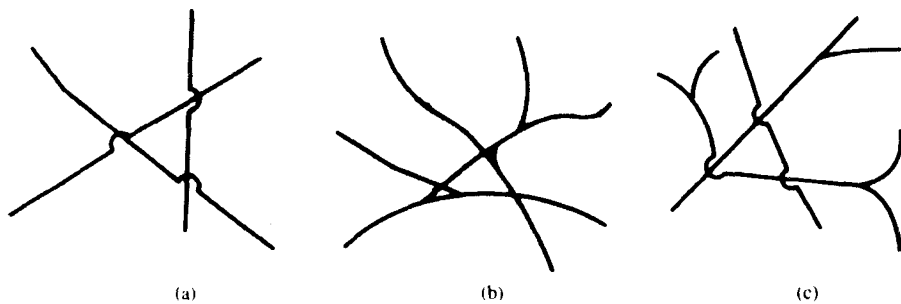


图 2-2 按线路布置方式划分的路网类型

(a) 分离式路网；(b) 联合式路网；(c) 分离联合混合性路网

(2) 各条线路在同一平面内交叉。在交叉处用道岔联接，因而各条线路之间可以互通列车，在整个路网上可以像城市间铁路那样实行联运，乘客可以直接到达位于另一条线路上

的目的地车站。这样的路网称为联合式路网。见图 2-2(b)。

分离式路网比联合式路网有明显的优点，因为分离式路网能在确保安全的条件下更好地组织高频率和高速度的交通，其缺点是必须换乘和路线系统不可能发展。世界上多数大城市的轨道交通线路是按分离式路网修建的，也有少数城市是按联合式路网修建的，如纽约。还有部分城市，如马德里，将这两者组合起来，即在主要线路方向上是相互分离的，而其他线路之间是相互联系的，试图兼具上述两种路网的优点。

我国已建轨道交通及正在筹建的城市，如北京、上海、广州、深圳、南京，其正常运营路网都是按分离式路网规划和建设的。但是，为了方便各条线路在车辆维修及紧急状况下的调车，考虑设置一些联络线以沟通部分交叉线路，这些联络线需要按联合式路网布置。

一、路网线路之间的基本形态关系

从两条线路所构成的形态来看，按其交叉点的多少，可分为三类，即线路之间无交叉、线路之间交叉一次、线路之间交叉两次及两次以上。

(一) 线路之间无交叉 [I 类]

轨道交通路网中，两条线路之间不交叉的情形大致有三种：

(1) 两条线路平行或近似平行布置，如纽约曼哈顿地区的地铁。

(2) 两条线路虽不平行但相距较远，如一些特大城市中由于城市建成区面积较大，两条主要的交通走廊走向大致相同但相距较远。

(3) 由于河流等地理因素两条线路之间无法或尚未连通，如图 2-3 所示的是布里斯班城市的轨道路网。

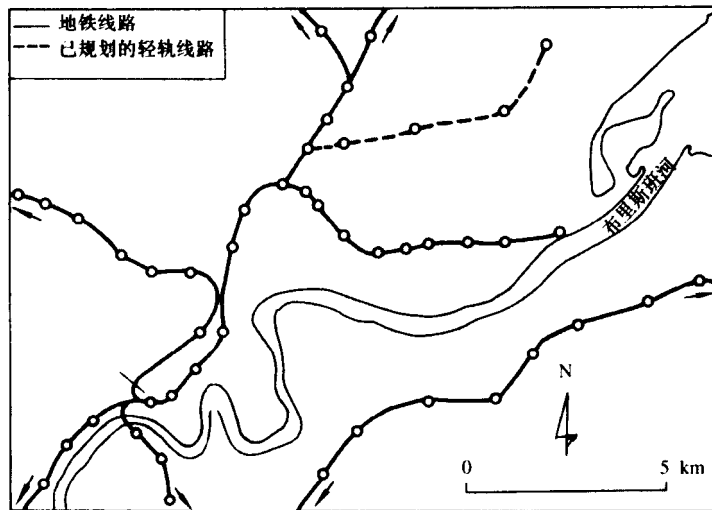


图 2-3 布里斯班城市轨道交通路网

在这些情况下，两条线路之间无法实现直接换乘，而是通过与这两条线路都交叉的线路进行两次或两次以上的换乘来实现，或是通过其他交通方式来实现，因而这两线之间的换乘很不方便。

(二) 线路之间交叉一次 (II 类)

轨道交通线路之间交叉一次,即两线之间存在一个换乘站。线路交叉的形态呈“+”、“X”、“T”和“Y”四种形式。“+”形交叉常见于方格式路网中,如北京地铁路网:“X”形交叉出现于含有三角形的放射式路网中,“T”或“Y”形交叉则多见于一些树状路网中,如布里斯班、布宜诺斯艾利斯、阿拉斯加、阿姆斯特丹等城市轨道交通路网中,见图 2-3。线路之间交叉一次,使得两条线路之间可以实现直接换乘,但是,当换乘客流很大时,容易引起节点换乘能力不足。

(三) 线路之间交叉两次及两次以上 (III 类)

两条线路之间相互交叉两次,便构成两个交叉点,两者间的距离可以较远,也可较近,甚至是紧邻的两个站。

在交叉点相距较近的情况下,交叉点间的线路多为平行或近似平行式的布置,只是在两交叉点外侧才开始分开。在一些大城市客流量很大的交通走廊上会采用这种情况,如伦敦地铁的 Piccadily 线与 District 线在 Hammersmith 至 South Kensington 之间的线路便是平行布置的,在此区间设置了五个连续的换乘站 (Hammersmith、Barons、Eart's Court、Gloucester Road、South Kensington),这样可以使该区域庞大的换乘量较均匀地分布到多个车站上去。香港也有这样的例子,荃湾线与观塘线在太子、旺角和油麻地有三个连续的换乘站,荃湾线与港岛线在中环和金钟有两个连续的换乘站。

交叉点相距较远时,有两种常见的路网结构形态。一种是两条线路在市中心区的两端相交,交点之间的线路形成一包围 CBD(中央商务区)的小环,形同鱼状,即所谓的“鱼形”结构,如图 2-4 所示。这种结构将两条线路汇集的客流分别引向市中心区的两端,环绕 CBD 的小环上密布的站点也有利于 CBD 客流的分散,有力地减轻了市中心区的交通压力,保持了 CBD 的稳定,同时两条线路上的换乘客流得以在两个换乘站上换乘,这也减轻了换乘站的压力,方便了乘客的换乘。这种结构现已成为许多城市轨道交通系统中的基本构成,在米兰、里约热内卢、里尔、多伦多、罗马等城市轨道交通路网中均包含这种结构。另一种是一条穿越市中心区的辐射线与一条环绕市中心区的环线相交,如图 2-5 所示。这种结构的换乘站一般位于闹市区外围,主要由环线的位置决定,其作用不仅在于让乘客方便地换乘,更重要的是可以有效地减轻中心区的过境客流,通过环线使得辐射线上的客流便捷地转换到其他辐射线上。这种结构是构成环形-放射式路网的基本部分。



图 2-4 “鱼形”换乘

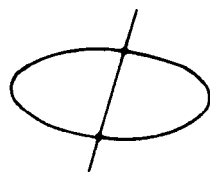


图 2-5 弧弦式换乘

两条线路之间交叉两次以上,或多条线路交叉时,除星形外,一般都会构成两个以上的交叉点,其形态特征是上述三种基本关系的组合。例如,三角形(II 类)“日”字形(II 类+ III

类)、“π”形(Ⅱ类)“大”字形(Ⅱ类)放射-环状(Ⅱ类+Ⅲ类)等形式的路网,如图 2-6 所示。

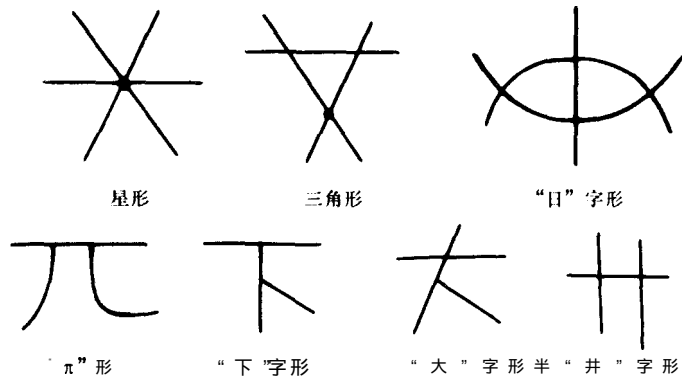


图 2-6 类线路基本形态关系在 1 条线路网中的组合形式

二、路网基本形态结构的特征分析

一个城市的轨道交通线路一般是三条以上,这些线路相互组合,并受各个城市具体的人文地理环境等条件制约,便形成了千姿百态的路网形态。但是,最常见、最基本的路网形态结构是网格状、无环放射式及有环放射式三种。下面对这三种类型的路网形态结构特征加以分析。

(一) 网格状

网格状路网的各条线路纵横交叉,形成方格网,呈格栅状或棋盘状。如图 2-7 所示。网格状路网中的线路走向比较单,其基本线路关系多为平行与“十”形交叉两种,例如,大阪及墨西哥城市地铁路网就是这种类型。

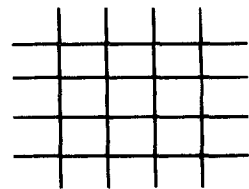


图 2-7 网格状路网结构示意图

这种结构的路网线路的特点是分布比较均匀,客流吸引范围比例较高;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、横线路之间的换乘较方便,路网连通性较好。此类路网的缺点,一是线路走向比较单一,对角线方向的出行需要绕行,市中心区与郊区之间的出行常需换乘,有时可能要换乘多次;二是平行线路间的换乘比较麻烦,一般要换乘两次或两次以上,当路网密度较小、平行线之间间距较大时,平行线间的换乘是很费时间的。

(二) 无环放射式

无环放射式路网是由若干穿过市中心的径向线或从市中心发出的放射线构成,其原始形态如图 2-8 所示。

这种类型的路网可使整个区域至中心点的绕弯程度最小,即全市各地至中心点的距离较短,因此其路网中心点的可达性很好,市中心与市郊之间的联系非常方便,有利于市中心客流的疏散,也方便了市郊居民到市中心的工作、购物和娱乐出行,有助于保证市中心的活

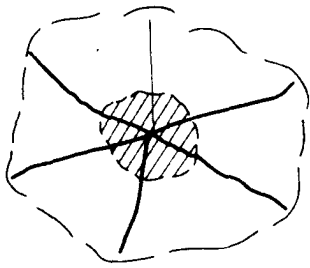


图 2-8 无环放射式路网基本结构示意图

力，维持一个强大的市中心。由于各条线路之间都相互交叉，任意两条线路之间均可实现直接换乘，因此路网连通性很好，路网任意两站之间最多只需换乘一次。但是，由于没有环线，圆周方向的市郊之间缺少直接的轨道交通联系，市郊之间的居民出行需要经过市中心区的换乘站中转，绕行很长距离，或者需要通过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增大而扩大。

当三条及三条以上轨道交通线路在同一点交汇时其换乘站的设计、施工及运营都很困难，这种站一般会在四层以上，旅客换乘不便，日常费用也高，同时庞大的客流量也难以疏散，因此，一般将市中心的点交叉改为在市中心区范围内多点交叉，形成若干“X”形、三角形线路关系，这样既有利于换乘站的设计与施工，又有利于乘客的集散，还有利于扩大市中心区的范围

(三) 有环放射式

有环放射式路网由穿越市中心区的径向线及环绕市区的环行线共同构成，基本图式如图 2-9 所示。径向线的条数较多，走向多样，但都经过市中心区。在一些轨道交通路网规模不是很大或建设时期路线较短的城市，如北京、新德里等，环线一般只有一条，而在一些轨道交通路网规模较大、轨道交通发展比较成熟的城市，如莫斯科、东京等，会出现两条或两条以上的轨道交通环线。

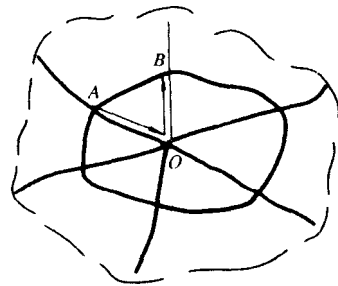


图 2-9 有环放射式路网基本结构示意图

有环放射式路网结构是在无环放射式路网结构的基础上加上环形线形成的，是对无环放射式的改进，因而既具有无环放射式路网的优点，又克服了其周边方向交通联系不便的缺点。例如，图 2-9 周边方向 A、B 间的出行，有环放射式路网可以利用环线便捷地出行，而无环放射式路网则要通过两条径向线绕行。因此，这种路网对城市居民的使用最为便利。当城市因其郊区发展成市区后，这种形式的路网便于路网有效地扩展。莫斯科、巴黎等许多城市的轨道交通路网都采用了有环放射式。与无环放射式路网一样，这种路网在市中心区交汇成一点是不利的，而改进成为在市中心区范围内多点交叉将更为有利。

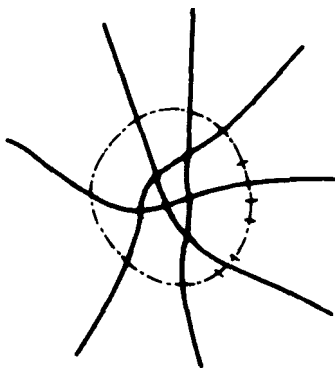


图 2-10 轨道交通路网最佳基本结构示意图

对现代大城市的车流和人流的分析可以看出，城市辐射方向（相对于市中心）的交通量最大。据此提出城市轨道交通网的最佳图式如图 2-10。辐射路线是最基本的，在市中心区相

互交叉，任意两条线路之间均可实现直接换乘，因此路网连通性很好，路网任意两站之间最多只需换乘一次。但是，由于没有环线，圆周方向的市郊之间缺少直接的轨道交通联系，市郊之间的居民出行需要经过市中心区的换乘站中转，绕行很长距离，或者需要通过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增大而扩大。

交，为了避免中心站超载，各条辐射线的交叉点不集中于一点，而分散为若干点。在大城市里，当沿城市边缘地区人口稠密时，应考虑用环线路线。莫斯科的地铁路网就是按照这种理念规划的，见图 2-11。

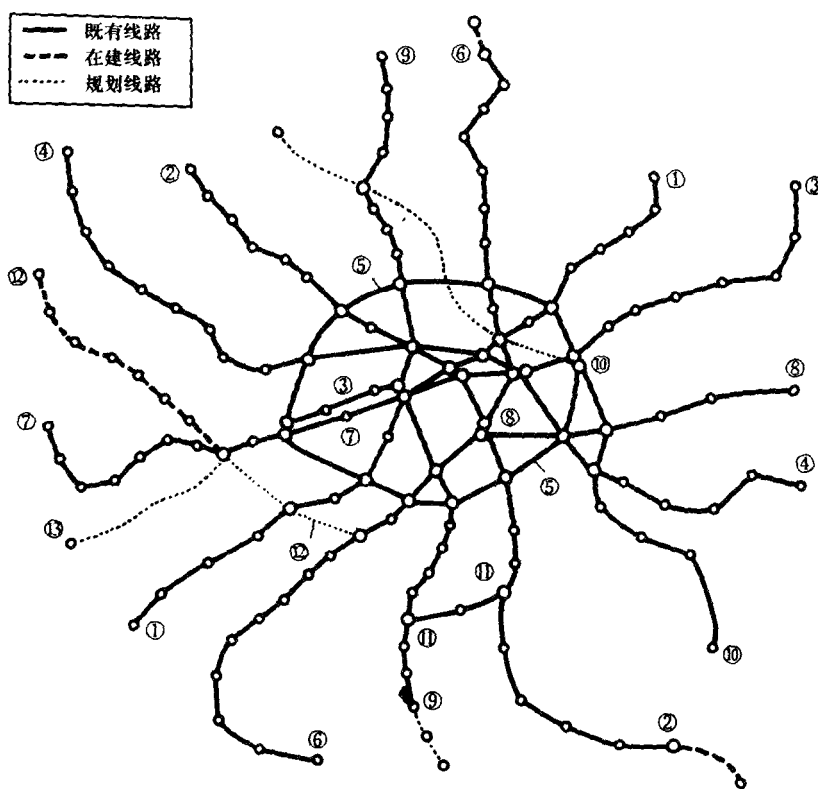


图 2-11 莫斯科地铁路网示意图

三、路网形态结构与城市结构的相互影响

城市轨道交通设施是城市建设中投资最大的基础设施之一。由于交通与城市发展之间的相互作用关系，城市轨道交通设施建成后将对城市发展产生重大而深远的影响。下面就三种典型的路网形态结构说明其对城市结构的影响。

(一) 网格式路网

由于网格式结构的路网是由纵向和横向的平行线交织而成的，所以它能够在两个主要方向上形成很大的客流输送能力，从而引导城市沿着这两个方向均匀地向市郊发展。在同样的路网规模下，网格式路网所覆盖的区域范围要比无环放射式及有环放射式的小。

在路网的覆盖范围内，网格式路网分布比较均匀，各地块上的可达性差异不大，这种差异较小的可达性难以造成城市土地利用密度的较大差异，因而它所引导的城市居民分布也比较均匀，由此产生的城市结构趋于均匀分布，不容易形成明显的市中心。由于不存在明显的市中心，城市的居民可以分布得均匀而松散一些，居民的生活空间可以开阔一些，居住环

境会好一些，交通压力相对较小，但另一方面它也会导致城市用地的效率降低。

这种路网结构适合于人口分布比较均匀、没有明显的市中心或不希望形成强大的市中心的城市。在目前，世界上已建有轨道交通路网的城市中，这种路网结构是不多见的。

（二）无环放射式路网

放射式路网的线路走向比较多，且它们都指向或穿过市中心区，这种结构使得市中心与市郊间的联系变得非常方便，大大地提高了市中心的可达性，因此，市民能够方便地也乐意到市中心进行办公、购物、娱乐等活动。不仅如此，而且由于市中心区良好的城市公共设施、就业条件及交通可达性好，强力地吸引市民，尤其是中等以上收入的市民在此处定居，从而促使了市中心区人口密度的增加，并形成大量的客流。客流需求的增加又进一步要求市中心改善包括交通条件在内的城市设施的功能，而改善的城市设施功能又将增加这里的客流需求。如此相互激励，最终将导致市中心区在平面和立面上同时发展，即一方面，市中心区密度不断增加，向地面以上或地面以下的立体空间发展，促使市中心区容积率的不断提高；另一方面，促进城区的扩大，市中心区向 CBD 周围渗透蔓延。

从市中心伸向市郊的放射线，不仅能够有效地将市郊的居民出行引向市中心，而且还能够促成轨道交通沿线居住密度的提高，形成城市居民的带状分布，这也是由轨道交通速度快、运量大的特点所决定的。由于这类放射线最初一般都是沿着重要的交通走廊布置的，其线路两侧的居民本来就不少，轨道交通线路经过这些地方后，大大提高了交通可达性，强力地吸引出行不便的市郊居民纷纷向轨道交通线两侧迁移。由于轨道交通具有较高的速度，在同样能够接受的出行时间内的出行距离较大，因而这种趋势将沿着轨道交通轴线向郊区纵深发展。由于市郊良好的环境，低廉的地价及房价，它还吸引了一部分市中心区的居民来此居住。于是，市郊的放射线，引导城市形成一条条高密度的带状交通走廊。有些城市利用这种原理进行城市用地规划，如“哥本哈根手指状规划”、“日内瓦规划”、“汉堡区域规划”见图 2-12。在城市中形成若干发展轴线，在轴线之间间以绿地，并通过“轴线”来引导城市居住功能和其他功能的迅速发展。

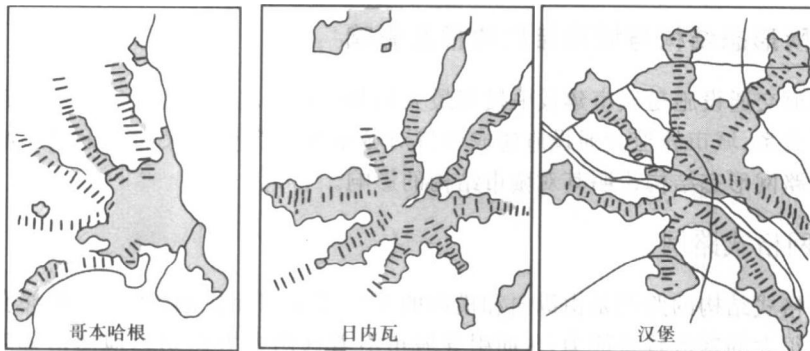


图 2-12 轴向式发展的城市

显然，这种结构有利于城市形成一个强大而密集的市中心，促使城市土地的密集开发，引导城市向单中心的结构发展。这有利于节约城市土地资源，防止城市向其周围“摊大饼”式地蔓延。但是，当城市规模较大，尤其是对特大城市来说，这种城市结构有一些严重缺点：

- (1) 加剧市中心的交通拥挤。
- (2) 增大城市居民的平均出行距离。
- (3) 造成市中心地价过高，反过来抑制市中心的发展。
- (4) 造成市中心人口过分密集、人均居住空间减少及居住环境的恶化。
- (5) 市郊与市郊之间的交通联系不便。

因此，这种无环放射式路网结构适合于有明显的市中心、城市规模中等、且市郊周边方向客流量不大的城市。

(三) 有环放射式路网

由于放射—环状路网的主要线路是放射线，因此它具有放射式路网的基本特征，即高密度的市中心和向城市四周伸展的发展轴。然而由于有了环线，使之与单独的放射式路网又有所不同。城市轨道交通环线，是指列车能循环运行的环形交通线。环线的位置不同，其与放射线配合时所起的作用也不同。环绕在 CBD 周围的环线，除了如同一般轨道交通线的作用外，它还可以截住进入 CBD 区的过境客流，并将其引到不同方向的放射线上，这样可以大大减少市中心区的地面客流，从而缓解市中心区的交通拥挤状况，维持 CBD 的稳定，如莫斯科和北京的地铁环线。而环绕市中心区的环线，则除了提供市郊与市郊间直接而便捷的联系外，还可引导城市形态的发展，也即城市副中心或次中心的发展，如东京的山手线。这些环线一般布置在市中心区的外围，并穿过城市的建成区，环线与径向线的交叉形成交通枢纽。由于轨道交通枢纽的可达性好，客流密度高，加之这里受 CBD 的影响小，很容易在此形成新的副中心，如东京山手线上的新宿就是一例。它既可减轻对市中心的压力，又可缩短市民满足日常生活需求所需的出行时间。

目前，世界各国大城市空间扩展的发展有两大趋势，一是城市由同心圆环状向外扩展模式转变为沿轴向发展模式或称为发展走廊模式，如伦敦；二是城市由单中心发展模式转向多中心发展模式，如莫斯科在意识到其几十年来一直发展单中心给城市带来的不利后，开始转向发展多个副中心。形成这两种趋势的原因是千差万别的，但其主导思想却是相同的，即居住环境改善与城市用地集约化的并重和统一。与这一趋势相一致，世界大城市的轨道交通网大多采用无环放射式结构或有环放射式结构。无环放射式结构，有利于引导城市沿轴线发展，形成发展走廊模式；而有环放射式结构则既可以引导城市形成土地开发走廊，又可以引导其向多中心发展，实现两种趋势的统一。见图 2-13。

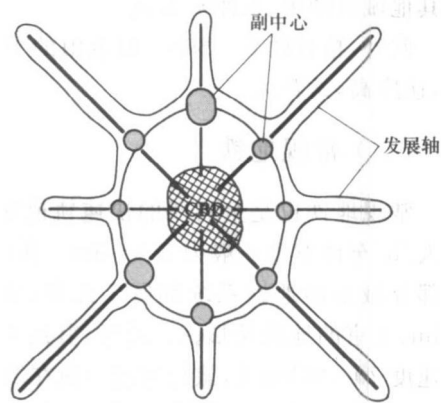


图 2-13 多中心、轴线式发展结构

由于有环放射式路网中最主要的线路是径向线，它能够保证郊区与市中心间便捷地联系，方便市民到市中心区的出行，也有利于市中心区客流的迅速疏散，因此这种结构有利于维持强大的市中心。由于有了环线，它还能使得城市边缘各区之间能够便捷地联系，克服了放射结构最严重的缺点。同时又方便了各个不同方向线路之间的换乘，使得任意一条线路上的乘客最多只需换乘