

DOI: 10.16799/j.cnki.csdqyfh.250497

某城市快速路分合流区服务水平分析

邵吕敏

[上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200125]

摘 要: 匝道进入主路的合流区通行能力主要受到下游主路路段通行能力的影响,匝道离开主路的分流区通行能力主要受到驶离主路匝道的通行能力的限制。而合、分流影响区通行能力和服务水平的评价能有效反应合、分流影响区运行状况。国内尚无规范全面介绍合、分流影响区的评价方式,基于美国的《道路通行能力手册》(缩写 HCM2000 手册,美国交通研究委员会)中相关条文方法进行计算,通过计算车流密度、匝道流率及影响区最大流率,依据近(2031 年)、中(2041 年)、远(2051 年)三个阶段的预测流量进行设计与验算。研究结果表明,所有分合流区匝道在设计规模下均满足服务水平要求,未出现拥堵情况。

关键词: 分合流区;服务水平;车流密度;匝道流率;影响区最大流率

中图分类号: U491 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-7716(2025)11-0084-05

Analysis on Service Level of Merge-Diverge Areas on Urban Expressways

SHAO Lyumin

[Shanghai Urban Construction Design and Research Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200125, China]

Abstract: The traffic capacity of the merging area where a ramp enters the mainline is primarily affected by the traffic capacity of the downstream mainline section, while the traffic capacity of the diverging area where a ramp exits the mainline is mainly constrained by the traffic capacity of the off-ramp itself. Evaluating the traffic capacity and service level of merging and diverging affected areas can effectively reflect the operational status of these areas. Currently, there are no comprehensive domestic standards detailing the evaluation methods for these affected areas. The calculation is conducted according to the relevant provisions and methods in the *Road Capacity Manual* of the United States (abbreviated as HCM2000 Manual, by the American Transportation Research Council). The design and checking computation are carried out by calculating the traffic density, ramp flow rate and the maximum flow rate in the affected area, and based on the predicted traffic flow for the near-term (2031), medium-term (2041), and long-term (2051) stages. The research results indicate that all merging and diverging areas meet the requirements of service level under the designed scale without congestion observed.

Keywords: merging and diverging areas; service level; traffic density; ramp flow rate; maximum flow rate in affected area

0 引 言

本文基于某城市快速路通道,项目西起广深高速,东至侨城东路北延,全长约 10.5 km,设置 2 处立交(南光立交、大磡立交),2 对匝道(宝石路匝道、丽康路匝道),道路等级为快速路。快速路通道总体布置见图 1,本文主要对南光立交进行分合流区的服务水平进行分析,拟定南北向为宝鹏通道快速路,设计车速为 60 km/h,分合流区上下游双向 6 车道;东西向为南光快速路,设计车速为 100 km/h,标准段为双向

8 车道,分合流区上下游双向 10 车道。

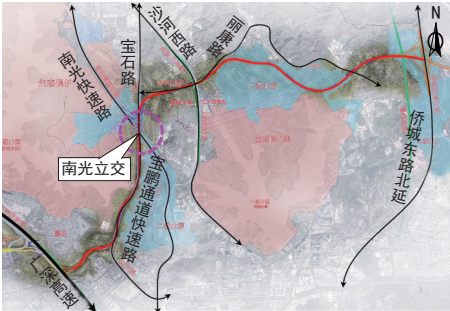


图 1 快速路通道总体布置示意图

分、合流区交通流运行特性研究已有成熟研究结论^[1-4]。对于分流区,分流车辆在距分流点一定距离时开始变换到最右侧车道,以便安全驶出主线。距分流点越近,分流车辆在主线最右侧车道行驶车

收稿日期: 2025-05-09
作者简介: 邵吕敏(1990—),男,学士,工程师,从事道路工程与交通工程设计。

流所占比重越大;对于合流区,合流车辆由入口匝道驶入主线后,首先进入主线最右侧车道,然后寻求合适间隙变换到左侧车道,以获取舒适驾驶空间。距合流点越近,合流车辆在主线最右侧车道行驶车流所占比重越大^[5]。

分、合流区通行能力分析核心内容是对匝道、分合流点、影响区关键断面三部分进行交通运行状态的核查。而通行能力分析主要目的是考察影响区内车流运行状态,设施所提供的服务水平,以此确定设施建设或改造方案。现行分析方法中以分、合流影响区密度表征分、合流区整体服务水平。在实际工程设计中,非影响区车道交通流在一定程度上受影响区内车流分合流行为的影响,但是整体考虑服务水平无法直接考虑非影响区内车道数量设置,工程技术人员建议独立测算,增加分、合流区非影响区服务水平分析内容^[5]。

快速路的分合流区应进行通行能力分析,使其全线服务水平均衡一致。分合流区节点的运行状况直接影响快速路通道的整体通行能力和服务水平。因此,对快速路通道分合流区的服务水平进行科学评价,不仅是提升道路运行效率的需要,也是保障城市交通顺畅的重要措施。

1 分合流区服务水平评价方法

1.1 服务水平划分标准

合、分流影响区通行能力和服务水平的评价能有效反应合、分流影响区运行状况。国内尚无规范全面介绍合、分流影响区的评价方式,参考美国的《道路通行能力手册》^[6](HCM2000手册)中相关条文进行计算,通过以下方式计算影响区车流密度,划分为A~F六个等级见表1。

表1 分合流区服务水平划分标准

服务水平	密度/(pcu·km ⁻¹ ·ln ⁻¹)
A	≤6
B	>6 ~ 12
C	>12 ~ 17
D	>17 ~ 22
E	>22
F	需求超过通行能力

1.2 车流密度计算公式

匝道影响区的交通流位于非饱和条件时,合流影响区的车流密度 D_R 的公式为:

$D_R = 3.402 + 0.004\,56v_R + 0.004\,8v_{12} - 0.012\,78L_A$ (1)

匝道影响区的交通流位于非饱和条件时,分流

影响区的车流密度 D_R 的公式为:

$D_R = 2.642 + 0.005\,3v_{12} - 0.018\,3L_D$ (2)

式中: D_R 为合流影响区车流密度,pcu/km/ln; v_R 为匝道最大流率,pcu/h; v_{12} 为进入匝道影响区上游1、2车道的流率,pcu/h; L_A 为加速车道长度,m; L_D 为减速车道长度,m。

2 匝道分合流区交通变量参数计算

根据预测交通量,按照HCM2000中“第25章匝道和匝道连接点”的相关公式计算匝道分流区、合流区的主要交通变量参数。

2.1 匝道流率计算

宝鹏通道快速路主路自由流速度 S_{FF} 为设计时速60 km/h,匝道自由流时速 S_{FR} 为设计时速40 km/h。

南光快速路主路自由流速度 S_{FF} 为设计时速100 km/h,匝道自由流时速 S_{FR} 为设计时速40 km/h。

宝鹏通道快速路与南光快速路相交处即为南光立交,其平面布置见图2。南光立交的设计方案如下:宝鹏南分流、宝鹏南合流、宝鹏北分流、宝鹏北合流、南光西分流、南光西合流、南光东分流匝道——采用双车道匝道;南光东合流匝道——采用单车道匝道。

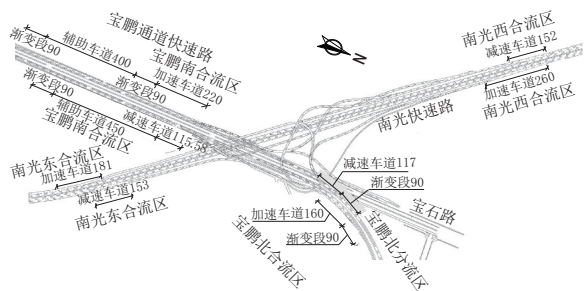


图2 南光立交平面布置示意图

高峰小时上游主路流率 v_F 和匝道流率 v_R 计算公式为:

$v_F = \frac{V_F}{(PHF)(f_{HV})(f_p)}$ (3)

$v_R = \frac{V_R}{(PHF)(f_{HV})(f_p)}$ (4)

式中: V_F 和 V_R 为预测的上游主路和匝道高峰小时流量,pcu/h;道路通行能力手册规定的高峰小时系数PHF的范围为:0.80~0.95(乡村道路趋于下限,城市道路趋向于上限),故高峰小时系数PHF因城市道路暂取为0.95;驾驶人员总体特征系数 f_p 取为1.0;重车修正系数 f_{HV} 计算公式为:

f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \tag{5}

式中： E_T 和 E_R 为货车和公共汽车的小客车折算系数以及旅游车的小客车折算系数； P_T 和 P_R 为货车和公共汽车的小客车折算系数以及旅游车的比例；本项目旅游车较少，忽略其影响。

当主路车道为双向 10 车道时，第 5 车道上的交通流 v_5 计算方式见表 2。

表 2 第 5 车道的流率一览表	
上游主路总流率 $v_F/(\text{pcu}\cdot\text{h}^{-1})$	第 5 条车道的流率 $v_5/(\text{pcu}\cdot\text{h}^{-1})$
≥ 8500	2500
7 500~8 499	$0.285v_F$
6 500~7 499	$0.270v_F$
5 500~6 499	$0.240v_F$
$< 5\ 500$	$0.220v_F$

计算出第 5 车道流率后，其余车流类似于 4 车道车流，使用有效来车流率 $v_{F4\text{eff}}$ 代替上游主路总流率 v_F ，按照 8 车道主路上的匝道标准程序进行后续分析。有效来车流率 $v_{F4\text{eff}}$ 计算公式为：

v_{F4\text{eff}} = v_F - v_5 \tag{6}

下游主路高峰小时流率为 v_{F0} ，合流区下游主路高峰小时流率计算公式为：

v_{F0} = v_F + v_R \tag{7}

分流区下游主路高峰小时流率计算公式为：

v_{F0} = v_F - v_R \tag{8}

本次研究的南光立交，南光高速快速路方向分合流区上下车道为单向 5 车道规模，需计算有效来车流率代替上游主路总流率；宝鹏通道快速路方向分合流区上下车道为单向 3 车道规模，仍采用上游主路总流率计算。

2.2 匝道有效加减速长度 L_A/L_D 计算

当匝道为单车道时，有效加/减速车道长度 L_A/L_D 为加/减速车道长度加上渐变段长度；当匝道为双车道时，不同形态匝道对应的有效加、减速车道长度不同。分流区出口匝道不同匝道形态对应的有效减速车道长度见表 3。

合流区进口匝道不同匝道形态对应的有效加速车道长度见表 4。

2.3 1、2 车道占主路的比例系数 P_{FM}/P_{FD} 计算

不同车道规模下的 1、2 车道占主路的比例系数 P_{FM} 的计算公式见表 5。

不同车道规模下的 1、2 车道占主路的比例系数 P_{FD} 的计算公式见表 6。

各匝道及匝道连接点的有效加减速长度 L_A/L_D 和

表 3 分流区单、双车道匝道有效减速车道长度

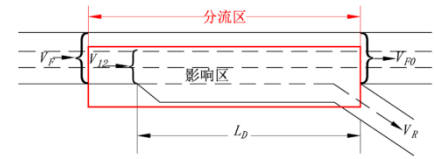
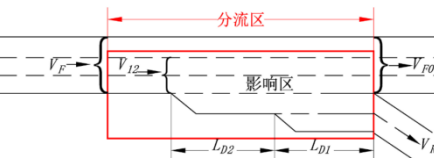
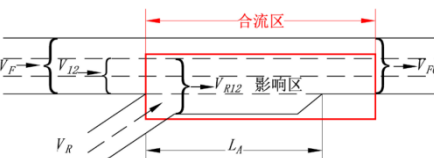
匝道形态

单车道匝道有效减速车道长度 L_D

双车道匝道有效减速车道长度 $L_{D\text{eff}} = 2L_{D1} + L_{D2}$ (9)

表 4 合流区单、双车道匝道有效加速车道长度

匝道形态

单车道匝道有效加速车道长度 L_A

双车道匝道有效加速车道长度 $L_{A\text{eff}} = 2L_{A1} + L_{A2}$ (10)

表 5 不同车道规模下合流影响区进口匝道 P_{FM} 计算

主路车道数	匝道单车道	匝道双车道
6 车道	$P_{FM} = 0.5775 + 0.000\ 092L_A$ (11)	$P_{FM} = 0.555$
8 车道	$P_{FM} = 0.2178 - 0.000\ 125V_R + 0.058\ 87L_A/S_{FR}$ (12)	$P_{FM} = 0.209$

表 6 不同车道规模下分流影响区出口匝道 P_{FD} 计算

主路车道数	匝道单车道	匝道双车道
6 车道	$P_{FD} = 0.760 - 0.000\ 025v_F - 0.000\ 046v_R$ (1)	$P_{FD} = 0.450$
8 车道	$P_{FD} = 0.436$	$P_{FD} = 0.260$

1、2 车道占主路的比例系数 P_{FM}/P_{FD} 汇总见表 7。

2.4 驶入分、合流影响区上游 1、2 车道上流率 v_{12} 计算

驶入合流影响区上游 1、2 车道上流率 v_{12} 计算公式如下：

v_{12} = v_F \times P_{FM} \tag{14}

式中： P_{FM} 为 1、2 车道流率占主路流率的比例系数。

驶入分流影响区上游 1、2 车道上流率 v_{12} 计算公式如下：

v_{12} = v_R + (v_F - v_R) \times P_{FD} \tag{15}

式中： P_{FD} 为 1、2 车道流率占主路流率的比例系数。

表 7 匝道有效加减速长度和 1、2 车道占主路的比例系数

分流区	有效加速或减速 车道长度/m		1、2 车道占主路的比例系数			
	单车道 匝道	双车道 匝道	单车道匝道			双车道 匝道
			2031	2041	2051	
南光立交匝道分合流区						
宝鹏南 分流区	115	770	0.574	0.554	0.528	0.45
宝鹏南 合流区	165	1110	0.593	0.593	0.593	0.555
宝鹏北 分流区	115	406	0.610	0.601	0.575	0.45
宝鹏北 合流区	165	500	0.593	0.593	0.593	0.555
南光西 分流区	135	844	0.436	0.436	0.436	0.26
南光西 合流区	225	1100	0.349	0.314	0.257	0.209
南光东 分流区	135	306	0.436	0.436	0.436	0.26
南光东 合流区	180	360	0.395	0.381	0.358	0.209

由此,各匝道影响区内的驶入分、合流影响区上游 1、2 车道上流率 v_{12} 汇总见表 8。

表 8 驶入分、合流影响区上游 1、2 车道上流率 v_{12} 单位:pcu/h

分流区	单车道匝道			双车道匝道		
	2031	2041	2051	2031	2041	2051
	南光立交匝道分合流区					
宝鹏南分流区	3 336	3 555	3 838	2 934	3 214	3 584
宝鹏南合流区	1 775	1 681	1 809	1 662	1 574	1 694
宝鹏北分流区	2 844	2 912	3 245	2 391	2 508	2 883
宝鹏北合流区	1 767	1 769	1 750	1 654	1 657	1 639
南光西分流区	3 269	3 974	5 059	2 613	3 130	3 945
南光西合流区	1 575	1 653	1 748	943	1 101	1 419
南光东分流区	2 447	2 958	3 973	1 710	2 084	2 766
南光东合流区	1 862	2 101	2 451	986	1 154	1 429

2.5 影响区最大流率计算

合流区通行能力主要由下游高速公路路段通行能力决定。所以,上游高速公路和进口匝道到达的总流量不能超过驶离下游高速公路路段基本通行能力。驶出合流影响区下游 1、2 车道上流率计算公式如下:

$$v_{R12} = v_{12} + v_R \tag{16}$$

因此合流影响区最大流率为 v_{R12} 。

在分流区,能够驶出的最大流率通常受进入分流区的高速公路车道通行能力的限制。驶出分流影响区下游 1、2 车道上流率计算公式如下:

$$v_{R12} = v_{12} - v_R \tag{17}$$

因此分流影响区最大流率为 v_{12} 。

各匝道及匝道连接点影响区内的最大流率汇总见表 9。

表 9 影响区最大流率(合流区 v_{R12} /分流区 v_{12})

驶入合流影响区上游1、2车道上流率$v_{R12}/(\text{pcu}\cdot\text{h}^{-1})$ 驶入分流影响区上游1、2车道上流率$v_{12}/(\text{pcu}\cdot\text{h}^{-1})$						
分流区	单车道匝道			双车道匝道		
	2031	2041	2051	2031	2041	2051
	南光立交匝道分合流区					
宝鹏南分流区	3 336	3 555	3 838	2 934	3 214	3 584
宝鹏南合流区	3 138	3 248	3 695	3 025	3 141	3 580
宝鹏北分流区	2 844	2 912	3 245	2 391	2 508	2 883
宝鹏北合流区	2 790	3 044	3 332	2 678	2 931	3 221
南光西分流区	3 269	3 974	5 059	2 613	3 130	3 945
南光西合流区	3 173	3 534	4 080	2 540	2 983	3 751
南光东分流区	2 447	2 958	3 973	1 710	2 084	2 766
南光东合流区	2 567	2 917	3 446	1 691	1 970	2 424

3 通行能力检验

3.1 合流区需检验

(1)匝道高峰小时流率 v_R 是否小于匝道通行能力 C_R ?

(2)影响区 1、2 车道上驶出流率 v_{R12} 是否小于影响区内的通行能力 C_{12} ?

(3)下游主路高峰小时流率 v_{F0} 是否小于道路的通行能力 C_F ?

3.2 分流区需检验

(1)匝道高峰小时流率 v_R 是否小于匝道通行能力 C_R ?

(2)影响区 1、2 车道上驶入流率 v_{12} 是否小于影响区内的通行能力 C_{12} ?

(3)上游主路高峰小时流率 v_F 是否小于道路的通行能力 C_F ?

查阅手册,设计时速为 60 km/h 时,双向六车道的快速路合、分流区的通行能力 C_F 为 6 300 pcu/h;合流影响区内的通行能力 C_{12} 为 4 600 pcu/h,分流影响区内的通行能力 C_{12} 为 4 400 pcu/h;匝道设计时速为 30 ~ 50 km/h 时,单车道匝道的通行能力 C_R 为 1 900 pcu/h,双车道匝道的通行能力 C_R 为 3 500 pcu/h。

经检验,所有匝道分合流区的通行能力均符合要求,未出现拥堵的情况。

4 影响区密度及服务水平计算

对比标准,将各匝道影响区的密度 D_R 计算汇总

见表 10。

表 10 分合流影响区密度 D_R 计算

分流区	车流密度 $D_R/(\text{pcu} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{ln}^{-1})$					
	单车道匝道			双车道匝道		
	2031	2041	2051	2031	2041	2051
南光立交匝道分合流区						
宝鹏南分流区	18.22	20.01	21.51	4.10	5.59	7.55
宝鹏南合流区	16.03	16.51	18.58	3.41	3.92	5.95
宝鹏北分流区	15.61	16.61	18.37	7.89	8.51	10.49
宝鹏北合流区	14.44	15.60	16.91	9.62	10.78	12.09
南光西分流区	17.50	21.98	27.73	1.05	3.79	8.11
南光西合流区	15.37	17.04	19.55	1.15	3.21	6.79
南光东分流区	13.14	16.60	21.97	6.10	8.09	11.70
南光东合流区	13.25	14.91	17.40	6.75	8.06	10.20

对比标准,将各匝道影响区的服务水平计算汇总见表 11。

表 11 分合流影响区服务水平 LOS

分流区	服务水平 LOS					
	单车道匝道			双车道匝道		
	2031	2041	2051	2031	2041	2051
南光立交匝道分合流区						
宝鹏南分流区	D	D	D	A	A	B
宝鹏南合流区	C	C	D	A	A	A
宝鹏北分流区	C	C	D	B	B	B
宝鹏北合流区	C	C	C	B	B	C
南光西分流区	D	D	E	A	A	B
南光西合流区	C	D	D	A	A	B
南光东分流区	C	C	D	B	B	B
南光东合流区	C	C	D	B	B	B

5 结论和建议

5.1 结论

查阅 HCM2000 手册,设计时速为 60 km/h 时,双向 6 车道的快速路合、分流区的通行能力 C_F 为 6 300 pcu/h;合流影响区内的通行能力 C_{12} 为 4 600 pcu/h,分流影响区内的通行能力 C_{12} 为 4 400 pcu/h;匝道设计时速为 30 ~ 50 km/h 时,单车道匝道的通行能力 C_R 为 1 900 pcu/h,双车道匝道的通行能力 C_R 为 3 500 pcu/h。

通过上述计算分析,合流区 $v_R < C_R, v_{FO} < C_F, v_{R12} < C_{12}$;分流区 $v_R < C_R, v_F < C_F, v_{12} < C_{12}$,所有匝道分合流区的通行能力均符合 HCM2000 手册要求,服务水平 $\geq$ D 级,本立交节点交通流处于稳定状态,分合流区的设计方案是合理的。

5.2 建议

快速路匝道及匝道连接点处不应成为主路通行的短板,故其服务水平应与主路的服务水平相称。

若匝道合、分流影响区的服务水平低于与其连接的主路,那么会显著影响周围一定距离内主路的服务水平。

HCM2000 手册 2.4.1 条建议:大多数的设计或规划的服务水平应控制在 C、D 级左右,以保证为交通设施的使用者提供可以接受的运营服务。25 章中建议,在设计时,高峰时主路上下游和匝道流率应小于道路和匝道的通行能力(即服务水平应大于 F 级)。若经过验算出现了 F 级服务水平(拥堵状况),建议增加相应的主路或匝道的车道数量^[6]。

因此从满足标准的要求来说,在本快速路通道项目中的所有匝道均采用单车道匝道是满足要求的。

但是考虑到计算时高峰小时系数 PHF 取的是最偏向于有利的 0.95,而中国的道路状况与美国有差别,且在实际运行过程中,车流往往呈现于“块状”的流体形式(局部慢车控制车道的实际流量),因此适当提高设计服务水平是必要的。而且从实际施工来看,单车道匝道的最小宽度为 7.0 m 而双车道的为 7.5 m,若采用双车道匝道代替单车道匝道,不仅能显著提高服务水平,提高的造价幅度也很小,因此在地形几何条件允许时建议采用双车道匝道。

在地形几何条件允许的情况下,建议:

(1)增加车道数量

对于未来可能面临拥堵的分合流区,建议适当增加车道数量,以提高通行能力。例如,可以考虑将单车道匝道改为双车道匝道,以满足更高的流量需求。

南光立交匝道:南光东合流匝道,因流量/流率较大——可采用双车道匝道;

(2)智能交通系统应用

引入智能交通系统,实时监测和调控交通流,提高道路的运行效率。例如,可以采用动态交通信号控制和可变车道设计,以优化交通流的分布。

(3)定期评估与调整

定期对分合流区的运行状况进行评估,根据实际需求及时调整设计方案。例如,可以每 5 至 10 年进行一次全面评估,根据评估结果调整车道数量或优化设计。

6 结 语

未来的研究可以进一步探索以下方向:

(1)动态评价方法

(下转第 94 页)