

UDC

湖南省工程建设地方标准



DBJ 43/T 377 - 2021

P

备案号 J 15997 - 2021

沥青路面就地冷再生施工与验收技术规范

Technical specifications for cold in-place recycling
construction and acceptance of asphalt pavements

2021 - 09 - 18 发布

2022 - 02 - 01 实施

湖南省住房和城乡建设厅 发布

湖南省住房和城乡建设厅关于发布《湖南省小学建设标准》等 9 项湖南省工程建设地方标准的通知

湘建科〔2021〕173 号

各市州住房和城乡建设局，各有关单位：

《湖南省小学建设标准》《湖南省中学建设标准》《湖南省建筑垃圾再生工厂设计标准》《装配整体式钢筋焊接网叠合混凝土结构技术规程》《厂拌热再生沥青混合料标准》《乳化沥青厂拌冷再生沥青混合料标准》《沥青路面就地冷再生施工与验收技术规范》《路面基层再生集料应用技术标准》《装配式混凝土外墙板接缝防水技术标准》已由我厅组织专家审定通过，现批准为湖南省工程建设推荐性地方标准。其中：

湖南大学设计研究院有限公司主编的《湖南省小学建设标准》编号为 DBJ43/T018-2021。

湖南大学设计研究院有限公司主编的《湖南省中学建设标准》编号为 DBJ43/T019-2021。

湖南建工集团有限公司、湖南省建筑科学研究院有限责任公司主编的《湖南省建筑垃圾再生工厂设计标准》编号为 DBJ43/T020-2021。

三一筑工科技股份有限公司、湖南省建筑设计院集团有限公司主编的《装配整体式钢筋焊接网叠合混凝土结构技术规程》编号为 DBJ43/T376-2021。

湖南云中再生科技股份有限公司、长沙理工大学主编的《厂拌热再生沥青混合料标准》编号为 DBJ43/T526-2021。

湖南云中再生科技股份有限公司、湖南大学主编的《乳化沥青厂拌冷再生沥青混合料标准》编号为 DBJ43/T527-2021。

湖南云中再生科技股份有限公司、长沙理工大学主编的《沥青路面就地冷再生施工与验收技术规范》编号为 DBJ43/T377-2021。

湖南建工环保有限公司、湖南大学主编的《路面基层再生集料应用技术标准》编号为 DBJ43/T378-2021。

湖南东方红建设集团有限公司、湖南东方红住宅工业有限公司主编的《装配式混凝土外墙板接缝防水技术标准》编号为 DBJ43/T379-2021。

以上 9 项标准自 2022 年 2 月 1 日起在全省范围内实施, 由湖南省住房和城乡建设厅负责管理, 由第一主编单位负责标准具体技术内容的解释。

湖南省住房和城乡建设厅

2021 年 9 月 18 日

前 言

根据湖南省住房和城乡建设厅关于印发《湖南省 2020 年建设科技计划项目(第一批)》的通知(湘建科函〔2020〕73 号)的要求,标准编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国内先进标准,并在广泛征求意见的基础上,制定了本标准。

本标准主要技术内容是:1.总则,2.术语和符号,3.适用条件,4.原路面调查与分析,5.材料,6.就地冷再生混合料设计,7.施工,8.施工质量控制与验收。根据住房城乡建设部《工程建设标准涉及专利管理办法》(建办标〔2017〕3 号)文件要求,主编单位声明:本标准不涉及任何专利情况,如在使用过程中发现涉及到专利技术请及时与编制组联系。

本标准由湖南省住房和城乡建设厅负责管理,由湖南云中再生科技股份有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送湖南云中再生科技股份有限公司(地址:长沙市岳麓区岳麓街道麓山南路,邮政编码:410083)。

本标准主编单位:湖南云中再生科技股份有限公司
长沙理工大学

本标准参编单位:湖南省交通科学研究院有限公司
长沙市公路桥梁建设有限责任公司
长沙市市政工程有限责任公司
湖南交通国际经济工程合作有限公司

湖南建工交通建设有限公司
湖南易邦道路材料有限公司
湖南科技大学
中铁环境科技工程有限公司
湖南大学
湖南建工集团有限公司
中铁城建集团有限公司
衡阳公路桥梁建设有限公司
长沙市规划勘测设计研究院

本标准主要起草人员：吴超凡 钱国平 谢海秋 胡红波
丁红军 孟凡威 吴初平 肖杰
谭鹏 王纲 聂忆华 刘东斌
张恒龙 万暑 彭琳娜 张鑫全
张科 任新建 陈宇亮 朱红军
魏永国 李平 孙宇燕 胡富贵
张继森 孙瑜 孙洪鑫 王旭伟
李进荣 李雪连 刘至飞 罗永杰
彭敏 徐志强 曾乐 欧阳添资
本标准主要审查人员：吴善周 查旭东 颜可珍 钟梦武
王俏 易文 肖春发

目 次

1	总则.....	1
2	术语和符号.....	2
2.1	术语.....	2
2.2	符号.....	4
3	适用条件.....	6
3.1	一般规定.....	6
3.2	乳化沥青或泡沫沥青就地冷再生.....	6
3.3	水泥稳定就地冷再生.....	7
4	原路面调查与分析.....	8
4.1	一般规定.....	8
4.2	原路面技术状况检测与评价.....	8
4.3	交通调查.....	9
4.4	现场承载板试验.....	9
5	材料.....	11
5.1	一般规定.....	11
5.2	RAP.....	11
5.3	RMAP 与 RAI.....	12
5.4	道路石油沥青.....	13
5.5	乳化沥青.....	13
5.6	泡沫沥青.....	15
5.7	水泥.....	15
5.8	集料.....	15
5.9	水.....	15
6	就地冷再生混合料设计.....	16
6.1	一般规定.....	16
6.2	乳化沥青冷再生混合料.....	16

6.3	泡沫沥青冷再生混合料.....	19
6.4	水泥稳定冷再生混合料.....	20
7	施工.....	22
7.1	一般规定.....	22
7.2	施工准备.....	22
7.3	水泥稳定就地冷再生结构层施工.....	23
7.4	乳化沥青或泡沫沥青就地冷再生结构层施工.....	28
8	施工质量控制与验收.....	30
8.1	施工质量控制.....	30
8.2	施工验收.....	33
附录 A	RMAP 取样与试验分析.....	35
附录 B	乳化沥青（泡沫沥青）冷再生混合料配合比设计方法.....	38
附录 C	水泥稳定就地冷再生混合料设计方法.....	43
附录 D	乳化沥青微粒粒径检测方法（激光粒度分析法）.....	47
	本标准用词说明.....	51
	引用标准名录.....	52
	附：条文说明.....	53

Contents

1	General Provisions.....	1
2	Terms and symbols.....	2
2.1	Terms.....	2
2.2	Symbols.....	4
3	Conditions of Application.....	6
3.1	General Requirements.....	6
3.2	Cold In-place Recycling of Emulsified or Foamed Asphalt...	6
3.3	Cement Stabilized Cold In-place Recycling.....	7
4	Investigation and Analysis of Original Pavement.....	8
4.1	General Requirements.....	8
4.2	Detection and Evaluation of Technical Condition of Original Pavement.....	8
4.3	Traffic Investigation.....	9
4.4	Field Bearing Plate Test.....	9
5	Materials.....	11
5.1	General Requirements.....	11
5.2	RAP.....	11
5.3	RMAP and RAI.....	12
5.4	Road Petroleum Asphalt.....	13
5.5	Emulsified Asphalt.....	13
5.6	Foam Asphalt.....	15
5.7	Cement.....	15
5.8	Aggregates.....	15
5.9	Water.....	15
6	Design of Cold In-place Recycled Mixture.....	16
6.1	General Requirements.....	16
6.2	Emulsified Asphalt Cold Recycled Mixture.....	16

6.3	Foam Asphalt Cold Recycled Mixture.....	19
6.4	Cement stabilized Cold Recycled Mixture.....	20
7	Construction.....	22
7.1	General Requirements.....	22
7.2	Preparation for Construction.....	22
7.3	Construction of Cement Stabilized Cold In-place Recycled Structure Layer.....	23
7.4	Construction of Emulsified Asphalt or Foam Asphalt Cold In-place Recycled Structure Layer.....	28
8	Construction Quality Control and Acceptance.....	30
8.1	Construction Quality Control.....	30
8.2	Construction Acceptance.....	33
Appendix A	Sampling and Test Analysis of RMAP.....	35
Appendix B	Mix Proportion Design Method of Emulsified Asphalt (Foam Asphalt) Cold Recycled Mixture.....	38
Appendix C	Design Method of Cement Stabilized Cold In-place Recycled Mixture.....	43
Appendix D	Method for Particle Size Detection of Emulsified Asphalt (Laser Particle Size Analyzer Method)	47
Explanation	51
List of Quoted Standards	52
Addition:Explanation of Provisions	53

1 总 则

1.0.1 为规范沥青路面就地冷再生技术应用，提高沥青路面就地冷再生技术水平，保证工程质量，根据国内外道路工程实践、研究成果与湖南省的地理气候条件，制定本标准。

1.0.2 本标准规定了沥青路面就地冷再生施工与验收技术的适用条件、原路面调查与分析、材料、就地冷再生混合料设计、施工、施工质量控制与验收。

1.0.3 本标准适用于城镇道路就地冷再生的施工与验收，公路可参照执行，并可供设计、施工、监理、咨询及建设单位参考。

1.0.4 沥青路面就地冷再生技术的应用，除应符合本标准规定外，还应符合国家、行业和湖南省相关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 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，也称旧路面沥青混合料。

2.1.2 无机回收料 reclaimed aggregate or reclaimed inorganic binder stabilized aggregate (RAI)

采用铣刨、开挖等方式从道路上获得的旧的无机结合料稳定粒料或无机结合料粒料。

2.1.3 沥青路面回收料 reclaimed materials from asphalt pavement (RMAP)

采用铣刨、开挖等方式从沥青路面上获得的旧料，包括 RAP 和 RAI。

2.1.4 就地冷再生 cold in-place recycling (CIR)

采用专用设备，对沥青路面进行现场冷铣刨、破碎、筛分（特殊情况需要时），掺入一定数量的新集料、结合料（包括乳化沥青、泡沫沥青、水泥）、活性填料、水，经过常温拌和、摊铺、碾压等工序，一次性实现沥青路面铺筑的技术。

2.1.5 泡沫沥青 foamed asphalt

将热沥青和水在专门的发泡装置内混合、膨胀，形成的含有大

量均匀分散气泡的沥青材料。

2.1.6 乳化沥青 emulsified asphalt

沥青与水在乳化剂、稳定剂等的作用下，经机械乳化加工制得的水包油状的均匀沥青乳液。

2.1.7 泡沫沥青膨胀率 maximum expansion ratio of foamed asphalt

泡沫沥青在发泡状态下的最大体积与未发泡时沥青体积的比值。

2.1.8 泡沫沥青半衰期 half life of foamed asphalt

泡沫沥青从最大体积衰减至最大体积的 50%所用的时间。

2.1.9 再生混合料含水率 water content of recycled mixture

冷再生混合料中的水（包括乳化沥青或泡沫沥青中的水、集料与 RMAP 中的水、外加水）占再生混合料干燥质量的百分比。

2.1.10 RAP 级配 gradation of RAP

在 60℃烘箱中将从现场取回的 RAP 烘干至恒重，进行筛分试验测得的级配。

2.1.11 RAP 矿料级配 gradation of aggregate in RAP

用抽提或燃烧法除去 RAP 中的沥青材料后，进行水洗筛分测得的矿料级配。

2.1.12 RMAP 级配 gradation of RMAP

在 60℃烘箱中将从现场取回的 RMAP 烘干至恒重，进行筛分试验测得的级配。

2.1.13 RAI 级配 gradation of RAI

在 105℃烘箱中将从现场取回的 RAI 烘干至恒重，进行筛分

试验测得的级配。

2.1.14 再生沥青混合料级配 gradation of recycled asphalt mixture

在 60℃烘箱中烘干后的 RAP 与添加的新矿料的合成级配。

2.1.15 再生沥青混合料矿料级配 gradation of aggregate in recycled asphalt mixture

去除 RAP 中的沥青后的矿料与添加的新矿料的合成级配。

2.1.16 RAP 掺配比 percentage of RAP in recycled asphalt mixture

RAP 干燥质量占 RAP 与新加矿料（包括可能加入的集料、矿粉、水泥）之和的总干燥质量的百分比。

2.1.17 RMAP 掺配比 percentage of RMAP in recycled asphalt mixture

RMAP 干燥质量占 RMAP 与新加矿料（包括可能加入的集料、矿粉）之和的总干燥质量的百分比。

2.1.18 回收沥青 aged asphalt in RAP

也称作旧沥青，指 RAP 中所含的已经老化的沥青。

2.1.19 RAP 沥青含量 aged asphalt content of RAP

回收沥青占 RAP 干燥质量的百分比。

2.2 符 号

DS —— 动稳定度

E_{25} —— 恩格拉黏度

H —— 延迟时间

m_d —— 回收的 RAP 烘干质量
 m_w —— 回收的 RAP 质量
MS —— 马歇尔稳定度
 MS_0 —— 浸水 24h 的马歇尔稳定度
OWC —— 最佳含水率
PCI —— 路面损坏状况指数
PSSI —— 路面结构强度指数
RQI —— 路面行驶质量指数
RDI —— 路面车辙深度指数
 R_{TD} —— 劈裂强度
 R_{TW} —— 浸水 24h 的劈裂强度
TSR —— 冻融劈裂强度比
 TSR_{DW} —— 干湿劈裂强度比
 v_s —— 赛波特黏度
 ω —— RAP 含水率

3 适用条件

3.1 一般规定

3.1.1 乳化沥青和泡沫沥青均适用于对沥青混合料结构层的就地冷再生。宜优先使用乳化沥青就地冷再生技术，在要求快速开放交通的中轻交通荷载道路中，可采用泡沫沥青就地冷再生技术。

3.1.2 水泥稳定适用于含有粒料或无机结合料稳定类结构层的就地冷再生。水泥稳定就地冷再生施工前，具备单独回收条件的 RAP 应回收利用。

3.1.3 冷再生混合料宜在气温 10℃ 以上施工，大风、下雨、下雪、冰雹等恶劣天气时不得施工。

3.2 乳化沥青或泡沫沥青就地冷再生

3.2.1 原路路基整体稳定、基层未出现结构性破坏、路面结构强度较好，且仅对大、中修与改、扩建工程中的沥青结构层进行再生时，可采用乳化沥青或泡沫沥青就地冷再生技术。

3.2.2 乳化沥青或泡沫沥青就地冷再生结构层可用于各类型城镇道路的柔性基层，也可用于城镇次干路、支路的沥青中、下面层。用于中、下面层时，应加铺 20mm（含）以上的密级配热拌沥青混合料表面层或沥青表处封层；加铺开级配或半开级配表面层时，应先在冷再生结构层上做热沥青封层。

3.2.3 存在下列条件之一时，不宜采用乳化沥青或泡沫沥青就地冷

再生技术。

- 1 道路基层出现结构性破损或路面结构强度严重不足。
- 2 原路面沥青层是沥青贯入式结构。
- 3 原路面沥青面层总厚度少于 80mm。

3.3 水泥稳定就地冷再生

3.3.1 原路路基整体稳定，但路面破损严重的含有无机混合料结构层的道路，在大、中修与改、扩建时，可采用水泥稳定就地冷再生技术。

3.3.2 水泥稳定就地冷再生可用于各类型城镇道路的底基层、下基层，也可用于城镇次干路、支路的上基层。

3.3.3 存在下列条件之一时，不宜采用水泥稳定就地冷再生技术。

- 1 在预估的再生深度范围内，存在超粒径颗粒（ $\geq 37.5\text{mm}$ 的砂砾、碎石或其他无机粒料）较多的道路结构层。
- 2 存在大面积翻浆及沉陷、严重结构性车辙等严重变形的路段。

4 原路面调查与分析

4.1 一般规定

4.1.1 就地冷再生工程实施前，应对原道路的历史信息、路面技术状况、交通流量、轴载等方面的内容进行详细的全程调查与检测，历史信息包括原路面的结构、材料、施工工艺、各结构层配合比、交竣工资料、检测报告、养护维修数据等。

4.1.2 原路面调查内容应完整，按《城镇道路养护技术规范》CJJ 36、《公路技术状况评定标准》JTG 5210 进行系统分析和准确评价，核实是否符合设计条件。

4.1.3 应对沿线构造物进行检查，确定桥涵、管线顶面以上结构层厚度，以便调坡顺接、确定重型机械通行方式。

4.1.4 调查路基路面排水设施及排水状况、安全隐患路段，提前做好施工方案。

4.2 原路面技术状况检测与评价

4.2.1 对原路面竣工文件、历史维修数据进行调查、分析，根据材料、结构不同进行分类、分段。

4.2.2 原路面技术状况检测评定指标包括：路面结构强度指数 PSSI、路面损坏状况指数 PCI、路面行驶质量指数 RQI、路面车辙深度指数 RDI 以及下承层承载能力。检测频率和要求应符合《公路技术状况评定标准》JTG 5210 的相关规定。

4.2.3 对原路面材料进行取样，取样方法应符合本标准附录 A 的规定。

4.2.4 通过对原路面技术状况调查、RAP 或 RMAP 的取样与试验，分析路面病害成因。

4.2.5 对上述数据进行系统分析、评价，评估其与设计文件的符合性，为制定就地冷再生施工方案提供依据。

4.3 交通调查

4.3.1 进行交通流量调查，验证是否与设计预估一致。调查内容应包括交通量大小与组成、轴载大小与分布情况等。

4.3.2 通过交通流量与路网调查，为就地冷再生工程的施工及交通组织提供依据。

4.4 下承层承载能力测试

4.4.1 下承层承载能力测试可采用现场承载板法、落锤式弯沉仪法等方法。

4.4.2 根据工程所在地的气候情况，现场承载能力试验应在最不利季节工况下进行。

4.4.3 承载能力试验需测定下承层顶面的当量回弹模量，并验证路面结构设计参数取值。相关试验应按照《公路路基路面现场测试规程》JTG 3450 进行。

4.4.4 对每一路段，每车道应不少于两个测点，同一路段中若某一测点数值与平均值的差值超过平均值的 30%，应增加测点数量，同

时对数值过低点附近的路段应仔细调查，确定是否存在路基沉陷等下部结构层损坏问题。

5 材 料

5.1 一 般 规 定

5.1.1 各种材料试验按《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTG E20、《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》JTG 3420、《公路工程集料试验规程》JTG E42、《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51 等相关规定进行检测。

5.1.2 在本标准中，用于乳化沥青或泡沫沥青冷再生的回收材料指 RAP，用于水泥稳定冷再生的回收材料指 RAI 或 RMAP。

5.2 RAP

5.2.1 选取的 RAP 应具有代表性，RAP 应按照表 5.2.1 要求的项目进行检测，并满足技术要求。

表 5.2.1 RAP 检测项目与质量要求

材料	检测项目	技术要求	试验方法
RAP	含水率 (%)	实测	本标准附录 A
	RAP 级配	实测	
	RAP 矿料级配	实测 (需要时)	
	沥青含量 (%)	实测 (需要时)	本标准附录 A
RAP 中的 沥青	25℃ 针入度 (0.1mm)	实测 (需要时)	JTG E20, T 0604
	软化点 (℃)	实测 (需要时)	JTG E20, T 0606
	15℃ 延度 (cm)	实测 (需要时)	JTG E20, T 0605

续表 5.2.1

材料	检测项目		技术要求	试验方法
RAP 中的粗集料	针片状颗粒含量 (%)	≥9.5 mm	≤15 (用于乳化沥青或泡沫沥青再生时)	JTG E42, T 0312
		<9.5 mm	≤18 (用于乳化沥青或泡沫沥青再生时)	
	表观相对密度		≥2.5	JTG E42, T 0304
	吸水率 (%)		≤3	JTG E42, T 0304
	与沥青的黏附性(级)		≥4(用于乳化沥青或泡沫沥青再生时)	JTG E20, T 0616
	压碎值 (%)		≤26 (用于中、下沥青面层时) ≤30 (用于基层或底基层时)	JTG E42, T 0316
RAP 中的细集料	表观相对密度		≥2.5	JTG E42, T 0328
	砂当量 (%)		≥60 (用于中、下沥青面层时)	JTG E42, T 0334
	棱角性 (流动时间) (s)		≥30	JTG E42, T 0345

注：进行乳化沥青冷再生混合料的级配设计时，以再生沥青混合料级配（RAP 颗粒当作“黑石头”）为主，同时可适当兼顾再生沥青混合料的矿料级配（RAP 采用矿料级配）。

5.2.2 用于室内配合比设计的 RAP 应没有结团成块和杂物，RAP 粒径应不超过再生沥青混合料级配的最大粒径。

5.3 RMAP 与 RAI

5.3.1 用来做试验检测的 RMAP 或 RAI 应具有代表性，回收方式应与就地冷再生施工过程中产生的 RMAP 或 RAI 方式一致，并按照表

5.3.1 的要求进行检测。

表 5.3.1 RMAP 检测项目与质量要求

材料	检测项目	技术要求	试验方法
RMAP 或 RAI	含水率 (%)	实测	本标准附录 A
	RMAP 级配	实测	
	RMAP 中的 RAP 沥青含量 (%)	实测 (需要时)	
RMAP 或 RAI 中的粗集料	表观相对密度	实测	JTG E42, T 0304
	吸水率 (%)	≤3	JTG E42, T 0304
	压碎值 (%)	≤30	JTG E42, T 0316
RMAP 或 RAI 中的细集料	表观相对密度	实测	JTG E42, T 0328
	砂当量 (%)	≥50	JTG E42, T 0334
	棱角性 (s)	≥30	JTG E42, T 0345

5.3.2 RMAP 或 RAI 的最大粒径应不超过 37.5mm, 且不超过水泥稳定冷再生混合料级配的最大粒径要求。

5.4 道路石油沥青

5.4.1 生产乳化沥青、泡沫沥青用的道路石油沥青应符合《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40 的相关技术规定。

5.4.2 制备乳化沥青或泡沫沥青宜采用 90 号 A 级、70 号 A 级道路石油沥青。

5.5 乳化沥青

5.5.1 乳化沥青材料性能应满足表 5.5.1 的技术要求。

表 5.5.1 乳化沥青技术要求

检测项目		技术要求	试验方法
破乳速度		慢裂	JTG E20, T 0658
粒子电荷		阳离子 (+) 或非离子	JTG E20, T 0653
1.18mm 筛上残留物 (%)		≤0.1	JTG E20, T 0652
黏度 ¹	恩格拉黏度 E_{25}	2~28	JTG E20, T 0622
	25℃赛波特黏度 v_s (s)	7~100	JTG E20, T 0623
蒸发残留物性质	残留物含量 (%)	≥60	JTG E20, T 0651
	溶解度 (%)	≥97.5	JTG E20, T 0607
	25℃针入度 (0.1mm)	50~90	JTG E20, T 0604
	15℃延度 (cm)	≥60.0	JTG E20, T 0605
	软化点 (℃)	≥44	JTG E20, T 0606
与粗集料的黏附性, 裹覆面积		≥2/3	JTG E20, T 0654
与粗、细集料拌和试验		均匀	JTG E20, T 0659
常温储存稳定性	1d (%)	≤1	JTG E20, T0655
	5d (%)	≤5	
乳化沥青中沥青微粒粒径 ²	平均粒径 $D(4, 3)$ (μm)	≤3	本标准附录 D
	D_{85} 粒径 (μm)	≤5	本标准附录 D

注: 1 恩格拉黏度与赛波特黏度指标任选其一检测。

2 当乳化沥青就地冷再生混合料用于中、下沥青面层时, 乳化沥青中的沥青微粒粒径应符合本表中的技术要求, 用于基层与底基层时, 乳化沥青中的沥青微粒粒径可不做强制要求。

5.5.2 乳化沥青宜在 30℃~60℃温度范围内使用。

5.6 泡沫沥青

泡沫沥青由热沥青和水经专用机械发泡而成，技术要求应满足表 5.6 的要求。

表 5.6 泡沫沥青技术要求

项目	技术要求	试验方法
膨胀率（倍）	≥ 10	JTG/T 5521 附录 C
半衰期（s）	≥ 8	

5.7 水 泥

水泥作为再生结合料或者活性添加剂时，应采用普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰硅酸盐水泥，不应使用快硬、早强水泥。水泥初凝时间应在 4h 以上，终凝时间宜在 6h 以上、10 h 以下。水泥应疏松、干燥，无聚团、结块、受潮变质。水泥强度等级可采用 32.5 或 42.5，技术指标还应符合《通用硅酸盐水泥》GB175、《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20 的规定。

5.8 集 料

就地冷再生混合料中新加入的粗、细集料及填料质量应符合现行《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20、《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40 的相关技术规定。

5.9 水

水应符合国家标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的相关技术规定。

6 就地冷再生混合料设计

6.1 一般规定

6.1.1 在对旧路面回收材料 RAP、RMAP、RAI 充分调查的基础上，根据道路等级、使用层位、气候条件、交通情况等因素，确定设计文件规定的再生混合料类型与规格是否适合现场实际，选用符合要求的材料，进行再生混合料设计。

6.1.2 各类回收料应通过冷再生机组破碎后，在现场取样。就地冷再生混合料以 RAP 级配、RMAP 级配、RAI 级配与新矿料的合成级配作为级配设计依据。

6.1.3 乳化沥青或泡沫沥青冷再生混合料可根据需要加入适量水泥作为活性填料，但不应超过矿料总量的 1.8%。

6.2 乳化沥青冷再生混合料

6.2.1 乳化沥青就地冷再生按本标准附录 B 进行混合料设计，采用其他设计方法时，还应按本方法进行验证。

6.2.2 乳化沥青冷再生混合料工程级配范围应符合表 6.2.2 的规定。

表 6.2.2 乳化沥青冷再生混合料工程级配范围

级配类型		通过下列方孔筛筛孔 (mm) 的质量百分率 (%)									
		31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	0.3	0.075
粗粒式	再生混合料级配	100	86 ~ 100	-	-	55 ~ 72	-	25 ~ 48	19 ~ 39	3 ~ 15	1 ~ 7
	再生混合料矿料级配	100	90 ~ 100	78 ~ 90	69 ~ 83	60 ~ 76	45 ~ 65	30 ~ 50	20 ~ 40	4 ~ 17	2 ~ 8
中粒式	再生混合料级配	-	100	88 ~ 100	-	-	50 ~ 66	32 ~ 50	20 ~ 40	3 ~ 15	2 ~ 8
	再生混合料矿料级配	-	100	90 ~ 100	78 ~ 92	65 ~ 80	56 ~ 72	37 ~ 52	24 ~ 42	4 ~ 16	3 ~ 9
细粒式 A	再生混合料级配	-	-	100	-	80 ~ 90	60 ~ 76	44 ~ 61	27 ~ 45	6 ~ 20	2 ~ 9
	再生混合料矿料级配	-	-	100	90 ~ 100	83 ~ 95	67 ~ 82	50 ~ 65	30 ~ 49	8 ~ 22	4 ~ 10
细粒式 B	再生混合料级配	-	-	-	-	100	90 ~ 100	60 ~ 80	35 ~ 65	6 ~ 25	2 ~ 9
	再生混合料矿料级配	-	-	-	-	100	90 ~ 100	70 ~ 85	45 ~ 67	10 ~ 26	4 ~ 10

注：乳化沥青冷再生混合料依据再生混合料级配进行配合比设计。当用于道路中、下沥青面层时，再生混合料矿料级配宜满足本表要求。

6.2.3 乳化沥青冷再生混合料技术指标应符合表 6.2.3 的规定。

表 6.2.3 乳化沥青冷再生混合料技术要求

试验项目		使用层位			试验方法
		底基层、 基层	下面 层	中面 层	
试件尺寸 (mm)	中、细粒式	$\phi 101.6 \times 63.5$			—
	粗粒式	$\phi 152.4 \times 95.3$			
双面击实 次数 ¹ (次)	中、细粒式	50+25			JTG E20, T 0702
	粗粒式	75+37			
空隙率 (%)		8~13	8~12		JTG E20, T 0705、 T 0706、T 0707
15℃劈裂 强度	劈裂强度 R_{TD} (MPa)	≥ 0.5	≥ 0.6	≥ 0.7	JTG E20, T 0716
	干湿劈裂强 度比 TSR_{DW} (%)	≥ 75	≥ 80		
冻融劈裂强度比 TSR (%)		≥ 70	≥ 75		JTG E20, T 0729
60℃动稳定度 DS^2 (次/mm)		≥ 1000	≥ 2000	≥ 2500	JTG E20, T 0703、T 0719

注：1 表中的试件击实方法是指：试件成型时，双面各击实50次（标准马歇尔试件）或75次（大马歇尔试件），然后把试件连同试模一起放入60℃烘箱中恒温不少于40h，试件完全烘干后，再双面各击实25次（标准马歇尔试件）或37次（大马歇尔试件）。

2 按T 0703轮碾法成型80mm厚（粗粒式）或50mm厚（中粒式与细粒式）的冷再生沥青混合料车辙板块试件，碾压完成后迅速将试件放入60℃鼓风恒温烘箱中烘干至恒重（一般为48h），再按T 0719试验规程进行动稳定度试验，试验前试件恒温时间为8h~10h。

6.2.4 在乳化沥青冷再生混合料中，乳化沥青添加量折合成纯沥青后占混合料其余部分干质量的百分比宜为 1.5%~3.5%。

6.3 泡沫沥青冷再生混合料

6.3.1 泡沫沥青就地冷再生按本标准附录 B 进行混合料设计。

6.3.2 泡沫沥青冷再生混合料级配范围应符合表 6.3.2 的规定。

表 6.3.2 泡沫沥青冷再生混合料工程级配范围

级配 类型	通过下列方孔筛筛孔 (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

6.3.3 泡沫沥青冷再生混合料技术指标应符合表 6.3.3 的规定。

表 6.3.3 泡沫沥青冷再生混合料技术要求

试验项目		使用层位			试验方法
		底基层、基层	下面层	中面层	
试件尺寸 (mm)	中、细粒式	$\phi 101.6 \times 63.5$			-
	粗粒式	$\phi 152.4 \times 95.3$			
双面击实 次数(次)	中、细粒式	50+25			JTG E20, T 0702
	粗粒式	75+37			
空隙率 (%)		8~13	8~12		JTG E20, T 0705、T 0706、 T 0707
15℃劈 裂强度	劈裂强度 R_{TD} (MPa)	≥ 0.5	≥ 0.6	≥ 0.7	JTG E20, T 0716

续表 6.3.3

试验项目		使用层位			试验方法
		底基层、基层	下面层	中面层	
15℃劈裂强度	干湿劈裂强度比 TSR_{DW} (%)	≥ 75	≥ 80		JTG E20, T 0716
冻融劈裂强度比 TSR (%)		≥ 70	≥ 75		JTG E20, T 0729
60℃动稳定度 DS (次/mm)		≥ 800	≥ 2000	≥ 2500	JTG E20, T 0703、T 0719

6.3.4 在泡沫沥青冷再生混合料中，泡沫沥青添加量折合成纯沥青后占混合料其余部分干质量的百分比宜为 1.5%~3.5%。

6.4 水泥稳定冷再生混合料

6.4.1 水泥稳定就地冷再生混合料应通过配合比试验确定需要的水泥剂量和最佳含水率。在需要改善混合料的物理力学性能或级配时，还应确定掺加新矿料的规格和比例。按本标准附录 C 进行混合料设计。

6.4.2 用于城镇主干路的基层和城镇快速路的底基层时，再生混合料应选择表 6.4.2 中 I 型级配；用于城镇次干路、支路的基层和城镇主干路、次干路和支路的底基层时，再生混合料可选择表 6.4.2 中 I 或 II 型级配。

表 6.4.2 水泥稳定冷再生混合料工程级配范围

级配类型	通过下列方孔筛筛孔 (mm) 的质量百分率 (%)									
	37.5	31.5	26.5	19	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.075
I型	-	100	90	72	47	29	17	-	8	0
			~	~	~	~	~		~	~
II型	90	-	66	54	39	28	20	14	8	0
			~	~	~	~	~	~	~	~
	100		100	100	100	84	70	57	47	30

6.4.3 水泥稳定就地冷再生混合料用于底基层时，RMAP 单个颗粒的最大粒径不应超过 37.5mm，水泥稳定就地冷再生混合料用于基层时，RMAP 单个颗粒的最大粒径不应超过 31.5mm。

6.4.4 水泥稳定冷再生混合料技术指标应符合表 6.4.4 的规定。

表 6.4.4 水泥稳定冷再生混合料技术要求

项目		道路类型		
		快速路	主干路	次干路、支路
7d 无侧限抗压强度代表值 (MPa)	基层	3.5~5.5	3.0~5.0	2.0~4.0
	底基层	2.5~4.5	2.0~4.0	1.5~3.0
压实度代表值 (%)	基层	≥98	≥98	≥97
	底基层	≥97	≥97	≥96

6.4.5 水泥稳定就地冷再生混合料的水泥剂量推荐范围为 3%~6%。

7 施工

7.1 一般规定

7.1.1 就地冷再生层的下承层应基本完好，局部存在严重问题的应提前处理好。

7.1.2 就地冷再生层的压实厚度：使用乳化沥青、泡沫沥青时不宜大于 160mm，且不宜小于 80mm；使用水泥时不宜大于 250mm，也不宜小于 150mm。

7.1.3 就地冷再生应在封闭交通情况下施工，同时做好交通组织与车辆分流方案。

7.2 施工准备

7.2.1 施工前应铺筑试验路段，长度不宜少于 200m。通过试验路段应确定以下内容：

- 1 验证现场材料的级配和实际生产配合比。
- 2 冷再生材料的最大干密度、最佳含水率和施工用水。
- 3 验证乳化沥青或泡沫沥青、水泥用量，以及乳化沥青的破乳时间或泡沫沥青的半衰期、发泡率。
- 4 再生层压实厚度及松铺系数。
- 5 不同压实机械组合下的压实度。
- 6 验证冷再生混合料的性能指标。

7 再生机的施工深度与速度、各种施工机械的组合方式与生产效率、作业段的长度等。

7.2.2 就地冷再生机应满足以下要求：

- 1 施工切割深度精确可调，误差不应超过±5mm。
- 2 最大工作宽度不应小于2.0m，且适当可调。
- 3 喷洒结合料剂量精确可调，并与切割深度、施工速度、工作宽度、材料密度等联动；喷嘴在工作宽度范围内均匀分布，各喷嘴可独立开启与关闭。
- 4 能根据要求调整横坡。
- 5 泡沫沥青冷再生机还应具备沥青发泡和使用装置。

7.3 水泥稳定就地冷再生结构层施工

7.3.1 施工设备

水泥稳定就地冷再生施工需配备以下施工机械设备：

- 1 同步碎石封层车不少于1台，或自卸式汽车若干台。
- 2 水泥稀浆车不少于1台。
- 3 大于10m³的水车不少于2台。
- 4 平地机1台。
- 5 压实设备：自重不小于12吨的双钢轮振动压路机、自重不小于25吨的单钢轮振动压路机、自重不小于30吨的轮胎压路机各1台。
- 6 清扫设备及其他辅助设备。

7.3.2 水泥稳定就地冷再生结构层施工应遵守以下基本规定。

1 清除原路面上的杂物，根据再生层厚度、宽度、干密度等计算每平方米新集料、水泥等用量，应优先采用水泥稀浆车撒布水泥、同步碎石封层车撒布添加的集料。

2 应严格控制基层厚度和高程，其路拱横坡满足设计要求。

3 冷再生结构层应在水泥初凝前完成整个施工过程。

4 再生前、后路线纵坡应符合设计要求。

7.3.3 旧路病害处理

1 对原路的翻浆、沉陷、严重变形等病害应单独处理到土基，回补处理完后再进行其他工序施工。

2 对原路的车辙、波浪、坑槽等病害进行铣刨、回填处理，按照配合比设计要求撒布添加的集料，确保平整度达到要求。

3 清除原道路表面（包括不需要再生的相邻行车道和路肩）上的石块、垃圾、杂草等杂物和积水，清理边线，确保表面层无污染。

4 再生路段上的井盖等影响施工的结构物应先行单独处置。

7.3.4 施工放样

1 正式施工前，应在道路两侧放置一系列标桩（杆）作为基线，用来恢复道路的中心线。

2 曲线段标桩（杆）间距不超过 10.0m，直线段标桩（杆）间距不超过 20.0m。

7.3.5 布料

1 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，确定每个作业段的长度。

2 根据室内配合比设计确定的水泥、添加的新集料及其他添加剂用量，结合就地冷再生机组施工宽度、深度与施工速度，选择确定水泥、新集料、添加剂添加方式与施工参数。

3 用同步碎石封层车布料时，应根据撒布宽度、施工深度、行走速度计算集料的撒布量，并保持同一速度匀速行驶，均匀地把集料撒布在旧路面上；用汽车布料时，由远到近将集料按计算距离卸置在旧路面上，应严格控制卸料距离，避免布料不均匀；用人工撒布集料时，根据配合比试验结果，确定每平方米新集料的添加量，按每车料的质量或体积，计算每车料的堆放距离，并用平地机或推土机平摊在路表面。

4 用水泥稀浆车时，应根据撒布宽度、施工深度、行走速度计算水泥浆的撒布量，水泥稀浆车匀速行驶，确保水泥浆撒布均匀；用人工撒布水泥时，应根据每平方米需要的水泥用量，确定每袋水泥摆放的纵横间距，用石灰在旧路面上划定方格，每格摆放一袋水泥，然后用人工配合平地机把水泥摊铺均匀。

7.3.6 铣刨、拌和与整平

1 再生机组应缓慢均匀、连续地按设定再生深度对结构层进行铣刨、拌和，不得随意变更速度或者中途停顿，再生施工速度以试验路确定为准，宜为 2m/min~4m/min。

2 纵向施工缝应避免轮迹带位置。

3 再生混合料出现明显离析、波浪等问题时，应立即停工，分析原因，予以消除。

4 平地机按下列程序施工：用双钢轮压路机紧跟再生机组初压1~2遍，完成一个作业段后，用平地机整平，再用双钢轮压路机稳压1遍、平地机整平，多个循环直到再生路段的纵、横坡度与平整度满足设计要求为止。

7.3.7 压实

1 按试验路确定的压实工艺进行碾压，确保再生层的压实度和平整度符合要求。

2 就地冷再生施工应采用流水作业，各工序紧密连接，保证在水泥初凝前完成全部碾压工序。

3 再生混合料初压时的含水率应比最佳含水率大1%~2%。再生层表面应始终保持湿润，如水分蒸发过快，应及时补充洒水。初压速度宜为1.5km/h~3.0km/h。

4 水泥就地冷再生采用钢轮或轮胎压路机复压，碾压遍数由混合料性能、压实厚度、压路机类型及环境状况等决定，一般为5~8遍。复压速度宜为2.0km/h~4.0km/h。

5 终压采用双钢轮压路机碾压1~2遍，可采用静压或振压，以消除轮迹、获得较好的平整度，只有当振压不会对路面造成损坏的情况，才可以使用振动模式。终压速度宜为2.0km/h~4.0km/h。若复压后没有轮迹，可免终压。

6 碾压过程中，如有“弹簧”、松散、起皮、裂缝等现象，应及时翻松再生层，重新拌和（加适量的水泥）、平整、碾压，达到质量要求为止。

7 压路机碾压时可喷少量的雾化水，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、急转弯。

7.3.8 接缝处理

1 纵向接缝施工应注意以下事项：

- 1) 道路宽度小于7m，应考虑全幅施工，提高施工效率。
- 2) 相邻两幅再生路面施工应具有不小于100mm的搭接宽度，再生层越厚或材料最大粒径越大，搭接宽度越大；应控制搭接处的厚度与平整度。
- 3) 半幅摊铺的再生层横坡应满足设计要求。

2 横向接缝施工应注意以下事项：

- 1) 应完善施工组织与计划，避免非正常停机，减少横向接缝数量。
- 2) 停机时间超过水泥初凝时间时，再次施工前应将再生机后移1.5m，并重新撒布水泥后进行施工。
- 3) 施工横向接缝时，利用压路机横向由老路面或已施工完的路面向新铺路幅逐步往返碾压，横缝碾压平整、密实后，再进行纵向碾压。

7.3.9 养生及开放交通

1 碾压完成并经现场检验合格后，应立即进行养生；养生推荐

采用节水保湿养生膜或土工布覆盖加洒水的方法进行。

2 养生时间应不少于7d，整个养生期内再生层表面应保持潮湿状态；养生期内禁止洒水车辆以外的其他车辆通过。

3 后续施工前应将再生层清扫干净；如果再生层上层为无机结合料稳定粒料类结构层，应洒水湿润表面，撒布联结用的水泥或水泥浆；如果再生层的上层为沥青混合料结构层，则先施工透层、封层后，再施工沥青混合料结构层。

7.4 乳化沥青或泡沫沥青就地冷再生结构层施工

7.4.1 施工设备

乳化沥青或泡沫沥青就地冷再生施工设备除应符合7.3.1条的规定外，还应符合以下要求：

1 泡沫沥青就地冷再生施工时，就地冷再生机应附带泡沫发生专用装置，并配热沥青罐车1台。

2 乳化沥青就地冷再生施工时，配乳化沥青罐车1台以上。

7.4.2 施工

乳化沥青或泡沫沥青就地冷再生施工、养生和开放交通要求除应符合7.3节的相关技术规定外，还应符合以下要求：

1 乳化沥青就地冷再生施工时，混合料必须在乳化沥青破乳与水泥初凝前完成整个施工过程。

2 泡沫沥青就地冷再生施工时，混合料必须在泡沫沥青半衰期内拌和均匀，且在水泥初凝前完成整个施工过程。

3 复压过程以轮胎压路机为主，采用单钢轮压路机复压时，不宜采用强振方式。

4 在封闭交通施工时可进行自然养生，一般无须采取覆盖措施；在开放交通施工时，至少应在压实封闭2d后方可开放轻交通，严格限制重载车辆通行，行车速度应控制在40km/h以下，并严禁车辆在再生层上掉头和急刹车。为避免车轮对表层的破坏，可在再生层上均匀喷洒慢裂乳化沥青，喷洒用量宜为 $0.2\text{kg/m}^2\sim 0.4\text{kg/m}^2$ 。

5 冷再生层的养生时间根据气温来定，不宜少于7d。当再生层可以取出完整的芯样或再生层含水率低于2%时，可结束养生。

8 施工质量控制与验收

8.1 施工质量控制

8.1.1 施工过程中的材料质量控制和检查的项目、频率应满足表 8.1.1 的要求。

表 8.1.1 施工过程中材料控制与检查

材料		检查项目	要求值	检查频率
乳化沥青	全套技术指标	本标准表 5.5.1 规定的项目	符合本标准表 5.5.1 的规定	调整配方、更改基质沥青时
	关键指标	蒸发残留物、破乳速度、储存稳定性		每日 1 次
泡沫沥青		本标准表 5.6 规定的项目	符合本标准表 5.6 的规定	每日 1 次
矿料	全套技术指标	设计或 JTG/T F20、JTG F40 规定的项目	符合设计或 JTG/T F20、JTG F40 的规定	选材或更改材料厂商时
	关键指标	级配、压值碎		每 2000t 1 次
水泥		GB 175 规定的项目	符合 GB 175 的规定	每 500t 1 次或更改厂商时
RAP	全套技术指标	本标准表 5.2.1 规定的项目	符合本标准表 5.2.1 的规定	不同路段或材料明显变化时
	基层与底基层	RAP 级配		每 2 日 1 次
	沥青中下面层	RAP 级配、矿料级配、油石比		每日或变化时 1 次
RM AP	全套技术指标	本标准表 5.3.2 规定的项目	符合本标准表 5.3.2 的规定	不同路段或材料明显变化时
	关键指标	RMAP 级配、最大粒径		每日 1 次

8.1.2 对于乳化沥青或泡沫沥青就地冷再生，施工过程中混合料与工程质量控制项目、频率和质量标准应符合表 8.1.2 的规定。

表 8.1.2 乳化沥青和泡沫沥青再生工程施工过程的质量控制检查项目、频率和要求

检查项目		质量要求	检查频率	检验方法
压实度 (%) (基于理论最大相对密度)		≥90 (中、下面层) ≥88 (基层、底基层)	每车道每 200m 检查 1 次	JTG 3450, T 0924、T 0921
空隙率 (%) (基于理论最大相对密度)		≤10 (中、下面层) ≤12 (基层、底基层)		
平整度最大间隙 (mm)	中面层	≤6	3m 直尺: 每 200m 测 2 处×10 尺	JTG 3450, T 0931
	下面层	≤8		
	基层	≤10		
15℃劈裂强度 (MPa)		符合本标准表 6.2.3 或表 6.3.3 技术要求	每日 1 次	JTG E20, T 0716
干湿劈裂强度比 (%)		符合本标准表 6.2.3 或表 6.3.3 技术要求		JTG E20, T 0716
残留稳定度 (%)		符合本标准表 6.2.3 或表 6.3.3 技术要求	每日 1 次	JTG E20, T 0709
冻融劈裂强度比 (%)		符合本标准表 6.2.3 或表 6.3.3 技术要求	每 3 日 1 次	JTG E20, T 0729
60℃动稳定度 (次/mm)		符合本标准表 6.2.3 或表 6.3.3 技术要求	每 3 日 1 次	JTG E20, T 0719
含水率 (%)		符合设计要求	发现异常 随时检测	JTG E20, T 0801
沥青含量、矿料级配		符合设计要求	发现异常 随时检测	抽提、筛分

8.1.3 对于水泥稳定就地冷再生，施工过程中混合料与工程质量控制项目、频率和质量标准应符合表 8.1.3 的规定。

表 8.1.3 水泥就地冷再生质量控制的检查项目、频率和要求

检查项目		质量要求	检查频率	检验方法
压实度代表值 (%)		≥98 (基层)	每 200m 每车道测 2 处	JTG 3450, T 0921
		≥97 (底基层)		
抗压强度 (MPa)		符合设计要求	每车道每公里 6 个或 9 个试件	JTG E51, T 0805
含水率 (%)		符合设计要求	发现异常随时试验	JTG E20, T 0801
平整度最大间隙 (mm)	基层	≤10	3m 直尺: 每 200m 测 2 处×10 尺	JTG 3450, T 0931
	底基层	≤12		
级配		符合设计要求	每车道每公里测 1 点	JTG E51, T 0302
水泥剂量 (%)		不小于设计值 -0.5	每车道每公里测 1 点	JTG E51, T 0809

8.1.4 就地冷再生施工过程的外观尺寸检查项目、频率等应满足表 8.1.4 的要求。

表 8.1.4 就地冷再生施工过程的外观尺寸检验项目、频率的要求

检查项目		质量要求	检查频率	检验方法
纵断面高程 (mm)		±10 ±15 (城镇支路)	每 200m 4 个点	JTG 3450, T 0911
厚度 (mm)	均值	-10	每车道 10m 1 处	插入测量
	单个值	-20		
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, T 0911
横坡 (%)		±0.3	尺量: 每 200m 测 4 处	JTG 3450, T 0911
外观		表面平整、密实, 无明显压路机轮迹	随时	目测

8.2 施 工 验 收

就地冷再生工程完工后，应将全线以 1km~3km 作为一个评定路段，按照表 8.2 的要求进行质量检查和验收。

表 8.2 就地冷再生检查验收项目、频率的要求

检查项目		质量要求	检查频率	检查方法	
平整度 最大间隙 (mm)	中面层	≤6	3m 直尺： 每 200m 测 2 处×10 尺	JTG 3450, T 0931	
	下面层	≤8			
	基层	≤10			
	底基层	≤12			
纵断面高程 (mm)		±10	每 200m 4 点	JTG 3450, T 0911	
厚度 (mm)	中下 面层	代表值	-8	取芯：每车道 200m 1 点	JTG 3450, T 0912
		极值	-15		
	基层	代表值	-10		
		极值	-20		
	底基 层	代表值	-10		
		极值	-20		
弯沉 (0.01mm)		不大于设计值	每车道 20m 1 点	JTG 3450, T 0911	
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, T 0911	
横坡 (%)		±0.3	尺量：每 200m 测 4 个断面	JTG 3450, T 0911	
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	

续表 8.2

检查项目			质量要求	检查频率	检查方法
压实度 代表值 (%)	乳化沥青/ 泡沫沥青 (基于理 论最大相 对密度)	中下 面层	≥90	每车道每 200m 检查 1 次	JTG 3450, T0924、T0921
		基层	≥88		
	水泥(基于 重型击实 标准密度)	基层	≥98	每车道每 200m 检查 1 次	JTG 3450, T0924、T0921
		底基层	≥97		

附录 A RMAP 取样与试验分析

A.1 现场取样

A.1.1 分析路面结构和路面维修记录，根据路面情况是否相近，将施工路段划分为若干个子路段，每个子路段长度宜为500m~5000m，或每个子路段面积宜为5000m²~50000m²。

A.1.2 按照《公路路基路面现场测试规程》JTG 3450随机取样方法确定取样点位置。

A.1.3 每个子路段取样断面数不少于8个，宜采用就地冷再生机铣刨取样，就地冷再生机没到现场时，也可采用钻芯取样。

A.1.4 根据需要，取足够数量的RMAP材料。

A.2 试样缩分

A.2.1 分料器法：将试样拌均匀，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。

A.2.2 四分法：将所取试样置于平板上，在自然状态下拌和均匀，摊平成饼状，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。

A.3 RAP 评价

A.3.1 含水率

根据烘干前后 RAP 质量的变化,按照式(A.3.1)计算 RAP 的含水率 w 。试验方法参照《公路工程集料试验规程》JTG E42(T0305),烘箱加热温度为 $105^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$ 。

$$\omega = \frac{m_w - m_d}{m_d} \times 100 \quad (\text{A.3.1})$$

式中: ω —— RAP 含水率, %;

m_w —— 回收的 RAP 质量, g;

m_d —— 回收的 RAP 烘干质量, g。

A.3.2 RAP级配

对RAP进行筛分试验,确定RAP的级配。试验方法参照《公路工程集料试验规程》JTG E42(T 0327),材料加热温度调整为 $60^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 恒温,采用干筛法。

A.3.3 砂当量

用4.75mm方孔筛筛除RAP中的粗颗粒,进行砂当量指标检测。试验方法按照《公路工程集料试验规程》JTG E42(T 0334)。

A.3.4 RAP的沥青含量和性质

1 按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTG E20中的抽提法进行沥青含量试验,按阿布森法或旋转蒸发器法从沥青抽提液中回收沥青。

2 检测沥青含量和回收沥青的 25°C 针入度、软化点。

3 具有下列情形之一的,应进行空白沥青标定:

1) 更换沥青回收设备时;

- 2) 更换三氯乙烯品种或供应商时;
- 3) 回收沥青性能异常时;
- 4) RAP 来源发生变化时。

4 精度与允许误差应满足表A.3.4的要求, 如果超出允许误差范围, 则应重新标定、回收。

表A.3.4 精度与允许误差

试验项目		试验结果平均值	精度与允许误差	
			重复性试验	再现性试验
RAP 沥青	25℃针入度 (0.1mm)	<50 时	≤2	小于平均值的 5%
		>50 时	≤4	小于平均值的 10%
	软化点 (°C)	<80 时	≤2.5	≤5

A.3.5 RAP的矿料级配和集料性质

1 将抽提试验后得到的矿料烘干, 待矿料降到室温后, 用标准方孔筛进行水洗筛分试验, 确定RAP中的旧矿料级配。RAP的沥青含量与级配也可以采用燃烧法确定。若集料在燃烧过程中由于高温导致破碎, 则不适宜采用该法。

2 RAP中集料的性质, 按照相关的行业规范、规程进行检测。

附录 B 乳化沥青（泡沫沥青）冷再生混合料配合比设计方法

B.1 确定工程级配设计范围

B.1.1 乳化沥青就地冷再生混合料用于底基层、基层时，混合料级配应符合表6.2.2中的再生混合料级配范围要求；当乳化沥青冷再生混合料用于沥青中、下面层时，再生混合料级配与再生混合料矿料级配均应符合表6.2.2中相应级配范围要求。

B.1.2 泡沫沥青就地冷再生混合料级配应符合表6.3.2中的级配范围要求。

B.2 材料的选择与准备

B.2.1 配合比设计的各种集料、RAP、水泥、矿粉等应按照相关规定，从工程实际使用的材料中取有代表性的样品。

B.2.2 乳化沥青样品应符合表5.5.1的规定，泡沫沥青样品应符合表5.6的规定。

B.2.3 再生混合料配合比设计所用材料，其质量应符合本文件的有关规定。

B.3 级配设计

B.3.1 检测RAP、新矿料等各组成材料的级配。

B.3.2 以RAP为基础，掺加不同比例的新矿料，使合成级配符合表6.2.2、表6.3.2工程设计级配的要求。

B.3.3 当乳化沥青冷再生混合料使用层位是基层与底基层结构层时，混合料的级配设计可只考虑再生混合料级配，当然也可同时考虑再生混合料矿料级配；当再生混合料用于城镇道路的中、下面层，应优先考虑再生混合料矿料级配，适当兼顾再生混合料级配。泡沫沥青冷再生混合料的级配只要符合表6.3.2的要求即可。

B.3.4 合成级配曲线应平顺。

B.4 成型方法

B.4.1 拌和

首先，将新料（如需要）和粗的RAP（9.5mm以上）料按级配比例放入拌和锅中，先加入外加水总量的1/4~1/2使集料润湿，然后加入足量的乳化（或泡沫）沥青（以不产生花白料为宜）预拌30s使料拌和均匀，然后把细的RAP（如9.5mm以下）用剩余的水进行人工搅拌预湿，再倒入拌和锅中加入剩余的乳化（或泡沫）沥青拌和60s，最后加入矿粉和水泥拌和60s，使混合料均匀稳定、色泽一致。

B.4.2 成型

1 将拌和均匀的混合料装入试模，放到马歇尔击实仪上，击实次数要求为：中、细粒式混合料双面各击实50次，粗粒式混合料双面各击实75次；

2 将试样连同试模一起侧放在60℃的恒温烘箱中养生至恒重，养生时间一般不少于40h；

3 将试模从烘箱中取出，立即放置到马歇尔击实仪上：中、细粒式混合料双面各击实25次，粗粒式混合料双面各击实37次，然后侧放在地面上，在室温下冷却至少12h，脱模。

B.5 确定最佳含水率

参照《公路土工试验规程》JTG 3430(T 0131)的方法，混合料试验用量可预估为4%，变化用水量按B.4.1拌和好混合料，进行击实试验，获得最大干密度时，其混合料的含水率即为最佳含水率OWC。

B.6 确定最佳乳化沥青含量

B.6.1 以预估的乳化（或泡沫）沥青用量为中值，保持最佳含水率OWC不变，按照一定间隔变化成型5种乳化（或泡沫）沥青用量的混合料马歇尔试件。

B.6.2 采用《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTG E20的真空法和蜡封法分别测定试件的理论最大相对密度、毛体积密度，并计算空隙率。用其他方法测定试件的毛体积密度前，应对该试验方法进行验证。

B.6.3 将各组油石比试件进行15℃劈裂试验、浸水劈裂试验。浸水劈裂试验的试验方法为：将试件完全浸泡在25℃恒温水浴中22h，再在15℃恒温水浴中完全浸泡2h（小马歇尔试件）或4h（大马歇尔试件），然后取出试件立即进行15℃的劈裂试验。

B.6.4 按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）时对应的乳化沥青用量的平均值为最佳乳化（或泡沫）

沥青用量。当试验结果无明显峰值时，应结合工程经验，综合确定最佳乳化（或泡沫）沥青用量。

B.6.5 冻融劈裂试件成型的击实次数规定为：双面各击实50次（中细粒式混合料）、双面各击实75次（粗粒式混合料），然后按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTG E20冻融劈裂试验方法对混合料性能进行检验。

B.6.6 制备车辙试件进行动稳定度验证试验，其他条件应符合《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTG E20的相关规定。

B.7 延迟时间试验

沥青混合料室内延迟时间试验：把用最佳沥青用量与用水量新拌好的乳化沥青冷再生沥青混合料在 25℃ 下静放 1.5h、2h、2.5h、3 h、3.5h、4h，然后按规范分别成型劈裂试件，测定其密度与劈裂强度，以劈裂试件密度与强度损失均不超过 5% 的最大时间作为延迟时间 H 。不同施工气温条件下， H 应满足表 B.7 的要求。

表 B.7 不同施工气温下 H 的要求值

施工气温 (°C)	≤25	≤30	≤35	≤40
H (h)	≥2.5	≥3.0	≥3.5	≥4.0

B.8 配合比设计报告

配合比设计报告至少应包含以下内容：乳化（或泡沫）沥青检测结果、水泥检测结果、RAP的矿料级配情况、RAP中的沥青含量及性能指标、集料检测结果、工程设计级配范围及设计级配曲线、

试件成型方法、最佳含水率、最佳乳化（或泡沫）沥青用量和水泥用量、性能检验、延迟（用乳化沥青时）试验结果等。

附录 C 水泥稳定就地冷再生混合料设计方法

C.1 准备试样并进行配合比设计

C.1.1 将RMAP（或RAP与RAI的混合物）代表试样完全风干，测定其含水率。

C.1.2 根据RMAP（或RAP与RAI的混合物）和新加料的级配确定合成级配，绘制级配曲线，设计合成级配应符合表6.4.2的要求。用于城镇主干路的基层和城镇快速路的底基层时，再生混合料应选择表6.4.2中 I 型级配；用于城镇次干路、支路的基层和城镇主干路及以下道路的底基层时，再生混合料可选择表6.4.2中 I、II 型级配。设计的合成级配宜接近表6.4.2中级配范围的中值。当反复调整不能满意时，应更换新加集料重新设计。更换新加材料后其合成级配仍不能完全在相应的级配范围内时，如仅为个别筛孔超出，可由最终的无侧限抗压强度决定此道路是否适合再生，如大部分筛孔超出范围，则此道路不适宜进行水泥稳定就地冷再生。

C.1.3 将风干后的旧混合料分成以下五个部分：

- 1 粒径大于37.5mm（或31.5mm）的材料。
- 2 粒径在19mm~37.5mm（或31.5mm）之间的材料。
- 3 粒径在9.5mm~19mm之间的材料。
- 4 粒径在4.75mm~9.5mm之间的材料。
- 5 小于4.75mm的材料。

C.1.4 将全部通过37.5mm（或31.5mm）的材料，再按照筛分结果重新组合成代表性试样，并用19mm～37.5mm（或31.5mm）之间的材料替代37.5mm（或31.5mm）以上的材料进行配合比级配设计。

C.2 最大干密度和最佳含水率的确定

C.2.1 分别按下列5种水泥剂量配制同一种级配、不同水泥剂量的混合料：

- 1** 基层用：3.5%、4%、4.5%、5%、5.5%。
- 2** 底基层用：3.0%、3.5%、4%、4.5%、5%。

注：在能估计合适水泥剂量的情况下，可以将5个不同剂量缩减到3或4个，如果待稳定材料塑性指数大于12或（和）颗粒较细时，应适当提高水泥剂量1%～2%。

C.2.2 根据设计配合比确定的新旧料比例进行配料，配料时大于37.5mm（或31.5mm）的材料用19mm～37.5mm（或31.5mm）进行替代。

C.2.3 按《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51中的试验方法确定混合料的最大干密度和最佳含水率。

C.3 成型试件（静压成型）

C.3.1 按规定压实度分别计算不同水泥剂量的试件应有的干密度。

C.3.2 根据最佳含水率和计算的干密度制备试件。进行强度试验时，作为平行试验的最少试件数量应不小于表C.3.2的规定。如试验结果

的偏差系数大于表中规定的值，则应重做试验，并找出原因加以解决。如不能降低偏差系数，则应增加试件数量。

表 C.3.2 最少试件数量

材料	偏差系数		
	<10%	10~15%	15~20%
公称粒径 19mm	6	9	13
公称粒径 31.5mm	9		13

C.3.3 试件在温度 $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度大于 95%的养护室内养生 6d、浸水 1d 后，按《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51 进行无侧限抗压强度试验。

C.4 确定水泥最佳用量

C.4.1 计算无侧限抗压强度试验结果的平均值和偏差系数。

C.4.2 根据要求的强度标准，选定合适的水泥剂量，此剂量试件室内试验结果的平均抗压强度 R 应符合公式 C.4.2 的要求：

$$R \geq \frac{R_d}{1 - Z_a C_v} \quad (\text{C.4.2})$$

式中： R_d —— 设计抗压强度，MPa；

C_v —— 试验结果的偏差系数（以小数计），%；

Z_a —— 标准正态分布表中随保证率（或置信度 1 而变的系数，取保证率为 90% 时， $Z_a = 1.282$ 。

C.4.3 工地人工撒布水泥，实际采用的水泥剂量应比室内试验确定的剂量多0.5%~1.0%；采用水泥稀浆车撒布时，实际采用的水泥剂量应比室内试验确定的剂量多0.5%。

C.5 配合比设计报告内容

配合比设计报告内容包括：材料来源、各材料的性能检测结果、各材料的掺配比例、合成级配与级配曲线、最佳含水率、水泥用量、马歇尔试验结果及性能验证结果、理论最大相对密度与马歇尔试件密度等。

附录 D 乳化沥青微粒粒径检测方法

(激光粒度分析法)

D.1 目的与适用范围

本方法适用于测定各类乳化沥青微粒的粒径分布。

D.2 仪器与材料技术要求

试验用仪器与材料应符合下列要求：

- 1 激光粒度分析仪：包括测试主机与循环进样器，测试范围为 $0.1\mu\text{m}\sim 750\mu\text{m}$ ，重复性误差 $<1\%$ 。
- 2 烧杯：100mL。
- 3 滤筛：筛孔为1.18mm。
- 4 水：蒸馏水或纯净水。
- 5 其他：非离子乳化剂水溶液、滴管等。

D.3 方法与步骤

D.3.1 准备工作

1 将乳化沥青试样用孔径1.18mm滤筛过滤，室温条件下取1mL~5mL过滤后的乳化沥青试样，使用50mL非离子乳化剂水溶液进行稀释。

2 接通激光粒度仪电源，打开测试主机与循环进样器开关，预热30min。

3 开启电脑主机，打开激光粒度仪软件。

4 循环进样器中加入相应的分散介质，加入量为循环进样器容量的 $2/3\sim 3/4$ 。

D.3.2 试验步骤

1 在激光粒度仪测试软件中选择通用模式，将循环进样器转速调至 $2000\text{rpm}\sim 2500\text{rpm}$ ，使分散介质溶液循环。观察软件实时遮光率（左侧黑色条状图）和实时光能图（中间蓝色条状图）。

2 调节测试主机的上旋钮（Y轴）、下旋钮（X轴），使实时遮光率达到最大（超过40即可测样，最佳状态为80），实时光能最小，调试完毕。

3 在激光粒度仪测试软件中设定测试参数，其中折射率1.65，精度1，扫描时间10s，扫描3次，遮光率 $10\%\sim 20\%$ ，输入样品相关信息，点击“开始”，测试背景。

4 背景测试完成后，将稀释后的待测样品缓慢滴入循环进样器中，直到遮光率在 $10\%\sim 20\%$ 的范围内时停止滴入，点击“测试”。

5 测试完成后，点击“停止”，试验完成。

6 试验完成后，使用蒸馏水（或纯净水）多次清洗循环进样器，直至实时遮光率与实时光能达到测试要求。清洗完毕后将循环进样器中的水排净，关闭测试主机、循环进样系统以及测定软件。

7 根据需要导出“粒度测试报告”（PDF、EXCEL等）。

D.4 报 告

D.4.1 同一种试样至少平行试验两次，两次测定结果符合重复性试验允许误差要求时，以平均值作为测定值。

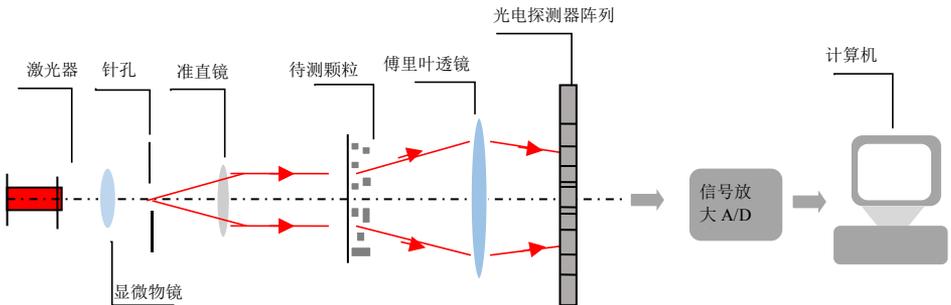
D.4.2 报告粒径分布峰型（单峰、双峰、拖尾等）、 D_{85} 、 $D(4, 3)$ 以及离散度（Span）。

D.5 允 许 误 差

试验结果的允许误差应符合表D.5的要求。

表 D.5 重复性和再现性允许误差要求

试验参数	重复性试验	再现性试验
D_{85} (%)	1	3
$D(4, 3)$ (%)	1	3
Span (%)	3	5



图D.5 激光粒度分析仪原理结构

注：激光粒度分析仪根据光的散射原理测量颗粒大小，具有测量速度快、操作方便等优点，可以用来测量固体粉末、乳液颗粒、雾滴的粒度分

布。

乳化沥青微粒粒径的分布情况是判断乳化剂乳化效果以及乳化沥青优劣的重要指标。优质乳化沥青的微粒粒径分布呈无拖尾的单峰状，且主要分布于 $5\mu\text{m}$ 以下。美国 ASTM 的标准为：

$<1\mu\text{m}$	28%;
$1\sim 5\mu\text{m}$	57%;
$5\sim 10\mu\text{m}$	15%。

D_{85} ：指颗粒粒度分布中，从小到大累计分布百分数达到 85%时对应的粒径值。与美国 ASTM 标准中 $<5\mu\text{m}$ 的颗粒占 85%（28%+57%）相对应。

$D(4, 3)$ ：体积（重量）平均粒径， $D(4, 3)$ 能够很好地反映颗粒质量对系统的影响。当样品粒度呈现对称分布时， $D(4, 3)$ 与 D_{50} 很接近。

$D(4, 3)$ 计算公式为：

$$D(4, 3) = \left(\sum_{i=1}^m n_i \bar{x}_i^4 \right) / \left(\sum_{i=1}^m n_i \bar{x}_i^3 \right) \quad (\text{C.5})$$

式中， n_1, n_2, \dots, n_m 表示粒度的颗粒个数分布， $\bar{x}_i = \sqrt{x_{i-1}x_i}$ 代表第 i 粒径区间上颗粒的平均粒径。

离散度（Span）：用来描述分布的相对宽度或不均匀程度，定义为：

离散度=分布宽度/平均粒度。

使用激光粒度分析仪测量乳化沥青微粒粒径时，通过报告粒径分布峰型、 D_{85} 、 $D(4, 3)$ 以及 Span 来判断乳化沥青微粒粒径的大致分布。

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”或“不得”。

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 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（或要求）”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《通用硅酸盐水泥》 GB 175
- 2 《城镇道路工程施工与质量验收规范》 CJJ 1
- 3 《城镇道路养护技术规范》 CJJ 36
- 4 《城镇道路沥青路面再生利用技术规程》 CJJ/T 43
- 5 《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》 JTG 3420
- 6 《公路土工试验规程》 JTG 3430
- 7 《公路路基路面现场测试规程》 JTG 3450
- 8 《公路技术状况评定标准》 JTG 5210
- 9 《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》 JTG E20
- 10 《公路工程集料试验规程》 JTG E42
- 11 《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》 JTG E51
- 12 《公路沥青路面再生技术规范》 JTG/T 5521
- 13 《公路路面基层施工技术细则》 JTG/T F20
- 14 《公路沥青路面施工技术规范》 JTG F40
- 15 《公路工程质量检验评定标准》 JTG F80/1

湖南省工程建设地方标准

沥青路面就地冷再生施工与验收技术规范

DBJ 43/T377-2021

条文说明

目 次

1	总则.....	56
2	术语和符号.....	57
2.1	术语.....	57
3	适用条件.....	60
3.1	一般规定.....	60
3.2	乳化沥青或泡沫沥青就地冷再生.....	60
3.3	水泥稳定就地冷再生.....	61
4	原路面调查与分析.....	63
4.1	一般规定.....	63
4.2	原路面技术状况检测与评价.....	63
4.3	交通调查.....	63
5	材料.....	64
5.1	一般规定.....	64
5.2	RAP.....	64
5.3	RMAP 与 RAI.....	65
5.4	道路石油沥青.....	65
5.5	乳化沥青.....	65
5.6	泡沫沥青.....	66
5.7	水泥.....	66
5.8	集料.....	66
6	就地冷再生混合料设计.....	67
6.1	一般规定.....	67
6.2	乳化沥青冷再生混合料.....	67
6.3	泡沫沥青冷再生混合料.....	70
6.4	水泥稳定冷再生混合料.....	71
7	施工.....	74

7.1	一般规定.....	74
7.2	施工准备.....	74
7.3	水泥稳定就地冷再生结构层施工.....	75
7.4	乳化沥青或泡沫沥青就地冷再生结构层施工.....	79
8	施工质量控制与验收.....	83
8.1	施工质量控制.....	83
8.2	施工验收.....	83
附录 A	RMAP 取样与试验分析.....	84
附录 B	乳化沥青（泡沫沥青）冷再生混合料配合比设计方法.....	86
附录 C	水泥稳定就地冷再生混合料设计方法.....	90
附录 D	乳化沥青微粒粒径检测方法（激光粒度分析法）.....	91

1 总 则

1.0.1 RAP、RMAP、RAI 的资源化再生利用，对节约资源、减少环境污染和实现经济可持续发展具有重要意义。本标准根据 RAP、RMAP、RAI 资源化利用技术水平，结合当前最新研究成果与湖南省实际情况，对沥青路面就地冷再生施工与验收技术的适用条件、原路面调查与分析、材料、就地冷再生混合料设计、施工、施工质量控制与验收进行了详细的规定。编制组在大量调查和试验研究、总结国内外科研成果和实践经验，并比较和借鉴其他同类标准的基础上，编制了本标准。

1.0.3 本条阐明本标准的适用范围，本标准内容覆盖了湖南省沥青路面就地冷再生从材料、组成设计、生产、质量管理与检验全过程，可供各相关单位参考和应用。

1.0.4 本条强调了沥青路面就地冷再生的应用除了应符合本标准外，还应符合国家、行业和湖南省有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.2 无机回收料是指不含沥青混合料或沥青材料的柔性、半刚性、刚性结构层材料。

2.1.3 沥青路面回收料是指包括沥青面层、基层、粒料功能层（如果有的话）在内的材料的统称，可以是其中一种材料，也可以是两种或三种材料的混合物。

2.1.5 泡沫沥青因其泡沫存在的时间比较短（半衰期短），且混合料拌和工艺时间也短，所以泡沫沥青与集料的拌和均匀性比较差。另外，混合料中沥青与集料之间是以“点焊”的形式存在，造成混合料的水稳定性差、强度低。因此泡沫沥青用于就地冷再生时，一般只用于低等级道路或结构层位比较低的底基层或基层。

2.1.10 在就地冷再生过程中，RAP 中的沥青没有热熔过程，回收的沥青路面材料颗粒主要是充当“黑石头”，因此混合料级配设计采用 RAP 与新矿料的合成级配。由于 RAP 在加热过程中会被熔化，打散其颗粒结构，为了既保证 RAP 在烘干过程中不发生热熔过程，所以采用 60℃ 的温度（相当于沥青路面在夏季高温时路表温度），但烘干时间相对较长。

2.1.11 对于乳化沥青冷再生混合料，能实现比较均匀地在集料表面裹覆一层乳化沥青，且当乳化沥青破乳、水分完全挥发后，其混合

料的结构与热拌沥青混合料极其相似，在外力、荷载、温度及太阳能与上覆层热拌沥青混合料施工热辐射作用下，冷拌混合料向热拌混合料的转换过程比较快，最终会形成热拌沥青混合料的结构，因此乳化沥青冷再生混合料性能相对而言比泡沫沥青要好一些，使用层位与道路等级也可以高一些。另外，乳化沥青冷再生混合料中的集料结构起的作用更显著一些，因此在设计时，需要适当考虑乳化沥青混合料的真实矿料级配，以提高乳化沥青冷再生混合料的性能。

2.1.12 因 RMAP 中以无机材料为主或全为无机材料，用无机结合料稳定的混合料，由于结合料发生了水化反应，已无法测得其真实的矿料级配；另一方面，用无机结合料稳定时，也不需要完全清楚 RMAP 中原矿料的级配，因此，对于 RMAP 只需要测定其混合料的级配即可。

2.1.14 再生沥青混合料级配，是指在再生沥青混合料中，RAP 仅当作“黑石头”，既不考虑其沥青的作用，也不考虑其是否由沥青胶泥与集料组成的团粒。

2.1.15 再生沥青混合料矿料级配，是指在再生沥青混合料中，把 RAP 中的沥青抽提出来后，把剩余的矿料烘干做水洗筛分，与新添加的矿料一起的合成级配。

2.1.16 在冷再生混合料中，RAP 的掺配比例是指 RAP 烘干质量占 RAP 与新添加矿料（包括粗、细集料，矿粉）总质量的百分比，与《公路沥青路面再生技术规范》JTG/T 5521 中热再生混合料的概念稍有不同。

2.1.17 同 2.1.16。

2.1.18 回收沥青也叫老化沥青、旧沥青，是 RAP 中所含的沥青。

3 适用条件

3.1 一般规定

3.1.1 在本标准中只包含乳化沥青或泡沫沥青、水泥稳定就地冷再生三种再生技术与工艺，同时规定三种技术的适应范围。在有的规范中，乳化沥青或泡沫沥青也可以（本规范不推荐使用）用于对 RMAP 材料的再生利用。对于 RMAP 材料的再生利用，其厚度一般都比较厚，且用于底基层或基层，用乳化沥青或泡沫沥青来做结合料，其成本较高，乳化沥青或泡沫沥青与 RMAP 材料的粘结性能也不好，混合料性能不高，性价比低。因此本标准不推荐乳化沥青或泡沫沥青用于对 RMAP 材料的再生利用。

3.2 乳化沥青或泡沫沥青就地冷再生

3.2.1 乳化沥青或泡沫沥青就地冷再生一般都用于柔性基层或中、下沥青面层，其使用层位较水泥稳定就地冷再生高，再生层下的结构层是原路面的基层，作为下承层的原基层及以下结构层均应基本完好，承载力应满足设计要求。

3.2.2 乳化沥青或泡沫沥青就地冷再生的对象是 RAP，其材料的性能、均匀性比 RMAP 或 RAI 好很多，且结合料为柔性材料，在一定范围内产生的裂缝可自愈，尤其是乳化沥青冷再生的综合性能更好，因此可以用于更高层位的结构层。

3.2.3 乳化沥青或泡沫沥青就地冷再生结构层的厚度一般不能少于

80mm，也不宜大于 160 mm，因此，原路面沥青结构层的厚度不能少于 80mm，同时就地冷再生后，其下面的基层就是原路面的基层，必须有一定的厚度，才能承受一定的交通荷载、达到一定的使用寿命，因此原基层厚度一般不宜少于 300mm，且根据路面等级与交通荷载不同而要求不同；贯入式沥青混合料中沥青与集料分布极不均匀，就地冷再生时，再生混合料性能不稳定，因此不宜做就地冷再生。

3.3 水泥稳定就地冷再生

3.3.1 对于就地冷再生，一般情况下无法对再生层下的结构层的病害进行大规模的维修处理，否则就变成了厂拌再生，因此，除了再生层的病害外，其下结构层的路基整体要稳定、材料强度符合设计要求、路基内部结构排水良好才能进行。当然个别病害可以在再生层施工前进行单独开窗处理。原则上，水泥稳定就地冷再生只对无机结合料稳定材料或无结合料粒料层进行再生，在 RAP 无条件进行厂拌热再生利用的情况下，也可以对含 RAP 的 RMAP 材料进行水泥稳定就地冷再生，但这种材料只能当作半刚性材料用作底基层与基层，不宜作为中下面层来使用。

3.3.2 水泥稳定就地冷再生，RMAP 材料的准确控制比较困难、不太稳定，再生后的混合料性能波动较大、均匀性相对较差，不宜用于城镇快速路、重载及以上交通道路的上基层。

3.3.3 对于就地冷再生路段，如果原路面结构层比较薄（ $\leq 400\text{mm}$ ），

在再生施工时易破坏再生结构层下剩余的原路面结构层，引起再生路段的整体承载力不足，达不到再生施工、维修的目的。

4 原路面调查与分析

对于本标准而言，原路面调查与分析是指在施工前进行的复核性工作，因为在设计前，应对原路面进行详细的调查、检测、分析、判断后，才能确定再生方案与技术参数、指标，但从设计前的调查与分析到施工有一个过程，有时还很长，在施工时不一定与设计前的结果一致，甚至出入很大，是否还与设计时的判断一致不得而知。因此必须要对照设计的条件做出符合性判断才能进行施工，如果结果相差较大，就必须会同设计、业主、监理单位商量，确定变更理由、方案，调整经济技术指标。

4.1 一般规定

本条对复核性调查与分析的要求、内容作出了具体的规定，并且比设计调查增加了施工安全性、交通组织方案的调查。

4.2 原路面技术状况检测与评价

本条说明具体的调查指标是指关键性的指标。

4.3 交通调查

交通调查是为复核设计条件与参数、设计施工方案与交通分流方案提供依据的。

5 材 料

5.1 一 般 规 定

5.1.1 比较好的乳化沥青能贮存较长的时间，但需要增加乳化沥青的成本；如果乳化沥青边生产边施工，乳化沥青的产能（设备使用频率低、产能不会很大，产能太大设备成本高，造成浪费）会跟不上；另外，冷再生现场也不太可能放一套乳化沥青生产设备，这就要求乳化沥青有一定的贮存周期，一般情况下，14天比较合适。

5.2 RAP

5.2.1 对 RAP 的取样，一定要有代表性，要基本上代表了规模生产用的材料及性能。表 5.2.1 的技术指标中，RAP 的含水率、RAP 级配与矿料级配是必须要做的，是评价 RAP 加工后性能的基础，也是配合比设计的基本输入参数指标；其他技术指标是评价材料基本性能、判断可用性的基础；至于沥青的技术指标，对于高性能的冷再生混合料也根据需要进行检测，可以从一定程度上评价 RAP 的综合使用性能。

5.2.2 室内试验用的 RAP，原则上应是通过正式施工用的再生机组破碎旧路面后，并用压路机碾压后、在现场取的样品，如果个别粒径超过本规范规定的最大粒径，则应筛除后用下一级粒径的料替代来做配合比试验。在现场施工过程中，原则不得有超粒径的料，有的话应用人工捡除。

5.3 RMAP 与 RAI

5.3.1 本条规定了 RMAP 与 RAI 材料的具体要求，在要求上类似于 RAP。

5.4 道路石油沥青

5.4.1 规定了用于生产乳化沥青与泡沫沥青的基质沥青的技术要求。

5.5 乳化沥青

5.5.1 表 5.5.1 规定了乳化沥青的所有技术指标及要求。乳化沥青的流动性比较好、破乳速度可调，用其做冷再生结合料，能象热沥青一样在集料表面形成一层均匀、稳定的沥青膜，混合料比较均匀、稳定，其强度形成类似于热拌沥青混合料，当其水分完全蒸发干净后，就相当于热拌沥青混合料，但要求乳化沥青的质量比较高，特别是乳液中的沥青微粒粒径越小越好，拌和就越均匀，因此乳化沥青用于冷再生时，必须对其沥青微粒粒径做出技术要求。

5.5.2 乳化沥青冷再生属于拌和型沥青混合料，拌和、摊铺、碾压整个施工过程有较长的施工时间，必须保证混合料在碾压工序完成前不能破乳，因此必须使用慢裂型乳化沥青；为了尽快形成强度、缩短养生时间，一旦破乳后要求较快地形成强度，因此要求乳化沥青为快凝型。

5.5.3 冷再生用乳化沥青的沥青含量高，在较低温度下，黏度大，现场施工比较困难，混合料拌和不均匀，在 30℃~60℃ 下，其黏度比较小，施工性能好；但温度过高，又容易破乳，影响施工。

5.6 泡沫沥青

本条规定了泡沫沥青的技术指标。

5.7 水 泥

本条规定了水泥的技术要求。水泥稳定粒料基层材料强度形成不能太快，否则会引起干缩、温缩开裂，出现基层裂缝，引起路面的反射裂缝，因此，快硬、早强不能使用。规定初凝时间，是给施工留有足够的时间；终凝时间要合适，但不能太长，终凝时间过长，会影响现场小型施工机具、通勤车辆的通行。

5.8 集 料

本条规定了就地冷再生添加的新集料的技术要求，用于乳化沥青或泡沫沥青冷再生的天然集料应符合《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40 的相关技术规定，用于水泥就地冷再生的天然集料应符合《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20 的相关技术规定。

6 就地冷再生混合料设计

6.1 一般规定

6.1.1 在本标准中，只要根据施工前的检测结果，确认原设计的再生混合料类型和规格与现场实际情况相符，即可进行混合料配合比设计。

6.1.2 在现场对不同路况、结构、材料进行分类、归整，按基本相同的数据划分成若干路段后，应以划分好的路段为单元，分别进行配合比设计，以便设计出的混合料使用性能基本一致，保证道路整体性能与设计寿命也基本一致。

6.1.3 对于乳化沥青或泡沫沥青冷再生混合料，一般要在混合料中掺加一定数量的水泥，一方面掺加水泥可提高乳化沥青或泡沫沥青与集料的粘附能力，进而提高混合料的水稳定性，另一方面，水泥可以与混合料的水进行水化反应，可快速减少混合料中的含水率，同时还可提高混合料的早期与整体强度、高温稳定性能。但如果水泥掺量过高，经水化产生的水泥石较多，混合料综合性能逐渐向半刚性过渡，偏离了设计原则与原理，致使路面产生各类裂缝，因此，应控制水泥的最大掺量不超过矿料总量的 1.8%。

6.2 乳化沥青冷再生混合料

6.2.1 乳化沥青冷再生混合料配合比设计标准试验方法采用修正的马歇尔击实试验法。经实际验证此方法与现场有良好的相关性，混

合料性能也能较好地满足路面使用要求。在有条件的情况下，也可以采用其他方法，如旋转压实成型体积设计法，但考虑到我国混合料设计指标以力学性能为主、体积指标为辅，为了较好地符合标准、顺畅验收程序与流程，采用其他方法设计出的混合料还应以马歇尔设计法验证其力学性能、体积指标，以便指导施工验收。

6.2.2 在表 6.2.2 中规定了再生混合料级配与再生混合料矿料级配，当再生沥青混合料用于中、下面层时，冷再生混合料的矿料级配应满足表 6.2.2 中相应的矿料级配要求。随着乳化沥青质量的提高，乳化沥青冷再生混合料拌和的均匀性问题已完全解决，乳化沥青破乳、水分完全挥发后，混合料的结构与性能与热拌混合料类似，此时混合料的矿料起着主要的作用；要获得高性能的乳化沥青冷再生混合料，其矿料级配就必须考虑，因此在配合比设计时，就要从源头考虑其矿料级配。

6.2.3 根据不同的结构层次，确定了乳化沥青冷再生混合料技术指标体系与规定值。高性能乳化沥青的施工性能非常优异，混合料的拌和均匀好、压实性能优异，现场空隙率小，混合料的力学性能、高低温性能也大幅提高。根据研究结果，考虑可靠性因素，以表 6.2.3 中的技术指标作为最低目标值是完全可行的。

湖南云中再生科技股份有限公司、湖南大学、长沙理工大学、湖南省交通科学研究院等单位的研究成果表明：乳化沥青冷再生混合料室内试件空隙率可以做到 9% 以内、混合料的劈裂强度都在 0.7MPa 以上、60℃ 的动稳定度最小都在 3500 次/mm。

干湿劈裂强度试验方法：把成型的马歇尔劈裂试件分成二组，把第Ⅱ组试件放入 $15^{\circ}\text{C}\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 水中浸泡24h后，把第Ⅰ组试件放入 $15^{\circ}\text{C}\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 水中浸泡1.5h后，分别把Ⅰ、Ⅱ组试件按T 0716方法进行劈裂试验，分别测得其劈裂强度 R_{TD} 、 R_{TW} ，然后计算其比值 R_{TW}/R_{TD} ，即为干湿劈裂强度比 TSR_{DW} 。

6.2.4 在乳化沥青就地冷再生混合料中，只有在可以抬高路面标高、或设计需要添加新的集料的情况下，才会掺加一定数量的矿料，否则，被再生材料均为RAP。在RAP中一般含有3.5%~6.0%的沥青，在再生过程中，还会掺加一定量的乳化沥青（一般在2.5%~5.5%左右，折算为纯沥青约为1.5%~3.5%左右）作为结合料。这样冷再生混合料中真实的沥青含量会比正常的热拌沥青混合料高50%左右。在沥青混合料中沥青含量高，混合料的耐久性、抗疲劳性能、抗水损害性能、抗裂性能好，这是乳化沥青冷再生混合料的优点，所以用乳化沥青冷再生混合料作路面基层的道路抗裂性能好；但另一方面，如果沥青混合料中沥青含量过高，颗粒表面的沥青膜厚度超过了结构沥青膜厚度的上限值，就会形成自由沥青膜，而自由沥青膜对沥青混合料的综合使用性能是起反作用的，尤其是高温性能降幅较大，同时冷再生混合料的矿料级配也不可能像新的热拌沥青混合料那样容易控制，级配一般都偏细，细的、悬浮型矿料级配的高温稳定性比较差，如果沥青含量还严重偏高的话，这样的冷再生混合料流变性大、高温性能很差；其次，外掺的乳化沥青用量大，其经济性就下降了。因此，在对RAP进行乳化沥青冷再生时，其外掺的

乳化沥青用量不宜偏大，但太少，混合料又拌和不均匀，施工性能、使用性能也不好。综上因素，在乳化沥青冷再生中，外掺的乳化沥青用量要合适，以 1.5%~3.5%为宜。

6.3 泡沫沥青冷再生混合料

6.3.1 同 6.2.1。

6.3.2 在泡沫沥青冷再生混合料中，由于泡沫沥青半衰期（也叫存续期或生命周期）短，一般不超过 15 秒，而且半衰期长时，膨胀率（又称发泡率）又小，很难把混合料拌均匀，失去了发泡的意义，因此不可能把泡沫沥青作为成品用，只能现场生产后就立即使用。泡沫沥青作为结合料，半衰期短，且在拌和过程中会加速泡沫的破裂，因此其泡沫存在的时间比自由存放状态更短，这就形成了泡沫沥青冷再生的“点焊”原理：即泡沫与矿料粘附在一起后，泡沫破裂时，泡沫中的沥青在表面张力的作用下缩成团，与矿料粘附在一点，在矿料表面形成较小的点状结构；由于泡沫轻，在拌和过程中很难带动粗颗粒，基本上是细、粉料与泡沫粘附在一起形成小团粒，粗颗粒间就通过这种沥青与细、粉料形成的团粒以点接触的形式结合在一起，形成所谓的“点焊”结构。泡沫沥青混合料拌和要均匀，其中形成的小团粒就必须多，理想状态是无穷多，这就要求混合料中的细、粉料多，但如果细、粉料过多或无粗料，混合料的高温性能、力学性能会很低，无法满足使用要求。

综合上述原因，泡沫沥青冷再生混合料中的矿料级配相对偏细、粉料偏多，在混合料中以“点焊”原理把混合料形成一个相对稳定的结构。在这种结构中再去考虑混合料的矿料结构是不是骨架嵌锁已没有现实意义，因此就没有考虑其真实的矿料级配了，就算是在其再生混合料的级配中，如果要考虑添加部分新矿料，也是以细、粉料为考虑对象。

6.3.3 基于 6.3.2 的分析，泡沫沥青冷再生混合料的综合使用性能在高端是达不到乳化沥青的总体水平的，尤其是高温稳定性方面远低于乳化沥青冷再生混合料，在中、低端与乳化沥青冷再生差不多。但由于路面使用性能的要求不能因为是泡沫沥青冷再生就降低技术要求，因此在使用时，如果泡沫沥青冷再生技术指标达不到时，就改用乳化沥青冷再生。

6.3.4 同 6.2.3。

6.4 水泥稳定冷再生混合料

6.4.1 水泥稳定就地冷再生混合料是一种半刚性材料，其基本性能、材料要求、混合料设计程序等都与水泥稳定粒料基层材料一致。

6.4.2 在水泥稳定就地冷再生在施工过程中，就地再生机组的生产工艺与参数调整有限，不可能像厂拌再生那样可以根据需要，调整破碎、整型、筛分甚至水洗机械的生产参数与流程。因为主材料就是现场原路面的旧路材料，能否添加新材料还受现场路面标高的制约，矿料的组成与级配基本上由再生机组与原路结构确定。所以，

根据路用性能的要求、结合市场上大多数就地再生机组的性能与工艺，选择确定了表 6.4.2 的工程级配范围。

综上所述，选择确定了表 6.4.2 中的两种级配作为水泥就地冷再生的工程级配范围，其级配范围相对宽松，这是考虑到不同的再生机组破碎的矿料级配会有较大的差别。这两种级配范围基本上也在我们正常的水泥稳定粒料类基层材料的级配范围内，只是没有再细分成不同粒径范围的粗粒式、中粒式、细粒式级配而已。对于就地冷再生来说，因为是采用就地再生机组在现场冷铣刨、原地破碎，受到诸多条件的制约，把原材料破碎得很碎、比较均匀也不太可能，再者，矿料级配太小、太细对混合料性能也不利，且不经济。

也是考虑到就地冷再生的材料可能有其自身的缺陷，且难以完全改善到最佳状态，矿料粒径的不均匀性、水泥拌和的不均匀性、旧路病害处理的不彻底性等因素决定了水泥就地冷再生混合料的使用性能不能达到全新材料的最高、最佳状态，因此，在城镇快速路的基层中不推荐使用，其他道路的基层、底基层均可采用。

6.4.3 一般来讲，在矿料级配中最大粒径与最大公称粒径越大，材料的均匀性越差、越容易离析，施工性能越难控制，特别是对于就地再生，级配的连续性、稳定性还难以保证，因此对于就地再生而言，矿料级配不能太粗，规定了其最大粒径要求。

6.4.4 表 6.4.4 规定了水泥稳定就地冷再生混合料的技术指标要求值。这些技术指标的具体数值与范围来源于《城镇道路工程施工与质量

验收规范》CJJ 1、《城镇道路沥青路面再生利用技术规程》CJJ/T 43 规范。

6.4.5 水泥稳定粒料类基层材料的强度不高，是一种半刚性材料，抗弯拉性能很弱，而基层是一个整体、无限长的薄层结构物，在长度（路线）方向，不可避免地要产生温缩应力与变形，如果混合物中水泥含量过高，还会不可避免附加较大的干缩应力与变形，导致基层产生开裂。因此，不能无限制地用增加水泥掺量的手段来达到设计强度的要求，而是要通过综合手段：改善矿料级配与混合料的均匀性、增加压实度、减少用水量、改善养生措施等来达到目的。在就地冷再生混合料的技术指标值中，其强度不是太高，一般情况下，5.5%的水泥掺量足以满足要求。

7 施工

7.1 一般规定

7.1.3 就地冷再生一般应在封闭交通情况下施工；无法完全封闭需边通车边施工时，应做好交通组织与车辆分流方案，在施工路幅和通车路幅之间采取隔离措施。三种冷再生混合料在碾压完成后，其初期的使用性能都未达到正常的使用要求水平，需要一个稳定、养生的时间，以水泥与乳化沥青稳定更为迫切。由于混合料强度的自然形成过程中不能受外力的扰动，因此必须要封闭养生。

7.2 施工准备

7.2.1 本条规定了试验路段（通常意义上的首件制）的要求。试验路段必须非常正规，使用的材料、机具、人员必须与正式、规模化施工完全一致，施工参数与工艺可以进行多个组合的设计：以不同的松铺系数与不同的碾压机具及组合方式，来确定松铺系数、压实遍数、碾压机具的组合压实工艺；从施工的顺畅性来确定人员的合理性、通讯的流畅性等；从可施工性确定乳化沥青破乳时间或泡沫沥青半衰期是否满足施工工艺时间等，以便优中选优。试验路段成功的关键在于：精心组织与设计，严格按设计要求来施工，并对每个数据、工序进行详细记录，对每个参数与工艺完成的路段进行加密检测与分析，找出成败的关键要素，以确定标准的施工工艺与流程。

7.2.2 现场再生根据材料的不同，其最大切深深度不同，切割深度越深或一次施工的宽度越大所要求的发动机功率越大。对于就地再生机组需同时兼顾施工深度与宽度，但设备也不可能做得很大，影响运输、现场交通，因此，一般的就地再生机组工作宽度在 0.9m~2.5m 之间、最大工作深度一般小于 30cm，而且宽度与深度不能同时达到最大值。另外，工作参数越大、施工精度越低。

7.3 水泥稳定就地冷再生结构层施工

7.3.1 水泥稳定就地冷再生施工的对象一般是原路面的基层或底基层，少数路段可能还包括沥青面层，施工的厚度在 15cm~25cm 之间，且一般会要添加新的集料来调整新的结构层的厚度、混合料的级配，需要添加新集料时，为了使新集料撒布均匀，原则上要求用同步碎石封层车来撒布，以减少人工误差，在没有撒布车时，也可采用传统的“打方格网”的形式进行人工布料；水泥稳定就地冷再生，毫无疑问要加入一定量的水泥，水泥的加入更要求撒布均匀，因此也要求用水泥稀浆撒布车布撒水泥、减少现场扬尘，如果工程量少、确实没有水泥稀浆车时，也可采用传统的“打方格网”的形式进行人工布撒干水泥粉，此时，应在无风天气施工，以免过度扬尘污染环境；就地冷再生施工的最大宽度一般不超过 2.5m，现场施工碾压时每一工序有 1 台压路机就足够了，因此双钢轮振动压路机、单钢轮振动压路机、轮胎压路机各 1 台来完成初压、复压、终压足够，在低等级道路、较窄路幅施工时，也可以只要 2 台压路机；洒水车

可以用来现场降尘、补充施工及机械用水和养生洒水，因此洒水车不能少于 2 台；平地机可用于推平初压前后施工作业面及修整纵横坡度，是施工现场必不可少的施工设备。

7.3.2 本条规定的是施工组织设计中最基本的内容，水泥掺量、新集料添加量要根据现场施工速度、施工深度、设备参数，经过计算转换成施工参数；根据水泥初凝时间计算每段施工的长度，以保证每段在水泥初凝前完成整个施工过程，从而避免出现不必要的施工缝；施工的再生层纵横坡度是影响后续路面施工均匀性的关键参数，必须完全控制在设计范围内。

7.3.3 对于就地再生工程，因其现场材料不移出现场，都是在现场原位进行施工作业，是没有场地与工艺时间来处理再生层下的病害或进行层下的其他工序施工的，因此，如果有需要进行再生层下的其他工序或层下病害的处治，必须在再生层施工前，单独进行处治。

7.3.4 就地再生施工一般是通过再生机组本身设置施工参数来施工，就目前而言还不能做到完全自动、机械化准确控制施工，还要借助外部辅助控制手段来控制整体施工，其中施工放样是重要的一环，为了保证施工完后的纵、横坡度与平整度，必须要加密施放控制桩，尤其是在曲线段，这是控制总体施工质量的关键。

7.3.5 水泥稳定就地冷再生施工，基本都会添加新的集料与水泥，那么在施工前，我们必须要根据施工计划、预计完成的施工量，计算需要了材料数量，这个数量还不能只计算各天的需要量，还要根据原材料生产、道路与运输车辆情况、施工季节，首先计算总的材

料数量，再计算分批进场的材料数量，既要保证施工的连续性，又要考虑现场材料贮存的容量与可行性，同时还考虑材料贮存地与施工现场的道路交通、现场材料需求特性、运输车辆数量来做好详细的施工计划。目的只有一个，就是保证施工的连续性与工程质量。为了使新集料撒布均匀，原则上要求用同步碎石封层车根据施工宽度、要求添加的新集料的量、汽车行走速度，经过试撒来确定撒布车的行走速度、集料撒布时料门的开度，经过试验确定这些施工参数后，就可以基本保证添加的新集料基本均匀，在没有同步碎石封层或类似施工机具的条件时，也可以用人工布料：一般是根据运料车的大小与其载货量，先确定每车料装相同数据的集料，再根据需计算确定每平方米路面需要撒布的新集料量，最后计算一车料能撒布多少面积的路面，经过调整、取整后，最后确定运料车的整车装料量、撒布的平方数（取整数，原则上是每幅施工宽度的整数倍），最后在路面上按每幅施工宽度、以每个方格倒一整车料为标准，计算出每个方格的长度，画好方格。关于水泥的撒布，见 7.3.1。

7.3.6 把所有需要添加的材料均匀布好后，就可以进行就地再生施工了，由于现场材料的变异性，再生机组冷铣刨出来的材料不可能完成均匀一致，且只通过一次冷铣刨，添加的新集料、水泥也不可能与现场所有材料拌和均匀、平整度也不一定满足要求，因此材料铣刨、翻松、就地拌和后，先用双钢轮压路机预压 1~2 遍，把相对偏大颗粒压碎成小颗粒后，视表面情况，用平地机进行平整作业，“预压+平整”多个组合直到表面平整、纵横坡度满足设计要求后，

再进行正式碾压。在平整与碾压过程中，如果发现表面有局部粗集料窝，应用人工找补、拌和达到均匀后再进行碾压。

7.3.7 水泥稳定就地冷再施工中，如果水泥初凝开始后，碾压还未完全完成，那么水泥水化后形成的水泥石在碾压荷载与碾压激振力作用时，就会发生破坏，影响再生混合料强度的形成，因此，划分的每个作业段长度不能过长，必须要保证每一作业段在水泥初凝前完成全部施工作业（包括碾压、现场试验检测）；碾压过程应保证每个点均匀压实、压实度均匀一致，不漏压、不过压；相邻作业段间的后作业段应在前一作业段的水泥初凝前碾压完毕，确保前后作业段间强度的连续性、不产生明显碾压痕迹。在高温季节施工时，再生层表面随着摊铺、碾压的进行，表面水分蒸发过快，会产生表面发白、微小的网裂纹，此时，洒水车可以用喷雾篷头向天空中喷洒少量水雾，水雾以自由下落形式轻轻降落在再生层表面，润湿再生层表面，保证再生层始终在潮湿状态下完成施工过程，不产生开裂。碾压速度不宜过快，可以避免产生搓衣板路面而影响平整度，也可以避免在调头时由于急刹、急停而产生过大的水平剪切力，致使再生层产生局部开裂、松散。

7.3.8 在施工过程中，不可避免要产生施工接缝，但应尽可能减少不必要的施工接缝，在施工接缝处，首先要保证前、后两幅再生层材料的均匀性、强度的一致性，这就要求前、后两幅必须要搭接 100mm 以上，即在施工后面的路幅时，要先把前面已完成施工的路幅重新铣刨、耙松 100mm 左右，重新加入结合料，使之与后幅一起

施工，形成一种整体；另外还应保证接缝处必须充分压实、平整，使两幅碾压完成后在同一平面内，或路面纵、横坡度满足设计要求，不形成台阶。

7.3.9 水泥有一个水化时间，且随着时间的延长，强度逐步增长。水泥在加水后七天内形成的强度一般能达到最终强度的 70%~90%，且水泥稳定粒料基层材料的设计强度--无侧限抗压强度是以 7 天养生强度（在 $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度不低 95%的环境中养生 6 天、在 $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 水中浸泡一天）作为试验标准，因此，在施工现场也应在完全潮湿状态下养生 7 天以上，以保证条件与试验室基本一致。养生的关键是始终保持水泥稳定再生结构层表面的潮湿状态，至于具体采取何种措施，可以根据现场条件、施工天气来确定，其中节水保湿养生薄膜是一种不错的选择，覆盖好他后基本不需要人再去专门、定时维护，检查表面是否处于潮湿状态；当然其他措施只要能保持表面始终潮湿也可以，但人工维护成本可能高一些，也会存在一些人为影响因素而导致养生失效。在养生过程中，因为再生结构层的强度还未达到设计要求值，因此不宜过早开放交通，以免破坏结构层强度的形成，出现质量隐患。

7.4 乳化沥青或泡沫沥青就地冷再生结构层施工

7.4.1 在施工设备上，水泥稳定就地冷再生施工有的设备，在乳化沥青或泡沫沥青就地冷再生施工中基本上都有，因为在乳化沥青或泡沫沥青就地冷再生施工中，一般都会掺加少量的水泥、添加新的

集料；同时又因为乳化沥青或泡沫沥青的不同，要有针对性配备相应的设备。

7.4.2 本条补充增加了具体针对乳化沥青或泡沫沥青施工有显著不同的条款，其中：

1 由于乳化沥青的生产设备庞大、要求的辅助条件比较复杂，一般不可能在施工现场制作、生产，工程量少时可能来源于数百公里外的生产厂（场），工程量大时也会在离现场不远的场（厂）地集中生产，以运输罐（或槽）车运抵施工现场。乳化沥青有一个生产、贮存、运输、使用的过程，但乳化沥青在生产后一段时间内会破乳、凝固，这就要求乳化沥青在冷再生结构层完成施工前不得破乳、凝固。一般根据乳化沥青运输距离的长短来确定乳化沥青贮存稳定性与破乳时间，乳化沥青的5天贮存稳定性指标必须要完全满足技术指标要求，以确保其有足够的贮存、运输时间。影响乳化沥青破乳时间的因素很多，要在现场通过试验路施工确定乳化沥青的最短破乳时间。

2 对于泡沫沥青而言，其生命周期（泡沫存续期）很短，而且其半衰期与膨胀率（或发泡率）是相互矛盾、相互制约的，半衰期长、膨胀率小，可拌和性差、混合料拌和不均匀；半衰期短、膨胀率大，可拌和的时间短，混合料也拌和不均匀，因此就形成了所谓的“点焊”结构，总体而言，泡沫沥青混合料的拌和均匀性远比乳化沥青差，只能兼顾半衰期与膨胀率，尽可能提高混合料的拌和均匀性。

3 由于乳化沥青或泡沫沥青拌和的对象是 RAP，而 RAP 中的集料粒径一般比路面基层材料要细、均匀，且含有较高的沥青含量，在拌和过程中，乳化沥青或泡沫沥青与 RAP 中的沥青是同类材料，其黏附性能较好，不易被水冲刷、带走。乳化沥青或泡沫沥青冷再生结构层的厚度一般比水泥稳定就地冷再生结构层薄，因此，在碾压过程中，一般不需要大吨位的单钢轮压路机，至少不需要单钢轮压路机强振碾压，单钢轮压路机强振碾压时还会损伤 RAP 的结构、甚至把集料压碎，产生松散现象。

7.4.3 本条补充增加了针对乳化沥青或泡沫沥青冷再生结构层养生的不同条款，其中：

1 由于乳化沥青或泡沫沥青冷再生混合料强度的形成是以沥青为主、水泥水化为辅，只要乳化沥青或泡沫沥青冷再生混合料结构形成、且在水分基本挥发后，其混合料的强度就基本稳定了，因此其养生完成情况与气温关系很大，气温高，养生时间相对较短，气温低，养生时间相对较长，气温过低时甚至不能成型；乳化沥青冷再生混合料中的水分远高于泡沫沥青，因此，乳化沥青冷再生的养生时间比泡沫沥青长；如果乳化沥青或泡沫沥青冷再生混合料在高温下养生，且再生混合料中掺加的水泥少甚至未加时，待乳化沥青完全破乳后，即可开放交通养生，借助外车荷载作用，对冷再生结构层进行二次压密成型，有助于冷再生结构层的快速成型、增加压实度。

2 如果乳化沥青或泡沫沥青冷再生混合料中掺有较高的水泥，由于水泥的水化反应需要较长时间，过早开放交通会损坏混合料中已形成的“水泥石”结构，因此一般要求养生时间不少于 7 天。

8 施工质量控制与验收

8.1 施工质量控制

8.1.1 就地冷再生施工前，应确保各项材料均满足设计要求，以免影响工程质量和施工进度。各类材料运至现场后应取样进行质量检验，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。

8.1.2 就地冷再生层施工现场质量控制最关键的指标是压实度。乳化沥青或泡沫沥青冷再生可采用钻芯法取样或者灌砂法测定密度，然后根据混合料的理论最大相对密度确定再生层的压实度或现场空隙率。

8.1.3 水泥就地冷再生的压实度采用灌砂法测定密度，采用室内重型击实试验的标准密度来确定压实度；其他质量控制的检查项目、频度的要求应按照本指南的规定进行

8.2 施工验收

冷再生施工路段的交工验收，基本上是参照《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1、《公路工程质量检验评定标准》JTG F80/1 验收标准进行。

附录 A RMAP 取样与试验分析

A.1 现场取样

A.1.1 对于就地冷再生，由于现场情况复杂多变、原设计施工工艺与材料的不同、维修养护过程的不同，现场不可能完全一致。为了针对具体情况的不同做好再生施工，就有必要对不同工况的路段做不同的材料配合比设计，以保证整个再生工程使用性能的基本一致。在施工前，根据相似相同的原理，把再生工程分成若干个子路段，取样分析，再把材料、性能相近的路段进行合并成大段，再来进行最终的配合比设计与施工。分段过细、每段施工量少、材料试验工作量巨大，难以完成；分段过粗，段内材料、性能相差较大，混合料配比设计没有针对性，导致再生结构层性能不均匀、差异巨大，影响整体工程的使用寿命。因此分段要合适、可行。

A.1.2 通过随机取样的方式获得具有代表性样品用于RAP的性能分析，是再生混合料配合比设计和性能试验验证的重要步骤，是正确设计再生混合料的基础。本标准推荐RAP应通过冷再生机破碎旧路面后现场进行取料。为了保证样品的代表性，还应保证取样点数量。表A.1.2列出了美国几个州的取样频率和取样数量。

表 1 美国旧料分析取样频率和数量

州	取样频率	取样数量
亚利桑那	3 个芯样/1.6 车道公里	150mm 直径，贯穿结构全深度
佛罗里达	1 组 3 个芯样/1.6 车道公里，每车道至少两组芯样	150mm 直径，贯穿结构全深度

续表 1

州	取样频率	取样数量
堪萨斯	3 个芯样/1.6 车道公里, 至少 30 个芯样	100mm 直径, 贯穿结构全深度
内华达	1 个芯样/750 车道米	100mm 直径, 贯穿结构全深度
德克萨斯	10 个芯样/项目	150mm 直径, 贯穿结构全深度
威斯康星	1 个芯样/800m	至少 230m ²
怀俄明	2 个芯样/km	150mm 直径, 贯穿结构全深度

A.3 RAP 评价

A.3.1 检测RAP含水率本身而言, 材料温度105℃也是可行的, 但是考虑到后续级配和沥青含量等试验, 试验温度调整为60℃是最合适的, 在此温度下, 既能把水分烘干, 也不致于使RAP中的沥青熔化, 使RAP溶合成团, 导致后续级配分析失真。

A.3.2 由于RAP中含有沥青, 可能存在成团、拉丝现象, 检测RAP的级配时采用干筛法。

A.3.5 RAP的沥青含量与矿料级配试验既可采用抽提法, 也可采用燃烧法。RAP在试验前应进行干燥处理, 将RAP在105℃±3℃的恒温烘箱中加热40min, 消除含水率对检验结果的影响。若集料在燃烧过程中由于高温导致破碎、甚至分解, 则不宜采用燃烧法; 在有条件找得到与RAP中的集料一致的材料时, 采用燃烧法时应做空白标定对比试验。

附录 B 乳化沥青（泡沫沥青）冷再生混合料配合比设计方法

目前，全球范围内还没有得到普遍认可的、权威性冷再生混合料配合比设计方法。

冷再生混合料的成型方法对各项设计指标的影响显著，我国已有的冷再生工程中有采用马歇尔击实成型试样的，也有采用旋转压实成型的，所得马歇尔稳定度相差一倍甚至更高，而工程实际的压实功更加接近旋转压实的情况。但考虑到马歇尔击实试验在道路中应用的广泛性、普遍性，采用马歇尔方法进行乳化沥青或者泡沫沥青再生混合料的配合比设计。

B.1 确定工程级配设计范围

分别规定了乳化沥青与泡沫沥青就地冷再生混合料的工程设计级配范围，理由参见条文说明 6.2.2、6.3.2。

B.2 材料的选择与准备

在乳化沥青、泡沫沥青冷再生混合料中，通常会加入部分水泥。水泥的加入，促使乳液尽快破乳，可有效提高混合料早期强度，水泥还可以改善混合料的高温稳定性。

B.3 级配设计

对于混合料的级配设计，乳化沥青冷再生根据其使用层位的不

同而有所区别，用于沥青中、下面层时，既要考虑再生混合料级配还应考虑再生混合料的矿料级配，原则上应该满足双级配的技术要求，如果现场材料确实难以达到要求，再生混合料的矿料级配在个别非关键筛孔处可以适当超标；泡沫沥青冷再生混合料级配设计时应特别关注 0.075mm 通过率，确保充足的细料含量，才能形成稳定、相对密实的混合料。

B.4 成型方法

不同成型方法得到的混合料技术指标没有可比性。

马歇尔击实法依然是最常用的成型方法。研究表明，乳化沥青冷再生混合料试样在烘箱加热过程中容易出现一定的体积膨胀，采用烘干后再双面各击实25次或37次（大马歇尔）的方法可以较好地避免其对试验结果的影响，但是该方法不适合泡沫沥青混合料。

旋转压实仪也可以用于冷再生混合料试件的成型，一般采用30次旋转压实成型。相同条件下，使用旋转压实得到的冷再生混合料试样的劈裂强度、马歇尔稳定度指标要明显高于马歇尔击实的试样。但由于旋转压实仪的设备比较昂贵、普适性相对较差，还是推荐了修正的马歇尔击实法。

B.5 确定最佳含水率

在确定最佳含水率时，不同国家、不同结构的方法不尽相同，有的是基于使混合料达到最大密实度和强度，有的是基于获得最佳的沥青裹覆，还有的则是基于获得最佳的混合料施工和易性。后两

种方法带有很强的经验性和主观性，需要设计者有较丰富的工程经验。而基于最大密实度的方法有客观的评价手段，更利于应用，因此本推荐方法采用此方法。

B.6 确定最佳乳化沥青含量

为了得到最大的干密度，冷再生混合料需要有适宜的流体含量，但是如何定义和确定最适宜的流体含量，目前全球范围内还没有一致认可的方法。有的将乳化沥青、外加水、矿料中的水定义为总流量含量，并以此作为依据进行混合料设计；有的则将乳化沥青中的水、外加水、矿料中的水定义为总含水率用于混合料设计。两者的差别在于如何看待沥青材料在混合料拌和过程中的作用。

对于泡沫沥青混合料而言，沥青首先与细集料结合，其润滑作用有限，用含水率比用液体含量能更加准确地反映混合料的干湿状态：对于乳化沥青混合料而言，沥青具有一定的润滑作用，但是不及水的作用明显。大量的试验对比结果表明，在保持总液体含量不变的情况下改变乳化沥青和水的比例，混合料的干湿状态变化显著，而保持总含水率不变的情况下改变乳化沥青和水的比例，混合料的干湿状态变化相对较小。因此，本标准采用含水率而不是液体含量的概念。

B.7 延迟时间试验

由于乳化沥青存在一个破乳与凝固的时间，乳化沥青不可能在现场生产，有一个生产、贮存、运输、使用的过程，乳化沥青在破

乳后，沥青与水分离（油水分离），游离的沥青就会马上与集料结合，失去流动性，导致混合料变形相对困难，影响混合料的摊铺、碾压，而且乳化沥青破乳与外界因素有很大的关系，温度越高越容易破乳，存在酸碱中和反应时也越容易破乳，因此，应根据现场具体的材料特性、气温条件来决定乳化沥青的破乳时间，给施工一个充足的施工工艺时间，这就要求做延迟试验，确定乳化沥青在使用条件下的破乳时间是否满足使用要求，如不满足要求则应调整破乳时间。

附录 C 水泥稳定就地冷再生混合料设计方法

此方法规定了水泥稳定就地冷再生混合料的材料、工程级配、各参数确定的流程，基本原理与水泥稳定粒料基层混合料配合比设计相同，不同的是其中有部分或全部是旧路面材料、甚至含有部分RAP，混合料的工程级配只有两种。

附录 D 乳化沥青微粒粒径检测方法

（激光粒度分析法）

用于冷再生混合料的乳化沥青是一种拌和型的乳化沥青，在再生过程中，要通过乳化沥青使 RAP 与添加的新集料表面有一层完整的沥青膜，使各类集料有机粘结在一起形成稳定的混合料。乳化沥青中的沥青是通过水把微小的沥青颗粒吸附在集料表面，破乳后水分蒸发，沥青微粒吸附在集料表面形成沥青膜，如果乳化沥青中的沥青微粒粒径大，在集料表面形成的沥青膜就厚，一方面经济性不好，另一方面与 RAP 中原有的沥青膜叠加，使 RAP 颗粒表面的沥青膜过厚，有可能形成自由沥青膜，反而影响混合料的使用性能。因此，乳化沥青中的沥青微粒粒径要小，原则上是越小越好，小到分子级最好，这样乳化沥青在 RAP 表面形成的沥青膜就薄、均匀。乳化沥青是通过机械作用力把沥青打散成微小的沥青团粒，悬浮在水中，通过乳化剂、稳定剂使其形成一个稳定的分散相系，沥青本身是不溶于水的，不可能形成以分子分散的溶液。通过机械作用所形成的沥青微粒粒径越小，其对设备要求就越高，生产成本也越高。所以，乳化沥青中的沥青微粒粒径要合适，且要稳定、均匀，并能定量检测出来。本方法就确定了其微粒粒径检测方法。