

## 集料含泥量对沥青混合料抗剪性能的影响研究

吴忠辉

(新疆维吾尔自治区交通规划勘察设计研究院, 新疆 乌鲁木齐 830006)

**摘要:** 为了明确粗、细集料含泥量对混合料高温稳定性的影响,采用单轴贯入和圆环剪切试验分别对水损害前后混合料的抗剪性能进行研究。试验结果表明,细集料含泥对沥青混合料抗剪强度的影响比粗集料含泥更显著,建议严格控制细集料含泥量,并将粗集料含泥量控制在 3% 以内。

**关键词:** 公路;集料;含泥量;稳定度;抗剪强度

**中图分类号:** U416.217

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1671-2668(2018)03-0070-03

车辙是沥青路面的最主要病害之一,相关研究表明,产生车辙的根本原因在于沥青混合料的抗剪强度不足。目前国内外对沥青混合料高温稳定性的研究主要集中于评价方法、沥青胶结料、骨料级配、集料性质等方面。对于集料性质,主要集中于集料的表面纹理、棱角状况及针片状颗粒含量等方面,对集料含泥量的研究侧重于水损害方面,而对高温性能的影响研究较少。集料在母材开采、运输、堆放等过程中都不可避免地沾染泥灰,阻碍集料与沥青的结合,影响集料与沥青的粘附性,从而影响沥青混合料的水稳定性及抗剪强度。对于夏季高温多雨地区,集料含泥更易导致沥青路面产生车辙现象。根据胶浆理论原理,粗、细集料含泥对沥青混合料性能的影响可能不同,且不同测试方法所得结论有所差异。鉴于此,该文通过单轴贯入及圆环剪切试验研究水损害前后不同含泥量的粗、细集料对沥青混合料抗剪强度的影响,并探讨其作用机理。

## 1 研究方法

采用单轴贯入和圆环剪切双重试验对混合料抗剪强度进行测定与相互验证,试验设备为 MTS-810 万能材料试验机。为避免因试件成型方式不同对试验结果造成影响,统一采用旋转压实方式成型试件,旋转次数为 55 次。单轴贯入试件尺寸为 100 mm× $\phi$ 100 mm,圆环剪切试验的圆柱形试件尺寸为 95 mm× $\phi$ 150 mm。试验前将试件置于 60℃ 恒温箱中保温 6 h。试验加载速度均为 1 mm/min,试验温度为 60℃。

### 1.1 单轴贯入试验简介

单轴贯入试验是一种类似于 CBR 试验的剪切试验方法,其围压由混合料提供,且围压大小因沥青

混合料性能不同而不同,弥补了三轴试验经验性地固定围压这一缺陷,可更好地模拟实际路面受力情况。它采用一半径为  $r$  的压头施压在半径为  $R$  的圆柱体试件上( $r < R$ )模拟路面受力状态,利用三维有限元进行力学分析,得出相关抗剪参数(见表 1),求得其抗剪强度,并辅助无侧限抗压强度试验求解沥青混合料的粘聚力  $c$  和内摩擦角  $\varphi$ ,计算公式为:

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{\sigma_u - \sigma_1 + \sigma_3}{\sigma_u - \sigma_1 - \sigma_3}\right)$$

$$c = \frac{\sigma_u}{2} \left( \frac{1}{\sin\varphi} - 1 \right) \tan\varphi$$

式中: $\sigma_u$  为无侧限抗压强度压应力。

**表 1 单轴贯入试验的抗剪参数**

参数名称	参数值
泊松比 $\mu$	0.35
第一主应力 $\sigma_1$ /MPa	0.765
第三主应力 $\sigma_3$ /MPa	0.087
最大抗剪强度 $\tau_{\max}$ /MPa	0.339

### 1.2 圆环剪切试验简介

圆环剪切试验是一种研究路面抗剪性能的试验方法,它采用小于试件尺寸的压头和圆环支座对圆柱形试件加载模拟实际路面的受力情况,试件剪切破坏时能出现明显的剪切锥形破坏面,是对单轴贯入试验的改进。其基本公式与单轴贯入试验相似,强度参数见表 2。

**表 2 圆环剪切试验的抗剪参数**

参数名称	参数值
泊松比 $\mu$	0.35
第一主应力 $\sigma_1$ /MPa	1.124
第三主应力 $\sigma_3$ /MPa	0.092
最大抗剪强度 $\tau_{\max}$ /MPa	0.516

### 1.3 含泥量试件制备

(1) 含泥集料的制备。将试验所需各档集料用水洗干净,并烘干至恒重;取干燥的黏土进行研磨并过 0.075 mm 筛,取筛底黏土采用单个试件单独配置的方式进行配料。集料含泥量的掺配方法:按 AC-13 级配设计,分别称取粗、细集料各自充分拌匀后盛入干燥的拌料盆中,加入适量黏土,喷水湿润拌匀,使泥土充分裹覆于集料表面,放入烘箱中加热烘干。设置粗集料含泥量为 1%、2%、3%、4%、5%、6%,细集料含泥量为 1%、2%、3%、4%。

(2) 混合料试件制备。根据规范推荐采用表 3 所示级配,采用厦门华特 SBS(I-D)改性沥青,最佳油石比为 5.0%,并采用旋转压实成型试件。

表 3 AC-13 级配

筛孔尺 寸/mm	通过率/%			筛孔尺 寸/mm	通过率/%		
	上限	AC-13	下限		上限	AC-13	下限
16.000	100	100	100	1.180	38	32	15
13.200	100	96	90	0.600	28	18	10
9.500	85	74	68	0.300	20	13	7
4.750	68	56	38	0.150	15	9	5
2.360	50	41	24	0.075	8	6	4

### 1.4 水损试验

采用高温浸水马歇尔试验模拟沥青路面水损害,即将试件置于 60 °C 恒温箱中水浴 48 h,水深不小于 20 cm,试件之间有间隔,试件底部垫起且距离水槽底部不小于 5 cm。

## 2 试验结果及分析

### 2.1 水损前后粗集料含泥量对沥青混合料抗剪强度的影响

将水损前后的粗集料含泥试件进行单轴贯入和圆环剪切试验,试验结果见图 1~4。

由图 1~4 可知:粗集料含泥对沥青混合料抗剪强度有一定影响,含泥量为零时,沥青混合料的抗剪

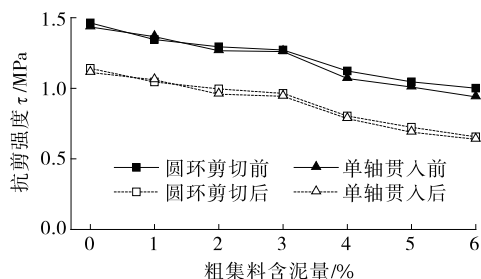


图 1 水损前后粗集料含泥试件的抗剪强度变化

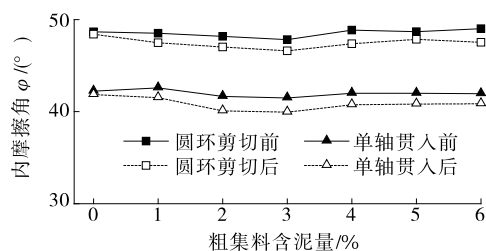


图 2 水损前后粗集料含泥试件的内摩擦角变化

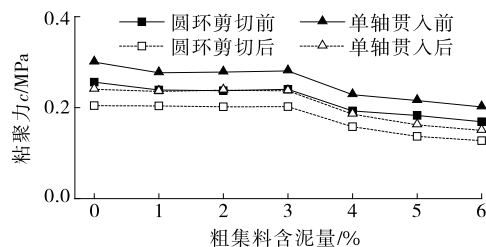


图 3 水损前后粗集料含泥试件的粘聚力变化

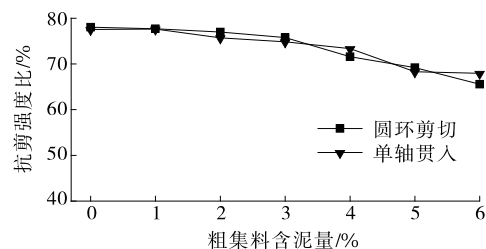


图 4 水损前后粗集料含泥试件的抗剪强度比变化

强度最大,圆环剪切时为 2.93 kPa,单轴贯入时为 2.43 kPa。两种试验方法水损前后粗集料含泥试件的抗剪强度变化规律基本一致,均随着含泥量的增加而降低。经水损后试件的抗剪强度有所下降,且随着含泥量的增大抗剪强度比不断减少,表明随着粗集料含泥量的增加,混合料水损害程度越来越大。含泥量对混合料抗剪强度的影响主要表现在粘聚力的下降,对内摩擦角的影响较小。含泥量小于 3% 时,随着含泥量的增加,沥青混合料的抗剪强度缓慢下降;而含泥量 > 3% 时,混合料的抗剪强度大幅下降。

这是因为沥青混合料的抗剪强度主要由结构性沥青薄膜与骨料之间的粘附性决定,当集料表面被黏土裹附时,结构性沥青薄膜与骨料之间的粘附性下降。混合料的抗剪强度在含泥量为零时最大;含泥量为 1%~3% 时,结构性沥青薄膜外的少量游离自由沥青被不断吸收,结构性沥青薄膜所受影响不大,混合料的抗剪性能下降较缓慢;含泥量大于 3% 后,游离在结构性沥青外层的自由沥青被完全吸收,结构性沥青不断变薄而无法完全覆盖于骨料表面,

致使混合料的抗剪强度和粘聚力快速下降。另一方面,由于集料表面黏土阻碍了沥青与集料的接触,增大了沥青质的分散度,并为水的渗透提供了通道,且水和集料表面的泥土会对沥青产生乳化作用,严重影响集料与沥青的粘附性,降低混合料的粘聚力,进而降低混合料的抗剪强度。因此,单从集料抗剪强度方面考虑,建议将混合料的粗集料含泥量控制在3%以内。

## 2.2 水损前后细集料含泥量对沥青混合料抗剪强度的影响

将水损前后的细集料含泥试件进行单轴贯入和圆环剪切试验,试验结果见图5~8。

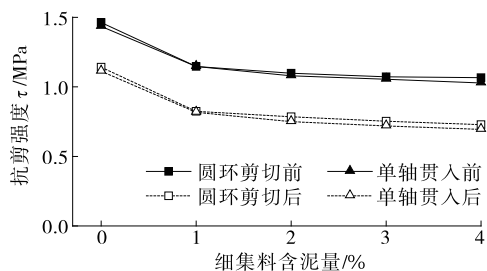


图5 水损前后细集料含泥试件的抗剪强度变化

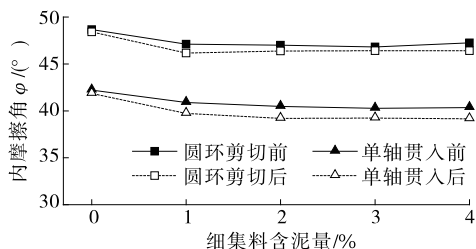


图6 水损前后细集料含泥试件的内摩擦角变化

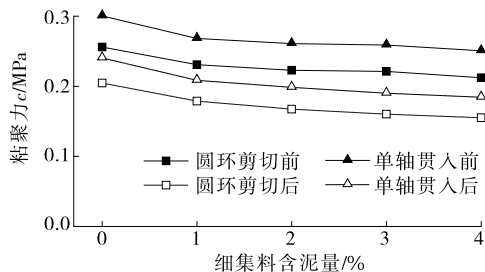


图7 水损前后细集料含泥试件的粘聚力变化

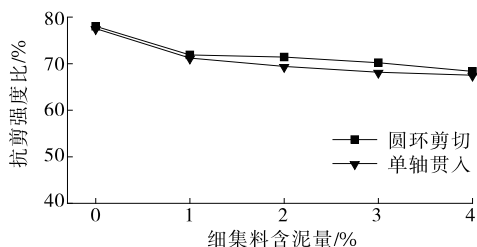


图8 水损前后细集料含泥试件的抗剪强度比变化

由图5~8可知:细集料含泥对沥青混合料抗剪强度影响较明显,水损害致使混合料的粘聚力及抗剪强度均降低,内摩擦角所受影响不大。细集料含泥量为1%时,混合料的内摩擦角、粘聚力及抗剪强度均较不含泥时大幅降低,降幅达20%以上;含泥量>1%后,粘聚力及抗剪强度下降幅度趋于平缓,内摩擦角则有小幅增大趋势。

这是因为沥青混合料中内摩擦角主要由粗集料提供,而粘聚力由沥青砂浆提供,细集料含泥严重影响了沥青砂浆介质的粘附性,增大了沥青质的分散度,影响结构性沥青薄膜的形成,从而使混合料的粘聚力急剧下降,进而引起抗剪强度降低。因此,应严格控制细集料含泥量。

## 3 结论

(1) 粗、细集料含泥对沥青混合料抗剪强度均有一定影响,其中细集料含泥影响较显著。建议将粗集料含泥量控制在3%以内,并严格控制细集料含泥量。

(2) 粗、细集料含泥对沥青混合料抗剪强度的影响主要在于降低了混合料的粘附性,对内摩擦角的影响甚微。

(3) 无论是粗集料含泥还是细集料含泥,水损前后混合料的抗剪强度变化并不大,可能是由于试件尺寸相对较大,高温浸水马歇尔试验条件不够严酷,无法模拟试件水损害的最不利条件,建议采用冻融劈裂试验环境模拟水损害。

## 参考文献:

- [1] 沈金安. 沥青及沥青混合料路用性能[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [2] 董泽蛟, 肖桂清, 龚湘兵. 级配及抗车辙剂对沥青混合料抗车辙性能的影响分析[J]. 公路交通科技, 2014, 31(2).
- [3] Pan T, Tutumluer E, Carpenter S H. Effect of coarse aggregate morphology on permanent deformation behavior of hot mix asphalt[J]. Journal of Transportation Engineering, 2006, 132(7).
- [4] 谭忆秋, 宋宪辉, 纪伦, 等. 粗集料性能对沥青混合料高温性能的影响[J]. 中国公路学报, 2009, 22(1).
- [5] 韩海峰, 吕伟民. 细集料棱角性对沥青混合料性能的影响[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2002, 30(3).
- [6] Zhao Bin Xie. Research on the relationship between clay

(下转第76页)

表4 不同级配碎石(水稳上)基层厚度下沥青路面结构层的疲劳寿命

级配碎石(水稳上)基层厚度/cm	沥青面层寿命/( $\times 10^6$ 次)		半刚性基层寿命/( $\times 10^6$ 次)	
	倒装式沥青路面	半刚性沥青路面	倒装式沥青路面	半刚性沥青路面
10	24.13	—	0.33	46.03
12	21.64	—	0.49	78.52
15	18.89	—	0.96	180.00
20	15.62	—	2.58	627.00
25	13.09	—	6.66	2 030.00

面,半刚性基层早于沥青面层开裂,因而级配碎石的设置可有效延迟半刚性基层的开裂时间,降低沥青路面发生反射裂缝的概率。

## 5 结论

(1) 随着级配碎石基层与水稳上基层厚度的增加,沥青路面路表弯沉近似呈线性减小,但变化较小,两者的弯沉曲线近似呈平行关系,前者大于后者。这是因为级配碎石为松散类材料,模量较低,变形较大。

(2) 随着级配碎石基层厚度的增加,沥青面层底最大拉应力近似呈线性增加,半刚性基层底最大拉应力近似呈线性减小,级配碎石基层的设置对基层未开裂或少开裂的沥青路面面层不利、对其基层有利。等厚度半刚性基层沥青路面有类似的规律,但倒装式沥青路面层底应力大于相同厚度半刚性基层沥青路面层底应力。

(3) 级配碎石(水稳上)基层厚度对沥青面层内剪应力的影响较小,倒装式沥青路面结构面层内剪应力大于等厚度半刚性基层沥青路面面层内剪应力,倒装式沥青路面的车辙深度更大。

(4) 随着级配碎石基层厚度的增加,沥青面层的疲劳寿命逐渐减小,半刚性基层的疲劳寿命逐渐增加。理想状态下的沥青路面,半刚性基层早于沥青面层开裂,级配碎石的设置可有效延迟半刚性基层的开裂时间,降低沥青路面发生反射裂缝的概率。

## 参考文献:

- [1] 王艳,倪富健,马翔.不同基层开裂状态的沥青路面应力对比[J].交通运输工程学报,2008,8(6).
- [2] 蒋智禹.倒装式沥青路面结构的力学性能研究[D].长沙:湖南大学,2012.
- [3] 杨尚阳.加铺碎石过渡层减少路面反射裂缝研究[D].济南:山东大学,2006.
- [4] 张海,马光超,张敏江,等.级配碎石基层对沥青路面反射裂缝抑制机理分析[J].沈阳建筑大学学报:自然科学版,2011,27(2).
- [5] 王宏畅,黄晓明.级配碎石沥青路面反射裂缝扩展及寿命研究[J].武汉理工大学学报,2010,32(7).
- [6] JTG D50—2006,公路沥青路面设计规范[S].
- [7] 沈金安.高速公路沥青路面早期损坏分析与防治对策[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [8] 刘星.级配碎石的级配与模量研究[D].西安:长安大学,2007.
- [9] 王丰胜.影响级配碎石模量的结构因素敏感性分析[J].合肥工业大学学报:自然科学版,2009,32(9).
- [10] 钟梦武,吴善周.级配碎石回弹模量试验方法研究[J].公路,2007(6).
- [11] 朱洪洲,郑和平,何兆益,等.柔性路面级配碎石基层弹性模量取值研究[J].重庆交通学院学报:自然科学版,2006,25(5).
- [12] 李霖,闫瑾.超载下倒装式沥青路面结构有限元分析[J].公路交通科技,2015,32(8).

收稿日期:2017-07-12

\*\*\*\*\*

(上接第72页)

content in aggregate and water stability of rubber asphalt mixture[J].Advanced Materials Research; Advances in Civil Infrastructure Engineering,2013,639—640.

- [7] Lin C,Zheng X,Weimin L V.Effect of clay content in fine aggregate on water stability of asphalt mixture[J].Tongji Daxue Xuebao/Journal of Tongji University,

2006,34(5).

- [8] 毕玉峰.沥青混合料抗剪试验方法及抗剪参数研究[D].上海:同济大学,2004.
- [9] 景志远.粗集料含泥量对沥青混合料性能影响分析[J].公路交通科技:应用技术版,2015(8).

收稿日期:2018-01-14