

沥青材料试验 (实验目的)

1. 通过沥青三大指标实验，熟知沥青的条件温度、条件粘度及沥青材料的感温性。
2. 掌握沥青三大指标的测定方法和沥青标号的划分。
3. 熟悉沥青材料的主要技术性质和技术标准。



各类沥青材料的单价比较

材料	单价（元/吨）
70号重交通沥青	3800
SBS改性沥青	5100

09年夏，日本在大连合资生产的高粘沥青

9800（元/吨）

第五章 沥青材料的评价

§ 5-1 经验指标体系及其存在的不足

§ 5-2 经验指标体系向性能指标体系的过渡

§ 5-3 指标体系发展趋势

沥青---石油沥青的生产工艺、基属分类、
化学组分、胶体结构、改性沥青及感受
了沥青三大指标。

承上启下

沥青混合料

SMA、OGFC、SAC

第五章 沥青材料的评价

§ 5-1 经验指标体系及其存在的不足

目前我国用三套指标体系控制沥青路面材料质量，进行沥青混合料组成设计与路面结构设计。

现行3套技术指标

材料		柔性路面设计规范
沥青	沥青混合料	
针入度 软化点 延度 密度 加热损失 含蜡量 溶解度 闪点	稳定度 流值 空隙率 饱和度 间隙率 残留稳定度	抗压模量 抗拉模量 弯拉模量 弯拉强度 粘结力 内摩阻力

目前：材料设计按马歇尔

结构设计按摸量(不同摸量，厚度不同)

即使满足3套技术指标的要求，沥青路面仍出现早期破坏。

除施工技术、管理水平外，现行指标体系存在明显不足。

现行指标体系存在的一些主要问题

- 早期损害的类型

裂缝类、松散类、变形类、以及其它类型。



现行指标体系存在的一些主要问题:

1. 材料指标与结构设计参数间缺乏必要的联系，难以发挥设计的能动作用。
2. “设计-----施工-----使用一段时间” 之间缺乏联系

设计: a成型方法
(压实、震动)
b原材料选择
c结构组成
d参数选择

施工: a工艺
b机械设备 (拌合 摊铺 碾压)
c施工水平 (技术 管理)
d材料 (石料沥青)

使用: a越压越密
b损坏

材料 - 结构 - 工艺 一体化

3. 目前的指标体系多为经验型的，无法适应功能性要求来评价，选择材料。
4. 现行技术指标体系的技术缺陷是一个世界性的普遍问题。(研究的必要性)

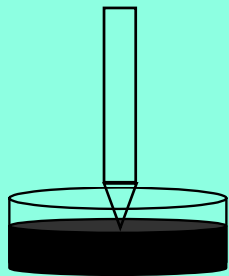
§ 5-2经验指标体系向性能指标体系的过渡

一 技术标准发展的过程

二 指标体系的内在联系

沥青分级过程

- 针入度等级

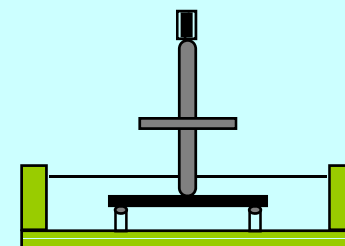
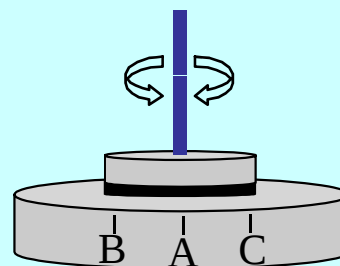
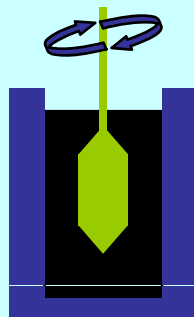


- 粘度等级



- 性能等级

- 根据期望的环境
和温度分级



一 技术标准发展的过程

1. 经验性指标体系

现行使用规范分类：标准等级分类（国标、部标、业主）
产品分类（如 AH-110、A-140）

（参见规范）

- 针入度—— 条件粘度（25℃以下的粘度）
- 软化点—— 条件温度 等粘温度 （一定粘度条件）

反映过程中的一个点（粘度-温度）

是温度的稳定性（温度对沥青的稳定性）

我国目前规范中的沥青技术要求

道路沥青的适用范围	
沥青等级	适用范围
A 级沥青	各个等级的公路，适用于任何场合和层次。
B 级沥青	①高速公路、一级公路沥青下面层及以下的层次，二级及二级以下公路的各层； ②用作改性沥青、乳化沥青、改性乳化沥青、稀释沥青的基质沥青。
C 级沥青	三级及三级以下公路的各个层次。

指标		沥青等级													
		AH-90 (新)					AH-90 (旧)	AH-70 (新)					AH-70 (旧)	AH-50 (新)	AH-50 (旧)
针入度 (0.1mm)		80-100					80-100	60-80					60-80	40-60	40-60
气候分区		1-1	1-2	1-3	2-2	2-3	/	1-3	1-4	2-2	2-3	2-4	/	1-4	/
PI	A	-1.5~+1.0					/	-1.5~+1.0					/	-1.5~+1.0	/
	B	-1.8~+1.0					/	-1.8~+1.0					/	-1.8~+1.0	/
软化点 ℃	A	≥45			≥44		42-52	≥46		≥45			44-54	≥49	45-55
	B	≥43			≥42			≥44		≥43				≥46	
	C	≥42						≥43						≥45	
60℃动力粘度 Pa.s	A	≥160			≥140		/	≥180		≥160			/	≥200	/

§ 5-2经验指标体系向性能指标体系的过渡

指标		沥青等级													
		AH-90 (新)					AH-90 (旧)	AH-70 (新)					AH-70 (旧)	AH-50 (新)	AH-50 (旧)
10℃延度 不小于 cm	A	45	30	20	30	20	/	20	15	25	20	15	/	15	/
	B	30	20	15	20	15		15	10	20	15	10		10	
15℃延度 不小于 cm	A、 B	100					100	100					实测	80	/
	C	50						40						30	/
蜡含量 (蒸馏 法) 不大于 %	A	2.2					3.0	2.2					3.0	2.2	3.0
	B	3.0						3.0						3.0	
	C	4.5						4.5						4.5	
闪点℃		≥245					≥230	≥260					≥230	≥260	≥230
溶解度 %		≥99.5					99.0	≥99.5					99.0	≥99.5	99.0
密度		实测					实测	实测					实测	实测	实测

§ 5-2经验指标体系向性能指标体系的过渡

指标		沥青等级					
		AH-90 (新)	AH-90 (旧)	AH-70 (新)	AH-70 (旧)	AH-50 (新)	AH-50 (旧)
TFOT(或RTFOT)后							
质量变化		0.8	1.0	0.8	0.8	0.8	0.6
残留 25℃针 入度比 %	A	≥57	≥50	≥61	≥55	≥63	≥58
	B	≥54		≥58		≥60	
	C	≥50		≥54		≥58	
残留延 度 10℃不 小于	A	≥8	/	≥6	/	≥4	/
	B	≥6		≥4		≥2	
残留延 度 15℃不 小于	C	≥20	实测	≥15	实测	≥10	实测

改性沥青

指标	单位	SBS类(1类) [新]				SBS类(1类) [旧]				SBR类(Ⅱ类) [新]			SBR类(Ⅱ类) [旧]			EVA、PE类(Ⅲ类) [新]				EVA、PE类(Ⅲ类) [旧]			
		I -A	I -B	I -C	I -D	I -A	I -B	I -C	I -D	Ⅱ -A	Ⅱ -B	Ⅱ -C	Ⅱ -A	Ⅱ -B	Ⅱ -C	Ⅲ -A	Ⅲ -B	Ⅲ -C	Ⅲ -D	Ⅲ -A	Ⅲ -B	Ⅲ -C	Ⅲ -D
针入度25℃	0.1m m	> 100	80-100	60-80	30-60	≥ 100	≥ 80	≥ 60	≥ 40	> 100	80-100	60-80	≥ 100	≥ 80	≥ 60	> 80	60-80	40-60	30-40	≥ 80	≥ 60	≥ 40	≥ 30
PI 不小于		-1.2	-0.8	-0.4	0	-1.0	-0.6	-0.2	+0.2	-1.0	-0.8	-0.6	-1.0	-0.8	-0.6	-1.0	-0.8	-0.6	-0.4	-1.0	-0.8	-0.6	-0.4
延度 5℃, 5cm/min 不小于	cm	50	40	30	20	50	40	30	20	60	50	40	60	50	40	/				/			
软化点 不小于	℃	45	50	55	60	45	50	55	60	45	48	50	45	48	50	48	52	56	60	48	52	56	60
运动粘度 135℃ 不大于	Pa.s	3				3				3			3			3				3			

§ 5-2经验指标体系向性能指标体系的过渡

改性沥青

指标	单位	SBS类(1类) [新]				SBS类(1类) [旧]				SBR类(Ⅱ类) [新]			SBR类(Ⅱ类) [旧]			EVA、PE类(Ⅲ类) [新]				EVA、PE类(Ⅲ类) [旧]			
		I-A	I-B	I-C	I-D	I-A	I-B	I-C	I-D	Ⅱ-A	Ⅱ-B	Ⅱ-C	Ⅱ-A	Ⅱ-B	Ⅱ-C	Ⅲ-A	Ⅲ-B	Ⅲ-C	Ⅲ-D	Ⅲ-A	Ⅲ-B	Ⅲ-C	Ⅲ-D
闪点 不小于	℃	230				230				230			230			230				230			
溶解度	%	99				99				99			99			/				/			
弹性恢复	%	55	60	65	75	55	60	65	70	/			/			/				/			
粘韧性,不小于	N.m	/				/				5			5			/				/			
韧性,不小于	N.m	/				/				2.5			2.5			/				/			
离析,不大于	℃	2.5				2.5				/			/			无改性剂明显析出,凝聚				无改性剂明显析出,凝聚			

TFOT(或RTFOT)后残留物

质量变化, 不大于	%	1.0				1.0				1.0			1.0			1.0				1.0			
针入度比, 不小于	%	50	55	60	65	50	55	60	65	50	55	60	50	55	60	50	55	58	60	50	55	58	60
延度5℃, 不小于	cm	30	25	20	15	30	25	20	15	30	20	10	30	20	10	/				/			

§ 5-2经验指标体系向性能指标体系的过渡

一 技术标准发展的过程

2. 粘度级 (中国无此过程, 美国有)

1984年美国提出沥青的粘度级标准,
用粘度级划分等级 (标号)
采用60℃时的绝对粘度 (动力粘度) 来划分等级

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\varepsilon}}$$

其中 τ - 剪应力
 $\dot{\varepsilon}$ - 剪变率

$$\gamma = \frac{\eta}{\rho}$$

γ - 运动粘度 (mm²/s)
 η - 动力粘度
 ρ - 同温度下的沥青密度

如: AC-2.5 表示: 粘度 (60℃) 为250 ± 50
(Asphalt Consistency)

一 技术标准发展的过程

2. 粘度级 (续)

沥青试样在粘度仪中，在规定的温度条件下
通过规定尺寸的流孔流出50ml体积所需的时间，
以S计

通常写做 $C_T^d = \chi_{(s)}$

d - 流孔直径

T - 试验温度

沥青技术标准比较

	针入度等级		粘度等级	
	表示方法	真入度值	表示方法	粘度值
中国	AH-90	80-100		
	A-100	90-120		
美国	85-100	85-100	AC-2.5	250 ± 50
			AC-10	1000 ± 200
			AR-10	1000 ± 250
			AR-80	8000 ± 2000
日本	80-100	80-100	AC-80	8000 ± 2000

一 技术标准发展的过程

2. 粘度级 (续)

技术标准进步三方面:

A. PI和BTDC曲线 (2个概念)

B. 劲度 (一张图——劲度概念图)

C. 老化 (考虑使用过程, 用热老化后的性能作为评定根据)

一 技术标准发展的过程

2. 粘度级 (续)

PI: (Penetration Index) 针入度指数

用针入度、软化点的试验结果, 表征沥青的感温性、胶体结构。

感温性低, 温度稳定性好。

$PI < -2$ 溶胶结构沥青

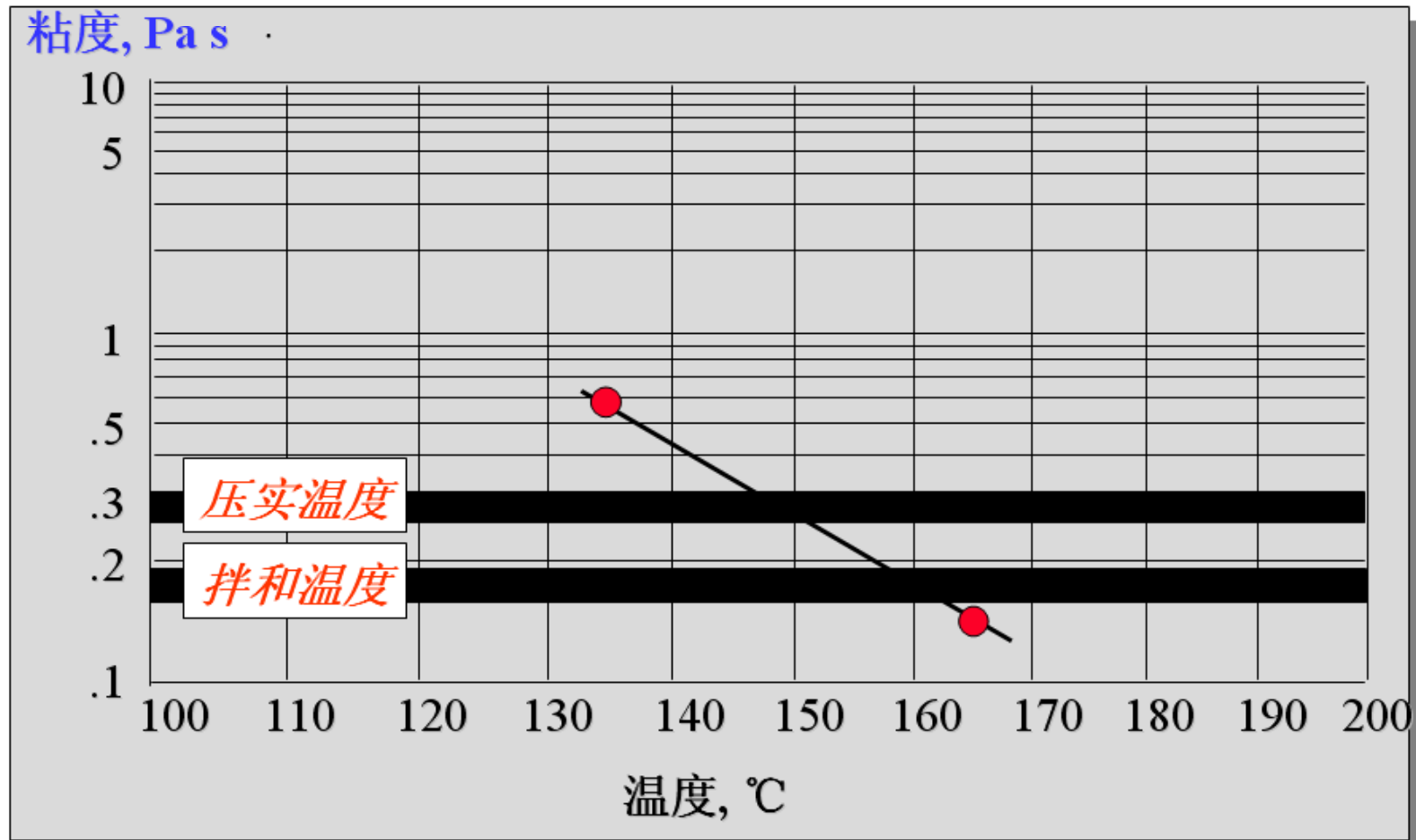
$PI = -2 \text{ --- } 2$ 溶-凝胶结构沥青

$PI > 2$ 凝胶结构沥青

BTDC曲线: (Bitumen Test Data Chart) 全温曲线

将针入度、软化点、粘度、弗拉斯脆点统一换算为纵坐标, 温度为横坐标。

给出沥青的全温度范围内的粘——温关系



按粘 - 温关系 确定 的拌和和压实温度 (用于基质沥青)

一 技术标准发展的过程

2. 粘度级 (续)

从沥青粘度感温性, 重新认识

针入度——等温粘度 (25℃)

软化点——等粘温度 (高温)

脆点——等劲度温度 (低温)

一 技术标准发展的过程

3. 功能性指标体系-PG (Performance Grade)

SHRP提出5个结构性指标:

高温→永久变形

低温→开裂

常温→疲劳破坏

水损害

老化

(美国公路战略研究计划)

the American Strategic Highway Research Program

二 指标体系的内在联系

PI → (t, T℃) → Sb → (结构参数) → Sm → (层状理论) →

σ 拉 ε 拉 (疲劳)

温度应力 (开裂)

永久变形 (车辙)

这是在SHRP之前所做的努力

因缺乏内在的联系，故SHRP研究提出新指标体系

§ 5-3 指标体系发展趋势

一 沥青路面发展

二 SHRP研究计划

三 SHRP提出 - 功能性指标体系

四 发展趋势

五 一体化

一 沥青路面发展

国际:

1. 20世纪40年代-马歇尔

(美国工程兵团供职的密西西比道路局工程师)

2. 20世纪60年代-AASHO试验

(美国各州公路工作者协会)

American Association of State Highway Official

1961年完成综合性的大型足尺道路试验,

包括柔性路面, 刚性路面, 桥梁试验

3. 20世纪90年代-SHRP研究计划

(美国公路战略研究计划)

the American Strategic Highway Research Program

国内:

1. 六五 2. 七五 3. 八五、九五、十五

二 SHRP研究计划

1. 1987年美国国会批准的研究计划。
 为期五年，耗资一亿五千万美元。
2. 目的：改善全国的道路性能和耐久性，
 使行驶者更为安全
3. 四个领域的研究：公路运营、混凝土与结构、
 沥青、路面长期性能。
4. 研究成果的核心 （1993年3月31日结束，获得130多项研究成果）
 - 两个规范 沥青胶结料性能分级规范 (完善 中国也开始用)
 - 沥青混合料的路用性能规范 (还在完善)
 - 一个方法 沥青混合料的设计方法 (体积法)

二 SHRP研究计划 (续)

Superpave – 高性能沥青路面

用来设计耐久的沥青路面

可用来: 路面设计

性能预测

混合料设计

Superpave软件包括了两个规范和一个混合料设计方法。

整个沥青研究成果包括的性能试验和软件准备,
都是为两个规范服务的。

Superpave体系完全建立在性能基础上

通过控制 车辙 (永久变形)

疲劳开裂

低温开裂 来改善路用性能

同时考虑老化、水敏感性、粘结损失对路面性能的影响

Superpave

Superior Performing

Asphalt Pavements

高性能沥青路面

二 SHRP研究计划 (续)

Superpave所有的试验方法和规范

由： 轮辙试验

环道

75个一般路面研究

性能数据所验证 (建立在实际经验之上)

研究用的基准材料库收集了

- 48种沥青
- 10余种集料
- 777个一般路面研究试验路段
- 1046个特殊路面研究试验路段

验证的范围在沥青研究与发展领域内史无前例。

三 SHRP提出 - 功能性指标体系

使用性能（Performance）：
结构性使用性能
功能性使用性能

对结构性能共有五个指标:

从力学角度 ①疲劳 ②低温收缩 ③车辙（永久变形）

从稳定性角度 ④水损害 ⑤老化

对功能性要求:

①舒适性（平整度）

②抗滑（构造深度，摩擦系数）

③环境（噪声）

④ 经济

三 SHRP提出 - 功能性指标体系 (续)

结构所要求的与结构层功能有关

如： 上面层：满足功能要求（平整，抗滑，吸声）

中面层：抗车辙材料（控制变形）

下面层：抗疲劳材料（控制疲劳开裂）

过去：稳定度 流值

现在：结构性五个指标

功能性四个指标

四 发展趋势

①路面结构设计

②沥青混合料设计

③沥青材料

④关于功能性使用性能与结构性使用性能如何结合

对结构性能共有五个指标:

从力学角度 ①疲劳 ②低温收缩 ③车辙
从稳定性角度 ④水损害 ⑤老化

对功能性要求:

①舒适性 (平整度)
②抗滑 (构造深度, 摩擦系数)
③环境 (噪声)
④经济

四 发展趋势

①路面结构设计

路面是多层次复合结构，有：不同的结构层组合
不同类型的材料组成

因此具有不同的应力和应变状况（相应的损坏形态）

故路面结构设计要用多个单项指标，分别针对和控制相应损坏类型。

目前用弯沉指标设计路面结构

路表弯沉是一项整体性、综合性、表观性的指标
无法反映路面结构的多样性及各种损坏类型

目前研究提出用疲劳、永久变形、低温缩裂、土基回弹变形，
分别控制各个结构层。（争议很大。各国情况不同；各省有不同的问题）

四 发展趋势 (续)

② 沥青混合料设计

用：疲劳、车辙、低温缩裂、水损害、老化

五个指标反映结构使用性能，趋向比较相同

但方法不一致，有待进一步深入

目的：测出来的参数，能用于结构计算

水损害、老化考虑长期使用性能，路面长期受荷载与自然的双重作用，
问题是路面结构设计计算中如何考虑

四 发展趋势 (续)

③ 沥青材料

这一部分较为成熟。

见SHRP沥青标准

(见李立寒P66表2-8)

四 发展趋势 (续)

④关于功能性使用性能与结构性使用性能如何结合

整体考虑很不成熟

On the way

但功能性使用性能目前认可的通用标准是:

摩擦系数

构造深度

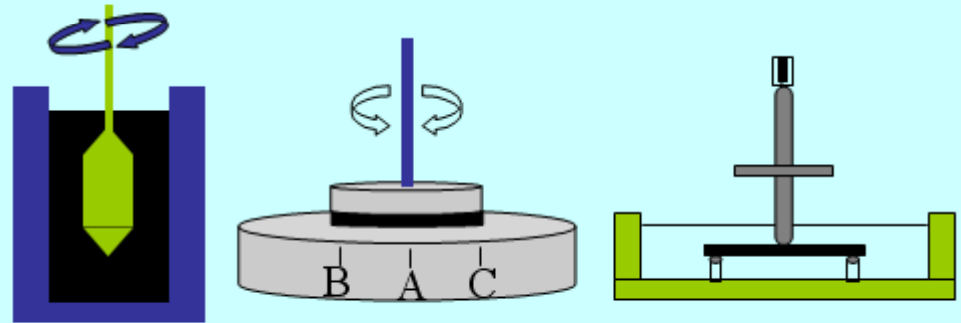
平整度

车辙

噪声

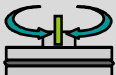
SHRP沥青标准

- 性能等级
 - 根据期望的环境和温度分级



性能等级规范

CEC

Avg 7-day Max, °C	PG 46			PG 52			PG 58			PG 64			PG 70			PG 76			PG 82																
1-day Min, °C	-34	-40	-46	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34	-10	-16	-22	-28	-34				
ORIGINAL																																			
 ≥ 230 °C	(Flash Point) FP																																		
 ≤ 3 Pa·s @ 135 °C	(Rotational Viscosity) RV																																		
 ≥ 1.00 kPa	(Dynamic Shear Rheometer) DSR G*/sin δ																																		
	46			52			58			64			70			76			82																
(ROLLING THIN FILM OVEN) RTFO Mass Loss ≤ 1.00 %																																			
 ≥ 2.20 kPa	(Dynamic Shear Rheometer) DSR G*/sin δ																																		
	46			52			58			64			70			76			82																
(PRESSURE AGING VESSEL) PAV																																			
20 Hours, 2.07 MPa	90			90 100			100			100 (110)			100 (110)			110 (110)																			
 ≤ 5000 kPa	(Dynamic Shear Rheometer) DSR G* sin δ																																		
	10	7	4	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	31	28	25	22	19	16	34	31	28	25	22	19	37	34	31	28	25	40	37	328
S ≤ 300 MPa  m ≥ 0.300	(Bending Beam Rheometer) BBR “S” Stiffness & “m”- value																																		
	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-2	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12
Report Value	(Bending Beam Rheometer) BBR Physical Hardening																																		
≥ 1.00 %	(Direct Tension) DT																																		
																																			

SHRP新青标

SHRP 沥青标准

沥青胶结料性能等级的确定

针入度级: 50号, 70号

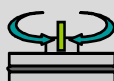
性能等级 (PG): PG64-22, PG76-16

Superpave 沥青胶结料规范

分级体系取决于气候



PG规范如何工作

Avg		PG 58								PG 64								PG 70								PG 76								PG 82																			
1-		0	-6	-16	22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22																		
MINAL																																																					
 $\geq 230^{\circ}\text{C}$																																																					
 $\leq 3 \text{ Pa}\cdot\text{s @ } 135^{\circ}\text{C}$																																																					
 $\geq 1.00 \text{ kPa}$		(D																																																			
		46		52																	70		76		82																												
(ROLLING		s Loss $\leq 1.00 \%$																																																			
 $\geq 2.20 \text{ kPa}$		(Dynam																																																			
		46		52																	70		76		82																												
(PRESSURE AGING V																																																					
20 Hours, 2.07						100 (11				100 (110)				110 (110)																																							
 ≤ 5000		ometer)		DSR G																																																	
$S \leq 300 \text{ MPa}$  $m \geq 0.300$				(Bending Beam Rheometer) BBR "S" & "m"-value																																																	
Report Value				(Bending Beam Rheometer) BBR Physical																																																	
$\geq 1.00 \%$				(Direct Tension) DT																																																	
																																																					

规范要求保持不变

Test Temperature Changes

58

64

SHRP 沥青标

规范要求保持不变

Test Temperature Changes

SHRP规范标准

SHRP改性沥青评价方法

美国公路战略研究计划 (SHRP) 对沥青材料进行了五年的研究，提出了一个沥青结合料的路用性能规范。

将沥青分为七个等级，每一级又分为几个亚级。

七个等级从PG46--PG82，亚级从-10 °C-- -46 °C，每6 °C一档。

PG是Performance Grade之词头，表示路用性能

分级直接采用设计使用温度表示适用范围。

例如：PG58-28，

表示该级沥青适用于最高路面设计温度不超过58°C，

最低路面设计温度不低于-28°C的地区。

SHRP改性沥青评价方法

沥青按使用温度分级是前所未有的，SHRP开始曾经使用过气温，即最高月平均气温及冬季极限最低气温作为划分依据。

为使温度分级更为科学，提出由空气温度改为路面沥青混合料温度。
高温设计温度采用由空气温度转换过来的路表下20mm深处的一年中温度最高的7天周期平均温度(即7d平均最高温度)，称为MAXPVT；

低温设计温度则是路表温度，且等于空气温度，以年最低气温表示，称为MINPVT。

在SHRP-A-648报告中指出，路表温度是由路表的热气流决定的，而路表热气流是由多方面的因素决定的。

热气流 = (直接太阳辐射热 、 热扩散、空气对流、热传导、 路面体的辐射)

SHRP改性沥青评价方法

SHRP规定

高温设计温度以一年中高温时期连续7天最高路面温度平均值为指标，
低温设计温度以年最低路面温度为指标。

这些温度分别成为高温稳定性及低温抗裂性指标的试验温度。

SHRP路用沥青新规范一反以往试验方法相同、等级不等的沥青
取不同标准值的做法

而采用各项指标的要求值为一常数，
但各个沥青等级适用的地区采用相应的试验温度，
这个想法和这个做法也是前所未有的。

SHRP改性沥青评价方法

SHRP新沥青规范的最根本的特点是

各项指标与各项路用性能直接相关

因此它不仅适用于普通的直馏沥青，还适用于改性沥青。

规范列入了各种路用性能指标，包括：

- 1 高温稳定性(高温时抵抗永久变形的能力)
- 2 低温抗裂性(低温时抵抗路面温缩开裂的能力)
- 3 耐疲劳性(抗疲劳破坏的能力)
- 4 抗老化性能
- 5 施工安全性、可操作性

沥青的抗水损害能力与集料性质密切相关，
故列入沥青混合料规范的指标中。

SHRP改性沥青评价方法

路面车辙主要在路面铺筑初期形成

1. 高温

沥青的高温稳定性指标用

平均最高路面设计温度时的原样沥青及薄膜加热后
残留沥青的 $G^*/\sin\delta$ 作为指标

要求原样沥青不低于1.0kPa,

RTFOT后残留沥青不低于2.2kPa,

试验时的角速度为10rad/s (相当于频率1.502Hz)

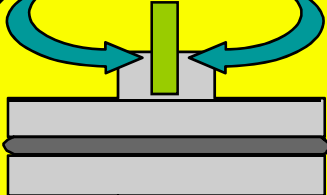
G^* 是动态剪切复数劲度模量,

是动态剪切复数柔量的倒数。

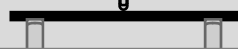
G^* 越大表示沥青的劲度越大, 抗流动变形能力越强。

永久变形

Avg 7-day Max, °C	PG 46				PG 52				PG 58				PG 64				PG 70				PG 76				PG 82			
1-day Min, °C	-34	-40	-46	-28	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-22	-28	-34	-40	-46	-22	-28	-34	-40	-46	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46
ORIGINAL																												
(Flash Point) FP																												
(Rotational Viscosity) RV																												
(Dynamic Shear Rheometer) DSR $G^*/\sin \delta$																												
	52				58				64				70				76				82							
(ROLLING THIN FILM OVEN) RTFO Mass Loss $\leq 1.00\%$																												
(Dynamic Shear Rheometer) DSR $G^*/\sin \delta$																												
	52				58				64				70				76				82							
(PRESSURE AGING VESSEL) PAV																												
20	90				90				100				100				100 (110)				100 (110)				110 (110)			
(Dynamic Shear Rheometer) DSR $G^* \sin \delta$																												
	4	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	10
(Bending Beam Rheometer) BBR "S" Stiffness & "m"-value																												
$S \leq 300 \text{ MPa}$ 	-24	-30	-36	-42	-48	-54	-60	-66	-72	-78	-84	-90	-96	-102	-108	-114	-120	-126	-132	-138	-144	-150	-156	-162	-168	-174	-180	-186
(Bending Beam Rheometer) BBR Physical Hardening																												
Report Value																												
$\geq 1.00\%$																												
(Direct Tension) DT																												
	-24	-30	-36	-42	-48	-54	-60	-66	-72	-78	-84	-90	-96	-102	-108	-114	-120	-126	-132	-138	-144	-150	-156	-162	-168	-174	-180	-186



- 未老化
- RTFO老化



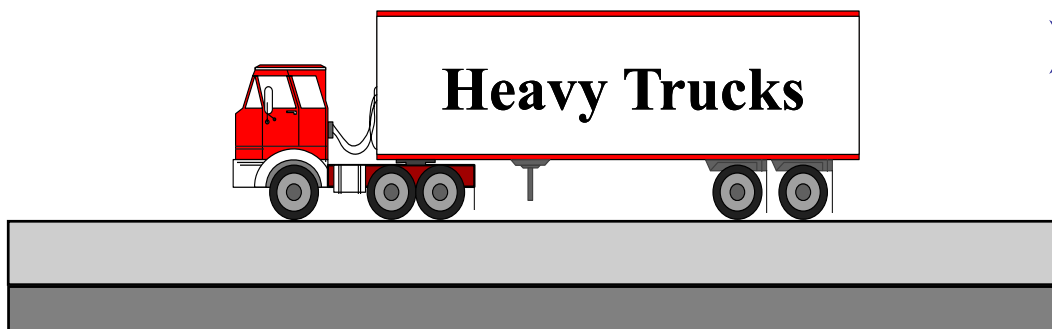


SHRP新青标

SHRP 沥青标准

永久变形

- 通过高温时的劲度来控制
 - $G^*/\sin \delta$ 未老化胶结料 ≥ 1.00 kPa
 - $G^*/\sin \delta$ RTFO 老化胶结料 ≥ 2.20 kPa



➤ 路面使用寿命
的初期

SHRP改性沥青评价方法

2. 低温

路面温缩开裂通常是由于沥青使用过程中不断老化，
劲度模量不断增加，沥青的低温柔性逐步转变为脆性造成
沥青的低温抗裂性能指标用

经过TFOT又经过压力老化试验PAV的沥青，
测定低温弯曲蠕变劲度模量S作为最主要指标。

要求60s时的S不得大于300MPa，

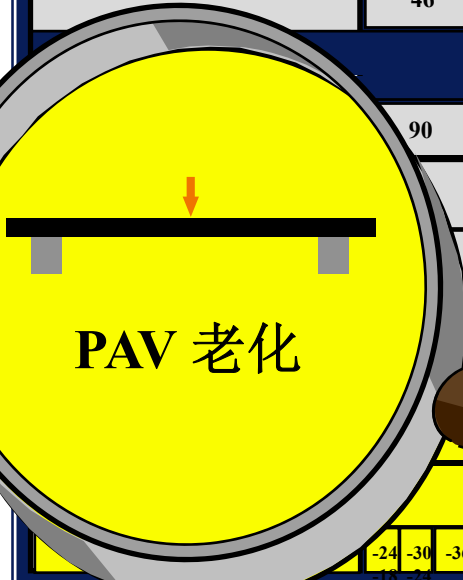
60s时蠕变劲度模量与荷载作用时间的双对数曲线的斜率m不小于0.30。

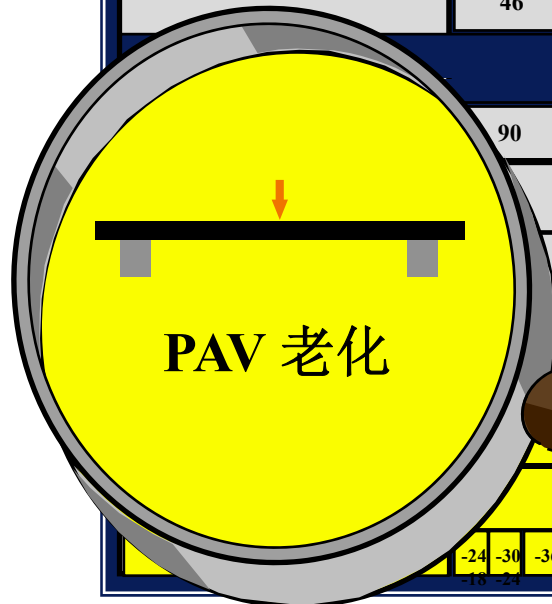
当S大于300MPa，却小于600MPa时，

则可用沥青在低温设计温度时的直接拉伸破坏应变(拉伸速率1.0mm/min)
代替蠕变劲度，要求不小于1.0%。

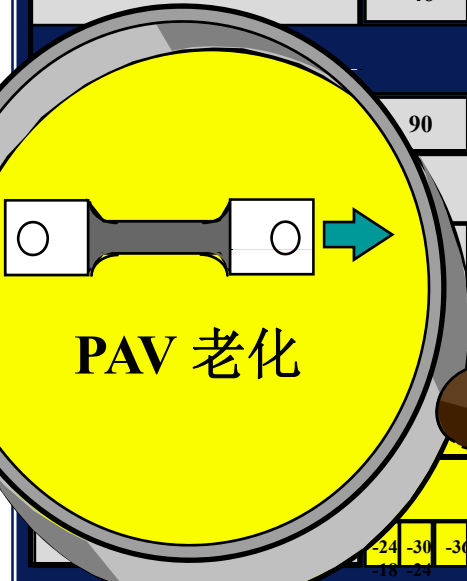
注：试验温度取为最低路面设计温度以上10℃，是因为温度太低了试验困难，
按流变学原理的时间温度换算法则，在试验温度下测定的60s的劲度模量，
相当于比试验温度低10℃的设计温度下2h劲度模量。

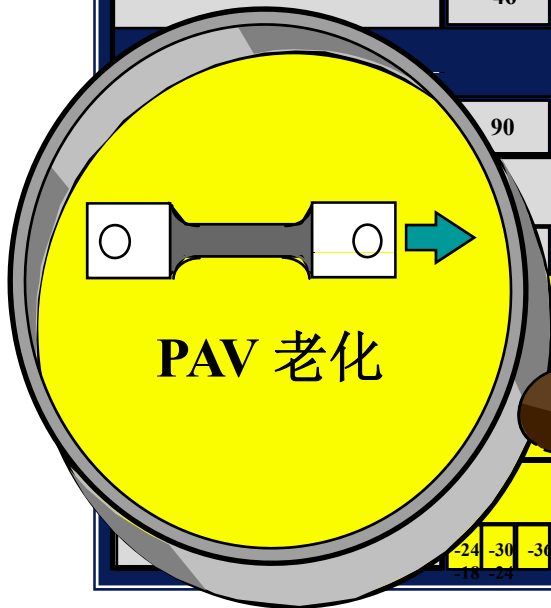
低温开裂

Avg 7-day Max, °C	PG 46			PG 52				PG 58				PG 64				PG 70				PG 76				PG 82								
1-day Min, °C	-34	-40	-46	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34	-10	-16	-22	-28	-34	
ORIGINAL																																
 ≥ 230 °C	(Flash Point) FP																															
 ≤ 3 Pa·s @ 135 °C	(Rotational Viscosity) RV																															
 ≥ 1.00 kPa	(Dynamic Shear Rheometer) DSR G*/sin δ																															
	46	52			58				64				70				76				82											
(ROLLING THIN FILM OVEN) RTFO Mass Loss ≤ 1.00 %																																
 ≥ 2.20 kPa	(Dynamic Shear Rheometer) DSR G*/sin δ																															
	46	52			58				64				70				76				82											
(PRESSURE AGING VESSEL) PAV																																
 PAV 老化	90	90			100				100				100 (110)				100 (110)				110 (110)											
	(Dynamic Shear Rheometer) DSR G* sin δ																															
	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	31	28	25	22	19	16	34	31	28	25	22	19	37	34	31	28	25	40	37	328
	(Bending Beam Rheometer) BBR “S” Stiffness & “m”- value																															
	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-42	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12
	(Bending Beam Rheometer) BBR Physical Hardening																															
	(Dynamic Time Temperature Superposition) DT																															
	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-42	-48	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30



低温开裂

Avg 7-day Max, °C	PG 46			PG 52				PG 58				PG 64				PG 70				PG 76				PG 82								
1-day Min, °C	-34	-40	-46	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34	-10	-16	-22	-28	-34	
ORIGINAL																																
 ≥ 230 °C	(Flash Point) FP																															
 ≤ 3 Pa·s @ 135 °C	(Rotational Viscosity) RV																															
 ≥ 1.00 kPa	(Dynamic Shear Rheometer) DSR G*/sin δ																															
	46	52			58				64				70				76				82											
(ROLLING THIN FILM OVEN) RTFO Mass Loss ≤ 1.00 %																																
 ≥ 2.20 kPa	(Dynamic Shear Rheometer) DSR G*/sin δ																															
	46	52			58				64				70				76				82											
(PRESSURE AGING VESSEL) PAV																																
 PAV 老化	90	90			100				100				100 (110)				100 (110)				110 (110)											
	(Dynamic Shear Rheometer) DSR G* sin δ																															
	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	31	28	25	22	19	16	34	31	28	25	22	19	37	34	31	28	25	40	37	328
	(Bending Beam Rheometer) BBR “S” Stiffness & “m”- value																															
	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12
	(Bending Beam Rheometer) BBR Physical Hardening																															
	(Penetration) DT																															
	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24



SHRP改性沥青评价方法

抗疲劳性能的设计温度
是一年中最不利季节的路面温度

3. 疲劳

分析SHRP规范的温度可以看出，它相当于
最高路面设计温度与低温指标试验温度的平均值以上4 °C

路面的疲劳破坏主要是在使用周期的后期发生，
考虑路面使用期的长期老化，
并采取RTFOT及PAV后的沥青做动态剪切试验。

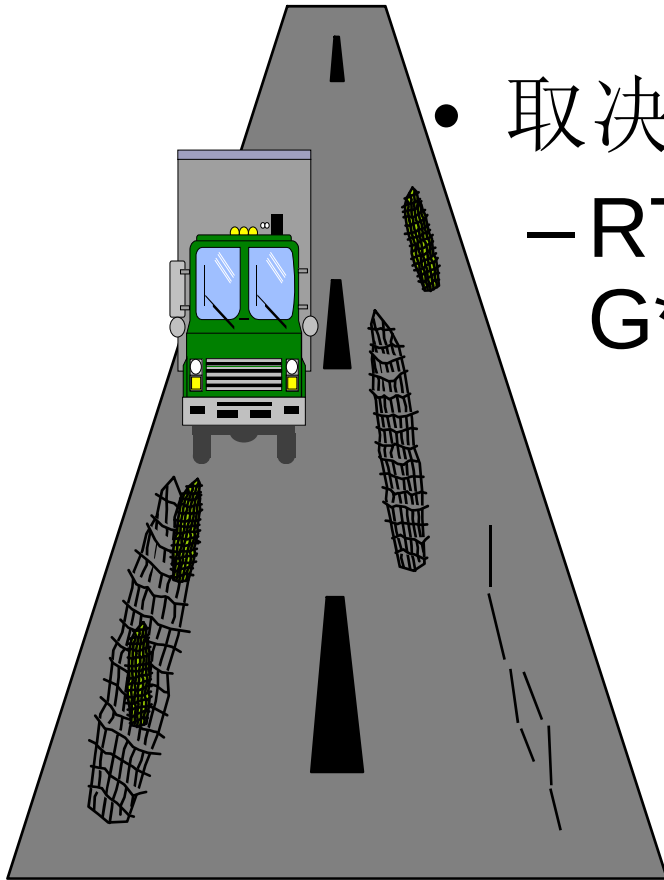
要求 $G \cdot \sin \delta$ 值不超过5MPa

$G \cdot \sin \delta$ 是复数剪切模量的粘性成分，即损失劲度模量。

疲劳开裂

[illegible]

疲劳开裂



- 取决于中等温度劲度
 - RTFO 和 PAV 后的老化胶结料
- $G^* \sin \delta \leq 5000 \text{ kPa}$

> 路面使用的后期阶段

SHRP改性沥青评价方法

沥青老化是个重要指标

4. 老化

除了低温及疲劳指标本身就是用RTFOT及PAV以后的沥青进行试验，反映沥青老化后的性质外，规范还保留了RTFOT质量损失的指标，要求不超过1.00%

这个指标几乎所有的沥青都能达到，因此我国认为意义不大。

但对北美来说，有一些沥青却不能达到，而损失太大意味着沥青的减少，对施工成本有影响，因此仍把它列入规范。

另外，SHRP最终稿曾经推出过一个“物理老化指数”的指标，但由于未能提出各个等级的界限值，所以在AASHTO的MP1中未列入，改在注中说明，要求实测报告，仅供参考。

SHRP改性沥青评价方法

施工安全性及可操作性采用 原样沥青的闪点及135℃粘度反映

要求 闪点大于230 ℃

135℃粘度不超过3Pa. s

对通常使用的非改性沥青来说，135 ℃ 粘度一般不超过1Pa. s

因此，高温粘度指标极限值主要是针对改性沥青的。

由上看出：SHRP沥青规范本身使用原样沥青；

RTFOT后残留沥青；

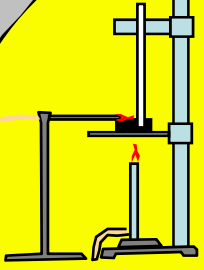
PAV老化后的沥青。

同时，应新规范之需，又开发了几种新的仪器设备和试验方法
主要有：简支梁弯曲试验、动态剪切试验、
直接拉伸试验、压力老化试验等。

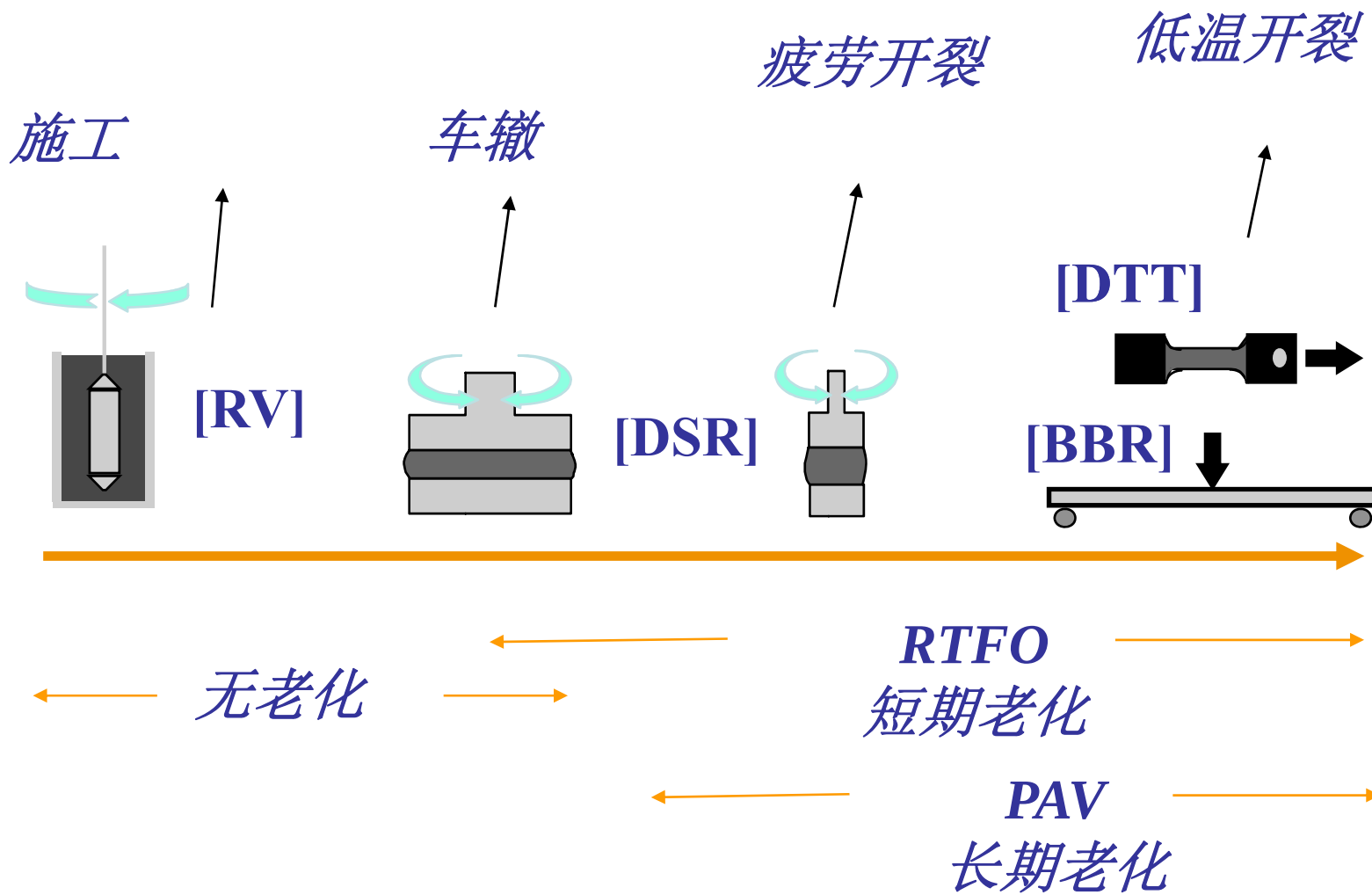
5. 安全 可用

SHRP沥青标准

其它规范要求

	PG 46	PG 52	PG 58	PG 64	PG 70	PG 76	PG 82
	-34 -40 -46 -10 -16 -22 -28 -34 -40 -46	-16 -22 -28 -34 -40 -46	-16 -22 -28 -34 -40	-10 -16 -22 -28 -34 -40	-10 -16 -22 -28 -34 -40	-10 -16 -22 -28 -34 -40	-10 -16 -22 -28 -34
	ORIGINAL						
 闪点	(Flash Point) FP						
	(Rotational Viscosity) RV						
	(Dynamic Shear Rheometer) DSR						
	52	58					82
	(ROLLING THIN FILM OVEN) RTFO						
 ≥ 2.20 kPa	(Dynamic Shear Rheometer) DSR						
	52	58					82
	(PRESSURE AGING VESSEL) PAV						
20 Hours, 2.07 MPa	90	90	100	100	100 (110)		
 ≤ 5000 kPa	(Dynamic Shear Rheometer) DSR $G^* \sin \delta$						
	10 7 4 25 22 15	10 7 25 22 19 6 13 31	28 25 22 19 16 34 31	28 25 22 19 16 34 31	28 25 22 19 16 34 31	28 25 22 19 16 34 31	28 25 22 19 16 34 31
$S \leq 300$ MPa $m \geq 0.300$	(Bending Beam Rheometer) BBR "S" Stiffness & "m"-value						
	-24 -30 -36 0 -6 -12 -18 -24 -30 -36	-6 -2 -18 -24 -30 0 -6 -12 -18 -24 -30	0 -6 -12 -18 -24 -30 0 -6 -12 -18 -24 -30	0 -6 -12 -18 -24 -30 0 -6 -12 -18 -24 -30	0 -6 -12 -18 -24 -30 0 -6 -12 -18 -24 -30	0 -6 -12 -18 -24 -30 0 -6 -12 -18 -24 -30	0 -6 -12 -18 -24 -30 0 -6 -12 -18 -24 -30
Report Value	(Bending Beam Rheometer) BBR Physical Hardening						
≥ 1.00 %	(Direct Tension) DT						
	-24 -30 -36 0 -6 -12 -18 -24 -30 -36	-6 -2 -18 -24 -30 0 -6 -12 -18 -24 -30	0 -6 -12 -18 -24 -30 0 -6 -12 -18 -24 -30	0 -6 -12 -18 -24 -30 0 -6 -12 -18 -24 -30	0 -6 -12 -18 -24 -30 0 -6 -12 -18 -24 -30	0 -6 -12 -18 -24 -30 0 -6 -12 -18 -24 -30	0 -6 -12 -18 -24 -30 0 -6 -12 -18 -24 -30

用于 PG 规范中的试验 小结



SHRP研究成果 小 结

- SHRP的研究目的是为了对沥青的工程评价
- 考虑了三种破坏模式
 - 车辙
 - 疲劳
 - 低温开裂
- 规范使用了三种温度
 - 最高路面温度
 - 最低路面温度
 - 平均值 + 4C
- 性能等级按6° C变化;
- 试验温度根据不同等级变化;
- 试验规范值要求不变
- 分级的三个试验
 - 动态剪切流变仪
 - 弯曲梁流变仪
 - 直接拉伸
- 沥青质量的其它试验
 - 闪点
 - 旋转粘度

五 一体化

由于：路面材料组合和性质的复杂性和大变异性；
环境和荷载因素影响的随机性；
非工厂化现场施工的质量不稳定性。

沥青混合料的柔性、韧性对道路工程十分合适

- 即一定刚度下要求足够的强度
- 不要求过高的抗压强度下，要求较好的抗拉强度
- 用途的特点，决定了材料与结构的紧密关系

五 一体化 (续)

用途的特点，决定了材料与结构的紧密关系

根据：①结构所在的地区（环境）

②道路的等级（荷载）

③结构层组合（层位）

- 来选择材料
- 不同层位，不同地区，不同等级，功能要求是不相同的
- 故对于沥青混合料应按结构，材料，工艺一体化的原则进行研究、设计和应用（施工）。

五 一体化（续）

早期损坏发生的原因

- 有其材料、结构、设计、以及施工工艺上的多方面的原因。
- 涉及到荷载—结构—环境—经济，以及材料—结构—工艺等诸多因素间的相互影响与协调平衡等综合性的、复杂的问题。
- 归根到底来自于沥青混合料的特殊性，它是具有一定粘性的散粒体材料。它所表现出来的非连续特点，给人们对于沥青路面内部细观结构层面上的受力状况的把握带来了很大的难度

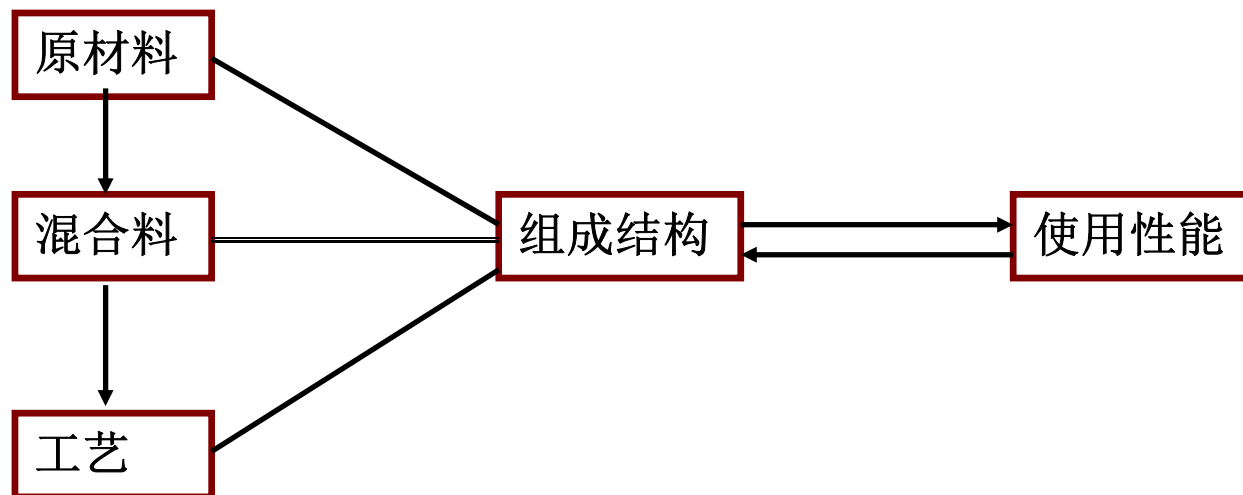
五 一体化（续）

早期损坏发生的特点

- 总是首先在局部最薄弱的区域发生，带有明显的随机性和不确定性；
- 与沥青混合料的细观组成结构密切相关，是由骨料的级配类型与沥青胶浆的性质决定的；
- 往往包含骨料、沥青、水以及空气等多种材料的耦合分析。

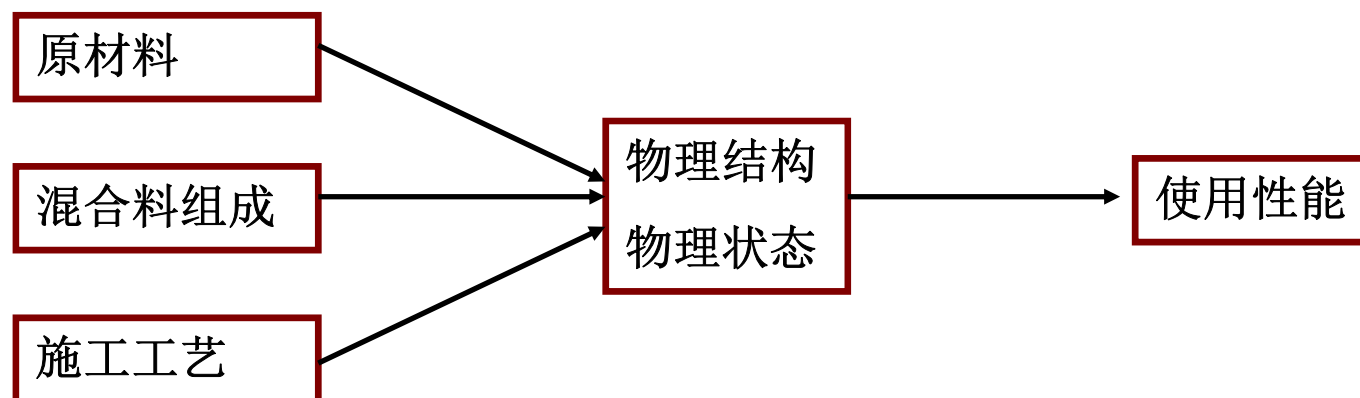
五 一体化 (续)

- 体系



五 一体化 (续)

- 材料设计的基本思想



五 一体化 (续)

- 材料设计的基本思想

原材料 (沥青材料、粗集料、细集料、矿粉各技术要求指标)

混合料组成 (级配、油量)

施工工艺 (拌和、装卸、运输、摊铺、碾压)

物理结构 (空隙率VV、间隙率VMA、饱和度VFA)

物理状态 (均匀性、压碎、孔洞)

使用性能 (稳定度、流值)

结构性五个指标 (疲劳、车辙、低温缩裂、水损害、老化)

功能性四个指标 (平整度、构造深度、摩擦系数、噪声)