

随着非洲经济发展的加快,一些重载交通的高等级公路建设逐渐增多,沥青路面结构设计时,GB4 材料因其优异的性能,也被多数设计院所关注,但目前中国国内关于 GB3、GB4 基层材料具体的差异性没有相关研究成果可借鉴,并且 GB4 材料如何选用也困扰着工程技术人员。该文结合法国相关规范以及非洲典型工程案例,分析 GB3、GB4 基层材料的差异性,以期为广大工程设计、施工人员提供参考。

2 技术指标差异性对比

2.1 配合比及原材料选择对比

根据 NF P98—138^[2],GB 材料的骨料粒级可选

择:0/2 mm—0/4 mm—0/6.3 mm—2/4 mm—2/6.3 mm—4/6.3 mm—4/10 mm—6.3/10 mm—6.3/14 mm—6.3/20 mm—10/14 mm—10/20 mm—14/20 mm,具体配合比设计需要结合材料技术指标要求进行室内试验验证。

针对骨料选择上,GB3 与 GB4 具有一致性,骨料技术要求如表 1 所示。

在沥青材料选择时,GB3 可选用 35/50、50/70 号沥青,为了提高 GB4 材料的模量,使其更具耐久性,GB4 材料优先推荐采用 35/50 号沥青所示。

2.2 物理、力学指标对比

根据 NF P98—138 以及 NF P98—086^[4],GB3 与 GB4 材料的物理、力学指标对比见表 2。

表 1 骨料的技术要求^[3]

沥青基层材料	碎石的机械特性①	碎石的生产特性②	砂的生产特性③	碎石和砂的棱角性
GB3、GB4	D 类	Ⅲ类	a 类	Ang3

注:① 碎石的机械特性由洛杉矶磨耗试验、微型狄法尔磨耗试验指标决定;②、③由所生产骨料或砂级配范围而定。

表 2 GB3 与 GB4 材料的物理、力学指标对比

沥青基层材料	空隙率(室内旋转压实试验)/%	不同车辙试验次数(次)下的空隙率/%		劲度模量(15℃, 10 Hz 或者 0.02 s)/MPa	疲劳应变(10℃, 25 Hz)/μϵ	丰度系数	空隙率(现场)/%
		10 000	30 000				
GB3	≤10	7~10		≥9 000	≥90	2.8	≤9
GB4	≤9	5~8		≥11 000	≥100	2.9	≤8

由表 2 可见:与 GB3 材料相比,GB4 材料的模量较高。对于 GB4 材料的劲度模量及疲劳寿命要求分别为 11 000 MPa 及 100 μϵ,现场试件的试验结果必须满足这些指标要求,特别是对于劲度模量和疲劳寿命。同样需要指出,车辙试验后试件的空隙率需要小于室内旋转压实试验空隙率要求。根据法标,对于 GB3 空隙率要求一般为 7%~10%,对于 GB4 空隙率要求一

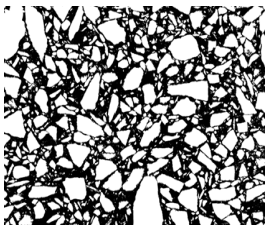
般为 5%~8%,沥青基层 GB4 多应用于高速公路。

根据法国有关文献^[5],图 1、2 分别为 GB3(0/14)、GB4(0/14)材料的 CT 断层扫描结果,表 3 为数字图像处理结果。

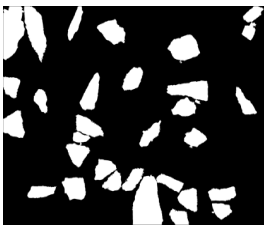
沥青混合料的体积组成对于路用性能影响甚大,合理的沥青混合料配合比设计不仅可显著提高沥青混合料的力学性能,还可平衡因沥青混合料技术要求多



(a) 全色图像(6 000×4 000 像素)

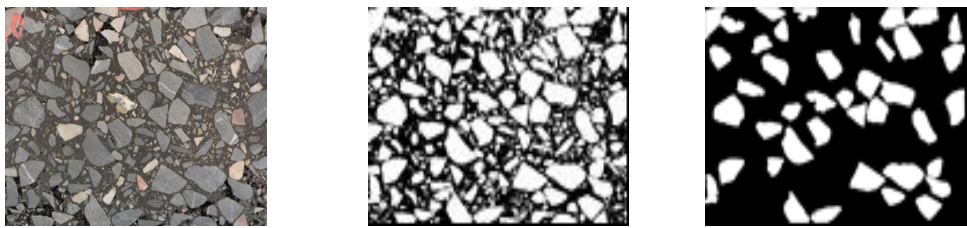


(b) 灰度图像



(c) 提取截留的大于 50 mm²的颗粒

图 1 GB3 材料数字图像处理过程



(a) 全色图像(6 000×4 000 像素) (b) 灰度图像 (c) 提取截留的大于 50 mm² 的颗粒

图 2 GB4 材料数字图像处理过程

表 3 数字图像处理结果

沥青基 层材料	粗集料 数量	LAF 平 均值 ^① /%	峰度系 数 ^②	Σ(面积/ 峰度系数)
GB3	29	22	13	12
GB4	41	30	21	10

注:① LAF 平均值是截留颗粒面积与其切面剖面面积的比值;② 剖面图显示截留颗粒的空间分布系数。

元化而引发的复杂矛盾^[6]。从表 3 可以看出:GB4 的 LAF 平均值为 30%,比 GB3 高 36%,也证明了 GB 材料的力学性能(模量和耐久性)与粒状骨架内的分布存在相关性。与传统 GB3 材料配合比相比,GB4 有利的颗粒分布良好地解释了其更高的力学性能,也可以说明通过合理的级配设计,是可以达到 GB4 材料的指标要求,但是带来的施工工艺控制要求更高。

2.3 试验项目对比

试验项目对比见表 4。

表 4 试验项目对比

试验项目	GB3	GB4	试验方法
旋转压实、水敏感性	✓	✓	NF P 98-252
车辙试验	✓	✓	NF P 98-253-1
劲度模量试验、 直接拉伸试验	✓	✓	NF P 98-260-2、 NF P 98-260-1
疲劳试验		✓	NF P 98-261-1

根据 LCPC《LPC Bituminous Mixtures Design Guide》,结合各材料使用条件,沥青混合料的类型和荷载条件要求并不一样,所以性能试验被分成若干水平,从水平 0 至水平 4。相比较于 GB3 材料,GB4 材料还需要进行疲劳试验,以验证所获取的各项试验性能指标是否满足规范要求。

3 沥青基层材料对路面结构影响分析

以西非多哥共和国壹号国道项目(Davié-Tsévié 段)为例,该道路是其国内重要的一条跨境主干道,承担了该国境内南北交通及港口物资向内陆转运的功能,交通量大,重载车多。经过交通量调查,重型车辆总数(TMJA)为 628 辆,重型荷载总数量 NPL=6.17×10⁶,交通等级为 T1+,经过实测轴载数据计算,与路面结构类型和道路分类有关的重型荷载平均影响系数 CAM=1.35。

该项目拟采用倒装结构,路面结构使用寿命为 20 年,路面结构计算等效温度为 30℃。各层材料参数按照规范值选取,计算参数如表 5 所示。

采用法国路面结构设计软件 ALIZE-LCPC 进行计算,表 6 为沥青基层分别采用 GB3 和 GB4 时的路面结构厚度方案。

表 5 路面材料参数

材料类型	$E(30\text{ }^{\circ}\text{C}, 10\text{ Hz})/\text{MPa}$	E/MPa	$\epsilon_6(10\text{ }^{\circ}\text{C}, 25\text{ Hz})$	σ_6/MPa	$-1/b$	S_N	K_c	K_d
BBSG2	2 200		100×10^{-6}		5	0.25	1.1	
GB3	2 700		90×10^{-6}		5	0.30	1.3	
GB4	3 500		100×10^{-6}		5	0.30	1.3	
GNT(级配碎石)		480						
GLC(水泥稳定砂土)		1 500		0.4	11	1.00	1.4	1
垫层		120						

注: $E(30\text{ }^{\circ}\text{C}, 10\text{ Hz})$ 为 30℃、10 Hz 时沥青混合料的劲度模量; E 为弹性模量; $\epsilon_6(10\text{ }^{\circ}\text{C}, 25\text{ Hz})$ 为 10℃、25 Hz 疲劳试验中,加载次数为 1×10^6 次后的沥青混合料应变值; b 为疲劳试验中,曲线的斜率; S_N 为疲劳试验结果的分散标准偏差; K_c 为校准系数; K_d 为不连续系数。

表 6 沥青基层材料分别为 GB3 和 GB4 时路面结构方案

沥青基层采用 GB3	沥青基层采用 GB4
5 cm BBSG2	5 cm BBSG2
15 cm GB3	10 cm GB4
12 cm GNT	12 cm GNT
30 cm GLC	30 cm GLC

由表 6 可得,采用模量更高的沥青基层 GB4 材料,与采用 GB3 材料相比,厚度可减薄 5 cm。根据多哥当地的人工、材料、机械等单价因素,仅从 GB 材料的直接成本出发(暂不考虑施工工艺增加的成本),GB4 材料单价要高于 GB3 材料,但采用沥青基层 GB4 后路面结构造价降低约 31%,经济效益明显。

4 施工关键工艺差异性对比

在法国规范中,关于 GB3 与 GB4 的施工技术并没有分别给出具体的差异化要求,但在选择不同沥青标号时,一些关键施工工艺节点控制却有不同,具体见表 7。

表 7 GB3 与 GB4 关键施工工艺节点控制差异化对比

项目	单位	GB3	GB4
基质沥青标号		50/70	35/50
拌和时间	s	30~50	40(其中干拌时间 5 s)
混合料出厂温度	℃	160~170	165~170(08:00 以前和 18:00 以后出料,混合料出场温度提高 5 ℃)
摊铺温度	℃	145~155	150~165
初压温度	℃	≥145	145~160
复压温度	℃	≥135	110~150
终压温度	℃	≥100	100~110

5 结论

(1) 在法国沥青混合料设计理念中,针对 GB 材料给出了不同的材料等级和分类,每种等级均对应有不同的物理、力学指标要求,但是在相关规范中并没有明确界定 GB3、GB4 材料的级配曲线设计范围和不同的原材料技术要求。在具体 GB 材料等级的选择及使用过程中,需要工程技术人员结合项目功能定位以及配合比设计和室内试验,验证 GB 材料的力学特性,尤其是模量及疲劳特性,然后再选择与之对应的等级进行路面结构验算,而不是以减薄路面结构厚度,降低工程造价为出发点去选择 GB 材料等级进行计算。

(2) 以多哥壹号国道项目(Davié—Tsévié 段)为例,当采用 GB4 材料时,其经济性比较明显,在非洲高等级公路建设中,可尝试采用 GB4。

参考文献:

[1] 胡酩斯. 浅谈法标沥青混合料生产和施工[J]. 公路交通科技,2017 (11):114—117.

[2] Couches d’assises : Graves—Bitume (GB) NF P98—138 [S]. France,1999.

[3] Granulats:Définitions, Conformité, Specifications. NF P18—540[S]. France,1997.

[4] Dimensionnement Structurel des Chaussées Routières NF P 98—086[S]. France,2011.

[5] F. HAMMOUM,F. OLARD,S. POUGET. Analyse d’Image Basée sur la Discrétisation de Voronoi[C]. Journées Thématiques—Techniques d’Imagerie Pour la Caractérisation des Matériaux et des Structures du Génie Civil—20 et 21 mars 2014—Clermont—Ferrand,2014.

[6] 胡迟春,王端宜,Nelson GIBSON,等. 基于 CT 技术沥青混合料集料的识别与分离[J]. 公路交通科技,2011(1): 13—18.