

基于 ABAQUS 的城市道路沥青路面动力响应分析

郭有蒙, 万瑛莹

(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: 为了分析动载对沥青路面结构动力特性的影响,提升路面结构设计的合理性,利用 ABAQUS 有限元软件,分析车速、轴载、路面平整度等因素对车辆-路面耦合作用的影响,结论如下:动载作用下的路面最大竖向压应力比静载大 38.37%,动力响应差别明显;平整度 C 级路面的竖向最大位移相比 A 级增加 18.50%;车速越大,路面压应力与竖向位移越小,相比速度 15 m/s 时的路面应力与位移,速度 30 m/s 时减小 8.10%、15.22%;轴重越大,路面各结构层的竖向应力与位移越大,应力增幅排序为上面层>中面层>下面层,竖向位移增幅排序为中面层>上面层>下面层。

关键词: ABAQUS 有限元;沥青路面;动载;动力响应

中图分类号: U416.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)09-0235-04

0 引 言

目前城市道路沥青路面设计主要基于层状弹性体系,以静力荷载工况为基础简化计算,与实际车辆动荷载工况存在较大差距,不能反映车辆振动、加载频率、作用时间等对路面的影响^[1]。同时荷载布置为双圆均布荷载,简化了路面与轮胎的接触形式,而实际工况下车辆动载、轮胎与路面接触状况发生瞬时变化,胎-路并非非线性接触^[2]。因此经简化的沥青路面设计方法,不能完全反映实际车-路状况。考虑到车载对路面产生作用后,路面也将发生振动,并反作用车辆,若将车-路视为耦合系统开展路面动力响应分析,能够更接近工程实际^[3]。因此本文建立 ABAQUS 有限元模型,建立路面-车辆耦合系统,分析路面不平整、车辆动载等条件下的沥青路面力学变化规律。

1 模型建立

1.1 轮胎模型

论文采用 ABAQUS 有限元软件分别建立轮胎、整车、路面模型。参照文献[4],轮胎采用全钢载重子午线轮胎,骨架材质为钢丝帘线,采用 rebar 加强筋 SFM3D4R 单元进行模拟;基底材质为橡胶,由三角形单元和四边形单元组成,分别采用 C3D6H 和 C3D8H 单元进行模拟,对各单元进行赋值。限制帘

线单元与橡胶单元的自由度,保证其紧密约束。

1.2 车辆模型

车辆采用陕汽·德龙 F3000-380 型车。为提高计算效率,对车辆体系进行适当简化,簧下仅为轮胎质量,轮胎考虑材料超弹性与滚动变形,不考虑与地面的摩擦发热^[4]。整车在竖向位移、侧倾角、仰俯角方面存在自由度,各车轮在竖向方向存在自由度。图 1 为整车有限元模型图。表 1 为整车模型参数。

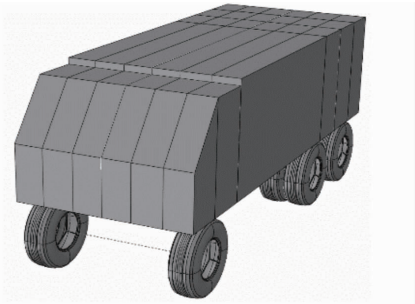


图 1 整车有限元模型图

表 1 整车参数

总质 量/t	前轴轴 重/t	中轴轴 重/t	后轴轴 重/t	尺寸/mm	轴距 /mm	前/后轮 距/mm
49.34	12.049	18.707	18.707	6 400×2 450× 1 800	3 850+ 1350	2 050/ 1 900

1.3 路面结构模型

沥青混合料的黏弹性与时间、温度、力学行为等相关,为了模拟这一性质,参照文献[4]采用松弛模量 Prony 级数进行描述。路面结构为城市道路常用沥青结构层,4 cmAC-13C 上面层 +6 cmAC-20 中面层 +8 cmAC-25 下面层 +30 cm 水泥稳定碎石基层 +20 cm

收稿日期: 2023-08-22

作者简介: 郭有蒙(1995—), 男, 硕士, 工程师, 从事道路设计工作。

级配碎石底基层。路面结构模型采用 C3D8R 六面体八节点线性积分单元,结构尺寸为 50 m×15 m×4 m,长度、宽度方向网格尺寸分别为 0.25 m、0.1 m,共划分单元 95 575 个。

2 模拟计算结果与分析

2.1 车辆荷载对动力响应的影响

图 2 为车辆静载与动载(速度 20 m/s)下的实际作用力变化情况。可以看出,静载与动载下的作用力呈现明显区别,动载在静载附近波动,且具有较大随机性。对静载及动载作用下的路面竖向应力进行分析,上面层竖向最大压应力在静载下为 0.415 MPa,动载下为 0.570 MPa,增大 37.35%。说明荷载类型对路面响应结果有较大影响,而按照现行规范开展的路面结构设计,多基于静力学方法,忽略了动载对路面的影响。

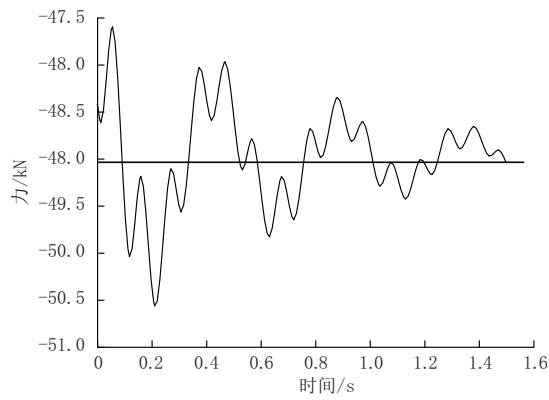


图 2 静载与动载的作用力对比图

2.2 路面不平整程度对力学响应的影响

路面不平整是导致车辆与道路发生耦合振动的主要原因之一。根据相关研究,随着路面不平整程度加剧,车辆悬架弹力与阻尼力波动剧烈^[5]。平整度 C 级路面的车辆悬架振动幅度最大,其次为 B 级路面、A 级路面,路面平整度分级以《城镇道路养护技术规范》(CJJ-36—2016)为依据。图 3 为模拟车辆在不同平整度路面上行驶时的位移变化情况,速度为 20 m/s。不同平整度路面竖向位移随动载的变化规律相近,均呈现出明显波动性,C 级平整度下的波动最剧烈。A 级平整度下,上面层最大竖向位移为 0.591 mm;B 级为 0.709 mm,为 A 级的 1.20 倍;C 级为 0.952 mm,为 A 级的 1.61 倍。

图 4 为不同平整度路面的应力变化情况,可以看出各曲线随动载的变化规律相近,在未达到最大应力时,均较为平稳。A 级平整度路面的最大应力为 0.508 MPa;B 级为 0.713 MPa,为 A 级的 1.40 倍;C

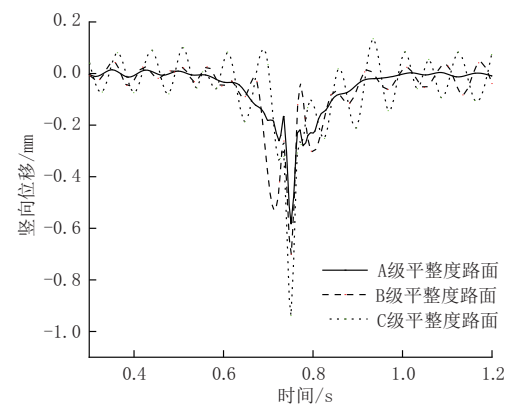


图 3 不同平整度路面的上面层竖向位移变化情况

级为 0.750 MPa,为 A 级的 1.48 倍。上述结果表明,路面竖向应力及位移均随着平整度的下降而非线性增大。原因在于道路平整状况直接影响轮胎、路面的交互作用频率,平整度较差,则胎-路作用频率增大^[6]。

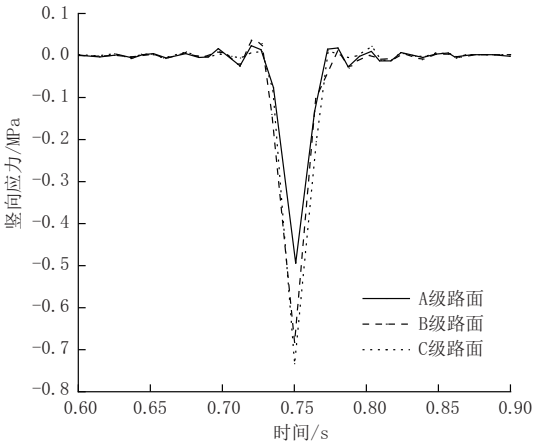


图 4 不同平整度路面的上面层应力变化情况

图 5 为 B 级平整路面下的轮胎接地应力图。在 B 级路面上轮胎应力随着轮胎的滚动,呈现出拉压应力交替现象。而根据相关研究,在完全平整路面上,轮胎接地处应力应完全对称,轮胎两侧胎肩处存在应力集中,轮胎与路面接地部位应力水平较低^[7]。当路面存在不平整后,轮胎的接地应力发生显著变化,对称性消失,轮胎的一侧发生侧偏,接地应力显著增大。

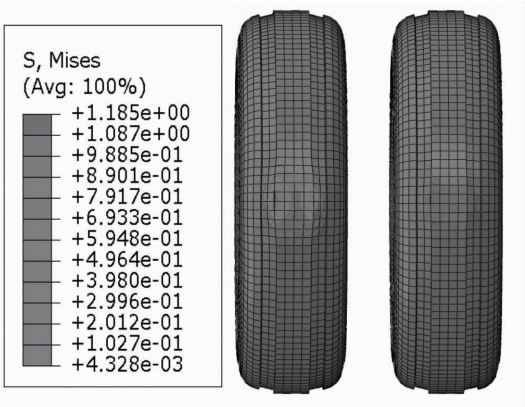


图 5 B 级平整路面的轮胎接地应力图

2.3 速度对路面动力响应的影响

图6为不同速度(15、20、25、30 m/s)下的路面应力及位移情况。各速度下的路面竖向位移均呈现明显的波动性。速度为15 m/s时,路面竖向位移最大值为0.716 mm;速度20、25、30 m/s时分别为0.676、0.652、0.618 mm,相比15 m/s时下降5.59%、8.94%、15.22%。整体竖向位移随着车速增大而减小。

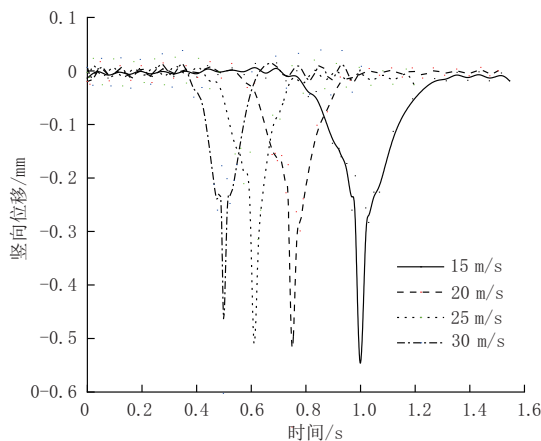


图6 速度对上面层竖向位移的影响

图7为不同速度下的路面应力情况。速度为15 m/s时,路面最大应力为0.602 MPa;速度20、25、30 m/s时分别为0.574、0.561、0.553 MPa;相比15 m/s时下降4.62%、6.78%、8.10%,表明路面应力随着车速的增大而逐渐减小。

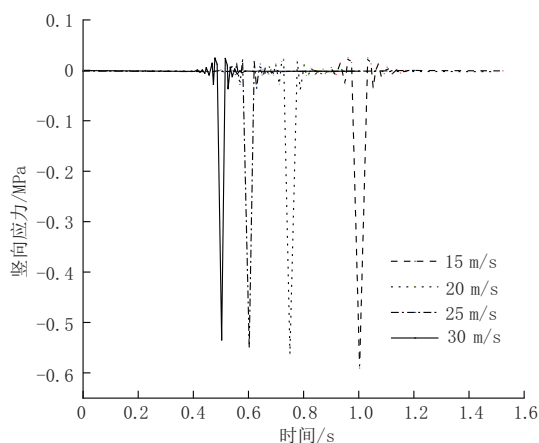


图7 速度对上面层应力的影响

2.4 轴重对路面力学响应的影响

图8为速度15 m/s时不同轴重(5、10、15、20 t)下的路面各层竖向位移情况。可以看出,路面各层竖向应力均随着轴重的增加而增大。在上面层中,轴重为5 t时竖向位移为0.716 mm;轴重为10、15、20 t时,竖向位移为1.255、1.826、2.286 mm,相比5 t时增大75.28%、155.03%、217.74%。在中面层中,轴载10、15、20 t的竖向位移相比5 t增大89.70%、180.46%、

252.83%;在下面层中,相比增大89.79%、181.46%、253.83%。表明面层各层竖向位移均随着轴重增加而增大,且中面层增长幅度最明显,其次为上面层,下面层最小。

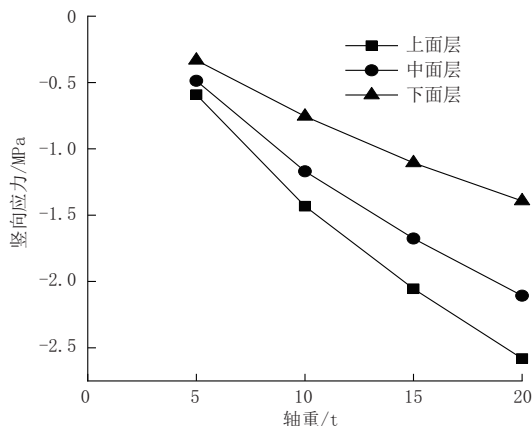


图8 轴重对路面竖向位移的影响

图9为不同轴重下的面层各层竖向压应力情况。各层竖向应力均随着轴重的增加而增大。轴重为5 t时,上面层最大压应力为0.602 MPa,轴重为10、15、20 t分别为1.447、2.069、2.594 MPa,相比5 t时增大140.36%、243.69%、330.90%;在中面层中,增长幅度分别为141.01%、247.90%、336.92%;在下面层中,增长幅度分别为129.72%、233.33%、320.68%。表明上面层增长幅度最大,其次为中面层,下面层最小。

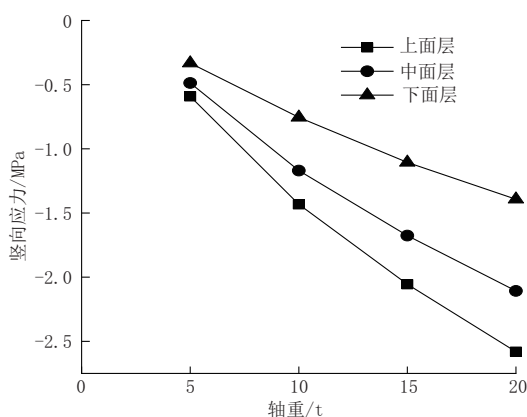


图9 轴重对路面应力的影响

对各轴重下的轮胎动载系数进行计算^[8],5、10、15、20 t时的轮胎动载系数分别是1.351、1.110、1.090、1.072。轮胎动载系数随着轴重增加而减小,表明车辆振动有所减弱。但是由于轴重增大,车辆静载对路面的作用效果增强,因此路面的荷载应力仍然表现为上升规律。

3 结论

论文基于有限元模型,分析车速、轴载、不平整

度等因素对沥青路面力学响应特性的影响,结论如下:动载作用下的路面最大竖向压应力比静载大38.37%,动力响应差别明显,因此基于静力学的沥青路面结构设计方法存在一定局限性;平整度C级路面的竖向最大位移相比A级增加18.50%,随着路面平整度下降,轮胎接地应力水平与车辆悬架振动明显增大,车辆-路面耦合振动加剧;随着车速增大,路面压应力与竖向位移均明显减小,相比速度15 m/s时的路面应力与位移,速度30 m/s时减小8.10%、15.22%;随着轴重增大,轮胎动载系数增大,车辆振动有所减弱,但是车辆静载对路面的作用效果增强,路面各结构层的竖向应力与位移均增大,竖向位移增大幅度排序为中面层>上面层>下面层,应力增大幅度排序为上面层>中面层>下面层。

参考文献:

[1] 黄毅,郑炳锋.基于加速加载试验的沥青路面动力响应影响因素研究[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2023,12(5):1-12.

[2] 吉增晖,余晖,郑炳锋,等.车辆荷载作用下沥青路面力学响应影响分析[J].现代交通技术,2022,19(3):15-18.

[3] 马宪永,全蔚闻,董泽蛟,等.随机不平度激励下车辆-沥青路面动力学响应分析[J].机械工程学报,2021,57(12):40-50.

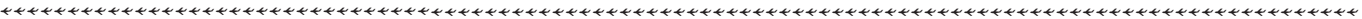
[4] 严战友,赵晓林,赵国芳,等.整车多轮动载作用下沥青路面动力响应[J].中国公路学报,2020,33(8):119-132.

[5] 黄晚清,曹明明,游宏.行车荷载下不同沥青路面结构动力响应测试分析[J].公路交通科技,2020,37(4):1-8.

[6] 王晓东,何兆益.考虑制动荷载及横观各向同性的沥青路面动力响应研究[J].中外公路,2018,38(6):62-66.

[7] 张红亮.半正弦脉冲荷载作用下沥青路面动态响应分析[J].四川水泥,2018(10):296-297,302.

[8] 苗禄伟,周正峰,孙超.沥青路面动力响应影响因素有限元分析[J].中外公路,2016,36(5):21-25.



《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com