



T/CECS G XXXX: 2020

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction  
Standardization

公路路面坑槽冷修补技术规程

Technical Specification of Potholes-Repairing under cold  
circumstances for Highway Pavement

(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction  
Standardization

中国工程建设标准化协会标准

# 公路路面坑槽冷修补技术规程

Technical Specification of Potholes-Repairing under cold  
circumstances for Highway Pavement

T/CECS G: XX-XX-XX

主编单位：中国交建公路路面养护技术研发中心

发布机构：中国工程建设标准化协会

实施日期：2020年XX月XX日

人民交通出版社股份有限公司

## 前 言

根据中国工程建设标准化协会公路分会《关于开展 2018 年第一批中国工程建设标准化协会标准（CECS G）制修订项目编制工作的通知》（中建标公路[2018]35 号）的要求，由中国交建公路路面养护技术研发中心承担《公路路面坑槽冷修补技术规程》（以下简称“本规程”）的制订工作。

本规程分为 7 章及 4 篇附录，主要内容包括总则、术语和符号、基本规定、材料、坑槽冷补混合料组成设计、坑槽冷补施工、质量管理与检查验收，附录 A 冷补混合料沥青用量检测方法，附录 B 溶剂型冷补混合料室内性能试验，附录 C 反应型冷补混合料室内性能试验，附录 D 反应型冷补液容留时间试验，附录 E 溶剂型冷补混合料配合比设计示例，附录 F 反应型冷补混合料配合比设计示例。

本规程基于通用的工程建设理论及原则编制，适用于本规程提出的应用条件。对于某些特定专项应用条件，使用本标准相关条文时，应对适用性及有效性进行验证。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理，由中国交建公路路面养护技术研发中心，在执行过程中如有意见或建议，请函告本规程日常管理组，中国工程建设标准化协会公路分会（地址：北京市海淀区西土城路 8 号；邮编：100088；电话：010-62079839；传真：010-62079983；电子邮箱：shc@rioh.cn），或董元帅（地址：北京市海淀区紫竹桥昌运宫 17 号北京市政大厦，中国交建公路路面养护技术研发中心，电话：010-57705920，邮编：100089，电子邮箱：dys\_bj@163.com），以便修订时研用。

**主 编 单 位：**中国交建公路路面养护技术研发中心

**参 编 单 位：**中咨公路养护检测技术有限公司

公路建设与养护技术、材料及装备交通行业研发中心

乌兰察布市公路工程质量监督站

山东大山路桥工程有限公司

内蒙古高等级公路建设开发有限责任公司

**主 编：**董元帅

**主要编写人员：**侯芸、张艳红、刘晓波、田佳磊、裴飞鹏、陈际江、刘军、周晶、程国义

**主 审：**王松根

**参与审查人员：**薛忠军、严二虎、季 节、潘友强、齐辉、吕晋阳

征求意见稿

# 目次

<b>1 总则</b> .....	<b>7</b>
<b>2 术语和符号</b> .....	<b>8</b>
2.1 术语.....	8
2.2 符号.....	10
<b>3 基本规定</b> .....	<b>11</b>
3.1 一般规定.....	11
3.2 适用性.....	12
<b>4 材料</b> .....	<b>13</b>
4.1 一般规定.....	13
4.2 溶剂型冷补沥青液.....	14
4.3 反应型冷补液.....	15
4.4 集料.....	17
4.5 填料.....	18
4.6 粘层油.....	18
<b>5 坑槽冷补混合料组成设计</b> .....	<b>20</b>
5.1 一般规定.....	20
5.2 溶剂型冷补混合料配合比设计.....	21
5.3 反应型冷补混合料配合比设计.....	24
<b>6 坑槽冷补施工</b> .....	<b>28</b>
6.1 一般规定.....	28
6.2 施工准备.....	29
6.3 坑槽铣刨及清理.....	30
6.4 涂刷粘层油.....	32
6.5 混合料拌和.....	33
6.6 混合料摊铺.....	33
6.7 压实及成型.....	35
6.8 封边整修.....	36
6.9 开放交通.....	37
<b>7 质量管理与检查验收</b> .....	<b>38</b>

---

7.1 一般规定.....	38
7.2 原材料及混合料质量检查.....	38
7.3 施工质量检查与验收.....	39
<b>附录 A 冷补混合料沥青用量检测方法.....</b>	<b>40</b>
A.1 目的与适用范围.....	40
A.2 器具与材料.....	40
A.3 滚动法.....	40
A.4 手捏法.....	40
A.5 贴纸法.....	41
<b>附录 B 溶剂型冷补混合料室内性能试验.....</b>	<b>42</b>
<b>附录 C 反应型冷补混合料室内性能试验.....</b>	<b>47</b>
<b>附录 D 反应型冷补液容留时间试验.....</b>	<b>51</b>
<b>附录 E 溶剂型冷补混合料配合比设计示例.....</b>	<b>53</b>
<b>附录 F 反应型冷补混合料配合比设计示例.....</b>	<b>59</b>

征求意见稿

## 1 总则

**1.0.1** 为提高公路路面冷修补技术应用效果，规范公路路面坑槽冷修补技术体系应用，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于日常天气条件下（降水、降雪、极端低温等恶劣天气除外）各等级公路、桥梁、隧道的沥青路面坑槽的常温修补。

**1.0.3** 坑槽冷补施工应建立原材料、混合料设计、施工及检查验收全过程质量检验制度。

**1.0.4** 坑槽冷补施工，应遵守国家环保法规，注意保护环境。

**1.0.5** 坑槽冷补的施工、质量控制应符合本规程的规定外，尚应符合国家及行业现行有关标准的规定。

征求意见稿

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 冷补混合料 Cold Asphalt Mixture

未加热的矿料（骨料）与低黏度沥青或沥青基材料经过拌和形成，用于路面坑槽修补的冷态混合物，简称冷补料。

#### 2.1.2 冷修补 Cold Repair

冷修补是一种相对于坑槽热补的、采用未经加热的冷补混合料对路面坑槽进行局部修补的养护技术。

#### 2.1.3 溶剂型冷补沥青液 Cold Fill Asphalt Solution of Solvent Type

由基质沥青、稀释剂及添加剂按一定比例组成、常温（低温）条件下具有低黏度、流动性的混合液体。

#### 2.1.4 稀释剂 Diluent

在溶剂型冷补沥青液中，用于降低沥青黏度的有机溶剂。

#### 2.1.5 溶剂型冷补混合料 Solvent-based Cold Mixture

由溶剂型冷补沥青液、粗细集料按一定比例拌和所形成的常温溶剂型混合物。

#### 2.1.6 反应型冷补液 Reactive Cold Rehydration Solution

由反应物质 A、反应物质 B 及添加剂按一定比例组成的多组分反应体系。

#### 2.1.7 反应型冷补混合料 Reactive Cold Mixture

由反应型冷补液、粗细集料、填料按一定比例拌和所形成的常温反应型混合物。

### 2.1.8 可击实时间 Compactable Time

从混合料开始拌和至混合料达到“有少量发硬现象，但可击实”状态所需的时间。

### 2.1.9 初始强度 Initial Strength

溶剂型冷补混合料在常温下双面各击实 75 次制成马歇尔试件，在常温下放置 4h 后测得的马歇尔稳定度，以 kN 计。

反应型冷补混合料在常温下双面各击实 75 次制成马歇尔试件，在常温下放置 2h 后测得的马歇尔稳定度，以 kN 计。

### 2.1.10 成型强度 Forming Strength

溶剂型冷补混合料常温下双面各击实 50 次、于 110°C 烘箱中养生 24h 后双面各击实 25 次制成马歇尔试件，常温下放置 24h、在 60°C 恒温水槽中养生 30min 后测得的马歇尔稳定度，以 kN 计。

反应型冷补混合料常温下双面各击实 75 次制成马歇尔试件，常温下放置 48h，在 60°C 恒温水槽中养生 30min 后测得的马歇尔稳定度，以 kN 计。

## 2.2 符号

LB ——冷补混合料

TFOT ——沥青的薄膜加热试验

RTFOT ——沥青的旋转薄膜加热试验

a ——合成级配中大于 2.36mm 颗粒质量百分率

b ——合成级配中 0.3~2.36 mm 颗粒质量百分率

c ——合成级配中 0.075~0.3mm 颗粒质量百分率

d ——合成级配中小于 0.075mm 颗粒质量百分率

$P_a$  ——冷补沥青液的理论最佳用量

P ——按经验公式估算的冷补沥青液用量

$P_R$  ——冷补沥青液的蒸馏后残留物含量

G ——混合料中反应型冷补液的质量百分比

A ——2.5mm 筛上剩余的质量百分比

B ——通过 2.5mm 筛孔，剩在 0.075 筛上的质量百分比

C ——通过 0.075 筛孔的质量百分比

$P_1$  ——试件破损率

## 3 基本规定

### 3.1 一般规定

**3.1.1** 本规程所述的冷补混合料根据结合料类型分为溶剂型冷补混合料、反应型冷补混合料。

条文说明：

目前常用的冷补混合料，按结合料类型可分为溶剂型、反应型和乳液型三种。其中溶剂型冷补混合料相对而言具有更好的储存性和强度稳定性，因此应用更加广泛；反应型冷补混合料的配方较为复杂，材料成本较为高昂，目前在推广使用中还存在一定难度；乳化型冷补混合料需要在现场拌制，可以快速开放交通，路用性能良好，但是其材料成本昂贵，未能得到大规模应用。综合当前的应用情况以及发展趋势来看，溶剂型和反应型冷补混合料范围大，因此本规程所述冷补混合料围绕这两类材料展开。

**3.1.2** 冷修补可作为常规修补方式，也可作为应急修补方式。

条文说明：

根据调查问卷、文献研究可知，使用者对冷修补的应用有不同的目标要求，总体上可分为两类，一种为常规修补方式，期望修补位置的使用寿命和路用性能尽可能达到较高水平；另一种为应急修补方式，只要求快速开放交通或者应对恶劣天气条件，仅需短期内恢复路面状态即可，待条件允许时将采用热拌材料再次修补。

**3.1.3** 冷修补可应用于原路面干燥或潮湿状态下坑槽修补，若坑槽位置有明水时应及时排除并干燥处理。

条文说明：

溶剂型冷补料溶剂自身具有挥发性，反应型冷补料反应物体系配制过程中会因引入水分，因此当对修补后使用寿命或者质量要求不高时，可以允许在坑槽位置潮湿的

情况下进行修补，水分可以和材料中具有挥发性的成分一同散失，不会对强度形成过程造成明显影响。

## 3.2 适用性

### 3.2.1 冷修补宜作为应急修补方式的情况如下：

1 遇连续雨天、低温寒冷等恶劣天气或其他不可预期因素，不适宜使用热拌混合料修补，且须在短时间内及时恢复路面性能。

2 待修补坑槽数量较多，无法在常规的响应时间内完成修补。

3.2.2 冷修补作为常规修补方式时，使用的温度范围宜高于 $-5^{\circ}\text{C}$ 。冷修补作为应急修补时，温度范围可放宽至高于 $-20^{\circ}\text{C}$ ；低于 $-5^{\circ}\text{C}$ 时，在材料储存地点到修补位置间的运输过程应做好保温工作，不可长时间暴露于环境温度下。

条文说明：

根据问卷调研结果可知，大部分用户不会在低于 $-5^{\circ}\text{C}$ 时应用冷补料；室内试验测定溶剂型冷补料粘聚力时显示，在 $4^{\circ}\text{C}$ 低温环境下储存一段时间的冷补料，仍具有一定粘结性，但无法成型完整的马歇尔试件。上述现象表明温度过低时混合料的整体性较差，因此仅在紧急情况下允许在温度低于 $-5^{\circ}\text{C}$ 时使用。

## 4 材料

### 4.1 一般规定

4.1.1 两类冷补料的原材料组成如图 4.1.1 所示。



图 4.1.1 两类冷补混合料原材料组成

4.1.2 溶剂型冷补混合料中使用的溶剂型冷补沥青液、反应型冷补混合料中使用的反应物质 A、反应物质 B 一般直接使用经检验合格的成品，不单独在现场或试验室进行配制。若需要自行配制，各组成原材料及制备工艺须满足本规程要求。

4.1.3 路面坑槽冷补施工前，各种材料需按本规程取样进行质量检验，经评定合格后

方可使用。

## 4.2 溶剂型冷补沥青液

### 4.2.1 沥青

配制溶剂型冷补沥青液使用的基质沥青，其技术指标应符合《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40）的有关规定。

### 4.2.2 稀释剂

1 溶剂型冷补液使用的稀释剂应满足以下要求：

1) 对基质沥青有较大的溶解能力，且不会使添加剂发生离析，使冷补结合料成为均匀的整体。

2) 稀释剂能够及时从基质沥青中挥发，使冷补混合料的强度达到要求。

3) 稀释剂的用量适中且可控。

4) 对人体无毒，对环境友好。

条文说明：

稀释剂的主要作用是保证溶剂型冷补混合料在常温状态下具有良好的工作性，因此对于自行制备溶剂型冷补混合料的工程，应对稀释剂做出适当的要求。

2 选择稀释剂时，应根据冷补混合料技术性能要求，采用具有合适挥发速度的稀释剂。

3 应提供稀释剂产品检验及合格报告，经确认合格后方可使用。

### 4.2.3 添加剂

1 应基于冷补混合料路用性能的改善需求对添加剂进行合理选择。

2 应提供添加剂产品检验及合格报告，经确认合格后方可使用。

条文说明：

添加剂的主要作用是弥补稀释剂加入后混合料的部分路用性能损失，改善冷补混合料在使用初期的路用性能。

目前常用的沥青添加剂有橡胶类、橡胶塑料类、树脂类和矿质粘土，不同种类添加剂的性能如下，制备冷补混合料时可根据需要进行添加。

(1) 橡胶类：增加沥青与石料粘附力，具有优良的低温开裂性能。

(2) 橡胶塑料类：抗永久变形能力及耐久性好；与基质沥青互溶性较差，使用不当可能降低混合料稳定度。

(3) 树脂类：可以提高粘结力、高温稳定性；容易固化变硬，对沥青混合料低温抗裂性无明显改善。

(4) 矿质粘土：可以增强混合料抗磨损性、内聚力、抗老化、抗永久变形以及低温开裂等性能。

### 4.3 反应型冷补液

4.3.1 反应物质 A 宜符合表 4.3.1 的规定。

表 4.3.1 反应物质 A 技术指标要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
外观	—	颜色均匀的流体	观察
黏度(25℃)	Pa·s	1~3	产品检验及合格报告
挥发份	%	≤1.0	
固含量	%	50±3	
pH 值	—	7.0±0.5	
环氧当量	g/mol	200~730	

### 4.3.2 反应物质 B 宜符合表 4.3.2 的规定。

表 4.3.2 反应物质 B 技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
外观	—	淡黄色粘稠液体	观察
黏度(25°C)	Pa·s	3~6	产品检验及合格报告
氨值	—	180~190	
固含量	%	≥70	
与反应物质 A 配比	—	100:(30~100)	

条文说明：

反应物质 B 应与反应物质 A 相容性好，有利于反应物质 A 与反应物质 B 反应完全，形成性质稳定的反应产物。

反应物 B 与反应物 A 的配比即固化剂与环氧树脂的配比，当 B 为对应环氧树脂的专用固化剂时，参照产品说明进行掺配；非专用固化剂时，在此比例区间选择满足反应物体系技术指标要求且经济合理的比例进行掺配。

### 4.3.3 反应物体系宜符合表 4.3.3 的规定。

表 4.3.3 反应物体系技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
容留时间	min	18~240	T 0625
布氏黏度(25°C)	Pa·s	1~3	

条文说明：

反应物 A 和 B 掺配后形成反应物体系并逐渐硬化，在此过程中既要保证反应物体系能够尽快硬化以便混合料形成强度，又要保证具有良好的工作性，利于混合料摊铺和充分压实。因此根据环氧体系布氏黏度与时间的关系，在常温条件下推荐采用 1~3Pa·s，作为控制环氧体系工作性的范围，该黏度范围对应的容留时间为 18~240min。只有同时满足以上两个条件，才能保证在适当的时间内冷补料形成足够的强度。

## 4.4 集料

4.4.1 坑槽冷补所使用的集料应洁净、干燥、无杂质、不含土块。

4.4.2 当集料潮湿时，应经过热料仓或使用小型加热设备进行烘干。

4.4.3 用于冷补混合料的集料宜选择与沥青粘附性较好的碱性集料。

4.4.4 用于冷补混合料的粗、细集料必须由具有生产许可证的采石场生产或施工单位自行加工。

4.4.5 粗集料质量应符合表 4.4.5 的规定。

表 4.4.5 粗集料技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
集料压碎值	%	≤26	T 0316
洛杉矶磨耗损失	%	≤28	T 0317
表观相对密度	t/m <sup>3</sup>	≥2.60	T 0304
吸水率	%	≤2.0	T 0304
坚固性	%	≤12	T 0314
针片状颗粒含量(混合料)	%	≤15	T 0312
其中粒径大于 9.5mm	%	≤12	
其中粒径小于 9.5mm	%	≤18	
水洗法<0.075mm 颗粒含量	%	≤1	T 0310
软石含量	%	≤3	T 0320

4.4.6 细集料质量应符合表 4.4.6 的规定。

表 4.4.6 细集料技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
表观相对密度, 不小于	—	$\geq 2.6$	T 0330
坚固性(>0.3mm 部分), 不小于	%	$\leq 12$	T 0340
含泥量(小于 0.075mm 含量), 不大于	%	$\leq 3$	T 0333
砂当量, 不小于	%	$\geq 60$	T 0334
亚甲蓝值, 不大于	g/kg	$\leq 2$	T 0349
棱角性(流动时间), 不小于	s	$\geq 30$	T 0345

#### 4.5 填料

4.5.1 反应型冷补混合料中可加入一定量的矿粉、水泥、消石灰等填料。填料的掺加量必须通过混合料设计试验确定。

4.5.2 用于反应型冷补混合料的矿粉质量应符合《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40) 的有关规定。

#### 4.6 粘层油

4.6.1 坑槽铣刨及清理后, 宜在成型坑槽表面及四周涂刷一层粘层油。

4.6.2 粘层油质量应满足表 4.6.2 的规定。

表 4.6.2 粘层油技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法	
粒子电荷	—	阳离子 (+)	T0653	
筛上剩余量(1.18mm 筛)	%	$\leq 0.1$	T0652	
黏度	恩格拉黏度计 E25	—	1~10	T0622
	沥青标准黏度计 C25.3	s	8~25	T0621
蒸发残留物	含量	%	$\geq 50$	T0651

	针入度(100g, 25°C, 5s)	0.1mm	40~120	T0604
	软化点	°C	≥50	T0606
	延度(15°C)	cm	≥20	T0605
	溶解度(三氯乙烯)	%	≥97.5	T0607
与矿料的粘附性, 裹覆面积		—	≥2/3	T0654
常温储存稳定性	1d	%	≤1	T0655
	5d	%	≤5	T0655

征求意见稿

## 5 坑槽冷补混合料组成设计

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 溶剂型冷补混合料应选用溶剂型冷补混合料配合比设计方法，反应型冷补混合料应选用反应型冷补混合料配合比设计方法。

**5.1.2** 冷补混合料配合比设计应充分考虑当地气候条件及快速修补的需要，进行配合比设计优化。

**5.1.3** 冷补混合料的矿料级配宜符合《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40)中关于冷补沥青混合料的矿料级配要求。

表 5.1.3 冷补混合料矿料级配范围

混合料 类型	通过下列筛孔(mm)的质量百分率(%)										
	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
LB-16	100	90-100	50-90	40-75	30-60	10-40	5-20	0-15	0-12	0-8	0-5
LB-13		100	90-100	60-95	30-60	10-40	5-20	0-15	0-12	0-8	0-5
LB-10			100	80-100	30-60	10-40	5-20	0-15	0-12	0-8	0-5

条文说明：

冷补混合料级配应符合补坑的需要，粗集料级配必须具有充分的嵌挤能力，以便在未经充分碾压的条件下可开放通车碾压而不松散。

**5.1.4** 冷补混合料最大公称粒径宜与原路面相同或相近。

条文说明：

结合工程实践经验，宜采用 LB-16、LB-13 矿料级配。

**5.1.5** 冷补混合料空隙率宜符合《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40)中密级配沥青混凝土混合料空隙率要求。

表 5.1.5 冷补混合料空隙率（深约 90mm 以内）

试验指标	高速公路、一级公路				其他等级道路	行人道路
	夏炎热区		夏热区及夏凉区			
空隙率（%）	3~5	4~6	2~4	3~5	3~6	2~4

## 5.2 溶剂型冷补混合料配合比设计

5.2.1 溶剂型冷补混合料配合比设计包括确定矿料级配、确定最佳冷补液用量两个阶段。设计流程应按图 5.2.1 的步骤进行。

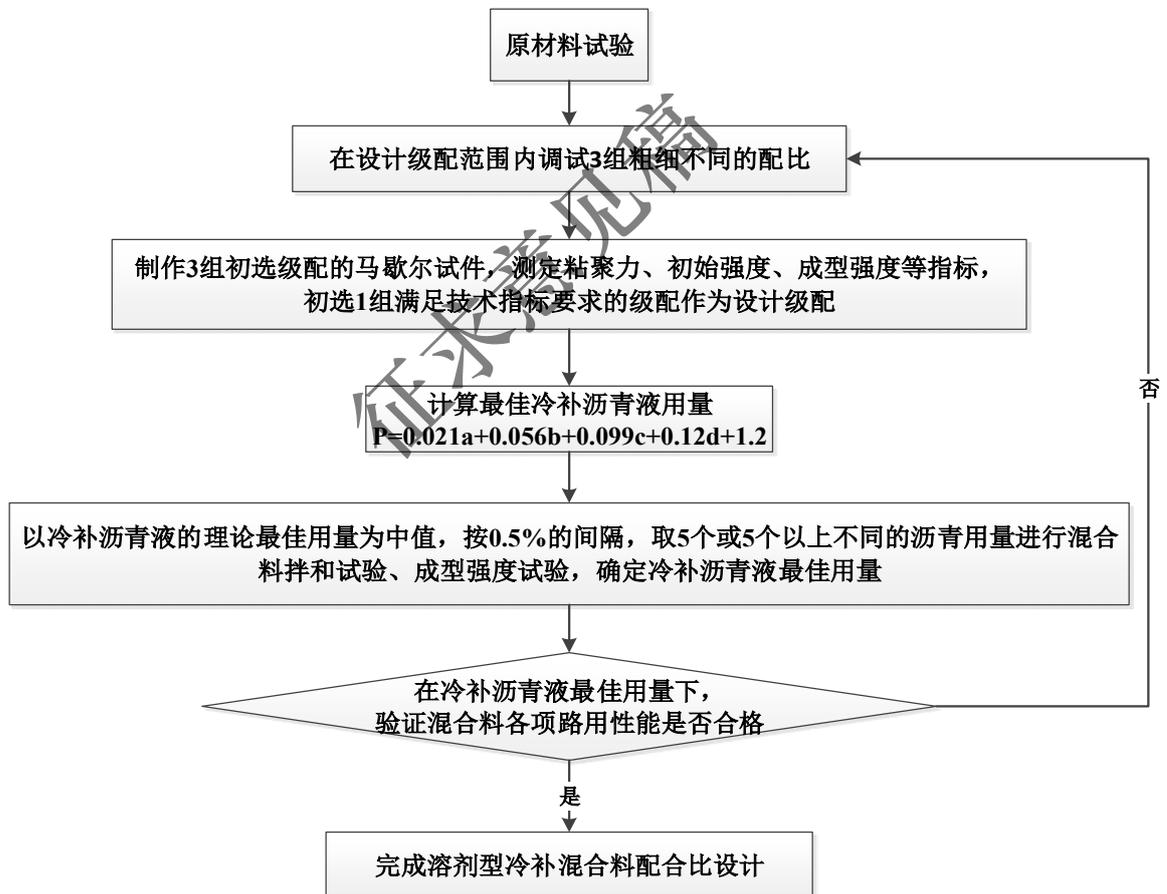


图 5.2.1 溶剂型冷补混合料配合比设计流程

5.2.2 矿料级配设计应按以下要求进行：

- 1 冷补混合料矿料配合比设计宜借助计算机的电子表格或专用混合料软件进行。

矿料级配曲线绘制在 0.45 次幂级配图上，以原点与通过集料最大粒径 100% 的点的连线作为沥青混合料的最大密度线。

2 在设计级配范围内初选 3 组粗细不同的配比，绘制设计级配曲线，分别位于工程设计级配范围的上方、中值及下方。设计合成级配不得有太多的锯齿形交错，且在 0.3mm~0.6mm 范围内不出现“驼峰”。当反复调整不能满意时，宜更换材料设计。

3 根据当地的实践经验选择适宜的沥青用量，分别制作初选级配的马歇尔试件，按附录 B 的方法测定粘聚力、初始强度、成型强度等指标，初选 1 组满足技术指标要求的级配作为设计级配。溶剂型冷补混合料的马歇尔技术指标应符合表 5.2.2 规定。

表 5.2.2 溶剂型冷补混合料技术要求

试验项目	单位	技术要求		试验方法
破损率	%	≤20		附录 B
初始强度	kN	-20°C~5°C (不含 5°C)	2	附录 B
		5°C~50°C	3	
成型强度	kN	>6kN		附录 B

条文说明：

根据室内试验分析，按照《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004) 粘聚力试验方法难以成型完整试件，该指标可以作为参考，但不是选用冷补料的必要条件，因为在进行诸如初始强度、成型强度等路用性能试验时，成型试件的同时包含了对冷补料粘聚力的考察。

溶剂型混合料强度增长需定时间，在初期达到可以抵抗一定车辆荷载的作用时即可开放交通，此时要求不必过高，结合既有研究和室内试验分析，通常情况下达到 3kN 即可，在恶劣的低温环境下使用时，可以适当降低要求。

### 5.2.3 最佳冷补沥青液用量确定应按以下要求进行：

1 按式 5-1 计算经验最佳沥青液用量。

$$P=0.021a+0.056b+0.099c+0.12d+1.2$$

式 5-1

式中  $P$ ——按经验公式估算的冷补沥青液用量，%；

$a$ ——合成级配中大于 2.36mm 颗粒质量百分率，%；

$b$ ——合成级配中 0.3~2.36 mm 颗粒质量百分率，%；

$c$ ——合成级配中 0.075~0.3mm 颗粒质量百分率，%；

$d$ ——合成级配中小于 0.075mm 颗粒质量百分率，%。

2 对初步确定的沥青冷补液配方，按现行《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20) T 0632 的方法，测得冷补沥青液的蒸馏后残留物含量  $P_R$ 。若无试验条件时，可以冷补沥青液中基质沥青的比例近似代替。

3 按式 5-2 计算溶剂型冷补沥青液的理论最佳用量。

$$P_a \square P / P_R$$

式 5-2

式中  $P_a$ ——冷补沥青液的理论最佳用量，%；

$P_R$ ——冷补沥青液的蒸馏后残留物含量，%，按 T 0632 对冷补沥青液进行试验获得。

4 以式 5-2 计算的冷补沥青液的理论最佳用量为中值，按 0.5%的间隔，取 5 个或 5 个以上不同的沥青用量，按附录 B 的方法分别进行各用量条件下的拌和试验、成型强度试验，绘制冷补液用量与成型强度的关系曲线。结合工作性拌和试验结果，成型强度及工作量最佳的冷补液用量为冷补沥青液最佳用量。

**5.2.4** 应在最佳冷补沥青液用量条件下，成型试件进行相关路用性能试验，并满足表 5.2.4 的技术指标要求。不能达到相关要求时，必须调整矿料级配及最佳冷补液用量后再次试验，直至符合要求。

表 5.2.4 溶剂型冷补混合料性能验证要求

路用性能	评价方法	技术指标要求		试验方法
粘聚性	粘聚性试验	<20%		附录 B
初始强度	初始强度	-20℃~-5℃（不含 5℃）或应急修补	≥2kN	附录 B
		5℃~-50℃	≥3kN	
成型强度	成型强度(水浴, 60℃)	≥6kN		附录 B
高温稳定性	动稳定度(40℃±1℃)	-20℃~-5℃（不含 5℃）或应急 修补	≥500 次/mm	
		5℃~-50℃	≥3000 次/mm	附录 B
水稳定性	与集料的粘附性	≥4 级		T 0616
	浸水残留稳定度	≥75%		T 0709

条文说明：

室内试验分析时按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)车辙试验的操作步骤，在 40℃±1 的条件下测定动稳定度，其结果不低于 3000 次/mm，现有研究中很多也超过了这一数值。此外，考虑到部分情况下需要尽快修补恢复正常交通，针对紧急情况或恶劣天气条件可以对指标要求适当放宽。

水稳定性采用浸水马歇尔试验残留稳定度和沥青与集料粘附性等级 2 个指标来评价。在本课题进行浸水残留稳定度试验时，由于浸水后部分试件破损或者浸水前强度较低，未成功开展该项试验。对于沥青与混合料的粘附性而言，课题试验结果达到 4 级及以上。因此基于文献的总结及规范的要求，课题建议对于浸水马歇尔试验，按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011) 要求即可，根据文献调研和《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011) 要求不低于 75%，沥青与集料粘附性要求不低于 4 级。

### 5.3 反应型冷补混合料配合比设计

#### 5.3.1 反应型冷补混合料配合比设计包括确定矿料级配、确定最佳反应型冷补液用量

两个阶段。设计流程应按图 5.3.1 的步骤进行。

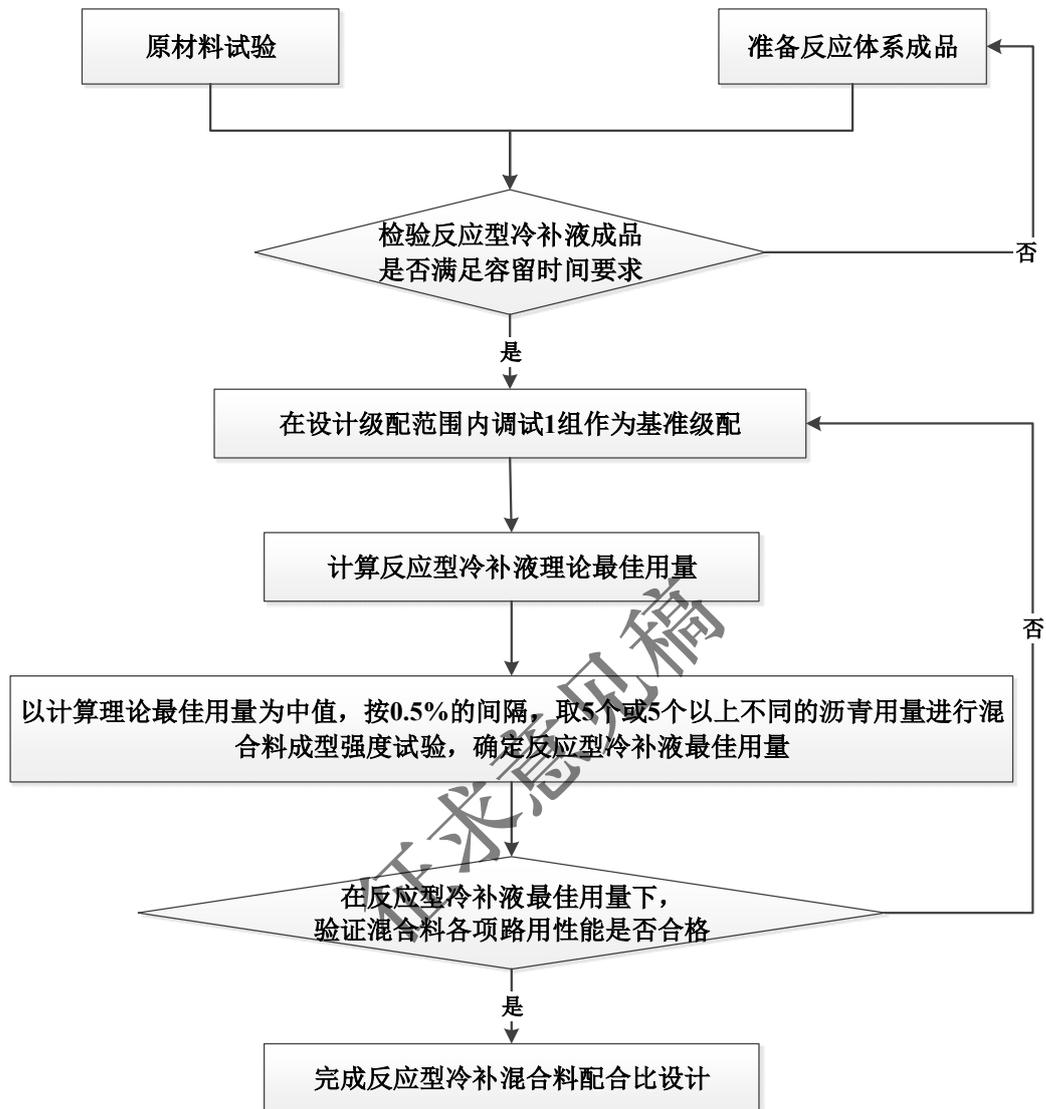


图 5.3.1 反应型冷补混合料配合比设计流程

条文说明:

由于制备工艺复杂, 反应型冷补液宜直接采用合格供货商提供的成品, 不单独进行现场配制, 不满足容留时间要求的反应型冷补液严禁使用。

### 5.3.2 矿料级配设计应按以下要求进行:

- 1 冷补混合料矿料配合比设计宜借助计算机的电子表格或专用混合料软件进行。

矿料级配曲线绘制在 0.45 次幂级配图上，以原点与通过集料最大粒径 100% 的点的连线作为沥青混合料的最大密度线。

2 在设计级配范围内调试 1 组符合要求、曲线无锯齿形交错的矿料级配作为基准级配。

### 5.3.3 反应型冷补液最佳用量确定应按以下要求进行：

1 按式 5-3 计算经验反应型冷补液最佳用量。

$$G=0.06A+0.12B+0.2C \quad \text{式 5-3}$$

式中 G——混合料中反应型冷补液的质量百分比(%)；

A——2.36mm 筛上剩余的质量百分比(%)；

B——通过 2.5mm 筛孔，剩在 0.075mm 筛上的质量百分比(%)；

C——通过 0.075mm 筛孔的质量百分比(%)。

2 以式 5-3 计算反应型冷补液理论最佳用量为中值，按 0.5% 的间隔，取 5 个或 5 个以上不同的沥青用量，按附录 C 的方法分别进行各用量条件下的成型强度试验，绘制冷补液用量与成型强度的关系曲线。综合工作性及试验结果，成型强度最佳的反应型冷补液用量为反应型冷补液最佳用量。

3 应在最佳反应型冷补液用量条件下，成型试件进行相关路用性能试验，并满足表 5.3.3 的技术指标要求。未达到相关要求时，必须调整矿料级配及最佳反应型冷补液用量后再次试验，直至符合要求。

表 5.3.3 反应型冷补混合料路用性能技术指标

项目	评价方法	技术指标要求	试验方法
强度	初始强度	≥6kN	附录 C
	成型强度(水浴, 60°C)	≥15kN	附录 C

条文说明：

由于反应型冷补料相对于溶剂型冷补料能够形成强度更高的混合料整体，因此对初始强度的要求也相对更高。结合现有研究和室内试验分析结果，反应型冷补料初始强度可达 8kN 以上，成型强度可达 15kN 以上。

征求意见稿

## 6 坑槽冷补施工

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 坑槽冷补的施工环境应符合以下要求：

- 1 四季均可施工，施工温度宜高于-5℃；
- 2 除应急冷补外，避免雨天施工，宜在晴天或气温较高的天气下施工，以加快冷补料强度的形成。

**6.1.2** 有条件时，拌和应优先采用机械化方式。如遇条件限制，可采用“人工拌和+人工摊铺+人工（机械）压实”的方式施工，以减少机械调运。

**6.1.3** 根据修补类型不同，坑槽冷补可采用不同的施工工艺。

- 1 当作为应急冷补使用时，坑槽冷补施工遵循“清扫—喷油—回填—摊铺—夯实”的工艺流程。
- 2 当作为常规修补使用时，坑槽冷补施工遵循“划线—铣刨—清扫—喷油—回填—摊铺—压实—封边”的工艺流程。

**6.1.4** 坑槽冷补施工应符合图 6.1.4 工艺流程要求。

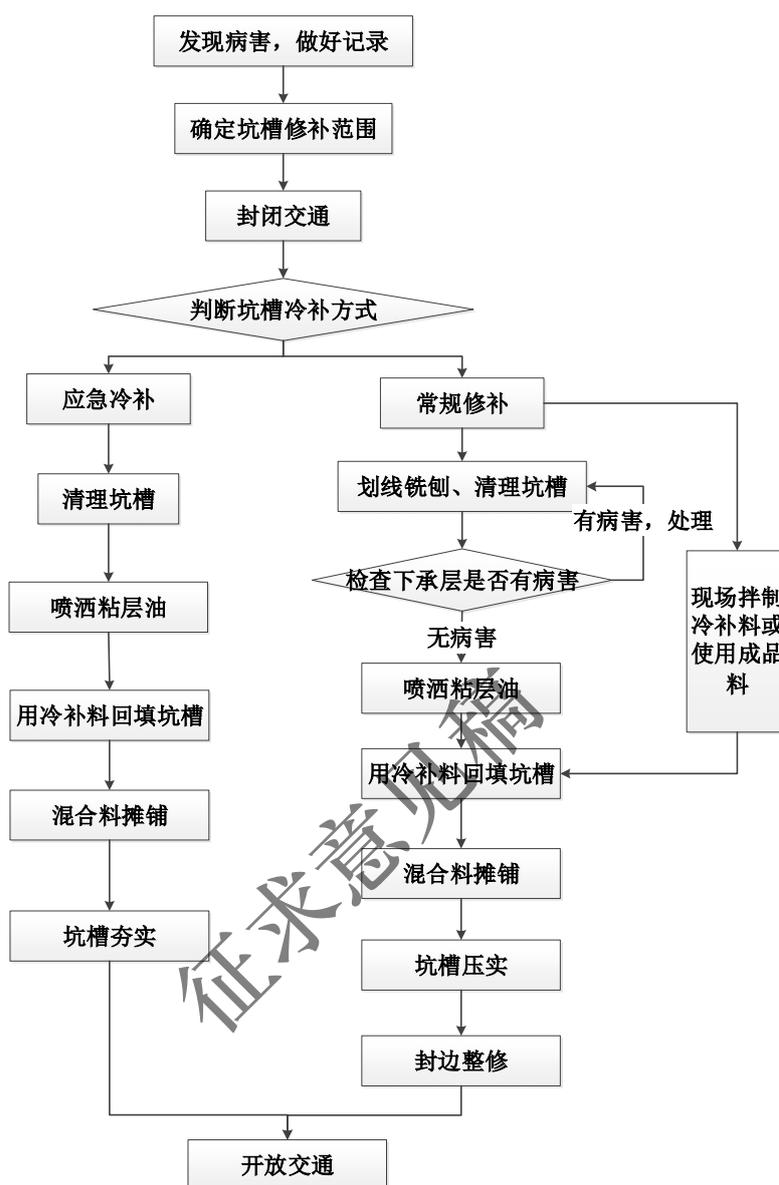


图 6.1.4 坑槽冷补施工工艺

## 6.2 施工准备

### 6.2.1 封闭交通及作业区要求

1 坑槽冷修补作业应符合《公路养护安全作业规程》(JTG H30—2015) 养护作业区要求。

2 坑槽修补施工严格实行作业区管理, 不得在控制区外活动, 不得将任何物

体置于作业区以外。

3 应随时检查作业控制区的设置情况及设施完好情况。

4 当施工区域发生事故或大流量而导致车辆拥堵时，应采取应急措施，加大对交通的疏导管理力度，必要时视情撤除施工现场。

**6.2.2** 施工前应根据坑槽处治范围、数量配置满足施工要求的人员、设备。

### 6.3 坑槽铣刨及清理

**6.3.1** 根据修补方式不同，坑槽冷补进行铣刨及清理的要求不同。

**6.3.2** 坑槽冷补作为日常修补时，坑槽铣刨及清理应按以下步骤进行：

1 划分修补区域：按“轮廊方正、就近合并”原则，采用 3m 直尺和直角尺进行划线，修补边界线要求与路中心线平行或垂直，每边至少应外延至未破损的路面（10~30）cm，保证开挖后坑槽面积满足平板夯最小作业宽度要求。

2 铣刨准备：根据确定的修补区域，启动并预热铣刨机，根据确定的铣刨厚度调整刀头、刀座位置，控制转向系沿划线进行铣刨，铣刨机要求走线顺直、铣刨厚度稳定。

3 边缘切缝：铣刨坑槽两端壁面未与路面平面垂直时，用切缝机进行切缝处理，切缝要走线顺直，切缝深度不超过处治层厚度。用电镐等凿除工具凿除切缝边缘处治层，凿除时应保证坑槽底部平整。

4 铣刨物清扫：为保证坑槽壁面与路面平面垂直，用钢丝刷或铁锹清除槽底、侧壁松散物，用扫把清除坑槽内松散物和路表杂物，用强力吹风器将槽底、侧壁吹干净，并使坑槽干燥、不积水。清理后的坑槽内不得存有泥浆等杂物，被修补的坑槽应有整齐的切边，松散料及薄弱部分需彻底清除干净。

5 渣料运输：铣刨过程中废渣用滑移式装载机装入废渣运输车。用铁锹、扫把等清扫工具配合滑移式装载机进行废渣的装运。

6 下承层检查：铣刨清理后，对下承层进行检查，观察有无裂缝及其它病害，没有裂缝及其它病害准备下一步工作；若有裂缝及其它病害，做好记录，并根据裂缝及其它病害维修要求进行处治，确认合格后再进行下一步施工。

**6.3.3** 铣刨时应根据坑槽深度的不同，采取单层铣刨或双层铣刨的方式进行。

1 当坑槽深度在 8cm 以下时，应采取单层铣刨开挖的方法。开挖时以坑槽病害为中心，修复长度与宽度方向均单侧处延（10~30）cm。

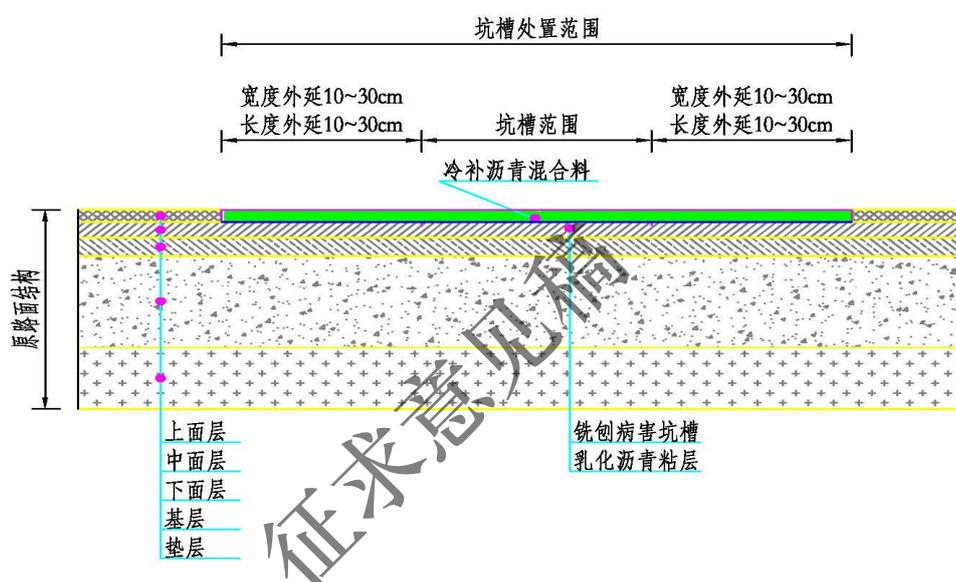


图 6.3.3.1 单层铣刨开挖断面示意图

2 当坑槽深度在 8cm 及以上时，应采取双层铣刨开挖的方法。上层应在下层开挖的基础上进行四面超挖，形成阶梯搭接，搭接宽度控制在（20~40）cm，以保证双层混合料的压实度。

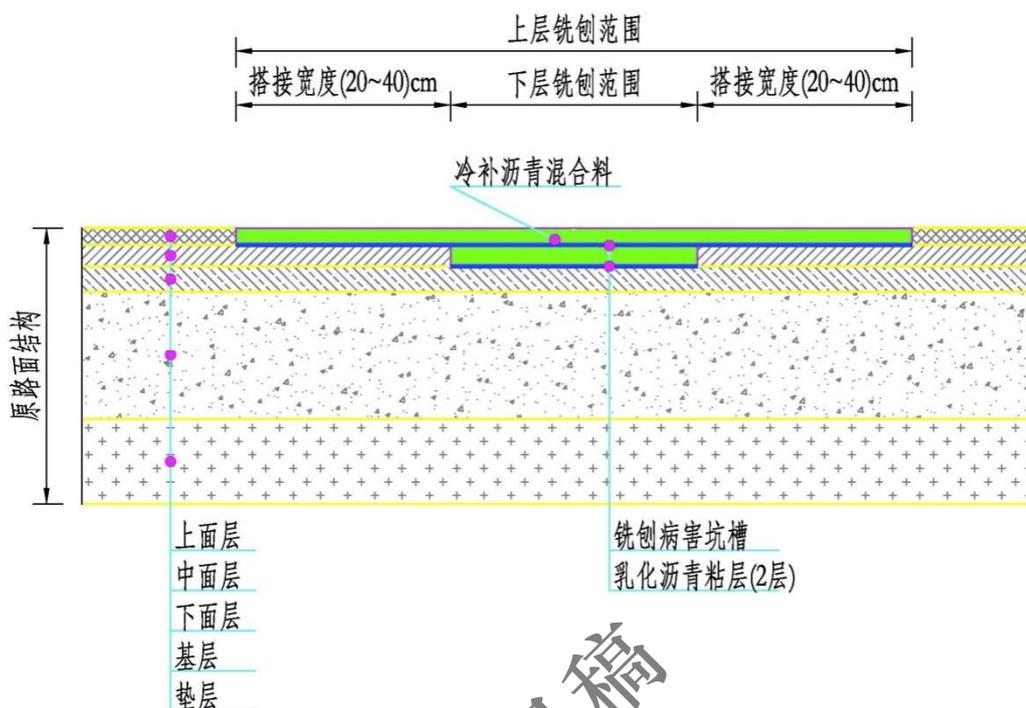


图 6.3.3.2 双层铣刨开挖断面示意图

3 采用双层铣刨开挖时，各层铣刨厚度应与采用的摊铺、压实工艺或机械相适应，单层最小铣刨厚度不得小于 3cm。

**6.3.4** 坑槽冷补作为应急冷补时，坑槽清理应按以下步骤进行：用钢丝刷或铁锹清除槽底、侧壁松散物，用扫把清除坑槽内松散物和路表杂物，使坑槽不积水。

## 6.4 涂刷粘层油

**6.4.1** 在摊铺修补材料前，应向坑槽壁和底面喷涂一层粘层油。

条文说明：

喷洒粘层油的作用是提高修补材料与旧路面材料间的粘结性。

**6.4.2** 用冷补沥青混合料修补坑槽时，粘层油可选择乳化沥青。

**6.4.3** 涂刷方式采用人工直接用刷子将粘层油均匀涂抹于壁面和坑面。

**6.4.4** 粘层油喷洒量为  $0.3\sim 0.5\text{kg/m}^2$ 。

条文说明：

粘层油喷洒量不宜过多，否则粘结效果会降低。

## 6.5 混合料拌和

**6.5.1** 现场拌制或准备成品料前应根据坑槽修补数量、范围确定冷补混合料类型并估算需要拌和或准备的冷补混合料质量。

**6.5.2** 冷补料拌和前，应根据现场集料的吸水率进行试拌。

**6.5.3** 拌和好后的溶剂型冷补混合料应进行袋装储存。

**6.5.4** 反应型冷补混合料的拌和过程应符合以下要求：

1 现场应按以下步骤配制反应型冷补液：

1) 将按比例称取反应物质 A、反应物质 B 及添加剂，混合并搅拌均匀，制得反应型冷补液；

2) 为保证反应型冷补液各组分混合均匀，现场宜采用手持式搅拌器保证其均匀性。

2 拌和后待用的冷补混合料应覆盖毡布或者塑料薄膜，并尽快摊铺成型

条文说明：

反应型冷补混合料拌和后必无法长时间保存，须尽快使用；拌和前应按需配制，以免造成浪费。

**6.5.5** 现场拌和后未使用的冷补混合料应予以废弃，严禁回收使用。

## 6.6 混合料摊铺

**6.6.1** 冷补混合料一般采用人工方式进行摊铺，摊铺工具采用铁锹。

### 6.6.2 摊铺作业应符合以下规定：

- 1 摊铺前，应按式 6-1 确定混合料的投料量。

$$m = \rho \times V \quad \text{式 6-1}$$

式中  $m$ ——混合料投料量 (g)；

$\rho$ ——混合料压实成型后的密度 (一般为  $2.35\text{g/cm}^3$ )；

$V$ ——待补坑槽的体积 ( $\text{m}^3$ )。

- 2 将计量好的混合料投入待修补的坑槽中进行摊铺，摊铺后的混合料要求中间处略高于四周并呈弧形。

**6.6.3** 摊铺时应根据加铺厚度的不同，采取单层摊铺或多层摊铺的方式进行并符合以下规定：

- 1 当坑槽深度在  $8\text{cm}$  以下时，应根据混合料类型、压实机具等采取单层摊铺或双层摊铺的方式。

- 2 当坑槽深度在  $8\text{cm}$  及以上时，应采取双层摊铺的方式。上下摊铺层的搭接宽度  $20\sim 40\text{cm}$ ，以保证坑槽内修补材料的密实度及修补后坑槽的承载能力。

条文说明：

双层摊铺时，为了保证下层修补层与搭接平台尽量保持在一个水平高程，下层的人工摊铺必须取松铺系数上限  $1.4$ 。摊铺中必须着重加强边角控制、避免混合料离析，严格控制混合料的摊铺温度满足要求。

双层摊铺时，上层摊铺作业中，由于搭接平台与下层开挖面之间存在刚度差异，因此在摊铺时对松铺系数采取“中间高、四周低”的取值，即在下层开挖平面范围内采取较高的松铺系数，保证压实后路面的平整度；在上层超挖面四周采取相对中低限的松铺系数，尽量减少由于新填混合料与搭接平台原路面刚度差异造成的路面不平整。具体松铺系数的取值由根据各层铣刨深度及混合料类型而确定。

#### 6.6.4 人工摊铺应符合以下规定：

- 1 松铺系数为 1.3~1.4。
- 2 自坑槽侧壁开始摊铺，逐渐移向中心。
- 3 整平过程应避免集料离析。

### 6.7 压实及成型

**6.7.1** 压实前应根据修补坑槽类型、混合料类型、应急修补程度等选择与之匹配的压实机械，冷补混合料的压实机械选择应符合表 6.7.1 规定。

表 6.7.1 冷补混合料不同压实机械适用条件

压实机械	适用条件
平板夯	修补时限要求较高、无法及时调配压路机等设备 (开挖作业面须满足平板夯最小作业宽度要求)
小型压路机( $\geq 5t$ )	修补时限要求相对较低、能在修补时限内调配压路机且坑槽开挖作业面满足压路机最小作业宽度要求(1.3m)等设备

#### 6.7.2 压实层数应符合以下规定：

1 坑槽深度在 8cm 以下时，应根据混合料类型、压实机具、摊铺层数等采取单层压实或双层压实的方式。

2 坑槽深度在 8cm 及以上时，必须采取双层压实的方式，每层的压实厚度应与铣刨开挖的分层厚度相匹配，上下压实层的搭接宽度为 20~40cm。

**6.7.3** 采用平板夯碾压时应全程振压，每层碾压遍数不得少于 6 遍，坑槽边缘应多碾压 2 遍。

#### 6.7.4 当采用压路机碾压时，压实工艺应符合以下规定：

- 1 每层碾压遍数不得少于 4 遍，且坑槽边缘应多碾压 2 遍。
- 2 压实工艺通常采用 1 遍静压—3 遍振压—1 遍静压的方式进行碾压，具体可根

据混合料类型、压实厚度不同进行适当调整。

3 碾压时应根据混合料层厚选择不同振幅和频率。对应不同碾压厚度的振动压路机参数应符合表 6.7.4 规定。

表 6.7.4 不同碾压厚度对应的振动压路机参数

碾压层厚度(cm)	参数选择原则	振频(Hz)	振幅(mm)
3~4	高频低幅	45~60	0.35~0.6
5~7	低频高幅	35~45	0.6~0.8

4 操作压路机碾压时，应开启喷水装置。

6.7.5 碾压时先压实坑槽边缘的修补材料，再压实中间的修补材料，并连续不断地向边缘移动压实，压路机（或平板夯）轮迹重叠  $1/3 \sim 1/2$  的碾压宽度。

6.7.6 压实后的修补路面应略高于原路面，控制量为不大于 5mm。

## 6.8 封边整修

6.8.1 封边材料宜与裂缝填封材料类似，可根据现场选用的冷补混合料的类型使用相应的冷补液。

表 6.8.1 封边材料

材料类型	材料明细
裂缝填封材料	压缝带；灌缝胶；热沥青
冷补液	稀释沥青；反应型冷补液

条文说明：

为了提高坑槽边缘新旧料接缝的密实度和密封性，除应急冷补外必须对接缝处进行封边处理。

6.8.2 用压缝带封边应符合以下规定：

1 粘贴压缝带须保持顺直、等宽、等厚，宽度控制在 3.5~4cm。

2 沿接缝位置将压缝带贴于缝口，待压缝带表面变得油滑后进行粘贴。

3 贴缝后，应采用滚轮式压带机沿贴缝带轮迹碾压 2~3 遍；同时采用小型双钢轮压路机对封边进行定型。

条文说明：

根据现场施工天气、封边材料是否自粘等情况确定是否须采用喷火枪将压缝带加热。

**6.8.3** 采用热沥青封边应符合以下规定：

- 1 现场加热沥青使其呈流动态
- 2 采用专用灌缝机时应沿坑槽与原路面接缝边缘灌注热沥青。
- 3 人工灌缝时应避免热沥青滴落于原路面或坑槽修补范围内。

**6.8.4** 采用灌缝胶、稀释沥青、反应型冷补液等材料封边应符合以下规定：

- 1 沿坑槽修补边缘进行人工灌缝，避免材料滴落于原路面或坑槽修补范围内。
- 2 采用反应型冷补液封边时，灌缝后可在整个修补表面上均匀覆盖一薄层干净细砂或石屑
- 3 灌注后的接缝应饱满、顺直、等宽、等高，封边后高度与原路面齐平。

条文说明：

覆盖细砂或石屑能够防止封边材料出现轮印或引起溜滑等问题，且细料填满表面空隙，使混合料更加密实，加快乳化沥青破乳速度，有助于形成强度，缩短开放时间。

## 6.9 开放交通

坑槽修补完成 2 小时（应急冷补则为 1 小时），应按《公路养护安全作业规程》（JTG H30）中的要求，人员、设备、标志、标牌按顺序安全撤离施工现场并开放交通。

## 7 质量管理与检查验收

### 7.1 一般规定

7.1.1 坑槽冷补检查宜以一周为单位进行验收。

7.1.2 日常修补应对原材料及混合料质量进行检查，应急修补应对原材料质量进行检查。

### 7.2 原材料及混合料质量检查

7.2.1 施工前应对原材料进行抽检，检查内容及要求应符合表 7.2.1 要求。

表 7.2.1 坑槽冷补施工前的原材料质量检查要求

材料类型	材料	检查项目	要求	检查频率
溶剂型冷补混合料	沥青	《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40)规定的道路石油沥青技术指标	符合规范及本规程要求	每批来料一次
	稀释剂、添加剂	须提供产品检验及合格报告		
	粗集料	《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40)规定的检测项目		
	细集料	《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40)规定的检测项目		
反应型冷补混合料	反应物质 A	表 4.3.1 中的检测项目	符合规范及本规程要求	每批来料一次
	反应物质 B	表 4.3.2 中的检测项目		
	粗集料	《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40)规定的检测项目		
	细集料	《公路沥青路面施工技术规范》(JTG		

		F40-2004)规定的检测项目		
	矿粉	《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004)规定的检测项目		
	粘层油	表 4.6.2 中的检测项目		

条文说明:

对集料以同一料源、同一次购入并运至生产现场的相同规格品种的集料为一“批”，对冷补液、乳化沥青是指从同一来源、同一次购入且储入同一沥青罐的同一规格的冷补液、乳化沥青为一“批”。对其余材料是指从同一来源、同一次购入的材料为一“批”。

**7.2.2** 对于现场拌和的冷料混合料，施工过程中，应按附录 A 方法对冷补混合料沥青用量进行检测。检测结果合格后方可使用。

**7.2.3** 施工过程中，应按《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40)对冷补混合料质量进行检验。检测结果合格后方可使用。

### 7.3 施工质量检查与验收

**7.3.1** 坑槽冷补质量验收标准应符合表 7.3.1 规定。

表 7.3.1 坑槽冷补质量验收标准

项次	检测项目	规定值	检测方法	频率
1	平整度(最大间隙)	≤5mm	3m 直尺	抽查 50%
2	压实度	≥试验室标准密度 80%	T 0924	抽查 50%
3	封边	顺直饱满，压缝带宽度+10mm	直尺	100%
4	外观	光洁、平整，坑穴四周和边角 压实良好、无松散	目测	100%

## 附录 A 冷补混合料沥青用量检测方法

### A.1 目的与适用范围

A.1.1 测定施工过程中冷补混合料的沥青用量。

A.1.2 本方法用于冷补混合料配合比设计的路用性能验证。

### A.2 仪器与材料

A.2.1 数张标准尺寸的 A4 纸（尺寸 210mm×297mm，单张质量不小于 80g）。

A.2.2 塑胶手套。

### A.3 滚动法

A.3.1 将拌和好的混合料取 50~100g，放在一张 A4 纸的中部位置，双手捏着 A4 纸两边，来回滚动 2~3 次。

A.3.2 当混合料在纸上来回滚动 2~3 次后能在纸上留下均匀的油斑点，即为沥青用量合适；若在纸上有油团出现，说明沥青用量过多；若无油斑或不均匀，则说明沥青用量过少。

### A.4 手捏法

A.4.1 戴上手套，抓一把混合料轻轻一捏，观察混合料形态的变化；

A.4.2 若混合料能粘成团块，松手后而不松散，说明沥青用量合适；若捏不成团块，或轻轻拍打成团即松散，说明沥青用量过少。

## A.5 贴纸法

A.5.1 用一张干净的 A4 纸，贴在拌和好的混合料上，用手轻轻压 2~3 次，拿起白纸观察纸上的情况；

A.5.2 纸上留下均匀的油斑点，即为沥青用量合适；若在纸上有油团出现，说明沥青用量过多；若无油斑或不均匀，则说明沥青用量过少。



(a)油石比偏小

(b)油石比适当

(c)油石比偏大

图 A.5.2 贴纸法试验结果判定

## 附录 B 溶剂型冷补混合料室内性能试验

### B.1 粘聚力试验

#### B.1.1 试验方法

##### 1 试件拌制

将粗细集料置于沥青混合料拌和锅中拌和 90s，然后按比例加入溶剂型冷补液，拌和时间设定为 90s，即制得溶剂型混合料。

##### 2 试件成型与粘聚力试验

将溶剂型冷补沥青混合料 800g 装入马歇尔试模中，放入 4℃恒温室中 2~3h，取出后双面各击实 5 次，制作试件，脱模后称取试件质量  $m_0$ ；将试件放置于标准筛上，使试件直立并沿筛框来回滚动 20 次，取出剩余最大块，称取质量  $m_1$ ，按式 (B-1) 计算试件的破损率  $P_1$ 。

$$P_1 = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100\% \quad \text{式 (B-1)}$$

式中  $m_0$ ——脱模后试件质量，g；

$m_1$ ——滚筛后剩余最大块试件质量，g；

$P_1$ ——试件破损率，%。

#### B.1.2 报告

同一试样平行试验 3 次，取 3 次的平均值为试验结果，准确至 0.1%。

报告应记述下列事项：

- 1 混合料配方；
- 2 试验温度；

3 混合料脱模后和滚筛后的质量、试件破损率，并描述滚筛后试样的破坏状态。

## B.2 初始强度

### B.2.1 试验方法

#### 1 试件拌制

将粗细集料置于沥青混合料拌和锅中常温拌和 90s，然后按比例加入溶剂型冷补液，拌和时间设定为 90s，即制得溶剂型混合料。

#### 2 试件成型与马歇尔试验

取溶剂型冷补混合料约 1100g 左右（以控制试件高度  $63.5 \pm 1.5\text{mm}$  为标准）装入马歇尔试模中，在常温下双面各击实 75 次，在常温下竖立放置 4h 后脱模，立即测定试件的马歇尔稳定度，即为其初始强度。

### B.2.2 报告

当一级测定值中某个测定值与平均值之差大于标准差的  $k$  倍时，该测定值应予舍弃，并以其余测定值的平均值作为试验结果。当试件数目为 3、4、5、6 个时， $k$  值分别为 1.15、1.46、1.67、1.82。

报告应记述下列事项：

- 1 混合料配方；
- 2 试验温度；
- 3 马歇尔稳定度。

## B.3 成型强度

### B.3.1 试验方法

#### 1 试件拌制

将粗细集料置于沥青混合料拌和锅中常温拌和 90s，然后按比例加入溶剂型冷补液，

拌和时间设定为 90s，即制得溶剂型混合料。

## 2 试件成型与马歇尔试验

取溶剂型冷补沥青混合料约 1100g(以控制击实后试件高度在  $63.5\pm 1.5\text{mm}$  为标准)装入马歇尔试模中，双面各击实 50 次，连同试模一起以侧面竖立方式置于  $60^{\circ}\text{C}$ 烘箱中养生 24h，取出后再双面各击实 25 次，再连同试模在常温下中竖立放置 24h，脱模后在  $60^{\circ}\text{C}$ 恒温水槽中养生 30min，进行马歇尔试验，测得的马歇尔稳定度即为成型强度。

### B.3.2 报告

当一级测定值中某个测定值与平均值之差大于标准差的  $k$  倍时，该测定值应予舍弃，并以其余测定值的平均值作为试验结果。当试件数目为 3、4、5、6 个时， $k$  值分别为 1.15、1.46、1.67、1.82。

报告应记述下列事项：

- 1 混合料配方；
- 2 试验温度；
- 3 马歇尔稳定度。

## B.4 拌和试验

### B.4.1 试验方法

按冷补混合料总质量为 1100g 控制，称取指定配合比下的各档矿料质量、溶剂型冷补沥青液质量一起倒入平底盆中拌和。用拌和铲沿顺时针均匀拌和，一般总拌和时间不超过 40s。观察混合料的拌和状态。

### B.4.2 报告

同一试样平行试验 2 次。

报告应记述下列事项：

- 1 混合料配方；
- 2 试验温度；
- 3 描述混合料的拌和状态。

## B.5 可击实时间

### B.5.1 试验方法

在溶剂型冷补沥青液最佳用量，拌和时间设定为 40s，拌制冷补沥青混合料；拌和结束之后，将冷补混合料分成 8 份，装入密封袋内，密封保存；每隔 1 小时打开一袋，观察混合料有无团结发硬的现象，是否可以击实。记录当混合料可击实状态为如附表 B.5.1 所示的状态 3 的时间为可击实时间。

附表 B.5.1 溶剂型冷补混合料可拌和状态判定

可击实状态	现象
1	混合料基本保持刚拌和出来的性质，完全可击实，没有结团结块发硬的现象；
2	混合料基本保持刚拌和出来的性质，完全可击实，没有结团结块的现象
3	混合料有少量发硬现象，但可击实
4	混合料基本结团结块，粘聚性基本丧失

### B.5.2 报告

每个时间段平行观察 2 份试样。

报告应记述下列事项：

- 1 混合料配方；
- 2 试验温度；
- 3 描述混合料在各个观察时间段的可击实状态；
- 4 记录混合料的可击实时间。

## B.6 车辙试验

### B.6.1 试件准备

将常温下拌和均匀的溶剂型冷补混合料放入试模中进行碾压成型，碾压分两次进行，首次碾压 8 个往返后，然后置于  $110\pm 2^{\circ}\text{C}$  恒温箱中养生 24h 后再次碾压 4 个往返，再次碾压后的试件置于常温条件下放置 24h。每组条件下的车辙板至少 3 个。

### B.6.2 试验方法

将在通风干燥环境下存放一定时间的车辙试件连同试模一起，放置在已达到实验温度  $40^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$  的恒温室中，保温大于 5h，但不能超过 24h。在试验轮行走轨迹外放置热电偶温度计，当试件温度达到  $40^{\circ}\text{C}$  左右时，将试件连同试模放置在车辙实验机的实验台上，试验轮在试件中部，其行走方向必须与车辙试件碾压方向一致。开动车辙形自动记录，然后启动试验机，使试验轮往返行走，时间约为 1h 或最大变形量达到 25mm 为止。

### B.6.3 报告

同一试验条件至少平行试验 3 个试件。当 3 个试件动稳定度变异系数不大于 20% 时，取其平均值作为试验结果；变异系数大于 20% 时应分析原因，并追加试验。

报告应记述下列事项：

- 1 混合料配方；
- 2 试验温度、试验轮接地压强；
- 3 各试验条件下混合料的动稳定度。

## 附录 C 反应型冷补混合料室内性能试验

### C.1 初始强度

#### C.1.1 试验方法

##### 1 试件拌制

先将粗细集料置于沥青混合料拌和锅中常温拌和 90s；再按一定比例注入反应型冷补液拌和 90s；加入填料拌和 90s，即制得反应型冷补混合料。

##### 2 试件成型与马歇尔试验

取反应型冷补混合料约 1100g 左右（以控制试件高度  $63.5 \pm 1.5\text{mm}$  为标准）装入马歇尔试模中，在常温下双面各击实 75 次，击实成型后在常温下竖立放置 2h 后脱模，于常温下测定试件的马歇尔稳定度，即为其初始强度。

#### C.1.2 报告

当一级测定值中某个测定值与平均值之差大于标准差的  $k$  倍时，该测定值应予舍弃，并以其余测定值的平均值作为试验结果。当试件数目为 3、4、5、6 个时， $k$  值分别为 1.15、1.46、1.67、1.82。

报告应记述下列事项：

- 1 混合料配方；
- 2 试验温度；
- 3 马歇尔稳定度。

## C.2 成型强度

### C.2.1 试验方法

#### 1 试件拌制

先将粗细集料置于沥青混合料拌和锅中常温拌和 90s（不加热）；再按一定比例注入反应型冷补液拌和 90s；加入填料拌和 90s，即制得反应型冷补混合料。

#### 2 试件成型与马歇尔试验

取反应型冷补沥青混合料约 1100g（以控制击实后试件高度在  $63.5 \pm 1.5\text{mm}$  为标准）装入马歇尔试模中，双面各击实 75 次，连同试模一起以侧面竖立方式置于常温下养生 48h，脱模后在  $60^\circ\text{C}$  水槽中养生 30min 后进行马歇尔试验，测得的马歇尔稳定度即为成型强度。

### C.2.2 报告

当一级测定值中某个测定值与平均值之差大于标准差的  $k$  倍时，该测定值应予舍弃，并以其余测定值的平均值作为试验结果。当试件数目为 3、4、5、6 个时， $k$  值分别为 1.15、1.46、1.67、1.82。

报告应记述下列事项：

- 1 混合料配方；
- 2 试验温度；
- 3 马歇尔稳定度。

## C.3 拌和试验

### C.3.1 试验方法

按反应型冷补混合料总质量为 1100g 控制，称取指定配合比下的各档矿料、反应型冷补液，加入反应型冷补液及矿粉，一起在平底盆中拌和。用拌和铲沿顺时针均匀拌和。观察混合料的拌和状态。

### C.3.2 报告

同一试样平行试验 2 次。

报告应记述下列事项：

- 1 混合料配方；
- 2 试验温度；
- 3 描述混合料的拌和状态。

### C.4 车辙试验

#### C.4.1 试件成型

将拌和均匀的反应型冷补混合料放入试模中进行碾压成型，碾压分两次进行，首次碾压 7 个往返后，然后置于  $60\pm 2^{\circ}\text{C}$  恒温箱中养生 24h 后再次碾压 5 个往返，再次碾压后的试件置于常温条件下放置 24h。

#### C.4.2 试验方法

按《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20-2011) T 0719 方法进行车辙试验。

#### C.4.3 报告

同一沥青混合料或同一路段路面，至少平行试验 3 个试件。当 3 个试件动稳定度变异系数不大于 20% 时，取其平均值作为试验结果；变异系数大于 20% 时应分析原因，并追加试验。如计算动稳定度值大于 6000 次/mm，记作：>6000 次/mm。

报告应记述下列事项：

- 1 混合料配方；
- 2 试验温度；
- 3 试验轮接地压强；

4 试件制作方法。

征求意见稿

## 附录 D 反应型冷补液容留时间试验

### D.1 目的与适用范围

D.1.1 测定反应型冷补液的黏度曲线。

D.1.2 确定反应型冷补液凝胶之前的允许施工时间。

### D.2 仪器与材料

D.2.1 布洛克菲尔德黏度计。

D.2.2 标准温度计：分度值 0.1°C。

D.2.3 秒表。

D.2.4 反应物质 A、反应物质 B、添加剂。

### D.3 试验步骤

D.3.1 调试仪器：仪器在安装时必须调至水平，使用前应检查仪器的水准器气泡是否对中。。

D.3.2 根据估计的沥青黏度，按仪器说明书规定的不同型号和转子所适用的速率和黏度范围，选择适宜的转子。

D.3.3 取出反应型冷补液，适当搅拌，按转子型号要求的体积向黏度计的盛样筒中添加试样。加入试样后的液面应符合不同型号转子的规定要求。

D.3.4 按仪器说明书的要求选择转子速率，向黏度计中加入一定比例的反应物质 B，同时开动布洛克菲尔德黏度计，观察读数，扭矩读数应在 10%~98%范围内。

D.3.5 观察黏度变化，当小数点后面 2 位读数稳定后，在每个试验温度下，每隔 60s 读数一次，连续读数 3 次，以 3 次读数的平均值作为测定值。

D.3.6 记录读数达到 1Pa.s 的时间，作为容留时间。

#### D.4 报告

同一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。重复性试验的允许误差为平均值的 3.5%。

报告应记述下列事项：

- 1 试验温度；
- 2 转子型号和转速；
- 3 黏温曲线；
- 4 容留时间。

征求意见稿

## 附录 E 溶剂型冷补混合料配合比设计示例

### E.1 原材料试验

#### E.1.1 粗集料

LB-13 混合料的所用粗集料为 10~15mm、5~10mm 及 3~5mm 玄武岩，集料的测试结果如附表 E.1.1 所示。

表 E.1.1 粗集料试验结果

检测项目	单位	技术要求	10~15mm	5~10mm	3~5mm	试验方法
集料压碎值，不大于	%	26	12.4	—	—	T 0316
洛杉矶磨耗损失，不大于	%	28	15.9	—	—	T 0317
毛体积相对密度		/	2.682	2.670	2.660	T 0304
表观相对密度，不小于		2.60	2.727	2.724	2.734	T 0304
吸水率，不大于	%	2.0	0.40	0.48	0.63	T 0304
坚固性，不大于	%	12	1.4	1.6	2.2	T 0314
针片状颗粒(3: 1)含量，不大于		15	5.3	5.4	6.3	
其中粒径大于 9.5mm，不大于	%	12	3.7	4.2	4.2	T 0312
其中粒径小于 9.5mm，不大于		18	2.9	3.7	6.1	
水洗法<0.075mm 颗粒含量，不大于	%	1	0.5	0.6	0.8	T 0310
软石含量，不大于	%	3	0.3	0.5	1.1	T 0320

#### E.1.2 细集料

细集料采用 0~3mm 玄武岩，试验结果如表 E.1.2 所示。

表 E.1.2 细集料试验结果

项目	单位	试验结果	技术要求	试验方法
表观相对密度不小于	--	2.948	2.50	T 0328

砂当量不小于	%	91.5	60	T 0334
亚甲蓝值不大于	g/kg	4.0	10	T 0349
含泥量不大于	%	1.2	3	T 0333
坚固性不小于	%	22	12	T 0340
棱角性不小于	s	43	30	T 0333

### E.1.3 沥青

使用的沥青为 70#A 级道路石油沥青，其试验结果见下表 E.1.3。

表 E.1.3 沥青试验结果

试验项目	技术要求	试验结果	试验标准
针入度(25°C, 5s, 100g) (0.1mm)	60~80	72	T0604-2011
15°C延度 (cm)	≥100	>100	T0605-2011
软化点(°C)	≥45	47.0	T0606-2011
闪点(°C)	≥260	297	T0611-2011
15°C相对密度	—	1.008	T0603-2011
溶解度(三氯乙烯)	≥99.5	99.88	T0607-2011
蜡含量(蒸馏法)	≤2.2	1.8	T0615-2011
TFOT (或 RTFOT) 后残留物			
质量损失(%)	≤±0.8	-0.178	T0610-2011
针入度比(25°C,5s, 100g) (%)	≥61	65.0	T0604-2011
10°C延度(cm)	≥6	11	T0605-2011

**E.2 溶剂型冷补沥青液使用合格供应商提供的成品，不单独配制。**

### E.3 矿料级配设计

#### E.3.1 矿料筛分

各档集料的筛分结果如表 E.3.1 所示。

表 E.3.1 矿料筛分结果

矿料规格(mm)	通过下列筛孔(mm)的通过率(%)									
	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	.075
10~15	100	73.5	5.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5~10	100	100	97.4	0.4	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
3~5	100	100	100	90.6	1.7	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7
0~3	100	100	100	99.9	84.9	44.0	25.5	14.6	9.7	6.9

## E.3.2 级配设计

在 LB-13 级配范围要求初拟 3 组级配，各组级配各档料的比例如表 E.3.2-1~表 E.3.2-2。

表 E.3.2-1 初选级配各档料比例

矿料规格(mm)		混合料类型			
		10~15	5~10	3~5	0~3
LB-13	级配 1	6	57	7	30
	级配 2	14	50	10	26
	级配 3	10	40	16	34

表 E.3.2-2 混合料初选级配

筛孔尺寸/mm	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
级配									5
级配 1	98.4	92.8	36.5	25.6	13.3	7.8	4.4	3.0	2.2
级配 2	96.3	85.4	35.2	22.3	11.6	6.8	3.8	2.6	1.8
级配 3	97.3	89.5	48.6	29.2	15.2	8.8	5.1	3.4	2.4

初选 4.5% 的沥青用量，分别制作 3 组初选级配的马歇尔试件，测定粘聚力、初期强度与成型强度，结果如表 E.3.2-3 所示。

表 E.3.2-3 3 组级配初选试验结果

评价性能	指标	试验结果			要求
		级配 1	级配 2	级配 3	
粘聚力	破损率/%	25.2	18.5	19.4	≤20%
初始强度	初期马歇尔稳定度/kN	2.4	4.6	3.1	>3kN
成型强度	成型马歇尔稳定度/kN	10.4	14.6	12.2	>10kN

由表 E.3.2-3 试验结果知，级配 2 各项技术指标均满足要求，因此初选级配 2 作为设计级配。

#### E.4 溶剂型冷补沥青液最佳用量

##### E.4.1 计算经验最佳溶剂型沥青冷补液用量

$$P = 0.021 \times 77.706 \times 0.056 \times 18.418 \times 0.099 \times 2.012 \times 0.12 \times 1.864 \times 1.5 \times 4.586\%$$

E.4.2 试验测溶剂型冷补沥青液的蒸馏后残留物含量  $P_R$  为 68%，计算溶剂型冷补沥青液的理论最佳用量： $P_a = 4.568 / 0.68 = 6.718\%$ 。

E.4.3 以 6.7% 为中值，按 0.5% 的用量比间隔，取 5 个沥青用量，进行各用量下的拌和试验、成型强度试验，试验结果如表 E.4.3-1~表 E.4.3-2 所示。

表 E.4.3-1 不同溶剂型冷补沥青液用量混合料工作性观测

冷补沥青液用量/%	观测结果
5.7	混合料干涩，疏松性很好，但颗粒间粘结力较小，难以成型
6.2	混合料较为松散，疏松性较好，成型效果较好
6.7	混合料用油量适中，疏松性适中，成型效果较好
7.2	混合料油膜较厚，小块结团
7.7	混合料结团且难以分散

表 E.4.3-2 不同溶剂型冷补沥青液用量混合料马歇尔稳定度结果

冷补沥青液用量/%	5.7	6.2	6.7	7.2	7.7
成型强度/kN	13.28	17.11	16.53	16.01	14.86

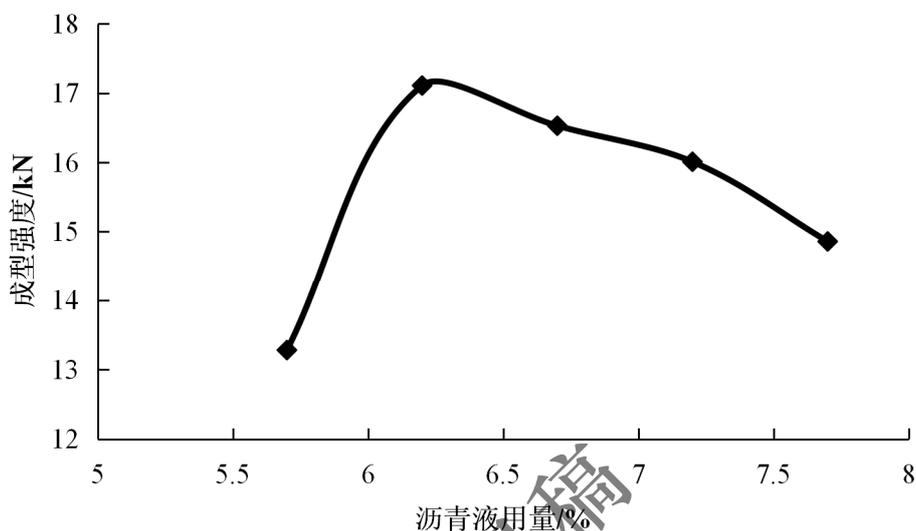


图 E.4.3 溶剂型冷补沥青液用量与混合料成型强度关系图

由表 E.4.3-2 可知, 5.7%、6.2%、6.7%三组混合料拌和后仍具有一定的疏松性, 无结团现象, 而对于 7.2%和 7.7%则由于沥青液用量过大, 混合料出现不同程度的结团现象, 工作性降低。随着沥青液用量的增加, 混合料成型强度呈先增后减趋势, 当冷补沥青液用量为 6.2%时, 混合料的成型强度达到最大值。综合考虑混合料工作性及成型强度, 确定溶剂型冷补沥青液用量为 6.7%。

## E.5 路用性能验证

在 6.7%最佳溶剂型冷补沥青液用量条件下, 进行相关路用性能试验, 结果如表 E.5。

表 E.5 最佳沥青冷补液条件下的冷补料路用性能试验结果

路用性能	评价方法	技术指标要求	试验结果
粘聚性	粘聚性试验	<20%	14.8%
初始强度	初始强度	>3kN	3.25
成型强度	成型强度	>10kN	17.32

高温稳定性	车辙试验动稳定度 (40°C±1°C)	>5000 次/mm	5342
水稳定性	粘附性	≥4 级	5 级
	浸水残留稳定度	≥75%	83.4

由此可见, 在最佳溶剂型冷补沥青液 6.7% 下, LB-13 混合料性能满足要求。

征求意见稿

## 附录 F 反应型冷补混合料配合比设计示例

### F.1 原材料试验

#### F.1.1 集料

粗、细集料原材料试验同附录 E，不再重复。

#### F.1.2 矿粉

矿粉的试验结果如表 F.1 所示。

表 F.1.2 矿粉技术指标试验结果

指标		试验结果	技术要求
表观相对密度		2.710	不小于 2.50
含水量/%		0.1	不大于 1
粒度范围/%	<0.6mm	100	100
	<0.15mm	99.8	90~100
	<0.075mm	98.7	75~100
外观		无团粒结块	无团粒结块
亲水系数		0.83	<1
塑性指数/%		3.1	<4
加热安定性		无明显变化	实测记录

#### F.1.3 反应型冷补液

反应型冷补液使用合格供应商提供的成品，不单独配制。对成品反应型冷补液按 T0625 的方法进行 40℃条件下的布氏黏度试验，满足容留时间>18min 的要求，可使用。

### F.2 矿料级配设计

#### F.2.1 确定基准级配

在设计级配范围内调试 1 组符合要求的矿料级配作为基准级配，如表 F.2.1

所示。

表 F.2.1 基准级配各矿粉比例

各档料掺配比例/%	矿料规格	10~15mm		5~10mm		3~5mm		0~3mm		矿粉	
	级配	24		37		11		26		2	
合成级配	筛孔/mm	合成后各筛孔尺寸的通过百分率/%									
	级配	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
	基准级配	100	98.4	92.8	36.5	25.6	13.3	7.77	4.43	2.96	2.119
规范范围	上限	100	100	95	60	40	20	15	12	8	5
	下限	100	90	60	30	10	5	0	0	0	0

### F.3 反应型冷补液理论最佳用量

F.3.1 根据基准级配的设计结果，计算经验最佳反应型冷补液用量：

$$G = 0.06 \times 74.354 + 0.12 \times 23.527 + 0.2 \times 2.119 + 7.7\%$$

F.3.2 以计算的反应型冷补液理论最佳用量 7.7% 为中值，按 0.5% 的用量比间隔，取 5 个不同的沥青用量，分别进行各用量条件下的成型强度试验，结果如表 F.3 所示。

表 F.3.2 不同反应型冷补液用量下成型强度

不同反应型冷补液用量/%	6.7	7.2	7.7	8.2	8.8
成型强度/kN	25.00	31.81	38.89	39.11	38.89

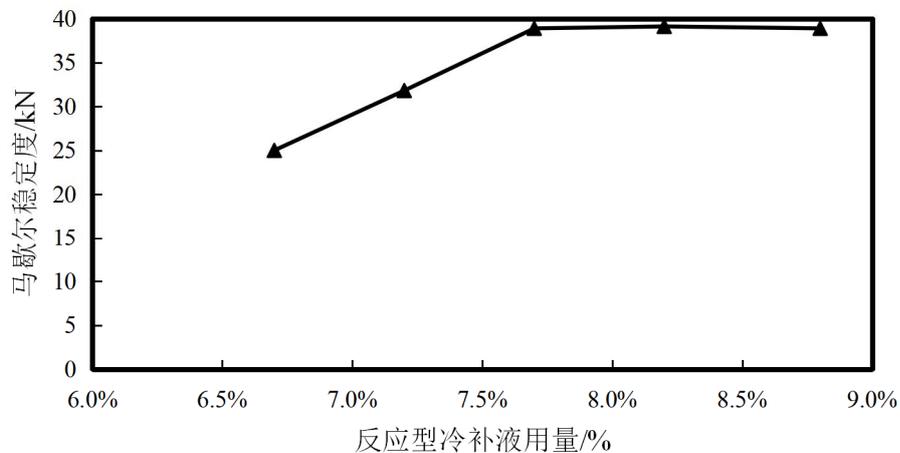


图 F.3.2 反应型冷补液用量与混合料成型强度关系图

由图 F.3.2 可知，随着反应型冷补液用量的增加，反应型冷补混合料的马歇尔稳定度呈先增大而后趋于平稳的趋势。反应型冷补液用量太少，胶结料不能很好地裹覆集料，存在花白料导致体系整体性差，强度较低；用量过大，施工和易性较好，整体强度的增长已趋于平缓，表现为胶结料过多，经济性较差。综上，确定 7.2% 为反应型冷补液最佳用量。

#### F.4 路用性能验证

在 7.2% 反应型冷补液最佳用量条件下，进行相关路用性能试验，结果如表 F.4。

表 F.4 反应型冷补液最佳用量下的冷补料路用性能试验结果

项目	评价方法	技术要求	试验结果
马歇尔试验	初始强度	>6kN	6.67
	成型强度	>15kN	29.76
车辙试验	动稳定度(60°C)	>5000 次/mm	5369
水稳定性	与集料的粘附性	≥4 级	5 级
	残留稳定度	≥80%	92.5%

由此可见，在反应型冷补液最佳用量 7.2% 下，LB-13 混合料性能满足要求。