

文章编号: 1002-0268 (2004) 12-0005-04

薄层小粒径 SMA 路面的研究与应用

李福普, 沈金安

(交通部公路科学研究所, 北京 100088)

摘要: 针对高速公路早期病害严重的情况, 推荐薄层的 SMA 沥青表面层结构, 既具有各种良好的使用性能, 保持密水、粗糙的优点, 又可以降低成本, 实践证明具有良好的推广应用前景。

关键词: 沥青路面; SMA; 使用寿命; 路用性能

中图分类号: U416 217

文献标识码: A

Study and Application of Asphalt Pavement of Thin Layer's Small-stone SMA

LI Fu-pu, SHEN Jin-an

(Research Institute of Highway of M. O. C. of China, Beijing 100088, China)

Abstract: For the serious early failure in the asphalt pavement of expressways, it is of great significance to recommend the structure of asphalt pavement of thin layer's SMA. This asphalt pavement possesses excellent operation performance, such as excellent waterproofing performance and rough texture. Its application can reduce the construction cost, too. It has shown a good prospect of more application.

Key words: Asphalt pavement; SMA; Operation life; Performance

0 引言

我国高速公路的建设发展很快, 2003 年底已经超过 30 000km, 但其中有一些高速公路的沥青路面发生了不同程度的早期损坏, 并引起了广大道路工作者的注意。为此, 我们开展了高速公路早期病害预防措施的研究。

调查认为高速公路沥青路面产生早期损坏的原因是十分复杂的, 经常是多种原因综合影响的结果。除了管理、设计、施工方面的原因外, 材料性能不能满足要求是很重要的因素。多年来我国在采用聚合物改性沥青和沥青玛蹄脂碎石混合料 (SMA) 两个方面有了长足的发展。随着《公路改性沥青施工技术规范》和《公路沥青玛蹄脂碎石路面技术指南》先后颁布, 推广应用数量也有大幅度增加。改性沥青 SMA 路面对防止沥青路面的早期损坏, 延长使用寿命取得了重要的作用。该科研成果已获得中国公路学会科技进步二等奖。

但是, SMA 路面的初期投资高成了推广应用中

的最大问题。一般认为 SMA 路面的造价较同厚度的普通沥青混合料要贵出 25%~30%。它的内含主要需要使用纤维和改性沥青, 且沥青用量增加, 拌和厂的生产效率下降, 燃料消耗增加, 其中 SMA 需要使用优质材料和较多的矿粉也是重要的因素。因此, 如何降低 SMA 路面的初期投资, 成为推动改性沥青 SMA 路面的当务之急。

1 铺筑薄层小粒径 SMA 路面的意义

我国高速公路沥青路面的表面层普遍设计的厚度为 40mm, 与其匹配的集料公称最大粒径一般为 16mm 或 13.2mm。从施工压实角度出发, 厚度不宜再薄。由于抗滑等各方面的要求, 各地都不惜工本地采用玄武岩等优质集料, 而且不少是远距离运输得到的。其成本要比普通的石料贵 1~2 倍。而从沥青路面表面层的功能出发, 它首先是起磨耗层作用。对抗高温车辙变形来说, 还需依赖中下面层。选用 SMA 表面层的主要目的是解决路面的密水性、耐久性与表面构造深度的矛盾, 提高抗温缩裂缝的能力。关键是解决路

面渗水问题，它对防止沥青路面的水损坏起到重要作用。这就给我们指明了方向，如何力求减小集料的公称最大粒径，使SMA表面层的厚度适当减薄，而这在技术上是完全可行的。

将SMA的集料公称最大粒径减小为9.5mm，甚至4.75mm，将SMA表面层的厚度从40mm减薄为25~30mm。将减薄的厚度加到中面层上，维持总厚度不变，从经济上说将很有价值。它可以节省价格昂贵的表面层石料，使SMA增加的费用从减薄厚度上节约下来，总成本增加不多，甚至持平。这对推广应用SMA路面将有重要的现实意义和经济价值。

2 薄层小粒径 SMA 路面在国内外的应用情况

相比之下，欧洲的SMA表面层大都比较薄，例如在SMA的发源地德国，SMA的公称最大粒径只有5、8、11mm 3种，最厚也就相当于我国的SMA-10，厚度经常只有20~30mm，见表1。以前由于我们一直认为，德国用小粒径的原因是因为德国的夏季没有我国这么热，把抗高温车辙变形能力与粒径大小联系起来，所以始终不敢采用薄层的小粒径SMA路面。

表3 澳大利亚 SMA 级配范围

公称最大粒径/mm	13.2	9.5	6.7	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	层厚/mm	沥青用量/%
14	90~100	54~70	32~44	26~39	21~30	17~25	14~22	12~19	9~15	8~12	35~50	6.0~7.0
10	100	90~100	45~65	30~50	21~31	16~25	14~22	12~19	9~15	8~12	25~35	6.3~7.0
7		100	80~100	36~65	20~35	17~28	14~23	12~20	9~16	8~12	20~30	6.5~7.5

采用薄层小粒径SMA在我国也有不少成功的先例。最早使用SMA-10的是1997年铺筑被称为中华第一街的北京市长安街罩面层(表4)，厚度30mm。施工过程中重点研究了SMA-10的高温稳定性，车辙试

表4 北京市长安街沥青面层 SMA-10 沥青混合料标准级配

规格	通过下列筛孔 (mm) 的百分率/%									油石比/%
	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	
SMA-10	100	90~100	35~55	20~40	15~30	12~26	11~22	9~18	8~12	6.2
标准级配 (通州)	100	98.6	49.2	33.8	26.5	25.0	17.4	13.5	9.9	6.22
标准级配 (昌平)	100	98.2	39.2	23.9	19.6	15.6	12.4	11.9	9.6	6.25

随后，在北京市通州区新华大街上大量采用了这种SMA-10表面层。2001年，山东省淄博市在外环线上铺筑了厚度为30mm的SMA-10罩面层，长度约55km，至今无任何损坏现象。2002年5月，北京市为铺筑二环路作准备，在德胜门大街又铺筑了SMA-10的试验段。另外，SMA-10在多座大跨径钢桥面铺装得到了应用。福建等省也铺筑了一些SMA-10、SMA-6的工程。为了广东省广深高速公路铺筑SMA

现在看来这种看法可能是不正确的。

表1 德国 ZTV Asphalt-StB 1998 规范的 SMA 级配 (1996年 FGSV 确认)

SMA	0/11s ^注	0/8s ^注	0/8	0/5
铺筑层厚/mm	35~40	30~40	20~40	15~30

注：s表示用于重交通路面。

在法国，近年来采用薄层罩面、超薄罩面的做法越来越多，如BBM、BBIM、BBUM，厚度只有20~25mm，公称最大粒径通常为6、10mm，厚的才用14mm，见表2。

表2 法国国道网磨耗层的种类

磨耗层类型	表面处理	BBSG (厚)	BBD _r (排水式)	BBM (薄)	BBIM (很薄)	BBUM (超薄)	其他
使用比例/%	20	37	3	19	10	1	10
通常的厚度	—	>50	—	30~50	20~30	10~20	—

澳大利亚规范的变化更能说明这个问题，在1995年要求，规范是只规定两个公称最大粒径，而现在的规范增加了7mm一档，显然是为了使用更小的粒径和更薄的厚度，见表3。

验的动稳定度全部大于3000次/mm，7次试验平均达到4588次/mm。使用实践证明，除一些交叉口和公共汽车站由于停车、刹车发生了下层推拥外，总体上取得了良好效果。

罩面的需要，参考荷兰布莱达市用高质量SMA0.6/0.3制成的薄磨耗层的成功经验，决定对主线的43km桥梁桥面用2cm的SMA0.6进行薄层罩面处理。据广东筑波路桥工程有限公司的介绍，SMA0.6采用改性沥青，粗集料为2.36~6mm花岗岩，细集料采用0~2.36mm玄武岩人工砂。配合比设计的结果为2.36~6mm碎石:0~2.36mm碎石:矿粉=72:17:11，级配如表5。

表 5 SMA0.6 薄层罩面级配

孔径/mm	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
目标配合比	100	55.9	29.2	22.8	19.6	15.8	14.0	12.1
生产配合比	100	48.4	25.5	19.7	17.3	15.6	14.8	12.7
施工抽提筛分	100	50.3	27.5	21.7	19.5	16.5	14.3	10.3

该 SMA 混合料的体积指标均符合《SMA 技术指南》要求,车辙试验动稳定度达到 3 897 次/min。2001 年 12 月 26 日在广深高速公路主线南行段 SK23+880~SK24+400(桥面)上铺筑了 520m 试验段,经检测,构造深度达到 0.9mm,摩擦系数摆值 51。试验说明, SMA-6 充分保留了 SMA 的结构特点,为薄层小粒径 SMA 的推广应用及高速公路沥青路面维护养护提供了有益的经验。

3 SMA-10 路面试验研究

为了研究薄层小粒径 SMA 的应用可能性,在四川省成都—南充高速公路指挥部、四川路桥川交有限责任公司的支持下,在成南高速公路上铺筑 SMA-10、SMA-13 试验段,与原设计的 AK-13A 结构进行了比较。

3.1 试验路铺筑概要

成南高速公路的路面为半刚性基层沥青路面结构,原设计沥青层为 AK-13A+5cmAC-20I 型+6cmAC-25I 型沥青混凝土,总厚 15cm。四川省为研究 SMA 的性能,决定将其中的一部分改为铺筑 4cmSMA-13。2002 年 8 月,在 K0+200~360 铺筑 SMA-13 试验段的基础上,正式铺筑 SMA-13 表面层 24.736km,计 86.53 万 m²。我们为研究降低初期投资,2002 年 9 月

表 6 粗中细三种矿料级配

类型	级配	材料配比/%					筛孔及通过率/%										
		10~15	5~10	2~5	石屑	矿粉	16	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
SMA-13	甲(粗)	37	43.5	4	5.5	10	100	100	92.4	64.9	22.3	18.4	15.4	13.8	12.6	11.5	9.7
	乙(中)	34.5	42	5.5	8	10	100	100	92.9	67.2	26.2	21.7	17.5	15.1	13.4	12.1	10
	丙(细)	27	47	4	12	10	100	100	94.5	73.9	28.9	24.9	20.3	17.1	14.7	12.9	10.5
SMA-10	甲(粗)		72	12	5	11			100	97.7	32	23.2	17	14.8	13.5	12.5	10.5
	乙(中)		68	14	7	11			100	97.8	35.7	26.3	18.7	15.9	14.2	12.9	10.8
	丙(细)		64	16	9	11			100	98	39.5	29.3	20.5	17	14.9	13.4	11.1

在配合比设计过程中,我们发现《SMA 路面技术指南》中 SMA-10 的级配范围有不合理之处。该级配范围是通过 SMA-16、SMA-13 类比调整得到的,所以 4.75mm 的通过率差别不大,3 种 SMA 的 4.75mm 通过率分别为 20%~32%、20%~34%、22%~36%,这是不合适的。其主要问题是没有将 SMA-10 的粗细集料的分界调整为 2.36mm,实际上当初北京市长安街及后

在 K33+560~K34+520 左幅铺筑 SMA-10 抗滑面层 1.1 万 m²。

3.2 材料

为进一步提高 SMA 路面的使用性能,全线都使用了 SBS 改性沥青,粗集料为四川省峨眉山反击式破碎的 10~15mm、5~10mm 及 2~5mm 玄武岩,细集料为 2mm 以下的石屑,矿粉采用石灰石粉,各项指标都能符合规范要求。玄武岩的磨光值 43.5,压碎值 10%,洛杉矶磨耗值 10.7%,吸水率 0.2%,针片状颗粒含量 10.9%,与沥青的粘附性达到 4 级。玄武岩机制砂的坚固性 1.5%,按美国试验方法测定的棱角性 52.3%(大于美国 45%以上的要求),砂当量 96%。玄武岩集料的密度很大,都在 2.93 以上,但吸水率并不小,接近 1%,将使沥青用量增加。按照四川省的习惯,按原设计意见参加了抗剥落剂 0.3%,以提高与沥青的粘附性。纤维采用 ARBOCEL ZZ8/1 松散木质素纤维。各项指标均符合技术指南的要求。

3.3 配合比设计与标准级配范围

配合比设计按照我国《SMA 路面技术指南》的方法进行,首先配制粗细不同的 3 组沥青混合料,对 SMA-13 要求 4.75mm 通过率为 22%、26%、30%左右,对 SMA-10 要求 2.36mm 通过率为 22%、26%、30%左右,0.075mm 通过率均为 10%左右,经过配合比设计计算的 3 组配比见表 6。特别需要注意的是,由于公称最大粒径的不同,对 SMA-13,以 4.75mm 作为粗细集料的分界,而对 SMA-10,以 2.36mm 为分界。2~5mm 材料在 SMA-13 和 SMA-10 两种混合料中所起的作用是不一样的。

来的一些工程中都作了调整,制订《SMA 路面技术指南》时没有注意这一点,导致 4.75mm 通过率的范围太小。在这次配合比设计时,再一次研究了国内外 SMA-10 的级配范围,提出了新的建议级配范围,在《公路沥青路面施工技术规范》中进行修改。调整情况及建议如表 7。

根据 3 组混合料的试验, SMA-13 及 SMA-10 的

表 7 SMA-10 混合料标准级配范围

级配类型	通过下列筛孔 (mm) 的质量百分率 /%								
	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
SMA 技术指南要求	100	90~100	22~36	18~28	14~26	12~22	10~18	9~16	8~13
成南路设计使用	100	90~100	28~50	20~32	14~26	12~22	10~18	9~16	8~13
北京长安街设计使用	100	90~100	35~55	20~40	15~30	12~16	11~22	9~18	8~12
意大利 SMA-10	100	80~100	47~54						9~14
美国 AASHTONMAS9 5	100	90~100	26~60	20~28	13~21	12~18	12~15		8~10
澳大利亚 SMA-10	100	90~100	30~50	21~31	16~25	14~22	12~20	10~17	8~12
建议规范修改范围	100	90~100	28~60	20~32	14~26	12~22	10~18	9~16	8~13

甲、乙、丙 3 组级配的 VCA_{mix} 均小于 VCA_{dc} ，且 3 种级配的 VMA 均能满足符合大于 17% 的要求，因此 2 种混合料均选用 4.75mm 或 2.36mm 通过率较大的级配丙作为设计级配。SMA-13 的初试油石比 5.8% 的空隙率大于 4.0%，说明沥青用量偏少。对 SMA-10 采用初试油石比 6.6% 的空隙率大于 4.19%，沥青用量是合适的，它比一般常用的 SMA 的油石比相比要大，显然与改性沥青的粘度大及粗集料吸水率较大有关。对 SMA-13，重新选择了 3 个油石比进行室内马歇尔试验，确定的最佳油石比为 6.4%。2 种混合料最佳油石比时的试验结果汇总于表 8。在此基础上进行配合比设计检验结果如表 9。

表 8 2 种混合料最佳油石比时的马歇尔试验结果

试验项目	SMA-13	SMA-10	《SMA 施工技术指南》要求
最佳油石比 /%	6.4	6.6	
理论密度 / $g \cdot cm^{-3}$	2.574	2.579	/
毛体积密度 / $g \cdot cm^{-3}$	2.470	2.471	/
空隙率 /%	4.07	4.19	2~4 (4.5)
VMA /%	18.70	18.83	> 17.0
VCA_{mix} /%	42.41	42.88	< VCA_{dc}
沥青饱和度 /%	78.26	77.76	75~85
稳定度 /kN	9.9	11.0	> 6.0 (5.5)
流值 /mm	4.2	4.5	2~5

表 9 2 种 SMA 混合料配合比设计检验结果

检验项目	试验条件	SMA-13	SMA-10	技术指南要求
谢伦堡沥青析漏试验 /%	185°C 情况下保温 1h	0.02	0.02	不大于 0.2
肯特堡飞散试验 /%	20°C	1.4	1.35	不大于 20
高温稳定性检验 /次 $\cdot mm^{-1}$	60°C, 0.7MPa	9000	8625	不小于 3000
低温抗裂性能检验				改性沥青规范
破坏强度 /MPa	-10°C	9.63	10.57	要求 1~3 区破坏
破坏应变 / $\mu\epsilon$	50mm/min	3263.9	3814.3	应变不小于 2000
破坏劲度 /MPa		2950.7	2770.0	
水稳定性检验				改性沥青规范
马歇尔残留稳定度 /%		96.5	88.4	要求 ≥ 80 , 技术指南要求不小于 75
冻融劈裂试验				
残留强度比 /%		96.1	102	
表面构造深度 /mm		1.10	0.88	不小于 0.8
渗水性		基本不透	基本不透	

试验结果表明，SMA-10 虽然其公称最大粒径变小，但各项性能与 SMA-13 的非常接近，一点都不用担心性能会变差。尤其是普遍有所担心的动稳定性和构造深度并不小。

3.4 SMA-10 路面的施工

SMA 路面的施工按照《SMA 路面技术指南》进行，并没有困难，相比之下，拌和时间要适当延长，但压实更加容易。德国林泰阁 3500 每盘 2.5t 控制为 50~55s，其中加改性沥青后湿拌和 38~42s，比 AK-13A 拌和 45~50s（其中湿拌 36s）需增加 5s。施工时的碾压温度和工艺并无明显的差别。试验段检测的各项指标都达到要求，取样的动稳定度超过 6000 次/mm，但 SMA-10 的构造深度要比 SMA-13 的小些。

3.5 试验段成本分析

施工结束后，工程单位对成南高速公路 2 种 SMA 结构的初期造价进行了比较。与普通的改性沥青 AK-13A 相比，SMA 的原材料费用的增加是最大的一笔，改性沥青、纤维和矿粉的数量要增加，集料生产的损耗也大。但如果综合考虑 SMA-10 结构厚度的变化，将其中的 1cm 表面层改为中面层，则表面层玄武岩的费用可以节省，可用石灰岩或破碎砾石（当地常用）制造，玄武岩与石灰岩或破碎砾石的单价要差 2 倍。这样将使总的造价与原来持平，甚至低于原造价。

由此说明，采用薄层小粒径 SMA 的结构在性能上不会降低，经济上则有明显的优越性，是值得推广的。

参考文献:

- [1] 中国工程建设标准化协会公路工程委员会. 沥青玛蹄脂碎石路面技术指南 (SHC F40-01-2002) [S]. 2002
- [2] AUSTROADS/AAPA/ARRB TR 工作组. Australian Provisional Guide [S]. 1996
- [3] 沈金安. 改性沥青与 SMA 路面 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1999