

# 纤维沥青混凝土试验研究及施工工艺探讨

易林枫,陈辉成,谭健胜  
(佛山市顺德区公路局,广东佛山 528000)

**摘 要:**纤维的用量、长径比和纤维沥青混凝土的施工工艺对纤维加强沥青混合料的路用性能有很大的影响。该文结合复合材料的观点,通过纤维加强沥青混合料的室内试验对纤维的长径比、最佳用量进行分析,并介绍纤维沥青混凝土施工工艺要求及注意事项。  
**关键词:**纤维用量;长径比;复合材料;室内实验;施工工艺  
**中图分类号:**U416.217 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2006)06-0100-03

## 0 前言

随着重载、超载车辆的日益增多,传统的沥青路面越来越不能适应车载需要,因此对路用性能提出了更高的要求。在沥青混合料中掺加纤维后,能提高路面的高温稳定性、低温阻裂性,降低荷载作用造成的疲劳应力,提高路面的疲劳寿命。但如果纤维的长径比及用量控制不当或者纤维沥青混凝土的施工工艺制定不合理,则既不能提高纤维加强沥青混合料的路用性能,又增加了工程造价,严重时不得不翻修,带来巨大经济损失。因此有必要对纤维的这些指标进行探讨。

## 1 纤维长径比对混合料性能的影响

根据复合材料的增强机理,纤维越长,直径越小,则纤维达到极限强度的长度越长,从而能较好发挥纤维的增强作用。但过长过细的纤维在与沥青混凝土拌和过程中容易结团,使纤维难以均匀分布,影响纤维沥青混合料的工作度。为了比较纤维长径比对混合料性能的影响,采用 I、II 两种不同物理力学参数的涤纶纤维材料,纤维的基本性质见表 1。本试验中采用的纤维为聚合物纤维,其吸油率较木质素纤维低,因此未考虑纤维的吸油影响而增加沥青用量,这也便于比较在相同沥青用量情况下的混合料性能,纤维用量为矿料总重的 0.1%。下面通过马歇尔试验和劈裂疲劳实验来对纤维长径比对沥青混合料性能的影响进行探讨。

表 1 两种纤维的物理力学参数

纤维类型	直径(μm)	长度(mm)	长径比	密度(g/cm <sup>3</sup> )	抗拉强度(MPa)	初始模量(MPa)	断裂拉伸率(%)	熔点(℃)
I	15	6	400	1.40	960	10 000	25	248
II	20	6	300	1.36	569	5 500	50	252

收稿日期:2006-08-14  
作者简介:易林枫(1978-),男,湖南岳阳人,工程师,从事道路工程施工工作。

## 1.1 马歇尔试验

马歇尔试验是常规的沥青混合料组成设计试验,尤其适合于密实型沥青混合料,它能反映混合料的高温稳定性能。室内试验采用“埃索”70 号进口沥青,根据四档玄武岩集料 10~15 mm、5~10 mm、3~5 mm 和 0~3 mm,对沥青混合料进行了级配组成设计。

在马歇尔试验中,采用双面 75 次重型击实的试件。纤维用量为 0.1% 的 I 和 II 纤维沥青混合料与未加纤维沥青混合料的马歇尔试验结果如表 2。

表 2 纤维沥青混合料的马歇尔试验结果

纤维类型	纤维用量(%)	沥青用量(%)	表干密度(g/cm <sup>3</sup> )	空隙率(%)	稳定度(kN)	流值(0.1mm)
无	0	4.7	2.444	5.5	8.0	32.7
I	0.1	4.7	2.422	6.4	7.9	45.7
II	0.1	4.7	2.436	5.8	9.5	37.0

由上表可知,纤维沥青混合料制备出的沥青面层试件具有良好的稳定度。JTJ 032-94 的公路沥青路面施工技术规范设计要求标准中稳定度要求大于 5.0 kN,试验结果中大于 7.9 kN;空隙率应在 4%~10% 之间,试验结果为 5%~6% 左右,均比较理想。

## 1.2 劈裂疲劳试验

理论和试验都表明,路面在车轮荷载作用下,其结构内不同位置的应力应变状态也是不同的。虽然应力小于路面材料的抗拉强度,但随着作用次数的增加,路面结构强度逐渐下降,最后发生破坏,这就是材料疲劳引起的路面裂缝。

一般的疲劳试验采用小梁弯曲试验,也可采用间接拉伸疲劳试验。本试验采用的方法为后者。试件由马歇尔击实方法得到的圆柱体试件,直径 101.6 mm,高度 63.5 mm,施加荷载的压条宽为 12.5 mm。试验温度为 20℃,在 MTS 试验机上进行测试。加载方式为应力控制,加载频率为 10 Hz,应力比采用 0.4。不同纤维的沥青混合料劈裂疲劳试验结果如表 3。



表 3 纤维沥青混合料的劈裂疲劳试验结果

纤维类型	疲劳破坏次数
未加纤维	945
I	765
II	1 504

劈裂疲劳试验结果表明,在应力比为 0.4 时,掺加纤维的沥青混合料的疲劳破坏次数提高了,由于纤维改善了沥青的粘滞性,降低混合料内部的损伤,从而提高了混合料的抗疲劳破坏的能力。

以上两项实验反映出纤维的加入改善了沥青混合料的性能,但同时也看出,长径比较大的 I 纤维的稳定度和疲劳破坏次数小于 II 纤维的稳定度和疲劳破坏次数,甚至低于没加纤维的混合料稳定度和疲劳破坏次数,其原因在于纤维分散性。纤维的分散均匀性是纤维沥青混合料中纤维增强效果的关键,纤维分布不均匀,在局部易引起“局部涨落”现象,从而形成缺陷,对宏观强度造成不利影响,使其增强效果降低。根据混合料的拌和情况也发现, I 纤维在与矿料干拌时很难均匀分散,甚至结团,造成混合料压实度小,而 II 纤维与矿料干拌时没有出现此情况。因此纤维长径比需根据室内试验得出一个临界值,在实际施工中,考虑拌和难度,所用纤维长径比应略低于此临界值,以确保纤维发挥其最大效用。

2 纤维最佳用量

最佳纤维用量的确定是衡量纤维加筋沥青混凝土的力学性能及经济指标的重要依据。在一定的纤维体积率范围内,纤维沥青的强度和模量随着纤维体积率的增加而增加,大量试验也验证了该观点。纤维体积率小于纤维的临界体积率时,纤维起不到加筋作用,仅仅在沥青中起到分散作用,有时反而会降低沥青的强度。但纤维体积率也不能过大,纤维掺量过多,纤维比表面积增加,包裹在每根纤维周围的沥青胶浆体减少,导致纤维与沥青间粘结力不足。纤维过多还将造成拌和困难,使纤维不能均匀分布,影响材料的强度。另外,纤维掺量的增加也提高了路面造价,表 4 为常见的几种纤维的参考价格。

表 4 几种常见纤维素的价格参考表

品牌	VIATOP80	TOPCEL	CTA Fiber	Donalit	AS TB-6a
成分	木素质	木素质 95%	合成聚合物	聚丙烯腈	聚酯
价格 (元/吨)	9 000	9 000	49 000	68 000	4 100

2.1 理论计算与试验值的差异

有研究用复合材料的理论计算芳纶纤维增强沥青混凝土的劲度模量,与劈裂实验得出的结果

比较,当纤维掺量为 0.2% 时,理论值与试验值非常接近,而当纤维掺量为 0.3%、0.5% 时,理论值与试验值差别很大。这是因为,运用复合材料理论做计算时,往往要遵循一定的假设条件:纤维增强体在沥青基体中分布均匀、各向同性,纤维与沥青基体粘结良好。因此理论计算出来的结果是纤维用量越大,纤维增强沥青混凝土的劲度模量、强度及韧性就越高,而实际中由于沥青用量的不足、集料的要求跟不上、拌和工艺不成熟等,过多的纤维不能在沥青基体中分布、粘结得很好,起不到应有的增韧作用。纤维结团成束后占有更大空间,使矿料相互接触受阻,尽管沥青用量也增大,但仍存留下较大的孔隙,相反会影响沥青混凝土的性能。另外,纤维沥青混凝土是一种多相复合材料,材料的力学特征与纤维增强体、基体及纤维-基体的界面粘结性能有关。采用复合材料混合律理论计算材料的力学参数指标时,所考虑的纤维沥青受力状态都为初裂之前的状态。若发生沥青基体断裂或纤维脱胶,这些公式就不能使用。本文认为在确定纤维的最佳掺量时,应该以理论计算作参考,以室内实验结果作为主要依据,从实用性和经济性的角度出发,得出最佳的纤维用量。

2.2 高温性能实验

室内试验采用“埃索”70 号进口沥青,沥青混合料采用 LH-15 标准级配,聚丙烯腈纤维用量为 0.2%、0.3%、0.4%,图 1 为不同纤维用量及沥青用量的马歇尔稳定度曲线。

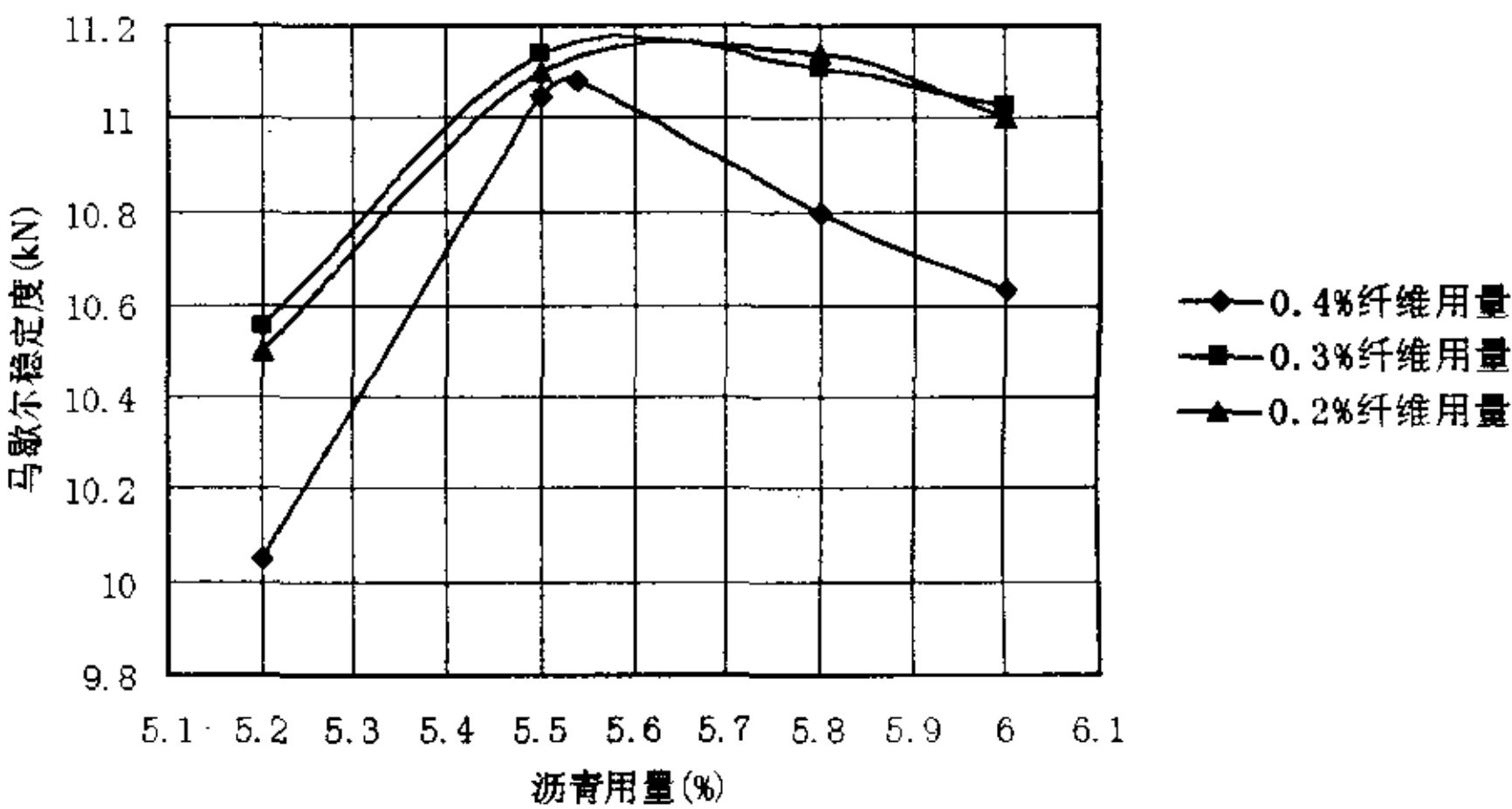


图 1 不同纤维用量及沥青用量的马歇尔稳定度曲线

图 1 中结果表明:

- (1)纤维掺量增加,最佳沥青用量也应增加;
- (2)最佳沥青用量时的马歇尔稳定度随纤维的增加而增大,但当纤维用量超过 0.3% 后,稳定度增量不明显。
- (3)纤维用量到 0.4% 后,稳定度反而较掺量少时下降,并且沥青用量不足对稳定度的影响很明显。

从以上分析来看,纤维对沥青混合料高温性能的改善有一个最佳掺量,超过此最佳掺量后,纤维



维在混合料中的分散性受影响,没有有效地与沥青基体联结,既不能提高混合料性能,又加大建设成本。不同类型纤维的最佳掺量有所不同,结合有关研究,通过综合比较分析可以认为,将纤维用量定在0.2%~0.3%时,其效益-成本比是最大的。

### 3 加纤维沥青混凝土的施工

加纤维沥青混凝土的施工与传统沥青混凝土的施工基本相同,分为进场材料检验、拌和设备的选型、拌和、运输、摊铺和碾压几个工序进行,但也存在区别。

#### 3.1 加纤维沥青混凝土拌和设备的选取注意事项

(1)由于纤维的加入,须延长干拌、湿拌时间以使纤维均匀裹覆矿料,拌和设备的生产能力将下降20%~30%,拌和设备生产能力的下降导致施工周期延长。例如,有的施工单位铺筑普通沥青混凝土日产量为2.4~2.7 km(单幅单层),而铺筑加纤维沥青混凝土仅为1.5~1.8 km(单幅单层),造成施工延期。所以进行施工计划时须考虑拌和设备拌和能力或加快底基层、基层施工,为沥青面层施工留出充分的施工时间。这些因素在进行施工计划时须考虑在内。

(2)对于传统的连续式拌和设备,须增加专门的纤维添加设备,并且由于纤维占混合料的比重很小,设备的精度将是影响拌和质量的一个重要方面,纤维掺加的不均匀还会导致混合料的油量偏大或偏小,影响工程质量。现场施工经验表明:人工投纤维经济性好,操作简便,效果较机械好。所以建议用人工投料的方式,但必须对投料工人进行严格训练,避免多投、漏投。

#### 3.2 加纤维沥青混凝土拌和要求

(1)确定每盘热料仓的配合比,计算出每盘混合料的质量,根据目标配合比确定的纤维用量计算每盘混合料中需投放的纤维质量,然后按此质量对进场的纤维进行分装,包装袋采用市场上常见的聚乙烯塑料袋即可。分装过程中,保证称量的准确性;

(2)沥青混合料应按设计沥青用量进行试拌,试拌后取样进行马歇尔试验,并将其试验值与室内配合比试验结果进行比较,验证设计沥青用量的合理性,必要时可作适当调整;

(3)确定适宜的拌和时间。对于普通的沥青混合料,间歇式拌和设备每盘拌和时间为30~60 s,

加入纤维后,会使拌和时间延长10~15 s,以混合料拌和均匀,纤维和沥青裹覆良好为准;

(4)确定适宜的拌和与出厂温度。沥青的加热温度宜为130~160℃,加热不宜超过6h,且当天加热宜当天用完,不宜多次加热,以免老化。砂石加热温度为140~170℃,矿粉不加热。沥青混合料的出厂温度宜为130~160℃,当使用改性沥青时,应比上述温度的高限再提高10~15℃,纤维的掺加不必进行温度调整。

#### 3.3 压实注意事项

加纤维后的沥青混凝土压实也显得尤为关键,压实不好会导致沥青混凝土达不到足够的密实度,达不到预期效果。

初压时用6~18 t双轮压路机或6~10 t振动压路机(关闭振动装置)压两遍,初压后检查平整度、路拱,必要时予以修整。如在碾压时出现推移,可待稳定稍低后再压;如出现横向裂纹,应检查原因及时采取措施纠正。

复压时用10~12 t三轮压路机、10 t振动压路机或相应的轮胎压路机进行,宜碾压4~6遍至稳定和无明显轮迹。

终压时用6~8 t振动压路机(关闭振动装置)碾压2~4遍,以消除轮迹。

加纤维后的沥青混合料粘稠度增大,应在上述普通沥青混合料碾压遍数基础上增加1~2遍,或者提高摊铺和碾压温度,压路机紧跟摊铺机,避免温度下降过多,才能达到预期的压实效果。

需要强调的是,施工过程具体操作的是现场工人,应加强对他们的教育和管理,现场应注意避免钢轮洒水过多,摊铺机速度应根据不同时段的气温控制,停机时间不宜过长。

### 4 结语

(1)纤维长径比不宜过小和过大,需根据室内试验得出一个临界值,在实际施工中,所用纤维长径比应略低于此临界值,以确保纤维发挥其最大效用。

(2)纤维的最佳掺量应该以理论计算作参考,以室内实验结果作为主要依据。不同类型纤维的最佳掺量有所不同,将纤维用量定在0.2%~0.25%时,其效益-成本比是最大的。

(3)指出纤维沥青混凝土施工工艺中的投料、拌和、碾压每个关键环节的值得注意之处,对实际生产具有指导意义。