

考虑道路等级和拥堵惩罚的城市路网 平均负荷度计算

周强, 闫欣欣, 袁振洲

(北京交通大学 城市交通复杂系统理论与技术教育部重点实验室, 北京 100044)

摘要: 在路段及交叉口负荷度评价的基础上, 提出了描述城市路网等级结构特性与路段流量差异性的道路等级修正系数及路段权重系数, 使城市路网中不同等级、不同流量的道路能在同一水平下作比较分析; 结合惩罚因子的概念提出了评价路网整体运行状态的指标即路网平均负荷度, 并给出了路网平均负荷度分级标准; 通过实例对指标进行验证, 结果显示路网平均负荷度评价指标与传统的路网服务水平指标相符, 可对路网运行状态、路网规划整体运行效果评价等提供宏观判断依据。

关键词: 城市交通; 平均负荷度; 路网评价; 城市路网; 拥堵惩罚; 道路等级

中图分类号: U491.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)01-0033-04

在城市交通规划阶段需对规划路网进行评价, 在重点评价主干道路各路段负荷度的基础上, 规划管理部门更关心所规划路网的整体运行效果, 就如同在运行管理阶段通过拥堵指数来评价既有路网总体运行效果一样。目前国内外主流交通规划软件如 TransCAD 的技术手册中并未针对整个或局部路网平均负荷度计算作说明, 只以计算得到的交通流量与路段单向设计通行能力的比值给出某个路段分方向的负荷度计算结果。国外对于负荷度的研究主要根据《道路通行能力手册》, 针对路网负荷度的研究较少。国内对于路网负荷度的研究仍在探索阶段, 代澹川等根据路段流量的权将路网所有路段负荷度加权得到路网整体负荷度, 未考虑路网中不同等级道路之间的联系及对整体路网运行的影响; 有的文献只是通过总需求/总供给比较粗略地估算得到类似结论, 未能体现路段之间的差异, 可能造成部分路段拥挤而结果显示总负荷度较小的情况。总的来说, 路网整体性与量化程度仍是研究的瓶颈。

为了对城市路网运行状态进行合理、可靠、定量、直观的评价, 把握城市整体路网水平, 为城市路网的整体管控、运行管理、后期规划等提供科学依据, 该文在考虑不同等级道路的关联与差异性的基础上, 研究适用于城市整体及区域网络负荷度评价的理论与方法。

1 路网平均负荷度的定义及计算

道路负荷度(V/C)是交通流量与路段通行能力

的比值, 常用于路段及交叉口的通行能力评估。在用于路网评价时, 其存在以下不足: 1) 未能对整体路网进行分析评价。传统负荷度评价方法适用于单一路段或交叉口的评估, 路网的交通流量及容量难以确定且保持在同一指标水平进行计算。目前对路网容量有较深入的研究, 然而交通流量难以在整体与路网容量进行相对应的处理。2) 忽略了城市路网内不同等级道路对路网整体的影响。在对城市整体路网进行评估时, 路网道路等级、路段之间的联系、路段对路网的贡献等因素对路网运行能力都有不同程度的影响, 忽略这些因素将造成评价结果与事实存在较大偏差。3) 未能对拥堵路段给予更多重视。拥堵路段在特定情况下易造成上下游多个相关路段的连续拥堵, 降低路网运行效率, 在路网总体评价中, 拥堵路段对路网运行效率产生的影响更大。

基于此, 在负荷度概念的基础上, 引入路网等级修正系数、路段权重系数及惩罚因子, 平衡城市路网中各等级道路及之间的相互关系、量定路段对路网运行的实际作用大小。定义平均负荷度为路网中任意路段与该路段通行能力相适应的负荷度之和, 它描述路网中所有路段负荷度的平均状态, 通过对路网能力整体化及流量差异化的处理, 整体上量化路网能力及实际流量, 进而描述整体路网的实际状况。其表达式如下:

$$T = \sum_{ij} a_i b_{ij} d_{ij} \frac{v_{ij}}{c_{ij}} \quad (1)$$

式中: T 表示路网平均负荷度; i 表示等级为 i 的路段, $i=1, 2, 3, 4$, 分别表示快速路、主干路、次干路、支路; j 表示编号为 j 的路段; a_i 为等级修正系数; b_{ij} 为路段权重系数; d_{ij} 为惩罚因子; v_{ij} 为等级为 i 的路段 j 的实际交通流量; c_{ij} 为等级为 i 的路段 j 的设计通行能力。

1.1 道路等级修正系数、路段权重系数

1.1.1 道路等级修正系数

CJJ 37—2012《城市道路工程设计规范》将城市道路分为快速路、主干路、次干路、支路 4 个等级。在考虑路网负荷度时, 必须考虑各等级道路对整体路网的影响、各路段之间的联系和相互衔接关系, 故引入道路等级修正系数 a , 根据相应等级道路对路网负荷度的贡献作出修正。定义道路等级修正系数为在城市路网内不同等级道路对路网整体运行效率及通行能力的影响程度。其表达式为:

$$a_i = \lambda_{vi} N_i \quad (2)$$

式中: a_i 为等级为 i 的道路的等级修正系数; λ_{vi} 为等级 i 的道路设计速度正相关的函数值, 主干道最高设计速度对应为 1; N_i 为各等级道路上单位距离交叉口平均数量的对应参数, 目标路段为主干路、次干路、支路时 N_i 为 1, 目标路段为快速路时 N_i 与该快速路直接相连接的互通式立交的数目 N 相关, N 越大则与快速路相关联的干路网越多, N 越大。

在城市道路评价中, 交叉口的负荷度评价是路

网评价中不可或缺的部分。交叉口负荷度评价与路段类似, 均为流量与通行能力的比值, 其中交叉口通行能力为所有入口断面的通行能力之和。考虑到交叉口负荷度会与相应路段负荷度重复计算, 根据各等级道路交叉口平均数量来量化考虑交叉口负荷度。由于不同类型交叉口负荷度计算方法差异不大, 受篇幅所限, 这里未考虑不同类型交叉口对路网负荷度的影响。

不同城市各级道路构成虽有不同, 但总体情况相差有限。在对城市各级道路进行相关性研究时, 鉴于快速路控制出入、连续通行的特性, 将其单独分开考虑。

虽然快速路有相对独立的路权, 但在一些大城市, 快速路仍会受到干道交通的影响, 影响大小与快速路与之相衔接的干道数量、重要程度相关。如北京二环路全长 32.7 km, 有 29 座立交, 平均约 1.1 km 就有一个出入口, 由于接近中心区域, 驾驶员习惯于从环路通行, 其为高峰期主要疏导道路, 在路网中承担较大作用, 与干道差别较小, 其 N_i 可取 1。

由于主干路、次干路、支路承担城市的主要交通功能, 主干路、次干路结合组成干路网, 次干路、支路结合组成服务性网络, 解决局部交通问题, 三者相互之间联系、衔接、限制关系突出, 不可分开单独讨论。结合快速路的具体情况, 根据各级道路交通功能、地位、沿线的服务功能、设计速度等划定各级道路等级修正系数范围(见表 1)。

表 1 城市道路网负荷度等级修正系数参考标准

路段等级	服务功能	设计速度/(km·h ⁻¹)	等级修正系数
快速路	控制出入、连续通行	60~100	0.40~0.80
主干路	连接城市主要分区, 以交通功能为主	40~60	0.80~1.00
次干路	以集散功能为主, 兼具服务功能	30~50	0.65~0.90
支路	解决局部地区交通, 以服务功能为主	20~40	0.40~0.65

1.1.2 路段权重系数

路段流量对路网平均负荷度的影响极为重要, 不同流量道路之间比重对路网整体运行状态有着不同的影响。如图 1 所示, 车辆为连续流时, 直接用流量表示路段运行状态, 则会存在一个流量对应两个速度的状态, 且两种状态拥堵程度相差较大, 实际应用中容易造成较大偏差。

路段权重系数 b 是在合理条件下调整路段流量对路网整体运行影响大小, 使路段的交通流量与其

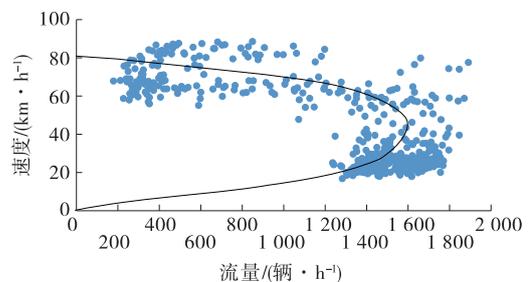


图 1 某路段速度—流量拟合图

对路网负荷度的影响相对应的参量。为避免上述问题的出现,以各路段车公里数为主要参考指标,按下式对各路段交通流量权重进行标定:

$$b_{ij} = \frac{v_{ij} \times l_{ij}}{\sum_{i,j=1}^N v_{ij} \times l_{ij}} \quad (3)$$

式中: b_{ij} 为等级为*i*的路段*j*的权重系数($i=2,3,4$); v_{ij} 为等级为*i*的路段*j*的交通流量(pcu); l_{ij} 为等级为*i*的路段*j*的长度(km)。

1.1.3 惩罚因子

道路等级修正系数和路段权重系数的作用主要是体现城市路网的整体性。道路规划的目的之一是使路网运行中系统达到最优分配、用户整体行驶时间减少。

惩罚因子是对路网中过负荷的路段的一种惩罚。

事实上,路网管理者对于运行状态低效的路段会给予更多关注,该系数则是模拟路网管理者的存在,对于高负荷、拥堵路段给予更多重视。以负荷度高低为惩罚依据,低于 0.75 的路段不进行惩罚,高于 0.75、低于 0.9 的路段进行 k 倍 V/C 的惩罚,高于 0.9 的路段(强制流)给予不低于 2 倍的惩罚。

$$d_{ij} = \begin{cases} 1 & 0.1 \leq V/C < 0.75 \\ \frac{kV}{C} & 0.75 \leq V/C < 0.9 \\ N & V/C \geq 0.9 \end{cases} \quad (4)$$

1.2 路网平均负荷度评价标准

依据上文提出的路网平均负荷度计算方法,结合负荷度评价方法和国内城市交通现状及存在的问题,从路网整体运行水平角度出发,提出描述路网能力、交通拥堵整体情况的实用标准(见表 2)。

表 2 城市路网平均负荷度分级评价参考标准

路网平均负荷度	路网状态	路网描述
0.0~0.4	畅通	路网状况良好,基本无拥堵发生
0.4~0.6	比较畅通	路网状况较好,有少数路段发生拥堵
0.6~0.7	拥堵	路网状况开始恶化,产生较多拥堵路段
0.7~0.9	拥堵	路网状况恶化严重,开始产生大规模拥堵,可进行路网升级改造
0.9~1.0	严重拥堵	高峰期路网整体负荷严重,需进行升级改造及重新规划

城市路网负荷度超过 0.7,表示城市路网开始拥堵,部分主干道交通阻塞,影响整体运行,道路使用者感觉舒适度下降;城市路网负荷度超过 0.9,城市路网开始出现较多或大面积拥堵,整体运行效率开始降低,急需对交通状况进行改善或重新规划。

2 实例应用与验证

某城市有快速路 4 条、主干路 15 条、次干路 74 条、支路若干。以 2013 年居民出行水平数据为基础,将全市分为 110 个交通小区进行交通分配,并对道路实时流量进行调查,对交通分配结果进行修正(见图 2)。

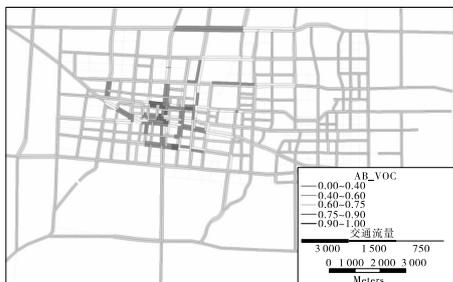


图 2 某市中心城区路网服务水平分析

以目前主流的路网服务水平评价指标与路网负荷度指标分别进行评价,并对评价结果进行对比。根据该市现状交通流量及各级道路不同服务水平下的道路容量(见图 3),判断其路网服务水平为 B 级。

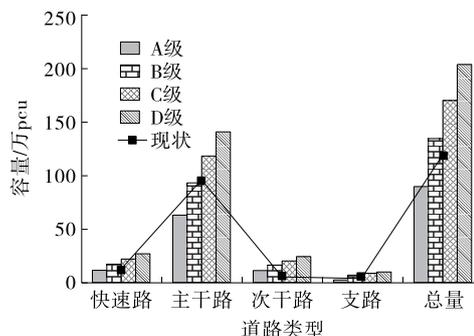


图 3 某市不同服务水平下各等级道路的容量

根据路网的流量、容量及路段属性,得出各项系数、指标及负荷度计算结果(见表 3)。

表 3 显示该市路网平均负荷度为 0.542。依据参考标准,为畅通路网,路网交通状况较好,开始有少数路段发生拥堵。

表3 某市城市路网平均负荷度计算结果

道路类型	系数 a	因子 k, N	平均负荷度
快速路	0.50		0.542
主干路	0.85	$k=1.5$	
次干路	0.65	$N=2$	
支路	0.40		

从图2可知:只有城市中心区处于拥堵状态,主干路负荷度高于0.75的路段为6条,干道拥堵里程约占总里程的5%。说明该市路网处于较低负荷水平,交通运行状态较好,符合服务水平评价结论。

3 结语

受限以往评价对于路网的定性分析,交通管理者较难对路网负荷水平进行准确定量分析。该文结合城市路网的构成特性和内部联系,从系统最优的角度出发,提出路网平均负荷度的概念及标准,并通过实例进行了验证。验证结果表明平均负荷度评价方法能准确评价路网运行状态。通过该方法,管理者可更加直观地判断路网整体运行状态,根据不同负荷度对路网进行不同程度的交通管控,远期路网的负荷度水平则可为城市路网规划提供依据。

参考文献:

[1] Caliper公司. TransCAD交通需求模型手册[Z]. 普林斯顿: Caliper公司, 2006.
 [2] 美国交通研究委员会. 美国道路通行能力手册2000版[M]. 任福田, 译. 北京: 人民交通出版社, 2007.
 [3] 代澹川, 钟永艳. 基于TransCAD交通分配结果的城市片区路网规划方案评价研究[J]. 交通科技, 2009(增刊)

2).
 [4] 全永燊, 郭继孚, 温慧敏, 等. 城市道路网运行实时动态评价理论和技术研究[J]. 中国工程科学, 2011, 13(1).
 [5] 绍源, 宋家骅. 大城市交通拥堵管理策略与方法: 以深圳市为例[J]. 城市交通, 2010, 8(6).
 [6] 全永燊, 孙明正. 中国大城市交通发展值得注意的几个倾向[J]. 城市交通, 2011, 9(2).
 [7] 郭佳宁. 基于改进容量模型的路网服务水平确定方法[J]. 公路交通科技, 2013, 30(4).
 [8] 廖涌泉, 孙晓亮, 贾利民, 等. 基于道路负荷度的北京市快速路交通状态评价[J]. 物流技术, 2012, 31(3).
 [9] 张海城, 邱欣, 沈翔. 基于微观评价指标的城市道路交通拥堵评价研究[J]. 城市道桥与防洪, 2011(8).
 [10] 刘拥华, 孙静怡, 熊坚. 信号管制交叉口负荷度计算及其服务水平分析[J]. 昆明理工大学学报: 理工版, 2004, 29(2).
 [11] 常贵智. 城市道路交通拥堵判定研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2007.
 [12] 杜进有, 杨远祥, 李宗平. 城市道路网饱和度模型及其应用[J]. 公路交通科技, 2006, 23(3).
 [13] 马健霄, 吕志英, 王大明. 城市道路通行能力分析改善技术[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2001, 25(2).
 [14] 全永燊, 郭继孚, 温慧敏, 等. 城市道路网运行实时动态评价理论和技术研究[J]. 中国工程科学, 2011, 13(1).
 [15] 王园园. 一种考虑拥堵和排队影响的静态交通分配方法[A]. 中国城市交通规划2011年年会暨第25次学术研讨会论文集[C]. 2014.
 [16] CJJ 37-2012, 城市道路工程设计规范[S].

收稿日期: 2016-07-26

 (上接第26页)

[4] 刘颖杰, 靳文舟, 康凯. 基于IC信息和概率理论的公交OD反推方法[J]. 公路与汽运, 2010(3).
 [5] 陈云朵. 广州市BRT运营调度方案评价及交通流特性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
 [6] 梁枫明. 基于IC卡信息的公交客流出行特征分析系统研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
 [7] 柳波. 基于可靠性的快速公交线路调度优化研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2014.
 [8] 吴建. Logit模型在常规公交系统中的应用[A]. 中国城市规划年会论文集[C]. 2008.
 [9] 靳佳. 基于IC卡的北京市公交出行特征分析[D]. 北京: 首都师范大学, 2013.
 [10] 孙启鹏, 朱磊, 陈波. 基于动态广义费用的客运通道交

通方式选择Logit模型[J]. 交通运输系统工程与信息, 2013, 13(4).
 [11] 冯志达, 邵学恒, 朱兴琳. 乌鲁木齐市快速公交客流分布特征研究[J]. 公路与汽运, 2014(5).
 [12] 罗磊. 基于IC卡信息的公交客流空间分布特征分析方法研究[D]. 南京: 东南大学, 2009.
 [13] 易婷, 陈小鸿, 张勇平, 等. 上海市地铁站点客流换乘特征分析[J]. 忻州师范学院学报, 2004, 20(2).
 [14] 梁枫明. 基于IC卡信息的公交客流出行特征分析系统研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
 [15] 夏胜国. 公交枢纽客流特征分析及行人路径交通分配研究[D]. 上海: 同济大学, 2008.

收稿日期: 2016-07-18