

基于透水性能的全透水沥青路面结构设计

赵丽华¹, 杨志浩^{1,2}, 许斌^{2*}, 石鑫³, 曹东伟², 丁润铎²

(1.大连交通大学 土木与安全工程学院, 辽宁 大连 116028; 2.交通运输部公路科学研究院
道路结构与材料交通行业重点实验室; 3.石家庄市环城公路建设指挥部办公室)

摘要: 为了研究全透水沥青路面的结构设计方法,从全透水沥青路面试验路的结构设计入手,综合考虑所设计路面的力学性能和透水性能,以北京当地的设计平均降雨强度作为结构设计的依据,综合考虑不同材料基层的适宜厚度,并最终确定透水基层的厚度,以透水时间、饱和入渗强度和现场渗水试验作为透水性能的检测指标,发现使用该设计方法所设计的全透水沥青路面结构的力学性能和透水性能均满足要求。

关键词: 道路工程; 结构设计; 透水性能; 全透水沥青路面

透水铺装作为一种新型可持续发展的路面广受关注,是“海绵城市”理念的一个重要组成部分。透水沥青路面的推广使用,不仅具有降噪、抗滑、减少“水漂”及降低雨天交通事故的功能,而且可以彻底解决传统的密级配路面带来的诸多问题,还能够恢复城市开发带来的负面影响,恢复当地的水文状况。全透水沥青路面可以将雨水直接下渗到土壤中,起到涵养土地,补充地下水的目的;或是将全透水沥青路面的路表渗水引入蓄水模块中,通过无砂混凝土墙的过滤以及净化后循环使用。同时,透水路面可减少70%~80%的地表径流,从而大幅降低排水设施的造价。

透水铺装中,排水沥青路面的应用最为广泛,而全透水沥青路面的应用较少,其结构设计方面也缺乏相应的实例参考。余威通过建立模型分析认为透水沥青面层的设计不仅要注重材料和空隙率,还需注重其结构的设计,而透水性铺装结构的主要功能之一为透水性能,可依据透水性能进行结构设计;Jiang利用渗透率、空隙率、路面厚度以及降水量等参数进行透水沥青路面渗水模型设计,该模型可以有效预测和评价不同地区不同气象、降雨条件下的渗水路面的储水和入渗功能;文献[9]通过数值模拟方法研究了不同结构层空隙率对透水沥青路面渗水性能的影响,得出透水沥青面层的空隙率控制在15%~25%时,其对透水沥青路面的透水性能影响较小的结论,为保证透水沥青路面

的整体力学强度,级配碎石层和砂垫层的空隙率应控制在35%以内,面层的空隙率主要影响降雨初期透水沥青路面的渗透速率,而基层的空隙率则主要影响渗流稳定期透水沥青路面的渗透速率;张建军等也得出相似的结论:面层的渗透系数对全透水沥青路面的透水性能影响最为显著,其次为路基土的渗水系数,而结构层的厚度主要对储水量有影响,对透水速率的影响并不大;吕艳萍等通过对典型结构透水能力的分析,认为空隙率为18%以上,且有效空隙率在80%以上时均可以满足非冰冻地区大雨不积水的要求。但是在结构设计时不能仅考虑渗水性能而不考虑降雨强度对路基稳定性的影响,Hyung提出了基于降雨强度和数值力学分析的路基软弱性的结构设计方法。以上研究成果说明在全透水铺装结构设计时,要综合考虑路面结构强度和透水性能,而且并非空隙率越大越好,透水铺装面层的空隙率越大,其疲劳性能就越差。

该文在前人研究的基础上,以试验路的铺设为基础,综合考虑所设计路面的结构强度和透水性能,进行全透水沥青路面结构设计。

1 透水能力影响因素

(1) 降雨条件。降雨量是指在一定时间内降落到地面的水层深度,路面排水设计时通常采用气象部门

收稿日期:2018-12-19

基金项目:科技部国际合作项目(编号:2016YFE0108200)

作者简介:赵丽华,女,博士(后),副教授.E-mail:745871374@qq.com

* 通信作者:许斌,男,博士(后),副研究员.E-mail:3533574798@qq.com

降雨强度分级标准。地区降雨条件一般可以通过对当地降水的实地测量、查询地方气象局多年气象资料以及通过降雨强度公式等方式确定。

(2) 路表入渗量。在某一强度的降雨条件下,道路内部结构渗水量,取决于路表渗透能力及其渗入量。影响透水沥青路面表面入渗率的因素包括降雨量、降雨历时、路面的空隙率、道路坡度以及路表的破损程度等。

(3) 交通条件。全透水沥青路面一般设置的非机动车道、人行道、停车位、广场、小区、医院、公园道路等轻载交通地区,行驶车辆也多为非机动车和轴间距小于 3 m 的小型车辆。

(4) 地下水文条件。地下水文条件对透水沥青路面的影响主要体现在其对路基湿度的影响,其影响形式主要为毛细管水和重力水。为避免土基的毛细水进入路基,给路基带来冻融损害和水损害,可在土基和路基之间设置反滤土工布。

(5) 冬季冰冻深度。为缓解冰冻带来的危害,透水路面结构设计时可在基层下设置防冻垫层。防冻垫层设计时其厚度一般为 150~200 mm;特殊路段,如严重冰冻地区、过湿路段的设计厚度可为 300~400 mm。但防冻垫层会影响透水路面的透水性能。

2 透水沥青路面结构组成

2.1 透水沥青面层

透水沥青路面面层按结构形式可分为单面层结构和双面层结构,双面层透水沥青路面宜用于对排水、降噪功能有较高要求的情况。透水路面的面层设计为单层透水时,一般宜采用 PAC-13 的结构形式,其厚度设计值可为 40~50 mm;若透水路面面层设计为双层透水时,其结构是由上、下两层大空隙透水沥青混合料铺筑而成,且上层的厚度应小于下层的厚度,上层的最大公称粒径也应小于下层的最大公称粒径,比如上面层采用 PAC-16 的结构形式,其厚度为 40~50 mm,下面层采用 PAC-20 的结构形式,其厚度为 50~60 mm。

2.2 透水黏结层

透水黏结层是为防止面层在车辆荷载作用下发生横向位移而设计的材料层,可以提高透水沥青面层和透水基层之间的黏结强度,同时不能影响其透水性能。

2.3 透水基层

在透水沥青路面结构设计中,级配碎石是最为常用的底基层材料,而且可以作为各交通荷载等级道路

的底基层材料使用;多孔水泥稳定碎石可以作为轻交通荷载等级道路的整体基层使用,也可作为各交通荷载等级道路的底基层使用,所以其也可以作为全透水沥青路面的基层或底基层;多孔水泥混凝土可作为极重或特重交通荷载等级的基层,也可以作为全透水沥青路面的基层。

在透水基层的设计中,该文主要以其透水能力作为基层厚度设计的标准。JTG D50-2017《公路沥青路面设计规范》中给出了不同材料基层的最小压实厚度,结合 JTG D50-2006《公路沥青路面设计规范》中推荐的适宜压实厚度,整理得表 1。

表 1 不同材料基层最小厚度与适宜厚度

结构层 类型	集料公称最大粒径/ mm	厚度(不小 于)/mm	适宜厚 度/mm
级配碎石	26.5、31.5、37.5	100	100~200
	53.0	120	
水泥稳定类	19.0、26.5、31.5、37.5	150	180~200
	53.0	180	
贫混凝土	31.5	120	180~240

2.4 土基

土基的渗透性能是由土的渗透系数所决定的,所以土的渗透系数是表征土基渗透性能的一个重要参数。JTGT D33-2012《公路排水设计规范》中给出了不同类别土的渗水系数取值范围,见表 2。

表 2 不同类别土的渗透系数

土类别	渗透系数/ (mm·s ⁻¹)	土类别	渗透系数/ (mm·s ⁻¹)
黏土	<6×10 ⁻⁶	中砂	6×10 ⁻² ~0.2
粉质黏土	6×10 ⁻⁵ ~1×10 ⁻³	粗砂	0.2~0.6
粉土	1×10 ⁻³ ~6×10 ⁻³	砾石	0.6~1

由表 2 可以看出:砾石的渗透系数较大,而粉土和黏土的渗透系数较小,这表明砾石的透水性能优于粉土和黏土的透水性能。在透水铺装结构设计时,若要提高透水铺装的透水性能,可优先选用砾土和砂作为土基,其次可选取粉土进行路基处理。

3 透水沥青路面结构设计

3.1 确定基本设计参数

(1) 确定降雨条件

以北京地区为例,《公路排水设计手册》中给出了北京市政设计总院利用数理统计法并结合近 40 年的

降雨资料得出北京地区的降雨强度计算公式。

$$q_{p,t} = \frac{12(1+0.811 \cdot \lg P)}{(t+8)^{0.711}} \quad (1)$$

该项目的降雨重现期 $P=2$ 年,设计降雨历时 $T=60$ min,在设计降雨历时和降雨重现期内的降雨强度为 $q_{p,t}=45$ mm/h,综合近几年的降雨强度,取设计降雨强度为 $q_{p,t}=50$ mm/h。

(2) 确定交通荷载

透水铺装一般在非机动车道、人行道、停车位、广场、小区、医院、公园道路等地方设置,累计轴载应小于 30 万次。

(3) 路面几何尺寸

该项目基于试验路铺装进行全透水沥青路面结构设计,设计半幅路宽 3 m,横坡 2%,纵坡 0.3%。

3.2 确定理论渗透系数

(1) 透水沥青混合料

丁立通过对不同级配和不同粒径的透水沥青混合料进行测试,并对渗透系数和空隙率之间的关系进行了研究,通过数据拟合总结出渗透系数 k (cm/s) 和空隙率 n (%) 之间的关系式:

$$k=0.4507n-6.5104 \quad R^2=0.95 \quad (2)$$

沥青混合料的设计空隙率为 18%~23%,若空隙率低于 18% 则不能达到预期的透水效果,为综合评价透水沥青混合料在目标空隙率范围内的透水效果,故设计空隙率取范围内的平均值,即 20%,将 $n=20$ 代入式(2)得到渗透系数 $k=2.5$ cm/s。

(2) 多孔水泥稳定碎石

何慧斌通过研究级配和水泥含量对多孔水泥稳定碎石渗透系数的影响,得出渗透系数 k (cm/s) 和空隙率 n (%) 之间的关系:

$$k=-0.937+0.0997n \quad R^2=0.852 \quad (3)$$

多孔水泥稳定碎石基层的设计目标空隙率平均值为 18%。将 $n=18$ 代入式(3)计算得出渗透系数 $k=0.8576$ cm/s。

(3) 多孔水泥混凝土

潘熙洋通过室内捣实成型多孔水泥混凝土圆柱试件,在水温 10℃ 环境下研究目标空隙率与渗透系数之间的关系,并采用最小二乘法对曲线进行回归拟合,得到单粒径级配(5~10 mm)成型的多孔水泥混凝土渗透系数和有效空隙率之间的关系式:

$$k=0.9741-0.1269n+0.0658n^2 \quad (4)$$

多孔水泥混凝土作基层时,按其设计目标空隙率平均值取 20%,将 $n=20$ 代入式(4)得到渗透系数 k

$=0.95$ cm/s。

(4) 级配碎石

Moulton 通过对无机结合料透水材料进行研究绘制了诺模图,并分析渗透试验的结果,回归得出渗透系数 k (cm/s) 和空隙率 n (%) 之间的关系:

$$k = \frac{1.895 \times 10^5 \times (D_{10})^{1.478} \times (n)^{6.854}}{(P_{0.075})^{0.597}} \quad (5)$$

式中:级配碎石的设计空隙率应为 20%~40%,取 $n=25\%$; D_{10} 为透水材料筛孔通过率为 10% 的粒径 (mm),级配碎石中通过 2.36 mm 筛孔的质量百分率为 10%~20%,通过 1.18 mm 筛孔的质量百分率为 8%~12%,故取 $D_{10}=1.18$ mm; $P_{0.075}$ 为透水材料 0.075 mm 筛孔的通过率,级配碎石 0.075 mm 筛孔的通过率为 0~3%,取均值,即 $P_{0.075}=1.5\%$;将上述数据代入式(5)得 $k=0.896$ cm/s。

通过上述理论分析,透水沥青混凝土设计空隙率在目标空隙率之间时,其渗透系数较大,透水性能较好。多孔水泥混凝土、多孔水泥稳定碎石和级配碎石作为透水铺装的基层时,多孔水泥稳定碎石的渗透系数较大,其透水效果较好,多孔水泥混凝土作为透水路基时,其透水效果仅次于多孔水泥稳定碎石。

3.3 确定各结构层厚度

(1) 透水面层设计

透水铺装采用单层透水,且采用 PAC-13 的结构形式,根据工程经验综合考虑道路整体强度、透水能力、施工难易程度和工程造价等因素,推荐采用 PAC-13 面层的压实厚度为 40~50 mm。

(2) 透水基层设计

在透水基层厚度设计过程中,可以根据 Darcy 定律以及设计降雨量和铺设路幅宽度确定透水铺装纵向每延米路面的设计渗水量 Q_i 。

$$Q_i = q_p BL = \frac{50}{1000} \times 3 \times 1 = 0.15 [\text{m}^3 / (\text{d} \cdot \text{m})] =$$

$$0.00000174 [\text{m}^3 / (\text{s} \cdot \text{m})]$$

然后再计算不同材料的透水基层的饱水厚度,利用式(6)确定透水基层的饱水厚度,且设计结构厚度应不小于饱水厚度,即:

$$H_b \geq \frac{Q_i}{k_b i_c} \quad (6)$$

式中: Q_i 为透水铺装纵向每延米路面的设计渗水量; k_b 为透水基层的渗透系数 (m/d); i_c 为设计横坡。

① 假设透水基层为单一材料,且为多孔水泥稳定

碎石时 $k=0.8576 \text{ cm/s}$,可以得到:

$$H_b \geq \frac{Q_i}{k_b i_c} = \frac{0.000\ 001\ 74 \times 100}{0.02 \times 0.8576} \approx 0.101 \text{ m}$$

且应满足水泥稳定类基层的最小压实厚度,综合考虑后多孔水泥稳定碎石基层的厚度应不小于 150 mm。

② 假设透水基层为单一材料,且为多孔水泥混凝土时 $k=0.95 \text{ cm/s}$,可以得到:

$$H_b \geq \frac{Q_i}{k_b i_c} = \frac{0.000\ 001\ 74 \times 100}{0.02 \times 0.95} \approx 0.10 \text{ m}$$

且应满足贫混凝土类基层的最小压实厚度,综合考虑后多孔水泥混凝土基层的厚度应不小于 150 mm。

③ 假设透水基层为单一材料,且为级配碎石时 $k=0.896 \text{ cm/s}$,可以得到:

$$H_b \geq \frac{Q_i}{k_b i_c} = \frac{0.000\ 001\ 74 \times 100}{0.02 \times 0.896} \approx 0.10 \text{ m}$$

且应满足级配砾石类基层的最小压实厚度,综合考虑后级配碎石基层的厚度应不小于 80 mm。

(3) 综合确定基层厚度

根据 CJJ 169—2011《城市道路路面设计规范》的相关要求,在保证透水基层力学强度的基础上,可取基层厚度为 380 mm,其中上基层可为 180 mm,底基层可为 200 mm,并且厚度满足表 1 中透水基层的适宜厚度和依据降雨强度所设计的透水基层最小厚度。

3.4 透水铺装结构组合

结合上文关于设计基层厚度的分析,选定 A、B、C 共 3 种全透水沥青路面的结构形式。示意图分别如图 1~3 所示。

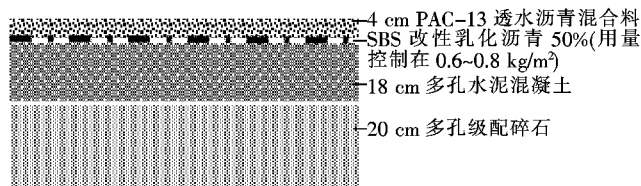


图 1 A 结构示意图

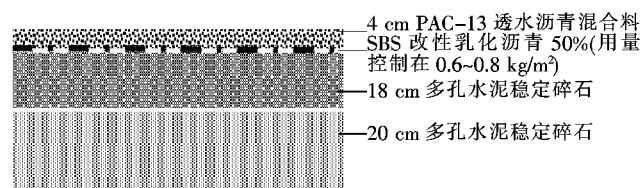


图 2 B 结构示意图

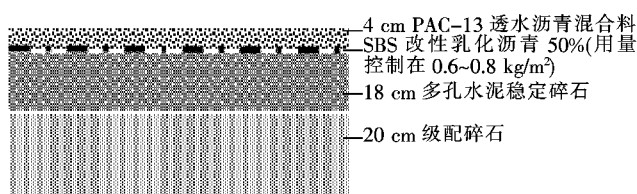


图 3 C 结构示意图

3.5 结构层厚度验算

该文采用 HPDS2017 对上述 3 种结构的厚度进行验证,并分别采用设计弯沉值和容许拉应力评价其厚度是否满足设计要求。

(1) A 结构厚度验算结果

① 按设计弯沉值计算设计层厚度:

$$L_D = 27(0.01 \text{ mm})$$

$$H(3) = 150 \text{ mm}, L_S = 1.7(0.01 \text{ mm})$$

由于设计层厚度 $H(3) = H_{\min}$ 时 $L_S \leq L_D$

故弯沉计算已满足要求。

$$H(3) = 150 \text{ mm} (\text{仅考虑弯沉}).$$

② 按容许拉应力计算设计层厚度:

$H(3) = 150 \text{ mm}$ (第 1 层底面拉应力计算满足要求)

$$H(3) = 750 \text{ mm}, \sigma(2) = 0.604 \text{ MPa}$$

$$H(3) = 800 \text{ mm}, \sigma(2) = 0.599 \text{ MPa}$$

$H(3) = 791 \text{ mm}$ (第 2 层底面拉应力计算满足要求)。

(2) B 结构厚度验算结果

① 按设计弯沉值计算设计层厚度:

$$L_D = 27(0.01 \text{ mm})$$

$$H(3) = 40 \text{ mm}, L_S = 2.8(0.01 \text{ mm})$$

由于设计层厚度 $H(3) = H_{\min}$ 时 $L_S \leq L_D$

故弯沉计算已满足要求。

$$H(3) = 40 \text{ mm} (\text{仅考虑弯沉}).$$

② 按容许拉应力计算设计层厚度:

$H(3) = 40 \text{ mm}$ (第 1 层底面拉应力计算满足要求)

$H(3) = 40 \text{ mm}$ (第 2 层底面拉应力计算满足要求)

$$H(3) = 90 \text{ mm}, \sigma(3) = 0.448 \text{ MPa}$$

$$H(3) = 140 \text{ mm}, \sigma(3) = 0.357 \text{ MPa}$$

$H(3) = 94 \text{ mm}$ (第 3 层底面拉应力计算满足要求)。

(3) C 结构厚度验算结果

① 按设计弯沉值计算设计层厚度:

$$L_D = 27(0.01 \text{ mm})$$

$$H(3) = 150 \text{ mm}, L_S = 2.1(0.01 \text{ mm})$$

由于设计层厚度 $H(3) = H_{\min}$ 时 $L_S \leq L_D$

故弯沉计算已满足要求。

$$H(3) = 150 \text{ mm} (\text{仅考虑弯沉}).$$

② 按容许拉应力计算设计层厚度:

$H(3) = 150 \text{ mm}$ (第 1 层底面拉应力计算满足要求)

$H(3) = 150 \text{ mm}$ (第 2 层底面拉应力计算满足要求)。

通过对 3 种结构的厚度验算可以发现,分别采用设计弯沉值和容许拉应力计算设计层厚度均可以满足设计要求。

3.6 透水性能研究

该文采用各结构层的渗水系数与其厚度加权平均后的渗透系数作为透水沥青路面的综合渗透系数,同理可得出综合空隙率。最后可按均匀渗流的退水计算模型计算路表渗水在透水结构层内的设计渗流时间。最大渗流时间不应超过 2 h,以免长期被水浸泡导致路面材料的损害。

$$T = \frac{\overline{n_e} B}{3600 \overline{k_c} i_h} \quad (7)$$

式中: T 为透水铺装的设计渗流时间(h); $\overline{n_e}$ 为加权平均后的设计空隙率; $\overline{k_c}$ 为加权平均后的设计渗透系数(cm/s); i_h 为设计横坡。

(1) A 结构

$$\overline{K} = \frac{H_1 k_1 + H_2 k_2 + H_3 k_3}{H_1 + H_2 + H_3} = \frac{4 \times 2.5 + 18 \times 0.95 + 20 \times 0.896}{4 + 18 + 20} = 1.48 \text{ cm/s}$$

$$\overline{n} = \frac{H_1 n_1 + H_2 n_2 + H_3 n_3}{H_1 + H_2 + H_3} = \frac{4 \times 20\% + 18 \times 25\% + 20 \times 25\%}{4 + 18 + 20} = 22.4\%$$

$$T = \frac{\overline{n_e} B}{3600 \overline{k_c} i_h} = \frac{0.224 \times 3 \times 100}{3600 \times 1.48 \times 0.02} = 0.63 \text{ h}$$

(2) B 结构

$$\overline{K} = \frac{H_1 k_1 + H_2 k_2 + H_3 k_3}{H_1 + H_2 + H_3} = \frac{4 \times 2.5 + 18 \times 0.8576 + 20 \times 0.8576}{4 + 18 + 20} = 1.01 \text{ cm/s}$$

$$\overline{n} = \frac{H_1 n_1 + H_2 n_2 + H_3 n_3}{H_1 + H_2 + H_3} =$$

$$\frac{4 \times 20\% + 18 \times 18\% + 20 \times 18\%}{4 + 18 + 20} = 18.19\%$$

$$T = \frac{\overline{n_e} B}{3600 \overline{k_c} i_h} = \frac{0.1819 \times 3 \times 100}{3600 \times 1.01 \times 0.02} = 0.75 \text{ h}$$

(3) C 结构

$$\overline{K} = \frac{H_1 k_1 + H_2 k_2 + H_3 k_3}{H_1 + H_2 + H_3} =$$

$$\frac{4 \times 2.5 + 18 \times 0.8576 + 20 \times 0.896}{4 + 18 + 20} = 1.03 \text{ cm/s}$$

$$\overline{n} = \frac{H_1 n_1 + H_2 n_2 + H_3 n_3}{H_1 + H_2 + H_3} =$$

$$\frac{4 \times 20\% + 18 \times 18\% + 20 \times 25\%}{4 + 18 + 20} = 21.52\%$$

$$T = \frac{\overline{n_e} B}{3600 \overline{k_c} i_h} = \frac{0.2152 \times 3 \times 100}{3600 \times 1.03 \times 0.02} = 0.869 \text{ h}$$

由以上计算结果可以看出:3 种透水铺装结构将水排出所需的时间均小于 2 h,表明这 3 种结构的透水效果均为良好。

4 全透水沥青路面试验路

4.1 各结构层材料配合比

(1) 透水沥青混合料

透水沥青面层所采用的配合比见表 3,采用油石比为 4.5%,其基本性能见表 4。

表 3 透水沥青混合料面层级配

粒径/ mm	筛孔通过 率/%	粒径/ mm	筛孔通过 率/%
16.0	93.5	1.18	10.7
13.2	79.1	0.60	8.6
9.5	72.0	0.30	7.0
4.75	22.7	0.15	6.0
2.36	15.5	0.075	5.4

(2) 级配碎石

借鉴透水沥青混合料的级配选取方式,采用断级配的设计原则选定级配碎石的级配,见表 5。

根据试验得出,该级配 2.5 mm CBR 值为 115.8%,5 mm CBR 值为 114.1%,浸水试验 2.5 mm CBR 值为 28.8%,5 mm CBR 值为 37.1%。其中该级配的最佳含水量为 3.3%,最大干密度为 1.993 g/cm³。

表 4 透水沥青混合料性能试验结果

试验项目	单位	实测数据	技术要求	试验方法
空隙率	%	21.3	18~23	T0707
马歇尔稳定度	kN	6.12	≥5.0	T0709
析漏损失(185 ℃)	%	0.23	≤0.8	T0732
飞散损失	%	10.8	≤15	T0733
浸水飞散损失	%	13.9	≤20	T0733
车辙试验动稳定度	次/mm	10 437.6	≥5 000	T0719
浸水残留稳定度	%	5.59	≥85	T0709
冻融劈裂抗拉强度比	%	82	≥80	T0729
低温弯曲破坏应变	με	2 649	≥2 500	T0715
渗水系数	mL/min	5 848	≥4 500	T0730

表 5 级配碎石基层级配

粒径/ mm	筛孔通过 率/%	粒径/ mm	筛孔通过 率/%
26.5	98.4	2.36	16.2
19	68.8	1.18	10.0
16	61.5	0.6	7.4
13.2	53.8	0.3	5.4
9.5	42.2	0.15	4.4
4.75	20.7	0.075	3.8

(3) 多孔水泥稳定碎石

试验路所选定的多孔水泥稳定碎石材料的配合比见表 6,水泥含量为 6%,采用重型击实法测得该级配在水泥含量为 6%下的最佳含水率为 5.2%,最大干密度为 2.082 g/cm³,其基本性能见表 7。

表 6 多孔水泥稳定碎石基层级配

粒径/ mm	筛孔通过 率/%	粒径/ mm	筛孔通过 率/%
26.5	98.5	2.36	4.5
19	68.5	0.60	2.3
9.5	34.7	0.075	1.4
4.75	6.1		

表 7 多孔水泥稳定碎石基层性能

渗水系数/ (mL·min ⁻¹)	空隙 率/%	无侧限抗压 强度/MPa	劈裂抗拉 强度/MPa	抗压回弹 模量/MPa
3 614	18.1	5.35	0.86	2 394

(4) 多孔水泥混凝土

多孔水泥混凝土即无砂混凝土,采用的级配见表 8,水灰比为 0.40。

表 8 多孔水泥混凝土基层级配

粒径/ mm	筛孔通过 率/%	粒径/ mm	筛孔通过 率/%
1.18	0	13.2	73.4
2.36	8.4	16	100
4.75	15.1	19	100
9.5	44.4		

4.2 实测渗水系数

在北京实际铺设了一条试验路,该试验路包含 3 种全透水沥青路面结构,试验路现场如图 4 所示。

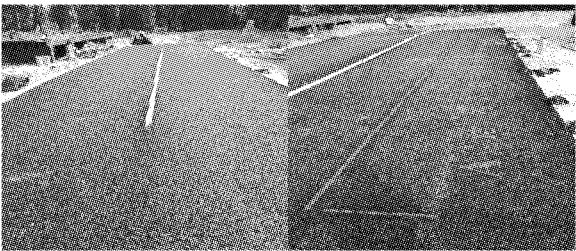


图 4 试验路

在试验路铺设完成后,通过对每一种结构进行 3 次渗水试验,然后取平均值,结果见表 9。

由表 9 可以看出:3 种结构的渗水系数均满足要求,且与理论验证透水性能的结构基本一致。

5 结论

(1) 提供了一种基于透水性能的全透水沥青路面

表 9 实测渗水系数

结构类型	测点位置	渗水时间/s	渗水系数/(mL·min ⁻¹)	
			实测值	平均值
A 结构	1	4.6	5 217	5 143
	2	4.7	5 106	
	3	4.7	5 106	
B 结构	1	4.9	4 898	4 899
	2	4.8	5 000	
	3	5.0	4 800	
C 结构	1	4.9	4 898	4 801
	2	5.1	4 706	
	3	5.0	4 800	

结构设计流程,通过结构厚度验算各结构层的设计指标均符合规范要求,且通过理论验证渗水性能也均符合要求。

(2) 通过将设计的 3 种结构实际铺设在试验路上,并对其进行透水性能验证试验,实测 3 种结构的渗水系数分别为 5 143、4 899 和 4 801 mL/min,说明理论推测的透水性能与工程实际所测得的透水能力基本吻合。

(3) 通过分析确定了 3 种结构的全透水沥青路面,其中 B 结构即面层为 PAC-13,上基层和底基层均为多孔水泥稳定碎石的结构,其透水效果最好,所以在人行道、广场、公园小区道路等地方可推荐采取这种结构形式。

参考文献:

- [1] Drake J A P, Bradford A, Marsalek J. Review of Environmental Performance of Permeable Pavement Systems: State of the Knowledge[J]. Water Quality Research Journal of Canada, 2013, 48(3).
- [2] Liu M, Huang X, Xue G. Effects of Double Layer Porous Asphalt Pavement of Urban Streets on Noise Reduction [J]. International Journal of Sustainable Built Environment, 2016, 5(1): 183-196.
- [3] 魏星. 透水式沥青路面在城市道路中的应用[J]. 四川建筑, 2015(3).
- [4] Adams M C, Cahill T H, Mullock A E, et al. Porous Bituminous Pavement: A Stormwater Best Management Practice[C]. World Water and Environmental Resources Congress, 2001: 1-10.
- [5] Al-Rubaei A. Long - Term Hydraulic Performance of Porous Asphalt Pavements in Northern Sweden[J]. Journal of Irrigation & Drainage Engineering, 2013, 139(6): 499-505.
- [6] 王庆祝. 透水沥青路面在我国湿热多雨地区城市道路应用的可行性研究[J]. 中外公路, 2005(6).
- [7] 余威. 多雨地区沥青路面水损害分析与路面排水设计[D]. 重庆交通大学硕士学位论文, 2016.
- [8] 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(1).
- [9] 汪鸿山, 冯德成, 解晓光. 孔隙率对透水性沥青路面渗透性能的影响规律[J]. 建筑材料学报, 2017(3).
- [10] 张建军, 李万百, 张少庆, 等. 基于 Biot 理论的透水沥青路面使用性能研究[J]. 中国市政工程, 2017(2).
- [11] 吕艳萍, 李淑明. 透水沥青路面的排水能力验算与结构改进[J]. 上海公路, 2008(4).
- [12] Hyung L S, Kyoony Y I, Won K J. A Study on the Structural Design of Permeable Asphalt Pavement[J]. International Journal of Highway Engineering, 2011, 13(3): 39-49.
- [13] 严以楼, 李新贺. 全透式透水沥青路面在城市道路中的应用[J]. 科技展望, 2015(13).
- [14] 李鑫. 透水性沥青路面结构设计[D]. 长安大学硕士学位论文, 2009.
- [15] 张健康, 李新贺. 透水沥青路面结构组合设计方法探讨[C]. 江苏省公路学会 2014 年学术年会, 2014.
- [16] 同卫刚. 生态型透水沥青路面结构设计与性能研究[D]. 长安大学硕士学位论文, 2015.
- [17] 薛永江. 透水性沥青路面结构设计考虑因素分析[J]. 北方交通, 2013(3).
- [18] 赵亮. 城市透水铺装材料与结构设计研究[D]. 长安大学硕士学位论文, 2010.
- [19] 张巨松, 张添华, 赵雅静, 等. 透水路面设计的几个问题[J]. 北方交通, 2007(1).
- [20] 蒋玮. 透水沥青路面材料和结构的组成设计与功能评价[D]. 长安大学博士学位论文, 2011.
- [21] 丁立. 沥青稳定碎石排水层研究[D]. 长沙理工大学硕士学位论文, 2006.
- [22] 何慧斌. 大孔隙水泥稳定碎石混合料研究及应用[D]. 湖南大学硕士学位论文, 2003.
- [23] 潘熙洋. 多孔水泥混凝土路面材料制备方法及其性能研究[D]. 长安大学硕士学位论文, 2010.
- [24] 姚祖康. 公路排水设计手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- [25] 曹东伟, 刘清泉, 唐国奇. 排水沥青路面[M]. 北京: 人民交通出版社, 2010.