

文章编号:1671-8879(2007)00-0020-05

路用改性沥青 AC-13 混合料的级配优化

冯新军^{1,2}, 郝培文¹, 查旭东²

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 长沙理工大学 公路工程学院, 湖南 长沙 410076)

摘 要:采用正交试验设计方法,对特立尼达湖沥青(TLA)的改性沥青 AC-13 混合料的配合比进行了马歇尔试验研究,采用极差分析方法分析了每个因素水平对混合料的物理-力学性能的影响,提出了优化的 TLA 改性沥青 AC-13 混合料级配范围。研究表明:影响 TLA 改性沥青 AC-13 混合料的毛体积密度、空隙率和沥青饱和度的主要因素是油石质量比;而影响 TLA 改性沥青 AC-13 混合料的矿料间隙率、稳定度、流值的主要因素是 2.36 mm 通过率;采用优化级配的 TLA 改性沥青 AC-13 混合料具有优良的高温稳定性、水稳定性、抗渗性和抗滑性,可应用于中国高速公路沥青路面工程中。

关键词:道路工程;改性沥青;AC-13 混合料;正交马歇尔试验;级配优化;路用性能

中图分类号:U416.217

文献标志码:A

Optimization of aggregate gradations for modified asphalt AC-13 mixture in pavement

FENG Xin-jun^{1,2}, HAO Pei-wen¹, ZHA Xu-dong²

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. School of Highway Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410076, Hunan, China)

Abstract: Marshall tests were carried out to study the aggregate gradations of modified asphalt AC-13 mixture, and the test data were treated by orthogonal method. Through the tests, the factors that influence the physical-chemical features of modified asphalt AC-13 mixture were studied; the optimum aggregate gradation was put forward. The results show that the main factor that affects the bulk density, air voids volume, saturation degree of modified asphalt AC-13 is the rate of oil to stone; the principal factor that influences the voids volume, flow value and stability of the modified asphalt AC-13 mixture is the 2.36 mm passing percent of the mixture; the optimum aggregate gradation can improve the stability at high temperature, the resistance of moisture damage, the anti-permeability and anti-slide property of the mixture. So the modified asphalt AC-13 with optimum gradation can be applied to the pavement engineering of freeway in China. 10 tabs, 13 refs.

Key words: road engineering; modified asphalt; AC-13 mixture; orthogonal Marshall test; optimization of gradation; pavement performance

0 引 言

高速公路沥青表面层直接经受重交通荷载反复作用和各种自然因素的影响,因此表面层不仅应具有平整密实、抗滑耐磨、稳定耐久的服务功能,同时应具有高温抗车辙、低温抗开裂、抗老化等品质^[1-7]。中国初期提出的沥青混合料级配 AC-I 型虽然空隙率小,水稳定性好,施工不容易离析,但是高温稳定性和抗滑性差;20 世纪 90 年代提出的 AK 级配表面构造深度大,抗滑性好,但是空隙率大,容易发生水损害^[8-9];而由国外引进的 SMA 虽然既密实防水又抗滑,高温稳定性好,但是其造价昂贵,施工技术要求高,在中国不适合大面积使用。新版《公路沥青路面施工技术规范》^[10]提出的 AC 级配范围在旧规范提出的 AC-I 级配范围基础上做了适当调整,并借鉴 Superpave 设计思想将 AC 级配范围划分为粗型级配和细型级配。但是,由于 AC 级配范围比较宽松,很难满足道路的综合性能要求,特别是高等级沥青路面。因此,对 AC 沥青混合料进行级配优化研究,对于指导中国高速公路沥青表面层级配的选择,提高沥青路面的路用性能都具有重要的现实意义。

本文结合广东佛山市一环城际快速干线工程建设进行研究。佛山市一环城际快速干线全长 99.21 km,主道路等级为一级公路,其中东线路面结构及厚度为:4 cm 厚的细粒式沥青混凝土上面层(AC-13CTLA 改性沥青)+6 cm 厚的中粒式沥青混凝土中面层(AC-20CTLA 改性沥青)+8 cm 厚的粗粒式沥青混凝土下面层(AC-25C 基质沥青)+36 cm 厚的 5%水泥稳定碎石基层+20 cm 厚的 4%水泥稳定碎石底基层+15 cm 未筛分的碎石垫层。

1 原材料的技术性能

1.1 基质沥青

本研究采用的基质沥青为埃索 A 级 70 号沥青,其主要技术性能见表 1。

表 1 基质沥青的主要技术性能

技术指标		试验值	技术要求
针入度(25℃,100 g,5 s)/0.1 mm		64	60~80
软化点/℃		48.5	≥46
延度/cm	(10℃,5 cm·min ⁻¹)	113.4	≥15
	(15℃,5 cm·min ⁻¹)	>150	≥100
密度(15℃)/(g·cm ⁻³)		1.035	

1.2 TLA 改性沥青的技术性能

TLA(特立尼达湖沥青)是一种独特的天然沥

青,它具有更多的凝胶体而不是溶胶结构,可通过其特有的微观尺寸和沥青质的性质提供改性后的结构性能,降低温度敏感性。软沥青质的成分给 TLA 中的地沥青带来了优越的抗剥落性能,若将其细小的矿物质当作改性剂加入到路面沥青混合料中,可提高 TLA 中地沥青的劲度模量和改善路面的抗滑等表面特性^[11-12]。

参考国内外有关的研究成果^[13],在实验室按以下方法制备 TLA 改性沥青:分别预热 TLA 及基质沥青到 160℃和 150℃,按 40:60 的比例将 TLA 与基质沥青拌和,提高温度到 170℃时搅拌 30 min,即制成 TLA 改性沥青。然后进行 TLA 改性沥青的技术性能试验,试验结果见表 2。

表 2 TLA 改性沥青的技术性能

技术指标		试验值	规范要求
25℃针入度/0.1 mm		27.8	20~40
软化点/℃		56.0	
延度(25℃)/cm		70.1	
灰分/%		12.8	7.5~19.5
粘度(135℃)/(Pa·s)		0.95	≤4.0
相对密度(25℃)/(g·cm ⁻³)		1.133	
薄膜烘箱试验	质量损失/%	-0.49	
	针入度(25℃)/0.1 mm	22.3	
	针入度比/%	80.2	≥58

1.3 集料和填料

本研究采用的粗、细集料均为广东珠海洪达石场生产的花岗岩,其主要技术性能分别见表 3 和表 4,均符合施工规范提出的技术要求。

填料采用广东云安的新会 32.5# 水泥。

表 3 粗集料的主要技术性能

技术指标	试验值	规范要求
压碎值/%	15.1	≤28
洛杉矶磨耗损失/%	7.3	≤30
表观相对密度	2.7	≥2.5
吸水率/%	0.8	≤3.0
坚固性/%	1.5	≤12
软石质量分数/%	2.5	≤5
针片状颗粒质量分数/%	1.9	≤18
与改性沥青的粘附性/级	5	≥5

表 4 细集料的主要技术性能

技术指标	试验值	规范要求
表观相对密度	2.68	≥2.5
坚固性(>0.3 mm 部分)/%	1.3	≤12
砂当量/%	70.3	≥60

2 正交马歇尔试验设计

根据文献[7]提出的 AC-13 混合料级配范围,

采用正交试验设计方法,选取 9.50、4.75、2.36、0.075 的通过率和油石质量比共 5 个影响因素(分别以 A、B、C、D、E 表示),每个因素选取 5 个水平进行正交马歇尔试验设计安排,具体因素水平见表 5。

表 5 5 因素 5 水平的因素水平

水平	AC-13 级配优化正交表设计				
	因素,筛孔尺寸通过率/%				油石 质量比
	9.50 mm	4.75 mm	2.36 mm	0.075 mm	
	A	B	C	D	
1	85	68	40	8	6.5
2	80	61	36	7	6.0
3	76	54	32	6	5.5
4	72	47	28	5	5.0
5	68	40	24	4	4.5

注:4.75 mm 的下限较文献[10]的级配提高 2%,以避免组合后出现负值。

对于 5 因素 5 水平,如全面试验需要 3 125 次马歇尔试验,而采用正交表 $L_{25}(5^6)$ 只需要 25 次马歇尔试验,按此正交表设计的正交马歇尔试验方案见表 6。

表 6 正交马歇尔试验方案

试验号	筛孔尺寸通过率/%				油石 质量比
	9.50 mm	4.75 mm	2.36 mm	0.075 mm	
	A	B	C	D	
1	85	68	40	8	6.5
2	85	61	36	7	6.0
3	85	54	32	6	5.5
4	85	47	28	5	5.0
5	85	40	24	4	4.5
6	80	68	36	6	5.0
7	80	61	32	5	4.5
8	80	54	28	4	6.5
9	80	47	24	8	6.0
10	80	40	40	7	5.5
11	76	68	32	4	6.0
12	76	61	28	8	5.5
13	76	54	24	7	5.0
14	76	47	40	6	4.5
15	76	40	36	5	6.5
16	72	68	28	7	4.5
17	72	61	24	6	6.5
18	72	54	40	5	6.0
19	72	47	36	4	5.5
20	72	40	32	8	5.0
21	68	68	24	5	5.5
22	68	61	40	4	5.0
23	68	54	36	8	4.5
24	68	47	32	7	6.5
25	68	40	28	6	6.0

3 试验结果及分析

按正交试验方案设计的 25 种组合拌制沥青混合料,采用马歇尔击实仪成型试件,然后进行毛体积密度试验和马歇尔稳定度试验,测定试件的毛体积密度、马歇尔稳定度和流值,并计算空隙率、沥青饱

和度和矿料间隙率,试验结果见表 7。
将试验结果按照正交试验设计法的极差分析法进行极差分析,找出毛体积密度、空隙率、稳定度最优的因素水平,确定满足各考核指标的 AC-13 级配范围,并比较各因素对考核指标的影响。极差分析结果见表 8。

从表 8 可以看出:

- (1)对毛体积密度进行极差分析,使毛体积密度最大的最优组合为 $A_4B_5C_2D_2E_1$,影响毛体积密度各因素的主次顺序为 $E>B>C>D>A$ 。
- (2)对空隙率进行极差分析,满足空隙率(广东佛山市一环城际快速干线工程管理手册规定中上沥青面层的空隙率为 3%~5%)的各因素取值范围:A 为 68%~74%,B 为 40%~54%,C 为 32%~40%,D 为 5.8%~8.0%,E 为 5.3%~6.5%;空隙率为 4%的最优组合为 $A_4B_5C_2D_2E_2$,影响空隙率各因素的主次顺序为 $E>B>C>D>A$ 。

(3)对矿料间隙率进行极差分析,各因素所取的 5 个水平均能使沥青混合料满足矿料间隙率 $\geq 14\%$ 的要求,影响矿料间隙率各因素的主次顺序为 $C>B>D>E>A$ 。

(4)对沥青饱和度进行极差分析,满足沥青饱和度要求(65%~75%)的各因素取值范围:A 为 68%~85%,B 为 40%~58%,C 为 29%~40%,D 为 4.5%~8.0%,E 为 5.2%~6.2%;影响沥青饱和度各因素的主次顺序为 $E>B>C>D>A$ 。

(5)对稳定度进行极差分析,各因素所取的 5 个水平均能使沥青混合料满足稳定度 ≥ 8 kN 的要求,稳定度最大的最优组合为 $A_4B_5C_1D_2E_3$,影响稳定度各因素的主次顺序为 $C>A>E>B>D$ 。

(6)对流值进行极差分析,各因素所取的 5 个水平均能使沥青混合料满足流值(1.5~4.0 mm)的要求,影响流值各因素的主次顺序为 $C>E>B>D>A$ 。

综合以上分析,满足空隙率、矿料间隙率、沥青饱和度、稳定度、流值要求的各因素取值范围:A 为 68%~74%,B 为 40%~54%,C 为 32%~40%,D 为 5.8%~8.0%,E 为 5.3%~6.2%。根据矿料筛分结果,并考虑到存在一定的试验误差,最终确定优化的 TLA 改性沥青 AC-13 混合料级配范围见表 9。由于以毛体积密度、空隙率、稳定度为考核指标推荐的最优组合很接近,同时考虑到空隙率在沥青混合料配合比设计中起主要作用,所以推荐采用使空隙率为 4%的最优组合为 $A_4B_5C_2D_2E_2$,即:9.50 mm

表 7 正交马歇尔试验结果

试验号	毛体积密度/ (g·cm ⁻³)	稳定度/ kN	流值/ mm	空隙率/ %	矿料间隙率/ %	沥青饱和度/ %	有效沥青 的体积百 分率/%	矿料的体积 百分率/%
1	2.426	12.3	3.51	2.97	15.36	80.70	12.57	84.46
2	2.421	12.5	3.11	3.71	15.15	75.55	11.60	84.69
3	2.437	13.5	3.10	3.65	14.23	74.60	10.71	85.63
4	2.362	11.0	2.75	7.17	16.51	56.54	9.44	83.39
5	2.336	10.0	2.04	8.74	17.05	48.83	8.40	82.87
6	2.395	14.2	2.70	5.88	15.26	61.55	9.57	84.55
7	2.329	12.8	2.39	9.01	17.21	47.69	8.37	82.62
8	2.381	11.4	2.78	4.79	16.99	71.87	12.34	82.87
9	2.386	9.3	2.75	5.16	16.51	68.92	11.43	83.41
10	2.462	15.5	3.92	2.58	13.34	80.67	10.82	86.59
11	2.335	11.4	2.59	7.15	18.15	60.59	11.19	81.66
12	2.381	11.9	2.28	5.89	16.23	63.69	10.47	83.64
13	2.369	11.7	2.25	6.93	16.29	57.47	9.47	83.60
14	2.382	16.1	3.18	6.88	15.34	55.17	8.56	84.56
15	2.466	14.6	3.48	1.32	14.03	90.60	12.78	85.90
16	2.349	13.4	2.77	8.28	16.55	50.04	8.44	83.28
17	2.379	9.6	3.08	4.89	17.08	71.39	12.33	82.78
18	2.441	15.3	3.19	2.87	14.43	80.14	11.70	85.43
19	2.439	16.7	3.52	3.54	14.15	75.01	10.72	85.74
20	2.442	16.0	3.15	3.97	13.69	71.00	9.76	86.26
21	2.353	10.6	2.97	7.05	17.22	59.04	10.34	82.60
22	2.371	15.0	2.62	6.75	16.06	57.99	9.48	83.77
23	2.389	15.6	2.99	6.62	15.10	56.27	8.59	84.80
24	2.472	14.4	3.67	1.10	13.84	92.04	12.82	86.08
25	2.440	12.6	3.55	2.95	14.58	79.81	11.69	85.36

通过率为 72%,4.75 mm 通过率为 40%,2.36 mm 通过率为 36%,0.075 mm 通过率为 7%,油石质量比为 6%。影响毛体积密度、空隙率和沥青饱和度的各因素的主次顺序是相同的,均为油石质量比>4.75 mm 通过率>2.36 mm 通过率>0.075 mm 通过率>9.5 mm 通过率,而影响矿料间隙率、稳定度、流值的主要因素都是 2.36 mm 通过率,各次要因素大小顺序则有所不同。

4 工程应用实例

对佛山市和顺—北滘公路主干线工程 DS19 标中天津城建集团有限公司提供的花岗岩粗、细集料、石灰岩矿粉、消石灰和 40% TLA 改性沥青进行技术试验,均符合规范要求^{[10]45}。将上述优化的 TLA 改性沥青 AC-13 混合料级配中值作为设计级配对 4 档集料和 2 档填料进行矿料级配组成设计,设计结果为:1# 料(9.5~13.2 mm):2# 料(4.75~9.5 mm):3# 料(2.36~4.75 mm):4# 料(0~

2.36 mm):矿粉:消石灰=35:21:5:36:1:2,得到的合成级配见表 9。

按文献[10]⁴⁵提出的马歇尔试验配合比设计方法进行 TLA 改性沥青 AC-13 混合料配合比设计,确定最佳油石质量比为 5.9%,毛体积密度为 2.426 g/cm³,最大理论密度为 2.534 g/cm³,空隙率为 4.3%,矿料间隙率为 15.6%,稳定度为 17.00 kN,流值为 3.23 mm。

采用最佳油石质量比为 5.9%的合成级配 AC-13 拌制 TLA 改性沥青混合料成型试件,进行了车辙试验、浸水马歇尔试验、冻融劈裂试验、渗水试验和表面构造深度试验,测得动稳定度、残留稳定度、残留强度比、渗水系数、表面构造深度的结果见表 10。从表 10 可以看出,TLA 改性沥青 AC-13 混合料各项路用性能指标符合要求,且均比规范要求更优^{[10]45}。表明级配优化后的 TLA 改性沥青 AC-13 混合料具有优良的高温稳定性、水稳定性、抗渗性和抗滑性,可应用于中国高速公路沥青路面工程中。

表 8 极差分析结果

考核指标	项目	因素					
		A	B	C	D	E	F
毛体积密度/ (g·cm ⁻³)	$\overline{K_1}$	2.396	2.371	2.416	2.405	2.425	2.401
	$\overline{K_2}$	2.390	2.376	2.422	2.415	2.405	2.396
	$\overline{K_3}$	2.387	2.403	2.403	2.407	2.414	2.402
	$\overline{K_4}$	2.410	2.408	2.383	2.390	2.388	2.386
	$\overline{K_5}$	2.405	2.429	2.364	2.373	2.357	2.405
	R	0.023	0.058	0.057	0.042	0.068	0.019
空隙率/ %	$\overline{K_1}$	5.25	6.27	4.41	4.92	3.01	5.08
	$\overline{K_2}$	5.48	6.05	4.21	4.52	4.37	5.28
	$\overline{K_3}$	5.64	4.97	4.98	4.85	4.54	5.03
	$\overline{K_4}$	4.71	4.77	5.82	5.48	6.14	5.68
	$\overline{K_5}$	4.89	3.91	6.55	6.19	7.90	4.90
	R	0.92	2.35	2.34	1.67	4.89	0.80
矿料间 隙率/ %	$\overline{K_1}$	15.66	16.51	14.91	15.38	15.46	15.52
	$\overline{K_2}$	15.86	16.35	14.74	15.03	15.77	15.68
	$\overline{K_3}$	16.01	15.41	15.42	15.30	15.03	15.48
	$\overline{K_4}$	15.18	15.27	16.17	15.88	15.56	16.04
	$\overline{K_5}$	15.36	14.54	16.83	16.48	16.25	15.36
	R	0.83	1.97	2.09	1.45	1.22	0.70
沥青饱 和度/%	$\overline{K_1}$	67.24	62.38	70.93	68.11	81.32	68.14
	$\overline{K_2}$	66.14	63.26	71.79	71.16	73.00	66.53
	$\overline{K_3}$	65.50	68.07	69.19	68.50	70.60	68.43
	$\overline{K_4}$	69.52	69.54	64.39	66.80	60.91	65.09
	$\overline{K_5}$	69.03	74.18	61.13	62.86	51.60	69.25
	R	4.01	11.80	10.66	8.30	29.72	4.26
稳定度/ kN	$\overline{K_1}$	11.85	12.39	14.84	13.03	12.44	13.21
	$\overline{K_2}$	12.64	12.34	14.71	13.51	12.23	13.31
	$\overline{K_3}$	13.14	13.50	13.64	13.22	13.63	13.17
	$\overline{K_4}$	14.19	13.51	12.05	12.83	13.58	12.61
	$\overline{K_5}$	13.64	13.73	10.23	12.88	13.59	13.17
	R	2.34	1.39	4.61	0.68	1.40	0.70
流值/ mm	$\overline{K_1}$	2.90	2.91	3.28	2.93	3.31	3.04
	$\overline{K_2}$	2.91	2.69	3.16	3.14	3.04	3.04
	$\overline{K_3}$	2.75	2.86	2.98	3.12	3.16	2.94
	$\overline{K_4}$	3.14	3.17	2.83	2.95	2.69	3.07
	$\overline{K_5}$	3.16	3.23	2.62	2.71	2.67	2.78
	R	0.40	0.53	0.67	0.43	0.63	0.29

注： $\overline{K_1}$ 、 $\overline{K_2}$ 、 $\overline{K_3}$ 、 $\overline{K_4}$ 、 $\overline{K_5}$ 为表8每个因素列中同一个水平所对应的5个试验结果的平均值；R为每列的极差；F列为误差列。

表 9 优化的 TLA 改性沥青 AC-13 混合料级配范围

筛孔尺寸/mm	16.00	13.20	9.50	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15	0.075
级配上限/%	100	100	76	54	40	32	25	19	12	8
级配下限/%	100	95	66	38	30	22	15	9	5	4
级配中值/%	100	97.5	71.0	46.0	35.0	27.0	20.0	14.0	8.5	6.0
合成级配/%	100	97.6	71.0	45.8	35.0	26.8	19.4	13.9	9.2	6.5

表 10 TLA 改性沥青 AC-13 混合料路用性能试验结果

技术指标	试验值	规范要求
动稳定度/(次·mm ⁻¹)	4 328	≥2 800
残留稳定度/%	93.9	≥85
残留强度比/%	87.0	≥80
渗水系数/(mL·min ⁻¹)	43.6	≤120
表面构造深度/mm	0.75	≥0.55

5 结 语

(1)在文献[10]规定的 AC-13 混合料级配范围的基础上,提出了优化的 TLA 改性沥青 AC-13 混合料级配范围,并推荐采用 9.5 mm 通过率为 72%, 4.75 mm 通过率为 40%,2.36 mm 通过率为 36%, 0.075 mm通过率为 7%的级配,推荐采用油石质量比为 6%。

(2)影响 TLA 改性沥青 AC-13 混合料毛体积密度、空隙率和沥青饱和度的各因素的主次顺序是相同的,均为油石质量比>4.75 mm 通过率>2.36 mm 通过率>0.075 mm 通过率>9.5 mm 通过率,而影响 TLA 改性沥青 AC-13 混合料矿料间隙率、稳定度、流值的主要因素都是 2.36 mm 通过率,各次要因素大小顺序则有所不同。

(3)采用优化级配的 TLA 改性沥青 AC-13 混合料具有优良的高温稳定性、水稳定性、抗渗性和抗滑性,可应用于中国高速公路沥青路面工程中。

参考文献:

References:

[1] 朱梦良,赵 平,高心亮,等. AK 16 抗滑表层的矿料级配优化[J]. 中国公路学报,2003,16(1):10-14.
ZHU Meng-liang, ZHAO Ping, GAO Xin-liang, et al. Optimizations of aggregate gradation for AK 16 anti-slide surface[J]. China Journal of Highway and Transport, 2003,16(1):10-14.

[2] 韩海峰,吕伟民. 高温多雨地区沥青混合料级配的选择[J]. 公路,2005,(6):168-173.
HAN Hai-feng, LÜ Wei-min. A selection method of gradation of asphalt mixture used in surface course of high temperature and rainy regions[J]. Highway, 2005, (6):168-173.

[3] 李闯民,陈 景. 3 种沥青混合料表面层现场路用性能试验研究[J]. 公路,2004,(11):108-113.
LI Chuang-min, CHEN Jing. Experiment and research on pavement performance of three kinds of asphalt concrete surface course[J]. Highway, 2004, (11):108-113.

[4] 余叔藩,漆光荣. AK 13 类抗滑表层的技术改进[J]. 公路,2003,(9):130-136.
YU Shu-fan, QI Guang-rong. Technology improvement of AK 13 anti-slide surface[J]. Highway, 2003, (9):130-136.

[5] 张争奇,赵战利,张卫平. 矿料级配对沥青混合料低温性能的影响[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2005,25(2):1-5.

烈,改性沥青的拉伸机理变得更复杂,改性沥青在青藏高原环境下的低温稳定性问题有待进一步研究。

参考文献:

References:

- [1] 武懋民,汪双杰,章金钊. 多年冻土区公路工程[M]. 北京:人民交通出版社,2005.
 - [2] 中交第一公路勘察设计研究院,东南大学. 多年冻土区沥青路面耐久性能研究[R]. 西安:中交第一公路勘察设计研究院,2005.
 - [3] JTJ 052-2000,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
 - [4] 田小革,郑健龙,张起森. 老化对沥青结合料粘弹性的影响[J]. 交通运输工程学报,2004,4(1):3-6.
TIAN Xiao-ge, ZHENG Jian-long, ZHANG Qi-sen. Effect of aging on viscoelastic performance of asphalt binder [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004,4(1):3-6.
 - [5] 熊 萍,郝培文. SBS 改性沥青储存稳定性试验方法和评价指标的研究[J]. 中国公路学报,2005,18(1):1-6.
XIONG Ping, HAO Pei-wen. Study of the experimental method and evaluating index of SBS modified asphalt storage stability [J]. China Journal of Highway and Transport, 2005, 18(1):1-6.
 - [6] 陈华鑫,李宁利,张争奇,等. 沥青材料的感温性分析[J]. 长安大学学报:自然科学版,2006,26(1):8-11.
GHEN Hua-xin, LI Ning-li, ZHANG Zheng-qi, et al. Temperature susceptibility analysis of asphalt binders[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2006,26(1):8-11.
 - [7] 徐永杰. 热拌沥青混合料拌合质量的控制[J]. 筑路机械与施工机械化,2006,23(6):20-22.
XU Yong-jie. Quality control of hot asphalt mixture [J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2006,23(6):20-22.
 - [8] 原健安,纪 东,祝志刚. SBS 剂量对改性沥青性质的影响[J]. 长安大学学报:自然科学版,2005,25(3):19-22.
YUAN Jian-an, JI Dong, ZHU Zhi-gang. Effect of different dosage SBS on properties of modified asphalt [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005,25(3):19-22.
-
- (上接第 24 页)
- ZHANG Zheng-qi, ZHAO Zhan-li, ZHANG Wei-ping. Effect of aggregate gradation on performance of asphalt with aggregate [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005,25(2):1-5.
 - [6] 杜顺成,戴经梁. 沥青混合料永久变形评价指标[J]. 中国公路学报,2006,19(5):18-22.
DU Shun-cheng, DAI Jing-liang. Permanent deformation evaluation index of asphalt mixture[J]. China Journal of Highway and Transport, 2006,19(5):18-22.
 - [7] 徐 皓,倪富健,陈荣生,等. 排水性沥青混合料耐久性[J]. 交通运输工程学报,2005,5(2):27-31.
XU Hao, NI Fu-jian, CHEN Rong-sheng, et al. Durability of porous asphalt mixture [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2005,5(2):27-31.
 - [8] 张宜洛. 抗滑级配类型沥青混合料的抗滑性能[J]. 长安大学学报:自然科学版,2003,23(1):7-10.
ZHANG Yi-luo. Skid resistance regularity of different grades bituminous mixture [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2003, 23(1):7-10.
 - [9] 高 英,曹荣吉. 沥青混合料级配类型选择分析[J]. 公路,2002,(1):84-87.
GAO Ying, CAO Rong-ji. Analysis of choice for asphalt mixture gradation [J]. Highway, 2002, (1):84-87.
 - [10] JTG F40-2004,公路沥青路面施工技术规范[S].
 - [11] 沈金安. 特立尼达湖沥青及其应用前景[J]. 国外公路,2000,20(2):28-31.
SHEN Jin-an. Trinidad lake asphalt and its application prospect [J]. Journal of Foreign Highway, 2000,20(2):28-31.
 - [12] 倪富健,赖用满,沈 恒,等. TLA 复合改性沥青混合料路用性能研究[J]. 公路交通科技,2005,22(1):13-16.
NI Fu-jian, LAI Yong-man, SHEN Heng, et al. Research on pavement performance of composite modified asphalt mixture with Trinidad lake asphalt (TLA) [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005,22(1):13-16.
 - [13] 沈金安. 特立尼达湖改性沥青的性能[J]. 国外公路,2000,20(3):30-32.
SHEN Jin-an. Performance of Trinidad lake asphalt modified asphalt [J]. Journal of Foreign Highway, 2000,20(3):30-32.