

民用机场道面高性能 SMA 沥青混凝土配合比设计技术

Mix Proportion Design Technology of High Performance SMA Asphalt Concrete for Civil Airport Pavement

董杰

Jie Dong

中国水利水电第十一工程局有限公司 中国·河南 郑州 450001

Sinohydro Bureau 11 Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450001, China

摘要: 随着使用年限的增加和航空业务量的增长, 机场道面在自然环境和飞机荷载的共同作用下发生病害, 对机场运行产生一定的安全隐患。SMA 沥青加铺层能够有效减小对机场运营的影响, 提升道面的抗车辙、抗滑性、耐久性和能见度等方面的性能突出。

Abstract: With the increase of service life and aviation business volume, the airport pavement has diseases under the joint action of natural environment and aircraft load, which has a certain potential safety hazard to the airport operation. SMA asphalt overlay can effectively reduce the impact on airport operation and improve the performance of pavement in rutting resistance, skid resistance, durability and visibility.

关键词: 机场道面; 高性能 SMA; 配合比设计

Keywords: airport pavement; high performance SMA; mix design

DOI: 10.12346/etr.v3i12.5016

1 引言

中部地区某机场一跑道道面长 3400m、宽 45m, 现状跑道结构类型为水泥混凝土道面, 飞行区原设计等级为 4E, 道面结构较薄。机场跑道由于飞机频繁且高速地起降, 使道面不能轻易地断航维修; SMA 沥青混合料具有优异的抵抗永久变形的能力、更好的耐久性、优良的抗滑性能和较低的交通噪声等优点。

2 高性能 SMA 沥青混凝土配合比设计

SMA 沥青混合料是由沥青结合料与少量细集料、纤维稳定剂和较多的矿粉所组成的沥青玛蹄脂, 填充于间断级配的粗集料骨架空隙中组成一体所形成的沥青混合料。

2.1 原材料检验

SMA 沥青混合料中各类原材料的质量是影响沥青混合料质量和性能的关键因素。因此, 原材料的质量控制是沥青面层质量控制的根本和核心。

2.1.1 沥青

机场道面因其特殊的使用环境, 所承受的飞机荷载远高于公路沥青路面, 且道面不得出现松散、剥离等病害, 以免

吸入发动机损坏飞机酿成事故。因此, 沥青结合料必须具有较高的黏度, 与集料有良好的粘附性, 同时必须具有良好的抗老化性能, 以保证有足够的高温稳定性和低温韧性, 在此次配合比设计采用 SBS 改性后壳牌 70 号石油沥青^[1]。

2.1.2 粗集料

SMA 是一种间断级配的沥青混合料, 粗集料是构成 SMA 混合料骨架结构的主体材料, 主要起到嵌挤、稳定结构的作用, 粗集料应选用高质量的轧制碎石, 其岩石应坚韧, 具有较高的强度和刚度。本工程选用玄武岩粗集料进行配合比设计试验。

粗集料应严格限制集料的针片状含量, 选用质地坚硬、纹理粗糙、富有棱角、抗磨耗、耐磨光、形状接近立方体的破碎石料, 不得使用颚板式轧石机生产的粗集料, 应用锤击式或反击式碎石机破碎。

2.1.3 细集料

细集料采用坚硬的石灰岩经细料破碎机反复破碎而成的机制砂, 其具有良好的棱角性和嵌挤性能, 对提高混合料的高温稳定性有较大的好处, 机制砂细集料中不得含有泥土等杂物。

【作者简介】董杰 (1984-), 男, 中国甘肃武威人, 本科, 工程师, 从事市政道路和公路工程研究。

2.1.4 填料

填料采用由石灰岩类碱性岩石磨制而成矿粉,矿粉应干燥、颗粒松散、无结团。粉煤灰不得作为 SMA 混合料的填料使用。

2.1.5 纤维添加剂

用于 SMA 沥青混合料生产的纤维稳定剂主要包括木质素纤维、矿物纤维,以及腈纶纤维、涤纶纤维、聚酯纤维、玻璃纤维等聚合物化学纤维等,纤维在 SMA 混合料中主要起到混合料加筋、分散胶团、吸附和吸收沥青、提高粘结力、增强高温稳定性等作用。纤维应能承受 250℃ 的高温条件,不变形、不变质、不脆化,化学稳定性好,对环境无污染。本工程选用聚酯纤维(PES)稳定剂,以提高混合料的抗车辙和抗水损害性能^[2]。

2.2 集料级配设计

SMA 是一种间断级配的沥青混合料,有粗集料骨架和沥青玛蹄脂两个部分组成。粗集料主要起到相互嵌挤、结构稳定的骨架作用,承担主要的交通荷载,其 4.75mm 以上粒径粗集料占比达到 70%~80%;矿粉作为玛蹄脂的组成部分,主要起到填充和胶浆作用,其含量占比达到 10% 以上,细集料用量较少。

SMA 混合料配合比设计不在完全依靠马歇尔配合比设计方法,主要有体积指标确定,包含空隙率 VV、矿料间隙率 VMA、沥青饱和度 VFA 及混合料粗集料间隙率 VCA_{mix} 等指标,稳定性和流值不作为主要控制指标。采用谢伦堡析漏试验确定沥青的用量,采用低温粘结性和肯塔堡飞散试验确定玛蹄脂对集料的胶结作用,同时,车辙试验也是重要的设计手段。

2.2.1 空隙率(VV)

《民用机场沥青道面施工技术规范》(MH/T 5011)中对 SMA 混合料空隙率的要求为 3%~4.5%。空隙率过小,将可能产生车辙流动变形,而空隙率过大,路面容易渗水引起水损破坏。公式可得:

$$VV = (1 - \frac{\rho_{mb}}{\rho_{mm}}) \times 100$$

式中:VV 为试件的空隙率,%;ρ_{mb} 为表干法测定的试件毛体积相对密度;ρ_{mm} 为计算得到的混合料试件理论最大相对密度。

2.2.2 矿料间隙率(VMA)

MH/T 5011《民用机场沥青道面施工技术规范》中对 SMA 混合料矿料间隙率的要求为大于 16.5%。矿料间隙率表示用于填充沥青玛蹄脂的空隙,需确保有足够的空隙量。公式可得:

$$VMA = (1 - \frac{\rho_{mb}}{\rho_{sb}} \times P_s) \times 100$$

式中:VMA 为试件的矿料间隙率,%;ρ_{mb} 为表干法测定的试件毛体积相对密度;ρ_{sb} 为全部矿料的平均毛体积相

对密度;P_s 为沥青混合料中各种矿料占沥青混合料总质量的百分率,即,P_s=100/(100+油石比),%。

2.2.3 沥青饱和度(VFA)

《民用机场沥青道面施工技术规范》(MH/T 5011)中对 SMA 混合料沥青饱和度要求为 75%~85%。沥青饱和度是指沥青的体积占全部空隙的百分率。即:

$$VFA = (\frac{VMA - VV}{VMA}) \times 100$$

2.2.4 粗集料间隙率(VCA)

混合料粗集料间隙率,是指 4.75mm 以上粗集料实体之外的空间体积占整个试件体积的百分率,用于评价按照嵌挤原则设计的骨架型沥青混合料的体积特征。

①捣实状态下粗集料骨架间隙率(VCA_{DRC})。

捣实状态下粗集料骨架间隙率,是将 4.75mm 以上的干燥粗集料按规定条件在容量筒中捣实,所形成的粗集料骨架实体之外的空间体积占容量筒体积的百分率,以 VAC_{DRC} 表示。即:

$$VCA_{DRC} = (1 - \frac{\rho_s}{\rho_{ca}}) \times 100$$

式中:VCA_{DRC} 为捣实状态下粗集料骨架间隙率,%;ρ_s 为粗集料的松方密度;ρ_{ca} 为粗集料的毛体积密度。

②压实试件粗集料间隙率(VCA_{mix})。

压实试件粗集料间隙率,是指混合料试件在压实状态下粗集料骨架之外的体积占整个试件体积的百分率,以 VCA_{mix} 表示。即:

$$VCA_{mix} = (1 - \frac{\rho_{mb}}{\rho_{ca}} \times P_{CA}) \times 100$$

式中:VCA_{mix} 为压实状态下粗集料骨架间隙率,%;ρ_{mb} 为表干法测定的试件毛体积相对密度;ρ_{ca} 为粗集料的毛体积密度;P_{CA} 为沥青混合料中粗集料占沥青混合料总质量的百分率,P_{CA}=P_s×PA_{4.75}/100。

PA_{4.75} 为矿料级配中粗集料颗粒的含量,即 100 与 4.75mm 筛孔通过率只差,%。

混合料试件粗集料间隙率 VAC_{mix} 小于捣实状态下粗集料骨架间隙率 VAC_{DRC} 是检验粗集料能否形成嵌挤骨架的关键,否则,表明混合料中的沥青玛蹄脂过多或粗集料骨架间隙过小,粗集料被填充的玛蹄脂所撑开了,未形成嵌挤咬合作用。但 VAC_{DRC} < VAC_{mix} 数值相差较大时,则可能说明集料过压或强度不足。

$$VCA_{mix} \leq VCA_{DRC}$$

2.3 沥青用量确定

采用马歇尔设计方法,按照矿料级配的设计结果,对粗集料进行最佳油石比的试验。参照类似工程 SMA-13 沥青混合料配合比,选取 3 个油石比间隔 0.3% 进行马歇尔试验,采用表干法测定的毛体积相对密度计算马歇尔试验密度和空隙率,以集料的毛体积密度计算矿料的最大理论密度。

根据设计空隙率的要求,当油石比为 6.0% 和 6.3% 时, SMA 混合料空隙率能够满足规范要求。SMA 混合料含油量较大时,玛蹄脂过多,多余的自由沥青在集料之间形成润滑作用,影响骨架嵌挤结构的稳定。当油石比为 6.0% 时,沥青混合料中的粗集料能够形成良好的骨架,沥青玛蹄脂对矿料间隙填充饱满、分布均匀,整个混合料形成了良好的骨架密实型结构,可作为最佳的油石比^[3]。

2.4 混合料温度稳定性

2.4.1 添加剂类型

①抗车辙剂。沥青混合料添加抗车辙剂具有嵌挤、加筋、胶结以及变形恢复作用,能有效提高沥青与集料的胶结作用,增加沥青混合料承受荷载的能力,降低沥青混合料的永久变形产生概率,改善机场沥青道面的高温稳定性和抗剪切性能。

②高粘剂。高粘剂以环氧基增粘树脂、热塑性弹性体为基材,辅以抗剥离和抗氧化造粒的复合改性剂,具有高软化点、高弹性恢复、高黏韧性、高抗老化等特性,提升集料的抗剥落和抗飞散性能。

2.4.2 配合比指标检验

①谢伦堡析漏试验。相较于传统的沥青混合料, SMA 则需要更多的沥青,但沥青含量不能超过矿料所能吸附的最大沥青用量,否则就会产生多余的自由沥青,成为集料之间的润滑剂,降低道面的高温稳定性。

谢伦堡析漏试验用以检测沥青混合料在高温状态下从沥青混合料中析出多余的自由沥青或沥青玛蹄脂数量,以供检验 SMA 混合料的最大沥青用量,谢伦堡析漏试验的结合料损失 $\leq 0.10\%$ 。

②肯塔堡飞散试验。肯塔堡飞散试验用以评价因沥青用量或粘结性不足,导致在荷载作用下道面集料脱落而散失的程度。以马歇尔试件在洛杉矶试验机中旋转撞击规定的次数下,沥青混合料试件脱落材料数量的百分率表示,标准飞散试验的温度在 -10°C 时沥青混合料的飞散损失 $\leq 10\%$ 。

③高温稳定性试验。SMA 作为道面的表面层要有良好的高温性能,通常采用高温抗车辙性能来表征。在添加混合料质量 0.5% 抗车辙剂和 0.5% 高粘剂后,沥青混合料的动稳定度达到 10000 次/mm 以上。

④水稳定性试验。SMA 混合料对粗集料的强度要求高,通常采用玄武岩等酸性坚硬岩石,这类岩石集料与沥青的依附性不及石灰岩,容易造成水损害破坏。48h 浸水马歇尔试验残留稳定度 $\geq 90\%$,冻融劈裂试验的残留强度比 $\geq 85\%$ 。

⑤渗水试验。SMA 混合料的特点是粗集料质检的空隙被沥青玛蹄脂充分填充,空隙率很小,渗水性能是反映混合料级配组成的一个间接指标, SMA 混合料渗水系数 $\leq 50\text{ml}/\text{min}$ 。

⑥构造深度试验 SMA 道面构造深度是测定碾压成型的沥青混合料试件的表面构造深度,保持一定的构造深度,对于飞机在起降和滑行时的附着力是一个很好的保证。但构造深度不宜过大,往往构造深度与渗水情况是相关联的。

2.5 配合比设计结果

本次配合比设计结果见表 1。

表 1 SMA-13 沥青混合料配合比设计结果

序号	材料种类	类型	比例(%)	备注
1	粗集料	10~15mm, 玄武岩	48	
2		5~10mm, 玄武岩	25	
3	细集料	3~5mm, 石灰岩	7	
4		0~3mm, 石灰岩	9	
5	填料	矿粉, 石灰岩	11	
6	油石比		6.0	
7	纤维稳定剂	XW06 型聚酯纤维	0.4	占混合料比例
8	抗车辙剂	AR9000 型抗车辙剂	0.5	占混合料比例
9	高粘剂	PT-HVA 高粘剂	0.5	占混合料比例

3 施工效果检测分析

在机场 SMA 道面施工完成后,对道面进行了功能性试验检测,其压实度、动稳定度、渗水系数、构造深度、破坏应变等技术指标均能满足设计要求,表面 SMA-13 沥青混合料高温抗车辙、低温韧性、抗水损性能良好 2, 见表。

表 2 SMA-13 道面检测结果

项目	单位	技术要求	检测结果 (一)	检测结果 (二)
平均压实度, \geq	%	98	99.26	99.14
动稳定度, \geq	次/mm	10000	13793	13368
平均渗水系数, \leq	mL/min	50	26.9	28.1
破坏应变 (-10°C), \geq	μe	3000	3395	3321
平均构造深度	mm	0.8~1.5	1.04	1.06
析漏试验, \leq	%	0.10	0.07	0.08
飞散试验 (-10°C), \leq	%	10	3.1	2.6

4 结语

在进行生产配合比设计时,应确保原材料的来源与目标配合比设计用材料一致,在目标配合比的基础上进行微调,混合料中的抗车辙剂和高粘剂的掺量不得低于目标配合比要求。

参考文献

- [1] 许龙,彭馨彦.GT TECH高性能沥青混凝土在钢桥面铺装施工关键技术研究[J].科技和产业,2020,20(10):234-238.
- [2] 屈红霞.高性能沥青混凝土路面施工技术及其性能[J].黑龙江交通科技,2020,43(6):89-90.
- [3] 广东海川科技有限公司.绿色低碳高性能沥青混凝土关键技术集成及应用[Z].2018.