

集中截流式排水道路路表工后沉降差控制指标

闫强^{1,2}, 刘保健¹, 孙建勋³

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 西安 710064;

2. 广西交通投资集团有限公司, 南宁 530021; 3. 中交第四公路工程局有限公司, 北京 100022)

摘要: 为了合理确定集中截流式排水道路路表工后沉降差控制标准, 应用水力水文学等知识和方法, 构建了路表集中截流式排水模型, 定性分析了路表横向和纵向沉降差对该排水模型宣泄能力的影响, 建立了路表横向和纵向容许变坡率计算公式, 并以变坡率作为集中截流式排水道路路表沉降差控制指标。最后以某高等级道路为依托进行了计算示例, 示例计算结果表明, 在该道路条件下基于排水要求的路表工后沉降差控制标准: 横向和纵向容许变坡率分别为 0.76% 和 0.22%; 而对不同区域及不同等级的道路, 应根据道路结构参数及所处地域气象特征计算确定, 这样更加客观和准确。

关键词: 道路, 路表排水; 沉降差; 集中截流式; 水力模型; 变坡率; 降雨强度

中图分类号: U418.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)03-0568-03

Control index of settlement difference after construction of integrated drainage road

YAN Qiang^{1,2}, LIU Baojian¹, SUN Jianxun³

(1. Key Laboratory of Highway Engineering Special Region of Ministry of Education, Chang'an University,

Xi'an 710064, China; 2. Guangxi Communications Investment Group CO., LTD, Nanning 530021, China;

3. CCCC Fourth Highway Engineering CO., LTD, Beijing 100022, China)

Abstract: In order to determine the control index of settlement difference reasonably after the construction of integrated drainage road, an integrated drainage model of road surface was established using the hydraulic and hydrologic methods. The effects of transverse and longitudinal settlement differences on the discharge capability were analyzed qualitatively. The calculation formulas of the allowable slope variation rates in the transverse and longitudinal directions were conducted, and the slope variation rate was considered as the control index of settlement difference of integrated drainage road. The model was applied to a high level road. The results showed that based on the control index of settlement difference on surface drainage, the allowable slope variation rates in the transverse and longitudinal directions are 0.76% and 0.22%, respectively, and the allowable slope variation rate can be determined more objectively and reasonably for different areas and road levels based on the specific road structure parameters and meteorological conditions.

Key words: road; road drainage; settlement difference; integrated drainage; hydraulic model; slope variation rate; rainfall intensity

集中截流式排水是道路路表排水的主要方式之一, 它通过路表横坡和纵坡将路表水汇集至路侧拦水带, 再引至路外。当路表横坡和纵坡过小时, 将导致排水不畅, 会在路表与车轮之间形成水膜, 该水膜减小了车轮与路表的摩擦系数, 易发生水漂, 影响行车安全; 另外, 路表积水渗入基层、路基, 影响道路结构的强度和整体性能^[1-3]。为此, 应确保运营期内路表纵坡和横坡满足排水要求, 保证道路路用性能。

由于道路为线形构造物, 各路段地质、水文特征存在差异, 施工方案、地基处理方案及路堤填筑材料各不相同, 施工质量亦不均衡, 易造成路基纵向不均匀沉降, 当某路段纵向沉降差减小到一定程度时, 将影响道路的排水; 另外路堤为梯形填筑结构, 会出现中部沉降大、两侧沉降小的盆式差异沉降, 造成路表横坡减小, 甚至影响道路的排水。而道路路基施工是按照标高控制的, 工期沉降被后续施工填料弥补, 工

收稿日期: 2014-12-16 修回日期: 2015-04-14 网络出版时间: 2015-05-14

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20150514.1143.016.html>

基金项目: 青海研究观测基地开放基金项目(20110401); 教育部中央高校基本科研业务费专项资金项目(CHD2009JC117)

作者简介: 闫强(1982-), 男, 山东菏泽人, 工程师, 主要从事岩土工程研究。E-mail: yyqq023@163.com

通讯作者: 刘保健(1953-), 男, 陕西蓝田人, 教授, 博士生导师, 主要从事岩土工程研究。E-mail: ys02@gl.chd.edu.cn

后路表不均匀沉降才是影响道路路用性能和路表排水的主要因素^[46]。因而有必要深入研究截流式排水道路工后路表横向和纵向沉降差控制标准,为道路的设计及施工提供指导。

我国规范重点从行车安全方面考虑,仅对软土路基的纵向沉降绝对值进行了规定;国内外研究者开展相关研究的成果多为给定一个具体的差异沉降控制指标作为控制标准,这并不适用于不同区域、不同气象条件及不同等级的道路^[79]。

因此,为了指导路表采用集中截流式排水的各区域、各等级道路路基路面的设计和施工,本文应用水力水文学等知识和方法,构建了路表集中截流式排水模型,定性分析了路表横向和纵向沉降差对该排水模型宣泄能力的影响,建立了路表横向和纵向容许变坡率计算公式,并以此作为集中截流式排水道路路表沉降差控制指标。

1 路表集中截流式排水模型

路表集中截流式排水系统主要由设置一定横坡的路表、设置在路肩外侧的挡水结构及沿纵向每隔一定距离设置的泄水口等组成,见图1。它主要是通过设置一定横坡的路表将雨水汇集至路肩外侧的挡水结构处,然后再利用挡水结构与路表构成的三角地带作为排水通道,再通过道路纵坡将汇集的水排至泄水口,从而引出路表。因而,可将路表集中截流式排水系统构建为一个汇水与排水模型,路表半幅宽度 B (单坡路段为全幅宽度)坡面与路表泄水口之间的长度 L_s 构成汇水区,路肩挡水结构与路表一定的区域构成三角形排水通道,假设路表泄水口之间无变坡,且仅考虑沉降差导致纵坡变小这一种情况。

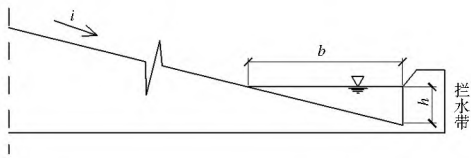


图1 集中截流式排水道路横断面示意图
Fig. 1 Schematic diagram of the cross section of integrated drainage road

2 路表纵向容许沉降差控制指标分析

汇水区的水要顺利排出,路肩挡水结构与路表一定区域构成的三角形排水通道的坡度必须足够大,即路表的纵坡必须满足要求。而当道路发生不均匀沉降时,路表的纵坡可能变小,将影响该排水通道的宣泄能力,当宣泄能力无法满足排泄设计流量要求时,路表就会积水,进而影响道路路用性能和行车安全。其中,路表相邻泄水口断面路表的沉降差值即为路表纵向沉降差,路表纵向沉降差与路表泄水口之间的长度 L_s 的比值定义为路表纵向变坡率,亦为路表变形前后的纵向坡度变化值;由于不同道路泄水口间距不同,用纵向变坡率作为沉降差控制指标更准确。

因此,假设汇水区域汇水流量为 Q ,排水通道宣泄能力为 Q_c ;当 $Q_c \geq Q$ 时,推导计算满足排水要求时相应排水通道纵向坡度最小值 I_{min} ,路表设计纵向坡度 i_z 与计算所得的排水通道纵向坡度最小值 I_{min} 之差值即为路表纵向容许变坡率。

根据《公路排水设计规范》(JTJ 018-97),汇水区域汇

水流量 Q 计算如下:

$$Q = 16.67 \Psi q F \tag{1}$$

式中: Q 为汇水区域流量(m^3/s); q 为设计重现期和降雨历时内的平均降雨强度(mm/min),可利用气象站观测资料计算; Ψ 为径流系数; F 为汇水面积,按式(2)计算

$$F = L_s \frac{B}{2} \tag{2}$$

式中: L_s 为路表泄水口之间的距离(m); B 为汇水区宽度(双坡为路表半幅宽)(m)。

将式(2)代入式(1)得:

$$Q = 16.67 \Psi q L_s B \tag{3}$$

根据《公路排水设计规范》(JTJ 018-97)中排水结构的宣泄能力计算式,模型中排水通道宣泄能力 Q_c 计算如下:

$$Q_c = vA \tag{4}$$

$$\text{其中: } v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \tag{5}$$

式中: Q_c 为路表排水通道宣泄能力(m^3/s); v 为路表排水通道平均流速(m/s),按式(5)计算; A 为过水断面面积, $A = 0.5bh$ (见图1); n 为排水结构的粗糙系数; R 为水力半径,

$$R = \frac{0.5b}{1 + \sqrt{1 + m^2}}; I \text{ 为水力坡度,即排水通道纵向坡度。}$$

将式(5)代入式(4)得:

$$Q_c = \frac{1}{n} \frac{(0.5b)^{\frac{5}{3}}}{(1 + \sqrt{1 + m^2})^{\frac{5}{3}}} h I^{\frac{1}{2}} \tag{6}$$

由式(3)及式(6),令 $Q_c = Q$,则排水通道纵向坡度最小值 I_{min} 为

$$I_{min} = \left[8.335 \Psi q n L_s B \frac{(1 + \sqrt{1 + m^2})^{\frac{5}{3}}}{h(0.5b)^{\frac{5}{3}}} \right]^2 \tag{7}$$

路表设计纵向坡度为 i_z ,则路表纵向容许沉降差控制指标,即路表纵向容许变坡率为

$$\Delta i_z = i_z - I_{min} = i_z - \left[8.335 \Psi q n L_s B \frac{(1 + \sqrt{1 + m^2})^{\frac{5}{3}}}{h(0.5b)^{\frac{5}{3}}} \right]^2 \tag{8}$$

3 路表横向容许沉降差控制指标分析

降落在路表的水必须依靠一定的路表横坡才能快速汇集至路肩排水通道,再经排水通道排出。而道路为梯形结构,在自重等因素的作用下,填筑材料及地基会发生变形,在路表形成盆式变形^{[10][31]}(见图2),即路表中心变形量大,路表两侧变形量小,从而造成路表横坡度变小,当变小至一定程度时,将影响路表汇水及排水能力。其中,路表中心变形与路表边缘变形的差值即为路表横向沉降差,路表横向沉降差与路表半幅宽度 B (单坡路段为全幅宽度)的比值定义为横向变坡率,亦为路表变形前后的横向坡度变化值;由于不同道路路表宽度不同,用横向变坡率做为沉降差控制指标更准确。

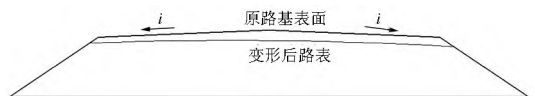


图2 路表盆式沉降

Fig. 2 Road surface settlement in basin shape

集中截流式路表排水系统主要包括路表坡面汇水与三角形排水通道两部分组成。参照《公路排水设计规范》(JTJ 018-1997),降雨历时一般应取设计控制点的汇流时间,其

值为由汇水区最远点到排水设施处的坡面汇流历时与在沟或管内的沟管汇流历时之和。因此,若确保路表集中截流式排水系统正常运行,应当确保路表坡面汇水时间 t_1 与三角形排水通道汇水时间 t_2 之和并不大于设计汇水时间 $t^{[14]}$, 由此推导计算出路表横向容许变坡率。

路表坡面汇水时间计算如下:

$$t_1 = 1.445 \left[\frac{m_1 L_s}{\sqrt{i_s}} \right]^{0.467} \quad (9)$$

式中: t_1 为路表坡面汇水时间 (min); L_s 为路表泄水口之间的距离 (m); i_s 为汇水坡面坡度, 即路表横坡; m_1 为地表粗糙度系数。

$$t_2 = \frac{l}{60v} \quad (10)$$

式中: t_2 为三角形排水通道汇水时间 (min); l 为三角形排水通道长度 (m); v 为三角形排水通道水流平均流速 (m/s)。

三角形排水通道水流平均流速计算如下:

$$v = 20i_g^{0.6} \quad (11)$$

式中: i_g 为三角形排水通道坡度, 即纵坡。

若确保路表集中截流式排水系统正常运行, 应满足如下条件:

$$t_1 + t_2 \leq t \quad (12)$$

式中: t 为设计汇水时间。

由式 (9) - 式 (12) 联立可得排水通道横向坡度最小值 $i_{s \min}$ 为

$$i_{s \min} = \left[\left(\frac{m_1 L_s}{1.445} \right)^{2.141} \right]^2 \quad (13)$$

路表设计横向坡度为 i_h , 则路表横向容许沉降差控制指标, 即路表横向容许变坡率 Δi_{hs} 为

$$i_{hs} = i - i_{s \min} = i - \left[\left(\frac{m_1 L_s}{1.445} \right)^{2.141} \right]^2 \quad (14)$$

4 工程示例

某高等级公路路基宽度 26 m, 中筒带宽 2.0 m; 路面设计纵坡为 0.3%, 横坡为 2%; 沿路线方向每 50 m 设置一急流槽; 该地区降雨强度为 2.1 mm/min; 路面径流系数 $\Psi = 0.95$; 汇水时间 3 min。粗糙系数 $n = 0.015$; $h = 0.03$ m, $m = 1.5$ 。

将以上数据代入式 (8) 得 $I = 0.08\%$, 则路表纵向容许变坡率 $\Delta i_{zs} = 0.3\% - 0.08\% = 0.22\%$ 。

将以上数据代入式 (14) 得 $i_{s \min} = 1.24\%$, 则路表横向容许变坡率: $\Delta i_{hs} = 2\% - 1.24\% = 0.76\%$ 。

5 结论

(1) 构建了路表集中截流式排水水力模型, 定性分析了路表横向和纵向沉降差对该排水模型宣泄能力的影响, 推导出了路表横向和纵向容许变坡率计算公式, 并以此作为集中截流式排水道路路表沉降差控制指标。

(2) 按照本文推导出的公式计算了基于排水要求的示例道路路表工后沉降差控制标准; 在该道路条件下横向和纵向容许变坡率分别为 0.76% 和 0.22%; 而对不同区域及不同等级道路, 应根据道路结构参数及所处地域气象特征代入本文推导公式进行计算确定, 这样更加客观和准确。

确立合理的路表横向和纵向沉降差控制指标, 能够为地

基处治方案和路基设计以及路基填筑变形控制提供依据, 也为路面排水设计提供参考。

参考文献 (References):

- [1] 唐娟. 路基沉降机理与超限沉降标准的研究[D]. 西安: 长安大学, 2003. (TANG Xian. Research on settlement of embankment mechanism and the most differential settlement index value [D]. Xi'an: Chang'an University, 2003. (in Chinese))
- [2] 傅珍, 王选仓, 陈星光, 等. 拓宽道路工后差异沉降控制标准[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2008, 28(5): 10-13. (FU Zhen, WANG Xuancang, CHEN Xingguang, et al. Controlling criterion of differential settlements after widening expressway [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2008, 28(5): 10-13. (in Chinese))
- [3] 高力侠. 山区高速公路差异沉降控制技术研究[D]. 西安: 长安大学, 2004. (GAO Lixia. Study on the controlling technology of differential settlement in mountain's expressway [D]. Xi'an: Chang'an University, 2004. (in Chinese))
- [4] JTG D30-2004, 公路路基设计规范[S]. (JTG D30-2004, Specifications for design of highway subgrades [S]. (in Chinese))
- [5] 白建国, 朱海. 初期径流雨水工程截流措施及效果初探[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(4): 215-217. (BAI Jianguo, ZHU Hui. Preliminary analysis of interception measures on initial rainwater runoff [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2013, 11(4): 215-217. (in Chinese))
- [6] 邓学钧. 路基路面工程[M]. 三版. 北京: 人民交通出版社, 2009. (DENG Xuejun. Roadbed and pavement project [M]. third edition. Beijing: China Communication Press, 2009. (in Chinese))
- [7] JTJ 018-1997. 公路排水设计规范[S]. (JTJ 018-1997. Specifications of drainage design for highways [S]. (in Chinese))
- [8] 闫强, 刘保健, 支喜兰. 高速公路路堤地基处治标准研究[J]. 广西大学学报, 2012, 37(4): 723-730. (YAN Qiang, LIU Baojian, ZHI Xilan. Research on the standard of foundation treatment for highway subgrade [J]. Journal of Guangxi University: Nat Sci Ed, 2012, 37(4): 723-730. (in Chinese))
- [9] JTG B01-2003. 公路工程技术标准[S]. (JTG B01-2003. Technical standard of highway engineering [S]. (in Chinese))
- [10] 单丽岩, 侯相深, 马松林. 行车舒适性路面不平度评价标准[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2008, 40(4): 935-938. (SHAN Liyan, HOU Xiangshen, MA Songlin. Evaluation standard of pavement roughness based on ride comfort [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2008, 40(4): 935-938. (in Chinese))
- [11] W Liu, T F Fwa, Z Zhao. Wavelet analysis and interpretation of road roughness [J]. Journal of Transportation Engineering, 2005, 131(2): 120-130.
- [12] JTG H20-2007. 公路技术状况评定标准[S]. (JTG H20-2007. Highway Performance Assessment Standards [S]. (in Chinese))
- [13] 宋永刚, 谭英. 基于 Matlab 分析的路面平整度控制方法[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2006, 26(7): 90-93. (SONG Yonggang, TAN Ying. Pavement roughness control method based on Matlab [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2006, 26(7): 90-93. (in Chinese))
- [14] 王遵娅, 丁一汇. 中国雨季的气候学特征[J]. 气象学报, 2008, 32(1): 1-13. (WANG Zunya, DING Yihui. Climatic characteristics of rainy seasons in China [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2008, 32(1): 1-13. (in Chinese))