

文章编号:0451-0712(2007)02-0101-06

中图分类号:U414.750.2

文献标识码:B

南方湿热地区沥青混合料配合比设计方法应用研究

袁万杰, 王 钊

(广东华美加工程顾问有限公司 广州市 510627)

摘 要: 结合南方湿热地区的气候条件和对沥青混合料配合比的设计要求,对我国现行规范中沥青混合料配合比设计方法在南方湿热地区的适应性进行了分析。研究表明,普通沥青混合料配合比设计结果与采用旧规范设计方法的设计结果基本一致;改性沥青混合料配合比设计的最佳沥青用量则增加 0.3%,其抗高温变形能力、泛油以及抗水损害能力等长期路用性能尚需结合工程实践进一步观测。

关键词: 沥青混合料;设计方法;湿热地区;适应性

我国原《公路沥青路面施工技术规范》^[1](JTJ 032-94)(以下简称旧《规范》)经过 10 余年的实施,在保证沥青路面建设质量方面起到了重要的作用。随着我国公路建设的迅猛发展和沥青路面通车里程的快速增长,以及对国内外沥青路面施工技术的深入研究,获得了许多重要的研究成果和丰富的实践经验。为了适应新的交通环境和施工技术水平,进一步改善和提高沥青路面施工质量,对旧《规范》进行了全面修订,新《公路沥青路面施工技术规范》(JTGF40-2004)(以下简称新《规范》)在对旧《规范》补充和完善的基础上,重点对热拌沥青混合料配合比设计体系进行了改进。针对南方湿热地区的气候条件和交通环境,本课题对新《规范》中热拌沥青混合料配合比设计方法在南方湿热地区的适应性进行了相应研究。

1 新、旧《规范》中热拌沥青混合料配合比设计方法对比分析

1.1 新、旧《规范》中热拌沥青配合比设计方法的区别

新《规范》对热拌沥青配合比设计方法做了以下几点修改。

(1)新《规范》考虑了集料吸附部分自由沥青这个重要的因素。由此,总的沥青用量分为被集料吸入的自由沥青和有效沥青用量两部分,对集料的相对密度计算时,必须除去集料内部被沥青占去的一部

分体积,即采用集料的有效相对密度。因此,进行马歇尔体积指标计算时,沥青混合料的空隙率 VV 、沥青混合料的矿料间隙率 VMA 和沥青混合料的沥青饱和度 VFA 的计算方法与指标要求也与旧《规范》有所不同。

(2)新《规范》中修改了沥青混合料的理论最大相对密度的计算方法。规定对非改性沥青混合料采用真空法实测最大相对密度;对改性沥青及 SMA 等难以分散的混合料,理论最大相对密度由合成矿料的有效相对密度计算,而有效相对密度根据矿料的合成毛体积相对密度与合成表观相对密度计算确定。

1.2 新《规范》中体积指标计算方法对沥青混合料的影响

新《规范》中对沥青混合料空隙率等体积指标的计算方法是引入了美国 Superpave 中有效相对密度的概念,进行理论最大相对密度计算时采用的是合成矿料的有效相对密度;而旧《规范》是采用矿料毛体积相对密度合成计算理论最大相对密度。由于选用的矿料相对密度不同,计算的理论最大相对密度也差别较大,进而影响到马歇尔试件的空隙率、矿料间隙率、沥青饱和度等体积指标,并影响到沥青混合料配合比设计的最佳油石比。鉴于 Superpave 设计方法的最佳油石比确定是采用旋转压实仪,受压实功和试件受力方式等不同的影响,采用旋转压实仪试验结果比马歇尔试验确定的最佳油石比小 0.3%

左右,因此对直接把有效相对密度引入马歇尔试验中进行体积指标计算,特别是对广东省的气候条件是否适用尚需进一步验证。

2 工程实例

2.1 工程概况

广东某高速公路地处粤东平原微丘区,为水泥混凝土路面,经过 10 年的运营,路面服务质量明显下降,为保证区域交通网的正常服务功能,于 2004 年 12 月开始对该工程进行大修,在原水泥混凝土路面上加铺沥青混凝土面层。

该工程路线位于北回归线附近,属南亚热带海洋

性季风气候,按公路自然区划属华南沿海台风区(N_7)。该区域年平均气温 $21.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,1 月平均温度 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$,7 月平均温度 $28.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。年降雨量 $1\,913\text{ mm}$,5 月~9 月为雨季,多暴雨,6 月~10 月常受强热带风暴的袭击。

2.2 新、旧《规范》沥青混凝土面层配合比设计比较

沥青混凝土加铺层结构主要采用 $6\text{ cmAC-20}+4\text{ cmAK-13A}$ 两种类型的沥青混合料。

(1)AC-20 型普通沥青混合料。

粗、细集料分别采用花岗岩加工的碎石和河砂,沥青为 AH-70 号基质沥青,填料为矿粉和水泥。原材料的实测密度见表 1。AC-20 型沥青混合料矿料级配范围及设计矿料级配^[3]见表 2 和图 1。

表 1 AC-20 型沥青混合料用原材料实测密度

材 料	10~20 mm 碎石	5~10 mm 碎石	3~5 mm 碎石	0~3 mm 碎石	砂	矿粉	水泥	沥青
表观相对密度	2.629	2.631	2.634	2.613	2.599	2.773	3.161	1.029
毛体积相对密度	2.575	2.563	2.543	2.613	2.599	2.773	3.161	1.029

表 2 AC-20 型沥青混合料合成矿料级配组成

级配类型	通过下列筛孔的(mm)的质量百分率/%											
	0.075	0.15	0.3	0.6	1.18	2.36	4.75	9.5	13.2	16	19	26.5
AC-20	5.4	7.6	11.2	16.2	20.7	26.4	37.7	65.2	78.4	89.5	98.1	100
中值	5.0	8.5	11.0	16.0	22.5	30.0	41.0	61.0	71.0	85.0	95.0	100
上限	7	13	17	24	33	44	56	72	80	92	100	100
下限	3	4	5	8	12	16	26	50	62	78	90	100

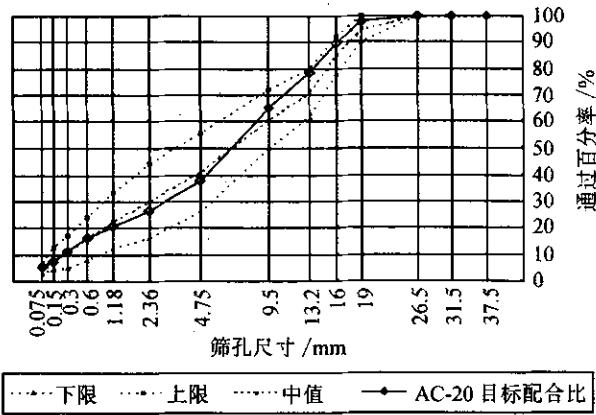


图 1 AC-20 型沥青混合料矿料级配曲线

AC-20 型沥青混合料理论最大相对密度采用新《规范》要求的真空法实测,并以此计算沥青混合料马歇尔试件的体积指标^[4],计算结果如表 3 所示。

AC-20 型沥青混合料理论最大相对密度根据旧《规范》中的公式计算,并以此计算沥青混合料马歇尔试件的体积指标,计算结果如表 4 所示。

本工程 AC-20 型沥青混合料以目标空隙率 4%

进行配合比设计。由表 3 计算 AC-20 型沥青混合料最佳油石比 $OAC=4.6\%$,且 OAC 位于 VMA 凹形曲线最小值的贫油一侧,此时,空隙率为 4.2% , VMA 值为 13.3% , VFA 为 67% 。

由表 4 计算 AC-20 型沥青混合料最佳油石比 $OAC=4.5\%$,且 OAC 位于 VMA 凹形曲线最小值的贫油一侧,此时,空隙率为 3.9% , VMA 值为 14.6% , VFA 为 72% 。

从上述计算结果可以看出,尽管按新、旧两种方法得出的沥青混合料最佳油石比相差不大,但其饱和度和则有较大差别。根据广东省交通厅粤交基函[2003]299 号《关于加强我省高速公路一级公路沥青路面质量管理的通知》^[5]中要求饱和度宜控制在规范的中值与下限之间,即 $65\%\sim 70\%$,不宜偏高。显然,由表 4 计算的饱和度已经超出此范围,没有达到设计要求。为了客观判断两种方法设计结果的合理性,引入了沥青混合料膜厚这一概念做进一步的论证。

表 3 AC-20 型沥青混合料马歇尔试验结果

试件组号	油石比 %	试件相对密度		空隙率 %	矿料间隙率 %	沥青饱和度 %	稳定度 kN	流值 0.1 mm
		毛体积 相对密度	理论最大 相对密度					
1	3.7	2.293	2.485	7.73	14.65	52	15.83	29.0
2	4.2	2.305	2.475	6.85	14.60	53	13.84	29.4
3	4.7	2.356	2.450	3.84	13.15	69	15.31	33.9
4	5.2	2.365	2.438	2.99	13.20	77	14.94	32.7
5	5.7	2.367	2.427	2.49	13.60	82	15.30	31.1
技术要求		——	——	3~5	≥13	65~75	≥8	15~40

注:根据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052—2000)中 T0702—2000、T0705—2000、T0709—2000 试验方法进行。

表 4 AC-20 型沥青混合料马歇尔试验结果

试件组号	油石比 %	试件相对密度		空隙率 %	矿料间隙率 %	沥青饱和度 %	稳定度 kN	流值 0.1 mm
		毛体积 相对密度	理论最大 相对密度					
1	3.7	2.293	2.459	6.75	15.26	56	15.83	29.0
2	4.2	2.305	2.443	5.63	15.23	63	13.84	29.4
3	4.7	2.356	2.427	2.93	14.12	77	15.31	33.9
4	5.2	2.365	2.412	1.95	14.06	86	14.94	32.7
5	5.7	2.367	2.397	1.27	14.49	91	15.30	31.1
技术要求		——	——	3~5	≥13	65~75	≥8	15~40

注:同表 3。

沥青混合料膜厚就是指集料表面粘附沥青膜的厚度。沥青膜厚度的薄厚直接影响到沥青混合料的抗车辙、抗低温开裂、抗水损害和耐疲劳等路用性能,因此,必须保证集料粘附有一定厚度的沥青膜。

研究认为^[6],沥青混合料中沥青膜厚宜为 6~15 μm。但在沥青混合料中沥青膜厚的分布是不均匀的,如在不同粒径集料中,细集料的沥青膜较粗集料的厚;粗糙集料表面的沥青膜较光滑表面的厚;在棱角上的沥青膜更薄,甚者没有沥青膜裹附。基于以上情况,假设沥青混合料中沥青膜的厚度是均匀分布的,以平均膜厚来理解,并由沥青的体积除以集料

的表面积计算。

沥青对膜厚的影响主要表现为沥青的用量和沥青的相对密度。沥青用量越大,沥青膜越厚;沥青用量相同时,沥青的密度越大,单位重量的沥青体积越小,沥青膜就越薄。集料的总表面积和酸碱性则是影响沥青混合料中沥青膜厚的主要因素,而影响集料总表面积的有集料的表面纹理、有效相对密度、级配和粒径。单位重量集料的表面积称为总表面积系数,集料表面越粗糙,总表面积系数就越大,而集料的有效相对密度则与之相反。表 5 是 AC-20 型沥青混合料合成集料总表面积 SA 的计算结果。

表 5 集料的表面积系数计算结果

筛孔/mm	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	集料比 表面总和 SA m ² /kg
表面积系数 FA ₁	0.004 1	—	—	—	—	0.004 1	0.008 2	0.016 4	0.028 7	0.061 4	0.122 9	0.327 7	
通过百分率 P _I /%	100	98	90	78	65	37.7	26.4	20.7	16.2	11.2	7.6	5.4	
比表面 FA ₁ ×P _I /(m ² /kg)	0.41	—	—	—	—	0.15	0.22	0.34	0.46	0.69	0.93	1.77	4.97

当 AC-20 型沥青混合料沥青含量为 4.4% 时,沥青膜厚度为 $DA = 4.4 / (1.029 \times 4.97) \times 10 = 8.60 \mu\text{m}$; AC-20 型沥青混合料沥青含量为 4.31% 时,沥青膜厚度为 $DA = 4.31 / (1.029 \times 4.97) \times 10 =$

$8.43 \mu\text{m}$ 。

由于 AC-20 沥青混合料沥青膜厚最佳范围为 8~9 μm,从计算结果可以看出,当沥青含量为 4.4% 时的沥青膜厚度要比沥青含量为 4.31% 时的

厚,有利于加强沥青混合料的物理性能,因此,本工程 AC-20 型沥青混合料最终选定最佳沥青含量为

4.4%,即油石比 $OAC=4.6\%$,表6为最佳油石比时各项技术指标试验结果。

表 6 AC-20 型沥青混合料最佳油石比试验结果

最佳油石比 %	毛体积 相对密度	理论最大 相对密度	空隙率/%	矿料间隙率 %	饱和度/%	残留稳定度 %	冻融劈裂强度比 %	动稳定度 次/mm
4.6	2.361	2.457	3.9	13.0	70	114.3	95.2	1 769

试验结果表明,AC-20 型沥青混合料最佳油石比为 4.6%时,各项指标都符合设计要求,并且在施工过程中混合料拌和均匀,无油斑出现,摊铺完成的路面基本不渗水,路面施工质量良好。因此,对于普通沥青混合料,新《规范》中要求采用真空法实测结果计算沥青混合料最佳油石比是可行的。

(2)AK-13A 型改性沥青混合料。

鉴于新《规范》中已废除 AK 型沥青混合料,结合广东省沥青路面配合比设计的实际情况,本工程

针对 AK-13A 型矿料级配设计时采用了新《规范》AC-13 型沥青混合料的级配范围及技术标准,同时也参考了旧《规范》中 AK-13A 型的矿料级配范围。

上面层粗集料采用含钙质粉砂岩,由于当地河砂质量较差,细集料用棱角性比较好的花岗岩石屑代替河砂,填料为矿粉和水泥,沥青采用SBS 类 I—D 型改性沥青。原材料的实测密度见表7。AK-13A 型和 AC-13 型沥青混合料级配范围及设计矿料级配见表8和图2。

表 7 AK-13A 型沥青混合料用原材料实测密度

材 料	10~15 mm 碎石	5~10 mm 碎石	3~5 mm 碎石	0~3 mm 碎石	花岗岩石屑	矿粉	水泥	沥青
表观相对密度	2.779	2.780	2.775	2.786	2.608	2.763	3.087	1.034
毛体积相对密度	2.752	2.736	2.705	2.786	2.608	2.763	3.087	1.034

表 8 AK-13A 型沥青混合料合成矿料级配组成

级配类型	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%											
	0.075	0.15	0.3	0.6	1.18	2.36	4.75	9.5	13.2	16	19	26.5
AK-13A	6.8	9.6	13.3	17.4	22.8	28.5	44.0	78.2	98.6	100	100	100
AK-13A 中值	6.0	8.5	12.5	16.5	22.5	30.0	41.5	70.0	95.0	100	100	100
AC-13 中值	6.0	10.0	13.5	19.0	26.5	37.0	53.0	76.5	95.0	100	100	100
AK-13A 上限	8	12	18	23	30	40	53	80	100	100	100	100
AK-13A 下限	4	5	7	10	15	20	30	60	90	100	100	100
AC-13 上限	8	15	20	28	38	50	68	85	100	100	100	100
AC-13 下限	4	5	7	10	15	24	38	68	90	100	100	100

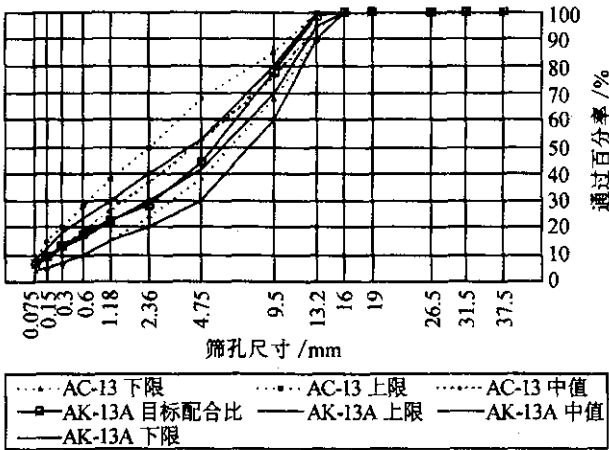


图 2 AK-13A 型沥青混合料合成矿料级配曲线

AK-13A 型沥青混合料理论最大相对密度采用新《规范》计算公式得出,并由此计算沥青混合料马歇尔试件的体积指标,结果如表9所示。

AK-13A 型沥青混合料理论最大相对密度采用旧《规范》计算公式得出,并据此计算沥青混合料马歇尔试件体积指标,结果如表10所示。

根据广东省交通厅粤交基函[2003]299 号文中要求上面层设计空隙率宜控制在 4%~5%。结合本工程所在地的气候条件和交通状况,上面层目标配合比设计采用目标空隙率 5.0%,并根据规范要求,目标空隙率为 5.0%时,压实度相应提高 1%。

由表9 计算 AK-13A 型沥青混合料最佳油石比 $OAC=5.0\%$,且 OAC 位于 VMA 凹形曲线最小值的

表 9 AK-13A 型沥青混合料马歇尔试验结果

试件组号	油石比 %	试件相对密度		空隙率 %	矿料间隙率 %	沥青饱和度 %	稳定度 kN	流值 0.1 mm
		毛体积 相对密度	理论最大 相对密度					
1	3.8	2.375	2.585	8.13	15.80	49	13.25	30.2
2	4.3	2.391	2.567	6.86	15.63	55	14.63	32.6
3	4.8	2.410	2.549	5.47	15.38	64	14.23	37.2
4	5.3	2.420	2.531	4.40	15.43	71	15.43	38.1
5	5.8	2.427	2.514	3.46	15.57	81	16.42	40.8
技术要求		—	—	4~6	≥14.5	65~75	≥8	15~40

注:根据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052—2000)中 T0702—2000、T0705—2000、T0709—2000 试验方法进行。

表 10 AK-13A 型沥青混合料马歇尔试验结果

试件组号	油石比 %	试件相对密度		空隙率 %	矿料间隙率 %	沥青饱和度 %	稳定度 kN	流值 0.1 mm
		毛体积 相对密度	理论最大 相对密度					
1	3.8	2.375	2.564	7.38	16.37	55	13.25	30.2
2	4.3	2.391	2.546	6.09	16.28	62	14.63	32.6
3	4.8	2.410	2.528	4.68	16.10	71	14.23	37.2
4	5.3	2.420	2.511	3.64	16.23	78	15.43	38.1
5	5.8	2.427	2.494	2.69	16.44	86	16.42	40.8
技术要求		—	—	4~6	≥14.5	65~75	≥8	15~40

注:同表 9。

贫油一侧,此时,空隙率为 5.0%, VMA 值为 15.3%, $VFA=68\%$ 。

由表 10 计算 AK-13A 型沥青混合料最佳油石比 $OAC=4.7\%$,且 OAC 位于 VMA 凹形曲线最小值

的贫油一侧,此时,空隙率为 5.0%, VMA 值为 16.1%, $VFA=69\%$ 。

AK-13A 型沥青混合料合成集料总表面积 S_A 的计算结果如表 11 所示。

表 11 集料的表面积系数计算结果

筛孔/mm	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	集料比表面 总和 S_A m ² /kg
表面积系数 FA_1	0.004 1	—	—	0.004 1	0.008 2	0.016 4	0.028 7	0.061 4	0.122 9	0.327 7	
通过百分率 $P_1/\%$	100	98.6	78.2	44.0	28.5	22.8	17.4	13.3	9.6	6.8	
比表面 $FA_1 \times P_1$ m ² /kg	0.41	—	—	0.18	0.23	0.37	0.50	0.82	1.18	2.2	5.89

当 AK-13A 型沥青混合料沥青含量为 4.76% 时,沥青膜厚度为 $DA=4.76/(1.034 \times 5.89) \times 10=7.82 \mu\text{m}$; AK-13A 型沥青混合料沥青含量为 4.49% 时,沥青膜厚度为 $DA=4.49/(1.034 \times 5.89) \times 10=7.37 \mu\text{m}$ 。

由上述分析可以看出,当设计空隙率都为 5.0% 时,按新《规范》计算方法得出的混合料最佳油石比

要比按旧《规范》计算方法得出的结果大 0.3%,且沥青膜厚度较厚。因此,在根据新《规范》要求进行上面层配合比设计时,应结合广东省的实践经验和要求,并依据实际施工情况及路面压实度和渗水系数,综合确定施工用最佳油石比。表 12 是按新《规范》要求确定的最佳油石比 $OAC=5.0\%$ 时的各项指标试验结果。

表 12 AK-13A 型沥青混合料最佳油石比试验结果

最佳油石比 %	毛体积 相对密度	理论最大 相对密度	空隙率 %	矿料间隙率 %	饱和度 %	残留稳定度 %	冻融劈裂 强度比/%	动稳定度 次/mm	渗水系数 ml/min
5.0	2.412	2.541	5.08	15.29	67	93.9	92.5	5 812	57.7

由表 12 表明,当 $OAC=5.0\%$ 时,各项指标均能满足规范要求。并且在进行路面施工时,没有出现油斑及泛油现象。经过现场检测,在压实度达到设计要求的路段,路面基本上不渗水,路面整体施工质量良好。因此,AK-13A 型改性沥青混合料根据新《规范》要求进行配合比设计是可行的。

3 结论

通过上述工程实例,可以得出以下结论。

- (1)对于普通沥青混合料,按新《规范》要求通过采用真空法实测理论最大相对密度来计算沥青混合料最佳油石比,与旧《规范》中按计算理论最大相对密度求得的沥青混合料最佳油石比基本一致。
- (2)对于改性沥青沥青混合料,按新《规范》要求计算的理论最大相对密度求得的沥青混合料最佳油石比,较按旧《规范》要求计算的理论最大相对密度求得的沥青混合料最佳油石比大 0.3% 。工程实践结

果表明,通过改善路面施工的摊铺和碾压工艺,提高路面压实度并降低路面的渗水系数,可达到沥青路面的设计要求,但其抗高温变形能力、泛油以及抗水损害能力等路用性能仍需结合工程实践进一步观测。

参考文献:

[1] JTJ 032-94,公路沥青路面施工技术规范[S].

[2] JTG F40-2004,公路沥青路面施工技术规范[S].

[3] 陈忠达,袁万杰,等. 多级嵌挤密实级配设计方法研究[J]. 中国公路学报,2006,(1).

[4] JTJ 052-2000,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].

[5] 关于加强我省高速公路一级公路沥青路面质量管理的通知[Z]. 广东省交通厅粤交基函[2003]299 号.

[6] 吴少鹏,磨炼同,等. 沥青混合料膜厚与性能的研究[A]. 第一届全国公路科技创新高层论坛论文集—公路设计与施工卷[C]. 2002.

Application of Asphalt Mixture Ratio Design
Method in South Moist Heat Areas

YUAN Wan-jie , WANG Zhao

(Guangdong CAC Engineering Consultants Co.,Ltd,Guangzhou 510627,China)

Abstract: According to the climate conditions in south moist heat areas of China and the specified standard of asphalt mixture design,the adaptability of asphalt mixture design method from Technical Specifications for Construction of Highway Asphalt Pavements (JTJ F40-2004) is analysed.The study shows the results of plain asphalt mixture design are mainly accordant to the design by the outdated Technical Specifications.However,the optimum asphalt consumption of modified asphalt mixture design will increase 0.3 percent.So the high temperature stability,bleeding asphalt and water stability are still observed further based on the practical projects.

Key words: asphalt mixture; design method; moist heat areas; adaptability