

泡沫沥青就地冷再生路面施工技术规范

Technical specifications for construction of cold in-place recycling pavement with foamed bitumen

2024 - 10 - 08 发布

2025 - 01 - 08 实施

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	2
5 材料	2
6 配合比设计	5
7 施工	6
8 质量管理与验收	8
附录 A（规范性） 沥青发泡试验	11
附录 B（规范性） 基于激光测距技术的沥青发泡数据采集	13
附录 C（规范性） 沥青最佳发泡条件的确定方法	15
附录 D（规范性） 沥青路面回收料取样与试验	16
附录 E（规范性） 泡沫沥青冷再生混合料配合比设计方法	18

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由山西省交通运输厅提出、组织实施和监督检查。

山西省市场监督管理局对标准的组织实施情况进行监督检查。

本文件由山西省交通运输标准化技术委员会（SXS/TC37）归口。

本文件起草单位：山西省交通科技研发有限公司、山西省公路局晋中分局、山西交科公路勘察设计院有限公司、山西交通科学研究院集团有限公司。

本文件主要起草人：成志强、宋庆瑞、王瑞林、韩利明、霍娟娟、畅晓钰、刘卫、孔繁盛、武溢、段丹军、刘泽锋、郝晋高。

泡沫沥青就地冷再生路面施工技术规范

1 范围

本文件规定了泡沫沥青就地冷再生路面的材料、配合比设计、施工、质量管理与验收等内容。

本文件适用于沥青混合料层、无机混合料层、沥青混合料层 + 无机混合料层的泡沫沥青就地再生施工与验收；泡沫沥青冷再生层可用于各等级公路的基层、二级及以下等级公路的下面层。其他道路工程可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 175 通用硅酸盐水泥
- JTG 3430 公路土工试验规程
- JTG 3432 公路工程集料试验规程
- JTG 3441 公路工程无机结合料稳定材料试验规程
- JTG 3450 公路路基路面现场测试规程
- JTG 5521 公路沥青路面再生技术规范
- JTG E20 公路工程沥青及沥青混合料试验规程
- JTG F40 公路沥青路面施工技术规范
- JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程
- JTG H30 公路养护安全作业规程
- JTG/T F20 公路路面基层施工技术细则
- JTG/T F30 公路水泥混凝土路面施工技术细则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

泡沫沥青就地冷再生

采用专用的泡沫沥青就地冷再生设备，对旧沥青路面进行现场铣刨、翻松，掺入一定比例的泡沫沥青、水泥、集料及水，经常温拌和、摊铺、碾压等工序，实现旧沥青路面再生的技术。

3.2

沥青路面回收料

采用铣刨、开挖等方式从沥青路面上获得的回收料，包括沥青混合料回收料（RAP）、无机回收料（RAI）以及沥青混合料回收料 + 无机回收料的混合料（RAP + RAI）。

3.3

沥青混合料回收料

采用铣刨、开挖等方式从沥青路面上获得的沥青混合料。

3.4

无机回收料

采用铣刨、开挖等方式从沥青路面上获得的无机混合料。

3.5

泡沫沥青冷再生混合料

泡沫沥青与一定比例的沥青路面回收料、水泥、集料及水在常温下进行拌和后形成的一种再生混合料。

3.6

泡沫沥青冷再生混合料级配

将烘干至恒重的沥青路面回收料，与掺入的水泥、集料按照一定比例混合后形成的再生混合料的级配。

3.7

泡沫沥青

将热沥青和水在专用的发泡装置内混合、膨胀，形成的含有大量均匀分散气泡的沥青材料。

3.8

发泡温度

制作泡沫沥青时，沥青的加热温度。

3.9

膨胀率

沥青发泡状态下达到的最大体积与未发泡时沥青体积的比值。

3.10

半衰期

泡沫沥青从最大体积衰减到最大体积的50%时所用的时间。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

RMAP: 沥青路面回收料 (Reclaimed Materials from Asphalt Pavement)

RAP: 沥青混合料回收料 (Reclaimed Asphalt Pavement)

RAI: 无机回收料 (Reclaimed Inorganic Aggregate)

OWC: 最佳含水率 (Optimum Water Content)

OFC: 最佳泡沫沥青用量 (Optimum Foamed-Bitumen Content)

ER: 膨胀率 (Expansion Ratio)

HL: 半衰期 (Half Life)

ITSR: 干湿劈裂强度比 (Indirect Tensile Strength Ratio)

5 材料

5.1 一般规定

5.1.1 各材料使用前应进行质量检验，满足 JTG F40、GB 175 等相关规范要求后方可使用。

5.1.2 不同规格集料、水泥应分开堆放；堆放场地硬化与防雨措施应满足 JTG F40 相关要求。

5.1.3 材料应标识名称、来源、规格、用途等信息。

5.2 沥青

5.2.1 用于发泡的沥青宜采用 90 号或 70 号道路石油沥青，其技术指标应满足 JTG F40 相关要求。

5.2.2 用于重及以上交通荷载等级的公路或面层较薄（ ≤ 5 cm）的公路时，宜选用 70 号沥青；当日平均气温低于 20°C 时且用于中等及以下交通荷载等级的公路时，可选用 90 号沥青。

5.3 泡沫沥青

5.3.1 泡沫沥青性能应满足表 1 技术要求。

表1 泡沫沥青技术要求

项目	单位	技术要求	试验方法
膨胀率	倍	≥ 12	附录A、附录B
半衰期	s	≥ 10	附录A、附录B

5.3.2 对拟选择的沥青应进行发泡试验，确定其最佳发泡条件（即发泡温度与发泡用水量），试验方法见附录 C。

5.3.3 通过调整发泡温度、发泡用水量改善泡沫沥青性能，如不满足表 1 要求时，应更换沥青。

5.4 水泥和水

5.4.1 水泥可采用普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥，不应使用快硬、早强水泥。

5.4.2 水泥强度等级宜为 32.5 或 42.5；初凝时间应在 3 h 以上，终凝时间宜在 6 h~10 h；其余技术指标尚应满足 GB 175 相关要求。

5.4.3 水的技术指标应满足 JTG/T F30 相关要求。

5.5 集料

泡沫沥青冷再生混合料用于下面层时，集料技术指标应满足 JTG F40 要求；用于基层时，应满足 JTG/T F20 要求。

5.6 沥青路面回收料

5.6.1 应按照附录 D 进行 RMAP 取样与分析，宜参照表 2 对 RMAP 质量进行实测。

5.6.2 泡沫沥青冷再生混合料配合比设计时，RMAP 质量应满足表 2 技术要求。

表2 RMAP 实测项目及技术要求

材料	项目	单位	技术要求	试验方法
RAP	含水率	%	实测	附录 D
	最大粒径	mm	≤ 31.5	
	RAP 级配	/	实测	
	沥青含量	%	实测	
	砂当量 ^a	%	≥ 60	

表2 RMAP 实测项目及技术要求 (续)

材料	项目	单位	技术要求	试验方法
RAP 中的沥青	针入度 (25℃, 5s, 100g)	0.1mm	实测	T 0604
	60℃动力黏度	Pa·s	实测	T 0621
	软化点 (R&B)	℃	实测	T 0606
	15℃延度	cm	实测	T 0605
RAI	含水率	%	≤3	附录 D
	最大粒径 ^b	mm	≤37.5	
	RAI 级配	%	实测	
	不均匀系数	/	≥5	
	塑性指数	/	≤17	
^a 砂当量检测对象为RAP中4.75 mm以下部分。 ^b 水泥稳定砂砾可适当放宽。				

5.7 泡沫沥青冷再生混合料

5.7.1 泡沫沥青冷再生沥青混合料的级配范围应符合表3要求。

表3 泡沫沥青冷再生混合料级配范围

类型	通过下列筛孔 (mm) 的质量百分率 (%)								
	37.5	26.5	19	13.2	9.5	4.75	2.36	0.3	0.075
粗粒式	100	85~100	—	60~85	—	30~55	20~40	7~20	4~12
中粒式		100	85~100	—	55~80	35~60	25~45	8~22	4~12
细粒式			100	85~100	—	40~65	28~45	9~23	4~12

5.7.2 泡沫沥青冷再生混合料设计指标应满足表4技术要求。

表4 泡沫沥青冷再生沥青混合料设计指标要求

项目		技术要求		试验方法
		重及以上交通荷载等级	其它交通荷载等级	
马歇尔试件尺寸 (mm)	中、细粒式	Φ101.6×63.5		T 0702
	粗粒式	Φ152.4×95.3		
马歇尔试件双面击实次数 (次)	中、细粒式	75		T 0702
	粗粒式	112		
15℃劈裂试验强度 (MPa)	下面层	≥0.60	≥0.50	附录 E
	基层	≥0.50	≥0.40	
干湿劈裂强度比 (%)		≥80	≥75	

5.7.3 泡沫沥青冷再生混合料性能应满足表 5 技术要求。

表5 泡沫沥青冷再生混合料性能技术要求

适用层位	项目	技术要求		试验方法
		重及以上交通荷载等级	其它交通荷载等级	
下面层、基层	冻融劈裂强度比 (%)	≥75	≥70	T 0729
下面层	60℃动稳定度 (次/mm)	≥4000	≥3000	附录 E
基层	无侧限抗压强度 (MPa)	≥1.5	≥1.0	

6 配合比设计

6.1 一般规定

6.1.1 根据工程要求、交通荷载等级、使用层位、气候条件，选用符合要求的材料，进行再生混合料配合比设计。

6.1.2 应按照目标配合比设计、生产配合比设计、生产配合比验证三阶段进行再生混合料配合比设计。

6.1.3 在各阶段配合比设计过程中，应从工程实际使用的材料中取有代表性的样品。RMAP 取样应符合附录 D 要求；沥青、水泥及集料取样应符合 JTG E20、GB 175 及 JTG 3432 相关规定。

6.2 目标配合比设计

6.2.1 泡沫沥青冷再生混合料目标配合比设计应按照附录 E 进行。

6.2.2 泡沫沥青冷再生层用作基层时，宜采用粗粒式级配；用作下面层时，宜采用粗粒式或中粒式级配。轻交通荷载等级公路的下面层，可采用细粒式级配。

6.2.3 泡沫沥青用量、水泥用量应根据附录 E 配合比设计结果确定。泡沫沥青用量不宜低于 2.0%；水泥用量不宜超过 1.5%，最大不应超过 1.8%。

6.2.4 泡沫沥青冷再生混合料配合比设计，应检验其冻融劈裂强度比指标。用于下面层或对抗车辙性能有特殊要求的场合时，还应检验其动稳定度指标；用于基层时，宜检验其无侧限抗压强度指标。混合料性能指标应满足表 5 技术要求；否则应更换材料或者重新进行混合料设计。

6.3 生产配合比设计

6.3.1 应采用与施工时相同的再生机以相同的铣刨速度、铣刨宽度、铣刨深度进行 RMAP 现场取样。

6.3.2 根据 RMAP、水泥、集料等原材料现场实际情况，对各原材料的掺配比例进行适当调整，使其尽量贴近目标配合比确定的级配曲线。

6.3.3 以目标配合比设计确定的最佳泡沫沥青用量为中值，成型以 0.3%为间隔的 3 组（-0.3%、中值、+0.3%）泡沫沥青冷再生混合料；养生后测其劈裂强度、干湿劈裂强度比以及混合料各项性能指标，综合确定生产配合比的最佳泡沫沥青用量。生产配合比确定的最佳泡沫沥青用量与目标配合比设计结果的差值不宜大于±0.2%。

6.3.4 生产配合比设计结果应包括：原材料性能试验结果；选用的级配范围，RMAP、水泥、集料的掺配比例；沥青最佳发泡温度、发泡用水量；混合料最大干密度、最佳拌和用水量、最佳泡沫沥青用量；混合料干湿劈裂强度、劈裂强度比及性能试验结果等。

6.4 生产配合比验证

6.4.1 以生产配合比设计结果为基础，通过再生机上的沥青发泡喷嘴进行沥青现场发泡效果验证；确

定水泥撒布车、集料撒布车各自行走速度；对再生混合料级配、泡沫沥青用量、水泥用量、最佳拌和用水量等进行现场验证。

6.4.2 从再生机后方出料处提取再生混合料并成型试件，对其劈裂强度、干湿劈裂强度比以及混合料性能指标等进行检验，验证是否满足本文件及设计文件的相关要求。

6.4.3 生产配合比验证结束后，应形成合理、清晰的生产参数，为正式施工提供指导。

7 施工

7.1 一般规定

7.1.1 泡沫沥青就地冷再生施工宜在气温较高时进行，当气温低于 10℃时不宜进行施工；不应在雨天施工。

7.1.2 施工期间应依据设计文件要求及 JTG H30 相关规定，做好交通组织及安保措施。

7.2 设备要求

7.2.1 泡沫沥青就地冷再生施工设备包括：再生机、沥青罐车、水车、集料撒布车、水泥撒布车（或水泥稀浆车）、平地机、双钢轮压路机（11 t 及以上）、单钢轮压路机（16 t 及以上）、胶轮压路机（25 t 及以上）等。

7.2.2 再生机依据功能不同，可分为两种：一体式再生机、后出料式再生机。一体式再生机具有沥青发泡、铣刨、拌和及摊铺的功能；后出料式再生机具有沥青发泡、铣刨、拌和的功能。再生层的纵断面高程、平整度等指标要求较高时，宜采用后出料式再生机 + 摊铺机的机械组合进行施工。

7.2.3 再生机应满足以下功能要求：

- a) 沥青发泡功能：沥青发泡装置应能按照设定的发泡温度、发泡用水量，进行泡沫沥青生产；泡沫沥青喷洒系统应能精准计量泡沫沥青的喷洒量，并能与铣刨深度、铣刨速度、材料密度等联动，实现不同工况下泡沫沥青用量可显示、可调节、可监测的目的；喷嘴在工作宽度范围内应均匀分布，各喷嘴可独立开启与关闭；
- b) 铣刨功能：能够将沥青路面进行铣刨，铣刨宽度、深度可调节；最小铣刨宽度应不小于 2 m，最大铣刨深度应不低于 15 cm；
- c) 拌和功能：能够将铣刨的 RMAP 与泡沫沥青、水泥、集料及水等材料进行均匀拌和；供水系统的流量应可显示、可调节，确保混合料拌和用水量准确添加；
- d) 摊铺功能：一体式再生机应能将再生混合料摊铺成层，其松铺厚度可调节；后出料式再生机应联合摊铺机进行摊铺作业。

7.2.4 沥青罐车应能根据设定的温度，对沥青进行加热、保温。

7.2.5 集料撒布车、水泥撒布车应车况性能稳定，材料撒布均匀，计量系统准确、可调。

7.3 施工准备

7.3.1 检查各施工设备的性能，保证其处于良好的工作状态；连接各设备与再生机相连的管道。

7.3.2 做好技术、材料、设备、人员、交通组织、后勤保障等各方面的准备工作。

7.3.3 正式施工前应铺筑试验段，试验段长度不宜小于 200 m。通过铺筑试验段应完成下列工作内容：

- a) 检验再生设备的性能是否满足施工需要；
- b) 确定就地冷再生机参数设置、铣刨深度、再生速度、摊铺工艺、压实工艺、合理施工作业段长度、养生时间等施工工艺和参数；
- c) 验证混合料生产配合比设计；

d) 检验压实度、平整度、厚度等现场质量控制指标；

e) 建立就地冷再生机仪表显示值与实际值的相关关系，检验质量控制方案的可行性和可操作性等。

7.3.4 需要分幅完成再生作业时，应综合考虑施工季节、气候条件、再生宽度、设备性能、操作熟练程度、水泥终凝时间等因素，确定每个作业段的长度（宜控制在 100 m~200 m）。

7.4 再生作业

7.4.1 撒布集料

7.4.1.1 集料应保持干燥。添加两种及以上不同规格的集料时，应按设计比例预先混合均匀。

7.4.1.2 集料宜采用撒布车进行撒布，其行驶速度应根据生产配合比结果确定。无条件时亦可采用人工撒布，撒布厚度应均匀，宜按照每 100 m²~300 m²面积进行总量控制。

7.4.2 撒布水泥

7.4.2.1 水泥宜采用撒布车进行撒布，无条件时亦可采用人工进行撒布。人工撒布时，应佩戴防尘器具，现场应做好防尘措施。

7.4.2.2 水泥撒布一旦完成，除再生机（包括附属设备）以外的其它车辆一律不得进入施工区域。

7.4.2.3 在邻近居住区、人口稠密区或环保要求较高的区域施工时，水泥宜采用稀浆车进行液态添加。根据生产配合比确定的水泥用量、最佳拌和用水量配制水泥浆；水泥浆通过输送管道，泵吸至再生机的搅拌室内完成添加。

7.4.3 再生机作业

7.4.3.1 再生机应按照设定的铣刨深度与宽度，均匀、连续地对沥青路面进行铣刨作业。一般路段铣刨速度宜为 2 m/min~4 m/min，不应随意变更速度或者中途停顿。

7.4.3.2 将生产配合比确定的发泡温度、发泡用水量、泡沫沥青用量等参数，输入再生机操控系统进行泡沫沥青生产与喷洒。

7.4.3.3 RMAP 与泡沫沥青、集料、水与水泥等材料在再生机搅拌室内完成拌和。拌和后的混合料应均匀、一致；如发现混合料中存在明显沥青结团或成絮时，应立即停止生产，查明原因加以解决后方可继续生产。

7.4.3.4 混合料摊铺时应匀速、连续，摊铺速度应与铣刨速度相匹配，不得随意变换速度或中途停顿。摊铺应满足以下要求：

- a) 采用一体式再生机进行摊铺时，摊铺厚度应合理，确保单位时间内摊铺槽的进料、出料数量基本平衡，不得出现缺料或溢料的情况；
- b) 采用后出料式再生机 + 摊铺机的机械组合进行摊铺时，摊铺机的摊铺能力应与后出料式再生机的再生能力相匹配；根据工程需要选择高程控制、平衡梁、雪橇式等摊铺厚度控制方式；
- c) 松铺系数应根据试验段的结果确定；
- d) 摊铺机的摊铺宽度应与再生铣刨宽度保持一致；
- e) 摊铺过程中应随时检查摊铺层厚度、路拱和横坡等，摊铺出的混合料不应出现明显离析、波浪、裂缝、拖痕，发现问题应及时处理。

7.5 整平

7.5.1 再生层平整度不符合要求时，应采用平地机对再生层进行整平，整平应在初压完成后立即进行。

7.5.2 在直线和不设超高的平曲线段，平地机应由路肩向路中心刮平；在设超高的平曲线段，平地机应由低到高刮平。整平后多余的混合料应予以废弃。

7.5.3 平地机整平后的再生层应达到规定的坡度和路拱，其表面应无集料离析现象。

7.5.4 整平后如再生层表面水分散失比较严重，应补水再进行复压。

7.6 碾压

7.6.1 再生混合料碾压工序分初压、复压、终压，常用碾压工艺参考表 6；具体压实工艺宜由试验段确定。

表6 泡沫沥青冷再生混合料压实工艺

碾压工序	压路机类型	碾压速度 (km/h)	碾压遍数
初压	11 t 以上双钢轮压路机	1.5~3	1 遍静压 ^a
	11 t 以上双钢轮压路机	1.5~3	1~2 遍振动
复压	16 t 以上单钢轮压路机	2~4	3~5 遍振动
终压	25 t 以上轮胎压路机	2~4	4~6 遍静压

^a 11 t 双钢轮压路机紧跟再生机组静压1遍，已达到封水作用，防止混合料水分蒸发过快。

7.6.2 混合料宜在最佳含水率情况下进行碾压，避免出现弹簧、松散、起皮等现象。碾压过程应紧凑有序，避免水分蒸发过快；必要时应及时洒水补充，确保再生层表面湿润。

7.6.3 从混合料开始拌和至碾压完成的时间间隔，不得超过水泥的初凝时间。

7.6.4 对于碾压设备无法压实的局部区域，应选用小型压路机或人工振动夯实进行压实。

7.6.5 对于直线路段、不设超高的平曲线路段，应由两侧路肩向路中心碾压；对设超高的平曲线路段，应由内侧路肩向外侧路肩碾压。

7.7 接缝处理

7.7.1 泡沫沥青就地冷再生施工必须接缝紧密、连接平顺，不得产生明显的接缝离析。

7.7.2 每次再生作业时，横向接缝处相连两个作业段搭接宽度不宜小于 50 cm，纵向接缝处相邻两幅再生面搭接宽度不应小于 15 cm。

7.7.3 接缝处碾压时，横向接缝应从完全压实的路段一侧沿接缝方向反复碾压，并逐渐移向新铺面。

7.7.4 纵向接缝应避免轮迹位置，碾压方法同横向接缝。

7.8 养生及开放交通

7.8.1 再生层在加铺上层结构前，应在封闭交通条件下进行自然养生；养生时间不宜少于 7 d，不应少于 48 h。

7.8.2 当再生层使用 $\Phi 100$ mm 钻头的钻芯机可取出完整的芯样，或再生层含水率低于 2% 时，可提前结束养生。

7.8.3 日平均气温高于 20℃ 且封闭交通养生 24 h 后，可根据工程需要允许小型车辆通行，但应严格限制重型车辆。车辆行驶速度应控制在 40 km/h 以内。严禁车辆在再生层上调头和紧急制动。

7.8.4 在养生完成后尚未加铺上层结构前，根据工程需要车辆通行时，宜进行表面处治。加铺上层结构前，宜喷洒粘层油以提高层间粘结性能。

8 质量管理与验收

8.1 一般规定

8.1.1 泡沫沥青就地冷再生施工应根据全面质量管理的要求，建立健全有效的质量保证体系，对施工各工序的质量进行检查评定，确保达到规定的质量标准以及施工质量的稳定性。

8.1.2 加强施工过程质量控制，实行动态质量管理。

8.1.3 加强对再生机组各设备的监管，相关操作人员应经过专业的培训。

8.1.4 所有与工程建设有关的原始记录、试验检测及计算数据、汇总表格，应如实记录和保存。对已经采取措施进行返工和补救的项目，应在原始记录中注明。

8.2 材料检验

各原材料质量检查项目、频度按照表7执行，其检验结果应满足设计文件及本文件相关技术要求。

表7 原材料检查项目与频度

材料	检查项目	检验频度	
		高速、一级公路	其他等级
沥青	沥青的针入度、延度、软化点	每2~3个工作日1次	每周1次
泡沫沥青	泡沫沥青的膨胀率、半衰期	每2~3个工作日1次	每周1次
	沥青温度	每天施工前	每天施工前
粗集料	针片状颗粒含量，表观相对密度，级配，压碎值	根据需要时	根据需要时
细集料	级配，表观相对密度，塑性指数，松方密度	根据需要时	根据需要时
	含水率	每天施工前	每天施工前
RMAP	级配	发现异常时	发现异常时
水泥	强度、初凝时间、终凝时间	根据需要时	根据需要时

8.3 施工质量检验

8.3.1 施工过程中再生混合料检查项目、频度按照表8执行。

表8 再生混合料检查项目及频度

检查项目	质量要求	检验频度		检验方法
		高速、一级公路	其他等级	
再生混合料外观	无明显离析，无沥青结团	随时		目测
沥青用量 (%)	设计值 ± 0.2	每1个工作日1次		总量控制
含水量 (%)	设计值 ± 1	每1个工作日1次		T 0801
水泥用量 (%)	设计值 ± 0.3	每1个工作日1次		总量控制
劈裂强度	15℃劈裂强度 (MPa)	每1个工作日1次	每2~3个工作日1次	附录 E
	干湿劈裂强度比 (%)			
冻融劈裂强度比 (%)	满足设计及表5要求	每1个工作日1次	每2~3个工作日1次	T 0729
动稳定度 (次/mm)	满足设计及表5要求	必要时		附录 E
无侧限抗压强度 (MPa)	满足设计及表5要求	每2~3个工作日1次		T 0805
混合料级配	满足设计及表3要求	每1个工作日1次	每2~3个工作日1次	T 0302

8.3.2 泡沫沥青就地冷再生路面施工过程的检查项目、频度和质量标准应符合表9的要求。

表9 施工过程质量检验项目及频度

检查项目	质量要求		检验频度	检验方法
	高速、一级公路	其他等级		
外观	表面平整密实，无浮石、弹簧现象，无明显压路机轮迹		随时	目测
厚度（mm）	设计厚度±10	设计厚度±15	每2000 m ² 检查一点，单点评价	T 0912
压实度 ^a （%）	≥100（重及以上交通荷载等级） ≥99（其他交通荷载等级）		每车道每1 km检查3点	T 0921
沥青温度（℃）	设计发泡温度±8		随时	温度计
平整度 ^b （标准差）（mm）	≤2.0（1.8）	≤3.0（2.8）	连续测量	T 0932
宽度（mm）	不小于设计宽度，边缘线整齐、顺适		每100 m检验2处	T 0911
纵断面高程（mm）	符合设计要求		每100 m检验1个断面	T 0911
横坡（%）	符合设计要求		每100 m检验1个断面	T 0911
^a 以试验室击实测得的标准密度为基准。 ^b 括号内数字是针对冷再生层上加铺的沥青层厚度小于80 mm的情况。				

附录 A (规范性) 沥青发泡试验

A.1 一般规定

- A.1.1 本方法适用于室内使用沥青发泡设备，进行沥青发泡性能试验。
- A.1.2 沥青发泡试验应在常温（ $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ）条件进行试验。
- A.1.3 发泡试验用过的沥青，不应重复用于发泡。
- A.1.4 试验用仪器和工具应计量检定，确保其合格、有效。

A.2 仪器与材料

A.2.1 沥青发泡设备

沥青发泡设备应满足以下基本要求：

- a) 配有不低于 20 L 容量的沥青罐，可根据设定的发泡温度通过泵送循环系统对沥青进行加热和保温，沥青保温过程中每 5 min 温度变化不超过 5°C ；
- b) 发泡喷嘴喷射泡沫沥青的速率约 100 g/s；
- c) 试验温度变化时应能对沥青喷射时间进行标定，以保证沥青喷射量在 500 g；
- d) 应能在一定的气压（通常为 400 kPa）与水压（通常为 500 kPa）条件下，根据沥青流量对用水量进行标定。

A.2.2 辅助工具

沥青发泡试验配置的辅助工具包括钢桶、量尺、秒表等，应满足以下要求：

- a) 接收泡沫沥青的钢桶直径为 275 mm，容积为 20 L；
- b) 使用随沥青发泡设备附带的量尺，或使用精度高于该量尺的其它量具；
- c) 秒表精度不低于 0.1 s。

A.2.3 材料

沥青；水。

A.3 试验步骤

- A.3.1 通过沥青泵送循环系统，将沥青加热至预定的发泡温度，并在开始试验前至少维持 5 min。
- A.3.2 标定沥青的喷射流量，并设置计时器，使每次沥青的喷射量为 500 g。
- A.3.3 设定水流量控制计，使水流量达到要求的用水量。
- A.3.4 在预定的发泡温度、用水量条件下制作泡沫沥青，并将其喷射到加热至 75°C 的钢桶中。泡沫沥青喷射结束后，当其体积膨胀达到最大时，迅速按下秒表，开始记录时间。
- A.3.5 使用量尺测定量桶内泡沫沥青的最大高度，作为泡沫沥青的膨胀率（ER）。
- A.3.6 使用秒表测定泡沫沥青衰减至最大体积一半时所持续的时间（精确到 0.1 s），作为泡沫沥青的半衰期（HL）。
- A.3.7 重复试验三次，取平均值作为试验结果。

A.3.8 重复上述步骤，分别测定不同发泡温度（范围宜为140℃~170℃，间隔10℃）、发泡用水量（范围宜为1.0%~4.0%，间隔0.5%）条件下，泡沫沥青的膨胀率（ER）与半衰期（HL）。

A.4 试验报告

沥青发泡试验报告至少应包括以下内容：

- a) 沥青品牌、种类、型号等信息；
- b) 不同发泡温度、发泡用水量条件下，泡沫沥青的膨胀率（ER）与半衰期（HL）；
- c) 发泡设备参数等信息。

附录 B
(规范性)
基于激光测距技术的沥青发泡数据采集

B.1 一般规定

B.1.1 本方法适用于采用激光测距仪对泡沫沥青膨胀、衰减过程数据进行实时采集，以准确测定泡沫沥青的膨胀率（ER）与半衰期（HL）。

B.1.2 本方法可作为附录A沥青发泡试验的辅助方法；在试验条件允许的情况下，宜采用本方法对附录A测试结果进行复核。

B.2 仪器

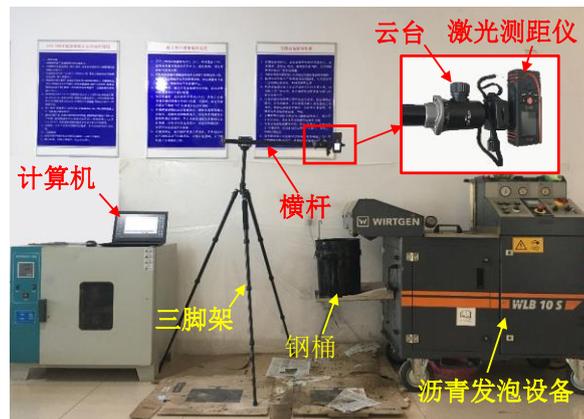
B.2.1 激光测距仪数据采集频率宜为3次/秒~4次/秒，测距精度达±1.0 mm；应具有数据存储功能或蓝牙功能，便于将采集的数据实时传输于计算机中。

B.2.2 用于固定激光测距仪的三脚架、带有伸缩功能的横杆以及配置有球体压的云台。

B.3 试验步骤

B.3.1 将三脚架置于沥青发泡设备一侧，横杆固定于三脚架上，云台固定于横杆一端；激光测距仪通过球体压与云台相连。

B.3.2 调整横杆长度，使激光测距仪位于钢桶正上方；调节球体压的转向，确保激光测距仪发射激光能够竖直打入钢桶底面。开启激光测距仪，记录测距仪与钢桶桶底的距离，即初始高度 h_0 。



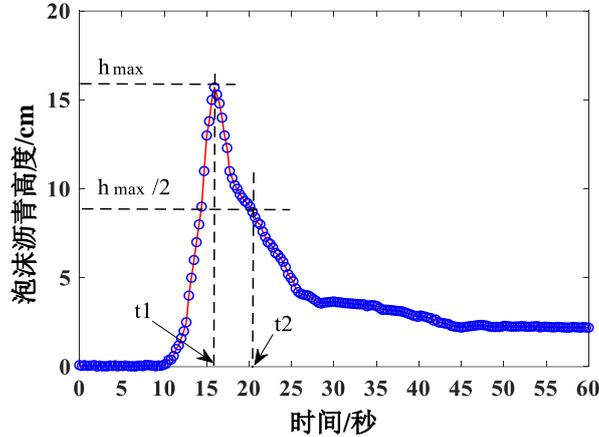
图B.1 激光测距仪采集沥青发泡数据试验装置

B.3.3 按照附录A试验方法进行沥青发泡试验。当泡沫沥青通过喷嘴喷入钢桶后，其体积迅速膨胀而后发生衰减。激光测距仪实时采集泡沫沥青膨胀、衰减过程中的高度数据 h_t ，并将数据进行存储或实时传输于计算机中。

B.4 数据处理

B.4.1 计算泡沫沥青喷出后不同时间 t 条件下，初始高度 h_0 与发泡高度数据 h_t 的差值 $\Delta h=h_0-h_t$ ，即为泡沫沥青的高度变化。

B.4.2 绘制时间 t 与泡沫沥青高度变化 Δh 的关系曲线，如图B.2。



图B.2 泡沫沥青 $t-\Delta h$ 关系曲线

B.4.3 通过泡沫沥青 $t-\Delta h$ 关系曲线，读取泡沫沥青膨胀后达到的最大高度 h_{max} 。最大高度 h_{max} 与未发泡状态下沥青高度 h_v 的比值，即为泡沫沥青的膨胀率（ER）。

$$ER = \frac{h_{max}}{h_v} \tag{B.1}$$

式中：

ER——泡沫沥青的膨胀率，倍；

h_{max} ——泡沫沥青膨胀的最大高度，cm；

h_v ——未发泡状态下沥青高度，cm。 h_v 应根据沥青质量、密度以及钢桶底面积进行计算，500 g沥青高度 h_v 约为0.84 cm。

B.4.4 读取泡沫沥青膨胀至最大高度 h_{max} 所对应的时间 t_1 以及衰减至 $h_{max}/2$ 时所对应时间 t_2 ，计算两者的时间间隔，即为泡沫沥青的半衰期（HL）。

$$HL = t_2 - t_1 \tag{B.2}$$

式中：

HL——泡沫沥青的半衰期，s；

t_1 ——泡沫沥青膨胀达到最大高度时对应的的时间，s；

t_2 ——泡沫沥青高度衰减至最大高度一半时对应的的时间，s。

附录 C
(规范性)
沥青最佳发泡条件的确定方法

C.1 一般规定

C.1.1 沥青最佳发泡条件包括最佳发泡温度与最佳发泡用水量。

C.1.2 本方法用于确定沥青的最佳发泡条件，为沥青发泡性能评价、泡沫沥青冷再生混合料配合比设计、泡沫沥青冷再生路面施工提供参数。

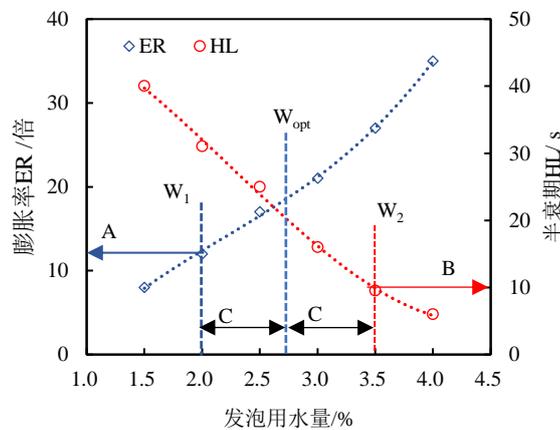
C.2 确定方法

C.2.1 依据附录A，分别测定不同发泡温度（范围宜为140℃~170℃，间隔10℃）、发泡用水量（范围宜为1.0%~4.0%，间隔0.5%）条件下，泡沫沥青的膨胀率（ER）与半衰期（HL）。

C.2.2 在同一发泡温度下，绘制膨胀率（ER）、半衰期（HL）随发泡用水量的变化曲线；如图C.1。按照式（C.1），计算该发泡温度对应的最佳发泡用水量 W_{opt} 。

$$W_{opt} = \frac{W_1 + W_2}{2} \quad (C.1)$$

式中： W_{opt} 为某一发泡温度对应的最佳发泡用水量，%； W_1 为发泡用水量的下限值，即容许的最小膨胀率（ER）对应的发泡用水量，%； W_2 为发泡用水量的上限值，即容许的最小半衰期（HL）对应的发泡用水量，%。当 W_1 低于1.5%时取值1.5%，当 W_2 超过4.0%时取值4.0%。



(A: 最小膨胀率; B: 最小半衰期; C: 平均)

图C.1 最佳发泡用水量

C.2.3 重复上述步骤，确定其他发泡温度对应的最佳发泡用水量 W_{opt} 。

C.2.4 比较不同发泡温度下，最佳发泡用水量对应的膨胀率（ER）与半衰期（HL），选择膨胀率（ER）与半衰期（HL）相加数值最大的发泡温度，作为最佳发泡温度；对于数值相等的，取发泡温度较高的作为最佳发泡温度。沥青的最佳发泡条件即为此温度以及此温度对应的最佳发泡用水量。

附录 D
(规范性)
沥青路面回收料取样与试验

D.1 一般规定

- D.1.1 本方法适用于就地冷再生工程的前期调查以及混合料配合比设计阶段。
- D.1.2 沥青路面回收料 (RMAP) 宜采用再生设备对拟再生路段进行现场铣刨, 从铣刨的回收料中进行取样; 条件不允许时可采用铣刨机进行铣刨取样。

D.2 取样方法

- D.2.1 依据JTG 3450中附录A相关规定, 现场随机确定取样点位置。
- D.2.2 依据路面结构、路面维修记录、路况评定结果, 将情况相同或相近路段划分为同一取样单元。每个取样单元路段长度不宜大于5000 m, 且不宜小于500 m; 每个取样单元内每个车道分别取样1处。
- D.2.3 宜采用与正式生产相同设备型号的再生机进行现场铣刨、取样。铣刨速度宜为2 m/min~4 m/min, 铣刨宽度不宜小于2 m, 铣刨深度宜与拟处治沥青路面结构层厚度一致。
- D.2.4 RMAP取样数量, 应满足相关试验要求。

D.3 试样存放

- D.3.1 试样应存放在干净、干燥阴凉处, 妥善保存备用。
- D.3.2 应标明试样混合料类型、取样时间、取样位置及结构层位等信息, 防止试样混杂。

D.4 试样缩分

- D.4.1 分料器法: 将试样拌和均匀, 通过分料器分成大致相等的两份, 再取其中的一份分成两份, 缩分至需要的数量为止。
- D.4.2 四分法: 将所取试样置于平板上, 在自然状态下拌和均匀, 大致摊平, 然后从摊平的试样中心沿互相垂直的两个方向把试样向两边分开, 分成大致相等的四份, 取其中对角的两份重新拌匀, 重复上述过程, 直至缩分至所需的数量。

D.5 RMAP 试验**D.5.1 含水率**

根据烘干前后RMAP质量变化, 按式 (D.1) 计算其含水率 ω 。试验方法参照JTG 3432中的T 0305方法, 烘箱加热温度调整为105℃恒温。

$$\omega = \frac{m_w - m_d}{m_d} \times 100\% \quad (\text{D.1})$$

式中:

m_d ——RMAP烘干至恒重的质量, g;

m_w ——RMAP烘干前的质量, g。

D.5.2 RMAP级配

采用干筛法对RMAP进行筛分试验，确定其级配。试验方法参照JTG 3432中的T 0327与T 0302方法，材料加热温度调整为60℃。

D.5.3 砂当量

将RMAP加热干燥至恒重，加热温度为60℃；采用4.75 mm筛网筛除RMAP的粗颗粒，进行砂当量指标检测。试验方法按照JTG 3432中的T 0334方法。

D.5.4 RAP中沥青含量和沥青性能

将RAP加热干燥至恒重，加热温度为60℃；按照JTG E20中的T 0726方法，确定RAP中沥青含量；依据JTG E20相关试验方法对回收沥青性能进行测试。

D.5.5 RAI性能

参照JTG 3430中的T 0115与T 0118方法，分别测定RAI的不均匀系数 C_u 、塑性指数 I_p 。

附 录 E
(规范性)
泡沫沥青冷再生混合料配合比设计方法

E.1 一般规定

- E.1.1 本方法适用于使用马歇尔方法进行泡沫沥青冷再生混合料的配合比设计。
- E.1.2 通过泡沫沥青冷再生混合料配合比设计，应确定混合料的矿料级配、水泥用量、最佳泡沫沥青用量、最大干密度及最佳含水率。
- E.1.3 中、细粒式泡沫沥青冷再生混合料宜采用标准击实法成型（ $\Phi 101.6 \text{ mm} \times 63.5 \text{ mm}$ ），粗粒式泡沫沥青冷再生混合料应采用大型击实法成型（ $\Phi 152.4 \text{ mm} \times 95.3 \text{ mm}$ ）。
- E.1.4 泡沫沥青冷再生沥青混合料的配合比设计，应按照图E.1的步骤进行。

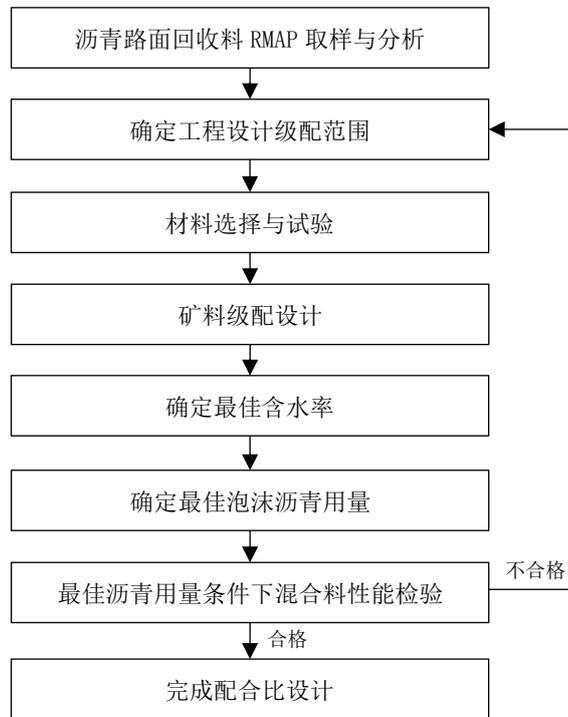


图 E.1 泡沫沥青冷再生混合料设计流程

E.2 沥青路面回收料取样与分析

- E.2.1 按照附录D的规定，对RMAP进行取样与分析。
- E.2.2 按照本文件表2的要求实测RMAP各项技术指标。

E.3 确定工程设计级配范围

工程设计级配范围应在本文件规定的级配范围内，根据交通荷载情况和使用层位等因素确定。经确定的工程设计级配范围是配合比设计的依据，不得随意变更。

E.4 材料选择与试验

E.4.1 配合比设计所用集料，其质量应满足本文件的技术要求。当单一规格的集料某项指标不合格，但不同粒径规格的集料按照设计级配组成混合后形成的冷再生混合料指标能符合本文件要求时，允许使用。

E.4.2 按照本文件附录A的方法进行沥青发泡试验，其膨胀率与半衰期应满足表1的要求。

E.4.3 配合比设计所用的RMAP、水泥、集料等必须按照相关规定，从工程实际使用的材料中取有代表性的样品进行检测，质量应满足本文件相关要求。

E.5 矿料级配设计

E.5.1 测得RMAP、水泥、集料等各组成材料的级配。

E.5.2 以RMAP级配为基础，掺入不同比例的集料、水泥等，使合成级配满足工程设计级配的要求。

E.5.3 在矿料级配设计时，宜预先固定水泥用量（推荐用量介于1.2%~1.5%）；如泡沫沥青冷再生混合料性能检验结果不满足相关要求时，可适当增大水泥用量，但不应超过1.8%。水泥用量以“内掺法”计，即水泥质量与干燥的合成矿料（包含RMAP、水泥、集料）总质量的比值。

E.5.4 合成级配曲线应平顺，不得有太多锯齿形交错。

E.6 确定最佳含水率

E.6.1 按照JTG 3430中的T 0131方法，对未添加泡沫沥青的合成矿料（包含RMAP、水泥、集料）进行击实试验，以最大干密度对应的含水率作为冷再生混合料的最佳含水率OWC。

E.6.2 宜取最佳含水率OWC的80%作为泡沫沥青冷再生混合料最佳拌和用水量。

E.7 确定最佳泡沫沥青用量

E.7.1 泡沫沥青用量为泡沫沥青折合为纯沥青后占混合料其余部分干重的百分比。以预估的泡沫沥青用量为中值（通常为2.5%左右），按照一定间隔（通常为0.5%）变化形成4~5个泡沫沥青用量（1.5%、2.0%、2.5%、3.0%、3.5%），保持冷再生混合料最佳拌和用水量不变，按照以下方法制备马歇尔试件：

- a) 按照各矿料掺配比例，向拌和机内加入沥青路面回收料、集料、水泥；
- b) 按照计算得到的拌和用水量（最佳拌和用水量扣除合成矿料中的水）加水，拌和均匀，拌和时间一般为1 min；
- c) 按照计算的泡沫沥青用量喷入泡沫沥青，拌和均匀，拌和时间一般为1 min；
- d) 将拌和均匀的混合料装入试模，放到马歇尔击实仪上，双面各击实75次（标准击实试件）或112次（大型击实试件）；
- e) 将试样连同试模一起侧放在60℃的鼓风烘箱中养生至恒重，养生时间一般不少于40 h；
- f) 将试模从烘箱中取出，侧放并在室温下冷却至少12 h后脱模。

E.7.2 测试各组试件的15℃劈裂强度、浸水24 h的劈裂强度，并计算试件的干湿劈裂强度比：

- a) 15℃劈裂强度试验方法：应按照JTG E20中的T 0716方法，将试件浸泡在15℃恒温水浴中2 h，然后取出试件立即测试其15℃劈裂强度；
- b) 浸水24 h劈裂强度试验方法：应将试件完全浸泡在25℃恒温水浴中22 h，再按照JTG E20中的T 0716方法，将试件在15℃恒温水浴中完全浸泡2 h（小型马歇尔试件）或4 h（大型马歇尔试件），然后取出试件立即进行劈裂试验，结果即为浸水24 h劈裂强度；
- c) 干湿劈裂强度比是试件浸水24 h的劈裂强度与15℃劈裂强度的比值。

E.7.3 当15℃劈裂强度试验和干湿劈裂强度比试验结果达到最佳化（出现峰值）时，对应的泡沫沥青用量作为最佳泡沫沥青用量OFC。当遇到试验结果无明显峰值时，应结合工程经验综合确定最佳泡沫沥青用量OFC。

E.8 配合比设计检验

对泡沫沥青冷再生混合料的冻融劈裂强度比、动稳定度以及无侧限抗压强度指标进行检验，检验结果应满足本文件表5的要求。试验方法如下：

- a) 冻融劈裂试件成型的击实次数，小型马歇尔规定为双面各击实 50 次，大型马歇尔规定为双面各击实 75 次，然后按照 JTG E20 中的 T 0729 方法进行混合料冻融劈裂试验。
- b) 按照 JTG E20 中的 T 0703 轮碾法成型 80 mm 厚（粗粒式）或 50 mm 厚（中粒式和细粒式）的冷再生混合料车辙板块试件，碾压完成后迅速将试件放置到 60℃鼓风烘箱中烘干至衡重（一般 48 h 左右），再按照 JTG E20 中的 T 0719 方法进行车辙试验，试验前试件保温时间为 8 h~10 h。
- c) 按照 JTG 3441 中的 T 0805 方法进行无侧限抗压强度试验，试件为 150 mm×150 mm 的圆柱体试件。养生方法为：将每个试件脱模后，在室温下静置 24 h，然后置于 40℃±2℃的通风烘箱中，进一步养生 48 h。养生结束后，将试件从烘箱中取出并置于恒温 20℃±2℃空气浴中至少 6 h，测试试件的无侧限抗压强度。

E.9 配合比设计报告

泡沫沥青冷再生配合比设计报告至少应包含以下内容：

- a) 材料检测结果，包括沥青、集料、RMAP 等的检测结果；
 - b) 沥青发泡试验结果，包括最佳发泡温度、最佳发泡用水量以及与之对应的膨胀率、半衰期；
 - c) 工程设计级配范围，设计曲线及各矿料掺配比例；
 - d) 最佳泡沫沥青用量、最佳拌和用水量；
 - e) 混合料性能试验方法、检验结果等。
-