

“环形+放射”路网指路标志布设及评价*

刘芳^{1,2}, 黄敏^{1,2}, 毛锋^{1,2}

(1. 中山大学工学院, 广东 广州 510006;

2. 广东省智能交通系统重点实验室, 广东 广州 510006)

摘要: 针对“环形+放射”这一特定形态的路网, 研究了其指路标志的布设模型及其指引评价方法。首先, 分析了“环形+放射”路网的结构和功能特色, 根据环形道路承担过境及区间交通、放射性道路承担内外出行的功能, 分别构建了环形道路和放射性道路的指路标志布设模型。然后, 结合“环形+放射”路网的指引需求, 提出了环形和放射性道路的整体指引可达性评价方法。最后, 以广州大学城为例进行了应用试验, 并将现有方案和设计方案进行了对比分析。结果表明, 该模型的整体指引可达率明显高于指路标志现状, 更具可行性。

关键词: 城市交通; 指路标志; 布设模型; 环形放射路网; 指引信息

中图分类号: U491 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2018)05-0081-07

Evaluation on road guide sign deployment model of ring radial road network

LIU Fang^{1,2}, HUANG Min^{1,2}, MAO Feng^{1,2}

(1. School of Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510006, China;

2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Intelligent Transportation System,
Guangzhou 510006, China)

Abstract: For the road network of “ring + radiation”, the layout model and evaluation method of its guiding sign are studied. Firstly structure and functional features of ring radial road network are analyzed. And based on the features which ring roads are designed for transiting transportation and transportation between areas while radial roads are designed for transportation between inside and outside, this paper proposes the deploying models for ring roads and radial roads respectively. Then combined with guiding demand of the Ring radial road network, this paper provides an evaluating method of guiding accessibility for ring roads and radial roads. Finally, the model is applied in Guangzhou Higher Education Mega Center. After comparison and analysis to the current deployment, the guiding accessibility of the experimental results is obviously higher than that in the current deployment. That is proved that the model is effective and feasible.

Key words: urban traffic; guide signs; deployment model; ring radial road network; guidance information

指路标志作为交通管理系统的基础设施, 是实现交通流的控制与管理的重要手段。正确地设置指

路标志和恰当地选取指引信息, 不仅能够诱导道路使用者选择正确路径, 更能提高道路通行能力, 提

* 收稿日期: 2017-10-30

基金项目: 广东省科技计划项目(2016A020223006, 2016B090918038, 2015B010110005, 2014B010118002)

作者简介: 刘芳(1992年生), 女; 研究方向: 指路标志系统建模与优化; E-mail: 799237099@qq.com

通信作者: 黄敏(1975年生), 女; 研究方向: 路网与指路标志建模; E-mail: huangm7@mail.sysu.edu.cn

升交通系统运行效率。为实现指路标志的智能化,黄敏等建立了基于指路标志系统的路网模型,并从指路标志项、标志牌以及标志点等 3 个层面描述了指路标志信息,并建立了三者的数据存储结构^[1-2]。邓兴栋等分别从指引信息分级选用和构建指引路径的角度提出了指引信息的选取规则^[3-4]。在上述研究的基础上,郑健等以交叉口为单位提出了城市道路的指路标志布设模型。夏佳等采用聚类分析、圈层覆盖法提出了城市兴趣点的指路标志布设模型^[5-6],初步实现了指路标志的智能生成。但,指引信息的选取与路网的整体形态和结构功能密切相关。本文选取“环形+放射”这一常见形态的路网,研究其指路标志布设模型及评价方法,

对探究路网结构与指引的融合,为出行者提供更合理的指引信息有重要的研究意义和应用价值。

1 “环形+放射”路网指引特征分析

“环形+放射”路网是指道路网络中,由环形道路构成道路网络的主要骨架,其间有多条道路呈放射状与环形道路相连。环形放射式路网非直线系数较小,而且可达性大、成网率好,是较为理想的路网形式,有利于城市拓展和过境交通分流^[7]。因此,国内外大型城市大多采用“环形+放射”路网结构,如:莫斯科、巴黎以及下文的应用实例—广州大学城等。



图 1 广州大学城路网布局

Fig. 1 Road network in HEMC, Guangzhou

在城市规划中,环形道路的主要功能是承担各区之间或过境出行,即连接外围各区,尽量避免外围各区之间的出行穿越中心区。因此,环形道路主要为指引等级高的道路。环形道路的最外环主要是供货车和过境车辆出行,一般为城市快速路,指引信息一般为相似等级的高等级道路。其他内部环路属于城市的主要道路。不熟悉该城市的道路使用者一般对内部环线道路的利用率较高。指引信息应以环形道路或主要放射性道路为主,同时加强对周围大型公建等兴趣点的指引。

放射性道路的功能是承担内外出行,连接中心区与外围各区。其中,主要放射性道路的作用是连接内外环形道路;次要放射性道路的作用是辅助主

要放射性道路,增强路网整体通达性。

为定量地表征被指引对象的重要程度,引入指引等级(level)的概念。并将环形道路和放射性道路根据其结构功能分为 4 个等级,如表 1 所示,作为提取指引路网和选取指引信息的数据基础。

2 “环形+放射”路网指引布设模型

指路标志根据所在的位置不同,分为交叉口指路标志和路段指路标志。交叉口作为道路交通系统的咽喉,其标志对道路使用者的路径选择行为起着至关重要的作用。因此,本文主要探讨交叉口指路标志,指路标志点生成于每个交叉路口进口道右侧。

表 1 指引等级分级表
Table 1 Guiding level classification

指引等级	道路功能
1	承担过境交通和对外交通的外围环线，一般为快速路
2	承担市内各区交通的其他环形道路以及直接连接环形道路的主要放射性道路
3	次要放射性道路
4	支路

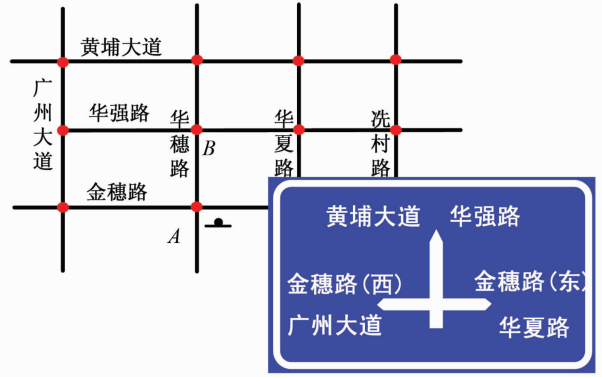


图 2 指路标志数学模型示意图

Fig. 2 Mathematical model of guide signs

2.1 指路标志的数学模型

指路标志的数学模型分为两大部分：路网数据模型及指路标志数据模型。布设模型路网 G 采用经典的节点—弧段交通路网模型 $G = (V, E)$ ，其中 V 为路段节点集， E 为有向的路段集，该路网模型中记录了道路的指引等级 (level)、路段长度 (length) 以及节点间连通关系等信息^[1]。

指路标志的布设方案 (RS) 是路网中每个指路标志的集合，每一个指路标志上的指引信息称为指路标志项，指路标志项是指路标志数学模型的最小单元。指路标志项根据指路标志所在道路与指引的道路关系，分为连接性标识 ($narc = inf$) 和方向性标识 ($narc \neq inf$)^[10]。连接性标识信息的选取跟路网的物理拓扑相关，而方向性标识的选取具有很大的灵活性，并且与路网布局和道路管理者的需求密切相关。

每个指路标志项中存储了该指路标志项所在道路、指引的路口、指引方向的下一道路及指引信息等信息，如下式所示。

$$RS = \{rs_i\} \quad rs_i = \{larc, node, narc, inf\} \quad (2)$$

式中，RS 为指路标志布设方案； rs_i 为第 i 个指路标志项；larc 为指路标志项所在的道路；node 为指路标志项指引的路口；narc 为该项指引方向的下一道路；inf 为指引信息。

图 2 中，A 点处“广州大道”指路标志项的数学表示为 $rs_1 = \{larc = \text{华穗路}, node = A, narc = \text{金穗路}, inf = \text{广州大道}\}$ 。

2.2 指路标志布设模型

指路标志布设模型以指路标志项为单位，即指定进口道和指引方 (即 larc、node、narc 已知)，选取恰当的指引信息 (inf)。对于连接性标识，其指引信息与 narc 相同。结合文献 [11]、[12] 及相关的国家标准^[13]，提出方向性标识指引信息由指引路网、搜索阈值、布设原则三者共同决定。

$$inf = f(G_r, Range_r, P_r) \quad (3)$$

式中， f 为指引信息选取函数； G_r 为道路 r 对应的指引路网； $Range_r$ 为指引路网 G_r 对应的搜索阈值； P_r 为道路 r 对应的布设规则。

指引路网的提取依据道路类型和指引等级。由于环形道路指引等级较高，所以环形道路使用指引等级为 1 和 2 级道路组成的高等级指引路网 (G_m)，如式 4 所示；放射性道路由于其指引等级相差较大，选用同等及以上指引等级道路组成的指引路网 (G_{ra})，如式 5 所示。

$$G_m = (V_m, E_m)$$

$$V_m = \{v_i^m \mid v_i^m \in e_i \cap e_k, e_i, e_k \in E_m\}$$

$$E_m = \{e_j^m \mid e_j^m \cdot level = 1 \text{ or } 2\} \quad (4)$$

式中， V_m 为指引路网 G_m 的路段节点集； E_m 为指引路网 G_m 的有向路段集。

$$G_{ra} = (V_{ra}, E_{ra})$$

$$V_{ra} = \{v_i^{ra} \mid v_i^{ra} \in e_i \cap e_k, e_i, e_k \in E_{ra}\}$$

$$E_{ra} = \{e_j^{ra} \mid e_j^{ra} \cdot level \geq larc \cdot level\} \quad (5)$$

式中， V_{ra} 为指引路网 G_{ra} 的路段节点集； E_{ra} 为指引路网 G_{ra} 的有向路段集。

指引信息的搜索阈值规定了远端指引信息搜索的最远距离。如果指引信息所在路口与指引的地点的路径长度过大，由于驾驶员的瞬时记忆遗忘及驾驶习惯，则不能对驾驶员形成有效的指引。搜索长度由路网中路段的平均长度决定。路段平均长度是指路网内所有路网弧段的算术平均值。根据城市指路标志布设现状的规律及道路使用者驾驶习惯，指路标志现状布设搜索长度一般不超过 10 个交叉口。所以，以 10 个交叉口的路网拓扑长度作为搜索长度，如式 6 所示。

$$\text{Range} = 10 \times \bar{L} = 10 \times \frac{\sum_{i=1}^N \text{length}_i}{N} \quad (6)$$

式中, Range 为指引信息搜索长度阈值; \bar{L} 为路段平均长度; length_i 为路网中第 i 条路段长度; N 为路网中路段总数。

不同功能道路的布设规则不尽相同。以广州大学城为例, 广州大学城位于小谷围岛, 是一个相对封闭的区域, 内部兴趣点主要为 10 所高校。其外环路主要是供过境车辆出行及承担各个高校之间的交通联系, 设计车速为 60 km/h, 属于城市快速路, 只选取高等级道路或高校名称作为指引信息; 中环路和内环路属于大学城内的主干道, 可选取高校分区 (教学区或生活区) 等重要兴趣点作为指引信息; 主要放射性道路连接内环、中环、外环路。因此, 主要放射性道路除了要指引周围道路, 同时还应该加强对三条环线道路的指引, 确保道路使用者能够快速准确地找到三条环线道路; 次要放射性道路的主要功能为增加路网通达性, 只需要指引最近的道路或兴趣点即可。

3 “环形 + 放射” 指路标志布设算法

3.1 环形道路指路标志布设算法

环形道路远端指引信息的生成流程为: 首先提取高等级指引路网 (G_m), 利用式 (6) 计算其对应的搜索长度阈值 (Range_m)。接着, 从该进口道的该方向的连接性标识指引路段末端 (如图 2 中 B 点) 开始搜索, 将该路段末端相连的路段集 $f_{adj}(B)$ 全部记录。如果该环形道路为高等级道路, 其主要道路功能为过境出行, 则选取高等级道路; 如果该道路为沟通内部各区的环形道路, 则筛选重要兴趣点入口路段; 如果没有筛选到符合条件的路段, 则按照选择优先性 (直行 > 右转 > 左转) 搜索下一路口节点 v , 直至搜索长度 Length 超过搜索阈值 Range_m 。环形道路指路标志布设算法的流程图如图 3 所示。

3.2 放射性道路指路标志布设算法

主要放射性道路使用同等级及高等级道路构建的指引路网 (G_{ra}), 利用式 (6) 计算其搜索长度阈值 (Range_{ra})。主要放射性道路远端指引信息的生成流程为: 从该进口道的该方向的连接性标识指引的路段末端开始搜索, 若搜索范围内有环形道路, 优先指引环形道路; 若没有环形道路, 则选取与所在道路相同或相近的路段作为远端指引信息。次要放射性道路及支路直接选取该方向末端的第一

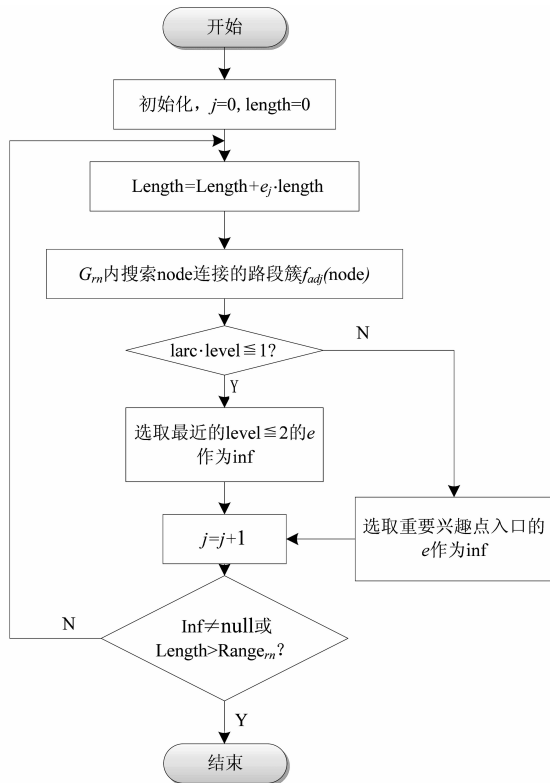


图 3 环形道路远端指引信息生成流程图

Fig. 3 Directional information of ring roads flow diagram

条路段作为方向性标识。放射性道路指路标志布设算法的流程图如图 4 所示。

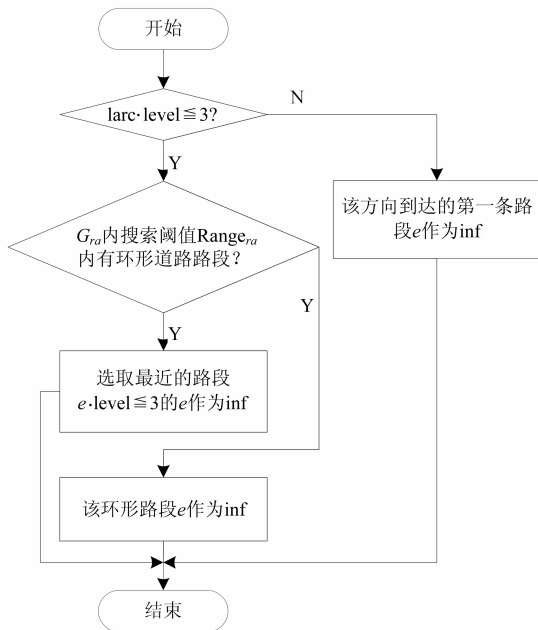


图 4 放射性道路远端指引信息生成流程图

Fig. 4 Directional information of radial roads flow diagram

4 基于“环形 + 放射”路网的指引可达评价

环形和放射性道路的指引可达率可对指引信息进行评价，是评价指引信息效用性的重要指标之一。它的定义为：给定一个目的地，在所有指示目的地的指路标志项中，能够成功指引出行者到达目的地的指路标志项的比重^[8-9]。环形道路的整体指引可达率 (A^r) 如公式 (7) 所示。该指标综合地反映了整个路网中环形道路指引信息的有效性。该指标越大，意味着行驶在放射性道路的出行者更易于在指引下驶入环形道路。由于环形道路是城市骨干道路，承担跨区出行，是一般出行者使用频率最大的道路，因此该指标为正向指标。

$$A^r = \sum_k g_k \cdot P_a(k) = \sum_k \frac{N(Ra_k)}{N(Ra)} \cdot \frac{N^*(k)}{N(k)} \quad (7)$$

式中， g_k 为主要放射性道路对环形道路 k 的指引率， $g_k = N(Ra_k)/N(Ra)$ 。其中， $N(Ra_k)$ 为在主要放射性道路上指引环路 k 的指引信息数目， $N(Ra)$ 为主要放射性道路上所有指引信息数； $P_a(k)$ 为环形道路 k 的指引可达率， $P_a(k) = N^*(k)/N(k)$ 。其中， $N^*(k)$ 为指引道路 k 且能够连续指引出行者到达 k 的指引信息数目， $N(k)$ 为指引道路 k 的所有指引信息数。

同样地，评价放射性道路的整体可达性时，将环形道路对放射性道路的指引率作为该条放射性道

路可达性评价的权重。放射性道路整体指引可达率 (A^a) 如公式 (8) 所示。该指标反映了该指引系统对行驶在环形道路的出行者分流到放射性道路的作用大小。考虑到城市大多环形道路为立体交通，出入受限，行驶在环路上的出行者更希望得到附近出口及兴趣点的指引信息，因此该指标也为正向指标。

$$A^a = \sum_t g_t \cdot P_a(t) = \sum_k \frac{N(Ri_t)}{N(Ri)} \cdot \frac{N^*(t)}{N(t)} \quad (8)$$

式中， g_t 为环形道路对放射性道路 t 的指引， $g_t = N(Ri_t)/N(Ri)$ 。其中， $N(Ri_t)$ 为在环形道路上指引放射性道路 t 的指引信息数目， $N(Ri)$ 为环形道路上所有指引信息数； $P_a(t)$ 为放射性道路 t 的指引可达率， $P_a(t) = N^*(t)/N(t)$ 。其中， $N^*(t)$ 为指引道路 t 且能够连续指引出行者到达 t 的指引信息数目， $N(t)$ 为指引道路 t 的所有指引信息数。

5 实例分析

以广州大学城为例，该区域采用简单的“环形 + 放射”路网结构，以三条环形道路和六条放射性道路为路网骨架^[14]。该模型共生成指路标志牌 581 个，指路标志项 1 900 个。其中，环形道路上生成指路标志项 627 项，主要放射性道路上生成指路标志项 927 项，其他道路 346 项。环形和放射性道路生成的指路标志，如图 5 所示。

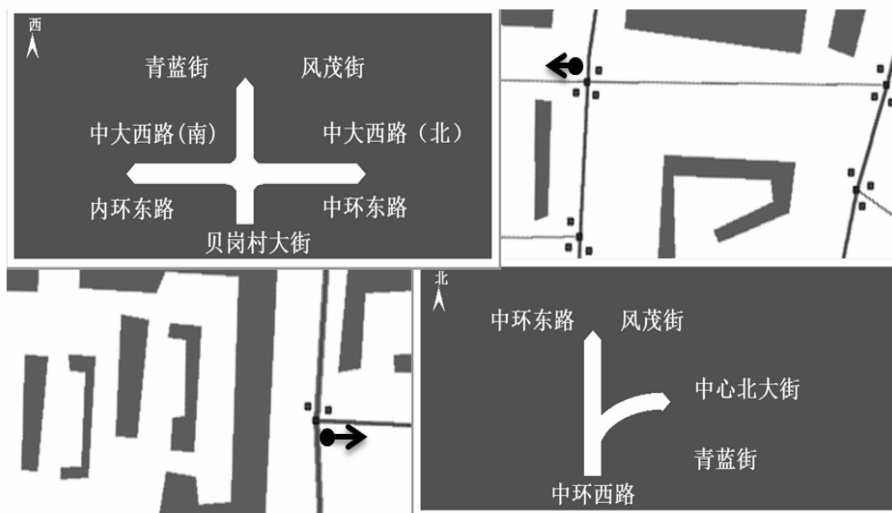


图 5 生成的指路标志示意图

Fig. 5 Guide sign samples of deploymental model

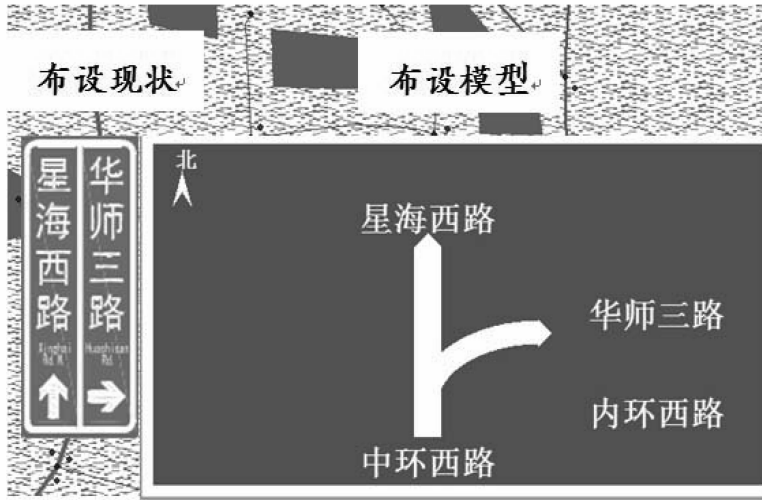


图 6 模型与现状对比示例

Fig. 6 Comparison with current situation

表 2 整体指引可达率对比
Table 2 Comparison of guiding ratios

	布设现状/%	布设模型/%
环形道路指引率 A^i	13.72	45.13
放射性道路指引率 A^m	3.27	35.50

对布设模型和现状的对比发现：① 布设模型在环形道路的指引可达率远高于布设现状。这说明：布设模型在环形道路上更注重对周边出口信息的指引，有利于出行者的正确决策。② 布设模型在放射性道路的指引可达率也高于布设现状。放射性道路上增加了对环线道路的指引（如图 6 所示），方便不熟悉路况的驾驶员对环形道路的定位。③ 放射性道路的指引可达率普遍低于环形道

路的指引可达率，这是因为部分低等级的放射性道路的功能主要是增加路网通达性，不需要对高等级的环路进行指引。

6 小 结

文章针对“环形 + 放射”这一特定形态的路网提出了指路标志布设模型及评价方法，并将布设模型应用于广州大学城。结果表明：该模型实现了“环形 + 放射”路网的指路标志布设和评价。与布设现状相比，其环形道路指引率提升了 31.41%，放射性道路指引率提升了 32.23%。但是，模型对复杂立体交叉口的布设规则不够完善，可以作为下一步研究方向。

参考文献：

- [1] 张小兰,陈晓翔,黄敏,等. 面向指路标志系统的交通网络数据模型及应用[J]. 地理与地理信息科学, 2006,22(6):45-47.
ZHANG X L, CHEN X X, HUANG M, et al. Transportation network data model for guide sign system and its application[J]. Geography and Geo-information Science, 2006, 22(6): 45-47.
- [2] 黄敏,吴海宾,饶明雷,等. 城市道路指路标志数据模型设计及应用[J]. 测绘科学技术学报,2011,28(6):454-457.
HUANG M, WU H B, RAO M L, et al. Urban road guide signs data model design and applied research[J]. Journal of Geomatics Science and Technology, 2011, 28(6): 454-457.
- [3] 邓兴栋. 城市道路指路标志信息选取方法研究[J]. 交通科学与工程,2010,26(1):97-102.
DENG X D. Research on selection method of the urban road directional sign information[J]. Journal of Transport Science and Engineering, 2010, 26(1): 97-102.
- [4] LI H, LIU Q. Layout research on traffic information sign of ring expressway[C] //2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation Academic Committee. Proceedings of 2010 international conference on intelligent computation technology and automation. Changsha: IEEE Computer Society, 2010, 2: 589-592.

- [5] 郑健,黄敏,李尔达,等. 城市交叉口道路指路标志布设方案的智能构建研究[C]//第九届中国智能交通年会学术委员会. 第九届中国智能交通年会优秀论文集. 广州:电子工业出版社,2014:3-9.
ZHENG J,HUANG M,LI E D,et al. Research on intelligent employment program of road guide signs based on Urban Road Intersections [C] // The 9th China Intelligent Transportation Annual Conference Academic Committee. Excellent collection of the 9th China intelligent transportation annual conference. Guangzhou: Publishing House of Electronics Industry, 2014: 3-9.
- [6] 夏佳,姜雪娇,郑晏群. 基于路网拓扑结构和标志性地物的指路标志设计[J]. 交通科技与经济,2015, 17(2):25-29.
XIA J,JIANG X J,ZHENG Y Q. Research of guide sign based on the topology of road network and the iconic object[J]. Technology & Economy in Areas of Communications, 2015, 17(2): 25-29.
- [7] 冯树民,高贺,郭彩香. 城市道路网结构形式的评价[J]. 哈尔滨工业大学学报,2007,39(10):1610-1613.
FENG S M,GAO H,GUO C X. Evaluation of structural types of urban road network[J]. Journal of Institute of Technology, 2007, 39(10): 1610-1613.
- [8] HUANG M,WU H B,RAO M L. Analysis model for the continuity evaluation of guiding information[C]//2011 international conference on civil engineering and transportation Academic Committee. Proceedings of of 2011 international conference on civil engineering and transportation. Clausthal-Zellerfeld: Trans. Tech. Publications, 2011: 903-906.
- [9] 黄敏,饶明雷,李敏. 指路标志诱导系统指引连贯性的分析评价[J]. 公路交通科技,2012,29(11):110-114.
HUANG M,RAO M L,LI M. Analysis and evaluation of guiding consistency in guide sign system[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2012, 29(11):110-114.
- [10] 黄敏,余志,张小兰. 基于交叉口特征的指路标志建模方法[J]. 西南交通大学学报,2007,42(1):110-114.
HUANG M, YU Z, ZHANG X L. Modeling method for road guide signs based on intersection features[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2007, 42(1): 110-114.
- [11] 姚云. 基于认知心理学的指路标志信息与信息密度阈值研究[D]. 成都:西华大学,2009:48-50.
YAO Y. The study of information density and threshold for guiding signs based on cognitive psychology [D]. Chengdu: Xihua University, 2009: 48-50.
- [12] 贺崇明,邓兴栋. 城市道路语言-指路标志系统的研究与实践[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008:120-128.
HE C M, DENG X D. Urban road language-research and practice of guide sign system[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2008: 120-128.
- [13] GB5768-2009,道路交通标志和标线[S].
GB5768-2009, Road traffic signs and markings[S].
- [14] 广州市城市规划局,广州市城市规划编制研究中心,广州大学城发展规划编制工作组. 广州大学城规划咨询及发展规划综述[J]. 城市规划,2002,26(5):90-93.
Guangzhou Urban Planning Department, Guangzhou Urban Planning Research Center, Guangzhou University City Development Planning Working Group. The consideration for the development planning of the Guangzhou University City [J]. City Planning Review, 2002, 26(5): 90-93.