

## 道 路

## 马歇尔设计方法指标取值及配合比方法的探讨

曾国东 罗 青

陈 聪

(佛山市交通工程质量监督站,佛山 528041) (佛山市公路桥梁工程监测站,佛山 528041)

**摘 要** 对马歇尔设计方法各项体积指标的取值进行了探讨,并在规范的基础上,提出了一种新的配合比设计方法。

**关键词** 马歇尔设计方法 体积指标 配合比

马歇尔设计方法是沥青路面材料组成设计的一种最主要的方法。设计的基本思路是在设计级配与配合比下,以一定的击实功(一般为双面击实 75 次)在一定的温度下成型的标准马歇尔试件,其各项体积指标(空隙率、沥青饱和度、矿料间隙率)满足一定的要求。这种规定的体积指标要求值必须要能反映路用性能要求。因此,马歇尔设计方法指标的取值就显得尤为关键。《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40 - 2004)进一步完善了沥青混合料配合比设计方法,调整了马歇尔试验配合比设计方法及设计指标、标准。本文对各项体积指标的取值进行了探讨,提出建议取值,并在规范的基础上提出了一种新的配合比设计方法。

## 1 马歇尔设计方法指标的合理取值

### 1.1 空隙率

对上、中、下面层均建议采用 3% ~ 5% 的空隙率,室内试验空隙率最好控制在 4% 左右。空隙率大于 4% 太多的话,将担心以后路面实际空隙率太大,沥青易老化,抗疲劳能力不足,且水进入沥青混合料空隙内在行车荷载的泵吸作用下,沥青易从石料表面剥落,导致沥青混合料松散,继而出现车辙、坑洞。空隙率小于 4% 太多的话,将担心以后在重车荷载作用下,沥青混合料可能被压得过硬,空隙率有可能小于 3%,在高温条件下,沥青体积膨胀,石料颗粒充满自由沥青,使整个混合料的内摩阻角减小,在重车荷载作用下,混合料承载能力明显不足,路面出现高温车辙,并且自由沥青被压挤到道路表面,使表面构造深度大大减小直至全部丧失。

### 1.2 沥青饱和度

对表面层与中面层均建议采用 65% ~ 75% 的

空隙率。矿料间隙率适中时,沥青饱和度小于 65% 的时候,沥青混合料发生疲劳破坏的概率会大大增加,沥青饱和度大于 65% 后,沥青路面在设计使用年限内很少发生疲劳破坏,且沥青饱和度过小,沥青膜厚度太薄,沥青混合料的抗老化能力也会大大减弱。沥青饱和度大于 75% 的话,沥青混合料的抗剪强度减弱很快,尤其是在高温与重载对沥青混合料的耦合作用下,沥青路面极易出现车辙现象。

### 1.3 沥青混合料矿料间隙率

矿料间隙率主要是受级配和矿料颗粒棱角性的影响。沥青混合料矿料间隙率太大的话,若要达到 4% 空隙率的要求,势必饱和度太大,沥青将会发生析漏现象,沥青用量适中时空隙率又会太大,因此矿料间隙率太大的混合料其体积指标总是难以满足规范要求的,而且矿料间隙率太大的混合料是难以压实的混合料。矿料间隙率太小的话,要使空隙率维持在 4% 左右的话,沥青用量势必就会很小,沥青饱和度很小,这样的混合料易老化,且易发生疲劳破坏,若增加沥青用量而使沥青饱和度达到要求,沥青用量达到一定值的话,此时沥青混合料的空隙率就会很小,空隙率很小的混合料,容易产生泛油现象,高温抗剪强度不足,且矿料间隙率太小的沥青混合料是不稳定的混合料,容易被压密,强度很弱。

由公式

$$VFA = \frac{VMA - V_a}{VMA} \quad (1)$$

变形得到

$$VMA = \frac{V_a}{1 - VFA} \quad (2)$$

假设我们要使得设计空隙率在 4% 左右,而沥

青饱和度在 65% ~75%之间时,此时的矿料间隙率的范围是:

$$4\% / (1 - 65\%) \sim 4\% / (1 - 75\%) \quad \text{即 } 11.5\% \sim 16.0\%$$

### 2 目标配合比设计方法

(1)对于某种级配(如 AC - 16F型级配),按照给定的几种材料配比得合成级配,在某个沥青用量下,如 4.0%,成型马歇尔试件,测其毛体积密度,计算得空隙率、矿料间隙率、沥青饱和度的值。

(2)由 4.0%沥青用量时的空隙率  $V_a$ ,预测空隙率 4%时的沥青用量。这里引用 SHRP体积设计法的结论——沥青用量 1%的改变将会引起空隙率发生 2.5%的变化,其公式是

$$P_{bs} = P_{bc} - [0.4 \times (4 - V_a)] \quad (3)$$

公式变形,得到

$$V_a = 4 - 2.5(P_{bc} - P_{bs}) \quad (4)$$

$P_{bc}$ —试件沥青用量(%);

$V_a$ —试件空隙率(%);

$P_{bs}$ —预计的设计沥青用量(%)。

实际上,空隙率的变化规律一般是随着沥青用量的变化而呈抛物线型变化的,即:

$$f(x) = ax^2 + bx + c \quad (5)$$

这里,  $f(x)$ 指空隙率,  $x$ 指沥青用量,  $a, b, c$ 是待定系数。

开始的时候,随着沥青用量的增加,空隙率下降较快,之后,空隙率下降的幅度逐渐减小,通过大量的试验数据观察,我们可近似的认为:如果增加 1%的沥青用量变化会产生 2.5%的空隙率下降,那么,开始增加的沥青用量 0.5%将产生 1.5%的空隙率下降。初试沥青用量  $x_0$ ,相应空隙率  $f(x_0)$ ,沥青用量增加 1%空隙率下降值为 2.5%,即  $f(x_0 + 1\%) = f(x_0) - 2.5\%$ ,沥青用量增加 0.5%空隙率下降值为 1.5%,即  $f(x_0 + 0.5\%) = f(x_0) - 1.5\%$ ,由二次拉格朗日插值多项式插值可得到任意沥青用量时的近似空隙率值:

$$f(x) = \frac{(x - x_1)(x - x_2)}{(x_0 - x_1)(x_0 - x_2)} f(x_0) + \frac{(x - x_0)(x - x_2)}{(x_1 - x_0)(x_1 - x_2)} f(x_1) + \frac{(x - x_0)(x - x_1)}{(x_2 - x_0)(x_2 - x_1)} f(x_2) \quad (6)$$

这里  $x$ 指任意沥青用量,  $x_1$ 指沥青用量  $x_0 + 0.5\%$ ,  $x_2$ 指沥青用量  $x_0 + 1\%$ ,  $f(x)$ 指任意沥青用量  $x$ 时对应的空隙率值。

(3)由空隙率 4%、预测的空隙率 4%时的沥青

用量及矿料用量可预估空隙率 4%时混合料的毛体积密度:

$$\frac{\text{毛}}{\text{全}} / (1 + P_b) + \frac{\text{毛} \times P_b}{\text{b} (1 + P_b)} + 0.04 = 1 \quad (7)$$

式中

$\text{毛}$ —空隙率 4%时的试件毛体积密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$P_b$ —预估的空隙率 4%时沥青用量(用小数表示,如 4.0%写成 0.04);

$\text{全}$ —矿料的全体相对密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ),计算时各种粗细集料取有效密度(表观密度与毛体积密度的均值),矿粉取表观密度;

$\text{b}$ —沥青的密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )。

由上式可解得毛体积密度值

$$\text{毛} = \frac{(1 + P_b) \times 0.96 \times \text{全} \times \text{b}}{P_b \times \text{全} + \text{b}} \quad (8)$$

各种符号含义如前。

4%空隙率时的毛体积密度估算出来了之后,矿料间隙率可计算得到

$$\text{VMA}_{v_a=4.0\%} = \left(1 - \frac{\text{毛} / (1 + P_b)}{\text{全}}\right) \times 100\% \quad (9)$$

(4)观察此时的矿料间隙率,检查其是否小于 11.5%或大于 16%,如是的话,则需对级配进行调整。级配调整可按下面进行:

要使矿料间隙率增大的话,可减少 4.75mm 筛孔通过率,使粗料增多,细料减少;减少矿粉的数量;减少 0.6mm 以下各筛孔通过率;在 0.45 次方图上适当离开最大密度线可增加矿料间隙率。

反之,要想使矿料间隙率减小的话,可适当减少粗料的含量而增加细料的含量;减少 2.36 ~ 4.75mm 档矿料数量;适当增加矿粉的含量;增加 0.6mm 以下各筛孔的通过率。

(5)取预计的设计沥青用量及上下  $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1\%$ 五个沥青用量成型五组马歇尔试件,绘制空隙率与沥青用量、沥青饱和度与沥青用量、矿料间隙率与沥青用量的曲线,找出空隙率 4%时的沥青用量作为设计的最佳沥青用量,并检验此沥青用量时沥青饱和度指标与矿料间隙率指标是否都满足要求,较好的情况是此沥青用量在矿料间隙率最小值附近的少油一侧。

### 3 实例

某机场高速路 AC - 13C 表面层采用南京句容玄武岩,矿粉为石灰石矿粉,矿料相对密度为 2.817

g/cm<sup>3</sup> (具体过程不再赘述),采用 SK 改性沥青,密度 1.011g/cm<sup>3</sup>,初试沥青用量为 4.0%,成型马歇尔试件,测得其毛体积密度为 2.449g/cm<sup>3</sup>,采用计算法算得此沥青用量下的最大理论密度为 2.636g/cm<sup>3</sup>,于是可计算得到空隙率为 7.1%,矿料间隙率为 16.4%。

(1)由 4.0% 沥青用量时的空隙率 V<sub>a</sub>,预测空隙率达到 4%时的沥青用量,由 (6)式

$$f(x) = \frac{(x-x_1)(x-x_2)}{(x_0-x_1)(x_0-x_2)} f(x_0) + \frac{(x-x_0)(x-x_2)}{(x_1-x_0)(x_1-x_2)} f(x_1) + \frac{(x-x_0)(x-x_1)}{(x_2-x_0)(x_2-x_1)} f(x_2)$$

令 f(x) = 4.0%, x<sub>0</sub> = 4.0%, f(x<sub>0</sub>) = 7.1%, x<sub>1</sub> = 4.5%, x<sub>2</sub> = 5.0%, f(x<sub>1</sub>) = 5.6%, f(x<sub>2</sub>) = 4.6%

可解得 x = 5.2%

(2)由空隙率 4%、预测的空隙率 4%时的沥青用量 5.2%及矿料用量预估空隙率 4%时混合料的

毛体积密度,由 (8)式

$$\rho_{毛} = \frac{(1+P_b) \times 0.96 \times \rho_{全} \times \rho_b}{P_b \times \rho_{全} + \rho_b} = \frac{(1+0.052) \times 0.96 \times 2.817 \times 1.011}{0.052 \times 2.817 + 1.011} = 2.485 \text{g/cm}^3$$

(3)计算此时的矿料间隙率,由 (9)式

$$\text{VMA}_{V_a=4.0\%} = \left(1 - \frac{\rho_{毛}}{\rho_{全}(1+P_b)}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{2.485/(1+0.052)}{2.817}\right) \times 100\% = 16.1\% \text{ (接近 } 16.0\%)$$

于是,可认为这种级配的矿料间隙率是满足要求的。

(4)五个沥青用量 5.0 ±1%、5.0 ±0.5%、5.0%下成型五组马歇尔试件,测得的马歇尔试验结果汇总如表 1。

表 1 马歇尔试验结果汇总表

材料类型	沥青用量 (%)	试件密度 (g/cm <sup>3</sup> )	试件空隙率 (%)	沥青饱和度 (%)	矿料间隙率 (%)	稳定度 (kN)	流值 (0.1mm)
AK-13C	4.0	2.449	7.1	56.7	16.4	6.66	28.0
	4.5	2.470	5.6	65.2	16.1	7.12	29.4
	5.0	2.487	4.2	73.6	15.9	7.82	37.3
	5.5	2.492	3.3	79.5	16.1	7.49	36.7
	6.0	2.488	2.7	83.6	16.5	7.29	39
技术要求			3~5	65~75		>7.5	20~40

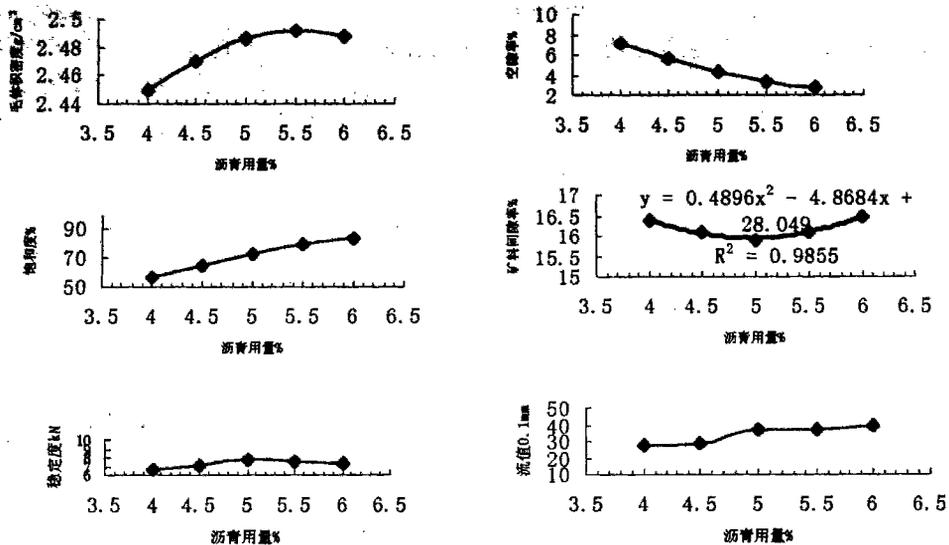


图 1 沥青用量与各项体积指标值的关系

找出空隙率 4%对应时的沥青用量为 5.1%,此时的沥青饱和度为 74.8%,稳定度与流值也均满足要求。

4 结语

一般来说,空隙率 3%~5%,沥青饱和度 65%~75%,矿料间隙率适中(三个指标已知其中两个,另外一个可通过计算求得),设计的沥青混合料将具有较好的路用性能;在要求的 (下转第 14 页)

### Giving the Creep Test to Evaluate Stability of Asphalt Mix at High Temperature

Abstract The paper adopts the creep test of uniaxial static load to study asphalt mixes of 3 grades in different dosage of asphalt, and analyzes influence of asphalt dosage on mix at high temperature

Key words Creep test Dosage of asphalt Creep strength Stability at high temperature

(上接第 3 页) 合理沥青用量下若矿料间隙率指标值良好,能使得在这种沥青用量和矿料间隙率值的情况下,空隙率 3% ~ 5%之间,沥青饱和度 65% ~ 75%之间,那么此种设计级配将是良好的设计级配;通过观察初试沥青用量下的各项体积指标值,可通过经验公式预估空隙率 4.0%时的沥青用量,藉此可预估此时的毛体积密度并计算得到此时的矿料间隙率,若此矿料间隙率偏离规定的太远,则须调整级配,若适中的话,此预估的沥青用量可近似作为最

佳沥青用量,当然,为了更准确,还可成型多组沥青用量试件,找出空隙率 4%时的沥青用量作为设计的最佳沥青用量,并检验此沥青用量时饱和度指标与矿料间隙率指标是否都满足要求。

#### 参考文献

- 1 李庆扬等. 数值分析. 华中理工大学出版社, 1986. 12
- 2 公路沥青路面施工技术规范 (JTG F40 - 2004) [s]. 北京:人民交通出版社

### Approach to Methods for Index Fetching and Proportioning Design - Marshall - Type Design

Abstract The paper makes an approach to fetching of each volume index - Marshall - Type Design, and raises a new proportioning design on the basis of specification

Key words Marshall - type design Volume index Proportioning

(上接第 8 页)

- 3 沈金安. 沥青及沥青混合料路用性能. 人民交通出版社, 北京: 2001
- 4 ASTM. Standard Test Method for Resistance to Plastic Flow of Bituminous

- Mixture Using Marshall Apparatus, ASTM Designation D1559 - 83. American Society for Testing Materials (ASTM), 1983
- 5 周纯秀, 王抒音, 董泽蛟. 沥青混合料水损害评价方法中试验条件的研究 [J]. 东北公路, 2003, 26 (4): 19 - 21

### Impact of Additive, Lime on Water Injury of Asphalt Mix

Abstract Adopting two kinds of tests of residual stability and freeze thaw cleavage strength, the paper analyzes physical mechanics of asphalt mix in immersion case from different angles, estimates the water injury - resistance of mix. Test results have shown that asphalt mix with lime possesses a fine water - resisting property and is enabled to meet service demands

Key words Additive - lime Asphalt mix Water injury