

超载对半刚性基层沥青路面应力的影响

尹祖超

东南大学交通学院, 南京 (210096)

E-mail: yinzhuochao85@yahoo.com.cn

摘要: 随着我国高速公路的建设, 超载现象也变得越来越严重。本文分析了超载对沥青路面结构应力的影响, 分别计算了不同轴重情况下应力分布情况。计算表明, 超载对路面结构中性点 (即正应力为零的点) 的位置及表层 σ_y 拉应力区范围影响不大, 但使面层剪应力, 层底弯拉应力以及路基顶压应力显著增大, 可见超载对路面破坏的严重性。超载情况下, 各结构层模量及厚度对中性点位置以及各应力影响较复杂, 程度不一。因此, 路面设计应综合考虑各个设计指标, 不能一味地优化某一指标。

关键词: 超载; 半刚性基层沥青路面; 应力分析

中图分类号: U416.217

1. 引言

近几年, 随着我国经济的发展, 高速公路总里程也有了大幅度的增加, 但随之而来的超载现象也相当普遍^[1], 路面通常没达到设计使用年限便出现了严重的病害。根据最新的统计资料显示^[2], 在 20 世纪 70-90 年代的 20 年间, 我国汽车平均轮压值从约 620KPa 增加到 933KPa, 货车轮胎超过 1000KPa 的已经比较常见, 比以前的轮压约增加了 50%。已有文献^[2,3]分析过超载对沥青路面车辙、弯沉、层底拉应力及路面所需厚度的影响。显然, 超载情况下路面的路表弯沉、基底拉应力等设计控制指标都会显著增大, 从而对路面的车辙、疲劳破坏以及极限破坏都有很大的影响, 而且超载对路表的损坏也相当严重。本文在讨论完超载对路面的应力分布影响之后, 讨论影响应力分布的其他一些因素。

2. 超载对路面应力分布的影响

2.1 模型选择

本文采用弹性层状连续体系理论来分析超载对路面应力分布的影响。其中未考虑动荷载、温度应力以及材料非线性等影响因素。标准轴载为 100KN, 轮压 0.7MPa, 荷载当量圆半径 10.65cm, 荷载圆中心距离 31.95cm, 如图 1 所示。所选用的轴载分别为 100KN, 120KN, 140KN, 160KN, 180KN。典型的半刚性基层路面结构参数如表 1。

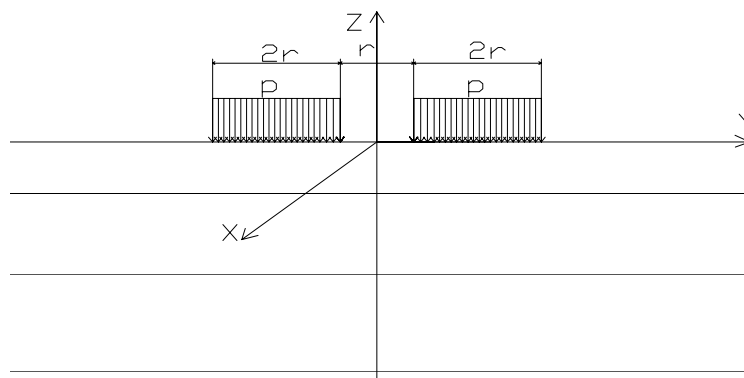


图 1 路面结构及荷载

Fig.1 Pavement structure and load

表 1 计算所用的路面结构参数

Tab.1 Parameters of pavement structure for calculation

结构层	厚度/cm	弹性模量/MPa	泊松比
面层	16	1200	0.25
基层	20	1500	0.30
底基层	30	800	0.30
土基	—	50	0.35

超载时，轴载增大，轮压增大，接地半径有也会有一定程度增大，而荷载圆中心一般保持不变。根据文献 4，轮压与轮载满足下列关系式^[4]：

$$\frac{p_i}{p} = \left(\frac{P_i}{P}\right)^{\frac{1}{3}}$$

其中 P_i , P 分别为换算轴载与标准轴载, p_i , p 分别为相应轴载的轮压。由此计算得各级轮载胎压与当量圆半径如表 2 所示：

表 2 不同轮载的轮压与当量圆半径

Tab.2 Tire pressure and equivalent circle radius of different loads

轴载/KN	120	140	160	180
轮压/MPa	0.744	0.783	0.819	0.852
半径/m	0.113	0.119	0.125	0.130

2.2 应力分布分析

采用弹性层状体系程序 Bisar3.0 分析不同轴载下 y 向正应力 σ_y 和 x 向正应力 σ_x 的分布情况。通过反复试算得出 $x=0$ 平面内 σ_x 为 0 的位置，即拉应力与压应力的分界点（或称中性点）。其分布如图 2 所示(单位:m)，由于对称，只画出了一半示意图。其中 $y=0.16$ 为荷载圆圆心的位置。

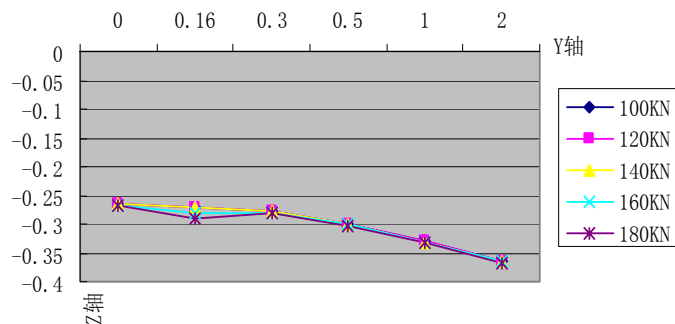


图 2 在 $x=0$ 平面内 σ_x 中性点位置
Fig.2 Neutral point of σ_x in x -plane

同样可以绘出 σ_y 中性点位置在 $x=0$ 平面内的分布如图 3 所示(单位:m)。

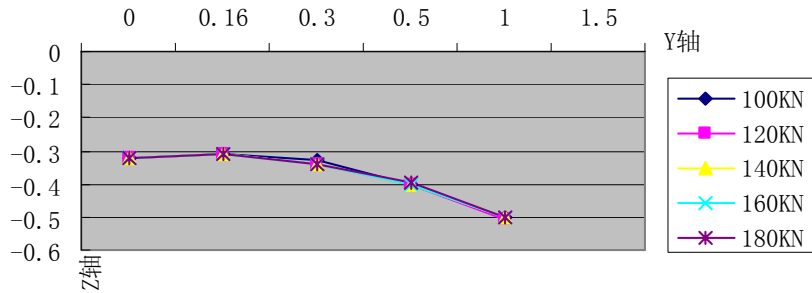


图3 在 $x=0$ 平面内 σ_y 中性点位置
Fig.3 Neutral point of σ_y in x-plane

对比图2与图3可以知道,超载对应力的分布形式影响不大,主要由于计算采用的是弹性层状体系。 σ_x 拉压应力分界点主要出现在基层,随 y 坐标增大变化幅度不大,而 σ_y 拉应力与压应力的分界点可能出现在底基层,且随 y 坐标增大变化幅度比较大。

在计算 σ_y 时发现路表面以下约 1cm 范围内存在一个 σ_y 拉应力区。通过反复试算可确定路表面轮胎附近 σ_y 拉应力区如图4所示,并且该受拉区的大小跟轴载并没有很大关系。由于对称,只画出半圆示意图。文献4中的沪宁高速公路和沿江高速公路表面也存在这样一个受拉区域。通过试算还发现,在距离坐标原点约 1.3m 的地方也存在类似的受拉区,但其 σ_y 值明显小于轮胎附近的 σ_y 值,故这里没有画出。 σ_x 在路表始终为负。

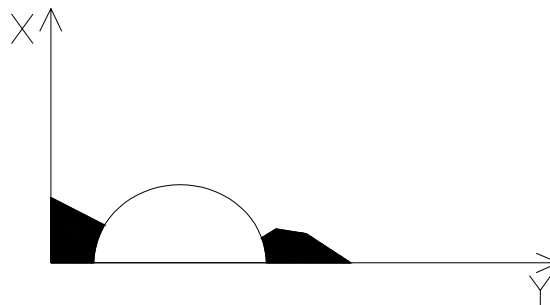


图4 轮胎附近受拉区示意图
Fig.4 Diagram of tensile area near the tire

3. 超载对路面应力大小的影响

3.1 对面层剪应力的影响

一般地,路表面最大剪应力出现在轮胎附近以下某一深度范围内。不同轴载下面层最大剪应力如下图5所示。

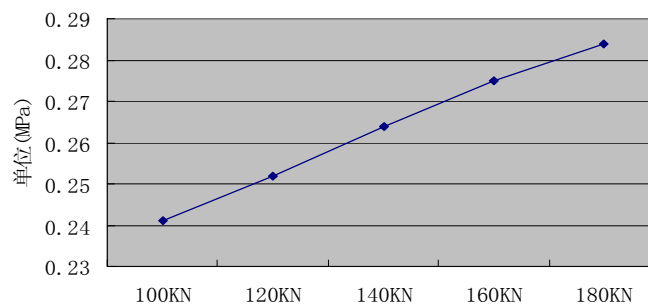


图5 面层最大剪应力随轴载的变化
Fig.5 Maximum shear stress in surface layer versus loads

随着轴载的增大，面层最大剪应力呈增大趋势，其值越大，越容易造成沥青路面的车辙与表面裂缝的产生。沥青路面表面开裂后，不论在交通荷载或温度应力作用下，裂纹均可能向路面深度扩展^[5]。

3.2 对基层与底基层拉应力的影响

路面最大拉应力一般出现在基层或底基层底，与路面结构组成参数有关。由于弹性层状体系的假设， σ_y 在各层交界处出现突变，其层底应力值如表 3 所示。

表 3 层底拉应力随轴载的变化
Tab.3 Tensile stress at the bottom of base course versus loads

轴载/KN	基层底拉应力/MPa	底基层底拉应力/MPa
100	0.0756	0.0799
120	0.0902	0.0954
140	0.105	0.111
160	0.121	0.128
180	0.136	0.144

由于超载引起底基层拉应力显著增大，疲劳寿命也会大为减少，一旦出现裂缝则会在荷载与温度应力综合作用下形成反射裂缝。文献 4 认为重载条件下高等级沥青路面设计应以基层底部弯拉应力为控制指标。

以上几个应力指标应当是影响沥青路面设计和使用的几个较重要的参数，其随轴载的变化还是比较显著的，当然也受面层、基层模量以及厚度的影响。研究表明，半刚性基层沥青路面路表承受的拉应力要大于柔性基层沥青路面路表的，行车带轮迹边缘在路表拉应力和剪应力的共同作用下容易出现自上而下的裂缝^[6]。

4. 超载作用下影响路面应力分布的一些因素

4.1 路面中性点位置

路面基层中性点位置以下的拉应力区是导致沥青路面疲劳破坏的主要原因。如果单从应力角度看， σ_x 是导致沥青路面横向疲劳裂缝的原因，而 σ_y 则是纵向疲劳裂缝的原因。由于轴载对路面中性点位置影响不大，因此在轴载为 140KN 情况下讨论影响这个位置的一些因素，包括面层、基层模量和厚度。其他条件相同的情况下，这一位置越靠下，沥青路面疲劳破坏的范围越小，越对路面有利。

4.1.1 面层与基层模量

考虑在 z 轴上 σ_y 中性点位置和层底弯拉应力随面层、基层模量变化关系。面层模量分别为 900MPa, 1200MPa, 1500MPa。如图 7、8 所示。

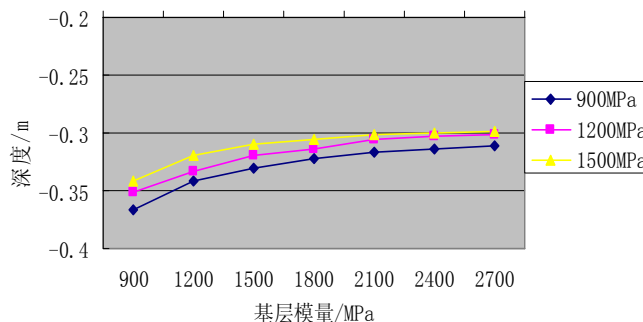


图 7 σ_y 中性点位置随基层模量的变化
Fig.7 Neutral point of σ_y versus modulus of base course

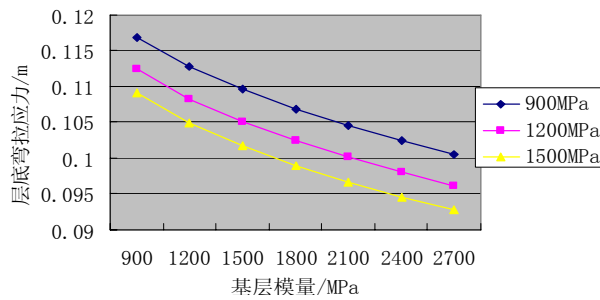


图 8 层底弯拉应力随基层模量的变化
Fig.8 Tensile stress at the bottom of subbase versus modulus of base course

随基层或面层模量的增加,分界位置有所上升,但面层与基层模量越大,上升幅度越小,基本趋于同一值 $z=-0.30m$ 。对于层底弯拉应力,面层或基层模量越大,其值越小,但弯拉应力减小的幅度越小,而路面结构弯拉区范围也越大。这说明不能一味地增加面层或基层模量来减少层底弯拉应力,还应综合考虑其他指标,如弯沉,层底拉应变或面层最大剪应力。为了对比,下表是底基层模量变化时 z 轴上中性点位置以及层底弯拉应力值。

表 4 σ_y 中性点位置及层底弯拉应力随底基层模量的变化
Tab.4 Neutral point of σ_y and tensile stress at the bottom of subbase versus modulus of subbase

底基层模量/MPa	中性点位置/m	层底弯拉应力/MPa
500	-0.29	0.0758
800	-0.32	0.105
1100	-0.35	0.127
1400	-0.37	0.146

底基层模量对分界点位置以及层底弯拉应力的影响要高于面层以及基层模量。底基层模量越大,层底弯拉应力也越大,而弯拉区范围越小。这与面层或基层模量的影响恰好相反。

4.1.2 面层与基层厚度

面层不变而基层厚度变化时 z 轴上中性点位置以及层底弯拉应力变化时如下表所示。

表 5 σ_y 中性点位置及层底弯拉应力随基层厚度的变化
Tab.5 Neutral point of σ_y and tensile stress at the bottom of subbase versus depth of base course

基层厚度/m	中性点位置/m	层底弯拉应力/MPa
0.22	-0.31	0.1138
0.25	-0.32	0.1051
0.28	-0.33	0.973
0.31	-0.36	0.903

基层不变而面层厚度变化时 z 轴上中性点位置以及层底弯拉应力变化时如下表所示。

表 6 σ_y 中性点位置及层底弯拉应力随面层厚度的变化
Tab.6 Neutral point of σ_y and tensile stress at the bottom of subbase versus depth of surface course

面层厚度/m	中性点位置/m	层底弯拉应力/MPa
0.13	-0.31	0.1133
0.16	-0.32	0.1051
0.19	-0.33	0.0976
0.22	-0.36	0.0909

对比以上两个表可以发现，面层或基层厚度变化相同厚度时，z轴上中性点位置与层底弯拉应力变化几乎相同。但是，面层或基层厚度变化幅度要大于中性点变化幅度。这意味着，面层或基层厚度越大，路面内弯拉区范围也越大。

4.2 轮胎附近受拉区

垂直荷载作用下，面层内任一平面上径向剪应力 τ_{yz} 一般是自荷载作用面轴线处的零起向作用面边缘垂线上逐渐增加至最大值，在垂直荷载作用下，路面表面最大剪应力的最大值一般出现在荷载边缘处^[7]。路表最大拉应力以及面层最大剪应力随面层模量和基层模量变化如下图所示。

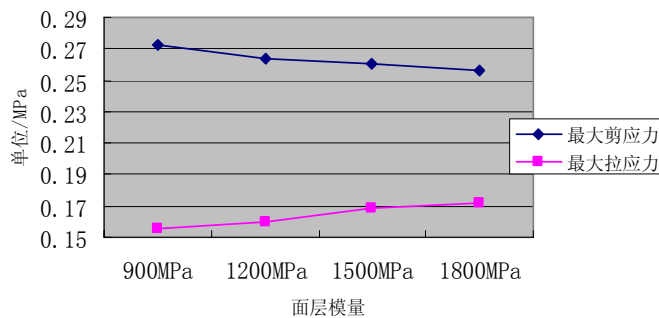


图9 最大剪应力(蓝)和拉应力(红)随面层模量的变化
Fig.9 Maximum shear stress and tensile stress versus modulus of surface course

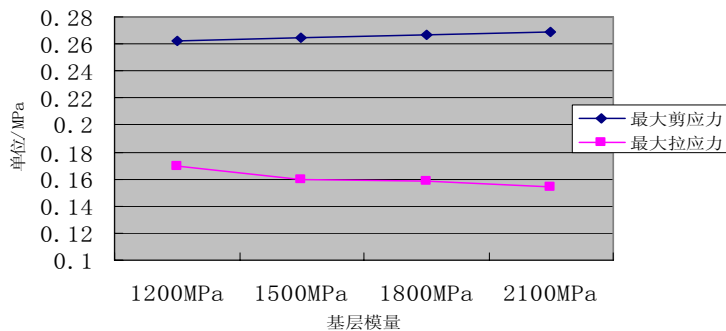


图10 最大剪应力(蓝)和拉应力(红)随基层模量的变化
Fig.10 Maximum shear stress and tensile stress versus modulus of base course

由图可知，面层最大剪应力随面层模量增大而减小，随基层模量增大而增大。而路表最大拉应力随面层模量增大而增大，随基层模量增大而减小。当然，其他因素也会影响面层内剪应力，比如在面层和基层模量不变时， τ_{yz} 随面层厚度增大而减小^[7]。

5. 结束语

如今超载现象变得越来越严重，本文在此基础上分析了不同轴载情况下半刚性基层沥青路面应力分布情况。

- (1) 超载对路面应力中性点位置的影响不大，对轮胎附近 σ_y 受拉区范围影响也不大。
- (2) 超载使得面层剪应力、底基层弯拉应力以及路基顶压应力显著增大。
- (3) 面层、基层与底基层模量对中性点位置、层底弯拉应力、路表最大拉应力以及面层最大剪应力影响不一。面层与基层模量越大，层底弯拉应力越小。面层模量越大，路表最大剪应力越大，而最大拉应力越小，基层模量与之相反。且面层与基层模量对应力的敏感性要小于

底基层模量的敏感性。

(4) 本文只是分析了超载对应力的影响,并未分析对应变、弯沉等其他路面设计指标的影响。路面结构设计应综合考虑各个指标。超载时等效轴载换算也值得进一步研究。

参考文献

- [1] 黄文元,王旭东,孙立军. 公路超载特征及重载沥青路面交通量参数[J]. 公路, 2003, (6): 56-59.
- [2] 尚志远. 超载车辆对沥青混凝土路面的破坏分析[J]. 公路, 2004, (5): 19-22.
- [3] 倪富健,程新春. 车辆超载及超限对沥青路面使用影响分析[J]. 合肥工业大学学报, 2002, 25(6): 1175-1179.
- [4] 张宁,钱振东,等. 超载作用下高速公路沥青路面设计参数敏感性分析[J]. 交通运输工程与信息学报, 2005, 3(3): 111-115.
- [5] 郑健龙,周志刚,张起森. 沥青路面抗裂设计理论与方法[M]. 北京:人民交通出版社. 2002.
- [6] 许志鸿,邓云纲,吴美发. 重载耐久性沥青路面结构力学分析[J]. 中外公路, 2007, 27(1): 40-44.
- [7] 林绣贤,许志鸿编. 柔性路面设计理论与方法[M]. 上海:同济大学出版社. 1987.

Influence of Overloading on Stress in Asphalt Pavement with Semi-rigid Base Course

Yin Zuchao

Department of Transportation, Southeast University, Nanjing (210096)

Abstract

The phenomenon of overloading is severer and severer along with the construction of highway in our country. Influence of overloading on asphalt pavement is discussed in the article, and also stresses distribution under different axle loads. It can be seen from the calculation that, the impact of overloading on neutral point whose normal stress is zero and tensile stress district on surface is minor. But overloading makes shear stress on surface, flexural-tensile stress at subbase course and compressive stress on top of subgrade increase remarkably. So it can discern the severity of overloading on pavement failure. Under overloading, the modulus and thickness of each course affect neutral point and each stress differently. So, each design index should be taken into account in pavement design, and we cannot optimize some fixed index blindly.

Keywords: overloading; asphalt pavement with semi-rigid base course; stress analysis