

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2021.02.008

中法沥青路面设计交通荷载参数差异研究

尹磊¹, 王琛², 申爱琴^{1*}

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 中国公路工程咨询集团有限公司)

摘要:交通荷载参数计算对沥青路面结构设计中材料类型与结构层厚度的确定十分重要。该文通过对中法两国沥青路面结构设计中交通荷载参数的计算方式进行论述,分析对比两国规范对计算参数种类以及参数值选取上存在的差异,并分别依据中法两国沥青路面设计规范对多哥 RN34 号国道中的两段路段进行交通荷载参数计算,得出按照中法两国规范规定下计算的交通荷载参数值。研究结果表明:同样的初始交通情况下,依据两国规范计算出的道路交通荷载参数值存在较大的差异;按照中国规范进行计算的过程更为复杂,且更加依赖于调查结果的准确性。

关键词:公路工程; 沥青路面设计; 交通参数; 对比分析

1 引言

交通荷载参数计算是进行路面结构设计时至关重要的一项步骤,其主要内容包括通过交通数据调查等方式确定所需的各项参数、进行初始年交通量的确定、设计年限内的总交通量的预估等。中法两国规范对交通荷载参数计算存在一定差异,这种差异会直接影响到设计的待建道路结构层厚度,从而影响工程造价与道路寿命,若交通量计算值比实际状态大,会造成筑路材料与资金的浪费;若交通量计算值比实际状态小,则会导致设计出的道路无法满足交通荷载的压力、过早产生破坏。

目前对于中法两国沥青路面设计规范的研究涉及的内容比较宽泛,在宏观层面,丁小军、赵立延等对中法公路设计标准的整体性进行过研究,其研究内容从宏观角度对中法两国道路结构设计的不同进行了对

比;在材料层面,薛善光、夏全平等对法国常用的高模量沥青混合料与中国所使用的沥青混合料进行了力学性能层面的对比分析;刘军勇、李刚等对法国沥青路面结构设计从材料选择、各结构层设计方法等方面与中国存在的差异进行了讨论;蒋松利等对基于法国标准下复合式基层沥青路面进行结构计算,得出法国复合式基层沥青路面下的力学特征;王乐宇等对中法沥青路面设计中材料参数进行正交试验,确定出对路面结构设计参数影响较大的材料参数。可以看出:目前的研究对于中法沥青路面设计交通荷载参数的深入分析较少,因此,该文从交通荷载的角度对两国规范进行差异化分析。

法国 NF P98-086-2011《路面设计规范》、《新建路面标准结构手册》(1998)以及中国 JTG D50-2017《公路沥青路面设计规范》对两国沥青路面设计交通量计算方法进行了较为详细的规定。该文立足于规范,并结合计算实例对中法两国交通荷载参数计算的差异

- *****
- [13] 杨丰华,陈明明,邵申申,等. 基于压力胶片技术的轮胎与路面接触应力分析[J]. 合成材料老化与应用,2017(5).
- [14] 刘英,田波,牛开民. 不同纹理水泥混凝土路面降噪与抗滑特性[J]. 公路交通科技,2012(1).
- [15] 彭妙娟,储楷风. 沥青路面黏弹性力学反问题研究[J]. 中外公路,2018(1).
- [16] Fritzsche D, Storeheier Svein Ådne, Helge M. The Effect of Asphalt Mixture Materials on Changes of the Road Surface Texture[C]. INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings, InterNoise12, New York City NY, 2012.

收稿日期:2020-10-25(修改稿)

作者简介:尹磊,男,硕士研究生, E-mail: 853085741@qq.com

* 通信作者:申爱琴,女,博士,教授. Email: 672121381@qq.com

进行详细的介绍和对比分析。

2 中法规范交通荷载参数计算对比

2.1 中国规范

依据中国 JTG D50—2017《公路沥青路面设计规范》进行路面结构计算时需要计算的交通量类型分为两种:① 设计交通荷载等级;② 当量设计轴载累计作用次数。二者主要区别如表 1 所示。

表 1 两种交通量类型的对比

项目	设计交通荷载等级	当量设计轴载累计作用次数
意义	根据设计使用年限内设计车道上的累计车辆数量,将交通荷载分为极重、特重、重、中等、轻 5 个等级	通过轴载当量换算法,将设计使用年限内设计车道上的累计车辆数量换算成当量轴载总数(按标准轴载 100 kN 计算)
车辆类型	计算 2~11 类车辆,即大型客车(2 轴 6 轮及以上)和货车	
作用	指导设计使用年限、基层类型、沥青类型的选择等	结构验算的依据
计算参数	交通量	交通量
	交通量年平均增长率	交通量年平均增长率
	设计使用年限	设计使用年限
	方向系数	方向系数
	车道系数	车道系数
	车辆类型组成	车辆类型组成
		轴重组成

载等级计算多出一项参数,即轴重组成。这是由于设计交通荷载等级只需统计车辆数量,而当量设计轴载累计作用次数则需要计算出每一类车的当量设计轴载换算系数,并且即使是同一类车,也会因为装载量的不同导致实际轴重存在差异。规范中规定,对于改建道路,可以通过对原有道路调查,得出各类车轴型与轴重分布情况,据此作为设计轴载换算系数的参数;而对于新建道路,由于无法进行实际道路交通情况调查,故可通过不同类型车辆在满载和非满载情况下的当量设计轴载换算系数与满载和非满载车辆的比例相乘表示各类车的当量设计轴载换算系数。其中,满载和非满载时的当量设计轴载换算系数以及比例可按设计地当地经验选取或按照规范给出的参考值选取。

2.2 法国规范

法国 NF P98—086—2011《路面设计规范》规定需要计算的交通量类型同样分为两种:① 交通量等级(T_i);② 设计年限内累计交通量(N_{PL}),两种交通量等级类型均只计算交通量最大的车道上通过的重车(载重荷载总重量 >35 kN)的车辆数量。对于方向系

计算参数中的交通量,可参照待建道路的可行性研究报告,综合当地交通观测站,或实地设置站点(改建道路)进行观测;交通量年平均增长率,应根据公路等级和功能及经济和交通发展,通过调查分析确定;方向系数和车道系数可通过交通量观测(改建道路)或按照规范给定的参考值选取;车辆类型组成指 2~11 类车各自所占的比例,可通过实际调查(改建道路)或根据建设地当地经验值与参考值选取。

当量设计轴载累计作用次数的计算比设计交通荷

数与车道系数的确定,一般按规范给定的参考值进行选取,其中《新建路面标准结构手册》(文献[10])的计算示例对方向系数均取为 0.5,车道系数则根据车道数在 0.75~1 之间选取。

交通量等级(T_i)为根据年均日交通量($TMJA$)进行的直观分级,在法国沥青路面设计中主要作为某些参数的选择依据,包括材料的类型、风险等级、重型荷载平均影响系数 CAM 等。法国 NF P98—086—2011《路面设计规范》对 T_i 等级划分方式如表 2 所示。

累计交通量(N_{PL})是指设计年限内的累计交通量,逐年交通量增长在《新建路面标准结构手册》与《路面设计规范》中分别采用线性增长与指数增长的方式进行计算。《新建路面标准结构手册》对于设计年限按照结构道路(VRS)和非结构道路(VRNS)进行分类,分别为 30 年和 20 年,且为了方便地使用结构设计卡片对道路结构各层的厚度等参数进行查询,分别为 VRS 和 VRNS 划分了等级 TCi_{30} 和 TCi_{20} ,由于 TCi 等级是在 T_i 等级的基础上换算而来,故可以直接根据 TCi 等级拟定风险等级与 CAM 值。表 3 为各等级

下累计交通量(N_{PL})的最高界限。

表2 T_i 等级与年平均日交通量的关系

等级(T_i)	年平均日交通量	等级(T_i)	年平均日交通量
	$TMJA/$ ($pcu \cdot d^{-1}$)		$TMJA/$ ($pcu \cdot d^{-1}$)
T5	1~25	T0 ⁻	750~1 200
T4	25~50	T0 ⁺	1 200~2 000
T3	T3 ⁻	TS ⁻	2 000~3 000
	T3 ⁺	TS ⁺	3 000~5 000
T2	T2 ⁻	TEX	5 000~7 000
	T2 ⁺		
T1	T1 ⁻		
	T1 ⁺		

表3 $TCi_{30(20)}$ 各等级 N_{PL} 最高界限

VRS	N_{PL} 最高界限/ ($\times 10^6$ pcu)	VRNS	N_{PL} 最高界限/ ($\times 10^6$ pcu)
TC1 ₃₀	0.5	TC1 ₂₀	0.2
TC2 ₃₀	1.0	TC2 ₂₀	0.5
TC3 ₃₀	3.0	TC3 ₂₀	1.5
TC4 ₃₀	6.0	TC4 ₂₀	2.5
TC5 ₃₀	14.0	TC5 ₂₀	6.5
TC6 ₃₀	38.0	TC6 ₂₀	17.5
TC7 ₃₀	94.0	TC7 ₂₀	43.5
TC8 ₃₀	>94.0	TC8 ₂₀	>43.5

确定累计交通量(N_{PL})的目的是将其作为道路结构设计结构验算时容许应力和应变确定的依据,验算内容包括面层沥青材料的容许应变、基层和底基层的水硬性结合料或混凝土容许水平拉应力、垫层未处理砂砾料或土基顶面容许垂直变形3种。用于结构验算时,由于荷载对道路不同结构造成的破坏影响程度存在差异,需要对累计交通量(N_{PL})乘以重型荷载平均影响系数(CAM)转化为等效累计交通量(N_E)。

2.3 对比分析

中法两国规范中交通参数计算总体思想类似,均是通过确定一个初始交通量值、合适的增长率,计算得到设计年限内的总交通量,以指导路面设计,存在的区别主要有以下几点:

(1) 交通量计算方式不同,法国将交通量按照年平均日交通量和累计交通量分别计算,使得交通量作为路面设计参数选择的依据,且可以作为结构层进行力学验算的参数。而中国计算的两种交通量均是设计年限内累计交通量,在交通量等级划分方式上也与法

国存在差异。

(2) 交通量年增长率计算方式不同,中国一般按照指数增长进行计算,法国则有线性与指数增长两种计算方式,一般来说,按照线性增长时,增长率的取值相较于按照指数增长时的取值更大。

(3) 设计年限不同,法国路面设计中对累计交通量计算采用20年或30年,城市道路为10~20年。而中国规范对于高速公路、一级道路的最低设计年限要求为15年,低等级道路则更低。设计年限短虽然可以减少道路建设时的材料等级要求和层位厚度,但会使道路更早出现破坏,导致后期养护费用和难度增加。

(4) 设计轴载不同,中国规范规定标准轴载为双轮组100 kN,法国规范则规定为130 kN,相应的其他轴参数,如轮胎接地压强等也略有差异。

(5) 对计算参数获取方式不同,中国JTG D50—2017《公路沥青路面设计规范》对于车型构成、车道系数、方向系数、当量轴载换算系数(法国规范为CAM值)等计算参数的确定更偏重于实际,许多参数的设计均基于实际调查或建设地当地经验得到,虽然规范中也给出了这些参数的参考值,但是仅在无法进行实地调查时才使用。而法国对于这些计算参数的选取往往直接按照《路面设计规范》与《新建路面标准结构手册》给定的参考值选择,与实际道路情况存在一定程度的差异。

(6) 中国规范对于车辆的划分更加具体,对于轴载差异对路面造成的影响计算更加精细,甚至对于满载车和非满载车也做出了区分以更加准确计算出道路实际受到的荷载。而法国规范仅对重车(轴载大于35 kN)的数量做出计算,作为年平均日交通量与累计交通量的计算依据,对于交通量的调查方式也没有中国规范规定的细致。

3 实例分析

3.1 工程基本资料

以多哥RN34号国道中一段长度为60 543 m道路的重建与加固工程作为计算示例,该道路分为3个路段修建,选择交通量较大的两个标段(总长度16 500 m)作为示例。表4为2016年10月对这两个路段交通量的分段调查结果。

3.2 依据法国规范计算结果

根据法国《路面设计规范》,需要分别计算各自路段的年平均日交通量(MJA)和累计交通量 N_{PL} 并确

表 4 2016 年交通量分段调查结果

路段	不同轴重(t)的交通量/pcu									
	≤2(客车)	≤2(货车)	5~10	10~15	15~20	15~20	20~30	20~30	20~40	30~60
PK0+000~PK6+982	9 254	895	74	288	35	18	7	7	0	11
PK7+100~PK16+500	1 841	353	62	368	180	17	40	16	20	26

定出对应的交通量等级 (T_i) 和累计交通量等级 (TCi_{20})。

法国规范计算轴重大于 35 kN 的重车车辆,故需要统计的车辆为表 4 中 5~10 t 及以上的车辆,计算出这些车辆所占的比例,记为重车比例,由于道路修建需要一定的建设期,故设计年限起始计算年定为预计通车时间的 2020 年,建设期考虑一定水平的交通量增长,综合当地交通量发展水平,拟定出 2020 年平均日交通量(所有车型),重车比例保持不变,计算出重型车辆总数,如表 5 所示。

参照法国《新建路面标准结构手册》中关于交通量的计算方法,计算年限取 20 年,对应道路类型为

VRNS,交通量等级表示为 TCi_{20} 。调查交通量为双向交通量,单向方向系数取 0.5;待建道路为双向四车道公路,故取交通量最大的车道上的重车为 90%,即车道系数取 0.9。根据道路现有交通量拟定交通量的增长率,按照逐年线性增长,计算出累计交通量 (N_{PL}),确定累计交通量等级 (TCi_{20})。计算结果如表 6 所示。

表 5 2020 年重型荷载数量(法规)

路段	平均日交通量 (所有车型)/ (pcu · d ⁻¹)	重车 比例/ %	重型车 辆总数/ (×10 ⁶ pcu)
PK0+000~PK6+982	11 459	4.15	476
PK7+100~PK16+500	3 132	24.94	781

表 6 交通量等级及累计交通量等参数(法规)

路段	年平均日交通量 TMJA/(pcu · d ⁻¹)	交通量等 级 T_i	增长率/ %	累计交通量 $N_{PL}/(×10^6 \text{ pcu})$	累计交通量 等级 TCi_{20}
PK0+000~PK6+982	214	T2 ⁺	5.6	2.75	TC5 ₂₀
PK7+100~PK16+500	351	T1 ⁻	3.3	3.55	TC5 ₂₀

从表 6 可以看出:累计交通量 (N_{PL}) 对于两段道路分别取 2.75×10^6 、 3.55×10^6 pcu,根据 TCi_{20} 等级拟定 CAM 值的大小,对于土基、底基层、沥青层分别取为 1、0.5、0.5。CAM 值与累计交通量 (N_{PL}) 相乘后得到等效累计交通量 (N_E) 用作道路不同层位的结构验算的一项计算参数。对于第一段道路,采用 N_E 值验算路面土基顶面压应变、底基层底面拉应力、沥青面层底部拉应变时分别取 N_E 为 2.75×10^6 、 1.375×10^6 、 1.375×10^6 辆;对于第二段道路,则分别取 3.55×10^6 、 1.775×10^6 、 1.775×10^6 辆。

3.3 依据中国规范计算结果

根据中国 JTG D50-2017《公路沥青路面设计规

范》,需要计算设计交通荷载等级和当量设计轴载累计作用次数。中国交通量计算选用的车型为 2 类~11 类车,同样取表 4 中 5~10 t 及以上车型进行计算,并以 2020 年作为初始计算年,且初始年的重型车辆总数与采用法国规范计算时保持一致。由于中国交通量增长采用的是指数增长,故增长率定为 10% 和 8% (两个路段)。按照二级公路双向四车道进行设计,方向系数取 0.5,车道系数取 0.6,设计年限取 12 年。通过计算得出的设计交通荷载等级如表 7 所示。

为了计算当量设计轴载累计作用次数,需要首先对车型按照中国的分类方法分类,为了表示方便,将表 4 中 2 t 以下车辆视为 1 类车,5~10 t 车辆视为 2 类

表 7 按照中国规范计算出的交通荷载等级与交通量

路段	设计车道年平均日 交通量/(pcu · d ⁻¹)	增长率/ %	设计交通 荷载等级	交通量/ (×10 ⁶ pcu)
PK0+000~PK6+982	143	10	轻	1.12
PK7+100~PK16+500	234	8	轻	1.62

车,依此分类将30~60 t车辆视为9类车,10类与11类车辆数视为0,计算2类~11类车辆的比例,作为车型分布系数。利用车辆非满载与满载的比例及非满载和满载情形下的当量轴载换算系数计算2类~11类车的当量轴载换算系数。车型比例与非满载和满载情

况下当量设计轴载换算系数如表8所示。由于两个路段除了参数取值不同,其他计算方式均相同,故计算当量设计轴载累计作用次数时仅以第一条路段(PK0+000~PK6+982)为例。

表8 车型比例与非满载和满载情况下当量设计轴载换算系数(中规)

车型	车型比例 (PK0+000~PK6+982)	非满载		满载	
		比例 (取中值)	当量设计轴 载换算系数	比例 (取中值)	当量设计轴 载换算系数
2类	0.17	0.80~0.90	0.8	0.10~0.20	2.8
			0.5		35.5
			0.6		2.9
3类	0.65	0.85~0.95	0.4	0.05~0.15	4.1
			1.3		314.2
			0.4		5.6
4类	0.08	0.60~0.70	0.7	0.30~0.40	4.2
			0.3		137.6
			0.9		8.8
5类	0.04	0.70~0.80	0.6	0.20~0.30	6.3
			0.6		72.9
			0.7		12.4
6类	0.02	0.50~0.60	1.3	0.40~0.50	7.9
			10.2		1505.7
			1.6		17.1
7类	0.02	0.65~0.75	1.4	0.25~0.35	6.0
			7.8		553.0
			1.9		11.7
8类	0	0.40~0.50	1.4	0.50~0.60	6.7
			16.4		713.5
			1.8		12.5
9类	0.03	0.55~0.65	1.5	0.35~0.45	5.1
			0.7		204.3
			2.8		12.5
10类	0	0.50~0.60	2.4	0.40~0.50	7.0
			37.8		426.8
			3.7		13.3
11类	0	0.60~0.70	1.5	0.30~0.40	12.1
			2.5		985.4
			1.6		20.8

注:表格中的当量设计轴载换算系数的3个值分别为计算沥青混合料层层底拉应变或沥青混合料层永久变形量、无机结合料稳定层层底拉力、路基顶面竖向压应变时采用。下同。

对表 8 中数据进行计算,得出 2 类~9 类车(10 类与 11 类车由于在该例中比例为零,故不作计算)当量轴载换算系数如表 9 所示。

表 9 各类车对于不同设计指标的当量设计轴载换算系数(中规)

车型	当量设计轴载换算系数		
2 类	1.10	5.75	0.95
3 类	0.77	32.59	0.92
4 类	1.93	48.36	3.67
5 类	2.03	18.68	3.63
6 类	4.27	683.18	8.58
7 类	2.78	171.36	4.84
8 类	4.32	399.81	7.69
9 类	2.94	82.14	6.68

以 2020 年为初始计算年,双向年平均日交通量与采用法国规范时相同(476 pcu/d),方向系数取 0.5,车道系数取 0.6,结合表 8 中各类车型比例与表 9 中各类车型的当量轴载换算系数,计算得出初始年设计车道日平均当量轴次 N_1 对应于计算沥青混合料层层底拉应变或沥青混合料层永久变形量、无机结合料稳定层层底拉力、路基顶面竖向压应变分别取 164.5、6 616.1 和 237.8 轴次/d。

按照设计年限为 12 年,交通量增长率同上取为 10%,计算得出设计年限内设计车道路上当量设计轴载累计作用次数 N_e 并作为结构验算的一项计算参数,对于验算沥青混合料层层底拉应变或沥青混合料层永久变形量、无机结合料稳定层层底拉力、路基顶面竖向压应变分别取 1.28×10^6 、 51.64×10^6 和 1.86×10^6 次。

4 结论

通过比较中法两国沥青路面相关规范对交通荷载参数计算的差异并利用实例对按照两国规范方法下路面交通荷载参数分别进行计算,得出以下结论:

(1) 两国规范中对于沥青路面交通荷载参数的计算思想类似,均是将交通量经过一定方法的处理后分别用作交通等级的确定与结构验算的指标,但是对于计算年限的选取,参数值确定方法上存在差异。

(2) 中国对于交通参数设计的前期调查比法国更为重视;中国规范对于大多数参数的确定都要求在实际调查的基础上确定,而法国规范对这些参数则大多采用参考值。这也导致中国在道路设计中对于某些参数,如当量轴载换算系数的计算比较繁琐,且依赖于调查结果的准确性。

参考文献:

- [1] 丁小军,王佐.法中公路设计标准、规范的差异比较[J].公路,2008(9).
- [2] 赵立廷,李宏斌.国内外高速公路总体设计的差异比较[J].公路,2008(9).
- [3] 薛善光.法国高模量级配与国内典型级配的沥青混合料力学性能对比[J].公路交通科技(应用技术版),2018(2).
- [4] 夏全平,孙杰,李庶安,等.EME2 高模量沥青混合料性能对比试验研究[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2018(1).
- [5] 刘军勇,李刚,张留俊,等.基于法国标准的沥青路面材料的应用[J].公路工程,2010(5).
- [6] 李刚,王崇涛,丁小军,等.基于法国规范的土方、垫层和路面综合设计方法[J].中外公路,2009(4).
- [7] 蒋松利,丁淑巍.基于法国标准的复合式基层沥青路面结构设计案例分析[J].中外公路,2018(5).
- [8] 王乐宇,廖公云,李植准,等.中法沥青路面结构设计参数重要性对比分析[J].中外公路,2015(5).
- [9] NF P98-086-2011 路面设计规范[S].
- [10] Paris:SETRA, LCPC, 1998 新建路面标准结构手册[S].
- [11] JTG D50-2017 公路沥青路面设计规范[S].
- [12] 刘小兰,张献民.车辆荷载下沥青路面的路基应力研究[J].中外公路,2019(3).
- [13] 刘妍,陶敬林,黄建华,等.渠化交通对沥青路面力学性能的影响[J].中外公路,2019(6).