

文章编号: 0451-0712(2004)12-0098-04

中图分类号: U416.217

文献标识码: B

# Superpave 技术在湖北省京珠高速公路上的应用

张学锋, 刘 松, 张厚记, 张武矛, 张泽文

(湖北省京珠高速公路建设指挥部 武汉市 430040)

**摘 要:** 为寻求抗高温车辙、抗水损坏、抗重载破坏的沥青混凝土路面结构, 借鉴 Superpave 技术方法, 通过大量的室内试验和试验路比选, 选择了合适的沥青混凝土路面结构应用在湖北省京珠高速公路上, 实践证明 Superpave 混合料具有良好的使用性能。

**关键词:** Superpave; 高速公路; 沥青混凝土面层; 应用

湖北省京珠高速公路是国家“两纵两横”国道主干线的重要组成部分, 全长 339 km, 总投资 120 亿元人民币, 该项目是湖北省第一次大规模施工沥青混凝土路面, 已于 2001 年建成通车。据武汉市气象部门记录资料显示: 沿线地区年均降雨量 1 100 ~ 1 450 mm; 极端最高气温 42.2℃, 极端最低气温 -18.1℃(1957 年)。京珠高速公路是 107 国道的平行线, 交通量大, 超载、重载特别严重, 修建沥青混凝土路面面临高温车辙、水损坏和重载破坏等早期损害的严峻现实。

目前欧美发达国家为提高沥青混凝土路面使用性能开发了一些路面新结构: 一是德国研究开发了 SMA 新结构, 路面抗车辙能力、抗裂和抗滑性能得到大幅提高, 但是价格昂贵, 每公里造价比普通沥青混凝土面层提高 25%~50%; 二是美国研究开发了超级路面技术 (Superpave), 并迅速在美国得到推广应用, 逐步代替马歇尔设计方法和维姆设计方法, 2000 年度估计有超过 3 900 个项目、13 400 万 t 沥青混合料采用 Superpave 方法, 这意味着美国各州 2000 年总的热拌沥青混合料的 62% 采用 Superpave 方法设计, 说明 Superpave 方法已成为大多数沥青混合料设计部门的选择, 也象征这一方法的成熟和被接受。

为此, 湖北省京珠高速公路建设指挥部联合相关单位成立课题组, 专门对沥青混凝土路面结构和施工工艺进行研究, 其技术路线是借鉴 Superpave 技术思想, 结合我国现行规范和湖北省京珠高速公路的沿线

气候、交通量的实际情况, 重点解决沥青混凝土路面水损害、高温车辙和重载破坏的技术难题, 研究开发沥青混凝土路面新结构, 寻求沥青混凝土路面施工工艺及质量控制的有效方法。

## 1 路面结构试验比选

### 1.1 材料选择

沥青混凝土路面材料选择是按照结构层次的不同功能要求, 根据我国规范的规定, 结合 Superpave 的要求, 遵照就近取材的原则进行选择。上面层采用 I-D 级 SBS 改性沥青, 玄武岩碎石; 中、下面层采用 AH-70 重交沥青, 石灰岩碎石。面层碎石一律采用反击破碎石机加工。对重交沥青和改性沥青除进行规范要求的检测外, 还进行了 SHRP 分级检测, AH-70 重交沥青达到 PG64-22 级, SBS 改性沥青达到 PG76-22 级。碎石和沥青检测结果分别见表 1 和表 2, 各种指标均满足规范或设计要求。

表 1 碎石质量指标

试验项目	石灰岩	玄武岩	技术要求
压碎值/%	24.3	9.1	≤28
粗集料棱角性/%	100	100	100
针片状含量/%	9.5	2.5	≤15
磨光值 BPN		48	≥42
磨耗率/%	23	7	≤30
砂当量/%	86	82	≥50
坚固性/%	9	5	≤12

万方数据

收稿日期: 2004-09-03

表 2 AH-70 重交沥青和 SBS 改性沥青试验结果

沥青品种	指 标		规范要求	测试值
中、下面层用 AH-70 重交沥青 (PG64-22)	针入度(25 C, 100, 5 s)/0.1 mm		60~80	65.5
	延度(5 cm/min, 15 C)/cm		≥100	128
	软化点(环球法)/C		44~54	52.8
	含蜡量(蒸馏法)/%		≤3	0.8
	三氯乙烯溶解度/%		≥99	99.8
	薄膜烘箱试验 163 C, 5h	质量损失/%	≤1	0.24
		针入度比(25 C)/%	≥55	94.6
延度(15 C)/cm		实测	96	
上面层用 I-D 级 SBS 改性沥青 (PG76-22)	针入度(25 C, 100, 5 s)/0.1 mm		≥40	57.5
	针入度指数		≥0.2	1.21
	延度(5cm/min, 5 C)/cm		≥20	35
	软化点(环球法)/C		≥60	86
	弹性恢复(25 C, 10 cm)/%		≥70	81
	薄膜烘箱试验 163 C, 5h	质量损失/%	≤1	0.23
		针入度比(25 C)/%	≥65	83.5
延度(5 C)/cm		≥15	21.4	

1.2 路面结构设计

根据交通量调查和预测结果,湖北省京珠高速公路设计交通量为  $2.8 \times 10^7$  标准轴次,设计弯沉为 19 (0.01 mm),沥青混凝土面层原设计厚度为 16 cm,基层和底基层设计总厚度为 60 cm,路基验收弯沉为 150(0.01 mm)。

为选择最优的沥青混凝土路面结构,课题组针对湖北省高温、多雨和年温差大的气候特点,根据我国规范的规定,借鉴 Superpave 技术方法,按照 16 cm 设计厚度进行结构组合设计,分别选择了 3 种上、中、下面层结构设计方案进行试验比选。具体结构形式见表 3。

表 3 沥青混凝土路面结构选择

结构组合形式	1	2	3
上面层 4 cm	Superpave12.5	AK-16C	AC-16I
中面层 6 cm	Superpave19	AC-20I	AC-25I
下面层 6 cm	Superpave25	AC-25I	AC-25I

1.3 配合比设计

沥青混凝土面层的配合比设计根据路面结构形式的不同,分别采用马歇尔方法和 Superpave 方法进行设计,并进行了抗车辙性能和抗水损害性能检验,试验结果见表 4 和表 5。Superpave19 和 Superpave25

按照最大交通量水平设计,其  $N_{ini} = 9, N_{des} = 125, N_{max} = 205$ ,而 Superpave12.5 由于工作的疏忽,设计交通量水平低一个档次,其  $N_{ini} = 8, N_{des} = 109, N_{max} = 174$ 。从表中试验结果可见,各种技术指标均满足我国规范要求,AC-20I 与 AC-25I 抗车辙能力和抗水损坏能力相近,前者略好;Superpave19 和 Superpave25 抗水损坏能力相近,但是前者抗车辙能力更强,两者都比 AC-20I 和 AC-25I 更优。根据试验结果,采用相同的沥青和碎石,不同路面结构的使用性能从高到低的顺序是 Superpave19、Superpave25、AC-20I 和 AC-25I。

表 4 沥青混合料的目标配合比

层 位	上 面 层		中 下 面 层	
	AK-16C	AC-16I	AC-25I	AC-20I
级配类型				
最佳油石比/%	5.0	5.0	4.1	4.45
空隙率/%	4.0	3.9	3.5	3.5
稳定度/kN	16.65	16.61	15.88	24.68
流值/0.1 mm	67	34	33	26
饱和度/%	80.4	79.42	74.64	76.34
动稳定度/(次/mm)	3 925	4 200	1 186	1 272
残留稳定度/%	96	97	76	79

表 5 Superpave 目标配合比设计

结构类型		Superpave12.5	Superpave19	Superpave25	技术标准
Superpave	沥青含量/%	4.7	4.14	3.86	
	%Gmm@min	85.6	84.6	83.8	<89
	%Gmm@max	97.1	97.8	96.1	<98
	空隙率/%	4.1	4	4	4%
	饱和度/%	72.5	70.1	69.5	65~75
	VMA/%	14.9	13.4	12.9	上>14,中>13,下>12
Marshall	粉胶比	1.4	1.2	1.4	0.8~1.6
	击实次数/次	75	75	75	中、下 75, 上 50
	稳定度/kN	13.56	10.1	9.4	>7.5
	流值/0.1 mm	43.18	33	28	中、下 20~40, 上 20~50
	空隙率/%	4.8	4.9	4.2	3~6
	饱和度/%	70.2	66.0	68.2	中、下 70~85, 上 60~75
动稳定度/(次/mm)		5 727	2 208	1 370	>75

注: Superpave12.5 经过 AASHTO T 283 水敏感性检验, 冻融劈裂强度比为 90.9%, 汉堡车辙试验(温度、次数)小于 2.0mm, 均满足 Superpave 技术要求。

## 2 试验路比选

为模拟湖北省京珠高速公路的交通量(15 年累计标准轴载作用次数为  $2.8 \times 10^7$  次)、气候实际情况, 寻求合适的沥青混凝土路面结构, 课题组在 107 国道郑店段修建了试验路。在试验路施工过程中进行了各种试验检测, 通车后又进行了跟踪观测, 取得了大量试验数据。试验路自 2000 年 5 月 1 日建成通车, 经历了 4 个冬、夏的高、低温气候考验, 根据武汉市气象站记录资料显示: 最低气温  $-5^{\circ}\text{C}$ , 下雪天气共 5 d, 霜冻天气 60 d; 最高气温  $42^{\circ}\text{C}$ , 连续 7 d 最高气温  $38^{\circ}\text{C}$ , 发生在 2003 年 7 月 17 日~23 日。根据交通量调查, 至 2001 年 12 月 31 日, 交通量为  $5.23 \times 10^6$  标准轴次。虽然试验路经历了高温气候、雨雪天气, 以及超载、重载车辆的考验, 未出现一处坑洞或松散, 只是由于路面结构不同、车辆行驶速度和方向不同, 路面车辙深度和变形性能有明显差异。从试验路使用情况来看, 基本达到预期目的, 可以认为几种路面结构都有效地防止了沥青混凝土路面的水损坏; 从路面抗变形能力的差异可以找到最适合湖北省京珠高速公路的路面结构。

试验路施工过程中发现, Superpave 混合料压实难度大, 需要较大的压实功才能碾压密实, 因此必须高度重视碾压工艺, 压路机应紧跟摊铺机, 采取高温、高频和低频振动碾压方式。特别是对于 SBS 改性沥

青混合料, 应在第一次碾压时就起振, 这样有利于后期的碾压和混合料保温。碾压过程中应避免在温度敏感区起振, 并控制碾压速度。最大公称尺寸 19 mm 以上的 Superpave 混合料部分空隙为连通的, 因此在多雨地区应避免全部采用 Superpave 混合料, 否则水分可能渗入沥青混凝土面层或基层, 引起路面水损坏。AC-25I 型混合料和 Superpave25 摊铺后都容易离析, 作为沥青混凝土路面的结构层必须解决离析问题; 对于设计厚度 6 cm 的沥青混凝土面层也不容易压实, 这 2 种结构均不宜用作中面层或下面层。Superpave19 比 AC-20I 具有更高的抗车辙能力, 但是密水性不及后者, 在选择好材料和做好配合比的情况下, 后者的动稳定度也能达到 1 200 次/mm 以上, 完全满足规范要求, AC-20I 型混合料更适合南方多雨地区的中面层。

试验路一侧为上坡, 另一侧为下坡, 坡率 3% 左右。该段重载车多, 行车速度 30~50 km/h, 实测 1999 年平均日标准轴次为 7 690 次。通车 1 年后进行后期观测, 各种结构的平均车辙深度见表 6。现场观测发现在 AC-16I 最大车辙处出现长度为 20 cm 的纵向裂缝, 在 AK-16C 上也有一处车辙深度达到 14 mm, 可能与基层回弹模量低有关(该处上基层为二灰碎石, 施工时含水量过高, 压实度 92% 左右)。从表 6 可见, Superpave12.5 试验路抗车辙能力优于

AK-16C和AC-16I,后者最差。在AK-16C部分路段路面变形严重,路面标线扭曲,AC-16I路段标线略有扭曲,在Superpave12.5段基本没有变形。

表6 路面完工1年后车辙深度

路面结构	AC-16I	AK-16C	Superpave 12.5-1	Superpave 12.5-2
点数/个	13	9	7	7
最大/mm	13.5	6	4	4
最小/mm	2	1.5	1.5	0
平均/mm	5.93	3.69	2.21	2.36

路面通车15个月在车辙部位取芯检测压实度和空隙率变化,发现上、中、下面层空隙率都有不同程度降低(图1),说明行车对路面有一定的追密作用。从图中可见,Superpave结构空隙率降低最少,而AC-1型结构降低最多,这也说明前者具有更高的抗车辙能力。

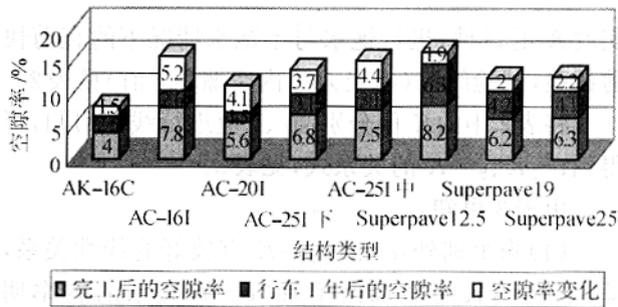


图1 沥青混凝土路面使用前后空隙率变化

表7 AC-20S级配范围

筛孔尺寸/mm	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通过率/%	100	90~100	75~90	68~81	57~70	36~49	25~35	15~25	10~20	6~16	4~12	3~7

对于不同材料、不同结构层次严格进行三阶段配合比设计,经监理工程师认可后才允许正式施工。配合比一旦确定后就不能随意更改,当材料发生变化时就必须重新进行配合比设计。施工过程中强化拌和、摊铺和碾压工艺控制,确保拌和和摊铺均匀,温度必须合适,采取紧跟摊铺机、高频低幅振动碾压,振动压路机和重型胶轮压路机组合碾压。同时,进行压实度和平整度跟踪检测。加强质量检测,每工班应进行2次以上沥青混合料抽样,及时进行级配、油石比和马歇尔试验,现场压实采取压实度和空隙率双重指标控制,每天必须向监理工程师和业主报送质量日报。

### 3.3 实体工程缺陷分析

湖北省京珠高速公路自通车以来,路面保持了良

## 3 工程实践

### 3.1 路面结构设计

经过大量的室内试验和试验路比较,Superpave12.5混合料抗车辙能力明显优于AC-16I和AK-16C混合料,适合交通量大的高速公路。Superpave19也优于AC-20I、AC-25I和Superpave25,后两者在厚度为6cm的情况下施工过程中容易离析,质量不易控制。综合比较各方面的路用性能,根据湖北省境内京珠高速公路的气候特点、我国规范的规定和路面原施工图设计,湖北省京珠高速公路主线300km沥青混凝土路面上面层采用4cm Superpave12.5、中面层采用6cmAC-20I、下面层采用6cmAC-20S。值得说明的是,AC-20S是课题组研究开发的一种新结构,借鉴Superpave技术方法选择级配(其级配呈“S”型,见表7),用马歇尔方法确定油石比,其抗车辙能力比AC-20I更强。

### 3.2 施工控制

优质的材料是工程质量的重要保证,施工过程中采取了一系列的措施控制碎石质量:选择质量可靠的碎石料源;统一采用二破加工;硬化料场,按规格分开堆放;对细集料搭棚存放,强化进场质量检测验收。对于重交沥青和改性沥青,每车进场后检查出厂检验报告,同时由施工单位、监理单位和供应商联合抽样和留样,迅速检测3大指标及老化后的指标,杜绝不合格沥青进罐。

好的使用状态,但是在少数大纵坡的地段以及施工控制不良地段出现了车辙,课题组进行了跟踪检测和分析。

#### 3.3.1 大纵坡路段车辙

在大悟山区K32~K33上坡路段出现了车辙,该段最大坡度达到3.8%,由于纵坡过长、过大,车辆荷载过重,行车速度低,通车1年后出现车辙,最大车辙达到3cm。课题组进行了取芯和横向切面调查,发现车辙主要发生在中、下面层,上面层Superpave12.5变形量只占车辙变形的5%~10%,中面层占55%~70%,下面层占25%~30%。取芯后偶然发现在钻孔位置由于没有及时填补,3d后上面层

文章编号: 0451-0712(2004)12-0102-04

中图分类号: U414.103

文献标识码: B

# 堤土强度特性和变形特性的试验研究

任新玲

(山西省交通规划勘察设计院 太原市 030012)

**摘要:** 对有代表性路堤填土(低液限粘土)进行了大量的室内试验,并以室内试验结果为基础,研究分析了压实度和含水量对堤土强度特性和变形特征的影响。

**关键词:** 压实度;含水量;变形;强度

公路路基是公路的重要组成部分,其强度特性和变形特性是确定路面结构类型及厚度的重要依据,又是保证路面稳定性的基础。在山区公路建设中,遇到大量的高填方路堤,其稳定性直接依赖于填料压实后的强度与变形特性。因此,研究路堤填土(简称堤土)的强度特性与变形特性,对路堤的稳定性有着重要意义。

## 1 堤土物理参数试验

堤土的物理参数试验依据《公路土工试验规程》(JTJ 051-93)进行,试验结果见表 1。按塑性图,该堤土为低液限粘土,对其进行了重型击实试验,最大干密度为  $1.98 \text{ g/cm}^3$ ,最佳含水量  $12.75\%$ 。

## 2 压实度和含水量对强度特性的影响

根据击实试验结果,制备不同含水量  $\omega$ 、不同压

表 1 堤土物理参数试验结果

比重 $\frac{g}{\text{cm}^3}$	液限 $\omega_L$ %	塑限 $\omega_p$ %	塑性指数 $I_p$ / %	最大干密度 $\rho_{dmax}$ / ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	最佳含水量 $\omega_{op}$ %
2.71	28.7	15.0	13.7	1.98	12.75

实度  $K$  的试件,进行饱水与不饱水情况下的直剪快剪试验,试验结果(内聚力  $c$ 、内摩擦角  $\varphi$  值)见表 2。

将表 2 中的  $K$  值分别与  $c$ 、 $\varphi$  值进行线性回归,可得到  $c \sim K$ 、 $\varphi \sim K$  的关系式,见表 3。

由表 3 可知:

(1)除个别外, $c \sim K$ 、 $\varphi \sim K$  有较好的线性关系,即  $c$ 、 $\varphi$  随着  $K$  的增加而增加, $c \sim K$  关系的斜率明显大于  $\varphi \sim K$  关系的斜率,说明压实度  $K$  对内聚力  $c$  的影响比对内摩擦角  $\varphi$  的影响大;

(2)不饱水情况下  $c \sim K$  关系的斜率大于饱水情况下的斜率。当  $\omega$  小于最佳含水量时,不饱水情况

收稿日期:2004-06-10

保持了原样,而中面层混合料向孔心位置流动,孔径明显减小。对该段处理采用改性沥青 AC-20S 混合料作中面层,上面层采用 Superpave12.5,经过 2 个高温季节,特别是 2003 年 7 月下旬至同年 8 月上旬持续  $38 \sim 42 \text{ }^\circ\text{C}$  高温天气和重载交通的考验,仍然保持良好的使用状态。

### 3.3.2 局部路段车辙

在某些局部路段也出现了车辙,通过调查施工原始记录和现场取芯,发现这些路段存在一些共同问题:一是拌和机质量不稳定,不能有效地控制级配,主要是细集料偏多,沥青混合料空隙率偏低,少数地方石油比偏高;二是碾压方式不合适,没有采用重型轮

胎压路机或振动式压路机碾压,以致不能发挥集料的嵌挤作用;三是车辆超载严重,根据 2003 年交通量调查结果,发现载重车普遍超载,平均轮胎气压达到  $0.8 \text{ MPa}$ ,最大  $1.2 \text{ MPa}$ ,最大轴重达到  $42 \text{ t}$ ,最大整车重达到  $106 \text{ t}$ ,交警检查发现有 1 台车严重超载,货物竟然需要 7 台车才能安全转运。

## 参考文献:

- [1] 湖北省京珠高速公路沥青路面结构与施工工艺研究报告[R]. 2003.
- [2] 余叔藩,译. Superpave 水准 1 沥青混合料设计[M]. 1997.