

城市道路网连通性评价指标探析

周 涛, 但 媛, 朱军功

(重庆市交通规划研究院, 重庆 400020)

摘要: 道路网连通性是评价城市道路网是否合理的重要指标之一。首先, 对既有城市道路网连通性评价指标“连接度指数”进行深入解读, 认为其实质上反映了路网中十字形交叉口、T字形交叉口等各类型交叉口的比例关系; 其次, 针对该指标无法体现交叉口转向限制对路网连通性的影响, 改进建立了“连通度指数”计算方法, 能够较好地描述道路交叉口存在的“非完全互通立交、转向限制、单向交通”等实际交通设计和管理条件下的方向连通性。最后, 针对重庆市三个典型片区进行了应用分析。

关键词: 交通规划; 城市道路网; 规划指标; 连通性; 连接度指数; 连通度指数

Assessment of Urban Roadway Network Connectivity

Zhou Tao, Dan Yuan, Zhu Jungong

(Chongqing Transport Planning Institute, Chongqing 400020, China)

Abstract: Connectivity is one of the most important indices to assess the appropriateness and efficiency of urban roadway network. By reviewing existing criteria for urban roadway network connectivity evaluation, this paper identifies that most connectivity indices in fact reflect the proportions of intersections with various layouts (e.g. four-leg and T-shape) in roadway network. Realizing the deficiency of existing indices to consider the impact of turning restrictions on roadway network connectivity, this paper proposes a new connectivity index, which can better reflect the directional connectivity under different traffic design and management conditions, such as interchange, turning restrictions, one-way street, and etc. Finally, the paper illustrates the performance of the proposed index in three typical areas in Chongqing.

Keywords: transportation planning; urban roadway network; planning indices; connectivity; connection index; connectivity index

收稿日期: 2014-01-01

作者简介: 周涛(1968—), 男, 四川威远人, 副院长, 教授级高级工程师, 主要研究方向: 交通规划、城市规划。E-mail: taozhoucq@qq.com

0 引言

道路网络是车辆运行的基础, 保障路网结构的合理性, 提高路网连通性, 有利于车流的合理组织与分配, 是缓解城市交通拥堵的重要措施之一。北京、重庆等城市已逐步认识到提高路网连通性的重要性, 并付诸实践。北京“十二五”规划纲要中提出“大力推进中心城微循环道路建设, 逐步消灭断头路, 提高路网连通性和通达性”。

目前, 路网连通性评价在公路网中运用较为普遍^[1-2], 但针对城市道路网的相关研究较少, 一般通过连接度指数来反映^[3]。连接

度指数在一定程度上可以反映城市道路网的连通性, 但不能全面反映路网连通性的现存问题。这是由于城市道路网中, 交叉口组织管理模式的差异会造成路网连通性实质上的不同。如北京、成都、昆明等城市均在快速路及干路沿线采用了禁左、右进右出的交通管理模式, 香港、上海等城市在部分区域进行了单向交通组织。这些组织管理模式在一定程度上降低了路网连通性, 但现有指标不能对其进行反映。

重庆受山水条件的影响, 道路网“错位交叉口多、右进右出交叉口多”等连通性差的现象更为显著, 由此导致的“少数干路车

流集中、其他道路利用不足”等交通问题已相当突出^[4]，加剧了主城区主要干路和节点的交通拥堵，亟须开展相关研究并尽快实施改善。为更好描述“非完全互通立交、转向限制、单向交通”等实际交通设计和管理条件下的路网连通性，本文拟对现有连通性评价指标进行改进。

1 现有评价指标及其问题

连接度指数是城市道路网规划评价指标体系中的常用指标，在一定程度上可以反映城市道路网的连通性。本文在了解连接度指数基本定义的基础上，进行微观解读，以进一步明确其物理意义。

1.1 连接度指数的一般理解

连接度指数是与路网总节点数和总边数有关的指标，其计算公式^[5]为

$$J = \left[\sum_{i=1}^n m_i \right] / N = \frac{2M}{N}, \quad (1)$$

式中： J 为路网连接度指数； N 为道路网节点数量； m_i 为第 i 节点所邻接的边数； M 为道路网总边数(路段数)。

连接度指数是评价路网结构合理性的指标之一，是反映道路网成网性和可靠性的重要指标，通常被用来衡量路网的成熟程度。一般认为，连接度指数越高，路网断头路越少，成网率越高；反之，则表明成网率越低。文献[3]考虑方格网在中国城市路网中最为常见，通过计算路网节点数与连接度数的关系指出，国内中小城市的路网连接度值应为3.2~3.5，而大城市则应为3.6~3.9。

1.2 连接度指数的微观意义

现有研究主要从节点与边的关系对连接度指数进行宏观解读，而缺乏对其微观意义的理解。结合复杂网络、图论等相关概念^[5]，本文对连接度指数的微观意义进行深入解读。

在式(1)中， m_i 为第 i 节点所邻接的边数，即图论中节点的度数，其与交叉口的类型有关，五路交叉口为5、十字形交叉口为4、T字形交叉口为3、断头路为1。因此，连接度指数计算公式可简化为

$$J = \left[\sum_{i=1}^n m_i \right] / N = \frac{(n_{\text{断}} \times 1 + n_T \times 3 + n_{+} \times 4 + n_{\text{五}} \times 5)}{(n_{\text{断}} + n_T + n_{+} + n_{\text{五}})}, \quad (2)$$

式中： $n_{\text{断}}$ 为断头路数量； n_T 为T字形交叉口数量； n_{+} 为十字形交叉口数量； $n_{\text{五}}$ 为五路交叉口数量。

从而，连接度指数可通过统计路网中交叉口的类型而简化计算，便于该指标的应用。而对连接度指数的物理意义也更为明确，即为路网中交叉口平均连接的道路条数(道路网络的平均度)，反映出路网中各类型交叉口(十字形、T字形、断头路等)的比例关系，是反映城市路网这一复杂网络连通性特征的一种统计指标。

1.3 现有指标的问题

在一定路网密度下，连接度指数能反映路网拓扑结构的连通性。而实际路网中，受交叉口规划设计及交通组织管理等影响，可能会使交叉口转向不全，导致交叉口自身不能完全连通，从而影响路网的连通性。现有指标存在的问题有以下三点。

1.3.1 不能反映干路沿线右进右出现象的影响

为保证快速路及交通性主干路的运行效率，在其两侧采用“右进右出”交通组织较为普遍，如北京、成都、昆明等城市的干线两侧衔接的次、支道路多采用这一模式。

重庆市主城区交通性干路两侧的沿线交叉口也大多采用右进右出交通组织方式，导致干路两侧的次、支道路看起来连通实际上不连通，必须通过重要交通节点才能进行转向，进而导致干路上车流汇聚与集中，加大重要节点转向压力。

干路沿线交叉口的右进右出是导致重庆市主城区路网连通性差的重要因素之一，而现有连接度指数不能反映这种“右进右出”现象对路网连通性的影响。

1.3.2 不能反映部分立交功能不全的影响

由于受到建设条件限制、建设思路影响，重庆市主城区部分立交功能不全。如图1所示三种立交，均为四路相交，但连通性存在很大差异：红旗河沟立交，为环形加两个直行上跨，各转向功能完全；金龙桥立交，为主要方向右进右出，次要方向上跨，各向均不能左转；星光立交为分离式立交，各向只能直行。这些立交功能的差异对路网

连通性的影响不能通过连接度指数来反映。

1.3.3 不能反映禁左等交通组织管理的影响

除交叉口自身功能不全对路网连通性的影响外,禁左、禁止掉头等交叉口管理以及路段单向交通组织等也对路网连通性造成一定影响,这种影响同样不能通过连接度指数进行反映。

2 路网连通度指数的提出

为进一步反映立交功能不全、交叉口右进右出、禁左管理等造成交叉口转向不全,进而导致路网连通性变差的现象,本文提出反映路网连通性的新评价指标——路网连通度指数。

2.1 路网连通度指数的定义

路网连通度指数类比于连接度指数,定义为路网中所有交叉口的节点连通度的统计平均值。节点连通度类比于节点的度数,定义为交叉口实际转向数与交叉口进口方向数的比值,可反映交叉口各进口实际可转向数的平均值。路网连通度指数的计算公式为

$$J_s = \sum_{i=1}^n s_i / N = \sum_{i=1}^n (r_i / d_i^{\text{in}}) / N, \quad (3)$$

式中: J_s 为道路网的路网连通度指数; s_i 为交叉口 i 的节点连通度; N 为道路网节点数量; r_i 为交叉口 i 的实际可转向数,通过具体情况进行统计,需考虑交叉口的掉头; d_i^{in} 为交叉口 i 的进口方向数。例如,两条道路均为双向通行的十字形交叉口, d_i^{in} 为4;两条道路为一条单向通行,另一条双向通行的十字形交叉口, d_i^{in} 为3;两条道路均为单

向通行的十字形交叉口, d_i^{in} 为2。

2.2 路网连通度指数的价值分析

2.2.1 节点连通度的作用

节点连通度是针对具体交叉口的微观指标,类似于节点的度数,且与节点的度数密切相关;当交叉口转向完全时,节点连通度等于节点的度数,即转向完全的十字形交叉口节点的度数为4,转向完全的T字形交叉口节点的度数为3。而由于立交功能不全、交叉口右进右出管理及单向交通组织等导致交叉口转向不全时,节点连通度将低于节点的度数。节点连通度的具体作用可归纳为以下三点。

1) 反映干路沿线右进右出对节点连通性的影响。

节点连通度能反映右进右出等连通方向不全对路网连通性造成的影响。如表1所示,对于十字形交叉口,当节点转向完全时,节点连通度为4;当采用右进右出管理时,节点连通度降为2。对于T字形交叉口,当节点转向完全时,节点连通度为3;当采用右进右出管理时,节点连通度降为5/3。

2) 反映立交功能不全对节点连通性的影响。

节点连通度可反映由于缺少部分方向导致立交不完全互通的现象。表2所示为重庆市典型交叉口案例。红旗河沟立交为两主方向上跨,其余转向为平面组织,虽通行能力受平面交叉口限制,但功能完全,节点连通度为4;鸳鸯立交虽为完全互通蝶形立交,但仅有一个方向有掉头功能,节点连通度为3.25,因此,对于没有考虑掉头功能的完全互通立交,虽通行能力大,但其节点连通度



图1 三种立交功能差异示意

Fig.1 Three typical interchanges with different functionalities

可能比一般平面交叉口低；金龙桥立交为典型右进右出加上跨模式，节点连通度为2.5；星光立交这种分离式立交，节点连通

度仅为1。
3) 反映路段交通组织管理对节点连通性的影响。

表1 右进右出管理下节点连通度计算示例
Tab.1 Node connectivity with turning restrictions

交叉口类型	交叉口图示	交叉口转向数	进口方向数	节点连通度	节点的度数
右进右出十字形交叉口		8	4	2	4
右进右出T字形交叉口		5	3	5/3	3

表2 典型立交节点连通度计算示例
Tab.2 Connectivity index for typical interchanges

交叉口名称	交叉口图示	交叉口转向数	进口方向数	节点连通度	节点的度数
红旗河沟立交		16	4	4	4
鸳鸯立交		13	4	3.25	4
金龙桥立交		10	4	2.5	4
星光立交		4	4	1	4

节点连通度能反映单向交通组织对路网连通性的影响。如表3所示，单向交通组织的路段数量不同，对节点连通度的影响不一致。单向交通组织的路段越多，节点连通度越低。对片区路网进行单向交通组织时，若相交四个路段均为单向，则对路网连通性会造成较大影响。这也说明，在片区进行单向交通组织，应有较为严格的要求，需要很高的路网密度作为保障。

2.2.2 路网连通度指数的作用

路网连通度指数是针对路网的宏观指标，与连接度指数密切相关。当路网中所有交叉口的转向均完全时，路网连通度指数等于连接度指数；当交叉口转向不完全时，路网连通度指数低于连接度指数，且路网连通度指数相比连接度指数下降的幅度表明路网中路网连通性受右进右出、单向交通组织等的影响程度。

综上所述，路网连通度指数在连接度指

数的基础上，进一步反映了右进右出、立交转向不全、单向交通组织等对路网连通性造成的影响。

3 评价指标的应用

本文选取重庆市主城区的三个典型片区进行现状路网的连通性评价。三个典型片区分别为解放碑、观音桥及冉家坝：解放碑片区为城市老中心区，路网密度相对较高；观音桥片区为城市新发展中心区，受干路分隔严重；冉家坝片区为2000年后逐步发展的居住办公区，路网较为方正。三个片区1.2 km²内的现状路网如图2所示。

对三个典型片区进行连通性评价，结果如表4所示。评价结果表明：观音桥片区无论从路网连接度指数还是连通度指数来说，其连通性均是三个片区最差的，尤其路网连通度指数远低于其他片区，这与人们对该片

表3 单向交通组织下节点连通度计算示例

Tab.3 Node connectivity under one-way traffic organization

交叉口类型	交叉口图示	交叉口转向数	进口方向数	节点连通度	节点的度数
无单向交通组织		16	4	4	4
两个路段单向交通组织		9	3	3	4
四个路段单向交通组织		4	2	2	4

区的实际感受相符；与解放碑片区相比，冉家坝片区的路网较为方正，连接度指数较高，但由于受到快速路的影响，路网连通度指数下降，与解放碑的路网连通度指数相当。

4 结语

本文在深入解读既有路网连通性评价指标——连接度指数的基础上，针对城市路网存在的“立交功能不全、交叉口转向限制(如右进右出、禁左)、单向交通组织”等导致路网连通性差的典型现象，提出节点连通度和路网连通度指数来进一步反映路网连通性的差异。由于城市交通网络的复杂性，路网连通性只是路网的一种特性，并非路网的连通性越好，路网的整体运行效率越高。因此，针对不同等级的道路，如何设定其路网连通性使路网整体运行效率更高，值得进一步研究。

参考文献:
References:

[1] 施耀忠, 陈学武, 刘小明. 公路网规划的技术评价指标与评价标准研究[J]. 中国公路学报, 1995, 8(1): 120-124.
Shi Yaozhong, Chen Xuewu, Liu Xiaoming. Technical Evaluation Indicator and Standard in Highway Network Planning[J]. China Journal of Highway and Transport, 1995, 8(1): 120-124.

[2] 徐军, 罗嵩龄. 公路网连通性研究[J]. 中国公路学报, 2000, 13(1): 95-97.
Xu Jun, Luo Songling. A Study of Connectness for the Highway Network[J]. China Journal of Highway and Transport, 2000, 13(1): 95-97.

[3] 陆建, 王伟. 城市道路网规划指标体系[J]. 交通运输工程学报, 2004, 4(4): 62-67.
Lu Jian, Wang Wei. Planning Indices System of Urban Road Network[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004, 4(4): 62-67.

[4] 但媛, 周涛, 朱军功. 山地城市道路网连通性改善策略-以重庆市主城区为例[C]//中国城市规划学会. 多元与包容——2012中国城市规划年会论文集. 北京: 中国城市规划学会, 2012.

[5] 吴建军, 高自友, 孙会君, 赵晖. 城市交通

系统复杂性——复杂网络方法及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.

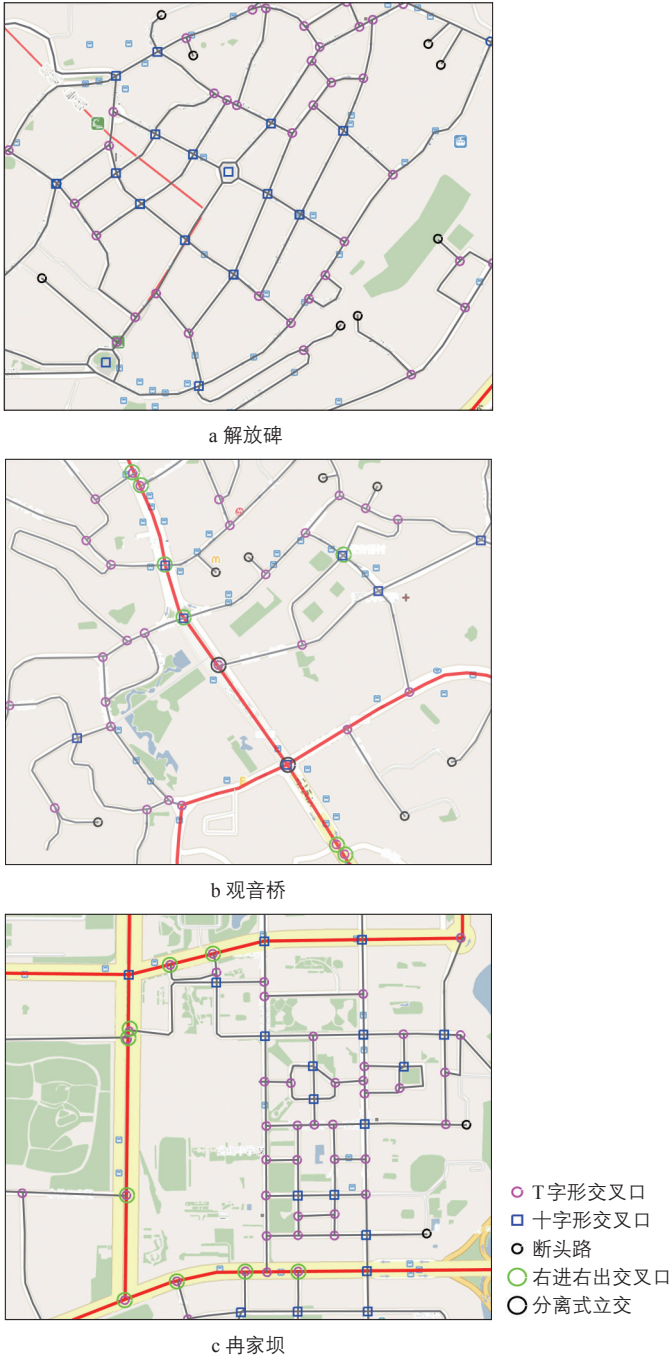


图2 三个典型片区路网示意
Fig.2 Roadway networks in three typical areas in Chongqing

区位	路网密度/(km·km ⁻²)	路网连接度指数	路网连通度指数
解放碑	11.28	3.02	3.02
观音桥	9.28	2.79	2.41
冉家坝	10.40	3.22	3.03