

强降雨地区超宽高速公路雨水排除方法及积水改善措施研究

王晨¹, 方正^{2,3*}, 尹浩然², 寇殿良⁴, 曹帆⁴

(1. 广西工程咨询集团有限公司, 广西南宁 530029; 2. 武汉大学 土木建筑工程学院;
3. 湖北省城市综合防灾及消防救援工程中心; 4. 广西交通设计集团有限公司)

摘要:超宽高速公路坡度缓,雨水径流时间长,拐弯时存在横坡为零甚至坡向内侧的路面,容易在内侧道路形成积水,严重影响行车安全。该文介绍了强降雨地区超宽高速公路的雨水排除方法并给出了具体设计参数;同时,以广西沿海某双向八车道高速公路改造工程为例,利用 Infoworks ICM 模型对 $P=5$ 、10 和 30 年重现期暴雨条件下道路排水能力进行评估。结果表明:当采用了中间隔离带集中截流式排水时,大部分路面可以保持良好的排水状态,但在过渡路段内道、纵坡较大的直线段外道仍存在深度 2 cm 左右的积水,可能会使车辆打滑,针对此种情况提出了改变不同车道横坡、设置透水型截水沟、连续减速震荡带等改善方法。

关键词:高速公路;强降雨;Infoworks 模拟;排水方法;行车安全

随着中国区域经济的发展,客货运输规模越来越大,双向六车道或八车道的高速公路不断增多。高速公路路面加宽后,路面雨水的径流距离加长,若不注重排水设计,路面积水会更加严重。此外,高速公路从直线段向拐弯段过渡时须逐渐调整道路横坡,路面由双侧坡度逐渐转变为单侧坡度,再叠加超高设计时会出现零度横向平坡现象,导致水流无法自流至边沟,容易形成降雨积水点而成为安全行车隐患。

1 强降雨地区超宽高速公路的雨水排除典型方法

根据道路路面坡度及宽度情况,一般路面排水采用分散漫流和集中截流两种方式。双向四车道或有一定纵坡的高速公路,常采用分散漫流方式。而对于强降雨地区双向六车道及以上的超宽高速公路,必须采用集中截流式排水方式。

集中截流式排水方式如图 1 所示,首先在超高路段的上半幅路面(内侧道路)中间隔离带边缘设置中央渗沟(也称中央渗水管)。将其埋设在中央隔离带边缘,以便于路面水流入,中央渗水管管径一般选用 300

mm,埋设长度根据需要以不超过 500 m 为宜。为了快速排除中央渗水管内的雨水,每隔 50 m 或 60 m 设置一集水井,并由管径为 300~400 mm 的横管集中流向填方侧的边沟。外侧道路雨水通过路面自由漫流方式流入挖方侧边沟,也可以通过横向排水管向公路的填方侧集中排除。

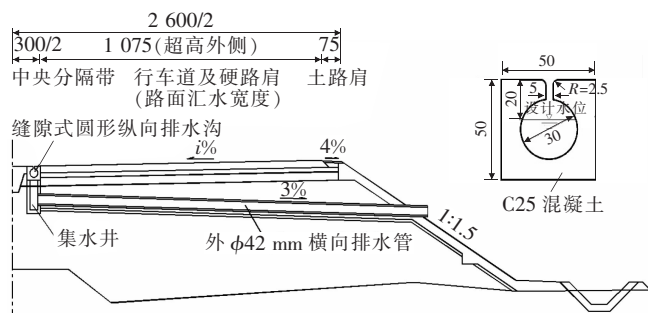


图 1 超高路段路面(半幅)排水设施示意图(单位:cm)

广西沿海某高速公路由原来双向四车道改造为双向八车道,在直线路段采用分散漫流方法,在拐弯路段采用上述中央隔离带集中截流排水方式。由于该地区降雨频繁,暴雨强度大,这种排水方式是否能适应当地的特殊环境条件一直是交通管理部门非常关心的问题。

收稿日期:2021-07-20(修改稿)

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:51978536)

作者简介:王晨,女,高级工程师。E-mail:284681861@qq.com

* 通信作者:方正,男,教授。

2 超宽公路暴雨过程的 Infoworks ICM 模拟方法

为精确评估横坡发生变化时某个具体路段的积水情况,采用 Infoworks ICM 进行模拟分析。城市综合流域排水模型 Infoworks ICM(Integrated Catchment Management)由英国 Wallingford 软件公司开发,可有效地模拟地面雨水径流过程、评估雨水收集系统的工作状态以及分析排水管网系统与地表收纳水体之间的相互作用。可系统模拟城市雨水循环过程,实现城市排水管网系统模型与河道模型的整合,基本具备模拟公路上雨水的漫流行为。唐智等利用该软件对城市水底隧道暴雨渍水进行了应急预案研究,黄子千等也对高速公路超高路段的排水能力进行过分析。

(1) 模拟区域的确定

根据实际设计情况,选择横坡和纵坡变化都比较大的典型路段(桩号 K2 045+669~K2 049+460)进行分析。

(2) 地面高程模型的建立

选取对应的计算路段,参考该工程平面图所给的标高以及路基横断面图的地面数据,整理出该路段对应的高程数据表,并生成研究区域内的地面模型。以地面模型为边界,绘制 2D 区间,设置边界条件后,对其进行网格化,网格类型为三角形。

(3) 模型参数的选取

参考 Infoworks ICM 用户手册中有关内容和 GB 50014—2006《室外排水设计规范》,设定沥青道路径流系数为 0.9,其他区域径流系数为 0.6,汇流参数取 0.03,该路面采用透水沥青,曼宁粗糙系数为 0.03。

(4) 降雨事件

降雨过程是暴雨模型最主要的输入数据,所需的降雨过程可以是实测降雨资料,也可以是人工合成设计降雨过程线,即合成降雨模型。为了更全面地了解路面排水系统的排水能力,选取广西钦州地区的暴雨强度计算公式:

$$q = \frac{1\,815.35(1+0.594\lg P)}{(t+6.669)^{0.596}} \tag{1}$$

$$i = \frac{q}{167} \tag{2}$$

式中: q 为降雨强度[L/(s·ha)]; P 为设计降雨重现期(年); t 为降雨历时(min); i 为降雨强度(mm/min)。

则暴雨过程线可分为峰前上升段和峰后下降段。

峰前上升段:

$$i_a = \frac{a}{(t_1+rb)^n} \left(1 - \frac{nt_1}{t_1+rb}\right) \tag{3}$$

峰后下降段:

$$i_b = \frac{a}{[t_2+(1-r)b]^n} \left[1 - \frac{nt_2}{t_2+(1-r)b}\right] \tag{4}$$

式中: i_a 、 i_b 为瞬时暴雨强度; a 、 b 、 n 为地方参数; t_1 、 t_2 分别为峰前与峰后的时间; r 为雨峰系数(峰前历时与总历时之比),该模型取 $r=0.4$ 。

在此基础上按重现期 5、10、30 年分别对高速公路过渡路段雨水径流进行模拟。降雨历时取 2 h,采用合成芝加哥雨型来描述降雨事件,模拟全过程时间取 4 h,分别观察时间为 30、60、90、120 min 时路面的积水情况。图 2 为重现期为 10 年时设计暴雨强度与时间的关系曲线。

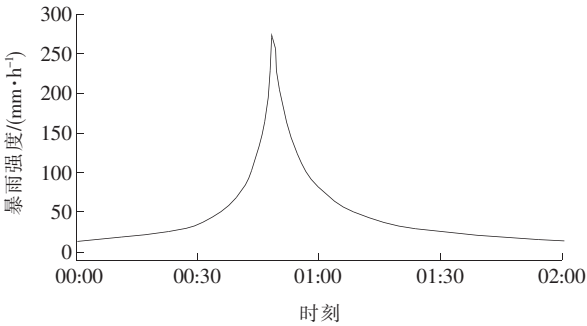


图 2 设计暴雨强度曲线 (P=10 年)

3 高速公路典型路段模拟结果与分析

3.1 横坡变化的过渡段路面汇流情况

过渡路段先出现行车道绕中央分隔带外侧旋转,后变为向内侧翻转,道路横向坡度在该路段会发生扭曲变化,中间会出现零度的横坡现象,水流形态紊乱,很容易产生积水现象。图 3 为过渡段积水深度随时间的变化图。

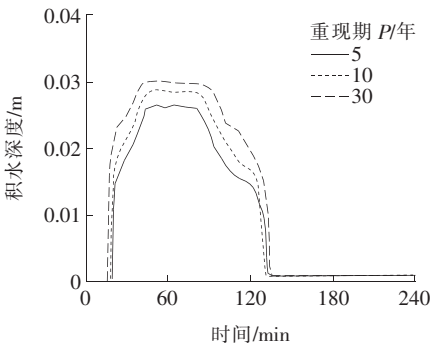


图 3 过渡段积水深度随时间变化

由图3可知: $P=5$ 年时,中央渗水管在模拟时间为16 min左右达到满流,集水井开始有水溢出,路表出现积水,并向路侧流动。随着暴雨强度的增强,积水深度也在加深。模拟时间达到46 min左右,暴雨雨峰出现,路表积水深度到达最大,积水范围也不断扩大。模拟时间超过90 min后,随着暴雨强度减小,积水也逐渐消退。重现期 $P=5、10、30$ 年时,路面开始积水的时间基本相近,积水最大深度分别约为2.5、2.8和3 cm,持续时间均在1 h左右。表明无论重现期是5年还是10年的降雨,在横坡较缓的过渡路段,始终会存在一定程度的积水。暴雨强度不同,积水深度略有不同。总体而言,过渡路段的积水虽然不深,但会长时间在路面形成一层水膜,引起车辆打滑,进而影响行车安全性,所以必须加以防范。

3.2 横坡不变的拐弯路段

路段的纵坡和横坡都会对路面排水产生影响。除过渡段外,其他路段的横坡坡度变化较小,此时路段的排水能力受纵坡坡度的影响较大。因此,选取纵坡坡度较大(3%)的一段弯道来模拟分析,图4为该拐弯路段不同重现期积水深度随时间的变化情况。

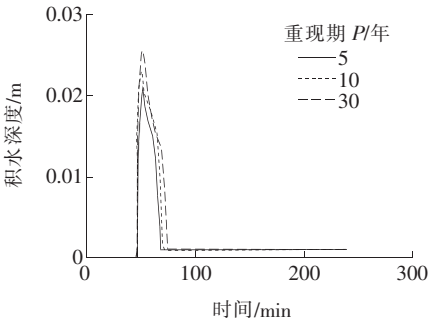


图4 拐弯路段积水深度随时间变化

模拟结果表明:高速公路外侧车道径流至中间隔离带,当纵向坡度较大时,流向隔离带中央渗水管的水量增多,会出现部分集水井满流溢出,形成路面积水现象。积水范围随降雨持续而增大,但总体范围较小。由图4可知:模拟时间达到46 min后,降雨达到峰值,路面开始积水并持续大约20 min。此时,暴雨重现期 $P=5、10$ 和30年时路面的最大积水深度分别为2.2、2.4和2.5 cm左右,积水深度均不深,范围也较小,该中央截流式排水方式可以满足拐弯路段的排水要求。

3.3 纵坡较大的直线路段

在一些直线路段,由于中间地势高,两侧低,路面上的积水可通过路边界横向流出,因此多采用自由漫流方式。但是当纵坡超过3%且路侧的一边为挖方

时,道路积水首先进入挖方边沟,如果边沟排水不畅,也会形成路边积水。研究模拟该工程桩号K2 046+280~K2 046+910的路段,该路段纵坡达到4%,采用普通盖板型边沟。图5为直线路段不同重现期下的积水深度随时间的变化情况。

由于该路段的纵向坡度较大,积水的横向流动能力相对减弱,并非均匀流入两边的边沟。所以,填方侧道路状况良好,而挖方侧路面出现了一小部分积水。由图5可知:暴雨重现期 $P=5、10$ 和30年时路面的最大积水深度分别为1.8、1.9和2.3 cm左右,持续时间约为20 min。积水深度虽不算深,但积水范围纵向基本覆盖了靠近路边的车道,对外侧车道的行驶车辆有一定风险,也需要加以防范。

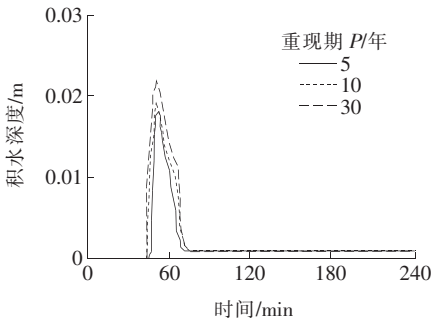


图5 直线路段积水深度随时间变化

该工程从2018年建成至今经历了多场特大暴雨,大部分路段均保持了良好的排水状态,但几处重点路段也都出现了该文所模拟的积水情况,发生车辆打滑现象,直接验证了该文模拟方法具有准确性。

4 已建道路的积水改善方法

为了改善过渡路段和纵坡较大路段持续出现的积水对行车安全的影响,工程上有必要采取一些处理措施,从而改善超宽高速公路的行车条件。常见的加强措施有如下几种:

(1) 车道采用不等路面横坡,加深挖方边沟

当车道数为3条甚至更多时,可采用不等横坡,适当提高最外侧车道的横坡,以便加快排水速度,使中间车道水流快速汇入边沟。一般每条车道的横坡值可增加0.5%~1%,最大不超过4%。但这种方法对于已建道路改造时难以掌握。对于挖方边沟排水不畅情况,则应进一步加大边沟深度,提高其泄水能力,可对纵坡较大的直线路段进行改造。

(2) 透水型截水沟

透水型截水沟的施工步骤大致为:采用小型铣刨机或人工方式,在路面开槽,形成截水沟,再从沟面中间向四周开挖,并保证截水沟四周与底面垂直,最后利用透水材料回填截水沟。积水可以通过截水沟表面渗入沟内,再由路面中的连通空隙向路面边缘排走,进入中央隔离带的集水管。这种方法可以显著改善横坡为零的过渡路段积水现象,但施工时会破坏路面,且影响交通时间过长。

(3) 连续震荡减速带

为了提高行车安全,也有很多高速公路在拐弯及过渡路段设置连续震荡减速带。一方面可以减缓车辆的速度,减少车辆在积水路面上因为速度太高发生打滑现象;另一方面,由于路面上设置障碍物后,增加路面粗糙度,延缓水流沿着道路纵坡集中下流趋势、分散水流,减少纵向水流在局部低洼区域的积累,让积水更倾向于顺着横坡流入中央渗沟或边沟,缩短积水在路面上停留的时间。

在 Infoworks ICM 软件中难以精细地模拟实际工程中的减速带,因此,将其简化成一截粗糙率较大的区域。按照减速带的布置方式,在过渡段区域内设置了长条状的粗糙率分区段。模拟结果发现设置减速带后路边积水深度明显减小,如图 6 所示($P=10$ 年),表明该措施是有效的。

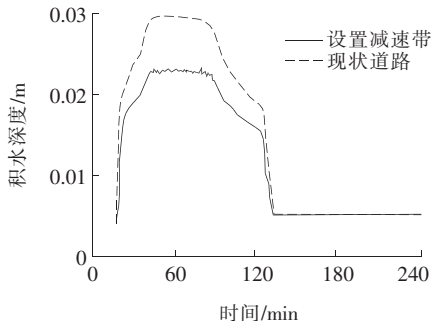


图 6 加装减速带前后积水深度对比

设置连续震荡减速带方法简便易行,配合车速警示牌,信息提示板等管理措施,可以大幅度减缓已建道路的行车隐患。该工程已经建成通车,为减少对工程的影响,通过对全线各关键路段进行分析,基本确定了所有需要设置震荡减速带的位置。

5 结论

针对强降雨地区特点,简要介绍了超宽高速公路的集中截留式排水方法,并以广西某沿海高速公路为

研究对象,基于 Infoworks ICM 的排水系统模拟模型,评估了不同暴雨强度下超宽路面雨水径流过程,预测超宽高速公路可能存在积水的风险路段,为高速公路设计施工和运营管理提供参考。

(1) 超宽高速公路(双向八车道)超高路段采用在中央隔离带设置渗水管,并通过一定距离排至边沟的集中截流方式总体可行。在广西沿海地区 5、10 年及 30 年重现期暴雨强度作用下,路面积水情况总体良好,在拐弯路段内侧虽有一定积水,但积水范围不大,而且也会很快消退,不会影响行车安全。

(2) 对于横坡变化的过渡路段,均会发生明显的积水现象。即使是重现期为 5 年的暴雨,也会存在一定的积水,随着暴雨强度增大覆盖的范围会迅速增大,积水深度不会超过 3 cm,但由于持续时间达 1 h,对行车安全会有一定影响,故工程设计中需重视此类路段的排水设计。

(3) 通过改变超宽路段的外侧车道横坡、排水沟、设置减速带及截水沟等相关技术措施可以改善道路积水现象。其中,设置连续震荡减速带可以增加路面粗糙度,减缓积水径流速度,分散雨水,且简单易行,结合相应的交通管理措施,非常适合已建工程的改造。

参考文献:

- [1] 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).
- [2] 吴聪雅. 沈海高速公路福泉福州段扩建工程超高段路面排水改造设计[J]. 福建交通科技, 2016(5).
- [3] 叶萍, 朱玉. 马巢高速公路超高段路面排水设计简介[J]. 公路交通科技, 2013(12).
- [4] 曾涛, 丁进文. 成安渝高速公路超高段路面排水设计优化[J]. 交通科学与工程, 2014(4).
- [5] 苏小明. 高速公路改扩建路基路面排水设计分析[J]. 交通世界, 2019(14).
- [6] 唐智, 刘非, 方正, 等. 城市水底隧道暴雨渍水灾害应急预案研究[J]. 中国给水排水, 2016(2).
- [7] 黄子千, 庞博, 任梅芳, 等. 基于 InfoWorks ICM 的济南市少年路暴雨内涝模拟研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2019(1).
- [8] GB 50014—2006 室外排水设计规范[S].
- [9] 黄湛军. 广东省高速公路设计标准化路基路面排水设计研究[J]. 中外公路, 2018(5).
- [10] 张锋, 刘永旭, 杜晓博. 高速公路超高排水技术研究[J]. 华东公路, 2019(1).