

虎门二桥互通立交设计创新与实践研究

张文^{1,2,3}, 罗旭东⁴, 陈新富⁴

(1. 广州市城市规划勘测设计研究院有限公司, 广东 广州 510060; 2. 广州市资源规划和海洋科技协同创新中心, 广东 广州 510060; 3. 广东省城市感知与监测预警企业重点实验室, 广东 广州 510060; 4. 广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司, 广东 广州 510507)

摘要: 为提高重要过江通道项目的决策、设计、施工和管理水平, 更好发挥经济效益和社会效益提供科学依据, 对虎门二桥(现名南沙大桥)互通立交设计创新进行实践研究。通过对观测交通量、车型比例、服务水平和交通事故分布特点进行分析, 研究了项目互通立交设计方案、车道衔接、连接部的创新设计。研究表明, 作为粤港澳大湾区核心区连接珠江两岸的重要东西向过江通道, 项目通车运营6年以来, 其交通量远超预测值, 事故率(受伤率)中等偏下, 互通立交运行平稳有序。部分互通立交设计经验可供特大交通量过江通道参考。

关键词: 特大交通量; 过江通道; 虎门二桥; 互通立交; 设计创新

中图分类号: U448.17

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)02-0128-06

Design Innovation and Practice Research on Interchange of Humen Bridge II

ZHANG Wen^{1,2,3}, LUO Xudong⁴, CHEN Xinfu⁴

(1. Guangzhou Urban Planning and Design Survey Research Institute Co., Ltd., Guangzhou 510060, China; 2. Collaborative Innovation Center for Natural Resources Planning and Marine Technology of Guangzhou, Guangzhou 510060, China; 3. Guangdong Enterprise Key Laboratory for Urban Sensing, Monitoring and Early Warning, Guangzhou 510060, China; 4. Guangdong Province Communications Planning and Design Institute Group Co., Ltd., Guangzhou 510507, China)

Abstract: In order to improve the decision-making, design, construction and management level of important cross-river channel projects, and better play the economic and social benefits, the practical research on the design innovation of the interchange of Humen Bridge II (now known as Nansha Bridge) is conducted. Through the analysis of the observed traffic volume, the proportion of vehicle types, the service level and the distribution characteristics of traffic accidents, the innovative design of the interchange scheme, lane connection and connection part of the project is studied. The research shows that as an important east-west cross-river channel connecting both sides of the Pearl River in the core area of the Guangdong - Hong Kong - Macao Greater Bay Area, the traffic volume of the project has far exceeded the predicted value, the accident rate (injury rate) has been low to medium, and the interchange has operated smoothly and orderly since the project was put into operation 6 years ago. Some of the interchange design experience can be used as a reference for the cross-river channel with extremely large traffic volumes.

Keywords: extremely large traffic volume; cross-river channel; Humen Bridge II; interchange; design innovation

0 引言

在粤港澳大湾区的核心区, 虎门二桥(现名南沙大桥)是连接珠江两岸的重要东西向通道, 也是广东省高速公路网规划的重要组成部分^[1-2]。项目路线全长 12.886 km, 采用设计速度 100 km/h 的双向 8 车道高速公路标准, 全线采用桥梁建设。设置跨江大桥 2 座(主跨 1 200 m 大沙水道桥和主跨 1 688 m 坭洲

水道桥), 引桥采用预应力混凝土桥, 建有东涌(枢纽)、海鸥岛、沙田(枢纽)3 座互通立交^[3]。

该项目枢纽立交设计具有如下特点: (1) 特大交通量过江通道双向 8 车道与两岸 6 车道道路的衔接设计; (2) 多车道匝道立交连接部的分合流设计; (3) 满足安全、方便高墩大跨径桥梁施工的匝道设计; (4) 城市核心区的立交、连接线节约用地设计。

项目于 2013 年完成施工图设计, 2019 年 4 月建成通车, 运营 6 年以来, 特大交通量过江通道的运营效果逐渐体现, 互通立交设计有力保障了关键通道在极端情况下的通行能力和安全韧性。该项目荣获

收稿日期: 2025-07-11

作者简介: 张文(1984—), 男, 硕士, 正高级工程师, 设计总监, 从事道路设计研究工作。

中国公路勘察设计协会 2020 年度公路交通优秀设计奖一等奖;2022 年度中国公路学会“桥梁工程创新奖”特等奖;中国公路建设行业协会 2022 至 2023 年度公路交通优质工程奖“李春奖”。

研究项目互通立交设计运营效果,有助于提高重要过江(海)通道项目的决策、设计、施工和管理水平,为更好地发挥项目经济效益和社会效益提供科学依据。

1 路线立交设计及运营交通量

1.1 路线设计

项目路线全长 12.886 km,共设平曲线交点 4 处,主要技术标准见表 1。平曲线最小半径 2 000 m,不设超高最小半径 5 500 m;共设变坡点 8 处,最大纵坡 2.5%(坭洲水道桥),最小纵坡 0.9%,最短坡长 956.037 m,最大坡长 2 963.382 m(坭洲水道桥),最小凸形曲线半径 28 000 m、最小凹形曲线半径 24 000 m。

表 1 路线设计主要技术标准

项目	规范值	采用值
公路等级	高速公路	高速公路
车道数	双向 8 车道	双向 8 车道
设计速度/(km·h ⁻¹)	100	100
横断面宽度/m	桥梁宽 40.5	桥梁宽 40.5
平曲线极限最小半径/m	400	400
平曲线一般最小半径/m	700	2 000
不设超高最小半径/m	4 000	5 500
停车视距/m	160	160
最大纵坡/%	4	2.5
一般最小凸形曲线半径/m	10 000	28 000
一般最小凹形曲线半径/m	4 500	24 000
最短坡长/m	250	956.037

作为关键通道,项目主线设计采用了较高的指标,有利于提高通行能力,缩短路线长度,降低造价^[4];同时为避免高指标导致车辆超速、发生追尾,设计速度和运营限速采用 100 km/h。这在一定程度上有助于控制大小车型间的运行速度差,提高行车安全性。

项目路线设计主要指标和互通立交变速车道长度采用高一个等级 120 km/h 标准进行设计^[5-6],能够在不过多增加造价的情况下,提高通行能力和行车安全性。

1.2 互通立交方案设计

项目设有 3 座互通立交,起点东涌枢纽立交位于珠江西岸的广州南沙,采用定向半定向混合型方案,(见图 1)。项目终点沙田枢纽立交位于珠江东岸的

东莞沙田,衔接广(州)深(圳)沿江高速,采用半定向涡轮型方案(见图 2)。2 座枢纽立交方案具有通行能力强、布置紧凑、占地节省的优点。

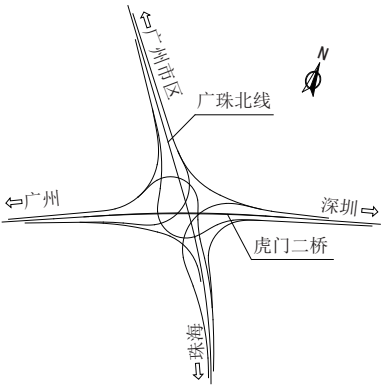


图 1 东涌枢纽立交方案

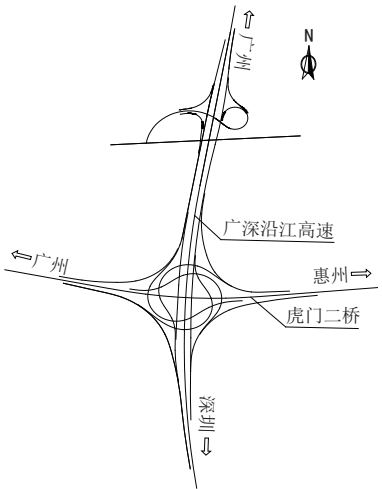


图 2 沙田枢纽立交方案

海鸥岛立交位于通道中部的海鸥岛,在 2 座跨江大桥之间,采用新型变异型 T 形互通立交方案(见图 3),通过螺旋展线克服高差,布局紧凑,节省占地^[7-9]。为集约用地,连接匝道和收费广场设置于主线桥底。

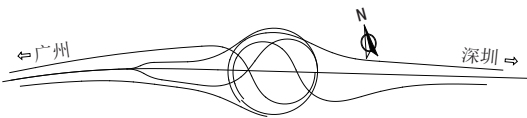


图 3 海鸥岛立交方案

1.3 交通量分析

1.3.1 观测交通量

根据 2019 年 6 月至 2024 年 12 月共 67 个月的运营交通量统计数据,2024 年实测年平均日交通量为 16.722 6 万 pcu/d,约为工程可行性研究预测值 6.656 5 万 pcu/d 的 2.51 倍。交通量预测存在着较大的不确定性,偏差原因有:

(1)工程可行性研究基于珠江两岸原规划 2018 年深茂公铁两用桥通车、2020 年深中通道通车;佛莞

城际2015年通车、深茂铁路2018年通车、中南虎城际2020年通车^[10];但是上述通道未按预期建成。

(2)项目通车4个月后的2019年8月16日起,项目紧邻的过江通道虎门大桥实施限制货车管制,虎门二桥全断面日交通流量由平均11.516 9万pcu/d骤然上升到17.641 9万pcu/d,增长约53.18%;其中四类车主要为4轴以上货车,由月均25.532 4万辆骤然上升到54.585 6万辆,增长约113.8%。

(3)2019年2月18日,中共中央、国务院印发《粤港澳大湾区发展规划纲要》,大湾区经济快速增长带来了虎门二桥交通量的增长。

1.3.2 车型比例

项目运营交通量分析表明,一类车主要为小客车,平均占75.28%以上,所占比例最大;四类车主要为4轴以上货车,约占14.25%,月均56.10万辆。特别是虎门大桥限货管制实施后,四类车主要为4轴以上货车,由月均25.532 4万辆骤然上升到54.585 6万辆,增长约113.8%。

1.3.3 服务水平

项目运营交通量分析表明,通车初期4个月处于三级以上服务水平。其后,虎门大桥实施限制货车管制,后续63个月中有51个月处于四级或以下服务水平,33个月处于五级及以下服务水平。车辆运行明显受到特大流量及大型车的影响。

1.4 分车道限行

设计将单向4车道中的内侧2车道列为小客车专用;外侧2车道则大小车混行。运营实践表明,内侧2车道仍存在大型车辆驶入现象,容易导致车速差较大,造成追尾。建议严格限制大车在内侧2车道行驶。

2 交通事故分析

2.1 总体情况

项目运营情况统计表明,2019年6月至2024年12月,百万车公里事故率(次)为2.433次,总体为广州市内高速公路项目中等偏下水平。项目百万车公里事故率(受伤率)2022年为0.141 3人;2023年为0.191 9人;2024年为0.131 1人。百万车公里事故率(受伤率)中等偏下,低于全国平均水平,远低于广东省平均水平。

2.2 交通事故总体分析

(1)交通事故形态:多为剐蹭及追尾(97.09%),事故发生位置较分散,部分路段由于大车比例高、速

度慢而导致追尾,甚至连环追尾事故发生。

(2)交通事故呈明显时间性、方向性:在8月~11月份事故相对较多,主要由于夏季天气炎热,驾驶员容易情绪急躁,疲劳驾驶;往广州方向事故主要集中在每日9~11点,往东莞方向事故主要集中在每日14~19点,往东莞方向交通事故约为往广州方向的1.55倍。这一现象与该时间段2个方向通勤交通量有关。事故发生较集中在往东莞方向的下午,与通勤驾驶员下午返程时该时间段犯困、嗜睡、反应迟钝、注意力不集中有较大关系。该项目东行方向车速明显低于西行方向车速,初步判断主要原因为东行方向多为满载往东岸海港运输车辆。

(3)交通事故主要原因:项目通车至今,交警部门尚未启动测速罚款。虎门大桥实施限制货车管制后,四类车主要为4轴以上货车,由月均25.532 4万辆骤然上升到54.585 6万辆,增长约113.8%;服务水平由二、三级下降到四级或四级以下;虎门二桥交通事故由月均0.159起/万车增长到月均0.323起/万车,交通事故增长2.03倍。虎门大桥限货导致的2桥项目交通量增大、大货车数量翻番、服务水平降低,是交通事故明显增多的主要原因。

2.3 少数路段交通事故稍多于其他路段

运营实践表明,少数路段事故数量稍多于其他路段(见图4)。交通事故较多路段有:

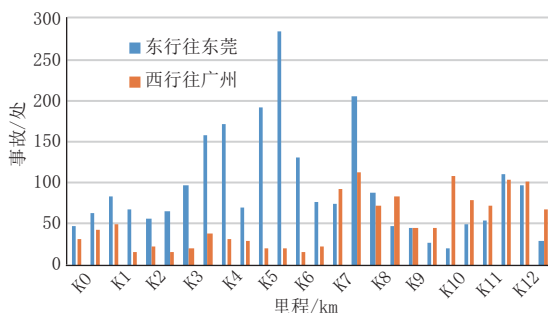


图4 交通事故按里程分布图

(1)特大桥主桥上坡段的上半段或顶点前后(如往东莞方向大沙水道跨中,纵坡/坡长为2%/2 907.311 m的上坡顶点;往广州方向坭洲水道上坡段,纵坡/坡长为2.5%/2 963.382 m的上坡上半段)。

(2)位于下坡段的主线出口减速车道(如往东莞方向海鸥岛立交主线出口减速车道前、沙田枢纽立交主线出口减速车道起点前;往广州方向海鸥岛立交主线出口减速车道前);位于上坡段的主线入口加速车道(如广州方向沙田枢纽立交主线入口加速车道路段)。

结合交通事故路段分布图(见图 5),对交通事故原因进行分析:

(1)2座特大桥主桥为满足通航净空,车辆需爬升高度达58~74 m,在上坡段的上半段或顶点前后,大、小型车的车辆运行速度差较大。在交通量大、货车数量多、服务水平低的情况下,通行能力受到影响,容易发生车辆追尾或剐蹭事故。

(2)在2座特大桥主桥的跨中位置,视野开阔,景观雄伟,容易造成驾驶员注意力不集中。

(3)同国内高速公路出入口的普遍特点,在交通流量较大情况下,车流从匝道驶入或车辆变换车道,特别是主线出口减速车道位于下坡段、主线入口加速车道位于上坡段时,存在减加速和车辆变道双重叠加现象,会使车流行驶灵活性受限,容易发生车辆追尾或剐蹭事故。

(4)在海鸥岛立交出入口前后,从主线及地方道路均设置禁止大货车上下海鸥岛立交后,互通车流量明显变少,目前该路段事故较少。

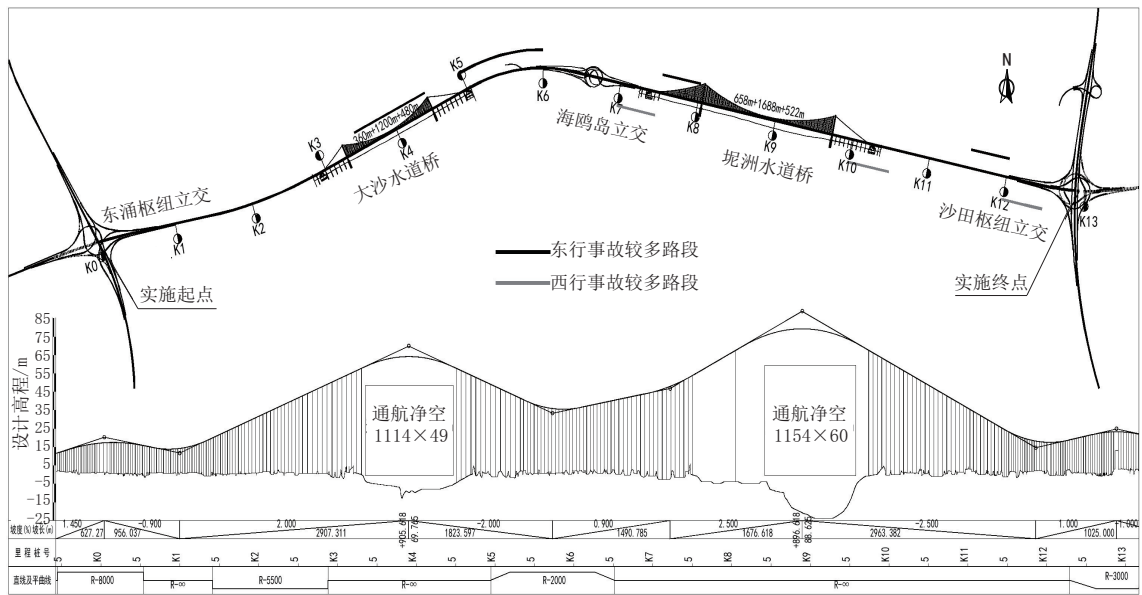


图5 项目交通事故稍多路段分布图(单位:m)

3 立交主线车道衔接及运营实践

3.1 项目起点东涌枢纽立交主线车道衔接

起点东涌枢纽立交主线往广州方向由4车道减少为3车道,原设计往西出口维持主线基本车道连续,外侧第4车道在分流鼻三角端渠化后渐变完成(见图6),即:从匝道内侧车道的分流点开始,通过设置渐变段来减少虎门二桥主线的1条外侧车道。

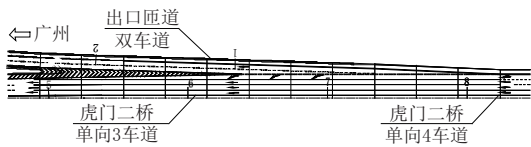


图6 项目起点主线车道减少方案(原设计)

由于主线车速较高,并且出口路段车辆操作较为复杂,为了避免车辆冲出行车道,撞上三角带,需要在减速车道前完成车辆分流,后期运营中对标线设计进行了变更。即外侧第4车道作为出口专用车道,内侧3车道作为主线直行车道,并提前通过标志、标线反复提醒前方车道减少,最外侧车道右转

(见图7)。运营实践表明,变更标线后该路段交通事故率较低,使用状况良好。

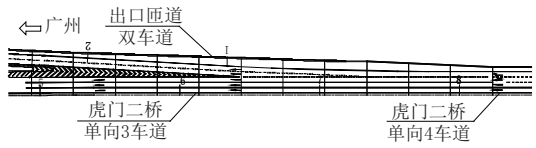


图7 项目起点主线车道减少方案(变更标线)

主线往东莞方向由3车道变至4车道,双车道出口匝道内侧车道作为汇流车道,双车道匝道外侧车道为主线直行车道(见图8)。运营实践表明,该路段交通事故率较低,使用状况良好。

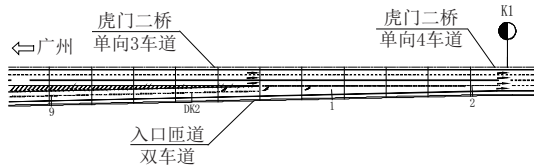


图8 项目起点主线车道增加方案

3.2 终点沙田枢纽立交主线车道衔接

项目终点沙田枢纽立交主线往东莞方向由4车道减少为3车道,设计采用外侧第4车道作为匝道出口专用车道,内侧3车道作为主线直行车道。路段

位于坭洲水道桥长直线下坡段尾段、双车道出口匝道前后,且存在主线直行基本车道减少,车速较高,因此追尾事故略多。

运营期标线变更设计,对外侧车道(第4车道)在距离出口渐变段起点200 m处作为右转专用道(见图9)。原主线直行车辆需要在减速车道前完成变换车道,以免驶入匝道。增加设置提前减速标线及右转标线后,交通事故显著减少。

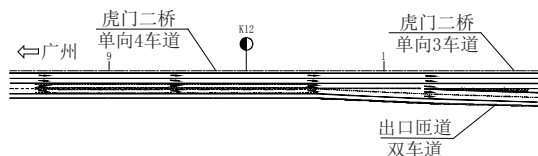


图9 项目终点主线车道减少方案(变更标线)

东岸立交往广州方向主线由3车道变至4车道过渡段,位于上坡段起点。原设计存在主线侧匝道连续合流设计,第1入口采用双车道变速车道平行式入口,以2车道汇入主线3车道,将匝道内侧车道作为汇流匝道流入主线,将外侧车道作为主线的直行车道(见图10)。

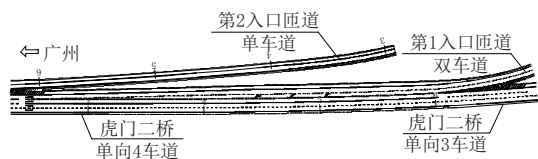


图10 项目终点主线车道减少(原设计)

运营实践表明,该路段主线侧存在前后两合流连续入口,匝道内侧汇流车道在较短距离内汇入主线,匝道外侧直行车道在三角渐变段处行车不流畅,并且入口合流路段上坡路段货车提速较慢,剐蹭或追尾事故略多。

建议后续研究将双车道入口匝道左侧车道调整为直行车道,右侧车道为汇流车道,以降低汇入车道的速度差(见图11)。

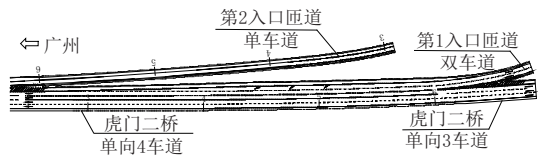


图11 项目终点主线车道减少(建议方案)

4 互通立交匝道设计及运营实践

4.1 匝道交通事故特点

(1)各互通立交全年总交通事故率较低(2022年4~12月14起、2023年26起、2024年1~6月17起)。

(2)各条匝道每年交通事故呈零星分布,各匝道每年交通事故普遍在3起及以下。

(3)事故形态主要为碰撞(追尾),事故均为轻微事故(全年仅个别人受伤、无人员死亡),事故主要原因是安全距离不足。

(4)匝道交通事故主要集中在双车道匝道分流鼻前变车道路段(东涌枢纽立交往西出口匝道间分流前、东涌枢纽立交往北出口匝道间分流前、沙田枢纽立交往东出口匝道间分流前);以及东涌枢纽立交南行双车道匝道变至单车道匝道后汇入广珠北线往黄阁方向路段。

4.2 匝道连接部设计

根据预测交通量及匝道长度情况,部分互通匝道应布置为超车需要的单车道出入口的双车道匝道^[11];设计采用在分流鼻后、合流鼻前均采用双车道匝道,车道出入口通过车道标线调整双车道变至单车道,如图12、图13所示。

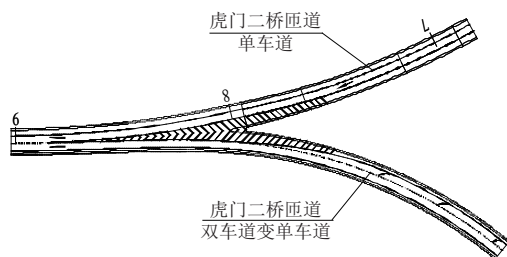


图12 桥梁等宽、标线调整车道方案(2+1车道)

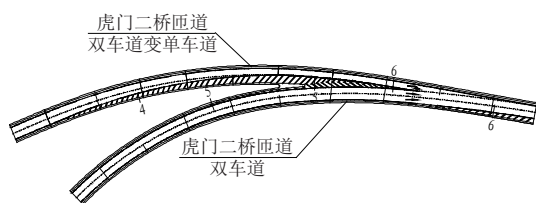


图13 桥梁等宽、标线调整车道方案(2+2车道)

运营实践表明,该方案使用效果较好:(1)标线调整达到连接部车道数平衡,能保障通行能力和行车安全;(2)在原应布置单车道位置的桥梁结构做成等宽段,方便高墩匝道桥梁的施工,便利桥梁的结构设计^[12-13];(3)后期可根据交通管制、主交通量方向变化调整不同车道数预留条件。

东涌枢纽立交南行双车道匝道变至单车道后汇入广珠北线往珠海方向路段,设计按照规范中左侧车道车流汇入右侧车道的方式^[11](见图14、图15)。调查发现:该入口位置发生2020年5起、2021年1起车辆追尾的轻微事故。双车道匝道左侧车辆先汇入右侧,再从左侧车道汇入主线,存在车辆频繁变道是导致车辆发生碰撞(追尾)的主要原因。

运营期标线变更设计,将入口双车道匝道变至单车道匝道,匝道内侧车道直接汇入广珠北线高速,



图 14 双车道匝道变至单车道后汇入主线(规范方案)

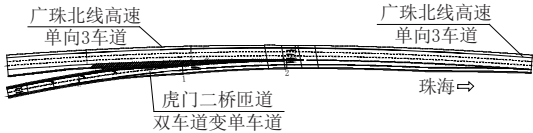


图 15 双车道匝道变至单车道后汇入主线(原设计)

匝道外侧车道作为慢速车道等待汇入(见图 16)。该方案减少了匝道汇入前的车道变换,增加了蓄车能力,调查发现调整标线后交通事故显著减少。

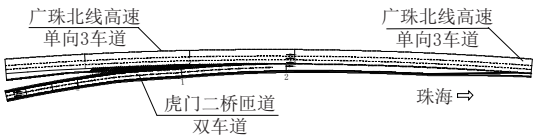


图 16 双车道匝道变单车道后汇入主线(变更标线)

4.3 海鸥岛节地型收费站、连接线设计

海鸥岛立交连接线设于主线左右幅桥墩之间,收费站进出口分置于主线桥两侧,布置紧凑,最大程度地减少了占地。对收费站进出口分置的互通立交,通过标志和标线设计,做好方向指引。运营实践表明,收费站通行能力较高,未发生排长队现象。

5 结 语

(1)对重要过江通道,规划期间区域公铁路网的建成与否、国家重要战略发展规划的发布都能显著影响实际运营交通量。枢纽立交设计应考虑关键通道在极端情况下的通行能力和安全韧性。

(2)项目周边过江通道交通管制(如限制货车)会导致交通量增大,特别是大货车数量翻番,由此造成的服务水平低于设计服务水平,是交通事故数明显增多的主要原因。

(3)对连接重要经济区域的过江通道,交通事故呈明显时间性、方向性,与上下班高峰时间段 2 个方向通勤交通量峰值高度相关。

(4)对大货车比例较高的多车道高速公路,建议严格限制大车在内侧车道行驶,以避免因速度差距较大造成的追尾事故。

(5)对设计速度 100 km/h 的重要通道,其主要路

线设计指标和互通立交变速车道长度采用高一个等级 120 km/h 标准进行设计,能够在不过多增加造价的情况下,提高公路的通行能力和行车安全性。

(6)特大交通量下,车流从匝道驶入或车辆变换车道,特别是主线出口减速车道位于下坡段、主线入口加速车道位于上坡段时,存在减加速和车辆变道双重叠加现象,会使车流行驶灵活性受限,容易发生车辆追尾或刮蹭事故。

(7)目前设计规范对大交通量下,互通立交处主线基本车道数变化的双车道出口匝道设计缺少相关措施,建议后续加强该方面的研究。

(8)对收费站进出口分置的互通立交,通过标志和标线设计,做好方向指引,也能较好地适应通行能力。

致谢:感谢中国城市规划学会城市感知学术专班对本工作支持。

参考文献:

[1] 陈冠雄,宋神友,苏权科.珠江口大型公路跨江(海)通道建设综述[C]//中国土木工程学会桥梁及结构工程分会第二十一届全国桥梁学术会议论文集(上册).大连:人民交通出版社,2014:32-39.

[2] 邓小华.广东虎门第二公路通道桥位选择[J].中外公路,2013,33(4):158-161.

[3] 中交公路规划设计院有限公司,广东省公路勘察规划设计院有限公司.虎门二桥工程两阶段施工图设计[Z].2013.

[4] JTG D20—2017 公路路线设计规范[S].

[5] 陈竞飞.虎门二桥路线总体设计关键技术研究[J].公路交通科技(应用技术版),2020,16(2):143-146.

[6] 徐德志,万志勇,梁立农.虎门二桥引桥总体设计[J].国防交通工程与技术,2015,13(4):22-25.

[7] 张文,李雪莲.新型螺旋式喇叭形互通立交设计探讨[J].交通科技,2011,21(3):111-113.

[8] 张文.新型螺旋式T形互通立交设计探讨[J].交通科技,2014,24(5):145-147;151.

[9] 张文,李雪莲.虎门二桥工程大高差互通立交设计研究[J].内蒙古公路与运输,2015(1):8-10.

[10] 中交公路规划设计院有限公司,广东省公路勘察规划设计院有限公司.虎门二桥工程可行性研究报告[Z].2010.

[11] JTG T D21—2014 公路立体交叉设计细则[S].

[12] 朱小金,杨敏,李小刚,等.虎门二桥东涌互通立交特殊工艺施工技术[J].施工技术,2020,49(4):40-43.

[13] 朱小金,杨敏,吴建军,等.南沙大桥东涌互通主线二桥桥架悬浇线施工技术[J].桥梁建设,2020,50(2):117-121.