

干路左转空间需求研究

Space Needed for Left-Turns on Arterial Roadways

蔡 军, 李彻丽格日, 滕少洁

(大连理工大学建筑与艺术学院规划系, 辽宁 大连 116024)

CAI Jun, LI Che-li-ge-ri, TENG Shao-jie

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

摘要: 重视直行交通、忽视甚至排斥左转交通是造成道路设计不合理、干路与支路难以衔接的内在原因。首先选取美国、日本大量典型城市道路案例,总结其设计取向为注重转向交通组织。提出干路左转空间需求的计算方法,包括干路交叉口和干路路段两部分左转空间需求。指出中国城市道路左转交通需求趋于增加,在道路设计和交通组织中应给予重视。最后,分析中国城市道路左转交通组织设计取向的弊端及其与国外的差异,提出采用双幅路断面、奇数断面模式组织左转交通的建议。

Abstract: Emphasizing through traffic and neglecting left-turn traffic is mainly responsible for unreasonable road design and poor connections between arterial and local roadways. Based on a large number of cases from the typical urban roadways in the U.S. and Japan, this paper summarizes that roadway design in these countries do consider left/right turn traffic needs. The paper presents a methodology of calculating space needed for left-turns on arterial roadways, including two parts of space at intersections and roadway segments. By recognizing increasing left-turn traffic in China, the authors point out that the left-turn space should be emphasized in road design and traffic organization. Finally, through analyzing the disadvantages of current traffic control for left-turn traffic in China and the difference from other countries, the paper proposes traffic control for left-turns with double cross-section roadway design and odd number of cross-section design in China.

关键词: 道路设计; 左转空间需求; 干路; 交叉口; 路段

Keywords: road design; space needed for left-turns; arterial roadway; intersection; roadway segments

中图分类号: U412.37

文献标识码: A

收稿日期: 2010-09-22

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

0 引言

从整个出行过程来看, 机动车出行包括驶入城市干路、城市干路与干路间的转向、驶出城市干路三个环节, 出行需求可划分为直行需求(平行于干路)和转向需求(与支路、两侧用地的横向联系)两大部分。道路上的冲突点多由左转交通引发, 伴随机动化水平的提高, 单位用地的交通生成强度加大, 干路沿线的车辆进出密度提高, 由此带来转入、转出干路的转向需求加大。如果不能为干路通向支路及两侧用地、干路与干路间的左转提供合适的候驶空间, 则车辆只能占用直行车道等待转向, 从而造成对干路直行交通的干扰。

重视直行交通、忽视甚至排斥左转交通是造成道路设计不合理、路网运输效率不高、干路与支路难以衔接的内在原因, 如何引导道路设计、交通组织观念及时调整并给予必要的技术支撑亟须深入研究。城市支路车流量较小, 主要承担用地的可达性服务, 转向交通与直行交通的矛盾较小。因此, 本文针对干路左转空间需求展开研究。

1 美国、日本城市道路转向交通组织设计取向

发达国家已经历了机动化挑战, 在道

路设计和交通组织方面有许多经验可供汲取。

1.1 美国

1) 纽约。

纽约西大街为曼哈顿岛西侧环路，等级为主干路，采用双幅路断面，双向8车道，交叉口处利用缩窄绿化隔离带的方式提供左转车道。选取典型路段进行调查，在1.28 km统计范围内(见图1)左转车道长度为400 m，占该段道路长度的31.25%。纽约第十一大道为西大街的北侧延伸段，等级为主干路，双向8车道(见图2)，在470 m统计范围内含217 m左转车道，占道路长度的46.17%。第十二大道为主干路，双向4车道，两侧各1条路边停车带(见图3)，在474 m统计范围

内含180 m左转车道，占道路长度的37.97%。百老汇大道是位于中央公园西侧的一条主干路，在西122街以南5.17 km的路段采用双幅路断面，双向6车道，两侧各1条路边停车带(见图4)，利用绿化隔离带(宽6.5 m)的中断部分提供左转车道。该路段交叉口间距约79 m，每个交叉口可提供左转候驶的长度为12.5 m，供2辆车左转候驶，由于中央分隔带较宽，有效左转候驶长度相当于16 m，占道路长度的20.3%。

2) 洛杉矶。

洛杉矶西奥林匹克大街，南胡佛大街(见图5)为主干路，直行为双向4车道，整条道路中央1条车道供双向左转车辆或者特殊用途的车辆行驶(Two-Way-Left-Turn-Lane, TWL TL)，可通过有效

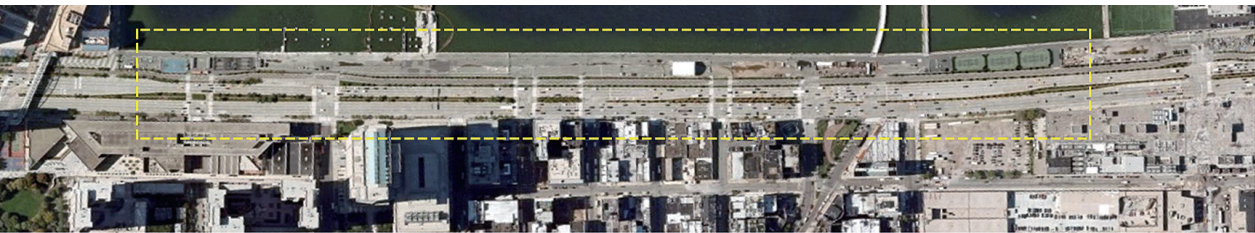


图1 纽约西大街道路平面
Fig.1 Layout of West Street in New York



图2 纽约第十一大道道路平面
Fig.2 Layout of the 11th Avenue in New York



图3 纽约第十二大道道路平面
Fig.3 Layout of the 12th Avenue in New York



图4 纽约百老汇大道道路平面
Fig.4 Layout of Broadway in New York

减少冲突点和增加视距的方式达到促进交通安全的目的。与之垂直的南佛蒙特大道为双向4车道，部分路段左转车道占道路长度的比例为30%，最高达到53.5%。图6显示，洛杉矶采用奇数车道模式妥善考虑了进入停车场的左转交通组织问题；居住区采用加宽的双幅路断面，并对左转交通进行合理组织，见图7。

3) 其他城市。

在道路交通组织方面，美国还采用双向4车

道改为3车道的做法。1995年，西雅图对位于北第80大街和北第50大街之间的格林伍德大道北路段进行了“四改三工程”，改造后的道路见图8。改造前道路平均交通量为11 872辆·d⁻¹，改造后为12 427辆·d⁻¹，交通事故比改造前减少了58%。爱荷华州也做过“四改三工程”，如斯托姆莱克的弗林特大街，马斯卡廷的克雷大街；1997年，加利福尼亚州奥克兰有4条双向4车道道路改造成“双向+左转”的3车道模式^[1]。



图5 洛杉矶南胡佛大街道路平面

Fig.5 Layout of South Hoover in Los Angeles



图6 洛杉矶主干路与停车场的交通组织

Fig.6 Traffic organization of arterial roadway with parking lot in Los Angeles



图7 洛杉矶居住区加宽的双幅路平面

Fig.7 Layout of double cross-section roadway along residential communities in Los Angeles

1.2 日本

东京青山大道为主干路，采用类似双幅路断面，双向6车道，两侧各1条临时停车带，在与支路连接方面采用如图9所示的待转车道模式。东京、广岛多条道路采用奇数车道模式(见图10)，中间车道用于转向交通组织。名古屋中心区高密

度路网采用双幅路断面，干路与支路的间距约为100 m，同时，利用3车道妥善解决了干路与支路的联系以及路边停车的交通组织(见图11)。

上述案例表明，美国和日本的城市道路横断面设计关注左转(日本为右转，因为采用左行规则)交通组织，往往采用双幅路、奇数车道断面。



图8 西雅图格林伍德大道北道路平面
Fig.8 Layout of Greenwood Avenue North in Seattle

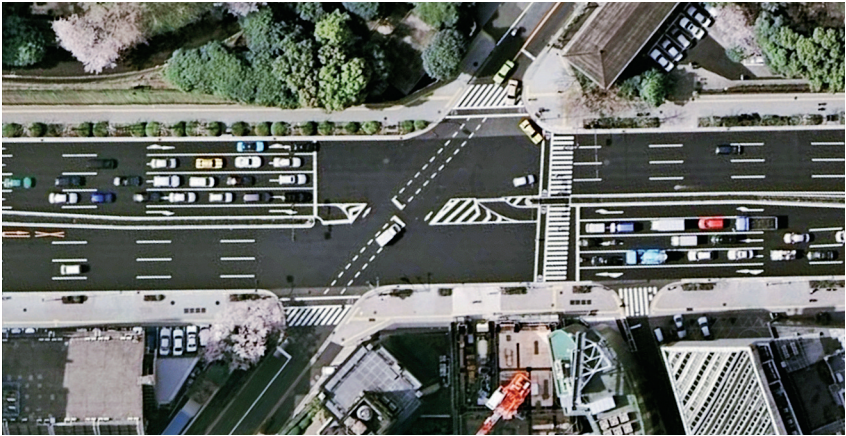


图9 东京青山大道与支路的衔接
Fig.9 Connection between arterial and local roadway in Tokyo



图10 东京某道路的奇数车道道路平面
Fig.10 Odd number of cross-section design in Tokyo

转向车道占道路长度的比例较高,一般在30%以上,奇数车道模式则达到了100%;一般不封闭支路与干路的联系,通常设置左转车道。

2 干路左转空间需求计算

2.1 基本假设

要得到完全符合实际的量化结果,需要建立复杂的模型。而复杂模型的最大问题在于多因素间的繁琐关联,并难以辨析某一因素的作用。本文构建理论公式的目的在于其理论意义以及基于此的发展趋势分析,用于理解道路时空需求构成的变化趋势。为构建理论公式,提出以下假设条件:

1) 干路网按标准的方格网体系考虑,并采用协调信号控制;

2) 以绿灯期间直行车辆不受左转车辆的干扰为前提计算所需的左转空间需求,即左转车辆必须在绿灯通行时间内及时驶出干路直行车道,见图12;

3) 干路交叉口容许左转,且设置必要的左转车道。

虽然干路交叉口可以采用远引交通(U型左转组织)、绕街坊行驶(P型左转组织)的方式取消机动车左转,但禁左是交通压力达到一定程度后的交通组织改进,况且远引交通也需要左转车道与之配合,而绕街坊行驶则需要拓展右转车道,是对原左转车道的替代。因此,本文的假定条件具有普适性。

在整个出行过程中,与直行交通发生较大冲

突的行为包括干路交叉口的左转和干路路段的左转,本文针对这两部分空间需求进行研究。

2.2 干路交叉口左转空间需求

对于理想干路网,设机动车在干路内的平均出行距离为 $L_{出}/m$ 、干路路网间距为 $L_{街}/m$,那么其转向比例 $R_{左转} \approx R_{右转} \approx 1/(L_{出}/L_{街}+1)^{[2]}$ 。则单位道路长度上的干路交叉口左转概率(单位干路长度上从路段直行车队中左转驶出车辆占通过车辆的比例)为

$$R_{交叉口左转}^{概率} \approx 1/[L_{街}(L_{出}/L_{街}+1)]. \quad (1)$$

设现实路网左转转向概率与理想路网左转概率的比值为 λ (λ 往往大于1),则有

$$R_{交叉口左转}^{概率实} \approx \lambda/[L_{街}(L_{出}/L_{街}+1)]. \quad (2)$$

设干路路段双向车道数为 n 条,绿灯期间交叉口进口每条直行车道的通行能力为 $C_{进口}/(pcu \cdot h^{-1})$ 。道路左转车道长度按信号周期内的左转车辆计算,设信号周期长度为 $T_{周期}/s$ 、每周期单向左转车辆数为 $N_{左}^{周期}$,则 $N_{左}^{周期} = 0.5nT_{周期}C_{进口}R_{交叉口左转}^{概率实}/3600 = nT_{周期}C_{进口}R_{交叉口左转}^{概率实}/7200$ 。设机动车左转候驶的平均车头间距为 $L_{候}/m$;单位干路长度所需的交叉口双向左转车道长度为 $S_{交叉口左转}$,则有

$$\begin{aligned} S_{交叉口左转} &= 2L_{候}N_{左}^{周期} \\ &= 2L_{候}nT_{周期}C_{进口}R_{交叉口左转}^{概率实}/7200 \\ &\approx \lambda L_{候}nT_{周期}C_{进口}/[3600L_{街}(L_{出}/L_{街}+1)]. \end{aligned} \quad (3)$$

对于协调信号控制的理想路网,信号灯周期与干路绿波带速 $V_{干}/(m \cdot s^{-1})$ 和干路路网间距 $L_{街}$ 的关系为

$$T_{周期} = 2L_{街}/V_{干}. \quad (4)$$

将式(4)代入式(3),得到



图11 日本名古屋的3车道道路平面

Fig.11 Layout of a three-lane roadway in Nagoya

$$\begin{aligned}
S_{\text{交叉口左转}} &\approx \lambda L_{\text{候}} n(2L_{\text{街}}/V_{\text{干}})C_{\text{进口}}/[3600L_{\text{街}}(L_{\text{出}}/L_{\text{街}}+1)] \\
&\approx \lambda L_{\text{候}} n(L_{\text{街}}/V_{\text{干}})C_{\text{进口}}/[1800L_{\text{街}}(L_{\text{出}}/L_{\text{街}}+1)] \quad (5) \\
&\approx \lambda L_{\text{候}} nC_{\text{进口}}/[1800V_{\text{干}}(L_{\text{出}}/L_{\text{街}}+1)].
\end{aligned}$$

2.3 干路路段左转空间需求

机动车出行一般包括1次干路路段驶出过程(从干路路段左转或右转进入两侧用地或支路),其中左转驶出约占50%。在这一过程中,平均出行距离与使用的干路长度近似相等,则干路道路长度上的左转驶出概率 $R_{\text{路段左转}}^{\text{概率}}=0.5/L_{\text{出}}$ 。设绿灯期间路段每条车道的通行能力为 $C_{\text{路段}}/(\text{pcu} \cdot \text{h}^{-1})$ (一

般 $C_{\text{路段}}=C_{\text{进口}}$),则路段单向通过的车辆数为 $0.5nC_{\text{lane}}$,左转驶出的车辆数为 $0.5nC_{\text{lane}}R_{\text{路段左转}}^{\text{概率}}=0.25nC_{\text{lane}}/L_{\text{出}}$ 。进而得到每个信号周期内单位干路长度所需的双向路段左转车道长度为

$$\begin{aligned}
S_{\text{路段左转}} &= 2L_{\text{候}}(0.25nC_{\text{lane}}/L_{\text{出}})T_{\text{周期}}/3600 \\
&= L_{\text{候}}nC_{\text{lane}}/[3600L_{\text{出}}/(L_{\text{街}}/V_{\text{干}})] \quad (6) \\
&= L_{\text{候}}L_{\text{街}}nC_{\text{lane}}/(3600V_{\text{干}}L_{\text{出}}).
\end{aligned}$$

2.4 全程左转空间需求

每信号周期单位出行距离的全程左转空间需求为

$$\begin{aligned}
S_{\text{全程左转}} &= S_{\text{交叉口左转}} + S_{\text{路段左转}} \\
&\approx \lambda L_{\text{候}} nC_{\text{进口}}/[1800V_{\text{干}}(L_{\text{出}}/L_{\text{街}}+1)] + L_{\text{候}}L_{\text{街}}nC_{\text{lane}}/(3600V_{\text{干}}L_{\text{出}}) \quad (7) \\
&\approx L_{\text{候}}nC_{\text{进口}}\{\lambda/[1800V_{\text{干}}(L_{\text{出}}/L_{\text{街}}+1)] + L_{\text{街}}/(3600V_{\text{干}}L_{\text{出}})\}.
\end{aligned}$$

设干路交叉口间距内左转车道长度与干路交叉口间距 $L_{\text{街}}$ 的比值为 $R_{\text{全程左转}}$,则有

$$R_{\text{全程左转}} = L_{\text{街}}S_{\text{全程左转}}/L_{\text{街}} = S_{\text{全程左转}}. \quad (8)$$

设干路路段与交叉口的左转空间需求比例为 $R_{\text{路段:交叉口}}$,则有

$$\begin{aligned}
R_{\text{路段:交叉口}} &= S_{\text{路段左转}}/S_{\text{交叉口左转}} \\
&\approx [L_{\text{候}}L_{\text{街}}nC_{\text{lane}}/(3600V_{\text{干}}L_{\text{出}})] : \{\lambda L_{\text{候}}nC_{\text{进口}}/[1800V_{\text{干}}(L_{\text{出}}/L_{\text{街}}+1)]\} \\
&\approx [L_{\text{街}}/(3600V_{\text{干}}L_{\text{出}})] : \{\lambda/[1800V_{\text{干}}(L_{\text{出}}/L_{\text{街}}+1)]\} \quad (9) \\
&\approx (0.5L_{\text{街}}/L_{\text{出}}) : [\lambda/(L_{\text{出}}/L_{\text{街}}+1)] \\
&\approx 0.5(1+L_{\text{街}}/L_{\text{出}}) : \lambda.
\end{aligned}$$

根据式(5), (6), (7), (8)和(9)可得到如下结论:

- 1) 规划路网与理想路网的偏差越大, 左转空间需求越大;
- 2) 信号周期越长, 每个周期排列在道路内的左转车辆越多, 左转空间需求越大;
- 3) 干路路网间距越大, 左转概率越大, 左转空间需求越大;
- 4) 机动车平均出行距离越短, 左转空间需求

越大;

5) 绿灯期间进口道通行能力越大, 左转空间需求越大;

6) 干路间距 $L_{\text{街}}$ 一般为400~600 m, 平均出行距离 $L_{\text{出}}$ 一般大于5 km, λ 一般略大于1, 则干路路段与交叉口左转空间需求比例约为0.5:1, 约占全程左转空间需求的1/3。

此外, 根据一般规律, 支路越密, 干路与两侧用地的联系强度越大, 路段左转车道需求数量

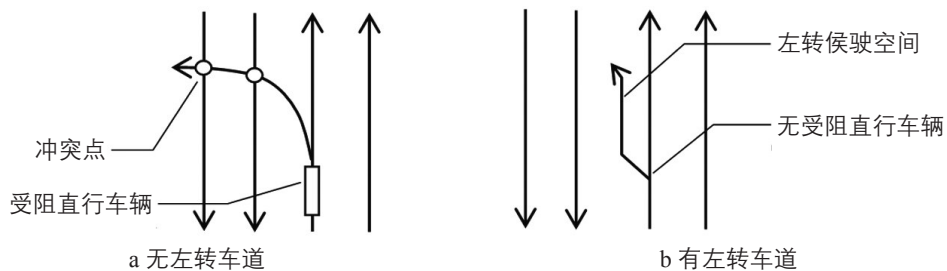


图12 直行车辆受左转车辆干扰示意图

Fig.12 Impact of left-turn vehicle on through vehicle

越多, 左转空间需求越大。

2.5 结果验证

假设干路路网间距为 600 m, 机动车左转候驶的平均车头间距为 7 m, 平均出行距离为 7 000 m, λ 按 1.1 考虑, 绿灯期间每车道的通行能力为 1 600 pcu·h⁻¹, 干路绿波带速为 45 km·h⁻¹, 干路双向车道数为 4。根据式(8)计算得到左转车道长度占道路长度的比例为 25.8%。

在缺乏交通数据的情况下, 可以在交叉口进口道外侧缘石半径的端点向后展宽 50~80 m^[3]。展宽部分新增车道一般用作左转车道。通常道路等级越高展宽段越长, 双向 4 车道城市干路展宽后的交叉口单向左转车道长度可取 60 m; 路段上的支路按 2 处计算, 支路部分的左转车道(含接入段)按 20 m 计算, 则左转车道(含接入段)合计为 160 m, 与干路网间距的比值为 27%。可见, 公式计算值与一般建议值基本吻合, 方法可行。

3 左转交通需求的变化趋势

为了排除人口规模、用地规模、城市布局对机动车出行距离扩大带来的影响, 假设某市的人口及用地规模、城市布局不变, 仅路网体系及机动化水平发生改变。表 1 描述了这样一个变化过

程: 1)交通压力加大, 干路运行速度不断降低, 路网不断加密, 断面不断拓宽(双向车道数由 4 条增至 6 条); 2)路网体系趋于完善, 更接近理想路网(λ 逐渐减小); 3)伴随交通压力的增加和交通组织的改进, 绿灯期间通行能力不断提高; 4)伴随机动化水平的提高, 机动车的平均出行距离下降。根据前文分析, 与上述变化对应的是全程左转空间需求的增加, 且增长速度大于交通需求的增长速度(如车流量从每进口 900 pcu·h⁻¹增长至 1 700 pcu·h⁻¹, 提高了 88%, 而 $R_{\text{全程左转}}$ 及左转车道的面积比例分别提高了 3 倍和近 2 倍)。

多数人认为机动车的平均出行距离伴随城市规模及机动化水平的提高、郊区化的发展而加大。然而, 多个城市近年来的统计数据显示, 越来越多的近距离出行采用机动化方式, 机动车的平均出行距离有所降低, 因此, 左转交通需求趋于增加。若意识不到这一点, 道路设计将依然侧重于远距离出行服务, 依然会忽略左转交通需求。

4 中国城市道路左转交通组织设计取向及建议

美国、日本对路段转向交通组织较为关注, 并提供相应的道路空间; 相比之下, 在左转、直行交通间干扰较小时, 中国城市道路设计对路段左转交通往往不予处理, 干扰较大时则多采用路

表 1 路网特征的变化情况
Tab.1 Characteristics of roadway network

情境	$C_{\text{进口}}/(\text{pcu} \cdot \text{h}^{-1})$	λ	$V_{\text{干}}/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	$L_{\text{出}}^{(1)}/\text{km}$	$L_{\text{街}}/\text{km}$	$n^{(2)}/\text{条}$	$R_{\text{全程左转}}/\%$	左转车道面积比例 ⁽³⁾ /%
1	900	1.20	55.0	8.00	0.70	4.00	13.60	3.29
2	1 000	1.18	52.5	7.75	0.68	4.25	16.75	3.79
3	1 100	1.16	50.0	7.50	0.65	4.50	20.12	4.28
4	1 200	1.14	47.5	7.25	0.63	4.75	24.28	4.86
5	1 300	1.12	45.0	7.00	0.60	5.00	28.70	5.43
6	1 400	1.10	42.5	6.75	0.58	5.25	34.23	6.12
7	1 500	1.08	40.0	6.50	0.55	5.50	40.06	6.79
8	1 600	1.06	37.5	6.25	0.53	5.75	47.50	7.63
9	1 700	1.04	35.0	6.00	0.50	6.00	55.35	8.45

① 特大城市一般有快速路, 20 km 以上的出行往往利用快速路, 机动车在干路内的平均出行距离一般小于 8 km, 因此, $L_{\text{出}}$ 取值范围具有较大的适应性;

② 考虑不同道路路段车道的组合, n 按平均值考虑, 即可能为非整数;

③ 为左转车道面积占路段道路总面积的比例, 左转车道面积按左转车道长度×3.3 m 计算, 直行车道面积按路段长度×3.3 m×路段双向直行车道数计算。

段禁左的方式，存在过度重视直行、忽视左转交通组织的倾向。可见，在直行“快顺”、转向“便捷”的设计取舍方面，国内外城市道路交通组织设计取向有所不同。

中国城市多采用三幅路或单幅路断面，虽然一些城市采用了双幅路或四幅路道路断面，但往往采用干路路段禁左的模式进行干、支交通组织。忽视或摒弃干路路段的左转交通联系将降低干路运输效率、增加干路交叉口的转向交通压力。如图 13 所示，从 B 进口进入 A 地块可采用方式 1，即路段左转驶入；若路段禁左，则采用方式 2，但会增加干路交叉口的左转压力，且需要必要的支路与之配合；方式 3 在增加干路交叉口转向压力的同时还会增加绕行距离。三幅路总车道多为偶数，在增设路段左转车道方面存在一定难度，会导致直行流线不顺畅以及两侧缘石边线的曲折。可见，三幅路、对称布置的单幅路断面在左转交通组织方面存在较大难度。

近年来，双幅路断面的重要性越来越多地得到认可^[4]，如上海、深圳、广州等大城市逐步推行双幅路^[5]。然而，采用双幅路、四幅路断面并不意味着交通组织价值取向的转变及对道路设计原理的深入理解。通常人们认为，双幅路的主要作用在于分隔对向车流，提高行车安全性，即对跨越双黄线越线行驶和违规转向、调头等方面具有更大的约束性。从国外的实践经验来看，双幅路的作用主要在于为左转需求提供空间，在满足直行交通需求的同时，更有利于干路与进出交通的高效联系。建议城市干路按 3.3~4.5 m 或更宽设置中央隔离带，在需要设置左转车道时，可采用去除隔离带的方式；对于高密度路网地区，可按奇数

车道模式进行规划。

5 结语

结合国外经验和干路左转空间需求计算方法，指出伴随机动化水平的提高、交通压力的加大、车道条数的增加，干路左转交通需求趋于增加的变化趋势。这一变化要求在道路设计、交通组织层面应给予足够的重视。在设计理念方面，需要转变重视直行交通、忽视甚至排斥左转交通的偏颇观念；在技术措施选择方面，建议借助两幅路与奇数断面模式，合理组织左转交通。未来还需要结合实际进行实证分析，就左转交通组织的具体方法和适用范围展开研究。

参考文献：

References:

[1] 彭永辉, 程建川. 城市道路四车道改造为三车道的研究[J]. 中外公路, 2008(1): 190-193.

[2] 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.

[3] 徐循初, 汤宇卿. 城市道路与交通规划[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005: 164-165.

XU Xun-chu, TANG Yu-qing. Urban Road and Urban Traffic Planning [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2005: 164-165.

[4] 景国盛. 城市道路横断面的问题与规划对策: 以广州市为例[J]. 城市交通, 2004, 2(1): 46-51.

JING Guo-sheng. The Problems and Planning Countermeasures of Street Cross Section[J]. Urban Transport of China, 2004, 2(1): 46-51.

[5] 陈炼红, 钱红波. 道路横断面双幅路与三幅路形式的对比研究[J]. 城市道桥与防洪, 2007(4): 144-147.

CHEN Lian-hong, QIAN Hong-bo. Contrast Study of Double-roadway and Three-roadway Road Cross Sections[J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2007(4): 144-147.

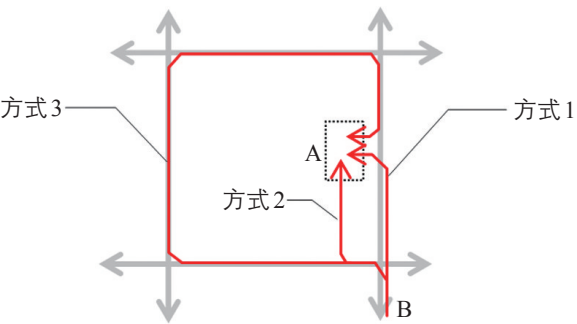


图 13 取消路段左转带来的问题
Fig.13 Problem of banning left turn