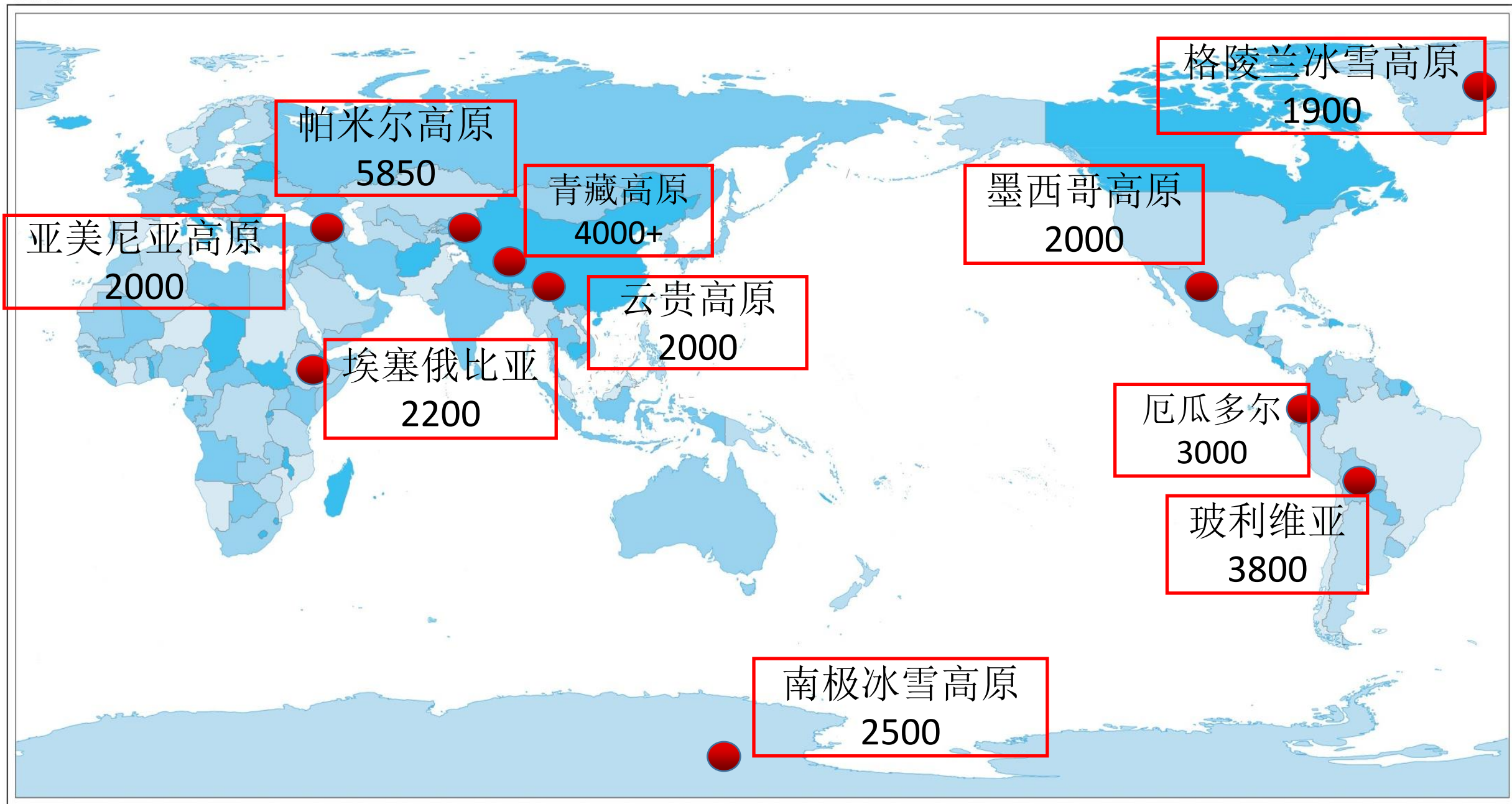


高寒高海拔重载交通 高模量沥青混合料技术与实践

曾 赞

2020.05

世界十大高原分布图



大幅影响
混合料性能

高原气候 总体特点

01

■寒冷干燥

气温低，积温少，气温随高度和纬度的升高而降低。海拔高度每上升100米，年均温降低 0.57°C ，日较差大；高原大气压低，水蒸气压亦低，空气中水份随着海拔高度的增加而递减，故海拔愈高气候愈干燥

02

■日照长辐射强

高原空气稀薄清洁，尘埃和水蒸气含量少，大气透明度比平原地带高，太阳辐射透过率随海拔高度增加而增大；年总辐射量值高达5850-7950兆焦耳/平方米，比同纬度东部平原高0.5-1倍。

03

■低压缺氧

大气压随高度而变化，组成大气的各种气体的分压，亦随高度而变化，即随高度增加而递减。氧气分压也是如此。高原

青藏公路

1985

- 1985年8月青藏公路全线黑色路面铺筑工程基本竣工，行车密度明显提高，最高车流量每昼夜达**3000**多辆。

1950

- 1974年开始全面改建，并将公路标准提高为二级公路，加铺沥青路面。
- 青藏公路东起青海省西宁市，西止西藏拉萨市。于**1950**年动工、**1954**年通车，世界上海拔最高、线路最长的柏油公路。









2018 08 04



2018 08 04



主要问题

1

路面的耐久耐寒问题

2

路面抗紫外线问题

1.冷拌技术

●大修工程:

- ❑冷拌冷铺技术
- ❑厂拌乳化沥青冷再生
- ❑就地乳化沥青/泡沫沥青冷再生

- ❑微表处
- ❑稀浆封层
- ❑碎石封层
- ❑含砂雾封层

●坑槽修补

- ❑冷补料（乳化沥青/稀释沥青）

2.温拌技术

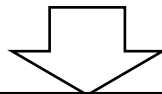
- ❑沥青矿物法(Aspha-min)
- ❑泡沫沥青温拌法(WMA-Foam)
- ❑基于乳化平台的温拌法(Evotherm)
- ❑有机添加剂法（SasoWMA）

按照稳定剂材料的不同分为

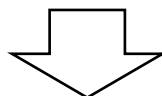
- ❑水泥冷再生;
- ❑泡沫沥青冷再生;
- ❑乳化沥青冷再生。

3.就地拌和及移动拌和

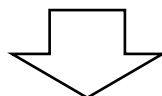
如何解决路面的耐久耐寒问题？



提高混合料沥青用量



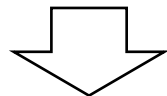
泛油及车辙问题？



特殊的沥青胶结料

+

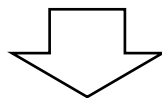
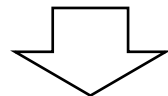
特殊的沥青混合料



低针入度硬质沥青

+

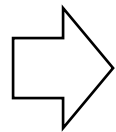
高沥青饱和度



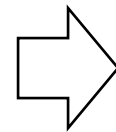
高模量沥青混合料

如何解决抗紫外线问题？

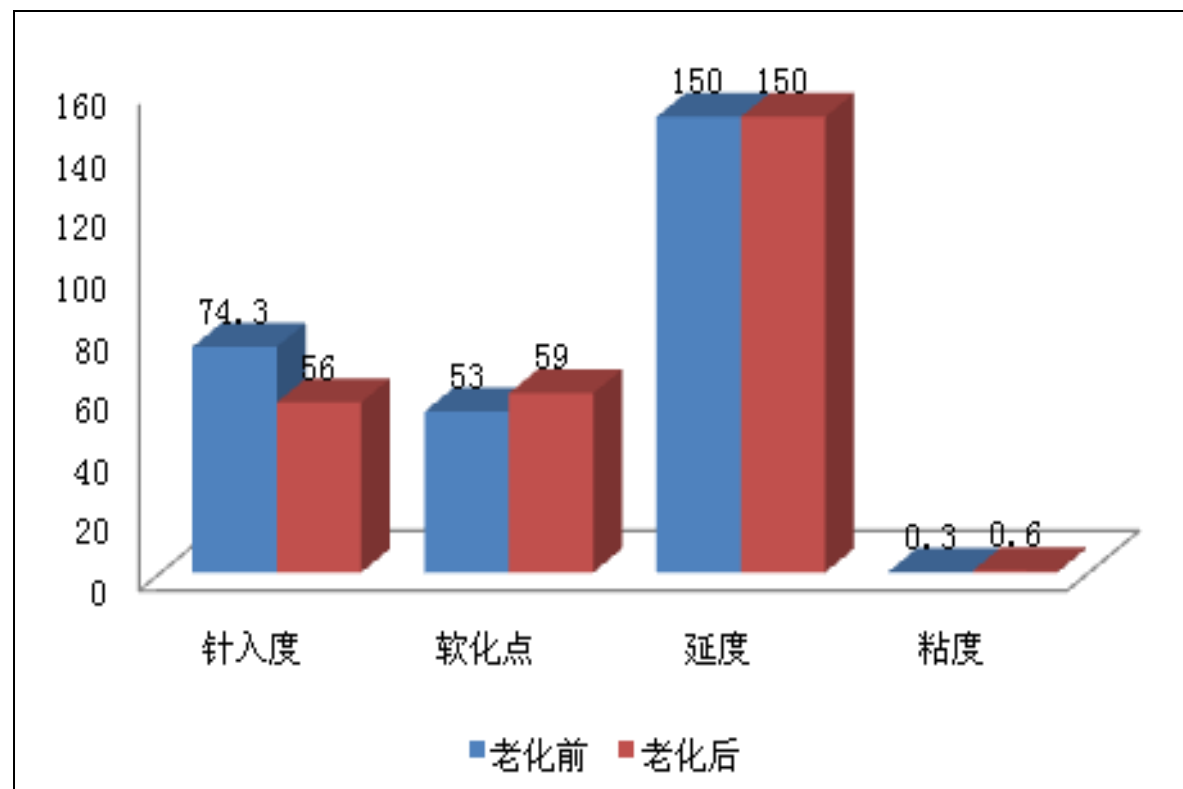
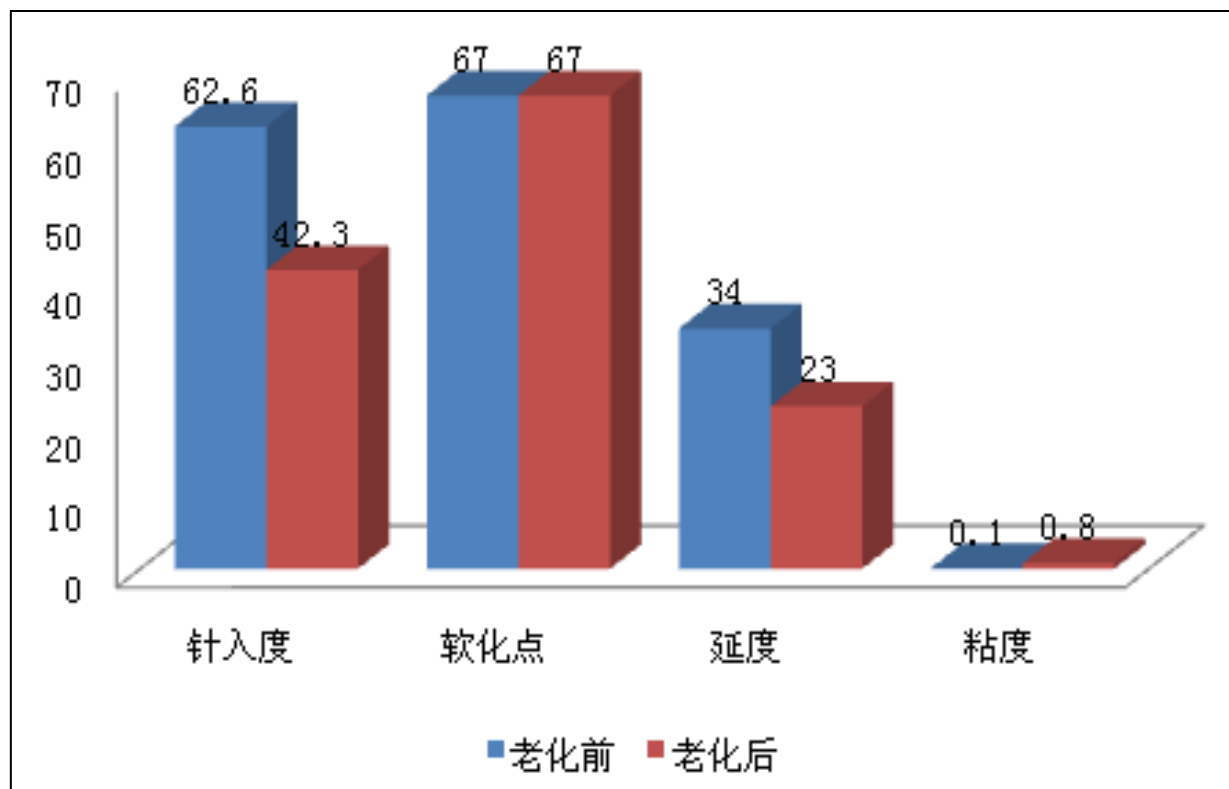
高原地区的紫外线强度比内陆地区高4-5倍



沥青老化严重
紫外老化≠热老化



路面出现
裂缝、剥落等病害

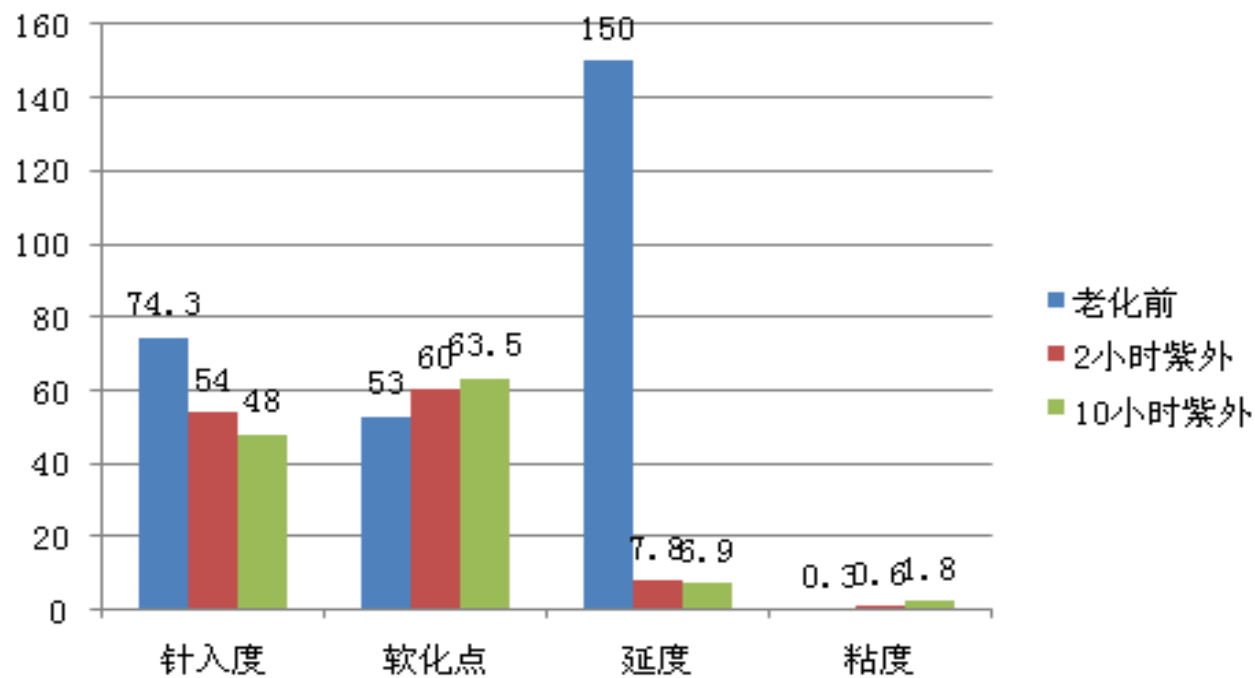
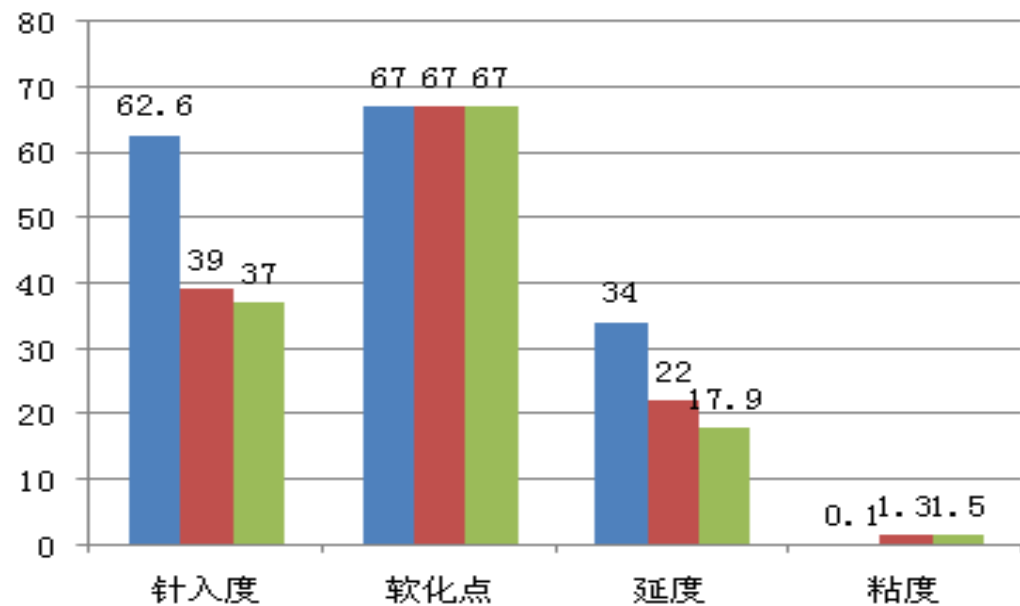


RTFOT:

SBS改性沥青



SBR改性沥青



使用SBS改
性沥青

抗紫外老化:

SBS改性沥青

优于

SBR改性沥青

小结

1

使用**高模量沥青混合料**

2

使用**SBS**作为沥青改性剂

高模量沥青混合料

High modulus asphalt concrete

什么是高模量沥青混合料（HMAC High Modulus Asphalt Concrete）

◆ 来源

— 起源于法国，40年应用经验、中下面层 EME ，上面层BBME。

按照法国高模量沥青混凝土标准NF P98-140（现行规范为：EN13108-1-2007）的定义，BBME和EME的复数模量(15℃，10Hz)分别不小于11000MPa和14000MPa ,疲劳寿命（10℃、25Hz、130με）超过100万次。

— 美国永久性路面概念推荐沥青混合料 。

◆ 思想

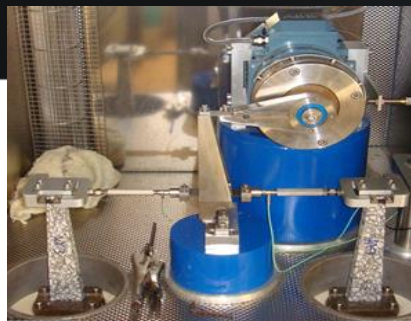
- 一种新的沥青混合料类型；
- 模量及疲劳参数，将结构设计 with 材料性能相结合；
- 减小荷载作用下沥青混凝土的应变；
- 提高路面的高温稳定性及抗疲劳性能；

◆ 目的

- 提高路面耐久性；
- 提高路面承载能力；
- 减薄路面厚度；

疲劳

水平四



模量

水平三



永久变形能力
(车辙试验)

水平二



旋转压实、水损害
(多列士)

水平一

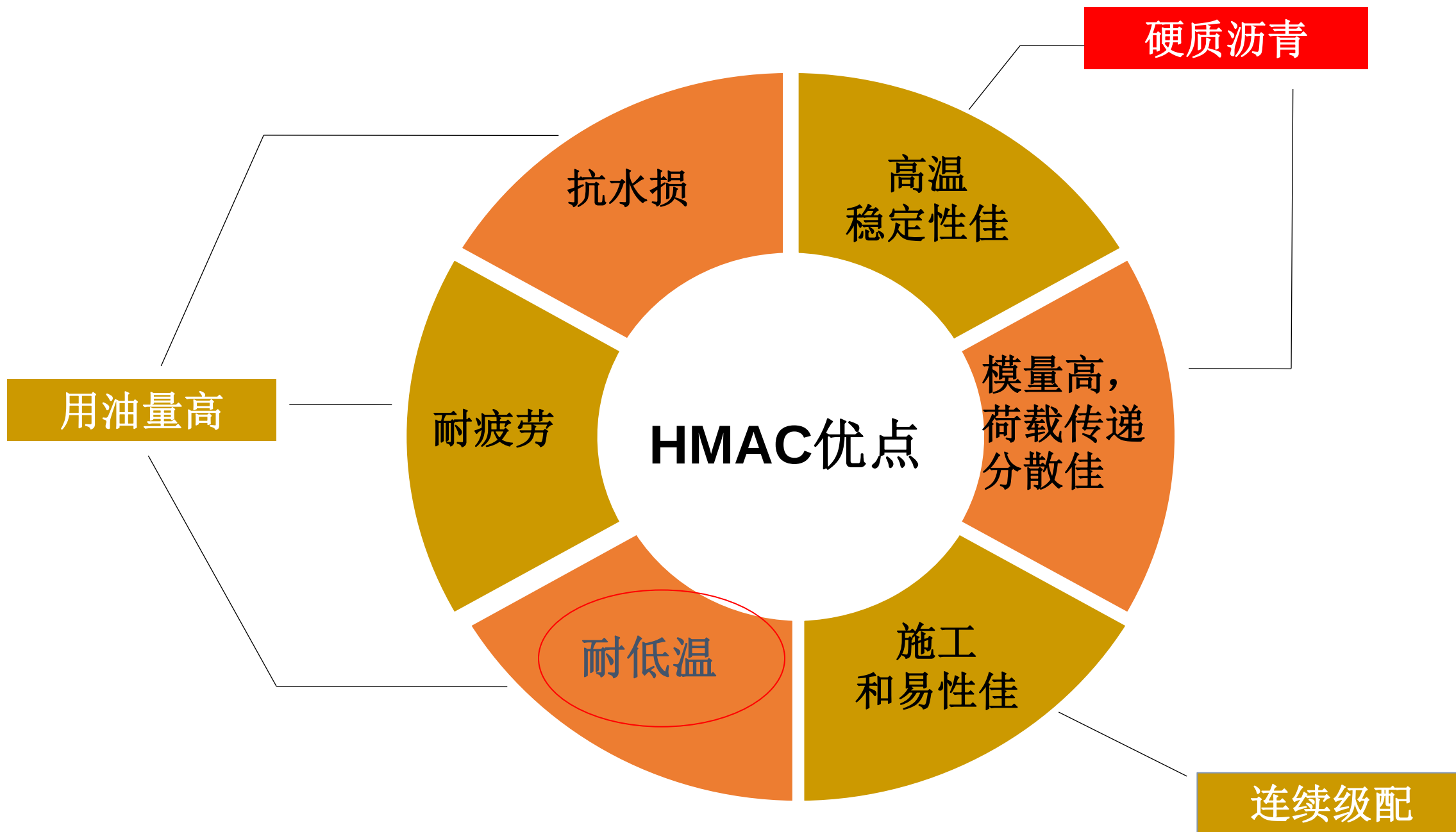


法国的高模量沥青混合料 以路用性能为最终设计目标，其中动态模量和疲劳寿命参数可直接用于路面结构设计。实现路面材料和结构的一体化设计。

HMAC的法标设计流程

HMAC性能要求

序号	试验项目		单位	指标要求		试验方法
				HMAC	改性沥青混合料	
1	空隙率		%	1.5~4	3~6	T0705
2	间隙率VMA		%	12.5~15.5	11~15	T0705
3	饱和度		%	70~85	65~75	T0705
4	稳定度MS		kN	≥15	≥8	T0709
5	流值FL		mm	2~4	1.5~4	T0709
6	冻融劈裂强度比		%	≥80	≥80	T0729
7	浸水马歇尔试验残留稳定度		%	≥85	≥85	T0709
8	动稳定度(60℃))		次/mm	≥5000	≥2800	T0719
9	低温弯曲破坏应变 (-10℃)	HMB-C	με	≥2800	≥2800	T0715
		HMB-W	με	≥2500	≥2500	
		HMB-H	με	≥2000	≥2000	
10	动态模量 (20℃, 10Hz)	EME	Mpa	≥15000	8	T0738
		BBME	Mpa	≥13000	--	
11	疲劳寿命 (15℃, 10Hz, 230με)		万次	≥100	--	T0739



动态模量（15℃，10Hz）：16766MPa

静态模量（15℃）：4330MPa

高模量



试件

15℃抗压回弹模量（MPa）

1

3521.3

2

4660.9

3

4788.5

4

4348.5

60℃动稳定度＞5000次/mm

NFP 98 -261-1两点梯形疲劳试验方法, 试验温度 10°C , 频率 25Hz , 微应变 $130\mu\epsilon$, 应力减半时 ≥ 100 万次。

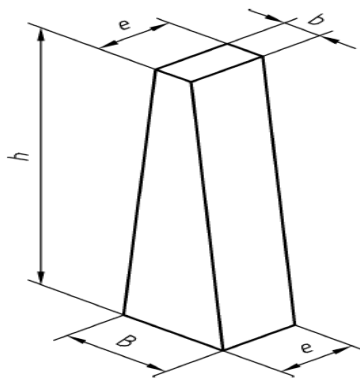
抗疲劳

T0739-2011四点弯曲疲劳寿命试验, 在最小拉应变水平 $400\mu\epsilon$ 条件下:

EME 14:18042

SMA13 :12500

超44%



试件尺寸 mm	梯形试样 mm		
	$D \leq 14\text{mm}$	$D \leq 22\text{mm}$	$D > 22\text{mm}$
B	56	70	75
b	25	25	30
e	25	25	35
h	250	250	250





低温分区	改性沥青混合料要求	HMAC要求
4区	$> 2000 \mu\epsilon$	$> 2000 \mu\epsilon$
3区	$> 2500 \mu\epsilon$	$> 2500 \mu\epsilon$
2区	$> 2800 \mu\epsilon$	$> 2800 \mu\epsilon$



为什么要用高模量沥青混合料？

- 兼顾了模量和疲劳性能，实现刚性和柔性的平衡；
- 解决高温指标和低温指标难以兼顾的矛盾；
- 提升路面质量，延长使用寿命，降低全寿命周期成本；
- 无需改造或添加设备，无应用壁垒。

HMAC的构成特点:

硬

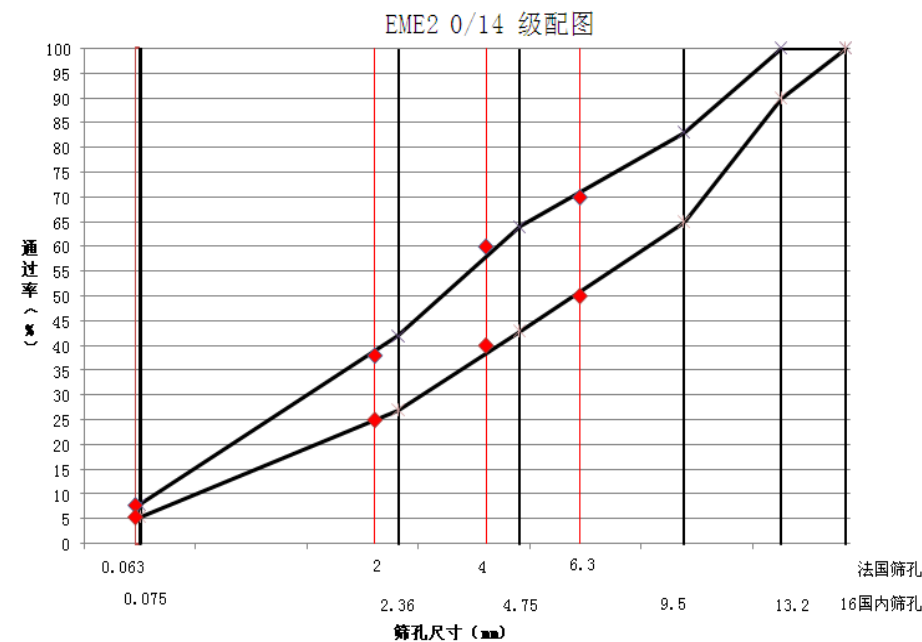
硬质沥青

低

低空隙，连续级配

高

高用油量



$K \geq 3.4$, 油石比 $\geq 5.4\%$

配制高模量沥青混合料的几种方式

高模量沥青胶结料

□ 优质硬质沥青

□ 高模量剂+ 沥青

□ 高模量专用沥青

基本要求	检测参数	试验方法	单位	等级				
				1	2	3	4	5
中等服务温度一致性	25℃针入度	EN 1426	0.1mm	NPD	TBR	15~25	10~20	—
高等服务温度一致性	软化点	EN1427	℃	NPD	TBR	55~71	58~78	60-76
	60° C动力黏度	EN12596	Pa.s	NR	TBR	≥550	≥700	—
RTFOT或TFOT	质量损失		%	NPD	TBR	≤0.5	—	—
	残留针入度比	EN 1426	%	NPD	TBR	≥55	—	—
	软化点	EN 1427	℃	NPD	TBR	≥比老化前沥青软化点高2℃	—	—
	软化点增加值	EN 1427	℃	NR	TBR	≤8	≤10	—
	试验前针入度指数	PI	--			-1.5~+0.7	—	—
其它特性	135° C运动粘度	EN 12595	mm ² /s	NR	TBR	≥600	≥700	—
	弗拉斯脆点	EN 12593	℃	NR	TBR	≤0	≤3	—
	闪点	EN ISO2592	℃			≥235	≥245	—

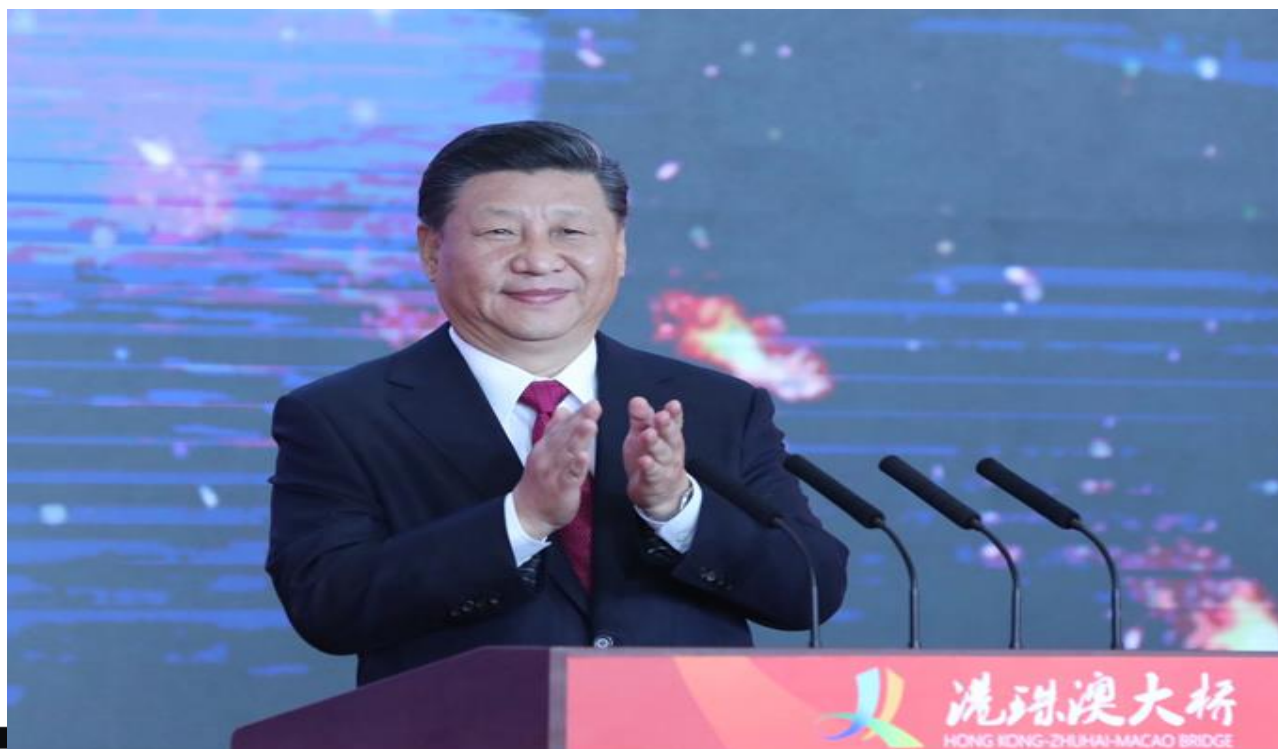
HMB:高模量天然沥青



- ◆高模量沥青混合料专用沥青
- ◆工厂化稳定型天然沥青
- ◆可长时间存储运输、随用随取
- ◆可以应用于青藏高原的高模量沥青混合料技术

● 天然沥青

天然沥青是地层内部的石油资源，经亿万年的地壳运动，在长年高温、高压、氧化、触媒、细菌等综合作用下，经充分氧化、沉淀、聚合、硬化等物理化学反应而生成的，是天然状态下存在的沥青，与石油沥青同属于地沥青类。

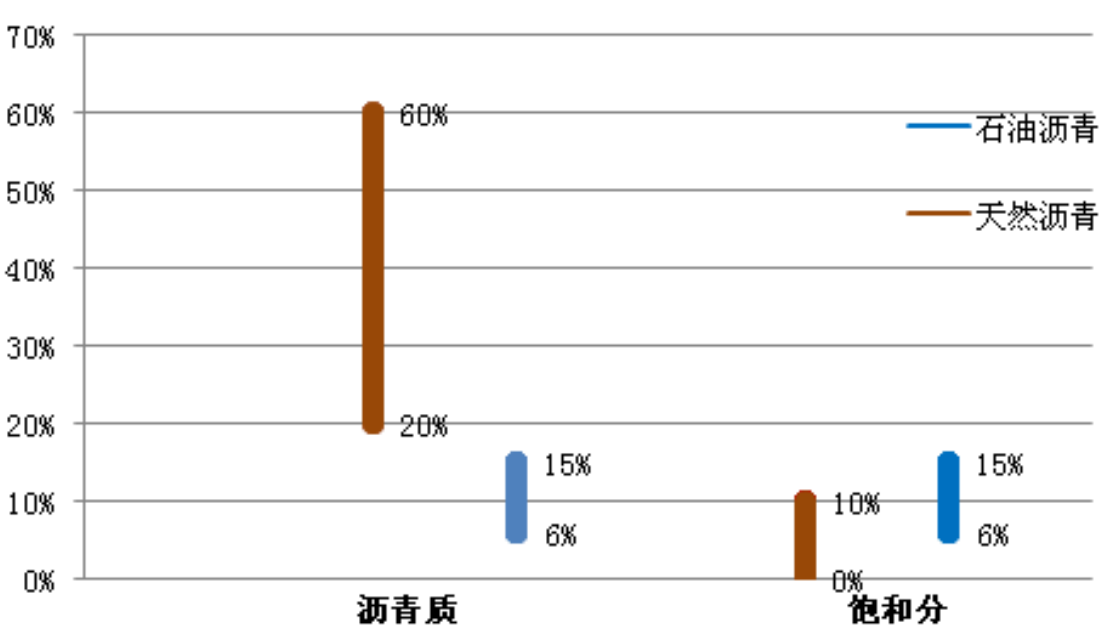


- 路用性能优良
- 储量丰富
- 成本占优



- 由沥青和无机物构成

天然沥青中的沥青四组分分析



•天然沥青中沥青质含量高，
饱和分含量低，不含蜡。

	沥青质 %	饱和分 %	芳香分 %	胶质 %
SK90#	12.5	16.3	44.5	26.7
伊朗岩沥青	68.05	0	5.91	26
北美岩沥青	48.4	9.7	15.7	26.2
特立尼达湖沥青	30.1	10.7	32.4	26.8
印尼布敦岩沥青	32.7	11.4	34.0	21.9
青川岩沥青	86.1	0.1	1.9	11.9

Compound	Wt%
CaO	70.38
SiO ₂	12.49
SO ₃	7.89
Al ₂ O ₃	4.69
Fe ₂ O ₃	1.98
MgO	1.57
Na ₂ O	.255
TiO ₂	.177
K ₂ O	.175
SrO	.156
P ₂ O ₅	.125
Cr ₂ O ₃	.0261
V ₂ O ₅	.0240
MnO	.0235
NiO	.0148
MoO ₃	.0108
ZrO ₂	.0061
Rb ₂ O	.0032
CuO	.0027
ZnO	.0017

Compound	Wt%
CaO	70.50
SiO ₂	15.47
SO ₃	5.28
Al ₂ O ₃	2.92
MgO	2.07
Fe ₂ O ₃	1.31
P ₂ O ₅	1.17
K ₂ O	.306
Na ₂ O	.242
SrO	.217
TiO ₂	.152
V ₂ O ₅	.147
ZnO	.0720
Cr ₂ O ₃	.0418
NiO	.0359
CuO	.0149
MnO	.0135
CeO ₂	.0128
MoO ₃	.0112
ZrO ₂	.0062
Rb ₂ O	.0030

Compound	Wt%
SiO ₂	47.99
CaO	15.86
MgO	11.58
Al ₂ O ₃	8.54
Fe ₂ O ₃	3.66
V ₂ O ₅	2.95
SO ₃	2.54
K ₂ O	2.35
Na ₂ O	1.42
TiO ₂	.570
MoO ₃	.445
NiO	.439
Cr ₂ O ₃	.386
BaO	.331
P ₂ O ₅	.261
ZnO	.236
CuO	.124
ZrO ₂	.104
SrO	.0397

天然沥青的成分构成

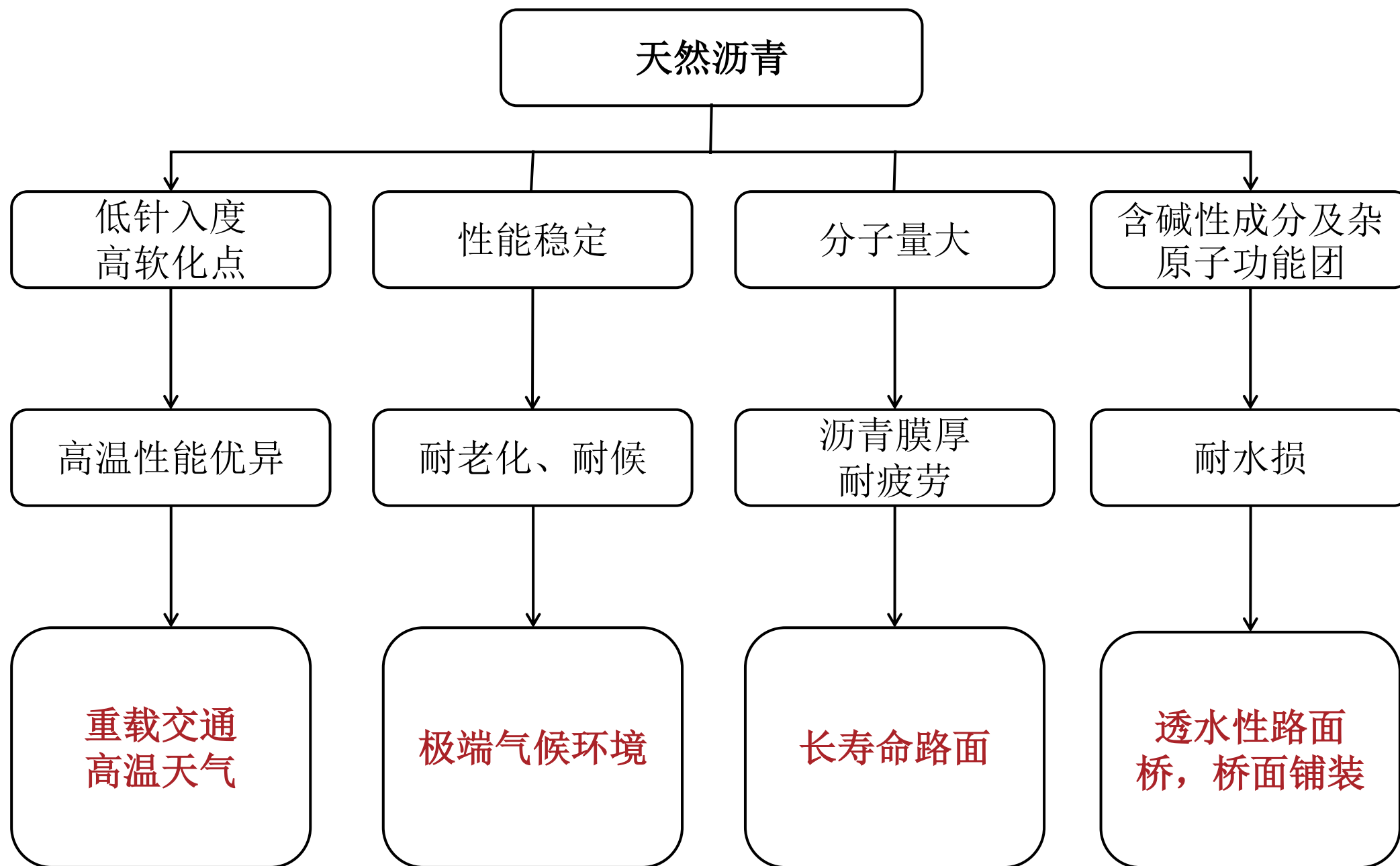
特点

沥青成分

- 与石油沥青相同由四组分构成-老化及再生机理与石油沥青一致。
- 沥青质含量高，饱和分含量低-稳定，耐老化
- 分子量大，不含蜡-高温稳定
- 杂原子官能团更多-活性大，粘附性佳。

无机物成分

- 碱性成分 -提高沥青与集料的粘附性，降低路面水损病害风险。
- 混合料的高温稳定性抗车辙能力强。
- 无机物中任何一个解理都浸满了沥青，因此极易共存，不易受水影响。
- 但宜离析沉降。



稳定型天然沥青，是众力公司采用“液化”“活化”专利技术，开发的一种新的天然沥青产品，不仅解决天然沥青中无机物易离析沉淀的难题，生产出可长时间运输存储的成品沥青胶结料，同时针对不同的交通条件及气候条件，开发出不同配方的系列化天然沥青产品。



高模量天然沥青HMB技术要求

技术要求

指标		技术要求				
		•高模量沥青混合料要求低针入度硬质沥青为结合料。				
针入度（25℃，5s，100g）		0.1mm	25~40	20~35	15~25	T0604
软化点		℃	≥55	≥60	≥65	T0606
延度（25℃，5cm/min）		cm	≥35	≥25	≥15	T0605
闪点		℃	≥260			T0611
密度（25℃）		g/cm ³	•低针入度硬质沥青，延度指标低			
弹性恢复（25℃）		%	≥60	≥55	≥50	T0662
表观粘度（175℃）		Pa.s	≤3			T0625
灰分		%	≤25	≤25	≤25	T0614
无机物粒径	D _{av}	μm	≤5			附录E
	D ₉₀	μm	≤12			
贮存稳定性离析，48h软化点差		℃	≤2.5			T0661
TFOT或		•无机物粒径决定存储稳定性；				
质量变化		%	≤±0.5			或T0610
残留针入度比（25℃）		%	≥65			T0604
残留延度（25℃,5cm/min）		cm	≥15	≥10	≥8	T0605

高模量沥青混合料级配类型选择

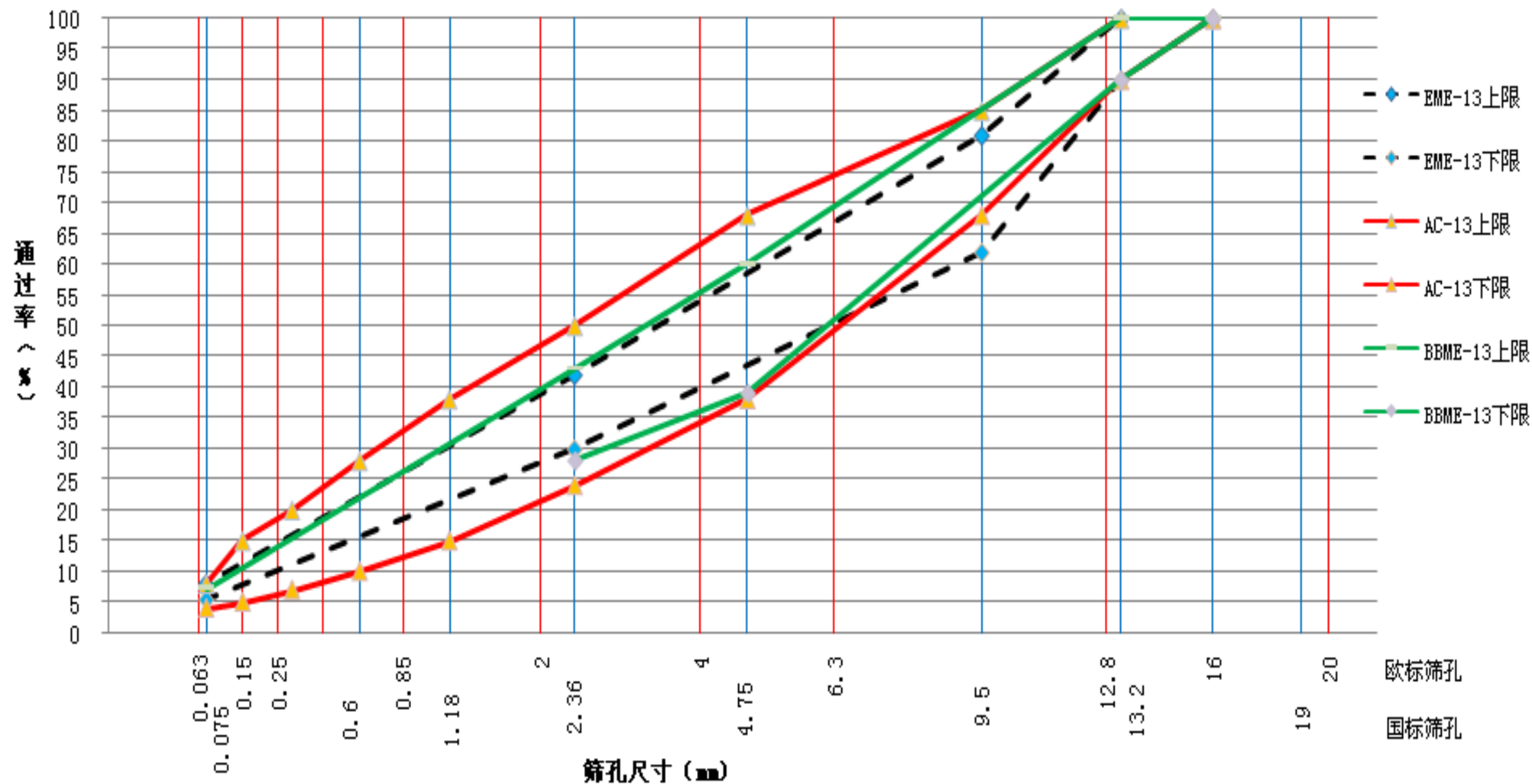
应用层位	适宜厚度cm	最小厚度cm	级配类型
表面层	5~7	4	BBME-13
	6~9	5	BBME-16
中面层 下面层 上基层	5~8	4	EME-13
	6~13	5	EME-16
	9~15	8	EME-20

HMAC级配

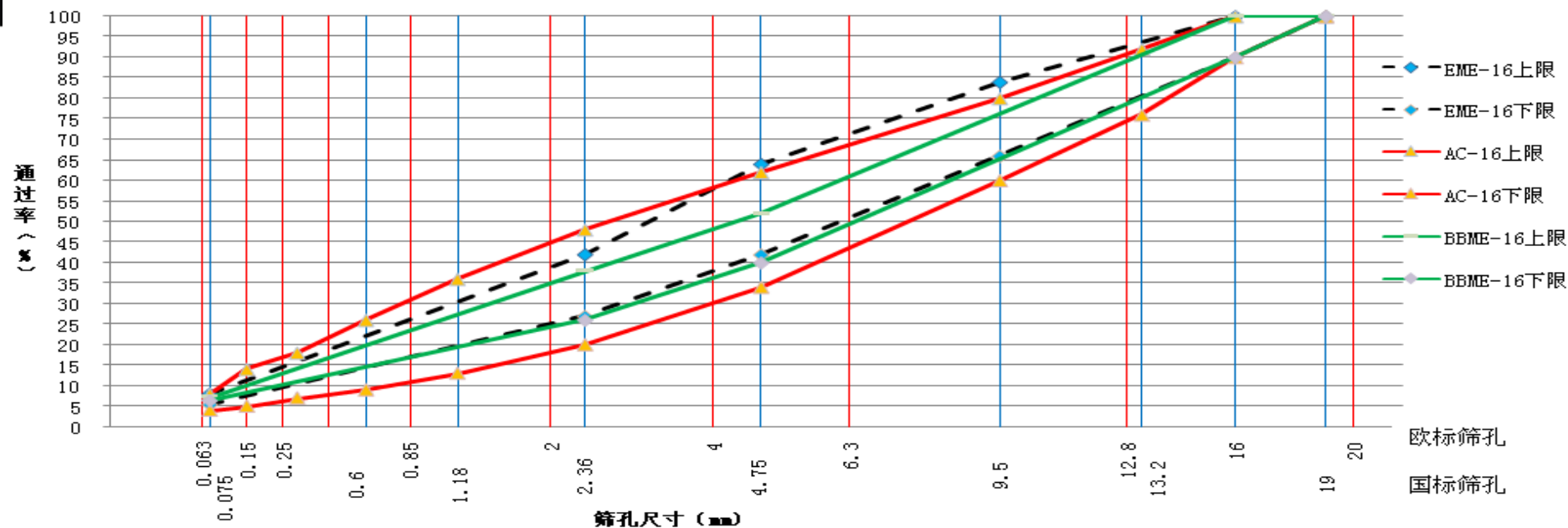
混合料类型	通过下列筛孔（mm）的质量百分率(%)							
	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	0.075
BBME -13	--	--	100	--	--	39~60	28~43	6.5~7.5
BBME -16	--	100	90~100	--	--	40~52	26~38	6.5~7.5
EME -13	--	--	100	--	62~81	-	30~42	5.5~8.0
EME -16	--	100	90~100	--	66~84	42~64	27~42	5.5~8.0
EME -20	100	90~100	--	--	66~84	42~64	27~42	5.5~8.0

关键筛孔：0.075mm、2.36mm、4.75mm、9.5mm

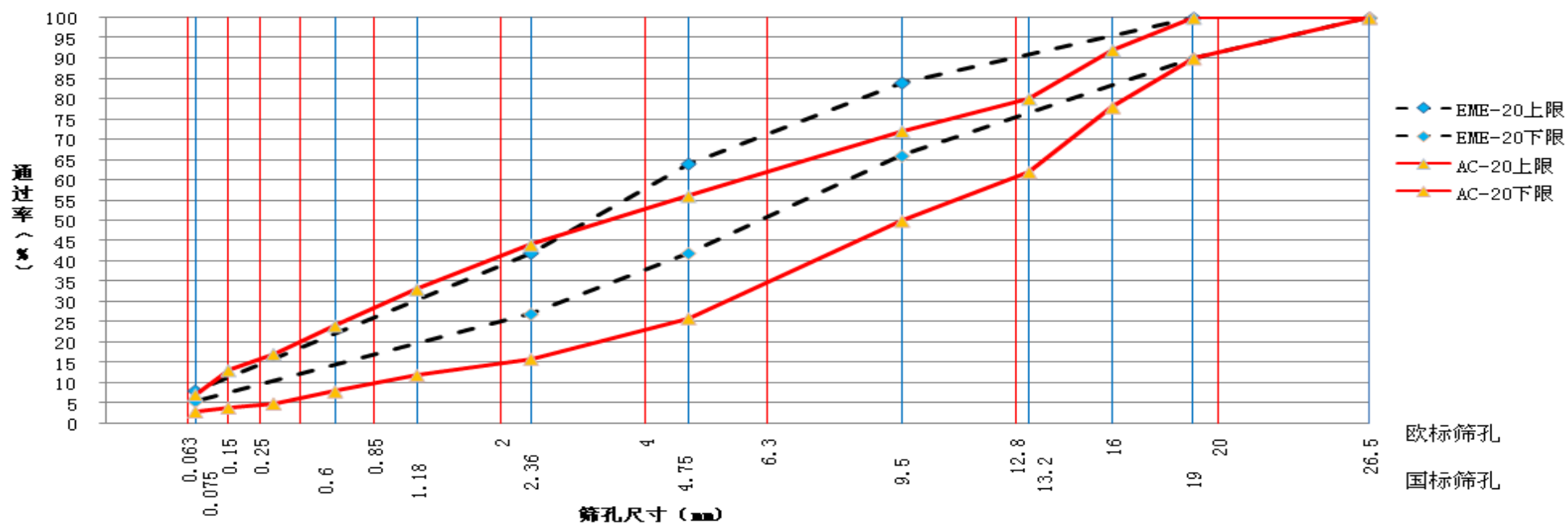
EME-13/BBME-13



EME -16/BBME-16



EME -20



高模量沥青混合料的施工工艺要求

HMAC施工温度要求

工序	改性沥青混合料	高模量沥青混合料	测量部位
沥青加热温度	175-185℃	170-190℃	沥青储罐
集料加热温度	190-220℃	190-220℃	热料提升斗
混合料出厂温度	170—180℃	175—190℃	运料车
混合料最高温度	不高于190℃	不高于195℃	运料车
混合料贮存温度	运至现场降低不超过10℃		运料车
摊铺温度	不低于160℃	不低于160℃	摊铺机
初压温度	不低于150℃	不低于150℃	摊铺层内部
复压温度	不低于130℃	不低于130℃	碾压层内部
碾压終了温度	不低于110℃	不低于110℃	碾压层内部
开放交通温度	不高于50℃	不高于50℃	路表面
注：不同地域以及不同铺筑厚度的沥青路面施工温度可能略有差异			

A large yellow and red roller is paving the road surface, with other construction vehicles visible in the background. The roller has a yellow body and a red drum. The text "武汉路桥" (Wuhan Road Bridge) is visible on the side of the roller. The background shows a hazy cityscape and a bridge structure.



□初压：13吨双钢轮，1-2遍



□复压：30吨胶轮，4-6遍



□终压：13吨双钢轮，一遍

2018年G109格尔木纳赤台段路面车辙专项病害处置工程

西藏的交通运输，90%以上采用公路运输，四条进藏公路中，青藏公路承担了80%以上的进藏物资运输和90%以上出藏物资运输。是世界屋脊的“苏伊士运河”

【气候类型】大陆高原气候、少雨干旱、日照时间长、冬季漫寒冷、夏季凉爽短促

【交通量】重交通，当量设计轴载累计次数 2.62×10^7

【病害类型】结构性车辙和面层车辙，破损率：51.5%，

PCI：23.9





沥青：HMB-C

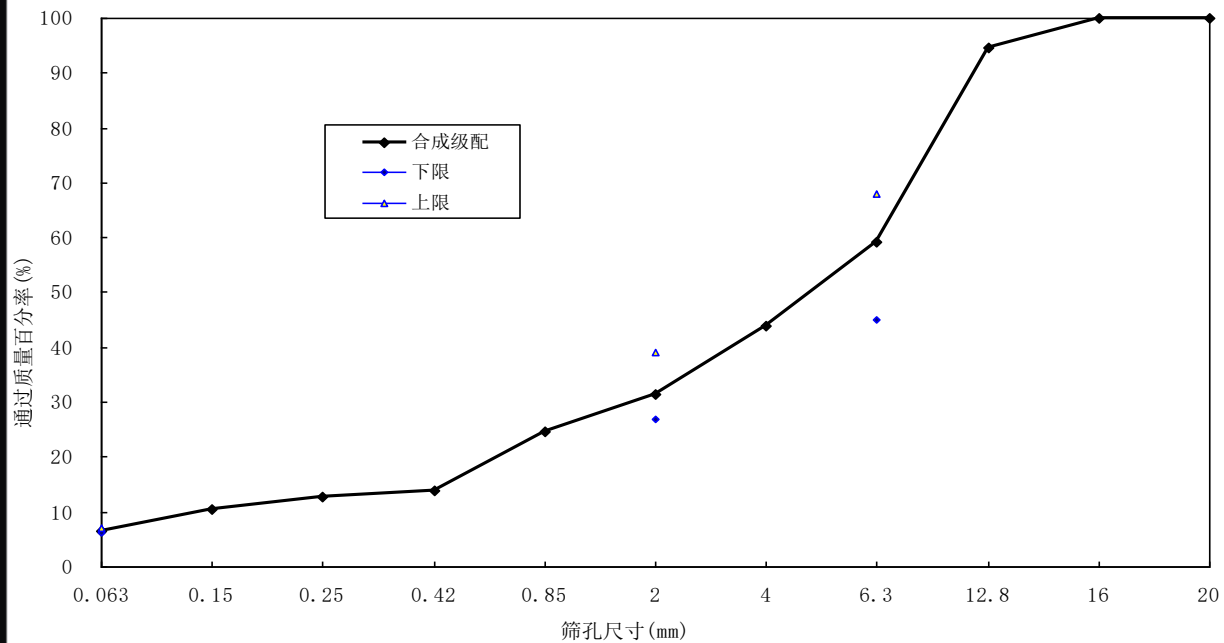
上面层：4cm BBME-13

下面层：5cm EME-16

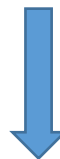
路面破碎情况计算评价表

桩号	破损面积	病害程度	各种病害破损面积（m ² ）				备注
			龟裂	横向裂缝	车辙	波浪拥包	
K2829+000 — K2830+000	4055.8	重度	3021	67	800	68	季节冻土段

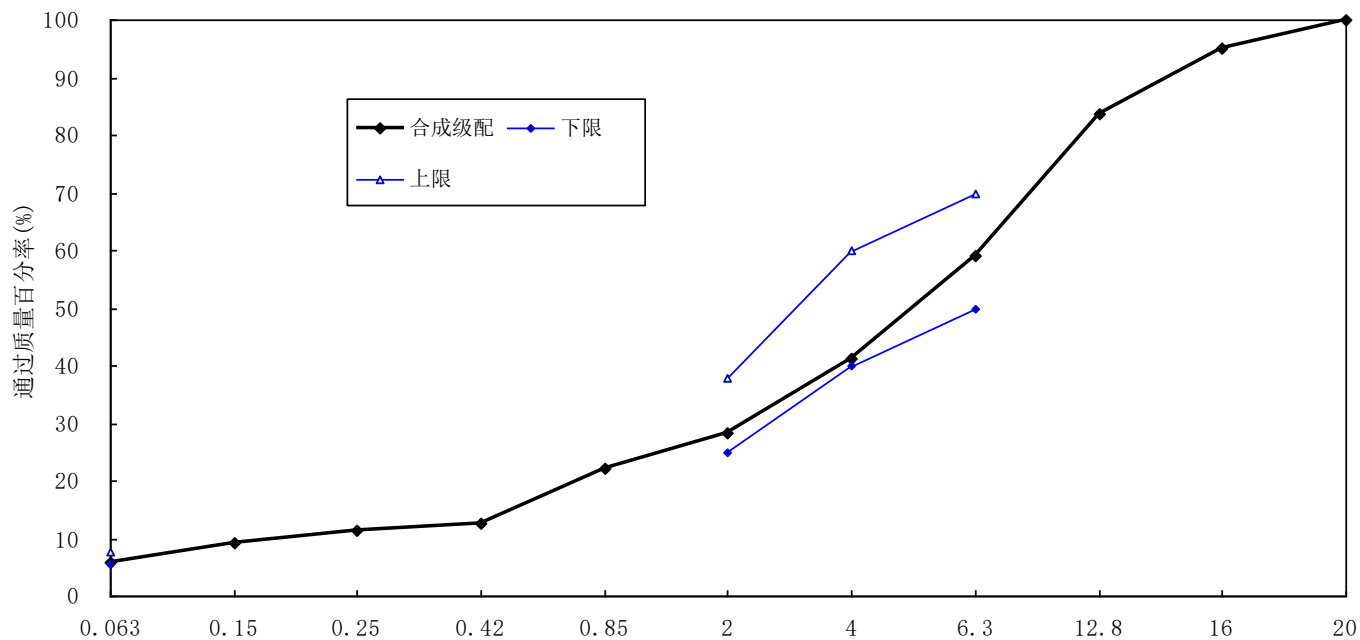




上面层: BBME-16



下面层: EME-16



G109项目寒区高模量天然沥青混合料的复数模量

混合料名称	试件	空隙率 (%)	复数模量 (MPa)	平均值 (MPa)	技术要求 (MPa)	试验方法
BBME-13	1	2.8	15290	18056	≥11000	EN12697-26
	2	2.7	17447			
	3	2.6	18894			
	4	2.7	20592			
EME-16	1	2.5	19132	20044	≥14000	
	2	2.3	21328			
	3	2.1	19246			
	4	2.4	20469			

格尔木G109

原设计要求:

□动稳定度 ≥ 2400 次/mm, 低温弯曲破坏应变 $\geq 2800\mu\epsilon$

检测项目	单位	技术指标	EME-16	BBME-13	试验方法
空隙率	%	1.5-4	2.3	2.6	T0705
间隙率VMA	%	--	11.7	12.4	T0705
饱和度	%	70~85	80.3	79.0	T0705
稳定度MS	kN	≥ 15	20.0	20.2	T0709
流值FL	mm	1.5~4	2.66	2.76	T0709
冻融劈裂试验残留强度比	%	≥ 80	92.9	89.5	T0729
浸水马歇尔试验残留稳定度	%	≥ 85	87.6	88.3	T 0709
动稳定度 (60℃)	次/mm	≥ 5000	5943	5230	T0719
低温弯曲破坏应变 (-10℃)		≥ 2800	3639	3262	T0715
复数模量 (15℃, 10Hz)	BBME	MPa	≥ 11000	--	EN12697-26
	EME	MPa	≥ 14000	--	
疲劳寿命 (10℃, 25Hz, 130 $\mu\epsilon$)	万次	≥ 100	157.9	147.8	EN12697-24

格尔木G109



上面层:

□ 渗水系数: 75ml/min

□ 构造深度: 0.61mm

甘南G213-高原高寒地区，重载交通

G213线K212+800-K230+800，于2006年建成通车，2008年重载车辆急剧增加，大量运煤车辆经青海经双城沿G312线经合作，郎木寺至四川，对右侧车道形成巨大破坏，路段全线出现深浅不一的车辙。2013年虽然对全线车辙等做了处治，但经过几年的运营，车辙、推移以及轮迹带疲劳裂缝迅速发展。

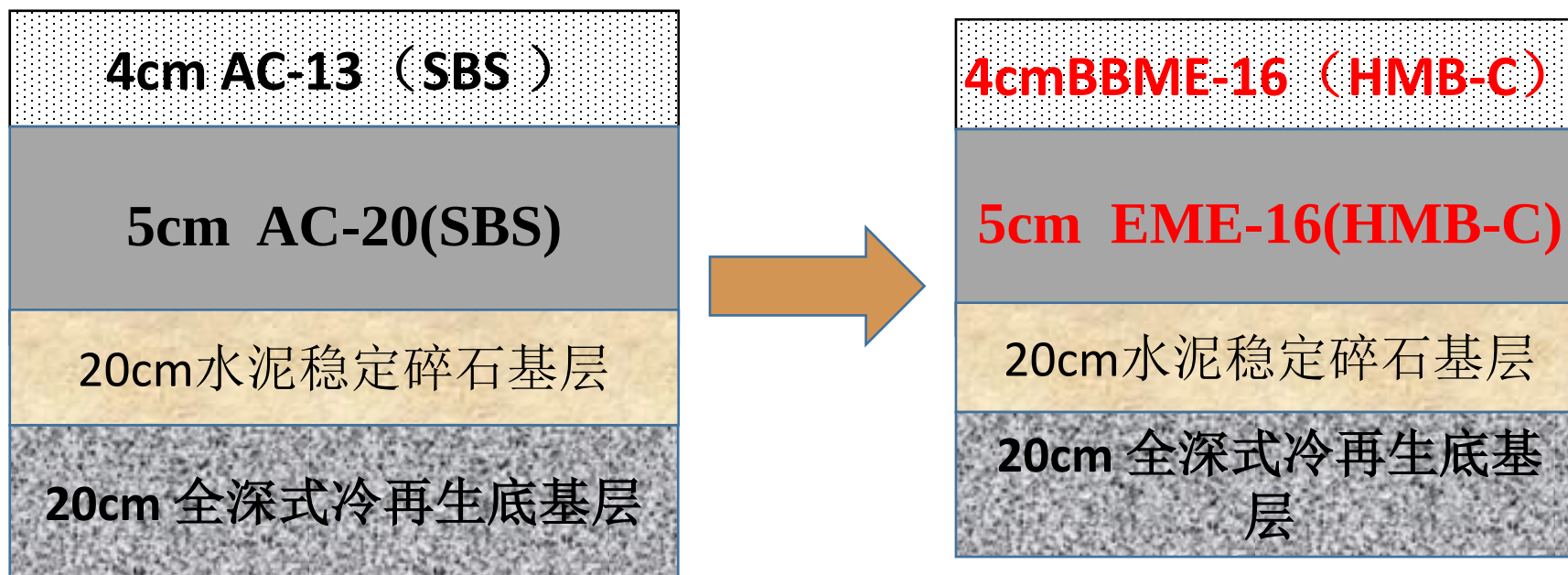


甘南G213

【气候类型】：高寒湿润气候，长冬无夏，降雪期：217-307天，积雪期：216-332天。全国气候分区属于：青藏高寒区（Ⅶ区）。

【交通量】：中型以上货车及大货车占57.8%。

【病害类型】：车辙、裂缝。



2017年9月施工

□压实度：96.5%

□构造深度：0.6mm

□上面层：BBME-16

动稳定度：5675次/mm

低温弯曲破坏应变：3402 $\mu\epsilon$

□下面层：EME-16

动稳定度：6300次/mm

低温弯曲破坏应变：3309 $\mu\epsilon$

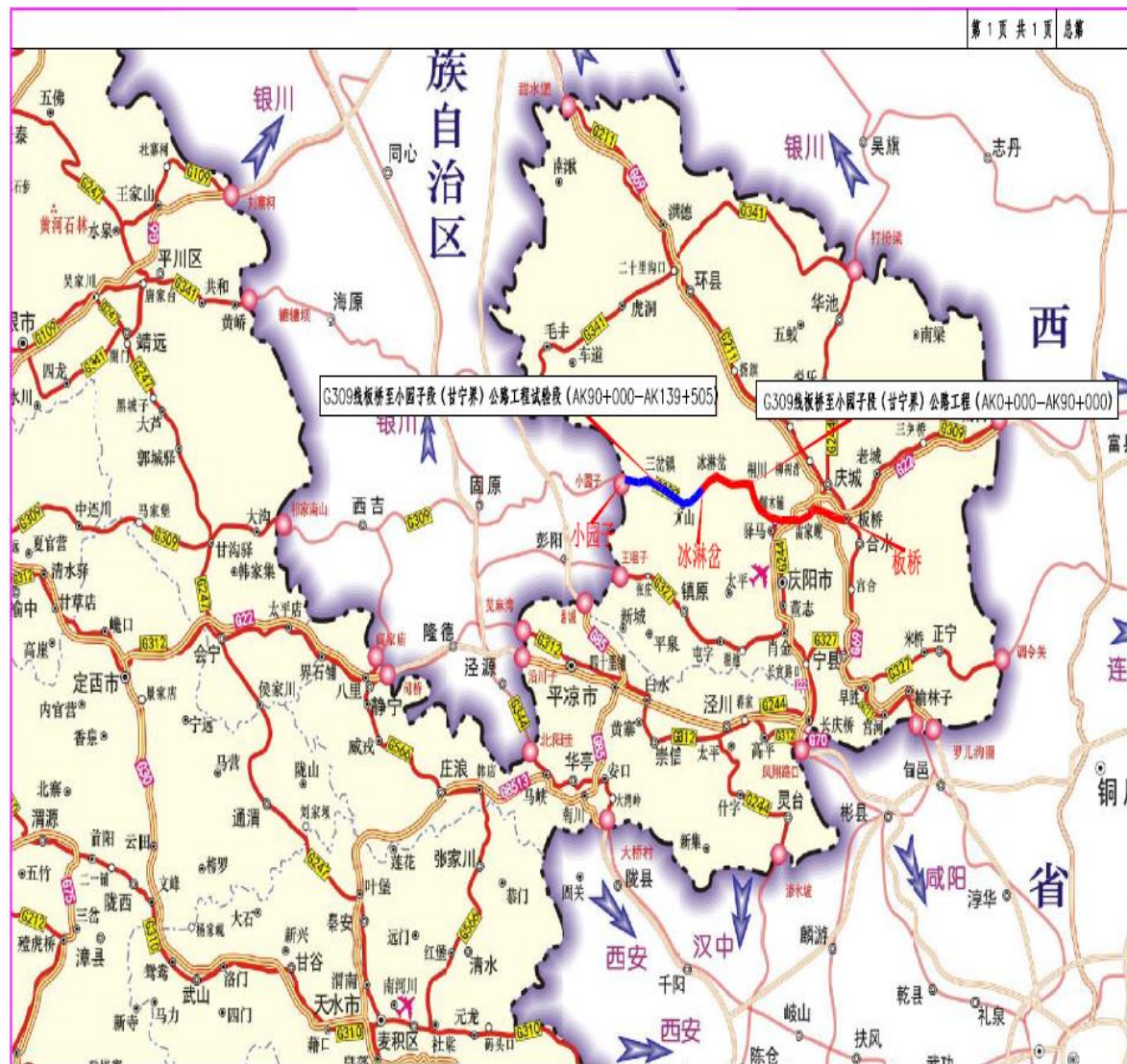




2018年3月20日 G213回访



第 1 页 共 1 页 总第 页



4cmBBME-13 (HMB-W)

5cm EME-16(HMB-W)

20cm 全深式冷再生底基层

庆阳G309国道

4cm BBBME0/10

5cm EME

20CM 水泥冷

□上面层: BBME-13

VV:2.5%

动稳定度: 8186 次/mm

低温弯曲破坏应变: 2671 $\mu\epsilon$

□下面层: EME-16

VV:2.4%

动稳定度: 6117 次/mm

低温弯曲破坏应变: 2736 $\mu\epsilon$



甘肃G309 - 长大纵坡



检测项目	2017年10月
渗水系数 (ml/min)	12
构造深度(mm)	0.60
摩擦系数	62

西安市三环重载、渠化交通



混合料类型	15°C动态模量（MPa）	60°C动稳定度（次/mm）	-10 °C低温弯曲破坏应变($\mu\epsilon$)
EME -16	16766	8778	3209
抗车辙剂 AC-20	14969	7235	2534

原路面结构



高模量路面结构

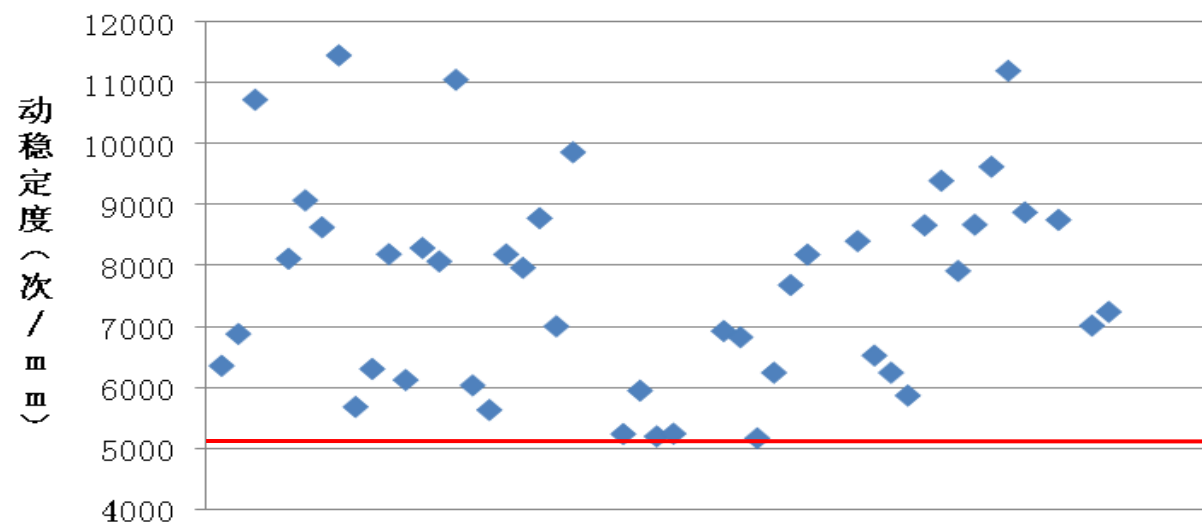
高模量沥青混合料≠抗车辙路面

抗车辙技术是源于对路面材料抗车辙性能的提升需求，属于单纯的材料改性技术、而高模量沥青混合料技术是一项基于路面结构行为理论的综合技术，目的是实现路面结构和材料的协调设计，并实现混合料各项性能的平衡。



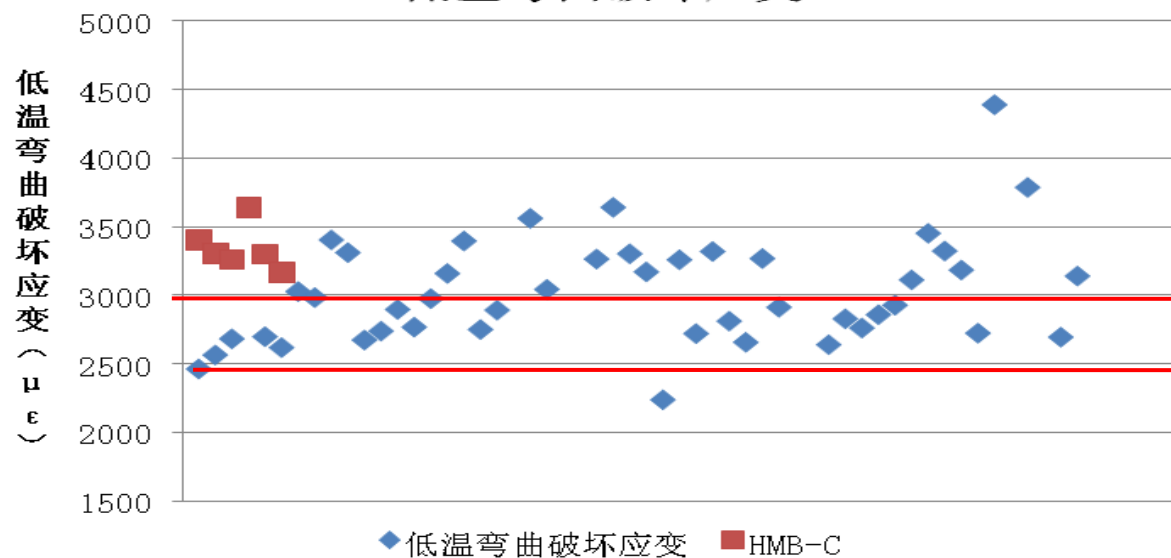
项目名称	施工时间	沥青型号	混合料类型	-10℃低温弯曲破坏应变 $\mu\epsilon$
陕西G108	2017年7月	HMB-W	EME0/14	2562
甘南G213	2017年9月	HMB- C	BBME0/14	3309
		HMB- C	EME0/14	3402
西安市三环	2017年9月	HMB-W	EME0/14	3209
西安瑞德宝尔矿山路	2017年9月	HMB-W	BBME0/10	3157
		HMB-W	EME0/14	3394
甘肃庆阳G309	2017年10月	HMB-W	BBME0/10	2671
		HMB-W	EME0/14	2736
湖北硃孝高速	2017年11月	HMB-W	EME0/14	2894

动稳定度



□ 动稳定度 ≥ 5000 次/mm

低温弯曲破坏应变



□ HMB-C

低温弯曲破坏应变 $\geq 3000 \mu\epsilon$

□ HMB-W/H

低温弯曲破坏应变 $\geq 2500 \mu\epsilon$

总结

HMB的应用，解决了高模量沥青混合料难以在寒区应用的世界性难题。

采用马歇尔设计方法进行高模量天然沥青混合料的配合比设计，试验人员能快速掌握设计方法。

高模量天然沥青混合料的施工不增加新的机械设备，但要求施工方精细化施工，就可以得到很好的效果。

高模量天然沥青混合料，能提升路面综合性能，延长路面使用寿命，节约全寿命周期成本。

An aerial photograph of a rugged mountain range. A wide, winding river or glacial meltwater channel flows through the valleys between the peaks. The mountains are covered in patches of snow and ice, with some peaks reaching above the clouds. The overall scene is majestic and scenic.

谢谢!

曾 赞
13910506025