

DOI: 10.20035/j.issn.1671-2668.2024.04.017

引用格式: 苏举. 超黏磨耗层在高速公路预防性养护中的应用[J]. 公路与汽运, 2024, 40(4): 75-80.

Citation: SU Ju. Application of super-viscous wear layer in preventive maintenance of expressway[J]. Highways & Automotive Applications, 2024, 40(4): 75-80.

# 超黏磨耗层在高速公路预防性养护中的应用

苏举

(湖南高速养护工程有限公司, 湖南 长沙 410000)

**摘要:** 分析超黏磨耗层的材料组成及材料性能要求, 介绍超黏磨耗层混合料配合比设计方法; 结合沪昆(上海—昆明)高速公路抗滑不足路段路面养护对超黏磨耗层的应用情况, 分析超黏磨耗层的抗反射裂缝能力和抗滑、封水、平整度等路用性能。结果表明, 超黏磨耗层的蒸发残留物软化点、25℃弹性恢复、5℃延度、60℃动力黏度、黏结强度远高于规范要求, 能保证路面质量及耐久性; 超黏磨耗层具有较强的抗反射裂缝能力、良好的抗滑性能、优异的封水能力。

**关键词:** 公路; 超黏磨耗层; 抗滑; 预防性养护; 高黏复合改性乳化沥青

中图分类号: U418.6

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2024)04-0075-06

沪昆(上海—昆明)高速公路通车时间早, 车流量大, 随着通车时间的增长, 部分路段的路面抗滑性能指数小于 75, 抗滑指标达不到要求<sup>[1]</sup>, 路面磨光较严重。超黏磨耗层是一种用于高速公路路面养护的新技术, 可以提高道路的使用寿命和道路表面质量, 减少交通事故的发生, 同时节能环保, 造价较低。对超黏磨耗层材料性能及应用效果进行研究, 对于促进预防性养护技术的推广具有重要意义。

## 1 超黏磨耗层简介

超黏磨耗层是一种以高黏复合改性乳化沥青为核心黏结料, 摊铺厚度为 1.0~1.5 cm 的冷拌冷铺超薄型结构层, 具有超强的黏结力和长期的抗滑、防水性能, 适用于具有充足结构强度、较好平整度、无结构性破损的旧沥青路面、水泥路面和桥面养护<sup>[2]</sup>。在旧路面摊铺时可直接加铺, 也可根据实际情况对旧路面进行 0~1 cm 铣刨处理后再加铺。在细料损

失、沥青老化、路面渗水等病害严重的旧沥青路面摊铺超黏磨耗层或在旧水泥混凝土路面、桥面、隧道路面摊铺超黏磨耗层及经过铣刨处理的旧路面摊铺超黏磨耗层时, 应在摊铺前 1 h 洒布一层高黏复合改性乳化沥青以增强层间黏结。

## 2 原材料

### 2.1 高黏复合改性乳化沥青

#### 2.1.1 常规性能试验

高黏复合改性乳化沥青是一种采用高黏复合改性沥青经特种乳化设备、工艺及配方制备而成的可长期稳定储存的阳离子拌和型乳液。为对比其性能, 选择某国产优质品牌和某国际知名品牌乳化沥青产品进行同等条件试验评价, 结果见表 1。

从表 1 可以看出: 高黏复合改性乳化沥青的技术指标均满足 JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》对 BCR 改性乳化沥青的要求, 其蒸发残

表 1 改性乳化沥青的技术性能

| 项目                 | 技术要求   | 高黏复合改性乳化沥青 | 某国产品牌乳化沥青 | 某国际品牌乳化沥青 |
|--------------------|--------|------------|-----------|-----------|
| 筛上残留物(1.18 mm 筛)/% | ≤0.10  | 0.02       | 0.01      | 0.02      |
| 粒子电荷               | 阳离子(+) | 阳离子        | 阳离子       | 阳离子       |
| 破乳速度               | 慢裂     | 慢裂         | 慢裂        | 慢裂        |
| 黏度(沥青标准黏度计)/s      | 12~60  | 22         | 27        | 19        |
| 贮存稳定性              | 1 d    | ≤1         | 0.5       | 0.5       |
|                    | 5 d    | ≤5         | 1.6       | 2.1       |

续表 1

| 项目                | 技术要求           | 高黏复合改性乳化沥青 | 某国产品牌乳化沥青 | 某国际品牌乳化沥青 |
|-------------------|----------------|------------|-----------|-----------|
| 残留分质量分数/%         | $\geq 60.0$    | 63.0       | 61.5      | 65.9      |
| 针入度(25℃)/(0.1 mm) | 40~100         | 62         | 64        | 71        |
| 软化点/℃             | $\geq 80$      | 83.5       | 67.5      | 57.0      |
| 蒸发残留物             |                |            |           |           |
| 延度(5℃)/cm         | $\geq 30$      | 53         | 27        | 26        |
| 溶解度/%             | $\geq 97.5$    | 98.5       | 98.5      | 99.0      |
| 弹性恢复(25℃)/%       | $\geq 95$      | 96         | 76        | 82        |
| 动力黏度(60℃)/(Pa·s)  | $\geq 20\ 000$ | 39 399     | 7 234     | 15 673    |

留物软化点、25℃弹性恢复、5℃延度、60℃动力黏度均远高于另外两种乳化沥青。

### 2.1.2 黏结力试验

为评价乳化沥青材料的黏结强度,采用拉拔仪对高黏复合改性乳化沥青的黏结强度进行测试<sup>[3]</sup>,结果见表 2。由表 2 可知:高黏复合改性乳化沥青的黏结强度达到 1.01 MPa,远高于另外两种乳化沥青。

### 2.2 集料

以采用反击破加工工艺生产的玄武岩作为超黏磨耗层的粗集料,有 3.0~5.0 mm、5.0~9.5 mm 两种规格;细集料采用石灰岩机制砂,规格为 0.0~

3.0 mm。集料的技术性能见表 3、表 4。

表 2 乳化沥青的黏结强度试验结果 单位:MPa

| 沥青类型       | 各试件的黏结强度 |      |      |      | 黏结强度<br>平均值 | 黏结强度<br>标准差 |
|------------|----------|------|------|------|-------------|-------------|
|            | 1        | 2    | 3    | 4    |             |             |
| 高黏复合改性乳化沥青 | 1.03     | 0.96 | 1.07 | 0.98 | 1.01        | 0.05        |
| 某国产品牌乳化沥青  | 0.67     | 0.85 | 0.55 | 0.61 | 0.67        | 0.13        |
| 某国际品牌乳化沥青  | 0.35     | 0.37 | 0.39 | 0.30 | 0.35        | 0.04        |

表 3 粗集料的技术性能

| 项目        | 技术要求        | 试验结果 | 项目                 | 技术要求      | 试验结果 |
|-----------|-------------|------|--------------------|-----------|------|
| 石料压碎值/%   | $\leq 26$   | 7.3  | 针片状颗粒的质量分数/%       | $\leq 15$ | 9.4  |
| 洛杉矶磨耗损失/% | $\leq 28$   | 10.8 | $<0.075$ mm 颗粒的质量分 | $\leq 1$  | 0.18 |
| 表观相对密度    | $\geq 2.60$ | 2.67 | 数(水洗法)/%           |           |      |
| 吸水率/%     | $\leq 2.0$  | 0.61 | 软石的质量分数/%          | $\leq 3$  | 0.3  |
| 坚固性/%     | $\leq 12$   | 7.2  | 磨光值                | $\geq 42$ | 47.3 |

表 4 细集料的技术性能

| 项目                   | 技术要求        | 试验结果 |
|----------------------|-------------|------|
| 表观相对密度               | $\geq 2.50$ | 2.65 |
| 坚固性( $>0.3$ mm 部分)/% | $\leq 12$   | 7.8  |
| 砂当量/%                | $\geq 65$   | 69   |
| 棱角性/s                | $\geq 30$   | 41   |

原材料,通过稀浆混合料配合比试验确定配合比。超黏磨耗层的技术要求见表 5。

表 5 超黏磨耗层的技术要求<sup>[4]</sup>

| 项目                                         | 技术要求                                   |
|--------------------------------------------|----------------------------------------|
| 可拌和时间(25℃)/s                               | $>120$                                 |
| 黏聚力/<br>(N·m)                              | 30 min $\geq 1.2$<br>60 min $\geq 2.0$ |
| 湿轮磨耗值/<br>( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) | 1 h $<540$<br>6 d $<800$               |
| 负荷车轮黏附砂量/( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ )  | $<450$                                 |
| 轮辙变形试验的宽度变化率/%                             | $<5$                                   |

## 3 配合比设计

### 3.1 超黏磨耗层的技术要求

超黏磨耗层混合料配合比设计中,应充分考虑原路面状况、交通量、气候条件等因素,选择适当的

3.2 矿料级配

考虑到沪昆高速公路车流量大,重载车多,为保证路面的使用寿命及使用效果,超黏磨耗层混合料的级配采用 MS-3 型<sup>[5]</sup>。为调节混合料的可拌和时间、稠度等施工性能,混合料中水泥掺量采用 2%(占集料的质量比),不参与级配组成。超黏磨耗

层混合料的级配组成见表 6,图 1 为其级配曲线。

3.3 拌和试验

初步选定 9%、10%、11%、12%、13% 5 种乳化沥青用量(占集料的质量比),选择不同用水量分别进行拌和试验,水泥掺量统一采用 2%(占集料的质量比),试验结果见表 7。

表 6 超黏磨耗层混合料的级配组成

| 集料规格/<br>mm | 集料占比/<br>% | 下列筛孔(mm)的通过率/% |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------|------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             |            | 9.500          | 4.750 | 2.360 | 1.180 | 0.600 | 0.300 | 0.150 | 0.075 |
| 4.75~9.50   | 27         | 100.0          | 30.0  | 1.0   | 0.6   | 0.5   | 0.5   | 0.5   | 0.4   |
| 2.36~4.75   | 23         | 100.0          | 97.5  | 6.3   | 1.0   | 0.8   | 0.8   | 0.8   | 0.6   |
| 0.00~2.36   | 50         | 100.0          | 99.2  | 96.5  | 77.0  | 57.6  | 36.4  | 22.4  | 16.7  |
| 合成级配        |            | 100.0          | 80.1  | 50.0  | 38.9  | 29.1  | 18.5  | 11.5  | 8.6   |
| MS-3 型级配    |            | 100            | 70~90 | 45~70 | 28~50 | 19~34 | 12~25 | 7~18  | 6~12  |

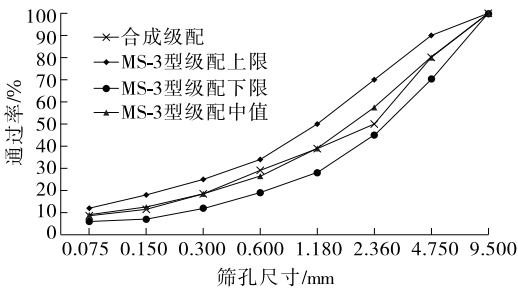


图 1 超黏磨耗层混合料的级配曲线

由表 7 可知:总用水量为 11.44%~12.81%时,采用上述 5 种乳化沥青用量的混合料的拌和时间和拌和状态均较理想。

3.4 乳化沥青用量确定

3.4.1 乳化沥青用量与外加水量的关系

根据拌和试验结果,固定 12%的总用水量不变,乳化沥青的含水量按蒸发残留物质量分数 63%来计算,乳化沥青用量与外加水量的关系见表 8。

表 7 超黏磨耗层混合料拌和试验结果

| 乳化沥青<br>用量/% | 外加水<br>量/% | 总用水<br>量/% | 可拌和<br>时间/s | 拌和状态      | 乳化沥青<br>用量/% | 外加水<br>量/% | 总用水<br>量/% | 可拌和<br>时间/s | 拌和状态      |
|--------------|------------|------------|-------------|-----------|--------------|------------|------------|-------------|-----------|
| 9            | 8          | 11.33      | 110         | 稠度偏小,拌和困难 | 11           | 9          | 13.07      | >120        | 稠度偏大      |
|              | 9          | 12.33      | >120        | 稠度适中      |              | 10         | 14.07      | >120        | 稠度偏大      |
|              | 10         | 13.33      | >120        | 稠度偏大      |              | 6          | 10.44      | 90          | 稠度偏小,拌和困难 |
|              | 11         | 14.33      | >120        | 稠度偏大      | 12           | 7          | 11.44      | >120        | 稠度适中      |
| 10           | 7          | 10.70      | 99          | 稠度偏小,拌和困难 |              | 8          | 12.44      | >120        | 稠度适中      |
|              | 8          | 11.70      | >120        | 稠度适中      |              | 9          | 13.44      | >120        | 稠度偏大      |
|              | 9          | 12.70      | >120        | 稠度适中      |              | 6          | 10.81      | 106         | 稠度偏小,拌和困难 |
|              | 10         | 13.70      | >120        | 稠度偏大      | 13           | 7          | 11.81      | >120        | 稠度适中      |
| 11           | 7          | 11.07      | 105         | 稠度偏小,拌和困难 |              | 8          | 12.81      | >120        | 稠度适中      |
|              | 8          | 12.07      | >120        | 稠度适中      |              | 9          | 13.81      | >120        | 稠度偏大      |

表 8 乳化沥青用量与外加水量的关系

单位: %

| 乳化沥青用量 | 乳化沥青含水量 | 外加水量 | 总用水量  | 乳化沥青用量 | 乳化沥青含水量 | 外加水量 | 总用水量  |
|--------|---------|------|-------|--------|---------|------|-------|
| 9.00   | 3.33    | 8.67 | 12.00 | 12.00  | 4.44    | 7.56 | 12.00 |
| 10.00  | 3.70    | 8.30 | 12.00 | 13.00  | 4.81    | 7.19 | 12.00 |
| 11.00  | 4.07    | 7.93 | 12.00 |        |         |      |       |

注:各项用量均为占集料的质量比。

### 3.4.2 最小乳化沥青用量

固定总用水量为 12%，变化乳化沥青用量，进行湿轮磨耗试验（浸水 1 h），确定最小乳化沥青用量。试验结果见图 2。

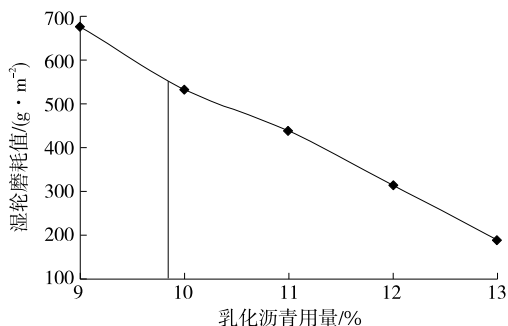


图 2 超黏磨耗层混合料湿轮磨耗试验结果

根据 JTGF 40—2004《公路沥青路面施工技术规范》的要求，超黏磨耗层混合料的湿轮磨耗值（浸水 1 h）应小于 540 g/m<sup>2</sup>。根据图 2 所示湿轮磨耗试验结果，确定最小乳化沥青用量为 9.95%。

### 3.4.3 最大乳化沥青用量

固定总用水量为 12%，变化乳化沥青用量，进行负荷轮碾压试验，确定最大乳化沥青用量。试验结果见图 3。

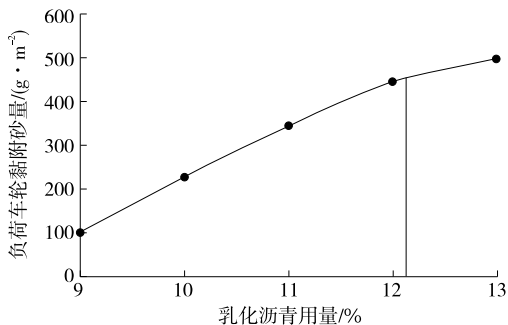


图 3 超黏磨耗层混合料负荷轮碾压试验结果

按照 JTGF 40—2004 的要求，超黏磨耗层混合料的黏附砂量应小于 450 g/m<sup>2</sup>。根据图 3 所示负荷轮碾压试验结果，确定超黏磨耗层混合料的最大乳化沥青用量为 12.11%。

### 3.4.4 乳化沥青用量

通过湿轮磨耗试验、负荷轮碾压试验，确定超黏磨耗层混合料的乳化沥青用量为 9.95%~12.11%。分别对乳化沥青用量为 10%、11%、12% 的超黏磨耗层混合料进行黏聚力试验，试验温度为 25℃，相对湿度为 80%，试验结果见表 9。由表 9 可知：乳化沥青用量为 11% 时，超黏磨耗层混合料的黏聚力满足技术要求。

表 9 超黏磨耗层混合料黏聚力试验结果

| 乳化沥青<br>用量/% | 养生时间/<br>min | 黏聚力/<br>(N·m) | 技术要求/<br>(N·m) |
|--------------|--------------|---------------|----------------|
| 10           | 30           | 1.0           | ≥1.2           |
|              | 60           | 1.9           | ≥2.0           |
| 11           | 30           | 1.4           | ≥1.2           |
|              | 60           | 2.2           | ≥2.0           |
| 12           | 30           | 1.4           | ≥1.2           |
|              | 60           | 2.4           | ≥2.0           |

对乳化沥青用量为 11% 的超黏磨耗层混合料进行浸水 6 d 湿轮磨耗试验，浸水 6 d 湿轮磨耗值为 612.3 g/m<sup>2</sup>，满足规范要求（<800 g/m<sup>2</sup>）。确定乳化沥青用量为 11%。

### 3.5 确定配合比

综上所述，确定表 10 所示超黏磨耗层混合料配合比。

表 10 超黏磨耗层混合料的配合比

| 材料              | 用量/%  |
|-----------------|-------|
| 乳化沥青            | 11.00 |
| 水               | 7.93  |
| 4.75~9.5 mm 集料  | 27.00 |
| 2.36~4.75 mm 集料 | 23.00 |
| 0.00~2.36 mm 集料 | 50.00 |
| 水泥              | 2.00  |

## 4 超黏磨耗层抗反射裂缝能力评价

分别制作厚度为 1.5 cm 的超黏磨耗层试件、厚度为 4.0 cm 的普通 A-70 沥青 AC-13C 型混凝土试件和厚度为 4.0 cm 的 I-D 级 SBS 改性沥青 GAC-13 型混凝土试件，在相同加载条件下进行抗反射裂缝能力评价试验，对比超黏磨耗层混合料的抗反射裂缝能力<sup>[3]</sup>。试验结果见表 11。

表 11 抗反射裂缝能力试验结果 单位：次

| 试件<br>编号 | 不同混合料的加载作用次数 |                   |                           |
|----------|--------------|-------------------|---------------------------|
|          | 超黏磨<br>耗层    | A-70 沥青<br>AC-13C | I-D 级 SBS 改性<br>沥青 GAC-13 |
| 1        | 36 1496      | 20 5100           | 689 272                   |
| 2        | 33 9737      | 18 0793           | 581 439                   |
| 3        | 28 9262      | 23 9150           | 512 573                   |
| 平均值      | 33 0165      | 20 8348           | 594 428                   |

由表 11 可知:1.5 cm 厚超黏磨耗层具有较强的抗反射裂缝能力,其抗反射裂缝疲劳寿命处于 4 cm 厚 A-70 沥青 AC-13C 型沥青混凝土和 I-D 级 SBS 改性沥青 GAC-13 混凝土之间,约为 4 cm 厚 A-70 沥青 AC-13C 混合料的 1.6 倍。

5 超黏磨耗层路用性能评价

以沪昆高速公路已实施超黏磨耗层的 7 个路段作为研究对象,评价超黏磨耗层的路用性能。7 个

路段实施时间跨度包含刚实施超黏磨耗层的路段和已实施接近 3 年的路段,原路面结构形式既包含水泥混凝土路面薄层罩面形式,也包含在原沥青混凝土路面上罩面的形式。对 7 个路段分别进行摆式摩擦仪摩擦因数、铺砂法表面构造深度和路面平整度测试,评价其抗滑、封水性能和平整度。

5.1 抗滑性能

测试实施超黏磨耗层路段的摆值,评价超黏磨耗层的抗滑性能,测试结果见表 12。

表 12 超黏磨耗层摆值测试结果 单位: BPN

| 路段          | 各次测试结果 |    |    |    |    |    | 平均摆值 | 技术要求 |
|-------------|--------|----|----|----|----|----|------|------|
|             | 1      | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  |      |      |
| K1366 段左幅   | 58     | 59 | 59 | 59 | 57 | 58 | 58   | ≥58  |
| 空溪 1 号、2 号桥 | 61     | 60 | 62 | 63 | 61 | 60 | 61   |      |
| 周旺铺互通       | 63     | 62 | 63 | 64 | 62 | 62 | 63   |      |
| 邵阳东互通       | 64     | 63 | 63 | 65 | 65 | 63 | 64   |      |
| 邓家大桥、龙岩潭大桥  | 70     | 68 | 71 | 70 | 70 | 70 | 69   |      |
| 江口特大桥       | 72     | 74 | 70 | 68 | 69 | 71 | 71   |      |
| K1385 段右幅   | 72     | 73 | 73 | 72 | 75 | 73 | 73   |      |

由表 12 可知:实施超黏磨耗层的各路段路面的摆值均较高,刚实施路段(江口特大桥、K1385 段右幅)的摆值在 70 BPN 以上,已实施近 3 年路段的摆值均保持在 58 BPN 以上,具有良好的抗滑性能。

5.2 封水能力

测试实施超黏磨耗层路段的路面渗水系数,评价超黏磨耗层的封水能力,测试结果见表 13。

由表 13 可知:7 个路段中,渗水系数最大值为 2.87 mL/min,局部路段为零,实施超黏磨耗层后路面基本不透水,超黏磨耗层具有优异的封水能力。

5.3 构造深度

采用手工铺砂法检测实施超黏磨耗层路段的路面表面构造深度,测试结果见表 14。

表 13 超黏磨耗层渗水系数测试结果 单位: mL/min

| 路段          | 各次测试结果 |      |      | 平均渗水系数 | 技术要求 |
|-------------|--------|------|------|--------|------|
|             | 1      | 2    | 3    |        |      |
| K1366 段左幅   | 3.30   | 4.00 | 1.30 | 2.87   | ≤10  |
| 空溪 1 号、2 号桥 | 2.70   | 1.70 | 2.00 | 2.13   |      |
| 周旺铺互通       | 1.40   | 1.80 | 0.80 | 1.33   |      |
| 邵阳东互通       | 0.00   | 0.00 | 0.00 | 0.00   |      |
| 邓家大桥、龙岩潭大桥  | 1.60   | 1.50 | 1.10 | 1.40   |      |
| 江口特大桥       | 2.10   | 1.80 | 0.00 | 1.30   |      |
| K1385 段右幅   | 1.90   | 2.40 | 0.80 | 1.70   |      |

表 14 超黏磨耗层表面构造深度测试结果 单位: mm

| 路段          | 各次测试结果 |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 平均构造深度 | 技术要求 |
|-------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|------|
|             | 1      | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |        |      |
| K1366 段左幅   | 0.71   | 0.68 | 0.68 | 0.64 | 0.67 | 0.62 | 0.62 | 0.65 | 0.68 | 0.67 | 0.66   | ≥0.6 |
| 空溪 1 号、2 号桥 | 0.67   | 0.66 | 0.67 | 0.71 | 0.78 | 0.71 | 0.71 | 0.74 | 0.67 | 0.63 | 0.69   |      |
| 周旺铺互通       | 0.64   | 0.66 | 0.64 | 0.70 | 0.64 | 0.67 | 0.63 | 0.65 | 0.68 | 0.63 | 0.65   |      |
| 邵阳东互通       | 0.60   | 0.68 | 0.63 | 0.64 | 0.71 | 0.74 | 0.74 | 0.77 | 0.70 | 0.75 | 0.77   |      |
| 邓家大桥、龙岩潭大桥  | 0.64   | 0.68 | 0.74 | 0.66 | 0.60 | 0.69 | 0.63 | 0.65 | 0.64 | 0.64 | 0.66   |      |
| 江口特大桥       | 0.84   | 0.85 | 0.80 | 0.85 | 0.75 | 0.74 | 0.74 | 0.80 | 0.66 | 0.93 | 0.79   |      |
| K1385 段右幅   | 0.78   | 0.73 | 0.71 | 0.77 | 0.77 | 0.71 | 0.79 | 0.69 | 0.70 | 0.69 | 0.73   |      |

由表 14 可知:超黏磨耗层具有较大的路表构造深度,随着使用年限的增长,构造深度会有所下降,但总体仍在要求范围内。

#### 5.4 路面平整度

检测实施超黏磨耗层路段的路面平整度,评价路面的行驶质量。采用 3 m 直尺,选取空溪 2 号桥(水泥混凝土桥面加铺)和 K1385 段右幅(沥青混凝土路面加铺)作为代表性路段,检测路面平整度,检测结果见表 15。

表 15 超黏磨耗层平整度测试结果 单位:mm

| 路段        | 各次测试结果 |   |   | 技术要求     |
|-----------|--------|---|---|----------|
|           | 1      | 2 | 3 |          |
| 空溪 2 号桥   | 3      | 3 | 2 | $\leq 3$ |
| K1385 段右幅 | 2      | 2 | 2 |          |

由表 15 可知:水泥混凝土桥面和沥青混凝土路面实施超黏磨耗层后,路面平整度均满足要求。

## 6 结论

本文对超黏磨耗层进行室内试验评价和现场应用效果检测,主要结论如下:

(1) 超黏磨耗层采用高黏复合改性乳化沥青作为关键材料,其技术性能满足规范要求,且蒸发残留物软化点、25℃弹性恢复、5℃延度、60℃动力黏度、黏结强度远高于规范要求及其他品牌乳化沥青,能很好地保证路面质量及耐久性。

(2) 超黏磨耗层混合料的抗反射裂缝疲劳寿命处于 4 cm 厚 A-70 沥青 AC-13C 型沥青混凝土和 I-D 级 SBS 改性沥青 GAC-13 混凝土之间,约为 4 cm 厚 A-70 沥青 AC-13C 混合料的 1.6 倍,具有较强的抗反射裂缝能力。

(3) 对已使用 3 年和刚实施超黏磨耗层路段的路用性能进行检测,发现超黏磨耗层经过 3 年的使用,部分路用指标存在一定程度衰减,但能达到规范要求。在重载交通路段,超黏磨耗层对路面的功能性修复效果能保持在 3 年及以上。

#### 参考文献:

- [1] 交通运输部公路科学研究院.公路沥青路面养护设计规范:JTG 5421—2018[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.
- [2] 薛晓飞,徐世法,李振,等.旧水泥路面白改黑决策机制及复合路面中长期养护规划研究[J].北京建筑工程学院学报,2012,28(2):12-18.
- [3] 薛忠军,王佳妮,谭忆秋.应力吸收防水粘结层的抗反射裂缝性能[J].华南理工大学学报(自然科学版),2008,6(10):81-85.
- [4] 交通部公路科学研究所.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.
- [5] 交通运输部公路科学研究院.公路沥青路面预防养护技术规范:JTG/T 5142-01—2021[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2021.

收稿日期:2024-01-22

\*\*\*\*\*  
(上接第 74 页)

- [14] 中国民航机场建设集团公司.民用机场水泥混凝土面层施工技术规范:MH 5006—2015[S].北京:中国民航出版社,2015.
- [15] 大连理工大学.纤维混凝土结构技术规程:CECS 38:2004[S].北京:中国计划出版社,2004.
- [16] 大连理工大学.纤维混凝土试验方法标准:CECS 13:2009[S].北京:中国计划出版社,2010.
- [17] 张楠.大直径空推法盾构隧道施工风险模糊综合评判[J].地下空间与工程学报,2022,18(增刊 1):364-369.
- [18] 任盼,费良军,冯继利,等.基于模糊层次分析法的节水型生态灌区综合评价[J].灌溉排水学报,2022,41(7):129-139.
- [19] 张翥,严恒,汪新光,等.基于改进模糊综合评判法的

- 断层封堵性综合评价[J].地球科学,2024,49(3):1144-1153.
- [20] 陈丽萍,夏玲,陈卫平.基于模糊综合分析法的桥承台上部结构施工对桥桩基的安全风险评价[J].公路与汽运,2022(3):170-174.
- [21] 郝鹏程,王金锁.基于模糊综合评判的岩体质量分级研究[J].建材技术与应用,2023(3):1-6.
- [22] 何文,刘冬,罗睿,等.基于 AHP-模糊综合评判的岩溶隧道施工风险性评价[J].湖南工业大学学报,2022,36(6):22-28.
- [23] 司守奎,孙兆亮.数学建模算法与应用[M].2 版.北京:国防工业出版社,2015.

收稿日期:2023-08-28