

文章编号:1671-8879(2013)02-0010-06

# AC-16 沥青混合料高温稳定性试验

郭 瑞<sup>1,2</sup>, 洪 刚<sup>3</sup>, 李 萍<sup>4</sup>, 王 航<sup>5</sup>

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 甘肃省地质矿产局 水文地质与工程地质勘察院, 甘肃 张掖 734000; 3. 空军工程大学 机场建筑工程系, 陕西 西安 710038; 4. 兰州理工大学 土木工程学院, 甘肃 兰州 730050; 5. 陕西高速集团 安康东管理处, 陕西 安康 725000)

**摘 要:**基于大量车辙试验结果,分析了沥青用量、碾压次数、抗车辙剂掺量及级配对 AC-16 沥青混合料高温稳定性的影响,并将 AC-16 抗车辙剂沥青混合料与普通沥青混合料(未掺抗车辙剂)的高温稳定性进行了对比分析。结果表明:车辙试验最佳沥青用量比马歇尔试验少 0.2%~0.3%;压实功过大或过小均可使沥青混合料的高温稳定性降低,施工中应严格控制碾压遍数;AC-16 沥青混合料的最佳抗车辙剂掺量为 0.4%~0.5%;适当增加 AC-16 沥青混合料中粗集料含量,形成骨架密实型结构能够有效改善其高温稳定性;AC-16 抗车辙剂沥青混合料的动稳定度比普通沥青混合料有很大提高,平均提高幅度为 32.9%。

**关键词:**道路工程;车辙试验;AC-16 沥青混合料;影响因素;高温性能

**中图分类号:**U414.75 **文献标志码:**A

## Experiment on high-temperature stability of AC-16 asphalt mixture

GUO Rui<sup>1,2</sup>, HONG Gang<sup>3</sup>, LI Ping<sup>4</sup>, WANG Hang<sup>5</sup>

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Gansu Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Zhangye 734000, Gansu, China; 3. Department of Airport Architecture Engineering, Air Force Engineering University of Chinese People's Liberation Army, Xi'an 710038, Shaanxi, China; 4. School of Civil Engineering, Lanzhou University of Science & Technology, Lanzhou 730050, Gansu, China; 5. Ankang East Management Bureau, Shaanxi Expressway Group Company, Ankang 725000, Shaanxi, China)

**Abstract:** Based on the abundant rutting test results, the effects of asphalt contents, rolling times, contents of anti-rutting agent and different gradation compositions on the high-temperature stability of AC-16 asphalt mixtures were analyzed. In addition, the comparative study was made to evaluate the high-temperature stability of AC-16 anti-rutting agent asphalt mixture and AC-16(without anti-rutting agent). The results show that the optimal asphalt contents in rutting test are 0.2% to 0.3% lower than that in Marshall test; too much or too little compaction work can lead to the decrease of the high-temperature stability of asphalt mixture, so the rolling times should be strictly controlled in the construction process; the optimal contents of anti-rutting agent for AC-16 are from 0.4% to 0.5%; appropriate increase in the content of the coarse aggregate could form the skeleton close-grained structure which could effectively improve the high tem-

收稿日期:2012-03-10

基金项目:国家自然科学基金项目(51108222)

作者简介:郭 瑞(1982-),男,陕西武功人,甘肃省地质矿产局工程师,长安大学工学博士研究生,E-mail:guorui19830120@163.com。

perature stability of the AC-16 asphalt mixture; dynamic stability average value of AC-16 anti-rutting agent asphalt mixture is 32.9% higher than that of the ordinary asphalt mixture. 6 tabs, 3 figs, 10 refs.

**Key words:** road engineering; rutting test; AC-16 asphalt mixture; influence factor; high-temperature performance

0 引言

沥青混合料的高温稳定性是其重要性能之一, 沥青路面早期损坏的病害中车辙变形是其突出表现。车辙是由于行车荷载作用使沥青路面面层或基层产生永久压缩变形和侧向流动变形形成的, 严重的车辙可致使路面结构破坏和产生水漂<sup>[1]</sup>。工程实践表明, 夏季受高温、重载车辆及渠化交通等因素的影响, 沥青路面常出现车辙问题。车辙不仅给行车带来安全隐患, 且影响到行车的舒适性。长安大学、同济大学、交通运输部公路科学研究院、Dokuz Eylul 大学、约旦科技大学等多所国内外院校及科研单位的研究人员, 对沥青混合料抗车辙性能的影响因素进行了许多现场和室内试验研究, 表明沥青路面车辙受多因素影响, 不仅与其自身因素有关, 而且与外界环境因素密切相关<sup>[2-10]</sup>。综上所述, 虽然国内外学者对于沥青混合料车辙性能进行了大量研

究, 但有关 AC-16 沥青混合料抗车辙性能影响因素的研究较少, 且均不够深入和系统。为此, 本文采用马歇尔试验和车辙试验相结合的方法, 基于大量试验结果, 分析了 AC-16 沥青混合料高温抗车辙变形的主要影响因素, 并将 AC-16 抗车辙剂沥青混合料与普通沥青混合料的车辙试验结果进行了对比分析, 给出了各影响因素更为合理的取值范围, 其对于 AC-16 沥青混合料的设计和施工具有重要的指导意义。

1 试验方法

1.1 原材料性能

1.1.1 沥青

试验采用中石油兰州石化公司生产的重交通石油沥青 AH-90; 严格按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052—2000) 中的试验要求, 测定 AH-90 的性能指标, 试验结果见表 1; 各项指标均符合重交通道路沥青的性质要求。

表 1 AH-90 主要技术性能试验结果

Tab. 1 Test results on main technical performances of AH-90

项 目	测定值	项 目	测定值
针入度(25 ℃, 100 g, 5 s)/0.1 mm	95	软化点/℃	47.6
蜡含量(蒸馏法)/%	2.52	动力粘度(60 ℃)/(Pa·s)	165.2
密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	0.996	不同温度(℃) 下延度/cm	72
熔解度/%	99.59		>150
闪点/℃	332		

1.1.2 矿料

试验用粗集料和细集料均购置于兰州市安宁区礼仪采石场, 矿料材质为砂岩, 矿粉购置于兰州市政建设公司提供的石灰岩磨制粉末, 经室内试验测定集料的主要技术性能见表 2; 各项指标均符合《公路沥青路面施工技术规范》(JTJ F40—2004) 中的要求。

1.1.3 外加剂

试验所用外加剂为西安天虹交通科技公司生产的“抗辙王”抗车辙剂。“抗辙王”抗车辙剂是一种由多种聚合物复合而成的沥青混合料添加剂, 它通过集料表面的增粘、加筋、填充及改性沥青等作用而大幅度提高沥青混合料的高温稳定性, 其主要性能指标见表 3。

表 2 集料的主要技术性能试验结果

Tab. 2 Test results on main technical performances of aggregate

项 目	测定值	项 目	测定值
吸水率/%	1.2	表观密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )	10~20 cm 3.51
与沥青粘附等级/级	5.4		5~10 cm 1.50
洛杉矶磨耗损失/%	20.43		石屑 1.43
针片状含量/%	9.5		
矿粉密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	2.81		

表 3 抗车辙剂主要技术性能

Tab. 3 Main technical performances of anti-rutting agent

项目	外表	密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )	熔融指数/ (g·(10 min) <sup>-1</sup> )	粒径/ mm	熔点/℃
指标	黑色粒状	0.92~1.1	7~10	≤6	140~150

1.2 试验方法

试验选取了下页表 4 中 3 种矿料级配。首先, 通

表 4 AC-16 矿料级配

Tab. 4 Aggregate gradation of AC-16

级配 类型	下列筛孔(mm)的通过率/%										
	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
G-1	100	100	91	80	63	49	35	27	18	14	8
G-2	100	95	84	70	48	32	21	18	13	10	6
G-3	100	90	76	60	34	20	13	9	7	5	4

过马歇尔试验确定出不同油石比条件下 AC-16 的 3 种级配(G-1、G-2、G-3)沥青混合料的矿料间隙率、空隙率、沥青饱和度等体积参数,并绘制不同油石比与体积参数间的关系曲线;基于所绘制曲线,并根据《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)规定的各体积指标油石比要求,确定出 G-1、G-2、G-3 沥青混合料马歇尔试验的最佳沥青用量。其次,以马歇尔试验最佳沥青用量为依据,上下波动 0.1%~0.3%拌和沥青混合料,将拌和均匀的沥青混合料装入 300 mm×300 mm×50 mm 的车辙试件模具,再将装有沥青混合料的模具置于压实机上碾压成型,车辙试件密实度应为马歇尔试验标准击实密度的 (100±1)%,将碾压成型后的车辙试件置于室内待其在室温下冷却 12 h 后,再放入温度为 (60±0.5)℃ 的车辙仪中连续、恒温养护 5 h 后进行车辙试验,试验进行至 60 min 时,测定试件的动稳定度和车辙深度,以评价 AC-16 沥青混合料的高温稳定性性能。

1.3 级配组成

为检验矿料级配组成对 AC-16 沥青混合料高温稳定性的影响,依据《公路沥青路面施工技术规范》推荐级配范围的中值级配为标准级配,在此基础上变化粗细集料的含量作为试验对比级配,共选取了 3 种矿料级配,其组成见表 4。

2 试验结果分析与讨论

2.1 沥青用量的影响

首先,在 AC-16 的 3 种级配(G-1、G-2、G-3)沥青混合料马歇尔试验最佳沥青用量基础上,上下波动 0.1%~0.6%作为车辙试验沥青用量,并按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)中规定碾压次数(12 次)制作车辙试件。其次,进行车辙试验测定不同沥青用量条件下的沥青混合料动稳定度,以所测动稳定度值为依据确定出 3 种级配沥青混合料的车辙试验最佳沥青用量,试验结果如图 1 所示。

从图 1 可以看出,与 G-1、G-2、G-3 相对应沥青混合料 3 种级配 A-1、A-2、A-3 的动稳定度与沥青用量间的关系曲线均为开口向下的二次抛物线型,这表明 AC-16 沥青混合料车辙试验与马歇尔试验

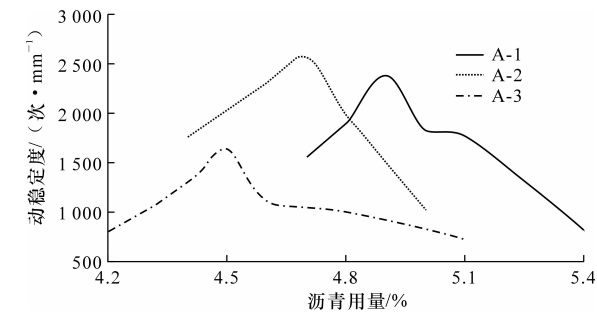


图 1 沥青用量与动稳定度的关系

Fig. 1 Relationship between asphalt contents and DS

一样也存在最佳沥青用量值(OAC')。由图 1 可知,A-1、A-2、A-3 沥青混合料的车辙试验最佳沥青用量值分别为 4.9%、4.7%和 4.5%,与马歇尔试验最佳沥青用量值 OAC(5.1%、4.7%、4.8%)不相一致,车辙试验最佳用量值(OAC')比马歇尔试验最佳沥青用量值(OAC)小约 0.2%。沥青用量对 AC-16 沥青混合料高温稳定性的影响主要表现为:当混合料中沥青含量较少时,集料颗粒表面不能被胶结料完全包裹或包裹厚度较薄,致使颗粒相互间没有粘附力或粘附力较小,集料颗粒无法形成一个整体,受到外荷载作用时易产生滚动,从而导致沥青混合料的高温抗变形能力下降。但当混合料中沥青含量过多时,富余出的沥青不但起不到粘附集料颗粒的作用,反而充当了矿料颗粒间的润滑剂,加大了颗粒相互间的滑动,使得集料颗粒间的摩阻力减小,从而引起 AC-16 沥青混合料的高温稳定性性能降低。这说明沥青混合料中的沥青含量过多或过少均可引起其高温稳定性降低。

2.2 压实功的影响

选用了 12、18、24 次 3 种碾压次数制作车辙试件,以分析压实功对 AC-16 沥青混合料高温稳定性性能的影响。车辙试验沥青用量采用各级配沥青混合料的车辙试验最佳沥青用量值,当试验进行到 60 min(42 次/min)时,测定并计算车辙试件的动稳定度和相对变形量值,以其为依据分析压实功对 AC-16 沥青混合料高温稳定性的影响,试验结果见下页表 5。

从表 5 可得出如下结果。

(1)从动稳定度变化来看,随着碾压次数的增加,A-1、A-2 及 A-3 沥青混合料的动稳定度表现出相同的变化趋势,即随着碾压次数增加,试件动稳定度表现出先增大后减小的变化趋势,且均在碾压次数增至 18 次时,动稳定度达到最大值,其从大到小顺序为:A-2、A-1、A-3。这说明,在相同压实功条件下,A-2 沥青混合料的高温稳定性较 A-1 和 A-3 好;

表 5 不同碾压次数的车辙试验结果  
Tab.5 Test results under different rolling times

项目	碾压次数/次	动稳定度/ (次·mm <sup>-1</sup> )	不同碾压时间(min)车辙深度/mm		动稳定度提 高幅度/%	相对变形 量/%	变形速率/ (mm·min <sup>-1</sup> )
			45	60			
A-1	12	2 383	3.62	3.73		7.45	0.062
	18	2 956	3.45	3.55	24.00	7.10	0.059
	24	2 566	3.58	3.67	-13.21	7.34	0.061
A-2	12	2 573	3.38	3.48		6.96	0.058
	18	3 457	2.23	2.32	34.00	4.64	0.039
	24	2 908	2.04	3.31	-15.88	6.62	0.055
A-3	12	1 634	3.89	4.02		8.04	0.080
	18	2 635	3.42	3.61	61.00	7.21	0.060
	24	2 359	4.08	3.89	-10.47	7.78	0.065

A-1、A-2 及 A-3 沥青混合料的最优压实功为 18 次，比《公路工程沥青混合料试验规程》规定碾压次数(12 次)多 6 次；压实功过大或过小均不能有效改善沥青混合料的高温稳定性。

(2)从相对变形量和变形速率的变化来看，随着碾压次数增加，A-1、A-2 及 A-3 沥青混合料的相对变形量和变形速率均呈现先减小后增大的变化趋势，与动稳定度变化趋势相反，从小到大顺序为：A-2、A-1、A-3。当碾压次数增至 18 次数时，A-1、A-2 及 A-3 的相对变形量和变形速率值均最小。这再次说明，3 种级配沥青混合料的最佳碾压次数为 18 次；相对变形量指标也可用于评价沥青混合料的高温稳定性。

以上试验结果可解释为：当车辙试件碾压次数提高到 18 次时，由于碾压次数增加，致使沥青混合料所受压实功增大，集料间的空隙率减小，压实度提高，进而使其高温抗变形能力提高。但当碾压次数增至 24 次时，动稳定度反而降低，究其原因为：当碾压次数增至 24 次时，由于沥青混合料所承受的压实功过大，致使粗集料颗粒破碎，颗粒间相互接触面减小，内摩擦角减小，抗剪切变形能力降低，近而导致沥青混合料的高温稳定性降低。因此，在实际施工过程中应严格控制沥青混合料的压实功，以避免其过大或不足造成沥青混合料高温抗车辙变形性能降低。

2.3 抗车辙剂掺量的影响

选用 4 种抗车辙剂掺量(0.1%、0.2%、0.3%及 0.4%，抗车辙剂掺量是指抗车辙剂与沥青混合料的质量分数)进行车辙试验，以分析抗车辙剂掺量对 AC-16 沥青混合料高温稳定性的影响。试验沥青用量为 3 种级配(G-1、G-2、G-3)沥青混合料车辙试验的最佳沥青用量，碾压次数均为 18 次，采用动稳定

度指标对车辙试验结果进行分析，结果如图 2 所示。

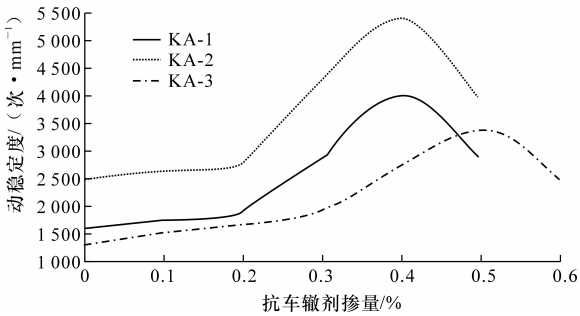


图 2 抗车辙剂掺量与动稳定度的关系

Fig.2 Relationship between anti-rutting agent contents and DS

从图 2 可以看出，随着抗车辙剂掺量的增加，动稳定度呈先增大后减小的变化趋势。对于 KA-1、KA-2 抗车辙剂沥青混合料，当抗车辙剂掺量从 0 增至 0.2%的过程中，其动稳定度增长较为缓慢，但当抗车辙剂掺量从 0.2%增至 0.5%时，动稳定度增长幅度较大，且均出现峰值，与其对应抗车辙剂掺量为 0.4%。对于 KA-3 沥青混合料，抗车辙剂掺量从 0 增至 0.3%的过程中，动稳定度随着沥青混合料中抗车辙剂掺量的增加变换幅度不大，但当抗车辙剂掺量从 0.3%增至 0.6%时，抗车辙剂掺量与动稳定度关系曲线出现峰值，且与峰值相对应抗车辙剂掺量为 0.5%。由图 2 可知，KA-1、KA-2、KA-3 的动稳定度峰值的从大到小顺序为：KA-2、KA-1、KA-3。由上述试验结果可知，AC-16 沥青混合料的最佳抗车辙剂掺量为 0.4%~0.5%；沥青混合料中抗车辙剂掺量过多或过少均不能有效改善其高温抗变形性能。故建议在实际工程中，当需要添加抗车辙剂时应预先进行掺量试验，以确定其最佳用量。

2.4 级配的影响

选取表 4 所示 3 种矿料级配进行车辙试验，试

验沥青用量采用 3 种级配的沥青混合料的车辙试验最佳沥青用量,碾压次数均为 18 次,其试验结果见表 6。

表 6 不同矿料级配的车辙试验结果  
Tab. 6 Test results under different aggregate gradations

项 目	A-1	A-2	A-3
动稳定度/(次·mm <sup>-1</sup> )	2 956	3 457	2 635
相对变形量/%	7.10	4.64	7.21

从表 6 可以看出:在相同碾压次数(18 次)下,A-2 沥青混合料的动稳定度值明显值大于 A-1 和 A-3 沥青混合料的动稳定度,相对变形量则相反。究其原因:从表 4 可知,与 A-2 和 A-3 相比较,A-1 沥青混合料的矿料级配组成偏细,致使沥青混合料中的粗骨料被次级集料隔开,粗骨料悬浮于沥青和细集料形成的沥青马蹄脂胶浆中,不能形成骨架嵌挤结构,相同压实功下易产生变形;与 A-1 相比,A-2 沥青混合料的矿料级配组成中粗骨料含量有所增加,且粗骨料和细集料含量较均匀。在一定压实功条件下,粗骨料颗粒因受到挤压形成类似于“蜂窝”状的空间骨架结构,马蹄脂胶浆(即细集料和沥青的拌合物)则填充于其骨架间隙中,进而形成骨架密实结构,提高沥青混合料的高温稳定性;与 A-1 和 A-2 相比,A-3 沥青混合料的矿料级配组成具有粗集料较多细集料较少的特点,由于粗集料含量过多,相同的压实功作用致使粗骨料颗粒相互挤压破碎,进而导致空间骨架结构破坏,引起沥青混合料高温抗变形能力下降。上述试验结果表明,与 A-1 和 A-3 相比 A-2 沥青混合料的矿料级配组成更为合理;适当增加 AC-16 沥青混合料中粗集料含量形成骨架密实型结构能够有效地改善其高温稳定性。

2.5 AC-16 抗车辙剂沥青混合料与普通沥青混合料对比分析

为了研究抗车辙剂在改善沥青混合料高温稳定性中所起的作用,在试验条件相同,抗车辙剂掺量均为最佳剂量的条件下,将 AC-16 的 3 种级配(G-1、G-2、G-3)的抗车辙剂沥青混合料与其普通沥青混合料的试验结果进行了对比分析,试验结果如图 3 所示。

从图 3 可知,AC-16 的 3 种级配抗车辙剂沥青混合料(KA-1、KA-2、KA-3)的动稳定度与其普通沥青混合料(A-1、A-2、A-3)的动稳定度相比均有很大提高,其提高幅度分别为 14.7%、54.1%和 29.8%,平均提高幅度为 32.9%,A-2 沥青混合料

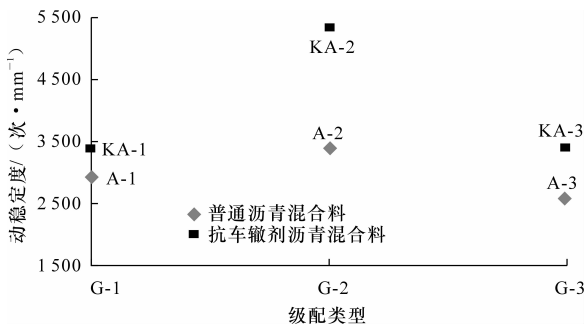


图 3 AC-16 抗车辙剂沥青混合料与普通沥青混合料的对比  
Fig. 3 Contrast of AC-16 anti-rutting agent of asphalt mixture and ordinary asphalt mixture

动稳定度提高幅度最大。这说明“抗辙王”抗车辙剂能够显著改善 AC-16 沥青混合料的高温稳定性性能。AC-16 的 3 种级配普通沥青混合料的动稳定度从大到小顺序为:A-2、A-1、A-3,抗车辙剂沥青动稳定度的从大到小顺序亦为:KA-2、KA-1、KA-3,这说明“抗辙王”抗车辙剂只是改变了沥青混合料的主要组成成分(沥青和矿料)承受外荷载的能力,而抗车辙剂本身并未分担路面所承受的外荷载。上述试验结果可解释为:“抗辙王”抗车辙剂在与热集料拌和过程中,部分受热熔解粘附于矿料颗粒表面,增强了集料颗粒间的粘结力,提高了其整体性。随着沥青胶结料的加入,未熔解的抗车辙剂则继续熔解于沥青中,从而提高沥青的软化点温度,增强其粘度和胶结作用,进而改善沥青混合料的高温稳定性性能。除此之外,“抗辙王”抗车辙剂为一种纤维材料,受热分解为丝状,在集料颗粒间起搭桥交联而形成纤维加筋作用,对沥青混合料中的集料颗粒起到一定束缚作用,约束了其移动。总之上述因素的共同作用致使沥青混合料中矿料颗粒承受更多外荷载,从而提高了沥青混合料的高温稳定性,而抗车辙剂本身并未分担外荷载。

3 结 语

(1)对于 AC-16 沥青混合料,通过马歇尔试验确定出的最佳沥青用量(OAC)与车辙试验确定出的最佳沥青用量(OAC')一般不相一致,车辙试验最佳沥青用量比马歇尔试验最佳沥青用量小约 0.2%。

(2)压实功过大或过小均可使沥青混合料高温稳定性降低,施工中应严格控制沥青混合料的碾压遍数,AC-16 沥青混合料的最佳压实功为 18 次。

(3)AC-16 沥青混合料的最佳抗车辙剂掺量为

0.4%~0.5%。沥青混合料中抗车辙剂掺量过大或过小均不能有效改善其高温稳定性,故建议实际工程中,当需要掺加抗车辙剂时,应预先进行沥青混合料抗车辙剂掺量试验,以严格控制混合料中抗车辙剂的掺入量。

(4)沥青混合料的矿料级配组成对其高温稳定性有显著影响。对于 AC-16 沥青混合料,在级配设计时,适当地增加矿料中粗集料含量,以形成骨架密实型结构,能够有效地改善其高温稳定性性能。

(5)AC-16 抗车辙剂沥青混合料与其普通沥青混合料相比高温稳定性有显著改善,其动稳定度平均提高幅度为 32.9%。

## 参考文献:

## References:

- [1] Miller T, Ksaibati K, Farrar M. Using georgia loaded-wheel tester to predict rutting[J]. TRB, 1995(1473): 17-24.
- [2] Topal A, Sengoz B. Determination of fine aggregate angularity in relation with the resistance to rutting of hot-mix asphalt[J]. Construction and Building Materials, 2005, 19(2): 155-163.
- [3] 刘红瑛, 戴经梁. 不同级配沥青混合料车辙性能的影响[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2004, 24(5): 11-15.  
LIU Hong-ying, DAI Jing-liang. Effect of different gradations on asphalt mixture resistance to rut[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(5): 11-15. (in Chinese)
- [4] 郝培文, 吴 徽, 张登良. 不同沥青用量与级配组成对沥青混合料抗车辙性能的影响[J]. 西安公路交通大学学报, 1998, 18(3B): 199-202.  
HAO Pei-wen, WU Hui, ZHANG Deng-liang. The effects of aggregate gradations and asphalt cement on permanent deformation of asphalt mixes[J]. Journal of Xi'an Highway University, 1998, 18(3B): 199-202. (in Chinese)
- [5] 申爱琴, 庄传仪. 山区高速公路沥青路面车辙成因与防治措施[J]. 筑路机械与施工机械化, 2007, 24(6): 1-4.  
SHEN Ai-qin, ZHUANG Chuan-yi. Cause and prevention of asphalt pavement rutting in mountain expressway[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2007, 24(6): 1-4. (in Chinese)
- [6] 邱颖峰, 许志鸿, 黄启舒. 级配对沥青混合料高温稳定性影响的研究[J]. 重庆交通学院学报, 2007, 26(2): 75-79.  
QIU Ying-feng, XU Zhi-hong, HUANG Qi-shu. Study on the influences of gradation on the high temperature stability performance of asphalt mixture [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University, 2007, 26(2): 75-79. (in Chinese)
- [7] 仲玉侠, 余 芳. 长短纤维沥青砼力学性能试验对比研究[J]. 重庆交通学院学报, 2006, 25(4): 65-69.  
ZHONG Yu-xia, YU Fang. Comparison research on fiber reinforced asphalt mix concrete mechanics performance test[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University, 2006, 25(4): 65-69. (in Chinese)
- [8] 周 亮, 栗培龙, 张争奇, 等. 纤维对沥青混合料高温性能影响分析[J]. 武汉理工大学学报, 2008, 30(11): 58-61.  
ZHOU Liang, LI Pei-long, ZHANG Zheng-qi, et al. Analysis of effect fiber on high temperature performance of asphalt mixture[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2008, 30(11): 58-61. (in Chinese)
- [9] 张素云. 沥青混合料组成对路用性能的影响[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2011, 35(3): 471-475.  
ZHANG Su-yun. Road performance influence about asphalt mixture composition[J]. Journal of Wuhan University of Technology: Transportation Science & Engineering, 2011, 35(3): 471-475. (in Chinese)
- [10] 朱洪洲, 黄晓明. 沥青混合料高温稳定性影响因素分析[J]. 公路交通科技, 2004, 21(4): 1-3.  
ZHU Hong-zhou, HUANG Xiao-ming. Analysis of affecting factors on thermal stability of asphalt mixtures[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2004, 21(4): 1-3. (in Chinese)