

# 基于改扩建高速公路超高方式探究

倪小军<sup>1</sup>, 白秀银<sup>2</sup>

(1. 四川省公路规划勘察设计研究院有限公司, 四川 成都 610041; 2. 成都理工大学, 四川 成都 610059)

**摘要:**在高速公路扩容建设中,原路拓宽的路段一般需要调整超高,该文从全超高值的确定、超高渐变段长度以及超高渐变方式几个方面进行探究。在最大超高值符合安全性验算指标前提下,根据既有道路不同路基超高采用,提出了相应的处理原则与方法,并以某实体工程作为成功案例,通过安全性、协调性和舒适性予以验证。

**关键词:** 超高方式; 全超高值; 渐变段; 渐变方式

随着社会经济的发展,路网的进一步完善,汽车保有量持续增长,交通需求越来越大,早期修建的高速公路服务水平降低,改扩建高速公路项目需求越来越多,是当前和今后的主要任务之一。

改扩建方案设计中,如何充分利用既有道路,减少工程浪费,施工中车辆如何保通、路面施工技术方案确定、构造物的铺装等是其特有的技术问题,而其中超高路段的拟合又受到超高方式的影响和制约。现行规范中并未对超高方式做统一明确的规定。该文在对常规超高方式分析的基础上,首先通过安全性评价,在满足其前提条件下,提出适用于改扩建高速公路的超高方式。

## 1 完全超高值的确定

为抵消车辆在曲线段上行驶时所产生的离心力,而将路面做成外侧高于内侧的单向坡度值,在高速公路中,圆曲线段所对应的路面坡度值,称作完全超高值,取值要和半径及行车速度相匹配,大小决定了单圆曲线段车辆行驶的稳定性和安全性,因此,如何在不同半径条件下合理选用完全超高值,对路线方案起着制约作用。

### 1.1 常规方式

根据 JTG D20—2017《公路路线设计规范》表 7—1 圆曲线半径与超高值建议值,查取不同速度、不同半径以及最大超高值下所对应的全超高值。

### 1.2 扩容高速公路

就扩容高速公路来说,扩容前按原标准(JTJ 001—

97《公路工程技术标准》)运营多年,按当时的车辆构成和相关规范采用的全超高值与现行 JTG B01—2014《公路工程技术标准》建议值不完全相同,如果均按现有建议值取用,扩容段工程规模相对增大,几乎所有曲线段均会调整相应横坡。该文依据现行规范,采用运行速度对既有道路全超高值进行安全性验算[式(1)],如符合安全运行要求,则沿用原有全超高值,若不满足要求,则调整全超高值至满足安全运行的要求。

$$R = \frac{V_{85}^2}{127(\mu + i)} \quad (1)$$

式中:  $i$  为路拱横坡(%);  $V_{85}$  为运行速度计算值(km/h);  $R$  为运行速度要求的曲线半径(m);  $\mu$  为横向力系数。对应参数可根据表 1 查得。

表 1  $V_{85}$  与  $\mu$  对应关系

$V_{85}/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	$\mu$	$V_{85}/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	$\mu$
120	0.10	80	0.13
100	0.12		

### 1.3 案例分析

以某扩容项目部分路段(一般情况路段)为例进行分析(表 2),设计速度 100 km/h,最大超高值 8%。

由表 2 可知:运行速度按 120 km/h 验算,其结果原全超高值所要求的曲线半径均小于原路半径,表明满足安全舒适行车条件,而现行路线规范建议值部分与原全超高值不一致(如 JD2、JD5),但也满足安全条件。

基于此,在扩建高速公路中,就全超高值的选用而言,首先对原半径对应采用的全超高值进行行车安全性、舒适性验算,如满足相应指标,则采用既有全超高

表 2 案例路段基本信息

序号	原路半径/m	原全超高值/%	规范建议值/%	原超高值要求曲线半径/m
JD1	750	6	6	709
JD2	800	5	6	756
JD3	900	5	5	756
JD4	1 200	4	4	810
JD5	1 230	3	4	872

表 3 超高值与超高过渡段取值范围

圆曲线半径 R/m	超高值 $i_b$ /%	超高过渡段取值 范围/m
5 500~2 860	2	120~195
2 860~1 990	3	150~245
1 990~1 500	4	180~295
1 500~1 190	5	210~345
1 190~980	6	240~395
980~790	7	270~445
790~650	8	300~495

值, 否则再进行调整, 以达到对原路横坡最小化的调整, 避免桥隧构造物横坡调整, 降低路面施工难度。

## 2 超高渐变段长度

从行车舒适性、视觉安全性以及路面排水等方面综合考虑, 现行公路相关规范中规定高等级公路中路线在由直线段的双向路拱到单圆曲线的单向横坡之间必须设置超高渐变段, 超高渐变段应在回旋曲线范围内完成, 即超高渐变段长度不小于回旋曲线长度。而从节省工程方案、线形组合考虑的实际路线方案中, 缓和曲线长度一般大于超高过渡段长度。

### 2.1 常规方式

根据规范中规定的不同设计速度下最大超高渐变率和利于排水的最小渐变率分别计算超高渐变段长度, 即:

$$L_c = \frac{B \cdot \Delta i}{P} \quad (2)$$

式中:  $L_c$  为超高渐变段长度(m);  $\Delta i$  为超高横坡(全超高值)与路拱横坡代数差(%);  $B$  为超高旋转轴至路缘带外侧边缘距离(m);  $P$  为超高渐变率。

根据计算的  $L_c$  范围值, 结合平纵线形组合, 在其中选用一个相对合理的渐变段长度。以  $V = 120$  km/h, 路基宽度 34.5 m 为例,  $P = 1/330 \sim 1/200$ , 计算结果如表 3 所示。

### 2.2 扩容高速公路

为了做好横断面拟合设计, 合理的超高渐变确定可以提高既有超高段横断面拟合精度, 最大限度利用原有道路路面层, 减少路面由于厚度不均而带来的施工难度。因此满足扩建后的高速公路宽度及超高渐变率要求, 超高渐变段长度会在原来基础上做相应调整。调整后长度及起止范围一般由曲线段内构造物所处位置制约, 该文建议按以下 3 种方式来处理:

#### (1) 超高渐变率不变

若受控构造物位于超高缓和段, 首先核查既有道路超高渐变率是否满足现行规范要求, 若满足要求, 可保持原超高渐变率不变, 增大渐变段长度, 减短圆曲线长度。其渐变段的调整主要通过非控制的路基段落来完成, 减少施工难度。

#### (2) 全超值不变

若受控构造物位于全超高段, 首先通过运行速度核算全超高值是否满足安全运营的要求, 若不满足, 则需要结合渐变段长度调整, 否则保证全超高段不变, 在最大和最小渐变率所属范围内适当选取渐变率, 减少路面的开挖或铺装。

#### (3) 渐变率及全超高值均做调整

若构造物位于渐变段和全超高段, 需要结合构造物调整超高横坡的难易程度, 结合上述安全验算方法, 在许可的范围试算选用全超高值及超高渐变率, 从而确定该扩容路段的超高渐变段长度及起止位置。

## 3 超高渐变方式

现行《规范》(JTG D20—2017《公路路线设计规范》)规定超高过渡段应在回旋线全长范围内完成, 从线元构成来看: 高速公路圆曲线半径一般较大, 而回旋线长度随圆曲线半径增大而增长, 导致回旋线长度一般大于超高过渡段长度, 基于该文前述的全超高值和超高渐变段的选用, 超高渐变方式有不同的选择。考虑车辆行驶舒适性、雨季防滑风险性及超高渐变与曲线变化协调性, 渐变段起于曲率半径不小于不设超高的最小半径所对应的位置, 在缓圆点(或圆缓点)完成, 并等于全超高值。如图 1 所示。

### 3.1 线性超高

线性渐变计算简便, 在各等级公路中应用普遍, 其

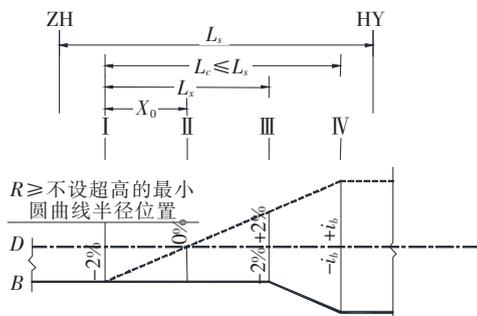


图1 超高渐变方式示意图

超高渐变率是恒定不变的。就该文所论及的改扩建高速公路而言,原双向四车道高速公路根据当时的规范及交通构成,超高所需  $B$  值(符号意义同上)一般均考虑了硬路肩宽度,而扩建后的高速公路由于渐变段长度增加,当圆曲线半径接近一般最小值时,超高渐变段长度往往直接控制缓和曲线长度,影响和制约平面设计,加之从施工难度可行性考虑,尽量减少增加的渐变段长度,因此,  $B$  值取用一般未考虑右侧硬路肩宽度。单幅双车道边缘(含路缘带)宽度在单向四车道对应位置渐变率  $P' = P \times B/B'$ 。以目前规范提出最大设计速度 120 km/h 为例( $P = 1/175$ ),  $B = 0.75 + 3.75 \times 2 + 2.5 = 10.5$  m,  $B' = 0.75 + 3.75 \times 4 + 0.75 = 16.5$  m,  $P' = 1/175 \times 10.5/16.5 = 1/275 > 1/330$ 。由此可见,采用线性渐变的超高方式满足排水要求。根据上述公式推算,若  $B' > 19.8$  m(即十车道及以上),则渐变率不满足最小排水要求,存在安全隐患,为此结合已有文献,如何改善路面排水条件,首先考虑减小超高过渡段长度、加大超高渐变率或增大主线纵坡(可改善合成坡度外),当主线纵坡无法增大到至少 0.5% 时,可在多车道行车道中间增设路拱线,但这将导致部分车道为反超高形式,从而有可能产生侧滑、翻车等不确定因素,需加强安全设施。

### 3.2 三次抛物线超高

三次抛物线超高渐变有其自身的特点。与线性渐变不同的是:① 超高渐变率是变化的,最小点在起终位置,最大点在渐变段中点;② 当三次抛物线与线性渐变率一致时,前者所需的渐变段长度较后者大;③ 三次抛物线渐变率连续,而线性渐变由于附加坡度的存在,在起终点会出现折线式突变,行车舒适性不及前者高,因此在高速公路扩容后,社会使用要求更高,舒适性是必需考虑的因素之一。若多车道高速公路考虑排水而增设路拱线,此时采用线性超高渐变,超高渐变率将存在多个突变点。为解决上述问题,抛物线超高

方式的采用是比较理性的。具体方式如图 2 和式(3)所示。

$$h = \frac{HL^2}{L^2} \left( 3 - \frac{2l}{L} \right) \quad (3)$$

式中: $L$  为缓和段长度(m); $l$  为曲线上任意一点到超高起点距离(m); $h$  为距离为  $l$  处的超高值; $H$  为总超高值(m)。

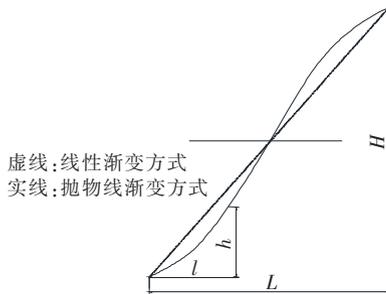


图2 两种渐变方式比较

### 3.3 分析

根据上述线性和三次抛物线超高渐变方式比较可知:在渐变段中点两者高程值一致;前半段线性渐变高程值大于抛物线渐变高程值;后半段线性超高小于抛物线渐变的高程值。据此该文建议:在前半段的超高中,如不涉及桥梁,则需要挖除既有路面,挖除高度只要不影响水稳层,结构受力不变,优先考虑线性超高方式;后半段超高,原路面标高抬升,如涉及桥梁构造物,考虑顶升方案,只要净空不受制约,考虑采用抛物线超高方式。这样工程规模更节省,施工保通更容易。

## 4 运行效果分析

某改扩建项目(速度由 80 km/h 提速到 120 km/h),采用该文的超高方式,对其结果进行运行效果分析。

### 4.1 超高值评价

对某案例路段的超高检算结果见表 4。

由表 4 可以看出:圆曲线横向力系数均满足运行速度下临界横向力系数的要求,可满足司乘人员舒适性的要求。

### 4.2 超高过渡段协调性

扩建项目由于路基宽度增加,超高过渡段长度会相应增长,超高过渡段一般在全缓和曲线内进行,由此需要对回旋线进行协调性检查。经过验算,符合 JTG D20—2017《公路路线设计规范》中规定,表明回旋线参数与圆曲线相协调,满足视距要求。

表4 超高检验结果

交点号	运行速度/ ( $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ )	半径 $R/\text{m}$	超高采用值 (规范值)/%	计算横向力 系数 $\mu$	临界横向 力系数 $\mu$	是否满 足要求
JD1	112	1 800	2(4)	0.035	0.108	满足
JD2	112	1 900	2(4)	0.032	0.108	满足
JD3	120	1 800	2(4)	0.043	0.100	满足
JD4	120	1 800	2(4)	0.043	0.100	满足
JD5	112	5 700	2(2)	0.003	0.108	满足
JD6	120	3 500	2(2)	0.012	0.100	满足
JD7	120	5 700	2(2)	0.000	0.100	满足
JD8	120	2 085	2(3)	0.024	0.100	满足
JD9	120	1 710	2(4)	0.026	0.100	满足

### 4.3 运行速度协调性

运行速度如图3所示。

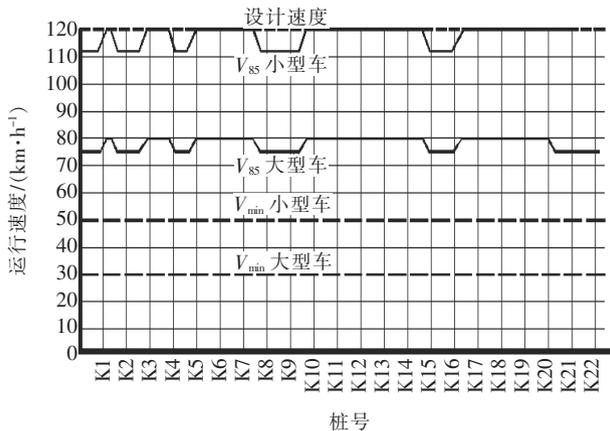


图3 运行速度图

从图3可看出:运行速度基本为112~120 km/h,相邻路段运行速度差最大值为8 km/h,速度梯度的绝对值最大为2.67 km/(h·100 m),表明运行速度协调性好。

## 5 结论

该文就改扩建高速公路分析了常规超高渐变方式的利与弊,在满足安全性评价结论的基础上,从提高行车舒适性、安全性、利于排水、最大限度利用横坡,减少工程规模考虑,提出了针对不同的曲线组成、控制构造物所处位置而采用不同的超高方式,以实体工程案例

对运行效果进行分析,表明不管是舒适性、还是协调性均满足要求。可采用以下原则确定超高方式:

(1) 在扩建高速公路中,就全超值的选用而言,首先对原半径对应采用的全超值就行车安全舒适性验算,如满足安全性评价指标,则采用既有全超高值,否则进行调整至满足安全的最大超高值,以达到对原路横坡最小化的调整,避免桥隧构造物横坡调整,有利于保通,降低路面施工难度。

(2) 由于扩建后的高速公路宽度增加,超高渐变段长度较原来有所增长,该文根据控制性因素所在位置,通过单独调整渐变率、全超高值或两者均调整的灵活应用来确定超高渐变段。

(3) 通过分析线性渐变和三次抛物线渐变方式的优缺点,提出改扩建高速公路在不同条件下使用的超高渐变方式。

### 参考文献:

- [1] 朱昊. 高等级公路超高渐变率的探讨[J]. 北方交通, 2016(5): 59-62.
- [2] 林志英. 多幅路缓和曲线与超高过渡设计新思路[J]. 湖南理工大学学报(自然科学版), 2007, 30(2): 49-54.
- [3] 张海忠, 麻辉东. 公路超高设计应用探讨[J]. 公路交通技术, 2011(3): 1-4.
- [4] 刘利民, 王智. 三次抛物线与线性超高渐变的对比研究[J]. 中外公路, 2018, 38(6): 1-3.
- [5] 周广奇, 黄卫明, 李明勋. 改扩建高速公路超高设计[J]. 山东交通科技, 2018(4): 94-96.