

改良逐级填充法设计骨架密实型沥青混合料级配

杜玉兵^{1,2}

(1. 大丰市恒昌交通建设工程有限公司, 江苏 大丰 224001; 2. 盐城工学院 土木工程学院, 江苏 盐城 224051)

摘要:根据沥青混合料的结构特性和强度构成机理,借鉴逐级填充理论的多级嵌挤级配设计思想和旋转压实试验方法,对沥青拌合楼热料仓所取集料试样进行合成级配设计,以贝雷法验证其级配的合理性,得出具有嵌挤骨架密实结构的沥青混合料级配,工程应用效果良好。

关键词:沥青混合料级配;骨架密实;逐级填充;旋转压实;贝雷法

中图分类号:U416.217 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2012)01-0058-04

公路交通量和载重量的日益增长,使得沥青路面出现了一系列的早期破坏,如车辙、沥青下面层疲劳开裂和基层反射裂缝等。国内外的研究表明^[1-3],骨架密实型沥青混合料,具有较好的水稳定性、高温稳定性和抗裂性能,其配合比设计的关键在于矿料级配的设计。Superpave 级配组成设计方法在国外被认为是实现多级嵌挤骨架密实型沥青混合料的一种较好的设计方法^[4],但该方法设置的控制点和禁区也仅仅是给出了一个范围,指标不够量化。目前,国外比较成功的研究当属贝雷法,其通过逐级嵌挤填充的方式和一系列体积指标实现对级配的有效控制,从而达到骨架密实^[5,6]。Weymouth 提出的粒子干涉理论则认为:要达到最大密实度,前一级颗粒之间的空隙应由次一级颗粒填充,剩余空隙再由更次一级颗粒填充,但填充的颗粒粒径不得大于其间隙的距离,否则大小颗粒之间势必发生干涉现象^[7]。

国内学者对逐级填充法进行了改良,以旋转压实法代替人工捣实和重型击实法^[8],并应用于骨架密实型水稳碎石级配设计^[9],取得较好的设计效果。本文将改良的逐级填充法应用于 AC-20S 型沥青混合料生产配合比设计,并以贝雷法验证矿料合成级配的合理性,得出具有嵌挤骨架密实结构的沥青混合料级配。

1 试验方案

1.1 改良逐级填充法

沥青混合料抗剪强度和抵抗变形能力主要来源于粘结力和内摩阻力,而石—石接触、空隙密实才能使混合料具有较大的内摩擦角 φ 和黏聚力 c 。逐级填充法正迎合了这种需要,其基本思想是在填充颗粒粒径不大于前一级颗粒间隙距离的前提下,逐级进行填充,达到最大密实度。在逐级填充的试验方法上,已有的研究^[8]认为旋转压实方法可避免重型击实法对粗集料的破坏,并且更接近于沥青路面施工中的搓揉效果,得到更大密实度。

裴磊等^[9]参照四球排列模型和贝雷设计方法建立的三圆嵌挤模型分析了逐级填充嵌挤模型,认为以填充粒径为上一级粒径的 0.22 倍指导的填充方案是合理的;为减少混合集料中粗料对离析的影响,应以粒径较小的一档粗料为基础,向其中逐级填充较粗粒径的集料。

1.2 逐级填充试验

在沥青混合料生产中,矿料经烘干筒烘干、振动筛筛分后进入各热料仓,由此具有了清晰的规格划分。因此,沥青混合料的生产配合比设计中可应用逐级填充法设计和优化混合料级配。本文依托 G204 盐城南大丰段改造工程沥青面层施工项目,在 AC-20S 型沥青混合料生产配合比设计

收稿日期:2011-03-05

作者简介:杜玉兵(1975-),男,江苏大丰人,讲师,工程师,硕士,国家一级注册建造师,主要研究方向为沥青路面施工技术 & 新型工程材料。

中,对沥青拌合楼热料仓矿料取样,其筛分和配合比初步设计结果见表 1 和图 1 所示。根据各热料仓矿料筛分数据设计的初步配合比绘制合成级配

曲线,其符合《公路沥青路面施工技术规范》的“S”级配曲线要求,并在规范规定的级配范围内。

表 1 热料仓集料级配及配合比初步的设计结果

Table 1 Grading data and elementary mixture designing of the aggregate taken from the hot material storehouse

矿料分档/mm	各筛孔集料通过百分率/%												配比/%
	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	
4#(11-25)	100	88.7	69.7	36.8	3.0	2.1	1.2	1.0	0.7	0.6	0.5	0.2	26
3#(6-11)	100	100	100	100	89.0	6.7	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	30
2#(3-6)	100	100	100	100	99.5	67.5	14.6	9.5	7.4	5.6	3.7	2.4	9
1#(0-3)	100	100	100	100	100	100.0	84.4	56.6	29.7	16.6	10.9	6.3	33
矿粉(0-1)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99.5	91.0	2

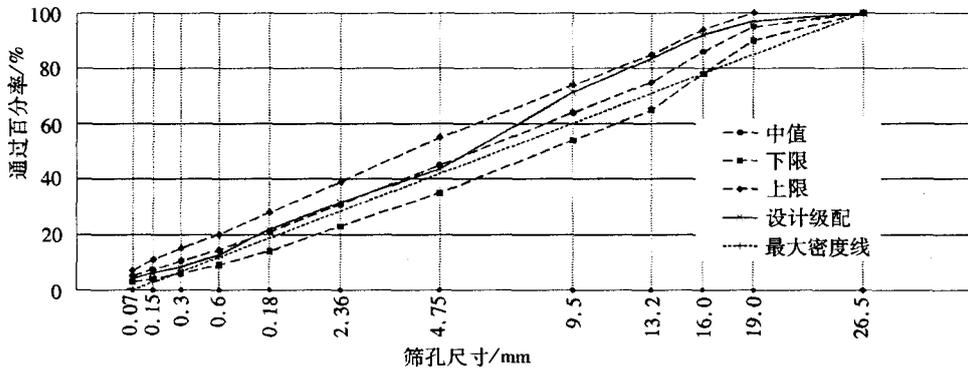


图 1 热料仓集料合成级配

Fig. 1 The synthesis gradation of the aggregate taken from the hot material storehouse

据此,拟定逐级填充方案,以优化并设计骨架密实型混合料。集料粒径为 25 mm 的集料填充粒径为 5.5 mm,由此 5.5 mm 以上的集料不能作为填充料用以填充粗料形成的空隙,否则会产生粒子干涉。3#和 4#集料形成混合料的骨架结构,其混合后形成的空隙应由 1#、2#细料和矿粉进行填充;进一步分析 2#集料填充粒径最大为 1.32 mm,由此 1#集料不能作为 2#的填充料;而整个逐级填充过程中,2#料只能填充 4#集料的部分间隙,因此 2#料需要量较少。

根据上述分析,拟定如下试验方案:

(1)维持 1#集料和矿粉比例不变,拌制两者混合料 10 kg 备用,编号为 A;

(2)向 2 kgA 混合集料中拌入 2#料,以 5% 为增幅,用 JGUS-200 型旋转压实仪旋转压实 100 次,建立填充料比例与混合集料压实密度之间的关系,取压实密度最大时所对应的填充料比例;

(3)向 2 kg3#集料中拌入 A 混合集料,以 5% 为增幅,旋转压实 100 次,建立填充料比例与混合集料压实密度之间的关系,取压实密度最大时所

对应的填充料比例;

(4)向 2 kg4#集料中拌入 2#混合集料,以 5% 为增幅,旋转压实 100 次,建立填充料比例与混合集料压实密度之间的关系,取压实密度最大时所对应的填充料比例,对应的混合料编号为 B;

(5)向 2 kgB 混合集料中拌入 A 混合集料,以 5% 为增幅,旋转压实 100 次,建立填充料比例与混合集料压实密度之间的关系,取压实密度最大时所对应的填充料比例。

2 试验结果分析

2.1 试验结果

根据上述填充方案逐级填充试验,所得试验数据如表 2 所示。选取各档粗料填充后的最大压实密度对应填充料的质量比例,计算混合集料中矿粉及各档集料的配合比为 2:35:7:26:30,绘制其合成级配曲线如图 2 所示,不难看出,逐级填充法同时加大了大粒径集料和粉料的用量,既兼顾混合料的骨架性能和密实性能。

表 2 各档集料中填充质量比例和压实密度之间的关系

Table 2 The relation of the weight proportionment of aggregate filled in other samples and the compaction density

被填充料	填充料	填充料质量比例/%						
		20	25	30	35	40	45	50
A	2#	1.910	1.931	1.947	1.975	1.961	1.951	/
3#	A	/	2.098	2.119	2.147	2.069	2.045	2.029
4#	2#	/	2.165	2.201	2.195	2.113	2.105	2.083
B	1#	/	2.132	2.178	2.215	2.104	2.094	2.085

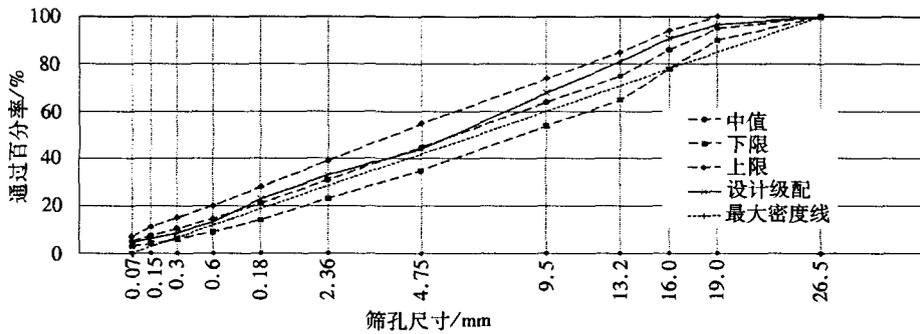


图 2 逐级填充法优化后的合成级配曲线

Fig. 2 The synthesis gradation curve optimized by gradually filling method

2.2 贝雷法检验级配合理性

由 Robert Bailey 提出的贝雷法要求设计级配具有合适的空隙率和良好的骨架作用,从而提高沥青路面的抗高温变形能力和耐久性,并以 $[CA]$ 、 $[FA_c]$ 、 $[FA_r]$ 评价集料的合成级配是否合理嵌挤^[10],而且直接影响沥青混合料的 $[VMA]$ 、空隙率和压实性能。相关计算公式如下:

$$PCS = NMPS \times C_x \quad (1)$$

式中, PCS 为粗细集料分界的第一控制筛孔, $NMPS$ 为混合料最大公称粒径; CX 分别为颗粒空隙系数,在 0.18 ~ 0.28 范围对级配影响不大^[11],本文取 0.22。

贝雷法对细集料分界点也分为两部分,即第 2 控制筛孔 SCS 和第 3 控制筛孔 TCS ,其中, SCS 为 PCS 的 0.22 倍, TCS 为 SCS 的 0.22 倍。本文设计的集料级配,第 1 至第 3 控制筛孔分别为 4.75 mm、1.18 mm 和 0.3 mm。

$$[CA] = \frac{P_{NMPS/2} - P_{PCS}}{100 - P_{NMPS/2}} \quad (2)$$

式中, $P_{NMPS/2}$ 为粒径为 $NMPS/2$ 的通过率(%) ;

P_{PCS} 为第 1 控制筛孔的通过率(%)。

$$[FA_c] = \frac{P_{SCS}}{P_{PCS}} \quad (3)$$

式中, P_{PCS} 为第 2 控制筛孔的通过率(%)。

$$[FA_r] = \frac{P_{TCS}}{P_{SCS}} \quad (4)$$

式中, P_{TCS} 为第 3 控制筛孔的通过率(%)。

由表 3 中的初始配比和逐级填充优化后的配比计算出混合料初始级配和优化级配,按上列公式计算贝雷法评价指标,表 4 所列数据表明,初始级配 $[AC]$ 值较优化级配大,表现为 $NMPS/2 \sim [PCS]$ 粒径颗粒增多,混合料的空隙率和 $[VMA]$ 将相应增大,当 $[CA]$ 比接近 1.0 时,沥青路面施工中会因粗集料颗粒之间容易产生移动而不易嵌挤成型。优化级配的 $[AC]$ 值略低于经验值范围,从而要求较多的细集料填充粗集料空隙和施工现场较大的压实功,同时需注意可能出现的离析现象。

$[FA_c]$ 和 $[FA_r]$ 用来反映细集料中较粗部分与较细部分的嵌挤、填充情况^[11],本试验优化级

表 3 集料合成级配的贝雷法评价指标

Table 3 The Bailey evaluation index of synthesis gradation of aggregate

评价指标	初始级配			优化级配		
	$[AC]$	$[FA_c]$	$[FA_r]$	$[AC]$	$[FA_c]$	$[FA_r]$
计算值	0.972	0.502	0.374	0.747	0.517	0.368
参数范围 ^[11]	0.75 ~ 0.90	0.35 ~ 0.50	0.35 ~ 0.50	0.75 ~ 0.90	0.35 ~ 0.50	0.35 ~ 0.50

配的 $[FA_c]$ 值略大于初始级配、且均大于0.50,表明混合料中含有过量的天然砂,在图2曲线上出现了明显的“驼峰”,这是应该避免的。 $[FA_c]$ 和 $[FA_t]$ 对混合料的 $[VMA]$ 有很大影响,随其值的减小, $[VMA]$ 将不断增大。

2.3 工程应用

由于G204盐城南大丰段改造工程工期紧,且半封闭施工,二灰碎石基层的反射裂缝在所难免,该工程完工后将面临较大的交通流量和较多的重载车辆。为此,在该工程沥青混合料生产配合比设计时采取改良的逐级填充法优化集料的合成级配,成功地生产出骨架密实型沥青混合料,施工过程中未出现明显的离析现象,实测压实度指标较好,道路建成运营3年有余,未出现明显的辙槽和网裂等破坏。

3 结论

(1)沥青拌合楼热料仓集料规格区分清晰,便于采用逐级填充法进行集料合成级配设计和优化;

(2)采用旋转压实方法改良的逐级填充法设计混合料级配,较好地模拟了沥青路面施工的搓揉过程,避免了粗集料受击打破碎而影响试验结果;

(3)逐级填充法以可填充粒径界定填充对象,避免粒子干涉;

(4)沥青拌合楼3~6 mm档集料只能填充11~15 mm档集料的部分空隙,其用量相对较少;

(5)改良逐级填充法设计的集料合成级配相对常规方法具有明显的优化效果,设计成的骨架密实型沥青混合料工程应用效果良好。

参考文献:

- [1] 沙庆林. 高速公路沥青路面早期损坏与对策[J]. 长沙理工大学学报, 2007, 3(3): 1-6.
- [2] 高丹盈. 骨架密实型沥青混合料矿料级配的设计与优化[J]. 公路, 2007, 11(11): 190-195.
- [3] 王立久, 刘慧. 骨架密实型沥青混合料集料级配设计方法[J]. 中国公路学报, 2008, 21(5): 6-9.
- [4] 贾渝. 高性能沥青路面 Superpave 技术实用手册[R]. 江苏省交通科研院, 2002, 1(1): 57-100.
- [5] William R V, William J P, Samuel H C. Aggregate Blending for Asphalt Mix Design Bailey Method[J]. Transportation Research Record, 2001(17): 147-153.
- [6] William R V. Bailey Method for Gradation Selection in Hot Mix Asphalt Design[R]. Washington: Transportation Research Boardm, 2002.
- [7] 陈忠达. 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.
- [8] 郝广晋. 应用旋转压实仪与嵌挤分析改良逐级填充法[J]. 山东建筑大学学报, 2008, 23(1): 6-10.
- [9] 裴磊. 基于逐级填充理论骨密结构水稳碎石级配设计[J]. 山东建筑大学学报, 2010, 25(2): 134-140.
- [10] 张业茂. 逐级填充式沥青混合料粗集料骨架级配设计[J]. 武汉理工大学学报, 2011, 33(11): 44-48.
- [11] 郝培文. 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, 2004, 24(6): 1-6.
- [12] 苏春华. 大粒径沥青碎石混合料组成设计与振动成型方法研究[D]. 西安: 长安大学, 2011.

Gradation Design of Skeleton Densified Asphalt Mixture Based on Reformative Gradually Filling Method

DU Yu-bing^{1,2}

- (1. Dafeng Hengchang transportation constructs engineering Ltd., Dafeng Jiangsu 224001, China;
2. Department of Construction Engineering of Yancheng Institute of Technology, Yancheng Jiangsu. 224000, China)

Abstract: Based on the structure characteristic and the strength constituted mechanism of asphalt mixture, multilevel dense built-in grading design idea of the gradually filling theory and the gyratory compaction experimentation method are referenced, the synthesis gradation of the aggregate sample taken from the hot material storehouse of asphalt mixing building are designed. The rationality of the gradation is validated by the Bailey method, and the asphalt mixture grading that have built-in skeleton densified structure is taken out, and is applied well in the engineering.

Keywords: asphalt mixture grading; skeleton densified; gradually filling; SGC; the Bailey method

(责任编辑:沈建新)