

熊西文 等编著

城市交通 调查与规划

模型和方法

大连理工大学出版社



D

国家自然科学基金委资助

城市交通调查与规划 ——模型和方法

熊西文 滕素珍 陈树民 编著
吴大为 曾 理

大连理工大学出版社

(辽)新登字 16 号

内 容 提 要

本书主要描述和论证城市道路交通调查与规划中的数学方法和模型,并以应用实例作背景。第一章是概论。第二章是城市交通抽样调查,系统地讨论了抽样调查的统计理论、方法、误差分析及应用实例。第三章是数据处理,集中地反映了本书作者们利用电子计算机进行数据处理的经验。第四章是交通需求模型与算法。第五章是交通平衡模型与算法。这两章详细地叙述了交通出行发生、出行分布的常用模型,交通方式划分的 Logit 模型,交通量的分配模型,由路段观测流量反推 O D 矩阵与网络设计模型、平衡原理和熵模型等。本书的研究结果反映了目前国内、外在这个领域的新进展。

本书可作为各城市从事交通调查、规划和管理的研究人员、规划设计人员的参考书和实际工作的指南;还可以作为高等院校交通工程专业和应用数学专业学生、研究生、教师的参考书或教材。

城市交通调查与规划——模型和方法

Chengshi Jiaotong Diaocha Yu Gouhua —— Mexing He Fangfa

熊西文 等编著

大连理工大学出版社出版发行 (邮政编码: 116024)

大连理工大学印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 11 1/4 字数: 247 千字
1992 年 1 月第 1 版 1992 年 1 月第 1 次印刷
印数: 0001—1200 册

责任编辑: 凌 子 封面设计: 葛 明
责任校对: 晓 白

ISBN 7-5611-0496-0/O · 77 定价: 5.60 元

前 言

随着我国社会经济与科学技术的迅速发展，城市规模不断扩大，交通量日益增加，再加上现代交通工具的广泛使用，使城市交通出现拥挤阻塞现象，事故频繁发生等问题。虽然经过很大的努力，缓解了某些问题，但还无法找出比较满意的解决方法。经过长期的探索，人们逐渐意识到要较好地解决城市交通问题，必须制定一个科学的、切合实际的交通规划，以适应目前和未来城市交通的发展。城市交通规划的主要内容包含宏观规划和网络综合规划。这两部分内容基于土地使用、交通现状和城市经济发展而制定。为此要进行交通指标和相关指标的调查，交通量的预测，交通量的分配，道路网的布局优化与评价等。国际上，许多发达国家的实践经验与教训充分证明了搞好城市交通规划是解决现代化城市交通的基础条件。本书的主要宗旨是为从事城市交通的研究人员、管理人员和设计规划人员提供各种实用的交通调查方法，数学模型与算法，数据处理的技术等，使他们在实际工作中有所参考；并可作为高等院校交通工程专业和应用数学专业学生、研究生、教师的参考书或教材。

本书系大连理工大学城市交通规划研究组在国家自然科学基金资助下，为开发和研究城市交通调查与规划而编著的。本书用较通俗易懂的语言，系统地介绍与评述了国内、外有关城市交通调查与管理，特别是有关交通调查、预测、网络研究中先进的、有代表性的、臻于实用的交通理论和方法。书

中还汇集了作者们从事城市交通调查和规划的实际经验。本书内容反映了应用数学与交通工程两门学科的交叉研究。

本书第一章是概论，结合现代化城市发展的概况，分析了人、车、路和交通环境间的相互关系，描述了城市交通发展中有待研究的一些基本问题。第二章是城市交通抽样调查。阐述了城市交通调查的意义、内容和方法，系统地讨论了各种抽样调查方法的统计理论、方法、误差分析及调查工作的组织与实施。第三章是数据处理的方法，集中地反映了利用电子计算机进行数据处理的技术和经验。第四章是交通需求模型与算法。第五章是交通平衡模型与算法。这两章详细地叙述了出行发生的预测模型，出行分布的常用模型，交通方式选择的各种模型，如 Logit 模型，交通量分配的平衡模型，由路段观测流量反推 O-D 矩阵的最大熵模型及网络设计等问题，其研究成果反映了目前国内、外在这个领域的新进展。

本书的内容结构及成书指导思想曾得到同济大学徐循初教授、杨佩昆教授、徐慰慈教授以及城乡建设部交通研究所所长朱俭松高级工程师的指导和帮助，在此谨致谢意。

本书第一章和第三章由吴大为执笔，第二章由滕素珍执笔，第四章由陈树民执笔，第五章由熊西文和曾理合写。全书由熊西文教授审校。

限于作者们的水平与经验，书中的谬误之处，敬希指正。

编著者

1991.5

目 录

第一章 概论	1
§ 1.1 城市发展的历史	1
§ 1.2 城市交通规划	6
§ 1.3 城市交通模型	10
1.3.1 定量化分析在城市交通规划中的作用	10
1.3.2 定量化分析方法与规划模型	12
1.3.3 交通的度量	15
第二章 城市交通抽样调查	17
§ 2.1 交通调查概要	17
§ 2.2 交通调查的目的、内容和方法	19
2.2.1 交通调查的目的	19
2.2.2 交通调查的内容	21
2.2.3 交通调查的方法	23
§ 2.3 O-D 调查和交通量调查	25
2.3.1 O-D 调查	25
2.3.2 交通量调查	31
§ 2.4 交通调查方案的设计	33
2.4.1 明确调查目的和内容	34
2.4.2 编制调查表格和填表说明	34
2.4.3 制定调查的组织实施计划	35
§ 2.5 抽样调查概述	37
2.5.1 抽样调查的意义	37

2.5.2	抽样调查的基本概念	40
2.5.3	抽样调查的步骤	45
§ 2.6	抽样调查的理论基础	46
2.6.1	数理统计基本知识	47
2.6.2	抽样数据可靠性的间接检查法	60
2.6.3	抽样数据的修正	61
§ 2.7	抽样调查方法	62
2.7.1	简单随机抽样	62
2.7.2	分层抽样	73
2.7.3	等距抽样	85
2.7.4	整群抽样	92
§ 2.8	居民出行抽样调查	102
2.8.1	样本代表性的分析	102
2.8.2	居民出行的统计资料	105
2.8.3	抽样率的分析	108
第三章	数据处理	112
§ 3.1	数据的收集与整理	112
3.1.1	交通调查数据的特点	112
3.1.2	误差构成分析	116
3.1.3	表格的查核与验收	128
§ 3.2	数据存贮	131
3.2.1	原始数据的录入	131
3.2.2	数据安全	140
§ 3.3	现状交通量统计分析	143
3.3.1	总交通量统计与分析	143
3.3.2	交通量的分布统计与分析	159
3.3.3	交通量的构成统计与分析	168
第四章	交通需求模型与算法	171
§ 4.1	土地使用与出行发生率	171

§ 4.2	出行发生的预测方法	174
4.2.1	发生率法	174
4.2.2	分类分析模型法	178
4.2.3	线性回归模型法	181
4.2.4	综合统计法	188
§ 4.3	出行分布的增长系数法	190
4.3.1	平均增长系数法	190
4.3.2	弗雷特法	197
§ 4.4	重力模型	204
4.4.1	重力模型的分类	205
4.4.2	采用距离的重力模型	209
4.4.3	采用行程时间的重力模型	211
4.4.4	采用分布系数的重力模型	217
4.4.5	重力模型的检验	227
§ 4.5	机会模型法	229
4.5.1	介入机会模型	229
4.5.2	竞争机会模型	235
§ 4.6	交通方式的划分模型	240
4.6.1	交通方式划分的根据和类型	240
4.6.2	I类方式的划分模型	244
4.6.3	II类方式的划分模型	245
4.6.4	III类方式的划分模型	246
4.6.5	IV类方式的划分模型	248
4.6.6	交通方式划分模型的检验	252
§ 4.7	分散需求的 Logit 模型	253
4.7.1	Logit 模型的特征	254
4.7.2	二项的线性 Logit 模型	257
4.7.3	多项的线性 Logit 模型	259
4.7.4	多项的线性 Logit 模型的校准	262
4.7.5	Logit 模型的检验	268

第五章 交通平衡模型与算法	269
§ 5.1 交通分配	270
5.1.1 最短路算法	271
5.1.2 两种改进的最短路分配	274
5.1.3 平衡原理及基本模式	280
5.1.4 平衡流的优化解法	288
5.1.5 用户最优与系统最优的比较	295
5.1.6 网络平衡模型的应用	296
§ 5.2 由路段观察流量估计出行 O-D 阵	298
5.2.1 一般模型	300
5.2.2 几类出行需求模型	304
5.2.3 最大熵模型	307
5.2.4 模型的解法	309
5.2.5 模型的改进	317
§ 5.3 网络设计	325
5.3.1 一般的网络设计模型及其变形	327
5.3.2 网络设计的相关问题	329
5.3.3 离散选择的网络设计问题	333
5.3.4 连续设计变量的网络设计问题	340
附表 随机数表	347
参考文献	349

第一章 概 论

§ 1.1 城市发展的历史

城市是人类社会经济发展的必然产物。世界上有许多著名的城市，我国也有大小 400 多座城市，这些城市发展的历史和它们的分布，都反映了社会经济发展的主导作用。

城市的出现可追溯到奴隶社会，城市是随着私有制的出现而发展起来的。在原始社会，人类的游牧生活方式决定了居住的流动和分散，以穴居和树居为主，虽然也有群居，如山顶洞人，但是这根本谈不上城市，甚至居民点也称不上。

随着农业生产成为人类主要生活资料来源，这时才出现了聚族而居的固定居民点，例如新石器时代的山东日照两城镇遗址（龙山文化），山西夏县西阴村遗址，内蒙赤峰东八家石城遗址，西安半坡遗址等。

但这些还不能称得上城市，随着手工业和商业与农业的分离，对产品的加工和交换的集中，这时才出现了以商业和手工业为主的城市，城市不是简单的居民点的聚集，而是社会生产发展的标志，它标志着人类社会由原始社会向奴隶制社会的转变，标志着阶级的出现和国家的出现。

我国解放后发现的郑州商城遗址和解放后大规模发掘的

安阳殷墟遗址，都可称得上是最古老的城市。郑州商城遗址近似长方形，城墙周长近7公里，城市内外，有宫殿、平民住宅区，有铸铁、制骨、制陶等手工业作坊，还有墓葬区。安阳殷墟据史载，公元前14世纪盘庚迁殷，在此建都270余年，解放前就曾出土大批甲骨文，经解放后发掘，发现沿洹河两岸十余里的范围内布满宫室、庙宇、住宅、坟墓、土穴和地牢的遗址，安阳小屯东南1.5公里处还有一片规模较大的铸铜作坊，殷墟墓葬规模宏大，最大墓室面积达4500平方米。

国外城市出现的历史与中国基本相同。随着社会的进一步发展，城市数目不断增多，在中国封建社会漫长的发展过程中，星罗棋布的城市遍布了黄河流域和长江流域，也曾出现过当时世界上最大的城市，例如汉代的长安、隋唐的长安、宋代的开封和元大都。但从世界范围看，城市的迅速发展还是随着资本主义的产生，出现了工业革命，生产力的高度发展，使大量的劳动力和资金集中到城市，带来了城市的繁荣。而城市的发展使生产更便于集中管理，信息便于传递，更便于分工合作、更便于产品的运输和贸易。近百年来世界范围的城市化进程是如此之快，在17世纪，世界城市人口只占总人口的3%，100年后已达到13.6%，而到1980年，则上升到39%。有人预测，到2000年，世界总人口将达到62亿，而50%为城市人口，人口超过500万的城市，将由1950年的6座上升到60座。

城市的发展虽然从根本上说是由经济推动的，尤其是现代化城市的发展更取决于经济。但是社会政治制度的演化和朝代的更替，对城市兴衰也有着巨大影响，秦始皇灭六国后，拆除各国都城城墙，并将大量人口集中首都咸阳，“徙天下富

户12万居咸阳”，使咸阳有了很大发展，并广征民工北筑长城。而隋唐长安历经300多年建设，达到人口百万以上，占地250平方公里，可经过安史之乱到唐昭宗时，长安屡经战乱，宫殿建筑受到严重破坏，最后被迫迁都洛阳，把宫殿民房木料拆了沿渭河东运，写了一部城市兴衰史。中国历史上曾有过多次建都，虽然大多在同一地点，但都城位置常有变迁，这些都使得城市发展受到极大影响。

中国封建社会除了都城，还有地区性的统治中心城市和一般府州县城市，前者相当于现在的省会城市，后者相当于县城。省会城市例如：成都、太原、武昌、长沙、南昌、兰州、贵阳、昆明、杭州、广州、福州、济南、乌鲁木齐、沈阳等，县城如松江、嘉兴、宁波、温州、淮安、延安、酒泉、武威、大同、保定、徐州等。

由于城市的统治需要，许多古代城市往往具有防御功能，城的概念有防御之义，而市更多指交易场所。中国古代称“三里之城，七里之廓”，“内为之城，外为之廓”，“筑城以卫君，造廓以守民”都说明城市的建设要服从备战需要，有些城市地理位置重要，具有战略价值，也促进了其发展，例如“九边重镇”沿长城分布，象大同、宣化、榆林、左云、右玉、山海关等，还有一批海防城市如威海卫、金山卫、镇海卫、南汇、蓬莱等。

城市发展受政治因素的影响在近代史上也是很多的，中国自1840年鸦片战争后，逐步变为一个殖民地、半殖民地和半封建的社会，随着一系列割地赔款条约，许多城市实际受到一个或几个帝国主义国家控制，城市的繁荣和发展也是帝国主义侵华的需要，例如哈尔滨、旅大、青岛、天津、汉口、

上海、广州等。

城市在其发展过程中，由其主要职能和作用，可以体现出一些大致的分类，但这种分类的准则却又是那么不明确，尤其是现代城市，其功能和作用都是多目标的。例如各国首都，可称得上政治中心，但往往首都也是经济、文化中心，有些城市主要作为商业和金融中心，但它往往也是重要的交通枢纽和旅游城市。在考查城市的发展历史，在确定城市的发展方向时，这种分类还是必要的。

(1) 都城

各国的首都首先是国家的政治中心、科学文化中心，其次是经济中心和交通枢纽，首都的建设往往是最快的，都城的发展当然超过同等规模的其它城市。都城的规划、建筑风格往往代表了国家和时代的城市建设水平。

(2) 商业城市

这类城市大多得天于优越的地理气候条件，交通方便，例如江河交汇处、海口等，这类城市商业繁荣发达、人口众多，各种服务业兴隆，例如我国的上海、广州、武汉等。随着运输工具的变化或江河改道，商城不商，这类城市也就衰败下去。例如扬州、淮阴就是随着内河运输逐渐被海运和铁路取代，加上江河改道而落后于其它城市的发展。

(3) 工业城市

这类城市的形成和发展基本取决于产业的发展，例如我国的钢都鞍山、煤都抚顺、林都伊春、汽车城十堰、化纤城辽阳、石油城大庆等。这些城市的发展都是围绕着产业而形成的，它的劳动构成单一，货运种类也较单一。地下资源的储量和技术变革可深刻影响这些城市的未来发展。

(4) 交通枢纽城市

交通运输是生产不可分割的部分，随着经济的发展，交通运输起的作用越来越大，它对城市的发展有着巨大的推动作用。交通运输方式的不同也形成了不同类型的枢纽城市，例如我国的铁路枢纽城市石家庄、郑州、株洲、徐州等，港口枢纽城市大连、连云港、秦皇岛、武汉、上海、广州等。这些城市的运输业占产业比重很大。为交通服务的工业、仓储运输业、加工工业和各种贸易机构兴旺发达，这些城市往往也是地区的通讯枢纽。

(5) 旅游城市

城市不仅是地区的经济和政治中心，同时还是文化中心，有些城市，文化中心的功能格外显著，由此成为旅游名城，例如我国的桂林、昆明、杭州、承德、泰安、西安等。这些城市往往有吸引游人的自然风光、古今建筑和历史文物，有发展迅速的旅游服务行业。

除了以上五种城市之外，还有一些特殊类型的城市，例如金融中心城市、军事要塞等。城市的分类只具有相对的意义，现代城市往往兼有五种城市的功能，它们大部分都是地区的政治、经济和文化中心，同时也是地区的交通枢纽和工业生产中心。

城市发展的历史除受到经济和政治的影响之外，还受到地理因素的很大影响，这些因素包括地形、地质、水文、气候等等。古代城市由于社会生产力不发展，大多分布在江河流域，那里有利于农田灌溉、有利于木船的运输、有利于生活用水，这是农业社会城市的分布特征，例如美索不达米亚平原的伊立、巴比伦，尼罗河下游的孟斐斯、底比斯，黄河

流域的亳（河南商丘）、殷、镐京（西安）等。随着生产力的发展，人类对地理环境的利用更加广泛，城市的分布就摆脱了江河模式，例如铁路的出现，产生了一大批铁路交通枢纽城市，蒸汽机和轮船的出现，产生了繁荣的海岸港口城市。现代许多著名的港口城市都是随着海洋运输而发展起来的。由此可见江河流域和港口的地理位置可影响到城市的分布。

地形对城市面貌的影响是明显的。平原城市、丘陵城市、山城、盆地城市其布局是完全不同的，它不仅影响建筑布局，也影响道路网布局。我国平原城市较多，如沈阳、石家庄、北京，也有许多其它类型城市，如山城重庆、丘陵城市大连、盆地城市本溪等。

气候对城市的分布和建筑形式也有着较大影响，寒冷干旱的地区不适宜人口居住，因而城市就难以发展，象我国的西北、西藏等地，人口密度很低，城市分布主要集中在气候和地理条件相对较好的地区。在北方城市，建筑主要考虑防寒保温，而南方城市则更多注重通风和节省建筑材料。

影响城市发展的因素还可举出一些，例如人口的分布、民族的分布、宗教影响等等，对城市发展历史的研究形成了人文地理学的一个分支——城市地理学。

§ 1.2 城市交通规划

城市发展的历史，也是人口和产业向特定地理区域集聚的历史，随着生产的发展，这种集聚在不断地加速，而这又大大增强了对更广泛地区的吸引力。城市的高度和繁荣

反映人类文明与进步,但同时也带来了一系列的城市问题。众所周知的居住拥挤、交通阻塞、环境污染、事故频繁时时在困扰着城市的管理者,其中交通问题带有全局性。

我国许多大城市市中心人口密度高达5万人/平方公里,早晚高峰时,有几十万人乘车往返,机动车车速甚至下降到10公里/小时左右。公共交通拥挤不堪,车厢内达到10人/平方米并非个别现象。车祸频繁,例如北京平均每天一人死于车祸,上海则每天平均两人。城市空气污染由机动车尾气造成的占重要原因,这种污染造成肺癌发病以城市为中心,城市越大发病率越高,上海居全国之首,其次是北京和天津,市中心发病率比郊区要高出20~40%。机动车产生的城市噪声,干扰工作和损害健康,在连续不断的噪声下,劳动效率要降低40%,从事计算工作,出错可能要增加一倍。北京城有60%的地区、62%的人口居住在60分贝以上的噪声环境中,宣武、崇文两区主要马路边噪声超过70分贝,两人相距1米说话都听不清,80分贝就无法谈话,90分贝就将损伤听力。

在许多城市,缺少停车场,机动车、自行车占据了道路和人行道,使交通阻塞,甚至行人也无法通过。

除了交通问题,城市建设还面临着用地紧张、电力和水资源紧张、综合环境质量恶化、为新建和改造城市所需经费的缺乏等种种问题,如何科学地分析这些问题,对城市发展作出正确的决策,这便是城市规划学所要研究的主题。

在城市规划中,交通规划是最基本的规划之一,之所以这样说,是因为交通规划比其它专项规划更具有全局性和综合性,对城市建设的影响更深刻。

交通的全局性，对于城市居民来说，他们也许有点切身体会和感性认识，而从城市总体规划角度来看，这种全局性是那么重要和不可替代。我们首先看看城市道路，城市道路承担着城市主要的人流和车流，道路下面和道路两旁，各种管网密布。这里有供水管、排水管、供气管、各种通讯管道和电力线，道路两旁的电杆和架空线更是有目共睹。因此，道路网不仅仅承载交通流量，它同时又是城市的上下水网、煤气网、电网和通讯网，它对于保障城市的产业，供给居民的生活是多么重要，因此规划师们把道路称作城市的骨架。这种骨架一经形成，就具有很大的稳定性，道路两旁的建筑可能大规模重建和拆修，但往往沿袭已有道路。路网的这种稳定性实际上早已成为考古学家和规划师的工作指南。

城市道路网的运转情况直接影响到城市的活动效率，而各种管网的安全和正常又是城市一切活动的基本保障，这种全局性是不言而喻的。

城市以道路为骨架而不断发展，这如同机体的生长，也如同植物叶子围绕叶脉的长大，而随着这种发展，又反过来促进了道路骨架自身的延伸。城市的这种发展过程表现出来的就是交通需求和土地利用。城市土地的开发利用，是一个很复杂的政治、经济、法律和历史的综合性问题，因此，它使与之相关的交通规划更加庞杂。

综合城市土地使用的现状和未来发展进行交通规划，是交通规划的一大进展。50年代以前，交通工程专家们，主要关心的是道路交通容量问题。50年代初，人们证实了交通需求与土地使用之间存在着基本联系，这就使得人们更多地注意产生交通流的“源”的问题，从50年代末到60年代初，许