

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2024.01.017

# 超宽断面高速公路改扩建设计中路拱横坡选择研究<sup>\*</sup>

何湘峰<sup>1</sup>, 熊文磊<sup>2</sup>, 李正军<sup>2</sup>

(1.广东省路桥建设发展有限公司, 广东 广州 510635; 2.中交第二公路勘察设计研究院有限公司, 湖北 武汉 430056)

**摘要:** 为了确定十车道及以上高速公路改扩建工程的路拱形式及横坡值,从施工影响、改造比例、投资规模、排水效果、行车舒适性等方面分析单幅双向路拱、单幅单向路拱、单幅折线形路拱形式的特点,采用路面排水计算方法确定超宽断面路拱横坡值,推荐依托工程采用单幅单向路拱形式,横坡值取 2.5%。

**关键词:** 公路;高速公路;超宽断面;路拱;横坡;改扩建工程

中图分类号:U418.8

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2024)01-0091-04

近年来,中国机动车保有量的爆发式增长对高速公路现有通行能力提出巨大挑战,部分具有超大交通量增长潜力的高速公路已开展十车道及以上改扩建设计。路拱形式及横坡值选择是改扩建工程设计中影响路面排水能力的重要因素。美国公路与运输工作协会(AASHTO)《道路几何设计》(简称“绿皮书”)规定多车道高速公路最大横坡值不宜大于 4%,一般最内侧车道取最小值,向外横坡值逐渐增加 0.5%~1.0%。中国多车道高速公路几乎全部采用从中央分隔带向路基外侧单向排水的方式,横坡值取 2.0%(超高路段除外)<sup>[1]</sup>。日本高速公路横坡值确定方式与中国类似,普遍采用从中央分隔带向两侧倾斜的方式,横坡值取 2.0%。

目前对高速公路路拱形式及横坡值的规定主要针对八车道及以下公路,重点考虑路面快速排水、雨雪天气车辆安全行驶等因素<sup>[2-3]</sup>。但十车道及以上多车道超宽断面高速公路路面横向宽度大大增加,

道路坡面汇流路径增长,容易导致硬路肩和行车道路面潮湿或积水。路面积水影响行车安全,后期运营存在较大安全隐患,须从路面排水及行车舒适性角度深入分析超宽断面高速公路改扩建设计中路拱形式及横坡值选择问题。

## 1 依托工程概况

某高速公路拟扩建为整体式双向十车道断面,整体路基宽度为 52.5 m,组成为 1.5 m 中央分隔带+2×3 m 左侧硬路肩+2×(5×3.75 m)行车道+2×3 m 右侧硬路肩+2×0.75 m 土路肩。扩建后横断面布置见图 1。

老路采用从中央分隔带向路基外侧单向排水的方式,横坡值为 2.0%。该项目所在地区雨量充沛,对高速公路排水要求较高。按照 JTG/T D33—2012《公路排水设计规范》中标准降雨等值线图方法计算,该项目 15 年重现期降雨强度为 94 mm/h。

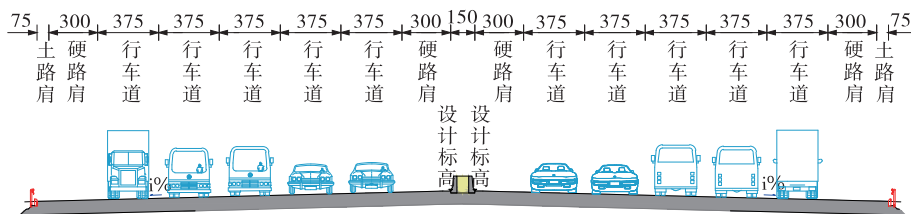


图 1 依托工程扩建后横断面布置示意图(单位:cm)

## 2 改扩建设计路拱形式选择

高速公路一般路段的路拱横坡形式分为单幅单

向路拱、单幅双向路拱和单幅折线形路拱,通过合理增设其他路面排水设施实现路面排水<sup>[4-5]</sup>。对于高速公路改扩建工程,须从施工影响、改造比例、投资

<sup>\*</sup> 基金项目:广韶高速公路改扩建工程创新创优专题研究项目(JT2023YB02)

规模、排水效果、行车舒适性等方面选择路拱形式。

(1) 单幅双向路拱(见图 2)。中央分隔带两侧设置排水槽,每隔一定距离设置集水井和横向排水管。外侧车道路面积水经右侧硬路肩排出路面,内侧车道路面积水流至中央分隔带两侧排水槽,经集水井和横向排水管排出路面<sup>[6-7]</sup>。有些高速公路在中央分隔带底部增设碎石渗沟,渗沟底部设透水管,并与间隔设置的横向排水管连通。该项目若采用单幅双向路拱形式,老路外斜路拱须改造为内斜路拱,路面改造工程量较大;须在中央分隔带增设缝隙沟排水,会增加中分带宽度;下挖设置集水井,原中央分隔带不能有效利用,开挖既有路基断面增加横向排水管对保通交通组织影响很大;横向排水沟接近路床,对路基稳定性影响较大,且对路面和中央分隔带的改造比例较高,投资较大。因此,不建议采用该路拱形式。

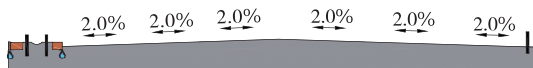


图 2 单幅双向路拱示意图

(2) 单幅单向路拱(见图 3)。采用单幅单向路拱,左侧硬路肩及所有行车道上路面积水均由右侧硬路肩排出路面,超宽断面高速公路的径流路径较长,应根据路面类型和当地自然条件等进行排水计算,确定横坡值<sup>[8]</sup>。

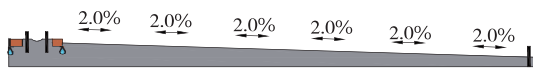


图 3 单幅单向路拱示意图

(3) 单幅折线形路拱(见图 4)。中间车道(如三、四车道)交界处设置变坡点,并在变坡点处设置排水槽,每隔一定距离设置横向排水管。内侧车道路面积水流入排水槽后经横向排水管流出路面,外侧车道路面积水经右侧硬路肩排出路面<sup>[9]</sup>。雨量特别大时,内侧车道未完全流入排水槽的雨水与外侧车道路面积水一并沿右侧硬路肩排出路面。该项目所在地区雨量充沛,路基扩建为整体式十车道后,可能出现路面排水不畅的问题。为了降低工程规模,改扩建项目应尽量维持原路基横坡值不变,并根据路表排水计算拼宽部分路基横坡值,进行加大设计。

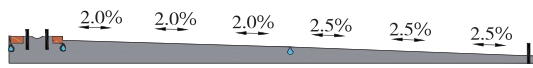


图 4 单幅折线形路拱示意图

### 3 基于路面排水的横坡值确定

确定单幅单向路拱和单幅折线形路拱的横坡值须进行路表排水计算,通过路表排水计算,为道路改扩建提供合理的横纵坡坡度设置建议,进而实现路面排水。路面可接受积水程度通过临界水膜厚度进行描述和控制<sup>[10-11]</sup>,计算公式如下:

$$h = \frac{\{mg / [p\omega v^2 (\sqrt{2} - 1)]\}^2}{r} \quad (1)$$

式中: $h$  为路面临界水膜厚度(m); $m$  为车辆质量(kg); $g$  为重力加速度; $p$  为水的密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ ); $\omega$  为轮胎宽度(m); $v$  为车辆行驶速度(m/s); $r$  为轮胎半径(m)。

小轿车荷载较轻,在雨天容易发生滑水,而载重货车发生滑水的概率较小。因此,以小轿车为代表车型对临界水膜厚度进行计算,水的密度  $\rho$  为  $1\,000\text{ kg}/\text{m}^3$ ,车辆质量  $m$  为  $310\text{ kg}$ ,轮胎宽度  $\omega$  和半径  $r$  分别为  $0.195\text{ m}$ 、 $0.395\text{ m}$ ,计算结果见表 1。

表 1 不同车速下临界水膜厚度

车速/( $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ )	临界水膜厚度/mm
80	16.0
100	6.1
120	3.2

由表 1 可知:路面临界水膜厚度对小型车行车速度指标非常敏感,当车速达到该项目设计行车速度( $120\text{ km}/\text{h}$ )时,临界水膜厚度为  $3.2\text{ mm}$ 。

参考实际工程项目水膜厚度计算经验<sup>[12-15]</sup>,路面水膜深度可按式计算:

$$\omega_D = 0.068 \frac{L_p^{0.32} \cdot q^{0.41} \cdot T_{XD}^{1.17}}{i_p^{0.31}} \quad (2)$$

式中: $\omega_D$  为路面水膜深度(mm); $L_p$  为排水长度(m); $q$  为降雨强度( $\text{mm}/\text{h}$ ); $T_{XD}$  为路面平均构造深度(mm); $i_p$  为坡度。

取  $94\text{ mm}/\text{h}$  降雨强度,水膜厚度  $\omega_D$  以  $3.2\text{ mm}$  为检验标准,路面宽度为路基宽度减去两侧土路肩宽度,以路基推荐宽度  $52.5\text{ m}$  为例,路面宽度为  $51\text{ m}$ ,路面平均构造深度  $T_{XD}$  为  $0.8\text{ mm}$ ,确定单幅单向路拱和单幅折线形路拱的横坡值。

#### 3.1 单幅单向路拱

横坡设置为  $2.0\%$  和  $2.5\%$  时路面排水状况计算结果分别见表 2、表 3。

表 2 单幅单向路拱形式下横坡为 2.0%时路面排水状况计算结果

路拱位置 $B_z/\text{m}$	径流坡度/%			径流路径长度 $L_p/\text{m}$	降雨强度 $q/$ $(\text{mm} \cdot \text{h}^{-1})$	水膜厚度 $w_D/\text{mm}$
	纵坡坡度 $i_z$	横坡坡度 $i_{h2}$	合成坡度 $i_p$			
25.5	$0.0 \leq i_z < 0.1$	2.0	2.000	25.500	94	3.198
25.5	$0.1 \leq i_z < 0.3$	2.0	2.002	25.532	94	3.198
25.5	$0.3 \leq i_z < 1.0$	2.0	2.022	25.785	94	3.198
25.5	$1.0 \leq i_z < 2.0$	2.0	2.236	28.510	94	3.202
25.5	$2.0 \leq i_z < 3.0$	2.0	2.828	36.062	94	3.209
25.5	$3.0 \leq i_z < 4.0$	2.0	3.606	45.971	94	3.217

表 3 单幅单向路拱形式下横坡为 2.5%时路面排水状况计算结果

路拱位置 $B_z/\text{m}$	径流坡度/%			径流路径长度 $L_p/\text{m}$	降雨强度 $q/$ $(\text{mm} \cdot \text{h}^{-1})$	水膜厚度 $w_D/\text{mm}$
	纵坡坡度 $i_z$	横坡坡度 $i_{h2}$	合成坡度 $i_p$			
25.5	$0.0 \leq i_z < 0.1$	2.5	2.500	25.500	94	2.984
25.5	$0.1 \leq i_z < 0.3$	2.5	2.502	25.520	94	2.984
25.5	$0.3 \leq i_z < 1.0$	2.5	2.518	25.683	94	2.984
25.5	$1.0 \leq i_z < 2.0$	2.5	2.693	27.464	94	2.986
25.5	$2.0 \leq i_z < 3.0$	2.5	3.202	32.656	94	2.992
25.5	$3.0 \leq i_z < 4.0$	2.5	3.905	39.832	94	2.998

由表 2 和表 3 可知:采用单幅单向路拱,坡面汇流历时增加有限且过水断面的水面宽度满足要求。1) 路面纵坡坡度增大,路面水流路径加长,路面水膜厚度增大,但增大幅度较小。2) 提高路线设计纵坡坡度,对水膜厚度的影响非常有限,横坡坡度对路面排水能力的影响显著大于纵坡坡度。3) 横坡值为 2.0%时,单幅五车道的水膜厚度最大约 3.22 mm,高于水膜厚度检验判定标准界限值(3.2 mm),不满足路面排水需求。4) 横坡值为 2.5%时,单幅五车道的水膜厚度最大约 2.99 mm,低于水膜厚度检验判

定标准界限值,满足路面排水需求。

3.2 单幅折线形路拱

维持原路基横坡值不变,对拼宽部分路基横坡值进行加大设计,在行车道中间(二、三车道)设置一条路拱线。内侧车道横坡为 2.0%、外侧车道横坡为 2.5%时路面排水状况计算结果见表 4,内侧车道横坡为 2.0%、外侧车道横坡为 3.0%时路面排水状况计算结果见表 5。

由表 4 和表 5 可知:1) 维持原路拱 2%不变、将拼宽部分路基横坡值加大至 2.5%、横坡按线性渐变

表 4 单幅折线形路拱形式下内侧车道横坡为 2.0%、外侧车道横坡为 2.5%时路面排水状况计算结果

路拱位置/m		径流坡度/%			径流路径 长度 $L_p/\text{m}$	降雨强度 $q/$ ( $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ )	水膜厚度 $w_D/\text{mm}$
$B_1$	$B_2$	纵坡坡度 $i_z$	横坡坡度				
			$i_{h1}$	$i_{h2}$			
11.25	14.25	$0.0 \leq i_z < 0.1$	2.0	2.5	25.500	94	3.182
11.25	14.25	$0.1 \leq i_z < 0.3$	2.0	2.5	25.525	94	3.182
11.25	14.25	$0.3 \leq i_z < 1.0$	2.0	2.5	25.728	94	3.183
11.25	14.25	$1.0 \leq i_z < 2.0$	2.0	2.5	27.926	94	3.189
11.25	14.25	$2.0 \leq i_z < 3.0$	2.0	2.5	34.159	94	3.200
11.25	14.25	$3.0 \leq i_z < 4.0$	2.0	2.5	42.540	94	3.209

表 5 单幅折线形路拱形式下内侧车道横坡为 2.0%、外侧车道横坡为 3.0%时路面排水状况计算结果

路拱位置/m		径流坡度/%			径流路径长度 $L_p$ /m	降雨强度 $q$ / (mm · h <sup>-1</sup> )	水膜厚度 $\varpi_D$ /mm
$B_1$	$B_2$	纵坡坡度 $i_z$	横坡坡度				
			$i_{h1}$	$i_{h2}$			
11.25	14.25	$0.0\leq i_z<0.1$	2.0	3.0	25.500	94	3.018
11.25	14.25	$0.1\leq i_z<0.3$	2.0	3.0	25.522	94	3.018
11.25	14.25	$0.3\leq i_z<1.0$	2.0	3.0	25.697	94	3.019
11.25	14.25	$1.0\leq i_z<2.0$	2.0	3.0	27.599	94	3.031
11.25	14.25	$2.0\leq i_z<3.0$	2.0	3.0	33.036	94	3.051
11.25	14.25	$3.0\leq i_z<4.0$	2.0	3.0	40.434	94	3.064

时,单幅五车道的计算水膜厚度最大约 3.21 mm,高于水膜厚度检验判定标准界限值,不满足路面排水需求。2) 维持原路拱 2%不变、将拼宽部分路基横坡值加大至 3.0%、横坡按线性渐变时,单幅五车道的计算水膜厚度最大约 3.06 mm,低于水膜厚度检验判定标准界限值,满足路面排水需求。

#### 4 结论

(1) 设置单幅双拱形式,原中央分隔带不能有效利用,对改扩建工程保通交通组织影响较大,同时对路面和中央分隔带的改造比例较高,投资较大,不建议采用该路拱形式。

(2) 单幅折线形路拱在维持原路拱 2%不变、将拼宽部分横坡值加大至 3.0%时可以满足路面排水需求。但其排水效果比单幅单向路拱横坡值 2.5%的排水效果差,且外侧车道 3.0%的横坡值会造成行车舒适性较差,施工难度也较大。综合考虑,该项目推荐采用单幅单向路拱形式,横坡值取 2.5%。

#### 参考文献:

- [1] 曹建建,李志涛.基于排水计算的多车道高速公路路拱研究[J].现代交通技术,2019,16(3):15-17+40.
- [2] 杨洋.高速公路改扩建的几何设计与路面排水[J].公路与汽运,2019(4):90-93.
- [3] 段丹军,杨烜宇.降雨入渗对黄土拓宽路基变形影响的离心模型试验[J].交通科学与工程,2023,39(4):17-23+46.

- [4] 计月华,曹建建.多车道高速公路路拱形式及超高设计方法分析[J].现代交通技术,2018,15(6):16-18+30.
- [5] 王祥彪,张玉斌.基于水膜厚度的宽路幅高速公路几何尺寸优化[J].工程与建设,2023,37(5):1445-1449.
- [6] 叶小华.多车道超高路段拼宽设计双路拱法排水方案研究[J].交通世界,2020(19):60-61.
- [7] 赵杰.高速公路路基路面排水施工技术分析[J].交通建设与管理,2023(5):147-149.
- [8] 林绍芝.高速公路扩建工程沥青路面防排水设施设计[J].公路与汽运,2015(3):99-101.
- [9] 柴华,李小旋,谭一鸣.高速公路双路拱路段小客车运行状态模拟仿真研究[J].公路,2019,64(4):202-208.
- [10] 文旭卿,唐国奇,郭燕,等.永武高速公路排水降噪沥青混合料的配合比设计及应用[J].公路与汽运,2013(3):90-93.
- [11] 秦龙飞,郭福成,黄果敬,等.路面水膜厚度影响因素与预估模型分析[J].市政技术,2023,41(5):9-16.
- [12] 张治国.多路拱法在改扩建设计中的应用[J].公路,2022,67(4):98-100.
- [13] 陈泽孔.多车道排水沥青路面排水性能实验研究[D].重庆:重庆交通大学,2016.
- [14] 罗京,刘建蓓,王元庆.路面水膜深度预测模型验证试验[J].中国公路学报,2015,28(12):57-63.
- [15] 王振龙,王笑,倪栋,等.不同排水方式下沥青路面积水影响因素分析[J].交通节能与环保,2023,19(5):197-202.

收稿日期:2022-11-17