

基于多级嵌挤型骨架的沥青混合料配合比优化设计及路用性能评价

沈海清

(湖南省湘潭市交通建设质量安全监督管理处, 湖南 湘潭 411102)

摘要: 针对传统连续级配设计的不足,以某高速公路沥青混合料配合比设计为基础,进行多级嵌挤形式级配设计,采用马歇尔试验方法确定最佳油石比,并对最佳设计配合比沥青混合料的路用性能进行评价。结果表明,沥青混合料的毛体积相对密度、沥青饱和度随着油石比的增大而增大,空隙率与油石比则呈现相反的趋势,沥青含量对矿料间隙率的影响较小;粗级配矿料形成的密实结构需要较多的次集料及沥青填充,一般通过调整粗集料比例可获得最佳密实状态;随着沥青含量的增大,混合料的流值增加量略有提高,沥青混合料的高温抗变形能力降低;该工程不同面层最佳油石比分别为 5%、4.8%、4.2%,采用多级嵌挤级配设计获得的级配具有较好的路用性能。

关键词: 公路;多级嵌挤型;沥青混合料;配合比设计;路用性能

中图分类号: U416.2

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)04-0064-03

多级嵌挤结构是目前沥青混合料设计的主要形式之一,其通过骨料间的多级嵌挤作用提高骨料间的结构抵抗力,实现沥青混合料耐磨抗滑、密实耐久、抗疲劳、抗高温车辙等性能,进而延长沥青路面的使用寿命。目前关于骨架密实结构的级配设计方法还未在国际上得到公认,尽管针对性实践经验较多,但系统性的理论依据仍较缺乏。陆学元进行 AC-25 沥青混合料正交试验设计研究,主要考察不同设计因素水平对沥青混合料马歇尔指标值的影响,进而得到了 AC-25 矿料级配设计范围;李肇昌等通过室内试验确定了 SBS 改性 AC-13C 沥青混合料的级配范围,同时基于 AC-13C 级配设计提出了 SBS 改性沥青混合料的合理配合比设计;彭庆跃等基于嵌挤式结构设计原理进行了橡胶沥青混合料级配设计并将设计结果用于工程实践,展现了该设计方法的可行性。上述沥青混合料配合比优化方法主要集中于组成沥青混合料的矿料集料优化及优化后的混合料性能方面,没有实现沥青混合料级配技术指标与经济指标的并存。该文基于多级嵌挤结构设计的基本思想进行沥青路面修复改造工程沥青混合料设计,确定不同面层沥青混合料级配组成,并对其路用性能进行评价。

1 多级嵌挤密实型级配设计方法

1.1 设计思想

对主骨料形成的间隙以次级填充料进行填充,

对于次级骨料形成的空隙以次次级骨料进行填充,依此类推,保证填充充分且不发生干涉现象,最终使整个级配骨料空隙率最小、摩阻力最大。其基本方法是通过动态、反复计算获得最佳级配,减小实际级配与理论级配的差异。

1.2 优化步骤

沥青混合料嵌挤填充形式配合比优化设计流程:外界条件(公路等级、气候环境、交通条件、结构层位)确定→确定设计指标及要求→原材料选择与试验、矿料振动试验→确定嵌挤填充矿料级配组成→确定沥青最佳用量→验证路用性能→沥青混合料配合比设计优化。主要涉及以下三个阶段:

(1) 级配设计阶段。1) 确定粗集料级配。初步拟定多组粗集料级配进行集料试验,确定集料的体积特征参数值。2) 确定细集料级配。按照泰波公式进行计算。3) 确定粗、细级配组合。

(2) 级配评价阶段。按嵌挤结构判断标准检测设计级配是否达到有效嵌挤要求。

(3) 级配调整阶段。若级配体积指标不能满足设计要求,则采用贝雷法进行级配调整,使之满足推荐范围要求。

2 多级嵌挤密实型级配设计

2.1 原材料

某沥青路面沥青结构为上面层 AC-13、中

面层 AC-20、下面层 AC-25,上、中面层均采用新疆克拉玛依 SBS 成品改性沥青,下面层采用克拉玛依 90[#]-A 级沥青;上面层粗集料采用角闪岩碎石,中、下面层粗集料采用石灰岩碎石;细集料均采用石屑;填料均为石灰岩磨细矿粉。实验室内对所用沥青进行针入度、软化点、延度、密度等试验,各项指标均满足现行规范要求;集料、填料的吸水率和密度试验结果也满足现行规范要求。

2.2 多级嵌挤密实型级配计算公式

嵌挤填充级配设计的主要内容是依据填充振动试验结果,采用不同填充级别的填充质量比进行填充筛孔颗粒骨架为最佳嵌挤状态下的填充颗粒质量计算,如此反复迭代计算,在不断满足约束条件的情况下求得不同粒径组合的最优混合料质量比。

假定筛孔尺寸 2.36 mm 为混合料中粗、细集料的分界点,根据质量、体积相关关系,各级集料满足如下关系式:

$$M_f + M_m + M_c = 100\% \quad (1)$$

$$M_f/\rho_{fb} + M_m/\rho_{ma} = (M_c/\rho_{co})VCA_{DRC} - (M_c/\rho_{cb} + M_f/\rho_{fb} + M_m/\rho_{ma}) \cdot VMA / (100 - VMA) \quad (2)$$

式中: M_f 为 2.36 mm 及以下细集料所占混合料的比例(%); M_m 为填充料质量占混合料的比例(%); M_c 为 4.75 mm 及以上粗集料所占混合料的比例(%); ρ_{cb} 、 ρ_{fb} 分别为粗、细集料合成毛体积密度(g/cm^3); ρ_{ma} 、 ρ_{co} 分别为填充料表观相对密度和粗集料振实密度(g/cm^3); VMA 为沥青混合料间隙率(%). 则粗集料占混合料质量比 C 为:

$$C = [(100 - M_m)/\rho_{fb} + M_m/\rho_{ma}] \cdot [100/(100 - VMA)] / [VCA_{DRC}/100/\rho_{co} - VMA/\rho_{cb}/(100 - VMA)] \quad (3)$$

式中: VCA_{DRC} 为粗集料振实空隙率(%).

若工程运用中采用 5 种不同粒径混合料,则有:

$$\sum_{i=1}^5 G_i + G_m = 100 \quad (4)$$

式中: G_i 为 5 种组成粒径混合料各自在混合料中的质量比(%); G_m 为矿粉在级配混合料中的质量比(%).

若给定 G_i 初值,则可根据上式及筛分结果计算不同粒径单档质量,进而求得所需不同粒径填充料的质量。计算公式如下:

$$M_{13.2} = m_{26.5} Z_{26.5, 13.2} \quad (5)$$

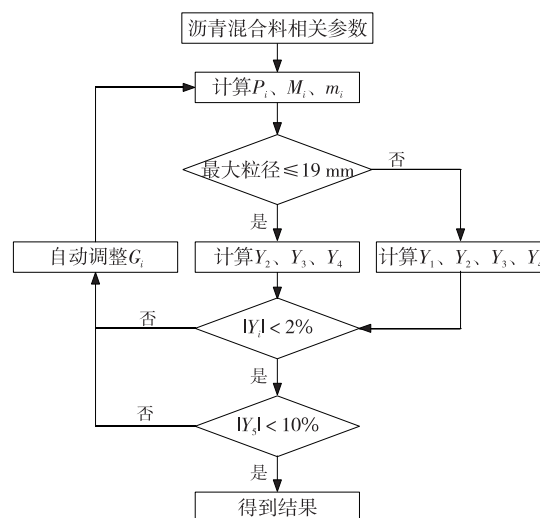
$$M_{9.5} = m_{19} Z_{9.5, 19} \quad (6)$$

$$M_{4.75} = m_{13.2} Z_{13.2, 4.75} + m_{9.5} Z_{9.5, 4.75} \quad (7)$$

$$M_{2.36} = m_{4.75} Z_{4.75, 2.36} \quad (8)$$

2.3 嵌挤填充试验配合比设计流程及结果

以最大粒径为 19 mm 的混合料为对象进行嵌挤填充试验配合比设计,计算流程见图 1。



P_i 为集料在筛孔尺寸为 i 时的通过率; M_i 为不同粒径在混合料级配中的总质量(g); m_i 为不同粒径在原有级配中的已有质量(g); Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 为约束条件, $Y_1 = (M_{13.2} - m_{13.2})/M_{13.2}$, $Y_2 = (M_{9.5} - m_{9.5})/M_{9.5}$, $Y_3 = (M_{4.75} - m_{4.75})/M_{4.75}$, $Y_4 = (M_{2.36} - m_{2.36})/M_{2.36}$, $Y_5 = (C - c)/C$; c 为粗集料在混合料中所占比例(%).

图1 嵌挤填充级配计算流程

表1 不同面层嵌挤填充级配组成

层位	级配编号	不同筛孔尺寸(mm)通过率/%									
		16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
上面层	A1	100	96.2	74.8	52.1	32.6	23.4	17.1	12.3	10.5	5.1
	A2	100	96.2	74.6	48.1	30.2	22.6	17.2	12.3	10.2	5.2
中面层	B1	100	96.0	86.0	73.0	63.0	47.0	32.0	21.0	16.0	12.0
	B2	100	92.0	82.0	70.0	55.0	34.0	26.0	18.0	14.0	9.0
下面层	C1	100	95.0	82.0	73.0	63.3	50.7	33.2	22.0	17.9	16.0
	C2	100	95.2	81.9	73.0	59.5	48.5	33.5	25.0	18.5	16.3

采用上述材料,按照图1进行配合比设计,反复计算,确定不同面层的级配组成,结果见表1。

嵌挤填充级配计算过程中发现,粗级配矿料形成的密实结构需要较多的次集料及沥青填充,一般通过调整粗集料比例来获得最佳密实状态。该试验确定的级配均为最佳密实状态。

2.4 最佳油石比确定

采用马歇尔试验确定最佳油石比。设置6种不

同沥青含量制备6组马歇尔试件,各面层均选取一个级配进行试验,通过测定沥青混合料的毛体积密度、空隙率、稳定度等指标判断最佳沥青含量。不同面层沥青混合料马歇尔试验结果见表2。

由表2可知:沥青混合料的毛体积密度、沥青饱和度和度随着油石比的增大而增大,空隙率则呈现相反的趋势,沥青含量对矿料间隙率的影响较小;随着沥青含量的增大,混合料的流值增加量略有提高,沥青

表2 不同面层不同级配沥青混合料马歇尔试验结果

层位	级配编号	油石比/ %	毛体积密度/ (g·cm ⁻³)	空隙率/ %	矿料间 隙率/%	沥青饱和 度/%	稳定度/ kN	流值/ (0.1 mm)
上面层	A1	3.6	2.350	9.2	14.6	42.1	13.3	41.5
		4.0	2.377	8.4	16.5	45.3	12.8	35.2
		4.3	2.380	7.8	16.0	51.2	12.4	39.3
		4.6	2.400	7.0	16.0	56.3	13.6	52.0
		5.0	2.423	5.2	15.3	66.1	14.5	53.0
		5.4	2.455	3.5	14.5	76.5	12.1	51.2
中面层	B1	3.6	2.430	6.9	13.6	52.1	13.2	45.5
		4.0	2.437	6.4	14.5	54.3	13.8	45.2
		4.3	2.441	5.8	14.0	60.2	14.6	51.3
		4.6	2.445	4.9	13.8	61.3	13.2	60.0
		5.0	2.463	4.2	13.3	67.5	13.3	60.0
		5.4	2.457	4.2	14.3	71.5	13.1	72.2
下面层	C1	3.0	2.410	8.3	14.6	43.1	10.5	25.5
		3.5	2.422	6.8	14.3	52.3	11.1	28.2
		4.0	2.450	4.6	14.1	60.2	10.6	31.3
		4.6	2.450	3.9	13.8	78.3	10.9	34.0
		5.0	2.460	3.2	13.9	77.9	10.2	38.0

混合料的高温抗变形能力降低。

综合考虑工程项目要求及材料特点,提出表3所示沥青混合料马歇尔试验指标要求。

由表2及表3确定各面层最佳沥青含量分别为上面层5%、中面层4.8%、下面层4.2%。

表3 沥青混合料马歇尔试验技术指标要求

混合料 类型	层位	空隙 率/%	稳定 度/kN	饱和 度/%	流值/ (0.1 mm)	矿料间 隙率/%
AC-13	上面层	[3,5]	[65,75]	≥8	[2,4]	≥14
AC-20	中面层	[3,5]	[65,75]	≥8	[2,4]	≥13
AC-25	下面层	[3,5]	[50,70]	≥8	[2,4]	≥13

3 沥青混合料路用性能试验

以下面层 AC-25 混合料为例评价采用多级嵌

挤型级配设计方法设计的沥青混合料的路用性能。

(1) 水稳定性。采用4.2%最佳石油比沥青混合料制备试件,测定其浸水残留稳定度和冻融循环后的劈裂强度,结果见表4。从中可见,AC-25 沥青混合料的水稳定性满足技术要求。

表4 AC-25 混合料水稳定性试验结果

技术指标		测定值	规定值
马歇尔稳定度/kN		14.22	—
浸水试验稳定度	浸水马歇尔稳定度/kN	13.05	—
	浸水残留稳定度/%	91.8	≥80
冻融劈裂试验 残留强度	未冻融/MPa	0.512	—
	冻融/MPa	0.66	—
	冻融劈裂强度比/%	77.6	≥75

(下转第72页)

(3) 经 SiO_2/POE 复合改性后, 基质沥青的动稳定度得到显著提高, 总车辙深度明显降低, 动稳定度增加约 2.54 倍; 提高了基质沥青的动态模量 E^* 、流变时间 F_t 和流变次数 F_n , 进一步验证了其优良的抗车辙能力。

(4) SiO_2/POE 复合改性显著提高了基质沥青混合料的低温抗裂、耐疲劳及水稳定性能, 除低温抗裂性能指标稍劣于 SBS 改性沥青混合料外, 其他指标均最佳, 与沥青结合料性能验证结果一致。

参考文献:

- [1] 黄维蓉. 纳米层状硅酸盐改性沥青混合料路用性能试验研究[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2009, 28(1).
- [2] 张志焜, 崔作林. 纳米技术与纳米材料[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.
- [3] 姚辉, 李亮, 杨小礼, 等. 纳米材料改性沥青的微观和力学性能研究[J]. 建筑材料学报, 2011, 14(5).
- [4] 孙璐, 辛宪涛, 等. 可用于沥青改性的纳米材料综合比选[J]. 交通运输工程与信息学报, 2012, 10(2).
- [5] 孙培, 韩森, 张洪亮, 等. 纳米 CaCO_3/SBR 复合改性沥青及混合料的高温性能[J]. 材料导报, 2016, 30(4).
- [6] 刘大梁, 姚洪波, 包双雁. 纳米碳酸钙和 SBS 复合改性沥青的性能[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2007, 38(3).
- [7] 陈宪宏, 刘杉, 孙立夫. 纳米二氧化硅与 SBR 复合改性乳化沥青的性能研究[J]. 橡胶工业, 2007, 54(6).
- [8] 马峰, 张超, 傅珍. 纳米碳酸钙改性沥青的路用性能及机理研究[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2007, 31(1).
- [9] van de Ven M F C, Molenaar A A A, Besamusca J. Nanoclay for binder modification of asphalt mixtures [A]. Proceedings of the 7th International Rilem Symposium on Advanced Testing and Characterisation of Bituminous Materials[C]. 2009.
- [10] Transportation Research Board. NCHRP report 465: simple performance test for superpave mix design [R]. National Research Council, 2002.
- [11] Morea F, Agnusdei J, Zerbino R. Comparison of methods for measuring zero shear viscosity in asphalts[J]. Materials and Structures, 2010, 43(4).
- [12] 陈华鑫, 王向恒, 刚增军, 等. 纳米改性沥青的路用性能研究[J]. 公路工程, 2008, 33(3).

收稿日期: 2016-06-07

(上接第 66 页)

(2) 高温稳定性。采用 4.2% 最佳石油比沥青混合料进行高温稳定性试验, 试验结果见表 5。从中可见, AC-25 沥青混合料的高温稳定性满足技术要求。

表 5 AC-25 混合料高温稳定性试验结果

试件编号	变型量/mm		动稳定度/(次·mm ⁻¹)	
	45 min	60 min	试验值	规定值
A	2.133	2.376		
B	2.177	2.512	2 326	≥1 000
C	1.823	2.018		

4 结论

(1) 采用多级嵌挤型级配设计基本思想进行反复、动态计算, 可设计出满足不同面层的沥青混合料合理级配。

(2) 沥青混合料的毛体积密度、沥青饱和度随着油石比的增大而增大, 空隙率则呈现相反的趋势, 沥青含量对矿料间隙率的影响较小; 随着沥青含量的提高, 混合料的流值增加量略有增大, 沥青混合料

的高温抗变形能力降低; 各面层最佳沥青含量分别为上面层 5%、中面层 4.8%、下面层 4.2%。

(3) 下面层 AC-25 混合料的路用性能满足要求, 多级嵌挤型级配设计方法可行。

参考文献:

- [1] 彭波, 袁万杰, 薛鹏涛, 等. 多级嵌挤密实型沥青混合料路用性能研究[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2005, 24(6).
- [2] 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).
- [3] 陆学元, 张治锋. AC-25 沥青混合料矿料级配优化及应用研究[J]. 中外公路, 2009, 29(2).
- [4] 李肇昌. SBS 改性沥青混合料配合比优化及施工技术研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2008.
- [5] 彭庆跃, 陈星, 彭纲. 橡胶沥青混合料骨架嵌挤级配优化及配合比设计方法研究与应用[J]. 湖南交通科技, 2009, 35(4).

收稿日期: 2017-02-23