

文章编号:1671-8879(2007)03-0015-05

沥青混合料级配优化设计

丛卓红, 郑南翔

(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:为了优化沥青混合料(HMA)集料级配,提高路面抗车辙性能,延长路面使用寿命,应用粗集料单因素骨架密实性检验和贝雷法相结合的研究方法,研究了集料质量分数、粗集料比例(CA)值、关键筛孔通过率对级配骨架的影响。结果表明:兰州辉长岩 AC-16 粗集料骨架结构的最优配比为 5.4(19~16 mm):30.6(16.0~13.2 mm):24(13.2~9.5 mm):40(9.50~4.75 mm),优化的骨架集料级配的 CA 值为 0.67。对该级配和常规密级配沥青混合料的高温性能、低温性能、水稳定性等路用性能进行了对比研究,证实了优化级配具有更优良的路用性能。

关键词:道路工程;沥青混合料;级配;单因素骨架密实性检验;AC-16 级配;骨架密实结构;优化

中图分类号:U416.2

文献标志码:A

Optimization of HMA's gradation design

CONG Zhuo-hong, ZHENG Nan-xiang

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

Abstract: In order to optimize the Hot Mix Asphalt's (HMA) aggregate gradation, improve the pavement anti-rutting performance, and prolong the pavement life, through single-factor-skeleton-dense-test and Bailey method, the optimal framework structure of gabbro AC-16 gradation was got by analyzing the effect of the aggregate content, CA ratio, passing percent of the key sieve to the gradation's skeleton. The optimal framework gradation is 5.4(19~16 mm):30.6(16.0~13.2 mm):24(13.2~9.5 mm):40(9.50~4.75 mm), the CA ratio is 0.67. The pavement performances (high temperature performance, low temperature performance and water stability) of the optimal gradation and the specification's gradation were studied. The results show that the optimal gradation can improve the pavement performances greatly. 8 tabs, 4 figs, 10 refs.

Key words: road engineering; asphalt mixture; gradation; single-factor-skeleton-dense-test; AC-16 gradation; skeleton dense structure; optimization

0 引言

中国现行规范^[1]规定的沥青混合料配合比设计包括 3 个阶段:目标配合比设计、生产配合比设计和

试拌试铺配合比调整。设计级配尽可能靠近规范级配范围的中值。事实上,由于每个碎石场料源、机械的不同,材料的性质、规格和形状也不相同,因而级配中值不一定是合适的结构。沥青混合料因矿料

收稿日期:2006-05-26

基金项目:交通部联合攻关项目(200235336228)

作者简介:丛卓红(1979-),女,山东乳山人,博士研究生,E-mail: czhwh05@163.com。

级配的不同而构成不同的组成结构,诸如悬浮密实结构、骨架空隙结构和骨架密实结构^[2]。因此,本文采用粗集料单因素骨架密实性检验方法,研究兰州辉长岩 AC-16 粗集料骨架结构的最优配比,结合贝雷法研究骨架结构最优级配的参数及 4.75 mm 颗粒通过率对级配体积指标的影响程度。

1 设计方法及理论

1.1 设计方法

粗集料是沥青混合料骨架组成的重要组成部分,对沥青混合料的结构有重大影响。本文针对兰州地区常用的辉长岩,以最大公称粒径 16 mm 的级配为研究对象。根据粗集料单因素骨架密实性检验,确定其骨架结构最优的级配组成。集料级配组成试验属配方试验,应有一个约束条件,即诸因素相对比例之和为 100,如仅有双组分时为单因素试验。在本次试验中,将辉长岩粗集料分为 4 个粒级,分别为 19~16 mm、16.0~13.2 mm、13.2~9.5 mm 和 9.50~4.75 mm。对最大粒级和次大粒级按不同比例进行组合,进行粗集料松方密度试验,测定其捣实密度。该项试验参照《公路工程集料试验规程》(JTJ 058-2000)中的 T 0309-2000 的规定进行。以 $[VCA_{DRC}]$ (捣实状态下的粗集料骨架间隙率, $[VCA_{DRC}] = (1 - \text{粗集料捣实密度} / \text{毛体积密度}) \times 100$) 最小作为目标函数,可得前两粒级的最优组合比例。在比例关系不变时,再与下一粒级进行优化组合,最终得到诸粒级的最优组成比例^[3]。同时,结合贝雷法调整 CA 值来研究粗集料间隙率 $[VCA_{DRC}]$ 的变化规律。

1.2 设计理论

贝雷法是一种沥青混合料的设计、检验方法,用于对粗、细集料嵌挤进行设计和评价,一般采用集料 CA 值评价粗集料嵌挤程度。为了达到最大的密实度和最佳嵌挤效果,粗集料相互嵌挤形成的空隙由细集料填充。贝雷法以最大公称尺寸 D 的 0.22 倍对应的筛孔孔径(pcs)作为混合料中粗、细集料的分界点,大于分界点的集料是粗集料,小于分界点的集料是细集料。

$$[CA] = (P_{hs} - P_{pcs}) / (100 - P_{hs}) \quad (1)$$

式中: P_{hs} 、 P_{pcs} 分别为混合料级配曲线在 hs 、 pcs 处的通过率; hs 为对应 $D/2$ 的筛孔孔径; pcs 为对应 $0.22D$ 的筛孔孔径。

粗集料的 CA 值直接影响到混合料间隙率和施工过程的和易性。一般 CA 值最好介于 0.4~0.8。

当 CA 值偏小时,粗集料的质量分数较多,混合料容易发生离析;若 CA 值接近于 1.0,混合料中较小粒径粗集料较多,不能形成一致的骨架结构,这种混合料很难压实,碾压时很容易发生推移现象。当 CA 值大于 1.0,表明混合料中较小粒径的粗集料占据多数,大粒径粗颗粒较少,互相之间不能完全嵌挤,处于一种悬浮结构^[4-5]。

2 集料性质

兰州辉长岩粗集料的技术指标如表 1 所示。

表 1 集料性质试验结果

试验项目		结 果
坚固性/%		3.32
洛杉矶磨耗损失/%		17.7
集料压碎值/%		14.5
集料冲击值/%		9.5
针片状质量分数/%		17.23
与沥青的粘附性	原沥青	2
	掺抗剥落剂(老化后)	4

3 粗集料优化级配

粗集料级配优化试验方案及试验结果分析如图 1、图 2 和表 2 所示。

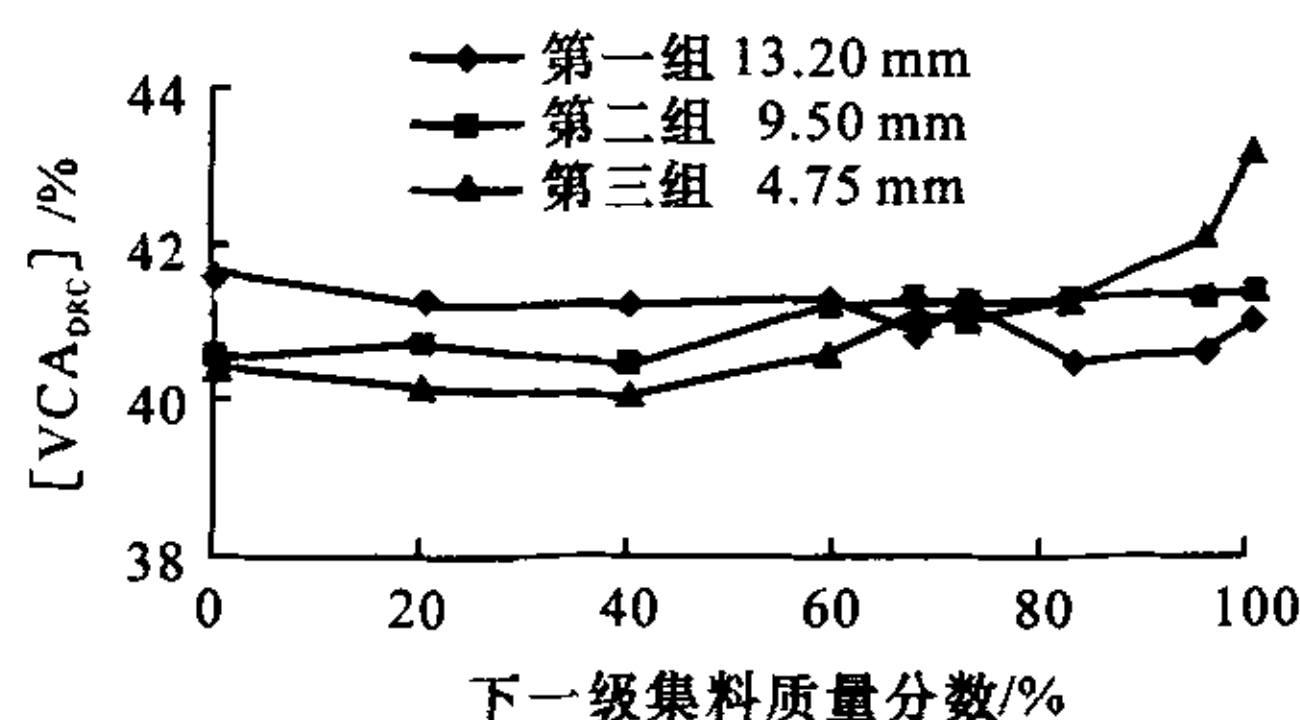


图 1 粗集料 $[VCA_{DRC}]$ 随下一级集料质量分数变化曲线

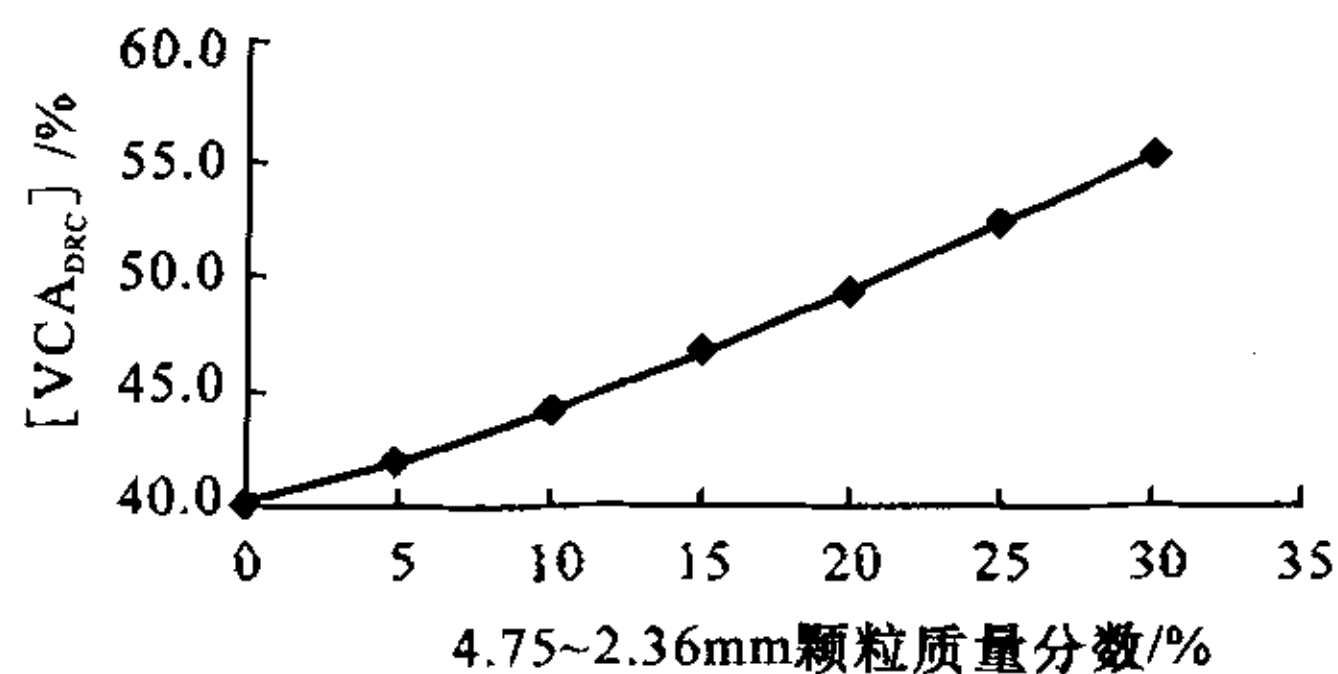


图 2 19.00~4.75 mm 粗集料 $[VCA_{DRC}]$ 随 4.75~2.36 mm 颗粒质量分数变化曲线

从图 1、图 2、表 2 中得到,兰州辉长岩最大粒径 16 mm 级配粗集料的最优配比为: 5.4 (19~16 mm): 30.6 (16.0~13.2 mm): 24 (13.2~9.5 mm): 40 (9.50~4.75 mm)。若分别变化 4.75 mm 通过率,则可得到粗集料中各组成部分的质量分数。总体说来,单一粒级集料的 $[VCA_{DRC}]$ 明显比多粒级集料的大。上述现象是集料紧装密度与次粒级集料质量分数以及级配组成关系的反映。紧装密度大的集料其 $[VCA_{DRC}]$ 必然小。

表 2 兰州辉长岩单因素捣实试验结果

第一组 13.2 mm				第二组 9.5 mm				
19.0~16.0 mm/ %	16.0~13.2 mm/ %	捣实密度/ (kg·m ⁻³)	[VCA _{DRC}]/%	19.0~13.2 mm/ %	13.2~9.5 mm/ %	捣实密度/ (kg·m ⁻³)	[VCA _{DRC}]/%	
100	0	1 647.08	41.61	100	0	1 668.84	40.54	
80	20	1 656.75	41.20	80	20	1 663.04	40.74	
60	40	1 654.82	41.20	60	40	1 671.26	40.44	
40	60	1 649.98	41.30	40	60	1 648.53	41.21	
30	70	1 659.17	40.94	30	70	1 648.04	41.26	
25	75	1 649.50	41.26	25	75	1 648.04	41.25	
15	85	1 668.84	40.54	15	85	1 645.63	41.34	
5	95	1 664.01	40.67	5	95	1 643.69	41.40	
0	100	1 651.91	41.09	0	100	1 642.72	41.44	
最优配比 16.0~13.2 为 15 : 85				16.0~13.2 : 9.5 最优配比为 60 : 40,在 16.0~13.2 颗粒中 16.0 : 13.2 为 15 : 85,即 16.0~13.2~9.5 为 9 : 51 : 40				
第三组 4.75 mm				第四组 2.36 mm				
19.0~9.5 mm/ %	9.50~4.75 mm/ %	捣实密度/ (kg·m ⁻³)	[VCA _{DRC}]/%	19.00~4.75 mm/ %	4.75~2.36 mm/ %	捣实密度/ (kg·m ⁻³)	[VCA _{DRC}]/%	捣实状态下的 集料间隙率/%
100	0	1 671.26	40.44	100	0	1 681.91	40.06	40.06
80	20	1 680.94	40.09	95	5	1 720.12	41.77	38.70
60	40	1 681.91	40.06	90	10	1 741.40	44.16	37.95
40	60	1 667.88	40.56	85	15	1 762.20	46.64	37.22
30	70	1 653.85	41.06	80	20	1 775.26	49.91	36.76
25	75	1 654.82	41.03	75	25	1 787.36	52.25	36.34
15	85	1 647.56	41.28	70	30	1 801.87	55.08	35.83
5	95	1 622.89	42.16					
0	100	1 591.45	43.28					
16.00~9.50 : 4.75 最优配比为 60 : 40,在 16.0~9.5 颗粒中 16.0 : 13.2 : 9.5 为 9 : 51 : 40,即 16.0~13.2~9.5~4.75 为 5.4 : 30.6 : 24 : 40				对[VCA _{DRC}],最优配比 2.36 mm 颗粒质量分数为 0,对捣实状态下的集料间隙率,较优配比 2.36 mm 颗粒质量分数为 15%。				

注:捣实状态下的集料间隙率=(1-集料捣实密度/毛体积密度)×100

第四组试验结果反映了细集料质量分数对粗集料骨架结构的影响,并可通过粗集料间隙率[VCA_{DRC}]和合成级配的空隙率表征。4.75~2.36 mm 细集料能够显著地增大粗集料的[VCA_{DRC}],对粗集料骨架结构具有显著的撑持作用。在细集料质量分数不大于 15%时,合成级配的空隙率随细集料增多成线性减小;细集料质量分数大于 15%时,空隙率变化不大。可见,细集料在填充骨架间隙的同时,也能够破坏粗集料骨架结构。为此,应尽量减少 4.75~2.36 mm 细集料的用量^[6]。

根据上述试验结果,得到骨架结构最好的粗集料组成 CA 值为 0.67。

4 不同 CA 值对级配骨架的影响

为了深入研究级配组成对粗集料骨架的影响,

在较大范围内寻找粗集料间隙率[VCA_{DRC}]的变化规律,结合贝雷法调整 CA 值并研究其变化规律。设计试验:16、13.2 mm 的通过率相同,4.75 mm 的通过率保持 44%不变,根据不同的 CA 值确定 9.5 mm的通过率。主要研究不同的 CA 值对混合料结构的影响。试验方案及试验结果如表 3、图 3 所示。

表 3 不同 CA 值集料捣实试验结果

参数		通过率/%				
粒 径 / mm	19.00	100	100	100	100	100
	16.00	96.98	96.98	96.98	96.98	96.98
	13.20	79.84	79.84	79.84	79.84	79.84
	9.50	56.92	60.00	66.47	68.89	72.00
	4.75	44.00	44.00	44.00	44.00	44.00
CA 值		0.30	0.40	0.67	0.80	1.00
[VCA _{DRC}]/%		38.42	38.21	38.13	38.49	39.10

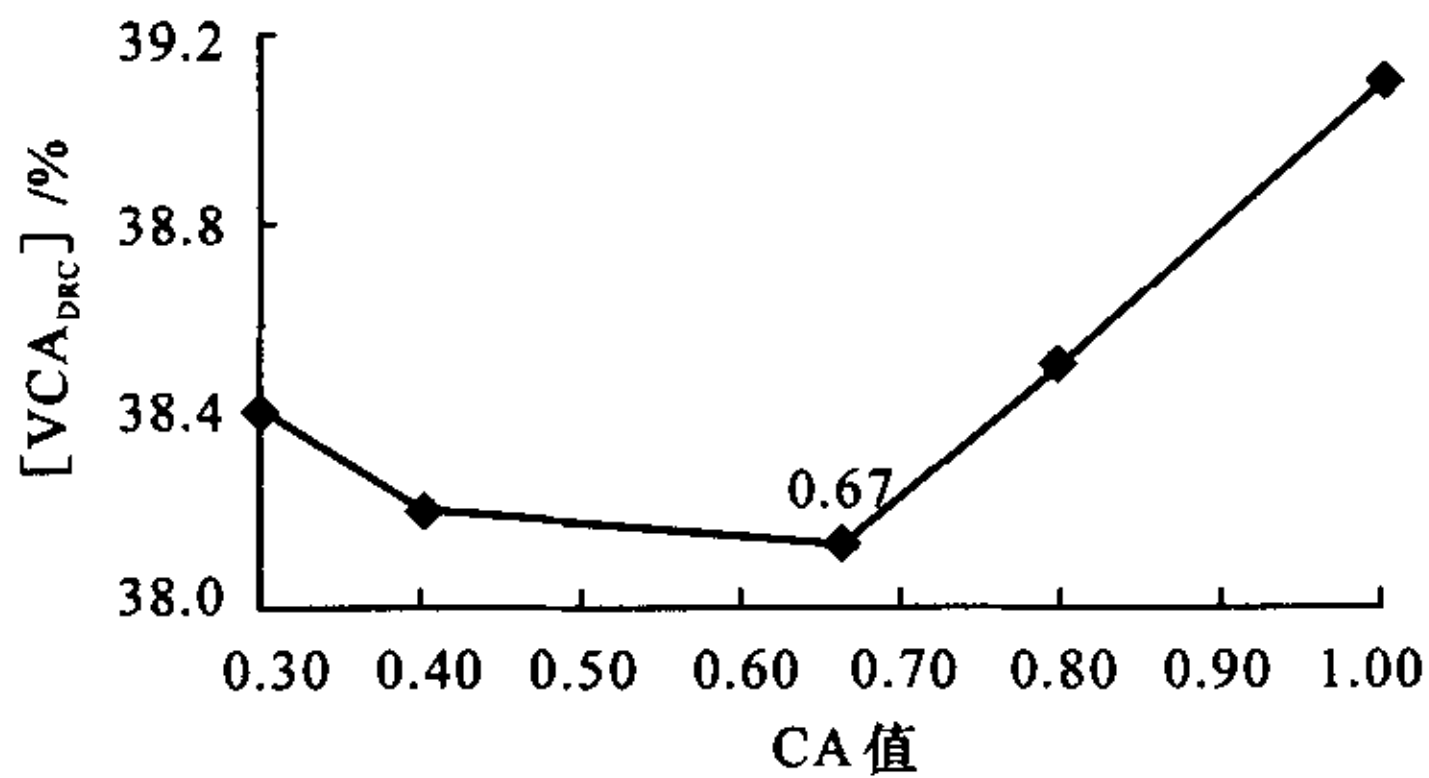


图3 [VCA_{DRC}]随CA值变化曲线

表3、图3的试验数据说明:随着CA值的增大,[VCA_{DRC}]先减小后增大,在CA值为0.67时,[VCA_{DRC}]最小;CA值为0.67时的骨架最好;当CA值小于0.67时,空隙率过大;当CA值大于0.67时,下一级粒径撑开上一级集料形成的空隙,骨架被撑开。

5 4.75 mm 通过率对级配的影响

为研究4.75 mm通过率对级配体积指标的影响程度,设计试验:CA值为0.67保持不变,2.36 mm以上各粒径采用表2得出的各粒径最优配比,2.36 mm以下各粒径的通过率保持不变。仍采用捣实密度研究不同4.75 mm通过率对[VCA_{DRC}]和合成级配的空隙率的影响。试验方案及试验结果如图4、表4所示。

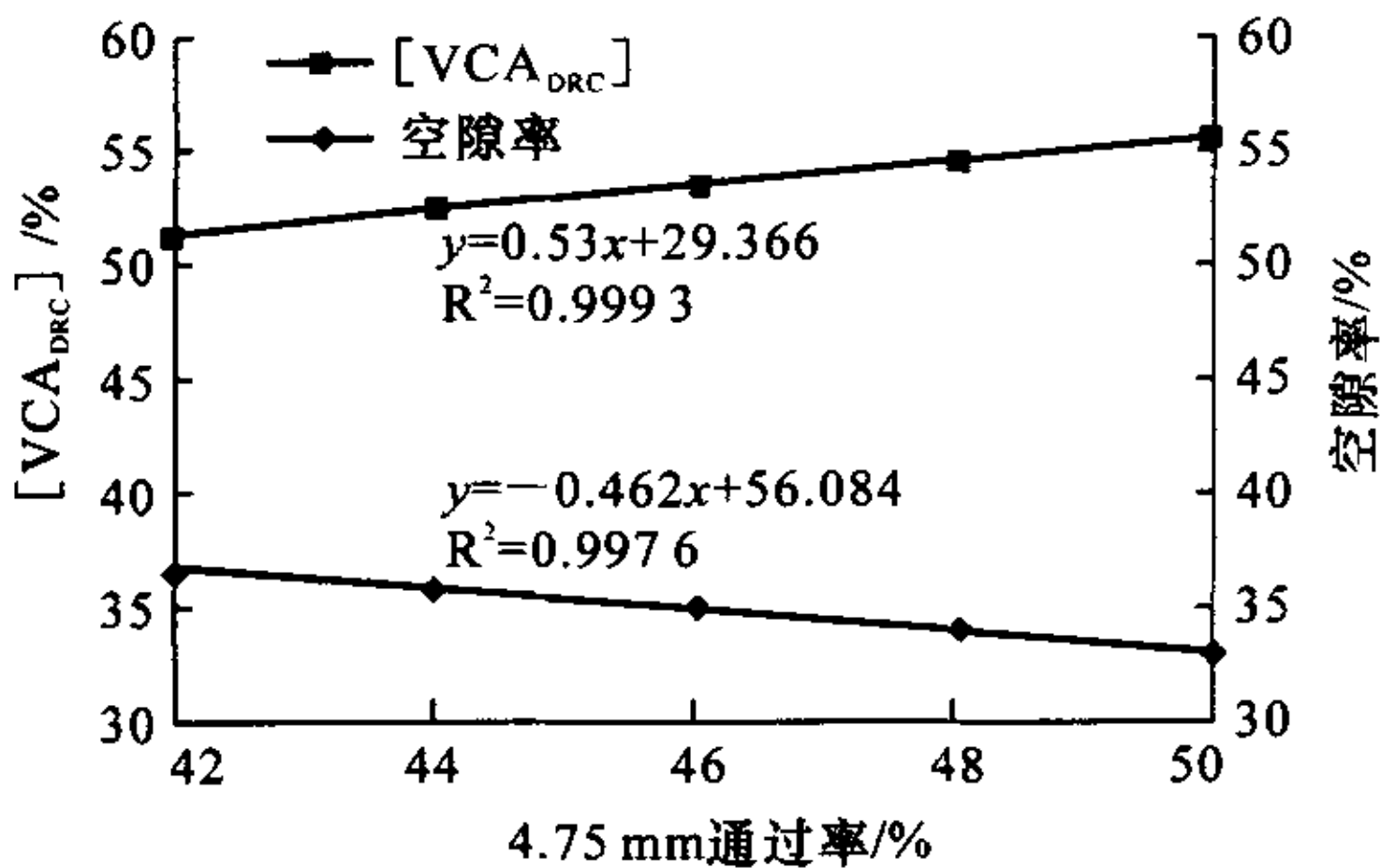


图4 [VCA_{DRC}]和空隙率随4.75 mm通过率变化曲线

表4 4.75 mm 通过率对[VCA_{DRC}]和空隙率的影响

参数		级配1	级配2	级配3	级配4	级配5
粒 径 / mm	19.00	100	100	100	100	100
	16.00	96.87	96.98	97.08	97.19	97.30
	13.20	79.12	79.84	80.56	81.28	82.00
	9.50	65.20	66.40	67.60	68.80	70.00
	4.75	42.00	44.00	46.00	48.00	50.00
	2.36	31.76	34.12	36.47	38.82	41.18
[VCA _{DRC}]/%		51.62	52.74	53.69	54.78	55.90
空隙率/%		36.60	35.87	34.82	33.91	32.96

试验表明:[VCA_{DRC}]和空隙率与4.75 mm通过率呈线性关系,相关程度很大。随4.75 mm通过率的增加,[VCA_{DRC}]逐渐增大,空隙率逐渐减小。综合考虑,辉长岩AC-16级配4.75 mm通过率取44%,细集料较少撑开粗集料的间隙,使混合料基本保持骨架结构^[6-7]。

对表4中级配2进行马歇尔试验,试验结果如表5所示。

表5 马歇尔试验结果

最佳油石质量比/ %	毛体积密度/ (g·cm ⁻³)	[VCA _{mix}]/%	[VCA _{DRC}]/%
4.7	2.488	52.57	52.74

注:[VCA_{mix}]为混合料骨架空隙率。

从表5可以看出,当4.75 mm的通过率为44%时,[VCA_{mix}]≤[VCA_{DRC}],混合料的粗集料基本形成了骨架,2.36 mm以下的细集料没有撑开上级集料形成的结构,起到了填充空隙的作用。

6 混合料性能

将表4中级配2作为设计的骨架密实型级配,采用马歇尔试验与规范级配AC-16进行路用性能对比^[8-10],试验结果如表6~表8所示。

表6 混合料级配

粒径/mm	19.00	16.00	13.20	9.50	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15	0.075
设计级配/%	100	96.98	79.84	66.40	44.00	34.00	24.00	17.10	12.00	9.30	5.40
规范级配/%	100	95.00	84.00	71.00	50.00	37.00	26.50	18.50	12.50	9.50	6.50

表7 混合料马歇尔试验结果

项 目	最佳油石质量比/%	毛体积相对密度	空隙率/%	矿料空隙率/%	沥青饱和度/%	粉胶比
设计级配	4.7	2.488	3.5	14.99	76.35	1.20
规范级配	4.9	2.485	3.3	15.15	78.36	1.39

表8 混合料路用性能试验结果

项 目	动稳定度/(次·mm ⁻¹)	低温弯曲应变/10 ⁻⁶	残留稳定度/%	构造深度/mm
	试件尺寸 30 cm×30 cm×5 cm	试件尺寸 40 mm×40 mm×250 mm	试件尺寸 φ101.6 mm×63.5 mm	试件尺寸 30 cm×30 cm×5 cm
设计级配	2 615.8	2 034.13	79.96	0.587
规范级配	1 858.0	2 068.12	90.40	0.572

综合以上试验结果可以看出,骨架密实型级配混合料的高温性能远优于常规沥青混合料;低温性能与常规沥青混合料相差不大;水稳定性比常规沥青混合料差,满足规范^[1]3区、4区的要求;构造深度优于常规沥青混合料。

7 结 语

(1)根据粗集料的单因素捣实试验结果,兰州辉长岩公称最大粒径为16 mm级配粗集料的最优配比为:5.4(19~16 mm):30.6(16.0~13.2 mm):24(13.2~9.5 mm):40(9.50~4.75 mm)。

(2)对 $[VCA_{DRC}]$,最优配比2.36 mm颗粒质量分数为0;对捣实状态下的集料间隙率,较优配比2.36 mm为15%。细集料在填充骨架间隙的同时也能够破坏粗集料骨架结构。应尽量减少4.75~2.36 mm细集料的用量。

(3) $[VCA_{DRC}]$ 与CA值的变化成一上凹曲线,存在1个CA值使其 $[VCA_{DRC}]$ 最小。骨架结构最好的粗集料组成,CA值应为0.67。

(4) $[VCA_{DRC}]$ 和空隙率与4.75 mm通过率呈线性关系,相关程度很大。随着4.75 mm通过率的增加, $[VCA_{DRC}]$ 逐渐增大,空隙率逐渐减小。

(5)本文研究的骨架密实型沥青混合料适用于对高温性能要求较高的地区,可大幅度提高沥青混合料的抗车辙性能。

参考文献:

References:

- [1] JTG F40-2004,公路沥青路面施工技术规范[S].
- [2] 张登良. 沥青路面[M]. 北京:人民交通出版社,1998.
- [3] 天津市市政工程研究院. SMA配合比设计方法、路用性能及施工技术研究[R]. 天津:天津市市政工程研究院,2002.
- [4] 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.
- [5] 吕文江,陈爱文,郝培文,等. 贝雷法参数CA比对沥青混合料性能的影响[J]. 长安大学学报:自然科学版,2005,25(4):5-8.
LU Wen-jiang, CHEN Ai-wen, HAO Pei-wen, et al. Effect of CA ratio on asphalt mixture property based on Bailey method [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005,25(4):5-8.
- [6] 丛卓红. 高性能沥青混合料设计方法研究[D]. 西安:长安大学,2004.
- [7] 赵战利,张争奇,胡长顺. 集料级配对沥青路面抗滑性能的影响[J]. 长安大学学报:自然科学版,2005,25(1):6-9.
ZHAO Zhan-li, ZHANG Zheng-qi, HU Chang-shun. Influence of gradation on anti-skidding performance of asphalt pavement [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005,25(1):6-9.
- [8] 郑南翔,丛卓红. 粉油比对沥青混合料路用性能的影响[J]. 公路,2004,(10):132-135.
ZHENG Nan-xiang, CONG Zhuo-hong. Study on effect of filler asphalt ratio to HMA's pavement performance[J]. Highway, 2004,(10):132-135.
- [9] 陈忠达,袁万杰,高春海. 多级嵌挤密实级配设计方法研究[J]. 中国公路学报,2006,19(1):32-37.
CHEN Zhong-da, YUAN Wan-jie, GAO Chun-hai. Research on design method of multilevel dense built-in gradation [J]. China Journal of Highway and Transport, 2006,19(1):32-37.
- [10] 张争奇,王永财. 沥青胶浆对沥青混合料高低温性能的影响[J]. 长安大学学报:自然科学版,2006,26(2):1-5.
ZHANG Zheng-qi, WANG Yong-cai. Influence of asphalt mortar on hot mix asphalt performance at high and low temperature[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2006,26(2):1-5.