

基于交通仿真的单向平面分流路网研究

Study of One-way Road Network based on Traffic Simulation

蔡 军, 滕少洁, 唐 伟, 陈海英

(大连理工大学建筑艺术学院, 辽宁 大连 116024)

Cai Jun, Teng Shaojie, Tang Wei, Chen Haiying

(School of Architecture & Fine Art, Dalian University of Technology, Dalian Liaoning 116024, China)

摘要: 为解决机非混行造成的交通低效问题,构建单向平面分流路网,即以机动车干路单向交通组织为基础,以机动车支路和自行车、公交专用路双向交通组织为辅助的公交专用、机非分离的路网模式。首先,采用VISUM, VISSIM模型,对单向平面分流路网与传统混合路网的路网特性、交通运输效率进行分析,结果表明,分流路网在交通绕行、转向比例方面与传统混合路网基本一致。其次,在对两套路网体系进行优化设计的基础上,通过仿真分析,得出单向平面分流路网的运输效率远高于传统混合路网。最后指出,将干路单向化处理,发挥单向道路的横向可穿越特性,辅以减少干路绕行的支路体系,是单向平面分流路网实现高效运行的关键。

Abstract: To solve the low capability problem caused by the mixed traffic of motor vehicles and bicycles, a one-way road network is proposed, which separates bus, bicycle, and motor vehicle traffic and allow two-way flows for bike and bus on exclusive lanes. The proposed network is evaluated by VISUM and VISSIM models. Specifically, the models simulate the characteristics of one-way diversion road network and traditional road network and compare the transportation efficiency between the two networks. The simulation results show that the new road network has generally the same traffic detour volume and turning ratio compared with the traditional road network. The design optimization of both roadway network shows that the transportation efficiency of new road network is much higher than that of conventional mixed traffic road network. Finally, this paper indicates that the key point to achieve the high-efficiency operation of one-way diversion road network is to separate bus, bicycle, and motor vehicle on arterial road, which enhances the capability for through traffic of one-way road, and at the same time reduces the traffic detour on minor road system.

关键词: 路网规划; 单向交通; 交通仿真; 交通混合; 机非分流

Keywords: road network planning; one-way traffic; traffic simulation; mixed traffic; bus/bicycle/motor vehicle separation

中图分类号: U491.1*23

文献标识码: A

收稿日期: 2012-04-16

作者简介: 蔡军(1970—),男,山东平原人,博士,副教授,主要研究方向:城市规划、城市交通规划。E-mail:caimans@126.com

交通混合是导致中国城市交通运输效率偏低的原因之一^[1]。一般意义上的交通混合指机动车、非机动车、行人二者或三者间的混合。相对于交通混合,路网分流是指将不同交通方式布置在不同的道路上,其优点包括:1)减少不同交通方式间的干扰;2)公共汽车与社会车辆的分流运行有利于改善公交运行环境,保障公交优先发展,减少交通事故与汽车尾气排放;3)有助于完善、理清路网功能,健全支路体系。合理组织城市交通,建设合理分流的平面路网体系,是促进城市交通健康有序发展的有效措施之一。

1 横断面分流模式反思

当前,城市道路主要通过横断面设置实现分流。道路横断面的差别在于车行道、隔离带的宽度、数量及配置方式不同。三幅路与四幅路是中国常见的横断面分流模式。如果在

三幅路的双向机动车道之间增设隔离带，则演变为四幅路。由此，路段上的分流不难实现，路段交通运行效率也不难保障。

横断面分流模式注重路段交通运行效率的提高，却难以有效保障交叉口的交通运行效率。对于两相位交叉口，纯机动车只有2个冲突点，而加入自行车后冲突点增至18个，其中10个由自行车左转引起。对于多相位交叉口，机动车与自行车在流量、流向上难以匹配，往往难以同时达到最佳运行状态，导致交叉口整体交通运行效率降低。此外，干路进口、用地进出口、支路进口均存在机动车右转车流与自行车直行车流的冲突，易引发交通事故并造成交通效率下降。因此，由于在交叉口不能实现混行干扰的排除或弱化，横断面分流模式路网实际是一种交通混合路网。

2 路网分流的相关研究

鉴于混合路网的现存问题，中国学者对路网分流展开研究。文献[2]对上海市中心机非分流网络进行研究，构建了多层次的机非分流路网体系。文献[3]以北京市东黄城根为例，对利用街巷开辟自行车专用车道进行研究。文献[4]分析了计划经济和市场经济下的两种道路—土地利用模式的差异，提出了井字形内部路网和包括“核”、“边”、“角”完整结构的微观道路—土地利用结构，这种改进将道路系统进一步分为交通性、生活性、休闲性三个相对独立的层次。文献[5]剖析

了中国城市机动车与非机动车交通混行的形成原因及其带来的交通问题，通过对道路交叉口和路网交通组织规律的分析，提出了构建机非分流路网体系的基本思路。文献[6]基于机非分流对大城市自行车路网规划进行了研究。

3 单向平面分流路网构思

3.1 单向平面分流路网的初步设想

如果将传统混合路网(干路网间距按500 m考虑，见图1a)机动车干路车道数量减少，断面缩窄，形成机动车支路格网体系；同时，将传统混合路网中的干路自行车道进行偏移处理，形成自行车专用路格网体系；然后，在此基础上叠加500 m间距的单向机动车道，即形成以机动车干路单向交通组织，机动车支路、自行车专用路双向交通组织为特征的分流路网，称为单向平面分流路网，见图1b。在单向平面分流路网自行车专用路的中间布置公交专用车道即可形成包含公交专用车道的单向平面分流路网，见图1c。

3.2 对单向平面分流路网的质疑

干路网间距为500 m的传统混合路网尽管存在许多问题，但依然在中国城市广泛采用。单向平面分流路网是在167 m间距方格路网的基础上，通过路网偏置、分工而形成的路网模式。对于该路网模式存在以下7点质疑：

- 1) 167 m间距的路网能否保障干路车辆的运

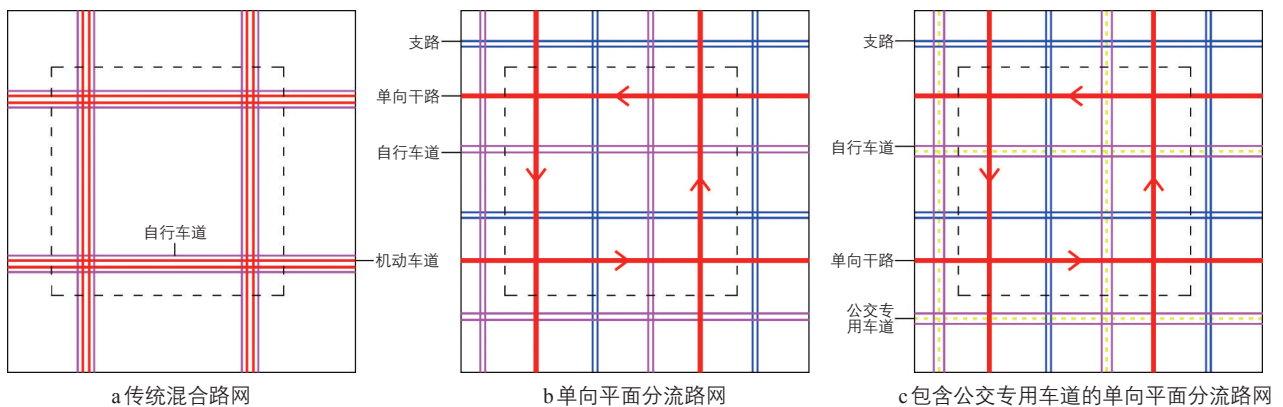


图1 单向平面分流路网构思的形成

Fig.1 One-way bus/bicycle/motor vehicle separation road network formation

行速度以及公共汽车、自行车的运行速度?

2) 500 m 间距的单向干路网是否会带来机动车的绕行?如果存在, 是否影响单向平面分流路网的运行效率, 并使之低于传统混合路网?

3) 单向平面分流路网的各级、各类道路交叉口设计, 能否保障其通行能力高于传统混合路网?

4) 单向平面分流路网是否会带来转向比例的增加?

5) 单向平面分流路网是否造成道路用地比例偏大?

6) 居住区的开发需要具备一定用地规模, 且居住区内部要求具有足够的静谧性。单向平面分流路网是否能够保障居住区的用地需求以及居住区内部的安静与安全?

7) 单向平面分流路网能否保障用地与空间布局的灵活性?

3.3 对质疑的初步分析

单向平面分流路网借助机动车支路、自行车专用路的方式, 提供与传统混合路网密度相同的机动车、自行车双向通行路径, 因此二者在机动车、非机动车可达性和绕行率方面应基本一致。平面分流路网采用单向干路交通组织, 简化了交叉口的冲突点和交通复杂程度, 更有利于信号协调整控制, 车速应有所提高。

单向平面分流路网在道路交叉口的展宽与传统混合路网基本一致, 不存在道路用地比例偏大的问题。对于用地开发的适应性、灵活性需要通过实际案例进行解析。单向平面分流路网未提高城市的干路与支路机动车道密度, 干路为主要噪声源, 其所围合的区间与传统混合路网一致, 因此居住区的静谧性应有所保障。

4 基于VISUM宏观模型的路网特性分析

4.1 分析模型构建

本文采用PTV公司VISUM软件构建宏观模型。在500 m间距的干路网围合区间内布置9个交通小区, 这9个交通小区隶属1个交通大区, 见图2a。城市干路网一般呈方格网形, 分析模型构建了由30个500 m间距格网构成的L形路网, 共包括19个交通大区, 171个交通小区。交通大区自东北向西南依次排列, 见图2b和图3。1交通大区至2交通大区的形心距离为0.5 km, 1交通大区至3交通大区的形心距离为1.0 km, 以此类推, 可模拟出行距离为0.5~9.0 km的机动车、自行车出行。宏观模型在模拟理想方格路网的出行时, 考虑每次出行均在干路交叉口转向一次。单向平面分流路网宏观模型(见图4)在混合路网宏观模型的基础上通过设置单向交通与路段通行车辆类别实

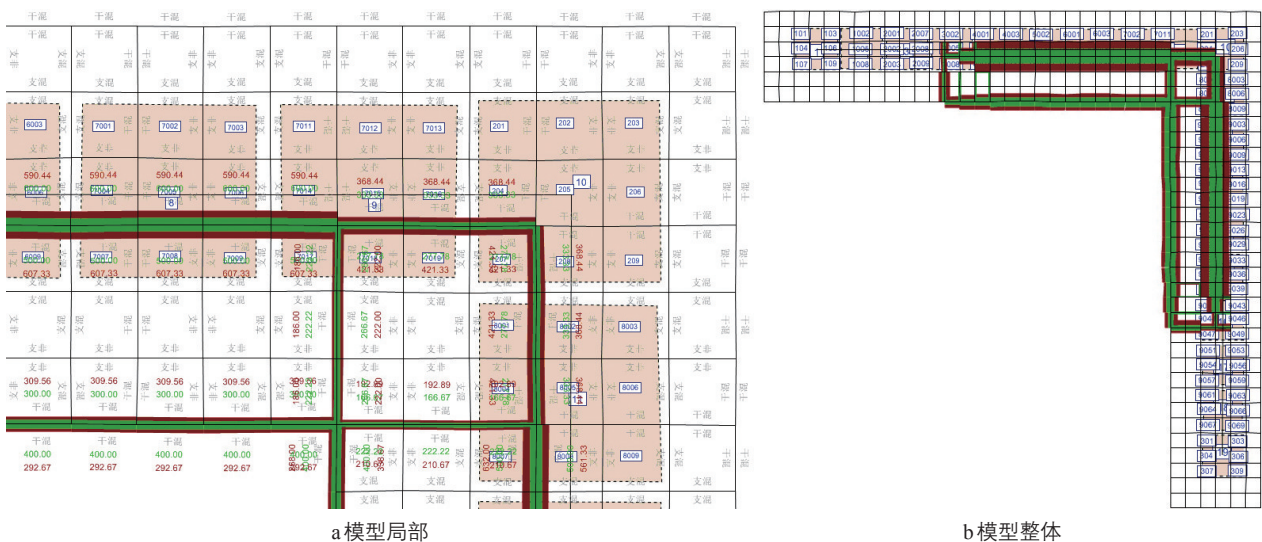


图2 混合路网宏观模型

Fig.2 Macroscopic model of mixed road network

现，见图5。除交通组织外，二者具有一致的模型参数。

4.2 路网特性比较

绕行距离、转向比例是路网的关键特性。对于双向行驶的理想干路网，设机动车平均出行距离为 $L_{出}$ 、干路路网间距为 $L_{街}$ ，那么其转向比例^[2]

$$R_{左} \approx R_{右} \approx 1/(L_{出}/L_{街} + 1). \quad (1)$$

由式(1)可知，出行距离越短、干路间距越大，转向比例越大。在模型中，通过路段属性设定，求取每次分配的路段车公里，并得到平均行驶里程。通过出发大区、目的大区选择，确定出发大区与目的大区的形心距离。然后，通过加权计算获得该出行距离分布下的绕行、转向比例。

经模拟比较，单向平面分流路网的绕行率(绕行超出距离与最短距离比)略大于传统混合路网。

通常情况下，机动车与非机动车的出行距离分布具有类似图6所示的分布规律，图中机动车与非机动车的平均出行距离分别为 5.7 km 与 4.3 km。根据该出行距离分布，经加权计算，机动车与非机动车的平均绕行率分别为 2.80% 与 0.35%。机动车的平均出行距离通常大于图6假定数值，因此可将机动车的平均绕行率界定为 3% 以下。对于非机动车，两种路网模式的绕行率基本一致。总体来看，宏观模型验证了前文对单向平面分流路网的定性判断。

混合路网、单向平面分流路网，对于 3.5 km, 5.5 km, 7.0 km 的出行距离，按式(1)计算所得的转向比例与模型模拟的转向比例基本一致，见表1。鉴于两种路网在不同距离下的转向比例非常接近，不再考虑转向比例加权计算。

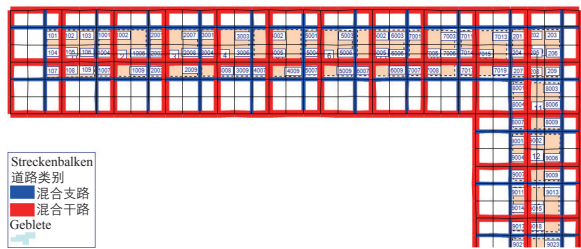


图3 混合路网的道路功能划分
Fig.3 Road function of mixed road network

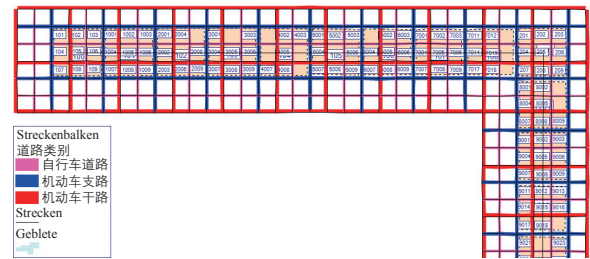


图5 单向平面分流路网的道路功能划分
Fig.5 Road function of one-way bus/bicycle/motor vehicle separation road network

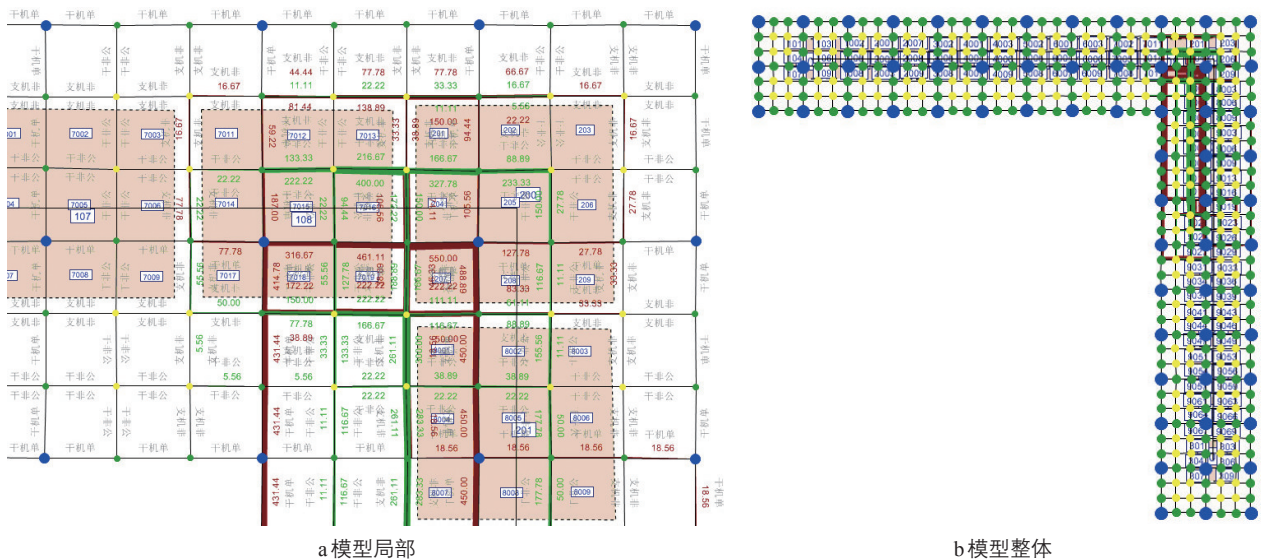


图4 单向平面分流路网宏观模型
Fig.4 Macroscopic model of one-way bus/bicycle/motor vehicle separation road network

5 基于 VISSIM 微观仿真模型的交通特性分析

通过宏观模型分析可知，混合路网与单向平面分流路网在转向、绕行方面基本一致。随后，应通过 VISSIM 微观仿真模型对两种路网的通行能力、速度等交通特性进行分析。

5.1 假定条件

对于转向、车辆类型、流量不同的路网，很难检验其运行效率。因此，研究给出相关条件假设：1)所模拟路网的车辆类型全部为小汽车。2)干路交叉口车辆左转、直行、右转比例均为0.15:0.70:0.15。3)社会车辆期望车速为48~58 km·h⁻¹。4)干路公交线路发车间隔为2 min，车站停靠时间为20 s；公交专用车道公交线路发车间隔为1

min，车站停靠时间为20 s。5)各道路交叉口均做进口展宽和有效渠化。6)两类路网均按绿波协调考虑，相位差为半个信号周期。7)单向平面分流路网干路间距为500 m，单向5车道；混合路网干路间距为600 m，双向6车道；两种路网的干路车道网密度均为20 km·km⁻²。

表1 不同出行距离的转向比例比较

Tab.1 Turning ratio of different travel distance

出行距离 /km	计算转向比例 /%	模拟转向比例/%	
		混合路网	单向平面分流路网
3.5	12.50	13.03	13.03
5.5	8.33	8.41	8.24
7.0	6.67	6.90	5.68

注：混合路网通过500 m间距的双向干路实现转向；单向平面分流路网在500 m间距单向干路的基础上同时提供了500 m间距的双向支路。

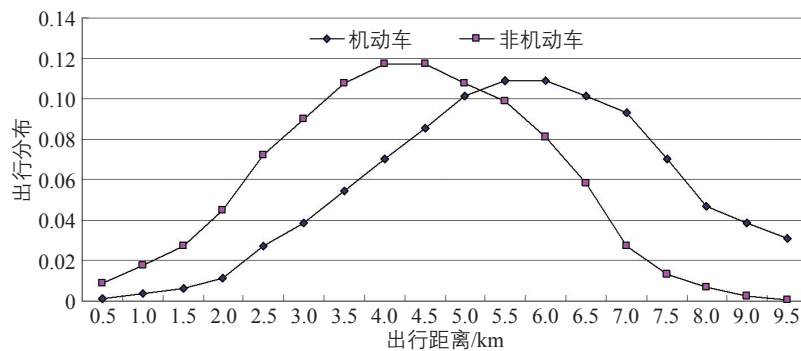


图6 假定的出行距离分布

Fig.6 Assumed travel distance distribution

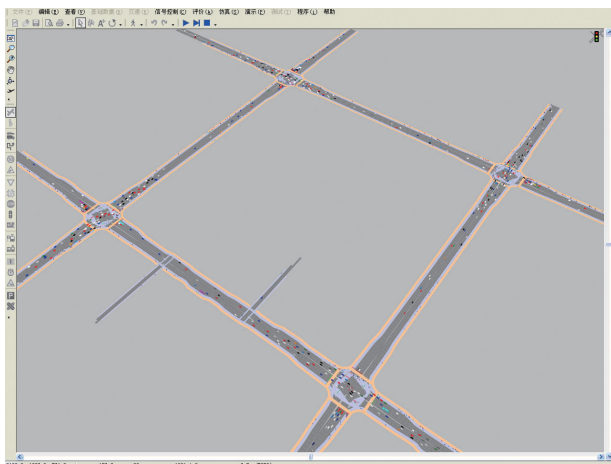


图7 混合路网仿真模型

Fig.7 Simulation model of the mixed network



图8 混合路网干路交叉口交通渠化

Fig.8 Traffic channelization of mixed network on arterial road

5.2 交叉口设计与信号配时

1) 混合路网。

混合路网的微观仿真模型见图7。混合路网的干路交叉口采用左转前置待行区、右转专用车道、自行车左转二次过街方式进行交叉口渠化和交通组织，见图8。混合路网的干支路交叉口，拓展出干路转向支路的左转待行区。直行、左转车道完全绿灯时，机动车通行能力按每车道1 800 pcu·h⁻¹计算，自行车通行能力按2 000 辆·h⁻¹计算。96 s信号周期下，混合路网干路交叉口机动车、自行车通行能力计算结果见表2。

2) 单向平面分流路网。

单向平面分流路网的微观仿真模型见图9。该路网的干路交叉口采用两相位信号控制，周期为80 s，干路进口拓增左转、右转专用车道各1条。对干支路交叉口进行交通渠化，干路进口、支路进口均做转向车道展宽。对自行车、公交专用路交叉口进行交通渠化，见图10，并采用图11所示方式进行交叉口自行车左转交通组织。

3) 理论通行能力比较。

根据信号配时对道路交叉口通行能力进行计算：在80 s信号周期下单向平面分流路网的干路交叉口进口每条直行车道的通行能力为787 pcu·h⁻¹(见表3)，在96 s信号周期下混合路网为506

表2 混合路网96 s信号周期下的信号配时与通行能力计算
Tab.2 Signal timing and capability of mixed road network in 96 seconds cycle

车辆类型	方向	绿灯起 /s	绿灯终 /s	黄灯 /s	有效绿灯 /s	车道数 /条	通行能力 /(pcu·h ⁻¹) ¹⁾	交叉口有效通行能力/(pcu·h ⁻¹) ¹⁾
机 动 车	南至北 直行	92	23	3	27	3	1 519	8 679
	南至西 左转	25	45	3	20	1	375	
	北至南 直行	92	23	3	27	3	1 519	
	北至东 左转	25	45	3	20	1	375	
	西至东 直行	45	70	3	25	3	1 406	
	西至北 左转	73	93	3	20	1	375	
	东至西 直行	45	70	3	25	3	1 406	
	东至南 左转	73	93	3	20	1	375	
	右转			避让通过		1	600	
自 行 车	直行			24		4	2 000	
	左转			左转二次过街		4	600	11 429
	右转			避让通过		1	600	

1) 自行车通行能力单位为辆·h⁻¹。

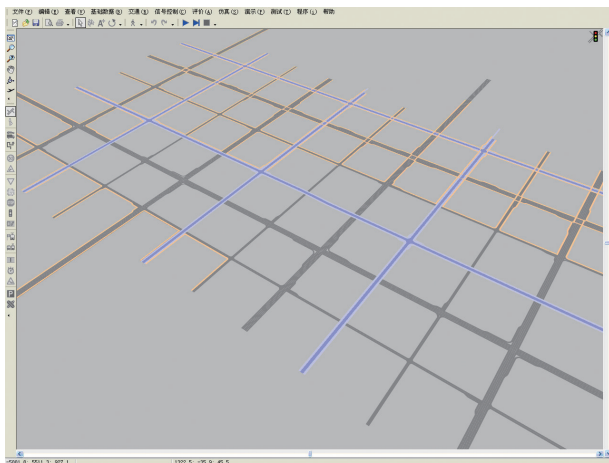


图9 单向平面分流路网微观仿真模型

Fig.9 Simulation model of one-way bus/bicycle/motor vehicle separation road network

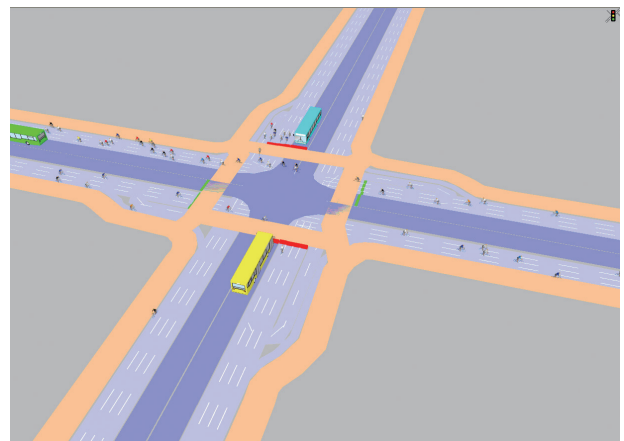


图10 单向平面分流路网自行车、公交专用路交叉口交通渠化

Fig.10 Traffic channelization of bus and bike road crossings of one-way bus/bicycle/motor vehicle separation road network

pcu·h⁻¹；当绿波带速均为45 km·h⁻¹时，在信号协调控制的前提下，单向平面分流路网的机动车道通行能力为混合路网的1.56倍。对于混合路网，可将干路交叉口内的左转待行区拓展至2车道，

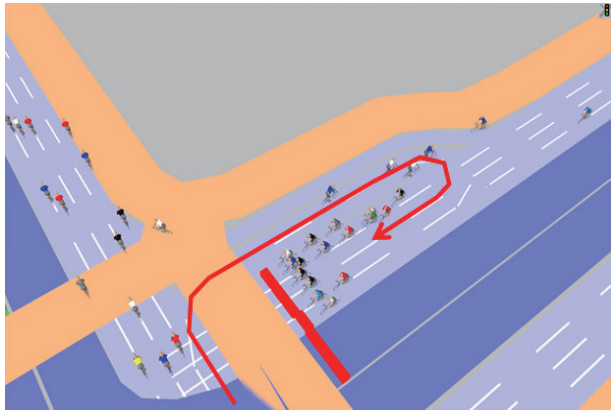


图 11 自行车左转交通组织

Fig.11 Organization of left-turn bike traffic

并采用120 s信号周期，以提高混合路网的运输效率；在该条件下的交叉口机动车直行通行能力为1 755 pcu·h⁻¹，左转为473 pcu·h⁻¹，干路交叉口每条直行车道的通行能力为585 pcu·h⁻¹，比单向平面分流路网低25%。对于自行车道，各路网均按每路段500辆·h⁻¹测试。

以上计算仅针对单个道路交叉口的通行能力。由于单向平面分流路网的道路交叉口间距较小，交叉口联立后会牵涉转向车流的汇入、转出、车道转换等问题，对路网影响较大。因此，下文基于路网仿真测试的数据是两种路网效率比较的关键。

5.3 路网仿真测试数据分析

1) 基于交通承载强度的运行效率比较。

单向平面分流路网模式80 s信号周期，混合

表 3 单向平面分流路网80 s信号周期下的信号配时与通行能力计算结果

Tab.3 Signal timing and capability of bus/bicycle/motor vehicle separation road network in 80 seconds cycle

车辆类型	交叉口类别	方向	绿灯起 /s	绿灯终 /s	黄灯 /s	有效绿灯 /s	车道数 /条	通行能力 /(pcu·h ⁻¹) ¹⁾	交叉口有效通行能力/(pcu·h ⁻¹) ¹⁾
机动车	干路交叉口	南北直行	0	35	3	35	5	3 938	11 250
机动车		东西直行	41	76	3	35	5	3 938	
机动车		转向	避让通过					700	
机动车	机非交叉口	直行				44	5	4 950	4 950
自行车		直行				26	4	2 340	2 340

1) 自行车通行能力单位为辆·h⁻¹。

表 4 微观仿真模型测试数据

Tab.4 Micro-simulation test data

模式	交叉口输入流量/(pcu·h ⁻¹)	类别	交叉口测试通过流量/(pcu·h ⁻¹)	干路每车道测试通过流量/(pcu·h ⁻¹)	车道通行能力比	社会车辆车速/(km·h ⁻¹)	社会车辆车速比	干路公交车速/(km·h ⁻¹)	公交专用车道公交车速/(km·h ⁻¹)
单向平面分流路网	8 400	无公交 有支路	8 332	833	1.00	36.27	0.99	15.78	16.56
		有公交 有支路	8 366	837	1.00	36.64	1.00		
混合路网(96 s信号周期)	7 200	无公交 无支路	7 250	604	0.74	38.10	1.04	15.37	
		有公交 无支路	7 288	607	0.75	33.54	0.92		
	8 200	无公交 有支路	7 244	604	0.74	32.34	0.88	15.37	
		有公交 有支路	7 298	608	0.75	29.31	0.80		
		无公交 无支路	8 220	685	0.84	32.73	0.89		
		有公交 无支路	8 254	688	0.85	29.47	0.80		
有支路 有公交	无公交 有支路	8 184	682	0.84	24.66	0.67	15.19		
	有公交 有支路	8 230	686	0.84	23.38	0.64			
混合路网(120 s信号周期)	9 800	有公交 有支路	9 480	790	0.95	29.65	0.81		

路网模式 96 s, 120 s 信号周期下的仿真数据见表 4。表 5 是单向平面分流路网与混合路网(96 s 信号周期)的运行效率比较。其中, 交通承载强度指单位城市建设用地上的道路单位时间内所能完成的车公里或人公里, 该值等于车道密度与车道通行能力的乘积或单向公交线网密度与单条公交线路断面客运能力的乘积。当交通承载强度、干路车道通行能力接近时, 混合路网比单向平面分流

路网的干路直行社会车辆车速低 43%; 当社会车辆车速接近时, 混合路网的通行能力较单向平面分流路网低 37%。每辆公共汽车按载客 60 人计算, 由于单向平面分流路网设置了公交专用车道, 混合路网的公交客运承载强度仅为单向平面分流路网的 1/3, 且单向平面分流路网的公交车速高于混合路网。对于混合路网, 在 120 s 信号周期和交叉口优化的情况下, 其交通承载强度与单向

表 5 单向平面分流路网与混合路网(96 s 信号周期)的运行效率比较

Tab.5 Comparison of operation efficiency between separation and mixed road network (96 seconds cycle)

模式	条件	交通承载强度/ (万车公里·h ⁻¹)	社会车辆 车速 (km·h ⁻¹)	通行 能力比	社会车辆 车速比	公交承载强 度/(万车公 里·h ⁻¹)	公交专用车 道公交车速/ (km·h ⁻¹)	干路公交 车速/ (km·h ⁻¹)	公交专用车道 公交发车频率 (次·h ⁻¹)	干路公交 发车频率 (次·h ⁻¹)
单向平 面分流 路网	通行 能力 接近	1.42	41.07		1.00	3.60	16.53	16.13	60	
混合 路网		1.37	23.38		0.57	1.20		15.19		30
单向平 面分流 路网	车 速 接 近	1.62	36.64	1.00		3.60	16.56	15.78	60	
混合 路网		1.03	34.56	0.63		1.20		15.43		

表 6 单向平面分流路网与混合路网(120 s 信号周期)的运行效率比较

Tab.6 Comparison of operation efficiency between separation and mixed road network (120 seconds cycle)

模式	交通承载强度/ (万车公里·h ⁻¹)	社会车辆 车速 (km·h ⁻¹)	通行 能力比	社会车辆 车速比	公交承载强 度/(万车公 里·h ⁻¹)	公交专用车 道公交车速/ (km·h ⁻¹)	干路公交 车速/ (km·h ⁻¹)	公交专用车道 公交发车频率 (次·h ⁻¹)	干路公交 发车频率 (次·h ⁻¹)
单向平 面分流 路网	1.62	36.64	1.00		3.60	16.56	15.78	60	30
混合 路网	1.62	29.65		0.81	1.20		13.49		

表 7 基于车道密度的路网运行效率比较

Tab.7 Comparison of operating efficiency based on lane density of road network

比较项目	单向平面分流路网	混合路网(96 s 信号周期)	混合路网(120 s 信号周期)
干路直行车道密度/(km·km ⁻²)	20.00	20.00	20.00
干路辅助车道密度/(km·km ⁻²)	0.91	1.72	2.78
干路车道总密度/(km·km ⁻²)	20.91	21.72	22.78
公交专用车道密度/(km·km ⁻²)	4.00		
干路主体车道通行能力/(pcu·h ⁻¹ ·lane ⁻¹)	812	686	811
总体车道密度比	1.00	0.87	0.91
干路主体及其辅助车道通行能力/(pcu·h ⁻¹ ·lane ⁻¹)	777	631	712
干路主体及其辅助车道通行能力比	1.00	0.81	0.92

平面分流路网的测试值一致,但其干路社会车辆车速比单向平面分流路网低19%,公交车速低15%,见表6。总体来看,单向平面分流路网的运输效率远高于混合路网。

2) 基于车道密度的运行效率比较。

基于车道密度的单向平面分流路网、混合路网(96 s、120 s信号周期)运行效率比较见表7。干路辅助车道是指干路上由展宽而新增的服务于左转、右转的辅助车道。干路主体及其辅助车道通行能力的计算公式为

干路主体及其辅助车道通行能力=干路主体通行能力×干路车道密度/干路主体及其辅助车道密度。

从干路主体及其辅助车道通行能力比较来看,混合路网的运行效率明显低于单向平面分流路网。

6 结语

本文对混合路网、单向平面分流路网理想状态下的路网特性、交通特性进行了比较。无论从理论通行能力,还是仿真分析得到的测试通行能力来看,单向平面分流路网均具有较高的运输效率,同时能够提供更高效的公交运输服务。研究表明,高效率、高密度的单向平面分流路网在理论层面的确存在,其充分发挥了单向交通在道路交叉口交通组织和路段穿越性交通组织方面的相对优势,再辅以减少干路绕行的支路体系,能够确保路网的高效运行。

混合路网是中国城市路网规划多运用的路网模式。该模式强调采用双向行驶、断面分流的宽马路解决交通问题,殊不知干路纵向交通能力在得到强化的同时,却阻断了横向的穿越交通,并给两侧的进出交通组织带来不便。这是导致中国支路体系缺失、专用路体系难以完善的原因之一。单向平面分流路网为混合路网的交通组织改进提供了新方法,基于实践的路网改进研究尚需展开。

参考文献:

References:

[1] 顾尚华. 论混合交通的危害与对策[J]. 中国市政工

程, 1998, 23(1): 17-19.

Gu Shanghua. Hazard of Mixed Traffic and Countermeasures[J]. China Municipal Engineering, 1998, 23(1): 17-19.

[2] 蔡锦心. 市中心机非分流网络研究[J]. 上海建设科技, 1995, 16(4): 8-9.

Cai Jinxin. Study on Diversion Road Network for Bicycle and Automobile in Urban Center[J]. Shanghai Construction Science and Technology, 1995, 16(4): 8-9.

[3] 关宏志, 刘小明, 陈艳艳, 等. 利用街巷开辟自行车专用道的研究——以北京市东黄城根为例[J]. 城市规划, 2001, 25(4): 49-52.

Guan Hongzhi, Liu Xiaoming, Chen Yanyan, et al. The Study on the Bike-path Based on the Existing Alleys with East Huangchenggen District of Beijing as the Case[J]. City Planning Review, 2001, 25(4): 49-52.

[4] 赵燕菁. 从计划到市场: 城市微观道路——用地模式的转变[J]. 城市规划, 2002, 26(10): 24-30.

Zhao Yanjing. From Planning to Market: The Shift of the Road-Landuse Mode[J]. City Planning Review, 2002, 26(10): 24-30.

[5] 黄建中, 蔡军. 对我国城市混合交通问题的思考[J]. 城市规划学刊, 2006(2): 87-90.

Huang Jianzhong, Cai Jun. Thinking on the Problems of Urban Mixed Traffic Flow in China[J]. Urban Planning Forum, 2006(2): 87-90.

[6] 叶茂, 过秀成, 徐吉谦, 等. 基于机非分流的大城市自行车路网规划研究[J]. 城市规划, 2010, 34(10): 56-60.

Ye Mao, Guo Xiucheng, Xu Jiqian, et al. Bicycle Path Network Planning in Big Cities Based on Bicycle/Motor Vehicle Separation System[J]. City Planning Review, 2010, 34(10): 56-60.

[7] 蔡军. 转向比例与合理干路网密度研究[J]. 城市交通, 2005, 3(4): 54-58.

Cai Jun. Discussion on Ratio of Turning and Density of Urban Arterial Street Network[J]. Urban Transport of China, 2005, 3(4): 54-58.