

惠州市鹅岭立交改造工程方案研究

徐瑶琳¹, 姚江贝²

(1.惠州市道路桥梁勘察设计院, 广东 惠州 516000; 2.华南理工大学 土木与交通学院, 广东 广州 510630)

摘要:为充分论证环形立交改造方案的科学性和合理性,通过间隙接受理论模型和国内普遍推荐的信号交叉II通行能力计算方法分析了惠州市鹅岭立交现状和改造后的通行能力。结果表明,环形立交的通行能力较低,已不适应当今汽车保有量较高的城市发展需求,改立交为信号控制的平交口可有效提高交叉口的服务水平。可见,改环形立交为平交是合理、可行的。

关键词:环形立交;改造;通行能力;服务水平

中图分类号: U412.35+1

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)01-0032-04

0 引言

惠州市鹅岭立交桥建成于1994年5月,位于惠州市鹅岭公园西南角下、鹅岭东西北四路交汇处,为一座三层全互通立交桥。鹅岭立交是惠州市区内首座规模成型的立交桥。其中,主线为高架桥,位于立交桥第三层,西起鹅岭西路距离鳄湖路300 m处,东至鹅岭东路与麦地路交界处,全长约1.5 km,为城市主干路,设计荷载为汽-20,双向2车道,设计车速为40 km/h,设有非机动车道,与下面两层立交桥完全分离,现已实施潮汐车道管理,如图1所示。立交桥的中间层与最底层均为圆盘环岛路口,可进行左右转、直行或掉头,位于鹅岭东西北四条马路的交汇处,底层为辅路。



图1 鹅岭立交现状

现状鹅岭立交主要存在以下问题:

(1) 桥梁结构不安全

根据广东省建设工程质量安全监督检测总站出具的《惠州市鹅岭立交检测评估项目检测报告》,鹅

岭立交桥结构目前处于D级(不合格状态)。桥梁目前已实施部分补强措施,但由于桥位下方隧道施工,桥体倾斜沉降情况仍未稳定,有进一步发展的趋势。

(2) 立交桥底层利用率低

由于鹅岭立交桥二层桥墩较多,后因桥梁结构不稳定,实施加固时又增加了墩柱,因此立交桥底层辅路利用率低,车辆需在桥墩之间穿行,通行能力较低。

(3) 立交桥二层转盘通行能力较低

鹅岭立交位于惠州市老城区,交通繁忙现状立交二层环形交叉内径仅为25 m,线型指标偏低,交通流之间的交织、穿插存在困难,交叉口交通流变成紊乱交通流,在交通高峰时段经常出现拥堵。

为科学设计鹅岭立交的改造方案,本文针对不同的改造方案进行了通行能力分析和服务水平评价。

1 改造方案

1.1 方案一:维持交通现状(维修加固)

由于轻轨施工,造成二层环形立交桥出现大面积裂缝等病害。经检测,二层环形立交桥部分桥墩下沉脱空约4 mm,造成环形立交上部结构开裂,裂缝宽达到0.3 mm,且裂缝还在进一步发展,结构处于不安全状态。

若要使结构恢复原设计受力使用状态,首先对下沉的桥墩桩基进行注浆加固,使桩基稳定不再下沉。其次将支座顶升至原设计标高,误差不超过±3 mm。待裂缝闭合、稳定后,对箱梁进行封缝后,对粘贴钢板加固处理。由于桥梁病害较多,且桥墩下沉一般加固技术很难彻底消除安全隐患,结构安全可靠较差。

收稿日期:2020-06-16

基金项目:国家自然科学基金(51878297)

作者简介:徐瑶琳(1987—),女,硕士,工程师,从事道路设计工作。

1.1.1 现状立交通行能力分析

(1)现状环形立交层基本情况

- a. 信号控制:无。
- b. 中心环岛半径:25 m。
- c. 各路口进口车道:1条。
- d. 环形车道:2条。

本案例交叉口通行能力计算采用环形交叉口间隙接受理论模型,鹅岭立交为422型环形交叉(相交道路4个方向均为双向2车道),虽然现状环形车道有2条,但进环车道仅为1条,右转车辆与进环车辆使用同一条车道,右转车道的使用受到进环车辆的影响,同样受限于环形车流密度,适合采用进环车道为一条情况下的通行能力计算模型。

(2)交通流特征参数取值^[1]

- a. 临界间隙 t_c :3.58 s(参考北京市环形交叉口调查研究数据)。
- b. 最小时距 t_m :2.0 s(饱和车流平均值)。
- c. 随车时距 t_f :3.0 s(经验值)。
- d. 环道中自由流比例 α 取0.8。

(3)基本通行能力

参考《通行能力手册》,设进环车辆的通行能力为 C_e ,则:

$$C_e = 3\,600 \frac{aqe^{-\lambda(t_c - t_m)}}{1 - e^{-\lambda t_f}}$$

式中: q 为环道车流量,pcu/s; λ 为衰减参数, $\lambda = \frac{aq}{1 - qt_m}$ 。

代入计算参数,可得进环车辆的通行能力 C_e 约为1 671 pcu/h。

(4)实际通行能力

实际通行能力 C 为^[2]:

$$C = C_e \times F_{SF} \times F_{LT} \times F_{RT} \times F_M$$

式中: F_{SF} 为横向干扰系数,取0.92(商业区); F_{LT} 为左转修正系数,为 $1.14 - 0.92 \times P_{LT}$,其中 P_{LT} 为左转率; F_{RT} 为右转修正系数,为 $0.76 + 1.6 \times P_{RT}$,其中 P_{RT} 为右转率; F_M 为流量比修正系数,为 $0.88 + 0.11 \times P_M$,其中 P_M 为大流量与小流量之比。

通过各个影响因素修正,计算可得现状环形立交二层通行能力 C 约为1 472 pcu/h。

考虑地面层环形交叉约为1 050 pcu/h,南北向专用右转车道通行能力约为326 pcu/h,东西向专用右转车道通行能力约为306 pcu/h,则地面层通行能力 C' 约为: $1\,050 + 326 \times 2 + 306 \times 2 = 2\,314$ pcu/h。

综上所述,现状环形立交底层与二层的通行能力为3 786 pcu/h。

1.1.2 服务水平分析

(1)评价指标

采用交通量与通行能力的比值,即通常所说的 V/C 进行评价。服务水平标准见表1。

表1 无信号控制环形交叉口服务水平

服务水平	饱和度范围	运行状况
A	<0.40	畅行车流,基本无延误
B	0.40 ~ 0.60	稳定车流,有少量延误
C	0.60 ~ 0.75	稳定车流,有一定延误,但可接受
D	0.75 ~ 0.90	拥挤,接近不稳定车流,有较大延误,可忍受
E	0.90 ~ 1.00	不稳定车流,十分拥挤,延误很大,无法忍受
F	>1.00	强制车流,交通严重阻塞,车流时停时开

(2)评价结果

根据实测的鹅岭立交近期高峰小时车流量数据进行本案例的服务水平分析。

评价采用高峰车流量数据(见图2、图3),利用进环车流量与通行能力的比值作为评估标准,获得各进口的饱和度与运行服务水平(见表2)。

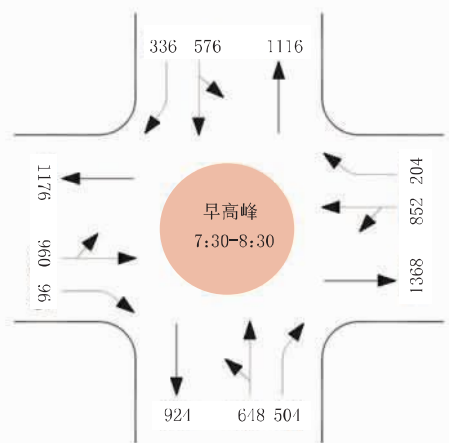


图2 早高峰车流量

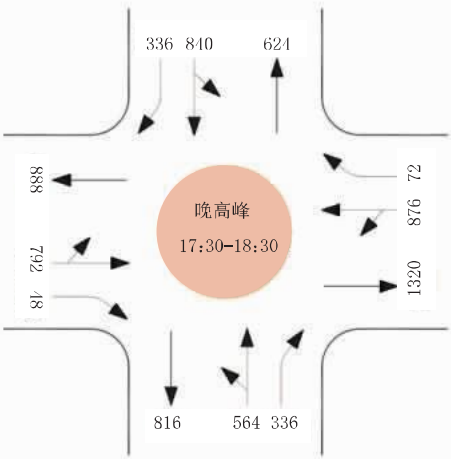


图3 晚高峰车流量

因此,可认为现状环形交叉的服务水平为D级,拥挤,接近不稳定车流,有较大延误,可忍受。

表2 环形交叉口现状服务水平评估

进口	南进口	北进口	东进口	西进口
V/C	0.78	0.62	0.72	0.72
服务水平	D	C	C	C

由于地区开发已基本成熟,交通量趋于稳定,考虑未来十年交通量增长率为15%,在保持现状立交形式不改变的情况下,远期环形交叉口服务水平,见表3。

表3 环形交叉口远期服务水平评估

进口	南进口	北进口	东进口	西进口
V/C	0.9	0.71	0.83	0.83
服务水平	E	C	D	D

计算得远期交叉口南进口的V/C将达到90%,服务水平为E级。

1.2 方案二:拆除二层立交桥,改为地面十字型渠化信号控制平面交叉

1.2.1 十字型渠化信号控制平面交叉

本阶段考虑将二层环形立交桥作拆除处理,仅利用底层空间设计一处十字型信号控制的渠化平面交叉,结合现状东西方向的鹤岭西路跨线桥使用。

本次平交渠化方案考虑充分增加各进口道等候车道数量,减少排队等候车辆,使通行能力最大限度提高,方案设计见图4。本方案东进口道、西进口道均设置2条渠化右转车道、2条直行和专用左转弯道,南进口道、北进口道设置3条直行、2条左转和2条渠化右转车道,造价费用约1950万元。



图4 改造方案二

1.2.2 通行能力分析

初始信号配时(暂按两相位考虑):信号周期 $T_c = 80$ s,南北方向绿灯时间 $t_{g1} = 48$ s,东西方向绿灯时间 $t_{g2} = 26$ s,黄灯时间3 s。

初始计算条件:大型车与小型车比例为2:8。

(1)进口道设计通行能力计算

采用国内普遍推荐的信号交叉口通行能力计算方法^[3],交叉口设计通行能力等于各进口道设计通行能力之和,即:

$$C_{\text{交叉口}} = \sum_{i=1}^n C_i$$

式中: $C_{\text{交叉口}}$ 为交叉口通行能力; C_i 为交叉口各进口的通行能力; i 为交叉口进口编号; n 为交叉口进口数, n 为4或3。

$$C_i = \sum_{j=1}^K C_j$$

式中: C_j 为进口各车道的通行能力; j 为车道编号; K 为进口车道数。

根据初步改造方案,交叉区域内存在直行、直左、专用右转和左转车道。在初始信号配时方案的情况下,各车道通行能力计算如下:

a. 一条直行车道 C_s

$$C_s = \frac{3600}{T_s} \left[\left(\frac{t_g - t_0}{t_j} \right) + 1 \right] \varphi$$

式中: t_0 为第一辆车启动,通过停车线的时间,采用2.3 s; t_j 为直行或右转车辆通过停车线的平均时间,按车型比例取2.65 s; φ 为折减系数,可用0.9。

b. 一条直左车道 C_{sl}

$$C_{sl} = C_s (1 - \beta'_L / 2)$$

式中: β'_L 为直左车道中左转车所占比例。

c. 一条专用右转车道 C_R

$$C_R = C_{eLR} \times \beta_R$$

式中: C_{eLR} 为进口通行能力,pcu/h; β_L 为左转车占本进口车辆比例; β_R 为右转车占本进口车辆比例。

$$C_{eLR} = \sum C_s (1 - \beta_L - \beta_R)$$

式中: $\sum C_s$ 为进口直行车道总通行能力。

d. 一条专用左转弯车道 C_L

$$C_L = C_{eLR} \times \beta_R$$

根据本案例初步渠化方案计算可得交叉口各进口的通行能力,见表4

表4 各进口通行能力计算

进口	南进口	北进口	东进口	西进口
通行能力 (pcu·h ⁻¹)	$3C_s + 2C_R + 2C_L$	$3C_s + 2C_R + 2C_L$	$2 \times (C_s + C_R + C_L)$	$2 \times (C_s + C_R + C_L)$
	3 588	3 588	1 974	1 974

(2)设计通行能力的折减

在一个信号周期内,对面到达的左转车超过3~4 pcu时,左转车通过交叉口将影响本面直行车。因此,应折减本面各直行车道的通行能力。

$$C_{e'c} = C_{ec} - n_s (C_{le} - C_{le'})$$

式中: C_e 为折减后本面进口道的通行能力,pcu/h; C_e 为本面进口道的设计通行能力,pcu/h; n_s 为本面各种直行车道数; C_{le} 为本面进口道左转车的设计通过能力,pcu/h。

$$C_{le} = C_e \beta_L$$

式中: C_{le} 为不折减本面各种直行车道设计通行能力的对面左转车数,pcu/h。当交叉口小时为 $3n$, 大时为 $4n$, n 为每小时信号周期数。

折减后各进口通行能力,见表 5。

表 5 折减后各进口通行能力

进口	南进口	北进口	东进口	西进口
通行能力 (pcu·h ⁻¹)	2 817	2 817	1 544	1 544

因此,本案例改造方案的交叉口通行能力为 8 723 pcu/h。

1.2.3 服务水平分析

(1)评价指标

交叉口是交通延误发生的主要场所,国内外常用平均延误时间作为评价信号交叉口的交通服务水平。信号交叉口服务水平一般可分为表 6 所示的 6 个等级。

表 6 信号化路口的服务水平

服务水平等级	每车信控延误	大约相应的 V/C	交通状态
A	≤10	≤0.22	大多数车在绿灯期到达,不停车
B	11~20	≤0.43	大多数在绿灯期到达,有较多停车
C	21~35	≤0.61	出现个别周期通行能力不足,停车数显著增加
D	36~55	≤0.78	许多车必须停车,有些车在一个或两个周期内不能通过交叉口
E	56~80	≤0.93	可以接受的极限,车辆在几个周期内通不可以接受的极限,车辆在几个周期内通不过
F	>80	>0.93	大多数驾驶员不能接受

本案例交叉口考虑两部分延误:交通延误 D_1 和几何延误 D_2 (此处不考虑上游交叉口对来车规律的影响)。

$$D=D_1+D_2$$

式中: D 为车道组 i 中每辆车平均延误,s/pcu; D_1 为交通延误,交叉口内各种交通流的相互影响引起的延误,s/pcu; D_2 为几何延误,由车辆的转向、加速和减速过程引起,s/pcu。

a. 交通延误

假定交通流为稳定的,车辆均匀到达并没有初始排队,的情况下车辆经历的平均延误。

$$D_1=\frac{0.5\cdot T_c\cdot(1-\frac{T_g}{T_c})}{1-\min(1,X_i)\cdot\frac{T_g}{T_c}}$$

式中: X_i 为车道组 i 的饱和度。

b. 几何延误

考虑各车道组处于非饱和状态 ($0.5 < X_i < 0.95$):

$$D_2=\frac{1.261\times(Q_s\cdot T_g)^{-0.219}(X_i-0.5)}{Q_i(1-X_i)}$$

式中: Q_i 为车道组 i 的高峰小时流率,pcu/h; Q_s 为车道组 i 的饱和流率,pcu/h。

(2)评价结果

评价结果,见表 7。

表 7 方案二信号化路口现状服务水平

进口	南进口	北进口	东进口	西进口
$D/(s\cdot pcu^{-1})$	21.2	19.9	33.7	33.7
服务水平	C	B	C	C

由于交叉口位于老城区,已成规模街区,各路口车辆到达率均受到临近交叉口通行能力限制。考虑未来十年交通量增长率为 15%,在采用本次平面交叉渠化方案的情况下,各进口服务水平见表 8。

远期东西进口的车道组饱和度约为 65.5%,每辆车延误约为 34.3 s,服务水平为 C 级。

表 8 方案二信号化路口的远期服务水平

进口	南进口	北进口	东进口	西进口
$D/(s\cdot pcu^{-1})$	22.3	20.6	34.3	34.3
服务水平	C	B	C	C

2 投资估算分析

经初步测算,对现状环形立交进行维修加固的费用约 1 480 万元。而方案二对现状环形立交进行拆除,改造成十字型信号控制平面交叉的费用约 1 950 万元。

3 方案比较

根据前文论述,通过对各个方案的通行能力、服务水平、结构安全、造价和城市景观等方面的分析,建议采用方案二,即渠化信号控制平面交叉方案,可在近期较大地提高道路通行能力和服务水平,同时
(下转第 57 页)

不少于 7 d。

3.4 面层密封工艺涂覆封闭剂

待表面混凝土成型干燥后,喷涂封闭剂,增强耐久性和美观性,防止因时间过长使透水混凝土空隙受污而堵塞空隙。

3.5 其他

透水混凝土仍属混凝土的一种,必须设置伸缩缝。其伸缩缝的设置须与结构层混凝土的切割缝上下一致,5 m 设一通缝,缝宽 3~5 mm,使用柔性物质嵌缝。

4 结 语

便民河路慢行系统竣工以后,方便了沿线居民休闲生活,具体效果如图 4 所示。

(1)透水混凝土因具备生态效应、抗压力强、色彩多选、整体性好等特点,正在被广泛应用到园林、市政等领域。

(2)透水混凝土拥有系列配方,配合设计的创



图 4 慢行系统成品现场图

意,可针对不同环境和个性要求的装饰风格进行铺设施工。这是传统铺装和一般透水砖不能实现的特殊铺装材料。透水混凝土的铺装工艺类似于混凝土的铺装,但又不等同于混凝土铺装。

(3)目前透水混凝土铺装应用广泛,但是设计与施工质量参差不齐,要达到预期效果,需要注重全过程的质量控制。

参考文献:

- [1] CJJ 169—2012,城镇道路路面设计规范[S].
- [2] CJJ 194—2013,城镇道路路基设计规范[S].
- [3] CJJ T135—2009,透水水泥混凝土路面技术规程[S].
- [4] CJJ 1—2008,城镇道路工程施工与质量验收规范[S].

(上接第 35 页)

满足行人过街需求(见表 9)。

表 9 方案分析比较表

比较项目	方案一: 维修加固	方案二: 十字型渠化信号控制平面交叉
交叉口通行能力 ($\text{pcu}\cdot\text{h}^{-1}$)	3 786	8 723
服务水平	D	C
行人交通	较安全	安全
结构安全性	存在隐患	安全
城市景观	差	好
工程投资/万元	1480	1950
推荐意见	不推荐	推荐

4 结 论

综合上述分析,从结构安全、城市景观和通行能力等方面因素考虑,建议对现状第二层环圈匝道桥进行拆除,东西直行交通由第三层高架桥通行,地面交通组织方案采用方案二,同时考虑对地面渠化交叉口进行优化设计,合理进行信号配时,以进一步提高交叉口的通行能力。

参考文献:

- [1] 任福田,杨峰,荣建,等.北京市环形交叉口通行能力分析[J].公路交通科技,2001,18(3): 64-66.
- [2] 何永明,邓红星,等.环形交叉口通行能力分析研究方法研究[J].天津城市建设学院学报,2012,(4): 246-249.
- [3] 周荣贵,等.公路通行能力手册 [M]. 北京:人民交通出版社,2017:271-295.