

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2024.05.013

引用格式:陈武.高速公路改扩建宽幅路面排水措施研究[J].公路与汽运,2024,40(5):78-81.

Citation:CHEN Wu.Study on drainage measures of wide pavement of expressway reconstruction and expansion[J].Highways & Automotive Applications,2024,40(5):78-81.

高速公路改扩建宽幅路面排水措施研究

陈武

(湖南省交通规划勘察设计院有限公司,湖南长沙 410200)

摘要:随着高速公路的改扩建,宽幅路面排水问题凸显,其中平原区高速公路改扩建工程尤为突出。文中根据宽幅路面雨水径流特性,以江汉平原高速公路改扩建为依托,介绍水膜厚度计算方法及滑水判定标准,分析高速公路改扩建工程在不同工况下的滑水隐患,研究改善排水条件的措施。结果表明,在凹曲线底部采用透水式路面,在超高渐变段采用调整超高渐变率+增设路拱线的方式,可解决宽幅路面积水问题,消除雨天行车安全隐患。

关键词:公路;高速公路改扩建;宽幅路面;排水措施;凹曲线;超高过渡段

中图分类号:U418.8

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2024)05-0078-04

近年来,随着高速公路的发展,早期建设的双向四车道高速公路逐步改扩建为双向八车道或双向十车道,路面宽度增加,路面径流长度增大,导致路面积水,影响行车安全。雨天交通事故的发生,主要是由于汽车在有水膜覆盖的路面上不能充分抓地,导致车辆失控、侧滑或侧翻等。同时,高速公路改扩建使路面宽度增加,水膜厚度加大,且大部分改扩建高速公路的设计速度提高至120 km/h,更易发生交通事故。因此,高速公路改扩建中需重视宽幅路面排水设计。本文从宽幅路面雨水径流特性入手,介绍水膜厚度计算方法及滑水判定标准,分析不同工况下高速公路改扩建工程的滑水隐患,研究改善排水条件的措施,解决宽幅路面积水问题,提高雨天行车安全性。

1 水膜厚度计算方法及滑水判定标准

1.1 水膜厚度计算方法

水膜是雨天公路上形成的一层薄薄积水。针对水膜厚度计算,Ross N. F.等利用室内和现场试验结果建立模型,分析得出了水膜厚度计算经验公式,但该经验公式未考虑路表构造深度^[1];Gallaway B.等在无风条件下观测多组数据,通过回归分析得到了水膜厚度计算经验公式,但试验长度和排水长度等存在一定局限^[2];季天剑等模拟人工降雨,对不同条件下水膜厚度进行检测,通过回归分析得出了水

膜厚度计算经验公式^[3];罗京等通过室内大型降雨模拟试验,采用水膜厚度测试仪进行标定,对多个测点的观测结果进行回归分析,得到了水膜厚度计算公式^[4];黄兰可综述了国内外水膜厚度计算成果^[5]。综合上述研究成果及其试验条件、模型、精度等,选取文献^[4]中水膜厚度计算公式进行水膜厚度 d 计算。公式如下:

$$d=0.068L^{0.32}I^{0.41}T^{1.17}/i^{0.31} \quad (1)$$

式中: L 为排水路径长度(m); T 为路面构造深度(mm); I 为降雨强度(mm/h); i 为路面合成坡度(%)。

1.2 滑水判定标准

主要根据路面水膜厚度进行滑水风险评价^[6],目前主要采用表1所示海南省滑水判定标准。判定部分滑水和完全滑水的临界值分别为水膜厚度3.2 mm(双向八车道)、水膜厚度4.0 mm。水膜厚

表1 海南省滑水判定标准

水膜厚度/mm	判定标准	滑水风险
<2.5	一般值	小
≥2.5~3.2	对于四车道高速公路,采用2.5 mm作为一般值	中
≥3.2~4.0	对于四车道以上高速公路,采用3.2 mm作为一般值	中
>4.0	极限值	大

度超过 4.0 mm 时,需改善设计,以减小水膜厚度,提高雨天行驶安全性。

2 排水路径分析

2.1 一般路段

一般路段是指路面宽度、纵坡、横坡为定值的路段,即不设超高或全超高路段。路面排水基本沿合成坡度流动,排水路径为纵坡长度、横坡宽度组成的三角形斜长。图 1 为一般路段排水路径示意图,排水路径长度按式(2)计算。

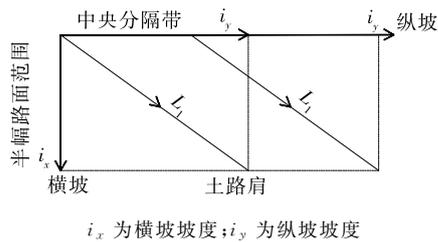


图 1 一般路段排水路径示意图

$$L = \sqrt{i_x^2 + i_y^2} / i_x B \quad (2)$$

式中: B 为半幅路面宽度。

根据式(2)计算一般路段常见纵坡和不同路面宽度下排水路径长度,结合降雨强度、路面构造深度及合成坡度,按式(1)计算水膜厚度。降雨强度按特大暴雨 50 mm/h 取值,路面构造深度取 1.0 mm。计算结果见图 2。

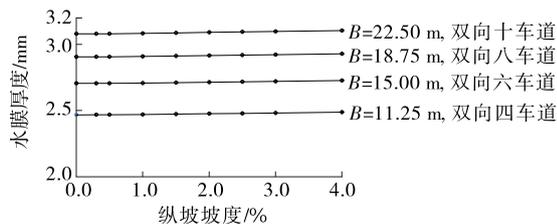


图 2 横坡坡度为 2% 时一般路段水膜厚度与纵坡、路面宽度的关系

由图 2 可知:在横坡坡度为定值的情况下,一般路段路面水膜厚度随着纵坡坡度和路面宽度的增加而增大。但纵坡坡度与路面宽度的灵敏程度不一样,纵坡坡度由 0% 增大到 3% 时,水膜厚度增加约 0.02 mm;路面宽度由双向四车道变为双向八车道时,水膜厚度增加约 0.44 mm。因此,高速公路改扩建中不宜依靠调整纵坡来改善路面积水。双向四车道一般路段的水膜厚度小于 2.5 mm,处于一般值范围;双向六车道至双向十车道一般路段的水膜厚度小于 3.2 mm,处于一般值范围。一般路段滑水风险

较小,可不考虑水膜的影响。

2.2 凹曲线路段

凹曲线路段是指路面宽度、横坡为定值,纵坡前为降坡、后为爬坡的路段。路面排水基本沿合成坡度往凹曲线底部流动。图 3 为凹曲线路段排水路径示意图,排水路径长度按式(3)计算。

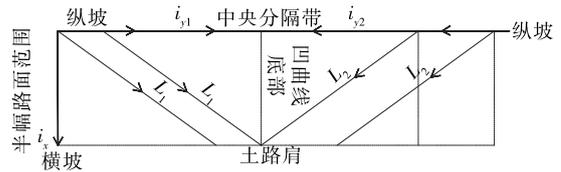


图 3 凹曲线路段排水路径示意图

$$L = \sqrt{i_x^2 + i_{y1}^2} / i_x B + \sqrt{i_x^2 + i_{y2}^2} / i_x B \quad (3)$$

根据式(3)对凹曲线路段常见纵坡和不同路面宽度下排水路径长度进行计算,结合降雨强度、路面构造深度及合成坡度,按式(1)计算水膜厚度。降雨强度按特大暴雨 50 mm/h 取值,路面构造深度取 1.0 mm。为便于分析,假定前后纵坡相等。计算结果见图 4。

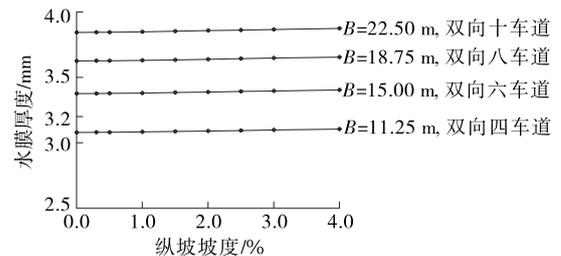


图 4 横坡坡度为 2% 时凹曲线路段水膜厚度与纵坡、路面宽度的关系

由图 4 可知:在横坡坡度为定值的情况下,凹曲线路段路面水膜厚度与纵坡坡度和路面宽度关系曲线的变化趋势与一般路段一致。由于排水路径为路线前后两侧往凹曲线底部汇集,排水路径长度为正常的 2 倍,为积水重点路段。通过计算,凹曲线路段的水膜厚度均大于一般值,需考虑水膜的影响。凹曲线路段存在部分滑水风险。

2.3 超高渐变段

超高渐变段是指正常横坡向全超高过渡的路段。路面排水沿合成坡度流动,不利情况为图 5 中排水路径 1~3,均由中央分隔带开始,经过路面流经横坡零点后回到中央分隔带位置。其中最不利情况为排水路径 3,路面径流长度最长,下游水膜厚度最大。排水路径长度按式(4)计算。

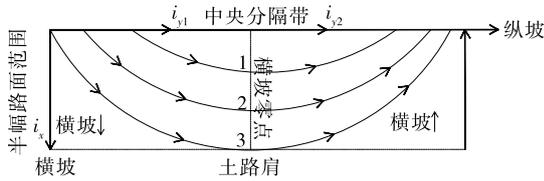


图 5 超高渐变段排水路径示意图

$$L = \sum (\sqrt{i_x^2 + i_{y1}^2} Bd + \sqrt{i_x^2 + i_{y2}^2} Bd) \tag{4}$$

根据式(4)对超高渐变段常见横坡坡度和不同路面宽度下排水路径长度进行计算,结合降雨强度、路面构造深度及合成坡度,按式(1)计算水膜厚度。降雨强度按特大暴雨 50 mm/h 取值,路面构造深度取 1.0 mm。为便于分析,纵坡坡度取 1%。计算结果见图 6。

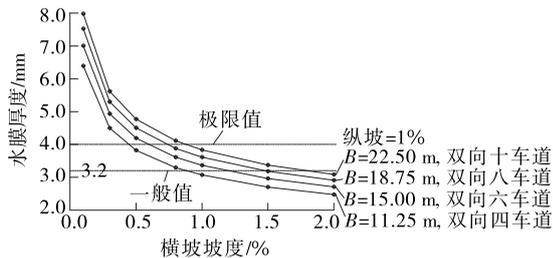


图 6 纵坡坡度为 1% 时超高渐变段水膜厚度与横坡、路面宽度的关系

由图 6 可知:在纵坡坡度为定值的情况下,超高渐变段路面水膜厚度与横坡坡度成反比。对于 B = 18.75 m 的双向八车道高速公路,横坡坡度为 0% ~ 1.50% 时,水膜厚度基本大于一般值;横坡坡度为 0% ~ 0.75% 时,水膜厚度基本大于极限值。因此,超高渐变段产生完全滑水的可能性大,尤其是高速公路改扩建后,路幅宽度增大,更需改善排水设计。

3 路面排水改善措施

3.1 凹曲线路段

凹曲线路段的水膜厚度与路面宽度、合成坡度等路线参数相关,还与降雨强度、路面构造深度、路面结构等外部因素相关。对于凹曲线非超高路段改扩建项目,横坡、路面宽度、降雨强度、路面构造深度基本为定值,减小水膜厚度的主要措施是减小排水路径长度、调整纵坡和路面结构,尽可能采用较大的凹曲线半径,减小凹曲线前后纵坡,但该措施会导致排水路径增大,更不利于减小水膜厚度。对于改扩建项目,调整纵坡还会降低老路利用率,同时该措施

对改善积水的效果有限。因此,为改善凹曲线非超高路段的路面积水,需调整路面结构,采用透水式沥青路面分担路面径流的降雨强度,减小水膜厚度。

3.2 超高渐变段

超高渐变段的水膜厚度与路面宽度、合成坡度、超高渐变率等路线参数相关,还与降雨强度、路面构造深度、路面结构等外部因素相关^[7-10]。针对特定条件下改扩建项目,减小水膜厚度的主要措施为增大合成坡度和减小径流长度。

(1) 调整合成坡度主要是调整纵坡和超高渐变率,水膜厚度与纵坡和超高渐变率成反比,对于改扩建项目,调整纵坡会降低老路利用率,影响老路的保通,同时对改善积水的效果有限。可通过调整超高渐变率、增大合成坡度,改善路面积水。

(2) 可通过增设路拱线的方式减小径流长度,将径流长度一分为二,水膜厚度与径流长度成正比。根据实际积水情况可增设多条路拱线。按双向八车道路幅宽度考虑,半幅路面宽度为 18.75 m,在第 2、第 3 车道分界线增设一条路拱线,则新增路拱线左侧宽 8.25 m,右侧宽 10.50 m。增设一条路拱线后横坡变化与排水路径见图 7,直接将图 5 中最不利排水路径 3 变为排水路径 1,径流长度明显减小,可明显改善路面积水。

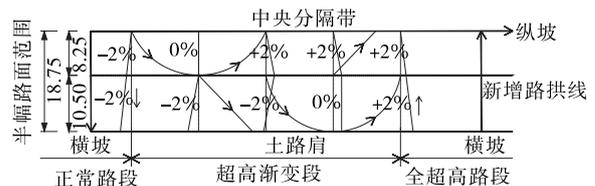


图 7 增设一条路拱线时横坡变化与排水路径示意图(单位:m)

3.3 设计实例

江汉平原某高速公路“四改八”工程,路基宽度由 24 m 改为 42 m,设计速度由 100 km/h 提高到 120 km/h。同时考虑老路利用率和施工期间的“保四”通行,纵面尽可能维持原样。根据湖北省雨季降雨特点,选取 50 mm/h 降雨强度(特大暴雨)进行计算,沥青路面构造深度取 1.0 mm。选取典型凹曲线路段和超高渐变段分析采取措施前后路面最大水膜厚度的变化。

K1002+932—K1004+352 为凹曲线路段,前坡为 -0.287%,后坡为 +0.180%。表 2 为该路段采用透水式路面前后路面水膜厚度对比。由表 2 可知:在凹曲线路段采用透水式路面,与改善前(改扩建)

建设计)相比,路面最大水膜厚度减小 18%,小于一般值 3.2 mm,改善积水效果明显,可大大降低滑水风险。凹曲线路段采用透水式路面可解决路面积水问题。

表 2 凹曲线路段采用透水式路面前后路面水膜厚度对比

项目	车道数	最大水膜厚度/mm	对应措施
现状道路	双向四车道	3.038	需考虑水膜影响
改扩建设计	双向八车道	3.627	需考虑水膜影响
改善后	双向八车道	2.973	采用透水式路面
差值	双向八车道	0.654	

K1011+595.869—920.556 为超高渐变段,纵坡 0.505%与超高渐变段重合设置。采用 3 种路面排水改善措施,分别计算实施 3 种改善措施后路面最大水膜厚度,分析其排水效果。措施一为调整超高渐变率,由 1/250 调整为 1/200;措施二为在行车道与超车道交界处增设路拱线;措施三为调整超高渐变率+增设一条路拱线。表 3 为采取不同措施后超高渐变段路面水膜厚度对比。

表 3 采取不同措施后超高渐变段路面水膜厚度对比

措施编号	超高渐变率	最大水膜厚度/mm	
		水膜厚度	与原设计时差值
措施一	1/200	4.472	0.794
措施二	1/250	4.374	0.892
措施三	1/200	3.714	1.552
原设计	1/250	5.266	

由表 3 可知:采取措施一,调整超高渐变率,可减少水流路径长度和最大水膜厚度,最大水膜厚度减少 0.794 mm,对路面积水有改善作用。但改善作用有限,最大水膜厚度依然大于 4 mm 的极限值。采取措施二,在第 2、第 3 车道分界线增设一条路拱线,排水路径长度减少约 50%,最大水膜厚度减少 0.892 mm,对路面积水的改善效果比调整超高渐变率明显。但最大水膜厚度仍大于 4 mm 的极限值。采取措施三,调整超高渐变率+增设一条路拱线,排水路径长度和最大水膜厚度大幅度减小,最大水膜厚度减小 1.552 mm,最大水膜厚度小于极限值,对路面积水的改善效果最好。因此,在超高渐变段建议采取调整超高渐变率+增设路拱线的方式,最大

程度改善路面积水,降低路面滑水风险。

4 结论

(1) 高速公路改扩建中应重视宽幅路面排水设计,尽可能减小路面水膜厚度,降低路面滑水可能性,提高高速公路交通安全。

(2) 根据宽幅路面雨水径流特性和排水路径,一般路段的滑水风险小,凹曲线路段存在部分滑水风险,超高渐变段为易滑水位置。

(3) 高速公路改扩建中不宜通过调整纵坡来改善路面积水,调整纵坡会降低老路利用率,影响老路的保通,同时对改善积水的效果有限。

(4) 在凹曲线路段采用透水式沥青路面,在超高渐变段采取调整超高渐变率+增设路拱线的方式,可解决宽幅路面积水问题,消除雨天车辆行驶安全隐患。

参考文献:

- [1] ROSS N F, RUSSAM K. The depth of rain water on road surface[R]. Croethorne: Road Research Laboratory, Ministry of Transport, 1968.
- [2] GALLAWAY B, MROSE J G. The effect of rainfall intensity, pavement cross slope, surface texture, and drainage length on pavement water depths[R]. College Station: Texas Transportation Institute, 1971.
- [3] 季天剑, 黄晓明, 刘清泉, 等. 沥青路面表面水膜厚度试验[J]. 公路交通科技, 2004, 21(12): 14-17.
- [4] 罗京, 刘建蓓, 王元庆. 沥青水膜深度预测模型验证试验[J]. 中国公路学报, 2015, 28(12): 57-63.
- [5] 黄兰可. 沥青路面水膜效应及临界滑水速度研究综述[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版), 2022, 50(3): 118-124.
- [6] 罗京, 刘建蓓, 戈普塔, 等. 路面水膜厚度检验评价方法[J]. 交通信息与安全, 2016, 34(6): 54-59+82.
- [7] 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.
- [8] 张治国. 多路拱法在改扩建设计中的研究应用[J]. 公路, 2022, 67(4): 98-100.
- [9] 张燕飞. 降雨条件下多车道高速公路超高过渡段交通安全保障技术研究[D]. 西安: 长安大学, 2020.
- [10] 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.

收稿日期: 2023-11-12