

文章编号:1671-8879(2009)02-0009-04

纤维沥青混合料中纤维最佳用量的确定方法

张 超¹, 韩伟华², 马 琳³

(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. 长治高速公路
有限责任公司, 山西 长治 046000; 3. 河北省交通厅, 河北 石家庄 050000)

摘 要:针对以往马歇尔方法确定纤维沥青混合料中纤维用量存在的问题,通过沥青混合料低温弯曲试验,提出确定纤维用量的新指标——应变能。实际应用表明,应变能与纤维用量之间有良好的对应关系,采用应变能方法能够较为准确地求得纤维在沥青混合料中的适宜用量。在该用量下,混合料表现出较高的低温弯拉强度和弯曲应变,对应的低温劲度模量也处于适宜状态。

关键词:道路工程; 沥青混合料; 路面; 纤维; 应变能; 弯曲试验; 低温

中图分类号:U414.75 **文献标志码:**A

Optimum volume determination method of fiber in asphalt mixture

ZHANG Chao¹, HAN Wei-hua², MA Lin³

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Changzhi Highway Management CO Ltd, Changzhi 046000, Shanxi, China; 3. Department of Communications, Hebei Province Government, Shijiazhuang 050000, Hebei, China)

Abstract: In order to solve the problem existed in the Marshall method to determine the fiber content in the mixture, this paper puts forward a new index, strain energy to find optimum content of fiber through bending test at low temperature. The experiment results show that there is a close corresponding relationship between the stain energy and fiber content. The new method can seek the optimum content of fiber in the mixture accurately. Under this content, the asphalt mixture expresses higher bending strength and higher strain at low temperature, and the corresponding modulus of stiffness shows an appropriate state. 1 tab, 6 figs, 8 refs.

Key words: road engineering; asphalt mixture; pavement; fiber; strain energy; bending test; low temperature

0 引 言

沥青混合料中掺入纤维材料,能够较好地改善混合料的各项路用性能,而影响改善效果的因素之一就是控制纤维在沥青混合料中的用量。通常纤维最佳用量的确定方法是通过马歇尔试验操作,对比

不同纤维用量变化时的马歇尔技术指标的变化规律,分析确定出混合料中的纤维最佳用量^[1-3]。然而,在实际的操作过程中发现,无论是试验操作过程还是在方法的适用性上,马歇尔方法存在明显不足,得到的结果并不能很好地代表纤维的实际需求量。因此,本文提出一种确定纤维用量的新方法,通过低

收稿日期:2008-04-15

基金项目:河北省交通科技项目(Y-050121)

作者简介:张 超(1956-),男,河南洛阳人,教授,工学博士研究生,E-mail:xyzhang@163.com。

温弯曲试验,根据试验过程中得到的应变能来确定纤维用量,以完善纤维沥青混合料应用技术^[4-7]。

1 现有方法存在的问题

采用马歇尔方法确定纤维含量(质量分数)时,根据经验先行给定 4~5 个不同纤维含量,然后在不同纤维含量下定出各自的最佳油石比。通过对比分析各自最佳油石比下的稳定度、流值、空隙率和沥青饱和度等各种指标的相关关系,根据稳定度曲线峰值以及流值变化规律,找出能够满足现行规范要求的最小纤维用量。在此基础上,同时考虑高温性能、水稳性和经济性等多项指标,最终确定适宜的纤维用量。但是,该方法存在明显不足。

实际应用表明,SMA 混合料无论是高温稳定性还是其他路用性能,都优于普通密级配混合料。加入纤维的沥青混合料也有类似状况,试验显示,相应的加纤维混合料的稳定度大多小于不加纤维的普通沥青混合料。之所以出现这种现象,原因在于马歇尔试验是在 60℃ 相对较高温度下进行,此时纤维的加筋稳定作用会在高温下被削弱,无法体现纤维优势,表明在较高温度下考察纤维含量不尽合适。另一方面,掺入纤维的沥青混合料,随着纤维含量的改变,很难出现类似稳定度呈抛物线变化的规律,而且流值等其他马歇尔指标变化规律也不明显。原因在于给定纤维用量的变化范围非常有限,通常情况下不会超出 1 个百分点,如再增加纤维用量,沥青混合料则难以拌合均匀。在这样的纤维用量变化范围内,几乎没有规律可寻,难以依靠马歇尔方法找出所谓的最佳纤维用量^[8]。

由此可见,无论从马歇尔稳定度评价指标的适用性上,还是针对纤维混合料实际情况,马歇尔试验方法都不尽合理,需要寻求一种新的方法解决纤维的适宜用量。

2 确定纤维最佳用量的新方法

纤维沥青胶浆的性能特点主要体现在对沥青混合料的感温性的改善上,特别是对混合料的低温性能影响较为显著。原因在于,纤维主要是通过加筋稳定作用发挥其作用,低温时这种加筋效果更加突出,因而采用低温条件下的性能指标能更好地反映这种应用原理。

采用低温弯曲试验所得的抗弯拉强度、弯拉应变和弯曲劲度模量 3 项指标,同时结合弯曲试验过程应力-应变关系得出一项新指标——应变能,来共同反映混合料性能随着纤维含量变化而形成的变化

规律,从而能够得到更为理想的结果。

2.1 低温试验新指标——应变能

沥青路面的低温开裂是由于温度应力超过了混合料抗拉强度而导致面层开裂的,因此,若混合料具有较高强度或者在低温下有较好的抗变形能力和较强的应力松弛能力,就不会形成过度的温度应力造成开裂问题,则该类型的沥青混合料就会具有较好的低温抗裂性能。低温弯曲试验的弯拉强度表明了混合料的强度,弯拉应变表征了混合料低温承受荷载下的变形能力,综合考虑两者之间的关系,找到两者之间最佳的结合点,是重点考虑的内容。

目前,国内外用于评价沥青混合料低温性能的试验方法多种多样,其共同点是通过混合料的应力应变特性或临界能等指标来表征混合料的低温抗裂性能,具有同一个特征,就是从能量角度进行分析。国内外的实践证明,认为约束时间温度应力试验、蠕变试验、J-积分试验和低频疲劳试验对研究混合料的低温抗裂性能很有价值,其中比较看好的试验方法当属美国公路战略研究计划提出的约束时间温度应力试验,但是其设备成本较高,通用性低。在选择一种试验方法作为沥青混合料低温抗裂性能的评价方法时,应该在确保技术先进性的同时,更应符合本国的实际情况。鉴于目前中国的技术水平,采用低温弯曲试验方法较为适宜。

采用应变能作为评价指标的原理如图 1 所示。图 1 中,A、B 曲线表示两种沥青混合料的应力-应变曲线。虽然 A、B 两种混合料的应力大致相同,但是 B 型混合料更具有粘弹性,在不断变化的应力作用下可以产生较大的变形,从而部分消除混合料的内应力,在适应温度变化带来的温缩应力方面比 A 型混合料更具有优势。因此,综合考虑混合料加载时的应力-应变的综合表现,提出应变能概念。图 1 中,应力-应变曲线与横坐标包围的面积即为应变能,反映了混合料破坏过程消耗的能量。

因此,低温弯曲试验能通过混合料破坏时的抗

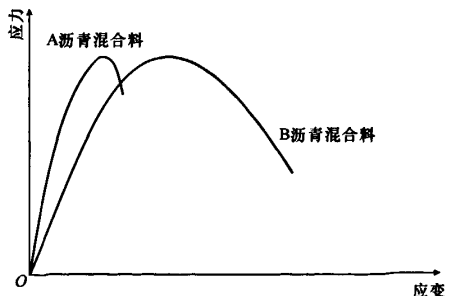


图 1 沥青混合料的应力-应变曲线

弯拉强度、弯拉应变和弯曲劲度模量更为直观和准确地反映混合料的低温性能,并且能够通过应变能(混合料试件破坏所消耗的能量),从能量的角度综合考虑混合料强度与应变之间的关系,具有更好的评价效果。

2.2 · 低温弯曲试验结果的处理方法

确定某一个纤维含量,然后用马歇尔试验方法确定出该纤维含量下的沥青混合料的最佳油石比,在最佳油石比下用残留稳定度、动稳定度指标来检验混合料性能的同时,成型低温弯曲所需的试件,然后进行低温弯曲试验。得到试件破坏时的抗弯拉强度、最大弯拉应变和弯曲劲度模量以后,进行应变能计算。

沥青混合料低温弯曲试验试件的试验数据记录如图 2 所示。

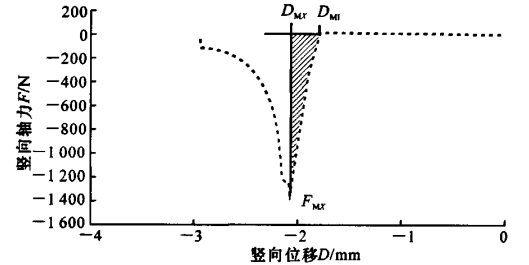


图 2 低温弯曲试验应变能的计算

应变能的公式采用下述方法进行推导。

根据图 2,找出试件破坏时的最大竖向轴力 F_{MX} 和其对应的竖向位移 D_{MX} ,在竖向轴力 200~400 N 的范围内的数据中任选一点 $E(F_E, D_E)$, F_E 、 D_E 分别为点 E 处的竖向轴力和竖向位移。通过 F_{MX} 和 $E(F_E, D_E)$ 拟合一条直线,该直线与轴力坐标轴相交的位置对应一竖向位移 D_{MI} ,则应变能 E_{MX} 的计算式为

$$E_{MX} = \frac{1}{2} F_{MX} (D_{MX} - D_{MI})$$

图 2 中的阴影区域即为应变能,代表了沥青混合料试件从加载到破坏时消耗的能量。

应变能的算法中有两点需要说明:

(1) 该应变能并不是低温弯曲试验过程中试件的全部变形能量,只是其中的一部分。这是因为试验记录表明,在经过了破坏时的最大竖向轴力 F_{MX} 之后,应力-应变曲线的变化规律很差,无法像破坏之前的那样近似于一条直线。同时,经过了破坏时的峰值以后,混合料已经破坏,丧失了实际使用功能,因此,只是将图 2 中阴影区域作为计算应变能时应考虑的区域。

(2) 在-10℃的试验环境下,混合料显示更多的是其粘弹性中的弹性性能。因此,在低温弯曲试验的数据中,大多数都可像图 2 中右侧显示的近似的成一条直线,而不是常温下呈现出的倒抛物线型。

纤维混合料的高温、低温路用性能包括应变能,随着纤维含量的不断增加,经历一个逐渐提高,然后达到最佳,再逐步衰减的过程。因此,在选择了应变能作为确定纤维最佳用量的关键性指标以后,通过改变纤维的不同含量,来确定不同纤维含量下的沥青混合料的应变能及其他各种技术指标。通过应变能的变化,在确定出纤维的最佳用量的同时,还要检验混合料的其他技术指标,使之同时满足路用性能指标的需要。

2.3 木质素纤维最佳用量的确定

木质素纤维是天然木材经过化学处理和高温加工后,得到的惰性有机纤维,结构呈现松散多孔状态,在通常环境条件下化学性质非常稳定,是目前应用较为广泛的纤维材料。木质素纤维沥青混合料低温弯曲试验结果如表 1 所示。

表 1 木质素纤维混合料低温弯曲试验结果

纤维含量/ %	抗弯拉强度/ MPa	最大弯拉应变/ 10 ⁻⁶	弯曲劲度模量/ MPa	应变能/ 10 ⁻³ J
0	8.217	1 283	6 426	130
0.15	8.279	1 480	6 391	144
0.30	8.904	1 466	6 617	170
0.50	8.393	1 364	6 547	149

在不同纤维含量条件下,分别对相应的沥青混合料进行低温弯曲试验,得到弯拉强度、弯拉应变和劲度模量等试验结果,并通过上述方法计算出各自的应变能。

随着纤维含量的变化,应变能呈现出如图 3 所示的变化规律;纤维含量与弯拉强度、弯拉应变和弯曲劲度模量的变化规律如图 4~图 6(见下页)所示。

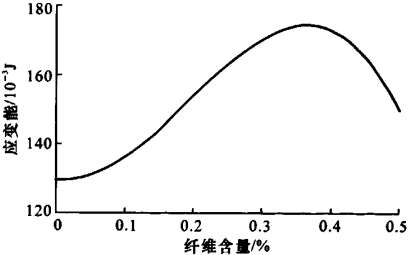


图 3 木质素纤维混合料低温弯曲试验应变能变化规律

由图 3 可以看出,应变能随纤维含量变化呈现类似抛物线的变化规律。通过数学方法拟合应变能和纤维含量之间的方程关系式为

$$y = -0.002 2x^3 + 0.130 2x^2 - 0.565 7x + 130.37$$

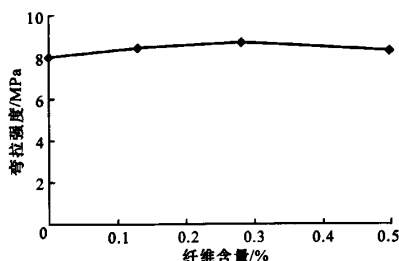


图4 木质素纤维混合料低温弯曲试验弯拉强度变化规律

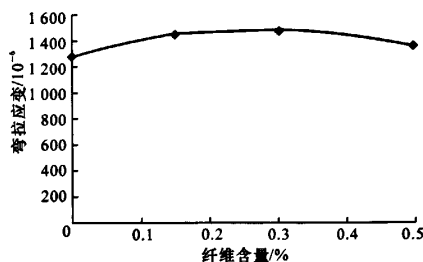


图5 木质素纤维混合料低温弯曲试验弯拉应变变化规律

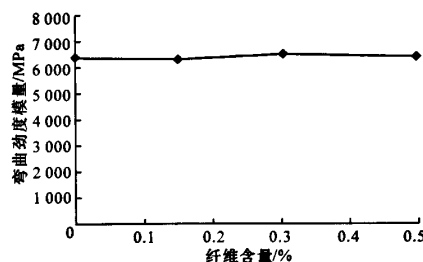


图6 木质素纤维混合料低温弯曲试验弯拉模量变化规律

$$R^2 = 1$$

式中: x 为木质素纤维沥青混合料纤维含量($10^{-2}\%$);
 y 为应变能(10^{-3}J); R^2 为相关系数。

再根据数学方法确定方程极值和对应的 x 为
 $\text{Max}\{176.248\ 783\ 5,$

$$[(x=37.147\ 179\ 96), 176.248\ 783\ 5]\}$$

从而得到应变能达到极值 $176.2 \times 10^{-3}\text{J}$ 时,理论纤维含量为 0.371%。所以,木质素纤维最佳用量为 0.37%。

在纤维含量为 0.37% 时,混合料的抗弯拉强度和弯拉应变同样在变化规律曲线的峰值附近,且劲度模量也位于一个适宜状态,表明此时纤维沥青混合料的低温性能普遍较好;说明采用应变能法得到的纤维含量能够确保低温各项指标达到最佳状态,从而也验证了该方法的合理性。

按照此方法,依次确定玄武岩矿物纤维最佳用量为 0.85%、改性纤维最佳用量为 0.75%、复合改性纤维最佳用量为 0.34%,在各自最佳纤维用量下不同纤维沥青混合料的各项指标都处于较为理想的状态。

3 结 语

(1)采用马歇尔方法确定纤维混合料纤维含量,存在方法不适宜、指标不合适的问题。

(2)通过低温条件下的弯曲试验,采用应变能指标,可以准确地找出纤维适宜用量。

(3)应变能指标能够较好地反映纤维含量的变化给混合料整体性能带来的变化规律;在由应变能确定出的纤维最佳含量下,低温弯曲试验其他的技术指标如抗弯拉强度、弯拉应变和弯曲劲度模量均处于较为理想的范围内。

参考文献:

References:

- [1] 陈华鑫. 纤维沥青混凝土路面研究[D]. 西安:长安大学, 2002.
- [2] 陈华鑫, 胡长顺, 张争奇. 纤维沥青混合料配合比设计方法初探[J]. 公路, 2003(6): 143-146.
CHEN Hua-xin, HU Chang-shun, ZHANG Zheng-qi. Mixture composition design of fibers-reinforced asphalt mixture[J]. Highway, 2003(6): 143-146.
- [3] 张争奇, 胡长顺. 纤维加强沥青混凝土几个问题和探讨[J]. 西安公路交通大学学报, 2001, 21(1): 29-32.
ZHANG Zheng-qi, HU Chang-shun. A study on fiber-enhanced asphalt concrete[J]. Journal of Xi'an Highway University, 2001, 21(1): 29-32.
- [4] 张志祥, 吴建浩. 再生沥青混合料疲劳性能试验研究[J]. 中国公路学报, 2006, 19(2): 31-35.
ZHANG Zhi-xiang, WU Jian-hao. Experimental research on fatigue characteristics of RAP mixtures[J]. China Journal of Highway and Transport, 2006, 19(2): 32-35.
- [5] 田 莉, 胡霞光, 刘 玉, 等. 沥青玛蹄脂粘弹性模型参数分段线性拟合法[J]. 交通运输工程学报, 2007, 7(3): 66-69.
TIAN Li, HU Xia-guang, LIU Yu, et al. Sectioned linear fitting method of parameters for asphalt mastics viscoelastic Burgers model[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7(3): 66-69.
- [6] JTJ 052—2000, 公路工程沥青及混合料试验规程[S].
- [7] 沈金安, 张登良. 沥青及沥青混合料路用性能[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [8] 张争奇, 李 平, 王秉纲. 纤维和矿粉对沥青胶浆性能的影响[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2005, 25(5): 15-18.
ZHANG Zheng-qi, LI Ping, WANG Bing-gang. Effect of fiber and mineral filler and asphalt mortar performance[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005, 25(5): 15-18.