

Study on the Relationship between Void Ratio and the Performance of Water Seepage and Drainage of Asphalt Concrete

Ailing Yao¹, Fangyuan Han¹, Yang Liu², Changgong Zhang³, Tao Yang¹

¹Key Laboratory of Highway Engineering in Special Region of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an Shaanxi

²China Design Group Limited by Share Ltd., Shaanxi Branch, Xi'an Shaanxi

³Central South Institute of Safety and Environment Technology, Limited by Share Ltd., Wuhan Hubei
Email: 190925931qq.com

Received: Apr. 25th, 2019; accepted: May 10th, 2019; published: May 17th, 2019

Abstract

The water damage of asphalt pavement is closely related to the void ratio of asphalt concrete, in pavement construction and even after cracking, the variation range of void ratio is relatively large. For the typical upper asphalt concrete specimens of AC-13 and SMA-13, six kinds of void ratios are designed, and five kinds of transverse slopes are designed for the transverse drainage test. The vertical seepage and transverse drainage performance tests are carried out. It is found that: there is a good linear relationship between the connected void ratio and the void ratio; the vertical water seepage coefficient and transverse permeability coefficient of AC-13 and SMA-13 show three stages of variation along with the increase of void ratio, and the three stages void ratio range is given separately, the comparison shows that the variation ranges of void ratio range corresponding to the three stages of vertical water seepage coefficient and transverse permeability coefficient are basically the same. Compared with AC-13, the vertical water seepage coefficient and transverse permeability coefficient of SMA-13 are more sensitive to the change of void ratio; combined with the requirements of asphalt pavement construction technical specifications for vertical water seepage coefficient, drawing on the requirements of the permeability specification for the Technical Regulations for transverse permeability coefficient, the seepage and drainage performances of asphalt concrete are analyzed to provide guidance for the construction control of asphalt pavement void ratio.

Keywords

Asphalt Pavement, Water Damage, Void Ratio, Water Seepage Performances, Drainage Performances

空隙率与沥青混凝土渗排水性能的关系研究

姚爱玲¹, 韩方元¹, 刘洋², 张长弓³, 杨涛¹

¹长安大学特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安

²中设设计集团股份有限公司陕西分公司, 陕西 西安

³中南安全环境技术研究院股份有限公司, 湖北 武汉

Email: 190925931qq.com

收稿日期: 2019年4月25日; 录用日期: 2019年5月10日; 发布日期: 2019年5月17日

摘要

沥青路面的水损害与沥青混凝土的空隙率有密切关系, 路面在施工中乃至产生裂缝后的使用中, 空隙率的变化范围是比较大的。针对AC-13、SMA-13两种典型的上面层沥青混凝土, 分别设计了6种不同空隙率, 针对横向排水, 设计5种横坡度并进行了竖向渗水以及横向排水性能试验研究。结果表明: 连通空隙率与空隙率有着良好的线性关系; AC-13和SMA-13的竖向渗水系数和横向渗透系数均随着空隙率的增大呈三阶段变化特征, 分别给出了三个阶段的空隙率范围, 对比发现竖向渗水系数与横向渗透系数三个变化阶段所对应的空隙率变化范围基本一致; 与AC-13相比, SMA-13的渗水系数和渗透系数对空隙率的变化更加敏感; 结合《公路沥青路面施工技术规范》对渗水系数的要求, 借鉴《透水水泥混凝土路面技术规程》对渗透系数的要求, 分析了沥青混凝土的空隙率范围, 为沥青路面施工与使用中的空隙率控制提供指导。

关键词

沥青路面, 水损害, 空隙率, 渗水性能, 排水性能

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

沥青路面的水损害问题普遍存在。进入到路面结构内部的水, 如果短时间内排不出去, 在行车荷载的反复作用下, 会使路面出现松散、剥离以及坑洞等水损害问题, 严重影响道路的使用质量和寿命。从其破坏机理来看, 尽可能地减少进入到路面结构内部的水或者使路面结构内部的水尽快地排出来以减少水损害, 因此研究路面的渗水排水性能对水损害的防治非常重要[1][2][3][4]。开级配沥青混凝土 OGFC 路面由于其大空隙率能够迅速地排走沥青路面内的水[5], 然而对于常规的密级配沥青混凝土的渗水排水性能目前国内外研究较少[6], 通过最常用的两类密实型上面层沥青混凝土 AC-13 和 SMA-13, 分别设计了 6 种不同的空隙率, 分析其与竖向渗水系数和横向渗透系数之间的关系, 同时对横向排水试验设计了 5 种横坡度, 以便研究分析沥青混凝土的渗水和排水性能, 为路面水损害的防治以及制定合理的道路施工标准提供理论依据, 最终提高道路的使用性能[7]。

2. 沥青混凝土配合比设计及试件成型

2.1. 原材料

AC-13 和 SMA-13 两种沥青混凝土所用的沥青分别是 A-90 基质沥青和 SBS 改性沥青 I-C, 此外, 试验中还用到的材料有粗集料、细集料、填料以及木质素纤维。经检验, 所用原材料均满足 JTG F40-2004

《公路沥青路面施工技术规范》[8]的要求。

2.2. 矿料级配、油石比的确定

经试验最终得出[9] AC-13 的最佳油石比为 4.8%，SMA-13 的最佳油石比为 6.3%，矿料级配见表 1。

Table 1. Mineral aggregate gradation

表 1. 矿料级配

混凝土类型	各筛孔(mm)所占比例/%									
	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	矿粉
AC-13	5	18.5	27.5	16	10.5	7.5	5.5	3	3.5	3
SMA-13	5	32.5	35.5	6.5	1.5	3	3	1	2	10

2.3. 试件制作

路面在施工中乃至已经产生裂缝后的使用中，空隙率的变化范围是比较大的。因此实验室设计空隙率时选用了较宽的范围，给出了 6 种不同的压实度。试验时采用设计的配合比，通过控制试件的压实度来实现试件不同的空隙率，与压实度对应的空隙率通过换算得出[10]，通过制作车辙板试件，从每种空隙率的车辙板试件中取一块板进行钻芯取样，共取 4 个芯样，测定实际的空隙率和连通空隙率。压实度和空隙率的计算值见表 2。

Table 2. 6 kinds of compactness corresponding void ratio

表 2. 6 种压实度对应的空隙率

压实度	>100%	100%	97%	94%	91%	88%
AC-13 空隙率	2.6%	3.8%	6.6%	9.5%	12.4%	15.3%
SMA-13 空隙率	2.6%	3.4%	6.3%	9.2%	12.1%	15.0%

2.4. 空隙率、连通空隙率的测定与分析

按照规范[9][10][11]要求的方法对空隙率和连通空隙率进行测试，结果见表 3。

Table 3. Measured void ratio, connected void ratio

表 3. 实测空隙率、连通空隙率

AC-13	设计空隙率/%	2.6	3.8	6.6	9.5	12.4	15.3
	实测空隙率/%	2.7	3.6	6.4	8.7	11.9	14.2
	连通空隙率/%	0.8	1.7	2.3	3.8	4.5	6.5
SMA-13	设计空隙率/%	2.6	3.4	6.3	9.2	12.1	15.0
	实测空隙率/%	2.4	3.2	6.0	8.6	11.3	13.8
	连通空隙率/%	1.0	1.9	3.3	5.4	7.9	10.5

为分析密实型沥青混凝土空隙率与连通空隙率关系[12]，根据表 3 绘制其关系图，如图 1 所示。

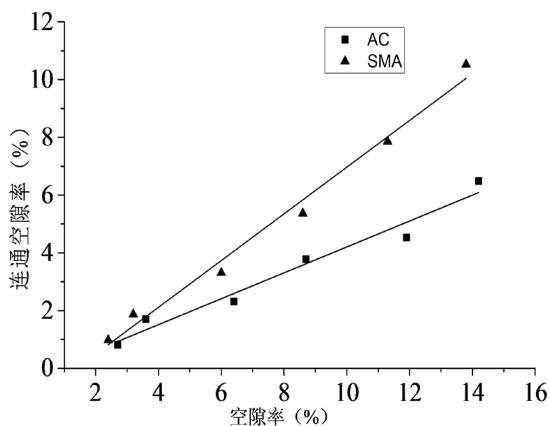


Figure 1. The relationship between void ratio and connected void ratio

图 1. 空隙率与连通空隙率的关系

对 AC-13、SMA-13 的空隙率与连通空隙率进行拟合, 得到线性回归式, 见式(1)、(2):

$$y = 0.809x - 1.124 (R^2 = 0.9843) \quad (1)$$

$$y = 0.809x - 1.124 (R^2 = 0.9843) \quad (2)$$

由图 1 可知: AC-13 和 SMA-13 的连通空隙率随空隙率的变化趋势基本相同; 空隙率相同时, SMA-13 的连通空隙率与空隙率的关系曲线斜率均大于 AC-13, 表明随着空隙率增大, SMA-13 中连通空隙率增长较快, 反映出 SMA-13 中空隙率的变化对连通空隙率的影响较大。

3. 空隙率与竖向渗水系数的关系研究

水能够进入到沥青路面内部与竖向渗水性能有直接的关系[13][14][15], 通过沥青混凝土的室内竖向渗水试验, 研究空隙率与渗水系数的关系, 从而为水损害的防治提供理论依据。

3.1. 竖向渗水试验

渗水性能用渗水系数表示, 渗水系数越大, 说明其渗水性能越好, 相应地, 抗渗水性能越差[16]。试验采用车辙板试件研究空隙率与渗水性能之间的关系。沥青混合料渗水系数用透水系数测试仪测试, 结果见表 4。

Table 4. Water seepage test results

表 4. 渗水试验结果

AC-13	设计空隙率/%	2.6	3.8	6.6	9.5	12.4	15.3
	实测空隙率/%	2.7	3.6	6.4	8.7	11.9	14.2
	连通空隙率/%	0.8	1.7	2.3	3.8	4.5	6.5
	渗水系数 $C_w/ml \cdot min^{-1}$	0	0	49.8	182.2	316.3	682.1
	渗水情况	不渗水	不渗水	基本不渗水	渗水	渗水	渗水
SMA-13	设计空隙率/%	2.6	3.4	6.3	9.3	12.1	15.0
	实测空隙率/%	2.4	3.2	6.0	8.6	11.3	13.8
	连通空隙率/%	1.0	1.9	3.3	5.4	7.9	10.5
	渗水系数 $C_w/ml \cdot min^{-1}$	0	0	303.3	895.6	1497.2	2776.8
	渗水情况	不渗水	不渗水	渗水	渗水	渗水	渗水

3.2. 竖向渗水试验结果分析

为便于分析渗水系数与空隙率之间的关系,根据表 4 中的试验数据,绘制了两种沥青混凝土试件空隙率、连通空隙率与渗水系数的关系曲线,如图 2 和图 3 所示。

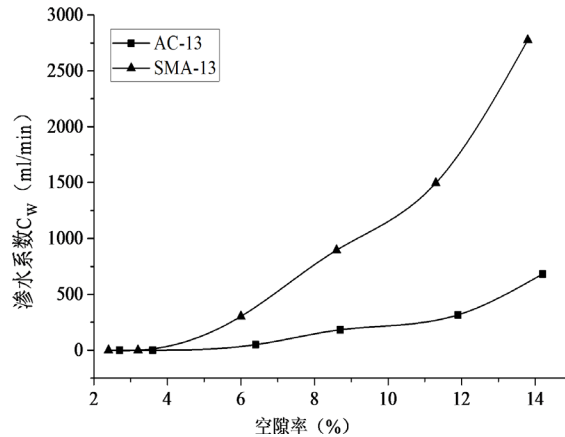


Figure 2. Relation curve of void ratio and water seepage coefficient
图 2. 空隙率与渗水系数的关系曲线

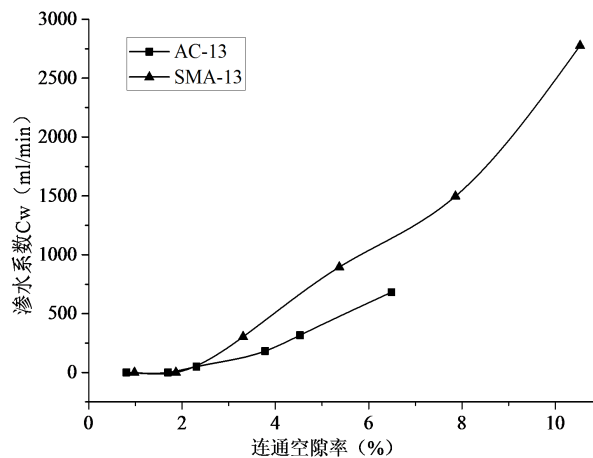


Figure 3. Relation curve of connected void ratio and water seepage coefficient
图 3. 连通空隙率与渗水系数的关系曲线

图中得出以下结论:

1) AC-13 和 SMA-13 的渗水系数随空隙率变化呈现阶段性特征。第一阶段,当 AC-13 的空隙率小于 4%, SMA-13 的空隙率小于 3.5% 时,渗水系数为 0 ml/min,此时水不能从渗水仪中渗出,即不能进入沥青路面,沥青路面有非常好的泌水性;第二阶段,当 AC-13 的空隙率在 4%~12% 之间、SMA-13 空隙率在 3.5%~9% 之间时,随着空隙率的增大,渗水系数直线增大;第三阶段,当 AC-13 的空隙率大于 12%、SMA-13 空隙率大于 9.0% 时,随着空隙率的增大,渗水系数也呈直线增加,但直线斜率比第二阶段显著变大,表明此时水很容易下渗,已经是排水路面混凝土的特征。

2) AC-13 和 SMA-13 的渗水系数随空隙率变化趋势基本相同;但是,当空隙率相同时, SMA-13 的渗水系数大于 AC-13 的,并且其关系曲线的斜率比 AC-13 大,表明随着空隙率增大, SMA-13 比 AC-13 更容易渗水。

对比图 2、图 3 发现渗水系数随空隙率、连通空隙率的变化趋势相同；结合图 1 可以看出渗水系数与连通空隙率随空隙率的变化趋势也相同，空隙率相同时，SMA-13 的渗水系数与连通空隙率均大于 AC-13 的，表明连通空隙率对渗水系数起主要作用，连通空隙率越大，渗水系数越大。但从空隙率与连通空隙率的拟合结果来看，两者具有良好的线性关系。因此为了使研究结果更加便于工程应用，用空隙率来表征渗透系数的变化是合理的。

根据 JTG F40-2004《公路沥青路面施工技术规范》[8]的规定，AC-13 和 SMA-13 的渗水系数分别不大于 120 ml/min 和 80 ml/min，根据试验结果，其相应的空隙率分别不大于 7.7%和 4.0%。AC-13 和 SMA-13 沥青混凝土配合比设计时，空隙率要求的范围分别为 3%~5%和 3%~4%，此时对应的渗水系数分别为 0~9 ml/min 和 0~34 ml/min，因此，当配合比设计合理时，现行规范的渗水系数实际上对混合料的配合比设计基本上没有太多限制的意义，但是对 AC 混凝土沥青路面来说，由于施工中的空隙率通常达到 8%；SMA 混凝土路面，空隙率通常达到 6%，后期应用中，由于裂缝形成等原因，路面实际空隙率也会稍微变大，因此，研究空隙率与横向渗透系数的关系就有着比较重要的意义。

4. 空隙率与横向渗透系数的关系

渗入路面结构内的水能否排出，不仅取决于混凝土的空隙率，更重要的是连通空隙率以及该空隙率是否通畅[17]，同时跟路面的横坡度有关。要探明进入到路面结构内部的水能否在横坡度的作用下及时排出，就需掌握在不同横坡以及不同空隙率下路面的横向排水性能，通过沥青混凝土试件的室内横向排水试验，研究空隙率与排水性能的关系[18]，为路面水损害的防治提供依据。

4.1. 横向排水试验

沥青混凝土的横向排水性能可以用渗透系数表示，渗透系数越大，表明沥青混凝土的排水性能就越好[19]。目前，国内外对于渗透系数的测定并没有统一的方法，为此本研究自行设计了测定沥青混凝土渗透系数的设备，其示意图如图 4。

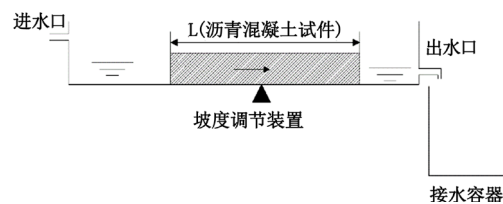


Figure 4. Horizontal drainage test device diagram

图 4. 横向排水试验装置图

试验时，选用 2%、2.5%、3%、3.5%和 4%五种坡度，分别测定试件在 5 种坡度时的渗透系数，渗透系数按式 3 进行计算，计算结果见表 5。

$$K = \frac{2QL}{lt(H^2 - h^2)} \quad (3)$$

式中：K-沥青混合料的渗透系数，cm/s；

Q-t 时间内流出的水量，cm³/s；

H、h-进水口和出水口处的水位标高，cm；

L-渗流长度，本试验取车辙板长度，30 cm；

l-试件宽度，cm；t-渗流时间，s。

Table 5. Permeability coefficient test results
表 5. 渗透系数试验结果

AC-13				SMA-13					
实测空隙率 /%	连通空隙率 /%	横向坡度 /%	渗透系数 /cm * s ⁻¹	设计空隙率 /%	实测空隙率 /%	连通空隙率 /%	横向坡度 /%	渗透系数 /cm * s ⁻¹	设计空隙率 /%
		2.0	0				2.0	0	
		2.5	0				2.5	0	
2.7	0.8	3.0	0	2.6	2.4	1.0	3.0	0	2.6
		3.5	0				3.5	0	
		4.0	0				4.0	0	
		2.0	0				2.0	0.0013	
		2.5	0				2.5	0.0023	
3.6	1.7	3.0	0	3.8	3.2	1.9	3.0	0.0035	3.4
		3.5	0				3.5	0.0048	
		4.0	0				4.0	0.0063	
		2.0	0.0379				2.0	0.0708	
		2.5	0.0427				2.5	0.0793	
6.4	2.3	3.0	0.0471	6.6	6.0	3.3	3.0	0.0877	6.3
		3.5	0.0516				3.5	0.0948	
		4.0	0.0563				4.0	0.1019	
		2.0	0.0714				2.0	0.1248	
		2.5	0.0817				2.5	0.1371	
8.7	3.8	3.0	0.0921	9.5	8.6	5.3	3.0	0.1493	9.2
		3.5	0.0997				3.5	0.1602	
		4.0	0.1076				4.0	0.1712	
		2.0	0.1144				2.0	0.2269	
		2.5	0.1244				2.5	0.2391	
11.9	4.5	3.0	0.1345	12.4	11.3	7.9	3.0	0.2503	12.1
		3.5	0.1442				3.5	0.2605	
		4.0	0.1538				4.0	0.2697	
		2.0	0.2967				2.0	0.3713	
		2.5	0.3043				2.5	0.3984	
14.2	6.5	3.0	0.3120	15.3	13.8	10.5	3	0.4251	15.0
		3.5	0.3239				3.5	0.4501	
		4.0	0.3359				4.0	0.4750	

4.2. 向排水试验结果分析

为分析渗透系数与空隙率之间的关联, 根据表 5 中的试验数据, 绘制出不同坡度时沥青混凝土试件空隙率、连通空隙率与渗透系数的关系曲线, 如图 5~8 所示。

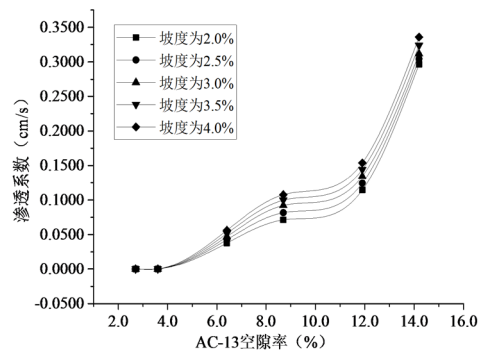


Figure 5. Relation curve of AC-13 void ratio and permeability coefficient
图 5. AC-13 空隙率与渗透系数的关系曲线

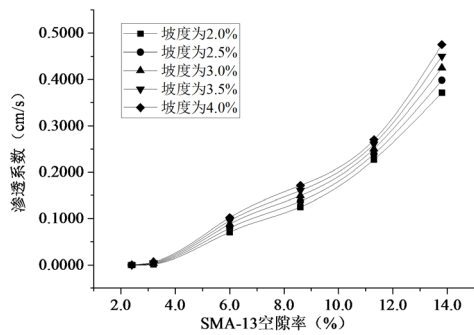


Figure 6. Relation curve of SMA-13 void ratio and permeability coefficient
图 6. SMA-13 空隙率与渗透系数的关系曲线

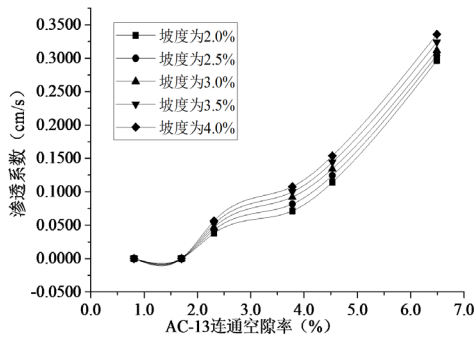


Figure 7. Relation curve of AC-13 connected void ratio and permeability coefficient
图 7. AC-13 连通空隙率与渗透系数的关系曲线

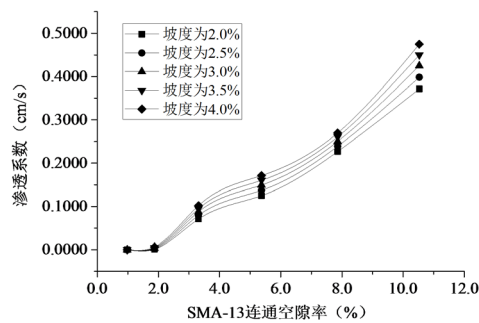


Figure 8. Relation curve of SMA-13 connected void ratio and permeability coefficient
图 8. SMA-13 连通空隙率与渗透系数的关系曲线

从图中得出以下结论:

1) AC-13 和 SMA-13 的横向渗透系数也具有随着空隙率的增大呈三阶段增长的特征。第一阶段, 当 AC-13 的空隙率小于 3.5%, SMA-13 的空隙率小于 3% 时, 渗透系数几乎为 0 cm/s, 此时沥青混凝土不排水; 第二阶段, 当 AC-13 的空隙率在 3.5%~12%, SMA-13 空隙率在 3.0%~10% 时, 随着空隙率的增大, 渗透系数在增大; 第三阶段, 当 AC-13 空隙率大于 12%, SMA-13 空隙率大于 10%, 随着空隙率的增大, 渗透系数呈直线增加, 且斜率更大, 表明此时沥青混凝土排水效果较好。

2) 坡度越大, 空隙率与渗透系数关系曲线的斜率就越大, 表明坡度对排水性能的影响显著。

为分析混合料种类对渗透系数的影响, 绘制 AC-13 和 SMA-13 在坡度为 2% 和 3% 时的空隙率与渗透系数的关系曲线, 如图 9 和图 10 所示。

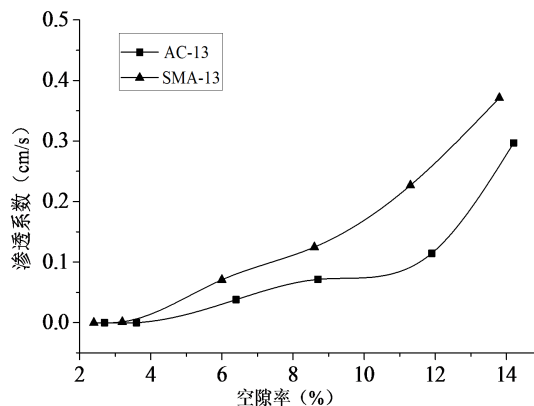


Figure 9. Relation Curve of void ratio and permeability coefficient when the slope is 2%
图 9. 坡度为 2% 时的空隙率与渗透系数的关系曲线

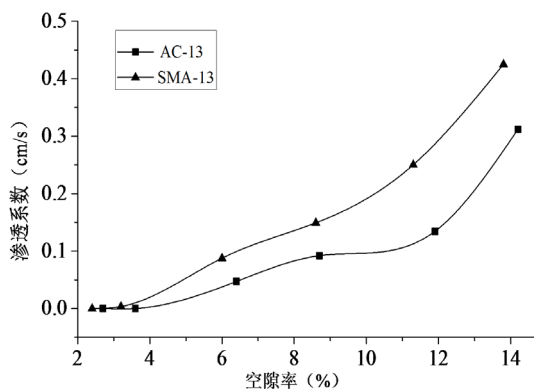


Figure 10. Relation Curve of void ratio and permeability coefficient when the slope is 3%
图 10. 坡度为 3% 时的空隙率与渗透系数的关系曲线

由图 10 得出以下结论:

AC-13 和 SMA-13 的渗透系数随空隙率变化的趋势基本相同; 空隙率相同时, SMA-13 的渗透系数大于 AC-13 的; 并且其关系曲线的斜率比 AC-13 大, 表明随着空隙率增大, SMA-13 比 AC-13 更容易排水。

对比图 5、图 6 与图 7、图 8 发现渗透系数随着空隙率、连通空隙率的变化趋势相同; 结合图 1 与图 9、图 10 对比发现渗透系数与连通空隙率随空隙率的变化趋势也相同; 空隙率相同时, SMA-13 的渗透系数与连通空隙率均大于 AC-13 的, 说明连通空隙率对渗透系数起主要作用, 连通空隙率越大, 渗透系数越大。因此用空隙率来表征渗透系数的变化也是合理的。

对比渗水系数和渗透系数三个变化阶段的空隙率范围,其变化范围基本一致。由关系图分析出,对于不同的横坡度,能够顺利排水的空隙率范围。现行有关沥青混凝土的规范中对渗透系数的大小没有具体规定,借鉴 CJJ/T135-2009《透水水泥混凝土路面技术规程》[20]的规定,多孔混凝土的渗透系数应不小于 0.05 cm/s,结合图 5 和图 6 得出不同坡度下满足此要求的空隙率范围,如表 6 所示。

Table 6. Void ratio range of transverse permeability coefficient ≥ 0.05 cm/s
表 6. 渗透系数 ≥ 0.05 cm/s 的空隙率范围

坡度/%	空隙率/%	
	AC-13	SMA-13
2.0	≥ 7.1	≥ 5.1
2.5	≥ 6.8	≥ 4.9
3.0	≥ 6.5	≥ 4.7
3.5	≥ 6.3	≥ 4.6
4.0	≥ 6.0	≥ 4.4

为研究满足上述要求的空隙率范围能否满足沥青混凝土排水要求,对不同坡度下渗入到路面结构内部水的排水时长进行计算,计算公式如下所示[21]:

$$t = \frac{L}{3600v} \quad (4)$$

$$L = B \sqrt{1 + \frac{i_z^2}{i_h^2}} \quad (5)$$

$$v = \frac{1}{n_e} k_e \sqrt{i_z^2 + i_h^2} \quad (6)$$

式中:

t -渗流时间/h; L -排水长度/cm; v -渗流速度/cm * s⁻¹;

B -单幅路面宽度/cm,计算时选用双向 6 车道半幅路面宽度 $B = 1125$ cm;

i_h -路面横坡坡度/%; i_z -路面的纵坡坡度/%,取 2%;

n_e -连通空隙率/%; k_e -渗透系数/cm * s⁻¹,取 0.05 cm/s。

对不同沥青混凝土类型的路面排水时长进行计算,空隙率对应的连通空隙率可由式(1)、(2)得出,计算结果见表 7 所示。

Table 7. Drainage time of different types of asphalt concrete
表 7. 不同类型沥青混凝土的排水时长

混凝土类型	AC-13					SMA-13					
	坡度/%	空隙率/%	连通空隙率/%	排水时长/h	空隙率/%	连通空隙率/%	排水时长/h	坡度/%	空隙率/%	连通空隙率/%	排水时长/h
坡度/%	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	
空隙率/%	7.1	6.8	6.5	6.3	6	5.1	4.9	4.7	4.6	4.4	
连通空隙率/%	2.9	2.8	2.6	2.6	2.4	3.0	2.8	2.7	2.6	2.4	
排水时长/h	9.08	6.93	5.49	4.55	3.77	9.38	7.10	5.58	4.64	3.81	

根据评价指标 t_{50} (路面排出 50%雨水的的时间)来评价沥青路面的排水性能[22],如表 8 所示。

Table 8. Drainage time of different types of asphalt concrete
表 8. 不同类型沥青混凝土的排水时长

排水时间 t_{50}	不排水	1 月	1 周	2 d	2 h
排水性能等级	很差	差	中	良	优

由表 7、表 8 得出, 在不同坡度下满足渗透系数要求时, 沥青混凝土的排水性能达到了良的等级。根据表 6 绘制出坡度与满足排水要求的空隙率关系图, 如图 11 所示。

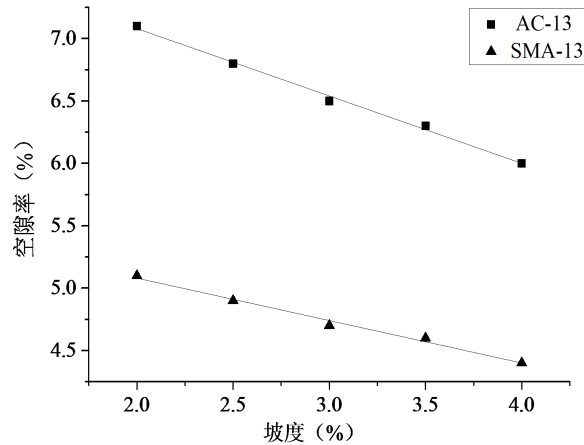


Figure 11. Relationship between slope and void ratio that meets drainage requirements
图 11. 坡度与满足排水要求的空隙率的关系

对 AC-13 和 SMA-13 两种沥青混合料进行拟合, 得到线性回归式分别见式(7)、(8)。

$$y = -0.54x + 8.16 \quad R^2 = 0.9945 \quad (7)$$

$$y = -0.34x + 5.76 \quad R^2 = 0.9863 \quad (8)$$

从式中看出空隙率与坡度有良好的相关性, 根据函数关系式得出不同坡度下满足排水要求的空隙率范围。

5. 结论

1) AC-13 和 SMA-13 的竖向渗水系数和横向渗透系数随空隙率变化的趋势基本相同, 随着空隙率的增大呈三阶段变化特征, 其空隙率变化范围基本一致。第一阶段, 渗水系数和渗透系数都几乎为 0, 此时沥青路面有非常好的泌水性且不排水; 第二阶段, 随着空隙率的增大, 渗水系数和渗透系数呈直线增长, 两种沥青混凝土的渗水排水性能逐渐增大; 第三阶段, 随着空隙率的增大, 渗水系数和渗透系数呈直线增加, 且直线斜率比第二阶段显著变大, 具有排水路面混凝土的特征。

2) 空隙率相同时, SMA-13 的渗水系数、渗透系数均大于 AC-13 的; 并且其关系曲线的斜率均比 AC-13 大, 表明与 AC-13 相比, SMA-13 对空隙率变化更加敏感。

3) 满足配合比设计要求的空隙率范围时, 渗水系数基本能满足要求, 但由于实际施工可能会影响渗水系数的大小; 借鉴 CJJ/T135-2009《透水水泥混凝土路面技术规程》[13]对渗透系数的要求, 当渗透系数满足要求时排水性能均达到良的等级, 并拟合出不同横坡度与满足排水要求的空隙率关系式。

4) 影响 AC-13 和 SMA-13 的渗水系数与渗透系数的主要因素是连通空隙率。连通空隙率与空隙率有着良好的线性关系, 可以使用空隙率来表征渗水系数和渗透系数的变化。

参考文献

- [1] 凌浪, 刘祥. 沥青路面水损害的病害机理、影响因素及解决措施[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2016, 12(2): 18-19.
- [2] 丁天锐. 沥青混凝土路面水损害的分析与预防对策[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2014, 10(8): 56-58.
- [3] 肖军. 高等级公路沥青路面水损害原因及处治措施[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2010, 6(1): 46-48.
- [4] 杨慧光. 多雨地区沥青混凝土路面水损害防治技术分析[J]. 公路, 2004(11): 165-167.
- [5] 刘羽. 大空隙透水沥青路面路用特性研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2014.
- [6] 李文深. 沥青路面水损坏与空隙率的相关性探讨[J]. 公路交通科技(应用技术), 2008(5): 68-69+72.
- [7] Kutay, M.E. and Aydilek, A.H. (2007) Dynamic Effects on Moisture Transport in Asphalt Concrete. *Journal of Transportation Engineering*, **133**, 78-83.
- [8] JTGF40-2004. 公路沥青路面施工技术规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [9] JTGE20-2011. 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [10] 韩学义. 沥青路面压实度和空隙率的变异性分析[J]. 北方交通, 2008(3): 29-33.
- [11] CJJT190-2012. 透水沥青路面技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [12] 龙永杰. 排水性沥青混合料空隙率与连通空隙率相关性研究[J]. 交通标准化, 2010(22): 101-103.
- [13] 高英, 曹荣吉, 等. 高速公路沥青路面渗水性能[J]. 交通运输工程学报, 2003, 3(3): 12-16.
- [14] 宋应发. 影响沥青路面渗水的因素分析[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2009, 5(4): 9-10.
- [15] 陈景, 孙澎涛, 李福普, 等. 沥青混合料渗水系数的研究[J]. 公路交通科技, 2006, 23(1): 5-8.
- [16] 但汉成, 李亮, 何要超, 等. 沥青路面渗水性能测试研究[J]. 公路交通科技, 2009, 26(8): 16-21+42.
- [17] 肖鑫, 张肖宁. 基于工业 CT 的排水沥青混合料连通空隙特征研究[J]. 中国公路学报, 2016, 29(8): 22-28.
- [18] 肖鑫, 张肖宁. 排水沥青路面排水能力分析 & 目标空隙率确定[J]. 中外公路, 2016, 36(1): 49-53.
- [19] 陈泽孔. 多车道排水沥青路面排水性能实验研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆交通大学, 2016.
- [20] 透水水泥混凝土路面技术规程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [21] 余威. 多雨地区沥青路面水损害分析与路面排水设计[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆交通大学, 2016.
- [22] JTJ034-2015. 公路路面基层施工技术规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org