

法标轴载换算及不同 C_{CAM} 值路面结构对比研究

王艳萍

(中交公路规划设计院有限公司,北京市 100088)

摘要:法国标准广泛应用于欧洲国家和非洲法语区国家,中国工程企业参与的海外项目很多采用法国标准。法国规范中重车平均轴载转换系数(C_{CAM})是路面结构计算的关键参数,不同输入条件下的 C_{CAM} 值可能大幅度影响路面结构方案及结构厚度。该文通过分析法国规范中轴载检测及轴载转换方法,提出在非洲法语区项目中有3种确定 C_{CAM} 的方法:采用规范参考值、通过轴载检测计算、合理假设代表车型和超载水平简化计算。以马里某项目为例,对不同 C_{CAM} 值条件下倒装路面结构进行对比分析和疲劳寿命反算,以期为法国理论研究及海外法标公路项目提供技术参考。

关键词:法标;路面设计;轴载转换;侵蚀系数; C_{CAM} ;倒装结构

中图分类号: U416 **文献标志码:** A

法国标准广泛应用于欧洲国家和非洲法语区国家,在非洲,官方语言为法语的国家有16个,这些国家路面技术规范标准主要参考法国标准规范体系。随着中国工程企业深度参与海外项目,越来越多的项目执行法国标准。

二战之后法国工程师参考美国HRB测试、WASHO测试和AASHTO测试等试验研究结论,开展了法国路面结构设计方法的研究。法国柔性路面结构设计计算理论采用双圆均布荷载作用下的弹性层状体系理论^[1-3]。JEUFFROY和BACHELEZ得出三层体系计算应力和应变诺谟图。20世纪60年代,法国颁布《高速公路及大交通量路面结构计算推荐书》,引用了AASHTO中标准轴载的概念^[4]。由于作用在路面上的设计荷载千变万化,AASHTO选用18千磅力(约80 kN)作为路面结构设计的标准轴载,其他各种轴载按照一定原则换算成标准轴载。世界上主要的路面结构设计方法均进行标准轴载的转换,法国根据本国运输运营车辆的总体轴载水平,标准轴载考虑为130 kN。同时法国路面设计方法对轴载转换进一步简化,将重车数量直接转换为标准轴载累计作用次数,称为重车平均轴载转换系数(C_{CAM})^[3],是路面计算的关键性参数,法国规范NF P98—082虽然给出了 C_{CAM} 的推荐值,但非洲法语区国家与法国本土交通组成及轴重分布情况差异很大,且超载超限现象十分普遍。该文结合马里某项目对基于法国标准的轴载换算

及不同 C_{CAM} 值条件下倒装路面结构进行对比分析,以期为海外公路项目的设计及建设提供技术参考。

1 法标轴载转换方法

法国标准中路面结构计算不考虑轻型车辆的影响,只考虑轴重之和大于35 kN的车辆。重型卡车交通量,采用投入运营初年设计车道日平均交通量 T_{MJA} 来表示。对于非城市道路,通过 T_{MJA} 及其几何平均值 M 确定交通量等级(表1)。

表1 根据 T_{MJA} 及其几何平均值 M 确定交通量等级^[1]

交通量等级		$M/(\text{辆} \cdot \text{d}^{-1})$	$T_{MJA}/(\text{辆} \cdot \text{d}^{-1})$
T5		5	1~25
	T4	35	25~50
T3	T3 ⁻	65	50~85
	T3 ⁺	115	85~150
T2	T2 ⁻	175	150~200
	T2 ⁺	245	200~300
T1	T1 ⁻	390	300~500
	T1 ⁺	615	500~750
T0	T0 ⁻	950	750~1 200
	T0 ⁺	1 550	1 200~2 000
TS	TS ⁻	2 450	2 000~3 000
	TS ⁺	3 875	3 000~5 000
Tex		5 920	5 000~7 000

收稿日期:2022-09-27(修改稿)

基金项目:中交集团2021年重点研发项目(编号:2021-ZJKJ-18)

作者简介:王艳萍,女,硕士,教授级高工。E-mail:77454213@qq.com

在进行路面结构力学分析时,需要确定设计年限内累计重车交通量 N_{PL} ,计算公式为^[1]:

$$N_{PL}=365\times T_{MJA}\times C \tag{1}$$

式中: N_{PL} 为设计年限内重车交通量; T_{MJA} 为初始年设计车道重车日平均交通量; C 为设计年限内交通量累积因子。

在路面结构设计中,通过重车平均轴载转换系数 C_{CAM} ,将设计年限内的累计重车数量 N_{PL} 转换为等效当量轴次 N_e ^[1]。

$$N_e=N_{PL}\times C_{CAM} \tag{2}$$

式中: N_e 为等效当量轴次; C_{CAM} 取决于路面结构类型和重型车辆交通量组成,在设计中具体取值结合项目所在的国家及地区、设计阶段、相关方要求以及交通量数据的可获得性来确定。

1.1 规范建议 C_{CAM} 值

缺少车辆类型及轴载分布等交通量数据时,法国规范 NF P 98—086 建议高速公路和非高速公路 C_{CAM} 取值分别如表 2~4 所示。

表 2 高速公路不同路面材料类型重车平均轴载转换系数(C_{CAM})参考取值^[1]

路面材料类型	C_{CAM} 值(交通量等级: T2/T1/T0/TS/TeX)
沥青材料	0.8
水泥混凝土及水硬性黏结料处理材料	1.3
土基、未处理砾料(GNT)	1.0

表 3 非高速公路不同路面材料类型重车平均轴载转换系数(C_{CAM})参考取值^[1]

路面材料类型	C_{CAM} 值				
	T5	T4	T3 ⁻	T3 ⁺	T2、T1、T0
沥青材料	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5
水泥混凝土及水硬性黏结料处理材料	0.4	0.5	0.6	0.6	0.8
土基、未处理砾料(GNT)	0.4	0.5	0.6	0.75	1.0

表 4 城市道路不同路面材料类型重车平均轴载转换系数(C_{CAM})参考取值^[1]

路面材料类型	C_{CAM} 值		
	连接线	支线	主干道
沥青材料	0.1	0.2	0.2
水泥混凝土及水硬性黏结料处理材料	0.1	0.2	0.4
土基、未处理砾料(GNT)	0.2	0.5	1.0

法国规范中建议的 C_{CAM} 值是基于法国本土交通特点、车型组成、分布规律及轴重情况,进行了广泛的交通荷载特性参数的调查、统计、整理、分析确定的。非洲法语区国家与法国本土交通组成及轴重分布情况差异很大,如果采用规范建议值,应明确其适用条件并建议进行相关的超载管控。

1.2 轴载检测计算 C_{CAM} 值

利用称重设备采集轴载数据,记录不同轴型的轴载谱,按照法国标准 NF P 98—082 中车轴类型及重量直方图来求得。一辆具有 n 轴的重载车辆的轴载转换系数按下式计算^[3]:

$$C_{CAM}=\frac{A_1+A_2+A_3}{N_{PL}} \tag{3}$$

$$A=K\times\left(\frac{P_c}{P_0}\right)^\alpha \tag{4}$$

式中: A 为相对于标准轴载某一车轴或车轴组的转换系数; A_i 为相对于标准轴载某一车轴或车轴组的轴载总数, $A_i=A\times n_i$, n_i 为不同荷载等级下的某一车轴或车轴组的数量; P_0 为标准轴载,取 130 kN; P_c 为轴重(kN); K 取决于路面结构和车轴的几何特征,按规范取值; α 取决于路面材料的性质,按规范取值。

对于新建路面结构中的柔性材料, $\alpha=5$,单轴 $K=1$;双轮轴 $K=0.75$;三轮轴 $K=1.1$ 。对于新建路面结构中的半刚性材料, $\alpha=12$,单轴 $K=1$;双轮轴 $K=12$;三轮轴 $K=113$ 。

采集的轴载数据分为 3 种轴型:单轴、双联轴、三联轴;轴载等级按 10~50 kN 为第一档,以上每增加 10 kN 为一档。采用每一档的中值 P_c 根据式(4)计算 K 值,最后加权得到 C_{CAM} 值。

该文以马里某项目为例,项目采用动态称重仪开展了为期 5 d 的现场轴载测量,实测 529 辆总重 ≥ 3.5 t 车辆,数据处理中按照响应时间划分单轴、双联轴、三联轴 3 种轴型,根据调查数据统计整理后,计算 C_{CAM} 的过程及结果如表 5 所示。

从上述实测轴载并计算 C_{CAM} 的情况看,超载对 C_{CAM} 值影响非常大,上述马里某项目实测的 529 辆货车中,其中轴重超过 13 t 的车辆为 365 辆,占有已称重车辆的 69%。因此通过实测轴载计算得到柔性结构 C_{CAM} 达到了 3.02;调整参数 $\alpha=12$,单轴 $K=1$;双轮轴 $K=12$;三轮轴 $K=113$ ^[3],得到半刚性材料 C_{CAM} 计算值为 2 991。

1.3 确定代表车型及超载水平简化计算 C_{CAM} 值

实测轴载需要配置人员、设备和相关的管制手段

表 5 马里某项目实测轴载 C_{CAM} 值计算结果

轴载等级/kN	中值		单轴					双联轴				三联轴					
	P_c/kN	α	K	A	车轴数量 n_1	$A_1(=A \times n_1)$	K	A	车轴数量 n_2	$A_2(=A \times n_2)$	K	A	车轴数量 n_3	$A_3(=A \times n_3)$			
10~50	30	5	1	0.000	65	17	0	0.75	0.000	49	7	0	1.1	0.000	72	6	0
50~60	55	5	1	0.014	63	63	1	0.75	0.010	8	8	0	1.1	0.015	6	6	0
60~70	65	5	1	0.031	281	281	9	0.75	0.023	6	6	0	1.1	0.034	13	13	0
70~80	75	5	1	0.064	166	166	11	0.75	0.048	9	9	0	1.1	0.070	13	13	1
80~90	85	5	1	0.120	48	48	6	0.75	0.09	13	13	1	1.1	0.131	19	19	2
90~100	95	5	1	0.208	29	29	6	0.75	0.156	33	33	5	1.1	0.229	27	27	6
100~110	105	5	1	0.344	39	39	13	0.75	0.258	52	52	13	1.1	0.378	30	30	11
110~120	115	5	1	0.542	25	25	14	0.75	0.406	60	60	24	1.1	0.596	37	37	22
120~130	125	5	1	0.822	39	39	32	0.75	0.616	65	65	40	1.1	0.904	56	56	51
130~140	135	5	1	1.208	44	44	53	0.75	0.906	74	74	67	1.1	1.328	70	70	93
140~150	145	5	1	1.726	29	29	50	0.75	1.295	58	58	75	1.1	1.899	65	65	123
150~160	155	5	1	2.410	17	17	41	0.75	1.807	49	49	89	1.1	2.651	50	50	133
160~170	165	5	1	3.294	8	8	26	0.75	2.470	30	30	74	1.1	3.623	31	31	112
170~180	175	5	1	4.421	6	6	27	0.75	3.315	18	18	60	1.1	4.863	18	18	88
180~190	185	5	1	5.836	3	3	18	0.75	4.377	10	10	44	1.1	6.420	5	5	32
190~200	195	5	1	7.594	1	1	8	0.75	5.695	10	10	57	1.1	8.353	0	0	0
200~210	205	5	1	9.751	1	1	10	0.75	7.313	2	2	15	1.1	10.726	0	0	0
210~220	215	5	1	12.373	1	1	12	0.75	9.280	3	3	28	1.1	13.61	0	0	0
220~230	225	5	1	15.531	1	1	16	0.75	11.648	3	3	35	1.1	17.084	0	0	0
230~240	235	5	1	19.303	1	1	19	0.75	14.477	5	5	72	1.1	21.233	3	3	64
240~250	245	5	1	23.775	3	3	71	0.75	17.831	2	2	36	1.1	26.152	3	3	78
合计						822	443				517	735			452	816	
N_{PL}						529			N_e						1 994		
C_{CAM}									3.77								

注: N_{PL} 单位:辆; N_e 单位:次。

采集大量数据,很多项目不具备条件,可以通过定义标准车型和确定平均超载水平的做法来计算 C_{CAM} 值。

标准车型可以结合所在国或地区关于重型车辆尺寸、载重以及轴重方面的规定来确定,如中国 JTG D50—2017《公路沥青路面设计规范》定义了 11 类车辆类型^[5];西非经济货币联盟(UEMOA)对其成员国规定了不同车型最大允许轴载,UEMOA 第 14 号条例中对不同车型允许的最大加载量和最大行驶总重量的规定分别如表 6~8 所示。

马里某项目按照交通量调查统计数据,根据西非经济货币联盟制定的成员国之间关于货车载重及轴重标准化以及相关限制规定,结合现场从收费站收集的 17 727 辆称重车辆的数据,最大允许载重为核定载重

表 6 UEMOA 第 14 号条例中不同车型最大允许轴载^[6]

轴的名称		轴重限制/t
车前单轴		6.0
车中或车后单轴单轮胎		11.5
车中或车后单轴双轮胎		12.0
车中或车后双联轴	轴中心距小于 1 m	11.5
	轴中心距 1~1.3 m	16.0
	轴中心距 1.3~1.8 m	18.0
	轴中心距大于 1.8 m	20.0
	轴中心距小于 1.3 m	21.0
三联轴		
轴中心距 1.3~1.4 m		25.0
拖车,前单轴		6.0

表 7 UEMOA 规定不同车型允许的最大加载量^[6-7]

车辆类别	最大加载量/t
2 轴整体货车	18(6+12)
3 轴整体货车,含一个双联轴	26
4 轴及以上整体货车	31
2 轴拖挂车	18(6+12)
3 轴拖挂车,含一个三联轴	24

表 8 UEMOA 规定不同车型允许的行驶总重量

	最大行驶总重量/t
3 轴铰接货车	30(6+12+12)
4 轴铰接货车	38(6+12+20 或 6+20+12)
5 轴铰接货车,含一个三联轴	43(6+12+25)
5 轴铰接货车,含两个双联轴	46(6+20+20)
6 轴及以上铰接货车	51(6+20+25)
4 轴半挂货车	38
5 轴或 6 轴半挂货车	44
6 轴及以上公路挂车半挂式货车	51

表 9 马里某项目不同 C_{CAM} 取值下累计当量轴次

材料类型	$N_{PL}/$ 辆	规范建议值		通过轴载检测计算		通过代表车型及 超载水平计算	
		C_{CAM}	$N_e/$ 次	C_{CAM}	$N_e/$ 次	C_{CAM}	$N_e/$ 次
沥青材料		0.5	3 302 640	3.02	19 947 946	2.51	16 579 253
刚性及半刚性材料	6 605 280	0.8	5 284 224	2.991	19 756 392 480	245	1 618 293 600
砾料(GNT)		1.0	6 605 280	3.02	19 947 946	2.51	16 579 253

2.2 计算参数

土基承载能力:该项目采用红土砾料填筑,根据相关力学指标,路基承载力等级取 PF3^[8],土基回弹模量取 120 MPa,泊松比取 0.35。

计算风险:按法国规范 NF P 98 086(2011)版附件 E^[1],T1 交通量下对于倒装结构沥青材料计算风险推荐采用 5%,半刚性材料计算风险推荐采用 10%。

其他材料参数参考规范及当地经验进行选取,沥青混合料等效温度取 34 ℃,频率取 10 Hz,泊松比取 0.40,路面各层材料计算参数详见表 10。

2.3 不同 C_{CAM} 值路面结构力学分析

法标路面结构设计方法存在 3 种破坏机制,对应 3 种应力表达^[1]:

(1) 沥青材料疲劳破坏,通过层底最大水平拉应变 $\epsilon_{t,adm}$ 来考虑。

(2) 半刚性材料及水泥混凝土的疲劳破坏,通过层底最大拉应力 $\sigma_{t,adm}$ 来考虑。

(3) 未处理材料内永久变形累积所形成的破坏,通过其顶层最大垂直变形 $\epsilon_{z,adm}$ 来考虑。

的 130%,即对超过核定载重 30%车辆按 30%超载计算,对未超过核定载重的车辆,按实际检测值计算,计算得到柔性结构 C_{CAM} 值为 2.51,半刚性结构 C_{CAM} 值为 245。

如果没有收费站数据,也可以结合交通量调查和所在国相关标准定义标准车型和各车型超载水平进行 C_{CAM} 计算。

2 不同 C_{CAM} 值路面结构对比

2.1 累计当量轴次

以马里某项目为例,根据该项目交通量调查预测结果,初始年设计车道重车日平均交通量 $T_{MJA}=519$ 辆/日,依据表 1 交通量等级为 T1,年几何增长率为 5.5%,设计车道累计重车交通量 $N_{PL}=6\ 605\ 280$ 辆。3 种不同 C_{CAM} 取值条件下累计当量轴次计算结果如表 9 所示。

倒装结构采用弹性多层结构来表达路面,各层之间相互黏结。路面结构计算指标有 4 个:沥青层疲劳断裂、半刚性材料疲劳断裂、路基永久变形、碎石层车辙。

此次计算采用 Alize-LCPC 软件进行允许值和计算值分析,Alize-LCPC 是由法国道路与桥梁研究中心 LCPC 和公路与高速公路技术设计院 SETRA 联合开发的路面结构力学设计软件,得到的 3 种 C_{CAM} 情况下倒装路面结构应力应变情况如表 11 所示。由表 11 可得:

即:规范建议值下满足要求的倒装路面结构组合为:5 cm 沥青混凝土 BBSG3+14 cm 沥青碎石 GB3+12 cm 机轧碎石 GNT+20 cm 水泥稳定碎石 GC3。

轴载检测数据 C_{CAM} 相应结构方案各层厚度可采用:5 cm 沥青混凝土 BBSG3+17 cm 沥青碎石 GB3+12 cm 机轧碎石 GNT+35 cm 水泥稳定碎石 GC3。

通过代表车型及超载水平计算 C_{CAM} 各层厚度可采用:5 cm 沥青混凝土 BBSG3+17 cm 沥青碎石 GB3+12 cm 机轧碎石 GNT+31 cm 水泥稳定碎石 GC3。

3 种 C_{CAM} 计算方法得到的路面结构厚度对比如图 1 所示。

表 10 路面各层材料计算参数

材料	$\epsilon_6(10\text{ }^{\circ}\text{C}, 25\text{ Hz})$	$E(10\text{ }^{\circ}\text{C}, 10\text{ Hz})/\text{MPa}$	$E(34\text{ }^{\circ}\text{C}, 10\text{ Hz})/\text{MPa}$	$-1/b$	k_c	k_s	ν
沥青混凝土 BBSG3	100	9 310	1 920	$-1/5$	1.1	1	0.40
沥青碎石 GB3	90	11 880	2 020	$-1/5$	1.3	1	0.40
水泥稳定碎石 GC3			23 000	$-1/15$	1.4	1	0.25
机轧碎石 GNT			480				0.35
土基			120				0.35

注:表中 $\epsilon_6(10\text{ }^{\circ}\text{C}, 25\text{ Hz})$ 为沥青疲劳方程参数,表示为 1×10^6 次循环寿命期限的变形; $E(10\text{ }^{\circ}\text{C}, 10\text{ Hz})$ 为沥青材料在 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 10 Hz 试验条件下的刚性模量; $E(34\text{ }^{\circ}\text{C}, 10\text{ Hz})$ 为沥青材料在等效温度 $34\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及 10 Hz 试验条件下的刚性模量; b 为疲劳试验结果按照双对数定律绘制曲线的斜率; k_c 为调整系数,用来调整计算值与路面性能观测值之间的偏差; k_s 为路基不均匀系数,取决于路基长期承载能力; ν 为各层材料的泊松比。

表 11 3 种 C_{CAM} 情况下倒装路面结构应力应变情况

C_{CAM} 计算方法	材料	厚度/ m	层底拉应变 $\epsilon_{t,adm}/10^{-6}$		层底拉应力 $\sigma_{t,adm}/\text{kPa}$		竖向压应变 $\epsilon_{z,adm}/10^{-6}$		结论
			容许值	计算值	容许值	计算值	容许值	计算值	
规范建议	基层 GB3	0.14	168.5	118.5					满足
	基层 GNT	0.12					440.9	397.6	满足
	底基层 GC3	0.20			0.721	0.758			满足
	土基	—					367.4	108.0	满足
轴载检测 数据得到	基层 GB3	0.17	116.0	101.6					满足
	基层 GNT	0.12					345.0	342.4	满足
	底基层 GC3	0.35			0.416	0.415			满足
	土基	—					287.5	67.8	满足
通过代表车 型及超载水 平计算得到	基层 GB3	0.17	116.0	101.6					满足
	基层 GNT	0.12					359.4	339.7	满足
	底基层 GC3	0.31			0.492	0.467			满足
	土基	—					299.5	78.4	满足

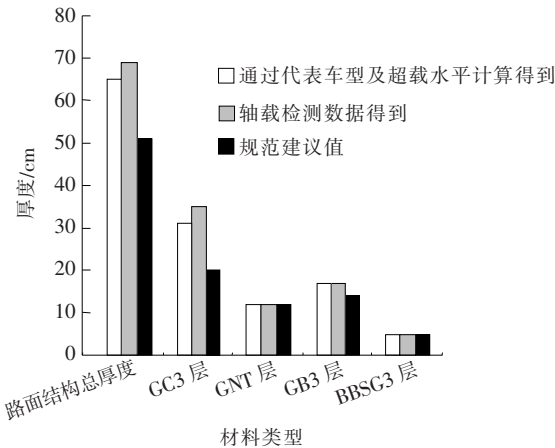


图 1 3 种 C_{CAM} 计算方法得到的路面结构厚度对比

由图 1 可知:选用倒装结构通过轴载检测计算 C_{CAM} 较规范推荐 C_{CAM} 值得到的路面结构厚 18 cm, 总厚度增加约 35%, 结构层厚度的差异主要在于连接层 GB3 和底基层 GC3。通过假设代表车型及超载水平计算 C_{CAM} 得到的路面结构介于两者之间, 可见 C_{CAM} 值对路面结构方案、结构层厚度影响巨大。

3 结果比较与分析

(1) 重车平均轴载转换系数(C_{CAM})是法国路面结构研究中的关键参数,从马里项目来看,采用轴载检测数据得到的 C_{CAM} 进行力学分析后的路面结构厚度比

规范参考 C_{CAM} 值厚 18 cm, 通过代表车型并假设超载水平得到的 C_{CAM} 路面结构计算厚度比规范参考 C_{CAM} 值厚 14 cm, 对于地形不复杂的公路建设项目, 路面结构造价占比有可能超过 50%, 因此, 在项目前期对 C_{CAM} 进行论证分析十分必要。

(2) 法国本土项目 C_{CAM} 可采用规范参考值, 非洲法语区国家轴载检测计算 C_{CAM} 值远高于规范参考值在于没有有效的交通荷载控制, 载重增加对 C_{CAM} 值、同时也是对路面损害程度的影响呈几何倍数增长, 基于马里某项目的数据, 根据不同超载比例下重车平均轴载转换系数 C_{CAM} 计算值, 可以发现超载 30% 时, 路面结构中柔性材料受损相对于不超载情况增加 3.7 倍, 半刚性材料受损将增加 18 倍; 超载 50% 时, 柔性材料和半刚性材料受损相对于不超载情况分别增加 7.6 倍和 100 倍。超载超限运输将大大缩短道路使用寿命, 根据 Alize-LCPC 软件反算结果, 平均超载水平 30%, 相对于不超载情况, 路面产生疲劳破坏的时间会缩短 50% 以上。

(3) 虽然轴载检测 C_{CAM} 值更接近实际交通情况, 但是检测轴载需要配置人员、设备和相关的管制手段以采集大量数据, 很多项目不具备这些条件, 此时可以通过定义代表车型和确定平均超载水平的做法来计算 C_{CAM} 值。

(4) 通过检测或定义代表车型得到的 C_{CAM} 如果过大, 会显著提高路面结构造价, 路面结构方案设计要注意与当地经济发展水平、项目具体财务情况相适应。

(5) 在超载条件下运营, 路面早期破坏风险极大, 短期内路面可能出现严重破坏, 超载行驶增加事故概率和侧翻概率, 可能引起桥涵结构物过早开裂, 缩短寿命, 严重超载甚至导致桥梁垮塌等交通事故, 建议对于 C_{CAM} 值过高的项目, 对超载超限进行治理, 采用固定或移动称重设备对超限车辆进行检测, 制定相关治超法规, 加强源头管理, 加大处罚力度, 完全杜绝超载 30% 以上的车辆在道路上行驶。

4 结语

法国规范中重车平均轴载转换系数 (C_{CAM}) 是路

面结构计算的关键参数, 不同输入条件下的 C_{CAM} 值对路面结构方案及结构厚度有很大影响。该文通过分析法国规范中轴载检测及轴载转换方法, 确定了非洲法语区项目 C_{CAM} 取值可以采用规范参考值、通过轴载检测计算值、确定代表车型和超载水平简化计算值 3 种方法, 同时以马里某项目为例, 阐述了倒装结构参数选择、计算输入及验算过程, 对不同 C_{CAM} 值条件下倒装路面结构进行了对比分析, 以期为法国标准研究及法语区路面结构设计人员提供技术参考。

参考文献:

- [1] Dimensionnement Structurel Des Chaussées Routières-Application Aux Chaussées Neuves; NF P 98—086[S], 2011.
- [2] SETRA-LCPC. Conception et Dimensionnement Des Structures de Chaussée[M]. Paris; Publié Par Le SETRA & LCPC, 1994.
- [3] Dimensionnement Des Chaussées-Détermination Des Trafics Routiers Pour Le Dimensionnement Des Structures de Chaussées; NF P 98—082[S], 1994.
- [4] 李刚, 赵永国, 张留俊. 法国沥青路面设计体系的特点[J]. 中外公路, 2009, 29(3): 316—320.
- [5] 中国路桥技术有限公司. 公路沥青路面设计规范: JTG D50—2017[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2017.
- [6] Union Economique et Monetaire Ouest Africaine (UEMOA). Reglement N°14/2005/cm/UEMOA: Relatif a l'harmonisation Des Normes et Des Procedures Du Controle du Gabarit, Du Poids, et de La Charge a L'essieu Des Vehicules Lourds de Transport de Marchandises Dans Les Etats Membres de l'union Economique et Monetaire Ouest Africaine (UEMOA) [EB], 2001.
- [7] United States Agency for International Development(US-AID). Implementation of Axleweight Rules in UEMOA Member States-Lessons Learned from Transit Traffic in Ghana[EB], 2010.
- [8] SETRA-LCPC. Réalisation Des Remblais et Des Couches de Formes «GTR», Guide Technique[M]. Paris; Publié Par Le SETRA & LCPC, 1992.