

蔗渣纤维沥青胶结料黏度特性及其混合料路用性能研究

陈开群¹, 禚炜安^{2,3,4}, 李祖仲⁵, 何廷全¹

(1. 广西新发展交通集团有限公司, 广西 南宁 530029; 2. 广西交投集团有限公司; 3. 广西道路结构与材料重点实验室;
4. 高等级公路建设与养护技术、材料及装备交通运输行业研发中心; 5. 长安大学 材料科学与工程学院)

摘要:为研究蔗渣纤维沥青胶结料的黏度特性及其混合料的路用性能,该文测试了蔗渣纤维的 SEM 微观图谱和基本性能,采用布洛克黏结仪研究了不同掺量和温度对蔗渣纤维沥青胶结料黏度特性的影响,以 SMA-13 为对象,分析了蔗渣纤维、絮状木质素纤维、颗粒木质素纤维的抗析漏能力和抗飞散能力,并评价了蔗渣纤维沥青混合料的路用性能。研究结果表明:蔗渣纤维表面具有凸起和条带状纹理,有利于搭接成三维网络结构,发挥其良好的加筋作用;内部大量多孔蜂窝状微组织可提高对沥青的吸附能力;蔗渣纤维的吸油率、耐热性等各项性能指标满足现行规范要求。蔗渣纤维掺量越大,沥青胶结料的黏度越大,蔗渣纤维通过搭接形成三维加筋网络结构,增大沥青的蠕变阻力而提高黏度;温度越高,其黏度越小,温度由低升高过程中,蔗渣纤维的黏度曲线经历先急后缓的递减规律。3 种纤维样品均呈现同一规律,油石比越大,析漏损失率越大,飞散损失率越小。相同油石比时,颗粒纤维的析漏损失率最大,蔗渣纤维次之,絮状纤维最小;飞散损失率则反之。蔗渣纤维沥青混合料的高温动稳定度超过 8 000 次/mm,残留稳定度大于 90%,低温弯曲应变大于 3 000 μe ,具有良好的路用性能。

关键词: 蔗渣纤维; 黏度特性; 路用性能; 沥青混合料; 道路工程

1 引言

沥青玛蹄脂碎石 SMA 由于其优异的高温、低温、水稳等路用性能,目前在道路路面中广泛应用,逐渐成为道路设计者推崇的路面材料之一。为达到优异的路用性能,纤维是其混合料组成必不可少的材料之一,以往 SMA 沥青混合料主要掺用的是木质素纤维(絮状或颗粒状)、矿物纤维。根据 JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》推荐纤维的掺量约为混合料的 0.3%,而目前市场上木质素纤维的价格参差不齐,其性能质量也存在很大差异,其中工程应用效果较好的木质素纤维价格为 8 000~10 000 元/t,致使 SMA 沥青路面的整体造价较 AC 类偏高,成为影响 SMA 大规模应用的重要因素之一;并且随着中国对环保力度的不断加强,资源能源日益紧缺,森林木材急剧减少,迫切需要研发新型的高品质低价路用纤维,降低沥青

路面工程对木质素纤维的依赖,推动高质量沥青路面的铺筑,同时降低工程造价。

甘蔗是中国主要的糖料作物,被广泛应用于制糖工业,制糖尾料——蔗渣的产出量为食糖的 2~3 倍,数量非常庞大,高附加值利用途径成为未来的发展重点。蔗渣含有丰富的生物质能,纤维素和半纤维素含量较高,木质化程度较高,通过有效的物理加工和化学改性,将蔗渣开发成路用纤维具有巨大的潜能。国外对蔗渣纤维的提取改性技术进行了研究,但关于蔗渣纤维在沥青混合料中的应用则鲜有报道。如 Hassan 等研究酯化后蔗渣复合材料的空间稳定性和力学性能,并分析了蔗渣纤维复合材料的热塑性;Brugnago 等采用蒸气爆破与碱处理联用技术改性蔗渣纤维,发现改性处理后吸水性有所降低;Rodrigues 等将蔗渣纤维经酯化改性,改性后的蔗渣纤维增强复合材料的拉伸模量比未改性时提高约 13%。中国已有学者对蔗渣纤维沥青混合料进行了初步研究,获得了一些技

收稿日期:2020-05-10(修改稿)

基金项目:广西重点研发计划项目(编号:桂科 AB19245019);广西住房和城乡建设厅科学技术计划项目(编号:桂建科(2018)2号-2)

作者简介:陈开群,男,大学本科,高级工程师。E-mail:106316225@qq.com

术成果。何壮彬、覃峰等对 SMA 沥青混合料结构参数进行了试验研究,提出了参数的变化规律;何壮彬、谢春荣等研究了蔗渣纤维在不同浓度碱溶液处理后的稳定性,证明碱溶液浓度对蔗渣纤维的稳定性有改善作用;吕鹏、黄琼念、覃峰从蔗渣纤维沥青混合料的抗腐蚀性角度,对 AC-13、SMA-8 的抗腐蚀性评价方法和材料的抗腐蚀性进行了深入研究。未来,为推进蔗渣纤维规模化应用,必须开展更深入的研究,明确蔗渣纤维的加工生产、蔗渣纤维沥青胶浆特性、混合料设计、路面施工控制等成套技术。

该文采用实验室研发制备的蔗渣纤维样品,对比检测不同类型纤维的性能指标。研究蔗渣纤维沥青胶浆的黏度特性,分析蔗渣纤维沥青混合料的抗析漏和抗飞散能力,并验证其高温、低温、水稳等路用性能,为蔗渣纤维在沥青路面工程中的推广应用提供参考。

2 试验材料

2.1 沥青

试验所用沥青为 SBS 改性沥青,其性能技术指标如表 1 所示。

表 1 沥青测试结果

检验项目	单位	技术要求	实测值
针入度(25℃,100 g,5 s)	0.1 mm	40~55	51.6
针入度指数 PI		≥ 0	0.256
延度(5 cm/min,5℃)	cm	≥ 25	26.5
软化点(环球法)	℃	≥ 65	92.4
运动黏度(135℃)	Pa·s	≤ 3	2.604
溶解度	%	≥ 99.0	99.3
密度(15℃)	g/cm ³	实测记录	1.028
弹性恢复(25℃)	%	≥ 85	99.0
贮存稳定性离析、48 h 软化点差	℃	≤ 2.5	1.1
质量变化	%	± 1.0	0.06
TFOT 或 残留针入度比 RTFOT 后 (25℃)	%	≥ 65	82
残留延度(5℃)	cm	≥ 17	21.3

由表 1 可知:SBS 改性沥青的各项技术指标均满足 JTG F40—2004 的相关要求。

2.2 粗集料

粗集料均采用辉绿岩石料,分为 5~10 mm 和 10~15 mm 两档,其性能指标如表 2 所示。

表 2 粗集料测试结果

检测项目	单位	指标要求	不同集料实测值	
			10~15 mm	5~10 mm
压碎值	%	≤ 20	7.1	—
洛杉矶磨耗值	%	≤ 20	10.8	—
表观相对密度		≥ 2.6	3.050	3.033
毛体积相对密度		≥ 2.6	2.998	2.970
吸水率	%	≤ 2.0	0.6	0.7
针片状颗粒含量	%	≤ 15	5.3	2.4

由表 2 可知:粗集料的各项技术指标均满足 JTG F40—2004 的相关要求。

2.3 细集料

细集料采用石灰岩加工,粒径范围为 0~3 mm,其性能指标如表 3 所示。

表 3 细集料测试结果

检测项目	单位	指标要求	实测值
表观相对密度		≥ 2.6	2.975
毛体积相对密度		≥ 2.6	2.975
砂当量	%	≥ 60	72
棱角性	s	≥ 30	43

由表 3 可知:细集料的各项技术指标均满足 JTG F40—2004 的相关要求。

2.4 矿粉

矿粉采用石灰岩碎石加工,其主要性能指标试验结果如表 4 所示。

表 4 矿粉测试结果

基本性能	单位	指标要求	实测值
表观相对密度		≥ 2.5	2.74
含水量	%	≤ 1	0.2
亲水系数		< 1	0.5
塑性指数		< 4	2.8
加热安定性		实测记录	米白—浅棕

由表 4 可知:矿粉的各项技术指标均满足 JTG F40—2004 的相关要求。

2.5 纤维

试验采用 3 种不同类型的纤维进行对比试验,其中蔗渣纤维自研制备,JRS 颗粒状木质素纤维、絮状木质素纤维均为工程中常用的两种纤维。

(1) 蔗渣纤维 SEM 图谱

对蔗渣纤维的微观图谱进行 SEM 扫描分析,结果如图 1 所示。

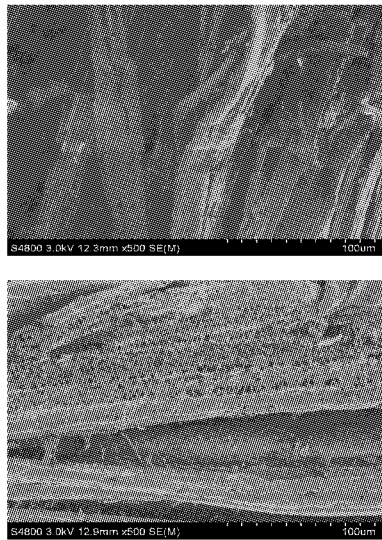


图 1 蔗渣纤维 SEM 图像

通过 SEM 电镜扫描可以看出:蔗渣纤维为枝条状,表面呈现出凸起和条带状纹理。粗糙的纤维表面搭接成的三维网络状结构更加稳固,凸起和条带状纹理对沥青也有一定程度的稳定作用。图 1 清晰地展现出蔗渣纤维除了凸起和条带状纹理外,内部存在大量多孔蜂窝状微组织,这些微孔对沥青有良好的吸附性。可见蔗渣纤维对沥青混合料的改性既存在加筋作用,也存在沥青吸附作用。

(2) 纤维基本性能检测

3 种纤维样品的主要性能指标检测结果如表 5 所示。

表 5 纤维测试结果

纤维种类	灰分含量/%	pH 值	吸油率/倍	含水率/%	耐热性/%	外观描述
蔗渣纤维	13.2	7.3	6.0	1.2	3.9	颜色由白变黄
絮状木质素纤维	22.1	7.2	8.1	6.7	5.7	颜色由浅黄变深黄
粒状木质素纤维	17.2	7.3	5.3	4.8	5.2	颜色由灰色变黄、变黑

注:灰分含量指标要求为 $(18\pm 5)\%$;pH 值指标要求为 7.5 ± 1.0 ;吸油率指标要求为 ≥ 5 倍;含水率指标要求为 $\leq 5\%$;耐热性指标要求为 $\leq 6\%$ 。

由表 5 可知:蔗渣纤维的吸油率、耐热性等各项性能指标均满足 JTG F40—2004 的相关要求,而絮状木

质素纤维的含水率为 6.7%,超出了不大于 5% 的规定。

3 蔗渣纤维沥青胶浆黏度特性

为研究掺入蔗渣纤维对沥青胶浆的黏温特性的影响。研究采用布洛克黏度仪测试分析不同蔗渣纤维掺量和不同温度条件下沥青胶浆的黏度特性。

3.1 掺量的影响作用

结合工程经验 SMA—13 常用的油石比为 6.0%,而 JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》推荐的纤维掺量为不少于沥青混合料的 0.3%,估算相对于沥青质量的纤维掺量为 5.0%左右。试验中取 0%、1%、3%、5%、7%、9% 几组掺量进行测试,试验温度取 120、135 和 165℃,试验结果如图 2 所示。

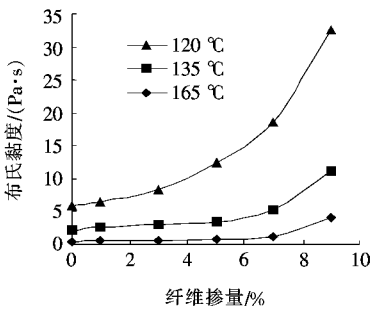


图 2 沥青胶结料黏度—掺量变化曲线

由图 2 可知:不同试验温度条件下,随着纤维掺量的递增,沥青胶浆的黏度均不断增大,当掺量小于 7% 时,其增幅相对较缓;超过 7% 时,黏度大幅升高。因此从施工黏度角度出发,蔗渣纤维掺量不宜过大。蔗渣纤维增大沥青胶浆的黏度,主要是因为纤维能够通过搭接形成加筋网络,增大沥青的蠕变阻力,从而表现为黏度增大。掺量较小时,纤维量较少,网状结构不明显,增黏加筋作用不强;当掺量不断增大,能够形成三维的网状结构,增黏加筋作用不断增加。

3.2 温度的影响作用

以 SBS 改性沥青+5%蔗渣纤维为研究对象,SBS 改性沥青为对比参考,测试分析在不同温度条件下沥青胶浆的黏度变化规律。试验结果如图 3 所示。

由图 3 可以看出:同一温度条件下,蔗渣纤维沥青的黏度均大于 SBS 改性沥青;不同的试验温度,两种沥青胶结料所表现出的变化规律一致,随着温度的增高,沥青胶浆的黏度降低。温度由低升高过程中,蔗渣纤维的黏度曲线经历先急后缓的递减规律。即在低温度范围内,沥青胶浆的黏度明显大于高温度范围。其

主要是因为沥青是温感材料,沥青胶结料的黏度由自身黏滞性和蔗渣纤维网络加筋共同组成。随着温度升高,沥青的可流动性越大,沥青本身流态特性对胶结料黏度起主导作用。当温度由 165 ℃ 升高到 180 ℃,沥青胶结料的黏度降幅已较为缓慢,明显小于低温范围。

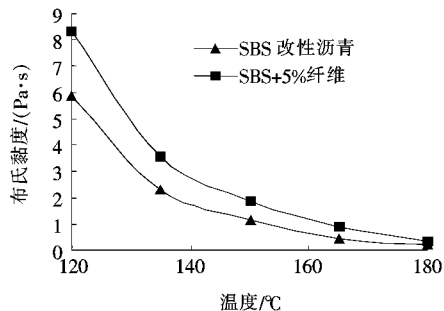


图3 沥青胶结料黏度-温度变化曲线

4 蔗渣纤维沥青混合料路用性能

采用 SMA-13 级配,相同的矿料级配对蔗渣纤维和木质素颗粒纤维的路用性能进行对比分析,以验证蔗渣纤维的实用性。

4.1 矿料级配

根据各档矿料筛分结果,通过计算、调整、对比,最终确定各原材料的掺配比例为(10~15) mm:(5~10) mm:(0~3) mm:矿粉=39:37:14:10,纤维采用沥青混合料的 0.3%,SMA-13 矿料级配曲线如图 4 所示。

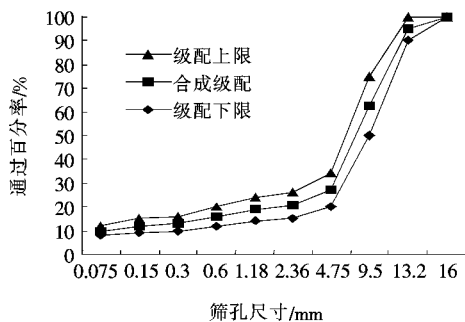


图4 SMA-13 矿料级配设计曲线

根据马歇尔试验方法,通过对比不同油石比下混合料的体积参数、力学特性及肯塔堡析漏、谢伦堡分散试验等,确定蔗渣纤维、絮状木质素纤维、颗粒木质素纤维沥青混合料的最佳油石比分别为 6.0%、6.2%、5.9%。

4.2 析漏试验

试验中对 3 种纤维在不同油石比条件下的析漏试验进行了测试,油石比取 5.2%、5.6%、6.0%、6.4%、

6.8%,析漏损失率的变化曲线如图 5 所示。

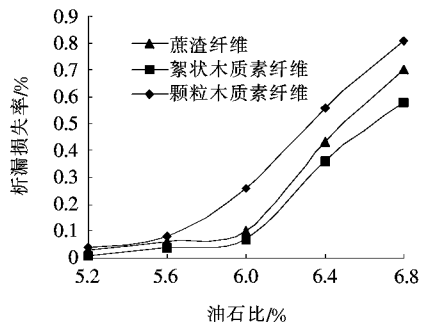


图5 析漏损失率的变化曲线

由图 5 可以看出:蔗渣纤维沥青混合料的析漏损失率变化规律与木质素纤维同样遵循以下规律,油石比越大,析漏损失率越大。相同油石比时,颗粒纤维的析漏损失率最大,蔗渣纤维次之,絮状纤维最小。这与纤维的吸油率特性密切相关,吸油率越高,表明纤维吸附沥青的能力越强,在油石比一定的条件下,其自由沥青越少,混合料的析漏损失必然越小。如试验中的 3 种纤维,絮状木质素纤维的吸油率最大,在 6.0% 油石比条件下,其析漏损失率越小。

4.3 飞散试验

为验证蔗渣纤维不同油石比沥青混合料的抗飞散能力及其与木质素纤维的对比,测试了 3 种纤维不同油石比的飞散损失,结果如图 6 所示。

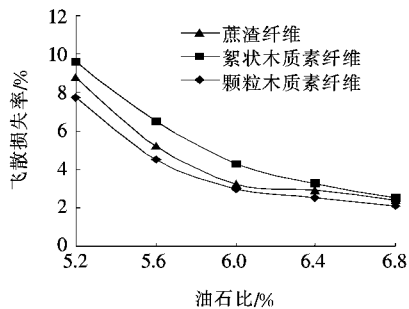


图6 飞散损失率变化曲线

由图 6 可以看出:所测试的 5 组油石比条件下沥青混合料的飞散损失率均小于 15%,表明在纤维的加筋作用下,沥青混合料的抗飞散能力均满足规范要求。随着油石比的增大,飞散损失率均减小。同一油石比时,飞散损失率由大到小的排序为絮状木质素纤维、蔗渣纤维、颗粒木质素纤维,由此表明同一油石比时颗粒木质素纤维的抗飞散能力最强,蔗渣纤维次之,絮状木质素纤维较弱。

4.4 路用性能验证

对 3 种纤维沥青混合料在最佳油石比条件下的路

用性能进行验证,其马歇尔稳定度、高温性能、水稳性能和低温性能测试结果如图 7~10 所示。

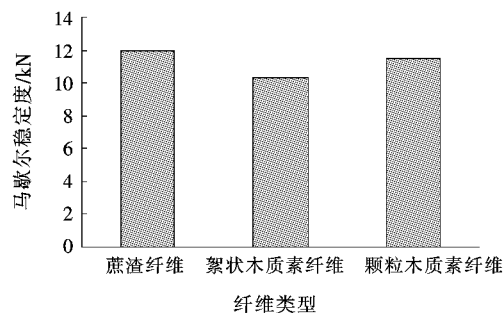


图 7 马歇尔稳定度测试结果

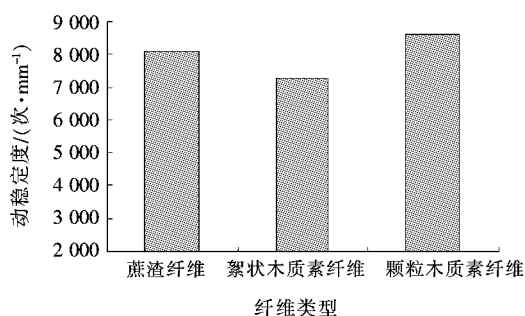


图 8 动稳定度测试结果

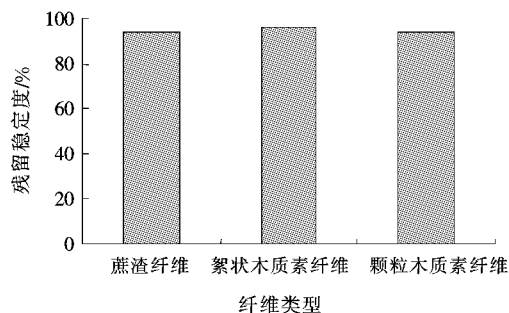


图 9 残留稳定度测试结果

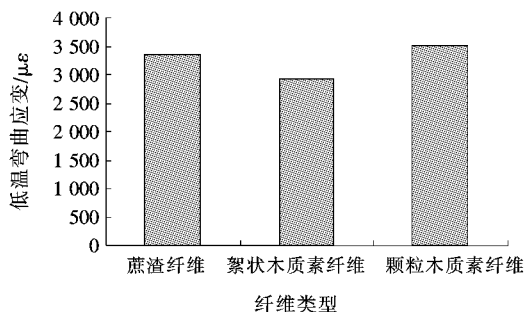


图 10 低温弯曲应变测试结果

由图 7~10 可以看出:蔗渣纤维沥青混合料高温动稳定度超过 8 000 次/mm,残留稳定度大于 90%,低温弯曲应变大于 3 000 $\mu\epsilon$,各项路用性能均满足 JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》的相关要求。蔗渣纤维沥青混合料的各项路用性能与絮状或

颗粒状木质素纤维基本保持在相同的水平,相差不大。由此可知,蔗渣纤维可应用于路用沥青混合料中。

5 结论

通过对蔗渣纤维沥青胶浆黏度特性及其沥青混合料路用性能的研究,可以得到以下结论:

(1) SEM 图谱显示蔗渣纤维表面呈现出凸起和条带状纹理,有利于搭接成三维网络结构,发挥其良好的加筋作用;内部大量多孔蜂窝状微组织可提高对沥青的吸附能力。蔗渣纤维的吸油率、耐热性等各项性能指标均满足 JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》的相关要求,表现出较好的技术性能。

(2) 随着蔗渣纤维掺量的递增,沥青胶浆的黏度均不断增大,7%掺量是沥青胶结料黏度的分界点,大于 7%时,黏度显著升高。蔗渣纤维通过搭接形成三维加筋网络结构,增大沥青的蠕动阻力。

(3) 温度越高,蔗渣纤维沥青胶结料的黏度越小。温度由低升高过程中,蔗渣纤维的黏度曲线经历先急后缓的递减规律。沥青胶结料的黏度由沥青自身黏滞性和蔗渣纤维的网络加筋作用共同组成。随着温度升高,沥青的可流动性越大,沥青本身流态特性对胶结料黏度起主导作用。

(4) 3 种纤维样品均呈现同一规律,油石比越大,析漏损失率越大,飞散损失率越小。相同油石比时,颗粒纤维的析漏损失率最大,蔗渣纤维次之,絮状纤维最小;抗飞散能力颗粒木质素纤维最强,蔗渣纤维次之,絮状木质素纤维较弱。

(5) 蔗渣纤维沥青混合料高温动稳定度超过 8 000 次/mm,残留稳定度大于 90%,低温弯曲应变大于 3 000 $\mu\epsilon$,表现出良好的路用性能,从技术层面看,蔗渣纤维可应用于路用沥青混合料中。

参考文献:

- [1] Pyeong Jun Yoo, Ji Young Choi and Byung-Sik Ohm. Characteristics of Mono-Strand Fiber-Reinforced Hot-Mix Asphalt Mixtures[C]. Transportation and Development Institute Congress, 2011: 449-461.
- [2] Hossam F. Hassan, Salim Al-Oraimi, Ramzi Taha. Evaluation of Open-Graded Friction Course Mixtures Containing Cellulose Fiber sand Styrene Butadiene Rubber Polymer[J]. ASCE, 2005, 17: 416-422.
- [3] 肖雪清, 陈钦慧. 甘蔗渣-聚乙烯复合材料的制备与性能[J]. 泉州师范学院学报, 2011(4).

不同因素对水泥搅拌桩强度影响的试验研究

曹支才¹, 王光辉^{2*}

(1. 陕西省交通建设集团公司, 陕西 西安 710000; 2. 中北工程设计咨询有限公司)

摘要:为了探究水泥搅拌桩强度的影响因素,该文以陕西吴(起)定(边)高速公路典型湿陷性黄土地基处理为背景,通过水泥搅拌桩不同因素条件下的强度差异,探究水泥粉煤灰加固黄土在不同因素下的力学特性变化规律。结果表明:水泥粉煤灰掺入比越大,水泥搅拌桩强度越高;水泥强度从32.5级提高到42.5级,则试件强度会明显提高,在90 d龄期下,水泥强度等级为42.5级的试件比32.5级的试件强度增加约40%~60%;水泥搅拌桩强度随试件破坏时含水率增加而降低,在水泥粉煤灰掺入比为20%时,水泥搅拌桩强度变化最明显。水泥粉煤灰可以有效地加固湿陷性黄土,可为其他地区的黄土地基加固提供参考。

关键词:公路工程;湿陷性黄土;水泥搅拌桩;影响因素;力学特性

湿陷性黄土具有流变性较强以及压缩性较高、承载能力较低等特性,为了尽可能避免湿陷性黄土对公路整体质量的影响,在施工过程中必须加强对湿陷性黄土地基的处理,目前经常采用的处治措施为水泥搅拌桩法,即采用专门的搅拌机械设备对固化剂、软土进行就地搅拌,软土在水泥的作用下变为水泥加固土,水稳性和整体性得到一定程度的提高。

多年来,广大工程师们针对湿陷性黄土及水泥搅

拌桩加固地基进行了大量的研究工作。雒亿平基于湿陷性黄土的工程特性,针对现有湿陷性黄土地基处理方法所存在的缺陷,创新性地提出了灰土垫层与防渗膜相结合的联合地基处理方法,并对该复合地基进行了深入探讨,不仅对复合地基力的相互作用、变形及效应做了研究,而且分析了防渗膜铺设深度对复合地基应力应变的影响;鞠兴华等依托某高速公路工程,通过现场试验检测,确定了水泥粉煤灰搅拌桩处理饱和黄

- *****
- [4] 符瑞华,高俊永,梁磊,等.甘蔗渣利用现状及致密成型研究发展[J].甘蔗糖业,2013(2).
- [5] Shaik H M, Pandare K V, Nair G, et al. Utilization of Sugarcane Bagasse Cellulose for Producing Cellulose Acetates: Novel Use of Residual Hemicellulose as Plasticizer [J]. Carbohydrate Polymers, 2009, 6 (1): 23-29.
- [6] Hassan M L, Rowell R M, Fadl N A, et al. Thermoplastic Ization of Bagasse. I. Preparation and Characterization of Esterified Bagasse Fibers[J]. Applied Polymer Science, 2000, 76(4): 561-574.
- [7] BRUGNAGO R J, SATYANARAYANA K G, WYPYCH F, et al. The Effect of Steam Explosion on the Production of Sugarcane Bagasse/Polyester Composites [J]. Composites: Part A, 2011, 42(4): 364-370.

- [8] RODRIGUES F, MAIA T F, MULINARI D R. Tensile Strength of Polyester Resin Reinforced Sugarcane Bagasse Fibers Modified by Esterification[J]. Engineering Proceedings, 2011, 10: 2 348-2 349.
- [9] 何壮彬,覃峰,黄琼念.蔗渣纤维 SMA 沥青混合料结构参数实验研究[J].新型建筑材料,2011(10).
- [10] 何壮彬,谢春荣,覃峰.路用蔗渣木质素纤维稳定性试验研究[J].新型建筑材料,2012(2).
- [11] 吕鹏.蔗渣纤维沥青混合料抗腐蚀性能试验研究[D].广西工学院硕士学位论文,2012.
- [12] 吕鹏,黄琼念.蔗渣纤维沥青混合料抗腐蚀性能试验研究[J].西部交通科技,2012(2).
- [13] 覃峰.蔗渣纤维沥青混合料超薄路面层抗腐性能试验研究[J].新型建筑材料,2017(2).

收稿日期:2020-03-13(修改稿)

基金项目:陕西省科技计划项目(编号:2018SF-364);陕西省交通科技项目(编号:17-12K,19-10K);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(编号:300102218502,300102318401)

作者简介:曹支才,男,大学本科,高级工程师. E-mail:2376371822@qq.com

* 通信作者:王光辉,男,硕士. E-mail:yalwb@qq.com