



SMA

路面设计

SMA LUMIAN SHEJI YU SHIGONG 与
施工

余叔藩 编著

人民交通出版社

6.217

U416.21
175
SMA Lumian Sheji Yu Shigong

SMA 路面设计与施工

余叔藩 编著



A1052025

人民交通出版社

内 容 提 要

本书在综合分析国内外 SMA 路面技术成果的基础上,对 SMA 路面中混合料的组成与特性、设计与施工进行了比较系统的论述。重点介绍 SMA 路面的材料选择、混合料设计、施工工艺与质量管理等内容。

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

图书在版编目 (C I P) 数据

SMA 路面设计与施工 / 余叔藩编著. —北京:人民交通出版社, 2002.5

ISBN 7-114-04290-6

I .S... II .余... III .①碎石—路面—设计②碎石—路面—工程施工 IV .U416.214

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 036065 号

SMA 路面设计与施工

余叔藩 编著

正文设计:王静红 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

北京凯通印刷厂印刷

开本:850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张:7.125 字数:184 千

2002 年 8 月 第 1 版

2002 年 8 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001—4000 册 定价:16.00 元

ISBN 7-114-04290-6

U·03149



自改革开放以来,我国公路交通进入了快速发展时期。近年来,建设公路主骨架系统的高潮方兴未艾。自 1998 年起我国每年公路建设投资规模均超过 2000 亿元。2001 年新增公路 3.2 万公里,其中高速公路 3017 公里,到 2001 年底全国公路里程达到 169.8 万公里,其中建成的高速公路突破 1.9 万公里。我国拥有高速公路的里程数已居世界第二位。公路建设的迅速发展,对我国国民经济的增长起到了巨大的带动和促进作用。

在高速公路的建设中,绝大多数采用沥青路面。由于汽车交通量的日益增长,轴载与轮胎单位压力的增加,对道路路面的性能与耐久性提出了更高的要求。传统的沥青混凝土路面在交通荷载与气候的作用下,容易发生车辙、开裂、剥落、松散和坑洞等病害。我国高速公路路面使用寿命远远达不到设计要求,发生早期破坏的情况比较普遍,从而大大加重了养护和维修的工作量,对交通和环境均造成非常不利的影响。沥青路面发生早期破坏,除了存在沥青混合料设计与施工不当的原因外,还与沥青路面类型的选择有关。SMA 路面在高温抗车辙、低温抗裂、疲劳抗裂、抗水损害、抗老化与抗滑方面,均优于传统的沥青混凝土路面。虽然 SMA 路面对材料和工艺的要求较高,初期建设费用也比传统沥青混凝土路面略高,但其服务寿命较长,铺筑厚度较薄和养护工作量小,使其全寿命成本较低,且具有可持续的环境效益。SMA 路面的高性能与技术经济的优越性,使之成为改善与提高沥青路面性能与耐久性的重要途径。SMA 路面先后在欧洲和北美的重交通道路、机场和港区道路上获得了广泛的应



用。自 20 世纪 90 年代以来, SMA 路面越来越多地应用于我国高速公路、重交通道路、机场跑道和桥面工程, 包括要求很高的钢桥面铺装工程。虽然 SMA 的推广应用在我国出过一些问题, 但在总体上取得了良好的工程效果, 积累了较丰富的工程实践经验, 并已经有了良好的开端。交通部公路科学研究所等单位承担了 SMA 性能及指标的试验研究任务, 他们吸取欧洲与美国 SMA 技术成果, 并结合我国的实际情况, 已提出了《SMA 路面施工技术指南》(待颁布)。该“指南”对 SMA 路面在我国进一步推广应用必将起到指导与推动作用。

在学习与吸收国内外主要 SMA 技术成果与工程经验的基础上, 结合本人的工程实践经验与体会, 本书试图对 SMA 路面的设计与施工技术进行简明适用的阐述; 并立足于我国的气候与交通荷载条件, 针对 SMA 路面设计施工中经常发生的问题, 重点介绍 SMA 路面的材料选择、混合料设计、施工工艺与施工质量管理。本书第 1 章简要介绍国内外 SMA 路面发展概况。第 2 章介绍 SMA 路面的基本概念与特性, 包括 SMA 混合料的组成特点、面层功能特性与 SMA 路面技术的发展。第 3 章说明 SMA 路面的材料选择, 包括对沥青结合料、集料、填料与稳定剂的技术要求, 材料特性对 SMA 路面性能的影响; 并建议应用 Superpave 技术根据工程的气候与交通荷载条件合理选择沥青结合料的性能等级。第 4 章说明沥青混合料的体积设计原理。参照美国沥青混合料的体积设计法, 分析集料对沥青结合料的吸收特性及其对压实混合料包括 SMA 混合料的体积特性与沥青用量的影响, 说明只有用真空饱水法确定沥青混合料的理论最大比重, 才能正确确定压实混合料空隙率等体积参数。第 5 章论及 SMA 混合料

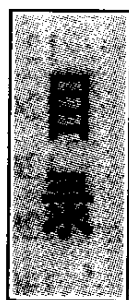


设计方法(马歇尔法),包括 SMA 混合料的集料级配、沥青用量与体积参数的技术要求和混合料性能检验,并提出确定混合料初试沥青用量方法与 SMA 混合料设计程序的建议。第 6 章介绍 SMA 混合料设计的工程实例,包括材料选择、选择设计集料级配、选择设计、沥青用量和混合料性能评价。第 7 章介绍 SMA 混合料(路面)的施工,包括施工前准备、施工环境条件、适合 SMA 特点的混合料生产、运输、摊铺与压实的施工工艺。注重施工与设计的一致性和施工工艺的实用性与可操作性,并用混合料设计的同一工程实例进行说明。第 8 章介绍施工的质量管理与检测,包括施工过程中对集料级配、沥青含量、体积特性,以及 SMA 路面的原位密度、厚度、平整度和构造深度等项目的质量要求及检测频率。重点在施工前的质量管理和施工过程(工艺)的质量控制。

本书可作为 SMA 路面设计与施工的培训教材,适合从事沥青路面的科研、设计、施工与管理的技术人员以及大中专院校有关专业的师生阅读。在本书的编写过程中引用了福建省交通科学研究所提供的试验检测数据,谨表示衷心感谢。限于本人水平,书中内容与观点难免有不妥之处,请读者不吝指正。

编著者

2002 年 3 月



第1章 概述	1
第2章 SMA的基本概念与特性	5
第1节 基本概念	5
第2节 SMA与其他类型混合料的比较	7
第3节 SMA的面层功能特性	11
第4节 SMA路面技术的发展	16
第5节 成本—效果分析	22
第3章 材料选择	24
第1节 沥青结合料	24
第2节 集料	32
第3节 稳定剂	39
第4章 混合料体积设计原理	47
第1节 引言	47
第2节 混合料设计目标	49
第3节 质量—体积关系	51
第4节 压实混合料体积分析	56
第5节 SMA混合料体积分析	60
第6节 正确确定混合料体积参数	62
第5章 SMA混合料设计	69
第1节 设计有关问题	69
第2节 集料级配	74
第3节 沥青结合料用量	79
第4节 混合料设计要求	85
第5节 SMA混合料设计程序	99
第6节 无纤维SMA混合料	109
第6章 SMA混合料设计实例	116
第1节 材料选择	116
第2节 选择设计集料级配	119



第3节	选择设计沥青用量	123
第4节	混合料性能评价	124
第5节	混合料设计小结	126
第7章	施工	129
第1节	施工准备工作	130
第2节	施工环境条件	136
第3节	施工温度	137
第4节	混合料生产	139
第5节	混合料运输	145
第6节	混合料摊铺	146
第7节	混合料压实	151
第8节	接缝施工	158
第8章	质量管理与检测	160
第1节	材料	160
第2节	试验段	161
第3节	混合料的取样与试验	161
第4节	质量要求	163
第5节	SMA 混合料问题检查	172
第6节	质量管理要点	173
附录1	Superpave 性能分级沥青结合料 规范(AASHTO MP1)	175
附录2	欧洲部分国家 SMA 路面简况	179
附录3	沥青玛蹄脂碎石混合料(SMA)设计 标准规范(AASHTO—1998)	203
附录4	确定未压实沥青混合料析漏特性的标准 试验方法(网篮法)(AASHTO—1998)	211
参考文献		215

第1章 概 述

SMA 是 20 世纪 60 年代中期前联邦德国开发的新型沥青混合料。其级配类型为断级配骨架型密实混合料。SMA 中由粗集料构建的坚固的骨架结构具有优异的抵抗永久变形能力,而填充粗集料骨架孔隙的丰富沥青玛蹄脂则赋予 SMA 高度的耐久性,其粗糙的表面构造使路面具有优良的抗滑性和较低的交通噪声。虽然 SMA 对材料和工艺要求较高,初期建设费用比传统沥青混凝土(AC)高一些,但使用寿命较长,铺筑厚度较薄和养护工作量小,路面全寿命成本较低,且具有可持续的环境效益。

由于 SMA 路面具有上述全面的优异的面层功能特性与良好的技术经济效益,现已发展成欧洲重交通道路、机场和港区道路流行的路面磨耗层。前联邦德国于 60 年代中期铺筑的第一批 SMA 路面,现仍在正常服务。SMA 路面已逐渐成为德国重交通道路磨耗层的主要形式,并取代了工艺比较复杂,成本较高的浇注式沥青(Guss Asphalt)路面。至 1996 年止,德国 SMA 铺筑面积超过 1 亿 m^2 (见表 1.1)^[3],相当于 4 车道路面 5000km 以上,是铺筑 SMA 路面最多的国家。瑞典、西班牙 SMA 铺筑面积超过 5000 万 m^2 ,大约分别为德国的一半。荷兰、法国、丹麦、挪威和波兰的铺筑面积达到 1200 万 ~ 3200 万 m^2 ,里程约为 600 ~ 1600km。可以说 SMA 是欧洲干线公路、重交通道路、工业区道路、机场和其他重载路面推广应用最好、最为流行的一种磨耗层类型。

SMA 路面自 20 世纪 60 年代在前联邦德国开创以来,并未立即在欧洲获得推广应用。瑞典 1974 年开始铺筑试验路,自 1988 年以来才在汽车专用路与干道线路面正式使用。20 世纪 80 ~ 90 年代,SMA 才真正流行于欧洲的重交通道路与重载路面。80 年代

相继在丹麦、匈牙利、荷兰、挪威等国获得成功地应用,90年代进一步推广到捷克、意大利、葡萄牙与英国。法国与西班牙则开发了一种类似于 SMA 的沥青混合料,被称为薄层沥青混凝土的 BBM,与 SMA 均为断级配混合料,但细集料稍多,结合料少 1% 左右,且不加纤维。SMA 路面在欧洲的推广应用,适应了欧洲各国道路交通荷载迅速增长的需要。

欧洲 SMA 铺筑面积(1996)

表 1.1

	总面积 (100 万 m ²)	占 1996 年沥青产量 (%)	1996 年铺筑面积 (100 万 m ²)
比利时	4.0	8	
捷克		6	
丹麦	14.1		1.1
芬兰	6.0		
法国(BBM)	18.0		4.0
德国	> 100.0	8	
匈牙利	6.5		2.6
荷兰	32.0	8	
挪威	12.0	3	
波兰	12.0		
葡萄牙	3.0		1.0
斯洛文尼亚	0.1		
西班牙	69.0		4.5
瑞典	50.0	18	

欧洲各国多使用粒径较细的 SMA 作磨耗层,最具代表性的是 SMA11 与 SMA8,其中 SMA11 用于重交通道路。德国、丹麦、捷克、荷兰、瑞典等国均采用 SMA11 与 SMA8 作磨耗层。匈牙利则采用 SMA12 与 SMA8;意大利采用 SMA10 与 SMA15;葡萄牙采用 SMA12.5 与 SMA9.5;英国采用 SMA14 与 SMA10。瑞典与挪威等北欧国家在抵抗带钉轮胎磨耗的情况下,才用到粒径较粗的

SMA16 与 SMA22。粒径较粗的 SMA 除应用于抵抗带钉轮胎磨耗的道路外,还用于沥青路面的联结层与基层(即中面层与下面层)。颗粒较细的 SMA 路面(如 SMA11、SMA8),表面更加均匀一致,密水性更好,并具有同样良好的抗滑性能。而且粒径较小的 SMA 可以铺筑较薄的磨耗层,厚度仅为 20 ~ 40mm。

SMA 混合料设计普遍采用马歇尔制件的体积设计法,无论交通荷载条件怎样,试件每面均锤击 50 次,这是有别于常规沥青混凝土混合料设计的,后者马歇尔锤击次数取决于交通荷载大小。体积设计的目标是使 SMA 路面具有优良的抗车辙与抗滑性能,并具有良好的耐久性而基本不渗水,这就要求压实混合料具有足够的沥青含量(一般比常规沥青混凝土沥青含量大 1% 或更多),并具有适中的剩余空隙率。

欧洲各国都建立了各自的 SMA 设计标准与规范。欧洲标准化委员会(CEN)已于 1998 年出台了欧洲 SMA 标准草案^[3],欧洲 SMA 标准化的工作必将进一步促进 SMA 的推广应用。

1990 年秋美国路面专家赴欧洲进行沥青路面考察,发现 SMA 具有优良的车辙抗力与抵抗带钉轮胎磨耗的能力,确认 SMA 是一种很有希望的路面磨耗层。并于 1991 年 7 月首次在威斯康辛州 94 号公路上铺筑了 SMA 路面,当年有 5 个州铺筑 SMA,从那时起 SMA 路面在美国得到迅速发展。在加拿大,SMA 路面的起步略早于美国^[11]。为指导 SMA 在各州的推广应用,1994 年 NAPA(美国国家沥青路面协会)发布了第一个 SMA 的材料与施工指南^[4],到 1997 年美国建成的 SMA 工程项目超过百项^[7],其中佐治亚与马里兰两个州铺筑的 SMA 路面最多。美国国家沥青技术中心(NCAT)还承担了 SMA 混合料设计方法的研究开发任务,根据美国气候条件的变化,集料筛孔尺寸标准的不同,以及施工机具的特点,NCAT 对 SMA 的材料特性、级配组成与混合料体积设计标准,胶泥的高、中、低温性能进行了系统深入研究,并得出了系列研究试验成果。并于 1999 年提出了比较完整的 SMA 混合料设计方法、施工指南与质量控制/质量保证方法草案^[36-41],把 SMA 路面技术提高到一

个新的水平。在北美推广应用 SMA 路面的同时,亚太地区包括澳大利亚、新西兰、日本、韩国等国家 SMA 的应用也日益增多。

我国 1992 年在首都机场高速公路首次铺筑了 SMA 路面,以后陆续在北京、河北、山东、辽宁、吉林、江苏、广东、四川、福建等省市的高速公路与重交通道路上获得应用,同时在北京、厦门、桂林、广州等机场跑道上铺筑了 SMA 道面。不仅如此,SMA 技术还应用于许多桥面工程,尤其是要求很高的钢桥面铺装工程,如广东虎门大桥、汕头岩石大桥、厦门海沧大桥和武汉白沙洲大桥等桥面铺装。交通部公路科学研究所等单位承担了 SMA 性能及指标的试验研究任务,大量吸取了欧洲尤其是美国有关 SMA 的成果,并结合我国国情及工程实践,对 SMA 的材料性能指标及施工工艺进行了相关研究^[13],并提出了《公路沥青玛蹄脂碎石路面施工技术规范》(待颁布)^[15]。这个指南对于我国推广应用 SMA 路面必将起到很好的规范与指导作用。

第2章 SMA 的基本概念与特性

SMA 铺路混合料发源于前联邦德国,最初称“沥青玛蹄脂石屑混合料”,德文为“Splittmastix Asphalt”。20 世纪 70 年代在欧洲得到发展,英文称为“Stone Mastic Asphalt”,SMA 为其缩写。美国将 SMA 命名为 Stone Matrix Asphalt,以免与“Mastic”发生混淆,因为 Mastic 一词在美国包括煤沥青玛蹄脂,还包括屋面使用的玛蹄脂。而 Stone Matrix Asphalt 意为以石料作骨架结构的沥青混合料,其含义更加确切地体现了 SMA 的特性。虽然在详细的称谓上尚有差异,但都可缩写为 SMA。SMA 一词在全世界范围内都是通用的。

第1节 基本概念

SMA 是一种热拌热铺的断级配骨架型密实沥青混合料。它由大比例碎石(粗集料)构成坚固的骨架结构,并由丰富的沥青玛蹄脂填充骨架空隙进行稳定。如图 2.1,断级配的基本概念在于通过碎石(粗集料)间的直接接触和相互嵌锁来增强路面的强度和稳定性,石、石接触在图 2.1 与图 2.2 示出的表面层 SMA 的剖面图中得到证实。在 SMA 混合料中,粗集料提供骨架结构,而细集料作为玛蹄脂的一部分,基本上不参与构建集料结构的作用。在常规 AC

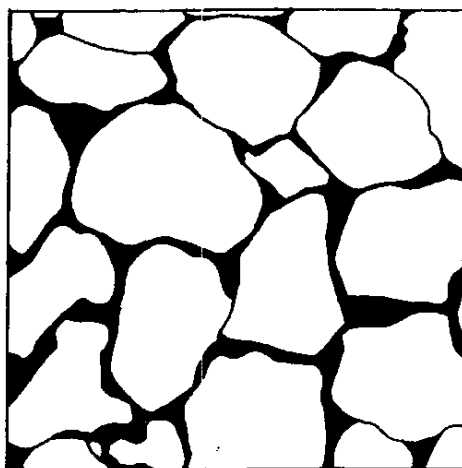


图 2.1 SMA 的石料骨架^[3]

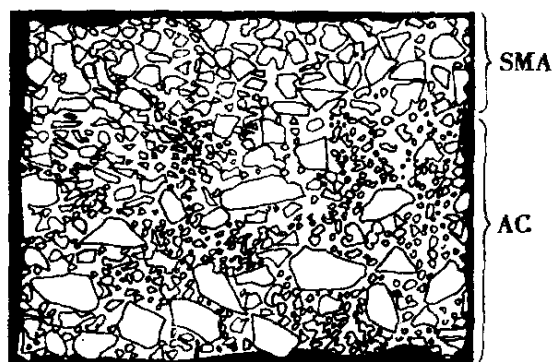


图 2.2 SMA 与 AC 剖面^[11]

密级配沥青混合料中粗集料基本处于悬浮状态,少有石料与石料的相互接触(图 2.2 下层)。SMA“石石接触”的断级配设计概念,很容易理解。同时这种概念还用于开级配抗滑磨耗层与多孔排水混合料中。

技术的难点在于采用沥青玛蹄脂(胶泥),将 SMA 混合料胶结为一体的方法,即将超量的沥青胶结料加入混合料并将其“稳定”的技巧。为了提高混合料的耐久性与抗老化及抗裂能力,在 SMA 混合料中采用超量的沥青结合料是必需的。

为了加入超量沥青结合料,增加沥青胶泥的稳定性,并防止在施工过程中发生结合料析漏,需要采取以下措施:

- (1)增加填料;
- (2)加入纤维稳定剂;
- (3)聚合物改性;
- (4)上述材料的组合。

SMA 路面的主要特点可归结为^[11]:

(1)高度的稳定性与抗车辙能力。原因为高品质碎石及碎石与碎石的嵌锁。

(2)优良的抗滑性。原因为高品质的碎石与 SMA 的表面构造。

(3)减小水雾。原因为 SMA 的表面构造与排水。

(4)降低交通噪声。原因为 SMA 的表面构造及高结合料含量。

(5)增加耐久性。原因为优质集料与高结合料含量。

(6)改进低温性能。原因为高结合料含量与结合料改性。

(7)改进老化特性。原因为高结合料含量与低空隙特性。

SMA 技术具有生成优质路面的充足潜力,其卓越品质与性能的代价表现为:

- (1)较高的材料成本。表现为采用优质集料与添加剂(纤维、

改性剂)。

(2)较高的生产成本。表现为较低的生产率(生产复杂性增加);严格的温度控制与混合料组成控制。

SMA 路面的高温抗车辙能力主要来源于坚固的粗集料骨架结构的嵌锁作用,沥青玛蹄脂的高温劲度也起重要作用;其抗裂性与耐久性则主要取决于沥青结合料与玛蹄脂(胶泥)的数量与特性,集料的高品质也有重要作用。

从各国 SMA 路面的经验得知,要获得 SMA 路面的最佳性能并减小养护工作量,SMA 混合料必须精心设计,并做到精心生产与铺筑。

第 2 节 SMA 与其他类型混合料的比较

为了更好地了解 SMA 混合料特性,现将 SMA 同可以作为重交通道路磨损层(表面层)的其他类型热拌沥青(HMA)混合料作一比较。这些混合料包括现在最常用的密级配沥青混凝土(AC),美国 SHRP 开发的 Superpave 混合料^[26],以及现今发达国家比较流行的开级配多孔沥青混合料(OPA)或开级配抗滑磨损层(OGFC),见表 2.1。

SMA 与其他类型 HMA 混合料的比较

表 2.1

混合料类型		传统 AC	Superpave	OGFC 或 OPA	SMA
级配类型		连续级配 密实结构	AC 改进型, 受禁区与控 制点约束	间断级配骨架 型空隙结构	间断级配骨架 型密实结构
设计空隙率, %		3~5	4	15~24	3.0~4.5
混 合 料 组 成	沥青用量	中等	中等	中等	较多
	粗集料	较少	较多	很多	很多
	细集料	较多	较少	很少	较少
	填料	较少	较少	较少	较多
	纤维	无	无	有或无	有或无

续上表

混合料类型		传统 AC	Superpave	OGFC 或 OPA	SMA
施工特性	粗细集料离析	较多	较少	很少	很少
	结合料析漏	无	较少	可能	可能
	施工难易程度	较易	较难	难	较难
	施工机具	基本相同			
路面性能	表面特性	较光滑	较粗糙	粗糙均匀	粗糙均匀
	抗滑性	较差	较好	很好	好
	溅水、水雾	重	较重	无	较轻
	明视性	差	较差	好	较好
	交通噪声	重	较重	轻	较轻
	高温抗车辙	较差	较好	很好	很好
	疲劳抗裂	好	好	较好	很好
	低温抗裂	好	好	较好	很好
	抗水损害	好	好	差	很好
	抗老化	好	好	差	很好
	耐久性	好	好	差	很好
成本		较低	较低	较高	较高

常用于磨耗层的沥青混凝土如 AC-13I, 小于 2.36mm 的细集料含量占 36% ~ 53%, 大于 4.75mm 粗集料含量仅有 32% ~ 52%, 由细集料、填料与沥青结合料组成的沥青玛蹄脂占有很大体积, 从图 2.2 的剖面可以看出, 粗集料之间无法形成相互接触的坚固骨架结构, 而处于悬浮状态。混合料依靠集料结构承受交通荷载是相当有限的, 在较大程度上是依靠沥青玛蹄脂直接承受交通荷载。在炎热季节由于温度很高, 沥青玛蹄脂变软, 在交通荷载的重复作用下, 混合料容易发生变形累计, 形成车辙。如果混合料设计不

当,空隙率偏小,则热稳性更差。与此相反,SMA 由于含 70%以上的粗集料,粗集料相互接触,相互嵌挤,形成“石石接触”的坚强骨架结构,而由细集料、填料与沥青组成的玛蹄脂只是填充骨架结构的空隙。交通荷载主要由骨架结构承担,而沥青玛蹄脂并不直接承受荷载,只对骨架结构起稳定加固的作用。因此,即使在高温季节,SMA 路面的变形都很小,具有优异的抗车辙能力。近期美国公路战略研究计划开发的 Superpave(高性能沥青路面)混合料^[26],是对常规 AC 混合料的改进,规定混合料的级配线要通过控制点并绕过禁区(一般从禁区下方绕过),得到一种细集料较少,而粗集料较多的密实混合料。混合料设计摒弃了传统的马歇尔法,采用旋转压实仪制备试样,这样更能模拟混合料在压路机下的压实情况。Superpave 混合料的级配已离开 AC 的最大密度线,在一定程度上向 SMA 级配过渡,见图 2.3,因此在很大程度上改进了高温抗

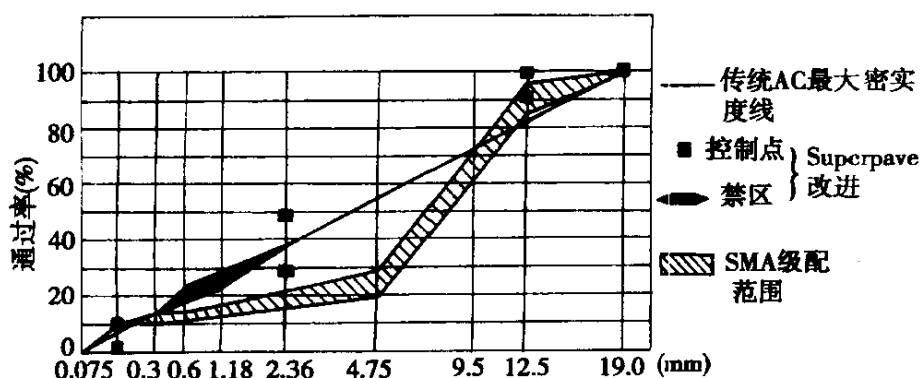


图 2.3 集料级配比较

车辙性能,其表面构造也有一定程度改进。同时在施工过程中粗、细集料离析的情况也没有 AC 那样明显。但是压实比较困难,需要较多的压实功。可以说 Superpave 混合料可以在基本不增加成本的前提下获得比 AC 混合料更好的性能,值得推广应用。现在发达国家和地区比较流行的开级配多孔沥青混合料(OPA)^[32]或开级配抗滑磨耗层(OGFC)^[24],其集料级配同 SMA 断级配混合料类似,同样由粗集料形成骨架结构,但粒径较细,公称最大粒径一般为 10mm 左右,级配更短,粗集料颗粒更均匀,同时细集料极少,小于 2.36mm 仅有 5% ~ 15%,小于 0.075mm 仅有 2% ~ 6%;压实