

文章编号: 0451-0712(2004)12-0112-04

中图分类号: U414.750.2

文献标识码: B

用旋转压实设计法设计 SMA—13 沥青混合料

吴超凡, 钟梦武, 黄开宇, 谢祥根, 吴善周

(湖南省交通科学研究院 长沙市 410015)

摘 要: 介绍用旋转压实仪进行 SMA—13 沥青混合料配合比设计的方法与设计步骤, 及采用此设计方法进行衡阳至枣木铺高速公路 82 km SMA—13 改性沥青混合料设计结果。

关键词: SMA 混合料; SHRP; 旋转压实; 设计

旋转压实仪是用于 Superpave 沥青混合料设计的核心仪器, 它用于制备测定热拌沥青混合料力学和体积性质的试件。试件的压实成型过程模拟了压路机的现场碾压状态, 成型后的试件与实际路面在密度、集料排列和结构特性等方面比较接近。试件成型的输出结果可以用于监测试件制备过程中的压实混合料密度与混合料的压实特性, 也可用于沥青混合料生产过程中的现场控制。旋转压实仪可由设备自动产生 600 kPa 的恒定压实压力, 同时, 机器底座在压实开始之前能自动产生一个压力轴线与混合料旋转轴线成一定偏角的压实角, 以 30 r/min 的速度旋转, 模拟压路机对路面的现场压实过程来压实试件混合料。旋转压实仪已被证明是现行的能提供实际路面交通长期影响的最佳模拟试验设备, 按照 Superpave 沥青混合料设计, 它考虑了气候条件和预计交通荷载, 用它设计的路面抗车辙性能好、耐久性好, 从而改善了路面的使用性能和减少了使用维修成本。Superpave 混合料设计方法已被美国大部分州所认可。

1 SMA 沥青混合料与 SHRP 沥青混合料的特点

SMA 沥青混合料基本特点是由粗集料(一般粒径在 4.75 mm 以上)形成嵌挤的骨架, 用细集料、矿粉与胶结料形成的丰富的沥青玛蹄脂填充于骨架间隙, 形成断级配密实嵌挤结构, 因此 SMA 用一句话来概括就是“三多一少”, 即“粗集料多, 矿粉多, 沥青用量多, 中间集料(1.18~4.75 mm)少”。

Superpave 沥青混合料是一种连续级配的密实嵌挤结构。这两种混合料的共同点都是嵌挤结构, 不同点是 SMA 是断级配而 Superpave 混合料是连续级配结构; 另一个大的不同点是两者的设计方法也完全不同, 通常的 SMA 混合料设计采用马歇尔方法, 而 Superpave 采用旋转压实方法。

经过几十年的工程实践证明马歇尔方法有其固有的缺陷, 特别是用于 SMA 混合料设计时其不足表现得更为突出, 主要表现是粗集料击碎率高, 完全改变了初始的设计级配, 与现场路面上的混合料相差较大; 其次是设计出的油石比偏大, 易使路面泛油。在衡枣高速公路的 SMA—13 混合料试验研究中, 我们采用了符合 SHRP 技术要求的旋转压实仪来进行 SMA—13 混合料设计, 收到了较好的效果。

2 SMA—13 混合料的旋转压实设计法

我们知道, 旋转压实仪很好地模拟了压路机对路面的现场压实过程, 其设计的混合料与压路机现场压实混合料的特性有很好的相关性。旋转压实仪在压实混合料的过程中, 记录了每一压实转数下的试件高度, 并绘制出混合料的压实曲线, 从而对混合料的性能进行分析。图 1 是相同材料相同级配相同油石比混合料的压实曲线, 图 2 是相同材料相同油石比不同级配混合料的压实曲线。从图 1 中可以看出, 相同材料相同级配相同油石比混合料旋转压

实时,其压实特性基本是一致的,当其压实到一定旋转次数时(100 左右,为设计压实次数),混合物基本趋于稳定,如果经过测试,其体积指标满足要求,则说明其级配是合理的,否则该混合集料的级配不满足技术要求,应进行级配调整;从图 2 中可以看出,相同材料相同油石比不同级配混合物旋转压实,其混合物的压实特性是不同的,试件 3 的混合物比试件 2 的混合物容易压实。

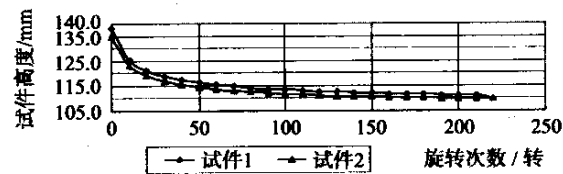


图 1 同材料同级配同油石比混合物的旋转压实曲线

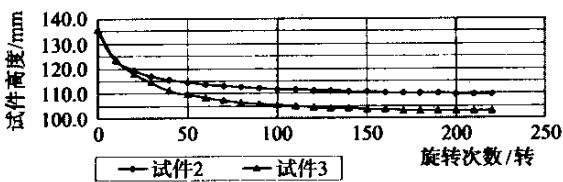


图 2 同材料同油石比不同级配混合物的旋转压实曲线

表 2 Superpave 混合物体积指标设计要求

设计轴载次数/ 10^6	压实试件的密度 (最大理论密度的%)			最小矿料间隙率 $VMA/\%$					沥青饱和度 $VFA/\%$
				最大公称尺寸/mm					
	$N_{\text{初始}}$	$N_{\text{设计}}$	$N_{\text{最大}}$	37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	
<0.3	≤ 91.5	96.0	≤ 98.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	70~80
0.3~3	≤ 90.5								65~78
3~10	≤ 89.0								65~75
10~30									
≥ 30									

(4)根据实际用于施工所提供的集料,配制粗、中、细三种级配,选择初始油石比拌制混合物,并把拌好的混合物在压实温度下恒温老化 2 h,然后进行试件旋转压实,测试其体积指标。

(5)选择满足表 2 要求的一种级配进行最佳油石比试验。当有 2 种或 2 种以上级配均满足要求时,选择最细的那个级配做目标级配。

(6)室内目标配合比试验:根据选择好的级配,并根据初始油石比的试验结果,调整 2~4 个油石比,其间隔以 0.2%~0.4%为宜,每个油石比至少准备 3 个试件的配合比数据,其中 2 个用来制作试件,第 3 个用

2.1 Superpave 设计原理

Superpave 沥青混合物最基本的设计方法是:

(1)根据路面所在地区的气候特点选择沥青胶结料的指标与级别;

(2)根据路面的使用特性选择旋转压实的设计参数(初始压实次数、设计压实次数与最大压实次数),选择原则按表 1 确定。

表 1 Superpave 旋转压实次数

设计轴载次数/ 10^6	压实参数			应用的典型道路
	$N_{\text{初始}}$	$N_{\text{设计}}$	$N_{\text{最大}}$	
<0.3	6	50	75	轻交通,地方/县级路,货车禁止通行的道路
0.3~3	7	75	115	中等交通的路(集散道路、大多数的县级道路)
3~30	8	100	160	中等至重交通量公路(城市、省际公路、国道)
≥ 30	9	125	205	重交通量道路(省际公路、高速公路、坡道)

(3)确定 Superpave 混合物体积设计指标按表 2 选择。

来测试松散混合物的最大理论相对密度,然后测试试件的密度,计算试件的各种体积参数。

(7)根据试验结果,确定最佳油石比,并进行混合物性能评估。

从以上的试验步骤可以看出,Superpave 设计与 SMA 混合物设计有类似的地方,就是都要进行 3 种以上的级配调整试验,但又各有其特点。我们在进行衡枣高速公路 SMA-13 混合物配合比试验研究时,根据这两种方法各自的特点,以及我们室内试验研究成果,把这两种方法揉合起来,形成了新的有别于我国规范的 SMA 混合物设计方法,其主要设计步

骤如下。

2.2 用旋转压实设计法设计 SMA-13 混合料

SMA 技术在我国应用时间较短,主要是引进美国的 SMA 技术,起点较高,少走了很多的弯路。但也正是因为我国的 SMA 技术基本上是全盘采用美国马歇尔技术,尽管消化较好,但对其基本性能与基础资料研究不透,在各地的铺筑过程中出现了很多问题,且并未得到彻底解决。这就是为什么我国的路面专家与施工单位普遍感到 SMA 路面“难做”的原因。

为了搞好衡枣高速公路 SMA-13 混合料设计与路面铺筑,我们探索性地使用旋转压实仪来进行 SMA-13 混合料设计。通过室内试验研究,最后确定 SMA-13 混合料旋转压实设计方法与设计步骤如下。

(1)原材料试验,包括所有原材料的各种相对密度,集料的筛分、材质性能试验;胶结料的性能指标试验;矿粉、纤维、外掺剂的性能试验。

(2)根据确定的 SMA-13 的混合料级配范围,以 4.75 mm 筛孔为关键性筛孔,以级配要求的中值及中值 $\pm 4\%$ 为准调配好 3 种或 3 种以上粗、中、细的混合料级配,先做这些级配的 4.75 mm 以上粗集料的毛体积相对密度 ρ_{CA} ,再做其捣实相对密度 ρ_s ,按式(1)计算各组初试级配在捣实状态下粗集料骨架间隙率 VCA_{DRC} 。

$$VCA_{DRC} = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_{CA}}\right) \times 100 \quad (1)$$

(3)根据混合集料的平均毛体积相对密度 ρ_{sb} ,按式(2)经验公式计算初试油石比 P_{ai} 。

$$P_{ai} = \frac{122(VMA - VV)}{100\rho_{sb} - 1.22(VMA - VV)} \quad (2)$$

$$\text{其中 } \rho_{sb} = \frac{100}{\frac{P_1}{\rho_1} + \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{P_3}{\rho_3} + \dots + \frac{P_n}{\rho_n}} \quad (3)$$

式(3)中 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ 为各种矿料所占的比例,其和为 100,相应的毛体积相对密度为 $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \dots, \rho_n$ (4.75 mm 以下机制砂与矿粉采用表观相对密度)。

(4)根据表 1 选择初始、设计与最大旋转次数。在进行衡枣高速公路 SMA-13 混合料配合比设计试验时,我们选择了表 1 中的最大设计累计当量轴载次数所要求的压实转数,即初始压实转数为 9,设计压实转数为 125,最大压实转数为 205。

(5)用初试油石比 P_{ai} 拌制混合料,然后在 165℃ 下恒温老化 2 h,一方面,进行旋转压实试验,每个级配至少做 2 个试件;另一方面,用真空法进行松散混

合料最大理论相对密度的测定。

(6)测试旋转压实试件的矿料间隙率 VMA 、压实混合料粗集料间隙率 VCA_{mix} 、试件的沥青饱和度 VFA 、旋转压实试件在初始压实转数下的空隙率 $VV_{初始}$ 及在设计压实转数下的空隙率 $VV_{设计}$ 和在最大压实转数下的空隙率 $VV_{最大}$ 。根据表 2 选择同时满足 $VV_{初始} \geq 11.0\%$ 、 $VV_{最大} \geq 2.0\%$ 、 $VCA_{mix} \leq VCA_{DRC}$ 、 $VMA \geq 16.5\%$ 要求的矿料级配作为目标级配。当有 2 种或 2 种以上级配都满足要求时,选择最细的那个级配作目标级配。事实上,当最细的级配有指标在临界值附近时,应选择比最细级配粗一级的级配,这样可以避免因施工波动而出现不合要求的混合料。

(7)视目标级配初试油石比的旋转试件空隙率情况,以 0.2%~0.4% 为间隔,调整 3 个以上不同的油石比,拌制混合料,制作旋转压实试件。

(8)测试各油石比旋转压实试件的 VMA 、 VCA_{mix} 、 VFA 、 $VV_{初始}$ 、 $VV_{设计}$ 、 $VV_{最大}$,在同时满足 $VV_{初始}$ 、 $VV_{最大}$ 符合 SHRP 要求、 $VCA_{mix} \leq VCA_{DRC}$ 要求、 $75\% \leq VFA \leq 85\%$ 、 $VMA \geq 16.5\%$ 时,以旋转压实试件的 $VV_{设计} = 4\%$ 时的油石比为最佳油石比。

若初试油石比 P_{ai} 的混合料试件各项体积指标恰好符合要求时,则 P_{ai} 可直接作为最佳油石比。

(9)沥青混合料相关性能指标验证试验。以最佳油石比混合料经过恒温老化后,制作双面各击实 50 次的马歇尔试件数不得少于 25 个,用于测试稳定度、残留稳定度、冻融劈裂强度比、标准劈裂强度等。还可按 T283 试验规程进行水损害试验(具体做法就是用双面各击实 30 次的马歇尔试件来测试冻融劈裂强度比,此时试件的孔隙率在 6% 左右)。

用成型的车辙试件测试动稳定度、渗水系数和表面构造深度。用于制作测试动稳定度试件的混合料不进行恒温老化,而用于制作测试渗水系数与表面构造深度的车辙试件的混合料需要进行 2 h 的恒温老化。

3 SMA-13 旋转压实设计结果

衡枣高速公路共用了 5 种不同的集料与 4 种不同的改性沥青,做了 6 个目标配合比试验,其结果如表 3。

3.1 各目标配合比试验结果

经过针对不同集料与胶结料的 SMA-13 目标配合比设计,最佳油石比与混合矿料的平均毛体积相对密度有较好的对应关系(见表 4)。

表 3 衡枣高速公路 SMA—13 混合料目标配合比结果

标段号		22 标		23 标	24 标	25 标	
粗集料		攸县玄武岩	冠市玄武岩	六合玄武岩	祁东董青岩	舒城玄武岩	六合玄武岩
改性沥青		科氏 PG70—22		重庆美仑	路桥路翔	深圳路安特	
最佳油石比		6.12	6.40	6.15	6.30	6.40	6.15
旋转试件	ρ_{mb}	2.396	2.364	2.466	2.371	2.362	2.465
	VV	4.1	3.9	4.0	4.0	3.9	4.0
	VMA	17.4	17.6	17.8	17.6	17.6	17.8
	VFA	76.6	77.9	77.6	77.3	77.8	77.6
	VCA _{mix}	38.6	38.5	38.9	38.7	38.8	38.9
粗集料 VCA _{DRC}		39.6	40.4	41.8	42.0	40.6	41.6
75 次马歇尔试件 ρ_{mb}		2.400	2.368	2.469	2.371	2.364	2.468
50 次马歇尔试件 ρ_{mb}		2.386	2.356	2.456	2.355	2.345	2.458
动稳定度		>6000(次/mm)					
残留稳定度/%		86.2	100	100	95.6	87.2	87.3
冻融劈裂强度比/%		85.9	91.2	93.8	101	92.3	98.0
渗水系数(ml/min)		不渗水					
构造深度/mm		1.2	1.1	1.2	1.1	1.1	1.2
飞散损失/%		2.4	2.2	2.7	2.6	2.3	2.8
析漏损失/%		0.01	0.03	0.02	0.03	0.02	0.01

表 4 SMA—13 最佳油石比与其矿料平均毛体积密度对应表

标段号	22 标		23 标	24 标	25 标	
矿料毛体积 相对密度 ρ_{sb}	2.740	2.701	2.835	2.709	2.696	2.836
最佳油石比/%	6.12	6.40	6.15	6.30	6.40	6.15

一般情况下,混合矿料的平均毛体积相对密度大,其油石比就较小,但也有个别不同情况,如 22 标所用的攸县玄武岩,其平均毛体积相对密度只有 2.74,比六合玄武岩要小,而其最佳油石比却只有 6.12%,小于使用六合玄武岩的油石比。

3.2 目标配合比旋转压实试件与马歇尔试件密度对比结果

通过大量的对比试验,我们得出改性沥青 SMA—13 混合料的旋转压实试件在设计转数为 125 次时的密度与双面各击实 75 次的马歇尔试件密度非常接近,而与双面各击实 50 次的马歇尔试件的密度相差较大。

3.3 目标配合比各种验证试验结果

通过对各目标配合比的最佳油石比混合料的各种强度与性能验证试验,衡枣路的 SMA—13 性能指标均能很好地满足技术规范的要求。

4 结论 万方数据

用旋转压实仪结合 Superpave 与 SMA 混合料

配合比设计方法,对衡枣高速公路 SMA—13 改性沥青混合料进行目标配合比设计,其实际的生产配合比试验结果非常接近室内目标配合比,在施工时其材料比例与最后的施工油石比与目标配合比基本一致,路面表面美观、粗糙、不渗水。因此,在有条件时,用旋转压实仪来设计 SMA 沥青混合料不失为一个好方法,它使室内试验与现场施工很好地结合起来,既能使室内试验结果对现场施工有很好的指导意义,又能设计出性能优异的沥青混合料。

但是,SMA 混合料旋转压实方法还有待更进一步的深入研究,在此仅希望能起抛砖引玉的作用。

参考文献:

[1] 贾渝. 高性能沥青路面 Superpave 技术实用手册. 南京:江苏省交通科学研究院,2002.

[2] 沈金安. 改性沥青与 SMA 路面[M]. 北京:人民交通出版社,1998.

[3] JTJ 036—98,公路改性沥青路面施工技术规范[S].

[4] JTJ 052—2000,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].

[5] JTJ 058—2000,公路工程集料试验规程[S].

[6] JTJ 032—94,公路沥青路面施工技术规范[S].

[7] JTJ 014—97,公路沥青路面设计规范[S].

[8] 余叔藩. SMA 路面在欧洲的实践[C]:重载路面面层对 SMA 的讨论[A]. 交通部重庆公路科学研究所,1999.