

沥青混合料级配范围优化方法及应用

吕建华¹, 赵正良¹, 陈文¹, 何若夫¹, 黄能¹, 张鹏²

(1. 玉溪市晋红高速公路投资发展有限公司, 云南 玉溪 653199; 2. 苏交科集团股份有限公司)

摘要:级配范围不仅对沥青混合料设计具有很强的指导价值,更是控制混合料性能的重要保障。基于目前沥青混合料级配范围过大、适用性不强等问题,该文提出了一种针对不同地域环境的级配范围优化方法。主要步骤包括:首先确定级配研究范围;其次在该范围内选取若干条能均匀划分该区间的不同级配曲线进行室内性能试验,得到路用性能参数;最后针对特定地区的气候、交通条件,采取专家评分的形式,根据得分情况确定混合料级配范围。以江苏地区 Sup-13 橡胶沥青混合料级配范围优化为例,确定其优化后的级配范围,并通过试验验证和实际应用,证明了该方法对沥青混合料级配范围确定和混合料设计具有重要实用价值,设计的混合料地域适用性强。

关键词:级配范围优化;橡胶沥青混合料;路用性能;专家评分;地域环境

级配范围不仅对沥青混合料设计具有很强的指导价值,更是混合料性能的重要保障。目前 JTG F40—2017《公路沥青路面施工技术规范》虽推荐出不同类型混合料的级配范围,但存在范围过大、针对性弱的问题,不仅使得其指导性变低,同时也使得混合料的路用性能难以得到保障。对于橡胶沥青混合料更是如此,目前国内外橡胶沥青混合料的级配范围普遍过大,且不同地区同一类型混合料级配范围相差甚远,最大值接近 20%,为设计理想混合料造成了一定的难度。

针对上述问题,目前已有大量道路工作者对沥青混合料级配范围进行了研究,但基本上采用集料捣实、填充寻求骨架结构和较小空隙率的矿料组成而确定出适当的级配范围;或是根据 Belay 法、变 i 法、分形理论等进行确定。上述方法虽一定程度上对规范的级配范围进行了优化,使得设计指导价值增强,但仍存在的问题:一是设计出的混合料无法保障其路用性能;二是设计出的混合料地域针对性弱,难以保障路面在服役期内的性能。

因此,对沥青混合料级配范围优化具有重要现实意义,亟需一种具有普适性的级配范围优化方法用以指导混合料设计。该文针对上述问题,提出一种针对不同地域环境的级配范围优化方法,并以 Sup-13 橡胶沥青混合料级配范围优化为例展开论述。

1 材料与试验

1.1 材料

试验所用的橡胶沥青为工厂化生产的反应型橡胶沥青,其常规性能指标试验结果见表 1。

表 1 橡胶沥青性能测试结果

试验项目	单位	工厂化橡胶沥青	规范值
针入度(25℃)	0.1 mm	69.3	30~70
软化点	℃	61.4	>50
延度(5℃)	cm	9.35	>5
黏度(180℃)	Pa·s	0.83	—
弹性恢复(25℃)	%	82	>60

试验所用的集料为玄武岩,其中粗集料 3 档,细集料 1 档,填料 1 档,具体指标分别见表 2~4。

1.2 试验方法

以 Sup-13 橡胶沥青混合料为研究对象,其设计参照 SHRP 设计方法,采用旋转压实成型。在对路用性能的测试中,考虑到不同地区路用性能指标的可比性和易于操作的要求,仍采用现行规范中高温性能、低温性能、水稳定性测试方法,具体测试参照 JTG E20—2011《公路工程沥青与沥青混合料试验规程》的相关

收稿日期:2020-01-11(修改稿)

基金项目:国家自然科学基金青年基金资助项目(编号:BK20170156);中电建路桥集团有限公司科技项目(编号:LQKY 2017-12)

作者简介:吕建华,男,大学本科,教授级高工。

表 2 粗集料技术指标试验结果

试验指标	单位	1 [#]	2 [#]	3 [#]	规范要求	试验方法
毛体积相对密度		2.809	2.723	2.564	—	T0304
吸水率	%	38	47	72	≤2.0	T0304
坚固性	%	6.3	5.8	4.8	≤12	T0314
与沥青的附性	级	5	5	5	5	T0616

表 3 细集料技术指标试验结果

试验指标	单位	试验数据	规范要求	试验方法
表观相对密度		2.854	≥2.5	T0328
坚固性	%	15.8	≥12	T0340
含泥量	%	9.8	≤15	T0333

表 4 矿粉技术指标试验结果

试验指标	单位	试验数据	规范要求	试验方法
表观密度	t/m ³	2.650	≥2.5	T0352
含水量	%	0.3	≤1	T0103
外观		无团粒结块	无团粒结块	
亲水系数		0.45	<1	T0353
塑性指数		2.4	<4	T0354

步骤和要求。

2 级配范围优化

橡胶沥青混合料级配优化方案:① 先拟定范围较广的级配研究区间,然后针对性地设计一系列可把研究区间均匀划分的级配曲线;② 通过试验分析确定各个级配的路用性能;③ 针对不同地区的实际气候、交通情况,通过专家评分的方式确定各路用性能的比重,最后通过各级配的综合得分确定合适的级配范围。

表 5 橡胶沥青混合料 Sup-13 试验级配

Sup-13 试验级配	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%									
	19	12.5	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
级配 1	100	90	68	38	24	15	10	7	5	3
级配 2	100	91	70	41	27	17	12	8	6	4
级配 3	100	92	73	44	30	20	13	9	7	5
级配 4	100	93	76	47	33	22	15	10	8	6
级配 5	100	94	78	50	35	24	17	12	9	7
级配 6	100	95	80	54	38	27	19	14	10	8
研究区间上限	100	97	80	55	38	27	19	14	10	6
研究区间下限	100	90	68	38	24	15	10	7	5	4

下文以江苏地区反应型橡胶沥青混合料 Sup-13 级配范围优化为例,详细介绍级配范围优化过程。

2.1 级配研究范围与试验级配曲线的确定

级配研究区间参考了 Sup-13 混合料级配推荐范围,同时借鉴江苏地区已有工程经验及中国密级配 AC-13 混合料的工程级配范围。

试验级配曲线主要考虑以下原则:

(1) 江苏省处于东南湿热区,夏季气温高、热季长,因此着重考虑混合料的高温稳定性,增加中间档次的集料用量,以加强骨架嵌挤结构。

(2) 由于 0.3~2.36 mm 区间内的细集料颗粒的棱角性较小,不易形成摩阻力,故在满足级配范围的前提下,尽量减少该区间细集料的使用,避免形成驼峰级配。

(3) 级配尽量采用平坦的 S 形曲线,减少最粗集料以及 0.6 mm 以下集料的用量,以减少混合料中粗细集料的离析。

基于以上原则,该研究设计了 6 种级配(表 5)。

2.2 性能分析

2.2.1 确定油石比

对每个级配分别在 4%、4.5%、5%、5.5% 的油石比条件下进行旋转压实试验,成型参数为 $N_{\text{初始}}=8$ 次, $N_{\text{设计}}=100$ 次, $N_{\text{最大}}=160$ 次,压力 600 kPa,压实角 1.25°,以 4%空隙率所对应的油石比为最佳油石比。最终得到最佳油石比与设计级配关系见图 1。

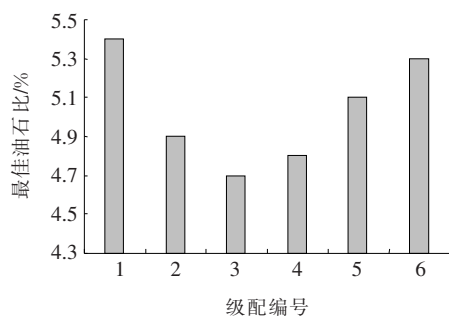


图1 最佳油石比与级配关系曲线

由图1可知:随着级配由粗到细,最佳油石比呈现出先减小后增大的趋势,粗集料偏多或细集料偏多时,在相同的压实功条件下,达到4%空隙率需要更多的沥青。当粗集料用量偏多时,由于用于填充粗集料间空隙的细集料用量减少,需要更多的沥青来填充空隙,使得油石比增加;当细集料用量偏多时,由于细集料的比表面积大于粗集料,为了形成足够厚度的沥青膜裹覆集料,就需要更高的油石比。因此,只有级配粗细适中时,才可以把最佳油石比控制在合适的范围内。

2.2.2 高温性能

将不同级配的 Sup-13 混合料分别在最佳油石比条件下进行混合料的室内车辙试验,结果见图2。

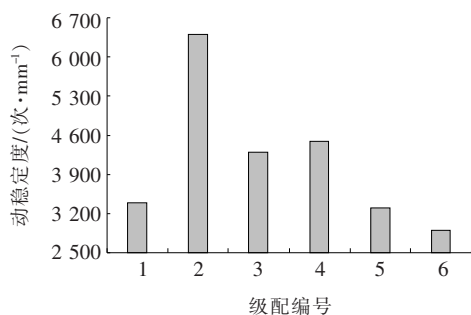


图2 动稳定度与级配关系曲线

图2表明:级配2~4均有良好的高温性能,且油石比较低,经济性好。3种级配的粗集料用量为53%~59%,细集料用量适中,使得混合料中形成了良好的嵌挤结构,提高了高温性能。设计级配1虽然粗集料用量最多,但细集料用量偏少,且油石比较大,造成其高温性能不理想;设计级配5和6由于细集料用量较多,使得粗集料悬浮于沥青砂浆中,高温性能受沥青性质及温度影响较大,使其高温稳定性较差。

2.2.3 低温性能

将不同级配的 Sup-13 混合料分别在最佳油石比条件下进行低温抗裂试验,结果见图3。

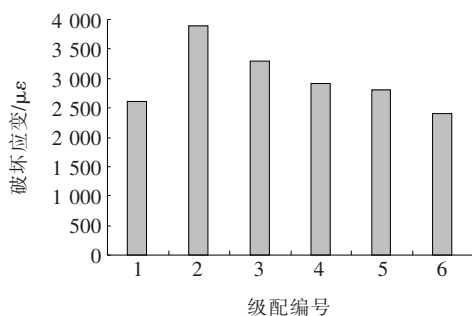
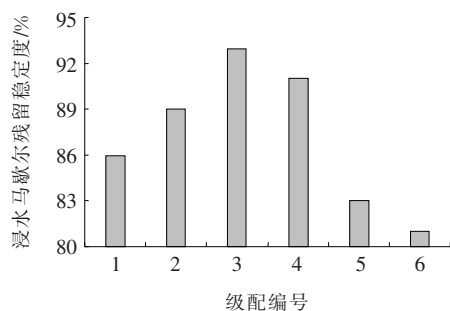


图3 低温抗裂性能与级配关系曲线

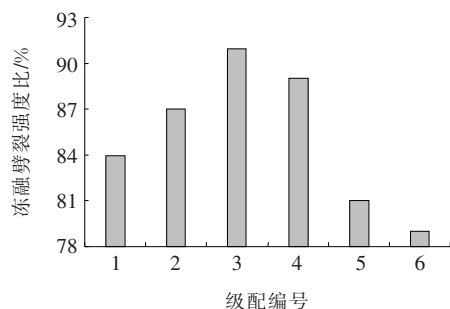
由图3发现:级配2和级配3低温性能较好,随着细集料用量的增加,破坏应变呈现出先增大后减小的趋势。这是因为级配变细后,粉胶比逐渐增大,此时存在一个最佳的粉胶比,超过最佳的粉胶比以后,随着粉胶比增大,沥青胶浆的劲度增加,柔性降低,使得破坏应变减小,抗裂性能降低。

2.2.4 水稳定性

按照中国的现行规范,采用浸水马歇尔以及冻融劈裂试验评价 Sup-13 混合料的水稳定性,试验结果见图4。



(a) 浸水马歇尔试验



(b) 冻融劈裂试验

图4 水稳定性与级配关系曲线

由图4可知:6个试验级配中级配2~4水稳定性相对较好,这是因为级配曲线越接近最大密实曲线,空隙越小,相应的水稳定性越好。当集料偏粗时,没有足够的细集料填充粗集料间的空隙,混合料将形成骨架空隙结构,水分容易进入;当集料偏细时,由于细集料

的比表面积较大,使得沥青膜厚度减小,当有水分存在时容易剥落。综上表明粗集料用量为 53%~59%时 Sup-13 混合料的水稳定性较好。

2.3 优化级配范围的确定

沥青混合料的性能和级配密切相关,现行橡胶沥青混合料的指导性规范中,一方面级配范围太大,对混合料设计的指导性不强;另一方面,对地域性的考虑相对不足。而在特定的地区,混合料既要满足各方面性能要求,又要针对性地提高某些性质,这也是级配范围优化的目的。

江苏地区处于东南湿热区,该地区雨量充沛集中,季节性较强,夏季气温高,持续时间长,对面层材料的高温稳定性和水稳定性要求较高。该文针对江苏地区特殊条件,在对高温性能和水稳定性提出较高要求的同时,兼顾低温性能,比较分析不同试验级配的 Sup-13 混合料优缺点,对反应型橡胶沥青 Sup-13 混合料级配范围进行优化。

不同试验级配的性能采用评分制进行比较,单项

性能的评分标准按排名先后给予 1~6 分。同时针对江苏地区特殊的气候特征,采用专家打分的形式确定各个性能指标的权重系数,得出高温性能和水稳定性的权重系数为 0.4,低温抗裂性能权重系数为 0.2。最终的评分结果见表 6。

表 6 不同试验级配的路用性能综合比较

路用性能	权重 系数	各级配分值					
		1	2	3	4	5	6
高温性能	0.4	3	6	4	5	2	1
水稳定性	0.4	3	5	6	4	2	1
低温抗裂性能	0.2	2	6	5	4	3	1
总分		2.8	5.6	5.0	4.4	2.2	1.0

由表 6 可知:设计级配 2、3、4 评分较高,表明这 3 个级配的各项性能比较均衡且具有地域针对性。最后确定优化后的 Sup-13 橡胶沥青混合料级配范围见表 7。

表 7 橡胶沥青混合料 Sup-13 级配优化范围

优化级 配范围	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%									
	19	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
上限	100	93	76	47	33	22	15	10	8	6
下限	100	91	70	41	27	17	12	8	6	4

3 理论验证与应用

为验证上述方法对于不同混合料类型的适用性,针对江苏地区重点考虑高温性能与水稳定性,应用该方法对橡胶沥青混合料 SMA-13 级配范围进行优

化,并指导混合料设计;同时与采用常规设计方法设计的混合料进行路用性能对比。

根据上述级配范围优化方法确定的优化级配范围如表 8 所示。

采用级配范围优化设计及常规设计方法设计的橡胶沥青混合料 SMA-13 目标设计级配见表 9。

表 8 橡胶沥青混合料 SMA-13 级配优化范围

优化级 配范围	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%								
	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
上限	95	65	30	24	22	16	15	16	12
下限	90	60	26	18	16	12	10	10	8

表 9 采用级配范围优化设计及常规设计方法设计的橡胶沥青混合料 SMA-13 目标设计级配

设计方法	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%									
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
级配范围优化设计	100	92.5	62.6	27.0	19.2	16.1	13.8	12.3	11.5	10.3
常规设计	100	97.3	60.6	25.3	19.6	17.4	15.3	13.3	12.4	10.1

针对江苏地区的特殊要求,将两种设计方法设计的混合料进行相应试验,得到体积参数与路用性能(高

温、水稳性能)测试结果如表 10、11 所示。
表10、11表明:相对于常规设计方法,应用级配范

表 10 SMA-13 混合料体积参数试验结果

项目	油石比/ %	空隙率/ %	VMA/ %	VFA/ %	稳定度/ kN	流值/ mm
级配范围优化方法	5.8	3.22	17.31	81.63	10.59	3.02
常规设计方法	6.1	4.00	17.13	75.10	10.55	2.92
设计要求		3~4	≥17	75~85	≥6	

表 11 SMA-13 混合料高温、水稳定性试验结果

项目	动稳定度/ (次·mm ⁻¹)	冻融劈裂 强度比/%
级配范围优化方法	14 771	87.0
常规设计方法	7 292	82.8
设计要求	≥3 000	≥80

围优化方法设计出的混合料具有更好的抗车辙性能和水稳定性能,更能适应江苏地区的气候条件。

最后将该方法设计出的混合料在南京宏运大道进行试验段铺筑。该试验段沥青采用工厂化反应型橡胶沥青,集料为坚硬耐磨、棱角性较好的玄武岩碎石,采用温拌技术施工。经过实践验证,该试验段的抗高温和抗水损害性能优越。

4 结论

针对目前沥青混合料级配范围在设计中存在指导性差、针对性弱的问题,提出了级配范围优化方法,并用以指导混合料设计,得出的主要结论如下:

- (1) 通过试验发现,对于 Sup-13 橡胶沥青混合料,粗集料用量为 53%~59%,各项路用性能均较好。
- (2) 提出了适用于江苏地区的 Sup-13 橡胶沥青混合料的级配范围,对该地区后续的 Sup-13 橡胶沥青混合料设计具有指导价值。
- (3) 通过试验和工程应用,表明该方法适用性强、

实用价值高,设计出的混合料具有良好的路用性能。

参考文献:

[1] 陈志忠. AC-20 改性沥青混合料矿料级配优化研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版),2009(9).

[2] 黄维蓉,宋涛,何兆益,等. 沥青混合料工程设计级配范围研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版),2010(5).

[3] 刘洪海,许小鹏,李少华. 沥青混合料生产级配允许变化范围研究[J]. 武汉理工大学学报,2009(4).

[4] 张洪伟,高志伟,常明,等. 橡胶颗粒沥青混合料矿料级配的分形评价[J]. 武汉理工大学学报,2011(1).

[5] 孙祖旺,陈颀. 橡胶沥青技术应用指南[M]. 北京:人民交通出版社,2007.

[6] JTG/T F50-2011 橡胶沥青及混合料设计施工技术规范[S].

[7] JTG F40-2004 公路沥青路面施工技术规范[S].

[8] JTG E20-2011 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].

[9] 李昆,黄卫东,王伟. 基于高温性能的橡胶沥青混合料级配选择[J]. 公路工程,2009(5).

[10] 李培蕾. 橡胶沥青混合料配合比设计及路用性能研究[D]. 长安大学硕士学位论文,2012.

[11] 何亮. 温拌橡胶沥青及混合料路用性能研究[D]. 东南大学博士学位论文,2013.

[12] 苗超杰,王火明. 基于 Matlab 的沥青混合料级配优化设计[J]. 中外公路,2018(6).

[13] 马宏岩,林铭彬,候亚丽. 冻融作用下沥青混合料中骨料级配的差异分析[J]. 中外公路,2019(2).