

文章编号: 1002-0268 (2006) 01-0005-04

沥青混合料渗水系数的研究

陈 景¹, 孙澎涛², 李福普¹, 沈金安¹

(1. 交通部公路科学研究院, 北京 100088; 2. 洛阳市县乡公路管理处, 河南 洛阳 471002)

摘要: 沥青混合料的渗水是导致沥青路面早期损坏的主要原因之一, 而原来的沥青混合料设计方法中并没有渗水系数的要求。通过 AC 和 SMA 沥青混合料的室内渗水研究, 探讨了沥青混合料的渗水理论。指出达西定律可以用于研究沥青混合料的渗水。对于密实型的沥青混合料, 适用的渗水试验是变水头渗水仪。文章采用了改进的渗水仪, 研究了常用的 AC 和 SMA 沥青混合料的渗水系数和空隙率之间的关系, 分析了渗水系数的变化特性, 提出了在配合比设计阶段检验用的沥青混合料渗水系数建议指标。

关键词: 沥青混合料; 渗水系数

中图分类号: U414

文献标识码: A

Study on Permeability Coefficient of Asphalt Mixture

CHEN Jing¹, SUN Peng-tao², LI Fu-pu¹, SHEN Jin-an¹

(1. Research Institute of Highway of the Ministry of Communications, Beijing 100088, China;

2. Luoyang County and Rural Road Administration Bureau, Henan Luoyang 471002, China)

Abstract: Premature damage can result from excessive permeability of asphalt mixture. There was no requirement for permeability during asphalt mixture design in the early specification. In this paper, theory of permeability of mixture is discussed. Darcy's law is found applicable to asphalt mixture and the falling head test is suitable for dense asphalt mixture. The relation between permeability and air voids of AC and SMA is presented in this paper through laboratory research. A modified permeameter is introduced. Characteristics of permeability coefficient of asphalt mixture are also analyzed. A standard of coefficient of permeability suggested to be adopted during asphalt mixture design is submitted.

Key words: Asphalt mixture; Permeability

0 引言

在沥青混合料的配合比设计阶段, 检验渗水系数是一个非常重要的工作, 通过这项检验, 可以避免设计出渗水系数过大的密实型的沥青混合料, 从而也大大降低了沥青路面发生水损害的风险。而原来的《沥青路面施工技术规范》(JTJ032-94)中并没有在沥青混合料的配合比设计阶段提出渗水系数的要求, 因此

通过沥青混合料室内渗水系数的研究, 提出了沥青混合料配合比设计阶段密实型沥青混合料的渗水系数的检验指标。

1 沥青混合料渗水理论的研究

1.1 渗透定律

法国水工工程师亨利·达西建立了针对土壤的渗水理论计算公式^[1]

收稿日期: 2004-07-06

基金项目: 交通部西部交通建设科技项目 (2001 318 223 62)

作者简介: 陈景 (1974-), 男, 江苏启东人, 副研究员, 研究方向为沥青路面材料和结构. (j. chen@rioh.cn)

$$q = K \cdot i \cdot A \tag{1}$$

式中, q 为单位时间内通过横截面的流量, cm^3/s ; K 为渗水系数, cm/s ; i 为水头梯度; A 为过水的横截面积, cm^2 。

表 1 是一些材料的渗水系数^[1]。

表 1 一些材料的渗水系数

Tab 1 Pemeability coefficient of some material

材料类别	渗水系数/ $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$
粉砂	$500 \times 10^{-6} \sim 100 \times 10^{-5}$
细砂	$100 \times 10^{-5} \sim 500 \times 10^{-5}$
中砂	$500 \times 10^{-5} \sim 200 \times 10^{-4}$
粗砂	$200 \times 10^{-4} \sim 500 \times 10^{-4}$
砂砾	$500 \times 10^{-4} \sim 100 \times 10^{-3}$
卵石	$100 \times 10^{-3} \sim 500 \times 10^{-3}$

达西定律只适用于层流的情况, 一般只适用于中砂、细砂、粉砂等, 对于粗砂、砾石、卵石等粗颗粒就不适用, 因为这时水的渗流速度较大, 已不是层流而是紊流。

在此项研究中, 考察的是沥青混合料传输水的能力。美国 NCAT 所推荐的临界渗水系数: 对于细级配的沥青混合料确定为 $100 \times 10^{-5} \text{cm}/\text{s}$; 对于粗级配的沥青混合料确定为 $150 \times 10^{-5} \text{cm}/\text{s}$ 。从这两个数值的数量级看, 相当于表 1 中细砂的渗水系数, 说明达西定律适用于研究沥青混合料的渗水性。

1.2 沥青混合料渗水系数的测定方法和计算公式

当符合达西定律的时候, 有两种基本试验方法被用来测定材料渗水系数, 它们分别是常水头试验和变水头试验。

常水头试验一般适用于强透水性的材料, 变水头试验一般适用于弱透水性的材料。对于各种材料渗水性的适宜试验方法见表 2。

表 2 各种材料渗水系数的适宜试验方法

Tab 2 Applicable permeability test methods for different material

渗水系数/ $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$									
1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}
强渗水			弱渗水				不渗水		
适用于常水头									
适用于变水头									

对于沥青混合料, G. W. Maupin^[2] 等人对 SUPERPAVE 混合料的调查的结果显示, 绝大多数沥青混合料的渗水系数的数量级在 $10^{-3} \sim 10^{-6} \text{cm}/\text{s}$ 之间, 只有极少数的渗水系数大于 $10^{-2} \text{cm}/\text{s}$ 。美国 NCAT 对于粗、细级配的沥青混合料也推荐了临界渗水系数。虽然并不是由标准的变水头试验所得, 但是这些数据还是说明了沥青混合料的渗水系数的数量级。根据表 2, 并且综合以上的研究数据, 认为对于密实型沥青

混合料适用的应该是变水头渗水试验。计算变水头的渗水系数的公式为^[1]

$$K = \frac{a \cdot L}{A \cdot t} \ln \frac{h_1}{h_2} \tag{2}$$

式中, K 为渗水系数, cm/s ; a 为储水管的横截面面积, cm^2 ; L 为试件高度, cm ; A 为试件横截面面积, cm^2 ; t 为试验经过的时间, s ; h_1 为计时开始时的水头, cm ; h_2 为计时结束时的水头, cm 。

《公路路基路面现场测试规程》^[3] (JTJ059-95) 中规定的渗水方法其实是变水头渗水试验的一种, 主要是考虑在工程实践中能够方便使用, 规定的渗水系数的计算公式为

$$C_w = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1} \times 60 \tag{3}$$

式中, C_w 为路面渗水系数, mL/s ; V_1 为第一次读数时的水量, mL , 通常为 100mL ; V_2 为第二次读数时的水量, mL , 通常为 500mL ; t_1 为第一次读数时的时间, s ; t_2 为第二次读数时的时间, s 。

1.3 渗水仪的选用

本次研究对《公路路基路面现场测试规程》(JTJ059-95) 中规定的渗水仪在不足的地方进行了适当的改进。主要的改进是: 增大了底座的外围直径 (22cm); 增加了渗水仪的高度 (51.5cm); 增加了和底盘形状面积一样的塑料环以便于确定密封面积。

2 室内试验研究

2.1 研究用材料

研究采用与轮碾成型机碾压成型的车辙试件板块进行试验, 得出不同级配类型的沥青混合料的渗水系数与空隙率之间的关系。对工程上使用广泛的 AC-25I, AC-20I, AC-16I 调整型, AC-13I, SMA16, SMA13 等分别采用规范规定的级配中值进行渗水系数试验。

2.2 试验结果

在试验过程中, 采用式 (3) 来计算渗水系数, 同时记录试验过程中的试件渗水的情况。各种沥青混合料不同的空隙率试验结果见表 3。

3 渗水试验结果分析

各种级配的沥青混合料的渗水系数随着空隙率增大而增大, 要想使沥青混合料渗水不严重, 就必须控制住沥青混合料的空隙率, 不能使空隙率过大。

对各种级配的水空隙率和渗水系数进行回归分析, 关系式见表 4, 表中 y 是渗水系数 C_w (mL/min), x 是空隙率 ($\%$)。各种级配的沥青混合料的渗水系数

和空隙率具有较好相关性, 但是不同的级配具有各自的渗水系数和空隙率关系。

表 3 交通部公路科学研究院试验结果

Tab 3 Permeability test data of R I O. H. in lab										
AC13I	空隙率 %	10.4		8.4		7.4		6.7		6.0
	$C_w/\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$	629		462		262		83		0
	渗水情况	贯透		贯透		贯透		贯透		不贯透
SMA 13	空隙率 %	9.6		8.1		7.0		6.5		4.55
	$C_w/\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$	1702		1458		1292		740		52
	渗水情况	贯透		贯透		贯透		贯透		不贯透
调整 AC16I	空隙率 %	10.2		8.3		6.0		5.0		4.0
	$C_w/\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$	1605		289		0		0		0
	渗水情况	贯透		贯透		不贯透		不贯透		不贯透
AC25I	空隙率 %	7.1		5.0		3.8		2.7		1.9
	$C_w/\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$	592		140		12		24		3
	渗水情况	贯透		贯透		不贯透		不贯透		不贯透
AC20I	空隙率 %	8.4	7.8	7.6	5.6	4.6	4.9	3.7	3.0	
	$C_w/\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$	650	409	410	44	14	11	7	28	
	渗水情况	贯透	贯透	贯透	不贯透	不贯透	不贯透	不贯透	不贯透	不贯透
SMA 16	空隙率 %	11.6	10.5	9.3	8.2	7.2	4.6		3.5	
	$C_w/\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$	1949	1846	1435	272	117	115		9	
	渗水情况	贯透	贯透	贯透	贯透	贯透	贯透		不贯透	

表 4 各种级配的空隙率和渗水系数回归结果

Tab 4 Lab regressions between air voids and permeability of different mixtures		
沥青混合料级配	关系式	相关系数 R
AC13I	$Y=149.88x-881.18$	0.9775
SMA13	$Y=2311.3\ln(x)-3424.6$	0.975
AC16I 调整	$Y=79.768x^2-897.8x+2408.8$	0.9846
SMA16	$Y=0.0701x^{4.1965}$	0.9416
AC20	$Y=35.97x^2-302.21x+622.63$	0.9957
AC25	$Y=33.189x^2-188.24x+258.37$	0.9997

在相同的空隙率状态下, 粒径大的密级配沥青混合料的渗水系数要大于粒径较小的沥青混合料的渗水系数。说明不同级配类型的沥青混合料, 空隙率的内部结构是有差异的, 即使空隙率的数值一样, 它们的渗水系数也不一定相同。

采用式 (2) 计算的渗水系数 K 和 C_w 进行比较, 并且对所有级配的沥青混合料的两种渗水系数数值进行线性回归分析, 发现两者存在很好的线性相关关系见图 1, 关系式见式 (4), 其线性回归的相关系数 $R=0.9987$ 。

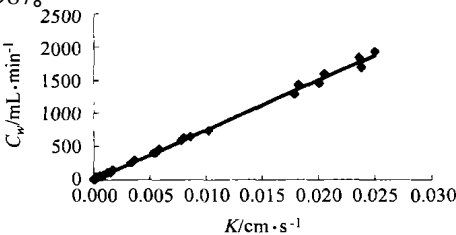


图 1 C_w 和 K 的关系

Fig 1 C_w versus K

$$C_w=75419\times K+4.6\tag{4}$$

利用式 (4) 的关系, 将 NCAT 所推荐的细级配和粗级配的沥青混合料的临界渗水系数 K 换算为 C_w , C_w 的临界渗水系数为: 对于细级配的 $C_w=80\text{mL}/\text{min}$; 对于粗级配的 $C_w=118\text{mL}/\text{min}$ 。这两个计算结果可作为分析、建立渗水系数指标值的参考。

沥青混合料的空隙率和渗水系数 C_w 的关系曲线如图 2。

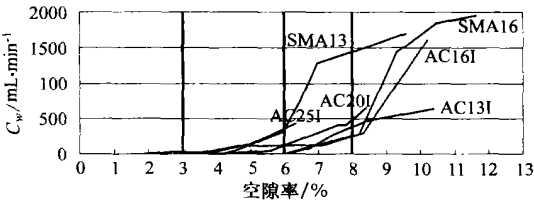


图 2 渗水系数 C_w 和空隙率关系

Fig 2 C_w versus air void content

图 2 中, 当 AC20、AC25 试件的空隙率大于 5% ~ 6%、AC-16I 试件的空隙率大于 8% 时, 渗水系数均会迅速增大, 而 AC-13I 增大的趋势不如前者大。说明当空隙率大于一定的数值时, 渗水系数会急剧增大, 而且大粒径沥青混合料随着空隙率的增大, 其渗水系数增加的程度要大于细粒径的。

在各种沥青混合料的设计空隙率范围内除了 AC25 外, 沥青混合料的渗水系数都非常的小, 说明只要达到设计空隙率的要求, 沥青混合料可以做到基本不渗水。如 AC 的设计空隙率范围 3% ~ 5% 内, 除了 AC25 以外, 渗水系数都能够小于 $120\text{mL}/\text{min}$, 而且大多数为 0; 对于 AC13I、AC16I 调整型、AC20I 这些密级配沥青混合料, 当空隙率小于 6% 时, 5cm 厚的车辙试件不会发生水流上下贯透的情况。可以认为在空隙率小于 6% 时, 混合料基本上可以防止水进入到下一层沥青层中去。空隙率为 7% ~ 8% 时, 此时所有车辙试件均发生了水流贯透, 渗水系数值较大。AC25 的渗水系数过大的原因, 是因为现行车辙试验的试件厚度和集料的最大公称粒径不匹配。

对于 SMA13 和 SMA16, 在设计空隙率为 4% 时, 渗水系数都能够小于 $50\text{mL}/\text{min}$, 空隙率如果大于 6% 时, 渗水系数会大于 $110\text{mL}/\text{min}$, 空隙率大于 8% 时, 渗水系数均会迅速增大。说明 SMA 混合料的渗水性能受空隙率的影响比 AC-13I 的更加敏感, 所以对 SMA 来说, 需要制订更加严格的渗水系数标准。

4 配合比设计阶段渗水系数指标值的确定

分两种情况确定渗水系数标准值: 一种是公称最

大粒径 $\leq 19\text{mm}$ 的密级配沥青混合料, 即 AC 型; 另一种是 SMA 混合料。

4.1 AC 型沥青混合料

考察试件由贯透向不贯透过渡时, 各种沥青混合料的空隙率和渗水系数的变化情况, 见表 5。

表 5 试件渗水由不贯透向贯透过渡示意图

Tab 5 Transition of specimens from waterproof to permeable

混合料类型	空隙率过渡范围/%	C_w 过渡范围/ $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$
AC13I	6.0~6.7	0~83
AC16I 调整	6.0~8.3	0~289
AC20I	5.6~7.6	44~410
SMA13	4.6~6.5	52~740
SMA16	3.5~4.6	9~115

从表 5 中可见, AC 配合比设计时的空隙率控制范围是 3%~5% (或者为 4%~6%), AC13I 和 AC16I 调整型级配都是不贯透渗水的, AC20I 由不贯透渗水向贯透渗水过渡。结合前述几个单位的试验结果可以看出, AC 型混合料的目标空隙率控制在 3%~5% 的范围内, AC13I、AC16I、AC20I 的渗水系数基本上都能够小于 $100\text{mL}/\text{min}$, 而且大多数为 0, 考虑到设计空隙率可能加大到 6% 的情况, 又是初次建立渗水系数指标, 并且参考 NCAT 的渗水系数临界值换算过来的渗水系数值 $80\text{mL}/\text{min}$ 和 $118\text{mL}/\text{min}$, 建议对公称最大粒径 $\leq 19\text{mm}$ 的 AC 型的沥青混合料配合比试件检验的渗水系数指标值定为 $120\text{mL}/\text{min}$ 。

4.2 SMA 沥青混合料

对于 SMA, 由于配合比设计时的目标空隙率是 3%~4%, 重载路段允许到 4.5%, 因此主要考察在空隙率为 4%~4.5% 时的 SMA 混合料的渗水情况。从表 5 可见 SMA13 在空隙率为 4.6% 时, 车辙试件不贯透, 渗水系数只有 $52\text{mL}/\text{min}$, 在空隙率为 4.0% 时, SMA13 可以做到基本上不贯透。SMA16 不贯透的

临界值在空隙率 3.5%~4.6% 之间, 4.0% 几乎是两者的中值, 渗水系数变化范围是 $9\sim 115\text{mL}/\text{min}$, 因此对于 SMA, 在空隙率的设计控制值 4% 时, SMA13 和 SMA16 的渗水系数都能够小于 $60\text{mL}/\text{min}$ 。由于 SMA 要比传统的密级配沥青混合料 AC 控制得要严格一些, 考虑到设计空隙率可能达 4.5%, 以及初次建立渗水系数指标的情况, 建议 SMA 渗水系数指标值定为 $80\text{mL}/\text{min}$ 。

5 结论和建议

(1) 达西定律适用于研究沥青混合料的渗水性。
(2) 对于密实型沥青混合料适合的渗水试验是变水头渗水试验。

(3) 两种计算方法得到的渗水系数 C_w 和 K 之间存在很好的线性相关关系。

(4) 沥青混合料的渗水系数和级配类型以及最大粒径有关系。

(5) 当空隙率大于一定的数值时 (7%~8%), 沥青混合料的渗水系数会急剧增大, 大粒径沥青混合料随着空隙率的增大, 其渗水系数增加的程度要大于细粒径的。

(6) 在沥青混合料的配合比设计阶段, 建议对公称最大粒径 $\leq 19\text{mm}$ 的 AC 型的渗水系数指标值定为不大于 $120\text{mL}/\text{min}$, SMA 渗水系数指标值定为不大于 $80\text{mL}/\text{min}$ 。

参考文献:

- [1] 洪毓康. 土质学与土力学 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1987.
- [2] G W Maupin, Jr. Investigation of Test Methods, Pavements, and Laboratory Design Related to Asphalt Permeability [R]. Virginia Transportation Research Council, VTRC00-R24, 2000.
- [3] JTJ059-95, 公路路基路面现场测试规程 [S].