

文章编号: 0451—0712(2006)12—0136—04

中图分类号: U414. 03

文献标识码: A

纤维掺量对沥青混凝土抗压回弹模量的影响分析

郭乃胜, 赵颖华

(大连海事大学道路与桥梁工程研究所 大连市 116026)

摘 要: 为了研究纤维掺量对沥青混凝土的抗压强度和回弹模量的影响, 选用 5 种聚酯纤维掺量沥青混凝土的圆柱体试件在 MTS810 材料试验机上进行单轴静压试验, 试验温度为 20℃。分析了沥青混凝土的抗压强度和回弹模量随纤维掺量变化的规律以及纤维的作用机理, 同时对回弹模量取值的合理性进行了探讨。结果表明, 沥青混凝土的力学性能对纤维的掺量反映敏感, 适量地加入纤维会改善沥青混凝土的抗压强度和回弹模量。根据试验分析结果确定纤维的合理掺量范围为 0. 2%~0. 25%, 纤维掺量为 0. 3% 的回弹模量合理取值有待深入研究。

关键词: 纤维沥青混凝土; 回弹模量; 抗压强度; 纤维掺量

纤维沥青混凝土作为一种新型路面材料以其表现出的优越路用性能以及施工工程中的便易性得到了国内外的关注。关于纤维沥青混凝土的性能研究, 其主要集中在两个方面。一方面是研究纤维沥青胶浆的性能, 另一方面探讨纤维沥青混凝土路用性能的改善, 这些研究成果对纤维沥青混凝土这种新型路用材料的推广和应用做出了重要贡献。纤维路面在一些发达国家已经有相当的应用历史, 被应用于高速公路、机场、码头等主要路面的铺装^[1~3]。我国在近年来也已经开始尝试纤维路面, 修建了一些试验路段, 并将其应用于高等级公路的重要路段, 路用纤维国产化的进程也相当迅速^[4~7]。然而纵观现有的研究成果, 仍然有待于改善, 其主要问题有两点: 第一是大部分成果为试验结果, 缺少基于试验之上的理论研究结论, 这样使多数研究停留于“就事论事”, 而参考应用的空间受到局限; 第二, 关于纤维沥青混凝土性能参数的研究尚待加强。

在路面结构设计中, 回弹模量是一项重要的设计参数, 因此, 确定一种新型路面材料的回弹模量就显得尤为重要。纤维加入到沥青混凝土中, 纤维与纤维、纤维与周围基体之间由于材料的不连续性而存在着复杂的相互作用关系, 以及纤维掺量的变化都会对沥青混合料本身的力学性能产生影响。为此, 本

文对不同聚酯纤维掺量沥青混凝土的抗压强度和抗压回弹模量进行试验研究, 探讨回弹模量取值的合理性, 得出抗压强度和抗压回弹模量随纤维掺量的变化规律, 并以此来确定纤维的合理掺量。

1 试验材料与方法

1. 1 试验材料

试验所用的结合料为辽河 AH-90 号沥青, 其各项性能指标见表 1。粗集料和石屑采用辽宁本溪的石灰岩, 砂子产地为辽宁沈阳, 矿粉产地为辽宁辽阳, 表 2 给出了以上各种材料的主要性能指标。纤维选用山东泰安生产的聚酯纤维^[8]。采用文献^[9]推荐的密级配 AC-13 型沥青混凝土级配范围进行配比, 相应的级配组成如表 3 所示。纤维沥青混凝土的最佳沥青用量采用马歇尔方法确定。纤维掺量分别为沥青混凝土总质量的 0、0. 15%、0. 2%、0. 25%、0. 3%, 每种纤维掺量制作 4 个试件, 试件尺寸为直径 100 mm±2. 0 mm, 高 100 mm±2. 0 mm, 试件成型参照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052—2000)^[10]中的沥青混合料试件制作方法(静压法)。

1. 2 试验方法

纤维沥青混凝土抗压强度试验是在无侧限条件下, 试验的温度为 20℃±0. 5℃, 加载速率为 5 mm/min

表1 沥青性能指标

软化点 C	针入度(25 C) 0.1 mm	延度(15 C) cm	含蜡量 %	闪点 C	溶解度 %	沥青薄膜加热试验(163 C, 5 h)			密度(25 C) g/cm ³
						质量损失/%	针入度比/%	延度(15 C)/cm	
45.5	86	>100	1.93	251	99.7	0.16	62.1	42.7	1.008

表2 集料性能指标

材料	压碎值/%	磨耗值/%	吸水率/%	含泥量/%	亲水系数	表观相对密度/(g/cm ³)	针片状含量/%	塑性指数/%
粗集料	13.8	12.6	—	—	—	2.772	10.7	—
石屑	—	—	0.75	—	—	2.706	—	—
砂子	—	—	1.26	2	0.9	2.651	—	—
矿粉	—	—	—	—	—	2.724	—	2.6

表3 AC-13 型密级配沥青混合料的级配组成

筛孔/mm	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
规范范围/%	100	90~100	68~85	38~68	24~50	15~38	10~28	7~20	5~15	4~8
通过率/%	100	95	75	43	30	24	18	10	8	6

对试件施加单轴压缩荷载直至破坏。抗压回弹模量试验的试验温度、试件尺寸和成型方法均与抗压强度试验相同,加载速率为 2 mm/min。两种试验都在配有环境箱的 MTS810 材料试验机上进行。

2 试验结果分析

2.1 纤维掺量对马歇尔结果的影响

不同纤维掺量沥青混凝土的马歇尔试验结果如表 4 所示。随着纤维掺量的增加,沥青混凝土的最佳沥青用量增加,毛体积密度降低,空隙率和流值增大。马歇尔稳定度在纤维掺量为 0.2% 时出现最大值,为 9.03 kN。沥青混凝土加入纤维后,由于纤维的比表面积增大,其吸附更多的沥青,使最佳沥青用量增加。另一方面,纤维的相对密度比集料小,纤维加入后占用一定的空间,密实性减弱,使沥青混凝土的密度和空隙率降低。沥青混凝土中加入适当的纤维提高了稳定度,纤维掺量继续增加时,稳定度反而下降,表明纤维的稳定作用存在合理掺量。

2.2 抗压强度及密度与纤维掺量的关系

不同纤维掺量沥青混合料的抗压强度和密度如表 5 所示。试验数据表明,随着纤维掺量的增加,沥青混凝土的密度是逐渐减小的,这与马歇尔试验中确定的密度随纤维掺量变化规律是相同的。

表5 不同纤维掺量沥青混凝土的抗压强度和表观密度

纤维掺量/%	抗压强度/MPa	表观密度/(g/cm ³)
0	2.572	2.444
0.15	2.776	2.419
0.20	2.903	2.406
0.25	2.496	2.373
0.30	2.355	2.364

纤维沥青混凝土的抗压强度变化趋势与表观密度有所不同,随着纤维掺量的逐渐增加,抗压强度也随之增加,在掺量为 0.2% 时,与普通沥青混合料相比,抗压强度的增幅达到 13%;当纤维掺量继续增加时,抗压强度有所回落且下降幅度较大,在掺量为 0.25% 和 0.3% 时分别下降了 14% 和 19%。从以上的现象可以看出,当在普通沥青混凝土中掺入纤维时,纤维掺量的适当增加,沥青混合料的抗压强度会有所提高,当纤维掺量增加到 0.2% 时,抗压强度达到最大值,当纤维掺量进一步增加时,强度将迅速下降,甚至低于普通沥青混合料的强度。

当沥青混凝土掺入适量的纤维时,纤维在混合料中起到桥联和加筋的作用,纤维被沥青混凝土中的沥青胶浆包裹,形成界面粘结强度,使外荷载能够及时地

表4 不同纤维掺量沥青混凝土的马歇尔试验结果

纤维掺量 %	最佳沥 青用量 %	毛体积 密度 g/cm ³	空隙率 %	稳定度 kN	流值 0.1 mm
0	5.20	2.458	4.30	8.48	25.4
0.15	5.31	2.432	4.47	8.79	26.6
0.2	5.35	2.423	4.62	9.03	27.3
0.25	5.41	2.388	4.71	8.32	28.7
0.3	5.45	2.381	4.83	8.07	30.4

分散到矿质骨料和沥青胶浆中,使混合料的受力更加均匀,避免出现应力集中的现象,因此加入纤维后的沥青混凝土强度有所提高。当纤维增加到最佳掺量时,混合料的抗压强度达到最大值,此时纤维的分散性最优。然而,随着纤维掺量的进一步增加,纤维的分散性变差,在矿质骨料之间还会出现结团和夹层的现象,使沥青混合料的粘聚力急剧下降,纤维的工作性能大大降低。因此,当沥青混凝土掺入过量纤维时,其抗压强度会降低,甚至低于普通沥青混凝土。

2.3 回弹模量与纤维掺量的关系

不同纤维掺量沥青混凝土的回弹模量如图 1 所示。试验数据显示,纤维沥青混凝土的回弹模量 E_R 随着纤维掺量 c 的增加而增大,在纤维掺量为 0.25% 处达到最大值 794 MPa,与普通沥青混凝土的回弹模量相比,增长了 36%。随着纤维掺量的继续增加,回弹模量又减小,但仍大于普通沥青混凝土的回弹模量。从试验结果来看,在纤维加入之后,使沥青混凝土的粘性特性减弱,弹性性能增强,致使混合料的回弹模量增大。

根据国内外学者对纤维沥青混合料的路用性能研究,针对不同的道路交通量,纤维掺量 c 基本控制在 $0.1\% < c < 0.4\%$ 范围内,即纤维掺量较小或过大时,纤维对沥青混凝土都没有起到最佳的加筋效果。从回弹模量与纤维掺量的关系图中可以发现,纤维掺量 $\bar{c} (\bar{c} = 100c)$ 在 $0.15\% \sim 0.3\%$ 之间时,纤维掺量与回弹模量两者之间存在很好的相关性。通过关系式可以计算在此纤维掺量范围内对应的回弹模量值,这为进一步研究纤维掺量与回弹模量之间的关系以及更细致地确定合理纤维掺量值提供了参考。

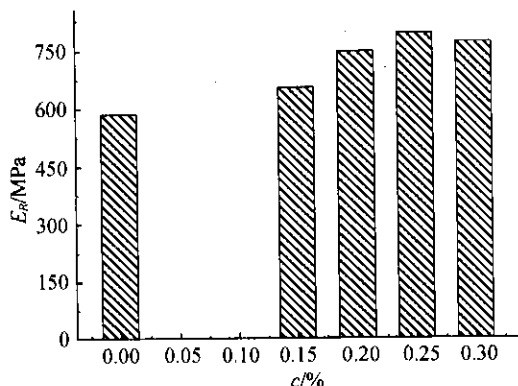


图 1 不同纤维掺量沥青混凝土的回弹模量

2.4 回弹模量的合理取值

我国现行规范设计方法是以极限破坏与疲劳

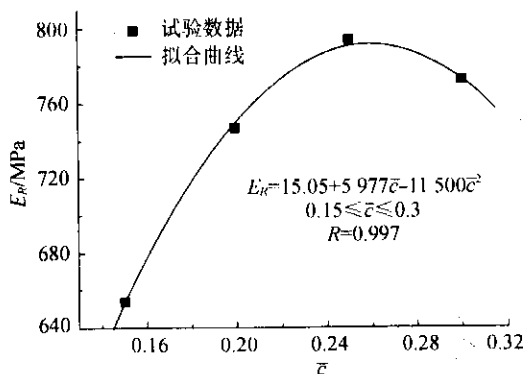


图 2 回弹模量与纤维掺量的关系曲线

破坏联合使用为设计准则,以弹性体系为理论依据,取一半破坏荷载 ($0.5P$) 下的回弹模量作为设计值。图 3 所示为回弹模量试验的一组试验应力 $\sigma \sim$ 回弹应变 ϵ 曲线,从图 3 中可以发现,在 $0.1 \sim 0.7P$ 逐级加载、卸载时,普通沥青混凝土与纤维掺量为 0.15%、0.2% 和 0.25% 的沥青混凝土的曲线走势基本一致,曲线的斜率变化表示其回弹模量随荷载的增大而增大,而在应力为 $0.5P$ 附近的位置,曲线开始趋于平缓,应力继续增加,应变变化趋于稳定,因此,取 $0.5P$ 时的模量作为纤维沥青混凝土的回弹模量是比较合适的。对于纤维掺量 0.3% 的应力 \sim 应变曲线,应变随着应力的增大而增大,在接近 $0.5P$ 时,出现了应变的峰值,当应力继续增加到 $0.7P$ 时,应变反而减小,并没有逐渐稳定的趋势,这表明,当纤维掺量较大时,由于纤维分散不均匀,出现了结团现象,影响了沥青与矿料之间界面强度。随着试验应力的增加,混合料内部的强度弱处形成了细小的裂纹,当试验应力增加到一定值时,试件将发生侧向位移,导致混合料此时的回弹变形减小,即回弹模量随着荷载的增大而继续增大。在本研究中,纤维掺量为 0.3% 时的回弹模量,仍然取 $0.5P$ 时的荷载和回弹变形计算得到,然而按照此条件下回弹模量取值未必合理。因此,当纤维掺量较大时 ($c \geq 0.3\%$) 沥青混凝土回弹模量的合理取值还需进一步深入研究。

2.5 合理纤维掺量

根据抗压强度、回弹模量与纤维掺量的关系,来确定合理纤维掺量。试验数据表明,以上两个参数变化趋势一致,均随着纤维掺量的增加,先增大后减小,并取得最大值。不同的是,抗压强度最大值在 0.2% 附近,但随着纤维掺量增加,下降幅度较大;而回弹模量的最大值在 0.25% 附近,随纤维掺量增加,下降幅度较小。为了进一步细致地确定合理纤维掺

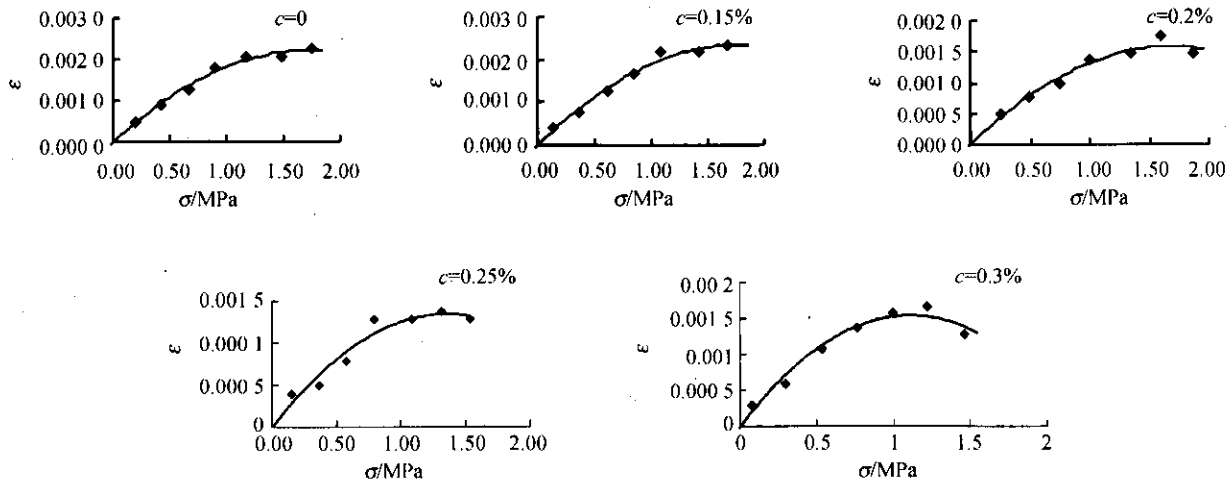


图3 不同纤维掺量沥青混凝土试验应力~应变曲线

量,把抗压强度 S_c 和回弹模量随纤维掺量变化曲线绘制于图4。从图4中可以发现,两条曲线相交于纤维掺量为0.23%附近,即此交点确定的纤维掺量近似为改善沥青混凝土抗压强度和回弹模量的合理纤维掺量。综合以上分析,此种聚酯纤维的合理掺量应在0.2%~0.25%之间。

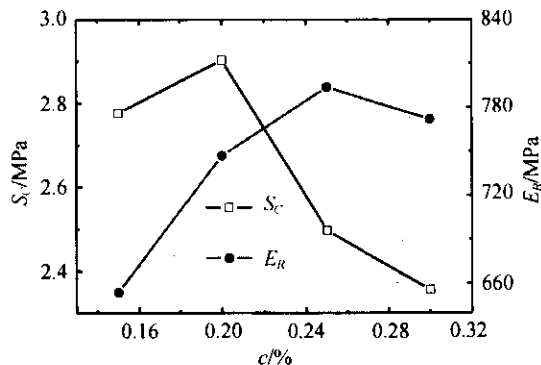


图4 抗压强度和回弹模量随纤维掺量变化曲线

3 结论

(1)纤维的加入提高了混合料的整体强度,抗压强度在纤维掺量0.2%附近取得最大值,纤维掺量继续增加,抗压强度迅速减小,甚至小于普通沥青混凝土的抗压强度。

(2)在沥青混凝土掺入纤维之后,增加了混合料的弹性性能,使纤维沥青混凝土的回弹模量始终高于普通沥青混凝土,在纤维掺量0.25%附近取得最大值。

(3)在对纤维沥青混合料进行0.1~0.7 P 逐级加载、卸载的过程中,从应力~应变曲线可以发现,当纤维掺量小于0.3%时,应变曲线在0.5 P 附近达到稳定段,因此在0.5 P 处取得回弹模量值是合理

的;当纤维掺量为0.3%时,应变曲线虽在0.5 P 附近达到最大值,但并无稳定趋势,此时仍在应力为0.5 P 处取得回弹模量值,其合理性有待进一步研究。

(4)根据抗压强度和回弹模量随纤维掺量变化的关系,可以确定此种聚酯纤维改善沥青混凝土力学性能的合理纤维掺量应在0.2%~0.25%之间。

参考文献:

- [1] Freeman R B, Burati J L, Amirkhanian S N, Bridges W C. Polyester fibers in asphalt paving mixtures[J]. Association Asphalt Paving Technology, 1989, 58.
- [2] Benedito de s. Bueno, Wander R. da Silva, Dario C. de Lima, Enivaldo Minete. Engineering Properties of Fiber Reinforced Cold Asphalt Mixes[J]. Journal of Environmental Engineering, 2003, 129(10).
- [3] Lee S. Joon, Rust Jon P., Hamouda Hechmi, Kim Y. Richard, Bordan Roy H. Fatigue Cracking Resistance of Fiber-reinforced Asphalt Concrete [J]. Textile Research Journal, 2005, 75(2).
- [4] 张争奇,胡长顺. 纤维加强沥青混凝土几个问题的研究和探讨[J]. 西安公路交通大学学报, 2001, 21(1).
- [5] 倪富健,郭咏梅,等. 聚丙烯腈纤维 SMA 路用性能[J]. 交通运输工程学报, 2003, 3(3).
- [6] 舒翔,刘立新. 沥青改性与掺加矿物纤维的差别与比较[J]. 公路, 2005, (9).
- [7] 彭波,戴经梁,李文瑛. 利用博尼纤维加强沥青混合料性能研究[J]. 公路交通技术, 2002, (2).
- [8] 郭乃胜,赵颖华. 纤维沥青混凝土的低温抗裂机理研究[J]. 公路, 2004, (12).
- [9] JTJ F40-2004, 公路沥青路面施工技术规范[S].
- [10] 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(2006)12-0140-03

中图分类号: U414.75

文献标识码: B

岩沥青改性沥青应用研究

周富强¹, 周必功², 李保国³, 李建东⁴

(1. 同济大学道路与交通工程教育部重点实验室 上海市 200092; 2. 浙江登峰交通集团工程有限公司 杭州市 311203;
3. 山东省德州市公路局禹城市公路分局 德州市 251200; 4. 山东省淄博市公路管理局博山分局 淄博市 255200)

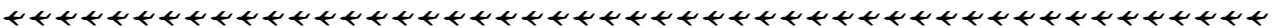
摘 要: 介绍了天然沥青的应用情况, 岩沥青改性沥青的特点, 室内试验及生产现场配制岩沥青改性沥青的方法。将岩沥青改性沥青混合料同 SBS 改性沥青混合料的高温稳定性和水稳定性进行了对比, 发现岩沥青改性沥青混合料的稳定度和劈裂强度大幅提高, 结构层疲劳寿命增长 4.6 倍以上。

关键词: 天然沥青; 岩沥青; 稳定度; 劈裂强度; 疲劳寿命

公路交通量的迅猛增长和荷载特点的变化对沥青混凝土路面提出了更高的要求, 改性沥青得到了越来越广泛的应用。目前, 在我国研究和应用最广泛的主要是 SBS 改性沥青和 PE 改性沥青这样的聚合物改性沥青。但大多数聚合物改性剂与沥青不相容, 这就意味着生产聚合物改性沥青必须使用特殊的设备以及较高的能量消耗, 从而造成价格较高, 限制了其使用。而且聚合物改性沥青容易存在离析现象, 施工单位往往只能在施工即将开始时准备改性沥青, 不利于研究工作在非施工季节的开展。人们开始考

虑将天然沥青掺加到普通沥青中来改变普通沥青的性质。天然沥青是石油在经过亿万年的地质变化过程中, 在热、压力、氧化、触媒、细菌综合作用下生成的沥青类物质, 通常包括湖沥青、岩沥青和海底沥青。存在于岩石缝隙的天然沥青, 称为岩沥青。岩沥青中含有许多砂和岩石, 经过水的熬制, 可以得到纯净的沥青。早期使用的天然沥青以特立尼达湖沥青 (TLA) 为代表, 近些年产于南太平洋印度尼西亚苏拉威西岛东南部布敦岛的布敦岩沥青 (BMA) 在我国也有了一定的应用, 取得了非常好的效果^[1,2]。

收稿日期: 2006-06-06



Influence of Fiber Contents on Compressive Resilient Modulus of Asphalt Concrete

GUO Nai-sheng, ZHAO Ying-hua

(Institute of Road and Bridge Engineering, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: Uniaxial static compress test is conducted to study compressive resilient modulus and compressive strength of asphalt concrete with different fiber contents. The cylinder samples, with five kinds of polyester fiber contents, are tested on MTS810 under 20 C. The test mechanism of fiber reinforced asphalt concrete and the relation between the fiber content and two parameters of compressive strength and static modulus are analyzed as well as rational value of resilient modulus is discussed. The results show that the mechanics performance is sensitive to fiber contents; both compressive strength and resilient modulus receive the maximum value as fiber contents increase. The rational polyester fiber content that lies in 0.2%~0.25% is given according to test results, the resilient modulus values of mixtures including 0.3% still need to be researched thoroughly.

Key words: fibers reinforced asphalt concrete; resilient modulus; compressive strength; fiber content