

DOI: 10.16799/j.cnki.csdqyfh.260288

高模量沥青混合料及高模量剂技术要求探讨

尹义林

(上海市市政公路工程检测有限公司, 上海市 201108)

**摘要:** 高模量剂常用于改善沥青混合料的模量、抗车辙和抗疲劳性能,不同标准关于抗高模量剂以及高模量沥青混合料的技术要求存在差异或矛盾。比较了不同标准的高模量剂的密度、熔体质量流动速率、灰分技术要求,也比较了不同标准的高模量沥青混合料的动态模量、动稳定度、疲劳寿命技术要求,同时对高模量剂的密度和灰分含量进行了试验。在标准修订时,对于高模量剂的密度应规定试验温度,灰分含量和熔体质量流动速率技术要求应作调整。高模量沥青混合料的动态模量技术要求应包含 20℃、10 Hz 的规定值,动稳定度技术要求应包含 60℃ 的规定值,疲劳寿命技术要求应包含 20℃、10 Hz 的规定值。这些规定值可作为沥青路面设计的设计参数。

**关键词:** 高模量沥青混合料;高模量剂;动态模量;动稳定度;疲劳寿命

中图分类号: U414                      文献标志码: A                      文章编号: 1009-7716(2026)09-0166-05

Discussion on Technical Requirements of High Modulus Asphalt Mixture and High Modulus Additive

YIN Yilin

(Shanghai Municipal Highway Engineering Testing Co., Ltd., Shanghai 201108, China)

**Abstract:** High modulus additive is commonly used to improve the modulus, anti-rutting and anti-fatigue performances of asphalt mixture. There are differences or contractions in the technical requirements for high modulus additives and high modulus asphalt mixture among different standards. The technical requirements for density, melt mass flow rate and ash content of high modulus additives of different standards are compared. The technical requirements for dynamic modulus, dynamic stability and fatigue life of high modulus asphalt mixtures of different standards are also compared. Meanwhile, tests are conducted on the density and ash content of the high modulus additives. When the standard is revised, the testing temperature for density of the high modulus additive should be specified, and the technical requirements for ash content and melt mass flow rate should be adjusted. The technical requirements of dynamic modulus for high modulus asphalt mixtures should include the specified values at 20℃ and 10 Hz, the technical requirements of dynamic stability should include the specified values at 60℃, and the technical requirements of fatigue life should include the specified values at 20℃ and 10 Hz. These specified values can be used as design parameters for the design of asphalt pavement.

**Keywords:** high modulus asphalt mixture; high modulus additive; dynamic modulus; dynamic stability; fatigue life

0 引言

高模量沥青混合料,是指通过提高沥青劲度或

添加改性剂等方法使沥青混合料抗变形能力得到提高的沥青混合料<sup>[1]</sup>。高模量抗疲劳沥青混合料,是指在试验温度为 45℃、加载频率为 10 Hz 条件下,动态模量不小于 4 000 MPa,试验温度为 15℃、加载频率为 10 Hz、应变水平为 230 με 条件下,四点弯曲疲劳寿命不小于 10<sup>6</sup> 次的沥青混合料<sup>[1]</sup>。不同标准关于掺高模量剂沥青混合料<sup>[2-3]</sup>、高模量沥青混合料<sup>[1,4-8]</sup>、高模量抗疲劳沥青混合料<sup>[1,9-10]</sup>或抗车辙抗疲劳高模量沥青混合料<sup>[11]</sup>的定义和技术要求不完全相同。为简单起见,统称为高模量沥青混合料。高模量沥青混合料目前主要通过采用低标号道路石油

收稿日期: 2026-03-19  
基金项目: 上海市国有资产监督管理委员会科研项目“面向区块链赋能全寿命智慧运维的超大城市路桥设施低影响智能检测技术装备开发、数智实验室和远程诊疗中心建设”(国资: 2024016);上海市交通委员会科研项目“S4 封闭空间重载高架道路功能型耐久面层材料与低温技术的研究”(JT2024-KY-026)  
作者简介: 尹义林(1982—),男,博士,高级工程师,从事道路工程试验检测及研究工作。

沥青<sup>[5-6,10]</sup>、硬质道路沥青<sup>[11]</sup>、改性沥青<sup>[8,10-11]</sup>、高模量剂改性沥青<sup>[10]</sup>、高模量改性沥青<sup>[7,11]</sup>、改性天然沥青<sup>[12]</sup>的湿法方式,或采用天然沥青改性剂<sup>[13]</sup>、直投式聚合物改性剂<sup>[4]</sup>作为高模量剂的干法方式生产。

直投式聚合物改性剂是沥青混合料用高模量剂的主要形式,以高分子聚合物为主要成分,经过一定的工艺制备成均匀颗粒状或粉状材料,采用干法方式,按一定质量比例直接投入到沥青混合料拌合楼拌缸中生产改性沥青混合料,主要是改善沥青混合料的模量、抗车辙<sup>[4]</sup>和抗疲劳性能<sup>[2-3,10]</sup>。目前关于高模量剂产品更新以及高模量沥青混合料性能的研究已较多,工程应用也越来越广泛<sup>[14-15]</sup>。为规范高模量剂及高模量沥青混合料的应用,相关行业标准、地方标准相继发布。标准和实际工程设计文件除对高模量沥青混合料作规定外,对高模量剂的试验检测项目及技术要求亦有规定,但关于不同标准的高模量剂及高模量沥青混合料技术要求的比较分析研究较少。限于篇幅,关于高模量剂,本文仅对不同标准的以聚合物为主要成分的高模量剂的技术要求进行比较,微粒化天然沥青类高模量剂<sup>[3]</sup>、复合岩沥青高模量沥青改性剂<sup>[13]</sup>等不在讨论范围内。

1 高模量剂试验检测项目及技术要求比较

1.1 高模量剂试验检测项目及技术要求

不同标准规定的高模量剂试验检测项目不完全相同,简述如下。

高模量剂外观要求主要包括:色泽均匀(无明显色差),颗粒状或粉状,均匀,无结块<sup>[3-4,8]</sup>,无异常刺激性气味<sup>[4]</sup>,颗粒直径为3~5 mm<sup>[7]</sup>。

《沥青混合料改性添加剂 第8部分:高模量剂》(JT/T 860.8—2023)规定的聚烯烃类高模量剂试验检测项目及技术要求见表1。

表1 聚烯烃类高模量剂技术要求(JT/T 860.8—2023)

| 序号 | 试验项目                                                       | 技术要求                  | 试验方法来源                                  |
|----|------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------|
| 1  | 单个颗粒质量/g                                                   | ≤0.03                 | JT/T 860.8—2023 <sup>[3]</sup>          |
| 2  | 密度/(g·cm <sup>-3</sup> )                                   | 实测                    | GB/T 1033.1—2008 <sup>[16]</sup>        |
| 3  | 熔体质量流动速率<br>(190℃、2.16 kg)/<br>[g·(10 min) <sup>-1</sup> ] | ≥1.5                  | GB/T 3682.1—2018 <sup>[17]</sup>        |
| 4  | 灰分含量(620℃)/%                                               | ≤30                   | JT/T 860.8—2023<br>(附录C) <sup>[3]</sup> |
| 5  | 收缩率/%                                                      | 纵向 ≤1.2               | GB/T 17037.4—                           |
| 6  |                                                            | 横向 ≤0                 | 2003 <sup>[18]</sup>                    |
| 7  | 维卡软化温度/℃                                                   | B <sub>50</sub> 法 ≥35 | GB/T 1633—2025 <sup>[19]</sup>          |

《塑料 热塑性塑料材料注塑试样的制备 第4部分:模塑收缩率的测定》(GB/T 17037.4—2003)规定了热塑性塑料材料试样在平行和垂直于熔体流动方向上的模塑收缩率和模塑后收缩率的测定方法。由表1可知,《沥青混合料改性添加剂 第8部分:高模量剂》(JT/T 860.8—2023)关于聚烯烃类高模量剂技术要求未明确采用何种收缩率。

《民用机场沥青道面施工技术规范》(MH/T 5011—2019)规定的高模量剂试验检测项目及技术要求见表2。

表2 高模量剂技术要求(MH/T 5011—2019)

| 序号 | 试验项目                                                       | 技术要求      | 试验方法                              |
|----|------------------------------------------------------------|-----------|-----------------------------------|
| 1  | 密度/(g·cm <sup>-3</sup> )                                   | 0.94~1.04 | GB/T 1033.1—2008 <sup>[16]</sup>  |
| 2  | 熔体质量流动速率<br>(190℃、2.16 kg)/<br>[g·(10 min) <sup>-1</sup> ] | 1.0~4.0   | GB/T 3682.1—2018 <sup>[17]</sup>  |
| 3  | 吸水率/%                                                      | <0.5      | GB/T 1034—2008 <sup>[20]</sup>    |
| 4  | 收缩率/%                                                      | <1.3      | GB/T 17037.4—2003 <sup>[18]</sup> |
| 5  | 热变形(180℃烘箱内<br>放置60 min)                                   | 软化        | 目测                                |

由表2可知,《民用机场沥青道面施工技术规范》(MH/T 5011—2019)关于高模量剂热变形试验缺乏详细的试验方法,对软化缺乏严格的定义,实际试验时难以评定。

《道路直投式聚合物改性高模量沥青混合料应用技术规程》(T/CECS G:D54-05—2021)规定的直投式聚合物改性剂试验检测项目及技术要求见表3。

表3 直投式聚合物改性剂技术要求(T/CECS G:D54-05—2021)

| 序号 | 试验项目                                                       | 技术要求                                 | 试验方法                                                                   |
|----|------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 单个颗粒质量/g                                                   | ≤0.03                                | JT/T 860.8—2023 <sup>[3]</sup>                                         |
| 2  | 密度/(g·cm <sup>-3</sup> )                                   | ≤1.0                                 | GB/T 1033.1—2008 <sup>[16]</sup>                                       |
| 3  | 熔体质量流动速率<br>(190℃、2.16 kg)/<br>[g·(10 min) <sup>-1</sup> ] | ≥2.0                                 | GB/T 3682.1—2018 <sup>[17]</sup>                                       |
| 4  | 灰分含量(620℃)/%                                               | ≤1.0                                 | JTG 3410—2025<br>(T 0614) <sup>[21]</sup>                              |
| 5  | 熔点/℃                                                       | ≤140                                 | GB/T 19466.3—2004 <sup>[22]</sup>                                      |
| 6  | 低温断裂伸长率<br>(-40℃)/<br>%                                    | 极端最低气温≤-10℃ ≥300<br>极端最低气温>-10℃ ≥150 | GB/T 1040.1—2025 <sup>[23]</sup> ,<br>GB/T 1040.2—2022 <sup>[24]</sup> |
| 7  | 热老化后低温断裂伸长率残留比/%                                           | 极端最低气温≤-10℃ ≥75<br>极端最低气温>-10℃ ≥85   | GB/T 7141—2008 <sup>[25]</sup>                                         |

《塑料热老化试验方法》(GB/T 7141—2008)规定了重力对流式热老化试验箱、强制通风式热老化试

验箱两种暴露方法,且该标准注明试验结果受热老化试验箱类型影响,两种方法的结果不应相互混淆。此外,该标准推荐了测定热老化性能时的温度和暴露时间。由表 3 可知,《道路直投式聚合物改性高模量沥青混合料应用技术规程》(T/CECS G:D54-05—2021)关于热老化试验条件的规定不明确,那么不同试验条件会影响试验结果的评定。

《高模量抗疲劳沥青混合料设计与施工技术规范》(DB14/T 2282—2021)规定的聚烯烃类高模量剂试验检测项目及技术要求见表 4。

表 4 聚烯烃类高模量剂技术要求 (DB14/T 2282—2021)

| 序号 | 试验项目                                                       | 技术要求  | 试验方法                                    |
|----|------------------------------------------------------------|-------|-----------------------------------------|
| 1  | 单个颗粒质量/g                                                   | ≤0.03 | DB14/T 2282—2021 (附录 A) <sup>[10]</sup> |
| 2  | 密度/(g·cm <sup>-3</sup> )                                   | 实测    | GB/T 1033.1—2008 <sup>[16]</sup>        |
| 3  | 熔体质量流动速率<br>(190℃、2.16 kg)/<br>[g·(10 min) <sup>-1</sup> ] | ≥1.5  | GB/T 3682.1—2018 <sup>[17]</sup>        |
| 4  | 灰分含量<br>(620℃)/%                                           | ≤5    | JTG 3410—2025 (T 0614) <sup>[21]</sup>  |

《高模量沥青混合料施工技术规范》(DB21/T 1754—2023)规定的高模量外掺剂试验检测项目及技术要求见表 5。

表 5 高模量外掺剂技术要求 (DB21/T 1754—2023)

| 序号 | 试验项目                                                       | 技术要求  | 试验方法                                   |
|----|------------------------------------------------------------|-------|----------------------------------------|
| 1  | 单个颗粒质量/g                                                   | ≤0.03 | 无具体方法                                  |
| 2  | 密度/(g·cm <sup>-3</sup> )                                   | ≤1.0  | GB/T 1033.1—2008 <sup>[16]</sup>       |
| 3  | 熔体质量流动速率<br>(190℃、2.16 kg)/<br>[g·(10 min) <sup>-1</sup> ] | ≥1.0  | GB/T 3682.1—2018 <sup>[17]</sup>       |
| 4  | 灰分含量(620℃)/%                                               | ≤5.0  | JTG 3410—2025 (T 0614) <sup>[21]</sup> |

《高模量沥青混合料路面施工技术规范》(DB23/T 2600—2020)规定的高模量外掺剂试验检测项目及技术要求见表 6。

表 6 高模量外掺剂技术要求 (DB23/T 2600—2020)

| 序号 | 试验项目                                                       | 技术要求  | 试验方法                             |
|----|------------------------------------------------------------|-------|----------------------------------|
| 1  | 单个颗粒质量/g                                                   | ≤0.03 | 无具体方法                            |
| 2  | 密度/(g·cm <sup>-3</sup> )                                   | ≤1.0  | GB/T 1033.1—2008 <sup>[16]</sup> |
| 3  | 熔体质量流动速率<br>(190℃、2.16 kg)/<br>[g·(10 min) <sup>-1</sup> ] | ≥1.0  | GB/T 3682.1—2018 <sup>[17]</sup> |

1.2 高模量剂技术要求比较分析

高模量剂的单个颗粒质量、密度、熔体质量流动速率、灰分含量试验项目的技术要求比较见表 7。

由表 7 可知,有的标准规定高模量剂密度不大于

表 7 高模量剂技术要求比较

| 标准                   | 单个颗粒质量/g | 密度/(g·cm <sup>-3</sup> ) | 熔体质量流动速率/[g·(10 min) <sup>-1</sup> ] | 灰分含量/% |
|----------------------|----------|--------------------------|--------------------------------------|--------|
| JT/T 860.8—2023      | ≤0.03    | 实测                       | ≥1.5                                 | ≤30    |
| MH/T 5011—2019       | 未规定      | 0.94~1.04                | 1.0~4.0                              | 未规定    |
| T/CECS G:D54-05—2021 | ≤0.03    | ≤1.0                     | ≥2.0                                 | ≤1.0   |
| DB14/T 2282—2021     | ≤0.03    | 实测                       | ≥1.5                                 | ≤5.0   |
| DB21/T 1754—2023     | ≤0.03    | ≤1.0                     | ≥1.0                                 | ≤5.0   |
| DB23/T 2600—2020     | ≤0.03    | ≤1.0                     | ≥1.0                                 | 未规定    |

1.0,有的标准规定可大于 1.0,存在矛盾。实际上,《塑料 非泡沫塑料密度的测定第 1 部分:浸渍法、液体比重瓶法和滴定法》(GB/T 1033.1—2008)规定了浸渍法、液体比重瓶法、滴定法 3 种测定非泡沫塑料密度的方法,上述标准均未规定采用何种具体方法。此外,《塑料 非泡沫塑料密度的测定 第 1 部分:浸渍法、液体比重瓶法和滴定法》(GB/T 1033.1—2008)规定了 23℃和 27℃两种试验温度条件,但上述标准均未明确采用何种试验温度。浸渍液在不同试验温度条件的密度不同,那么会导致被测试样密度试验结果不同,当某种高模量剂密度试验结果处于技术要求的临界范围时,试验温度可能会影响高模量剂密度是否符合要求的评定。

由表 7 可知,不同标准规定的高模量剂熔体质量流动速率不同。熔体质量流动速率(melt mass-flow rate, MFR),也常称为熔融指数<sup>[4]</sup>,是指在一定温度(如 190℃)和负荷(如 2.16 kg)条件下,熔融树脂在一定时间内通过规定长度和内径的口模(如标称长度为 8.000 mm、标称内径为 2.095 mm 的标准口模)的质量,结果换算为克每十分钟(g/10 min)<sup>[17]</sup>。熔体质量流动速率与改性剂的成分有关,实践表明,并非该值越大代表改性效果越好,因此熔体质量流动速率技术要求建议设定范围值。

由表 7 可知,不同标准规定的灰分含量不同,且《沥青混合料改性添加剂第 8 部分:高模量剂》(JT/T 860.8—2023)与其他标准的规定值存在较大差异,《道路直投式聚合物改性高模量沥青混合料应用技术规程》(T/CECS G:D54-05—2021)对灰分含量的要求最高。

1.3 高模量剂试验

对几种高模量剂的密度和灰分含量进行试验。密度试验按《塑料 非泡沫塑料密度的测定 第 1 部分:浸渍法、液体比重瓶法和滴定法》(GB/T 1033.1—

2008),采用方法 B 液体比重瓶法,浸渍液为蒸馏水,试验温度为 23 ℃;灰分含量试验分别按新规程《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG 3410—2025)的 620 ℃、旧规程《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)的 900 ℃进行试验,比较同种高模量剂在不同煅烧温度下的灰分含量试验结果。高模量剂密度和灰分含量试验结果见表 8。

表 8 高模量剂试验结果

| 样品编号 | 密度(23 ℃)/<br>(g·cm <sup>-3</sup> ) | 灰分含量/% |       |
|------|------------------------------------|--------|-------|
|      |                                    | 620 ℃  | 900 ℃ |
| 1    | 0.981                              | 5.35   | 4.94  |
| 2    | 1.032                              | 4.17   | 3.73  |
| 3    | 1.008                              | 3.20   | 2.55  |
| 4    | 0.978                              | 2.61   | 2.60  |
| 5    | 0.945                              | 2.06   | 1.90  |
| 6    | 0.972                              | 1.75   | 1.82  |
| 7    | 0.976                              | 1.48   | 0.76  |
| 8    | 0.968                              | 0.51   | 0.71  |

由表 8 可知,关于密度和灰分含量试验结果,某种高模量剂能符合表 7 中的某些标准的技术要求,但不一定符合其他标准的技术要求。

2025 年 10 月 1 日起实施的新规程《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG 3410—2025)已替代 2011 年 12 月 1 日起实施的旧规程《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011),其中新的 T 0614—2025 沥青灰分含量试验规定煅烧温度为 (620±30)℃,而不是旧的 T 0614—2011 沥青灰分含量试验规定的 (900±10)℃。高模量剂以聚合物为主要成分,也复合少量的无机材料。无机成分(如碳酸盐、硫酸盐)在 620 ℃和 900 ℃条件下,可能具有不同的分解情况,同时,高温下的氧化反应也会使灰分含量增加。因此,同种高模量剂,煅烧温度不同,灰分含量会不同。由表 8 可知,大部分高模量剂 900 ℃条件下的灰分含量小于 620 ℃条件下的灰分含量,其中,样品编号为 6 和 8 的高模量剂在 900 ℃条件下的灰分含量略大于 620 ℃条件下的灰分含量。

对于样品编号为 1 的高模量剂:按旧规程,900 ℃的灰分含量为 4.94%,符合表 7 所示的《高模量抗疲劳沥青混合料设计与施工技术规范》(DB14/T 2282—2021)、《高模量沥青混合料施工技术规范》(DB21/T 1754—2023)规定的不大于 5% 的要求;按新规程,620 ℃的灰分含量为 5.35%,不再符合要求。同样,对于样品编号为 7 的高模量剂:按旧规程,900 ℃的灰分含量为 0.76%,符合表 7 所示的《道路直

投式聚合物改性高模量沥青混合料应用技术规程》(T/CECS G:D54-05—2021)规定的不大于 1% 的要求;按新规程,620 ℃的灰分含量为 1.48%,不再符合要求。

此外,由表 8 可知,无论是 620 ℃或 900 ℃条件,大部分高模量剂灰分含量难以满足《道路直投式聚合物改性高模量沥青混合料应用技术规程》(T/CECS G:D54-05—2021)规定的不大于 1% 的要求。

因此,《道路直投式聚合物改性高模量沥青混合料应用技术规程》(T/CECS G:D54-05—2021)、《高模量抗疲劳沥青混合料设计与施工技术规范》(DB14/T 2282—2021)、《高模量沥青混合料施工技术规范》(DB21/T 1754—2023)等标准宜按新规程《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG 3410—2025)的变化,调整灰分含量技术要求。

2 高模量沥青混合料技术要求比较

不同标准规定的高模量沥青混合料试验检测项目不完全相同,其中的动态模量、动稳定度、疲劳寿命技术要求的比较见表 9。

由表 9 可知,不同标准规定的动态模量的温度条件和技术要求不完全相同,温度有 15 ℃、20 ℃、45 ℃。

《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG 3410—2025)的 T 0738—2011 沥青混合料动态模量试验(单轴压缩法)规定,动态模量的标准试验温度为 20 ℃,频率为 10 Hz 或 5 Hz。《公路沥青路面设计规范》(JTG D50—2017)<sup>[26]</sup>规定:动态模量的试验温度选用 20 ℃,面层沥青混合料加载频率采用 10 Hz,基层沥青混合料加载频率采用 5 Hz;沥青混合料层疲劳开裂验算中,规定的是 20 ℃的动态模量。高模量沥青混合料主要用于沥青面层,因此,标准对高模量沥青混合料的技术要求,应包含 20 ℃、10 Hz 标准条件的规定值,可用于沥青路面设计时的材料设计参数。

由表 9 可知,不同标准规定的动稳定度温度条件和技术要求不完全相同。除《复合岩沥青高模量沥青改性剂应用技术规范》(DB15/T 2886—2023)的 70 ℃车辙试验,试验轮接触压强采用的是 1.0 MPa,其余均采用《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG 3410—2025)的 T 0719—2025 沥青混合料车辙试验规定的标准荷载 0.7 MPa。

按《公路沥青路面设计规范》(JTG D50—2017)<sup>[26]</sup>,在沥青混合料层永久变形量验算中,需要沥青混合料在标准试验温度为 60 ℃、标准试验轮接触压强为 0.7 MPa、加载次数为 2 520 次时的车辙试

表 9 高模量沥青混合料技术要求比较

| 标准                       | 沥青混合料名称          | 动态模量/MPa                                | 动稳定度/(次·mm <sup>-1</sup> )                 | 疲劳寿命/次                              |
|--------------------------|------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|
| T/CECS G:<br>D54-05—2021 | 高模量沥青混合料         | ≥14 000(15℃、10 Hz)<br>≥4 000(45℃、10 Hz) | ≥3 000(70℃、0.7 MPa)                        | ≥10 <sup>6</sup> (15℃、10 Hz、230 με) |
| T/CHTS 10004—2018        | 高模量沥青混合料         | ≥15 000(20℃、10 Hz)<br>≥4 000(45℃、10 Hz) | ≥4 000(60℃、0.7 MPa)                        | ≥10 <sup>6</sup> (15℃、10 Hz、230 με) |
| DB13/T 2823—2018         | 高模量沥青混合料         | ≥14 000(15℃、10 Hz)                      | ≥4 000(60℃、0.7 MPa)                        | ≥10 <sup>6</sup> (10℃、25 Hz、130 με) |
| DB15/T 2886—2023         | 高模量沥青混合料(AC 级配)  | ≥14 000(15℃、10 Hz)<br>≥4 500(45℃、10 Hz) | ≥6 000(60℃、0.7 MPa)<br>≥2 500(70℃、1.0 MPa) | ≥10 <sup>6</sup> (15℃、10 Hz、230 με) |
|                          | 高模量沥青混合料(SMA 级配) | ≥14 000(15℃、10 Hz)<br>≥4 500(45℃、10 Hz) | ≥6 000(60℃、0.7 MPa)<br>≥3 000(70℃、1.0 MPa) |                                     |
|                          |                  |                                         |                                            |                                     |
| DB21/T 1754—2023         | 高模量沥青混合料         | ≥3 000(45℃、10 Hz)                       | ≥6 000(60℃、0.7 MPa)                        | 未规定                                 |
| DB23/T 2600—2020         | 高模量沥青混合料         | ≥4 000(45℃、10 Hz)                       | ≥4 000(60℃、0.7 MPa)                        | 未规定                                 |
| DB61/T 1332—2020         | 高模量沥青混合料(表面层)    | ≥13 000(20℃、10 Hz)                      | ≥5 000(60℃、0.7 MPa)                        | ≥10 <sup>6</sup> (15℃、10 Hz、230 με) |
|                          | 高模量沥青混合料(其他层)    | ≥15 000(20℃、10 Hz)                      |                                            |                                     |
| JT/T 860.8—2023          | 掺高模量剂沥青混合料       | ≥13 000(20℃、10 Hz)                      | ≥4 000(60℃、0.7 MPa)                        | ≥10 <sup>6</sup> (15℃、10 Hz、130 με) |
| MH/T 5011—2019           | 掺高模量剂沥青混合料       | ≥12 000(20℃、10 Hz)                      | 未规定                                        | 未规定                                 |
| GB/T 36143—2018          | 高模量抗疲劳沥青混合料      | ≥4 000(45℃、10 Hz)                       | ≥4 000(60℃、0.7 MPa)                        | ≥10 <sup>6</sup> (15℃、10 Hz、230 με) |
| GB/T 37383—2019          | 高模量抗疲劳沥青混合料      | ≥4 000(45℃、10 Hz)                       | 未规定                                        | ≥10 <sup>6</sup> (15℃、10 Hz、230 με) |
| DB14/T 2282—2021         | 高模量抗疲劳沥青混合料      | ≥13 000(20℃、10 Hz)                      | ≥4 500(60℃、0.7 MPa)                        | ≥10 <sup>6</sup> (15℃、10 Hz、230 με) |
| DB 37/T 3564—2019        | 抗车辙抗疲劳高模量沥青混合料   | ≥4 000(45℃、10 Hz)                       | ≥3 000(70℃、0.7 MPa)                        | ≥10 <sup>6</sup> (15℃、10 Hz、230 με) |

验永久变形量。因此,标准对高模量沥青混合料的技术要求,应包含 60℃、0.7 MPa 标准条件的规定值,供沥青路面设计时采用。

由表 9 可知,不同标准规定的疲劳试验的温度、加载频率、应变水平不完全相同:温度有 10℃、15℃,加载频率有 10 Hz、25 Hz,应变水平有 130 με、230 με。

疲劳寿命是指:在沥青混合料试件在一定温度和加载频率条件下的应变控制模式时,试件劲度模量降低到初始弯曲劲度模量 50% 对应的循环加载次数<sup>[1,9]</sup>;应力控制模式下,试件断裂对应的循环加载次数<sup>[1]</sup>。按《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG 3410—2025)的 T 0739—2025 沥青混合料疲劳试验(四点弯曲法),沥青混合料疲劳性能试验是采用四点弯曲法测定沥青混合料承受重复弯曲荷载的疲劳次数,或确定沥青混合料疲劳曲线,或确定 10<sup>6</sup> 次疲劳次数相应的失效应变。疲劳试验的标准试验温度是 20℃,频率为 10 Hz,采用恒应变控制的连续正弦加载模,应变水平为 130 με。

3 结 论

(1)不同标准的高模量剂密度、熔体质量流动速率、灰分技术要求存在差异或矛盾。标准中的密度试验应明确试验温度,熔体质量流动速率技术要求建议设定范围值。高模量剂在 620℃和 900℃两种

煅烧温度条件下的灰分含量不同,灰分含量技术要求应按《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG 3410—2025)规定的 620℃煅烧温度进行调整。

(2)不同标准的高模量沥青混合料的动态模量、动稳定度、疲劳寿命的试验条件和技术要求存在差异。高模量沥青混合料的技术要求应包含《公路沥青路面设计规范》(JTG D50—2017)和《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG 3410—2025)规定的标准试验条件的规定值,动态模量技术要求应包含 20℃、10 Hz 的规定值,动稳定度技术要求应包含 60℃的规定值,疲劳寿命技术要求应包含 20℃、10 Hz 的规定值。这些规定值可作为公路沥青路面设计的设计参数。

参考文献:

[1] GB/T 37383—2019 沥青混合料专业名词术语[S].  
[2] MH/T 5011—2019 民用机场沥青道面施工技术规范[S].  
[3] JT/T 860.8—2023 沥青混合料改性添加剂 第 8 部分:高模量剂[S].  
[4] T/CECS G:D54-05—2021 道路直投式聚合物改性高模量沥青混合料应用技术规程[S].  
[5] T/CHTS 10004—2018 公路高模量沥青路面施工技术指南[S].  
[6] DB13/T 2823—2018 公路高模量沥青路面施工技术指南[S].  
[7] DB21/T 1754—2023 高模量沥青混合料施工技术规范[S].  
[8] DB23/T 2600—2020 高模量沥青混合料路面施工技术规范[S].  
[9] GB/T 36143—2018 道路用高模量抗疲劳沥青混合料[S].  
[10] DB14/T 2282—2021 高模量抗疲劳沥青混合料设计与施工技术规范[S].  
[11] DB 37/T 3564—2019 抗车辙抗疲劳高模量沥青混合料设计与

(下转第 193 页)