

基于性能设计法的就地热再生混合料设计方法研究

倪 玮, 刘化学, 刘 强

(江苏省交通科学研究院, 南京 211112)

摘 要: 通过研究沥青老化及再生机理, 分析了再生剂掺量对沥青及沥青混合料性能的影响, 根据工程经验及室内试验, 提出了就地热再生混合料技术要求; 基于性能设计方法, 通过室内试验进行了最佳再生剂掺量分析, 进行了就地热再生混合料设计和性能验证方法的研究。实际应用表明: 基于性能设计法设计的就地热再生路面具有较好的路用性能。

关键词: 就地热再生; 性能设计法; 混合料设计; 再生剂掺量; 技术要求

中图分类号: U416.217

文献标志码: A

文章编号: 1003-8825(2012)01-0092-04

0 引言

就地热再生是指采用专用设备对沥青路面进行加热、铣刨, 就地掺入一定数量的新沥青、新沥青混合料、再生剂等, 经热拌和、摊铺、碾压等工序, 一次性实现对表面一定深度范围内的旧沥青混凝土路面再生的技术, 具有旧料利用率高 (可达 100%)、经济环保、施工快速等优点, 一般用于沥青路面上面层再生^[1]。

上世纪 70 年代, 国外开始了就地热再生技术的研究和推广, 并形成了一些较为先进的规范和指南, 如美国沥青协会的《沥青路面热拌再生手册》、前苏联的《再生路用沥青混合料》等^[2]。近年来, 随着我国早期修建的高速公路相继进入大修期, 每年翻修的沥青路面产生了超过上千万吨的废料, 为有效回收利用这些沥青旧料, 达到保护环境、节约资源的目的, 国内开始了对就地热再生技术的相关研究。现阶段, 就地热再生技术在我国应用相对较为广泛, 但由于相关技术标准的缺失, 尚未形成成熟的混合料设计方法, 其实施效果有待进一步提高。

某高速公路, 由于交通量较大, 重载比例高, 路面车辙、平整度状况较差, 拟采用就地热再生技术对其进行改善。本文依托其路面维修工程, 讨论就地热再生混合料形成机理及最佳再生剂掺量, 并基于性能设计法, 研究适合我国公路建设特点的就地热再生混合料设计方法, 为类似工程提供参考。

1 沥青老化与再生机理

1.1 沥青老化机理

收稿日期: 2011-09-19

作者简介: 倪 玮 (1983-), 男, 江苏南京人。助理工程师, 主要从事高等级公路沥青路面技术咨询工作。E-mail: lhx42@jstri.com。

在沥青混合料 (路面) 生产、施工和运营过程中, 沥青会产生老化现象^[3], 沥青老化直接影响路面的寿命和性能。现从沥青组分含量及相容性变化两个角度阐释沥青老化机理^[4]。

从化学元素构成看, 沥青主要是碳氢 (CH) 化合物, 其中 C/H 比例很大程度反映了沥青的化合物组成。沥青在使用中由于空气、温度和阳光的作用, 沥青中芳香分缩合成沥青质, 使体系中沥青质的含量增多, 分散相的增多和分散介质胶溶能力的减弱, 导致沥青的胶体稳定性下降, 使用性能变差。

另外, 沥青能否形成稳定的溶液, 不决定于溶质颗粒的大小, 而决定于溶质 (沥青质) 在溶剂 (软沥青质) 中的溶解度和溶剂对溶质的溶解能力。根据有关研究, 在沥青老化过程中, 当沥青质溶解度参数与软沥青质溶解度参数的差值逐渐增大, 导致沥青组分相容性越差, 最终表现为沥青路用性能衰减。

1.2 沥青再生机理

沥青再生, 其实就是对沥青胶体结构、组分构成或相容性状态的协调与改善。从组分构成考虑, 通过添加剂使沥青组分构成恢复到原来的状态, 则可实现再生的目的; 从相容性理论考虑, 通过添加外加剂使沥青质和软沥青质的溶度参数差值减小, 使其实现再生。

掺加再生剂是目前沥青再生较为普遍的方式, 由于再生剂的添加, 一方面可使沥青质的相对含量降低, 从而提高沥青质在软沥青质中的溶解度; 同时又可提高软沥青质对沥青质的溶解能力, 使沥青质和软沥青质溶度参数差值减小, 改善沥青的相容性^[5], 达到沥青再生的目的。

2 再生剂掺量影响分析

根据对沥青老化和再生机理的分析可知, 通过添

加再生剂可实现沥青再生的目的,但再生剂的掺量对沥青及沥青混合料的性能有很大影响^[4]。本文依托某高速公路维修工程,研究再生剂掺量对沥青及混合料性能的影响。

2.1 再生剂掺量对沥青性能的影响

为分析再生剂掺量对沥青性能的影响,选择路菲特牌沥青再生剂,根据工程经验,分别拟定 7%,11%,14% 三种掺量,采用抽提回收的老化沥青进行沥青再生性能试验,结果如图 1~图 3,其中沥青的类型为 SBS 改性沥青。

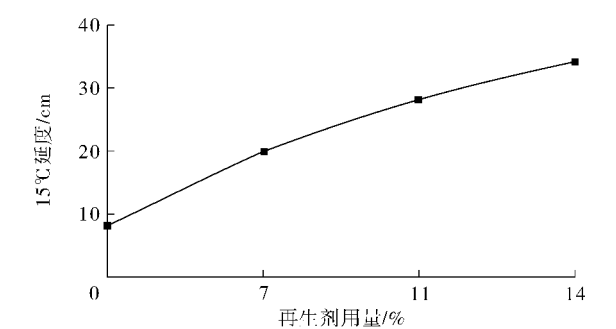


图 1 再生剂掺量对沥青 15℃延度的影响

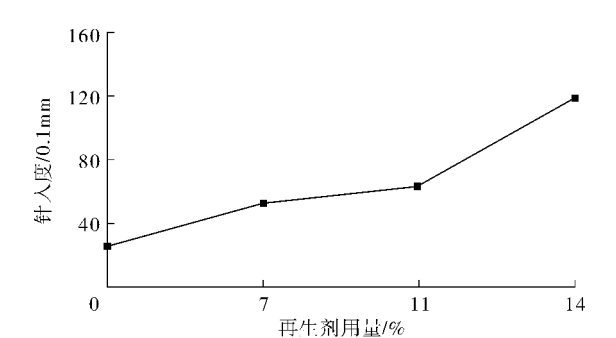


图 2 再生剂掺量对沥青针入度的影响

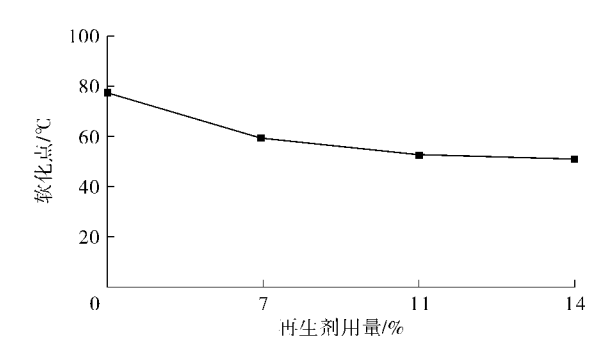


图 3 再生剂掺量对沥青软化点的影响

从图 1~图 3 可知:随着再生剂用量增加,再生沥青针入度和 15℃延度增加,软化点降低。从组分分析和胶体理论解释,老化沥青由于沥青质浓度增大、轻质组分减少,从而分散介质的溶解能力不足,生成较大的胶团,随着再生剂用量增加,沥青胶体结构逐渐由凝胶型向溶-凝胶体结构转变,软化点、针入度等性能指标逐渐恢复。

2.2 再生剂掺量对沥青混合料性能的影响

分别针对以上不同再生剂掺量,进行再生沥青混合料性能试验,试验结果如图 4~图 6,其中混合料类型为 AC-16。从图 4~图 6 可知:随着再生剂用量增加,再生混合料的浸水马歇尔残留稳定度波动范围不大;混合料高温性能略有下降;低温性能得到较好改善。

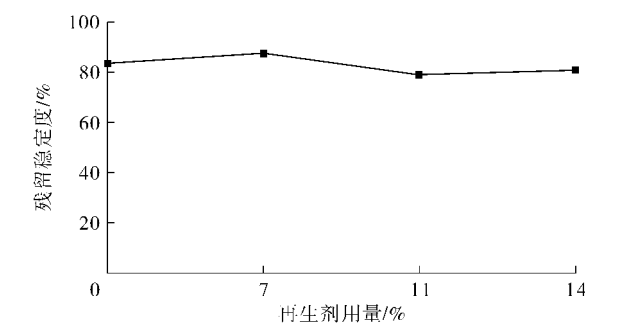


图 4 再生剂掺量对混合料残留稳定度的影响

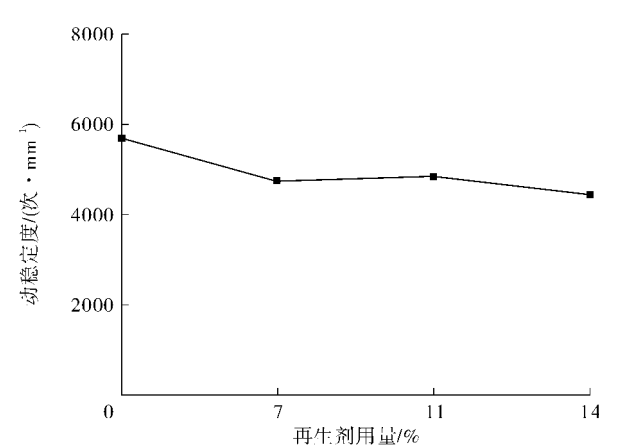


图 5 再生剂掺量对混合料动稳定度的影响

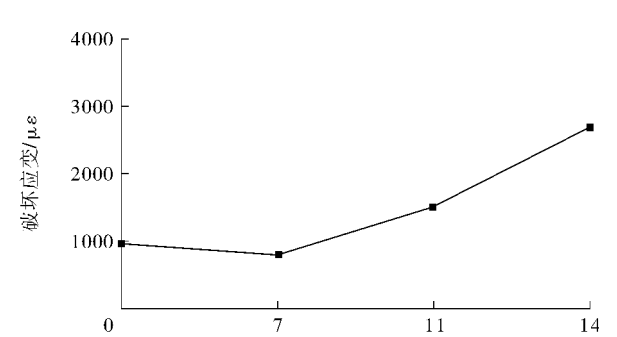


图 6 再生剂掺量对混合料破坏应变的影响

3 就地热再生混合料设计

目前国内外就地热再生混合料设计方法主要包括溶度参数法、经验预估法、性能设计法等^[4],其中,性能设计法以沥青恢复设计的性能来选择再生剂用量,设计思路明确合理,同时可采用常规的混合料性能评价方法,设计工作更加简便,对于我国沥青路面具有较好的适用性。

3.1 性能设计法

性能设计的基本思想是,沥青的老化表现为粘度增

加、针入度和延度下降，软化点升高，必须掺加一定比例的再生剂来改善沥青的技术指标使其达到规范规定的范围⁸或可接受的范围之内。在实施过程中，可通过室内试验测定再生沥青的性能，最终以再生沥青及再生混合料性能的试验结果确定再生剂的最佳用量。

3.2 混合料性能指标

性能设计法的关键在于需要结合沥青老化机理，选择合适的关键技术性能指标。本文在国内外相关研究成果基础上，根据国家对于再生沥青及再生沥青混合料性能的要求，提出了本工程再生沥青及再生沥青混合料的技术要求，见表 1、表 2。

表 1 再生沥青性能技术要求		
试验项目	技术要求	
针入度 (25 ℃ , 100 g , 5 s) /0.1 mm	60 ~ 80	
软化点 /℃	≥46	
延度 (15 ℃ , 5 cm · min ⁻¹) /cm	≥30	
动力粘度 (60 ℃) /Pa · s	≥800	
动力粘度 (135 ℃) /Pa · s	≤3	

表 2 再生沥青混合料性能技术要求		
试验项目	技术要求	
马歇尔试验指标	击实次数 /次	两面各 75
	稳定度 /kN	> 8
	流值 /0.1 mm	15 ~ 40
	空隙率 /%	3 ~ 6.5
性能验证要求	动稳定度 / (次 · mm ⁻¹)	≥3000
	浸水马歇尔试验 S ₀ /%	≥80
	最大破坏应变 /μ ϵ	≥1500

3.3 再生混合料级配设计

就地热再生混合料性能恢复主要包括两个方面：一是需改善沥青的老化；二是需通过添加新料的方式改善混合料的级配状况。本文依托工程旧路面回收的旧料进行了抽提筛分试验，结果见表 3，从表 3 来看，旧路面混合料级配整体偏粗。而根据规范⁸要求，应对其级配进行改善，使其尽量靠近级配范围中值。根据工程经验，拟添加 15 % (占原路混合料) 的油石比为 2 % 的新混合料进行复拌，混合料级配如表 3。

表 3 拌合前后混合料级配情况											
项目	油石比 /%	通过筛孔 (方孔筛 , mm) 百分率 /%									
		16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
规范范围		100	100 ~ 90	85 ~ 80	68 ~ 38	50 ~ 24	38 ~ 15	28 ~ 10	20 ~ 7	15 ~ 5	8 ~ 4
原路混合料	3.9	97.9	90.1	70.0	45.3	27.3	20.9	13.3	9.4	8.1	6.9
添加混合料	2.0	100	88.4	49.9	44.5	4.1	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
再生混合料	4.7	98.5	90.7	74.0	38.7	27.4	19.4	15.2	11.2	8.5	6.1

3.4 不同再生剂用量沥青性能评价⁸

通过旧路面沥青性能试验可知：旧路回收沥青针入度、延度以及 135 ℃ 动力粘度均不满足要求，需添加一定再生剂进行改善。从沥青性能试验结果来看 (表 4)，当再生剂掺量为 11 % 和 14 % 时，再生后沥青各项性能指标均能满足技术要求，还需通过混合料性能试验进一步确定合理的再生剂用量。

表 4 回收沥青参加再生剂的试验结果					
试验项目	回收 沥青	回收沥青 + 再生剂			
		7 %	11 %	14 %	
针入度 (25 ℃ , 100 g , 5 s) /0.1 mm	29.5	60.2	72.6	120.9	
软化点 /℃	78.5	60.2	54.5	50.4	
延度 (15 ℃ , 5 cm · min ⁻¹) /cm	8.3	26.0	34.4	40.7	
动力粘度 (60 ℃) /Pa · s	20000.0	2575.0	1040.0	830.0	
动力粘度 (135 ℃) /Pa · s	5.0	1.5	1.0	0.8	

3.5 再生混合料马歇尔试验

根据初拟的两种再生剂用量及再生混合料级配设计结果，进行混合料马歇尔试验⁸，试验结果如表 5。从表 5 可知：再生剂掺量为 11 % 和 14 % 时，再生混合

料马歇尔试验各项体积性能指标均满足要求，但当再生剂掺量为 14 % 时，稳定度接近限值，综合沥青再生试验来看，本工程选定最佳再生剂掺量为 11 %。

表 5 再生沥青混合料的马歇尔试验结果			
项目	旧路混合料	再生混合料	
再生剂掺加量 /%	0	11	14
空隙率 /%	6.72	5.95	4.27
稳定度 /kN	21.43	17.24	8.15
流值 /0.1 mm	7.8	20.7	23.8

3.6 性能验证

根据以上试验结果，在再生剂掺量为 11 % 时，进行了再生混合料使用性能试验，以验证再生混合料是否满足路用性能要求，试验结果如表 6。由表 6 看出：当再生剂掺量为 11 % 时，混合料的抗水损害、高温稳定性能和低温抗裂性能均满足技术要求。

表 6 再生沥青混合料浸水马歇尔试验结果			
混合料类型	浸水马歇尔 试验 S ₀ /%	车辙动稳定 度 / (次 · mm ⁻¹)	最大破坏 应变 /μ ϵ
旧路混合料	88.2	5918	903.7
再生混合料	83.0	4750	1941.5

4 现场实施效果

根据本文就地热再生混合料配合比设计结果，依托某高速公路沥青路面维修工程，进行了就地热再生处理。为验证研究成果，对实施路段运营状况进行了跟踪监测，结果如表 7。

表 7 就地热再生处理前后路面性能对比

时间	车辙/mm	IRI/ (m · km ⁻¹)	摆值 (BPN)
处理前	10. 4	2. 42	48
处理后一年	4. 2	1. 26	52
处理后两年	3. 6	1. 52	50

从本工程就地热再生处理前后路面状况对比情况看出：

(1) 车辙病害严重的试验路经就地热再生处理后，历经两个夏季高温考验，路面车辙状况良好。表明对于表层混合料高温性能不足或已经稳定的车辙，就地热再生工艺具有理想的处治效果；

(2) 就地热再生对于路面的平整度和抗滑性能都有显著的改善效果，可提高路面表面功能，改善行车舒适性和安全性。

5 结论

研究成果通过实体工程验证，可得以下结论：

(1) 在就地热再生混合料中，添加再生剂可以使老化沥青的软化点、针入度等性能指标逐渐恢复；再生剂可改善沥青混合料的低温性能；

(2) 采用性能设计法设计的就地热再生路面具有较好的路用性能，可显著改善路面车辙和平整度状况。

参考文献：

[1] 易鑫，赵光德，陈希梅. 沥青路面就地热再生关键技术研究 [J]. 公路交通技术，2009 (1)：12 - 15.

[2] 刘金玲. 沥青及沥青混合料就地热再生工艺研究 [D]. 大连理工大学硕士学位论文，2009.

[3] 芦军，颜可珍. 沥青路面自然老化特征分析 [J]. 路基工程，2008 (6)：11 - 12.

[4] 张倩，赵洁，史梦琪，等. 自然因素作用下沥青老化化学机理分析 [J]. 西安建筑科技大学学报，2004，36 (4)：450 - 457.

[5] Asphalt Recycling and Reclaiming Association (ARRA). Basic Asphalt Recycling Manual [K]，2001.

[6] 观祖保. 就地热再生混合料设计思路探讨 [J]. 城市道桥与防洪，2010 (12)：18 - 20.

[7] 周烨. 沥青热再生配合比设计研究 [J]. 交通标准化，2009 (12)：25 - 29.

[8] JTJ052 - 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.

Research on Design Method of In-place Hot Recycling Mixture Based on Performance Design Method

NI Wei, LIU Hua-xue, LIU Qiang

(Jiangsu Transportation Research Institute, Nanjing 211112, China)

Abstract: Through research on ageing and regeneration mechanism of asphalt, the influence of regenerant dosage on asphalt and its mixture is analyzed. The technology standard of in-place hot recycling mixture has been proposed according to engineering experience and laboratory test. The optimum content of regenerant has been determined through indoor tests based on performance design method, and the method of performance validation and the design of recycled mixture are studied. The research results have shown that the pavement has high performance using in-place hot recycling technology based on performance design method.

Key words: in-place hot recycling; performance design method; mixture design; regenerant dosage; technical standard