

多碎石沥青混凝土SAC系列的 设计与施工实用指南

The Design and Construction of the Series of
Stone Asphalt Concrete SAC Practical Guide

沙庆林 著



人民交通出版社
China Communications Press

The Design and Construction of the Series of Stone
Asphalt Concrete SAC Practical Guide

多碎石沥青混凝土 SAC 系列的 设计与施工实用指南

沙庆林 著

人民交通出版社

内 容 提 要

本指南根据《多碎石沥青混凝土 SAC 系列的设计与施工》编写而成。本指南共分 6 章,内容包括:SAC 的诞生与创新,SAC 的矿料级配设计方法,同一种矿料级配不能适应不同品种岩石的粗集料,SAC 的两阶段检验方法,SAC 的施工及铺筑试验路。

本指南可供道路科研、设计、施工及监理人员使用,也可供高等院校相关专业高年级本科生及研究生学习参考。

书 名:多碎石沥青混凝土 SAC 系列的设计与施工实用指南

著 作 者:沙庆林

责任编辑:刘永超

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010) 59757969、59757973

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:北京鑫正大印刷有限公司

开 本:850 × 1168 1/32

印 张:2.625

字 数:46 千

版 次:2009 年 9 月 第 1 版

印 次:2009 年 9 月 第 1 次印刷

统一书号:15114 · 1417

印 数:0001 - 2000 册

定 价:15.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

美国在 1986 年设立战略性研究计划时,其中包括两个涉及路面的课题,一个课题是沥青和沥青混凝土,计划用 5 年时间,已于 1993 年结束。此课题的研究成果包括:对沥青以使用性能为基础进行分等,即 PG 等级;矿料级配设计方法,它有 6 个控制点和一个限制区,由于实际上推荐用级配线走在限制区下面,称为粗集料断级配;有一整套试验仪器,还有计算程序。这些成果合并在一起,取商标名称为 Superpave(国内译成高性能路面,以下简称 SUP)。该研究成果发表后,美国联邦公路管理局组织施工了西部环道足尺试验路,检验 SUP 的实际使用性能。结果证明,SUP 不是高性能路面,主要破坏是严重辙槽。国内两条高速公路的实际使用经验也证明,它的高温抗辙槽性能不好,路面通车不到 1 年,就得将辙槽深度大于 25mm 的路段铣刨一到两层后重铺,而且重铺里程超过一半。

我国自主研究开发成功的多碎石沥青混凝土系列,才是真正意义上的高性能沥青面层。

多碎石沥青混凝土 SAC-16 诞生在 1988 年,虽然它在成长过程中遇到不少阻力,但终于在 18 年后的 2005 年成熟了。18 年中,它被成功应用于 10 多条高速公路,全长约

2000km。作者的专著《多碎石沥青混凝土 SAC 系列的设计与施工》于 2005 年正式出版,其主要内容之一——矿料级配的设计与检验方法,获得了国家发明专利。同时,该书入选“全国‘三个一百’原创图书出版工程”。为使广大读者使用方便,作者对原书做某些补充修改后特写此实用指南,同时纪念 SAC 诞生 20 周年。

作 者

2008 年 8 月

符号及其含义

$D_{\max}$ ——集料的实际最大粒径, mm;

P_{ca} ——粗集料的含量(质量百分率), %;

P_{fa} ——细集料的含量(质量百分率), %;

P_{fi} ——填料的含量(质量百分率), %;

P_B 、 B/M ——沥青用量, 油石比, %;

G_b ——集料的毛体积密度, g/cm^3 ;

G_{sd} ——集料的表干密度, g/cm^3 ;

W_a ——集料的吸水率, %;

G_B ——沥青的密度, g/cm^3 ;

$G_{b,s}$ ——沥青混凝土试件的毛体积密度, g/cm^3 ;

$G_{b,ca}$ ——沥青混凝土中粗集料的毛体积密度, g/cm^3 ;

$G_{b,fa}$ ——沥青混凝土中细集料的毛体积密度, g/cm^3 ;

$G_{a,fi}$ ——沥青混凝土中填料的视密度, g/cm^3 ;

$G_{b,ma}$ ——全部矿料的毛体积密度, g/cm^3 ;

$G_{sd,ma}$ ——全部矿料的表干密度, g/cm^3 ;

$W_{a,ma}$ ——全部矿料的吸水率, %;

VMA——矿料间隙率, %;

VFA——沥青饱和度, %;

G_e ——全部矿料的有效密度, g/cm^3 ;

G_{mm} ——沥青混凝土的最大理论密度, g/cm^3 ;

GCA_{DRC} ——粗集料的干捣实密度, g/cm^3 ;

VCA_{DRC} ——粗集料的干捣实孔隙率, %;

VCA_{DRF} ——矿料级配合适与否的一种检验方法(粗集料孔隙填充法);

V_a ——空气率(Air Void), 由于沥青混凝土中的空气率就是其孔隙率, 所以也称孔隙率, %;

GCA_{DR} ——一般骨架烘干粗集料的密度, g/cm^3 ;

VCA_{DR} ——一般骨架烘干粗集料的孔隙率, %;

VCA_{DRU} ——粗集料中的可用孔隙率, %, 即 VCA_{DRF} 检验方法中粗集料的孔隙率(%)减预留空气率 V_a 之差, 也即可容纳沥青砂胶的体积率;

GCA_{DRL} ——松接触或松装烘干粗集料的密度, g/cm^3 ;

VCA_{DRL} ——松接触或松装烘干粗集料的孔隙率, %;

VOL_{fa} ——细集料的体积率(VCA_{DRF} 检验方法中用), %;

VOL_{fi} ——填料的体积率(VCA_{DRF} 检验方法中用), %;

VOL_{B} ——沥青的体积率(VCA_{DRF} 检验方法中用), %;

$VOL_{\text{ma, B}}$ ——细集料、填料和沥青体积率之和, 简称沥青砂胶的体积率;

MMA_{AC} ——沥青混凝土中全部矿料的质量, g/cm^3 ;

MB_{AC} ——沥青混凝土中沥青的质量, g/cm^3 ;

MCA_{AC} ——沥青混凝土中粗集料的质量, g/cm^3 ;

MFA_{AC} ——沥青混凝土中细集料的质量, g/cm^3 ;

MFI_{AC} ——沥青混凝土中填料的质量, g/cm^3 ;

VCA_{AC} ——沥青混凝土中粗集料的孔隙率, %;

$VOLFA_{AC}$ ——沥青混凝土中细集料的体积率, %;

$VOLFI_{AC}$ ——沥青混凝土中填料的体积率, %;

MB_e ——沥青混凝土中有效沥青的质量, g/cm^3 ;

$VOLB_e$ ——沥青混凝土中有效沥青的体积率, %。

目 录

1	SAC 的诞生与创新	1
1.1	SAC-16 的 6 个技术优点	1
1.2	石安高速公路 SAC-10 超薄面层	5
2	SAC 的矿料级配设计方法	11
2.1	矿料级配的设计原理和设计方法	11
2.2	SAC 系列的推荐矿料级配	15
3	同一种矿料级配不能适应不同品种 岩石的粗集料	17
3.1	粗集料岩石类型对沥青混凝土性质的 显著影响	17
3.2	马歇尔试验结果的显著差异	18
3.3	轮辙试验结果的显著差异	18
4	SAC 的两阶段检验方法	20
4.1	必须做的试验	20
4.2	推荐集料密度试验方法的可操作性和 先进性	25
4.3	矿料级配初步检验 VCA_{DRF} 方法	27
4.4	沥青混凝土中粗集料孔隙率检验 VCA_{AC} 方法	34

4.5	新 SAC 系列的突出优点	42
5	SAC 的施工	43
5.1	原材料	43
5.2	SAC 矿料级配的选择	48
5.3	不同最大粒径 SAC 粗集料单一粒级的要求 ...	49
5.4	沥青混合料拌和厂	50
5.5	不同规格矿料的购料和验收	51
5.6	沥青混凝土试件的制作方法	52
5.7	拌和、击实和施工温度	56
5.8	一次摊铺和一次碾压的厚度	60
5.9	运料车与摊铺机的配合	60
5.10	压路机的合理组合和碾压方式	61
5.11	压实度与碾压遍数	62
6	铺筑试验路	68
6.1	试拌和检验	68
6.2	铺筑试验路的目的	68
6.3	技术交底和培训	69
6.4	基层交接和处理	69
6.5	基层顶面的黏结层	69
6.6	水泥混凝土桥面上的沥青面层	70
6.7	其他要点	70

1 SAC 的诞生与创新

为了使表面层沥青混凝土既不易透水造成水破坏,又使其具有良好的高温抗永久形变能力(抗辙槽能力),同时具有优良的抗滑性能,作者在 1988 年研究得到了一种新的矿料级配,它将当时 AC-16I 型密实透水性小,不易产生水破坏的特点与 AC-16II 型粗集料多,抗辙槽能力强、抗滑性能好的优点结合在一起,同时避免两者各自的缺点。由于它的矿料中大于 4.75mm 粗集料的含量为 59%,比当时沥青路面施工规范中 AC-16I 型粗集料的含量 42.5% 多了 16.5%,所以将它取名为“多碎石沥青混凝土”。同年同济大学做的室内单轴压缩蠕变试验证明,SAC-16 的抗变形能力明显优于 AC-16I 型。同年正定试验路也成功了,试件的孔隙率或空气率小于 5%,表面构造深度达到 0.5mm,显著优于当时新建的高速公路。我国具有自主知识产权的矿料级配诞生了。

1.1 SAC-16 的 6 个技术优点

室内试验与高速公路的实际使用经验证明,SAC 有以下技术优点。

1.1.1 SAC-16 的水破坏很少

早期的 SAC-16 表面层沥青混凝土的空气率 $V_a < 5\%$, 在施工质量良好的情况下,雨水透不过表面层,沥青面层的

水破坏很少。例如,我国第一条使用 SAC-16 做表面层的济青高速公路有 266km(全长 318km),于 1993 年 12 月正式通车,到 2005 年 12 月,通车整 12 年。其中,施工质量良好的青州段长 51km,在此 12 年期间产生的水破坏修补面积只占该段总面积的 0.46%,而通过的累计当量标准轴次已有 1956 万次;另外,青岛段 40km,在此 12 年期间产生的水破坏修补面积只占该段总面积的 0.42%,通过的累计当量标准轴次为 700 万次。在雨量充沛的广东省,从 1996 年到 21 世纪初,有多条高速公路都使用了 SAC-16 做表面层,如机荷高速公路、普惠高速公路、广珠东线高速公路逸仙大道、西部沿海高速公路台山段等,这些高速公路沥青面层的水破坏都很少。

1.1.2 SAC-16 的高温抗永久形变能力最强

室内试验和野外使用经验都证明:在国内所使用的矿料级配中,SAC-16 的高温抗永久形变能力最强,其抗辙槽能力大于用相同沥青的 SMA。

同济大学曾做了多种不同试验,简要介绍于下。

1) 不同温度的抗压强度

SAC-13 与 SMA-13 在 20℃ 和 15℃ 时的抗压强度(MPa)和回弹模量(MPa)见表 1-1。

表 1-1 20℃ 和 15℃ 时的抗压强度和回弹模量(MPa)

级配类型	20℃		15℃	
	抗压强度	回弹模量	抗压强度	回弹模量
SAC-13	4.66	1216	5.33	1621
SMA-13	4.14	896	8.43	967

由于 SMA 的油石比大于 SAC,所以温度较高(20℃)时的抗压强度低于 SAC-13,而温度较低时(15℃)的抗压强度高于 SAC-13。这一结果证明,在夏季高温时,SMA 更容易产生永久形变。

2)单轴贯入试验

在 60℃ 环境温度下得到的两种材料的抗剪强度见表 1-2。

表 1-2 60℃ 时的抗剪强度

级配类型	油石比	空气率 (%)	抗剪强度 (MPa)	均值 (MPa)
SMA-13	5.75	3.2	0.785	0.559
			0.543	
			0.487	
			0.494	
			0.445	
			0.598	
SAC-13	4.60	7.0	1.04	1.030
			1.07	
			1.01	
			1.01	

单轴贯入试验的结果进一步证明,SAG-13 的抗辙槽能力比 SMA 强很多。

3)小梁弯曲试验

用轮碾机成型后的板式试件,切割成 30mm × 35mm × 25mm 的小梁试件,在 15℃ 时进行弯拉强度破坏试验,得到的结果见表 1-3。

表 1-3 小梁弯曲试验结果

级配类型	弯曲破坏强度(MPa)	试件数量
SAC-13	4.79	6
SMA-13	7.94	5

试验结果表明,由于 SMA 的油石比较大,其抗弯曲破坏能力较强。此性能对柔性路面较重要,对半刚性基层上的沥青面层不是个重要问题。

用室内力学性质试验来评价两种不同矿料级配的使用性能固然是一种有效手段,但由于影响室内试件力学性质的因素较多,往往不同单位、不同时间得到的力学指标值有很大的变异性。例如,某单位用改性沥青做的 SAC-13 的动稳定度常大于 9 000 次/mm,有的单位的结果甚至超过 10 000 次/mm。改性沥青 SMA 的动稳定度通常不超过 6 000 次/mm。

应该说,最可信的是实际路上的对比检验结果。京珠高速公路某段于 2005 年用同样的材料做了 SMA-16 与 SAC-16 的比较试验,SMA 路段长 12km,紧接的路段长几十千米全是 SAC-16,整个路段的交通状况是相同的。1 年后,作者专门调查和检测了改性沥青 SMA-16 和改性沥青 SAC-16 路段的辙槽深度 RD。检测结果,SMA-16 路段的 RD 在 9~11mm 之间,SAC-16 路段的 RD 在 7~8mm 之间。室内试验和实际路上的使用经验都证明 SAC 表面层的高温抗永久形变能力优于 SMA。

1.1.3 有良好的抗滑性能

用作表面层时,特别是表面构造深度 TD 显著超过路面

设计规范要求的 0.55mm。如规范中的 I 型级配常达不到要求, SAC-16 表面层的 TD 多数在 0.8 ~ 0.9mm 之间, SAC-13 表面层的 TD 平均大于 0.8mm, SAC-10 表面层的 TD 平均大于 0.60mm。

1.1.4 表观均匀美观

面层表观很少集料离析现象。

1.1.5 可在高温时碾压

可以趁沥青混合料高温时,从开始碾压到复压结束都用振动压路机振动碾压密实,在复压阶段,可用轮胎压路机一起碾压。

1.1.6 价格便宜

由于 SAC 的油石比比路面施工技术规范中的 I 型级配减小 0.5% 以上,所以 SAC 既价廉又性能好。SAC 表面层的油石比比 SMA 的油石比约小 1.5%,而且 SAC 不需要添加任何纤维,所以 SAC 的单价比 SMA 低得更多。

1.2 石安高速公路 SAC-10 超薄面层

在河北省石家庄—安阳高速公路上铺筑 SAC-10 超薄面层试验路后,曾做了系统室内试验。采用的 6 个矿料级配见表 1-4。

表 1-4 SAC-10 矿料级配(不同筛孔的通过百分率,%)

筛孔(mm) 编号	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
A1	97.5	30	24	19	16	13	10	8
B2	97.5	35	26	20	16	13	10	8

续上表

筛孔(mm) 编号	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
B3	97.5	35	35	26	20	15	11	8
B4	97.5	35	35	24	18	12	9	6
A5	97.5	30	30	24	20	16	12	10
A6	97.5	30	30	22	16	11	8	6

1.2.1 矿料级配

表 1-4 中 A 表示大于 4.75mm 的粗集料含量为 70% 的紧密骨架密实结构; B 表示粗集料含量为 65% 的一般骨架密实结构; A、B 后的 1 和 2 表示中断级配, 其他为全断级配。对同一级配和不同级配, 分别使用了不同沥青、不同填料和外加剂, 各种不同沥青混合料的组成如下。

1.2.2 混合料编号

- (1) A1-1 沥青 AH-70, 填料 4% 水泥 + 4% 矿粉
- (2) A1-2 沥青 AH-70, 填料 4% 水泥 + 4% 矿粉, 1.5% 80 目废橡胶粉(干拌)
- (3) A1-3 SBS 改性沥青, 填料 4% 水泥 + 4% 矿粉
- (4) B2 SAC-10-2 SBS 改性沥青, 填料 4% 水泥 + 4% 矿粉
- (5) B3 全断级配 沥青 AH-70, 填料 4% 水泥 + 4% 矿粉

- (6) B4-1 全断级配 SBS 改性沥青, 填料 3% 水泥 + 3% 矿粉
- (7) B4-2 全断级配 SBS 改性沥青, 填料 3% 水泥 + 3% 矿粉, 1.5% 废橡胶粉
- (8) A5 全断级配 沥青 AH-70, 填料 5% 水泥 + 5% 矿粉
- (9) A6 全断级配-1 沥青 AH-70, 填料 3% 水泥 + 3% 矿粉, 1.5% 废橡胶粉
- (10) A6 全断级配-2 SBS 改性沥青, 填料 3% 水泥 + 3% 矿粉

采用多种全断级配, 是要检验法国的粗集料全断级配的使用性能。

对于上述各种沥青混合料都分别用马歇尔试验(每面都击实 75 次和 150 次作为比较)和美国工程兵的旋转压实仪 GTM(压强 0.7MPa 和 0.9MPa)进行试验研究。

1.2.3 GTM 试验

GTM 试验主要有两个指标:

(1) 稳定度指数 GSI。它表示沥青混合料被压实到平衡状态(指每旋转压实 100 次试件, 密度变化率不大于 $0.016\text{g}/\text{cm}^3$)时是否会产生塑性形变。美国工程兵试验要求最终应变与最小应变之比, 即 GSI 应等于或小于 1.0。符合此条件时, 沥青混凝土是稳定的。GSI > 1.0, 表示沥青混合料在压实过程中产生了塑性形变, 也就是表示沥青混凝土不稳定。

(2) 抗剪强度安全系数 GSF。它表示沥青混凝土被压