

文章编号: 0451-0712(2003)12-0059-03

中图分类号: 416. 217

文献标识码: B

# 沥青混凝土抗滑面层组成结构的研究

陆锡铭<sup>1</sup>, 汪会帮<sup>1</sup>, 吕伟民<sup>2</sup>, 韩海峰<sup>2</sup>

(1. 金丽温高速公路建设指挥部 永康 312300; 2. 同济大学交通运输学院 上海市 200092)

**摘 要:** AK-13 开级配面层虽然抗滑性好, 但渗水, 而 AC-13I 型级配虽然密水性好, 但抗滑性差。通过调整的 FC-13 级配, 介于两者之间, 可以兼顾抗滑和密水的要求, 室内试验和实际应用证明其性能良好。

**关键词:** 沥青混凝土路面; 抗滑; 密水; 级配

20 世纪 90 年代我国大规模修建高速公路, 沥青混凝土上面层大都采用 AK 类开级配抗滑磨耗层。但路面出现的早期病害引起了广泛关注, 其原因主要是沥青混凝土路面渗水所致, 而开级配的抗滑面层则是路面渗水的第一道门户<sup>[1]</sup>。为防止路面水损害, 现在甚至不敢采用 AK 类抗滑磨耗层, 而仍采用 AC-13I 或 AC-16I 密级配。显然, 只考虑防止渗水而回避高速公路抗滑要求是有失偏颇的, 这样的设计隐含了不安全因素。如果能使沥青混凝土面层兼顾密水与抗滑的要求, 这将是一条既经济、又实用的技术途径。路面的密实程度和抗滑性主要与集料级配有关, 本文就级配进行讨论。

## 1 建立抗滑、密实级配曲线的基本途径

### 1.1 从密实防渗角度考虑集料级配

为了防止路面渗水, 采用密实型级配是有效的办法。国外很多学者研究了密实结构的集料级配, 并写成如下数学表达式:

$$p = (d/D)^n \tag{1}$$

式中:  $p$  为通过百分率, %;  $D$  为最大粒径, mm;  $d$  为某粒级的粒径, mm;  $n$  为级配指数。

早年富勒研究认为,  $n=0.5$  时混合料能获得最大的密度。后来学者泰波通过理论分析和实验认为, 当  $n=0.25\sim0.35$  时, 集料可以获得最大密度。美国联邦公路管理局采用  $n=0.45$ , 并为 Superpave 混合料设计规范所采纳。本研究认同 SHRP 研究成果, 即  $n=0.45$  为集料的最大密度级配线, 也即认为在这种情况下, 混合料的空隙率最小、最为密实。作

为上面层级配公称最大粒径一般采用 13.2 mm 或 16 mm。本研究就最大公称粒径为 13.2 mm 的级配进行讨论。

在规范中 AC-13 级配 I 型是密实型级配, AK-13B 是开级配。由于在工程中通常将级配控制在中值线上, 作为比较, 我们将 AC-13I 级配和 AK-13B 级配的中值线列于表 1 中, 并与按公式 0.45 次方的计算值(最大密实线)相比较。

表 1 级配中值线的比较

筛孔尺寸/mm	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
$p = (d/D)^n / \%$	100	92	79	58	42	31	23	17	12	9
AC-13I / %	100	97.5	79	58	44.5	32.5	24	17	12	6
AK-13B / %	100	92.5	60	29	20	15	10	7.5	6	4

对比表 1 中 3 条级配线可以看出, AC-13I 级配线与  $p = (d/D)^n$  级配线(最大密实线)几乎完全吻合, 这表明 AC-13I 沥青混合料具有非常密实的结构, 而 AK-13B 级配远离最大密实级配线, 因而空隙率大。所以为防止渗水, 混合料级配线应向最大密实线靠拢。

### 1.2 从提高抗滑性角度考虑集料级配

集料级配对沥青混凝土路面能否形成良好的宏观构造有密切关系。所谓宏观构造, 是指碎石颗粒之间形成的凹凸, 它影响路面的排水能力和高速行车的抗滑性。为提高沥青混合料的宏观构造, 宜适当增加粗颗粒含量, 级配线应向下移动, 也即向偏离最大密实线方向移动。

### 1.3 从提高抗车辙性能考虑集料级配

当沥青混合料中的粗集料相互靠拢而形成骨架结构时,则可明显提高支撑车辆荷载的能力,从而减少或减轻车辙的产生。为了使混合料粗集料含量增加,则也应将级配曲线向偏离最大密实线的方向移动。

2 抗滑沥青混凝土面层级配的调整

如上所述,能够兼顾抗滑和密水两方面要求,其级配线应该在 AC-13I 与 AK-13B 两级配线之间。实际观察发现,细糙面与轮胎接触的点多,摩阻系数大,而大颗粒虽然看起来路面粗糙,但接触点少反而摩阻系数低。因此调整时采取将大颗粒部分的级配线靠近 AC-13I,而将 2.36~9.5 mm 部分的级配线向下移。现将 AC-13I、AK-13B 级配,以及调整后的级配 FC-13 的中值都列在一张表上(表 2),同时绘在图上(图 1)进行观察比较。

表 2 调整级配 FC-13 中值的对比

筛孔尺寸/mm	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
AC-13I/%	100	97.5	79	58	44.5	32.5	24	17	12	6
FC-13/%	100	97.5	77	50	33	22	17	13.5	10.5	6
AK-13B/%	100	92.5	60	29	20	15	10	7.5	6	4

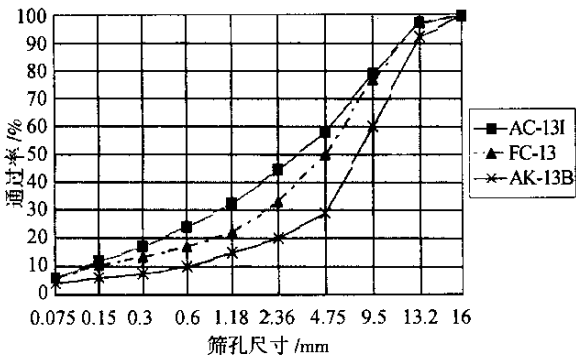


图 1 3 种级配中值线比较

级配 FC-13 的范围如表 3,与规范级配范围相比较,级配 FC-13 的范围比较窄,目的是为减少工程应用时级配的波动性。

表 3 FC-13 级配范围

筛孔尺寸/mm	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
FC-13/%	100	95~100	68~86	42~58	26~40	16~28	12~22	9~18	7~14	4~8

3 调整级配 FC-13 的结构分析

为了对所调整的级配进行进一步的结构分析,按照级配线的中值配制沥青混合料,用旋转压实仪压实成型成直径为 150 mm 的试件。然后将试件锯开,观察碎石颗粒的分布(图 2)。



图 2 不同沥青混合料剖面

为定量地分析颗粒组成,采用图形数字分析技术,计算不同粒径碎石在沥青混合料剖面图形上所占据的面积,籍以分析颗粒构架的作用<sup>[2]</sup>。其方法是用数码相机拍摄试件,分别计算每个颗粒所占据的面积,然后计算各档粒径面积所占的比例,见表 4。为便于比较,表 4 同时列出另外两种级配混合料图形数字分析结果。

由图 1 剖面图可直观地看出,AC-13I 粗颗粒呈悬浮结构,AK-13B 则基本上都为粗颗粒,虽形

表 4 沥青混合料的图形数字分析

级配类型	混合料中各档粒径面积所占比例				
	13.2 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	<2.36 mm
FC-13	67.24% (67.24%)	8.29% (75.53%)	10.14% (85.67%)	11.36% (97.03%)	2.97% (100%)
AC-13I	12.35% (12.35%)	6.31% (18.66%)	11.62% (30.28%)	61.64% (91.92%)	8.08% (100%)
AK-13B	86.59% (86.59%)	8.10% (94.69%)	3.63% (98.32%)	1.48% (99.80%)	0.20% (100%)

注:括弧内数字为累计面积百分率。

成了骨架,因细粒少空隙很大。FC—13 特大的粗颗粒不多,粗颗粒分布相对比较均匀,且成致密结构,又在一定程度上形成了骨架。

分析上面 3 种不同级配粗集料所占的面积,则由表 4 可见,FC—13 级配 4.75 mm 以上颗粒所占面积达到 85.67%;而 AC—13I 级配 4.75 mm 以上颗粒的占面积仅为 30.28%,显然细料太多,表面虽致密但必成光面;而 AK—13B 级配 4.75 mm 以上颗粒所占面积则高达 98.32%,虽形成骨架,但细料太少,空隙太大,必然渗水。

#### 4 FC—13 级配混合料的物理力学性能

为了检验级配线在 FC—13 级配范围内波动对沥青混合料性能的影响,采取将该级配的上限、中线、下限分别拌制沥青混合料,测试其性能。试验所用材料情况如下:

沥青为韩国 SK—70,其主要技术指标针入度为 69(0.1 mm),软化点为 46℃,15℃延度为大于 200 cm,密度为 1.018 g/cm<sup>3</sup>;粗集料为砂岩,表观密度 2.69 t/m<sup>3</sup>;细集料为石灰石石屑,表观密度 2.71 t/m<sup>3</sup>;矿粉为石灰石粉,密度 2.71 t/m<sup>3</sup>。混合料沥青用量为 5%。

##### 4.1 混合料体积性质

用马歇尔击实仪分别正反两面锤击 75 次,成型成试件,测试其体积参数列表 5。

表 5 沥青面层混合料体积性质				
FC—13 级配	实测最大密度/(t/m <sup>3</sup> )	空隙率/%	饱和度/%	矿料间隙率/%
级配上限	2.502	2.6	81.6	14.0
级配中线	2.549	3.2	78.3	15.0
级配下限	2.528	5.0	69.4	16.2

由表 5 可见,FC—13 级配整个范围,其空隙率都可以控制在 3%~5%的范围内,成为密实结构,能有效地防止水渗透。

##### 4.2 高温稳定性

虽然马歇尔稳定度并不能完全说明混合料的高温稳定性,但在某种程度上反映了材料的性能。为了表征混合料的抗车辙性能,又分别成型车辙板,并在 60℃、0.7 MPa 的条件下测试其动稳定度,试验结果如表 6。

试验表明,FC—13 级配沥青混合料,其马歇尔稳定度达到了序贯数据混合料稳定度要求。动稳定度满足规范规定的高速公路动稳定度大于 800 次/mm 的要求。

表 6 混合料马歇尔稳定度与动稳定度			
FC—13 级配	稳定度/kN	流值/(0.1 mm)	动稳定度/(次/mm)
级配上限	10.7	34.8	850
级配中线	11.2	34.0	1 100
级配下限	7.9	40.0	1 200

##### 4.3 水稳性

成型马歇尔试件,分别进行冻融前后的劈裂强度试验。冻融劈裂试验的试件按试验规程进行处理。试验结果表明,根据 FC—13 级配所配制成型的试件,除上限级配 TSR 有所降低外,其中值线和下限级配均符合规范要求。

表 7 冻融劈裂强度比试验			
FC—13 级配	冻融后劈裂强度 MPa	冻融前劈裂强度 MPa	冻融劈裂强度比 %
级配上限	0.608	0.903	67.3
级配中线	1.050	1.076	97.6
级配下限	1.089	1.272	85.6

##### 4.4 抗滑性

根据沥青混凝土路面设计规范要求,高速公路沥青混凝土路面的摩阻系数(摆值)应不小于 45,构造深度不小于 0.55。按照该级配上、下限所配制的沥青混合料,成型成 30 cm 见方的试块,测试其构造深度和摩阻系数,其结果列表 8。

表 8 FC—13 级配混合料摩阻系数与构造深度		
FC—13 级配	摩阻系数 Fb	构造深度 TD/mm
级配上限	54.0	0.53
级配中线	63.0	0.68
级配下限	65.0	0.85

表 8 的试验数据表明,采用 FC—13 级配所拌制的沥青混合料,其构造深度和摩阻系数都能满足规范要求,唯上限级配略偏低,这是合理的。

实际施工不容许整个级配线都落在边缘上,而必须尽可能在中线附近,因此按照 FC—13 级配所拌制的抗滑沥青混合料,不仅可以成为密实结构以防止渗水,而且在结构上能形成一定程度的骨架,因而其高温稳定性、水稳性、抗滑性等都能满足要求,成为一种比较好的密水、抗滑面层级配。

#### 5 结语

经过调整的级配 FC—13,可以同时满足密水、抗滑的要求。2002 年该级配在浙江金丽温高速公路

文章编号: 0451—0712(2003)12—0062—03

中图分类号: U416. 217

文献标识码: A

# 具有柔性过渡层的沥青混凝土路面半刚性基层顶部温度状况的理论模拟

胡 珊<sup>1</sup>, 任瑞波<sup>2</sup>, 栾 海<sup>1</sup>, 王哲人<sup>2</sup>

(1. 吉林省公路勘测设计院 长春市 130021; 2. 哈尔滨工业大学交通科学与工程学院 哈尔滨市 150090)

**摘 要:** 半刚性基层沥青混凝土路面反射裂缝产生的原因之一是半刚性基层温度变化引起的,半刚性基层和沥青混凝土面层之间加入柔性过渡层可有效地防止沥青混凝土路面出现反射裂缝。根据传热学原理,采用有限单元法对吉林省通化试验路3种路面结构半刚性基层顶部温度状况进行了对比分析,结果表明无论夏季或冬季,柔性过渡层都能有效地改善沥青混凝土路面半刚性基层的温度状况,从而减少或消除沥青混凝土路面出现反射裂缝。

**关键词:** 沥青混凝土路面; 半刚性基层; 柔性过渡层; 反射裂缝; 热传导; 温度场; 有限单元法

采用柔性过渡层能有效地消除或减少半刚性基层沥青混凝土路面出现反射裂缝,原因之一是柔性过渡层改善了半刚性基层的温度状况<sup>[1]</sup>。本文采用路面结构二维温度场有限元分析方法<sup>[2]</sup>,对交通部优秀青年专业技术人才专项经费资助项目吉林省通化试验路的3种路面结构半刚性基层顶部冬季和夏季温度状况进行了对比分析,3种路面结构如图1、图2和图3所示。其中,路面结构1采用大粒径沥青碎石和级配碎石作为柔性过渡层,路面结构2只采用级配碎石作为柔性过渡层,路面结构3为常规不设柔性过渡层的半刚性基层沥青混凝土路面结构。

上面层 SMA16	4 cm
下面层 AC25- I	6 cm
AM-30	10 cm
级配碎石	15 cm
二灰土	30 cm
砂砾	15 cm
土基	

图1 通化试验路路面结构1

上面层 SMA16	4 cm
下面层 AC25- I	6 cm
级配碎石	20 cm
二灰碎石	25 cm
砂砾	25 cm
土基	

图2 通化试验路路面结构2

上面层 SMA16	4 cm
下面层 AC25- I	6 cm
二灰碎石	25 cm
二灰土	15 cm
砂砾	30 cm
土基	

图3 通化试验路路面结构3

## 1 温度场计算理论

### 1.1 热传导方程<sup>[3,4]</sup>

假设 $N$ 层路面结构如图4所示,各层的导热系数、导温系数和密度不随温度的变化而变化,则路面结构的二维瞬态温度场热传导方程如下:

收稿日期:2003—09—09

应用,收到良好的效果,因而其他高速公路面层养护维修也采用FC—13级配。

## 参考文献:

[1] 沙庆林. 弯拉板桥沥青混凝土的重大影响[J]. 国外公

路,2001,21(1).

[2] 张婧娜. 基于数字图象处理技术的沥青混合料微观结构分析方法研究[D]. 上海:同济大学道路与交通工程系博士学位论文,1999.