

Study on Aqueous Polymer Modified Asphalt Waterproofing Coating for Road and Bridge

Weiwei Zhou, Xiaolan Zhao, Shanqing Lu, Wenxiong Guo*, Xiaoying He

Guangxi Golden Umbrella Waterproofing Co., Ltd., Nanning Guangxi
Email: [*naima9804@163.com](mailto:naima9804@163.com)

Received: Mar. 1st, 2015; accepted: Mar. 12th, 2015; published: Mar. 19th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

SBS modified asphalt emulsion is prepared first, and then a certain amount of neoprene latex is used to further enhance the product performance; last a small amount of homemade composite stabilizer is added to obtain the final product. On the premise of ensuring the material properties, adding SBS can reduce the amount of the CRL, which not only reduces costs, but also improves the storage stability of the product. Self-made composite stabilizer added can further enhance product stability, so that the product is suitable for long term storage. The amount of SBS, neoprene latex and stabilizer is determined by test, to obtain an aqueous polymer modified asphalt waterproofing coating for road and bridge with good stability and excellent physical properties, in the case of using a relatively small amount of neoprene latex.

Keywords

Modified Emulsified Asphalt, Neoprene Latex, SBS, Stabilizing Agent, Waterproofing Coating for Road and Bridge

道桥用水性聚合物改性沥青防水涂料的研究

周为为, 赵晓岚, 陆善庆, 郭文雄*, 何小英

广西金雨伞防水装饰有限公司, 广西 南宁
Email: [*naima9804@163.com](mailto:naima9804@163.com)

*通讯作者。

收稿日期：2015年3月1日；录用日期：2015年3月12日；发布日期：2015年3月19日

摘要

先制得SBS改性乳化沥青，再复合使用一定量氯丁胶乳进一步提升产品性能，并加入少量自制复合稳定剂制得最终产品。SBS的引入，在保证材料性能的前提下，减少了CRL的用量，不仅降低了成本，还提高了产品储存稳定性。自制复合稳定剂的加入，进一步提高产品稳定性，使产品适合长期储存。本研究通过试验，确定了SBS用量、氯丁胶乳用量和稳定剂用量，在使用较少量氯丁胶乳的情况下，制得稳定性良好，且物理性能优异的道桥用水性聚合物改性沥青防水涂料。

关键词

改性乳化沥青，氯丁胶乳，SBS，稳定剂，道桥防水涂料

1. 引言

国内上世纪90年代初建设的道桥桥面铺装基本上不设防水层，投入使用不久，桥面出现严重的破损、开裂、坑槽、涌包等破坏现象，严重影响桥梁的使用寿命和行车的舒适性和安全性。道桥防水研究始于1991年上海南浦大桥桥面防水涂料的成功应用，早期使用的道桥防水涂料主要为聚合物改性沥青防水涂料，以及聚氨酯防水涂料、水泥基渗透结晶型防水涂料，但在道桥使用中存在问题有：施工涂膜表面出现气泡、堆积严重、路面出现波形推移、开裂等现象[1]。

近年来，乳化沥青作为一种水性涂料，无毒环保，用聚合物乳液制备改性乳化沥青具有生产工艺简单、能耗低、可以制备高聚合物含量产品、使用方便灵活等优点，是目前应用最为普遍的乳化沥青改性材料[2][3]。本研究采用氯丁胶乳(CRL)对水性聚合物改性沥青进行改性，在保证产品各项性能的基础上降低CRL的量降低成本，使其成为一种道桥防水专用的防水涂料。

水性聚合物改性沥青防水涂料具有高弹性、高延伸性、超强粘结性、自愈性、环保、可在潮湿基面施工等一系列优点，除用于一般建筑工程的防水外，还可以满足高速铁路、高速公路和城市地铁建设以及各种桥梁的防水要求，具有很好的发展应用前景。相比于一般建筑工程的防水，水性聚合物改性沥青防水涂料用作道桥防水时，对材料的耐高温、低温柔性、拉伸强度、断裂延伸率、粘结强度、剪切强度等性能的要求要高很多，传统的方法是向乳化沥青里加入大量的氯丁胶乳(CRL)进行改性氯丁胶乳(CRL)添加为30%~40%时[4]，涂料性能才理想，而CRL的大量引入，往往会使产品的成本大大增加[5]、固含量降低、储存稳定性变差[6]等。

本研究先采用SBS对沥青进行改性，再对改性沥青进行乳化得到SBS改性乳化沥青，之后通过添加适量CRL进一步提高产品性能，同时使用少量自制稳定剂来提高产品的储存稳定性，研制出一款综合性性能优异，且成本相对较低的道桥用水性聚合物改性沥青防水涂料。

2. 实验部分

2.1. 主要原料

石油沥青：90[#]，茂名石化；改性剂1：星型SBS橡胶，燕山石化；乳化剂：自制复合阳离子乳化剂(FA)；稳定剂：自制复合稳定剂(FB)；改性剂2：氯丁胶乳(CRL)，固含量48%。

2.2. 仪器设备

胶体磨：陕西依恩驰机电科技有限公司；高温试验箱：绍兴市沪越科学实验仪器厂；低温试验箱：上海梅香仪器有限公司；电子万能试验机：广州市广材试验仪器有限公司。

2.3. 试验方案

为研究 SBS 加入量、CRL 加入量对产品物理性能的影响以及稳定剂 FB 加入量对产品稳定性的影响，进行不同配方的实验，并对产品及其成膜干燥后的基本性能进行测试。

将称量的 FA 用 65℃~75℃ 水溶解，控制温度为 65℃~75℃，把溶液和 SBS 改性沥青同时引入乳化剂进行乳化，胶体磨转速 4000 r/min，出料冷却至室温后与称量好的 FB 和 CRL 乳液混合，即得到产品。具体工艺如图 1 所示。

3. 结果与讨论

进行新配方工艺研究之前，我们首先使用传统方法制备了道桥用水性聚合物改性沥青防水涂料，即先将基质沥青进行乳化，得到乳化沥青，再用 CRL 改性，得到产品。改变 CRL 用量，对产品性能进行测试，并将其主要性能指标与 JC/T975-2005《道桥用防水涂料》中道桥用聚合物改性沥青防水涂料的 II 型产品要求(以下简称标准要求)进行比较。表 1 列出了传统方法产品的配方及性能测试结果以及标准要求值，乳化沥青为 90 号基质沥青乳化制得，固含量为 65%。

从表 1 中可以看出，CRL 对基质乳化沥青的改性效果明显，但是各主要指标要达到标准的要求，CRL 的加入量至少要在 40% 以上。

3.1. SBS 用量对改性乳化沥青性能的影响

SBS 是由苯乙烯和丁二烯嵌段共聚制得的一种热塑性弹性体，常温显示出橡胶的弹性，加热能发生流动变形。SBS 是目前世界上应用最多的橡胶改性剂之一，它对沥青有着很好的改性作用，能够提高沥青的高温稳定性、低温柔性和拉伸韧性等。

为了减少 CRL 的用量，本论文引入 SBS 先对基质沥青进行改性并乳化，得到改性乳化沥青，再用少量 CRL 进行进一步改性得到产品，首先考察 SBS 用量对改性乳化沥青性能的影响。

SBS 的加入虽然能显著提高沥青的物理性能，但同时对乳化工艺的要求也更高，单独考察 SBS 用量对乳化效果及乳化沥青性能的影响，不同 SBS 用量的配方及乳化情况见表 2。

从表 2 中可以看出，随着改性沥青中 SBS 含量的增加，改性沥青乳化时所需的温度逐渐升高，当 SBS 含量不超过 5% 时，能正常乳化，得到均匀、细腻的褐色液体，且无颗粒、无拉丝，说明此时乳化效果较好；当 SBS 含量达到 6% 时，虽然改性沥青的温度已升至 180℃，但乳化出来的产品已出现轻微的拉丝状，说明此时已经乳化困难，且乳化效果较差，再增加 SBS 含量，乳化更加困难直至 8% 时不能乳化。

对表 2 中 A1~A6 的产物进行测试，考察不同 SBS 加入量对沥青的改性效果，分别测试改性乳化沥青成膜干燥后的耐高温、低温柔性、拉伸强度、断裂延伸率，以及改性乳化沥青与水泥混凝土的粘结强度、50℃ 剪切强度等性能。SBS 含量对改性乳化沥青成膜干燥后的耐高温性能的影响如图 2 所示。从图 2 可以看出，随着 SBS 用量的增加，改性乳化沥青成膜干燥后的耐高温性能明显增加，当 SBS 含量达到 5% 时，其耐高温性达到 66℃。

图 3 是改性沥青中 SBS 含量对改性乳化沥青成膜干燥后的低温柔性的影响，从图 3 中可以看到，随着 SBS 用量的增加，改性乳化沥青成膜干燥后的低温柔性明显变好，当 SBS 含量达到 5% 时，其在 -6℃ 时仍能保持良好的柔性。

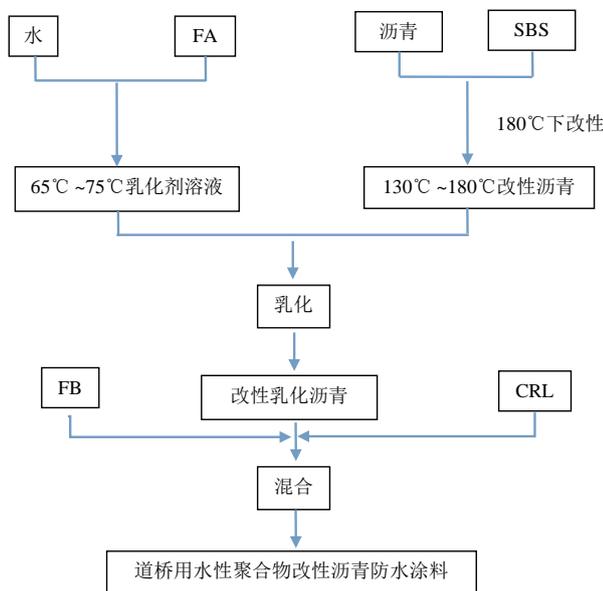


Figure 1. Preparation process of aqueous polymer modified asphalt waterproofing coating for road and bridge
图 1. 道桥用水性聚合物改性沥青防水涂料的制备工艺

Table 1. Formulation and performance test results of products by traditional methods and the standard values
表 1. 传统方法产品的配方及性能测试结果及标准要求值

项目 编号	乳化沥青 用量/%	CRL 用量 /%	耐高温 /°C	低温柔性 /°C	拉伸强度 /MPa	断裂延伸率 /%	粘结强度 /MPa	50°C剪切强度 /MPa
A1	100	0	38	8	0.08	310	0.19	0.03
A2	90	10	110	-6	0.16	860	0.41	0.08
A3	80	20	125	-15	0.57	1040	0.63	0.13
A4	70	30	140	-21	0.89	1200	0.75	0.18
A5	60	40	160	-26	1.76	1370	0.89	0.21
A6	50	50	175	-30	2.87	1610	1.27	0.25
A7	40	60	185	-33	3.64	1730	1.40	0.29
A8	30	70	190	-36	4.55	1880	1.59	0.36
	标准要求		160	-25	1.0	800	0.6	0.2

Table 2. Formulations with different amount of SBS and respective emulsification situation
表 2. 不同 SBS 用量的配方及乳化情况

项目 编号	水	FA	沥青	SBS	改性沥青中 SBS 含量/%	改性沥青乳化 温度/°C	乳化情况(产品外观)
A1	35	1.5	65	0	0	120	均匀、细腻褐色液体, 无颗粒、无拉丝
A2	35	1.5	64.35	0.65	1	130	均匀、细腻褐色液体, 无颗粒、无拉丝
A3	35	1.5	63.70	1.30	2	140	均匀、细腻褐色液体, 无颗粒、无拉丝
A4	35	1.5	63.05	1.95	3	150	均匀、细腻褐色液体, 无颗粒、无拉丝
A5	35	1.5	62.4	2.60	4	160	均匀、细腻褐色液体, 无颗粒、无拉丝
A6	35	1.5	61.75	3.25	5	170	均匀、细腻褐色液体, 无颗粒、无拉丝
A7	35	1.5	61.10	3.90	6	180	均匀、细腻褐色液体, 无颗粒、轻微拉丝
A8	35	1.5	60.45	4.55	7	190	有颗粒, 液体发黑、拉丝严重
A9	35	1.5	59.8	5.2	8	200	无法乳化

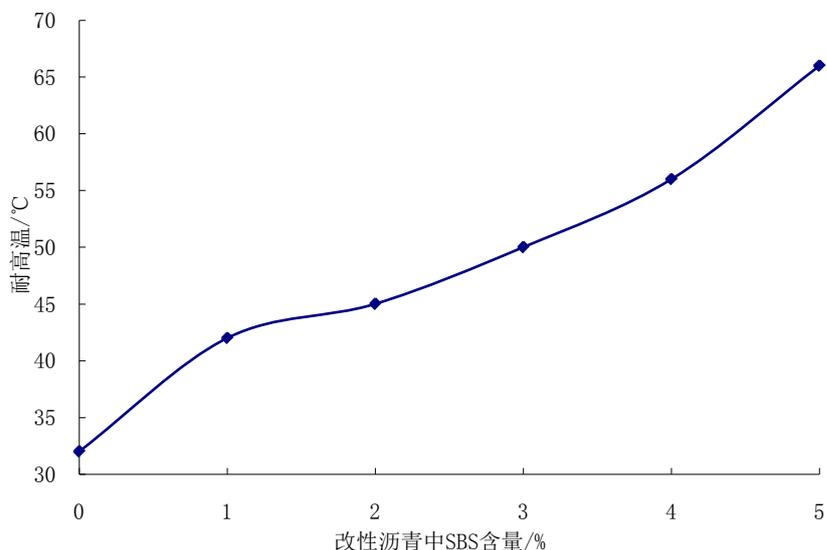


Figure 2. Influence of SBS content in modified asphalt on high temperature resistance of modified asphalt emulsion film after dry

图 2. 改性沥青中 SBS 含量对改性乳化沥青成膜干燥后的耐高温性能的影响

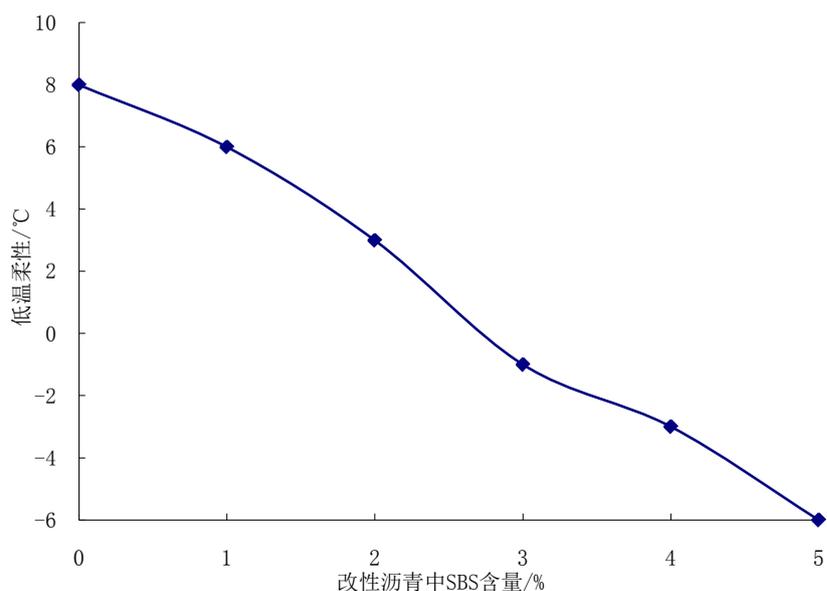


Figure 3. Influence of SBS content in modified asphalt on low temperature flexibility of modified asphalt emulsion film after dry

图 3. 改性沥青中 SBS 含量对改性乳化沥青成膜干燥后低温柔性的影响

图 4 是改性沥青中 SBS 含量对改性乳化沥青成膜干燥后的拉伸强度及断裂延伸率的影响,从图 4 中可以看到,随着 SBS 用量的增加,改性乳化沥青成膜干燥后的拉伸强度和断裂延伸率都逐渐增加,当 SBS 含量为 5% 时,拉伸强度达到 0.38 MPa,断裂延伸率达到 1020%,表现出良好的橡胶韧性。

图 5 是改性沥青中 SBS 含量对改性乳化沥青与水泥混凝土粘结强度的影响。从图 5 中可以看到,随着 SBS 用量的增加,改性乳化沥青与水泥混凝土的粘结强度逐渐增大,当 SBS 含量达到 5% 时,粘结强度为 0.61 MPa。在粘结强度试验中,我们还发现拉开试件后改性沥青呈 100% 内聚破坏,并没有与水泥块脱离,由此可见,改性乳化沥青对基面的粘附性很好,且粘结力大于材料本身内聚力。

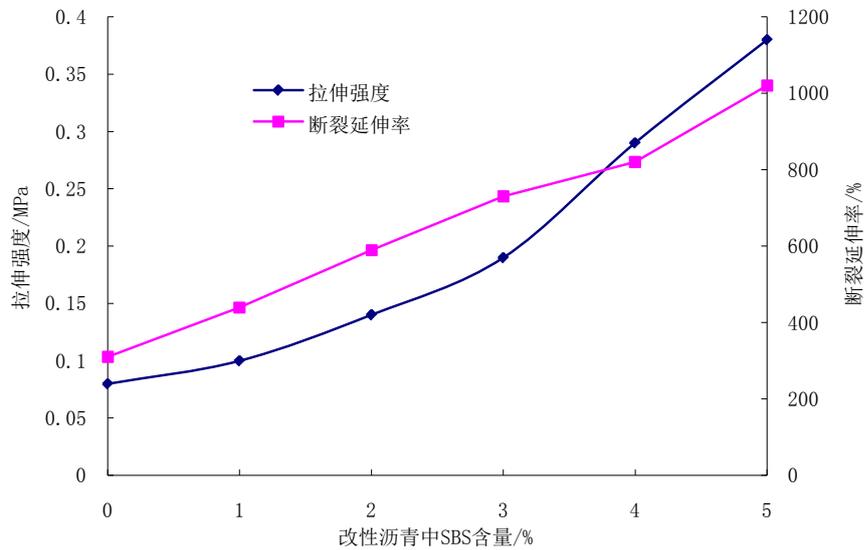


Figure 4. Influence of SBS content in modified asphalt on tensile strength and elongation of modified asphalt emulsion film after dry

图 4. 改性沥青中 SBS 含量对改性乳化沥青成膜干燥后拉伸强度及断裂延伸率的影响

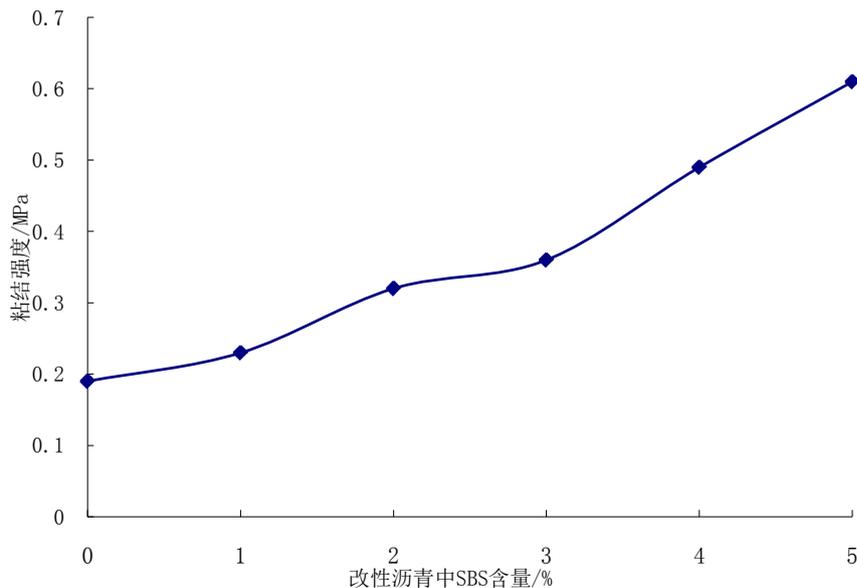


Figure 5. Influence of SBS content in modified asphalt on bonding strength between modified asphalt emulsion and concrete

图 5. 改性沥青中 SBS 含量对改性乳化沥青与水泥混凝土粘结强度的影响

道桥用防水涂料需要能够抵抗车辆在高速行驶、刹车和制动等情况下产生的水平推力，保证水分无法渗透到道桥面板，延长道桥使用寿命，材料的剪切强度是体现这种能力的重要指标。图 6 是改性沥青中 SBS 含量对改性乳化沥青 50℃ 剪切强度的影响，从图 6 中可以看到，随着 SBS 用量的增加，其 50℃ 剪切强度逐渐增大，抵抗剪切破坏的能力逐渐增强，SBS 含量为 5% 时，材料的 50℃ 剪切强度为 0.08 MPa。

从实验数据可以看出，SBS 对沥青的改性效果明显，但是使用过多的 SBS 对沥青进行改性后会使得改性沥青乳化困难，甚至不能乳化。在乳化工艺条件允许的情况下，做出来的改性乳化沥青产品的性能达不到标准要求，必须用其他改性剂来进一步改性，才能使产品性能达到标准要求。

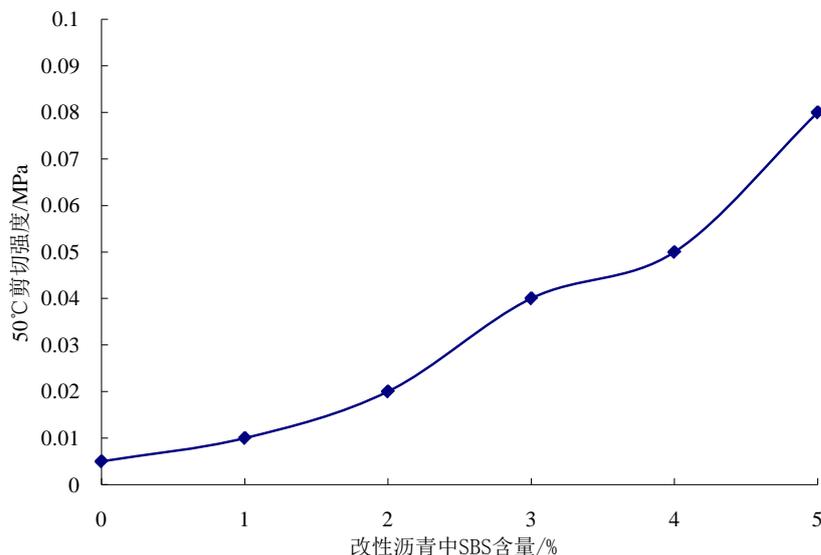


Figure 6. Influence of SBS content in modified asphalt on 50°C shear strength of modified asphalt emulsion
图 6. 改性沥青中 SBS 含量对改性乳化沥青 50°C 剪切强度的影响

3.2. 复合使用 CRL 用量对产品性能的影响

CRL 是由氯丁二烯单体乳液聚合而成，不仅具有耐光照、耐老化、耐热、阻燃、耐磨、耐化学药品等性能，还具有使用温度范围宽、回弹性高、强度及延伸率大等物理机械性能。

综合考虑乳化的效果和乳化后产品的性能，我们选用 5% SBS 含量的改性沥青进行乳化，然后复合使用 CRL 来进一步改性，提高产品性能，以达到道桥用防水涂料的标准要求。不同 CRL 用量(质量比)的配方及产品储存稳定性见表 3，各配方中均没有加入稳定剂 FB。

从表 3 中可以看出，随着 CRL 用量的增加，产品固含量逐渐下降，当 CRL 的加入量超过 25%时，产品的固含量下降到 60%以下。从表 3 中还可以看出，随着 CRL 用量的增加，产品的贮存稳定性逐渐变差，尤其是当 CRL 的加入量超过 20%时，随着其加入量的增加，产品的贮存稳定性大幅下降。

分别对表 3 中 B1~B9 实验中的产品固化后的耐高温、低温柔性、拉伸强度、断裂延伸率、粘结强度、剪切强度等性能进行检测分析。图 7 是 CRL 用量对产品耐高温性能的影响，从图 7 中可以看到，CRL 用量的增加，产品的耐高温性能逐渐增强，当 CRL 用量为 20%时，产品耐热性能达到 160℃，已经能满足标准要求。

图 8 是 CRL 用量对产品低温柔性的影响，从图 8 中可以看到，CRL 用量的增加，产品的低温柔性越来越好，当 CRL 用量在 20%时，产品在 -27℃ 下还能保持良好的柔韧性，达到标准要求。当 CRL 用量为 40%时，产品在 -33℃ 仍有良好的柔性。

图 9 是 CRL 用量对产品拉伸强度及断裂延伸率的影响。从图 9 中可以看到，CRL 用量的增加，产品拉伸强度和断裂延伸率都是显著提高的，当 CRL 用量为 10%时，产品的拉伸强度是 0.73 MPa，断裂伸长率为 1120%，已经高于标准要求。

图 10 是 CRL 用量对产品粘结强度的影响，从图 10 中可以看到，随着 CRL 用量的增加，产品的粘结强度逐渐增大。当 CRL 用量为 0 时，产品与水泥混凝土的粘结强度是 0.61 MPa，已经达到标准要求；当 CRL 用量为 20%时，产品与水泥混凝土的粘结强度是 1.36 MPa，远高于标准要求。在实验中我们还发现，当 CRL 含量达到或超过 30%时，拉开的界面出现了材料与水泥块的剥离，说明材料的粘结力小于本身的内聚力；而当 CRL 含量在 30%以下时，拉开时产品呈现内聚破坏，即粘结力大于材料本身内聚力，

Table 3. Formulations with different amount of CRL and corresponding product storage stabilities
表 3. 不同 CRL 用量的配方及产品储存稳定性

编号	项目	5% SBS 改性乳化沥青用量/%	CRL 胶乳用量/%	产品固体含量/%	贮存稳定度(5d)/%
B1		100	0	65	0.98
B2		95	5	64.1	1.15
B3		90	10	63.2	1.36
B4		85	15	62.3	2.78
B5		80	20	61.4	5.23
B6		75	25	60.5	7.85
B7		70	30	59.6	12.32
B8		65	35	58.7	19.53
B9		60	40	58.8	25.45

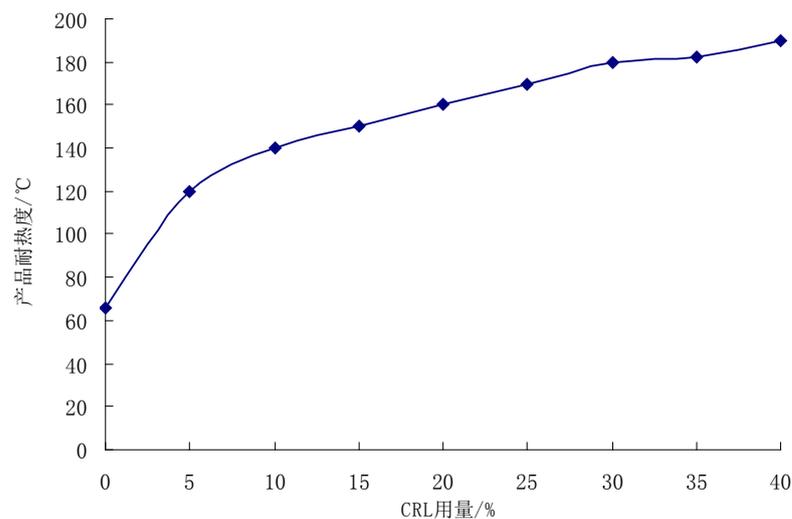


Figure 7. Influence of the amount of CRL on high temperature resistance of the product
图 7. CRL 用量对产品耐高温性能的影响

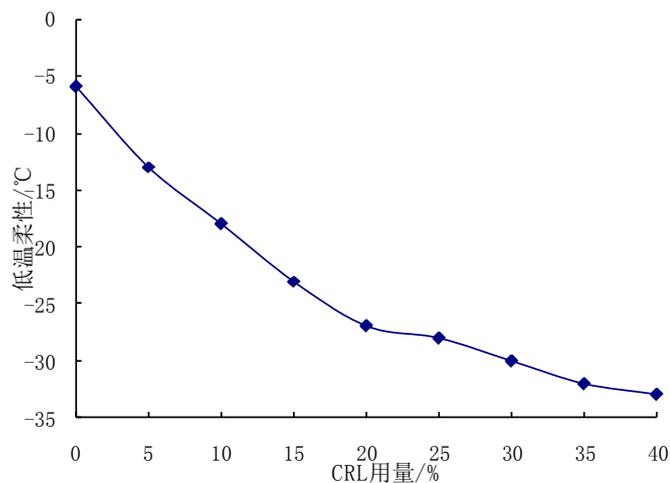


Figure 8. Influence of the amount of CRL on low temperature flexibility of the product
图 8. CRL 用量对产品低温柔性的影响

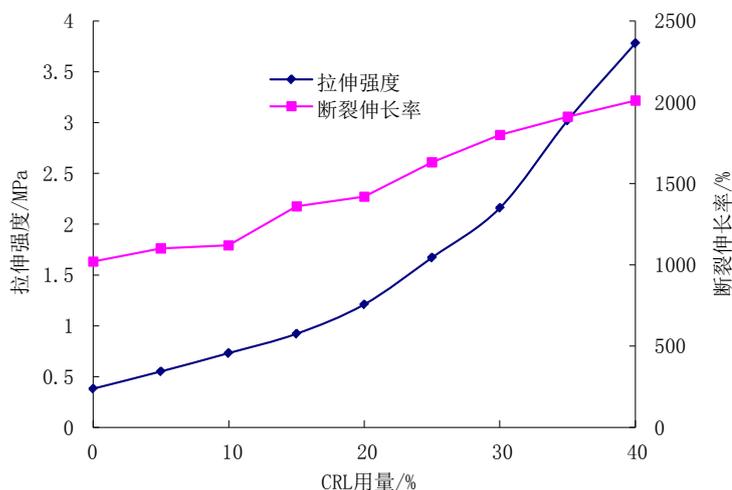


Figure 9. Influence of the amount of CRL on tensile strength and elongation of the product
图 9. CRL 用量对产品拉伸强度及断裂延伸率的影响

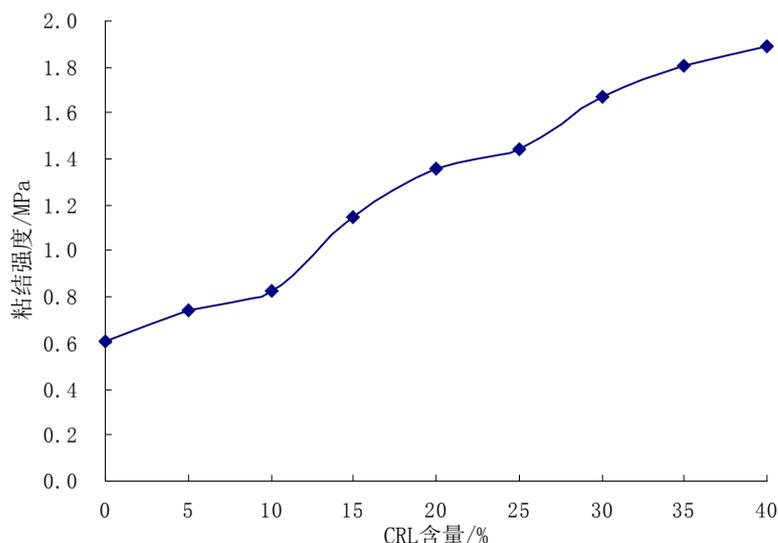


Figure 10. Influence of the amount of CRL on bonding strength of the product
图 10. CRL 用量对产品粘结强度的影响

拉开的两个水泥块表面仍然是被产品 100% 粘结密封的，这对于混凝土结构的密封防水是十分有利的。

图 11 是 CRL 含量对产品 50℃ 剪切强度的影响，从图 11 中可以看到，随着 CRL 用量的增加，产品的 50℃ 剪切强度逐渐增大，抵抗剪切破坏的能力逐渐增强。当 CRL 的用量为 20% 时，产品的 50℃ 剪切强度值为 0.24 MPa，已经达到标准要求。

3.3. 稳定剂 FB 对产品贮存稳定性的影响

改性乳化沥青属于热力学不稳定体系，此类涂料一般稳定性较差，不能长时间贮存，再加上 CRL 的加入，增加了不稳定因素，产品的贮存稳定性更差，因此本研究考虑用复合稳定剂 FB 来改善产品的贮存稳定性。综合考虑 CRL 的加入对产品物理性能和贮存稳定性的影响，选取 5% SBS 改性乳化沥青复合 20% CRL，此时产品的主要物理指标均达到标准要求，满足使用需求，且此时 CRL 对产品稳定性的影响相对较小。使用 FB 进一步提高产品贮存稳定性，延长产品储存有效期。不同 FB 用量的配方见表 4。

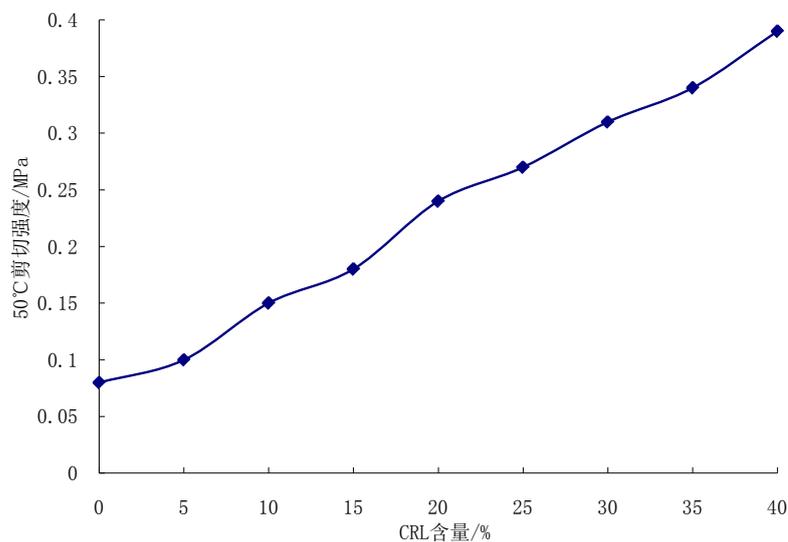


Figure 11. Influence of the amount of CRL on 50°C shear strength of the product
图 11. CRL 用量对产品 50°C 剪切强度的影响

Table 4. Formulations with different amount of FB
表 4. 不同 FB 用量配方

编号	项目	5% SBS 改性乳化沥青用量/%	CRL 胶乳用量/%	FB 用量/%
C1		80	20	0
C2		80	20	0.3
C3		80	20	0.6
C4		80	20	0.9
C5		80	20	1.2
C6		80	20	1.5
C7		80	20	1.8
C8		80	20	2.1
C9		80	20	2.4

分别用两种方法来检测产品的稳定性：一种是贮存稳定度(5d)；另一种是离心稳定度，即用离心机处理产品，转速 3500 r/min 处理 15 min，通过计算离析出的水相体积与总体积比值测定离心稳定性。两组实验结果分别见图 12 和图 13。

从图 12 和图 13 中可以看出，随着稳定剂 FB 用量的增加，产品的贮存稳定度(5d)值和离心稳定度值都是逐渐下降的，说明 FB 的加入，对产品的储存稳定性有利。从这两组数据我们还可以看出，当 FB 添加量不超过 1.2% 时，随着 FB 用量的增加，产品的储存稳定性明显提高；当 FB 添加量超过 1.2% 时，随着 FB 用量的增加，产品的储存稳定性缓慢提升。

3.4. 优化配方产品测试

通过 SBS 用量、CRL 用量以及 FB 用量对产品性能影响的分析，选取优化配方制备产品，并对其性能指标作全面测试。所选配方为：5% SBS 含量的改性乳化沥青，80%；CRL，20%；FB 用量为 1.2%。表 5 为优选配方产品的各项性能指标，其中的标准要求为《道桥用防水涂料》行业标准中道桥用聚合物改性沥青防水涂料 II 型产品的要求。

Table 5. The performance indicators of preferred formulation products
表 5. 优选配方产品的各项性能指标

项目		优选配方	标准要求
固体含量/%	≥	61.4	50
表干时间/h	≤	4	4
实干时间/h	≤	8	8
耐热度/°C (无流淌、滑动、滴落)		160	160
不透水性/0.3 MPa, 30 min		不透水	不透水
低温柔度/°C (无裂纹)		-27	-25
拉伸强度/MPa	≥	1.21	1.0
断裂延伸率/%	≥	1420	800
盐处理	拉伸强度保持率/%	≥	84
	断裂延伸率/%	≥	1320
	低温柔度/°C (无裂纹)		-23
	质量增加/%	≤	1.3
	拉伸强度保持率/%	≥	92
热老化	断裂延伸率/%	≥	1070
	低温柔度/°C		-21
	加热伸缩率/%	≤	0.8
	质量损失/%	≤	0.7
涂料与水泥混凝土粘结强度/MPa	≥	1.36	0.6
50°C剪切强度/MPa	≥	0.24	0.2
50°C粘结强度/MPa	≥	0.09	0.05
碾压后抗渗性/0.1 MPa, 30 min		不透水	不透水
接缝变形能力		10,000 次循环无破坏	10,000 次循环无破坏
贮存稳定度(5d)/%		0.66	—

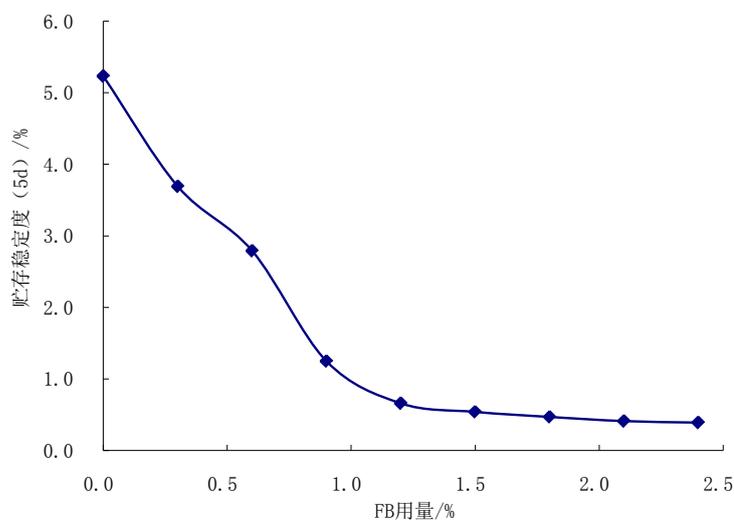


Figure 12. Influence of the amount of FB on product storage stability (5d)
图 12. FB 用量对产品贮存稳定性(5d)的影响

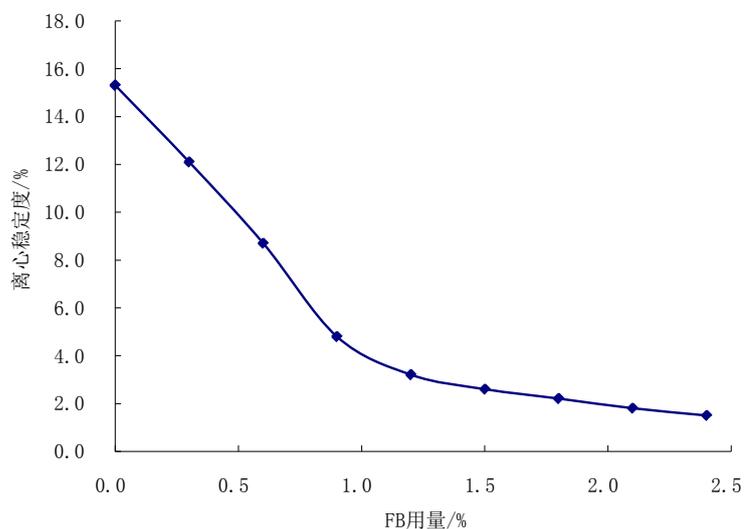


Figure 13. Influence of the amount of FB on product centrifugal stability

图 13. FB 用量对产品离心稳定度的影响

从表 5 中可以看出, 本论文所选取的优选配方所有指标都达到标准要求, 部分性能远高于标准要求, 同时产品的贮存稳定度良好, 实际试验中常温下能稳定储存半年以上。

4. 结论

1) 使用基质乳化沥青, 加 CRL 制备传统产品, 要达到《道桥用防水涂料》行业标准中道桥用聚合物改性沥青防水涂料 II 型产品的要求, CRL 的添加量至少为 40%;

2) 使用 SBS 改性乳化沥青能显著提高产品的各项物理性能, 但是当 SBS 用量超过 5% 时, 改性沥青乳化困难。

3) 先用 5% SBS 改性沥青进行乳化, 再复合使用 CRL 进行改性, 能继续提高产品性能, 当 CRL 用量为 20% 时, 产品各项指标即可满足标准要求, 大幅降低了 CRL 的使用量, 这对提高产品稳定性, 降低成本有很大作用。

稳定剂 FB 的使用, 能大幅提高产品的储存稳定性, 当 FB 使用量达到 1.2% 时, 产品已能较长时间稳定存放。

参考文献 (References)

- [1] 朱志远, 杨胜 (2004) 道桥用防水卷材、防水涂料技术标准的研究. *中国建筑防水*, 增刊, 118-124.
- [2] 张敬义, 毛冬梅, 等 (2004) 聚合物乳液改性乳化沥青性能评价. *石油沥青*, **6**, 23-26.
- [3] 沈春林, 杨军, 等 (2004) 路桥专用防水涂料的研制. 中国建筑防水研究与应用, *中国建筑防水*, **7**, 24-26.
- [4] 徐立, 朱延荣 (2008) 道桥用聚合物改性沥青防水涂料的研制. *中国建筑防水*, **1**, 16-18.
- [5] 韩炳勇, 雷大章, 王华年, 等 (1997) 丁苯橡胶改性阳离子乳化沥青的研制. *山东建材学院学报*, **11**, 53-54.
- [6] 杨胜 (2014) 喷涂乳化沥青的应用研究. *中国建筑防水*, **16**, 7-11.