



T/CECS G XXXX: 2023

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

公路工程聚氨酯前驱体改性沥青路面技术规程

Highway Engineering Technical Specification for Construction of
Polyurethane Precursor Modified Asphalt Pavement

征求意见稿

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

中国工程建设标准化协会标准

公路工程聚氨酯前驱体改性沥青路面技术 规程

Highway Engineering Technical Specification for Construction of
Polyurethane Precursor Modified Asphalt Pavement

主编单位：哈尔滨工业大学

批准部门：中国工程建设标准化协会

实施日期：2023 年 XX 月 XX 日

人民交通出版社股份有限公司

前 言

根据中国工程建设标准化协会公路分会下达的《关于开展 2022 年第一批中国工程建设标准化协会标准（CECS G）制修订项目编制工作的通知》（中建标公路[2022]91 号）的要求，由哈尔滨工业大学承担《公路工程聚氨酯前驱体改性沥青路面技术规程》（以下简称“本规程”）的编制工作。

编制组在总结现有聚氨酯前驱体改性沥青研究成果、近 5 年工程应用数据和当地使用材料等信息的基础上，充分借鉴国内外相关标准，并广泛征集行业内外的意见和建议，完成本规程的编写工作。

本规程分为 6 个章节，分别为：1 总则，2 术语和符号，3 材料要求，4 混合料配合比设计，5 施工，6 施工质量管理及检查验收，及附录 A 聚氨酯前驱体改性沥青实验室制备工艺。

本规程基于通用工程建设理论及原则，编制本规程应用条件。对于某些特定应用条件，使用本规程相关条文时，应对适用性及有效性进行验证。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理，由哈尔滨工业大学负责具体技术内容的解释，在执行过程中如有意见或建议，请函告本规程日常管理组，中国工程建设标准化协会公路分会（地址：北京市海淀区西土城路 8 号；邮编：100088；电话：010-62079839；传真：010-62079983；电子邮箱：shc@rioh.cn），或王大为（地址：黑龙江省哈尔滨市南岗区黄河路 73 号；邮编：150090；电子邮箱：dawei.wang@hit.edu.cn），以便修订时研用。

主 编 单 位：哈尔滨工业大学

参 编 单 位：巴斯夫聚氨酯特种产品（中国）有限公司

武汉理工大学

长安大学

云南省交通规划设计研究院有限公司

山东省交通科学研究院

中铁十六局集团路桥工程有限公司

黑龙江省公路工程监理咨询有限公司

内蒙古自治区交通运输科学发展研究院

吉林省交通规划设计院

北京市政路桥建材集团有限公司

福建省交通科研院有限公司

香港理工大学

重庆鑫路捷科技有限公司

黑龙江省公路建设中心

重庆交通大学

山西省交通科技研发有限公司

主 编：王大为

主要参编人员：樊泽鹏、谭忆秋、梁栋、李添帅、解晓光、邢超、洪斌、肖月、王朝辉、陈亮亮、韦金城、余开森、张亮、张洪伟、张洋、王真、杨龙清、陆国阳、栗国钢、陈铁军、王学营、张正超、张平、曹雪娟、张莹莹、王家主、周新星、卢志超、杨炎生、马子嶸

主 审：徐世法

参与审查人员：徐剑、陈景、薛忠军、魏建明、李明亮、李峰、艾长发

目 录

1 总 则	1
2 术语和符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	2
3 材料要求	3
3.1 聚氨酯前驱体反应型改性剂	3
3.2 基质沥青	3
3.3 聚氨酯前驱体改性沥青	3
3.4 集料、填料及纤维	4
4 混合料配合比设计	4
4.1 一般规定	5
4.2 性能要求	5
4.3 配合比设计	7
5 施工	8
5.1 一般规定	8
5.2 聚氨酯前驱体反应型改性剂的存放	8
5.3 聚氨酯前驱体改性沥青的生产	8
5.4 混合料拌制	9
5.5 路面施工	9
5.6 开放交通及其他	10
6 施工质量管理及检查验收	10
6.1 一般规定	10
6.2 施工质量管理及检查	11
附录 A 聚氨酯前驱体改性沥青实验室制备工艺	12

A.1 范围	12
A.2 仪器设备	12
A.3 方法和步骤	12

征求意见稿

1 总 则

1.0.1 为规范聚氨酯前驱体改性沥青路面技术的应用，提高应用技术水平，保证工程质量，制定本规程。

1.0.2 本规程规定了聚氨酯前驱体改性沥青路面技术相关的术语与符号、材料要求、混合料配合比设计、施工、施工质量管理及检查验收等要求，适用于各等级公路、城市道路的新建、改扩建和养护工程的沥青路面。

1.0.3 聚氨酯前驱体改性沥青混合料在拌合、施工的过程中应遵守国家环境、生态的保护规定，采取必要的安全措施。

1.0.4 聚氨酯前驱体改性沥青混合料技术的应用除应符合本规程的规定外，还应符合国家安全生产与施工的相关规定、国家环境保护和生态保护的相关规定以及国家和行业现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 聚氨酯前驱体 Polyurethane precursor

聚氨酯前驱体是用于聚氨酯合成的一类专用化学品的统称，包括异氰酸酯、聚氨酯预聚体以及二者之间的混合物，可呈现多种成分组成形式。

2.1.2 聚氨酯前驱体反应型改性剂 Polyurethane precursor-based reactive modifier

以聚氨酯前驱体为主要成分，加入催化剂、树脂等外掺助剂，调制而成的用于对石油沥青进行化学改性的反应型改性剂。

2.1.3 聚氨酯前驱体改性沥青 Polyurethane precursor modified asphalt

通过将聚氨酯前驱体反应型改性剂按一定质量比例掺入沥青基体之中，并经过化学反应制备而成的沥青结合料。沥青基体可以为基质石油沥青或 SBS 改性沥青。

2.2 符号

- AC——密级配沥青混凝土混合料；
- SMA——沥青玛蹄脂碎石混合料；
- OGFC——大孔隙开级配排水式沥青磨耗层；
- SBS——苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物。

3 材料要求

3.1 聚氨酯前驱体反应型改性剂

3.1.1 聚氨酯前驱体反应型改性剂应具备明确的出场编号和质检报告，其技术性能的测定依照现行国家标准规定的方法执行，并应符合表 3.1-1 的要求。

表 3-1 聚氨酯前驱体反应型改性剂技术要求

指 标	单位	技术要求	试验方法
外观	—	液体	目测
密度	g/cm ³	1.0~1.4	GB/T 4472
异氰酸根含量	%	2.0~45.0	GB/T 12009.4
25℃ 动力粘度	mPa s	10~3000	GB/T 12009.3

3.2 基质沥青

3.2.1 制备聚氨酯前驱体改性沥青时，基质沥青宜选用 70 号或 90 号道路石油沥青，其技术指标应符合现行《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40）的规定。

条文说明：

聚氨酯前驱体反应型改性剂可与 SBS 改性剂一起使用，制备聚氨酯前驱体/SBS 复合改性沥青。

3.3 聚氨酯前驱体改性沥青

3.3.1 制备聚氨酯前驱体改性沥青时，聚氨酯前驱体反应型改性剂的掺量宜为 1~4%。聚氨酯前驱体反应型改性剂掺量应考虑工程项目所在地的交通、气候、材料及设计使用要求等，并通过沥青及沥青混合料路用性能试验确定。

条文说明：

当制备聚氨酯前驱体/SBS 复合改性沥青时，聚氨酯前驱体反应型改性剂的掺量宜为 1~3%，SBS 改性剂的掺量宜为 1~3%，具体掺量还应充分考虑工程项目所在地的交通、气候、材料及设计使用要求等，并通过沥青及沥青混合料路用性能试验确定。

3.3.2 聚氨酯前驱体改性沥青技术性能的测定依照现行《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》（JTG E20）和美国材料与试验协会（ASTM）规定的方法执行，

并应符合表 3.3-1 的要求。

表 3.3-1 聚氨酯前驱体改性沥青技术要求

指 标	单位	技术要求	试验方法
针入度 25°C, 100g, 5s	0.1mm	30~80	JTG E20 T0604
软化点 $T_{R\&B}$ 不小于	°C	55	JTG E20 T0606
运动黏度 ^[1] 135°C 不大于	Pa·s	3	JTG E20 T0625
闪点 不小于	°C	230	JTG E20 T0611
溶解度 不小于	%	99	JTG E20 T0607
离析 ^[2] , 48h 软化点差 不大于	°C	1.5	JTG E20 T 0661
车辙因子 $G^*/\sin\delta$, 58°C 不小于	kPa	12	ASTM D7175
蠕变劲度 S , -12°C 不大于	MPa	250	ASTM D6648
蠕变速率 m , -12°C 不小于	—	0.3	ASTM D6648
TFOT (或 RTFOT) 后残留物			
质量变化 不大于	%	1.0	JTG E20 T0610 或 JTG E20 T0610
针入度比 25°C 不小于	%	65	JTG E20 T 0604

注:

[1]表中135°C运动黏度可采用《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20)中的“沥青旋转黏度实验(布洛克菲尔德黏度计法)”进行测定。若在不改变改性沥青物理力学性质并符合安全条件的温度下易于泵送和拌和,或经证明适当提高泵送和拌和温度时能保证改性沥青的质量,容易施工,可不要求测定。

[2]贮存稳定性指标适用于工厂生产的成品改性沥青。现场制作的改性沥青对贮存稳定性指标可不作要求,但必须在制作后,保持不间断的搅拌或泵送循环,保证使用前没有明显的离析。

3.4 集料、填料及纤维

3.4.1 粗集料、细集料、填料、纤维等的技术要求应符合现行《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40)的规定。

4 混合料配合比设计

4.1 一般规定

4.1.1 聚氨酯前驱体改性沥青混合料的矿料级配应符合工程规定的设计级配范围，并符合现行《公路沥青路面施工技术规范》（JTGF40）的规定。

4.1.2 聚氨酯前驱体改性沥青混合料的配合比设计宜采用马歇尔试验配合比设计方法，并依照现行《公路沥青路面施工技术规范》（JTGF40）的规定执行。如采用其他方法设计沥青混合料时，应按马歇尔配合比设计方法进行验证，并报告不同设计方法各自的试验结果。

4.2 性能要求

4.2.1 聚氨酯前驱体改性沥青混合料马歇尔试验技术要求依照现行《公路沥青路面施工技术规范》（JTGF40）的规定执行，并保证具有良好的施工性能。

4.2.2 对于高速公路和一级公路的公称最大粒径等于或小于 19mm 的 AC、SMA 及 OGFC 混合料，需在配合比设计的基础上依照现行《公路沥青路面施工技术规范》（JTGF40）的规定进行使用性能检验。不符合要求的混合料，必须更换材料或重新进行配合比设计。二级公路参照该要求执行。

4.2.3 必须在规定的试验条件下进行车辙试验，聚氨酯前驱体改性沥青混合料的动稳定度应满足表 4.2-1 的要求。混合料性能不符合要求时，应分析原因，根据情况进行调整或重新进行配合比设计。

表 4.2-1 聚氨酯前驱体改性沥青混合料车辙试验动稳定度技术要求

混合料类型		动稳定度技术要求 (次/mm)	试验 方法
AC 混合料	聚氨酯前驱体改性基质沥青 不小于	5000	JTG E20 T 0719
	聚氨酯前驱体/SBS 复合改性沥青 不小于	7000	
SMA 混合料	聚氨酯前驱体改性基质沥青 不小于	7000	
	聚氨酯前驱体/SBS 复合改性沥青 不小于	10000	
OGFC 混合料 不小于		3000（一般交通路段）、 5000（重交通量路段）	

注：

①对采用石灰岩等不很坚硬的石料，改性沥青混合料的动稳定度难以达到要求等特殊情况，可酌情降低要求；

②为满足炎热地区及重载车要求，在配合比设计时采取减少最佳沥青用量的技术措施时，可适当提高试验

温度或增加试验荷载进行试验，同时增加试件的碾压成型密度和施工压实度要求；

③车辙试验不得采用二次加热的混合料，试验必须检验其密度是否符合试验规程的要求；

④如需要对公称最大粒径等于和大于26.5mm 的混合料进行车辙试验，可适当增加试件的厚度，但不宜作为评定合格与否的依据。

4.2.4 必须在规定的试验条件下进行浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验，聚氨酯前驱体改性沥青混合料的水稳定性应满足表 4.2-2 的要求。混合料性能不符合要求时，应分析原因，根据情况进行调整或重新进行配合比设计。

表 4.2-2 聚氨酯前驱体改性沥青混合料水稳定性检验技术要求

混合料类型	指 标	水稳定性技术要求 (%)	试验方法
聚氨酯前驱体改性基质沥青	浸水马歇尔试验残留稳定度 不小于	95	JTG E20 T 0709
	冻融劈裂试验残留强度比 不小于	90	JTG E20 T 0729
聚氨酯前驱体/SBS复合改性沥青	浸水马歇尔试验残留稳定度 不小于	90	JTG E20 T 0709
	冻融劈裂试验残留强度比 不小于	85	JTG E20 T 0729

4.2.5 宜对密级配沥青混合料在温度 -10℃、加载速率 50mm/min 的条件下进行弯曲试验，测定破坏强度、破坏应变、破坏劲度模量，并根据应力应变曲线的形状，综合评价沥青混合料的低温抗裂性能。其中沥青混合料的破坏应变宜不小于表 4.2-3 的要求。混合料性能不符合要求时，应分析原因，根据情况进行调整或重新进行配合比设计。

表 4.2-3 聚氨酯前驱体改性沥青混合料低温弯曲试验破坏应变 (με) 技术要求

气候条件与技术指标	相应于下列气候分区所要求的破坏应变 (με)								试验方法
年极端最低气温 (°C) 及气候分区	<-37.0		-21.5~-37.0			-9.0~-21.5		>-9.0	
	1. 冬严寒区		2. 冬寒区			3. 冬冷区		4. 冬温区	
	1-1	2-1	1-2	2-2	3-2	1-3	2-3	1-4 2-4	
破坏应变 不小于	3000		2800			2500			JTG E20 T 0715

4.2.6 宜利用轮碾机成型的车辙试验试件，脱模架起进行渗水试验，并符合表 4.2-4 的要求。混合料性能不符合要求时，应分析原因，根据情况进行调整或重新进行配合比设计。

表 4.2-4 聚氨酯前驱体改性沥青混合料试件渗水系数 (ml/min) 技术要求

级配类型	渗水系数要求 (ml/min)	试验方法
AC 混合料 不大于	120	JTG E20 T 0730
SMA 混合料 不大于	80	
OGFC 混合料 不小于	实测	

4.3 配合比设计

4.3.1 聚氨酯前驱体改性沥青混合料的配合比设计方法依照现行《公路沥青路面施工技术规范》(JTGF40)的规定执行,应经过目标配合比设计、生产配合比设计、生产配合比验证、确定施工级配允许波动范围四个阶段完成。

4.3.1.1 目标配合比设计阶段。用工程实际使用的材料按《公路沥青路面施工技术规范》(JTGF40)所规定的方法,优选矿料级配、确定最佳沥青用量,符合配合比设计技术标准和配合比设计检验要求,以此作为目标配合比,供拌和机确定各冷料仓的供料比例、进料速度及试拌使用。

4.3.1.2 生产配合比设计阶段。对间歇式拌和机,应按规定方法取样测试各热料仓的材料级配,确定各热料仓的配合比,供拌和机控制室使用。同时选择适宜的筛孔尺寸和安装角度,尽量使各热料仓的供料大体平衡。并取目标配合比设计的最佳沥青用量 OAC、 $OAC \pm 0.3\%$ 等 3 个沥青用量进行马歇尔试验和试拌,通过室内试验及从拌和机取样试验综合确定生产配合比的最佳沥青用量,由此确定的最佳沥青用量与目标配合比设计的结果的差值不宜大于 $\pm 0.2\%$ 。对连续式拌和机可省略生产配合比设计步骤。

4.3.1.3 确定施工级配允许波动范围。根据标准配合比及《公路沥青路面施工技术规范》(JTGF40)质量管理要求中各筛孔的允许波动范围,制订施工用的级配控制范围,用以检查沥青混合料的生产质量。

4.3.1.4 经设计确定的标准配合比在施工过程中不得随意变更。但生产过程中应加强跟踪检测,严格控制进场材料的质量,如遇材料发生变化并经检测沥青混合料的矿料级配、马歇尔技术指标不符合要求时,应及时调整配合比,使沥青混合料的质量符合要求并保持相对稳定,必要时重新进行配合比设计。

5 施工

5.1 一般规定

5.1.1 聚氨酯前驱体改性沥青适用于各等级新建和改建公路的沥青路面工程。

5.1.2 聚氨酯前驱体改性沥青路面施工应满足本规程的有关要求，其他应符合现行《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40）的规定。

5.1.3 聚氨酯前驱体改性沥青路面施工前准备工作，包括做好所有机械设备的检修、调试和精度校准工作，定期进行检查、保养、维修。人工、材料、机械准备工作全部完成后，应清扫路面，准备施工等。

5.2 聚氨酯前驱体反应型改性剂的存放

5.2.1 聚氨酯前驱体反应型改性剂应在阴凉、干燥、通风良好的环境中存储，存储温度范围 10~50℃，远离火种、热源，并采取有效的防淋、防潮措施以及消防措施。

5.3 聚氨酯前驱体改性沥青的生产

5.3.1 用于聚氨酯前驱体改性沥青生产的沥青基体总体积不宜超过沥青搅拌罐的 90%。

5.3.2 在进行聚氨酯前驱体改性沥青的生产时，首先将沥青基体于沥青搅拌罐内加热并恒温至目标加工温度。将搅拌装置搅拌速率调节至 300r/min 以下，并将聚氨酯前驱体反应型改性剂加入至沥青基体之中。待改性剂全部加入至沥青搅拌罐且沥青液面稳定后，逐步提升转速至 300r/min 以上，并及时观察拌合情况。

条文说明：

改性沥青宜在固定式工厂或在现场设厂集中制作，也可在拌和厂现场边制造边使用，改性沥青的加工温度不宜超过 160℃。

对于聚氨酯前驱体/SBS 复合改性沥青，可先制备 SBS 改性沥青，再以 SBS 改性沥青为基体制备聚氨酯前驱体/SBS 复合改性沥青。

5.3.3 聚氨酯前驱体改性沥青的搅拌时间应不宜小于 3h，如现场实际条件不能满足搅拌速率、温度和通气等要求，可在生产过程中每间隔 1h 进行一次取样并对其技术性能进行测试，直至现场取样测试结果达到实验室水平，或现场取样与实

实验室样品差值的绝对值达到表 5.3-1 所示条件，即可终止搅拌。用于聚氨酯前驱体改性沥青现场制备终止搅拌条件判定的指标应包括但不限于针入度（25℃, 100g, 5s）和软化点。

表 5.3-1 聚氨酯前驱体改性沥青现场制备终止搅拌判定条件

现场取样与实验室样品差值的绝对值	单位	技术要求	试验方法
针入度 25℃, 100g, 5s 不大于	0.1 mm	5	JTG E20 T0604
软化点 $T_{R\&B}$ 不大于	℃	3	JTG E20 T0606

条文说明：

聚氨酯前驱体改性沥青试样的实验室制备方法参照本规程附录 A 执行。

5.4 混合料拌制

5.4.1 聚氨酯前驱体改性沥青混合料的拌制依照现行《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40）的规定执行。

5.5 路面施工

5.5.1 聚氨酯前驱体改性沥青路面的施工依照现行《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40）的规定执行。

5.5.2 聚氨酯前驱体改性基质沥青混合料的正常施工温度范围应参照表 5.5-1 进行选择。聚氨酯前驱体改性基质沥青 SMA 混合料的施工温度应视纤维品种和数量、矿粉用量的不同，在改性沥青混合料正常施工温度范围的基础上作适当提高。

表 5.5-1 聚氨酯前驱体改性基质沥青混合料的正常施工温度范围（℃）

工 序	施工温度
聚氨酯前驱体改性沥青加热温度	150~170
集料加热温度	170~200
混合料出料温度	155~175
混合料废弃温度	195
摊铺温度 不低于	150
初压温度 不低于	140
碾压终了表面温度 不低于	80

5.5.3 聚氨酯前驱体/SBS 复合改性沥青混合料的正常施工温度范围应参照表 5.5-2 进行选择。聚氨酯前驱体/SBS 复合改性沥青 SMA 混合料的施工温度应视纤维品种和数量、矿粉用量的不同，在改性沥青混合料正常施工温度范围的基础上作适当提高。

表 5.5-2 聚氨酯前驱体/SBS 复合改性沥青混合料的正常施工温度范围（℃）

工 序	施工温度
聚氨酯前驱体改性沥青加热温度	160~175
集料加热温度	185~220
混合料出料温度	165~185
混合料废弃温度	195
摊铺温度 不低于	160
初压温度 不低于	150
碾压终了表面温度 不低于	90

5.5.4 聚氨酯前驱体改性沥青混合料应随拌随用，若因生产或其他原因需要短时间贮存时，贮存时间不宜超过 48h，或降至常温储存。

5.5.5 生产聚氨酯前驱体改性沥青混合料前后应及时对储油罐和输油管道进行清理。

5.6 开放交通及其他

5.6.1 聚氨酯前驱体改性沥青不可通过洒水冷却降低混合料温度，以达到提早开放交通的目的。

5.6.2 聚氨酯前驱体改性沥青混合料的开放交通条件应满足本规程的有关要求，其他应符合现行《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40）的规定。

6 施工质量管理及检查验收

6.1 一般规定

6.1.1 聚氨酯前驱体改性沥青及混合料的技术性能应依照现行《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》（JTG E20）规定的方法进行检测，其技术指标应符合本规程的规定。

6.2 施工质量管理及检查

6.2.1 施工过程中集料、填料、沥青、混合料及路面的质量管理与检查应依照现行《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40)的规定执行。

征求意见稿

附录 A 聚氨酯前驱体改性沥青实验室制备工艺

A.1 范围

A.1.1 本附录规定了聚氨酯前驱体改性沥青的实验室制备工艺。

A.2 仪器设备

A.2.1 电子天平：感量 0.01g。

A.2.2 鼓风干燥箱：带有自动控温装置，温度调节范围 25~300℃。

A.2.3 高速剪切乳化机：工作容积 1L 以上（以水为介质计算），剪切速率调节范围 0~5000r/min，允许物料加热范围 20~300℃。

A.2.4 其他：称量器皿、金属搅拌容器、加热装置、控温装置。

A.3 方法和步骤

A.3.1 称取特定质量的沥青基体于金属搅拌容器内，采用加热装置对其加热，并控制沥青基体恒温至目标加工温度。制备聚氨酯前驱体改性基质沥青时，加工温度宜为 145~155℃；制备聚氨酯前驱体/SBS 复合改性沥青时，加工温度宜为 165~175℃。

条文说明：

对于聚氨酯前驱体/SBS 复合改性沥青，可先制备 SBS 改性沥青，再以 SBS 改性沥青为基体制备聚氨酯前驱体/SBS 复合改性沥青。

A.3.2 调节高速剪切乳化机剪切速率至 300r/min 以下，称取特定质量的聚氨酯前驱体反应型改性剂，于 20min 内加入至沥青基体中，并对沥青基体-聚氨酯前驱体反应型改性剂共混物持续进行剪切搅拌。

条文说明：

聚氨酯前驱体改性沥青的制备应视改性剂的不同，选用最适搅拌装置，包括但不限于高速剪切乳化机。

A.3.3 待沥青基体-聚氨酯前驱体反应型改性剂共混物液面稳定后，调节高速剪切乳化机剪切速率至 300r/min 以上，剪切搅拌特定时间，即可获得聚氨酯前驱体改性沥青。