

# Asphalt Pavement in Mechanical Overload and Temperature Changes Response Analysis

Yuanyuan LIU

School of Civil and Architectural Engineering, Chongqing Jiao tong University, Chongqing, 400074, China

**Abstract:** The road as a structural material is exposed to the natural environment, its performance will be affected by external environmental factors. As a black asphalt pavement partial flexible pavement, its traffic load and temperatures of the two major external contributing factor is very sensitive, because of this, most of the pavement mechanical response analysis focuses on two aspects. From the aspects of load analyzes the pavement structure under specific overloaded layers of bottom surface tensile stress and shear stress, the primary layer bottom tensile stress, changes in surface deflection values. At the same time, the temperature change from the way their environment, analyzes the specific pavement structure under non-uniform temperature vertical displacement, vertical bending stress and tensile stress grassroots bottom surface with temperature changes. Load factors and temperatures of the two cases on the road is a significant force in computing-related road mechanics can not be ignored.

**Keywords:** Asphalt pavement; Overload; Temperature; Pavement Response

## 沥青路面在超载和温度变化情况下的力学响应分析

刘圆圆

重庆交通大学土木工程学院,重庆,中国,400074

**摘要:** 道路作为暴露在自然环境中的结构物,其自身使用性能也会受到外界环境因素的影响。沥青路面作为一种黑色的偏柔性路面,其对行车荷载和温度两种主要的外界作用因素十分敏感,也正因为如此,大多数的路面力学响应分析集中于这两方面。本文从荷载方面入手,分析了特定路面结构在超载状态下的面层层底拉应力和剪应力、基层层底拉应力、路表弯沉值的变化情况。同时,从道路所处环境的温度变化入手,分析了特定路面结构在非均匀温度下的竖向位移、竖向应力及基层底面弯拉应力随温度的变化情况。荷载和温度两种因素对路面的受力情况影响是显著的,在相关的路面力学计算中不容忽视。

**关键词:** 沥青路面; 超载; 温度; 路面力学响应

### 1 引言

道路是暴露在大自然环境中的结构物,在使用初期,其使用性能主要受其自身材料的影响,在使用的过程中,外界环境将会对道路将产生至关重要的影响,这主要包括车辆荷载和温度的变化。我国的道路在建设过程初期大多为水泥混凝土路面,水泥混凝土路面主要的优点为使用寿命长,缺点为行车舒适性能差,行车噪音较大。后来我国的道路大多采用沥青面层,沥青面层因其便于施工,行车舒适而受到大家青睐,因此我国陆陆续续将原有的水泥混凝土路面改为沥青路面。最近几年,沥青路面早期破坏严重,人们开始反思引起路面早期破坏的主要原因。沥青路面作为一种黑色的偏柔性路面,其对行车荷载和温度两种

主要的外界作用因素十分敏感,也正因为如此,大多数的路面力学响应分析集中于这两方面(如图1所示)。本文试图通过这两方面入手探究沥青路面在这两类主要外界因素作用下所产生的力学响应。

北美等发达国家对沥青路面的设计大多采用经验法,比如 AASHOT 路面设计方法。我国对沥青路面的设计方法主要基于理论,在设计过程中弯沉的大小为主要控制指标。相较于基于经验法的路面设计方法来说,设计控制指标较少,设计存在不合理因素。在交通日益增长的今天,路面在各种荷载作用下因强度不足产生早期破坏的现象十分普遍。因此,沥青路面的设计必须结合相应的力学指标。因时间仓促,本文总结了相应文献<sup>[1]</sup>中超载作用下的沥青路面力学响应,探索沥青路面的受力情况,为沥青路面的设计方

法提供帮助。

温度变化对沥青路面产生的影响也是十分显著的。这主要体现在沥青混合料的模量、强度会随着温度的变化而产生改变。在路面力学的计算与路面设计中，沥青混合料的材料参数都是在某一固定的温度条件下选取的，相较于暴露于实际环境条件下的沥青路面来说，这样的考虑显然是不尽完善的，也由此产生了理论计算与实际的道路状况下各方面因素相差较大的现象。本文参考相关对青藏公路的沥青混凝土路面受温度变化影响研究，总结了不同文献<sup>[2]</sup>的研究成果，阐述了沥青路面在不同温度条件下的应力变化情况，争取为完善沥青路面设计理论与方法提供参考。

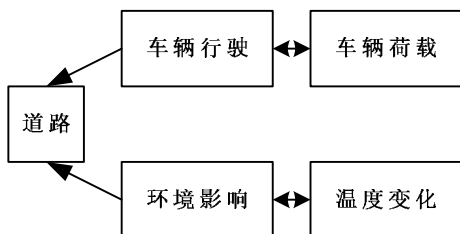


图 1. 道路所受主要外界影响因素

## 2 超载作用对沥青路面结构的力学影响

当车辆运输货物的总质量超过车辆额定的荷载质量时，车辆处于超载运输状态。超载对道路的作用次数的影响是呈几何次数增加的，所以超载是影响道路使用寿命的关键因素之一。有关资料表明，现今大多数载货汽车存在超载的现象。结合我国路面早期破坏严重的实际，超载难逃其责。路面的垂直变形包括残余弯沉和回弹弯沉两部分，当道路受到超载汽车的作用时，残余弯沉会变大，并造成路面的永久变形。由此便引发了路面的早期破坏。

### 2.1 超载对路面损坏的影响

常对超载对路面损坏的影响是从轴载换算方面来考虑的，我国的标准轴载形式为双轮单轴 100KN，超

载的表现形式就是将各种轴载的作用次数换算为 100KN 标准轴载的作用次数。换算公式<sup>[3]</sup>为：

$$N = \sum_1^k C_1 C_2 \left( \frac{P_i}{P} \right)^{4.25}$$

式中：N—标准轴载当量轴次；

C1—被换算车型的轴数系数；

C2—被换算车型的轮组系数；

K—被换算车型的轴载级别；

P<sub>i</sub>—被换算车型的轴载；

P—标准轴载；

从公式中可以看到，当被换算车型的轴载大于标准轴载时，即 (P<sub>i</sub>/P) > 1 时被换算的轴载作用次数，相较于标准轴载作用次数是成 4.25 次方增加的，而非线性增加，所以超载会加速路面的破坏，减小路面的使用寿命。

### 2.2 超载作用下的力学分析

当道路处于超载作用时，路面会产生几种较明显的破坏形态：较大荷载引起路面的永久变形，表现为路面的坑洼不平；路面结构层被拉裂，表现为路面产生较多的裂缝；路面结构层的剪切破坏，表现为路面的推挤和拥包。除了超载的作用，路面还伴有荷载反复作用下的疲劳开裂等各种要素。因为路面所处环境十分复杂，所以很难十分确定的说是由于哪种原因导致了路面的破坏。基于此，为研究超载对路面的影响，仅从直观的分析去把握路面破坏的原因是远远不够的，所以有必要从力学角度分析路面结构层的剪应力及弯拉应力的峰值及弯沉值的大小，有助于更科学地把握超载引起路面破坏的原因<sup>[4]</sup>。

#### 2.2.1 路面结构及其参数

所选路面结构层类型及各结构层物理参数如表 1 所示。表中所列数据均符合规范要求。本文对细粒式混凝土材料层层底拉应力的计算取 15℃ 下结构层模量。路表弯沉的计算则取 20℃ 环境下结构层的模量。

表 1. 路面结构参数表

结构层材料类型	结构层厚度 (cm)	20℃ 结构层模量 (弯沉计算)	15℃ 结构层模量 (拉应力计算)	泊松比
细粒式沥青混凝土	4	1400	1800	0.25
水泥稳定砂砾	20	1500	3200	0.25
天然砂砾	25	200	200	0.25

土基	——	23	23	0.25
----	----	----	----	------

不同荷载的作用形式如表 2 所示。所有荷载均采用双轮单轴双圆荷载。轮胎对地面接触压力和接触面

积是变化的。两双圆几何中心的距离保持不变。

表 2. 荷载作用形式表

轴载 P(KN)	两轮中心距 RL(cm)	单轮荷载 P(KN)	轮胎接地压强(MPa)	单轮传压当量圆直径 d(cm)
125	32	31	0.88	10.65
150	32	38	1.05	10.65
175	32	44	1.23	10.65
200	32	50	1.40	10.65
100	32	25	0.7	10.65

2.2.2 计算结果及现象分析

通过壳牌公司的 BISAR3 程序，可得到各层层底应力的变化和弯沉值。对于应力及弯沉的计算只考虑

荷载因素，不考虑温湿变化引起的应力弯沉的变化。各层层底应力及弯沉值大小如表 3 所示。

表 3. 各层层底应力和弯沉值表

位置	P=125KN	P=150KN	P=175KN	P=200KN	P=100KN
基层层底拉应力 (MPa)	0.48	0.57	0.65	0.74	0.38
面层层底拉应力 (MPa)	-0.38	-0.43	-0.53	-0.6	-0.3
面层最大剪应力 (MPa)	0.3	0.34	0.4	0.48	0.22
路表实测沉值 (0.01mm)	86	103	120	138	69

将表 3 中的数据反映到依次反映到图 2，图 3，图 4，图 5 中，更直观的表达路面结构的各项指标随荷载的变化情况。图 2 反映了基层层底拉应力随荷载的变化情况。图 3 反映了面层层底拉应力随荷载的变化情况。图 4 反映了面层最大剪应力随荷载的变化情况。图 5 反映了路表实测弯沉值随荷载的变化情况。

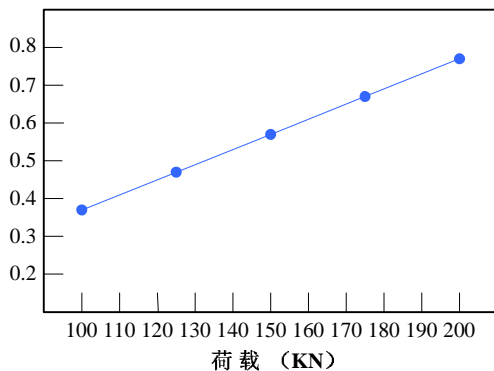


图 2. 基层层底拉应力随荷载变化规律

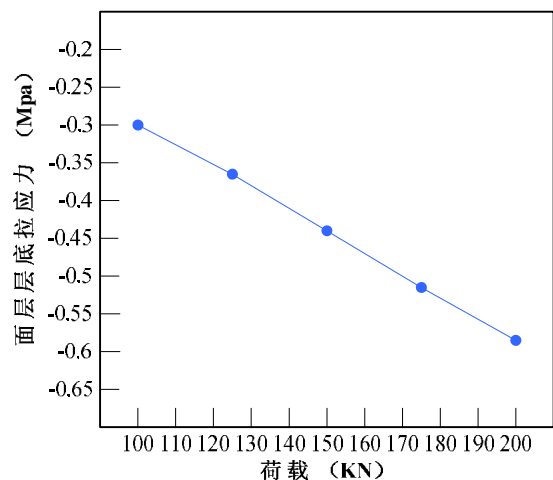


图 3. 面层层底拉应力随荷载变化规律

由图 2，图 3，图 4，图 5 可得，路面基层拉应力、面层拉应力、面层剪应力的峰值、路表实测弯沉

值与荷载大小呈正相关关系, 荷载的增大增加了路面结构层的负担, 当道路处在一重载交通条件下时, 路面结构的各项指标均会线性增大。当超重一倍时, 路面各结构层所能承受的力的大小接近其所能接收的极限值大小的一倍, 长此以往, 路面有超载引起的破坏是极为显著的。通过以上研究发现, 无论是从轴载次数的换算, 还是路面结构所受应力和弯沉值大小变化的情况, 荷载的增加对路面寿命的负面影响是极大的。

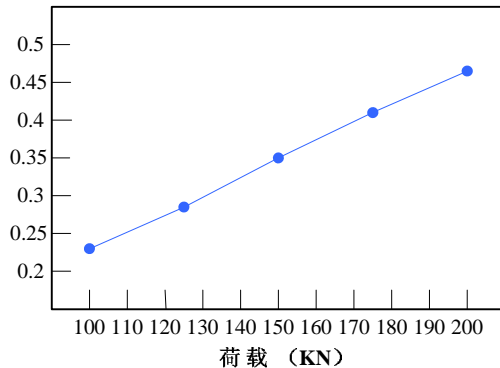


图 4. 面层最大剪应力随荷载变化的情况

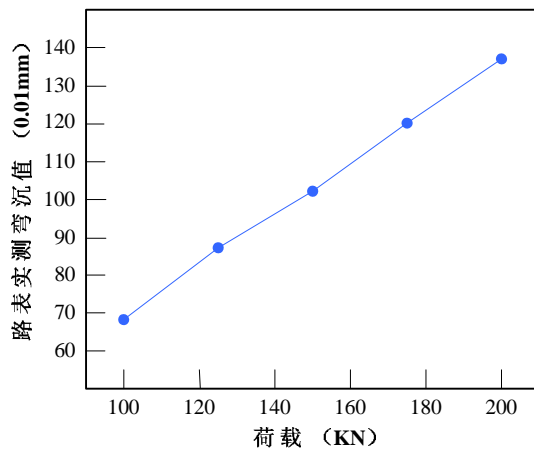


图 5. 路表实测弯沉值随荷载变化情况

### 3 温度非均匀分布对沥青路面的力学影响

沥青路面作为一种黑色路面, 其对温度的变化是十分敏感的。在不同的温度状态下, 沥青混合料的弹性模量、强度大小等与力学相关的指标都会随着温度的改变而发生变化。传统的路面力学的计算局限于某一固定的温度, 忽略了沥青路面各材料参数在不同环境温度下的变化情况, 比如在传统的路面力学计算中沥青混合料的弹性模量采用的都是某一特定温度下的

固定值, 并没有考虑沥青混合料的劲度模量受路面深度方向温度变化及温度非均匀性的影响, 由此便极易导致实际的道路情况与理论计算结果相差很大<sup>[5]</sup>。基于此种原因, 本文收集相关研究资料, 在沥青路面日温度变化和温度在路面深度方向非均匀变化的基础上, 考虑了沥青混合料的弹性模量受温度的影响, 对在温度明显变化环境下的路面结构进行了力学分析计算, 以期达到发现温度非均匀分布对沥青路面结构影响的目的, 以便为日后的沥青路面结构设计理论及其方法, 提供有益的参考。

#### 3.1 有限元模型的建立及相应计算参数

##### 3.1.1 荷载的力学特性

轮胎对于路面的作用力的形状及大小并非像路面结构设计中假定的圆形均布荷载, 殷立文、丁静声通过研究荷载接触面形状对沥青路面力学响应的影响<sup>[6]</sup>发现, 荷载接触面形状越接近于矩形, 相应的路面结构各层力学响应更敏感。本文为了建模的需要, 并结合相应研究成果, 在进行荷载分析时, 按面积等效原则将双轮荷载等效为正方形, 接触面正方形边长大小为 18.9cm, 假定两轮几何形心之间间距为 32cm。计算行车荷载假定为道路设计规范中规定的标准双轮荷载 100KN, 并将胎压控制为 0.7MPa。

##### 3.1.2 有限元模型的建立

本研究选取较常见的路面结构组合形式, 即 9+20+20 (依次为沥青混凝土面层, 水稳层, 砂砾垫层), 路面结构模型满足如下基本假设: 各层材料弹性条件良好; 路面完全均匀且各向同性, 连续性好; 各层接触条件较好, 层间连续; 不考虑自重应力的影响<sup>[7]</sup>。本模型选用的路面面层、路面基层、路面底基层的空间尺寸为 8.5\*8m<sup>2</sup>, 并结合布尔命令的使用来保证各结构层层间的连续性。为减小地基尺寸产生的误差, 以及为后续的收敛性分析提供条件, 地基的尺寸选取为 8\*13\*8m<sup>3</sup>。

##### 3.1.3 计算参数

沥青路面的各结构参数和材料参数如表 4 所示。面层沥青路面在不同温度下弹性模量的大小值如表 5 所示。沥青路面在深度方向温度的变化情况由表 6 所示温度情况线形插值。

表 4. 沥青路面结构参数和材料参数情况

结构层	密度 $\rho$ (kg/cm <sup>3</sup> )	厚度 (cm)	弹性模量 (MPa)	泊松比
路面面层	2340	9	如表 5 所示	0.3
路面基层	2100	20	900	0.35
路面底基层	1710	20	500	0.35
土质路基	1580	800	50	0.35

表 5. 面层沥青混凝土实测弹性模量

温度/°C	0	15	20	25
弹性模量/MPa	1988	1120	788	613

表 6. 沥青路面 7 月表层及底层温度情况

时间点	4 时	8 时	12 时	16 时	20 时	24 时
路面面层温度/°C	9.0	12.3	20.1	25.4	17.2	11.6
路面面层底部温度/°C	12.5	12.0	14.8	18.5	18.2	15.1
平均温度/°C	10.8	12.2	17.5	22.0	17.7	13.4

### 3.2 温度对路面结构力学的相应分析

本节以温度随时间的变化为主要研究基础，对沥青路面结构进行力学计算，进而分析温度变化对沥青路面的影响。

#### 3.2.1 竖向位移

在一天之中，沥青路面的温度受气温变化的影响较明显，因此，其弹性模量会发生相应的改变。弹性模量在路面不同深度方向也呈现随温度变化的非均匀性，所以沥青路面在车载作用下的力学响应会发生变化，其竖向位移的结果如图 6 所示：

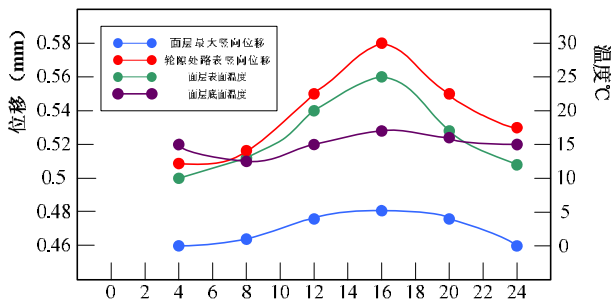


图 6. 一天中不同时刻路面竖向位移的变化

由上图可知，在凌晨 4 点到下午 4 点之间，沥青

路面的竖向位移在随着路面面层表面及面层底部温度的升高逐渐增大的。也就是说，当沥青路面的表面和底面温度达到一天中的极值时，路表的竖向位移也达到了最大。在数据的变化之中，沥青路面的平均温度升高了 12°C，轮隙处竖向位移增加了大概 0.08mm，增大了大约 14%。在下午 4 点之后，随着路面平均温度的下降，轮隙处路表竖向位移和面层最大竖向位移均处于下降的状态，两者变化规律相似，但后者的变化幅度较小。

#### 3.2.2 竖向应力

沥青路面在车辆荷载和温度变化的情况下，其路面结构在不同时刻的应力大小如图 7 所示。从图 7 中可以发现，在凌晨 4 点至下午 4 点这一时间段内，沥青路面结构的竖向应力均随着沥青路面温度的升高而变大，且都达到了相应的极值。相较于凌晨 4 点时，下午 4 点时沥青路面最大竖向压应力和轮隙处竖向拉应力分别增大了 0.7% 和 2.6%。

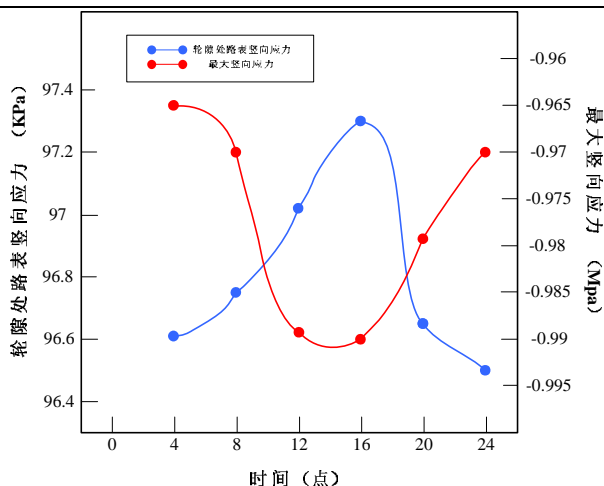


图 7. 沥青路面竖向应力随温度变化情况

### 3.2.3 路面基层底面弯拉应力

随着路面温度的变化，沥青路面基层底面的弯拉应力如图 8 所示。从图 8 可以清楚地发现，在凌晨 4 点到下午 4 点，这一时间段内，基层底面的弯拉应力随着路面平均温度的升高而增大，在下午 4 点时平均温度和弯拉应力达到一天中的最大值，其中横向的弯拉应力较纵向弯拉应力大，并且较凌晨 4 点时的值增大了 6.4%和 6.7%。

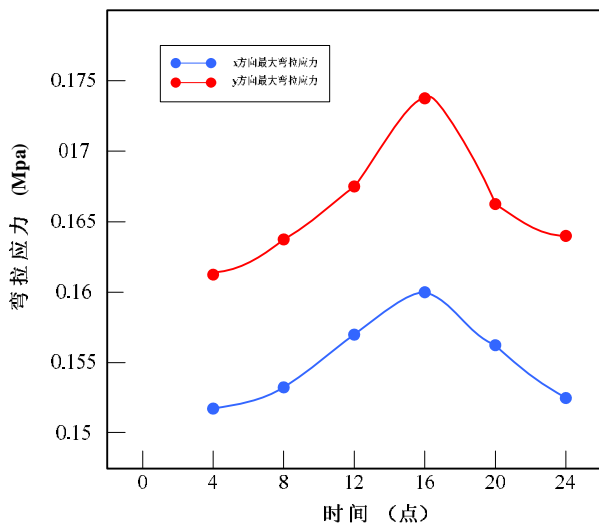


图 8. 沥青路面基层底弯拉应力随时间变化

### 3.3 小结

通过对沥青路面的竖向位移、竖向应力、路面层底弯拉应力随一天中温度变化的情况，可以发现，沥青路面的各项相关力学指标的变化是有规律的。在沥青路面的结构设计中，如果单单选取某一固定的温度值来进行沥青路面结构层的设计，显然是不合理的。并且，处于实际大气环境下路面的温度是有一定的集聚效应的，温度并非会突变至某一固定值。所以在实际的路面结构设计中，不单单要考虑最不利的温度情况，还要考虑温度的集聚效应。<sup>[8]</sup>此种情况下，再结合最不利的路面设计要素进行路面结构的设计才是安全合理的。

## 4 结论及不足

本文结合实际，总结相关资料，对超载条件和温度变化下的沥青路面结构进行了力学分析。相关数据表明，两种外部条件对沥青路面的用性能的影响是不可忽视的。为降低超载和温度变化对沥青路面使用性能的影响，有必要在设计中对两种主要外界因素的作用做提前考虑。同时，限于笔者能力，本文只是分析了单因素对沥青路面结构的力学影响，在未来的力学响应研究中应该做到对路面多种影响因素的综合考虑。

## References (参考文献)

- [1] Liang Baofu. Study on the Effect of Overloading on Asphalt Pavement Structure[J]. Northern traffic, 2009, ( 3): 41-43.
- [2] Hu Hao. Influence of Temperature Non - uniform Distribution on Mechanical Response of Asphalt Concrete Pavement Structure[J]. Highway, 2010, (7): 101-103.
- [3] Deng Xuejun. Roadbed pavement works[M]. Beijing: People's Communications Press, 2000.
- [4] Hu Xiaodi. Influence of Overloading on Asphalt Pavement Structure Considering Non - uniform Wheel Load Effect[J]. Journal of Chang'an University, 2003, 23( 2): 32-36.
- [5] ShenAiqin. Finite Element Analysis of Compound Pavement Temperature Stress[J]. Journal of Chang'an University 2008,5(3): 23-24.
- [6] Yin Liwen. Influence of Load Contact Shape on Mechanical Response of Asphalt Pavement[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University, 2010, 29(4): 544-547.
- [7] Hu Xiaodi. Three Dimensional Finite Element Analysis of Mechanical Response of Non-uniform Load under Asphalt Pavement under Different Interfacial Contact Conditions[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2003, 20(3): 1-4.
- [8] Zhao Yanqing. Study on Frequency Distribution and Variation Law of Load Behavior in Asphalt Pavement Structure[J]. Journal of Changsha Communications University, 2007, 23( 4): 7-10.