DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.250738

搅拌时间对速溶高黏沥青及混合料的性能影响

吕健涵,杨申朋,车　林,杨传栋
(山东金曰交通发展集团有限公司,山东 济南 250101)

摘　要: 为扩展速溶高黏沥青的制备场景,采用了不同搅拌时间的纯搅拌工艺生产速溶高黏沥青。分析了速溶高黏沥青软化点、延度、动力黏度、表观黏度等技术指标,以及相应SMA-8混合料高温稳定性、低温抗裂性、水稳定性、抗飞散特性随搅拌时间的变化规律。结果表明:随着搅拌时间从2.5 h提升至4.0 h,速溶高黏沥青各性能指标提升约10%;以2.5 h纯搅拌工艺即可获得与"剪切+搅拌"工艺效果相当的速溶高黏沥青混合料;优选的搅拌工艺为180 ℃时搅拌2.5 h,该工艺下室内样品、工厂化成品均与传统"剪切+搅拌"工艺成品的技术指标接近。

关键词: 速溶高黏沥青;纯搅拌工艺;搅拌时间;SMA-8;路用性能
中图分类号: TE626.8;U414;TU997　　**文献标志码:** A　　**文章编号:** 1009-7716(2026)01-0121-04

Influence of Stirring Time on Performances of Instant High-Viscosity Asphalt and Mixture

LYU Jianhan, YANG Shenpeng, CHE Lin, YANG Chuandong
(Shandong Jinyue Transportation Development Group Co., Ltd., Jinan 250101, China)

Abstract: To expand the preparation scenarios of instant high-viscosity asphalt, a pure stirring process with varying stirring time is used to produce the instant high-viscosity asphalt. The key technical indicators of softening point, ductility, dynamic viscosity and apparent viscosity of the instant high-viscosity asphalt are analyzed, including the variation laws of the high-temperature stability, low-temperature crack resistance, water stability and anti-scattering characteristics of the corresponding SMA-8 mixture with the stirring time. The results show that as the stirring time increases from 2.5 h to 4.0 h, various performance indicators of the instant high-viscosity asphalt improves by approximately 10%. A pure stirring process of 2.5 h is sufficient to produce an instant high-viscosity asphalt mixture with performance comparable to that of the "shearing + stirring" process. The optimal stirring process is determined to be 2.5 h at 180 °C. The technical indicators of the laboratory samples and factory finished products under this process are close to those of the finished products from the traditional "shearing + stirring" process.

Keywords: instant high-viscosity asphalt; pure stirring process; stirring time; SMA-8; pavement performance

0　引　言

高黏沥青具有高温稳定性、低温延展性及水稳定性优势,近年来在排水沥青路面、桥面铺装、重载交通路段的工程应用日益广泛[1-4]。然而,传统高黏改性剂因分子量大或组分复杂等缺点,以其生产高黏沥青往往需多次过磨剪切,导致生产耗时过长,不利于工期紧迫工程项目沥青供应和规模化生产[5-7]。

与传统高黏改性剂相比,速溶高黏改性剂可显著提升改性沥青的生产质量和生产效率,采用"剪切+搅拌"的工艺制备时,一次过磨即可完成制备,其生产耗时与常见的SBS改性沥青相同或更短[8-9]。然而,"剪切+搅拌"工艺中的剪切环节需要使用胶体磨,故以该工艺制备速溶高黏沥青仅能在配有胶体磨的改性沥青厂实现。国内沥青混合料拌和站的沥青储罐中仅配有搅拌装置,不具备对改性剂进行剪切的条件。然而,速溶高黏改性剂具有快速溶解优势[10],若设计合理的纯搅拌工艺实现速溶高黏沥青的制备,则以沥青混合料拌和站的沥青储罐生产速溶高黏沥青成为可能,有利于扩展速溶高黏沥青的生产场景。

本文设计了不同搅拌时间的速溶高黏沥青纯搅拌工艺,并以"剪切+搅拌"工艺作为对照组,制备了速溶高黏沥青和相应的沥青混合料,通过室内试验测试并分析了制备工艺对速溶高黏沥青及其混合料

收稿日期:2025-07-22
作者简介:吕健涵(1992—),男,硕士,高级工程师,从事道路工程研究工作。

路用性能的影响，优选了纯搅拌制备工艺，并通过工厂化生产成品速溶高黏沥青的技术性能测试验证了以纯搅拌工艺制备速溶高黏沥青的可行性。

1　原材料

1.1　速溶改性剂

采用前期研发的速溶改性剂[10]作为制备速溶高黏沥青的改性剂。该改性剂由乙烯-甲基丙烯酸共聚物、聚酮、PTW树脂、低密度聚丙烯及助剂经接枝反应获得，其中乙烯-甲基丙烯酸共聚物、聚酮和PTW树脂的作用为提高沥青的高温稳定性、低温抗裂性和水稳定性，低密度聚丙烯链段具有低熔点特征，可实现速溶高黏沥青的制备。

1.2　基质沥青

采用齐鲁70#道路石油沥青作为制备速溶高黏沥青的基质沥青，其基本性能指标见表1。

表1　沥青的技术性能测试结果

项目	结果
针入度/(0.01 mm)	63
软化点/℃	44
10 ℃延度/cm	45
60 ℃动力黏度/(Pa·s)	251
TFOT质量变化/%	-0.66
TFOT针入度比/%	69
TFOT残留延度/cm	7.8

1.3　矿质混合料

文献[11]建议了SMA-8混合料的级配范围，本文采用玄武岩质粗、细集料及石灰岩质矿粉，依据文献[11]合成了表2的SMA-8型矿质混合料级配。据此利用不同工艺制备的速溶高黏沥青作为胶结料制备SMA-8沥青混合料，进而开展路用性能测试，以评价制备工艺对速溶高黏沥青使用效果的影响。粗、细集料及矿粉的物理指标见表3。

表2　矿质混合料的合成级配

筛孔尺寸/mm	9.5	8	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通过百分率/%	100	97.1	41.3	26.4	21.9	18.5	15.9	13.8	10.5

表3　矿质混合料原材料的物理指标

规格	表观相对密度	毛体积相对密度	吸水率/%
粗集料8~9.5 mm	2.892	2.849	0.39
粗集料6~8 mm	2.918	2.824	0.66
细集料0~3 mm	2.864	2.761	1.42
矿粉	2.671	—	—

2　速溶高黏沥青制备工艺设计与评价

设计下述纯搅拌工艺参数组合进行速溶高黏沥青制备：搅拌温度取为180 ℃；搅拌速率为500~600 rpm之间，以产生明显但不过大的漩涡为准，搅拌时间分别取为2.5、3、4 h。同时，采用180℃“剪切40 min+搅拌40 min”的工艺制备速溶高黏沥青样品作为对照组，剪切速率为3 000 rpm，搅拌速率与纯搅拌工艺相同。速溶改性剂的掺量统一取为9%(质量百分比)。

软化点和动力黏度可反映沥青的高温性能，延度和135 ℃表观黏度可分别反映沥青的低温性能和施工和易性，是高黏沥青路用性能的重要评价指标[12-13]。对不同速溶高黏沥青样品测试其上述技术指标，结果见图1至图4。

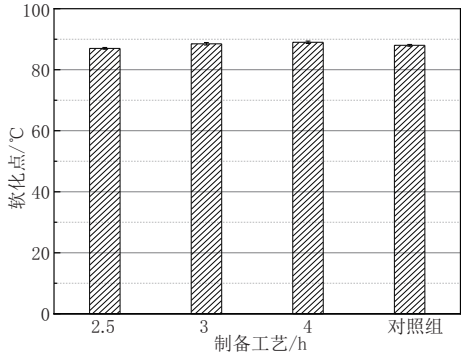

图1　搅拌时间对软化点的影响

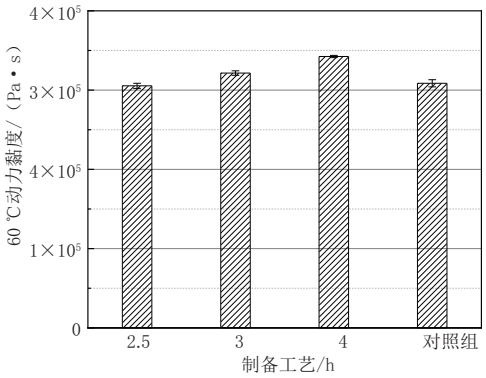

图2　搅拌时间对动力黏度的影响

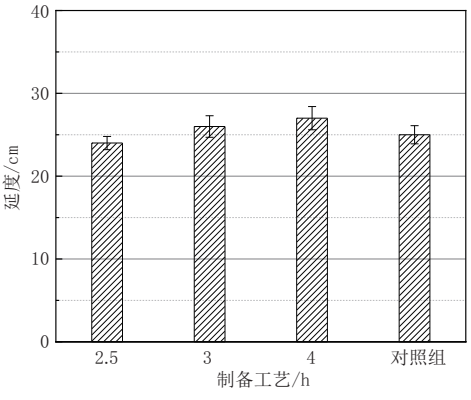

图3　搅拌时间对延度黏度的影响

可以看出，纯搅拌工艺下，随着搅拌时间的增加，速溶高黏沥青的软化点、动力黏度及延度指标增

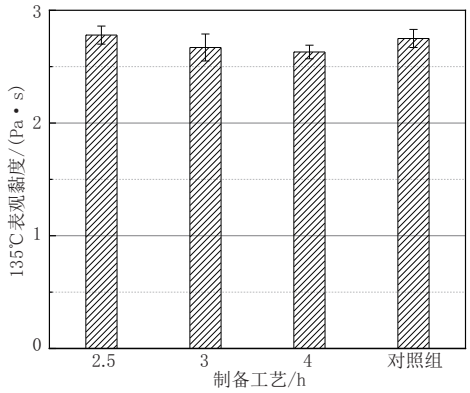

图4　搅拌时间对表观黏度的影响

加，而 135 ℃表观黏度降低，表明搅拌时间增加对于提升沥青的高低温性能及施工和易性有利；虽然增加搅拌时间有助于改性剂的充分分散及与沥青发生交联反应，但对技术性能的提升程度并不显著，4 h 搅拌时间的技术指标较 2.5 h 仅提升约 10%，这表明接枝低密度聚丙烯后，改性剂的熔点降低，搅拌 2.5 h 后即可较好地混融于沥青中，这对提升改性沥青的制备效率有利；3 个搅拌时间下的技术指标变异系数均未超过 5%，表明了改性剂与基质沥青稳定的混融效果；与对照组相比，搅拌时间 2.5 h 获得的速溶高黏沥青，其技术指标即与对照组极为接近。因此，以纯搅拌工艺制备速溶高黏沥青具有可行性，搅拌时间为 2.5 h 即可获得较好的使用效果。

3　制备工艺对沥青混合料性能的影响

以不同制备工艺的速溶高黏沥青为结合料制备 SMA-8 型速溶高黏沥青混合料。矿质混合料级配按表 2 选取，沥青用量统一取为 6.5%，并添加 0.3% 的木质素纤维作为填充料。混合料的制备温度为 185 ~ 190 ℃，成型温度为 170~175 ℃。利用马歇尔法测定混合料的体积参数，4 种混合料的空隙率介于 4.3%~4.5% 之间，矿料间隙率 VMA 介于 17.3%~17.6% 之间，沥青饱和度 VFA 介于 76%~78% 之间，均处于较为合适的范围。

依据 JTG E20[14]，对不同的 SMA-8 速溶高黏沥青混合料进行车辙试验、弯曲试验、冻融劈裂试验、浸水飞散试验，以动稳定度、破坏应变、冻融劈裂强度比和飞散损失指标表征沥青混合料的高温稳定性、低温抗裂性、水稳定性及抗飞散特性[15]，据此评价速溶高黏沥青的制备工艺对混合料性能的影响。表 4 给出了以不同工艺制备的速溶高黏沥青为结合料时，沥青混合料各项路用性能指标的测试结果。

由表 4 中的测试结果可知，速溶高黏沥青的制备工艺对沥青混合料路用性能的影响规律与对沥青性能的影响相同，即随着搅拌时间的延长，沥青混合料的高、低温性能和水稳定性提高，但提升幅度并不显著；以 2.5 h 纯搅拌工艺即可获得与“剪切+搅拌”工艺效果相当的速溶高黏沥青混合料。

表4　制备工艺对速溶高黏沥青混合料路用性能的影响

项目	搅拌 2.5 h	搅拌 3 h	搅拌 4 h	对照组	要求[15]
动稳定度/（次·mm^{-1}）	9 896	10 124	10 862	10 185	≥3 000
破坏应变 με	4 230	4 456	4 782	4 526	≥2 500
冻融劈裂强度比/%	98.4	98.6	99.2	98.1	≥80.0
飞散损失/%	0.9	1.2	1.1	1.3	≤15

结合上述制备工艺对速溶高黏沥青及混合料路用性能的影响分析，建议拌和站采用的速溶高黏沥青制备工艺为 180 ℃温度下共混搅拌时间不少于 2.5 h。

4　工厂化生产验证

在某沥青生产基地，分别采用 180 ℃温度、搅拌时间 2.5 h 的纯搅拌工艺和“剪切 40 min+搅拌 40 min”的常规生产工艺进行了速溶高黏沥青的对比生产验证。两种工艺均采用齐鲁 70#道路石油沥青作为基质沥青，速溶改性剂的掺量均取为 9%，每种工艺各生产 3 t 成品速溶高黏沥青，并对成品进行部分性能指标测试。表 5 给出了以两种工艺工厂化生产的成品速溶高黏沥青与室内制备样品的对比结果。可以看出，三者的技术性能极为接近，表明以纯搅拌工艺工厂化生产速溶高黏沥青具有技术可行性。

表5　工厂化生产的速溶高黏沥青测试结果

试验参数	搅拌 2.5 h（室内制备）	纯搅拌成品	“剪切+搅拌”成品
针入度/(0.01 mm)	38	38	37
软化点/℃	87	88	89
5 ℃延度/cm	24	23	25
60 ℃动力黏度/(Pa·s)	305 400	312 600	308 600
135 ℃表观黏度/(Pa·s)	2.78	2.86	2.75

5　结　论

（1）纯搅拌工艺下，搅拌时间 2.5 h 获得的速溶高黏沥青及其混合料，技术指标与“剪切+搅拌”工艺制备的速溶高黏沥青及混合料接近。

（2）搅拌时间超过 2.5 h 后，速溶高黏沥青和相应高黏沥青混合料的技术性能均有所提升，但增幅

并未超过10%，原因在于接枝低密度聚丙烯后的改性剂熔点降低，搅拌2.5 h即可达到较好的混融效果。

（3）速溶高黏沥青建议的纯搅拌制备工艺为：混合温度180 ℃、搅拌速率500~600 rpm/h、搅拌时间2.5 h，该工艺下工厂化生产成品、室内制备样品及与以传统“剪切+搅拌”工艺成品的技术指标均极接近，具有简化生产工艺、提升生产效率优势。

参考文献：

[1] Geng L, Xu Q, Ren R, *et al*. Performance research of high-viscosity asphalt mixture as deck-paving materials for steel bridges[J]. Road Materials and Pavement Design, 2016, 18(1): 208-220.

[2] Zhang F, Hu C, Zhang Y. The effect of PPA on performances and structures of high-viscosity modified asphalt[J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2018, 134(3): 1729-1738.

[3] 贾利强，刘俊斌，李平. 高黏改性沥青的开发与性能评价[J]. 中外公路，2020，40(4)：218-224.

[4] Wang S, Hang W, Lv Q, *et al*. Influence of different high viscosity modifiers on the aging behaviors of SBSMA[J].Construction and Building Materials, 2020, 253: 119214.

[5] 张锐，黄晓明，侯曙光. 新型沥青添加剂TPS的性能[J]. 交通运输工程学报，2006(4)：36-40.

[6] 杨林江. 新型高黏度改性沥青的研发和应用[J]. 中国工程科学，2008，10(12)：92-96.

[7] 朱曼. 高黏度改性沥青性能评价方法与应用研究[D]. 广州：华南理工大学，2015.

[8] 徐慧明. 速溶高黏沥青及混合料性能研究[D]. 济南：山东建筑大学，2020.

[9] 陈志颖，耿立涛，宋淑琴，等. 化学反应型高黏沥青的制备与性能评价[J]. 石油沥青，2024，38(1)：41-47.

[10] 宋昊，耿立涛，宋淑琴，等. 高黏沥青的制备及其混合料路用性能研究[J]. 石油沥青，2024，38(1)：1-8.

[11] 王彤，杨志勇，耿立涛.SMA-8高黏沥青混合料设计与性能评价[J]. 石油沥青，2022，36(2)：34-39.

[12] 丛卓红，吴喜荣，郑南翔，等. 高黏度改性剂对沥青性能的影响[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版)，2011，30(4)：759-762.

[13] 李梦怡. 高黏改性剂对沥青流变性能的影响[J]. 公路交通科技，2018，35(4)：14-20.

[14] JTG E20—2011，公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].

[15] JTG F40—2004，公路沥青路面施工技术规范[S].

（上接第116页）

[14] 冷挺，唐朝生，徐丹，等. 膨胀土工程地质特性研究进展[J]. 工程地质学报，2018，26(1)：112-128.

[15] 王佩，宋新江，徐海波，等. 水泥改性膨胀土基本特性试验[J]. 水利水电科技进展，2021，41(3)：56-60.

[16] 汤明高. 基于非饱和土力学的地质灾害灾变机制探讨[J]. 灾害学，2011，26(1)：1-4.

[17] 贾东亮，丁述理，杜海金，等. 膨胀土工程性质的研究现状与展望[J]. 河北建筑科技学院学报，2003(1)：33-39.

[18] 刘剑，关钰荣，王会昊，等. 水土化学力学效应研究现状与展望[J]. 科学技术与工程，2023，23(10)：4019-4032.

[19] 丁国权，陈凯. 激光粒度仪在特殊土颗粒分析试验中的应用[J]. 长江科学院院报，2024，41(9)：123-129.

[20] 李斌，鞠远江，宋博，等. 膨胀土裂隙对渠坡渗透性及工程效应影响研究[J]. 中国地质灾害与防治学报，2024，35(6)：137-144.