

# 粤港澳大湾区高速公路互通立交通行能力分析

冯心宜

(广东省交通规划设计研究院股份有限公司, 广东 广州 510507)

**摘要:**近年来粤港澳大湾区高速公路交通量增长迅速,而部分高速公路互通立交通行能力的不足,已经成为影响高速公路服务水平的主要因素。该文结合大湾区交通流及路网特点,针对性地提出了互通立交通行能力的分析思路及方法,重点对匝道分流区域的服务水平进行了分析计算,并提出了改进措施。

**关键词:**粤港澳大湾区;互通立交;通行能力;服务水平

粤港澳大湾区是中国开放程度最高、经济活力最强的区域之一。2019年,湾区以占中国不足1%的土地,约5%的人口,创造了中国12%的中国国内生产总值,是中国经济的重要增长极。大湾区城市群联系密切,城际间交通出行需求规模巨大,当前大湾区11个城市之间的城际交通日均出行总量约为980万人次,常住人口城际交通出行率为0.14次/(人·日),机动车保有量为1688万辆。大湾区同时也是中国高速公路网密度最大的地区,至2020年底,大湾区内地实现高速公路通车里程5000 km,且大多为双向六车道或以上标准,部分前期修建的双向四车道高速公路近期正开展改扩建研究。随着高标准高速公路网的全面覆盖,高速公路与地方道路相接的节点即互通立交通行能力不足问题日益突出。

## 1 大湾区交通流及路网的主要特点

该文以京港澳高速公路广州至深圳段(以下简称“广深高速”)、京港澳高速公路南沙至珠海段(以下简称“广珠东线”)、珠三角环形高速公路东莞至深圳段(以下简称“莞深高速”)3个典型项目为背景,对大湾区的交通流及路网主要特点进行分析。

### 1.1 出行交通量大且增速快

2019年大湾区中广州客货出行总量最大、达到 $206.1 \times 10^4$  pcu/d,其次深圳出行总量达 $162.9 \times 10^4$  pcu/d,东莞出行总量达 $99.7 \times 10^4$  pcu/d;近20年来,广州与深圳间的通道交通量增长幅度达546%;同时远景年预测交通量还将大幅增长(表1)。

表1 典型高速公路全线平均交通量

线路	平均交通量/( $\times 10^4$ pcu·d <sup>-1</sup> )		
	2010年	2019年	2046年
广深高速	10.4	12.3	18.2
莞深高速		12.3	18.1
广珠东线	6.0	9.1	14.9

### 1.2 小型车占比高

随着区域GDP及人口总量的快速增长,以及产业的转型升级,大湾区的主要高速公路通行的车型比例,已逐渐演变为小型车(即一类车)占绝对多数(表2)。

表2 典型高速公路一类车占比

线路	小型车占比/%		
	2000年	2010年	2019年
广深高速	58.5	75.7	86.2
广珠东线	52.6	71.0	85.5

### 1.3 高峰小时不明显

由于湾区已高度城市化,其全天交通量分布较为均衡,高峰小时系数小(广深、莞深、广珠东线分别为0.068、0.074、0.078),多数项目均小于规范推荐值0.085;特别是在08:00—21:00时段,多数项目交通量均维持在相对高位,导致拥堵发生时,往往持续时间较长。

### 1.4 出行里程短

如2019年车辆在广深高速上的平均出行距离为19.4 km;出行距离小于20 km的车辆占总交通流的2/3;其中东莞段平均出行距离为8.19 km,不到2个立交间距;深圳段平均出行距离为13.8 km,大致为3

个立交间距。如图 1 所示。

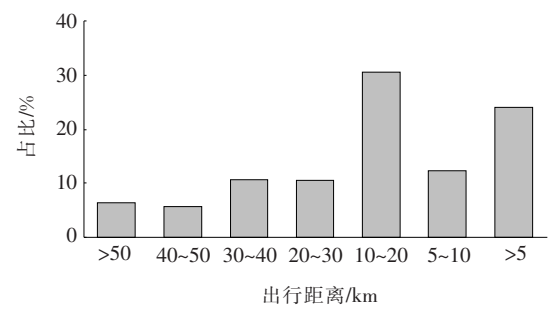


图 1 2019 年广深高速车辆出行距离分析

2019 年车辆在广珠东线上的平均出行距离为 26.3 km;出行距离小于 30 km 的车辆也约占总交通流的 2/3。

1.5 互通立交密度大且出入口交通流量大

由于交通量大,且出行里程短,湾区内各典型高速公路互通立交布设密度大(表 3),且各互通立交出入口的交通流量大;部分高速公路互通立交出入口的拥堵,经常引发主线拥堵,降低路网的服务水平(图 2、3)。

表 3 典型高速公路互通立交间距

线路	路线长/km	立交数/座	平均间距/km
广深高速	118.2	24	4.9
莞深高速	47.8	12	4.0
广珠东线	49.7	10	5.0

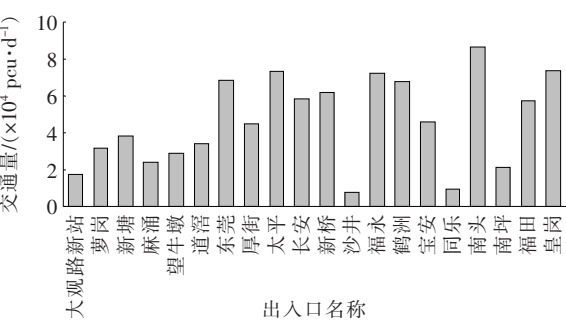


图 2 2019 年广深高速出入口交通量

2 影响高速公路互通立交通行能力的主要因素

根据以上交通流及路网特点分析,湾区各高速公路的服务水平,高度依赖互通立交的通行能力,而影响互通立交通行能力的主要因素主要有以下几个方面。

2.1 匝道本身的通行能力

根据现行 JTG/T D21—2014《公路立体交叉设计细则》(以下简称《细则》),匝道基本路段单车道和双车道的设计通行能力如表 4 所示。

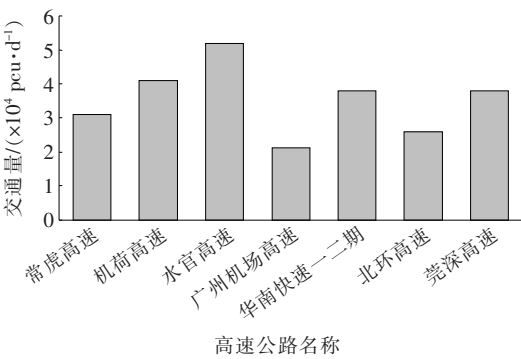


图 3 2019 年湾区相关高速出入口平均交通量

表 4 匝道基本路段的设计通行能力

设计速度/ (km·h <sup>-1</sup> )	通行能力/ (pcu·h <sup>-1</sup> )		设计速度/ (km·h <sup>-1</sup> )	通行能力/ (pcu·h <sup>-1</sup> )	
	单车道	双车道		单车道	双车道
80	1 500	2 900	40	1 000	1 700
70	1 400	2 600	35	900	1 500
60	1 300	2 300	30	800	1 300
50	1 200	2 000			

2.2 主线和匝道分合流连接部的通行能力

由于湾区高速公路互通立交密集且交通流量大,主线和匝道连接部的通行能力是对路段服务水平及互通立交通行能力影响最大的因素;该部分通行能力主要受设计速度、主线外侧第 1、2 车道的交通量、匝道交通量、变速车道长度等因素影响。在湾区的高速公路,由于匝道分合流区域通行能力不足,导致主线外侧 1、2 车道拥堵,从而影响路段通行能力的现象时有发生,这在双向六车道高速公路上表现尤为明显,该文将重点分析此部分通行能力。

2.3 主线和匝道连接部存在交织区时的通行能力

根据湾区路网特点,不可避免出现部分互通立交间距较近的情况;根据 JTG D20—2017《公路路线设计规范》(以下简称《规范》)规定,互通立交最小间距不宜小于 4 km,净距不应小于 1 000 m;而受限于征地拆迁等客观建设条件,部分新建高速公路与已建高速公路间设置枢纽立交时,难免出现与已建高速公路上服务型立交净距小于 1 000 m 的情况,此时除了按《规范》要求设置辅助车道或集散车道外,还应验算两互通相邻出入口间交织段的通行能力。

2.4 服务型互通匝道收费站的通行能力

服务型立交即与地方道路连接的一般互通立交,在交通运输部大力推行高速公路 ETC 收费之前,部分连接主要城镇的收费站常年拥堵,湾区多个高速公路

的收费站均开展了改扩建。但随着 ETC 普及率的逐渐提高,问题得到了极大缓解;2019 年底,湾区多数城市的 ETC 安装率已达到 80%,小客车 ETC 安装率更高,而大湾区高速公路通行的小客车比例多数已超过 80%;以通行小客车的收费车道为例,ETC 车道一般情况下平均通行时间不足 6 s,而原有的人工收费车道平均通行时间为 18~20 s,通行效率提高了 3 倍多;原有车道数改造为 ETC 车道后,大多数匝道收费站通行能力已不再是瓶颈。

2.5 服务型互通匝道与地方道路连接处的通行能力

在匝道收费站通行能力大幅提高后,随之而来的是匝道与地方道路连接处的通行能力不足,特别是部分采用平面交叉形式连接的交叉口;由于地方道路连接形式多样且各不相同,通行能力也与地方采取的交叉口管理措施相关,该文暂不讨论此部分内容。

3 湾区高速公路互通立交通行能力分析及服务水平验算

3.1 匝道技术标准选择及其设计通行能力

根据《规范》要求,当匝道交通量大于等于 1 200 pcu/h 时,应采用双车道;当匝道交通量小于 1 200 pcu/h 时,可采用单车道或满足超车需要的双车道,此时采用单车道出入口。同时广东省交通运输厅也在 2019 年发文要求湾区互通立交匝道原则上采用双车道标准。

各匝道基本路段设计通行能力可参照该文章表 4;在立交匝道普遍采用双车道标准的情况下,匝道自身的通行能力均得到了较大的提升,此时通行能力的瓶颈主要集中在匝道与主线的分合流区域,特别是采用单车道出入口时。

3.2 主线和匝道分合流连接部的通行能力分析

该文重点分析湾区最常见的主线双向六车道且匝道采用单车道出入口的情况。连接部通行能力分析时,《规范》虽允许采用四级服务水平,但由于湾区互通立交间距小密度大,若连接部均采用四级服务水平则串联起全线的服务水平也将下降为四级,因此连接部应与一般高速公路主线路段采用相同的服务水平,即不低于三级。该文参照美国交通研究委员会《道路通行能力手册》(以下简称《手册》)中提供的相关公式,对连接部通行能力及服务水平进行计算。

3.2.1 匝道合流的服务水平计算

以设计速度 120 km/h 的双向六车道高速公路单

车道入口为例,验算不同匝道合流交通量下合流连接部的交通流密度;假设该连接部合流后下游主线交通已达到三级服务水平的下限,参考《规范》为每车道 1 650 pcu/h,即单向总交通量为 4 950 pcu/h(若超过此数值则主线本身服务水平不能满足要求);加速车道长度采用《规范》值  $L_A=230\text{ m}$ 。

根据《手册》,首先应确定合流区上游主线外侧第 1、第 2 车道的交通量( $V_{12}$ ),再计算合流区的车流密度  $D_R$ :

$$V_{12} = V_F \times P_{FM} \tag{1}$$

式中: $V_F$  为合流区上游交通量(pcu/h)。

六车道高速公路:

$$P_{FM} = 0.577\ 5 + 0.000\ 092L_A \tag{2}$$

式中: $P_{FM}$  为交通量比例。

$$D_R = 3.402 + 0.004\ 56V_R + 0.004\ 8V_{12} - 0.012\ 78L_A \tag{3}$$

式中: $V_R$  为匝道交通量。

根据《规范》及《手册》中的相关规定,互通立交连接部的车流密度不大于 17 pcu/(km·车道)时,可满足三级服务水平要求。此时计算结果如表 5 所示。

表 5 六车道合流区车流密度验算结果

( $L_A=230\text{ m}$ ,合流后交通量 4 950 pcu/h)

$V_R /$ (pcu·h <sup>-1</sup> )	$P_{FM}$	$V_{12} /$ (pcu·h <sup>-1</sup> )	$D_R /$ [pcu·(km·车道) <sup>-1</sup> ]
1 200	0.599	2 245	16.7
1 100	0.599	2 305	16.5
1 000	0.599	2 365	16.4

根据表 5,在主线及单车道匝道交通量均较为饱和时,连接部的服务水平也接近三级服务水平下限 17 pcu/(km·车道)。同时由式(3)可知,在交通流不变的前提下,影响车流密度的主要控制因素是加速车道长度;而一般情况下匝道驾驶员均倾向于提早汇入主线,未能充分利用加速车道,此时将影响合流区的通行(表 6)。

表 6 六车道合流区车流密度验算结果

( $L_A=160\text{ m}$ ,合流后交通量 4 950 pcu/h)

$V_R /$ (pcu·h <sup>-1</sup> )	$P_{FM}$	$V_{12} /$ (pcu·h <sup>-1</sup> )	$D_R /$ [pcu·(km·车道) <sup>-1</sup> ]
1 200	0.592	2 221	17.5
1 100	0.592	2 280	17.3
1 000	0.592	2 339	17.1

由表 6 可知,若匝道交通流均提早至加速车道前

160 m 汇入主线,则服务水平不能满足三级要求。因此在合流连接部,应采取相关措施,提醒驾驶员充分利用加速车道,合理汇入。

同时若对连接部匝道采用双车道入口,则其通行能力将大幅提升,参照《手册》,  $P_{FM}$  可取 0.555,加速车道长度采用《规范》值 400 m,计算结果如表 7 所示。

表 7 六车道合流区车流密度验算结果  
( $L_A=400$  m,合流后交通量 4 950 pcu/h)

$V_R/$ (pcu · h <sup>-1</sup> )	$P_{FM}$	$V_{12}/$ (pcu · h <sup>-1</sup> )	$D_R/$ [pcu · (km · 车道) <sup>-1</sup> ]
2 800	0.555	1 193	16.8
2 400	0.555	1 415	16.0
1 200	0.555	2 081	13.8

此时即使合流区匝道交通量达到双车道的饱和状态,也能满足三级服务水平要求。

3.2.2 匝道分流的服务水平计算

同样以设计速度为 120 km/h 的双向六车道高速公路单车道出口为例,验算不同匝道分流交通量下连接部的交通流密度;假设该连接部分流前上游主线交通量已达到三级服务水平的下限,即单向  $V_F=4\,950$  pcu/h;减速车道长度采用《规范》值  $L_D=145$  m。此时:

$$V_{12} = V_R + (V_F - V_R) \times P_{FD} \tag{4}$$

式中: $V_{12}$ 、 $V_F$  与  $V_R$  的含义同前文; $P_{FD}$  为交通量比例。

六车道高速公路:

$$P_{FD} = 0.760 - 0.000\,025V_F - 0.000\,046V_R \tag{5}$$

$$D_R = 2.642 + 0.005\,3V_{12} - 0.018\,3L_D \tag{6}$$

得到六车道分流区车流密度验算结果见表 8。

表 8 六车道分流区车流密度验算结果  
( $L_D=145$  m,分流前交通量 4 950 pcu/h)

$V_R/$ (pcu · h <sup>-1</sup> )	$P_{FD}$	$V_{12}/$ (pcu · h <sup>-1</sup> )	$D_R/$ [pcu · (km · 车道) <sup>-1</sup> ]
1 200	0.581	3 379	17.9
800	0.599	3 288	17.4
400	0.618	3 211	17.0

由表 8 可知:除非分流交通量下降至 400 pcu/h (实际较难实现),否则分流区已不能满足三级服务水平要求;同时由于一般驾驶员均倾向于较迟驶入减速车道,实际减速长度较短,因此实际车流密度还将增大。以上结果解释了为何部分高速公路一般路段不拥堵、而出口拥堵的原因;对于湾区高速公路互通密度

大、且车流高峰持续时间长的情况,拥堵还将加剧。  
而当分流区上游主线交通量下降为单向 4 600 pcu/h 时,方可满足三级服务水平要求(表 9)。

表 9 六车道分流区车流密度验算结果  
( $L_D=145$  m,分流前交通量 4 600 pcu/h)

$V_R/$ (pcu · h <sup>-1</sup> )	$P_{FD}$	$V_{12}/$ (pcu · h <sup>-1</sup> )	$D_R/$ [pcu · (km · 车道) <sup>-1</sup> ]
1 200	0.590	3 205	17.0
1 100	0.594	3 180	16.8
1 000	0.599	3 156	16.7

若对连接部采用双车道出口,即使主线单向交通量达 4 950 pcu/h,分流区通行能力也将大幅提升;参照《手册》,  $P_{FD}$  取 0.450,  $L_D$  取《规范》值 225 m,计算结果如表 10 所示。

表 10 六车道分流区车流密度验算结果  
( $L_D=225$  m,分流前交通量 4 950 pcu/h)

$V_R/$ (pcu · h <sup>-1</sup> )	$P_{FD}$	$V_{12}/$ (pcu · h <sup>-1</sup> )	$D_R$
2 800	0.450	3 768	18.5
2 300	0.450	3 493	17.0
1 200	0.450	2 888	13.8

在双车道分流交通量不超过 2 300 pcu/h 时,分流区能满足三级服务水平要求。

3.2.3 分合流连接部通行能力及服务水平改进措施

根据以上分析,改善湾区互通立交分合流连接部通行能力及服务水平的措施有:① 通过主线改扩建,增加主线车道数,降低主线交通流饱和度,从而减少分布为主线外侧第 1、2 车道的交通量,降低连接部车流密度,提高服务水平;② 部分项目在全线改扩建时机尚未成熟,而局部路段交通流饱和度大、部分互通立交出入口拥堵严重时,可通过将互通立交改建为双车道出入口,从而提高通行能力;③ 在受征地拆迁等客观建设条件影响,出入口的双车道改建也难以实施时,则只能通过延长加减速车道长度,并设置相关设施,引导分合流车辆更加均匀分布,提高服务水平。

3.3 交织区的通行能力分析

当互通立交入口匝道后方紧跟出口匝道时,就构成了交织区。影响高速公路交织区通行能力的主要因素有:交织区长度、交织区宽度(即车道数)、交织区总交通量、参与交织的交通量及其与总交通量的比值、交织区主线设计速度等。

当交织区的最大长度超过 750 m 时,一般认为交