

DB51

四川省地方标准

DB51/T 3091—2023

沥青路面乳化沥青厂拌冷再生技术指南

2023-06-19 发布

2023-08-01 实施

四川省市场监督管理局 发布

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 符号 2

5 总则 2

6 结构设计 2

7 材料要求 3

8 冷再生混合料配合比设计 5

9 施工 7

10 施工质量管理和检查验收 9

附录 A （资料性） 冷再生混合料设计参数及推荐结构 12

附录 B （规范性） 乳化沥青厂拌冷再生混合料配合比设计方法（马歇尔法） 13

附录 C （资料性） 乳化沥青厂拌冷再生混合料配合比设计方法（旋转压实法） 17

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。

本文件由四川省交通运输厅提出、归口并解释。

本文件起草单位：四川省公路规划勘察设计研究院有限公司，成都交通投资集团有限公司。

本文件主要起草人：张晓华，张蓉，张凌波，尹强，舒斌，易守春，周水文，孟良，张毅，罗丝雨，罗方军，张光勇。

本文件为首次发布。

沥青路面乳化沥青厂拌冷再生技术指南

1 范围

本文件规定了沥青路面乳化沥青厂拌冷再生的结构设计、材料要求、配合比设计、施工和施工质量管理等技术要求。

本文件适用于四川省各等级道路沥青路面建设和养护工程中乳化沥青厂拌冷再生技术的应用。

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 5749 生活饮用水卫生标准
- JTG D50 公路沥青路面设计规范
- JTG E20 公路工程沥青及沥青混合料试验规程
- JTG E42 公路工程集料试验规程
- JTG F40 公路沥青路面施工技术规范
- JTG 3430 公路土工试验规程
- JTG 3450 公路路基路面现场测试规程
- JTG 5220 公路养护工程质量检验评定标准 第一册 土建工程
- JTG 5421 公路沥青路面养护设计规范
- JTG/T 5521 公路沥青路面再生技术规范
- DB51/T 2602 高速公路沥青路面设计与施工技术指南
- DB51/T 2603 高速公路沥青路面养护设计指南
- DB51/T 2795 沥青路面厂拌热再生技术指南

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

沥青混合料回收料 reclaimed asphalt pavement (RAP)

采用铣刨、开挖等方式从沥青路面上获得的旧沥青混合料。

3.2

乳化沥青厂拌冷再生 cold central plant recycling by emulsified asphalt

在拌和厂将RAP破碎、筛分预处理后，以一定的比例与新矿料、乳化沥青、水泥、水等在常温下拌和为混合料，然后铺筑形成沥青路面的技术。

3.3

RAP干筛筛分级配 reclaimed asphalt pavement dry mesh gradation

将风干或在 40℃ 恒温烘干至恒重的 RAP 进行干法筛分试验得到的级配。

3.4

最佳含水率 optimum water content (OWC)

固定乳化沥青用量,在混合料的最佳液体含量条件下,混合料中水的质量与烘干的 RAP、新集料、矿粉(如有)及水泥总质量的百分比。

3.5

最佳乳化沥青用量 optimum emulsion content (OEC)

乳化沥青冷再生混合料的体积参数、路用性能等达到综合最佳状态时,混合料中乳化沥青的质量与烘干的 RAP、新集料、矿粉(如有)、水泥等组成的矿料质量的百分比。

3.6

水泥含量 cement content

水泥占烘干的 RAP、新集料、矿粉(如有)、水泥等组成的矿料质量的百分比。

4 符号

下列符号适用于本文件。

TSR——冻融劈裂强度比;

$R_{w/d}$ ——干湿劈裂强度比;

γ_f ——试件的毛体积相对密度;

γ_{sa} ——矿料合成的表观相对密度;

γ_{sb} ——矿料合成的毛体积相对密度;

γ_{sc} ——合成矿料的有效相对密度;

γ_t ——最大理论相对密度。

5 总则

- 5.1 应根据道路等级、路面使用性能要求和所需承担的交通荷载,结合当地气候、材料、建养条件和工程实践经验等,进行结构组合设计、材料设计和厚度设计。
- 5.2 冷再生混合料施工时气温应不低于 10℃,严禁在雨天施工。应进行自然养生,在养生初期 24h 内如遇雨宜进行覆盖,养生结束后应及时铺筑上面的路面结构层。
- 5.3 施工前应对基面进行检查,下承层质量不符合要求的不得铺筑厂拌冷再生沥青混合料。
- 5.4 乳化沥青厂拌冷再生技术除应符合本文件的规定外,尚应符合国家和行业现行有关标准、规范的规定。

6 结构设计

6.1 一般规定

- 6.1.1 应调查分析实施乳化沥青厂拌冷再生的工程项目,充分论证乳化沥青厂拌冷再生技术的适用性和施工的可操作性。
- 6.1.2 应结合乳化沥青冷再生混合料性能特点,重视路面结构组合设计,满足路面使用性能。

6.2 再生结构组合设计

- 6.2.1 结构组合设计时应符合 JTG D50、JTG 5421 及 JTG/T 5521 的有关规定,高速公路尚应符合 DB51/T2602 及 DB51/T2603 的有关要求,充分考虑四川省各分区的气温、降雨量等因素合理确定各结构层的技术要求。
- 6.2.2 乳化沥青厂拌冷再生可按表 1 的规定使用,用于轻交通荷载等级的上面层时,应采

用稀浆封层、微表处等做上封层。

表 1 乳化沥青厂拌冷再生适用层位

交通荷载等级	再生层的结构层位 ^a			
	表面层	中面层	下面层	基层
特重及极重	/	/	√	√
重	/	√	√	√
中	/	√	√	√
轻 ^b	√	√	√	√
^a “/”表示不适合，“√”表示适合；				
^b 公路等级为四级及以上时，宜加铺沥青层。				

6.2.3 单层乳化沥青厂拌冷再生压实厚度不宜小于 80mm，也不宜大于 150mm，碾压需要注意层位底部混合料的压实。

6.2.4 厂拌冷再生层上路面结构层为沥青层时应设置下封层。

6.3 再生路面结构验算

6.3.1 冷再生沥青路面结构设计应符合 JTG D50、JTG 5421 及 JTG/T 5521 的有关规定。

6.3.2 乳化沥青冷再生层材料设计参数宜采用项目实际使用材料的实测值。动态模量宜按 JTG E20-2011 中 T0738 实测，试验时试件养生条件参照附录 C，试验温度选用 20℃，用作基层时冷再生混合料加载频率采用 5Hz，用作面层时冷再生混合料加载频率采用 10Hz。条件不具备时，可参照附录 A 选取。

6.3.3 有条件时宜分析再生路面结构内的温度场，最热月七天平均最高温度下冷再生层温度宜小于 40℃。

7 材料要求

7.1 一般规定

7.1.1 使用的原材料运至现场后应进行质量检验，经评定合格后方可使用，不得以供应商提供的检测报告或商检报告代替现场检测。

7.1.2 不同料源、品种、规格的新集料应分开堆放、标识清楚，不得混杂堆放。

7.1.3 RAP 不应混入非沥青类材料，不同来源和规格的 RAP 应分开堆放，使用前应进行破碎、筛分等预处理，破碎采用对辊式破碎机或专用锤式破碎机械，筛分分级后存放在干燥和遮阴区域，不得淋雨和暴晒，未经预处理的 RAP 不得直接用于乳化沥青冷再生混合料。

7.2 道路石油沥青

7.2.1 冷再生用乳化沥青的基质沥青宜选择道路石油沥青 70 号 A 级或者 90 号 A 级，在 1-4 区宜采用 70 号沥青，在 2-3 或 2-2 区宜采用 90 号沥青，其技术要求应符合现行 JTG F40 的规定。

7.2.2 道路石油沥青宜具有较高的酸值，针对选用的乳化剂，道路石油沥青应具有良好的被乳化效果。

7.3 乳化沥青

7.3.1 冷再生用乳化沥青应采用慢裂拌和型阳离子乳化沥青。

7.3.2 冷再生用乳化沥青性能应满足表 2 的质量要求。

表 2 冷再生用乳化沥青技术要求

试验项目		单位	技术要求	试验方法
破乳速度		-	慢裂	T0658
粒子电荷		-	阳离子（+）	T0653
筛上残留物（1.18mm 筛）		%	≤0.1	T0652
与水泥拌和试验筛上残留物（1.18mm 筛）		%	≤2	T0657
黏度 ^a	恩格拉黏度计法 E ₂₅	-	2~30	T0622
	25℃赛波特黏度 V _s	s	7~100	T0623
蒸发残留物	残留物含量	%	≥60	T0651
	溶解度	%	≥97.5	T0607
	针入度（25℃）	0.1mm	50~130	T0604
	软化点	℃	≥45	T0606
	延度（15℃）	cm	≥40	T0605
与粗集料的黏附性，裹覆面积		-	≥4/5	T0654
与粗、细粒式集料拌和试验		-	均匀	T0659
常温储存	1d	%	≤1	T0655
稳定性	5d	%	≤5	
^a 恩格拉黏度和赛波特黏度指标任选其一检测，有争议时以赛波特黏度为准。				

7.3.3 乳化沥青应常温储存, 储存时应保持适当搅拌, 搅拌转速不宜超过每分钟 30 转, 储存期以不离析、不冻结、不结团、不破乳为度。

7.3.4 乳化沥青使用时的温度不宜高于 60℃。

7.4 集料及矿粉

粗、细集料, 以及矿粉质量应符合现行 JTG F40 的有关规定。

7.5 水泥

7.5.1 可采用普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥等, 水泥强度等级宜为 32.5 或 42.5, 水泥应疏松、干燥、无结团、未受潮变质, 不应使用快硬水泥、早强水泥。

7.5.2 水泥的初凝时间应在 3h 以上, 终凝时间应大于 6h 且小于 10h, 技术指标应符合相应国家和行业标准的有关要求。

7.6 水

7.6.1 符合 GB5749 的饮用水可直接用于生产乳化沥青及冷再生混合料。

7.6.2 非饮用水用于生产乳化沥青及冷再生混合料时, 不应含有油污、泥土和其他有害杂质, 且应经试验验证不影响产品性能和工程质量。

7.7 RAP

7.7.1 RAP 回收、预处理应符合 JTG/T 5521 及 DB51/T 2795 的有关规定。

7.7.2 应根据旧沥青混合料和目标再生沥青混合料的最大公称粒径合理选择筛网尺寸, 最小筛网的孔径不应超过 10mm。用作基层时, 将破碎后的 RAP 筛分宜不少于 2 档 (分界筛孔依次可为最大粒径、10mm), 用作面层时, 宜不少于 3 档 (分界筛孔依次可为最大粒径、

10mm、5mm）。

7.7.3 RAP 技术指标应符合表 3 的要求。

表 3 乳化沥青厂拌冷再生 RAP 技术指标

材料	检测项目	单位	技术要求	试验方法
RAP	最大颗粒粒径	mm	≤设计级配允许的最大粒径	/
	干筛筛分级配	-	实测	T0302
	抽提筛分级配	-	实测	T0725
	含水量	%	≤3	T0305
4.75mm 以下的 RAP	砂当量	%	≥50	T0334
RAP 中的沥青	沥青含量	%	实测	T0722
	25℃针入度	0.1mm	实测	T0604
	软化点	℃	实测	T0605
	15℃延度	cm	实测	T0606

8 冷再生混合料配合比设计

8.1 一般规定

8.1.1 在对料源充分调查基础上，选用符合要求的材料。

8.1.2 冷再生混合料设计采用马歇尔配合比设计方法，也可采用旋转压实法，如采用其他方法设计时，应按本文件规定进行马歇尔试验及各项配合比设计检验。

8.2 级配

8.2.1 以 RAP 干筛筛分级配为基础，掺加不同比例的新集料等形成的乳化沥青冷再生混合料的级配范围应满足表 4 的要求。

表 4 乳化沥青冷再生混合料设计级配范围

筛孔（mm）	各筛孔的通过率（%）		
	粗粒式	中粒式	细粒式
31.5	100		
26.5	80~100	100	
19	70~90	90~100	100
13.2	55~75	-	90~100
9.5	45~65	50~75	60~80
4.75	25~55	30~55	45~75
2.36	15~45	20~45	25~55
0.3	3~20	3~21	6~25
0.075	1~7	2~8	2~9

8.2.2 RAP 筛分试验采用风干、或参照 JTG E42-2005 中 T0302 材料加热温度调整为 40℃ 恒温干燥，采用干筛法。

8.2.3 在进行级配设计时，如有条件，尚宜考虑 RAP 抽提筛分级配掺配的冷再生混合料级配范围。

8.2.4 根据目标级配和 RAP 级配，可在乳化沥青冷再生混合料中添加一定比例的粗集料或矿粉。

8.2.5 冷再生混合料用作柔性基层时，宜采用粗粒式级配或中粒式级配；用于中、下面层时，宜采用中粒式级配；用于轻交通荷载等级道路的上面层时，可采用细粒式级配。

8.3 混合料

8.3.1 乳化沥青冷再生混合料设计指标应符合表 5 的要求。

表 5 乳化沥青冷再生混合料设计指标

试验项目			单位	技术要求	
马歇尔试件尺寸	中、细粒式 ^a		mm	Φ101.6×63.5	
	粗粒式			Φ152.4×95.3	
马歇尔试件双面击实次数	中、细粒式 ^a		次	50+25	
	粗粒式			75+37	
空隙率	面层		%	7~11	
	基层			8~13	
15℃劈裂强度 ^b	层位及试件类型		-	重及以上交通等级	其他交通等级
	面层	标准马歇尔	MPa	≥0.8	≥0.7
		大型马歇尔或旋转压实 ^c		≥0.6	≥0.5
	基层	标准马歇尔		≥0.7	≥0.6
		大型马歇尔或旋转压实 ^c		≥0.5	≥0.4
干湿劈裂强度比			%	≥85	
^a 中粒式可采用大型马歇尔试件，此时技术要求同大型马歇尔；					
^b 劈裂试验方法见附录 B；					
^c 旋转压实参数参见附录 C。					

8.3.2 乳化沥青冷再生混合料在配合比设计阶段，应检验冻融劈裂强度比、肯塔堡飞散损失和动稳定度指标，用于重及以上交通荷载等级道路下面层时，还宜检验低温弯曲指标。混合料性能应符合表 6 的要求，否则应更换材料或者重新进行混合料设计。

8.3.3 乳化沥青冷再生混合料在配合比设计的同时，宜进行混合料延迟施工性能衰减和抗磨损性能试验，指标满足表 7 的技术要求。

表 6 乳化沥青冷再生混合料性能检验指标要求

试验项目		单位	技术要求	
			重及以上交通荷载等级	其他交通荷载等级
冻融劈裂强度比		%	≥75	≥70
20℃肯塔堡飞散损失		%	<20	<25
60℃动稳定度	面层	次/mm	≥3200	≥2800
	基层		≥1500	≥1000
-10℃低温弯曲应变		με	≥1500	-
注：冻融劈裂强度比、肯塔堡飞散损失、动稳定度、低温弯曲试验方法见附录 B。				

表 7 乳化沥青冷再生混合料延迟施工性能衰减及抗磨耗性能要求

试验项目		单位	技术要求
混合料延迟施工性能衰减（4h）	残留劈裂强度比	%	≥80
	空隙率变化值	%	≤2
抗磨耗试验		%	≤2

注：混合料延迟施工性能衰减和抗磨耗试验方法见附录 B。

8.3.4 在混合料中,乳化沥青蒸发残留物占混合料其余部分干质量的百分比宜不小于 1.8%。水泥含量不宜超过 1.0%，且不应超过 1.5%。

8.3.5 乳化沥青冷再生混合料配合比设计包括铣刨料分析、混合料配合比（新加集料、填料、水、乳化沥青用量）设计和混合料性能验证等内容。乳化沥青冷再生配合比设计流程如图 1 所示。

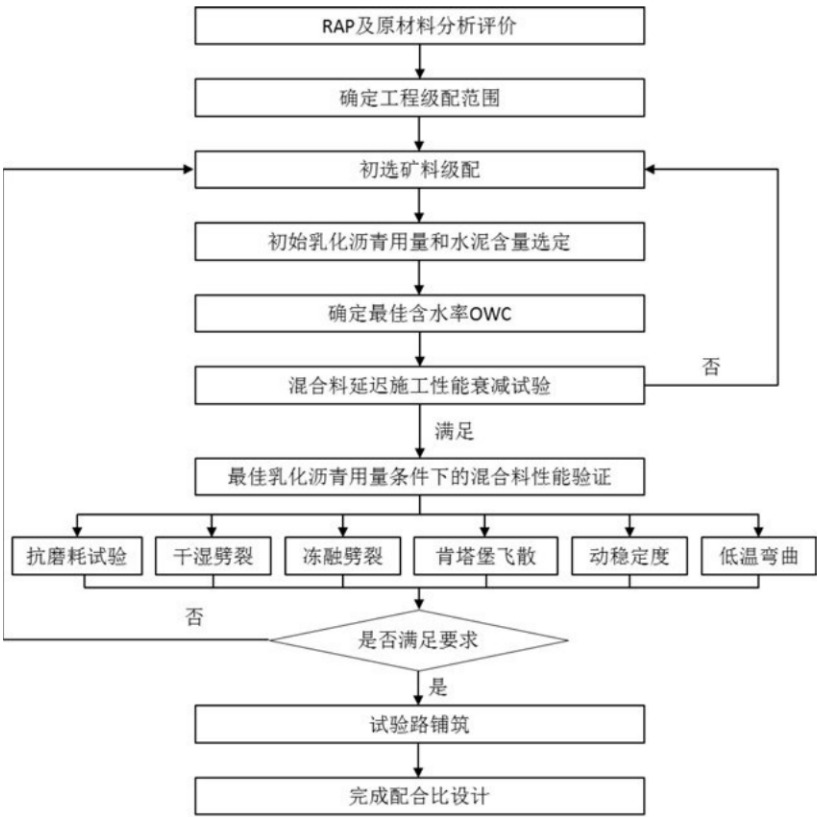


图 1 乳化沥青冷再生混合料配合比设计流程图

9 施工

9.1 一般规定

- 9.1.1 施工前的材料、机械、施工方案、试验路等应进行相应的施工准备。
- 9.1.2 冷再生混合料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。

9.2 设备要求

- 9.2.1 应配置 RAP 破碎筛分装置、拌和设备、运输车辆、摊铺机械、碾压设备，以及辅助

设备。

9.2.2 乳化沥青厂拌冷再生拌和设备应配有配料装置、水泥罐、矿粉罐（如需要）、乳化沥青罐、水罐等，冷料仓应具有破拱装置，乳化沥青罐应具有搅拌及内循环功能。

9.2.3 所有材料均应能精确计量配料，粗、细集料，RAP 的配料精度宜不低于 $\pm 1.5\%$ ，水泥、矿粉、水的计量精度宜不低于 $\pm 1.0\%$ ，乳化沥青的计量精度宜不低于 $\pm 0.5\%$ 。

9.2.4 搅拌机长度、叶片布局、水管和沥青管路接入拌缸的顺序等应设计合理，拌和设备拌和混合料时，宜使水和乳化沥青分批次加入，且宜采用不少于二次拌和的生产工艺，使乳化沥青冷再生混合料充分搅拌均匀。

9.2.5 RAP 的预处理能力应与拌和设备的生产能力、摊铺能力相匹配。

9.3 铺筑试验路

9.3.1 正式施工前应铺筑试验段，长度不宜小于 200m。

9.3.2 通过试验段应完成下列工作：

- a) 检验再生设备是否满足施工需要；
- b) 验证乳化沥青冷再生混合料配合比设计；
- c) 试拌确定拌和机的上料速度，摊铺参数，压路机类型和数量，碾压顺序、速度和遍数等施工参数；
- d) 检测压实度、空隙率等指标；
- e) 检验质量控制方案的可行性。

9.4 拌和

9.4.1 冷再生混合料应拌和均匀、无花白料、无液体流淌、无结块成团现象，和易性良好。

9.4.2 冷再生各种材料拌和顺序为：先将 RAP、新集料、矿粉、水泥干拌混匀，再与水拌和，最后与乳化沥青拌和，拌和应保证冷再生混合料的裹覆均匀性。

9.4.3 生产结束后，拌合机停机前，应用水冲洗拌缸，同时放空 RAP 料仓避免高温天气时 RAP 粘结成块堵塞料仓。

9.5 运输

9.5.1 运料车装料时宜前后移动位置，平衡装料，减少混合料离析。

9.5.2 拌和好的冷再生混合料应尽快运至施工现场并完成摊铺和压实，装满混合料的汽车，不得随意中途停留，必须保证直接将混合料送到现场，及时摊铺。冷再生混合料应在乳化沥青破乳前和水泥凝结前运抵施工现场并完成摊铺。

9.5.3 运料车每次使用前、后应清扫干净，可在车厢板上喷涂隔离剂防止冷再生混合料粘结，隔离剂禁止使用柴油等有机溶剂。运料车应用帆布覆盖防止运输材料污染、雨淋、提前硬结，运料车在即将卸料时方可揭开，不可提前撤除覆盖布以致混合料长时间暴露于空气中。

9.5.4 卸料时，运料车在后轴轮胎与摊铺机接触前 10cm-30cm 处停车，严防撞击摊铺机。此时运料车应挂空挡等候摊铺机推动前行。

9.6 摊铺

9.6.1 冷再生混合料宜采用履带式摊铺机，熨平板不需要加热。

9.6.2 摊铺机在施工过程中，起步速度要慢，平稳匀速前进，不得随意变换速度或者中途停顿，摊铺速度宜为 2m/min~4m/min。当发现摊铺后的混合料出现明显离析、波浪、裂缝、拖痕时应分析原因，予以消除。

9.6.3 在摊铺过程中，熨平板应开振动，调整频率和振幅，初始密实度宜在 85%以上。

9.6.4 摊铺过程中应随时检查摊铺层厚度、路拱和横坡，发现问题及时调整。

9.7 压实

9.7.1 冷再生混合料的单层压实厚度不宜大于 150mm，且不宜小于 80mm，厚度超过 150mm 时宜分层施工。

9.7.2 应配置足够数量、吨位的单钢轮压路机、双钢轮压路机、胶轮压路机。单钢轮压路机要求吨位 20t 以上，双钢轮压路机要求吨位 12t 以上；胶轮压路机要求吨位 26t 以上。

9.7.3 冷再生混合料施工尽量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。

9.7.4 冷再生推荐的碾压方式为：初压采用双钢轮振动压路机碾压 1 遍~2 遍，冷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 1.5km/h~3km/h；复压采用单钢轮和胶轮压路机，应以慢而均匀的速度碾压，应碾压至混合料板结、没有明显轮迹为止，复压速度宜为 2km/h~4km/h；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 2km/h~4km/h。具体项目的碾压工艺根据试验路综合确定。

9.7.5 碾压顺序由低向高、由路肩向路中心碾压时，应重叠 1/2~1/3 轮宽，压路机折返位置不宜在同一横断面上，应以阶梯式碾压方式循序推进，压路机在作业面上碾压一个来回即为一遍。

9.7.6 碾压过程中，如有“弹簧”、松散、起皮等现象，应及时铲除，并用新的混合料填补处理，使其达到质量要求。

9.7.7 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。碾压时不得随意刹车、掉头，不得急转方向。

9.7.8 冷再生混合料在碾压后至少 6h 内不允许任何车辆通行，以保证足够的养生，避免车辆行驶造成再生层表面松散。

9.7.9 拌合站的选址应距施工现场距离较近，混合料生产后能迅速运输至施工现场，冷再生混合料从拌和至摊铺碾压完成的时间不宜超过 3h。

9.8 养生

9.8.1 冷再生层应进行自然养生，养生时间不宜少于 3d，以再生层可以取出完整的芯样作为结束养生的控制条件。

9.8.2 如冷再生铺筑后 24h 内下雨，宜覆盖养生路段并做好排水，避免雨水积聚在再生层表面。

9.8.3 养生完成后，应及时铺筑上面的沥青层。

10 施工质量管理和检查验收

10.1 一般规定

10.1.1 乳化沥青冷再生混合料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，对施工工序的质量进行检查评定，达到规定的质量标准。

10.1.2 乳化沥青冷再生施工时应加强施工过程质量控制，实现动态质量管理。

10.2 施工前材料检测

在工程施工过程中，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 8 的要求，并确认所有材料的技术指标满足相关技术要求。

表 8 厂拌冷再生施工前材料检查要求

材料	检查项目	要求值	检查频率
RAP	级配、含水率	符合设计要求	每天测 1 次~2 次或发现异常时
乳化沥青	表 2	符合设计要求	每批来料 1 次或 2~3 个工作日
粗细集料及矿粉	-	符合设计要求	根据需要
水泥	强度、初凝时间、终凝时间	符合设计要求	根据需要

10.3 施工过程中的质量检测

施工过程中的质量管理和检查验收应满足表 9、表 10 的要求。

表 9 施工过程质量控制要求

检查项目	单位	质量要求	检验频率	检验方法 ^a
混合料外观	-	应拌和均匀，无离析，无花白料	随时	目测
压实度	%	≥99（基于试验室标准密度）	每车道每 1km 检查 3 点	T0924 或 T0921
空隙率	%	满足设计要求 （基于最大理论相对密度）		
15℃劈裂强度	MPa	符合设计要求	每工作日 1 次	T0716
干湿劈裂强度比	%	符合设计要求		
冻融劈裂强度比	%	符合设计要求	每 3 个工作日 1 次	T0729
动稳定度	次/mm	符合设计要求	需要时	T0719
肯塔堡飞散损失	%	符合设计要求	每 3 个工作日 1 次	T0733
-10℃低温弯曲	με	符合设计要求	需要时	T0715
抗磨耗试验	%	符合设计要求	需要时	附录 B
混合料含水率	%	±1.0	每工作日 1 次	T0801
乳化沥青用量	%	±0.2	每工作日 1 次	总量检验
水泥用量	%	±0.3	每工作日 1 次	总量检验或 T0809
混合料级配	-	符合设计要求	发现异常随时检测	皮带处取样干筛

^a表中检验方法的编号均参见 JTG 3450-2019 及 JTG E20-2011。

表 10 施工过程外形尺寸检查项目、频度要求

检查项目	单位	质量要求	检验频率	检验方法 ^a
平整度最大间隙	mm	符合设计要求	随时，接缝处单杆测量	T0931
纵断面高程	mm	±10	检查每个断面	T0911
厚度	平均值	符合设计要求	随时	插入法测量松铺厚度及压实厚度
	单个值		随时	
宽度	mm	符合设计要求	检查每个断面	T0911
横坡度	%	符合设计要求	检查每个断面	T0911
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

^a表中检验方法的编号参见 JTG 3450-2019。

10.4 验收检测项目及质量要求

乳化沥青冷再生完工后，按照表 11 的要求进行质量检查验收。

表 11 乳化沥青冷再生验收质量标准

检查项目		单位	质量要求		检验频率	检验方法 ^a
			高速公路、一级公路、城市快速路、主干路	其他公路、城市次干路及以下		
压实度		%	≥99（试验室标准密度） ≥87（最大理论相对密度）		每车道每 1km 检查 3 点	T0924
空隙率		%	符合设计要求		基于最大理论密度，每车道每 1km 检查 1 点	T0924
厚度	平均值	mm	符合设计要求		每 1500m ² 检查 1 点	T0912
	合格值		±10	±15		
平整度 （标准差 σ）		mm	≤1.5	≤2.8	每车道连续检测，每 100m 计算 σ	T0932
宽度		mm	不小于设计值		每 100m 测 2 处	T0911
纵断面高程		mm	符合设计要求		每 100m 测 1 个断面	T0911
横坡度		%	符合设计要求		每 100m 测 1 个断面	T0911
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
^a 表中检验方法的编号均参见 JTG 3450-2019。						

附录 A

(资料性)

冷再生混合料设计参数及推荐结构

A.1 设计参数

A.1.1 结构设计时，乳化沥青冷再生混合料设计参数宜采用项目实际使用材料的实测值。

A.1.2 条件不具备，尚无试验数据时，可参照表 12 的规定确定设计参数。

表 12 乳化沥青冷再生设计参数

混合料类型	动态模量 (20℃, 10Hz), MPa	动态模量 (20℃, 5Hz), MPa
乳化沥青冷再生混合料	3500~5500	3000~5000

A.2 结构设计方法及推荐结构

A.2.1 沥青路面结构设计应符合 JTG D50 的有关规定。

A.2.2 可参考表 13 初步拟定路面结构厚度。

表 13 乳化沥青冷再生结构组合

交通等级	加铺沥青面层		厂拌冷再生结构层厚度(mm)
	推荐厚度 (mm)	最小厚度 (mm)	
特重及极重	150~220	120	100~200
重	120~180	100	80~200
中	70~120	50	80~200
轻	≥40 或微表处、稀浆封层等磨耗层		80~200

附 录 B

(规范性)

乳化沥青厂拌冷再生混合料配合比设计方法(马歇尔法)

B.1 一般规定

B.1.1 本方法适用于乳化沥青厂拌冷再生混合料的配合比设计。

B.1.2 冷再生混合料配合比设计时, RAP 应从处理后的回收料料堆取样, 在室温条件下人工配制冷再生沥青混合料, 不需加热各种材料。

B.1.3 本文件采用马歇尔试验配合比设计方法, 如采用其他方法设计时, 应按本文件规定进行马歇尔试验及各项配合比设计检验, 并报告不同设计方法的试验结果。

B.1.4 粗粒式冷再生混合料采用大型马歇尔击实法, 中粒式和细粒式冷再生混合料采用标准马歇尔击实法, 中粒式冷再生混合料也可采用大型马歇尔击实法。

B.2 材料选择及试验

B.2.1 应根据工程实际使用的材料进行有针对性的乳化沥青配方设计, 使用的乳化沥青技术指标应满足表 2 的要求。

B.2.2 配合比设计的各种矿料、RAP、水泥和水等应按要求, 从工程实际使用的材料中取有代表性的样品进行检测, 质量应满足本文件有关要求。

B.3 确定工程设计级配范围及级配设计

B.3.1 工程设计级配范围应在本文件规定的级配范围的基础上, 结合交通荷载等级、工程性质、交通特点和材料品种等因素, 通过对条件相当的工程使用情况进行调查研究后确定。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。

B.3.2 以 RAP 干筛为基础, 掺加不同比例的新集料、水泥等, 使合成级配满足工程设计级配的要求, 同时结合 RAP 抽提筛分级配, 对级配进行优化。

B.3.3 合成级配曲线应平顺, 不宜有锯齿形交错。

B.4 确定最佳含水率 OWC

B.4.1 可参照现行 JTG 3430-2020 中 T0131 方法, 对合成矿料进行击实试验, 确定最佳含水率。

B.4.2 也可采用马歇尔击实试验方法成型试件, 根据试件最大干密度原则, 确定最佳含水率。具体方法如下:

- a) 可先将乳化沥青用量定为 3.5%、水泥用量定为 1.0%, 然后变化不同的含水率进行马歇尔击实试验, 一般采用 5 个不同的含水率, 含水率的间隔宜为 0.5%。
- b) 向拌和锅内加入按比例称量好的 RAP、新集料、矿粉、水泥, 拌和均匀, 拌和时间一般为 60s;
- c) 通过乳化沥青蒸发残留物含量计算出乳化沥青中的含水量, 采用不同含水率下的总用水量减去乳化沥青中的含水量, 即计算得到所需外加水量, 在拌和锅中加入外加水, 拌和均匀, 拌和时间一般为 60s;
- d) 加入计算得到的乳化沥青质量, 拌和均匀, 拌和时间一般为 90s;
- e) 将拌和均匀的混合料称量好所需质量后, 立即装入马歇尔试模中, 放在马歇尔击实仪上双面各击实 50 次(标准马歇尔)或 75 次(大型马歇尔), 然后将试样连同试模一起侧放入 60℃的鼓风烘箱中养生至恒重, 养生时间一般为 48h±2h;
- f) 养生结束后, 将试样连同试模一起从烘箱中取出, 然后立即在马歇尔击实仪上双面各击实 25 次(标准马歇尔)或 37 次(大型马歇尔), 击实完成后将试件侧放于地面上, 在室温下冷却 12h 以上, 然后脱模;
- g) 最终成型的马歇尔试件高度应控制在规范的范围, 每一个含水率下至少成型 4 个马歇尔试件。
- h) 将养生完成并已充分冷却的马歇尔试件测量直径、高度等尺寸指标后, 采用表干法测量试件的毛体积相对密度, 得到不同含水率下的密度曲线, 曲线应形成开口向下的抛物线, 以毛体积相对密度最大时的含水率作为最佳含水率 OWC。若最终得到的曲线未出现向下抛物线形状, 而是单调递增或单调递减, 应扩大含水率范围再进行马歇尔击实成型, 直至曲线规律满足要求; 若最终得到的曲线不规则, 如出现“W”型或“N”型曲线, 应对有疑问的数据点重新进行试验。

B.5 确定最佳乳化沥青用量及水泥用量

B.5.1 乳化沥青冷再生混合料最佳乳化沥青用量采用标准马歇尔击实、大型马歇尔击实成型的方法进行确定，在确定的最佳含水率条件下以预估的乳化沥青用量为中值，变化不同的乳化沥青用量，取 1~3 个水泥用量，进行拌和成型，乳化沥青用量一般采用 5 个不同用量，以 0.5% 为间隔，可采用 3.0%-5.0% 的用量范围。

B.5.2 采用马歇尔击实成型时，混合料拌和时的拌和工艺及养护成型条件分别与 B.4.2 一致。

B.5.3 将成型完成的试件测试直径、高度等尺寸指标后，采用表干法测试试件毛体积相对密度，并计算空隙率大小，然后将各组油石比试件进行 15℃ 劈裂强度、浸水 24h 劈裂强度试验：

- 15℃ 劈裂试验方法：应按 JTG E20-2011 中 T0716 的方法进行，将试件浸泡在 15℃ 恒温水浴中 2h（标准马歇尔试件）或 4h（大型马歇尔试件），然后取出试件立即测试 15℃ 劈裂强度，结果即为 15℃ 劈裂试验强度；
- 浸水 24h 劈裂试验方法：将试件完全浸泡在 25℃ 恒温水浴中 22h，再按现行 JTG E20-2011 中 T0716 的方法，将试件浸泡在 15℃ 恒温水浴中 2h（标准马歇尔试件）或 4h（大型马歇尔试件），然后取出试件立即测试 15℃ 劈裂强度，结果即为浸水 24h 劈裂试验强度；
- 干湿劈裂强度比是浸水 24h 劈裂试验强度与 15℃ 劈裂试验强度的比值，按式（1）计算干湿劈裂强度比。

$$R_{w/d} = \frac{P_w}{P_d} \times 100 \quad (1)$$

式中： P_w ——试件浸水 24h 劈裂试验强度，MPa；

P_d ——试件 15℃ 劈裂试验强度，MPa；

$R_{w/d}$ ——试件干湿劈裂强度比，%。

B.5.4 对于乳化沥青冷再生混合料，试件的毛体积相对密度 γ_t 宜采用现行 JTG E20-2011 中 T0705 表干法进行测试，混合料最大理论相对密度 γ_t 采用现行 JTG E20-2011 中 T0711 真空法实测或算法得到。

B.5.5 采用真空法实测最大理论相对密度方法如下：

- 称量好各配比下所需各种材料的质量，按 B.4.2 中的工艺进行拌和，混合料所需质量应满足 T0711 中试验所需最小质量的要求，拌和时混合料含水量应控制较低，宜控制在 4% 以内；
- 将拌和均匀的混合料摊开平铺于托盘中，置于 60℃ 烘箱中烘干至恒重，一般为 48h±2h；
- 将烘干的混合料从烘箱中取出，稍作冷却后立即将混合料充分搓散，结团的细集料颗粒应仔细分散，否则将影响试验结果准确性，将分散后的混合料冷却至室温后按照 T0711 中的方法测试最大理论相对密度。

B.5.6 采用算法测试最大理论相对密度方法如下：

- 按式（2）计算矿料的合成毛体积相对密度 γ_{sb} 。

$$\gamma_{sb} = \frac{100}{\frac{P_{n1}}{\gamma_{n1}} + \frac{P_{n2}}{\gamma_{n2}} + \dots + \frac{P_{nn}}{\gamma_{nn}} + \frac{P_{a1}}{\gamma_{a1}} + \frac{P_{a2}}{\gamma_{a2}} + \dots + \frac{P_{an}}{\gamma_{an}}} \quad (2)$$

式中： P_{n1} 、 P_{n2} 、……、 P_{nn} ——各种新添加矿料成分的配合比，其和记为 P_n ；

γ_{n1} 、 γ_{n2} 、……、 γ_{nn} ——各种新添加矿料相应的毛体积相对密度；

P_{a1} 、 P_{a2} 、……、 P_{an} ——各种 RAP 中回收集料成分的配合比，其和记为 P_a ， $P_n + P_a = 100$ ；

γ_{a1} 、 γ_{a2} 、……、 γ_{an} ——各种 RAP 中回收集料相应的毛体积相对密度。

- 按式（3）计算矿料的合成表观相对密度 γ_{sa} 。

$$\gamma_{sa} = \frac{100}{\frac{P_{n1}}{\gamma'_{n1}} + \frac{P_{n2}}{\gamma'_{n2}} + \dots + \frac{P_{nn}}{\gamma'_{nn}} + \frac{P_{a1}}{\gamma'_{a1}} + \frac{P_{a2}}{\gamma'_{a2}} + \dots + \frac{P_{an}}{\gamma'_{an}}} \quad (3)$$

式中： P_{n1} 、 P_{n2} 、……、 P_{nn} ——各种新添加矿料成分的配合比，其和记为 P_n ；

γ'_{n1} 、 γ'_{n2} 、……、 γ'_{nn} ——各种新添加矿料相应的表观相对密度；

P_{a1} 、 P_{a2} 、……、 P_{an} ——各种 RAP 中回收集料成分的配合比，其和记为 P_a ， $P_n + P_a = 100$ ；

γ'_{a1} 、 γ'_{a2} 、……、 γ'_{an} ——各种 RAP 中回收集料相应的表观相对密度。

- 确定矿料的有效相对密度

有效相对密度宜直接由矿料的合成毛体积相对密度与合成表观相对密度按式（4）计算确定，其中沥青吸收系数 C 值根据材料的吸水率由式（5）求得，材料的合成吸水率按式（6）计算：

$$\gamma_{se} = C \times \gamma_{sa} + (1 - C) \times \gamma_{sb} \quad (4)$$

$$C = 0.033\omega_x^2 - 0.2936\omega_x + 0.9339 \quad (5)$$

$$\omega_x = (1/\gamma_{sb} - 1/\gamma_{sa}) \quad (6)$$

式中： γ_{sc} ——合成矿料的有效相对密度；

C ——合成矿料的沥青吸收系数，可按矿料的合成吸水率从式（5）求取；

ω_x ——合成矿料的吸水率，按式（6）求取，%；

γ_{sb} ——矿料的合成毛体积相对密度，按式（2）求取，无量纲；

γ_{sa} ——矿料的合成表观相对密度，按式（3）求取，无量纲。

d)确定乳化沥青厂拌冷再生混合料的最大理论相对密度

乳化沥青厂拌冷再生混合料最大理论相对密度采用计算法按式（7）求取。

$$\gamma_{ti} = \frac{100}{P_{si}/\gamma_{se} + P_{nbi}/\gamma_{nb} + P_{abi}/\gamma_{ab}} \quad (7)$$

式中： P_{nbi} ——所计算的沥青混合料的乳化沥青残留物用量，%；

P_{abi} ——所计算的沥青混合料中 RAP 所含旧沥青占混合料总质量百分比，%；

γ_{nb} ——乳化沥青残留物的相对密度（25℃/25℃），无量纲；

γ_{ab} ——RAP 中回收沥青的相对密度（25℃/25℃），无量纲；

γ_{ti} ——相对于计算沥青用量为 P_{abi} 、 P_{nbi} 时沥青混合料的最大理论相对密度，无量纲；

P_{si} ——所计算的沥青混合料的矿料含量， $P_{si}=100-P_{abi}-P_{nbi}$ ，%；

γ_{se} ——矿料的有效相对密度，按式（4）计算，无量纲。

B.5.7 按 15℃劈裂强度试验和干湿劈裂强度比的试验结果达到最佳化（出现峰值），同时空隙率不大于设计范围内对应的乳化沥青用量和水泥用量作为最佳乳化沥青用量（OEC）和水泥用量。

B.6 混合料性能检验

B.6.1 冻融劈裂试验。冻融劈裂试件成型的击实次数，标准马歇尔试件规定为双面各击实 50 次，大型马歇尔试件规定为双面各击实 75 次，按本文件规定的方法养生，然后按 JTG E20-2011 中 T0729 冻融劈裂试验方法对混合料性能进行检验，试验结果应满足表 6 的要求。

B.6.2 动稳定度。按 JTG E20-2011 中 T0703 轮碾法成型 80mm 厚（粗粒式）或 50mm 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 48h±2h，然后将试件取出在室温下放置不少于 40h，再按 T0719 进行动稳定度试验，试验前试件保温时间宜为 8~10h，试验结果应满足表 6 的要求。

B.6.3 肯塔堡飞散损失。肯塔堡飞散试件采用标准马歇尔成型，压实次数规定为双面各击实 50 次，按本文件规定的方法养生，然后按 JTG E20-2011 中 T0733 中标准飞散试验对混合料性能进行检验，试验结果应满足表 6 的要求。

B.6.4 低温弯曲试验。低温弯曲试件成型应先按照 B.6.2 中的方法成型板块试件，碾压完成后迅速将试件放置到 60℃鼓风烘箱中烘干 48h±2h，然后将试件取出在室温下放置不少于 14 天，再按照 JTG E20-2011 中 T0715 中的要求进行试件切割及试验，切割时切割刀的行进速度应尽可能调至最低，以确保小梁试件的完整性。

B.6.5 抗磨耗试验。乳化沥青冷再生混合料的抗磨耗试件采用旋转压实 20 次的方式成型，试件直径 150mm、高度 70±5mm，试件成型后置于 21±3℃的室温下养生 4h±5min，称取磨耗前试件的质量。然后将试件放置于磨耗试验设备下方的托盘中固定，磨耗试验设备如图 2 所示，设备下方装试件的托盘在试验过程中应能完全固定。试件表面需高于托盘边缘 10mm 以上。将磨耗管装入磨耗头中，磨耗头总质量为 600±15g，磨耗管外层采用氯丁橡胶管材质，内径为 19mm，壁厚 6.25mm，长度 127mm，橡胶硬度为 60HA-70HA。将放入试件的托盘升起使试件顶起磨耗头，但磨耗头上方不应被顶死，而应留有至少 10mm 空间使磨耗头可上下自由活动。磨耗试验时转速采用 46r/min，试验时间为 15min，试验完成后清理掉试件表面的浮石，称取磨耗后试件的质量，按式（8）计算磨耗损失。

$$R_e = \frac{A-B}{A} \times 100 \quad (8)$$

式中： R_e ——试件磨耗损失，%；

A ——磨耗试验前试件质量，g；

B ——磨耗试验后试件质量，g。



图 2 磨耗试验仪

B. 6. 6 混合料延迟施工性能衰减。乳化沥青冷再生混合料的延迟施工性能衰减试验的测试方法如下：

- a) 按照确定好的材料配比将混合料拌和均匀后从拌锅中倒出，盛放在合适的容器中，宜选用开口直径较小，高度较高的敞口容器，不宜选择托盘平铺；
- b) 采用塑料膜或盖子将盛料的容器封闭，以避免混合料暴露在空气中；
- c) 将混合料连同容器置于室温下放置不同时间，一般放置时间可设置为 0~5h，以 1h 为间隔，在达到放置时间后立即称取所需质量的混合料装入试模中，进行马歇尔击实，然后按本文件规定的方法进行养生、脱模；
- d) 对脱模后的试件测试毛体积相对密度和计算空隙率后，进行 15℃劈裂试验，得到不同延迟时间下混合料的 15℃劈裂试验强度和空隙率；
- e) 按式（9）计算不同施工延迟时间下混合料的残留劈裂强度比：

$$R_u = \frac{P_m}{P_0} \times 100 \quad (9)$$

式中： R_u ——混合料残留劈裂强度比，%；

P_m ——混合料放置 m 小时后成型试件的 15℃劈裂试验强度，MPa；

P_0 ——混合料拌和后立即成型试件的 15℃劈裂试验强度，MPa。

附 录 C
(资料性)

乳化沥青厂拌冷再生混合料配合比设计方法（旋转压实法）

C.1 一般规定

C.1.1 采用旋转压实法设计的混合料应按本文件规定进行马歇尔试验及各项配合比设计检验，并报告不同设计方法的试验结果。

C.1.2 旋转压实仪应满足如下条件：压力 $600\text{kPa}\pm 18\text{kPa}$ ，压实内部角 $1.16^\circ \pm 0.02^\circ$ ，压实速率 $30\text{r/min}\pm 0.5\text{r/min}$ ，采用 $\varnothing 150\text{mm}$ 的试模成型试件。

C.1.3 本方法未尽事宜参照 DB37/T 3566 执行。

C.2 材料选择及试验

材料选择及试验应符合 B.2 的要求。

C.3 确定工程设计级配范围及级配设计

确定工程设计级配范围及级配设计应符合 B.3 的要求。

C.4 确定最佳含水率 OWC

C.4.1 可参照现行 JTG 3430-2020 的 T0131 方法，对合成矿料进行击实试验，确定最佳含水率。

C.4.2 也可采用旋转压实试验方法成型试件，根据试件最大干密度原则，确定最佳含水率。具体方法如下：

- a) 混合料的加料顺序，拌和试件等工艺与 B.4.2 马歇尔试件成型方法相同；
- b) 将拌和均匀的混合料称取质量 3700g 后，立即装入直径 150mm 的旋转压实试模中，重及以上交通等级设计旋转压实次数为 70 次，其他情况，设计旋转压实次数为 50 次，试件不需要翻面复压；
- c) 试件成型后立即脱模，平放入托盘中，过程中不应掉料，试件在 60°C 的鼓风烘箱中养生至恒重，养生时间一般为 $48\text{h}\pm 2\text{h}$ ；
- d) 养生结束后，将试件从烘箱中取出，在室温下冷却 12h 以上
- e) 每个含水率成型不少于 4 个试件；
- f) 将养生完成并已充分冷却的旋转压实试件测量直径、高度等尺寸指标后，采用表干法测量试件的毛体积相对密度，得到不同含水率下的密度曲线，曲线现在应形成开口向下的抛物线，以毛体积相对密度最大时的含水率作为最佳含水率 OWC。若最终得到的曲线未出现向下抛物线形状，而是单调递增或单调递减，应扩大含水率范围再进行旋转压实成型，直至曲线规律满足要求；若最终得到的曲线不规则，如出现“W”型或“N”型曲线，应对有疑问的数据点重新进行试验。

C.5 确定最佳乳化沥青用量及水泥用量

确定最佳乳化沥青用量及水泥用量应符合 B.5 的要求。

C.6 混合料性能检验

混合料性能检验应符合 B.6 的要求。