

# 调和沥青的化学特性和SBS改性效果分析

柴冲冲<sup>1,2</sup>

[1. 上海公路桥梁(集团)有限公司, 上海市 200433; 2. 同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海市 201804]

**摘要:** 为改善沥青组分以及不同油源之间的兼容性,选取不同油源的70#基质沥青进行调和,探究了调和沥青化学特性和SBS改性效果。结果表明,调和工艺改变了原沥青组分含量和重均相对分子质量( $M_w$ ),但沥青组分并未简单地线性比例叠加。SBS改性效果受不同油源、调和比例和发育时间的影响,调和比例越大,SBS改性沥青的高低温性能指标衰减越为明显。A沥青(高胶质+沥青质含量)/C沥青(高芳香分含量)组合的SBS改性效果优异,而B沥青(高沥青质含量)/C沥青组合的SBS改性沥青低温延度衰减幅度较大,耐老化性能较差。从发育时间和耐老化性能考虑,调和沥青A/C组合的建议比例不宜超过1:1,发育存储时间不宜超过48 h。

**关键词:** 调和沥青;化学特性;改性效果;发育时间;耐老化

**中图分类号:** U414

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-7716(2025)05-0275-05

## Analysis on Chemical Properties and SBS Modified Effect of Blend Asphalt

CHAI Chongchong<sup>1,2</sup>

[1. Shanghai Road and Bridge (Group) Co., Ltd., Shanghai 200433, China; 2. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering, Department of Education, Tongji University, 201804, China]

**Abstract:** In order to improve the compatibility between asphalt components and different asphalt sources, 70# matrix asphalt of different oil sources is selected for blending to analyze the chemical characteristics and SBS modified effect of blend asphalt. The results show that the blending process changes the composition content and weight average relative molecular mass ( $M_w$ ) of the original asphalt, but the asphalt components are not simply stacked in linear proportions. The modified effect of SBS is affected by the different asphalt sources, blending proportion and development time. The higher the blending ratio, the more obvious the attenuation of high and low temperature performance indexes of SBS modified asphalt. The SBS modified effect of asphalt A (high gum + asphaltene content) / asphalt C (high aromatic content) combination is excellent. The SBS modified asphalt with asphalt B (high asphaltene content) / asphalt C combination has a large decay range of low temperature ductility and poor aging resistance. Considering the development time and aging resistance, the recommended ratio of blend asphalt A/C combination should not exceed 1:1 and the development storage time should not exceed 48h.

**Keywords:** blend asphalt; chemical characteristic; modified effect; developmental time; aging resistance

## 0 引言

我国油源复杂且广泛,基质沥青的种类繁多使得其改性效果各有不同。在实际生产中经常存在原基质沥青组分无法满足SBS溶胀效果,并影响到改性效果的问题。为解决这一问题,多采用添加类沥青组分物质,如橡胶油类、树脂类、脱油沥青类材料进行补充。但是,上述物质大多数受单一组分限制,无法兼顾沥青各组分平衡。因此,将具有明显沥青

组分差异性的基质沥青进行调和,以兼顾各组分变化来获取新的基质沥青材料,对生产也具有重要指导意义。

目前,随着工艺技术的发展,可调和的材料来源更为广泛,调和方法也多样化发展。国内学者对此做了较多的基础性研究,如氧化调和法、渣油与油浆调和法、脱油沥青法、改性沥青调和再生沥青法、多磷酸调和沥青法等<sup>[1-5]</sup>。调和方法总体上为:添加类似沥青组分的辅助材料,通过改变沥青组分构成来获取所期待的沥青产品。

沥青的不同组分含量会显著影响沥青性能的体现<sup>[6-7]</sup>。为提高基质沥青的改性效果,可采用调和方

收稿日期: 2024-11-14

作者简介: 柴冲冲(1987—),男,硕士,高级工程师,从事路面材料研究工作。

法。调和会改变沥青的胶体结构状态,各组分并不是调和前简单的叠加,而是呈现出不同的变化。Pei等<sup>[8]</sup>研究发现,脱油沥青掺量增加,改变了沥青的四组分构成,胶体不稳定指数( $I_c$ )逐渐增大。曹青霞等<sup>[4]</sup>以90#与110#沥青对老化后沥青进行调和发现,沥青组分发生变化、羰基和亚砷基含量降低,且积分面积与车辙因子的相关性较高。王前东<sup>[9]</sup>发现调和沥青(两种90#)的SBS改性效果短期内较佳,在调和时应避免高含量油分和低含量重质组分,以免因老化而使得性能大幅度衰减。然而,对于相同等级沥青之间的调和对沥青组分的影响研究较为缺失。

通常认为胶体不稳定指数 $I_c$ 在0.3左右的SBS改性效果最好,而实际应用中经常存在 $I_c$ 过大的情况。在我国南方地区的基质沥青和改性沥青所用的沥青原材料主要以70#为主,经常存在 $I_c$ 过大的情况。因此,亟须探索不同组分的70#基质沥青进行调和对沥青组分和SBS改性的影响。为探究调和沥青的适用性,选取不同组分的70#基质沥青进行调和。本研究采用薄层色谱法(TLC-FID)和凝胶渗透色谱法(GPC),探究了调和沥青的化学特性变化,并探究了SBS改性效果。另外,考虑到运输过程的性能衰减问题,探索了适宜的可储存时间。

1 试验部分

1.1 原材料

在市场上选取了3种成品70#基质沥青,基本性能见表1。一类是沥青质含量高的两种沥青A和B,一类是芳香分含量高和沥青质含量低的C沥青。目前常用于改善SBS与沥青相容性的辅助材料,多以油类和稳定剂来共同促进物理和化学交联反应为主。相容剂选用芳烃油(芳香分含量85%以上),稳定剂选用以硫磺为主的工业化产品。SBS改性剂选用海南巴陵石化生产的线性SBS改性剂,牌号为YH791-H,S/B为3:7。

表1 基质沥青基本性能

| 基本性能          | A             | B    | C    |
|---------------|---------------|------|------|
| 25℃针入度/0.1 mm | 68.6          | 64.9 | 68.4 |
| 软化点/℃         | 48.8          | 52.8 | 49.0 |
| 10℃延度/cm      | 30.1          | 9.5  | 19.3 |
| 沥青四组分         | 饱和分 S/%       | 9.4  | 9.0  |
|               | 芳香分 A/%       | 51.4 | 53.3 |
|               | 胶质 R/%        | 15.7 | 13.2 |
|               | 沥青质 As/%      | 23.5 | 24.6 |
|               | 胶体不稳定指数 $I_c$ | 0.49 | 0.51 |

研究认为,沥青质含量越高,针入度越低;沥青质和饱和分含量越高、芳香分含量越低,软化点越高;胶质含量越高,延度越大<sup>[6]</sup>。康剑翘<sup>[10]</sup>认为,胶质、胶质+沥青质的含量是影响沥青针入度、胶体指数、高温稳定性的主要因素。3种基质沥青的沥青组分的差异性体现在常规性能上(见表1),进一步验证了上述研究对沥青组分对沥青性能影响的适用性。

1.2 调和沥青制作

选用C沥青分别与A沥青和B沥青进行调和,工艺如下:将所有沥青热熔至流动状态,分别在A沥青和B沥青里面添加C沥青,调和比例采用1:1和1:2,调和组合以A/C和B/C表示;采用高速搅拌机在150℃恒温下持续搅拌30 min,获取所需沥青样品。首先对沥青组分和分子量变化进行分析,随后进行SBS改性效果评价。

1.3 SBS改性沥青制作

将沥青热熔至160℃的流动状态,加入适量相容剂,开启低速剪切;再逐步加入4%的SBS改性剂,以5 000 r/min的速率在180℃温度下持续高速剪切2 h;随后更换高速搅拌设备,并加入0.2%的稳定剂持续搅拌2 h进行发育,获取所需SBS改性沥青。

1.4 测试方法

沥青基本性能:针入度、软化点、延度测试依据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)中的T0604、T0606、T0605。

采用棒状薄层色谱仪(TLC-FID,日本IATON, MK-6S型)评价调和沥青的组分变化。依据扩展剂正庚烷、甲苯、二氯甲烷与甲醇(体积比95:5)极性大小,将沥青组分(饱和分、芳香分、胶质)分别扩展至不同高度使其分离,然后将色谱棒置于氢火焰下燃烧,将碳原子浓度转化为电流强度信号进行组分的测定<sup>[11-12]</sup>。测试原理图详见相关文献<sup>[13]</sup>。本研究采用TLC-FID分析调和沥青前后的组分变化,以不少于4次平行试验为均值。其中,沥青四组分的制样溶度控制在10 mg/mL,分4~5次滴入15 mm的色谱柱中,随后依次进行扩展。

凝胶渗透色谱法(HLC8320 GPC, TOSOH)分析调和沥青的分子量变化。采用四氢呋喃(THF)为流动相,流速0.35 mL/min,样品浓度为0.5~5 mg/mL,进样量为10  $\mu$ L,测试温度为40℃,以不少于2次平行试验为均值。

2 调和沥青性能分析

2.1 沥青组分

调和沥青四组分分布曲线见图1和图2。基于TLC-FID分析方法,所有沥青组分的差异性能更为直观地体现出来。由表2可知,随着C沥青占比增多,调和后A沥青和B沥青的组分含量均发生了不同程度的变化。调和后,A沥青的饱和分含量减少,芳香分含量增加,胶质和沥青质含量减小,Ic值减小。调和后,B沥青的饱和分含量减少,芳香分含量增加,胶质含量增加,沥青质含量先减少后趋于稳定,Ic值减小。由此可见,调和沥青的A/C组合呈现出了低含量的重质组分(胶质、沥青质)和高含量的轻质组分(饱和分、芳香分)状态,调和沥青的B/C组合,则呈现出高含量芳香分组分和高含量的重质组分状态。

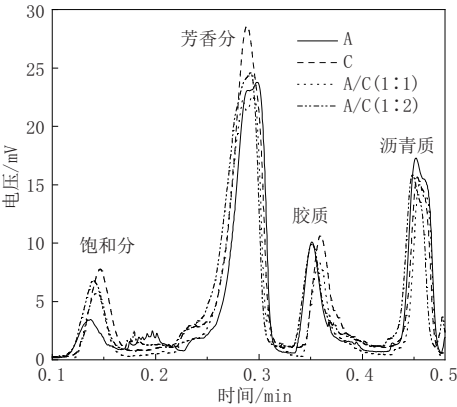


图1 调和沥青A

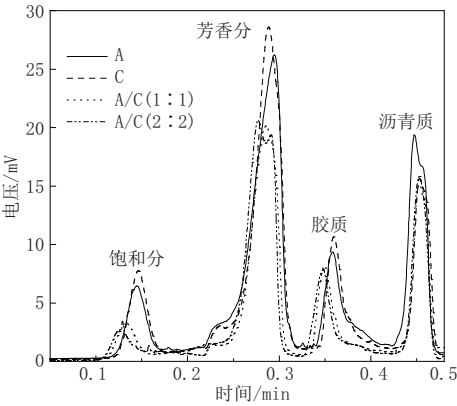


图2 调和沥青B

表2 调和沥青四组分构成

| 沥青类别 | 调和比例 | S/% | A/%  | R/%  | As/% | Ic   |
|------|------|-----|------|------|------|------|
| A    | 0    | 9.4 | 51.4 | 15.7 | 23.5 | 0.49 |
| A:C  | 1:1  | 9.3 | 57.1 | 14.3 | 19.3 | 0.40 |
|      | 1:2  | 8.5 | 59.0 | 13.7 | 18.9 | 0.38 |
| B    | 0    | 9.0 | 53.3 | 13.2 | 24.6 | 0.51 |
| B:C  | 1:1  | 7.0 | 54.9 | 14.6 | 23.4 | 0.43 |
|      | 1:2  | 5.7 | 56.4 | 14.9 | 23.4 | 0.40 |

在调和沥青组分分析中,调和沥青A/C组合的组分含量变化尤为显著。主要体现在芳香分含量增加较为明显,胶质和沥青质含量的降低幅度较大。Ic值的减小幅度也较大,意味着潜在优异的SBS改性效果。此外,调和沥青组分变化并不是单纯线性叠加,存在大于或小于1:1叠加效果的情况。表明不同油源的基质沥青之间的调和存在适用性,A与C沥青组合的调好效果较为优异。

2.2 分子量

GPC分析调和沥青分子量变化见图3和图4。依据GPC测试原理,大分子物质先洗涤出,其次为中小分子物质。随着调和比例增大,A沥青分子量变化规律一致,B沥青的分子量变化规律也一致在14 min后开始有物质洗涤出来,此处的特征峰强度有所增强,对应着沥青组分中的大分子量物质。总体上表现为调和后沥青的大分子量对应的吸收峰有所增强,小分子量所对应的吸收峰有所减弱,但仍介于各自原沥青之间。目前,在GPC测试参数中的数均相对分子质量(Mn)、重均相对分子质量(Mw)倾向于分别表征中小分子量结构和大分子量结构<sup>[14]</sup>。

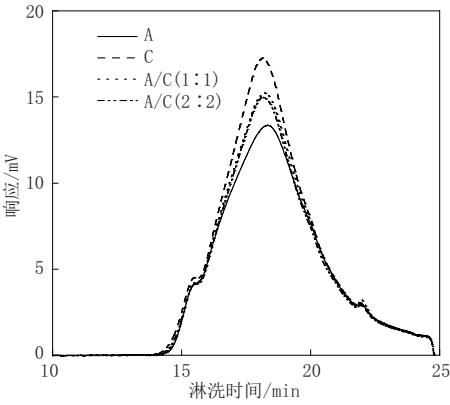


图3 调和沥青A的GPC分布

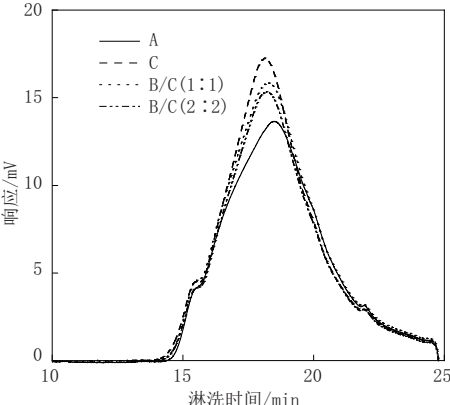


图4 调和沥青B的GPC分布

由表3可知,随着调和比例的增大,Mw持续增大,而Mn略微变化,说明调和过程中沥青的大分子

量物质增加较为显著。通常认为,基质沥青组分的分子量和极性大小依次为:饱和分<芳香分<胶质<沥青质。饱和分和芳香分归为轻质组分,无极性;胶质和沥青质归为重质组分,具有明显极性。结果说明,芳香分含量占比的显著增加,使得沥青的重均相对分子质量的数量增加速度大于胶质和沥青质含量的降低率,表现出持续增加的状态。调和沥青对分子量分布(PDI)的影响并未呈现规律性变化,其A/C和B/C组合分别在1:1时达到各自最大值和最小值。

表3 调和沥青分子量

| 沥青类别 | 调和比例 | Mn/<br>(g·mol <sup>-1</sup> ) | Mw/<br>(g·mol <sup>-1</sup> ) | PDI    |
|------|------|-------------------------------|-------------------------------|--------|
| A    | 0    | 25                            | 1 940                         | 78.753 |
| B    | 0    | 25                            | 1 853                         | 77.628 |
| C    | 0    | 24                            | 2 055                         | 85.416 |
| A/C  | 1:1  | 24                            | 1 954                         | 81.572 |
|      | 1:2  | 26                            | 1 988                         | 73.149 |
| B/C  | 1:1  | 24                            | 1 954                         | 76.815 |
|      | 1:2  | 23                            | 2 071                         | 91.547 |

2.3 改性沥青性能分析

2.3.1 改性效果

为探究SBS改性效果的适用性,将所有调和沥青进行高标SBS改性沥青制作。采用烘箱发育方式,检验了发育时间对SBS改性沥青常规性能的影响。目前国内的工厂化生产改性沥青的通用做法均以研磨加发育为主。发育目的是将研磨分散的SBS颗粒在适宜温度下在沥青内进一步充分溶胀、扩散,并在相容剂和稳定剂交联作用下,构成新的平衡状态,起到改善储存稳定性效果。

发育时间对25℃针入度的影响较小,总体上在49~55(0.1 mm),始终保持在规范要求的40~60(0.1 mm)范围。调和沥青对SBS改性效果的差异性见图5和图6,软化点和延度的变化较为明显,且不同调和沥青的SBS改性效果也不相同。

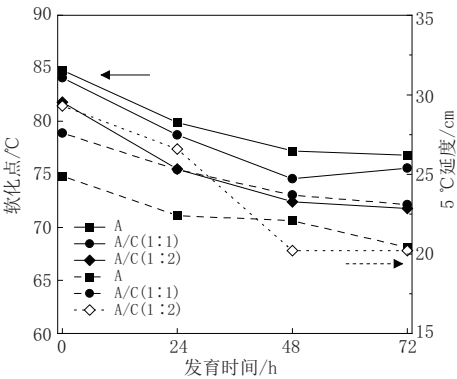


图5 调和沥青A的常规性能

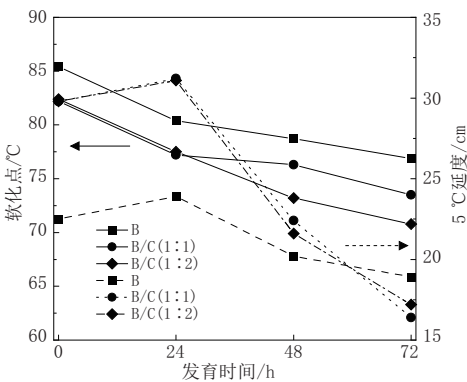


图6 调和沥青B的常规性能

调和沥青具有较高的芳香分含量,更有助于促进SBS的溶胀、分散,对低温延度的改善较为显著,高温性能有所降低。随着发育时间的延长,软化点和延度逐渐降低。调和沥青A/C组合的SBS改性效果在发育至72 h时仍满足规范要求。然而,添加比例越大,高低温性能的衰减越快,会存在耐老化能力不足的问题。调和沥青B/C组合的SBS改性效果的延度衰减较为显著,在发育48 h时已处于临界值的不合格线。从发育时间和性能指标考虑,调和沥青A/C组合的比例不宜超过1:2,调和沥青B/C的比例不宜超过1:1,且A沥青更适用于调和改性。

2.3.2 耐老化性能

调和沥青存在耐老化性能不足的问题,基于高油分含量、低胶质和沥青质含量,在实际应用中应避免大幅度减少胶质和沥青质含量,增加油分含量的方法,以降低调和沥青长期耐老化性能衰减过大的问题<sup>[9]</sup>。以调和沥青A/C组合的SBS改性沥青耐老化性能见表4。随着调和比例的变化,5℃延度的明显衰减表明,调和改性沥青的耐老化性能显著降低。其中,调和沥青A/C组合以1:1比例调和的SBS改性沥青的5℃延度可维持到48 h时仍满足规范要求,而1:2比例的SBS改性沥青的5℃延度在发育到24 h时已无法满足规范要求。结果表明,高含量芳香分组分和低含量重质组分的调和沥青,老化前后的指标衰减越快,耐老化性能越差。

表4 发育时间对调和沥青SBS改性老化指标的影响

| 调和沥青A/C | 测试指标      | 发育时间/h |      |      |      | 技术指标 |
|---------|-----------|--------|------|------|------|------|
|         |           | 0      | 24   | 48   | 72   |      |
| 1:1     | 25℃针入度比/% | 86     | 78   | 78   | 80   | ≥65  |
|         | 5℃延度/cm   | 16.4   | 16.4 | 16.8 | 8.6  | ≥15  |
| 1:2     | 25℃针入度比/% | 83     | 77   | 78   | 77   | ≥65  |
|         | 5℃延度/cm   | 16.6   | 14.0 | 11.0 | 11.0 | ≥15  |

### 3 结 语

选取 3 种基质沥青进行调和,分析了调和沥青的化学特性和 SBS 改性效果,结论如下。

(1)以 1:1 和 1:2 的调和方式,通过提升高芳香分含量沥青的添加比例进行调和,改变了原沥青的四组分构成。调和后,A 和 B 原沥青的芳香分含量明显提升,沥青质含量减小,胶体不稳定指数 Ic 显著降低,但胶质含量表现出减少或增加的差异性变化。此外,沥青四组分之间呈现出了大于或小于 1:1 叠加的情况。

(2)数均相对分子质量(Mn)变化甚微,重均相对分子质量(Mw)逐渐增加,说明芳香分含量的提升幅度所带来的影响大于重质组分含量占比降低的影响。

(3)调和沥青 A/C 组合的 SBS 改性效果较好,体现在发育至 72 h 的软化点和延度仍满足规范要求。调和沥青 B/C 组合的 SBS 改性效果受调和比例和发育时间影响较大,软化点和延度衰减较为明显。

(4)在适用性方面,某些类沥青例如 A 沥青的组分结构也可能更适用于调和与 SBS 改性。由于不同沥青来源于不同油源,仅依据沥青四组分含量变化是不足的,还要考虑其他潜在因素的影响。同时还可验证:基质沥青内芳香分含量过高或沥青质含量过低,可有效改善改性沥青某方面的性能,但存在整体性能无法明显提升的问题。

#### 参考文献:

[1] 梁明,焦月朋,辛雪,等.催化裂解油浆于脱油沥青调和制备重交

沥青及其 SBS 改性研究[J]. 新型建筑材料, 2023, 50(7): 105-108; 113.

[2] 杨行,宋海明,刘银东,等.脱油沥青添加剂调和生产沥青产品[J]. 石化技术与应用, 2022, 40(1): 28-31.

[3] 韩博,张建峰,凌凤香,等.多聚磷酸改性春风-塔河调和沥青结构分析[J]. 当代化工, 2023, 52(7): 1568-1572.

[4] 曹青霞,魏定邦,张国宏,等.调和沥青的红外光谱与 DSR 相关性研究[J]. 中国建材科技, 2017, 26(6): 61-66.

[5] 姚正天,沈本贤,全玉军,等.春风减渣改质塔河减渣制取 60#道路沥青效果[J]. 化工进展, 2018, 37(10): 4109-4118.

[6] 王泽华,武新成,李宏亮,等.基质沥青四组分与常规指标相关性研究[J]. 石油沥青, 2020, 34(3): 26-32; 36.

[7] 王勤芳,曾海,田奕,等.浅谈基质沥青四组分组成对 SBS 改性沥青高低温性能影响[J]. 石油沥青, 201, 33(6): 7-13.

[8] PEI X G, FAN W Y, LIU Y J, *et al.* The effect of oil sands de-oiled asphalt on rheological properties, compatibility and stability of asphalt binder [J]. Construction and Building Materials, 2020 (2): 120594.1-120594.17.

[9] 王前东.调和沥青 SBS 改性效果研究[J]. 中外公路, 2012, 32(5): 268-272.

[10] 康剑翘.沥青化学组成结构与宏观性质关联关系研究[D]. 青岛: 中国石油大学, 2015.

[11] 王翠红,王子军,王红,等.沥青四组分测定条件对结果的影响[J]. 石油沥青, 2009, 23(2): 56-59.

[12] 冯振刚,张建宾,李新军,等.棒状薄层色谱-氢火焰离子探测仪检测老化沥青的四组分[J]. 色谱, 2015, 33(2): 195-200.

[13] LUO H Y, HUANG X M, TIAN R Y, *et al.* Analysis of relationship between component changes and performance degradation of Waster-Oil-Rejuvenated asphalt [J]. Construction and Building Materials, 2021 (297): 123777.

[14] MA J M, SUN G Q, SU D Q, *et al.* Application of gel permeation chromatography technology in asphalt materials: A review[J]. Construction and Building Materials, 2021 (5): 122386.1-122386.17.

(上接第 264 页)

果显示,当掺量为 14% 时混合料动稳定度大于相关技术要求,为 3 604 次/mm,且强度及水稳定性均都满足相关要求。因此本次试验最终确定水性环氧树脂掺量为 14%。

#### 参考文献:

[1] 冯健理,袁文平,朱保罗,等.冷铺沥青材料的研制与应用[J]. 上海公路, 2001(1): 5.

[2] red Closs. Potholes: cold-mix can solve the problems[J]. Better Roads, 1999, 3.

[3] 罗运辉,安昶.沥青路面预防性养护应用效果对比研究[J]. 公路,

2022, 67(6): 352-359.

[4] 朱秀迪,王力杰,孙超明,等.RTM 用环氧树脂流变性能与固化性能分析[J]. 玻璃钢/复合材料, 2017(8): 97-101.

[5] 许飞,何庆迪,庄振宇,等.新型水性丙烯酸/环氧杂化乳液的制备及其在水性双组分金属防护涂料中的应用[J]. 涂料工业, 2017, 47(4): 48-54, 77.

[6] 刘静,何兆益,黄刚,等.抑烟剂的开发与应用[J]. 石油沥青, 2014, 28(3): 63-67.

[7] 张志婷,叶长文,罗雷,等.新型冷拌冷铺沥青混合料路用性能研究[C]//中国地质学会.第二十一届全国探矿工程(岩土钻掘工程)学术交流会论文集, 2021.