

# The Mix Design Method of Cold Recycling Technology

Chaosheng WU

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing, 400074, CHINA

**Abstract:** According to a lot of cold regeneration technology research literature, summarized the classification of the regeneration technology, as well as the advantages and applicability of all kinds of cold regeneration of cold regeneration technique. And emphatically studied the foamed asphalt cold regeneration, the emulsified asphalt cold regeneration, the two ash cold regeneration, the water stability of cold regeneration of mixture ratio design method. Evaluation method of old pavement materials, the dosage of the different kinds of cold regeneration of various materials and their properties, and the requirement of grading, the determination of optimum moisture content, as well as some specific research test method in common use, according to many literature obtained several kinds of cold recycled mixture ratio design of technical index requirements. Through induction and comparison, finally it is concluded that the difference and connection between different kinds of cold regeneration.

**Keywords:** Cold recycling; Mix proportion; Foamed asphalt; Emulsified asphalt

## 冷再生技术配合比设计方法

吴超盛

<sup>1</sup>重庆交通大学, 土木建筑学院, 重庆, 中国, 400041

**摘要:** 根据诸多冷再生技术研究的相关文献, 总结出再生技术的分类, 以及冷再生技术的优点与各类冷再生适用性范围。并着重研究了泡沫沥青冷再生, 乳化沥青冷再生, 二灰冷再生, 水稳冷再生的配合比设计方法。对旧路面材料的评价方法, 不同种类冷再生各种材料的用量与各自的性质, 对级配的要求, 最佳含水率的确定, 以及一些常用的试验方法进行了具体的研究, 根据诸多文献得出了几种冷再生配合比设计的技术指标要求。通过归纳与对比, 最终得出了不同种类冷再生之间的区别与联系。

**关键词:** 冷再生; 配合比; 泡沫沥青; 乳化沥青

### 1 引言

再生技术可以分为冷再生技术和热再生技术。冷再生按施工工艺可以分为厂拌冷再生和就地冷再生;按再生材料分可以分为二灰再生, 水稳再生, 乳化沥青冷再生和泡沫沥青冷再生等等。热再生可以分为厂拌热再生和就地热再生, 其中就地热再生可以分为复拌再生和加铺再生。

就地冷再生是利用现有的旧路材料(面层或部分基层), 根据设计级配是否需要加入部分新集料, 并按比例加入一定量的再生剂和添加剂, 在自然环境温度下完成旧路的铣刨及再生料的拌合、摊铺、碾压、成型的连续作业过程。

就地冷再生技术与传统的沥青路面养护维修方式相比, 能够缩短工期, 提高旧路等级, 节约原材料, 节省养护资金, 对交通影响小, 循环利用废料, 保护环境, 能彻底消除原面层的裂缝、车辙、拥包和松散

等病害, 同时还可以对基层病害进行适当处理。因而在环境, 经济, 社会诸多方面上具有优势。

不同材料, 不同方式的冷再生适应性不一样。水稳冷再生以水泥为添加剂的再生方式, 早期强度较高, 但其对运输和摊铺碾压时间要求较高, 对施工单位施工组织要求严格, 抗弯拉性能好, 抗渗度和抗冻性较好。适用于工期节点紧张的工程, 适合雨水多的地区, 新建高等级道路适合机械化施工的工程可以采用水泥稳定碎石基层。城市道路应用广泛; 二灰冷再生是以石灰和粉煤灰为再生的添加剂。二灰稳定碎石早期强度较低, 但后期强度增加较高, 但其抗水冲刷性能相对较差, 沥青路面开裂后较容易出现唧浆现象。适用于干旱地区的基层; 泡沫沥青冷再生胶结材料主要是泡沫沥青, 有的也添加了一定量的水泥和矿粉, 混合料具有较好的路用性能, 既可以用于厂拌冷再生, 也可以用于就地冷再生; 乳化沥青冷再生胶结料主要为水泥和乳化沥青, 一般只用于厂拌冷再生, 它适用

于常温下的沥青路面维修[1]。

## 2 冷再生技术配合比设计

### 2.1 对 RAP 材料进行评价

对原路面材料取样,对旧路面 RAP 进行的检测、试验,评价旧路面的结构情况与 RAP 集料组成情况。主要检测 RAP 的沥青含量,集料的含量,油石比,旧路面的级配情况,并测出含水率的大小。

还应该对旧沥青材料进行试验,判断试验指标针入度,软化点,延度是否能达到要求。沥青材料经过长期自然因素作用后,其中轻质油分减少,而相对胶质及沥青质增多,路用技术指标表现为:针入度下降、软化点上升和延度减少,与沥青初始性质相比,其脆性明显增强,这就使沥青路面变形能力逐渐降低,变得刚硬。回收沥青推荐指标要求如表 1 所示。

表 1. 回收沥青推荐指标要求

回收沥青	沥青指标要求
针入度(25℃) 0.1mm	60-80
软化点	大于 46
延度(15℃)	大于 100

### 2.2 新级配设计

根据设计要求与级配范围标准预估新集料的用量,从而进行级配设计。确定几组不同的级配方案。一般来说,由于路面长期使用,沥青路面在车辆荷载的冲击,震动,挤压作用下,矿质颗粒接触点处产生的挤压应力和剪切应力,有时可以超过砾石材料的极限强度,而使矿质颗粒发生破碎,导致粗集料减少,细集料增加,所以应该适当增加粗集料含量。二灰、水稳冷再生级配推荐表如表 2 所示。从图 1 可知:

(1)两种冷再生混合料 0.075mm 筛孔通过率的上下限相差 4%~12%,进一步说明细料对泡沫沥青强度形成的重要作用,与上述关于泡沫沥青强度形成机理的分析相吻合;

(2)两种冷再生混合料级配的控制筛孔相同,总体上泡沫沥青冷再生比乳化沥青冷再生混合料的级配要细,具体体现在 4.75mm 以下筛孔通过率整体偏大;4.75mm 以上筛孔基本相同,尤其 4.75mm 筛孔通过率的上下限重合,说明泡沫沥青冷再生在满足细料的基础上,粗料也需有一定的嵌挤,而乳化沥青冷再生则需要较多的粗集料[2];

(3)在级配设计时泡沫沥青再生不同于乳化沥青再生,泡沫沥青因为需要提高其分散程度。需要比乳化沥青更多的细料或填充料,级配宜采用密实级配,并应保证 0.075mm 筛孔的通过率大于 5%。

表 2. 二灰、水稳冷再生级配推荐表

筛孔尺度/mm	40	31.5	19	9.5
通过率(二灰)	100	90-100	83-98	55-80
通过率(水稳)	100	85-95	68-86	34-58
筛孔尺度/mm	4.75	2.36	0.6	0.075
通过率(二灰)	39-60	20-43	12-25	0-9
通过率(水稳)	22-43	16-32	8-16	0-4

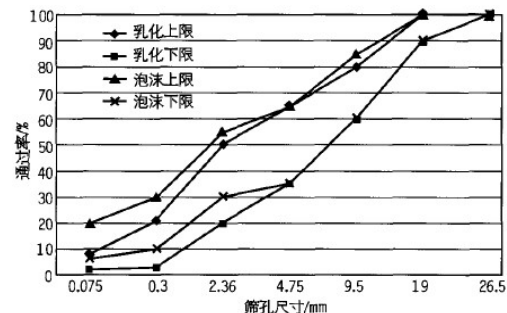


图 1. 泡沫沥青与乳化沥青级配范围图

### 2.3 添加剂总类选择与剂量选取

选择合适的添加剂,根据经验和实际情况,预先估计添加剂的用量,然后以此为中值,一般以 0.5% 作为中值的变化量,选择几组不同添加剂用量。添加剂的种类有很多,如水泥,或者石灰与粉煤灰,泡沫沥青,乳化沥青, SBS 改性沥青等等。下面讨论不同添加剂的性质与剂量使用。

#### 2.3.1 水泥为添加剂

试验符合要求后一般按照 4%~6% 每间隔 0.5% 作不同剂量冷再生配制混合材料。

#### 2.3.2 二灰为添加剂

由于石灰粉煤灰综合稳定冷再生材料的变异性较其他稳定剂小,施工质量易于控制,故对于冷再生尤其是细料较多的冷再生可优先考虑以石灰粉煤灰综合稳定[3]。试验证明,石灰与粉煤灰的比例从 1:2 一 1:7 都是可以的,由于质量和经济原因,多数混合料

用 1:2-1:4。

### 2.3.3 泡沫沥青为添加剂

泡沫沥青又叫膨胀沥青，是将一定的水注入热熔沥青中，水转化成蒸汽，形成大量的气泡，使沥青的体积发生膨胀，形成大量的沥青泡沫，经过很短的时间沥青泡沫破裂，沥青恢复原来的性质。这一过程只是沥青暂时的物理变化，并没有发生化学反应。当泡沫沥青与集料接触时，沥青泡沫瞬间化为数以百万计的“小颗粒”，散布于细粒料(特别是粒径 $<0.075\text{ mm}$ )的表面形成粘有大量沥青的细填缝料。经过拌和压实，这些细料填充于湿冷粗料之间的空隙并产生类似砂浆的作用，使混合料达到稳定[4]。如图 2 所示：



图 2. 泡沫沥青初期强度形成机理

泡沫沥青冷再生混合料的最终强度由 3 部分组成，即 RAP 中集料之间的嵌挤力与内摩阻力，RAP 中原沥青与集料之间的粘聚力和泡沫沥青与细料形成的沥青胶浆与粗料之间的粘聚力。

衡量泡沫沥青质量的主要参数是膨胀率和半衰期。

膨胀率：沥青发泡状态下的最大体积与未发泡下的体积之比，用于衡量泡沫沥青的粘度和在混合料中的分散性。

半衰期：泡沫沥青最大体积衰减到一半时所用的时间，用于衡量泡沫的稳定性。

沥青的最佳发泡用水量与最佳温度的确定。膨胀率和半衰期受加水量、沥青型号和温度的影响，原则上膨胀率和半衰期越大，泡沫沥青的使用质量越好。对同一种型号水泥在不同发泡温度下进行测验，且每一种发泡温度下又使用几种不同发泡用水量进行试验，组后测出它们的最佳发泡用水量和发泡温度。一般情况下，发泡温度在  $160^{\circ}\text{C}\sim 180^{\circ}\text{C}$  之间。

当使用泡沫沥青为添加剂时，一般预估泡沫沥青用量为 3%，然后以此为中值，确定几组不同剂量的用量。

### 2.3.4 乳化沥青为添加剂

乳化沥青成分：水，沥青，乳化剂

基本原理：乳化沥青在常温下具有很好的流动

性，可以在常温条件下与骨料拌制成乳化沥青混合料，并进行摊铺压实。乳化沥青混合料强度构成因素是材料的内聚力和内摩阻力，但二者在混合料初期和后期对强度的贡献率不同。初期时，在破乳之前，由于沥青粘结力较低，所以混合料内聚力较低。混合料初期强度主要来自集料之间的内摩阻力，其贡献率远大于内聚力；随着水分的挥发，破乳过程逐步完成，沥青与集料之间的粘附力增大，混合料的内聚力大大提高，这时，混合料的强度主要是靠内聚力。

当使用乳化沥青为添加剂时，一般预估乳化沥青用量为 4%，然后以此为中值，确定几组不同剂量的乳化沥青[5]。

### 2.4 最佳含水率的确定

冷再生混合料存在一个最佳含水量，最佳含水量对应的是混合料的最大干密度，我们可以先固定添加剂的含量，通过重型击实试验，测出不同级配下不同含水量下混合料对应的干密度，得出最大干密度下的含水量作为击实试验确定的最佳含水量。值得注意的是：最佳含水量包括再生混合料中的总液体用量，包含外加水、RAP 材料和外加集料所含水分及乳化沥青中水分。通常，干密度先随含水量的增加而增大，当达到最大干密度时，随含水量的增加而减少。最大干密度与最佳含水量如图 3 所示。

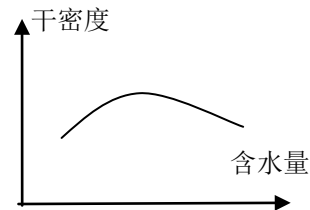


图 3. 最大干密度与最佳含水量

### 2.5 制作试件，养生，试验，选取最佳方案

在最佳含水量的控制下，按不同要求制备试件，根据不同试验目的，进行养生和试验，根据试验指标，选出最佳方案。

#### 2.5.1 二灰与水稳冷再生一般试验

按照规范要求，试件在  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  的温度下养生 7 天，养生最后一天浸水，测得各自的无侧限抗压强度值。试验结果的平均抗压强度  $R$  应符合下面公式的要求：

$$R \geq R_d / (1 - Z_a C_v)$$

式中:

Rd — 设计抗压强度;

Cv — 试验结果的偏差系数

Za — 标准正态分布表中保证率(或置信度 a)而变的系数, 高速公路和一级公路应取保证率 95%, 即  $Z = 1.645$ , 其他公路应取保证率 90%, 即  $Z = 1.282$ 。

### 2.5.2 泡沫沥青和乳化沥青冷再生一般试验

沥青混合料的设计方法较多, 主要有修正马歇尔设计方法、Superpave 设计方法、修正 Hveem 设计方法、Chevron 设计方法、沥青协会 AI 设计方法等, 这些方法在试件成型、养生方式及设计指标等方面存在差别。我国沥青混合料的成型方法为马歇尔试件法[6]。

从成型上, 泡沫沥青混合料与乳化沥青混合料有区别: 按照规范要求制作马歇尔试件, 泡沫沥青混合料马歇尔试件双面各击打次数 75 次, 而乳化沥青混合料双面各击打 50 次, 60℃ 鼓风烘箱养生至恒重, 然后再用马歇尔击实仪双面击实 25 次。

从养生上, 两者基本一致。均在室温下养生 24h, 然后将试样在 60℃ 的烘箱中恒温 48h, 然后室温放置 12h[7]。

根据要求, 进行马歇尔稳定度试验和劈裂试验, 试验指标要符合下表 3 所示:

表 3. 马歇尔试件相关技术要求

试验项目	技术要求
空隙率 (%)	9~14(乳化沥青)、泡沫沥青不做要求
劈裂强度 (MPa)	不小于 0.4(基层、底基层)
干湿劈裂强度比 (%)	不小于 75
马歇尔稳定度(kN)	不小于 5.0(基层、底基层)
浸水马歇尔残留稳定度 (%)	不小于 75
冻融劈裂强度比 TSR (%)	不小于 70

对于高速公路和一级公路还应该进行车辙试验, 确定动稳定度[8]。

### 2.6 根据试验指标, 选出最佳方案

如果不满足要求, 应该进行配合比调试, 重新试验, 达到要求为止[9]。

## 3 结语

了解了再生技术的分类, 分为冷再生, 热再生, 根据再生地点, 又可以分为厂拌与路拌, 根据冷再生添加剂种类, 又可以分为几种。从冷再生的发展史可以看出国外的冷再生技术比较发达, 尤其是美国和西欧国家, 而中国的冷再生技术起步晚, 还相对落后。冷再生作为一种新型技术, 对社会, 经济, 环境保护都有积极因素, 因此需要我们继续研究, 广泛应用。

根据冷再生添加剂的不同, 本文着重介绍了四种冷再生方式, 二灰冷再生, 水稳冷再生, 泡沫沥青冷再生, 乳化沥青冷再生。二灰是以粉煤灰与石灰为添加剂, 它适合干旱地区道路的维修, 基层类型是半刚性。水稳显然是以水泥为添加剂, 适合湿润地区的道路再生, 基层类型是刚性。乳化沥青与泡沫沥青都是以沥青为添加剂, 只是形式不一样, 泡沫沥青是在沥青高温发泡时与混合料拌合, 发生的是物理变化, 适合路拌与厂拌; 而乳化沥青需要在工厂制作, 发生的是物理和化学变化, 只适合工厂加工。

配合比设计思路大致相同, 只是在添加剂的种类不一样, 还有一些试验的方法不一样。大致思路: 旧路评价→级配设计→添加剂选取→最佳含水率与最大干密度确定→成型、试验→养生→选出最佳方案。

## References (参考文献)

- [1] 中华人民共和国行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》[S].北京: 人民交通出版社, 1994.
- [2] 拾方治, 李秀君, 孙大权, 等. 冷再生沥青混合料设计方法概述[J]. 北京: 公路工程学报, 2004.
- [3] 于永生. 掺加水泥的乳化沥青冷再生混合料设计方法与使用性[D]. 南京: 东南大学, 2008.
- [4] 王博铭, 张瑶, 王志文, 等. 旧路面水泥混凝土再生集料在公路基层中的应用[M]. 《公路工程与运输》, 2009.
- [5] 周海生. 高等级道路沥青稳定基层路面结构与材料的研究[D]. 上海: 同济大学, 2006.
- [6] 刘晓娜. 道路基层水泥稳定碎石结构材料的再生利用. 四川: 成都理工大学, 2007.
- [7] 胡伟. 乳化沥青稳定基层永久变形特性的分析. 公路交通科技, 2003, 20(6): 17—19
- [8] 吕伟民, 拾方治. 应用泡沫沥青铺筑道路基层. 上海公路, 2003, (1): 15—16
- [9] 黄卫. 沥青路面设计指标和设计方法研究[D]. 南京: 东南大学博士学位论文, 1994.