

[补充信息]

废机油残留物再生剂对老化沥青动态力学性能和组分迁移的影响

况栋梁¹, 马小军^{1,2}, 马晓燕^{1,✉}, 袁斌³, 侯俊鹏¹, 蔡军⁴

- 1 长安大学材料科学与工程学院, 西安 710064
- 2 青海交通规划设计研究院有限公司, 西宁 810000
- 3 甘肃路桥集团养护科技有限公司, 兰州 730050
- 4 青海西互高速公路管理有限公司, 西宁 810000

[Supplementary Information]

Effect of Waste Oil Residue Regenerators on Dynamic Mechanical Properties and Component Migration of Aged Asphalt

KUANG Dongliang¹, MA Xiaojun^{1,2}, MA Xiaoyan^{1,✉}, YUAN Bin³, HOU Junpeng¹, CAI Jun⁴

- 1 School of Materials Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China
- 2 Qinghai Transportation Planning and Design Institute Co., Ltd., Xining 810000, China
- 3 Gansu Road and Bridge Construction Group Maintenance Technology Co., Ltd., Lanzhou 730050, China
- 4 Qinghai Xihu Highway Management Co., Ltd., Xining 810000, China

1 实验

1.1 沥青

本研究采用 90 号基质沥青 (OA), 依据 JTG E20-2011 《公路工程沥青及混合料试验规程》, 通过薄膜烘箱老化试验 (TFOT) 和压力老化试验 (PAV) 人工模拟沥青老化。其中, 将 90 号基质沥青先进行 TFOT 老化 5h, 再进行 PAV 老化 20h 即可得到人工老化沥青 (RA), 其技术指标如表 S1 所示。

表 S1 基质沥青和老化沥青技术指标

Table S1 The basic properties of matrix asphalt and aging asphalt

检测项目	OA	OA+TFOT	RA	试验方法
25°C 针入度/0.1mm	80.1	64.5	53.8	T0604
10°C 延度/cm	92.4	46.2	13.2	T0605
软化点/°C	47.2	52.4	53.3	T0606
135°C 黏度/Pa·s	0.64	0.78	1.03	T0625

1.2 再生剂

本研究采用自制的两种 REOB 再生剂 (REOB1 和 REOB2), 其中 REOB 再生剂的制备方法为: 将不同比例的废机油残留物和高芳烃油、增塑剂、抗老化剂和抗剥落剂搅拌均匀形成稳定的胶体体系。两种再生剂的技术指标如表 S2 所示, 均满足 JTG T5521-2019 《公路沥青路面再生技术规范》的要求。

表 S2 再生剂技术指标

Table S2 The basic properties of regenerator

检测项目	REOB1	REOB2	建议质量要求	试验方法
25°C 黏度/(Pa·s)	0.81	1.31	≥0.2	T0619
闪点/°C	220	228	≥220	T0611
饱和分含量/%	12.20	14.57	≤30	TLC-FID
芳香分含量/%	65.10	58.43	实测	TLC-FID
薄膜烘箱试验前后黏度比	1.24	1.06	≤3	T0619
薄膜烘箱试验后质量变化/%	-2.32	-1.18	≤4, ≥-4	T0609

1.3 再生沥青的制备

先将老化后的基质沥青预热至 140 °C，再加入一定比例的 REOB 再生剂，采用搅拌器搅拌 20 min 后即可制得再生沥青 (RA+REOB1 和 RA+REOB2)。

1.4 再生沥青老化试验

为了探究 REOB 再生沥青在老化后的性能，本研究采用两种老化方式，第一种老化方式是将再生沥青进行 TFOT 老化 5 h (TFOT)；第二种老化方法是将再生沥青先进行 TFOT 老化 5 h，再进行 PAV 老化 20 h (PAV)。

2 CAM 模型拟合

$$|G^*| = \frac{G_g^*}{[1 + f_c / (f)^k]^{m/k}} \quad (1)$$

式中， m 和 k 为拟合主曲线线性参数； G_g^* 为玻璃态动态模量 1000 MPa； f_c 为交叉频率（相位角为 45° 时的频率，既黏弹性比例相等的时候）； f 为缩减频率。 f_c 是沥青中黏弹性比例相等时的频率值， f_c 越大、沥青的低温性能越好；参数 m 为复数模量主曲线渐近线的斜率， m 越小、频率对沥青的影响越小。

$$\delta = 90 - (90 - \delta_m) \left\{ 1 + \left[\frac{\lg(f_t / f')}{r} \right]^2 \right\}^{-m/2} \quad (2)$$

式中， δ 为相位角的最大值； f_t 为最大相位角所对应的频率值； f' 为缩减频率； r 和 m 为拟合主曲线线性参数。参数为 δ_m 材料的黏性成分最大时的相位角值， δ_m 值越大，表示材料中的黏性成分比例越多； f_t 参数表示相位角最大值所对应的频率值。