

DOI: 10.16799/j.cnki.csdqyfh.240215

# 排水沥青混合料技术要求的探讨

申 贇

(上海隧道工程质量检测有限公司,上海市 201108)

**摘要:** 讨论了现行多部排水(或透水)沥青混合料标准中关于高黏度改性沥青的黏度(真空毛细管法)、高黏度改性剂灰分含量技术要求、纤维材料的使用规定存在矛盾等问题,并分析了配合比设计中沥青用量计算公式错误的原因,推导出了正确的沥青用量和沥青膜有效厚度计算公式。分析表明:真空毛细管法不适用于评价高黏度改性沥青的黏度;现行标准中的沥青膜厚度要求值应降低;高黏度改性剂的灰分含量不宜作为评定指标。

**关键词:** 排水沥青混合料;高黏度改性沥青;黏度;配合比设计;沥青膜厚度

中图分类号: U416.2

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)02-0303-05

## Discussion on Technical Requirements of Porous Asphalt Mixture

SHEN Yun

(Shanghai Tunnel Engineering Quality Inspection Co., Ltd., Shanghai 201108, China)

**Abstract:** The problems of viscosity (vacuum capillary method) of high-viscosity modified asphalt, technical requirements for ash content of high-viscosity modifiers and the use of fiber materials in the current standards of porous (or permeable) asphalt mixture are discussed. The reason of wrong calculation formula for asphalt content in mix ratio design is analyzed. The correct formula for calculating the amount of asphalt and the effective thickness of asphalt film is derived. The analysis shows that vacuum capillary method is not suitable for assessing the viscosity of high-viscosity modified asphalt. The required value of asphalt film thickness in current standards should be reduced. The ash content of high-viscosity modifier should not be used as an evaluation index.

**Keywords:** porous asphalt mixture; high-viscosity modified asphalt; viscosity; mix ratio design; asphalt film thickness

## 0 引言

为规范排水(或透水)沥青混合料的应用,相关标准相继发布<sup>[1-10]</sup>。不同标准对采用透水或排水术语未统一,为简便,本文统一采用排水。排水沥青混合料的沥青结合料一般采用高黏度改性沥青<sup>[1-7]</sup>,或者采用道路石油沥青直投式掺加高黏度改性剂(添加剂)<sup>[3-6,8]</sup>,粗集料一般采用玄武岩或辉绿岩<sup>[4,6-7]</sup>,有些标准规定排水沥青混合料使用纤维<sup>[2,4,6]</sup>,如木质素纤维、聚合物纤维或玄武岩纤维<sup>[9]</sup>。由于排水沥青混合料具有高空隙率、粗集料多、细集料少和填料少等特点,因此,为保证沥青和集料的黏结性能,对沥青结合料和配合比设计中的沥青膜厚度作了较高要求。

在过去几年中,作者参加了上海市及外省市一

些工程的排水沥青混合料的原材料试验、配合比设计和生产配合比验证工作,如2016年上海市环城西路(浦南运河桥—南亭公路)道路中修工程、2020年上海市崇明环岛景观道一期工程、2020年上海市浦星公路跨芦恒路节点改造新建工程、2023年上海市G320公路(松江金山区界—北松公路)改建工程。根据试验结果总结发现主要存在以下问题,一是标准对高黏度改性沥青的技术要求存在不合理之处,配合比设计中的沥青膜厚度的要求也有待商榷,这会导致结果评定时存在困难;二是标准对高黏度改性剂的技术要求存在影响改性剂使用的差异;三是标准对纤维材料的使用规定存在矛盾。

本文主要分析标准中高黏度改性沥青动力黏度和沥青膜厚度技术要求不合理的原因,高黏度改性技术要求,以及纤维材料的使用规定等方面存在的问题,以期与同行探讨,并提出建议,可供标准修编或工程设计文件技术要求制定时参考。

收稿日期: 2024-02-29

作者简介: 申贇(1985—),男,本科,工程师,从事道路工程材料和路面现场试验检测工作。

## 1 标准中技术要求存在的问题

### 1.1 高黏度改性沥青动力黏度

部分标准的高黏度改性沥青动力黏度(60℃)技术要求见表1。其中,《排水沥青路面设计与施工技术规范》(JTG/T 3350-03—2020)规定,极重、特重、重

载交通应适当提高动力黏度,宜为200 000 Pa·s以上;《排水降噪沥青路面应用技术规范》(DB43/T 2052—2021)规定,高黏度改性沥青动力黏度,轻交通情况下不小于50 000 Pa·s,中等交通情况下不小于20 000 Pa·s,重、特重交通情况下不小于40 000 Pa·s。

表1 高黏度改性沥青动力黏度(60℃)技术要求

单位:Pa·s

标准	《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)	《透水沥青路面技术规范》(CJJ/T 190—2012)	《排水沥青路面设计与施工技术规范》(JTG/T 3350-03—2020)	《公路养护工程排水沥青路面技术规范》(DB32/T 3821—2020)	《排水降噪沥青路面应用技术规范》(DB43/T 2052—2021)	《公路排水沥青路面设计与施工技术指南》(DB51/T 2601—2019)
技术要求	≥20 000	≥20 000	≥50 000	5×10 <sup>4</sup> ~1×10 <sup>6</sup>	≥50 000或200 000或400 000	≥50 000

由表1可知,动力黏度要求为2万~100万。动力黏度试验方法为:在真空度为40 kPa±66.5 Pa(300 mmHg±0.5 mmHg),试验温度为60℃条件下,沥青沿毛细管运动,通过运动时间和黏度管系数计算得到沥青动力黏度。不同型号的毛细管具有不同的毛细管直径,如道路石油沥青<sup>[1]</sup>通常采用型号为100的黏度管,毛细管公称半径为0.50 mm,管B段的公称系数为3.2 Pa·s/s;管径最粗的是型号为800R的黏度管,毛细管公称半径为4.0 mm,管B段的公称系数为200 Pa·s/s<sup>[10]</sup>。对于70号A道路石油沥青,1-3和1-4区的技术要求为不小于180 Pa·s<sup>[1]</sup>,为了得到有效试验结果,通常采用型号为100的黏度管。对于高黏度改性沥青,因其黏度大,通常采用最粗的,型号为800R的黏度管。

对多种高黏度改性沥青动力黏度试验结果表明,即便采用型号为800R的黏度管进行试验,沥青液面无法上升,不能获得有效运动时间,可知,动力黏度试验无法区分高黏度改性沥青动力黏度的差异,说明存在不适用性。而这些沥青在针入度、软化

点、延度、布氏旋转黏度、黏韧性及韧性等方面存在差异。《道路排水性沥青路面技术规范》(DG/TJ 08-2074—2016)中未规定动力黏度,而是采用零剪切黏度,即采用动态剪切流变仪(DSR),取沥青在剪切速率为10<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>对应的黏度作为零剪切黏度。

### 1.2 高黏度改性剂灰分含量

高黏度改性剂灰分含量参照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)中的T 0614沥青灰分含量试验方法执行,即在(900±10)℃的高温炉中煅烧,通过残留物计算灰分含量。部分标准的高黏度改性剂灰分技术要求见表2。可知,交通运输部产品标准《沥青混合料改性添加剂 第2部分:高粘度添加剂》(JT/T 860.2—2013)和施工技术标准《排水沥青路面设计与施工技术规范》(JTG/T 3350-03—2020)对灰分含量的要求不同。为改善改性剂的性能,通常会掺加一些无机材料进行改性,会导致高黏度改性剂灰分含量增大,因此,对于灰分含量可适当放宽。

表2 高黏度改性剂灰分含量技术要求

单位:%

标准	《沥青混合料改性添加剂 第2部分:高黏度添加剂》(JT/T 860.2—2013)	《排水沥青路面设计与施工技术规范》(JTG/T 3350-03—2020)	《公路养护工程排水沥青路面技术规范》(DB32/T 3821—2020)	《排水降噪沥青路面应用技术规范》(DB43/T 2052—2021)	《公路排水沥青路面设计与施工技术指南》(DB51/T 2601—2019)
技术要求	≤1.0	≤2.0	≤1.0	≤2.0	≤1.0

### 1.3 纤维材料的使用规定

对于排水沥青混合料,是否掺加纤维,掺何种纤维,诸多标准的规定存在差异或矛盾,简要分析如下:

(1)《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)中附录D的第D.2.1条规定“OGFC宜在使用石灰的同时掺用消石灰、纤维等添加剂”。

(2)《排水沥青路面设计与施工技术规范》(JTG/T 3350-03—2020)中第5.6.1条规定“重载交通情况下宜使用纤维作为增塑稳定剂材料,可采用聚合物纤维、玄武岩纤维等”,并规定了聚合物纤维和玄武岩纤维的技术要求,其中,聚合物纤维的断裂强度不小于500 MPa,断裂伸长率不小于15%,并未说明何种聚合物纤维,条文说明中提到常用的聚合物纤维

包括聚酯纤维和聚丙烯腈纤维。而《沥青路面用纤维》(JT/T 533—2020)分别规定了芳香族聚酰胺纤维、聚丙烯纤维、聚丙烯腈纤维、聚酯纤维这4种不同材料化学成分纤维的技术要求。如聚酯纤维的断裂强度不小于450 MPa,断裂伸长率不小于20%;聚丙烯腈纤维的断裂强度不小于800 MPa,断裂伸长率不小于8%,即不同材料化学成分纤维的技术要求不同。可知,交通运输部产品标准《沥青混合料改性添加剂 第2部分:高粘度添加剂》(JT/T 860.2—2013)和施工技术标准《排水沥青路面设计与施工技术规范》(JTG/T 3350-03—2020)对纤维的要求不同。《公路养护工程排水沥青路面技术规范》(DB32/T 3821—2020)对纤维的规定与《排水沥青路面设计与施工技术规范》(JTG/T 3350-03—2020)的基本相同。

(3)《透水沥青路面技术规范》(CJJ/T 190—2012)的第3.0.11条规定“透水沥青混合料掺加的纤维可采用木质素纤维、矿物纤维等”,未规定常用的聚合物纤维。

(4)《排水降噪沥青路面应用技术规范》(DB43/T 2052—2021)的7.6条规定“根据路面使用环境、荷载等条件,宜采用聚合物纤维或玄武岩纤维作为增塑稳定剂”,纤维的技术要求同《排水沥青路面设计与施工技术规范》(JTG/T 3350-03—2020)的要求。

(5)《公路排水沥青路面设计与施工技术指南》(DB51/T 2601—2019)中第7.6条规定“排水沥青混合料用纤维可采用聚合物化学纤维或玄武岩纤维等”。

(6)《道路排水性沥青路面技术规范》(DG/TJ 08-2074—2016)中第3.2.6条规定“排水沥青混合料不宜采用木质素纤维材料,可采用矿物纤维或聚酯纤维”条文说明中规定“除适用高黏度改性沥青外,

还可以添加适当的稳定剂,如纤维材料等,木质素纤维在生产过程中有吸油功能,沥青用量会增加,一定程度上降低空隙率,同时一些木质素纤维容易结团,不宜采用木质素纤维材料”。这里仅提到木质素纤维会使沥青用量增加,但是,其他纤维也会使沥青用量增加。作者采用煤油比较了多种聚合物纤维和木质素纤维的吸收率,结果表明,多种聚合物纤维的吸收率通常不小于5倍。因此,不宜使用木质素纤维不应认为是其吸油增加沥青用量的原因。

由以上标准的规定可知,是否掺纤维,有的采用的是“宜”,有的采用的是“可”,掺何种纤维存在矛盾,如在木质素纤维的使用规定中就存在矛盾,在《排水沥青路面设计与施工技术规范》(JTG/T 3350-03—2020)的第5.6.1条、《排水降噪沥青路面应用技术规范》(DB43/T 2052—2021)的7.6条、《公路排水沥青路面设计与施工技术指南》(DB51/T 2601—2019)中的第7.6条均未规定能否使用木质素纤维,仅列表规定了聚合物纤维和玄武岩纤维的技术要求,在《透水沥青路面技术规范》(CJJ/T 190—2012)中的第3.0.11条规定可采用木质素纤维,在《道路排水性沥青路面技术规范》(DG/TJ 08-2074—2016)中的第3.2.6条规定排水沥青混合料不宜采用木质素纤维材料。这种纤维是否能使用需试验数据和工程实际来确定。

## 2 配合比设计存在的问题

### 2.1 沥青膜厚度技术要求

《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)等标准规定,在配合比设计中,以沥青膜厚度和集料表面积预估沥青用量。标准对沥青油膜厚度作了规定,见表3。

表3 沥青膜厚度技术要求

单位:  $\mu\text{m}$

标准	《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)	《透水沥青路面技术规范》(CJJ/T 190—2012)	《排水沥青路面设计与施工技术规范》(JTG/T 3350-03—2020)	《公路养护工程排水沥青路面技术规范》(DB32/T 3821—2020)	《排水降噪沥青路面应用技术规范》(DB43/T 2052—2021)	《公路排水沥青路面设计与施工技术指南》(DB51/T 2601—2019)	《道路排水性沥青路面技术规范》(DG/TJ 08-2074—2016)
技术要求	14	14	12~14	14	12~14	13~14	13~14

### 2.2 沥青膜厚度计算公式存在的问题

《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)的附录D规定沥青用量计算公式为:

$$P_b = h \times A \quad (1)$$

式中: $A$ 为矿料总的比表面积,标准未说明 $A$ 的单位; $h$ 为沥青膜厚度, $\mu\text{m}$ 。

该标准的计算公式存在错误,集料比表面积的

单位是 $\text{m}^2/\text{kg}$ ,沥青膜厚度单位是 $\mu\text{m}$ ,相乘后单位是 $\text{m}^3/\text{kg}$ ,而沥青用量的单位是%或视为无单位,因此,单位不相符。按式(1)计算沥青用量会产生错误。而《排水沥青路面设计与施工技术规范》(JTG/T 3350-03—2020)与《排水降噪沥青路面应用技术规范》(DB43/T 2052—2021)直接采用了该公式。

对于该错误,《公路排水沥青路面设计与施工技

术指南》(DB51/T 2601—2019)、《道路排水性沥青路面技术规程》(DG/TJ 08-2074—2016)对式(1)进行了改进,引入了沥青相对密度 $\gamma_b$ ,即计算公式为:

$$P_b = h \times A \times \gamma_b \quad (2)$$

可知,由于相对密度 $\gamma_b$ 无单位,得出的单位为 $m^3/kg$ ,而非%,单位也不相符,该计算公式仍是错误的。

《公路养护工程排水沥青路面技术规范》(DB32/T 3821—2020)对式(1)作了改进,引入了沥青密度 $\rho_b$ ,即计算公式为:

$$P_b = h \times A \times \rho_b \quad (3)$$

式中: $\rho_b$ 为沥青密度, $g/cm^3$ 。

$\rho_b$ 与 $h$ 和 $A$ 相乘后,无单位,在单位上是符合的。但是,该计算公式未考虑沥青被吸收问题,即有效沥青才能用于沥青膜厚度的计算。

对于高黏度改性沥青,以25℃为例,其相对密度 $\gamma_b$ 在1.025~1.030之间,25℃水的密度 $\rho_w = 0.9971 g/cm^3$ <sup>[10]</sup>,而 $\rho_b = \gamma_b \times \rho_w$ ,相对密度和密度在数值上存在微小差异。可知,式(2)中引用沥青相对密度 $\gamma_b$ 以及式(3)中引用了沥青密度 $\rho_b$ 均得不到正确的沥青用量。

式(1)~式(3)的错误之处还有:未考虑沥青膜厚度计算的本质,沥青膜厚度是沥青混合料中含有的未被吸收沥青对矿料作用产生的,而不是对沥青混合料作用产生的,然而公式却是沥青对沥青混合料的作用。

### 2.3 正确的沥青用量计算方法

沥青混合料内有效沥青部分(即扣除被集料吸收的沥青以外的沥青)的体积占矿料部分以外的体积(矿料间隙率)(VMA)的体积分数,称为有效沥青饱和度(VFA)。因此,沥青膜厚度应按有效沥青进行计算,而不应按总的沥青含量进行计算。《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)中T 0705 压实沥青混合料密度试验(表干法)提出了根据有效沥青含量计算沥青膜厚度,有关公式分别为<sup>[10]</sup>:

$$P_{ba} = \frac{\gamma_{se} - \gamma_{sb}}{\gamma_{se} \times \gamma_{sb}} \times \gamma_b \times 100 \quad (4)$$

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} \times P_s \quad (5)$$

$$P_s = 100 - P_b \quad (6)$$

$$V_{be} = \frac{\gamma_f \times P_{be}}{\gamma_b} \quad (7)$$

$$S_A = \sum (P_i \times F_{A_i}) \quad (8)$$

$$D_A = \frac{P_{be}}{\rho_b \times P_s \times S_A} \times 1000 \quad (9)$$

式中: $\gamma_{sb}$ 为合成矿料毛体积相对密度; $\gamma_{se}$ 为合成矿料有效相对密度; $P_{ba}$ 为沥青混合料中被矿料吸收的沥青质量占矿料总质量的质量分数,%; $P_{be}$ 为沥青混合料中的有效沥青含量,%; $P_b$ 为沥青用量,%; $P_s$ 为矿料占沥青混合料的质量分数,%; $\gamma_f$ 为沥青混合料试件的毛体积相对密度; $V_{be}$ 为沥青混合料试件的有效沥青含量体积分数,%; $P_i$ 为矿料各筛孔通过的质量分数,%; $F_{A_i}$ 为各筛孔对应集料的表面积系数, $m^2/kg$ ; $S_A$ 为集料的比表面积, $m^2/kg$ ; $\rho_b$ 为沥青25℃时的密度, $g/cm^3$ ; $D_A$ 为沥青膜有效厚度, $\mu m$ 。但该标准中未提供根据预计沥青膜厚度和矿料的比表面积计算初始沥青用量的公式。由式(5)、式(6)和式(9)中沥青膜有效厚度( $D_A$ )推导出的沥青用量( $P_b$ )的计算公式为:

$$P_b = \left( \frac{S_A \times D_A \times \rho_b}{10} + P_{ba} \right) / \left( 1 + \frac{P_{ba}}{100} + \frac{S_A \times D_A \times \rho_b}{1000} \right) \quad (10)$$

由式(5)、式(6)和式(9)中沥青用量 $P_b$ 推导出的沥青膜有效厚度 $D_A$ 的计算公式为:

$$D_A = \frac{1000 \times (P_b - P_{ba}) + 10 \times P_b \times P_{ba}}{\rho_b \times (100 - P_b) \times S_A} \quad (11)$$

### 2.4 沥青用量计算示例

以玄武岩碎石,细石灰岩石屑,磨细石灰岩填料为矿料,以《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)中最常用的OGFC-13排水沥青混合料的典型级配为例,根据推导出的式(10),计算当沥青膜厚度在12、13、14 $\mu m$ 时的沥青用量。表4为矿料相对密度试验结果<sup>[11]</sup>;表5为矿料质量分数;表6为矿料合成相对密度计算结果,其中, $\gamma_{sa}$ 为合成矿料表观相对密度,矿料合成密度由表4和表5按《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)的T0705 压实沥青混合料密度试验(表干法)的规定计算得到;表7为合成矿料级配计算结果,限于篇幅,各规格矿料的颗粒级配结果不赘述;表8为由沥青膜有效厚度计算的沥青用量。另外,设定高黏度改性沥青相对密度(25℃) $\gamma_b = 1.027$ ,那么, $\rho_b = 1.024$ 。

表4 矿料相对密度试验结果

矿料	表观相对密度	毛体积相对密度
9.5~13.2 mm	2.987	2.947
4.75~9.5 mm	2.979	2.921
0~2.36 mm	2.733	2.658
填料	2.737	—

表5 矿料质量分数

矿料	9.5 ~ 13.2 mm	4.75 ~ 9.5 mm	0 ~ 2.36 mm	填料
质量分数/%	33	50	15	2

表6 矿料相对密度计算结果

$\gamma_{sa}$	$\gamma_{sb}$	$\gamma_{sc}$
2.937	2.887	2.926

实际上对于OGFC-13沥青混合料,其最佳沥青用量 $P_b$ 在4.2%~4.5%之间时,空隙率等其他试验结果能符合规范要求。若沥青用量 $P_b$ 为4.2%、4.3%、4.4%、4.5%时,根据式(11)可计算出沥青膜有效厚度分别为11.1、11.4、11.7、12.0  $\mu\text{m}$ 。由表8可知,按

表8 根据沥青膜有效厚度计算的沥青用量

筛孔尺寸/mm	$F_{Ai}/(\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1})$	$P_i/\%$	$F_{Ai} \times P_i(\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1})$	$S_A/(\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1})$	$\rho_b/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	$D_A/\mu\text{m}$	$P_{ba}/\%$	$P_b/\%$
19	0.004 1	100	0.041					
4.75	0.004 1	22.4	0.091 8			120		4.50
2.36	0.008 2	15.7	0.128 7					
1.18	0.016 4	11.5	0.188 6					
0.6	0.028 7	8.3	0.238 2	3.445	1.024	13.0	0.474	4.82
0.3	0.061 4	5.8	0.356 1					
0.15	0.122 9	4.8	0.589 9					
0.075	0.327 7	4.4	1.441 9			14.0		5.13

### 3 结论

通过上述讨论,得出以下结论。

(1)动力黏度试验(真空减压毛细管法)不适用于评价高黏度改性沥青的黏度,不建议动力黏度(60℃)作为高黏度改性沥青的评定指标。

(2)高黏度改性剂灰分含量可作为实测指标,不宜作为评定指标。

(3)多部标准中的排水沥青混合料的纤维材料的使用规定存在矛盾,木质素纤维是否能使用仍需工程实践验证。

(4)多部标准中的由沥青膜厚度计算沥青用量的公式存在错误。本文考虑有效沥青,由沥青配合比设计中的基本计算公式推导出了沥青含量和沥青膜有效厚度计算公式。

表7 合成矿料级配计算结果

筛孔尺寸/ mm	通过下列筛孔(mm)的质量分数/%		
	合成级配	级配上限	级配下限
16	100	100	100
13.2	96.9	100	90
9.5	69.8	80	60
4.75	22.4	30	12
2.36	15.7	22	10
1.18	11.5	18	6
0.6	8.3	15	4
0.3	5.8	12	3
0.15	4.8	8	3
0.075	4.4	6	2

上述标准中规定的12~14  $\mu\text{m}$ 沥青膜厚度确定的沥青用量结果明显偏大,与实际生产不符。

(5)多部标准中的以12~14  $\mu\text{m}$ 沥青膜厚度确定的沥青用量结果明显偏大,与实际生产不符,建议降低沥青膜有效厚度值。

#### 参考文献:

[1] JTG F40—2004,公路沥青路面施工技术规范[S].  
 [2] CJJ/T 190—2012,透水沥青路面技术规程[S].  
 [3] JTG/T 3350-03—2020,排水沥青路面设计与施工技术规程[S].  
 [4] DB32/T 3821—2020,公路养护工程排水沥青路面技术规范[S].  
 [5] DB43/T 2052—2021,排水降噪沥青路面应用技术规范[S].  
 [6] DB51/T 2601—2019,公路排水沥青路面设计与施工技术指南[S].  
 [7] DG/TJ 08-2074—2016,道路排水性沥青路面技术规程[S].  
 [8] JT/T 860.2—2013,沥青混合料改性添加剂 第2部分:高粘度添加剂[S].  
 [9] JT/T 533—2020,沥青路面用纤维[S].  
 [10] JTG E20—2011,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].  
 [11] JTG E42—2005,公路工程集料试验规程[S].