

团 体 标 准

T/CCTAS XXXX—2024

回收沥青及再生沥青 PG 等级砂浆测试法

Mortar testing method for predicting the performance grade of
reclaimed and recycled asphalt binder

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

目 次

前 言	II
1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语和定义	3
4 测试流程	4
4.1 试验设备	4
4.2 试件制备	4
4.3 试验流程	5
5 计算	6
5.1 新沥青的连续 PG 分级计算	6
5.2 再生沥青的连续 PG 分级计算	7
5.3 回收沥青及再生沥青的连续 PG 分级计算	8
6 报告	9
6.1 高温 PG 等级	9
6.2 常温 PG 等级	9
6.3 低温 PG 等级	9
6.4 报告表格	9
附 录 A （资料性）	10
砂浆设计计算示例	10
附 录 B （资料性）	11
再生沥青 PG 等级计算示例	11
附 录 C （资料性）	15
砂浆测试法与化学溶剂抽提法试验结果对比	15

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中国交通运输协会交通工程设施分会提出。

本文件由中国交通运输协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：同济大学、上海公路桥梁（集团）有限公司、太行城乡建设集团有限公司、甘肃恒通路桥工程有限公司、长安大学、哈尔滨工业大学和深圳大学。

本文件主要起草人：严宇、程志强、王志斌、孙立军、李登州、李兰兰、盛燕萍、徐慧宁、何培楷、朱国学、刘志扬等。

回收沥青及再生沥青 PG 等级砂浆测试法

1 范围

本文件规定了确定回收沥青及再生沥青PG等级的砂浆测试方法。
本文件适用于评定沥青混合料回收料中回收沥青及其再生沥青的PG等级。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

JTG E20-2011 公路工程沥青及沥青混合料试验规程
JTG/T 5521-2019 公路沥青路面再生技术规范
JTG E42-2005 公路工程集料试验规程

3 术语和定义

GB/T20000.1界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

沥青混合料回收料 reclaimed asphalt pavement (RAP)

采用铣刨、开挖等方式从沥青路面上获得的回收沥青混合料。

3.1

回收沥青 reclaimed asphalt binder

RAP中所含的沥青结合料。

3.2

3.3

再生沥青 recycled asphalt binder

在回收沥青中添加新沥青形成的混合沥青。

3.4

集料(骨料) aggregate

在混合料中起骨架和填充作用的粒料,包括碎石、砾石、机制砂、石屑、砂等。

3.5

沥青砂浆 asphalt mortar

沥青与矿质粉料（石粉）和细集料热拌而成的混合物。

3.6

沥青的连续 PG 分级 asphalt binder continuous performance graded

沥青PG等级分界点对应的温度。

3.7

沥青 PG 等级变化率 binder performance grade change rate

再生沥青PG等级变化量的绝对值与再生沥青中回收沥青含量变化量的比值（单位：°C/%）。

4 测试流程

4.1 试验设备

4.1.1 燃烧炉

燃烧炉由燃烧室、称量装置，自动数据采集系统、控制装置、空气循环装置、试样篮及其附件组成。各组成部分参数要求同国标JTG E20-2011的T 0735-2011沥青混合料中沥青含量试验（燃烧炉法）。

4.1.2 标准筛

标准筛参数要求同国标JTG E42-2005的T 0327-2005 细集料筛分试验。

4.1.3 动态剪切流变仪试验系统

动态剪切流变仪试验系统由平行金属板、环境室、加载设备、控制和数据采集系统组成。各组成部分参数要求同国标JTG E20-2011的T 0628-2011沥青流变性质试验（动态剪切流变仪法）。

4.1.4 弯曲梁流变仪试验系统

弯曲梁流变仪试验系统由带加载框的加载系统、恒温浴、控制和数据自动采集系统、试样梁模具、检量和校正系统的标准梁和砝码组成。各组成部分参数要求同国标JTG E20-2011的T 0627-2011沥青弯曲蠕变劲度试验（弯曲梁流变仪法）。

4.1.5 天平

满足称量试样的质量，感量不大于0.1g。

4.1.6 烘箱

烘箱:200°C，装有温度控制调节器。

4.2 试件制备

4.2.1 准备 RAP 细料

干燥并筛分RAP，收集0.15mm~0.3mm粒径的RAP料，总质量不少于500g备用。

4.2.2 准备 RAP 细集料

将RAP细料平均分成两份，一份在燃烧炉中充分燃烧后收集其残留物备用，并按照规范JTG E20-2011的T 0735沥青混合料中沥青含量试验（燃烧炉法）进行RAP细料的回收沥青含量测定。

4.2.3 配置砂浆试样

本试验需要制备两种砂浆试样：砂浆A和砂浆B。砂浆A由RAP细料和新沥青组成；砂浆B由RAP细集料和新沥青组成。砂浆B和砂浆A的总沥青含量相同，即砂浆B中用同等质量的新沥青替代砂浆A中RAP细料中含有的回收沥青。按下列步骤在试验室配置砂浆：

1) 根据所需制备的砂浆质量 m （砂浆A和砂浆B的质量相同，均为 m ）及RAP细料回收沥青含量 AC_{RAP} 、砂浆总沥青含量 AC_{total} （砂浆A和砂浆B的总沥青含量相同，均为 AC_{total} ）计算各种材料的质量。

(1) 砂浆A的总沥青质量 $m_{binder-A}$ 按式（1）计算。

$$m_{binder-A} = \frac{m \times AC_{total}}{100} \quad (1)$$

式中： AC_{total} ：砂浆A的总沥青含量，%；

m ：砂浆A的质量，g；

$m_{binder-A}$ ：砂浆A中总沥青质量，g。

(2) 砂浆A的RAP细料质量 $m_{\text{fines-A}}$ 按式(2)计算。

$$m_{\text{fines-A}} = m \times \frac{100 - AC_{\text{total}}}{100} \quad (2)$$

式中： $m_{\text{fines-A}}$ ：砂浆A中RAP细料的质量，g。

(3) 砂浆B的RAP细集料质量 $m_{\text{fine aggregates-B}}$ 按式(3)计算。

$$m_{\text{fine aggregates-B}} = m_{\text{fines-A}} \times \frac{100 - AC_{\text{RAP}}}{100} \quad (3)$$

式中： AC_{RAP} ：RAP细料中回收沥青含量，%；

$m_{\text{fines-A}}$ ：砂浆A中RAP细料的质量，g；

$m_{\text{fine aggregates-B}}$ ：砂浆B中RAP细集料的质量，g。

(4) 砂浆B的新沥青质量 $m_{\text{binder-B}}$ 按式(4)计算。

$$m_{\text{binder-B}} = \frac{m \times AC_{\text{total}} - m_{\text{fine aggregates-B}} \times AC_{\text{RAP}}}{100} \quad (4)$$

式中： $m_{\text{binder-B}}$ ：砂浆B中新沥青质量，g。

注：为确保砂浆的流动性，便于试验样品的浇筑，建议砂浆的总沥青含量不小于35%。

2) 按照规范JTG E20-2011的T 0602沥青试样制备方法加热沥青，按上步计算结果称取所需质量的RAP细料、RAP细集料和新沥青，将RAP细料与新沥青拌合均匀获得砂浆A试样，将RAP细集料与新沥青拌合均匀获得砂浆B试样。

4.2.4 试样老化

按表1对砂浆试样进行老化。

注1：RTFO为沥青旋转薄膜加热试验，试验流程参照规范JTG E20-2011的T 0610沥青旋转薄膜加热试验；PAV为压力老化容器加速沥青老化试验，试验流程参照规范JTG E20-2011的T 0630压力老化容器加速沥青老化试验。

注2：砂浆的PAV试验控制每个老化盘的沥青含量为50g。例如：如果砂浆的沥青含量为40%，则每个老化盘中所需的砂浆质量为：50g/40%=125g。

表1 试样老化状态

试样	高温 (DSR)		常温 (DSR)	低温 (BBR)
砂浆A	新沥青+RAP细料	PAV: RTFO新沥青+RAP细料	RTFO新沥青+RAP细料	PAV: RTFO新沥青+RAP细料
砂浆B	新沥青+RAP细集料	PAV: RTFO新沥青+RAP细集料	RTFO新沥青+RAP细集料	PAV: RTFO新沥青+RAP细集料

4.3 试验流程

4.3.1 测试流程

图1是砂浆测试法的测试流程。对新沥青、砂浆A和砂浆B进行性能试验，包括高温和常温的沥青流变性质 (DSR) 试验，以及低温的沥青弯曲蠕变劲度 (BBR) 试验。



图1 砂浆测试流程图

4.3.2 高温性能试验

按照规范JTG E20-2011的T 0628-2011沥青流变性能试验（动态剪切流变仪法），在规定温度（表2）下用动态剪切流变仪（DSR）以25mm金属板以及2mm的间隙对新沥青、砂浆A和砂浆B进行流变性能试验，记录试验温度 T_1 和 T_2 时的车辙因子（ $G^*/\sin \delta$ ）。

表2 沥青性能试验温度

新沥青PG等级 /°C	高温性能试验温度/°C	常温性能试验温度/°C	低温性能试验温度/°C
PG _高 , PG _低	T ₁ =PG _高 , T ₂ =T ₁ +6	T ₁ =(PG _高 +PG _低)/2+4, T ₂ =T ₁ +3	T ₁ =PG _低 +10, T ₂ =T ₁ +6
例: PG64-28	T ₁ =64, T ₂ =64+6=70	T ₁ =(64-28)/2+4=22, T ₂ =22+3=25	T ₁ =-28+10=-18, T ₂ =-18+6=-12

4.3.3 常温性能试验

按照规范JTG E20-2011的T0628-2011沥青流变性能试验（动态剪切流变仪法），在规定温度（表2）下用动态剪切流变仪（DSR）以8mm金属板以及2mm的间隙对新沥青、砂浆A和砂浆B进行试验，记录试验温度T₁和T₂时的疲劳因子（G*·sinδ）。

4.3.4 低温性能试验

按照规范JTG E20-2011的T0627-2011沥青弯曲蠕变劲度试验（弯曲梁流变仪法），在规定温度（表2）下用弯曲梁流变仪（BBR）对新沥青、砂浆A和砂浆B进行试验，按表3选择BBR试验荷载。记录试验温度T₁和T₂时的蠕变劲度（S）和蠕变速率（m）。

表3 弯曲梁流变仪测试荷载

试验温度/°C	单位: mN	
	沥青	砂浆
0	980	980
-6	980	1980
-12	980	2980
-18	980	3980
-24	980	4980

5 计算

5.1 新沥青的连续PG分级计算

5.1.1 高温连续PG分级计算

1) 根据6.2.1节中获得的结果，按公式（5）计算新沥青的高温连续PG分级：

$$T_{C-high} = T_{1-high} + \frac{\log_{10}(G^*/\sin\delta)_s - \log_{10}(G^*/\sin\delta)_1}{\log_{10}(G^*/\sin\delta)_2 - \log_{10}(G^*/\sin\delta)_1} \times (T_{2-high} - T_{1-high}) \quad (5)$$

式中：T_{C-high}：新沥青的高温连续PG分级，°C；

T_{1-high}：新沥青的高温性能试验的第1个试验温度，°C；

T_{2-high}：新沥青的高温性能试验的第2个试验温度，°C；

(G*/sinδ)_s：车辙因子分界值，未老化沥青取1，RTFO后沥青取2.2，kPa；

(G*/sinδ)₁：第1个试验温度时新沥青的车辙因子，kPa；

(G*/sinδ)₂：第2个试验温度时新沥青的车辙因子，kPa。

2) 根据上式计算未老化和RTFO老化后的新沥青高温连续PG分级，两数值中的较低值即为新沥青的高温连续PG分级。

5.1.2 常温连续PG分级计算

根据6.2.2节中获得的结果，按公式（6）计算新沥青的常温连续PG分级：

$$T_{C-intermediate} = T_{1-intermediate} + \frac{\log_{10}(G^* \cdot \sin\delta)_s - \log_{10}(G^* \cdot \sin\delta)_1}{\log_{10}(G^* \cdot \sin\delta)_2 - \log_{10}(G^* \cdot \sin\delta)_1} \times (T_{2-intermediate} - T_{1-intermediate}) \quad (6)$$

式中：T_{C-intermediate}：新沥青的常温连续PG分级，°C；

T_{1-intermediate}：新沥青的常温性能试验的第1个试验温度，°C；

T_{2-intermediate}：新沥青的常温性能试验的第2个试验温度，°C；

(G*·sinδ)_s：疲劳因子分界值，取5000，kPa；

$(G^* \cdot \sin \delta)_1$: 第1个试验温度时新沥青的疲劳因子, kPa;

$(G^* \cdot \sin \delta)_2$: 第2个试验温度时新沥青的疲劳因子, kPa。

5.1.3 低温连续 PG 分级计算

1) 根据6.2.3节中获得的结果, 计算新沥青的低温连续PG分级:

(1) 按公式(7)计算新沥青基于S的低温连续PG分级。

$$T_{C-low} = T_{1-low} + \frac{\log_{10} S_S - \log_{10} S_1}{\log_{10} S_2 - \log_{10} S_1} \times (T_{2-low} - T_{1-low}) - 10 \quad (7)$$

式中: T_{C-low} : 新沥青的低温连续PG分级, °C;

T_{1-low} : 新沥青的低温性能试验的第1个试验温度, °C;

T_{2-low} : 新沥青的低温性能试验的第2个试验温度, °C;

S_S : S分界值, 取300, MPa;

S_1 : 第1个试验温度时新沥青的S, MPa;

S_2 : 第2个试验温度时新沥青的S, MPa。

(2) 按公式(8)计算新沥青基于m值的低温连续PG分级。

$$T_{C-low} = T_{1-low} + \frac{m_S - m_1}{m_2 - m_1} \times (T_{2-low} - T_{1-low}) - 10 \quad (8)$$

式中: T_{C-low} : 新沥青的低温连续PG分级, °C;

T_{1-low} : 新沥青的低温性能试验的第1个试验温度, °C;

T_{2-low} : 新沥青的低温性能试验的第2个试验温度, °C;

m_S : m值分界值, 取0.3;

m_1 : 第1个试验温度时新沥青的m值;

m_2 : 第2个试验温度时新沥青的m值。

2) 根据上式计算基于S和m值的新沥青低温连续PG分级, 两数值中的较大值即为新沥青的低温连续PG分级。

5.2 再生沥青的连续 PG 分级计算

5.2.1 高温连续 PG 分级计算

1) 根据砂浆与新沥青高温性能试验结果, 按公式(9)计算沥青与砂浆高温性能方程的系数 c 和 d :

$$\log((G^* / \sin \delta)_{\text{mortar B}}) = c \log((G^* / \sin \delta)_{\text{new binder}}) + d \quad (9)$$

式中: $(G^* / \sin \delta)_{\text{mortar B}}$: 砂浆B的车辙因子, kPa;

$(G^* / \sin \delta)_{\text{new binder}}$: 新沥青的车辙因子, kPa;

c 和 d : 方程系数。

2) 根据砂浆与新沥青高温性能试验结果, 按公式(10)计算再生沥青的 $G^* / \sin \delta$:

$$\log((G^* / \sin \delta)_{\text{mortar A}}) = c \log((G^* / \sin \delta)_{\text{recycled asphalt}}) + d \quad (10)$$

式中: $(G^* / \sin \delta)_{\text{mortar A}}$: 砂浆A的车辙因子, kPa。

3) 按公式(5)计算得到未老化和RTFO老化后再生沥青的高温连续PG分级, 两数值中的较低值即为再生沥青的高温连续PG分级, 参照新沥青PG分级确定方法。

5.2.2 常温连续 PG 分级计算

1) 根据砂浆与新沥青常温性能试验结果, 按公式(11)计算沥青与砂浆常温性能方程的系数 c 和 d :

$$\log((G^* \cdot \sin \delta)_{\text{mortar B}}) = c \log((G^* \cdot \sin \delta)_{\text{new binder}}) + d \quad (11)$$

式中: $(G^* \cdot \sin \delta)_{\text{mortar B}}$: 砂浆B的疲劳因子, kPa;

$(G^* \cdot \sin \delta)_{\text{new binder}}$: 新沥青的疲劳因子, kPa;

c 和 d : 方程系数。

2) 根据砂浆与新沥青常温性能试验结果, 按公式(12)计算再生沥青的 $G^* \cdot \sin \delta$:

$$\log((G^* \cdot \sin \delta)_{\text{mortar A}}) = c \log((G^* \cdot \sin \delta)_{\text{recycled asphalt}}) + d \quad (12)$$

式中: $(G^* \cdot \sin \delta)_{\text{mortar A}}$: 砂浆A的疲劳因子, kPa。

3) 按公式 (6) 计算再生沥青的常温连续PG分级。

5.2.3 低温连续 PG 分级计算

1) 基于 S 计算再生沥青的低温连续 PG 分级。

(1) 根据砂浆与新沥青低温性能试验结果, 按公式 (13) 计算沥青与砂浆低温性能方程的系数 c 和 d :

$$\log(S_{\text{mortar B}}) = c \log(S_{\text{new binder}}) + d \quad (13)$$

式中: $S_{\text{mortar B}}$: 砂浆B的S, MPa;

$S_{\text{new binder}}$: 新沥青的S, MPa;

c 和 d : 方程系数。

(2) 根据砂浆与新沥青低温性能试验结果, 按公式 (14) 计算再生沥青的S:

$$\log(S_{\text{mortar A}}) = c \log(S_{\text{recycled asphalt}}) + d \quad (14)$$

式中: $S_{\text{mortar A}}$: 砂浆A的S, MPa。

(3) 按公式 (7) 计算再生沥青基于S的低温连续PG分级。

2) 基于 m 值计算再生沥青的低温连续 PG 分级。

(1) 根据砂浆与新沥青低温性能试验结果, 按公式 (15) 计算沥青与砂浆低温性能方程的系数 c 和 d :

$$\log(m_{\text{mortar B}}) = c \log(m_{\text{new binder}}) + d \quad (15)$$

式中: $m_{\text{mortar B}}$: 砂浆B的m值;

$m_{\text{new binder}}$: 新沥青的m值;

c 和 d : 方程系数。

(2) 根据砂浆与新沥青低温性能试验结果, 按公式 (16) 计算再生沥青温度的m值:

$$\log(m_{\text{mortar A}}) = c \log(m_{\text{recycled asphalt}}) + d \quad (16)$$

式中: $m_{\text{mortar A}}$: 砂浆A的m值。

(3) 按公式 (8) 计算再生沥青基于m值的低温连续PG分级。

3) 根据上式计算基于 S 和 m 值的再生沥青的低温连续 PG 分级, 两数值中的较大值即为再生沥青的低温连续 PG 分级。

5.3 回收沥青及再生沥青的连续 PG 分级计算

5.3.1 PG 等级变化率 (GCR) 计算

按公式 (17) 计算沥青的高温、常温、低温 PG 等级变化率:

$$\text{GCR} = \frac{T_{\text{recycled asphalt}} - T_{\text{new binder}}}{\text{RAP}\% \times 100} \quad (17)$$

式中: GCR: 回收沥青含量每变化 1%, 沥青 PG 等级产生的改变量, °C/%;

RAP%: 再生沥青中的回收沥青含量, %;

$T_{\text{recycled asphalt}}$: 再生沥青的 PG 连续分级, °C;

$T_{\text{new binder}}$: 新沥青的 PG 连续分级, °C。

5.3.2 再生沥青连续 PG 分级计算

按公式 (18) 计算任意回收沥青含量的再生沥青的连续PG分级:

$$T_{\text{C-recycled asphalt}} = T_{\text{new binder}} + \text{GCR} \times \text{RAP}\% \times 100 \quad (18)$$

式中: $T_{\text{C-recycled asphalt}}$: 再生沥青的连续 PG 分级, °C。

5.3.3 回收沥青的连续 PG 分级计算

根据公式（19）计算回收沥青的连续PG分级：

$$T_{C\text{-reclaimed asphalt}} = T_{\text{new binder}} + \text{GCR} \times 100 \quad (19)$$

式中： $T_{C\text{-reclaimed asphalt}}$ ：回收沥青的连续 PG 分级，°C。

6 报告

6.1 高温 PG 等级

6.1.1 新沥青高温性能试验的试验温度、 $G^*/\sin\delta$ 和高温连续 PG 分级

6.1.2 砂浆 A 和砂浆 B 高温性能试验的试验温度和 $G^*/\sin\delta$

6.1.3 再生沥青的高温连续 PG 分级

6.1.4 回收沥青的高温连续 PG 分级

6.2 常温 PG 等级

6.2.1 新沥青常温性能试验的试验温度、 $G^* \cdot \sin\delta$ 和常温连续 PG 分级

6.2.2 砂浆 A 和砂浆 B 常温性能试验的试验温度和 $G^* \cdot \sin\delta$

6.2.3 再生沥青的常温连续 PG 分级

6.2.4 回收沥青的常温连续 PG 分级

6.3 低温 PG 等级

6.3.1 新沥青低温性能试验的试验温度、S 和 m 值以及低温连续 PG 分级

6.3.2 砂浆 A 和砂浆 B 低温性能试验的试验温度、S 和 m 值

6.3.3 再生沥青的低温连续 PG 分级

6.3.4 回收沥青的低温连续 PG 分级

6.4 报告表格

本试验记录格式可参照表4。

表4 试验报告

指标		温度	沥青	砂浆A	砂浆B	再生沥青	回收沥青
高温	$G^*/\sin\delta$	T ₁					
		T ₂					
	连续PG分级						
常温	$G^* \cdot \sin\delta$	T ₁					
		T ₂					
	连续PG分级						
低温	S	T ₁					
		T ₂					
	m	T ₁					
		T ₂					
	连续PG分级						

附录 A
(资料性)

砂浆设计计算示例

确定砂浆试样材料特性的砂浆设计计算示例如下：

根据公式 (A.1) 和公式 (A.2) 分别计算砂浆 A 的总沥青含量 $AC_{\text{total-A}}$ 和回收沥青含量 AC_{RAP} 。

$$AC_{\text{total-A}} = \frac{m_{\text{RAP}} \times \text{RAP}_{\text{AC}} + m_{\text{new binder}}}{m_{\text{RAP}} + m_{\text{new binder}}} \times 100 \quad (\text{A.1})$$

$$AC_{\text{RAP}} = \frac{m_{\text{RAP}} \times \text{RAP}_{\text{AC}}}{m_{\text{RAP}} \times \text{RAP}_{\text{AC}} + m_{\text{new binder}}} \times 100 \quad (\text{A.2})$$

式中：

$AC_{\text{total-A}}$ ：砂浆 A 的总沥青含量，%；

AC_{RAP} ：砂浆 A 中回收沥青占总沥青的比例，%；

RAP_{AC} ：RAP 细料的沥青含量，%；

m_{RAP} ：砂浆 A 中 RAP 细料质量，g；

$m_{\text{new binder}}$ ：砂浆 A 中新沥青质量，g。

控制砂浆 B 中 RAP 细集料和新沥青的质量使砂浆 B 与砂浆 A 的总沥青含量以及集料相同，因此砂浆 B 中 RAP 细集料和新沥青质量需满足下式：

$$m_{\text{new binder}} = \frac{AC_{\text{total-A}} \times m_{\text{fine aggregates-B}}}{1 - AC_{\text{total-A}}} \quad (\text{A.3})$$

式中：

$m_{\text{fine aggregates-B}}$ ：砂浆 B 中 RAP 细集料的质量，g。

砂浆 B 中沥青的总含量与砂浆 A 中总沥青含量相同，通过下式计算可得：

$$AC_{\text{total-B}} = \frac{m_{\text{new binder}}}{m_{\text{fine-B}} + m_{\text{new binder}}} \times 100 \quad (\text{A.4})$$

$$AC_{\text{total-B}} = AC_{\text{total-A}} \quad (\text{A.5})$$

式中：

$AC_{\text{total-B}}$ ：砂浆 B 的总沥青含量，%。

上述等式成立时，因为砂浆 A 中一部分回收沥青替代了新沥青，砂浆 B 中的新沥青质量等于砂浆 A 中的新沥青和回收沥青质量之和。

附录 B
(资料性)

再生沥青 PG 等级计算示例

B.1 再生沥青高温 PG 等级预测

以高温 PG 等级为例,给出再生沥青和回收沥青 PG 等级的计算示例。高温试验结果如表 B.1 所示。

表B.1 再生沥青高温流变性能试验结果

回收沥青含量/%	12.73			
试验温度/°C	64		70	
试验试样	G*/sin δ平均值		G*/sin δ平均值	
	原样	RTFO后	原样	RTFO后
新沥青	1.421	3.862	0.648	1.753
砂浆A	14.061	31.179	6.474	14.039
砂浆B	8.306	16.842	3.974	7.714

按照规范公式 (B.1) 计算未老化和 RTFO 老化后的新沥青高温 PG 连续分级,两计算值中的较低值即为新沥青的高温 PG 连续分级。

$$T_{C-high} = T_{1-high} + \frac{\log_{10}(G^*/\sin \delta)_s - \log_{10}(G^*/\sin \delta)_1}{\log_{10}(G^*/\sin \delta)_2 - \log_{10}(G^*/\sin \delta)_1} \times (T_{2-high} - T_{1-high}) \quad (B.1)$$

式中: T_{C-high} : 新沥青的高温连续PG分级, °C;

T_{1-high} : 新沥青的高温性能试验的第1个试验温度, °C;

T_{2-high} : 新沥青的高温性能试验的第2个试验温度, °C;

$(G^*/\sin \delta)_s$: 车辙因子分界值, 未老化沥青取1, RTFO后沥青取2.2, kPa;

$(G^*/\sin \delta)_1$: 第1个试验温度时新沥青的车辙因子, kPa;

$(G^*/\sin \delta)_2$: 第2个试验温度时新沥青的车辙因子, kPa。

根据表 B.1 中的试验结果计算得到新沥青的高温 PG 连续分级为: 66.685°C (未老化); 68.275°C (RTFO 后)。

根据公式 (B.2) 算出系数 c 和 d , 计算结果如表 B.2 所示。

$$\log((G^*/\sin \delta)_{\text{mortar B}}) = c \log((G^*/\sin \delta)_{\text{new binder}}) + d \quad (B.2)$$

表B.2 系数 c 和 d 的结果

系数	G*/sin δ平均值	
	未老化	RTFO后
c	0.939	0.987
d	0.776	0.650

通过将系数 c 、 d 和砂浆 A 的 DSR 试验参数平均值代入公式 (B.3) 中算得再生沥青的 DSR 试验参数平均值, 结果如表 B.3 所示。

$$\log((G^*/\sin \delta)_{\text{mortar A}}) = c \log((G^*/\sin \delta)_{\text{recycled asphalt}}) + d \quad (B.3)$$

表B.3 再生沥青的 DSR 试验参数预测结果

试验温度/°C	64		70	
试验试样	G*/sin δ平均值		G*/sin δ平均值	
	未老化	RTFO后	未老化	RTFO后
新沥青	1.421	3.862	0.648	1.753
再生沥青	2.489	7.239	1.090	3.237

根据表 B.3 计算得到再生沥青高温 PG 连续分级为: 70.624°C (未老化); 72.878°C (RTFO 后)。

根据公式 (B.4) 计算得到等级变化率 GCR 为:

$$0.309 \times \frac{^{\circ}\text{C}}{\%} = \frac{70.624 - 66.685}{12.73\%} \quad (\text{未老化});$$

$$0.362 \times \frac{^{\circ}\text{C}}{\%} = \frac{72.878 - 68.275}{12.73\%} \quad (\text{RTFO 后}).$$

$$\text{GCR} = \frac{T_{\text{recycled asphalt}} - T_{\text{new binder}}}{\text{RAP}\% \times 100} \quad (\text{B.4})$$

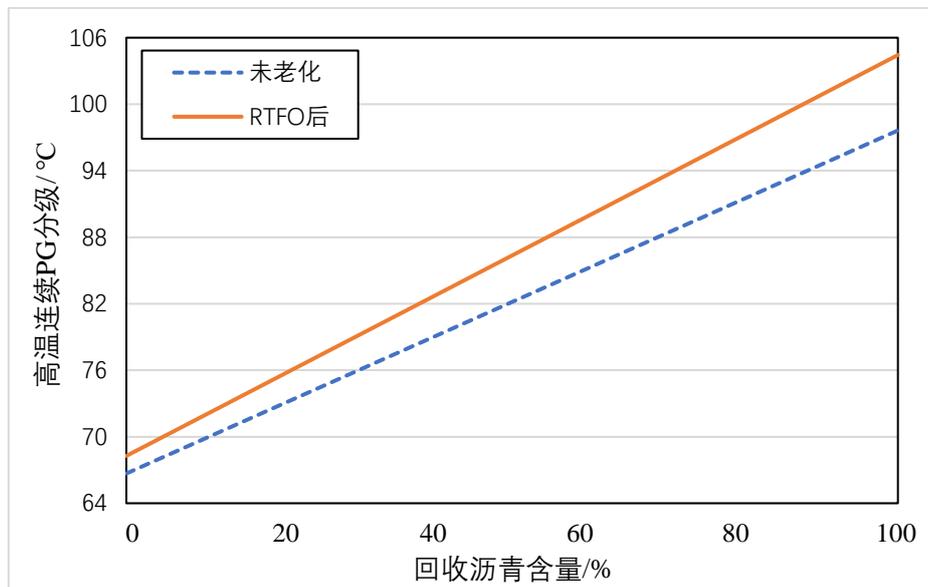
式中：GCR：回收沥青含量每变化 1%，沥青 PG 等级产生的改变量， $^{\circ}\text{C}/\%$ ；

RAP%：再生沥青的回收沥青含量，%；

$T_{\text{recycled asphalt}}$ ：再生沥青的 PG 连续分级， $^{\circ}\text{C}$ ；

$T_{\text{new binder}}$ ：新沥青的 PG 连续分级， $^{\circ}\text{C}$ 。

不同回收沥青含量再生沥青的高温 PG 连续分级（包括未老化和 RTFO 老化后的新沥青）如图 B.1 所示。



图B.1 不同回收沥青含量再生沥青的高温 PG 连续分级（未老化和 RTFO 老化后新沥青）

B.2 再生沥青低温 PG 等级计算

以低温 PG 等级为例，给出了预测再生沥青和回收沥青 PG 等级的计算示例。低温试验结果如表 B.4 所示。

表B.4 再生沥青低温流变性能试验结果

回收沥青含量/%	25			
试验温度/°C	-12		-18	
试验试样	BBR参数平均值		BBR参数平均值	
	S/MPa	m	S/MPa	m
PAV老化后的新沥青	160	0.343	283	0.316
砂浆A	1075	0.263	1190	0.233
砂浆B	675	0.324	1180	0.278

根据公式 (B.5) 计算 PAV 老化后新沥青的低温 PG 连续分级 (基于 S):

$$T_{C-low} = T_{1-low} + \frac{\log_{10} S_s - \log_{10} S_1}{\log_{10} S_2 - \log_{10} S_1} \times (T_{2-low} - T_{1-low}) - 10 \quad (B.5)$$

式中: T_{C-low} : 新沥青的低温连续PG分级, °C;

T_{1-low} : 新沥青的低温性能试验的第1个试验温度, °C;

T_{2-low} : 新沥青的低温性能试验的第2个试验温度, °C;

S_s : S分界值, 取300, MPa;

S_1 : 第1个试验温度时新沥青的S, MPa;

S_2 : 第2个试验温度时新沥青的S, MPa。

根据公式 (B.6) 计算 PAV 老化后新沥青的低温 PG 连续分级 (基于 m):

$$T_{C-low} = T_{1-low} + \frac{m_s - m_1}{m_2 - m_1} \times (T_{2-low} - T_{1-low}) - 10 \quad (B.6)$$

式中: T_{C-low} : 新沥青的低温连续PG分级, °C;

T_{1-low} : 新沥青的低温性能试验的第1个试验温度, °C;

T_{2-low} : 新沥青的低温性能试验的第2个试验温度, °C;

m_s : m值分界值, 取0.3;

m_1 : 第1个试验温度时新沥青的m值;

m_2 : 第2个试验温度时新沥青的m值。

根据表 B.4 中的结果计算得到 PAV 老化后新沥青低温 PG 连续分级为: -28.6°C (基于 S); -31.6°C (基于 m 值)。

根据公式 (B.7) 和公式 (B.8) 算出系数 c 和 d , 计算结果如表 B.5 所示。

$$\log(S_{\text{mortar B}}) = c \log(S_{\text{new binder}}) + d \quad (B.7)$$

$$\log(m_{\text{mortar B}}) = c \log(m_{\text{new binder}}) + d \quad (B.8)$$

表B.5 系数 c 和 d 的结果

系数	BBR参数平均值	
	S	m
c	0.9795	1.7037
d	0.6705	-0.2604

通过将系数 c 、 d 和砂浆 A 的 BBR 参数平均值代入公式 (B.9) 和公式 (B.10) 中算得再生沥青的 BBR 参数平均值, 结果如表 B.6 所示。其中 S 为对数坐标轴; 而 m 值以数值作为坐标轴。

$$\log(S_{\text{mortar A}}) = c \log(S_{\text{recycled asphalt}}) + d \quad (B.9)$$

$$\log(m_{\text{mortar A}}) = c \log(m_{\text{recycled asphalt}}) + d \quad (B.10)$$

表B.6 再生沥青的 BBR 参数预测结果

试验温度/°C	-12	-18
---------	-----	-----

试验试样	BBR参数平均值		BBR参数平均值	
	S/MPa	m	S/MPa	m
PAV老化后的新沥青	2.20	0.343	2.45	0.316
再生沥青	2.41	0.307	2.63	0.290

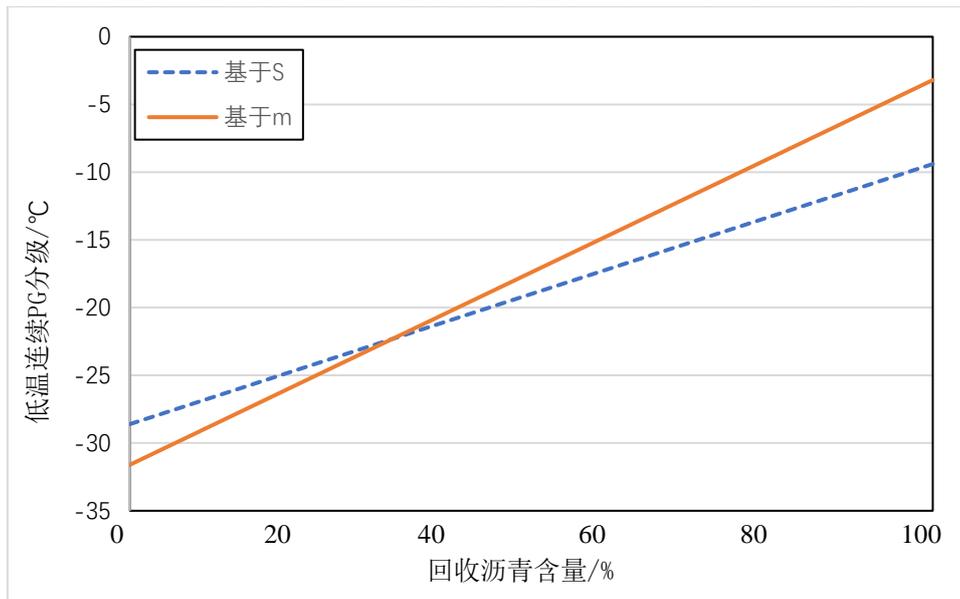
根据表 B.6 计算得到再生沥青低温 PG 连续分级为：-23.8°C（基于 S）；-24.5°C（基于 m 值）。

根据公式（B.4）计算得到等级变化率 GCR 为：

$$0.192 \times \frac{^{\circ}\text{C}}{\%} = \frac{-23.8 - (-28.6)}{25\%} \quad (\text{基于 S});$$

$$0.284 \times \frac{^{\circ}\text{C}}{\%} = \frac{-24.5 - (-31.6)}{25\%} \quad (\text{基于 m}).$$

不同回收沥青含量再生沥青的低温 PG 连续分级（基于 S 和 m）如图 B.2 所示。

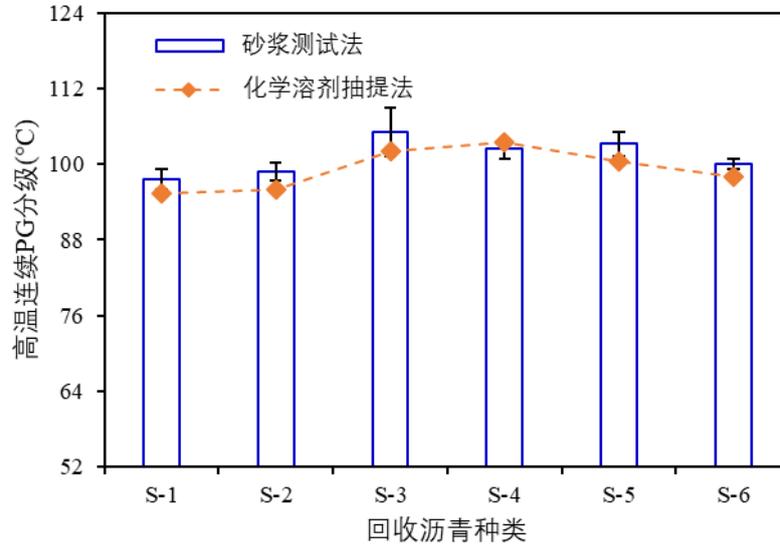


图B.2 不同回收沥青含量再生沥青的低温 PG 连续分级（基于 S 和 m）

附录 C (资料性)

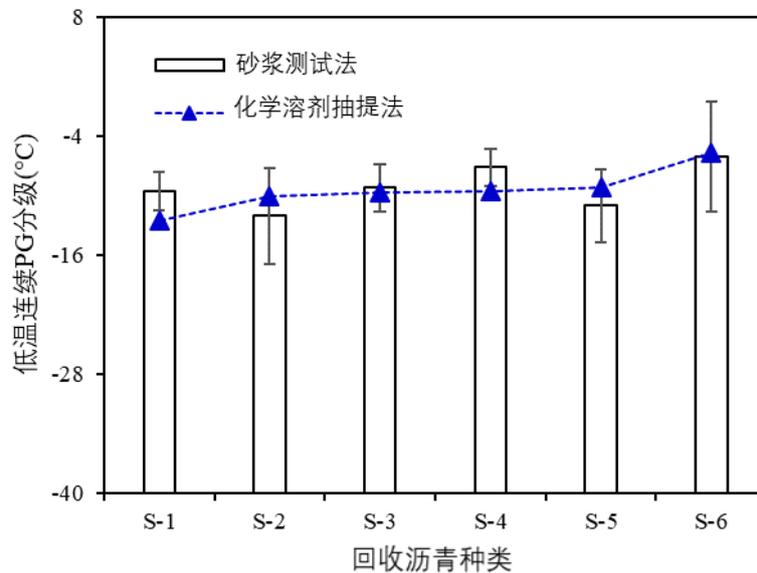
砂浆测试法与化学溶剂抽提法试验结果对比

以高温连续PG分级结果为例，对比了6种沥青的砂浆测试法与化学溶剂抽提法获得的高温连续PG分级结果，如图所示C.1所示。



图C.1 砂浆测试法与化学溶剂抽提法的高温连续 PG 分级结果对比

以低温连续PG分级结果为例，对比了6种沥青的砂浆测试法与化学溶剂抽提法获得的低温连续PG分级结果，如图所示C.2所示。



图C.2 砂浆测试法与化学溶剂抽提法的低温连续 PG 分级结果对比