

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2020.12.031

基于 63 雨型的透水路面非饱和渗流分析及排水性能研究

朱广安^{1,2}

(1.上海市水利工程设计研究院有限公司,上海市 200061; 2.上海滩涂海岸工程技术研究中心,上海市 200061)

摘要:针对上海地区的排水性沥青路,采用非饱和渗流理论,基于上海地区典型长历时 63 雨型 24 h 降雨强度,对道路断面进行降雨入渗数值模拟。计算分为稳态流、降雨瞬态流和排水瞬态流三个阶段,分析了降雨强度、道路宽度、道路横坡三个因素对道路排水性能的影响,对今后上海地区排水性沥青路面设计具有一定的借鉴意义。

关键词:排水性沥青路面;非饱和渗流;排水性能;63 暴雨雨型

中图分类号: TU992

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2020)12-0112-04

0 引言

上海市位于沿海地区,处于太湖流域下游,夏秋两季台风伴随天文大潮共同影响,出现风、暴、潮“三碰头”严峻局面时,降雨历时长、雨量大,内外河水位居高不下。另外,随着上海城市化进程飞速发展,道路、广场、房屋建筑等硬质铺装阻隔了城市下垫面对雨水径流的渗透,致使城市自流排水困难,城市内涝积水严重。

为改善城市的不透水铺装现状,减轻城市管网负担,增加降雨期间雨水径流对地下水的补给,2015年11月11日上海市人民政府办公厅发布《关于贯彻落实〈国务院办公厅关于推进海绵城市建设的指导意见〉的实施意见》(沪府办〔2015〕111号),其中明确提出大力推进海绵型道路建设,鼓励地面道路采用透水沥青路面,新建或改建人行道透水铺装率分别不低于 50%和 30%,新建或改建专用非机动车道透水铺装率分别不低于 40%和 20%^[1-2]。

透水沥青路面是指较大空隙混合料作为路面结构层,允许路表水进入路面的一类路面结构的总称。根据其透水特点与渗流路径,可以分为以下三种类型^[3]:表层排水式路面,即路表面作为透水功能层,下设封层,路表水进入路面后由面层排出并引到邻近排水设施;半透水路面,即面层和基层均具有透水能力,路表水进入路面后由基层排出并引进到邻近排水设施;全透式路面,即整个路面结构都具有良好的透水性,路表水进入路面后直

接进入路基。

1 工程概况

“绿色青浦,上善之城”,青浦是上海水文化和古文化的发祥地。随着“长三角绿色生态一体化”区域发展,青浦区政府打造集“防洪排涝、滨水景观、文化旅游、休闲娱乐、城市形象”于一体的城市水系公园,使青浦新城成为具有“水乡文化”和“历史文化”内涵的生态宜居城区。

设计方案充分借鉴黄浦江岸线贯通的理念,还水于民,还岸线于民。通过功能复合,新建贯通内外两环约 43 km 的滨水绿道,利用防汛通道串联沿河滨水景观节点,打造一条居民休闲亲水步道,让 30 万市民生活在公园里,享受水环境治理的成果。

青浦区环城水系公园 43 km 滨水防汛通道采用表层排水式路面,本文基于上海典型长历时 63 雨型,对工程采用的表层排水式路面进行非饱和渗流分析,研究降雨强度、路面宽度、路面横坡对其排水性能的影响,为上海后续滨水防汛通道排水路面设计提供选择和参考。

2 模型建立

2.1 道路断面

路面结构层采用上海地区常规的排水性沥青路面结构层^[4]:道路面层采用 4 cm 厚 OGFC-13 透水沥青混凝土+7 cm OGFC-20 透水沥青混凝土,基层为 20 cm 水泥稳定碎石,底基层 15 cm 水泥稳定砂砾,土基为砂质壤土。

2.2 水土特性曲线

本文采用 Van Genuchten(V-G)模型四参数

收稿日期:2020-04-30

作者简介:朱广安(1989—),男,硕士,工程师,从事水利工程咨询设计工作。

模型用以推算土体含水量与基质吸力之间的关系。非饱和土体含水量与基质吸力之间的幂函数形式的关系式如下^[5]：

$$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = F(\varphi) = \frac{1}{[1 + (\varphi/\alpha)^n]^m} \quad (1)$$

2.3 水力传导系数

本文采用 Fredlund 渗透系数预测模型，通过沿整个体积含水量函数进行积分即可得到渗透系数函数，一般的有限元程序中假设残余含水量为饱和含水量的 10%，整个基质吸力范围为 0~106 kPa，其控制方程为^[6]

$$k_w = \frac{k_s [1 - (\alpha\psi)^{n-1}] (1 + (\alpha\psi)^n)^{-m}}{[1 + (\alpha\psi)^n]^{m/2}} \quad (2)$$

材料参数取值见表 1。

表 1 材料参数取值

材料	参数				
	$K_s / (\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	$\theta_r / \%$	$\theta_s / \%$	a	n
OGFC-13	0.766	0.030	0.12	0.013	1.09
OGFC-20	1.208	0.035	0.2	0.013	1.09
水泥稳定碎石	1.22×10^{-4}	0.065	0.15	0.01	1.21
水泥稳定砂砾	5.22×10^{-4}	0.075	0.15	0.01	1.18
砂质壤土	3.6×10^{-6}	0.08	0.18	0.035	1.32

2.4 降雨雨型

选取上海地区 63 雨型进行排水性能分析。63 雨型为平均雨量较大的典型暴雨雨型，降雨历时—降雨强度如图 1 所示，见表 2。

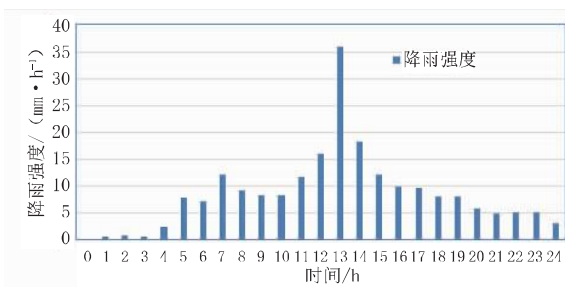


图 1 63 雨型降雨过程图

表 2 模型验证雨型

1	2	3	4	5	6	7	8
0.61	0.81	0.61	2.25	7.57	6.95	11.86	9.0
9	10	11	12	13	14	15	16
7.97	9.0	11.25	15.3	36.0	18.0	12.0	9.61
17	18	19	20	21	22	23	24
9.41	8.18	7.77	5.72	4.70	4.91	3.06	1.8

3 不同降雨强度下排水性沥青路面的雨水入渗分析

3.1 雨水入渗分析

取 63 雨型进行分析，由计算结果可知，在降雨的初期表面层体积含水量变化不大，随着雨水入渗，材料颗粒之间的基质吸力达到进水值，体积含水量迅速增大，随着降雨持续入渗，体积含水量达到一定值后不变。

入渗过程为 0~4 h，降雨入渗，路面结构上无积水；降雨 5~6 h 后，路面表层开始积水；降雨 12~13 h 后，道路表层积水达到峰值，约为 300 mm；随着暴雨强度减小，路面结构中水以漫流的形式排出，水位逐渐降低，在 17~24 h 后，路面已无积水。不同降雨历时路面结构水位示意图如图 2 所示。

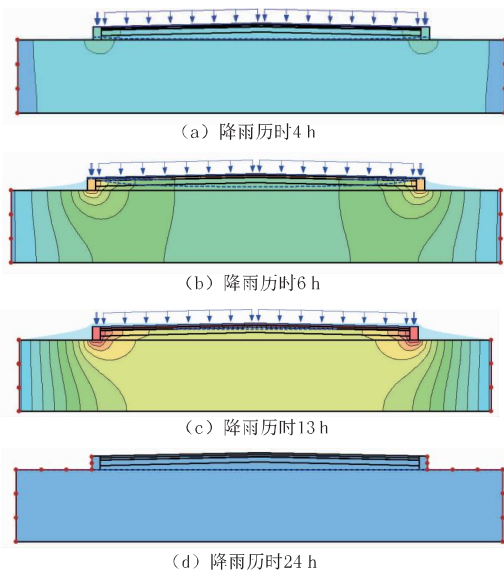


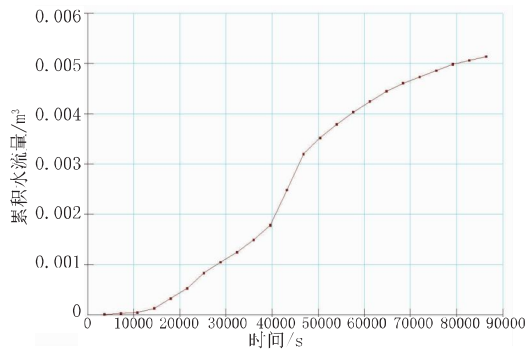
图 2 不同降雨历时路面结构水位示意图

3.2 路面宽度对水流入渗分析影响

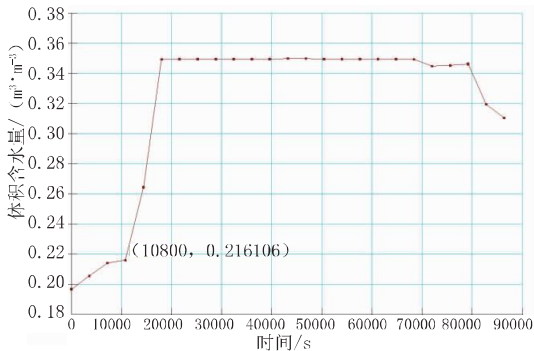
为研究路面宽度对水流入渗的影响，横坡坡比取 0。分别取路面宽 12 m、18 m、24 m、30 m 四种工况进行计算分析。取半幅路进行计算分析，基于路面结构的对称性，两幅路中心线处交界面没有水流交换，即此边界设定为流量 $Q=0$ 。

当半幅路面宽度为 6 m 时，计算模型及路面结构水位及路面积水深度如图 3、图 4 所示。路面结构从 5 h 后开始积水，13 h 时达到最大，峰值强度为 204 mm，在 13 h 时其累计水流量速率最快，最大累计水流量在 24 h 时约为 0.005 m^3 ；5 h 时路面材料体积含水率达到了峰值，上面层已趋于饱和状态。这时由于降雨强度 q 大于面层的渗透系数 k_s ，绿化带内雨水入渗量由降雨强度控制，此时路面结构不再储存，雨水在路面漫流。

半幅路面宽度为 6 m、9 m、12 m、15 m 时，路

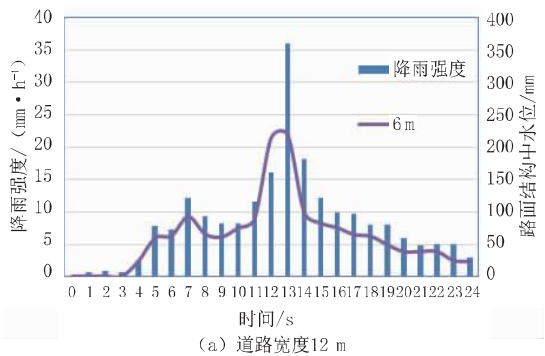


(a) 绿化带内雨水入渗总量

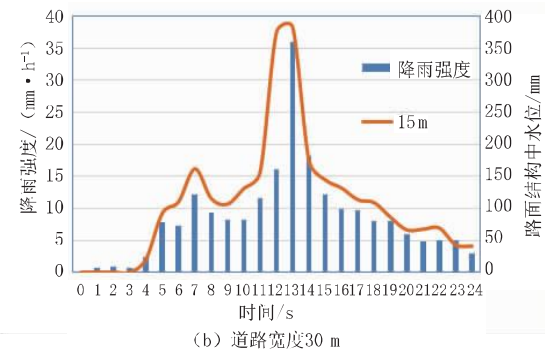


(b) 路面结构体积含水量

图3 63雨型道路宽度12m、道路横坡0%时半幅路面降雨量示意图



(a) 道路宽度12 m



(b) 道路宽度30 m

图4 63雨型半幅路面结构水位示意图

面结构层内水位峰值分别为204 mm、304 mm、390 mm、458.8 mm, 累积最大水流量均约为0.0051 m³ (见图5)。不同宽度路面结构水位随着降雨强度变化趋势基本相同, 但不同宽度路面水位峰值差距较大, 整体情况随着路面宽度增加, 水位峰值升高, 路面越宽水越难排出。

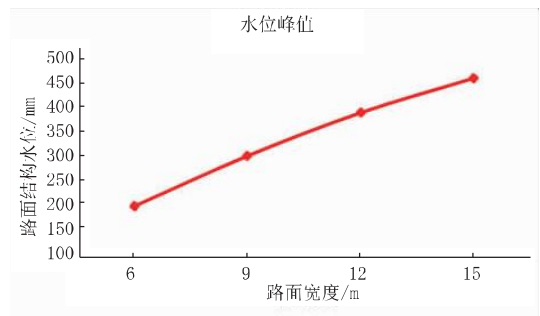
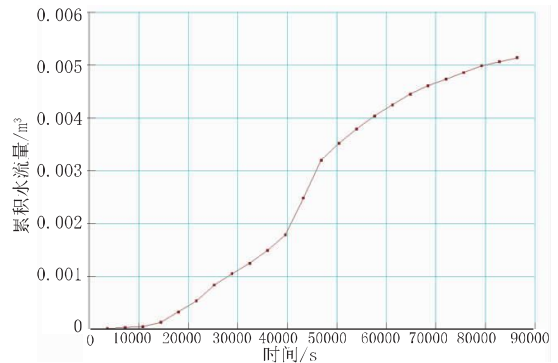


图5 63雨型下不同路面宽度水位峰值图

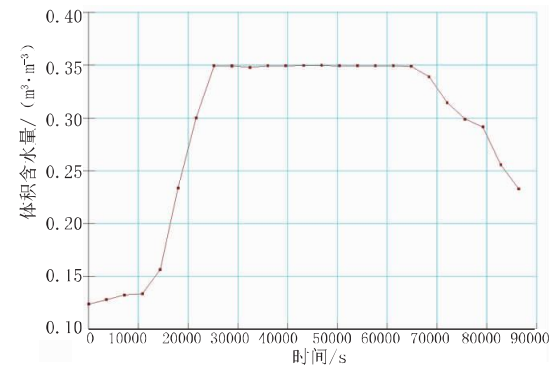
3.3 路面横坡坡比对水流入渗分析影响

为研究道路横坡坡比对水流入渗的影响, 固定路宽为12 m, 分别取路面横坡比为0.5%、1%、1.5%、2%四种工况进行计算分析。

如图6、图7所示, 通过体积含水量曲线可看出, 横坡坡比为2%的开始排水时间短于横坡坡比为0的情况, 且排水时间亦小于无坡比情况。从图上看总排水量无显著变化。



(a) 绿化带内雨水入渗总量



(b) 路面结构体积含水量

图6 63雨型道路宽度12m、道路横坡2%时半幅路面降雨量示意图

当路面横坡坡比分别为0.5%、1%、1.5%、2%时, 路面结构路面水位峰值分别为390 mm、363.2 mm、333.8 mm、290 mm, 累积最大水流量均约为0.0051 m³ (见图8)。不同横坡坡比情况下, 路面结构水位随着降雨强度变化趋势基本相同, 随着横坡坡比增加, 水位峰值降低, 即路面积水随坡道排出。

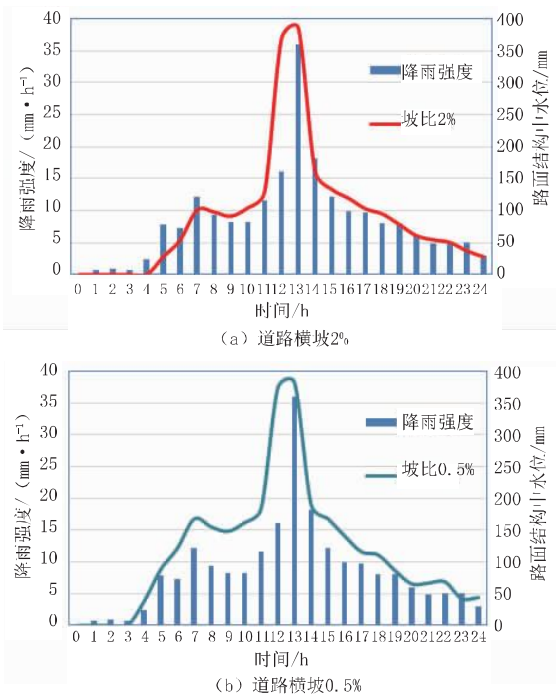


图7 63雨型半幅路面结构水位示意图

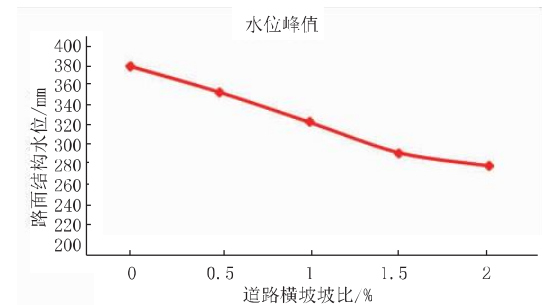


图8 63雨型下不同横坡水位峰值图

4 结 语

本文基于上海地区典型长历时63雨型的24h

(上接第86页)

梁挠度由72 mm降低到49 mm,可以明显降低主梁的挠度情况。

6 结 语

本文针对存在主梁抗弯能力不足、墩梁刚结不合理等问题的人行天桥,提出一种采用UHPC和改善结构体系的方法,结论如下:

(1)老桥多跨连续刚性固结墩的支承方式,不利于结构受力,会引起刚结墩顶开裂。

(2)将老桥多跨连续刚性固结墩的支承方式调整为刚性墩+固定支座+滑动支座的支撑方式,能有效改善结构内力状态。

(3)采用UHPC对钢结构人行天桥铺装层进行

降雨强度,采用非饱和渗流理论,对排水性沥青路面常规道路断面进行降雨入渗数值模拟。计算分为稳态流、降雨瞬态流和排水瞬态流三个阶段,模拟道路断面结构降雨入渗情况,分析了降雨强度、道路宽度、道路横坡三个因素对道路排水性能的影响,结论如下:

(1)雨水降落在道路表面,首先以竖直流速快速渗入面层,遇到隔水封层的阻隔后,变为沿横坡方向。随着时间的延续,路面面层存储雨水达到饱和和状态,雨水以漫流的形式沿着横坡排出。

(2)路面结构排水性能在不同降雨强度下随道路宽度的变化规律相同:路面越宽,路面结构水位峰值越高,说明路面排水难度随着路面宽度增加而增加。

(3)路面结构排水性能在不同降雨强度下随道路横坡的变化规律相同:路面横坡越大,路面结构水位峰值越低,说明路面排水难度随着路面横坡坡比增加而减少。

参考文献:

[1] CJJ/T 190—2012, 透水沥青路面技术规程[S].
 [2] DG/TJ 08—2074—2016, 道路排水性沥青路面技术规程[S].
 [3] 董祥,沈正.我国城市道路透水路面建设的工程选址与类型选择分析[J].甘肃农业大学学报,2010,45(3):145-150,160.
 [4] 诸永宁.排水性沥青路面排水性能研究与排水设施的设计[D].南京:东南大学,2004.
 [5] 刘明.路面结构排水特性的非饱和渗流数值模拟与分析[D].长沙:湖南大学,2007.
 [6] 蒋玮,沙爱民,肖晶晶,等.透水沥青路面的储水渗透模型与效能[J].同济大学学报(自然科学版),2013,41(1):72-77.

改造,可以在减轻结构自重的同时,明显改善主梁抗弯承载能力,改善主梁下挠状况。

(4)UHPC对钢结构人行天桥的维修加固技术的发展有一定的促进作用。

至于钢结构人行桥常出现的人桥振动问题,无法通过本文所述方式得到改善。如需减少人桥振动,需要采取专项的减振措施,提高体系阻尼,此方面内容将在后续相关论文中进一步展开。

参考文献:

[1] 余凤翔.城市人行天桥设计上几个问题的探讨[J].城市道桥与防洪,2004(2):29-32.
 [2] 陈宝春,季韬,黄卿维,吴怀中,丁庆军,詹颖雯.超高性能混凝土研究综述[J].建筑科学与工程学报,2014,03(3):78-81.