

# 厂拌冷再生技术在佛山一环高速中的应用研究

徐日辉<sup>1</sup>, 黄红明<sup>1,2</sup>

(1.佛山市公路桥梁工程监测站有限公司, 广东 佛山 528041; 2.佛山市交通科技有限公司, 广东 佛山 528041)

**摘要:** 通过对广东佛山一环高速公路旧路路面使用现状及病害成因分析, 提出乳化沥青冷再生试验路路面结构设计方案; 为确保乳化沥青冷再生混合料具备良好的路用性能, 开展不同 RAP 掺量、水泥掺量对乳化沥青冷再生混合料性能影响研究, 确定 RAP 掺量为 80%、水泥掺量为 1.5% 时其综合性能较佳; 开展试验路铺筑, 总结分析乳化沥青冷再生混合料现场施工工艺, 检测结果表明试验路总体铺筑效果良好。

**关键词:** 公路; 厂拌冷再生技术; 乳化沥青冷再生混合料; 路用性能

中图分类号: U418.6

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2021)01-0083-04

广东省佛山一环高速公路主路全长 99.2 km, 辅路全长 51.7 km。采用一级公路标准兼顾城市道路功能设计, 主路设计行车速度为 100 km/h, 辅路为 50 km/h。自 2006 年建成通车以来, 随着交通量的逐年增长, 部分路面结构性和使用功能出现一定程度损坏, 通行能力受到较大限制。为改善其行驶质量, 提高路网通行能力, 2018 年对其进行改造。路面改造过程中势必产生大量铣刨料(RAP), RAP 材料的合理化再生利用至关重要。为此, 先行进行沥青路面再生试验路施工, 为后面的路面大修积累经验。经现场勘查, 选定东线外环主线 K2+900—K3+900 单幅 1 km 典型路段作为试验路。

目前再生技术主要分为厂拌冷再生、厂拌热再生、就地冷再生、就地热再生 4 种, 其中就地冷再生技术包括沥青层就地冷再生与就地全深式再生, 厂拌冷再生技术分为乳化沥青厂拌冷再生与泡沫沥青厂拌冷再生。结合该项目的特性和各再生技术的特点, 采用利用率最高的厂拌冷再生技术, 实现路面沥青回收材料的 100% 利用, 同时利用乳化沥青冷再生优异的柔塑性特性, 将其作为结构层和应力吸收层使用。

## 1 试验路路面结构方案

### 1.1 旧路现状及病害成因分析

试验路路段主要病害类型为纵、横向裂缝及块状修补[见图 1(a)]。为分析路面病害发展层位, 对试验路段进行取芯分析, 结果[见图 1(b)]显示: 1) 重度纵、横向裂缝交叉病害处, 病害已贯穿整个路面结构层; 轻度纵、横向裂缝交叉病害处, 病害已贯穿沥青面层 2) 第三、四车道路面病害较严重, 属于结构性病

害, 路面病害破损层位已发展至半刚性基层, 需对半刚性基层进行彻底处治; 第一、二车道路面病害状况相对较轻, 路面病害破损层位已贯穿沥青面层, 需对沥青面层进行彻底处治。



(a) 纵向裂缝



(b) 取芯情况(基层反射裂缝)

图 1 旧路现状

综合分析试验路各病害特征及交通流量、气候水文条件等因素, 造成该项目路面病害较多的原因主要有: 1) 交通量大。日均交通量约 20 万辆, 且集装箱、拖挂车等重载车辆较多, 超载严重, 主要集中在三、四车道, 导致路面各结构层材料出现疲劳破坏。2) 使用时间较长。该项目竣工通车已超过 9 年, 沥青面层在行车荷载的反复循环作用下接近材料疲劳极限, 抵抗裂缝的能力逐年降低, 路面整体性能不断衰退, 导致路面病害逐渐发展并恶化。3) 年降雨量大。佛山地区雨季时间长, 年平均降雨量约 1 700 mm, 且路面结构属于典型的“强基薄面”, 反射裂缝较多, 在行车荷载及动水压力反复作用下, 路面出现水损坏等问题。横向裂缝主要是由基层反射裂缝所致。

### 1.2 路面结构方案设计

根据旧路现状及该项目的特点, 确定路面结构总体设计原则如下: 1) 分车道处治; 2) 维持原路面标高不动; 3) 路面材料绿色低碳, 即 RAP 铣刨料 100% 循

环利用;4) 动态设计,现场实施过程中根据实际铣刨情况动态调整。同时,为确保后续佛山一环高速化改造的顺利实施,拟通过这次维修,采用长寿命柔性基层结构,对原半刚性基层路面结构进行柔性化转换,改变路面病害发展形式,将“自下而上”的病害转化为

“自上而下”的病害,未来高速化改造完成后通过预防性养护和表层养护即能实现路面保持良好的服务水平,大幅节约养护成本。试验路路面结构设计方案见表1,针对乳化沥青厂拌冷再生不足路段,在一、二车道采用 ATB-25 代替。

表1 试验路路面结构设计方案

层位	原路面结构设计方案	试验路路面结构设计方案	
		一、二车道	三、四车道
上面层	4 cm TLA 改性 AC-13	4 cm 改性 AC-13	4 cm 改性 AC-13
中面层	6 cm TLA 改性 AC-20	8 cm 改性 AC-20	8 cm 改性 AC-20
下面层	8 cm 普通 AC-25	12 cm 乳化沥青厂拌冷再生	12 cm 乳化沥青厂拌冷再生
基层	36 cm 6% 水泥稳定碎石	原 30 cm 水稳碎石	12 cm 乳化沥青厂拌冷再生 18 cm 新建水稳碎石
底基层	20 cm 4% 水泥稳定碎石	原 20 cm 水稳碎石	原 20 cm 水稳碎石

## 2 级配设计及 RAP、水泥用量确定

### 2.1 原材料及矿料级配

现场封闭交通后对沥青面层进行铣刨并收集 RAP 材料,将 RAP 材料破碎筛分为 3 档,分别为 0~5、5~10、10~30 mm,并添加 10~20 mm 石灰岩碎石、矿粉等进行配合比设计。水泥采用英德龙山 P.C.32.5 水泥,以外掺方式加入混合料中。表 2 为乳化沥青的技术指标。为分析 RAP 和水泥掺量对其混合料性能的影响,以 RAP 掺量 70%、80%、90% 分别设计 3 种矿料级配,矿料级配组成见表 3。预估乳化沥青用量为 3.5% 进行不同含水率下击实试验,3 种级配下最佳含水率均为 4.5%。

### 2.2 RAP 掺量

对 3 种级配乳化沥青冷再生混合料进行劈裂试

表2 乳化沥青的技术指标

试验项目	技术要求	试验结果
粒子电荷	阳离子(+)	阳离子
恩格拉黏度	2~30	6
破乳速度	慢裂	慢裂
与粗、细集料拌和试验	均匀	均匀
与粗集料的黏附性,裹覆面积	≥2/3	≥2/3
筛上剩余量(1.18 mm 筛)/%	≤0.1	0.01
残留物含量/%	≥62	62.8
溶解度	≥97.5	99.5
蒸发残留物性质	针入度(25℃)/ (0.1 mm)	50~80 62
	延度(15℃)/cm	≥40 98.5
储存稳定性/%	1 d	≤1 0.4
	5 d	≤5 1.2

表3 混合料矿料级配组成

级配类型	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%													
	31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	
级配范围	100	80~100	—	—	60~80	—	25~60	15~45	—	—	3~20	—	1~7	
级配 1	100	99.9	99.9	88.3	65.1	58.0	37.1	24.9	13.5	7.7	4.7	3.2	2.5	
级配 2	100	99.9	97.6	87.9	66.5	50.6	36.8	24.9	13.6	7.7	4.7	3.3	2.6	
级配 3	100	99.8	96.9	89.2	71.9	51.3	36.9	24.9	13.6	7.7	4.8	3.3	2.7	

注:级配 1、2、3 中,RAP 掺量分别 70%、80%、90%。

验、无侧限抗压强度试验、车辙试验、冻融劈裂试验、浸水马歇尔试验,评价混合料的强度、高稳定性及水稳性能,分析 RAP 掺量对乳化沥青冷再生混合料性能的影响,确定最佳 RAP 掺量。试验均采用标准马歇尔试件,乳化沥青用量为 3.5%,水泥掺量为 1.5%,试验结果见图 2、图 3。

从图 2 可看出:RAP 掺量从 70% 增加到 90% 时,冷再生混合料的劈裂强度逐渐降低,但最低也有 1.02 MPa,均高于 0.7 MPa,具有较高的强度;高温稳定性随着 RAP 掺量的增加略有降低,由于混合料中掺入了水泥,动稳定度均处于较高水平,均具有良好的高温稳定性。

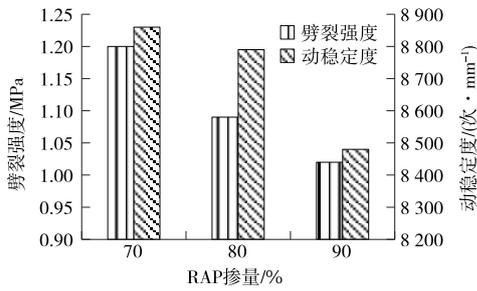


图2 RAP掺量对乳化沥青冷再生混合料劈裂强度和动稳定度的影响

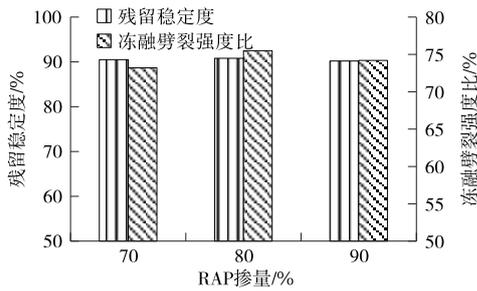


图3 RAP掺量对乳化沥青冷再生混合料残留稳定性和冻融劈裂强度比的影响

从图3可看出:随着RAP掺量的增加,冷再生混合料的残留稳定性和冻融劈裂强度比基本处于同一水平,均满足规范要求。

综合乳化沥青冷再生混合料的路用性能、经济效益及同类型项目情况等,确定试验路RAP掺量为80%。

### 2.3 水泥掺量

以水泥掺量分别为1%、1.5%、2%对混合料的劈裂强度和无侧限抗压强度开展试验研究,分析水泥掺量对乳化沥青冷再生混合料性能的影响,确定最佳水泥掺量。试验结果见图4。

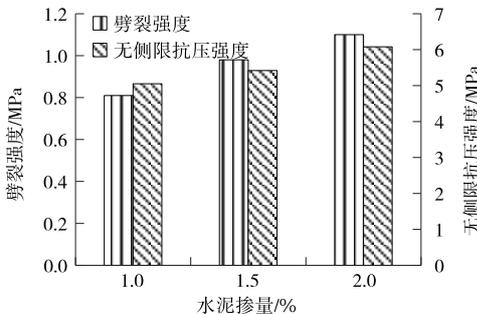


图4 水泥掺量对乳化沥青冷再生混合料劈裂强度和无侧限抗压强度的影响

从图4可看出:随着水泥掺量的增加,冷再生混合料的劈裂强度和无侧限抗压强度逐渐增大,说明虽然在乳化沥青冷再生混合料中掺入的水泥很少,但作

用很明显,能大幅提高混合料的劈裂强度和无侧限抗压强度。当水泥掺量达到一定程度后,劈裂强度的增长速率下降,而无侧限抗压强度则相反。综合考虑规范要求、经济性及水泥用量过大会导致混合料易收缩开裂等因素,确定水泥掺量为1.5%。

### 3 冷再生试验路施工质量控制

乳化沥青冷再生混合料施工的关键环节为铣刨筛分→拌和→运输→摊铺→碾压→养生。图5为沥青面层现场铣刨。铣刨所得RAP堆放在经过硬化处理且排水通畅的地面上,不同规格的RAP分类堆放,采用隔墙分隔,防止窜料,堆放高度控制在5m以内,以不结块、不成团为宜。拌和冷再生沥青混合料应均匀,混合料呈褐色,无花白料、无液体流淌、无水泥或矿粉成团现象,且和易性好。再生冷料拌和后,立即运送至施工现场。从拌和机出料仓向翻斗车卸料时,混合料不得在车厢内集中堆积,防止粗、细集料离析。运输混合料时,用不透光的棉被或厚帆布严密覆盖,防止混合料见光破乳、污染、雨淋而影响其质量或造成浪费。



图5 现场铣刨

冷再生沥青混合料现场摊铺速度应与供料速度平衡,需缓慢、均匀、连续不断地摊铺(见图6),压路机的组合配置见表4。碾压完成后及时养生,养生期为3~5d,以冷再生沥青混合料中总含水量小于或接近2%或可以用φ150mm钻孔取芯机取出完整芯样作为结束养生的依据。配置足够数量的彩条布或PU薄膜类防雨圈材,在下雨前将养生路段再生层覆盖严密,并做好路肩排水。待养生完成后进行现场取芯,结果显示芯样完整密实、骨架较好(见图7)。



图6 现场摊铺

表4 压路机的组合配置

压路机类型	数量/台	碾压速度/(km·h <sup>-1</sup> )		
		初压	复压	终压
双钢轮压路机	3	2~3(静压、 振动)		3~5(静压)
单钢轮压路机	2		3~4(振动)	
轮胎式压路机	2		2~3(静压)	



图7 现场芯样照片

#### 4 结语

通过调查佛山一环高速公路旧路路面使用现状并进行病害成因分析,根据不同车道的病害情况提出试验路路面结构设计方案。为确保乳化沥青冷再生混合料具备良好的路用性能,开展不同RAP、水泥掺

量对乳化沥青冷再生混合料性能影响研究,确定RAP掺量为80%、水泥掺量为1.5%时混合料的综合性能较佳。根据现场取芯情况,芯样完整密实、骨架较好,试验路总体铺筑效果良好。

#### 参考文献:

- [1] 秦永,徐振彭,李磊.乳化沥青厂拌冷再生混合料配合比设计及性能研究[J].黑龙江交通科技,2018(10):57-59.
- [2] 梅朝阳,吴超凡,梁勇.厂拌冷再生沥青混合料生产工艺与质量控制[J].公路工程,2017,42(5):256-261.
- [3] 吕振北.RAP掺量对乳化沥青冷再生混合料的性能影响研究[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2015,39(2):414-418.
- [4] 孙岩松.水泥掺量对乳化沥青冷再生混合料性能的影响[J].武汉理工大学学报,2013,30(4):45-48.
- [5] 丁武洋,刘强,吴旻.乳化沥青厂拌冷再生混合料关键技术研究及应用[J].中外公路,2012,32(5):216-219.
- [6] 徐东,陈祥峰,郑南翔.乳化沥青冷再生混合料配合比设计及性能分析[J].广西大学学报(自然科学版),2012,37(1):103-109.
- [7] 张帅,高鸣,吕军军.不同水泥用量冷再生混合料性能试验研究[J].商品混凝土,2020(1):37-40.

收稿日期:2020-08-24

\*\*\*\*\*  
(上接第62页)

#### 参考文献:

- [1] 李松.基于分形理论的沥青混合料空隙特征研究[D].天津:河北工业大学,2015.
- [2] 李丽民,陈云勇,蒋建清.基于体积指标与分形理论的骨架密实型沥青混合料抗车辙性能预控[J].材料科学与工程学报,2018,36(5):804-809+840.
- [3] 张金辉,于江,李林萍,等.分形级配理论在连续级配设计中的应用[J].中外公路,2013,33(6):243-247.
- [4] 张飞.基于分形理论的温拌沥青混合料宏观空隙研究[D].乌鲁木齐:新疆大学,2015.
- [5] 崔通.基于分形理论的沥青混合料级配组成分析研究[J].公路交通技术,2017,33(5):23-28+36.
- [6] 熊依筱,黄维蓉,杨东来.基于分形理论的沥青混合料比表面积与相关性能研究[J].中外公路,2018,38(4):290-294.
- [7] 曾冠博.基于分形的沥青混合料级配评价与路用性能研究[D].重庆:重庆交通大学,2011.
- [8] SANCHEZ-LEAL F J, ANGUAS P G, LARREAL M, et al. Polyvoids: Analytical tool for superpave HMA design [J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2011, 23(8): 1129-1137.
- [9] OZTURK H I, KUTAY M E. An artificial neural network model for virtual superpave asphalt mixture design [J]. International Journal of Pavement Engineering, 2014, 15(2): 151-162.
- [10] KARIMI S S, GOULIAS D G, SCHWARTZ C W. Risk and expected pay factor analysis for assessing gap and dense-graded superpave mixture specifications [J]. International Journal of Pavement Engineering, 2015, 16(1): 69-79.
- [11] MARCELO S Medeiros Jr, JO Sias Daniel, HEATHER L Bolton, et al. Evaluation of moisture and low-temperature cracking susceptibility of warm-mixture asphalt [J]. The International Journal of Pavement Engineering, 2012, 13(5): 395-400.
- [12] RAFIQU L A Tarefder, YOUSEFI S. Laboratory evaluation of moisture damage in asphalt [J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 2012, 39(1): 104-115.

收稿日期:2019-12-10