

关于沥青面层 Superave 混合料设计初步研究

祖洪刚

安谱检测技术(江苏)有限公司, 江苏 苏州 215151

[摘要]随着我国建设项目迅速发展,土建的配套及市政项目大多采用沥青混凝土路面。尤其是近年的城市快速路及交通项目,越来越多沥青路面采用 Superave 混合料(以下简称 Sup 混合料)。Sup 热拌沥青混合料比常见的 AC 密级配混合料具有更好的高温稳定性,水敏感性更可靠。本文就 Superave 混合料技术指标和配合比试验分析及水敏感性评估三个方面进行简述,为建设项目道路工程高性能沥青面层提供参考意见。

[关键词] superave 混合料; 配合比试验; 水敏感性

DOI: 10.33142/ucp.v1i6.15210

中图分类号: U414

文献标识码: A

Preliminary Study on the Design of Superave Mixture for Asphalt Surface Layer

ZU Honggang

Anpu Testing Technology (Jiangsu) Co., Ltd., Suzhou, Jiangsu, 215151, China

Abstract: With the rapid development of construction projects in China, most of the supporting civil engineering and municipal projects use asphalt concrete pavement. Especially in recent years, urban expressways and transportation projects have increasingly adopted Superave mixture (hereinafter referred to as Sup mixture) for asphalt pavement. Sup hot mix asphalt mixture has better high-temperature stability and more reliable water sensitivity than common AC dense graded mixtures. This article provides a brief introduction to the technical indicators, mix ratio test analysis, and water sensitivity evaluation of Superave mixtures, providing reference opinions for the construction of high-performance asphalt surface layers in road engineering projects.

Keywords: Superave mixture; mix proportion test; water sensitivity

1 Superave 混合料技术指标

Sup 高性能沥青混合料检测技术指标不同的建设项目设计给出的不尽相同。早在 1989 年,我国在申报“八五”国家重点专题“道路沥青及沥青混合料的路用性能”的可行性报告及立项计划时,就已经将 sup 热拌沥青混合料纳入了我们攻关项目,从 1991 年到 1995 年,历经的五年科研,提出了一整套道路沥青及沥青混合料的新指标,随后对《公路沥青路面施工技术规范》进行了修订,该规范中的配合比设计方法和路用性能指标可作为 Sup 混合料试验重要参考依据。到 2005 年人民交通出版社出版了《高性能沥青路面 Superpave 基础参考手册》,它的技术要求主要参考 AASHTO,该手册以介绍学习为主,其技术指标大多引用美国各州公路及运输协会标准,手册中主要技术指标并未明确。

我国在吸取国内外先进技术后,经过不断努力研究及大量实践,于 2002 年江苏省高速公路建设指挥部发布了苏高技(2002)99 号文《高性能沥青路面(Superave)施工指导意见》,对 Sup 混合料的技术应用和推广具有里程碑式意义;2003 年发布的苏高技(2003)19 号文《高性能沥青路面(Superave-13)施工指导意见(SBS 改性沥青)》,进一步明确给出了 Sup13 混合料体积性质指标和混合料马歇尔指标,使得检测有据可依。到 2005 年发布了苏高技(2005)58 号文《高性能沥青路面(Superave-25)施工指导意见》修订版。同年发布了苏高技(2005)59 号文《高性能沥青

路面(Superave-20)施工指导意见》修订版。为道路工程建设技术进步提供了很高的参考价值。随后地方标准陆续出台,2008 年江苏省市场监督管理局发布实施的 DB32/T 1087—2008《江苏省高速公路沥青路面施工技术规范》,给出了 Sup25 和 Sup20 混合料的级配、体积性质及马歇尔等技术要求。到 2022 年对该规范进行了修订和完善。2021 年贵州省市场监督管理局发布了地方标准 DB52/T 1599—2021《高性能沥青路面(Superpave)施工技术规范》规范列出了 Sup13、Sup20 和 Sup25 三种混合料的技术要求。

2 Superpave 混合料配合比试验分析

根据上述标准结合项目提供设计文件,下面就苏州某建设项目对 Sup13 混合料配合比进行试验研究及验证其各项性能。

2.1 原材料检测

2.1.1 沥青

本次试验所用 SBS(I-D)型聚合物改性沥青。并对其常规试验,试验结果见表 1。

表 1 沥青试验结果

试验项目	单位	SBS(I-D)型聚合物改性沥青
针入度(25℃, 100g, 5s)	0.1mm	46
软化点(环球法)	℃	68.0
延度(5℃, 5cm/min)	cm	27

2.1.2 集料及沥青密度

所用集料为玄武岩，产地浙江湖州，涉及规格有(11~20)mm，(6~11)mm，(4~6)mm，(0~4)mm；矿粉产地为浙江湖州。对各规格集料进行试验，试验结果见表2。

表2 集料相对密度试验结果

规格	表观相对密度	毛体积相对密度	吸水率/%
(11~20) mm	2.872	2.810	0.76
(6~11) mm	2.878	2.814	0.79
(4~6) mm	2.874	2.812	0.76
(~4) mm	2.726	2.668	0.80
矿粉	2.705	—	—
沥青相对密度	1.029		

2.1.3 集料筛分结果

集料检测规程对各档料级配进行试验，试验结果见表3。

表3 集料筛分结果表

筛孔尺寸 (mm)	通过以下筛孔 (mm) 的质量百分数 (%)									
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
(11~20)	100.0	91.0	30.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
(6~11)	—	100.0	99.2	13.2	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
(4~6)	—	100.0	99.1	54.0	2.8	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
(~4)	—	—	—	100.0	82.6	61.4	44.2	31.2	22.8	17.6
矿粉	—	—	—	—	—	—	—	100.0	93.8	81.6

2.2 级配选择

(1) 根据 Sup 有关标准规定，将各档集料及矿粉筛分结果用不同的比例合成粗、中、细三个级配。详见合成级配通过率表4：

表4 合成级配通过率表

筛孔尺寸 (mm)	通过率/%		
	级配 A	级配 B	级配 C
16.0	100.0	100.0	100.0
13.2	97.7	97.5	97.1
9.5	81.7	80.3	77.5
4.75	56.6	52.4	46.4
2.36	32.0	30.8	29.4
1.18	23.7	22.8	21.9
0.6	17.7	16.9	16.2
0.3	13.3	12.6	12.0
0.15	10.3	9.8	9.2
0.075	5.8	5.3	4.9

(2) 根据设计经验拟用4.8%的初始沥青用量，采用旋转压实仪成型试件，设定旋转压实仪的单位压力为600kPa。初始沥青用量下各级配旋转压实试验结果汇总于表5。

根据表5中三种级配的旋转压实试验结果，评价三种级配的混合料在N_{设计}=100次压实达到4%空隙率相应沥青的用量、矿料间隙率、沥青饱和度、粉胶比的压实体积特性。评价结果见表6：

表6 三种级配混合料试验结果评价表

级配	沥青用量/%	矿料间隙率/%	沥青饱和度/%	粉胶比	N _{初始} 压实度/%
级配一	4.6	13.7	74.2	1.4	86.0
级配二	4.8	14.2	71.3	1.2	85.7
级配三	5.0	14.5	69.2	1.1	85.4
设计要求		≥14	65~75	0.6~1.2	≤89

表5 三种试验级配旋转压实试验结果汇总表

级配	计算理论最大相对密度	试件编号	高度/mm		空中重/g	水中重/g	表干重/g	毛体积相对密度	N _{初始} 压实度/%	N _{设计} 压实度/%
			N _{初始}	N _{设计}						
级配一	2.590	1	127.2	113.4	4817.8	2951.1	4819.9	2.498	86.0	96.5
		2	126.3	112.5	4817.2	2953.9	4819.6	2.499		
		3	125.3	111.5	4820.9	2953.0	4823.7	2.501		
		4	126.3	112.7	4819.3	2952.3	4821.7	2.498		
级配二	2.591	1	126.2	112.7	4816.6	2949.9	4819.0	2.486	85.7	95.9
		2	127.3	113.8	4827.6	2955.0	4829.8	2.487		
		3	125.8	112.4	4827.1	2957.9	4830.3	2.486		
		4	126.4	112.9	4828.3	2954.4	4830.2	2.485		
级配三	2.593	1	124.4	111.0	4820.4	2916.9	4822.9	2.479	85.4	95.5
		2	124.0	110.8	4828.4	2922.2	4830.7	2.477		
		3	123.5	110.4	4829.1	2922.1	4830.8	2.475		
		4	123.6	110.4	4818.7	2916.9	4822.3	2.479		

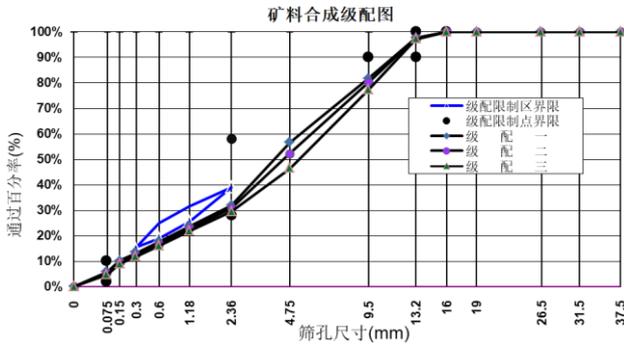


图 1 级配曲线

2.3 确定最佳沥青用量

设计矿料级配确定后,由表 6 根据实际经验估算的沥青胶结料用量 P_b 取 4.8%,按 $P_b \pm 0.5\%$ 四个沥青用量分别拌制沥青混合料成型件。然后计算沥青混合料在初始次数压实 ($N_{\text{初始}}=8$ 次)、设计次数压实 ($N_{\text{设计}}=100$ 次) 的体积特性,绘出空隙率、矿料间隙率、沥青饱和度、粉胶比、初始压实度对沥青用量的关系图(见图 2),确定空隙率为 4% 对应的为设计沥青用量。四种沥青用量旋转压实试验结果见表 7:

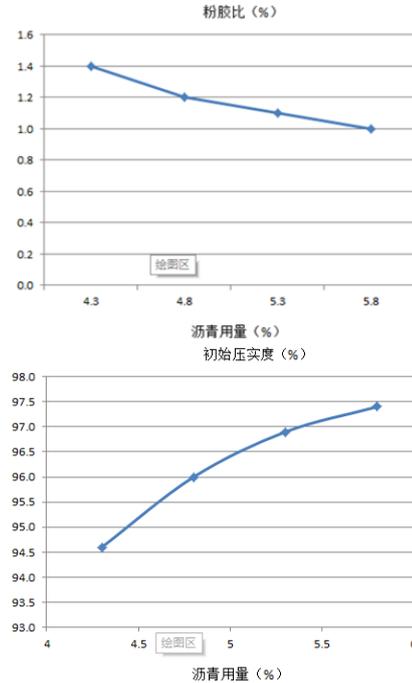
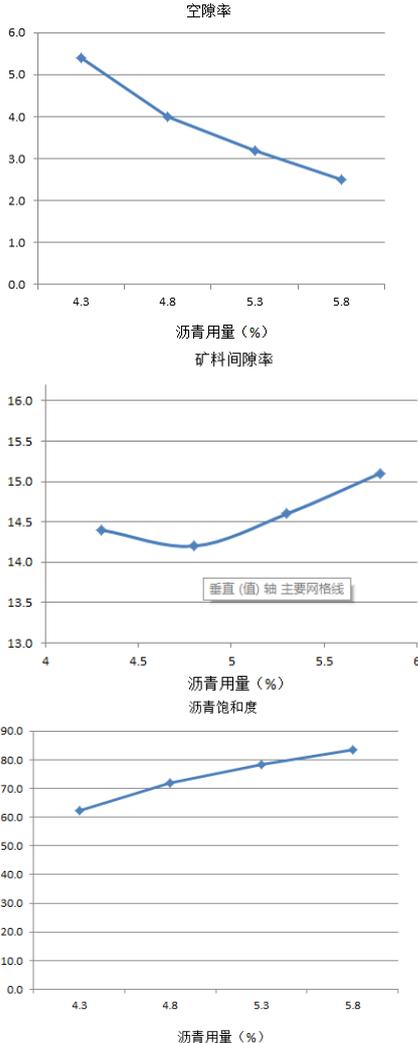


图 2 四种沥青用量与体积特性及初始压实度关系图

注:当级配在禁区下方通过时,粉胶比可取值 0.8~1.6。

表 7 四种沥青用量的沥青混合料体积特性

沥青用量 (%)	VV/%	VMA/%	VFA /%	粉胶比	$N_{\text{初始}}$ 压实度/%	$N_{\text{设计}}$ 压实度/%
4.3	5.4	14.4	62.2	1.4	85.7	94.6
4.8	4.0	14.2	72.0	1.2	87.0	96.0
5.3	3.2	14.6	78.5	1.1	87.4	96.9
5.8	2.5	15.1	83.6	1.0	87.2	97.4
设计要求	4.0	≥ 14	65~75	0.6~1.2	≤ 89	96.0

根据表 7 试验结果和图 2 四种沥青用量与体积特性及初始压实度关系图,查得在 $N_{\text{设计}}=100$ 次旋转压实次数空隙率 4% 对应的的设计沥青用量为 4.8%,故取最佳沥青用量为 4.8%。同时,从图 2 可看出,沥青用量为 4.8% 时,各项技术指标均能满足设计要求。

2.4 最大压实次数验证

按 Superpave 的设计要求验证在 $N_{\text{max}}=160$ 次下旋转压实次数的混合料密度不超过最大理论密度的 98%,为了防止沥青路面在交通荷载下过度压实,成为塑性体从而产生永久变形。因此用设计沥青用量、矿料结构拌制沥青混合料,以最大压实次数 $N_{\text{max}}=160$ 次成型试件,测得最大压实次数的压实度为 98.0%,满足设计标准要求。验证试验结果见表 8:

表 8 验证设计沥青用量、矿料结构试验结果

沥青用量 /%	$N_{\text{初始}}$ 压实度/%	设计压实次数时			粉胶比	$N_{\text{最大}}$ 压实度/%
		$N_{\text{初始}}$ 压实度/%	VMA/%	VFA/%		
4.8	87.4	95.9	14.3	71.3	1.2	98.0
设计要求	≤ 89	96	≥ 14	65~75	0.6~1.2	≤ 98

表 11 沥青混合料马歇尔试验结果

混合料类型	标准条件			浸水 48h			残留稳定度 (%)	要求/%
	VV (%)	稳定度 MS (kN)	流值 FL (mm)	VV (%)	稳定度 MS (kN)	流值 FL (mm)		
Sup-13	4.0	11.09	2.9	3.9	8.91	3.2	86.6	≥85
	4.0	10.80	3.0	4.0	9.19	3.3		
	4.4	11.13	2.6	4.3	9.49	3.0		
	4.3	10.53	2.8	4.2	9.66	3.1		
	4.1	9.92	2.5	4.1	9.05	3.3		
平均	4.2	10.69	2.8	4.1	9.26	3.2		

注：表 12 中冻融劈裂试验标准试样室温，条件试件真空饱水 15min，常压 0.5h，后在-18℃下冷冻 16h，取出放入室温 60℃下 24h。然后将标准和条件试样一同放入 25℃水中 2h。

表 12 冻融劈裂试验结果

混合料类型	标准条件		条件试样		冻融劈裂强度比 (%)	要求/%
	VV (%)	劈裂强度 (MPa)	VV (%)	冻融劈裂强度 (MPa)		
Sup-13	4.0	1.13	3.9	1.02	85.8	≥80
	4.0	1.23	4.0	0.99		
	4.4	1.06	4.3	0.83		
	4.3	1.18	4.2	1.06		
	4.1	1.05	4.1	0.95		
平均	4.2	1.13	4.1	0.97		

根据以上试验确定的矿料级配和设计最佳沥青用量，重新拌制沥青混合料，进行马歇尔试验并进行路用性能验证。经验证，其各项技术指标均能满足规范要求，试验结果见表 9 及表 10。

表 9 沥青混合料马歇尔试验结果

沥青用量 (%)	击实次数	稳定度 MS/kN	流值 FL/mm	VV/%	VFA/%	VM/%	车辙动稳定度 (次/mm)
实测	正反 75 次	10.69	2.8	4.1	71.1	14.4	4371
设计要求	正反 75 次	—	—	3~5	65~80	≥14	≥3000

注：表 10 中低温弯曲试验采用在-10℃下，加载速率为 50mm/min，成型方法为轮碾成型，试验尺寸为 250×30×35mm，跨径 200mm。

表 10 沥青混合料低温弯曲试验结果

试件序号	最大荷载 /N	跨中挠度 /mm	弯拉强度 /MPa	劲度模量 /MPa	破坏应变 /μ ε	要求/μ ε
1	931	0.54	7.6	2672	2835	≥2500
2	965	0.47	7.8	3144	2475	
3	862	0.46	7.1	2929	2408	
4	843	0.50	6.8	2582	2633	
5	907	0.46	7.3	3030	2422	
6	896	0.52	7.2	2616	2746	

3 水敏感性评估

沥青混合料的水敏感性评估对于道路建设和维护至关重要，这直接关系到道路的使用寿命、安全性和维护成本。本次以一组五个试件作为对比试样，另外五个作为条

件组试件。残留马歇尔试验和冻融劈裂试验结果评估水敏感性。试验结果见表 11 和表 12。

4 试验结果分析

通过以上配合比试验结果，Sup-13 混合料各项性能均满足标准及设计要求。混合料配合比试验过程中要几个重点。

首先原材料技术指标合格的前提下，合成级配的结构选择显得尤为重要。通过表 4 合成级配通过率和图 1 级配曲线图的数据来看，级配一属于偏粗的合成，级配三属于一次细的合成，级配二属于中等合成级配，既不靠近控制点，也不接近限制区的级配，这里要注意合成级配要在控制点以内，且必须在限制区边界线以外。数据显示三组级配都在限制区下方，但这不是要求，Sup 混合料相关标准允许但不建议通过限制区上方；

其次 Sup 混合料在压实时注意事项。通常 Sup 混合料须采用旋转压实仪，本次试验拌和温度在 165~170℃之间，压实温度选 165~170℃范围，温度对试样的密实性和高度影响非常大，在压实的过程中需对试件的高度连续监测，通过表 6 级配旋转压实试验结果汇总表结果看，本次试验的温度下高度和密实性数据比较稳定。压实过程中选择次数以交通水平为基础，分别为初始压实、设计压实、最大压实，次数分别为 8 次、100 次及 160 次，最大压实次数检测是建设项目投入运营阶段对超过设计交通荷载量时，造成的塑性和产生永久变形的验证，在 Nmax=160 次下旋转压实次数的混合料密度不超过最大理论密度的 98%，表 7 结果满足标准要求。

然后对确定的沥青用量下马歇尔试验和水敏感性验

证非常重要。表 8 沥青混合料马歇尔试验结果中, 马歇尔试验验证各项指标均满足标准要求, 注意这里的 VFA 指标由原来的 (65~75) % 变为 (65~80) %, 前者是体积特性指标, 后者是马歇尔性能指标。对 Sup 混合料路用性能进行试验中, 包括车辙动稳定度试验和低温弯曲试验。表 9 中测定结果包括弯拉强度、劲度模量、破坏应变, 以评价沥青混合料的高温稳定性和低温抗裂性能。水敏感性评估包括了残留稳定度和冻融劈裂抗拉强度, 通过表 10 结果看, 浸水 48h 后比标准条件养护降低了 1.43Mpa, 与标准条件试件占比 13.4%, 残留稳定度满足标准要求, 此处注意一定是经真空饱水后再在 60℃ 水中 48h 试验, 由于先浸入大量的冷水之后浸入热水会严重膨胀, 稳定度损失非常大, 更能反映抗水侵蚀能力。表 11 试验结果中, 标准试件劈裂强度 1.13Mpa, 经冻融循环后劈裂强度 0.97MPa, 条件试件降低了 0.16MPa, 与标准条件试件占比 14.2%, 冻融劈裂强度比满足标准要求。这里试验时注意两点, 条件试件须真空饱水状态, 且在放入低温试验箱时要注入 10mL 水, 保证试件在潮湿状态下冰冻, 真实表现混合料低温抗水损害能力。

5 结束语

本文就 Superave 混合料技术指标发展过程进行了简述, 结合我国国情给出了相关规范和标准, 供大家参考借鉴。对 Sup-13 混合料配合比进行试验分析, 并对试验结果进行分析, 结合本文试验数据, Superave 混合料具有较好的高温稳定性及水敏感性。

[参考文献]

- [1] 范兴华. 高性能沥青路面 Superpave 应用技术研究[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2007.
 - [2] 贾渝. 高性能沥青路面 Superpave 基础参考手册[D]. 江苏: 江苏省交通科学研究院, 2005.
 - [3] JTG F40-2004 《沥青路面施工技术规范》[S]. 2004
 - [4] JTJ E20-2011 《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》[S]. 2011
 - [5] DB32/T 1087-2022, 《高速公路沥青路面施工技术规范》[S]. 2022
- 作者简介: 祖洪刚 (1980.3—), 单位名称: 安谱检测技术 (江苏) 有限公司, 毕业学校和专业: 东北林业大学. 土木工程。