

中国与法国沥青混合料设计方法中最佳沥青用量的确定及比较

邢宝东,程毅,樊超
(山东建筑大学,山东 济南 250101)

摘要: 采用三种级配和两种基质沥青,分别采用马歇尔设计方法和法国高模量沥青混合料设计方法确定最佳沥青用量,并对这两种设计方法确定的最佳沥青用量进行对比分析,以确定这两种设计方法最佳沥青用量的相关性。

关键词: 马歇尔设计方法; 法国高模量沥青混合料设计方法; 最佳沥青用量

中图分类号: U414

文献标识码: A

Determination and compare of optimum asphalt content for China and French mixture design method

XING Bao - dong ,CHENG Yi ,FAN Chao
(Shandong Jianzhu University ,Shandong Jinan 250101 China)

Abstract: This paper adopts three kinds of gradation and two kinds of matrix asphalt respectively to determine the optimum asphalt content by Marshall design method and the French high modulus asphalt mixture design method ,

which is compared and analyzed to determine the relationship between two kinds of design methods.

Key words: marshall design method; the French high modulus asphalt mixture design method; optimum asphalt content

引言

针对体积设计方法出现的问题,世界各个国家都在研发针对路面性能指标为设计指标的沥青混合料,其中以法国 LCPC 基于性能指标设计的高模量沥青混凝土最为突出。采用马歇尔和法国 LCPC 设计这两种设计理念和试验方法,探究这两种方法在确定最佳沥青用量这一关键指标的相关性。

1 材料性能试验

本实验采用山东长清双泉料场的集料,使用 10 ~ 15 mm 5 ~ 10 mm 3 ~ 5 mm 0 ~ 3 mm 四档优质石灰岩集料,石灰岩矿粉以及东海 70#沥青和中海油 20#沥青进行试验。

1.1 基质沥青性能检测

对试验使用的东海 70#沥青和中海油 20#沥青进行检测,试验结果分别见表 1、表 2。

表 1 东海 70#基质沥青试验检测结果

性能指标	实测数据	技术要求	试验方法	
针入度 25℃,100 g,5 s(0.1 mm)	63.8	64.4 65.2	60 ~ 80	T0604
软化点 TR&B(℃)	47.8	≥45		T0606
延度 15℃,5 cm/min(cm)	>100	>100	≥100	T0605
密度 15℃(g/cm ³)	1.03	实测记录		T0603

由表 1 可知,该沥青的主要技术指标均符合我国

《公路沥青路面施工技术规范》要求。

收稿日期: 2013—03—04

作者简介: 邢宝东(1985—) 男 山东临沂人 助理工程师 研究方向为沥青与沥青混合料。

表2 中海油20#基质沥青试验检测结果

性能指标	实测数据		技术要求	试验方法
针入度 25℃, 100 g, 5 s (0.1 mm)	15.2	14.8 15.9	10~20	EN1426
软化点 TR&B(℃)		64.5	58~78	EN1427
延度 15℃, 5 cm/min (cm)	-	-	-	-
密度 15℃ (g/cm ³)		1.05	实测记录	T0603

由表2可知,该沥青主要技术指标符合《法国沥青混合料设计指南》的技术要求。

对石灰岩集料及石灰岩矿粉进行试验检测,主要技术指标见表3。

1.2 矿料主要性能检测

表3 各矿料的性能检测指标

性能指标	试验数据					技术要求
	10~15 mm	5~10 mm	3~5 mm	0~3 mm	矿粉	
表观相对密度	2.735	2.72	2.738	2.717	2.633	≥2.60
毛体积相对密度	2.71	2.693	2.701	2.648	-	-
吸水率(%)	0.34	0.38	0.51	0.96	-	≤2.0

对各矿料分别采用中国标准筛孔、法国标准筛孔进行筛分试验,所得的通过率检测结果见表4、表5。

表4 采用中国标准筛孔各集料的通过率检测结果

粒径(mm)	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
10~15 mm	99.0	82.5	29.0	1.8	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2
5~10 mm	100.0	100.0	99.4	16.2	2.0	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6
通过率(%) 3~5 mm	100.0	100.0	100.0	99.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0~3 mm	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	64.1	36.9	19.9	14.2	8.5
矿粉	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.7	98.8	89.5

表5 采用法国标准筛孔各集料的通过率检测结果

粒径(mm)	14	12.5	10	8	6.3	4	2	1	0.315	0.25	0.08	0.063
10~15 mm	90.2	75.1	37.3	10.4	3.2	1.5	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.1
5~10 mm	100.0	100.0	99.7	92.8	66.2	4.7	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.6
通过率(%) 3~5 mm	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	88.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0~3 mm	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	52.4	21.6	18.1	9.5	9.1
矿粉	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.7	98.8	89.5

由表3、4、5可知,各矿料的各项指标符合规范要求。

2.1 AC-13型级配确定

2 混合料配合比确定

试验采用AC-13型级配,其中10~15mm:5~

本试验分别采用AC-13型级配、EME14连续级配和EME14间断级配进行配合比设计。

10mm:3~5mm:0~3mm:矿粉=33:26:11:27:3,合成级配见表6及图1。

表6 试验采用的AC-13型混合料级配

筛孔尺寸(mm)	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
合成级配	99.7	94.2	76.4	45.7	31.0	21.2	13.9	9.3	7.7	5.8
AC-13上限	100.0	96.0	83.0	55.0	38.0	28.0	20.0	14.0	10.0	6.0
AC-13下限	95.0	88.0	72.0	42.0	28.0	20.0	15.0	10.0	6.0	4.0
级配中值	97.5	92.0	77.5	48.5	33.0	24.0	17.5	12.0	8.0	5.0

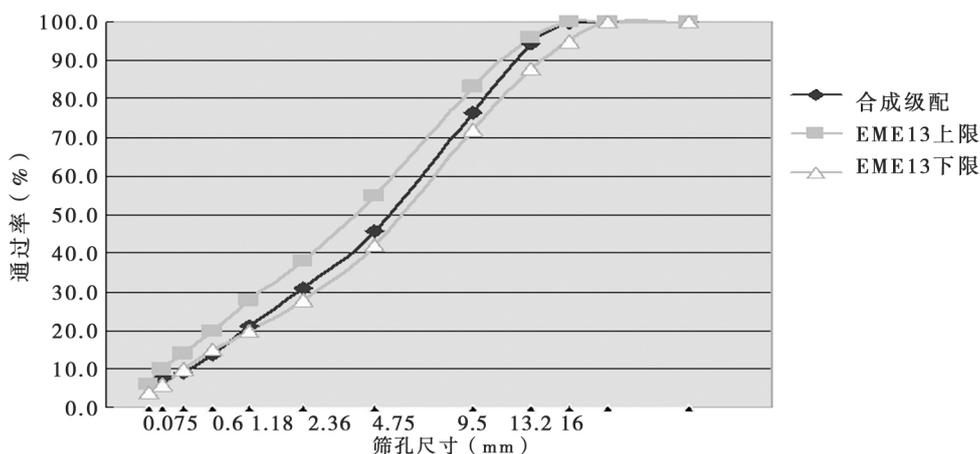


图 1 AC-13 型合成级配图

2.2 EME14 连续级配确定 : 5 ~ 10 mm : 3 ~ 5 mm : 0 ~ 3 mm : 矿粉 = 33 : 22 :
EME14 连续级配各档集料的比例为: 10 ~ 15 mm 16 : 26 : 3 , 合成级配见表 7 及图 2。

表 7 试验采用的 EME14 连续级配

筛孔尺寸 (mm)	14	12.5	10	8	6.3	4	2	1	0.315	0.25	0.08	0.063
合成级配	96.8	91.8	79.3	68.9	60.6	44.7	29.8	17.4	9.4	8.5	6.2	5.8
EME14 上限	100.0	0.0	0.0	0.0	70.0	60.0	38.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.7
EME14 下限	90.0	0.0	0.0	0.0	50.0	40.0	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4
目标值	0.0	0.0	0.0	0.0	60.0	50.0	31.5	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6

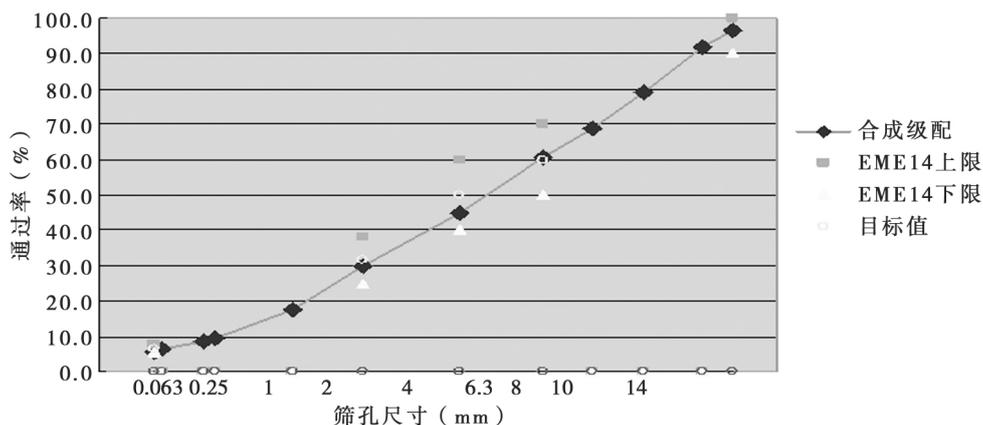


图 2 EME14 连续级配合成图

2.3 EME14 间断级配确定 筛, 把其中 4 ~ 6.3 mm 的集料筛去 5 ~ 10 mm 这档集料总重的 46% , 使级配曲线在 4 ~ 6.3 mm 之间出现间断, 合成级配见表 8 及图 3。
EME14 间断级配各集料的比例仍为 10 ~ 15 mm : 5 ~ 10 mm : 3 ~ 5 mm : 0 ~ 3 mm : 矿粉 = 33 : 22 : 16 : 26 : 3 , 但把 5 ~ 10 mm 这档集料通过法国标准

表 8 试验采用的 EME14 间断级配

筛孔尺寸 (mm)	14	12.5	10	8	6.3	4	2	1	0.315	0.25	0.08	0.063
合成级配	96.8	91.8	79.2	67.5	54.3	45.6	30.2	17.8	9.8	8.8	6.6	6.1
EME14 上限	100.0	0.0	0.0	0.0	70.0	60.0	38.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.7
EME14 下限	90.0	0.0	0.0	0.0	50.0	40.0	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4
目标值	0.0	0.0	0.0	0.0	53.0	47.0	33.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.7

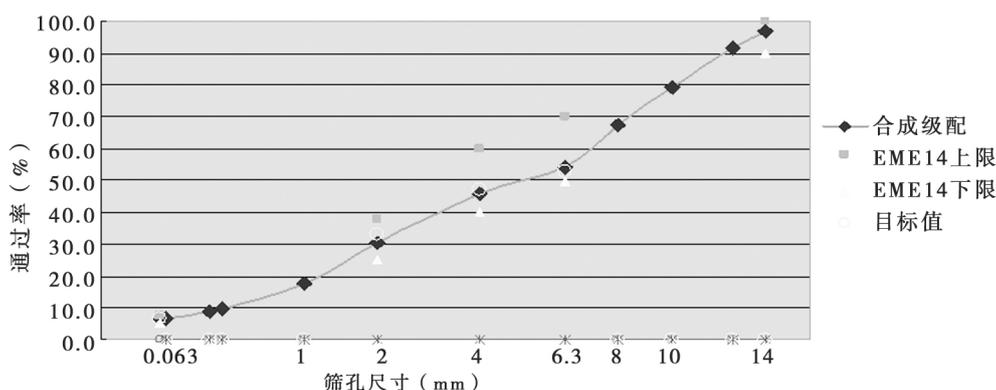


图3 EME14 间断级配合成图

3 最佳沥青用量的确定与比较

本试验采用四种沥青混合料: AC-13+70#基质沥青、AC-13+20#基质沥青、EME14连续级配+20#基质沥青、EME14间断级配+20#基质沥青,分别采用马歇尔设计方法和法国高模量沥青混合料设计方法确定沥青混合料的最佳沥青用量。

3.1 采用马歇尔设计方法确定四种沥青混合料的最佳沥青用量

按照马歇尔设计方法确定四种沥青混合料的最佳沥青用量,试验首先确定四种沥青混合料的设计级配,然后初选5组沥青用量拌和沥青混合料,分别制作马歇尔试件,然后分别确定VV、VMA、VFA等指标,根据这些指标最终确定最佳沥青用量,AC-13+70#基质沥青、AC-13+20#基质沥青、EME14连续级配+20#基质沥青、EME14间断级配+20#基质沥青四种沥青混合料的各项指标分别见表9~表12。

表9 AC-13+70#基质沥青马歇尔试件试验指标

试验指标	实测数据					技术指标
沥青含量(%)	4.0	4.3	4.5	4.8	5.1	-
毛体积相对密度	2.386	2.391	2.415	2.436	2.438	-
最大理论相对密度	2.541	2.525	2.523	2.504	2.502	-
孔隙率 VV(%)	6.1	5.3	4.3	2.7	2.6	3~5
矿料间隙率 VMA(%)	14.8	14.9	14.2	13.8	14	≥14
沥青饱和度 VFA(%)	58.8	64.4	69.8	80.1	81.7	65~75
粉胶比 FB	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	0.6~1.6

由表9试验数据,可确定AC-13+70#基质沥青的最佳沥青用量为4.6%。

表10 AC-13+20#基质沥青马歇尔试件试验指标

试验指标	实测数据					技术指标
沥青含量(%)	4.0	4.3	4.5	4.8	5.1	-
毛体积相对密度	2.408	2.389	2.409	2.422	2.417	-
最大理论相对密度	2.535	2.507	2.512	2.516	2.492	-
孔隙率 VV(%)	5.0	4.7	4.1	3.8	3.0	3~5
矿料间隙率 VMA(%)	13.9	14.8	14.3	14.1	14.6	≥14
沥青饱和度 VFA(%)	64.1	68.5	71.4	73.5	79.4	65~75
粉胶比 FB	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	0.6~1.6

由表10试验数据,可确定AC-13+20#基质沥青的最佳沥青用量为4.8%。

表 11 EME14 连续级配 + 20#基质沥青马歇尔试件试验数据

试验指标	实测数据					技术指标
沥青含量(%)	4.3	4.5	4.8	5.1	5.4	-
毛体积相对密度	2.397	2.415	2.412	2.422	2.425	-
最大理论相对密度	2.522	2.519	2.505	2.486	2.427	-
孔隙率 VV(%)	5.0	4.1	3.7	2.6	2.4	3~5
矿料间隙率 VMA(%)	14.7	14.3	14.6	14.6	14.7	≥14
沥青饱和度 VFA(%)	66.3	71.0	74.6	82.3	83.4	65~75
粉胶比 FB	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	0.6~1.6

由表 11 试验数据,可确定 EME14 连续级配 + 20#基质沥青的最佳沥青用量为 4.8%。

表 12 EME14 间断级配 + 20#基质沥青马歇尔试件试验数据

试验指标	实测数据					技术指标
沥青含量(%)	4.3	4.6	4.9	5.2	5.5	-
毛体积相对密度	2.401	2.413	2.415	2.423	2.419	-
最大理论相对密度	2.512	2.503	2.5	2.487	2.477	-
孔隙率 VV(%)	4.4	3.6	3.4	2.6	2.3	3~5
矿料间隙率 VMA(%)	14.6	14.4	14.5	14.5	15.0	≥14
沥青饱和度 VFA(%)	67.2	75.0	76.9	82.3	84.4	65~75
粉胶比 FB	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	0.6~1.6

由表 12 试验数据可确定 EME14 间断级配 + 20#基质沥青的最佳沥青用量为 4.9%。

3.2 采用法国高模量沥青混合料设计方法确定最佳沥青用量

《法国沥青混合料设计指南》中采用丰度系数 K 预估最佳沥青用量,要求 K 不低于 3.4。丰度系数 K [Duriez, 1950] 是一个沥青胶结料裹复在集料的沥青膜的常规厚度的一个比值, K 与砾料密度无关,通过公式与油石比有下列关系

$$K = \frac{TL}{a \sqrt[5]{\Sigma}}$$

式中: TL —胶结料用量(油石比); $a = 2.65 / G_{se}$ (G_{se} —集料有效相对密度)。

$$100 \Sigma = 0.25G + 2.3S + 12s + 150f$$

式中: G —粒径大于 6.3 mm 的集料占总集料的百分率,%; S —粒径在 0.25 mm 到 6.3 mm 之间的集料占总集料的百分率,%; s —粒径在 0.063 mm 到 0.25 mm 之间的集料占总集料的百分率,%; f —粒径

小于 0.063 mm 的集料占总集料的百分率,%。

本实验利用法国高模量沥青混合料设计方法分别采用配料时取料过法国标准筛称取 6.3 mm、0.25 mm、0.063 mm 及筛底的质量,利用丰度系数公式确定最佳沥青用量并对确定的最佳沥青用量做旋转压实试件,利用法国高模量沥青混合料设计方法中确定孔隙率 VV ,看确定的最佳沥青用量是否满足《法国沥青混合料设计指南》中对孔隙率的设计要求。

3.2.1 采用法国高模量沥青混合料设计方法预估沥青用量

利用法国高模量沥青混合料设计方法分别对 AC-13 型连续级配,EME14 型连续级配和 EME14 型间断级配通过取料取要求筛孔尺寸的法国标准筛,称取要求筛孔尺寸的集料质量,见表 13。

表 13 通过要求筛孔尺寸的集料质量

筛分质量(g)	> 6.3 mm				0.25 ~ 6.3 mm	0.063 ~ 0.25 mm	< 0.063 mm
AC-13 连续级配	1	1 024.55	419.5	527.2	25.4	46.45	
	44.40	2	1 024.9	441.3	512.2	27	
EME14 连续级配	3	1 025.45	445.00	502.20	27.00	48.65	
	45.05	4	1 024.95	417.70	529.10	24.70	
EME14 间断级配	5	1 931.03	877.55	965.75	45.85	103.6	
	6	1 760.56	760.53	903.2	57.96	90.9	

由表 13 筛分试验结果,按照丰度系数公式,可以确定三个级配的预估沥青用量,见表 14。采用法国高模量沥青混合料设计方法预估沥青用量,对于 AC-13 型连续级配,当 $K=3.4$ 时,预估沥青用量为 4.80%; 当 $K=3.5$ 时,预估沥青用量为 4.93%。对

于 EME14 型连续级配,当 $K=3.4$ 时,预估沥青用量为 4.82%; 当 $K=3.5$ 时,预估沥青用量为 4.95%。对于 EME14 型间断级配,当 $K=3.4$ 时,预估沥青用量为 4.93%; 当 $K=3.5$ 时,预估沥青用量为 5.07%。

表 14 采用丰度系数公式预估沥青用量

	AC-13 型连续级配			EME14 型连续级配			EME14 型间断级配			
	1	2	平均	3	4	平均	5	6	平均	
$K=3.4$	油石比(%)	5.06	5.02	5.04	5.09	5.03	5.06	5.20	5.18	5.19
	沥青用量(%)	4.82	4.78	4.80	4.85	4.79	4.82	4.94	4.93	4.93
$K=3.5$	油石比(%)	5.21	5.17	5.19	5.24	5.18	5.21	5.35	5.33	5.34
	沥青用量(%)	4.95	4.92	4.93	4.98	4.93	4.95	5.08	5.06	5.07

3.2.2 采用法国高模量沥青混合料设计方法验证预估的沥青用量

法国高模量沥青混合料设计步骤中,水平一要求对确定的级配和预估的沥青用量做旋转压实试件,采用《法国沥青混合料指南》中的方法确定试件的空隙率,以验证预估的沥青用量是否满足 VV 不大于 6%

的要求。试验结果见表 15。采用法国高模量沥青混合料设计方法预估的沥青用量,利用旋转压实法进行验证旋转压实试件的孔隙率,四种沥青混合料旋转压实试件均满足孔隙率不大于 6% 要求,这说明预估的沥青用量满足法国高模量沥青混合料设计方法设计步骤水平 1 的要求。

表 15 采用法国高模量沥青混合料设计方法确定的旋转压实试件的孔隙率

	AC-13+70# 基质沥青				AC-13+20# 基质沥青				EME14 连续级配 +20#基质沥青		EME14 间断级配 +20#基质沥青	
	沥青用量(%)	4.8				4.8				4.8		4.9
最大理论密度	2.505				2.492				2.498		2.500	
试件质量(g)	7 285.57	7 290.19	7 282.58	7 306.96	7 293.71	7 287.54	7 292.40	7 291.65	7 286.69	7 292.92	7 280.67	
最小高度(cm)	164.58	164.69	164.51	165.07	164.77	164.63	164.74	164.72	164.61	165.08	164.80	
实测高度(cm)	172.50	174.00	171.40	173.10	173.60	171.10	172.40	171.60	176.70	171.40	170.20	
法式孔隙率(%)	4.59	5.35	4.02	4.64	5.09	3.78	4.44	4.01	6.84	3.69	3.17	
法式 VV 平均(%)	4.65				4.50				5.10		3.43	
法标技术要求	≤6%											

3.3 两个方法确定的最佳沥青用量比较

通过实验可看出,除 AC-13+70# 基质沥青外,采用马歇尔设计方法确定的沥青用量与丰度系数 $K=3.4$ 时预估的沥青用量几乎是相等的。采用马歇尔设计方法确定的 AC-13+70# 基质沥青与丰度系数 $K=3.4$ 时预估的沥青用量相差 0.2% 左右。

4 结语

(1) 对于低标是基质沥青,采用马歇尔设计方法和法国高模量沥青混合料设计方法($K=3.4$) 确定的沥青用量几乎是相等的。故采用马歇尔设计方法在经验不足的情况下,通过丰度系数公式确定预估的沥青用量,然后以预估的沥青用量为中值,采用五个沥青用量成型试件进行验证,可提高确定的最佳沥青用

量的精确性。(2) 对于 70# 基质沥青,采用马歇尔设计方法和法国高模量沥青混合料设计方法确定的沥青用量有差别,但差别不大。(3) 通过比较可知,马歇尔设计体系和法国高模量设计体系有一定的相通性,结合具体实际,吸收当前先进的设计理念和设计方法,使之本土化,应对目前沥青路面出现的各种病害。

参考文献:

- [1] JTG F40-2004,公路沥青路面施工技术规范[S].
- [2] JTG E20-2011,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [3] JTG E42-2005,公路工程集料试验规程[S].