

贝雷法参数 CA 比对沥青混合料性能的影响

吕文江^{1,2}, 陈爱文¹, 郝培文¹, 戴经梁¹

(1. 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; 2. 陕西省公路局, 陕西 西安 710068)

摘 要:通过贝雷法选择 5 种不同 CA 比的沥青混合料级配, 对其进行马歇尔试验、粗集料松装空隙率试验、车辙试验和旋转压实试验, 分析了 CA 比对沥青混合料各项性能的影响。结果表明: CA 比对沥青混合料的空隙率、矿料间隙率、粗集料骨架的形成、抗车辙性能和压实性能具有显著影响; CA 比在 0.4~0.6 之间的沥青混合料具有较好的稳定性; CA 比同沥青混合料中整个集料骨架的形成之间并无较好的规律性关系。

关键词:道路工程; 沥青混合料; 贝雷法; CA 比; 骨架; 压实次数比; 集料骨架点

中图分类号:U414.75

文献标识码:A

Effect of CA ratio on asphalt mixture property based on Bailey method

LÜ Wen-jiang^{1,2}, CHEN Ai-wen¹, HAO Pei-wen¹, DAI Jing-liang¹

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. Shaanxi Province Highway Administration Bureau, Xi'an 710068, China)

Abstract: In order to reveal the influence of CA ratio on the performance of asphalt mixture, five kinds of asphalt mixture gradations with different CA ratio are selected by Bailey method to carry out Marshall test, the test of percent voids in the dry loose coarse aggregate, rut test and gyratory compactor test. The results show that CA ratio has a significant effect on percent air voids, VMA, formation of the coarse aggregate skeleton, rutting resistance and densification characteristics of asphalt mixture; when CA ratio lies between 0.4 and 0.6, the asphalt mixture has good stability; CA ratio has no regular relation with formation of the whole aggregate skeleton in asphalt mixture. 10 tabs, 6 refs.

Key words: road engineering; asphalt mixture; Bailey method; CA ratio; aggregate skeleton; gyratory ratio; locking point

0 引 言

贝雷法是近年来用于沥青混合料级配设计和检验的完整方法^[1,2], 已受到国内外的普遍关注。当合成级配决定后, 贝雷法提出 3 参数 CA 比 ρ_{CA} 、 FA_c 比 ρ_{FA_c} 、 FA_f 比 ρ_{FA_f} 对其进行分析, 其中表征粗集料内部比例组成的参数是 CA 比 ρ_{CA} , 计算公式为

$$\rho_{CA} = (P_{D/2} - P_{PCS}) / (100 - P_{D/2})$$

式中: $P_{D/2}$ 为粒径 $D/2$ (D 为公称最大粒径) 的通过率(%); P_{PCS} 为第一控制筛孔 (PCS 为与公称最大粒径的 0.22 倍最接近的筛孔) 的通过率(%)。

CA 比反映了粗集料中大粒径颗粒与 $D/2 \sim PCS$ 粒径颗粒之间的均衡关系, 这种均衡关系将影响沥青混合料的压实特性和路用性能^[3]。本文即是

对这种影响所做研究的结果。

1 原材料及级配的确定

1.1 原材料

研究所用沥青为新疆克拉玛依 AH-70[#] 沥青, 集料为西安临潼韩峪料场产闪长岩, 矿粉为磨细石灰石粉末。材料的各项指标均符合相应规范的技术要求, 因篇幅所限, 具体指标数值不一列出。

1.2 级配的确定

本文所用的级配如表 1 所示。关于 CA 比的计算, 严格按照 $D/2$ 计算, 即对于公称最大粒径为 16 mm 的级配一半筛孔取 8 mm。FA_c 比和 FA_t 比都取为 0.5。在级配确定过程中, 先将几个关键筛孔 (4.75 mm) 的通过百分率确定, 其余基本按照 $(P_1/P_2) = (d_1/d_2)^n$ 计算插入。

表 1 不同 CA 比沥青混合料的级配组成

ρ_{CA}	不同筛孔尺寸(mm)下的通过百分率/%												
	19.00	16.00	13.20	9.50	(8)	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15	0.075	
0.2	100	95	75.8	51.6	46.7	36	25.4	18	12.8	9	7	5	
0.4	100	95	81.5	62.7	54.3	36	25.4	18	12.8	9	7	5	
0.6	100	95	85.4	71.1	60.0	36	25.4	18	12.8	9	7	5	
0.8	100	95	88.1	77.6	64.4	36	25.4	18	12.8	9	7	5	
1.0	100	95	90.3	82.8	68.0	36	25.4	18	12.8	9	7	5	

注: 表中(8)表示假定筛孔, 用以计算 CA 值和 9.50 mm 的通过百分率。

2 CA 比对沥青混合料性能的影响

2.1 马歇尔试验结果

不同 CA 比下沥青混合料的马歇尔试验结果见表 2。从表 2 看出, 随着 CA 比增大, 粗集料中较细的部分逐渐增多, 细集料的干涉作用越来越明显。这导致沥青混合料的表干法毛体积密度逐渐变小, 空隙率逐渐增大, 矿料间隙率越来越大。

表 2 不同 CA 比沥青混合料的马歇尔试验结果

ρ_{CA}	沥青用量/%	稳定度/kN	流值/0.1 mm	表干法毛体积密度/(g·cm ⁻³)	空隙率/%	矿料间隙率/%
0.2	5.0	9.30	23.4	2.395	3.47	15.70
0.4	5.0	10.68	25.8	2.390	3.59	15.80
0.6	5.0	9.50	26.5	2.362	4.64	16.71
0.8	5.0	8.81	19.6	2.341	5.45	17.41
1.0	5.0	8.93	20.1	2.328	5.94	17.83

2.2 粗集料骨架评价

一般可将骨架分为两种: ①粗集料形成的骨架, 主要用来表征沥青混合料的高温性能; ②整个集料

(包括细集料)骨架, 用来评价沥青混合料压实性能。本文的粗集料骨架是指与公称最大粒径(NMPS)的 0.22 倍最接近的筛孔以上集料形成骨架。

关于粗集料形成骨架, 按其形成紧密程度, 可分为两种: ①紧排骨架, 用 $\rho_{VCA_{mix}}$ (沥青混合料中的粗集料空隙率) $< \rho_{VCA_{DRC}}$ (粗集料干捣空隙率) 来验证, 常适用于沥青玛蹄脂碎石混合料(SMA)和大空隙排水沥青混合料(OGFC); ②松排骨架, 贝雷法提出用 $\rho_{VCA_{mix}} < \rho_{VCA_{DLC}}$ (粗集料松装空隙率)来验证, 适用于密级配沥青混合料。在贝雷法中, 粗级配被定义为沥青混合料中粗集料形成骨架的级配; 细级配被定义为沥青混合料中没有足够粗集料形成骨架因而所受荷载主要由细集料承担的级配。这不同于 Superpave 中按照级配曲线从禁区上方(细级配)和禁区下方(粗级配)通过定义的粗细级配。

要想使粗集料形成骨架, 必须做到两点: ①粗集料要有足够数量, 即控制筛孔通过率要足够小; ②细集料的存在不能对粗集料构成较大干涉。

次一级集料对前一级集料造成太大干涉的原因: ①次一级集料粒径过大; ②次一级集料数量过多。因此, 为了在沥青混合料形成骨架, 除了限制细集料数量之外, 常用的方法是限制细集料的粒径(即通常用的断级配混合料)。

从表 3 可看出, $\rho_{VCA_{DLC}}$ 随着 CA 比的增加先减小后增大, 其原因为当 CA 比增大, 粗集料往细的方向发展, 即粒径位于 4.75 mm~9.5 mm 之间的集料越来越多, 开始逐渐填充更粗集料形成的空隙, 但是当 CA 比大到一定程度, 粒径位于 4.75 mm~9.5 mm 之间的集料控制整个粗集料组成, 其余更粗集料则成为孤立的大颗粒, 悬浮于 4.75 mm~9.5 mm 档集料中。有学者计算表明, 单一粒径集料堆积的空隙率与集料的粒径无关; 且一般情况下, 单一粒径集料的 ρ_{VCA} 大于多级粒径的 $\rho_{VCA}^{[3]}$, 本文所做大量试验也证实了这一点(通常单一粒径集料比多级粒径

表 3 不同 CA 比沥青混合料松排骨架形成情况

ρ_{CA}	粗集料松装密度/(g·cm ⁻³)	沥青混合料表干法毛体积密度/(g·cm ⁻³)	粗集料合成毛体积密度/(g·cm ⁻³)	$\rho_{VCA_{mix}} / \%$	$\rho_{VCA_{DLC}} / \%$
0.2	1.437	2.395	2.666	<u>45.38</u>	<u>46.10</u>
0.4	1.451	2.390	2.663	<u>45.43</u>	<u>45.52</u>
0.6	1.455	2.362	2.660	46.01	45.31
0.8	1.454	2.341	2.658	46.45	45.31
1.0	1.445	2.328	2.656	46.71	45.60

注: 加下划线表示已形成骨架。

集料的空隙率要高 2%~4%左右)。当 CA 比大到一定程度,整个粗集料组成向单一粒径方向发展,因而 $\rho_{VCA_{DLC}}$ 又逐渐增大。

从表 3 还可看出,沥青混合料表干法毛体积密度随着 CA 比增大逐渐减小, $\rho_{VCA_{mix}}$ 逐渐增大,从开始的 CA 比为 0.2、0.4 时能形成松排骨架到 CA 比为 0.6、0.8 和 1.0 时不能形成松排骨架。这说明在设计骨架-密实型沥青混合料时,不仅要严加控制粗细料分界筛孔的通过率,还要重视粗集料内部的组成^[4,5]。

2.3 车辙试验

不同 CA 比的车辙试验见表 4。

有研究表明,4.75 mm 通过率和空隙率在诸多因素中对沥青混合料抗车辙性能影响最大。另有研究表明,当沥青混合料承受荷载作用时,不论是悬浮结构还是骨架结构,荷载传递的路径总是优先选择大粒径颗粒^[5]。可以认为,在沥青混合料中沥青胶浆能将集料粘结在一起不至于松散的前提下,粗集料骨架同沥青混合料的高温性能有很好的相关性。当 CA 比增大时,粗集料往细的方向发展,而且本文所用级配并未象 SMA 那样将中间料断开,仍有 18%的粒径位于 1.18 mm~4.75 mm 之间的集料(SMA 在 8%左右)。因此随着 CA 比增大,细集料对粗集料的干涉越来越明显,导致沥青混合料空隙率越来越大,粗集料骨架结构越来越弱,因而动稳定度越来越小。

表 4 不同 CA 比车辙试验

ρ_{CA}	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
动稳定度 DS/ (次·mm ⁻¹)	5386	5013	4662	4045	3787

2.4 旋转压实试验(SGC)

沥青混合料试件采用美国 TROXLER 旋转压实仪成型,成型压力 0.6 MPa,压实次数 160 次。

2.4.1 体积参数的变化

从表 5 看出,随着 CA 比的增大,将沥青混合料压实到空隙率为 4%的次数越来越大,最大旋转压实次数 160 次下的空隙率也越来越大。这表明随着 CA 比的增大,此种级配沥青混合料越来越难以压实。其原因是随着 CA 比增大,粗集料往细的方向发展,细集料对粗集料的干涉作用越来越明显。当 CA 比大到 1.0 时,粒径位于 4.75 mm~9.5 mm 之间的集料几乎占到整个矿料的一半,已控制整个粗集料组成,加之级配没有断开,导致整个级配的中间部分集料非常多,因而难以压实。这与当前一些研究报告反映 Superpave 建议的“S”型级配难以压实的原因类似。

表 5 不同 CA 比沥青混合料旋转压实次数与空隙率的关系

ρ_{CA}	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
N_d /次	64	80	96	177	186
旋转压实 160 次时的空隙率/%	1.1	1.9	2.5	4.4	4.6

注:1. N_d 为将沥青混合料旋转压实到空隙率为 4%时的次数;2. 加下划线数据为根据压实曲线进行回归后得到,回归公式见表 6。

表 6 ρ_{CA} 比为 0.6、0.8、1.0 时空隙率(y)与旋转压实次数(x)的回归关系

ρ_{CA}	回归公式	方差 R^2
0.6	$y = -0.023\ 5x + 6.171\ 3$	0.991\ 6
0.8	$y = -0.022\ 3x + 7.936\ 6$	0.993\ 6
1.0	$y = -0.021\ 6x + 8.015\ 9$	0.992\ 4

2.4.2 压实次数比(N_2/N_5)

Mallick^[6]等人于 1999 年提出 1 个用旋转压实仪来评判沥青混合料的稳定性的方法。这种方法的基础是认为稳定的沥青混合料与不稳定的沥青混合料之间的区别在于,稳定的沥青混合料随着密实获得强度,并且随着进一步的压实保持这种强度,最终空隙率停在某一水平不再下降;而不稳定的沥青混合料开始同样获得强度,但是在某个压实点之后强度反而下降,并容易遭受剪切破坏。压实次数比是指将沥青混合料空隙率压到 2%和 5%时,2 个旋转压实次数 N_2 和 N_5 的比值。它被认为能很好地评价沥青混合料的稳定性,比值越大越稳定。

从表 7 发现, N_2/N_5 存在 1 个峰值,说明当 CA 比在 0.4~0.6 之间,沥青混合料有较好的稳定性。

表 7 不同空隙率时压实次数比对沥青混合料的稳定性评价

ρ_{CA}	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
N_5 /次	49	61	72	128	136
N_2 /次	115	151	178	266	279
压实次数比 N_2/N_5	2.35	2.48	2.47	2.08	2.05

注:1. N_5 为将沥青混合料空隙率压到 5%时的旋转压实次数; N_2 为将沥青混合料空隙率压到 2%时的旋转压实次数;2. 加下划线数据为根据压实曲线进行回归后得到,回归公式见表 6。

2.4.3 集料骨架点 LP

集料骨架点 LP(Locking Point)定义是旋转压实仪在压实沥青混合料过程中试件高度连续 3 次不变的第一个压实次数,最初由 Illinois 州交通部 William J Pine 提出,见表 8(表中 LP 为第 95 次)。LP 标志沥青混合料中整个集料已开始形成骨架,并抵抗进一步的压实。此处所讲的集料骨架不同于前面所说的粗集料骨架,它包括整个矿料。按照 LP 的定义,所有的沥青混合料都会形成这种骨架,只是

表 8 典型旋转压实试件的集料骨架点 LP 值

参数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
80	111.9	111.9	111.8	111.8	111.7	111.7	111.6	111.6	111.5	111.5
90	111.4	111.4	111.3	111.3	111.2	111.2	111.2	111.1	111.1	111.0
100	111.0	110.9	110.9	110.8	110.8	110.8	110.7	110.7	110.7	110.6

注:加下划线数据表示集料骨架点 LP 为第 95 次,此时试件高度为 111.2 mm。

在不同的空隙率和压实水平下。LP 提出的目的是为了防正沥青混合料尤其是骨架密实型沥青混合料出现过度碾压。

从表 9 可看出,LP 与 CA 比并无明显的规律性,在 LP 之后再压实 50 次的空隙率与 LP 时的空隙率之差都在 1.4% 左右,基本相当。由此可推断,不同 CA 比级配的沥青混合料在 LP 后形成的集料骨架在抵抗进一步压实方面性能相当。

表 9 不同 CA 比时 LP 值分析情况

ρ_{CA}	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
LP/次	90.0	89.5	91.5	84.5	88.5
LP 下空隙率/%	2.8	3.7	4.2	6.3	6.3
(LP+50)次时 空隙率/%	1.4	2.3	2.8	4.9	5.0
以上两者之差/%	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3

3 CA 比在级配设计中的应用

关于 CA 比合适的范围,William R Vavrik 开始提出的是 0.4~0.8 之间^[1],后来修正为根据不同的最大公称尺寸 s_{NMPS} 给出不同的 CA 比范围(表 10)。就本研究来讲,CA 比增大导致沥青混合料的空隙率和 ρ_{VMA} 都增大,且难以压实;CA 比减小导致沥青混合料中粗集料更容易形成骨架,高温稳定性提高^[6]。根据 Mallick 等人评价沥青混合料稳定性的标准来看,CA 比在 0.4~0.6 之间比较合适。

表 10 CA 比的建议范围

s_{NMPS}/mm	37.50	25.00	19.00
密级配沥青混合料	0.80~0.95	0.70~0.85	0.60~0.75
ρ_{SMA}			0.35~0.50
s_{NMPS}/mm	12.50	9.50	4.75
密级配沥青混合料	0.50~0.65	0.40~0.55	0.30~0.45
ρ_{SMA}	0.25~0.40	0.15~0.30	

4 结 语

(1)随着 CA 比增大,细集料对粗集料干涉作用

越来越明显,导致沥青混合料密度越来越小,空隙率越来越大,矿料间隙率越来越大,沥青混合料越来越难以压实。

(2)CA 比越小,沥青混合料中粗集料越容易形成骨架,因而高温稳定性能越好;但是 CA 比太小,沥青混合料易发生离析。

(3)CA 比在 0.4~0.6 之间的沥青混合料有较好的稳定性。

(4)CA 比同沥青混合料中整个集料骨架的形成之间并无明显的规律性关系;且在整个集料骨架形成以后,不同 CA 比的沥青混合料在抵抗进一步压实方面性能相当。

参考文献:

References:

- [1] William R Vavrik, William J Ping, Samuel H Carpenter. Aggregate blending for asphalt mix design Bailey method[J]. Transportation Research Record, 2001, 1789:146-153.
- [2] 郝培文,徐金枝,周怀治.应用贝雷法进行级配组成设计的关键技术[J].长安大学学报(自然科学版),2004, 24(6):1-6.
HAO Pei-wen, XU Jin-zhi, ZHOU Huai-zhi. Key technologies of aggregate blending by Bailey method [J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2004, 24(6):1-6.
- [3] 陈旭庆,黄晓明,杨 军.沥青混合料骨架形成问题的研究[J].城市道桥与防洪,2003,(5):23-27.
CHEN Xu-qing, HUANG Xiao-ming, YANG Jun. Study on problem of skeleton formation of bituminous mixture[J]. Urban Roads Bridges & Flood Control. 2003, (5):23-27.
- [4] 王端宜,张肖宁,王绍怀.用虚拟试验方法评价沥青混合料的级配类型[J].华南理工大学学报,2003,31 (2):48-51.
WANG Duan-yi, ZHANG Xiao-ning, WANG Shao-huai. Evaluation on grading type of asphalt mixture with virtual test method[J]. Journal of South China University of Technology, 2003, 31(2):48-51.
- [5] Mallick, Rajib B. Use of superpave gyratory compactor to characterize Hot-Mix asphalt[J]. Transportation Research Record, 1999, 1681:86-96.
- [6] 刘朝晖,李宇峙,黄云涌.宽域沥青路用性能试验[J].交通运输工程学报,2003,3(1):47-51.
LIU Zhao-hui, LI Yu-zhi, HUANG Yun-yong. Performance of multiphalte in experiment[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2003, 3(1):47-51.