

文章编号: 0451-0712(2005)12-0156-05

中图分类号: U414.750.1

文献标识码: B

# 双指标评价沥青混合料抗水损害性能

陈新<sup>1</sup>, 丁立<sup>2</sup>

(1. 衡阳市公路桥梁建设有限公司 衡阳市 421001; 2. 长沙理工大学 长沙市 410076)

**摘要:** 在区分沥青混合料水敏感性和水稳定性的基础上提出采用冲刷冻融试验环境模拟实际沥青路面水损害过程, 并提出新的指标: 剩余劈裂强度, 结合劈裂强度建立起双指标的沥青混合料抗水损害性能评价方法, 对规范中水稳定性的评价做了补充。

**关键词:** 沥青混合料; 水敏感性; 水稳定性; 劈裂强度; 剩余劈裂强度

国内外目前采用多种方法来评价沥青混合料水稳定性, 但是这些方法均以不同水侵蚀强度来模拟混合料不同使用阶段的水稳定性, 忽视了环境因素和行车荷载作用下的级配退化和沥青自然老化的影响。本文认为沥青混合料抗水损害性能应该包括水敏感性和水稳定性两部分。水稳定性指沥青混合料在遇水的条件下其抵抗水对沥青置换作用的耐剥落性能, 也就是混合料在有水条件下抵抗自身物理力学性能降低的能力; 水敏感性则是指沥青混合料的物理力学性能在有水存在的条件下引起其性能变化的程度。对沥青混合料的抗水损害性能的评价应将水敏感和水稳定性结合起来进行评价。本文通过设计出冲刷冻融水损害试验的模拟环境, 提出新的指标来评价沥青混合料的水稳定性, 对于规范做了一点补充。

## 1 冲刷冻融模拟环境的设计

冲刷冻融环境的试验流程包括以下几个步骤。第一步, 不同老化状态试件的成型: 根据现场调查路面出现水损害的临界空隙率为 7%~8%, 并参考美国 SHRP 的研究成果, 试件空隙率控制在 6.5%~8% 的范围内。第二步, 试件冻融循环: 在多次冻融循环过程中集料与沥青结合料在界面处经历了开裂、结合料片状剥落及结合料剥离的过程。第三步, 试件冲刷循环: 冻融劈裂试验本身是一种静态模拟水损害的方法, 无法模拟实际沥青路面在交通性车荷载作用下的全过程, 而冲刷循环模拟进入路面空隙中

的水在交通性车荷载作用下不断产生动水压力或真空负压抽吸的反复循环作用。第四步, 试件高温、常温浸水过程。第五步, 劈裂试验: 采用(间接拉伸)试验模拟沥青膜从集料-结合料界面上的撕裂剥离过程。

## 2 冲刷试验设备组成和冲刷试验原理

实际路面在有水及荷载作用的情况下会产生孔隙水压力和动水压力。多孔松散介质在受到剪切时, 不仅要产生形状的改变, 还要产生体积的变化, 在实际的路面应力条件下, 空隙体积通常不能实现自由膨胀或自由剪缩。当介质的自由膨胀受到限制时, 在介质中产生正值孔隙水压力, 使作用于骨架上的有效应力增加, 从而使介质的膨胀减小; 同样, 当介质的自由收缩受到限制时, 则在介质内要产生负值孔隙水压力, 减小骨架上的有效应力增加, 从而使介质的收缩减小。同样对于沥青路面在使用过程中出现的各种裂缝, 这些裂缝长度方向上的尺寸比宽度方向上的尺寸要大得多。在路面饱和时, 裂缝中充满了自由水, 在行车荷载施加后的瞬间, 会在其中产生远比在整体性的沥青混合料中大得多的动水压力, 并在压力差的作用下, 产生高速水流。由此产生的动水压力和孔隙水压力引起的压力差可以软化和剥落沥青混合料, 高的动水压力可以加速对混合料的软化和剥落, 压力差引起的高速水流对沥青混合料产生直接的冲刷和剪切作用, 导致了沥青路面水损害的产生。

试验仪器采用的冲刷试验设备主要用于在室内模拟实际车辆行驶过程中对道路材料的冲刷作用,现有的运用研究均集中在路面基层无机结合料稳定类材料的抗冲刷性能试验研究方面。冲刷试验设备采用高频振动加压来激振冲刷桶中的水体,使同在冲刷桶中的沥青试件的孔隙之间产生一定的孔隙水压力和水流,以模拟沥青路面在行车荷载作用下水损害的过程。冲刷试验设备还在某种程度上模拟雨天时行车车轮的真空负压作用,试验过程中,压头压紧试件后施加压力,水向空隙流动,冲刷混合料,加压结束,由于空气压力减小,水回流,这与行车车轮的真空负压作用一致。

### 3 试验级配的拟定和冲刷试验方案

#### 3.1 试验级配的拟定

试验采用表面层级配 DAC-13;另外,作为比较选取级配 SAC-13。SAC-13 属于半开级配,其粗集料相对 DAC-13 较多,在实体工程已经有比较多的应用,比较起来的效果较好,级配见表 1。

表 1 SAC-13 和 DAC-13 试验级配

级配类型	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%									
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
SAC-13	100	95	65	27.5	21.5	17	13	10.5	8	6
DAC-13	100	97	80	53	33	22	16	12	9	6

#### 3.2 冲刷试验方案

为了建立起可以反映路面水损害过程并能评价沥青混合料抗水损害的指标,要求该指标既反映混合料的水敏感性,又反映水稳定性,采用两种级配类型,即 SAC-13 和 DAC-13,3 种不同的胶结料。具体试验方案如下:

(1) SAC-13 + 改性沥青 + 6% 矿粉, DAC-13 + 改性沥青 + 6% 矿粉;

(2) SAC-13 + 改性沥青 + 4% 矿粉 + 2% 水泥, DAC-13 + 改性沥青 + 4% 矿粉 + 2% 水泥;

(3) SAC-13 + 基质沥青 + 6% 矿粉, DAC-13 + 基质沥青 + 6% 矿粉。

### 3.3 沥青混合料配合比设计

#### 3.3.1 原材料试验

试验采用广西百罗路课题材料,集料为灰绿岩集料,沥青采用 SBS 改性沥青和重交 AH-70。试验严格按照交通部颁发的《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052-2000)及《公路工程集料试验

规程》(JTJ 058-2000)进行。集料与沥青的粘附性及其力学指标均符合规范要求。沥青试验结果见表 2。

表 2 沥青性能指标试验结果

试验项目	密度(15℃)	针入度(25℃)	针入度指数	软化点	延度(5℃)
	g/m <sup>3</sup>	0.1mm		℃	cm
SBS 沥青试验结果	1.033	77	-1.5	75	31
基质沥青试验结果	1.05	68	-1.1	48.5	>100

#### 3.3.2 最佳油石比的确定

配合比设计采用马歇尔试验,75 次双面击实,分别完成 4 个不同油石比,确定取设计空隙率 4% 时的油石比作为最佳油石比。试验选取方案(1)和方案(4),通过马歇尔试验得出:SAC-13 + 改性沥青 + 6% 矿粉的最佳油石比为 4.9% (沥青含量),理论密度为 2.729 g/cm<sup>3</sup>,毛体积密度为 2.618 g/cm<sup>3</sup>;DAC-13 + 改性沥青 + 4% 矿粉 + 2% 水泥的最佳油石比为 5.0% (沥青含量),理论密度为 2.714 g/cm<sup>3</sup>,毛体积密度为 2.603 g/cm<sup>3</sup>。

### 4 水损害模拟过程的确定

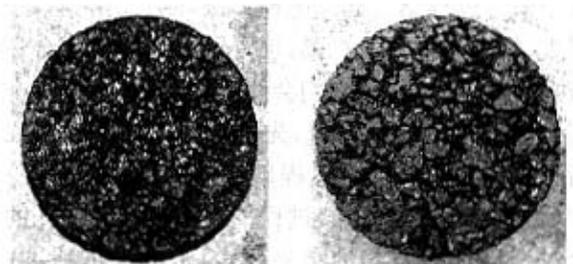
#### 4.1 试验试件成型

本试验采用旋转压实成型试件。旋转压实仪的参数设置为压力 900 kPa,角度为 1.25°。试件成型采用控制高度的模式,试件高度为 8 cm。

#### 4.2 水损害模拟过程的确定

##### 4.2.1 冲刷时间的确定

冲刷时间的确定采用方案(1)的级配成型普通状态下 6.5%~8% 空隙水平的试件,冲刷时间取 30 min、60 min、90 min 和 170 min。冲刷前和冲刷后的试件照片见图 1。



(a) 未冲刷试件表面

(b) 冲刷90 min试件表面

图 1 冲刷前后的试件表面

SAC-13 和 DAC-13 两种方案在不同冲刷时间下剩余劈裂强度和劈裂强度比的试验结果见图 2 和图 3。

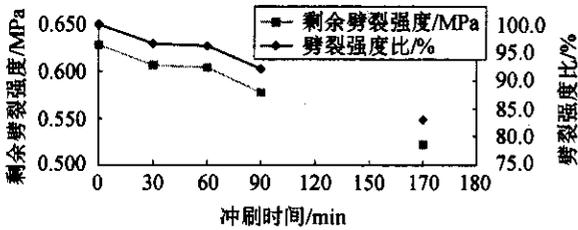


图2 SAC-13 剩余劈裂强度、劈裂强度比与冲刷时间关系

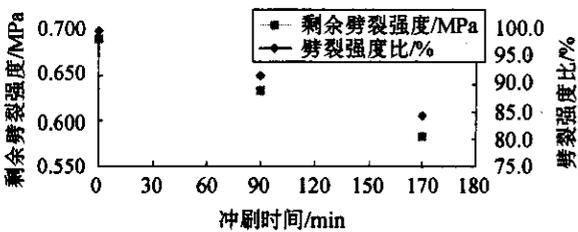


图3 DAC-13 剩余劈裂强度、劈裂强度比与冲刷时间关系

本试验选取冲刷时间的原则：一是试验可以有效模拟沥青路面在行车荷载作用下，逐步发生水损害的过程，并且该冲刷次数能够模拟一定寿命期限的沥青路面发生水损害的破坏力；二是该试验在室内试验室可以相对容易地完成，避免造成数据的离散。综合以上两个方面的原则考虑，冲刷试验选择冲刷时间为 90 min，冲刷次数为 5.4 万次。

#### 4.2.2 模拟过程的确定

从冲刷时间确定部分的试验数据上看，仅仅是冲刷 90 min，其破坏力还是比较小的，模拟破坏程度不够。因此本文拟定 4 个室内试验模拟过程模拟沥青路面水损害的实际情况，包括冻融劈裂、冲刷（90 min）劈裂、先冲（90 min）后冻和先冻后冲（90 min）4 个模拟过程，并同时通过试验对比确定最佳的模拟试验过程。在本文中考虑两种模拟过程结合起来共同模拟实际沥青路面水损害的破坏力完成了 4 个不同模拟过程的试验。4 个不同模拟过程的试验结果见图 4，图 4 中前者用柱状图的形式，而后者采用折线图。

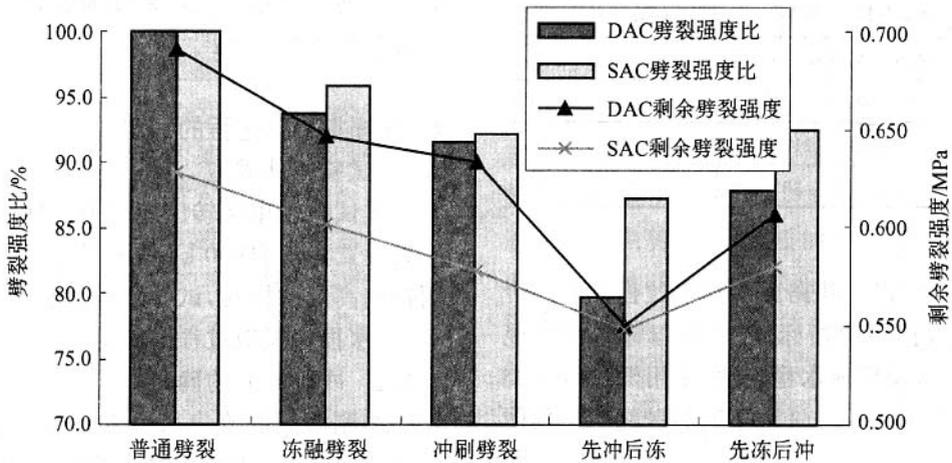


图4 DAC、SAC 级配的劈裂强度比和剩余强度值的比较

从图 4 可以直观地看到：冲刷循环和冻融循环两个模拟过程结合起来的模拟破坏力比单一某个过程大，模拟条件更为严酷。但是两个过程的结合不是破坏力简单地叠加，它们会相互影响，甚至削减。从剩余劈裂强度指标上看，先冲（90 min）后冻过程的指标值比单一的两个过程破坏力累加的结果还小，相反先冻后冲（90 min）过程的指标值却比单一的两个过程破坏力累加的结果要大，说明先冻后冲（90 min）过程中冲刷过程削减了冻融过程的破坏力，这可能是来自冲刷过程中冲刷压头对试件的击实，而

先冲（90 min）后冻过程中冻融过程和冲刷过程却相互增强，因此，先冲（90 min）后冻过程相对其余的模拟过程其模拟破坏力要大，模拟条件更为严酷。本课题选择先冲（90 min）后冻过程模拟沥青路面水损害过程完成试验。

#### 5 评价水损害指标的提出

《公路改性沥青路面施工技术规范》(JTJ 036—98)规定：改性沥青混合料抗水损害性能应符合以下两个指标要求。

(1)采用“沥青混合料马歇尔稳定度试验”方法测定的48 h浸水马歇尔稳定度试验残留稳定度不应小于80%。

(2)采用“沥青混合料冻融劈裂试验”方法测定

的劈裂强度比不应小于80%。《公路沥青路面施工技术规范》(JTGF40-2004)规定:必须在规定的试验条件下进行浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验检验沥青混合料的抗水损害性能,其指标满足表3的标准。

表3 2004年规范沥青混合料抗水损害性能标准

气候条件与技术指标		相应于下列气候分区的技术要求/%				试验方法
年降雨量(mm)及气候分区		>1 000	500~1 000	250~500	<250	
		潮湿区	湿润区	半干区	干旱区	
浸水马歇尔稳定度试验残留稳定度/%						
普通沥青混合料		≥80		≥75		T 0709
改性沥青混合料		≥85		≥80		
SMA混合料	普通沥青	≥75				
	改性沥青	≥80				
冻融劈裂试验的劈裂强度比/%						
普通沥青混合料		≥75		≥70		T 0729
改性沥青混合料		≥80		≥75		
SMA混合料	普通沥青	≥75				
	改性沥青	≥80				

上述沥青混合料抗水损害性能的试验评价方法中,从试验手段上看,我国首先采用浸水马歇尔稳定度试验来评价混合料抗水损害性能,后又引入冻融劈裂试验。经过多年的试验验证,前者试验结果与实际沥青路面水损害情况相关性不一致,现在多采用后者来评价混合料抗水损害性能。从评价标准上看,2004年的标准根据年降雨量及气候分区来划分,比从前的标准划分更为细致更为科学,并相应地提高了标准。SUPERPAVE的设计方法的评价标准为:冻融劈裂的劈裂强度比最小为80%。

我国现有规范关于水稳定性验证的评价指标就意在评价沥青混合料的水敏感性,该指标即是冻融劈裂强度比。根据已完成试验和现有高速公路上沥青路面水损害依然严重这一实际情况,可见冻融过程模拟水损害的破坏力偏小,只经过冻融过程的劈裂强度比评价水损害过于冒险。本研究提出经过先冲(90 min)后冻后的劈裂强度比作为评价沥青混合料的水敏感性指标。

沥青混合料的水敏感性评价只是评价了沥青混合料是否对水和荷载综合作用下是否敏感的部分,但是如果某级配类型的混合料抵抗水损害的能力不强,虽然它对水不敏感,其水稳定性依然不好。因此,只有在经过一系列水损害过程模拟后其反映抵抗水损害的力学指标剩余劈裂强度能够满足要求才可以

认定其水稳定性是合格的。

由于本文的试验数据有限,特别是关于老化沥青混合料的数据,参考国内的试验资料,总结归纳出普通状态下沥青混合料劈裂强度的规律,并根据水损害损伤折减的原则提出普通状态下的沥青混合料剩余劈裂强度参考标准,该标准应进一步研究和结合实体工程予以修正,而老化状态的标准需要进一步研究提出。统计前面的试验结果,并参照国内研究的试验资料,以拟定提出评价沥青混合料的水稳定性的指标。将AK-13A、AK-13B、AC-13A、AC-13B、DAC-13和SAC-13等6种级配的试验结果采用二次曲线进行拟合,拟合曲线如图5,方程式为 $Y = 0.003 0x^2 - 0.130 9x + 1.398 8, R^2 = 0.919 7$ 。计算得空隙率水平7%的沥青混合料的劈裂强度为0.630 MPa,另外,总结其空隙率在6%~8%之间的结果,取平均值,得出平均空隙率为7.0%,平均劈裂强度为0.645 MPa。综合考虑并考虑水损害损伤系数0.85,拟定剩余劈裂强度标准为0.542 MPa。从图5中可以看出:

(1)6种沥青混合料的劈裂强度都是随着空隙率的增大而下降的,而且趋势非常明显;

(2)每种沥青混合料试件的空隙率分布范围相互搭接,整体分布在1%~4%的范围内,劈裂强度处于图中拟合曲线附近的一定范围内,呈下降趋势,可以说明无论是何种级配,沥青混合料的劈裂强度都

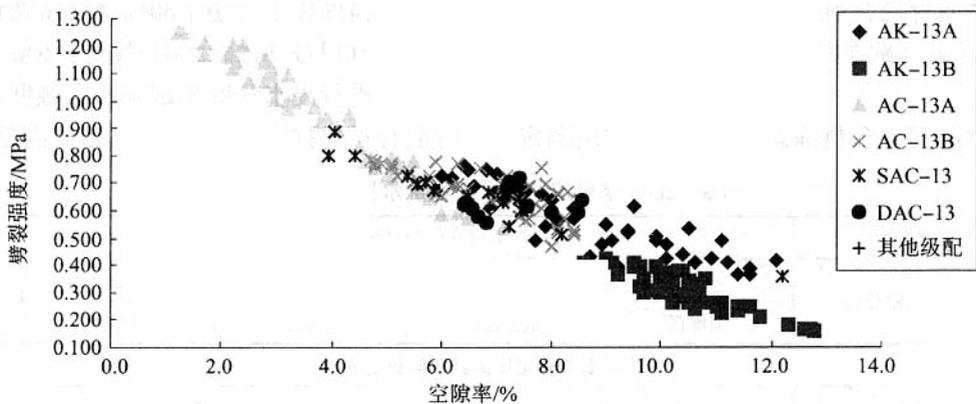


图 5 6 种级配试验结果拟合

是随空隙率增大而减小。

采用先冲后冻的试验过程评价沥青混合料抗水损害性能,其评价指标在现行规范的基础上增加剩余劈裂强度,采用劈裂强度和剩余劈裂强度双指标共同评价沥青混合料抗水损害性能。先冲后冻的试验模拟过程的破坏力比现行规范评价方法的模拟破坏力大,模拟条件更加严酷。

## 6 结论

(1)采用劈裂强度  $TSR$  为水敏感性指标,剩余

劈裂强度  $RTS$  为水稳定性指标;通过试验确定了冲刷冻融模拟环境的冲刷循环时间是 90 min,顺序是先冲刷后冻融。

(2)DAC-13 级配的抗水损害性能优于 SAC-13 级配;使用改性沥青或是用水泥替代部分矿粉可以改善沥青混合料的抗水损害性能。

(3)参考现有规范的劈裂强度标准,建立起劈裂强度比和剩余劈裂强度比双指标的评价方法来评价沥青混合料的抗水损害性能,其参考标准见表 4。

表 4 沥青混合料抗水损害性能双指标评价标准

气候条件与技术指标 年降雨量及气候分区		相应于下列气候分区的技术要求/%				试验方法
		>1 000	500~1 000	250~500	<250	
		潮湿区	湿润区	半干区	干旱区	
劈裂强度比/%						
普通沥青混合料		75		70		
改性沥青混合料		80		≥75		
SMA 混合料	普通沥青	75				T 0729
	改性沥青	80				
剩余劈裂强度/MPa						
沥青混合料		0.54				论文试验方法

## 参考文献:

[1] 韩海峰,吕伟民,何桂平. 水作用下沥青混合料永久变形特性的表现形式 [J]. 中国公路学报,2003.  
 [2] 孙立军. 沥青路面结构行为理论[M]. 同济大学出版社,2003.

[3] 李立寒,曹林涛. 沥青混合料劈裂抗拉强度影响因素的研究[J]. 建筑材料学报,2004.  
 [4] JTJ 052-2000,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].

文章编号: 0451-0712(2005)12-0161-05

中图分类号: U414.103

文献标识码: A

# 二灰稳定再生集料的劈裂试验研究

王军龙<sup>1</sup>, 肖建庄<sup>2</sup>

(1. 西安铁路运输学校土木工程系 西安市 710600; 2. 同济大学土木工程学院 上海市 200092)

**摘要:** 采用石灰、粉煤灰及再生混凝土集料为原料, 配制成二灰稳定再生集料。通过劈裂试验等, 对不同配比的二灰稳定再生集料的 28 d 间接抗拉强度进行了研究, 分析了混合料的组成成分对其间接抗拉强度的影响, 并将其与同等条件下的普通二灰稳定集料进行了对比试验。最后根据试验结果建立了它们之间的回归关系, 为二灰稳定再生集料的工程应用提供一些有益的参考和建议。

**关键词:** 再生混凝土集料(RCA); 二灰稳定集料(ASFL); 二灰稳定再生集料(RSFL); 劈裂强度

在公路路面的典型结构设计中, 不仅要求路面基层有较高的抗压强度和抗压回弹模量, 而且还应具备较高的抗拉强度, 而劈裂强度作为反映路面基层间接抗拉性能的一个重要指标, 对基层的力学和抗变形性能都有很大的影响。目前, 用于路面基层建设的材料有许多类型和种类, 其中, 二灰稳定集料 (Aggregate Stabilized by Fly ash - Lime, 简称 ASFL) 作为一种高等级的路面基层材料, 以其良好的力学性能、板体性、水稳定性和较好的抗冻性等优点, 已受到工程技术人员的普遍认可, 随着人们对 ASFL 研究的日趋深入, 已逐渐形成了一套较为完

整的 ASFL 应用规程<sup>[1~3]</sup>。然而, 伴随着我国公路建设的产业化发展, 人们对公路建设的观念, 已由过去的单纯追求工程质量而很少考虑环保和节能, 逐渐向集质量、环保和节能于一体的方向发展。因此, 充分利用再生材料作为道路建筑材料, 就不失为一种既经济又环保的理想选择。

在二灰稳定集料的混合料中, 若能将天然集料 (Natural Concrete Aggregate, 简称 NCA) 用废弃混凝土加工而成的再生集料<sup>[4]</sup> (Recycled Concrete Aggregate, 简称 RCA) 来代替, 形成二灰稳定再生集料 (Recycled Concrete Aggregate Stabilized by

基金项目: 上海市科学技术委员会重大科研项目 (编号 02DZ12140)

收稿日期: 2005-05-16

## Two Indexes for Evaluating Water Damage Resistibility of Asphalt Mixtures

CHEN Xin<sup>1</sup>, DING Li<sup>2</sup>

(1. Hengyang Municipal Highway and Bridge Construction Co. Ltd, Hengyang 421001, China;

2. Changsha University of Science and Technology, Changsha 410076, China)

**Abstract:** On the basis of differentiating water sensitivity and water stability, the use of eroding and freezing and thawing tests to simulate water damage in bituminous surface is advanced and a new index (residual split strength) put forward. The new evaluation method using two indexes (split strength ratio and residual split strength) for evaluating water damage resistibility of asphalt mixtures is developed, which reinforces the water stability evaluation in the criterion.

**Key word:** water sensitivity; water stability; split strength; residual split strength