

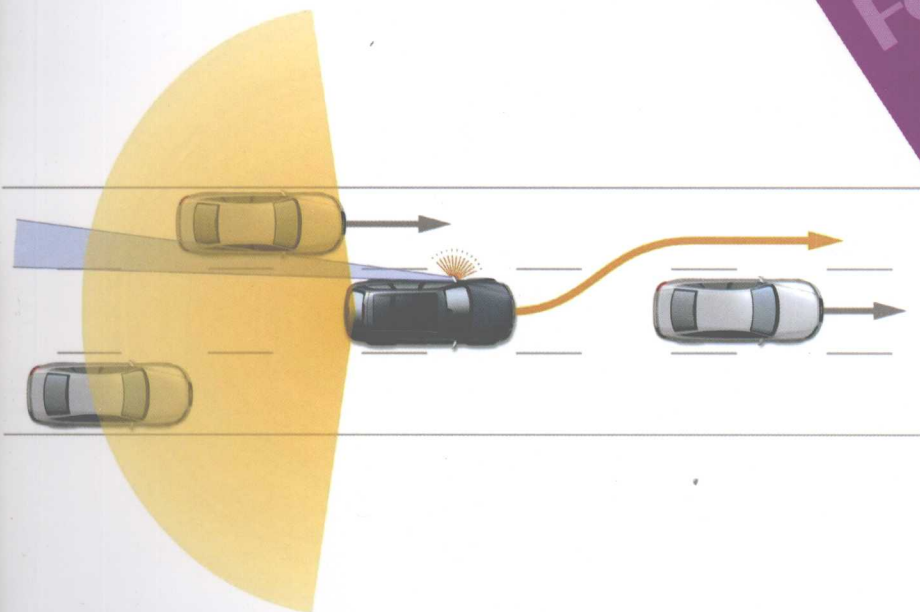


高等学校交通工程教学指导分委员会推荐教材

交通系统分析

● 王殿海 主 编
● 王 炜 主 审

Jiaotong
Xitong
Fenxi



人民交通出版社
China Communications Press



高等学校交通工程教学指导分委员会推荐教材

交通工程导论

刘小明 主编

交通系统分析

王殿海 主编



交通规划

王 炜 主编



交通设计

杨晓光 主编



道路交通安全

裴玉龙 主编

交通管理与控制

徐建闽 主编

交通经济学

邵春福 主编

公共交通

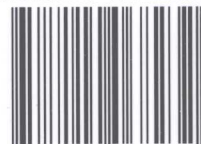
杨晓光 主编

责任编辑 / 曹延鹏

文字编辑 / 富砚博

美术编辑 / 孙立宁

ISBN 978-7-114-06823-2



9 787114 068232 >

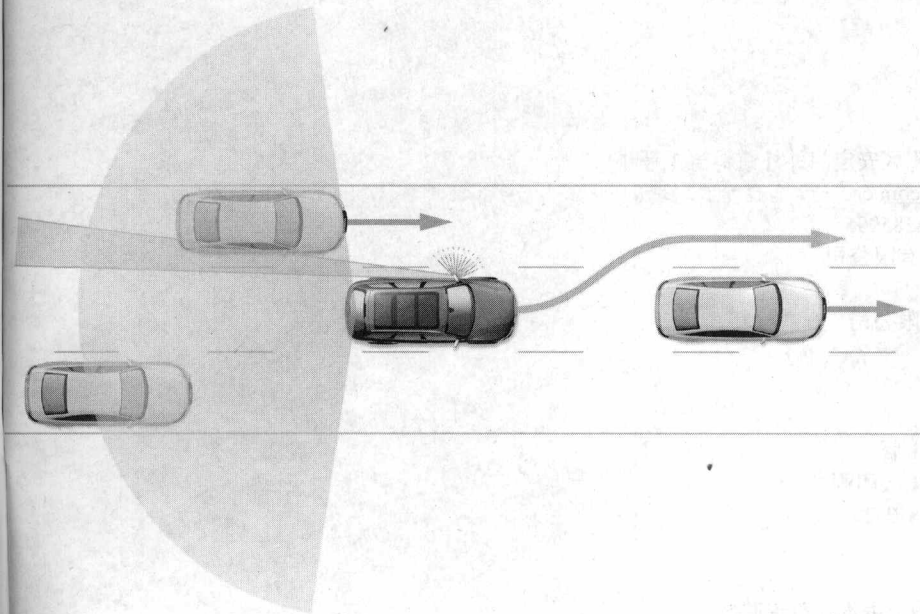
定 价：31.00 元



高等学校交通工程教学指导分委员会推荐教材

交通系统分析

● 王殿海 主 编
● 王 炜 主 审



人民交通出版社

内 容 提 要

本书是交通运输学科教学指导委员会交通工程教学指导分委员会所确定的系列主干课程教材之一,书中采用近年来国内外交通工程学者对交通分析研究的成果和实践经验,对交通参数的统计分布特性、交通系统供求分析理论、交通系统状态分析理论、交通系统优化和评价理论进行了系统深入的论述,涵盖了交通分析理论中较成熟的理论和方法。

本书可作为交通工程、交通运输、道路交通管理、城市规划专业的本科生和研究生教材,也可作为有关工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

交通系统分析/王殿海主编. —北京:人民交通出版社,
2007.11

ISBN 978-7-114-06823-2

I.交... II.王... III.交通运输-系统分析-教材
IV. F50

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 142095 号

书 名: 交通系统分析

著 者: 王殿海

责任编辑: 曹延鹏

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 16.5

字 数: 396 千

版 次: 2007 年 11 月 第 1 版

印 次: 2007 年 11 月 第 1 次印刷

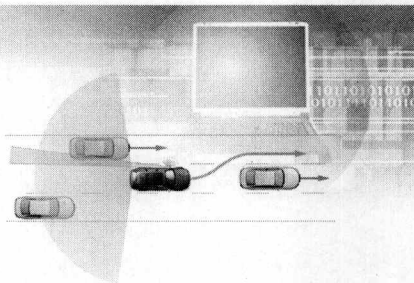
书 号: ISBN 978-7-114-06823-2

印 数: 0001 - 3000 册

定 价: 31.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前言 Qianyan



随着我国国民经济的飞速发展和汽车保有量的快速增长,交通问题越来越受到社会各界的广泛关注。提高交通效率、保证交通安全、减少交通危害是交通工程领域所面临的主要问题。为了解决这些问题,有关学者、工程技术人员和交通管理者借助科学的方法和手段对交通系统进行描述、分析、优化、评价,以期发现问题,对交通系统进行优化设计和改造。在这种形势下,作为交通工程人才培养的高等学校有义务更好地设计课程体系,使学生掌握和了解这些方法和手段,使其在交通工程实践中发挥更大作用。

根据高等学校交通运输学科教学指导委员会交通工程教学指导分委员会反复酝酿、讨论达成的一致意见,把《交通系统分析》课程确定为交通工程专业主干课程,课程性质为专业基础课,并决定由吉林大学、东南大学、哈尔滨工业大学共同承担《交通系统分析》课程教材编写工作。按照委员会对交通工程专业课程体系的划分,本课程应包含交通工程本科生所应掌握和了解的基本定量描述方法、优化方法、评价方法和模拟技术。按照这一要求并考虑与其他课程内容的衔接,本教材确定了六部分课程内容,各学校可以根据本校课程体系和教学计划进行适当取舍。

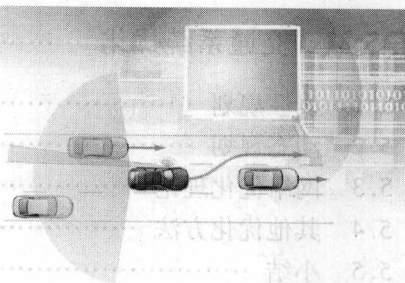
全书共分七章,其中:第一章、第四章由吉林大学王殿海编写;第二章、第七章由哈尔滨工业大学裴玉龙编写;第三章由东南大学程琳编写;第五章由东南大学过秀成编写;第六章由吉林大学姜桂艳编写。全书由王殿海主编,由东南大学王炜主审。

交通工程领域的定量分析方法涉及多学科、多领域的相关知识,而且新知识、新理论和新方法不断涌现、发展和完善。编者水平有限,加之时间仓促,错误和不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2007年7月

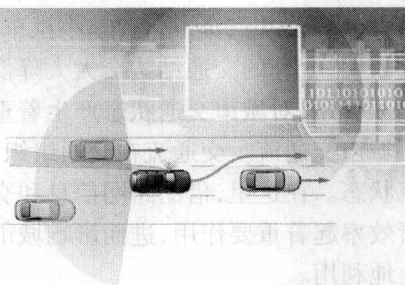
目录 Mulu



第1章 绪论	1
1.1 交通系统分析的意义	1
1.2 交通系统分析的过程	3
1.3 交通系统分析方法	5
1.4 交通系统分析的内容	7
第2章 交通参数	8
2.1 交通流基本参数特性	8
2.2 道路通行能力分析	20
2.3 延误分析	41
2.4 小结	52
复习思考题	52
习题	52
第3章 交通系统供求分析	53
3.1 交通系统需求分析	53
3.2 交通系统供给分析	58
3.3 交通系统供求平衡分析	64
3.4 小结	72
复习思考题	72
第4章 交通系统状态描述	73
4.1 排队理论	73
4.2 跟驰理论	85
4.3 连续流理论	95
4.4 车队离散理论	109
4.5 时空相关性分析	115
4.6 小结	124
复习思考题	124

第5章 交通系统优化	126
5.1 线性规划	126
5.2 动态规划	145
5.3 网络优化理论	152
5.4 其他优化方法	171
5.5 小结	178
复习思考题	178
第6章 交通系统评价	181
6.1 系统评价的基础知识	181
6.2 系统评价方法	195
6.3 小结	219
复习思考题	219
习题	219
第7章 交通系统模拟	221
7.1 概述	221
7.2 交通模拟基本原理	223
7.3 交通模拟模型	229
7.4 交通模拟常用技术	235
7.5 交通模拟软件开发	243
7.6 常用软件介绍	250
7.7 小结	255
复习思考题	255
参考文献	256

第1章 绪论



1.1 交通系统分析的意义

1.1.1 交通系统

交通是一个系统,由多个子系统构成,子系统之间相互联系、相互影响,形成了极其复杂的关系。当我们带着不同的问题去研究交通系统时,系统的范围、系统的结构、各子系统的关系等都将不同。例如,当我们从交通工具的角度来研究交通系统时,就会把交通系统划分为轨道交通、汽车交通、自行车交通、步行交通等;当我们从出行者的角度来研究交通时,就可能会把交通系统划分为上班出行、上学出行、购物出行、娱乐出行等。凡此种种,不一而足。

交通系统非常复杂,尤其是城市交通系统,我们很难用某种或某几种简单的方法表达或说明系统间的复杂关系。图 1-1 是城市交通系统各要素关系图,其中城市在其规划建设阶段就已经从总量上决定了交通需求和交通供给两大要素。在该阶段,规划者将根据城市的人口规模、经济水平和人们的社会活动特征等规划城市的用地规模、用地性质、用地强度和用地布局,这一方面决定了城市居民出行和货物流通的总量,另一方面也决定了城市的路网框架。因此,不同的土地利用特征对应着不同的交通需求特征。城市交通需求受多方面因素的影响。首先,它与城市路网结构有关。在一定的城市土地利用形态下,不同的路网结构(如棋盘状、放射状、放射与环路相结合)对应着不同的出行效率,表现在路网交通流状态上,即为不同的交通需求总量。其次,交通需求还与交通政策相关。在出行需求一定的情况下,不同的交通政策(如公交优先政策、限制私人小汽车政策等)将带来截然不同的交通需求。再次,交通结构(地

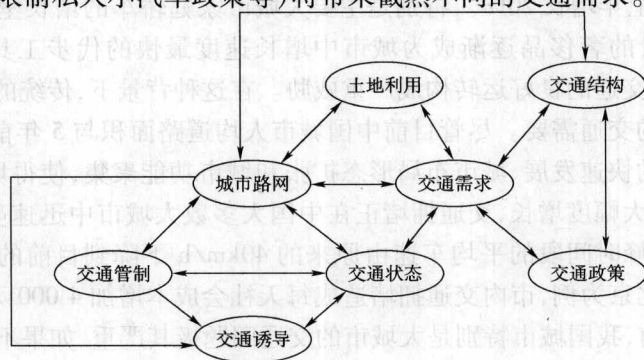


图 1-1 影响城市交通的要素关系图



铁、轻轨、公共汽车、自行车、小汽车等各种方式出行比例)对交通需求也有着重要的影响。研究表明,合理的交通结构会大大降低交通需求。实际上,交通需求、交通结构和交通政策之间相互作用,对城市交通状态产生着重要影响。城市路网、交通需求、交通结构综合作用便产生了城市交通流。交通流在交通组织、交通控制和交通诱导的支配和作用下,便构成了路网交通流状态。在这里,借助路网信息和交通状态信息所进行的交通组织、控制和诱导,对交通流运行效率起着重要作用,进而影响城市交通需求。城市路网交通状态最终要影响甚至改变城市土地利用。

从上例足以看出,交通系统极其复杂,甚至很多系统关系很难量化表达。但交通系统并不是不可以认识的,我们总可以通过各种手段不断地揭示和描述系统的运行规律,评价系统运行效果,确定改善系统方案,最终达到改善系统的目的。

1.1.2 交通问题

在交通系统中,还存在着许多问题,其中效率、安全、环境、能源等问题尤为突出,是当今社会急需解决的问题。

交通运输系统的目的在于快速、高效地实现人、货、车的空间移动。以城市交通为例,汽车的出现和汽车工业的发展,使整个交通运输格局发生了巨大变化,极大地推动了人类社会的进程。然而,事情总是一分为二的。现代交通工具也是一把“双刃剑”,它在提高人们生活水平的同时,也带来了各种各样的城市交通问题。随着经济的发展,汽车保有量的急剧增加,如何降低交通的负面效应已成为全球面临的共同问题。在国外,特别是西方国家,由于经济发展起步较早,20世纪60年代时交通问题就已经非常突出,纽约、巴黎、伦敦等城市的中心街道上,平均车速每小时只有10多公里。美国德克萨斯州运输研究所对美国39个主要城市的研究结果显示,美国每年因交通阻塞造成的经济损失约为410亿美元,12个最大城市每年的损失均超过10亿美元。日本东京每年因交通拥挤造成交通参与者时间损失的价值相当于123 000亿日元。而欧洲每年因交通事故、交通拥挤和环境污染造成的经济损失分别达到500亿欧元、5 000亿欧元和50亿~500亿欧元。

在我国,随着城市经济贸易和社会活动的日益繁忙,城市交通需求也发生了前所未有的迅速增长。至2005年,全国民用汽车保有量达到3 160万辆,比2004年增长15%。其中,私人汽车1 848万辆,比上年增长20%。特别是主要大城市家庭轿车的增长呈现爆发式增长的势头,汽车已经从昂贵的奢侈品逐渐成为城市中增长速度最快的代步工具,年均增长率高达20%以上,这对城市交通的良好运转构成严重威胁。在这种背景下,传统的道路交通设施已经不能适应现代社会的交通需要。尽管目前中国城市人均道路面积与5年前相比增长了48%,但由于城市机动化的快速发展、城市布局形态扩张和城市功能聚集,使得城市交通出行总量、出行密度、出行距离大幅度增长,交通拥堵正在中国大多数大城市中迅速蔓延。尤其是北京、上海等特大城市,高峰时间段的平均车速由原来的40km/h下降到目前的20km/h,造成了严重的经济损失。以北京为例,市内交通拥堵造成每天社会成本增加4 000万元,每年的损失就达到146亿元。当前,我国城市特别是大城市的交通问题极其严重,如果不能得到有效解决和根本治理,必将对我国经济的持续、快速、健康发展构成严重威胁。

交通拥挤不仅带来了交通系统的服务水平下降、交通延误增加、行车速度降低、出行时间

大幅度增加等直接危害,还导致了交通事故频繁、能源浪费严重、汽车尾气排放量增大、环境恶化等诸多问题。而交通事故的发生往往又使交通阻塞加剧,形成恶性循环。据统计:北京市来自汽车排放尾气中的一氧化碳、碳氢化合物、氮氧化物分别占北京大气污染物的63%、73%和50%,是北京大气中的主要污染源。20世纪90年代,北京市303条主要监测路段的交通噪声平均值一直处于72dB左右,高于国家标准。

1.1.3 交通系统分析意义

采用科学的方法对交通系统进行分析,对于解决交通问题具有重要意义。

1. 为交通系统规划提供依据

交通系统分析为交通系统规划提供必要的理论依据。例如,在城市道路网规划中,要预测规划期内的交通需求、交通分布和居民的出行方式分担比例,从而计算出各条道路上分配的交通量,确定交通需求,并依此设计道路。

2. 为交通设施设计及改造提供依据

交通系统分析为设计新的交通设施或改造原有交通设施提供理论依据。例如设置标志牌(如限速标志、停车标志等)要考虑路段上车流的行驶速度、驾驶员的反应速度等,从而确定标志的形式、文字的大小、布设的位置等;在决定交叉口是否设置信号灯时,需要考虑交叉口交通量的大小、冲突情况等;在决定是否要设置行人过街按钮灯时,需要考虑行人交通量的大小、分布和机动车流量大小及其分布规律等。这些交通设施的设计及改造都离不开交通系统分析。

3. 为交通管理提供依据

交通系统分析可以为交通管理提供依据。例如,有些城市通过停车收费来调整交通需求,而收费价格就要运用供求关系理论经定量分析而定;又如,在信号交叉口配时设计时,各项配时参数(信号周期、绿灯时长、黄灯时长、全红时间等)需要根据交通流规律、交叉口几何形状等经定量优化获得。应该说,没有科学的具体分析,就难有科学的管理。

4. 为交通政策和法规的制定提供依据

交通系统分析可以为制定交通政策和法规提供理论依据。例如,在发达国家确定公共交通票价时,要运用价格需求弹性理论来分析票价的涨跌对乘客的影响,进而分析对私人小汽车使用量的影响。有的国家根据这些分析的结果来制定和修订交通政策,优先发展公共交通,使城市交通大大改善。

综上所述,交通规划、交通设计、交通管理、交通政策制定等各个方面都离不开交通系统分析。

1.2 交通系统分析的过程

交通可以被看作一个系统,当然可以运用系统论的方法来进行研究,从系统工程的角度来探讨交通运输系统的描述、优化、决策等问题,这些在相关的教科书中有详细介绍,不是本教材的重点。本书把交通系统的各子系统作为研究对象,给出描述、分析、优化和评价各研究对象的理论和方法体系。



1.2.1 交通子系统的界定

在交通子系统界定时,需要注意以下几个问题:

1. 范围要适当

交通系统包含很多要素,其相互关联关系很复杂,任何管理者、设计者、规划者等均不可能也无需对系统的任何要素都进行分析、优化等。通常,不同研究人员会从自身对系统的要求出发,对需要研究的子系统进行一个界定。系统界定过程中需要合理地确定子系统的范围。如果子系统范围划分不当,将给系统分析、优化、决策等带来一定的困难。若系统范围过小,则不能对研究的问题有一个全面的了解,不能从根本上解决系统存在的问题;若系统范围过大,则在系统分析、优化过程中需要考虑过多的与系统问题无关的因素,将会浪费一定的人力、物力和财力。

2. 要素要关联

交通子系统往往又由很多要素所构成,要素之间具有一定的关联性。子系统确定过程中需要分析哪些要素与所要解决的问题相关,找多少个关联要素比较合适,如何来找这些关联要素。在确定关联要素时,应该找出那些与解决问题的主要矛盾有关的要素。与主要矛盾相关性越大的要素,越应该首先被划入子系统的考虑范围内。

3. 关系要清楚

在界定子系统时,应该明确构成该系统的各个要素之间的关系,只有明确了要素间的关系,才能对系统有一个准确的认识和把握,能够有助于寻找系统存在的问题。

1.2.2 发现问题

当新建或改建交通子系统时,可以通过分析系统来发现其中存在的问题。寻找系统存在的问题时,可以从三个角度来考虑:

1. 定性分析

定性分析问题指的是从定性的角度来把握系统问题的方向。比如,改建一条城市道路,定性分析应该明确道路改建后是一条什么等级的道路,应该满足一个什么样的交通需求。

2. 定量分析

定量分析问题指的是通过建立描述问题的数学模型来明确表达系统问题的一些具体指标。比如,改建道路后设计交通量应该达到多少,设计车速应该在什么范围内等。

3. 结论

将定性分析与定量分析相结合,综合各方面的研究结果找到系统问题中的关键要素,对系统问题给出一个明确结论。

1.2.3 寻找根源

在明确了系统问题之后,需要寻找出现该问题的原因。通过分析比较,找到是哪些因素引起了系统出现问题以及这些因素对系统的影响程度,找到对系统影响最大的因素,该因素即为产生系统问题的根源。明确了系统问题的产生根源,有助于找到解决系统问题的最优方法和最优设计方案。寻找问题的根源可以从以下三个方面进行。

1. 确定问题的层次

通常,系统存在的问题不止一个,而且相互之间可能有联系,一个问题可能衍生出其他的问题。这样,在寻求问题的根源时,就需要对这些问题进行层次划分。有了层次关系,就能够确定每个问题在系统中所处的地位,从而找到对系统影响最大的问题,即根本问题。

2. 明确问题关系

在明确了各种问题的层次关系之后,需要进一步确定各个问题与根本问题之间的关系,进而确定解决根源问题应该从哪些问题上着手,从而为问题的解决寻求可行方案。

3. 抓住主要问题

明确了问题之间的关系及各个问题在系统中所处的位置之后,首先要解决的是系统的主要问题。对系统而言,主要问题不一定是最大问题,最大问题也不一定是主要问题。系统问题的解决不在于最大问题的解决,而在于主要问题的解决。在解决主要问题过程中,该问题有时不一定要在模型中得到体现,但一定要在思想上得到体现。

1.2.4 给出方案

在系统分析过程中,应该按照以下三个步骤来确定方案。

1. 提供备选方案

系统分析过程中,往往需要给出几种具有可比性的替换方案,称这些方案为备选方案。在寻找备选方案时,如果一种方案明显劣于其他的方案,则该方案不能被作为备选方案。

2. 优选备选方案

在确定备选方案之后,应该针对问题的特殊性选择适合解决该问题的优化方法,从备选方案中得到具有可比性的几种优化方案。所选择的优化方法必须具有针对性,能够为优化系统提供可靠的工具。

3. 确定最优方案

在提出系统优化方案后,应该对优化方案进行评价,其评价结果可以作为决策依据。决策依据的确定取决于决策目标的制定。针对不同问题需要追求不同的决策目标,由决策目标即可确定决策依据,从而确定最优方案。

1.3 交通系统分析方法

1.3.1 系统描述方法

系统分析的首要任务是对系统进行一个定性或定量的描述,以便清楚地了解系统的各方面属性。从描述系统的手段来看,描述系统的方法主要包括以下四类。

1. 逻辑模型

根据系统要素之间的逻辑关系,建立描述系统要素的逻辑模型。该类模型是一些抽象模型。

2. 物理模型

按照比例尺建立描述系统的一个实体模型,该类模型能够形象地反映系统的各方面要素,



如形状、结构、尺寸等。

3. 数学模型

通过数学方法建立描述系统要素之间定量关系的模型。该类模型是一些具体模型。比如,描述居民出行分布的重力模型等。

4. 仿真模型

借助计算机技术建立模拟交通系统运行的模拟模型。该类模型通过一定的规则使用计算机来重现系统的演化过程。比如,模拟车辆跟驰行为的元胞自动机模型。

1.3.2 系统优化方法

系统分析的目的是找到使得系统达到最优目标的方案或策略。系统优化方法在系统分析中具有举足轻重的作用。这里介绍三种常用的系统优化方法。

1. 逻辑判断法

通过对不同系统方案进行逻辑判断来确定系统最优方案的方法被称为逻辑判断法。由于该方法缺少定量指标,很难确定方案之间的优劣,尤其当逻辑判断认为两种方案接近时,更是难以实现系统的择优。此外,该方法会较多地受到人为主观因素的影响。因此,该方法在系统优化中并不常用。通常,首先通过逻辑判断法剔除那些明显不能实现优化的方案,然后再运用定量的方法来最终确定最优方案。

2. 数学优化法

通过数学模型来获得系统的优化目标值,根据目标值的大小来确定系统的最优方案。由于该方法能够给出具体的目标值,从而可以确定唯一的最优方案,而且可以减少人为主观因素对系统决策的影响。因此,该方法比较常用。根据数学模型的具体形式,数学优化方法又分为很多种,例如,线性规划、网络图优化方法等。

3. 智能优化法

借助计算机通过智能算法来优化系统的方法称为智能优化方法。根据算法设计思想的不同又分为很多种类,如神经网络、遗传算法和蚂蚁算法等。

1.3.3 系统评价方法

在对系统进行优化之后,需要根据某些指标来对系统性能进行评价,以便为系统决策提供更直观的判断依据。系统评价方法包括对比评价法和数学评价法。

1. 对比评价法

在对比分析不同优化方案的各项指标基础上,通过对每种方案各项性能优劣的综合分析来获得对方案的整体优劣评价,为系统决策提供最终依据。对比评价法是一种定性比较法,经常需要与定量评价法相结合来实现系统的综合评价。

2. 数学评价法

通过建立数学模型来实现系统各项性能的综合评价。这类方法是定量评价法,通过要素之间的关联关系建立性能指标的数学模型,从而实现系统的整体评价。常用的数学评价法主要包括层次分析法、模糊综合评判法、系统聚类分析法等。

1.4 交通系统分析的内容

交通系统分析研究内容非常广泛,本书根据交通工程专业本科生应掌握和了解的相关知识,主要选择以下几方面内容进行介绍。

1. 交通参数分析

主要为分析、描述交通流特性的各种参数。交通流特性是指交通流运行状态的定性、定量特征。用来描述和反映交通流特性的物理量称为交通参数。交通参数分为宏观参数和微观参数。其中宏观参数用于描述交通流作为一个整体表现出来的特性,包括交通流量、速度和密度;微观参数用于描述交通流中车辆之间彼此相关的运行特性,包括车头时距和车头间距等。该部分主要介绍交通流参数的统计分布特性、道路通行能力和延误。

2. 交通系统供求关系分析

主要是分析交通系统供给与需求之间的关系。交通系统供求分析包括交通资源供应和交通量对交通资源的需求两方面内容。随着交通量的不断增长,道路资源显得更加紧张,这种供求矛盾日益突出。交通系统供求分析就是对交通需求和交通供给进行理论分析,寻找解决供求矛盾的方案。

3. 交通系统状态分析

主要是描述、分析交通流处于何种状态。交通系统是一个包含人、车、路、环境等多种因素的复杂系统,交通系统状态主要是指交通流状态。用于交通系统状态分析的理论主要有排队理论、跟驰理论、连续流理论、交通波理论和时空特性理论,运用这些理论可以分别从微观和宏观两个层面,时间和空间两个维度上对交通流状态进行描述和分析。交通系统状态分析是交通系统评价、优化的基础。

4. 交通系统优化

主要介绍优化交通系统的各种方法。对交通系统分析的目的,是要最终实现交通系统的最优化。而交通系统最优化,就是应用最优化理论和方法,对备选方案进行优化分析,找出最优方案。系统优化的方法很多,随所建立的模型的不同而不同,如网络规划中有最短路问题、最大流问题、最小费用最大流问题等。该部分将给出交通系统优化的一些基本方法。

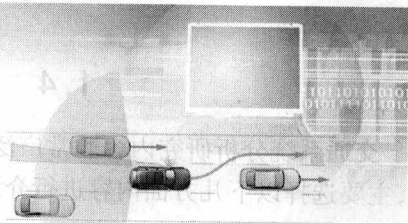
5. 交通系统评价

主要介绍评价交通系统运行质量的各种指标和方法。在系统分析时,为实现某一系统的目的或目标,往往可建立多个备选方案。系统评价就是要对各备选方案进行综合评价,以便获得最佳方案。该部分介绍系统评价的一些常用方法。

6. 交通系统模拟

主要介绍交通系统模拟的各种方法、模型及常用软件。交通系统是一个复杂、动态、随机的系统,具有不可重复性和不可实验性。模拟分析方法以理论模型为基础,兼顾实测参数以及交通状态的随机性特点,使得分析过程更切合实际,同时该类方法具有良好的交互性。

第2章 交通参数



交通流特性是指交通流运行状态的定性、定量特征。用来描述和反映交通流特性的物理量称为交通参数。交通参数分为宏观参数和微观参数。其中宏观参数用于描述交通流作为一个整体表现出来的特性,包括交通流量、速度和密度;微观参数用于描述交通流中彼此相关的车辆之间的运行特性,包括车头时距和车头间距等。本章主要介绍交通流参数的统计分布特性、道路通行能力和延误。在介绍这些内容时,侧重于基本理论和基本概念的阐述,不强调其数学或物理推导过程。

2.1 交通流基本参数特性

在编制交通规划或设计新的交通设施、确定管制方案时,需要预测交通流的某些具体特性,并且希望能使用现有的数据或假设的数据进行预测。统计分布模型可以使交通技术人员用少量的资料得出确切的预测结果,本节在统计特性分析的基础上,对交通流基本参数的关系模型进行详细介绍。下面对有关参数的定义进行介绍:

(1) 交通量:又称流量,是指单位时间内通过道路(或道路上某一条车道)指定地点或断面的交通实体数(对于机动车而言就是车辆数)。

(2) 地点车速:又称瞬时车速,是车辆通过某一地点的瞬时车速。

(3) 行程车速:又称区间车速,是车辆行驶路程与通过该路程所需的总时间(包括停车时间)之比。

(4) 最佳车速:是指道路通行能力达到最大时的车速。

(5) 时间平均速度:是指在一定时间内,通过道路某一地点的所有车辆地点速度的算术平均值。

(6) 区间平均速度:是指某路段的长度与通过该路段所有车辆的平均行程时间之比。在数学上,区间平均速度是通过路段的所有车辆行程速度的调和平均值。

(7) 交通流密度:是指某一瞬间,道路上单位长度存在的车辆数。

(8) 车头间距:是指一条车道上前后相邻两辆车的车头或者车尾之间的距离。

(9) 车头时距:是指前后两辆车的车头或者车尾通过车道上某一点的时间差。

2.1.1 交通流基本参数的统计分布

车辆的到达具有随机性,描述这种随机性的方法有两种:一种是离散型分布,研究在一定时间内到达的交通数量的波动性;另一种是连续型分布,研究车头时距、车速等交通流参数的

统计分布。本节将详细讨论泊松分布、二项分布及负二项分布三种离散型分布和负指数分布、移位负指数分布、爱尔朗分布及韦布尔分布四种连续型分布。

一、离散型分布

离散型分布常用于描述一定的时间间隔内事件的发生数,如在一定的周期内到达的车辆数或一定长度路段上分布的车辆数。它是考虑在固定长度的时段内到达某场所的交通数量的波动性。常见的离散型分布主要有三种:泊松分布、二项分布、负二项分布。

1. 泊松分布

1) 基本公式

$$P(k) = \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{k!} \quad (k=0,1,2,\dots) \quad (2-1)$$

式中: $P(k)$ ——在计数间隔 t 内到达 k 辆车的概率;

λ ——单位时间的平均到达率或单位距离的平均到达率;

t ——间隔时间或间隔距离;

e ——自然对数的底,取值为 2.718 28。

若令 $m = \lambda t$ 为在计数间隔 t 内平均到达的车辆数,则式(2-1)可写为:

$$P(k) = \frac{m^k e^{-m}}{k!} \quad (2-2)$$

当 m 已知时,应用式(2-2)可求出在计数间隔 t 内恰好有 k 辆车到达的概率。除此之外,还可计算出如下概率值。

到达数小于 k 辆车的概率:

$$P(< k) = \sum_{i=0}^{k-1} \frac{m^i e^{-m}}{i!} \quad (2-3)$$

到达数小于等于 k 的概率:

$$P(\leq k) = \sum_{i=0}^k \frac{m^i e^{-m}}{i!} \quad (2-4)$$

到达数大于 k 的概率:

$$P(> k) = 1 - P(\leq k) = 1 - \sum_{i=0}^k \frac{m^i e^{-m}}{i!} \quad (2-5)$$

到达数大于等于 k 的概率:

$$P(\geq k) = 1 - P(< k) = 1 - \sum_{i=0}^{k-1} \frac{m^i e^{-m}}{i!} \quad (2-6)$$

到达数至少是 l 但不超过 n 的概率:

$$P(l \leq i \leq n) = \sum_{i=l}^n \frac{m^i e^{-m}}{i!} \quad (2-7)$$

用泊松分布拟合观测数据时,参数 m 按下式计算:

$$m = \frac{\text{观测的总车辆数}}{\text{总计间隔数}} = \frac{\sum_{j=1}^g k_j f_j}{\sum_{j=1}^g f_j} = \frac{\sum_{j=1}^g k_j f_j}{N} \quad (2-8)$$

式中: k_j ——计数间隔 t 内到达的车辆数或第 j 组的中值;



f_j ——计数间隔 t 内到达 k_j 辆车这一事件发生的次(频)数;

g ——观测数据中不同 k_j 的分组数;

N ——观测的间隔总数。

2) 递推公式

$$P(0) = e^{-m}$$

$$P(k+1) = \frac{m}{k+1} P(k) \quad (2-9)$$

3) 适用条件

车流密度不大,车辆间相互影响微弱,即车流是随机的,此时应用泊松分布能较好地拟合观测数据。在概率论中,泊松分布的均值 M 和方差 D 均等于 λt ,因此当观测数据的方差 S^2 和均值 m 之比近似等于 1.0 时,泊松分布适用。 S^2 可按下式计算:

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (k_i - m)^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^g (k_j - m)^2 f_j \quad (2-10)$$

4) 例题

【例 2-1】 某信号交叉口的周期 $c = 97\text{s}$,有效绿灯时间 $g = 44\text{s}$ 。在有效绿灯时间内排队的车流以 $v = 900\text{veh/h}$ 的流率通过交叉口,在绿灯时间外到达的车辆需要排队。设车流的到达率为 $q = 369\text{veh/h}$ 且服从泊松分布,求到达车辆不至于二次排队的周期数占周期总数的最大百分比。

解: 由于车流只能在有效绿灯时间通过,所以一个周期能通过的最大车辆数 $A = vg = 900/3600 \times 44 = 11$ 辆,如果某周期到达的车辆数 N 大于 11 辆,则最后到达的 $N - 11$ 辆车要发生二次排队。泊松分布中一个周期内平均到达的车辆数:

$$m = \lambda t = qc = \frac{369 \times 97}{3600} = 9.9$$

查泊松分布表可得,到达车辆数大于 11 辆的周期出现的概率

$$P(>11) = 0.29$$

因此不发生两次排队的周期的出现概率为 $1 - P = 71\%$ 。

本例的车流如果按每周期 10 辆均匀到达,则任何车辆最多在本周期排一次队就能通过交叉口,实际车流的到达是时疏时密的,使绿灯时间不能充分利用。这样,从平均角度看来每周都能顺畅通过的车流实际上却会遇到一些不顺畅的周期,从中可以看出概率分布的理论和方法可以揭示车流运行的内在规律。

2. 二项分布

1) 基本公式

$$P(k) = C_n^k \left(\frac{\lambda t}{n} \right)^k \left(1 - \frac{\lambda t}{n} \right)^{n-k} \quad (k=0, 1, 2, \dots, n) \quad (2-11)$$

式中: $P(k)$ ——在计数间隔 t 内到达 k 辆车的概率;

λ ——平均到达率;

t ——每个计数间隔持续的时间或距离;

n ——正整数。

其中: