

文章编号: 0451-0712(2005)11-0184-03

中图分类号: U414.75

文献标识码: B

一种判断 SMA 粗集料嵌挤状态的简便方法

刘树堂^{1,2}, 郭忠印²

(1. 山东大学土建与水利学院 济南市 250061; 2. 同济大学交通运输工程学院)

摘 要: 无需通过马歇尔试验, 而依据对 SMA 空隙率、矿料间隙率及沥青饱和度等体积特性的标准要求, 反算出马歇尔试件毛体积相对密度应有的取值, 在此基础上提出了一种判断 SMA 粗集料嵌挤状态的简便方法。即, 只要反算的毛体积相对密度大于粗集料松装相对密度与粗集料用量的比值, 粗集料就能形成嵌挤状态。

关键词: SMA; 嵌挤状态; 判断; 简便方法

沥青玛蹄脂碎石混合料(SMA)是一种性能优良的沥青混合料, 随着高速公路的建设与发展, 其应用越来越普遍。跟普通热拌沥青混合料相比, SMA 突出的特点之一是具有良好的高温稳定性, 这种良好的高温稳定性主要源于 SMA 所具有的级配特性: 间断级配, 粗集料石—石接触形成骨架嵌挤状态。粗集料的嵌挤是 SMA 具备良好高温性能的根本保证, 因此, 在 SMA 配合比设计过程中必须做的一个工作是, 首先判定所选择的初试级配的粗集料能否形成嵌挤状态; 如果压实状态下沥青混合料中粗集料骨架间隙率不大于捣实状态下粗集料松装间隙率, 那么粗集料就能形成嵌挤, 否则形不成嵌挤状态, 而不

能形成嵌挤状态的级配是不能用于 SMA 的。按照文献[1]的要求, 也是实际工程中的一贯做法, 看粗集料是否形成嵌挤状态, 首先是通过松装密度、马歇尔击实和毛体积密度测试, 经计算获得前述两个间隙率指标, 然后直接加以比较判断。无疑, 这是判断嵌挤状态的根本方法, 但这种方法需要进行马歇尔试验获得压实试件、测试试件的毛体积相对密度, 且试验时要求一组马歇尔试件的数目不得少于 4~6 个, 而初试级配往往选择 3 组, 则共需马歇尔试件应不少于 12~18 个, 因此试验工作量较大, 试验用时较多。本文提出一种简便方法, 不需采用进行马歇尔试验、毛体积相对密度试验进而直接比较上述两个骨

收稿日期: 2005—04—30

Determination of Rational Cement Contents and Aggregate Gradations for Base of Cement Stabilized Crushed Stone

CAO Guang-lun¹, CHEN Fa-gen¹, YANG Mu-pan², NI Fu-jian³

(1. Anhui Traffic Investment Company, Hefei 230011, China; 2. Anhui Highway Engineering Company, Hefei 230011, China;

3. College of Traffic Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: The performance of the strength and shrinking rules of base mixtures of cement stabilized crushed stone is studied in this paper by laboratory tests. On the basis of the field test results, the best cement content and the aggregate gradation for both high strength and better crack resistance are chosen. The laboratory test results indicate that the strength and the shrinkage of the semi-rigid material increase as the cement content increases. Therefore, the cement content should not be too much in order to get a low-shrinkage.

Key words: cement stabilized crushed stone; strength performance; dry shrinkage; temperature shrinkage

架间隙率的大小关系的方法,而是通过反算试件的毛体积相对密度,并以之判断级配是否形成嵌挤状态。由于这种方法略去了前述马歇尔击实试验和毛体积相对密度的测试工作,因此对减少试验工作量、缩短试验用时、提高工作效率具有重要的现实意义。

1 估算法的基本原理

1.1 嵌挤状态判定依据及其变换

简便方法仍然基于粗集料形成嵌挤状态的判别不等式:

$$VCA_{\text{mix}} < VCA_{\text{DRC}} \quad (1)$$

$$\text{而 } VCA_{\text{mix}} = \left(1 - \frac{\gamma_f}{\gamma_{CA}} \times P_{CA} \right) \times 100 \quad (2)$$

$$VCA_{\text{DRC}} = \left(1 - \frac{\gamma_s}{\gamma_{CA}} \right) \times 100 \quad (3)$$

式中: VCA_{mix} 为沥青混合料试件中粗集料骨架之外的体积(通常指小于 4.75 mm 的粗细集料、矿粉、沥青及空隙)占总体积的比例,即沥青混合料试件的骨架间隙率,%; VCA_{DRC} 为捣实状态下粗集料的松装间隙率,%; γ_f 为沥青混合料试件的毛体积相对密度; P_{CA} 为沥青混合料中粗集料的比例, $P_{CA} = P_s \times PA_{4.75}$, 而 $PA_{4.75}$ 为矿料级配中 4.75 mm 筛余量,即 100 减去 4.75 mm 筛通过率之差,%; P_s 为沥青混合料中矿料的质量百分比,%; γ_s 为粗集料骨架的松装毛体积相对密度; γ_{CA} 为粗集料骨架部分的平均毛体积相对密度。

γ_{CA} 按下式计算:

$$\gamma_{CA} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{P_2}{\gamma_2} + \dots + \frac{P_n}{\gamma_n}}$$

式中: P_1, \dots, P_n 分别为粗集料骨架部分各种集料在全部矿料级配混合料中的配合比,%; $\gamma_1, \dots, \gamma_n$ 分别为各种粗集料相应的毛体积相对密度。

由式(1)~(3)得:

$$\left(1 - \frac{\gamma_f}{\gamma_{CA}} \times P_{CA} \right) \times 100 < \left(1 - \frac{\gamma_s}{\gamma_{CA}} \right) \times 100$$

所以有:

$$\gamma_f > \frac{\gamma_s}{P_{CA}} \quad (4)$$

于是,判断粗集料形成嵌挤状态的不等式(1)等价于不等式(4)。

由式(4)可知,也只有得到 γ_f 才能判断粗集料是否形成嵌挤状态。那么,在不进行马歇尔击实试验的情况下, γ_f 如何得到呢? 本文通过反算的方法获取。

1.2 沥青混合料试件毛体积相对密度的反算

沥青混合料试件毛体积相对密度 γ_f 的反算,主要依据空隙率、矿料间隙率和沥青饱和度等体积指标的技术标准进行,根据文献[2],考虑集料吸收沥青的情况,可得:

$$\begin{cases} P_a = \left(\frac{100 - VV}{100 - VMA} \times \frac{1}{\gamma_{sb}} - \frac{1}{\gamma_{se}} \right) \times \gamma_a \\ \gamma_f = \left(1 - \frac{VV}{100} \right) \times \frac{100 + P_a}{\frac{100}{\gamma_{se}} + \frac{P_a}{\gamma_a}} \end{cases} \quad (5)$$

式中: VV 为空隙率,%; VMA 为矿料间隙率,%; γ_{sb} 为矿料的合成毛体积相对密度,无量纲; γ_{se} 为矿料的有效相对密度,无量纲,可据文献[1]计算得到; γ_a 为沥青的相对密度,无量纲; P_a 为油石比,%。

关于集料是否吸收沥青的问题,文献[1]已做了符合实际的统一认识,即认为集料是部分吸收沥青的,因此今后对于 SMA 的配比设计需按集料吸收沥青的情况考虑。但下文引用的文献[3]中的工程实例认为集料是不吸收沥青的(尽管如此,并不妨碍说明本文的简便方法)。假设集料不吸收沥青,则式(5)简化为:

$$\begin{cases} P_a = \frac{VMA - VV}{100 - VMA} \times \frac{\gamma_a}{\gamma_{sb}} \\ \gamma_f = \left(1 - \frac{VV}{100} \right) \times \frac{100 + P_a}{\frac{100}{\gamma_{sb}} + \frac{P_a}{\gamma_a}} \end{cases} \quad (6)$$

根据 VV 、 VMA 的技术标准要求范围、初试级配的合成毛体积相对密度以及沥青的相对密度,首先计算得到所需的适宜油石比范围,然后由式(5)或式(6)的第二式便可计算得混合料毛体积相对密度的范围,即可由式(4)判断初试级配粗集料的嵌挤状态能否形成。

2 工程实例

为了使所举实例具有更强的可信性,本文简要引用文献[3]中工程实例目标配合比设计及其有关的原始数据。沥青的相对密度为 1.04,为简便起见,忽略纤维的存在,这不影响最终的判断结果。

2.1 矿料级配及相关参数计算

矿料级配及相关参数计算见表 1。

2.2 毛体积相对密度反算及嵌挤状态判断

SMA-16 的空隙率、矿料间隙率和沥青饱和度的技术标准分别为: $VV = 3\% \sim 4\%$, $VMA \geq 17.0\%$, $VFA = 75\% \sim 85\%$ 。估算时尚需限定 VMA 的上限

表 1 目标配合比设计矿料级配计算

筛孔/mm	级配甲	级配乙	级配丙	级配范围	SMA-16
	合成级配	合成级配	合成级配	中值	级配范围
	%	%	%	%	%
19.0	100	100	100	100	100
16.0	91.5	92.0	92.6	95.0	90~100
13.2	76.0	77.4	79.3	75.0	65~85
9.5	54.0	56.6	60.1	55.0	45~65
4.75	23.1	25.1	27.3	25.0	20~30
2.36	15.8	16.7	17.6	19.5	15~24
1.18	14.8	15.4	15.9	18.0	14~22
0.6	14.4	14.8	15.2	15.0	12~18
0.3	13.3	13.4	13.5	12.5	10~15
0.15	13.0	13.1	13.1	10.5	7~14
0.075	9.8	9.9	9.9	9.5	7~12
矿料的毛体积相对密度 γ_{sb}	2.912	2.908	2.902		
4.75 mm 以上粗集料的毛体积相对密度 γ_{CA}	2.962	2.962	2.962		
4.75 mm 以上粗集料的松方相对密度 γ_s	1.642	1.658	1.661		

值,参照文献[4],设定其上限值为 18.5%。

对于本例而言,依据上述标准,利用式(6)即可计算出相应体积标准的油石比、沥青混合料毛体积相对密度及 P_{CA} 的值,见表 2。因未用到油石比,表 2 没有列出其计算结果。

表 2 SMA 毛体积相对密度反算结果与嵌挤状态判断

空隙率	各级配沥青混合料毛体积相对密度 γ_f 反算值范围			各级配 γ_s/P_{CA} 比值范围		
	级配甲	级配乙	级配丙	级配甲	级配乙	级配丙
3.0	2.534~2.563	2.531~2.559	2.526~2.554	2.264~2.280	2.347~2.364	2.423~2.440
4.0	2.524~2.552	2.521~2.549	2.516~2.544	2.255~2.271	2.338~2.354	2.413~2.430
3.0~4.0	2.524~2.563	2.521~2.559	2.516~2.554	2.255~2.280	2.338~2.364	2.413~2.440

表 2 数据范围,如级配甲中的 2.534~2.563 是由 $VV=3\%$ 、 $VMA=17\%\sim 18.5\%$,依据式(6)计算得到(同时满足沥青饱和度的要求)。由表 2 可知,各级配 SMA 毛体积相对密度 γ_f 的反算值范围均大于相应各级配 γ_s/P_{CA} 的比值范围,即全部满足不等式(4),而且还有富余,譬如级配甲,在 $VV=4.0\%$ 、 $VMA=17.0\%$ 时,其对应的毛体积相对密度 γ_f 为 2.524,“远”大于 $\gamma_s/P_{CA}=2.255$ 。因此,3 组级配均能形成嵌挤状态。这与文献[3]的结论完全一致。

经过嵌挤状态的判断后,即可按文献[1]的要求选择出需要的级配,然后继续后面的设计工作。

3 结论

简便方法判断粗集能否形成料嵌挤状态是基于对 SMA 的体积特性要求,因此,反算的毛体积相对密度范围将包括实际试验得到的相对密度就成为必然,从而使该法具有理论基础。由于不需要进行马歇尔击实、毛体积相对密度测试等试验就能判断粗集料的嵌挤状态,所以该法可大大减少试验工作量和缩短试验周期。在判断级配的嵌挤状态时,不妨用简便方法来进行,计算时可借助于 EXCEL,十分方便。

由于纤维的用量较少,为简化计算,计算可忽略纤维的存在,这并不影响判断结果。

参考文献:

[1] JTG F40—2004,公路沥青路面施工技术规范[S].
[2] 刘树堂. 沥青混合料目标配合比设计的最佳沥青含量范围估算[Z].
[3] 沈金安. 改性沥青与 SMA 路面[M]. 北京:人民交通出版社. 1999.
[4] Superpave Mixture Design Guide [R]. WesTrack Forensic Team Consensus Report, 2001.

A Short-Cut Method for Judging Interlocking Conditions of SMA Coarse Aggregates

LIU Shu-tang^{1,2}, GUO Zhong-yin²

(1. Civil Engineering College, Shandong University, Jinan 250061, China;
2. Transportation and Traffic College of Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Without Marshall test, the bulk volume relative density of Marshall specimen can be calculated according to some volume character requirements, such as VV , VMA and VFM . So a short-cut method for judging interlocking conditions of SMA coarse aggregates is suggested; if the calculation value of the bulk volume relative density is greater the ratio of coarse aggregate relative density to coarse aggregates dosage, coarse aggregates can come into interlocking conditions.

Key word: SMA; interlocking condition; judge; brief method