

文章编号:1671-6833(2007)04-0109-04

# 沥青混合料体积参数通用图的应用研究

薛小刚, 张争奇, 王秉纲, 陈华鑫

(长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064)

**摘要:** 为了使沥青混合料体积参数在设计和施工质量控制中得到进一步应用, 将体积参数分为直接参数和间接参数. 通过对体积参数之间内在关系进行数学推导变形, 将沥青混合料设计中通常使用的体积参数与沥青含量之间复杂的非线性关系转变成使用体积参数之间的简单线性关系, 适用于不同的沥青混合料设计与评价. 在此基础上, 进行了体积参数通用图的实际应用研究. 理论分析和实际应用结果表明, 它可以从体积组成角度去解释压实机理与间接参数之间的关系, 从而指导沥青混合料设计与施工控制, 值得推广.

**关键词:** 沥青混合料; 体积参数; 体积参数通用图; 应用

**中图分类号:** U 414.1 **文献标识码:** A

## 0 引言

目前, 体积设计法是国内外沥青混合料的主要设计方法. 结构决定性能, 体积设计法的主要思想就是通过控制沥青混合料的体积参数, 使其满足一定的范围, 从而保证沥青混合料的路用性能满足相应的行车需要. 这些体积参数包括  $V_v$ 、 $V_b$ 、 $V_s$ 、 $V_a$ 、 $VMA$ 、 $VFA$  等, 它们都清晰地表述了混合料中各成分之间的关系, 有助于人们了解沥青混合料结构组成及其与路用性能的关系. 通过这些参数, 人们对设计出的沥青混合料性能进行评价和进行相应的调整. 目前对这些体积参数的研究仅仅是停留在各自满足一定的范围, 对于它们之间的内在关系和在沥青混合料设计、施工质量控制中进一步应用研究很少. 笔者主要对沥青混合料体积参数之间的内在关系及其体积参数通用图的应用进行分析研究. 结果表明, 这是沥青混合料的设计与质量控制的一种有效方法.

## 1 沥青混合料体积参数分析

### 1.1 直接体积参数

沥青混合料是由矿料、沥青和空隙构成的三相复合体, 直接体积参数就是直接反映沥青混合料中这三相之间组成关系的参数, 主要有:  $V_v$  为

空气体积,  $V_b$  为沥青结合料体积,  $V_s$  为矿料体积. 由于矿质集料会吸收一部分沥青, 因而一般来说,  $V_b + V_s > V_{b+s}$ , 这些体积参数还可以进一步分解成以下组成部分:  $V_{be}$  为有效沥青体积,  $V_{ba}$  为矿料吸收沥青体积,  $V_{bs}$  为集料毛体积,  $V_{se}$  为集料有效体积,  $V_{sa}$  为集料的表观体积. 这些体积参数的含义具体如图 1 所示.

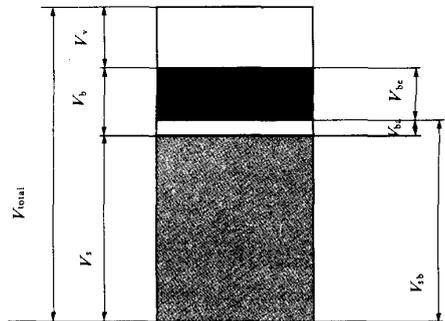


图 1 传统的沥青混合料组成相位图

Fig. 1 Traditional HMA phase diagram

### 1.2 间接体积参数

间接体积参数是为了有效评价沥青混合料组成特性的分析指标, 它是由基本的体积参数通过运算得到的, 这是对沥青混合料组成结构与路用性能的系统分析中总结出来的, 它更深层次地反

收稿日期: 2007-07-19; 修订日期: 2007-08-20

基金项目: 交通部联合攻关项目(2003-353-313-020)

作者简介: 薛小刚(1979-), 男, 陕西眉县人, 长安大学博士研究生, 主要从事沥青路面工程方面的研究工作.

E-mail: xaxgxue@163.com

映了沥青混合料的组成特性,使沥青路面的路用性能与混合料的结构参数间的关系更加密切.这些体积参数包括: $V_a$  为空隙率, $VMA$  为矿料间隙率, $VMA = VV + V_{be}$ , $VFA$  为沥青饱和度.

这些参数一般都与沥青混合料的路用性能有着密切的关系<sup>[2-3]</sup>.比如说空隙率的变化,可能影响到路面的水稳定性、疲劳耐久性、抗车辙能力以及表面构造深度的衰减等.其他体积指标如 $VMA$ 、 $VFA$  这些参数同样如此都与压实度有关,而且相互间有着密切的关联<sup>[4]</sup>.严格地讲,在指明这些参数的同时,必须说明压实条件(如马歇尔击实 50 次、75 次或 Superpave™ 中压实到  $N_{des}$  等).

通过图 1 和上面体积参数的定义,就可以得到各体积参数间的关系式:

$$V_a = \frac{V}{V_{total}} \times 100\%$$

$$VMA = \frac{V_v + V_{be}}{V_{total}} \times 100\% \quad (1)$$

$$VFA = \frac{V_{be}}{V_v + V_{be}} \times 100\%$$

通过代数运算,还可以得到下式:

$$VFA = \frac{VMA - V_a}{VMA} \times 100\% \quad (2)$$

## 2 沥青混合料体积参数通用图

### 2.1 体积参数通用图的提出

在混合料设计过程中(仅以马歇尔为例),我们通常使用体积参数与沥青含量间的关系曲线图<sup>[1,5]</sup>,然而通常这些图大多数情况下都是非线性的,比较复杂,很难得出确定的表达式.在具体数据分析中,人为主观性较大,不利于客观分析应用.因而有必要深入研究各体积指标间的内在关系,以利于沥青混合料设计与施工控制.

图 2 是沥青混合料中常用体积参数( $V_a$ 、 $VMA$ 、 $VFA$ )的线性关系图,其最大的特点是可以不加修改的应用到不同混合料的设计和评价中,图形简单、明了,含义非常清楚直接.图中  $Y$  为空隙率, $X$  为有效沥青体积,斜直线代表  $VMA$  的等值线,由于  $VMA = V_a + V_{be}$ ,则  $VMA = x + y$ ,因而在两个坐标轴上截距相等的线就代表具有相同  $VMA$ .通过它,我们就可以很容易的看出: $V_a = 3\%$ , $V_{be} = 10\%$  或  $V_a = 5\%$ , $V_{be} = 8\%$  的情况下,都可以得到  $VMA = 13\%$ .

从原点辐射的线代表  $VFA$  的等值线,其值可以由下式计算:

万方数据

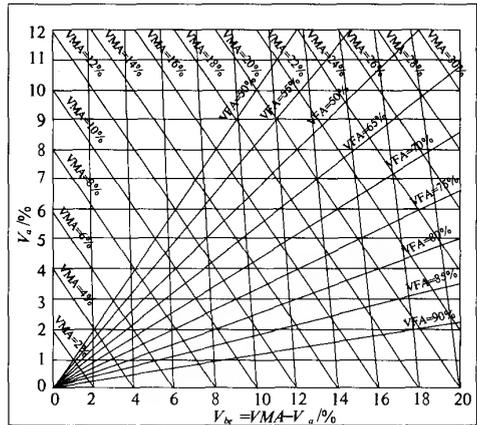


图 2 沥青混合料体积参数通用图

Fig. 2 Universal volumetric chart of HMA

$$VFA = \frac{VMA - V_a}{VMA} \times 100\% = \frac{V_{be}}{V_{be} + V_a} = \frac{x}{x + y} \times 100\% \quad (3)$$

做进一步推导则有

$$y = \left( \frac{100 - VFA}{VFA} \right) \times x \quad (4)$$

它表述的是图中左倾的一系列竖直线.连接图中的任意点( $x, y$ )与点(0,100)即可得到此轨迹线.

### 2.2 体积参数通用图的绘制

从上面的推导可以看出,间接体积参数都是通过直接体积参数间的相互换算关系得到的,沥青混合料体积参数图中函数关系也是以直接体积参数为基础的.

由于  $VMA = x + y$ ,所以可得  $y = VMA - x$ ,从而在  $x, y$  取不同值时可以得到体积参数通用图中  $VMA$  的一系列等值线.同理,根据(3)、(4)式也可以得到  $VFA$  的等值线.由于这种关系式是普遍存在的,因而适用于所有沥青混合料,被称为沥青混合料体积参数通用图.

## 3 沥青混合料体积参数通用图的应用研究

沥青混合料体积图的绘制,有助于研究沥青混合料的质量特性

(1)可以得到混合料质量的可接受区.规范对于沥青混合料的设计标准一般有如下的规定:如  $V_a$  必须在 3% ~ 5%, $VMA$  不小于 14%, $VFA$  必须在 65% ~ 75% 之间.但这种描述比较抽象,一般很难判定设计出的混合料是否合格,而且它们之间的关系也无法直接判断,而利用沥青体积参数图可以进行直观描绘.如图 3 中阴影区域就代表了上述规范规定的沥青混合料的可接受区域.

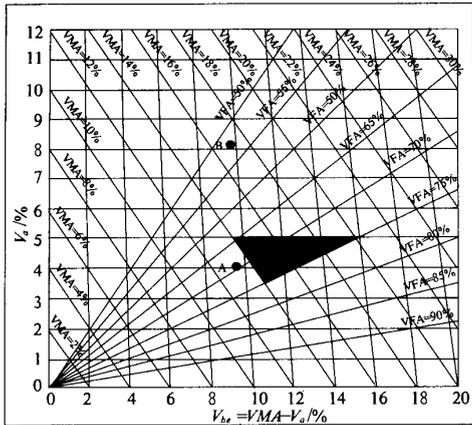


图 3 沥青混合料可接受区及轨迹线

Fig. 3 Feasible Region and Trajectory of HMA

(2) 不同压实标准下沥青混合料体积参数的评价标准。如前所述,间接体积参数都与压实度有关,因而相同的沥青混合料压实度不一样,得到的间接体积参数就不一样。如按传统设计观念,在标准马歇尔击实次数下  $V_a = 4\%$ ,  $VMA = 13\%$  的沥青混合料,在现场压实度为 92% 的情况下,体积参数如何,就无法进行判断。若采用体积图就可以方便的解决这一难题。图 3 中的 A 点代表  $V_a = 4\%$ ,  $VMA = 13\%$ , 顺着轨迹线向上找到  $V_a = 8\%$  (也就是 92% 的最大理论密度), 由这个点 B 就可以得到  $V_a = 8\%$ ,  $VMA = 16.6\%$  及  $VFA = 51.9\%$ 。

(3) 沥青混合料质量的控制。同一种沥青混合料(相同石料、同级配、相同油量), 不管其压实度如何,理论上讲,都具有相同的右倾轨迹线。实际上,由于人为、材料和设备的原因,不可能完全在同一条轨迹线上,而是在一个容许的误差范围内。实际工程中,如果一个样本显著的偏离这条轨迹线,就这种沥青混合料的本身组成发生了变化,换句话说,同一条右倾轨迹线,不管其压实度如何,都代表同一种沥青混合料,任何偏离右倾轨迹线的点都显示了混合料本身的显著变化,可能会产生质量异常。

从沥青混合料的体积图,我们可以简洁、直观的从体积组成角度去解释压实机理与混合料间接参数之间的关系,从而指导沥青混合料的设计与施工质量控制。

## 4 实体工程控制

### 4.1 马歇尔试验<sup>[5]</sup>

试验中采用石灰岩 AC-25I 沥青混合料,分

别测试了几组沥青用量下的马歇尔试验结果如表 1 所示。

表 1 AC-25I 部分歇尔试验数据  
Tab. 1 Partial marshall experimental data of AC-25 HMA

试件编号	沥青用量 /%	理论密度 /g · cm <sup>-3</sup>	空隙率 V <sub>a</sub> /%	矿料间隙率 VMA /%	沥青饱和度 VFA /%
1	4.00	2.538 0	5.2	14.6	64.4
2			5.8	15.1	61.6
3			5.3	15.0	62.7
4			4.9	14.3	65.7
A	平均值	2.54	5.35	14.75	63.60
1	4.50	2.518 9	3.1	13.8	77.5
2			4.0	14.6	72.6
3			4.2	14.7	71.4
4			4.1	14.7	72.1
B	平均值	2.52	3.85	14.47	73.40
1	5.00	2.500 3	2.2	14.0	84.3
2			2.7	14.5	80.8
3			2.1	14.0	85.0
4			2.9	15.8	81.6
C	平均值	2.50	2.48	14.58	82.90

### 4.2 试验数据分析

在马歇尔试验过程中,由于种种原因(配料、拌和及装料)往往导致混合料本身组成发生变化,比如同一级配同一沥青含量下,马歇尔试件的体积参数往往变化很大,从而导致试验结果的离散性较大,给数据分析带来诸多不便,而在试验中往往都很难察觉和控制。只要试验条件相同,现在可以利用体积参数通用图,判定混合料本身是否发生了变化;同样,利用沥青混合料体积参数图还可以形象化的判定我们设计出的沥青混合料是否满足规范的要求。

对 AC-25 型沥青混合料规范要求:  $V_a$  为 3% ~ 5%,  $VMA$  为 13% ~ 16%,  $VFA$  为 65% ~ 80%<sup>[6]</sup>, 将其标于沥青混合料体积参数通用图上, 就可以得到 AC-25 型沥青混合料的体积参数图(图 4), 将以上不同沥青含量的马歇尔试验结果标于沥青混合料体积参数通用图, 就可以对设计出的 AC-25 的马歇尔试验结果进行分析。

图 4 中, A、B、C 点分别为 AC-25I 油石比为 4.0%, 4.5%, 5.0% 时马歇尔试验体积指标平均值, A1、A2、A3、A4 分别表示油石比为 4.0% 时 4 次马歇尔试验体积指标值, 它代表了试验中, 混合料体积指标的变化。由图可知, 三种油石比中, 只有油石比 4.5% 时, 沥青混合料体积指标满足规范范围, 即点 B 落在了体积通用图 AC-25I 的阴影范围内, 4.0%, 5.0% 时均不满足。对于同一级配相同油量下的沥青混合料, 体积参数却不尽相

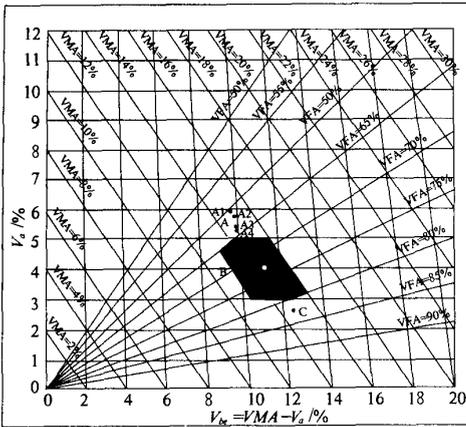


图4 AC-25I 沥青混合料体积通用图

Fig. 4 Universal volumetric chart of AC-25 HMA

同,之间存在微小的差别,由于在试验中,试验条件控制相同(温度、击实功),那么产生这样的结果则主要来自于配料等试验操作误差。如图所示,在油石比4.0%下,4次试验结果,A2、A3、A4与平均值A近似在一条左倾竖向轨迹线上(即在可接受的范围之内),A1偏离较大,说明在试验条件(温度、击实功)相同时,其混合料级配本身由于配料等操作引起了变化,因而将其在试验数据分析时可以剔除。在实际生产中,如果抽检发现这类问题,就可以马上对拌和楼进行检查,以确保混合料拌和与目标设计混合料的一致性。

## 5 结语

(1)通过对沥青混合料体积参数的分析将体

积参数分成了直接参数和间接参数。

(2)通过对体积参数之间内在关系进行数学推导变形,将沥青混合料设计中通常使用的体积参数与沥青含量之间复杂的非线性关系转变成使用体积参数之间的简单线性关系。由此可以利用其对沥青混合料的性能进行深入的描述与研究,从而进行沥青混合料的性能评价及质量控制。

(3)讨论了体积参数通用图并进行了应用研究。结果表明,这是实际生产过程中沥青混合料的质量控制的一种有效方法。在工程设计与施工控制中,可以借助这一有效控制方法,提高沥青路面施工质量。

## 参考文献:

- [1] 吕伟民. 沥青混合料设计原理与方法[M]. 上海: 同济大学出版社, 2001. 219-224.
- [2] 张红春, 李小重. 集料有效密度及混合料合理体积参数计算方法研究[J]. 郑州大学学报: 工学版, 2006, 27(4): 53-57.
- [3] 赵可, 卢永贵, 魏如喜. SMA 高温稳定性研究[J]. 中国公路学报 2004, 17(2): 11-17.
- [4] 张争奇, 袁迎捷, 王秉纲. 沥青混合料旋转压实密实曲线线性及应用[J]. 中国公路学报 2005, 18(3): 1-6.
- [5] JTJ 052-2000, 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- [6] JTG F40-2004, 公路沥青路面施工技术规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.

## Application of the Universal Volumetric Chart of Hot - Mix Asphalt Mixture

XUE Xiao-gang, ZHANG Zheng-qi, WANG Bing-gang, CHEN Hua-xin

(Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shanxi)

**Abstract:** In order to make further application in hot-mix Asphalt design and quality control, the volumetric parameters were divided into the direct and indirect parameters. Through mathematical manipulation of the inherent relation between the volumetric parameters, the complicated non-linear relation between the volumetric parameters and asphalt content was replaced by the simple linear relation of volumetric parameters in asphalt mixture design, and it is suitable for different kinds of asphalt mixture design and quality control. On this basis, practical application of the universal volumetric chart was carried out. Theory analyses and the result of practical application show that it can explain the relation of compaction mechanism and the indirect volumetric parameter from the angle of the volume structure, and so it can guide the mixture design and quality control and is worth popularizing.

**Key words:** hot-mix asphalt mixture; volumetric parameters; universal volumetric chart; application