

文章编号:0451-0712(2006)07-0337-04

中图分类号:U414.03

文献标识码:B

# 基于剪切性能的沥青混合料配合比优化设计

李晋峰

(广东省高速公路有限公司 广州市 510230)

摘要:针对目前半刚性路面车辙病害频繁的问题,从抗车辙的角度进行路面结构组合设计,采用一种全新的车辙性能评价方法——单轴贯入试验方法进行沥青混合料设计,并在国道主干线渝湛高速公路高桥至遂溪段铺筑了试验路。本文提出的试验方法、材料级配及设计理念,对于国内类似工程将具有一定的指导意义,同时也为我国道路设计理论的发展提供有益的借鉴。

关键词:沥青路面;车辙;单轴贯入试验方法;级配;结构设计

车辙是渠化交通的高等级公路沥青路面的主要损坏类型之一。由于沥青路面的车辙主要发生在高温季节,所以在沥青路面材料和结构稳定性研究中,车辙问题被认为是“高温稳定性”问题,大量的研究表明<sup>[1]</sup>车辙的产生机理为沥青混凝土的剪切流动变形。

调查表明<sup>[2]</sup>,我国近几年来高速公路建设事业迅猛发展,在许多省区沥青路面均不同程度地出现了大面积的早期车辙破坏。因此,防治和延缓车辙已经成为当前道路工程领域的当务之急。基于此,本文从抗车辙的角度进行路面结构组合设计,采用一种全新的车辙性能评价方法(单轴贯入试验方法)进行沥青混合料设计,并在国道主干线渝湛高速公路高桥至遂溪段铺筑了试验路。

## 1 路面结构力学性能分析

首先采用三维有限元方法,对渝湛高速公路试验路路面结构进行行车荷载作用下的力学响应分析。

由参考文献<sup>[3]</sup>,计算采用图1的剪应力计算荷载模式,荷载工况分2种:(a)600 kPa 胎压25.00 kN 负荷的标准工况;(b)1 050 kPa 胎压62.50 kN 负荷的最不利工况。

路面结构组合见图2。各结构层的参数取值见表1,共计算5种结构参数组合。其中,模量组合1是常规状态下的参数取值;模量组合2和3模拟短期、长期高温状态;模量组合4模拟长期低温状态;模量组合5模拟短期低温或老化状态。

表1 计算用的路面结构材料参数

结构层	组合1	组合2	组合3	组合4	组合5	泊松比
AC-13C	1 200	500	500	3 000	3 000	0.35
AC-20C	1 100	1 100	600	2 800	1 100	0.35
AM-20	1 000	1 000	600	2 500	1 000	0.35
水泥稳定碎石	3 000					0.2
土基	100					0.40

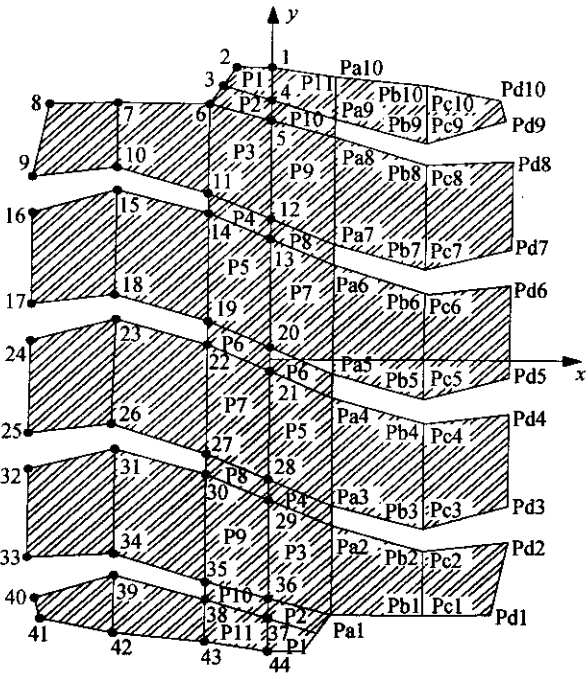


图1 荷载计算模式

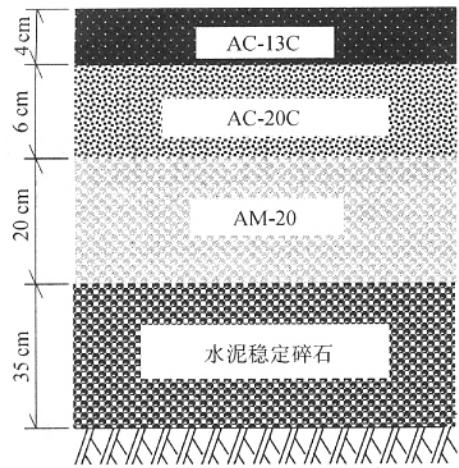


图 2 路面结构

将不同荷载、不同模量组合下,沥青层的最大剪应力峰值  $\tau_{\max}$  计算结果列于表 2。

表 2  $\tau_{\max}$  计算结果 MPa

模量组合	组合 1	组合 2	组合 3	组合 4	组合 5
荷载工况(a)	0. 217	0. 204	0. 210	0. 216	0. 263
荷载工况(b)	0. 366	0. 355	0. 359	0. 359	0. 444

从表 2 的计算结果可以看出,在最不利模量组合作用下,沥青混合料所承受的最大剪应力为 0. 444 MPa。

2 单轴贯入试验方法

单轴贯入试验是用来测试沥青混合料剪切特性的方法<sup>[4]</sup>。

该试验系统采用  $\phi 100\text{ mm} \times 100\text{ mm}$  的圆柱形试件,在高温处理 6 h 后,在 60 ℃ 环境下以 1 mm/min 的速度进行试验,测出其荷载~变形曲线,经过数据处理,即可得到混合料的抗剪切强度,如图 3。

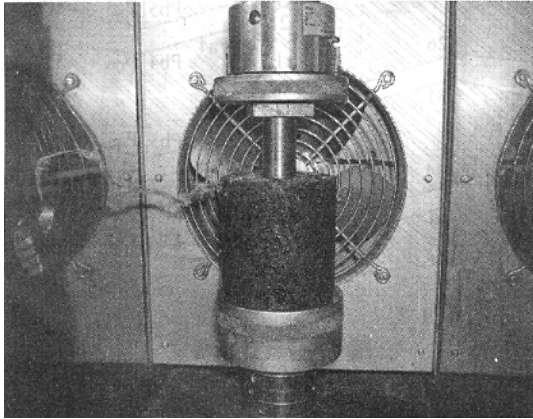


图 3 抗剪强度的单轴贯入试验

同时,为了得到材料的基本特性,如混合料的  $C$  值和  $\phi$  值,与普通的无侧限抗压试验相结合,推导出了材料的  $C$ 、 $\phi$  参数定量化计算方法,如式(1)~(3)。粘聚力  $C$  值可以用来评价混合料中结合料的粘聚力大小, $C$  值越大,表明混合料沥青胶浆结合力越强,但过大的  $C$  值会导致施工时碾压困难;内摩擦角  $\phi$  值可以用来衡量集料的表面纹理特征, $\phi$  值越大,集料间摩阻力越好,混合料的抗车辙能力越强。

$$\left\{ \begin{matrix} \sigma_1 \\ \sigma_3 \\ \tau_{\max} \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} \overline{\sigma_1} \\ \overline{\sigma_3} \\ \overline{\tau_{\max}} \end{matrix} \right\} \times \text{贯入强度} \tag{1}$$

$$\phi = \arcsin \left( \frac{\sigma_{G1} - \sigma_{G3} - \sigma_u}{\sigma_{G1} + \sigma_{G3} - \sigma_u} \right) \tag{2}$$

$$C = \frac{\sigma_u}{2} \cdot \left( \frac{1 - \sin \phi}{\cos \phi} \right) \tag{3}$$

3 沥青混合料配合比设计

3.1 原材料

根据当地高温多雨的特点,沥青中上面层采用 SBS 改性沥青,其基本技术指标如表 3。从表 3 的数据来看,符合现行技术规范<sup>[5]</sup>的规定。

表 3 SBS 改性沥青主要技术指标

指标		实测值	技术要求
针入度(25 ℃)/0.1 mm		54.5	30~60
延度(5 ℃)/cm		>31.6	≥20
软化点/℃		83.6	≥70
闪点/℃		306	≥230
含蜡量/%		2.0	≤3.0
密度/(g/cm³)		1.034	实测记录
融解度/%		99.7	≥99.0
动力粘度/Pa·s		—	—
运动粘度(135 ℃)/Pa·s		1.93	≤3
薄膜加热试验 (163 ℃, 75 min)	质量损失/%	0.12	≤1.0
	针入度比/%	79	≥65
	延度/cm	>18.5	≥15

对于抗车辙而言,优质的集料是非常关键的,因此实际施工中采用了湛江廉华石场生产的优质石料,各原材料的物理试验见表 4。

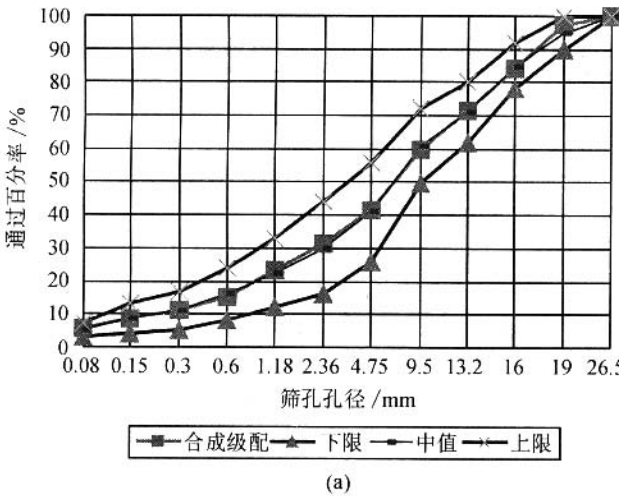
3.2 中面层沥青混合料设计

已有研究表明“密实结构”<sup>[6]</sup>的沥青混合料具有较好的抗车辙能力。本文选择了两种配比进行中面层的室内研究,如图 4。

表 4 中、上面层各种集料的物理性质

材料名称	11~ 22 mm 碎石	6~ 11 mm 碎石	3~ 6 mm 碎石	机制砂	矿粉	消石灰
表观相对密度	2.839	2.846	2.813	2.832	2.683	2.375
毛体积相对密度	2.800	2.788	2.732	—	—	—
针片状含量/%	6.1	5.1	4.9	—	—	—
压碎值/%	14.7	—	—	—	—	—
<0.075 含量/%	0.2	0.4	0.3	7.2	—	—
亲水系数	—	—	—	—	0.5	—
吸水率/%	0.5	0.7	1.0	—	—	—
对沥青的粘附性	5	—	—	—	—	—

马歇尔设计方法测定的各项指标如表 5。  
根据图 3 单轴贯入试验方法,以及公式(1)~



(3)的计算,对沥青混合料的抗剪能力进行了评价,见表 6。

可见(b)级配的沥青混合料比(a)级配的抗剪能力更好, $\phi$ 值也是(b)级配的高,因此最后选择(b)级配。将表 6 与表 2 的数据相比较,各种荷载条件及模量组合条件下,路面结构内的剪应力均小于沥青混合料的抗剪强度,说明选择的材料及沥青混合料级配是合理的。

3 上面层沥青混合料设计

再选择两种上面层配比进行室内研究,如图 5。  
马歇尔设计方法测定的各项指标如表 7。

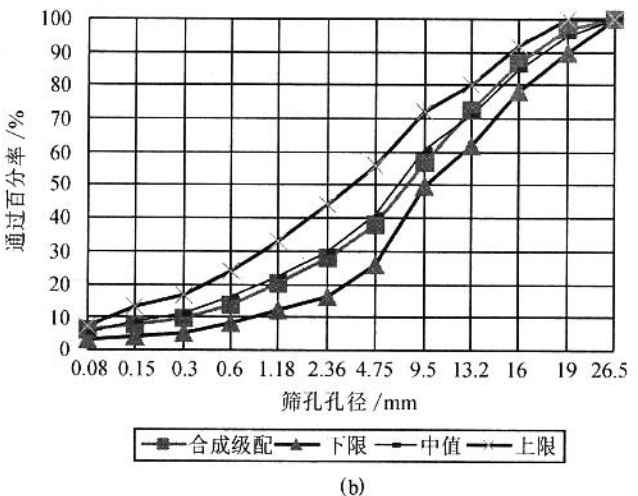


图 4 AC-20C 目标配合比设计的矿料级配曲线

表 5 马歇尔试验结果

配合比	油石比/%	理论密度 g/cm <sup>3</sup>	实测密度 g/cm <sup>3</sup>	空隙率 VV/%	矿料间隙率 VMA/%	沥青饱和度 VFA/%	稳定度 MS/kN	流值 FL 0.1 mm
(a)级配	4.4	2.529	2.425	4.1	13.2	68.7	17.37	31.9
(b)级配	4.3	2.633	2.517	4.4	13.5	67.5	14.19	29.4

表 6 抗剪强度试验结果

平均值	$\tau_{\max}$ /MPa	$\phi$ /(°)	C/MPa	变形/mm
(a)级配	0.508	45.820	0.179	1.655
(b)级配	0.670	48.047	0.161	2.448

根据图 3 单轴贯入试验方法,以及公式(1)~  
(3)的计算,对上面层沥青混合料的抗剪能力进行了  
评价,见表 8。

可见(a)级配的沥青混合料比(b)级配的抗剪能力更好, $\phi$ 值也是(a)级配的高,因此最后选择(a)级配。将表 8 的数据与表 2 的数据相比较,各种荷载条

件及模量组合条件下,路面结构内的剪应力均小于  
沥青混合料的抗剪强度,说明上面层选择的材料及  
沥青混合料级配也是合理的。

4 小结

从目前我国高速公路的损坏现象和原因分析可  
以看出,造成沥青路面早期损坏的主要原因是半刚  
性基层模量的过大,造成沥青面层内剪应力过大,导  
致车辙、推挤、拥包损坏,甚至与水、荷载综合作用而  
发生各种早期破坏<sup>[4]</sup>。因此,进行路面剪应力分析,  
确定主要影响因素,提出控制路面剪切破坏的结构

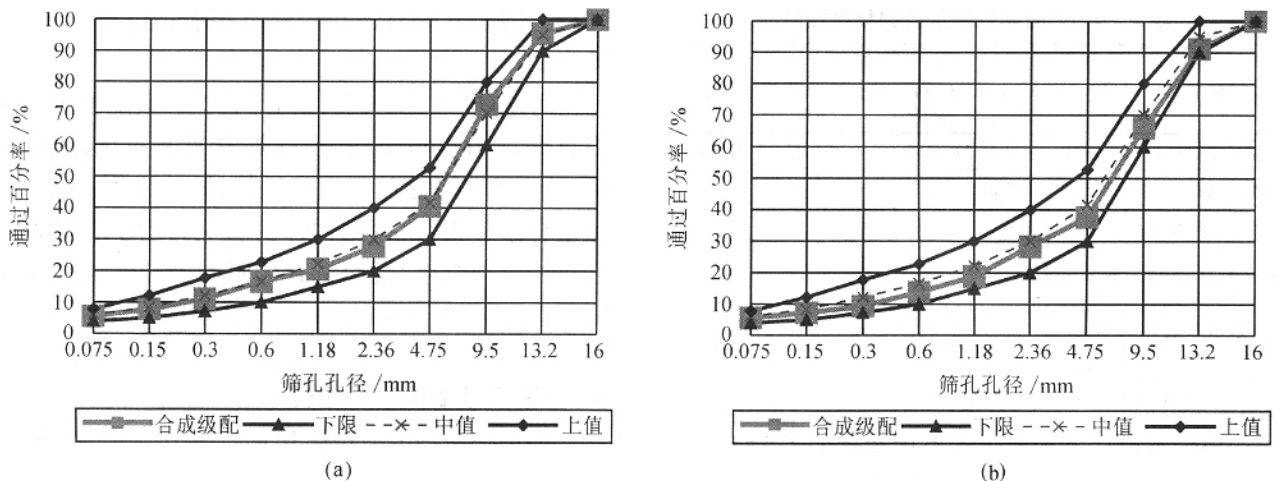


图 5 AC-13C 生产配合比设计的矿料级配曲线

表 7 马歇尔试验结果

配合比	油石比 / %	理论密度 g/cm <sup>3</sup>	实测密度 g/cm <sup>3</sup>	空隙率 VV / %	矿料间隙率 VMA / %	沥青饱和度 VFA / %	稳定度 MS / kN	流值 FL 0.1 mm
(a) 级配	4.9	2.637	2.517	4.6	14.0	67.4	15.06	34.2
(b) 级配	5.0	2.647	2.519	4.8	14.2	65.9	14.48	27.4

表 8 抗剪强度试验结果

平均值	$\tau_{\max}$ / MPa	$\phi / (^{\circ})_a$	C / MPa	变形 / mm
(a) 级配	0.494 8	46.810	0.151	2.457
(b) 级配	0.455 6	46.840	0.136	2.082

设计和材料设计,应该是路面结构设计的一个值得注意并加以考虑的环节。本文在目前我国规范规定的沥青混合料设计方法的基础上,从混合料抗剪切性能的角度,进一步优化了沥青混合料的级配组成设计,从而使得沥青混合料的抗车辙能力更强。

参考文献:

[1] Sousa J B, Monimith C L. Summary Report on

Permanent Deformation on Asphalt Concrete [R]. SHRP-A/IR-91-104, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D. C. 1991.

[2] 沙庆林. 高等级公路半刚性基层沥青路面[M]. 北京: 人民交通出版社, 1998.  
[3] 胡小弟. 轮胎接地压力分布实测及沥青路面力学响应分析[D]. 上海: 同济大学道路与机场工程系, 2003.  
[4] 孙立军, 等著. 沥青路面结构行为理论[M]. 上海: 同济大学出版社, 2005.  
[5] JTJ 014-97, 沥青路面设计规范[S].  
[6] 林绣贤. 沥青层永久变形计算中有关参数的确定方法[J]. 中国公路学报, 1998, 2.

## Optimization Design for Asphalt Mixtune Gradation Based on Shear Strength

LI Jin-feng

(1. Guangdong Provincial Expressway Co. Ltd., Guangzhou 510230, China)

**Abstract:** In order to prevent the rutting distress on asphalt pavement with semi-rigid base, a new pavement structure design method is put forward. The uniaxial penetration test is used to evaluate asphalt mixture rutting-resist capability. The method is successfully applied in Yu-Zhan Expressway. The results show that the method is a significant innovation for the road design. In the future it is helpful to direct other same constructions and provide references for the pavement design theory.

**Key words:** asphalt pavement; rutting; uniaxial penetration test; gradation; structure design