

废旧聚烯烃改性沥青混合料高温及水稳定性能研究

路再红¹, 童申家², 张 优², 徐璐璐², 何 坤²

(1. 内蒙古交通设计研究院有限责任公司, 内蒙古 呼和浩特 010010; 2. 西安建筑科技大学 土木工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 为研究废旧聚烯烃类材料用于沥青混合料的可行性, 依托丹东至锡林浩特国家高速公路大板至经棚段, 对三种不同基质沥青分别掺配废旧聚烯烃类材料作为改性剂进行研究。研究发现废旧聚烯烃对基质沥青的感温性能和高温性能都有较好的改善, 通过对试验路段进行路面车辙和路面抗渗水性检测, 综合评价了废旧聚烯烃改性剂对沥青混合料高温性能和水稳定性能的改善效果, 为废旧聚烯烃类材料沥青混合料改性剂在内蒙古地区典型气候条件下大面积推广提供参考。

关键词: 道路工程; 废旧聚烯烃; 感温性能; 高温性能; 水稳定性

中图分类号: U416.21

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2020)06-0846-06

Study on high temperature and water stability of waste polyolefin modified asphalt mixture

LU Zaihong¹, TONG Shenjia², ZHANG You², XU Lulu², HE Kun²

(1. Inner Mongolia Transportation Design & Research Institute Co., Ltd., Hohhot 010010, China;

2. School of Civil Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

Abstract: In order to study the feasibility of waste polyolefin materials used in asphalt mixture, this paper took Daban-Jingpeng section of Dandong Xilinhot National Expressway for case study. Three kinds of asphalt with different substrates were mixed with waste polyolefin materials as modifiers. It was found that the waste polyolefin can improve the thermal and high-temperature properties of the matrix asphalt. At the same time, the high temperature and water stability of asphalt mixture were affected by the waste polyolefin modifier, the performance of asphalt mixture modified by waste polyolefin material asphalt mixture was evaluated. It provided a reference for the extensive application of asphalt mixture modifier for waste polyolefin materials under typical climate conditions in Inner Mongolia.

Key words: Road engineering; KZD-1; Sensitive-temperature property; High temperature properties; Water stability

随着公路建设高速发展, 交通事业作为经济发展的重要支柱, 沥青路面在高等级公路中由于其较高的力学强度以及良好的承载力可以保证车辆行驶平稳、舒适且噪音低, 一直以来受到各国的重视^[1-2]。但是随着国民经济的持续发展所带来的交通量的迅速增长使得沥青路面经受严峻考验, 因此, 沥青路面材料性能的分析亟待进行。本文依据内蒙古交通运输厅建设科技项目, 该项目位于内蒙古自治区, 该区地域辽阔, 气候条件复杂, 大多数地区早晚温差大, 夏季降雨趋势明显增强, 部分道路在使用寿命期间出现路面车辙和开裂的现象时有发生, 对于沥青混合料高温抗车辙性能和水稳定性能具有较高的要求^[3]。本文拟针对内蒙古地区寒暑变化剧烈的显著特点, 利用废旧聚烯烃类材料制备沥青混合料改性剂, 以此增强沥青混合料路面抗车

辙变形能力, 并将改性后的沥青混合料应用于具体工程, 通过长期观测, 研究混合料实用性能, 以满足内蒙古地区沥青路面各项技术要求^[4-5]。

研究表明, 沥青在道路路用性能上起着关键性作用, 其力学性能受温度和周围环境的影响很大, 当自身性能无法适应交通要求时则会表现出不同形式的病害, 从而影响了沥青路面性能的良好表现。因此, 为提高沥青路面的使用性能以及适应周围环境的影响, 研究高性能的沥青混合料是必不可少的条件^[6-8]。

鉴于此, 通过研究高性能的沥青改性剂对沥青进行改性已势在必行。经研究发现废旧聚烯烃沥青混合料改性剂(简称 KZD-1)可有效改善沥青混合料性能^[9-10]。目前, KZD-1 已经在广州市珠吉路、机场路和安徽省凤台—淮南高速公路、淮南市城东

收稿日期: 2020-03-10

修改稿日期: 2020-11-10

基金项目: 交通运输部西部建设科技基金资助项目(20113187721260); 内蒙古交通运输厅建设科技基金资助项目(NJ-2014-019)

第一作者: 路再红(1981—), 男, 高级工程师, 从事道路工程研究。E-mail: 2895238127@qq.com

路、淮南市蔡新路、淮南市洞山中路及西安市凤城五路、经高北路、文景路、未央路等路段投入使用，取得不错效果。本文将根据自治区公路建设的实际情况，采用室内试验和现场检测的方式，深入研究废旧聚烯烃改性剂的路用性能，为其在自治区公路建设中的规模化应用提供参考依据^[11-13]。

1 试验用材料

1.1 KZD-1 改性剂

KZD-1 产品是高速公路、高等级沥青路面及有特别质量要求的沥青路面等建设的专用原材料，由塑料和其他高分子纳米材料复合而成的高分子复合材料，其性能指标如表 1 所示。

表 2 三种基质沥青技术指标
Tab. 2 Three matrix asphalt technical indicators

试验项目	沥青标号	实测结果	指标要求	试验方法
针入度 (100 g, 5 s, 25 ℃)/0.1 mm	LH90 #	92	80~100	T0604
	LH110 #	109	100~120	
	KLM90 #	89	80~100	
延度(5 cm/min, 15 ℃)/cm	LH90 #	>100	≥100	T0605
	LH110 #			
	KLM90 #			
软化点/℃	LH90 #	46	≥45	T0606
	LH110 #	45	≥43	
	KLM90 #	45	≥45	

通过对三种不同标号的基质沥青进行针入度、延度和软化点的指标测试可以看出，三种基质沥青均满足规范要求，可将三种不同标号的基质沥青作为原材料进行沥青混合物料性能试验分析。

1.3 沥青混合物料最佳沥青用量确定

本试验采用马歇尔设计方法确定沥青混合物料

表 3 马歇尔试验结果

Tab. 3 Marshall test results

沥青用量/%	技术指标					
	密度/g·cm ⁻³	空隙率 VV/%	矿料间隙率 VMA/%	沥青饱和度 VFA/%	稳定度 MS/kN	流值 FL(0.1 mm)
4.3	2.430	4.7	13.3	65.0	11.6	31.8
4.6	2.450	4.0	12.9	68.5	11.8	31.1
4.9	2.460	4.2	12.8	67.3	11.9	33.0
5.1	2.459	3.6	13.0	72.2	10.8	40.3

首先根据马歇尔稳定度和密度最大值相对应的沥青用量、孔隙率范围内中值对应的沥青用量，以及饱和度范围内的中值所计算的平均值作为沥青混合物料最佳沥青用量的初始值 OAC_1 ；之后以各项指标均符合技术标准的沥青用量范围 $OAC_{min} \sim OAC_{max}$ 的中值作为 OAC_2 ；最后根据初始值 OAC_1

表 1 KZD-1 型改性剂技术指标
Tab. 1 The type modifier technical indicators of KZD-1

外观	颗粒大小/mm	比重/g·cm ⁻³	熔点/℃
黑褐色、 固体颗粒	1.15~4.78	0.90~1.20	10~165

1.2 基质沥青

本试验主要采用的是辽河 90 # (LH90 #)、辽河 110 # (LH110 #) 和克拉玛依 90 # (KLM90 #) 三种基质沥青，根据《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004)，分别对三种不同标号的基质沥青进行针入度、延度和软化点指标测试，其结果见表 2。

中最佳沥青用量，结合交通部《沥青路面施工技术规范》推荐的沥青用量范围，本文确定选用沥青用量为 4.3%、4.6%、4.9% 和 5.1%，对以上沥青用量下沥青混合物料性能进行测试，结果如表 3 所示。

和 OAC_2 的关系综合确定沥青混合物料最佳沥青用量 OAC 为 4.8%。

2 废旧聚烯烃改性剂对基质沥青改性效果研究

本节主要是通过改变 KZD-1 改性剂的掺量分

别与 LH90 #、LH110 # 和 KLM90 # 三种基质沥青进行混合, 依据针入度指数法和软化点来判断沥青感温性能和沥青改性后的高温性能.

2.1 废旧聚烯烃改性剂对三种基质沥青感温性能改善

沥青的感温性能是指在不同的温度条件下沥青的黏度随温度呈现出明显的变化规律. 表示沥青这种感温性常用的指标是针入度指数(PI). 针入度指数(PI)越大, 说明沥青受温度变化的影响越低, 也就是说沥青性能状态的改变程度受环境温度的变化影响较小.

本试验选用三种不同标号的基质沥青, 即 LH90 #、LH110 # 和 KLM90 # 基质沥青, 根据相关论文参考^[14-15] 分别对三种基质沥青添加不同掺量(0%、5%和 10%)的 KZD-1 改性剂, 进行针入度的测试, 试验结果如表 4 所示.

表 4 三种基质沥青掺加 KZD-1 改性后针入度指数试验结果

Tab. 4 Penetration index test results of three matrix

针入度指数	KZD-1 掺量		
	0	5	10
LH90 #	-0.726 4	-0.400 0	-0.131 6
LH110 #	-0.881 5	-0.461 1	-0.180 0
KLM90 #	-1.465 1	-1.404 0	-0.867 6

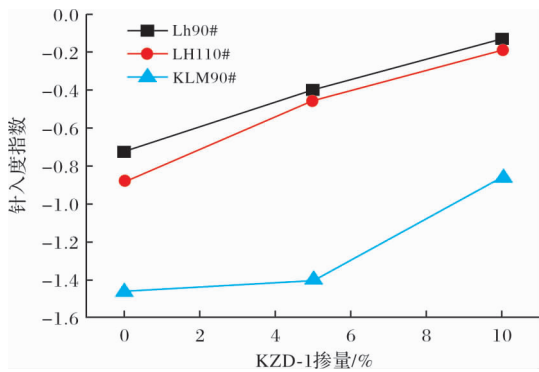


图 1 三种基质沥青掺加 KZD-1 改性后针入度指数试验结果

Fig. 1 Penetration index test results of three matrix asphalts modified with KZD-1

由表 4 和图 1 可知:

(1)对于这三种不同标号的基质沥青, 在掺入 KZD-1 改性剂后, 针入度指数 PI 值随着 KZD-1 剂量(从 0%到 10%)的增加呈递增的趋势, 可以认为三种不同标号的基质沥青在掺加 KZD-1 改性后温度敏感性降低, 沥青感温性能由此得到改善.

(2)对于辽河 90 # 沥青和辽河 110 # 沥青, 随着 KZD-1 改性剂的增加, 针入度指数前期增长速度较克拉玛依 90 # 沥青快, 当 KZD-1 掺量超过 5%后, 克拉玛依 90 # 沥青的针入度指数增长速度

迅猛增加. 由此可以看出 KZD-1 掺量的变化对克拉玛依 90 # 沥青感温性能影响更加显著.

2.2 废旧聚烯烃改性剂对三种基质沥青高温性能改善

软化点是道路沥青最基本的一种性质指标, 由于软化点的高低反映了沥青在一定的温度条件下呈现出的物理状态, 软化点高说明沥青在高温条件下软化变形小; 软化点低说明沥青在高温条件下易软化变形, 因此将软化点作为沥青热稳定性能的指标.

表 5 三种基质沥青掺加 KZD-1 改性后软化点试验结果

Tab. 5 Test results of softening point of three matrix asphalts modified with KZD-1

KZD-1 掺量	软化点		
	0	5	10
LH90 #	47.5	51.3	56.6
LH110 #	46.6	50.9	56.0
KLM90 #	47.5	50.6	54.6

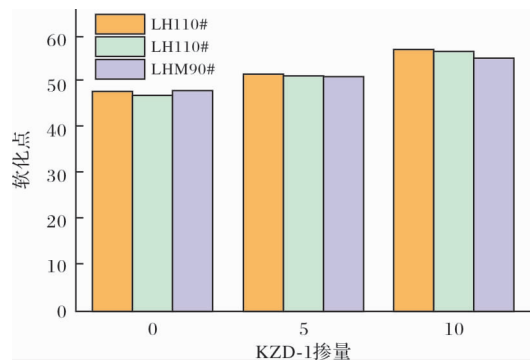


图 2 三种基质沥青掺加 KZD-1 改性后软化点试验结果

Fig. 2 Test results of softening point of three matrix asphalts modified with KZD-1

由表 5 和图 2 可知:

(1)三种不同标号的基质沥青的软化点随着 KZD-1 掺量的增加呈现出增长的趋势, 说明基质沥青的高温性能随着 KZD-1 掺量的增加而增强; 在还未掺加 KZD-1 改性时, 三种沥青的高温性能相差不大, 但随着 KZD-1 掺量的不断增加, 三种基质沥青的高温性能开始产生差异.

(2)当 KZD-1 的掺量从 0%变化到 10%过程中, 辽河 90 # 沥青和辽河 110 # 沥青的软化点增幅近 20%, 克拉玛依 90 # 沥青的软化点提高了 14.9%. 说明随着 KZD-1 掺量的增加, KZD-1 掺量对三种基质沥青高温性能的影响程度为: 辽河 110 # > 辽河 90 # > 克拉玛依 90 #.

3 废旧聚烯烃改性沥青混合料路用性能研究

本文选用的混合料类型为 AC-16 型沥青混合

料，通过研究 KZD-1 对其高温性能和水稳定性能影响结果，并结合试验路进行高温抗车辙和抗渗水性能的检测，综合评价 KZD-1 对沥青混合料性能改善效果。同时制作 SBS 改性沥青混合料做对比试验，在改性效果研究过程中，最佳沥青用量采用沥青混合料配合比设计确定的最佳沥青用量 4.8%，其中 SBS 改性剂占沥青用量 6%，KZD-1 用量的选取参考相关论文分别占沥青混合料质量的 0.2%、0.3%、0.4%（占沥青用量分别为 4%、6%、8%）。

3.1 高温性能改性效果

根据我国《公路沥青路面施工技术规范》中规定的高温性能通过车辙试验得到的动稳定度来评价，在高温条件下，混合料每产生 1 mm 变形时所承受标准轴载的行走次数为动稳定度，试验结果如表 6。

表 6 沥青混合料动稳定度试验结果
Tab. 6 Results of asphalt mixture dynamic stability test

类别	掺量/%	动稳定度/ 次·mm ⁻¹	技术要求
基质沥青	4.8	1 140	≥800
SBS 改性沥青	4.8	4 832	
KZD-1	0.2	2 439	≥2 400
	0.3	4 515	
	0.4	5 567	

由表 6 可知：

随着 KZD-1 掺量的增加，沥青混合料动稳定度明显增大，当 KZD-1 掺量为 0.3% 时沥青混合料动稳定度与 SBS 改性沥青混合料动稳定度相近，当 KZD-1 掺量为 0.4% 时，KZD-1 改性沥青混合料动稳定度远大于 SBS 改性沥青混合料，综合考虑为了提升沥青混合料高温性能，建议 KZD-1 改性剂掺量占沥青混合料质量不低于 0.3%。

3.2 水稳定性改性效果

按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20-2011)对 KZD-1 改性后沥青混合料进行浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验来评价改性后沥青

混合料水稳定性，结果如表 7~8 所示。

表 7 残留稳定度试验结果
Tab. 7 Residual stability test results

类别	占混合料 比例/%	残留强 度比/%	技术要求
基质沥青	4.8	89	≥80
SBS 改性沥青	4.8	90	
KZD-1	0.2	87	≥85
	0.3	96	
	0.4	93	

表 8 冻融劈裂试验结果
Tab. 8 Freeze-thaw split test results

类别	占混合料 比例/%	残留强 度比/%	技术要求
基质沥青	4.8	86	≥75
SBS 改性沥青	4.8	88	
KZD-1	0.2	84	≥80
	0.3	91	
	0.4	90	

由表 7~8 可知：

沥青混合料的残留稳定度和残留强度比随着 KZD-1 的掺入有所增加，说明沥青混合料的水稳定性增强。当 KZD-1 掺量为 0.3% 时，沥青混合料水稳定性略好于 SBS 改性沥青混合料，因此为了有效改善沥青混合料的水稳定性，建议控制 KZD-1 改性剂掺量不低于 0.3%。

3.3 试验路检测

为了更好的评价 KZD-1 对沥青混合料路用性能改善效果，本文依托内蒙古交通运输厅建设科技项目进行试验路的铺筑，根据现场对路面车辙和路面抗渗水性能的检测进行 KZD-1 改性沥青混合料路用性能的分析。

(1)路面车辙检测

车辙是路面常见的损坏形式，试验段沥青路面车辙检测每 50 m 检测 1 处。如表 9 所示，为试验段沥青路面车辙检测结果。

表 9 沥青路面车辙检测结果
Tab. 9 Asphalt road rutting results

检测项目	车辙	检验标准	JTG E60-2008《公路路基路面现场测试规程》	
检测设备	自动车辙测试设备	判定依据	JTG F80/1-2004《公路工程质量检验评定标准》	
序号	检测桩号	检测结果/mm	技术指标/mm≤	单元评定结果
1	K8+300	2.75	10.0	合格
2	K8+350	2.48	10.0	合格
3	K8+400	2.51	10.0	合格
4	K8+450	3.61	10.0	合格

续表 9

检测项目	车辙	检验标准	JTJ E60-2008《公路路基路面现场测试规程》	
检测设备	自动车辙测试设备	判定依据	JTJ F80/1-2004《公路工程质量检验评定标准》	
序号	检测桩号	检测结果/mm	技术指标/mm≤	单元评定结果
5	K8+500	2.70	10.0	合格
6	K8+550	2.31	10.0	合格
7	K8+600	2.13	10.0	合格
8	K8+650	2.22	10.0	合格
9	K8+700	3.36	10.0	合格
10	K8+750	2.92	10.0	合格
11	K8+800	2.95	10.0	合格

(2)路面抗渗水性能检测 100 mL下降到 500 mL 所需的时间为标准, 试验段
沥青路面渗水系数测试方法适用于在路面现场 沥青路面横坡检测每 200 m 检测 1 处. 如表 10 所
测定沥青路面的渗水系数. 计算时以水面从 示, 为试验段沥青路面抗渗水性能检测结果.

表 10 沥青路面抗渗水性能检测结果

Tab. 10 Test results of anti-seepage performance of asphalt pavement

检测项目	渗水系数	检验标准	JTJ E60-2008《公路路基路面现场测试规程》	
检测设备	渗水试验仪	判定依据	设计要求	
序号	检测桩号	检测结果/mL · min ⁻¹	设计值/mL · min ⁻¹	单元评定结果
1	K8+400	152	≤200	合格
2	K8+600	147	≤200	合格

根据现场检测的路面车辙和路面抗渗水性能结果可以看出, 在掺入废旧聚烯烃改性剂的沥青混合料路面性能良好, 各项指标符合设计要求.

4 结论

(1)当通过改变 KZD-1 的掺量与三种基质沥青进行改性后, 改性沥青的感温性和高温性能随着 KZD-1 含量的增加有所提高, 并且随着 KZD-1 掺量的不断增加, 克拉玛依 90 # 基质沥青感温性能更加显著, 而辽河 110 # 基质沥青的高温性能较其他两种基质沥青影响明显.

(2)SBS 和 KZD-1 两种改性剂对基质沥青都有较好的改性效果, 从水稳定性和高温稳定性试验结果分析可以看出, KZD-1 对沥青混合料的高温性能和水稳定性能有明显的改善效果; 结合试验段路面车辙和抗渗水性能的检测, 采用废旧聚烯烃类材料改性沥青路面性能良好, 各项指标均符合设计要求. 同时, SBS 改性剂比 KZD-1 改性剂费用高, 从经济性和改性效果方面分析, 选用 KZD-1 改性剂具有良好的市场前景.

参考文献 References

[1] 秦仁杰, 李永海, 刘可, 等. KZD-1 改性剂掺量及沥青混合料性能研究[J]. 湖南交通科技, 2016, 42(2): 76-

80.
QIN Renjie, LI Yongmei, LIU Ke, et al. Research on KZD-1 modifier content and asphalt mixture performance[J]. Hunan Transportation Science and Technology, 2016, 42(2): 76-80.
[2] 童申家, 刘金修, 王乾等. 矿料级配对紫外光老化沥青混合料高低温性能影响研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2015, 47(5): 626-629.
TONG Shenjia, LIU Jinxiu, WANG Qian, et al. Study on the Influence of Mineral Grade on the High and Low Temperature Performance of Ultraviolet Aging Asphalt Mixture[J]. J. of Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition), 2015, 47(5): 626-629.
[3] 应荣华, 常锦, 许雅俊. KZD-1 型改性剂对沥青及沥青混合料路用性能影响探究[J]. 中外公路, 2017, 37(1): 245-249.
YING Ronghua, CHANG Jin, XU Yajun. Study on the Influence of KZD-1 Modifier on Asphalt and Asphalt Mixture Road Performance[J]. Chinese and foreign Highways, 2017, 37(1): 245-249.
[4] 胡利. SEAM 改性沥青混合料试验研究[J]. 路基工程, 2014(5): 133-139.
HU Li. Experimental study on SEAM modified asphalt mixture[J]. Subgrade Engineering, 2014(5): 133-139.
[5] SUN Yiren, DU Cong, GONG Hongren, et al. Effect

- of temperature field on damage initiation in asphalt pavement: A microstructure-based multiscale finite element method[J]. *Mechanics of Materials*, 2020. 10. 1016/j.mechmat. 2020. 103367
- [6] CHENG Danhan, DONG Yang, LIU Xiang, et al. Experimental investigation on dynamic response of asphalt pavement using Smart Rock sensor under vibrating compaction loading[J]. *Construction and Building Materials*, 2020. 10. 1016/j.conbuildmat. 2020. 118592
- [7] YAN Kezhen, YANG Peng, YOU Lingyun. Use of tung oil as a rejuvenating agent in aged asphalt: Laboratory evaluations[J]. *Construction and Building Materials*, 2020. 10.1016/j.conbuildmat. 2019. 117783
- [8] YAN Kezhen, CHEN Jinghao, YOU Lingyun, et al. Characteristics of compound asphalt modified by waste tire rubber (WTR) and ethylene vinyl acetate (EVA): Conventional, rheological, and microstructural properties[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020. 10. 1016/j.jclepro. 2020. 120732
- [9] 刘莹,王涵,郭娜,等. 干法工艺生产改性沥青混合料的发展现状[J]. *石油沥青*, 2017, 31(2): 63-67.
LIU Ying, WANG Han, GUO Na, et al. Development status of modified asphalt mixture produced by dry process[J]. *Asphalt*, 2017, 31(2): 63-67.
- [10] 朱荣芳,唐国奇. 基于动态力学的直投改性技术机理及应用研究[J]. *公路与汽运*, 2017, 182(5): 75-78.
ZHU Rongfang, TANG Guoqi. Research on the mechanism and application of direct investment modification technology based on dynamic mechanics [J]. *Highway and Motor Transport*, 2017, 182(5): 75-78.
- [11] 丁智勇,程旭乐,杨光,等. 颗粒型改性剂对沥青搅拌均匀性影响的研究[J]. *公路*, 2019, 7: 261-266.
DING Zhiyong, CHENG Xule, YANG Guang, et al. Study on the influence of particulate modifier on asphalt mixing uniformity[J]. *Highway*, 2019, 7: 261-266.
- [12] 郑东辉. 矿质混合料级配理论分析及组成设计方法研究[J]. *黑龙江交通科技*, 2018(8): 6-7.
ZHENG Donghui. Theoretical analysis and composition design of mineral mix gradation[J]. *Heilongjiang Transportation Science and Technology*, 2018(8): 6-7.
- [13] 付超,周雄,吴林生. 湿法和干法 SBS 改性沥青混合料对比研究[J]. *公路工程*, 2018, 43(6): 212-215, 293.
FU Chao, ZHOU Xiong, WU Linsheng. Comparative study of wet and dry sbs modified asphalt mixtures [J]. *Road Construction*, 2018, 43(6): 212-215, 293.
- [14] 常向征,李佩,韩贵宾. 新型干拌速熔 SBS 改性剂技术可行性研究[J]. *施工技术*, 2019, 48(6): 1190-1192.
CHANG Xiangzheng, LI Pei, HAN Guibin. Feasibility study of new dry-mixed and fast-melting SBS modifier technology[J]. *Construction Technology*, 2019, 48(6): 1190-1192.
- [15] 李春歌. 干掺废旧塑料改性剂 CRP 的沥青混合料路用性能及机理研究[D]. 重庆:重庆交通大学, 2016.
LI Chungge. Study on road performance and mechanism of asphalt mixture dry-mixed with waste plastic modifier CRP [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2016.

(编辑 吴海西 沈 波)