

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2024.01.050

不同季节影响下复合道面力学响应分析

郭成超^{1,3},张顺杰²,杨晓东¹,闫卫红^{1,4}

(1.郑州大学 水利与土木工程学院,河南 郑州 450001;2.中国市政工程华北设计研究总院有限公司,天津市 300074;
3.中山大学 土木工程学院,广东 广州 510275;4.河南省机场集团有限公司,河南 郑州 451163)

摘要:为了研究复合道面在不同季节时的力学响应,以中原地区某机场改造项目为项目背景,借助三维有限元软件,建立了道面有限元模型,分析了复合道面在温度影响下的力学响应,并与机场监测数据进行对比,验证了模型的准确性。研究发现:大气温度所能影响的道面深度范围在0.56 m以内,和大气温度相比,道面面层温度峰值远大于气温峰值;道面内部不同结构层之间温度变化趋势相同,随着道面深度的加深,温度峰值逐渐递减,并且出现时间具有延迟现象;在不同季节,道面在相同机型作用下所产生的变形不同,说明温度对于道面的受力是有影响的,其中混凝土层在冬季时所产生的应变值比夏季所产生的减少约74%,变化比较明显。

关键词:道路工程;有限元模型;温度场;热力耦合;机场监测

中图分类号: U416.223;V351.11 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-7716(2024)01-0205-04

0 引言

沥青道面在使用过程中,会受到飞机荷载和温度荷载的共同作用,其中温度对于道面的受力有着十分重要的影响,所以研究道面在温度影响下的力学响应是十分必要的。目前国内外学者对于道路温度场进行了许多研究。Chundi Si等^[1]通过沥青路面建立有限元模型,研究了路面在荷载和外部环境因素共同作用下的动态特性,对道路不同结构层的受力进行分析。国内周兴业等^[2]以半刚性基层和全厚式沥青路面为研究对象,观测了其在2017年全年的温度场状况和力学状况,得出了温度和路面弯沉、应变等力学指标的关系模型。李盛等^[3]通过建立带缝状态下的复合路面热力耦合模型,研究了复合路面在不同因素作用下的力学响应,得出了路面开裂的演变规律。赵玉壁等^[4]依托实际工程,对BRT沥青路面进行建模分析,得出了路面在热力耦合作用下的变形规律。陈嘉祺等^[5]通过分析道路温度场的影响因素,结合现场实验情况,建立了道路温度场预估模型。易富等^[6]通过研究建立了沥青道路热平衡方程,并利用

ADINA模拟了路面在热力耦合下的变形规律。

综上所述,目前国内外学者对道路温度场进行了许多研究,但对于不同季节时复合道面在热力耦合作用下的力学性能研究较少。基于此,文章针对中原地区机场复合道面结构,建立了道面三维有限元模型,对复合道面在不同季节下的温度场分布和力学性能进行分析。

1 模型建立

1.1 基本假设

根据研究^[7],在建立温度场计算模型前,为了简化模拟计算条件,需要对模拟进行如下假设:(1)假定道面结构材料为均质各向同性;(2)假定道面各结构层之间为完全接触;(3)假定热流仅沿道面深度方向一维传递。

1.2 材料参数

结合机场道面相关研究^[8],确立机场道面材料参数,建立复合道面有限元模型。参数如表1所示。

1.3 模型参数

1.3.1 模型尺寸和分析步建立

参考研究^[8],选取九块板模型进行计算,混凝土板尺寸为5 m×5 m,板间接缝为2 cm,所以道面尺寸为15.04 m×15.04 m。在进行温度场分析时,建立稳态分析和瞬态分析两种分析步,其中稳态分析无实际意义,仅为后续瞬态分析提供温度场热分析。

1.3.2 网格划分

在模型的网格划分过程中,为保证受力的均匀和

收稿日期:2023-06-06

基金项目:河南省高等学校重点科研项目计划(21B580008)

作者简介:郭成超(1973—),男,博士,副教授,主要从事工程灾变防护理论与技术研究工作。

通信作者:张顺杰(1997—),男,硕士,助理工程师,从事道路设计工作。电子信箱:2694342626@qq.com。

表1 机场道面材料参数

结构材料	厚度/m	密度/(kg·m ⁻³)	模量/MPa	泊松比	热传导率k/[J·(m·h·°C ⁻¹)]	热容量C/[J·(kg·°C ⁻¹)]
上面层 SMA-13	0.05	2 300	1 500	0.30	4 680	924.9
中面层 AC-20	0.05	2 300	1 200	0.30	4 680	924.9
下面层 AC-20	0.08	2 300	1 000	0.30	4 680	924.9
旧水泥混凝土板	0.38	2 500	33 000	0.20	4 608	970
石灰粉煤灰稳定碎石	0.3	2 000	1 000	0.25	5 148	942
土基	10	1 800	60	0.4	5 616	1040

计算精度,对加载区域和计算分析区域进行了合理的加密。

1.4 气象参数

气象参数是分析道路温度场变化的重要参数之一,文章依据中原地区气象特征,选取了2021年中6月和1月某一天作为分析道面温度场的气象条件,具体参数见表2、表3。

表2 2021年6月某天中原地区气温表

时刻	温度/°C	时刻	温度/°C	时刻	温度/°C	时刻	温度/°C
1	28	7	29	13	37	19	34
2	29	8	29	14	38	20	33
3	28	9	31	15	38	21	32
4	27	10	33	16	38	22	30
5	27	11	34	17	37	23	29
6	28	12	36	18	36	24	29

表3 2021年1月某天中原地区气温

时刻	温度/°C	时刻	温度/°C	时刻	温度/°C	时刻	温度/°C
1	-6	7	-12	13	-5	19	-4
2	-6	8	-11	14	-4	20	-4
3	-7	9	-10	15	-3	21	-5
4	-9	10	-8	16	-3	22	-5
5	-10	11	-7	17	-3	23	-5
6	-11	12	-6	18	-4	24	-6

2 模拟结果分析

为了方便研究道面内部温度场情况,建立了垂直于道面方向的温度数据提取路径,对道面不同深度、不同时刻的温度场变化情况进行分析。以6月为例,温度路径提取出的数据如图1所示。

根据图1可知,道面结构层内部在不同时刻时温度是不断变化的,但外界温度所能影响的范围在0.56 m以内,在道面结构深处,温度变化并不明显。所以对道面0.56 m范围内的结构层进行温度提取,以研究复合道面温度场的变化规律。具体可见图2、图3所示。

根据图2、图3可知,5时之前道面温度处于下

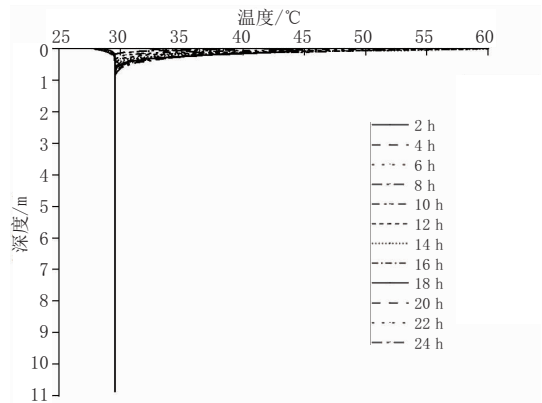


图1 不同时刻道面结构温度分布图

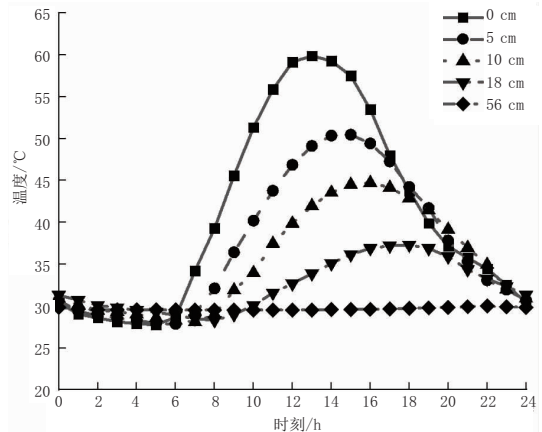


图2 6月道面不同深度温度变化图

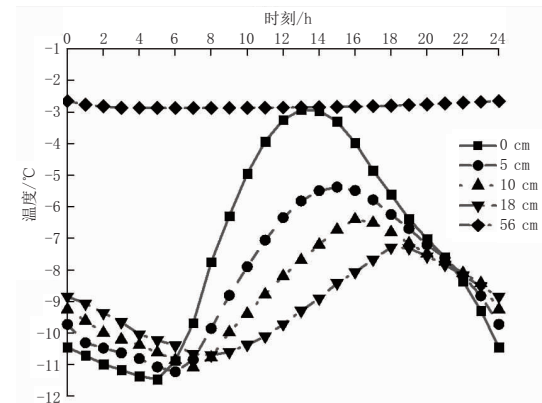


图3 1月道面不同深度温度变化图

降状态,之后开始逐渐上升,其中面层温度增长速率最快,在13时达到顶。在到达温度峰值后,道面温度逐渐下降,由于温度的滞后性,道面下部温度下降速率小于面层,出现其他结构层温度逐渐高于面层的

现象。

从图2、图3可以看出,道面不同深度处温度变化趋势相似,和大气温度相比,面层最高温度值远大于气温峰值,但随着深度的增加,温度峰值逐渐递减,并且出现时间也逐渐延迟,这是因为结构层材料对于温度的传递具有消减作用,才使得道面深处的温度峰值低于道面表层。

3 热力耦合模拟及数据验证

3.1 监测系统建立

通过前期研究,在机场跑道中选取了4个监控断面,对机场道面进行全方位连续监测。监测传感器采用沥青应变计和混凝土应变计,主要用来测量沥青加铺层底拉应变和混凝土层拉应变。这种埋入式传感器主要根据张力弦原理制造,利用频率作为输出信号,抗干扰能力强,并且传感器内部有计算芯片,自动对测量数据进行换算,减少人工换算误差。

此次传感器布设位置位于混凝土表层,由于传感器数量较多,传统开槽机器速度较慢,所以采用圆形打孔机进行辅助切槽。在传感器放置后,需要对传感器进行固定,并针对不同传感器类型选择相应材料进行回填,如混凝土应变计切槽需要选用C40混凝土回填。在回填后,需要对混凝土板表层铺设抗裂贴,防止开裂。

3.2 热力耦合模型建立

在温度场模型的基础上,结合项目工况,建立道面热力耦合模型,以B737-800机型为分析对象。分析道面在热力耦合作用下的力学响应。根据研究^[9],通过等效原则将轮印模型进行简化,机型具体参数如表4所示。

3.3 模拟结果分析及数据验证

根据机场监测系统的监测数据,将提取出的道面应变信息与模拟数据进行对比,分析如下图4、图5所示。

表4 B737-800参数表

最大起飞重量/kN	主起落架构型	主起落架间距/m	胎压/MPa	轮印长度/m	主起落架分配系数	主起落架个数	主起落架轮距/m	轮印面积/m ²	轮印宽度/m
790.04	单轴双轮	5.72	1.47	0.435	0.95	2	0.86	0.13	0.3

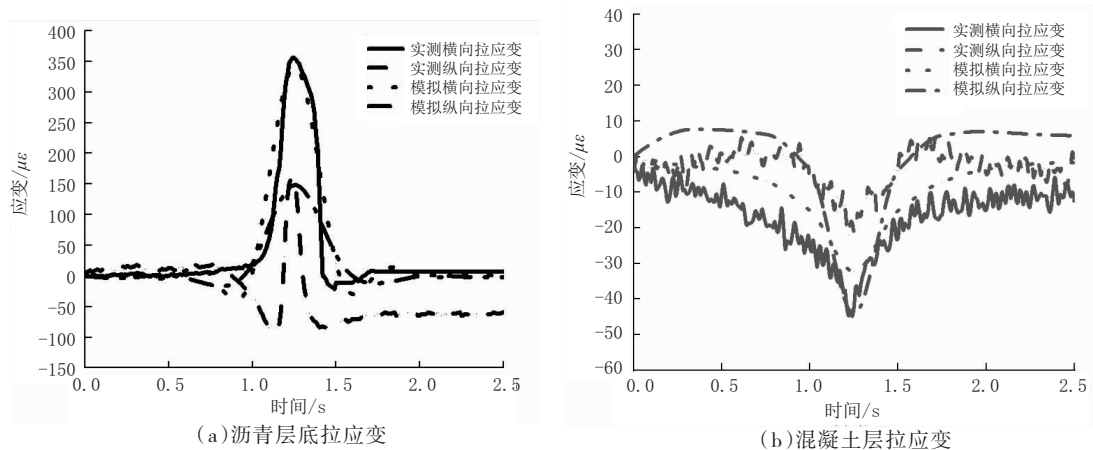


图4 夏季应变对比分析图

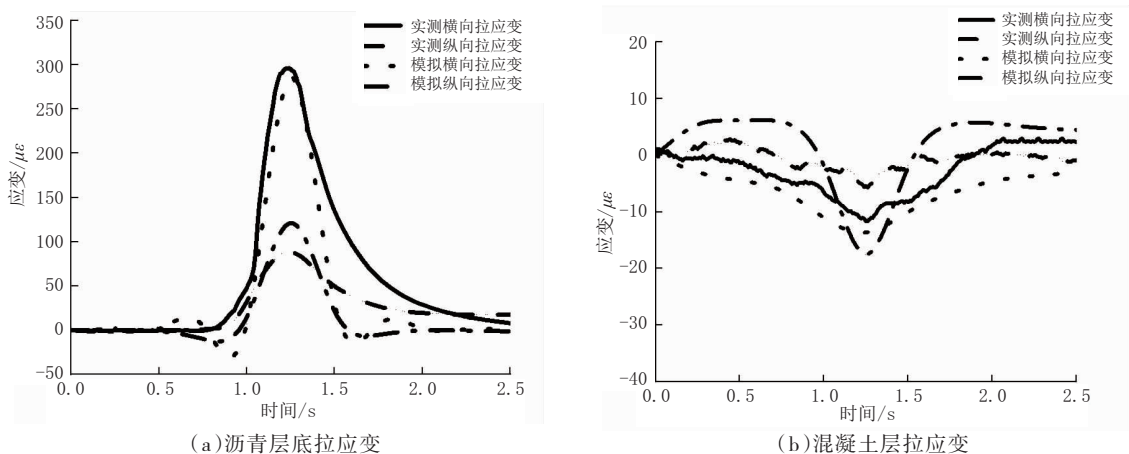


图5 冬季应变对比分析图

从图4、图5中可以看出,在夏季时,沥青层底实测横纵拉应变分别为355.67和163.95,混凝土层的横纵压应变最大为44.83和21.88;在冬季时,沥青层底实测横纵拉应变分别为296.45和88.28,混凝土层的横纵压应变最大为11.62和5.69。由数据可知,在不同季节时,道面在相同机型作用下所产生的变形不同,说明温度对于道面的受力是有影响的,尤其对于混凝土来说,冬季时所产生的应变值比夏季产生的减少约74%,变化十分明显。

通过对比模拟数据和传感器实测数据,可以看出二者的变化趋势相同,二者之间的应变差值也相对较小,验证了模型的准确性。

4 结论

文章结合实际工程,建立了道面有限元模型,分析了道面在不同季节时的温度场分布和力学响应,并与监测数据进行对比,验证了模型的准确性,具体结论如下。

(1)大气温度所能影响的道面深度范围在0.56 m以内,和大气温度相比,道面面层温度峰值远大于气温峰值;

(2)道面各结构层温度变化趋势相似,随着道面深度的增加,温度峰值逐渐递减,并且出现时间也逐

渐延迟;

(3)在不同季节时,道面在相同机型作用下所产生的变形不同,说明温度对于道面的受力是有影响的,尤其对于混凝土来说,冬季时所产生的应变值比夏季产生的减少约74%,变化十分明显。

参考文献:

- [1] Chundi Si, Enli Chen, Zhanping You, et al. Dynamic response of temperature-seepage-stress coupling in asphalt pavement [J]. Construction and Building Materials, 2019, 211.
- [2] 周兴业,王旭东,关伟,等.宽温度域内沥青路面结构响应规律分析[J].哈尔滨工业大学学报,2020,52(9):63-69.
- [3] 李盛,孙煜,许路凯.热力耦合下CRC+AC复合式路面沥青层力学响应分析[J].中南大学学报(自然科学版),2023,54(1):183-196.
- [4] 赵玉璧,吴玉,林家琛.基于温度场的BRT沥青路面结构永久变形特性分析[J].交通科技,2022(6):6-10.
- [5] 陈嘉祺,罗苏平,李亮,等.沥青路面温度场分布规律与理论经验预估模型[J].中南大学学报(自然科学版),2013,44(4):1647-1656.
- [6] 易富,朱凤薇,杨宇婷.温度应力耦合作用下沥青路面应力与变形分析[J].硅酸盐通报,2016,35(1):316-321.
- [7] 廖公云,黄晓明.ABAQUS有限元软件在道路工程中的应用[M].东南大学出版社.2008:200-225.
- [8] 张顺杰.热力耦合作用下机场复合道面力学响应研究[D].郑州:郑州大学,2022.
- [9] 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.

《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

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