

# 冷补沥青混合料性能评价及技术要求

李峰<sup>1,2</sup>, 黄颂昌<sup>2</sup>, 徐剑<sup>2</sup>, 秦永春<sup>2</sup>

(1. 同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804; 2. 交通运输部公路科学研究院, 北京 100088)

**摘要:** 针对冷补沥青混合料技术应用中存在的施工和易性和路面耐久性的矛盾, 参考国内外相关资料和研究成果, 制定了粘附性试验、贯入试验、粘聚性试验、修正马歇尔试验 4 个评价方法。变化隔离剂的掺量, 选择 3 种添加剂和 2 种矿料级配, 配制了若干种冷补料并进行了试验。分析试验结果, 指出冷补料性能评价应兼顾施工性能和马歇尔强度, 重视粘聚性能和水稳定性, 据此提出了冷补沥青混合料的评价指标和技术要求。

**关键词:** 道路工程; 冷补沥青混合料; 试验方法; 评价指标; 技术要求

中图分类号: U 414

文献标识码: A

## Performance Evaluation and Technical Requirements of Cold Patch Asphalt Mixture

LI Feng<sup>1,2</sup>, HUANG Songchan<sup>1</sup>, XU Jian<sup>1</sup>, QIN Yongchun<sup>2</sup>  
(1. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. Research Institute of Highway, Ministry of Transport, Beijing 100088, China)

**Abstract:** This paper presents four test methods, with emphasis on the contradiction of workability with durability, for evaluate performance of cold patch asphalt mixture based on related research at home and abroad. The methods are adhesion test, penetration test, cohesion test and modified Marshall test. Several kinds of cold mix with three additives and two material gradations are prepared by varying contents of separant, and then some tests are made. The test results show that both workability performance and Marshall strength should be taken into consideration, and attentions should be paid to the cohesion performance and moisture susceptibility in the evaluations of cold mix performance. At last, recommendations for evaluation indices and technical requirements of cold patch asphalt mixture are given.

**Key words:** road engineering; cold patch asphalt mixture; test methods; evaluation index; technical requirements

在道路养护工程中, 坑槽修补是一项重要的工作内容。路面坑槽修补可分为热补法和冷补法 2 种类型。相对于传统的热态、高温修补的热补方法而言, 采用常温或低温冷态材料进行修补的方法即为冷补, 其所用的修补材料即冷补沥青混合料, 简称冷补料。

目前, 国内外尚无成熟的冷补沥青混合料评价方法, 文献[1]虽然已经针对冷补沥青混合料技术提出了一些相应的试验方法和评价指标, 但仍不够系统和完整, 其适用性仍然存在不足之处。

## 1 相关研究背景

在国外, 使用最多、性能较好的冷补料通常都是各大品牌厂商进行商品化生产的、满足各自企业标准的产品, 这些企业标准定位于产品质量控制, 并不能等同于性能评价方法。

20 世纪 90 年代开始, 国内<sup>[2-6]</sup>陆续开展了冷补料的研究工作, 进行了一些小规模的生产 and 坑槽修补试验, 但是研究不够系统, 没有形成规模化的生产和应用。国内的评价体系基本上包括 3 个方面: ①马歇尔试验评价强度和水稳定性; ②经验方法评价施工性能; ③部分研究还进行了冻融劈裂试验、车辙试验等。

笔者认为, 国内冷补料性能评价试验本质上都是国内热拌沥青混合料马歇尔试验体系的外延, 特别地, 受热拌沥青混合料性能指标的影响, 存在轻视施工和易性能, 强调马歇尔稳定度来判别冷补料性能优劣的倾向。

## 2 试验方案

冷补沥青混合料的结合料称为冷补液, 冷补液一般由基质沥青、隔离剂和添加剂组成。基质沥青采用符合文献[1]规定的 A 级沥青, 为 SK-90。隔离剂

采用车用柴油, 为-10号柴油. 选择的冷补专用添加剂 LB 由多种聚合物组成, 常温下呈暗褐色、液态油状. LB 添加剂掺量质量分数为冷补液的 2%, 隔离剂掺入质量分数在 15%~27% 之间, 基质沥青作相应变化, 组成配方 L-1~L-5.

作为比较方案, 配方 N-1~N-2 不掺 LB 添加剂, 配方 S-1 和 S-2 分别为采用 SBR 胶乳和 SBS 沥青配制的冷补液, SBR 与基质沥青质量比为 4:100, SBS 改性沥青为国内常用的 PG70-28 成品沥青. 表 1 给出了上述 9 种配方.

集料采用北京昌平的南口石灰岩, 满足相关规范要求. 级配见表 2.

表 1 冷补液配方

Tab. 1 Cold patch asphalt formula

代号	添加剂	质量分数/ %		
		沥青	隔离剂	添加剂
L-1	LB	83.0	15.0	2.0
L-2	LB	80.0	18.0	2.0
L-3	LB	77.0	21.0	2.0
L-4	LB	74.0	24.0	2.0
L-5	LB	71.0	27.0	2.0
N-1		82.0	18.0	
N-2		79.0	21.0	
S-1	SBR	74.4	21.0	4.6
S-2	SBS	79.0	21.0	

表 2 冷补沥青混合料的矿料级配

Tab. 2 Cold patch asphalt mixture gradation

类型	通过筛孔的质量分数/ %									
	筛孔直径/ mm									
	16.000	13.200	9.500	4.750	2.360	1.180	0.600	0.300	0.150	0.075
LB-10		100	90~100	40~55	10~25	8~20	6~16	5~12	3~8	2~5
LB-13	100	90~100	70~85	35~50	10~25	8~20	6~16	5~12	3~8	2~5

### 3 试验方法

#### 3.1 结合料与集料的粘附性

冷补沥青混合料的结合料是冷补液, 冷补液的粘度较一般的沥青混合料结合料的粘度低很多. 而随着结合料粘度的降低, 结合料与石料的粘附性能也会受到影响, 因此, 对于冷补液这种低粘度的结合料而言, 它与集料的粘附性尤为重要.

冷补液与集料的粘附性试验通常采用冷补成品料或冷补液与级配集料按确定油石比拌和而成的混合料进行试验, 一般并不采用文献[7]中沥青与粗集料的粘附性试验. 冷补液与集料的粘附性试验目前在国内外并无统一的标准试验, 笔者经过试验建议采用水煮试验. 在 1 000 ml 的干净烧杯中注入 800 ml 左右蒸馏水, 加热至沸腾. 取 250 g 的冷补料放入沸水中, 试验时以每秒 1 周的速率用玻璃棒搅拌, 持续 3 min. 停止加热并将水面上漂浮的沥青撇去以免二次裹附. 将水冷却至室温, 倒掉水分并将湿混合料放到白纸上. 目测残留沥青裹附率. 国内外很多资料在粘附性能评价时采用目测残留沥青裹附率, 要求不小于 90%. 但是剥离面积的目测不可能精确至 1%, 故笔者建议评定等级的标准不采用剥离面积百分率, 仍按照文献[7]中沥青与

粗集料的粘附性试验中的沥青与集料粘附性等级来表示.

#### 3.2 贯入试验

贯入试验用于定量评价冷补料施工性能, 采用的贯入试验仪由测试盒、强度仪、适配器组成. 测试盒、适配器的示意图分别见图 1、图 2.

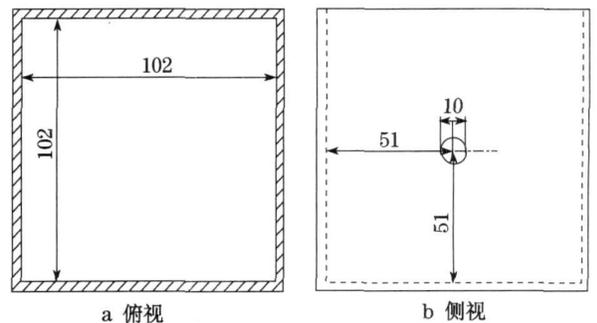


图 1 测试盒示意图(单位: mm)

Fig. 1 Test box(unit: mm)

试验步骤如下: ①将冷补料放入测试盒中装满, 注意松散放入, 勿需压实; ②置于 4 ℃ 的冰箱中保温 3 h 以上; ③将贯入头匀速完全插入测试盒侧壁的小孔中, 贯入过程持续时间为 3~5 s 左右, 记录贯入仪上的读数; ④取 3 个试件的平均值记为该冷补料的贯入强度.

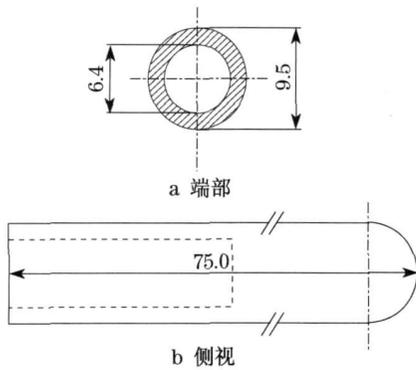


图 2 适配器示意图(单位:mm)

Fig. 2 Penetrometer adapter(unit: mm)

贯入试验在国内尚无相关应用的文献. 根据国外资料, 笔者开发了贯入试验仪, 如图 3 所示. 笔者推荐采用贯入试验作为评价冷补沥青混合料施工性能的标准试验方法, 该方法操作简便, 试验过程很快, 能够使冷补料在整个试验过程保持在同一温度,

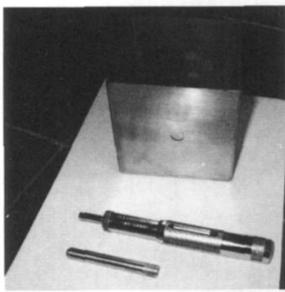


图 3 贯入试验仪

Fig. 3 Penetration test

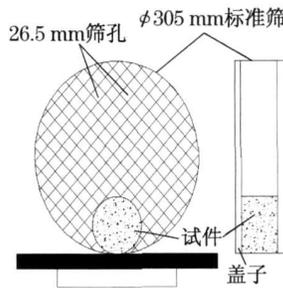


图 4 滚动试验示意图

Fig. 4 Cohesion test

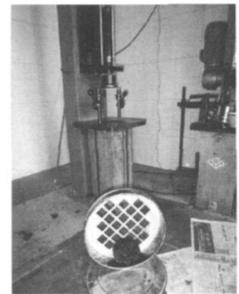


图 5 滚动试验仪器

Fig. 5 Rolling sieve and Marshall hammer

### 3.4 修正马歇尔试验

笔者提出的修正马歇尔试验方法如下: 取 1 100 g 左右的冷补料常温下装入马歇尔试模中, 双面击实各 25 次, 以侧面竖立放置 110 °C 烘箱中 24 h, 取出再双面各击实 25 次, 再置室温竖立放置 6 h 以上, 脱模后在 25 °C 恒温水槽中养生 60 min, 进行马歇尔试验.

残留稳定度用于评价冷补沥青混合料的水稳定性, 冷补料由于采用稀释沥青作为结合料, 所以水稳定性是其性能的薄弱环节. 采用上述成型马歇尔稳定度的试验方法, 改 25 °C 水浴时间为 48 h, 测其马歇尔稳定度. 残留稳定度为二者的比值.

## 4 试验结果与分析

### 4.1 粘附性试验

将表 1 中的 L-3, N-2, S-1 和 S-2 这 4 种冷补液配方分别与相同的级配料, 相同的油石比拌和后冷

使得试验结果可靠性大幅度增加.

### 3.3 粘聚性试验

冷补沥青混合料应具有良好的粘聚性能, 在常温或低温下施工完毕后, 能保证混合料颗粒之间相互紧密粘结在一起并成为整体, 粘聚性能实质上可以反映冷补料的初期强度.

粘聚性试验过程如下: 将一定量冷补料装入马歇尔试模中, 放在 4 °C 恒温室中 3 h 以上, 取出后双面击实各 5 次, 制作成马歇尔试件, 试件高度应满足 (51.0 ± 1.5) mm, 将其脱模后称重并迅速放在标准筛上, 标准筛底部为直径 305 mm、筛孔为 26.5 mm, 盖上盖. 将标准筛直立并使试件沿筛框来回滚动 20 次, 大约每秒 1 次, 然后放在桌子边缘 10 s, 并留有空隙使试件碎块通过筛孔, 轻击筛网, 打开盖, 称取最大碎块质量, 计算残留率. 图 4 为滚动试验示意图, 图 5 为滚动试验仪器.

却至常温, 进行粘附性能试验. 试验结果如图 6 所示, L-3, N-2, S-1 和 S-2 配方的冷补料粘附性能分

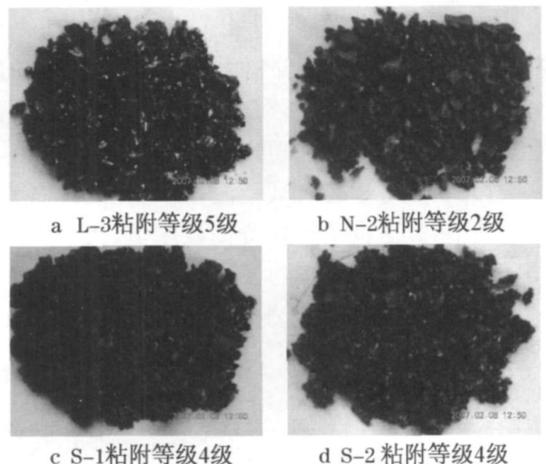


图 6 粘附性试验结果

Fig. 6 Results of adhesion test

别为 5, 2, 4 和 4 级, 即 4 种配方的性能优劣次序为: L-3 优于 S-1, S-1 与 S-2 近似相同, 但好于 N-2.

#### 4.2 贯入试验

采用 2 种级配分别为 LB-10 和 LB-13 中值、冷补液分别为表 1 的 L-1~L-5, S-1, S-2 配方. 两两组合后制作成冷补沥青混合料, 然后进行贯入试验, 所得结果如表 3 所示.

表 3 贯入强度试验结果

Tab. 3 Results of penetration tests

类型	L-1	L-2	L-3	L-4	L-5	S-1	S-2
LB-10	> 4.50	3.75	2.00	1.25	1.00	3.25	> 4.50
LB-13	4.00	3.75	2.00	1.75	1.25	3.00	> 4.50

从试验结果可以看出:

(1) S-1 和 S-2 冷补液配方和相同隔离剂比例的 L-3 冷补液比较, 贯入强度较大, 特别是 S-2 冷补液配制成冷补料, 贯入强度超出贯入测试仪量程. 这说明 S-1 冷补液配制的混合料施工性能较差, S-2 冷补液配制的混合料施工性能很差, 均不适合用于冷补料的生产.

(2) 实际生产中, L-1 冷补液添加质量分数 15% 隔离剂通常是南方夏季使用冷补料的隔离剂极限最低值, 即便在 40 °C 时手工试拌也比较困难, 在 4 °C 时试验结果超过量程. L-4 冷补液添加质量分数 24% 隔离剂通常是北方冬季使用冷补料的隔离剂极限最高值, 在接近 -10 °C 气温下可以进行手工试拌, 也就是说适用于低温施工. L-5 号冷补液添加质量分数 27% 隔离剂所得贯入强度非常小, 说明它的施工性能非常好, 但是与此同时粘聚性能、成型强度和水稳定性可能会受到较大的影响.

因此可以认为: 在满足相同施工性能条件下, SBR, SBS 添加剂用于冷补料生产需要比 LB 添加剂增加更多的隔离剂, 是很不经济的, 并且更多的隔离剂会影响使用性能和强度形成的时间.

文献[8-9]对贯入试验的技术要求均规定: 贯入强度在 3~4 之间为可接受的极限值, 大于 4 为不合格, 小于 3 为合格.

根据手工试拌和实际生产的经验, 结合美国文献

和本文的试验结果, 可以认为: 贯入强度大于 4.0 时, 表明该冷补料的施工性能很差, 不能满足低温或常温施工要求; 贯入强度小于 0.5 时, 表明该冷补料的初期强度较差, 不能满足施工后立即开发交通的要求. 故笔者建议贯入试验的评价指标定为贯入强度为 0.5~4.0, 夏季使用宜偏于高值, 冬季使用宜偏于小值.

#### 4.3 粘聚性试验

采用 2 种级配分别为 LB-10 和 LB-13 中值、冷补液分别为表 1 的 L-1~L-5 号配方. 两两组合后制作成冷补沥青混合料, 然后进行粘聚性试验, 所得残留率如表 4 所示.

表 4 粘聚性试验的残留率

Tab. 4 Results of cohesion tests

类型	L-1	L-2	L-3	L-4	L-5	%
LB-10	100.0	100.0	99.9	100.0	99.9	
LB-13	99.9	100.0	99.9	99.7	99.7	

从试验结果可以看出: 冷补料粘聚性能很好, 在试验过程中基本上很少有脱落现象.

文献[8]推荐残留率不小于 60%, 文献[1]中冷补料粘聚性试验的残留率也规定为不小于 60%. 但从笔者所采用的这种类型冷补料的试验结果来看, 粘聚性能非常好, 这说明不同类型冷补料的粘聚性能差别较大. 笔者建议粘聚性试验的残留率不小于 90%.

#### 4.4 修正马歇尔试验

采用 2 种级配分别为 LB-10, LB-13 中值、冷补液配方分别为表 1 的 L-1~L-5 和 N-1~N-2. 两两组合后制作成冷补沥青混合料, 然后进行修正马歇尔试验, 所得结果如表 5 所示.

本组试验结果显示马歇尔强度均大于 3 kN, 含有 LB 添加剂的 L-1~L-5 组试验的残留稳定度很高, 最低为 89.9%, 说明含有 LB 添加剂的冷补料具有优越的抗水损坏能力. N-1~N-2 冷补液不含 LB 添加剂, 浸水后沥青剥落现象比较明显, 残留稳定度相对较低. 根据试验结果, 笔者建议成型马歇尔强度规定为大于 3 kN, 冷补料的水稳定性非常重要, 规定残留稳定度大于 85%.

表 5 修正马歇尔试验结果

Tab. 5 Results of modified Marshall tests

类型	L-1	L-2	L-3	L-4	L-5	N-1	N-2
LB-10	6.74, 96.6	5.28, 89.9	4.61, 96.8	4.08, 96.0	3.68, 94.6	5.17, 89.3	3.89, 86.3
LB-13	5.81, 91.9	4.62, 94.3	4.53, 92.6	4.61, 106.0	3.73, 95.9	4.71, 92.7	4.33, 81.7

注: 逗号前表示马歇尔强度值, kN; 逗号后表示残留稳定度, %

## 5 评价指标及技术要求

在材料设计中, 增加隔离剂用量能提高施工和易性, 但同时会降低成型强度和水稳定性, 影响路面耐久性。掺加适当的添加剂, 可以在满足施工性能的同时, 提高水稳定性, 增强路面耐久性。

在进行性能评价时, 应该兼顾施工性能和马歇尔强度, 重视粘聚性能和水稳定性。笔者建议的冷补沥青混合料的技术要求如表 6 所示。

表 6 冷补沥青混合料性能评价指标

Tab. 6 Evaluation index of cold patch asphalt mixtures

试验名称	性能控制	技术要求
粘附性试验	粘附性	5 级
贯入试验	施工性能	0.5~4.0
粘聚性试验	粘聚力	≥90%
修正马歇尔试验	成型强度	≥3 MPa
	水稳定性	≥85%

## 6 结语

(1) 提出了冷补沥青混合料性能评价方法, 研制了若干种冷补料试验配方并进行了试验, 从中可以确定隔离剂的合理用量范围和添加剂的优劣。

(2) 针对冷补沥青混合料技术应用中的突出矛盾, 在进行性能评价时, 应该兼顾施工性能和马歇尔强度, 重视粘聚性能和水稳定性。

### 参考文献:

[1] 中华人民共和国交通部. JT G F40——2004 公路沥青路面施工技术规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.  
Ministry of Communications of P R China. JT G F40——2004

Technical specifications for construction of highway asphalt pavements[S]. Beijing: China Communications Press, 2004.

- [2] 杜鹃. 储存式冷铺沥青混合料的研究[D]. 西安: 长安大学公路学院, 2001.  
DU Juan. Research on cold stored asphalt mixtures[D]. Xi'an: Chang'an University. College of Highway Engineering, 2001.
- [3] 李强. 冷铺技术在新疆公路养护中的应用研究[D]. 长沙: 长沙理工大学交通运输工程学院, 2006.  
LI Qiang. Research on cold mix laid technique in xin jiang province road maintaining[D]. Changsha: Changsha University of Science & Technology. School of traffic and transportation, 2006.
- [4] 张涛. 冷拌冷铺沥青混合料的研究[D]. 重庆: 重庆大学土木工程学院, 2007.  
ZHANG Tao. Research on cold mix and cold laid mixture[D]. Chongqing: Chongqing University. School of Civil Engineering, 2007.
- [5] 杨扬. 寒区沥青砼路面坑槽冷补材料路面性能研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学土木工程学院, 2007.  
YANG Yang. Research on material performance of cold patch asphalt mixture in cold area[D]. Harbin: Northeast Forestry University. School of Civil Engineering, 2007.
- [6] 余世敏. 储存式冷铺沥青混合料的设计及应用研究[D]. 上海: 同济大学交通运输工程学院, 2008.  
YU Shimin. Design and application research of a warm mixed and cold paved asphalt mixture [D]. Shanghai: Tongji University. School of Transportation Engineering, 2008.
- [7] 中华人民共和国交通部. JT J052——2000 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S]. 北京: 人民交通出版社, 2000.  
Ministry of Communications of P R China. JT J052——2000 Standard test methods of bitumen and bituminous mixtures for highway engineering [S]. Beijing: China Communications Press, 2000.
- [8] Wilson T P, Romine A R. Materials and procedures for repair of potholes in asphalt-surfaced pavements[R]. Washington D C: U S Federal Highway Administration, 1999.
- [9] Berlin Marcus, Hunt Elizabeth. Asphalt concrete patching material evaluation [R]. Salem: Oregon Department of Transportation, 2001.