

引用格式:吴小龙,段昊天,姜志国,等. 雨季坑槽修补用聚氨酯的制备及路用性能研究[J]. 北京化工大学学报(自然科学版), 2022, 49(5): 38–44.

WU XiaoLong, DUAN HaoTian, JIANG ZhiGuo, et al. Preparation and performance of polyurethane in pavement pothole repair during the rainy season[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology (Natural Science), 2022, 49(5): 38–44.

雨季坑槽修补用聚氨酯的制备及路用性能研究

吴小龙¹ 段昊天¹ 姜志国^{1,2} 张 均^{2,3*}

(1. 北京化工大学 材料科学与工程学院, 北京 100029; 2. 北京化工大学 高新技术研究院, 北京 100029;

3. 惠州北化工产学研基地有限公司, 惠州 516081)

摘 要:以二苯基甲烷二异氰酸酯(MDI50)和改性蓖麻油多元醇(BHA130)为主要原料,制备了单组份聚氨酯(SPU);将SPU与玄武岩骨料混合,得到单组份聚氨酯混合料(SPUM);研究了异氰酸酯(NCO)含量对SPU力学性能和耐水性能的影响,以及NCO含量和浸水时间对SPUM路用性能的影响,并通过对雨季路面坑槽的实际修补,验证了SPUM的修补效果。结果显示:在本文的实验范围内,随着NCO含量的增加,SPU的拉伸强度、拉伸剪切强度、平衡吸水率增大,断裂伸长率减小;NCO含量为12%(质量分数)时,SPU的综合性能相对较优,其拉伸强度为23.0 MPa,水下拉伸剪切强度为2.75 MPa,平衡吸水率为3.49%;SPUM的劈裂强度随NCO含量增加和浸水时间延长而增大,肯塔堡飞散损失率小于4%;浸水20 min时,SPUM的马歇尔稳定度可达8.47 kN;使用NCO含量为12%的SPUM对雨季路面坑槽进行修补,修补后8个月坑槽未发生明显磨损。以上结果表明,制备的SPUM的修补强度高、水稳定性好,能够用于雨季路面坑槽的修补。

关键词:聚氨酯;坑槽;修补;雨季;路用性能

中图分类号: TQ323.8 **DOI:** 10.13543/j.bhxbzr.2022.05.005

引 言

沥青路面是常见的路面形式,我国大多数公路均采用这种形式。由于沥青的温度稳定性较差,其在冬天易开裂,在夏天易变软,因此沥青路面易受外界环境的影响而发生裂缝、坑槽和车辙等病害,尤其是对于常年交通繁忙、车流量大、重载车辆多、降雨频繁的公路路段。坑槽是沥青路面常见的一种病害形式,对路面状况和行车安全的影响较大^[1],坑槽一旦形成,必须及时进行修补。目前,在雨季对坑槽进行修补施工时,修补材料仍以沥青冷补料为主,其在水中的强度上升缓慢,整体强度较低,往往需要进行频繁修补^[2–3]。因此,道路工程领域亟需一种能够在雨季施工的高性能坑槽修补材料。

聚氨酯材料由于具有优异的物理化学性能而广

泛应用于道路工程领域^[4],例如,聚氨酯可以用于沥青改性以提高沥青的路用性能^[5],聚氨酯原液或聚氨酯-碎石混合料可以用于路面病害的修补^[6],聚氨酯-碎石混合料可以用于透水路面、低噪路面和防滑除冰路面等功能性路面的铺装^[7–9]。Liu等^[10]以二环己基甲烷二异氰酸酯(HMDI)和环氧丙烷聚醚(PPG,数均分子量 M_n 为1 000)为主要原料制备了预聚物,然后添加质量分数10%的环氧树脂E44和质量分数3%的多亚乙基多胺,得到聚氨酯胶结料,并对比了聚氨酯混合料与溶剂型沥青冷补料和乳化型沥青冷补料的性能差异,结果表明:聚氨酯混合料的施工和易性更好,固化时间更短(2~2.5 h),强度更高,能够实现低温、潮湿条件下坑槽的快速修补。异氰酸酯(NCO)含量指100 g树脂中所含NCO基团的质量,它是影响单组分聚氨酯及其混合料性能的关键因素之一。在异氰酸酯和多元醇种类确定的情况下,NCO含量越高,树脂体系的黏度越低,混合料的施工和易性越好,但是在潮湿条件下树脂易发泡,影响混合料的整体强度;反

收稿日期: 2022-05-18

第一作者: 男,1997年生,硕士生

* 通信联系人

E-mail: zhangjun413@buct.edu.cn

之,NCO 含量越低,树脂体系的黏度越高,混合料的施工和易性变差。为了制备适用于雨季坑槽快速修补的单组分聚氨酯 (SPU) 及其混合料 (SPUM),有必要研究 NCO 含量对 SPU 和 SPUM 性能的影响规律。

本文以二苯基甲烷二异氰酸酯 (MDI50) 和改性蓖麻油多元醇 (BHA130) 为主要原料制备了 SPU,研究了 NCO 含量对 SPU 力学性能和耐水性能的影响;将 SPU 与玄武岩骨料混合得到 SPUM,研究了 NCO 含量和浸水时间对 SPUM 路用性能的影响,并通过对路面坑槽的实际修补验证了 SPU 的雨季坑槽修补效果。本文的研究结果可以为 SPU 的工程推广提供参考。

1 实验部分

1.1 实验材料

MDI50,NCO 含量为 33.6% (质量分数),工业级,万华化学集团股份有限公司;BHA130 (羟值为 80 mgKOH/g)、固化剂 Q201 (羟值为 403.2 mgKOH/g),工业级,北京北化工程技术有限公司;消泡剂 (BYK-535),工业级,毕克化学有限公司;玄武岩骨料 (粒径 10~15 mm、5~10 mm、0~5 mm)、碳酸钙矿粉 (粒径 0.075 mm),工业级,石家庄德泽矿产品有限公司。骨料的技术指标如表 1 所示。

表 1 骨料的技术指标

Table 1 Technical specifications of aggregates

技术指标	实验值	规范要求值 ^[11]
压碎值/%	20.5	<26.0
洛杉矶磨耗值/%	22.4	<28.0
吸水率/%	0.51	<2.0

1.2 SPU 制备

将 BHA130 在 120 ℃ 下真空脱水 2 h,降温至 60 ℃,加入 MDI50,缓慢升温至 85 ℃,反应 3 h。然后降温至 60 ℃,加入一定量的 Q201 和 BYK-535,缓慢升温至 80 ℃ 并真空脱泡 2 h。降温,密封保存,将得到的 SPU 记为 SPU- x (x 为 NCO 含量),例如 SPU-6% 表示 NCO 含量为 6% 的 SPU。

1.3 SPUM 制备

依据表 2 的骨料级配设计 (AC-13),按质量比 28:33:33.5:5:5.5 称取粒径 10~15 mm、5~10 mm、0~5 mm 的玄武岩和矿粉,搅拌均匀,形成碎石混合物。将占骨料质量 6% 的 SPU 加热至 70 ℃,与碎石

混合物混合搅拌 6 min,得到 SPUM,记为 SPUM- x (x 为 NCO 含量)。

表 2 SPUM 的骨料级配设计

Table 2 Aggregate gradation design of SPUM

筛孔尺寸/mm	通过率/%	级配设计要求/%	
		上限	下限
16	100.0	100.0	100.0
13.2	93.5	100.0	90.0
9.5	73.8	85.0	68.0
4.75	43.9	68.0	38.0
2.36	28.5	50.0	24.0
1.18	21.3	38.0	15.0
0.6	15.1	28.0	10.0
0.3	11.6	20.0	7.0
0.15	9.7	15.0	5.0
0.075	7.7	8.0	4.0

1.4 SPU 的性能测试

1.4.1 力学性能

采用电脑伺服材料试验机 (CREE-8003A 型,东莞市科锐仪器科技有限公司) 测试 SPU 的力学性能。

依据 GB/T 528—2009^[12] 测试 SPU 的拉伸强度和断裂伸长率,拉伸速度为 100 mm/min。将 SPU 均匀涂覆在聚四氟乙烯板上形成薄膜,厚度为 1~1.5 mm,于室温固化 7 d。将固化后的 SPU 薄膜裁剪成 II 型哑铃状样条,每组样品测试 3 次,结果取平均值。

参照 GB/T 7124—2008^[13] 测试 SPU 的拉伸剪切强度 (刚性材料对刚性材料),拉伸速度为 5 mm/min,每组样品测试 3 次,结果取平均值。标准试样采用干燥的不锈钢片,涂覆 SPU 后于室温在空气中放置 12 h,然后在 70 ℃ 烘箱中放置 12 h,最后于室温在空气中放置 48 h 后进行测试;浸水试样采用浸水的不锈钢片,涂覆 SPU 后于室温放入水中 12 h,然后在 70 ℃ 烘箱中放置 12 h,最后于室温在空气中放置 48 h 后进行测试。

1.4.2 耐水性能

将 SPU 均匀涂覆在聚四氟乙烯板上形成薄膜,厚度为 1~1.5 mm,室温固化 7 d。将固化后的 SPU 薄膜裁剪成尺寸为 20 mm×20 mm 的样片,于 100 ℃ 干燥至恒重,称其质量为 m_0 。在室温条件下,将样片浸没于去离子水中 (水温 20 ℃),间隔 t 时间取

出,擦拭表面水分后称重,直至质量不再变化,记录为 m_t ,按照下式计算 SPU 的平衡吸水率 W 。

$$W = \frac{m_t - m_0}{m_0} \times 100\%$$

湿态拉伸强度为标准 II 型哑铃状样条浸水(水温 20 ℃)7 d 后的拉伸强度,其与未经浸水试样的拉伸强度的比值为湿态拉伸强度保持率。

干态拉伸强度为标准 II 型哑铃状样条浸水(水温 20 ℃)7 d,然后经干燥处理后的拉伸强度,其与未经浸水试样的拉伸强度的比值为干态拉伸强度保持率。

1.5 SPUM 的路用性能测试与微观形貌观察

1.5.1 劈裂强度

采用沥青混合料劈裂试验仪(SYD-0716 型,河北恒测仪器设备有限公司),依据 JTG E20—2011 (T 0716—2011 项)^[14]测试劈裂强度。将 SPUM 置于马歇尔模具中,使用马歇尔电动击实仪(ZMJ-IIA 型,河北昊宇仪器设备有限公司)锤击混合料的正反面各 50 次,得到击实的马歇尔试块,将马歇尔试块浸水 1 h 后进行测试。

1.5.2 肯塔堡飞散损失率

采用洛杉矶磨耗试验机(LHFS-2S 型,北京中科路建仪器设备有限公司),依据 JTG E20—2011 (T 0733—2011 项)^[14],将马歇尔试块浸水 1 h,然后在空气中放置 7 d 后测试标准飞散损失率和浸水飞散损失率。

1.5.3 马歇尔稳定度

采用马歇尔稳定度试验仪(FY-3A 型,北京中科建仪电子科技有限公司),依据 JTG E20—2011 (T 0709—2011 项)^[14]测试马歇尔试块的稳定度。

1.5.4 微观形貌

采用冷场扫描式电子显微镜(SEM)(S-4700 型,株式会社日立制作所)观察马歇尔试块的微观形貌,加速电压为 20 kV。

1.6 SPUM 对雨季路面坑槽的实际修补

以 SPU-12% 为胶结料,采用非开挖修补工艺,按照图 1 所示的施工流程进行雨季路面坑槽修补。施工地点为宁波市鄞州东收费站出口处,选定主车道坑槽进行修补,坑槽尺寸为 100 cm × 30 cm × 6 cm。

将 10 ~ 15 mm、5 ~ 10 mm、0 ~ 5 mm 的玄武岩和矿粉按质量比 28:33:33.5:5.5 添加到混凝土搅拌机(JZC350 型,河南永硕重工设备有限公司)中,搅

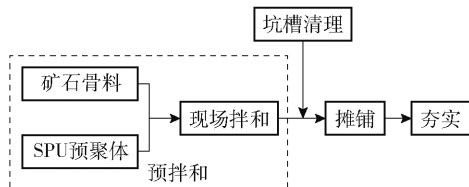


图 1 SPUM 路面修补施工流程图

Fig. 1 Flow chart of pavement repair construction using SPUM

拌 1 min 后,加入占骨料质量 6% 的 SPU-12%,继续搅拌 5 ~ 8 min,然后将所得 SPUM 倒入有水的坑槽中,摊铺平整并保持 SPUM 高出路面 2 ~ 3 cm,最后用手扶压路机(HCYLJ-60A 型,金华县华驰工程机械有限公司)碾压平整,即完成坑槽修补,观察并比较坑槽修补前后的路面状况。

2 结果与讨论

2.1 NCO 含量对 SPU 性能的影响

2.1.1 力学性能

图 2 为 NCO 含量对 SPU 拉伸强度与断裂伸长率的影响。可以看出,随着 NCO 含量由 6% 增加到 12%,SPU 的拉伸强度从 7.8 MPa 增加到 23.0 MPa,断裂伸长率从 410% 降低到 171%。NCO 含量增加使得 SPU 固化产物中含有更多的极性基团(氨基甲酸酯基和脲基),硬段微区的体积增大、含量增加,导致体系内氢键化程度增大,物理交联点增多,分子间作用力增大。因此,随着 NCO 含量增加,SPU 的拉伸强度增大,断裂伸长率减小。

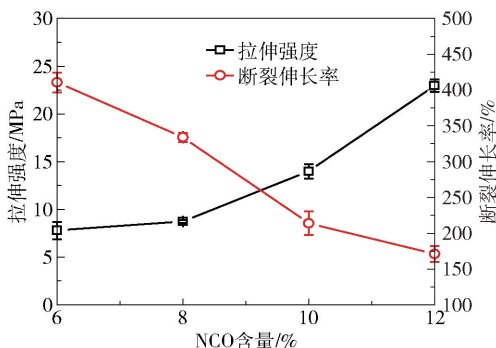


图 2 NCO 含量对 SPU 拉伸强度与断裂伸长率的影响

Fig. 2 Effect of NCO content on tensile strength and elongation at break of SPU

为了考察不同 NCO 含量的 SPU 在潮湿情况下的黏结性能,分别制备了标准试样和浸水试样,测试其拉伸剪切强度,结果如图 3 所示。可以看出,标准试样和浸水试样的拉伸剪切强度均随 NCO 含量的

增加而增大,并且浸水试样的拉伸剪切强度的增大程度大于标准试样;当 NCO 含量 >8% 时浸水试样的拉伸剪切强度大于标准试样,当 NCO 含量为 12% 时,SPU 的水下拉伸剪切强度可达 2.75 MPa。结果表明,SPU 可以用于潮湿界面的黏结,并且 NCO 含量较高(>8%)时,SPU 对潮湿界面的黏结性能更好。

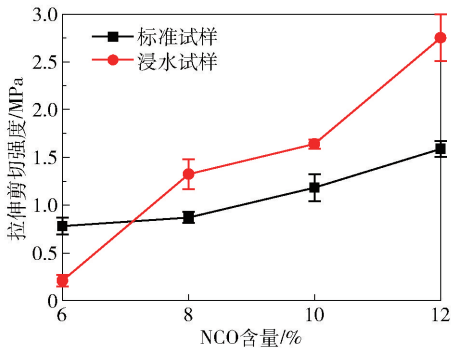


图3 NCO 含量对 SPU 标准试样和浸水试样拉伸剪切强度的影响

Fig.3 Effect of NCO content on the tensile shear strength of the SPU standard sample and immersion sample

2.1.2 耐水性能

吸水率和浸水后拉伸强度保持率可以用于表征 SPU 的耐水性能。通常情况下,吸水率越低、浸水后拉伸强度保持率越高,SPU 的耐水性能越好。

表 3 为不同 NCO 含量的 SPU 的平衡吸水率和拉伸强度保持率。可以看出,随着 NCO 含量增加,SPU 的平衡吸水率逐渐增加,最大值小于 3.50%。吸水率与材料的极性和交联程度有关,增加极性、降低交联程度有利于提高吸水率^[15]。NCO 含量增加时,一方面增大了体系的交联程度,另一方面提高了体系极性基团(氨基甲酸酯基和脲基)的含量,总体上看,极性基团含量提高对 SPU 平衡吸水率的影响

表3 不同 NCO 含量的 SPU 的平衡吸水率和拉伸强度保持率

Table 3 Equilibrium water absorption and tensile strength retention of SPU with different NCO contents

样品	平衡吸水率/ %	湿态拉伸强度 保持率/%	干态拉伸强度 保持率/%
SPU-6%	2.78	41.80	92.74
SPU-8%	2.86	45.18	89.95
SPU-10%	3.19	35.71	85.01
SPU-12%	3.49	53.80	83.84

占主导地位。SPU 浸水 7 d 后,水分子的进入使得分子链间的作用力减弱,因此湿态拉伸强度保持率较低,为 35%~55%;干燥后,SPU 硬段间或者硬段与软段间的氢键作用恢复,使得拉伸强度基本恢复到初始水平,干态拉伸强度保持率大于 80%。

2.2 NCO 含量对 SPUM 路用性能的影响

劈裂强度和肯塔堡飞散损失率可以用来评价 SPUM 的水稳定性和抗水损害能力^[16],直接反映 SPUM 在雨季施工后的路用性能。

表 4 为不同 NCO 含量的 SPUM 的劈裂强度和飞散损失率。可以看出,浸水 1 h 后不同 NCO 含量的 SPUM 的劈裂强度均大于 0.8 MPa,并且随着 NCO 含量的增加,劈裂强度逐渐增大,NCO 含量为 12% 时 SPUM 的劈裂强度达到最大值(1.49 MPa),表明 NCO 含量越高的 SPU 与骨料混合后,在水下可以获得更高的黏结强度。这一结果与 SPU 的拉伸剪切强度测试结果一致。此外,由表 4 还可以看出,肯塔堡标准飞散试验和浸水飞散试验所得的质量损失率均小于 4%,并且整体上浸水飞散损失率小于标准飞散损失率。综合以上结果可知,NCO 含量为 12% 的 SPUM 的综合路用性能较优,具有很好的抗水损害性能,适用于水下或潮湿条件下的坑槽养护施工,其抗水损害等级为优等^[16]。

表4 不同 NCO 含量的 SPUM 在浸水 1 h 后的劈裂强度和肯塔堡飞散损失率

Table 4 Splitting strength and the Cantabro loss of SPUM with different NCO contents after immersion in water for 1 h			
样品	劈裂强度/ MPa	标准飞散损失 率/%	浸水飞散损失 率/%
SPUM-6%	0.85	3.71	1.84
SPUM-8%	1.17	3.00	3.06
SPUM-10%	1.44	2.31	2.12
SPUM-12%	1.49	3.20	2.87

2.3 浸水时间和固化时间对 SPUM 路用性能的影响

由 2.2 节的结果可知,NCO 含量高的 SPUM 的路用性能较优,但是 NCO 含量越高,SPU 的固化速度越快,较难测得 SPUM 路用性能随浸水时间的变化,因此本文选择 SPUM-8% 来研究浸水时间对 SPUM 路用性能的影响。

将击实的 SPUM 马歇尔试块立即放入水中,测定浸水时间对马歇尔稳定度和飞散损失率的影响,

结果如图 4 所示。可以看出,随着浸水时间的延长,SPUM-8% 的马歇尔稳定度增大,浸水 20 min 时达到 8.47 kN,高于 JTG F40—2004^[11] 规定的沥青混合料技术标准的最低值(8 kN),浸水 30 min 时马歇尔稳定度超过仪器的测试量程(30 kN)。SPUM-8% 的飞散损失率整体上保持在非常低的水平,浸水 10 min 时 SPUM-8% 的飞散损失率小于 4%,浸水 30 min 时飞散损失率降低至 1.19%。以上结果表明 SPUM-8% 在水中具有较高的马歇尔稳定度和较低的飞散损失率,可以满足雨季施工的使用要求。

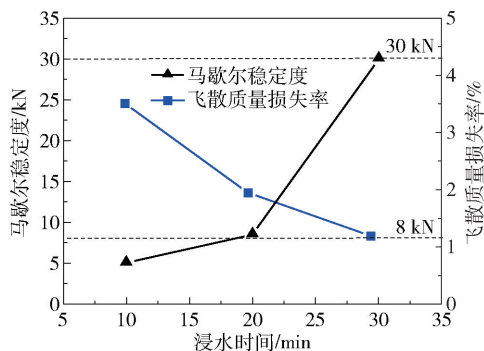


图 4 浸水时间对马歇尔稳定度和肯塔堡飞散损失率的影响

Fig. 4 Effect of immersion time on the Marshall stability and Cantabro loss

图 5 为固化时间对在空气和水中固化成型的 SPUM-8% 劈裂强度的影响。可以看出,SPUM 的劈裂强度随着固化时间的延长而增大,当固化时间从 1 h 增加至 4 h 时,浸入水中固化成型的 SPUM 的劈裂强度从 1.17 MPa 增大到 2.08 MPa,放置在空气中固化成型的 SPUM 的劈裂强度从 1.00 MPa 增大到 1.62 MPa;当固化时间相同时,水中固化成型的 SPUM 的劈裂强度大于空气中固化成型的 SPUM,表明水环境更有利于 SPUM 固化。与前人的研究结果^[17]相比,本文制备的 SPUM 在水环境条件下不会发生体积胀大,更适用于有水条件下坑槽的修补。

将 SPUM-8% 浸入水中固化成型 1 h,然后在空气中放置 24 h,进行 SEM 测试,结果如图 6 所示。可以看出,SPU 均匀地填充在玄武岩骨料的间隙中,将骨料包覆并与骨料表面的凹凸处形成嵌挤结构,还可以看到在 SPUM 内部存在一定的空隙结构。

2.4 SPUM 对雨季路面坑槽的实际修补效果

采用 SPUM-12% 对雨季路面坑槽进行修补,并比较了修补前、修补后和修补后 8 个月的路面状况,结果如图 7 所示。可以看出,在降雨条件下,SPUM

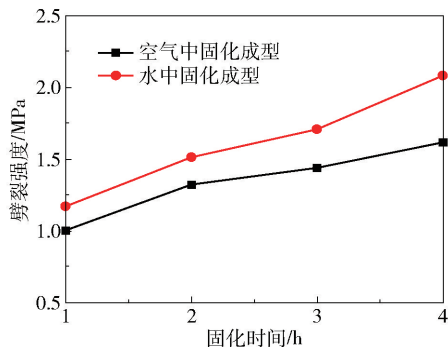
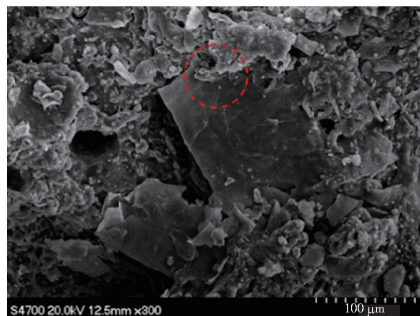
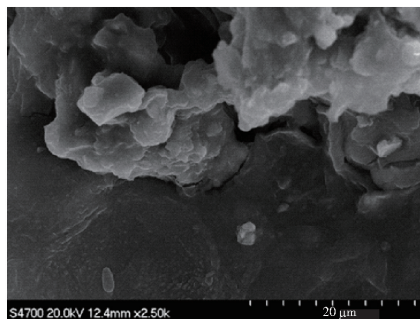


图 5 固化时间对在空气和水中固化成型的 SPUM 劈裂强度的影响

Fig. 5 Effect of curing time on splitting strength of SPUM cured in air and water



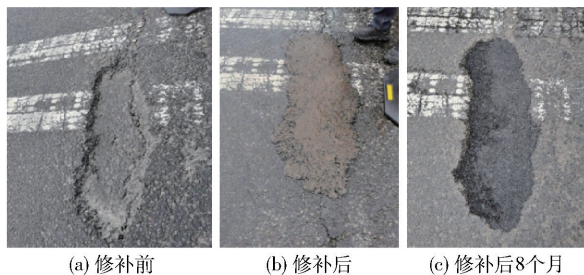
(a) SPU包裹骨料



(b) SPU与骨料黏结处形成嵌挤结构

图 6 SPUM-8% 浸水成型后的 SEM 照片

Fig. 6 SEM images of SPUM-8% after water immersion molding



(a) 修补前 (b) 修补后 (c) 修补后8个月

图 7 坑槽修补前、修补后和修补后 8 个月的路面状况

Fig. 7 Pavement conditions before pothole repair, immediately after repair, and 8 months after repair

对路面坑槽的填充较密实,无明显缺陷,修补状况良好;运行8个月后,修补坑槽的外观没有明显变化,表面未发生明显磨损,仅边缘处有少量磨损痕迹。结果表明所制备的SPUM的修补强度高、水稳定性好,能够用于雨季坑槽修补。

3 结论

(1)在本文的实验范围内,随着NCO含量的增加,SPU的拉伸强度、拉伸剪切强度、平衡吸水率增大,断裂伸长率减小;NCO含量为12%时,SPU的综合性能相对较优,其拉伸强度为23.0 MPa,水下拉伸剪切强度为2.75 MPa,平衡吸水率为3.49%,断裂伸长率为171%。

(2)在本文的实验范围内,SPUM的劈裂强度随NCO含量增加和浸水时间延长而逐渐增大,并且当固化时间相同时水中固化样块的劈裂强度大于空气中固化的样块;不同NCO含量的SPUM的肯塔堡飞散损失率均小于4%;浸水20 min时,SPUM-8%的马歇尔稳定度可达8.47 kN。

(3)SPUM对雨季路面坑槽的实际修补效果显示,修补后8个月坑槽的外观无明显变化,表面未发生明显磨损。以上结果表明,本文制备的SPUM的修补强度高、水稳定性好,适用于雨季路面坑槽的修补。

参考文献:

- [1] REDELIUS P. Asphaltenes in bitumen, what they are and what they are not[J]. Road Materials and Pavement Design, 2009, 10(suppl 1): 25–43.
- [2] 鞠鹏,王浩,丁寅南. 沥青路面坑槽修补材料研究现状分析[J]. 内蒙古公路与运输, 2021(5): 43–46.
JU P, WANG H, DING Y N. Analysis of research status of pothole repair materials for asphalt pavement[J]. Highways & Transportation in Inner Mongolia, 2021(5): 43–46. (in Chinese)
- [3] 胡国鹏,张帅,穆建青. 沥青路面坑槽冷补料的研究进展[J]. 山西交通科技, 2016(3): 29–30, 44.
HU G P, ZHANG S, MU J Q. The research progress of pit slot cold patch material for asphalt pavement[J]. Shanxi Science & Technology of Communications, 2016(3): 29–30, 44. (in Chinese)
- [4] LI X R, LI J, WANG J Y, et al. Recent applications and developments of polyurethane materials in pavement engineering[J]. Construction and Building Materials, 2021, 304: 124639.
- [5] 金鑫,郭乃胜,尤占平,等. 聚氨酯改性沥青研究现状及发展趋势[J]. 材料导报, 2019, 33(21): 3686–3694.
JIN X, GUO N S, YOU Z P, et al. Research and development trends of polyurethane modified asphalt[J]. Materials Reports, 2019, 33(21): 3686–3694. (in Chinese)
- [6] 吴若冰,王熙. 聚氨酯基道路修补材料的研究进展[J]. 材料科学与工程学报, 2021, 39(1): 164–166, 163.
WU R B, WANG X. Progress in polyurethane based road repair materials[J]. Journal of Materials Science and Engineering, 2021, 39(1): 164–166, 163. (in Chinese)
- [7] MIKHAILENKO P, PIAO Z, KAKAR M R, et al. Low-noise pavement technologies and evaluation techniques: a literature review[J]. International Journal of Pavement Engineering, 2022, 23(6): 1911–1934.
- [8] CHEN J, MA X, WANG H, et al. Experimental study on anti-icing and deicing performance of polyurethane concrete as road surface layer[J]. Construction and Building Materials, 2018, 161: 598–605.
- [9] CHEN J, YIN X J, WANG H, et al. Evaluation of durability and functional performance of porous polyurethane mixture in porous pavement[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 188: 12–19.
- [10] LIU M, HAN S, SHANG W, et al. New polyurethane modified coating for maintenance of asphalt pavement potholes in winter-rainy condition[J]. Progress in Organic Coatings, 2019, 133: 368–375.
- [11] 中华人民共和国交通运输部. 公路沥青路面施工技术规范: JTG F40—2004[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
Ministry of Transport of the People's Republic of China. Technical specifications for construction of highway asphalt pavements: JTG F40—2004[S]. Beijing: China Communications Press, 2004. (in Chinese)
- [12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 硫化橡胶或热塑性橡胶拉伸应力应变性能的测定: GB/T 528—2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Rubber, vulcanized or thermoplastic—Determination of tensile stress-strain properties: GB/T 528—2009[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009. (in Chinese)
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国

家标准化管理委员会. 胶粘剂 拉伸剪切强度的测定 (刚性材料对刚性材料): GB/T 7124—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Adhesives—Determination of tensile lap-shear strength of rigid-to-rigid bonded assemblies: GB/T 7124—2008[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008. (in Chinese)

- [14] 中华人民共和国交通运输部. 公路工程沥青及沥青混合料试验规程: JTG E20—2011[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.

Ministry of Transport of the People's Republic of China. Standard test methods of bitumen and bituminous mixtures for highway engineering: JTG E20—2011[S]. Beijing: China Communications Press, 2011. (in Chinese)

- [15] FENG G D, MA Y, ZHANG M, et al. Polyurethane-coated urea using fully vegetable oil-based polyols: design, nutrient release and degradation[J]. Progress in Organic Coatings, 2019, 133: 267–275.

- [16] 严超, 魏显权, 方杨. 沥青混合料水稳定性能评价方法研究[J]. 公路, 2019, 64(10): 29–33.

YAN C, WEI X Q, FANG Y. Study of evaluation methods for water stability performance of asphalt mixture[J]. Highway, 2019, 64(10): 29–33. (in Chinese)

- [17] 林科杰, 弥海晨, 向豪, 等. 沥青路面快速修复用单组分树脂冷补料性能研究[J]. 硅酸盐通报, 2020, 39(5): 1585–1593.

LIN K J, MI H C, XIANG H, et al. Performance of single component resin cold patch material for rapid repair of asphalt pavement[J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 2020, 39(5): 1585–1593. (in Chinese)

Preparation and performance of polyurethane in pavement pothole repair during the rainy season

WU XiaoLong¹ DUAN HaoTian¹ JIANG ZhiGuo^{1, 2} ZHANG Jun^{2, 3*}

(1. College of Materials Science and Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029;

2. High-Tech Research Institute, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029;

3. Huizhou Beihuagong Industry—University—Research Base Co., Ltd., Huizhou 516081, China)

Abstract: Single-component polyurethane (SPU) materials have been prepared using diphenylmethane diisocyanate (MDI50) and modified castor oil polyol (BHA130) as the main raw materials. SPU mixtures (SPUM) were obtained by mixing SPU with basalt aggregate. The effects of isocyanate (NCO) content on the mechanical properties and water resistance of SPU, and the effects of NCO content and immersion time on the pavement performance of SPUM, were studied. The efficacy of SPUM was verified by the repair of actual pavement potholes during the rainy season. The results showed that in the experimental range employed, the tensile strength, tensile shear strength and equilibrium water absorption of SPU increased with increasing NCO content, and the elongation at break decreased. The optimal overall performance of SPU was obtained with an NCO content of 12% (mass fraction). The tensile strength of this material is 23.0 MPa, the underwater tensile shear strength is 2.75 MPa, and the equilibrium water absorption is 3.49%. The splitting strength of SPUM increases with increasing NCO content and immersion time, and the Cantabro loss is less than 4%. When immersed in water for 20 min, the Marshall stability of SPUM reached 8.47 kN. After using SPUM with 12% NCO content to repair pavement potholes in the rainy season, the potholes showed no obvious wear after eight months. The results show that the material has high repair strength and good water stability and can be used for the practical repair of pavement potholes during the rainy season.

Key words: polyurethane; pothole; repair; rainy season; road performance

(责任编辑: 于少云)