



21世纪职业教育创新型教材

城市轨道交通

线路与站场

主 编 贾明中



北京工业大学出版社

内容提要

本书是根据城市轨道交通培养方案和职业学校学生培养要求编写的项目式职业院校教材。本书依据内容需要,对城市轨道交通线路规划和站场布置进行了精练的阐述。内容主要包括:城市轨道交通线路规划、城市轨道交通线路知识、城市轨道交通绘制站场图、城市轨道交通轨道结构组成与类型、城市轨道交通车辆段、城市轨道交通车站设置、城市轨道交通车站设计、城市轨道交通配线规划。

本书可作为职业院校城市轨道交通运营管理专业及相关专业的教学用书,也可作为城市轨道交通行业职工的参考资料和培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通线路与站场 / 贾明中主编. —北京:
北京工业大学出版社, 2020.9

ISBN 978-7-5639-7276-0

I. ①城… II. ①贾… III. ①城市铁路—轨道交通—
铁路线路—职业教育—教材②城市铁路—轨道交通—铁路
车站—职业教育—教材 IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP数据核字(2019)第297571号

城市轨道交通线路与站场

CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG XIANLU YU ZHANCHANG

主 编: 贾明中

责任编辑: 钱子亮

封面设计: 易 帅

出版发行: 北京工业大学出版社

(北京市朝阳区平乐园100号 邮编: 100124)

010-67391722(传真) bgdcb@sina.com

经销单位: 全国各地新华书店

承印单位: 天津市蓟县宏图印务有限公司

开 本: 787毫米×1092毫米 1/16

印 张: 16.5

字 数: 330千字

版 次: 2020年9月第1版

印 次: 2020年9月第1次印刷

标准书号: ISBN 978-7-5639-7276-0

定 价: 49.80元

版权所有 翻印必究

(如发现印装质量问题, 请寄本社发行部调换 010-67391106)

前

言

目前全国轨道交通在建里程超过5000千米，大部分将于“十三五”期间建成。“十三五”期间我国新增城轨里程数达到5640千米，到2020年城轨里程总数将达到或超过9000千米。中国将成为世界最大的轨道交通市场。轨道交通的迅速发展，带动了对轨道交通人才的需求。目前轨道交通领域人才缺口非常大，如从事施工、维修养护、通信信号系统、运营管理、监理等专业人才都十分缺乏。未来，我国将需要大量的城市轨道交通方面的专业人才，培养高级应用技能型专业人才是职业教育的目标，是摆在教育工作者面前的重要任务。

教材是教学工作的重要载体之一，面对当前职业教育城市轨道交通线路与站场专业学生适用教材很少的现状，为了满足城市轨道交通专业职业教育的需要，编者紧紧围绕应用型人才培养目标做了大量的调研，坚持理论联系实际的原则，结合城市轨道交通线路与站场岗位的需求，并运用多年教学经验将理论知识和操作技能进行了深度融合，编写了本教材。

线路是城市轨道交通车辆运行的基础设施。车站是城市轨道交通的窗口，是集散客流的基本设施。车辆段、停车场是城市轨道交通的列车停留、折返、临修及检修的基地。线路和站场对于城市轨道交通来说，是赖以存在和发展的基础。由于城市轨道交通运营所具有的特点，城市轨道交通的线路和站场也有其独特之处。本书根据目前我国城市轨道交通线路与站场的实际情况，按照现行《地铁设计规范》（GB 50157—2013）等文件的要求，结合职业教育的培养目标，主要介绍了城市轨道交通线路和站场的知识。在编写过程中，本着“理论知识够用，实践技能熟练”的原则，力求做到资料数据新、内容全、深入浅出、图文并茂和通俗易懂。在强化基本理论知识教学的前提下，设置了大量与城市轨道交通运营生产实践密切相关的栏目内容，供教师在实践性教学中使用。

我国城市轨道交通线路和站场比较纷杂，资料难以搜集齐全，再加上编者水平有限，时间仓促，虽然做了大量工作，付出很大努力，但书中难免有不足之处，敬请广大读者批评指正。

本教材在编写过程中，得到许多同人的大力支持和热情帮助，在此表示衷心的感谢！

编者

目录



| | | |
|------------|------------------------|-----------|
| 项目一 | 城市轨道交通线路规划 | 1 |
| 任务一 | 轨道交通线网规划 | 1 |
| 任务二 | 轨道交通线网结构 | 13 |
| 任务三 | 城市轨道交通系统的选择 | 17 |
| 任务四 | 城市轨道交通线路客流预测 | 19 |
| 项目二 | 城市轨道交通线路知识 | 27 |
| 任务一 | 城市轨道交通线路基础知识 | 28 |
| 任务二 | 城市轨道交通线路选线 | 38 |
| 任务三 | 城市轨道交通线路平面设计 | 44 |
| 任务四 | 城市轨道交通线路纵断面设计 | 52 |
| 任务五 | 城市轨道交通地下结构 | 56 |
| 任务六 | 城市轨道交通高架结构 | 60 |
| 项目三 | 城市轨道交通绘制站场图 | 65 |
| 任务一 | 线路间距 | 65 |
| 任务二 | 线路连接 | 75 |
| 任务三 | 线路有效长 | 89 |
| 项目四 | 城市轨道交通轨道结构组成与类型 | 96 |
| 任务一 | 钢轨 | 97 |
| 任务二 | 扣件 | 108 |
| 任务三 | 轨枕 | 114 |
| 任务四 | 有砟轨道 | 119 |
| 任务五 | 无砟轨道 | 122 |
| 任务六 | 无缝线路 | 127 |

| | | |
|-------------|-------------------|-----|
| 项目五 | 城市轨道交通车辆段 | 152 |
| 任务一 | 城市轨道交通车辆段 | 153 |
| 任务二 | 车辆段的总体规划设计 | 159 |
| 任务三 | 车辆段出入段线的设置 | 168 |
| 任务四 | 停车场布局设计 | 172 |
| 任务五 | 地铁车辆段洗车线布置形式 | 176 |
| 项目六 | 城市轨道交通车站设置 | 182 |
| 任务一 | 车站的分类 | 183 |
| 任务二 | 换乘站规划设计 | 186 |
| 任务三 | 城市轨道交通枢纽规划设计 | 194 |
| 项目七 | 城市轨道交通车站设计 | 210 |
| 任务一 | 车站建筑空间设计 | 210 |
| 任务二 | 车站空间布局设计 | 215 |
| 项目八 | 城市轨道交通配线规划 | 241 |
| 任务一 | 折返线的设置 | 241 |
| 任务二 | 停车线的设置 | 246 |
| 任务三 | 其他配线的设置 | 251 |
| 参考文献 | | 258 |

项目一 城市轨道交通线路规划

项目导读

本项目阐述了城市轨道交通线路规划。通过学习本项目，了解、熟悉城市轨道交通线路规划的基本知识，掌握城市轨道交通规划的过程和方法，为系统学习本书的知识打下良好的基础。

知识目标

- (1) 了解城市轨道交通线网规划的设计原则。
- (2) 了解城市轨道交通线网规划的方法。
- (3) 了解城市轨道交通线网方案的内容及评价。
- (4) 了解城市轨道交通线网结构的基本知识。
- (5) 了解城市轨道交通客流的特点。
- (6) 了解客流计划的编制方法及步骤。

能力目标

- (1) 能够掌握城市轨道交通线网规划的设计方法和内容。
- (2) 能够掌握城市轨道交通线网的结构形式。
- (3) 能够掌握城市轨道交通系统的分类。
- (4) 能够掌握城市轨道交通客流预测的方法。
- (5) 能够解决城市轨道交通客流预测工作中出现的问题。
- (6) 能够根据客流特征、收集的站间发、到客流量资料，绘制断面客流图，确定断面客流量。

任务一 轨道交通线网规划

城市轨道交通线网的布局是否合理，直接关系到轨道交通是否能在城市公共交通中发挥重要的作用，直接关系到基本建设能否合理降低造价、节约投资，也关系到是否有利于

城市各项设施的建设，能否方便、有效地为居民生活服务。如果轨道交通线网的规划不够合理，那么就会直接影响到城市的建设和长远的发展。由于线网的规划与城市用地规划紧密相关，因此在轨道交通线网建设中必须对线网规划做到心中有数。城市轨道交通线网布局合理与否，将决定是否最能有效地吸引客流。而且，国内外的经验证明，轨道交通的建设只有在形成一定的线网时才可以吸引更大的客流需求。

因此，怎样做好一个城市的轨道交通规划、编制原则及需求条件，预测项目按规划建设后能否充分发挥城市轨道交通的整体效益，促进土地的有效开发利用，都是当前亟待探索和需要解决的重大问题。

城市轨道交通项目的建设是一个城市有史以来最大的公益性基础设施，是一个涉及面广、综合性很强的系统工程。它的建设和实施是城市的百年大计，对城市的形成及发展模式都将产生深远的影响。

城市轨道交通线网规划是城市总体规划的一个组成部分，轨道交通线网规划必须支持城市总体规划提出的城市发展战略。城市轨道交通线网规划的主要任务是：落实城市总体规划提出的城市轨道交通发展目标和原则要求，确定城市轨道交通线网的规划布局，提出城市轨道交通建设用地的规划控制要求。城市轨道交通线网规划的范围应与城市规划提出的规划范围一致，城市规划区为规划编制的重点。城市轨道交通线网规划的年限应与城市总体规划一致，同时应对城市远景发展的轨道交通线网布局提出设想。

一、线网规划设计原则

我国城市修建轨道交通系统的历史还不长。从20世纪80年代以来，有些城市才开始进行城市轨道交通线网规划。在此以前，总体规划中很少包括轨道交通线网，有些城市甚至连综合交通规划也不够完善。因此，编制轨道交通规划对于城市规划人员和建设者来说是个新生事物。哪些城市可修建地铁，哪些城市应修建轻轨，都要经过充分论证和规划，才能使我国城市的轨道交通事业做到健康有序地发展。它的发展直接影响城市的整体布局和功能定位，对城市实现可持续发展将产生深远的影响。线网规划是轨道交通工程设计建设的主要技术依据，它的好坏直接影响城市交通结构的合理性、工程投资及工程建设经济效益和社会效益。所以每一个城市在修建轨道交通线路之前，应按规划设计年限认真编制好城市轨道交通线网规划。

城市轨道交通线网是指多条轨道交通线路通过换乘车站衔接组合而形成的线网系统。轨道交通线网规划包括线网结构和线网方案两个研究阶段。线网结构研究的主要任务是确定轨道交通线网的基本结构；线网方案研究的主要任务是确定轨道交通线网的规划布局，原则确定各条线路的敷设方式。线网规划应根据城市交通需求的特征，划分城市轨道交通线网的功能层次，提出不同层次线网的服务水平指标。线网规划应进行多方案比较和研

究，通过对轨道交通线网规划方案的评价，研究确定较优方案。线网规划应考虑系统安全保障要求，线网方案应有利于自然灾害防范。

在线网规划设计时，应借鉴国内外轨道交通线网规划的经验，遵循以下原则：

1. 线网规划要与城市客流预测相适应

通过对城市主要交通干道的客流预测，定量地确定各条线路单向高峰小时客流量，也就可以确定每条线路规模。规模确定后，就可以确定其为高容量、大容量、中容量还是小容量的轨道交通。大城市修建轨道交通的最主要目的是方便出行，为居民提供方便、快捷的交通服务，尤其是对中、远程乘客，城市轨道交通应是最能满足出行要求的交通方式。居民每天出行的交通流向与城市的规划布局有密切关系，轨道交通只有沿城市交通主客流方向布设，才能最大程度地满足居民快速、方便的出行需要，并能充分发挥城市轨道交通客运量大的优势，对提高城市的社会效益、经济效益以及企业内部的经济效益都是非常有益的。

2. 线网规划必须符合城市的总体规划

城市轨道交通规划必须依据城市总体规划和城市交通规划编制，城市轨道交通规划也是城市总体规划的重要组成部分，交通引导城市发展是一条普遍规律。我国城市发展大都是围绕老城，呈现一种摊大饼式的发展模式。这种发展模式与发达国家在19世纪末的发展模式相类似。城市轨道交通的发展改变了大都市地区的发展形式，使城市沿轨道交通走廊轴向伸展，如上海市新一轮总体规划中确定城市发展的四个伸展轴，无不依附于相应的城市轨道交通干线。

城市轨道交通的规划和建设，还可带动沿线住宅和商业区的开发和升值。国际上成功的做法是：先修路、后建房，政府修路，商家建房。政府可以通过规划建设轨道交通，促进沿线城市发展，带动土地升值，土地升值带来的效益，又可以用于新的市政建设，从而使城市的发展走上良性循环的道路。

城市轨道交通线网规划要与城市的远景规划相结合，具有前瞻性。例如，巴黎市郊快速轨道发展规划是在巴黎城市总体规划和土地使用规划的基础上，结合巴黎市远期发展制定的。在巴黎从单中心向多中心转变的过程中，巴黎的规划部门已经预见到由此带来的客流潜力，及时规划和建设了地区快速轨道交通线，从而在转型发展期间成功地疏散了大量客流。交通的便捷也反过来促进各中心区经济迅速发展，从而使城市步入良性发展的轨道。

3. 规划线路要尽量沿城市主干道布设

城市轨道交通线网应联系城市主要客流集散设施，交通线路应贯穿连接城市交通枢纽（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、大型生活居住区等客流集散数量大的场所，以减少线路的非直线系数和缩短居民的出行时间。这样规划的轨道交通线可以满足城市居民由于工作、学习或购物等原因外出换乘需要，最大限度地吸引客

流，使经济效益和社会效益显著提高。另外，沿城市主干道布置的轨道交通线，可以减少动迁拆除费，大型主干道路面宽阔，便于工程施工的开展，减少对城市居民生活的干扰。

4. 线网中线路布置要均匀

线路密度要适量，乘客换乘要方便，换乘次数要少。乘客最关心的是一次出行在旅途中要花多少时间。线网密度、换乘条件及换乘次数同出行时间关系极大，并且直接影响着吸引的客流。根据国内外的经验，两平行网线间的距离在市区一般以1400m左右为宜，同时要与街道布局相配合，除特殊情况外，两线间距离最好不少于800m，且不大于1600m。在市郊两线间距离可以适当增大，若乘客必须换乘时，除在设计中创造方便的换乘条件之外，其次数最好经一次换乘就能达目的地，最多不要超过两次。

5. 大城市的交通组织一定要构成立体交通体系

大城市要发展以城市轨道交通为骨干，常规的公共交通为主体，辅之以其他交通方式，构成多方位、多层次、立体交通体系。

城市轨道交通是城市大运输量交通系统，因投资巨大、建设周期长，短时间无法形成密度适中的线网。为了减少乘客的不便，城市轨道交通应做好与城市其他交通形式如公共汽车等的衔接。

6. 线网中各条规划线路上的客运负荷量要尽量均匀

要避免个别线路负荷过大或过小的现象。注重考虑线路吸引客流能力，穿越商业中心、文化政治中心、旅游点、居民集中区次数要均衡。居民出行可达性要好，乘客平均乘距与线路长度的比值要大，并且越大越好。

7. 在考虑线路走向时，应注意沿线地面建筑情况

要注意保护重点历史文物古迹和保护环境。要先考虑地形、地貌和地质条件，尽量避开不良地质地段和重要的地下管线等构筑物，以利于工程的施工和降低造价。线路位置应考虑与地面建筑、市政工程相结合及综合开发的有利条件，充分开发利用地上、地下空间资源，以利于提高工程实施后的经济效益和社会效益。

8. 尽可能利用城市旧有的铁路设施

如上海市轨道交通3号线，充分利用旧有的淞沪、沪杭两条铁路线；规划中的南京地铁8号线也拟充分利用市内的宁芜铁路旧线。这样既可以减少地面拆迁费用，又解决了困扰广大市民的铁路道口交通通行的难题。该工程可使既有铁路的多处平交道口得以解脱，从而大大改善了地面公共交通的拥挤堵塞状况。

9. 规划好车辆段的位置和用地范围

在规划线路时，一定要同时规划好车辆段（停车场）的位置和用地范围。另外还要规划好设备维修、维修材料供应和人才培养基地的用地等。该基地最好和车辆段（停车场）规划在一起，若条件不允许时，可单独设计。这些基地占地面积较大，在寸土寸金的大城

市里，规划设计一定要做到合理用地。一般车辆段设置在一条线路的两端郊区。在网线之间为便于线路调用车辆，还要设置联络线。

10. 规划好环线的布设

一个城市轨道环线的布设，要在客流预测的基础上，经过分析比较，优化组合确定，不可生搬硬套，要做到因地制宜。环线的主要作用是减少不必要到市中心换乘的客流，并使沿环线乘行的乘客能直达目的地，提高其可选性，以起到疏散市中心客流的作用。在环线上一定要保证日常有足够的客流，不然环线客流负荷强度太小，会影响其运营效率和企业的经济效益。

11. 规划好各线路的修建顺序

在确定线路规划网中的各条线路修建顺序时，要与城市建设规划和旧城改造计划相结合，以保证城市轨道交通工程建设计划实施的可能性和连续性及工程技术和经济的合理性。

二、线网规划的方法

城市轨道交通线网规划尚无成熟的理论和模式，根据对交通模型的重视程度不同，可归纳为三种方法：传统方法、定性与定量相结合的方法和交通模型分析法。

(1) 传统方法的特点是以定性分析为主，定量分析为辅，即使用了交通模型，其功能也仅限于客流预测。

(2) 定性与定量相结合的方法的主要特点是详尽地论述了与城市规划的衔接，根据交通模型得出的分析数据来修正规划方案。

(3) 交通模型分析法的主要特点是定量分析为主，定性为辅，定性分析主要用于模型中参数的确定。

目前，城市轨道交通线网规模研究主要采用定性与定量相结合的方法，主要有三类：类比分析法、轨道交通量需求分析法和轨道线网服务水平分析法。



思考探究

在线网规划设计时，应借鉴什么经验？应遵循哪些原则？

三、线网方案的内容及评价

1. 线网方案的内容

城市轨道交通线网方案应包括下列主要内容：

(1) 依据线网结构，研究确定各条线路的大致走向和线路起讫点位置，给出线网密度等线网服务性指标；

(2) 研究确定主要换乘车站的规划布局，明确各主要换乘车站的功能定位；

- (3) 分析提出各条线路的敷设方式；
- (4) 研究轨道交通运营组织形式；
- (5) 研究联络线的分布位置；
- (6) 提出分期建设的建议。

城市轨道交通线网应联系城市主要客流集散设施，处理好轨道交通线路之间的换乘关系，充分考虑轨道交通与其他交通方式的衔接，提出枢纽型车站的设施控制条件，重视轨道交通的运营效益。线路敷设方式是城市建设中协调轨道交通和其他基础设施竖向关系的基本依据。确定线路敷设方式应充分考虑城市规划和环境保护的要求，以及沿线地形、道路交通和两侧土地利用的条件。线网规划应分析确定轨道交通运营组织形式，以检验线网方案的合理性。线网规划应根据轨道交通运营组织的要求，对线网中的联络线进行统一规划，保障联络线的工程预留条件。

2. 线网方案的评价

城市轨道交通线网方案评价应遵循定性与定量相结合的原则，综合考虑多方面影响因素，建立科学的评价指标体系，采用相应的评价方法，对线网方案进行整体效益评价，以供分析和决策。评价指标应有明确的定义，指标量化所需资料应收集方便，易于计算。评价指标的量化标度必须以科学理论为依据，应能客观合理地反映出轨道交通线网规划方案的信息。评价指标体系应力求全面反映轨道交通线网规划方案的综合情况。指标体系可覆盖经济指标、技术指标、环境指标和社会指标等多个方面。评价方法必须具有科学的理论依据，可采用综合评分法、理想方案法等评价方法。宜采用多种方法对轨道交通线网规划方案进行评价。

线网方案比选应在建立线网方案评价指标体系的基础上，分别从网络形态、交通运营功能、社会效益和战略发展四个方面进行指标分析，经综合比较最终确定推荐方案。

四、线网规划内容

城市轨道线网规划作为城市规划的一部分，与其他专业的规划紧密相关。它需要根据城市的现状、城市的规划，对未来的城市交通需求做出预测，根据城市客流交通需求，再结合轨道交通与土地使用的互动关系，分布轨道交通线路。通过轨道交通线网规划，确定稳定的轨道交通线路布局，同时需控制其实施条件，为轨道交通的建设创造良好的条件。

城市轨道交通线网规划的主要内容是分析城市和交通现状，预测城市客运交通需求；论证城市轨道交通建设的必要性；分析城市轨道交通发展目标和要求；研究确定城市轨道交通线网的规模；研究城市轨道交通线网结构，确定城市轨道交通线网规划方案；对城市轨道交通线网规划方案进行综合评价；分析提出城市轨道交通车辆基地的规模，确定车辆

基地规划布局；提出城市轨道交通建设用地的规划控制要求。

从轨道交通线网规划的内容角度分析，主要包含以下五部分：

1. 线网总体规模

城市轨道交通作为长远性的大型投资基础设施建设项目，其建设规模必须与城市的发展规模、地位相适应，一方面必须能够满足城市发展的需求并促进城市的发展，另一方面要尽可能发挥轨道交通作为大运量交通工具的功能。在确定的总体规模时，主要考虑以下两个因素：

(1) 交通需求。

作为一项交通基础设施，满足交通需求是首要的。

(2) 经济前景。

根据城市的经济发展潜力，考虑城市对轨道交通基础设施的承担能力。

实际上，线网的总体规模类似于城市规划中的规划纲要，解决的是确定线网规划中的重大原则问题。在线网规模的总体控制中可以根据城市规划纲要确定的城市规模、性质、区域地位以及城市发展方向来进行线网总体规模等级的划分。可以将线网的总体规模确定在一定的范围之内，以免造成规划的线网规模不合理，要么不能够满足交通需求，要么规模偏大造成资源的浪费。

2. 线网结构

一个城市的轨道交通线路一般在三条以上，这些线路相互组合，并受各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结构。线网规划研究的重点内容线网结构，主要是根据城市的形态确定线网的基本形态，根据城市的主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。

线网结构最基本的形态有棋盘形、放射形、扇形等，但根据城市的不同形态，线网结构呈现不同的形状。实际上，在考虑线网的基本结构时，需要考虑的最基本的要素就是线网的分布密度问题。城市核心区及城市重点发展区域将是未来客流的主要发生点，它的交通设施系统的完善与否直接关系着整个城市交通的通畅。世界上比较成功的轨道交通线网为多心分层次的线网结构，也就是围绕几个中心区密布线网，向各个周边区域发散。因此，进行线网规划时要着重考虑这些地区，加大对这些地区的线网密度分布。

由于在研究线网结构时，需要考虑的因素较多，既有定量的，又有定性的，应做多方案的比选，从中优选出最佳方案。

线网的线路越长及条数越多，所构成的线网形态就越复杂。最常见、最基本的线网结构是网格式、无环放射式及有环放射式。

(1) 网格式。

网格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。网格式线网中的

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。缺点是：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；平行线路间的换乘比较麻烦，当线网密度较小、平行线之间间距较大时，换乘很费时。网格格式线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，这在当前世界上建有轨道交通线网的城市中是不多见的。

（2）无环放射式。

无环放射式线网是由若干直径线或放射线构成。这种线网可使全市各地至市中心的距离较短，因此市中心的可达性很好，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，也方便市郊居民到市中心工作、购物和娱乐出行，有助于保证市中心的活力。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，因此线网连通性很好。由于没有环行线，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的换乘站中转，绕行距离很长，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扩大而增大。无环放射式线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。

（3）有环放射式。

有环放射式线网由径向线及环行线构成，是在无环放射式线网的基础上加上环形线形成的，列车在其上循环运行。在一些轨道交通线网规模不是很大或建设时期较短的城市，环线一般只有一条，而在一些轨道交通线网规模较大、轨道交通发展比较成熟的城市，会出现两条或两条以上的轨道交通环线。有环放射式线网既具有无环放射式线网的优点，又克服了其周边方向交通联系不便的缺点，可以利用环线便捷地出行。这种线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，便于线网有效地扩展。与无环放射式线网一样，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。有环放射式路网结构特别适合于有强大市中心的城市。

3. 综合规划

轨道交通系统作为大型的交通基础设施，能够承担大运量客流的运输，但其作为一种投资大、经营成本高的交通方式，需要有大量的客流，否则不仅造成资源的浪费，还增加其单位成本。一般情况下，轨道交通的吸引范围在500~800m，但仅仅依靠一次吸引还是不够的，还需要其他的交通方式为其集中客流，也就是要充分考虑轨道交通系统与其他方式的衔接。在轨道交通线网规划的基础上，对城市整个公交客运体系进行综合分析，确定轨道交通与其他交通方式的接驳点以及这些接驳点的场、站规模。

轨道交通一方面为一定的交通出行提供服务，另一方面能从宏观上引导城市土地的使

用和开发，进而产生新的交通需求。因此，在确定轨道交通线网之后，应从宏观上分析对城市土地产生的影响，从轨道交通建设与城市土地的互动关系出发，为城市土地的使用规划提供基础条件。

4. 轨道交通系统方案

轨道交通系统方案的研究是线网实施性规划的重要内容，其方案的确定是研究各条线路实施方案的基础条件，包括交通模式的选择、运营方案的研究和车辆段布局的研究等。

(1) 交通模式的选择。

由于各条线路在整个城市线网中承担的作用不一样，其客流规模也不一样，应根据不同的情况考虑不同的模式，适应不同线路交通客流的需求。轨道交通经过百多年的发展，其技术已经发展得比较成熟，而且随着科学技术的发展，轨道交通技术将会更加成熟、完善。因此，对于轨道交通线路的模式，应充分结合技术发展的可能性考虑各条线路的模式。

(2) 运营方案的研究。

根据确定的交通模式及预测的客流量，研究各条线路的运营方案，确定各条线路运能及规模大小，包括轨道交通所占客运量比重、客运周转量等指标。

(3) 车辆段（停车场）布局的研究。

一般情况下，车辆段（停车场）的用地尽量靠近城市的边缘地带，但由于目前城市拓展的速度比较快，而且车辆段（停车场）的位置往往受到线路近期工程起讫点的限制，也就是说车辆段（停车场）的位置不可能偏离城市市区太远，在这种情况下，车辆段（停车场）用地的选择非常重要，它是轨道交通线路实施的一个重要的控制因素。

5. 实施方案与用地规划

现在各大城市都强调要做好线网规划，一方面是有利于在近期建设工程中做好与远期工程的衔接关系，同时它也为城市规划部门做好进一步的相关控制提供了基础条件。因此，为了更好地发挥线网规划的作用，对于控制性的用地应提前作好规划，使城市空间资源能合理地配置，使城市经济、社会活动及建设活动能够高效、有序、持续地进行，节省大量由于无控制性的工程而造成的浪费。

实施方案与用地规划的研究内容主要包括换乘节点布置方案、线路敷设方式的研究以及重点地段和其他交通衔接枢纽的控制用地研究。

思考探究

轨道交通系统方案的研究和确定都包含什么内容？

五、线网实施规划

1. 实施方法

对于轨道交通线网实施规划，主要的实施方法有三种：

(1) 规划加配合。

此种方法主要是在线网规划之后，将整个线网作为一个规划条件存在，当相关用地有建设工程时，再进行配合。

目前北京采用的就是这种方法。北京市的轨道交通线网形成后，当周边有建筑工程时，需相关部门进行配合设计，预留轨道交通用地。这种方法并没有将轨道交通实施条件形成真正的外部控制条件，不利于规划部门直接掌握轨道交通建设的基本条件进行相关用地控制。

(2) 全线规划。

全线规划在规划的线网的基础上，针对全线的用地进行规划控制，包括区间线路、车站用地和车辆段用地。

山东省青岛市在轨道交通线网规划中采用了全线实施规划的方法。在青岛市的线网实施规划中，对于车辆段，首先进行车辆段的分工和选址，再规划其用地范围；对于区间线路，根据规划的线网确定其平面位置，进行线路敷设方式的设计，再规划线路走廊用地；对于车站，通过站位的选择和站间距的研究确定车站的分布后，再进行车站布置的研究，包括车站规模、出入口风亭布置和换乘站的布置，最后确定车站范围用地。

这种实施规划在规划线网的基础上，提出了线网的实施条件，有利于规划部门在做相应区域的规划时，直接将其作为一个外部条件进行控制，当然这其中也有可能因特殊情况对线网的实施条件做一定的调整，但这仅仅是少数。对于城市中心城区以外的用地，往往由于开发项目还仅仅处于一种用地性质规划的状态，也就是说轨道交通的外部条件还比较灵活，在此种情况下，应该考虑的是轨道交通如何与未来项目融入一体的问题，因此过早地进行用地控制则显得不必要了。

(3) 控制点、段规划。

针对重点控制地段，比如线路变化点、换乘站和交通枢纽等进行用地规划，达到控制外部条件的目的。控制点、段一般位于城市中心区内，由于城市中心区内规划建设条件相对比较稳定，因此通过轨道交通用地规划能够方便规划部门对相关用地进行控制。而对于规划建设条件相对宽松，与轨道交通用地矛盾较小的区域，不必特殊控制。因此对控制点、段进行规划是一个比较合理的方法。

2. 实施性规划的目的

通过以上实施性的规划，要达到以下目的：

(1) 利用有限的城市空间,合理安排城市地上、地下建筑与设施,减少浪费,使城市土地利用达到均衡、合理及有效的发展,创造良好、舒适的城市生活空间。

(2) 便于城市规划部门做好用地控制规划,确保今后工程建设的可实施性,提高线网的可操作性,为轨道交通建设持续发展奠定基础。

(3) 做好用地规划,为轨道交通提供建设条件,达到稳定线网的目的。

(4) 有利于综合考虑城市建设,节约政府的投资。轨道交通是大型的城市基础设施工程,由于功能要求,通常穿越城市建筑密集区,必定带来一定的拆迁工程,如果及早做好线网用地控制,可以减少不必要的浪费。

3. 轨道交通线网规划的阶段

随着社会经济的发展、城市化进程的加速,无疑会使更多的城市加快轨道交通的建设步伐,线网规划的合理性和实施条件的控制与否直接影响轨道交通建设情况。不仅要使规划的线网布局合理,而且要控制其实施条件。因此在轨道交通线网规划中,应将轨道交通线网规划分为两阶段:第一阶段研究线网规模、线网结构及综合规划,达到稳定线网结构的目的;第二阶段研究系统方案、实施方案与用地规划,达到控制轨道交通实施条件的目的。通过这两阶段的研究,充分发挥轨道交通线网规划的作用,为城市轨道交通持续发展创造良好的条件。

视野拓展

2016年12月31日,《山东省城市道路交通基础设施“十三五”发展规划》(以下简称《规划》)正式印发,首次明确提出,淄博市将在“十三五”期间启动轨道交通建设,将建设1号线和2号线。其中,力争2020年前建成1号线,主要解决张店城区与淄川、博山城区之间的居民日常出行。

淄博将建2条轨道交通线

《规划》从城市道路网、公共交通基础设施、轨道交通、步行和自行车交通、停车设施、地下综合管廊6个方面,分别提出了“十三五”期间不同的发展规划。其中,在轨道交通建设方面,淄博市轨道建设雏形已现,如图1-1所示淄博轨道交通车站,从《规划》中可窥一斑。根据《规划》,“十三五”期间,淄博市轨道交通重点解决城市组团间交通,改善城市综合环境,充分发挥城市功能,促进城市经济、社会、环境的可持续发展。

“十三五”期间,淄博将启动轨道建设,开工建设1号线(淄博北站—博山中心路站,长度55.17km)、2号线(周村客运站—齐都文化城站,长度51.66km),且力争2020年前建成1号线,主要解决张店城区与淄川、博山城区之间的居民日常出行。

据统计，截至2016年5月，全国已有44个城市获批城市轨道交通建设，其中包括山东省济南、青岛。2015年末，山东省建成轨道交通线路1条，即青岛地铁3号线北段，线路长度为12.4km，已开通运营，在建轨道交通线路5条，总长度为163.3km，其中济南地铁R1线，长度为26.1km，青岛地铁1号线、2号线、11号线、13号线4条线路，总长度为137.1km。



图1-1 淄博轨道交通车站

六、轨道交通线网规划现状

21世纪，城市轨道交通的建设方兴未艾，尤其是在我国经历了长期城市交通问题的困扰，体验了北京、上海等轨道交通建成后的种种效益之后，已有越来越多的城市开始着手轨道交通规划。但在规划过程中仍存在不少问题，不能完整地反映“公共交通”理念，不能适应新世纪城市交通的发展。

1. 线网规划存在的问题

综合北京、上海、广州等国内大城市的路网规划不难发现，普遍存在以下问题；首先是较少考虑资源、环境承载力的影响，或仅在评价系统中有些环境指标，而在“公共交通”理念指导下，应该在规划一开始就将资源、环境的约束纳入其中；其次，路线确定上主要采取定性方法，在整个规划过程中，除客流预测时用到定量技术外，在线路确定上规划者大多依据城市普通道路规划的经验 and 感性认识进行轨道定线，随时间推移再由新的主客流方向形成新的路线，这样形成的线网零乱，缺乏系统性；最后是缺乏市郊轨道交通的规划，随着城市化进程，市郊轨道交通势在必行，国外大城市已开始规划市郊轨道交通，如日本的东京等，为此我国的轨道交通应在规划一开始统筹考虑市区和市郊轨道交通，走可持续发展之路。

2. 线网评价存在的问题

首先，轨道线网评价指标权重的确定缺乏足够依据，不仅评价指标数目繁多，而且指标的权重没有统一的依据，势必会造成一定的偏差，再由于误差的累计，可能产生不合理的结果；第二，评价的指标虽然很多，但有些指标之间相互关联，如广州市轨道交通线网规划指标体系中，公交平均出行时间与平均出行车速相关；第三，指标的定性分析缺乏客观性，轨道线网的评价指标，有些指标如促进合理的土地开发、提高劳动生产率等难以量化，规划者在分析时融入本人的主观意识，势必会降低它的科学性；第四，在整个评价体系中往往缺乏对轨道交通的“绿色性”评价，没有纳入人的舒适度、安全度、环境、噪

声、震动、大气的污染等，不符合“以人为本”的规划思想。

可见，目前国内的轨道交通线网规划并不完全符合可持续发展要求，更没有完整地反映“绿色交通”的理念。



思考探究

轨道线网评价指标权重的确定如果缺乏足够依据，会产生哪些不利的结果？



任务二 轨道交通线网结构



城市轨道交通线网规划最主要内容之一就是研究城市轨道交通线网结构，确定城市轨道交通线网规划方案。在选定线网的结构形式时，首先应考虑客流主方向，并为乘客创造便利条件，以便吸引更多乘客。线网的形式布置得当与否，直接关系到线网建成后的经济效益、社会效益及交通服务质量。为此在设计线网时，不但要考虑各线的具体情况，更要考虑线网的整体布局，也就是考虑线网总的结构形式是否合理。

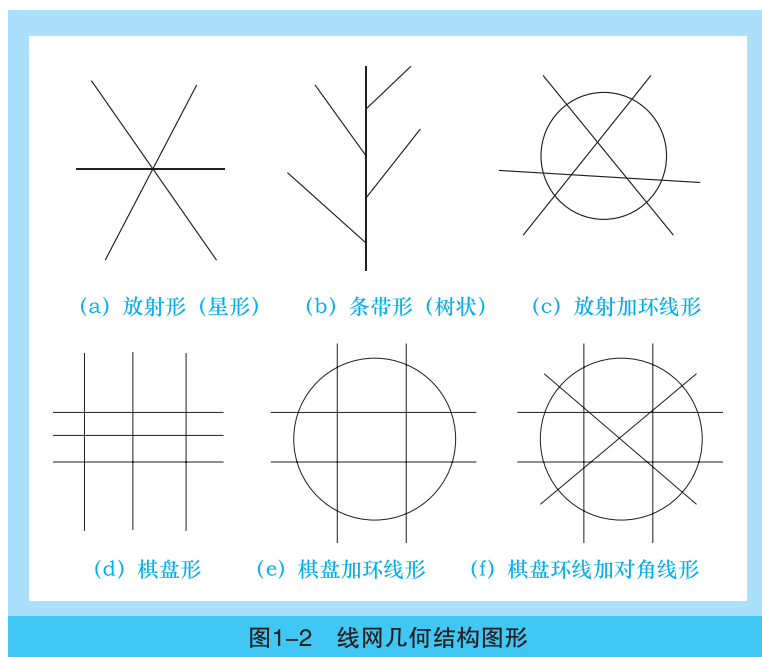
一、线网的结构形式

根据城市规划现状与规划情况编制的线网中各条线路组成的几何图形一般称为线网的结构形式，其形式一般要与城市道路路网的结构形式相适应。

虽然世界各国城市轨道交通线网结构形式千差万别各有特色，但从几何形状区分，主要归纳为放射形（星形）、条带形（树状）、放射加环线形、棋盘形（栅格网状结构）、棋盘加环线形、棋盘环线加对角线形和其他形，如“十”字形、“L”形、“T”形等简单图形及混合图形等，如图1-2所示。

1. 放射形（星形）结构

星形结构是指线网中所有的线路只有一个焦点（换乘站）的结构，如图1-2（a）所示。其唯一的换乘站一般都位于市中心的客流集散中心。这种线网结构中所有线路间都可以实现直接换乘，但换乘站上的客流量大，换乘客流相互干扰也大，常易引起混乱和拥挤。此外换乘车站的设计与施工的难度也大，一般要采用分层换乘。这使得车站埋深加大，车站建设费用增加，乘客换乘时间延长，车站通风、排水及运营费用也会有所增加。由于所有线路都通达市中心，并且由一条线路到另一条线路只要一次换乘就可以实现，但是市郊之间联系不便，必须经过市中心的换乘站。所以，在两条以上放射线相交时，要尽量避免出现这种形式。



2. 条带形（树状）结构

树状结构是指几条线路有 $n-1$ 个交叉点（换乘站），且在网络中没有网络结构，形如树枝状，如图1-2（b）所示，适合于沿江或沿山谷条带状发展的城市。这种结构连通性差，线路间换乘不方便，两条树枝线间至少要换乘两次才能实现互通。此外线路上客流分布不均，同一线路上两个换乘站之间的路段因担负着大量的换乘客流，客流量较换乘站外侧路段显著增高，给线路的行车组织带来困难。

3. 放射加环线形

放射加环线形网状结构是在放射网状的基础上增加环行线而成的线网结构，如图1-2（c）所示，常见于一些规模很大的城市。世界上轨道交通网络规模较大的城市大都采用这种结构，如莫斯科、巴黎、东京、上海等。放射加环线形结构一般在城市中心城区布置一条轨道交通环线（可以是地下或地面线路），市郊铁路的终点站大都位于该环线上，与轨道交通系统在此构成换乘，实现市内轨道交通与郊区铁路的一体化。这种线网结构既具备了放射形线网结构的优点，又克服了其不足之处。由于环线和所有经过径线可以直接换乘，整个线网连通性好，方便了环线上的直达乘客和相邻区间需要换乘的乘客，而且能有效地缩短市郊乘客利用轨道交通出行的总里程和时间，还可以起到疏散市中心客流的作用。

4. 棋盘形（栅格网状结构）

栅格网状结构是指由若干线路（至少四条）大多呈平行四边形交叉，所构成的线网多为四边形线网结构，如图1-2（d）所示。这种线网最大的缺点是二次换乘多，如结合城市干道网必须采用这种结构形式时，应尽量将分叉点布置在大的客流集散点上，以减少换乘

次数，方便乘客。这种结构在内城区分布比较均匀，但线路深入市郊的不多。由于存在回路，这种结构连通性好，乘客换乘的选择较多。其线路多为平行分布，方向简单，一般只有纵横两个方向，能提供很大的运输能力，线路和换乘站上的客流分布也比较均匀，但由于没有通达市中心的径向线路，市郊到市中心出行不便。

5. 棋盘加环线形

这种结构形式的线网，如图1-2(e)所示。环线应选择在客流密度较大的地方，并尽量多地贯穿大的客流集散点，如火车站、汽车站等。这种线网的最大特点是提高环线上乘客的直达性和减少换乘次数，改善环外平行线间乘客的换乘条件，缩短了出行时间，并减轻了市中心的线路负荷，起到疏散客流作用。北京的城市轨道交通线网结构就是采用的这种形式。

6. 棋盘环线加对角线形

对角线形是在棋盘加环线的基础上，增加对角线走向线路，如图1-2(f)所示。这种形式可弥补棋盘形非直线系数大的缺点。对角线上的街区之间，或郊区至市中心的居民出行，增加了其可达性，并且减少了出行时间。但若对角线只沿棋盘形道路布置成若干阶梯形线路，不但不能缩短乘客出行距离，反而由于增加了许多曲线恶化了线路条件。这种对角线形式不但没有弥补棋盘形路网的缺点，反而增加了线路长度。只有对角线方向的客流确实较大，并且有布置线路的适宜条件时，才能采用这种形式的线网。

7. 混合型

结合城市的具体情况，将上述几何图形的两种或多种有机地结合在一起，成为一个完整的线网结构形式，称为混合结构型线网。只有充分适应城市的特点，并尽力吸收各种几何图形的优点，因地制宜布置与城市特征相协调的线网形式，才能达到最好的效果。目前，选用混合型线网结构的城市越来越多。

城市轨道交通建设主要解决大城市的客运交通问题，轨道交通线网结构应尽量优化，以提高运营效率。在进行线网规划时一定要重视线路结构的研究。

二、不同线网结构形式对城市的影响

不同的线网结构形式，因其运输特性不同，对城市经济的引导方向不同、对城市人口分布的影响不同，因此对城市结构的影响也不同。

1. 放射形（星形）结构对城市发展的影响

星形结构引导城市向单中心结构发展。因为所有轨道交通线都从市中心出发，导致城市中心比其他任何地方的可连性都显著提高。在吸引各种功能设施时，市中心便成为首选位置，市民也愿意在交通便利的市中心城区居住，而城市中的其他地方则会因此而受到不同程度的冷落。随着市中心交通基础设施的不断完善，居民密集现象更为加剧，最终结果便是在城市中心形成一个强大的市中心区，造成城市在市中心区高密度的土地利用。

2. 条带形（树状）结构对城市发展的影响

树状结构引导城市呈条带状中心区结构发展，树状结构两个换乘站之间的线路客流量相对较高，表明这段线路为城市中的交通干道。这会吸引开发商在这段线路周围开发土地。开发的结果是大量功能设施和居民在线路两侧聚集，而密集的功能设施又会吸引市郊居民到这一地区出行，包括就业、娱乐和购物。更多的客流会刺激更多的功能设施聚集，但为了保持交通便利的优势，这种聚集都是尽可能地靠近线路，从而在城市中形成密集的带状中心。

3. 棋盘形（栅格网状结构）对城市发展的影响

由于这种结构的线路分布比较均匀，在线网的覆盖区域内各点的到达性相差不大，因而会有效降低既有市中心的土地利用强度。这一方面是由于市中心地价较高，另一方面在同样的交通环境下，人们更喜欢广阔的居住生存空间。因为线路能向纵横两个方向分布延伸，为了方便利用轨道交通，从市中心迁出的人口也会沿这两个方向分布。线网分布范围内可达性差异不大，线网分布范围以外郊区交通条件相差很大，使郊区居民向轨道交通网附近迁移。这些都引导城市较均匀地向外扩展，对整个城市不易形成土地利用强度特别高的市中心。

棋盘形线网中线路走向比较单一，其基本线路关系多为平行或“十”字形交叉两种。线路分布比较均匀，客流吸引范围比例较高，线网纵横相交换乘方便，连通性好，但走向比较单一，对角线方向的出行需要绕行，市中心区与郊区之间的出行需要换乘，有时可能要换乘多次。另外平行间的换乘比较麻烦，一般要换乘2次以上，比较浪费时间。

4. 放射加环线形线网对城市发展的影响

放射加环线形轨道交通线网结构引导城市结构发展的功能尤为明显，具有放射形网络结构的全部优点，引导城市沿放射线方向呈轴向发展。放射加环线形结构更重要的是能很好地引导区域城市形态的发展，促进城市副中心的产生，可以大大减少市中心的客流，对现代大都市由于区域社会经济环境及空间形态合理发展的需要而向“多中心、多层次、组团式”方向发展的趋向起了极大的支持及推动作用。环状轨道交通线由于能在市中心及各城市副中心之间提供大运量的便利快捷的走廊，因而可对这种城市形态的发展起引导作用；同时，城市的多中心、多层次方向的发展又促进城市轨道交通环线的发展。

从世界各国使用环线的成功例子可以看出，环线是否能串联足够规模的客流集散点，这些客流集散点在环线方向上是否有强大的出行量，是设置环线成败的关键。

我国城市要走持续发展之路，必须借鉴世界发达国家城市发展的成功经验，必须借助轨道交通引导城市由过去的单一中心的同心圆平面发展模式向多中心的轴线式发展模式转变，由单一向的平面坐标延伸向地面、高空和地下三维立体模式拓展转变。

任务三 城市轨道交通系统的选择

我国大城市集中了过多的功能，城市拥堵现象十分严重，已严重影响人们的工作、生活，城市交通拥堵越来越成为一个亟待解决的问题。轨道交通有节约土地资源、减少资源消耗、降低环境污染、开发地下空间、强化城市辐射功能、改善产业结构布局等方面的作用，所以对于大中城市来说，大力发展城市轨道交通系统为主的公共交通体系是解决这一问题的根本途径。不同类型的城市轨道交通系统的运量、运速、造价、占地面积、限制坡度等指标均有所不同，所以每个城市都应根据本城市规模大小、人口数量、经济发展水平等特点选择适合本城市发展的轨道交通系统。

一、城市轨道交通系统的分类

一般而言，广义的城市轨道交通是指以轨道承载列车运行和导向，集中、快速输送乘客的大容量运输方式，是城市公共客运交通中具有中等以上运量的轮轨交通系统（有别于道路交通），主要为城市内（有别于城际铁路，但可涵盖郊区以及大都市圈范围内）公共客运服务，是一种在城市公共客运交通中起骨干作用的现代化立体交通系统。

城市轨道交通系统的目标是安全、快速、经济、大运量、准时输送乘客，满足城市居民不断增长的出行需求，形成安全、高效及可持续发展的城市绿色公共交通体系。

城市轨道交通系统的基本功能是实现乘客的位移，提供安全、快速、准时、经济和大容量的公共交通工具，完善城市公共交通结构。在城市交通问题日益严重的今天，地铁及其他轨道交通是很多城市市民出行最理想的交通工具，轨道交通在城市公交客运总量中所占比重不断提高，成为城市公共交通的主体。同时，由于轨道交通安全、舒适、快速、准点的乘车条件，也促使相当数量的城市居民放弃其他交通工具而改乘轨道交通，极大缓解了道路交通紧张状况。

城市轨道交通是指利用轨道作为车辆导向的运输方式，并以客运为主，包括地铁、轻轨交通、单轨交通、有轨电车和市郊铁路五种子系统。

地铁具有运量大、速度快、安全、准时、能耗少、无污染排放、占地面积少等诸多优点。地铁单向输送能力可达3万~6万人次/h，高居于各种交通方式之首，平均运行速度40~60km/h；行驶不受外界干扰，是乘客出行准点保证率最高的交通方式。但是地铁造价高，由我国目前已修建的情况来看，平均6亿~8亿元/km，根据地铁的技术经济特点，主要适用于经济较发达、人均国民收入水平较高且客源充足、具有强大客流方向的城市市区和近郊区，可成为城市交通线网的主干线和大道。

轻轨是中运量的公共交通方式，客运能力为1万~3万人次/h，介于地铁和公共汽车之

间，填补了城市公共交通系统中量客运技术的空白。运行速度30~40km/h，最大坡度为6%。轻轨的造价为1亿~1.5亿元/km，约为地铁造价1/3~1/4，轻轨主要适用范围为单向客流量在1万~3万人次/h的城区和郊区。

不同类型轨道交通系统有不同的特点，它们的运输能力、占地面积、造价等的不同，决定了不同规模、不同特征的城市应根据自身实际情况合理选择，比如特大城市优先选择地铁、轻轨，大中型城市选择轻轨、单轨，山城和沿海城市选择单轨，同时也考虑城市的经济承受水平。

二、城市轨道交通系统的选择

城市轨道交通系统的选择，主要应根据城市规模、建设目的、远期的预测客流量、交通特征和工程技术经济等情况并结合城市规划进行。

1. 城市规模

特大城市人口众多，应优先选择大运量的地铁系统，并辅以轻轨为补充。大中城市较特大城市客流量小，一般属于中等客运量，经济实力也较特大城市差。由于地铁造价很高，建设周期长，短期内无法缓解交通拥堵的状况，又属于大运量系统，因此大、中等城市修建地铁，从整体上来说不仅不具备足够的财力物力，而且也是没有必要的。轻轨在运量、运速和造价方面都较地铁低，建设周期短，可作为大、中等城市轨道交通的一种选择方案。

2. 建设的主要目的

我国建设城市轨道交通的目的是解决城市交通拥挤、大客流运送的问题，因此必须选择安全、方便、快速、准点、经济的轨道交通系统，大部分为大运量的轨道交通系统。根据我国经济实力和技术基础，应选用安全、成熟、投资低、实用型的系统，在吸收引进国外轨道交通建设先进经验和设备的基础上，逐步实现各类设备系统的国产化。现在国家规定，在修建城市轨道交通的项目中，国产化率必须达到70%。

3. 预期客流量的要求

客流量不同，选择的系统也不同。客流量较大的系统，应选择钢轮钢轨的轨道交通系统，选择载客量较大的车型，供电电压可选用直流1500kV，线路设置方式为地下、高架或地面，并采用相应的封闭隔离系统。中容量系统应选用载客量较小的车型、钢轮钢轨的轨道交通系统，供电电压可选用直流1500kV和750kV，线路设置方式为高架、地面或地下。单向高峰小时运量在1万~3万人之间的小容量系统，可选择单轨交通系统或新交通系统，也可选择轮轨轨道交通系统，线路设置方式一般采用高架或地面。单向高峰小时运量小于1万人的可以选择有轨电车系统。

4. 投资和经济方面的要求

一般来说，轮轨轨道交通系统，滚动摩擦力小，单位电耗少，运营费用较经济。线路

设置方式与投资额的关系很大，同样一条线路，采用地面、高架和地下三种线路方式其经济投资比例一般为1:3:9。因此，从工程投资的角度考虑，选择线路敷设方式的顺序为：地面→高架→地下。但市中心区由于条件限制，一般采用地下，有条件时采用高架。在郊区和城乡接合部一般采用高架或地面线。

5. 环境要求

城市轨道交通对噪声控制的要求较高。在市中心等对噪声有严格限制的环境中，应该选择胶轮系统或选择地下线路方式，也可采用罩形声屏障的高架线路。地下线路敷设在地下，不占用宝贵的土地资源，对城市地面没有噪声污染，与地面交通没有交叉，是最理想的轨道交通系统，但造价较高。采用混凝土结构的高架线路，如果效果处理不好，地面上会形成一片混凝土柱林，在一定程度上影响城市景观，而且噪声污染较大，如果在中心城区采用高架线路一定要采取降噪措施，比如声屏障、超长无缝线路或减震降噪的轨道结构。因此，无论选用何种交通方式，究竟采用地面线、高架线还是地下线，都必须考虑城市噪声和城市景观，综合城市自身规划，因地制宜、不拘一格、灵活选用，才能达到事半功倍的效果。

综上所述，每个城市都应从实际出发，科学地选择符合本城市发展的城市轨道交通系统。

思考探究

我国建设城市轨道交通的目的是什么？

任务四 城市轨道交通线路客流预测

一、客流预测

城市轨道交通客流预测是近年发展起来的一门交通预测学分支。在20世纪60年代我国建设地铁之初，虽对地铁客流预测有所研究，但调查数据少，方法简单。当时以“战备为主、兼顾交通”为建设原则，对地铁客流预测尚未放到重要位置，缺乏系统认识。20世纪70年代末，国家调整了宏观政策，使地铁建设原则调整为“交通为主、兼顾战备”。在技术上与国外有了充分交流，从国外引进了客流预测方法及数学模型。随着计算机技术的发展，轨道交通客流预测已经成为一项专门的技术学科。

客流量是城市轨道交通规划、设计、建设及运营各环节的基本依据，客流预测是城市轨道交通建设的一个十分重要的环节，是各项设计工作的基础，预测结果的可靠与否直接

关系到城市轨道交通的建设投资、运营效率和经济效益。由于城市轨道交通建设项目的投资巨大，客流预测的影响结果也就更为明显。在工程可行性研究阶段，项目决策对城市轨道交通工程造价的影响度可达80%~90%，客流量又是决定城市轨道交通工程必要性和可行性的重要参数。在这个阶段中，客流预测工作做得科学细致，可以使城市轨道交通修建方面的许多不合理因素得到控制。在工程设计建设阶段，系统的运输能力、车辆选型及编组、设备容量及数量、车站规模及工程投资等都要依据客流量的大小来确定，客流预测结果在相当程度上决定了线路形式和造价。因此，能否准确地预测客流量，尽量使车站规模、形式、间距和车辆编组符合实际客流增长的需要，并尽量接近实际客流，构成了影响城市轨道交通造价的重要因素。

客流预测是城市轨道交通建设必要性、规模选择、经济效益分析和各项专业设计的基础和前提依据，科学的客流预测对城市轨道交通可行性研究、城市轨道交通线网布局规划及城市轨道交通建设规模、建设水平等问题的决策都有着极其重要的作用。因此，应该以科学的态度对城市轨道交通客流进行预测。

客流预测是通过开发交通需求预测模型，模拟城市交通系统运行状况，为论证轨道交通建设必要性、研究轨道交通线网规模、确定轨道交通线网规划方案等提供定量的依据。

在规划线网方案时，先要根据居民出行情况调查OD（出行起止点）分布图及城市道网等资料，初拟出线网规划图，然后预测线网客流量以证明线网设计的合理性，如发现不合理的地方，要重新调整线网规划，并重新做客流预测，多次反复，直到合理为止。

二、预测年限

预测年限就是设计年限和规划年限，它是随两者的变化而变化的。在新线设计时，它应和设计年限相一致，在规划线网时，则应和规划年限相一致。

所谓设计年限，就是在规划设计时，城市对轨道交通的最大客流需求量，与轨道交通最大的系统运输能力的合理匹配年限。

设计年限是控制工程规模和工程投资的重要因素，其合理与否，可直接影响工程建成后的效率和效益。若设计年限定得过长，虽能为以后的发展留有充分的余地，但工程规模随之增大，整个系统的运量不能充分利用，长期处于欠负荷运营状态，工程不能充分发挥作用，必然会造成长时期的不经济运营；若年限定得太短，会使整个工程的运量很快饱和，将长期处于超负荷运营状态，不但降低了交通服务质量，并且不能很好地解决交通问题，同样是浪费。所以，恰当地定好设计年限是非常重要的。

设计年限一般分为近期和远期两个阶段，时间均从建成通车之年起算。目前，国内准备修建地铁和轻轨的城市，在工程可行性研究和设计中，为了从客流角度评估一下现时修建工程的必要性和减少工程初期投资，都预测了工程建成通车年，即初期的客流量，并

据此配备运营车辆和相应的车辆检修设备。根据国内外的经验，设计年限一般近期定为10~15年、远期20~30年较为合适。

线网规划年限一般应与城市发展总体规划规定的年限相一致，但不应少于30年。

三、客流预测方法

1. 客流预测方法的发展

客流预测是确定城市轨道交通系统线网规模、交通方式选择以及线路运输能力、车站规模、设备能力、运营组织、经济效益评价的重要依据。

客流预测是一门新兴的学科，城市总体客流预测方法逐步趋于成熟，但城市轨道交通线路客流预测尚处于探索研究阶段。城市客流量的大小和城市人口规模及人口分布、城市用地类别以及分布、城市社会经济及发展水平、城市文化程度和人民群众生活水平等因素密切相关。根据国内外的实践经验，在进行城市客流预测时，首先对现状客运交通进行调查，除了搜集历年来的统计资料外，普遍的做法就是开展城市居民出行调查。依据调查资料，可以比较科学地掌握城市居民的出行特征、有关参数及客流在时空分布上的规律。在此基础上，依照城市发展人口用地规模以及城市客运交通的发展趋势，选择合适的预测模型，运用趋势外推的方法预测未来线路客流量。这种基于现状的预测方法能够较好地反映近期交通量的增长情况，但无法预测轨道交通建成后所引起的交通结构的变化和城市交通分布变化。

目前国内普遍采用量化分析四阶段法，即交通的产生、交通的分布、交通的方式和交通在线网上的分配四个阶段。城市客流预测的主要参数一般可通过城市居民出行调查资料获得，通过城市居民出行调查可获得城市人均日出行次数，城市客运交通方式结构、OD分布及线网上客运量的分配量以及客流在时间上的分布。城市客运结构对轨道交通线路的客流预测影响较大，影响因素有社会、经济、政策、城市结构、基础设施水平和地理环境等。从国内若干城市的实践经验，普遍的趋势是采用定性和定量相结合，根据城市经济发展水平、客流交通政策以及相关城市的类比，确立未来城市的交通比例，以此来指导城市轨道交通客流进行微观预测。

城市轨道交通作为城市客流运输的骨干，起着其他交通方式难以替代的作用，但轨道交通也需要其他交通方式的辅助和接驳。在客流预测中，最难预测的是城市交通结构。城市交通结构的变化和政策导向、经济水平和人们的习惯等社会因素有关，将小区的出行量以一定的比例分配给轨道交通和其他交通方式等。目前较为常用的有转移曲线法，交通方式比例随出行时耗、出行距离和各种交通方式出行时耗比的转变而呈一定的函数关系；其次是概率方法，又称费用函数和效用函数法，出行者通常以出行费用最小，也即是效用最

高的交通方式出行，其难点在于费用函数的确定。

客流预测中票价因素，直接关系到轨道交通吸引客流量的多少，特别在短期内影响更大。以往的客流预测绝大部分未考虑票价因素，不能提供不同票价下的客流情况，因此也就降低了轨道交通系统效益评价的可信度。轨道交通总体线网与个别线路客流预测的依赖关系不同。轨道交通的线网规划是与城市发展密切相关的，其客流预测侧重于客观上与城市中其他交通方式的协调，强调线网布局的合理性。个别线路客流预测侧重于线路各点客流分布与断面客流量，是微观的和具体的。在客流分析中不仅要考虑线路在线网中的作用，也应该考虑站点的布局形式对客流的影响。

总之，轨道交通规划和建设中客流预测问题，是我国目前面临的一个难题。它不仅技术性强，也存在政策性、社会性和经济性等因素的制约。

2. 客流预测模式及方法

城市轨道交通客流预测虽然在我国起步较早，但真正应用于工程实践中，则始于20世纪80年代的上海轨道交通1号线设计。目前全国在客流预测方法上仍处于探索阶段。中国城市轨道交通客流预测模式主要分为三类：非基于现状OD客流的预测模式，将相关的公交线路客流和自行车流量向轨道交通线路转移，得到轨道交通客流；基于现状OD客流的预测模式，以经典的“四阶段法”为基础，结合城市规划推算未来轨道交通的客流；基于非集聚模型的预测模式。目前应用较多的是在“四阶段法”基础上进行轨道交通线路客流的预测。该方法是通过通过对交通出行生成预测、交通出行分布预测、交通方式划分、交通分配四个步骤进行城市客流预测，并根据城市不同特点，建立相应的客流预测数学模型和快速轨道交通客流分配模型。



思考探究

我国城市轨道交通客流预测模式主要有哪些？

(1) 交通出行生成预测。

土地使用动态是出行客流生成的起源，居民出行预测要建立在规划线路一定范围内城市建设和土地开发变化、人口分布及就业情况的基础上进行。采用单位系数法按不同出行目的预测各交通小区出行的生成量与吸引量。在市区以主要道路为小区中轴，以交叉路口为小区中心，在市中心区以1.4km左右为边长划分小区。小区近似方形，面积约为2000m²，随着向郊区延伸，面积逐渐加大。小区用地性质要尽量单一。在郊区以主要道路为中轴，以出行的主要集散点为中心，在人口稠密区当跨度不大时，不要分割成两个小区，使其位于小区的中心附近，尽量以自然障碍物为边界，如铁路、河流、湖泊、农田等划分，面积约为6000m²。在交通小区的基础上，将2~5个小区组合成交通中区，并在保持行政区形状基本不变的前提下，将若干交通中区组合成交通大区。

①出行生成预测模型：

$$P_i = \sum_i^n C_{pi} X_{pi} \quad (1-1)$$

式中 P_i —— i 交通小区的出行生成量（人次/日）；

X_{pi} —— i 交通小区的总人数，成人数、学生数或就业岗位数；

C_{pi} ——相应的出行生成系数。

②出行吸引量预测模型：

$$P_i = \sum_i^n C_{pi} X_{pi} A_j = \sum_i C_{aj} X_{aj} \quad (1-2)$$

式中 A_j —— j 交通小区的出行吸引量（人次/日）；

X_{aj} —— j 交通小区的总人口数、就业岗位数及用地面积；

C_{aj} ——相应的出行生成系数。

(2) 出行分布预测。

出行分布预测的目的是将分离出的城市轨道交通客流分配到虚拟的城市轨道交通线网上，运用传统的重力模型思想，按出行目的，采用节点分配的方法，利用对乘客来说是最小距离的原则批量进行分配。

居民出行分布形式和小区的生成量、吸引量、小区的阻抗及城市布局等因素有关，一般采用综合重力模型进行居民出行分布量预测。

$$\text{综合重力模型为：} T_{ij} = \frac{P_i A_j F(l_{ij}) K_{ij}}{\sum_{j=1, i=1}^n A_j F(l_{ij}) K_{ij}} \quad (1-3)$$

式中 T_{ij} —— i 交通小区至 j 交通小区的居民出行分布量；

P_i —— i 交通小区的出行生成量；

A_j —— j 交通小区的出行生成量；

$f(l_{ij})$ ——两交通小区 i 至 j 间的出行阻抗函数，一般是出行时间或出行距离的函数；

K_{ij} ——两交通小区 i 至 j 间的布局调整系数。

并以下式迭代消除误差：

$$A_j^{(k)} = A_j^{(k-1)} \frac{A_j}{\sum T_{ij}^{(k-1)}} \quad (1-4)$$

(3) 出行方式划分。

在我国大多数城市居民出行所用的交通方式有：步行、自行车、常规公交、出租车、小汽车等。各个交通工具都有其不同的使用人群。对交通方式划分的影响因素很多，有出行者个人的因素，如：年龄、性别、收入、私人交通工具拥有情况、职业以及人员的类别（常住人口、流动人口）；也有交通方式自身的因素，如：旅行速度、票价、舒适度、安全性等。充分了解人们的出行选择与各影响因素的关系，是进行合理方式划分的基础。

常用的交通出行方式划分模型形式：

$$P_{ij}^k = \frac{\exp(-u_k)}{\sum_k \exp(-u_k)} \quad (1-5)$$

式中 P_{ij}^k —— i 交通小区至 j 交通小区第 k 种出行方式的分配率（%）；

u_k —— i 交通小区至 j 交通小区第 k 种出行方式的广义运输费用。

$$u_k = \beta \cdot t_k + C_k \cdot L \cdot d_k$$

其中 t_k —— i 交通小区至 j 交通小区第 k 种出行方式的出行时间（min）；

L —— i 交通小区至 j 交通小区的出行距离（km）；

$C_k \cdot L \cdot d_k$ ——参数。

（4）交通分配。

交通分配的目的是将已经预测出的城市轨道交通OD交通量按照一定的规则符合实际地分配到道路网中的各条道路上，并求出各条道路的交通流量。一般来说，在道路网中，两点之间（即O、D间）有很多条道路，如何将OD交通量正确合理地分配到O与D之间的各条道路上即是交通分配模型要解决的问题。

交通分配模型形式：

$$P_k = \frac{\exp(-\beta \cdot t_{ij}^k)}{\sum_k \exp(-\beta \cdot t_{ij}^k)} \quad (1-6)$$

式中 P_k ——居民出行选择路线 k 的概率；

t_{ij}^k ——路线 k 的出行广义费用，一般采用出行时间（min）；

β ——系数。

3. 客流预测结果

线网中各条线路经过详细的客流预测工作，最后要获得下列各主要成果资料：

- （1）交通小区划分图；
- （2）规划年居民全方式出行期望路线图；
- （3）规划年全市客流分布图；
- （4）规划年各网线全日乘降量及断面客流量表；
- （5）规划年各网线早高峰小时乘降及断面客流量表；
- （6）规划年各网线晚高峰小时乘降及断面客流量表；
- （7）规划年换乘站各方向的客流换乘量。

四、客流预测工作中的问题

客流预测是线网规划中进行定量分析的主要手段，因此客流预测工作的好坏直接影响线网规划的效果。但从目前线网规划中的客流预测情况看，还存在诸多问题，其中主要表现在以下方面：

1. 城市交通模型还未完善建立

建立完善的交通预测模型有三个基本条件；一要有对现状交通情况长时间、大范围的调查资料，并且这些资料能够不断得到更新，同时这些资料应是真实的；二要具有科学、先进的交通预测模型，并且得到长时间调整和运用，各项预测结果能够大体符合城市交通发展规律；三是要具备既熟悉交通预测模型，又熟悉城市实际情况，同时对城市交通发展有深刻理解的模型操作人员。

由此可见，以上基础数据采集、模型建立、模型师队伍建设三项工作，都需要长期的、扎实的基础工作，这需要获得城市相关政府部门足够的重视和经济投入，还需要专职的机构运作和维护。但应该承认，除国内几个特大城市比较重视这方面的基础工作外，多数城市还停留在购买模型或提升模型算法的理论水平上，现状交通调查工作非常欠缺（大多数城市只有20世纪80年代末或90年代初的全民OD调查资料），这实际上是目前建立交通模型工作最大的误区。

交通预测模型的不完善直接导致城市轨道交通客流预测结果与实际客流的确存在较大差异，不同机构预测的客流量离散性较大。

2. 我国正处在经济飞跃式发展阶段，对未来交通发展规律确实难以把握

现代交通预测的基本原理，是通过对现状交通规律的分析，推演未来交通发展规律。欧美发达国家的城市发展已经趋于稳定，其交通发展曲线比较平滑，未来交通规律把握相对容易。我国正处在经济飞跃式发展阶段，交通发展曲线呈阶跃形态，发展规律曲线离散较大，且影响条件中的不定因素很多，因此在进行模型参数标定时十分困难。改进这方面的问题将对模型操作人员素质提出较高的要求，不但要具备模型分析扎实的基础知识，还需要政治家的眼光和艺术家的感觉，因此模型师应特别注意扩大和丰富自身的知识结构和思路。

3. 难以建立土地发展和交通预测的动态联系

土地利用和交通之间有明显的互动联系，但是目前的客流预测工作对土地开发强度影响基本不能作出动态的反映。尽管土地发展和交通预测方面都有各自领域内的分析模型，但由于两类模型的理论 and 数学语言差异很大，而且从事土地发展和交通预测研究的人员对彼此领域研究甚少，到目前为止，还未发现在实际工作中将这两个方面的研究联系，并实现模型兼容，因此对彼此的考虑只能是定性分析或静态层次的计算。这实际上是整个规划领域存在的一个突出的技术瓶颈，这个问题不解决，客流预测工作就很难保证可信度。

4. 缺乏交通影响分析研究

客流预测的工作集中在两个方面，一是对轨道交通内部客流增长及特征进行预测，二是对轨道交通对于城市综合交通影响进行分析。现在，对轨道交通自身的客流预测工作进行得比较深入，但对外部交通影响的工作进行得不够充分，难以回答“轨道交通建设后，城市交通的变化是什么”这样的问题。

项目小结

本项目系统阐述了城市轨道交通线路规划。首先介绍了线网规划设计的原则、方法、内容等基本知识，简明扼要地介绍了轨道交通线网结构和系统的选择，重点介绍了城市轨道交通线路客流预测的基本知识。通过对本项目的学习，可以为学生系统学习本书知识做好铺垫，打下良好的基础。

学习检测

一、填空题

(1) 线网规划是轨道交通工程设计建设的主要技术依据，它的()直接影响城市交通()的合理性、()及工程建设的()和社会效益。

(2) 线网结构最基本的形态有()、()、()等，但根据城市的不同形态，线网结构呈现不同的()。

(3) 城市轨道交通系统的目标是()、快速、()、()、准时输送乘客，满足城市居民不断增长的()，形成安全、高效及()的城市绿色公共交通体系。

(4) 城市轨道交通系统的选择，主要应根据()、()、远期的预测客流量、交通特征和()等情况并结合()进行。

(5) 客流量是城市轨道交通()、设计、建设及()各环节的基本依据，客流预测是城市轨道交通建设的一个()的环节。

(6) 土地使用动态是()生成的起源，居民出行()要建立在规划线路一定范围内()和土地开发变化、人口分布及()的基础上进行。

二、问答题

(1) 轨道交通线网规划包括哪两个研究阶段？

(2) 城市轨道交通线网规划的主要任务是什么？

(3) 从轨道交通线网规划的内容角度分析，主要包含哪五个部分？

(4) 线网实施规划主要包括哪些内容？

(5) 城市轨道交通是指利用轨道作为车辆导向的运输方式，并以客运为主，包括哪五种子系统？

(6) 现在国家规定，在修建城市轨道交通的项目中，国产化率必须达到什么要求？

(7) 根据国内外的经验，设计年限一般近期定为多少年？远期多少年较为合适？

(8) 线网规划年限一般应与城市发展总体规划规定年限相一致，但不应少于多少年？

(9) 中国城市轨道交通客流预测模式主要分为哪几类？

(10) 建立完善的交通预测模型有哪三个基本条件？