

文章编号:0451-0712(2006)02-0153-04

中图分类号:U414.01

文献标识码:B

# 粉胶比与集料级配对开级配 沥青混凝土性能的影响

王鸿博, 钱春香, 王修田

(东南大学 南京市 210096)

**摘 要:** 试验研究了粉胶比和集料级配对开级配沥青混凝土(OGFC)力学性能和透水性的影响。结果表明,上限级配的力学性能随着粉胶比增大而增强,中值和下限制配的力学性能随着粉胶比增大先增强后减弱。在粉胶比保持不变的情况下,中值级配和下限制配沥青混合料形成骨架—空隙结构,上限级配的混合料形成骨架—密实结构。从兼顾力学性能和透水功能的角度出发,粉胶比1:1的中值级配和粉胶比0.8:1的下限制配的OGFC为级配与粉胶比的最佳组合。

**关键词:** 粉胶比; 沥青混凝土; 级配; 力学性能; 空隙率

OGFC(开级配沥青磨耗层)沥青混合料是一种新型筑路材料,铺筑的路面具有抗滑、吸收交通噪声和透水的功能,有利于减少交通事故。但是由于其为骨架空隙结构,空隙率较大,骨料接触面积小,难以形成有力的嵌锁结构,因此强度较低,易发生松散脱落,限制了这种新型材料在公路工程中的应用<sup>[1]</sup>。这种沥青混合料组成设计和性能评价的关键在于其强度、耐久性与高空隙率之间的平衡。

矿粉与沥青胶之比(简称粉胶比)变化,沥青胶浆所体现出的粘附性和粘弹性也变化,进而影响着沥青混合料的高温性能、低温性能、水稳性和疲劳耐久性,所以作为影响沥青混合料粘弹性的根本因素,要求沥青胶浆具有合适的组成,也就是具有合适的粉胶比。矿粉用量不足,会降低沥青混合料的力学强度;用量过多,其强度、水稳性、耐久性将下降<sup>[2]</sup>。OGFC沥青混合料空隙率较大,集料之间的接触面较小,因此通过改变粉胶比来优化集料表面的自由沥青数量来增强粘聚力进而提高其结构强度,为克服其力学性能的不足提供了一条有效的技术途径。

在OGFC沥青混合料中,4.75 mm 粒径以上的矿料占了相当大的比例,它的含量影响着混合料的空隙率以及能否形成骨架结构,对其功能性的发挥起着至关重要的作用。国内外的相关研究同样表明,大于4.75 mm 的颗粒主要起到骨架支撑作用,而小

于4.75 mm 的颗粒主要起到填充孔隙的作用<sup>[3]</sup>。因此选择合理的级配对保证OGFC混合料功能性和力学性能起着至关重要的作用。

## 1 粉胶比对OGFC力学性能的影响

### 1.1 原材料性能

研究所使用的沥青为泰州直溜70号,以及自制的4.5% SBS改性沥青,其基本性质如表1所示。

表1 沥青基本性能

沥青类型	针入度(25℃)	延度/cm		离析试验/℃	软化点/℃	针入度指数PI
	0.1 mm	10℃	25℃			
基质沥青	72	15	89	—	49	-0.57
改性沥青	56	45	>120	1.5	58	1.26

矿质集料粗集料采用的是玄武岩,细集料采用石灰岩,以发挥玄武岩较为坚硬的物理特性和石灰岩与沥青粘附性较好的化学特性。填料为白云石矿粉。

高速公路和一级公路粗集料技术指标、试验用玄武岩粗集料技术性能如表2所示。

石灰石石屑、河砂和矿粉的级配如表3所示。

### 1.2 沥青混合料所用级配

沥青混合料的级配参照日本新版《沥青路面设计纲要》所推荐的级配范围<sup>[4]</sup>,如表4所示。

表 2 粗集料基本技术性能

石料 类型	集料 压碎 值/%	针片 状含 量/%	表观 密度 g/cm <sup>3</sup>	堆积 密度 g/cm <sup>3</sup>	捣实 密度 g/cm <sup>3</sup>	振实 密度 g/cm <sup>3</sup>	表干 密度 g/cm <sup>3</sup>	毛体 积密度 g/cm <sup>3</sup>
粗集料 技术要求	≤28	≤15	≥2.5					
玄武岩	15.13	11.75	2.925	1.547	1.695	1.783	2.758	2.670

表 3 细集料及填料筛分结果

筛孔尺寸 mm	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
石屑通过 率/%	100	98.3	54.9	3.92	25.8	16	12.6	8.4
河砂通过 率/%	100	95.3	88.0	79.5	63.2	25.5	5.9	1.12
矿粉通过 率/%	100	100	100	100	100	100	99.1	85

表 4 《沥青路面设计纲要》推荐级配

筛孔尺寸 mm	19.0	13.2	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075
通过率 /%	100	90~100	11~35	8~25	5~17	4~14	3~10	2~7

本试验通过改变 4.75 mm 筛孔的通过率来选择 3 种不同的混合料级配,分为上限、中值和下限级配。

选择的 3 种级配如表 5 所示。

表 5 OGFC 沥青混合料级配

筛孔尺寸 mm	19.0	13.2	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075
上限通过 率/%	100	95	35	16.5	11	9	6.5	4.5
中值通过 率/%	100	95	23	16.5	11	9	6.5	4.5
下限通过 率/%	100	95	16.5	16.5	11	9	6.5	4.5

### 1.3 试验结果分析

#### 1.3.1 马歇尔稳定度和浸水残留马歇尔稳定度

试验所得马歇尔稳定度和浸水残留马歇尔稳定度如图 1 和图 2 所示。

图 1 的结果表明,上限级配沥青混合料的稳定度在粉胶比为 1:1 时最大,而中值级配沥青混合料与下限级配沥青混合料都在粉胶比为 0.8:1 时最大,以后逐渐减小。上限级配沥青混合料中的细集料含量较多,即集料的比表面积较大,因此所需要的结

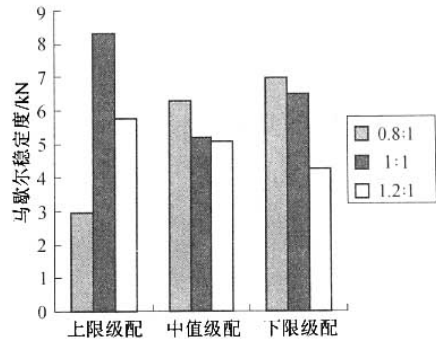


图 1 OGFC 的马歇尔稳定度

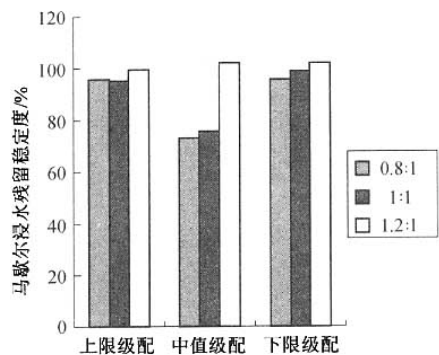


图 2 OGFC 的马歇尔浸水残留稳定度

构沥青含量较高。当粉胶比为 0.8:1 时,沥青胶浆还不足以包裹集料表面,稳定度比较小;当粉胶比增大为 1:1 时,沥青膜变薄,集料表面包裹了足够的结构沥青,稳定度较大;粉胶比为 1.2:1 时,过多的矿粉导致沥青胶浆过多,集料表面除了自由沥青外还有较厚的自由沥青胶浆,因此导致混合料稳定度降低。中值级配和下限级配沥青混合料中粗集料含量较多,即集料的比表面积较小,因此所需要的结构沥青含量较低。当粉胶比为 0.8:1 时,集料表面就已经包裹了足够的结构沥青;粉胶比增加时,过多的沥青胶浆包裹在结构沥青表面使得混合料稳定度持续降低。

图 2 的结果表明,上限级配沥青混合料的浸水残留稳定度在粉胶比为 1:1 时最小,而中值级配和下限级配沥青混合料的浸水残留稳定度都在粉胶比为 0.8:1 时最小,以后逐渐增加。上限级配沥青混合料中的结构沥青在粉胶比为 1:1 时能较充分地包裹集料表面而不富余,所以结构沥青直接与水接触,受到的水侵害就最为严重,因此其马歇尔稳定度损失最大;当粉胶比增加时,过多的矿粉存在使得结

构沥青表面包裹了一层自由沥青胶浆,保护了结构沥青与水接触的程度,减少了结构沥青受到的水侵害,因此马歇尔稳定度损失较小。同理可以分析中值级配和下限级配沥青混合料。

### 1.3.2 劈裂强度

试验所得的劈裂强度如图3所示。

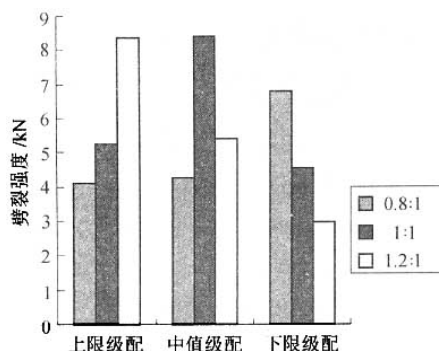


图3 OGFC 沥青混合料的劈裂强度

在OGFC 沥青混合料较高的空隙率水平下,沥青混合料骨架嵌挤程度较低,劈裂强度主要依赖于沥青粘度及由沥青与集料的交互作用而产生的粘聚力。粉胶比较低时,粉胶比增加与沥青膜减薄的作用是一致的,当沥青膜减薄时,结构沥青比例增加,从而使沥青混合料粘聚能力增加,表现为劈裂强度增加。

由图3可以看出,上限级配的沥青混合料中集料的比表面积最大,所需的结构沥青量就最多,粉胶比为1.2:1时劈裂强度最大;反之下限级配的沥青混合料中集料的比表面积最小,所需的结构沥青量就最少,因此当粉胶比为0.8:1时劈裂强度最大。当粉胶比增加时,结构沥青表面产生自由沥青胶浆,与集料发生交互作用的结构沥青比例相对较小,集料颗粒之间主要依靠自由沥青相互粘结,故沥青混合料的粘聚能力较低,劈裂强度较小。

### 1.3.3 单轴抗压强度

试验所得的单轴抗压强度如图4所示。

由图4可以看出,在相同的粉胶比下,随着OGFC 沥青混合料中细集料的减少,粗集料的增多,单轴抗压强度递减。上限级配沥青混合料中集料形成的密实结构含有较多的胶砂,在应力作用下能提供较高的结构强度;而中值级配和下限级配沥青混合料中集料虽然能形成骨架嵌挤结构,但在应力作用下由于集料表面沥青膜的弱粘结作用产生滑移而

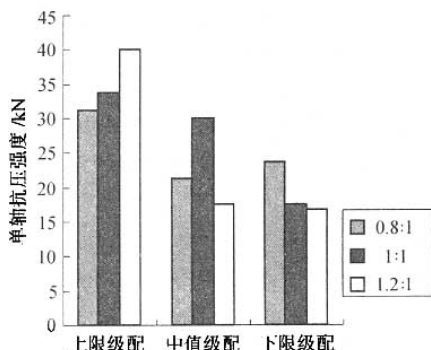


图4 OGFC 的单轴抗压强度

破坏,因此不能提供较高的结构强度。

从图4可以进一步看出,OGFC 沥青混合料较大的孔隙率使得集料之间的接触面较小,难以形成有效的嵌锁结构,因此集料之间的嵌挤力在应力作用下难以发挥。OGFC 沥青混合料的单轴抗压强度仍以沥青胶浆和集料之间的粘聚力为主,即取决于集料表面的结构沥青数量。上限级配的沥青混合料在粉胶比为1.2:1时单轴抗压强度最大,中值级配的沥青混合料在粉胶比为1:1时单轴抗压强度最大,下限级配的沥青混合料在粉胶比为0.8:1时单轴抗压强度最大。

## 2 矿料级配对OGFC的影响

### 2.1 骨架结构的判断标准<sup>[5]</sup>

为了充分发挥混合料中粗集料骨架结构的嵌挤作用,在压实状态下沥青混合料中粗集料的骨架间隙率 $VCA_{mix}$ 必须等于或小于没有其他集料、结合料存在时的粗集料集合体在捣实状态下的间隙率 $VCA_{DRC}$ 。否则,粗集料的嵌挤作用就不能形成,因此这是判断粗集料是否形成骨架结构的基本条件,即形成骨架结构的前提条件是 $VCA_{mix} \leq VCA_{DRC}$ 。

### 2.2 组成结构特性参数

#### 2.2.1 骨架接触度

骨架接触度SSC(stone on stone contact)是指OGFC 中粗集料之间相互接触的密实程度,用压实成型的混合料中粗集料毛体积相对密度与纯粗集料干捣的相对密度之比来表征,骨架接触度越大则骨架的密实性越好。可见,骨架接触度不仅是反映沥青混合料粗集料的骨架性和接触密实性的综合指标,此外,它还表征了粗集料的压实效率。

本文提出骨架接触度的概念旨在提出划分

OGFC 是紧排骨架密实结构、松排骨架密实结构还是悬浮密实结构的定量指标。

### 2.2.2 骨架稳定度

骨架稳定度  $S$  (stability of coarse aggregate) 是用压实成型的沥青混合料中粗集料的体积密度与纯粗集料松堆密度之比来表征,  $S$  越大则骨架的稳定性越好。

本文提出骨架稳定度的概念, 旨在提出划分 OGFC 是紧排骨架密实结构、松排骨架密实结构还是悬浮密实结构的定量指标。

### 2.2.3 骨架结构判断指标

- |                               |          |
|-------------------------------|----------|
| (1) 骨架接触度 $> 90\%$            | 紧排骨架密实结构 |
| $85\% \leq$ 骨架接触度 $\leq 90\%$ | 松排骨架密实结构 |
| 骨架接触度 $< 85\%$                | 悬浮密实结构   |
| (2) 骨架稳定度 $> 95\%$            | 紧排骨架密实结构 |
| $90\% \leq$ 骨架稳定度 $\leq 95\%$ | 松排骨架密实结构 |
| 骨架稳定度 $< 90\%$                | 悬浮密实结构   |

### 2.2.4 骨架结构类型

选择粉胶比为 1:1 的 3 种不同级配类型配制的 OGFC 沥青混合料, 评价其骨架结构类型, 如表 6 所示。

表 6 OGFC 的骨架结构

级配类型	$VCA_{DRC}$	$VCA_{mix}$	骨架接触度/%	骨架稳定度/%	骨架结构类型
	%	%			
上限级配	18.7	37.1	84.15	92.2	悬浮—密实结构
中值级配	37.9	34	98.04	107.4	紧排—骨架密实结构
下限级配	39.0	35.3	105.60	115.7	紧排—骨架密实结构

由表 6 可以看出, 上限级配沥青混合料的  $VCA_{DRC} < VCA_{mix}$ , 无法形成骨架结构, 根据骨架接触度和稳定度来评价为悬浮—密实结构; 中值级配和下限级配沥青混合料的  $VCA_{DRC} > VCA_{mix}$ , 能形成骨架结构, 根据骨架接触度和稳定度来评价为紧排—骨架密实结构。

对上述 3 种级配沥青混合料在粉胶比为 1:1 下进行了切面, 得到了它们的断面图, 见图 5。由图 5 可以清晰地看到中值级配和下限级配沥青混合料与上



图 5 3 种级配的切面

限级配沥青混合料形成机理不同: 较大粒径骨料彼此紧密相接, 而较小粒径集料的数量较少, 不足以充分填充空隙, 形成骨架—空隙结构。

### 2.2.5 透水速率和孔隙率

由表 7 和表 8 可以看出, 上限级配沥青混合料孔隙率偏小, 铺设的路面可以承受大雨等级的降雨量, 而中值级配沥青混合料和下限级配沥青混合料孔隙率较大, 铺设的路面可以承受暴雨等级的降雨量。

表 7 OGFC 的透水速率和孔隙率

	透水时间/s	最大降雨强度/(mm/h)	孔隙率/%
上限级配	21	10.58	4.47
中值级配	8	27.78	10.52
下限级配	3	74.07	18.81

表 8 上海市的降雨量等级

降雨量等级	降雨量/(mm/h)
暴雨	$> 16$
大雨	8.1~15.0
中雨	2.6~8.0
小雨	$< 2.5$

## 3 结论

(1) 上限级配沥青混合料中的细集料含量较多, 即集料的比表面积较大, 因此所需要的结构沥青含量较高。当粉胶比为 0.8:1 时, 集料表面的结构沥青不足以包裹其表面; 当粉胶比为 1.2:1 时, 结构沥青充分包裹其表面。因此, 上限级配的沥青混合料的力学性能随着粉胶比增大而增大。

(2) 中值级配和下限级配沥青混合料中粗集料含量较多, 即集料的比表面积较小, 因此所需要的结构沥青含量较低。当粉胶比为 0.8:1 时, 集料表面的沥青膜较薄而形成充分的结构沥青, 此时的力学性能较好; 粉胶比增大时, 集料表面形成较厚的自由沥青胶浆而导致其力学性能不断降低。

(3) 通过 3 种级配的断面图, 结合骨架接触度和稳定度的概念及结构判断标准, 中值级配和下限级配沥青混合料形成骨架—空隙结构, 上限级配的混合料形成骨架—密实结构。

(4) 参考上海市的降雨量等级标准, 上限级配沥青混合料铺设的路面虽然孔隙率较小, 但可以承受大雨等级的降雨量; 而中值级配沥青混合料和下限



文章编号: 0451-0712(2006)02-0157-04

中图分类号: U414.03

文献标识码: A

# 大粒径沥青混合料力学性能试验研究

冯俊岭<sup>1</sup>, 张起森<sup>2</sup>, 高和生<sup>3</sup>, 陈一飞<sup>3</sup>

(1. 同济大学交通运输工程学院 上海市 200092; 2. 长沙理工大学公路工程学院 长沙市 410076;

3. 解放军理工大学工程兵工程学院 南京市 210007)

**摘 要:** 采用静压成型 $\phi \times h = 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$  大粒径沥青混合料(LSAM)试件,通过大量的室内试验,研究了公称最大粒径分别为 37.5 mm 和 31.5 mm 的 LSAM 回弹模量、无侧限抗压强度、劈裂抗拉强度的力学指标。试验结果表明,LSAM 的抗压回弹模量是普通沥青混凝土的 1.3 倍左右;LSAM 的回弹模量、抗压强度和劈裂抗拉强度分别是半刚性材料的 2 倍左右。

**关键词:** 道路工程; 大粒径沥青混合料; 回弹模量; 抗压强度; 劈裂抗拉强度

随着交通量的快速增长和轴载的加重,沥青路面普遍出现了抗车辙能力不足和路面的耐久性较差等质量问题。国内外许多道路专家认为解决这些问题的途径之一是调整集料的组成(尺寸、形状、结构和级配)<sup>[1~4]</sup>。大粒径沥青混合料通过增大粒径,可降低油量,在不增加造价的情况下,可以增强沥青路面的抗车辙能力及减缓反射裂缝的发生。通常所说的大粒径沥青混合料(Large-Stone Asphalt Mixes,简称 LSAM)是指含有矿料的最大粒径在 25~63 mm 之间的热拌热铺沥青混合料。LSAM 的回弹模量、抗压强度和劈裂抗拉强度是反映其力学性质的重要指标,是路面结构设计中进行力学验算或厚度计算的重要参数。国外对大粒径沥青混合料(LSAM)的研究比较深入,并取得了一定的成果,而最近几年的研究成果却鲜见报端。目前国内对公称最大粒径为 26.5 mm 的 LSAM 力学性能研究较多,而对公称最大粒径为 37.5 mm 或 31.5 mm 的 LSAM 力学性能研究却很少。

收稿日期: 2005-09-06

级配沥青混合料孔隙率较大,铺设的路面可以承受暴雨等级的降雨量。

(5)从兼顾功能性和力学性能的角度出发,选择粉胶比 1:1 的中值级配,粉胶比 0.8:1 的下限级配的 OGFC 沥青混合料为级配与粉胶比的最佳组合。

## 参考文献:

[1] 李闯民. 开级配沥青磨耗层(OGFC)的研究[J]. 公路,

本研究在借鉴国内外研究成果的基础上,采用静压成型 $\phi \times h = 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$  LSAM 试件,对公称最大粒径分别为 37.5 mm 和 31.5 mm 的不同级配类型 LSAM,研究其在不同温度下的力学性能指标,从而为 LSAM 的设计、研究和推广使用提供重要的参考。

## 1 试验材料与试验方法

### 1.1 原材料

#### 1.1.1 集料

粗集料和细集料是石灰岩碎石,集料性能试验根据《公路工程集料试验规程》(JTJ058—2000)进行,其技术指标如表 1。

表 1 集料技术指标

试验项目	压碎值 %	沥青与矿料 的粘附性	针片状颗 粒含量/%	含泥量 %	细集料 砂当量/%
试验结果	15.2	四级	7.05	0.44	61.4
规范要求	$\leq 28$	$\geq$ 四级	$\leq 15$	$\leq 1$	$\geq 60$

2002, (3)

- [2] 赵可,原健安. 聚合物改性沥青与矿料的粘附性研究[J]. 中国公路学报, 2000, 13(2)
- [3] 延西利. 沥青混合料的强度形成机理的分析研究[J]. 西安公路学院学报, 1994, 14(3).
- [4] JTG F40—2004, 公路沥青路面施工技术规范[S].
- [5] 刘中,郝培文. 大粒径沥青混合料组成结构的研究[J]. 土木工程学报, 2004, 37(7).