

# 不同老化沥青掺量下的温拌再生沥青性能研究

陈静云,李 捷,王维营

(大连理工大学交通运输学院,辽宁 大连 116024)

**摘 要** 目的 研究在不同温拌剂、不同老化沥青掺量下的温拌再生沥青性能,分析温拌剂和老化沥青对温拌再生沥青的性能影响. 方法 对不同温拌再生沥青的旋转黏度、动态剪切流变试验的高温性能及抗疲劳性能、弯曲梁流变试验的低温性能进行分析. 结果 随老化沥青掺量的增加,沥青的旋转黏度、车辙因子及疲劳因子升高,低温蠕变速率下降;降黏型温拌再生沥青 A 与普通再生沥青相比,黏度下降 20% ~ 30%,高温性能和抗车辙能力降低,其抗疲劳性能和低温性能均有不同程度的提高;表面活性型温拌再生沥青 B 与普通再生沥青相比,其黏度、高温性能和抗车辙能力基本不变,抗疲劳性能和低温性能略有提高. 结论 老化沥青提高温拌再生沥青施工温度和高温性能,降低其抗疲劳和低温性能. 不同温拌剂对再生沥青的性能影响不同,应根据实际需要选择相应温拌剂.

**关键词** 温拌再生;沥青胶结料;老化沥青掺量;黏度;路用性能

中图分类号 TU502;U414      文献标志码 A

## Performance of Warm Recycled Asphalt Binders with Different Aged Asphalt Percentage

CHEN Jingyun, LI Jian, WANG Weiying

(School of Transportation and Logistics, Dalian University of Technology, Dalian, China, 116024)

**Abstract:** This paper gives a research about performance properties of warm recycled asphalt binders under different aged asphalt binders percentage using two warm mix additive technologies( wax additive and surfactant additive). The viscosity, DSR( Dynamic Shear Rheometer) and BBR( Bending Beam Rheometer) test of different asphalt binders were tested and the high temperature property, rutting resistance, fatigue resistance and the low temperature performance were analyzed. The result showed that as aged asphalt binders content increase, the viscosity, rutting resistance and the fatigue factor have the liner increase, but the m-value of low temperature performance have a reduction; Compared to the hot mix asphalt binders, the warm recycled mix asphalt binders with wax additive A showed significant decrease of viscosity( 20% ~ 30% ), lower high temperature and rutting resistance performance, better resistance of fatigue and low temperature performance. While

the warm recycled mix asphalt binders with surfactant additive B has no significant change in viscosity,high temperature and resistance of rutting,but the resistance of fatigue and low temperature performance have a slightly increase. The rutting resistance and construction temperature increased as aged asphalt binder content increase ,but the reduction of fatigue resistance and the low temperature performance were noticed. Moreover,the property of warm mix recycled binders significantly affected by different warm mix additives and the appropriate additive should be selected in practice.

**Key words:** warm mix recycled asphalt; asphalt binders; aged asphalt binders content; viscosity; paving performance related properties

沥青路面厂拌热再生技术以其施工工艺与普通热拌沥青无本质差异、性能稳定、质量可靠等优点,成为发展最成熟和普遍的沥青路面再生利用技术<sup>[1-3]</sup>. 在当前的再生工程实践中,旧料的普遍掺量为 20% ~30%,且热再生过程中把旧料加热到较高温度,使旧料中的沥青二次老化,同时消耗大量燃料并产生废气排放<sup>[4]</sup>. 温拌沥青技术是近年来发展的新技术,通过添加温拌剂,使沥青混合料的拌和温度降低,减少能源消耗,减轻沥青老化<sup>[5-6]</sup>. 温拌技术主要有降黏型温拌技术、发泡型温拌技术和表面活性温拌技术,其中降黏型温拌技术和表面活性温拌技术应用较为广泛<sup>[7]</sup>.

温拌再生技术将厂拌热再生和温拌技术结合,使混合料生产温度降低,减少燃料消耗、节约成本和减轻沥青再次老化<sup>[8]</sup>. 目前国内外学者对温拌再生技术进行了不同方面的研究<sup>[9-11]</sup>. 李振等<sup>[12]</sup>对不同旧料掺量不同成型温度下的温拌再生沥青混合料的体积特性进行了研究. 刘唐志等<sup>[13]</sup>研究了温拌再生沥青混合料水稳定性能,证明破碎筛分后的温拌再生沥青混合料水稳定性与热拌再生沥青混合料相当. 目前,国内对温拌再生技术的研究主要集中在混合料性能方面,对温拌再生沥青结合料的性能研究较少. 而沥青与沥青混凝土有很好的相关关系,我国当前以经验法为主的结合料路用性能评价体系不利

于实践中对沥青的选择和质量控制<sup>[14-15]</sup>. 在当前研究下,旧料及老化沥青掺量较低,对于较高老化沥青掺量下再生沥青的性能鲜有研究. 笔者参考美国 SHRP ( Strategic Highway Research Program ) 中基于路用性能的沥青结合料性能评价方法,研究在不同老化沥青掺量下温拌再生沥青的性能. 采用降黏型 A 和表面活性型 B 两种温拌剂,5 种老化沥青掺量,对比不同老化沥青掺量下温拌再生沥青的路用性能,对再生沥青结合料进行性能评价,也为后续温拌再生沥青混合料的性能研究提供参考依据.

1 试验材料及方法

笔者采用盘锦 90#沥青,老化沥青是新沥青经过旋转薄膜加热 ( Rolling Thin Film Oven,RTFO ) 和沥青压力老化 ( Pressure Aging Vessel,PAV ) 试验获得,沥青的各项指标见表 1. 使用新沥青调合老化沥青为普通再生沥青,老化沥青占再生沥青比例分别为 30%、40%、50%、60% 和 70%. 温拌剂 A 或 B 分别加入到再生沥青中经过高速剪切制备成温拌再生沥青 ( 见图 1、图 2 ). 其中降黏型温拌剂 A 是高分子蜡,为白色颗粒状固体,掺量为 3%. 表面活性温拌剂 B 为棕色油状液体,掺量为 0.5%.

表 1 试验用沥青各项指标  
Table 1 Properties of asphalt binders in the test

沥青 类型	(135℃)旋转黏 度/(Pa·s)	破坏温 度/℃	(64℃)车辙因 子/kPa	(19℃)疲劳因 子/kPa	(-12℃)劲度模 量/MPa	(-12℃)蠕变 速率
基质沥青	0.252	62.8	0.851	—	—	—
RTFO 后	—	61.5	0.576	—	—	—
RTFO + PAV 后	—	—	—	5 096	220.3	0.358



图1 温拌剂 A

Fig.1 Warm mix additive A

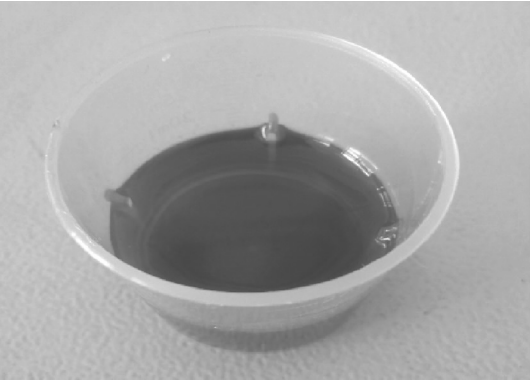


图2 温拌剂 B

Fig.2 Warm mix additive B

笔者对不同温拌剂不同老化沥青掺配比下的温拌再生沥青分别进行旋转黏度试验、动态剪切流变试验(DSR)和弯曲梁流变试验(BBR),试验流程如图3所示。

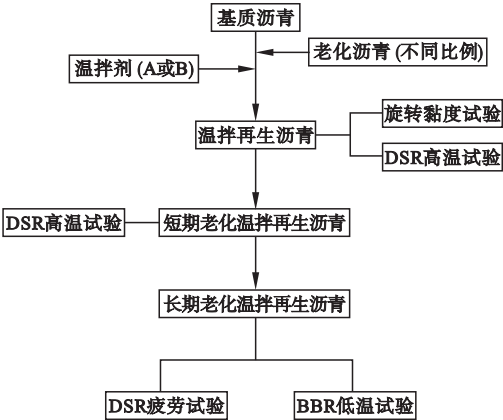


图3 试验流程图

Fig.3 Test flow chart

2 温拌再生沥青性能评价

2.1 旋转黏度

沥青的黏度是确定沥青混合料拌和与压实温度的指标,也是评价沥青混合料在不同温度下和易性的重要指标<sup>[16]</sup>.图4和图5分别是3种沥青在不同老化沥青掺量、不同温度下(115℃、135℃和155℃、175℃)的旋转黏度。

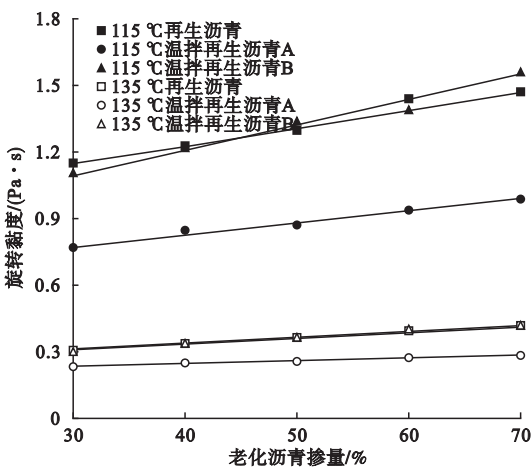


图4 115℃及135℃不同温拌再生沥青旋转黏度

Fig.4 Viscosity of different warm recycled mix asphalt binders at 115 °C and 135 °C

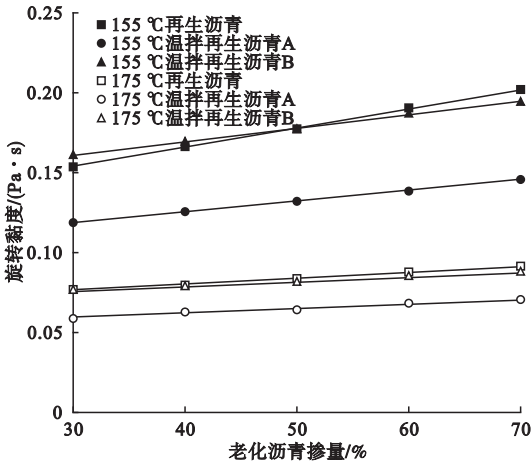


图5 155℃及175℃不同温拌再生沥青旋转黏度

Fig.5 Viscosity of different warm mix recycled asphalt binders at 155 °C and 175 °C

由图4、图5可以看出,沥青黏度随着老化沥青掺量的增加而线性增加,老化沥青掺量增加导致施工和易性差,施工温度升高. 在同一温度下,温拌再生沥青B与普通再生沥青的黏度基本相同,而温拌再生沥青A的黏度明显低于另外两种沥青. 以115℃为例,30%~70%老化沥青掺配比下的B沥青与普通再生沥青相比黏度变化分别为1.4%、3.2%、4.3%、1.3%,A沥青的黏度则分别下降32%、26%、22%和22%. 表明温拌剂B基本不改变再生沥青的黏度,而温拌剂A明显降低了再生沥青的黏度. 另外,由于温拌剂B属于表面活性剂,温拌机理是在混合料拌和过程中形成水膜润滑而实现温拌效果,其黏度并不能反映混合料的拌和与压实温度.

2.2 高温性能

(1) 温拌再生沥青的高温性能

SHRP提出以车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 表征沥青高温性能,并规定以原样沥青 $G^*/\sin\delta > 1.0\text{ kPa}$ ,RTFO后残留物 $G^*/\sin\delta > 2.2\text{ kPa}$ 的最低温度为破坏温度<sup>[17]</sup>. 破坏温度高的沥青结合料表明其能适用的高温温度越高,高温性能越好. 不同温拌再生沥青的破坏温度如图6所示.

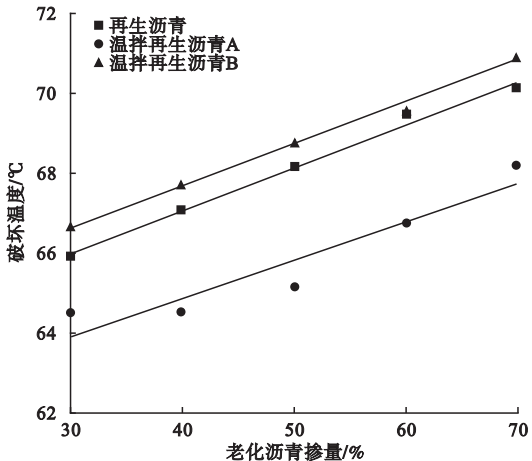


图6 不同温拌再生沥青破坏温度

Fig. 6 Failure temperature of different warm recycled mix asphalt binders

由图6可知,沥青的破坏温度与老化沥

青掺量呈线性关系,且相关度均接近或高于0.9,表明掺加老化沥青可以提高沥青的高温性能. 在相同的老化沥青掺量下,温拌再生沥青B的破坏温度稍高于普通再生沥青,高温性能略有提高;而温拌再生沥青A的破坏温度低于普通再生沥青2%~4%,高温性能降低.

车辙因子是衡量沥青在高温下的抗车辙能力的指标. 相同温度下车辙因子高的沥青其抗车辙能力强. 选取30%、50%、70%三种老化沥青掺量的车辙因子如图7所示.

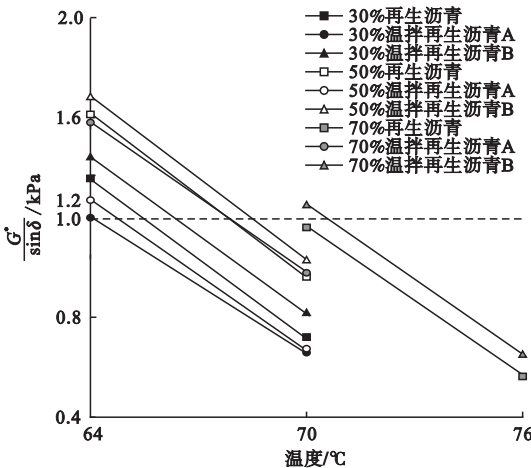


图7 不同温拌再生沥青车辙因子

Fig. 7  $G^*/\sin\delta$  of different warm recycled mix asphalt binders

由图7可知,64℃下沥青的车辙因子均大于1 kPa,而70℃下只有70%老化沥青掺配比下的普通再生沥青和温拌再生沥青B车辙因子大于1 kPa. 随着老化沥青掺量增加,沥青的抗车辙能力越强. 且温拌再生沥青B的抗车辙能力最优,温拌再生沥青A的抗车辙性能最差.

(2) 温拌再生沥青RTFO后的高温性能

经过RTFO老化后的沥青的破坏温度如图8所示. 可以看出经过RTFO后的不同沥青破坏温度与原样沥青基本一致,而温拌再生沥青的破坏温度均低于普通再生沥青. 温拌再生沥青A的破坏温度最低,且其数据的离散性较大,这与颗粒型温拌剂A在沥青中

分布不均匀有关.与未老化时不同,温拌再生沥青 B 破坏温度低于普通再生沥青,说明温拌再生沥青 B 抗老化能力较强.

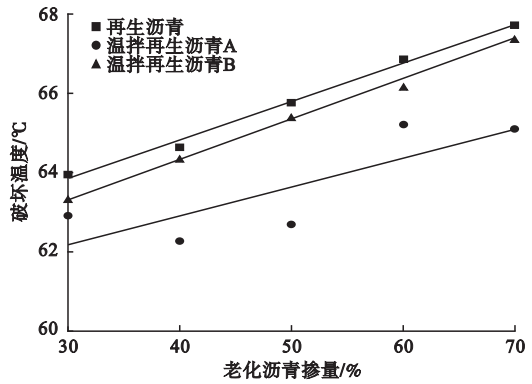


图 8 不同温拌再生沥青 RTFO 后的破坏温度  
Fig. 8 Failure temperature of different RTFO warm recycled mix asphalt binders

经过 RTFO 老化后的沥青不同温度下的车辙因子如图 9 所示.随着老化沥青掺量的增加,沥青的抗车辙能力增强.而温拌再生沥青的抗车辙性能均低于普通再生沥青,且温拌再生沥青 A 的抗车辙性能最差.

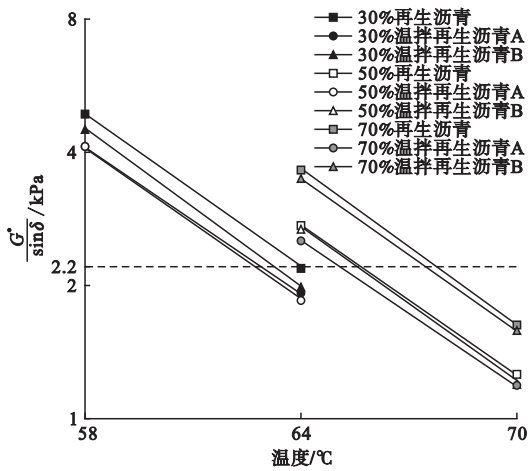


图 9 不同温拌再生沥青 RTFO 后的车辙因子  
Fig. 9  $G^*/\sin\delta$  of different RTFO warm recycled mix asphalt binders

2.3 抗疲劳性能

对经过 RTFO 和 PAV 老化后的沥青测定其疲劳因子  $G^*\sin\delta$ , 疲劳因子是衡量沥青中温抗重复荷载的重要指标<sup>[18]</sup>. 相同温度下, 疲劳因子高的沥青其抗疲劳性能差. 3 种

沥青不同老化沥青掺量下 19 °C 和 22 °C 的疲劳因子见图 10.

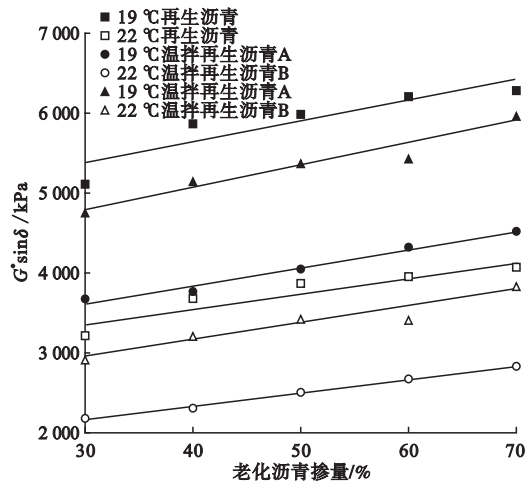


图 10 不同温拌再生沥青疲劳因子  
Fig. 10  $G^*\sin\delta$  of different PAV warm recycled mix asphalt binders

由图 10 可以看出,在较高温度下沥青的抗疲劳性能更优;提高老化沥青掺量,沥青的疲劳因子增加,抗疲劳性能降低,但在长年路面温度高的地区可以适当增加旧沥青混合料掺量.两种温拌剂均能提高再生沥青的抗疲劳性能,在不同老化沥青掺配比下,温拌剂 A 对再生沥青的抗疲劳性能分别提高 28%、36%、32%、30% 和 28%. 表面活性温拌剂 B 对再生沥青的抗疲劳性能提高 7%、12%、10%、12% 和 4%, 其中温拌再生沥青 A 的抗疲劳性能最优.

2.4 低温性能

沥青的低温性能可以通过弯曲梁流变试验(BBR)测得.测定经 RTFO 和 PAV 老化后的沥青的劲度模量和蠕变速率,相同温度下劲度模量高、蠕变速率低的沥青其低温性能差<sup>[19-20]</sup>. -12 °C 下各种沥青的劲度模量和蠕变速率分别如图 11 和图 12 所示.

由图 11、图 12 可以看出,随着老化沥青掺量的增加,沥青的劲度模量无明显的变化趋势,而蠕变速率随着老化沥青掺量的提高而降低,说明相对于劲度模量,蠕变速率在一定程度上更能表征沥青的低温性能,且增加



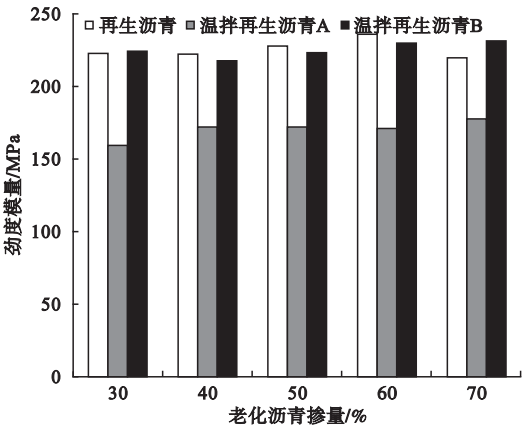


图 11 不同温拌再生沥青劲度模量

Fig. 11 Stiffness of different PAV warm recycled mix asphalt binders

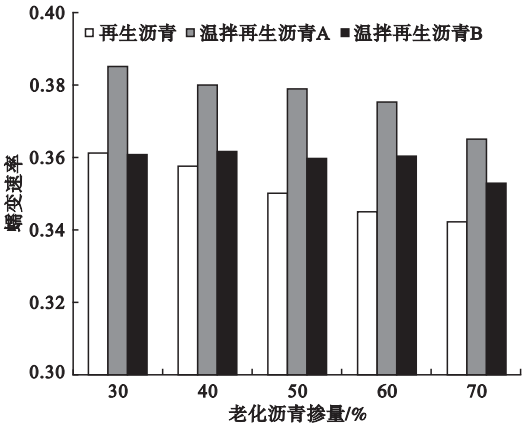


图 12 不同温拌再生沥青蠕变速率

Fig. 12 M-value of different PAV warm recycled mix asphalt binders

老化沥青掺量使沥青的低温性能降低,同时,温拌剂 A 和 B 均能提高再生沥青的低温性能. 温拌剂 B 对再生沥青的低温性能略有改善,而温拌剂 A 对再生沥青的低温性能提高较为明显,温拌剂 A 的低温适用性更强.

3 结 论

(1)随着老化沥青掺量的增加,沥青的旋转黏度提高,且老化沥青的掺量与黏度之间呈线性关系. 表面活性温拌剂 B 对再生沥青的旋转黏度无明显影响,降黏型温拌剂 A 使再生沥青的旋转黏度降低 20% ~ 30%. 老化沥青掺量增加使沥青施工温度提高,温拌

剂 A 可以抵消因为老化沥青掺量增加引起的黏度增大,从而提高施工和易性,降低施工温度.

(2)降黏型温拌剂 A 使再生沥青的高温性能降低 3% 左右,抗疲劳性能和低温性能与再生沥青相比分别提高约 30% 和 7%;表面活性温拌剂 B 基本不改变再生沥青的高温性能,与再生沥青相比,其抗疲劳性能和低温性能分别提高约 10% 和 2%.

(3)随着老化沥青掺量的增加,沥青的高温性能增强,抗车辙能力提高,同时其抗疲劳性能和低温性能均有不同程度的降低. 降黏型温拌剂 A 及表面活性温拌剂 B 可以抵消部分因老化沥青掺量增加而导致的温拌再生沥青性能下降,这对高比例老化沥青掺量下的沥青及沥青混合料性能研究有指导意义.

(4)采用 BBR 测定沥青低温性能,相同温度下蠕变速率一定程度上比劲度模量能更好地表征沥青的低温性能.

参考文献

[ 1 ] 交通运输部公路科学研究院. 公路沥青路面再生技术规范: JTG F41—2008 [ S ]. 北京: 人民交通出版社, 2008.  
( Research Institute of Highway Ministry of Transport. Technical specifications for highway asphalt pavement recycling: JTG F41—2008 [ S ]. Beijing: China Communications Press, 2008. )  
[ 2 ] 陈静云, 王峻, 刘佳音. 高比例 RAP 热再生沥青混合料低温抗裂性能 [ J ]. 沈阳建筑大学学报( 自然科学版 ), 2013, 29 ( 5 ) : 782 - 787.  
( CHEN Jingyun, WANG Jun, LIU Jiayin. Study on low temperature anti-cracking performance of hot recycled asphalt mixture at high proportion of RAP [ J ]. Journal of Shenyang jianzhu university ( natural science ), 2013, 29 ( 5 ) : 782 - 787. )  
[ 3 ] 马涛, 赵永利, 黄晓明. 沥青路面厂拌热再生关键技术 [ M ]. 南京: 东南大学出版社, 2015.  
( MA Tao, ZHAO Yongli, HUANG Xiaoming. Key technology for central plant hot recycling of asphalt pavement [ M ]. Nanjing: Southeast University Press, 2015. )  
[ 4 ] 郭乃胜, 尤占平, 赵颖华, 等. 考虑再生剂作用的温拌再生沥青混合料路用性能 [ J ]. 建筑材

- 料学报,2015,18(4):675-681.  
(GUO Naisheng, YOU Zhanping, ZHAO Yinghua, et al. Performance of warm mix asphalt with recycled asphalt mixtures considering the effect of rejuvenating agent [J]. Journal of building materials, 2015, 18(4): 675-681.)
- [5] BUSS A, WILLIAMS R C, SCHRAM S. The influence of warm mix asphalt on binders in mixes that contain recycled asphalt materials [J]. Construction & building materials, 2015, 77:50-58.
- [6] CHEN J, WANG W, SUN Y, et al. Performance evaluation and chemical property analysis of RWMA binders with 100% artificial reclaimed asphalt [J]. Journal of southeast university(english edition), 2017(1):91-95.
- [7] 李彦伟,王江帅,黄文元,等.温拌沥青路面施工技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2011.  
(LI Yanwei, WANG Jiangshuai, HUANG Wenyuan, et al. Applied technology of warm mix asphalt for pavement construction [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2011.)
- [8] 陈静云,马强.温拌-再生改性沥青 SMA 混合料性能研究[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2012,28(2):286-290.  
(CHEN Jingyun, MA Qiang. Properties of warm mix-recycled modified asphalt SMA mixture[J]. Journal of Shenyang jianzhu university(natural science), 2012, 28(2): 286-290.)
- [9] ZHAO S, HUANG B, SHU X, et al. Comparative evaluation of warm mix asphalt containing high percentages of reclaimed asphalt pavement [J]. Construction and building materials, 2013, 44:92-100.
- [10] 李新阳.基于降粘与表面活性技术的温拌沥青及混合料性能对比研究[D].重庆:重庆交通大学,2013.  
(LI Xinyang. The performance comparison of warm mix asphalt based on viscosity reducer and surface activity technology [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2013.)
- [11] LILLIAN G, NURIZZI M Y, MEOR O H. Effects of RH-WMA additive on rheological properties of high amount reclaimed asphalt binders[J]. Construction and building materials, 2016, 114:665-672.
- [12] 李振,徐世法,罗晓辉,等.温拌再生沥青混合料压实特性评价[J].北京建筑工程学院学报,2010,26(1):14-19.  
(LI Zhen, XU Shifa, LUO Xiaohui, et al. Evaluation of compaction characteristics of warm-recycled asphalt mixture[J]. Journal of Beijing university of civil engineering and architecture, 2010, 26(1): 14-19.)
- [13] 刘唐志,朱洪洲,李佳坤,等.温拌再生沥青混合料水稳定性研究[J].武汉理工大学学报,2013,35(3):54-58.  
(LIU Tangzhi, ZHU Hongzhou, LI Jiakun, et al. Research on water stability of warm-recycled asphalt mixture[J]. Journal of Wuhan university of technology, 2013, 35(3): 54-58.)
- [14] 孙吉书,肖田,杨春风,等.温拌再生沥青混合料的路用性能研究[J].重庆交通大学学报,2011,30(2):250-253.  
(SUN Jishu, XIAO Tian, YANG Chunfeng, et al. Properties of warm mix recycled asphalt mixture in highway[J]. Journal of Chongqing jiaotong university(natural science), 2011, 30(2):250-253.)
- [15] 王超.沥青结合料路用性能的流变学研究[D].北京:北京工业大学,2015.  
(WANG Chao. Rheological characterization on paving performance of asphalt binder[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2015.)
- [16] LEE S J, AMIRKHANIAN S N, PARK N W, et al. Characterization of warm mix asphalt binders containing artificially long-term aged binders[J]. Construction & building materials, 2009, 23(6):2371-2379.
- [17] 陈静云.沥青路面再生方法的试验研究[D].大连:大连理工大学,2011.  
(CHEN Jingyun. Experimental study on recycling methods of asphalt pavements[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2011.)
- [18] XIAO F, PUTMAN B, AMIRKHANIAN S. Rheological characteristics investigation of high percentage RAP binders with WMA technology at various aging states [J]. Construction and building materials, 2015, 98(6063):315-324.
- [19] LIU S, CAO W, SHANG S, et al. Analysis and application of relationships between low-temperature rheological performance parameters of asphalt binders [J]. Construction & building materials, 2010, 24(4):471-478.
- [20] WANG W, CHEN J, SUN Y, et al. Laboratory performance analysis of high percentage artificial RAP binder with WMA additives [J]. Construction & building materials, 2017, 147: 58-65.