

Preparation and Technical Performance of Recycle Carbon Powder Modified Asphalt

Youwei Gan¹, Chao Chen², Jiansheng Liao¹

¹Institute of Transportation Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha Hunan

²Jiangxi Province Jianke Engineering Technology Co., LTD, Nanchang Jiangxi

Email: 13875908009@126.com, 494882725@qq.com

Received: Dec. 19th, 2016; accepted: Jan. 2nd, 2017; published: Jan. 5th, 2017

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Accumulation of waste powder of printer has become a potential environmental risk; it must be recycled. In carbon powder as an asphalt modifier, different doses of content preparing modified asphalt are used. The influence of different processing technique parameters and different modifier sorts on modified asphalt's properties is studied, thus to direct modified asphalt production. Theoretical research combined experimental methods is carried out. The result shows that: 1) carbon powder modified asphalt's best cutting temperature is from 150°C to 160°C, cutting time is 30 minutes, and cutting rate is 3500 - 4500 r/min; 2) recycled carbon powder can improve the high temperature performance of asphalt, thus enhance the ability of resistance to deformation, and reduce the temperature sensitivity, but the low temperature performance of asphalt has fallen slightly; 3) as the guarantee to improve the high temperature performance of asphalt and at the same time reduce the effect on the properties of low temperature, the recycled carbon powder added amount shall not exceed 10%.

Keywords

Road Engineering, Recycle Carbon Powder, Modified Asphalt, Preparation Process, Technical Performance Tests

回收碳粉改性沥青制备及其技术性能

甘有为¹, 陈超², 廖建胜¹

¹长沙理工大学交通运输工程学院, 湖南 长沙

²江西省建科工程技术有限公司, 江西 南昌
Email: 13875908009@126.com, 494882725@qq.com

收稿日期: 2016年12月19日; 录用日期: 2017年1月2日; 发布日期: 2017年1月5日

摘要

打复印机回收碳粉的积累已经成为一个潜在的环境风险, 必须回收利用。采用回收碳粉作为沥青改性剂, 按不同掺量制备改性沥青。通过对同掺量下不同温度、剪切速率、剪切时间的改性沥青进行针入度、软化点、延度等室内试验, 得出最佳室内制备工艺参数。试验结果表明: 1) 回收碳粉改性沥青室内最佳工艺参数为剪切温度 $150^{\circ}\text{C}\sim 160^{\circ}\text{C}$, 剪切时间30 min, 剪切速率 $3500\sim 4500\text{ r/min}$; 2) 回收碳粉能改善基质沥青的高温性能, 增强抵抗变形的能力, 并降低感温性, 但低温性能有小幅度降低; 3) 为保证在提高沥青高温性能的同时而减小对低温性能的影响, 建议回收碳粉添加量不应超过10%。

关键词

道路工程, 回收碳粉, 改性沥青, 制备工艺, 技术性能试验

1. 引言

打印机是日常办公中最常用到的设备, 大概有 97.2% 的人在工作中用到打印机。打(复)印机废弃粉末主要成分是碳粉, 碳粉的主要成分不是碳, 而是碳黑、树脂、磁粉和电荷剂等复合而成的材料。其中一些代用粉, 大多数采用碳黑作为原料, 都含有二甲基硝胺及多环芳烃系列等三、四号致癌物质。这些物质在燃烧时(300°C 以上)会挥发出来, 通过呼吸将直接被人体吸收, 危害操作者的健康[1]。

沥青是一种成分复杂的高分子碳氢化合物, 在温度与荷载作用下通常表现为粘弹性, 在高温与紫外线照射下容易产生老化现象。改性剂的加入可以改善沥青混合料的路用性能, 并且可以提高其抗老化、抗疲劳、抗低温开裂以及抗车辙等方面的性能。基质沥青与改性剂相容性的决定性因素是两者之间的界面作用, 具体表现为聚合物的颗粒大小、极性以及分子结构, 基质沥青的组分等因素。一般情况下, 聚合物的分子结构、极性与沥青越接近, 那么其与基质沥青的相容性就会越好, 改性效果也越佳[2] [3]。

目前, 国内外没有关于将废弃打印机回收碳粉作为改性剂的相关研究。但是中南大学姚辉等[4]将纳米碳粉加入基质沥青中进行改性, 研究了其相关性能, 并研究了纳米碳粉改性沥青混合料的力学和路用性能, 结果表明纳米碳粉作为改性剂可以取得良好的改性效果, 这为打印机回收碳粉的相关研究提供了一定的理论依据。根据回收碳粉的化学组成, 可以考虑将其作为沥青改性剂。本文研究了回收碳粉改性沥青的制备和技术性能, 为回收碳粉改性沥青路面应用提供依据。

2. 回收碳粉改性沥青制备

2.1. 试验材料

本文所用沥青为中石油齐鲁 70 号 A 级道路石油沥青, 其基本指标和要求见表 1。所采用的碳粉是从打印机硒鼓中倒出的回收碳粉, 墨粉型号为理光 MP1610。

2.2. 制备工艺条件

本研究采用的回收碳粉改性剂与沥青材料的性质有较大差别。为保证改性沥青具有较好路用效果,

Table 1. Sinopec Qilu No. 70 A-class road asphalt test results
表 1. 中石化齐鲁 70 号 A 级道路石油沥青检测结果

检验项目	试验结果	技术要求	试验方法
针入度(25°C, 100 g, 5 s) (0.1 mm)	74.4	60~80	T0604-2011
针入度指数 PI	-0.67	-1.5~+1.0	T0604-2011
软化点(TR & B) (°C)	47.5	≥46	T0606-2011
动力粘度(60°C) (Pa·s)	189	≥180	T0620-2011
10°C 延度(cm)	37	≥15	T0605-2011
15°C 延度(cm)	大于 100	≥100	T0605-2011
蜡含量(%)	2.0	≤2.2	T0615-2011
闪点(°C)	320	≥260	T0611-2011
溶解度(%)	99.8	≥99.5	T0607-2011
密度(15°C) (g/cm ³)	1.040	-	T0603-2011
RTFOT 残留物			
质量变化(%)	-0.12	±0.8	T0610-2011
残留针入度比(25°C) (%)	61.8	≥61	T0604-2011
残留延度(5 cm/min, 10°C) (cm)	7	≥6	T0605-2011
SHRP 性能等级	-	PG70-22	-

采用室内聚合物改性沥青的制备工艺来制备改性沥青[5]。利用高速剪切仪器，可调式温控加热套，以及温度计来实时监控剪切过程中的温度。

从聚合物改性沥青的制备工艺当中可知剪切速率、剪切时间、剪切温度等对改性沥青的性能有很大影响[6]。所以，选择合理的制备工艺显得尤为重要。本研究通过将回收碳粉进行称量，每份 8 g，共五份用。称取齐鲁 70#基质沥青每份 200 g，共五份备用，将五份盛有 200 g 的齐鲁 70#基质沥青的器皿放入 150°C 的烘箱中加热 30 min。然后分别确定剪切温度、剪切时间、剪切速率。

2.2.1. 剪切温度的确定

通过加热套将五份基质沥青温度分别控制在 140°C、150°C、160°C、170°C、180°C，把已经准备好的回收碳粉分别掺入基质沥青中，边加入边进行剪切，剪切速率为 4000 r/min 剪切仪中剪切 30 min 后取出，分别测定其软化点、针入度、延度，以确定最适剪切温度，结果如图 1 所示。

由图 1 可知针入度随着剪切温度的升高而有降低的趋势。这表明提高剪切温度有利于加快体系中各种物理、化学反应的进程。较高的温度使得分子更加活跃，扩散作用效果增强，分子间相互作用的机会增大，溶胀和吸附作用增强，使得体系流动性下降、增稠作用明显[7]。在 180°C 的剪切温度下，针入度较小，也有沥青老化的原因，改变了沥青相的组分比例，从而影响了体系的流动性以及粘稠状况，致使针入度有所降低。

软化点随剪切温度的升高有增大的趋势。这表明当剪切温度升高时，沥青胶质分子与碳粉颗粒表面的分子相融的几率增大，沥青体系中高分子链运动需克服较大的运动阻力，这样就导致碳粉改性的软化点随之升高，而在 170°C~180°C 增大很明显，其实有沥青老化的原因[8]。

延度随剪切温度的升高有先增大后减小的变化趋势。主要是因为剪切温度的提高，大大增强了分子间的运动，提高了微粒之间抵抗外力的能力。而且，沥青分子迁移作用的增强，使得极性组分比例相对增大，加大了分子间的作用力，使得形变能力增强，延度增加。而在 160°C~180°C 延度减小，这是由于随着温度的升高，沥青有所老化的原因。所以确定最佳剪切温度应为 150°C~160°C 之间。

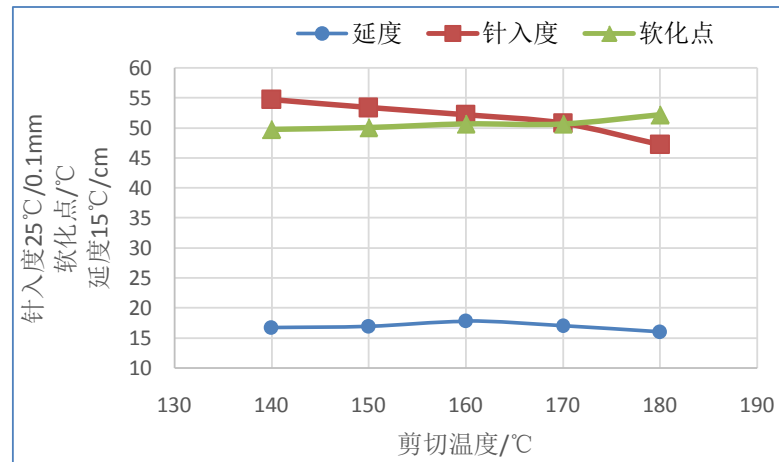


Figure 1. Effect of shear temperature of carbon modified asphalt on penetration, softening point and ductility

图 1. 回收碳粉改性沥青的剪切温度对针入度、软化点及延度的影响

2.2.2. 剪切时间的确定

通过加热套将五份基质沥青温度都控制在 160℃，把已经准备好的碳粉分别掺入基质沥青中，边加入边进行剪切，剪切速率为 4000 r/min，剪切时间分别为 15 min、30 min、45 min、60 min、75 min，剪切之后分别测定其软化点、针入度、延度，以确定最适剪切时间，结果如图 2 所示。

由图 2 可知随剪切时间的增加，针入度有减小的趋势，尤其在 15 min 到 30 min 之间的减幅很大，而后趋于稳定，而软化点是增大的趋势，延度则是先增大，再后基本上趋于稳定。由此可知剪切时间太短，碳粉与沥青融合的不够均匀，沥青中将会积聚大量的碳粉颗粒并且漂浮在沥青表面，沥青与回收碳粉很难形成均匀体；但随着剪切时间的延长，沥青中积聚的碳粉颗粒会被进一步与沥青分散、分解、相容，直到变成碳粉单位与液态沥青结构中的分散相紧密结合，形成比较稳定的粘合料体系；但剪切时间过长回收碳粉改性沥青体系可能发生了不可逆的物理化学反应，两者间的相容性能将显著降低，沥青也会因老化而粘度明显增大，从而影响了其性能。所以确定最佳剪切时间为 30 min。

2.2.3. 剪切速率的确定

通过加热套将五份基质沥青温度都控制在 160℃，把已经准备好的回收碳粉分别掺入基质沥青中，边加入边进行剪切，剪切速率分别为 1000 r/min、2000 r/min、3000 r/min、4000 r/min、5000 r/min，剪切时间 30 min，剪切之后分别测定其软化点、针入度、延度，以确定最适剪切速率，结果如图 3 所示。

由图 3 可知，剪切速率的增大，使得回收碳粉改性沥青的软化点有所提高、针入度逐渐下降、延度有增大的趋势。但当剪切速率达到 5000 r/min，针入度增大、延度下降，而此时由于过分的剪切软化点有呈下滑趋势。所以确定最佳剪切速率为 3500~4500 r/min。

综合上述结论考虑分析得出，在剪切温度为 150℃~160℃、剪切时间为 30 min、剪切速率为 3500~4500 r/min 的工艺条件下制得的碳粉改性沥青样品，其性能优于其他条件下的改性沥青样品。所以本研究以剪切温度为 150℃~160℃、剪切时间为 30 min、剪切速率为 3500~4500 r/min 的工艺条件制作碳粉改性沥青。

3. 回收碳粉改性沥青的技术性能试验结果及分析

研究采用中石化东海牌齐鲁 70#A 级沥青，以及打(复)印机中倒出的回收碳粉，按照上述方法制备成碳粉改性沥青。对基质沥青和碳粉改性沥青的常规试验指标进行评价以及分析。

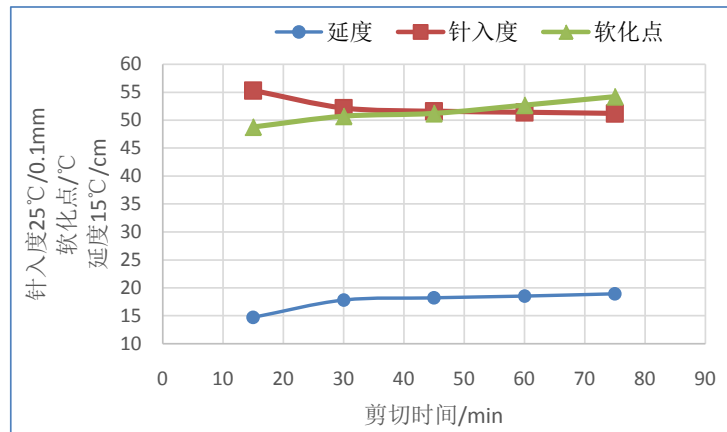


Figure 2. Effect of shear time of carbon modified asphalt on penetration, softening point and ductility

图 2. 回收碳粉改性沥青的剪切时间对针入度、软化点及延度的影响

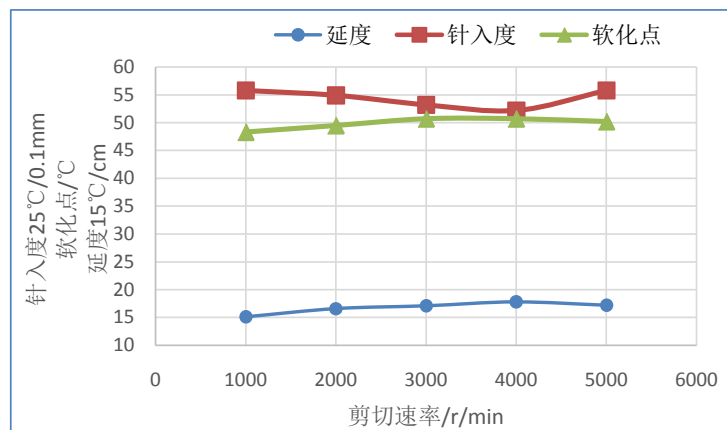


Figure 3. Effect of shear rate of carbon modified asphalt on penetration, softening point and ductility

图 3. 回收碳粉改性沥青的剪切速率对针入度、软化点及延度的影响

3.1. 针入度试验结果及其分析

试验采用 3 个温度 15℃、25℃、30℃，按照 JTG E20-2011《公路沥青及沥青混合料试验规程》的“T0604-2011”进行。

1) 如图 4 所示，在同一个温度下，添加碳粉后的改性沥青针入度值都明显低于基质沥青，且随着碳粉添加比例的增加而降低，表明加入碳粉之后使得基质沥青变硬，增强了沥青抵抗变形的能力。

2) 如图 5 所示，随着回收碳粉添加量的增加，针入度指数 PI 有增大的趋势，说明其感温性能有所降低。

3) 如图 6 所示，随着回收碳粉添加量的增加，当量软化点 T800 有明显的增加趋势，当量脆点 T1.2 随着碳粉添加量的增加也有小幅升高。说明加入回收碳粉可以提高沥青的高温性能，但同时也会降低沥青的低温性能。

3.2. 延度试验结果及其分析

本文延度试验在 15℃ 环境下进行，试验结果如图 7 所示。

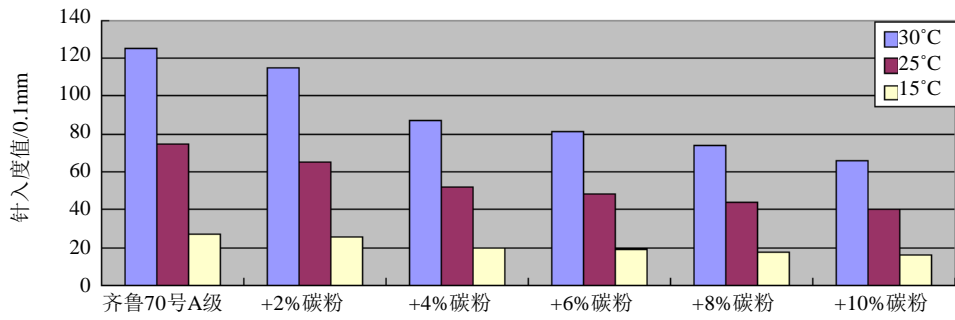


Figure 4. Penetration under different proportion of carbon powder

图 4. 不同回收碳粉添加比例下的针入度

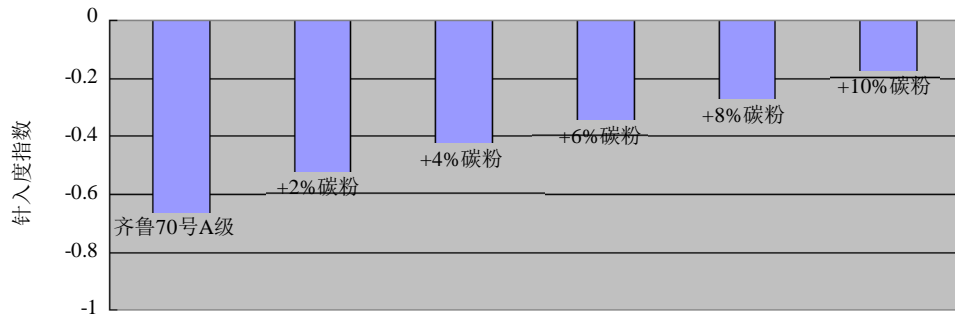


Figure 5. Penetration index under different proportion of carbon powder

图 5. 不同回收碳粉添加比例下的针入度指数

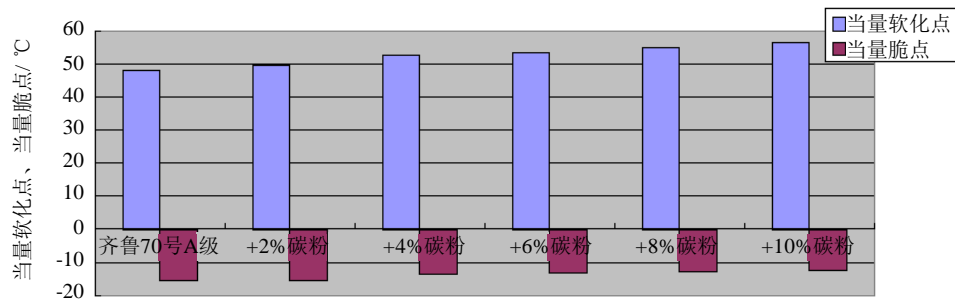


Figure 6. T800, T1.2 under different proportion of carbon powder

图 6. 不同碳粉添加比例下的 T800、T1.2

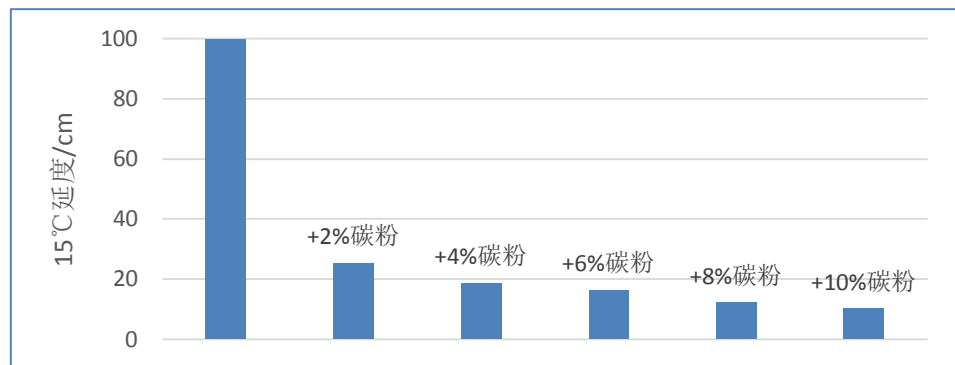


Figure 7. 15°C ductility under different proportion of carbon powder

图 7. 不同碳粉添加比例下的 15°C 延度/cm

从图 7 可得出结论：碳粉的加入对基质沥青延度的影响十分显著，在加入 2% 碳粉后延度迅速减小，而随着碳粉掺量的增加，延度减小相对比较平缓。说明加入回收碳粉之后可能对低温性能有一定影响。

3.3. 软化点试验结果及其分析

本文软化点试验采用世界上用的最广泛的环球法，试验结果如下图 8。

从图 8 可得出结论：回收碳粉的加入对基质沥青的软化点影响十分显著，其软化点明显高于基质沥青，并随着碳粉添加量的增加而增大，说明加入碳粉能提高基质沥青的高温性能。

3.4. 60°C 动力黏度试验结果及其分析

动力黏度采用真空减压毛细管黏度[9]计测量，试验结果见图 9。

从图 9 得出结论：回收碳粉的加入对基质沥青的 60°C 黏度影响很大，其 60°C 黏度明显高于基质沥青，并随着碳粉添加量的增加而增大，说明加入回收碳粉能提高基质沥青的抗剪切能力。

3.5. 密度、灰分试验结果及其分析

回收碳粉改性沥青的密度及灰分试验结果见图 10、图 11。

从图 10、图 11 可知结论：随着回收碳粉添加比例的增大，沥青密度有减小的趋势，但是变化不是很大；灰分则随着回收碳粉添加比例的增大而增大，这是因为回收碳粉中含有灰分的原因。

3.6. 离析试验结果及其分析

离析试验按照 JTG E20-2011《公路沥青及沥青混合料试验规程》中的“T0661-2011”进行[10]，试验结果见图 12。

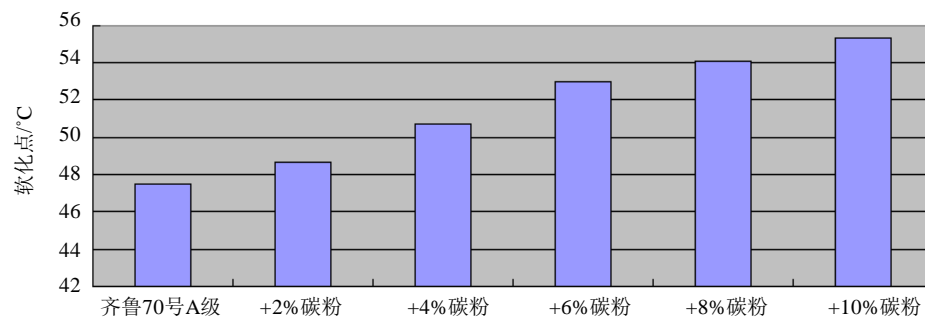


Figure 8. Softening point under different proportion of carbon powder

图 8. 不同添加比例下的回收碳粉改性沥青软化点

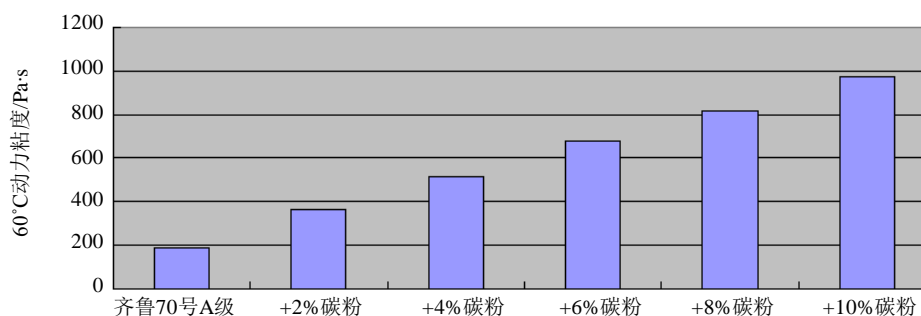


Figure 9. 60°C kinematic viscosity under different proportion of carbon powder

图 9. 不同添加比例下的碳粉改性沥青 60°C 动力黏度

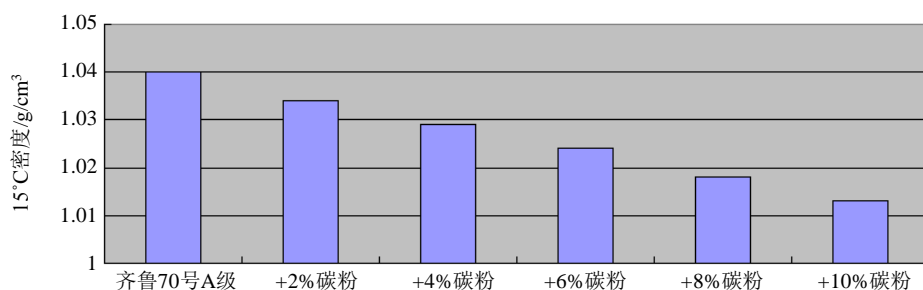


Figure 10. Density under different proportion of carbon powder

图 10. 不同添加比例下的回收碳粉改性沥青的密度

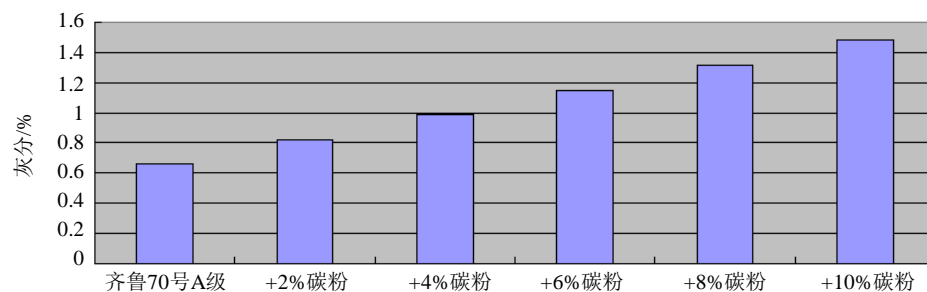


Figure 11. Ash under different proportion of carbon powder

图 11. 不同添加比例下的回收碳粉改性沥青的灰分

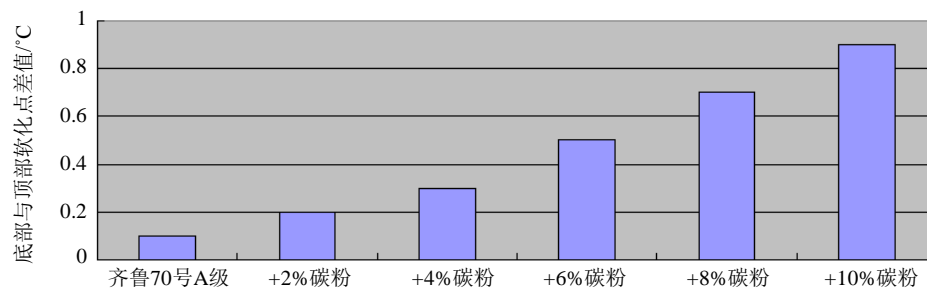


Figure 12. Separation softening of the difference under different proportion of carbon powder

图 12. 不同添加比例下的回收碳粉改性沥青离析软化的差值

从图 12 可得出结论：随着回收碳粉添加比例的增加，离析软化点的差值有增大的趋势，最大即添加 10% 的碳粉时候为 0.9°C，参考聚合物改性沥青中 SBS 改性沥青的规范要求，规定差值要小于 2.5°C [11]。所以可认为碳粉跟基质沥青的相容性良好。

4. 结论和建议

从回收碳粉改性沥青常规试验结果，得出如下结论与建议：

- 1) 回收碳粉改性沥青的工艺条件, 剪切温度为 150°C~160°C 左右, 剪切时间为 30 min, 剪切速率为 3500~4500 r/min。
- 2) 添加回收碳粉后能改善沥青的高温性能, 增强抵抗变形的能力, 并降低感温性, 但低温性能有小幅降低。
- 3) 为了保证提高沥青高温性能的同时而尽可能减小对低温性能的影响, 建议回收碳粉添加量不应超过 10%。

基金项目

江西省交通厅科技项目(2013Y0001)。

参考文献 (References)

- [1] 阮久莉, 郭玉文, 刘景洋, 等. 我国打印机报废量预测研究[J]. 中国资源综合利用, 2013, 31(5): 32-35.
- [2] 王照鲁. 橡胶沥青性能试验及生产设备研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2015: 6.
- [3] 廖建胜. 废弃打(复)印机粉末改性沥青制备及性能研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 长沙理工大学, 2014: 4.
- [4] 姚辉, 李亮, 杨小礼, 等. 纳米材料改性沥青的微观和力学性能研究[J]. 建筑材料学报, 2011, 14(5): 712-717.
- [5] 牛冬瑜, 韩森, 陈凯, 等. 加工工艺关键参数对 SBS 改性沥青性能影响[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2014, 34(3): 7-16.
- [6] 罗梓轩. 微硅粉/SBS 复合改性沥青及其混合料的制备与性能研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州理工大学, 2014: 5.
- [7] 薛联宝. 阳离子聚合的理论和应用[M]. 北京: 中国友谊出版社, 1990: 32-45.
- [8] 黄成武. 废胎胶粉/SBS 制备高性能复合改性沥青的研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 暨南大学, 2014: 6.
- [9] 沈金安. 沥青及沥青混合料路用性能[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001: 156-160.
- [10] JTG E20-2011 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, 2011.
- [11] JTG F40-2004 公路沥青及路面施工技术规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.

Hans 汉斯

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ojtt@hanspub.org