

互通立交鼻端纵坡计算方法探讨

郑立志

(山东省交通规划设计院集团有限公司, 山东 济南 250031)

摘要: 互通立交的设计越来越标准化和规范化,但部分细节尚有欠缺,其中匝道鼻端纵坡接坡就是其中之一。面的主线、匝道平纵线元这样简单的工况,平均纵坡法、纵坡推算法具有较好的适应性,但是在主线平纵线元复杂时,其所依附的计算理论的假设已不存在,也就难以计算出精确接坡数值,尤其是设置附加路拱工况下。为指导互通立交的工程设计,采用“极限”对复杂工况下的接坡点纵坡进行推导,得到计算公式。借助当代计算机的强大计算能力,更好的服务于互通立交设计。

关键词: 互通立交;鼻端纵坡;匝道接线;合成坡度公式

中图分类号: U412.352

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)01-0050-04

Discussion on Calculation Method of Longitudinal Slope at Nose of Interchanges

ZHENG Lizhi

(Shandong Provincial Transportation Planning and Design Institute Group Co., Ltd., Jinan 250031, China)

Abstract: The design of interchanges is becoming more standardized and normalized, but some details are still lacking, in which the connection of longitudinal slope at the ramp nose is one of the details. The average longitudinal slope method and the longitudinal slope reckoning algorithm have good adaptability for the simple working conditions of mainline and ramp horizontal and vertical line elements. However, when the mainline horizontal and vertical line elements are complex, the assumption of the calculation theory attached to it no longer exists, so it is difficult to calculate the exact slope connection value, especially under the condition of setting additional road arches. To guide the engineering design of interchanges, the longitudinal slope of the connection point under complex working conditions is deduced by “limitation” to obtain the calculation formula. With the powerful computing power of contemporary computers, it can better serve the interchange design.

Keywords: interchange; nasal longitudinal slope; ramp connection; compound slope formula

0 引言

随着国家基础设施工程建设持续推进,高速公路路网密度越来越大,各形式互通立交的数量越来越多,在规范、标准的要求下,互通立交设计成果的标准化越来越高^[1]。部分未作规定的设计细节问题在探索中不断优化,其中主线与匝道、匝道与匝道之间分合流鼻纵断接坡计算是其中之一。即有延承的鼻端纵坡计算方法有平均纵坡法、合成坡度法、纵坡推算法和瞬时纵坡法^[2]。在漫长的技术发展中,基于效率、准确度、便捷等不同要求,每种计算方法在不同工况下发挥着作用^[3]。

黄振英^[4]针对5 m法繁琐、精度差的问题,提出了“瞬时纵坡算法”,按照鼻端处主线与匝道为同一横坡或不同横坡的情况,分别计算了对应计算公式,但是不同横坡工况下,所采用的主线横坡与匝道横坡取平均值的计算思路,是对相同横坡工况的优化,依然不是匝道纵坡的真值;韩广魁^[5]依托于乌鲁木齐市东二环路,提出了单向垂线法、双向垂线法、极限坡度法三种接线方法,但更像一种计算思路,没有形成通用性的计算公式;庄凌云^[6]以国道213线思茅-小勐养段高速公路普文立交设计,推导了主线、匝道相同坡度工况下的匝道纵坡计算公式,并与合成坡度进行了对比;张颖^[7]提出了4种计算方法,对主线、匝道相同纵坡工况提出了微分计算公式,但其提出的“脊线法”,对应于主线、匝道不同横坡工况,未进行深入研究;文明勇^[8]分主线直线坡段和竖曲

收稿日期: 2024-04-10

作者简介: 郑立志(1986—),男,硕士,高级工程师,从事道路工程设计工作。

线坡段工况对匝道纵坡接坡进行了对比研究,得出 5 m 法、10 m 法在竖曲线坡段差值较大的结论;李双艳^[8]提出了附加路拱计算长度的计算公式,并依托国道 320 某枢纽互通匝道对附加路拱的最小长度、最大长度进行了对比分析。

目前为止,一直缺少一个鼻端处附加路拱工况匝道纵坡接线的准确公式。随着计算机技术的发展,多参数、复杂公式的计算能力越来越强。工程实践中,鼻端纵坡处逼近真值的计算结果不再是一种奢望。本文以互通立交设计实践为例,阐述逼近真值的计算公式。

1 工程概况

西南地区某高速公路,双向 4 车道,设计速度 80 km/h,整体式路基宽度 25.5 m、分离式路基宽度 2 × 12.75 m;桥涵设计荷载为公路—I 级;设计洪水频率为特大桥 1/300,其它桥涵及路基 1/100。

K25 附近某河谷,呈东北-西南走向,两侧谷岸陡峭,平均谷深 120 m 以上,谷底宽度平均约 50 m,最窄处仅 35 m。该河谷内,右线于 K24+095 出隧道, K25+638 入隧道,隧道间距 1 543 m,最小圆曲线半径 R 为 1 000 m,最大纵坡 1.95%。河谷内有在建的某高铁站,需设置互通立交实现本项目与高铁站的衔接。

经综合比选,最终采用半互通+U 形转弯方案,如图 1 所示。

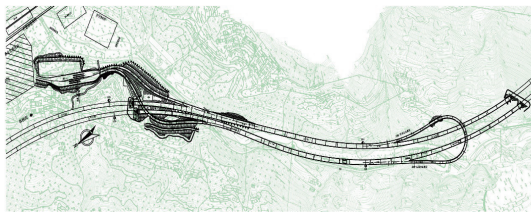


图 1 互通方案示意图

本方案中,左线、右线圆曲线半径 R 为 1 100 m,存在 3% 超高。U 形转弯 C 匝道,从右线流出,上跨主线后,汇入左线,左线、右线、C 匝道均为桥梁。C 匝道最大墩高 65 m,控制圆曲线半径取值 R 为 70 m,通过控制 C 匝道长度、CK0+600 挖方高度来降低工程造价,如图 2 所示。

右线为 C 匝道分流鼻端,流出速度 60 km/h 控制,接 R 为 1 500 m 圆曲线,需要设置附加路拱,实现 C 匝道车流从主线超高 3% 渐变为 2% 正常路拱。左线为 C 匝道合流鼻端,鼻端圆曲线半径 R 为 460 m,可按照左线 3% 超高值合流。

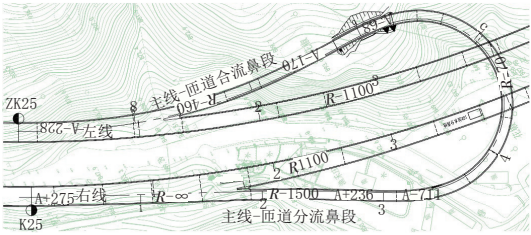


图 2 互通方案示意图

C 匝道分流鼻端属于设置附加路拱接坡,合流鼻端属于正常接坡,将接坡计算公式进行总结记录。

2 无附加路拱鼻端纵坡接坡计算

不设路拱段接坡计算模型如图 3 所示,主线平面设计线 MN ,匝道平面设计线 EC ,匝道流出角为 α 。

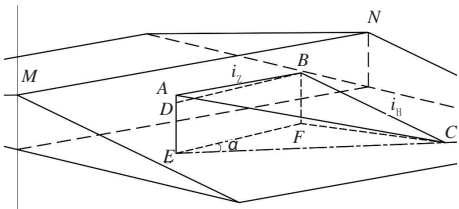


图 3 无附加路拱鼻端纵坡计算示意图

主线坡率 i_z ,主线横坡 i_h ,匝道鼻端纵坡即为 AC 坡率。

$$\begin{aligned} \overrightarrow{AC} &= \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BC} \\ i_{AC} &= \frac{AE}{EC} = \frac{EF \cdot i_z + FC \cdot i_h}{EF \cos \alpha} \\ i_{AC} &= \frac{EF \cdot i_z + EF \cdot \tan \alpha \cdot i_h}{EF \cos \alpha} \\ &= i_z \cdot \cos \alpha + i_h \cdot \sin \alpha \end{aligned}$$

式中: i_z 为主线纵坡; i_h 为主线横坡; i_{AC} 为匝道流出方向坡率,即鼻端接坡坡率; α 为匝道与主线夹角。

匝道鼻端纵坡为主线纵坡余弦值、横坡正弦值的代数和。

C 匝道合流端为桥梁,实际合流点位于大鼻端处。合流鼻处主线、匝道接线数据如表 1 所列。

表 1 C 匝道合流鼻端处接线数据表

	主线	匝道
桩号	ZK25+135.855	CK0+762.003
高程/m	899.392	
纵坡	-1.885%	$i_z \cdot \cos \alpha + i_h \cdot \sin \alpha$
横坡	3.000%	
方位角	203°07'35.1"	15°43'22.6"

鼻端处,主线、匝道瞬时交角为

$$\alpha = 15^\circ 43' 22.6'' - 203^\circ 07' 35.1'' = -187.403\,472\,2^\circ$$

鼻端处,匝道瞬时纵坡计算为:

$$i_{AC} = -1.885\% \times \cos(-187.403\,472\,2^\circ) +$$

$$3.000\% \times \sin(-187.403\ 472\ 2^\circ) = 2.255\ 852\ 5\%$$

无附加路拱处匝道纵坡依附于主线纵坡和横坡,计算逻辑清晰,计算结果即为真值。工作中使用的纬地辅助设计软件,使用“搜索端部”功能计算得该处纵坡2.256%。本公式计算结果与纬地软件计算结果相同。

3 附加路拱鼻端纵坡接坡计算

设附加路拱段接坡计算模型如下图4和图5所示,设小鼻端处为附加路拱设计线终点,小鼻端圆心C,圆曲线半径 R_C ;B点为小鼻端处主线垂点,瞬时纵坡 i_1 ,瞬时横坡 i_3 ;D点为小鼻端处匝道垂点,瞬时纵坡 i_2 ,瞬时横坡 i_4 。

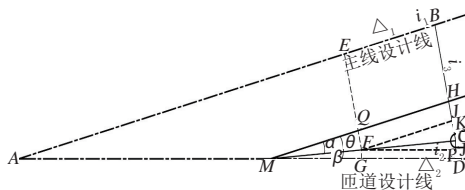


图4 附加路拱鼻端纵坡计算示意图

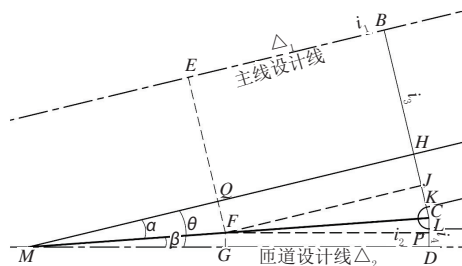


图5 附加路拱鼻端纵坡计算细部图

沿B、H、D点设计线切线方向延伸,可得到虚焦点A、M,其中AB为主线设计线,AD为匝道设计线,MH为主线行车道右边线,MD为匝道行车道左边线,MC为附加路拱线,匝道流出角度 θ 。

工作中采用的纬地设计软件,设置附加路拱工况接线纵坡无计算功能。本文基于微分思想对该工况纵坡计算公式进行推导。

在主线上取变量 $BE = \Delta_1$,对应的匝道上变量为 $GD = \Delta_2$ 。

D点纵坡为:

$$i_D = \lim_{\Delta_2 \rightarrow 0} \left(\frac{h_D - h_C}{\Delta_2} \right)$$

式中: $h_D = h_B + BC \cdot i_3 + CD \cdot (-i_4)$; $h_C = h_E + EF \cdot i_3 + FG \cdot (-i_4)$; $h_D - h_C = h_B - h_E + i_3 \cdot (BC - EF) + i_4 \cdot (CD - FG) = h_B - h_E + i_3 \cdot JC + (-i_4) \cdot CP = i_1 \cdot \Delta_1 + i_3 \cdot JC + (-i_4) \cdot CP$ 。

得到:

$$i_D = \lim_{\Delta_2 \rightarrow 0} \left(\frac{h_D - h_C}{\Delta_2} \right) = \lim_{\Delta_2 \rightarrow 0} \left(\frac{i_1 \cdot \Delta_1 + i_3 \cdot JC + (-i_4) \cdot CP}{\Delta_2} \right)$$

式中: $\Delta_1 = FC \cdot \cos \alpha$; $\Delta_2 = FC \cdot \cos \beta$; $JC = FC \cdot \sin \alpha$; $CP = FC \cdot \sin \beta$ 。

得到:

$$i_D = \frac{i_1 \cdot FC \cdot \cos \alpha + i_3 \cdot FC \cdot \sin \alpha + (-i_4) \cdot FC \cdot \sin \beta}{FC \cdot \cos \beta} = \frac{i_1 \cdot \cos \alpha + i_3 \cdot \sin \alpha + (-i_4) \cdot \sin \beta}{\cos \beta}$$

HC长度为主线硬路肩宽度和鼻端半径之和,CD长度为匝道左侧硬路肩宽度和鼻端半径之和。

设常数:

$$\gamma = \frac{HC}{CD}$$

得到:

$$\gamma = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\sin(\theta - \beta)}{\sin \beta} = \frac{\sin \theta \cdot \cos \beta - \sin \beta \cdot \cos \theta}{\sin \beta}$$

得到:

$$\tan \beta = \frac{\sin \theta}{\gamma + \cos \theta}$$

得到:

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta = \tan^{-1} \frac{\sin \theta}{\gamma + \cos \theta} \\ \alpha = \theta - \beta \\ i_D = \frac{i_1 \cdot \cos \alpha + i_3 \cdot \sin \alpha + (-i_4) \cdot \sin \beta}{\cos \beta} \end{array} \right.$$

式中: α 为分流鼻处主线设计线与附加路拱线夹角; β 为分流鼻处匝道设计线与附加路拱线夹角; θ 为分流鼻处主线与匝道设计线夹角; γ 为(主线硬路肩宽度+分流鼻半径)/(匝道硬路肩宽度+分流鼻半径); i_1 为分流鼻处主线纵坡; i_3 为分流鼻处主线横坡; i_4 为分流鼻处匝道横坡。

C匝道分流端为桥梁,实际分流点位于大鼻端处。分流鼻处主线、匝道接线数据如表2所列。

C匝道分流端纵坡计算如下:

$$\gamma = \frac{HC}{CD} = \frac{4.74}{2.74} = 1.729\ 927$$

$$\theta = 208^\circ 36' 13'' - 200^\circ 15' 21.4'' = 8.347\ 666\ 667^\circ$$

$$\beta = \tan^{-1} \frac{\sin \theta}{\gamma + \cos \theta} = 3.055\ 998\ 706^\circ$$

$$\alpha = \theta - \beta = 5.291\ 667\ 96^\circ$$

$$\begin{aligned} i_1 &= -1.832\% \\ i_3 &= 3.000\% \\ i_4 &= -2.00\% \\ i_D = i_2 &= \frac{i_1 \cdot \cos \alpha + i_3 \cdot \sin \alpha + (-i_4) \cdot \sin \beta}{\cos \beta} \\ &= -1.442\,943\% \end{aligned}$$

表 2 C 匝道分流鼻端处接线数据表

	主线	匝道
桩号	K25+178.542	CK0+190.748
高程/m	898.320	—
纵坡	-1.832%	$i_D = i_2$
横坡	3.000%	-2.00%
鼻端侧路肩宽度/m	3.75	1.75
鼻端半径/m	0.99	
方位角	200°15'21.4"	208°36'13"

4 结 语

随着计算机技术的发展,工程设计中,计算能力越来越强,完全可以将精度作为唯一考量标准。在平纵面线元单一条件下,传统的平均纵坡法、合成坡度法、纵坡推算法、瞬时纵坡法具有较好的适应性,但是在复杂平纵面工况下,传统方法计算理论中所依附假定条件已经丧失,已不能得到准确值。

本文将通过微分思想解得无附加路拱、设置附加路拱工况下鼻端处纵坡接坡公式,如下所示。

(1)无附加路拱纵坡计算公式为:

$$i_{AC} = i_Z \cdot \cos \alpha + i_H \cdot \sin \alpha$$

式中: i_Z 为主线纵坡; i_H 为主线横坡; i_{AC} 为匝道流出方向坡率,即鼻端接坡坡率; α 为匝道与主线夹角。

(2)设置附加路拱纵坡计算公式为:

$$\left\{ \begin{aligned} \beta &= \tan^{-1} \frac{\sin \theta}{\gamma + \cos \theta} \\ \alpha &= \theta - \beta \\ i_D &= \frac{i_1 \cdot \cos \alpha + i_3 \cdot \sin \alpha + (-i_4) \cdot \sin \beta}{\cos \beta} \end{aligned} \right.$$

式中: α 为分流鼻处主线设计线与附加路拱线夹角; β 为分流鼻处匝道设计线与附加路拱线夹角; θ 为分流鼻处主线与匝道设计线夹角; γ 为(主线硬路肩宽度+分流鼻半径)/(匝道硬路肩宽度+分流鼻半径); i_1 为分流鼻处主线纵坡; i_3 为分流鼻处主线横坡; i_4 为分流鼻处匝道横坡。

参考文献:

[1] 胡磊,刘晓威.关于路线设计规范和立交设计细则互通立交部分内容的讨论[J].山东交通科技,2019(5):108-112.
[2] 章坤鹏,许银行,田辉黎.互通式立交匝道鼻端纵坡计算方法的探讨[J].市政技术,2017,35(2):27-29,70.
[3] 钟澄平,黎军,何长明.互通式立交匝道起点瞬时纵坡计算分析[J].城市道桥与防洪,2019(3):53-55.
[4] 黄振英.互通立交鼻端纵坡计算新方法[J].交通科技与经济,2012(3):66-68,97.
[5] 韩广魁.互通立交匝道连接部集中纵坡接线方法的对比研究[J].中国市政工程,2019(2):97-99.
[6] 庄凌云.互通式立交匝道流出(入)纵坡公式的推导[J].云南交通科技,2003,19(2):33-35.
[7] 张颖,郭立臣.互通立交匝道与主线开口处设计浅析[J].山西建筑,2010,36(19):280-282.
[8] 文明勇.匝道纵断面接坡计算方法的探讨[J].公路交通科技:应用技术版,2018(10):100-101.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:roadfloodbridge@163.com

