

摘 要

城市可持续发展的要求和交通智能化、信息化的大环境改变了传统的静态交通理论框架,赋予了城市车辆停放研究全新的内涵。采用停车诱导信息系统(以下按英文名简称为PGIS),可以制约并引导停车供需的活动,从而提高停车决策管理的有效性,给城市环境和交通行业共同带来可观的经济效益和社会价值。本文依托国家自然科学基金资助项目“新形势下城市车辆停放关键方法研究”(编号:50308005)开展研究。

作者比较全面地概述了国内外PGIS研究、实践的历史和最新动态。论文简要归纳了PGIS内部的结构组成和基本要求;根据驾车者信息需求的特点和信息发布接收的所在位置,将PGIS划分为出行前和出行途中两个传输显示子系统(分别简称为“出行前子系统”和“出行中子系统”)。

作者以包括问询和现场观测记录方法在内的4项调查为基础,开展停车行为特征及驾车者对PGIS的反应行为特征研究,获得了一批有参考价值的结论,为出行前子系统和出行中子系统的框架构建、功能设计和相关模型研究提供直接的数据支持和理论前提。

论文建立了出行前子系统的框架结构,提供了利用互联网、通信技术和媒体等不同渠道分别传输发布出行前停车信息的具体功能设计。然后以“驾车者使用最便利、可达性最强、出行停放成本最低”为目标,选取停车场至目的地步行距离、停车收费价格、出行至停车场的行程时间这3项可定量指标作为优化参数,提出了约束型多目标智能停车选择模型;采用分等级优化的启发式搜索算法求解。对于可行解集包含的选择方案不止一个的情况,本文引入自评判模糊综合决策和简化决策两种评价方法排序,向用户推荐解集的最优选择。通过自编软件运行东莞市的计算实例,证明该模型、算法和评价方法具有实用性。

本文构建了面向用户的多渠道、多层次出行中子系统框架;探讨了车载设备的显示屏界面设计及其与道路可变信息板之间的双向传输;设计了集群移动通信系统的作用效果;着重研究了停车分区、停车小区和目标停车场3级停车诱导模式下,道路可变信息板标准化结构配置的显示式样和内容的优化设计。

作者应用排队论原理和“生灭过程”状态方程,以停车高峰时段单独的车辆停放和某停车设施的使用特性作为研究对象,将目的停车场视作可互通的多服务通道损失制系统,采用服从泊松分布的单位时间车辆到达率和服从负指数分布的车辆平均停放时间,建立了出行中车辆从接收信息处到达目的停车场的停放接受条件模型。从道路交通状况受多因素影响的复杂性出发,采用范围域的车辆行程时间表达式,推导出各项主要指标的计算公式。

本文定义了停车分区和停车片区的概念,论述了停车小区、停车分区和停车片区的划分原则以及定量标准建议值。基于宏观调控城市全局的静态交通分布,提出了不对等信息显示的停车预调度思想,即根据具体的停车供需状况在城市主要区位不同方向的诱导显示板上分别发布不完全相同的停车显示信息组合,用于从实际上预先诱导驾车者分散选择停车场。模型的研究从车辆到达率高和日常泊位饱和度大的热点停车场入手。将车辆行程时

间和停车场泊位饱和度作为停车阻抗,参照 Logit 模型确定驾车者的停车选择意向,以总行程时间最小建立了目标函数。笔者具体研究了阈值规定和自由组合寻优两种方法,分别确定了约束条件,对前者采用直接迭代算法,为后者设计了遗传算法。通过调用编制的对应软件,在算例应用中体现了不对等信息显示的停车预调度模型比传统的相同信息显示方法具有优越性,其中自由组合寻优法效果最佳。

作者还提出了停车片区停车调度的设想。其初衷在于当首选停车场无法提供服务时,利用 PGIS 引导部分车辆驶往该停车场所在停车片区内具有空余泊位的合适的次选停车场。不对等法的停车预调度内容是针对首选停车场的分配而言,可视为前奏和基础;停车片区停车调度是前者的补充和延伸,二者相辅相成。以首选停车场和备选停车场的平面距离最小为目标函数、在泊位饱和度和车辆接受停放概率等约束条件下,建立了停车片区停车调度模型,设计了结合作图法的两层次搜索算法。由于可行解很可能不止一个,为帮助驾车者现场判断和停放选择,采用模糊优选评价方法给解集各元素排序。模型和算法在东莞市的计算实例中应用很成功。

本文建立了 PGIS 的 4 级技术评价综合体系。通过适应性分析,对模糊综合评价模型和层次分析法模型取长补短,应用前者确定评价体系的指标值,应用后者在同层级间两两比较确定评价指标(因素)的权重值,采用二次收敛原理,组合成 FAHP 评价模型。该模型充分体现了系统与单项、定性与定量分析相结合的思想。

最后,进行成果总结并展望了未来的研究方向。

关键词: 停车诱导信息系统; 出行前子系统; 出行中子系统; 停车行为特征及驾车者对 PGIS 的反应行为特征; 智能停车选择模型; 车辆停放条件接受模型; 停车分区; 不对等信息显示; 停车预调度模型; 停车片区停车调度模型; 技术评价综合体系; FAHP 评价模型

Abstract

Traditional static traffic theory frame is changed in the environment of intelligentized and communicated transportation according to the concept of city continual development. Study on vehicles parking in cities is renewed. If parking guidance and information system (it will be shortened form "PGIS" hereinafter) is introduced into cities, parking supply and demand will be restricted and inducted. Consequently, validity for parking management will be improved. At the same time, considerable economical benefit and society value will be brought to both cities environment and transportation vocation. Research work in this paper rely on item "research on key means about vehicles parking in cities under new posture" (its serial number : 50308005) which is staked by nation natural science fund.

The history of research and practice on PGIS and its popular trends whether in homeland or overseas are summarized roundly in this paper. PGIS inner configuration and basic requirement are briefly summed up. On the basis of information which drives demand on and position for issuing and receiving, PGIS is divided to two transmission and vision subsystems (they will be shortened form "before-trips subsystem" and "in-trips subsystem" separately hereinafter) in term of before or in trips.

In this paper, four kinds of surveys are designed and they are carried into execution with enquiry and observation on the spot means. On the basis of these surveys, parking behavior characteristic and drives' reaction behavior characteristic to PGIS are researched. Thus, a set of consultable conclusions are gained. These conclusions can supply direct datum support and academic precondition for before-trips subsystem and in-trips subsystem. Then, frame and function and correlative models of two subsystems are investigated.

In this paper, the framework of before-trips subsystem is set up. Material function design to transmit parking information through internet, communication technology and media before trips is offered. Then, three aspects include most convenient utilization for drivers, easiest to reach, least parking cost, are as objects. Contemporarily, three indexes which can be fixed quantify consist of the step distance from parking lots to destination, parking cost, journey time from origination to parking lots, are selected to be optimization parameter. Henceforth, restriction multiple objects and intelligent parking choice model is brought forward. Heuristic search arithmetic which is optimized according to gradation is adopted to solve the model. When the number of chosen projects which are contained in feasible solution aggregates beyond 1, in this paper, two kinds of evaluation compositor methods include fuzzy self-judgment comprehensive and simplified decision-making are introduced in order to recommend most perfect solution selection to users. After dongguan is as a calculated example with software which is organized by

author, the model and its arithmetic and evaluation methods are testified to have practicability.

The framework of in-trips subsystem is also set up in this paper. Vision interface design for equipment in car and bidirectional transmission between it and variable message sign are discussed. Effect on trunking communication is devised. With three grades guidance mode include parking sub-area, parking small region and destination parking lot, Optimizations for display patterns and contents of road variable message sign standardization configuration are emphasized in the part of research work.

Queue theory and living or ruined process state equation are applied in this paper. Individual vehicle parking in peak hour and a certain parking facility characteristic are looked as research objects. Destination parking lot is regarded as multiple served passages which are open each other among them and loss system. In the system, vehicle arrival rate submits to Poisson distribution in unit time and average vehicle parking period submits to negative exponent distribution. Thus, parking acceptance condition model from the spot where received information to destination parking lot in trip is established. Since road transportation status is affected under many factors, vehicle journey time expression with range form is adopted to deduct every primary index formulas.

In this paper, the concept of parking sub-area and parking piece area are defined. Then, the principle how to carve up parking small region, parking sub-area and parking piece area, and advice numerical value which is used for quantitative standard are dissertated. On the basis of static state traffic distribution which is considered to adjust and control whole city status, parking pre-schedule idea which is showed with non-opposite information is put forward. In term of material parking supply and demand status, it will separately issue parking information combination which is perhaps distinct on guidance boards in primary city entrances and districts. Thus, drivers will be practically leded to select different parking lots in advance. Model research work started with hot parking lot where vehicles arrive percentage is high and parking space saturation is large in peacetime. Vehicles journey time and parking space saturation are regarded as parking resistance factors. Drives' parking choice intent is confirmed with Logit model. Object function is set up on the condition that overall journey time is least. After restriction conditions have been confirmed, two types of methods include prescribed threshold and optimization with freedom combination are researched in this paper. Direct iterative arithmetic is applied for the former and genetic algorithm is designed for the latter. After a calculated example is running with corresponding software which is organized by author, the pre-schedule model which is showed with non-opposite information is found to be advantageous over traditional information vision method. The effect of optimization measure with freedom combination is best among them.

The assume about parking schedule in parking piece area is brought forward in this paper. When parking serve can't be offered in chief parking lot, part vehicles will be leded to

appropriate secondary parking lot where can provide with empty parking spaces in same parking piece area through PGIS. Parking pre-schedule idea with non-opposite information aims at distribution for chief parking lots. It can be looked as preparation and basic work. The quality of parking schedule in parking piece area follows the former and belongs to makeup and extension. They supple each other. Model object function seeks for minimum plane distance between chief and secondary parking lot. After restriction conditions such as parking spaces saturation and vehicles parking acceptance probability have been fixed on, parking schedule model in parking piece area is set up. Two hierarchies search algorithm combined with illustration measure is designed. Since number of feasible solution is perhaps beyond one, fuzzy optimization selection and evaluation method is adopted to compositor for every factor in solution aggregates. This can help drivers to judge on the spot and select parking. When model and algorithm are applied for the example of dongguan, they are proved to be successful.

In this paper, 4 classes technological evaluation comprehensive system for PGIS is established. With adaptability analysis, fuzzy comprehensive evaluation model learned from analytical hierarchy process model's strong points to offset its weakness. The former is applied to make certain numerical value of indexes in evaluation system, and the latter is used to confirm weight value of every evaluation index after they have been compared each other in an identical class. Twice convergence theory is introduced to form FAHP evaluation model. It fully materializes the idea that system combined with single item and qualitative analysis combined with quantitative analysis.

In the end, all conclusions are summarized and research directions in the future are prospected in this paper.

Key words: Parking Guidance Information System; Before-trips Subsystem; In-trips Subsystem; Parking Behavior Characteristic and Drives' Reaction Behavior Characteristic to PGIS; Intelligent Parking Choice Model; Vehicle Parking Acceptance Condition Model; Parking Sub-area; Non-opposite Information Vision; Parking Pre-schedule Model; Parking Schedule Model in Parking Piece Area; Technological Evaluation Comprehensive System; FAHP Evaluation Model

东南大学学位论文独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得东南大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

研究生签名：周智勇 日期：2004.12.28

东南大学学位论文使用授权声明

东南大学、中国科学技术信息研究所、国家图书馆有权保留本人所送交学位论文的复印件和电子文档，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。本人电子文档的内容和纸质论文的内容相一致。除在保密期内的保密论文外，允许论文被查阅和借阅，可以公布（包括刊登）论文的全部或部分内容。论文的公布（包括刊登）授权东南大学研究生院办理。

研究生签名：周智勇 导师签名：周 日期：2004.12.28

第一章 绪论

1.1 课题研究背景

机动车在“停”和“行”两种状态之间必居其一。静态交通是动态交通的端点，动态交通是静态交通的延续，两者是构成交通现象不可分割的对立统一体。静→动→静，形成了链状循环的城市交通基本运行结构。据统计，机动车处于“静止”状态的时间远多于“运动”状态，两者的比例大约为 7:1^[1]。动态交通需要车行道空间，静态交通需要车辆停放空间，作为车辆安身之处的停车场所与车行道在交通中具有同等重要的地位。

改革开放以来，特别是近 10 年来，我国国民经济的飞速发展加剧了城市化、工业化进程，出行需求的增加和生活水平的提高推动了小汽车进入家庭的步伐，居民出行方式的机动化趋势日益显著。虽然从 1996 年开始，中国城市的停车设施有了较快的发展^[1]，但与呈几何级数不断增长的停车需求相比，存在着明显的供应缺口，这使得很多城市的静态交通矛盾凸现。截至 2002 年底，南京的 658 个公共收费停车场共拥有 24570 个泊位，而同期的机动车保有量已达 42.98 万辆，其中民用汽车 17.39 万辆^[2]；广州到 2002 年止共建有约 28 万个泊位的 2790 个停车场，总的市区停车需求却已超过 50 万；据深圳 2002 年统计，特区内共拥有小汽车泊位 16 万个，同期本地需求泊位却已达 21 万^[3]。本文的泊位数均以标准小汽车（pcu）计，不同类的机动车辆可采用下表 1-1 的车种系数换算。

表 1-1 公共停车场（库）机动车辆种换算系数表^[4,5]

机动车种类	微型汽车	小汽车	中型汽车	大型汽车	铰接车	三轮摩托车	二轮摩托车
换算系数	0.7	1.0	2.0	2.5	3.5	0.7	0.1

中国加入 WTO 和北京成功获得 2008 年奥运会举办权，给国内城市带来新世纪发展机遇的同时，也面临着未来的挑战。可以预见，随着城市经济实力的提升，停车需求将进一步增加。

城市可持续发展的要求和交通智能化、信息化的大环境无疑改变了传统的静态交通理论框架，赋予了城市车辆停放研究全新的内涵。本论文将依托东南大学交通学院交通工程研究所王炜教授课题组陈峻副教授主持的国家自然科学基金资助项目“新形势下城市车辆停放关键方法研究”^[6]（编号：50308005）开展研究工作。

1.2 课题研究目的和意义

国内经济较发达的城市机动车保有量总体上都远超出现有的泊位数；但另一方面，却经常出现市内部分停车场昼夜车满为患、处于相同区位的某些停车场却长期门前冷落的“奇怪”现象。究其原因，除了停车设施类型、布局不足的客观条件和驾车者自身选择偏爱等主观因素外，不可否认一定程度上是相当数量的停车设施缺乏明显的诱导标志，没有可靠的信息渠道向驾车者提供停车资源状况所造成的。如何采用以信息技术为代表的发达的现代科学手段合理引导优化停车选择行为，调节停车供需趋于平衡，已成为交通运输规划与管理领域关注的热点。

停车诱导信息系统目的在于促进停车场及周边道路的有效利用，通过多种可识别方式向驾车者提供停车场的位置、使用状况、行驶路径以及相关道路交通状况等信息，诱导驾车出行者最直接有效地找到停车场。停车诱导信息系统的配置主要体现四方面的功效：

- ①减少使用者对停车场的寻找时间，减少车辆因搜索泊位产生的无效低速行驶，降低城市环境污染。
- ②减少部分道路交通流，避免由于等候或寻找停车泊位造成的无效行驶，有助于维护交通秩序。
- ③整合信息化停车资源，提高使用者便利性和停车场的使用效率。

④调节驾车出行者的车内情绪，缓解他们因寻找泊位而可能产生的焦虑急躁，减少违章停车行为，降低交通安全隐患。

机动车污染不仅受车辆数量、质量和技术水平影响，还与城市交通和道路状况密切相关。据有关研究，当小轿车车速由 50km/h 降至 20km/h 时，其排放的一氧化碳和氮氢化物将增加 50% 左右^[7]。由此可见，减少交通量及搜索泊位的低速迂回交通，可以有效降低城市环境污染。通过停车诱导信息系统，能够实现停车资源信息共享，促进不同区位、规模、类型的停车设施在时间和空间上的均衡利用；此外，可以提高包括动态交通在内的整个交通系统的运行效率，改善停车场的经营条件，发挥帮助商业区域增加经济活力等方面的重要作用。

现代化的停车诱导信息技术可以制约并引导停车需求者与停车供给者的活动，停车需求者与停车供给者的活动又反过来影响停车管理机构决策及管理的有效性。在这种相互作用过程中，促使停车诱导信息管理系统不断趋于完善，给城市环境和交通行业共同带来可观的经济效益和社会价值。

1.3 国内外研究和实践综述

1.3.1 国外理论研究进展和最新实践动态

欧洲、美国、日本从 20 世纪后期开始陆续发展 ITS (Intelligent Transportation System, 智能运输系统)，在长期的研究开发过程中，他们已成为智能运输领域的三驾马车。20 世纪 60 年代末 70 年代初出现的 ATIS (Advanced Traveler Information System, 先进的出行者信息系统)^[8,9,10]确立了交通出行信息体系，综合借鉴发达的计算机、互联网、多媒体、通信、控制、电子、地理信息系统等现代科学技术，逐步开拓形成了覆盖内容更全面、划分功能更细致的多个子系统，停车诱导信息系统就是其中之一。与 ITS 和 ATIS 所具备的基础实力相对应，国外停车诱导信息系统的研究和应用成果也以欧洲、美国、日本为先进代表者，其中德国因起步早、发展持续稳定、建设完善而尤为突出，堪称典范。由于文化背景的差异，各国的习惯称呼不完全一致，如美国使用 APIS (Advanced Parking Information System)^[11]，欧洲国家多称为 PGIS (Parking Guidance and Information System)。为便于描述，本文将停车诱导信息系统统一简称为 PGIS。

1. 国外 PGIS 实践历史和应用进展

(1) 欧洲

早在 1971 年，德国的亚琛 (Aachen) 市就建立了被公认为是世界上最早的 PGIS^[11,12,13]。当时在亚琛市主要的交叉路口对市内的 12 处停车场设置了光电显示的停车诱导标志；1980 年增加到了 40 处，诱导标志采用远距离控制^[14]。20 世纪 70 年代末英国也开始采用 PGIS。在此后的一个时期内，法国、瑞士等欧洲国家也相继建立了类似系统^[11]。

德国科隆市自从 1986 年开始操作实施 PGIS 以来，一直在进行完善和改进。1998 年装置了新型的具有艺术展示效果的标志牌，而且在贸易展览中心附近建了一座多功能控制中心，整个系统的运作由市政府交通管理中心负责。科隆市 PGIS 覆盖了整个内城中心区，总区域面积约 4.5km²，内城区域范围系统内包括 36 个大型停车场和 2 个 P+R (Parking+Ride, 停车换乘) 设施，约 17000 个停车位，设立了 110 个显示动态停车容量和 170 个方向的指示牌。以科隆大教堂为中心，将中心城区划分成 4 个小区，分别用红、黄、兰、绿 4 种不同颜色表示，每个小区面积约 1km²，较大的 1.6km²，较小的 0.8km²。系统的导向计数牌按内城区域范围分为内、外二个层次，在内城区域内，指示牌数量更多，指示诱导的信息更详尽。科隆市还设想将外围 P+R 设施的 1600 个停车位信息也纳入系统^[7]。

德国博施集团所属胡贝尔信号设备公司于 1993 年前后研制开发了 PRS2100 停车管理系统^[15]并在几个城市安装使用，取得不错的效果。该系统分为 PLS (停车引导系统) 和 P+R 系统两部分，均包括停车车位、可变标志和数据采集，可以与其他城市交通系统联网，如图 1-1 所示。PRS2100 的基本思路是把寻找停车位的汽车引导到离该车最近的空位上。可变标志通常安装在交叉路口附近。在停车换乘地，

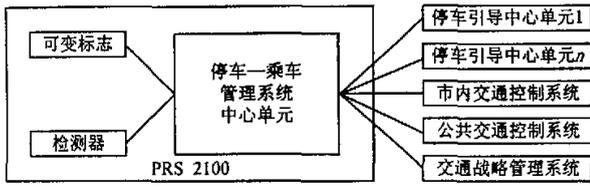


图1-1 PRS2100与其他交通系统联网框图

早晨固定发布全天各停车场停车空位的信息，从全局最优的角度管理整个区域；利用可编程的矩阵显示器通过可变标志提供各种灵活的实时信息。系统为用户提供了3类共10种信息显示方式，可以分别或组合传送停车位使用状态、从信息显示处到停车空位的距离、换乘公共交通和邻近区域可能空闲的停车位信息。

德国法兰克福的内城区1993年引进了PGIS系统，以后逐渐延伸到城郊的P+R设施^[10]。在20世纪90年代中期，德国科隆采用“描述法”设计了城市PGIS，该系统由59个VMS（Variable Message Sign，可变信息板）组成，为总容量达12000泊位的30个停车场服务；英国莱斯特的PGIS采用“规定法”设计，此系统由21个VMS组成，为总容量达5200泊位的8个多层停车场服务^[11]。

(2) 美国

1996年2月，PGIS在美国首次应用于圣保罗市商业区，曾进行为期12个月的运行测试。这个耗资120万美元的系统管理7个停车库和3个停车场，使用了56个标志牌来显示停车设施的位置和车位占用情况，其中46个是静止引导标志，10个是电子标志牌。一台中央计算机控制数据采集并把10个停车库（库）实时、更新的停车信息通过电子标志牌传送发布，驾车者根据这些信息选择了目的停车地点后，就可跟随静止引导标志抵达他所选择的停车场（库）^[11]。

(3) 日本

1973年在柏市建立了日本也是亚洲最早的PGIS^[12]。1993年4月东京建造了第一个PGIS，位于日本东京中心的新宿区PGIS结构完整，诱导功能完善，应用十分成功^[17,18]；新宿区1995年以前已经采用PGIS管理29个小汽车停车场的近6000个按时租用的泊位，在主要商业区配备了3类显示板提供动态诱导信息服务，如图1-2所示^[19]。到1995年，日本已有40个城市引进了基于VMS的PGIS，如大阪卫

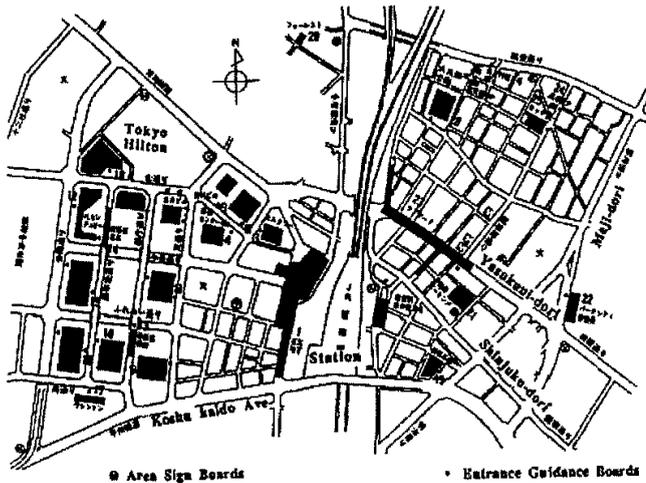


图1-2 日本东京新宿区PGIS的显示板布置图

星城Ibaraki的PGIS管理着6个公共停车场和3个私人停车场，使用两类VMS：一类称为“图形类信息板”，是在一幅可变形地图上显示各停车场的动态信息，安装在通往CBD（Central Business District，中心商务区）的主要路线上，显示“满”、“空闲”或“关闭”的状态信息；另一类称为“文字类信息板”，是通过显示停车场的名称和使用状态来引导驾车者，若某个停车场已饱和，它就在该停车场的名称后显示“满”，若某个停车场空闲，它就显示一指向该停车场名称的绿色箭头^[11]。

2. 国外停车场智能管理应用动态

国外停车场自身的智能管理研究也取得了显著进展，这类研究以停车场个体的内部使用为管理对象。发达国家在20世纪90年代中期已经建立了LINEAR停车控制系统^[20]。该系统特别适合满足停车者的要求和操作者的管理需求，易于编程，设备和元件简单、耐用、可靠、安全，数据和信息都传输给中心站计算机，所有进出口和停车收费站都是分离式智能系统的一部分，它们独立执行各自的任务，即使当中央计算机瘫痪时也能正常工作。

在德国和法国的停车场内，停车设施的科技化程度很高，车辆进出的设备一般都采用磁卡感应控制，由管理中心进行统一管理。德国科隆市在每个停车场（库）设有电脑计数器，随时感应小汽车驶入、离

开停车场的状况,并将停车场剩余的车位数据传输给市政府的交通监控中心,所有的停车场送来的信息经过交通中心综合处理后,再将这些实时数据及综合信息输送到城市街道上每块 VMS^[7]。巴黎、汉诺威、柏林等城市的停车场在入口处都设有灯箱式价格牌,标明停车收费标准;每层停车场入口都有指明有无空车位的标志,车辆进入停车场的通道,就可知道在哪可以停车;有报警求助电话,按下按钮,就可与车场管理员、调度中心、警署、救助中心直接联系^[21]。

美国纽约州伦塞拉尔工业学院的学生设计出的智能停车场系统^[22]可自动收集停车场停放车辆的信息,在停车场入口处显示出空闲车位的具體位置,提示引导驾车者将车径直开到指定泊位,从而节省了泊位搜索时间和车辆燃油消耗。

3. 国外理论研究综述

当 PGIS 的实践取得了一定的成功后,国外的学者们经过长期认真的反复调查分析,逐步深入研究停车诱导信息系统理论,总结了一批有价值的成果。总体上,发达国家的停车诱导信息理论研究跟着 PGIS 的应用步伐前进。

20 世纪 80 年代末 90 年代初开始出现了一些关于停车诱导信息的选择模型。例如,Polak 和 Axhausen (1989 年)开发的 CLAMP 模型^[23]在欧洲城市用于广泛的停车政策分析,Young (1991 年)提出的 PARKSIM 模型^[24]定位在小汽车停车场内进行停车搜寻。这些模型普遍假设驾车者可以获得完整的停车信息,不过没有涉及次优化选择决策的问题。

日本学者室町泰德(1991 年)等人利用关于停车等待时间和停车场选择的调查结果,建立了 6 个含有不同变量的停车场选择模型,用于分析停车使用的动态特征,来评价 PGIS 的引入^[25]。

澳大利亚墨尔本大学学者 Russell G. Thompson 和他的跨国合作者们是 PGIS 领域具有代表性的研究者。Thompson 和 Richardson (1998 年)建立了驾车出行者选择停车场的行为模型。他们定义了一个分层次的搜索过程,突破了前期学者们作出的驾车者在停车选择时可以获得完整信息的假设,估计了包括可达性、等待时间、直接的和出口费用在内的小汽车停车场的效用值,使用排队长度和离开率参数阐明了小汽车停车场的非确定属性,认为个体驾车者停车选择集的组成和规模由停车场的内部因素决定,更接近实际情况。该模型的处理程序有起始的知觉、以前出行的观察和当前出行的观察 3 个分离的输入来源,直到期望的收获值小于继续搜索的费用时,才中止搜索。他们采用 Logit 模型估算了不同种类停车设施被选择的可能性。驾车者停车选择时的搜索知觉与他们以前的和当前的经验相联系,但模型的应用结果表明,由于停车场内在的非确定属性,就平均水平而言,经验并没有显著影响停车场的选择效率——长期经验不一定导致更好的选择^[26]。该模型偏重于研究停车政策的影响,意图预估停车信息诱导产生的效果,不属于专门研究停车信息诱导条件下的行为内容;由于假设费用固定,没有考虑停车搜索时间的价值,未能对停车选择的安全等因素作定量描述。

Thompson 等(1998 年)在位于日本东京中心的新宿区对驾车者进行了 PGIS 的有关询问调查,另外在 Osaka 和 Utsunomiya 两个城市作了附加研究。根据调查结果,通过准平方检验和二项式 Logit 方法归类总结,他们分析出不同的个人属性(年龄、性别等)和不同的出行特征(出行目的、出行频率、出行起点、工作日或周日出行等)条件下,驾车者对 PGIS 显示板的意识、关注、理解、领会、使用会表现不同特点,二者密切相关。他们发现,除了外地车辆,很多不常出行的驾车者很少注意显示板;出行频率低的驾车者由于缺乏经验而更希望获得等待时间信息^[19]。为此,作者认为显示板的制作尺寸应较大并放置在突出的位置,显示板的内容设置应具有针对性,以满足各类驾车者对停车信息类型的期望和接受程度。但论文还没有将调查结果充分转化上升到理论高度。

Thompson、Takada 和 Kobayakawa (2001 年)在原有研究的基础上继续探索,发展了新的停车选择行为模型,通过 PGIS 的显示优化技术,使驾车者接收到停车场的预告等待时间,同时预测 PGIS 显示牌对交通系统整体运行的影响,这对于停车高需求时段有更明显的指导作用。模型假设未观察到 PGIS 显示牌的司机根据停车场实际的利用率,和接收 PGIS 显示牌信息的司机一样,都能查觉停车场的等待时间;假设机动车进入城市中心区后即使原先选择停车场的状况与最初从 PGIS 显示牌得到的信息有所差别,驾车者也不会改变停车选择。该论文仅针对路外停车场,不考虑非法停车,建立了使排队时间和车辆出行里程最小的目标函数,基于出行方式、驾车者特性、停车场属性以及 PGIS 显示牌上提供的停车泊位信息分析它们与停车场车辆到达率之间的关系;采用简化的遗传算法,显著减少了排队时间和车

辆出行距离。他们提出采用在城市不同区位的诱导显示牌上发布不同的停车信息的方法,以达到引导交通流和停车泊位利用的双重均衡,产生多种环境效益的目的;这已经在离东京以西约 50km 的 Tama New Town 的 PGIS 当中付诸应用^[27]。不过,模型假设驾车者不改变停车选择,无法专门考虑未接收 PGIS 信息的驾车者完全可能不同的行为表现。

意大利专家 Mauro Dell'Orco、Michele Ottomanelli 和 Domenico Sassanelli (2003 年)在概率论的框架内发展了数学模型,可用来考虑用户在不完全信息条件下停车选择过程中非确定性的准确程度。通过模糊集表达用户掌握的停车费用情况,采用乐观和悲观的观点区分了最佳停车选择的可能性和必然性的概念,以付费停车的价格结构、非法停车的控制区、到最终目的地距离、停车设施的拥挤水平元素构成矢量 $A(S_i)$,在提供选择的停放和选择的概率之间进行比较,按照非确定性一致的准则确定停车选择的概率。该模型适合模拟信息对用户选择的影响,比较清楚地反映了停车、交通系统状态和人类自然的非确定性^[28]。不过,他们的研究集中在停车管理政策方面,注重于免费、违法和收费停车 3 种形式下的不同停车选择行为,没有充分表现 PGIS 和停车设施本身的属性对驾车者停车选择的影响,也没有阐明研究的范围到底是公路还是城市区域。

欧洲 PGIS 的设计思想^[11]包括不同的类别。在“描述法”设计当中,设计者试图通过系统向驾车者提供尽可能多的停车信息,强调给驾车者更多的选择机会;在“规定法”设计当中,设计者只提供驾车者应知道的停车信息,强行限制驾车者的选择机会,大部分的停车决策权被 PGIS 掌握。

德国柏林市的停车场管理规定^[21],停车场内停车率达 90% 时,路边的诱导系统即标示该停车场停车位已满,保障进入的车辆有适当的周转率。

日本东京新宿区配备的 PGIS 算法相对简单,根据路网的特点,将停车场综合分区,采用多阶段的信息诱导方法,计算出到各个停车场的基本诱导路径,由入口指示板引导驾车者到下一个空闲停车场^[17]。

1.3.2 国内研究进展和最新实践动态

在美籍华人专家张秋先生的大力推动下,交通工程学科 20 世纪 80 年代初在我国逐步创立^[4],历史较短。20 世纪 90 年代初我国交通工程学界开始引进 ITS 的概念和技术^[8,9,10],目前尚处于 ITS 发展的初级阶段,作为 ITS 子系统的 PGIS 在国内的起步更晚,接近上世纪末才呈现雏形。和先进国家相比,我国 PGIS 由于实践应用上基础薄弱、经验欠缺、资金不足和管理体制不尽完善等方面的原因,存在明显的差距。实践技术的落后使得国内的理论研究暂时局限在基本层面,难以全面深入。

1. 国内理论研究综述

可喜的是,国内的专家、学者和研究人员充分借鉴国外的先进理论和工程经验,经过虚心学习和艰苦努力的钻研,克服了种种困难,从上世纪 90 年代后期在较短的时间内已经形成了对 PGIS 的一定认识。

徐岩宇(1996 年)定性论述了基于信息板显示的 PGIS 的结构组成及功能,将 PGIS 分为信息提供设备、信息收集设备、通信控制设备和中心处理单元 4 部分,属于信息提供设备的显示板根据安装位置和显示内容有郊区、城区、单独引导和停车场入口 4 类;研究了 PGIS 未来的发展方向,认为 PGIS 应与 ATIS 和 TCS (Traffic Control System, 交通控制系统)紧密相连,才能提供详细的引导信息^[18]。

田地(1998 年)提出采用计算机网络系统管理城市停车场;该系统由停车资源管理子系统和停车场管理子系统组成,前者对全市停车位资源实行计算机管理,通过公共信息网向全市发布城市停车和车位状况信息^[29]。不过该文没有涉及具体的操作控制措施。

袁文平、蒲琪(1999 年)对停车诱导信息系统的规划步骤、系统的形式等总体构想进行了初步的定性分析,提出“一个较大的停车诱导系统应能够把停车区域内的停车库集结在一起”;按照停车场所在的区位,“停车诱导系统可以按三个等级来显示信息”;认为“停车诱导系统里的交通引导不能单独地来考虑,而应与其它规划联系起来看待。交通流的转移不能期望通过停车诱导系统来实现”^[30]。

进入 21 世纪后,国内的理论研究踏上了新台阶,内容逐渐深入,发展设想也日益丰富、广泛,给 PGIS 在我国的未来注入了勃勃生机和活力。

吴涛(2000 年)通过集中总结 PGIS 在欧洲、日本和美国等先进国家的技术应用情况,研究了系统的

结构、设计和控制方法,提出预报系统、车载引导系统、预出行信息系统、预定系统的4个发展方向^[11]。

邹贞元、徐亚国、安实等(2000年)是目前为止国内研究PGIS比较全面的学者,研究成果值得为后人吸收。他们参照国外经验和国内城市的经济、交通现状,提出了我国PGIS的建立方案和模拟模型。他们建议将PGIS配备分论证、储备、试验、推广4个阶段进行;对比了技术引进方案和自主开发方案的优劣特点;分析了从政府财政收入中划拨专项建设基金、从各运营停车场所得收入中提取、对车辆征收一定金额的专项费用以及前三者综合的4种资金来源选择方案的可行性;介绍了独立方式和分区方式两种系统选择模式的特点和适用范围;比较了VMS显示信息的泊位模式和时段模式各自的优势和不足,认为同时包括两方面的信息有助于驾车者出行参考;讨论了PGIS的使用率很难达到100%的原因;指出数据控制中心的管理是PGIS最重要的内容;简要提及了PGIS分别与P+R、动态交通系统和静态交通设施的匹配措施。研究者在制定一些起简化作用的假设条件前提下,采用车辆行驶距离、驾车者步行距离、等待时间和停车费用4个模拟指标,引入运筹学的排队论建立了停车模型^[13]。不过,为了使模型的模拟结果更接近实际情况,需要对模型的目标函数和约束条件予以完善。

刘斯瑞、缪立新(2002年)在引入新理念的同时,宏观论述了典型的PGIS结构^[17]。它主要由路边可变信息板、停车场的计数装置、控制中心和通信网络4个部分组成;介绍了IPGS(Intelligent Parking Guidance System,智能停车诱导系统)框架结构图,该系统由主控中心、分控中心、智能停车场计数装置、车载GPS(Global Position System,全球定位系统)定位及接收装置、VMS和通信网络组成,采用Mapinfo Professional 6.0作为GIS(Geographical Information System,地理信息系统)开发平台,空间数据统一用Mapinfo表以文件形式管理,各种数据分层管理。采用MS SQL Server、Sybase等大型数据库,用关键字建立空间数据与属性数据的连接。对比了IPGS与PGIS存在的明显不同之处:前者对驾驶者的诱导主要通过车载GPS定位及接收装置,其可变信息显示板只作为诱导的辅助手段,来引导未安装车载装

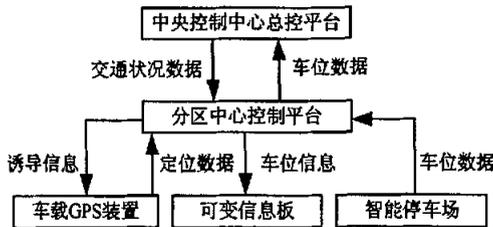


图1-3 IPGS组成结构图

置的车辆;在框架结构当中,后者通过中央控制中心直接控制VMS上的信息显示,前者则采用两层次控制中心平台的设计(如图1-3所示),在结构上大大优化,实现了停车管理和停车诱导两大功能在结构上的分离;各分区相对独立,通过统一的接口交换信息。作者假定用户都使用IPGS并且完全接受其诱导,根据不同的停车控制策略,初步研究了用户最优、系统最优和用户系统均衡三种应用模型。

关宏志等(2003年)从PGIS总体规划设计的角度,结合ITS,将PGIS结构分为信息采集、信息处理、信息传输、信息发布4个部分,讨论了各部分的功能,提出停车诱导的策略;说明了停车诱导系统规划时对对象区域分区的必要性,提出了分区范围“限制在6~8个街区以内,最好在边长为500m左右矩形区域内;使主要服务对象(如大型商业设施)均匀分布在各个小区,一个小区内包括的服务对象设施不宜过分集中;每个小区内的停车场容量和停车需求大致相等”等基本原则,认为“PGIS所服务的停车场的数量应在10个以上而每个停车场应不少于30个车位”;讨论了停车诱导信息的设置标准,建议诱导信息板按预告性、街区和单独停车场三级分层设置,提供了诱导信息板尺寸设计简图和文字、符号、底色表示法^[12]。该文吸收了发达国家的成功经验,内容比较详实,具体集中在出行途中的停车诱导方面,为划分服务小区和PGIS服务停车场规模的定量依据、不同区位设置标准的变化、信息板不同显示方法之间的效果比较等细节问题提供了思路借鉴。

关宏志、刘兰辉(2003年)总结了在北京西单地区进行的包括停车者对于PGIS的接受程度内容的停车行为调查。其结果显示假如设置了PGIS,92%的受访者表示会利用停车系统。这意味着如果科学地设置PGIS,有可能会收到明显的效果^[31]。

张翔等(2003年)将PGIS作为ATIS的子系统,从交通出行者、交通管理者、城市规划者三方面进行需求分析,通过系统定位和系统关系简图,初步定性讨论了信息采集、信息处理与分析、信息提供、信息服务等功能设计;比较了驾车者出行前和出行中信息需求的内容,提出了按区域处理停车信息、分层次发布停车信息的构想^[32]。

相对而言,国内停车场自身的智能管理研究因管理对象相对单纯而发展较快,内容更深入细致。田

地(1998年)提出采用计算机网络系统管理城市停车场;该系统由停车资源管理子系统和停车场管理子系统组成,后者对进出停车场的车辆实行门禁控制管理并与计算机系统管理中心进行信息交换,其主要设备包括入口发票机、全自动挡车器、出口验票机及中心收费系统,介绍了工作原理和管理功能^[29]。韩凤春、曹金璇(2002年)阐述了停车场接触式IC卡收费系统、电磁感应式IC卡管理系统和微波遥控非接触式IC卡一不停车自动收费系统各自的工作原理,并对三者的适用条件和应用前景作了横向比较^[33]。李界家等(2002年)对比了半自动化和自动化停车场管理系统的区别,分析了采用分布式计算机控制的智能停车场管理系统的优点:在计算机管理中心设有信息数据库,对整个停车场情况进行监控和管理;从系统管理功能上,分为入口管理、出口管理和内部管理,运用先进的非接触感应式IC卡技术,自动识别进入停车场的用户身份,并通过计算机图象处理来识别出入车的合法性,使停车场车辆的出入、收费、防盗、车位管理完全智能化、自动化;然后介绍了以Windows95为操作平台的停车场管理软件,该软件由实时监控、设备管理、打印报表、系统设置等模块组成,界面友好、操作简单、功能齐全^[34]。张深基(2003年)提供了智能停车场管理系统的7项结构组成框图和流程工作图,对各部分设备的工作原理、操作过程和适用对象作了简要介绍^[35]。白木、子荫(2003年)描述了智能停车场管理系统车辆入场、出场的工作流程和挡车器系统、车辆识别系统、收费系统、车位显示系统、车辆引导系统等5个组成结构的特点和原理;并介绍了中外建设信息有限责任公司自行开发的以Windows98+WindowsNT4.0为平台的应用型系统软件,该软件采用网络版模块化设计,具有人员注册、设备参数设置、实时监控、报表生成、口令设置、系统备份和恢复等功能^[22]。

2. PGIS 在国内的实践应用动态

20世纪90年代后期已经建立的发达的静态交通管理信息系统使广州市走在了全国PGIS研究应用领域的前列。广州根据城市交通小区划分了274个TRIPS分区,采用简单的顺序码编码方式表达TRIPS分区,对停车场采用区间码,形成了编码规则;结合数据库设计完成了功能结构配置和从系统流程到对象结构树的转换。登录广州市静态交通管理信息系统,用户可以对数字化地图实行放大、缩小、平移等基本操作,并利用它实施多项辅助数据查询功能^[13]:

①选择“分析”菜单中相应条目通过二维表方式进行数据分析,显示目标停车场的编号、名称、类别、性质、泊位数的信息。

②通过条形图和饼图方式提供停车位分区分布状况。

③通过折线图方式表达车辆停放累计量的时间分布趋势。

④能够对静态交通属性实现全局和分区数据对比。

⑤进行个体数据分析,以窗口界面输出个体停车场属性和停放指标信息。

不过该系统偏重于静态交通管理功能,尚未实现出行途中的停车诱导,不属于严格意义上的PGIS。

首都北京得天独厚的优越的软硬件环境条件顺理成章地成为了我国PGIS发展的热点城市。1999年由北京市建筑设计研究院完成的首都机场新航站楼设计,对附属的立体停车楼根据分级管理的原则,在进入停车楼的公路设远端楼内车位占用显示器;停车楼内装备了车位控制、车辆控制、收费管理和内部管理系统等先进的设施,在停车楼各车辆入口、进入各层的坡道、各分区入口处分别设各层及分区车位使用状态显示器;同时采用色彩标记、信息标志、交通标志、地面划线等方式诱导车辆迅速寻找停车位,方便驾车者步行出入航站楼^[36]。

北京市在2000年6月以前建立了停车泊位管理信息系统,将市区机动车停车场全部输入计算机系统,从而对停车泊位实行计算机网络化^[37]。

2001年12月20日,北京市第一套智能停车诱导系统^[38]在王府井地区开通运行。该系统主要由智能停车场、控制中心、网络通信子系统等组成。即首先将人工收费停车场改造成计算机管理和控制的智能化停车场,通过卫星通信、光纤通信技术将空车位数据动态地发布到所有交通诱导电子显示屏上。

其他大城市也开始陆续重视引进和扶持PGIS。2001年中秋节前夕,南京市最大的瞻园路夫子庙停车场投入使用。该停车场位于瞻园路与东牌楼交界处,总投资达2700万元,总建筑面积1.2万m²,设计车位380个,分为两层,内部层高5.2m(笔者注:目前只开放了地下层),入口高度3.5m,像沃尔沃那样的大型旅游车也能进出自如。瞻园路停车场引进了通风除湿及自动化喷淋设施,以及加拿大智能管理系统,可自动记录临时泊车的时间及司机的姓名^[22]。南京市主城区的主、次干道上已经安装了一批停

车动态信息显示板, 向驾车者提供附近主要大型停车场的实时泊位状况, 如下图 1-4 所示。



图 1-4 南京市停车动态信息显示板示意图

1.3.3 目前存在的不足

国外在静态交通领域研究和实践的广度和深度上都领先于国内。发达国家当前已配备了大量的 PGIS 投入运行, 但由于发展历史短、PGIS 的使用非确定性强, 世界上的 PGIS 理论研究还非常有限, 产生的成果资料较少, 系统的专题研究基本处于空白。目前主要存在以下不足:

①对信息化条件下车辆停放的基本特性缺乏认识, 有关 PGIS 方面的专门调查非常奇缺。

②没有区分用户出行前和出行途中停车信息需求、停车选择决策的不同规律。不少学者采用驾车者出行后不会改变停车选择的假设条件来简化问题, 和实际情况难以相符。

③PGIS 服务功能不全面, 设计内容有待强化。如广州市的系统目前主要提供出行前的停车场查询服务, 尚不具备出行途中的停车诱导功能。

④信息标识不统一, 传输显示优化技术尚需提高。包括分别位于路段、平面交叉口和停车场入口等位置的第二代双向 VMS、车载设备等结构设计及其提供的动态停车信息内容。

⑤没有成熟的理论用于整合现有的停车资源。当城市某片区(一般涉及好几个小区, 详见第五章)内一个或若干个停车场因泊位已满或关闭无法提供停车服务时, 没有考虑怎样及时引导车辆充分利用本片区范围内的其他具备空闲泊位的停车设施。

⑥未形成合理的 PGIS 效果评价指标和评价方法。无法准确评判 PGIS 所发挥的实际作用, 难以给 PGIS 未来的技术改进和市场发展提供指导。

1.4 论文研究计划

PGIS 的用户包括驾车者、交通管理者、交通规划者、交通工程建设者与研究者等。从不同角度出发, 用户除了关注常规的功能需求外, 还会涉及系统的可靠性和开发费用与投资、回收周期以及可利用资源方面的限制等非功能需求。

我国在 PGIS 方面处于落后是不争的事实。由于城市用地规划布局、人口密度、经济水平、机动化程度、交通特性和生活习俗等具体国情的不同, 对国外现有的 PGIS 理论不能盲目地完全生搬硬套。本论文的研究工作遵循以下前提或设定:

①针对经济发达、机动化程度较高和交通信息化基础较好的国内城市考虑。

②集中研究 PGIS 的系统运行功效, 不单独讨论停车场自身的智能管理。

- ③以路外汽车公共停放设施和驾驶小汽车出行的停车场使用者为研究对象。
- ④运营小汽车如出租车不在研究范围之内。
- ⑤假设停车行为都遵守交通法规。
- ⑥如果到达停车场时无空闲泊位，驾车者不排队等待，立即离开另行选择停车。

1.4.1 研究内容概述

PGIS 虽然是 ITS 和 ATIS 的分支之一，但其自身具有鲜明的特点，而且相对独立，需要解决或改进的问题还很多。本人意图经过系统的研究分析，根据 PGIS 出行前和出行途中的不同特征，分别建立出行前和出行途中的子信息系统（以下对应简称为“出行前子系统”和“出行中子系统”），采用先进的优化诱导方式，实行划分小区、分区和片区的停车管理，力争使驾车者的停放便利性和停车设施的利用率达到或接近综合最优。

本文重点探讨停车行为特征及驾车者对 PGIS 的反应特征、出行前子系统和出行中子系统的框架构建、主要功能设计和关键模型、算法和选择决策评价方法的研究。对于 PGIS 内部的结构组成、运行原理、支持技术和系统开发等软硬件要求，只在本章简要介绍，此方面深层次的工作留待以后完成。

在我国特有的动静态交通状况基础上，笔者拟进行以下详细研究：

①选择合适的对象和地点，以问卷调查和现场观测记录为基础，初步掌握信息化条件下停车行为特征及驾车者对 PGIS 的反应特征的基本规律。

②根据驾车者出行前的停车行为和对 PGIS 的反应特征，研究 PGIS 出行前子系统的框架构建和多种方式的服务功能设计，体现城市实时停车信息和用户出行前个性化意愿的理想衔接。

③建立 PGIS 出行前智能停车选择数学模型，提供计算方法，采用合适的评价方法为所建议的停车选择方案决策排序。

④根据驾车者出行途中的停车行为和对 PGIS 的反应特征，研究 PGIS 的车载设备配置功能以及在区域（近郊区和主城区入口、停车换乘枢纽）、线路（中心城区干道、平面交叉口）和停车场入口等 3 级主要区位的道路出行途中信息传输显示优化技术，形成有层次的出行途中诱导子系统，反映城市实时停车信息和用户出行途中个性化意愿的交互式链接。

⑤研究 PGIS 道路可变信息板的规范化设计，促进标识统一化，提高可识别性。

⑥建立出行途中车辆停放的接受条件模型。根据从车辆接收诱导信息位置处到目的停车场的行程时间估算值、停车场车辆平均到达率和车辆平均离开率（停放时间），引入排队论和生灭过程分析车辆到达目的停车场享受停车服务的概率。

⑦提出城市内停车小区、分区和片区划分原则，采用在城市的不同区位显示不对等信息的方法，研究分散首选停车场的可能性，发挥停车预调度作用，预先使驾车者出行途中的首选停车场趋于均布。

⑧建立 PGIS 停车片区停车调度的数学模型，提供计算方法，采用合适的评价方法为所建议的调度方案排序。利用 PGIS 打造静态交通网络，在城市停车片区范围内共享停车资源；当一个或若干个停车场因泊位已满或关闭无法提供停车服务时，实行停车调度，指引车辆选择片区的其余停车场停放。

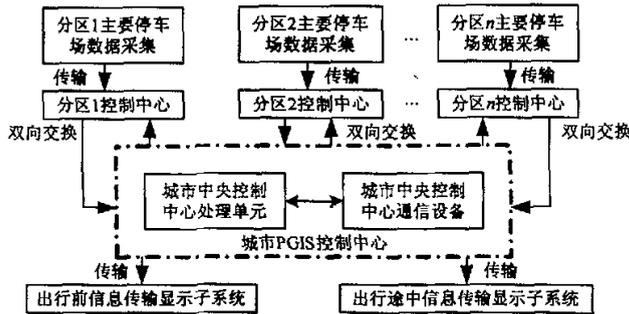
⑨确定有代表性的 PGIS 技术评价指标，初步建立合理、有效的技术评价体系和评价模型。

1.4.2 PGIS 软硬件基本要求

按照本论文的研究计划，定义 PGIS 简要结构如图 1-5 所示，由信息采集、处理、传输、显示 4 个主要部分组成。根据驾车者信息需求的特点和信息发布接收的所在位置，又将 PGIS 划分为出行前和出行途中两个传输显示子系统。两个子系统各自的框图构造将分别在第三、四章详细讨论。

需要指出的是，本文当中分区和片区虽然都由一些停车服务小区的全部或部分组成，但它们的概念有所不同。前者是为实现城市停车信息采集、处理和传输设置的控制固定范围内的中级管理层；而后者则出于灵活共享某小区周边一定范围内的停车资源考虑，按各小区具体的区位确定，相邻的片区之间允

许存在重叠，并不以有形的固定边界来区分，详见第五章。



在此简要介绍 PGIS 软硬件正常运行的基本要求。

1. 系统开发工具

系统开发工具包括几个关键的共享平台。

(1) 操作系统平台

目前通常在 Windows NT 和 Unix 两者间选择使用。从 20 世纪 60 年代中期开始建立的 Unix 是开放式的网络操作系统平台^[13,39]，已有很多家公司发行 Unix 操作系统及其应用程序。Internet 也是在 Unix 支持下运行的。Windows NT 是 Microsoft 公司为微型计算机 LAN (Local Area Network, 局域网) 设计的，适用于小型的桌面操作平台。国家公安部在上世纪末已要求各级公安交通管理部门统一建立了以 Unix 为操作平台的计算机网络^[13]，因此选择 Unix 比较适宜；但由于 Windows NT 和 Unix 能够兼容，在出行前子系统规模较小时，也可以考虑选用 Windows NT 作为操作平台。

(2) 数据库管理平台

数据库管理平台的选择一般考虑系统规模、数据流量、数据结构等因素。根据静态交通的特征，采用关系型数据库管理系统比较合适。我国公安交通管理部门在现有的管理工作中已采用 Oracle 数据库管理平台^[13]，因此，选用 Oracle 数据库管理平台，便于保证系统数据的延续性和可移植性。

(3) 系统集成平台

系统集成平台集操作系统平台、数据库管理平台、应用程序界面设计等功能于一身，是系统的“中枢神经”。系统集成平台以统一的结构最终集成系统，投入运行。对包括出行前子系统在内的 PGIS 一般选择 Visual FoxPro、Power Builder 等形成系统集成平台。一方面，此类平台可以支持多种操作系统和 Oracle 等关系数据库管理的结构化数据查询语言；另外，还能够与相关的技术以动态方式方便链接，既完成空间信息处理模块衔接，又支持面向对象的程序设计方法。

2. GIS (Geographical Information System, 地理信息系统) 技术

GIS 是与计算机图形学、计算机地图制作、遥感技术和数字图像处理等相关的应用领域。1988 年美国国家地理信息分析中心 (National Center for Geographic Information and Analysis) 将 GIS 定义为“为了获取、存储、检索、分析和显示空间定位数据而建立的计算机化的数据库管理系统”^[13]。GIS 将需要处理的信息分为两类：

- ①空间数据。反映对象地理空间位置的信息，亦可称为地图数据。
- ②专题属性信息。与对象的地理位置有关，反映其他特征的信息。亦可简称为属性信息。

GIS 以不同于常规 MIS 的处理方法采集、存储、加工这两类信息，采用二维和三维立体地图的形式显示、检索信息，向用户提供全新的数据检索手段。

选择 GIS 平台主要考虑空间数据的组织、处理和系统集成方式两方面。

(1) GIS 平台对空间数据的组织、处理机制

GIS 平台对空间数据的组织、处理机制包括以下三类^[13]：

①存储模块。开发的这类模块作为 GIS 平台的一部分，多采用面向对象的方法设计，单独管理空间数据，并与常规数据库管理系统交换数据。

②管理模块。一般就几种流行的关系数据库管理系统专门设计，作为关系数据库管理系统的补充部

分随 GIS 平台发行。

③功能模块。针对 GIS 的特点设计,如 Oracle 空间数据功能管理模块。

(2) GIS 平台的系统集成方式

GIS 平台的集成方式主要有以下两种^[13,40]:

①集中的 GIS 平台。如 Mapinfo, 是独立的应用软件设计平台, 可以支持处理二维和三维的矢量地图及相关的属性数据, 并按地图信息归类统计。但这类应用系统对常规数据的处理能力有限, 不支持对关系数据库的数据处理, 而且不便于和其他信息系统交换数据。

②嵌入式的 GIS 平台。这类系统开发后能够很方便地与使用关系数据库管理系统的常规管理信息系统集成。它理应成为首选者。

3.面向对象的程序设计工具

面向对象的程序设计理论的基础概念是将相关的数据属性及其处理方法封装成类(Class)。类是程序设计的基本单元, 它的成员包括私有的(Private)、保护的(Protective)和公共的(Public)。私有成员只能由本类的对象访问, 公共成员可以被所有类的对象访问。

此外, 通过面向对象的技术继承机制, 子类可以从父类获得部分属性和方法, 使设计得到简化。最后, 采用类与类之间的消息传递方式, 允许一类的对象访问另一类的公共成员, 驱动进程, 形成系统的控制流程。面向对象的程序设计工具一般分为以下几类^[13,39]:

①基本的面向对象的程序设计语言, 如 Small Talk、C++等。

②支持面向对象技术的集成环境, 如 Visual Basic、Delphi 等。

③支持面向对象技术的系统集成平台, 如 Visual Foxpro、Power Builder 等。

4.静态交通仿真

仿真是利用真实系统的数学模型, 描述系统规律, 确定计算方法和参数进行研究的形式。该技术基于对系统空间、时间上的部分数据获得对系统的整体认识。在 PGIS 应用中, 针对城市不同区位停车需求、停车供给的技术指标, 采用仿真技术可以对多种停车诱导的试验结果进行评价对比, 在此基础上予以完善。另外, 基于样本数据还可建立信息诱导实施下的停车选择分布模型。

5.决策支持系统(Design Support System, DSS)

DSS 是 PGIS 功能概念的外延式扩充, 它可以为 PGIS 的高层管理者——决策部门提供全面分析的手段。这样, 得以制订出若干备选方案, 简化决策过程。

DSS 由模型库管理子系统、方法库管理子系统、人机对话子系统和决策数据^[9,10,13]组成。采用的决策模型根据具体的决策问题可能有所不同, 但一般包括常用规则和逻辑推理过程的知识。

(1) 模型库管理子系统

该子系统提供对决策模型的全面管理工作, 包括模型的生成、维护、更新等。

(2) 方法库管理子系统

该子系统用于管理决策过程中决策算法的调度。

(3) 人机对话子系统

该子系统能够确定决策问题、选择决策方案和评价决策结果等。

(4) 决策数据

决策数据主要分为两部分:

①中央控制中心存储的全部系统数据, 包括历史的和现状的。

②模型库中存储的决策模型和方法库中存储的决策算法。

DSS 还可考虑应用人工智能技术的智能决策支持系统、应用计算机网络和决策论的群体决策支持系统等形式。

1.4.3 工作路线

制定工作路线逻辑框图如图 1-6 所示, 这也是贯穿论文的整体思路中轴线。

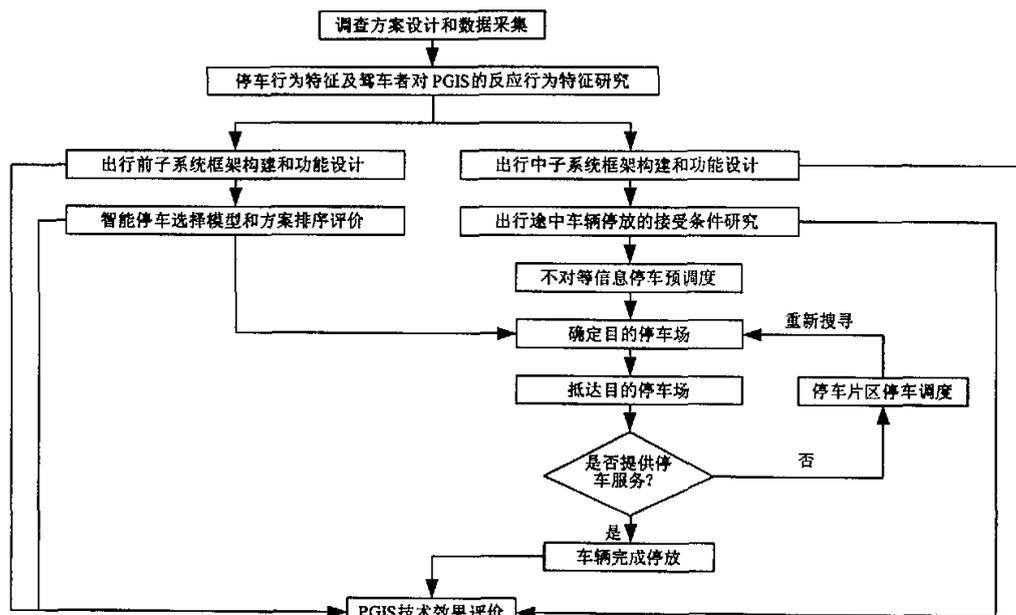


图 1-6 论文工作路线逻辑框图

1.4.4 论文篇章安排

按照上图 1-6 的逻辑关系，论文后续的篇章结构分别对应 1.4.1 当中①~⑨项，大致安排如下：

第二章论述以问卷调查和现场观测记录为基础的停车行为特征及驾车者对 PGIS 的反应特征研究，即 1.4.1 的第①项内容。此章的研究结论将主要为第三、四章的工作内容提供直接的数据支持基础和理论前提，对于其他后续章节的研究也具有铺垫作用。

第三章根据第二章的研究结论构建出行前子系统，包括 1.4.1 的第②、③项内容。

第四章根据第二章的研究结论架构出行中子系统，由 1.4.1 的第④、⑤、⑥项组成。

第五章从第四章的模型（1.4.1 的第⑥项）引申，依靠出行中子系统的停车信息传输发布功能（1.4.1 的第④项），建立停车选择预调度和停车片区调度模型，并利用第二章的研究结论进行停车调度选择方案排序评价，即 1.4.1 的第⑦、⑧项内容。

第六章综合本章的 PGIS 总体结构、第三章的出行前子系统和第四章的出行中子系统以及第五章的停车选择预调度和停车片区调度模型进行 PGIS 的技术效果评价探讨，即 1.4.1 的第⑨项。

第七章则总结全文研究成果和未来展望。

这样，论文各章具体研究内容将密切相关，形成前后呼应、完整紧凑的组织结构。

第二章 停车行为特征及驾车者对 PGIS 的反应特征研究

由于种种原因,我国的停车行为特征及驾车者对 PGIS 的反应特征研究比较薄弱,仅有的一些成果也停留在偏于基本的层面。吴涛、晏克非(1999年)曾比较系统地研究了国内的停车特性^[41],但当时尚不具备考虑诱导信息影响的条件。关宏志、刘兰辉(2003年)简要介绍了在北京西单地区停车行为的调查及结果,其中包括了停车者对于 PGIS 的接受程度调查;运用非集计的 Logit 行为模型,着重建立了以调节地上、地下停车场需求政策为目的的停车场选择模型,探讨停车场选择费用的阈值^[31];他们在 PGIS 方面的调查属于 SP (Stated Preference Survey) 方式,尚没有与实际应用背景相结合。

总体来看,到目前为止,我国此类研究的深度很不够,系统性不强。这与调查分析不足直接相关。为此,本章将选择合适的对象和地点,以问卷调查和现场观测记录为基础,开展停车行为特征及驾车者对 PGIS 的反应(以下简称为“PGIS 反应”)特征研究。

由于停车行为特征覆盖面广,为便于调查研究,在此将其划分为驾车者出行和停车选择行为(以下简称为“驾车者行为”)特征以及停车场车辆到达、离开和停放(以下简称为“停车场车辆”)特征两类。

2.1 研究的目的是和意义

第一章已述及(参见 1.4.4),本研究结论将主要为第三、四章的工作内容提供直接的数据支持基础和理论前提,对于其他后续章节的研究也具有铺垫作用。停车行为(包括“驾车者行为”和“停车场车辆”)特征及 PGIS 反应特征研究的目的是和意义在于:

- ①归纳驾车者行为特征。
- ②了解驾车者对现状停车诱导信息的使用情况和满意程度,概括 PGIS 反应特征。
- ③总结当前 PGIS 存在的不足,为 PGIS 未来的需求、发展完善提供面向实际的指导、建议。
- ④寻求停车场车辆到达时间间隔分布、车辆离开时间间隔(停放时间)分布特征。

2.2 调查方案设计

为了全面、有效地反映停车行为特征及 PGIS 反应特征,必须进行有针对性的调查工作。PGIS 是新事物,其配备将给驾车者提供便利的停放使用条件。由于 PGIS 自身具备的独特性,已经超越了传统的静态交通调查的范畴,因此在调查方法和调查内容上应该有所突破,设计对口的调查方案,才能达到研究的目的。

2.2.1 调查总原则

调查总原则是开展调查工作的纲领。拟定总原则,有助于理清调查的思路,确定合理的调查方法,引导调查实施有条不紊地进行。PGIS 调查总原则如下:

- ①调查方案可实施性强,便于组织安排。
- ②调查对象应具有广泛的代表性,避免样本单一或过于集中。
- ③选择 PGIS 配备先进的国内城市,对抵达停车场的出行途中驾车者现场进行使用调查。
- ④调查内容齐全、简洁。

2.2.2 调查方法

调查拟采用问询和现场观测记录相结合的方法,从定性和定量相结合的角度采集数据,增加纵、横向的可比较性,为研究提供便利。

1. 问询调查

根据背景的区别,交通问询调查通常分为 RP (Revealed Preference Survey) 调查和 SP (Stated Preference Survey) 调查两种方法。问询调查主要为驾车者行为特征以及 PGIS 反应特征研究服务。

定义 1: RP 调查

针对某些已经存在的 PGIS 设施组织调查。请被调查人回答自己的实际选择,获得驾车者实际使用或接受 PGIS 的状况。

定义 2: SP 调查

向被调查人提供一些假设条件下的可选项,请他们按自己的意愿选择。此方法既无需大量成本,又可获得因条件不具备暂时无法直接调查或观测的数据,关键在于如何让被调查人对各选项表示其偏好。

RP 调查和 SP 调查的特征对比见下表 2-1。

表 2-1 RP 调查和 SP 调查的特征对比表

项目	RP 调查	项目	SP 调查
优点	1.调查的变量不存在误差; 2.只需进行常规的保质工作。	缺点	1.回答值未必和实际选择一致; 2.需要设计质量控制方案。
缺点	1.难以收集驾车者对尚未投入使用的 PGIS 的反应或相关因素的影响,不能处理当前不存在的方案; 2.属性、水平值和属性间的转换关系已经确定; 3.属性间的作用存在多重共线性; 4.调查规模受到限制,难以提供足够的统计量来建立合适的评价和预测模型; 5.实际情况可能被少数几个因素主导,研究其他相对重要的变量比较困难。	优点	1.能够收集驾车者对尚未投入使用的 PGIS 的反应或相关因素的影响,可以处理当前不存在的方案; 2.能自由设计属性、水平值和属性间的转换关系; 3.可以将某一属性效果和其他属性的效果分开; 4.从一个被调查人可得到多个数据,能根据小样本进行统计分析; 5.可以研究半定量的变量数据,还可以同时研究多种变量。

上表充分对比了 RP 调查和 SP 调查各自的优缺点。为了解驾车者行为特征以及出行前和出行途中的 PGIS 反应特征,使调查获得预期的效果,最理想的方法就是将二者结合,发挥各自的优点,取长补短,完善调查内容,减少调查过程中可能出现的偏差。考虑到目前国内 PGIS 的配置尚处于起步阶段,而 PGIS 反应特征很可能产生不同的表现,在此综合采用 RP 和 SP 两种方法,进行问询调查。

2. 现场观测调查

现场观测调查用于研究停车场车辆特征。通过一定时段内在选定的停车场入口现场观测记录车辆到达时刻,借助停车场电子管理系统在出口现场观测抄录离开停车场的车辆到达时刻和车辆离去时刻,采集停车场车辆到达时间间隔、离去时间间隔和停放时间样本。

2.2.3 调查问卷及调查表格设计

按照研究目的和拟采用的调查方法,共设计了两类调查问卷进行问询调查,另有两类调查表格分别用于现场观测记录。不妨分别对应简称为“调查 I”~“调查 IV”,各详述如下:

1. 调查 I

调查 I 主要采用 SP 调查方法,其内容包括驾车者行为调查以及出行前和出行途中的 PGIS 反应调查(参见附表 I)。该调查以配备了车辆集中停放场所的现代化住宅区、办公区为对象成批发给通常驾车出行的业主或相关人员,由被调查人填写完统一回收。

附表 I 的调查问卷当中共 19 个选项。具体设计意图参见下表 2-2。

表 2-2 调查 I 问卷设计简介

选项编号	调查内容	设计意图
1~6	驾车者性别、年龄、驾龄、车辆属性、收入等	反映驾车者个人属性
7~10	驾车出行目的和预计停放时间	了解驾车者出行停车行为特征
11~13	首选停车场类型、最关注因素和忍受的步行距离	掌握驾车者选择停车场的行为特征
14~19	出行前和出行途中查询信息的选择方式、对现状和预期的评价、建议	体现 PGIS 反应特征

2. 调查 II

调查 II 以 RP 调查为主,其内容包括驾车者行为调查以及出行途中的 PGIS 反应调查(参见附表 II)。此调查在事先选定的配备有停车动态诱导标志牌的不同类型的典型停车场,由调查员按设计问卷现场一边逐项询问驾车者,一边执笔记录。

由于调查 II 是在停车场进行,为节省被调查人的时间,使询问易于接受,故问卷内容比附表 I 设计得更更为精简。附表 II 的调查问卷共 12 个选项。具体设计意图参见下表 2-3。

表 2-3 调查 II 问卷设计简介

选项编号	调查内容	设计意图
1~3	驾车者性别、年龄、车辆属性	反映驾车者个人属性
4~6	驾车行程时间、出行目的和预计停放时间	了解驾车者出行停车行为特征
7~9	对停车地点的熟悉程度、是否首选停车场和首选停车场最关注因素	掌握驾车者选择停车场的行为特征
10~12	出行途中对现状停车诱导标志牌的使用效果评价和建议	体现 PGIS 反应特征

3. 调查 III

调查 III 为停车场车辆到达特征研究服务。调查过程中,调查员在选定的停车场入口现场观测记录车辆到达时刻,参见附表 III。

4. 调查 IV

调查 IV 用于停车场车辆离开和停放特征研究。调查过程中,调查员在选定的停车场出口现场观测抄录离开停车场的车辆到达时刻和车辆离去时刻,参见附表 IV。

2.2.4 调查明细

1. 调查地点

东南大学所在地南京市是江苏省省会,全国道路交通管理示范城市,各类停车设施配备齐全,在中心城区主、次干道大型停车设施的入口处均设有动态停车诱导标志牌,显示停车场的名称和剩余的泊位数。虽然目前的动态停车诱导标志牌在 PGIS 范围内尚属于出行途中的初级阶段,但在国内已处在领先行列。按照调查总原则,从调查工作组织的操作便利性和现状 PGIS 具备的基础优势考虑出发,将调查地点定在南京市。如第一章所设定,本调查均以小汽车驾驶员作为研究对象。

2. 调查时间

根据准备工作的进度和常年的气候规律,定于 2004 年 5 月下旬开展调查。依照驾车者出行和停车设施的利用率特性,为了确保样本数量,调查 I 选择两个工作日(5 月 26 日,星期三;5 月 27 日,星期四)进行;调查 II 选择周末(5 月 28 日,星期五)或周日(5 月 29 日,星期六)的停放高峰时段进行;调查 III 和调查 IV 则选择周日(5 月 29 日,星期六)包含停放高峰期在内的时段。

3. 确定调查场所

各调查场所遵循以下标准确定:

- ①用地功能综合性强,驾车者出行目的多样化。
- ②具备充足的样本数量。
- ③驾车者总体素质较高,既易于接受调查,又可能对 PGIS 已有一定的认识。
- ④兼顾不同类型的公共停车设施。

⑤调查 II 的停车设施入口附近道路均设置了动态停车诱导标志牌, 周边还存在其他停车选择。

调查 I 安排见下表 2-4。为便于核对, 回收时可采用调查表编号与车牌号记录相对应的方式。该类调查发放了 220 份表格, 共回收有效样本 131 个, 总回收率为 59.55%。

表 2-4 调查 I 安排表

序号	单位名称	邻近道路名称	调查表发放数量	发放日期	回收日期	有效样本数
1	成贤公寓	成贤街	100	5月26日	5月26日	48
2	东南大学四牌楼校区	学府路	100	5月27日	5月27日	73
3	东南大学进香河校区	进香河路	20	5月27日	5月27日	10

调查 II 安排见下表 2-5。共获得 310 个有效调查样本。

表 2-5 调查 II 安排表

序号	停车场名称	停车场地址	停车场类型	调查日期	调查时间	有效样本数	备注
1	百脑汇	珠江路	地下	5月28日	7:30~11:30	42	在各入口道路均设有动态停车诱导显示标志牌
2	天狮百盛	湖北路	立体停车架	5月28日	17:30~20:00	45	
3	中山大厦	珠江路-中山路	地面	5月29日	7:30~10:30	58	
4	中央商场	淮海路-中山南路	地下	5月29日	11:00~14:30	74	
5	天丰大酒店	中山东路-洪武路	地面	5月29日	11:30~16:00	91	

调查 III 和调查 IV 均选择中央商场地下停车库于周日 (5月29日, 星期六) 进行, 详见下表 2-6。前者由调查员在停车场入口处完全人工观测记录, 后者则由调查员根据出口处的停车场电子计费管理系统的显示数据实时抄录。

表 2-6 调查 III 和调查 IV 安排表

调查种类	停车场名称	停车场地址	类型	调查日期	调查时间	车辆样本数	时间间隔样本
III	中央商场	淮海路-中山南路	地下	5月29日	11:00~18:00	457	456
IV	中央商场	淮海路-中山南路	地下	5月29日	12:00~18:00	412	411

2.3 调查结果汇总

从调查安排、调查过程和采集的样本数来看, 调查 I~调查 IV 的实施均合理有效。这些调查结果将为停车行为特征 (分为驾车者行为特征和停车场车辆特征两类) 及 PGIS 反应特征研究提供直接的数据支持。

2.3.1 数据处理

采用 Access 和 Excel 软件分别对调查 I~调查 IV 采集的样本数据进行输入及统计处理, 然后对调查结果分类汇总。

2.3.2 调查 I 结果汇总

根据附表 I 设计的样本调查内容 (参见表 2-2), 从驾车者属性、驾车者行为、PGIS 反应 3 个方面来汇总调查 I 的结果。

1. 驾车者属性调查

调查 I 共回收了 131 个有效样本, 从性别构成比例、驾车者年龄、驾龄、车辆属性、是否专职驾驶员、家庭月收入等方面反映驾车者属性。

具体参见下表 2-7 所示。

表 2-7 调查 I 驾车者属性表

驾车者属性	性别			车辆属性			是否专职驾驶员		
	男	女	合计	单位	私人	合计	是	否	合计
样本数量	115	16	131	44	87	131	43	88	131
样本比例(%)	87.79	12.21	100	33.59	66.41	100	32.82	67.18	100
驾车者年龄	18~30 岁		31~40 岁	41~50 岁		51~60 岁	61 岁以上		合计
样本数量	24		63	36		5	3		131
样本比例(%)	18.32		48.09	27.48		3.82	2.29		100
驾车者驾龄	不足 1 年		1~2 年	2~3 年	3~5 年	5~10 年	10 年以上		合计
样本数量	12		31	20	12	33	23		131
样本比例(%)	9.16		23.66	15.27	9.16	25.19	17.56		100
家庭月收入(元)	5000 以下		5000~6000	6000~7000	7000~8000	8000~10000	10000 以上		合计
样本数量	79		31	6	3	4	8		131
样本比例(%)	60.31		23.66	4.58	2.29	3.05	6.11		100

上表 2-7 显示，调查 I 的驾车者属性特点如下：

- ① 驾车者的绝大多数是男性，共 115 人，占样本的 87.79%。
- ② 驾车者的年龄主要集中在 31~50 岁，其中 31~40 岁年龄段最多，共有 63 人，占样本的 48.09%。
- ③ 驾龄阶段分布差别不十分明显。驾车 5~10 年的最多，共 33 人，占 25.19%；不足 1 年的最少，共 12 人，占 9.16%。
- ④ 私人车辆居多，共 87 辆，占样本数的 66.41%。
- ⑤ 专职驾驶员 43 人，占样本数的 32.82%。一般使用私人车辆的都是业余驾车者，而固定驾驶单位车辆的则基本是专职驾驶员，这和上一项大致相对应。
- ⑥ 家庭月收入选择 5000 元以下的最多，有 79 人，占 60.31%。

2. 驾车者行为调查

(1) 驾车出行停放目的

该类调查驾车者工作日和周日驾车出行的停放目的的特性见下表 2-8 和图 2-1 所示。

表 2-8 调查 I 驾车者出行停放目的表

出行停放目的		上班	购物	办公	餐饮	文化娱乐	回家	旅游	上学	其它	合计	备注
工作日	样本数量	97	15	55	7	9	26	15	0	6	230	每人可选三项
	样本比例(%)	42.17	6.52	23.91	3.04	3.91	11.30	6.52	0	2.61	100	
周日	样本数量	23	39	21	35	33	12	44	3	12	222	每人可选三项
	样本比例(%)	10.36	17.57	9.46	15.77	14.86	5.41	19.82	1.35	5.41	100	

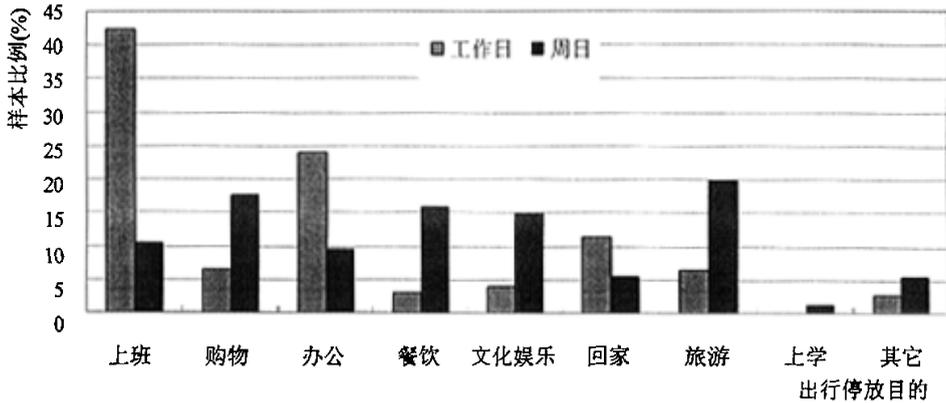


图 2-1 调查 I 驾车者出行停放目的分布比例图

表 2-8 和图 2-1 表明，工作日上班驾车出行停放者最多，比例达 42.17%，排在二、三位的分别是办公和回家，对应比例为 23.91% 和 11.30%，三者比例之和 77.38%，其余都在 10% 以下；周日则以旅游驾车出行停放者最多，比例达 19.82%，购物、餐饮和文化娱乐分别以 17.57%、15.77% 和 14.86% 的对应比例排在二、三、四位，四者比例之和 68.02%，不同停放目的之间比例差距不十分显著。

(2) 驾车出行预计停放时间

该类调查驾车者工作日和周日驾车出行的预计停放时间特性见下表 2-9 和图 2-2 所示。

表 2-9 调查 I 驾车者出行预计停放时间表

一般停放时间(min)		30 以内	31~60	61~120	121~240	241~360	361 以上	合计
工作日	样本数量	20	25	31	18	13	24	131
	样本比例(%)	15.27	19.08	23.66	13.74	9.92	18.32	100
周日	样本数量	26	10	39	40	4	12	131
	样本比例(%)	19.85	7.63	29.77	30.53	3.05	9.16	100

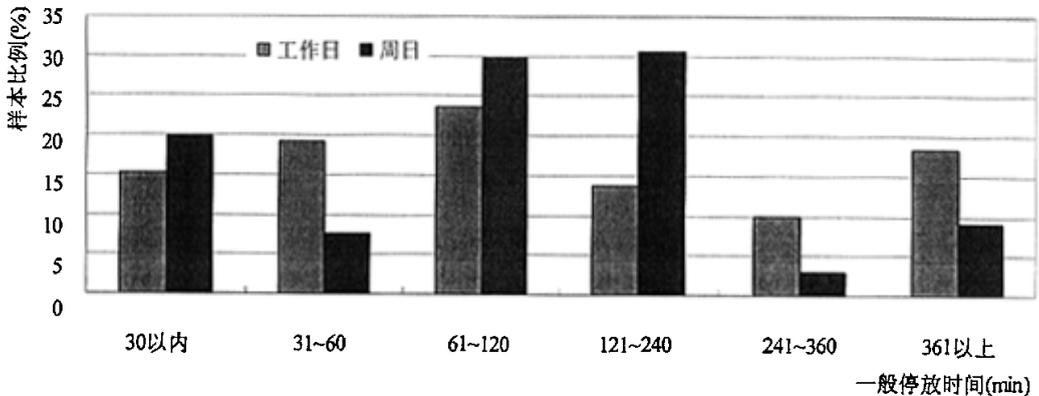


图 2-2 调查 I 驾车者出行预计停放时间分布比例图

表 2-9 和图 2-2 反映出，工作日出行停放 61~120min 的驾车者最多，比例达 23.66%，排在二、三位的分别停放 31~60min 和 361min 以上，对应比例为 19.08% 和 18.32%，三者比例之和 61.06%；周日出行停放时间则以 121~240min 和 61~120min 排在第一位，比例分别是 30.53% 和 29.77%，处于第三位的是 30min 以内，比例为 19.85%，三者比例之和 80.15%，其余停放时间的比例均在 10% 以下。

(3) 驾车者首选停车场类型

该类调查驾车者首选停车场类型的意见见下表 2-10 和图 2-3 所示。

表 2-10 调查 I 驾车者首选停车场类型意愿表

首选停车场类型	路内	路外地面	地下	立体停车楼	机械式停车架	合计
样本数量	23	76	27	3	2	131
样本比例(%)	17.56	58.02	20.61	2.29	1.53	100

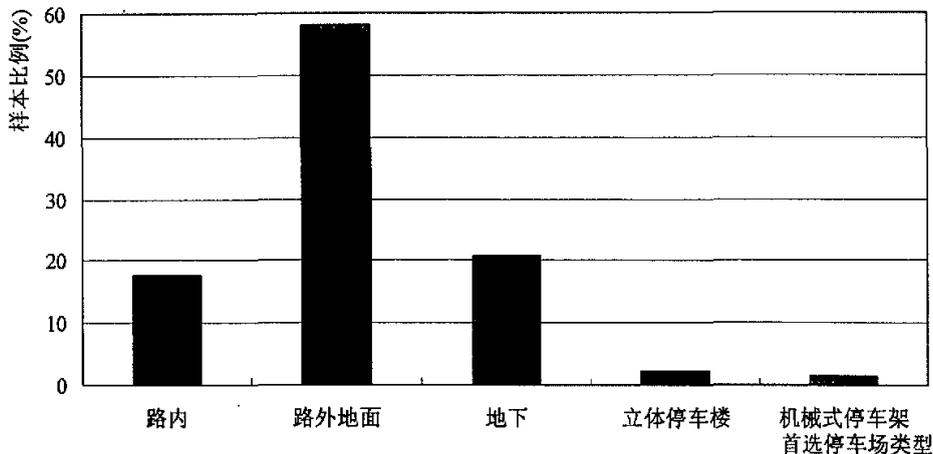


图 2-3 调查 I 驾车者首选停车场类型分布比例图

表 2-10 和图 2-3 显示，愿意首选路外地面停车场的驾车者明显最多，共 76 人，占样本的 58.02%；其次是地下停车库，共 27 人，比例为 20.61%；路内停车场居第三位，有 23 人选择，比例是 17.56%。愿意首选立体停车楼和机械式停车架的驾车者寥寥无几，总共才 5 人，两者比例之和仅 3.82%。

(4) 驾车者首选停车场最关注因素

该类调查驾车者首选停车场的最关注因素见下表 2-11 和图 2-4 所示。

表 2-11 调查 I 驾车者首选停车场最关注因素表

首选停车场最关注因素	距目的地距离	收费价格	停放安全性	熟悉程度	合计
样本数量	54	22	47	8	131
样本比例(%)	41.22	16.79	35.88	6.11	100

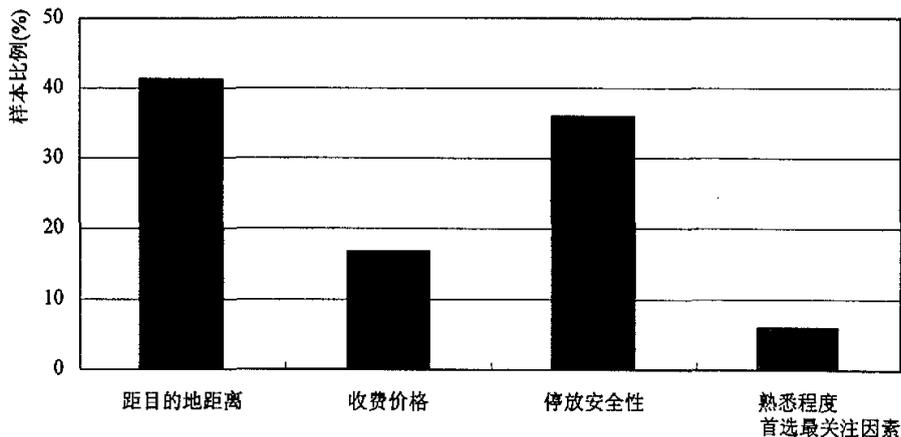


图 2-4 调查 I 驾车者首选停车场最关注因素分布比例图

从表 2-11 和图 2-4 可以看出, 驾车者首选停车场最关注距目的地距离的最多, 共 54 人, 占样本比例的 41.22%; 其次是停放安全性, 共 47 人, 比例为 35.88%; 收费价格居第三位, 有 22 人选择, 比例是 16.79%; 驾车者对停车场的熟悉程度不敏感, 仅有 8 人关注, 比例是 6.11%。

(5) 驾车者停车后能忍受的步行距离

该类调查驾车者停车后能忍受的步行距离见下表 2-12 和图 2-5 所示。

表 2-12 调查 I 驾车者停车后能忍受的步行距离表

能忍受的步行距离(m)	50 以内	51~100	101~150	150~200	201~250	251~300	超过 300	合计
样本数量	37	43	19	14	4	3	11	131
样本比例(%)	28.24	32.82	14.50	10.69	3.05	2.29	8.40	100

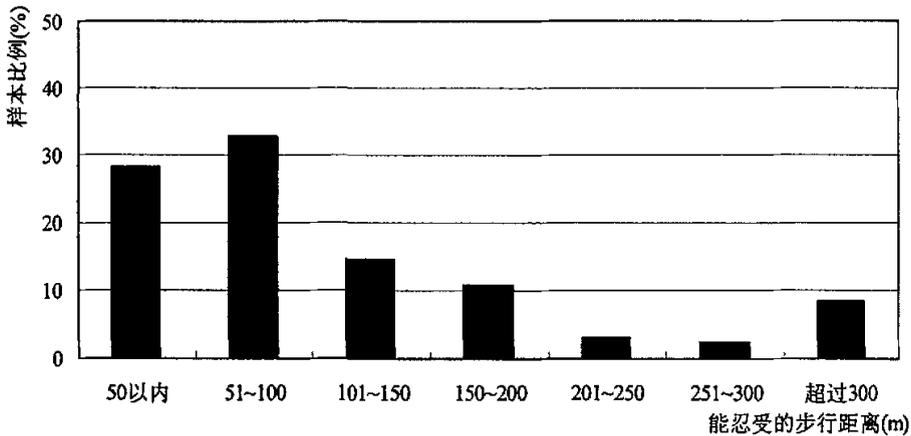


图 2-5 调查 I 驾车者停车后能忍受的步行距离分布比例图

表 2-12 和图 2-5 表明, 驾车者停车后能忍受的步行距离值在 51~100m 的最多, 有 43 人, 占样本比例的 32.82%; 其次是 50m 以内, 有 37 人选择, 比例为 28.24%; 101~150m 和 151~200m 分别排在第三、四位, 对应的比例值是 14.50% 和 10.69%。停车后能忍受步行距离在 200m 以内的驾车者共有 113 人, 比例之和达 86.25%, 这说明 200m 是大多数驾车者停车后能够忍受的步行距离上限。

3. PGIS 反应调查

(1) PGIS 的接受意愿

表示愿意接受 PGIS 使用的共 116 人, 占样本数的 88.55%, 说明绝大多数驾车者对 PGIS 感兴趣。

(2) 驾车者出行前愿意采用的停车信息查询方式

驾车者出行前愿意采用来了解停车信息的方式参见下表 2-13。

表 2-13 调查 I 驾车者出行前愿意采用的停车信息查询方式统计表

出行前方式	Internet	手机短信息	固定电话	电视台	广播电台	报纸	其它	合计	备注
样本数量	10	40	4	3	43	11	29	140	最多 可选 两项
样本比例(%)	7.14	28.57	2.86	2.14	30.71	7.86	20.71	100	

表 2-13 显示, 出行前愿意使用广播电台的驾车者最多, 共 43 人, 样本比例 30.71%; 其次是手机短信息方式, 共 40 人选择, 比例是 28.57%; 出乎意料的是有 29 人选择其它方式, 占样本的 20.71%, 排在第三位; 而其余几种日常普及率很高的通讯工具或媒体选择比例均在 8% 以下。

(3) 驾车者出行途中愿意采用的停车信息了解方式

驾车者出行途中愿意采用来了解停车信息的方式统计参见下表 2-14。

表 2-14 调查 I 驾车者出行途中愿意采用了解停车信息的方式统计表

出行途中方式	路侧可变信息板	车载显示设备	手机短信息	广播电台	其它	合计	备注
样本数量	69	12	12	49	8	150	每人最多
样本比例(%)	46	8	8	32.67	5.33	100	可选两项

表 2-14 显示, 出行途中愿意使用路侧可变信息板的驾车者最多, 共 69 人, 样本比例 46%; 其次是广播电台方式, 共 49 人选择, 比例是 32.67%; 这两种方式的比例之和达 78.67%, 占据了选择主体; 而选择车载设备或手机短信息方式的比例均分别仅有 8%。

(4) 对现状 PGIS 的评价

参见下表 2-15 和图 2-6。

表 2-15 调查 I 驾车者对曾使用过的 PGIS 评价表

满意程度	很满意	一般	存在改进	很不满意	合计
样本数量	32	72	21	6	131
样本比例(%)	24.43	54.96	16.03	4.58	100

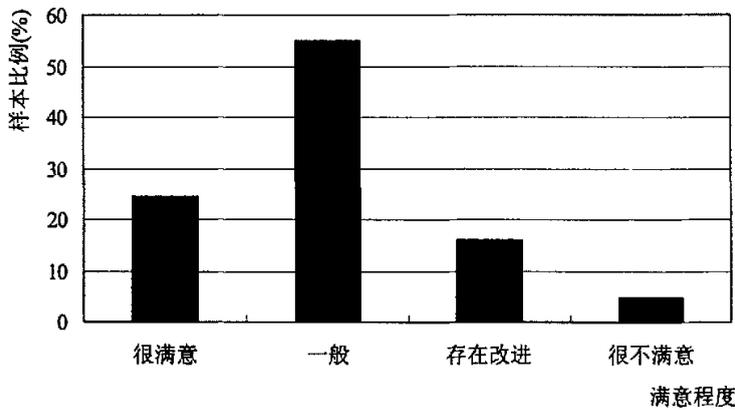


图 2-6 调查 I 驾车者对曾使用过的 PGIS 评价分布比例图

表 2-15 和图 2-6 显示, 评价“一般”的最多, 共 72 人, 比例达 54.96%; 认为“很满意”的有 32 人, 处于第二位, 比例是 24.43%; 两者比例之和 79.39%。只有 6 人选择“很不满意”, 比例仅 4.58%。

(5) 对将来 PGIS 的效果预计

参见下表 2-16 和图 2-7。

表 2-16 调查 I 驾车者对将来 PGIS 效果预计表

对将来的效果预计	很有作用	一般	偶尔有用	很不可靠	合计
样本数量	70	52	8	1	131
样本比例(%)	53.44	39.69	6.11	0.76	100

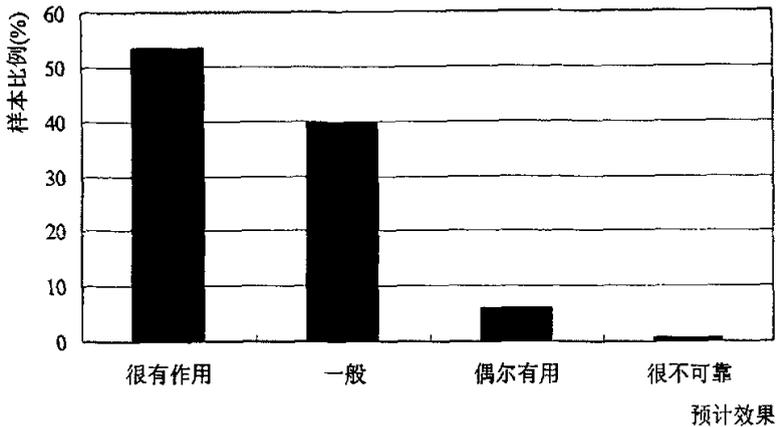


图 2-7 调查 I 驾车者对将来 PGIS 效果预期分布比例图

表 2-16 和图 2-7 显示, 对将来 PGIS 效果预计“很有作用”的最多, 共 70 人, 比例达 53.44%, 超过了一半; 其次是预计“一般”的, 有 52 人, 比例是 39.69%; 两者比例之和 93.13%。只有 1 人选择了“很不可靠”, 比例仅 0.76%。

(6) 调查 I 采集建议汇总

调查 I 有 9 位驾车者提出了建议, 集中表现为系统增加设置、使 PGIS 的可视化更强、显示更准确、内容更丰富等方面。

2.3.3 调查 II 结果汇总

根据附表 II 设计的样本调查内容(参见表 2-3), 同样从驾车者属性、驾车者行为、PGIS 反应 3 个方面进行分析。

1. 驾车者属性调查

调查 II 获得的 310 个有效样本显示的驾车者属性参见下表 2-17 所示。

表 2-17 调查 II 驾车者属性表

属性名称	性别		车辆属性		驾车者年龄				
	男	女	单位	私人	18~30 岁	31~40 岁	41~50 岁	51~60 岁	61 岁以上
样本数量	286	24	141	169	79	146	68	13	4
比例(%)	92.26	7.74	45.48	54.52	25.48	47.10	21.94	4.19	1.29

从表 2-17 看出, 此项调查的驾车者属性如下:

①各类停车设施的 310 名现场被调查人当中, 男性有 286 位, 比例达 92.26%, 占绝大多数。

②私人所有的车辆为 169, 比例是 54.52%。

③驾车者年龄主要分布在 18~40 岁, 这个年龄范围共有 225 人, 占 72.58%; 以 31~40 岁的年龄段为最, 有 146 人, 占 47.10%, 几乎接近一半; 51 岁以上的驾车者很少, 只有 17 人, 仅占 5.48%。

2. 驾车者行为调查

(1) 出行至停车场的估算行程时间

有 283 位被调查人提供了估算行程时间值。驾车者的估算行程时间特性见下表 2-18 和图 2-8 所示。

表 2-18 调查 II 驾车者出行至停车场的行程时间表

行程时间范围(min)	15	16~30	31~60	61~120	121 以上	合计
样本数量	71	122	40	22	28	283
比例(%)	25.09	43.11	14.13	7.78	9.89	100

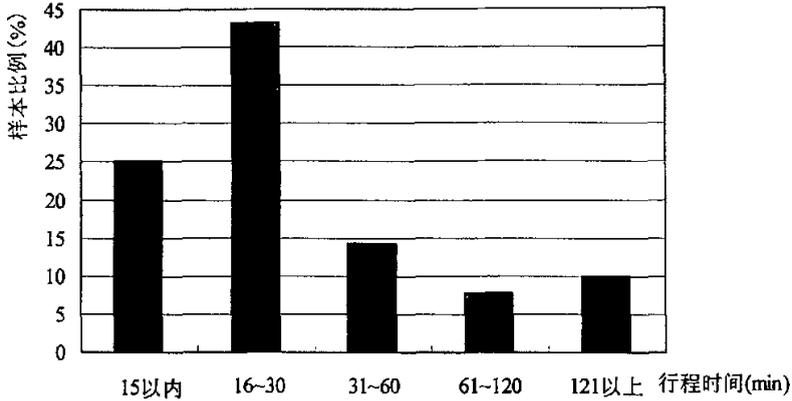


图 2-8 调查 II 驾车者出行至停车场的行程时间分布比例图

表 2-18 和图 2-8 显示,行程时间在 30min 以内的驾车者共 193 人,占 68.20%,是出行停放的主体;其中行程时间在 16~30min 的驾车者最多,有 122 人,占 43.11%。行程时间在 1h 以上的外地来宁车辆达到 50,比例为 17.67%,已经成为不可忽略的交通组成部分。

(2) 停放目的

此项调查的停放目的的特性统计参见下表 2-19 和图 2-9。

表 2-19 调查 II 驾车者停放目的的统计表

出行目的	上班	购物	办公	餐饮	文化娱乐	回家	旅游	上学	其它	合计	备注
样本数量	16	116	74	66	19	0	4	2	29	326	每人可选两项
比例(%)	4.91	35.58	22.70	20.25	5.83	0.00	1.23	0.61	8.90	100	

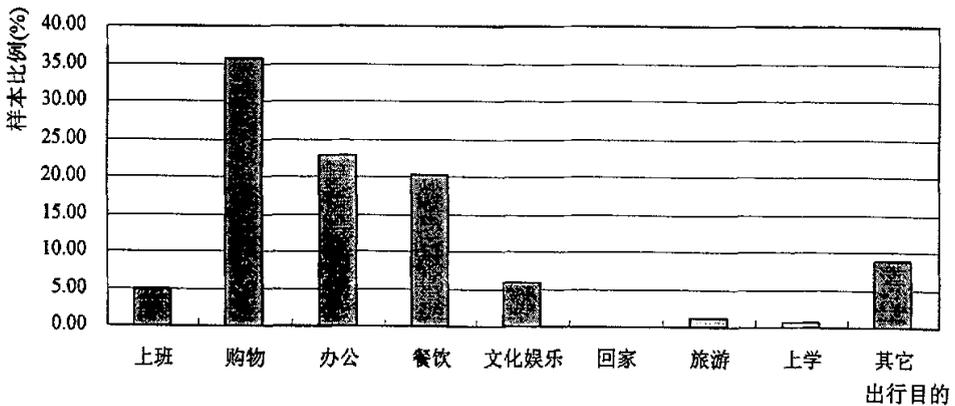


图 2-9 调查 II 驾车者停放目的分布比例图

表 2-19 和图 2-9 表明,驾车者停放目的主要是购物、办公和餐饮,其比例分别为 35.58%、22.70% 和 20.25%,排在前三位;三者的总和达到 78.53%。其中 16 位驾车者的停放目的有两项。

(3) 主要停放目的与停放时间的关系

以排在前三位的购物、办公和餐饮停放目的为分析对象,它们与停放时间的关系参见下表 2-20 和图 2-10。

表 2-20 调查 II 主要停放目的与停放时间关系表

停放目的	预计停放时间(min)	30 以内	31~60	61~120	121~240	241~360	361 以上	合计
购物	样本数量	12	37	41	19	5	2	116
	比例(%)	10.34	31.90	35.34	16.38	4.31	1.72	100
办公	样本数量	10	24	21	8	3	8	74
	比例(%)	13.51	32.43	28.38	10.81	4.05	10.81	100
餐饮	样本数量	6	17	32	7	4	0	66
	比例(%)	9.09	25.76	48.48	10.61	6.06	0.00	100

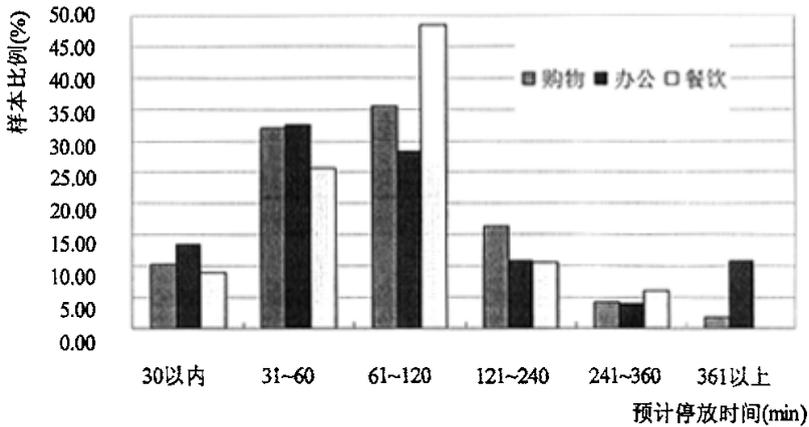


图 2-10 调查 II 驾车者主要停放目的与预计停放时间关系比例图

从表 2-20 和图 2-10 看出, 驾车者购物、办公和餐饮这三类主要停放目的的停放时间大都分布在 31~120min, 其比例分别为 67.24%、60.81% 和 74.24%。其中购物和餐饮停放时间尤以 61~120min 为最, 比例分别达到 35.34% 和 48.48%; 办公停放时间在 31~60min 最多, 比例是 32.43%。

(4) 首选停车场的影响关注因素

从驾车者对停车场地点的熟悉程度分析其能否到达首选停车场以及停车场自身各因素之间的相关关系。

◆ 驾车者对停车场地点的熟悉程度和总体首选状况

被调查的驾车者对停车场的熟悉程度以及总体首选状况参见下表 2-21 和图 2-11 所示。

表 2-21 调查 II 驾车者对停车场的熟悉程度以及首选状况表

项目	驾车者对停车场地点的熟悉程度					是否首选停车场		
	很熟悉	一般	不太熟	第一次来	合计	是	否	合计
样本数量	171	72	34	33	310	241	69	310
比例(%)	55.16	23.23	10.97	10.65	100	77.74	22.26	100

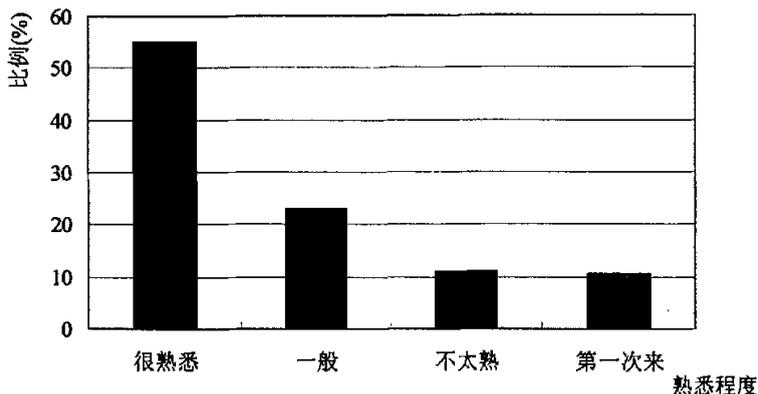


图 2-11 调查 II 驾车者对停车场的熟悉程度比例图

表 2-21 和图 2-11 反映出，驾车者对到达停车场选择“很熟悉”的最多，共有 171 人，占 55.16%；第一次来的只有 33 人，占 10.65%。总体能够到达首选停车场停放的样本数为 241，比例为 77.74%。

◆驾车者停车场地点的熟悉程度对首选停车场的影

响的相互关系参见下表 2-22 和图 2-12。

表 2-22 驾车者停车场地点的熟悉程度和首选停车场的关系表

熟悉程度	很熟悉		一般		不太熟		第一次来		合计
	是	否	是	否	是	否	是	否	
样本数量	152	19	54	18	17	17	18	15	310
样本比例(%)	49.03	6.13	17.42	5.81	5.48	5.48	5.81	4.84	100
样本数小计	171		72		34		33		310
样本比例小计(%)	55.16		23.23		10.97		10.65		100

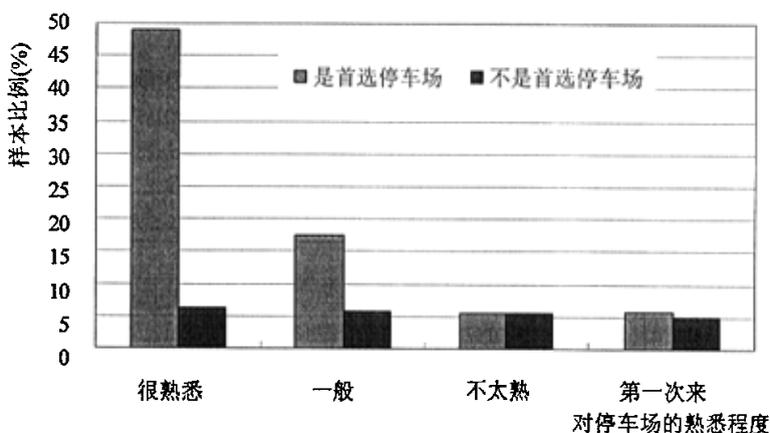


图 2-12 调查 II 驾车者熟悉停车场的程度对首选停车场的影

响结构关系图
表 2-22 和图 2-12 表明，认为对停车场“很熟悉”的 171 名驾车者当中，约 88.89% 到达首选停车场停放（152 名），占全部样本数的 49.03%。

◆首选停车场最关注因素

参见下表 2-23 和图 2-13。

表 2-23 调查 II 首选停车场最关注因素列表

最关注因素	距目的地距离	收费价格	停放安全性	熟悉程度	其它	合计
样本数量	158	36	72	26	18	310
比例(%)	50.97	11.61	23.23	8.39	5.81	100

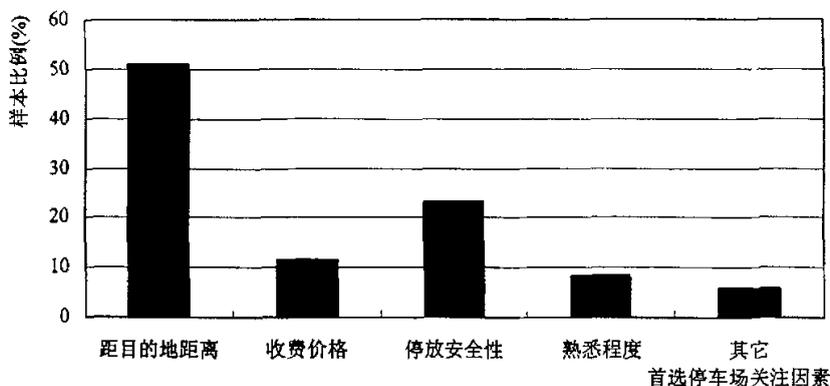


图 2-13 调查 II 首选停车场最关注因素结构比例图

表 2-23 和图 2-13 反映出, 驾车者对首选停车场关注目的地距离的程度最高, 选择该项的共有 158 人, 比例超过了半数, 为 50.97%; 其次是停放安全性, 占 23.23%; 驾车者对收费价格和熟悉程度的敏感性不是很高, 比例分别为 11.61% 和 8.39%。

3. PGIS 反应调查

(1) 现状停车诱导标志牌的总体评价

参见下表 2-24 和图 2-14。

表 2-24 调查 II 现状停车诱导标志牌评价表

项目	是否注意到标志牌			现状停车诱导标志牌作用效果评价					
	是	否	合计	很满意	一般	存在改进	很不满意	暂未评价	合计
样本数量	219	91	310	85	95	36	3	91	310
样本比例(%)	70.65	29.35	100	27.42	30.65	11.61	0.97	29.35	100

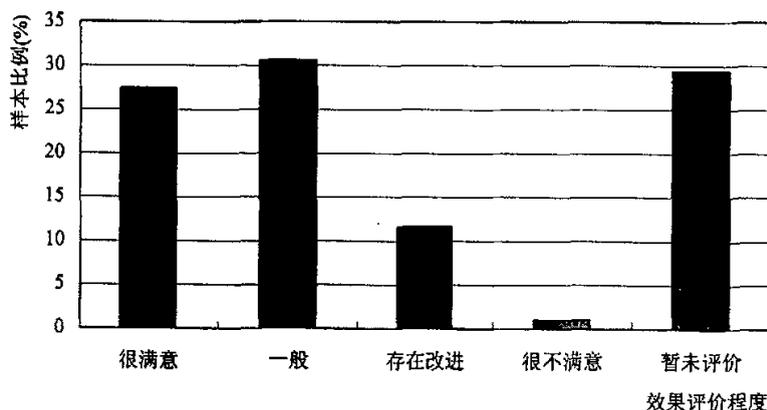


图 2-14 调查 II 现状停车诱导标志牌效果评价图

按表 2-24 和图 2-14 统计, 注意到停车诱导标志牌的驾车者有 219 人, 占被调查者的 70.65%; 其中有 85 人评价“很满意”, 95 人评价“一般”, 分别占样本数的 27.42% 和 30.65%。

(2) 不同类型停车设施处对现状停车诱导标志牌的评价比较

参见下表 2-25 和图 2-15。

表 2-25 不同类型停车设施处对现状停车诱导标志牌评价比较表

停车设施类型	样本统计	是否注意停车标志牌			现状停车诱导标志牌作用效果评价					
		是	否	合计	很满意	一般	存在改进	很不满意	暂未评价	合计
路外地面	样本数	103	46	149	36	49	17	1	46	149
地下		83	33	116	33	30	18	2	33	116
立体停车架		33	12	45	16	16	1	0	12	45
样本数合计		219	91	310	85	95	36	3	91	310
路外地面	样本相	69.13	30.87	100	24.16	32.89	11.41	0.67	30.87	100
地下	对比例	71.55	28.45	100	28.45	25.86	15.52	1.72	28.45	100
立体停车架	(%)	73.33	26.67	100	35.56	35.56	2.22	0	26.67	100

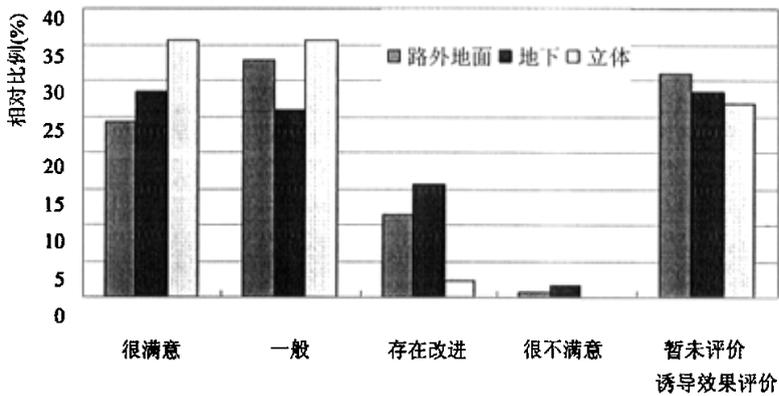


图 2-15 不同类型停车设施处对现状停车诱导标志牌评价构成比例图

表 2-25 和图 2-15 显示，调查的三类停车设施的停车诱导标志牌被注意到的比例均在 70% 左右；立体停车架稍高，比例为 73.33%；路外地面略低，比例是 69.13%。使用路外停车设施的驾车者效果评价“一般”的最多，比例是 32.89%；使用地下停车库的驾车者选择“很满意”的最多，比例为 28.45%；使用立体停车架的驾车者选择“很满意”和“一般”的评价比例最多，二者均为 35.56%；只有极少数停放路外地面和地下停车库的驾车者表示了“很不满意”，其相对比例分别是 0.67% 和 1.72%。

(3) 调查 II 采集建议汇总

调查 II 有 14 位驾车者提出了建议，主要是要求停车诱导标志牌的外观更醒目、位置更合适、内容更清晰、显示更准确等。

2.3.4 调查 III 结果汇总

调查 III 持续了 7h，现场观测记录了 457 辆车辆的到达时刻，获得 456 个到达时间间隔样本（参见表 2-6）。样本时间间隔范围在 2s~590s，到达时间平均间隔约 55.2s，其特征研究详见 2.4.4。

2.3.5 调查 IV 结果汇总

调查 IV 借助停车场电子计费管理系统在 6h 内连续抄录了 412 辆离开车辆的到达时刻和离去时刻数据，获得 411 个离去时间间隔样本（参见表 2-6）。样本时间间隔范围在 11s~308s，离去时间平均间隔约

53.8s；样本停放时间可由离去时刻和到达时刻之差求得，范围在 0.9min~1373.8min，平均停放时间 118.1min。其特征研究详见 2.4.4。

2.4 研究分析结论

在上节的基础上，将调查 I~调查 IV 的汇总结果综合归类，进行停车行为特征（分为驾车者行为特征和停车场车辆特征两类）及 PGIS 反应特征研究分析，可获得一系列有参考价值的结论。

2.4.1 驾车者属性特征

根据附表 I 和附表 II 的调查内容（参见表 2-2 和表 2-3），主要从性别、车辆属性和年龄特征来反映。

1. 驾车者当中男性占据绝大多数

调查 I 和调查 II 的男性驾车者比例分别是各自样本总数的 87.79% 和 92.26%，明显占绝大多数。

2. 私家车拥有比例已过半

调查 I 和调查 II 当中，私人车辆比例分别为 66.41% 和 54.52%，说明私家车拥有比例已过半。

3. 31~40 岁年龄段成为驾车者主体

调查 I 和调查 II 中，驾车者样本比例最高的年龄段都在 31~40 岁，分别占总数的 48.09% 和 47.10%，几乎接近一半。现代社会条件下，这个年龄段一般具备较强的经济实力、承担较大的工作强度，已经获得一定的社会地位，所以，他们成为驾车者主体顺理成章。

另外，调查 I 的家庭月收入选择 5000 元以下的最多，比例为 60.31%。此选项数据涉及到个人隐私，不排除部分驾车者出于各种顾虑加以掩饰的可能，按常规推算，其准确性不高。

2.4.2 驾车者行为特征

主要通过以下 4 个方面表现：

1. 出行停放目的比较集中，工作日和周日差别明显

调查 I（参见表 2-8 和图 2-1）表明，工作日驾车出行停放目的集中在上班、办公和回家三种，分别以 42.17%、23.91% 和 11.30% 的对应比例排在前三位，三者比例之和达 77.38%；周日驾车出行停放则以旅游、购物、餐饮和娱乐位列前四，比例分别是 19.82%、17.57%、15.77% 和 14.86%，四者比例之和 68.02%，相互之间比例差距不大。

调查 II（参见表 2-19 和图 2-9）显示，以购物、办公和餐饮为出行停放目的的驾车者比例排在前三位，其值分别为 35.58%、22.70% 和 20.25%，三者总和达到 78.53%。

以上分析说明驾车者出行停放目的比较集中。但无论从出行停放目的的种类还是从比例组成结构来看，工作日和周日驾车出行的停放目的差别明显。前者集中程度更高，后者则相对发散。调查 II 由于考虑不同地点的样本数，选择了星期五和星期六两天调查，其结果兼容了工作日和周日的状况，所以，实际上调查 I 和调查 II 获得的结论应该是较为相近的。

2. 工作日和周日预计停放时间范围表现一定的差异

调查 I（参见表 2-9 和图 2-2）反映出，工作日出行停放 61~120min 的最多，比例达 23.66%，排在二、三位的分别停放 31~60min 和 361min 以上，对应比例为 19.08% 和 18.32%，三者比例之和 61.06%；周日出行停放时间则以 121~240min 和 61~120min 排在前两位，比例分别是 30.53% 和 29.77%，处于第三位的是 30min 以内，比例为 19.85%，三者比例之和 80.15%，其余停放时间的比例均在 10% 以下。

调查 II（参见表 2-20 和图 2-10）当中，驾车者购物和餐饮停放时间以 61~120min 为最，比例分别达到 35.34% 和 48.48%；办公停放时间在 31~60min 最多，比例是 32.43%。

不难发现，工作日和周日驾车出行的停放时间分布表现一定的差异。这与出行停放目的有关。同理，

由于调查 II 兼具工作日和周日的特点, 可以认为调查 I 和调查 II 获得的结论比较一致。

3. 首选停车场相关选项值得关注

分别按以下方面概括:

(1) 首选路外地面停车场者过半

调查 I (参见表 2-10 和图 2-3) 显示, 首选路外地面停车场的驾车者明显最多, 占样本的 58.02%; 地下停车库和路内停车场分别以 20.61% 和 17.56% 列第二、三位。

(2) 首选停车场熟悉程度对停放选择有影响

调查 II (参见表 2-21 和图 2-11) 反映出, 驾车者对所选停车场回答“很熟悉”的最多, 比例占到 55.16%; 回答“第一次来”的仅占 10.65%; 总体能够到达首选停车场停放的样本比例 77.74%。这说明大多数驾车者能在首选停车场停放, 对所选停车场偏于熟悉者居多。

调查 II (参见表 2-22 和图 2-12) 当中, 认为对停车场“很熟悉”的驾车者当中, 约 88.89% 到达首选停车场停放, 占全部样本数的 49.03%。可以推断, 驾车者获得首选停车场泊位的比例与其对停车场的熟悉程度基本正相关——驾车者对停车场越熟悉, 他们在首选停车场停放的比例越高。

(3) 首选停车场目前最关注距目的地距离因素

调查 I 和调查 II 均包含了首选停车场最关注因素。由于调查的对象和内容一致, 为简便统一起见, 在此将表 2-11 和表 2-23 合并, 得到如下表 2-26 的结果。这些因素将为第三章的智能停车选择模型 (详见 3.4.2) 和第五章的停车调度选择方案排序评价 (详见 5.4.4) 提供备选指标。

表 2-26 驾车者首选停车场最关注因素综合统计表

最关注因素	距目的地距离	收费价格	停放安全性	熟悉程度	其它	合计
样本数量	212	58	119	34	18	441
比例(%)	48.07	13.15	26.98	7.71	4.08	100

表 2-26 当中, 最关注距目的地距离的比例最高, 达 48.07%; 其次是停放安全性, 比例为 26.98%; 收费价格以 13.15% 居第三位。这和调查 I (参见表 2-11 和图 2-4)、调查 II (参见表 2-23 和图 2-13) 各自统计的结果一致。

虽然从表 2-26 的统计结果看, 驾车者对停车收费不敏感, 但这是由于国内城市不合理的现状停车收费管理体制和公车使用偏多所致。不久的将来, 随着不少城市正在研究酝酿的停车收费和公务用车改革措施的推行, 此项指标足以引起驾车者的真正重视, 届时情况必然会有所变化。

4. 停车后步行距离忍受值上限是 200m

调查 I (参见表 2-12 和图 2-5) 表明, 停车后能忍受步行距离在 200m 以内的驾车者总计比例值为 86.25%, 这说明 200m 是大多数驾车者停车后能够忍受的步行距离上限。

停车后距目的地的步行距离是衡量停车场服务水平重要的常用指标。此上限值将为第三章智能停车选择模型的建立 (详见 3.4.3) 以及停车选择方案排序决策 (详见 3.4.4) 过程提供借鉴。

2.4.3 PGIS 反应特征

主要体现在如下几点:

1. 驾车者总体接受 PGIS 的意向很强, 期望较高

调查 I 当中, 愿意接受 PGIS 使用者占样本数的 88.55%, 说明绝大多数驾车者表现了使用 PGIS 的需求兴趣, 在我国城市设置 PGIS 具有很强的现实必要性。

另外, 对将来 PGIS 效果预计“很有作用”的最多, 比例达 53.44%; 其次是选择“一般”的, 比例为 39.69%; 两者比例之和竟为 93.13% (参见表 2-16 和图 2-7)! 这充分表明驾车者们对将来 PGIS 的应用充满期望, 有理由看好未来 PGIS 的市场需求前景。

2. 出行前愿意采用的停车信息查询方式呈多样化

调查 I (参见表 2-13) 显示, 出行前愿意使用广播电台的驾车者比例最高, 达到 30.71%; 手机短信方式以 28.57% 列其次; 出乎意料的是有 20.71% 的样本选择其它方式, 排在第三位; 而其余几种日常

普及率很高的通讯工具或媒体选择比例均在 8% 以下。尚没有任何一项方式成为主导意愿。

这从一定程度反映出驾车者愿意采用直接便利的方式在出行前获取停车信息，那些比较耗费时间的方式不受欢迎；同时说明驾车者对现代和未来科技应用于静态交通领域的要求越来越高。不过，由于现状的使用方式尚很奇缺，被调查人受知识范围和环境条件所限，只能暂时按照自己的猜测进行选择，难以预见未来的发展。当多样化的方式逐渐投入具体使用后，选择偏好很有可能发生变化。

本结论将为出行前子系统框架构建和功能设计（详见第三章 3.1 和 3.3）提供借鉴。

3. 出行途中愿意采用的停车信息了解方式受现行方式影响暂时相对集中

调查 I（参见表 2-14）表明，出行途中愿意使用路侧可变信息板的驾车者最多，样本比例达 46%；其次是广播电台方式，比例是 32.67%；这两种方式的比例之和达 78.67%，占据了选择主体；而选择车载设备或手机短信息方式的比例均分别仅有 8%。

这从一定程度反映出驾车者愿意采用直接明了的简捷方式在出行途中获取停车信息。另一方面，由于现状的停车诱导标志牌已在南京市的主要大型停车场入口处设置，广播电台也早已开办了交通信息节目，给大多数被调查人留下了较深的印象而产生亲近感；而车载显示设备的市场使用率目前近乎空白，因陌生自然使驾车者的选择打折扣，当其正式投入使用取得一定效果后，选择偏好很有可能发生变化；手机短信息的选择则因今年颁布的《道路交通安全法》有关严禁开车时使用手机的规定出台受到限制。特别是问询调查直接受主观因素影响，而主观因素很难确保维持不变，所以，目前的结果不能完全代表未来的格局。

本结论将为出行中子系统框架构建和功能设计（详见第四章 4.1 和 4.3）提供参考。

4. 现状停车诱导标志牌使用效果基本认可，需要改进

调查 I（参见表 2-15 和图 2-6）当中，对现状停车诱导标志牌评价“一般”的比例最高，达 54.96%；认为“很满意”的处于第二位，比例是 24.43%；两者比例之和 79.39%。调查 II（参见表 2-24 和图 2-14）统计显示，注意到停车诱导标志牌的驾车者占 70.65%；其中评价“很满意”和“一般”的分别占样本总数的 27.42% 和 30.65%。说明以停车诱导标志牌为代表的 PGIS 总体上获得了认可，引起了大多数驾车者的注意，发挥了基本作用。

调查 II（参见表 2-25 和图 2-15）显示，调查的三类停车设施的停车诱导标志牌被注意到的比例均在 70% 左右；使用路外停车设施的驾车者效果评价“一般”的最多，比例是 32.89%；使用地下停车库的驾车者选择“很满意”的最多，比例为 28.45%；使用立体停车架的驾车者选择“很满意”和“一般”的评价比例最多，二者均为 35.56%。由此看出不同类型停车设施处的评价结果有所不同，说明驾车者在不同类型的停放环境条件下需求关注各有特点。

调查 I 和调查 II 均有驾车者提出了建议，说明现状停车诱导还需要相应的改进。正是由于还存在不足，所以仍有 3/4 左右的驾车者对南京市现状 PGIS（以停车诱导标志牌为主）没有评价“很满意”，同时造成部分驾车者没有注意到停车诱导标志牌发布的信息。

调查中发现，部分停车场入口的诱导标志牌没有及时更新，失去了“动态”的效果。其原因是多方面的。有线路传输故障，如中央商场；也有统计上的缺陷，如天丰大酒店一般不累加进入的特种车辆（如军车、警车）数。无论如何，剩余泊位显示数据长时间固定不变，无法发挥诱导的作用，既容易引起驾车者的不满，也会造成用户对诱导标志牌信任程度下降。

本结论将有助于优化设计以停车诱导标志牌为主的 PGIS（详见第四章 4.3.3）。

2.4.4 停车场车辆特征

根据调查 III 和调查 IV 的工作内容，分别论述停车场车辆到达时间间隔分布、车辆离开时间间隔分布和车辆停放时间比例结构这 3 项特征。

1. 车辆到达时间间隔分布

由于调查 III 观测记录的是时间间隔样本，因此采用连续型分布方式来研究分析。先按下式(2.1)计算调查 III 观测时间内车辆每小时的平均到达量：

$$Q = 457/7 = 65.3\text{veh/h} \quad (2.1)$$

在动态交通流中,通常认为当每车道的不间断车流量不超过 500veh/h 时,用负指数分布描述车头时距是符合实际的^[4]。中央商场地下停车库入口是车辆单列进入形式,可将其视作单车道车流,而式(2.1)中 Q 的计算值远小于 500veh/h,则试用负指数分布拟合到达时间间隔数据。

按下式(2.2)计算调查 III 观测时间内车辆的平均到达率:

$$\lambda = Q/3600 = 65.3/3600 = 0.018 \quad (2.2)$$

车辆到达时间间隔等于或大于 t_i 的概率计算如下式(2.3):

$$P(h \geq t_i) = e^{-\lambda t_i} \quad (2.3)$$

式中, h —车辆到达时间间隔, s; t_i —第 i 组车辆到达时间间隔范围, s ($i = 1, 2, \dots, n$)。

车辆到达观测时间间隔分组统计单位取 10s, 将现场观测记录的时间间隔频数、频率及按式(2.2)和式(2.3)计算的理论值列于下表 2-27。

表 2-27 调查 III 车辆到达时间间隔负指数分布拟合观测数据表

观测间隔范围 t_i (s)	观测频数	$\geq t_i$ 累积观测频数	$\geq t_i$ 理论累积频数	观测频数累积比例(%)	理论频数累积比例(%)
0~9.99	72	456	456	100	100
10~19.99	84	384	380.9	84.2	83.5
20~29.99	55	300	318.1	65.8	69.8
30~39.99	37	245	265.7	53.7	58.3
40~49.99	39	208	222.0	45.6	48.7
50~59.99	24	169	185.4	37.1	40.7
60~69.99	21	145	154.9	31.8	34.0
70~79.99	23	124	129.3	27.2	28.4
80~89.99	18	101	108.0	22.1	23.7
90~99.99	17	83	90.2	18.2	19.8
100~109.99	9	66	75.4	14.5	16.5
110~119.99	11	57	63.0	12.5	13.8
120~129.99	8	46	52.6	10.1	11.5
130~139.99	4	38	43.9	8.3	9.6
140~149.99	4	34	36.7	7.5	8.0
150~159.99	3	30	30.6	6.6	6.7
160~169.99	3	27	25.6	5.9	5.6
170~179.99	2	24	21.4	5.3	4.7
180~189.99	5	22	17.9	4.8	3.9
190~199.99	1	17	14.9	3.7	3.3
≥ 200	16	16	12.5	3.5	2.7
合计	456	-	-	-	-

然后将理论曲线和拟合观测记录数据生成的曲线绘入下图 2-16。

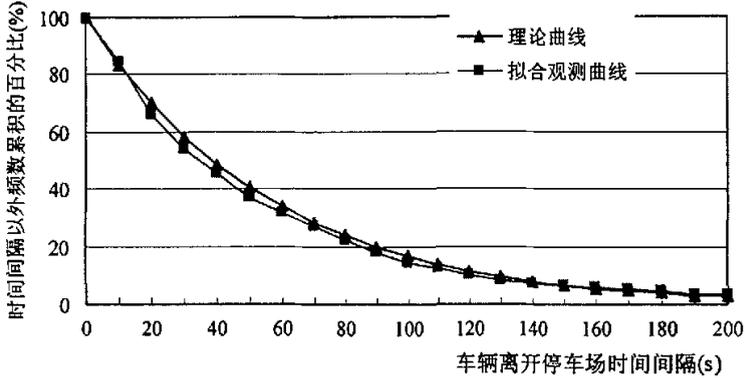


图 2-16 调查 III 车辆到达时间间隔负指数分布拟合观测数据和理论曲线比较图

从图 2-16 明显看出, 采用负指数分布得到的拟合观测曲线非常接近理论曲线, 可以认为车辆到达停车场的时时间间隔服从负指数分布。本结论将为第四章建立车辆停放接受条件模型(详见 4.4.4)服务。

2. 车辆离去时间间隔分布

由于调查 IV 抄录的是车辆离去时间间隔样本, 因此也采用连续型分布方式来研究分析。先按下式(2.4)计算调查 IV 观测时间内车辆每小时的平均离去量:

$$Q = 412/6 = 68.7\text{veh/h} \quad (2.4)$$

中央商场地下停车库出口亦是车辆单列驶离形式, 可将其视作单车道车流, 而式(2.4)中 Q 的计算值远小于 500veh/h, 同调查 III 所述, 也试用负指数分布拟合离去时间间隔数据。

按下式(2.5)计算调查 IV 观测时间内车辆的平均离去率:

$$\lambda = Q/3600 = 68.7/3600 = 0.019 \quad (2.5)$$

仍采用式(2.3)计算车辆离去时间间隔等于或大于 t_i ($i=1,2,\dots,n$) 的概率。

车辆离去时间间隔分组统计单位取 15s, 将观测采集的时间间隔频数、频率及按式(2.3)和式(2.5)计算的理论值列于下表 2-28。

表 2-28 调查 IV 车辆离去时间间隔负指数分布拟合观测数据表

观测间隔范围 t_i (s)	观测频数	$\geq t_i$ 累积观测频数	$\geq t_i$ 理论累积频数	观测频数累积比例(%)	理论频数累积比例(%)
0~14.99	45	411	411	100	100
15~29.99	90	366	309.1	89.1	75.2
30~44.99	94	276	232.4	67.2	56.6
45~59.99	70	182	174.8	44.3	42.5
60~74.99	37	112	131.4	27.3	32.0
75~89.99	16	75	98.8	18.2	24.1
90~104.99	14	59	74.3	14.4	18.1
105~119.99	12	45	55.9	10.9	13.6
120~134.99	7	33	42.0	8.0	10.2
135~149.99	10	26	31.6	6.3	7.7
150~164.99	7	16	23.8	3.9	5.8
165~179.99	0	9	17.9	2.2	4.3
180~194.99	1	9	13.4	2.2	3.3
≥ 195	8	8	10.1	1.9	2.5
合计	411	-	-	-	-

然后将理论曲线和拟合观测采集的数据生成的曲线绘入下图 2-17。

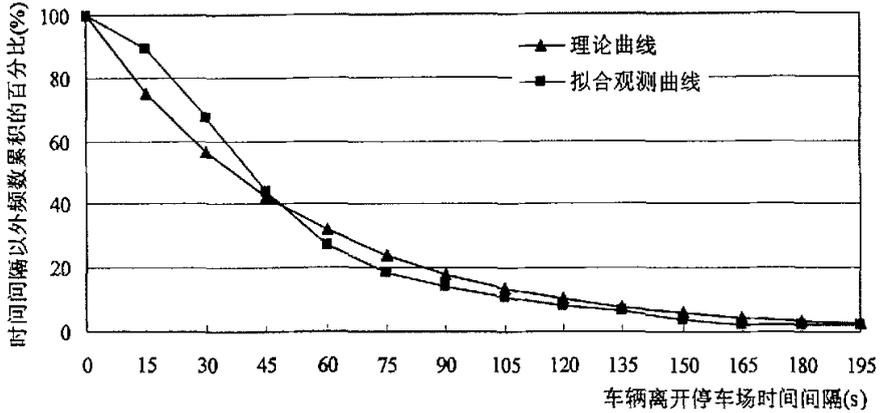


图 2-17 调查 IV 车辆离去时间间隔负指数分布拟合观测数据和理论曲线比较图

上图 2-17 显示，采用负指数分布的拟合观测曲线与理论曲线吻合程度较高，可以认为车辆离开停车的时间间隔服从负指数分布。根据排队论原理，说明车辆的停放时间也服从负指数分布。

拟合观测曲线和理论曲线存在一些差异的原因在于：

- ①停放车辆当中包括少数商场自备车辆和送货车辆，它们的停放离去时间不大符合常规。
- ②高峰时段车辆离开的时间间隔较密集，通过出口关卡时容易出现一定程度的延误。
- ③虽然是计算机计时，但记录过程中不可避免会产生若干系统误差。

本结论也将为第四章建立车辆停放接受条件模型（详见 4.4.4）服务。

3. 车辆停放时间比例结构

调查 IV 获得的车辆停放时间统计比例结构参见下表 2-29 和图 2-18 所示。

表 2-29 调查 IV 车辆停放时间统计表

分类编号	停放时间长度(min)	样本数	样本比例(%)
1	30 以内	55	13.3
2	31~60	90	21.8
3	61~120	131	31.8
4	121~240	96	23.3
5	241~360	25	6.1
6	361 以上	15	3.6
合计	48637.3	412	100

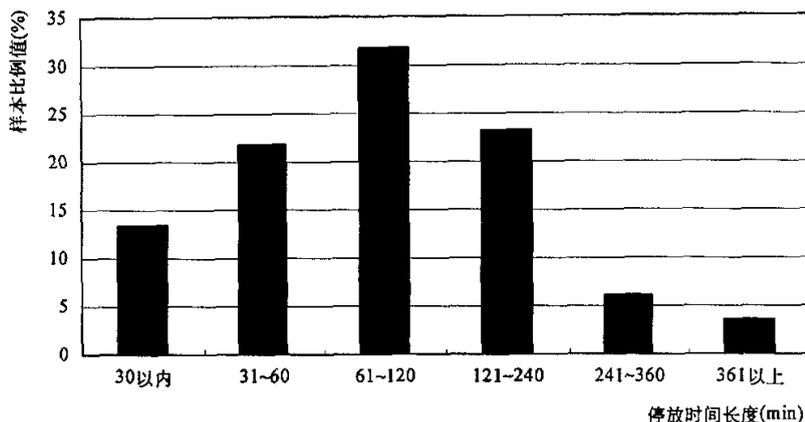


图 2-18 调查 IV 车辆停放时间比例结构图

表 2-29 和图 2-18 表明, 调查 IV 停放时间在 61~120min 的最多, 共 131 辆, 占总数的 31.8%; 其次是 121~240min 段, 共 96 辆, 比例为 23.3%; 紧随其后的是 31~60min, 共 90 辆, 占总数的 21.8%; 三者比例达 76.9%。

调查 I 的周日预计停放时间 (参见表 2-9 和图 2-2) 及调查 II 的购物和餐饮出行预计停放时间 (参见表 2-20 和图 2-10) 比例结构与调查 IV 的统计结果比较接近。因为调查 IV 安排在周日 (星期六) 进行, 而驾车到位于新街口商贸区的中央商场一般以购物和餐饮出行居多, 所以几项调查反映都比较一致。

2.5 本章小结

停车行为特征及 PGIS 反应特征研究在国内尚比较欠缺。本章以包括问卷调查和现场观测记录方法在内的 4 项调查为基础, 开展这两项研究。其中将前者分为驾车者行为特征和停车场车辆特征两类。

笔者设计了两类调查问卷 (参见附表 I 和附表 II) 进行问询调查 (调查 I 和调查 II), 另外采用两类调查表格 (参见附表 III 和附表 IV) 分别用于现场观测记录 (调查 III 和调查 IV)。调查全部选择在南京市进行。调查 I 和调查 II 服务于驾车者行为特征和 PGIS 反应特征研究; 调查 III 现场观测记录的车辆到达时刻数据为停车场车辆到达特征研究服务; 调查 IV 借助停车场电子收费管理系统抄录离开停车场的车辆到达时刻和车辆离去时刻数据用于停车场车辆离开和停放特征研究。

对调查 I~调查 IV 的汇总结果综合归类研究分析后, 获得了一系列有参考价值的结论, 参见下表 2-30。

表 2-30 停车行为特征及驾车者对 PGIS 的反应特征研究结论表

编号	驾车者属性特征	驾车者行为特征	PGIS 反应特征	停车场车辆特征
1	男性占据绝大多数	停放目的集中, 工作日和周日有差别	接受意向很强, 期望高	到达间隔负指数分布
2	私家车比例已过半	工作日和周日预计停放时间有差异	出行前查询意愿多样	离去间隔负指数分布
3	31~40 年龄段是主体	首选路外地面停车场者过半	出行途中愿意采用的停车信息方式较集中	停放时间 61~120min 者最多, 达 31.8%
4		首选停车场熟悉程度影响停放选择	现状使用效果基本得到认可, 但需要改进	
5		首选停车场最关注距目的地距离		
6		停车后步行距离忍受值上限 200m		

本章的研究分析结论将主要给第三章出行前子系统和第四章出行中子系统的框架构建、功能设计和相关模型研究提供直接的数据支持基础和理论前提, 对于其他后续章节的研究也具有铺垫作用。

第三章 出行前城市车辆停放信息传输子系统

现代城市机动化交通流日益增加。驾车者在享受潇洒出行的同时，却不得不面对因停车资源奇缺造成的寻求泊位的苦恼。尤其对于驾龄短、出行次数有限或者不熟悉出行目的地的驾车者，如果出行前没有了解目的地附近的停车设施分布，很可能出现无所适从而迂回“巡泊”的尴尬。另一方面，部分停车场由于设立在地下、位置略偏、停放路径远、新近建成等因素未受关注甚至无人知晓，即使在高峰时段，也乏车问津。

第二章的 PGIS 反应特征研究当中，88.55%的驾车者表现了使用 PGIS 的需求兴趣，对将来 PGIS 效果预计“很有作用”的比例高达 53.44%，总体接受 PGIS 的意向很强，对 PGIS 的期望值较高（参见 2.4.3）。说明在我国城市设置 PGIS 具备了充分的现实必要性。

按照图 1-5 的结构，PGIS 划分为出行前和出行途中两个子系统。为此，在 PGIS 当中形成相对独立的出行前城市车辆停放信息传输子系统（以下简称“出行前子系统”），给驾车者提供出行前的停车指南，已呈大势所趋。

3.1 出行前子系统框架

以第二章驾车者所表现的 PGIS 反应特征为依据建立出行前子系统，能够让驾车者按自己的偏好和城市实时停车信息提前安排出行路径和预选停放地点，作好充分的出行准备，将有效消除驾车者出行以后搜寻停车场的顾虑，并提高“冷门”停车设施的利用率。可以说，出行前子系统的建立，无论对驾车出行者还是城市停车设施，都具有积极的意义。

PGIS 反应特征研究表明，驾车者出行前愿意采用的停车信息查询方式呈多样化，尚没有任何一项方式成为主导意愿（参见 2.4.3）。为了适应驾车者的意愿特性，兼顾不同阶层驾车者经济水平、知识技能和出行前信息需求情况的差异，采取现代化高科技手段和传统方式相结合，优势互补，构建面向用户的多层次、全方位城市实时停车信息服务的出行前子系统。考虑到由于现状出行前子系统的使用方式尚很稀缺，被调查人受自身知识范围和环境条件所限，只能暂时按照自己的猜测进行选择，难以预见未来的发展；而作为理论研究，应具有超前性，所以，本文并不完全局限于按目前的调查数据获得的研究结论。

籍于此，综合第二章调查 I 的询问内容（参见附表 I）和现代化高科技发展所引导的未来演变趋势，通过 Internet、通信和媒体 3 种传输渠道，构建出行前子系统框架如下图 3-1 所示。

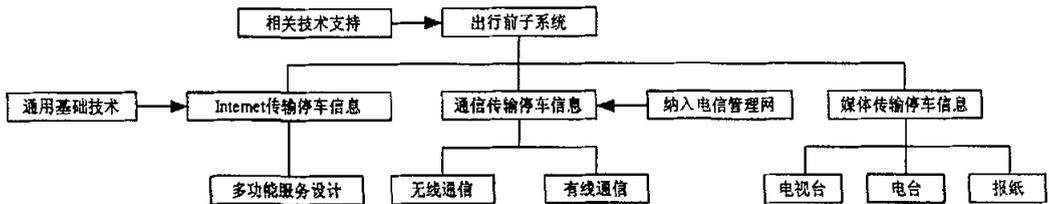


图 3-1 出行前子系统框架结构示意图

需要指出的是，出行前子系统计划实施的主体是双向传输，即子系统既可以完成传统的被动接收停车信息的功能，同时又主动向控制中心传递用户发送的数据，体现城市实时停车信息和用户个性化意愿的理想衔接。

本章将依据图 3-1 的框架结构集中讨论出行前子系统的服务前提和实现条件（主要是通用基础原理技术）、功能设计（包括智能停车选择模型、算法以及停车选择方案排序评价）。限于篇幅和主旨，文中不涉及实现各种停车信息传输方式具体的步骤方法和功能软件开发设计。

3.2 相关技术支持

PGIS 的复杂功能注定了它需要多学科融合背景下的强大的高科技支持。发达的计算机、互联网、多媒体、通信、控制、电子等现代前沿科学技术,已经为建立出行前子系统提供了充分的前提条件。在此介绍和出行前子系统运行密切相关的主要技术。

3.2.1 GIS 工作平台

加拿大著名的地理信息学者 Roger. Tomlinson 于 1962 年首次提出 GIS (地理信息系统) 概念,并在加拿大领导建设了世界上第一个具有实用价值的 GIS^[9,42]。从 20 世纪 80 年代开始,随着计算机技术的突飞猛进和社会各行业的迫切需求,GIS 在世界上迅速发展成为应用广泛的新兴产业。GIS 是一种采集、处理、传输、存储、管理、查询检索、分析、表达和应用地理信息的计算机系统,是分析、处理和挖掘海量地理数据的通用技术。与传统的 CAD、MIS 系统偏于单一的性能不同,GIS 兼容了图形和数据的管理,拥有庞大的三维参数体系,地表每一点都能在其中找到自己的坐标。

出行前子系统涉及到大量与停车设施地理位置有关的信息,把 GIS 引入出行前子系统,将发挥举足轻重的工作平台作用。GIS 工作平台主要由图库、数据库和管理分析工具组成,三部分可以彼此灵活地调用和互访,确立适宜的空间数据模型,在各属性信息间建立多层次的拓扑 (topology) 关系。GIS 的概念框架构成如图 3-2 所示。

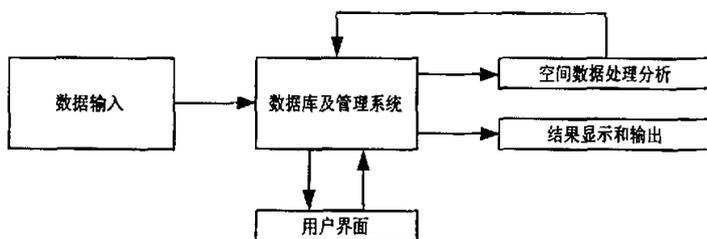


图 3-2 GIS 的概念框架图

1. 硬件和软件

GIS 工作平台既需要硬件配备,也需要软件支撑。硬件方面主要包括工作站和微型计算机终端。目前主要的计算机操作系统软件是 UNIX、Windows9X、Windows NT、Windows 2k、Windows XP、Macintosh 等,常用的计算机应用软件是 ARC/INFO、MGE、GeoMedia、GenaMap、MapInfo、AutoDesk Map、ArcView、MapObjects、MapX、Maptitude、MapGIS、GeoStar、MapEngine 等。

2. 空间实体要素

在 GIS 中不可再分的最小单元现象称为空间实体。

(1) 实体的基本类型

①点状实体。这是有特定位置、维数为 0 的物体,用一组坐标表示。通常采用实体点、注记点、内点、结点、角点等方式。

②线状实体。由一组有序坐标表示,包括线段、边界、链、弧段、网络等,具有实体长度、弯曲度和方向性的特点。

③面状实体。也称为多边形,是对地块、建筑物平面等一类现象的描述。在数据库中由一封闭曲线加内点表示。

(2) 实体的属性

是对实体特征的描述。例如,道路的实体特征包括名称、类型、路面宽度、车道数等。

(3) 实体的空间关系

在 GIS 中的表示方法主要有 5 种:

①区域定义。指多边形可用一组封闭的线来定义。这种拓扑数据结构通常称为弧段-结点，其中每条线被称为一个弧段，每个结点被认为是弧段相交的位置。

②邻接性。可称为多边形-弧段拓扑，即确定多边形相互之间的邻接关系。

③连通性。指对弧段连接的判别。连通性可以用在每个结点上汇集的弧段的列表表示。

④方向性。对有向线段而言，一个弧段具有起点与终点，从起点至终点确定了一个方向。

⑤包含性。指面状实体包含了哪些线状实体或点状实体。

3. 数据类型

地理信息数据是 GIS 的操作对象和管理内容。GIS 当中的数据包括两大类：

①空间数据。这类数据以地球表面空间位置为参照，用来确定图形和制图特征的位置。它具体反映了某个已知坐标系中的位置和实体间空间相关性两方面的信息。前者也称为几何坐标；后者即拓扑关系，表示点、线、网、面等实体的空间联系。空间拓扑关系对于地理空间数据的编码、录入、格式转换、存储管理、查询检索和模型分析都有重要的价值。

②非空间属性数据。此即通常所说的非几何属性。它是与地理实体相联系的地理变量，一般经过抽象的概念，采用分类、命名、量算、统计等方法得到。非空间属性数据分为定性和定量两种，前者包括名称、类型、特性等；后者则包括数量和等级等。任何地理实体至少包含一个属性，而 GIS 的分析、检索主要通过对属性的操作运算来实现。

4. 内部数据结构

描述地理实体的数据本身的组织方法，称为内部数据结构。内部数据结构分为矢量结构和栅格结构两大类。两类结构都可用来说点、线、面状地理实体。在矢量结构中，现实世界的物体或状态用点、线或面表达，每个实体的位置用其在坐标参考系中的空间坐标定义；矢量数据结构按是否明确表示地理实体的空间相互关系，分为拓扑型数据和实体型数据。在栅格结构中，空间被划分成规则的栅格（通常是正方形），地理实体的位置和状态用它们占据的栅格行、列号定义；栅格数据结构由像元阵列构成，表示的是不连续、经量化的近似数据。

矢量和栅格数据结构各有优势，也都存在不足。对于地图数字化、拓扑检测、矢量绘图等功能，矢量结构不可缺少；对于与遥感相结合的 GIS，栅格结构必不可少。表 3-1 给出了两类数据结构的简单比较。较为合理并且行之有效的方法就是让矢量和栅格数据结构并存，采用计算机程序实现两者的转换。

表 3-1 矢量数据结构和栅格数据结构表示方法的比较

名称	优点	缺点
矢量数据结构	1.表示地理数据的精度高 2.数据结构紧凑、存储空间小 3.有利于网络分析 4.图形输出质量好、精度高 5.能有效实现图形和属性数据的恢复、更新和综合	1.数据结构和处理算法均较复杂 2.多边形重叠分析比较困难 3.对软、硬件的技术要求高 4.显示和绘图成本高 5.数学模拟比较困难
栅格数据结构	1.数据结构和处理算法均较简单 2.空间数据的重叠和组合十分方便 3.易于进行各类空间分析 4.数学模拟方便 5.数据输入与技术开发的费用低	1.图形数据存储量大 2.投影转换比较困难 3.图形输出的质量较低、精度不够 4.图像识别的效果相对较差 5.难以建立网络连接关系

5. 地理信息数据库

GIS 包含了大量的地理信息数据库。与出行前子系统关系最密切的由以下几个模块组成：

①图形数据管理模块。此模块主要用于城市停车设施及其相关属性数据的录入和校验。城市停车设施的空间数据和属性数据通过编辑器生成数字文件，相关的道路和建筑物方位等空间数据可由地图查获，属性数据则考虑停车设施自身的规模、类型、收费、通讯、实时动态使用等方面信息。

②图形图像操作模块。在显示屏幕或监视器上，进行开窗缩放、图像漫游、编码解码、图像叠置、属性数据查询、加注符号标记等交互式是图形图像操作。

③数据综合分析及辅助决策模块。这是出行前子系统以及 GIS 控制的核心部分, 属性数据的管理、停车需求的分析、停车设施的泊位实时信息、停车选择决策等的制定都集于此。通过建立统计数据模型结合对象的属性分析停车设施实时的使用信息, 应用最优化选择算法初步确定首选出行停车场。

3.2.2 Internet (互联网) 技术

自从美国麻省理工学院蒂姆·伯纳斯-李(音译)教授创立万维网(World Wide Web)^[40]以来, Internet 在全球范围飞速崛起, 渗入了社会各界和千家万户, 已经成为信息社会的一项显著标志。利用 Internet 技术在万维网上发布和出版地理信息数据, 可以给用户提供操作简便的浏览、查询和分析等系统功能。“信息高速公路”的独特优势和地理信息的全方位需求促进了 Internet 技术和 GIS 的自然联合, WebGIS 就是 Internet 技术应用于 GIS 开发的典型产物。通过 Internet, GIS 的既有功能得到进一步扩展, 能够真正为大众所拥有。在出行前子系统中, 将监控的停车场内部数据库和信息控制中心链接, 即可通过 Internet 向各处的显示系统传输实时信息。总地说来, WebGIS 具有以下方面的特点:

1. 较低的开发和应用管理成本

WebGIS 是在通用的浏览器上发布地理信息, 从而大大降低了终端用户的培训成本和技术负担。利用组件式技术, 用户可以根据实际需要选择控件, 也最大限度地减轻了用户的经济负担。

2. 真正意义的信息共享

WebGIS 在通用的浏览器上发布的地理信息, 使得专业人员和普通用户都能够在全球范围内任意一个网络站点方便地按需获取, 真正实现了 GIS 的大众信息共享。

3. 广阔的扩展空间

标准化组织 IETF 和 W3C 制定的 Internet 技术基于的标准是开放的、非专用的, 这为 WebGIS 的继续扩展创造了极大的发挥空间。WebGIS 很容易与网络中的其他信息服务进行无缝集成, 建立功能强大、内容丰富的 GIS 详细应用。

4. 跨平台性

传统的 GIS 软件针对不同的操作系统, 分别使用相应的 GIS 应用软件。而利用 Java 技术的 WebGIS 则能做到“一次编程, 到处运行”, 发挥跨平台的技术优势。

3.2.3 电子地图

电子地图是 GPS 依托 GIS 工作平台作用的综合体现。在交通领域, 电子地图的应用带来了观念上的全新变革——传统的用文本管理交通信息和设备的方式被图形显示取代! 电子地图信息量丰富、直观、便捷的特点使它受到多方的热烈欢迎。灵图软件技术有限公司开发的 1:5000~1:25000 比例尺的高精度电子地图已在北京、上海和沿海主要省会所在地的 40 多个城市投入使用^[43]。

1. 制作方法

电子地图的制作方法很多。既可由 mapinfo 接数字化仪直接生成; 也可由 AutoCAD 数字化后形成矢量地图, 再将*.DXF 文件转换成 mapinfo 的表文件, 这样定位比较准确。另外, 从采用扫描仪扫描的地图产生的*.TIF 和*.BMP 等格式文件上选取特征明显的点, 将其坐标输入到“配准图像”对话框配准过程同样可以转换成 mapinfo 表文件。如果图幅较大, 扫描后还需要拼接, 这样处理能够反映信息系统的细致和复杂性。图中汉字和符号的标注均采用 drawing 按钮版的“文本”和“标注”按钮完成。

2. 图层化概念

使用 mapinfo 软件建立电子地图时, 是按图层组织的。具体做法是将一幅计算机地图加工成多个层层叠加的透明层, 每个图层包含了整体当中的不同方面。把它们叠加就可以组成完整的地图, 也可根据需要叠加其中某几层。

3. 数据库设计

电子地图数据库是电子地图系统的核心和基础, 数据库的结构直接影响数据的存贮处理效率。电子

地图的工作环境具有实时、多任务同时开展的特点，因此数据库设计一般遵循如下原则：

- ①数据的冗余度小，减少数据的重复存贮，保持拓扑关系正确。
- ②图形结构简单，图形数据包含点、线、面，但以点（代表交叉口）、线（代表道路网）为主。
- ③图形拓扑关系简单，主要表现点与线、线与线的关系。
- ④空间查询和分析速度快，要求算法简捷、占用内存少，主要提供单个对象的查询、弧线之间的拓扑查询和道路网络分析。
- ⑤地图保持及时更新。
- ⑥属性数据采用关系型的数据库，提供灵活和功能强大的常规查询。

依托 GIS 工作平台，出行前子系统能使监控的目标停车场的属性特征和泊位信息实时、准确地显示在电子地图中，为驾车者出行前的初步停车决策提供直观有力的支持和帮助。

3.2.4 通信技术

出行前子系统需要快速、准确、及时、高效地处理和获取大量的停车设施信息，而信息的获取和传输必须依靠通信技术。通信技术的方式多样，总体上可分为有线通信技术和无线通信技术两大类。

1. 移动通信

至少有一个移动端的无线电通信称为移动通信。20 世纪 70 年代以来，超高频大功率管和大规模集成电路的问世、程控电子交换机以及微处理器技术的发展将移动通信系统带入了崭新的阶段，各种新型的移动通信网也应运而生。移动通信网服务区域有两类覆盖方式^[10]：

①小容量大区制。即整个城市只设一个基地台，覆盖整个地区。大区制只适用于中小城市或业务量不大的城市，有单频单工辐射状通信系统和单、双频兼容通信系统。

②大容量小区制。这是绝大多数系统采用的无线电结构。小区制是把一个地区划分为若干直径 3~5km 的小区，每个小区设一个基地台，每隔 3~4 个小区可以重复使用信道。在每个小区内，基地台只需较小的功率，用户数也较少，可以减少互调的干扰，由此解决了频道不够、频率重复使用的问题。小区制一般分为带状的一维小区和面状的二维小区。

移动通信的数据交换优势和语音对话等功能使它无可争议地成为现代通信业的领潮儿。即使在相对属于静态的出行前子系统中，随着 GSM（Group Special Mobile，数字蜂窝移动通信）技术的推广普及，移动通信也拥有了充分的展现天地。

2. 交通信息台

这是一种单向信息传输方式，采用调频广播副载波传送。它利用现行的立体声基带信号的空闲频带，在不影响正常的调频广播的条件下发射服务数据。通常包括立体声广播在内的调频广播，只占用了调频基带 53kHz 以下的频带，53kHz 以上完全可用于传输交通信息。迄今为止，我国以 57kHz 为副载波的广播数据系统和副载波为 67kHz、76kHz、92kHz 的辅助通信业务信道^[9]，除少数地区开展了少量的无线寻呼和股票信息业务外，大部分地区尚未开发利用。因此，可提供传输交通信息的频带资源很丰富。

3. 固定电话

传统的通信方式凭借其固有的语音信号传送稳定性在出行前子系统中依然能够占有一席之地，目前已经实现的可视化电话更加重了其继续发挥作用的砝码。

3.2.5 数据融合处理技术

数据融合是交通数据传输过程中的一个核心组件。所谓数据融合就是通过对不同监测传感器数据进行综合处理，得到比从任何单个数据源提取的数据更为准确的状况信息^[9]。与比较成熟的数据采集和显示传输手段相比，数据融合处理因为高度复杂的要求一直是技术难点所在。

数据控制中心的管理是 PGIS 最重要的内容^[12]。其关键在于必须根据城市动态交通流和停车需求特征变化的趋势不断调整系统的相应参数，及时维护和更新系统软件，并在预测过程中经过试探检验最后

确定。出行前子系统需要借助 GIS 工作平台，融合处理采集的大量实时空间数据和属性数据，才能生成完整的综合停车信息供用户使用。

3.2.6 代号编码技术

代号编码技术是计算机软件系统正常运作的基本前提，出行前子系统同样无法离开代号编码技术的支持。进行系统的输入设计时，通常必须同时设计代号编码。

1. 常用的方法

代号编码的种类很多，各有自行规则。常用的方法归纳如下^[44]：

①顺序编码(sequence code)。即一般所说的流水号。这是按照时间的先后顺序给予连续性序号的简单方式，但是号码本身除了含有发生的顺序外，没有其他太大的意义，也不容易记忆，通常不独立使用。

②区段编码(block code)。这种方法是将编号对象按某些设定的归类条件分类，并在各分段间保留数个可用的号码，以利于该段内其他流水号码的插入。其优点是可以从编码中了解号码的归属。

③分类编码(group classification code)。分类编码是将数据按特性分成几大类，每一大类可能会再细分成几小类，然后再给对象编上流水号来识别。这种方式的优点是能够很明显地区别对象的内容，归类方便，只是如果分类太细可能造成编码位数过多。

④助记编码(mnemonic code)。此法是取对象数据某一部分的名称、规格或种类作为组件，再将各组件组合形成对象的编码。助记编码的优点是规则简单、操作方便且容易记忆。

⑤矩阵编码(matrix code)。矩阵编码是将对象先按其类别特性分类，然后在各大分类下再按相同的小分类分别给予相同的编号。这种方法易于编码和记忆。

2. 代号编码步骤

编码的方法是按对象的特性和组成元素而定的。一般采取以下步骤：

①确立编码的目的。

②确定编码的使用范围。即限制条件，例如编码的长度、适用的环境等。

③确定编码的使用期限。

④确定编码的容量。在编码前预估可纳入对象的数目。如果编码可容纳数太小，容易造成编码无法包含所有的对象；如果编码可容纳数过大，又会使剩余的编码资源闲置，无端地耗费系统内存。

⑤决定编码的分类项目。确定编码的组件，形成合理的编码体系。

⑥编订编码手册。手册的内容应包含系统中所使用的编码原则以及各对象的详细编码，供相关人员查阅参考之用。需要注意的是，新加入对象的编码应由专门人员负责输入和记录，这样便于编码管理。

3.3 出行前子系统功能设计

从图 1-5 和图 3-1 中易见，为方便各级数据传输交换，PGIS 和出行前子系统划分为城市中央控制中心、分区控制中心、用户 3 个层次。城市内划分停车小区、分区以及片区的原则和方法将在第五章详细介绍。本节按照图 3-1 出行前子系统的结构组成，分别论述采用 Internet、通信、媒体这 3 种方式传输停车信息的功能设计和实现条件。

3.3.1 Internet 传输查询停车信息

实际上是第二代出行者信息系统的 ATIS，早已具备辅助出行者在出行前和出行途中进行决策的功能^[45]。不难推断，作为 PGIS 分支的出行前子系统，以 Internet 为基础，依托嵌入式 GIS 工作平台，调用电子地图等与子系统管理范围内的城市主要停车场数据库链接，实现网上的出行前停车信息服务完全成为可能。

1. 网站建立形式

根据 Internet 的特点, 停车信息网站建立的形式可分为 3 类:

①建立专用网站。专用网站具有信息集中、功能单纯的优势, 但如果开办后宣传力度不够, 没有产生知名效应, 就会造成访问率偏低的局面, 难以达到预期使用效果。

②在热门网站的页面新增“停车信息”菜单选项。利用热门网站创建的信息高地, 尽快扩大停车信息内容的大众影响力。

③与既有网站建立链接, 允许穿梭访问专用网站。不局限于链接热门网站, 在条件允许的情况下, 可以依据行政隶属、部门协调、行业合作等关系建立多个链接渠道。

相对而言, 在网站建设初期, 采用后二种形式, 有助于促进网上城市停车信息的传播。

2. 通用基础原理技术

实行网上城市停车信息服务, 除了上节介绍的相关技术支持外, 通用基础原理技术也是必不可少的。在此简要讨论以下几个主要方面:

(1) 代号编码设计

代号编码设计是进行网上交通信息分布的通用技术, 实施停车场管理同样必须完成这项工作。良好的代号编码具有输入者容易记忆、节省输入数据的时间、易于调试检查等优点, 而如果设计不得当, 则会成为数据管理上的重大缺陷。

◆ 编码原则

为使用方便, 帮助用户记忆, 编码时遵守以下原则:

- ①尽量采用有意义的代号编码。
- ②一经确定就保持编号的稳定, 不随意更改。
- ③尽量利用现行的编码系统。避免由于推行新编码遇到较大的阻力, 出现短时间内难以掌握的现象。
- ④编码应独一无二, 有利于区分和搜寻。
- ⑤编码在允许的范围应最大可能缩短, 以减少输入时间、降低数据输入的错误率。
- ⑥编码应具有可扩展性, 在有新对象时便于增加。

◆ 设计方法

按照城市分区和停车场的区位、外在属性及其与附近道路的拓扑关系, 采用顺序编码、区段编码、分类编码和助记编码的组合方式设计网站管理范围停车场的代号编码。设计共使用 16 位编码, 如图 3-3, 各编码位对应的含义见表 3-2。

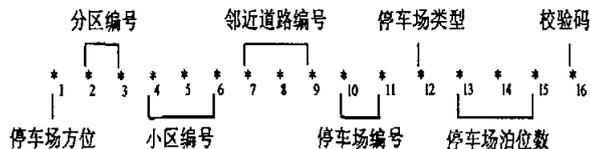


图 3-3 城市停车场代码编号设计图

◆ 校验码

因停车场编码的位数较长, 为了便于计算机检验作业、减少编码数据输入的错误, 在代号编码尾端增添一位校验码 (check digit)^[44]。目前最常用模数加权法来产生校验码, 用于判断原数据或代号是否正确。具体应用方式为:

①选定一个适当的模数。理想的模数最好是质数且大于 10, 模数越大纠错的能力越强, 常用的模数有 7、10、11、13、17、19、23、27、31、37 等 10 个。

②选定代码各位数的加权重数。原代码的每位数都有一个加权重数, 而且各不相同。

③将代码每位数与其对应的加权重数分别相乘, 然后将各乘积相加得到总和。

④将③得到的乘积和除以①选定的模数, 求得余数。

⑤以①选定的模数减去④得到的余数, 其差即为校验码。若校验码是两位数时, 利用英文字母将其转换成一位数。

表 3-2 停车场各编码位含义对应表

编码位序号	编码种类	代表意义	编码位数据范围或子元素	子元素对应含义
* ₁	助记编码	停车场方位	E	位于城区东部
			W	位于城区西部
			M	位于城区中部
			S	位于城区南部
			N	位于城区北部
* ₂ ~* ₃	区段编码	停车分区编号	01~99	
* ₄ ~* ₆	区段编码	停车小区编号	001~999	
* ₇ ~* ₉	区段编码	停车场邻近道路编号	001~999	
* ₁₀ ~* ₁₁	顺序编码	小区内停车场编号	01~99	
* ₁₂	分类编码	停车场类型	I	路内停车场
			II	路外地面停车场
			III	地下停车库
			IV	立体停车楼
* ₁₃ ~* ₁₅		停车场泊位数	001~999	
* ₁₆		校验码	0~9 或 A~Z	

例如，M0803601822III1628 表示位于城区中部 8 分区第 36 号停车小区邻近 18 号道路的 22 号停车场，这是一个拥有 162 泊位的地下停车库，校验码是 8。

◆编码效果

本编码设计方法的优势在于：

- ①节省用户输入数据的时间，降低数据输入的错误率。
- ②缩短出现前子系统当中数据传输的时间。
- ③将停车场空间数据和属性数据自然分开，便于数据的索引和搜寻。
- ④清晰地反映出停车场在空间上的拓扑关系。
- ⑤节省计算机辅助内存的容量。
- ⑥预留了未来新对象数据的可扩展空间。

(2) 网站和网页制作工具

用户界面主要包括菜单、按钮板和窗口 3 部分，其中菜单和工具条是最重要的元素。计算机技术的飞速发展给网页制作提供了许多软件语言，下面仅以常用的 MapInfo、MapBasic、Access97、Data 控件等、ListBox 控件等分别举例作简短说明。

◆菜单

编制菜单时，既可以使用 calling 语句调用自己定义的子程序子函数，也可以利用 MapInfo 原有菜单项的定义和编码。采用 Create Menu 语句可以轻松地在网页创建新的菜单。例如：

```
create menu "停车信息查询" as
```

```
    "停车场名称" as "停车场名称", ...
```

◆按钮

一个按钮盒是包含一个或多个按钮的浮动窗口。用户通过各按钮可以初启相应类型的动作。MapInfo 提供了几个标准按钮盒，采用 MapBasic 语言可以创建 3 种类型的按钮：

- ①触发式按钮 (PushButtons)。用于发送提交用户数据信息。
- ②开关式按钮 (ToggleButtons)。控制窗口和对话框的显示、缩放、关闭。
- ③工具按钮 (ToolButtons)。具备输入、选择和修改等功能。

◆表单

表单 (Form) 是 HTML (Hyper Text Marked Language, 超文本标志语言) 的一部分，它通过文本输入框 (text)、单选按钮 (radio)、复选框 (checkbox) 等元素从用户处收集信息。用户单击“提交 (submit)”

按钮将数据发送给服务器, Web 服务器通过 CGI (Common Gateway Interface, 公共网关接口)^[39]调用指定的外部程序处理用户的输入信息。利用表单可以便利地完成用户和网络服务器的交互式对话。采用合适的计算机语言(比如 MapBasic)建立表单, 能够控制 MapInfo 表单结构的各个方面。

◆停车场数据库开发

停车场数据库的开发方法很多。以 Access97 为例, 使用其中的菜单选项“数据库向导”或在“空数据库”当中“添加表”, 建立单个停车场管理数据库—Parking.mdb, 加入缺省的表 Table1, 然后输入所需字段名, 从而方便地完成数据库的后端创建工作^[46]。通过内置的 Microsoft Database Jet Engine 不必设计处理检索和更新数据的底层机构, 可以很容易对数据库进行访问。与数据库引擎的接口可采用 Data 控件实现。假定将 Data 控件的几个关键属性值依次设置如下:

Connect=Access (规定链接数据库的类型)

Database name=D:\Parking.mdb (规定链接数据库的名称)

Recordsource=停车场属性信息表 (规定链接记录数据源)

Recordsettype=2Spotshot (规定对象 Recordset 的类型)

同时在窗体上放置与字段名对应的 Textbox, 将其属性设置为:

Datasource=Data 控件名

Datafield=对应字段名

经过以上步骤, Data 控件和 Recordset 对象与数据库的绑定工作基本就绪。编写相应的程序代码, 然后设置窗口的功能按钮, 即可完成对数据库的操作。

◆数据查询

通常属性数据和图形数据分开存储。近年来, Dbase、FoxPro 等关系模型在属性数据库中广泛应用。为便于查询分析, 经常将一个复杂的目标库分解成几个简单的小查询库。以下方式均可实现查询功能:

①Dialog 的 ListBox 控件。以滚动式列表的形式供用户选择。

②MapInfo “选择”命令。适合查询表中的数据, 能构造比较复杂的查询。根据记录和对象的属性, 把满足查询条件的对象在浏览窗口中显示。

③SQL (Structured Query Language, 结构化查询语言) 选择。同样适合查询表中的数据。其查询功能更强大, 能构造更为复杂和灵活的条件表达式。查询结束后, 也通过浏览窗口显示满足条件的对象。

④MapBasic。采用内含的函数和图形比较运算符查询表的对象列, MapBasic 还允许在一个表中查询与另一个表的对象相关联的对象。

(3) 网页更新

城市静态交通需求和供应状况的千变万化越来越依赖于实时信息化程度的实现, 例如美国休斯顿的道路交通网页每隔 1min 更新一次^[9]。更新速度受实时数据采集、处理和传输速度的制约。信息传输的空间数据一般保持相对稳定, 通常处于固定状态; 而属性数据当中的一部分必然是动态的, 如各运营停车场空闲的泊位数。这部分动态属性数据就是需要更新的网页内容。

3. 功能设计

网上的停车信息服务应该充分利用资源匹配, 体现动态、实时、可视化的优势, 以人为本, 满足用户个性化的出行前信息需求。按照驾车出行者对网络使用的熟练性和信息需求程度可分为低、中、高级用户。本文从现状和近期标准入手, 着眼于中期和远期的发展趋势, 针对不同层次的用户, 提出以下多项梯度递进的功能设计:

(1) 用户访问权限

初次使用者需按照网上的提示或要求填写相关信息进行注册。注册成功后, 输入正确的用户名和密码, 通过网络的检验, 才能登录页面, 享受停车信息服务。

(2) 目的地停车场常规搜索

这属于出行前子系统的基本功能。主要采用以下 3 种搜索途径:

①直接搜索式。调用城市电子地图, 随光标指引, 出行目的地附近停车场的区位及其周边道路、建筑的拓扑关系一目了然。点击某停车场位置, 即可以窗口表格的方式显示其属性数据, 如图 3-4 所示。

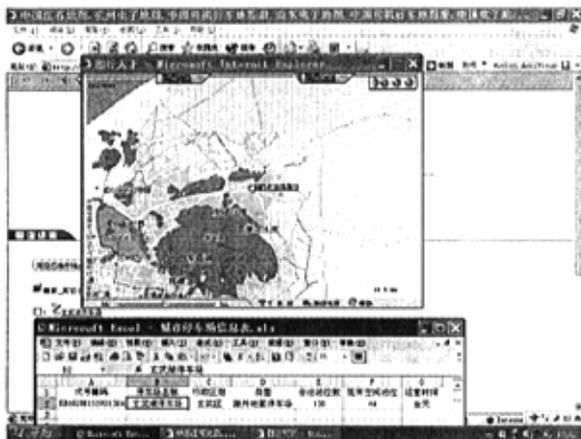


图 3-4 城市停车场信息显示窗口示意图

②名称搜索式。在网站提供的专用搜索引擎窗口内输入准确的停车场名称，即可通过电子地图迅速呈现其精准定位，同时弹出上图 3-4 形式的停车场窗口属性表格。

③编码搜索式。与②类似，在网站提供的专用搜索引擎窗口内输入准确的停车场编码，即可通过电子地图迅速呈现其精准定位，同时弹出上图 3-4 形式的停车场窗口属性表格。

(3) 停车信息模糊查询

这属于出行前子系统的扩展功能。对于不熟悉目的地的驾车出行者，他们很可能难以直接在电子地图上确定目的地方位，一般也无法准确记忆目的地停车场的名称或编码，所以，停车信息模糊查询能够有效简化用户的使用。具体方式有 4 种：

①停车场首字查询。在网站搜索引擎窗口内输入停车场名称的首字，出现罗列相关停车场的对话框，移动滚动条，选择目标停车场，即迅速进入电子地图界面，呈现其精准定位，同时弹出上图 3-4 形式的停车场窗口属性表格。

②停车场首字拼音查询。在网站搜索引擎窗口内输入停车场名称的首字拼音，后续步骤对应①剩余部分。

③停车场部分名称查询。在网站搜索引擎窗口内输入停车场名称的部分字词，后续步骤对应①剩余部分。

④停车场部分编码查询。在网站搜索引擎窗口内输入停车场的部分编码，后续步骤对应①剩余部分。

(4) 智能停车选择

这属于出行前子系统的高级功能。现实生活当中驾车者除了出行目的地，对其余信息一概不知的情况并不鲜见；即使驾车出行者对停车场有一些了解，大多数人也只是凭道听途说和不可靠的经验停留在有限的感性认识阶段。因此，利用计算机智能提供网上停车选择建议将会有充分的空间发挥指导作用。

此功能明显有别于(2)、(3)，实质在于根据出行目的地寻求合适的停车场。智能停车选择的设计工作流程如图 3-5。智能停车选择模型、算法和方案排序评价将在下节进行专门研究。

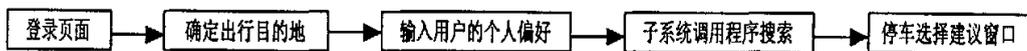


图 3-5 出行前智能停车选择流程图

主要流程内容如下：

◆确定出行目的地位置

类似(2)、(3)当中的查询方式，出行目的地位置可按以下确定：

①直接确定式。调用城市电子地图，随光标指引，点击出行目的地位置。

②全名搜索式。在网站提供的专用搜索引擎窗口内输入准确的出行目的地名称，通过电子地图定位。

③首字查询。在网站搜索引擎窗口内输入出行目的地名称的首字，弹出罗列相关地点名的对话框，移动滚动条，选择正确目的地，即迅速进入电子地图界面，呈现其精准定位。

④首字拼音查询。在网站搜索引擎窗口内输入出行目的地名称的首字拼音，然后按③剩余部分进行。

⑤部分名称查询。在网站搜索引擎窗口内输入出行目的地名称的部分字词，然后按③剩余部分进行。

◆输入用户的个人偏好

在电子地图页面确定出行目的地位置使其在线激活后，弹出对话框选项。主要包括以下内容：

- ①停车场距离出行目的地的最大步行值（一般<350m）。
- ②停车场泊位使用状况。期待空闲泊位的数值下限。
- ③停车场类型。路内、路外地面、地下或立体。
- ④停车场泊位规模。以数值范围表达。
- ⑤停车收费标准上限。
- ⑥停车经营时间。与预计停放时间有关。

用户只需移动滚动条，按个人偏好选定各项，完成人机对话，随后提交。

◆实施搜索

按照出行目的地位置和用户提交的个人偏好项目，服务器实施目标搜索。出行前子系统处理停车选择方案的具体模型和算法见下节。

◆提出停车选择建议

经过以上处理程序，网页自动显示满足搜索条件的停车场名称的界面。点击某停车场，则可输出相应的属性表格窗口，参见图 3-4 所示的形式。

(5) 停车泊位预约

这也属于出行前子系统的高级功能。现代化生活节奏越来越快，驾车者对出行计划准时性和车辆停放便利性的要求也越来越高。如果驾车出行时由于停车泊位无法保证，必然影响到出行计划的正常实现。可以预见，停车泊位预约功能拥有广阔的开发应用前景。

在 Internet 上利用表单^[39]实现用户与服务器之间的交互式数据传输，以在线申请方式进行停车泊位预约。设想的停车泊位预约流程如图 3-6 所示。

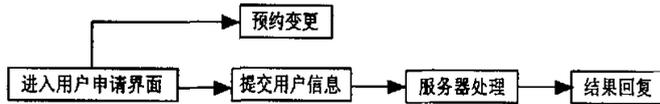


图 3-6 出行前停车泊位预约流程图

主要程序如下：

◆进入用户申请界面

用户申请界面在网页上以表格的形式出现，由用户在线填写停车预约申请。为了有效区别对象、方便管理，需要申请者提交的信息如表 3-3 所示。

表 3-3 用户停车泊位预约申请样表

申请者姓名	密码	身份证号码	驾驶证号码	车牌号	车辆款式	预约停车场名称
预计到达时刻	预计停放时间	银行帐号	联系电话	e-mail	预约编号	

页面以深色粗体字在表格下方提示注意事项：

- ①用户应比预计使用日期提前 1 日（以每日 0:00 为界）申请预约。
- ②每位用户或每辆车在同一分区的 1 个时段只能预约 3 个以内且分属不同停车场的泊位。
- ③申请时按说明往网络帐户汇入指定的保证金，如未预约成功，则将款项退回用户的银行帐号。
- ④预约成功的用户抵达预定停车场的有效时刻是预计到达时刻的前后各 10min 以内，有效时刻之外不保留预约泊位。例如，用户预计到达时刻是 8:00，那么预约服务的有效时刻就是 7:50~8:10。
- ⑤因用户未遵守约定规章而造成的服务和经济损失自行负责。

◆提交用户信息

用户按照信息类型分别采取文本框输入或滚动条选择的方式完成预约申请。当输入者在滚动条中选

择“回复方式”再单击“提交”按钮后，申请数据即发送给服务器程序，等待处理。

◆服务器处理

服务器自动调用外部程序处理。正常的处理周期不会太长。

◆结果回复

处理结果经服务器按用户选择的回复方式（如在线自动回复、e-mail、电话或短信息等）传送给用户。预约成功后用户将获得预约编号，届时凭编号和有关证件进入预约泊位。

◆预约变更

用户如果因故取消或变更者，可登录网页，点击“修改(modify)”按钮，输入最新的预约信息。这需要比原预计到达时间至少提前 2h 完成才能生效。

(6) 停车场建设信息

这是出行前子系统的补充信息。随着经济体制改革步伐的不断加快，国内城市建设日新月异，停车场的供应情况每隔一段时间都会发生相应变化。在停车泊位总体供不应求的状态下，静态交通领域以增加停车设施为主流。掌握实时的停车场建设信息对于驾车出行者和停车设施本身来说都很重要。此信息内容可在页面上设置单独的菜单，用户访问时，以简图标示待建停车场的区位，通过窗口的文字、表格反映其建设动态、规模、类型等属性，发挥提前宣传作用。

3.3.2 通信传输停车信息

除了直接利用 Internet 外，现代化的通信手段也为停车信息提供了理想的传输途径。采用通信传输停车信息，需要事先将停车信息数据纳入电信管理网 (Telecommunications Management Network)。按照通信技术的特性，分为无线通信和有线通信两种传输方式。

1. 电信管理网

电信管理网是一个成体系结构的数据网。它既有数据采集系统，又包括这些数据的处理系统；可以提供一系列的管理功能，并在各种类型的电信网络运营控制系统之间提供传输渠道和控制接口；还能使运营系统与电信网的各部分之间通过标准的接口协议实现通信。其体系结构参见图 3-7 所示^[47]。

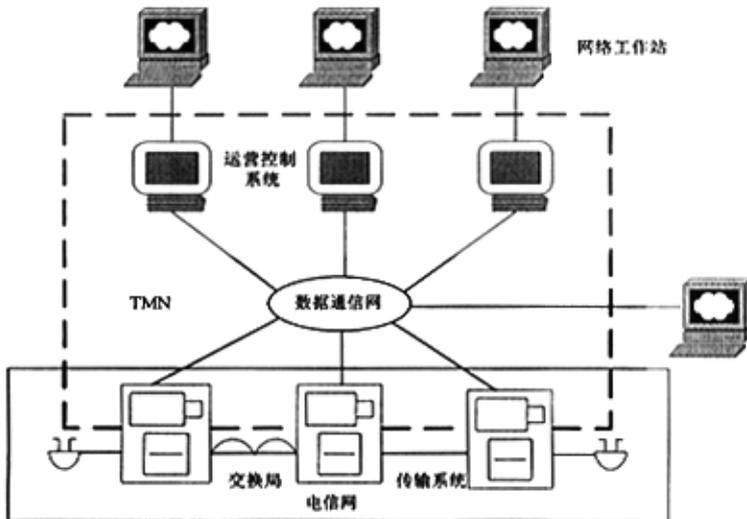


图 3-7 电信管理网体系结构图

电信管理网集运营、维护和管理功能于一身，是采集、传输、处理和存储电信网信息的综合管理系统。该系统把电信网负荷管理、设备故障监控等各个独立的子系统综合起来，通过公用的管理网实现电信管理功能。具体的工作原理请查阅相关参考文献。

2. 无线通信传输

适合于传输停车信息的主要有以下两类：

(1) PDA (Personal Digital Assistant, 个人数字助理)

即俗称的“掌上电脑”，是目前流行的 IT 新产品。除了能语音通话和收发短信息外，PDA 还采用 WAP (Wireless Access Protocol, 无线访问协议) 技术支持无线上网和多媒体配置。强大的功能使 PDA 具有以下潜力：

- ①电话查询城市停车信息。
- ②电话预约停车泊位。
- ③无线上网查询城市停车信息。
- ④无线上网预约停车泊位。
- ⑤申请定制停车短信接收。

(2) 移动电话

即通常所说的手机。随着中国移动推出的 GPRS (General Packet Radio Service, 通用无线服务包)、中国联通提供的 CDMA (Code Division Multiple Access, 码分多址) 等新型业务，高端的移动电话产品突破了语音通讯、收发短信息等基本功能，拥有了比 WAP 更快的传输速度、更大的容量。因此，在未来传输停车信息方面，移动电话可望发挥毫不逊色于 PDA 的类似作用。

3. 有线通信传输

固定电话是有线通信的典型代表。对于暂时不具备上网条件和只使用普通无线通信产品的低端用户，使用固定电话的机会依然不少。与 Internet 相比，固定电话虽然功能单一，但性能可靠、操作简便且不受电力供应的限制；可视化电话的出现还使它在图形图像传输方面迈进了一大步。所以，固定电话具有辅助提供停车信息的充分空间。固定电话通过语音通讯可实施以下服务：

- ①通过热线或管理咨询电话了解城市停车信息。如广州已在 96900 交通咨询台开通了停车咨询服务。
- ②通过热线或管理咨询电话实施停车泊位预约。

3.3.3 媒体发布停车信息

媒体是信息社会的重要组成部分，她特有的信息渠道地位会自然吸引一批固定和非固定公众的关注。虽然由于受自身条件约束，媒体在动态信息方面总体上存在更新速度慢、实时性滞后、单向传输等弱点，但其凭借惯有的影响力仍旧足以担当发布城市停车信息的补充形式。

1. 电视台

在传媒界，电视台具有语音配合屏幕显示的音像同步优势。停车信息可在电视台的地方新闻和交通专题节目当中综合发布，可采用的方式有：

- ①节目时间由主持人固定播报。
- ②字幕结合简图滚动显示。

2. 广播电台

利用空闲闲置的频带广播资源，比如中波高低两端的频段 (<525kHz 或 >1605kHz)^[47] 或调频 (FM) 方式。调频广播需要专用的调频收音机才能收听。城市停车信息通过广播电台发布的方式包括：

- ①建立独立的交通广播台，实时滚动播出。如南京设立的交通广播电台已经取得了较好的效果。
- ②在日常电台的地方新闻节目或公告当中定期穿插播报。
- ③在日常电台设立交通信息栏目，定期专门播送。

3. 报纸

报纸的特性适合于作停车信息的初步预告。一般日报 (晨报) 宜预告当天的停车信息，晚报宜预告第二天的停车信息。报纸发布城市停车信息主要采用开辟 (静态) 交通专栏的方式。

3.4 智能停车选择模型研究

上节提出的智能停车选择功能是设想给出行前的驾车者提供预定出行目的地附近一定范围内满足用户意愿的停车场所建议, 需要建立数学模型来实现。实际上, 在技术条件具备以后, 智能停车选择功能同样可以采用通信方式传输, 模型的原理是一致的。

3.4.1 模型建立的意义

PGIS 是静态交通领域的新课题。为了实现本章此前提出的出行前子系统的停车信息查询功能, 充分发挥其出行前的诱导作用, 必须建立相应的数学模型。这样, 才能帮助中央控制中心及时有效地完成数据处理, 并通过各分区中心传递至终端用户, 参见图 1-5。

从国内外现有的研究资料看, 关于规划停车分布和停车选址规划方面的模型^[48]较多, 具体的停车选择模型很少涉及。前者是为尚不存在的停车设施规划位置和规模等, 后者则是在已投入使用的停车设施当中为驾车者选取合适的停放场所。二者的侧重点明显不同。建立智能停车选择模型的意义在于:

- ①节约驾车者在出行目的地搜索泊位的时间, 提高出行可达性。
- ②向驾车者提供便利的车辆停放使用服务。
- ③使驾车者出行停放成本降低。
- ④尽可能满足驾车者的其他停放意愿(如车辆停放安全、停车设施类型等)。

3.4.2 首选停车场的评价指标确定

首选停车场的评价指标确定是模型建立的前提基础。根据第二章为研究驾车者行为特征进行的问询调查选项(参见附表 I 和附表 II)和驾车者通常的心理特性, 首选停车场比较有代表性的备选指标罗列如下表 3-4。

表 3-4 城市首选停车场评价备选指标集

编号	备选指标名称	编号	备选指标名称
1	停车场距目的地步行距离	6	停车设施可达性
2	停车场使用便利性	7	驾车至停车场行程时间
3	停车收费价格	8	车辆行驶油耗
4	车辆停放安全性	9	驾车至停车场出行距离
5	驾车者对停车场的熟悉程度	10	停车设施类型

很明显, 表 3-4 的备选指标集过于庞大, 且部分指标之间存在一定的相关性, 不是完全独立的, 仅凭经验和表象无法作出判断, 不适合直接使用。因此首先应该确定首选停车场评价的相关指标。

评价指标如果选取过多, 容易造成内容重复, 也会给实际统计分析带来操作上的不便; 若选取得太少, 则会因代表性不足缺乏说服力。目前多指标(因素)的定量筛选, 有直接聚类、因子分析法、系统聚类和模糊聚类等多项手段。模糊聚类法由于充分考虑了人类对事物的认识、判断的偏差和事物本身的复杂性、非确定性, 较之传统的因子分析法和系统聚类法, 具有更大的优越性, 实用意义强, 在工程实践和社会科学领域的应用日益广泛。在此采用模糊聚类的相似系数法^[49,50]筛选确定表 3-4 的各项指标。

1. 建立模糊相似矩阵

设 $X=\{x_1, x_2, \dots, x_{10}\}$ 对应表 3-4 待选的 10 项指标。 $x_i(i=1, 2, \dots, 10)$ 分别具有 m 个特征, 由一组数据 $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}$ 表示。 m 个特征根据指标的具体特性确定, 详细内容见参考文献[50]。建立模糊相似矩阵 $R=(r_{ij})_{10 \times 10}$ 的关键在于标定相似系数 r_{ij} 。 r_{ij} 表示备选指标 x_i 和 $x_j(i, j=1, 2, \dots, 10)$ 按 m 个特征比较后相似的程度。 r_{ij} 的计算方法多达 10 余种, 本章采用相关系数法和最大最小法计算。

相关系数法的计算式为

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m (x_{ik} - \bar{x}_i)(x_{jk} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^m (x_{ik} - \bar{x}_i)^2} \cdot \sqrt{\sum_{k=1}^m (x_{jk} - \bar{x}_j)^2}} \quad (3.1)$$

最大最小法的计算式为

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m (x_{ik} \wedge x_{jk})}{\sum_{k=1}^m (x_{ik} \vee x_{jk})} \quad (3.2)$$

式(3.1)和(3.2)中, $\bar{x}_i = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m x_{ik}, \bar{x}_j = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m x_{jk}$, \wedge 为取小运算符, \vee 为取大运算符。

2.模糊聚类

按上述方法计算的 R 矩阵一般只是相似矩阵, 满足自反性和对称性, 不满足传递性, 还必须进行闭合计算, 从而将 R 改造成等价矩阵 R^* 。根据具体情况, 取适当的截值 $\mu \in [0,1]$, 由截矩阵 R_μ^* 得到分类结果。 μ 的作用在于限定属于同一聚类的概率大小。

即计算 $R^2=R \cdot R, R^4=R^2 \cdot R^2, \dots$, 直到 $R^{2^p} = R^{2^{p-1}}$ 为止。其中 p 取不小于 $\log_2 10$ 的最小整数。

表 3-4 的备选指标模糊聚类结果如表 3-5 所示。

表 3-5 城市首选停车场评价指标模糊聚类分析结果

计算方法	截值 μ	分类数	模糊聚类结果	备注
相关系数法	0.76	5	{1,2} {3} {4} {5,6,7,8,9} {10}	满足传递闭合条件; 限于篇幅, 计算过程略
最大最小法	0.68	5	{1,2} {3} {4} {5,6,7,8,9} {10}	

3.评价指标选择及分析

两种相似矩阵计算得到的模糊聚类结果一致, 说明表 3-5 的分类比较成功。以科学性与客观性、可测性与可比性、简明性与综合性为标准, 可从每个聚类中选取 1~2 项指标作为代表或予以合成。

根据第二章的驾车者行为特征研究(参见 2.4.2)和以往静态交通统计评价的经验, 在表 3-5 第 1 类 2 个指标中, 停车场距目的地步行距离概念具体, 可直接计算, 故在第 1 聚类中选择该指标。第 4 类 5 个指标中, 驾车者对停车场的熟悉程度与停车场的可达性密切相关, 但属于定性范畴, 难以量化表达; 行程时间既能够反映驾车者对停车场的熟悉程度, 体现停车场的可达性, 又与行驶油耗、行程距离正相关, 而且易于定量测试, 故该类指标选取行程时间作为代表。因此, 各类选定的评价指标参见表 3-6。

表 3-6 城市首选停车场评价指标汇总表

评价方面	评价指标	指标原编号	符号代码	计量单位
驾车者停放便利性、可达性	停车场距目的地步行距离	1	i	m
出行停放成本	停车收费价格	3	F	元/h
驾车者效益	车辆停放安全性	4	S	
出行停放成本、可达性	驾车至停车场行程时间	7	t	min
驾车者偏好	停车设施类型	10	G	

3.4.3 智能停车选择模型和算法

除了第一章的 6 个假设条件外, 本模型假设系统推荐的都是能够提供停车服务的场所。至于当车辆抵达具体停车设施时, 能够顺利完成停放的概率研究, 将在第四章讨论。

1.模型的简化分析

驾车者出行大体都有明确的目的地。为了直观表现出行目的地及其附近停车场、道路交通的空间拓扑关系, 有必要将出行停车区域细化为若干个停车服务小区(小区划分的基本原则和定量标准具体参见

5.2.1), 一般取凸多边形(以矩形最佳)。

为简化起见, 将小区内驾车者的出行目的地和各停车场分别集中于一点, 这一点用各自的中心坐标表示, 参见图 3-8。这样, 在确定首选停车场位置时可以比较准确地优化计算停车者至目的地的步行距离和行程时间, 停车选择就成为在给定平面范围内考虑的问题了。

2. 模型思路

智能停车选择反映驾车者的停车意愿, 涉及多方面的因素, 包括对停车场距目的地步行距离、停车收费价格、行程时间、车辆停放安全性、停车场的可达性、停车场类型等多项整体优化选择。本模型的建立力求将这些内容以数学形式全面合理地表达。

停车选择是在已运营的停车设施当中搜寻, 可参照约束型多目标停车选址规划的类似思路。两者的不同之处在于, 前者可选择的停车场位置已全部确定, 而且属于个体行为; 后者规划的地址具有一定的选择空间, 注重整体性考虑。智能停车选择模型是为了使驾车者的多目标意愿获得综合最优。

本章拟依据具体情况建立约束型智能停车选择模型, 运用多目标分等级优化搜索方法, 旨在对驾车者首选停车场中起重要作用的可定量因素(停车场至目的地步行距离、停车收费价格、出行至停车场的行程时间等)进行优化, 而另一些影响较小或是难于量化的指标则在选择方案的决策评价中进行讨论。模型建立的目标是使“驾车者使用最便利、可达性最强、出行停放成本最低”。

3. 模型参数和约束条件

按照模型确立的目标, 从表 3-6 选取停车场至目的地步行距离 l 、停车收费价格 F 、出行至停车场的行程时间 t 这 3 项可定量指标作为模型的优化参数。

(1) 停车场至目的地步行距离 l

从表 2-26 可以看出, 停车场至目的地步行距离受驾车者的关注程度最高。根据驾车者的心理特性和实际使用经验, 该指标是影响驾车者首选停车场的首要因素。按照第二章驾车者行为特征研究, 首选停车场的理想服务半径通常不宜超过 200m 上限(参见 2.4.2), 即步行 5~7min 可到达预定目的地, 最大不宜超过 500m^[48]; 否则, 驾车者一般不会纳入停放首选范围。以出行目的地为圆心, 半径 500m 以内的现有停车场属于候选对象, 如图 3-8 所示。

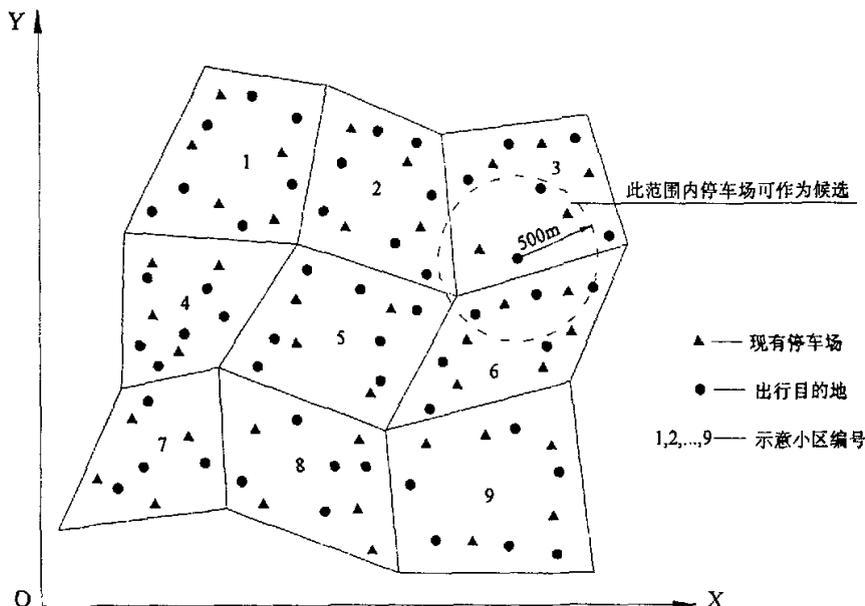


图 3-8 约束型停车选择位置示意图

考虑驾车者的使用便利和可达性, 应优先选择和出行目的地位于同一小区的停车场。

将选择范围划分为 n 个停车服务小区(图 3-8 以 9 个小区示意), 相应分布有 k 个出行目的地, 各小区内已有公共停车场 h 个。其中各停车场和出行目的地的中心坐标均为已知变量。满足服务于第 j 个出行目的地的第 i 个现有停车场位置集 A_{ij} 为待求变量 ($i \in [1, h], j \in [1, k]$)。对每个出行目的地而言, 可纳入

选择的停车场集 A_j 的元素数量 a_{ij} 最多为 h 个。

第 i 个停车场 ($i \in [1, h]$) 至第 j 个出行目的地的步行距离 l_{ij} 可按下式(3.3)计算:

$$l_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (3.3)$$

式中, (x_i, y_i) 、 (x_j, y_j) 分别为第 i 个停车场和第 j 个出行目的地的中心坐标 ($i \in [1, h], j \in [1, k]$)。

设 L 为驾车者从停车场至目的地能忍受的步行距离上限, 则第 i 个停车场位置与第 j 个出行目的地的服务关系可以通过 L 来衡量。如下式(3.4)所示:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & l_{ij} \leq L \\ 0 & l_{ij} > L \end{cases} \quad (3.4)$$

式中, $a_{ij} = 1$ 表示第 j 个出行目的地可由第 i 个停车场服务, $a_{ij} = 0$ 则表示无法服务到。

为满足上式(3.4)成立, 不失一般性, 要求 $\forall j \in k, \exists \sum_{i=1}^h a_{ij} \geq 1$ 。

驾车者的选择意愿是距目的地步行距离最短的停车场, 同时要求不超过其能忍受的步行距离心理上限期望值 L 。可用下式(3.5)表示:

$$\min(l_{ij}) = \min[\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}] \quad \text{and} \quad l_{ij} \leq L \quad (3.5)$$

(2) 停车收费价格 F

停车收费价格是车辆出行停放成本的重要组成部分。第二章驾车者行为特征研究已述及(参见 2.4.2), 虽然驾车者对现状停车收费不敏感, 但不久的将来, 随着不少城市正在研究酝酿的停车收费和公务车辆改革措施的推行, 此项指标足以引起驾车者的真正重视。所以, 在模型中不能忽略对停车收费价格的考虑。

目前我国没有现行的统一停车收费标准, 就连同一个城市也因停车设施区位、类型和主管部门的不同存在明显的差异。但在发达城市, 停放高峰大都实行“分时段累进制”, 即规定一段免费停放时间, 超出此时限, 则开始计时收费, 随着时间的延伸, 单价累积递增, 直到最高上限值。可参考下式表达:

$$F_i = \begin{cases} 0 & 0 \leq T \leq T_{i\min} \\ y_{i1} \cdot (T - T_{i\min}) & T_{i\min} < T \leq T_{i1} \\ y_{i1} \cdot T_{i1} + y_{i2} \cdot (T - T_{i1}) & T_{i1} < T \leq T_{i\max} \\ F_{iL} & T > T_{i\max} \end{cases} \quad (3.6)$$

式中, T —驾车者预计停放时间, min; $T_{i\min}$ —第 i 个停车场免费停放时间长度, min;

T_{i1} —第 i 个停车场计时收费第一阶段时间长度, min; $T_{i\max}$ —第 i 个停车场计时收费最大时间长度, min;

y_{i1} —第 i 个停车场计时收费第一阶段单价, 元/h; y_{i2} —第 i 个停车场计时收费第二阶段单价, 元/h;

F_{iL} —第 i 个停车场计时收费最高限额, 元; $0 < y_{i1} < y_{i2}$ 。

一般说来, 驾车者关注的是收费总额。在“分时段累进制”情况下, 这与预计停放时间直接相关。在预计停放时间确定后, 驾车者的选择意愿是停车收费最少的停车场, 同时不超过其接受的收费上限期望值 F_{\max} 。可用下式(3.7)表示:

$$\min(F_i) \quad \text{and} \quad F_i \leq F_{\max} \quad (3.7)$$

(3) 出行至停车场行程时间 t

出行至停车场的行程时间反映了车辆出行成本和可达性, 自然受到驾车者的极大关注。采用美国联邦公路局提出的 BPR 路阻函数模型^[49], 如下式(3.8)计算行程时间:

$$t_i = \sum_{j=1}^m t_{j0} [1 + \alpha(Q_j / C_j)^\beta] \quad (3.8)$$

式(3.8)中的有关参数计算如下:

$$t_{ij0} = \frac{s_{ij}}{r \cdot r_C \cdot \eta_{ij} \cdot u_0} \quad (3.9)$$

$$C_{ij} = N_0 \cdot r \cdot r_C \cdot \eta_{ij} \cdot n_{ij0} \quad (3.10)$$

$$r_C = r_0 (s_{ij} \leq 200\text{m}) \quad \text{或} \quad r_C = r_0 (0.0013s_{ij} + 0.73) (s_{ij} > 200\text{m}) \quad (3.11)$$

$$\eta_{ij} = \begin{cases} 50(W_0 - 1.5) \times 0.01, W_0 \leq 3.5\text{m} \\ (-54 + 188W_0/3 - 16W_0^2/3) \times 0.01, W_0 > 3.5\text{m} \end{cases} \quad (3.12)$$

式(3.8)~式(3.12)^[49,51]中, Q_{ij} —驶往第 i 个停车场途中第 j 路段的机动车交通量, pcu/h(标准小汽车);

C_{ij} —驶往第 i 个停车场途中第 j 路段的实用通行能力, pcu/h;

α 、 β —回归参数, 用最小二乘法确定;

t_{ij0} —交通流为零时驶往第 i 个停车场途中第 j 路段的行驶时间, h;

m —驶往停车场 i 途经的路段数, 对于不同的停车场, 取值按实际确定, 不一定相同;

s_{ij} —驶往第 i 个停车场途中第 j 路段相邻交叉口的间距, m;

r —自行车影响折减系数, 可取 1.0;

u_0 —路段设计车速, 取 40~60km/h;

N_0 —单条车道理论通行能力, 取 1500pcu/h;

n_{ij0} —驶往第 i 个停车场途中第 j 路段的车道数影响系数, 单向 1~4 条车道依次取 1, 1.87, 2.60, 3.20;

r_C —交叉口影响修正系数;

r_0 —交叉口有效通行时间比, 信号交叉口处即取绿信比;

η_{ij} —驶往第 i 个停车场途中第 j 路段的车道宽度影响系数;

W_0 —一条机动车道宽度, m。

当出行目的地确定后, 驾车者首选停车场自然希望行程时间最优且不超过其接受的驾车行程时间上限期望值 t_{\max} 。可用下式(3.13)表示:

$$\min(t_i) = \min\left\{\sum t_{i0} [1 + \alpha(Q_{ij}/C_{ij})^\beta]\right\} \quad \text{and} \quad t_i \leq t_{\max} \quad (3.13)$$

4. 智能停车选择模型

如上所述, 本模型考虑多个目标对驾车者出行前首选停车的影响, 在约束条件下完成整体的优化选择, 即综合实现“驾车者使用最便利、可达性最强、出行停放成本最低”。

模型的目标向量为 $Z = (I, F, t)$, 决策变量为 A_{ij} , 它通过 a_{ij} 表现, 其中 $i \in [1, h]$, $j \in [1, k]$ 。联合式(3.3)~式(3.13), 得到模型的目标函数具体形式如下式(3.14):

$$gl. \begin{cases} \min(I) = \min(I_j) \\ \min(F) = \min(F_i) \\ \min(t) = \min(t_i) \end{cases} \quad (3.14)$$

模型的综合约束条件如下式(3.15):

$$\begin{cases}
 l_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \\
 a_{ij} = \begin{cases} 1 & l_{ij} \leq L \\ 0 & l_{ij} > L \end{cases} \\
 A_{ij} = \{a_{ij} = 1\} & i = 1, 2, \dots, h; j = 1, 2, \dots, k \\
 \forall j \in k, \exists h \geq \sum_{i=1}^h a_{ij} \geq 1 & i = 1, 2, \dots, h; j = 1, 2, \dots, k \\
 F_i = \begin{cases} 0 & 0 \leq T \leq T_{i\min} \\ y_{i1} \cdot (T - T_{i\min}) & T_{i\min} < T \leq T_{i1} \\ y_{i1} \cdot T_{i1} + y_{i2} \cdot (T - T_{i1}) & T_{i1} < T \leq T_{i\max} \\ F_{iL} & T > T_{i\max} \end{cases} & i = 1, 2, \dots, h \\
 t_i = \sum t_{i0} [1 + \alpha(Q_i / C_i)^\beta] & i = 1, 2, \dots, h \\
 t_{i0} = \frac{s_i}{r \cdot r_c \cdot \eta \cdot n_0} & i = 1, 2, \dots, h \\
 C_i = N_0 \cdot r \cdot r_c \cdot \eta_i \cdot n_0 & i = 1, 2, \dots, h \\
 r_c = \begin{cases} r_0 & s_i \leq 200 \\ r_0(0.0013s_i + 0.73) & s_i > 200 \end{cases} & i = 1, 2, \dots, h \\
 \eta_i = \begin{cases} 50(W_0 - 1.5) \times 0.01, W_0 \leq 3.5\text{m} \\ (-54 + 188W_0 / 3 - 16W_0^2 / 3) \times 0.01, W_0 > 3.5\text{m} \end{cases} & i = 1, 2, \dots, h \\
 0 < T_{i\min} < T_{i1} < T_{i\max} \\
 0 < y_{i1} < y_{i2} & i = 1, 2, \dots, h \\
 F_i \leq F_{\max} & i = 1, 2, \dots, h \\
 t_i \leq t_{\max} & i = 1, 2, \dots, h
 \end{cases} \quad (3.15)$$

本模型旨在搜寻目标向量 $Z = (l, F, t)$ 的优化解集，搜寻结果可能不止一个。

5. 算法分析

(1) 算法的有关定义

智能停车选择模型中， (x_j, y_j) 和 (x_i, y_i) ($i \in [1, h], j \in [1, k]$) 分别是第 j 个出行目的地和第 i 个现有停车场的中心坐标，它们和 $y_{i1}, y_{i2}, T, F_{iL}, Q_i, C_i$ 均为已知变量， A_{ij} 则作为决策变量，它通过 a_{ij} 表现。由于模型是一个多目标规划 (Multiple Object Program) 问题，往往很难使各个目标同时达到最优，在此先给出一些基本定义。

设模型有 m 个决策变量 $X = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ ， w 个约束条件， p 个目标，则有

定义 1: 目标解集 $Z = (Z_1(x), Z_2(x), \dots, Z_p(x) | x \in X)$ 。

定义 2: 可行解集——满足所有约束条件的解的集合。

在本模型中， $Z_1 = l, Z_2 = F, Z_3 = t$ 。

定义 3: 设 $a = (a_1, a_2, \dots, a_m), b = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ 是 m 维欧氏空间的两个向量，有以下推论:

- ① 如 $a_i = b_i (i = 1, 2, \dots, m)$ ，则称向量 a 等于向量 b ，记作 $a = b$ 。
- ② 如 $a_i \leq b_i (i = 1, 2, \dots, m)$ ，则称向量 a 小于等于向量 b ，记作 $a \leq b$ 。
- ③ 如 $a_i < b_i (i = 1, 2, \dots, m)$ ，则称向量 a 严格小于向量 b ，记作 $a < b$ 。
- ④ 如至少存在两分量，使 $a_i < b_i, a_j > b_j (i, j \in m)$ ，则称向量 a 与向量 b 不可比较。

定义 4: 设模型以 $\min\{Z = (Z_1(x), Z_2(x), \dots, Z_p(x) | x \in X)\}$ 为目标，有以下推论:

- ① 对 $x \in X$ ，如至少存在一个 $\bar{x} \in X$ ，使 $Z(x) \geq Z(\bar{x})$ ，则称 x 为劣解。

②对 $x \in X$, 如不存在 $\bar{x} \in X$, 使 $Z(x) \geq Z(\bar{x})$, 则称 x 为非劣解 (有效解)。

③对 $x \in X$, 如不存在 $\bar{x} \in X$, 使 $Z(x) > Z(\bar{x})$, 则称 x 为弱非劣解 (弱有效解)。

(2) 约束型模型算法研究

在定义了上述向量关系后, 进一步观察模型的特征, 发现决策变量 A_{ij} (即满足服务于第 j 个出行目的地的第 i 个现有停车场位置集) 的组成元素 a_{ij} 必须为整数 1, 因此模型属于多目标线性整数规划问题, 也属于组合论的一种形式。求解它的计算方法通常有两类, 第一种是计算问题变量整数值的所有组合 (如穷举法), 它能保证组合论问题得到精确的最优解, 但也存在着计算量成指数增长的不足。第二种是“启发式”算法, 它是一种没有正规数学基础的方法, 不能保证得到精确的最优解; 但是一个“好”的启发式算法能以最少量时间找到一个“好”解 (通常接近最优解), 因此为广大研究者接受, 并在实践中得到了广泛应用。近代有关大规模复杂计算领域中的大量研究及实验成果已经表明启发式算法对组合论中许多问题的有效性^[52]。由于本模型的目的是为驾车者提供停车选择建议, 通常在出行目的地周围满足服务条件的停车设施数量有限, 本文采用分等级优化的启发式搜索算法。

(3) 算法简介

从第二章的驾车者行为特征研究 (参见表 2-26) 可知, 在智能停车选择模型的 3 个目标中, 对首选停车场至目的地步行距离的优化是使用者最关心的问题, 也是停车选择的重点。在此将其放在第一优先级计算。停车收费价格和出行至停车场行程时间的优化, 可根据具体情况按驾车者的个人偏好确定优先级的先后。因此在对步行距离优化的基础上, 适当考虑停车收费价格和出行至停车场的行程时间来满足后两个目标的要求是求解该模型的有效方法。

构造的求解思路是将模型算法分为三个步骤:

①对确定的出行目的地位置 (x_j, y_j) 进行备选停车场步行距离 l_{ij} 最小化的计算。

②将满足步行距离最小值的停车场集 A_{ij} 作为初始解, 通过启发式搜索对停车收费价格 F_i 与出行至停车场行程时间 t_i 进行优化。

③将优化后的目标函数向量反馈至①, 找出非劣解和最优解。

(4) 算法步骤

◆步行距离最小化

$$gl. \min(l) = \min(l_{ij}) \tag{3.16}$$

$$st. \begin{cases} l_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \\ a_{ij} = \begin{cases} 1 & l_{ij} \leq L \\ 0 & l_{ij} > L \end{cases} \\ A_{ij} = \{a_{ij} = 1\} & i = 1, 2, \dots, h; j = 1, 2, \dots, k \\ \forall j \in k, \exists h \geq \sum_{i=1}^h a_{ij} \geq 1 & i = 1, 2, \dots, h; j = 1, 2, \dots, k \end{cases} \tag{3.17}$$

考察约束条件式(3.17), 包含了 $h \times k$ 个变量, h 个约束。约束条件用以判断停车场是否服务于出行目的地。先将满足 $l_{ij} \leq L$ 的停车场集 A_{ij} 列出, 按步行距离的长度范围划分为最优、次优、一般、基本等 4 个子集, 分别以 A_{ij1} 、 A_{ij2} 、 A_{ij3} 、 A_{ij4} 表示。前三者对应的步行距离期望值分别用 L_1 、 L_2 、 L_3 表示。先从中选取步行距离最优的子集 A_{ij1} (符合要求的可能不止 1 个), 这些停车场位置就作为初始解。这样能够预先缩小搜索范围, 提高求解效率。

◆区域目标规划法

区域目标规划算法的理论基础是“最小化偏离一组范围的最大偏差”。本算法设计的目的正是期望能使偏离“步行距离最小解”的偏差最小化。在对目标 l 优化后, 得到 A_{ij} 的最优子集 A_{ij1} , 但 A_{ij1} 对约束式(3.18)是否满足尚未可知, 需要通过调整对目标 F 和 t 进行综合优化。为了统一进行最小化的求解, 该模型可由式(3.14)和式(3.15)转换成以下形式:

$$gl. \begin{cases} \min(F) = \min(F_i) \\ \min(t) = \min(t_i) \end{cases} \quad (3.18)$$

$$st. \begin{cases} F_i = \begin{cases} 0 & 0 \leq T \leq T_{i\min} \\ y_{i1} \cdot (T - T_{i\min}) & T_{i\min} < T \leq T_{i1} \\ y_{i1} \cdot T_{i1} + y_{i2} \cdot (T - T_{i1}) & T_{i1} < T \leq T_{i\max} \\ F_{iL} & T > T_{i\max} \end{cases} & i = 1, 2, \dots, h \\ t_i = \sum t_{i0} [1 + \alpha(Q_i / C_i)^\beta] & i = 1, 2, \dots, h \\ t_{i0} = \frac{s_i}{r \cdot r_c \cdot \eta \cdot u_0} & i = 1, 2, \dots, h \\ C_i = N_0 \cdot r \cdot r_c \cdot \eta_i \cdot n_{i0} & i = 1, 2, \dots, h \\ r_c = \begin{cases} r_0 & s_i \leq 200 \\ r_0(0.0013s_i + 0.73) & s_i > 200 \end{cases} & i = 1, 2, \dots, h \\ \eta_i = \begin{cases} 50(W_0 - 1.5) \times 0.01, W_0 \leq 3.5m \\ (-54 + 188W_0 / 3 - 16W_0^2 / 3) \times 0.01, W_0 > 3.5m \end{cases} & i = 1, 2, \dots, h \\ 0 < T_{i\min} < T_{i1} < T_{i\max} \\ 0 < y_{i1} < y_{i2} & i = 1, 2, \dots, h \\ F_i \leq F_{\max} & i = 1, 2, \dots, h \\ t_i \leq t_{\max} & i = 1, 2, \dots, h \end{cases} \quad (3.19)$$

设 $z = (z_1, z_2)$ 为目标函数值向量, 其中 $z_1 = F$, $z_2 = t$. $Z = (Z^1, Z^2)$ 为目标水平向量, 其中 $Z^1 = F_{\max}$, $Z^2 = t_{\max}$. 本算法需要着重解决的是既能达到停车收费价格最低, 又能满足出行至停车场时间最短。

先进行步行距离最小化的计算, 以 A_{ij1} 作为初始解集, 计算 z^0 , 定义 $z^s = (z_1^s, z_2^s)$. 然后以“停车收费价格 F ”和“出行至停车场时间 t ”的约束条件对 A_{ij1} 启发式搜索. 令 $i = 1 (i \in q, q \leq h)$, $s = 0$, 分别搜索每一变量 $a_{ij1}^{(0)}$, 步骤如下:

$$\textcircled{1} \text{ 比较 } z^s \text{ 与 } Z, \text{ 计算集合 } r = \begin{cases} (0) & z_i^{(s)} - Z < 0 \\ (1) & z_1^{(s)} > Z^1, z_2^{(s)} < Z^2, \text{ 令 } s = s + 1. \\ (2) & z_1^{(s)} < Z^1, z_2^{(s)} > Z^2 \\ (1,2) & z_i^{(s)} - Z > 0 \end{cases}$$

②如 $r = (1,2)$, 则停车收费价格 F 与出行至停车场时间 t 均不满足条件, $a_{ij1}^{(s)}$ 为劣解, 得不到可行解, 令 $i = i + 1$, 返回①重复计算 z^s, r ; 当 $i = q$ 时, 转入⑥。

③如 $r = (1)$, 表示仅停车收费价格 F 较高, 令 $i = i + 1$, 返回①重复计算 z^s, r ; 当 $i = q$ 时, 转入⑥。

④如 $r = (2)$, 表示仅出行至停车场时间 t 较长, 令 $i = i + 1$, 返回①重复计算 z^s, r ; 当 $i = q$ 时, 转入⑥。

⑤如 $r = (0)$, 表示解集 $a_{ij1}^{(s)}$ 均满足条件, 得到可行解, 记入可行解集 $A_{ij}^{(s)}$; 令 $i = i + 1$, 返回①重复计算 z^s, r ; 当 $i = q$ 时, 转入⑥。

⑥算法结束。

经以上计算, 可以得到可行解集 $A_{ij}^{(s)}$ 及目标向量解 $(t_i^{(s)}, F_i^{(s)}, t_i^{(s)})$ 。

◆非劣解与最优解的确定及讨论

以上算法是对出行目的地附近固定的现有停车场进行多目标优化选择。在算法设计时,本文进行目标向量值 (l, F, t) 的计算,并根据对向量大小的定义,找出相应的一组非劣解集,作为约束型模型的计算结果。模型算法的逻辑框图如图 3-9 所示。

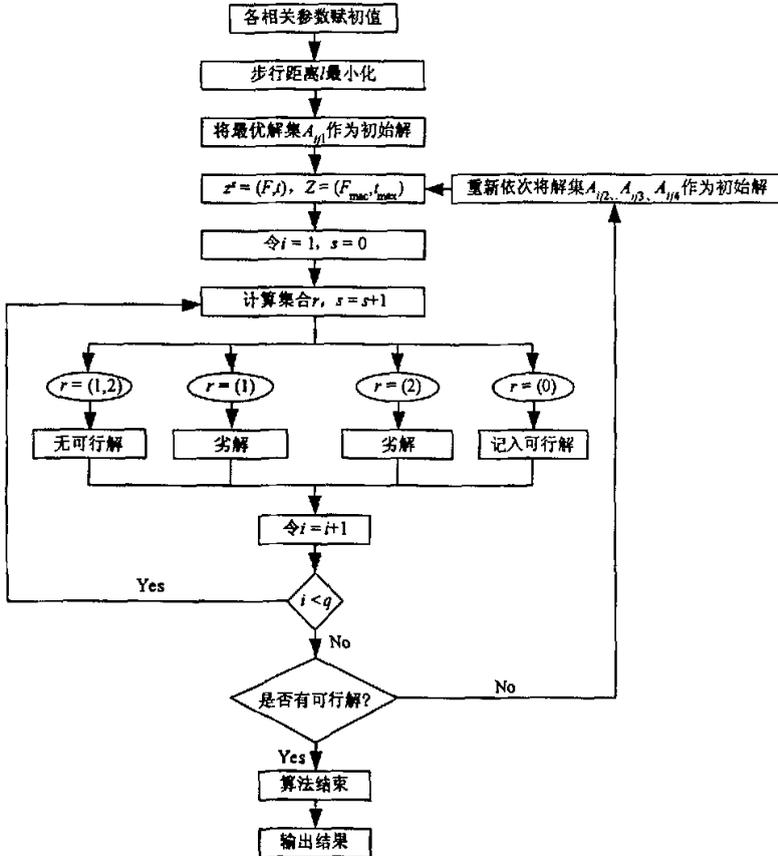


图 3-9 停车智能选择模型计算逻辑框图

当 A_{ij1} 的所有元素都不能同时满足停车收费价格 F 最低和出行至停车场时间 t 最短的约束时,模型还可以在 A_{ij2} 内按步骤①~⑥继续搜索,在有可行解的情况下,向用户提供次优解。以此类推,还可得到分别对应于 A_{ij3} 、 A_{ij4} 的一般解和基本解集。笔者自编了运行软件,模型的计算实例应用见 3.4.5。

3.4.4 智能停车选择评价

当可行解集 $A_{ij}^{(s)}$ 包含的元素不止一个时,需要给这些选择方案进行评价,以便向驾车者传输建议信息。多目标方案常采用传统的特尔斐法进行评价。该方法在收集专家意见的同时,容易受到专家选择范围和专家们自身专业知识结构、评分组织方法等方面的限制,一般存在评分周期长、费用高、主观成分过多的欠缺,有时甚至以失败告终。事实上,特尔斐法的评价主体是各指标的历史或现实资料反映的状况。如果通过常规渠道能够采集汇总各指标已有的数据资料,在此基础上构造出自评判模型,直接用于相对比较的决策,不失为一条便捷的思路。本文采用自评判^[49,53,54]方法给可行解集排序。

1. 指标确定及量化

采用表 3-6 的 5 项指标。其中 l 、 F 、 t 这三项指标按式(3.15)计算,停放安全性 S 和停车设施类型 G 属于较为模糊的“效益型”概念,难以直接量化。笔者将它们定性的描述分别映射到坐标轴上(如图 3-10),

然后赋予相对数值。S 和 G 参照图 3-10 和表 2-10 的首选停车场类型意愿，量化赋值结果见表 3-7。

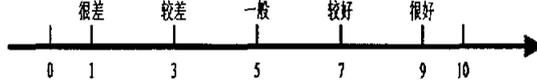


图 3-10 模糊效益指标量化示意图

表 3-7 模糊效益指标量化结果表

停车设施类型	路内	路外地面	地下停车库	立体停车楼	机械式停车架
S	3~5	5~7	7~9	7~9	5~7
G	5~7	7~9	5~7	2~4	2~4

2.各指标权重值

应用层次分析法 (Analytical Hierarchy Process, 以后简称“AHP”), 采用 1~9 标度进行上述 5 项指标间的两两比较, 然后构造判断矩阵。设 C 为 n 阶判断矩阵, 计算步骤简介如下^[13,55]:

①计算各行元素和 $\sum_{j=1}^n c_{ij}$; ②各指标权重 $w_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij}}$;

③矩阵最大特征根 $\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n (CW)_i}{nw_i w}$; ④一致性指标 $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$; ⑤一致性比例 $CR = \frac{CI}{RI}$ 。

式中, RI—平均随机一致性指标, 详见表 3-8。当 $CR < 0.1$ 时, 认为判断矩阵的一致性可以接受。

表 3-8 平均随机一致性指标取值^[55,56]

阶数 n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.96	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

参考表 2-26 的驾车者行为特征研究结论, 经以上步骤计算, 得到 5 阶矩阵的 5 个特征值分别为 5.324、4.959、4.564、5.325、5.176, 最大特征值是 5.325。各指标权重确定见表 3-9, 满足一致性检验的要求。

表 3-9 城市停车智能选择评价指标权重及检验表

指标代号	l	F	t	S	G	权重	一致性检验
l	1	4	3	2	8	0.423	$\lambda_{\max}=5.325$ $CI=0.081$ $RI=1.12$ $CR=0.072 < 0.1$
F	1/4	1	1/2	1/3	2	0.096	
t	1/3	2	1	1/2	4	0.184	
S	1/2	3	2	1	4	0.247	
G	1/8	1/2	1/4	1/4	1	0.050	

3.选择方案决策排序方法

设对于出行目的地 j, 有可行解集 $A_j^{(s)}$ ($i=q, q \leq h$) 满足模型的目标函数和约束条件要求。引入自评判模型给可行解集的各选择方案决策排序。本文采用模糊综合决策和简化决策两种方法。

(1) 数据标准化处理

为体现可比性, 原始数据必须先进行标准化处理。对可行解集 A_j 的 q 个选择方案, 5 个评价指标, 将“效益型”指标 S、G 和“成本型”指标 l、F、t 的原始数据 Z_{ij} ($i=1, 2, \dots, q; j=1, 2, \dots, 5$, 下同) 分别按式 (3.20)、式 (3.21) 进行标准化处理^[53]:

$$Z_{ij}^* = \frac{Z_{ij} - Z_{j\min}}{Z_{j\max} - Z_{j\min}} \quad (3.20)$$

$$Z_{ij}^* = \frac{Z_{j\max} - Z_{ij}}{Z_{j\max} - Z_{j\min}} \quad (3.21)$$

式中, $Z_{j\min} = \min\{Z_{1j}, Z_{2j}, \dots, Z_{qj}\}$, $Z_{j\max} = \max\{Z_{1j}, Z_{2j}, \dots, Z_{qj}\}$ 。

通过标准化处理后, Z'_{ij} 满足 $0 \leq Z'_{ij} \leq 1$, 且不改变原始数据的相对差异性。

(2) 自评判模糊综合选择决策排序

设立评语集 $V = \{V_1(\text{很差}), V_2(\text{差}), V_3(\text{一般}), V_4(\text{好}), V_5(\text{很好})\}$, 将标准化后的数据区间 $[0,1]$ 对应 V 集划分成 5 等分: $[0,0.2], (0.2,0.4], (0.4,0.6], (0.6,0.8], (0.8,1]$ 。定义自评判隶属函数见表 3-10。

表 3-10 自评判隶属函数定义表

隶属度	$Z'_{ij} \in [0,0.2]$	$Z'_{ij} \in (0.2,0.4]$	$Z'_{ij} \in (0.4,0.6]$	$Z'_{ij} \in (0.6,0.8]$	$Z'_{ij} \in (0.8,1]$
α_{j1}	1	$(0.4 - Z'_{ij})/0.2$	0	0	0
α_{j2}	0	$(Z'_{ij} - 0.2)/0.2$	$(0.6 - Z'_{ij})/0.2$	0	0
α_{j3}	0	0	$(Z'_{ij} - 0.4)/0.2$	$(0.8 - Z'_{ij})/0.2$	0
α_{j4}	0	0	0	$(Z'_{ij} - 0.6)/0.2$	$(1 - Z'_{ij})/0.2$
α_{j5}	0	0	0	0	$(Z'_{ij} - 0.8)/0.2$

表中的隶属函数满足: $0 \leq \alpha_{jk} \leq 1$, $\sum \alpha_{jk} = 1 (k=1,2,\dots,5)$ 。这意味着隶属度矩阵 R 由此确定。

将确定的 5 项评价指标记作 $U = \{U_1, U_2, U_3, U_4, U_5\} = \{I, F, t, S, G\}$ 。按照 V 集的评语定义, 对 U 集中任意一个元素的评价为 $R_i = (r_{ij}) (i=1,2,\dots,5; j=1,2,\dots,5)$ 。 r_{ij} 表示各指标在 V 集中各级评语的隶属度, 参见表 3-10, 评价模型为 (U, V, R) 。各选择方案模糊评价决策的计算式如下^[49,50]:

$$B = A \cdot R \tag{3.22}$$

式中, A —各指标的权重, 参见表 3-9。

当涉及的指标因素较多时, 采用模糊算子运算往往会掩盖必要的信息, 容易导致评价结果失真。在式(3.22)中可应用常规矩阵运算规则计算。比较得到的 B 值, 即可为选择方案排序决策。

(3) 自评判简化决策选择排序

在步骤 (1) 后, 可按照如下计算式(3.23)对各选择方案综合加权^[54]:

$$B_i = \sum_{j=1}^5 w_j \cdot Z'_{ij} \tag{3.23}$$

式中, w_j —各评价指标权重, 参见表 3-9; B_i —各选择方案的综合评价值。

B_i 值越高, 说明选择方案的评价结果越好。比较求出的 B_i 值, 即可为选择方案排序决策。

虽然两种方法的计算有所不同, 但一般说来, 最后的评价结果应该是一致的。

3.4.5 计算实例应用

取东莞市中心城区第 7 停车分区^[57]作为计算实例。该分区位于东莞市中心城区中部, 目前停车设施配备较齐全, 停车泊位供应量达 1982 个, 但由于集聚了办公机构、商业设施、学校和休闲场所, 特有的区位造成了停车吸引持续增长, 现状停车需求达 2258 个^[57], 停车供需矛盾日益突出。所以, 在此分区范围进行智能停车选择模型应用具有代表性。该分区的空间拓扑关系参见图 3-11 所示。

1. 参数取值

对于图 3-11 中的出行起点和出行目的地, 先赋值 $L = 400\text{m}$, 由作图法直观判断, 图中的圆圈范围即为按步行距离优化的候选停车场集, 则 $A_j = \{9,23,24,25,26,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37\}$, 共有 15 个候选对象。因为只考虑一个出行目的地, 将解集元素分别对应记作 $a_1 \sim a_{15}$ 。本计算实例的基本参数取值见下表 3-11, 各候选停车场的属性参数取值见下表 3-12。特别说明的是, 为简化起见, 对出行起点到各候选停车场的行程时间按行程距离和出行经验值赋予, 而这不会影响模型的使用。

表 3-11 计算实例基本参数取值表

参数代号	$h(\text{个})$	$L(\text{m})$	$L_1(\text{m})$	$L_2(\text{m})$	$L_3(\text{m})$	$T(\text{min})$	$F_{\max}(\text{元})$	$t_{\max}(\text{min})$
数值	48	400	100	200	300	90	25	30

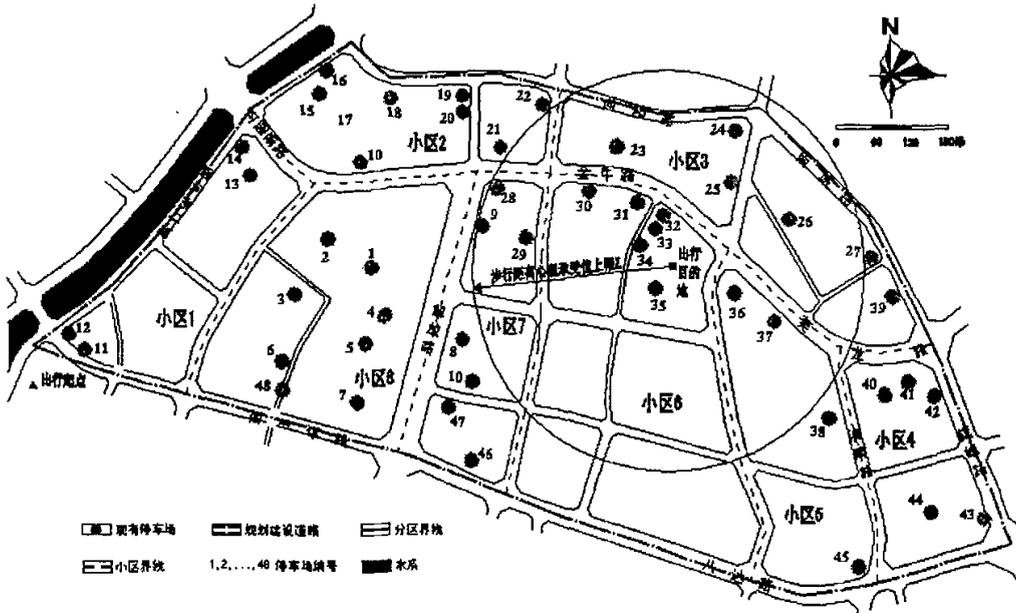


图 3-11 智能停车选择计算实例图

表 3-12 计算实例候选停车场属性参数表

名称或编号	$x_i(x_j), y_i(y_j)$	$T_{min}(min)$	$T_{i1}(min)$	$T_{max}(min)$	$\gamma_{i1}(\text{元}/h)$	$\gamma_{i2}(\text{元}/h)$	$F_{iL}(\text{元})$	$t_i(min)$	类型
出行目的地	74156,48951	-	-	-	-	-	-	-	-
停车场 9	73779,49033	20	80	170	5	10	40	20	地面
停车场 23	74052,49183	20	80	170	5	10	40	26	地面
停车场 24	74281,49216	30	120	240	3	5	30	31	地下
停车场 25	74273,49114	20	80	170	5	10	40	29	地面
停车场 26	74388,49043	30	120	240	3	5	30	31	立体
停车场 28	73812,49109	20	80	170	5	10	40	22	地面
停车场 29	73868,49007	30	120	240	3	5	30	23	地下
停车场 30	73996,49101	20	80	170	5	10	40	25	地面
停车场 31	74090,49076	20	80	170	5	10	40	28	地面
停车场 32	74143,49053	30	120	240	3	5	30	28	地下
停车场 33	74126,49025	20	80	170	5	10	40	27	地面
停车场 34	74095,48992	20	80	170	5	10	40	26	地面
停车场 35	74126,48908	30	120	240	3	5	30	25	立体
停车场 36	74278,48900	30	120	240	3	5	30	27	地下
停车场 37	74355,48844	20	80	170	5	10	40	29	地面

2. 智能停车选择结果

调用笔者自行编制的软件运行，输入参数界面如图 3-12。

软件运行输出的结果见表 3-13。于是，本计算实例计算得到停车场 33、34、35 共 3 个智能停车选择方案的解集；分别定义为 A_1, A_2, A_3 。



图 3-12 智能停车选择软件输入参数界面图

表 3-13 计算实例智能停车选择方案输出结果表

选择方案代号	停车场编号	$l(m)$	$F(元)$	$t(min)$	停车设施类型
A_1	33	79.85	8.33	27	地面
A_2	34	73.50	8.33	26	地面
A_3	35	52.43	3	25	立体

3. 智能停车选择评价结果

采用表 3-6 确定的 5 项评价指标和表 3-9 的权重系数。由表 3-13 直接获得 l 、 F 、 t 三项指标值，根据图 3-10 和表 3-7、表 3-12 确定 S 和 G 两项指标的模糊数值，则智能停车选择方案的解集 A_1, A_2, A_3 的原始数据结果如下表 3-14。

表 3-14 计算实例智能停车选择方案解集原始数据表

评价指标	$l(m)$	$F(元)$	$t(min)$	S	G
权重系数	0.423	0.096	0.184	0.247	0.050
方案 A_1	79.85	8.33	27	6	8
方案 A_2	73.50	8.33	26	6	8
方案 A_3	52.43	3	25	8	3

采用 3.4.4 介绍的模糊综合决策和简化决策两种评价方法给表 3-13 的选择解集排序。先采用式(3.20)、式(3.21)对原始数据标准化处理，如下表 3-15 所示。

表 3-15 计算实例智能停车选择评价标准化数据处理表

选择方案编号	对应停车场编号	l^*	F^*	t^*	S^*	G^*
方案 A_1	33	0	0	0	0	1
方案 A_2	34	0.23	0	0.50	0	1
方案 A_3	35	1	1	1	1	0

(1) 自评判模糊综合决策排序结果

将标准化数据依次代入表 3-10 和式(3.22)计算, 得到 3 个智能停车选择方案 A_1, A_2, A_3 的自评判模糊隶属度和综合选择决策排序结果, 如下表 3-16。

表 3-16 计算实例智能停车选择方案自评判隶属度和模糊综合决策排序表

方案	f^*	F^*	t^*	S^*	G^*	模糊综合决策
A_1	{0.423,0,0,0,0}	{0.096,0,0,0,0}	{0.184,0,0,0,0}	{0.247,0,0,0,0}	{0,0,0,0,0.050}	{0.950,0,0,0,0.050}
A_2	{0.356,0.67,0,0,0}	{0.096,0,0,0,0}	{0,0.092,0.092,0,0}	{0.247,0,0,0,0}	{0,0,0,0,0.050}	{0.699,0.159,0.092,0,0.050}
A_3	{0,0,0,0,0.423}	{0,0,0,0,0.096}	{0,0,0,0,0.184}	{0,0,0,0,0.247}	{0.050,0,0,0,0}	{0.050,0,0,0,0.950}

从上表 3-16 显而易见, 无论按各级评语逐个评价还是按最大隶属度原则确定, 方案 A_3 都处于明显的综合优势, 故模糊决策推荐方案 A_3 (即 35 号停车场) 作为首选。权重系数对排序结果有一些影响。

(2) 自评判简化决策排序结果

将标准化数据代入式(3.23)计算, 得到 3 个智能停车选择方案 A_1, A_2, A_3 的自评判简化决策排序结果, 如下表 3-17。

表 3-17 计算实例智能停车选择方案自评判简化决策排序表

选择方案编号	对应停车场编号	f^*	F^*	t^*	S^*	G^*	简化决策 B_i 值
方案 A_1	33	0	0	0	0	0.050	0.050
方案 A_2	34	0.098	0	0.092	0	0.050	0.240
方案 A_3	35	0.423	0.096	0.184	0.247	0	0.950

从上表 3-17 的 B_i 值显而易见, 方案 A_3 在综合加权结果中处于明显的优势, 表明该方案选择的总体效益最佳。故按照简化决策方法, 推荐采用方案 A_3 (即停车场 35) 作为出行前的首选。

两种评价方法获得的决策排序结果一致: 均推荐方案 A_3 作为停车首选, 其次是 A_2 , A_1 列最后。

3.5 本章小结

本章根据第二章的 PGIS 反应特征研究 (参见 2.4.3), 从理论研究应具有的前瞻性角度, 提出了面向用户的多层次、全方位城市实时停车信息服务的出行前子系统的框架结构 (参见图 3-1), 介绍了 GIS 工作平台、Internet、电子地图、通信技术、数据融合处理和代号编码等相关的技术支持理论。在此基础上, 论文对利用 Internet、通信方式 (如移动电话、PDA、固定电话) 和媒体 (如电视台、广播电台、报纸) 等 3 种不同渠道分别传输发布出行前停车信息的功能进行了具体的设计研究。

借鉴第二章的驾车者行为特征研究结论 (参见 2.4.2) 和以往静态交通统计评价的经验, 采用模糊聚类方法确定了首选停车场的 5 项评价指标。以“驾车者使用最便利、可达性最强、出行停放成本最低”为目标, 选取停车场至目的地步行距离 l 、停车收费价格 F 、出行至停车场的行程时间 t 这 3 项可定量指标作为优化参数, 建立了约束型多目标智能停车选择模型, 在已投入使用的停车设施当中为驾车者选择满足目标函数和约束条件的停放场所。采用分等级优化的启发式搜索算法, 将使用者最关心的步行距离 l 的优化放在第一优先级计算, 按步行距离的长度范围划分为最优、次优、一般、基本等 4 个子集, 先从中选取步行距离最优的子集 A_{ij1} (符合要求的可能不止 1 个), 这些停车场位置就作为初始解。这样能够预先缩小搜索范围, 提高求解效率。然后考虑优化停车收费价格 F 和出行至停车场的行程时间 t 来满足后两个目标的要求, 找出非劣解和最优解。

对于当可行解集 $A_{ij}^{(s)}$ 包含的元素不止一个的情况, 本章引入自评判模糊综合决策和简化决策两种方法对选择方案进行排序评价, 向用户推荐解集的最优选择。当没有综合最优解时, 在有可行解的情况下, 模型可以采取按步行距离等级划分的方式参照逻辑框图 3-9 的算法步骤重新依次搜索后, 向用户提供次优解、一般解或基本解集。

最后自编软件运行东莞市的计算实例, 证明模型、算法和评价方法具有实用性。

第四章 出行途中城市停车信息诱导子系统

驾车者的信息技术研究可以追溯到 20 世纪 50 年代。在上世纪 60 年代末 70 年代初,美国的洛杉矶、芝加哥等大城市开始探索交通监测和实时信息发布技术;同期美国和欧洲也致力于研制车内路径诱导系统^[45]。不过,多年来世界各国的研究重点一直集中在道路的动态交通上,对于停车诱导方面的研究起步较晚,到 20 世纪 80 年代中后期才增加重视程度。

与城市交通控制技术截然不同,驾车者对 PGIS 信息的接受属于非强制的自愿行为^[11]。一项基于信息板的 PGIS 调查表明,95%的司机会注意到信息板,71%的司机根据显示的内容决定停车场的使用;32%的驾车者居住在城外,其中包括 87%的人认为 PGIS 十分必要^[18](未注明出处)。

第二章的 PGIS 反应特征研究(参见 2.4.3)和第三章都已述及,88.55%的驾车者表现出使用 PGIS 的需求兴趣,对将来 PGIS 效果预计“很有作用”的比例高达 53.44%,表明驾车者总体接受 PGIS 的意向很强,对 PGIS 的期望值较高,未来 PGIS 的市场需求前景广阔。另外,第二章的 PGIS 反应特征研究当中,对南京市现状道路停车诱导标志牌评价“很满意”和“一般”的驾车者分别占样本数的 27.42% 和 30.65%,说明以停车诱导标志牌为代表的出行途中 PGIS 方式总体上获得了认可,发挥了基本作用。

按照图 1-5 的结构,PGIS 划分为出行前和出行途中两个子系统。虽然都属于 PGIS 的组成部分,但出行途中的停车诱导和停车选择性质不同于出行前,其动态特征明显,具有实时效用。从第二章的 PGIS 反应特征研究不难推断,形成相对独立的出行途中城市停车信息诱导子系统(以下简称“出行中子系统”)的环境条件已基本具备。

4.1 出行中子系统框架

第二章的 PGIS 反应特征研究显示,目前驾车者出行途中愿意采用的停车信息方式较集中,愿意使用路侧可变信息板的最多,比例达 46%;其次是广播电台方式,比例是 32.67%;二者之和达 78.67%,占据了选择主体。必须注意到,由于现状的停车诱导标志牌已在南京市的主要大型停车场入口处设置,广播电台也早已开办了交通信息节目,给大多数被调查人留下了较深的印象而产生亲近感;而车载显示设备的市场使用率目前近乎空白,因陌生自然使驾车者的选择打折扣;手机短信的选择则因今年颁布的《道路交通安全法》有关严禁开车时使用手机的规定出台受到限制。特别是问询调查直接受主观因素影响,而主观因素很难确保维持不变,所以,目前的结果不能完全代表未来的格局。

因此,架构出行中子系统的过程中,以第二章驾车者所表现的 PGIS 反应特征为依据的同时,应该为将来采用更先进的高科技手段实施更全面的停车信息诱导而导致驾车者的选择使用偏好发生改变留有余地。从驾车者出行途中的实际需求出发,综合考虑车辆内和道路上的硬件配备状况,宏观区位和微观场所相结合,构建面向用户的多渠道、多层次城市停车信息服务的出行中子系统框架如图 4-1 所示。

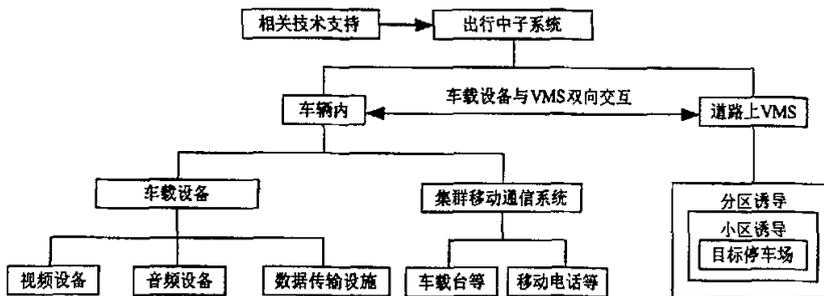


图 4-1 出行中子系统框架示意图

作为理论研究,本章将有所超越由目前的调查数据获得的研究结论。同样,出行中子系统也计划采用双向传输主体,即子系统既可以完成传统的被动接收停车信息的功能,又能够主动向控制中心传递用户发送的数据,体现城市实时停车信息和用户出行途中个性化意愿的交互式链接。

本章集中讨论出行中子系统的服务前提和实现条件(主要是通用基础原理技术)、功能设计、出行中车辆停放的接受条件研究。限于篇幅和主旨,文中不涉及建立车辆内和道路上具体的信息传输实现方式和功能软件开发。

4.2 相关技术支持

和出行前子系统一样,出行中子系统离不开先进的计算机、多媒体、通信、控制、电子等现代前沿科学技术的复合支持。前面已叙述过的相同或类似的内容参见第三章,不再重复。出行中子系统里,车载设备、VMS 等是特有的信息显示硬件设施,它们充当传递停车信息发布的载体。按设施所在的位置划分,既有在车辆内的,也有在道路上的;按通信方式划分,既有单向通信的,也有双向通信的。

下面对车辆内和道路上配备的主要硬件设施需要的技术支持分别作简要说明。

4.2.1 车辆内的相关技术支持

出行途中在车辆内通过车载设备来传输信息。其中通信和广播是实现信息传输功能的重要途径。

1. 无线电台通信网

无线电台载体的中等移动速度,会造成电波快速衰落。车载或携带电台有两种构成类型^[9]:

①移动无线通信网。这是散射状专业移动网,结构比较简单,仅涉及无线通信技术,可选择呼叫。

②蜂窝状移动无线电话网。这种系统结构复杂,需要使用有线和无线两种通信技术,并应用微处理器来扩大通信网的功能。

2. 专用短程移动通信(DSRC)

车辆在行驶过程中处于运动状态,移动通信正好能满足随时随地在车内向出行途中的驾车者提供动态停车信息的条件。交通部有关文件明确规定以 800MHz 集群系统作为交通专用移动通信网的主要方式之一^[47]。专用短程移动通信(dedicated short range communication, DSRC)是将数字信号调制在高频副载波上,再以此搭载有信号的副载波调制到频率、幅值固定的厘米波上,由天线在路面停车信息通信站和出行途中的车辆之间来回传播。车辆至路面通信站的信号传送称为“上行”,路面通信站至车辆的信号传送称为“下行”。全部信号的编制、发射、接收、处理、存储和转送均由双方的微处理器按专用软件控制,操作硬件执行。车载系统的接收装置主要包括专用接收机和 GPS 接收机,如图 4-2 所示。系统专用接收机接收调频广播电台发射的 FM 信号,经鉴频滤波得到调制的停车信息和 DGPS 修正信号,通过解调器和解码器恢复成可读的停车信息和 RTCM104 格式的 DGPS 修正信号。



图 4-2 车载调频副载波接收装置结构图

DSRC 协议是 DSRC 的基础。美国、欧洲、日本均建立了自己的 DSRC 标准,但国际标准化组织目前尚未制定出完整的国际标准。资料表明,基于 5.8GHz 的 DSRC 国际统一标准将成为必然。DSRC 标准可以分为以下三个层次^[9]:

①物理层(Physical Layer):规定了机械、电器、功能和过程的参数,以激活、保持和释放通信系统之间的物理连接。其中载波频率是关键参数,它是造成世界上 DSRC 系统差别的主要原因。

②数据链路层(Data Link Layer):制定了媒介访问和逻辑链路控制方法,定义了进入共享物理媒介、

寻址和出错控制的操作。

③应用层 (Application Layer): 提供了一些基础性工具。应用层中的过程可以直接使用这些工具, 例如通信初始化过程、数据传输和擦去操作, 等等。另外, 应用层还提供了支持同时多请求的功能。

3. 车载停车诱导系统

发达国家从 20 世纪 80 年代开始研制车载路径诱导系统。日本的车载路径诱导系统在世界上处于领先地位, 第一个商用车载路径诱导系统是由本田公司开发于 1981 年安装在所属的一辆雅阁轿车上。该系统使用气体速度陀螺仪作为方向传感器。1987 年丰田公司在其皇冠车上安装了第一个具有商业利用价值的车载路径诱导系统, 它使用彩色 CRT 来显示存于 CD-ROM 的道路地图^[43]。

拥有了车载路径诱导系统的设施基础后, 已经具备了实施车载停车诱导功能的相应技术前提。依托既有的车载路径诱导系统加以扩充, 驾车者完全能够在系统中查询一定范围内的停车服务信息。

4.2.2 道路上 VMS 技术支持

道路上的硬件设施通常以 VMS 的形式出现, 能够及时、快速、直观地向出行途中不具备车内装置的驾车者传输相关停车数据。VMS 有信息板或信标等多种样式, 工作原理包括电子式、光源式、光电式、机械式或综合式。适用于城市停车信息的 VMS 主要类型及结构形式和特点介绍如下^[47]:

1. 固定标志加闪光灯

用来支持实时信息, 连续显示固定信息。外观与传统固定标志没有区别, 表示固定标志的诱导作用。

2. 背景光源式

即透光式标志。包括以下三种:

- ①一组日光灯管安装在标志图案后面;
- ②一根灯管安装在反射箱内;
- ③光纤形成一个固定图形。

当标志 (或部分) 有照明 (开启状态) 时, 显示标志内容, 否则空白。标志板面可使用任意颜色组合, 标志的符号严格按设计要求。根据标志设计, 全部或部分标志信息可同时照明。

3. 电子机械式

现代有代表性的电子机械式包括旋转鼓型标志和反光磁翻板矩阵标志。

(1) 旋转鼓型标志

此标志板面与传统的公路标志相似。大部分标志是将金属片字符粘贴到涂有背景色彩的铝合金底基上, 或将字符喷涂到涂有背景色彩的木头、铝合金或透明塑料底基上, 形成标志。标志可按需要做成背部照明式。标志内容和背景根据设计可涂成任意颜色。这种标志可准确显示标志图形成状和字型。

旋转鼓面转到适当的位置即可显示需要的标志信息。三角形和四方形显示鼓最常用。一个独立的标志信息或“空白”可显示在每个鼓面上。显示鼓可单独或一起旋转, 旋转时间从每分钟 1 转到 10 转。显示鼓旋转时可能会在短时间看到不需要的信息。从理论上讲, 可能显示的标志数等于显示鼓面数的若干次方。例如 4 个三角形鼓可以显示 3^4 个不同的信息。一般旋转鼓标志具有 4 个旋转鼓, 最多显示 12 个不同的信息。如果需要, 显示鼓表面可以取掉换上新的显示表面。

(2) 反光磁翻板矩阵标志

反光磁翻板矩阵的外形通常有圆形、长方形和正方形三种。其显著特点是仅在反光盘转动或翻动时消耗电力, 而发光式标志在显示标志信息过程中始终耗电。显示标志由永久磁化、活页状的反光磁翻板排列构成。每一翻板由两部分组成, 一部分不活动, 在指示面上涂上反光黄色涂料, 平面上涂成黑色; 另一部分可以活动, 在一面涂成反光黄色, 另一面涂成黑色。标志由一系列的矩阵模块构成。翻板之间、横块之间都没有间距。磁翻板的形状及标志的矩阵化模块排列, 限定了标志图形的确切形状与字体。

既可以象固定标志那样显示也可以模拟闪动模式显示, 做到逐行单独闪动。每一翻板的翻动部分有两个永久磁铁固定在一面, 一个电磁铁直接固定在翻板的后面。改变磁铁的极性, 翻板上的永久磁铁与电磁铁相互作用就使翻板翻动。标志上的所有行都可以改变, 每个字高通常 457mm, 闪动频率 1~6s。

4. 光源式标志

包括光纤矩阵和发光二极管(LED: Low Emitting Diode)两种。

(1) 光纤矩阵

由标志内部光源(石英灯泡)发出的光线经过玻璃光纤束的引导直接传到标志板面,其表面的发光点(像素)以矩阵方式排列。标志矩阵上的每一光点来自对应的一个独立的光导纤维端头,该端头与一个导光罩相连。导光罩可以放大光斑并可保持小发光角度。有的标志使用了光路分离器和两个石英灯泡光源,两束光纤各接收一个灯泡发出的50%的光。矩阵排列方式中的每个光点可用24mm的大直径光点或4~6mm的小直径光点,也可混合使用。小直径光点做成的标志可以提供更多的细节和更好的标志图像。采用滤光片有助于标志的图像丰富多彩。与反光标志相比,光纤标志的识角较小。

内部光源点亮起时,才显示标志信息。在一定范围内,可显示图形符号,也可显示字符信息。标志显示可以是固定的,也可以是闪动的。光纤的端头使用一种特殊的夹具固定在矩阵表面的洞内,同时能够方便地变换光纤端头的位置修改显示信息。每幅信息需要一个独立的光源和光纤束,所有预置的信息都要预先布好光纤,排列图形。光纤标志一般最多可做成15幅预布线图形。

(2) 发光二极管(LED)

LED是固态器件,加上电压时,即可发光。在LED的半导体材料中加上不同的添加剂,可以得到不同色光的LED器件。现有红、绿、黄和桔红等颜色。LED标志的写入速度比电子机械式快得多,它具有高可靠性。大部分LED在额定电流和电压下可连续工作100000h。单个LED的功率仅为毫瓦级,尺寸很小,亮度有限,因此构成一幅有效的标志图需要大量的LED。LED发光管有标准型和超高亮度型,后者的亮度输出在240~300cd/m²。LED的发光强度随发光材料老化而衰减,有时很严重。增加LED寿命和减少电源消耗的办法之一是对LED矩阵采用脉冲宽度调整法(PWM),即当LED需点亮时,让其在1s内开关许多次。LED板面由LED束构成。欧洲试验表明,标准型的LED不能提供白天所需的足够的对比亮度,必须使用超高亮度LED。LED束的部分亮度可以增加轴线方向的亮度。由29个超高亮度LED构成的LED束,轴线6°范围内产生的亮度相当于25W白炽灯的亮度^[47]。

LED可用于显示固定式、闪动式或系列标志。由于构成简单,LED矩阵标志可作为开关的空白标志。其变换显示内容迅速,可以同时改变标志的部分或全部内容。

5. 光源/电子机械式

主要是光纤带遮光板的形式,即磁翻板与光纤标志的组合。所采用的技术是以磁翻板标志显示技术为基础,光纤标志显示技术作为补充。光纤的一个像素半径约5mm,固定在每个磁翻板的后面,其光线可通过磁翻板上面的小孔照射出去。光纤像素总处于点亮状态,当磁翻板在“开”的状态(一般显示黄色)时透过小孔可看到光线;当磁翻板在“关”的状态时光线被挡住。磁翻板与光纤标志的像素可以同时显示反光板和光纤发出的光,其使用综合了反光磁翻板和光纤标志两种技术的特点。

6. VMS显示技术

VMS的显示技术已比较成熟,其中使用最多的信息板是旋转棱镜和光学纤维。前者成本低、能耗少,但整体视觉效果差一些;后者可视性佳,但成本高、能耗大^[11,32]。不过,随着应用材料技术的发展,光学纤维将会得到推广使用。

在DSRC中,道路上的VMS信标有3种类型^[9]:

- ①定位型。发送信号确定地图坐标、车辆实时位置、停车场选择取向和VMS数目。
- ②信息型。既发送定位信号又通过电缆中继当前停车设施使用信息和路况。
- ③单独通信型。用来和车辆进行双向通信。

4.3 出行中子系统功能设计

依据出行中子系统的框架构成(参见图4-1),按照其所处的位置,分别介绍位于车辆内和道路上各组成设施的功能或优化设计。国内外一些学者将出行中的VMS显示按照安装位置分为独立方式和共享方式两种^[13]。前者指将出行中子系统的显示装置安装在使用者的车辆内,每一用户独立拥有一个显示终

端；后者指将显示装置安装在城市干道或交叉路口处，向途经该处的所有驾车者提供停车诱导信息。实际上与按安装位置的分类结果异曲同工。两者的特点比较见下表 4-1。

表 4-1 独立方式和共享方式比较表

方式名称	优点	缺点
独立方式	1.为驾车者随时提供停车设施使用信息； 2.显示方式灵活；3.有利于私人购买，形成市场后，从根本上解决投资回收问题。	总体成本较高，产品的销路难以确保，技术方面有待成熟。
共享方式	总体成本较低，设置方便。	安装点固定，无法随时提供信息。

根据上表的比较，正处于 PGIS 建立初期的我国城市应主要研究和推行共享方式。因为系统需要一定的试运行时间，采用共享方式在道路上显示信息产生的影响更大。所以，在此着重讨论道路 VMS。

4.3.1 车载设备

车载设备属于出行途中的独立诱导方式。车载设备包括视频（CRT 显示屏、电子地图数据库）、音频（广播电台、语音提示装置）和数据传输设施等配置组成部分。依托车辆现已开发并投入使用的路径诱导系统、车辆定位和车载导航系统，结合这些软、硬件基础，完全可以利用车载设备来推广建立车辆内的停车诱导信息发布。

1. 面向用户的显示屏界面设计

车载设备的 CRT 显示屏需要设计一个面向用户的良好的人机对话界面，为驾车者、控制中心计算机和相关的视频、音频等设施提供便利的交互工具。驾车者只需要在显示屏上点击或输入出行目的地，车载设备便可以将目的地服务范围内的停车设施名称和实时泊位使用状况、收费措施等信息罗列，并切换到电子地图上。然后通过显示屏或音频设备提问让驾车者输入或回答选项，系统按用户自己的偏好推荐出行途中的首选停车场（参见 3.3.1）。一般情况下，车载设备可同时给用户指引行驶路径。

车载设备的停车信息功能设计逻辑过程见图 4-3。

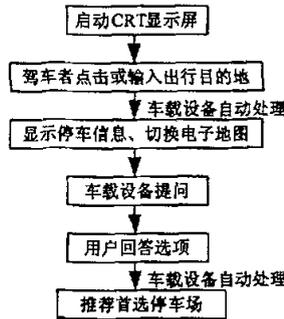


图 4-3 车载设备的停车信息功能设计逻辑图

2. 车载设备和道路 VMS（单独通信信标）双向传输

除了通过控制中心交换传递停车信息外，未来的车载设备还可借助双向通信方式，在它和车辆途经邻近的道路 VMS（单独通信信标）之间实行双向传输：车载设备“上行”通信向道路 VMS（单独通信信标）传递实时的车辆位置信息和停车请求信息；道路 VMS（单独通信信标）“下行”通信向车载设备发送停车诱导信息，如图 4-4 所示。全部信号的处理和操作过程可采用 DSRC 方式完成。

车载设备的配置必须在独立显示技术逐步成熟乃至完善，并且驾车者对 PGIS 普遍认同时，方可作为产品批量生产投放市场。

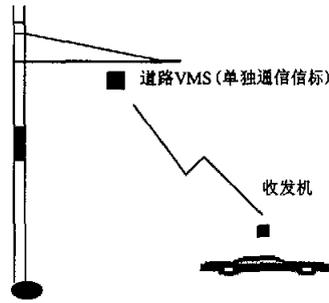


图 4-4 车载设备和道路 VMS (单独通信信标) 双向传输示意图

4.3.2 移动通信

依靠现代技术建立的集群移动通信系统，突破了传统的专用移动通信系统存在的诸多不足，为出行途中使用移动通信传输城市停车信息提供了可能，这是出行前子系统功能向车辆内驾车者服务的延伸。

1. 传统的专用移动通信系统

无论是简单的单信道一呼百应系统及改进的寻呼系统，还是后来发展的多信道自动拨号系统，都属于传统的专用移动通信系统。其特点是信道“专有”，即用户在通话过程中，双方使用的频率是固定的。用户一旦选择了某一信道，那么他只能在这一信道上工作，直到通信结束。如果这一信道被占用，无法选择其它空闲信道，就会出现阻塞^[47]。所以，其最大的缺点是：频率利用率低，有些信道发生阻塞，从而影响通信效果。

2. 集群移动通信系统

“集群”是专用业务移动通信系统高层次发展的形式。“集群”(Trunking)的含义是“系统具有的全部可用信道可为系统全体用户服务，具有自动选择信道的功能”，它是共享资源、分担费用、共享信道设备和改善服务的多用途、高效能的无线调度系统^[47]。具体地说，是指有限个通信信道在中心控制台的控制下，自动地、动态地、最优地指配给系统内全部用户使用。关键在于中心控制台按动态信道指配的方式将系统内的信道分配给需要通话的用户。

(1) 组网方式

集群移动通信系统的组网方式大致可分为以下 4 类^[47]：

- ①单区、单点、单中心网络；
- ②单区、多点、单中心网络；
- ③多区、多中心网络；
- ④多区、多层次、多中心网络。

此处的“中心”是指具有控制、交换功能，能够和有线电话网、移动通信网联结的城市中央控制中心或分区控制中心（参见图 1-5），所谓“点”是指具有无线电信号收发功能的基站。中央（分区）控制中心、基站和车辆内的用户终端相结合，再加上连接它们的有线和无线信道，就组成了城市内的移动通信网络。

按照城市的空间结构，在某干道往往采用单区、多点、单中心网络，而整个城市范围内则需采用多区、多中心网络来形成集群移动通信网。后者实际上是在前者的基础上进行组合联网，如图 4-5 所示。分区控制中心一般和通信分中心设在同一地点，通过用户线或中继线与 PABX 连接。

(2) 设备组成

①移动台。包括车载台、便携台和手持台，由收发信机、控制单元、天馈线（或双工器）和电源组成。此外，驾车者使用的移动电话和 PDA 也可归入此列。

②信息发布台。包括无线台和有线台两种。无线台由收发信机、控制单元、天馈线（或双工器）、电源和操作台组成，有线台除操作台外，还包括与分区控制中心的接口。移动电话和 PDA 属于无线台。

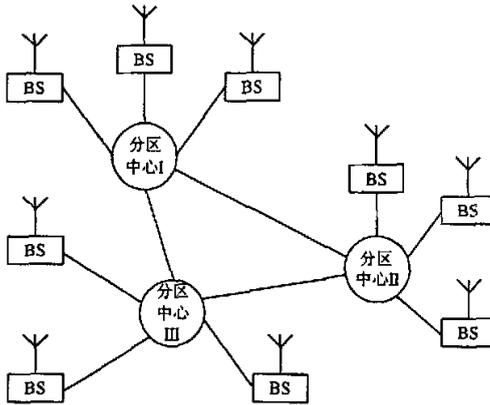


图 4-5 多区、多中心集群移动通信组网示意图

③基站。由若干转发器、天馈线系统和电源等设备组成。天馈线系统包括接收天线、发射天线、馈线和天线共用器。天线共用器由发信合路器和接收多路分路器组成。

④分区控制中心。包括系统控制器、系统管理终端和电源等设备。它由无线接口电路、交换矩阵、集群控制逻辑电路、有线接口电路、监控系统、电源和微机组成。

⑤中央控制中心。其主要设备是多区控制器。

(3) 频道配置

根据 CCIR901 报告，集群系统的频率配置采用互调最小的等间隔频道配置，主要减少城市分区之间和分区内部的互调产物。

(4) 基本功能

①使用功能。可进行语音通信，传输数据信息、状态信息和传真。在集群系统中，从中央（分区）控制台经信息发布台到用户组（群）、用户台到中央（分区）控制台、用户台到用户组（群）、PABX 或 PSIN 市话有线用户到移动用户或反方向联络，实现有线、无线网络互联。中国移动或中国联通用户可通过 GSM 短信息方式传递实时的车辆位置信息和驾车者停车请求信息，然后利用短信息方式接收实时的停车诱导信息。

②系统入网功能。入网时间短，任一网络用户按下 PTT 后一般 0.5s 即可接入语音信道、呼叫申请自动重拨，紧急呼叫优先、限时通信。

③系统维护管理功能。主要包括监视系统通信忙闲状态、基站无人值守、自动检测显示系统和设备的故障、发射机故障自动关闭、接收机遇干扰自动关闭、系统自检等，另外还有一些可选功能。

(5) 主要性能指标

集群通信系统的主要性能指标如下：

①各基站区的容量。一般设定的频道数为 5~20。通常的集群发布系统台，每频道可配备 50~60 个移动台或便携台。对于连接用户交换机或市话端局的集群系统，根据话务量和网络的实际运行情况，应当适当减少移动台或便携台数量。

②无线信息发布网内的语音传输质量指标。通常以音频带内的信噪比 $[(\text{信号}+\text{噪音})/\text{噪音}]$ 来表示。移动用户与有线信息发布台通话时，该指标按标准测试音测试宜不低于 20dB。

③有线信息发布网内的语音传输质量指标。一般是接入市话网时来衡量。移动用户与市话用户通话时，移动用户到分区控制中心音频输出端的音频带内的信噪比按标准测试音测试宜为 25~29dB。

④等待标准。等待时间超过 15s 的概率应小于 0.3。

⑤同频道干扰保护比。接收机射频输入端同频道干扰保护比应不低于 8dB。

4.3.3 道路 VMS 显示优化设计

道路 VMS 与车载设备的区别在于前者更新速度快,其信息出现在驾车者准备进行停车决策的时刻,具有典型的时效性要求。VMS 已进入第二代双向通信时代。城市中央控制中心和分(片)区控制分中心不仅可向驾车者发布实时停车信息和动态道路交通状况,同时也从驾车者处获得个性化停车请求信息和车辆行驶状况,参见图 4-4。其中,道路 VMS(单独通信信标)充当媒介,发挥双向信息传递作用。

本文第二章的 PGIS 反应特征研究显示,有 70.65% 的被调查人注意到了现状停车诱导标志牌及其提供的信息,但只有 27.42% 的驾车者表示“很满意”。多种主客观因素的共同影响注定了 PGIS 的使用率很难达到 100%^[13]。不过,如果适当优化其设计,提高对驾车者的吸引,显然能够改善使用效果。

1. 城市道路 VMS 的分级停车诱导模式

设立道路 VMS 的目的在于向途经的驾车者发布共享城市停车实时信息。从城市的空间拓扑组成关系和道路交通状况看,应采用分级诱导模式,将宏观区位和微观场所相结合,从预告为主逐渐具体化,由较广泛的停车分区范围转向集中的停车设施个体,以点带面,形成连续有效的停车信息传输。

在此按图 1-5 的停车结构组成采取如下 3 级兼具停车和导向功能的道路 VMS 停车诱导模式:

(1) 分区停车诱导

这属于在城市宏观区位内发布的预告性停车信息概况。按照第一章的定义,城市停车分区由若干停车服务小区组成(参见 1.4.2)。停车分区和小区的划分原则、方法参见第五章。分区诱导按小区为单位传输显示停车信息。为易于辨认,各组成小区宜采用不同的固定颜色辅以文字在信息板屏幕上显示。若分区面积较大,小区数较多时,可以 2~3 个小区为一组滚动显示;否则,可同屏传输各小区的停车信息。道路 VMS 分区诱导主要设置在近郊区的主城入口和主城区内相邻分区交界处等区位。

对于近郊区的快速路或市郊道路,建议在主城入口前至少 2000m 的道路标志牌上向驾车者发布前方有 PGIS 道路 VMS 的提示符。距主城入口 1500m 开始,在道路前进(即进城)方向的右侧沿路线纵向每隔 300~500m 于视野开阔处设立 1 块 VMS,以 1.5~3.0s 的刷新率循环显示主城区内各分区范围主要大型停车场的实时泊位和导向信息。

(2) 小区停车诱导

这属于介乎预告性和具体之间的停车信息类型。当车辆进入主城区出行目的地的停车小区范围内,通过信息板屏幕向驾车者提供小区内主要停车场的实时泊位信息和行驶方向诱导。当小区拥有的停车场数较多时,可以 2~3 个停车场为一组滚动显示;否则,可同屏传输各停车场的泊位信息。视具体情况可采用不同颜色或符号、文字标注以区分各停车场。

道路 VMS 分区诱导主要设置在主城区路段和平面交叉口的区位。

◆主城区的路段

在主城区主、次干道路段,沿路线前进的纵向靠近右侧的机动车道上方每隔 200m 设置 1 块 VMS,最接近平面交叉口的 VMS 位置距离前者不宜少于 100m。参见下图 4-6 的形式。



图 4-6 欧洲城市主干道停车泊位动态诱导标志牌

◆主城区平面交叉口

在主城区的平面交叉口地段，依照具体地形，结合既有的标志牌、交通显示屏，灵活设置 VMS。平面交叉口的类型多样，按信号控制划分，有无控和控制；按交叉口现状划分，有十字形、环形、三岔形和多路不规则形等。无论是哪类平面交叉口，都应该使 VMS 的设置位置在交叉口视距三角形范围内，不然，将难以引起驾车者的注意。以十字形双向交通平面交叉口为例，其视距三角形见下图 4-7。

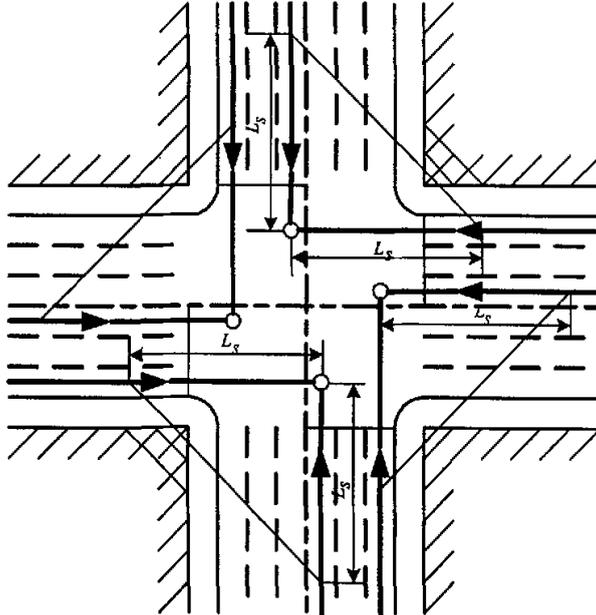


图 4-7 十字形平面交叉口 VMS 设置位置视距三角形图

图 4-7 中的 L_s 按下式(4.1)计算^[4,59]：

$$L_s = 0.28vt + \frac{0.004v^2}{\phi \pm i} + l_s \tag{4.1}$$

式中， L_s —交叉口引道上的驾车者从感到危险起到作出刹车反应，直至车停不发生冲突的距离 (m)；
 v —车辆行驶速度 (km/h)； t —驾车者刹车反应时间 (s)； l_s —停车后的安全距离 (m)；
 ϕ —车轮与路面的附着系数； i —道路纵坡。

(3) 目标停车场停车诱导

这属于面向个体的具体停车信息，此时驾车者已根据前面两级诱导信息的提示完成了停车选择，确定了目标停车场，故以方向引导为主。本级诱导设置在主城区主要停车场和停车换乘设施入口处。

◆主城区主要停车场入口附近

停车场出入口范围应具有良好的通视条件。为此，停车场出入口通道中心线宜后退约 2.0m，使其夹角 120°范围内能看清城市道路上的行人与车辆，如图 4-8 所示。同样，设置在主城区主要停车场入口处的 VMS 板必须满足驾车者的视距要求，可参照图 4-8 考虑其定位。

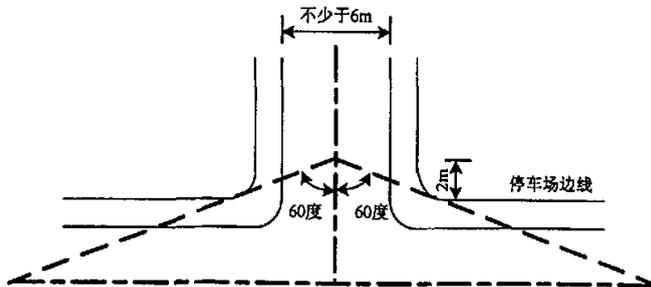


图 4-8 主城区主要停车场入口视距设计图

道路 VMS 板应设置在停车场入口前 50~100m 处的合适位置, 显示相关的停车信息。参见图 1-4 南京市停车场入口附近的动态诱导标志牌设置形式。

◆ 停车换乘设施 P&R (Parking and Ride) 入口

P&R 设施是指为驾车者提供便利的停车并更换下一步交通方式的场所, 城市规模决定了 P&R (Parking+Ride) 设施的重要程度。

欧美发达国家已经取得了设立 P&R 的成功经验, 在城市的主城区入口、地铁的集中换乘地或有轨电车、公共汽车的始发站等位置都有齐全的 P&R 设施。停车换乘系统是德国城市停车管理和城市交通管理的“亮点”。在德国属于中等城市的弗莱堡 1995 年以前在有轨电车站附近设立了 2500 个 P&R 设施, 计划增加到 3500 个^[16]。2001 年底, 科隆市以大教堂为中心的放射道路上已设有 120 个 P&R^[7]。美国目前仅华盛顿特区就有 152 个各类停车换乘场, 总的泊位数达 53200 个, 全美最大的停车换乘场位于俄亥俄州克利夫兰市, 容量竟达 2552 个泊位^[58]。P&R 设施处 VMS 设置如图 4-9 所示。



图 4-9 英国温切斯特市的 P&R 设施显示牌示意图

根据我国交通现状, 在机动化水平较高的大城市考虑设置 P&R 并非遥不可及。从城市和城市交通的可持续发展出发, P&R 设施必须与 PGIS 相匹配, 在车辆距离 P&R 入口的一定路程范围, 设置 VMS 向驾车者发布停车和方向诱导信息, 对于结合出行中子系统的使用具有现实意义。此外, 为提高 P&R 的吸引力, 应在显示板上共用或单独提供换乘地公共交通方式的辅助信息, 给驾车者提供方便。

2. 标准化结构和材料配置

第二章的 PGIS 反应特征研究中, 注意到停车诱导标志牌的样本比例是 70.65%; 其中评价“一般”的比例最高, 达 54.96%; 认为“很满意”的以 24.43% 处于第二位, 两者比例之和 79.39% (参见 2.4.3)。虽然可以认为现状停车诱导标志牌总体获得了认可, 但也说明尚值得改进。

进行道路 VMS 板的标准化配置研究, 有助于统一生产制作, 有利于提高驾车者的认知与理解, 也便于有关部门检查、监督和验收, 同时符合国际惯例, 易于和国际接轨。

(1) 配置原则

总体上应保证视觉状况良好, 便于驾车者观察接收显示信息。具体的配置原则如下:

- ① 选用的结构形式和材料根据道路的地理、气候条件、交通状况和施工技术 etc 综合确定。
- ② 一般设在距离地面 3~5m 以上的空间, 其高度应符合道路净空设计要求。
- ③ 尽可能在空旷处设置, 避免被其他物体 (电线、广告牌、树叶等) 遮蔽。
- ④ 位置醒目, 显示清晰, 支撑结构牢固。
- ⑤ 设定后不随意挪动位置。

(2) 诱导显示屏

诱导显示屏应为可拆装式模块化结构, 便于运输和维修。

其结构设计建议详见本章图 4-11~4-13。

目前的交通工程当中, 对作为标志部分的诱导显示屏采用静态灯箱作为诱导屏显示文字和图形、另以动态 LED 显示泊位信息的技术运用比较成熟。一般要求单位面积的平均发光强度不小于 8000mcd。

(3) 支撑结构

支撑结构的形式包括单柱式、双柱式、单悬臂式、双悬臂式、门架式和附着式等多类。在满足设计功能和受力条件的前提下,应尽量选用经济的形式。当预算造价相近时,优先考虑整体的设置效果。

(4) 适用的工作条件

一般要求室外的相对湿度 $\leq 98\%$,环境温度在 $-40^{\circ}\text{C}\sim+55^{\circ}\text{C}$ 。

(5) 材料要求

VMS 的外壳、机架等组件在保证结构稳定的条件下,宜优先采用符合国家有关标准的轻质材料,以减少产品的自重。发光像素由 LED 组成。LED 的半强角不小于 15° ,平均无故障时间 (MTBF) 不小于 50000h,其它电子元器件的 MTBF 不小于 30000h。

在夜间,应采用发光性能优良的材料增加 VMS 对驾车者的吸引力。

(6) 外观质量

产品构件应完整、装配牢固,边角圆滑,无飞边、无毛刺。机壳和安装连接件应无明显变形、凹凸等缺陷。控制箱一般附着安装在诱导屏的支撑柱或诱导屏箱体内。箱体出线孔应该开口合适、切口整齐,出线管与箱体连接密封良好;箱内接线整齐,回路编号清楚,走线横平竖直,符合工艺和视觉美学要求;箱锁应采取防水、防锈措施,箱门开闭灵活轻便,密封良好,箱体内外清洁。

机壳宜采用白、淡蓝、淡青等浅色调,以突出诱导屏的主体颜色。

3. 显示传输内容优化设计

驾车者对 VMS 的显示信息需要一个接受过程,如图 4-10 所示。



图 4-10 驾车者对 VMS 的接受过程示意图

为了使 VMS 板的使用达到理想的效果,必须从驾车者的视觉反应和心理特性出发,传递必要的而又精简实用的显示内容,体现停车信息的实时、动态和可视化。否则,将难以真正发挥诱导功能。

(1) 泊位状况显示方法分类

VMS 板显示停车场泊位使用状况的方法有多种。下面介绍主要几类:

◆按显示信息主体性质划分

可分为泊位模式和时间模式^[13]。

①泊位模式。显示停车泊位的使用状况。这种方法简单可靠。但在停车高峰时段,如果所有泊位全部被占据,则 VMS 板就暂时失去了意义。在车辆从 VMS 处行驶到停车场的过程中,本来空余的泊位有可能被先到者停放,提供的信息参考价值受到限制。

②时间模式。显示从 VMS 处到停车场的预计行程时间和到达停车场后可能需要的排队等待时间,如果动态瞬时性比较准确,借鉴性很强。但实际上由于行程时间的估算涉及多方面的因素,而且在特殊条件下出行规律将发生难以预料的变化,所以给这种方法的可靠实施增加了很大难度。

◆按信息覆盖范围划分

可分为“描述法”和“规定法”^[11]。

①“描述法”。设计者试图通过系统向驾车者提供尽可能多的停车信息,强调给驾车者更多的选择机会。

②“规定法”。设计者只提供驾车者应知道的停车信息,强行限制驾车者的选择机会,大部分的停车决策权被 PGIS 掌握。这在欧洲国家已采用,参见 1.3.1。

◆按精确程度划分

可分为“剩余车位法”和“空满法”^[12]。

①“剩余车位法”。提供给驾车者明确表示的定量空余泊位数。显然,此方法将选择权更多地交给驾车者。但当剩余停车泊位减少到一定程度(如 2 个或 3%)时,很可能导致驾车者对信息反应犹豫不决,产生停车需求向其他停车设施过渡集中的不利局面。

②“空满法”。定性的模糊表示,一般分“满”、“空”、“关闭”三种状态。此方法在考虑停车泊位使用情况、停车需求增长趋势后综合发布信息,需要设置一定的标准帮助驾车者掌握判断。

各种显示方法都有自己的适用范围,也均不同程度地存在不足。实施时应根据 VMS 板所处的区位,视设计功能分别或综合采用以上方法。各方法适用的诱导模式情况参见下表 4-2 所列。

表 4-2 VMS 板显示方法适用情况表

分类方法	显示名称	适用状况	适用 VMS 诱导模式
显示信息 主体性质	泊位形式	行程距离不远,停车场剩余泊位不少于 5 个或 5%	小区或目标停车场
	时间形式	至停车场的行程距离较远	小区或目标停车场
信息覆盖 范围	“描述法”	在停车场入口附近区位或距目的停车场不远	小区或目标停车场
	“规定法”	距目的停车场较远或人为地使停车分布均匀	分区停车诱导
精确程度	“剩余车位法”	停车场剩余泊位数不少于 5 个或 5%	小区或目标停车场
	“空满法”	距目的停车场较远、停车场剩余泊位数不多于 5 个或 5%	分区或小区诱导

(2) 显示式样优化

VMS 板的显示式样包括文字、数字、标志符号和色彩组合。

◆文字、数字、标志符号

①名称。单个停车场的名称不宜超过 4 个汉字。当停车场所处的用地开发项目名称过长时,应在正确表达的基础上适当简化。停车泊位的动态显示位按 3~4 位阿拉伯数字设计。

②字体。依 VMS 设置的 3 级诱导模式所在区位的常规行驶车速而定。车速快的区位采用大字体,车速慢的区位采用小字体。按照行车速度提出了屏幕各项显示字体的可视化高度设计建议值。拼音字母、拉丁字母、阿拉伯数字、图形符号的高度均以汉字为基准,参照下表 4-3。

表 4-3 屏幕显示字体设计建议表

VMS 停车诱导模式		分区停车诱导	小区停车诱导	目标停车场停车诱导
常规行车速度(km/h)		40~60	30~40	<30
汉字字高(cm)		45~55	30~45	20~30
字母或少数民族文 字字高(cm)	大写	25~30	15~25	10~15
	小写	15~20	10~15	7~10
阿拉伯数字	字高(cm)	45~55	30~45	20~30
	字宽(cm)	31.5~38.5	21~31.5	14~21
	字粗(cm)	9~11	6~9	4~6
图形符号笔画厚度(cm)		15~20	10~15	7~10

③视觉表现。应避免使用复杂的多灰度图形和繁杂的文字、数字内容,提倡运用简练文字和简单明了的图形标志。

◆色彩组合

科学试验研究显示,在组成阳光的七色可见光当中,红光波长最长,蓝光波长较短。红光不易被散射的特性使其最容易引起注意,而蓝光在空气的微小尘粒中的散射能力比红光强 10 倍以上。进行显示式样的色彩组合优化时,应考虑各种色光的散射特性。

①专用诱导屏的基底颜色宜采用区别于一般交通标志牌的亚光黑色,帮助驾车者方便识别。

②对于分区停车诱导的 VMS 板,采用颜色编码,每个小区对应一种背景色,相互之间容易区分。

③LED 动态显示模块需要不同的高亮度色彩组合,以加强视觉效果,如下表 4-4 所示。

表 4-4 LED 动态显示模块显示色彩设计表

色彩	泊位使用状态	法向发光强度(mcd)	备注
绿色	空余 10 个停车位以上	≥4000	亦可根据停车场的规模,结合停车周转率,按停车泊位的使用或空余比例确定
黄色	空余停车位不足 5 个		
红色	停车位已满或仅剩 2 个	≥3000	
黑色或无色	暂停使用	—	

建议 VMS 屏幕显示内容式样参见下表 4-5。

表 4-5 VMS 屏幕显示内容式样建议表

内容	显示颜色	式样	备注
背景	灰白	—	—
边框	淡蓝	粗细均匀的线条围成	参照 GB5768-1999
图形符号	蓝底白字	—	参照 GB5768-1999 和道路交通管理规定
汉字	白底深蓝或深黄字	宋体	—
拼音字母、拉丁字母	白底深蓝或深黄字	仿宋体	参照 GB5768-1999
阿拉伯数字	绿、黄、红、黑或无色	电子动态显示	参见表 4-4

(3) 各级停车诱导模式 VMS 显示内容优化设计

根据城市分区、小区和目标停车场 3 级停车诱导模式的划分，VMS 的显示优化内容也按相应的停车信息需求特点分别设计。

◆分区停车诱导 VMS 优化设计

建议按表 4-3 行车速度的上限取值参照下图 4-11 设计。

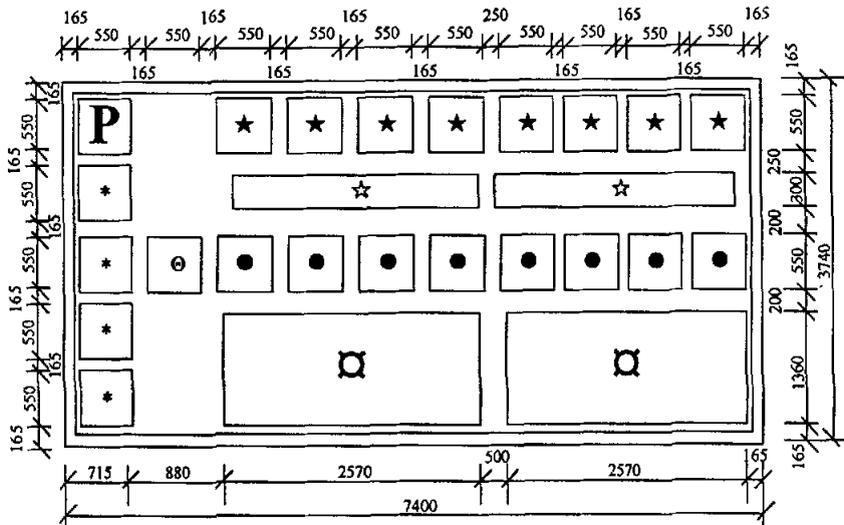


图 4-11 分区停车诱导 VMS 显示屏优化设计示意图 (单位: mm)

图 4-11 中具体的代号图案代表的内容参见下表 4-6。

表 4-6 分区停车诱导 VMS 显示屏代号内容布置表

方框内符号	代表内容	符号布置方位	备注
★	停车场(库)汉语名称	横竖均居中	在 4 个字以内
☆	停车场(库)英语名称	横竖均居中	
⊙	引导方向	横竖均居中	
●	LED 可变泊位数	横竖均居中	在 4 位以内
*	城市分区名称	横竖均居中	在 4 个字以内
☆	停车场具体区位图	横竖均居中	每屏最多显示两个停车场

◆小区停车诱导 VMS 优化设计

该级 VMS 停车诱导模式按可组合式考虑，在单个立柱上同时悬挂 1~5 块并列的屏幕，建议按表 4-3 行车速度的上限取值，小区范围内单个停车场的显示信息参照下图 4-12 设计。

图 4-12 中的代号图案与图 4-11 相同的代号表示的意义一致，可参见表 4-6，就不重复列表了。

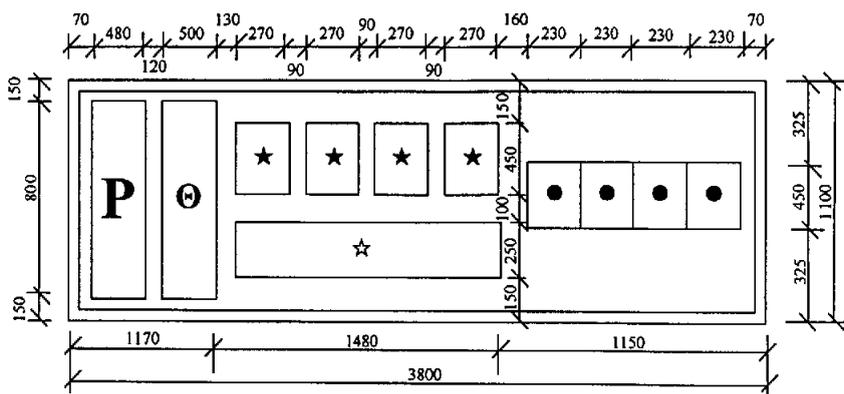


图 4-12 小区停车诱导 VMS 显示屏优化设计示意图

◆目标停车场停车诱导 VMS 优化设计

该级 VMS 停车诱导模式应显示明确的泊位使用信息、详细的管理措施、清晰的进口和行驶方向标志。建议按表 4-3 行车速度的上限参照下图 4-13 设计。

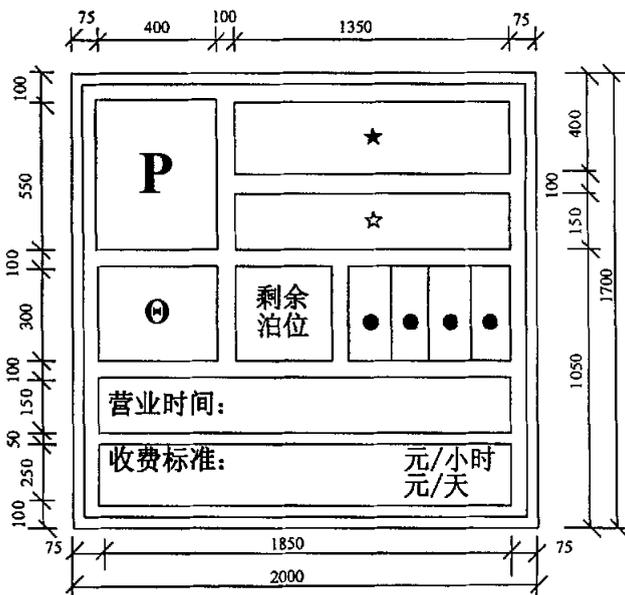


图 4-13 目标停车场停车诱导 VMS 显示屏优化设计示意图

图 4-13 中的代号图案与图 4-11 相同的代号表示的意义一致，可参见表 4-6，也不重复列表了。

◆发送频率

荷兰阿姆斯特丹的道路信息每 4s 更新 1 次，收音机大约每 20min 广播一次最新信息^[60]。信息发送频率可根据空余车位数量调整。一般随空余车位减少，频率应提高，参见下表 4-7。

表 4-7 信息发送频率建议表

空余车位数 (比例)	建议频率	备注
≥20 (20%)	每隔 5min 至少一次	目标停车场停车诱导模式 VMS 发送频率最高，小区停车诱导次之，分区停车诱导最低
≥10 (10%)	每隔 2.5min 至少一次	
≤5 (5%)	每隔 0.5min 至少一次	

(4) 停车诱导 VMS 板与标志牌、交通信息动态显示屏共用

近年来，一些名胜旅游比较集中的城市开始探讨将景区处的静态方向指引与静态道路标志牌结合使用。扬州市公安局交通巡逻警察支队 2003 年已经在市区内多个著名景点（如瘦西湖、何园等）采取了

此类办法付诸实践^[61], 效果不错。

以此思路类推, 将各级停车诱导 VMS 板尽可能与道路标志牌、交通信息动态显示屏共用, 可节约资源, 节省交通工程投资, 将动静态交通信息同屏共享, 集聚驾车者的注意力。如下图 4-14 所示。但设置时要因地制宜, 具体情况具体分析, 不可一味地生搬硬套, 否则将适得其反。另外, 对诱导屏显示的变换次序、滚动间隔、表达信息等应该在试点的基础上优化确定然后加以推广。



图 4-14 南京市交通信息动态显示屏示意图

4. 主要性能指标

VMS 板的主要性能指标体现在诱导屏、信息传输等方面。

(1) 诱导屏

屏幕应具有较高的亮度和一定的避光角度以及避光措施。在阳光直射显示屏表面的情况下, 应确保驾车者能够清晰看见显示内容。具体要求如下:

①显示标志的视认角不小于 35° 。

②产品的静态视认距离不小于 150m, 动态视认距离不小于 120m。

③各像素发光均匀, 必要时应剔除性能差异较大的发光单元。各像素间发光强度的不均匀程度应不大于 5%。

④像素宜采用静态驱动方式。在保证视认性能的前提下, 可采用动态扫描驱动方式。每屏刷新率一般不小于 100Hz。即使汽车高速行驶, 也应使驾车者能够准确辨认显示内容。

⑤整体结构在承受 40m/s 或当地最高气象记录的风速产生的风压后, 不致影响 VMS 的正常使用性能, 由此发生的几何变形不大于 2mm。生产厂商宜给出建议性的结构受力体系图, 供设计单位在设计基础和支撑时作为参考之用。

⑥无意外情况发生, 设备应不间断地运行。正常工作条件下, 像素的年失控率应不大于 1%, 整体运行的 MTBF 不小于 10000h。确保系统兼容性和数据的可交换性。

(2) 信息传输

◆传输可靠性

出行中子系统的传输有可能出现错误。当到达显示板或车载设备等接收装置的数据和停车场发送的数据源不一致时, 就定义为误码。一般每传输 10^4 bit 产生一个误码。误码检测方法包括^[59]:

①奇偶校验。对每个数据字增加一个额外的 bit, 借助附加位的真/假或传号/空号值确定原数据字的 bit 值。这一附加位就叫做奇偶校验位。其数值应该保证数据位的“1”的个数之和为偶数, 或者使总数为奇数。如果同一字里出现两位误码, 将无法检测。

②复送信息。所有的信息发送两次, 然后比较两次接收的情况。如果相同, 即可据以运行; 假如不同, 则表明出错。

一旦检测出误码, 接收器首先废除错误的数据, 在接收到新的有效数据之前维持使用原来的数据。为了保证数据的完整性, 必须沿全双工或半双工线路给数据源发送一个故障信号, 表示最近收到的信息有误, 要求重新发送。要求传输过程中丢包率小于 2%, 误码率低于 0.2%。

从停车场数据采集设备到中央(分区)控制中心的数据传输和从中央(分区)控制中心发送到发布终端上的数据准确率均应分别大于 98%。检测空余泊位数的误差在 5%以内。

◆传输速率

数据往返时间不得超过 10s。

◆通讯接口

采用 9600bps、8 位数据位、无校验位、1 位停止位、波特率可变的半双工通讯方式，能至少提供 RS-232 或 RS-485 通讯接口，具有定时、实时两种数据传输方式。

◆通信速率

宜 $\geq 600\text{bit/s}$ 。

◆上传信息频率

采用定时传输方式时，周期 $\leq 30\text{s}$ ；采用实时传输方式时，周期 $\leq 0.5\text{s}$ 。

(3) 其它

包括耐低（高）温性能、耐湿热性能、耐温度交变性能、耐机械振动性能、耐盐雾腐蚀性能、耐候性能等环境要求和电气安全测试性能指标，在此就不详细列举了。

4.4 出行途中车辆停放的接受条件研究

车辆在停车场的停放问题其实属于排队论范畴。如果将车辆的停放看作是车辆接受服务的过程，那么每个停车泊位就相当于一个服务台。在排队论当中，顾客被拒绝的概率（损失率）以及服务强度^[55,56]都是很重要的指标。出行中车辆停放接受条件的研究对于高峰停车需求时段具有很强的借鉴性。

采用排队论研究停车问题的国内学者总体较少。杨晓光（1993 年）曾引入排队论估算停车场的服务能力^[62]，不过当时主要定位于讨论停车场的规模，没有考虑 PGIS 的作用和出行途中行程时间的影响；邹贞元等人（2000 年）^[13]从到达停车场的平均等候时间和排队长度的角度分析了车辆出行停放的总成本，但表达略显简单，其研究方向与本文的假设条件不同，而且没有深入到停放接受概率方面。因此，本节将出行中车辆停放的接受条件概率结合道路 VMS 停车诱导显示信息进行尝试。

4.4.1 研究意义

出行中车辆停放接受概率的研究无论对于驾车者还是停车设施都很有必要。在高峰停车需求时段，某停车设施泊位使用达到一定的饱和程度时，该成果将发挥积极的作用，具体体现如下：

①驾车者的性格、经验等因素会驱使他们面对相同的信息作出各自的判断。通过驾车者的主观调整，能够实现一定程度的分流停车，避免车辆停放过于盲目集中。

②有助于丰富出行途中的驾车者停车场选择的辅助决策信息，为实行停车预调度和停车片区调度（详见第五章）服务。

③有利于停车设施为数不多的剩余泊位继续得到合理有效的利用，可以保持对部分驾车者的停放吸引。在空余泊位数很有限的情况下，提供车辆停放的接受概率信息无疑比仅发布剩余泊位信息更有理性说服力。

④为停车场个体规模、出行途中行程时间和车辆停放选择特性的相互影响研究提供参考。

4.4.2 基本概念

排队论的描述指标和研究停车问题时相应的表达对象参见下表 4-8。

1. 肯道尔符号

排队论的描述指标和内容一般采用肯道尔符号表示，其优点在于可以简洁、通用地予以表达，通常形式表现为 6 方面^[55,56]：到达过程/服务过程/服务台数/系统容量/顾客源容量/排队规则。参照表 4-8，停车问题的对应形式为：车辆到达过程/车辆停放在过程/停车泊位数/停车场容量/车辆源容量/停放规则。

表 4-8 排队论的描述指标和停车问题相应对象比较表

排队论组成元素	停车问题对应元素	排队论描述指标		停车问题对应指标	
		过程描述	容量描述	过程描述	容量描述
顾客	准备停放的车辆	顾客到达时间分布	顾客源容量	车辆到达时间分布	车辆源容量
排队结构	停车设施规模	排队规则	系统容量	车辆停放规则	停车场容量
服务台	各停车泊位	服务时间分布	服务台数	停放时间分布	停车泊位数

2. 排队过程

顾客在排队系统中按照接受服务的规则、次序，一般分为以下三类过程：

(1) 损失制系统过程

顾客到达时，如所有的服务台都被占用，则顾客立即离去。

(2) 等待制系统过程

顾客到达时，如所有的服务台都被占用，则顾客排队等候，直到有服务台空出来为它服务为止。

(3) 混合制系统过程

现实生活当中有很多服务系统介于损失制和等待制之间。这又包括以下两种情况：

①排队长度有限制。顾客到达时，如所有的服务台都被占用，则顾客排队；但如果排队位置已满，顾客就离去。

②排队时间有限制。顾客到达时，如所有的服务台都被占用，则顾客排队；但如果顾客等待一段时间之后，仍未能得到服务，顾客就离去。

(4) 排队规则

对(2)、(3)而定。可分为以下4种类型：

①先到先服务(FCFS)。即按顾客到达的先后顺序依次给予服务。

②后到先服务(LCFS)。即后到达的顾客先提供服务。

③优先服务(PR)。即按顾客事情的轻重缓急给予服务。

④随机服务(RSS)。即当一个顾客接受完服务后，服务台从排队的顾客中任取一个给予服务。

3. 顾客到达分布和服务时间分布

排队论的主要影响因素是单位时间内要求服务机构给予服务的顾客数和每个顾客所需的服务时间。这两个因素随机性均较强，很难准确预测某时刻将有多少顾客要求提供服务或者某顾客的服务时间将要持续多久。一般是采用单位时间内到达的平均顾客数和平均服务时间作为代替指标。

对指标的描述通常有以下两种方法：

(1) 离散分布描述

顾客的到达或离去数量只可能是整数，是离散型的，故可用离散分布描述。一般用单位时间内若干顾客到达服务系统的概率描述顾客的到达分布，用单位时间内若干顾客完成服务离开系统的概率描述顾客服务时间的分布。

最常见的离散分布形式是泊松(Passion)分布，泊松流又称为最简单流。先列出以下公式(4.2)：

$$P_n(t_1, t_2) = P\{N(t_2) - N(t_1) = n\} \quad (t_2 > t_1, n \geq 0) \quad (4.2)$$

式中， $N(t)$ —在时间区间 $(0, \Delta t)$ ($\Delta t > 0$) 内到达或离去的顾客数；

$P_n(t_1, t_2)$ —在时间区间 (t_1, t_2) ($t_2 > t_1$) 内有 n 个顾客到达或离去的概率。

当 $P_n(t_1, t_2)$ 满足下面三个条件时，顾客的到达或离去过程就称为泊松流^[55,56]：

①流的平稳性。对于任意的 $t \geq 0$, $\Delta t \geq 0$ ，在时间区间 $(t, t + \Delta t)$ 内一个顾客到达或离去的概率只与 Δt 有关，与时间区间的起点 t 无关。当 Δt 充分小时，在 $(t, t + \Delta t)$ 内有一个顾客到达或离去的概率大致与 Δt 成正比。以顾客到达过程为例，有下式(4.3)~(4.5)成立：

$$P_1(t, t + \Delta t) = \lambda \cdot \Delta t + O(\Delta t) \quad (4.3)$$

式中， $O(\Delta t)$ —当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时关于 Δt 的高阶无穷小； λ —单位时间内顾客到达的平均数 ($\lambda > 0$)。

②流的无后效性。互不相交的时间区段 (t_1, t_2) 和 (t_3, t_4) ($t_1 < t_2 < t_3 < t_4$) 内顾客的到达或离去数是相互独立的, 即前一顾客的到达或离去不影响后一顾客的到达或离去。

③流的普遍性。在同一时刻, 两个及两个以上顾客到达或离去的概率与只有一个顾客到达或离去的概率相比小到可以忽略的程度。即当 Δt 充分小时, 在时间区间 $(t, t+\Delta t)$ 内有两个及两个以上顾客到达或离去的概率是关于 Δt 的高阶无穷小。如下式(4.4):

$$\sum_{n=2}^{\infty} P_n(t, t+\Delta t) = O(\Delta t) \quad (4.4)$$

泊松流形式在长度为 Δt 的时间区间内, 顾客到达数服从参数为 $\lambda\Delta t$ 的泊松分布。其数学期望和方差分别如下式(4.5):

$$\begin{cases} E(N(\Delta t)) = \lambda\Delta t \\ Var[N(\Delta t)] = \lambda\Delta t \end{cases} \quad (4.5)$$

(2) 连续分布描述

当顾客的服务时间和到达时间间隔呈随机分布状态时, 服务时间的概率分布形式与顾客到达时间间隔的分布形式基本相同, 一般属于以下几种常见的分布形式之一:

- ① M —负指数分布 (Negative exponential distribution);
- ② E_K — K 阶爱尔朗分布 (Erlang-K);
- ③ D —确定型分布 (Deterministic or fixed);
- ④ G —一般分布 (General distribution of service times)。

以顾客服务过程的负指数分布为例, 当顾客服务完毕, 从服务机构到达的流也是完全随机的, 并服从泊松流的三个条件; 那么在时段 Δt 内, 有 n 个顾客从服务机构离去的概率 $P_n(\Delta t)$ 可用下式(4.6)计算:

$$P_n(\Delta t) = \frac{(\mu\Delta t)^n}{n!} e^{-\mu\Delta t} \quad (n = 0, 1, 2, \dots) \quad (4.6)$$

式中, μ —单位时间内顾客服务完毕离去的平均服务率; $1/\mu$ —每个顾客的平均服务时间。

顾客服务时间 T 的数学期望和方差分别如下式(4.7):

$$\begin{cases} E(T) = 1/\mu \\ Var(T) = 1/\mu^2 \end{cases} \quad (4.7)$$

实际上, 一种离散分布对应着一种连续分布。负指数分布就是根据泊松分布推算的^[55,56]。

4. 生灭过程

生灭过程是研究系统内部随时间产生的状态变化过程, 即建立状态概率的过程^[55,56]。

(1) 生灭过程的满足条件

设某系统具有 $0, 1, 2, \dots$ 状态。令 $N(t)$ 表示系统在时刻 t 所处的状态 (即顾客的数量)。对于任一时刻 t , 若系统处于状态 i , 且系统状态随时间变化的过程满足以下三个条件, 就可称为一个生灭过程。

①在时间区间 $(t, t+\Delta t)$ 内, 系统由状态 i 转移到状态 $i+1$ ($i \geq 0$) (Δt 内有一个顾客到达) 的概率为 $\lambda_i \Delta t + O(\Delta t)$, 其中 $\lambda_i (> 0)$ 为固定常数。此即为泊松流平稳性条件。

②在时间区间 $(t, t+\Delta t)$ 内, 系统由状态 i 转移到状态 $i-1$ ($i \geq 1$) (Δt 内有一个顾客离去) 的概率为 $\mu_i \Delta t + O(\Delta t)$, 其中 $\mu_i (> 0)$ 为固定常数。此亦为泊松流平稳性条件。

③在时间区间 $(t, t+\Delta t)$ 内系统发生两次以上转移的概率为 $O(\Delta t)$, 即有 2 个以上顾客到达或离去的可能性 $\sum_{n=2}^{\infty} P_n(\Delta t) \rightarrow 0$ 。这相当于泊松流的普遍性。

由上可知, 只要到达过程和服务过程符合泊松流, 排队过程必然属于生灭过程行列。

(2) 生灭过程的状态转移

生灭过程的状态转移情况如下图 4-15 所示^[55,56]。

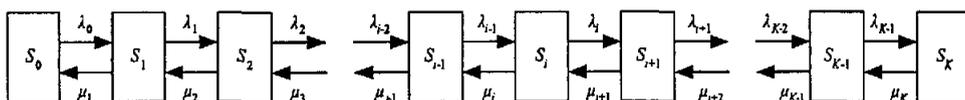


图 4-15 生灭过程的状态转移示意图

上图 4-15 中，方框表示系统的状态，箭头表示状态的转移，箭头上的字母表示状态平均转移率，即转移流的强度。各状态间相互转移的情况与系统所处的时刻有关。一般当系统处于运行的最初阶段时，与系统的初始条件有关。通常对于长期工作的系统，可以证明，当 $t \rightarrow \infty$ 时， $P_i(t)$ 趋于一个常数 $P_i (i=0,1,2,\dots)$ 。这说明系统达到了统计平衡（稳定）状态。此时，每个状态的转入率期望值等于转出率期望值。

5. 与停车问题相关的定义

由于本节的研究对象是出行途中车辆停放的接受概率，在此先给出与停车相关的主要定义^[4,5]。

(1) 累积停车数

指停车设施内在一定时段的实际停放车辆数量。

(2) 停车密度

这是停车负荷的基本度量单位。它可从两方面理解：一是指停放吸引量随时间变化的程度，一般停车高峰时段最高；另一是指空间分布而言，表示在不同停车场各自停车吸引的程度。对于单个停车设施，显然宜采用前者衡量。

(3) 停放周转率

指单位停车泊位在某间隔时段内的停放车辆次数，为停车场实际停放车累积次数与泊位容量的比值。停放高峰时段和平峰时段不相同。

(4) 停放饱和度

又称停放车指数、占有率。指某时段内实际停车数量或停放吸引量与停车场容量的比值。它用以反映停车场地的拥挤程度。

(5) 服务强度

是相同时间间隔内到达停车场的车辆平均数量与能被接受停放的车辆平均数之比；或对于相同的车辆数，停放时间之和的期望值与到达间隔时间之和的期望值之比。此比值是刻画停车设施服务效率和利用程度的重要指标。

4.4.3 假设条件

根据第一章的总体假设（参见 1.4）和出行中子系统作用下车辆停放的大致规律，为适当简化研究工作，本节遵循以下假设条件：

①采用损失制系统建立模型。当到达某停车场时，如已经没有空余泊位，则驾车者立即离去，另行选择其他停车场所。不考虑车辆在停车场排队的情况。

②可互通的多服务通道形式。每个有效泊位作为一个并联的独立服务台，车辆到达时，只要存在空余的有效泊位，则驾车者可以任选其一停放。

③车辆停放服从先到先服务规则，每辆车对应一个泊位停放。

④车辆来源无限多，途中的行程时间可按正常状况在一定范围内估算确定。

⑤研究对象是停车高峰时段单独的车辆停放和某停车设施的使用特性。在停车平峰时段，停车设施的空余泊位数一般较多，则不进行分析。

4.4.4 模型研究

从第二章停车场车辆特征研究结论可知，车辆到达停车场的的时间间隔和离去的间隔（服务时间）均服从负指数分布（参见 2.4.4 和表 2-30）。根据排队论原理，泊松分布与负指数分布是等价的^[55,56]。当车辆到达停车场的的时间间隔服从负指数分布时，那么，单位时间内停车场的车辆到达率一定符合泊松流。

结合 4.4.3 的假设条件, 本节的模型研究采用肯道尔符号可表示为: $M/M/K/K/\infty/F$, 即可互通的多服务通道损失制系统。在该排队系统中, 单位时间内到达某停车设施的车辆数服从参数为 λ (veh/h) 的泊松分布, 车辆的平均停放时间 $1/\mu$ (h) 服从负指数分布, 服务台数和系统容量均为停车场的有效泊位数 K , 车辆来源无限, 先到车辆先完成停放。如下图 4-16 所示。

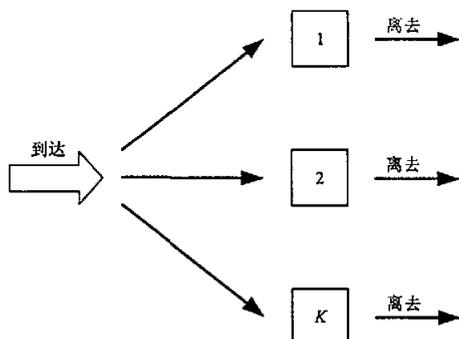


图 4-16 可互通的多服务通道并联服务台损失制排队系统示意图

1. 排队系统主要指标计算

采用“生灭过程”方法, 按状态转移理论计算 $M/M/K/K/\infty$ 排队系统, 参见图 4-15。根据假设条件, 对于状态 i ($i = 0, 1, 2, \dots, K$), 本排队系统的 $\lambda_i = \lambda$, $\mu_i = i\mu$ 。此时, 转出率期望值如下式(4.8):

$$i\mu P_i + \lambda P_i = (i\mu + \lambda)P_i \quad (4.8)$$

转入率期望值如下式(4.9):

$$\lambda P_{i-1} + (i+1)\mu P_{i+1} \quad (4.9)$$

联合上两式, 建立如下平衡式(4.10):

$$\lambda P_{i-1} + (i+1)\mu P_{i+1} = (i\mu + \lambda)P_i \quad (4.10)$$

此即为生灭过程的状态平衡方程。它也可通过求解系统建立的哥莫可尔方程得到^[55,56]。而根据正则条件, 存在下式(4.11):

$$\sum_{i=0}^K P_i = 1 \quad (4.11)$$

在式(4.10)中, 分别令 $i = 0, 1, 2, \dots, K$, 再与式(4.11)联立, 可得到各主要指标的计算公式如下^[55,56]:

$$\begin{cases} P_0 = \left[\sum_{i=0}^K \frac{(K\rho)^i}{i!} \right]^{-1} \\ P_n = \frac{(K\rho)^n}{n!} P_0 \end{cases} \quad (0 \leq n \leq K) \quad (4.12)$$

$$\begin{cases} W_q = 0, W_s = \frac{1}{\mu} \\ L_q = 0, L_s = K\rho(1 - P_K) \end{cases} \quad (4.13)$$

式(4.8)~式(4.13)中, μ —平均服务率, 即单位时间内完成停放离开停车场的平均车辆数, veh/h;

P_0 —停车场空闲的概率, 即没有车辆到达的概率;

ρ —服务强度, $\rho = \lambda/K\mu$ 且一般 $\rho \neq 1$; P_n —停车场有 n 辆车停放的概率 ($0 \leq n \leq K$);

W_q —车辆平均排队时间, h; W_s —车辆平均停放时间, h; L_q —排队等候的平均车辆数 (排队长期期望值);

L_s —停车场停放的平均车辆数 (队长期望值);

P_K —系统损失率, 即车辆因停车场泊位完全占用 (饱和) 而被拒绝的概率, 按式(4.12)计算。

具体的推导原理和过程可参考相关文献，在此不详细叙述。

2. 车辆行程时间

令车辆从接收信息的 VMS 板处到达目的停车场的正常行程时间为 t 。考虑到道路交通状况受多因素影响的复杂性，实际运行的 t 值可以采用一个范围域 $[t-\delta, t+\delta]$ 表示 (δ 代表行程时间波动幅度)。

众所周知，BPR 路阻函数^[49]在国外的应用很广泛。该路阻函数使用比较方便，也已趋于成熟。虽然它只考虑机动车交通负荷的影响，与我国混合交通的状况存在一定差距；但国内大中城市目前主、次干道 (VMS 主要设置位置) 的道路断面大都为三块板或四块板形式，机动车和非机动车各行其道，除了平面交叉口处，相互干扰较小；另外，学者们针对我国交通实际情况提出的线性或非线性回归关系式路阻函数^[49]尚未得到充分的检验，暂时不便推广应用。籍于此，本文对于从各信息接收位置到被选择的目的地停车场的行程时间 t 仍采用 BPR 路阻函数即时估算。计算如下式(4.14)^[49]：

$$t = \sum_{i=1}^m t_{i0} [1 + \alpha(Q_i / C_i)^\beta] \quad (4.14)$$

上式(4.14)中的有关参数计算如下：

$$t_{i0} = \frac{s_i}{r \cdot r_c \cdot \eta_i \cdot u_0} \quad (4.15)$$

$$C_i = N_0 \cdot r \cdot r_c \cdot \eta_i \cdot n_0 \quad (4.16)$$

$$r_c = r_0 (s_i \leq 200\text{m}) \quad \text{或} \quad r_c = r_0 (0.0013s_i + 0.73) (s_i > 200\text{m}) \quad (4.17)$$

$$\eta_i = \begin{cases} 50(W_0 - 1.5) \times 0.01, W_0 \leq 3.5\text{m} \\ (-54 + 188W_0 / 3 - 16W_0^2 / 3) \times 0.01, W_0 > 3.5\text{m} \end{cases} \quad (4.18)$$

式(4.14)~式(4.18)^[49,51]中， Q_i —驶往目的停车场过程中途径第 i 路段的机动车交通量，pcu/h；

C_i —驶往目的停车场过程中途径第 i 路段的实用通行能力，pcu/h；

α 、 β —回归参数，用最小二乘法确定，建议取 $\alpha = 0.15$ ， $\beta = 0.4$ ；

t_{i0} —交通流为零时驶往目的停车场过程中途径第 i 路段的行驶时间，h；

m —驶往停车场 i 途经的路段数，对于不同的停车场， m 值按实际确定，不一定相同；

s_i —驶往目的停车场过程中途径第 i 路段时相邻交叉口的间距，m； r —自行车影响折减系数，可取 1.0；

u_0 —路段设计车速，取 40~60km/h； N_0 —单条车道理论通行能力，取 1500pcu/h；

n_0 —驶往目的停车场过程中途径第 i 路段的车道数影响系数，单向 1~4 条车道依次取 1, 1.87, 2.60, 3.20；

r_c —交叉口影响修正系数； r_0 —交叉口有效通行时间比，信号交叉口处即取绿信比；

η_i —驶往目的停车场过程中途径第 i 路段的车道宽度影响系数； W_0 —一条机动车道宽度，m。

3. 讨论

车辆从接收信息的 VMS 板处到达目的停车场需要花费 $[t-\delta, t+\delta]$ 的时间。在这段行程当中，在参数 t 、 δ 、 λ 、 μ 等的共同影响下，停车泊位的使用状态将发生相应的变化。具体表现为以下三种情况：

- ①先到达的其他车辆占据原空余泊位停放。
- ②部分原停放车辆离去。
- ③二者都出现。

一般来说，停放周转率由于涉及到的调查或观测周期较长，同时其针对单个泊位的使用状况衡量，与本节以整个停车场的全体泊位作为研究对象存在方向性的差异，在此就不予借用了。

车辆到达停车场时能否接受停车服务，实际上就在于 $[t-\delta, t+\delta]$ 内使用泊位和空余泊位之间的转换情况。诚然，在车辆行程过程中，根据 $[t-\delta, t+\delta]$ 值的大小，停车场的泊位使用状况可能一直在发生变化。而本节需要关注的其实只是行程初期和行程末期这两个瞬时状态，与中间状态无关。

令目的停车场的空余泊位数为 R ，高峰时段平均停放饱和度为 τ 。显而易见，与车辆是否完成停放密切相关的是行程末期的空余泊位数和即时停放饱和度。

(1) 行程时间范围内到达停车场的车辆接受停车服务的条件分析

先研究行程初始状态。令 $t = 0$ ，此时，由式(4.12)和式(4.13)得：

$$\begin{cases} R = K - L_s = K[1 - \rho(1 - P_K)] \\ \tau = \frac{L_s}{K} = \rho(1 - P_K) \end{cases} \quad (4.19)$$

系统保持稳定的充要条件如下：

$$0 < \rho = \frac{\lambda}{K\mu} < 1 \quad (4.20)$$

由式(4.20)和式(4.12)、式(4.13)，易得：

$$\begin{cases} 0 < 1 - \rho < 1 - \rho(1 - P_K) \leq 1 \\ 0 \leq 1 - P_K < 1 \end{cases} \quad (4.21)$$

令 $R_0 = K[1 - \rho(1 - P_K)]$ 、 $\tau_0 = \rho(1 - P_K)$ ，将式(4.20)、(4.21)代入式(4.19)，得：

$$\begin{cases} 0 < R_0 \leq K \\ 0 \leq \tau_0 < 1 \end{cases} \quad (4.22)$$

一般驾车者在行程初期选择的目的地停车场都有一定的空余泊位数，这和式(4.22)的推断结果相符。由于 R_0 是整数，故式(4.22)应改为：

$$\begin{cases} 1 \leq R_0 \leq K \\ 0 \leq \tau_0 < 1 \end{cases} \quad (4.23)$$

在行程末期， $[t - \delta, t + \delta]$ 内到达停车场的车辆数为 $\lambda(t - \delta)$ 或 $\lambda(t + \delta)$ ，同期离去的车辆数为 $L_s\mu(t - \delta)$ 或 $L_s\mu(t + \delta)$ 。此时目的停车场的空余泊位数和高峰时段平均停放饱和度按下式计算：

$$\begin{cases} R = K - L_s - \lambda(t \mp \delta) + L_s\mu(t \mp \delta) = R_0 + (L_s\mu - \lambda)(t \mp \delta) \\ \tau = \frac{L_s + \lambda(t \mp \delta) - L_s\mu(t \mp \delta)}{K} = \tau_0[1 - \mu(t \mp \delta)] + \frac{\lambda}{K}(t \mp \delta) \end{cases} \quad (4.24)$$

将式(4.12)、式(4.13)代入，式(4.24)可简化为：

$$\begin{cases} R = R_0 + \lambda P_K(t \mp \delta) \\ \tau = 1 - \frac{1}{K}[R_0 + \lambda P_K(t \mp \delta)] \end{cases} \quad (4.25)$$

车辆到达时，停车场具备 1 个以上的空余泊位，则可以接受停车服务。式(4.25)应该满足以下条件：

$$\begin{cases} 1 \leq R \leq K \\ 0 \leq \tau < 1 \end{cases} \quad (4.26)$$

将式(4.25)代入式(4.26)并联合式(4.20)、式(4.23)，得结果如下：

$$\frac{\lambda + \mu - K\mu}{\lambda[1 - \mu(t + \delta)]} \leq P_K \leq \frac{1}{1 - \mu(t - \delta)} \quad (0 \leq P_K \leq 1) \quad (4.27)$$

当式(4.20)成立且 P_K 在式(4.27)的取值范围内，车辆到达停车场时就能够接受停放服务。不难理解， P_K 越小，车辆被接受停放的可能性越高。从式(4.27)还可发现，车辆停放的接受条件与参数 λ 、 μ 、 K 、 t 、 δ 直接相关，同时说明无须关注行程的中间状态。

(2) 行程末期停车场的服务能力

停车场接受车辆停放的概率 P 按下式(4.28)计算：

$$P = 1 - P_K \quad (4.28)$$

代入式(4.27)，可得：

$$\frac{\mu(t-\delta)}{\mu(t-\delta)-1} \leq P \leq \frac{\mu[K-1-\lambda(t+\delta)]}{\lambda[1-\mu(t+\delta)]} \quad (0 \leq P \leq 1) \quad (4.29)$$

停车场在行程末期的服务能力 N 计算如下式(4.30):

$$N = \lambda P \quad (4.30)$$

式(4.29)代入式(4.30), 得:

$$\frac{\lambda\mu(t-\delta)}{\mu(t-\delta)-1} \leq N \leq \frac{\mu[K-1-\lambda(t+\delta)]}{1-\mu(t+\delta)} \quad (1 \leq N \leq K) \quad (4.31)$$

因为受行程时间波动幅度的影响, 所以式(4.31)表现的停车场服务能力为一定范围的形式, 它与参数 λ 、 μ 、 K 、 t 、 δ 直接相关。

(3) 行程末期停车场的停放饱和度

由式(4.25)和式(4.26), 得:

$$\frac{\lambda}{K\mu} \{1 - P_k[1 - \mu(t-\delta)]\} \leq \tau \leq \frac{\lambda}{K\mu} \{1 - P_k[1 - \mu(t+\delta)]\} \quad (0 \leq \tau < 1) \quad (4.32)$$

式(4.27)代入式(4.32), 得:

$$\frac{2\lambda\delta}{K[1-\mu(t-\delta)]} \leq \tau \leq \frac{(\mu-K\mu)(t-\delta)+K-2\lambda\delta-1}{K[1-\mu(t+\delta)]} \quad (0 \leq \tau < 1) \quad (4.33)$$

同样因为受行程时间波动幅度的影响, 所以式(4.33)表现的停车场的停放饱和度也为一定范围的形式, 与参数 λ 、 μ 、 K 、 t 、 δ 直接相关。

4.5 本章小结

本章以第二章驾车者出行途中所表现的 PGIS 反应特征 (参见 2.4.3) 作为依据的同时, 考虑了将来采用更先进的高科技手段实施更全面的停车信息诱导的发展可能。在此基础上, 构建了面向用户的多渠道、多层次出行中子系统框架 (参见图 4-1)。对车辆内和道路上配备的主要硬件设施需要的技术支持分别进行了简要说明。

按照出行中子系统的框架组成, 探讨了车载设备面向用户的显示屏界面设计及其和道路 VMS (单独通信信标) 之间的双向传输; 从组网方式、设备组成、频道配置、基本功能和主要性能指标几方面设计了集群移动通信系统有望发挥的作用; 着重研究了道路 VMS 的显示优化设计, 概括为下表 4-9。

表 4-9 出行中子系统道路 VMS 显示优化设计一览表

编号	分级停车诱导	标准化结构和材料配置	显示传输内容	主要性能指标
1	分区诱导	诱导显示屏	泊位状况显示方法	诱导屏
2	小区诱导	支撑结构	显示式样	信息传输
3	目标停车场	工作条件	各级停车诱导 VMS 优化设计	其它
4		材料要求	VMS 板与标志牌、动态显示屏共用	
5		外观质量		

其中对道路 VMS 采用分区、小区和目标停车场 3 级停车诱导模式, 将宏观区位和微观场所相结合, 从预告为主逐渐具体化, 由较广泛的停车分区范围转向集中的停车设施个体, 以点带面, 形成连续有效的停车信息传输。各级 VMS 兼具停车诱导和方向指引功能, 它们的主要特点概括如下表 4-10。

表 4-10 道路 VMS3 级停车诱导模式一览表

诱导模式	显示信息对象	设置区位	备注
分区诱导	所属各小区主要大型停车场	主城区入口和主城区分区交界处	在主城区入口显示多个分区
小区诱导	小区范围内主要大型停车场	主城区路段和平面交叉口	平面交叉口应考虑视距
目标停车场	目标停车场	主城区主要停车场和 P&R 设施入口	停车场入口应注意视距

在显示传输内容的优化设计当中, 对不同的显示方法和显示式样作了详细的描述和比较, 根据具体

情况提供实用的优化方案, 参见表 4-2~表 4-5。然后研究了 3 级停车诱导模式 VMS 显示内容的优化设计, VMS 显示屏均采用矩形框, 分区、小区和目标停车场诱导模式的对应尺寸分别为 7.4×3.74 、 3.8×1.1 、 2×1.7 (单位: m, 如图 4-11~图 4-13 和表 4-6 所示)。采用本章的建议设计, 将体现如下效果:

- ①标志“P”均设于诱导屏正面的最左端, 可在各区位的道路旁向途经的驾车者突出停车标志;
- ②视觉尺寸合理, 可视化强;
- ③诱导屏版面布置协调, 充分利用了材料资源;
- ④能够动态、简洁而又有序地表现各项相关的停车信息。

引入排队论原理和“生灭过程”状态方程, 将目的停车场视作可互通的多服务通道损失制系统。根据第二章停车场车辆特征研究结论, 认为单位时间内某停车设施的车辆到达率服从泊松分布、车辆的平均停放时间服从负指数分布 (参见 2.4.4 和表 2-30), 结合 5 项假设条件 (参见 4.4.3), 建立了出行途中车辆停放接受条件模型。

从道路交通状况受多因素影响的复杂性出发, 提出车辆从接收停车信息的 VMS 板处到达目的停车场的行程时间 t 值采用一个范围域 $[t-\delta, t+\delta]$ 表示 (δ 代表行程时间波动幅度), 建议应用 BPR 路阻函数计算 t 值, 获得了式(4.12)和式(4.13)当中各项主要指标的计算结果。

模型研究取得的成果在于:

①在车辆行程过程中, 根据 $[t-\delta, t+\delta]$ 值的大小, 停车场的泊位使用状况可能一直在发生变化。真正需要关注的其实只是行程初期和行程末期这两个瞬时状态, 与中间状态无关。

②与车辆到达停车场时是否完成停放密切相关的是行程末期的空余泊位数 R 和即时停放饱和度 τ 。

③抓住行程初期和行程末期这两个瞬时状态, 分析推导出车辆从接收信息的 VMS 板处到达目的停车场的接受停放条件是式(4.20)和式(4.27)同时成立, 即保证系统的稳定性和合理的概率范围。

④行程末期停车场的服务能力 N 值, 参见式(4.31)。

⑤行程末期停车场的停放饱和度 τ 值, 参见式(4.33)。

⑥第③~⑤项的计算分析均分别与参数 λ 、 μ 、 K 、 t 、 δ 直接相关; 它们对应的式(4.27)、式(4.31)、式(4.33)都以一定范围的形式表现, 这是由于受 δ 波动影响的缘故。

3 级停车诱导模式等显示传输优化设计和车辆停放的接受条件模型将向驾车者提供出行途中停车场选择的辅助决策信息, 为实行停车预调度和停车片区调度 (详见第五章) 服务。

第五章 停车选择预调度和片区调度

本文第一章已提出了停车片区的概念。城市不同区位甚至同一片区的各个停车场的停车需求和停车吸引不尽相同,甚至经常出现部分停车场供不应求的同时,其它一些停车场却存在大批泊位长期空闲的现象。由于发达国家的 PGIS 起步较早,国外交通工程学者们对此进行了一定相关理论和实践应用的探讨;国内受现状技术条件的制约,目前尚没有代表性的成果。

1993 年 4 月开始在位于日本东京中心的新宿区建造的 PGIS 结构完整,诱导功能完善。PGIS 根据路网的特点,采用综合分区的办法,将区内全部 29 个停车场整合成一体,提供大约 6000 个按时间出租的停车位。PGIS 通过分别位于导向商业中心的主要道路附近和主要交叉口之前、商业区的主要街道划分区域及其附近(一般 500m 以内)、停车场入口的 3 级 VMS 发布显示信息^[17,18,19]。此举可用以改善驾车者的可达性,调节分配热点停车场的过度需求。

Thompson、Takada 和 Kobayakawa (2001 年)^[27]通过 PGIS 的显示优化技术,使驾车者接收到停车场的预告等待时间,发展了新的模型来诱导高峰时段接近停车场容量状态下的停车选择行为。模型假设车辆进入城市中心区后即使原先选择停车场的状况与最初从道路 VMS 得到的信息有所差别,驾车者也不会改变停车选择。该论文建立了使排队时间和车辆出行里程最小的目标函数,基于出行方式、驾车者特性、停车场属性以及道路 VMS 提供的停车泊位信息分析它们与停车场车辆到达率之间的关系。他们采用在城市不同区位的 VMS 上发布不同的停车信息的措施,应用简化的遗传算法求解模型,计算结果显著减少了排队时间和车辆出行距离。此举以期达到引导交通流和停车泊位利用的双重均衡,产生多种环境效益的目的。这已经在离东京以西约 50km 的 Tama New Town 投入使用。不过,模型关于驾车者不改变停车选择的假设偏于理想化,没有另外考虑驾车者改变停车选择地点的可能对策。

Peter、Aloys 和 Harry (2003 年)^[63]通过调查比较出行者在停车场内的微观行为,将步行距离作为重要变量,研究了停车泊位和验票机之间、泊位和商业以及工作区出口之间的停放位置关系;考虑先从选择停车带入手、再确定停车泊位的选择方式,建立了停车选择行为模型。不过,他们提出的模型效果不大理想,而且其应用仅面向个体停车场本身,没有扩展到停车小区以上的空间范围。

Phansak Sattayhatewa 和 Robert L Smith (2003 年)^[64]以行程时间、停车费用和步行时间 3 个指标作为与选择停车场相关的主要因素,使用用户平衡分配和出行分布最大熵的概念推导出 Logit 函数,从而建立模型。他们的模型定位于特殊事件状况,如 Madison 境内的 Wisconsin (威斯康星)大学校园举行男子篮球赛时的停车选择问题。文章提供了在临近地点的交叉口通过向分配到的停车泊位推荐最直接的路径达到使允许停车者行驶距离最小化效果等措施。由于特殊事件状况下的道路交通和停车需求与正常条件时具有显著的区别,所以模型的适用性受到限制。

应该说,停车选择调度的理念至今没有明确提出。从以上的回顾可以看到,国外同行们的探索从不同侧面体现了这种思维的萌芽,但总体不完善,不具备普遍推广的条件。因此,进行专门、系统的停车选择调度研究,具有深远的理论和实践价值。

5.1 研究意义

停车预调度和停车片区调度源于第四章出行途中车辆停放的接受条件模型延伸。笔者拟在科学合理划分城市停车小区、分区和片区的基础上,利用分区、小区和目标停车场 3 级停车诱导模式(参见 4.3.3),在道路 VMS 上先实行不对等信息显示的停车预调度;当预定目的停车场无法提供停放泊位时,然后采取停车片区调度(参见图 1-6),二者形成连续、互补、协调的综合步骤。

本章的研究意义在于:

①打造静态交通网络,形成片区停车资源共享,实现小区内或小区之间停车泊位的灵活供给。

- ②突破传统理念上泊位在空间范围客观固定不可移动的“瓶颈”，调节停车高峰的时空分布。
- ③给驾车者出行提供方便停车的同时，提高城市停车设施的总体利用率。
- ④削减“巡泊”交通比例，缓解城市动态交通拥挤状况，减少对动态交通的干扰。
- ⑤有助于提高 PGIS 的市场推广使用，引导其步入良性循环轨道。

5.2 城市停车小区、分区和片区划分

按照第一章的定义（参见 1.4.2），停车分区和停车片区均由若干个停车小区组成。所以，城市停车小区的划分是本章的前提。本节将对城市停车小区、分区和片区分别作详细的描述分析。

5.2.1 停车小区划分

可参考交通小区的划分方法。值得注意的是，必须突出停车场的位置和静态交通特性。

1. 划分原则

将停车场所作为小区内车辆停放的中心点。拟定的停车小区划分原则如下：

- ①周围边界由城市快速路、城墙、主干道、河流、铁道等明显的天然或人工障碍线、查核物形成。
- ②与行政区划相一致，主要服务对象空间分布均匀。
- ③小区内的交通联系便利，不存在难以跨越的分隔物或界线。
- ④小区内土地利用性质相同或相近，车辆停放规律类似，停车供需平衡。
- ⑤空间范围合理，不宜过大或过小。在中心城区停车设施比较密集处，应将停车小区划分得细一些；而距离中心城区越远，一般停车设施分布密度越小，此时停车小区的划分可开阔一些。
- ⑥通往停车设施的行驶路线明确，尽量避免车辆停放时左转。

2. 划分定量标准建议

对于停车小区的划分，如果有定量标准作为依据，那么才具备较强的可操作性。发达国家的成功范例无疑能够提供宝贵的借鉴。

德国科隆市 PGIS 覆盖了整个约 4.5km²的内城中心区范围，系统内包括 36 个大型停车场和 2 个 P+R 设施，共约 17000 个停车位。以科隆大教堂为中心，将中心城区划分成 4 个停车小区，分别用红、黄、兰、绿 4 种不同颜色表示，每个小区面积约 1km²，较大的 1.6km²，较小的 0.8km²[7,12]。

划分停车小区的定量标准应从边界形状、空间面积、小区范围内拥有的停车场数量、各停车设施规模的匹配等方面考虑。按小区所处的具体区位，可原则性和灵活性相结合，有区别地制订标准。

本文建议的停车小区划分的定量标准参见下表 5-1。

表 5-1 停车小区划分的定量标准建议表

区位	边界形状	空间面积(km ²)		停车场数量		停车设施泊位规模	备注
		一般值	最大值	一般值	最大值		
中心城区	(近似)矩形	1	2	5~8	10	≥35	泊位密度分布也可成为指标
近郊区	(近似)矩形	2~3	5	6~10	15	≥50	

5.2.2 停车分区划分

停车分区是为实现城市停车信息采集、处理和传输设置，用于控制一定空间范围设置的中级管理层，具有易识别的固定边界。它由若干个完整的停车小区组成，可借鉴交通中区的划分方法。

1. 划分原则

同样必须将停车场置于核心地位，体现静态交通特性。笔者认为划分停车分区宜遵循以下原则：

- ①是连续不被分割的整体，周围边界与其空间范围内的边缘小区界线共用。

②各组成小区交通联系密切，归属同一行政区划。

③空间范围合理。一般在中心城区，停车分区划分得小一些；在近郊区，停车分区可划分大一些。

2. 划分定量标准建议

日本东京新宿区的 PGIS 管理着 29 个大型停车场的共约 6000 个泊位^[19]，相当于一个停车分区。根据国内外的实践，停车分区一般由 2~5 个停车小区组成。其具体的定量标准建议可参照划分原则和表 5-1 确定。停车分区的划分如图 5-1 所示。图中的停车分区 A 由停车小区 1~3 组成，停车分区 B 由停车小区 4~6 组成，停车分区 C 由停车小区 7~8 组成，停车分区 D 由停车小区 9~11 组成。

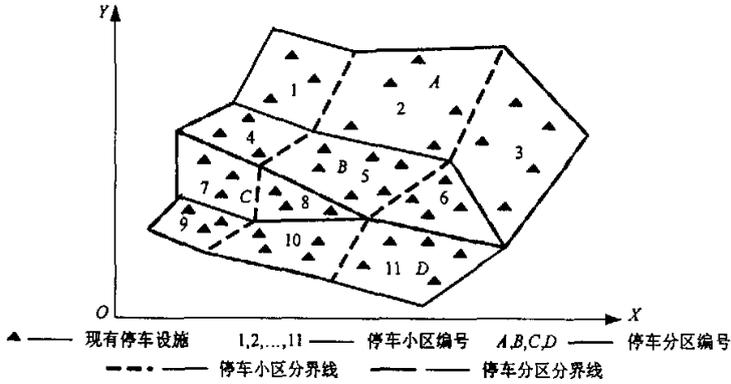


图 5-1 城市停车小区和停车分区示意图

5.2.3 停车片区划分

停车片区划分与停车分区有一定的类似，但存在的差别更多更明显。先参见下图 5-2。

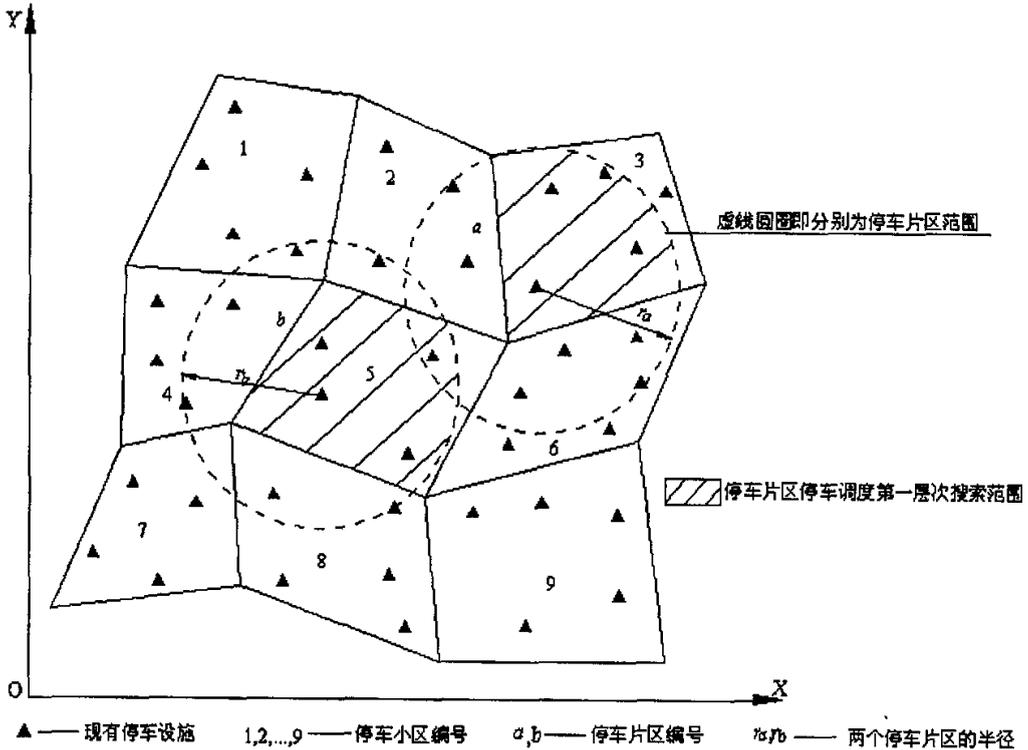


图 5-2 城市停车小区和停车片区示意图

图 5-2 示意了两个停车片区范围。停车片区是为停车选择片区调度服务的，具有以下特点：

- ① 停车片区平面空间呈圆形范围，以各原目的停车场为圆心划分，并不根据有形的固定边界确定。
- ② 不同停车片区的半径（如 r_a 、 r_b ）可视具体情况确定，不一定完全相等。中心城区半径一般不宜超过 1km，按驾车者的行程时间计宜在 5min 以内；近郊区半径可大些，一般不宜超过 2km，按驾车者的行程时间计宜在 10min 以内。
- ③ 按原首选停车场在小区和相邻小区具体的区位，停车片区由原首选停车场所在的小区及其邻近 2~4 个停车小区或它们某部分空间组成。
- ④ 相邻的片区之间允许存在部分重叠，同一停车场可以同时归属 2 个以上的片区。
- ⑤ 停车片区的停车场数量必须达到一定级别。在中心城区，每个片区应该包含 10 个以上的停车场；在近郊区，每个片区应该包含 15 个以上的停车场。

5.3 不对等信息显示的停车预调度

PGIS 当中“规定法”的设计思想是只给驾车者提供系统认为应知道的部分停车信息，限制驾车者的停车选择机会^[11]。受“规定法”和前人研究成果的启迪，本文提出采用不对等信息显示的停车预调度概念（以下简称“不对等法”），意欲缓解大城市中心区高峰时段的交通流量和热点停车场过于集中的停车吸引，调节停车分布尤其是使驾车者的首选停车场趋于均匀化，提高车辆停放的接受概率。

5.3.1 基本定义和分析

PGIS 理论和实践当中，目前通常采用在各方向显示相同停车信息的方法（不妨称为“同信息法”）。同信息法虽然如实地反映了监控范围内各停车场的泊位使用状况，但也存在使作为信息接收方的驾车者容易产生比较一致反应的不足。不难想象，特别是停车需求高峰时段，驾车者接近一致的停车选择将加剧中心区热点停车场的停车压力，无助于冷门停车设施的利用，同时过多的“巡泊”车辆会妨碍动态交通的正常运行。

所谓的不对等法，即根据具体的停车供需状况采用 3 级停车诱导模式（参见第四章 4.3.3）在道路 VMS 诱导屏上分别发布不完全相同的停车信息显示，用以宏观调控 PGIS 全局的静态交通，从实际上诱导驾车者分散选择停车场，在车辆完成停放之前发挥预调度作用，提高车辆停放的接受概率。

初看起来，出行前子系统提供的智能停车选择建议会因采用不对等法而在出行停放选择中发生冲突。其实不然！不对等法的初衷是减少途经城区中心的无谓“巡泊”交通流，诱导车辆就近选择停放。现代化的路径诱导系统已经具备向驾车者提供到首选停车场的最佳路径的功能，可以使车辆避免绕道或进入错误的方向行驶。所以，即使驾车者出行前确定了首选停车场，只要他的行驶路线符合常规，就完全不会因不对等法出现潜在的矛盾（如信息误导）。由于路径诱导系统属于动态交通，超越了本文的研究范畴，在此不具体涉及。

5.3.2 适用条件

和其他的理论方法一样，采用不对等法实施停车预调度需要相关的适用条件。根据以上的定义和分析，为适当简化起见，拟订的适用条件如下：

- ① 所有途径 VMS 的驾车者都注意到了发布的信息，并且完全相信信息是准确的而接受诱导。
- ② 研究对象是停车高峰时段车辆进入城市中心区停放的行驶距离（行程时间）和各停车场的泊位饱和度和，不计停车费用、步行距离等因素。
- ③ 停放车辆都按最佳路径行驶，不会绕道或走错方向，道路交通状况正常。
- ④ 统计的车辆数均需要在城市中心区停放，不包括过境车辆。

⑤VMS 显示的泊位使用状态在不大的时间间隔（如 5min 或 10min）内是固定的。

⑥热点停车场泊位饱和度已达到一定程度，一般已使用的有效泊位比例不低于 90%，尚未到 100%。

5.3.3 停车预调度模型和算法

不对等法实施停车预调度需要确定目标函数建立数学模型，通过合适的求解方法获得计算结果。与传统的同信息法比较后，可体现本文新方法的优势。

1. 建立模型

本文不考虑停车场的排队情况（参见 1.4）。因此，模型的出发点是使进入城市中心区的各停放车辆到首选停车场的总行驶里程（时间）最小。通常情况下，车辆的行程时间 T 比较容易测试而且能够代表行驶里程的含义，在此以 T 作为决策变量。对于停车场 j ，建立模型目标函数如下式(5.1)：

$$\min. T = \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K t_{ijk} Q_{ik} l P_{ijk} \quad (5.1)$$

式中， t_{ijk} —从 VMS 所在位置 i 到停车小区 k 内停车场 j 的行程时间，min；

Q_{ik} —从 VMS 所在位置 i 进入停车小区 k 的停放交通流量，veh/h；

l —VMS 停车信息显示时间间隔，min；

P_{ijk} —车辆从 VMS 所在位置 i 进入停车小区 k 选择停车场 j 的概率。

参照 Logit 模型^[13,49]， P_{ijk} 按下式(5.2)计算：

$$P_{ijk} = \frac{e^{-\theta U_{ijk}}}{\sum_{j=1}^J e^{-\theta U_{ijk}}} \quad (5.2)$$

式中， θ —待标定参数； U_{ijk} —车辆从 VMS 所在位置 i 进入停车小区 k 选择停车场 j 的停车阻抗值。

根据本节适用条件的假设，停车阻抗受车辆行程时间和停车场泊位饱和度的影响。计算式为：

$$U_{ijk} = \sigma_t t_{ijk} + \sigma_\tau \tau_{jk} \quad (5.3)$$

式中， τ_{jk} —停车小区 k 内停车场 j 的泊位饱和度值，%；

σ_t 、 σ_τ —分别对应行程时间和停车场泊位饱和度的权重系数，一般均按大量的调查统计分析确定。

设定初始状态停车小区 k 内停车场 j 的泊位饱和度值 τ_{jk0} 和车辆到达率 λ_{jk0} ，则 τ_{jk} 计算如下式(5.4)：

$$\tau_{jk} = (SL_{jk} \cdot \tau_{jk0} + \lambda_{jk0} \cdot l - SL_{jk} \cdot \tau_{jk0} \cdot \mu_{jk} \cdot l) / SL_{jk} = \tau_{jk0} (1 - \mu_{jk} \cdot l) + \lambda_{jk0} \cdot l / SL_{jk} \quad (5.4)$$

式中， SL_{jk} —停车小区 k 内停车场 j 的泊位容量； μ_{jk} —停车小区 k 内停车场 j 的车辆平均服务率，veh/h。

将式(5.3)、式(5.4)代入式(5.2)，得：

$$P_{ijk} = \frac{e^{-\theta(\sigma_t t_{ijk} + \sigma_\tau [\tau_{jk0} (1 - \mu_{jk} \cdot l) + \lambda_{jk0} \cdot l / SL_{jk}])}}{\sum_{j=1}^J e^{-\theta(\sigma_t t_{ijk} + \sigma_\tau [\tau_{jk0} (1 - \mu_{jk} \cdot l) + \lambda_{jk0} \cdot l / SL_{jk}])}} \quad (5.5)$$

中间状态时，分区 k 内停车设施 j 的车辆到达率 λ_{jk} (veh/h) 按下式(5.6)计算：

$$\lambda_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^I Q_i P_{ijk}}{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \frac{e^{-\theta(\sigma_t t_{ijk} + \sigma_\tau [\tau_{jk0} (1 - \mu_{jk} \cdot l) + \lambda_{jk0} \cdot l / SL_{jk}])}}{\sum_{j=1}^J e^{-\theta(\sigma_t t_{ijk} + \sigma_\tau [\tau_{jk0} (1 - \mu_{jk} \cdot l) + \lambda_{jk0} \cdot l / SL_{jk}])}}} \quad (5.6)$$

式中， Q_i —从 VMS 所在位置 i 驶往各停车小区的总停放交通流量，veh/h；

对于每一个显示间隔周期，都可以将前一个周期末作为初始状态，从而按式(5.4)~式(5.6)滚动迭代。再将式(5.5)代入式(5.1)，则模型目标函数可化为：

$$\min. T = \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K t_{ijk} Q_{ik}^l \frac{e^{-\theta(\sigma_i t_{ijk} + \sigma_i [\tau_{jk0}(1-\mu_{jk}^l) + \lambda_{jk0}^l / SL_{jk}])}}{\sum_{j=1}^J e^{-\theta(\sigma_i t_{ijk} + \sigma_i [\tau_{jk0}(1-\mu_{jk}^l) + \lambda_{jk0}^l / SL_{jk}])}} \quad (5.7)$$

停车场即时的泊位使用状态用“F”(Full)表示已停满车辆;用“E”(Empty)表示尚有空余泊位可提供停车服务,并在VMS上显示具体的泊位数。观察式(5.1)~式(5.7)发现,目标函数值T直接受到 P_{ijk} 变化的影响,具体通过VMS显示状态来发挥停车选择调度作用。其本质在于采用VMS信息显示组合方式,获得目标函数的优化值。对于VMS信息显示状态,存在两种表达方法:

(1) 阈值规定法

该方法是把停车分(小)区w内停车场j,根据停车场和VMS的区位是否对应,事先设定两种泊位饱和度阈值 $\tau_{U_{jw}}$ 。当停车场j的使用饱和度达到 $\tau_{U_{jw}}$ 以上时,VMS显示“F”;否则,VMS的显示信息处于“E”状态。由于规定两种阈值,相同停车场在不同区位可能出现不同显示,约束条件如下式(5.8):

$$st. \begin{cases} t_{ijk} \geq 0, Q_{ik} \geq 0, 0 \leq \sigma_i \leq 1, 0 \leq \sigma_i \leq 1 (i=1,2,\dots,I; j=1,2,\dots,J; k=1,2,\dots,K) \\ 0 < \tau_{U_{jw}} \begin{cases} < 100\%, k \neq w \\ = 100\%, k = w \end{cases} (w=1,2,\dots,K) \\ v_{ijk} = \begin{cases} 0 - \text{在入口}i\text{处的VMS上显示}k\text{区的}j\text{停车场“F”}, \tau_{jk} \geq \tau_{U_{jw}} > 0 \\ 1 - \text{在入口}i\text{处的VMS上显示}k\text{区的}j\text{停车场“E”}, 0 < \tau_{jk} < \tau_{U_{jw}} \end{cases} \\ \text{若} v_{ijk} = 0, \text{则} P_{ijk} = 0 \end{cases} \quad (5.8)$$

式中, v_{ijk} —布尔型数学开关变量,表示在入口*i*处用二进制数表达*k*区*j*停车场的泊位使用状态。

采用此方法,各VMS显示状态按式(5.8)可即时确定。

(2) 自由组合寻优法

该方法允许J个停车场的泊位未满足时,I块VMS分别自由组合显示状态,以此为基础在不断的比较中寻求最优解。此方法在VMS显示状态的可能性数量上明显多于(1)。模型的约束条件如下式(5.9):

$$st. \begin{cases} t_{ijk} \geq 0, Q_{ik} \geq 0, 0 \leq \sigma_i \leq 1, 0 \leq \sigma_i \leq 1 (i=1,2,\dots,I; j=1,2,\dots,J; k=1,2,\dots,K) \\ v_{ijk} = \begin{cases} 0, \tau_{jk} = 100\% \\ 0 - \text{在入口}i\text{处的VMS上显示}k\text{区的}j\text{停车场“F”} \\ 1 - \text{在入口}i\text{处的VMS上显示}k\text{区的}j\text{停车场“E”} \end{cases} \tau_{jk} < 100\% \\ \text{若} v_{ijk} = 0, \text{则} P_{ijk} = 0 \end{cases} \quad (5.9)$$

2. 求解方法讨论

对模型的两类约束方式分别讨论。

(1) 阈值规定法

由于各VMS显示状态按式(5.8)可即时确定,不存在多重显示情况,因此联立式(5.2)~式(5.8),直接进行常规迭代运算,便很容易完成求解。一般采用以下两种算法停止准则^[65,66]:

①定义计数器QN,当 $\min(T_{QN}) < \min(T_{QN+1})$ 时,令 $\min(T_{QN+1}) = \min(T_{QN})$, $QN = QN + 1$,返回计算,否则算法结束;

②定义最小迭代次数M,当迭代数目超过M时,算法结束。一般M取值100~5000。

算法的逻辑框图参见下图5-3,照此可编制专用的计算软件。

(2) 自由组合寻优法

每块VMS显示的其管理范围内的停车场的泊位使用状态,在每个时间间隔内最多有 2^{JK} 种可能的信息显示组合方式。由于当停车场数量众多时,此模型的组合方式数量巨大、联系复杂,几乎不存在精确的解析解。求解式(5.7)的现实办法是采用合适的数值解来获得接近精确的计算结果。

从模型目标函数的内容看,它需要在组合范围内进行启发式的搜索。可进行优化搜索的方法具有各自不同的特点,主要包括以下几类:

①传统的确定性优化方法

基于梯度的迭代算法。如共轭梯度法是基于共轭方向进行迭代，将最速下降法与共轭方向相结合，按某种规则构造一组共轭方向作为迭代方向，从初始点沿这组方向依次搜索，得到新的迭代点。其他还有牛顿法、拟牛顿法和直接法等^[66]。这些采用迭代的优化算法因线性化一般会引起结果的不稳定性以及过于依赖初始点选择而易在局部受限于极小点。

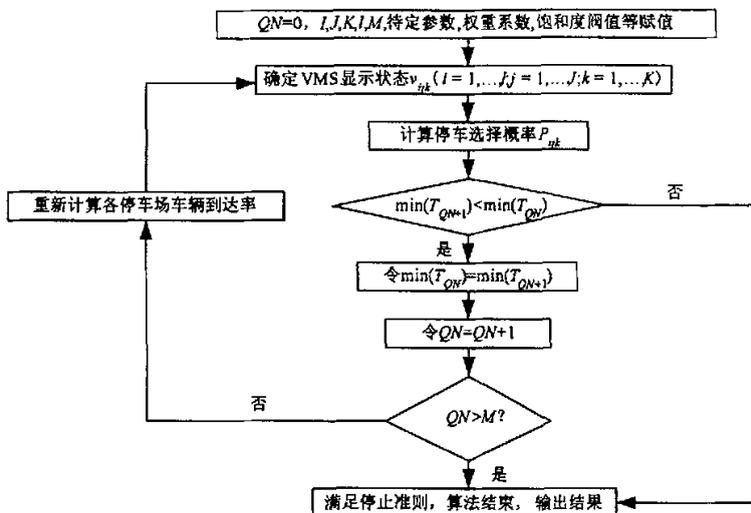


图 5-3 不对等信息显示的停车预调度阈值规定法逻辑框图

②蒙特卡罗方法

蒙特卡罗 (Monte Carlo) 方法又称随机抽样法或统计试验方法，是 20 世纪 40 年代中期提出的。它可以解决包含优化搜索在内的很多典型数学问题^[65]。此方法在搜索完一点以后，不管其好坏，都不保留任何关于该点的信息，容易降低计算过程的搜索效率，影响收敛性。

③遗传算法

遗传算法 (genetic algorithm, 以下简称“GA”)是根据达尔文的自然进化论和孟德尔的遗传变异理论模拟自然界生物进化过程与机制求解极值问题的一类自组织、自适应人工智能技术，属于组合搜索和优化的启发式方法^[67]。

GA 不需计算目标函数的偏导数，既不要求优化对象连续，也不要求可微，从全局最优的角度进行考虑。与前两者相比，GA 的每步计算都充分利用已有的寻优信息来指导空间的搜索进程，把搜索到的优秀点的信息遗传到下一代，并淘汰劣点的信息。此外，GA 允许搜索过程中保持多个当前解，具备了极强的鲁棒性 (Robustness)，不仅提高了数值解的优化程度，而且可以获得近似线性加速的效果^[66,67]。

GA 与传统优化方法关于寻优的鲁棒性的比较参见图 5-4。

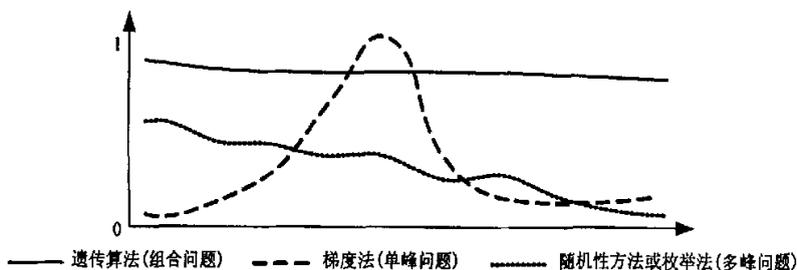


图 5-4 几类优化方法的寻优效果比较示意图

GA 已经成功地应用于很多交通信号控制工程^[27]。陈峻 (2000 年) 也曾经采用 GA 顺利地求解了无约束停车设施选址模型^[48]。从图 5-4 明显看出，GA 的搜索过程最平稳而且收敛速度很快。于是，如果设计一种适当的 GA，应该能够在较短的计算时间内寻找到本模型自由组方法理想的解答。

3. 遗传算法 (GA) 基础知识

美国 Chicago 大学的 J.H.Holland 教授于 1968 年率先提出 GA 的模式理论, 1975 年 Holland 教授的专著《自然界和人工系统的适应性》(Adaptation in Nature and Artificial Systems) 问世, 系统地介绍了 GA。从 20 世纪 80 年代开始, GA 的发展出现高潮, 一直延续至今^[67]。

GA 是“生成+检测”(generation and test) 组合迭代过程的搜索算法, 其基本流程如图 5-5 所示。



图 5-5 遗传算法 (GA) 的基本流程图

由图 5-5 可见, GA 是一种群体 (population) 型操作, 该操作以群体中的所有个体为对象。一次迭代称为一代。在 GA 作用下, 群体不断进化, 最后收敛于问题的最优解。

(1) 优势分析

作为一种启发式的优化与搜索方法, GA 具有鲜明的优势, 具体分析如下:

- ①其操作对象是一组可行解, 而非单个可行解; 搜索轨道有多条, 体现出良好的并行性。
- ②只需利用目标的取值信息, 而无需梯度等高价值信息, 本身具有很强的通用性。
- ③择优机制是一种“软”选择, 良好的并行性使其具有全局优化性和稳健性。
- ④可行解集经过编码化, 目标函数解释为编码化个体 (可行解) 的适应值, 处理简单, 可操作性强。

(2) 主要算子

选择 (selection)、交叉 (crossover) 和变异 (mutation) 是 GA 的三个主要操作算子, 它们构成了所谓的遗传操作 (genetic operation), 使 GA 具有了其它传统优化方法所没有的特性^[67]。在每一代进化过程中, 通过这些遗传算子的操作 (genetic operation), 产生新的群体。

(3) 控制参数

GA 当中的控制参数对求解效率和求解结果都有一定影响, 需要提前设定。它们既可直接确定为常数, 也可采用自适应变化的概率。常用的控制参数如下^[67]:

①群体规模 N 。GA 维持一套染色体 (chromosome) 的群体数, 每个染色体就是一个个体 (individual)。 N 是指每一父代个体的总数目, 也等于初始群体的个体数目。初始群体的分布将影响 GA 的计算结果, 而每一代的运算量更将影响整体计算时间。为了使初始群体在解空间均匀分布, N 的取值不宜过大或过小, 如过小将不能保证初始坐标解集的多样性, 出现全局收敛的概率会大大下降; 如过大则不但增加了计算时间, 而且不能有效地改进进化迭代的解。一般 N 取 20~100。

②交叉概率 P_c 。一般 P_c 取值 0.4~0.99。

③变异概率 P_m 。一般 P_m 取值 0.0001~0.1。

(4) 染色体编码

在 GA 中, 问题的解被表示为染色体, 每个染色体通常由控制遗传生物性状和结构的单位—基因 (gene) 组成, 基因在染色体中的位置称为基因座。

染色体编码是应用 GA 的首要步骤。它除了决定染色体的个体排列形式, 还影响到各主要算子的计算方法, 与群体的遗传进化运算直接相关。染色体编码方法很多, 主要有二进制编码、浮点数编码、符号编码 3 大类^[67]。完成染色体编码后, 生成初始解集。

(5) 适应度函数和个体适应度评价

适应度函数即目标函数, 是遗传算法中评价解集好坏的依据。每个个体被赋予一个适应度 (fitness), 代表此个体对环境的适应性。计算时应预先确定适应度函数到个体适应度之间的转换规则, 要求所有个体的适应度为非负数。通过遗传算子的操作能够产生适应度值更大的个体。

(6) 群体的选择与复制

群体选择与复制的主要思想是模拟生物进化过程中适者生存、优胜劣汰的规则。在选择中, 低适应度值个体趋向于被淘汰, 而高适应度值的个体趋向于被复制。所以, 选择算子的作用效果是提高了群体的平均适应度值, 但是与此同时也损失了群体的多样性, 选择是在总体上决定个体向目标函数值改善的方向前进。选择与复制并没有产生新个体, 而群体中最佳个体的适应度也不会提高^[67]。

通过本步骤,可从初始解集中选出优良的个体,使其有机会成为下一代繁殖解的父代。而判断个体优良的准则就是各解集的适应度计算值结果。个体的适应度值越高,被选择的概率就越大。

复制产生的新群体在 GA 中称为交配池^[67],是当前解集和下一代解集的中间群体,群体规模不变。

(7) 交叉操作

交叉操作的主要思想是模拟生物群体内部染色体的信息交换机制。也就是每次操作时,从交配池中随机选取两个父代个体,交叉后产生两个子代串,每个子代串一般与父代不同,并且子代之间也互不相同,但都包含了父代串的遗传物质。交叉算子的作用是可以产生新的个体,从而检测搜索空间中的新信息点,它可能使群体中最佳个体的适应度函数值有所提高,同时需要降低对有效图式的破坏概率,以免子代不如父代^[66,67]。

(8) 变异操作

变异操作的主要思想是模拟生物个体的随机突变现象。即对个体串的某些基因位置进行随机改变,其作用是增加 GA 运行中群体的多样性,是对有效基因缺失的一种补救措施,同时也具有恢复因选择操作失去的云梯多样性的潜在作用^[67]。如果不进行变异操作,GA 的解很可能陷入局部极小状态。

变异操作以一个很小的概率 P_m 随机改变解集的二进制编码位,对交叉运算的结果随机选择相应位进行由 1 变 0 和由 0 变 1 的运算。作为交叉算法的补充,其目的是克服搜索过程可能出现的早熟和陷入局部最优解的现象。

(9) 算法停止准则

由于 GA 的随机性,可能使坐标解集出现过早陷入局部最优解的欠缺,而设定算法的最小迭代次数可以保证解集产生新个体的次数和整个算法的规模。一般采用以下两种算法停止准则^[48,67]:

①定义计数器 GEN ,当 $\min(T_{GEN}) < \min(T_{GEN+1})$ 时,令 $\min(T_{GEN+1}) = \min(T_{GEN})$, $GEN = GEN+1$,返回计算,否则算法结束;

②定义进行选择、交叉、变异的子代操作最小迭代次数 M ,当子代数超过 M 时,算法结束。一般 M 取值 100~5000。

4. 自由组合寻优的遗传算法设计

遗传算法成功的关键在于染色体的编码表示和遗传操作设计。

由于 GA 是从概率方面计算,而车辆的停放选择概率受到停车场泊位饱和度的直接影响。先按照式(5.9)的约束条件,定义固定时间间隔内在 VMS 上显示停车场泊位使用状态的染色体变量如下式(5.10):

$$v_m = \begin{cases} 1 - \text{在} ([I/J]+1) \text{块 VMS 上显示} (I/J - [I/J]) \times J \text{ 停车场 "E"} \\ 0 - \text{在} ([I/J]+1) \text{块 VMS 上显示} (I/J - [I/J]) \times J \text{ 停车场 "F"} \end{cases} \quad (m=1,2,\dots,J) \quad (5.10)$$

式中, $[I/J]$ —是不大于 I/J 的整数。

以标准遗传算法(Standard Genetic Algorithm,简称 SGA)为基础,结合不对等法停车预调度模型的具体形式,设计经过改进的 SGA 算法步骤如下:

(1) 编码操作

二进制数是最简单的编码方法。式(5.10)的 v_m 只有 1 和 0 两种显示状态,因而采用二进制编码是可行的。这样可以使低阶、长度短、适应度值高的基因图式产生更多的后代,加快收敛,符合 GA 的原理。

基于 GA 不能直接处理解空间的解集数据,首先对染色体变量 v_m 进行二进制编码操作,将其表示为遗传空间的基因串结构数据。编码操作时,可将多个变量分别编码,也可以将全部变量编入一条染色体中,各变量只占染色体的一段。为紧凑和便于区分起见,在此按入口编号将 K 区 J 个停车场编成 J 条染色体,如图 5-6 所示,各条染色体都是由 1 或 0 组成的数据串。

(2) 生成初始解集

根据 GA 群体操作的特点,对固定的 m ($m=1,2,\dots,J$) 个 VMS 显示状态,随机确定 $H=2^J$ 个初始解集,这样得到 $N=H$ 个初始群体规模。在本模型中, N 视选择区域内停车场数量的多少和求解的精度具体确定。

(3) 定义适应度函数和个体适应度计算

本模型的目标是使分(小)区内车辆选择停放的总行程时间最小。适应度函数即目标函数,同式(5.7);

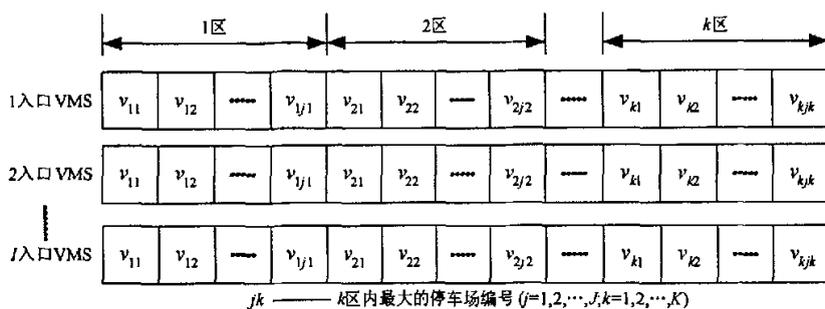


图 5-6 停车场泊位使用状态编码结构图

约束条件同式(5.9)。将规模为 N 的初始解集代入式(5.7)，求解分别得到相应的适应度结果。

在个体适应度计算的过程中，要把二进制编码的基因型个体解码转换为搜索空间的解的十进制形式，例如 10100 要译码为 20。

(4) 群体的选择与复制

目的是从 $N = H$ 的初始解集中选出优良个体。采用与个体适应度值成正比的概率方法，具体步骤为：

①对初始解集进行 N 次适应度函数的优化，得到个体适应度 $f_i = \min(T_i)$ ($i = 1, 2, \dots, N$)。

②计算所有个体适应度值的总和 $S = \sum_{i=1}^N f_i$ 。

③计算第 i 个个体的适应度值所占比例 f_i/S 。

④基于适应度函数为总行程时间最小的目标，定义选择概率 P_i 按 f_i/S 值的反向大小排序，即适应度值最小的个体其选择概率最大。

⑤依据选择概率和群体规模对初始解集进行复制运算，也即当 v_j ($j = 1, 2, \dots, m$) 的选择概率为 P_j 时，将被复制得到 $N \times P_j$ 个个体。选择概率大的解集被重复复制的机会大，而选择概率小的个体则趋向于减少或淘汰。由于复制的作用，在交配池中的解集使分(小)区内车辆选择停放行程时间的平均值有一定程度的降低。但复制算法并没有产生新的染色体集合，因此群体中最优个体的适应度值也没有改变。

(5) 交叉操作

交叉算法具体操作步骤为：

①对选择与复制后群体规模为 $N = m$ 的解集 v_j ($j = 1, 2, \dots, m$) 进行随机配对，两两组合。

②定义交叉概率 P_c ，表示交配池中进行两两交叉操作的个体占群体的比例。如 $P_c = 0.5$ ，则有一半的解集两两组合交换信息。 P_c 越大，新旧个体交替快，优秀个体出现的几率就越大，算法收敛也较快。

③在选定进行交叉运算的每一组个体中随机设定交叉位置，配对个体彼此交换部分二进制信息，其它位不变，通过交叉产生两个新个体。如图 5-7 所示的单点交叉过程。

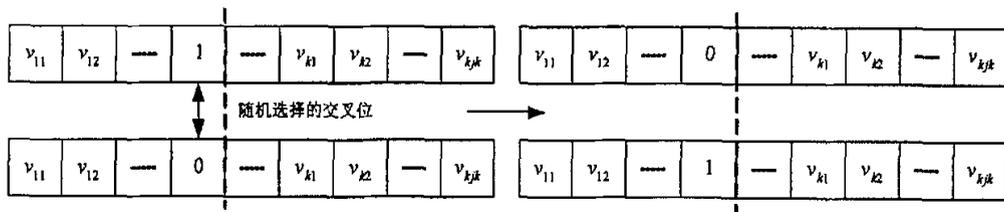


图 5-7 二进制编码交叉操作示意图

(6) 变异操作

在解集的变异操作中， P_m 越大，优秀个体出现的几率增加，但算法的收敛性将变差； P_m 过小，则解集的变异能力不足，可能会导致整个初始解集过早演变为同一个解集。可在建议范围按经验取值。

(7) 算法停止准则的设计

将经过变异的解集重新代入步骤(3)，进行分(小)区内车辆停放总行程时间最小化的适应度值计算。算法是否停止，按前述提出的准则判断。有下列两种情形之一，可令算法结束：

①如果对固定的 m ，存在个体 v_j ($1 < j \leq H$)，使 $\min(T) < \min(T_{初始})$ ，则令 $\min(T_{初始}) = \min(T)$ ，重复

选择、交叉、变异的操作步骤迭代计算。否则认为已经找到最优解，群体已收敛并不再有进化趋势；

②子代数目已超过预先定义进行子代操作的最小迭代次数 M 。

整个算法设计的逻辑过程见图 5-8 所示。根据图 5-8 的逻辑思路可编制专用的计算软件。

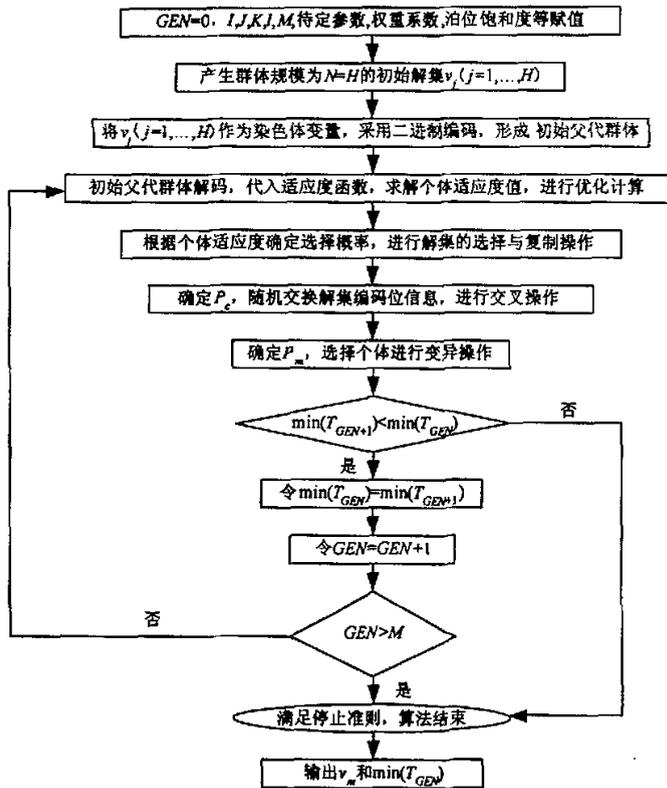


图 5-8 不对等信息显示的停车预调度遗传算法逻辑框图

5.3.4 算例应用

由于国内城市目前尚处于 PGIS 的起步阶段，基本没有形成完整或局部的系统停车诱导管理，几乎不能寻找到现成的实例。因此，本文虚拟了一个简单的划分为 4 个停车分区的对称型规则矩形主城区算例（如图 5-9 所示），以检验停车预调度模型的应用效果。

1. 参数取值

根据算例参数性质的不同，将它们分为以下几类分别赋值。

(1) 待定参数和权重系数

θ 越小，表明驾车者停放选择的非确定性越高^[68]。由以往的经验 and 具体情况，取 $\theta = 3.20$ ^[49]。考虑到车辆停行程时间和停车场泊位饱和度对模型具有双重同等的影响，取 $\sigma_l = 0.5$ ， $\sigma_r = 0.5$ 。

(2) GA 计算参数

取 $I = J = K = 4$ ，则 $N = H = 2^{4 \times 4}$ 。意为在主城区的 4 个入口的 VMS 上，对 4 个停车场存在 2^{16} 种信息组合。由于完全包括了本算例可能出现的最大组合，所以，这样的初始群体规模已经足够确保计算精度了。赋值 $P_c = 0.6$ ， $P_m = 0.005$ ， $M = 5000$ 。

(3) 属性参数

本算例中， $l = 10\text{min}$ ；所有车辆在停车场的停放时间均取 1h，则 $\mu_{11} = \mu_{22} = \mu_{33} = \mu_{44} = 1\text{veh/h}$ ； $SL_{11} = SL_{22} = SL_{33} = SL_{44} = 500$ 。取 $\tau_{110} = \tau_{330} = \tau_{440} = 80\%$ ，假设停车场 2 由于区位条件等原因，平时的停车吸引量最大，高峰时段泊位饱和度大都在 90% 以上。 Q_{ik} 取值参见表 5-2。

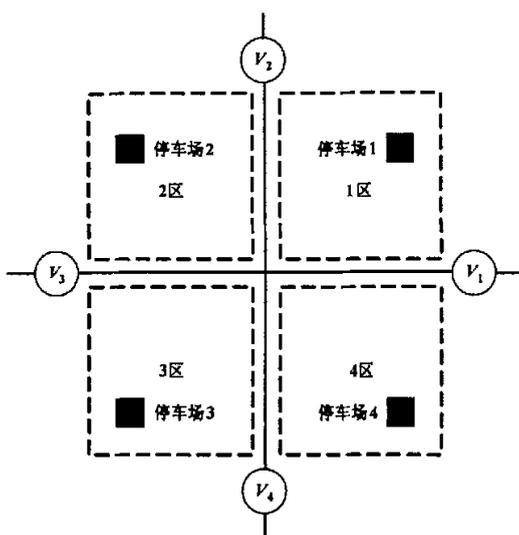


图 5-9 算例主城区平面区位图

表 5-2 算例车辆停放区位分布表 (单位: veh/h)

入口方向和分区编号	1	2	3	4
V_1	80	160	80	80
V_2	80	160	80	80
V_3	80	160	80	80
V_4	80	160	80	80

各分区停车场的车辆到达率初始值 λ_{jk0} 取值见下表 5-3, λ_{220} 值最高。 λ_{jk} 按式(5.4)~式(5.6)计算。

表 5-3 算例各停车场车辆到达率取值表

停车场编号	1	2	3	4
$\lambda_{jk0}(\text{veh/h})$	400	700	400	400

从各入口 i 到各停车场 j 的行程时间 t_{ijk} 在正常道路交通状况下分别取固定数值, 参见下表 5-4。

表 5-4 正常道路交通状况算例车辆停放行程时间表 (单位: min)

入口 VMS 编号	停车场 1	停车场 2	停车场 3	停车场 4
V_1	23	42	45	25
V_2	25	23	42	45
V_3	45	25	23	42
V_4	42	45	25	23

(4) 确定合理的阈值

确定合理的阈值对于取得不对等信息显示停车预调度的理想效果很重要。如果定得太低, 将使泊位利用不充分; 定得太高, 则容易使部分车辆到达时因泊位可能已满重新“巡泊”而增加总体的行程时间(距离)。根据式(5.8)的定义, 对于与分区编号相同的停车场, 本文取 100% 的泊位饱和度作为阈值; 否则, 拟取 τ_{U_w} ($w=1,2,3,4$) 为 90%~100%, 对不同的阈值进行横向计算比较再取优。

2. 计算结果比较

从热点停车场 2 入手, 按有关方法步骤分别采用同信息法和不对等法停车预调度模型的两种方法, 编制了相应软件进行计算。

(1) 同信息法

同信息法在各入口方向 VMS 显示的各停车场泊位使用状态一致, 该方法体现真实的停车场泊位使用状况。只有当停车场的泊位全部占满时, 才显示“F”; 否则, VMS 显示的信息均为“E”状态。其目

标函数同式(5.7), 约束条件修正如下式(5.11):

$$\text{st.} \quad \begin{cases} t_{ijk} \geq 0, Q_{ik} \geq 0, 0 \leq \sigma_i \leq 1, 0 \leq \sigma_r \leq 1 (i=1,2,\dots,I; j=1,2,\dots,J; k=1,2,\dots,K) \\ v_{ijk} = \begin{cases} 1, & 0 \leq \tau_{jk} < 100\%, \text{ 在入口 } i \text{ 处的 VMS 上显示 } k \text{ 区的 } j \text{ 停车场 "E"} \\ 0, & \tau_{jk} = 100\%, \text{ 在入口 } i \text{ 处的 VMS 上显示 } k \text{ 区的 } j \text{ 停车场 "F"} \end{cases} \\ \text{若 } v_{ijk} = 0, \text{ 则 } P_{ijk} = 0 \end{cases} \quad (5.11)$$

按照式(5.1)~式(5.7)、式(5.11)和确定的相关参数, 调用自编软件运算, 输入界面参见图 5-10。

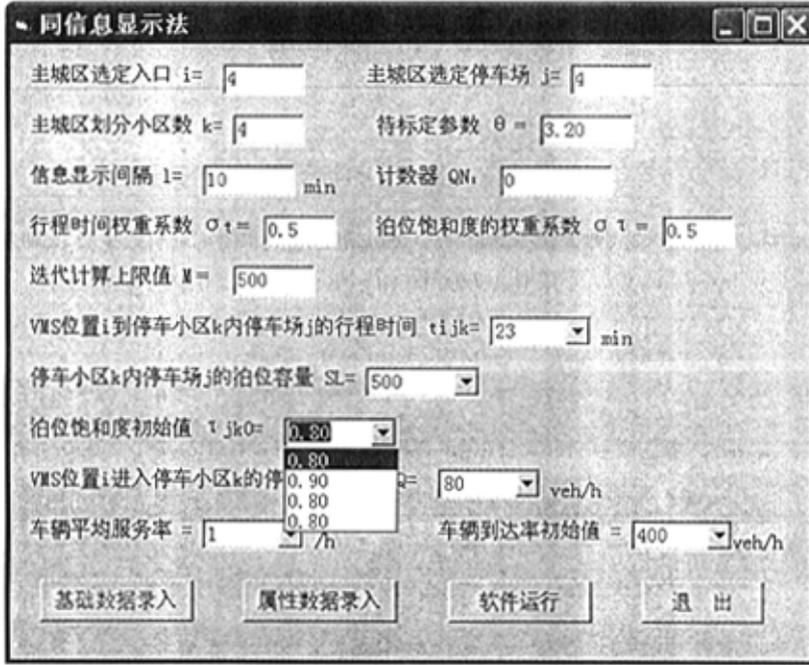


图 5-10 同信息显示法软件计算输入界面图

对于 τ_{220} 在 90%~100% 的各状态下, 参照图 5-3 的迭代算法, 模型计算结果参见下表 5-5。

表 5-5 同信息法求解结果表

$\tau_{220}(\%)$	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
min.T(h)	33.40	33.34	33.28	33.22	33.16	33.11	33.05	32.99	32.94	32.88	28.26

从表 5-5 发现, τ_{220} 在 90% 以上范围内, min.T 值呈递减趋势, 在 100% 时产生突降。

这是因为停车场 2 的泊位一直处于热点需求状态, 当饱和度超过一定值 (如 90%) 以后, 虽然 VMS 仍显示它有空余泊位, 但原来准备选择停车场 2 的部分驾车者为了确保一次停放到位, 会根据具体情况和个人判断选择另外的停车场自行“分流”停放, 使总行程时间有所减少。随着 τ_{220} 的上升, 加入到“分流”行列的驾车者越来越多, 于是 min.T 值逐渐降低。当 VMS 显示停车场 2 泊位完全饱和时, 已基本没有驾车者会选择它停放了, 停车选择趋于合理, 停车供需相对均布, 所以 min.T 值同比最优。但在达到 100% 的饱和度之前, 也容易造成剩余泊位使用不充分的现象。

(2) 不对等法的阈值规定法

调用自编软件运算, 输入界面见下图 5-11。 τ_{220} 在 90%~100% 对应的各阈值状态下, 计算结果参见表 5-6。



图 5-11 不对等信息显示的停车预调度阈值规定法软件计算输入界面图

表 5-6 停车场 2 初始泊位饱和度和阈值对应计算表 (单位: h)

$\tau_{U_n}(\%)$	$\tau_{220}(\%)$										
	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
90	28.78	28.78	28.78	28.78	28.78	28.26	28.26	28.26	28.26	28.26	28.26
91	30.23	28.78	28.78	28.78	28.78	28.26	28.26	28.26	28.26	28.26	28.26
92	30.23	30.23	28.78	28.78	28.78	28.26	28.26	28.26	28.26	28.26	28.26
93	30.23	30.23	30.23	28.78	28.78	28.26	28.26	28.26	28.26	28.26	28.26
94	30.23	30.23	30.23	30.23	28.78	28.26	28.26	28.26	28.26	28.26	28.26
95	30.23	30.23	30.23	30.23	30.23	28.26	28.26	28.26	28.26	28.26	28.26
96	30.23	30.23	30.23	30.23	30.23	29.61	28.26	28.26	28.26	28.26	28.26
97	30.23	30.23	30.23	30.23	30.23	29.61	29.61	28.26	28.26	28.26	28.26
98	30.23	30.23	30.23	30.23	30.23	29.61	29.61	29.61	28.26	28.26	28.26
99	30.23	30.23	30.23	30.23	30.23	29.61	29.61	29.61	29.61	28.26	28.26
100	30.23	30.23	30.23	30.23	30.23	29.61	29.61	29.61	29.61	29.61	28.26

由表 5-6 可见, $\min.T$ 值呈现典型的台阶状 4 区域分布形式, 虽然最小值和同信息法相同, 但其总体诱导效果明显优于表 5-5, 最大的 $\min.T$ 值与表 5-5 相比, 降低了 9.5%。 $\min.T$ 最低值出现在 τ_{220} 很高 (95%~100%) 并超出相应阈值的时候。因为在这些泊位使用范围内, 受 VMS 显示的不对等信息作用, 部分原本准备在停车场 2 停放的驾车者作了其它选择, 从而避免了过于集中的车辆停放, 使最小总行程时间得到一定优化。对比同信息法, 不对等的阈值规定法突出的优越性在于能够使热点停车场在泊位饱和度和较高的状态下, 改善剩余泊位的使用率, 充分利用停车资源。

(3) 不对等法的自由组合寻优法

采用 5.3.3 设计的 GA, 调用自编软件, 输入界面见下图 5-12, 计算得到各入口处 VMS 的不对等显示状态和相应的车辆停放最小总行程时间参见下表 5-7。



图 5-12 不对等信息显示的停车预调度自由组合寻优法软件计算输入界面图

表 5-7 不对等法模型 GA 求解结果表

VMS 停车场	V_1				V_2				V_3				V_4				min.T (h)
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
$\tau_{220} < 95\%$	E	F	F	E	F	E	F	F	F	E	E	F	F	F	E	F	24.03
$\tau_{220} \geq 95\%$	E	F	F	E	F	E	F	F	F	E	E	F	F	F	E	E	23.35

表 5-7 的 min.T 计算结果比表 5-5 和表 5-6 都有所降低。当 $\tau_{220} < 95\%$ 和 $\tau_{220} \geq 95\%$ 时，分别比前面的 min.T 最低值减少了 14.5% 和 17.4%，说明自由组合寻优法调度效果最佳。该方法的最小值也出现在 $\tau_{220} \geq 95\%$ 的泊位状态下，其原因和以上的分析相同，在此不重复描述。

5.4 停车片区停车调度

关宏志、刘兰辉（2003 年）在北京西单地区分别于星期三和星期六进行的两次停车行为调查表明，平日有 20%、假日有 22% 的驾车者最终使用的停车场不是首选停车场^[31]。第二章的驾车者行为特征研究也发现，驾车者样本到达首选停车场停放的比例占 77.74%；即使是认为对停车场“很熟悉”的驾车者当中，能在首选停车场停放的也只为 88.89%，而无法实现 100%（参见 2.3.3）。换句话说，由于停车场已满、道路拥堵、地点不熟悉、停车场的标志不明显等原因，通常总体约有 1/5 强的驾车者没有按照自己最初的意愿停车，因而出现重新选择停车场的情况。

5.4.1 基本定义和分析

在首选停车场无法提供服务时，利用 PGIS 调节停车需求的不均匀分布，明确引导部分车辆驶往该停车场所在停车片区内具有空余泊位的合适的次选停车场方向，这就是停车片区停车调度的初衷。如果能够妥善处理，此举可避免产生过多的迂回交通量，所以很值得探讨！

事实上, 5.3 的停车预调度内容是针对首选停车场的分配而言, 可视为前奏和基础; 本节研究的次选停车场搜索选择是前者的补充和延伸, 二者相辅相成。

停车片区停车调度与停车智能选择既有相似, 又存在区别。两者都属于在一定空间范围内搜索符合条件的停车场对象; 但后者是出行前以出行目的地为核心寻找首选停车场 (参见 3.4.3), 而前者则是出行中以首选停车场为核心确定次选停车场。

5.4.2 实施准则

根据停车片区的定义和停车片区停车调度的理念分析, 拟订实施准则如下:

- ①只有当首选停车场泊位已满时, 才搜索停车片区范围内的其它停车场实行停车调度。
- ②将停车高峰时段车辆从首选停车场到达次选停车场的行驶距离 (行程时间) 和次选停车场的泊位饱和度和作为衡量指标, 不计停车费用、步行距离等因素。
- ③停放车辆都按最佳路径行驶, 不会绕道或走错方向, 道路交通状况正常。
- ④从交通联系的便利性和停放的可达性出发, 与首选停车场属同一小区的次选停车场优先选择, 尽量避免车辆行程当中出现左转。
- ⑤提供的次选停车场的泊位饱和度应不高于规定的上限值 (如 80%~90%), 接受停放概率 (参见 4.4.4) 应不低于规定的下限值 (如 70%~80%), 确保诱导信息的可靠性, 尽可能不采用二次停车调度。
- ⑥次选停车场的可达性由区位和平面距离决定。同等区位条件下, 距离首选停车场越近者优先选择。

5.4.3 停车片区停车调度方法

停车片区停车调度的实质是通过在停车片区的搜索确定次选停车场的过程, 参见图 5-2。

1. 建立模型

将城市中心区研究区域共划分成 K 个停车小区, 各小区内已有公共停车场 h 个, 各停车场的中心坐标均为已知变量。对于第 k ($k \in [1, K]$) 个停车小区的第 i ($i \in [1, h]$) 个首选停车场 a_{ik} , 其停车片区记为 z_{ik} , 半径 r_{ik} , z_{ik} 内的备选停车场解集 $W = \{w_{jn}\}$ (j 代表次选停车场编号、 n 代表次选停车场所在小区; $j \in [1, h-1]$, $n \in N$) 为待求变量。对每个 z_{ik} 而言, 可纳入 W 的元素 w_{jn} 的数量最多为 $h-1$ 个。

按照实施准则和分析, 建立模型目标函数如下式(5.12):

$$\min(d_y) = \min[\sqrt{(x_{ik} - x_{jn})^2 + (y_{ik} - y_{jn})^2}] \quad (5.12)$$

式中, d_y —首选停车场 a_{ik} 和备选停车场 w_{jn} 的平面距离, m ; (x_{ik}, y_{ik}) —首选停车场 a_{ik} 的中心坐标; (x_{jn}, y_{jn}) —备选停车场 w_{jn} 的中心坐标。

约束条件如下式(5.13)所示:

$$st. \begin{cases} 1 \leq K, h \geq 1, N \in K \\ w_{jn} = \begin{cases} 1 & w_{jn} \in W, d_{ij} \leq r_{ik} \\ 0 & w_{jn} \notin W, d_{ij} > r_{ik} \end{cases} (i \in [1, h], j \in [1, h-1], j \neq i, k \in [1, K], n \in N) \\ 0 < \tau_{jn} \leq \tau_{\max}, P_{jn} \geq P_{\min} > 0 \end{cases} \quad (5.13)$$

式中, $w_{jn} = 1$ 表示 n 小区的第 j 个停车场在 z_{ik} 范围; $w_{jn} = 0$ 则表示 n 小区的第 j 个停车场不属于 W ; N —停车片区 z_{ik} 包括的停车小区数, 以停车小区编码集合的形式表达;

τ_{jn} — n 小区的第 j 个停车场的泊位饱和度, %; τ_{\max} —次选停车场泊位饱和度上限值, %;

P_{jn} — n 小区的第 j 个停车场的车辆停放接受概率; P_{\min} —次选停车场车辆停放接受概率下限值。

为使上式(5.12)成立, 不失一般性, 要求 $\forall i \in h, n \in K, \exists \sum_{j=1}^{h-1} w_{jn} \geq 1$ 。

2. 算法介绍

停车片区停车调度模型是单目标约束型函数，与停车智能选择模型的形式相似，可参考 3.4.3 的算法改进后求解。一般城市中心区的现有停车场密度都较大，所以停车片区待选择的对象也很多。为此，对模型结合作图法采用两层次搜索算法，具体步骤如下：

①确定 $i, h, k, K, N, x_{ik}, y_{ik}, x_{jn}, y_{jn}, r_{ik}, \tau_{max}, P_{min}$ 等相关参数值。

②第一层次搜索。令 $n = k$ ，先在停车片区内首选停车场所所在的停车小区进行搜索。如得到满足式(5.12)和式(5.13)的次选停车场，转入⑤；如无合适的选择对象，转入③。

③第二层次搜索。令 $n \neq k$ ，在片区范围与首选停车场不同的其他停车小区内再次搜索，如得到满足式(5.12)和式(5.13)的次选停车场，转入⑤；否则，转入④。

④预定的停车片区范围无法完成停车调度时，可将 r_{ik} 取值适当扩大，剔除原片区范围的所有停车场后转入②重新搜索。

⑤算法结束，输出 $W = \{w_{jn}\}$ 解集及 τ_n, P_{jn} 等属性参数。

本算法能够预先缩小搜索范围，尽早获取优选对象，减少不必要的计算工作量；而且针对停车高峰时段，预定的停车片区范围无法完成停车调度情况时，提出了将 r_{ik} 取值适当扩大重新搜索的补充对策。计算结果 W 解集可能包括不止一个元素。图 5-2 当中斜线部分即为第一层次搜索范围，虚线圆包括的其余部分则为第二层次。其逻辑过程参见图 5-13。

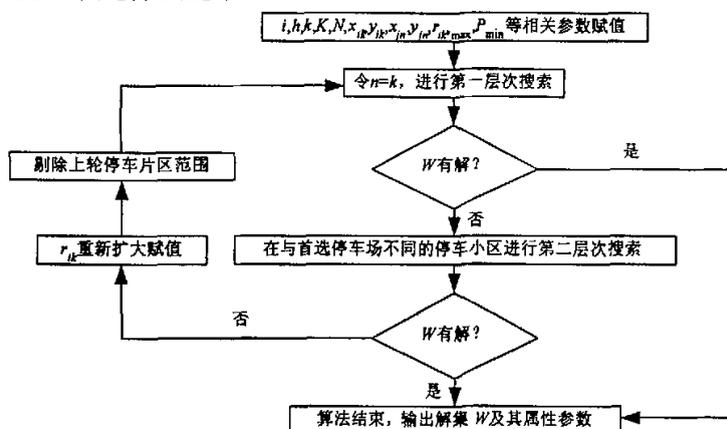


图 5-13 停车片区停车调度两层次搜索算法逻辑框图

5.4.4 停车调度选择评价

当模型可行解集 W 包含的元素不止一个时，对这些选择方案进行评价，通过 PGIS 传输次选停车场建议信息，无疑有助于驾车者的现场判断和停放选择。从式(5.12)和式(5.13)可以看出，停车片区停车调度不单纯以次选停车场与首选停车场之间的平面距离为唯一目标，是涉及多指标的综合评价问题，其中包括一些定性指标。评价过程中，定性指标的量化、各指标权重值的确定等，都具有模糊性；甚至评价结果都需要协调选择。

模糊优选技术已经成功应用于城市停车场规划评价系统 PPE_Pro (Planning and Evaluation of Urban Public Lots Project)^[69]。虽然本节的评价对象不同于 PPE_Pro，但由于同属静态交通评价领域，显然可供借鉴。籍于此，本文采用模糊优选方法给 $W = \{w_{jn}\}$ 的各元素排序。

1. 指标确定及量化

参考第二章的驾车者行为特征中选择停车场的关注因素研究（参见 2.4.2）和表 3-6，根据停车片区停车调度模型的特点，确定 5 项评价指标，如下表 5-8。

表 5-8 停车片区停车调度模型次选停车场评价指标汇总表

评价指标	指标代表性	符号代码	计量单位
次选停车场到首选停车场的平面距离	驾车者停放便利性、可达性	d_{ij}	m
次选停车场的泊位饱和度	次选停车场的空余泊位状况	τ_{jm}	%
次选停车场的车辆停放接受概率	停车片区停车调度实现的可能性	P_{jm}	
车辆停放安全性	驾车者效益	S	
停车设施类型	驾车者偏好	G	

上表 5-8 中, d_{ij} 按式(5.12)计算, τ_{jm} 和 P_{jm} 可由 PGIS 控制中心对相关的次选停车场即时数据处理后经 VMS 显示输出; S 和 G 则属于较为模糊的“效益型”指标, 难以直接量化。在此仍沿用第三章的模糊量化赋值方法及其结果(参见图 3-10 和表 3-8), 不重复列举。

2. 各指标权重值

应用 AHP 法, 采用 1~9 标度进行表 5-8 当中 5 项指标间的两两比较, 然后构造判断矩阵(具体步骤参见 3.4.4)。参考表 2-26 的驾车者行为特征研究结果, 经过计算, 得到 5 阶矩阵的 5 个特征值分别为 5.283、4.862、4.975、4.935、5.109, 最大特征值是 5.283。各指标权重确定见表 5-9, 满足一致性检验的要求。

表 5-9 停车片区停车调度评价指标权重及检验表

指标代号	d_{ij}	τ_{jm}	P_{jm}	S	G	权重	一致性检验
d_{ij}	1	3	2	4	8	0.423	$\lambda_{\max}=5.283$ $CI=0.071$ $RI=1.12$ $CR=0.063<0.1$
τ_{jm}	1/3	1	1/2	2	3	0.161	
P_{jm}	1/2	2	1	3	5	0.270	
S	1/4	1/2	1/3	1	2	0.096	
G	1/8	1/3	1/5	1/2	1	0.050	

3. 解集模糊优选排序方法

设对于首选停车场 a_{ik} , 有可行解集 $W = \{w_{jn}\} (i \in [1, h], j \in [1, h-1], k \in [1, K], n \in N, N \in K)$ 满足模型的目标函数式(5.12)和约束条件式(5.13)的要求。引入模糊优选方法给各元素 w_{jn} 排序。

(1) 特征值矩阵

记可行解集 W 中共有 $l (l \in [1, h-1])$ 个次选停车场方案 A_l , 则由第 $j (j = 1, 2, \dots, l)$ 个次选停车场的第 $m (m = 1, 2, \dots, 5)$ 个评价指标 u_{jm} 可建立 $l \times 5$ 阶特征值矩阵 U 。矩阵如下式(5.14):

$$U_{(l \times 5)} = \begin{pmatrix} u_{11} & u_{12} & \cdots & u_{15} \\ u_{21} & u_{22} & \cdots & u_{25} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ u_{l1} & u_{l2} & \cdots & u_{l5} \end{pmatrix} \quad (5.14)$$

(2) 隶属函数和隶属度矩阵

为体现可比性, u_{jm} 的原始数据必须进行标准化处理。先设定采用 5 个评价指标的次选停车场基准方案 $A_0 = (u_{01}, u_{02}, \dots, u_{05})$, 令其模糊向量 $\underline{R}_0(u_{0m}^*) = 1 (m = 1, 2, \dots, 5)$ 。模糊集合的隶属函数如下式(5.15):

$$\underline{R}(u_{jm}^*) = \begin{cases} u_{jm} / u_{0m}, & u_{jm} \leq u_{0m} \\ 2 - u_{jm} / u_{0m}, & u_{0m} < u_{jm} \leq 2u_{0m} \\ 0, & u_{jm} > 2u_{0m} \end{cases} (j=1, 2, \dots, l; m=1, 2, \dots, 5) \quad (5.15)$$

然后即可建立形如式(5.14)的隶属度矩阵 $\underline{R}_{(l \times 5)}$, $u_{jm}^* (j = 1, 2, \dots, l; m = 1, 2, \dots, 5)$ 则为其中的元素。通过隶属函数的标准化处理后, $u_{jm}^* \in [0, 1]$, 且不改变原始数据的相对差异性。

(3) 模糊优选排序

根据基准方案模糊向量 R_0 和第 j 个次选停车场方案 A_j 的模糊向量 R_j 的贴近度进行优选排序。各次选停车场的贴近度 $N_e(A_j) = N_e(R_0, R_j)$ 按下式(5.16)计算:

$$N_e(R_0, R_j) = 1 - \sum_{m=1}^5 \delta_m |u_{0m}^* - u_{jm}^*| = 1 - \sum_{m=1}^5 \delta_m |1 - u_{jm}^*| \quad (j=1,2,\dots,l) \quad (5.16)$$

式中, $\delta_m (m=1,2,\dots,5)$ —各评价指标的权重值, 总和为 1, 参见表 5-8。

上式(5.16)的计算结果反映了方案 A_j 与基准方案 A_0 的指标接近程度。 $N_e(A_j)$ 越大, 说明次选停车场方案 A_j 与基准方案 A_0 越接近, 则方案 A_j 越优先选择。根据 $N_e(A_j)$ 的大小, 即易排出 l 个次选停车场方案的优先顺序。

5.4.5 计算实例应用

取东莞市中心城区第 7 停车分区^[57]进行计算实例应用。该分区空间拓扑关系和现有停车设施分布如下图 5-14 所示。以位于小区 8 的停车场 1 作为需要停车调度的首选停车场, 记作 a_{18} ; 先赋值 $r_{18} = 300m$, 图中的圆圈范围即为 a_{18} 的停车片区, 包括了小区 1、小区 2、小区 7 和小区 8 的部分空间。

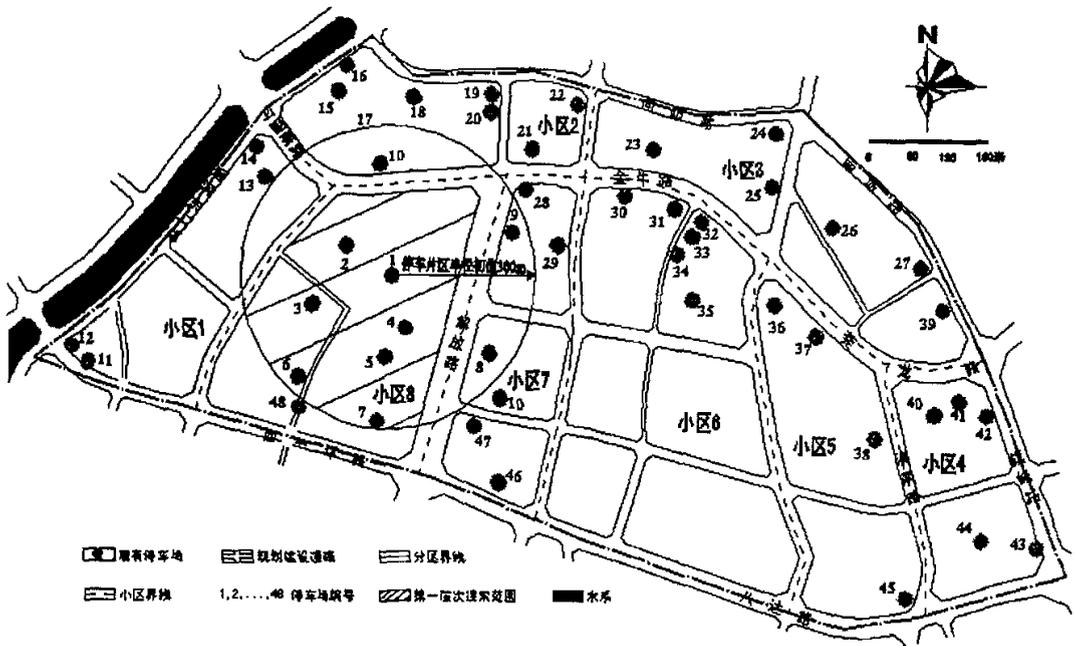


图 5-14 停车片区停车调度实例图

1. 参数取值

按照算法, 在停车片区当中先考察属于小区 8 的第一层次停车场, 共有 2~7 号停车场备选, 分别记作 $w_{28} \sim w_{78}$ 。本计算实例的相关参数取值见下表 5-10。

表 5-10 停车片区停车调度计算实例相关参数表

基本参数	h	K	N	$r_{ik}(m)$	$\tau_{max}(\%)$	P_{min}
数值	48	8	4	300	85	0.75

首选停车场 a_{18} 和备选停车场 $w_{28} \sim w_{78}$ 的属性参数见下表 5-11。

表 5-11 首选停车场和备选停车场属性参数表

停车场编号	$x_i(x_j), y_i(y_j)$	$\tau_i(\tau_j)$ (%)	$P_i(P_j)$	停车设施类型
a_{18}	73552,48952	100	0.003	路外地面
w_{28}	73466,49008	81	0.77	路外地面
w_{38}	73401,48899	68	0.89	地下停车库
w_{48}	73577,48857	88	0.65	路外地面
w_{58}	73538,48805	92	0.36	地下停车库
w_{68}	73374,48769	76	0.82	路外地面
w_{78}	73522,48689	90	0.43	立体停车楼

2. 计算结果

根据算法和本实例表 5-10 的具体情况, 计算得到停车场 2、3、6 共 3 个次选方案的解集; 分别定义为 A_1, A_2, A_3 。于是不需要进行第二层次的搜索了。由次选方案解集根据各指标的优化值确定基准方案 A_0 各向量值, 则 A_1, A_2, A_3 和 A_0 的原始数据结果如下表 5-12。

表 5-12 计算实例次选停车场解集和基准方案数据表

评价指标	$d_j(m)$	$\tau_j(\%)$	P_j	S	G
权重系数	0.423	0.161	0.270	0.096	0.050
基准方案 A_0	100	65	0.90	7	8
方案 A_1	102.6	81	0.77	6	8
方案 A_2	160.0	68	0.89	8	6
方案 A_3	255.3	76	0.82	6	8

采用式(5.15)将数据标准化处理, 然后按式(5.16)计算, 得到 3 个次选停车场方案 A_1, A_2, A_3 的优选排序结果, 如下表 5-13 (令基准方案 A_0 的模糊向量值恒为 1)。

表 5-13 计算实例次选停车场解集模糊向量及优选排序表

次选停车场编号	u_{j1}	u_{j2}	u_{j3}	u_{j4}	u_{j5}	$N_e(A_j)$	优选排序
方案 A_1	0.974	0.754	0.856	0.857	1	0.897	第一
方案 A_2	0.4	0.954	0.989	0.857	0.75	0.710	第二
方案 A_3	0	0.831	0.911	0.857	1	0.512	第三

从上表 5-13 显而易见, 方案 A_1 最优, 其次是方案 A_2 , A_3 排最后。权重系数对排序结果有一些影响。

5.5 本章小结

本章细致地论述了停车小区、停车分区和停车片区的划分原则, 并提供了定量标准建议值。停车分区和停车片区的概念都是以停车小区为基础建立的, 它们有类似性, 但存在的差别更多更明显, 二者的特点比较参见下表 5-14。

表 5-14 停车分区和停车片区特点比较表

名称	外形	边界	组成	空间范围一般值		停车场数量一般值		备注
				中心城区	近郊区	中心城区	近郊区	
停车分区	矩形	固定	2~5 个完整小区	2~5km ²	4~15km ²	10~40	12~50	
停车片区	以目的停车场为圆心的圆形	无形	2~4 个小区或它们其中某部分	半径 ≤1km	半径 ≤2km	≥10	≥15	相邻片区可能重叠

停车预调度和停车片区调度源于第四章出行途中车辆停放的接受条件模型(参见 4.4.4)延伸。本章提出的不对等信息显示的停车预调度法(简称“不对等法”), 即根据具体的停车供需状况采用 3 级停车诱导模式(参见第四章 4.3.3)在道路 VMS 诱导屏上分别发布不完全相同的停车信息显示, 用以宏观调控 PGIS 全局的静态交通, 诱导驾车者分散选择停车场, 在车辆停放之前发挥预调度作用, 提高车辆停

放的接受概率：停车片区停车调度的初衷在于当首选停车场无法提供服务时，利用 PGIS 调节停车需求的不均匀分布，引导部分车辆驶往该停车场所在停车片区内具有空余泊位的合适的次选停车场。

不对等法停车预调度模型的优化研究从车辆到达率高和日常泊位饱和度大的热点停车场入手，参照 Logit 概率选择模型，以总行程时间最小建立了目标函数。其本质在于采用 VMS 信息显示组合方式来发挥停车选择调度作用，获得目标函数的优化值。具体研究了阈值规定和自由组合寻优两种方法。

阈值规定法是根据停车场和 VMS 的区位是否对应，事先设定两种泊位饱和度阈值。这样，相同停车场在不同区位可能出现不同显示。由于此方法的泊位显示状态可按式(5.8)即时确定，则直接进行常规迭代运算。自由组合寻优法允许 J 个停车场的泊位未饱和时， I 块 VMS 分别自由组合显示状态，以此为基础在不断的比较中寻求最优解，对它设计了 GA（遗传算法）。

在算例检验中将不对等法与传统的相同信息显示方法（简称“同信息法”）进行直接比较。通过调用分别编制的软件运算，获得了理想的结果。同信息法当中， t_{220} 在 90% 以上范围内， $\min.T$ 值呈递减趋势，在 100% 时产生突降。这是因为停车场 2 的泊位一直处于热点需求状态，当饱和度超过一定值（如 90%）以后，虽然 VMS 仍显示它有空余泊位，但原来准备选择停车场 2 的部分驾车者为了确保一次停放到位，会根据具体情况和个人判断选择另外的停车场自行“分流”停放，使总行程时间有所减少。随着 t_{220} 的上升，加入到“分流”行列的驾车者越来越多，于是 $\min.T$ 值逐渐降低。当 VMS 显示停车场 2 泊位完全饱和时，已基本没有驾车者会选择它停放了，停车选择趋于合理，停车供需相对均布，所以 $\min.T$ 值同比最优。但在达到 100% 的饱和度之前，也容易造成剩余泊位使用不充分的现象。

不对等法的两种方法和同信息法对比（参见表 5-5~表 5-7），表现出以下特点：

①通过停车场饱和度阈值或自由组合的作用，不对等法的显示状态与同信息法存在明显的差别。

②不对等法显示的计算结果均优于同信息法。阈值规定法中， $\min.T$ 值呈现典型的台阶状 4 区域分布形式，虽然最小值和同信息法相同，但其总体诱导效果明显优于后者（最大的 $\min.T$ 值降低了 9.5%）；对比同信息法，不对等的阈值规定法突出的优越性在于能够使热点停车场在泊位饱和度较高的状态下，改善剩余泊位的使用率，充分利用停车资源。自由组合寻优法效果最佳，当 $t_{220} < 95\%$ 和 $t_{220} \geq 95\%$ 时，分别比前二者的总行程时间最低值减少了 14.5% 和 17.4%。

③不对等显示两种方法的最小值都出现在 $t_{220} \geq 95\%$ 的时候。原因在于 VMS 提供的泊位状态信息诱导明确，指引车辆合理地分散选择停放；另外，泊位供应紧张状况会促使驾车者的停放选择更谨慎理性，有效地减少了部分停放车辆重复“巡泊”的过程，从而节省了车辆停放的总行程时间（距离）。

由以上分析可知，计算结果正常，表明模型设想的停车预调度优化效果已经实现。

笔者在确定了实施准则后，以首选停车场和备选停车场的平面距离最小为目标函数，在泊位饱和度和车辆接受停放概率等约束条件下，建立了停车片区停车调度模型，设计了结合作图法的两层次搜索算法确定次选停车场解集 W 。该算法能够预先缩小搜索范围，尽早获取优选对象，减少不必要的计算工作量；针对停车高峰时段，预定片区范围无法完成停车调度情况时，提出了适当扩大片区半径取值重新搜索的补充对策。

由于可行解很可能不止一个，为有助于驾车者现场判断和停放选择，采用模糊优选评价方法给解集 W 的各元素排序。参考表 3-6 的内容确定评价指标后，运用 AHP 法获得了各指标的权重值，通过隶属函数对各次选停车场方案 A_j 的原始数据进行标准化处理，建立隶属度矩阵，按照 A_j 与基准方案 A_0 的贴近度 $N_c(A_j)$ 数值评价各次选停车场的排序。 $N_c(A_j)$ 越大，说明 A_j 与 A_0 越接近，则方案 A_j 越优先选择。

通过将东莞市中心城区第 7 停车分区作为计算实例，说明停车片区停车调度模型和模糊优选评价方法能够成功地应用实施。权重系数对排序结果有一些影响。

事实上，不对等法停车预调度是针对首选停车场的分配而言，可视为前奏和基础；停车片区停车调度属于次选停车场的搜索，是前者的补充和延伸，二者相辅相成，形成连续、互补、协调的综合步骤。

第六章 PGIS 技术效果评价

PGIS 是一个开放的系统,与社会、经济以及人民生活的各个方面密切相关。PGIS 的发展受到经济实力、信息技术水平、城市化进程、停车设施布局规划、汽车工业、道路交通状况等综合环境因素的影响或制约。城市 PGIS 投入运行后,将在一定程度上带来可观的经济效益、社会效益和环境效益。评价是用来衡量项目的目标或目的达到的程度。作为投资不菲的现代化高科技交通工程项目,PGIS 评价是其中一个必要的关键组成部分。本章对 PGIS 技术效果评价进行初步探讨。

6.1 评价目的和意义

PGIS 技术效果评价是从系统功能和技术层面出发,对系统不同阶段的多方面综合评价,提供科学依据。其目的和意义在于:

1. 确定立项的可行性

属于立项阶段的研究内容。采用可行性评估方式确定 PGIS 立项后实施的技术特点和可操作性。只有通过可行性评估,才能正式立项,进入实施准备阶段。

2. 评判 PGIS 现状运行效果

认识 PGIS 现状运行的技术优势,发现存在的不足之处。

3. 优化系统运作和设计

通过评价,对 PGIS 的实施产生有益的反馈作用。根据评价结果对系统提出合理化建议,识别需要改进的方向,使管理部门和设计部门能够及时调整、改进和优化系统运作和系统设计,最终实现甚至超过原来的预定目标,改善系统功能。

4. 宣传推广 PGIS 的使用

让市民尤其是驾车者充分了解 PGIS 的作用不仅局限在静态交通领域,它通过调节停车需求的时空分布对动态交通具有互动的促进效果,可以给城市带来整体经济效益、社会效益和环境效益。在突出 PGIS 所具备的高科技先进性的基础上,宣传推广 PGIS 的使用。

5. 指导未来的投资决策

PGIS 评价获得的关于实施的理想技术条件和影响因素等信息提供给对口的政府部门后,可用于指导未来的继续投资决策,完善系统构成。

6.2 评价准则

评价准则是开展评价工作的纲领。拟订的 PGIS 评价准则如下:

1. 总前提

建立 PGIS 及其所属的出行前子系统、出行中子系统等的物理结构框架和逻辑关系框架,确定系统和子系统支撑技术存在的合理性。

2. 科学性与实用性并重

PGIS 是多学科高科技集成的产物。因此,科学性是首要原则。只有采用科学的评价才能获得科学的结论。设置 PGIS 是为了缓解城市静态交通的实际问题,PGIS 及其子系统能否具备实用性、能否适合国内城市的道路交通和停车供需状况,也是技术评价应该关注的。

所以,评价时必须采取科学性与实用性并重。

3. 可测性与可比性

和通常的评价类似,技术评价需要采用若干指标。为了获得清晰的评价效果,所选取的指标必须能

够通过某些直接或间接的方法测定数值。另外，应选用具有较高敏感性的评价指标，反映系统的敏感性程度，这样得以客观地比较出不同方案下使用效果的差异。

4. 独立代表性

PGIS 是一个复杂的、多层次、多因素的系统。为了准确评价系统特定的技术功能，应避免评价指标之间出现高相关性和重叠，使各个指标具备独立代表性。

5. 可兼容扩展的整合性

整合性用于检验 PGIS 及其子系统技术间的匹配协同程度。由于 PGIS 是结构庞大的集成系统，还存在兼容性和可扩展性要求，这对于系统发展具有重要意义。综合起来，采用可兼容扩展的整合性表达。

6. 完备性

体现 PGIS 技术性能的全面性。要求评价体系中选取的各个评价指标所代表的内容应尽可能涵盖 PGIS 的各种属性，如便利、高效、经济、环保，等等。

6.3 评价对象和内容

明确评价的对象和内容，才能取得最有效反映真实状况的评价。

6.3.1 PGIS 阶段实施

PGIS 是大规模的复合交通工程项目，其安装实施应当分阶段进行^[13]。参照发达国家的经验和国内城市道路交通和经济发展的现状，可划分四个阶段：

1. 论证阶段

这是建立 PGIS 的第一阶段。该阶段要求充分论证城市建立 PGIS 的技术、投资、政策支持软硬件环境，完成项目可行性研究，提供立项的科学决策依据。

2. 储备阶段

体现在技术和资金两方面的储备。

(1) 技术储备

积累运行 PGIS 的基础数据，调试系统参数，积极储备相关的各种基础技术。

(2) 资金储备

扩大投资来源或融资渠道，推动在市场机制下开发资金运作。

3. 试点运行阶段

沿用大型工程项目的惯例，在完成准备工作后，先选择合适的场所试点。PGIS 的试点宜定位于城市中心区（如中心商业区）停车供需集中的部分主、次干道沿线运行，采集整理相关数据。

4. 推广使用阶段

试点运行取得成功后，则从试点区位开始推广 PGIS 的使用，逐步覆盖中心城区，直至全市范围。此阶段在技术上必须协调 PGIS 与其它交通控制系统的匹配功能。

6.3.2 阶段评价

从 PGIS 的阶段实施组成看，PGIS 项目包括规划中、试点运行、推广使用几种状态。按照 PGIS 技术评价的目的和意义，涵盖了 PGIS 的各个阶段。因此，本文认为采取分阶段对应评价的方式，可以及时修正反馈，有助于系统形成良性循环。

为简便称呼起见，在此将规划中的技术评价定义为“前评价”，试点运行阶段的技术评价定义为“试评价”，推广使用后的技术评价定义为“后评价”。各阶段评价和系统实施的互动过程如图 6-1 所示。

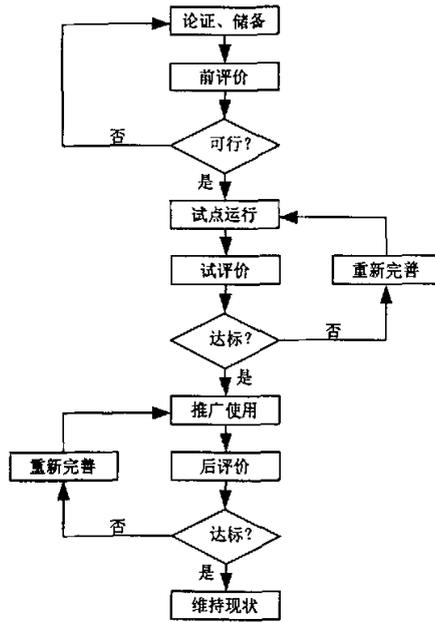


图 6-1 PGIS 阶段评价和系统实施示意图

6.3.3 评价策略

PGIS 发挥的效果无疑是技术评价的焦点。由于 PGIS 对驾车者具备诱导停车功能，其设置后车辆停放将表现新的规律。另外，在包括自身技术功能有限等多种因素的综合作用下，PGIS 某些情况时可能会产生部分负面影响。所以，技术评价策略考虑如下：

1. 建立 PGIS 前后的有一无评价

所谓有一无评价，就是通过对建立 PGIS 前后人、车、停车设施三者的交通特性表现，认识 PGIS 的效用。根据静态交通的属性和前面章节的研究，可采用下表 6-1 对停车高峰时段进行纵、横向评价。

表 6-1 建立 PGIS 前后的有一无评价表

停车设施名称	是否建立 PGIS	完成停放时间	停放总成本	平均到达率	平均泊位饱和度	停车接受概率
	建立前					
	建立后					

2. 全面效果评价

对任何事物的分析都应该一分为二。PGIS 不是万能钥匙，即时的停车供需状况、驾车者主观判断意向、道路交通条件等都将左右停车选择结果。另外从信息和效益的常规边际效应易知，当信息只提供给少部分个体时，个体效益最大；随着获得信息群体数量的增加，个体效益降低^[70]。

PGIS 的投入很可能使车辆拥有人认为停车信息完善而刺激汽车出行量加剧。当驾车出行者达到一定程度时，共享信息的个体增加超过某临界值，就产生相反的边际效益，甚至造成停车更为不便。所以，PGIS 不一定完全带来正面效果，评价时应该全面衡量。

6.4 技术评价综合体系及评价模型

理想的评价方法是系统与单项相结合、定性和定量分析相结合。前者是关于整个 PGIS 的综合评价和出行前、出行中等子系统的分别评价；后者则要求尽可能将指标量化，给决策者提供充分的依据。前

者是对整个系统的把握和综合评估，后者是前者的基础，更直接地影响系统功能实现，两者具有相关性。

6.4.1 建立技术评价综合体系

按照 PGIS 结构组成（参见图 1-5），出行前子系统和出行中子系统框架、功能设计和相关模型及停车预调度、停车片区停车调度设想（参见第三~五章），建立 4 级技术评价综合体系如下图 6-2 所示。

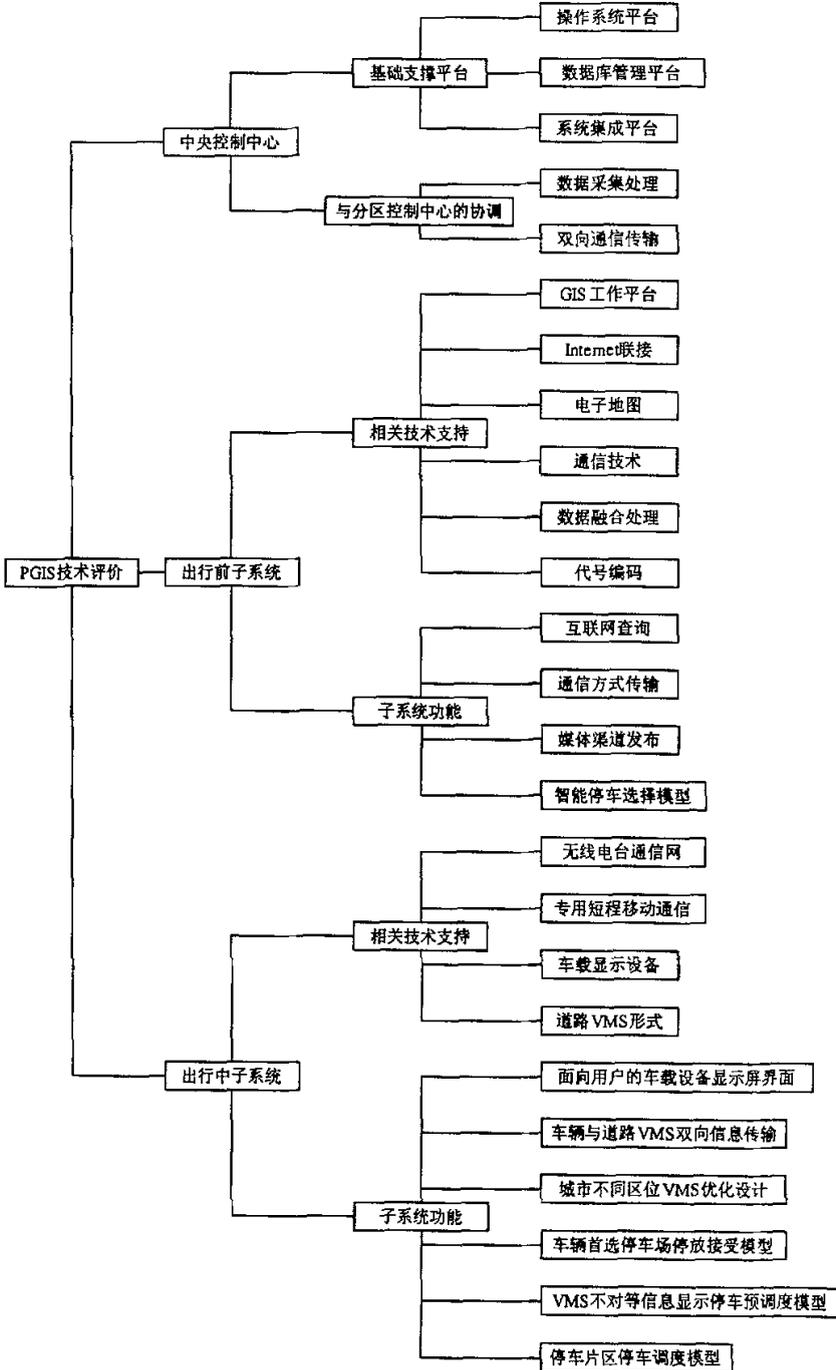


图 6-2 PGIS 技术评价综合体系图

6.4.2 综合评价模型适应性分析

对于上图 6-2 的综合体系, 需要采用综合评价模型才能作出全局的整体评价。目前, 国内外常用的综合评价模型及其特点大致概况如下^[13,55,56]:

1. 专家评价模型

该模型主观性较强, 往往用于一些不太复杂的系统的评价。

2. 经济分析模型

这是一类事先议定某项综合经济指标的评价模型, 如费用—效益分析 (cost-benefit analysis) 模型等。其含义明确, 便于不同对象的对比, 但一般限于经济部门的评价工作。

3. 运筹学和数学组合模型

此类模型主要包括三种:

(1) 多目标决策 (multi-object decision making, MODM) 模型

该模型比较严谨, 要求参与评价者明确表达个人偏好, 清晰描述评价对象。当涉及某些难以量化的模糊指标时, 将给评价带来一定的困难。

(2) 数据包络分析 (data envelopment analysis, DEA) 模型

该模型主要应用于多输入多输出系统相对有效性的评价。

(3) 数理统计模型

该模型要求确定各项评价指标的具体数值, 获得的评价结果仅对方案排序较为适用, 不能反映评价目标的现实重要程度。

4. FCE (Fuzzy Comprehensive Evaluation, 模糊综合评价) 模型

该模型能够较好地解决综合评价中存在的模糊性, 应用领域比较广泛。它由评价对象集、评价指标 (因素) 集和隶属函数, 建立模糊隶属度矩阵, 最后利用矩阵的模糊复合运算得到评价结果集。其优点是可对涉及模糊指标 (因素) 的系统进行综合评价, 非常适宜于评价指标 (因素) 多、结构层次多的复杂系统; 不足在于模型本身并不能解决评价指标高相关性情况下造成的评价信息重复现象, 尚没有合理的方法确定隶属函数。

5. AHP (Analytic Hierarchy Process, 层次分析法) 模型

该模型属于运筹学的一支。其基本原理是定性与定量相结合, 根据递阶结构的目标、准则、约束条件等评价方案。模型的应用比较广泛, 总体效果不错, 可靠性高、误差小; 但如果遇到评价指标 (因素) 和结构等级太多 (如某方案层指标总数大于 9) 的系统, 评价结果的可靠性会降低。

综上所述, 根据图 6-2 评价体系的结构组成和各模型的适应性, 在此决定结合 FCE 模型和 AHP 模型的优点, 采用二次收敛方法, 建立二次收敛的模糊层次分析 (FAHP) 评价模型。

6.4.3 二次收敛的模糊层次分析 (FAHP) 评价模型

FAHP 评价模型的基本思想是在 FCE 模型和 AHP 模型间取长补短, 应用 FCE 模型确定评价体系的指标值, 应用 AHP 模型确定评价指标 (因素) 的权重值, 从而定量地评价 PGIS 的技术体系。

1. FCE 模型

由模糊数学的基础知识, 该模型首先从体系最低层 (方案层) 对每个指标 (因素) 单独评价, 接着逐级往上递进, 最后按所有指标 (因素) 的总体结果综合评价。主要步骤如下:

(1) 建立评价指标 (因素) 集

从体系的最低层 (方案层) 开始, 每层分别建立各自的评价指标 (因素) 集。对于第 j ($j = 1, 2, \dots, m$) 层的 n 个指标 (因素), 其评价指标 (因素) 集可表示为 $U_j = \{u_{1j}, u_{2j}, \dots, u_{nj}\}$ 。集合 U_j 中的元素 u_{ij} ($i = 1, 2, \dots, n$) 通常具有不同程度的模糊性; 但它们也可以是非模糊的。 U_j 本身是一个普通集合。

(2) 确定评价指标 (因素) 权重

对各元素 u_{ij} 赋予相应的权重 w_{ij} ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$), 组成第 j 层 n 个指标 (因素) 的权重集

$W_j = \{w_{1j}, w_{2j}, \dots, w_{nj}\}$ 。各元素 u_{ij} 的权重 w_{ij} 应满足归一性和非负性条件, 有下式(6.1)成立:

$$\sum_{i=1}^n w_{ij} = 1 \text{ 且 } w_{ij} \geq 0 \quad (6.1)$$

FCE 模型确定评价指标(因素)权重的方法有以下三种^[13,55]:

①直接赋值法。此方法略显盲目, 难以保证准确。

②模糊向量法。具有科学的一面。但其计算得到的是该层级指标(因素)对上层级指标(因素)的“绝对”重要度, 不能精确界定同层级指标(因素)间的相对重要性, 存在明显的欠缺。

③两两比较法。采用 FAHP 评价模型后, 本方法交由下面的 AHP 模型在同层级评价指标(因素)间采用两两比较的 1~9 标度法完成。

(3) 评语集描述

评语集体现了评价者对评价对象可能作出的描述。对于第 j ($j=1, 2, \dots, m$) 层, 设定 k 个评语等级, 则评语集可表示为 $V_j = \{v_{1j}, v_{2j}, \dots, v_{kj}\}$ 。体系最重要的评语集是最上一层的综合评价结果。模糊综合评价的目的就是在综合考虑所有影响因素的基础上, 从评语集 V_j 中得出最真实反映实际情况的综合评价。

(4) 单指标(因素)模糊评价

对单独的指标(因素)进行评价, 是为了确定评价对象关于评语集元素 v_{jh} ($j=1, 2, \dots, m; h=1, 2, \dots, k$) 的隶属程度。元素 u_{ij} ($i=1, 2, \dots, n$) 的模糊评价可用子集形式表示如下:

$$R_{ij} = (r_{ij1}, r_{ij2}, \dots, r_{ijk}) \quad (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m) \quad (6.2)$$

第 j 层元素评语集的隶属度可构成评价矩阵 $R_j = (r_{ijh})_{n \times k}$, 也可展开成下式(6.3):

$$R_j = \begin{pmatrix} r_{1j1} & r_{1j2} & \dots & r_{1jk} \\ r_{2j1} & r_{2j2} & \dots & r_{2jk} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{nj1} & r_{nj2} & \dots & r_{njk} \end{pmatrix} \quad (6.3)$$

显然, 式(6.3)是一个模糊关系矩阵。它表示评价指标(因素)集 U_j 和评语集 V_j 之间的模糊关系。

采用专家咨询法或特尔斐法综合评价时, 可将评价某元素 u_{ij} 属于某评语等级 h 的模糊隶属度 r_{ijh} 定义为评价为该等级的专家人数占评价总人数的比例。设邀请了 L 位专家, 认为第 j 层第 i 个指标(因素)属于第 h 等级的人数是 L_{ijh} ($i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m; h=1, 2, \dots, k$), 则相应隶属度按下式(6.4)计算:

$$r_{ijh} = L_{ijh} / L \quad (6.4)$$

这种方法实质上是非此即彼的二值逻辑判断。为了提高单指标(因素)评价与模糊关系矩阵的客观准确性, 应采用一些调整措施。设 L 位专家对于元素 u_{ij} 的各等级评价隶属度如下:

$$R_{it} = (r_{it1}, r_{it2}, \dots, r_{itk}) \quad (i=1, 2, \dots, n; t=1, 2, \dots, L) \quad (6.5)$$

然后取各位专家评价结果的加权平均值, 按下式(6.6)计算:

$$r_{ih} = \sum_{t=1}^L L_{it} / L \quad (h=1, 2, \dots, k) \quad (6.6)$$

通过式(6.5)和式(6.6)的处理, 本来偏于分散甚至相差很大的专家评价结果会获得一定程度的改进。

(5) 模糊综合评价

建立综合评价模型的目的在于得到最上一层的评价结果。对于多层次评价体系, 需要从下层逐级往上评价。第 j 层的模糊综合评价计算式如下:

$$B_j = W_j \circ R_j \quad (6.7)$$

模糊综合评价集 B_j 的元素 b_{jh} 一般采用模糊乘法算子按式(6.8)计算:

$$b_{jh} = \bigvee_{i=1}^n (w_{ij} \wedge r_{ijh}) \quad (h=1,2,\dots,k) \quad (6.8)$$

式中, \bigvee —取大运算符, \wedge —取小运算符。

采用式(6.8)当中的 \bigvee 、 \wedge 模糊算子运算往往会丢失大量信息。当评价体系涉及的指标(因素)较少时,可能会丢失主要评价结果;当指标(因素)较多时,则容易掩盖必要的信息,导致评价结果不尽理想^[13,50]。因此,计算时常运用常规矩阵乘法的运算规则。这样,不仅有利于考虑所有指标(因素)的影响,而且保留了单指标(因素)评价的全部信息。

(6) 计算贡献指数

计算贡献指数是为了处理综合评价结果。PGIS 技术评价体系的最上层级评价结果以隶属度向量 B 表现。将贡献指数 CE 定义为贡献等级(评语集)与相应隶属度的序偶,如下式(6.9):

$$CE = V / B = (v_1, v_2, \dots, v_k) / (b_1, b_2, \dots, b_k) \quad (6.9)$$

CE 描述了评价对象的贡献程度及其相应状态的可能性。这样比单一的评价结果提供了更丰富的信息。若将综合评价结果归一化,则理解为评价结果在各个状态下发生的概率,使 CE 的含义更加明显。归一化方法如下:

$$b_h^* = b_h / \sum_{h=1}^k b_h \quad (h=1,2,\dots,k) \quad (6.10)$$

$$CE = (v_1, v_2, \dots, v_k) / (b_1^*, b_2^*, \dots, b_k^*) \quad (6.11)$$

为直观判断结果,实际评价通常采用单一值比较。对综合评价结果单值化处理有两种方法:

①最大隶属度法。即取与最大隶属度相对应的评语集元素作为最后的评价结果,计算式如下:

$$v = \{v_h / v_h \rightarrow \max_{h=1}^k (b_h)\} \quad CE = v / \max_{h=1}^k (b_h) \quad (6.12)$$

该方法仅考虑了隶属度最大评价结果的贡献,略去了其它信息;而且当隶属度最大的评价结果不止一个时,很难下定论。

②加权平均法。对最上层级综合评价集的各元素进行加权平均,按下式计算:

$$v = \sum_{h=1}^k v_h b_h / \sum_{h=1}^k b_h \quad (6.13)$$

两者比较,加权平均法因为包含了所有的综合评价信息,将获得更为全面、可信度高的评价结果。

2.AHP 模型

采用重要性标定法(如 1~9 标度法)进行同层级评价指标(因素)间的两两比较,构造判断矩阵,通过了一致性检验后,则确定了各层级评价指标(因素)对上一层级的权重^[13,50,55]。具体方法和步骤参见 3.4.4,在此不重复介绍。每层级的评价指标(因素)权重分别确定。

引入 AHP 模型,得以区分同层级指标(因素)的重要性,克服了 FCE 模型间接推导存在的缺陷,使计算出的指标(因素)权重趋于合理,符合自然科学的思维习惯。

3.FAHP 模型

FAHP 模型是应用二次收敛原理,在优化处理专家对各指标(因素)相对重要性和权重评价意见的基础上,形成更具科学代表性的综合评价结果。

(1) 一次收敛优化处理

一次收敛的原理是采用聚类分析法先计算每位专家与其他专家评价意见的相似系数,再按照一定的

标准筛选、淘汰离异程度大的专家评价意见,使专家们对同层级任意两个指标(因素)间的相互重要性认可程度彼此趋于接近。设专家 l 的判断矩阵为 $A_l = (a_{ly})_{n \times n}$, 将 L 个判断矩阵的 n 行首尾顺序相连, 然后合并成共 L 行的一个矩阵, 形式如下:

$$A = \begin{pmatrix} a_{111} & a_{112} & \cdots & a_{11n} & a_{121} & a_{122} & \cdots & a_{12n} & \cdots & a_{1nn} \\ a_{211} & a_{212} & \cdots & a_{21n} & a_{221} & a_{222} & \cdots & a_{22n} & \cdots & a_{2nn} \\ \vdots & \vdots \\ a_{L11} & a_{L12} & \cdots & a_{L1n} & a_{L21} & a_{L22} & \cdots & a_{L2n} & \cdots & a_{Lnn} \end{pmatrix} \quad (6.14)$$

将上式(6.14)中的矩阵除以最大标度(采用 1~9 标度法时, 取 9), 得到:

$$A^* = \begin{pmatrix} a_{11}^* & a_{12}^* & \cdots & a_{1n}^* \\ a_{21}^* & a_{22}^* & \cdots & a_{2n}^* \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{L1}^* & a_{L2}^* & \cdots & a_{Ln}^* \end{pmatrix} \quad (6.15)$$

求解上式(6.15)中的矩阵 A^* 各专家评价意见的相似系数, 按下式计算:

$$s_{ij} = 1 - \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (a_{ik}^* - a_{jk}^*)^2} \quad (i=1, 2, \dots, L; j=1, 2, \dots, L) \quad (6.16)$$

$$S = \begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} & \cdots & s_{1L} \\ s_{21} & s_{22} & \cdots & s_{2L} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ s_{L1} & s_{L2} & \cdots & s_{LL} \end{pmatrix} \quad (6.17)$$

式中, s_{ij} —专家 i 与专家 j 判断矩阵的相似系数, 其值越小表示两位专家判断矩阵的相似程度越低。

求和法在剔除判断矩阵时, 可获得与聚类方法同等的计算精度, 但计算过程相对简便。计算公式为:

$$S_i = \sum_{j=1}^L s_{ij} \quad (6.18)$$

$$S = (S_1, S_2, \dots, S_L)^T \quad (6.19)$$

专家判断矩阵离异程度的计算公式如下:

$$D_i = \frac{\max_{j=1}^L (S_j) - S_i}{\max_{j=1}^L (S_j)} \times 100\% \quad (6.20)$$

式中, D_i —专家 i 的相似系数与最大相似系数的离异程度。

当 D_i 大于某一预设的数值(一般可取 5%~10%)时, 则剔除该专家的判断矩阵, 同时在相似系数矩阵 s 中剔除相关的元素。由式(6.17)和式(6.18)得到剔除离异判断矩阵后的相似系数矩阵:

$$S^* = (S_1^*, S_2^*, \dots, S_H^*)^T \quad (6.21)$$

式中, H —剔除离异判断矩阵后所剩的专家判断矩阵数 ($H \leq L$)。

(2) 二次收敛优化处理

相似系数越大, 表明专家的个体评价意见越接近整体评价意见, 就越具有代表性。利用一次收敛最后得到的式(6.21)中新的相似系数矩阵 S^* , 对经筛选后剩余的 H 位专家评价意见进行权重加权, 然后归一化处理加权结果, 求得同层级评价指标(因素)最终的综合权重值。计算式如下:

$$W = \begin{pmatrix} w_{11} & w_{12} & \cdots & w_{1H} \\ w_{21} & w_{22} & \cdots & w_{2H} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{n1} & w_{n2} & \cdots & w_{nH} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} S_1^* \\ S_2^* \\ \vdots \\ S_H^* \end{pmatrix} / \sum_{i=1}^H S_i^* \quad (6.22)$$

(3) 模糊综合评价方法

FAHP 模型的评价具有模糊性,不能简单评价某个指标(因素)是重要或不重要的。根据图 6-2 建立的 PGIS 技术评价综合体系,先给出指标(因素)的评语集 V ,设定 5 级评语,令 $V = \{\text{很好,较好,一般,较差,很差}\}$ 。由专家组对各指标(因素)分别确定评价等级。通过统计每个指标(因素)各评价等级的专家人数,计算百分比,即得到每个指标(因素)表现的模糊隶属度。

在式(6.5)和式(6.6)中令 $k=5$,则获得如下的单指标(因素)隶属度矩阵:

$$R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{i5}) \quad \sum_{j=1}^5 r_{ij} = 1 \quad (0 \leq r_{ij} \leq 1; i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, 5) \quad (6.23)$$

将式(6.22)和式(6.23)代入式(6.7),然后逐层递进到最上层级,求得综合评价集。再视具体情况按式(6.12)运用最大隶属度法或按式(6.13)采用加权平均法,则确定出 PGIS 技术评价体系最后的单一值综合评价结果。

6.5 本章小结

本章阐述了 PGIS 技术效果评价的目的和意义,拟订了 6 条评价准则。根据 PGIS 论证、储备、试点运行和推广使用的 4 个实施阶段,提出分阶段对应评价,并定义了“前评价”、“试评价”、“后评价”步骤,协助系统实施形成良性循环(参见图 6-1);建议采用设立 PGIS 前后的有一无评价法和全面效果评价策略,评价 PGIS 积极作用的同时,也考虑 PGIS 可能带来的负面影响。

笔者按照 PGIS 结构组成(参见图 1-5),出行前子系统和出行中子系统框架、功能设计和相关模型及停车预调度、停车片区停车调度设想(参见第三~五章)的研究内容选定评价指标,建立了 4 级技术评价综合体系(参见图 6-2)。

通过适应性分析,对 FCE 模型和 AHP 模型取长补短,应用前者确定评价体系的指标值,应用后者在同层级间两两比较确定评价指标(因素)的权重值,采用二次收敛原理,组合成 FAHP 评价模型。FAHP 评价模型能够按照一定的标准筛选、淘汰离异程度大的专家评价意见,使专家们对同层级任意两个指标(因素)间的相互重要性认可程度彼此趋于接近;对经筛选后剩余的专家评价意见进行权重加权,再归一化处理,在计算出单指标(因素)隶属度矩阵的基础上,逐层递进到最上层级,从而定量地评价 PGIS 技术体系。最终的单一值综合评价结果视具体情况运用最大隶属度法或采用加权平均法确定。FAHP 评价模型充分体现了系统与单项相结合、定性和定量分析相结合的评价思想。

第七章 总结与展望

回顾前面六章的内容,笔者取得了一定的成果;由于PGIS是项复杂的综合系统,涉及的因素众多,在有限的研究时间内难以完全掌握其特性规律,所以某些方面值得未来进一步探讨。

7.1 研究成果总结

本文在前人的基础上,从PGIS框架结构、计算理论和微观技术应用方面获得了富有价值的突破。经过精心构思,全文各章节的内容浑然形成了前后呼应、结合紧凑的有机整体,体现了综合表达效果和实践应用性。在此对研究成果总结如下10点:

1. 系统地概括了国内外PGIS研究、实践的历史和最新动态

与ITS和ATIS所具备的基础实力相对应,国外PGIS的研究和应用成果以欧洲、美国、日本为先进代表,其中德国因起步早、发展持续稳定、建设完善而尤为突出,堪称典范。总体上,PGIS发达国家的理论研究跟着实践的应用步伐前进。第一章当中分析了典型理论模型的优势和不足,阐述了主要设计思想的特点,系统地概括了PGIS实践的成功之处。

目前国内尚处于ITS发展的初级阶段,作为ITS子系统的PGIS起步更晚,接近上世纪末才呈现雏形。和发达国家相比,我国PGIS由于实践应用基础薄弱、经验欠缺、资金不足和管理体制不尽完善等原因,存在明显的差距。实践技术的落后使得国内的理论研究暂时局限在基本层面,难以全面深入。

2. 归纳了PGIS的结构组成,定义了新的术语理念

PGIS由信息采集、处理、传输、显示4个主要部分组成。根据驾车者信息需求的特点和信息发布接收的所在位置,本文将PGIS划分为出行前和出行途中两个传输显示子系统(参见图1-5)。笔者介绍了PGIS结构框架必须依靠的系统开发工具、地理信息系统技术、面向对象的程序设计工具、静态交通仿真和决策支持系统的关键特性。

作者定义了停车分区和停车片区两个新的术语。他们虽然都由一些停车服务小区的全部或部分组成,但概念有明显的区别。前者是PGIS为实现城市停车信息采集、处理和传输设置的控制固定范围内的中级管理层,由若干停车服务小区的全体范围组成;而后者则出于灵活共享某小区周边一定范围内的停车资源考虑,利用PGIS打造静态交通网络,按各小区具体的区位确定其范围,相邻的片区之间允许存在重叠,并不以有形的固定边界来区分,不一定包括每个组成小区的全部。两者比较详见表5-13。

另外,提出了不对等信息显示的停车预调度和停车片区停车调度的理念(归纳于第8、9条)。

3. 进行了停车行为特征及驾车者对PGIS的反应特征研究

停车行为特征及PGIS反应特征研究在国内尚比较欠缺。本文第二章以包括问卷调查和现场观测记录方法在内的4项调查为基础,开展这两项研究(其中前者分为驾车者行为特征和停车场车辆特征两类)。

笔者设计了两类调查问卷(参见附表I和附表II)进行问询调查(调查I和调查II),另外采用两类调查表格(参见附表III和附表IV)分别用于现场观测记录(调查III和调查IV)。调查全部选择在南京市进行。调查I和调查II服务于驾车者行为特征和PGIS反应特征研究;调查III现场观测记录的车辆到达时刻数据为停车场车辆到达特征研究服务;调查IV借助停车场电子收费管理系统抄录离开停车场的车辆到达时刻和车辆离去时刻数据用于停车场车辆离开和停放特征研究。

对调查I~调查IV的汇总结果综合归类研究分析后,获得了一系列有参考价值的结论(参见表2-30)。这些结论主要给第三章出行前子系统和第四章出行中子系统的框架构建、功能设计和相关模型研究提供直接的数据支持基础和理论前提,对于第五、六章也具有借鉴意义。

4. 建立了出行前子系统框架结构,提供了具体的功能设计

根据第二章的PGIS反应特征研究(参见2.4.3),从理论研究应具有的前瞻性角度,第三章提出了

面向用户的多层次、全方位城市实时停车信息服务的出行前子系统的框架结构(参见图 3-1),介绍了 GIS 工作平台、Internet、电子地图、通信技术、数据融合处理和代号编码等相关的技术支持理论。在此基础上,论文对利用 Internet、通信方式(如移动电话、PDA、固定电话)和媒体(如电视台、广播电台、报纸)等 3 种不同渠道分别传输发布出行前停车信息的功能进行了具体的设计研究。

5. 提出了智能停车选择模型、算法和两种评价方法

借鉴第二章的驾车者行为特征研究结论(参见 2.4.2),笔者以“驾车者使用最便利、可达性最强、出行停放成本最低”为目标,选取停车场至目的地步行距离 l 、停车收费价格 F 、出行至停车场的行程时间 t 这 3 项可定量指标作为优化参数,提出了约束型多目标智能停车选择模型,在已投入使用的停车设施当中为驾车者选择满足目标函数和约束条件的停放场所。采用分等级优化的启发式搜索算法求解该模型,将使用者最关心的步行距离 l 的优化放在第一优先级计算,按步行距离的长度范围划分为最优、次优、一般、基本等 4 个子集,先从中选取步行距离最优的子集(符合要求的可能不止 1 个),这些停车场位置就作为初始解。这样能够预先缩小搜索范围,提高求解效率。然后考虑优化停车收费价格 F 和出行至停车场的行程时间 t 来满足后两个目标的要求,找出非劣解和最优解(参见 3.4)。

对于当可行解集包含的元素不止一个的情况,本文引入自评判模糊综合决策和简化决策两种方法对选择方案进行排序评价,向用户推荐解集的最优选择。当没有综合最优解时,在有可行解的情况下,模型可以采取按步行距离等级划分的方式参照框图 3-9 的算法步骤重新依次搜索后,向用户提供次优解、一般解或基本解集。通过自编软件运行东莞市的计算实例,证明模型、算法和评价方法具有实用性。

6. 构建了出行中子系统框架结构,提供了一系列功能优化设计

以第二章驾车者出行途中所表现的 PGIS 反应特征(参见 2.4.3)作为依据,同时考虑了将来采用更先进的高科技手段实施更全面的停车信息诱导的发展可能。在此基础上,第四章构建了面向用户的多渠道、多层次出行中子系统框架(参见图 4-1)。对车辆内和道路上配备的主要硬件设施需要的技术支持分别进行了简要说明。

按照出行中子系统的框架组成,探讨了车载设备面向用户的显示屏界面设计及其和道路 VMS(单独通信信标)之间的双向传输;从组网方式、设备组成、频道配置、基本功能和主要性能指标几方面设计了集群移动通信系统有望发挥的作用;着重研究了道路 VMS 的显示优化设计(参见表 4-9)。

笔者提出对道路 VMS 采用分区、小区和目标停车场 3 级停车诱导模式,将宏观区位和微观场所相结合,从预告为主逐渐具体化,由较广泛的停车分区范围转向集中的停车设施个体,以点带面,形成连续有效的停车信息传输。各级 VMS 兼具停车诱导和方向指引功能(参见表 4-10)。

在显示传输内容的优化设计当中,对不同的显示方法和显示式样作了详细的描述和比较,根据具体情况提供实用的优化方案,参见表 4-2~表 4-5。然后研究了 3 级停车诱导模式 VMS 显示内容的优化设计,VMS 显示屏均采用矩形框,分区、小区和目标停车场诱导模式的对应尺寸分别为 7.4×3.74 、 3.8×1.1 、 2×1.7 (单位: m,如图 4-11~图 4-13 和表 4-6 所示)。采用所建议的优化设计,将体现如下效果:

- ①标志“P”均设于诱导屏正面的最左端,可在各区位的道路旁向途经的驾车者突出停车标志;
- ②视觉尺寸合理,可视化强;
- ③诱导屏版面布置协调,充分利用了材料资源;
- ④能够动态、简洁而又有序地表现各项相关的停车信息。

7. 建立了出行途中车辆停放接受条件模型

本文第四章引入排队论原理和“生灭过程”状态方程,将目的停车场视作可互通的多服务通道损失制系统。根据第二章停车场车辆特征研究结论,认为单位时间内某停车设施的车辆到达率服从泊松分布、车辆的平均停放时间服从负指数分布(参见 2.4.4 和表 2-30),结合 5 项假设条件(参见 4.4.3),建立了出行途中车辆停放接受条件模型。经过探讨,获得了各项主要指标的计算结果。

从道路交通状况受多因素影响的复杂性出发,笔者提出车辆从接收信息的 VMS 板处到达目的停车场的行程时间 t 值采用一个范围域 $[t-\delta, t+\delta]$ 表示(δ 代表行程时间波动幅度),建议应用 BPR 路阻函数计算 t 值。模型研究取得的成果在于:

- ①在车辆行程过程中,根据 $[t-\delta, t+\delta]$ 值的大小,停车场的泊位使用状况可能一直在发生变化。真正需要关注的其实只是行程初期和行程末期这两个瞬时状态,与中间状态无关。

②与车辆到达停车场时是否完成停放密切相关的是行程末期的空余泊位数 R 和即时停放饱和度 τ 。

③抓住行程初期和行程末期这两个瞬时状态,分析推导出车辆从接收信息的 VMS 板处到达目的停车场的接受停放条件是式(4.20)和式(4.27)同时成立,即保证系统的稳定性和合理的概率范围。

④计算得到行程末期停车场的服务能力 N 值(参见式(4.31))。

⑤计算得到行程末期停车场的停放饱和度 τ 值(参见式(4.33))。

⑥第③~⑤项的计算分析均分别与参数 λ 、 μ 、 K 、 t 、 δ 直接相关;它们对应的式(4.27)、式(4.31)、式(4.33)都以一定范围的形式表现,这是由于受 δ 波动影响的缘故。

8. 提出了不对等信息显示的停车预调度思想,建立了相关模型

本文第五章提出的不对等信息显示的停车预调度法(简称“不对等法”),即根据具体的停车供需状况采用 3 级停车诱导模式(参见第四章 4.3.3)在道路 VMS 诱导屏上分别发布不完全相同的停车信息显示,用以宏观调控 PGIS 全局的静态交通,诱导驾车者分散选择停车场,在车辆停放之前发挥预调度作用,提高车辆停放的接受概率。模型的研究从车辆到达率高和日常泊位饱和度大的热点停车场入手,将车辆行程时间和停车场泊位饱和度作为停车阻抗,参照 Logit 模型确定驾车者的停车选择意向,以总行程时间最小建立了目标函数。其本质在于采用 VMS 信息显示组合方式来发挥停车选择调度作用,获得目标函数的优化值。具体研究了阈值规定和自由组合寻优两种方法,分别确定了约束条件。

阈值规定法是根据停车场和 VMS 的区位是否对应,事先设定两种泊位饱和度阈值。这样,相同停车场在不同区位可能出现不同显示。由于此方法的泊位显示状态可即时确定,则直接进行常规迭代运算。自由组合寻优法允许 J 个停车场的泊位未饱和时, I 块 VMS 分别自由组合显示状态,以此为基础在不断的比较中寻求最优的总行程时间值,对它设计了 GA(遗传算法)。

在算例检验中将不对等法与传统的相同信息显示方法(简称“同信息法”)进行直接比较。通过调用分别编制的软件运算,获得了理想的结果。同信息法当中, τ_{220} (热点停车场 2 的初始泊位饱和度)在 90%以上范围内, $\min.T$ (总行程时间极小值)呈递减趋势,在 100%时产生突降。这是因为停车场 2 的泊位一直处于热点需求状态,当饱和度超过一定值(如 90%)以后,虽然 VMS 仍显示它有空余泊位,但原来准备选择停车场 2 的部分驾车者为了确保一次停放到位,会根据具体情况和个人判断选择另外的停车场自行“分流”停放,使总行程时间有所减少。随着 τ_{220} 的上升,加入到“分流”行列的驾车者越来越多,于是 $\min.T$ 值逐渐降低。当 VMS 显示停车场 2 泊位完全饱和时,已基本没有驾车者会选择它停放了,停车选择趋于合理,停车供需相对均布,所以 $\min.T$ 值同比最优。但在达到 100%的饱和度之前,也容易造成剩余泊位使用不充分的现象。

不对等法的两种方法和同信息法对比(参见表 5-5~表 5-7),表现出以下特点:

①通过停车场饱和度阈值或自由组合的作用,不对等法的显示状态与同信息法存在明显的差别。

②不对等法显示的计算结果均优于同信息法。阈值规定法中, $\min.T$ 值呈现典型的台阶状 4 区域分布形式,虽然最小值和同信息法相同,但其总体诱导效果明显优于后者(最大的 $\min.T$ 值降低了 9.5%);对比同信息法,不对等的阈值规定法突出的优越性在于能够使热点停车场在泊位饱和度较高的状态下,改善剩余泊位的使用率,充分利用停车资源。自由组合寻优法效果最佳,当 $\tau_{220} < 95\%$ 和 $\tau_{220} \geq 95\%$ 时,分别比前二者的总行程时间最低值减少了 14.5%和 17.4%。

③不对等显示两种方法的最小值都出现在 $\tau_{220} \geq 95\%$ 的时候。原因在于 VMS 提供的泊位状态信息诱导明确,指引车辆合理地分散选择停放;另外,泊位供应紧张状况会促使驾车者的停放选择更谨慎理性,有效地减少了部分停放车辆重复“巡泊”的过程,从而节省了车辆停放的总行程时间(距离)。

由以上分析可知,计算结果正常,表明模型设想的停车预调度优化效果已经实现。

9. 提出了停车片区停车调度思想,建立了相关模型,进行模糊优选评价

第五章提出停车片区停车调度的初衷在于当首选停车场无法提供服务时,利用 PGIS 调节停车需求的不均匀分布,明确引导部分车辆驶往该停车场所在停车片区内具有空余泊位的合适的次选停车场方向。笔者在确定实施准则后,以首选停车场和备选停车场的平面距离最小为目标函数,在泊位饱和度和车辆接受停放概率等约束条件下,建立起模型,设计了结合作图法的双层次搜索算法确定次选停车场解集 W 。该算法能够预先缩小搜索范围,尽早获取优选对象,减少不必要的计算工作量;针对停车高峰时段,预定的停车片区范围无法完成停车调度情况时,提出了适当扩大片区半径取值重新搜索的补充对策。

由于可行解很可能不止一个,为有助于驾车者现场判断和停放选择,采用模糊优选评价方法给解集 N 的各元素排序。确定评价指标(参见表3-6)后,运用AHP法获得了各指标的权重值,通过隶属函数对各次选停车场方案 A_j 的原始数据进行标准化处理,建立隶属度矩阵,按照 A_j 与基准方案 A_0 的贴近度 $N_e(A_j)$ 数值评价各次选停车场的排序。 $N_e(A_j)$ 越大,说明 A_j 与 A_0 越接近,则方案 A_j 越优先选择。

通过将东莞市中心城区第7停车分区作为计算实例,说明停车片区停车调度模型和模糊优选评价方法能够成功地应用实施。权重系数对排序结果有一些影响。

事实上,不对等法停车预调度是针对首选停车场的分配而言,可视为前奏和基础;停车片区停车调度属于次选停车场的搜索,是前者的补充和延伸,二者相辅相成,形成连续、互补、协调的综合步骤。

10. 初步探索了PGIS技术效果评价方法和模型

第六章阐述了PGIS技术效果评价的目的和意义,拟订了6条评价准则。根据PGIS论证、储备、试点运行和推广使用的4个实施阶段,提出分阶段对应评价,并定义了“前评价”、“试评价”、“后评价”步骤,协助系统实施形成良性循环(参见图6-1);建议采用设立PGIS前后的有一无评价法和全面效果评价策略,评价PGIS积极作用的同时,也考虑PGIS可能带来的负面影响。

笔者按照PGIS结构组成(参见图1-5),出行前子系统 and 出行中子系统框架、功能设计和相关模型及停车预调度、停车片区停车调度设想(参见第三~五章)的研究内容选定评价指标,建立了4级技术评价综合体系(参见图6-2)。

通过适应性分析,对FCE模型和AHP模型取长补短,应用前者确定评价体系的指标值,应用后者在同层级间两两比较确定评价指标(因素)的权重值,采用二次收敛原理,组合成FAHP评价模型。该模型充分体现了系统与单项相结合、定性和定量分析相结合的评价思想。

7.2 未来研究展望

根据论文的研究过程,笔者对PGIS的未来研究方向作如下5方面展望:

1. 停车行为特征和驾车者对PGIS的反应特征研究需要持续强化

PGIS提供的停车信息属于非强制类型,必须通过驾车者的接受和配合,才能发挥系统的作用,改善静态交通的总体运作。在很大程度上,驾车者的停车行为和反应行为将成为最终决定系统停车诱导成败的关键所在。所以,停车行为特征和驾车者对PGIS的反应特征研究对于PGIS整体工作而言是必不可少的前提基础。这两项研究应该从以下方面持续强化:

(1) 完善调查方案设计,扩大样本数据

调查是研究的直接手段。如果设计的调查方案完善,将有助于获取充足的样本数据。受各种客观条件和主观因素的影响,一般在不同的城市、不同的时期,不同层次的样本往往会表现不同的特征。所以,进行调查时,应注意分类采集具有广泛代表性的样本,确保纵、横向表现特征之间的可比性,使研究分析结论具有足够的说服力,为更深入的研究服务。

(2) 市场或用户的需求状况

PGIS的发展,是以市场经济为导向;因此,市场或用户的需求状况将影响PGIS的配备和使用趋势。这不仅体现在PGIS的总体需求比例,还通过个体的偏好意愿呈多样化的反映。比如,有研究指出,只有当某分区内停车需求达到高密度,PGIS的功效才能较好地得到发挥。即使全部用户使用水平仅维持在45%~60%,仍然对整个城市静态交通具有积极意义^[13]。

学者们对ATIS配备的市场问题已进行了一些研究。Arnott, de Palma和Lindesy(1991年)就ATIS曾提出预期的出行时间和很多潜在的收效取决于接收信息的出行者数量、他们对信息的反应以及他们期望其他人作出的反应等因素。三位研究者认为当信息只提供给一部分人时,个人效益最大;随着获得信息人数的增加,个人效益降低,如果所有人可以获得相同的信息,出行时间甚至会增加^[70]。香港大学的Hai Yang教授(1998年)认为logit模型当中的参数 θ 代表驾车者非确定性选择的程度, θ 越小,驾车者的非确定性选择可能就越大。在此情况下,ATIS带来效益的可能性越大;配备ATIS的数量较少时,个体受益概率更大^[68]。Haitham等(1998年)学者研究ATIS时也发现增加市场占有率可能离系统优化越

来越远,当出行时间超过 20~30%,就有一个边际效益的减少^[73]。

以此类推,为了达到理想的使用效果,决策管理部门需要根据需求状况关注 PGIS 市场最佳占有率。PGIS 个人配备的市场问题同样是一个十分敏感而又富有挑战性的课题,它涉及收费标准如何制订、驾车者是否愿意购买、怎样确定市场的普及率等诸多方面。如果交由开发商之间竞争解决,就完全属于市场行为。从单纯采用数学模型求解考虑,就必须首先制定系统的开发体制。

考虑到这些需求状况通常每隔一定时间就有可能发生变化,因此,在样本数有保障的条件下,应该实施滚动研究,建立专项数据库保持工作的延续性。

(3) PGIS 的使用效果评价

设置 PGIS 的目的就在于整合城市停车资源,提高停车设施总体的利用率,给驾车者提供便利的停放条件。使用效果评价研究是检验其目的实现程度的最有效渠道。研究结论将反映当前 PGIS 的成功之处,总结现状存在的不足,为 PGIS 未来的功能开发和优化提供面向实际的指导、建议。

可采用有一无比较方法,在 PGIS 用户和完全凭经验或感觉搜寻停车场的驾车者之间通过一些具体的指标对比他们完成车辆停放的过程中表现特征的区别。

另外,引入 PGIS 后,有可能形成停车需求重分配效应—原来部分停车吸引量过大的停车场将某些需求转移至其他停车场,部分停车吸引量不足的停车场将诱增停车需求量。其外在表现也源于两项特征规律的变化。

2. 设计全方位的特色功能服务

根据停车行为特征和驾车者的 PGIS 反应特征研究,融合跨学科的高科技,覆盖出行前、出行途中、停车场内,车辆内、道路上,点面结合,设计全方位的 PGIS 功能。针对城市不同区位、不同类型的停车设施,分别实施各具特色的诱导方式,发挥最佳效果。

3. 理论模型和算法讨论

模型和算法是系统运作的核心。模型的目标函数或参数设定、约束条件并不是永恒的,当适用情况发生变化后,需要作相应调整;否则,应该重新分析其应用结果。如在本文第三章提出的智能停车选择模型当中,如果评价指标或权重值有所改变,那么对于相同的解集,选择方案可能完全不同。

当 PGIS 配置比较完善后,结合未来更加广泛的停车行为特征和驾车者对 PGIS 的反应特征研究,第四章的出行途中车辆停放接受条件模型可深入探索以下内容:

- ①道路 VMS 显示停车场拥有不同空余泊位情况时,能够享受停车服务的对应概率值。
- ②停放概率与停车设施规模选择的内在规律。
- ③停车设施规模与停车场饱和度的数学关系。

第五章不对等信息显示的停车预调度模型的阈值规定法当中采用的阈值对预调度效果将产生直接影响。如何合理确定阈值,发挥模型最有效的停车预调度作用,有待于进一步挖掘。

自由组合寻优法采用 GA 计算时,由于随机方式的自身欠缺,在求解效率和解集质量上受到一定的局限。GA 成功的关键在于染色体的编码表示和遗传操作设计。只有产生的初始群体均匀分布于解空间时,才能使 SGA 得以从全局范围内搜索最优解。如果初始群体中的个体串完全一样,则选择、杂交的算子操作将失去作用,只能依靠变异算子来搜索寻优,这种现象将很可能产生“早熟收敛”。因此,根据应用问题的具体情况,可以考虑采用其他优化方法如启发式或人工设定方式来生成初始群体,以改善求解结果。

4. 提供合理可行的经济和社会环境评价方法

第六章初步探索了 PGIS 的技术效果评价。基于其系统组成和运行特性,显而易见,PGIS 带来的影响是多方位的。如果要对 PGIS 作出全面的评价,应该从经济和社会环境收益角度综合衡量。评价当中在关注 PGIS 正面作用的同时,也不要忽略它可能导致的负面效应。

经济学上通常把没有通过市场价格进行交换或补偿的一部分社会成员对另一部分社会成员产生的影响或效果称为外部效果(Externalities),其成本称为外部成本(Externalities Costs)^[74]。借鉴现代西方经济学的理论,可将公共停车设施作为一类特殊的“准公用物品”,从效用、消费、受益三方面主要采用边际成本的方式考虑 PGIS 的服务水平^[75]。

交通工程项目的国民经济效益和社会环境效益不同于其他项目,其效益主要来自于时空转换,因为

交通的产品是位移^[76]。PGIS 也不例外。寻求合理可行的经济和社会环境评价方法，确定有代表性的评价指标，有助于促进 PGIS 市场的形成。

5. 软件开发

未来第 3 代出行者信息系统将由人工智能和 ATIS 相结合，体现全面的人性化服务^[45]。人工智能技术擅长处理非确定性的问题，在模糊选择情况下适用性强。属于 ATIS 子系统的 PGIS，运用高新科技开发面向对象的多功能软件，提供更加便捷的停车信息诱导，是大势所趋。

需要强调的是，PGIS 的建设、管理和使用需要多方共同作用，形成合力。只有综合协调管理部门、建设单位、停车设施和市场用户之间的关系，趋利除弊，坚持从实践中总结理论经验，以科学的理论指导实践，才能实现 PGIS 的良性循环运作。

致 谢

能投身到全国交通运输领域著名专家、公安部和建设部创立实施的“畅通工程”专家组组长、东南大学交通学院院长王炜教授门下，实属人生一大幸事！在以恩师为学科引路人的东南大学交通工程研究所这个藏龙卧虎的光荣团队里，我接受了坚实深厚的基础培训和浓郁学术氛围的正规熏陶。犹如奔驰在一条视野开阔的高速公路上，我逐渐从交通运输规划与管理专业的门外汉转变成为具有一定理论知识和实践能力的博士研究生。相信这笔无法用货币衡量的宝贵财富将使我受益终生！

攻读博士学位研究生的3年时间里，导师在日常繁忙的科研、公务当中，对我的学习、生活、思想仍给予了无微不至的关怀、指导和帮助。本论文从选题到定稿的整个过程中，导师先后多次提出了宝贵的建议或意见，让我获得了极大的启发。如果说本论文中有任何闪光点，都应归功于导师的教诲。王教授正直的为人、渊博的学识、严谨细致的治学态度、雷厉风行的工作作风以及谦逊飘逸洒脱的学者风范将成为我毕生学习的典范。在此，向恩师致以本人最诚挚的谢意！

无法忘怀课题组副导师、东南大学交通学院交通工程系副主任陈峻副教授长期给予的悉心指点和关心。尤其值得一提的是，本论文正是依托他所主持的国家自然科学基金资助项目“新形势下城市车辆停放关键方法研究”（编号：50308005）开展研究的。从收集资料、拟订思路、开题到成稿，都得到了陈峻副教授的大力支持和帮助。

感谢东南大学交通学院交通工程研究所（系）邓卫教授、陈学武副教授、李文权副教授、陆建副教授、程琳副教授、李铁柱副教授、任刚博士、王庆讲师、戚浩平博士的热情帮助与关照！感谢交通学院李旭宏教授、陆键教授、过秀成教授给予的指导和帮助！

感谢博士生同学江薇、凌镭、王淑琴、郑长江、郭中华、徐良杰、赵春、赵志宏、马俊来、李海峰、崔洪军、王京元、何保红、梅振宇、石飞、葛宏伟、王昊、季彦婕、万千、边扬、李文勇等以及硕士生师弟师妹张钧、祝付铃、师桂兰、葛妹、凌浩、李志鹏、戴宵、吴蓉蓉、黎冬平、敬艳君、张小丽、敬森森、孟祥燕、徐琳等在科研实践、日常学习和论文工作中给我的帮助和支持，祝友情永驻！

向江苏省交通厅尹红亮博士、江苏大学常玉林副教授、合肥工业大学张卫华博士、石家庄铁道学院牛学勤副教授、深圳市城市交通规划研究中心胡刚博士和黄艳君硕士、交通部公路科学研究所王春燕副研究员等给予的帮助和支持表示感谢！

感谢人文学院王锋博士和赵庆杰博士对我在学习与生活上的帮助！

感谢本校经管学院毕业的林辉博士和计算机系陶军博士，经常性的交流使我在经济和管理领域、计算机行业增长了诸多见识！

衷心感谢亲爱的父母和妹妹、妹夫多年来对我学业和事业上的全力支持、资助和鼓励！多年来，是他们赋予了我无穷的奋斗动力，使我遇挫不馁，得以坚持向求学的顶峰迈进。温馨的亲情将我的思绪牵向了心爱的唯一外甥女，祝福聪明、伶俐、活泼、可爱的小多多未来之路顺畅通达！

向求学生涯和工作阶段当中所有给予我帮助的领导、老师、同学、同事和亲友们致谢！

最后，衷心祝愿母校拥有更美好的明天！祝愿师门桃李芬芳！

作者：周 智 勇
于东南大学进香河校区

2004年12月

参 考 文 献

- [1] 《中国城市停车场建设和停车管理问题研究》课题组.中国城市停车场建设与停车管理[J].综合运输,2002年第4期:6-11
- [2] 2003年南京市道路交通发展年度报告[R].南京市交通规划研究所,南京市建设委员会综合计划处,南京市公安局交通管理局,南京市市政公用局,2003
- [3] 周智勇,陈峻,王炜等.机动化进程中城市公共停车若干对策研究[J].昆明理工大学学报,2004,29(3A):123-129
- [4] 王炜,过秀成等编著.交通工程学[M].南京:东南大学出版社,2000
- [5] 佳隆,王丽颖,李长荣主编.都市停车库设计[M].杭州:浙江科学技术出版社,1999
- [6] 陈峻.新形势下城市车辆停放关键方法研究(国家自然科学基金申请书)[G].东南大学,2003
- [7] 赵艳莉.德国科隆市停车诱导系统[J].国外城市规划,2002年第3期:45-46
- [8] 崔艳萍,唐板敏,武旭.中国智能交通发展战略研究的思路及内容探讨[J].交通运输系统工程与信息,2003,3(2):28-31
- [9] 杨兆升主编.智能运输系统概论(高等学校试用教材)[M].北京:人民交通出版社,2003
- [10] 黄卫,陈里得编著.智能运输系统(ITS)概论[M].北京:人民交通出版社,1999
- [11] 吴涛编译.停车引导和信息系统的ITS在停车领域的应用[J].国外公路,2000,20(2):4-6
- [12] 关宏志,刘兰辉,廖明军.停车诱导系统的规划设计方法初探[J].公路交通科技,2003,20(1):136-139
- [13] 邹贞元,徐亚国,安实等著.城市静态交通管理理论与应用[M].广州:广州出版社,2000
- [14] 关宏志,任军,姚胜永.发达国家机动化早中期的城市停车对策[J].城市规划,2002,26(10):81-84
- [15] 范德庭,王桂珠编译.德国 PRS2100 停车管理系统[J].国外公路,1996,16(4):15-17
- [16] Uwe Köhler. Traffic and Transport Planning in German Cities[J]. Transportation Research , 1995, Part A 29(4):253-261
- [17] 刘斯瑞,缪立新.智能停车诱导信息系统[J].中国物流与采购,2002年第24期:24-26
- [18] 徐岩宇.车辆停车引导与信息系统[J].自动化博览,1996年第5期:29-30
- [19] Russell G. Thompson, Kunimichi Takada, Satoru Kobayakawa. Understanding the demand for access information[J]. Transportation Research , 1998, Part C 6(3):231-245
- [20] 任宇立(编译).LINEAR 停车控制系统[J].中国人民警官大学学报(自然科学版),1997年第四期(总第8期):35-37
- [21] 李秀敏.德、法两国交通停车系统面面观[J].北京规划建设,2002年第5期:26-29
- [22] 白木,子荫.智能停车场——一个黄金产业.交通标准化,2003年第四期(总第116期):60-63
- [23] Polak, J. and Axhausen, K. W. CLAMP: a macroscopic simulation model for parking policy analysis[J]. Presented to the 68th Annual Meeting, Transport Research Board, 1989, Washington DC.
- [24] Young, W. PARKSIM 1.1 users manual[M]. Department of Civil Engineering, 1991, Monash University.
- [25] 室町泰德,原田界,吉田朗.駐車需要の時間変動を考慮した駐車場選択モデルに関する研究[J].1991年度第26回日本都市計画学会学術研究論文集
- [26] RUSSELL G. THOMPSON, ANTHONY J. RICHARDSON. A parking search model[J]. Transportation Research , 1998, Part A32(3):159-170
- [27] Russell G. Thompson, Kunimichi Takada, Satoru Kobayakawa. Optimisation of parking guidance and information systems display configurations[J]. Transportation Research , 2001, Part C9(1):69-85
- [28] Mauro Dell'Orco, Michele Ottomannelli, Domenico Sassanelli. Modelling Uncertainty in Parking Choice Behaviour[CD-ROM]. 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, 2003:1-20
- [29] 田地.城市停车场计算机管理系统[J].现代交通管理,1998年第6期:16-17
- [30] 袁文平,蒲琪.停车诱导信息系统浅探[J].中国市政工程,1996年第2期(总第85期):14-15
- [31] 关宏志,刘兰辉.大城市商业区停车行为模型——以北京西单地区为例[J].土木工程学报,2003,36(1):46-51
- [32] 张翔,彭国雄,林瑜.停车管理信息系统设计研究[J].综合运输,2003年第三期:54-55
- [33] 韩凤春,曹金璇.停车场智能管理系统综述[J].公安大学学报(自然科学版),2002年第1期(总第27期):54-57
- [34] 李界家,原宝龙,朱栋华等.智能停车场技术及发展趋势[J].房材与应用,2002,30(4):41-43
- [35] 张深基.停车场智能管理系统[J].湖南工程学院学报,2003年,13(2):14-17

- [36] 北京市建筑设计研究院首都机场停车楼设计组.首都机场停车楼设计回顾及思考[J].建筑学报,1999年第12期:30-32
- [37] 于春全,李国兵.北京市区机动车停车管理问题分析及对策研究[J].北京规划建设,2000年第6期:39-41
- [38] 中国交通在线.智能停车交通诱导系统京城亮相[J].交通科技,2002年第1期:40
- [39] 飞思教育产品研发中心编著.动态网页制作基础及应用教程(网络教育系列教程)[M].北京:电子工业出版社,2000
- [40] 郝力等编著.城市地理信息系统及应用(GIS技术与应用丛书)[M].北京:电子工业出版社,2002
- [41] 吴涛,晏克非.停车行为研究[A].畅达新世纪的城市交通——'99 上海国际城市交通学术研讨会论文集[C].上海:同济大学出版社,137-142
- [42] 裴玉龙,陶泽明.基于 GIS 的城市停车规划系统(UPP-GIS)的开发研究[J].哈尔滨建筑大学学报,2002,35(6):112-115
- [43] 周大森、刘小明编著.汽车智能运输[M].北京:国防工业出版社,2004
- [44] 黄敏仁编著.系统分析[M].北京:清华大学出版社,2002
- [45] Je.rey L. Adler, Victor J. Blue. Toward the design of intelligent traveler information systems[J]. Transportation Research, 1998, Part C 6(2):157-172
- [46] 柴旭东,王兵.交通安全地理信息系统的设计要点[J].公路交通科技,2000,17(3):52-54
- [47] 李峻利主编、过秀成副主编.交通工程设施设计(高等学校教材)[M].北京:人民交通出版社,2001
- [48] 陈峻.城市停车设施规划方法研究[D].[博士学位论文].南京:东南大学,2000
- [49] 王伟,徐吉谦,杨涛等著.城市交通规划理论及其应用(国家自然科学基金资助项目)[M].南京:东南大学出版社,1998
- [50] 李洪兴,汪培庄编著.模糊数学(应用数学丛书)[M].北京:国防工业出版社,1993
- [51] 周智勇,黄艳君,陈峻等.公交专用道设置前后无港湾公交停靠站特性研究[J].公路交通科技,2004,21(7):103-107
- [52] J.P 伊格尼乔.目标规划及其扩展[M].北京:机械工业出版社,1988
- [53] 周智勇,陈峻,王伟.城市停车设施规划方案模糊自评判综合决策研究[J].公路交通科技,2004,21(11):93-97
- [54] 周智勇,陈峻,王伟.城市停车设施规划自评判简化决策方法研究[J].交通运输工程学报,2004,4(4) (已录用,待刊)
- [55] 《运筹学》教材编写组编.高等学校试用教材.运筹学(修订版)[M].北京:清华大学出版社,2001
- [56] 姚祖康主编,张树升主审.道路与交通工程系统分析(道路与交通工程专业用)[M].高等学校试用教材.北京:人民交通出版社,1996
- [57] 东南大学交通学院,东莞市城建规划局,东莞市城建规划设计院.东莞市中心城区公共停车场(库)规划总报告[R],2004
- [58] 刘有军,晏克非.基于 GIS 的停车换乘设施优化选址方法的研究[J].交通科技,2003年第4期(总第199期):85-87
- [59] 杨佩昆、张树升编.交通管理与控制(高等学校试用教材)[M].北京:人民交通出版社,1995
- [60] Richard H. M. Emmerink, Peter Nukamp, Piet Rietveld et al. Variable Message Signs and Radio Traffic Information: An Integrated Empirical Analysis of Driver's Route Choice Behaviour[J]. Transportation Research, 1996, Part A 30(2):135-153
- [61] 东南大学交通学院,扬州市公安局交通巡逻警察支队.扬州市道路交通管理规划[R],2003
- [62] 杨晓光.停车场服务能力的估算[J].道路交通管理,1993年第10期:31-33
- [63] Peter van der Waerden, Aloys Borgers & Harry Timmermans. Travelers Micro-Behavior at Parking Lots: A Model of Parking Choice Behavior[CD]. The 82th Annual Meeting of the Transportation Research Board, 2003: 1-18
- [64] Phansak Sattayhatewa, Robert L Smith. Smith.Development of parking choice models for special events[CD-ROM].Transportation Research Board for publication and presentation at the 2003 Annual Meeting: 1-32
- [65] 李庆扬,关治,白峰杉编著.数值计算原理[M].北京:清华大学出版社,2000
- [66] 马正飞,殷翔编著.数学计算方法与软件的工程应用.研究生规划教材[M].北京:化学工业出版社教材出版中心,2002
- [67] 周明,孙树栋编著.遗传算法原理及应用[M].北京:国防工业出版社,1999
- [68] Hai Yang. Multiple Equilibrium Behaviors and Advanced Traveler Information Systems with Endogenous Market Penetration[J]. Transportation Research, 1998, Part B 32(3):205-218
- [69] 崔华芳,吕仁义.多目标模糊优选技术在城市停车场规划评价系统PPE-Pro中的应用[J].西安建筑科技大学学报,2000,32(1):65-67
- [70] Arnott R., de Palma A., Lindsy R. Does providing information to drivers reduce traffic congestion?[J]. Transportation Research, 1991, Part A 25(4):309-318
- [71] Bonsall P W, Parry T. Drivers requirements for route guidance. Proceedings of 3rd International Conference on Road and Traffic Control. May 1990, IEE London. IEE Report 320
- [72] 吕杰,葛颖恩,杨佩昆.诱导/信息影响下的驾驶员反应行为研究[J].公路交通科技,1999,16(1):68-72

- [73] Haitham M. Al-Deek, Asad J. Khattak, Paramsothy Thananjeyan. A Combined Traveler Behavior and System Performance Model with Advanced Traveler Information Systems[J]. Transportation Research , 1998, Part A32(7) :479-493
- [74] 吴涛,晏克非. 停车需求管理的机理研究[J].城市规划,2002,26(10):85-88
- [75] 吴涛.城市停车设施的性质与分类探讨[J].城市研究,1999年第4期(总第77期):45-48
- [76] 黄承锋.城市停车场国民经济效益分析及计算体系[J].技术经济,1994年第10期:47-49
- [77] 关宏志.中心商业区停车设施开发中的问题及其解决方法[J].城市规划,2000,24(12):55-57
- [78] 吴涛,晏克非,李枫.城市公共停车收费定价的研究[J].上海铁道大学学报,1999,20(12):16-20
- [79] 董苏华,章超汉.部分国家及地区停车问题研究[J].国外城市规划,1999年第4期:37-41
- [80] 丁保生,张建国,邵杰等.韩国、日本和香港地区如何解决停车问题[J].道路交通管理,1998年第8期:32-34



附表 I 停车诱导信息系统抽样调查问卷

编号: _____

尊敬的 公寓(花园、广场、小区)业主:

您好!

为建设 and 推广停车诱导信息系统(如出行前的停车信息查询、出行途中停车动态诱导标志牌)的使用,经有关部门批准,我院专门开展此项调查。恳请您在百忙中抽空填写本试卷各选项。相信您的宝贵意见将为未来驾车者停放选择的便利性发挥重要的作用。

感谢您的配合,在此谨表谢意!

东南大学交通学院

(请在以下选项打“√”填写)

1. 驾车者性别: (1)男 (2)女
2. 驾车者年龄: (1)18~30岁 (2)31~40岁 (3)41~50岁 (4)51~60岁 (5)61岁以上
3. 驾车者驾龄: (1)不足1年 (2)1~2年 (3)2~3年 (4)3~5年 (5)5~10年 (6)10年以上
4. 车辆属性: (1)单位 (2)私人
5. 是否专职驾驶员: (1)是 (2)不是
6. 家庭月收入水平(元): (1)5000以下 (2)5000~6000 (3)6000~7000 (4)7000~8000
(5)8000~10000 (6)10000以上
7. 工作日驾车出行目的(最多可选三项): (1)上班 (2)购物 (3)办公 (4)餐饮 (5)文化娱乐
(6)回家 (7)旅游 (8)上学 (9)其它(请填写,下同) _____
8. 工作日驾车出行一般停放时间: (1)30min以内 (2)30min~1h (3)1h~2h (4)2h~4h (5)4h~6h (6)>6h
9. 周日驾车出行目的(最多可选三项): (1)上班 (2)购物 (3)办公 (4)餐饮 (5)文化娱乐
(6)回家 (7)旅游 (8)上学 (9)其它 _____
10. 周日驾车出行一般停放时间: (1)30min以内 (2)30min~1h (3)1h~2h (4)2h~4h (5)4h~6h (6)>6h
11. 首选停车场类型: (1)路内 (2)路外地面 (3)地下 (4)立体停车楼 (5)机械式停车架
12. 首选停车场最关注因素: (1)停车场距目的地距离 (2)收费价格 (3)停放安全性 (4)熟悉程度
(5)其它 _____
13. 停车后距目的地能忍受的步行距离: (1)<50m (2)50~100m (3)100~150m (4)150~200m
(5)200~250m (6)250~300m (7)>300m
14. 是否愿意使用停车诱导信息系统: (1)是 (2)否
15. 出行前愿意通过哪种方式了解停车信息(最多可选两项): (1)Internet网络 (2)手机短信息
(3)电话 (4)电视台 (5)广播电台 (6)报纸 (7)其它 _____
16. 出行途中愿意通过哪种方式了解停车信息(最多可选两项): (1)路侧可变信息板 (2)车载显示设备
(3)手机短信息 (4)广播电台 (5)其它 _____
17. 对曾使用过的停车诱导信息系统的满意程度: (1)很满意 (2)一般 (3)存在一些需要改进的地方
(4)很不满意
18. 对将来停车诱导信息系统发挥效果的预计: (1)很有作用 (2)一般 (3)偶尔有用 (4)很不可靠
19. 对停车诱导信息系统的建议: _____

回收方式

1. 第二天 7:00~9:00 我院会有专人在贵单位的出口等待回收。
2. 如您第二天在 7:00 之前或 9:00 之后外出,可将填好的试卷交至门卫处。

附表 11 出行途中停车诱导现场抽样调查问卷

日期：_____ 星期：____ 天气：____ 调查时间：__ : __ ~ __ : __ 调查员：_____

联系电话：_____ 停车场名称：_____ 停车场小区编号：_____

停车场合法机动车泊位数：_____ 停车场面积：_____ m² 调查时空闲泊位数：_____

停车场主管单位：_____ 停车场运营时间：_____

停车收费标准：_____

停车场类型：(1)路内 (2)路外地面 (3)地下 (4)立体停车楼 (5)机械式停车架

1. 驾车者性别：(1)男 (2)女
2. 车辆属性：(1)单位 (2)私人
3. 驾车者年龄：(1)18~30岁 (2)31~40岁 (3)41~50岁 (4)51~60岁 (5)61岁以上
4. 出行至停车场行程时间：_____ 出行地小区名称、编号：_____
5. 停放目的（最多可选两项）：(1)上班 (2)购物 (3)办公 (4)餐饮 (5)文化娱乐 (6)回家 (7)旅游 (8)上学 (9)其它（请填写，下同）_____
6. 预计停放时间：(1)30min 以内 (2)30min~1h (3)1h~2h (4)2h~4h (5)4h~6h (6)6h 以上
7. 停车地点熟悉程度：(1)很熟悉 (2)一般 (3)不太熟 (4)第一次来
8. 是否首选停车场：(1)是 (2)不是（请填写首选停车场）名称：_____ 小区编号：_____
9. 首选停车场最关注因素：(1)停车场距目的地距离 (2)收费价格 (3)停放安全性 (4)熟悉程度 (5)其它
10. 是否注意到停车诱导标志牌：(1)是 (2)否
11. 停车诱导标志牌作用效果满意程度：(1)很满意 (2)一般 (3)存在一些需要改进的地方 (4)很不满意
12. 对停车诱导标志牌未来的建议：_____

调查员注意事项

1. 随身携带手表或可靠的计时工具、钢笔或铅笔、写字板、地图和调查问卷。
2. 进入停车场所时，主动向管理人员说明调查的目的和内容，讲究礼貌，并出示单位介绍信。
3. 调查开始前，尽快熟悉停车场入口和内部的设施配备情况，填写相关的停车场属性数据。
4. 进行调查时，对被调查人必须耐心简洁地询问和解释各选项，同时做好记录并妥善保管问卷。
5. 调查员每隔 10min 以内完成一次询问，即 1h 至少询问 6 名驾车者。
6. 调查过程中务必遵守规章制度和纪律，不得随意走动，保障安全。

附表 III 停车场车辆到达时间间隔调查表

日期：_____ 星期：_____ 天气：_____ 调查开始时间：_____ 调查员：_____

调查停车场名称：_____ 调查停车场类型：地面 地下停车库 立体停车楼

停车场合法机动车泊位数：_____ 调查开始时已有停车数：_____ 调查开始时剩余泊位数：_____

编号	车辆到达时间	时间间隔(s)	编号	车辆到达时间	时间间隔(s)
1	: :		31	: :	
2	: :		32	: :	
3	: :		33	: :	
4	: :		34	: :	
5	: :		35	: :	
6	: :		36	: :	
7	: :		37	: :	
8	: :		38	: :	
9	: :		39	: :	
10	: :		40	: :	
11	: :		41	: :	
12	: :		42	: :	
13	: :		43	: :	
14	: :		44	: :	
15	: :		45	: :	
16	: :		46	: :	
17	: :		47	: :	
18	: :		48	: :	
19	: :		49	: :	
20	: :		50	: :	
21	: :		51	: :	
22	: :		52	: :	
23	: :		53	: :	
24	: :		54	: :	
25	: :		55	: :	
26	: :		56	: :	
27	: :		57	: :	
28	: :		58	: :	
29	: :		59	: :	
30	: :		60	: :	

- 注：1.停车场合法机动车泊位数是指划线允许的停车泊位数；
- 2.调查员请携带笔和准确的计时工具进入调查场所；
- 3.调查开始后，调查员选择入口附近合适的位置进行观察和记录；
- 4.时间记录单位精确到秒；
- 5.本表格可以填写 60 个车辆到达时刻调查统计样本；
- 6.整个调查过程请务必遵守纪律，注意人身安全。

附表 IV 停车场车辆离去时间间隔（停放时间）调查表

日期：_____ 星期：_____ 天气：_____ 调查开始时间：_____ 调查员：_____

调查停车场名称：_____ 调查停车场类型：地面 地下停车库 立体停车楼

停车场合法机动车泊位数：_____ 调查开始时已有停车数：_____ 调查开始时剩余泊位数：_____

编号	车牌号	车辆类型	到达停车场时间	离开停车场时间	停放时间(s)
1			: :	: :	
2			: :	: :	
3			: :	: :	
4			: :	: :	
5			: :	: :	
6			: :	: :	
7			: :	: :	
8			: :	: :	
9			: :	: :	
10			: :	: :	
11			: :	: :	
12			: :	: :	
13			: :	: :	
14			: :	: :	
15			: :	: :	
16			: :	: :	
17			: :	: :	
18			: :	: :	
19			: :	: :	
20			: :	: :	
21			: :	: :	
22			: :	: :	
23			: :	: :	
24			: :	: :	
25			: :	: :	
26			: :	: :	
27			: :	: :	
28			: :	: :	
29			: :	: :	
30			: :	: :	

- 注：1.停车场合法机动车泊位数是指划线允许的停车泊位数；
- 2.调查员请携带笔和准确的计时工具进入调查场所；
- 3.调查开始后，调查员选择停车场内合适的位置采用定点巡逻方式进行观察和记录；
- 4.车辆类型：a=大客，b=中客，c=小汽车，d=大货，e=中货，f=小货；
- 5.本表格可以填写 30 辆次汽车的停放时间调查统计；
- 6.整个调查过程请务必遵守纪律，注意人身安全。

作者攻读博士学位期间成果及业绩简介

一、发表的学术论文

1. 周智勇.深圳城市机动车发展管理政策研究探讨.城市化与城市现代化(第三次江苏科技论坛文集),2002年12月:201-205
2. 周智勇,陈峻,王昊,张钧.现代化城市公共停车系统研究.2003年南京科技学术年会交通分会论文集,2003年10月:79-83
3. 周智勇,陈峻,王炜.城市机动车交通资源状况模糊综合评判研究.交通与计算机,2004,22(1):3-7
4. 周智勇,陈峻,陈学武,王炜.关于公交专用道规划的若干思考.现代城市研究,2004年第4期:57-60
5. 周智勇,陈峻,王炜,王昊.机动化进程中城市公共停车若干对策研究.昆明理工大学学报,2004,29(3A):123-129
6. 周智勇,王炜,陈峻.出行前城市车辆停放信息网络支持系统研究.第四届交通运输领域华人学者国际会议论文集[CD-ROM],2004年6月
7. 周智勇,黄艳君,陈峻,王炜.公交专用道设置前后无港湾公交停靠站特性研究.公路交通科技,2004,21(7):103-107
8. 周智勇,陈峻,王炜.城市停车设施规划方案模糊自评判综合决策研究.公路交通科技,2004,21(11):105-109
9. 周智勇,陈峻,王炜.城市停车设施规划自评判简化决策方法研究.交通运输工程学报,2004,4(4)(已录用,待刊)

二、参与的科研项目

1. 国家自然科学基金资助项目:新形势下城市车辆停放关键方法研究(编号:50308005)(2003.11~2005.02,主要成员)
2. 深圳市道路交通管理规划,深圳市公安局交通警察局(2002.07~2002.10,主要成员)
3. 张家港市综合交通规划,张家港市规划局(2002.10~2003.8,成员)
4. 常州市道路交通管理规划,常州市公安局交通巡逻警察支队(2002.09~2002.12,成员)
5. 广州市番禺区城市客运规划,广州市番禺区交通局(2002.11~2003.8,主要成员)
6. 东莞市中心城区停车场(库)规划,东莞市城建规划局及规划设计院(2003.5~2004.7,主持)
7. 扬州市道路交通管理规划,扬州市公安局交通巡逻警察支队(2003.9~2003.12,主持)
8. 铜陵市道路交通及安全管理规划,铜陵市公安局交通警察支队(2004.6~2004.10,成员)