

SMA 马歇尔试验配合比设计研究

罗志强

(广东工业大学 建设学院, 广东 广州 510090)

摘要: 结合高等级公路沥青路面工程实际, 讨论沥青玛蹄脂碎石混合料(SMA)的马歇尔试验配合比设计方法, 提出关键的几项体积指标的解决措施, 对提高沥青路面的使用性能和使用寿命具有实际意义。

关键词: 沥青路面; 沥青玛蹄脂碎石混合料; 马歇尔试验; 配合比设计; 体积指标

中图分类号: U416.2

文献标识码: A

文章编号: 1007-7162(2005)04-0099-05

SMA 沥青混合料的配合比设计, 国际上尚无公认的成熟的方法. 根据我国的实际情况, 结合这些年的 SMA 马歇尔试验研究, 总结工程实践经验, 很有必要重点讨论对我国具有参考价值的马歇尔试验配合比设计方法。

1 选择材料并使所有试验值均应满足技术要求

1.1 粗集料

SMA 之所以具有较高的高温稳定性, 是基于含量甚多的粗集料之间的嵌挤作用. 为了充分发挥粗集料的嵌挤作用, 必须采用坚硬、粗糙的、有棱角的优质石料. 因此, 用于 SMA 的粗集料性质必须在《公路沥青路面施工技术规范》(JTJ032)规定的抗滑表层的基础上, 对石料压碎值提高到不大于 25%, 针片状颗粒含量指标要求不大于 15%, 吸水率限制不能放宽. 为达到所提高的技术要求, 必须从料源着手, 选择优质石料, 覆盖层的泥土一定要清除干净, 出成品料必须采用锥式(回转式)或锤式破碎机破碎. 使用花岗岩、石英岩、砂岩等酸性石料时, 最好使用聚合物改性沥青, 使粘附性达到要求; 如果粘附性达不到要求, 可掺加 2% 左右的石灰粉, 或者使用证明具有长期改善效果的抗剥落剂。

1.2 细集料

细集料在 SMA 中所占的比例往往不超过 10%, 然而细集料对 SMA 的性能影响也不小. 因此, 细集料最好使用坚硬的人工砂. 人工砂是利用坚硬的石料反复破碎而制成的, 具有一定的粗细级配, 不同于从石屑中筛分出来的细颗粒碎屑, 但石粉数量较少. 细集料的粗糙度或棱角性对 SMA 集料的嵌挤作用非常重要, 通过砂的粗糙度试验方法, 可以评定天然砂、人工砂、石屑等细集料颗粒的棱角性、表面构造, 预测细集料对沥青混合料的内摩擦角和抗流动变形性能的影响. 因此, 细集料的视密度、坚固性、砂当量和棱角性指标必须满足《公路沥青路面施工技术规范》(JTJ032)规定的质量技术要求。

1.3 填料

普通的沥青混合料中, 矿粉的数量一般不会超过沥青用量的 1.2 倍, 太多了不仅拌和困难,

收稿日期: 2004-04-22

作者简介: 罗志强(1954-), 男, 副教授, 主要研究方向为路基与路面工程。

Copyright © 2005 Guangdong University of Technology. All rights reserved. <http://www.jgdx.edu.cn>

而且对混合料的性质也有影响. 而 SMA 需要的填料远远超过此比例, 一般达到 1.8~ 2. 0, 这是由于纤维帮助矿粉沥青团粒起到了分散作用. 矿粉在沥青混合料中的作用至关重要, 沥青只有吸附在矿粉表面形成薄膜, 才能对其他粗、细集料产生粘附作用, 所以沥青矿粉混合料才是真正的沥青结合料. 用于 SMA 的填料必须使用磨细的石灰石矿粉, 其质量应满足《公路沥青路面施工技术规范》(JTJ032) 的要求. 采用石灰石矿粉的亲水系数必须小于 1, 与沥青应有良好的粘附性, 小于 0. 075 mm 的含量应大于 75 %. 矿粉必须存放在室内干燥的地方, 使用时必须干燥且不成团.

1.4 沥青结合料

SMA 混合料中沥青结合料的质量必须满足沥青玛蹄脂的需要, 要有较高的粘度, 符合一定的要求, 以保证有足够的高温稳定性和低温韧性. 在我国, 必须采用符合“重交通道路沥青技术要求”的沥青, 在大多数地区要使用比通常较硬一级的沥青, 最好采用改性沥青. 从总体上说, SMA 和改性沥青是从矿料级配和沥青结合料两个方面改善沥青路面质量. 是采用 SMA 一个途径, 还是改性沥青一个途径, 或者同时采用改性沥青和 SMA 两个途径, 主要取决于使用者的目的以及经济实力.

1.5 纤维稳定剂

制造沥青玛蹄脂碎石混合料时必须使用纤维稳定剂, 这是因为纤维在沥青混合料中具有加筋、分散、吸附和吸收沥青、稳定和增粘等的作用. 在缺乏纤维的情况下, 可以使用改性沥青代替, 但不能完全起到纤维的作用. 应该尽快停止使用石棉纤维, 采用木质素纤维、矿物纤维、聚合物纤维等各种正式纤维产品. 木质素纤维通常为混合料总量的 0. 3%, 矿物纤维通常为混合料总量的 0. 4%, 聚合物改性剂的用量按照供应商的要求及以往的经验确定.

2 确定初试级配

根据国内外经验及有关部门规范, 推荐的沥青玛蹄脂碎石混合料(SMA) 的间断级配如表 1 所示^[1]. 选择初试级配时必须以表 1 为基础, 以 4. 75 mm 通过率为变化点, 改变 3 个不同的通过率: 22%、25%、28%, 或者采用 20%、25%、30%, 3 个级配均固定矿粉数量, 0. 075 mm 通过率为 10% 左右. 所选择的 3 个初试级配必须在要求的级配范围内. 此时当然要考虑 9. 5 mm 通过率, 大体上在中值上下波动.

选择 3 个集料级配的目的是选择 3 个不同的沥青混合料的集料空隙率

VMA, 以便满足 VMA 大于 17% 的要求. 对某些集料, 有时设计无论如何也达不到 VMA 大于 17% 的要求, 这可能是由于集料过度破碎的原因. 此时, 可要求 $VMA \geq 16. 5\%$, 否则只能更换另一种集料.

3 测定粗集料骨架间隙率 VCA_{DRC}

为了充分发挥 SMA 混合料粗集料的石—石结构的嵌挤作用, 在压实状态下沥青混合料中

表 1 沥青玛蹄脂碎石混合料(SMA) 矿料级配建议范围

筛孔/mm	规格(按公称最大粒径分)		
	SMA- 16	SMA- 13	SMA- 10
19	100		
16	90~ 100	100	
13. 2	65~ 85	90~ 100	100
9. 5	45~ 65	50~ 75	90~ 100
4. 75	20~ 32	20~ 32	22~ 36
2. 36	15~ 24	15~ 26	18~ 28
1. 18	14~ 22	14~ 24	14~ 26
0. 6	12~ 18	12~ 20	12~ 22
0. 3	10~ 15	10~ 16	10~ 18
0. 15	7~ 14	8~ 15	8~ 16
0. 075	7~ 12	8~ 12	8~ 12
适用的层厚/mm	32~ 45	27~ 40	20~ 30

的粗集料骨架间隙率 VCA_{min} 必须等于或小于没有其他集料、结合料存在时的粗集料集合体在捣实状态下的间隙率 VCA_{IRC} . 如果做不到这一点, 粗集料的嵌挤作用就不能形成, 这是一个鉴别粗集料能否实现嵌挤的基本条件.

4 选择初试沥青用量

对普通的沥青混凝土, 配合比设计标准中是没有沥青用量限制的. 对沥青玛蹄脂碎石混合料 (SMA), 选择初试沥青用量首先要考虑最小沥青用量的规定, 如表 2 所示. 当然最小沥青用量只有在 VMA 符合要求的情况下才能实现, 如果矿料之间没有足够的间隙以填充沥青结合料, 就无法实现最小沥青用量的规定.

考虑我国具体情况, 根据合成集料毛体积相对密度规定最小油石比是合理的. 因此, 在选择初试沥青用量时, 一般可根据粗集料毛体积相对密度选择, 例如毛体积相对密度为 2.9 左右时, 选用油石比 5.8%; 毛体积相对密度为 2.8 左右时, 选用油石比 6.1%; 毛体积相对密度为 2.7 左右时, 选用油石比 6.4%. 集料的相对密度大时, 应该选择稍低的初试沥青用量.

表 2 AASHTO 的 SMA 规范建议稿关于沥青用量的规定

合成集料的毛体积 相对密度 / ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	最小沥青 用量 / %	最小油 石比 / %	合成集料的毛体积 相对密度 / ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	最小沥青 用量 / %	最小油石 比 / %
2.40	6.8	7.3	2.75	6.0	6.4
2.45	6.7	7.2	2.80	5.9	6.3
2.50	6.6	7.1	2.85	5.8	6.2
2.55	6.5	6.9	2.90	5.7	6.0
2.60	6.3	6.7	2.95	5.6	5.9
2.65	6.2	6.6	3.00	5.5	5.8
2.70	6.1	6.5			

5 马歇尔试验并根据 VMA 和 VCA 确定设计级配

SMA 试件的制作方法对成型后的沥青混合料性能有很大影响. 我国应该按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ052) 的规定进行. 当使用改性沥青时, 必须提高成型温度.

按照确定初试的沥青用量, 用 3 组初试级配拌和制作马歇尔试件, 试件数量为每组 4 个, 3 组试件共计 12 个. 一组 4 个试件中, 1 个用于测定理论最大密实度, 3 个测定毛体积相对密度 ρ .

试件冷却后, 采用表干法测定马歇尔试件的毛体积相对密度 ρ_{mb} , 采用真空法或溶剂法测定松散沥青混合料的最大相对密度 ρ_{mm} , 也容许采用计算得到的理论密度. 利用 ρ_{mb} 和 ρ_{mm} 可以计算试件的空隙率 VV, 矿料空隙率 VMA 及粗集料骨架间隙率 VCA_{min} . 将三组初试级配的试验结果 VCA_{min} 和 VCA_{IRC} 比较, 绘制成图 1, 从中选择符合 VCA_{min} 小于 VCA_{IRC} 要求的级配, 以 4.75 mm 的通过率最大的一组级配为设计级配. 此时应该注意, 尽量选择 VMA 稍大于 17% 的级配为设计级配, 以防在施工过程中 VMA 可能会有所降低.

6 马歇尔试验并根据空隙率 VV 确定最佳沥青用量

对于任何一种沥青混合料, 空隙率决定混合料的一系列性能和使用寿命, 是最重要的参数. 对 SMA 来说, 经常困惑施工单位的是路面的“油斑”问题. 产生油斑与粗级配、高沥青用量、缺乏稳定剂 (纤维)、过高的施工温度有关, 这些因素都与空隙率有关. 研究表明, 实验室压实条件下

的 SMA 试件的空隙率经常会在 2% ~ 3% 的范围内, 设定 3% 的最小空隙率看来是合适的. 为了最大限度地减少油斑和车辙, 根据气候温度可放宽到 4%^[1]. 在我国, 由于油石比略小一些, 在炎热地区和中交通路段, 空隙率可放宽到 4.5%. 在设计级配确定以后, 可以变化 3 个不同的沥青用量, 每组 4 个试件. 其中 1 个用于测定理论最大相对密度, 3 个压实成型进行马歇尔试验, 由此可以根据空隙率要求确定最佳沥青用量^[2]. 马歇尔试验的结果必须符合 SMA 混合料的设计技术要求, 如表 3 所示.

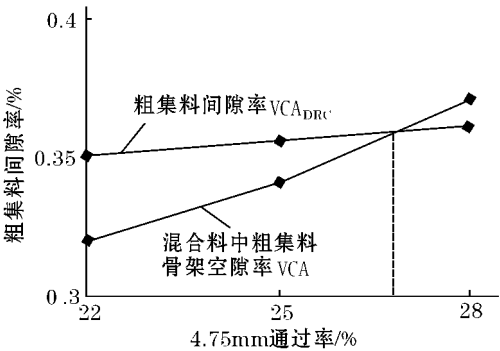


图 1 根据 VCA 确定级配中
4.75 mm 的通过率

表 3 我国 SMA 马歇尔试验配合比设计技术要求

试 验 项 目	技 术 要 求	
	非改性沥青	改性沥青
马歇尔试件击实次数	两面击实 50 次	
空隙率 VV	3% ~ 4%	
粗集料骨架空隙率 VCA_{min}	不大于 VCA_{DRC}	
矿料空隙率 VMA	不小于 16.5%	
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%
	2.8	不小于 5.8%
	2.7	不小于 6.1%
稳定度	不小于 5.5kN	不小于 6.0kN
流值	2~ 4 mm	不大于 0.2%
谢伦堡沥青析漏试验的结合料损失	2~ 5 mm	不大于 0.1%
肯塔堡飞散试验的混合料损失(20℃)	不大于 25%	不大于 20%

7 关键的几项体积指标的解决措施

在 SMA 马歇尔试验配合比设计研究中, 关键的几项体积指标达不到要求时, 可以采用下述措施加以解决.

7.1 矿料空隙率 VMA 未达到要求的措施

VMA 是间断级配混合料, 其大小取决于大于 4.75 mm 的粗集料用量, 以及填充粗集料间隙的细集料及玛蹄脂部分的比例. 因此, 减少 4.75 mm 的通过率(即增加粗集料用量或减少矿粉用量)都能使 VMA 增大^[2]. 如果已经增加粗集料用量或减少矿粉用量还达不到 > 17% 的要求, 也许是试验时集料已被击碎, 此时必须更换集料品种才能解决问题.

7.2 空隙率 VV 未达到要求的措施

当沥青混合料的级配确定以后, 试件的空隙率通常由沥青用量控制的, 减少沥青用量将使空隙率变大^[3,4]. 但是, 如果沥青用量已经不能再大, 再增大可能会发生泛油, 例如油石比已经超过 6%, 空隙率仍然大于要求的 3% ~ 4% 的情况时, 必然是集料的间隙太大的缘故. 此时, 只有

通过调整矿料级配,适当增加 4.75 mm 的通过率,或者适当增加矿粉,使 VMA 接近 17% 甚至 16.5%。然而,如果 VMA 已经大于 17%,沥青用量也不多,空隙率达不到 3%,很可能是测定精确度不足,应该进行复查。

7.3 粗集料骨架间隙率 VCA_{mix} 未达到要求的措施

SMA 的粗集料骨架间隙率 VCA_{mix} 对集料的嵌挤作用至关重要。如果混合料的 VCA_{mix} 不能满足小于 VCA_{DRC} 的要求,说明骨架被细集料和玛蹄脂撑开了,不能实现骨架嵌挤作用。此时,必须按下述措施调整集料级配: 1) 通常增加粗集料用量,降低 4.75 mm 通过率,使 VCA_{mix} 增大; 2) 调整粗集料中 9.5 mm 通过率,增加大于 9.5 mm 的集料用量使 VCA_{mix} 增大。

从沥青路面工程实践可知,常用的 SMA-16 通常由 5~10 mm 和 10~20 mm 两种粗集料作为骨架配合而成,即矿粉用量 10% 左右,石屑和砂的用量总和 15% 左右,粗集料(4.75 mm 以上)的用量 75% 左右,其中 10~20 mm 和 5~10 mm 的粗集料各占 40% 左右,恐怕是最常用的配合比。某些工程采用 5~10 mm 的粗集料中粉料比例较大,则完全有可能不必使用石屑和其他细集料,此时可以在现场进行筛分试验加以确定。

8 结束语

沥青路面工程实践已证明,配合比不合适是不可能实现 SMA 的良好性能。因此,SMA 马歇尔试验配合比设计就是确定骨架和玛蹄脂部分各材料的规格和比例,以便保证真正形成粗集料骨架,骨架的间隙又恰到好处地填充玛蹄脂,玛蹄脂才能真正发挥使混合料成为坚强整体的胶结作用。

参考文献:

- [1] Brown E R, Haddock J E, Mallick R B, et al. Development of A Mixtures Design Procedure for Stone Matrix Asphalt (SMA)[M]. USA: NCAT, 1997.
- [2] 沈金安,李福普. SMA 路面设计与铺筑[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [3] JTJ052. 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [4] 鲁正兰,袁志平,朱梦良. 温度对沥青混合料空隙率的影响[J]. 中南公路工程, 2004, (1): 51-54.

Design Study of SMA Marshall Test Mixing Ratio

LUO Zhi-qiang

(Faculty of Construction, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China)

Abstract: According to the project actual conditions of the asphalt pavement on the high grade highway, the design method of the Marshall test mixing ratio for Stone Matrix Asphalt (SMA) is discussed, and the solving measures of some key volume index are presented, which have the instructive meanings of enhancing the operation performance and the operation life of the asphalt pavement.

Key words: asphalt pavement; Stone Matrix Asphalt; Marshall test; mixing ratio design; volume index