

廢舊輪胎橡膠瀝青推廣技術交流座談會



## 橡胶沥青在路面工程的应用

**曹荣吉**

博士，副总裁

2014.7

 江苏省交通科学研究院  
JIANGSU TRANSPORTATION INSTITUTE



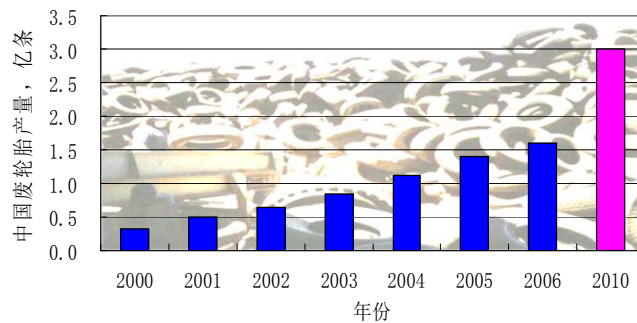
## 橡胶沥青路面的应用研究

- 1 概况
- 2 橡胶沥青AR的应用
- 3 橡胶沥青TB的应用
- 4.结语

 江苏省交通科学研究院 2  
JIANGSU TRANSPORTATION INSTITUTE

## 废轮胎的现状

- 全世界目前积存废轮胎30亿条，且每年增长10亿条；
- 中国大陆2006年产生废轮胎 1.6亿条，2010年达3亿条。



## 废轮胎的现状

- 环境污染
  - 1999年9月，美国加州700万条堆积的废轮胎起火，周边100公里空气污染；
  - 2001年，广东云浮市、重庆市等堆积废旧轮胎相继发生火灾；
  - 处理不当引起严重“二次污染”。
- 对废旧轮胎的处理和利用已被世界所关注



## 废轮胎橡胶资源利用方式对比表

利用方法对比指标	橡胶粉	再生胶	热能利用	
			热裂解	水泥窑炉
资源化利用率	最高	较高	低	最低
环境友好程度	最高	最低	较低	较低
单位环保投资	最低	最高	较高	较高
单位能源消耗	较低	最高	低	最低
单位投资成本	较高	较低	最高	最低
单位生产成本	高	较高	低	最低
产品使用范围	广泛	较窄	窄	最窄
主要使用国家和地区	美、日、南非、加拿大、欧盟各国、台湾等	中国	中国、日本、澳大利亚台湾地区	美国、日本、台湾地区

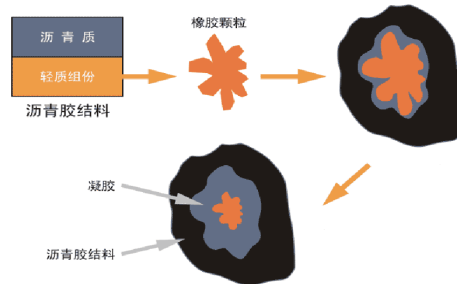
刘长，《中国轮胎资源循环利用行业发展及政策导向》

## 橡胶粉改性沥青



## 橡胶沥青的概念

- 由沥青、回收轮胎橡胶及一定的添加剂组成的混合料，其中胶粉的含量不少于总重的15%，且要求橡胶颗粒在热沥青中充分反应并膨胀。（1997年ASTM, Asphalt Rubber）



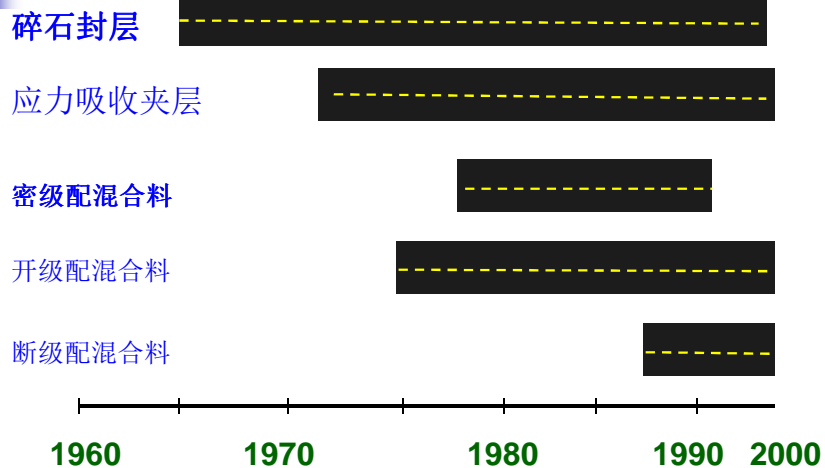
## 橡胶沥青路面的技术优势

- 更强的抗反射裂缝能力
- 减少老化
- 更薄的厚度
- 提高疲劳寿命
- 降低噪声
- 更高的安全性（更高抗滑性能）
- 低的维护费用
- 节约自然资源，降低成本

## 橡胶沥青在国外的应用

- 橡胶沥青在国外已有40年的发展历史，20世纪90年代以来，该技术日趋成熟并得到了日益广泛的应用；
  - 美国
    - 始于60年代，国家推动，多个州制定了规范，应用橡胶沥青最多
  - 南非
    - 基本上已经拥有了一整套橡胶沥青相关的技术体系。
  - 法国
    - 截止到1995年，橡胶沥青开级配路面累积已经摊铺了超过100万平方米。
  - 其他国家
    - 加拿大、比利时、奥地利、澳大利亚、印度、葡萄牙、西班牙、巴西等。

## 橡胶沥青路面的发展史

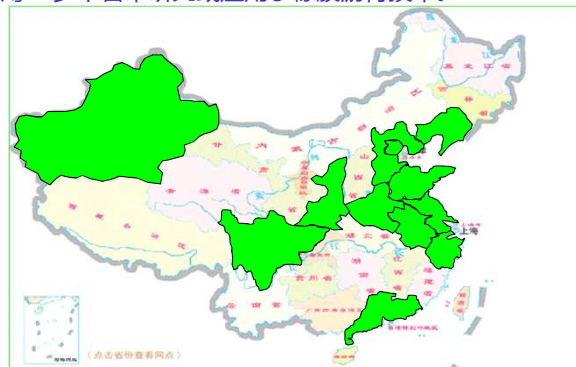


## 国内橡胶沥青应用情况

- 始于20世纪80年代，早期研究以“干法”为主，采用连续级配，与橡胶沥青特性不适应，路用性能不理想，未能推广应用；
- 2005年以来，橡胶沥青日益引起国内工程界关注，研究、应用力度加大，取得了突破性的进展。
  - 北京公路局《北京市废胎胶粉沥青及混合料设计施工技术指南》2006-12-15
  - 天津市建委《天津市废轮胎胶粉改性沥青路面技术规程》2006-2-28
  - 江苏省高指《橡胶沥青路面施工指导意见》2006-9-10

## 国内橡胶沥青应用情况

- 截至2011年，江苏、天津、北京、广东、四川、河北、山东、河南、浙江、安徽等10多个省市研究或应用了橡胶沥青技术。

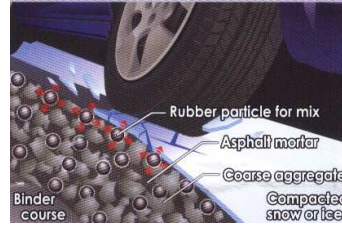


■ 应用橡胶沥青技术的省份



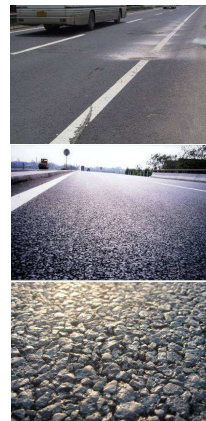
## 国内废胶粉应用路面中的技术途径

- 大颗粒胶粉
  - 替代细集料、冰冻地区抗滑
- 粗胶粉
  - 粗胶粉：10~30目
  - 现场加工、高掺量
  - SAMI、断级配AR-AC、AR-OGFC
- 细胶粉
  - 细胶粉:40~80目
  - 现场加工、高掺量
  - 连续级配（油石比低）、开级配
- 细胶粉
  - 替代SBS改性剂
  - 工厂加工、胶粉用量低、储存稳定(Terminal Blending)



## 江苏省沥青路面技术及发展趋势

- 江苏省高速公路沥青路面技术发展的三个阶段
  - 第一阶段（摸索）
    - 1992-2000，1000 km
    - 依据规范
    - 应对早期损害
  - 第二阶段（发展）
    - 2001-2005，1880 km
    - SMA，Superpave，AC-S.....
    - 延长寿命，五年不大修
  - 第三阶段（提高）
    - 2006-2015
    - OGFC，AR-AC，PA，CTB
    - 舒适、安全、环保，长寿命，十年不大修



## 江苏省橡胶沥青技术发展历程

### 2005 开始研究AR

- 《橡胶改性沥青在高速公路上的应用研究》；
- 第一条橡胶沥青试验路G328泰州段维修。

### 2006 AR总结提高

- 标志工程：沿海高速公路、常武路维修；
- 完善了AR-AC13S设计方法。

### 2007 AR技术成熟

- 标志工程：2007年宁常高速公路；
- 形成完整技术体系：SAMI、AR-AC13S、AR-OGFC13S、桥面防水粘层；
- 2007年，“橡胶沥青应用技术交流会”。

### 2008 AR应用推广

- 标志工程：宁杭高速公路二期工程；
- 国际认可：承办2009年国际橡胶沥青会议AR2009。

### 2010 TB研究应用

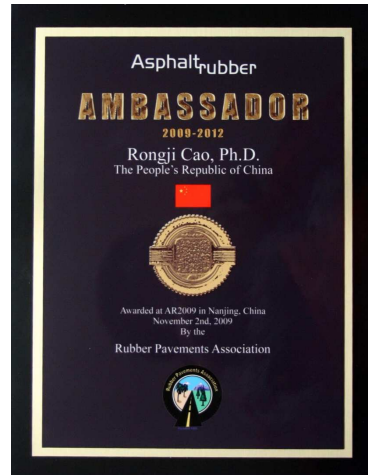
- 标志工程：润扬大桥钢桥面维修工程；
- 获得江苏省科技成果转化项目
- 掌握了成套设备与技术，推广应用100多公里
- 在AR2012介绍 TB

## Asphalt Rubber 2009





## 橡胶沥青大使



## 2. 橡胶沥青AR的应用研究

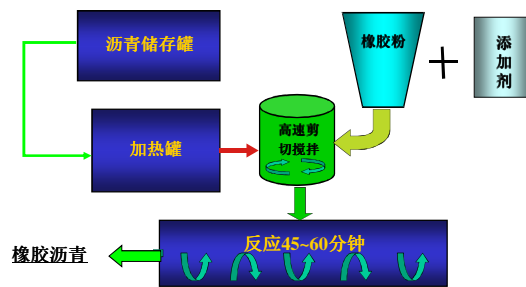
- 2.1 橡胶沥青加工工艺
- 2.2 橡胶沥青应力吸收层AR-SAMI
- 2.3 橡胶沥青断级配混合料AR-AC
- 2.4 橡胶沥青开级配混合料AR-OGFC
- 2.5 橡胶沥青的工程应用

# 橡胶沥青制备技术

- 湿拌法
  - 高温搅拌+反应
  - 现场加工
- 高掺量
  - 20%左右
- 粗胶粉
  - 采用20目胶粉
  - 胶粉选择面宽
  - 降低能耗，比40目胶粉成本降低200~250元/吨。



# 橡胶沥青制备技术





## 橡胶沥青工艺参数试验

- 试验参数
  - 胶粉细度，胶粉类型，胶粉掺量，基质沥青类型
- 试验材料
  - 基质沥青：70号、90号道路石油沥青
  - 橡胶粉：
    - 常温研磨法生产
    - 类型：货车轮胎胶粉、小汽车轮胎胶粉
    - 细度：20目、40目及60目。



## 参数试验主要结论

- （1）掺入胶粉后，沥青的高温性能、低温性能、抗老化性能、抗疲劳性能等都有明显改善；
- （2）货车胶粉制备的橡胶沥青技术性能显著优于小车轮胎胶粉，20目胶粉优于40目和60目胶粉；
- （3）增加胶粉掺量可明显提高橡胶沥青的技术性能，但会增加橡胶沥青的施工难度。对于本研究的原材料和工艺条件，胶粉掺量以在16%~18%左右为宜
- （4）提高基质沥青标号可提高橡胶沥青的低温性能、抗老化性能和抗疲劳性能等，但对橡胶沥青的高温性能不利

## 橡胶沥青技术要求

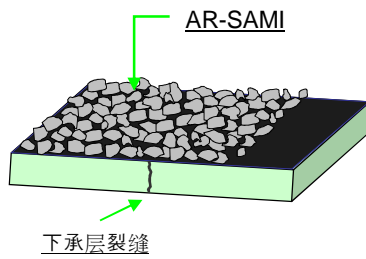
项目	技术要求	试验方法
粘度, 177℃, Pa·s	1.5-4.0	T0625-2000
针入度, 25℃, 100g, 5s, 0.1mm, 最小	25	T0604-2000
软化点, ℃, 最小	57	T0606-2000
弹性恢复, 25℃, 1h, 最小	80	T0662-2000

## 2. 橡胶沥青AR的应用研究

- 2.1 橡胶沥青加工工艺
- 2.2 橡胶沥青应力吸收层AR-SAMI
- 2.3 橡胶沥青断级配混合料AR-AC
- 2.4 橡胶沥青开级配混合料AR-OGFC
- 2.5 橡胶沥青的工程应用

# 橡胶沥青应力吸收层AR-SAMI

- 针对路面反射裂缝问题
  - 半刚性基层沥青路面
  - 水泥混凝土路面沥青加铺层



## 应力吸收层施工



## AR-SAMI外观



## 2. 橡胶沥青AR的应用研究

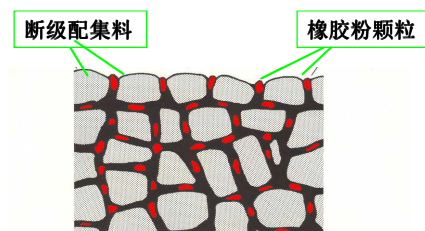
- 2.1 橡胶沥青加工工艺
- 2.2 橡胶沥青应力吸收层AR-SAMI
- 2.3 橡胶沥青断级配混合料AR-AC
- 2.4 橡胶沥青开级配混合料AR-OGFC
- 2.5 橡胶沥青的工程应用

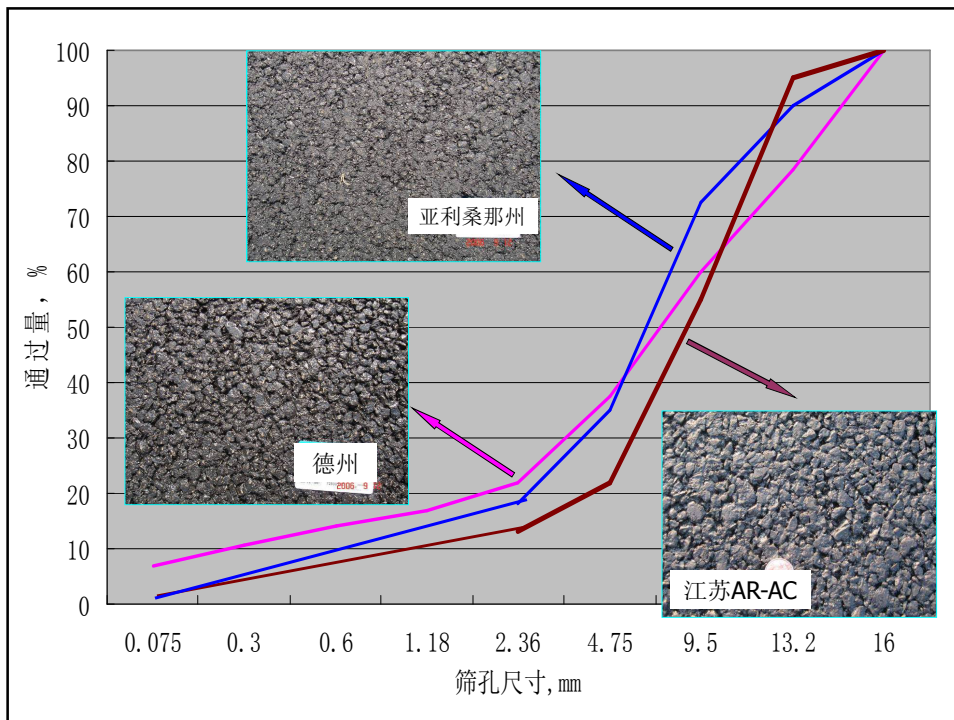
## 断级配橡胶沥青混合料AR-AC


- 评估国外两种典型断级配橡胶沥青混合料
  - 亚里桑那、加州、佛罗里达州
    - 减少2.36mm以下的用量，严格控制0.075mm用量；
  - 德州
    - 按照SMA的思路，增加粗集料用量，2.36~4.75mm间断，橡胶沥青构成玛蹄脂。
- 江苏省形成了具有特色的橡胶沥青断级配混合料设计体系，称之为AR-AC13S

## 江苏省AR-AC13S


- 江苏省AR-AC13S：
  - 级配更为间断，矿料间隙率VMA更大，为容纳胶粉提供空间；
  - 高油石比(>8.0%)，发挥橡胶沥青抗裂性能，提高耐久性；
  - 铺面构造深度更大，提高性能安全性。








## 混合料——嵌挤密实







## AR-AC13S型断级配混合料设计标准

试验项目		技术标准
马歇尔试验指标	击实次数(次)	两面各75次
	稳定度(kN) 不小于	5.0
	流值(0.1mm)	20~50
	空隙率(%)	5.5±1.0
	沥青饱和度(%)	70~85
	矿料间隙率VMA(%) 不小于	20.0
性能验证要求	浸水残留稳定度(%) 不小于	85
	冻融残留强度比(%) 不小于	80
	车辙试验动稳定度(次/mm) 不小于	3000
	弯曲破坏应变( $\mu\epsilon$ ) 不小于	2000

## 性能比较

- 混合料类型
  - 橡胶沥青AR-AC13S
  - 改性沥青SMA-13
  - 改性沥青AC-13C

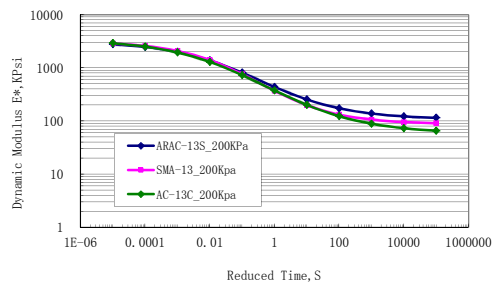
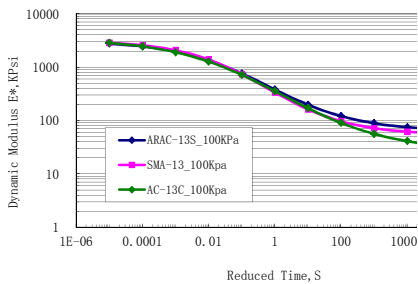
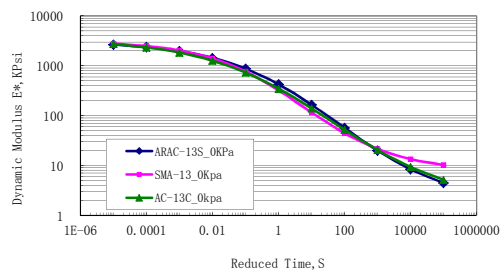
# 高温性能

## 车辙动稳定度试验

混合料类型	油石比 (%)	车辙动稳定度 (次/mm)				要求
		1	2	3	平均	
AR-AC13	8.6	4846	4846	4846	4846	> 3000
SMA-13	6.1	7000	5727	5250	5992	
AC-13C	5.2	3938	3706	3500	3715	

# 动态模量

- 动态模量主曲线
- (参考温度25度)

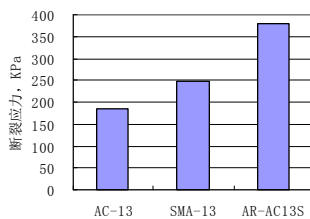
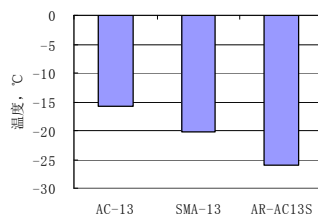


## 低温性能

### ■ -10℃小梁弯曲试验

混合料类型	最大荷载 (N)	跨中挠度 (mm)	抗弯拉强度 (MPa)	劲度模量 (MPa)	破坏应变 ( $\mu\epsilon$ )	要求 ( $\mu\epsilon$ )
AR-AC13S	0.50	0.92	9.17	1922.5	4823	>2000
SMA-13S	1.26	0.62	10.69	2767.5	3270	
AK-13S	0.93	0.53	7.67	2727.2	2815	

## 约束试件温度应力试验(TSRST)



## 水稳定性

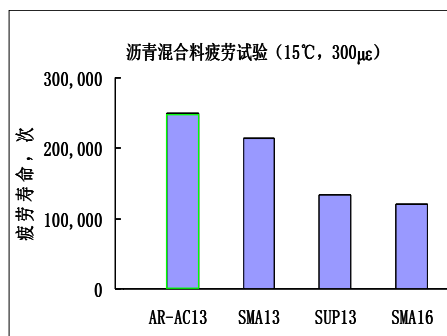
浸水马歇尔试验

混合料类型	试件空隙率 (%)	马歇尔稳定度 (kN)	浸水马歇尔稳定度 (kN)	残留稳定度 $S_o$ (%)	要求 (%)
AR-AC13S	5.4	8.63	7.97	92.4	≥85
SMA-13S	4.1	10.03	9.26	92.3	
AC-13C	5.2	13.15	11.82	89.9	

冻融劈裂试验

混合料类型	试件空隙率 (%)	非条件劈裂强度 (MPa)	条件劈裂强度 (MPa)	劈裂强度比 (%)	要求 (%)
AR-AC13S	6.0	1.0027	0.8152	81.3	≥80
SMA-13S	5.3	1.0239	0.8288	80.9	
AC-13C	6.3	1.0644	0.9017	84.7	

## 四点梁弯曲疲劳试验



## 2.橡胶沥青AR的应用研究

- 2.1 橡胶沥青加工工艺
- 2.2 橡胶沥青应力吸收层AR-SAMI
- 2.3 橡胶沥青断级配混合料AR-AC
- 2.4 橡胶沥青开级配混合料AR-OGFC
- 2.5 橡胶沥青的工程应用

## 橡胶沥青开级配混合料AR-OGFC

- 橡胶沥青在美国已成为用于OGFC的胶结料之一；
- 价格远低于高粘沥青，可显著降低OGFC的造价。



## 橡胶沥青开级配混合料AR-OGFC13S

- 设计方法
  - 马歇尔击实法
- 混合料构成
  - 减少细集料用量：减轻OGFC常见的空隙率衰减；
  - 高沥青用量：提高耐久性、减少集料飞散和混合料水损害。



## 宁高公路AR-OGFC13试验路

- 2006年10通车
- 2009年9月检测：
  - 未见裂缝、坑塘等病害
  - 无车辙：
  - 噪音：
    - 对比路段78.0分贝，试验路73.1分贝



改性沥青SMA13 4cm	橡胶沥青AR-OGFC13 2.5cm
旧沥青路面AC16	AR-SAMI
旧沥青路面AC16	旧沥青路面AC16

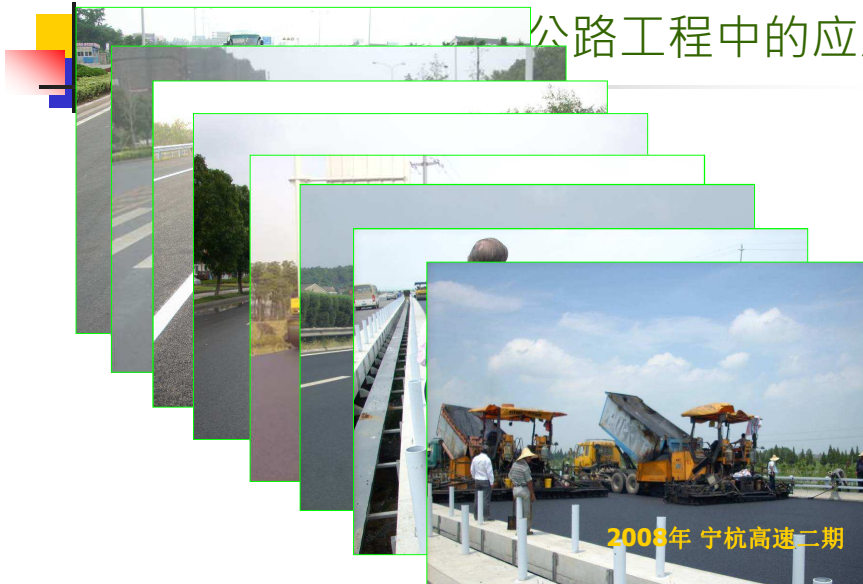
对比路段

试验路

## 2. 橡胶沥青AR的应用研究

- 2.1 橡胶沥青加工工艺
- 2.2 橡胶沥青应力吸收层AR-SAMI
- 2.3 橡胶沥青断级配混合料AR-AC
- 2.4 橡胶沥青开级配混合料AR-OGFC
- 2.5 橡胶沥青的工程应用

## 公路工程中的应用



## 其它应用项目

- 2005年，广东清远107国道水泥路加铺工程；
- 2006年，四川宜宾竹海一级路工程；
- 2006年，山东日照220省道维修；
- 2006年，广东深圳惠盐高速公路维修；
- 2007年，河北京承高速公路维修；
- 2008年，京珠高速公路安新北段；
- 2008年，安徽黄山景区路罩面；
- .....



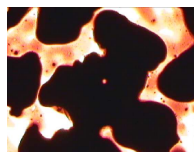
## 3.橡胶沥青TB的应用研究

- **3.1 加工工艺**
- **3.2 密级配混合料**
- **3.3 断级配混合料**
- **3.4 工程应用**



## 橡胶沥青（AR）的缺点

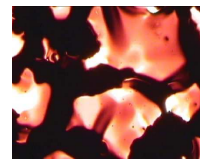
- 需要现场加工设备，可能影响混合料产量
- 橡胶沥青性能不稳定
- 无法更好的组织路面施工计划



10分钟



40分钟



60分钟

## 工厂化橡胶沥青（TB）

### ■ 定义

- ◆ 一种可工厂化生产的，胶粉掺量大于15%，具有较高存储稳定性的橡胶沥青。

### ■ 意义

- ◆ 橡胶沥青的工厂化可以弥补现场加工局限性和环境问题，对稳定性要求较高；
- ◆ 高掺量胶粉改性沥青替代改性沥青，降低混合料造价，提高路面质量。

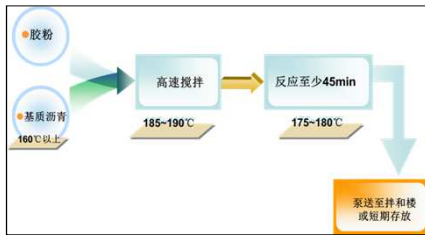
### ■ 制备原理

- ◆ 采用交联活化方法来提高橡胶沥青的高温贮存能力
  - 加工时间和温度对改性沥青性能的影响，主要是考虑胶粉的溶胀和降解脱硫程度在加工过程中的平衡问题。
  - 胶粉在沥青中的最佳状态是部分降解，部分保持弹性核心的中间状态。

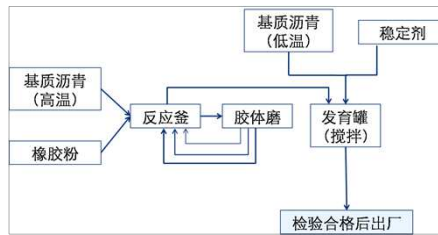
# 橡胶沥青（TB）的制备

## ■ 工厂化橡胶沥青生产工艺

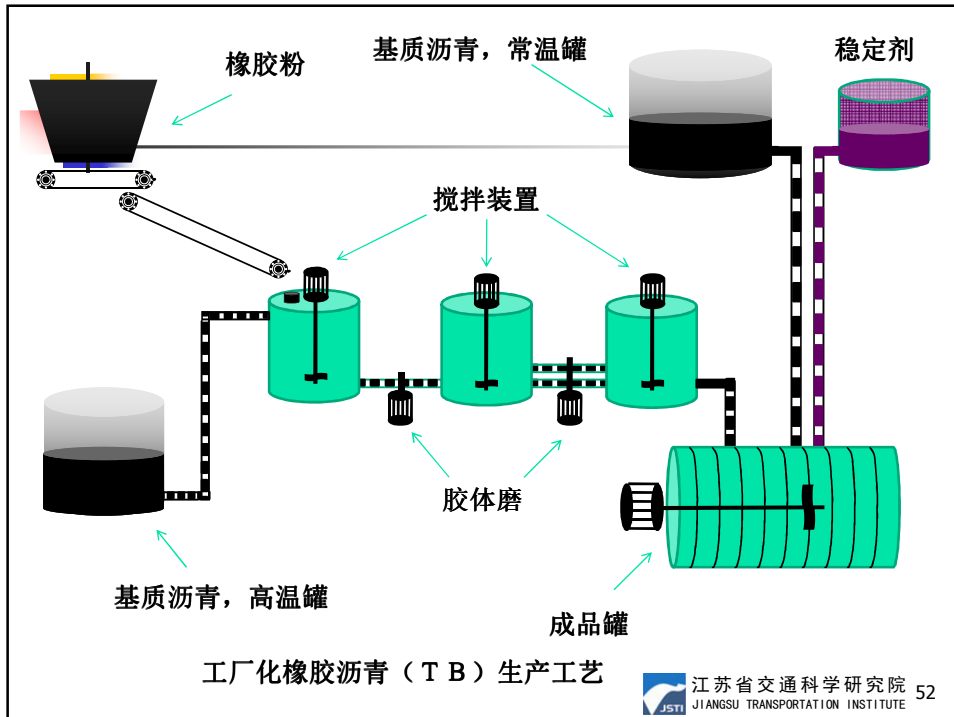
- 采用连续多道胶体磨的方式，将原细度为20目的橡胶粉颗粒磨细至100目以上，橡胶颗粒更均匀地混熔在基质沥青中，同时加入稳定剂进一步提高橡胶沥青存储稳定性。



现场湿法橡胶沥青（AR）生产流程



工厂化橡胶沥青（TB）生产示意图



工厂化橡胶沥青（TB）生产工艺

## 橡胶沥青(TB)生产线

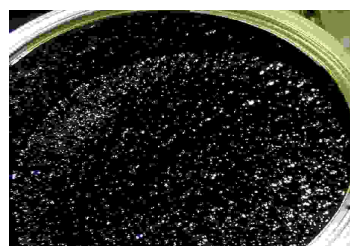


江苏省交通科学研究院 53  
JIANGSU TRANSPORTATION INSTITUTE

## A R 与 T B 的比较



工厂化橡胶粉改性沥青TB (左)



现场湿法橡胶沥青AR (右)

江苏省交通科学研究院 54  
JIANGSU TRANSPORTATION INSTITUTE

## 橡胶沥青(TB)技术标准

检验项目	单位	技术要求	测试方法
针入度 (25℃, , 5s)		35~65	T0604
软化点 不小于	℃	60	T0606
闪点 不小于	℃	240	T0611
旋转黏度()	Pa.s	1.0~4.0	T0625
离析 (软化点差) 不大于	℃	5	T0661
弹性恢复() 不小于	%	75	T0662

## 典型橡胶沥青(TB)测试结果

试验项目	单位	测试结果	技术标准 (SBS)	技术要求	
沥青相对密度	g/m <sup>3</sup>	1.058	--	--	
针入度 (, , 5s)		52	50~80	35~65	
针入度指数PI	--	1.74	-0.2~+1.0	--	
延度 (, /min)	cm	19	≤30	--	
软化点T <sub>R&amp;B</sub>	℃	73.5	≤60	≤60	
动力黏度 ( )	Pa·s	25600	≤800	--	
运动黏度 ( )	Pa·s	1.920	--	1.0~4.0	
闪点	℃	281	≤230	≤240	
溶解度	%	99.75	≤99	--	
弹性恢复 ( )	%	94	≤70	≤75	
PG分级	--	PG82-28	--	--	
RTFOT后残留物	质量变化	%	-0.28	≥0.6	-0.8~+0.8
	针入度比 ( )	%	81.7	≤65	65
	延度 ( )	cm	14	≤20	≤5

## 橡胶沥青(TB)

试验项目		温度	试验指标	试验值	要求*
原样 沥青	DSR	76℃	G*/sinδ (kPa)	3.2373	G*/sinδ≥1.00kPa
		82℃	G*/sinδ (kPa)	2.0688	
RTFOT后 残留沥青	DSR	76℃	G*/sinδ (kPa)	4.0678	G*/sinδ≥2.20kPa
		82℃	G*/sinδ (kPa)	2.6683	
PAV后 残留沥青	BBR	-18℃	S (MPa)	112	S≤300MPa m≥0.300
			m	0.329	
		-24℃	S (MPa)	253	
			m	0.284	
DSR	31℃	G*/sinδ (kPa)	346	G*/sinδ≤5000kPa	

- 制备的工厂化橡胶沥青满足PG82-28等级的要求。

## 橡胶沥青(TB)的特点

- 良好的高温存储稳定性。通过较细胶粉（细度通常在80目以上，传统现场湿法橡胶沥青胶粉细度为20目~30目）和稳定剂的采用，提高了橡胶沥青的存储稳定性，可实现橡胶沥青稳定存储30天；
- 高黏特性。大掺量胶粉（掺量≥18%）和交联剂的使用保证了橡胶沥青优异的高黏性质，改性后的沥青60℃粘度>13000Pa·s，赋予成品湿法橡胶沥青及其混合料优异的抗水损害性能和高温抗车辙性能；
- 与各种混合料良好的适用性，充分溶胀后的橡胶沥青中残存的胶粉颗粒粒径较小，弱化了对混合料级配的干涉和要求，适用于间断级配和连续级配混合料。
- 工厂化生产，产量大，质量波动小，可满足大规模施工需求和质量控制要求。

## 橡胶沥青TB混合料



SMA13



Superpave20

## 橡胶沥青SMA13路用性能

测试项目	单位	研究 I	S122宁杭公路	246省道某交叉口	239省道某交叉口	沿江高速某桥	技术要求	
油石比	%	6.1	6.2	6.3	6.2	6.1	--	
谢伦堡析漏试验	%	--	0.05	0.02	0.03	0.03	≥0.1	
肯塔堡飞散试验	%	--	--	5.9	2.0	5.9	≥15	
水稳定性	MS <sub>0</sub>	%	87.8	87.4	85.4	86.6	90.9	≤85
	TSR	%	82.8	82.5	84.3	80.9	91.7	≤80
车辙动稳定度	次/mm	<b>7292</b>	<b>6184</b>	<b>5425</b>	<b>7513</b>	<b>5823</b>	≤3000	

## 橡胶沥青SUP20路用性能

测试项目		单位	TB橡胶沥青SUP20	SBS改性沥青SUP20	掺高模量剂SUP20	技术标准
水稳定性	MS <sub>0</sub>	%	87.4	87.5	86.2	≥85
	TSR	%	82.2	83.9	88.4	≥80
高温稳定性		次/mm	6350	5115	11200	≥3000
低温小梁破坏应变		με	2832	--	--	≥2000

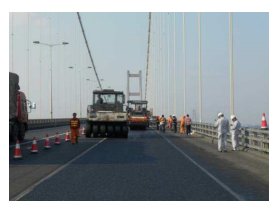
## 橡胶沥青 (TB) 工程应用



2011年G246交叉口路面



2011年S239交叉口路面



2011年润扬大桥钢桥面铺装



2012年沿江高速水泥混凝土桥面铺装



2012年S122宁杭公路改造



贵州省杭瑞高速大兴至思南段

## 4. 结语

- 近10年橡胶沥青技术在中国大陆取得了飞速发展和工程应用；研究和实践表明橡胶沥青具有优异的路用性能
- 曾经制约橡胶沥青（AR）技术推广的加工设备、混合料设计、施工技术均已得到突破，橡胶沥青的应用进入规模化推广阶段。橡胶沥青AR-SAMI, AR-AC, AR-OGFC均有较好的使用；
- 橡胶沥青（TB）加工技术取得显著进展，高掺量胶粉的TB沥青性能优于常规的SBS改性沥青，可适用于各种级配类型的混合料，具有广泛的应用前景。

## 联系方式

曹荣吉

博士，研究员

江苏省交通科学研究院，副总裁

新型道路材料国家工程实验室，主任

江苏省南京市江宁科学园诚信大道2200号，211112

025-86576503，[crj@jsti.com](mailto:crj@jsti.com)

