

Application Research of Base Layer Cold Recycling Technology in Overhaul Engineering

Xiangyu Qi¹, Huishan Bai², Xiao Shen², Yunbo Zhu²

¹Yunnan Research Institute of Highway Science and Technology, Kunming, 650011, China

²Yunnan Transport Science Research Institute CoLtd, Kunming, 650011, China

Abstract: This paper relies on the World Bank loan Yunnan road maintenance pilot project, summarizes the construction process of cold recycled mixture, relies on the concrete engineering to check the fatigue cracking of inorganic binder layer, and proposes the base layer cold regeneration top surface acceptance deflection value, comparative analysis of the base layer cold The advantages and disadvantages and economic benefits of the recycled pavement structure and the common new pavement structure are summarized. The problems and measures to be paid attention to in the cold recycling technology of the grassroots are summarized, so as to save the cost of overhaul engineering and generate energy saving and environmental protection benefits.

Keywords: Base layer; Cold recycling technology; Overhaul engineering; Application

基层冷再生技术在大修工程中的应用研究

亓祥宇¹, 白绘杉², 申晓², 朱云波²

¹云南省公路科学技术研究院, 云南 昆明, 650000

²云南省交通科学研究院有限公司, 云南 昆明, 650011

摘要: 本文依托世行贷款云南省路面养护试点项目, 总结了冷再生混合料的施工工艺, 依托具体工程对无机结合料层疲劳开裂进行验算, 提出基层冷再生顶面验收弯沉值, 对比分析基层冷再生路面结构与普通新建路面结构优缺点及经济效益, 归纳了基层冷再生技术要注意的问题及措施, 从而达到节约大修工程成本及产生节能环保效益的目的。

关键词: 基层; 冷再生技术; 大修工程; 应用

1 引言

随着国家“青山绿水, 就是金山银山”可持续发展战略及“畅安舒美”绿色交通发展理念的不断践行深化, 公路事业养护过程中, 粒料类及沥青料类的回收二次利用成为现在公路养护在可持续发展道路上的主要手段。通过对基层使用冷再生技术, 从而达到节约

成本及绿色环保的目的。

2 基层冷再生配合比设计

2.1 材料要求

由于所依托项目为二级公路, 冷再生混合料其级配范围及技术要求应满足表 1、表 2 要求。

Table 1. Gradation range of cold recycled mixtures

表 1. 冷再生混合料级配范围

筛孔尺寸(方孔筛)	37.5	31.5	26.5	19.0	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.075
通过各筛孔的质量百分率(%)	90~100	—	66~100	54~100	39~100	28~84	20~70	14~57	8~47	0~30

Table 2. Technical requirements for cold recycled mixtures

表 2. 冷再生混合料技术要求

检测项目	再生结合料类型				
	水泥		石灰		
	一级公路	二级及二级以下公路	一级公路	二级及二级以下公路	
混合料无侧限抗压强度(MPa)	基层不小于	3~5	2.5~3	-	0.8
	底基层不小于	1.5~2.5	1.5~2.0	0.8	0.5~0.7

2.2 配合比设计流程

(1) 检测经全风干处理后具有代表性的老路混合料的含水量。

(2) 绘制级配曲线。设计合成级配曲线应根据旧混合料和新加料的级配确定，且宜接近级配范围的中值。如果因为个别筛孔大于范围规定线导致合成级

配不能完全在相应的级配范围内，则是否适合再生由无侧限抗压强度决定；

(3) 将旧混合料经风干处理后筛分为五部分，并将粒径大于 37.5mm 的混合料用 19~37.5mm 之间混合料替代。10kg 旧混合料试样中各材料重组过程见表 3。

Table 3. Represents sample reassembly

表 3. 代表试样重新组合

筛分结果		10kg 旧混合料各档材料用量			
筛孔尺寸 (mm)	通过率 (%)	<4.75mm	4.75~13.2mm	13.2~19mm	19~31.5mm
37.5	97.5	(53.6/100×10)= 5.36kg	(72.3-53.6) /100×10= 1.87kg	(85.5-72.3)/100×10= 1.32kg	(100-85.5)/100×10= 1.45kg
19.0	85.5				
13.2	72.3				
4.75	53.6				

(4) 最大干密度和最佳含水量的确定

首先按 4%、4.5%、5%、5.5%、6% 配制五种不同水泥用量的混合料。然后按公式 (1) 确定试样的干质量、公式 (2) 确定稳定剂的用量、公式 (3) 计算最佳用水量、公式 (4) 计算试样中所需加水量。通过计算水泥最小剂量、中间剂量和最大剂量，后用内插法确定其他两个剂量混合料的最大干密度和最佳含水量[1]。最后均匀拌合拌缸内的试样材料、活性填料、水以备制作试件。

$$M_{sample} = M_{air-dry} / (1 + (W_{air-dry} / 100)) \quad (1)$$

式中： M_{sample} — 试样的干质量，g； $M_{air-dry}$ — 试样的风干质量，g； $W_{air-dry}$ — 风干试样的含水量，%。

$$M_{cement} = C_{add} \times M_{sample} \quad (2)$$

式中： M_{cement} — 水泥用量，g； C_{add} — 水泥的百分比，%； C_{sample} — 试样的干质量，g；

$$W_{add} = W_{OMC} - W_{air-dry} \quad (3)$$

$$M_{water} = (W_{add} / 100) \times (M_{sample} + M_{cement}) \quad (4)$$

式中： M_{water} — 试样的加水质量，g； M_{cement} — 需要加入的石灰或者水泥质量，g； W_{OMC} — 最佳含水量，%； M_{sample} — 试样的干质量，g； $W_{air-dry}$ — 风干试样的含水量，%； W_{add} — 需要加入试样中的含水量，%。

(5) 成型试件（静压成型）

以计算最佳含水量和干密度为依据制做试验试件，然后将试件在室温为 20±2℃、湿度大于 95% 的养护室内养生 6d，并浸水 24h 后，进行无侧限抗压强度试验[3]。平行试验试件数量应大于等于表 4 要求。如果试验结果的偏差系数大于表 4 规定值，找出原因加以解决后重做试验。如果偏差系数继续大于规定值，则应增加试件数量。

Table 4. Minimum number of specimens

表 4. 最少试件数量

偏差系数试件数量材料情况	<10%	10~15%	15~20%
公称粒径 2.36mm	6	9	
公称粒径 19mm	6	9	13
公称粒径 31.5mm		9	13

(6) 确定稳定剂的最佳用量

将试验试件无侧限抗压强度结果的平均值和偏差系数与标准强度对比后选择最佳的水泥量。最佳水泥量试件试验结果的平均抗压强度 R 须满足公式 (5)

规定。

$$R \geq Rd / (1 - ZaCv) \quad (5)$$

式中 Rd —设计抗压强度； Cv —试验结果的偏差系数（以小数值计）； Za —标准正态分布表中随保证率

(或置信度 α) 而变的系数, 取保证率 90%, 即 $Z_{\alpha}=1.282$ 。

(7) 基层冷再生设计参考配合比

基层冷再生级配范围根据表 1 和表 5, 水泥的最

少量应大于等于 4%。施工时具体以施工工艺、施工机械和实际的路基层情况确定掺入的集料和水泥的用量。

Table 5. Mineral proportion

表 5. 矿料比例

级配类型	水泥剂量 (%)	矿料比例 (%)			
		1#	2#	3#	4#
水泥稳定碎石	5.0	10	19	37	34

3 试验路的铺筑

实验路段选取一般根据路面结构形式和损坏状况选取长度不小于 200m、工作宽度不小于 2.0m 的代表性路段。通过对试验路段施工参数及施工工艺等方面检验控制, 有助于施工管理人员全面掌握再生机的行

进速度和转子速度及冷再生材料的相关特征及等参数, 从而可以有效保证并提高工程质量。

4 施工工艺

基层冷再生施工工艺流程宜按图 1 的顺序进行。

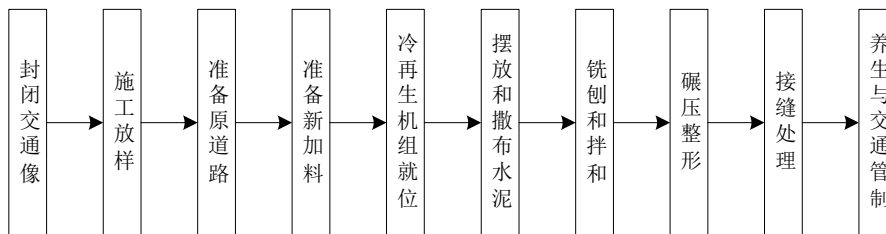


Figure 1. Basic cold regeneration process

图 1. 基层冷再生工艺流程图

5 无机结合料层疲劳开裂验算

根据弹性层状体系理论, 无机结合料层底计算拉应力为 0.308MPa。根据气象资料, 项目所在地区冻结指数 F 为 $0.0^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$, 季节性冻土地区调整系数 k_a 取 0.90。根据《公路沥青路面设计规范》(JTG D50-2017), 现场综合修正系数为-1.012。

根据工程所在地区, 经查《公路沥青路面设计规范》(JTG D50-2017) 确定基准路面结构温度调整系数为 1.46, 根据路面结构和结构层材料参数, 算得温度调整系数 k_{T2} 为 1.40。对于无机结合料稳定粒料, 疲劳开裂模型参数 $a=13.24$, $b=12.52$, 弯拉强度为 1.5MPa。[5]

根据以上参数, 据《公路沥青路面设计规范》(JTG D50-2017) 计算无机结合料层底疲劳寿命为

$2.331144\text{E}+09$ 轴次。原设计无机结合料层底疲劳寿命为 $8.323071\text{E}+08$ 轴次, 满足要求。

6 基层冷再生顶面验收弯沉值

标准状态下, 基层冷再生的回弹模量为 140MPa, 回弹模量湿度调整系数 K_s 为 0.80, 则平衡湿度状态下的回弹模量为 112MPa, 采用公式计算得到路基顶面弯沉值为 166.73(0.01mm)。考虑施工保证率和最不利季节影响系数, 综合取值 1.3, 确定路基顶面验收弯沉值为 128.30(0.01mm), 满足要求。

7 冷再生及铣刨后新铺对比

基层冷再生路面结构组成及普通新建路面结构组成如图 2 及图 3 所示。

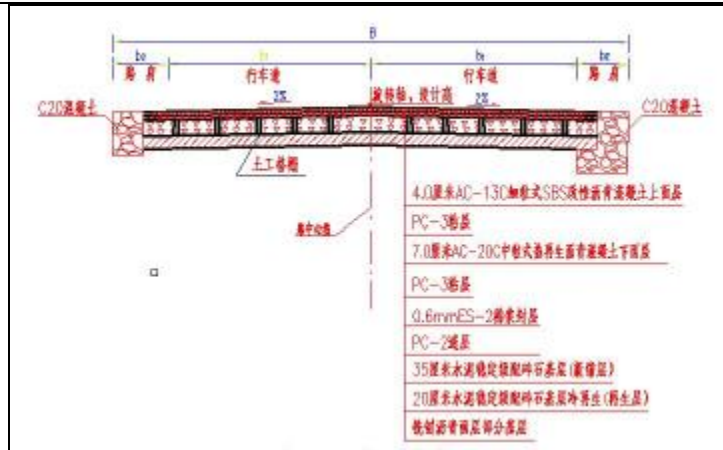


Figure 2. Structure of cold recycled pavement
图 2. 冷再生路面结构图

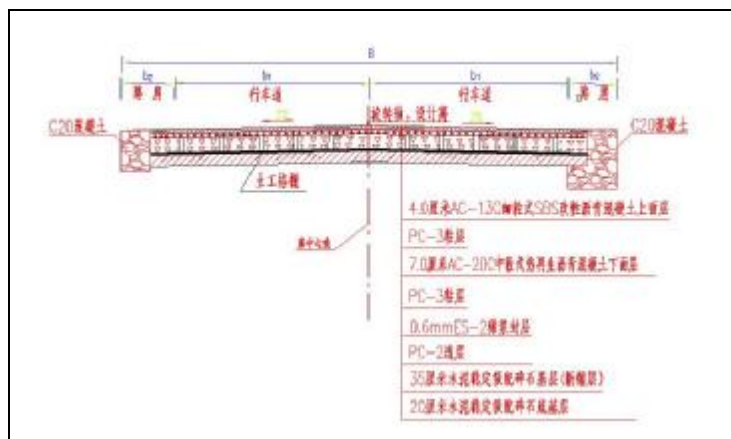


Figure 3. General new pavement structure
图 3. 普通新建路面结构图

通过对基层冷再生路面结构图和新建路面结构图 主要经济比较及优缺点比较如表 6 所示。进行综合比较分析，主要不同处主要为冷再生层位，

Table 6. Schemes comparative analysis
表 6. 方案比较分析表

具体方案	方案内容	方案优缺点	工程造价估算	
			项目	金额 (元/m ²)
基层冷再生	1.冷再生原老路基层 20cm; 2.满铺土工格栅; 3.新铺筑水泥稳定碎石基层	优点: 1. 简化施工工序; 2.节约成本; 3.提高旧路的等级; 4.节约时间; 5. 保护环境; 6. 对公共交通影响和干扰少; 7.精确控制铺层厚度; 8. 适用范围广。 缺点: 施工配合比多样化, 需要不同配合比, 质量控制不严密出现反射裂缝等问题。	冷再生基层	26.77
基层新铺	1.挖除原底基层; 2.铺筑 20cm 底基层; 3.新铺筑水泥稳定碎石基层	优点: 1.不宜出现反射裂缝, 质量保证; 2.精确控制铺层厚度; 3.施工方便, 施工配合比容易控制。4.适用范围广。 缺点: 挖除废料污染环境、成本较高。	新铺底基层	32.97

通过比较发现，基层冷再生不仅仅是环保等方面的优势，其每平方米价格比新铺价格节约 6.2 元，是较为节约成本的大修方案。

8 存在问题

(1) 由于铣刨过程对原骨料打碎，造成旧混合料中细骨料增多，故增加新粗骨料以改善再生料级配要求。但该工序会带来反射裂缝。通过对现场情况调查分析，故在冷再生底基层基础上满铺 GSGS50-50 土工格栅，从而减缓裂缝的产生。

(2) 由于铣刨车辆型号、速度等不同，造成再生料级配等性质迥异，从而造成掺配比例各不相同。为了保证冷再生水稳层的稳定性，故需对再生设备严格控制，确保设备的质量安全、可靠。

(3) 再生料应严格筛分及再利用，确保再生料的质量，不得使用回收粉，基层铣刨料不得与沥青料混合。

(4) 如果旧混合料中有机质含量大于 2%或硫酸盐含量大于 0.25%，则不得冷再生[6]。

9 结论

基层冷再生技术在施工过程中存在一定的问题，但是通过严格的检测工作是可以避免的。通过对基层的冷再生，不仅减少新材料的使用，节约成本，而且再生料的二次有效使用，避免旧料废弃，能有效保护环境，为经济可行的大修方案。

References (参考文献)

- [1] 钟阳,吴宇航.《路基路面工程》.哈尔滨工业大学出版社.2010.
- [2] 李江.《就地冷再生施工技术在路面维修中的应用》.《城市建设理论研究(电子版)》.2013(22).
- [3] 荆树国.《旧沥青路面就地冷再生技术及成本分析》.《华东公路》.2008:P11-P13.
- [4] 蔡道平.《沥青路面平整度施工质量控制研究》.长安大学.2006.
- [5] 胡晓伟李永斌.《中美洲新建沥青混凝土路面设计方法与应用》.《中国水运(下半月)》.2018:P194-P196.
- [6] 许广军.《探讨沥青旧路面冷再生施工试验与研究》.《城市建设理论研究(电子版)》.2015:P1773-P1774.