

山东省工程建设标准

城镇道路添加剂型抗车辙沥青混合料技术标准

DB37/T 5232—2022

前 言

本标准是根据山东省住房和城乡建设厅、山东省市场监督管理局《2021 年山东省工程建设标准制修订计划》（鲁建标字〔2021〕19 号）要求，由济南城建集团有限公司会同其他单位在《城镇道路高模量沥青混合料设计与施工技术规范》DBJ 14-090—2012 的基础上修订而成。

本标准共分6章，主要技术内容有：1. 总则；2. 术语和缩略语；3. 原材料；4. 配合比设计；5. 施工；6. 质量检验。

本次修订的主要技术内容是：

1. 进一步明确了标准适用地区及添加剂型抗车辙沥青混合料的功能；
2. 将原材料中沥青胶结料、集料和填料的技术要求调整为引用现行行业标准《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40 的规定；
3. 完善了添加剂型抗车辙沥青混合料的技术要求，调整了配合比设计检验技术要求中车辙试验动稳定的试验条件及技术要求；
4. 完善了施工部分内容编排，进一步细化了施工温度等要求。

本标准由山东省住房和城乡建设厅负责管理，由济南城建集团有限公司负责具体技术内容的解释。为了提高本标准的质量，请各单位在执行过程中，注意总结经验、积累资料，随时将意见和建议反馈给济南城建集团有限公司《城镇道路添加剂型抗车辙沥青混合料技术标准》编制管理组（地址：济南市天桥区汽车厂东路 29 号，邮编：250031，电话：0531-85829903，传真：0531-85829950，邮箱：1760533566@qq.com），以供今后修订时参考。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人员和主要审查人员：

主编单位： 济南城建集团有限公司

山东建筑大学

参编单位： 济南市市政工程设计研究院（集团）有限公司

济南市交通工程质量与安全中心

山东汇通建设集团有限公司

山东汇达新型建筑材料有限公司

济南城建动能转换开发建设集团有限公司

济南市市政工程建设集团有限公司

主要起草人员：	刘相华	任瑞波	张建	户桂灵	许庚
	王立志	杨勇	耿立涛	冯化新	徐强
	刘世鹏	王鹏	宋红丽	王德庆	丁颖珊
	杜连平	王新民	左石波	刘晓荣	孙悦
	郭静	张兴	魏玉峰	闫吉祥	陈万里
	许记锋	袁大庆	奚运成	王明涛	朱智勇
	高艳飞	李晓雨	衣忠华	张同雷	潘合斌
	王建光	于钦鹏	李晓东	李敏哲	袁文龙
	杜谦	吕晨	柴继燕	史瑞超	钟永军
主要审查人员：	王林	姚占勇	丁尚辉	毕玉峰	刘贵翔
	张爱勤	张建民	高国华	辛公锋	

目 次

1 总则.....	1
2 术语和缩略语.....	2
2.1 术语.....	2
2.2 缩略语.....	2
3 原材料.....	3
4 配合比设计.....	4
4.1 一般规定.....	4
4.2 设计要求.....	4
4.3 配合比设计.....	5
5 施工.....	6
5.1 施工准备.....	6
5.2 施工温度.....	6
5.3 拌和.....	6
5.4 运输.....	7
5.5 摊铺.....	7
5.6 压实及成型.....	8
5.7 开放交通.....	8
6 质量检验.....	9
附录 A 配合比设计方法.....	12
A.1 配合比设计流程.....	12
A.2 马歇尔试验.....	12

A.3 最佳沥青用量.....	13
附录 B 车辙试验方法.....	17
B.1 一般规定.....	17
B.2 试验机主要技术要求.....	17
B.3 试验方法与步骤.....	17
B.4 计算与报告.....	17
本标准用词说明.....	19
引用标准名录.....	20
附：条文说明.....	21

Contents

1	General Provisions.....	1
2	Terms and Abbreviations.....	2
2.1	Terms.....	2
2.2	Abbreviations.....	2
3	Material.....	3
4	Mixture Design.....	4
4.1	General Requirements.....	4
4.2	Standard of Mixture Design.....	4
4.3	Mixture Design.....	5
5	Construction.....	6
5.1	Construction Preparation.....	6
5.2	Construction Temperature.....	6
5.3	Blending.....	6
5.4	Transportation.....	7
5.5	Paving.....	7
5.6	Compaction and Shaping.....	8
5.7	Open to Traffic.....	8
6	Test of Quality.....	9
	Appendix A Method of Mixture Design.....	12
A.1	Procedures of Mixture Design.....	12
A.2	Marshal Experiment.....	12

A.3 Optimum Asphalt Content.....	13
Appendix B Rutting Test.....	17
B.1 General Requirements.....	17
B.2 Main Technical Requirements.....	17
B.3 Method and Procedures.....	17
B.4 Calculation and Report.....	17
Explanation of Wording in This Specification.....	19
List of Quoted Standards.....	20
Addition: Explanation of Provisions.....	21

1 总 则

1.0.1 为规范城镇道路添加剂型抗车辙沥青混合料的设计、施工及质量检验,做到经济合理、技术先进、保证质量,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于各等级城镇道路添加剂型抗车辙沥青混合料的设计、施工及质量检验。

1.0.3 公交港湾、道路交叉路口区域沥青面层宜使用添加剂型抗车辙沥青混合料。

1.0.4 添加剂型抗车辙沥青混合料路面验收应符合现行行业标准《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 的规定。

1.0.5 城镇道路添加剂型抗车辙沥青混合料设计、施工及质量检验,除应符合本标准外,尚应符合国家和山东省现行有关标准的规定。

2 术语和缩略语

2.1 术 语

2.1.1 抗车辙添加剂 anti-rutting additive

为提高沥青混合料抗车辙能力而添加的高分子化合物外掺剂。

2.1.2 添加剂型抗车辙沥青混合料 anti-rutting asphalt mixture using additives

通过干法加入抗车辙添加剂提高沥青混合料抗车辙能力的一种混合材料。

2.1.3 熔体质量流动速率 melt mass-flow rate

在规定温度($190^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$)和标称负荷(2.16kg)试验条件下,抗车辙添加剂在10min内通过标准毛细管的质量,以g/10min计。

2.2 缩 略 语

MS——马歇尔试验稳定度指标, marshall stability 之略语。

FL——马歇尔试验流值指标, flow value 之略语。

VV——压实沥青混合料的空隙率,即矿料及沥青以外的空隙(不包括矿料自身内部的孔隙)的体积占试件总体积的百分率, volume of air voids 之略语。

VMA——压实沥青混合料的矿料间隙率,即试件全部矿料部分以外的体积占试件总体积的百分率, voids in mineral aggregate 之略语。

VFA——压实沥青混合料的沥青饱和度,即试件矿料间隙中扣除被集料吸收的沥青以外的有效沥青胶结料部分的体积在VMA中所占的百分率, voids filled with asphalt 之略语。

OAC——沥青混合料的最佳沥青用量, optimum asphalt content 之略语。

3 原 材 料

3.0.1 添加剂型抗车辙沥青混合料所用的沥青胶结料、集料和填料应符合现行行业标准《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40 的规定。

3.0.2 抗车辙添加剂技术要求和试验方法应符合表 3.0.2 的规定。

表 3.0.2 抗车辙添加剂技术要求和试验方法

项 目	单位	技术要求	试验方法
密 度	kg/m ³	800~1100	GB/T 1033.1
熔点	℃	≤140	GB/T 28724
熔体质量流动速率 (190℃, 2.16kg)	g/10min	≥1.5	GB/T 3682.1
吸水率	%	≤0.5	GB/T 1034

注：1 表中密度指标试验方法按现行国家标准《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 执行；

2 表中熔点试验方法按现行国家标准《固体有机化学品熔点的测定 差示扫描量热法》GB/T 28724 执行；

3 表中熔体质量流动速率试验方法按现行国家标准《塑料 热塑性塑料熔体质量流动速率(MFR)和熔体体积流动速率(MVR)的测定 第1部分：标准方法》GB/T 3682.1 执行；

4 表中吸水率试验方法按现行国家标准《塑料 吸水性的测定》GB/T 1034 执行。

3.0.3 抗车辙添加剂在运输、存储和使用过程中应避免受潮，远离火源。

4 配合比设计

4.1 一般规定

4.1.1 添加剂型抗车辙沥青混合料配合比设计，应按热拌沥青混合料配合比设计的目标配合比、生产配合比及生产配合比验证三个阶段，确定矿料级配、最佳沥青用量及抗车辙添加剂掺量。

4.1.2 添加剂型抗车辙沥青混合料配合比宜采用马歇尔方法、Superpave 方法进行设计。

4.1.3 添加剂型抗车辙沥青混合料集料的公称最大粒径不应大于压实层厚度的 1/3。

4.2 设计要求

4.2.1 添加剂型抗车辙沥青混合料矿料级配范围应符合现行行业标准《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40 的规定。

4.2.2 抗车辙添加剂掺量应根据试验确定。

4.2.3 添加剂型抗车辙沥青混合料技术要求应符合表 4.2.3 的规定。

表 4.2.3 添加剂型抗车辙沥青混合料技术要求

试验指标	单位	技术标准					试验方法
击实次数（双面）	次	75					T 0702
试件尺寸	mm	φ101.6mm×63.5mm					T 0702
空隙率（VV）	%	3~5					T 0705
稳定度（MS）	kN	≥8					T 0709
流值（FL）	mm	2~4					T 0709
矿料间隙率 VMA（%）	相应于以下公称最大粒径（mm）的最小 VMA 技术要求						
	26.5	19	16	13.2	9.5	T 0705	
	12	12.8	13.3	14	15	T 0705	
沥青饱和度 VFA（%）	55~70	65~75			70~85		T 0705

注：1 表中试验方法按现行行业标准《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTG E20 执行。

2 当矿料间隙率 VMA 超出最小值 1.5 时，宜进行沥青混合料谢伦堡沥青析漏试验，标准参考现行行业标准《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40 中 SMA 析漏试验的要求。

4.2.4 添加剂型抗车辙沥青混合料配合比应进行设计检验，检验结果应符合表 4.2.4 中的技术要求。

表 4.2.4 添加剂型抗车辙沥青混合料配合比设计检验技术要求

检验项目	单位	技术要求		试验方法
车辙试验动稳定度（70℃，1.0MPa）	次/mm	一般区域	特殊区域	T 0719
		≥ 2000	≥ 3000	
低温弯曲破坏应变（-10℃，5cm/min）	$\mu\epsilon$	≥ 2000		T 0715

续上表

检验项目		单位	技术要求	试验方法
水稳定性	浸水马歇尔残留稳定度	%	≥ 85	T 0709
	冻融劈裂试验残留强度比	%	≥ 80	T 0729
混合料试件渗水系数		mL/min	≤ 120	T 0730

注：1 表中试验方法按现行行业标准《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTG E20 执行。

2 表中一般区域指使用添加剂型抗车辙沥青混合料的一般城镇道路路段，特殊区域指使用添加剂型抗车辙沥青混合料的公交港湾、道路交叉路口等区域。

4.3 配合比设计

4.3.1 添加剂型抗车辙沥青混合料设计应符合下列步骤和要求：

1 目标配合比设计阶段，应按本标准附录 A 的方法、配合比设计技术标准和设计检验要求，确定矿料级配、最佳沥青用量和抗车辙添加剂掺量；

2 生产配合比设计阶段，应取样测试各热料仓的矿料级配，确定各热料仓的用料比例，供搅拌机控制室使用；应结合室内试验与搅拌机取样试验，综合确定生产配合比的最佳沥青用量，最佳沥青用量与目标配合比设计结果的允许偏差宜控制在 $\pm 0.2\%$ ；

3 生产配合比验证阶段，应按生产配合比结果进行试拌、铺筑试验段、确定标准配合比。

4.3.2 添加剂型抗车辙沥青混合料路面试验段铺筑应符合下列规定：

1 应通过试拌确定搅拌机的操作工艺，检验拌和机采集数据的准确性；

2 应检验各种施工机械的类型、数量及组合方式的匹配性；

3 应通过试验段确定摊铺、压实工艺、松铺系数等；

4 应从试验段上钻取芯样测定空隙率验证生产所用的标准配合比设计；

5 对确定的标准配合比，应再次进行车辙试验和水稳定性检验；

6 应采用钻孔法检验沥青路面压实度；

7 当采用无损检测方法检验沥青路面压实度时，应建立用钻孔法与无损检测仪器检测路面密度的对比关系，确定压实度的标准检测方法；

8 应检测试验段的渗水系数。

4.3.3 应通过各项检验的配合比设计结果出具配合比设计报告。

4.3.4 应根据配合比设计结果制定施工用的级配控制范围，并应满足本标准第 6.0.2 条的规定。

4.3.5 试验段铺筑结束后，应对各项试验内容提出试验段施工总结、检测报告。

5 施 工

5.1 施工准备

- 5.1.1** 添加剂型抗车辙沥青混合料面层的下承层应保持清洁，平整度和强度应满足要求。
- 5.1.2** 施工前应对沥青搅拌站、摊铺机、压路机等各种施工机械和设备进行调试。
- 5.1.3** 原材料试验、配合比设计结果符合要求后方可开工。

5.2 施工温度

- 5.2.1** 添加剂型抗车辙沥青混合料施工的环境最低气温不应低于 15℃，路表温度不应低于 10℃。雨、雪、五级大风等恶劣天气及路面潮湿的情况下严禁施工。
- 5.2.2** 添加剂型抗车辙沥青混合料的施工温度应符合表 5.2.2 的规定。

表 5.2.2 添加剂型抗车辙沥青混合料施工温度

工 序	施工温度 (℃)	测量部位
沥青加热	155~165	沥青加热罐
集料加热	190~200	热料提升仓
混合料出料	175~185	运料车及储存罐
混合料废弃	≥195	运料车及储存罐
混合料存储	≥175	运料车及存储罐
摊 铺	≥170	摊铺机
初 压	≥165	摊铺层内部
碾压终了	≥110	摊铺层内部
开放交通	≤50	路表

注：表中施工温度适用于 70 号道路石油沥青。当摊铺层较薄或外界气温较低时取高值，反之取低值。

5.3 拌 和

- 5.3.1** 添加剂型抗车辙沥青混合料宜采用间歇式搅拌机拌和，并应符合下列规定：

- 1 搅拌能力应满足施工进度要求；
- 2 冷料仓的数量不宜少于 5 个，且应配置添加外掺剂的设备；
- 3 冷料供料装置应经标定得出集料供料曲线；
- 4 振动筛规格应与矿料规格相匹配，不同级配混合料应配置不同的筛孔组合；
- 5 沥青混合料搅拌设备上各种传感器应定期检定，检定周期不应少于每年一次；
- 6 搅拌机的矿粉仓应配备振动装置。

- 5.3.2** 添加剂型抗车辙沥青混合料的生产温度应符合表 5.2.2 的要求。烘干集料的残余含水量不应大于 0.3%。

5.3.3 抗车辙添加剂应由专用管道及送料器直接加入搅拌锅。

5.3.4 添加剂型抗车辙沥青混合料搅拌时间应根据具体情况经试拌确定，沥青及抗车辙添加剂应均匀裹覆集料。加入抗车辙添加剂后，间歇式搅拌机每盘干拌时间不宜少于 15s，加入沥青后的搅拌时间不宜少于 45s；当沥青或外掺剂裹覆不均匀时，应延长搅拌时间。

5.4 运 输

5.4.1 添加剂型抗车辙沥青混合料宜采用较大吨位的运料车运输，进入现场后不应紧急制动、急弯掉头。施工过程中摊铺机前方应有运料车等候。

5.4.2 运料车每次使用前后应清扫干净，并应在车厢板上涂隔离剂或防黏结剂，但不应有余液积聚在车厢底部。当从拌和机向运料车上装料时，应按前、后、中的顺序来回挪动汽车位置，平衡装料。运料车应采取覆盖保温、防雨和防污染措施。

5.4.3 当运料车进入摊铺现场时，轮胎上不应沾有泥土等可能污染路面的杂物。不应使用遭雨淋、结成团块及不符合施工温度要求的混合料。

5.4.4 摊铺过程中运料车应在摊铺机前 100mm~300mm 处停住并空挡等候，由摊铺机推动前进并缓慢卸料。

5.5 摊 铺

5.5.1 添加剂型抗车辙沥青混合料应采用履带式摊铺机摊铺，受料斗应涂刷薄层隔离剂或防黏结剂。

5.5.2 当采用两台及以上的摊铺机联合摊铺时，两幅之间应有 30mm~60mm 宽度的搭接，搭接位置应避开车道轮迹带，上下层的搭接位置宜错开 200mm 及以上。

5.5.3 摊铺机开工前应提前 0.5h~1.0h 预热熨平板至 120℃ 以上。铺筑过程中应调节熨平板的振捣或夯锤压实装置至适宜的振动频率和振幅。熨平板加宽连接应调节至摊铺的混合料无明显的离析痕迹。

5.5.4 摊铺机应缓慢、均匀、连续摊铺，不应随意变换速度或中途停顿。摊铺速度宜控制在 2 m/min~3m/min。当发现混合料出现明显的离析、波浪、裂缝、拖痕时，应及时消除。

5.5.5 摊铺机应采用自动找平方式，下面层宜采用钢丝绳引导的高程控制方式，中面层和表面层应采用平衡梁式或雪橇式摊铺厚度控制方式。匝道等小半径弯道宜采用滑靴自动找平方式。

5.5.6 摊铺过程中应随时检查摊铺层厚度、路拱及横坡。

5.5.7 摊铺机螺旋布料器的转动速度应稳定、均衡，并应与摊铺速度相适应，螺旋布料器的两侧应保持不少于 2/3 高度的混合料。

5.6 压实及成型

- 5.6.1 添加剂型抗车辙沥青混合料压实层的最大厚度不宜大于 100mm。
- 5.6.2 混合料的碾压温度应符合表 5.2.2 的规定。
- 5.6.3 碾压过程中碾压轮应保持清洁。
- 5.6.4 压路机不应在未碾压成型路段上转向、掉头、加水或停留。
- 5.6.5 在当天成型的路面上，不应停放各种机械设备或车辆，不应散落矿料、油料等杂物。

5.7 开放交通

- 5.7.1 添加剂型抗车辙沥青路面应待摊铺层完全自然冷却至表面温度低于 50℃后，方可开放交通。
- 5.7.2 铺筑好的沥青路面应在通车前控制交通，并应采取路面保护措施。

6 质量检验

6.0.1 原材料质量检验应符合下列规定：

主控项目

1 沥青胶结料的质量检验应符合 3.0.1 的规定。

检查数量：按同一生产厂家、同一品种、同一标号、同一批号连续进场的沥青每批次（每 100t 为 1 批）抽检 1 次；

检验方法：查看出厂合格证、检验报告，抽样复检。

2 粗集料、细集料和填料的质量检验应符合 3.0.1 的规定。

检查数量：按不同品种产品进场批次，每批检查 1 次；

检验方法：抽样检验。

3 抗车辙添加剂的质量检验应符合 3.0.2 的规定。

检查数量：按不同品种产品进场批次，每批检查 1 次；

检验方法：查看检验报告，抽样复检。

6.0.2 添加剂型抗车辙沥青混合料质量检验应符合表 6.0.2 的规定。

主控项目

表 6.0.2 添加剂型抗车辙沥青混合料质量检验标准

项 目		允许偏差或允许值		检查数量	检验方法
		城市快速路、主干路	其他等级道路		
搅拌温度	沥青、集料的加热温度	符合本标准第 5.2.2 条规定		逐盘检测	传感器自动检测、显示并打印
	混合料出厂温度	符合本标准第 5.2.2 条规定		逐车检测	传感器自动检测、显示并打印，出厂时逐车按 T 0981 人工检测
				逐盘测量记录，每天取平均值评定	传感器自动检测、显示并打印
矿料级配(筛孔)	0.075mm	±2%	—	逐盘在线检测	自动采集数据计算
	2.36mm	±5%	—		
	4.75mm	±6%	—		
	0.075mm	±1%	—	逐盘检查，每天汇总 1 次取平均值评定	总量检验
	2.36mm	±2%	—		
	4.75mm	±2%	—		
	0.075mm	±2%	±2%	每台搅拌机每天 1~2	T 0725

	2.36mm	±5%	±6%	次,以2个试样的 平均值评定	
	4.75mm	±6%	±7%		
沥青用量(油石比)		±0.3%	—	逐盘在线监测	自动采集数据计算
		±0.1%	—	逐盘检查,每天汇总 1次取平均值评定	总量检验
		±0.3%	±0.4%	每台搅拌机每天1~2 次,以2个试样的 平均值评定	T 0722、T 0721
马歇尔试验: 空隙率、 稳定度、流值	符合本标准规定			每台搅拌机每天1~2 次,以4~6个试件的 平均值评定	本标准附录 A
浸水马歇尔试验	符合本标准规定			每台搅拌机每天1~2 次,以4~6个试件的 平均值评定	T 0702、T 0709
车辙试验	符合本标准规定			每台搅拌机每天1~2 次,以3个试件的 平均值评定	本标准附录 B

注:表中试验方法 T 0981 按现行行业标准《公路路基路面现场测试规程》JTG 3450 执行,其余试验方法按现行行业标准《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTG E20 执行。

6.0.3 添加剂型抗车辙沥青混合料面层质量检验应符合下列规定:

主控项目

- 1 添加剂型抗车辙沥青混合料面层压实度不应小于 96%。

检查数量:每 1000m²测 1 点;

检验方法:取芯检测。

- 2 面层厚度允许偏差为+10mm~-5mm。

检查数量:每 1000m²测 1 点;

检验方法:钻孔取芯,用钢尺量。

- 3 弯沉值不应大于设计规定。

检查数量:每车道、每 20m 测 1 点;

检验方法:弯沉仪检测。

一般项目

- 4 表面应平整、坚实,接缝紧密,无枯焦;不应有明显轮迹、推挤裂缝、脱落、烂边、油斑、掉渣等现象,不应污染其他构筑物;面层与路缘石、平石及其他构筑物应接顺,无积水现象。

检查数量:全数检查;

检验方法：观察。

5 添加剂型抗车辙沥青混合料面层施工质量验收应符合表 6.0.3 的规定。

表 6.0.3 添加剂型抗车辙沥青混合料面层施工质量检验标准

项 目		允许偏差或允许值		检查数量			检验方法	
				范围	点数			
纵断高程（mm）		±15		20m	1		用水准仪测量	
中线偏位（mm）		≤20		100m	1		用经纬仪测量	
平整度（mm）	标准差σ值	快速路	1.5	100m	路宽（m）	< 9	1	用测平仪或 3m 直尺检测
		主干路				9~15	2	
		次干路、支路	2.4			> 15	3	
	最大间隙	次干路、支路	5	20m	路宽（m）	< 9	1	用 3m 直尺和塞尺连续量取两尺，取最大值
						9~15	2	
						> 15	3	
宽度（mm）		不小于设计值		40m	1		用钢尺量	
横坡		±0.3%且不反坡		20m	路宽（m）	< 9	2	用水准仪测量
						9~15	4	
						> 15	6	
井框与路面高差（mm）		≤5		每座	1		十字法，用直尺、塞尺量取最大值	
抗滑	摩擦系数	符合设计要求		200m	1		摆式仪	
	构造深度	符合设计要求		200m	全线连续		横向力系数车	
上面层渗水系数		120mL/min		200m	1		铺砂法	
上面层渗水系数		120mL/min		200m	3		T 0971	

注：1 测平仪为全线每车道连续检测每 100m 计算标准差 σ ；无测平仪时可采用 3m 直尺检测。平整度、抗滑性能也可采用自动检测设备进行检测。

2 中面层、底面层仅进行中线偏位、平整度、宽度、横坡的检测。

3 渗水系数适用于公称最大粒径不大于 19mm 的添加剂型抗车辙沥青混合料，且仅适用于要求密水的密级配沥青混合料。

4 表中试验方法 T 0971 按现行行业标准《公路路基路面现场测试规程》JTG 3450 执行。

附录 A 配合比设计方法

A.1 配合比设计流程

A.1.1 添加剂型抗车辙沥青混合料目标配合比设计流程宜按现行行业标准《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40 中的有关要求执行。

A.1.2 添加剂型抗车辙沥青混合料配合比设计的试验方法应符合现行行业标准《公路工程集料试验规程》JTG E42 和《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTG E20 的规定。

A.1.3 当添加剂型抗车辙沥青混合料采用小型沥青混合料搅拌机进行时, 搅拌温度及试件制作温度应符合本标准的要求。

A.2 马歇尔试验

A.2.1 马歇尔试验技术标准应按本标准第 4 章的规定执行。

A.2.2 当制作添加剂型抗车辙沥青混合料试件时, 原材料的加热温度应按本标准施工温度执行, 室内试件成型温度宜为 180℃~185℃。

A.2.3 矿料的合成毛体积相对密度 γ_{sb} 应按下列式计算:

$$\gamma_{sb} = \frac{100}{\frac{p_1}{\gamma_1} + \frac{p_2}{\gamma_2} + \dots + \frac{p_n}{\gamma_n}} \quad (\text{A.2.3})$$

式中: p_1 、 p_2 ... p_n ——各级矿料成分的配合比, 其和为 100;

γ_1 、 γ_2 ... γ_n ——各级矿料按照相应的物理常数测定方法得到的毛体积相对密度。

A.2.4 矿料的合成表观相对密度 γ_{sa} 应按下列式计算:

$$\gamma_{sa} = \frac{100}{\frac{p_1}{\gamma'_1} + \frac{p_2}{\gamma'_2} + \dots + \frac{p_n}{\gamma'_n}} \quad (\text{A.2.4})$$

式中: γ'_1 、 γ'_2 ... γ'_n ——各级矿料按照相应的物理常数测定方法得到的表观相对密度。

A.2.5 矿料的合成有效相对密度应按下列公式计算:

$$\gamma_{se} = C \times \gamma_{sa} + (1 - C) \times \gamma_{sb} \quad (\text{A.2.5-1})$$

$$C = 0.033\omega_X^2 - 0.2936\omega_X + 0.9339 \quad (\text{A.2.5-2})$$

$$\omega_X = \left(\frac{1}{\gamma_{sb}} - \frac{1}{\gamma_{sa}} \right) \times 100 \quad (\text{A.2.5-3})$$

式中: γ_{se} ——合成矿料的有效相对密度;

C ——合成矿料的沥青吸收系数;

ω_X ——合成矿料的吸水率;

γ_{sb} ——矿料的合成毛体积相对密度;

γ_{sa} ——矿料的合成表观相对密度。

A.2.6 添加剂型抗车辙沥青混合料的最大理论相对密度应按下列公式计算：

$$\gamma_{ti} = \frac{100 + P_h}{\frac{P_{si}}{\gamma_{se}} + \frac{P_{bi}}{\gamma_b} + \frac{P_h}{\gamma_h}} \quad (\text{A.2.6-1})$$

$$P_{si} + P_{bi} = 100 \quad (\text{A.2.6-2})$$

式中： γ_{ti} ——相对于计算沥青用量 P_{bi} 时添加剂型抗车辙沥青混合料的最大理论相对密度；

P_h ——抗车辙添加剂的用量，以沥青与矿料总质量的外掺百分比表示（%）；

γ_h ——抗车辙添加剂的密度，经过实测得到；

P_{si} ——添加剂型抗车辙沥青混合料中矿料质量百分比，以全部矿料质量占沥青与矿料总质量的百分比表示（%）；

P_{bi} ——添加剂型抗车辙沥青混合料中沥青含量百分比，以沥青质量占沥青与全部矿料总质量的百分比表示（%）；

γ_b ——沥青的相对密度。

A.2.7 添加剂型抗车辙沥青混合料试件的空隙率 VV 、矿料间隙率 VMA 、有效沥青饱和度 VFA 等体积指标应按照下列公式计算，并应进行体积组成分析：

$$VV = \left(1 - \frac{\gamma_f}{\gamma_t}\right) \times 100 \quad (\text{A.2.7-1})$$

$$VMA = \left(1 - \frac{\gamma_f}{\gamma_{sb}} \times P_s\right) \times 100 \quad (\text{A.2.7-2})$$

$$VFA = \frac{VMA - VV}{VMA} \times 100 \quad (\text{A.2.7-3})$$

$$P_s = 100 - P_b \quad (\text{A.2.7-4})$$

式中： VV ——试件的空隙率（%）；

VMA ——试件的矿料间隙率（%）；

VFA ——试件的有效沥青饱和度（有效沥青含量占 VMA 的体积比例）（%）；

γ_f ——测定的试件毛体积相对密度；

γ_t ——添加剂型抗车辙沥青混合料的最大理论相对密度，由本标准式（A.2.6-1）得到；

P_s ——各种矿料占添加剂型抗车辙沥青混合料总质量的百分比（%）。

A.2.8 进行添加剂型抗车辙沥青混合料的马歇尔试验，应测定马歇尔稳定度及流值。

A.3 最佳沥青用量

A.3.1 应以沥青用量（沥青含量或油石比）为横坐标、马歇尔试验的各项指标为纵坐标，将试验结果绘制成曲线图。

A.3.2 应根据曲线图的变化趋势，按下列要求确定添加剂型抗车辙沥青混合料的最佳沥青

用量:

1 在空隙率-沥青用量曲线图中,以期望设计空隙率对应的沥青用量作为设计用量,如图 A.3.2-1 所示。

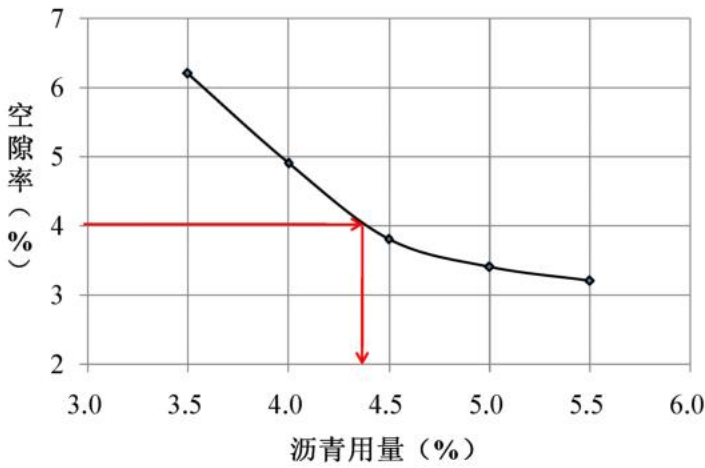


图 A.3.2-1 确定设计用量

2 在矿料间隙率-沥青用量曲线图中,设计用量下的矿料间隙率应大于本标准表 4.2.3 马歇尔试验技术标准的最小值,同时该沥青用量宜处于 VMA 凹形曲线中最小值的贫油侧,如图 A.3.2-2 所示。

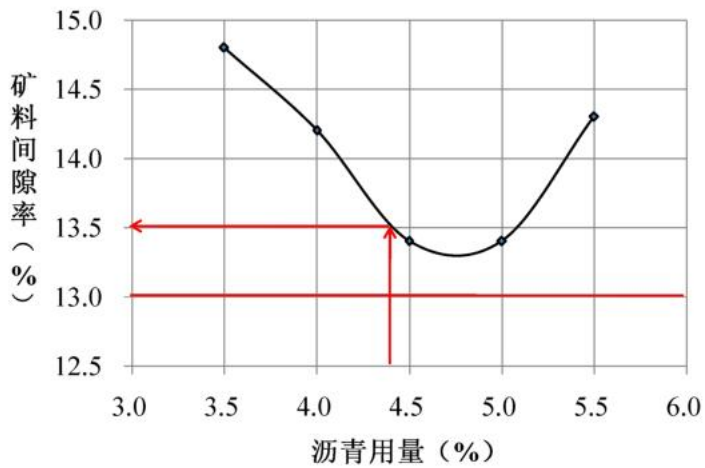


图 A.3.2-2 检验矿料间隙率指标

3 在沥青饱和度-沥青用量曲线图中,设计用量下混合料的沥青饱和度 VFA 应在本标准表 4.2.3 马歇尔试验技术标准的范围之内,如图 A.3.2-3 所示。

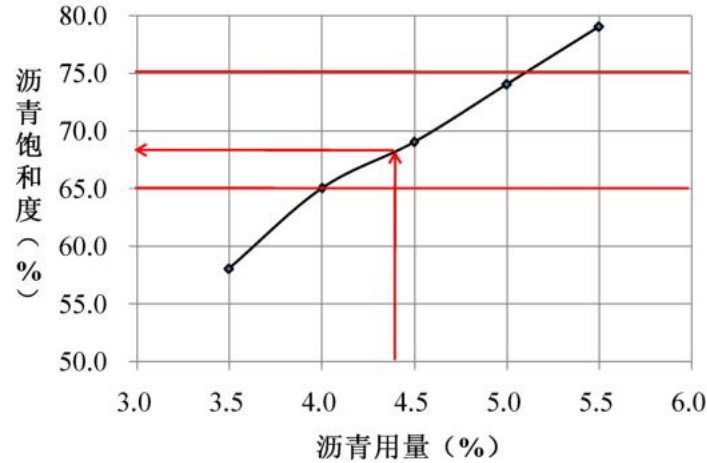


图 A.3.2-3 检验沥青饱和度指标

4 设计沥青用量下混合料的马歇尔稳定度 MS 和流值 FL 应满足本标准表 4.2.3 的要求。

5 当检验得到的混合料矿料间隙率 VMA、沥青饱和度 VFA、马歇尔稳定度 MS 和流值 FL 均满足马歇尔技术指标时，设计用量应确定为最佳沥青用量 OAC；当不能同时满足马歇尔技术指标时，应调整级配或沥青用量后重新进行马歇尔试验。

A.3.3 根据工程实际情况、交通状况以及气候条件，可适当调整最佳沥青用量 OAC，并提出不同沥青用量条件下的各项试验结果的报告。

A.3.4 添加剂型抗车辙沥青混合料中沥青胶结料被集料吸收的比例及有效沥青含量应按下列公式计算：

$$p_{ba} = \frac{\gamma_{se} - \gamma_{sb}}{\gamma_{se} \times \gamma_{sb}} \times \gamma_b \times 100 \quad (\text{A.3.4-1})$$

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} \times P_s \quad (\text{A.3.4-2})$$

$$P_s = 100 - P_b \quad (\text{A.3.4-3})$$

式中： p_{ba} ——添加剂型抗车辙沥青混合料中被集料吸收的沥青结合料比例（%）；

P_{be} ——添加剂型抗车辙沥青混合料中的有效沥青含量（%）；

P_b ——沥青含量（%）；

P_s ——各种矿料占添加剂型抗车辙沥青混合料总质量的百分率之和（%）。

A.3.5 有效沥青的体积百分率 V_{be} 及矿料的体积百分率 V_g 可按下列公式计算：

$$V_{be} = \frac{\gamma_r \times P_{be}}{\gamma_b} \quad (\text{A.3.5-1})$$

$$V_g = 100 - (V_{be} + VV) \quad (\text{A.3.5-2})$$

A.3.6 检查最佳沥青用量时的粉胶比和有效沥青膜厚度应符合下列规定：

1 添加剂型抗车辙沥青混合料的粉胶比范围宜为 0.8~1.2，并按下式计算：

$$FB = \frac{P_{0.075}}{P_{be}} \quad (\text{A.3.6-1})$$

式中：FB——粉胶比，添加剂型抗车辙沥青混合料的矿料中 0.075mm 通过率与有效沥青含量的比值；

$P_{0.075}$ ——矿料级配中 0.075mm 的通过率（水洗法）（%）。

2 各种集料粒径的表面积系数应按现行行业标准《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40 中的要求采用，集料的比表面积和沥青膜有效厚度应符合下列公式要求：

$$SA = \sum (P_i \times FA_i) \quad (\text{A.3.6-2})$$

$$DA = \frac{P_{ae}}{\gamma_b \times SA} \times 10 \quad (\text{A.3.6-3})$$

$$P_{ac} = m_o / m_s \times 100 = P_{be} / P_s \times 100 \quad (\text{A.3.6-4})$$

式中，SA——集料的比表面积（m²/kg）；

P_i ——各种粒径的通过百分率（%）；

FA_i ——相应于各种粒径的集料的表面积系数；

DA——沥青膜有效厚度（μm）；

P_{ae} ——有效油石比（%）。

附录 B 车辙试验方法

B.1 一般规定

B.1.1 本方法适用于测定添加剂型抗车辙沥青混合料的动稳定度指标，供混合料配合比设计时的高温稳定性检验使用，也可以用于现场添加剂型抗车辙沥青混合料的质量控制。

B.1.2 本方法中车辙试验的温度为 70℃，轮压为 1.0MPa，试验时间为 60min。计算动稳定度的时间取试验开始后 45min~60min 之间。

B.1.3 本方法适用于轮碾成型机成型的 300mm×300mm×50mm 的板式试件。

B.2 试验机主要技术要求

B.2.1 应采用橡胶制试验轮，行走次数宜为 42 次/min±1 次/min。

B.2.2 环境箱应具备自动检测并记录的温度传感器和控温设备，可保持温度为 70℃±0.5℃，可同时保温不少于 3 块试件。

B.2.3 加载装置，使 70℃环境下试验轮与试件的接触压强为 1.0MPa±0.05MPa。

B.2.4 试件变形测量装置，自动采集试件辙槽变形并记录，测量范围为 0~130mm，精度不低于 0.01mm。

B.3 试验方法与步骤

B.3.1 应将试件连同试模一起，置于已达到 70℃±1℃的环境相中，保温不应少于 5h，并不应超过 12h。

B.3.2 应将试件连同试模移置于车辙仪试验台上，使试验轮行走轨迹位于试件中间，行走方向与试件碾压方向一致。

B.3.3 完全降下并启动试验轮，使其往返行走，至试验时间结束或最大变形达到 25mm 时应停止。

B.4 计算与报告

B.4.1 从试验采集变形数据中读取 45min (t_1) 时刻变形 d_1 、60min (t_2) 时刻变形 d_2 ，准确至 0.01mm。当未到 60min 变形已达 25mm 时，则以达 25mm (d_2) 变形时刻为 t_2 ，将其前 15min 为 t_1 ，此时刻的变形值为 d_1 。

B.4.2 添加剂型抗车辙沥青混合料的动稳定度 (70℃、1.0MPa) 应按下式计算：

$$DS = \frac{(t_2 - t_1) \times N}{d_2 - d_1} \times C_1 \times C_2 \quad (\text{B.4.2})$$

式中：DS——添加剂型抗车辙沥青混合料的动稳定度 (次/mm)；

d_1 ——对应于时间 t_1 的变形量 (mm)；

d_2 ——对应于时间 t_2 的变形量 (mm) ;

C_1 ——试验机类型系数, 曲柄连杆驱动加载轮往返运行方式为 1.0;

C_2 ——试件系数, 实验室制备宽 300mm 的试件为 1.0;

N ——试验轮往返碾压速度, 通常为 42 次/min。

B.4.3 添加剂型抗车辙沥青混合料车辙试验报告应符合下列规定:

1 同一沥青混合料或同一路段取样, 至少应做 3 个试件的平行试验。当 3 个试件动稳定度变异系数不大于 20%时, 应取其平均值作为试验结果; 当变异系数大于 20%时, 应分析原因, 并应追加试验。

2 试验报告应注明试验温度、试验轮接地压强、试件密度、空隙率及试件制作方法等。

B.4.4 重复性试验动稳定度变异系数不应大于 20%。

本标准用词说明

- 1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。
 - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”。
 - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。
 - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 本标准条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《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
- 2 《塑料 吸水性的测定》GB/T 1034
- 3 《塑料 热塑性塑料熔体质量流动速率(MFR)和熔体体积流动速率(MVR)的测定 第1部分:标准方法》GB/T 3682.1
- 4 《固体有机化学品熔点的测定 差示扫描量热法》GB/T 28724
- 5 《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1
- 6 《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTG E20
- 7 《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40
- 8 《公路工程集料试验规程》JTG E42
- 9 《公路路基路面现场测试规程》JTG 3450

山东省工程建设标准

城镇道路添加剂型抗车辙沥青混合料技术标准

DB37/T 5232—2022

条文说明

修 订 说 明

《城镇道路添加剂型抗车辙沥青混合料技术标准》DB37/T XXXX—2022，经山东省住房和城乡建设厅、山东省市场监督管理局于 20××年×月×日以××××××批准、发布。

本标准是在《城镇道路高模量沥青混合料设计与施工技术规范》DBJ 14-090—2012 的基础上修订而成。

为便于广大施工、监理、项目管理等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文的规定，本标准编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，供使用者参考。

本标准全面兼顾省内各地区、各企业不同的施工技术水平，突出重点，体现先进性、科学性和可操作性的原则，对城市道路添加剂型抗车辙沥青混合料设计与施工标准提出要求。在本标准编制过程中，各编制组成员充分表达了自己的观点，讨论稿也经过多次修改，最大限度地吸收了各编制组成员的意见。同时，本标准也经过了广泛的征求意见。

本标准在内容上不与现行标准相矛盾，在应用时可与现行相关标准结合使用。

目 次

1 总则.....	25
3 原材料.....	27
4 配合比设计.....	28
4.1 一般规定.....	28
4.2 设计要求.....	28
4.3 配合比设计.....	31
5 施工.....	34
5.2 施工温度.....	34
5.3 拌和.....	34
5.4 运输.....	35
5.5 摊铺.....	35
5.7 开放交通.....	35
6 质量检验.....	36
附录 A 配合比设计方法.....	37
A.1 配合比设计流程.....	73
A.2 马歇尔试验.....	38
A.3 最佳沥青用量.....	39

Contents

1	General Provisions.....	25
3	Material.....	27
4	Mixture Design.....	28
4.1	General Requirements.....	28
4.2	Standard of Mixture Design.....	28
4.3	Mixture Design.....	31
5	Construction.....	34
5.2	Construction Temperature.....	34
5.3	Blending.....	34
5.4	Transportation.....	35
5.5	Paving.....	35
5.7	Open to Traffic.....	35
6	Test of Quality.....	36
Appendix A	Method of Mixture Design.....	37
A.1	Procedures of Mixture Design.....	12
A.2	Marshal Experiment.....	12
A.3	Optimum Asphalt Content.....	13

1 总 则

1.0.1~1.0.2 车辙是城镇道路沥青路面的主要病害形式之一。城市交通量的增大、大型公共车辆的增多以及交通流渠化的不断增强,使得沥青路面在开放交通、投入运营后不久就出现车辙、拥包和波浪等高温病害。车辙病害,特别是高等级城市道路的车辙病害,严重影响城镇道路沥青路面的使用和服务质量,是目前道路工作者需要重点解决的问题。

近年来,添加剂型抗车辙沥青混合料越来越多地应用于车辙病害的维修工作,通过添加抗车辙添加剂,提高沥青混合料的高温稳定性和抗车辙能力,大大减少了车辙、拥包、波浪等高温病害的发生,延长了养护周期,在很多工程中取得了非常好的效果。然而很多单位对添加剂型抗车辙沥青混合料的认识还不够准确,不能很好地掌握其设计、施工要点,极大地限制了添加剂型抗车辙沥青混合料的推广和应用。制定本标准的目的是保证添加剂型抗车辙沥青混合料的施工质量,使路面材料研究的新成果能够更好地服务于城镇道路建设。

车辙是行车荷载重复作用下沥青路面累积产生的永久性变形,多呈带状凹槽,一般产生在车轮经常碾压的轮迹带上,温度相同情况下,车辙发展的程度和荷载大小以及作用时间有关。城镇道路交通特点导致了部分区段车辙病害严重,主要表现在:第一,城市交通行车速度较低,信号灯路口多,车辆低速行驶或静止这种长作用周期荷载现象居多,此时路面结构中最大剪应力多出现在路表面下 8cm~10cm 处,大约是中面层位置;第二,信号灯及公交车停靠站台或港湾处,车辆频繁刹车和启动,增大了车轮对路面作用处的合成剪应力,特别是路表面剪应力增大,是造成车辙和拥包的主要原因;第三,在长、大纵坡路段,车辆在上坡和下坡过程中,荷载的不均匀分布和动力作用的叠加,是坡道产生车辙的主要因素。因此,添加剂型抗车辙沥青混合料主要用于城镇道路中、表面层,坡道、道路交叉口及公交港湾等车辙病害严重区段。设计时应考虑道路的交通量、路面坡度,是否有信号灯或公交车停靠站台等频繁出现低速、刹车、启动的情况,或其他普通沥青混合料无法满足抗车辙要求的路段、层位,选用添加剂型抗车辙沥青混合料并根据本标准指导施工。

一直以来,国内外学者对提高沥青路面抗车辙性能做过很多的研究。主要是通过材料的控制或调整,采用高质量的粗细集料和改性沥青,控制沥青用量,调整级配或使用抗车辙添加剂来提高混合料的抗车辙性能。有关单位在采用相同集料和沥青的

前提下，以 AC-16、AC-20、AC-25 的粗细不同级配和使用抗车辙添加剂两种方式，评价调整级配和抗车辙添加剂对沥青混合料抗车辙性能的影响效果。结果表明，两种方式都能提高动稳定度指标，但使用抗车辙添加剂的方式明显优于调整级配的方式；随着公称最大粒径的增大，调整级配和使用抗车辙添加剂对高温稳定性的改善效果都有所减弱，但后者下降趋势明显缓于前者，也就是说，使用抗车辙添加剂对粒径规格的变化不敏感。

抗车辙添加剂是一种对提高抗车辙能力最立竿见影的优良外掺剂，有着诸多的优点：第一，性能优越，使用抗车辙添加剂的混合料，其高温稳定性多数能超过改性沥青 SMA 的水平；第二，使用方便，直接在沥青混合料搅拌过程中投入拌缸，无论是人力添加还是设备添加，其质量控制都易于掌握；第三，存储安全，对存储条件无特殊要求，可在常温下储存；第四，与沥青材料的匹配性较好，适用于国内外常用的各种品牌和标号的沥青；第五，不需要特殊的设备和人员，生产过程中几乎不会产生损耗；第六，在路用性能大幅提高的基础上增加少量的投资，提高沥青路面整体性价比。

当前使用抗车辙添加剂以提高沥青混合料路用性能的做法在生产实践中应用较广泛，故本标准主要针对添加剂型抗车辙沥青混合料的设计、施工和质量检验与验收而编制。

3 原材料

3.0.2 熔体流动速率可采用熔体质量流动速率或熔体流动指数表示。熔体质量流动速率是指塑胶材料加工时的流动性的数值，在规定条件下，一定时间内挤出的热塑性物料的量，也即熔体每 10min 通过标准口径毛细管的质量，用 MFR 表示（单位为 g/10min）。该指标可表征热塑性塑料在熔融状态下的黏流特性，对保证热塑性塑料及其制品的质量，对调整生产工艺，都有重要的指导意义。熔融指数越大，表征抗车辙添加剂在搅拌时的融化、分散性就越好，反之就越差。

熔体流动指数最常使用的测试标准是 ASTM D 1238，该测试标准的量测仪器是熔液指数计(MeltIndexer)。测试的具体操作过程是：将待测高分子（塑料）原料置入小槽中，槽末接有细管，细管直径为 2.095mm，管长为 8mm。加热至某温度（常为 190℃）后，原料上端由活塞施加某一定重量向下压挤，量测该原料在 10 min 内所被挤出的质量，即为该塑料的流动指数。

国家标准《塑料 热塑性塑料熔体质量流动速率(MFR)和熔体体积流动速率(MVR)的测定 第1部分：标准方法》GB 3682.1—2018 对该测定方法有明确规定。

4 配合比设计

4.1 设计原则

4.1.2 添加剂型抗车辙沥青混合料配合比设计中，当采用 Superpave 设计方法时，空隙率按照 4% 进行控制，且应按本标准进行马歇尔试验及各项配合比技术指标检验，并报告该设计方法的试验结果。

4.2 设计要求

4.2.1 全国范围内，用于筑路的砂石材料在级配状况、棱角性方面偏差较大，因此在添加剂型抗车辙沥青混合料配合比设计中，级配范围的选定沿用行业标准《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40 中相关要求，兼顾不同料源、不同技术水平、不同经济基础等，此范围基本上能够涵盖全国不同料源矿料所能设计出的合理 AC 类沥青混凝土级配曲线，因此不可能有很好的针对性，很难满足某一项具体工程的要求。在执行本标准范围时，需考虑当地实际情况和经验做出适当的调整，在此范围内设计不同级配曲线，经过试验确定最佳级配和沥青含量，使其符合添加剂型抗车辙沥青混合料有关技术指标和路用性能要求。

4.2.3 添加剂型抗车辙沥青混合料配合比设计中，马歇尔试验方法同热拌沥青混合料配合比设计中试验方法相同。

室内搅拌添加剂型抗车辙沥青混合料时，将抗车辙添加剂与矿料一起投入搅拌锅中，干拌一个周期（90s），结束后加入沥青，湿拌一个周期（90s），最后加入矿粉搅拌一个周期（90s），完成添加剂型抗车辙沥青混合料的室内制备，具体流程见图 1。

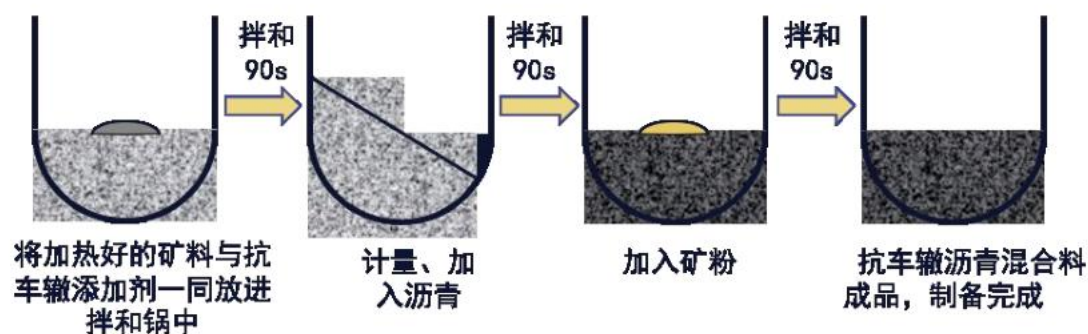


图 1 添加剂型抗车辙沥青混合料室内拌制流程

4.2.4 添加剂型抗车辙沥青混合料工艺的主要作用是通过提高沥青混合料的高温模量，减小重复荷载下产生的不可恢复变形即所谓的车辙变形。在现行行业技术规范体系下，就体现为沥青混合料的动稳定度这一关键指标，也是添加剂型抗车辙沥青混合料技术要求的第一指标，同时在应用时可以参考动态模量和抗剪强度等新近研究的成果。

1 采用车辙试验机测定沥青混合料的动稳定度指标在我国道路行业的设计和施工单位已经相当普及，试验过程简单易行、操作方便。行业标准《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTG E20—2011 中规定的车辙试验标准条件为 60℃、0.7MPa。有关单位曾经对国内常用的抗车辙添加剂产品做过系统的试验分析，按照各自产品的推荐用量，测试了 AC 沥青混凝土在 60℃、0.7MPa 试验条件下的动稳定度指标，绝大多数结果达到了 10000 次/mm 以上，远远超出了目前车辙试验系统所能精准反映抗车辙性能的测试范围。图 2 为 60℃、0.7MPa 试验条件下动稳定度结果统计分析图。

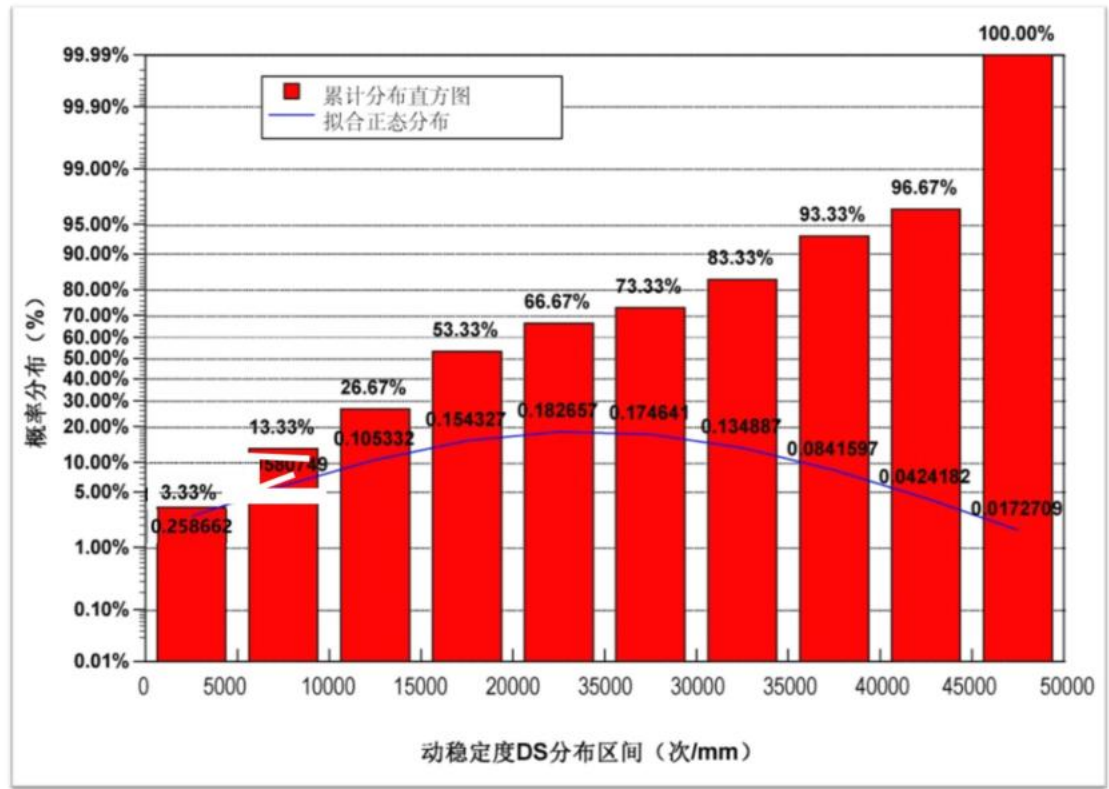


图 2 60℃、0.7MPa 动稳定度分布统计图

然而在夏季炎热地区，沥青路面温度经常达到了 70℃左右，同时城市部分车辆如大型公交车轮压也普遍提高到了 1.0MPa，甚至是 1.2MPa 左右，因此室内标准试验条件（60℃、0.7MPa）已经不能模拟城镇沥青路面高温、重载的使用条件。编制组提出将试验温度改为 70℃，试验轮荷载改为 1.0MPa，在测定中添加各种高模量材料的 AC-10、AC-13、AC-16、AC-20 和 AC-25 沥青混合料动稳定度系列试验，并进行统计分析。图 3 为 70℃、1.0MPa 试验条件下动稳定度结果统计分布图。该试验条件下得出的动稳定度结果绝大多数在 2000 次/mm ~6000 次/mm 范围内，符合试验规程对该指标的精度要求。在大量试验数据统计回归的基础上，选取较大保证率（95%）系数所对应的下限值作为添加剂型抗车辙沥青混合料高温重载

条件下（70℃、1.0MPa）的动稳定度指标，约为 2000 次/mm。北京某路段维修工程中也曾对添加剂型抗车辙沥青混合料提出的技术要求为 70℃、1.0MPa 下动稳定度不小于 3000 次/mm。同时考虑到特殊路段及区域如低速重载路段、公交港湾、交叉口等对沥青混合料高温性能有更高要求，因此本标准最终将添加剂型抗车辙沥青混合料动稳定度（70℃、1.0MPa）定为在一般路段大于等于 2000 次/mm、特殊路段及区域大于等于 3000 次/mm。其中，高温重载条件下（70℃、1.0MPa）的车辙试验方法见本标准附录 B。

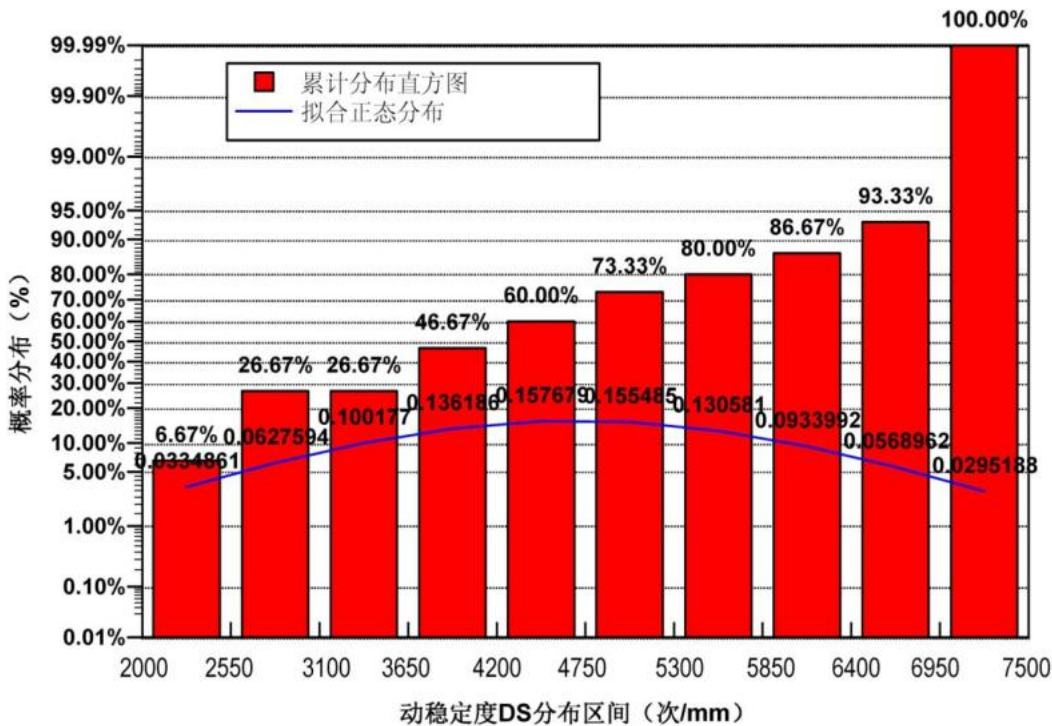


图 3 70℃、1.0MPa 动稳定度分布统计图

2 行业标准《城镇道路路面设计规范》CJJ 169—2012 中提出沥青混合料结构层容许抗剪强度指标验算，同时特重交通道路应采取措施提高沥青混合料的抗剪强度，其中抗剪验算取 60℃下沥青混合料的抗剪强度。车辙、推移等高温病害与沥青层的抗剪能力不足有很大的关系。在车辆的重复荷载作用下，沥青路面结构层内部长期处于一个重复剪切作用状态，累积产生剪切流动变形，宏观表现为车辙的出现。如何从根本上提高沥青混合料高温抗剪能力成为道路界关注的问题。

三轴试验最接近沥青路面的三向受力状态，是能比较好地反映混合料力学特性的评价指标，各国采用三轴试验得到材料的黏聚力 c 、内摩角 φ 值评价沥青混合料的高温抗剪切性能，但设备昂贵，试验要求高、操作复杂、时间长，不宜广泛采用。有关单位采用单轴贯入和无侧限抗压强度试验测定沥青混合料的 c 、 φ 值评价抗剪切能力，得出比较满意的结果。在《济南市城市道路沥青路面典型结构研究》中沿用这一方法，得出了改性沥青混合料和添

加剂型抗车辙沥青混合料能显著提高抗剪切能力的结论,并在此基础上采用重复单轴贯入试验研究沥青混合料的剪切疲劳特性,分析得出 60℃ 下添加剂型抗车辙沥青混合料抵抗重复荷载引起剪切变形具有非常好的效果,为今后添加剂型抗车辙沥青路面抗剪疲劳结构验算提供有利依据。

抗车辙添加剂通过本身较强的黏塑性和在沥青混合料中形成拉丝网络结构,变相地增强了沥青胶结料的黏聚力,在大大减小了矿料颗粒之间相对位移的同时,也增强了沥青与矿料之间的黏附作用,相当于在搅拌过程中对沥青进行了改性。在大量的试验研究和工程实践的数据积累共 56 组数据中,AC 类添加剂型抗车辙沥青混合料冻融劈裂残留强度比平均值达到了 92%,最小值为 83%;残留马歇尔稳定度平均值达到了 95%,最小值为 86%。由此数据可以看出,抗车辙添加剂的使用能在原有基础上大大提高沥青混合料的水稳定性,普遍达到或超过了普通改性沥青的水平。在本标准制定过程中,经过多次组织讨论,最终将添加剂型抗车辙沥青混合料水稳定性检验的技术要求定为:残留马歇尔稳定度不小于 85%,冻融劈裂残留强度比不小于 80%。

4.3 配合比设计

4.3.1 沥青混合料的配合比设计是道路建设中十分重要的工作,是本标准的核心内容之一。配合比设计满足本标准的要求只是一个最低的标准,并不代表是最优的设计。好的设计应该具有良好的使用性能、施工操作性,并且经得起实践的考验。添加剂型抗车辙沥青混合料的配合比设计,应该遵循现行规范关于热拌沥青混合料设计的目标配合比、生产配合比以及试拌试铺验证三个阶段,确定矿料级配及最佳沥青用量。三个阶段各自解决配合比设计中的不同问题,缺一不可。在大量工程实践中发现,严格按照该流程进行设计时,可以很好地将设计结果、搅拌站稳定性以及施工机械进行有效联合,保证较好的施工质量。

1 目标配合比设计阶段。此阶段用于确定原材料进行混合料设计时各自的用量,并验证设计结果的各项路用性能。使用工程实际使用的材料按本标准附录 A 的方法,优选矿料级配、确定最佳沥青用量,验证符合配合比设计技术标准和检验要求后,作为目标配合比,供搅拌机确定各冷料仓的供料比例、进料速度及试拌使用。

2 生产配合比设计阶段。此阶段用于得出实际生产时各档热仓料的掺配比例,并标定搅拌站各个计量参数是否准确,实际上是配合比设计中最为重要的阶段。按照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,供搅拌机控制室使用。同时选择适合的振动筛尺寸和安装角度,尽量使各热料仓的供料大体平衡。取目标配合比设计的最佳沥青用量 OAC 和 $OAC \pm 0.3\%$ 等 3 个沥青用量进行马歇尔试验和试拌,通过室内试验与搅拌机取样

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结果的差值宜为±0.2%。

3 生产配合比验证阶段。搅拌机按照生产配合比结果进行试拌、铺筑试验段,根据试验目的确定路段长度,一般为 100m~200m,宜选择在正线上铺筑。在此阶段,总结搅拌、运输、摊铺和碾压过程中出现的问题,将目标配比、生产配比以及施工机械之间的配套衔接进行调整。

4.3.2 无破损检测应在碾压成型后热态测定,取 13 个点的平均值为 1 组数据,一个试验段的数据不应少于 3 组。钻孔法应在第 2 天或第 3 天后测定,钻孔数不应少于 12 个。

4.3.4 应通过各项检验的配合比设计结果出具配合比设计报告,报告内容应包括工程设计级配范围选择说明、材料品种选择、原材料质量试验结果、矿料级配及曲线、最佳沥青含量,以及各项体积指标、配合比设计检验结果等。矿料级配曲线按行业标准《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011) T 0725 的泰勒曲线方法绘制(图 4),并可以参考 Superpave 方法中控制点、限制区的概念进行辅助调整级配。以原点与通过集料最大粒径 100%的点连线作为沥青混合料的最大密度线(见表 1,计算示例见表 2)。

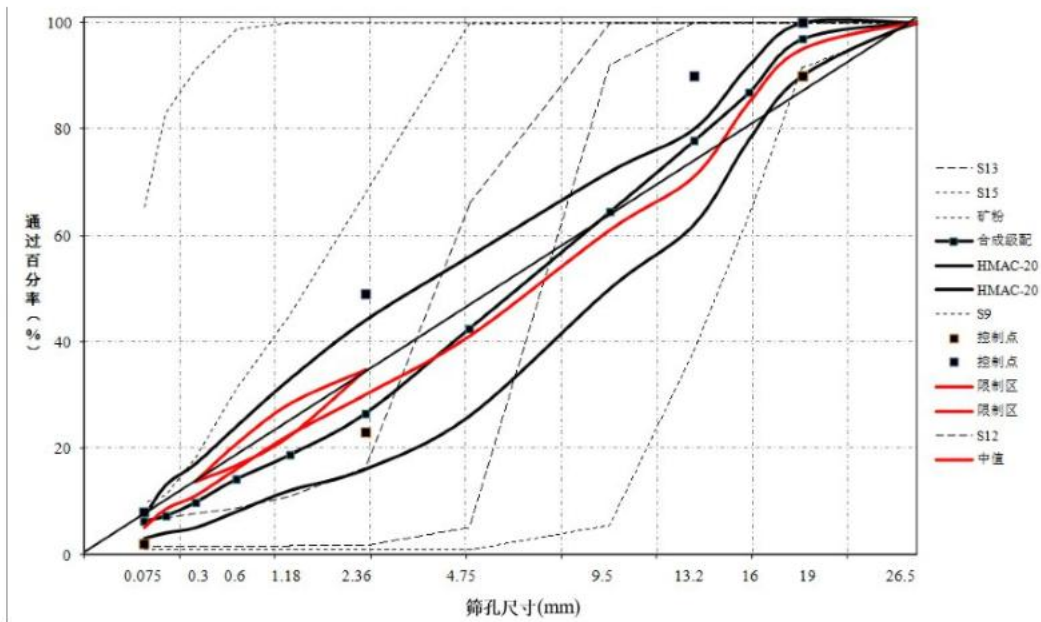


图 4 矿料级配曲线示例

表 1 泰勒曲线的横坐标

d_i	0.075	0.15	0.3	0.6	1.18	2.36	4.75	9.5
$X=d_i^{0.45}$	0.312	0.426	0.582	0.795	1.077	1.472	2.016	2.754
d_i	13.2	16	19	26.5	31.5	37.5	53	63
$X=d_i^{0.45}$	3.193	3.482	3.762	4.370	4.723	5.109	5.969	6.452

表 2 矿料级配设计计算表示例

筛孔(%)	S9 (%)	S12 (%)	S13 (%)	S15 (%)	矿粉 (%)	合成 级配	工程设计级配范围		
							中值	下限	上限
26.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
19	91.5	100.0	100.0	100.0	100.0	96.9	95.0	90.0	100.0
16	63.6	100.0	100.0	100.0	100.0	86.9	85.0	78.0	92.0
13.2	38.3	100.0	100.0	100.0	100.0	77.8	71.0	62.0	80.0
9.5	5.5	92.0	99.9	100.0	100.0	64.5	61.0	50.0	72.0
4.75	0.9	5.1	65.8	99.8	100.0	42.5	41.0	26.0	56.0
2.36	0.9	1.6	16.4	68.0	100.0	26.5	30.0	16.0	44.0
1.18	0.9	1.5	11.0	45.0	100.0	18.8	22.5	12.0	33.0
0.6	0.9	1.5	8.8	31.0	98.7	14.1	16.0	8.0	24.0
0.3	0.9	1.5	7.6	18.1	91.1	9.8	11.0	5.0	17.0
0.15	0.9	1.5	6.8	11.0	82.9	7.3	8.5	4.0	13.0
0.075	0.8	1.4	6.3	6.4	64.9	5.2	5.0	3.0	7.0
配合比	36	19	11	31	3	100	—	—	—

5 施 工

5.2 施工温度

5.2.1 添加剂型抗车辙沥青混合料规定不应在低于最低气温和雨天、路面潮湿情况下施工是十分重要的。添加剂型抗车辙沥青混合料摊铺和碾压温度要求高于普通沥青混合料，如在寒冷的气候条件或雨天及潮湿环境下施工，将加快添加剂型抗车辙沥青混合料在摊铺现场的降温速度，进入塑性压实温度区，严重影响添加剂型抗车辙沥青路面的压实效果，开放交通后在车辆和其他自然环境条件下会导致严重的早期损坏。

5.2.2 施工温度是沥青路面施工的重要参数。普通沥青混合料根据沥青的黏温曲线确定，改性沥青混合料不再适用于此方法，如 SBS 改性沥青一般在普通沥青混合料温度基础上提高 20℃ 左右。同样，抗车辙添加剂自身的熔融指数及熔点决定了添加剂型抗车辙沥青混合料在搅拌时的温度要求，此时的施工温度不再取决于所用的沥青的黏度，而是根据加入的抗车辙添加剂的性质，沥青的温度依然按照普通混合料搅拌时的加热水平，以防止加热阶段的老化。而抗车辙添加剂的配方技术应能保证在适宜的温度下搅拌及施工不会造成沥青的老化。本标准参考了国内外大部分抗车辙添加剂的建议施工温度，其沥青混合料的施工温度推荐表 5.2.2，实际工程中根据实际情况进行选择，距离较远、气温较低时取高限，运距较近、气温较高时取低限。不可片面地为保证添加剂型抗车辙沥青混合料到达现场的温度而盲目地提高搅拌、出场温度，造成沥青老化，影响沥青路面的耐久性。

5.3 拌 和

5.3.3 抗车辙添加剂的添加应尽量采用专用机械自动计量加入。人工加入时，应配备足够的人员及可靠信号指示装置，防止漏加或少加。选用添加剂型抗车辙沥青混合料的路段或层位一般是车辙病害的高发位置，如果几盘混合料没有加入抗车辙添加剂，在路面施工完成的通车使用阶段将会出现极大的反差，没有加入添加剂的普通沥青混合料会很快出现比较严重的车辙。

5.3.4 抗车辙添加剂能不能均匀地分散在混合料中，对于路面的整体使用性能至关重要，因此要求添加剂型抗车辙沥青混合料的搅拌应有足够的干拌以及湿拌时间。搅拌时间太短，容易造成沥青胶结料裹覆不均匀，或抗车辙添加剂黏团、分散性差；搅拌时间太长，可能会导致混合料过黏，难以压实。

5.4 运 输

5.4.3 为了解决沥青路面施工过程中的交叉污染，进入施工现场的运料车轮胎应冲洗干净。

5.4.4 热拌沥青混合料的运输摊铺机前方有卸料车等候卸车是保证摊铺机连续摊铺的条件。

5.5 摊 铺

5.5.2 采用两台以上摊铺机呈梯度方式进行摊铺，搅拌站的生产能力要跟上，还应控制好两台摊铺机的接缝。

5.7 开放交通

5.7.1 添加剂型抗车辙沥青混合料路面应待摊铺层完全自然冷却至表面温度低于 50℃后，方可开放交通。采用洒水加速冷却容易出现表面温度低于 50℃，而内部温度高于 50℃，通车易出车辙。

6 质量检验

6.0.3 施工压实度的检查应以现场钻孔法为准，当钻孔检验的各项指标持续稳定并达到质量控制要求时，经主管部门同意，钻孔频度可适当减少。沥青路面的成败与否，压实是最重要的工序。许多沥青路面发生早期损坏，大多数都与压实不足有关，因此压实度的评定至关重要。本标准要求压实度为 96%，施工中应对沥青路面的碾压工艺和沥青混合料的保温措施进行过程控制。

沥青路面的平整度是施工队伍人员素质、操作水平、组织管理水平的综合反映，它不仅取决于面层本身，还应从基层甚至路床开始时加强平整度控制，严格工序验收，才能保证路面平整度。

附录 A 配合比设计方法

A.1 配合比设计流程

A.1.1 配合比设计是本标准的核心内容，设计流程的合理安排有助于全面掌握材料的基本参数，便于对设计结果的合理调节。在行业标准《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40 规定的基础上推荐按图 5 进行。

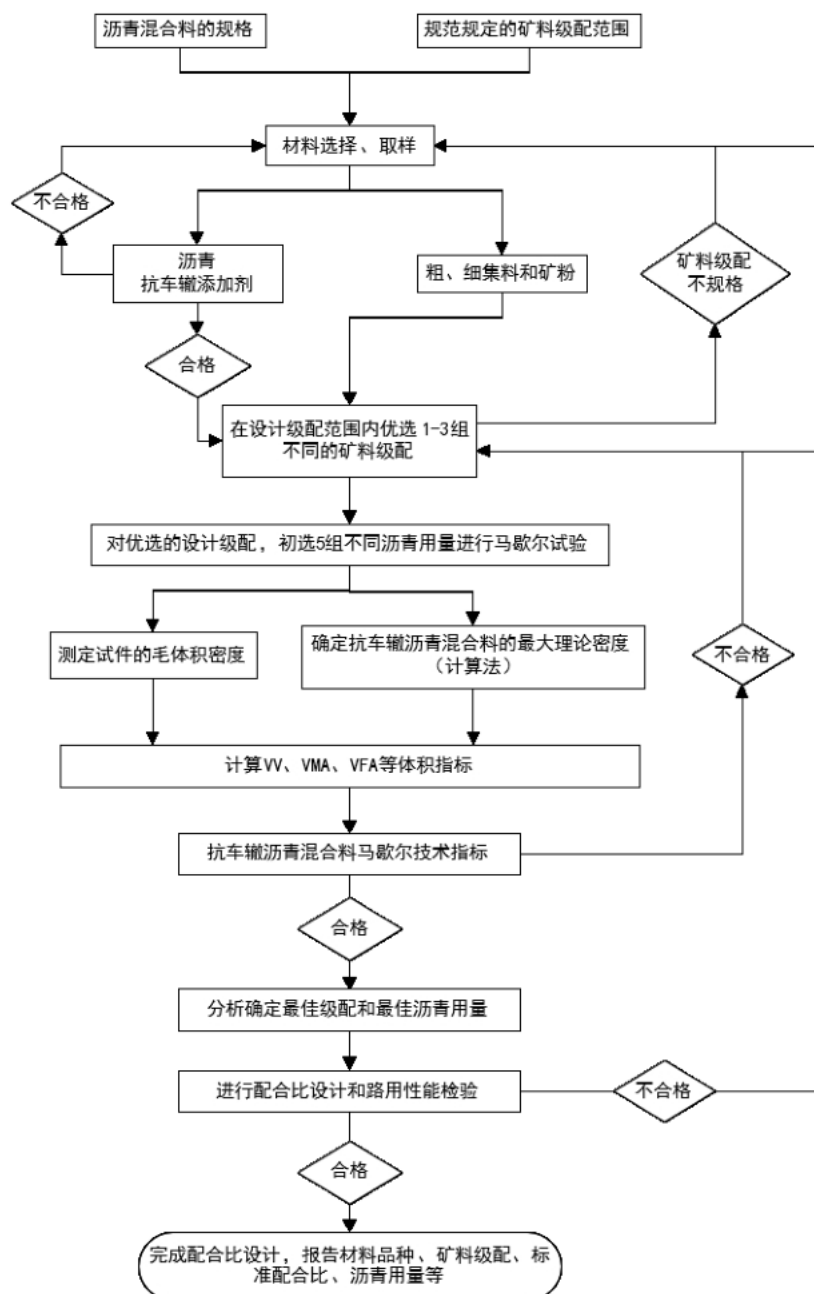


图 5 添加剂型抗车辙沥青混合料目标配合比设计流程

参照现行行业标准《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40 中热拌沥青混合料配合比设计流程的思路，添加剂型抗车辙沥青混合料的配合比设计可以按照图 5 中所推荐的流程进行。

其中初试 3 组级配不仅可以优选确定适合的级配曲线,还可以掌握生产过程中级配的波动所可能带来的结果偏差,有利于在搅拌站试拌结果不理想时正确调整热料仓的配比,提高搅拌站调整的效率。不同沥青用量下马歇尔试验结果的变化规律能够帮助设计者准确找到最佳沥青用量,既能保证各项指标满足马歇尔技术指标要求,又不至于因沥青用量过高或过低造成沥青路面使用过程中病害的过早出现。因此,如果能按上述流程进行添加剂型抗车辙沥青混合料的配合比设计,基本能够保证设计指标和路用性能符合使用要求。

A.2 马歇尔试验

A.2.3 按照公式(A.2.3)进行合成毛体积相对密度 γ_{sb} 的计算,例如其中各档矿料比例 $P_1=36\%$ 、 $P_2=19\%$ 、 $P_3=11\%$ 、 $P_4=31\%$ 、 $P_5=3\%$,各档矿料毛体积相对密度 $\gamma_1=2.702$ 、 $\gamma_2=2.716$ 、 $\gamma_3=2.638$ 、 $\gamma_4=2.698$ 、 $\gamma_5=2.709$,于是得到:

$$\frac{36 \times 2.702 + 19 \times 2.716 + 11 \times 2.638 + 31 \times 2.698 + 3 \times 2.709}{36 + 19 + 11 + 31 + 3} = 696.2 \quad (1)$$

A.2.4 按照公式(A.2.4)进行合成表观相对密度的计算,例如其中各档矿料比例 $P_1=36\%$ 、 $P_2=19\%$ 、 $P_3=11\%$ 、 $P_4=31\%$ 、 $P_5=3\%$,各档矿料表观相对密度 $\gamma_1=2.735$ 、 $\gamma_2=2.758$ 、 $\gamma_3=2.697$ 、 $\gamma_4=2.698$ 、 $\gamma_5=2.709$,于是得到:

$$\frac{36 \times 2.735 + 19 \times 2.758 + 11 \times 2.697 + 31 \times 2.698 + 3 \times 2.709}{36 + 19 + 11 + 31 + 3} = 723.2 \quad (2)$$

A.2.5 按照公式(A.2.5-1)进行合成有效相对密度 γ_{se} 的计算,代入本条文说明上述步骤中计算得到的合成毛体积相对密度 γ_{sb} 、合成表观相对密度 γ_{sa} ,得到:

$$\gamma_{se} = 0.830 \times 2.723 + (1 - 0.830) \times 2.696 = 2.718 \quad (3)$$

$$C = 0.033 \times 0.367^2 - 0.2936 \times 0.367 + 0.9339 = 0.830 \quad (4)$$

$$\omega_x = \left(\frac{1}{2.696} - \frac{1}{2.723} \right) \times 100 = 0.367 \quad (5)$$

A.2.6 按照公式(A.2.6)确定添加剂型抗车辙沥青混合料最大理论密度时,例如抗车辙添加剂的用量 P_h 为 0.35%,相对密度 γ_h 为 0.87,添加剂型抗车辙沥青混合料沥青含量 P_{bi} 为 4.1%,沥青胶结料的相对密度 γ_b 为 1.024,代入本条文说明 A.2.5 中计算得到的合成有效相对密度,可以得到:

A.2.7 添加剂型抗车辙沥青混合料试件的空隙率 VV 、矿料间隙率 VMA 、有效沥青饱和度 VFA 等体积指标按照公式 (A.2.7-1) ~ 公式 (A.2.7-3) 计算, 例如标准试件的毛体积相对密度 γ_f 为 2.427, 代入本条文说明中计算得到的最大理论相对密度, 得到:

$$VV = \left(1 - \frac{2.427}{2.528} \right) \times 100\% = 4\% \quad (7)$$

$$VMA = \left(1 - \frac{2.427}{2.696} \times \frac{95.9}{100} \right) \times 100\% = 13.7\% \quad (8)$$

$$VFA = \frac{13.7 - 4}{13.7} \times 100\% = 70.8\% \quad (9)$$

A.3 最佳沥青用量

A.3.2 在以往的马歇尔设计方法中, 以 OAC_1 和 OAC_2 的平均值作为最佳沥青用量, 其中 OAC_1 为密度最大值、稳定度最大值、目标空隙率 (或中值)、沥青饱和度范围中值所对应沥青用量的平均值, OAC_2 为满足除矿料间隙率外其他指标沥青用量范围中值。大量试验表明, 对所选试验沥青用量范围内, 密度和稳定度经常不能出现峰值。这种情况在工程中十分常见, 说明不是单纯试验误差造成。此时以目标空隙率所对应沥青用量为 OAC_1 来计算。

在 Superpave 设计法中, 直接以目标空隙率 (4%) 所对应的沥青用量作为设计用量, 检验此沥青用量下其他体积参数能否满足设计要求。该方法简单易行、数据明确, 已经越来越多地应用到配合比设计实际工作中。

A.3.4 添加剂型抗车辙沥青混合料中沥青胶结料被集料吸收的比例及有效沥青含量按照公式 (A.3.4-1) 和公式 (A.3.4-2) 计算, 例如已知矿料的合成有效相对密度 γ_{se} 为 2.718、合成毛体积相对密度 γ_{sb} 为 2.696、沥青胶结料的相对密度 γ_b 为 1.024, 各档矿料占沥青混合料总质量的百分率之和 P_s 为 95.9%, 可以得到:

$$p_{ba} = \frac{2.718 - 2.696}{2.718 \times 2.696} \times 1.024 \times 100 = 0.307\% \quad (10)$$

$$P_{be} = 4.1 - \frac{0.307}{100} \times 95.9 = 3.80\% \quad (11)$$

有效沥青的体积百分率 V_{be} 及矿料的体积百分率 V_g 可按公式 (A.3.4-3) 及公式 (A.3.4-4) 计算。

$$V_{be} = \frac{2.427 \times 3.80}{1.024} = 9.0\% \quad (12)$$

$$V_g = 100 - (9.0 + 4.0) = 87\% \quad (13)$$

A.3.5 检查最佳沥青用量时的粉胶比和有效沥青膜厚度。

1 按照公式 (A.3.5-1) 计算沥青混合料的粉胶比, 已知有效沥青含量 P_{be} 为 3.8%, 可以得到:

$$FB = \frac{5.2}{3.8} = 1.36 \quad (14)$$

2 按照公式 (A.3.5-2) 的方法计算集料的比表面积, 按照公式 (A.3.5-3) 估算沥青膜有效厚度, 可以得到:

$$P_{ae} = \frac{3.8}{95.9} \times 100\% = 4.0\% \quad (15)$$

$$DA = \frac{4.0}{1.024 \times 5.045} \times 10 = 7.743\mu\text{m} \quad (16)$$

FA_i ——相应于各种粒径的集料的表面积系数, 如表 3 所列。

表 3 集料的表面积系数

筛孔尺寸(mm)	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
表面积系数 FA_i	0.0041	—	—	—	—	0.0041	0.0082	0.0164	0.0287	0.0614	0.1229	0.3277

沥青膜有效厚度, 概念的本质应该是有效沥青的体积除以矿料总的表面积。因此有:

$$DA = \frac{V_{\text{有效}}}{S_{\text{集料}}} = \frac{\frac{m_{\text{有效}}}{\gamma_b \times \rho_w}}{m_{\text{集料}} \times SA} = \frac{m_{\text{有效}}}{m_{\text{集料}}} \times \frac{1}{\gamma'_b \times \rho_w \times SA} \quad (17)$$

其中, γ'_b 是沥青的相对密度, 实际密度 $\gamma_b = \gamma'_b \times \rho_w$ 。这时就可以看出式 (17) 等号右边第一项实际上就是有效沥青油石比的概念。进一步将各项单位计算写入公式, 有:

$$\begin{aligned}
 DA &= \frac{m_{\text{有效}}(\text{g})}{m_{\text{集料}}(\text{g})} \times \frac{1}{\gamma_b \times \rho_w(\text{g/cm}^3) \times SA(\text{m}^2/\text{kg})} \\
 &= \frac{P_{ae}}{100} \times \frac{1}{\gamma_b \times \rho_w \times SA} \times \frac{\text{cm}^3 \times \text{kg}}{\text{g} \times \text{m}^2} \\
 &= \frac{P_{ae}}{\gamma_b \times SA} \times \frac{1}{100} \times \frac{10^{12} \times \mu\text{m}^3 \times 10^3 \times \text{g}}{\text{g} \times 10^{12} \times \text{m}^2}
 \end{aligned} \quad (18)$$

$$= \frac{P_{ae}}{\gamma_b \times SA} \times 10$$

可见，原沥青路面施工规范中沥青膜有效厚度的计算是错误的，应采用有效油石比 P_{ae} 来进行计算，在本标准中应予以改正。