

SMA LUMIANSHEJITUPUZHU

路面设计与铺筑

沈金安 李福普 编著



人民交通出版社
China Communications Press

SMA 路面设计与铺筑

SMA Lumian Sheji Yu Puzhu

沈金安 李福普 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书结合《公路沥青玛蹄脂碎石路面技术指南》(SHC F40—01—2002)以及国外先进的科研成果,对 SMA 路面中混合料的组成与特性、设计与铺筑进行了系统的阐述。书中还着重介绍了我国近年来通过科学研究和工程实践所总结出来的宝贵经验。

本书适合从事沥青路面科研、设计、施工与管理的道路工程和机场道面工程的技术人员,也可作为 SMA 路面推广应用的技术培训教材以及大、中专院校相关专业的师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

SMA 路面设计与铺筑 / 沈金安, 李福普编著. —北京: 人民交通出版社, 2003.11
ISBN 7-114-04813-0

I. S… II. ①沈… ②李… III. 碎石—沥青路面—道路工程 IV.U416.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 080680 号

SMA 路面设计与铺筑

沈金安 李福普 编著

正文设计: 孙立宁 责任校对: 张莹 责任印制: 杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010-64216602)

各地新华书店经销

北京明十三陵印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 10.5 字数: 254 千

2003 年 10 月 第 1 版

2003 年 10 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001—4000 册 定价: 22.00 元

ISBN 7-114-04813-0

沥青玛蹄脂碎石路面(简称 SMA 路面)是一种引人注目的新型路面结构,我国从 1992 年首都机场高速公路起开始在一些地区应用。但是由于我国的气候和交通条件与欧美不同,各地铺筑的试验段既有成功的经验,也有失败的教训。为了使 SMA 技术能在我国健康的发展,“九五”期间,交通部公路司于 1997 年下达了“沥青玛蹄脂碎石混合料性能与指标的研究”专题研究项目,该课题由交通部公路科学研究所承担,参加单位有北京市公路局设计研究院、河北省交通科学研究所、辽宁省交通科学研究所、山西省交通科学研究所等。课题于 1999 年 6 月鉴定验收,提出了适合我国国情的《公路沥青玛蹄脂碎石路面技术指南》(以下简称《公路 SMA 路面技术指南》或《技术指南》)。2001 年 2 月,中国工程建设标准化协会公路工程委员会路基和路面专业工作委员会又组织专家对该指南进行了审查,会议纪要指出“指南全面总结了国内外 SMA 路面的设计、施工经验,并且进行了多次修改和试用,基本上是可行的,符合我国实际情况,可以发布为 SMA 路面的设计、施工指导性文件在全国施行。”该研究课题成果获得 2003 年中国公路学会科技进步奖二等奖。

与此同时,交通部科教司在 1998 年组织了“沥青玛蹄脂碎石混合料(SMA 路面)的推广应用”课题(合同编号 95-05-56-12),首批参加此课题推广应用的省、市、自治区有北京、广东、江苏、山东、河北、山西、四川、辽宁、吉林、黑龙江、青海等。在推广应用 SMA 路面的过程中,各地主要参照了课题组编写的《公路 SMA 路面技术指南》。该指南根据试行的情况已经修改了多次,在工程中试行。据不完全统计,迄今为止,SMA 路面的建设已经推广应用至大部分省、市、自治区,全国已经铺筑的 SMA 路面已超过 1500km,大部分使用情况良好。

现在,《公路沥青玛蹄脂碎石路面技术指南》已经于 2002 年 7 月 24 日正式由中国工程建设标准化协会公路工程委员会发布,编号为 SHC F40—01—2002,自即日起实施。

为配合指南的实施,我们编写了这本书,进一步对 SMA 课题组的研究成果及《公路 SMA 路面技术指南》作详细说明。同时介绍了我们对某高速公路所作的 SMA 混合料目标配合比设计示例、美国 SMA 路面采用体积设计的计算实例,文末附录了《公路 SMA 路面技术指南》。

在研究和推广应用 SMA 路面的过程中,我们充分参考了国外(主要是美国)的相关规范,在矿料级配、沥青用量、设计指标等许多方面充分考虑了我国的气候条件和交通条件,课题的各参加单位作了深入的研究,铺筑了多条试验路,证明我们自行编写的《公路 SMA 路面技术指南》更符合我国国情,它充分考虑了我国的交通条件、气候条件的特点。这些经验的取得是课题组参加单位集体研究的成果。但总的来说,SMA 路面在我国的应用还不普遍,还有许多问题需要研究,或通过实践不断调整。因此竭诚希望使用者在使用《公路 SMA 路面技术指南》时,要紧密结合本地的交通和气候情况,注意总结经验,不断进行改进。

在此我们谨对参与 SMA 课题研究和推广应用的各单位人员表示衷心的感谢。本书所引用各单位的成果和文献不再一一列出出处,诚致歉意。

技术指南的编写得到北京市公路局、河北省交通厅、辽宁省交通厅、山西省交通厅、山东省

交通厅等单位的支持和合作,在此表示感谢。

参加本课题的主要研究人员如下:

交通部公路科学研究所:沈金安、李福普、陈景、武长会

北京市公路局设计研究院:柳浩、单志义、王大成、王建国、郝文启、杨丽英、吴明玉

河北省交通科学研究所:丁培建、于泽友、郭晓华、郭进英

辽宁省交通科学研究所:刘地成、张臣、刘云全、吴玉辉、李洪斌

山西省交通科学研究所:韩萍、张晓燕、樊英华、李文秀、赵润明、刘少文、赵忠安、杜蓉华

第一章 SMA 研究及推广应用概况	1
第一节 研究及推广应用概况	1
第二节 SMA 研究的主要成果	5
第三节 推广应用 SMA 的经验和体会	8
第四节 今后应该注意和还需继续研究的问题	10
第二章 国外 SMA 的标准规范概况	12
第三章 SMA 的结构特点	18
第四章 材料质量技术要求	21
第一节 粗集料	21
第二节 细集料	26
第三节 填料	28
第四节 纤维	31
第五节 沥青结合料	38
第五章 SMA 的矿料级配	45
第一节 集料最大粒径与层厚	45
第二节 标准级配范围	47
第六章 马歇尔试验配合比设计指标	56
第一节 击实次数	56
第二节 空隙率	57
第三节 VMA	69
第四节 VCA	70
第五节 VFA	72
第六节 沥青用量	72
第七节 马歇尔稳定度和流值	76
第七章 配合比设计检验指标	83
第一节 析漏试验	84
第二节 飞散试验	85
第三节 车辙试验	86
第四节 水稳定性试验	90
第五节 渗水试验	92
第六节 构造深度	94
第八章 SMA 路面的施工	96
第一节 SMA 路面的施工温度	96

第二节 SMA 混合料的生产 98

第三节 SMA 混合料的运输..... 102

第四节 SMA 混合料的摊铺..... 103

第五节 SMA 路面的碾压成型..... 106

第六节 SMA 路面的接缝..... 110

第九章 SMA 路面施工质量管理 112

第一节 试验段铺筑..... 112

第二节 原材料的控制 113

第三节 沥青混合料生产质量控制 115

第四节 沥青路面施工质量控制 118

附录一 改性沥青 SMA 路面目标配合比设计试验报告示例 120

附录二 美国 SMA 体积设计计算实例 128

附录三 《公路沥青玛蹄脂碎石路面技术指南》..... 136

第一章 SMA 研究及推广应用概况

第一节 研究及推广应用概况

沥青玛蹄脂碎石混合料 (SMA) 是近年来在国际上出现的一种非常引人注目的新型沥青混合料, 尤其是它的优良的抗车辙性能和抗滑性能闻名于世。第一条 SMA 路面始建于 20 世纪 60 年代中期的前联邦德国, 已经有 30 多年的历史, 至今仍然使用良好。它被订入德国规范 ZTV Asphalt - StB 94, 称为 Splitt Mastix Asphalt, 欧洲的英、法、意文及其他一些文种均称为 Stone Mastic Asphalt。1990 年进入美国后, 逐渐改称为 Stone Matrix Asphalt, 均缩写为 SMA。

在我国, 通过专家讨论, 根据其构成原理, 在《公路沥青路面设计规范》中正式命名为“沥青玛蹄脂碎石混合料”, 意即用玛蹄脂填充沥青碎石骨架间隙而形成的混合料。

SMA 是一种由沥青、纤维稳定剂、矿粉及少量的细集料组成的沥青玛蹄脂填充间断级配的粗集料骨架间隙组成一体的沥青混合料。

但是, 我国的气候条件及交通条件与欧洲不同, 与美国大部分地区也有很大的差异, 夏季炎热、冬季寒冷的程度是欧美绝大多数国家所没有的。实践已经证明, 将欧洲的 SMA 经验照搬到中国, 往往出现泛油等早期损坏, 同时我国的材料条件、机械设备、施工习惯也与国外有所不同。为了准确的理解和科学地推广 SMA 路面, 1997 年部公路司给公路科学研究所下达“沥青玛蹄脂碎石混合料性能及指标”研究任务, 要求结合我国国情, 制定出切合实际的“沥青玛蹄脂碎石混合料设计施工指南(或规范)”, 以便使 SMA 路面在我国得到更广泛的科学的推广应用, 同时为修订施工技术规范提供依据。交通部科教司在 1998 年组织了“沥青玛蹄脂碎石混合料(SMA)路面的推广应用”课题, 首批参加此课题推广应用的省、市、自治区有北京、广东、江苏、山东、河北、山西、四川、辽宁、吉林、黑龙江、青海等, 其他没有参加推广的省、市、自治区也铺筑了大量的 SMA 路面。

我国首次试用改性沥青 SMA 路面技术是 1992 年北京市公路局在建设被誉为“国门第一路”的首都机场高速公路过程中提出的。同时使用了奥地利 RF 集团的 NOVOPHALT 改性沥青技术。表面层 5cm 首次采用经过调整的 SMA - 16 级配, 沥青结合料采用 4% PE + 2% SBS 综合改性盘锦沥青, 混合料中掺加了 0.4% 的石棉纤维。在第二年发布的《公路沥青路面施工技术规范》(JTJ 032—94) 的条文说明中, 首次对 SMA 路面作了介绍。由于尚缺乏成熟的经验, 未正式列入规范正文。这以后, 相继于 1996 年在“国航第一道”首都机场东跑道、1997 年在“中华第一街”北京长安街及八达岭高速公路上普遍应用, 取得了良好的效果。许多省铺筑了 SMA 路面的试验段, 并逐步在高速公路、城市道路、机场跑道上应用和试用, 为进一步研究 SMA 路面提供了非常有益的经验。

在推广应用 SMA 路面技术的过程中, 课题组主要进行了以下工作:

(1)召开推广会议,组织推广应用工作

- 1)于 1999 年在河北省保定市召开第一次 SMA 路面推广应用技术研讨会;
- 2)于 2000 年在山东省召开了第二次推广应用的专题会议。

另外,通过各种相关会议,如交通博览会国际会议、公路学会、道路工程学会、沥青会议等介绍和推广应用 SMA 路面。在交通部召开的沈阳沥青路面研讨会上,课题组介绍了 SMA 路面的优点,同时指出了它的风险。

(2)进行技术咨询和技术服务

自推广应用 SMA 路面以来,课题组直接指导或参与了北京市、上海市、山东省、湖北省、安徽省、浙江省、四川省、黑龙江省、江苏省、山西省、河北省、辽宁省、广东省、福建省等的 SMA 路面试验路或实体工程铺筑;还直接承担了山东省京沪高速公路化临路、深圳市洪湖西路、湖北省黄黄高速公路试验路、黑龙江省哈绥高速公路试验路、哈尔滨机场高速公路、江苏省淮江高速公路试验路、首都国际机场东跑道和西跑道道面、哈尔滨太平国际机场道面、辽宁省沈山高速公路、安徽省合安高速公路、四川省成南高速公路等工程的 SMA 混合料的配合比设计。这些 SMA 路面试验路或实际工程,到目前为止使用效果均较良好,使用单位普遍满意。

课题组多次在各种学术性会议上,或者赴各地工程建设单位宣讲 SMA 路面技术,指导施工。课题组编写的《改性沥青与 SMA 路面》至今已经出版印刷 3 次,计 25000 册,一直在畅销中,成为推广 SMA 路面的指导性文件。

2002 年,课题组还赴台湾省就 SMA 路面的铺筑技术进行了讲学和研讨,台湾省的同行对大陆的 SMA 路面的质量很是佩服。《改性沥青与 SMA 路面》一书在台湾畅销并受到欢迎。

(3)铺筑试验段研究

除了与各地铺筑的 SMA 试验段外,这里值得一提的是交通部公路科学研究所与北京市公路局合作,在北京市通顺路铺筑的不同材料、不同沥青用量、不同结构、不同路面品种的对比试验路,共 22 段,长 2200m。对影响 SMA 路面质量的各种因素进行对比研究,取得了一系列有重要价值的研究成果。例如:

- 1)矿料级配及集料最大粒径:AC-16、SMA-16、SMA-13;
- 2)矿粉用量:12%(0.075mm 通过量 9%);
- 3)沥青用量:SMA 油石比 5.7%、6.2%、6.7%,AC 油石比 5.2%;
- 4)细集料品种:天然砂、人工砂(石屑);
- 5)纤维品种:石棉纤维、木质素纤维;
- 6)沥青品种及标号:日本 AH-110、辽河 AH-90、盘锦 AH-90;
- 7)不同改性沥青品种与剂量:包括辽河-100 普通沥青 + PE5.5%、PE6% + PE4% + SBS2%、PE3% + SBS3%、SBS6%(线型 791、星型 801、星型 802),以及路翔公司废塑料膜 PE4% + 橡胶粉 2% 综合改性,日本 AH-110 + 3%PE + 3%SBS 综合改性,盘锦 AH-90 重交沥青 + 3%PE + 3%SBS 综合改性, + APAO 3585 6%、8% 等等。

该试验路的段落布置如表 1-1。在铺筑过程中,中国公路学会道路工程学会的全体代表参观了施工情况。

(4)铺筑的 SMA 路面实体工程

由于 SMA 路面的优良的使用性能,在我国的高速公路、城市道路、大跨径钢桥桥面铺装、

北京市通顺路试验路方案

表 1-1

段落	矿料 级配	沥青品种 及标号	改性剂品 种及用量	油石比	纤维 (%)	矿粉 (%)	试验目的要点
1	SMA-16	日本加德士-110	3% PE + 3% SBS 线型 791	6.2	木质素 0.3	9	首都机场东跑道标准段
2	SMA-16	辽河-100	6% SBS 星型 802	6.4 6.7	石棉 0.4	9	比较不同 SBS 型号
3	AC-16I	盘锦-90	8% APAO	5.4	无	5	考察 APAO 效果
4	AC-16I	盘锦-90	6% APAO	5.4	无	5	考察 APAO 效果
5	SMA-13	辽河-100	3% PE + 3% SBS	6.4	木质素 0.3	9	比较不同最大粒径
6	SMA-16	辽河-100	路翔 PE4% + 胶粉 2%	6.2	石棉 0.4	9	比较不同改性剂
7	SMA-16	辽河-100	4% PE + 2% SBS	6.2	石棉 0.4	9	八达岭高速公路京昌段北段标准段
8	SMA-16	辽河-100	6% SBS	6.2	石棉 0.4	9	比较不同改性剂
9	SMA-16	辽河-100	6% PE	6.2	石棉 0.4	9	比较不同改性剂
10	AC-16I	辽河-100	无	5.2	无	5	现在常用普通结构
11	SMA-16	辽河-100	无	5.8	石棉 0.4	9	SMA 不用改性沥青
12	SMA-16	盘锦-90	3% PE + 3% SBS	6.2	木质素 0.3	9	比较不同沥青品种标号
13	SMA-16	盘锦-90	无	5.8	木质素 0.3	9	SMA 不用改性沥青
14	AC-16I	辽河-100	3% PE + 3% SBS	5.4	无	5	普通结构加改性沥青
15	SMA-16	辽河-100	3% PE + 3% SBS	6.7	木质素 0.3	9	比较不同沥青用量
16	SMA-16	辽河-100	3% PE + 3% SBS	5.7	木质素 0.3	9	比较不同沥青用量
17	SMA-16	辽河-100	3% PE + 3% SBS	6.2	木质素 0.3	9	比较不同沥青用量
18	SMA-16	辽河-100	3% PE + 3% SBS	6.2	木质素 0.3	9	比较不同细集料种类
19	SMA-16	辽河-100	3% PE + 3% SBS	6.2	石棉 0.4	9	比较不同纤维种类
20	SMA-13	辽河-100	3% PE + 3% SBS 星型 801	6.2	石棉 0.4	9	比较不同最大粒径及不同 SBS 品种

飞机场跑道都得到了广泛的应用。据估计,推广应用的总里程已经超过 1500km,总面积超过 3000 万 m^2 。

(5) SMA 路面的应用概况

1) 在高速公路上的应用

高速公路的表面层对沥青混合料的要求非常高,既要有很强的高温抗车辙性能,又要求有出色的低温抗裂性能,既要有很好的密水性和耐老化性能,又希望有良好的表面抗滑、减噪等

表面功能。采用普通的沥青混合料通常不能兼顾到各个方面,所以在一些高速公路上发生了严重的早期破坏。采用 SMA 路面是目前最好的技术措施。

以北京市为例,自首都机场高速公路和八达岭高速公路采用 SMA 面层取得了良好的效果以来,在其他的高速公路,如京沈高速公路、八达岭高速公路二期和三期、京哈高速公路、京开高速公路、五环路、六环路、京承高速公路等都采用了 SMA 结构,至今已接近建成通车 300km,几乎成为北京市高速公路表面层惟一路面结构类型。使用多年来,除了部分路段仍有半刚性基层沥青路面的反射缝外,没有发生大的早期破坏,使养护工作量大为减少,大部分路段可以维持好几年的“零养护”状态,其效果得到了普遍的认可。从总体上说,取得了重大的社会效益。

河北省是我国较早开始研究 SMA 的省份之一,几次组织相关人员赴欧美国家考察。省交通科研所从 1995 年起开始配合工程研究 SMA,对多种纤维及改性沥青应用于 SMA 进行了对比试验,并开发了国产纤维和纤维添加设备,颗粒纤维和絮状纤维的添加设备都已经在工程中得到应用。1996 年 10 月,首先在 307 国道铺筑了 600m SMA 路面试验段,对国产沥青和北美硬沥青进行了对比,并采用 ALF 加速加载设备进行了使用寿命检测。在此基础上,1997 年 10 月,在保津高速公路上开始铺筑 SMA 路面,至 1998 年 10 月已经铺筑了 60km(单幅),分别采用韩国 AH-90、AH-70 及 SBS 改性沥青进行了对比。1998 年 10 月又在石家庄~黄骅港高速公路上铺筑了不同纤维的试验段 8km(单幅),这些路段的铺筑普遍受到好评。1999 年在京秦(京沈)高速公路上铺筑了 2 段 SMA 路段。这几段 SMA 路面被认为是河北省最好的高速公路沥青路面。

辽宁省对 SMA 的研究也很早,并组织了对欧美的考察,1996 年 9 月在丹霍线沈阳~本溪一级汽车专用公路小堡~南芬段 A 线 K67+300~K65+160 铺筑了不同级配类型、不同粗集料的 SMA 试验路 2247m²,此试验路还与辽宁常用的抗滑表层 AK-13B 进行了比较。1997 年 9 月在沈大高速公路东侧 K238+445~K234+005 再次铺筑了不同级配类型、不同粗集料、不同纤维的试验路面 46659m²,1998 年 7 月在沈哈高速公路沈阳~四平段 K114+710~K115+710 铺筑了 SMA-13 试验路 10250m²。1999 年夏,沈大高速公路的 SMA 试验路由于沥青用量偏大,普遍发生了泛油现象。铁四高速公路上的 SMA 路面试验段也有轻微的沥青偏多使构造深度减小的现象,但是在铁四高速公路大面积发生水损害破坏时,SMA 段却没有发生破坏,充分显示出 SMA 路段密水性好的优点,而受到了辽宁省交通部门的重视,遂于 1999 年 9 月又在沈山高速公路上铺筑了 2km SMA 试验路,并计划在沈大高速公路上普遍应用。

山西省是我国最有名的产煤省份,汽车运煤占了很大比重,重载及超载车情况非常严重,1996 年建成的太旧高速公路由于经受不住超载车的重负,不得不对车辆实行限制。如何提高山西省运煤干线的沥青路面的高温抗车辙性能,在我国具有典型意义。山西省交通厅十分重视此项研究,于 1997 年起由山西省交通科学研究所和山西省交通勘测设计院等单位牵头,陆续开展对改性沥青和 SMA 路面的试验研究,并于 1998 年在原平~太原高速公路 K19+000~K22+000 处铺筑了 3km SMA 的试验路段,对 SMA-16 与 AC-16I 型进行了对比,同时对是否采用改性沥青进行了研究。以后,他们在太原南过境高速公路、晋焦高速公路等铺筑了更长里程的 SMA 路段。

在山东省,自从 1997 年在京沪高速公路泰安化临段铺筑了 20km SMA 试验路段后,SMA 路面得到了迅速推广,加上他们所采用的 MAC 改性沥青的成本较低,SMA 在高速公路上得到很大的推广。迄今为止,在滨博、竹曲等高速公路上应用,累计已经超过 180km。

在吉林省,由于吉林省公路局的企业能够自行生产木质素纤维,使铺筑 SMA 路面的初期投资得以降低,从而使铺筑 SMA 路面的里程大幅度增加。例如吉林省近年来铺筑的长余高速公路(161km)、长春~白城一级公路(316km)、四平~白山一级公路(319km)等,已经接近1000km,是我国铺筑里程最多的省份。不仅在高速公路上应用 SMA,更多的是在其他等级的公路上广泛应用 SMA 结构,大量的二级路,甚至三级路都铺筑了 SMA 面层罩面,使路况得到了很大改善。

2)在城市道路主干线上的应用

1997 年北京市在东西长安街上首次铺筑 SMA 路面取得成功后,在北京市、上海市等许多大中城市的城市主干线或快速公路(城市高速公路)上,开始普遍使用 SMA 结构。其实长安街的 SMA 路面当时铺筑得并不满意,受经费影响,厚度只要 30mm(SMA-10),因为工期要赶在“七一”香港回归以前结束,只能使用现有的石灰岩石料,又由于夜间施工,质量受到影响,在通车不久便发生了局部破坏。但是在局部修补后,至今已经 5 年,除一些交叉口有中下面层引起的严重车辙外,使用效果比以往任何一次维修的效果都好。后来在平安大街、广安大街、学院路、四环路等一大批新建的主干线上普遍采用,均取得了良好效果。

上海市在浦东机场路和世纪大道等工程铺筑了 SMA 路面后,道路状况有了质的飞跃,现在在许多城市道路主干线上应用。深圳市在迎宾大道等一系列城市道路主干线上铺筑了 SMA 路面。

3)在大跨径钢桥桥面上的应用

我国的公路桥梁,长期以来都采用钢筋混凝土结构,为了减轻自重,陆续开始修建大跨径钢箱梁的悬索桥和斜拉桥,桥面铺装成为一个最大的难题。1997 年从广东省虎门大桥起,开始采用 SMA 桥面铺装,尽管现在还存在诸多问题(主要表现为与钢板的粘结等),但使用效果仍是值得肯定的。从此以后,SMA 结构在厦门海沧大桥、武汉长江三桥、军山大桥、重庆鹅公岩大桥等许多大跨径钢桥上得到了应用。

4)在飞机场跑道上的应用

我国最早在飞机场跑道上应用 SMA 道面是桂林机场和厦门机场,后来在首都国际机场东跑道得到了全面的应用,并取得了很大的成功。以后在其他许多机场如敦煌机场、兰州中川机场、哈尔滨机场、天津机场以及许多军用机场得到了应用。这些应用固然不是推广的内容,但也不无关系,如首都机场东跑道和西跑道是直接参与设计和施工的,哈尔滨机场进行了目标配合比设计,其他不少机场参与了技术咨询和研讨,目前正承担一些军用机场的罩面加铺设计和试验工作。SMA 在机场跑道上得到了成功的应用,目前在全世界都是处于前列的。

第二节 SMA 研究的主要成果

对 SMA 研究的主要成果均体现在《SMA 路面技术指南》中,主要包括以下内容:

(1)提出了 SMA 路面对材料的技术要求,经过实践证明,建设 SMA 路面需要使用高质量的集料,宜同时使用改性沥青。

(2)提出了符合我国实际情况的 SMA 配合比设计和确定最佳沥青用量的方法,验证了采用 VCA 指标的重要性。

(3)提出了 SMA 混合料的标准矿料级配范围和适宜的厚度如表 1-2 所列。

SMA 混合料矿料级配范围

表 1-2

通过下列筛孔 的百分率(%)	规 格(按公称最大粒径分)			
	SMA - 20	SMA - 16	SMA - 13	SMA - 10
26.5	100	100		
19	90 ~ 100	100		
16	72 ~ 92	90 ~ 100	100	
13.2	62 ~ 82	65 ~ 85	90 ~ 100	100
9.5	40 ~ 55	45 ~ 65	50 ~ 75	90 ~ 100
4.75	18 ~ 30	20 ~ 32	20 ~ 34	28 ~ 60
2.36	13 ~ 22	15 ~ 24	15 ~ 26	20 ~ 32
1.18	12 ~ 20	14 ~ 22	14 ~ 24	14 ~ 26
0.6	10 ~ 16	12 ~ 18	12 ~ 20	12 ~ 22
0.3	9 ~ 14	10 ~ 15	10 ~ 16	10 ~ 18
0.15	8 ~ 13	9 ~ 14	9 ~ 15	9 ~ 16
0.075	8 ~ 12	8 ~ 12	8 ~ 12	8 ~ 13
适用的层厚(mm)	50 ~ 80	40 ~ 50	35 ~ 40	25 ~ 30

(4)提出了 SMA 混合料马歇尔试验配合比设计指标和技术要求,提出了配合比设计检验的指标和技术要求,如表 1-3 及表 1-4 所列。

SMA 马歇尔试验配合比设计技术要求

表 1-3

试 验 项 目	单 位	技 术 要 求	
		当不使用改性沥青时	当使用改性沥青时
马歇尔试件击实次数 ^[1]		两面击实 50 次	
空隙率 VV ^[1]	%	3 ~ 4	
矿料间隙率 VMA ^[1]	不小于	17.0	
粗集料骨架间隙率 VCA _{mix}	不大于	VCA _{DRC}	
沥青饱和度 VFA	%	75 ~ 85	
最小油石比,合成集料毛体积相对密度			
2.9 不小于	%	5.5	5.6
2.8 不小于	%	5.7	5.8
2.7 不小于	%	5.9	6.0
2.6 不小于	%	6.1	6.2
稳定度 ^[2]	不小于	5.5	6.0
流值	mm	2 ~ 5	—

注: [1]对高温稳定性要求较高的重交通路段或炎热地区,设计空隙率取高限,且允许放宽到 4.5%,VMA 允许放宽到 16.5%。对集料坚硬不易击碎,通行重载交通的路段,也可将击实次数增加为双面 75 次;

[2]当达到马歇尔试验的稳定度确实有困难时,对非改性沥青 SMA 的稳定度可放宽到 5.0kN,改性沥青 SMA 可放宽到 5.5kN,但车辙试验的动稳定度必须合格。

其中关于最小油石比的规定,最近在修订《公路沥青路面施工技术规范》过程中,经过认真讨论,认为其意义不大,在我国由于气候和重载交通的缘故,不能完全照搬这个概念,还是应该实事求是,所以打算取消此指标。

SMA 配合比设计检验指标

表 1-4

检 验 项 目	单 位	技 术 要 求		试验方法
		当不使用改性沥青时	当使用改性沥青时	
谢伦堡试验沥青析漏损失 ^[1]	%	不大于 0.2	不大于 0.1	T 0732
肯塔堡飞散试验的混合料损失 (20℃)	%	不大于 20	不大于 15	T 0733
车辙试验动稳定度 ^[2]	次/mm	> 1500	> 3000	T 9719
水稳定性:				
残留马歇尔稳定度	%	75 以上	80 以上	T 0709
冻融劈裂试验残留强度比	%	75 以上	80 以上	T 0729
渗水系数	mL/min	< 20		T 0730
构造深度	mm	0.8 ~ 1.5		T 0731

注:[1]谢伦堡沥青析漏试验在施工最高温度下进行,没有明确规定时,非改性沥青混合料的试验温度为 170℃,改性沥青混合料的试验温度为 185℃;

[2]当采用改性沥青时,车辙试验的试件成型后在常温下养生的时间不少于 48h,且不得超过 1 周。车辙试验不得采用取样后冷却再经二次加热重塑成型的试件。

(5)提出了一整套 SMA 路面的施工工艺,尤其是对压实工艺,总结出采用大吨位振动压路机采用“紧跟、慢压、高频、低幅”的方针。提出了在施工现场鉴别是不是真正的 SMA 的两个重要标志:即“能否在高温状态下用振动压路机碾压而不产生推移”以及“表面既有较大的构造深度又基本上不透水”。

(6)提出了 SMA 路面施工质量管理的方法和质量检验要求,如表 1-5 所列。

SMA 路面施工质量检验要求

表 1-5

项 目	检 查 频 度	质量要求或允许差	试 验 方 法
外观	随时	无油斑、离析、轮迹等现象	目测
接缝	随时	紧密、平整、顺直、无跳车	目测、三米直尺
施工温度	1 次/车	符合附录三表 5.1.1-2 要求	数显式温度计
矿料级配	每台拌和机 1 ~ 2 次/日	下列筛孔与设计标准配合比的容许差: 0.075mm ± 2 % 4.75mm ± 4 % ≥ 9.5mm ± 5 %	抽提筛分
油石比	同上	± 0.3 %	抽提筛分
马歇尔试验稳定度、流值、密度、空隙率	同上	符合设计要求	拌和厂取样成型试验
车辙试验	必要时	不小于设计要求 ^[1]	拌和厂或现场取样成型送实验室试验
渗水试验	随时	基本上不渗水或渗水非常慢	向路面倒水观察
	4 次/日	SMA - 13 及 SMA - 10: 不大于 200mL/min SMA - 16 及 SMA - 19: 宜不大于 200mL/min, 或实测记录	用渗水仪测定

续上表

项 目	检 查 频 度	质量要求或允许差	试 验 方 法
构造深度	不少于 5 处/日	0.8 ~ 1.3mm ^[2]	铺砂法
压实度	每 2000m ² 检查 1 处	不小于马歇尔密度的 98% 或不小于真空法实测的最大相对密度的 94% (单点检验)	钻孔法或核子仪
空隙率	必要时	不大于 6% ^[3]	钻孔法
平整度	全线测定 1 ~ 2 次/日	不大于设计要求	整车式颠簸累积仪或 3m 连续式平整度仪

注: [1]制件方式可采用①拌和厂取样,装在保温桶内快速送达实验室,立即制件,若温度稍有降低,试样可在烘箱中适当加热,但不得用电炉或明火加热;②在摊铺现场直接取样装入试模,用现场成型机或小型压路机等适宜的方式碾压成型;③不得采用取样后放冷,在实验室长时间保存,二次加热重塑的试件进行车辙试验;

[2]如果证明确实不渗水,构造深度容许超出上限;

[3]若试件不规范或与下层有粘连时,应对钻孔试样的两端切割,然后用表干法测定试件空隙率。设计空隙率大于 4% 时,路面残余空隙率要求不得放宽。

在以上研究成果中,最突出的是不能照搬国外的规范和经验,尤其是以下两点具有重要价值:

1) 根据我国国情,夏季炎热和超载严重的情况,需适当减少沥青用量;

2) 由于沥青用量较少,就需要有配套的施工工艺,必须采用大吨位振动压路机“紧跟、慢压、高频、低幅”的碾压方式。

事实证明,这两点是对国外 SMA 设计和施工的重大突破。有些 SMA 路段不太令人满意,主要反映在沥青用量偏多以及没有采用这种碾压工艺。

2000 年,美国最有名的研究 SMA 的专家 Brown 先生在视察北京市的 SMA 路面时谦虚地说:中国的 SMA 路面铺筑得很好,比美国的还好。北京市首都国际机场东跑道 SMA 道面获得了国家科技进步二等奖,受到了国际民航组织和许多外国专家的好评。这说明我国的 SMA 技术已经到了相当高的水平。“沥青玛蹄脂碎石混合料性能与指标的研究”课题成果获得了中国公路学会科技进步奖二等奖。

第三节 推广应用 SMA 的经验和体会

通过 SMA 路面新技术的推广应用,我们有不少体会:

第一,新技术的推广应用不能仅仅依靠上级的命令或者措施,主要是看新技术是否有技术经济上的优势。在 SMA 的推广过程中,遇到了许多阻力,认为我国经济基础落后,不适合使用 SMA 的看法产生了比较大的影响。各级领导和推广组也在种种场合提醒大家注意要慎重,指出铺筑 SMA 的风险,确实使一些原本打算铺筑 SMA 路面的工程取消或者缩短了铺筑里程。但是技术上的优势使初期投资的增加很快在初期养护中得到了回报,它有效地防止了一些工程出现早期破坏。有一个省在 1997 年铺筑的数十公里高速公路的沥青路面,在第二年发生了严重的水损害破坏,几乎全部返工重铺,可是原本并不太看好的 SMA 路面试验段却保留完好,使该省受到了很大的震动,遂决定在以后的高速公路中逐步推广应用。尽管有不少新的结构形式问世或者被推荐,但广大工程技术人员能从实践中总结得出符合实际的想法。

第二,规范是推广 SMA 路面的重要因素,但主要是看样板的效果。

从规范的角度看,尽管 1997 年的《公路沥青路面设计规范》已经列入了 SMA 路面的有关内容,但比较简单。真正对推广应用起到推动作用的是已经铺筑成功的 SMA 路面的样板作用。例如,一些工程单位对 SMA 将信将疑,待参观了北京市的 SMA 路面后,得到了很大的鼓舞,下决心在工程中应用。但是有的省由于试验路多次铺筑都不很理想,推广面始终大不起来。

现在,《SMA 路面技术指南》已经批准发行,但指南毕竟只是“指南”,大家在使用中也不能把它当成教条,各地应该根据当地的具体条件,提出不同的要求,尤其是铺筑好试验路,让事实教育人,是逐步推广 SMA 路面的主要技术手段。

第三,降低成本是 SMA 路面推广应用的关键

从成本的角度看,SMA 路面的初期投资较同厚度的普通沥青混合料要高出 25% ~ 30%。价高的原因包括:

(1)纤维的使用。从使用情况看,纤维在 SMA 中有改性沥青不可替代的作用,以木质素纤维为例,目前单价已经大为降低,大体上在 6000 ~ 7000 元/t 左右,进口的约 7000 ~ 8000 元/t 左右,用量通常为沥青混合料总质量的 0.3%,每吨混合料约需增加 20 余元。现在有些工程使用聚合物纤维,要做好技术经济分析,有的聚合物纤维单价是木质素纤维的 10 倍,比国外原产地也高出好多倍,几乎使沥青混合料价格翻番,所以对聚合物纤维要从成本效益分析,不要滥用。目前一些工程在纤维使用上出现了混乱,有一个工程居然在下面层每吨混合料中使用进口聚合物纤维 2.27kg,仅纤维价格一项便使混合料成本增加了 50%。因此为降低成本,应该认真选择纤维的牌号、品种,在质量相当的情况下,优先采用国产纤维,是降低造价的重要措施。

(2)改性沥青的应用。使用 SMA 宜同时使用改性沥青,在实际使用中充分证明了这一点。大部分没有同时使用改性沥青的 SMA 工程使用效果并不太满意。北京市之所以能够普遍使用 SMA,除了纤维选用方面作了种种努力外,他们从不迷信进口沥青,一直坚持采用满足规范规定的“重交通道路沥青”,这是节省造价的最重要原因。以国产沥青作为改性沥青的基质沥青,改性以后的价格与进口普通沥青的价格大体相当或略高一些,这样使 SMA 的成本大为降低。目前许多地方迷信进口名牌沥青,使改性沥青的价格过高,是影响 SMA 路面推广的一大原因。

(3)从结构上考虑。现在普遍设计的路面表面层厚度为 40mm,与一般的路面一样,集料公称最大粒径大部分为 16mm,且证明这是可行的。但从集料最大粒径与压实厚度匹配的角度出发,对 40mm 的表面层宜采用 SMA - 13。另外从表面层的功能出发,完全可以将 40mm 的表面层减薄为 30mm,如果这样,可使铺筑 SMA 的成本减少 25%。为维持总厚度不变,可以将表面层减薄的 10mm 增加到中面层,因为中面层的集料价格普遍要比表面层便宜得多,便可以由此节省一大块。为了使减薄的厚度与集料粒径匹配,近年来我们努力推广 SMA - 13,并开始试验 SMA - 10,这对于一些缺乏优质集料而盛产石灰岩的地区,尤其有价值。

(4)成本的增加还有一大块是源于沥青用量的增加。SMA 的性能好,沥青用量增加约 1% 是起到重要作用的。适当减少沥青用量的出发点不是为了节省沥青,而是从性能出发的。在通常情况下,已经确定了沥青用量后,再从减少沥青上节省成本的空间是不大的。现在已经开始试用轮胎压路机碾压,以进一步减少沥青用量,这在目前还只是一种设想,不到推广应用的程度。

(5)拌和厂制造改性沥青 SMA 混合料,将使生产效率降低,增加生产成本。这也是影响 SMA 推广的一个因素。与通常的沥青混合料相比,拌和楼的生产率一般要下降 20% 左右,由此伴随着生产成本的增加。

为此,推广组从多方面努力,竭力使 SMA 混合料的成本得以降低,以推动 SMA 的应用。

第四,提高 SMA 路面的修建技术,预防早期破坏至关重要。

与任何路面工程一样,如果不重视材料选择和施工工艺,不按科学规律办事,同样会导致 SMA 路面的使用效果不好,甚至早期破坏。现在比较突出的问题还是一些单位迷信国外的规范和经验,对我国的研究成果置若罔闻。突出的表现是在配合比设计和施工工艺上。配合比设计的教训主要是沥青用量使用太多,不肯降下来。施工工艺上的主要问题是不肯采用振动压路机加强碾压,盲目地相信国外经验,只采用钢轮压路机静压,认为只要压实度满足要求就可以了。对 SMA 路面来说,其实首要的是压实工艺,压实工艺是决定路面成败的关键。沥青用量偏高、碾压不足是我国 SMA 失败的主要原因。有的省几年来修建的多条试验路,都不同程度地发生泛油,有的还产生了车辙,甚至在东北也发生车辙破坏。例如,在某省一个 SMA 工程的目标配合比设计,当地研究单位也进行了配合比设计,沥青用量不肯降下来,施工时明显沥青用量偏大,尤其是坚持不同意采用振动压路机加强碾压,只肯碾压半遍,后来果然发生了严重破坏。

当然在看法上也有误区,有些情况不属于泛油,因为 SMA 集料表面有厚的油膜,通车后油膜移动到间隙中,使构造深度减小,这是正常的。

在推广应用 SMA 的过程中,不能照搬照抄国外的经验,必须根据我国具体的气候条件和交通条件。我国普遍夏季炎热,且有大量的超载车存在,适当减少沥青用量和加强碾压是最重要的研究成果。这个经验来之不易,是非常宝贵的。

另外,使用高质量的材料是保证 SMA 路面成功的关键。现在突出反映在粗集料的针片状颗粒含量较大,及细集料含泥量大的问题上。南方有一个省,居然采用相对密度小于 2.6、吸水率达 4% 的集料铺筑 SMA 路面,这显然是不合适的,但施工单位认为这是业主指定的,结果路也坏了,人也抓起来了。

第五,不能迷信 SMA 路面,还必须有配套的设计、施工工艺,否则同样会不成功。

如果认为只要铺筑 SMA 面层就能够解决沥青路面的早期破坏,就万事大吉了。这种观点是走进了一个新的误区。SMA 终究只是一层薄薄的表面,它不能保证整个沥青路面的结构不受破坏。例如,对车辙来说,表面层固然重要,但它相当程度上是发生在中面层,尤其是重载车和超载车的作用,使路面的水平推力的作用深度加深,通常都超过 80~100mm 甚至更深,如果仅仅依靠表面层的 30~40mm 要想解决整个路面的车辙问题,显然是不可能的。因此对夏季炎热、且有繁重荷载及大量超载车通过的路段,建议在中面层也采取改性沥青等技术措施。

另外,SMA 面层尽管说是“基本上不透水”,但不等于说就是绝对不透水,施工结束的 SMA 层,仍然有 5%~6% 的空隙率,由于离析,个别地方会更大,不可能完全不透水。如果中面层及下面层的厚度很薄,又不密水,从表面层下去的水仍然有可能使路面发生水损害破坏。

还有的省,因为发生过严重的水损害破坏,对空隙率和渗水十分重视,导致沥青用量偏多,并造成车辙。

所以,不仅要把 SMA 这一层修好,还必须针对实际的气候条件和交通情况,有配套的路面结构和设计,选择优质材料,改进施工工艺,才有可能完全排除早期破坏的出现。

第四节 今后应该注意和还需继续研究的问题

在我国,SMA 路面的应用还处于起步阶段,由于经济条件的关系,各地的认可能力有差