

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2022.02.054

装配式透水混凝土人行道构造厚度设计研究

龚 祚, 胡亚军, 黄 鑫

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要: 为了平衡透水混凝土应用于人行道所需的强度和海绵城市要求的透水性能,从试验配合比入手,对透水混凝土的物理性能进行了分析评价,并基于最优配合比,结合暴雨强度和透水模型等对预制装配式透水混凝土板用于人行道时的厚度进行了研究。结果表明:结合上海市的降雨强度,根据确定的人行道结构层厚度计算方法,得出装配式透水混凝土面板厚度的取值区间为 13.11~21.3 cm;综合考虑强度等因素,推荐上海地区预制装配式透水混凝土板用于人行道时的厚度按 15 cm 设计。

关键词: 预制装配式;透水混凝土;人行道;厚度设计

中图分类号: U416.21 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-7716(2022)02-0189-04

0 引 言

随着我国城市化进程的迅速加快,原有道路系统难以承受因人口流量爆炸式增长带来的交通负荷,导致城区原有道路出现了不同程度的损坏。由于历史原因和地理位置等因素,道路沿线分布有大量的居民小区和商铺,道路翻新、修复等工程施工时会

对周边地块居民出入产生极大的不利影响,且由于道路规模一般较小,封闭施工时会对周边路网带来极大的交通压力,随之产生的噪声、扬尘、尾气等也对周边环境造成了极大的危害。因此装配式技术应运而生,预制装配式技术通过一系列标准化流程,大大缩短了现场的施工时间,保证了施工质量,减少了对环境的污染,已成为目前路面结构研究的热点^[1]。目前应用预制装配式技术的车行道路面结构主要包括车行道路的下面层和基层,而对于城市慢行系统即人行道和非机动车道的研究较少^[2]。现有人行道面层主要以预制砌块砖为主,包括同质砖、烧结砖和透水砖等,这些砖耐久性较差,在人行荷载和动水荷载作用下极易出现松动、变形和残缺。而通过工厂预制大尺寸透水混凝土人行道板且在现场施工安装,可实现更快的施工速度、更好的施工质量,与预制砌块砖相比具有更优异的抗滑性能和耐久性能。但是与普通混凝土相比,透水混凝土孔隙率较大,强度较低,为了平衡透水混凝土应用于人行道所需的

强度和海绵城市要求的透水性能,本文从试验配合比入手,对透水混凝土的物理性能进行分析评价,并基于最优配合比,结合暴雨强度和透水模型等对预制装配式透水混凝土板用于人行道时的厚度进行研究^[3]。

1 预制装配式透水混凝土材料基本性能

1.1 原材料

采用粉煤灰、硅粉和普通硅酸盐水泥作为胶凝材料。水泥采用海螺牌 P·O32.5 和 42.5R 级普通硅酸盐水泥,水泥性能参数见表 1;硅粉采用 SF96 级硅粉;粉煤灰采用某电厂提供的 II 级粉煤灰;砂采用细度模数为 2.84 的河砂,砂的性能参数见表 2,砂的筛分结果见表 3;骨料选用玄武岩,其筛分结果见表 4;外掺剂采用减水剂和减缩剂。

表 1 水泥性能参数

水泥 标号	细度 (80 μm) /%	烧失量 /%	7 d 安定性 (饼法)	凝结时间 /min		28 d 抗 压强度 /MPa	28 d 抗 折强度 /MPa
				7 d	28 d		
32.5	2.8	3.2	合格	72	240	35.5	4.3
42.5	2.5	2.0	合格	79	245	48.7	6.6

表 2 砂的性能参数

细度模数	含泥量 /%	含石率 /%	表观密度 /(kg·m ⁻³)
2.84	0.7	2.0	2 630

1.2 透水混凝土制备

根据以往经验确定的 4 种透水混凝土配合比如表 5 所示,其中配合比 B 和 C 为透水混凝土的普通配合比;配合比 A 通过采用较低等级的水泥标号以降低成本;配合比 D 通过改变骨料和砂的比例,来研

收稿日期: 2021-05-07
作者简介: 龚祚(1984—), 学士, 高级工程师, 从事道路交
通工程设计工作。

表 3 砂的筛分结果分析

筛孔尺寸/mm	分计筛余/%	累计筛余/%
9.5	0	0
4.75	6.0	6.0
2.36	12.3	18.3
1.18	16.1	34.4
0.6	24.5	58.8
0.3	20.1	78.9
0.15	19.5	98.4

表 4 骨料的筛分结果分析

筛孔尺寸/mm	分计筛余/%	累计筛余/%
16	30.9	30.9
13.2	41.6	72.5
9.5	25.1	97.6
4.75	2.2	99.8

究这种改变对透水混凝土性能的影响^[4]。

表 5 透水混凝土 4 种配合比

配合比类型	水泥标号	配合比/(kg·m ⁻³)			
		水泥	砂	骨料	用水量
A	32.5	413	738	805	4.9
B	42.5	413	722	809	6.2
C	42.5	413	717	821	5.6
D	42.5	413	679	844	5.5

1.3 透水混凝土基本性能测试

1.3.1 物理性能测试

预制装配式透水混凝土的路用性能主要取决于混凝土的力学性能。混凝土力学性能主要包括抗压、抗折强度,因此对混凝土试块进行抗压、抗折强度测试。由于抗折试件为非标准试件,最终确定的透水混凝土抗折强度均由抗折强度测试值乘以换算系数 0.85 得到。

透水混凝土力学性能试验结果见表 6。

表 6 透水混凝土力学性能试验结果

配合比类型	水泥标号	抗压强度/MPa		抗折强度/MPa	
		7 d	28 d	7 d	28 d
A	32.5	27.1	35.3	3.6	4.9
B	42.5	38.9	49.7	4.4	6.5
C	42.5	32.8	45.4	3.6	5.5
D	42.5	33.3	46.3	3.9	5.3

由表 6 可知:不同配合比的透水混凝土抗压强度和抗折强度并不一致;由于配合比 A 采用了 32.5 号水泥,因此其抗压、抗折强度相对小于 B、C、D 这 3 种配合比,而采用 42.5 号水泥的 B、C、D 这 3 种配合比的抗压强度、抗折强度均满足车行道的路用要求,且其 28 d 抗折强度均不低于 5 MPa,因此也能同时满足人行道的性能要求。在混凝土抗压强度一定的

情况下,抗折强度越高则代表混凝土性能越好,配合比也就越优,但同时混凝土折压比也有合理范围,一般为 0.083~0.125,因此在选择配合比时应充分考虑各方面因素。

透水混凝土 28 d 折压比随配合比类型的变化见图 1。

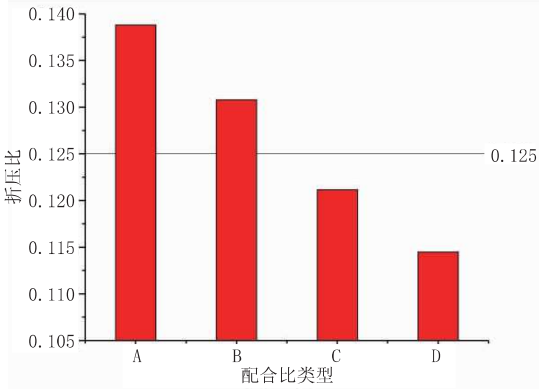


图 1 透水混凝土 28 d 折压比随配合比类型的变化

由图 1 可知,黑线对应合理折压比上限 0.125,配合比 A 和 B 超出了混凝土折压比合理区间,而配合比 C 和 D 在合理区间内,因此配合比 C 和 D 较 A 和 B 更好。在实际施工时,应当根据当地的气温条件,在试验配合比的基础上,结合温度、湿度等对配合比进行调整,以满足混凝土浇筑的坍落度要求,确定最终的施工配合比。

1.3.2 透水系数测试

透水系数测定样品制备方法如下:

使用钻机对养护 28 d 的透水混凝土钻芯取样,然后用树脂等密封材料涂抹于试样的圆柱面上,其上下底面保持整洁;待密封材料凝固后,将试样放入透水系数测定装置。待透水系数测定装置中的水位高度稳定、下方水槽水流平稳时,记录时间 T 内流出的水量。根据透水系数计算公式计算后得到:配合比 C 下的透水系数为 0.78 mm/s,配合比 D 下的透水系数为 0.79 mm/s。

1.3.3 空隙率测试

采用质量体积法测定透水混凝土的空隙率。本研究以透水混凝土的最大理论密度近似代替透水混凝土的真密度,采用真空法测定其表观密度和最大理论密度,最后计算透水混凝土的空隙率。按照空隙率计算公式计算后得到:配合比 C 的空隙率为 24.9%,配合比 D 的空隙率为 25.1%。

2 预制装配式透水混凝土板用于人行道时的厚度设计

在传统人行道设计中,以经验法为主,上海市目

前的大部分透水人行道构成由下往上依次为:土基+混凝土基层(厚20 cm 透水混凝土)+砂找平层(厚3 cm中粗砂)+砌块砖铺装层(厚6 cm)。本装配式路面不同于常规人行道设计所采用的经验法,基于降雨强度、蓄水模型等计算出适宜的预制装配式透水混凝土板用于人行道时的厚度。

2.1 降雨强度的影响

上海市地处东经120°52'至122°12',北纬30°40'至31°53',属亚热带季风性气候,四季分明,日照充分,雨量充沛。2013年,全市年平均气温17.6℃,日照1 885.9 h,降水量1 173.4 mm。全年60%以上的雨量集中在5月至9月的汛期。本文采用上海市地方标准《暴雨强度公式与设计雨型标准》(DB 31/T—1043)中的暴雨强度公式进行计算,其计算式为:

q = 1 600(1+0.846 lg P) / (t+7.0)^0.656 (1)

式中:q为设计降雨强度,L/(s·hm²);P为设计降雨重现期,a;t为降雨历时,min。

由式(1)可知,可通过降雨重现期和降雨历时确定降雨强度。在《北京市透水人行道设计施工技术指南》(北京市路政局,2007年8月)和《建筑与小区雨水控制及利用工程技术规范》(GB 50400—2016)中,规定透水地面设施的蓄水能力不宜低于重现期为2 a的降雨量,并且规定1 h的降雨量不会使得人行道产生地表径流。本文参考上述规范,由式(1)可得出设计降雨强度q=54.9 mm/h^[5]。

2.2 基于透水要求的结构层厚度计算方法

人行道基层具有一定的储水能力,因此通常可将基层划分为两部分:一部分为饱水层,此时这部分空隙基本被水填满;另一部分为非饱水层,此时这部分空隙部分被水填满。

人行道基层蓄水结构示意图见图2。

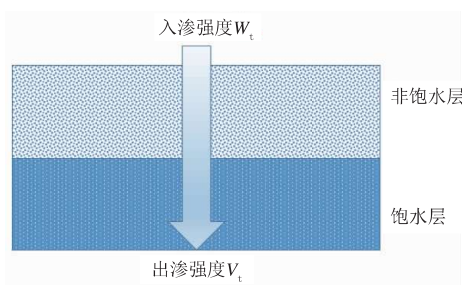


图2 人行道基层蓄水结构示意图

为了保证人行道路面的力学性能,需要控制饱水层这一部分的厚度。根据地区的降雨强度、降雨持续时间、所在地的土基平均透水系数、透水人行道结构层平均有效空隙率来计算路面结构层厚度,计算

公式参照《北京市透水人行道设计施工技术指南》:

H=(0.1i-3 600q')t/(60v) (2)

式中:H为透水人行道结构层厚度,cm;i为地区降雨强度,mm/h;q'为土基的平均透水系数;t为降雨历时,min;v为透水人行道结构层平均空隙率。

根据1.3.3节分析可知,透水混凝土面层设计的空隙率在25%左右,而级配碎石基层的空隙率一般为35%~40%,土基的平均透水系数为1×10⁻⁴ cm/s,代入式(2)后可以求得透水混凝土板的厚度取值区间为13.11~21.3 cm。

2.3 板块厚度设计

水泥混凝土板的厚度严重影响预制板的承载能力,为计算结构强度,根据实际实施的上海市虹口区松花江路人行道改造工程做出如下假设^[6-7]:

(1)由于所应用道路主要为城市道路,按中等交通荷载等级进行计算,取结构可靠度为1.2。

(2)人行道路面结构为板面+碎石基层(10 cm)+土基(模量≥20 MPa)。

混凝土路面板在最大温度梯度时产生的温度疲劳应力计算式为:

σt = EcαcΔT / 2(1-μc) (3)

式中:σt为混凝土温度疲劳应力;Ec为混凝土的弯拉弹性模量,GPa;αc为混凝土的线膨胀系数,αc=1×10⁻⁵/℃;ΔT为混凝土路面板上、下层温度差,ΔT=Tg×h,其中h为路面板厚,最大温度梯度值Tg推荐取值见表7;μc为混凝土泊松比,μc=0.15。

表7 各公路自然区划分最大温度梯度取值

自然区划分	T _g /(℃·cm ⁻¹)
II、V	0.83~0.88
III	0.90~0.95
IV、VI	0.86~0.92
VIII	0.93~0.98

由于是人行道的混凝土板铺装,计算不同预制板厚度下路面结构荷载临界位置在温度荷载作用下的疲劳应力,再乘以可靠度,所得数值即为该混凝土板的疲劳应力,结果如图3所示。

由图3可见,当预制板厚度大于15 cm时,预制板在临界位置荷载、温度荷载作用下的疲劳应力小于透水混凝土抗弯拉强度(4 MPa);同时根据结构对透水性的要求,预制板厚度取值须为13.11~21.3 cm,所以最终计算得到预制透水混凝土板厚度为15 cm。

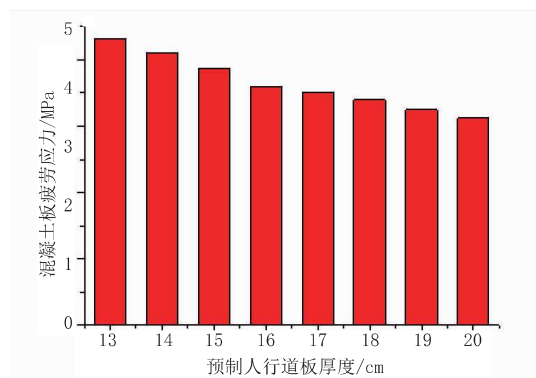


图3 板块厚度与临界位置荷载和温度荷载作用下的疲劳应力之关系

3 结 语

(1)工程应用中推荐采用配合比 C 和 D,其透水性能和混凝土强度均能满足使用要求。

(2)根据上海市的降雨强度,确定了人行道结构层厚度的计算方法,得出预制装配式透水混凝土面板厚度的取值区间为 13.11~21.3 cm。

(3)根据结构的强度要求以及透水性要求,推荐上海地区预制透水混凝土板用于人行道时的厚度按

15 cm 设计。

参考文献:

- [1] CHAVEZ C, MCCULLOUGH B F, FOWLER D W. Design of a post-tensioned prestressed concrete pavement, construction guidelines, and monitoring plan[R]. Austin, TX: The University of Texas at Austin, Research Report No. FHWA/TX-04/O-4035-1, Center for Transportation Research, 2003.
- [2] 韩建国.透水混凝土的性能和应用现状综述[J].混凝土世界, 2014(10):46-52.
- [3] MAGUESVARI M U, NARASIMHA V L. Studies on characterization of pervious concrete for pavement applications [J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2013, 104:198-207.
- [4] 田志昌, 孟亚楠, 韩育民, 等. 装配式水泥混凝土路面板荷载应力分析与接缝优化[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2016(5): 753-759.
- [5] 王唐斌.排水人行道结构与材料的优化设计[D].南京:东南大学, 2017.
- [6] 周泽民.装配式水泥混凝土路面的施工[J].中南公路工程, 1991(3): 20-23.
- [7] 冯志炫.应用于沙漠公路的装配式沥青路面力学分析[D].广州:华南理工大学, 2016.

(上接第 188 页)

- [3] 唐天华,石斌.六奉公路滨塘淤泥就地固化处理试验研究[J].市政设施管理, 2018(4):4-5.
- [4] 郑重.就地固化技术处理道路软基的施工研究[J].区域治理,

2019(10):215-216.

- [5] 徐亮,唐彤芝,白兰兰,等.就地固化技术处理浅层软土的应用及机理研究[J].水利水电工程学报, 2021(2):109-116.