

ICS 93.080

CCS P 66

DB 37

山 东 省 地 方 标 准

DB37/T 4817—2025

沥青路面就地冷再生技术规范

Technical specifications for cold in-place recycling of asphalt pavement

2025 - 02 - 14 发布

2025 - 03 - 14 实施

山东省市场监督管理局 发 布

目 次

前言 III

1 范围 4

2 规范性引用文件 4

3 术语和定义 4

4 路面结构设计 4

 4.1 结构层设计 4

 4.2 设计参数 5

5 材料要求 5

 5.1 一般要求 5

 5.2 沥青路面回收料（RAP） 5

 5.3 道路石油沥青 6

 5.4 泡沫沥青 6

 5.5 乳化沥青 6

 5.6 水泥 7

 5.7 粗、细集料 7

 5.8 填料 7

 5.9 水 7

6 混合料设计和性能要求 7

 6.1 一般规定 7

 6.2 混合料设计 7

 6.3 冷再生混合料性能要求 10

7 施工准备 11

 7.1 一般规定 11

 7.2 材料准备 12

 7.3 机械准备 12

 7.4 原路面准备 12

 7.5 试验路铺筑 12

8 施工 12

 8.1 一般规定 13

 8.2 新材料添加 13

 8.3 铣刨与拌合 13

 8.4 混合料摊铺 13

 8.5 碾压 13

 8.6 接缝处理 14

 8.7 养生及开放交通 14

 8.8 施工天气 14

9 质量管理和检查验收 15

 9.1 施工过程中材料检验 15

9.2	施工过程质量控制	15
9.3	交工验收	16
附录 A	(规范性) 沥青发泡性能评价方法	17
A.1	一般规定	17
A.2	仪器和材料	17
A.3	方法与步骤	17
A.4	计算	18
A.5	沥青发泡试验报告	19
附录 B	(资料性) 冷再生混合料标准试件制作方法	20
B.1	仪器	20
B.2	冷再生沥青混合料的压实准备	20
B.3	冷再生沥青混合料的压实成型	20
B.4	冷再生沥青混合料的脱模	20
附录 C	(规范性) 就地冷再生混合料的旋转压实设计方法	21
C.1	一般规定	21
C.2	矿料级配设计	21
C.3	泡沫沥青冷再生旋转压实设计方法	21
C.4	乳化沥青冷再生旋转压实设计方法	22
C.5	混合料性能试验	23

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由山东省交通运输厅提出并组织实施。

本文件由山东省交通运输标准化技术委员会归口。

沥青路面就地冷再生技术规范

1 范围

本文件规定了沥青路面就地冷再生技术在路面结构设计、材料要求、混合料设计和性能要求、施工、质量管理和检查验收等方面的要求。

本文件适用于公路工程沥青路面面层、基层就地冷再生，就地冷再生包括乳化沥青就地冷再生和泡沫沥青就地冷再生。

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。

- JTG 3420—2020 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程
- JTG 3441—2024 公路工程无机结合料稳定材料试验规程
- JTG 3450—2019 公路路基路面现场测试规程
- JTG E20—2011 公路工程沥青及沥青混合料试验规程
- JTG F40—2004 公路沥青路面施工技术规范
- JTG F80/1—2017 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程
- JTG/T 5521—2019 公路沥青路面再生技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

最佳含水率 optimum water content; OWC
冷再生混合料成型密度最大时的含水率。

3.2

最佳液体含量 optimum liquid content; OLC
乳化沥青就地冷再生中，在最佳乳化沥青掺量条件下，乳化沥青质量、外加水、旧路材料中的水、新集料、矿粉中的水共同占烘干旧路材料、烘干新集料、烘干矿粉组成的骨料质量的百分比。

4 路面结构设计

4.1 结构层设计

- 4.1.1 就地冷再生沥青路面结构由沥青面层、就地冷再生层、其他路面结构层（包括原有路面的部分基层、底基层、垫层和路基等）等多层结构组成。
- 4.1.2 就地冷再生层的下承层强度应满足表 1 技术要求，当下承层强度不满足设计要求时，应进行补

强处理。
4.1.3 沥青路面就地冷再生结构组合设计的初拟建议，按表 1 进行确定。

表1 沥青路面就地冷再生结构组合设计

交通等级	就地冷再生层之上沥青面层		就地冷再生层厚度 cm	下承层强度 E ₀ MPa
	推荐厚度 cm	最小厚度 cm		
特重交通及以上	15~22	12	12~20	≥250
重交通	12~18	10	10~20	≥200
中等交通	6~12	5	8~20	≥150
轻交通	≥3 或者采用微表处、稀浆封层、超薄罩面、碎石封层等磨耗层		8~20	≥100

4.2 设计参数

4.2.1 沥青路面结构设计中，就地冷再生层材料的设计参数应采用工程实际使用材料的实测参数。
4.2.2 路面结构设计时，在尚无试验数据情况下，可参照表 2 混合料设计参数执行。

表2 沥青就地冷再生混合料设计参数

层位	面层 ^a	基层 ^b
动态压缩模量 MPa	3 500~6 500	3 000~6 000
^a 再生混合料用作面层时动态压缩模量试验条件为20℃，10Hz； ^b 再生混合料用作基层时动态压缩模量试验条件为20℃，5Hz。		

5 材料要求

5.1 一般要求

原材料进场应提供合格证或质量保证（或检测）证书，运至现场后应按照本文件进行质量检验，经评定合格后方可使用。

5.2 沥青路面回收料（RAP）

- 5.2.1 RAP 在获取前，应将道路的标线提前铣刨并清扫干净。
- 5.2.2 宜使用就地冷再生机在旧沥青路面上获取 RAP 样品。
- 5.2.3 在获取 RAP 时，就地冷再生机应在达到正常施工速度后，在具有代表性的区域选取宽度 50 cm~100 cm 的整个断面的旧路面材料作为取样的样品。
- 5.2.4 不同厚度的作业面应分别取样，若级配差别较大，应分别进行配合比设计。
- 5.2.5 就地冷再生混合料设计时，RAP 应满足表 3 技术要求。

表3 RAP 技术要求

材料	检测项目	技术要求	试验方法
RAP	含水率	<4%	JTG T5521—2019 附录 B
	超粒径含量（大于 31.5mm）	<15%	
	RAP 沥青含量 ^a	≥2.5%	
^a RAP 沥青含量以筛除超粒径材料后的结果为准。			

5.3 道路石油沥青

就地冷再生混合料使用的道路石油沥青宜选用70号A级或者90号A级，应符合JTG F40—2004的技术要求。

5.4 泡沫沥青

5.4.1 就地冷再生混合料用泡沫沥青应满足表 4 的技术要求。

表4 就地冷再生混合料用泡沫沥青技术要求

检测项目	单位	技术要求	试验方法
膨胀率	倍	≥12	附录 A
半衰期	s	≥8	

5.4.2 当泡沫沥青不满足要求时，应通过调整沥青温度、发泡用水量、发泡用气压等方式改变泡沫沥青的发泡指标，也可添加外加剂，直至泡沫沥青性能满足要求，否则应更换沥青。

5.5 乳化沥青

5.5.1 就地冷再生混合料用乳化沥青应采用慢裂或中裂拌和型阳离子乳化沥青。

5.5.2 乳化沥青性能指标应满足表 5 的技术要求。

表5 乳化沥青技术要求

检测项目		单位	技术要求	试验方法
破乳速率		—	慢裂或中裂	JTG E20—2011 T 0658
电荷		—	阳离子(+)	JTG E20—2011 T 0653
筛上剩余量（1.18mm）		%	≤0.1	JTG E20—2011 T 0652
标准黏度 C _{25, 3}		s	10~60	JTG E20—2011 T 0621
恩格拉黏度 E ₂₅		—	2~30	JTG E20—2011 T 0622
25℃赛波特黏度 V _s		s	20~100	JTG E20—2011 T 0623
蒸发残留物	残留物含量	%	≥50	JTG E20—2011 T 0651
	25℃针入度	0.1mm	50~150	JTG E20—2011 T 0604
	软化点	℃	≥44	JTG E20—2011 T 0606
	15℃延度	cm	≥40	JTG E20—2011 T 0605
	溶解度（三氯乙烯）	%	≥97.5	JTG E20—2011 T 0607
与粗集料的裹覆性，裹覆面积		%	≥4/5	JTG E20—2011 T 0654

表 5 乳化沥青技术要求（续）

检测项目		单位	技术要求	试验方法
与粗、细粒式集料拌和试验		—	均匀	JTG E20—2011 T 0659
常温 贮存稳定性	1 d	%	≤1	JTG E20—2011 T 0655
	5 d		≤5	
注：恩格拉黏度与赛波特黏度指标任选其一检测。				

5.6 水泥

- 5.6.1 水泥宜采用普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰硅酸盐水泥等缓凝水泥，不应使用快硬水泥、早强水泥。水泥强度等级可选择 32.5 或 42.5。
- 5.6.2 水泥应疏松、干燥，无聚团、结块、受潮变质。
- 5.6.3 水泥性能指标应满足表 6 的技术要求。

表6 水泥技术要求

指标	单位	技术要求	试验方法
细度（80 μm）	%	≤10	JTG E30—2005 T 0502
初凝时间	min	≥180	JTG E30—2005 T 0505
终凝时间	min	360~600	

5.7 粗、细集料

- 5.7.1 粗、细集料应洁净、干燥，符合 JTG F40—2004 的质量要求。
- 5.7.2 粗集料宜为石灰岩等碱性石料，若采用其他岩性集料需进行试验确定。

5.8 填料

应采用石灰岩等碱性石料经磨细得到的矿粉，矿粉质量应满足 JTG F40—2004 的要求。

5.9 水

拌和用水应符合饮用水标准，若采用其他水源，应进行试验确定。

6 混合料设计和性能要求

6.1 一般规定

- 6.1.1 在对 RAP 充分调查基础上，选用符合本文件要求的材料，进行再生混合料设计。
- 6.1.2 就地冷再生以未抽提 RAP 筛分结果与新矿料筛分结果作为级配设计依据。
- 6.1.3 混合料设计中的原材料应一次备齐。
- 6.1.4 就地冷再生混合料设计采用旋转压实成型方法或大型马歇尔设计方法。大型马歇尔设计方法按照 JTG/T 5521—2019 执行，不应进行二次击实。推荐采用旋转压实成型方法，试件成型方法详见附录 B。
- 6.1.5 就地冷再生沥青混合料配合比设计应通过试验路段进行检验，检验合格的配合比不应随意变更。

6.2 混合料设计

6.2.1 材料选择与准备：配合比设计所用材料当单一规格集料的质量指标达不到要求时，而按照集料配合比计算的质量指标符合要求时，工程上允许使用。

6.2.2 泡沫沥青就地冷再生混合料级配范围宜满足表 7 的要求。

表7 泡沫沥青就地冷再生级配范围

筛孔尺寸 mm	各筛孔的通过率（%）		
	粗粒式	中粒式	细粒式
31.5	100	—	—
26.5	85~100	100	—
19.0	75~95	90~100	100
13.2	60~85	68~90	90~100
9.5	45~75	55~80	60~90
4.75	30~65	35~60	40~65
2.36	20~45	25~50	38~55
0.3	10~25	10~25	10~30
0.075	4~10	4~10	4~10

6.2.3 乳化沥青就地冷再生混合料级配范围宜满足表 8 的要求。

表8 乳化沥青就地冷再生级配范围

筛孔尺寸 mm	各筛孔的通过率（%）		
	粗粒式	中粒式	细粒式
31.5	100	—	—
26.5	90~100	100	—
19.0	75~95	90~100	100
13.2	60~80	75~90	90~100
9.5	40~70	60~80	60~80
4.75	25~60	35~65	45~75
2.36	15~45	20~50	25~55
0.3	3~20	3~21	6~25
0.075	1~7	2~8	2~9

6.2.4 泡沫沥青就地冷再生混合料配合比设计流程如图 1 所示。

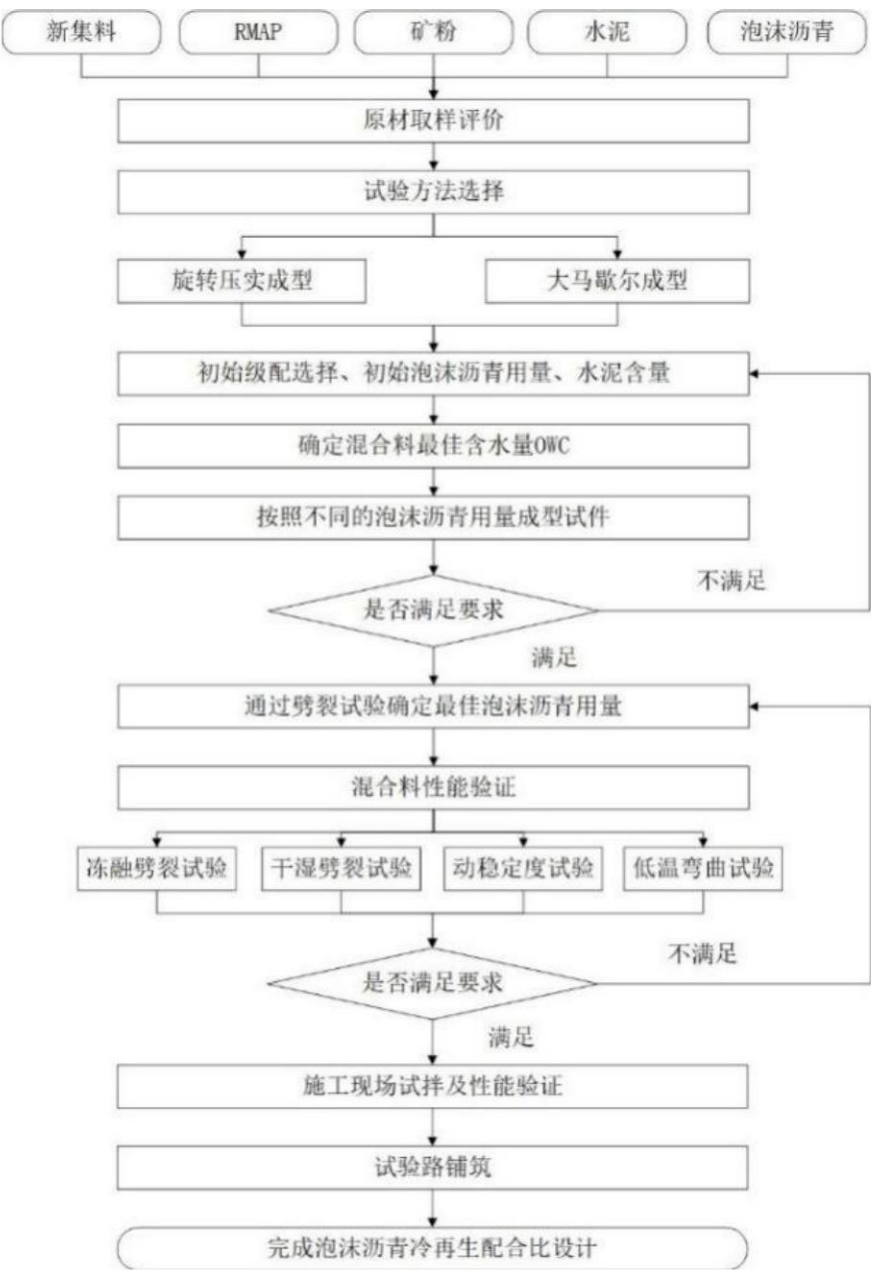


图1 泡沫沥青就地冷再生混合料配合比设计流程图

6.2.5 乳化沥青就地冷再生混合料配合比设计流程如图 2 所示。

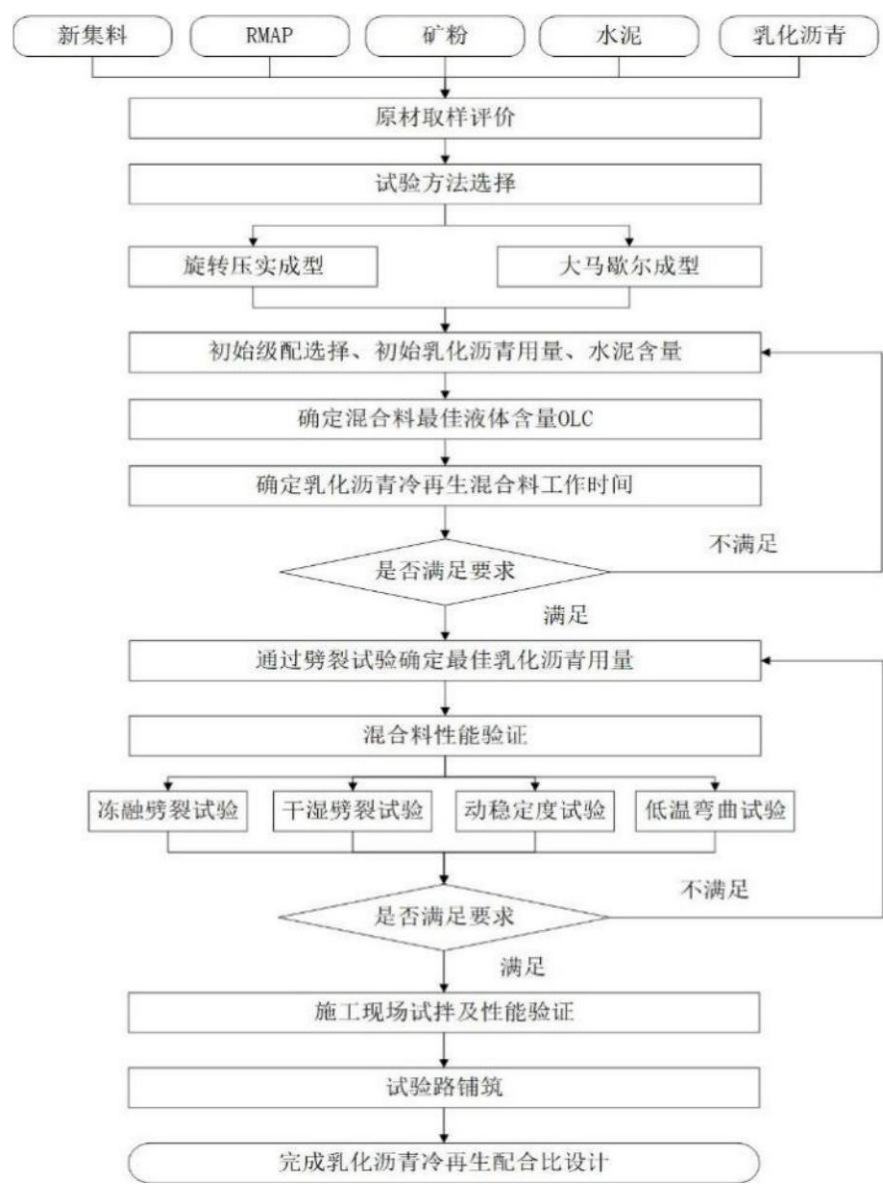


图2 乳化沥青就地冷再生混合料配合比设计流程图

6.2.6 冷再生混合料配合比设计方法按照附录 C 执行。

6.3 冷再生混合料性能要求

6.3.1 泡沫沥青就地冷再生混合料性能指标应满足表 9 的技术要求。

表9 泡沫沥青就地冷再生混合料技术要求

试验项目		技术要求				试验方法
空隙率（%）		8~13				JTG E20—2011 T 0705
劈裂试验	劈裂强度（MPa）	层位	特重及以上交通等级	重交通	其他等级	—
		面层	≥0.60	≥0.55	≥0.50	附录 C
		基层	≥0.55	≥0.5	≥0.45	
劈裂试验	干湿劈裂强度比（%）	面层	≥80	≥80	≥75	
		基层	≥80	≥75	≥75	
冻融劈裂强度比（%）		面层	≥75	≥75	≥70	
		基层	≥75	≥70	≥70	
动稳定度（次/mm）		面层	≥3000	≥3000	≥1500	
		基层	≥1500	≥1500	≥1500	
低温弯曲试验（με）		面层	≥1500	≥1500	—	JTG E20—2011 T 0715

6.3.2 乳化沥青就地冷再生混合料性能指标应满足表 10 的技术要求。

表10 乳化沥青就地冷再生混合料技术要求

试验项目		技术要求				试验方法
空隙率（%）		8~12				JTG E20—2011 T 0705
劈裂试验	劈裂强度 ^a （MPa）	层位	特重及以上交通等级	重交通	其他等级	—
		面层	≥0.60	≥0.55	≥0.50	附录 C
		基层	≥0.55	≥0.5	≥0.45	
劈裂试验	干湿劈裂强度比（%）	面层	≥80	≥80	≥75	
		基层	≥80	≥75	≥75	
冻融劈裂强度比（%）		面层	≥75	≥75	≥70	
		基层	≥75	≥70	≥70	
动稳定度（次/mm）		面层	≥3000	≥3000	≥1500	
		基层	≥1500	≥1500	≥1500	
低温弯曲试验（με）		面层	≥1500	≥1500	—	JTG E20—2011 T 0715
冷再生混合料工作时间（h）		≥1				附录 C
^a 劈裂强度数据基于直径 150mm 的旋转压实试件或大马歇尔试件。						

6.3.3 泡沫沥青就地冷再生混合料中，泡沫沥青占混合料总质量的百分比一般为 2.0%~3.0%。

6.3.4 乳化沥青就地冷再生混合料中，乳化沥青添加量折合成纯沥青后占混合料总质量的百分比一般为 1.8%~3.0%。

6.3.5 水泥等活性填料剂量不宜超过混合料干质量的 1.5%，不应超过混合料干质量的 1.8%。

7 施工准备

7.1 一般规定

- 7.1.1 对就地冷再生施工前的材料、机械、人员、施工方案、试验路进行相应的施工准备。
- 7.1.2 就地冷再生生产和施工工艺复杂，应按要求将所有资源配置到位，各个施工环节相匹配。

7.2 材料准备

- 7.2.1 施工现场需准备水、水泥、新集料，采用泡沫沥青应准备加热至需要温度的沥青。
- 7.2.2 所有材料完成施工前检验。

7.3 机械准备

- 7.3.1 就地冷再生施工设备主要有道路就地再生机、运输车辆、现场摊铺碾压设备、再生机配套水车和沥青罐车、水泥和矿粉洒布车，并配置相应的辅助设备。
- 7.3.2 道路就地再生机应具备独立的沥青管路和喷水管路，所有的液体应由流量计控制，液体流量应与再生深度、施工速度、材料密度等联动。
- 7.3.3 应配备足够数量、吨位的双钢轮压路机、单钢轮压路机、轮胎压路机。双钢轮压路机要求吨位 11t 以上；单钢轮压路机要求吨位 20t 以上，激振力 30t 以上，激振频率 18Hz 以上；轮胎压路机要求 30t 以上。
- 7.3.4 道路就地再生机使用前须进行调试，标定计量系统。道路就地再生机应满足表 11 的技术要求：

表11 道路就地再生机技术要求

系统名称	设备要求
沥青计量系统	计量精度：0.5%
水计量系统	计量精度：1.0%
再生宽度	≥2 m
再生深度误差	≤10 mm

7.4 原路面准备

- 7.4.1 对原路局部的翻浆、沉陷、严重变形等病害应处理，然后再进行其他工序。
- 7.4.2 对原路的车辙、波浪、坑槽等病害进行处理，按照配合比设计要求加铺应添加的碎石、RAP 等，必要时采用符合级配要求的碎石、砂砾、RAP 进行找补，确保平整度达到要求。
- 7.4.3 清除原道路表面（包括不需要再生的相邻行车道和路肩）的石块、垃圾、杂草等杂物和积水，并清理标线。

7.5 试验路铺筑

- 就地冷再生施工前，应铺筑试验路，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) 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；
 - b) 验证现场的级配和确定实际生产配合比；
 - c) 检验不同压实组合下的压实度；
 - d) 检验胶结料的实际消耗量与理论数值的对应关系，检验质量控制方案的可行性和可操作性；
 - e) 确定泡沫沥青的生产参数；
 - f) 确定再生层的松铺系数。

8 施工

8.1 一般规定

- 8.1.1 再生宽度应不小于 200 cm，最大再生深度宜不大于 20 cm。
- 8.1.2 工地现场须根据具体情况配备足够数量的彩条布或 PU 薄膜类防雨卷材，如摊铺后 24 h 内下雨，应将养生路段再生层覆盖严密，并做好路肩排水。
- 8.1.3 冷再生层铺筑并养生结束后，其上应及时铺筑热沥青同步碎石封层。

8.2 新材料添加

根据室内配合比设计确定的水泥、沥青、新集料用量以及就地冷再生机组类型，确定水泥、沥青、新集料的合理掺入方式，并应计量准确。

8.3 铣刨与拌合

- 8.3.1 就地冷再生的施工应按试验路确定的方案进行。
- 8.3.2 综合考虑施工季节、气候条件、再生作业宽度、施工机械和运输车辆的效率和数量、操作熟练程度、水泥终凝时间等因素，综合确定每个作业段的长度。
- 8.3.3 在施工起点处将所需施工机具顺次首尾连接，连接相应路段。
- 8.3.4 再生机组应连续、匀速地进行再生作业，按照预定的深度进行铣刨和拌和，再生混合料的含水率应比最佳含水率大 0.5%~1.0%，不应随意变更速度、深度和中途停顿，再生速度宜控制在 2 m/min~5 m/min。
- 8.3.5 纵向接缝的位置应避开车辆行驶的轮迹，通过合理的工序减少纵缝数量。纵向接缝处相邻两幅作业面间的重叠宽度宜不小于 10 cm。搭接宽度不应重复喷洒沥青和水。
- 8.3.6 再生过程中应注意再生层厚度、横坡与再生机组的配合。加强横坡和边线标高的控制，以免偏拱造成路面积水。
- 8.3.7 横向搭接处的施工应符合规范 JTG/T 5521—2019 的规定。

8.4 混合料摊铺

- 8.4.1 混合料宜采用摊铺机或者带有摊铺装置的再生机进行摊铺。原路面平整度较差或对冷再生层平整度要求较高时，不宜采用再生机自带的摊铺装置进行摊铺。三级和四级公路也可使用平地机进行摊铺。
- 8.4.2 摊铺机作业时，应符合下列规定：
 - a) 摊铺匀速、连续，摊铺速度与再生机速度相同，且不随意变换速度或者中途停顿；
 - b) 摊铺能力与再生能力基本匹配。在水泥初凝时间范围内完成所有作业；
 - c) 混合料松铺系数控制在 1.25~1.35 之间，具体由试验路确定；
 - d) 摊铺机采用伸缩式，摊铺宽度与再生宽度相同；
 - e) 摊铺设备的夯锤和熨平板在不使设备产生共振情况下应开大。
- 8.4.3 平地机作业时，应符合下列规定：
 - a) 用双钢轮压路机紧跟再生机组初压 2 遍~3 遍；
 - b) 完成一个作业段的初压后，用平地机整平 1 遍；
 - c) 再次用双钢轮压路机在初平的路段碾压 1 遍。

8.5 碾压

- 8.5.1 就地冷再生层的单层压实厚度宜不小于 8 cm，宜不大于 20 cm。
- 8.5.2 冷再生施工应缩短从拌和到完成碾压之间的延迟时间。碾压过程分为初压、复压和终压。
- 8.5.3 直线和不设超高的平曲线段，由路肩向路中心碾压时，应重叠 1/2~1/3 轮宽，后轮应超过两段的接缝处，后轮压完路面全宽时，即为 1 遍。

- 8.5.4 初压采用双钢轮振动压路机碾压 1 遍~2 遍，再生层表面应始终保持湿润，如水分蒸发太快，应及时补充洒水，初压速度宜为 1.5 km/h~3 km/h。
- 8.5.5 冷再生复压采用单钢轮和胶轮压路机，应以慢而均匀的速度碾压，复压速度宜为 2 km/h~4 km/h。
- 8.5.6 终压采用双钢轮压路机碾压 1 遍~2 遍，可以采用静压模式，以消除轮迹和获得一定的压实度，终压速度宜为 2 km/h~4 km/h。若复压后没有轮迹或压实度满足，无须终压。
- 8.5.7 碾压过程中，如有“弹簧”、松散、起皮等现象，应及时翻开重新拌和（加适量的水泥）或用其他方法处理，使其达到质量要求。
- 8.5.8 压路机碾压时可喷少量的水雾，以防止压路机轮粘结再生混合料。碾压时不应随意刹车、掉头。
- 8.5.9 每台压路机均应以慢而均匀的速度碾压，碾压遍数应符合表 12 和表 13 的规定。

表12 乳化沥青就地冷再生压路机碾压遍数

压路机类型	初压		复压		终压	
	适宜	最大	适宜	最大	适宜	最大
双钢轮压路机	1~2（静压、振动）	3（静压、振动）	—	—	1~2（静压）	3（静压）
单钢轮压路机	—	—	2~3（振动）	4（振动）	—	—
轮胎式压路机	—	—	4~5（静压）	8（静压）	—	—

表13 泡沫沥青就地冷再生压路机碾压遍数

压路机类型	初压		复压		终压	
	适宜	最大	适宜	最大	适宜	最大
双钢轮压路机	1~2（静压、振动）	3（静压、振动）	—	—	1~2（静压）	3（静压）
单钢轮压路机	—	—	3~4（振动）	5（振动）	—	—
轮胎式压路机	—	—	5~7（静压）	8（静压）	—	—

- 8.5.10 压路机碾压过程中不应在当天铺筑的路面上长时间（超过 30min）停留或过夜。

8.6 接缝处理

- 8.6.1 施工中纵向接缝，要求如下：
- a) 道路宽度小于 7.5m，宜全幅施工，以减少重叠量，提高施工效率；
 - b) 相邻两个再生幅面应具有一定的搭接宽度，宜不小于 10 cm；
 - c) 严格控制搭接处的厚度，以免出现高差，造成碾压无法消除接缝。
- 8.6.2 施工中横向接缝。施工中应减少停机现象，在接缝处利用压路机横向由老路面向新铺路面逐步往返碾压，横缝碾压结束后再进行纵向碾压。
- 8.6.3 应注意横向接缝处的平整度，刨除端部或切缝处的位置应通过 3m 直尺测量确定。

8.7 养生及开放交通

冷再生层施工完成后应封闭交通进行自然养生，养生时间宜不少于3 d。满足再生层可以取出直径 150 mm完整芯样时方可结束养生。

8.8 施工天气

冷再生沥青混合料应避免雨天施工。冷再生沥青混合料宜在较高的温度条件下施工，当气温或下承层表面温度低于10 ℃时不宜进行就地冷再生混合料施工。

9 质量管理和检查验收

9.1 施工过程中材料检验

在工程施工过程中，每天开工前应对材料的质量进行检查，检查的项目和频率应满足表14的要求，并确认所有材料的技术指标满足相关技术要求。

表14 施工前材料检查项目

材料	检查项目	频率
RAP	级配、含水率	每施工日 1 次~2 次
泡沫沥青	膨胀率、半衰期	每施工日 1 次~2 次
乳化沥青	残留物含量及性能试验	每批 1 次
集料	级配、含水率、软弱颗粒含量	每 2000 t 1 次
矿粉	级配	每 200 t 1 次

9.2 施工过程质量控制

施工过程中的质量控制应满足表 15 的要求。

表15 施工过程的质量控制检查项目、频度和要求

检查项目		技术要求	频率	检验方法
湿密度压实度（%）		≥99	每车道公里不少于 10 次	JTG 3450—2019 T 0921
泡沫沥青冷再生压实度、空隙率（%）		空隙率≤13%且压实度 ≥98%	每车道公里 2 次	JTG E20—2011 T 0705 JTG 3450—2019 T 0924
乳化沥青冷再生压实度、空隙率（%）		空隙率≤12%且压实度 ≥98%	每车道公里 2 次	JTG E20—2011 T 0705 JTG 3450—2019 T 0924
干湿劈裂强度比（%）		根据所处层位及交通量 要求确定	每工作日 1 次	附录 C
冻融劈裂强度比（%）			每 3 工作日 1 次	
动稳定度（次/mm）			必要时	
低温弯曲试验（μɛ）				JTG E20—2011 T 0715
平整度最大间隙（mm）		8	随时，接缝处单杆测量	JTG 3450—2019 T 0931
纵断面高程（mm）		±10	检查每个断面	JTG 3450—2019 T 0911
厚度（mm）	均值	-8	随时	JTG 3450—2019 T 0912
	单个值	-10	随时	
宽度（mm）		不小于设计宽度	检查每个断面	JTG 3450—2019 T 0911
横坡度（%）		±0.3	检查每个断面	JTG 3450—2019 T 0911
外观		平整密实	随时	目测
泡沫沥青用量		±0.25%	每工作日 1 次	总量控制法
乳化沥青用量		±0.3%	每工作日 1 次	总量控制法
水泥用量		±0.2%	每工作日 1 次	JTG 3441—2024 T 0809
矿粉用量		±0.2%	每工作日 1 次	总量控制法

表 15 施工过程的质量控制检查项目、频度和要求（续）

检查项目	技术要求	频率	检验方法
混合料级配	通过率或偏差	每工作日 1 次	干筛，皮带取样
31.5 mm	100%		
26.5 mm	80%~100%		
13.2 mm	±6%		
4.75 mm	±4%		
0.075 mm	±2%		

9.3 交工验收

完工后，道路的检测验收应按照 JTG F80/1—2017 的要求进行，具体指标应满足表 16 的要求。

表16 外形尺寸检查项目、频度和要求

检查项目		质量要求	检查频率	检验方法
平整度最大间隙 (mm)	下面层	$\sigma \leq 1.3$	平整度仪：全线每车道连续检测， 每 100m 计算 σ	JTG 3450—2019 T 0932
	基层	$\sigma \leq 1.6$		
纵断面高程 ^a (mm)		± 10	每公里 5 个点	JTG 3450—2019 T 0911
厚度 (mm)	均值	- 10	每 2000m ² 检查一点，单点评价	JTG 3450—2019 T 0912
	单个值	- 15		
宽度 (mm)		不小于设计宽度，边缘整齐，顺适	尺量：每 200m 测 4 个断面	JTG 3450—2019 T 0911
横坡 (%)		±0.3	尺量：每 200m 测 4 处	JTG 3450—2019 T 0911
外观		表面平整、密实，无明显压路机轮迹	随时	目测
^a 当再生层用作三级及三级以下公路结构层时，纵断面高程控制要求宜放宽。				

附录 A
(规范性)
沥青发泡性能评价方法

A.1 一般规定

- A.1.1 本方法适用于使用室内泡沫沥青发生设备确定最佳沥青发泡温度和最佳发泡用水量。
- A.1.2 发泡试验在常温（20℃～25℃）条件下试验。
- A.1.3 发泡试验用过的沥青，不应重新进行发泡试验。
- A.1.4 现场施工过程中，可参照本方法对沥青发泡性能进行测试。

A.2 仪器和材料

- A.2.1 试验仪器和工具包括：泡沫沥青发生装置；温度计（分度1℃，量程200℃或以上）；标尺；拍摄装置（时间精度不低于0.1s）；测量筒3个（直径不小于250mm，筒体为圆柱体，不应为圆锥桶，容积不小于15L）。
- A.2.2 室内泡沫沥青发生装置与现场发泡类型相对应，室内泡沫沥青发生装置的计量精度不低于1%，水计量精度不低于2%。
- A.2.3 标尺采用等间隔的梳状标尺，见图A.1，相邻横尺的间隔不大于5cm，所有横尺等间距排列。

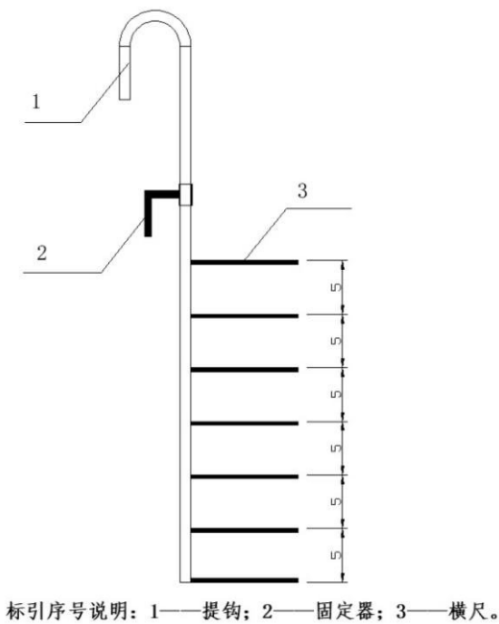


图 A.1 标尺示意图

- A.2.4 材料：沥青、水。

A.3 方法与步骤

- A.3.1 根据经验，基质沥青的发泡温度一般为160℃，发泡用水量可取1%、2%、3%。
- A.3.2 用水完成各测量筒的体积标定，称取干桶的质量 m_1 ，将桶内灌满水，称取桶和水的质量 m_2 ，用直尺测量未发泡沥青在桶内的高度 h_2 、桶的高度 h_3 ，在80℃烘箱内将桶烘干，并保温。
- A.3.3 将沥青和室内泡沫沥青发生设备加热至试验温度。
- A.3.4 标定沥青喷射流量，设置计时器，使每次沥青喷射量为500g。

- A.3.5 设定水流量计，使水流量达到要求的水量。
- A.3.6 设定发泡气压为0.2 MPa~0.4 MPa，根据设备状况和发泡均匀性综合调整气压。
- A.3.7 将标尺固定在标准量桶边缘，尺底端与桶底垂直接触，将固定器与筒壁固定。
- A.3.8 将沥青在试验规定的发泡温度下进行发泡，泡沫沥青经由发泡器的喷口，喷入到保温的标准量桶中。发泡开始时应采用拍摄装置录像，记录整个发泡过程。
- A.3.9 通过录像及标尺的印记，确定桶内泡沫沥青的最大高度 h_1 ，同时记录泡沫沥青衰减到最大高度一半时的时间 $t_{1/2}$ ，精确到0.1 s。
- A.3.10 将桶放置于150℃的烘箱中保温15 min，而后称取桶的重量 m_3 。
- A.3.11 每个工况平行试验3次，取平均值作为试验结果。
- A.3.12 用过后的桶宜在180℃的烘箱中加热，将内部的沥青倒出，桶内不应有过多的沥青或导致桶直径发生明显变化的多余沥青，而后通过公式A.1进行桶体积的标定。

A.4 计算

- A.4.1 泡沫沥青的膨胀率按公式（A.1）和公式（A.2）计算。

$$ER = \frac{h_1}{h_2} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

ER ——泡沫沥青膨胀率；

h_1 ——桶内泡沫沥青最大高度，单位为厘米（cm）；

h_2 ——未发泡沥青在桶内的高度，单位为厘米（cm）。

$$h_2 = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} h_3 \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

m_1 ——干桶质量，单位为克（g）；

m_2 ——桶和水的质量，单位为克（g）；

m_3 ——桶和沥青的质量，单位为克（g）；

h_3 ——标定桶高度，单位为厘米（cm）。

- A.4.2 绘制膨胀率、半衰期随用水量的变化曲线图。确定容许膨胀率对应的用水量 W_1 和容许半衰期对应的用水量 W_2 。当容许膨胀率对应的用水量 W_1 低于1.5%时取值1.5%，当容许半衰期对应的用水量 W_2 超过4.0%时取值4.0%。按公式（A.3）计算最佳发泡用水量 W_{opt} ：

$$W_{opt} = \frac{W_1 + W_2}{2} \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：

W_{opt} ——最佳发泡用水量，%；

W_1 ——容许膨胀率对应的用水量，%；

W_2 ——容许半衰期对应的用水量，%。

- A.4.3 试验用水量范围内的膨胀率、半衰期不能达到表4要求时，应改变试验温度重新试验；仍不能满足要求的，应调整沥青品种、标号或者采用其他技术措施后重新试验，直至满足要求。
- A.4.4 本试验记录格式如表A.1。

表 A.1 膨胀率、半衰期试验记录

沥青试样来源及类型 _____ 试验日期 _____

沥青发泡温度 _____ 发泡用水量 _____

试验者 _____ 计算者 _____ 校核者 _____

试验次数		桶 ₁	桶 ₂	桶 ₃
沥青发泡桶高度 h_3	(1)			
沥青未发泡桶重量 m_1	(2)			
沥青发泡桶装满水重量 m_2	(3)			
发泡沥青装在桶内的质 量 m_3	(4)			
同重量未发泡沥青在桶 内的高度 h_2	(5)			
沥青发泡最大 高度 h_1	(6)			
半衰期 $t_{1/2}$	(7)			
平均值				
膨胀率 (倍)	(8)			
平均值				

A.5 沥青发泡试验报告

- 沥青发泡试验报告至少应包括下列内容：
- a) 沥青试样来源及类型；
 - b) 沥青最佳发泡温度和发泡用水量；
 - c) 沥青最佳发泡温度和发泡用水量条件下的膨胀率和半衰期。

附录 B

(资料性)

冷再生混合料标准试件制作方法

B.1 仪器

B.1.1 旋转压实设备应具备防水和抗腐蚀性能。

B.1.2 旋转压实设备应满足，压力 $600\text{ Kpa} \pm 18\text{ Kpa}$ ，压实内旋角 $1.16^\circ \pm 0.02^\circ$ ，压实速率 $30\text{ rad/min} \pm 0.5\text{ rad/min}$ 。

B.2 冷再生沥青混合料的压实准备

B.2.1 在室温条件下人工配制冷再生沥青混合料，不对各种材料作加热处理。

B.2.2 采用直径 $\phi 150\text{ mm}$ 的旋转压实试件作为标准试件。

B.2.3 试验室成型的一组试件的数量不应少于3个。

B.3 冷再生沥青混合料的压实成型

B.3.1 冷再生混合料的旋转次数设定为70次，不需要翻面复压；

B.3.2 试模及套筒应保持室温。

B.4 冷再生沥青混合料的脱模

压实成型后，宜尽快脱模以便检测试件成型质量并进行其它项目的测试。通常情况下混合料压实完成后立即脱模。

附录 C

(规范性)

就地冷再生混合料的旋转压实设计方法

C.1 一般规定

- C.1.1 本方法适用于使用旋转压实方法进行沥青冷再生混合料的配合比设计。
- C.1.2 就地冷再生混合料配合比设计时RAP应从处理后的RAP料堆取样。
- C.1.3 冷再生混合料宜采用 $\varnothing 150$ mm的试模成型试件，采用固定混合料质量的装料方式。

C.2 矿料级配设计

- C.2.1 测得RAP、新集料等各组成材料的级配。
- C.2.2 以RAP为基础，掺加不同比例的新集料、矿粉，使合成级配满足工程设计级配的要求，RAP、新集料、矿粉组成冷再生混合料的骨料。
- C.2.3 合成级配曲线应平顺。

C.3 泡沫沥青冷再生旋转压实设计方法

C.3.1 最佳含水率 (OWC)

- C.3.1.1 采用旋转压实试验方法成型试件，确定最佳含水率。
- C.3.1.2 RAP 应晾晒干燥或室内低温烘干至恒重，其含水率不应超过 1%。
- C.3.1.3 初定泡沫沥青用量为相对于冷再生混合料骨料质量的 2.5%，水泥用量为相对于冷再生混合料骨料质量的 1.5%，变化用水量 3%、4%、5%、6%、7%拌合混合料，拌合方法如下：
 - a) 向专用双卧轴拌和机内加入足够的 RAP、新集料；
 - b) 按照计算的加水量加水，拌和均匀，拌和时间一般为 1min，搅拌速度宜不少于每分钟 40 rad；
 - c) 加入泡沫沥青，按相同搅拌速度拌和均匀，拌和时间一般为 1.5min。
- C.3.1.4 称取 2000 g 以上拌合均匀的混合料，平铺入盘中，置于 100℃烘箱中烘干至恒重，按照 JTG E20—2011 中 T0711 真空法实测各组再生混合料的最大理论相对密度 γ_t 。
- C.3.1.5 拌合均匀的混合料应覆盖常温放置 60min $\pm$ 10min，称取放置好的混合料 4000 g，将混合料装入试模，按规定压实次数压实，试件成型后立即脱模，平放入水平板或托盘中，过程中不应掉料，试件在 60℃的鼓风烘箱中养生至恒重，养生时间 48h $\pm$ 1h。
- C.3.1.6 按照 JTG E20—2011 中 T0705 表干法测定试件的毛体积相对密度，确定混合料的最佳含水率 OWC。

C.3.2 确定最佳泡沫沥青用量 (OFC)

- C.3.2.1 以预估的沥青用量为中值，按照一定间隔变化 3 个泡沫沥青用量 2.0%、2.5%、3.0%，保持 OWC 不变，按照 C.3.1.3 方法拌合混合料。
- C.3.2.2 按照 C.3.1.4 实测最大理论相对密度 γ_t 。
- C.3.2.3 按照 C.3.1.5 方法成型旋转压实试件，旋转压实成型试件成型后立即脱模，平放入水平板或托盘中，在 60℃的鼓风烘箱中养生至恒重，养生时间 48h $\pm$ 1h。
- C.3.2.4 按照 JTG E20—2011 中 T0705 表干法测定试件的毛体积相对密度 γ_f 。
- C.3.2.5 将各组油石比试件进行 15℃劈裂试验、浸水 24h 的劈裂试验。劈裂试验方法如下：
 - a) 15℃劈裂试验方法。应按 JTG E20—2011 中的 T0716，将试件浸泡在 15℃恒温水浴中 2h，然后取出试件立即测试 15℃劈裂试验强度；

- b) 浸水 24 h 劈裂试验方法。将试件完全浸泡在 25℃ 恒温水浴中浸水 22h, 再按 JTG E20—2011 中的 T0716, 将试件在 15℃ 恒温水浴中浸泡 2 h, 然后取出试件立即进行劈裂试验, 结果即为浸水 24h 劈裂试验强度。
- c) 按公式 (C.1) 计算干湿劈裂强度比 $ITSR$:

$$ITSR = \frac{ITS_{wet}}{ITS_{dry}} \times 100\% \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

$ITSR$ ——干湿劈裂强度比, %;

ITS_{wet} ——试件浸水 24h 劈裂试验强度, 单位为兆帕 (MPa);

ITS_{dry} ——试件 15℃ 劈裂试验强度, 单位为兆帕 (MPa)。

C.3.2.6 根据劈裂强度试验和浸水劈裂强度试验结果, 结合工程经验以及经济性分析, 综合确定最佳泡沫沥青用量 OFC。

C.4 乳化沥青冷再生旋转压实设计方法

C.4.1 确定最佳液体含量 (OLC)

C.4.1.1 初定乳化沥青用量为相对于冷再生混合料骨料质量的 3.5%, 水泥用量为相对于冷再生混合料骨料质量的 1.5%, 变化水量拌合混合料, 拌合方法如下:

- a) 向拌和机内加入足够的 RAP、新集料;
- b) 按照计算得到的加水量加水, 拌和均匀, 拌和时间一般为 1min;
- c) 按照计算的乳化沥青量加入乳化沥青, 拌和均匀, 拌和时间一般为 1.5min。

C.4.1.2 称取 2000g 以上拌合均匀的混合料, 平铺入盘中, 置于 100℃ 烘箱中烘干至恒重, 按照 JTG E20—2011 中 T0711 真空法实测各组再生混合料的理论最大相对密度 γ_t 。

C.4.1.3 拌合均匀的混合料应覆盖常温放置 60min±10min, 称取放置好的混合料 4000g, 将混合料装入试模, 按规定压实次数压实, 试件成型后立即脱模, 平放入水平板或托盘中, 过程中不应掉料, 试件在 60℃ 的鼓风烘箱中养生至恒重, 养生时间 48h±1h。

C.4.1.4 按照 JTG E20—2011 中 T0705 表干法测定试件毛体积相对密度, 确定混合料的最佳液体含量 OLC。

C.4.2 乳化沥青冷再生混合料工作时间

C.4.2.1 RAP 和新骨料提前在 40℃ 烘箱中加温 3h±1h, 根据初定乳化沥青用量、水泥用量及确定的最佳液体含量 OLC 进行混合料拌合, 拌合后的混合料应密封并放置于 40℃ 烘箱中, 分别保温 1h、1.5h、2h、2.5h、3h, 称取保温结束的混合料 4000g, 将混合料装入试模, 按规定压实次数压实, 试件成型后立即脱模, 平放入水平板或托盘中, 每个保温组成型 3 个试件, 每个试件成型时间不超过 4min, 每组成型试件时间不超过 15min, 过程中不应掉料, 试件在 60℃ 的鼓风烘箱中养生至恒重, 养生时间 48h±1h。

C.4.2.2 每个试件按照 JTG E20—2011 中 T0705 表干法测定试件毛体积相对密度, 并将各组试件进行 15℃ 劈裂试验。

C.4.2.3 每组试件的空隙率和劈裂强度按照 JTG E20—2011 的要求计算平均值, 以 1h 保温组数据为基准, 若 1.5h 组试件指标较 1h 组空隙率增加大于等于 1% 或 15℃ 劈裂强度降低幅度大于等于 10%, 认定为乳化沥青工作时间为 1h; 若 3h 组试件指标较 1h 组试件空隙率增加大于等于 1% 或 15℃ 劈裂强度降低大于等于 10%, 而 2.5h 组试件指标空隙率增加小于 1% 且 15℃ 劈裂强度降低小于 10%, 认定为乳化沥青工作时间为 2.5h。

C.4.3 确定最佳乳化沥青用量OEC、确定最佳含水率OWC

C.4.3.1 以预估的沥青用量为中值，按照一定间隔变化 5 个乳化沥青用量，保持最佳液体含量 OLC 不变。

C.4.3.2 按照 C.4.1.2 实测理论最大相对密度 γ_t 。

C.4.3.3 按照 C.4.1.3 方法成型旋转压实试件，旋转压实成型试件成型后立即脱模，平放入水平板或托盘中，在 60℃ 的鼓风烘箱中养生至恒重，养生时间 48h±1h。

C.4.3.4 按照 JTG E20—2011 中 T0705 表干法测定试件的毛体积相对密度 γ_f 。

C.4.3.5 将各组油石比试件进行 15℃ 劈裂试验、浸水 24h 的劈裂试验。

C.4.3.6 根据劈裂强度试验和浸水劈裂强度试验结果，结合工程经验以及经济性分析，综合确定最佳乳化沥青用量 OEC。

C.4.3.7 在最佳 OEC 条件下成型的混合料试件空隙率应满足表 10 的要求。

C.4.3.8 测定在最佳 OEC 条件下混合料的最佳含水率 OWC。

C.5 混合料性能试验

C.5.1 冻融劈裂试验。试件成型的压实次数不减少，每次制作至少 6 个试件，试件应在养生结束常温放置 6h 以上再进行试验，冻融组试件的饱和度应在 55%~80% 范围内。

C.5.2 动稳定度。按照附录 B 成型旋转压实试件，试件成型脱模后，用湿毛巾擦去表面浮浆，测量试件的高度并称取试件的湿重量，用体积法计算试件的湿密度。根据湿密度计算混合料装料量，按照 JTG E20—2011 中 T0703 轮碾法成型 80mm~100mm 厚的冷再生混合料车辙板试件，成型后的试件应带模养生，养生结束常温放置 48h 后，方可进行车辙试验。