

# 橡胶沥青路面

## 主要结构类型与工程应用

---

同济大学 交通运输工程学院  
吕伟民 教授 博士生导师

2009年4月 成都



# 一 废旧轮胎资源化



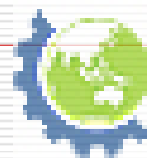
# 我国公路交通的发展

- ❑ 改革开放促进了经济的发展，我国经济实力有了很大的增强，2008年GDP位于世界第3位，外汇储备达到1.8万亿美元，为世界上最多的国家。
- ❑ 高速公路迅速发展，到2008年建成高速公路6.03万公里，一年中增加了6433公里。
- ❑ 在长三角、珠三角以及渤海湾地区已基本形成四通八达的公路交通网。



# 废旧轮胎对环境的污染

- ❑ 道路交通事业的发展，我国汽车保有量大幅增加，2007年6月达5356万辆，预计到2010年将达到7000万辆。
- ❑ 2005年废轮胎已达到1.25亿条，约合324万吨。预计2010年将达到2亿条，约合518万吨。
- ❑ 大量的废轮胎堆积造成环境污染。



# 废胶对环境造成污染

过去曾采取焚烧轮胎，造成对环境的严重污染；以后又采取深埋处理，同样造成对地下水等环境的污染。

近年来有采用轮胎提炼汽油，无法避免对环境产生污染。



## 我国橡胶资源相对短缺

---

- ❑ 我国生胶资源相对短缺，但消费量很大。2004年我国消费生胶420万吨，其中60%用于轮胎生产。
- ❑ 橡胶是战略物资，我国生胶消耗量的70%依赖进口，每年几乎超过120万吨，合成胶60万吨。
- ❑ 预测2010年我国仅汽车工业需求橡胶达到71.6万吨，到2020年将达到163万吨。



# 道路建设对橡胶材料的需求

---

- ❑ 铺筑改性沥青路面需要消耗大量的热塑性橡胶SBS材料，近年来全国每年使用改性沥青达120万吨，用于建设高速公路、城市道路、机场道面，消耗可观的SBS聚合物材料。
- ❑ SBS聚合物是石油产品，为生产SBS聚合物一年消耗石油约20万吨。



# 废轮胎橡胶资源化利用

---

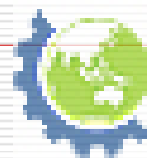
- 利用磨细轮胎粉修筑沥青路面，在上世纪五六十年代许多国家已经开始研究与应用。
- 美国的亚利桑那州、乔治亚州、佛罗利达州将磨细胶粉配制成橡胶沥青，铺筑应力吸收层，或铺筑橡胶沥青路面。
- 南非、英国等国家也有橡胶沥青应用的报道。





# 我国橡胶沥青的研究与应用

- 在上世纪80年代初，同济大学和江西公路局合作，采用30目胶粉，掺入胜利100号沥青，在2-3级公路铺筑橡胶薄层沥青路面，到90年累计达400多公里，对改善当时公路行车条件起了积极作用。90年代后又与杭州市公路局、常州市政等单位合作，积极推广橡胶沥青的应用。90年代中期，PE、SBS改性沥青的研发与广泛应用，使橡胶沥青的研究与应用被搁置起来。
- 近十年来，人们进一步提高对环境保护和资源的循环利用的认识，积极开展橡胶沥青的研究与应用，在全国形成了很大的反响。



# 废胶资源化再利用，建设生态文明

---

- 积极开展研究，将废旧轮胎作为资源进行再利用，生产橡胶沥青，在很大程度上取代SBS改性沥青，不仅减少了环境污染，减少资源消耗，而且符合循环经济，节能减排的要求，有利于建设生态文明。可以说这为废旧轮胎找到了最好的出路。



# 橡胶沥青研究与应用产业化

---

- 近年来我们还高兴地看到，国内已经出现橡胶沥青产业化的专业性企业，如四川正中路面科技有限公司、天津海泰公司等。
- 这些专业化公司的出现，为橡胶沥青的推广应用起着积极的作用，具有重要的社会和经济意义。



## 二 橡胶沥青的主要特性



# 胶粉利用的方法

---

## □ 湿法工艺 (wet process)

- (1) 湿法是将磨细的胶粉按一定比例加入热熔的沥青中，在一定温度下经过充分搅拌成为橡胶沥青，作为沥青结合料使用。
- (2) 橡胶粉对沥青具有增粘和改性作用，在许多场合下可以替代常规改性沥青。



# 橡胶沥青的制备

---

## □ 橡胶粉的粒度选择

### (1) 20目

粒度粗，成本低，能保持橡胶的弹性，但易发生沉淀。

### (2) 80目

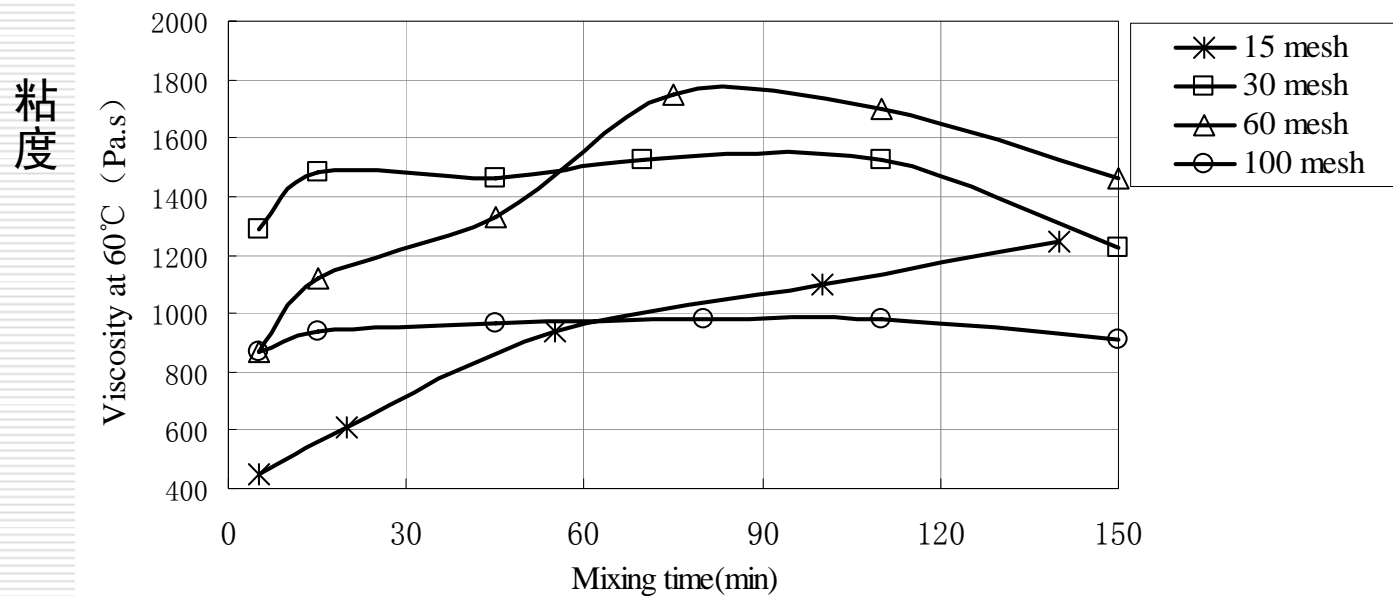
粒度细，易与沥青相融合，不易发生沉淀，但橡胶颗粒弹性性质较差；

### (3) 40-60目，粒度适中，既能与沥青较好的融合，又能保持一定的弹性性质，也不易发生沉淀。



# 粒度对橡胶沥青性质的影响

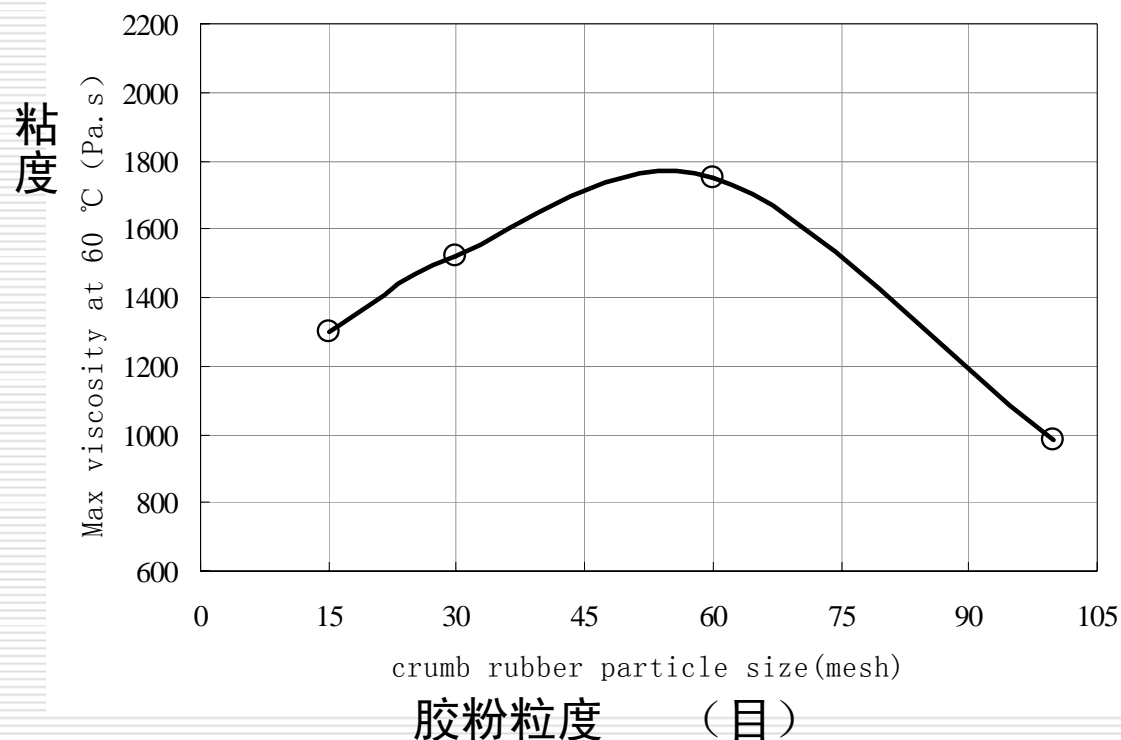
- 对不同粒度橡胶沥青制备过程中粘度变化观察，采用15目与100目粘度最低，30目与60目较高。



搅拌时间 min



# 橡胶沥青粘度与胶粉粒度的关系

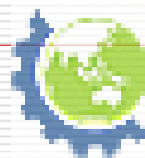


由图可见，60目胶粉所制备的橡胶沥青粘度最高



# 胶粉粒度的选择

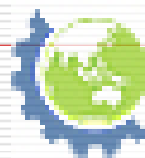
- 根据橡胶沥青的用途选择不同粒度的胶粉。
- 用于铺筑橡胶沥青薄膜（封层）、拌制开级配而又不用或少用矿粉的橡胶沥青混合料，必须配制高剂量、高粘度橡胶沥青，采用20-30目粗粒度胶粉。
- 用于拌制间断级配SMA混合料，使用较多矿粉，宜采用40-60目胶粉。
- 用于铺筑密级配橡胶沥青混合料，宜使用80-100目精细胶粉。



# 橡胶粉的剂量

□ 确定橡胶粉的剂量应根据用途、道路等级、基质沥青稠度等因素确定，其变化范围为15%~30%（外掺），大致可分为：

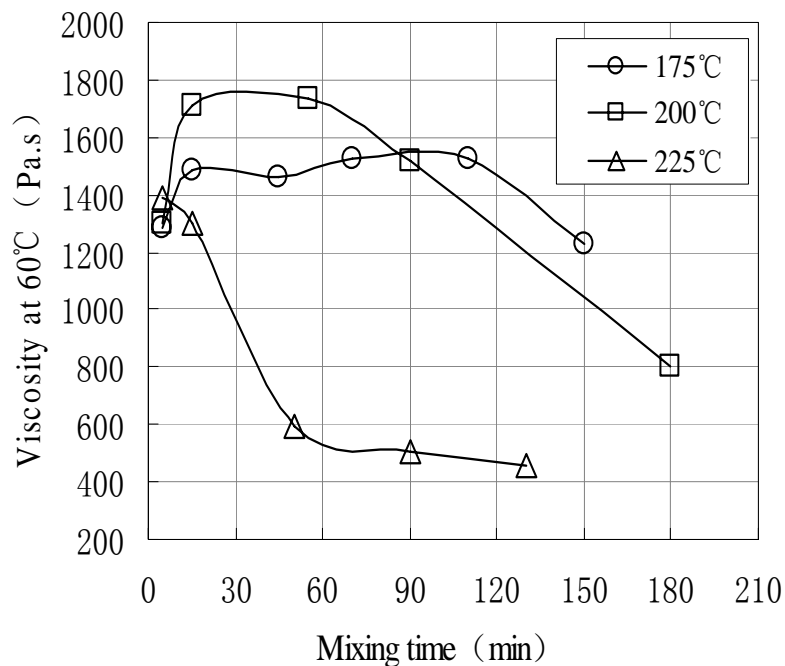
- (1) 橡胶沥青薄膜（封层），胶粉用量约为25%~30%
- (2) 开级配沥青磨耗层，胶粉用量约为20%~25%
- (3) 间断级配SMA路面，胶粉用量约为15%~20%
- (4) 开级配混合料应力吸收层，胶粉用量约为25%~30%



# 橡胶沥青制备的温度

橡胶沥青制备需要在较高温度下进行，橡胶发生溶胀，并与沥青发生一定化学反应。但试验表明，温度太高，不仅能源消耗大，而且橡胶发生裂解，使粘度降低，沥青也易老化。

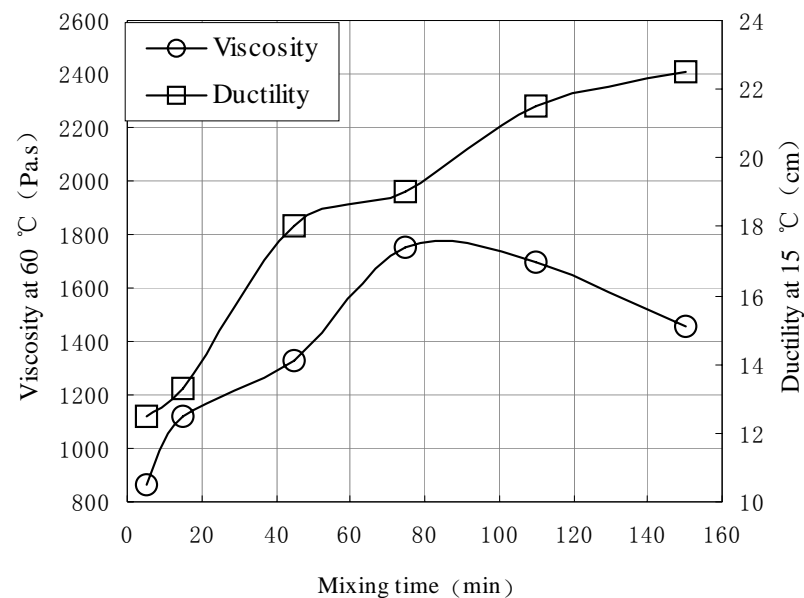
制备温度控制在 $175^{\circ}\text{C}$ – $180^{\circ}\text{C}$ 比较适宜。



# 橡胶沥青搅拌时间

橡胶沥青在制备过程中，适宜的搅拌时间为60-80min。时间再长则粘度反而下降，这主要是由于橡胶发生了裂解。

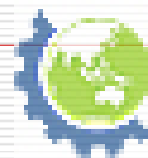
橡胶沥青制备一般无需使用胶体磨研磨。



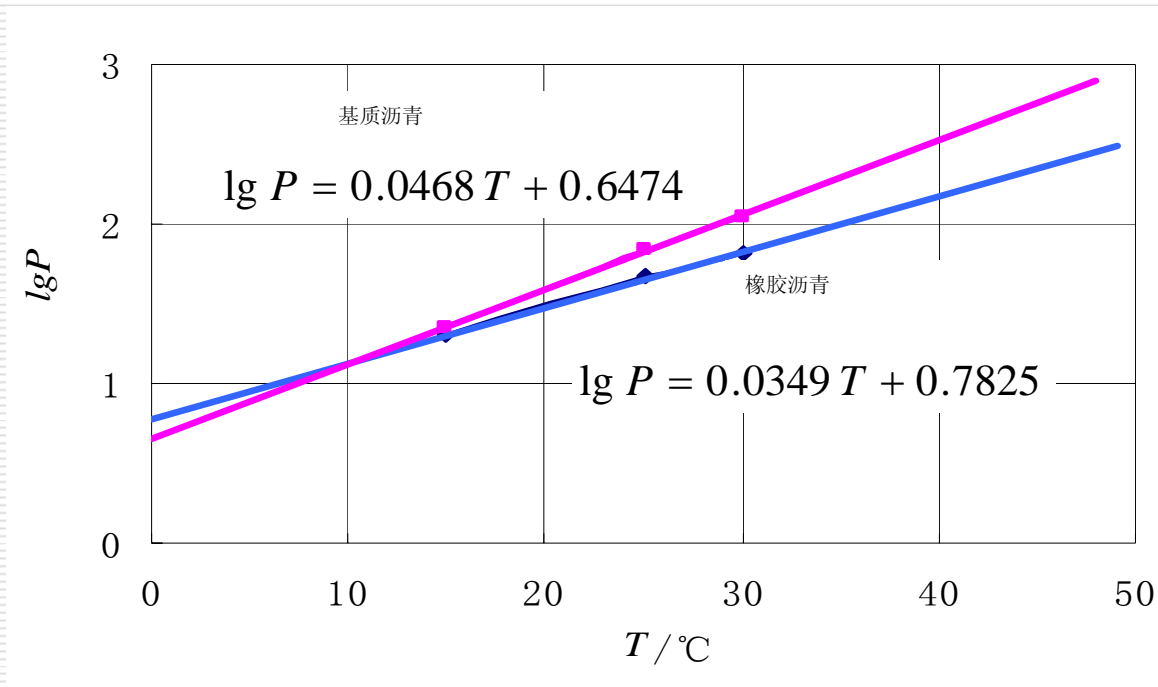
# 橡胶沥青的性质

| 材料   | 针入度<br>/0.1mm | 软化点<br>/℃ | 粘度<br>60℃/Pa. s | 弹性恢复<br>25℃/% |
|------|---------------|-----------|-----------------|---------------|
| 基质沥青 | 69            | 48.5      | 210             | —             |
| 橡胶沥青 | 47            | 60        | 1750            | 68            |

注：胶粉粒度60目，剂量15%，拌和60min，温度175℃



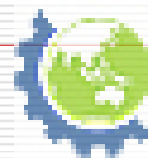
# 橡胶沥青的粘温关系曲线



由图可见，橡胶沥青的温度稳定性得到了改善

# 橡胶沥青的性能

| 材 料      | 针入度<br>/0.1mm | 针入度温<br>度 系 数<br>A | 针入度<br>指 数<br>PI | 当 量<br>软化点<br>/°C | 当量<br>脆点<br>/°C | 塑性温<br>度范围<br>/°C |
|----------|---------------|--------------------|------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| 基质<br>沥青 | 69            | 0.0468             | -1.02            | 48.2              | -12.1           | 60.3              |
| 胶粉<br>沥青 | 47            | 0.0349             | +0.93            | 60.8              | -20.2           | 81.0              |



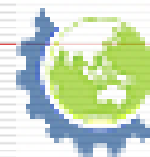
## 三 橡胶沥青路面的主要结构类型





# 目前橡胶沥青应用的主要类型

- 就目前来说，橡胶沥青主要适用于矿料间隙率（VMA）比较大的间断级配混合料中，不适宜于密级配混合料。这是因为橡胶沥青比较粘稠，粘附性好，集料表面沥青膜比较厚，沥青用量大反而影响其热稳性。
- 目前主要有三种使用方式：
  - 1) AR-AC-13(断级配橡胶沥青混合料)
  - 2) AR-SMA-13（橡胶沥青马蹄脂碎石）
  - 3) AR-SAMI（橡胶沥青应力吸收层）



## 1) 断级配橡胶沥青混凝土 (AR-AC-13)

□ 目前主要借鉴美国亚利桑那州的做法 (包括技术方法与标准), 其特点是:

- 1) 使用较粗的橡胶粉 (如20目);
- 2) 粗集料含量高达70% (形成骨架);
- 3) 少用或不用矿粉;
- 4) 橡胶沥青用量为7.5-8.5%;
- 5) 空隙率 4.5%~6.5% (形成密实结构)
- 4) 动稳定度达3500次/mm。

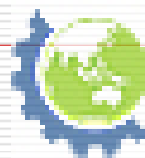


## 1) 断级配橡胶沥青混凝土 (AR-AC-13)

**优点:** 1) 粗料比例高, 路面粗糙, 抗滑性好; 2) 使用较粗胶粉, 胶粉成本低; 3) 橡胶沥青用量高, 低温抗裂性和耐疲劳性能好。

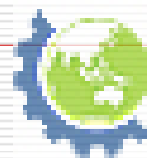
**缺点:** 1) 不用或少用矿粉, 而VMA大, 依靠橡胶沥青结合料填充空隙, 致使结合料用量高, 影响高温稳定性, 也使成本提高; 2) 橡胶粉掺量高, 沥青粘度大, 拌和摊铺比较困难。

**适用范围:** 1) 城市快速干道; 2) 机场高速公路; 3) 中轻交通道路; 4) 一级以下公路。



## 2) 间断级配SMA—13

- 我国各地已具备采用SBS改性沥青铺筑SMA路面的经验，可以应用橡胶沥青取代SBS改性沥青，达到降低成本的目的。其主要特点：
- 1) 使用相对较细的橡胶粉（40-60目）
  - 2) 粗集料用量达70%；
  - 3) 必须使用矿粉，用量约为10%左右；
  - 4) 橡胶沥青用量约比常规多0.5%左右；
  - 5) 形成骨架密实结构，路用性能优良。



## 2) 间断级配SMA—13

---

### 优点:

- 1) 高温稳定性好; 2) 耐疲劳性能好;
- 3) 低温抗裂性好; 4) 沥青用量相对较少;
- 5) 可以不使用纤维, 故成本相对较低。

### 缺点:

- 1) 对集料要求较高; 2) 需要认真做好设计。

### 适用范围:

- 1) 高速公路、一级公路; 2) 城市干道;
- 3) 重交通道路



### 3) 橡胶沥青碎石封层（应力吸收层）

---

□ 橡胶沥青碎石封层是借鉴美国亚利桑那州经验，引进到我国的。其特点是：

- 1) 使用较粗的橡胶粉（20目）；
- 2) 胶粉含量高达25-30%（外掺）；
- 3) 橡胶沥青制备温度很高，约200℃左右；
- 4) 需要使用专门设备进行喷洒。



### 3) 橡胶沥青碎石封层（应力吸收层）

---

#### 适用范围：

- 1) 水泥混凝土路面改造时，铺设在表面，作为应力吸收层，防止反射裂缝；
- 2) 高速公路半刚性基层的封层，增强抗反射裂缝的能力；
- 3) 用作混凝土桥面的防水粘结层；
- 4) 作为低等级道路的沥青面层，相当于表面处治路面。



## 四 干法橡胶沥青混合料 组成结构与特性





# 干法工艺的特点

## □ 干法工艺（dry process）

- （1）干法是将橡胶颗粒直接加入拌缸，与集料混合，加工成沥青混合料。
- （2）能大量消耗废轮胎，但对沥青没有改性作用；
- （3）工艺简单无需添加设备；
- （4）设计不当路面易松散，必须采取针对性设计。
- （5）干法主要用于铺筑降噪沥青路面；



# 干法工艺的基本思路

## 使用橡胶颗粒的目的：

- 1) 消耗废旧轮胎，解决废轮胎处置；
- 2) 不要求对沥青性能起改善作用；
- 3) 为改善路面某种功能，如提高沥青路面的弹性与阻尼性质，达到降低交通噪声的目的。

## 干法工艺基本思路：

- 1) 橡胶颗粒宜粗不宜细，如采用1-3mm颗粒；
- 2) 掺量宜多不宜少，如2%~3% ；
- 3) 橡胶颗粒作为集料空隙的填充料。



# 干法橡胶沥青路面结构

---

- 干法橡胶沥青路面的关键是要防止出现松散。
- 干法工艺要取得成功的技术关键：
  - (1) 橡胶沥青混合料形成骨架密实结构；
  - (2) 集料级配必须采用完全断级配；
  - (3) 采用粘度较高的沥青材料以形成较强的粘聚力；
  - (4) 橡胶颗粒最好加以预处理。

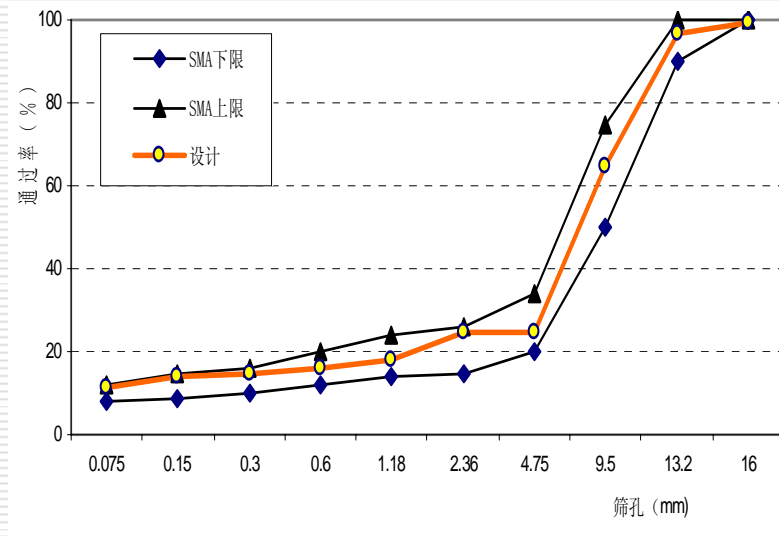


# 设计的技术关键

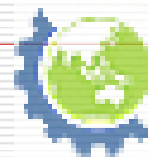
□ 采用完全的断级配，以留出一定的空间。

□ 结合料采用改性沥青，或在沥青中添加天然沥青，以提高粘聚力。

□ 解决了干法橡胶沥青混合料压实困难，强度不高，成型后发生膨胀等问题。

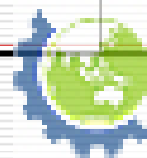


级配曲线



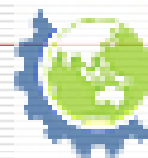
# 干法橡胶沥青混合料的基本性质

| 橡胶颗粒掺量<br>% | 油石比<br>% | 空隙率<br>% | VMA<br>% | VFA<br>% | 稳定度<br>kN |
|-------------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| 2           | 6.4      | 3.4      | 17.0     | 80.0     | 9.8       |
| 3           | 6.5      | 4.1      | 17.6     | 75.7     | 9.0       |
| 4           | 6.7      | 5.0      | 18.9     | 73.9     | 8.1       |

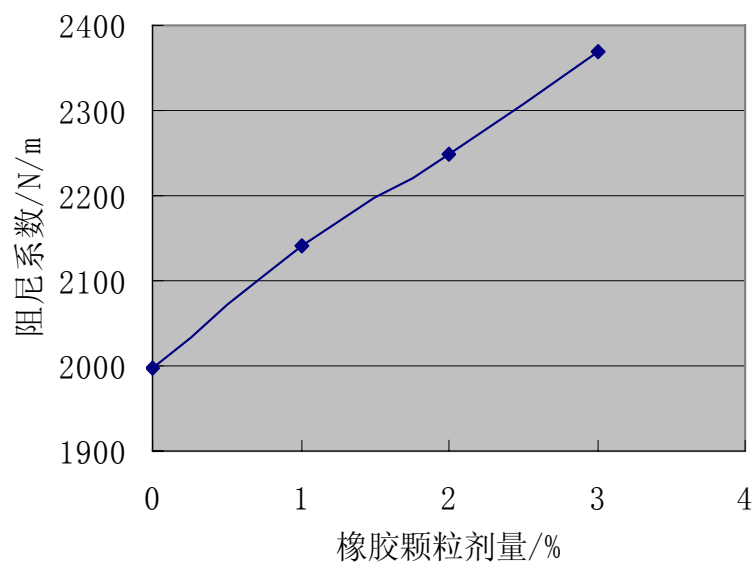


# 干法橡胶沥青混合料的力学性质

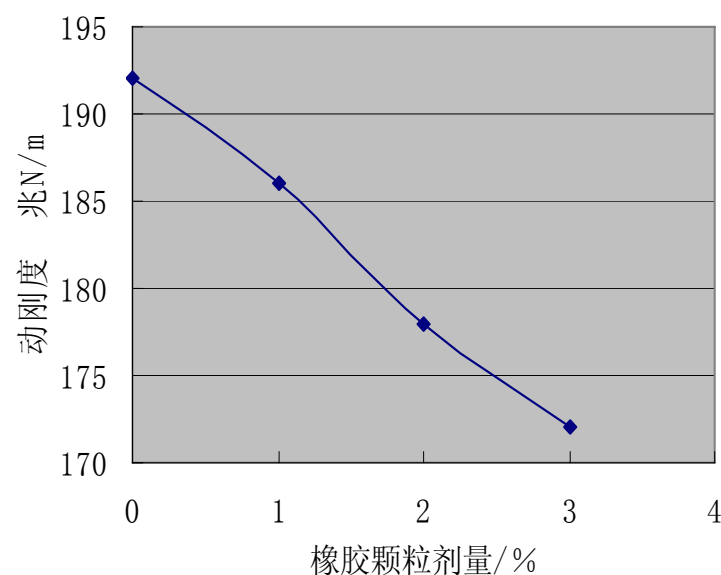
| 橡胶颗粒掺量         | 1%   | 2%   | 3%   |
|----------------|------|------|------|
| 动稳定度<br>(次/mm) | 2519 | 3236 | 4456 |
| 低温劲度<br>(MPa)  | 980  | 820  | 730  |
| TSR<br>(%)     | 94   | 90   | 85   |



# 干法橡胶沥青混合料的声学特性



阻尼系数与橡胶颗粒剂量的关系



动刚度与橡胶颗粒剂量的关系

## 四 橡胶沥青的工程应用





# 橡胶沥青的生产

- ❑ 橡胶沥青路面施工，最重要的就是首先要加工橡胶沥青，总体来说它与SBS改性沥青生产有所不同。
- ❑ 橡胶粉在沥青中，需要在高温条件下充分溶胀，并产生复杂的物理与化学反应，胶粉发生部分脱硫、降解，恢复一定生胶性质，对沥青起到改性作用。
- ❑ 橡胶粉在溶胀过程中，体积发生膨胀。
- ❑ 橡胶粉在沥青中形成三维空间网络结构，橡胶沥青表现出高粘度、高弹性的特征性能。



# 橡胶沥青生产的设备

---

- 为保证橡胶沥青产品的质量，橡胶沥青最好采用专用的橡胶沥青生产设备进行生产。
- 橡胶沥青制备的设备有一个逐步发展的过程。现在常人们借用生产SBS改性沥青的设备进行加工，但发现并不完全适合，因此需要针对橡胶沥青的特点研发专用的橡胶沥青生产设备，这种情况在国外也是如此。



# 国内橡胶沥青生产设备的发展

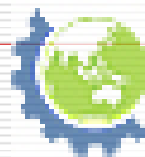
- 近年来随着国内橡胶沥青逐步得到推广应用，国内有的企业为了适应道路施工流动大的特点，在原有设备的基础上，研究分析了橡胶沥青的特点，结合我国国情，实现了橡胶沥青生产设备的国产化。
- 其中具有代表的设备有四川正中路面科技有限公司开发的橡胶沥青加工设备。



# 四川正中公司设备的特点

---

- ❑ 实现自动化全程控制系统（电脑程序控制）
- ❑ 具有双重式快速升温系统（20秒钟提升基质沥青30℃）
- ❑ 实现连续自动上料系统（上料精确度为0.5%）
- ❑ 具有快速预拌系统（2500转/min，快速均匀拌和）
- ❑ 实现远程监控系统（视频监控、自动远程传输数据）
- ❑ 搅拌反应储存系统（双重升温，卧式搅拌）



# 设备的组合



采用标准40尺集装箱式底板，运输灵活方便

为满足工程需要，采取1+1组合，每小时产量15吨，可同时生产  
储存30吨橡胶沥青，满足2000型拌和楼生产需要

# 设备的组合



1+2组合，每小时产量20吨，可同时生产储存60吨橡胶沥青，  
可满足3000型以上拌和楼生产需要

# 橡胶沥青的工程应用

- 近几年来橡胶沥青已经在许多工程得到应用，总体来说只要经过认真设计、精心施工，利用橡胶沥青是能够修建成具有良好性能的沥青路面。





# 橡胶沥青工程应用



2007年在江苏340省道金坛段白改黑工程，长14公里，获优良工程。

这是开级配密实结构的橡胶沥青路面，表面粗糙，抗滑性好



# 橡胶沥青工程应用



2008年6月江苏常州  
绿杨路改造工程

1cm橡胶沥青应力吸  
收层+5cm间断级配  
橡胶沥青

# 橡胶沥青工程应用



2007年3月  
四川双流新城区道路  
白改黑工程

4cm橡胶沥青  
+1cm应力吸收层罩

# 橡胶沥青工程应用



2006年上海浦东高科东路  
橡胶沥青SMA摊铺现场



橡胶沥青SMA路面在碾压

# 橡胶沥青工程应用

---



橡胶沥青SMA路面

橡胶沥青SMA路面  
具有良好的纹理构造，不渗水，  
使用效果良好。  
证明采用橡胶沥青完全可以  
取代SBS改性沥青。



# 橡胶沥青工程应用

---



干法橡胶沥青路面

2006上海青浦区青赵路  
低噪声沥青路面

两年多来该橡胶沥青路面  
使用效果良好，经检测  
降低噪声3dB

# 橡胶沥青工程应用



干法橡胶沥青低噪声路面

2004年7月在上海南汇铺筑  
降噪路面（干法橡胶沥青）

橡胶颗粒为1-3mm，骨架  
密实结构

2005年10月现场路况观察  
路况良好

# 橡胶沥青封层施工



洒布橡胶沥青



撒布碎石



# 橡胶沥青封层施工



胶轮碾压



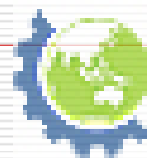
橡胶沥青封层（应力吸收层）



# 橡胶沥青路面技术的发展

---

- ❑ 橡胶沥青路面在我国还处于起步阶段，需要不断总结经验，研究新问题、新技术，以便不断提高和发展。
- ❑ 研究与应用在橡胶沥青中添加外掺剂，如维他联结剂（TOR），以改善提高橡胶沥青的性能。
- ❑ 鉴于橡胶沥青施工温度很高，需要研究温拌技术，以降低施工温度，降低能源消耗，减少烟雾排放。
- ❑ 制定和完善橡胶沥青的技术标准与规范。



# 谢谢大家

