

# 路面钻芯取样试件渗透试验研究

王甦达<sup>1</sup>, 唐正光<sup>1</sup>, 宁晓骏<sup>1</sup>, 吴培关<sup>1</sup>, 行平义<sup>2</sup>

(1. 昆明理工大学 建筑工程学院, 云南 昆明 650224; 2. 中铁十七局集团第四工程有限公司, 重庆 401121)

**摘要:** 路面材料的渗透系数可作为路面结构内部排水设计以及评价路面施工质量的依据, 文章研制了一种测定路面钻芯取样试件渗透系数的新装置, 提出了相应的试验方法. 通过对云南某高速公路现场钻芯取样试件的渗透试验研究, 证明渗透试验装置和方法是可行的, 并对测试结果进行了分析.

**关键词:** 渗透系数; 路面; 钻芯; 高速公路

**中图分类号:** TU411.4    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1007-855X(2007)01-0072-05

## Research for Permeability Test of Drilling Core Sample from Pavement

WANG Su-da<sup>1</sup>, TANG Zheng-guang<sup>1</sup>, NING Xiao-jun<sup>1</sup>, WU Pei-guan<sup>1</sup>, XING Ping-yi<sup>2</sup>

(1. Faculty of Civil and Architectural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650224, China;  
2. The 4th Company of China Railway 17th Group Corporation, Chongqing 401121, China)

**Abstract:** The permeability coefficient of the pavement material is a very important parameter in designing the drainage of pavement structure, which is also used to evaluate the quality of road construction. New equipment is used to measure the permeability coefficient of the pavement drilling core sample and the relevant testing methods are introduced. It is proved to be feasible by testing the drilling core sample from a certain highway of Yunnan province. The test result is also analyzed.

**Key words:** coefficient of permeability; pavement; drilling core; thrunay

## 0 引言

路面的透水性是衡量路面质量好坏的一个重要指标,它反映了路面结构的密实程度,影响路面的使用性能与耐久性,密不透水的路面可以阻止水分渗入路面结构内部或路基中,从而避免路面的早期损坏.高等级公路沥青路面需解决抗滑问题,迅速排除路表面水分,减少路面积水时间,又要求渗入内部的水分能尽快排走,避免长时间积滞在路面结构内部,避免使路面结构处于“浴盆”工作状态.路面材料的渗透系数 $k$ 是反映材料透水能力的一项基础指标,它用以计算结构层内的渗流量,并可直观比较各种材料的透水能力及分析防排水工程措施的效果.目前有多种测定渗透系数的方法,如能直接对按常规配比设计,常规施工工艺条件下压实成型路面测定其 $k$ 值,可获得典型路面结构层的渗透系数,为混合料的评价和设计,改进施工工艺提供依据.通过对云南西部某高速公路各标段路面结构层进行测试,获得了典型工程的路面结构层材料渗透性能指标数据,在当前国内路用材料有关测试数据积累不多的情况下作了有益探索.

渗透是液体在多孔介质中沿孔隙或裂隙的运动现象,渗透系数 $k$ 是表达这一现象的定量指标,它反映了材料容许水分穿过自身的能力,也间接反映了材料级配组成和施工环节的影响.由于影响渗透能力的因素十分复杂,且 $k$ 值对力学指标影响较小,人们对其关注较低,是现行材料组成设计及施工验收非必检项目,对其重视程度相对较低,对其影响也大都停留在感性认识上,难以对抗滑表层、沥青混凝土或沥青碎石、水泥稳定碎石层等常用材料的实际透水性能及其分布变动情况作出正确判断.通过测定与研究必将使我们提高对路面实际透水能力的认识,为工程设计和施工提供指导.

**收稿日期:** 2006-04-29. **基金项目:** 交通部西部建设科技项目(项目编号:200131800033).

**第一作者简介:** 王甦达(1965~),男,讲师. 主要研究方向:岩土工程防排水、道路工程. **E-mail:** wsd.163@163.com

## 1 试验目的和适用范围

### 1.1 试验目的

本试验的目的是测定公路常用面层和基层的渗透系数  $k_w$  (cm/s), 并通过渗透性指标评价路面施工质量。

### 1.2 适用范围

测定材料来源于云南西部某高速公路沿线钻取的现场压实路面各层完整钻芯试件, 试件直径 10 cm. 在实验室内分别测定抗滑表层 (AK-16A)、中粒式沥青混凝土 (AC-25 I)、粗粒式沥青混凝土 (AC-30 II) 和水泥稳定碎石基层的渗透系数。

## 2 试验方法和依据

### 2.1 试验方法

本试验采用常水头渗透试验方法. 假定试件中渗透水流呈层流状态, 符合达西定理, 即渗透速度  $v$  与水力坡降  $i$  成正比, 当水力坡降  $i=1$  时的渗透速度称为材料的渗透系数  $k$ , 达西定理表示为  $v=k_i$ . 本试验以达西定理为依据计算材料的渗透系数, 并将试验水温下测得的渗透系数  $k_T$  换算到标准温度下的渗透系数  $k_{20}$ . 由于测定对象的透水性能相差甚大, 对部分透水能力小的试件采用提高作用水头的方法解决. 本方法仪器和试验步骤较简便, 易于掌握, 但试验耗时较长。

### 2.2 试验依据

试验参照《土工试验规程》(SD 128—84) 中的“渗透试验”(SD 128—012—84) 相关标准进行。

## 3 试验仪器设备

由于现有通用渗透容器不能直接测定钻芯类试件, 采用研制试验装置, 试验装置结构如图 1 所示. 其中钢筒 1 为渗透容器, 筒内净高 24.7 cm, 直径 17 cm, 筒上部分别设有进水孔、测压孔、排气孔, 筒下部布置了出水孔、测压孔及排气孔. 试件置于筒内中段, 试件与筒内壁的间隙用密封料填塞夯实至与试件顶面平齐, 密封料表面用密封橡皮圈压紧, 防止密封料表面受水扰动颗粒堵塞试件孔隙。

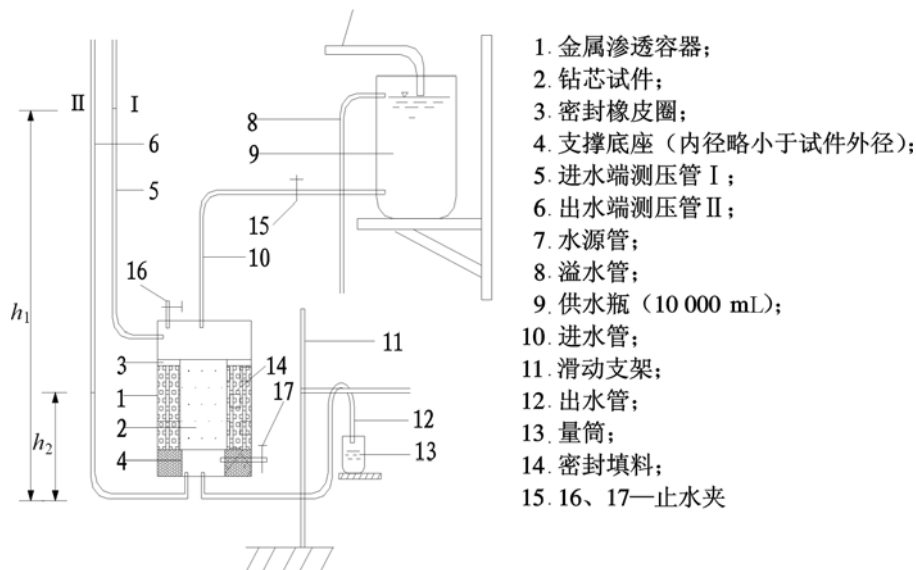


图1 渗透仪装置示意图

Fig.1 Structural diagram of permeameter

其它附属设备: 供水瓶 (10 000 mL)、温度计 (分度值 0.5℃)、秒表、量筒 (准确至 0.1 mL) 等。

密封料:采用粘土与掺入少量碳酸钠揉合的混合物.

试验用水:清洁的自来水.

## 4 试验步骤

### 4.1 钻芯试样饱和

对透水性强的抗滑表层钻芯试件、粗粒式沥青混凝土试件、中粒式沥青混凝土试件采取直接浸水饱和,浸泡时水面不超过试件顶面.浸泡时间:抗滑表层钻芯试件、粗粒式沥青混凝土试件不少于48 h;中粒式沥青混凝土试件不少于72 h.对透水性弱的水泥稳定碎石钻芯试件采用真空饱和法.

### 4.2 试验步骤

按图1装置安装.开通钢筒与供水瓶之间止水夹,待进入钢筒水从上盖排气孔涌出气泡排尽后关闭排气孔止水夹.

水分通过试件渗满钢筒下段积水空间和出水管与测压管Ⅱ,小心侧立钢筒,使侧面出口朝上,以排除试件下方筒内尚存空气;检查出水管内是否残留气泡,如有,则需挤压橡皮管设法排出,出水口处的气泡可用注射器针头吸出.关闭排气孔止水夹,将钢筒立放在座架上.

供水瓶上的溢水口可排出多余水量,并保持测压管水位稳定.调节出水管高度可获得试件两端不同的水头差.

测压管水位Ⅱ经过一段时间稳定后,测记水位,计算水头差.

开动秒表,同时用量筒接取一定时间内的渗透出水量.

测量量筒内水温和供水瓶水温,取其平均值;如试件渗透性小,试验时间长、气温变化较大时,在钢筒旁放置一水瓶,瓶内盛入水量与钢筒容积相等的水,通过测记该瓶内水温近似作为试件渗透水温.

每个试件至少测量3个水头,每个水头至少重复测定一次.每个试件取得测定数据不少于6个.

测定渗透性强的抗滑表层试件、部分粗粒式沥青混凝土试件时,由于渗流所需水头差不超过试件底部与钢筒上缘之间高度,此时不需过多加大进口水头,可打开钢筒上盖,控制进水管流量,保持容器进口端有多余水略微溢出容器顶面;调节出水管高度使水头差稳定在所需值,测记3~4个不同水头差的流量.

## 5 按下列公式计算渗透系数 $K_T$ 及 $K_{20}$

$$k_T = (Q \times L) / (A \times h \times t)$$

$$k_{20} = k_T \times \eta_T / \eta_{20}$$

式中: $k_T$  为水温为  $T^\circ\text{C}$  时试件的渗透系数,  $\text{cm/s}$ ;

$k_{20}$  为水温为  $20^\circ\text{C}$  时试件的渗透系数,  $\text{cm/s}$ ;

$Q$  为时间  $t$  内的渗透水量,  $\text{cm}^3$ ;

$L$  为渗径,等于试件高度,  $\text{cm}$ ;

$A$  为试件断面积;

$h$  为渗透水头,  $\text{cm}$ ,  $h = \text{进口水头 } h_1 - \text{出口水头 } h_2$ ;

$t$  为时间,  $\text{s}$ ;

$\eta_T$  为  $T^\circ\text{C}$  时水的动力粘滞系数  $\text{kPa} \cdot \text{s}$ ;

$\eta_{20}$  为  $20^\circ\text{C}$  时水的动力粘滞系数  $\text{kPa} \cdot \text{s}$ ;

$\eta_T / \eta_{20}$  为粘滞系数比,可查《公路土工试验规程》(JTJ 051—93 表 15.1.4—1).

## 6 试验结果

云南西部某高速公路各种钻芯试件试验结果汇总如表1.

表1 钻芯取样试件渗透试验测定结果汇总

Tab.1 Results of the drilling core sample permeability test

试件种类	抗滑表层	粗粒式沥青混凝土	中粒式沥青混凝土	水泥稳定碎石
试件数量	18个	34个	29个	21个
$K_{20}$ 测定值/( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ )	$9.08 \times 10^{-2}$	$2.91 \times 10^{-2}$	$2.28 \times 10^{-4}$	$2.25 \times 10^{-5}$
标准差 $\sigma$ /( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ )	$6.15 \times 10^{-2}$	$6.20 \times 10^{-2}$	$5.37 \times 10^{-4}$	$4.27 \times 10^{-5}$
变异系数/ $\delta$	0.677	2.13	2.36	2.12
空隙率/ $n$	5.5% ~ 6.3%	4.5% ~ 5.1%	3.6% ~ 4.2%	-

## 7 试验结果分析及结论

### 7.1 试验结果分析

从实验室测定的各类路面材料渗透系数  $k_w$  平均值是:抗滑表层  $k_w = 9.08 \times 10^{-2}$  ( $\text{cm/s}$ );中粒式沥青混凝土  $k_w = 2.28 \times 10^{-4}$  ( $\text{cm/s}$ );粗粒式沥青混凝土  $k_w = 2.91 \times 10^{-2}$  ( $\text{cm/s}$ );水泥稳定碎石基层  $k_w = 2.25 \times 10^{-5}$  ( $\text{cm/s}$ )。从试验原理分析,本试验方法阻断了水分侧向渗流,与公路行业标准的路面渗水仪相比,更能反映出材料垂直方向的渗透系数,故测试结果可用以计算水分沿路面厚度方向的渗入量和渗透速率。试验试件直接从现场碾压成型路面钻取,避免了沥青混合料装入渗透容器或击实筒内按标准击实法制作试件造成与实际的差异,本试验结果应更为准确代表了施工过程的综合影响。讨论本次试验结果时还应注意试验条件下较大水头作用下测定的结果与实际路面的低水头现象还有区别,这些有待于进一步研究。

各组试件样本实测值的变异系数  $\delta$  都很大,在同组试件之间强度指标相差不大的情况下,反映材料透水能力的指标  $k_w$  却出现很大差距。压实路面的透水性直接与空隙率、空洞尺寸和连通性相关,实际材料的透水性受多种因素的影响,如各标段材质不同、级配不同,拌和设备及拌和料质量差异,运输及施工过程中材料发生离析,摊铺机械、压实方法以及压实质量不同,因此测试结果反映了施工质量的离散性。为保证全路段路面透水性均衡稳定,应使各标段路面级配基本一致,施工中控制离析并达到规定的压实度,以期在工程中有效地稳定材料渗水性能和保证施工质量。

大多数试件当水头差  $h$  或水力坡度  $i$  不同时渗透系数略有差异, $i$  较大则  $k_w$  较小,反映出试件内水流态为非层流而呈混合流或紊流,因此本试验按达西定律取平均值的测定结果是近似的,同时试验中也注意到如改变出水管升降顺序对测试有影响,即按出水管向上逐级提高的顺序或水头差逐级减小的试验方法测定的结果更能符合达西定律,不同水力坡度  $i$  之间的渗透系数差异将大为缩小,而按相反的顺序差异则较大,故建议今后该类试验可借鉴本试验取得的经验,即采取水头差逐渐减少的试验方法进行。

试验采用了常水头的方法,当材料渗透性较差时,应加大进水口水头,使水头差达到发生渗流所需的最低值,同时缩短试验时间。

### 7.2 浸水饱和法的改进

对于浸水饱和的试件,实践证明浸水饱和法不能完全排除试件中的气泡,此时如采取“浸水饱和+倒排气”的方法较为有效,即将浸泡过一定时限的试件装入渗透容器并将试件与容器之间间隙用密封料填实后,先不装上盖,将水由下方出水管导入容器及试件,待从试件上表面渗出的水不含气泡时,说明试件中的气泡已排除,然后再装上上盖,水改由上方进水管导入,按前面介绍的步骤继续试验。此方法通过从下方施加水压排除试件内部残存气泡,比单纯浸泡试件的饱和程度要高,对  $k_w > 10^{-4}$   $\text{cm/s}$  的材料效果较好。

## 8 结论

试验过程表明,试验研制的装置和提出的试验方法,用来测试路面结构钻芯取样试件渗透系数是可行、适用的,并可推广于其它能钻取完整芯样试件的工程材料上,突破了现有仪器不能测试现场钻芯试件的限制,对所测试的材料渗透性适应范围大。

试验结果表明,该高速公路抗滑表层和粗粒式沥青混凝土具有很强的渗透性,中粒式沥青混凝土渗透性差,水泥稳定碎石层几乎不透水.材料的渗透性除抗滑表层沿路面分布较均匀外,其余3种材料表现出明显的不均衡.

中粒式沥青混凝土采用I型密集配时可起到隔水作用,但其上的抗滑表层及II型粗粒式沥青混凝土并不能阻止水分渗入沥青混合料面层内部;由于水稳层渗透系数很低,渗入面层的水分将不会下渗至垫层或路基,可确保路基不受路面入渗雨水的影响.

#### 参考文献:

- [1] 电力工业标准汇编.水电卷.勘测(下册)-土工试验规程(SD 128—84)[S].北京:水利电力出版社,1995.83-9.
- [2] 交通部标准.公路土工试验规程(JTJ 051—93)[S].北京:人民交通出版社,1993.118-127.
- [3] 中华人民共和国行业标准.土工试验规程(SL237—1999)[S].北京:中国水利电力出版社,1999.
- [4] 交通部标准.公路路基路面现场测试规程(JTJ059—95)[S].北京:人民交通出版社,2000.1-107.

(上接第71页)

若令

$$\begin{cases} w_1 = 0, & \frac{\partial w_1}{\partial x} = 0, & \Omega = 0, & \Phi = 0 \\ \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial u_1}{\partial x} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2} = \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial w_1}{\partial x} = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 w_1}{\partial x^2} = 0 \end{cases} \quad (29)$$

即,略去  $N, M, Q, \Omega, \Phi$  及其导数与位移及其导数的耦合项则方程及边界条件简化为经典的 Timoshenko 梁控制微分方程及边界条件<sup>[15]</sup>.若略去(23)式的动力项,可得非线性梁的静力控制方程及边界条件.从本文中的结果可以看出,非线性的梁理论如采用4变量的位移场将使得问题变得极其复杂,求解更为困难.同时,该理论中含有的考虑的不均匀性引入的常数参数  $\chi$ ,该参数物理意义及数值需进行进一步讨论.

#### 参考文献:

- [1] 邢誉峰,钱志英. Hamilton 体系中 Timoshenko 梁冲击问题的描述和求解[J]. 振动工程学报,2005,18(3):266-271.
- [2] 程昌钧,卢华勇. 粘弹性 Timoshenko 梁的变分原理和静动力行为分析[J]. 固体力学学报,2002,23(2):190-195.
- [3] 张燕,卢华勇. 线弹性 Timoshenko 梁的曲屈与分叉[J]. 东北师范大学学报,2004,36(3):42-51.
- [4] 李国根,朱正右,程昌钧. 非线性粘弹性 Timoshenko 梁的动力行为的分析[J]. 力学季刊,2001,22(3):347-351.
- [5] 鹭津久一郎著. 弹性和塑性力学的变分原理[M]. 老亮译.北京:科学出版社,1984.
- [6] 李卓球,董文堂. 非线性弹性理论基础[M]. 北京:科学出版社,2004:88-110.