

文章编号: 0451-0712(2006)11-0174-05

中图分类号: U416.217

文献标识码: B

沥青混凝土路面材料设计对路面使用性能的影响

孙荣山

(北京市路政局 北京市 100053)

摘 要: 国道 110 线八达岭过境段公路, 是 20 世纪 80 年代初北京市修建的山区二级公路, 它承担着北京市与西北各省货物及人员运输的重任。近年来, 随着晋煤外运车辆经由该路进入华北地区, 交通量已达到超饱和状态。在超载、重载运煤车辆作用下, 路面出现了不同程度的损坏。通过在 2003 年完成的 110 国道(八达岭过境段)大修工程, 分析了沥青混凝土路面的材料设计对路面使用性能的影响, 并提出沥青混凝土路面各层进行材料设计时采用的方法。

关键词: 沥青混凝土材料; 设计; 路面; 使用性能

随着交通量的日益增长, 货运车辆向大型化发展, 重载、超载车的比例不断增加, 交通对路面的要求越来越高, 如何提高沥青混凝土路面的使用性能已经成为广大道路工作者的重要研究课题。

概括地讲, 沥青混凝土路面的使用性能主要是指:

- (1) 高温抗车辙性能, 即抵抗高温流动变形的能力;
- (2) 低温抗裂性能, 即抵抗低温收缩裂缝的能力;
- (3) 水稳定性, 即抵抗沥青混合料受水的侵蚀逐渐产生沥青膜剥离, 避免沥青混凝土路面产生掉粒、松散、坑槽而破坏的能力;

(4) 耐疲劳性能, 即抵抗路面沥青混合料在反复荷载的作用下破坏的能力;

(5) 抗老化性能, 即抵抗沥青混合料受气候影响发脆逐渐丧失粘结力等, 所具备的各种良好性能;

(6) 表面服务功能, 包括低噪音及潮湿情况下的抗滑性能等;

(7) 行车舒适性能, 主要是克服平整度不良产生的行车颠簸。

沥青混凝土路面的性能, 主要是由沥青混凝土面层各结构分层的功能决定的。三层沥青混凝土面层的功能是: 上面层主要抵抗高温车辙、低温缩裂, 以及抗老化及抗滑; 中面层主要是高温抗车辙; 下面层以抗车辙、抗疲劳为主。另外, 三层结构均要有良好的抗水损坏的能力。可见, 在各结构层性能中, 除

平整度与沥青混合料本身关系较小外, 其他都是由沥青混合料自身的性能决定的。为此, 在选择沥青混凝土路面各层所用的沥青混合料时, 除了考虑当地的材料供应情况外, 更应该以各结构层所承担的主要功能来确定合适的沥青混合料组成结构, 并进行沥青混合料材料设计。

下面结合 110 国道(八达岭过境段)大修工程, 简单分析沥青混凝土路面的材料设计对路面使用性能的影响。

1 110 国道(八达岭过境段)大修工程

国道 110 线起点为北京市, 终点为银川市, 又称京银路。此道路在北京市境内又称为京张公路, 是 20 世纪 80 年代初兴建的山区二级公路, 至今已使用 20 多年, 它承担着北京市与西北各省货物及人员运输的重任。近年来, 随着晋煤外运车辆经由该路进入华北地区, 110 国道交通量已达到饱和状态。加上车辆的超载情况比较严重, 使得其路面和桥梁等道路设施所承受的负担日益加重, 并且在超载、重载运煤车辆的作用下, 路面出现了不同程度的损坏。

于 2003 年进行施工的 110 国道(八达岭过境段)大修工程, 起点为昌平德胜口, 终点为延庆莲花滩, 全长 26.5 km。该路段沥青混凝土路面出现的主要病害为坑槽、松散、车辙、脱皮、龟裂、网裂和平整度

较差等,几乎汇集了沥青混凝土路面所有的损坏类型,为此在选择沥青混合料类型和进行沥青混凝土路面材料设计时,应考虑以下几个方面。

(1)110 国道的重车及超载车辆比较多,进出京车辆 95% 以上全部是重载。载货和自重合计质量超过 100 t 的车辆数不胜数,占交通总量的 25% 以上,其中最大单轴重已经达到 46 t。在这种情况下,沥青混合料必须具备高温抗车辙的能力。

(2)110 国道属山区道路,弯道较多,坡度较大,而且连续下坡路段较长,超载、重载车辆在下坡路段连续刹车,容易造成刹车片温度过高而酿成交通事故。为避免这种情况,司机普遍在车箱上自制冷却水箱,冷却水通过水管洒在刹车片上达到降温的目的。这部分水又直接落到行车道上,造成路面长期处于饱水状态。所以,沥青混合料应具有抗水损坏性能。

(3)110 国道跨越北京市昌平和延庆两个区县,尤其是延庆地区,四季分明,早晚温差变化较大,路面材料应具有温度稳定性。

(4)考虑到经费、工期要求等一系列因素,大修工程的部分路段只能进行沥青混凝土罩面,路面基层不做处理。

根据以上特点,110 国道大修工程的沥青混凝土路面结构及沥青混合料配合比的设计,必须首先重点考虑沥青混合料的高温抗车辙性能、抗水损坏性能和耐久性,同时兼顾沥青混合料的低温抗裂性。另外,为了防止水分下渗到路面结构中,造成沥青混凝土路面的水损坏,沥青混凝土路面必须采用 I 型密级配沥青混凝土,各层混合料的空隙率必须严格控制,以 3%~5% 为宜。

根据这些原则,综合考虑 110 国道大修工程的具体特点,沥青混凝土面层设计方案为三层结构。上面层为高温抗车辙性能和低温抗开裂性能良好、抗滑性好及密水性相对良好的沥青玛蹄脂碎石混合料 SMA-13。中面层为 I 型密级配沥青混凝土 AC-20。下面层为 I 型密级配沥青混凝土 AC-25。在确定上中下面层的厚度时,充分考虑了沥青混凝土面层的厚度与所用的沥青混合料集料最大粒径的关系。上面层的设计厚度为 4 cm,中面层的设计厚度为 6 cm,下面层的设计厚度为 8 cm。

1.1 材料设计与试验

1.1.1 材料的选择

在沥青混合料及沥青结合料的选择上,考虑到 110 国道上的重载及超载车比较多,以及该路段所

处地区的气候特点,为了满足沥青混凝土路面的使用性能的要求,在上面层采用了沥青玛蹄脂碎石混合料和改性沥青,在中面层采用了密级配沥青混凝土和改性沥青。

为此在材料设计中,上、中面层沥青结合料均采用的是成品 SBS 改性沥青。其中上面层采用的改性沥青的性能指标,不仅满足我国沥青混凝土路面施工技术规范的要求,还要满足美国 SHRP 性能分级中 PG 76-28 的标准。中面层采用的改性沥青的性能指标,不仅满足我国改性沥青混凝土路面施工技术规范的要求,还要满足美国 SHRP 性能分级中 PG 70-28 的标准。

上面层沥青混合料采用的改性沥青各项技术指标见表 1、表 2,中面层沥青混合料采用的改性沥青各项技术指标见表 3、表 4。

表 1 上面层用改性沥青性能检测结果

项目	试验结果	技术要求(I-D)	试验方法
针入度(100 g,5 s,25℃) 0.1 mm	50.4	>40	JTJ T0604
针入度指数 PI	0.22	>0.2	
延度(5 cm/min,5℃)/cm	27.8	>20	JTJ T0605
软化点 T _{R&B} /℃	80.5	>60	JTJ T0606
运动粘度(135℃)/Pa·s	1.43	<3.0	JTJ T0625
闪点/℃	275	>230	JTJ T0611
离析(软化点差)/℃	0.9	<2.5	JTJ T0661
密度(15℃)/(g/cm ³)	1.022	实测记录	JTJ T0603
弹性恢复(25℃)/%	94.3	>70	JTJ T0662
旋转薄膜烘箱试验 (163℃, 85 min)	质量损失/%	<1.0	JTJ T0610
	针入度比/%	>65	JTJ T0604
	延度(5℃)/cm	>15	JTJ T0605

1.1.2 集料的选择

在中面层 AC-20 I 型沥青混合料设计过程中粗集料采用了石灰岩,而在表面层 SMA-13 混合料设计中采用了玄武岩;细集料采用的是石灰岩石屑;矿粉采用的是干燥、松散而且无杂质的石灰岩粉。

1.1.3 沥青混合料级配的确定

传统的 I 型沥青混合料是一种密实型连续级配的沥青混凝土,通常其级配曲线比较靠近最大密度线,且级配曲线已通过限制区,导致砂的用量过多。这种混合料空隙率一般较小,抗渗水性能较好,使其具有一定的抗水害能力。但由于其表面不够粗糙,耐磨抗滑性能有明显不足。又因其砂的用量过多及过

表 2 上面层用改性沥青分析测试结果

样品：改性沥青	PG 等级	PG76—28	标准要求
原样沥青			
粘度CP(135 C)		1 556	<3 000
闪点/ C		>230	>230
G* /sinδ/kPa	82 C	1. 21	≥1. 00
	88 C	0. 83	
RTFOT 残余物			
质量损失/ %		0. 311	≤1. 0
G* /sinδ/kPa	82 C	1. 39	≥2. 20
	76 C	2. 30	
PAV 残余物			
G* /sinδ/kPa	19 C	3 702	≤5 000
	16 C	5 375	
蠕变劲度/MPa	—18 C	279	≤300. 0
	—24 C	569	
m 值	—18 C	0. 306	≥0. 300
	—24 C	0. 249	

表 3 中面层用改性沥青性能检测结果

项目	试验结果	技术要求(Ⅰ-C)	试验方法
针入度(100 g, 5 s, 25℃) 0. 1 mm	79. 1	>60	JTJ T0604
针入度指数PI	0. 19	>—0. 2	
延度(5 cm/min, 5℃)/cm	31. 8	>30	JTJ T0605
软化点TR&B/℃	74. 2	>55	JTJ T0606
运动粘度(135℃)/Pa·s	1. 43	<3. 0	JTJ T0625
闪点/℃	270	>230	JTJ T0611
离析(软化点差)/℃	0. 2	<2. 5	JTJ T0661
密度(15℃)/(g/cm ³)	1. 031	实测记录	JTJ T0603
弹性恢复(25℃)/%	90. 5	>65	JTJ T0662
旋转薄膜烘箱试验 (163℃, 85 min)	质量损失/%	0. 73	JTJ T0610
	针入度比/%	62. 9	JTJ T0604
	延度(5℃)/cm	25	JTJ T0605

于密实,在受到重交通荷载作用后,混合料没有足够的移动空间,混合料的高温稳定性变差,易于发生车辙变形。考虑到110国道的特点,中面层的主要作用应是在重载车辆的作用下与表面层一起共同来抵抗车辙,为此,在吸收国内外现有先进沥青混凝土路面技术的基础上,对沥青混凝土路面中面层 AC-20Ⅰ型混合料的级配进行了调整。调整后的级配曲线尽量通过 Superpave 中规定的控制点,并绕过它的限制区。这种级配可以提高粗集料的嵌挤作用,同时又

表 4 中面层用改性沥青分析测试结果

样品：改性沥青	PG 等级	PG70—28	标准要求
原样沥青			
粘度 $CP(135\text{ }^{\circ}\text{C})$		1 506	$<3\ 000$
闪点/ $^{\circ}\text{C}$		>230	>230
$G^{*}/\sin\delta/\text{kPa}$	76 $^{\circ}\text{C}$	1. 35	≥ 1.00
	82 $^{\circ}\text{C}$	0. 86	
RTFOT 残余物			
质量损失/ $\%$		0. 262	≤ 1.0
$G^{*}/\sin\delta/\text{kPa}$	70 $^{\circ}\text{C}$	2. 88	≥ 2.20
	76 $^{\circ}\text{C}$	1. 71	
PAV 残余物			
$G^{*}/\sin\delta/\text{kPa}$	13 $^{\circ}\text{C}$	5 867	$\leq 5\ 000$
	16 $^{\circ}\text{C}$	4 118	
蠕变劲度/ MPa	-18 $^{\circ}\text{C}$	306	≤ 300.0
	-12 $^{\circ}\text{C}$	129	
m 值	-18 $^{\circ}\text{C}$	0. 320	≥ 0.300
	-12 $^{\circ}\text{C}$	0. 399	
破坏应变 (1.0 mm/min)/ $\%$	-18 $^{\circ}\text{C}$	1. 25	>1.0

具有较小的空隙率,达到提高混合料路用性能的目的。按照这一原则,拟订了一种较为合理的级配形式,即AC-20Ⅰ(调)。级配经调整后的沥青混凝土已在北京市多条公路和城市道路的沥青混凝土路面中进行了应用,2001年在八达岭高速公路(三期)延庆联络线表面层上应用了级配调整后的沥青混合料,2002年在北京市二环路沥青混凝土路面改造中也使用了级配调整后的沥青混合料,均取得了良好的效果。AC-20Ⅰ(调)型级配范围见表5及图1。

表面层SMA-13混合料的级配范围,则严格遵循《沥青玛蹄脂碎石混合料路面设计指南》中的规定。

选定了沥青结合料和矿料的级配范围后,通过试配法拟定混合料的矿料配合比,并通过马歇尔试验判断矿料级配的合理性,同时确定混合料的最佳油石比和矿料配合比。中面层 AC-20Ⅰ(调)沥青混合料和表面层 SMA-13 混合料的配合比设计结果,见表6和表7。

1. 2 沥青混合料的性能

为了检验中面层和上面层沥青混合料的路用性能,对采用 SBS 改性沥青并经过矿料级配调整后的 AC-20 混合料和采用改性沥青的 SMA-13 混合料的性能进行了评价,评价的内容主要是沥青混合料的

表 5 AC-20 I (调)混合料级配范围

%

筛孔尺寸/mm	26.5	19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
AC-20 I 上限	100	100	90.0	80.0	72.0	58.0	46.0	34.0	27.0	20.0	14.0	8.0
AC-20 I 下限	100	95.0	75.0	62.0	52.0	38.0	28.0	20.0	15.0	10.0	6.0	4.0
Sup 控制点上限		100		100			58.0					2.0
Sup 控制点下限				90.0			28.0					10.0
集料禁区上限							39.1	31.6	23.1	15.5		
集料禁区下限							39.1	25.6	19.1	15.5		
AC-20 I (调)上限	100	100	92.0	80.0	70.0	48.0	33.0	23.0	18.0	13.0	10.0	8.0
AC-20 I (调)下限	100	95.0	76.0	64.0	54.0	34.0	21.0	13.0	8.0	6.0	5.0	3.0

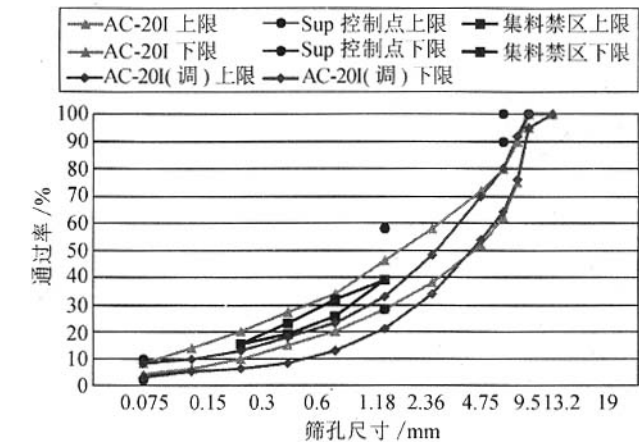


图 1 AC-20 I (调)混合料级配曲线

表 6 中面层 AC-20 I (调)沥青混合料配合比设计结果

矿料规格	10~25 mm	10~20 mm	5~10 mm	石屑	矿粉	油石比
配合比/%	35	14	15	33	3	4.6

表 7 表面层 SMA-13 沥青混合料配合比设计结果

矿料规格	10~15 mm	5~10 mm	机制砂	矿粉	纤维	油石比
配合比/%	66	12	12	10	0.3	6.0

高温稳定性和水稳定性。

根据规范的要求,我们采用车辙试验得出的动稳定度来评价改性沥青混合料的高温稳定性,采用浸水马歇尔试验的残留稳定度比和冻融试验的劈裂强度比两个指标来评价改性沥青混合料的水稳定性,试验结果见表 8。

由表 8 可见,所设计的沥青混合料高温抗车辙性能得到了明显的提高,水稳定性能也得到了改善。

2 沥青混合料生产过程中的质量检验

为了评价生产过程中沥青混合料的质量,严格

表 8 沥青混合料高温稳定性和水稳定性试验结果

指标	AC-20 I (调)	SMA-13
动稳定度(60 C)/(次/mm)	4 105	7 820
残留稳定度比/%	92.6	94.5
劈裂强度比/%	88.5	90.1

按照规范要求的试验项目和频率,在沥青混凝土路面的施工过程中,分别对上面层 SMA-13 混合料和中面层 AC-20 I (调)混合料的改性沥青性能、沥青含量及矿料级配组成进行了检验。质量检验的具体做法为:在混合料的拌和地点,分别取一定数量的改性沥青及沥青混合料,取样要均匀,且具有代表性;对改性沥青检测其性能指标,对沥青混合料进行抽提筛分试验及马歇尔试验。成品改性沥青的检验结果见表 9、表 10,矿料级配及沥青用量的检验结果见表 11、表 12,沥青混合料的性能指标检验结果见表 13、表 14。

表 9 成品改性沥青性能检测结果(混合料生产厂 1)

项目	试验结果			技术要求 (I-C)	技术要求 (I-D)
	PG76-28 (自检)	PG70-28 (自检)	PG70-28 (见证)		
针入度(25 C) 0.1 mm	76.0	89.0	71.0	不小于 60	不小于 40
延度(5 C)/cm	34.0	52.9	46.0	不小于 30	不小于 20
软化点 T _{RE&B} /C	80.0	73.0	64.0	不小于 55	不小于 50

由沥青厂提供的检测结果看,两种成品改性沥青的各项技术指标均满足规范的要求,并且各项技术指标的变异性不大,产品的性能良好、质量稳定。

由表 11 和表 12 可以看出,上、中面层沥青混合料的油石比和筛分结果都在规范要求的范围之内,说明沥青厂生产的混合料质量良好,性能也比较稳定。

表 10 成品改性沥青性能检测结果(混合料生产厂 2)

项目		试验结果		技术要求 (I -C)	技术要求 (I -D)
		PG76—28 (自检)	PG70—28 (自检)		
针入度(25℃) 0.1 mm	平均值	59.9	68.4	不小于 60	不小于 40
	均方差	3.13	3.10		
	变异系数	0.05	0.05		
延度(5℃) cm	平均值	44.1	55.7	不小于 30	不小于 20
	均方差	2.02	2.74		
	变异系数	0.05	0.05		
软化点 $T_{R\&B}$ ℃	平均值	83.2	72.4	不小于 55	不小于 50
	均方差	0.94	1.28		
	变异系数	0.01	0.02		
样本数 n		16	28		

由表 13 和表 14 可见:沥青混合料体积指标、稳定度和流值能够满足规范要求,动稳定度不仅满足规范的要求,而且超过规范的要求 1 倍以上;沥青混合料的空隙率均控制在 4% 左右,说明所设计的沥青混合料的高温稳定性有明显的提高;水稳定性良好。

3 结语

110 国道大修工程于 2003 年完工,经过长期运营后观察,沥青混凝土路面平整、密实,没有出现因为沥青混合料的质量问题而发生的早期破坏,路面使用状况良好。

表 11 中面层矿料级配及沥青用量的检验结果

筛孔尺寸/mm		19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	油石比
生产厂 1		97.6	85.3	76.2	66.5	42.1	24.5	17.4	15.3	10.8	7.9	5.1	4.6
生产厂 2	样本数	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	平均值	97.3	83.9	72.6	61.0	39.7	26.4	16.6	12.5	9.2	7.6	5.1	4.6
	均方差	0.59	1.96	2.11	1.70	1.63	1.24	1.12	1.14	0.61	0.38	0.31	0.07
	变异系数	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.07	0.05	0.06	0.01
规定的级配范围		95~100	76~92	64~80	54~70	34~48	21~33	13~23	8~18	6~13	5~10	3~8	5.6~6.2

表 12 上面层矿料级配及沥青用量的检验结果

筛孔尺寸/mm		16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	油石比
生产厂 2	样本数	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
	平均值	100	95.5	63.7	26.1	20.2	17.8	15.7	13.3	11.6	10.0	6.0
	均方差	0	0.72	2.11	0.40	0.86	0.83	0.68	0.59	0.53	0.40	0.08
	变异系数	0	0.01	0.03	0.02	0.04	0.05	0.04	0.04	0.05	0.04	0.01
规定的级配范围		90~100	65~85	45~65	20~32	15~24	14~22	12~18	10~15	9~14	8~12	5.6~6.2

表 13 中面层沥青混合料性能试验结果汇总

项目		密度 g/cm ³	空隙率 %	饱和度 %	稳定度 kN	流值 mm	动稳定度 次/mm
生产厂 1		2.463	4.3	71.3	10.0	3.47	
生产厂 2	样本数	15	15	15	15	15	5
	平均值	2.455	4.1	72.3	11.8	3.0	5 648
	均方差	0.001	0.11	0.72	0.87	2.13	286.22
	变异系数	0.001	0.03	0.01	0.07	0.07	0.05
标准			3~6	70~85	>7.5	20~40	>3 000

表 14 上面层沥青混合料性能试验结果汇总

项目		密度 g/cm ³	空隙率 %	饱和度 %	稳定度 kN	流值 mm	动稳定度 次/mm
生产厂 1		2.465	3.4	80.8	7.1	3.53	
生产厂 2	样本数	21	21	21	21	21	5
	平均值	2.453	3.4	80.5	17.4	6.7	7 872
	均方差	0.002	0.13	0.74	0.11	0.26	233.89
	变异系数	0.001	0.04	0.01	0.01	0.04	0.03
标准			3~4	70~85	>6.0	20~50	>3 000