

文章编号: 0451-0712(2005)07-0189-03

中图分类号: U414.102

文献标识码: B

# 算法确定 SMA 细集料用量

刘立安

(辽宁省交通勘测设计院 沈阳市 110005)

**摘 要:** 首先从理论计算入手, 根据粗、细集料的物理性质, 通过控制路面最终空隙率、矿粉用量和粉胶比等指标找到 SMA 等嵌挤型混合料结构的粗细集料之间的相关关系, 得到细集料用量的计算公式。最后分析了影响细集料用量的相关因素。

**关键词:** SMA; 算法; 物理性质

## 1 概述

高等级公路路面发展了几十年, 对于沥青路面来说主要有连续型密级配和嵌挤型间断级配两种。对于密级配的级配理论研究主要有  $n$  法、 $I$  法和  $K$  法, 并且得到了良好的应用。但同时密级配沥青路面又出现各种形式的早期病害, 且一直未得到较好的解决。于是国内外开始研究诸如 SMA 等嵌挤型间断级配混合料沥青路面。嵌挤型结构形成嵌挤力的主要物质是粗集料, 因此细集料的通过量成为一个关键的指标。本文通过控制路面最终空隙率、矿粉用量和粉胶比等指标得到细集料通过量的计算公式, 力图通过计算的方法找到嵌挤型结构的最佳级配组合。

### 1.1 捣实后粗集料形成的空隙率计算

根据已有的研究理论, 粗细集料分界筛孔孔径  $\phi$  为最大公称粒径的 0.22 倍相近的上一级筛孔孔径。

将大于  $\phi$  的粗集料装入容器桶中捣实后, 测定出紧密状态粗集料的空隙率<sup>[1]</sup>为  $VCA_{DRC}$ 。

$$VCA_{DRC} = \frac{V_k}{V_{sb} + V_k} \quad (1)$$

$$\text{所以: } V_k = \frac{VCA_{DRC}}{1 - VCA_{DRC}} \times V_{sb}$$

式中:  $VCA_{DRC}$  为紧密状态粗集料的空隙率;  $V_{sb}$  为粗集料毛体积;  $V_k$  为捣实后的粗集料形成的空隙体积。

### 1.2 粗集料破碎值

为同《公路工程集料试验规程》(JTJ 058—2000) 中测量石料压碎值区别, 此处称为粗集料破碎值。将击实成型的混合料合格试件进行抽提试验, 采

用以下公式计算:

$$Q_a = \frac{m_1}{m_0} \times 100 \quad (2)$$

式中:  $Q_a$  为粗集料破碎值;  $m_0$  为击实前粗集料质量;  $m_1$  为击实后通过孔径为  $\phi$  的筛孔的试样净重。

### 1.3 集料吸水率计算

根据《公路工程集料试验规程》(JTJ 058—2000), 集料吸水率的计算<sup>[2]</sup>为:

$$W_x = \frac{m_f - m_a}{m_a} \quad (3)$$

$$\text{所以: } V_{xs} = W_x \times m_a$$

式中:  $W_x$  为集料吸水率;  $V_{xs}$  为集料吸水率试验中集料吸收水分的体积;  $m_a$  为集料的烘干质量;  $m_f$  为集料的表干质量。

## 2 理论分析

设混合料中粗集料原始质量为  $m_s$ ; 细集料原始质量为  $m_f$ , 其中矿粉质量为  $m_k$ , 且有  $m_s + m_f = 100$ , 则有效粗集料质量为:

$$m_s = m_s(1 - Q_a) \quad (4)$$

有效细集料质量为:

$$m_f = m_f + m_s \times Q_a \quad (5)$$

### 2.1 矿粉的质量

根据已有的研究成果<sup>[3]</sup>, 矿粉的数量对于 SMA 结构的质量有着重要的影响, 所以在这里通过粉胶比预先确定出矿粉的用量。

$$m_k = k \times P_a \times (m_s + m_f) = 100k \times P_a \quad (6)$$



式中:  $k$  为粉胶比;  $P_a$  为油石比。

## 2.2 有效沥青体积

假定集料中能吸收水分的空隙最终能完全被沥青填充, 则未被集料吸收的沥青体积为:

$$V_f = P_a \times (m_s + m_f) - [W_{x1} \times m_s (1 - Q_a) + W_{x2} \times (m_f + m_s \times Q_a - m_k) + W_{x3} \times m_k] \quad (7)$$

式中:  $V_f$  为在混合料中未被集料吸收的沥青的体积率;  $P_a$  为油石比;  $W_{x1}$ 、 $W_{x2}$ 、 $W_{x3}$  分别表示各级粗集料、细集料、矿粉的平均吸水率; 沥青密度按 1 考虑。

## 2.3 纤维体积

$$V_{xw} = (m_s + m_f) \times (P_a + 1) \times P / G_{xw} \quad (8)$$

式中:  $V_{xw}$  为纤维素体积;  $P$  为纤维稳定剂掺加比例;  $G_{xw}$  为纤维的相对密度。

## 2.4 空隙体积

$$V_a = \frac{V_v}{\frac{m_s(1-Q_a)}{G_{sb}} + \frac{m_f + m_s \times Q_a - m_k}{G_{fb}} + \frac{m_k}{G_{sa}} + V_v + V_f + V_{xw}} \quad (9)$$

$$\text{所以: } V_v = \frac{V_a}{1 - V_a} \left[ \frac{m_s(1-Q_a)}{G_{sb}} + \frac{m_f + m_s \times Q_a - m_k}{G_{fb}} + \frac{m_k}{G_{sa}} + V_f + V_{xw} \right]$$

式中:  $G_{sb}$  为各级粗集料毛体积密度平均值;  $G_{fb}$  为各级细集料毛体积密度平均值;  $G_{sa}$  为矿粉等填料的视密度;  $V_v$  为空隙体积;  $V_a$  为路面的最终空隙率。

## 2.5 细集料通过量计算公式

理论上骨架完全形成嵌挤作用, 并且石料不被过分压碎, 应满足:

$$V_{fb} + V_f + V_{xw} + V_v = V_k$$

$$\text{即: } V_{fb} = \frac{VCA_{DRC}}{VCA_{DRC}} \times V_{sb} - (V_f + V_{xw} + V_v)$$

$$\frac{m_f + m_s \times Q_a - m_k}{G_{fb}} + \frac{m_k}{G_{sa}} = \frac{VCA_{DRC}}{1 - VCA_{DRC}} \times \left[ \frac{m_s \times (1 - Q_a)}{G_{sb}} \right] - (V_f + V_{xw} + V_v) \quad (10)$$

带入各参数并整理得:

$$m_f = K_1 \times m_s - K_2$$

$$\text{所以: } m_f = \frac{100K_1 - K_2}{1 + K_1}$$

$$\text{式中: } K_1 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}; K_2 = \frac{\lambda_3}{\lambda_1}$$

$$\lambda_1 = \frac{1}{G_{fb}} + \frac{V_a}{(1 - V_a) \times G_{fb}} - \frac{W_{x2}}{1 - V_a}$$

$$\lambda_2 = \frac{VCA_{DRC}}{1 - VCA_{DRC}} \times \frac{1 - Q_a}{G_{sb}} - \frac{V_a}{1 - V_a} \left( \frac{1 - Q_a}{G_{sb}} + \frac{Q_a}{G_{fb}} \right) -$$

$$\frac{Q_a}{G_{fb}} + \frac{W_{x1}(1 - Q_a)}{1 - V_a} + \frac{W_{x2} \times Q_a}{1 - V_a}$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{1 - V_a} \left[ 100P_a + \frac{100P(1 + P_a)}{G_{xw}} + 100k \times P_a \times (W_{x2} - W_{x3} - \frac{1}{G_{fb}} + \frac{1}{G_{sa}}) \right]$$

已有的研究成果表明<sup>[4]</sup>, 路面最终空隙率  $V_a$  在 2%~8% 时, 即能保证路面的高温性能又能保证低温性能。空隙率过大或过小, 路面发生早期损害的机率将大大增加。因此, 当路面最终空隙率  $V_a$  在 2% 时, 如果再增加细集料通过量则可认为路面空隙率变小或粗集料被挤开, 所以此时的通过量可作为容许的最大值; 当路面最终空隙率  $V_a$  在 8% 时, 如果再减少细集料通过量可认为路面空隙率变大或粗集料被过度压碎, 所以此时的通过量可作为容许的最小值。

## 3 影响因素分析

《公路沥青玛蹄脂碎石路面技术指南》(SHC F40-01-2002) 中对 SMA-20、SMA-16、SMA-13 结构 4.75 mm 筛孔的通过量的规定分别为 18%~30%、20%~32%、20%~34%; 对 SMA-10 结构 2.36 mm 筛孔的通过量的规定为 18%~28%<sup>[5]</sup>。

### 3.1 $VCA_{DRC}$ 影响

采用 SMA-16 结构为例, 各级粗集料毛体积密度平均值  $G_{sb} = 2.631$ ; 各级细集料毛体积密度平均值  $G_{fb} = 2.578$ ; 矿粉等填料的视密度  $G_{sa} = 2.687$ 。油石比为 6.7%; 粉胶比取 2; 通过将击实后的试件进行抽提试验, 得  $Q_a = 4.8\%$ ; 各级粗集料、细集料、矿粉的平均吸水率分别为: 0.42%、0.86%、0.08%; 纤维的相对密度  $G_{xw} = 1.139$ 、纤维稳定剂掺加比例  $P = 0.3\%$ 。当  $VCA_{DRC}$  从 0.4 变到 0.5 时细集料合理通过量变化见下图 1。

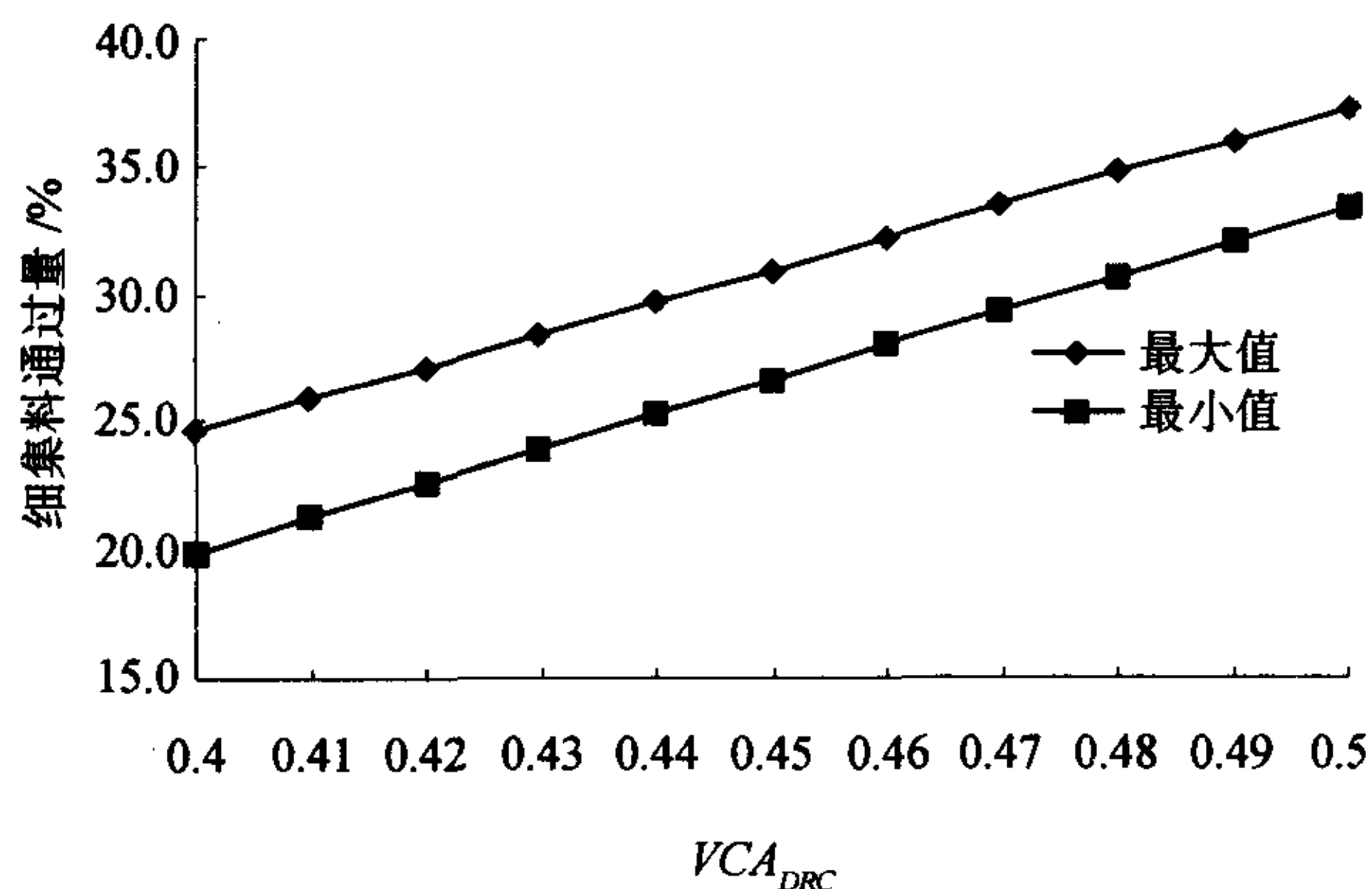


图 1 细集料通过量随  $VCA_{DRC}$  变化



从图1中可看到 $VCA_{DRC}$ 影响非常大。 $VCA_{DRC}$ 每增加0.01, 细集料合理通过量应增加1.2%左右。 $VCA_{DRC}$ 从0.4变到0.5后, 细集料通过量最小值从19.9%变为33.3%, 最大值从24.7%变为37.2%, 增加67%左右。这说明不同的粗集料颗粒形状对细集料的通过量或SMA结构的质量影响很大。技术指南中的规定为20%~32%, 但未说明粗集料性质的影响。

### 3.2 $Q_a$ 影响

其他参数同上,  $VCA_{DRC}=0.45$ ,  $Q_a$  从0.3变到0.6时细集料合理通过量变化见图2。

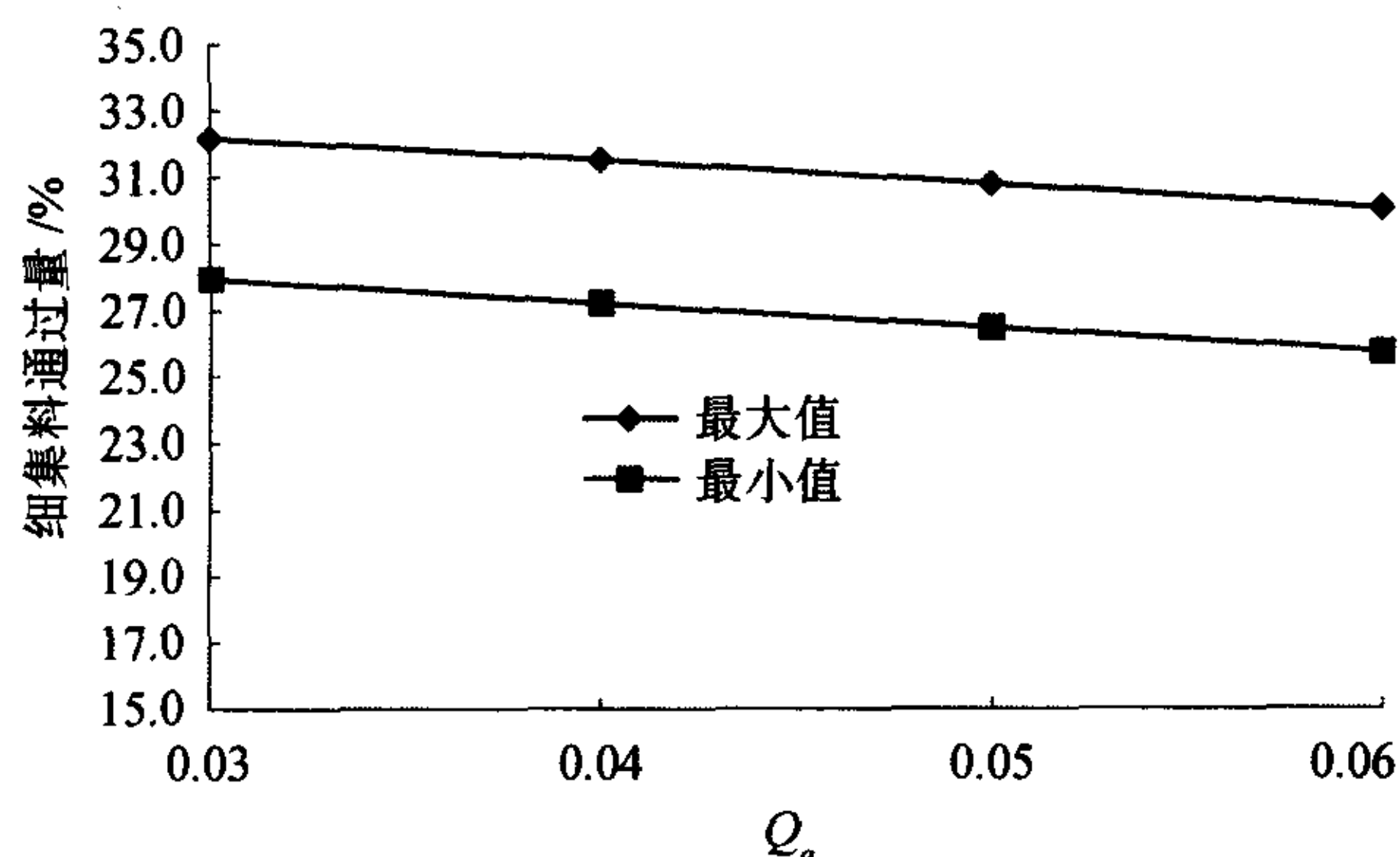


图2 细集料通过量随 $Q_a$ 变化

从图2中可看到,  $Q_a$  同样对细集料的通过量或SMA结构的质量影响非常大,  $Q_a$  每增加0.01 细集料合理通过量应减少0.8%左右。

## 4 结论

(1) 对于SMA等嵌挤型混合料结构, 细集料的通过量应该根据粗集料的性质, 并按公式  $m_f = K_1 \times m_s - K_2$  确定。

(2) 粗集料硬度和颗粒类型对混合料的结构有着重要的影响。

## 参考文献:

- [1] JTJ 052-2000, 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [2] JTJ 058-2000, 公路工程集料试验规程[S].
- [3] 沈金安. 改性沥青与SMA路面[M]. 北京: 人民交通出版社, 1999.
- [4] 沙庆林. 高速公路沥青路面早期破坏现象及预防[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [5] SHC F40-01-2002, 公路沥青玛蹄脂碎石路面技术指南[S].

## Determining Dosage of Fine Aggregate in SMA by Calculating Method

LIU Li-an

(Liaoning Provincial Communications Survey and Design Institute, Shenyang 110005, China)

**Abstract:** According to the physical features of coarse and fine aggregates, the correlation relation of coarse and fine aggregates in SMA by controlling index of percent air voids in pavement, dosage of mineral filler and powder asphalt ratio are found in this paper, Then the formulas of dosage of fine aggregate by theoretical calculation are got. Last, the influence factors of dosage of fine aggregate are analyzed.

**Key words:** SMA; calculating method; physical features