

多雨地区透水路面设计关键因素研究及应用

邓广辉,林俊勇,陈海斌

(广东省建筑设计研究院集团股份有限公司,广东 广州 510010)

摘 要: 透水路面作为海绵城市的关键措施,能有效减轻城市排水负担,降低噪声,并提升道路安全。多雨地区因其雨量丰富,需因地制宜开展透水路面设计。研究指出,透水路面性能受结构特性、材料特性和排水系统三大因素影响,这些因素决定了路面的结构强度、排渗水方式、排水效率和耐久性等。因此,透水路面设计应针对具体需求和环境进行优化,以增强其功能和耐用性,并促进雨水资源的合理利用。依托关键因素,研究提出了一种适用于多雨地区的新型透水路面类型,并利用无明显地表径流极限降雨强度计算公式对该路面结构的排水性能进行了验算,表明设计单层或双层排水沥青路面能满足大雨或暴雨情况下无明显径流的功能使用要求。

关键词: 海绵城市;透水路面设计;关键因素;多雨地区;排水性能验算

中图分类号: U416.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)11-0074-05

0 引 言

海绵城市的建设对缓解城市内涝发挥着重要作用,根据《住房和城乡建设部办公厅关于进一步明确海绵城市建设有关要求的通知》(建办城〔2022〕17号)相关要求^[1],强调海绵城市建设的系统性,通过因地制宜的项目设计,充分发挥河湖、绿地、道路、建筑等对雨水的吸纳和缓释作用,提升城市蓄渗水的能力,促进城市水循环系统可持续发展。

透水路面作为生态环保型道路结构,是海绵城市建设的重要措施,它具有以下特点和优势:

(1)缓解城市排水压力^[2]:透水路面通过促进雨水的渗透,减少了雨水在地表的径流,有助于缓解城市排水设施的负担,降低了洪涝风险。

(2)降低噪声,改善道路行驶环境:透水路面能改善道路沿途的环境,减少噪声^[3]和溅水,降低事故率^[4],提升道路通行安全及舒适性。

(3)控制城市水体污染^[5]:透水路面可以有效过滤降低雨水中流入江河等水体的污染物的浓度,一定程度上减少城市水体的污染,促进水环境的改善。

(4)调节微区域气候^[6]:透水路面能通过多孔结构,缓解热岛现象。

(5)资源化利用固体废弃物:透水路面的制备和铺装可以利用大量固体废弃物^[7],节约成本,保护环境。

依托海绵城市政策的支撑,多雨地区正大力推进海绵城市以及透水路面的建设。根据中国气象局的资料,中国东南沿海地区由于受到东南季风的影响,形成了丰富的降水,是中国年降水量最为丰富的地区,秦岭—淮河以南的南方地区年降水量在 800 mm 以上,因此多雨地区通常指年降水量在 800 mm 以上的地区。多雨地区受降水量大的影响,透水路面需结合路面结构特性、材料特性、排水性能、耐久性等多方面因素综合考虑设计。优先考虑透水路面能够快速渗透雨水,减少路面积水,降低因积水引起的行车安全隐患;同时结合雨量大的特点,保证考虑透水路面的承载能力,包括合理确定路面的层厚和材料配比,确保路面结构能够承受预期的交通荷载;以及建立有效的排水系统^[8-9],包括路面内部的排水层和连接到市政排水系统的外部排水设施,确保超出消纳容量的雨水能够迅速排出,提高排水的可靠性,减少水压力对路面结构的损害;以实现多雨地区道路透水路面的有效应用。

1 影响透水路面性能的关键因素

透水路面性能主要指以下几个方面:

(1)透水性能:透水路面的核心是允许水分渗透过路面或者横向排放积蓄,减少地表径流,补充地下

收稿日期:2024-07-24

作者简介:邓广辉(1987—),男,硕士,高级工程师,从事市政路桥设计及研究工作。

水,降低内涝风险。

(2)强度性能:透水路面因具备一定承载能力,能够承受累计交通荷载而不产生过度变形或损坏。

(3)耐久性:透水路面应具有良好的耐久性,能够抵抗浸水环境累计荷载下的物理、化学因素侵蚀,延长使用寿命。

(4)抗滑性能:为了确保车辆和行人的安全,透水路面应具有足够的抗滑性。

(5)施工工艺:透水路面的施工工艺应简便易行,便于规模化施工,确保施工质量。

(6)维护性:透水路面应便于维护,便于定期清理以防止孔隙堵塞,保持其透水功能。

(7)其他功能性:如降噪性能、美观性、经济性等。

综合以上方面考虑,影响透水路面性能的关键因素主要为三大部分,包含:透水路面结构特性、材料特性、排水系统,如图 1 所示。其中透水路面结构特性主要影响透水路面的结构强度、排渗水形式、渗透能力、耐久性等方面;材料特性主要影响透水路面的细观结构,包含材料黏结特性、材料强度、材料渗透性能、材料施工特性等;排水系统则影响透水路面的排水效率、耐久性以及排水性能的可靠度。同时 3 大关键因素又可进一步细分。



图 1 影响透水路面性能的关键因素

1.1 透水路面结构特性

透水路面结合结构特性划分为两大类别:透水沥青路面与透水混凝土路面。根据排渗水的方式,两大类结构又可进一步划分为面层排水、基层排水(半透水)、全透水 3 大主要类型,其主要排渗水方式如图 2 所示。

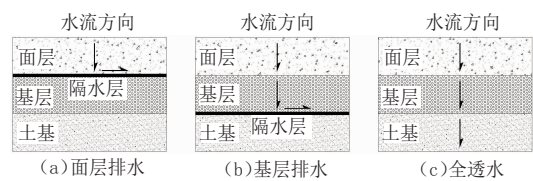


图 2 透水路面排渗水方式

其中透水沥青路面面层排水又可细分为单层排水沥青路面(上面层排水)与双层排水沥青路面^[10];另外结合结构板块之间缝隙的设置,水泥混凝土路面还可形成缝隙透水路面^[11-12]。透水路面结构类型如图 3 所示。

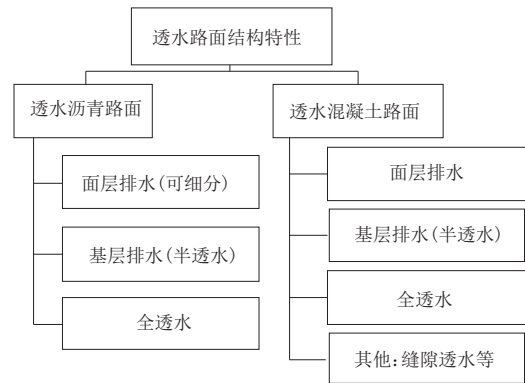


图 3 透水路面结构类型

透水沥青路面与透水混凝土路面互有优缺点。受材料特性、施工工艺等影响,透水水泥混凝土路面抗压强度难以达到 C40^[13],甚至难以达到 C30,因此《透水水泥混凝土路面技术规程》(CJJ/T 135—2009)中明确透水混凝土路面应用于轻型荷载道路,仅允许轴载 40 kN 以下车辆行驶的城镇道路和停车场、小区等道路,因此较为广泛的应用于轻型车道、非机动车道、人行道、广场等区域,具有良好的透水性能,如北京奥林匹克公园的建设等;针对车行道,透水沥青路面应用范围则较为广泛,目前应用较为成功的是单层排水沥青路面与双层排水沥青路面,已在上海虹梅南路高架工程、江苏省盐通高速公路、陕西省西咸新区沣西新城配套道路等多个项目中得到应用。透水水泥混凝土路面的渗透能力一般优于排水沥青路面,且较为经济,但其耐久性和渗排水的有效持久性又逊色于透水沥青路面。总之,透水路面结构类型的选用应结合功能需求,多方面考虑,因地制宜地选取。

1.2 材料特性

透水路面材料特性对其细观结构和整体性能有着决定性的影响。包含以下几个关键方面:

(1)材料黏结特性:黏结材料(如沥青或水泥)的粘结力直接影响透水路面的稳定性和耐久性。黏结材料需要有足够的黏附性以保证集料间的牢固连接,同时具有良好的耐候性和抗老化性能。

(2)材料强度:透水路面材料的强度决定了其承载能力。材料应具备适当的抗压强度和抗折强度,以承受交通荷载和环境影响。

(3)材料渗透性能:透水路面的渗透性能是其核心特性之一,主要受材料的空隙率和孔隙连通结构影响。高空隙率有助于提高透水性,但也可能影响材料的强度和耐久性,因此空隙率一般介于 10%~25%。透水沥青混凝土的空隙率为 18%~25%,而透水水泥混凝土的连续孔隙率不应小于 10%^[8]。

(4)材料施工特性:包括材料的拌合、摊铺、压实和养护等步骤,避免材料施工松散,施工困难,难以到达设计强度。

(5)材料耐久性:透水路面材料应具有良好的耐久性,能够抵抗冻融循环、化学侵蚀和生物侵蚀等自然环境因素的长期影响。

(6)材料的热稳定性:透水路面材料应具备良好的热稳定性,以适应不同气候条件下的温度变化。综合这些特性,透水路面材料的选择和设计应根据具体的功能需求和环境条件进行优化,以实现最佳的性能和效果。

1.3 排水系统

透水路面的排水系统是确保路面正常运行和实现其设计功能的重要组成部分。需综合考虑以下几个方面:

(1)排水系统应根据当地的降雨模式、地形地貌以及土壤条件,进行合理场地纵横坡设计,以确保雨水可以有效地被收集和排出。

(2)透水路面边缘应设置纵向排水设施,如排水沟或盲沟,以促进雨水的横向排出。

(3)当结合下凹绿地等海绵设施综合设置时,合理选用路缘石型式。

(4)处理好与路侧雨水口等相关排水设施的连接,保证排渗水路径的畅通,避免雨水积聚或回流。

(5)考虑季节性气候变化和极端天气事件对排水系统性能的影响,设计时应留有足够的安全系数。

(6)抗堵塞能力:透水路面的排水系统应设计有防止杂物堵塞的功能,例如使用适当的过滤和沉淀设施。通过合理设计和施工,透水路面的排水系统和附属设施能够有效地促进雨水的渗透和排出,提高路面的使用功能和耐久性,同时实现雨水资源的合理利用。排水系统组成如图4所示。

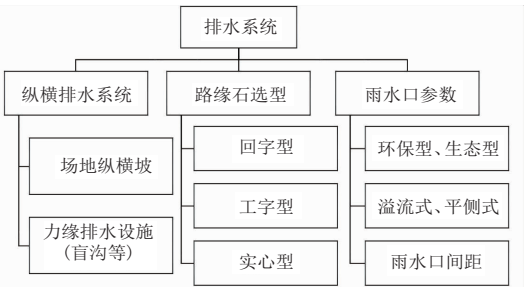


图4 透水路面的排水系统组成

2 多雨地区的透水路面设计

2.1 一种适用于多雨地区的透水路面类型

针对多雨地区特性,结合通知(建办城[2022]17

号)^[1]要求,结合影响透水路面性能关键因素,提出一种适用于多雨地区的透水路面类型,于广州白云国际机场三期扩建工程-航站区市政道路工程进行应用,满足社会公益性道路的海绵城市指标要求,同时进一步提高机场航站区部分道路路段的降噪、防滑、提高形式舒适性的功能需求。

广州位于东南湿热区,雨量充沛,年降雨量平均为1 600~1 900 mm,长期居于全国降雨量前列,需重视大量雨水下渗对路面、路基强度等方面的影响,结合排水系统进行相关设计,保证排水效率,另外本次拟建道路主要服务于公共社会车辆,不属于轻型荷载交通类别。故本次采用排水沥青路面,同时结合下凹绿地设置溢流式雨水口、边缘排水盲沟、开口路缘石等。满足提高机场航站区道路降噪、防滑等功能需求同时,保证多雨地区极端暴雨等情况下路表径流能够快速消散,保障车辆行驶安全。

车行道采用单层(或双层)排水沥青路面,利用道路纵横坡排放路面雨水,道路纵坡不小于0.3%(介于0.3%~1.5%),道路横坡采用2%。由于采用半刚性基层,因此排水沥青层下设防水黏结层,下渗至路面层中的排水径流主要通道道路横坡汇流至C30透水混凝土盲沟中,就近接入溢流式雨水口;鉴于广州雨量较大,应对极端暴雨等天气,产生短时大强度降雨,当排水沥青路面排水能力饱和,路表径流则通过开口侧石流向路侧下凹绿地进行渗蓄,超过下凹绿地下渗能力时,利用溢流式雨水口实现多余雨水的快速排放。一种适用于多雨地区透水路面结构类型如图5所示。

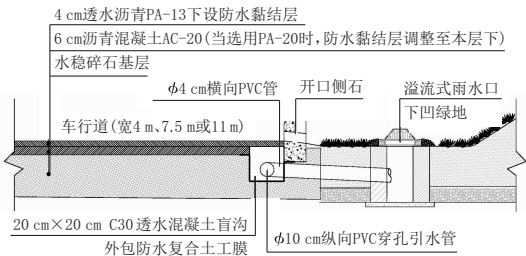


图5 一种适用于多雨地区透水路面结构类型

2.2 排水性能验算

排水路面的路表径流形成过程是一个涉及多个步骤的动态变化过程。降雨开始时,雨水首先与路面接触,在排水路面上,由于其空隙结构,一部分降雨会迅速渗透进入路面内部;随着降雨的持续,路面开始形成水膜,由于排水路面空隙的存在,水膜的厚度通常较传统路面薄;同时部分雨水通过路面的孔隙结构渗入路面内部,将减少路表面水膜的厚度,渗入

路面内部的雨水通过内部的排水层向两侧或一侧的排水设施横向移动;当降雨强度超过路面的排水能力时,即渗透和横向排出的雨水速度跟不上降雨的入渗速度,路面开始出现饱和状态(对应无明显地表径流的极限降雨强度),一旦路面达到饱和状态,继续降落雨水无法再被路面吸收和排出,开始在路面表面形成明显的径流;随着降雨的持续,路表径流逐渐发展形成水流,沿着路面的坡度向低处流动;降雨停止后,路面内部蓄存的水分会通过蒸发和渗透逐渐减少,路表径流也会随之停止,最终,随着水分的排出和蒸发,路面恢复到干燥状态。结合排水路面路表径流形成机制,利用无明显地表径流的极限降雨强度对排水路面的排水性能进行验算。

(1)根据达西定律,排水路面层在降雨时的水流流量计算方法如下:

$$Q = k_b A \sqrt{i_h^2 + i_z^2} \tag{1}$$

$$A = \frac{h i_h}{\sqrt{i_h^2 + i_z^2}} \tag{2}$$

式中: Q 为排水层水流流量, m^3/s ; k_b 为渗透系数, m/s ; i_h 为路面横坡; i_z 为路面纵坡; A 为单位长度内垂直于水流方向的过水断面面积, m^2 ; h 为路面厚度, m 。

(2)根据《公路排水设计规范》(JTG/T D33—2012),汇水区域地表径流量计算公式:

$$Q = 16.67 \varphi q F \tag{3}$$

$$F = B \sqrt{1 + \frac{i_z^2}{i_h^2}} \tag{4}$$

式中: φ 为径流系数; q 为单位时间降雨强度, mm/min ; F 为单位长度内汇水面积, km^2 ; B 为单幅路宽度。

在极限降雨强度下,如果地表没有显著的径流现象,可以假设排水层水流流量等同于该汇水区域地表径流量。对上述式子进行变换,得到无明显地表径流对应的极限降雨强度,其计算公式如下:

$$q = \frac{k_b h i_h^2}{16.67 \varphi B \sqrt{i_h^2 + i_z^2}} \times 10^6 \tag{5}$$

根据现场试验及相关研究成果换算渗透系数 k_b 为 $0.004\,715\,7\,\text{m}/\text{s}$ ^[14];本次设计路面横坡 i_h 为 2.0% ;路面纵坡介于 $0.3\%\sim 1.5\%$,本次 i_z 取 1% ;排水型路面径流系数取值范围为 $0.7\sim 0.85$ ^[12],本次 φ 取 0.85 ;排水路面厚度 h 分别为 $0.04\,\text{m}$ 和 $0.10\,\text{m}$;单向 1 车道(双向 2 车道)、单向 2 车道(双向 4 车道)、单向 3 车道(双向 6 车道)单幅路宽度 B 分别取 4.0 、 7.5 、 $11.0\,\text{m}$ 。

通过无明显地表径流对应的极限降雨强度进一

步换算成 $24\,\text{h}$ 的降雨量进行排水性能验算^[15]。由公示(5)计算成果见表 1 极限降雨强度和 $24\,\text{h}$ 降雨量:

表 1 极限降雨强度和 $24\,\text{h}$ 降雨量

排水路面厚度 h/m	单幅路宽 B (双向车道)/ m	无明显地表径流的极限降雨强度 $q/(\text{mm}\cdot\text{min}^{-1})$	极限降雨强度对应的 $24\,\text{h}$ 降雨量 $I/(\text{mm}\cdot\text{d}^{-1})$
0.04	4(双 2)	0.059 53	85.73
	7.5(双 4)	0.031 75	45.72
	11(双 6)	0.021 65	31.17
0.10	4(双 2)	0.148 84	214.32
	7.5(双 4)	0.079 38	114.31
	11(双 6)	0.054 12	77.94

根据计算结果,结合国家气象局颁布的降雨强度等级划分标准(见表 2),说明当采用双层排水沥青($10\,\text{cm}$),单向 1 车道(双向 2 车道)、单向 2 车道(双向 4 车道)、单向 3 车道(双向 6 车道)的排水型路面,在暴雨情况下,雨水通过排水路面内部渗排出,无显著地表径流。

表 2 降雨强度等级划分标准 单位: mm

划分等级	$24\,\text{h}$ 降雨量 $I\,\text{d}(24\,\text{h})$
小雨	$0.1\sim 9.9$
中雨	$10.0\sim 24.9$
大雨	$25.0\sim 49.9$
暴雨	$50.0\sim 99.9$
大暴雨	$100.0\sim 249.9$
特大暴雨	≥ 250.0

当采用单层排水沥青($4\,\text{cm}$),单向 1 车道(双向 2 车道)在暴雨($\leq 85.73\,\text{mm}/\text{d}$)的情况下无显著地表径流;单向 2 车道(双向 4 车道)在大雨($\leq 45.72\,\text{mm}/\text{d}$)的情况下无显著地表径流;单向 3 车道(双向 6 车道)在大雨($\leq 31.17\,\text{mm}/\text{d}$)的情况下无显著地表径流。因此,本次设计排水路面均能满足大雨情况下无明显径流的功能使用要求。

3 结 语

透水路面是实现海绵城市建设的有效手段,具有缓解排水压力、控制污染、降低噪声、减少事故率等多重优势。透水路面性能受结构特性、材料特性和排水系统三大关键因素影响。在多雨地区,应结合功能需求,结合结构强度、渗透性、耐久性等多因素考虑,因地制宜开展透水路面设计,以提升功能性和耐

久性,并促进雨水资源的高效利用。

本研究结合功能需求提出了一种适用于多雨地区的透水路面类型,并利用无明显地表径流极限降雨强度计算公式对该排水路面结构进行了验算。结果表明,当采用双层排水沥青路面,在暴雨情况下,雨水通过排水路面内部渗排出,无显著地表径流;当采用单层排水沥青路面,在大雨的情况下,无显著地表径流。表明在多雨地区,设计采用的排水路面均能满足大雨情况下无明显径流使用要求。该结构类型为透水路面的设计及应用提供了参考。

参考文献:

- [1] 住房和城乡建设部办公厅.住房和城乡建设部办公厅关于进一步明确海绵城市建设工作有关要求的通知[EB/OL].(2022-04-18)[2024-07-24].https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-04/29/content_5687999.htm
- [2] 朱浩然,于明明,吴华菓.基于暴雨洪水管理模型的透水铺装结构对城市雨洪的影响模拟研究[J].公路,2019,64(1):65-72.
- [3] 方燕福.降噪型透水沥青路面在高速公路中的应用[J].交通世界,2020(21):158-160.
- [4] 魏莘欣,陈华鑫,夏慧芸.降雨量对排水沥青路面交通安全的影响[J].长安大学学报(自然科学版),2016,36(3):13.
- [5] 解晓光,徐勇鹏,崔福义.透水路面对路表径流污染的控制效能[J].哈尔滨工业大学学报.2009,41(9):65-69.
- [6] 陈禹衡,冀超宇,黄力瑶,易军艳.基于 ENVI-met 的透水路面对微区气候影响的模拟分析[J].公路交通科技,2021(6):46-53.
- [7] 高鹏.透水混凝土堵塞机理、疲劳及抗冻性能研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2021:89.
- [8] CJJ/T 135—2009,透水水泥混凝土路面技术规程[S].
- [9] CJJ/T 190—2012,透水沥青路面技术规程[S].
- [10] JTG/T 3350-03—2020,排水沥青路面设计与施工技术规范[S].
- [11] 郑晓光,陈亚杰.缝隙透水型路面关键设计参数及透水功能研究[J].城市道桥与防洪,2021,4(1):161-164.
- [12] 朱晓娟,刘静,吴薇.缝隙式透水铺装 in 镇江海绵城市建设中的应用研究[J].中国给水排水,2017(20):1-4.
- [13] 甘冰清.透水混凝土的配合比设计及其性能研究[D].淮南:安徽理工大学,2015:34-36.
- [14] 朱宇昊.双层排水沥青混合料优化设计与路用性能研究[D].南京:东南大学,2019:40.
- [15] 朱浩然,于明明,张杨.城市不同透水铺装结构的透水效率计算及分析[J].中外公路,2021,41(6):76-81.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com