

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2024.12.006

城市道路 X 形交叉口设计优化及实践

吴国华,孙元鹏

(1.广州市市政工程设计研究总院有限公司,广东 广州 510060; 2.广东立宸建筑工程有限公司,广东 广州 510060)

摘 要: 针对城市道路中普遍存在的小交角 X 形交叉口影响行车安全的问题,分析了城市道路 X 形交叉口平面与竖向对行车安全性与舒适性的影响,提出了局部改线调大交角、考虑驾驶员行车视野并复核修正停车视距长度、延长超高横坡渐变长度以消除“波折”现象及提高交叉口中心标高减缓“反超高”等优化方案,从而保障交叉口行车安全与通行效率。结合广州科技教育城市政配套道路项目实践,验证了优化方案的效果。

关键词: X 形交叉口;交叉口竖向设计;广州科教城

中图分类号: U412.35 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-7716(2024)12-0028-05

0 引 言

因城市发展需要,前期城市道路采用“先骨架后分支”的建设方式,后期在完善片区路网时,受征拆、用地性质等因素限制,城市道路中普遍存在小交角的 X 形交叉口,如深圳龙华福龙路与和平路交叉口交角约为 59° ,广东高州冼太大道与红荔路交叉口交角约为 45° 。X 形交叉口锐角象限狭长,安全停车视距三角区占地面积大,不利于土地利用,且容易被构造物遮挡,影响行车安全。

本文通过对城市道路 X 形交叉口平面及竖向的分析,研究其对行车安全性和舒适性的影响,提出优化方案,保障交叉口行车安全与通行效率,结合工程实践验证优化方案效果。

1 X 形交叉口平面分析及优化方案

1.1 平面分析

相交道路交角 $\leq 70^{\circ}$ 的为 X 形交叉口^[1]。以两条双向 4 车道、设计时速 40 km/h 的城市次干路相交为例(见图 1 至图 3)展开分析。

(1)道路交角越小,交叉口视距对角线 L 越长,占地面积越大。道路 70° 相交时,交叉口面积比道路正交时增加 14.2%;道路 45° 相交时,交叉口面积比道路正交时增加 23.3%。而且,锐角转角处狭长,土地总体利用率不高。

收稿日期: 2024-04-26

作者简介: 吴国华(1989—),男,学士,工程师,从事市政路桥设计与研究工作。

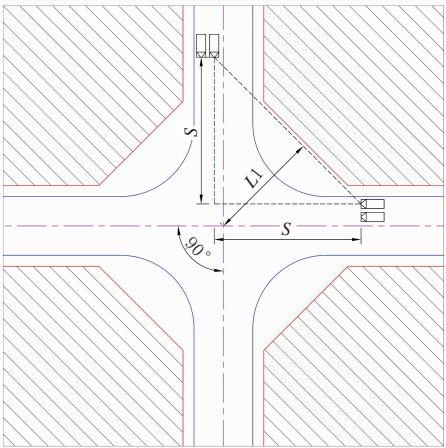


图 1 正交口

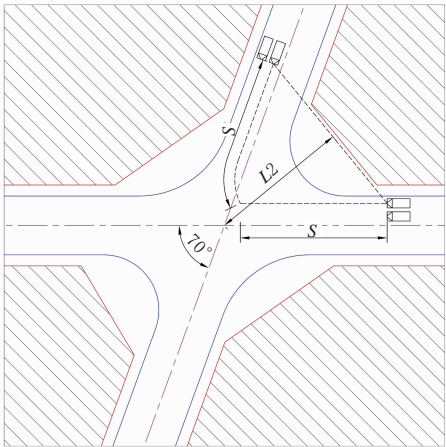


图 2 70°斜交口

(2)相关研究表明,驾驶员的行车视野角度会随车辆时速加快而收窄^[2]。上述案例中,正交角时停车视距三角区 I 小于行车视野区 II, 70° 交角时停车视距三角区 I 略大于行车视野区 II, 停车视距三角区 I

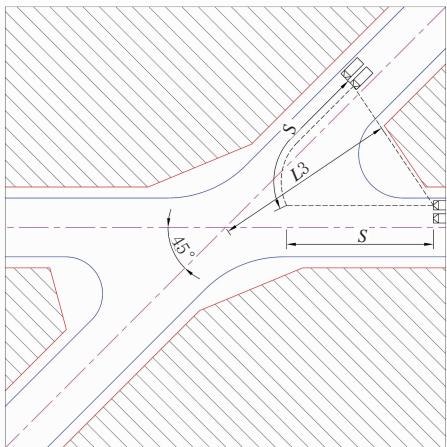


图 3 45°斜交口

大于行车视野区Ⅱ约 6°(见图 4)。这意味着驾驶员进入 X 形交叉口停车制动前,需要转头观测判断,安全停车时间 t (反应时间 + 制动时间)增加了转头、回转时间段 t_1 ,实际停车视距长度相应增长 S_1 。郭忠印等^[3]实验分析,相交角 45°、设计时速 40 km/h 的道路在纵坡等最不利情况下,停车视距实际与规范值最大差值 $S_1=14$ m,视距长度增幅为 35%,进一步扩大了 X 形交叉口与正交口的占地面积差,因此在检验安全视距三角区时,应按设计时速对应驾驶员行车的视野角度进行复核修正。

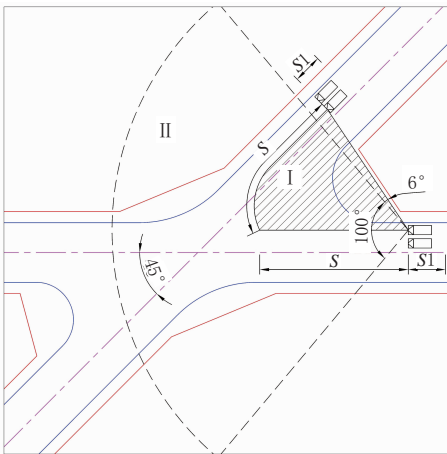


图 4 行车视野区

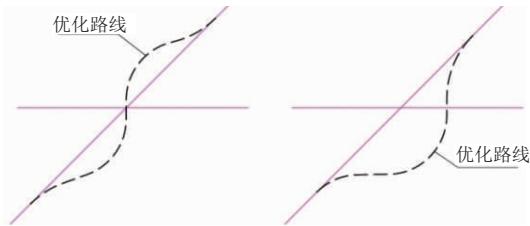
1.2 优化方案

(1)局部调整线位

在用地条件允许的情况下,对道路线位进行局部改线^[4],将小交角变为大交角(见图 5),但改线位方案容易受征拆、用地性质等因素的限制。

(2)降低交叉口设计时速

由上可知,交叉口视距三角区范围、驾驶员行车视野角度都与交叉口设计时速 V 有关。在平面线位调整受限、视距三角区无法保障时,可合理降低交叉口设计时速,缩小安全视距三角区范围,以保障交叉



(a)改线方案一 (b)改线方案二

图 5 局部改线方案

口行车安全。限速措施如纵向减速带、限速警示牌、监控抓拍等。

2 X 形交叉口竖向分析及优化方案

2.1 竖向分析

道路交叉口竖向设计主要考虑行车安全性、舒适性及排水功能。交叉口内道路纵坡小的,要注意相交道路的纵坡坡向设计,避免采用“凹形交叉口”及小半径竖向曲线,确保排水通畅及视距安全;交叉口内道路纵坡大的主要存在“波折”、转向车辆“反超高”等问题。

(1)道路相交时,交叉口路缘圆折点标高不相同,横坡需要超高渐变衔接。一般交叉口设计范围为路缘圆折点以外 5~10 m,横坡渐变段过小形成“坡折”现象(见图 6),影响外侧车道直行车辆的行车舒适性。



图 6 交叉口“波折”现象

以道路 AB 及道路 CD 为例,车行道宽均 16 m,设计时速均为 40 km/h,纵坡分别为 2.5%、2.0%,一般段道路横坡 2%,路缘转弯半径 R 取 15 m,交叉口竖向设计范围包含路缘圆折点以外 10 m(见图 7)。AB 方向的直行车道绕中线的超高渐变率 $\varepsilon=8 \text{ m} \times (2\%+2\%)/(10 \text{ m}+15 \text{ m}+8 \text{ m}) \approx 1/100$,结合交叉口与路线规范^[5],交叉口设计时速为 $v=40 \text{ km/h} \times 70\%=28 \text{ km/h}$,超高渐变率最大值 $1/120 < \varepsilon$,行车舒适性降低(见图 8)。由上可知,被交道路纵坡越大、横坡渐变段越小,“波折”现象就越明显,行车舒适性越低。

(2)车辆在交叉口转弯时,由于道路纵坡坡向不

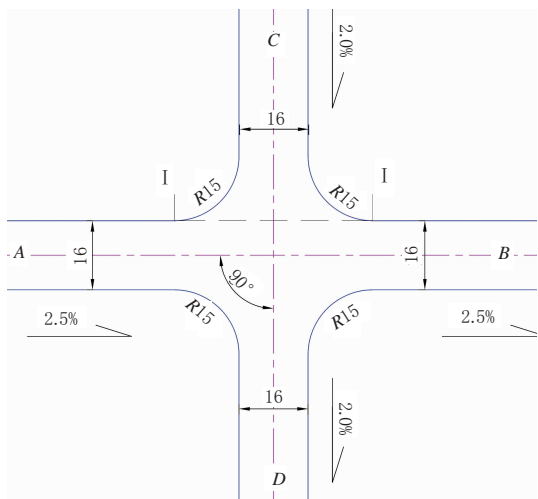


图7 相关道路平面示意图

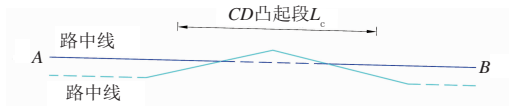


图8 I-I剖面示意图

一致,加之横坡也在渐变,容易出现转向时路缘圆折点标高高于交点O、左转向与超高横坡向反坡“反超高”的情况(见图9、图10、表1)。下坡车道车速较快,转向存在反超高时是最不利的组合。

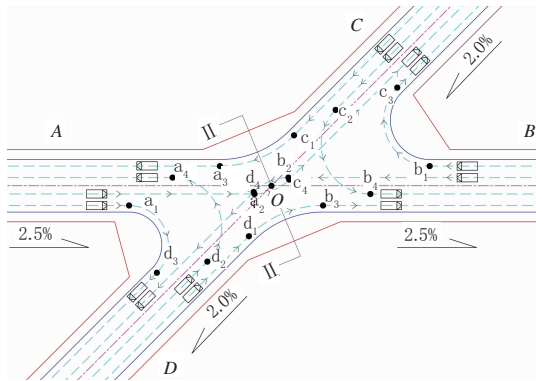


图9 交叉口车流转向平面示意图

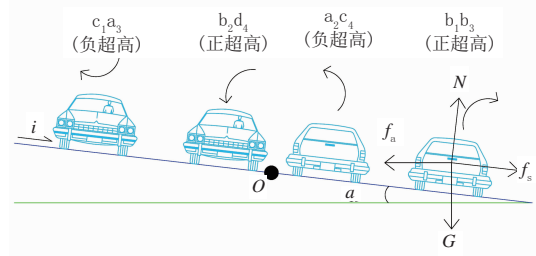


图10 II-II剖面图

车辆在转向行驶时,主要受到重力 G 、离心力 f_a 、摩擦力 f_s 及路面的反作用力 N 的作用,要使车辆转弯时不发生失衡,四者需要达到一定的平衡。摩擦力 f_s 与摩擦阻力系数 μ 相关,离心力 f_a 与转弯半径 R 、设计速度 V 相关,其关系如式(1)^[1]:

$$i = \frac{V^2}{127R} - \mu_{\max} \quad (1)$$

表1 转向车辆横坡超高情况统计表

序号	转弯方向	进口道坡向	出口道坡向	进口道超高	出口道超高	备注
1	c_1a_3	下坡	上坡	反超高	反超高	右转
2	b_2d_4	上坡	下坡	正超高	正超高	左转
3	a_2c_4	下坡	上坡	正超高	正超高	左转
4	d_1b_3	上坡	下坡	正超高	正超高	右转
5	a_1d_3	下坡	下坡	反超高	正超高	右转
6	b_1c_3	上坡	上坡	正超高	反超高	右转
7	c_2b_4	下坡	下坡	反超高	正超高	左转
8	d_2a_4	上坡	上坡	正超高	反超高	左转

式中: i 为设计超高横坡度,%; R 为圆曲线半径,m; $\mu_{\max}$ 为最大容许横向摩擦阻力系数; V 为设计速度,km/h(交叉口转向取直行时速的50%)。

圆曲线半径 R 即转弯半径,其与路缘石半径 r 关系如式(2):

$$R = r + W_{mc} + \frac{W_c - W_{mc}}{2} \quad (2)$$

式中: r 为推荐路缘石半径,m; W_{mc} 为路缘带宽度,m; W_c 为转弯车道宽度,m。

结合规范^[1]推荐的路缘石半径 r 值及式(1)和式(2),可得防止转向车辆失衡的最小允许超高横坡值(见表2)。

表2 防止转向车辆失衡的最小允许超高横坡值

右转弯设计速度 $V/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	路缘石推荐半径 r/m	圆曲线半径(转弯半径) R/m	最大容许横向摩擦阻力系数 μ	最小超高横坡 $i/\%$
30	25	27.375	0.18	7.89
25	20	22.250	0.18	4.12
20	15	17.250	0.18	0.26
15	10	12.250	0.18	-3.54

注:1. W_c 按小客车取加宽值^[1];
2.负超高横坡值代表负超高。

2.2 竖向优化方案

(1) 延长横坡超高渐变段长度

在交叉口路缘圆折点前,按规范值完成横坡超高渐变至被交路纵坡坡向,交叉口外侧车道横坡渐变平顺,可消除“波折”现象(见图11)。交叉口为斜交X形时,横坡最大渐变值需要按式(3)换算:

$$i_2 = \frac{i_1}{\cos(\frac{\pi}{2} - \theta)} \quad (3)$$

式中: i_1 为被交道路纵坡,%; i_2 为最大横坡渐变坡度,%; θ 为道路交角,°。

(2) 抬升交叉口中心标高

交叉口竖向调整横坡渐变段长度,消除“波折”

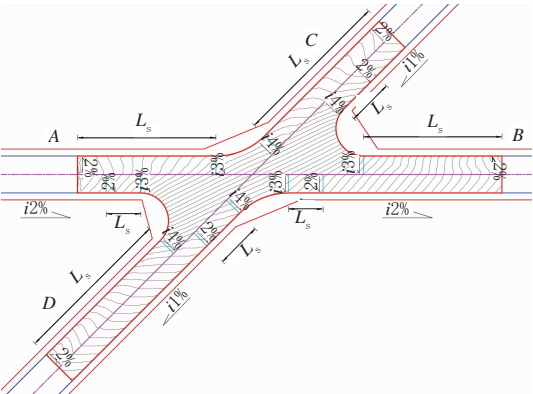


图 11 交叉口优化横坡渐变后等高线图

现象的同时,增加了部分转向车辆的“反超高”坡度。当反超高坡度小于容许最小超高坡度时,车辆转向存在失稳倾覆的危险。按式(1)和式(2)反算,反超高的转向路缘圆折点在满足最小反超高坡度时,存在交叉口交点 O 标高的抬高值 ΔH ,道路纵坡高差渐变段长度 L 按 3 s 行程控制^[5],与横坡超高渐变段 L_s 两者取大值。

3 应用实例

广州科技教育城(一期)(下文简称广州科教城)位于增城区朱村街,规划建设 13 所大中专院校,并配套建设 28 条市政道路,道路总长约 41.9 km。整个片区现状地势北高南低、中高东西低,规划依照地形建设山水田园型教育城。

位于中东部纵向的育水三路(工程名:信达路)与横向科教大道(工程名:敬学路)斜交角 54.51° ,纵坡分别为 2.021%和 2.45%(见图 12)。科教大道规划为城市主干路,宽度 50 m,双向 4 车道,设计时速 50 km/h;育水三路规划为城市次干路,宽度 30 m(含停车带),双向 2 车道,设计时速 30 km/h。



图 12 育水三路与科教大道交叉口航拍图

(1)平面优化

交叉口东侧均为院校地块,受院校硬性用地指标限制,平面上无法局部改线优化交叉角度。科教大道和育水三路安全停车视距分别为 $S_s=60\text{ m}$ 、 $S_s=$

30 m,驾驶员行车视野角度内插值为 88.30° ^[2],关系如图 13 所示。由图 13 可知,驾驶员行车视野角度大于安全停车视距三角区,无须对停车视距长度进行修正,且视距三角区位于道路内,满足安全视距要求。

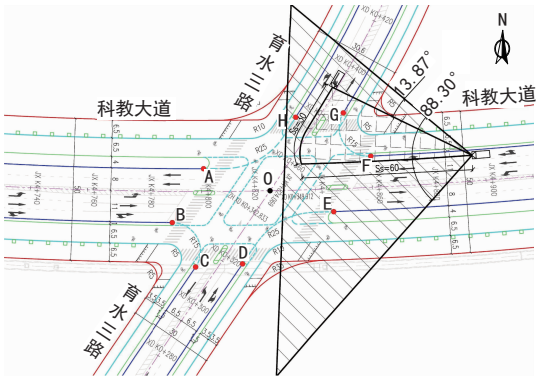


图 13 安全停车视距三角区示意图

(2)竖向优化

按规范延长横坡超高渐变段长度,由式(3)可分别算得科教大道横坡需要由 -2% 渐变至 $\pm 2.48\%$ 、育水三路横坡需要由 -2% 渐变至 $\pm 3.01\%$,超高渐变段长度取整数(见表 3)。

表 3 超高渐变段长度 L_s 汇总表

超高横坡 坡度 /%	车行道宽度 /m			
	6.5	7.1	8	11
2.48	—	—	60	80
-2.48	—	—	10	10
3.01	45	45	—	—
-3.01	10	—	—	—

结合纵坡及横坡超高渐变设置,并适当加密交叉口标高控制点,采用“方格网设计等高线”法生成竖向等高线(见图 14),则得到各路缘圆折点的超高横坡情况(见表 4),对交叉口东西向的 A 点与 F 点、南北向的 H 点与 C 点分别连线,剖面如图 15。

图 15 显示相交道路外侧车行道在交叉口范围内高差变化平顺,均无“波折”现象。表 4 中各路缘圆折点的坡度均大于转向车辆最小允许超高坡度,车辆转向安全平稳,无须再抬升交点标高降低反超高坡度。道路建成运营后,该交叉口内行车舒适性及安全性均得到了较好的保障。图 16 为科教大道与育水三路交叉口建成现状。

4 结 语

(1)道路 X 形交叉口占地大,遇上大纵坡组合时,行车安全性和舒适性受到较大影响。在前期路网规

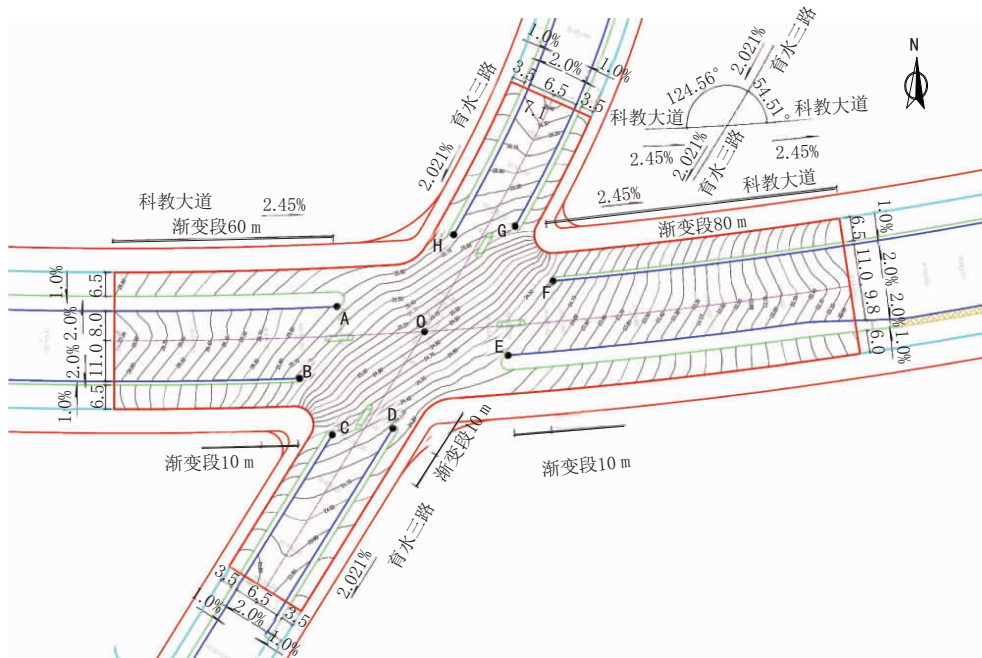


表 4 超高横坡汇总表

编号	标高 /m	高差 /m	设计超高 坡度 /%	最小允许 超高横坡 /%	是否满足 要求
O	25.00	—	—	—	—
A	25.79	-0.79	-3.12	-4.01	是
B	25.58	-0.58	-1.58	0.26	是
C	24.5	0.5	1.34	-3.54	是
D	24.27	0.73	2.66	-11.50	是
E	24.26	0.74	3.14	-4.01	是
F	24.39	0.61	1.63	0.26	是
G	25.55	-0.55	-1.46	-3.54	是
H	25.74	-0.74	-2.70	-11.50	是

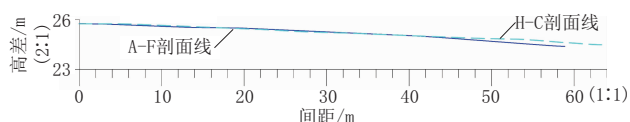


图 15 外侧直行车道标高剖面图

划或道路改线时，条件允许的情况下尽量按大交角布设线位。

(2)条件受限形成小交角 X 形交叉口时,应对交叉口进行优化设计:局部改线,调大交角;考虑驾驶员行车视野,复核修正停车视距长度;延长超高横坡



图 16 科教大道与育水三路交叉口建成现状

渐变长度,消除“波折”现象;提高交叉口中心标高,减缓“反超高”;等等。通过以上优化,保障交叉口内行车的安全性和舒适性,提高道路交叉口节点通行效率。

参考文献:

- [1] CJJ 152—2010,城市道路交叉口设计规程[S].
- [2] 王海林,刘仲国,朱凯曼.影响汽车驾驶员行车安全的内在因素分析[J].汽车研究与开发,2002(5):32-35,42.
- [3] 郭忠印,刘天龙,周小焕.基于驾驶员视认性的畸形交叉口安全视距计算[J].华东交通大学学报,2012,29(3):46-50.
- [4] 徐家钰,梁新民.X形交叉口的改善[J].上海公路,1997(2):23-29.
- [5] CJJ 193—2012,城市道路路线设计规范[S].