

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2021.06.065

基于视距需求的互通范围内主线圆曲线半径指标研究

吕纪云, 徐宇峰, 熊威

(中交第二公路勘察设计研究院有限公司, 湖北 武汉 430056)

摘要: 鉴于 JTG D20—2017《公路路线设计规范》(简称《规范》)与 JTG/T D21—2014《公路立体交叉设计细则》(简称《细则》)对互通式立体交叉范围内圆曲线半径取值的依据相对笼统, 该文阐明了互通范围内主线车辆的不同运行状态, 以停车视距与识别视距为基础, 分析了小客车视点与目标(障碍物)的位置, 根据几何关系与海伦公式分别构建了相应的计算模型, 进而论证圆曲线半径大小的合理取值。同时, 结合理论分析与工程设计经验, 提出了圆曲线半径较小时可采取的安全保障措施。

关键词: 互通式立交; 圆曲线半径; 停车视距; 识别视距; 保障措施

目前, 中国对于互通式立体交叉匝道的相关技术指标研究较多, 但针对立体交叉范围内主线指标的相关研究相对较少。在实际工程项目中, 设计人员在互通设计中主要参照《规范》与《细则》进行相应取值。例如, 圆曲线半径大小的取值, 《规范》与《细则》对于不同设计速度下互通式立体交叉范围内主线圆曲线半径的规定主要是为控制圆曲线外侧变速车道连接部鼻端处的横坡差。当设计速度 ≥ 80 km/h 时, 一般值按照超

高 $\leq 3\%$ 取值, 极限值按照超高 $\leq 4\%$ 取值(表 1), 从而控制小鼻端处主线横坡与匝道横坡差值在 6% 以内。这一规定相对而言略为片面, 取值的理论依据也没有什么优势。若采用较小的圆曲线半径: ① 内侧超车车道因中央分隔带、护栏等因素易导致驾驶员视野范围内横净距不足, 无法确保停车视距; ② 由于识别视距不足, 可能导致行驶车辆错过互通出口, 并进一步诱发倒车、追尾、侧碰等交通事故。若采用较大的圆曲线半

法可以辅助 BIM 无缝对接大型三维场景, 让设计师在真三维场景中进行沉浸式设计。

(3) 可以实现地上下、室内外一体化展示, 实现从宏观到微观的可视化精细管理; 为工程建设提供一个动态的、立体的、全方位的管理模型。

5 结语

倾斜摄影技术结合地面激光雷达技术突破了常规建模方法的精度和效率, 是一种具有极大发展潜力的测绘新技术。该技术可面向复杂工点快速建立高精度、真实场景三维模型, 有效地辅助 BIM 技术在设计、施工、运营阶段的应用需求。文中通过实际工程实例验证了新技术的有效性, 实现对复杂三维场景进行精确建模, 让设计师在真三维场景中进行沉浸式设计, 对复杂工点的三维场景建模具有显著的应用价值。

参考文献:

- [1] 孙建诚, 蒋浩鹏, 朱双晗. 基于 BIM 技术的三维公路模型设计探讨[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2019(1).
- [2] 程永志, 马强, 张磊刚. 无人机倾斜摄影辅助 BIM+GIS 技术在城市轨道交通建设中的应用研究[J]. 施工技术, 2018(17).
- [3] 方留杨, 赵鑫, 吴晓南, 等. 山区公路典型地质灾害倾斜摄影三维建模与分析方法研究[J]. 公路, 2018(12).
- [4] 杨帆. 无人机倾斜摄影在森林景区实景三维模型构建及分析[J]. 林业资源管理, 2018(4).
- [5] 王永生, 卢小平, 朱慧, 等. 无人机实景三维建模在水利 BIM 中的应用[J]. 测绘通报, 2018(3).
- [6] 王田芳, 丁志广, 饶帅雄, 等. 一种电塔线模型融入倾斜摄影实景三维的方法[J]. 测绘科学, 2018(11).
- [7] 曾繁轩, 李亮. 地面激光雷达点云的曲面重构技术[J]. 激光杂志, 2017(6).
- [8] 王向玉, 谢东辉, 汪艳, 等. 基于地面激光雷达点云数据的单木三维重建[J]. 遥感技术与应用, 2015(3).

收稿日期: 2021-11-21(修改稿)

作者简介: 吕纪云, 男, 硕士, 工程师, E-mail: lvjiyun2009@163.com

径,在山区高速公路建设中,易导致互通整体规模偏大,工程经济性较差。尤其是高速公路周边存在自然保护区或水源保护地等,平面指标过大可能会引发环保问题。故此,对于互通设计而言,确定一个合理的主线圆曲线半径非常重要(表 1)。

表 1 互通式立交交叉范围内主线圆曲线半径

设计速度/ (km · h ⁻¹)	圆曲线最小半径/m	
	一般值	极限值
120	2 000	1 500
100	1 500	1 000
80	1 100	700

1 互通式立交范围内主线车辆行驶分析

以单向双车道高速公路为例,主线车辆在互通范围内行驶主要存在两种运行状态。其一,车辆在主线上继续前行,未驶离高速公路。此种情况,主线圆曲线半径的取值主要影响内侧车道驾驶员的视野。当驾驶员发现前方有目标(障碍物)时,停车视距是否满足需求是衡量圆曲线半径大小的关键指标;其二,车辆由主线逐渐驶离高速公路进入匝道。此类情况,主线圆曲线半径的取值主要影响驾驶员能否及时判断互通的出口,即识别视距是否满足要求。基于上述分析,该文以停车视距与识别视距为基础,构建计算模型,进而论证圆曲线半径大小的合理取值。

2 基于停车视距的圆曲线半径研究

2.1 视点与目标(障碍物)位置的确定

不同版本的规范与研究对于视点与目标(障碍物)的位置存在一定分歧。《规范》条文说明中解释视点位置为车道宽度的 1/2 处,即行车道中心线。然而,部分研究依托调查、驾驶员的位置与车型认为小客车视点在其左侧 0.5 m 处。此外,前期设计采用的路线规范与诸多研究均按照视点与目标(障碍物)位于同一轨迹线上进行计算。2017 版《规范》将目标(障碍物)的位置修改为路面两侧对应的车道边缘线。文中针对视点与目标(障碍物)位于几种不同位置予以分别研究。

2.2 视点与目标(障碍物)位于行车道中心线上的计算模型

以设计速度 120 km/h,标准路幅为 27 m 的单向

双车道高速公路的小客车为例,如图 1 所示。当视点与目标点均位于行车道中心线上时,圆心与视点的连线定义为 a ,圆心与目标(障碍物)的连线定义为 b , a 、 b 之间的夹角定义为 θ ,车辆从视点至目标(障碍物)行驶的弧线定义为 c ,视点与目标(障碍物)的连线定义为弦线 e 。

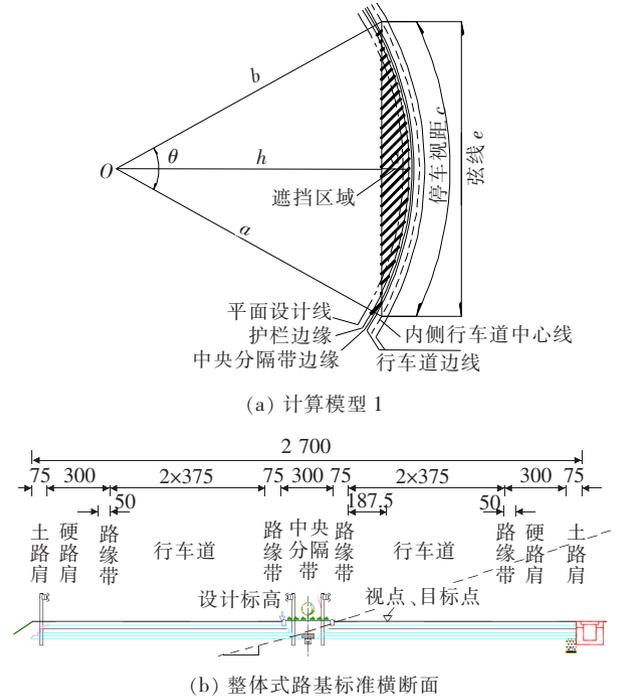


图 1 位于行车道中心线上的停车视距计算模型 1(单位:cm)

由于路缘石高度普遍较低,路基段阻挡视线的物体为中央分隔带及外侧护栏。桥梁段阻挡视线的物体为内侧护栏,护栏距离中央分隔带边缘均为 0.5 m。 a 、 b 、 c 所构成三角形的高定义为 h ,则 $h = R + (\text{中央分隔带宽度} - \text{护栏距中央分隔带边缘宽度}) - d = R + 1 - d$, d 为视距线侵入护栏的横向距离(即保证视距需增加的横净距)。当 $d = 0$ 时, R 的取值即为圆曲线最小半径。

依据图 1 中相对位置关系构建计算模型 1,可得式(1):

$$\begin{cases} \cos\theta/2 = h/a \\ \theta \times a = c \end{cases} \quad (1)$$

式中: $a = R + \text{平面设计线与护栏距离} + \text{护栏与中央分隔带边缘距离} + \text{路缘带} + 0.5 \times \text{行车道宽度} = R + 4.125 \text{ m}$; $b = R + \text{平面设计线与护栏距离} + \text{护栏与中央分隔带边缘距离} + \text{路缘带} + 0.5 \times \text{行车道宽度} = R + 4.125 \text{ m}$; $c = 210 \text{ m}$ (设计速度为 120 km/h 时,停车视距为 210 m)。

由此可得: $\frac{R+1}{R+4.125} = \cos \left[\frac{210}{2(R+4.125)} \right]$, 通过

Visual Basic 编程可得 $R=1\ 759.354\ \text{m}$ 。

考虑到中国停车视距的规定长度略有不足,用弦长 e 代替弧长 c 一方面可以给予驾驶员一定的安全冗余;另一方面可以简化计算模型,方便设计人员计算验证。

依据海伦公式构建计算模型 2.3 条连线组成的三角形面积采用式(2)计算:

$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-e)} \quad (2)$$

式中: $p=0.5 \times (a+b+e)$ (半周长)。

结合三角形的对应关系, $h = R+1-d = 2S/e$, 由此可得: $d = R+1-2S/e$ 。结合式(2),当 $d=0$ 时, R 的取值即为圆曲线最小半径:

$$R+1 = \frac{2}{e} \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-e)} \quad (3)$$

经推导可得: $R=1\ 761.438\ \text{m}$ 。

2.3 视点与目标(障碍物)位于车辆左侧 0.5 m 处的计算模型

当视点与目标(障碍物)选定在车辆左侧 0.5 m 处时,车辆若在行车道中间行驶,视点距左侧路缘带边缘为 1.475 m。结合实际调查与超车需要,车辆会适当向左偏移,视点则位于距左侧路缘带边缘 1.2 m 处,也更具保障性,计算模型如图 2 所示。 a 、 b 产生一定改变, $a=b=R$ + 平面设计线与护栏距离 + 护栏与中央分隔带边缘距离 + 路缘带 + 距路缘带 1.2 m = $R+3.45\ \text{m}$ 。结合计算模型 1、2,推导可得 R 分别为 2 246.142、2 247.775 m。

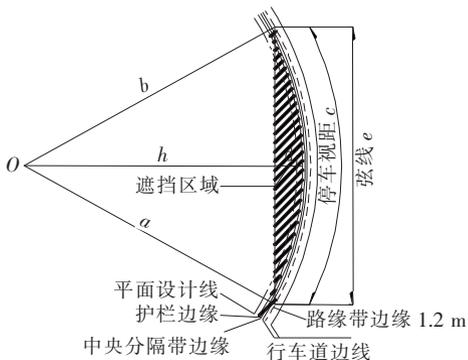


图 2 位于车辆左侧 0.5 m 处的停车视距计算模型 2

2.4 视点与目标(障碍物)不在同一轨迹线上的计算模型

当视点位于内侧行车道中心线上、目标(障碍物)为路面两侧对应的车道边缘线时,计算模型如图 3 所

示。圆心与视点的连线 $a=R$ + 平面设计线与护栏距离 + 护栏与中央分隔带边缘距离 + 路缘带 + 0.5 × 行车道宽度 = $R+4.125\ \text{m}$; 圆心与目标(障碍物)的连线 $b=R$ + 平面设计线与护栏距离 + 护栏与中央分隔带边缘距离 + 路缘带 = $R+2.25\ \text{m}$ 。结合计算模型 1、2,推导可得 R 分别为 2 645.544、2 647.178 m。

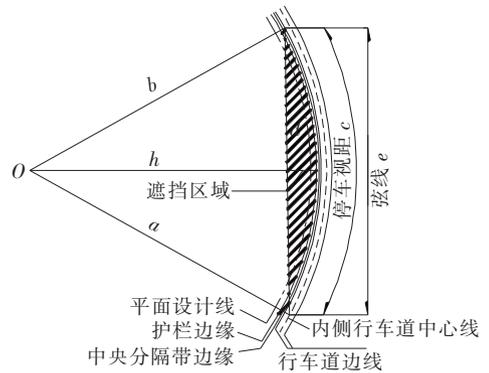


图 3 视点与目标(障碍物)不在同一轨迹线上的停车视距计算模型

结合车辆运行状态来看,目标(障碍物)处于内侧行车道边线时为最不利位置,所以最小半径的计算以内侧行车道边线为准。

不同设计速度下行车道宽度、左侧路缘带宽度及停车视距如表 2 所示。

表 2 《规范》规定的指标值

设计速度/ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	行车道 宽度/m	左侧路缘带宽度/m		停车视 距/m
		一般值	极限值	
120	3.75	0.75	0.5	210
100	3.75	0.75	0.5	160
80	3.75	0.50	0.5	110

结合表 2 中所列数据,即可得到不同设计速度下、不同视点与目标(障碍物)位置下的圆曲线最小半径,如表 3 所示。

对比上述两种模型的计算结果发现: R 的最小取值相差较小,采用简化模型满足高速公路设计的需要。

3 基于识别视距的圆曲线半径研究

对于互通出口而言,驾驶员判别分流鼻端处的标线,进而采取换道、减速、制动等措施,安全驶离主线,所需的距离即为识别视距。当圆曲线半径过小时,位于土路肩上的路侧护栏会阻挡驾驶员对互通出口的判别。互通出口匝道存在图 4 中两种形式。经对比研究可发现:从圆曲线内侧流出的匝道识别视距更难以保

表 3 基于停车视距的圆曲线最小半径

设计速度/ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	中央分隔 带宽度/ m	视点与目标(障碍物)位置 (计算模型 1)/m			视点与目标(障碍物)位置 (计算模型 2)/m		
		行车道 中心线上	距左侧路缘带 边缘 1.2 m 处	不在同一 轨迹线上	行车道 中心线上	距左侧路缘带 边缘 1.2 m 处	不在同一 轨迹线上
		120	3	1 759.354	2 246.142	2 643.911	1 761.438
100	2	1 108.939	1 451.229	1 757.833	1 110.856	1 452.695	1 759.750
80	2	572.377	772.616	975.281	574.128	773.916	977.032

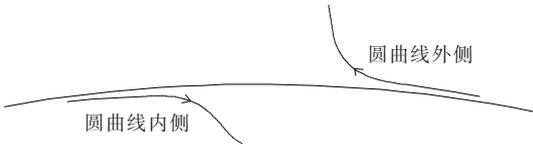


图 4 出口匝道示意图

证。此外,考虑到不同设计速度下双车道减速车道长度已接近 1.25 倍的停车视距(受限制路段),识别视距更容易满足需求,故针对较为不利的单车道减速车道进行研究。

以设计速度 120 km/h,标准路幅为 27 m 的单向双车道高速公路为例。相比于外侧车道,内侧车道的驾驶员发现出口后所需的一系列操作距离更长。如图 5 所示,圆心与视点的连线定义为 $a=R$ —中央分隔带宽度/2—路缘带宽度—路缘带距视点距离= $R-4.125$ m;圆心与分流鼻的连线定义为 $b=R$ —中央分隔带宽度/2—路缘带宽度—行车道宽度—硬路肩—偏置加宽值—小鼻端半径= $R-13.85$ m;视点与分流鼻的连线定义为 c 。 c 所对应三角形的高定义为 h ,则 $h=R$ —平面设计线至护栏之间的距离— $d=R$ —中央分隔带宽度/2—路缘带宽度—行车道宽度—分流流出距离—匝道行车道宽—硬路肩, d 为护栏遮挡视线的横向距离。根据三角形的几何关系,当 c 取识别视距一般值,所对应的垂点在减速车道范围内,故平面设计线至护栏之间的距离大于 $R-16.75$ m。为安全起见,取 $h=R-16.75$ m 更有利于保障视距。当 $d=0$ 时,结合式(1),可得如下对应关系:

$$R-16.75 = \frac{2}{c} \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)} \quad (4)$$

经推导可得 $R=2\ 219.912$ m。

不同设计速度下识别视距的规定值如表 4 所示。

当识别视距取 1.25 倍的停车视距时,主线圆曲线半径采用《规范》的极限值时均可满足视距要求。结合表 2、4 中规定值,即可得到不同设计速度下基于识别

视距一般值的圆曲线最小半径,如表 5 所示。

表 4 识别视距指标值

设计速度/ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	受限制路段为 1.25 倍 停车视距/m	识别视距 一般值/m
120	262.5	350
100	200.0	290
80	137.5	230

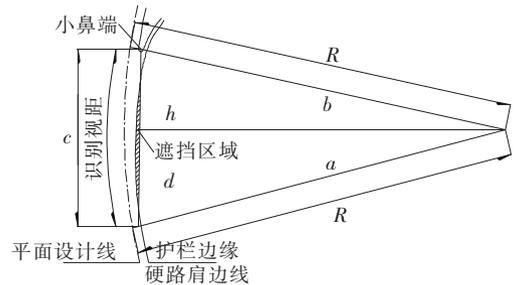


图 5 识别视距计算示意图

表 5 基于识别视距的圆曲线最小半径

设计速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	圆曲线最小半径/m
120	2 219.912
100	1 455.121
80	919.312

4 互通范围内主线圆曲线半径推荐值

结合表 3、5 的计算值,可得出互通范围内主线圆曲线最小半径的推荐值,如表 6 所示。对比可发现:《规范》对于设计速度 120 km/h 规定的一般值与极限值均偏小;对于设计速度 100、80 km/h 规定的极限值偏小。此外,结合车辆的实际运行状态来看,驾驶员长时间靠近左侧路缘带边缘行驶的概率较小,将目标(障碍物)的位置定为路面两侧对应的车道边缘线略为保

守,但最大限度地保障了行车安全,故有条件的情况下可采用条件不受限路段的半径值。

表6 互通范围内主线圆曲线最小半径推荐值

设计速度/ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	主线圆曲线最小半径/m		
	一般值	极限值	条件相对不受 限路段
120	2 250	1 800	2 650
100	1 500	1 150	1 800
80	1 000	800	1 100

5 安全保障措施研究

结合表6的计算结果,当互通段主线圆曲线半径小于一般值时,需采取相应工程措施保证视距需求。

(1) 条件允许的情况下,优先调整前后路段路线方案,增大圆曲线半径,以满足视距需求。

(2) 若中央分隔带较宽,可适当减小中分带宽度,调整植物及护栏位置或改变护栏形式,以满足停车视距。由于实际项目中中央分隔带宽度普遍为2~3 m,部分路段减小宽度后不满足交安设置需要,其适用范围有限。

(3) 若中央分隔带较窄,可加宽左侧路缘带,使行驶车辆外移,从而保障停车视距。加宽路缘带时应注意与超高设置相协调,满足渐变率要求,结合交安设施做好线形诱导。该措施增加的用地宽度有限,经济性较好,在广西浦北至北流高速公路中得到了实际运用。

(4) 分离式路基可加宽左侧硬路肩,进而调整护栏位置,增大横净距。

(5) 识别视距不足时,可加宽互道路段外侧路肩,使护栏外移;挖方路段视情况可取消护栏设置。

(6) 结合交安设施,加强出口信息预告和驶出诱导,在鼻端处设置黄闪光灯等措施提前告知、警示驾驶人员。

(7) 最不利情况下,可采取限速措施,保障车辆安

全运行。

6 结论

(1) 以停车视距与识别视距为基础,结合小客车视点与目标(障碍物)位置分析与海伦公式计算对比,论证了互通主线圆曲线半径大小的合理取值,今后的设计中可参考使用。

(2) 视距是互通设计中一个至关重要的指标,在部分实际项目的设计中仍存有一定疏漏。设计人员不应盲目采用规范值,应做好视距检验,并与业内其他单位积极沟通,探寻不同地区切合实际的解决方案。

(3) 阐述了多种视距安全保障措施,设计时应结合具体项目择优取用,竭力做到安全、合理、经济、可行。

(4) 视距是一个三维立体概念,互通范围内主线的纵断面指标对其同样具有一定影响,需进一步进行相关研究。

参考文献:

- [1] JTJ D20—2017 公路路线设计规范[S].
- [2] JTJ/T D21—2014 公路立体交叉设计细则[S].
- [3] 赵永平,杨少伟,赵一飞. 具有中央分隔带弯道外侧超车车道的视距[J]. 长安大学学报(自然科学版),2004(5).
- [4] 刘帮权. 关于公路停车视距横净距计算公式修正的探讨[J]. 西南公路,2019(4).
- [5] 杨伟. 公路停车视距计算与分析[J]. 公路与汽运,2019(3).
- [6] 陈东升. 高速公路停车视距计算理论模型研究[J]. 北方交通,2018(12).
- [7] 陈瑾. 高速公路互通式立交出口和入口设置相关技术指标研究[D]. 长安大学硕士学位论文,2016.
- [8] 包泮旺. 识别视距对互通式立体交叉主线形指标选用的影响的研究[J]. 公路,2011(8).
- [9] 胡昌亮,刘冉,王贵山. 不设超高圆曲线路段道路几何设计探讨[J]. 中外公路,2021(5).