

文章编号:1671-8879(2011)06-0006-05

排水性沥青混合料体积参数特性

张铭铭,郝培文

(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:在贝雷法基础上,采用“预留空隙率”设计排水性沥青混合料的级配;通过调整“预留空隙率”、“粗集料体积之比”和“设计密度”3 个参数,利用统计方法,研究了 3 个参数与排水性沥青混合料体积参数之间的关系;并采用粗集料骨架间隙率(VCAratio)来评价排水性沥青混合料的骨架紧密程度。结果表明,贝雷法设计参数中预留空隙率 and 设计密度变化对排水性沥青混合料的体积参数有显著影响,而粗集料体积之比对其无显著影响;粗集料体积之比和设计密度对混合料骨架影响较大,预留空隙率对混合料骨架影响较小。

关键词:道路工程;排水性沥青混合料;级配设计;体积参数;预留空隙率;贝雷法

中图分类号:U416.2

文献标志码:A

Study on volumetric parameters in porous asphalt mixture

ZHANG Ming-ming, HAO Pei-wen

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

Abstract: Based on the Bailey method for aggregate grading design and evaluation, the parameter named reserved-voidage was used in porous asphalt method design. Through adjusting the parameters such as reserved-voidage, volume-ratio of coarse aggregates, design density of coarse aggregates, the relationship between the three parameters and volumetric parameters was analyzed. The value of the VCAratio was utilized to evaluate the condition of stone-on-stone contact in the porous asphalt mixture. The results show that the reserved-voidage and design-density have a significant influence on volumetric parameters, but the volume-ratio has no significant influence on that, the volume-ratio and design-density have more significant influence on skeletal structure than reserved-voidage. 10 tabs, 1 fig, 7 refs.

Key words: road engineering; porous asphalt mixture; gradation design; volumetric parameter; reserved-voidage; Bailey method

0 引 言

排水性沥青混合料是一种间断形开级配沥青混合料,一般用于旧路面罩面或新建路面表层。该沥青混合料具有空隙大的特点,可有效降低道路表面

积水引起的雨雾、溅水、眩光及交通噪声等。

目前,比较通用的排水性沥青混合料级配设计方法,是美国联邦公路管理局(FHWA)的“开级配抗滑表层(OGFC)混合料设计方法”和日本道路协会的“排水性沥青混合料(PA)设计方法”;中国多采

收稿日期:2011-06-10

基金项目:云南省交通科技项目(2007(A)2-04)

作者简介:张铭铭(1984-),女,山西黎城人,工学博士研究生,E-mail:zmm_apple@qq.com。

用日本的《排水性能铺装技术指针(案)》方法。该方法首先确定目标空隙率,然后通过调整 2.36 mm 筛孔的通过百分率,最终确定级配;但该方法不适用于不同最大公称粒径的级配。目前国内外排水性沥青混合料配合比设计方法均以经验法为主,尚未有一套完整的设计体系。如何建立一套完整的排水性沥青混合料配比设计方法体系,是当前急需解决的问题^[1-2]。为此,本文通过贝雷法的研究思路,设计排水性沥青混合料级配。针对排水性混合料空隙率大的特殊性,在贝雷法的基础上,提出利用“预留空隙率”进行整体级配设计,并通过调整“预留空隙率”、“粗集料体积之比”和“设计密度”3 个参数,利用统计方法,着重研究了 3 个参数与排水性沥青混合料体积参数之间的关系。

1 排水性沥青混合料级配设计

1.1 试验方案

在贝雷法设计排水性沥青混合料过程中,需要预先设定预留空隙率、粗集料体积之比和设计密度 3 个参数的取值,然后根据上述方法确定级配。其中,预留空隙率是指在粗集料堆积后可预先保留一些空隙,这些空隙不会被细集料完全填充,而剩下的空隙大小可达到排水性沥青混合料空隙要求;设

计密度是指松装密度的百分比。

为了使排水性沥青混合料同时能兼顾耐久性和功能性的原则,本文调整了 3 个参数,其取值见表 1。以级配 1 作为基准级配,变动预留空隙率为 25%~35%,粗集料体积之比为 40:60~60:40,设计密度为 95%~105%,比较不同设计参数下的不同级配沥青混合料的体积参数。

表 1 不同参数取值下的级配方案

级配编号	预留空隙率/%	粗集料体积之比	设计密度/%
级配 1	30	50:50	100
级配 2	25	50:50	100
级配 3	35	50:50	100
级配 4	30	40:60	100
级配 5	30	60:40	100
级配 6	30	50:50	95
级配 7	30	50:50	105

1.2 原材料性能试验

本文试验的排水性沥青混合料的最大公称粒径为 13.20 mm,根据公式计算粗细集料的分界筛孔应为 2.90 mm,由于不存在此筛孔尺寸,所以选择与其最接近的尺寸,即 2.36 mm。粗集料选取 10~15 mm(1#料)和 5~10 mm(2#料)两档集料,细集料为 0~3 mm(3#料),填料 0.075 mm 筛孔的通过率为 5%。各档集料的级配组成见表 2。

表 2 各档集料的筛分结果

材料种类	不同筛孔孔径(mm)的通过率/%									
	16.00	13.20	9.50	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15	0.075
1#料	100	93	21.4	0.1	0	0	0	0	0	0
2#料	100	100	97.8	9.7	0.2	0	0	0	0	0
3#料	100	100	100	100	92.8	64.3	34.1	11.3	6.9	5.2
矿粉	100	100	100	100	100	100	100	98.7	95.0	81.9

1.3 设计步骤

与传统的贝雷法设计密级配和 SMA 沥青混合料不同,在设计排水性沥青混合料时,为了满足其大空隙率的要求,应在设计时预留一定目标空隙,即假定粗集料堆积后形成的空隙是由细集料填充和目标空隙共同组成的。其设计步骤如下^[3-5]:

- (1)设定粗集料组成比例;
- (2)设定粗集料的设计密度;
- (3)计算粗集料在设计密度下的空隙体积;
- (4)设定预留空隙率;
- (5)根据细集料干捣密度、粗集料骨架间隙率和预留空隙率,确定填充粗集料空隙所需的细集料;
- (6)利用粗、细集料各组分的密度,确定矿质混合料的总质量,根据总单位体积为各粗集料体积与

各级细集料之和,从而确定各集料的合成质量分数;

(7)根据粗集料中所含的部分细集料以及细集料中所含的部分粗集料,分别修正粗、细集料的质量分数;

(8)若使用矿质填料或回收粉尘,则需调整细集料部分的质量分数;

(9)确定经修正后各集料最终的质量分数;

(10)合成级配的分析。

根据上述级配设计步骤,设计的 7 组预选级配如下页图 1 所示。

从图 1 可看出,预选的 7 组级配基本符合规范的要求。

1.4 最佳沥青用量确定

排水性沥青混合料的最佳沥青用量由析漏试验

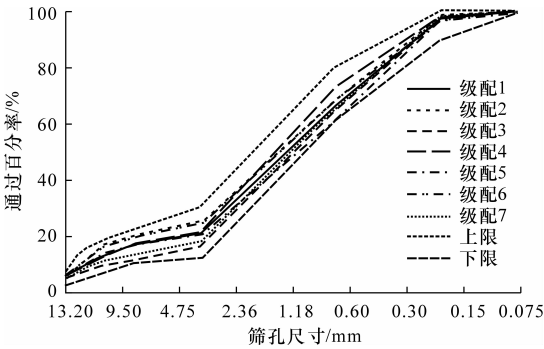


图1 级配曲线设计

和飞散试验共同确定,马歇尔试验的结果通常可作为确定最佳沥青用量时的参考。在析漏损失-沥青用量关系曲线上,对应于拐点处的沥青用量,即为排水性沥青混合料所容许的最大沥青用量,并原则上作为最佳沥青用量;在飞散损失-沥青用量关系曲线上,对应于拐点处的沥青用量为排水性沥青混合料保持稳定所需要的最小沥青用量。各级配的最佳沥青用量结果见表3和下页表4、表5。

2 排水性沥青混合料的体积参数测定

排水性沥青混合料的体积参数主要有:①空隙率 I_{VV} ;②连通空隙率 I_{VC} ;③矿料间隙率 I_{VMA} ;④沥青饱和度 I_{VFA} ;⑤粗集料骨架间隙率 $I_{VCA_{mix}}$;⑥粗集料干捣空隙率 $I_{VCA_{DRC}}$ 。其中,空隙率和连通空隙率是影响排水性沥青混合料功能性的主要体积指标,显著影响沥青混凝土的排水性能;矿料间隙率指标影响沥青混凝土的高温稳定性、水稳定性、耐久性和疲劳性能等;沥青饱和度是由空隙率和矿料间隙率共同计算得出的;粗集料骨架间隙率和粗集料干捣空隙率是表征沥青混合料的骨架紧密程度,一般认为当 $I_{VCA_{mix}} \leq I_{VCA_{DRC}}$ 时,混合料形成紧排骨架^[6]。本文采用粗集料骨架间隙率比 $I_{VCA_{Ratio}}$ 来衡量沥青混合料的骨架紧密程度,当 $I_{VCA_{Ratio}} \leq 1$,则混合料形成了稳定的骨架结构;否则就没有形成骨架,细集料对粗集料骨架形成干涉,混合料结构属于悬浮结构^[7]。

2.1 空隙率和连通空隙率的测定方法

空隙率和连通空隙率均是表征排水性沥青混合

料功能性最显著的指标。空隙率 I_{VV} 计算式为

$$I_{VV} = (1 - \frac{\gamma_t}{\gamma_i}) \times 100 \tag{1}$$

式中: γ_i 为按规定方法测定或计算的沥青混合料理论最大相对密度; γ_t 为按规定方法测定的试件相对密度。

计算连通空隙率 I_{VC} 的公式为

$$I_{VC} = (V - \frac{A - C}{D_w}) \frac{100}{V} \tag{2}$$

式中: V 为试件体积; A 为试件空气中质量; C 为试件水中质量; D_w 为水的密度,通常定为 1.0 g/cm^3 。

2.2 排水性沥青混合料的骨架评价

贝雷法评价排水性沥青混合料的粗集料骨架的紧密程度,是用 $I_{VCA_{mix}} \leq I_{VCA_{DRC}}$ 来判断的。本文采用 $I_{VCA_{Ratio}}$ 评价混合料的骨架密实程度。

$$I_{VCA_{Ratio}} = \frac{I_{VCA_{mix}}}{I_{VCA_{DRC}}} \tag{3}$$

$$I_{VCA_{mix}} = (1 - \frac{\gamma_{mb}}{\gamma_{CA}} P_{CA}) \times 100 \tag{4}$$

$$I_{VCA_{DRC}} = (1 - \frac{\gamma_{cr}}{\gamma_{CA}}) \times 100 \tag{5}$$

式中: γ_{mb} 为沥青混合料的实测毛体积相对密度,由表干法测定(g/cm^3); γ_{CA} 为粗集料(PCS筛孔以上)的平均毛体积相对密度(g/cm^3); P_{CA} 为沥青混合料中粗集料的比例,即大于PCS筛孔以上的颗粒含量(%); γ_{cr} 为粗集料的干插捣密度(g/cm^3)。

2.3 排水性沥青混合料的体积参数试验结果

根据上述方法,表3~表5给出不同预留空隙率、不同粗集料体积之比和不同设计密度下的排水性沥青混合料的体积参数。

3 贝雷法3参数对排水性沥青混合料体积参数的影响

3.1 统计分析

采用统计分析软件SPSS 18.0进行数据分析,以预留空隙率为自变量,分别以 I_{VV} 、 I_{VC} 、 I_{VMA} 、 I_{VFA} 为因变量进行单因素三水平的方差试验。方差分析

表3 不同预留空隙率的混合料体积参数

级配 编号	贝雷法参数			混合料体积参数							
	预留空隙 率/%	粗集料体 积之比	设计密 度/%	沥青用 量/%	I_{VV} / %	I_{VC} / %	I_{VMA} / %	I_{VFA} / %	$I_{VCA_{mix}}$ / %	$I_{VCA_{DRC}}$ / %	$I_{VCA_{Ratio}}$ / %
级配1	30	50:50	100	4.4	20.7	14.9	27.4	24.7	36.68	41.10	89.2
级配2	25	50:50	100	4.2	17.4	11.3	24.2	28.0	37.06	40.95	90.5
级配3	35	50:50	100	4.4	24.7	19.2	30.5	18.8	36.30	41.20	88.1

表 4 不同粗集料体积之比的混合料体积参数

级配 编号	贝雷法参数			混合料体积参数							
	预留空隙 率/%	粗集料体 积之比	设计密 度/%	沥青用 量/%	I_{VV} / %	I_{VC} / %	I_{VMA} / %	I_{VFA} / %	I_{VCAmix} / %	$I_{VCA_{DRC}}$ / %	$I_{VCA_{Ratio}}$ / %
级配 1	30	50∶50	100	4.4	20.7	14.9	27.5	24.5	36.68	41.10	89.2
级配 4	30	40∶60	100	4.2	20.6	14.8	27.5	24.1	38.74	40.80	95.0
级配 5	30	60∶40	100	4.4	21.3	15.8	27.3	25.0	33.77	41.33	81.7

表 5 不同设计密度的混合料体积参数

级配 编号	贝雷法参数			混合料体积参数							
	预留空隙 率/%	粗集料体 积之比	设计密 度/%	沥青用 量/%	I_{VV} / %	I_{VC} / %	I_{VMA} / %	I_{VFA} / %	I_{VCAmix} / %	$I_{VCA_{DRC}}$ / %	$I_{VCA_{Ratio}}$ / %
级配 1	30	50∶50	100	4.4	20.7	14.9	27.5	24.5	36.68	41.10	89.2
级配 6	30	50∶50	95	4.3	18.1	12.3	24.9	27.6	38.39	41.24	93.1
级配 7	30	50∶50	105	4.4	24.4	18.8	30.7	21.0	34.34	41.05	83.7

结果见表 6～表 8。

表 6 预留空隙率单因素方差分析

参数		离差平方和	自由度	均方离差	F 分布值	相伴概率
I_{VV}	组间	331.509	2	165.754	264.611	0.000
	组内	21.924	35	0.626		
	总计	353.433	37			
I_{VC}	组间	380.678	2	190.339	153.570	0.000
	组内	43.380	35	1.239		
	总计	424.058	37			
I_{VMA}	组间	244.754	2	122.377	232.829	0.000
	组内	18.396	35	0.526		
	总计	263.150	37			
I_{VFA}	组间	520.142	2	260.071	257.104	0.000
	组内	35.404	35	1.012		
	总计	555.546	37			

表 7 粗集料体积之比单因素方差分析

参数		离差平方和	自由度	均方离差	F 分布值	相伴概率
I_{VV}	组间	2.710	2	1.355	2.593	0.090
	组内	16.721	32	0.523		
	总计	19.431	34			
I_{VC}	组间	5.717	2	2.858	2.791	0.076
	组内	32.775	32	1.024		
	总计	38.492	34			
I_{VMA}	组间	2.146	2	1.073	2.451	0.102
	组内	14.012	32	0.438		
	总计	16.158	34			
I_{VFA}	组间	5.158	2	2.579	3.966	0.029
	组内	20.810	32	0.650		
	总计	25.968	34			

由表 6～表 8 可得,预留空隙率 and 设计密度的方差分析结果均小于 0.05,说明在 5%的显著性水平下,预留空隙率 and 设计密度的变化对排水性沥青混合料的体积参数变化有显著影响;并由 F 分布值

表 8 设计密度单因素方差分析

参数		离差平方和	自由度	均方离差	F 分布值	相伴概率
I_{VV}	组间	193.468	2	96.734	189.839	0.000
	组内	14.268	28	0.510		
	总计	207.736	30			
I_{VC}	组间	199.229	2	99.615	92.904	0.000
	组内	30.023	28	1.072		
	总计	229.252	30			
I_{VMA}	组间	140.073	2	70.036	164.029	0.000
	组内	11.955	28	0.427		
	总计	152.028	30			
I_{VFA}	组间	306.916	2	153.458	235.947	0.000
	组内	18.211	28	0.650		
	总计	325.127	30			

可知,预留空隙率的影响较设计密度的影响更大。由表 7 可得,粗集料体积之比的方差分析结果除 I_{VFA} 外,均大于 0.05,但 I_{VFA} 不是直接的检测指标,是由 I_{VV} 和 I_{VMA} 共同计算得出的,说明在 5%的显著性水平下,粗集料体积之比的变化对排水性沥青混合料的体积参数变化无显著影响。

3.2 预留空隙率的影响

从表 3 中可看出,随着预留空隙率的增大, I_{VMA} 随之增大, I_{VFA} 随之减小, I_{VV} 和 I_{VC} 也随之增大;而对 I_{VCAmix} 和 $I_{VMA_{DRC}}$ 的影响不大。从 $I_{VCA_{Ratio}}$ 的结果来看,预留空隙率增加 5%, $I_{VCA_{Ratio}}$ 仅减小 0.01 左右,说明预留空隙率对沥青混合料的骨架影响很小。通过回归方法,分析预留空隙率的变化与空隙率和连通空隙率之间的相关性。分析结果表明,预留空隙率与空隙率、连通空隙率和骨架间隙率呈高度线性关系,回归方程见下页表 9。表 9 中,X 为各混合料体积参数;Y 为预留空隙率。

表 9 预留空隙率与排水性沥青混合料体积参数的回归公式

混合料的体积参数	回归公式	判定系数 R^2
空隙率	$Y=0.719X-0.639$	0.967
连通空隙率	$Y=0.77X-7.882$	0.955
骨架间隙率	$Y=0.619X+8.903$	0.964
沥青饱和度	$Y=-0.887X+50.288$	0.951

3.3 粗集料体积之比的影响

从表 4 可知,随着粗集料体积之比的增大,空隙率与连通空隙率随之增大,但增大幅度不大, I_{VCAmix} 有明显下降的趋势。与预留空隙率 and 设计密度相比,当变动粗集料体积之比时,对 $I_{VCA_{Ratio}}$ 的影响最明显。这是因为,在细集料含量基本不变的条件下,随着大粒径的粗集料使用比例加大时,粗集料的堆积形式会从类似在密级配沥青混合料结构中的悬浮结构,逐渐变为具有间断级配的骨架-空隙结构,从而形成嵌挤力更强的骨架结构。

3.4 设计密度的影响

从表 5 可知,粗集料设计密度的变化对混合料的体积参数有很大的影响。随着设计密度的增大, I_{VV} 和 I_{VC} 明显增大,混合料的 I_{VMA} 明显增大, I_{VCAmix} 有明显下降的趋势, $I_{VCA_{Ratio}}$ 也随着骤减。这说明设计密度对排水性沥青混合料的骨架有明显影响,并随着设计密度的增加,混合料的骨架增强,使得粗集料形成更强的嵌挤结构。通过回归方法,分析设计密度的变化与空隙率和连通空隙率之间的相关性,回归方程见表 10。表 10 中, Y_1 为设计密度。

表 10 设计密度与排水性沥青混合料体积参数的回归公式

混合料的体积参数	回归公式	判定系数 R^2
空隙率	$Y_1=0.634X-42.391$	0.958
连通空隙率	$Y_1=0.643X-49.008$	0.925
骨架间隙率	$Y_1=0.541X-26.441$	0.956
沥青饱和度	$Y_1=-0.799X+104.197$	0.966

4 结 语

(1)通过设置参数“预留空隙率”,贝雷法可很好的应用于排水性沥青混合料的配合比设计中,并使混合料具有良好的路用性能。

(2)通过方差分析得出,在 5% 的显著性水平下,预留空隙率 and 设计密度的变化对排水性沥青混

合料的体积参数变化有显著影响,预留空隙率影响更大;粗集料体积之比的变化对其无显著性影响。

(3)采用 $I_{VCA_{Ratio}}$ 评价排水性沥青混合料的骨架紧密程度,其中粗集料体积之比 and 设计密度对混合料的骨架影响较大,预留空隙率影响较小,并随着粗集料体积之比 and 设计密度的增大, $I_{VCA_{Ratio}}$ 减小,从而混合料的骨架增强,粗集料形成更强的嵌挤结构。

(4)随着预留空隙率 and 设计密度的增大,排水性沥青混合料的空隙率 and 连通空隙率明显增大,矿料间隙率也随之增大,使得混合料的功能性增强;但粗集料体积之比的变化对其影响不大。

参考文献:

References:

[1] 日本道路协会. 排水性路面技术指南(案)[M]. 东京: 丸善株式会社,1996.

[2] 张铭铭. 排水性沥青混合料配合比设计及技术性能研究[D]. 西安:长安大学,2009.

[3] 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.

[4] Vavrik W R, Pine W J, Carpenter S H. Aggregate blending for asphalt mix design: Bailey method[J]. Transportation Research Record, 2001, 1789: 146-153.

[5] 朱智豪. “Bailey method”于排水性沥青混凝土之应用[D]. 台南:成功大学,2005.

[6] 朱梦良,张起森,陈 强. 沥青玛蹄脂碎石混合料的集料级配优化[J]. 中国公路学报,2001,14(2):1-5.

ZHU Meng-liang, ZHANG Qi-sen, CHEN Qiang. Optimizations of aggregate gradation for stone mastic asphalt mixture [J]. China Journal of Highway and Transport, 2001, 14(2):1-5.

[7] 周富强. 骨架型沥青混合料级配与性能研究[D]. 上海:同济大学,2008.