

道路网络容量与机动车流规模

陆锡明¹, 江文平²

(1.同济大学建筑与城乡规划高等研究院, 上海 200092; 2.上海市城乡建设和交通发展研究院, 上海 200040)

摘要: 针对以车速为标准对城市交通拥堵进行排序和对新型城镇化提出的路网密度要求存在认识误区的现象进行论述, 指出有必要明确车速是路网容量和车流规模相互关系的反映, 不能脱离路网饱和度和不同城市交通特性差异片面追求速度指标。结合上海市第三次、第五次交通调查成果, 回顾上海 10 年间的路网发展和车流增长过程, 提出路网容量与车流规模的增长过程要互动契合。借鉴国际先进城市经验, 确定合理的速度目标, 在路网达到一定规模之后, 不应再无休止增加路网, 高密度路网不能解决交通拥堵问题, 路网规模有增长极限。

关键词: 路网容量; 路网密度; 交通拥堵; 上海市

Roadway Network Capacity and Motorized Traffic Volume

Lu Ximing¹, Jiang Wenping²

(1.Advanced institute of Architecture and Urban Planning, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Shanghai Urban- Rural Construction and Transportation Development Research Institute, Shanghai 200040, China)

Abstract: Vehicle operating speed is considered as an only indicator to show the level of traffic congestion and further to estimate the roadway network density in many cities in China. However, such discussion is under debating as operating speed is closely connected with roadway network capacity and motorized traffic volume, therefore, operating speed index can't be approached without consideration of road network saturation and traffic patterns of different cities. Based on the results of the third and the fourth travel survey in Shanghai, this paper reviews the expansion of roadway network and the evolution process of traffic flow growth in Shanghai. The paper stresses the interaction of roadway network capacity and traffic flow growth. Learning lessons from international experiences, reasonable traffic operating speed should be targeted for different cities. Since high-density roadway network can't solve the issue of traffic congestion, the road infrastructures construction should be carefully terminated when reaching the limit.

Keywords: roadway network capacity; roadway network density; traffic congestion; Shanghai

收稿日期: 2017-05-05

作者简介: 陆锡明(1950—), 男, 上海人, 硕士, 教授级高级工程师, 博士生导师, 原上海市城市综合交通规划研究所所长, 主要研究方向: 综合交通规划。E-mail: scctpi_lxm@163.com

伴随着快速城镇化和机动化的进程, 交通拥堵在各级城市中不断蔓延^[1]。对交通病的理解, 包括什么是交通拥堵、如何防范和治理交通拥堵, 存在认识上的误区: 1) 有些交通信息服务机构用高峰时段车辆行驶延误时间或平均行驶速度对城市交通拥堵水平进行排序, 把车速低等同于交通拥堵; 2) 针对新型城镇化提出的提高路网密度、优化路网结构的要求, 认为窄马路、密路网就能根治交通拥堵问题。认识上的误区带来行动上的乱象, 掀起新一轮的道路设施建设高潮: 为追求车速, 道路越修越宽, 等级越定越高;

为缓解拥堵, 打破围墙, 加密路网, 地上、地下立体发展, 但应该增加到或能增加到什么程度不得而知, 只能分阶段提出加密目标, 逐步提高。本文通过上海中心城 2004—2014 年 10 年间发展历程以及国际先进城市案例借鉴, 试图回答这两个问题。

1 术语界定与拥堵机理

道路网络容量由路网密度与结构、交通管理与执法等设施和管理因素共同决定。通常道路网络容量按照单位时间内某一道路

网络能承载的最大当量车公里数计算,单位为 $\text{pcu} \cdot \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 或 $\text{pcu} \cdot \text{km} \cdot \text{d}^{-1}$,其值为不同等级道路的通行能力与其车道长度的乘积之和。

机动车流规模是一定时间内在路网上行行驶的所有机动车完成的当量行驶里程之和,其值为不同类型车辆的当量车数量与其平均行驶里程的乘积之和。

交通流运行状况是指交通流运行畅通程度(或拥堵程度)的状态,通常用饱和度、平均车速、延误、服务水平、拥堵指数等指标来反映或衡量。

交通拥堵是交通流运行状况较差的一种现象,表现为道路上车多拥堵(密度高)、车流缓行(速度低)。根据交通流的流量-密度-速度关系,路网饱和度越低(路网容量远大于车流规模),驾驶自由度越高,延误越少,车速越接近自由流车速,对应的服务水平越高,拥堵指数越低,交通流运行状况越好。为追求畅行车速,就要提高路网容量或控制机动车流规模,当机动车流规模达到或超过路网容量,交通流状态即由非饱和(不拥堵)开始向过饱和(拥堵)转变,趋于不稳定,易受外界干扰而陷入拥堵甚至阻塞。

2 缓堵愿景:合理的速度目标

车速是衡量交通流运行状况的重要指标,其优点是易被公众理解和感受,但不能作为唯一指标。以车速为标准对城市交通拥堵进行排序,一是脱离了交通流的流量-密度-速度理论和路网饱和度基础,决定车速

的仍然是路网容量与车流规模之间的关系。确定合理的速度目标,其本质是确定合理的路网容量和车流规模。二是没有考虑各城市的发展特性差异,不同城市、不同区域的人口密度和可供选择的出行方式不同,对车速的期望值也不同。

车速更不是衡量交通病的唯一指标。交通病的病症涵盖全部市民、全部交通方式的出行条件,机动车只代表其中一部分人、一部分交通方式的利益,不能简单认为车速越高越好(或越低越差)。从工程、经济、环境等各个角度,城市都不可能为机动车提供太多容量、太高速度的路网规模。在交通需求大、交通组成多元的城市交通体系中,过大的速度差对其他交通方式既不安全,也不公平。

车速低与拥堵不能画等号,若以车速来衡量,伦敦最堵,东京、纽约紧随其后。我们学习和借鉴的城市交通楷模城市都患了交通病,还要向其学习什么,借鉴什么^[2]?以车速为衡量标准,只有不断扩大路网容量,才能维持或提高车速。根据当斯定律,机动车流规模随之快速增长,一段时间之后效果就会见底,如此循环,道路建设永无止境。

因此,缓堵的目标不是将车速提高到越高越好,而是维持何种程度的车速,既保障整个交通系统运行平稳、有序,也能被公众接受,与其他交通方式之间保持相互均衡。平稳的含义是将速度维持在一个合理、可接受的区间范围,波动稳定,可靠度高。有序指交通运行有条不紊,井然有序。缓解拥堵的目标不能一刀切,速度阈值的大小与人口密度也有关联。

伦敦将 $16 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ (约10英里 $\cdot \text{h}^{-1}$)作为可以接受的服务水平。根据伦敦出行年报(Travel in London)数据,2006—2015年中央伦敦(Central London)车速约稳定在 $15 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 、内伦敦约 $20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 、外伦敦约 $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ (见图1)。进入中央伦敦的车辆,车速期望值是 $16 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。在道路不增加也很少扩容的情况下,采用经济杠杆,通过拥堵费、排污税严格控制道路交通量。一旦车速下降,提高收费标准甚至扩大收费范围,控制车流规模,使车速稳定在 $16 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

3 过程互动契合:路网容量与车流规模的双增过程

本章以上海市为例。21世纪之初,上海市交通基础设施与建设国际大都市的要求相

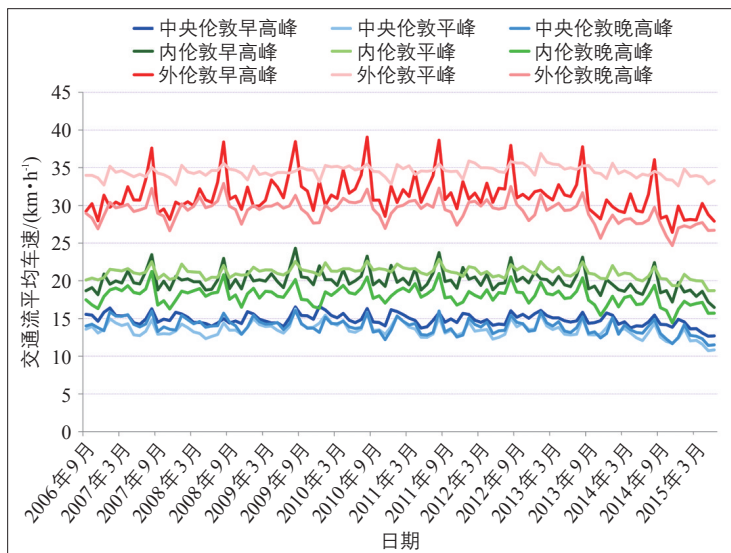


图1 2006—2015年伦敦工作日分区域、分时段平均车速

Fig.1 Weekday average speed of London by administrative regions and time periods from 2006 to 2015

资料来源:文献[3]。

比还存在较大差距，尤其是轨道交通线网密度低，道路系统尚不完善，城市交通处在设施短缺阶段的拥堵，仍需继续加大交通投资和建设力度，满足出行需求。同时，在土地资源有限、机动化需求增长快的背景下，只有加快路网扩容、减缓车辆增长过程，才能在未来一段时间内维持道路运行水平平稳受控。《上海市城市交通白皮书(2002版)》未雨绸缪，提出公共交通优先、交通区域差别和道路车辆协调政策，“在加快全市道路网建设的同时，调控机动车流量，保持车路协调发展，始终将道路网的运行状况维持在合理的水平”^[4]。

根据2004年第三次^[5]和2014年第五次^[6]交通调查，中心城(外环以内，含外环，见图2)道路长度从2 643 km增至3 547 km，路网密度从4.1 km·km⁻²增至5.5 km·km⁻²，增长约35%，车道长度从7 938车道·km增至11 818车道·km，增长约50%。交通发挥了引导城市发展的作用，人口向外围疏散。中心城人口从980万人(约占全市55%)增至1 180万人(约占全市50%)，增长20%，内外环间和外环外增幅最大，内环内浦西保持稳定，但仍然是人口密度最高的区域(见表1)。

表1 2004年和2014年分区域的人口、道路网规模

Tab.1 Population density and roadway network density by administrative regions in 2004 and 2014

区域	面积/km ²	人口数量/万人		人口密度/(万人·km ⁻²)		道路长度/km		路网密度/(km·km ⁻²)	
		2004	2014	2004	2014	2004	2014	2004	2014
内环内浦西	79	300	295	3.8	3.7	713	789	9.0	10.0
内环内浦东	31	51	58	1.6	1.9	159	210	5.1	6.8
内外环浦西	293	467	575	1.6	2.0	1 084	1 448	3.7	4.9
内外环浦东	238	162	252	0.7	1.1	687	1 100	2.9	4.6
中心城合计	641	980	1 181	1.5	1.8	2 643	3 547	4.1	5.5

资料来源：文献[5-6]。

表2 2004年和2014年分区域的小客车数量、路网容量、车流规模

Tab.2 Number of passenger vehicles, roadway network capacity, and traffic volumes by administrative regions in 2004 and 2014

区域	面积/km ²	注册小客车/万辆		路网容量/(万pcu·km·h ⁻¹)		车流规模/(万pcu·km·d ⁻¹)		路网饱和度	
		2004	2014	2004	2014	2004	2014	2004	2014
内环内浦西	79		35.4	154	183	1 587	1 931	0.82	0.84
内环内浦东	31		7.6	37	61	304	510	0.66	0.67
内外环浦西	293		45.9	266	397	1 973	3 353	0.60	0.68
内外环浦东	238		16.1	176	300	949	2 054	0.43	0.55
中心城合计	641	32	105	633	940	4 813	7 848	0.61	0.67

资料来源：文献[5-6]。

10年间中心城小客车从32万辆增至105万辆，增长约230%。中心城道路网络容量与机动车流规模双双扩大，路网容量从633万pcu·km·h⁻¹增至940万pcu·km·h⁻¹，增长约50%，机动车流规模从4 813万pcu·km·d⁻¹增至7 848万pcu·km·d⁻¹，增长63%(见表2和图3)。

道路设施建设和路网容量扩容为上海市民城镇化和机动化的高速发展提供了必要基



图2 上海中心城分区

Fig.2 Administrative regions in Shanghai central areas

础，快速拉开了城市发展框架，支撑城市内部更新和外延拓展。通过对中心城实施小客车额度拍卖政策，确保车辆有序增长。这一政策对中心城严格控制，对外围区适度放松，沪C牌照没有限制，体现了区域差别化。中心城小客车千人拥有量90辆，远低于东京、纽约、巴黎、伦敦等国际大城市中心城区200~300辆的水平，10年间小客车少增长约150万辆，使上海市道路交通服务水平优于中国同等规模城市，也为公共交通的优先发展赢得了时间和资金支持^[7]。

尽管实施了牌照拍卖政策，结果仍然是车辆增长比路网容量要更快一些，路网饱和度略有增加、车速略有下降，但总体平稳。路网饱和度从2004年0.61增至2014年0.67，增长10%。早高峰快速路平均车速从45 km·h⁻¹降至38 km·h⁻¹，下降约15%，内环内地面干路平均车速从18 km·h⁻¹降至17 km·h⁻¹，下降约5%。但如果没有2002版《上海市城市交通白皮书》的引导，问题将更加严重。上海市10年间能保持路网运行水平平稳受控，与坚持车辆发展总量控制、路车平衡发展密不可分。

4 发展目标极限：路网容量与车流规模的增长极限

内伦敦、东京都区部、纽约曼哈顿、中国香港中心区，人口密度均大于1.0万人·km⁻²，路网密度为12~20 km·km⁻²，道路面积率为15%~35%(见表3)。这些国际都市路网稳定，很少再有新的设施建设，为提高小间距路网的通行效率，采取了大规模网络化单向交通组织。

新加坡2007—2011年，土地面积从707.1 km²增至714.3 km²(填海)，增长1%，人口从459万人增至518万人，小汽车从52万辆增至61万辆，分别增长13%和17%。城市道路长度从3 297 km增至3 411 km，车道长度从8 469车道·km增至9 046车道·km，仅分别增长3.5%和6.8%。小汽车出行日均周转量从2 950万pcu·km增至3 150万pcu·km，仅增长7%。因国土资源有限，新加坡将道路面积率12%作为极限，路网容量基本不再增加，通过车辆排量附加年费、十年期限的拥车证和拥堵收费来严格控制道路交通量。

与之相比，上海中心城内环内浦西面积



图3 2004年与2014年中心城12 h道路交通量分布

Fig.3 Spatial distribution of 12-hour road traffic volume of central area in 2004 and 2014

资料来源：文献[5-6]。

表3 国际都市人口密度、路网密度对比

Tab.3 Population density and roadway network density among international cities

国际都市	面积/ km ²	人口密度/ (万人·km ⁻²)	路网密度/ (km·km ⁻²)	道路面积率/ %	道路平均间距/ m	道路平均宽度/ m
内伦敦	321	0.9	12.6	16.6	160	13.2
东京都区部	623	1.5	19.1	16.3	105	8.5
纽约曼哈顿	60	2.8	20.0	35.0	100	17.5
中国香港中心区	60	3.3	16.0	15.0	125	9.4
上海内环内浦西	79	3.8	10.0	16.3	200	16.3

资料来源：文献[8]。

为 79 km^2 ，10 年间人口从 300 万人降至 296 万人，人口密度稳定在 $3.8 \text{ 万人} \cdot \text{km}^{-2}$ ，路网密度从 $9.0 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$ 增至 $10.0 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$ ，道路面积率为 $15\% \sim 16\%$ ，同样也采取了大范围网络化单向交通的组织形式(见图 4)。由于国内外统计口径不一致，上海市只统计市政道路，实际路网密度和道路面积率已经达到国际先进城市水平。内环内浦西发展成熟，路网规模已接近极限，道路扩容余地十分有限。黄浦区、卢湾区、徐汇区原为英、法租界，路网本身就是小网格，打开小区、开放路网也基本见底。

为缓解道路拥堵、维持道路交通运行水平，上海市 2015 年 3 月 24 日启动综合交通大整治行动，2015 年 4 月 15 日对外地号牌车辆实施高架桥限行时段由原来早晚高峰共 4 h 延长至早晚高峰共 6 h，内环内浦西快速路、主干路、次干路、支路早高峰平均车速分别维持在 $20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ， $18 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ， $15 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ， $14 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ (见图 5)。

在《上海市城市总体规划(2017—2035 年)》提出人口零增长、用地负增长、历史文化街区保护的要求下，内环内路网容量也将维持零增长。交通发展战略要求公平、公正分配道路路权，逐步向公共交通、步行和自行车交通矫正，内环内路网容量甚至会负增长。为应对进一步增长的交通需求，不应永无止境地小汽车修建地上、地下通道，一味改善小汽车的出行条件而忽视公共交通、步行和自行车交通的发展。《上海市交通发展白皮书(2013 版)》提出小客车需求调控、公共交通优先发展和绿色发展战略，“进一步加强小客车保有量控制，引导合理使用，降低使用强度，保持道路交通服务水平总体受控”“进一步提高公共交通吸引力”“显著改善步行和自行车等交通方式的出行环境”^[10]。

5 结语

城市交通服务水平的衡量指标，是全部市民、全部交通方式的出行是否安全、舒适、便捷、可靠。小汽车交通只是其中一部分，不应为小汽车交通提供过大容量、过高速度的路网条件，更不应以牺牲其他交通方式的权益来换取小汽车通行效率的提升。应当为不同城市、不同区域的小汽车交通确定合适的速度目标，与其他交通方式保持平衡。

10 年间，上海市交通基础设施得到进一

步完善，尤其是内环内路网络局已经稳定，并接近增长极限，不应无止境地小汽车交通修建高等级通道和无休止地加密路网，刺激小汽车出行需求无节制增长。城市交通必须转型发展，坚持绿色交通发展理念，优先发展公共交通、改善步行和自行车交通，优化交通结构，打造绿色交通之都，才能在机动车路网容量零增长甚至负增长的情况下，控制机动车流规模，始终保持道路交通运行平稳有序。

参考文献：

References:

- [1] 陆锡明，杨晨. 城市交通病防治与一体化交通理念[C]//中国城市规划学会城市交通规划学术委员会. 2016 年中国城市交通规划年会论文集. 北京：中国建筑工业出版社，2016：236.
- [2] 汪光焘，陆锡明，等. 聚焦城市综合交通治



图4 内环内浦西单向交通组织

Fig.4 One-way roadway network of Puxi within Shanghai Inner Ring Road

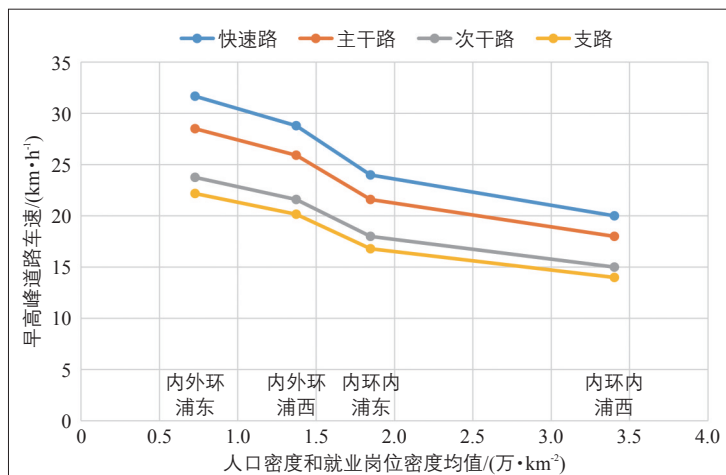


图5 2015 年各等级道路平均车速

Fig.5 Average speed by roadway classification in 2015

资料来源：根据文献[9]数据绘制。

- 理: 中国城市发展论坛第十次研讨会讨论精选[J]. 城市交通, 2016, 14(3): 1-7.
- Wang Guangtao, Lu Ximing, et al. Focusing on Urban Comprehensive Transportation Improvement: Highlight of the 10th Urban Transportation Development Forum in China [J]. Urban Transport of China, 2016, 14(3): 1-7.
- [3] Transport for London. Travel in London: Report 8 [R]. 2015[2017-04-10]. <https://tfl.gov.uk/corporate/publications-and-reports/travel-in-london-reports>.
- [4] 上海市人民政府. 上海市城市交通白皮书[M]. 上海: 上海人民出版社, 2002.
- [5] 上海市第三次综合交通调查办公室, 上海市城市综合交通规划研究所. 上海市第三次综合交通调查成果报告[R]. 上海: 上海市城市综合交通规划研究所, 2005.
- [6] 上海市第五次综合交通调查联席办公室, 上海市城乡建设和交通发展研究院. 上海市第五次综合交通调查成果报告[R]. 上海: 上海市城乡建设和交通发展研究院, 2015.
- [7] 薛美根, 程杰, 朱洪, 等. 上海市小客车管理政策研究[J]. 城市交通, 2014, 12(6): 1-6.
- Xue Meigen, Cheng Jie, Zhu Hong, et al. Policies on Passenger Car Management in Shanghai[J]. Urban Transport of China, 2014, 12(6): 1-6.
- [8] 上海市城乡建设和交通发展研究院. 上海市单行道系统适应性分析评估和实施方案研究[R]. 上海: 上海市城乡建设和交通发展研究院, 2015.
- [9] 上海市城乡建设和交通发展研究院. 2016年上海市综合交通年度报告[R]. 上海: 上海市城乡建设和交通发展研究院, 2016.
- [10] 上海市人民政府. 上海市交通发展白皮书(2013版)[M]. 上海: 上海人民出版社, 2013.

(上接第80页)

- [3] 姜洋, 解建华, 余军, 等. 城市传统商业区步行交通系统规划: 以重庆市解放碑商圈为例[J]. 城市交通, 2014, 12(4): 37-45+64.
- Jiang Yang, Xie Jianhua, Yu Jun, et al. Pedestrian Transportation System Planning in Urban Traditional Business Districts: A Case Study of Jiefangbei Business District, Chongqing [J]. Urban Transport of China, 2014, 12(4): 37-45+64.
- [4] 刘维彬, 祖宇聪. 城市中心商业区公交优先的交通规划的探讨[J]. 中外建筑, 2013(8): 66-68.
- Liu Weibin, Zu Yucong. Discussion on the Central Business District of a City Bus Priority Traffic Planning[J]. Chinese & Overseas Architecture, 2013(8): 66-68.
- [5] 陆锡明. 大都市一体化交通[J]. 城市公用事业, 2006(1): 13-18+45.
- Lu Ximing. Integrated Traffic in Metropolis [J]. Public Utilities, 2006(1): 13-18+45.
- [6] 胡金东, 吴群琪. 多元交通一体化发展的国际比较及其启示[J]. 城市发展研究, 2013, 20(4): 99-105.
- Hu Jindong, Wu Qunqi. International Comparison of Integrative Development of Multiple Traffic and Its Inspiration[J]. Urban Development Studies, 2013, 20(4): 99-105.
- [7] 吕慎, 田锋, 李旭宏. 基于城市用地与交通一体化的枢纽等级体系研究[J]. 交通运输工程与信息学报, 2005, 3(1): 57-62+72.
- Lyu Shen, Tian Feng, Li Xuhong, et al. Study on the Levels of Urban Passenger Terminals Based on Integrating Urban Land Use with Transportation[J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2005, 3(1): 57-62+72.
- [8] 贺国光, 马寿峰. 论交通系统一体化[J]. 交通运输系统工程与信息, 2003, 3(2): 60-64+76.
- He Guoguang, Ma Shoufeng. A Perspective on Integrated Transportation System[J]. Communication and Transportation Systems Engineering and Information, 2003, 3(2): 60-64+76.
- [9] 夏天. 城市慢行交通系统设计策略分析[J]. 交通信息与安全, 2010, 28(5): 81-84.
- Xia Tian. Strategies for Designing Urban Slow Traffic System[J]. Journal of Transport Information and Safety, 2010, 28(5): 81-84.
- [10] 李涛, 黄珏, 孙琦. 城市轨道交通非票务资产经营管理模式研究[J]. 都市快轨交通, 2013, 26(1): 54-58.
- Li Tao, Huang Yao, Sun Qi. Study on the Management of Non-Ticketing Assets of Urban Rail Transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2013, 26(1): 54-58.
- [11] 周明保, 张宁, 杨利强, 等. 城市轨道交通线网的收费策略[J]. 城市轨道交通研究, 2008(11): 1-6.
- Zhou Mingbao, Zhang Ning, Yang Liqiang, et al. On Pricing Strategy of Urban Rail Transit Network[J]. Urban Mass Transit, 2008(11): 1-6.