

# 利用交通仿真模型求解通行能力

荣建 马建明 任福田 刘小明

(北京工业大学建筑工程学院, 北京 100022)

**摘要** 提出了利用交通仿真模型分析交通设施通行能力的一般方法,即特性分析、建模描述、模型标定、模型验证和实验求解。介绍了高速公路基本路段交通流特性及其通行能力影响因素的分析过程,说明了高速公路基本路段仿真模型总体框架,经过实测数据对仿真模型的标定和验证,证明了仿真模型在预测流量-速度-密度关系时与实际情况的相对误差仅为5%。最后,通过一系列仿真实验,求解出了理想条件下高速公路基本路段的通行能力为(2200辆/h)/车道。

**关键词** 仿真模型, 通行能力, 高速公路, 基本路段

**分类号** U491.114

目前,对通行能力的研究通常采用3种方法:①根据实测数据,建立速度-流量统计模型,估算通行能力;②以跟驰理论为基础,理论推导通行能力;③构建交通仿真模型,通过设计仿真实验,估算通行能力。针对我国公路路段通行能力影响因素众多,缺乏大量实测数据的现状,利用仿真模型实验求解通行能力具有以下优点:

1) 交通仿真模型可以不断地重复特定道路、交通条件下交通流的随机状态,而野外采集工作往往会受到天气、横向干扰等诸多因素的影响,无法保证采集数据的道路、交通条件是相同的;

2) 利用仿真模型,可以非常明确地控制道路条件、交通条件等通行能力的影响因素,通过分析仿真结果,清晰地反映特定因素对通行能力的影响程度。通过不断变换道路、交通条件,研究众多影响因素对通行能力的影响;

3) 通过观看动画演示和统计分析仿真数据,可从感性和理性两个方面,分析交通流从自由状态变化到拥挤状态的过程。

## 1 分析方法

利用交通仿真模型分析交通设施通行能力通常包括以下步骤:①特性分析,也就是问题描述。在解决问题之前,首先分析清楚研究对象的特征,在此基础上,有针对性地去解决问题;②建模描述。针对拟解决的问题,构建仿真模型总体框架,明确各模块的功能,并用计算机语言实现;③模型标定。以实测数据为基础,标定仿真模型中的各参数值,确保仿真模型能够“逼真”描述现实情况;④模型验证。包括单独模型验证和总体模型验证两个层次,都是将仿真数据和实测数据进行比较,以证明仿真模型的仿真能力;⑤实验求解。针对拟解决的问题,设计仿真实验,分析仿真数据,解决实际问题。整个步骤参见图1。

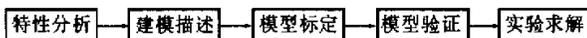


图1 利用仿真模型求解通行能力的步骤图

## 2 实例分析

下面以高速公路基本路段为例,具体阐述利用仿真模型求解其通行能力的方法。

### 2.1 特性分析

经过大量的实际调查,我国高速公路基本路段的交通流具有如下特性:①高速公路设计标准较高,道路条件一般不会成为车流速度的制约条件;②车型种类繁多,经常出现相同轴长的车辆,但运行特性差异却很大,从而对交通流产生不同影响;③高速公路采用全程进口控制,并设有中央分隔带,排除了大部分横向干扰和对向车流的干扰,车辆受到的干扰主要来自同向车流相互之间的影响,包含了较多的人为因素;④目前高速公路的交通量较小,驾驶员在行驶过程中的操作具有很大的自由度。

### 2.2 建模描述

基于以上认识,本文提出了高速公路基本路段的微观仿真模型的总体结构(如图2所示)。其中,道路模块描述的是高速公路基本路段系统中的静态环境,包括道路的各组成部分和实验设备。其中,考虑到道路条件对交通流制约比较小,所以道路的主要组成部分只包括横断面、平曲线、竖曲线、纵坡。实验设备中的车辆检测器可用于仿真实际的车辆检测器在实际数据采集过程中的功能。通过自由流速度影响模型修正后的道路环境将和人-车单元模块建立的动态外部环境一起,共同构成完整的交通仿真环境<sup>[1]</sup>。

人-车单元模块描述的是驾驶员和车辆等动态对象的总体特征。根据不同的驾驶员和车辆的特征参数,按照知识库中由层次分析法计算的各特征参数对基本期望速度的影响权重,按照基本期望速度划分人-车单元类型,计算各人-车单元的基本期望速度,最终与道路环境共同形成仿真基本框架。其中,考虑到车型复杂对交通流的影响,设计了开放的车辆类型,用户可根据需要调整车辆类型及其动力性能参数<sup>[2]</sup>。

仿真模块是仿真模型中最核心的部分,包括产生人-车单元的发车模型、约束驾驶行为规则的跟驰、换车道模型、以及仿真的推进机制等仿真模型中必需的组成部分。在跟驰模型中,充分考虑了目前交通流状况自由度较大的现实,完善了道路条件对自由流速度的影响,提出了自由流状态下,在不同道路条件衔接处的加速度计算公式,如式(1)所示<sup>[2]</sup>。

$$a_{\text{free}} = \begin{cases} \min(a_{\text{road}}, a_{\text{max}}^- [1 - (\frac{V}{V_{\text{exp}}})^2]), & V_{\text{exp}} > V \\ \min(a_{\text{road}}, a_{\text{min}}^- [1 - (\frac{V_{\text{exp}}}{V})^2]), & V_{\text{exp}} \leq V \end{cases} \quad (1)$$

结果模块主要是实现仿真数据的记录、分析、处理。仿真交通流数据从形式上讲,包括文本数据和图形数据两部分;从内容上讲,是仿真交通流中各仿真单体在每个扫描时刻的特性参数,包括位置、速度、加速度、行驶状态等<sup>[3]</sup>。结果模块的功能包括:①动态演示交通流数字仿真过程,并可实现交通流区间速度、密度、流量的统计功能。②通过在仿真环境中安放“车辆检测器”,可以记录通过该断面各车辆的单车信息,包括通过时间、运行车道、车型、速度、加速度、功率质量比、车长等。

### 2.3 模型标定

利用北京、广东、四川3省高速公路中的实测数据,对不同车道中自由流速度的修正系数、各自由流速

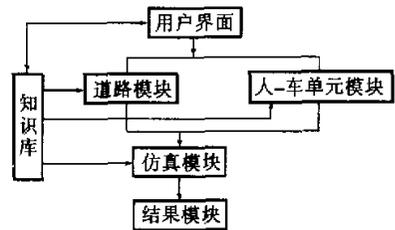


图2 高速公路基本路段仿真模型结构示意图

度影响模型中的常数、速度修正模型中的修正参数以及各车型功率质量比的分布参数进行了标定。由于标定的内容较多,在此不再赘述,详细结果可参见文献[3]。

#### 2.4 模型验证

以广佛高速公路1998年9月22日9:00—12:00采集的交通流数据作为初始交通流,验证了仿真模型描述交通流变化过程的能力。图3对比了实测与仿真的流量变化,可见仿真结果与实际情况非常吻合。仍然以此交通流数据作为初始交通流,验证了仿真模型描述交通流速度、密度和流量间相互关系的能力。

图4为仿真与实测的速度-流量关系的散点图及其线性回归曲线图,实测数据回归方程  $y = -0.0028x + 69$ ; 仿真数据回归方程  $y = -0.0039x + 69$ 。从图4可看出,仿真结果的变化趋势与实测数据基本吻合,在图示范围内的速度-流量关系中,速度预测值与实测值相差  $1.43 \sim 2.86 \text{ km/h}$ ,相对误差为  $2.2\% \sim 4.6\%$ 。对比速度-密度关系和流量-密度关系,可以得到其相对误差分别为  $1.0\% \sim 2.5\%$  和  $1.6\%$ 。

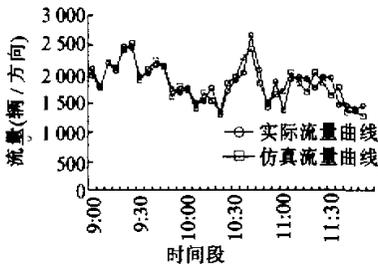


图3 实测流量与仿真流量变化对比

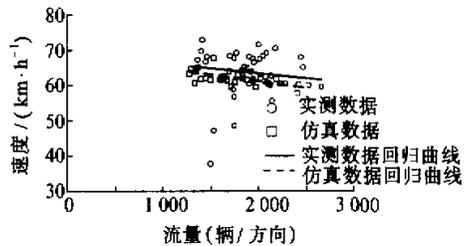


图4 速度-流量实测曲线与仿真曲线

可见,仿真模型在描述交通流变化过程以及交通流参数之间的关系方面具有足够的逼真能力,为运用仿真数据分析实际问题提供了充分的保证。

#### 2.5 实验求解

为分析高速公路基本路段的理想通行能力,利用标定后的仿真模型,设计了如下仿真实验:按照《公路工程技术标准》的规定,建立设计速度为  $120 \text{ km/h}$  的高速公路基本路段,其长度为  $1 \text{ km}$ ,并在  $950 \text{ m}$  处设置“车辆检测器”,仿真时间为  $1 \text{ h}$ 。交通组成为  $100\%$  的小型车。交通量在左/右侧车道中的分布为  $35/65$ ,分别将交通需求设为  $500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000$  (辆/h)/方向,以  $120 \text{ km/h}$  作为车辆期望速度生成交通流。进行若干次仿真实验,统计得到速度-流量关系图,如图5所示。

从实验数据统计的速度-流量图找不到交通流状态的临界点(如图5所示),但从交通需求与仿真通过量的关系(如图6)可以明显看出,该关系明显呈现出两个阶段,在前阶段中仿真通过量随交通需求的增加而增加;在后阶段当交通需求大于特定流量时,尽管交通需求量增大,但仿真通过量几乎不变。以此临界点的仿真通过量作为通行能力,可以得到设计速度为  $120 \text{ km/h}$  时,高速公路基本路段通行能力仿真值  $2200$  (辆/h)/车道。

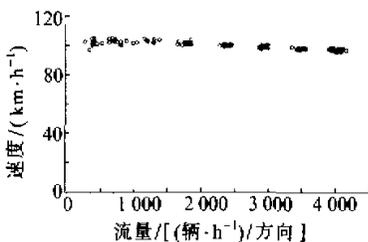


图5 速度-流量图

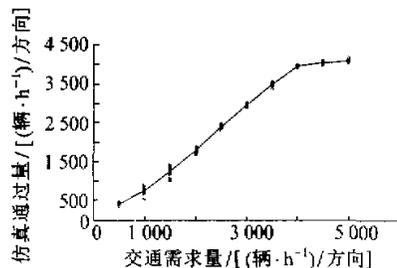


图6 交通需求量与仿真通过量关系

### 3 小结

本文提出了利用交通仿真模型分析交通设施通行能力的一般方法,即特性分析、建模描述、模型标定、模型验证和实验求解。以高速公路基本路段为例,详细阐述了该步骤,为利用交通仿真模型解决通行能力问题提供了规范的研究方法。

#### 参考文献

- 1 荣建, 马建明, 刘小明. 高速公路基本路段模拟模型中的道路模块. 公路交通科技, 1999, 4(16): 44~47
- 2 荣建. 高速公路通行能力研究: [学位论文]. 北京: 北京工业大学建筑工程学院, 1999
- 3 公路通行能力研究报告: 高速公路基本路段仿真模型研究报告. 北京工业大学, 交通部公路科学研究所. 1999. 12

## Solving Capacity Using Traffic Imitation Model

Rong Jian Ma Jianming Ren Futian Liu Xiaoming

( College of Architecture and Civil Engineering, Beijing Polytechnic University, Beijing 100022 )

**Abstract** A methodology for capacity analysis using traffic simulation is provided in this paper. The methodology includes five components, they are characteristics analysis, model description, calibration, validation and experiment solution. As an analysis case, basic expressway section is analyzed. The characteristics of traffic flow in basic expressway section and affecting factors on capacity are described. The frame of basic expressway section simulation model is provided. After calibration and validation, the simulation model is proven that its relative error is only within 5% in predicting the relationship of volume, speed and density. Finally, the capacity of basic expressway section is calculated as 2 200 veh/h/lane under ideal conditions on the basis of analyzing a serial of simulation experiments.

**Keywords** imitation model, capacity, expressway, basic section