

排水性沥青路面径流控制效果分析

陈亚杰

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 近年来随着海绵城市建设的不断推进和城市道路对抗滑、降噪等功能的要求,大量排水性沥青路面被用于高等级道路。排水性沥青路面的主要功能是提高行车安全性,降低交通事故,但在海绵城市建设中应同时考虑其对雨水径流的控制效应。为明晰排水性沥青路面的径流控制效能,通过计算模拟分析该路面在不同降雨强度、透水层厚度、透水沥青混合料空隙率等条件下的路表径流产生情况,分析了上述参数变化对路表径流产生情况的影响,提出了排水性沥青路面与排水设施的衔接要求和考虑经济性的径流总量控制提升方法。所作研究对保障设计降雨条件下的路表径流控制和优化排水性沥青路面设计具有重要作用。

关键词: 排水性沥青路面;路表径流;暴雨条件;径流控制;交通安全

中图分类号: U414;TU997

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2026)02-0241-04

Analysis on Runoff Control Effect of Drainage Asphalt Pavement

CHEN Yajie

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: In recent years, with the continuous promotion of sponge city construction and the requirements for anti-skid and noise reduction functions on urban roads, a large number of drainage asphalt pavements have been applied to high-grade roads. The main functions of these pavements are to improve the driving safety and reduce the traffic accidents. However, the control effect on rainwater runoff should be taken into consideration simultaneously in the construction of sponge cities. In order to clarify the runoff control efficiency of drainage asphalt pavements, by calculating, simulating and analyzing the surface runoff generation of drainage asphalt pavement under the conditions of different rainfall intensities, thickness of the permeable layer and porosity of the permeable asphalt mixture, the impact of the above parameter changes on surface runoff generation is analyzed. The requirements for the connection between drainage asphalt pavement and drainage facilities and the methods for improving the total runoff control considering economy are proposed. The research conducted plays a significant role in ensuring the control of surface runoff under designed rainfall conditions and optimizing the design of drainage asphalt pavement.

Keywords: drainage asphalt pavement; road surface runoff; rainstorm conditions; runoff control; traffic safety

0 引言

排水性沥青路面因在控制雨水径流、降低噪声、增强抗滑性能以及缓解雨天眩光等方面具有显著优势,近年来已被广泛应用于高速公路、城市高架快速路和主干道等高等级道路。其排水主要通过透水沥青表面层下渗后进入边缘排水系统,进而排入城市排水系统,故在海绵城市建设中对其径流控制效果

几乎忽略不计,其配套排水系统的设计也未与降雨条件匹配,主要通过经验来配置边缘排水系统中的透水管管径。本文通过研究,确定了透水沥青材料空隙率、集水管管径、降雨条件与路表径流的产生关系,对提高排水性沥青路面的设计水平具有重要意义^[1-6]。

1 排水性沥青路面渗流模型

1.1 模型建立

在海绵城市建设中,一般采用径流总量控制率来表征海绵设施对雨水径流的管控水平。在《海绵城市建设技术标准》(DG/T J08-2298—2019)中,给出了不同径流总量控制率条件下对应的设计降雨量,但是此值为定值,无法确定降雨历时线。故本研究

收稿日期: 2025-11-12

基金项目: 上海市科技创新行动计划(23DZ1202101; 23DZ1202805);上海市住房和城乡建设管理委员会科研项目计划(沪建科 2024-Z02-009);上海市交通委员会科研项目(JT2025-KY-017)

作者简介: 陈亚杰(1986—),男,硕士,高级工程师,从事道路交通工程研究工作。

采用上海暴雨强度公式来计算降雨过程,雨型采用芝加哥雨型,雨峰位置 $r=0.4$ 。

1.2 模型确定

在降雨条件下,排水性沥青路面的表面层材料初期处于干燥状态,雨水接触面层材料后由于重力和毛细管力进入混合料内部,使路表变得黑亮,这个过程称为透水沥青混合料的吸附过程。根据试验结果,透水沥青混合料的吸附能力与空隙率呈正相关关系,表达式为^[7-8]:

$$\alpha = 0.0422\varepsilon + 0.6994 \tag{1}$$

式中: α 为水附着率,%; ε 为空隙率,%。

排水性沥青路面边缘设有排水系统,一般采用小管径的弹簧管或穿孔管作为集水管,当雨水填满透水沥青混合料空隙后,雨水通过集水管顺着纵坡排入下游的城市雨水系统。所排雨水的流动状态根据其在集水管中的高度不同而不同。

排水性沥青路面集水管管径一般为50~100 mm,当路面结构中水位高度 H 小于集水管直径 d 的1.5倍时,雨水在集水管中属于自由流,排水量 $Q(\text{mm}^3)$ 为^[9-10]:

$$Q = 1.66 \frac{d}{2} H^2 \tag{2}$$

当路面结构中水位高度 H 大于集水管直径 d 的1.5倍时,雨水在集水管中属于压力流,排水量 Q 为^[9-10]:

$$Q = \mu\varphi \sqrt{2gH_0} \tag{3}$$

式中: φ 为流速系数,取值为0.97; μ 为孔口的流量系数,取值范围为0.60~0.62; H_0 为集水管中心线以上水位高度, $H_0 = H - \frac{d}{2}$ 。

2 排水性沥青路面径流控制性能分析

排水性沥青路面的主要功能是降噪和小雨天气路表不积水,仅表面层具有透水、储水作用。当表面透水铺装材料厚度、空隙率和集水管管径不同时,在不同降雨强度、降雨时间条件下其防产流性能如何,需要进行相关的计算研究。

排水性沥青路面结构及材料参数见表1^[11-15]。

本次计算设计暴雨重现期分别取1、3、4、5、10 a一遇标准;降雨历时取120 min;透水铺装材料厚度和空隙率按表1选取;计算内容为步长取5 min时各时段的降雨量,以及对应的路面结构内水位、路表径流量和集水管内的排水量。路面宽度定为20 m,

表1 排水性沥青路面结构及材料参数

材料	厚度/mm	设计空隙率/%		
PAC-13	20	10	15	20
PAC-13	40			20
PAC-13	60			20
AC-20	60	4	4	4
AC-25	80	4	4	4
半刚性上基层	180			
半刚性下基层	180			
级配碎石垫层	150			

出水口间距定为20 m,边缘排水系统的集水管直径分别取5、8、10 cm;由于上海道路坡度较小,坡度取5‰。

2.1 透水层厚度与路面径流控制水平的关系

进行此项计算时,排水性沥青路面透水层厚度分别取20、40、60 mm;设计暴雨重现期取3 a,降雨历时取120 min,集水管直径取5 cm。上述条件下,路面结构的渗透能力和路表产流情况计算结果见图1至图4。

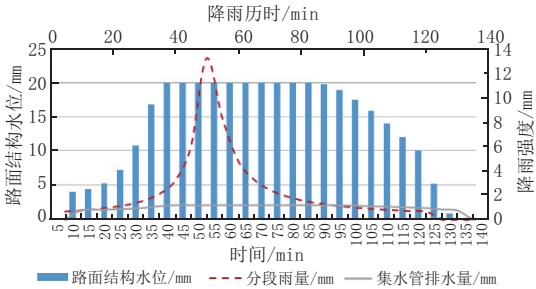


图1 厚20 mm透水层降雨产流数据

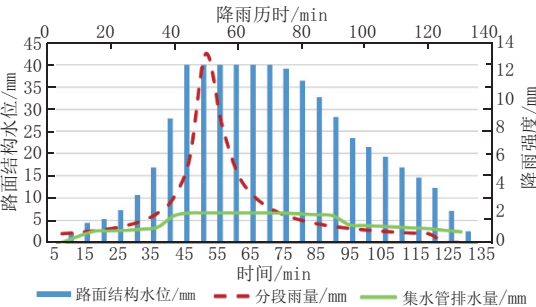


图2 厚40 mm透水层降雨产流数据

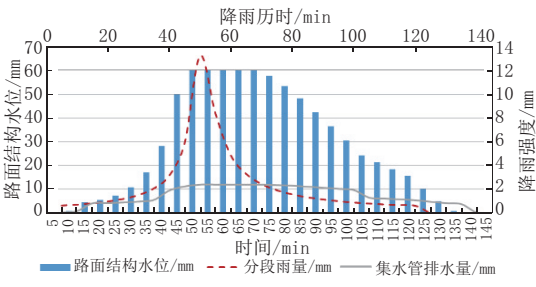


图3 厚60 mm透水层降雨产流数据

由图1至图3可见:当表面透水层厚度为20~60 mm、设计暴雨重现期为3 a时,在降雨历时120 min

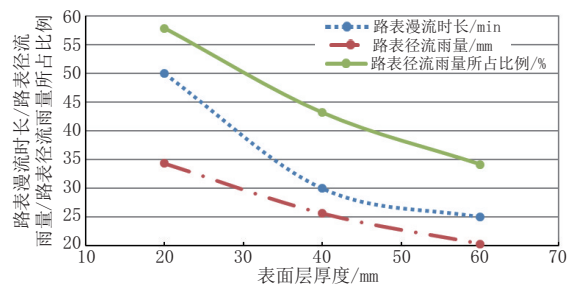


图4 透水层厚度与路面径流关系

在整个降雨过程中,路面结构内水位随着降雨强度的变化和降雨历时的推移,呈现出先增大后减小的趋势,暴雨强度在第 50 min 出现峰值;当透水层厚度为 20 mm 时,第 35 min 路表开始产生径流,85 min 后雨水径流停止,径流时长约 50 min,径流雨量为 34.37 mm,径流控制比例为 42.1%;当透水层厚度为 40 mm 时,第 40 min 路表开始产生径流,70 min 后雨水径流停止,径流时长约 30 min,径流雨量为 25.65 mm,径流控制比例为 56.8%;当透水层厚度为 60 mm 时,第 45 min 路表开始产生径流,70 min 后雨水径流基本停止,径流时长约 25 min,径流雨量为 20.35 mm,径流控制比例为 65.8%。

由图 4 可见,随着透水层厚度的增加,路表径流量和径流时长均呈下降趋势,但是由于排水性沥青路面储水层太薄,不能避免暴雨条件下表面径流的产生。

2.2 材料空隙率与路面径流控制水平的关系

进行此项计算时,排水性沥青路面的透水沥青混合料空隙率分别取 10%、15%、20%;透水层厚度取 40 mm,设计暴雨重现期取 3 a,降雨历时取 120 min,集水管直径取 5 cm。上述条件下,路面结构的渗透能力和路表产流情况计算结果见图 5 至图 8。

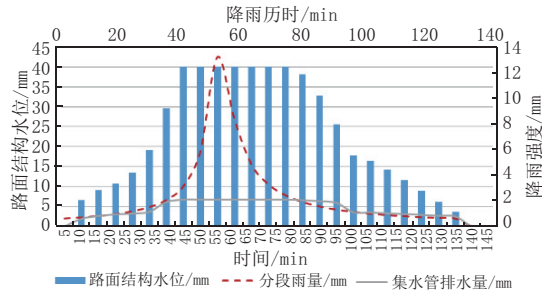


图5 10%空隙率面层降雨产流数据

由图 5 至图 7 可见:在设计暴雨重现期为 3 a 的条件下,暴雨强度在第 50 min 出现峰值;当透水沥青材料空隙率为 10% 时,第 35 min 路表开始产生径流,70 min 后雨水径流基本停止,径流时长约 35 min,径流雨量为 26.728 mm,径流控制比例为 55%;当透

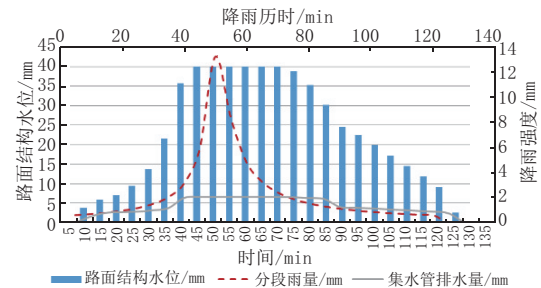


图6 15%空隙率面层降雨产流数据

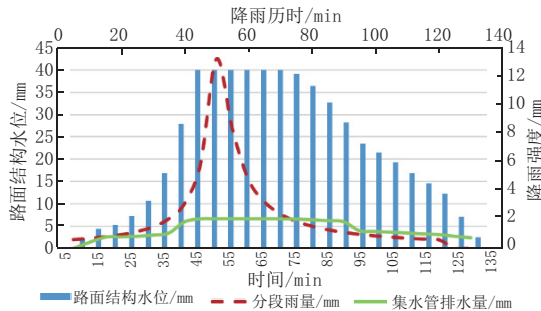


图7 20%空隙率面层降雨产流数据

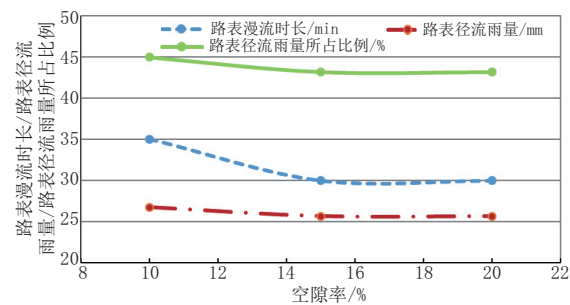


图8 排水层材料空隙率与路面径流关系

水沥青材料空隙率为 15% 时,第 40 min 路表开始产生径流,70 min 后雨水径流基本停止,径流时长约 30 min,径流雨量为 25.65 mm,径流控制比例为 56.8%;当透水沥青材料空隙率为 20% 时,第 40 min 路表开始产生径流,70 min 后雨水径流停止,径流时长约 30 min,径流雨量为 25.65 mm,径流控制比例为 56.8%。

由图 8 可知,透水沥青混合料空隙率由 10% 增加到 20% 时,路面径流产生的时长逐渐缩短,路面径流量及其所占总降雨量的比例均呈下降趋势。

2.3 集水管管径与路面径流控制水平的关系

进行此项计算时,排水性沥青路面边缘排水系统集水管管径分别取 5、8、10 cm;透水层厚度取 40 mm,降雨条件与前 2 项相同。上述条件下,路面结构的渗透能力和路表产流情况计算结果见图 9 至图 12。

由图 9 至图 11 可见:在设计暴雨重现期为 3 a 的条件下,暴雨强度在第 50 min 出现峰值;当集水管管径为 5 cm 时,第 40 min 路表开始产生径流,70 min 后

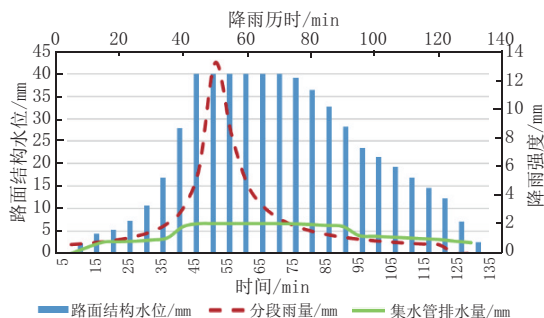


图9 集水管管径为5 cm时降雨产流数据

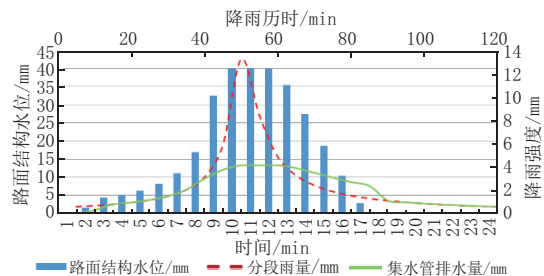


图10 集水管管径为8 cm时降雨产流数据

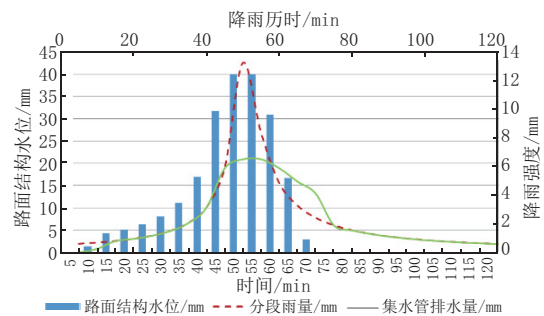


图11 集水管管径为10 cm时降雨产流数据

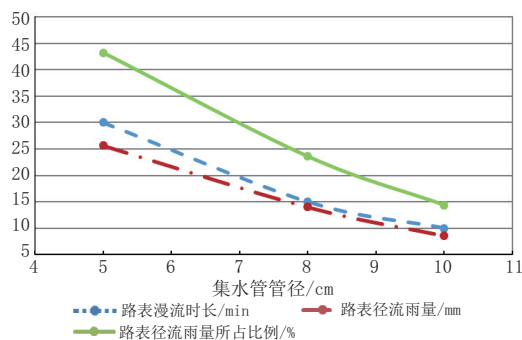


图12 集水管管径与路面径流关系

雨水径流基本停止,径流时长约30 min,径流雨量为25.65 mm,径流控制比例为56.8%;当集水管管径为8 cm时,第45 min路表开始产生径流,60 min后雨水径流基本停止,径流时长约15 min,径流雨量为14.00 mm,径流控制比例为76.4%;当集水管管径为10 cm时,第45 min路表开始产生径流,55 min后雨水径流基本停止,径流时长约10 min,径流雨量为8.55 mm,径流控制比例为85.6%。

由图12可见,随着集水管管径的增大,路表径流雨水总量与时长呈线性下降关系。

2.4 暴雨重现期与路面径流控制水平的关系

进行此项计算时,设计暴雨重现期分别取1、3、4、5、10 a一遇标准;排水性沥青路面的透水沥青混合料空隙率取20%,透水层厚度取40 mm,降雨历时取120 min,集水管直径取5 cm。上述条件下,路面结构的渗透能力和路表产流情况计算结果与前述项目相似。其中,不同暴雨重现期下的路面径流情况如图13所示。

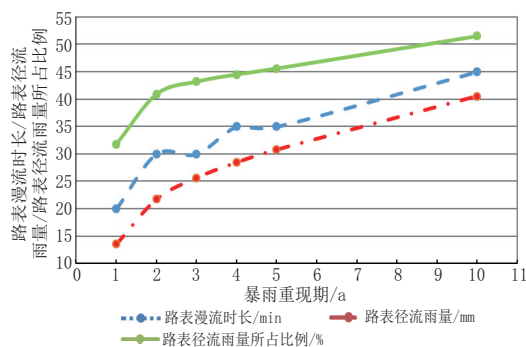


图13 暴雨重现期与路面径流关系

由图13可见,随着暴雨重现期的增加,无论路表径流雨水的总量、时长,还是径流雨量占总降雨量的比例均呈直线增长趋势,径流控制比例下降。根据《室外排水设计标准》(GB 50014—2021),不同城镇类型和区域雨水管渠设计采用不同的设计重现期,因排水性沥青路面的边缘排水系统需与下游城市雨水管渠衔接,故在实际工程中暴雨重现期在计算时可与雨水管渠的标准保持一致。

3 结 语

(1)路表径流产生模拟计算结果显示,在3 a一遇暴雨条件下虽会产生路表径流,但是在前后期降雨强度较低时,排水性沥青路面也可实现路表无径流产生。

(2)排水性沥青路面由于蓄水层厚度较小,故在暴雨条件下无法对径流控制产生较大影响。为避免路表径流的产生,需保障集水管下游排水系统的通畅。

(3)透水层厚度、透水材料空隙率和集水管管径的增加,均能提升排水性沥青路面的径流控制水平。几种措施中:增加材料空隙率仅需调整材料级配而无需增加经济成本;边缘排水系统中5~10 cm管径的柔性透水管价格仅为2元/m左右,对道路建设总体成本影响较小;而透水沥青混合料造价为1 500~1 700元/t,其厚度增加将带来较大的经济成本。因此,应优先考虑采用较大的透水沥青材料空隙率和

(下转第260页)