

# Load Effect on Parameters of the Road

Yan LI, Qian LI

Chongqing Jiaotong University, Chongqing, China, 400067

**Abstract:** In order to study the asphalt pavement under the action of load analysis, the variations of all the mechanical parameters of BISAR3.0 and three finite element method is used, to the asphalt surface stress distribution are analyzed. Results show that under different conditions of load and the contact between the layers, the vehicle load under the action of random, under vertical dynamic load, under horizontal load, pavement parameters reflect some regular changes.

**Keywords:** BISAR3.0, three-dimensional finite element, interlayer contact, mechanical respons.

## 荷载作用对路面各参数的影响

李妍, 李乾

重庆交通大学, 重庆, 中国, 400067

**摘要:** 为了研究沥青路面在荷载作用下的各力学参数的变化分析, 采用 BISAR3.0 以及三位有限元等方法, 对沥青路面的受力情况进行了分析。结果显示, 在不同荷载以及层间接触条件下、在车辆荷载随机作用下、在竖向动态荷载作用下、在水平荷载作用下, 路面的参数均反映出一些规律性的变化。

**关键词:** BISAR3.0; 三维有限元; 层间接触; 力学响应模板

### 1 引言

近年来, 我国高速公路发展剧烈, 在很多方面都达到了世界先进水平, 可是, 路面破坏现象却屡屡出现, 从而造成行车的不舒适性与不安全性。除了温度, 降雨量的因素之外, 荷载对路面的破坏作用也越来越被关注。比如, 超载对路面的影响, 采用双圆均布荷载模型, 利用  $L=C_1 C_2 \left( \frac{P_i}{100} \right)$  对沥青路面进行弯沉计算时, 在标准轴载作用条件下, 假设  $L=1$ , 若超载重量为 300KN, 则  $L=43046721$ , 虽然荷载增加了两倍, 但是路面弯沉值却大得惊奇。我们发现, 在车辆通行过程中, 针对小型汽车按普通收费标准, 但是对于大型超载汽车, 实际并不是按照车重的倍数来计价的, 而是以指数增长的形式, 或许这就是我国公路治理方面的措施, 以此来限制超载车辆的运行。又比如水平荷载对路面的作用, 一般情况下我们只会考虑竖向荷载对路面的影响, 而忽略了水平力的影响, 那么水平力的作用会对路面产生什么破坏, 也值得我们进一步思索。基于这些问题, 本文将讨论各种荷载对路面力学的影响情况。

### 2 荷载对路面力学的分析

#### 2.1 不同荷载与层间接触条件对路面力学的影响

利用正常荷载 0.7Mpa 和 1.0Mpa 分别代表标准轴载和超重荷载, 以及 0.7Mpa 层间滑动和 1.0Mpa 层间滑动四种数据模型, 利用 BISAR3.0 对路面进行力学分析, 以便得出在四种条件下路面剪应力、拉应力以及弯沉值的变化情况。参照阅读文献, 假设路面分析结构为下表 1<sup>[1]</sup>。

表 1. 实际工程路面结构

路面结构	厚度/cm	20℃模量/MP	泊松比
改性沥青 SMA-13	4	770	0.25
改性沥青 SMA-20	8	880	0.25
重交沥青 SUP-25	8	1060	0.25
水泥稳定碎石	40	1566/1760	0.2
水稳废料	20	300	0.2
路基	/	60	0.35

计算位置取双圆均布荷载的中点进行力学分析, 利用 BISAR3.0 对应力进行计算分析。分析可得到的数据如下表 2<sup>[1]</sup>。

表 2. 最大拉应变随深度的变化结果

计算点层位	深度/cm	0.7Mpa	0.7Mpa, 滑动	1.0Mpa	1.0Mpa, 滑动
-------	-------	--------	------------	--------	------------

		拉应变/10 <sup>-6</sup>	位置 r/&	拉应变/10 <sup>-6</sup>	位置 r/&	拉应变/10 <sup>-6</sup>	位置 r/&	拉应变/10 <sup>-6</sup>	位置
改性沥青 SMA-13	0	223.66	0.25	242.21	0.25	691.2	0	748	0
	2	0.14	0.75	19.29	0.75	-336.8	0.5	36.62	2.75
	4	15.85	2.25	34.48	2.25	-277.2	0	30.86	1.75
改性沥青 SUP-20	6	37.74	2	61.8	2	-250.8	0	74.26	0
	8	55.18	1.75	97.89	1.25	20.18	0	165.12	0
	10	62.21	1.5	119.5	1.25	44.24	0	229	0
	12	53.46	1.5	127.24	1.25	44.22	0	275.2	0
重交沥青 SUP-25	16	42.86	1.25	165.67	1.25	47.28	0	400.6	0
	20	18.48	1.25	231.36	1	8.41	0	560.6	0
水泥稳定碎石	60	56.02	0	78.5	0	156.8	0	219.2	0
水稳废料	80	68.9	0	99.96	0	195.52	0	283.4	0

看上表分析，首先，观察在四种不同状态下的路面最大拉应变的值，可以发现，在标准轴载层间连续的情况下路表最大拉应变最小，而其他三种情况下，最大拉应变都要比标准轴载层间连续的最大拉应变要大，且超载和层间滑动共同作用下，最大拉应变几乎是普通条件下的 3 倍多。其次，四种不同状态的结果显示，不管在任何情况下，路面的最大拉应变都发生在路表。再而，可以发现，在任何一种情况下，随着路面结构向下延伸，拉应变的值总是呈现相同的变化规律，即先减小后增加，再减小再增加。最后，超载和层间滑动不论是分别作用于路面还是两两组合作用于路面，都会是路面的最大拉应变发生剧增。所以，在高速公路进行管理过程中，我们要做好两方面的工作：一、我们要严格控制超载车辆在高速路上行驶；二、在设计路面结构层时，要加强各结构层之间的粘结力，以保证路面有更好的服务性能。

同理，对路面结构层的最大剪应力（没有列出相应的对比表格）进行计算分析得出，首先，观察在四种不同状态下的路面最大剪应力的值，可以发现，在标准轴载层间连续的情况下路表最大剪应力最小，而其他三种情况下，最大剪应力都要比标准轴载层间连续的最大剪应力要大，且超载和层间滑动共同作用下，最大剪应力几乎是普通条件下的 1.3 倍多。其次，可以发现，在任何一种情况下，随着路面结构向下延伸，剪应力的值总是呈现相同的变化规律，即先增加后减小。最后，在超载和层间连续的情况下，荷载对路面产生的最大剪应力比标准轴载层间连续要大许多，而最大剪应力的出现又是导致路面破坏的重要原因。所以，加强半刚性基层

的层间粘结力和路面材料的抗剪性能尤为重要。对路表弯沉进行分析，数据如表 3 所示[1]。

表 3. 路边弯沉计算结果分析

0.7Mpa		0.7Mpa, 滑动		1.0Mpa		1.0Mpa, 滑动	
路表弯沉/0.01mm	位置/r/&	路表弯沉/0.01mm	位置/r/&	路表弯沉/0.01mm	位置/r/&	路表弯沉/0.01mm	位置/r/&
38.68	1.5	45.12	1.2	100.39	0.7	119.87	0.5

由上表分析，虽然没有把相同受力点的位置处的弯沉值进行比较，但是有理论可知，越靠近双圆均布荷载的中心点，弯沉值越大。由上表可得，随着受力点的位置越来越远，在不同条件下，弯沉值越大，而且，在相同荷载作用下，层间滑动使得弯沉值增大。在层间条件相同的情况下，超载使得路面弯沉值急剧上升。综上可得，在超载和层间滑动综合作用下，路面会产生更大的弯沉。而弯沉是路面产生车辙的主要原因，从而导致路面破坏。所以，对通行车辆严禁超

载和加强层间粘结力意义深远。

## 2.2 荷载接触面的形状对路面力学的影响

在通常情况下，我们都习惯于把车辆对路面的行车荷载看做双圆均布荷载来进行分析计算，以请假路面的路用性能。但是，随着进一步的研究，越来越多的受力面积的模型被大家认可。普遍接受的有正方形、矩形、椭圆形、双圆以及一个矩形和两个半圆组成的图形。通过阅读文献发现表四所示情况[2]。

表 4. 各工况方案下路表弯沉值 (0.1mm)

接触面形状	轮隙中心变形值	轮底最大变形值
圆形	44.82	47.78

正方形	45.34	48.1
长方形	45.42	48.11
椭圆形	45.47	48.23
矩形+两半圆形	45.72	48.37

上表显示的为在相同的均布荷载作用下，荷载与不同的路面接触面形状下，产生的不同的轮隙中心变形值和轮底最大变形值对比表。可知，在相同的均布荷载作用下，把荷载与地面的接触面形状分为不同的类型，得出的变形值也不同。其中，假设接触面为圆形时的轮隙中间变形值和轮底最大变形值最小，而矩形+两半圆的变形值最大，正方形、长方形和椭圆形

介于两者之间。所以，在进行路面弯沉计算时，建议采用矩形+两半圆形的接触面形状，因为在这样的情况下，我们计算出来的弯沉值相对安全，而采用双圆均布荷载接触面得到的弯沉值最小，在接触面不清晰的情况下计算结果比较冒险。

采用有限元三维分析方法对路面面层剪应力进行分析，通过阅读文献，可参考的数据如表 5<sup>[2]</sup>。

表 5. 各工况方案面层剪应力

接触面形状	上面层最大剪应力	下面层最大剪应力
	$(6_1-6_3)/2$	$(6_1-6_3)/2$
圆形	0.244045	0.271935
正方形	0.24863	0.286685
长方形	0.258	0.294
椭圆形	0.25472	0.283525
矩形+两半圆形	0.25885	0.29661

由上表可知，将荷载假设为矩形+两半圆形的上面层和下面层的最大剪应力均为最大值，其次为长方形，最小的为圆形。同理可得出，将荷载转化为矩形+两半圆形对面层剪应力的敏感性较强，以此来对路面面层进行分析具有更高的可靠度。

### 2.3 竖向动态荷载对路面力学的影响

到目前为止，我国在研究荷载对路面的影响或者破坏时，都是以静载为研究的主要手段。而道路实际破坏时，遭受的一般都是车辆在道路上的动载作用。道路在静载作用荷载东仔作用下有何区别，现在也还只是一个模糊的概念。采用运动方程解析的办法，一些专家以竖向力学激励法<sup>[3]</sup>提出了一些解释。

#### 2.3.1 矩形波激励时路面弯沉值

采用有限元的分析方法对矩形波的波动趋势进行分析得出，静荷载与动荷载对路面进行相同时间的作用，发现在动载作用下的路面弯沉值相比于静载作用下的弯沉值要大很多。同时，分析还得出，不同速度的动载对同一路面进行相同时间的作用，速度大的动载作用产生的弯沉值比速度小的动载作用产生的弯沉值要小。这一结论也提醒我们，在进行路面弯沉设计时，以静载作为设计参数是合理的，这样可以保证设

计有较大的可靠度。

#### 2.3.2 矩形波激励时路面应力变化

在静载作用下，路面的应力会随着荷载的增加而增大，当荷载减小时，应力值也随之减小。在动载作用下，路面应力的变化趋势和静载时大概相同，但是动载作用下路面最大应力却大大的减小，并且随着荷载的作用时间的延长，振幅会逐渐变缓，最终和静载作用趋于统一<sup>[3]</sup>。该结论同样告诉我们，在路面设计时采用静载作为设计参数计算结果比较可靠。

#### 2.3.3 行车速度对力学响应的影响

对不同速度下的路表弯沉值，层底拉应力以及路基压应变进行统计分析得出，随着速度的增加，路面的上诉力学相应指标有所减小。速度越快，相应指标的值越小。在冬天和夏天，由于温度场的不同，在相同的行车条件下，对上诉力学相应指标的值也有所不同，且表现为在冬天产生的力学响应要大于夏天，具体原因是什么，还有待于我对温度对路面力学响应的研究。

### 2.4 水平荷载对路面力学的影响

一般在进行路面设计时，多数以路面设计弯沉是为控制指标，而且该指标针对的仅仅只是车辆的竖向

荷载作用。但是，在实际的车辆行驶过程中，如停车场、十字路口、上坡路段或者说需要紧急刹车的地方，路面会受到来自车辆荷载水平力的作用，从而产生车辙、坑槽、王烈等破坏，所以，在路面设计中加入车辆荷载对路面的水平力的作用也显得尤为重要。

为研究行车水平荷载对路面的影响情况，采用有限元分析方法计算了不同荷载作用下路面的力学变化。假设以半刚性基层沥青混凝土路面作为设计模型，如表 6 所示[4]。

表 6. 沥青路面结构及材料参数

路面结构层	厚度/cm	弹性模量/Mpa	泊松比
AC-13C	4	1400	0.25
AC-20C	5	1200	0.25
AC-25C	6	1000	0.25
半刚性基层	20	1400	0.25
底基层	20	600	0.25
土基	/	60	0.35

在规范中，我们认为车辆对路面的作用力可简化双圆均布荷载，但是在假设条件下，荷载的压力作用使双圆均布荷载的周围产生巨大的突变，进而在检测过程中出现奇异点，导致理论值和实验值的差别。由上面的研究可得，把车辆对路面的荷载简化为矩形+两半圆形或者矩形要比简化成双圆均布荷载更安全。所以，在分析水平力的作用时，我们把车辆荷载简化成了矩形。

根据有限元分析模型，把路面的力学响应设计参数设计为泊松比分别为 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 五个等级，来研究水平力对路面的影响。

在只有均布荷载的竖向作用下，随着泊松比的增加，路面的最大剪应力不会发生太大的波动。但是在水平力作用下，路面的最大剪应力相比竖向荷载大大的增加，而且最大剪应力都发生在路表面。再者，对不同的泊松比研究表明，泊松比越大，路面产生的最大剪应力越大，越靠近路表，最大剪应力越大，最大剪应力都保证在路表以下 6cm 处，在路表 6cm 以下影响不大。所以，在红路灯，上坡路段，急刹车路段，应加强路表的内部连接里，以保证路表不会产生太大的剪应力而出现病害。

取沥青混合料不同厚度的面层进行计算分析得出，不同厚度的面层，水平力对路面的影响也仅仅是发生在路表 6cm 以下，并不会因为路面厚度的增加而有所变化。在相同的泊松比条件下，改变路基土的模量值，对路面的最大剪应力进行分析也得出相同的结论，即水平力对路面最大剪应力的影响只发生在路表以下 6cm 处。所以，为了减小路面的最大剪应力而采取加大混合料面层厚度或者加大路基土的模量都是不

可取的，这仅仅只是增加了造价而已，并不会减小路面的最大剪应力值。

### 3 结论

1) 在一般荷载作用条件下，路面的拉应变在路表最大，随着深度的增加先减小后增大，再减小再增大。而最大剪应力、竖向剪应力、拉应力都呈现先增大后减小的现象。在超载作用下，路面的拉应变、最大剪应力、竖向剪应力、拉应力也呈现相同的变化趋势，但是，同一般荷载作用条件下相比较，以上参数的数值有明显增大。另外，在荷载作用条件相同的条件下，层间连续比层间滑动更稳定，所以在进行路面设计时，应加强路面结构的层间粘结力抗拉强度以及抗剪强度。

2) 在进行路面结构承载力验算、拉应力验算以及剪应力验算时，最好采用矩形+两半圆的荷载与路面接触形状，或者也可以采用矩形的荷载与路面接触形。因为在这两种接触面形状下，结构承载力，拉应力、剪应力都处于更加不利的状态，与圆形，正方形等形状相比，计算结果更加安全可靠。

3) 在车辆竖向荷载作用下，随着车速的增加，路面的弯沉值相比静载时的弯沉值而言，会减小很多，路面的应力值也会比静载时小很多，同时，在列车竖向荷载经过之后，路面的应力值会立即减小，而弯沉值减小的速度却相对较慢。行车速度会影响路面的路表弯沉，层底拉应力和路基土压应变。随着车速的增加，这些力学响应参数会趋于变小。在冬天和夏天，行车速度对这些参数影响也有所不同，表现为在相同的行车速度下，由于温度场的不同，冬天的力学

相应指标要比夏天大许多。

4) 在各种水平荷载作用下,路面的最大剪应力和最大剪应变变化非常大,但是水平荷载的影响范围只限于路表 6cm 范围之内,超过 6cm 之后,路面的最大剪应力和最大剪应变不会有太大的影响,而且增加路面厚度和提高路基土的回弹模量值并不能改善路面的水平受力情况。

- [1] 张九香,程箭,陈治雄.不同荷载与层间接触条件下沥青路面力学分析[J].福建工程学院学报,2012,10(04):307-312.
- [2] 殷立文,丁静声.荷载接触面形状对沥青路面力学响应的研究[J].重庆:重庆交通大学学报,2010,29(04):544-547.
- [3] 张浩.竖向动态荷载作用下沥青路面力学响应分析[J].太原理工大学学报,2006,(03):355-357.
- [4] 王前东.水平荷载作用下沥青路面力学响应数值分析[J].郑州:公路与汽运,2012,(04):133-136.
- [5] 赵延庆,于鑫,谭忆秋.行车速度对沥青路面力学参数及响应的影响[J].北京:北京工业大学学报,2010,36(09):1253-1257.

## References (参考文献)