

## · 试验与研究 ·

## 重交通抗车辙沥青路面的研究

张晓燕<sup>1</sup> 陈 景<sup>2</sup> 孔繁威<sup>1</sup>

1 山西省交通科学研究院 (太原 030006)

2 交通部公路科学研究所 (北京 100088)

**摘要** 结合山西省重载交通的特点,针对沥青路面的车辙病害,采用六种路面结构组合铺筑加速加载(ALF)试验段,通过室内配合比设计研究及对试验段路面渗水和 ALF 车辙试验检测结果分析,提出重交通沥青路面采用双层改性和采用 SMA、GTM 配合比设计是提高沥青路面抗车辙的主要技术措施;并提出了半刚性基层沥青路面结构组合形式。

**关键词** 沥青路面 重交通 车辙 路面结构组合 加速加载 试验

山西省的交通特点是超、重载车辆比例相对较大,路面结构多为半刚性基层上铺筑 15~16 cm 密级配沥青混凝土,在重交通和重(超)载车辆的作用下,由于沥青混合料不能抵抗较大的剪应力而发生了车辙破坏。

本研究主要是针对山西省重载交通的情况,结合祁临高速公路的建设,从沥青路面层的结构组合及沥青混合料配合比设计方法研究入手,通过修建加速加载(ALF)试验段进行试验验证,研究延缓或减小车辙的技术措施,为今后山西省重载交通沥青路面结构设计提供依据。

## 1 沥青路面结构组合设计

在路面结构研究方面,国内外的研究成果与力学计算分析表明,半刚性基层结构沥青路面的车辙变形基本上产生于沥青上、中面层。对于重载交通沥青路面,由于重载车辆轮胎压力的提高,对沥青面层表面产生的剪应力较大,促进了车辙的形成,中面层在承受抗车辙能力方面具有特别重要的意义。合理进行沥青混合料的配合比设计、路面结构型式和厚度的设计,是提高沥青路面的抗车辙能力的有效途径。本研究采用以下六种路面结构组合方式,通过铺筑 ALF 试验段研究其抗车辙性能。

方案 A (现在常用结构): 改性 AC-16 4 cm (马歇尔方法), AC-20 5 cm (马歇尔方法), AC-20 7 cm (马歇尔方法), 水泥稳定碎石基层 36 cm, 石灰稳定土底基层 16 cm。

方案 B (现在常用双层改性结构): 改性 AC-16 4 cm (马歇尔方法), 改性 AC-20 5 cm (马歇尔方法), AC-20 7 cm (马歇尔方法), 水泥稳定碎石基层 36 cm, 石灰稳定土底基层 16 cm。

方案 C (GTM 设计结构): 改性 AC-16 4 cm (GTM 方法), 改性 AC-20 5 cm (GTM 方法), AC-25 7 cm (马歇尔方法), 水泥稳定碎石基层 36 cm, 石灰稳定土底基层 16 cm。

方案 D (推荐的柔性基层结构): 改性 SMA-16 4 cm (马歇尔方法), 改性 AC-20 6 cm (马歇尔方法), AC-20 8 cm (马歇尔方法), 级配碎石基层 15 cm, 水泥稳定碎石底基层 19 cm, 石灰稳定土底基层 16 cm。

方案 E (推荐的 SMA 结构): 改性 SMA-16 4 cm (马歇尔方法), AC-20 8 cm (马歇尔方法), ATB-25 12 cm, 级配碎石基层 24 cm, 石灰稳定土底基层 20 cm。

方案 F (推荐的双层 SMA 结构): 改性 SMA-16 4 cm (马歇尔方法), 改性 SMA-20 8 cm (马歇尔方法), ATB-25 12 cm, 级配碎石基层 24 cm, 水泥稳定碎石底基层 20 cm。

## 2 ALF 试验段

2002 年 8—9 月在祁临高速公路平遥服务区西区铺筑试验段。试验段长 58 m, 宽 30 m, 分 6

收稿日期: 2005-07-11。

作者简介: 张晓燕,女,1992 年 7 月毕业于西安公路学院公路与城市道路工程专业,高级工程师,现在山西省交通科学研究院从事试验研究及检测工作。

个结构段落,每段长 30 m,宽 3 m,端部不作为试验用。采用了从澳大利亚进口的具有国际水平的 ALF 设备对试验段进行试验,这套设备是国内唯一一套能够在工程现场模拟实际交通情况的加速加载设备,另外经过改进设计,配备了温控设备,可以控制在 50℃ 的高温条件下对小型试验段进行试验。

## 2.1 原材料

试验段中、下面层采用石灰岩碎石,沥青采用盘锦 AH-70;上面层采用花岗岩碎石,沥青采用山西兰亭现场加工的 SBS 改性沥青;铺筑 SMA 用的木质素纤维采用德国 JRS 公司生产的颗粒状木质素纤维 VIATOP80,掺量为沥青混合料质量的 0.375%。

## 2.2 混合料配合比设计

### a) 目标配合比设计

表 1 室内沥青混合料配合比试验结果

混合料 结构类型	使用 层次	设计 方法	结合料	最佳 油石 比, %	车辙动 稳定度/ (次·mm <sup>-1</sup> )
AC-16I	上面层	马歇尔 GTM	SBS 改性沥青 SBS 改性沥青	4.9	4 523
SMA-16	上面层	马歇尔	SBS 改性沥青	6.2	5 024
AC-20I	中面层	马歇尔 GTM	SBS 改性沥青 SBS 改性沥青	4.6	2 795
SMA-20	中面层	马歇尔	SBS 改性沥青	5.9	4 809
AC-25I	下面层	马歇尔	盘锦 AH-70	4.2	
ATB-25	下面层	马歇尔	盘锦 AH-70	3.6	1 943

从表 1 动稳定度的数据可看出:

①采用改性沥青后的 AC 型沥青混合料的动稳定度为 4 523 次/mm,远远大于沥青路面施工技术规范要求的高速公路上面层和中面层动稳定度大于 800 次/mm 的技术要求,说明在使用了针对于提高沥青混合料的高温稳定性的改性沥青后,可以非常有效地提高沥青混合料的高温稳定性。

②改性沥青 SMA 混合料的动稳定度比使用改性沥青的 AC 型沥青混合料的大。其中,改性的 SMA-16 沥青混合料动稳定度是改性 AC-16I 沥青混合料的 1.11 倍, SMA-20 的动稳定度是 AC-20 改性的 1.72 倍,说明无论是用作上面层的 SMA-16 还是用作中面层的 SMA-20,改性 SMA 混合料的确具有较好的高温稳定性,可以在一些交通情况比较恶劣、对沥青路面抗车辙能力有较高要求的工程上进行应用。

### b) 生产配合比设计

按目标配合比控制冷料仓的上料比例,除尘设备正常运转,取热料仓(中、下面层热料仓筛孔孔径由大到小为 28, 21, 11, 6 mm, 上面层热料仓筛孔孔径由大到小为 21, 15, 11, 6 mm)材料进行二次筛分试验,通过反复计算调整,确定各类型混合料的生产配合比见表 2。

表 2 ALF 试验段沥青混合料配合比及现场车辙结果汇总表

沥青混合料 类型	生产配合比例	油石比, %	现场车辙/ (次·mm <sup>-1</sup> )	结合料
ATB-25	21~28: 11~21: 6~11: 0~6: 矿粉 = 35: 25: 10: 25: 5	3.3	2 185	盘锦 AH~70
AC-25I	21~28: 11~21: 6~11: 0~6: 矿粉 = 23: 20: 16: 37: 4	4.2		
AC-20I	21~28: 11~21: 6~11: 0~6: 矿粉 = 5: 31: 24: 37: 3	4.3	1 144	盘锦 AH~70
AC-20I	21~28: 11~21: 6~11: 0~6: 矿粉 = 5: 31: 24: 37: 3	4.5	2 423 (马歇尔) 4 014 (GTM)	山西兰亭 SBS 改性沥青
SMA-20	11~21: 11~6: 0~6: 矿粉 = 46: 17: 25: 12	5.6	2 423	山西兰亭 SBS 改性沥青
AC-16I	15~21: 11~15: 6~11: 0~6: 矿粉 = 14: 11: 24: 42: 4	4.8	3 150 (马歇尔) 3 850 (GTM)	山西兰亭 SBS 改性沥青
SMA-16	15~21: 11~15: 6~11: 0~6: 矿粉 = 22: 22: 29: 15: 12	5.8	2 109	山西兰亭 SBS 改性沥青

## 3 ALF 试验段路面质量检测

### 3.1 沥青路面渗水性检测

ALF 试验段每种路面结构完成后的第二天早上,进行沥青钻芯及渗水试验检测,不同混合料路面检测结果见表 3。水平返水现象是在渗水仪周围,垂直渗下去的水又通过横向连通空隙将

水返到水平面; SMA 路面由于表面粗糙,渗水仪密封困难,出现水平贯通。在现场检测的沥青混合料的渗水系数 SMA-16 和 SMA-20 远小于 JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》要求值 200 mL/min, AC-16 I 和 AC-20 I 远小于要求值 300 mL/min,说明所铺筑的 ALF 试验段的

沥青路面上面层和中面层的密水性是较好的。下面层 ATB-25 共测 6 点其中有 A、D、E、F 四点 渗水严重, 因此该结构不宜做沥青路面的中上面层, 可考虑柔性基层或下面层。

表 3 ALF 试验段不同结构路面渗水试验结果

上面层			中面层			下面层		
混合料类型	测点位置	渗水系数/ (mL · min <sup>-1</sup> )	混合料类型	测点位置	渗水系数/ (mL · min <sup>-1</sup> )	混合料类型	测点位置	渗水系数/ (mL · min <sup>-1</sup> )
AC-16I 改性沥青	A	80	AC-20I 改性沥青	A	97	AC-20I 基质沥青	A	不渗水
	B	68		B	不渗水		B	68
	C	69	GTM-20 改性沥青	A	3 min 500 mL 渗完, 有水平返出		C	140, 有水平返出
	D	60, 有水平返出		B	2 min 500 mL 渗完, 有水平返出		D	54, 有水平返出
	E	75	SMA-20 改性沥青	A	56		E	57
	F	73		B	70	AC-25I 基质沥青	A	48
SMA-16 改性沥青	A	89	AC-20I 基质沥青	A	56		B	1 min 500 mL 渗完, 有水平返出
	B	3 min 500mL 渗完, 有水平返出		B	67	ATB-25 基质沥青	A	47 s 500 mL 渗完, 有水平返出
	C	72	AC-20I 基质沥青	A	56		B	64
	D	72		B	65		C	不渗水
	E	1 min 500 mL 渗完, 密封不好, 水平连通		D	102		D	44 s 300 mL 垂直渗完,
	F	100					E	8 s 500 mL 垂直渗完,
GTM-16 改性沥青	A	156					F	15 s 500 mL 垂直渗完,
	B	79						

3.2 ALF 试验段 ALF 试验检测

2002 年 9 月 19 日完成试验段的铺筑后, 对方案 A、B、C 三段进行了 ALF 试验, 在采用不同的横向加载方式下, 经过 9 天的试验后, 车辙的深度见表 4。ALF 试验采用轴重为 160 kN, 胎压 0.8 MPa, 路面温度控制为 50℃。

表 4 2002 年 A、B、C 三段 ALF 试验车辙结果

横向加载方式	累积加载次数/次	方案	车辙深度/mm	
均匀	6 000	A	最大	37.5
			最小	32.8
		B	最大	28.7
			最小	20.3
		C	最大	21.4
			最小	18.3
宽幅	17 700	A	最大	45.1
			最小	44.4
		B	最大	37.2
			最小	28.1
		C	最大	28.5
			最小	22.2
窄幅	23 000	A	最大	79.0
			最小	63.1
		B	最大	58.2
			最小	49.0
		C	最大	44.4
			最小	30.2

2003 年 4 月至 5 月期间的近 20 天内, 对方案 C、D、E、F 四段继续进行了 ALF 试验, 试验

的轴重、胎压和控制的温度与 2002 年的一样。此次加载基本上采用宽分布的加载方式, 2003 年各段落的车辙最大值和车辙平均值的发展趋势分别见图 1、图 2。

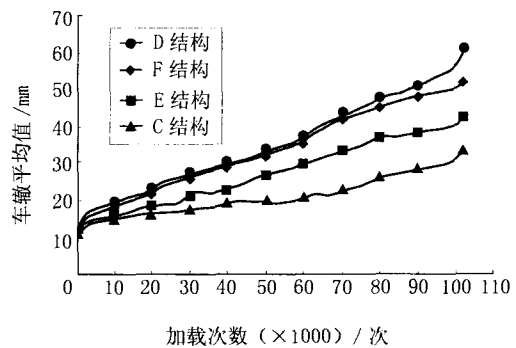


图 1 2003 年车辙平均值变化趋势

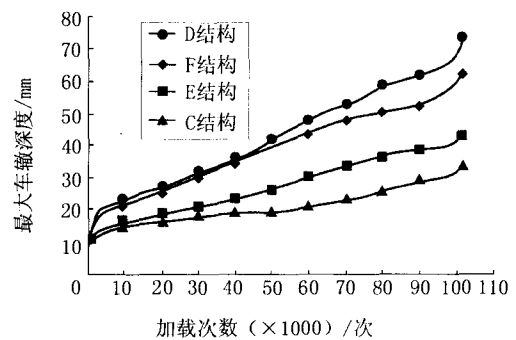


图 2 2003 年车辙最大值变化趋势

对进行了 ALF 试验的 ALF 试验段各结构层的沥青混合料进行了钻芯取样, 各层沥青混合料的芯样厚度与实际施工厚度以及设计厚度的比较见表 5。

表 5 祁临高速 ALF 试验段沥青混合料钻芯取样厚度

试验段落 (取样时间)	位 置	芯样厚度/cm				实际施工厚度/cm			
		上	中	下	总厚	上	中	下	总厚
A (2002 年)	轮迹中央	3.0	9.2		12.2	4.6	4.8	6.8	16.2
	轮迹边缘	5.0	6.0	7.5	18.5				
B (2002 年)	轮迹中央	2.5	10.5		13.0	4.6	4.2	6.8	15.6
	轮迹边缘	4.5	5.1	8.2	17.8				
C (2002 年)	轮迹中央	3.5	9.5		13.0	4.3	5.4	7.5	17.2
	轮迹边缘	4.5	11.0		15.5				
C (2003 年)	轮迹中央	3.5	3.5	7.5	14.5	4.3	5.4	7.5	17.2
	轮迹边缘	4.5	3.3	8.4	16.2				
D (2003 年)	轮迹中央	3.0	13.0		16.0	4.6	6.0	8.0	18.6
	轮迹边缘	4.4	7.6	9.0	21.0				
F (2003 年)	轮迹中央	2.6	7.4	10.0	20.0	4.6	8.0	11.6	24.2
	轮迹边缘, 最大	3.5	9.0	10.3	22.8				
	轮迹边缘, 最小	4.2	9.3	10.5	24.0				
E (2003 年)	轮迹中央	2.8	6.6	9.4	18.8	4.6	8.1	11.6	24.3
	轮迹边缘, 最大	3.6	7.5	8.9	20.0				
	轮迹边缘, 最小	4.0	7.3	9.5	20.8				

由试验结果看出:

a) 中面层采用改性沥青的方案 B 和 C 的车辙发展趋势要明显小于中面层不用改性沥青的方案 A。中面层采用改性沥青后, 可以显著提高沥青路面的抗车辙能力, 这和沥青混合料的室内试验结果是一致的。

b) 方案 C 上面层和中面层均采用 GTM 的设计方法, 车辙的发展趋势要明显小于方案 A 和 B。说明采用 GTM 的设计方案, 适当降低沥青混合料的油石比, 并且在施工时加强碾压对于提高沥青路面的抗车辙能力是有效的。

c) 方案 F 和方案 E 基层完全一样, 沥青面层的主要差别是中面层的材料, 方案 F 采用了改性沥青 SMA-20, 方案 E 采用了不改性的沥青 AC-20。按照前面的研究结论应该是方案 F 的抗车辙能力大于方案 E 的, 而 2003 年的试验结果中方案 F 的最大车辙深度大于方案 E 的, 但是再从表 5 沥青面层的钻芯厚度的变化看, 方案 F 和 E 的上面层厚度变化情况是差不多的, 而方案 F 中、下面层的压密状况是明显小于方案 E 的, 说明方案 F 的中下面层沥青混合料的抗变形能力还是大于方案 E 的, 这与方案 F 的中面层采用改性沥青

SMA-20 是分不开的, 方案 F 最大车辙深度大于方案 E 的原因是方案 F 下面的断级配的级配碎石基层的变形不均匀所导致。说明在中面层采用改性沥青 SMA 后对于提高路面方案的抗车辙能力还是有效的, 这个结果与前面的研究结论是一致的。而断级配的级配碎石基层很容易造成离析, 而且施工又是采取人工摊铺, 极有可能造成施工质量的不稳定。

d) 采用级配碎石基层时, 必须保证有一定厚度的沥青层才能起到作用, 沥青层厚度太薄会影响整体的强度, 以及抗车辙能力。

e) 此次 ALF 试验是在控制路面高温 (50℃) 的情况下进行了加载试验, 加载的量并不是很多, 所以试验段的车辙响应比较明显, 而各种结构强度方面没有体现出大的差别。

4 结束语

a) 从室内试验结果及 ALF 试验段检测结果看, 采用改性沥青是提高沥青混合料的高温稳定性的有效途径; 采用双层改性沥青混合料, 对于提高整个沥青路面结构的抗车辙能力具有重要的意义。

b) 改性沥青 SMA 可以有效提高沥青混合料

的高温稳定性,无论是用作上面层的 SMA-16 还是用作中面层的 SMA-20,改性 SMA 混合料的确具有较出众的高温稳定性,可以在一些交通情况比较恶劣、对沥青路面抗车辙能力有较高要求的工程上进行应用。

c) GTM 法和马歇尔法设计的沥青混凝土相比,GTM 法设计的沥青混凝土具有较高的抗车辙能力,但在 GTM 现场施工时,必须要加强碾压,否则路面压实度很难保证。

d) 在改性沥青混合料施工时应该注意,压路机碾压的时候离开摊铺机的距离不能太远,否则碾压会跟不上;施工中的任何时候,压路机都尽量不要停,更不能出现多台压路机同时停工的情况;气温较低的时候,压路机更要紧跟碾压,或提高混合料温度。

e) 沥青路面上面层和中面层采用改性沥青而且采用 GTM 方法设计,或改性 SMA 混合料,对于提高抗车辙能力是非常有效的。

## The Research On Heavy Traffic Anti-Rut Bituminous Pavement

Zhang Xiao Yan<sup>1</sup> Chen Jing<sup>2</sup> Kong Fan Sheng<sup>1</sup>

1 Shanxi Provincial Research Institute of Communications (Taiyuan 03006)

2 Highway Research Institute, the Ministry of Communications<sup>1</sup> (Beijing 100088)

**Abstract:** Combined with the characteristics of heavy traffic in Shanxi Province, for the rut disease of bituminous pavement, by six kinds of pavement structure combination paving ALF test sections, mix design research indoor, the result analysis of pavement seepage and ALF rut test detection, it was proposed that heavy traffic bituminous paving using double-layer modification, SMA and GTM mix design was the main technical measures of improving bituminous pavement anti-rut, also the structure combination shape of semi-rigid as bituminous pavement.

**Keywords:** Bituminous pavement; Heavy traffic; Rut; Pavement structure combination; ALF test.

### · 短讯 ·

#### 山东开建六大公路主枢纽

2005 年 9 月 22 日获悉,山东计划用 5 年时间完善全省公路运输场站布局。从今年起将重点建设济南、青岛、烟台、济宁、潍坊、临沂等六大公路主枢纽。即建成并完善已纳入国家公路运输总枢纽规划的济南、青岛、烟台 3 个主枢纽有关设施及信息系统;全面启动济宁、潍坊、临沂 3 个国家公路运输主枢纽规划及建设;德州、聊城、菏泽 3 个省级集疏运中心设施及信息系统的建设;淄博、枣庄、东营、泰安、威海、日照、莱芜、滨州等 8 个区域中心城市及全省县(市、区)的客运运输站场建设;规划建设全省农村客运站点,乡镇及规模较大的行政村建设等级客运站,一般行政村建设简易站或招呼站。全省农村等级客运站达到 2 000 个以上。

(中石化沥青情报站供稿)

#### 辽宁高速公路安上“电子眼”

为全面提升道路交通安全整体管控水平,进一步强化道路交通安全科技化管理,2005 年 9 月底,辽宁省高速公路电子监控系统将全面开通使用。

辽宁省高速公路电子监控系统共设置固定“电子警察”79 处,封闭 63 个高速公路出口,建立一个省级数据中心和 8 个地区分数据中心,并结合了省高速公路管理局监控中心的枷余处闭路电视监控点。这一系统在 2005 年 9 月底全面开通后,高速公路交通安全管理进入了一个依托于现代计算机网络通讯、图像识别、雷达测速和卫星定位等高新技术,对超速等违法车辆实施动态抓拍、识别,在各收费站出口处实施现场处罚(或后期非现场处罚)的集管、控、防、治于一体的封闭式、科技化管理的新阶段。

(中石化沥青情报站供稿)