

# 沥青稳定碎石混合料的抗剪性能

贾锦绣<sup>1,2</sup>, 韩 森<sup>1</sup>, 徐鸥明<sup>3</sup>

(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 710064; 2. 西安市市政设计研究院, 陕西 西安 710068; 3. 长安大学 材料科学与工程学院, 陕西 西安 710061)

**摘 要:**为了评价沥青稳定碎石混合料的抗永久变形能力,通过对三轴受力模型进行分析、简化,利用无侧限抗压强度试验和劈裂强度试验,对沥青稳定碎石混合料的力学性能和抗剪强度参数进行研究。结果表明:随公称最大粒径、粗集料含量的增大,内摩擦角增大,而粘聚力减小;提高结合料粘度可以明显提高粘聚力,而对内摩擦角影响不大;采用基于无侧限抗压强度试验和劈裂强度试验得到的抗剪强度参数,可以用于沥青稳定碎石混合料设计。

**关键词:**道路工程;沥青稳定碎石混合料;力学性能;抗剪强度;粘聚力;内摩擦角

**中图分类号:**U414.75

**文献标志码:**A

## Anti-shearing performance of asphalt treated base mixtures

JIA Jin-xiu<sup>1,2</sup>, HAN Sen<sup>1</sup>, XU Ou-ming<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Xi'an Municipal Engineering Design & Research Institute, Xi'an 710068, Shaanxi, China; 3. School of Materials Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, Shaanxi, China)

**Abstract:** In order to estimate the ability of resistance to permanent deformation for asphalt treated base mixtures, this paper analyzes the force model for triaxial tests and simplifies it. By using unconfined compressive strength test and splitting strength test, it studies the mechanics performance and anti-shearing strength parameters of asphalt treated base mixtures. The results show that internal friction angle will increase with increase of nominal maximum size or content of coarse aggregate, but cohesive force will reduce. Enhancing the viscosity of binder can improve the cohesive force obviously, but it has little effect on the internal friction angle. So anti-shearing strength parameters based on unconfined compressive strength test and splitting test, can be used for estimating design of the anti-shearing performance of asphalt treated base mixtures. 2 tabs, 7 figs, 9 refs.

**Key words:** road engineering; asphalt treated base mixture; mechanics performance; anti-shearing strength; cohesive force; internal friction angle

## 0 引 言

目前,越来越多的道路工程下面层开始使用沥

青稳定碎石(ATB)。由于高速公路交通量大、重载车多和渠化交通严重,如果设计不当,极易在高温季节产生车辙病害,因此,对沥青混合料高温性能研究

较多<sup>[1-3]</sup>。虽然使用 ATB 的层次较低,受温度的影响不如上面层和中面层,但是如果 ATB 抗剪强度不高,也会产生剪切破坏,形成永久变形;且 ATB 一般厚度较大,因此其影响也不容忽视。ATB 抗剪强度主要由两部分构成:一是沥青结合料产生的粘聚力;二是大小不同的集料颗粒嵌挤、摩擦产生的摩阻力,其中内摩阻力主要取决于矿料的级配、形状和表面特性等因素。就 ATB 在路面中的实际使用情况来看,采用三轴试验无疑最接近其真实的受力状态。但是,三轴试验需要专门的试验仪器,很难在工程单位推广应用。为此,研究人员提出了一些简化的试验方法,如直接剪切试验、贯入试验等<sup>[4-6]</sup>,这些评价方法相比三轴试验更简单,但是仍然需要专门的仪器或夹具,大规模应用仍然不方便。为此,本文通过对三轴受力莫尔圆的受力分析,利用工程单位很容易实施的无侧限抗压强度试验和劈裂强度试验的结果来计算 ATB 的粘聚力和内摩擦角,从而评价其抗剪切性能。

1 力学模型

1.1 抗剪强度参数

沥青混合料的力学强度可以用库仑理论表征,即在外力作用下,材料不发生剪切破坏时应满足下列条件

$$\tau \leqslant c + \sigma \tan(\varphi)$$
(1)

式中: $\tau$ 为剪切应力; $c$ 为材料粘聚力; $\sigma$ 为正应力; $\varphi$ 为内摩擦角。

可通过三轴试验,变化主应力 $\sigma_1$ 、 $\sigma_3$ ,绘出莫尔应力圆,根据受力平衡得到 $\sigma_1$ 、 $\sigma_3$ 、 $c$ 、 $\varphi$ 的关系为

$$\sigma_1 = \frac{1 + \sin(\varphi)}{1 - \sin(\varphi)}\sigma_3 + 2c \frac{\cos(\varphi)}{1 - \sin(\varphi)}$$
(2)

1.2 简化的三轴力学模型

分析式(2)可以得出,如果其中的一个主应力为0,则试验将大为简化。分析三轴试验,当无侧限时,将试验简化成单轴抗压试验和单轴抗拉试验;对于前者, $\sigma_3 = 0$ , $\sigma_1 = \sigma_{ur}$ (无侧限抗压强度);对于后者, $-\sigma_3 = \sigma_{ur}$ (直接拉伸强度), $\sigma_1 = 0$ 。考虑到进行直接抗拉试验不容易实施,可以采用间接抗拉试验来替代,即以劈裂强度试验代替直接拉伸试验,以劈裂强度 $\sigma_t$ 代替直接拉伸强度。这样,以 $\sigma_{ur}$ 和 $\sigma_t$ 为直径,绘制2个莫尔圆,如图1所示。只需要2个简单试验就可得到抗剪强度参数<sup>[7-9]</sup>。

将 $\sigma_3 = 0$ 、 $\sigma_1 = \sigma_{ur}$ ,以及 $-\sigma_3 = \sigma_t$ 、 $\sigma_1 = 0$ 分别代入式(2),可以得到 $\sigma_{ur}$ 、 $\sigma_t$ 与抗剪强度参数 $c$ 和 $\varphi$

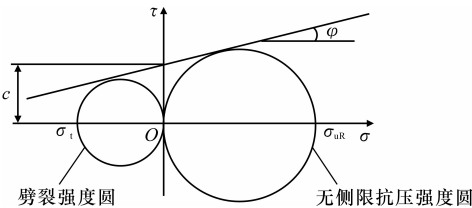


图1 简化的三轴受力莫尔圆

的关系式为

$$\sin(\varphi) = \frac{\sigma_{ur} - \sigma_t}{\sigma_{ur} + \sigma_t}$$
(3)

$$\cos(\varphi) = \frac{c}{(\sigma_{ur} + \sigma_t)/4}$$
(4)

联立式(3)、式(4),可得到沥青混合料抗剪强度参数 $c'$ 和 $\varphi'$ 的计算公式为

$$c' = \frac{\sigma'_{ur} - \sigma'_t}{4} \cos(\varphi')$$
(5)

$$\varphi' = \arcsin\left(\frac{\sigma'_{ur} - \sigma'_t}{\sigma'_{ur} + \sigma'_t}\right)$$
(6)

式中: $c'$ 为沥青混合料的粘聚力; $\varphi'$ 为沥青混合料的内摩擦角; $\sigma'_{ur}$ 为沥青混合料的抗压强度,由无侧限抗压强度试验获得; $\sigma'_t$ 为沥青混合料的抗拉强度,由劈裂强度试验获得。

2 试验结果与分析

2.1 抗压强度、劈裂强度试验结果分析

各级配混合料的抗压强度和劈裂强度试验结果如表1、表2所示。

表1 各级配混合料抗压强度试验结果 MPa

混合料类型	试件1	试件2	试件3	平均值
KLM90 <sup>#</sup> -ATB-25M	3.76	3.74	3.86	3.79
KLM90 <sup>#</sup> -ATB-30C	3.37	3.42	3.66	3.48
KLM90 <sup>#</sup> -ATB-30M	3.85	3.85	3.89	3.86
KLM70 <sup>#</sup> -ATB-30M	5.21	5.11	5.45	5.26
KLM90 <sup>#</sup> SBS-ATB-30M	5.32	6.03	5.51	5.62
KLM90 <sup>#</sup> -ATB-30F	4.05	4.13	4.17	4.12

注:KLM为克拉玛依沥青;90<sup>#</sup>为沥青标号;SBS为掺加SBS改性剂;25为集料公称最大粒径;C、M、F分别表示级配为粗型、中型和细型。

表2 各级配混合料劈裂强度试验结果 MPa

混合料类型	试件1	试件2	试件3	平均值
KLM90 <sup>#</sup> -ATB-25M	0.71	0.66	0.64	0.67
KLM90 <sup>#</sup> -ATB-30C	0.44	0.50	0.49	0.48
KLM90 <sup>#</sup> -ATB-30M	0.55	0.56	0.53	0.55
KLM70 <sup>#</sup> -ATB-30M	0.76	0.71	0.75	0.74
KLM90 <sup>#</sup> SBS-ATB-30M	0.81	0.72	0.83	0.79
KLM90 <sup>#</sup> -ATB-30F	0.62	0.61	0.59	0.61

对同种沥青、不同公称粒径的 2 种级配 ATB-25M 和 ATB-30M,抗压强度随公称最大粒径增大而增大,而劈裂强度随公称最大粒径增大而减小。这是因为劈裂强度试验为间接拉伸试验,主要受沥青胶浆粘结力的影响,细料越多越利于其强度提高;而抗压强度主要由粗骨料的嵌挤力和摩擦力构成,公称粒径越大,粗骨料嵌挤力和摩擦力增大,强度也随之提高。

对于同种沥青、相同公称粒径和不同级配类型的 3 种级配 ATB-30C、ATB-30M 和 ATB-30F,劈裂强度和抗压强度均随级配的变粗而减小。由设计级配可知,3 种类型的级配较粗集料几乎一致,尤其最大的几档集料采用的是相同的通过率,因此 3 种级配的骨架结构几乎相同,所不同的是细集料的含量(质量分数)。F 型级配的细料含量最多,在吸收一定量的沥青后,更接近于骨架密实型结构,故其抗压强度和劈裂强度均大幅提高;C 型级配与中型级配 2 种级配的细集料用量虽然不同,但为了保证混合料的空隙率,C 型级配中加入了相当多的自由沥青,使得这 2 种结构的沥青胶浆几乎相同,因此 2 种级配的强度相差不大;中型级配的细集料较多,所以强度稍大。

级配相同、沥青不同的 3 种混合料 KLM90<sup>#</sup>SBS-ATB-30M、KLM70<sup>#</sup>-ATB-30M 和 KLM90<sup>#</sup>-ATB-30M,其劈裂强度和抗压强度由大至小的排序为:KLM90<sup>#</sup>SBS-ATB-30M、KLM70<sup>#</sup>-ATB-30M、KLM90<sup>#</sup>-ATB-30M。由此可见,沥青粘结力越强,混合料的抗压强度和劈裂强度越高。

2.2 抗剪强度结果分析

由各级配混合料的无侧限抗压强度及间接拉伸强度,根据式(5)、式(6),可以得到各级配混合料的抗剪强度,结果如图 2~图 7 所示。

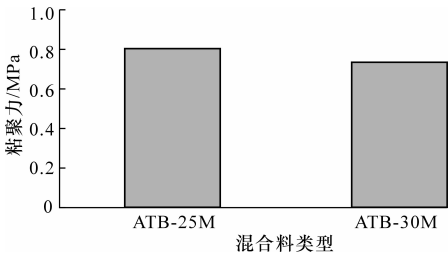


图 2 不同公称最大粒径的混合料粘聚力

粘聚力和内摩擦角对公称最大粒径变化较敏感,随公称最大粒径增大,ATB 混合料的内摩擦角明显增大,而粘聚力有轻微减小的趋势。这是因为,虽然 2 种级配的粗集料含量一样,但是粗集料各尺

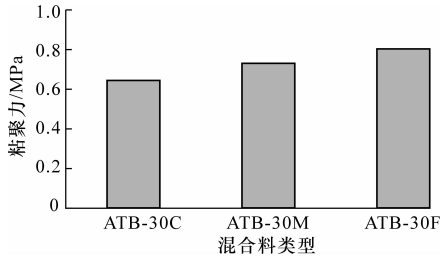


图 3 不同级配类型的混合料粘聚力

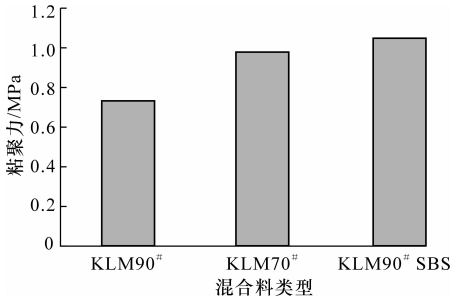


图 4 不同沥青的混合料粘聚力(ATB-30M)

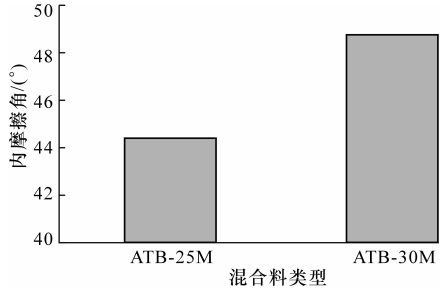


图 5 不同公称最大粒径的混合料内摩擦角

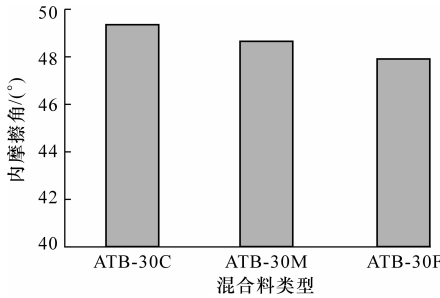


图 6 不同级配类型的混合料内摩擦角

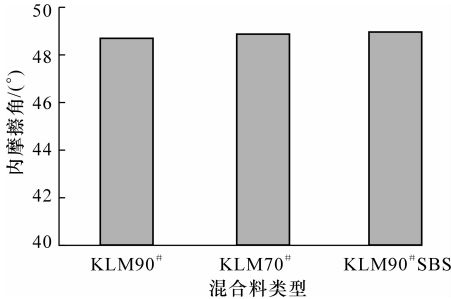


图 7 不同沥青的混合料内摩擦角(ATB-30M)

寸的分布却不同。ATB-30M 中较粗集料偏多,因此骨架结构更明显,使得内摩擦角增大;而同样由于粒径的增大,粗集料的比表面积减小,使得实际需要

的沥青用量减小,造成整个混合料的粘聚力减小。

粘聚力和内摩擦角对级配类型的变化较敏感,对于同一公称最大粒径、不同的级配类型(粗、中、细)的 ATB 混合料,随粗集料的增多,其粘聚力不断减小,而内摩擦角却不断增大。这是因为,虽然公称最大粒径一样,但是 3 种级配的粗集料含量却不一样,随着粗集料含量的增大,ATB 混合料的内摩擦角也会增大;同时,由于粗集料含量增大,细集料含量势必减小,因此,沥青胶浆含量会减小,粘聚力也会减小。

粘聚力对沥青的变化较敏感;内摩擦角对沥青的变化不敏感。采用同一级配、设计空隙率的 ATB 混合料,当采用不同类型的胶结料时,其内摩擦角没有明显差别,但其粘聚力有明显差异。这是因为,级配和设计空隙率都一样,混合料内部骨架结构基本一样,因此 ATB 混合料的内摩擦角差别不大;较稠沥青和 SBS 改性沥青,由于沥青粘度增大,导致沥青胶浆粘度增大,使得 ATB 混合料的粘聚力增大。

### 3 结 语

(1)ATB 混合料的抗压强度、内摩擦角均随公称最大粒径的增大而增大;而劈裂强度和粘聚力则随公称最大粒径的增大而减小。

(2)对相同公称最大粒径、不同级配类型的 ATB 混合料,其抗压强度、劈裂强度和粘聚力都随级配中粗集料含量的增大而降低,而内摩擦角呈增大趋势。

(3)对采用不同类型结合料的 ATB 混合料,内摩擦角变化较小,而抗压强度、劈裂强度和粘聚力随结合料粘度增大均有明显提高,尤其以 SBS 改性沥青的改善幅度最为明显。

(4)采用基于无侧限抗压强度试验和劈裂强度试验得到的抗剪强度参数,可以区分不同粒径、不同沥青以及级配差异的影响,能正确评估 ATB 混合料的抗剪性能,可以用于沥青稳定碎石混合料的配合比设计。

#### 参考文献:

#### References:

[1] 范跃武,赵 可. 基于 GTM 的抗滑表层混合料设计

[J]. 中国公路学报,2007,20(3):11-16,22.

FAN Yue-wu, ZHAO Ke. Anti-slide surface layer mixture design based on GTM[J]. China Journal of Highway and Transport,2007,20(3):11-16,22.

[2] 周庆华,贾 渝. 沥青胶结料高温性能试验方法的评价[J]. 长安大学学报:自然科学版,2008,28(2):9-12.

ZHOU Qing-hua, JIA Yu. Evaluation on test methods for high temperature performance of asphalt binders [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition,2008,28(2):9-12.

[3] 黄宝涛,梁 轶,崔 娥,等. 沥青混合料抗车辙性能的分形描述方法[J]. 交通运输工程学报,2007,7(6):59-63.

HUANG Bao-tao, LIANG Yi, CUI E, et al. Fractal description method of asphalt mixture rut resistance [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering,2007,7(6):59-63.

[4] 刘细军. 沥青混合料抗剪性能研究[J]. 公路,2007(10):162-167.

LIU Xi-jun. Research on shearing properties of asphalt mixtures[J]. Highway,2007(10):162-167.

[5] Akoto B K A. Effect of flyash on the strength characteristics of lime-literate soil mixtures[J]. Australian Road Research,1988,18(4):224-231.

[6] 毕玉峰,孙立军. 沥青混合料抗剪试验方法研究[J]. 同济大学学报:自然科学版,2005,33(8):1036-1040.  
BI Yu-feng, SUN Li-jun. Research on test method of asphalt mixture's shearing properties[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2005, 33(8): 1036-1040.

[7] 何昌轩,Jose F R D,张 泉. 沥青混合料骨架结构抗剪强度特性的试验研究[J]. 交通运输工程与信息学报,2005,5(4):84-88.

HE Chang-xuan, Jose F R D, ZHANG Quan. Test research on the shear strength of stone-to-stone contact structure for asphalt-mixture[J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2005, 5(4): 84-88.

[8] 刘成宇. 土力学[M]. 北京:中国铁道出版社,2002.

[9] 吕伟民. 沥青混合料设计原理与方法[M]. 上海:同济大学出版社,2001.