

# Superpave 沥青混凝土路面技术的应用

李小利

(路桥集团第一公路工程局一公司 北京市 102205)

**摘 要:** 着重介绍了美国 Superpave 沥青混凝土路面技术在湖北京珠高速公路应用中的配合比、施工要点和质量控制,并总结了几点体会。

**关键词:** Superpave 沥青混凝土路面技术; 配合比; 施工; 质量控制

## 1 Superpave 沥青混凝土路面技术

1982 年 10 月,美国运输部联邦公路总署(FHWA)委托国家研究中心所属的交通运输部“在短时间内实施集中的、战略性的公路研究计划(Strategic Highway Research Program,简称 SHRP),以取得具有投资效益的成果,这就是美国战略性公路研究计划 SHRP 的由来。美国战略性公路研究计划(SHRP)是道路部门一项划时代的研究项目,它的研究成果将会给国际公路事业做出巨大贡献。SHRP 从 1984 年设立办公室,经过约 5 年的研究,形成了包括材料规格、实验方法、混合料配合比设计、使用性能评价等的“沥青及沥青混合料路用性能规范”,简称 Superpave,这个体系的一整套沥青结合料的路用性能规范和沥青混合料性能规范尤其引人注目。

## 2 湖北京珠高速公路采用 Superpave 技术的背景

湖北京珠高速公路北段所属地区夏季高温时间

长,温度高,为四大火炉之一,且本地区在梅雨季节和夏季雨量充沛,这种环境条件意味着其沥青混合料的路用性能除应具备良好的低温抗裂性、良好的耐久性、足够的抗滑能力外,还应具有足够的高温稳定性和良好的水稳定性。湖北京珠高速公路沥青混凝土面层原路面结构表面层采用 AK16 结构,为了优化设计,省指挥部聘请专家进行研究咨询和论证,我们也将 Superpave12.5 和 AK16 进行了路用性能对比试验,其结果见表 1~表 3。

从上述结果可看出,两种结构的抗水损坏性能 and 高温车辙性能都合格,但 Superpave12.5 结构比 AK16 结构路用性能更为优越,因此京珠高速公路表面层采用 Superpave12.5 结构。

## 3 材料要求

(1)集料采用武汉京山玄武岩,此玄武岩开采时采用隧道式开采,避免分化部分混入片石中,碎石机安装了抽取粉尘装置,严格控制粉尘含量,集料按粒

收稿日期: 2005-09-14

## 5 结语

(1)用真空预压法加固高速公路软基,加固效果明显,沉降速率较快,最大速率远远超过堆载预压规范允许值(10 mm/d)。

(2)真空预压具有真空荷载和预压荷载双重的作用效果,在堆载过程中地基土产生的侧向挤出变形与真空荷载作用下产生的侧向收缩变形相抵消;另一方面,真空荷载作用下地基土已发生固结,强度有所增长,从而可以使堆载速度很快而不至于发生失稳破坏。

(3)真空预压较堆载预压加固深度要大,可以加速下卧软弱土层的主固结,减少下卧软弱土层部分次固结沉降,减少了工后沉降。

(4)真空预压施工管理和质量检验简单易行。

(5)经过在金丽温高速公路软基处理中的成功应用,说明真空预压法所采用的设计理论、施工工艺是成熟的,可以在温州地区加以推广应用。

(6)真空预压法被证明在技术上可行,经济效益明显,故值得优先采用。

表 1 两种路面结构试验级配情况

级配类型		通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%									
		0.075	0.15	0.3	0.6	1.18	2.36	4.75	9.5	13.2	16
Superpave12.5	标准级配	3~7	4~11	6~16	10~19	17~26	28~39	46~58	74~86	90~100	100
	试验级配	5.5	8.7	11.2	17.0	22.7	34.5	54.7	78.1	91.0	98.6
AK16	标准级配	4~8	7~12	10~16	13~19	18~26	28~36	40~50	61~73	76~86	93~100
	试验级配	6.1	8.5	10.5	15.4	20.2	29.7	45.0	66.1	84.1	97.6

表 2 两种路面结构旋转压实与马歇尔击实结果

性能		混合料标准	Superpave12.5	AK16
最大理论相对密度		—	2.68	2.673
Marshal 击实试验	稳定度/kN	≥8	14.4	15.0
	流值/0.1 mm	20~50	48.5	45.4
	空隙率/%	3~6	4.1	4.3
	矿料间隙率/%	≥14	16.25	17.0
	沥青饱和度/%	65~80	74.8	74.7
Superpave 旋转 压实试验	初始压实比/%	≤89	87.5	88.0
	设计压实比/%	≈96	96.0	97.9
	最大压实比/%	≤98	97.1	99.1
	空隙率/%	≈4	4.0	2.1
	矿料间隙率/%	≥14	15.85	14.46
Superpave 预测结果 4%空隙率	沥青饱和度/%	65~75	74.79	85.15
	预测油石比/%		5.1	
	矿料间隙率/%	≥14	15.85	
	沥青饱和度/%	65~75	74.77	
	初始压实比/%	≤89	87.47	
	最大压实比/%	≤98	97.1	
	有效沥青量/%		4.52	
粉胶比		0.8~1.6	1.22	

表 3 两种路面结构路用性能试验结果

路面结构	冻融劈裂残留强度比/%	动稳定度/(次/mm)
Superpave12.5	98.4 合格(空隙率8.0%)	5 568 合格(油石比5.1%)
AK16	86.3 合格(空隙率5.5%)	3 785 合格(油石比4.9%)

注：两种结构均采用同种材料和各自的最佳油石比。

径大小分为<2.36 mm(4 号)、2.36~4.75 mm(3 号)、4.75~9.5 mm(2 号)、9.5~19 mm(1 号)等四级,表面层全部采用玄武岩机制砂,集料技术指标见表 4。

(2)矿粉采用石灰岩经磨细加工而成,其技术指标见表 5。

表 4 表面层玄武岩碎石质量指标

指标	标准
石料压碎值/%	<28
洛杉矶磨耗损失/%	≤30
磨光值/BPM	≥42
视密度/(t/m³)	≥2.5
吸水率/%	≤2.0
对沥青的粘附性	≥4 级
坚固性/%	≤12
细长扁平颗粒含量/%	≤10
泥土含量/%	≤1
软石含量/%	≤4

表 5 矿粉技术指标

指标		标准
视密度/(g/cm³)		≥2.5
含水量/%		≤1
粒度范围/%	<0.6 mm	100
	<0.15 mm	90~100
	<0.075 mm	75~100
外观		无团粒结块
亲水系数		<1
塑性指数		<4

(3)沥青表面层使用 1—D 级 SBS 改性沥青,其技术指标见表 6。

4 配合比设计

混合料级配和技术指标要求见表 7。

Superpave 混合料要求集料级配通过控制点,避开禁区,级配曲线远离最大密度线以获得足够的矿料间隙率,级配的上下限建立在所选集料尺寸的控制点,表 7 所列级配范围是从禁区下方通过的级配,混合料技术指标要求见表 8。

表 6 SBS 改性沥青技术指标

指标		标准
针入度(25 ℃,100 g,5 s)/0.1 mm		40~60
针入度指数 <i>PI</i>		>0.2
延度(5 cm/min,5 ℃)/cm		>30
软化点(环球法)/℃		>70
闪点(COC)/℃		>230
溶解度(三氯乙烯)/%		≥99
弹性恢复 (25 ℃,10 cm)/%		>80
薄膜烘箱 试验 163 ℃ 5 h	质量损失/%	≤0.3
	针入度比(25 ℃)/%	≥65
	延度 (5 ℃)/cm	≥20

表 7 Superpave12.5 混合料集料级配范围

筛孔尺寸/mm	19	12.5	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.75
级配下限/%	100	90	74	46	28	17	10	6	4	3
级配上限/%	100	100	86	58	39	26	19	16	11	7

表 8 混合料技术指标要求

项目	单位	技术指标
击实次数	次	双面 75
稳定度	kN	10
流值	0.1 mm	20~50
空隙率	%	3~6
饱和度	%	65~80
矿料间隙率	%	≥14
残留稳定度	%	≥80
动稳定度	次/mm	≥3 000
残留强度比	%	≥80
弯拉强度	MPa	≥1.5
旋转压实次数	按照美国交通量标准 ESALS 大于 3 000 次控制	

目标配合比为 1 号 : 2 号 : 3 号 : 4 号 : 矿粉 = 20 : 39 : 15 : 21 : 5,油石比为 5.1%,其实测密度为 2.563 g/cm<sup>3</sup>,理论密度为 2.665 g/cm<sup>3</sup>,空隙率为 4.4%,饱和度为 75.0%,稳定度为 11.25 kN,流值为 4.21 mm,残留稳定度为 87.6%。

沥青拌和站按目标配合比 1 号 : 2 号 : 3 号 : 4 号 : 矿粉 = 20 : 39 : 15 : 21 : 5 进行冷料输入,分别安装了 24 mm、12 mm、7 mm、3×4 mm 四层振动筛,实验室进行反复筛分,确定各热料仓的材料比例为 4 号仓 : 3 号仓 : 2 号仓 : 1 号仓 : 矿粉 = 22 : 22 : 21 : 31 : 4,油石比取 5.1%,其实测密度为 2.544 g/cm<sup>3</sup>,

理论密度为 2.658 g/cm<sup>3</sup>,空隙率为 4.4%,矿料间隙率为 16.5%,饱和度为 74.0%,稳定度为 11.14 kN,流值为 4.38 mm,残留稳定度为 86.5%。

5 施工要求

5.1 混合料拌和

Superpave 混合料中细集料用量少,缺乏传热介质,因此需要较长的加热干燥时间,对于吸水量大的玄武岩碎石也需要延长加热干燥时间。

Superpave 混合料在集料加热、提升筛分及拌和过程中,集料接触点易被磨损,磨损程度随集料的硬度、棱角性和相对密度变化而变化。硬度高、相对密度大、棱角多的集料磨损程度大。施工过程中应经常进行抽提试验,检验混合料级配。

由于 Superpave 混合料碾压困难,散热快,因此应比普通热拌改性沥青混合料提高拌和温度 5~8 ℃。

改性沥青与重交沥青劲度不同,混合料拌和前应对泵送沥青胶结料计量表的标定结果进行验证,必要时重新进行标定。

改性沥青的 Superpave 混合料应根据拌和机型适当延长拌和时间,确保混合料拌和均匀,无花白料。

Superpave 混合料运到工地前应检查出料温度,发现温度过高或过低时及时通知拌和站控制室,以便及时调整混合料的拌和温度,保持出料温度的稳定。

粉尘含量高的玄武岩碎石,二级除尘不得使用。

5.2 混合料的运输

Superpave 混合料沥青膜厚度大,使用改性沥青后更易粘结在车厢板上,也难于从卡车上清除,因此运料车必须要有清洁光滑的底版,装料前应用洗衣粉水溶液作为隔离剂,每车卸料完成后应将车厢清理干净,不得残留混合料。

Superpave 混合料出料温度高,不宜长期储存,拌和后应及时运至施工现场,且摊铺机前运输车数量不得多于 5 辆,减少沥青胶结料过度老化。

运输车辆应按照前、中、后的顺序进行装料,并保持运输车中轴线与拌和机卸料斗中线一致,减少 Superpave 混合料的离析。

当运输距离长或风力大时,运输车应采取保温覆盖措施,避免表面 Superpave 混合料温度降低过快而结成硬壳及温度损失,影响其摊铺性能。

5.3 混合料摊铺

Superpave 混合料摊铺过程中,摊铺机行走速度应与拌和机供料速度均衡,匀速行走,减少停机次数。

Superpave 混合料具有良好的摊铺性能,一般不会产生离析,但如果摊铺机性能不好,螺旋布料器埋深太浅,供料不充分或转速不均匀,也会出现离析。

#### 5.4 混合料压实

Superpave 混合料散热快,有效碾压时间短,必须配备足够数量的压路机。

压路机应紧跟摊铺机碾压,用 2 台压路机从路面两侧向中央平行作业,初压应在不产生明显推移的情况下振动碾压,复压采用震动压路机高频低幅起振碾压以及胶轮压路机碾压。终压采用钢轮压路机碾压,消除轮迹。碾压过程中不应大量喷水,以防混合料表面冷却过快。

Superpave 混合料一般在  $93\sim 115\text{ }^{\circ}\text{C}$  时存在一个不稳定区,在这个温度以上或在这个温度以下能进行碾压,可在这个温度范围内是不稳定的。在这个不稳定区可用胶轮压路机碾压,不应用钢轮压路机碾压,更不应起振。

由于 Superpave 混合料要求集料要有较多的棱角,使用改性沥青时压实困难,需要更多的压实功,在条件许可的情况下可以提高碾压温度,以获得足够的碾压时间,在温度高于不稳定区时起振碾压获得足够的密度是最佳选择。在散热快的天气,选择的方案是在不稳定区以上使用双钢轮压路机进行碾压,接着用胶轮压路机在不稳定区碾压,终压可在混合料冷却到不稳定区以下进行,但温度不宜低于  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

由于混合料在冷却到  $93\text{ }^{\circ}\text{C}$  以下用振动碾压会造成集料过度压碎,因此在  $93\text{ }^{\circ}\text{C}$  以下不应再振动碾压。

由于压路机折返地点易出现推拥,影响路面平整度,压路机来回碾压长度应根据摊铺机行走速度合理控制,一般控制在  $30\sim 50\text{ m}$  的范围之内,既能获得足够的压实度,又能提高路面平整度。

Superpave 混合料碾压过程中应不断检查混合料的温度,指导压路机采取合适的碾压方式,提高碾压效率。

Superpave 混合料不宜过度碾压,否则会损害集料棱角或导致沥青膜厚度不匀,影响沥青路面耐久性。

碾压完成后应及时修边,保证路容路貌的美观。

## 6 施工参数

### 6.1 拌和参数

拌和机型:日本田中铁工 ATP3000 型,产量  $240\text{ t/h}$ 。

骨料加热温度: $180\sim 190\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,通常在气温较高时设定为  $185\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,在夜间或有风天气设定为  $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

沥青加热温度: $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

混合料出场温度: $175\sim 185\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

拌和时间:干拌  $5\text{ s}$ ,加沥青后拌和  $35\text{ s}$ 。

### 6.2 摊铺参数

摊铺机型:弗格勒 2500。

单机摊铺宽度: $11.75\text{ m}$ 。

摊铺速度: $3.0\sim 4.0\text{ m/s}$ 。

摊铺温度: $165\sim 175\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

虚铺系数:1.2。

### 6.3 碾压参数

碾压方式:紧跟摊铺机连续不断渐进碾压。

压路机型:英格索兰 DD-110 共 4 台,  $16\text{ t}$  胶轮压路机 1 台。

碾压组合:在摊铺机后  $30\sim 40\text{ m}$  范围内保证 3 台双轮双振英格索兰 DD-110 高频低幅连续进行碾压,不分段落,压路机从一侧向另一侧梯进压实。初压采用振动方式,另一台 DD-110 压路机在加水加油时替换其他压路机和执行终压。实践证明,这种压实方法快速、高效,在混合料高温时就给予压实功,压实效果好。当混合料温度在  $115\text{ }^{\circ}\text{C}$  以下时采用轮胎压路机碾压,再用双钢轮静压光面。

初压温度: $160\sim 170\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

达到压实度温度: $115\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上。

终压温度: $90\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$

## 7 质量控制

Superpave 混合料与常规沥青混合料不同,如果沥青混合料用马歇尔试验的空隙率低于  $4\%$ ,其压实性能不能达到旋转压实的要求,那么混合料的级配不具有 Superpave 混合料的压实性能。已有经验表明采用最大交通量水平确定的旋转压实次数压实混合料的空隙率为  $4\%$  时,采用马歇尔击实的空隙率要控制在  $4.4\%\sim 5.2\%$ 。

Superpave 路面压实效果采用空隙率和压实度双重指标控制,对于抗滑表层,要求空隙率小于  $8\%$ ,压实度大于  $97\%$ ,最大理论密度采取现场实测确定。

集料级配变化会显著影响混合料的性能,因此

应加大抽检频率,拌和机工作正常后应及时抽样检验混合料的级配和油石比,发现级配或油石比不符合要求时应及时调整。

摊铺现场工作人员与拌和场人员的通讯联系非常重要,如果压路机下的混合料不对劲,很可能拌和站出现了问题,最常见的是集料含水量的变化,含水量的变化对热拌沥青混合料的处置和压实特性都有重要影响,有时拌和站的细小变化就会引起压实过程中很重要的变化,因此发现混合料不对劲就要与拌和站联系,检查混合料拌和是否有变化。Superpave 混合料易出现的特殊问题及解决方法见表 9。

表 9 Superpave 混合料易出现的特殊问题及解决方法		
问题	可能原因	可能解决办法
滴漏	1. 拌和料温度太高 2. 胶结料用量太高	1. 降低温度 2. 使用更稠沥青 3. 增加矿粉 4. 减少胶结料用量
现场渗透	1. 密度偏低空隙率偏高 2. 混合料离析 3. 级配发生变化	1. 增加压实功 2. 提高初压温度 3. 避免在不稳定区碾压 4. 检查混合料级配 5. 减轻混合料离析
在压路机下横向推移	1. 不稳定混合料 2. 沥青用量偏高 3. 碾压温度偏高 4. 压路机过重	1. 避免在不稳定区碾压 2. 改变碾压方式 3. 终压在不稳定区温度以下进行
施工和易性差	1. 粗级配混合料 2. 改性沥青	1. 增加温度 2. 减少人工作业

### 8 Superpave12.5 沥青表面层检测结果

经过湖北省交通厅质检站对一、二合同段 40 km 沥青表面层验收,各项指标均达到设计要求,压实度达到 97%以上,现场空隙率控制在 5%~8%范围之内,用摆式仪测得摩擦系数在 48~55 之间,铺砂法测得构造深度在 0.8~1.0 mm 之间,用颠簸仪测得平整度标准差为 0.62 mm。

### 9 几点体会

(1)Superpave 混合料对集料的级配要求非常严格,在关键筛孔要严格进行控制,其主要筛孔为 12.5 mm、2.36 mm 和 0.075 mm,在 2.36 mm、0.3 mm筛孔要接近中值。

(2)施工空隙率指标的控制要采用现场实测最大理论密度计算以提高准确性,有时计算理论密度与实测理论密度差距较大,会导致施工空隙率指标失真。

(3)要正确认识压实度的重要意义,达到压实度是为了使空隙率控制到8%以下,从而达到路面防渗水的目的(空隙率在8%以下时基本不渗水,在8%~15%时易渗水,且不易排除,对路面产生危害)。其次,若达不到压实度指标,路面在使用期间的变形严重,导致平整度的迅速衰减。有的施工单位为了片面追求平整度指标而不在高温时立即进行碾压,从而达到压实度指标,使路面质量形成隐患。

(4)Superpave12.5 混合料在摊铺过程中非常均匀,具有良好的摊铺性能,一般情况下不产生离析,在实践的基础上可采用一台摊铺机全幅进行摊铺,在湖北京珠路面上单机全幅摊铺效果非常好。

(5)Superpave12.5 混合料具有良好的稳定性,摊铺机摊铺后可立即用钢轮压路机振动碾压,不产生明显的推移。这可以使混合料在高温时获得足够的压实功,从而达到合格的压实度。实践证明,初压采用振动碾压方式对平整度无明显影响,施工完成后用颠簸仪连续测量 40 km,路面平整度的标准差为 0.62 mm。

(6)采用改性沥青时,胶轮压路机在高温时就进行碾压及易粘轮而造成油泡和集料表面油膜的破坏,我们觉得在高温时用钢轮振动碾压达到压实度,而在温度不稳定区采用胶轮揉压,是比较合理的碾压组合方式。

### 10 结语

Superpave 沥青混凝土路面技术已引起了世界范围内的广泛关注,在国内处于实验和试用阶段,还需大量的探索和总结,使这项技术的应用更加成熟。