

# 新旧规范中交通荷载分析方法对比分析

梅朝

(中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北 武汉 430010)

**摘要:**以江西省(南)昌至九(江)高速公路交通量数据为例,比较分析新、旧规范中交通荷载分析的计算差异。从分析新规范中关于交通荷载分析的修订内容入手,通过对实际算例的计算,对两种方法进行比较。结果表明:新规范与旧规范相比,标准轴载的选择更有科学性,车型分类更精确,交通参数的选择更符合实际情况,当量轴载换算结果偏大,符合研究现状,新规范可以更好地计算交通荷载。

**关键词:**道路工程;沥青路面;规范对比;轴载换算

自2006年10月10日交通部颁布JTG D50—2006《公路沥青路面设计规范》(以下简称“旧规范”)以来,中国的沥青混凝土路面建设有了飞跃性的发展,在丰富的实践经验基础上,路面设计理论也取得了丰硕的研究成果。为了适应中国沥青混凝土路面不断发展的需要,2017年9月交通部颁布了JTG D50—2017《公路沥青路面设计规范》(以下简称“新规范”)。新规范引进了美国力学经验法路面设计指南和JTG D40—2011《公路水泥路面设计规范》中的路面结构可靠度的设计理念,改变了过去以路表弯沉值作为主导的设计指标,采用针对具体损坏的设计指标体系。新规范中设计指标的改变,导致沥青路面结构设计发生了较大变化。交通荷载分析作为路面结构设计的基础,很多学者从事了相关研究,提出了各自的路面轴载换算方法。新规范在总结这些研究的基础上,规范了轴载谱及交通参数的调查分析方法。该文收集江西省昌九高速公路2009—2013年交通量数据,对比评价新旧规范中轴载换算公式,分析新规范在交通荷载分析方面相比旧规范的进步。

## 1 交通量调查及分类

昌九高速公路交通量较大,而且重载车辆较多。在旧规范中,按照设计弯沉和半刚性材料层拉应力指标,将道路的混合交通量换算成当量轴载作用次数,通常将车辆分成小客车、大客车、小货车、中货车、大货车和集装车,并为每一个类型的车辆选择一个代表车型和典型轴重。新规范中,按照沥青层疲劳和沥青层永久变形、路基永久变形和无机结合料类结构层疲劳3种指标,按轴型的不同,将车辆分为11种类型,根据轴载谱进行车辆当量轴载换算。

根据新规范和旧规范中车型分类方式,统计2013年昌九高速公路的交通量数据,旧规范数据见表1,新规范数据见表2。

## 2 旧规范交通荷载分析

旧规范中,以设计弯沉值和沥青层层底拉应力为

- \*\*\*\*\*
- [12] Ayalew Belay Habtie, Ajith Abraham, Dida Midekso. Artificial Neural Network Based Real-Time Urban Road Traffic State Estimation Framework[J]. Computational Intelligence in Wireless Sensor Networks, 2016, 676:73-97.
- [13] M. Baykal-Gursoy. Modeling Traffic Flow Interrupted by Incidents[J]. European Journal of Operational Research, 2009, 195(1):127-138.

- [14] 游月省. 交通事故下城市快速路通行能力及改善措施研究[D]. 长安大学硕士学位论文, 2014.
- [15] 袁绍欣. 城市交通拥堵传播机理及其控制策略研究[D]. 长安大学博士学位论文, 2012.
- [16] Tian Zhao, Limin Jia, Honghui Dong, et al. Analysis of Urban Road Traffic Network Based on Complex Network[J]. Procedia Engineering, 2016, 137:537-546.

收稿日期:2018-04-11

作者简介:梅朝,男,硕士,助理工程师.E-mail:meizhaoc@163.com

表 1 旧规范交通量统计

车辆类型	平均日交通量/ (pcu · d <sup>-1</sup> )	交通组成 比例/%
客 1 型	10 063	83.8
客 2 型	139	1.2
客 2 型	199	1.7
客 4 型	65	0.5
集 1 型	8	0.1
2 轴货车	865	7.2
3 轴货车	170	1.4
4 轴货车	173	1.4
5 轴货车	23	0.2
6 轴及以上货车	300	2.5
合计	12 006	100

指标,分别将各级轴载按公式换算成标准轴载的当量轴次。实地调查分析后,确定每一种车的标准车型,见表 3。客 1 型为 7 座以下单轴轴载小于 25 kN 的车,对路面的荷载作用较小,一般情况下忽略其对沥青路面的影响。各车型的标准轴载累计当量轴次计算结果见表 3。

表 2 新规范交通量统计

车辆类型	日均交通量/ (pcu · d <sup>-1</sup> )	交通组成 比例/%
1 类	10 488	87.4
2 类	65	0.5
3 类	779	6.5
4 类	60	0.5
5 类	78	0.6
6 类	111	0.9
7 类	99	0.8
8 类	27	0.2
9 类	135	1.1
10 类	90	0.7
11 类	75	0.6
合计	12 006	100

计算中,2 轴货车的后轴轴载达到了 162 kN,而规范中并没有明确规定轴载大于 130 kN 时的换算方法。目前世界上采用 100 kN 作为标准轴载的国家最多,且中国各省已经对部分公路超载情况采取了限制措施,超限情况不多,故以 100 kN 作为标准轴载。所以规范只适用于轴重小于 130 kN 的情况,当轴重为

表 3 标准轴载累计当量轴次换算

车辆类型	代表车型	$n_i /$ (次 · d <sup>-1</sup> )	设计指标下当量轴次/(次 · d <sup>-1</sup> )	
			弯沉控制 $N_1$	弯拉控制 $N_1'$
客 2 型	宇通 ZK6820G	139	15	1
客 3 型	宇通 ZK6105	199	99	36
客 4 型	华龙 SK171A	65	43	14
集 1 型	解放 SP9200	8	9	4
2 轴货车	黄河 JN162	865	10 230	66 725
3 轴货车	黄河 JN360	170	619	1 106
4 轴货车	解放 SP9250	173	1 011	1 893
5 轴货车	尤尼克 2766	23	138	185
6 轴以上货车	注 1	300	1 071	836
合计		1 943	13 236	70 801

注:注 1 为车辆换算时没有 6 轴及 6 轴以上代表车型,该文按交通部门规定的限重标准,根据轴载分布原则,计算出前、中、后轴轴重。

130~200 kN 时,借鉴国外规范进行计算。规范建议对弯沉设计的轴载换算公式  $n$  值取 5.0,弯拉应力  $n$  值取 9.0,据此计算 2 轴货车后轴的当量轴次。

结算结果表明:2 轴货车是昌九高速公路上日均

轴次最多的车型,按弯沉控制时,2 轴货车的累计当量轴次占了总轴次的 65%,按弯拉控制时,2 轴货车的累计当量轴次占了总轴次的 90%,其余车型所占比例不大。以设计弯沉值作为指标进行路面结构设计时,其

日平均当量轴次  $N_1 = 13\,236$  次/d;以半刚性基层层底拉应力为指标,其日平均当量轴次  $N_1' = 70\,801$  次/d。

规范规定双向四车道的车道系数为 0.4~0.5,车道窄时选高值,车道宽时选低值。根据昌九高速公路 2009—2013 年交通量数据,得出交通量年平均增长率

为 15%,根据交通量数据,车道分布系数取 0.5,设计年限按 15 年计,计算得到设计年限内一个车道上的累计当量轴次  $N_e$ ,见表 4。以弯沉和弯拉作为设计指标时,得到的累计当量轴次差别较大。根据规范中对交通荷载分级的规定,以弯沉和弯拉作为设计指标时,昌九高速公路均属特重交通等级。

表 4 设计年限内一个车道的累计当量轴次

设计指标	$N_1 /$ (次·d <sup>-1</sup> )	交通增 长率/%	车道分布 系数 $\eta$	累计当量轴次/ (次·车道 <sup>-1</sup> )
设计弯沉值	13 236	15	0.5	$1.1 \times 10^8$
半刚性材料层弯拉应力	70 801	15	0.5	$6.7 \times 10^8$

3 新规范交通荷载分析

许多学者对标准轴载及其参数,超载、重载条件下的轴载换算方法进行了研究。同济大学统计了 20 个省、直辖市的轴载状况,少数地区超限情况严重,河北一收费站平均超限率达到了 27.81%,而大多数地区超限率不到 2%。超载车在公路上运行时,不仅增加当量作用次数,而且因轴载提高了,对路面结构设计产生了较大影响。路面结构类型或厚度设计时,需充分考虑超载车轴存在的影响,否则路面结构将产生过早破坏,缩短沥青路面的使用寿命。随着轴重的增加,超载方式下弯沉的增量大于非超载方式下弯沉的增量,也即超载引起的轴重增加对路面结构的破坏程度要大于正常车型对路面结构的破坏程度。所以采用旧规范设计时,低估了超限轴载对路面的疲劳损坏作用。

由于中国大范围内货车超载比例并不高(大多数地区不超过 2%),而且在轴载换算公式中通过满载车与超载车的系数,考虑了超载情况,即一定程度上考虑了超载对路面损坏的影响,所以新规范仍然采用 100 kN 作为标准轴载。新规范规定了新的轴型分类方法和车辆类型分类方法,按 3 个水平进行交通荷载分析,高速公路加铺设计应采用第一水平。第一水平要采用称重设备连续采集设计车道上的车辆类型、轴型组成和轴重数据,根据轴载谱进行当量轴载换算。

由于 1 类货车轴载较小,进行交通荷载分析时忽略不计,只计算 2 类~11 类车即大型客货车。根据昌九高速公路交通量数据,2013 年大型客货车年均日交通量为 1 518 pcu/d,交通量增长率为 15%,方向系数 0.55。规范中车道系数为 0.7~0.85,交通受非机动车

和行人影响时取低限,反之取高限,故车道系数取 0.85。根据此交通参数,计算得设计车道初始年大型客货车日均交通量为 710 pcu/d。计算得 15 年设计期内,大型客货车累计为  $1.2 \times 10^7$  辆,根据规范中对交通荷载分级的规定,属于特重交通等级。

根据交通调查分析,整车货车比例为 68%,半挂车货车比例为 23%,根据公路 TTC 分类标准,昌九高速公路属 TTC3 类。计算得车辆类型分布系数和各车型车辆的交通量见表 5。根据路网相邻公路的车辆满载情况和江西省满载情况分析,得到各类车型满载与非满载的比例,见表 6。

表 5 车辆类型分布系数和各车型的流量

车辆类型	车型分布系数/%	流量/pcu
2 类	17.8	2 194 257
3 类	33.1	4 080 332
4 类	3.4	419 128
5 类	0	0
6 类	12.5	1 540 911
7 类	4.4	542 401
8 类	9.1	1 121 783
9 类	10.6	1 306 692
10 类	8.5	1 047 819
11 类	0.7	86 291

根据沥青层疲劳和沥青层永久变形、无机结合料层疲劳开裂和路基永久变形 3 项设计指标进行设计,根据表 6 和规范中的满载车和非满载车的当量轴载换算系数,计算得到各车型的满载车和非满载车所对应的当量轴载次数,见表 7。

表 6 满载车和非满载车交通比例和交通量

车辆 类型	交通 量/pcu	交通比例		交通量/pcu	
		非满载车	满载车	非满载车	满载车
2 类	2 194 257	0.95	0.05	2 084 544	109 713
3 类	4 080 332	0.66	0.34	2 693 019	1 387 313
4 类	419 128	0.8	0.2	335 302	83 826
5 类	0	0.56	0.44	0	0
6 类	1 540 911	0.7	0.3	1 078 638	462 273
7 类	542 401	0.52	0.48	282 048	260 352
8 类	1 121 783	0.64	0.36	717 941	403 842
9 类	1 306 692	0.58	0.42	757 882	548 811
10 类	1 047 819	0.61	0.39	639 170	408 650
11 类	86 291	0.62	0.38	53 500	32 791

由表 7 可以看出:以沥青层疲劳开裂为指标时,当量轴载累计作用次数为  $2.89 \times 10^3$  万次;以无机结合料层疲劳开裂为设计指标时,当量轴载累计作用次数为  $1.95 \times 10^5$  万次;以路基永久变形为设计指标时,当量轴载累计作用次数为  $4.86 \times 10^3$  万次。

4 数据对比分析

4.1 车型分类

旧规范中沿用传统车型分类方法,将车辆换算成 6 种代表车型进行计算。这种方法比较粗糙,可能会将轴型或轴重相差很大的车型归入同一类。而且由于车型数据比较古老、部分车型已经停产、缺少 6 轴以上车型、分类偏少各代表轴型的选取随意性较大,导致计算的当量轴载作用次数不能很好地反映当今交通实际情况。

表 7 各车型当量轴载作用次数 万次

车辆 类型	沥青层疲劳开裂 沥青层永久变形		无机结合料层 疲劳开裂		路基永久变形	
	非满载车	满载车	非满载车	满载车	非满载车	满载车
2 类	167	31	104	389	125	32
3 类	108	569	350	43 589	108	777
4 类	23	35	10	1 153	30	74
5 类	0	0	0	0	0	0
6 类	140	365	1 100	69 604	173	790
7 类	39	156	220	14 397	54	305
8 类	101	271	1 177	28 814	129	505
9 类	114	280	53	11 212	212	686
10 类	153	286	2 416	17 441	236	544
11 类	8	40	13	3 231	9	68
合计	$2.89 \times 10^3$		$1.95 \times 10^5$		$4.86 \times 10^3$	

随着经济的发展,车辆不断更新换代,旧车型数据已经不能代表路上行驶的车辆,而且难以充分考虑超载对路面的影响。新规范放弃了以具体车型做代表的思路,采用轴型作为分类标准,根据车辆组成、轴组组成和对路面的破坏作用,将车辆分为 11 种类型,并利用已经成熟的轴载谱理论统计轴重分布,更准确地分析交通参数。轴载谱通过确定各类车型在交通流中的分布百分率、各类车型的轴载组成以及各种轴载不同的分布比例等参数,能更加全面、准确地反映交通荷载特性,更精确地分析交通荷载对路面的破坏作用。用于测定车辆轴重的动态称重系统正日渐普及,而且计

重收费也是中国高速公路收费的发展趋势,所以高速公路收费站统计的交通数据也可以很好地用于荷载分析。

综上所述,新规范中关于车型分类方法更合理,更适合车辆现状,也能适应将来发展。

4.2 交通等级划分和交通参数

旧规范中,采用 BZZ—100 累计标准轴次和大客车及中型以上的各种货车交通量作为交通等级划分指标,划分为 4 个等级。依此计算分类,昌九高速公路属于特重交通等级。在交通参数方面,车道分布系数范围为 0.4~0.5,车道窄时选高值,车道宽选低值。

由于新规范采用多指标设计方法,不同指标对应不同的当量轴载累计作用次数。若以此为划分交通荷载等级的依据,使用过程中不太方便。新规范中,以路面结构设计期内累计大型客货车交通量为指标,划分为 5 个等级,增加了极重等级。依此计算分类,昌九高速公路属于特重交通等级。在交通参数方面,车道系数为 0.7~0.85,交通受非机动车和行人影响严重时取低限,反之取高限。

由此可以看出:尽管新旧规范中关于交通等级划分的指标不同,不具有可比性,但是两种方法计算得到的交通等级相同。说明新规范在交通等级划分方面,保持了一致性;车道系数由旧规范中 0.4~0.5 提升到了 0.7~0.85,符合目前货车主要行驶在行车道的行为,更符合现状交通情况。

4.3 当量轴载计算

旧规范根据弯沉等效原则进行轴载换算,可是弯沉与实际路用性能没有直接关系,计算得到的当量轴载也不能真实地反映车辆对路面的破坏作用。而且轴载换算公式适用于轴载小于 130 kN 的情况,没有考虑超载的影响,这样导致累计当量轴次偏小。对于大于 130 kN 的轴载,规范只给出了推荐公式。但是长安大学研究提出,沥青路面弯沉、弯拉应力曲线随轴重的增加而非线性增加,轴重 50~130 kN 为线性,大于 130 kN 为非线性。所以关于轴重大于 130 kN 时轴载换算公式中  $n$  的取值争议比较多,所以旧规范推荐公式不能准确反映实际轴载情况。

新规范采用与路用性能相关的设计指标计算得到的当量轴载,更符合实际情况。新规范在进行大量统计之后,认为中国车辆超载比例不严重,所以提出的计算公式同样只适用于轴载小于 130 kN 的情况,但是也考虑了超载的影响,这在一定程度上能反映 130 kN 以上的轴载。

算例中,新旧规范不同算法得到的累计当量轴次见表 8。

由表 8 可以看出:新规范中以沥青层疲劳开裂、沥青层永久变形和路基永久变形为指标计算的当量轴次与旧规范相近,而以无机结合料层疲劳开裂为指标计算的当量轴次与旧规范差了一个数量级。按新规范计算得到的累计当量轴次均比旧规范中以弯沉为指标计

表 8 新、旧规范计算累计当量轴次

规范	设计指标	当量轴次/次
旧规范	设计弯沉值	$1.1 \times 10^8$
	半刚性材料层弯拉应力	$6.7 \times 10^8$
	沥青层疲劳开裂、沥青层永久变形	$2.89 \times 10^7$
新规范	无机结合料层疲劳开裂	$1.95 \times 10^9$
	路基永久变形	$4.86 \times 10^7$

算的累计当量轴次大,这是新规范交通参数选择更合理、考虑超载影响的体现。

5 结论

(1) 新规范中应用了更详细的车辆分类方式和轴载谱,更能准确反映路面实际情况,也是将来的发展趋势。

(2) 新、旧规范中交通等级的依据不同,但是差距不大;新规范交通参数的选择更具现实性。

(3) 新规范采用与路面使用情况相关的指标进行轴载换算,反映了车辆对路面的破坏作用;新规范计算的累计当量轴次均比旧规范中以弯沉为指标计算的累计当量轴次大,符合前人研究结果。

参考文献:

[1] JTG D50—2017 公路沥青路面设计规范[S].  
[2] 周兴业.基于轴载谱的沥青路面累计当量轴次换算[J].长安大学学报:自然科学版,2012(1).  
[3] 赵鸿铎.实测轴载谱道路当量轴载换算系数的确定[J].公路,2004(4).  
[4] 赵延庆,王家杰,何昌轩,等.利用轴载谱确定高速公路沥青路面当量轴载换算系数[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2008(5).  
[5] JTG D50—2014 公路沥青路面设计规范[S].  
[6] 同济大学.沥青路面荷载标准[R],2014.  
[7] 陈浙江,王玲娟.超载下的沥青路面轴载换算[J].中外公路,2007(2).  
[8] 张卫兵.超载作用下沥青路面设计方法及合理结构研究[D].重庆交通大学硕士学位论文,2009.  
[9] 刘颖.重载道路路面设计方法研究[D].长安大学硕士学位论文,2001.