

文章编号:1671-6833(2023)04-0113-07

移动荷载作用下机场复合道面力学响应分析

郭成超^{1,2}, 张顺杰¹, 周鸿昌², 刁岳亮¹, 闫卫红^{1,3}

(1. 郑州大学 水利科学与工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 中山大学 土木工程学院, 广东 广州 510275; 3. 河南省机场集团有限公司, 河南 郑州 451163)

摘要: 为了研究复合道面的力学特性, 以中原地区某机场加铺改造项目为研究对象, 建立了复合道面有限元模型。通过建立的复合道面监测系统, 提取出了道面在目标机型作用下的力学响应, 并与模拟数据进行对比, 验证了模型的合理性。在移动荷载作用下, 分析了道面在考虑不同机型、不同层间结合状态及不同水平力等因素下的力学响应。研究发现, 道面在 B737-800、B767-300ER 和 B777-300ER 这 3 种机型作用下, 沥青加铺层的剪应力最大值出现在上面层, 并且随着轮数的增加, 道面力学指标逐渐增加, 其中沥青层底横向拉应变与水泥混凝土板底拉应力的变化比较明显; 随着层间结合系数的增加, 道面力学指标呈减小趋势, 沿着道面深度方向, 其影响程度逐渐减小; 在有紧急水平制动力时, 沥青层间最大剪应力增加了 11.84%, 沥青层底横向最大拉应变增加了 6.05%, 纵向拉应变增加了 9.68%。

关键词: 复合道面; 多层加铺; 有限元模型; 移动荷载; 力学响应

中图分类号: U416.223; V351.11

文献标志码: A

doi: 10.13705/j.issn.1671-6833.2023.01.015

之前中国修建的民用机场中, 道面类型一般为水泥混凝土道面, 随着使用年限的增加, 原有道面出现了不同程度的损坏, 难以满足现在航空交通量的需求, 迫切需要修复原来的结构和功能, 进而提高道面的性能^[1]。目前对旧机场混凝土道面进行加铺盖被已经成为主要的改造模式。在旧水泥混凝土跑道上加铺沥青层后, 将涉及到不同材料层间的接触和力学响应的变化, 复合道面易出现车辙、开裂及层间滑移等病害。因此, 国内外的研究人员对机场道面的受力特点及应力分布规律展开了研究。游庆龙等^[2]通过建立机场复合道面有限元模型, 分析了 3 种常见机型在不同条件下的力学响应, 进行了对比分析, 并给出了跑道两端容易出现滑移裂缝和疲劳裂缝现象的原因。Wei 等^[3]研究了影响水泥混凝土路面与热拌沥青加铺层之间界面结合强度的因素, 发现温度对粘接层的附着力和界面结合有着显著的影响。Ma 等^[4]开发了机场沥青路面健康监测系统框架, 并利用实测力学响应反算了路面结构层模量, 实现了任

意点路面疲劳开裂和车辙累积损伤的实时确定性损伤计算。Li 等^[5]通过研究认为沥青层与刚性层的模量相差较大, 变形协调性不好, 荷载作用时层间界面易产生滑移和开裂。赵鸿铎等^[6]通过对浦东机场道面进行实时监测, 分析了飞机道面的温度变化及在温度影响下的道面变形情况, 对道面的设计和评价提出了建议。蔡靖等^[7]通过建立复合道面三维有限元模型, 采用循环荷载波形式, 分析了不同因素对轮辙变形的影响规律, 并建立了复合道面转弯区轮辙发展预估公式。张献民等^[8]研究了路面结构测试区竖向动位移变化规律, 为路面承载力检测提供了依据。

综上, 目前对于沥青加铺层的研究多集中在公路上, 对于机场复合道面结构的研究并不多。为此, 本文通过 ABAQUS 软件建立了三维有限元模型, 结合中原地区某机场道面沥青加铺层的结构形式, 针对该机场常见的飞机机型, 对多层加铺的复合道面进行力学响应分析。

收稿日期: 2022-08-07; **修订日期:** 2022-09-10

基金项目: 中国河南省高等学校重点科研项目计划 (21B580008); 交通建设股份有限公司科技研发项目 (2017ZJKJPTS03)

作者简介: 郭成超 (1973—), 男, 河南南阳人, 郑州大学副教授, 博士, 主要从事基础设施安全维护理论与技术研究, E-mail: guocheng25@mail.sysu.edu.cn。

引用本文: 郭成超, 张顺杰, 周鸿昌, 等. 移动荷载作用下机场复合道面力学响应分析[J]. 郑州大学学报(工学版), 2023, 44(4): 113-119. (GUO C C, ZHANG S J, ZHOU H C, et al. Mechanical response analysis of airport composite pavement with moving load[J]. Journal of Zhengzhou University (Engineering Science), 2023, 44(4): 113-119.)

1 复合道面三维有限元模型

1.1 复合道面结构材料参数

通过分析机场复合道面结构形式,结合机场道面设计规范和相关研究^[9-10],确立相关材料参数,建立机场复合道面的有限元模型。具体参数见表 1。

表 1 复合道面材料参数

Table 1 Composite pavement material parameters				
材料	厚度/m	密度/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	动态模 量/MPa	泊松比
上面层 SMA-13	0.05	2 300	1 500	0.30
中面层 AC-20	0.05	2 300	1 200	0.30
下面层 AC-20	0.08	2 300	1 000	0.30
旧水泥混凝土板	0.38	2 500	33 000	0.20
石灰粉煤灰稳定碎石	0.30	2 000	1 000	0.25
土基	10.00	1 800	60	0.40

1.2 水泥混凝土板间接缝模型和飞机荷载参数

水泥混凝土道面通常会设置接缝来消除混凝土板因热胀冷缩和湿度变化而产生结构内应力的影响,因此,接缝传荷能力的大小极大影响着道面的结构性能,本文采用虚拟材料层法来模拟接缝的传荷能力。选取接缝弹性模量为 $10\,000\text{ MPa}$ ^[11]。

在考虑飞机荷载时,主要考虑主起落架对机场道面的力学影响。通过等效原则将轮印模型简化为矩形^[12]。选取了 B737-800、B767-300ER 和 B777-300ER 这 3 种常见机型,研究复合道面对不同机型的力学响应,对其他因素的力学响应以 B737-800 机型为研究对象。飞机荷载参数如表 2 所示。

表 2 飞机荷载技术参数^[13-15]

Table 2 Aircraft load technical parameters ^[13-15]						
机型	飞机荷载/kN	轮数	荷载分配系数	胎压/MPa	矩形接触面	
					长/m	宽/m
B737-800	790.04	2	0.950	1.47	0.435	0.300
B767-300ER	1 796.23	4	0.950	1.38	0.484	0.333
B777-300ER	3 411.00	6	0.936	1.50	0.508	0.350

1.3 复合道面三维有限元模型

1.3.1 有限元模型尺寸

参考现有研究^[16],选取 9 块板模型进行研究,混凝土板尺寸为 $5\text{ m}\times 5\text{ m}$,板间接缝为 2 cm ,所以道面尺寸为 $15.04\text{ m}\times 15.04\text{ m}$ 。

1.3.2 网格划分和边界条件

在模型的网格划分过程中,为保证受力的均匀和计算精度,对加载区域和计算分析区域进行了合理的加密。本文在平行于飞机滑行方向上约束 Y 方向位移,在垂直于滑行方向上约束 X 方向位移,

在土基底面上约束 $X、Y、Z$ 这 3 个方向位移。

1.3.3 飞机荷载加载方式

对于飞机荷载的加载方式,采用移动荷载的方式进行研究。在 ABAQUS 中,需要在模型中设置荷载移动带限制荷载的移动范围,并且用 Fortran 语言编写 VDLOAD(考虑竖向压力)和 UTRACLOAD(考虑水平剪切力)等荷载代码,从而实现荷载移动。荷载移动带如图 1 所示。



图 1 荷载移动带

Figure 1 Load moving belt

2 模型合理性验证

依据中原地区某机场旧水泥混凝土跑道加铺工程,通过搭建光纤光栅传感器智能监测系统,实现了对机场复合道面结构的实时监测。提取道面变形的监测数据,与模拟数据进行对比,验证了模型合理性。

2.1 监测系统传感器的布设

传感器布设位置位于混凝土表层。由于监测断面传感器数量较多,单一切槽机器开槽较慢,所以采用圆形打孔机进行辅助切槽。在切槽时,切槽区域距离板角位置不小于 0.5 m 。传感器放置后,需要对传感器进行固定,并针对不同传感器类型选择不同材料回填:如混凝土应变计切槽选用 C40 混凝土回填,沥青应变计切槽选用沥青混合料回填。回填后,混凝土表层需要铺设抗裂贴进行固定。

2.2 模型验证

通过机场给出的飞机进出港时间信息和机型信息,可以找出 B737-800 机型所产生的变形数据。并将提取出的应变信息与模拟数据进行对比,分析如图 2 所示。由图 2 可以看出,模型模拟数据与应变监测数据随时间变化趋势一致,当飞机轮组正压于传感器上时,道面结构的应变值会产生突变。从力学响应极值来看,模拟数据与实测数据相差较小,尤其对沥青面层的模拟误差更小,可见模型可以较为准确地反映道面受力状况。误差产生的原因有以下两点:飞机轮组没有完全正压于传感器上,有一些偏差;选用的道面材料模拟参数和道面层间状态与实际存在一定的误差,影响了模拟的准确性。

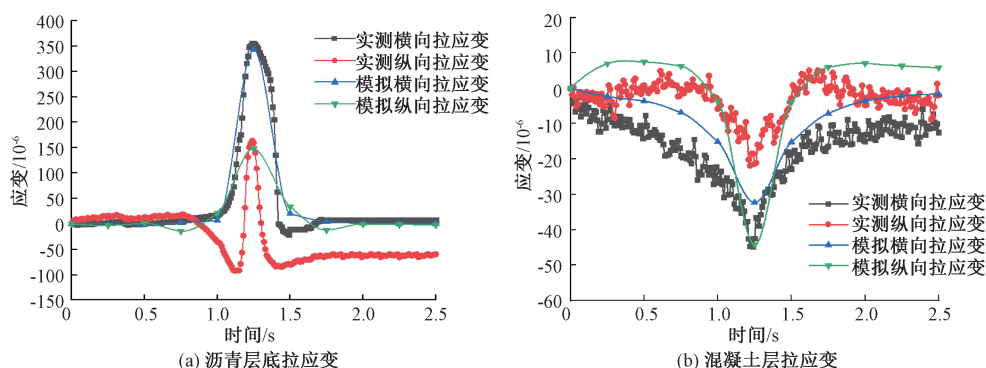


图2 应变数据对比分析图

Figure 2 Comparative analysis diagram of the strain data

3 不同因素作用下复合道面力学响应分析

通过三维有限元模型,以沥青层间剪应力、沥青层底拉应变和水泥混凝土板底拉应力为分析指标,在移动荷载作用下,分析复合道面在不同机型、不同层间结合状态和不同水平力影响下的力学响应。

3.1 不同机型作用下复合道面力学响应

基于建立的机场复合道面三维有限元模型,对B737-800、B767-300ER和B777-300ER这3种飞机机型作用下的道面力学响应进行分析。根据研究^[15],复合式道面结构的临界荷位为纵缝边缘中部,故本文在飞机荷载运行至混凝土板纵缝中部时进行数据提取,力学指标提取路径如图3所示。

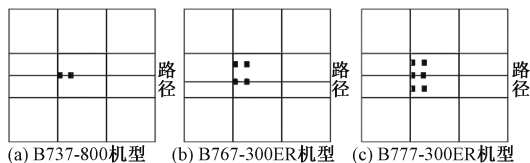


图3 力学指标提取路径

Figure 3 Extraction path of mechanical index

3.1.1 层间剪应力

图4为B737-800机型作用下各面层层间剪应力情况。由图4可知,在荷载运动至混凝土板纵缝中部时,上面层与中面层之间的接触面所受剪应力最大,达到1.97 MPa,中面层次之,下面层与混凝土道面之间的剪应力最小;在荷载运动过程中,只有当荷载运动到计算点上方时,产生的剪应力才会最大。

图5为道面在不同机型荷载作用下,各接触面层间最大剪应力的变化情况。由图5可知,随着飞机轮数的增加,层间剪应力逐渐增大,不同接触面的最大剪应力变化趋势相同,从上到下逐渐递减。其中,B767-300ER机型产生的层间最大剪应力为2.21 MPa,B777-300ER机型产生的层间最大剪应力为2.48 MPa,与B737-800机型相比,分别增加了

12.07%和25.39%。

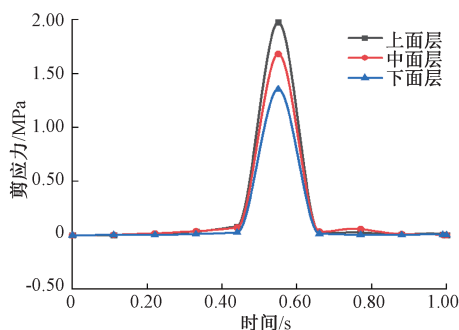


图4 层间最大剪应力随时间变化图

Figure 4 Variation of maximum shear stress between layers with time

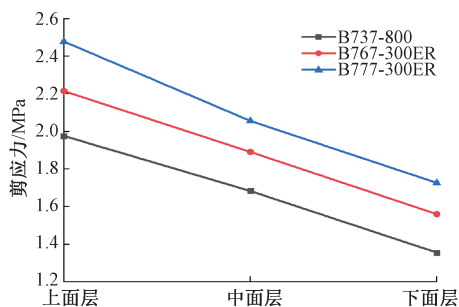


图5 不同机型对接触面最大剪应力的影响

Figure 5 Effect of different models on the maximum shear stress at the contact surface

3.1.2 沥青加铺层层底拉应变

图6为在不同机型作用下沥青加铺层层底拉应变的变化情况。由图6可知,在不同机型作用下,沥青层底拉应变的变化趋势相同。随着轮数的增加,应变数值也在增加,其中横向拉应变变化比较明显,最大为 447.40×10^{-6} ,最小为 338.51×10^{-6} ,说明横向拉应变存在叠加现象;而纵向拉应变变化不太明显,最大为 245.13×10^{-6} ,最小为 214.47×10^{-6} ,变化较小,无明显叠加现象。

3.1.3 水泥混凝土板底拉应力

图7为在不同机型作用下,水泥混凝土板底拉应力的变化情况。由图7可知,随着轮数的增加,水

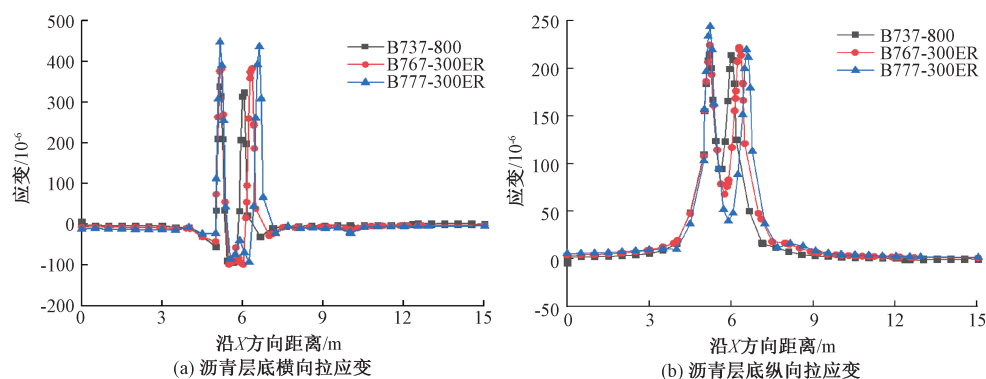


图6 沥青加铺层层底拉应变

Figure 6 Bottom tensile strain of asphalt overlay

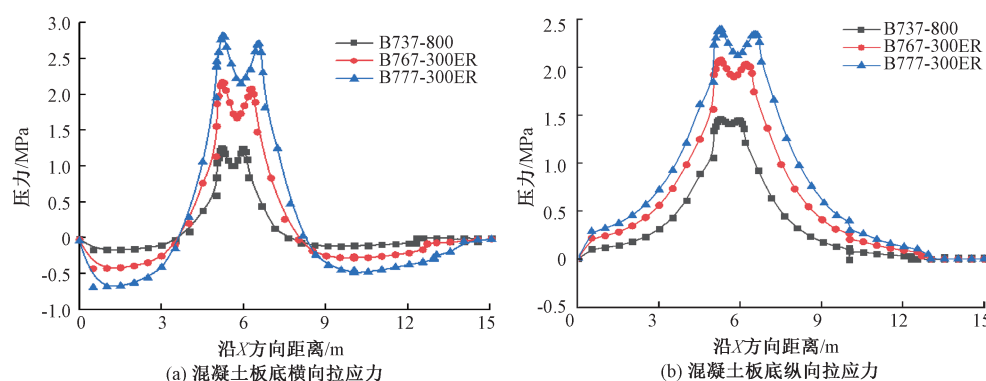


图7 水泥混凝土板底拉应力

Figure 7 Tensile stress of cement concrete slab bottom

混凝土板底拉应力逐渐增加,但增加速度不同。其中,在 B777-300ER 机型作用下,板底横向拉应力达到 2.82 MPa,是 B737-800 作用下的 2.26 倍,是 B767-300ER 作用下的 1.29 倍;纵向拉应力为 2.39 MPa,是 B737-800 作用下的 1.63 倍,是 B767-300ER 作用下的 1.15 倍,应力叠加现象比较明显。

3.2 不同层间结合状态下的力学响应

复合道面的沥青面层由于各结构层材料特性差异以及分层铺筑的特性,导致层间结合状态往往介于完全连续和完全滑动之间。依据库伦模型,通过改变模型的摩擦因数来改变层间结合状态,其中层间摩擦因数为 0.05~0.99,摩擦因数为 0.05 时,代表层间结合状态为完全滑动状态;摩擦因数为 0.99

时,代表层间为完全连续状态。当 B737-800 机型运动至板纵缝中部时,复合道面的力学响应如图 8 所示。由图 8 可知,随着层间摩擦因数的增大,沥青层间剪应力、沥青层底最大拉应变和水泥混凝土板底拉应力都是逐渐变小的。相比摩擦系数为 0.05 而言,摩擦系数为 0.99 时,沥青层间最大剪应力减少了 13.69%,沥青层底横向最大拉应变与纵向最大拉应变分别减少了 8.29%和 8.38%,水泥混凝土板底横向最大拉应力和最大纵向拉应力分别减少了 2.04%和 2.10%。以上数据说明:层间结合状态对于沥青加铺层的力学性能是有一定影响的,层间结合状态越好,道面受力变形就越小;层间结合状态的影响程度沿着道路深度方向呈现减小趋势。

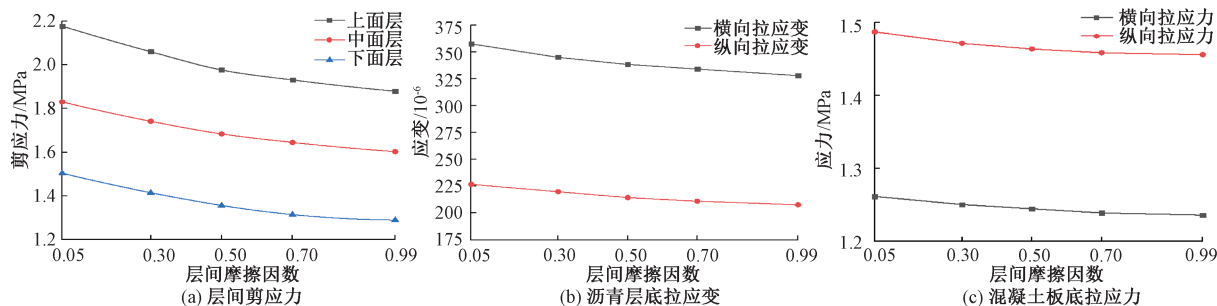


图8 不同层间结合状态下各力学指标图

Figure 8 Diagram of each mechanical index in different states of interlayer bonding

3.3 不同水平力对复合道面受力的影响

在飞机在滑行过程中,轮子受到地面作用在轮子上向前的滚动摩阻力,道面同时也会受到大小相同方向相反的水平力。所以在对机场道面进行力学分析时,水平力的影响也是需要进行分析考虑的,其水平力的大小可以按式(1)进行计算:

$$F = \lambda P. \quad (1)$$

式中: F 为车辆行驶中,轮胎给地面的滚动摩擦力; λ 为轮胎和地面间的滚动摩擦因数(水平力系数); P 为车辆的垂直荷载。

一般来说,飞机在道面上匀速行车时,沥青混凝土和水泥混凝土道面的 λ 取值在0.01~0.02,相对较小;当飞机在道面上制动或者加速时,沥青混凝土和水泥混凝土路面的 λ 取值在0.2~0.5。

本文选用3种水平力系数来分析水平力对飞机道面的影响,并与不考虑水平力的情况进行对比,系

数1至3分别为0.0105、0.2、0.5,其中 $\lambda=0.5$ 来模拟飞机紧急制动或加速的情况。图9是道面力学响应情况。由图9可知,随着水平力系数的增加,沥青层间最大剪应力、沥青层底拉应变和水泥混凝土板底拉应力是逐渐提高的。与不考虑水平力相比,在有制动力情况下各项力学指标逐渐增加:在有相同竖直荷载作用下,水平力系数为0.5时,沥青层间最大剪应力增加了11.84%;沥青层底横向最大拉应变增加了6.05%,纵向拉应变增加了9.68%;水泥混凝土板底横向最大拉应力增加了4.66%,纵向最大拉应力增加了4.79%。通过数据分析可知:飞机制动对于沥青加铺层的影响是比较大的,尤其是对沥青加铺层的层间剪应力的影响较大,且随水平系数的增大而迅速增加;水平力的增加对于剪应力影响较大,沿道面深度方向,变化趋势逐渐减小。

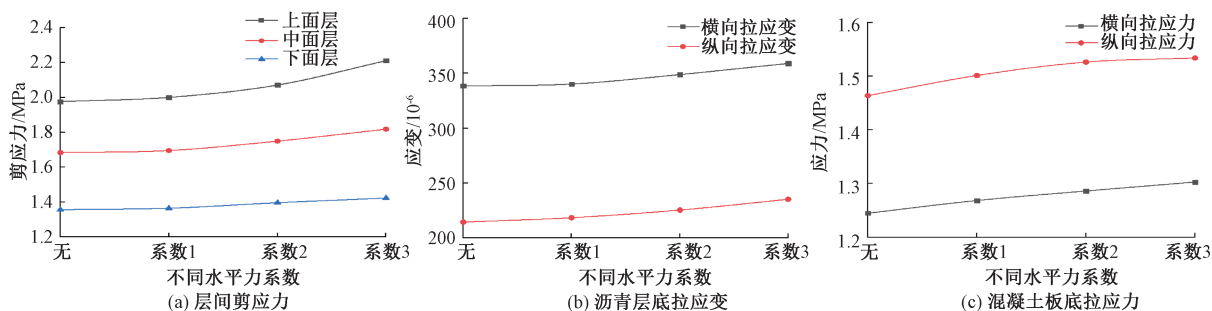


图9 不同水平力系数时各力学指标图

Figure 9 Diagram of the mechanical indicators for different horizontal force factors

4 结论

本文结合中原地区某机场道面加铺改造工程,通过有限元软件,对复合道面在不同因素作用下的力学特性进行了分析,并借助光纤光栅传感器,搭建机场实时监测系统,验证了模型的合理性,为机场复合道面的设计提供了力学参考,主要结论如下。

(1) 复合道面在B737-800、B767-300ER和B777-300ER这3种不同飞机机型作用下,道面层间剪应力、沥青层底横向拉应变、水泥混凝土板底拉应力存在应力叠加现象。

(2) 层间结合状态好坏对于沥青加铺层的力学性能和使用寿命有影响,层间结合状态越好,道面受力变形越小。层间结合状态对于沥青层间剪应力的影响比较大,对水泥混凝土板底的拉应力影响较小,沿着道面深度方向,其影响程度呈现减小趋势。

(3) 飞机在制动时,对于沥青加铺层的影响很大,与没有水平力相比,紧急制动时,沥青层间最大剪应力增加了11.84%;沥青层底横向最大拉应变

增加了6.05%,纵向拉应变增加了9.68%,沿道面深度方向变化趋势逐渐减小。

参考文献:

- [1] 张伟,彭妙娟. 机场复合道面基层裂缝的断裂力学分析[J]. 中外公路, 2017, 37(6): 65-70.
ZHANG W, PENG M J. Fracture mechanics analysis of cracks in airport composite pavement base[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2017, 37(6): 65-70.
- [2] 游庆龙,赵胜前,罗志刚,等. 机场复合式道面力学响应敏感性分析[J]. 公路交通科技, 2021, 38(1): 50-58.
YOU Q L, ZHAO S Q, LUO Z G, et al. Analysis on sensitivity of mechanical response of airfield composite pavement[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2021, 38(1): 50-58.
- [3] WEI F L, CAO J F, ZHAO H D, et al. Laboratory investigation on the interface bonding between Portland cement concrete pavement and asphalt overlay[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2021, 2021: 1-11.
- [4] MA X Y, DONG Z J, CHEN F C, et al. Airport asphalt pavement health monitoring system for mechanical model

- updating and distress evaluation under realistic random aircraft loads[J]. *Construction and Building Materials*, 2019, 226: 227-237.
- [5] LI S, LIU X W, LIU Z H. Interlaminar shear fatigue and damage characteristics of asphalt layer for asphalt overlay on rigid pavement[J]. *Construction and Building Materials*, 2014, 68: 341-347.
- [6] 赵鸿铎, 马鲁宽. 基于实测数据的机场水泥道面变温效应分析[J]. *同济大学学报(自然科学版)*, 2019, 47(12): 1764-1771.
- ZHAO H D, MA L K. Investigation into effects of temperature variations on airport cement pavements based on measured data[J]. *Journal of Tongji University (Natural Science)*, 2019, 47(12): 1764-1771.
- [7] 蔡靖, 李岳, 常欢. 转弯移动荷载下机场复合道面轮辙研究[J]. *土木工程学报*, 2018, 51(8): 118-128.
- CAI J, LI Y, CHANG H. Rutting analysis of airport composite pavement under turning moving load[J]. *China Civil Engineering Journal*, 2018, 51(8): 118-128.
- [8] 张献民, 孔伟斌, 刘小兰. 行车荷载作用下路面结构动位移响应分析[J]. *西南交通大学学报*, 2020, 55(2): 357-363.
- ZHANG X M, KONG W B, LIU X L. Dynamic displacement response of pavement structure under moving vehicle load[J]. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 2020, 55(2): 357-363.
- [9] LIU Z, GU X Y, REN H, et al. Analysis of the dynamic responses of asphalt pavement based on full-scale accelerated testing and finite element simulation[J]. *Construction and Building Materials*, 2022, 325: 126429.
- [10] 李炜光, 国洋, 汤豆, 等. 机场道面沥青加铺结构分区差异设计研究[J]. *郑州大学学报(工学版)*, 2018, 39(5): 91-96.
- LI W G, GUO Y, TANG D, et al. Study on regional difference design of asphalt overlay in airport pavement[J]. *Journal of Zhengzhou University (Engineering Science)*, 2018, 39(5): 91-96.
- [11] 朱杰涛. 基于平整度劣化条件下机场复合道面力学性能研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2018.
- ZHU J T. Study on mechanical properties of airport composite pavement based on deterioration of flatness[D]. Tianjin: Civil Aviation University of China, 2018.
- [12] 周正峰, 凌建明. 基于 ABAQUS 的机场刚性道面结构有限元模型[J]. *交通运输工程学报*, 2009, 9(3): 39-44.
- ZHOU Z F, LING J M. Finite element model of airport rigid pavement structure based on ABAQUS[J]. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2009, 9(3): 39-44.
- [13] 张献民, 李梦晓, 陈宇, 等. 机场跑道水泥混凝土道面板尺寸分析[J]. *北京航空航天大学学报*, 2022, 48(4): 551-559.
- ZHANG X M, LI M X, CHEN Y, et al. Size of cement concrete pavement slab of airport runway[J]. *Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*, 2022, 48(4): 551-559.
- [14] 秦磊. 飞机荷载及地下水作用下机场道基的变形研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2017.
- QIN L. Study on deformation of airport pavement foundation under the action of aircraft loads and groundwater[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2017.
- [15] 游庆龙, 李京洲, 罗志刚, 等. 飞机轮载作用下机场复合式道面结构力学分析[J]. *江苏大学学报(自然科学版)*, 2020, 41(1): 111-117.
- YOU Q L, LI J Z, LUO Z G, et al. Mechanical analysis of airport composite pavement structure under aircraft wheel load[J]. *Journal of Jiangsu University (Natural Science Edition)*, 2020, 41(1): 111-117.
- [16] 钱朝清. 机场复合道面受多轮荷载作用的力学特性分析[J]. *中外公路*, 2016, 36(3): 81-84.
- QIAN C Q. Analysis of mechanical characteristics of airport composite pavement under multi wheel load[J]. *Journal of China & Foreign Highway*, 2016, 36(3): 81-84.

Mechanical Response Analysis of Airport Composite Pavement with Moving Load

GUO Chengchao^{1,2}, ZHANG Shunjie¹, ZHOU Hongchang², DIAO Yueliang¹, YAN Weihong^{1,3}

(1. School of Water Conservancy Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. School of Civil Engineering, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China; 3. Henan Province Airport Group Co., Ltd., Zhengzhou 451163, China)

Abstract: In order to study the mechanical properties of the composite pavement, a finite element model of the composite pavement was established based on the overlay reconstruction project of an airport in the central plains region. Through the established composite pavement monitoring system, the mechanical response of the pavement with the action of the target aircraft type was extracted and compared with the simulation data to verify the rationality of the model. With the action of moving load, the mechanical response of pavement considering different

types of aircraft, different interlayer bonding states and different horizontal forces was analyzed. It was found that with the action of B737-800, B767-300ER and B777-300ER, the maximum shear stress of asphalt overlay appeared in the upper layer, and with the increase of the number of rounds, the mechanical index of pavement gradually increased, in which the transverse tensile strain at the bottom of asphalt layer and the tensile stress at the bottom of cement concrete slab changed significantly; With the increase of interlayer bonding coefficient, the pavement mechanical index showed a decreasing trend, and its influence degree gradually decreased along the pavement depth direction; When there was emergency horizontal braking force, the maximum shear stress between asphalt layers increased by 11.84%, the maximum transverse tensile strain at the bottom of asphalt layer increased by 6.05%, and the longitudinal tensile strain increased by 9.68%.

Keywords: composite pavement; multi-layer overlay; finite element model; moving load; mechanical response

(上接第 112 页)

Optimization of Purification Process of *Scutellaria Baicalensis* Extract by PB Test with Response Surface Methodology

SUN Xin¹, WANG Xianli¹, MA Xiaoji¹, DENG Fangfang², PAN Chengxue^{1,2}

(1. School of Pharmaceutical Sciences, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Henan Zhengda Jienuo Pharmaceutical Technology Co., Ltd., Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Taking the yield and purity of baicalin as evaluation indicators, the acid precipitation method, alkali-soluble acid precipitation method, recrystallization method and pharmacopeia purification method were used to purify baicalin, and the best purification method was determined as alkali-soluble acid precipitation method. Plackett-Burman test was used to obtain the key process parameters in the alkali-soluble acid precipitation method, and the regression model between the key process parameters and the key evaluation indicators was established by the Box-Behnken response surface test, and the design space was obtained and verified. The key parameters obtained by screening were the liquid concentration, alkali solution temperature, alkali solution pH, acid precipitation temperature, and acid precipitation pH. When the yield and purity of baicalin were both greater than 85%, the operating space were; the alkali solution temperature was 40 °C, the pH of alkali solution was 8.0, the temperature of acid precipitation was 80 °C, the concentration of liquid medicine was 11.53–14 mg·mL⁻¹, and the pH of acid precipitation was 1.17–2.33. The verification results show that the design space was stable and reliable, and it could provide a reference for industrial production of *Scutellaria baicalensis* extract.

Keywords: baicalin; purification; Plackett-Burman test; Box-Behnken response surface test; quality by design