

机场薄层沥青道面荷载应力和位移分析

王振辉, 蔡良才, 刘晓军, 吕晓聪, 杨健, 郝伟

(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

摘要:采用三维等参有限元法,分析了简易机场薄层沥青道面各层间完全连续接触时土基回弹模量、基层回弹模量和厚度等因素对荷载应力和表面弯沉的影响。分析表明,半刚性基层底面拉应力随土基回弹模量、基层回弹模量和厚度近似呈线性变化;面层底面受压,应力值变化很小,基本不受影响;表面弯沉随基层厚度呈线性变化,随土基回弹模量和基层回弹模量呈曲线变化。

关键词:机场工程;半刚性基层;薄层沥青道面;荷载应力;表面弯沉;三维等参元

中图分类号: V35 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2007)05-0009-04

简易机场是根据实际需要临时快速开设的机场,根据使用周期的长短设计使用寿命,一般为几个月^[1]。水泥混凝土道面一般需设计接缝^[2-3],且施工速度较慢,不能尽早开放交通。简易机场道面可由压实土基、半刚性基层和薄层沥青混凝土面层组成,半刚性基层分布荷载能力强、水稳性好且强度较高,可作为道面结构的主要持力层,薄层沥青混凝土面层只起功能性作用,满足飞机对道面表面的要求。近年来,我国采用沥青混凝土新建的机场逐渐增多,对沥青混凝土道面及其结构设计指标等都有一些研究^[4-7],但至今仍没有机场沥青混凝土道面结构设计方法。薄层沥青混凝土在机场工程中用于盖被较多,其材料性能和力学特性等在公路工程加铺中有很多的研究^[8-10]。目前国内对简易机场道面研究较少,本文结合简易机场薄层沥青混凝土道面结构组成的特点,针对典型设计机型,根据弹性三层体系模型,采用三维等参元法分析了各层间在连续界面条件下土基回弹模量、基层回弹模量和基层厚度对荷载应力的影响,从而为机场薄层沥青道面结构设计提供依据。

1 有限元计算模型

简易机场典型三层结构如图1所示,选取设计机型A:荷载194.5 kN,胎压1.275 MPa,荷载当量圆半径15 cm,表面摩擦系数取为0.2。采用ANSYS提供的三维等参元SOLID45单元划分模型,根据圣维南原理,模型的应力场只在面力作用点附近才有显著的不同,而离受力点较远地方的应力分布基本相同,因此,以荷载当量圆圆心为对称中心点将模型的平面尺寸取为4 m×4 m,各结构层的厚度如下:沥青混凝土面层厚度5 cm,半刚性基层厚度16 cm-24 cm,压实土基厚度1.5 m,1/2模型的单元划分如图2所示。模型的对称面上施加对称约束条件,四周边界面以及模型底面上施加法向位移约束。

图1中: p 是圆荷载; q 是摩擦系数取0.2时的水平荷载; δ 是当量圆半径; H_1 和 H_2 分别是沥青混凝土面层和半刚性基层的厚度; E_1 、 E_2 和 E_3 分别是面层材料、基层材料和土基的回弹模量; μ_1 、 μ_2 和 μ_3 分别为面层材料、基层材料和土基的泊松比。

收稿日期:2006-09-26

基金项目:军队科研基金资助项目

作者简介:王振辉(1983-),男,湖南安化人,博士生,主要从事机场道面工程研究;

蔡良才(1960-),男,浙江宁波人,教授,博士生导师,主要从事机场工程研究。

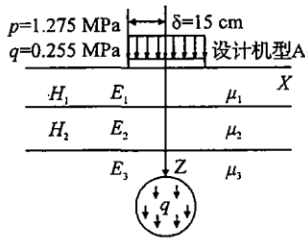


图1 三层结构计算图

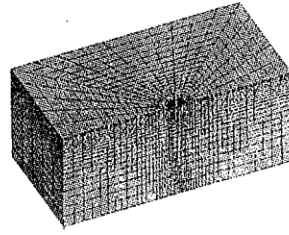


图2 有限元模型单元划分图

2 道面荷载应力和位移有限元分析

2.1 已知土基回弹模量条件下的荷载应力和位移影响分析

计算用参数:薄层沥青混凝土厚度 $H_1 = 5\text{ cm}$, 回弹模量 $E_1 = 1\ 200\text{ MPa}$, 泊松比 $\mu_1 = 0.25$; 半刚性基层厚度 H_2 为 $16\text{ cm} - 24\text{ cm}$, 每 2 cm 一级; 回弹模量 E_2 为 $700\text{ MPa} - 1\ 700\text{ MPa}$, 每 200 MPa 一级, 泊松比 $\mu_2 = 0.25$; 土基回弹模量 $E_3 = 40\text{ MPa}$, 土基泊松比 $\mu_3 = 0.35$ 。计算基层底面拉应力结果如图3所示, 计算表面弯沉结果如图4所示。

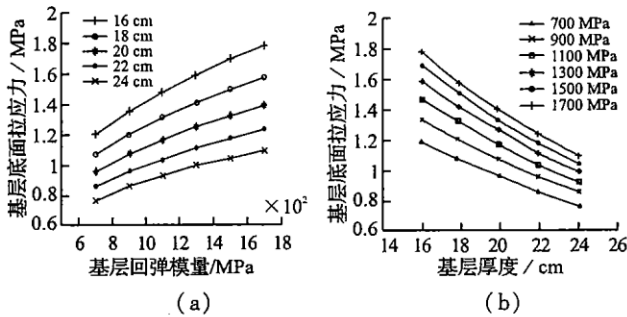


图3 基层回弹模量、基层厚度与荷载应力关系

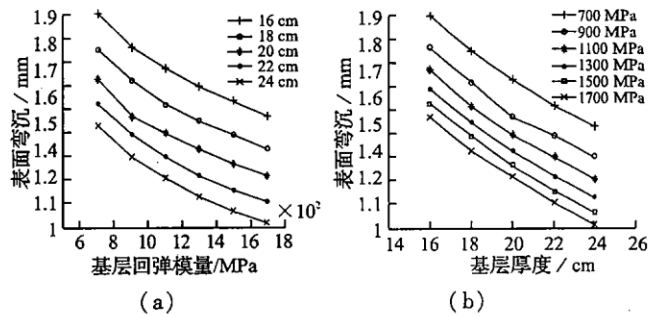


图4 基层回弹模量、基层厚度与表面弯沉关系

计算结果表明:①当基层厚度 16 cm 时, 基层回弹模量由 700 MPa 增加到 $1\ 700\text{ MPa}$, 应力值增加了 49.6% , 表面弯沉减小 22.2% ; 当基层厚度 20 cm 时, 应力值增加 46.4% , 表面弯沉减小 25.3% ; 当基层厚度 24 cm 时, 应力值增加 43.4% , 表面弯沉减小 24.7% 。②当基层回弹模量 700 MPa 时, 基层厚度由 16 cm 增加到 24 cm , 应力值减小 36.1% , 表面弯沉减小 24.7% ; 当基层回弹模量 1300 MPa 时, 应力值减小 37.9% , 表面弯沉减小 28.7% ; 当基层回弹模量 1700 MPa 时, 应力值减小 38.8% , 表面弯沉减小 30.5% 。

由此可以看出已知土基回弹模量时, 基层厚度和回弹模量对基层底面拉应力和表面弯沉都具有显著影响。基层底面拉应力随着基层回弹模量的增大近似呈线性上升趋势, 随着基层厚度的增加近似呈线性下降趋势。表面弯沉随着基层回弹模量的增加和基层厚度的增加几乎都近似呈线性下降趋势且直线斜率基本保持不变。

2.2 已知基层回弹模量条件下的荷载应力和位移影响分析

计算用参数:半刚性基层回弹模量 $E_2 = 1\ 300\text{ MPa}$, 厚度 H_2 为 $16\text{ cm} - 24\text{ cm}$, 每 2 cm 一级; 土基回弹模量 E_3 为 $30\text{ MPa} - 80\text{ MPa}$, 每 10 MPa 一级; 面层参数和泊松比值同前。计算基层底面拉应力结果如图5所示, 计算表面弯沉结果如图6所示。

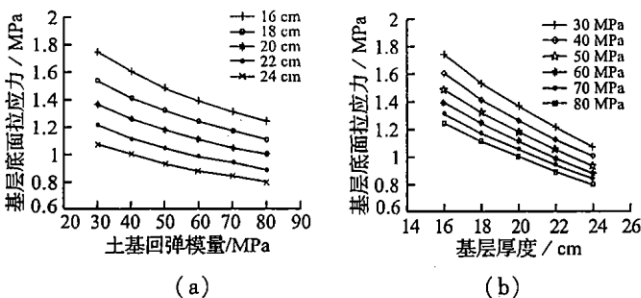


图5 土基回弹模量、基层厚度与荷载应力关系

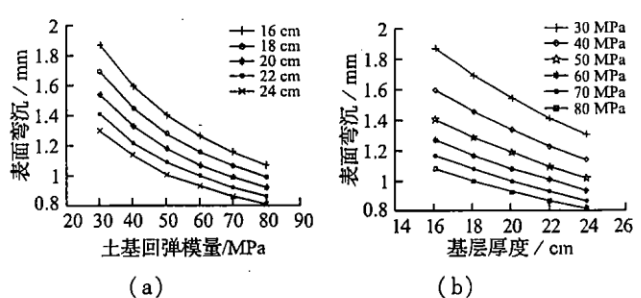


图6 土基回弹模量、基层厚度与表面弯沉关系

计算结果表明:①当基层厚度 16 cm 时,土基回弹模量由 30 MPa 增加到 80 MPa,应力值减小 28.9%,表面弯沉减小 42.5%;当基层厚度 20 cm 时,应力值减小 26.9%,表面弯沉减小 40.1%;当基层厚度 24 cm 时,应力值减小 25.5%,表面弯沉减小 37.6%。②当土基回弹模量 30 MPa 时,基层厚度由 16 cm 增加到 24 cm,应力值减小 38.7%,表面弯沉减小 30.4%;当土基回弹模量 50 MPa 时,应力值减小 37.3%,表面弯沉减小 27.3%;当土基回弹模量 70 MPa 时,应力值减小 35.8%,表面弯沉减小 24.4%。

由此可以看出已知基层回弹模量时,基层厚度和土基回弹模量对基层底面拉应力和表面弯沉都有显著影响。基层底面拉应力随着土基回弹模量的增大和基层厚度的增加都近似呈线性下降趋势。表面弯沉随着基层厚度的增加近似呈线性下降,随着土基回弹模量的增加呈曲线下降。

2.3 已知基层厚度时的荷载应力和位移影响分析

计算用参数:半刚性基层厚度 H_2 为 20 cm,回弹模量 E_2 为 700 MPa - 1 700 MPa,每 200 MPa 一级;土基回弹模量 E_3 为 30 MPa - 80 MPa,每 10 MPa 一级;面层参数和泊松比值同前。计算基层底面拉应力结果如图 7 所示,计算表面弯沉结果如图 8 所示。

计算结果表明:①基层回弹模量 700 MPa,土基回弹模量由 30 MPa 增加到 80 MPa,应力值减小 28.6%,表面弯沉减小 39.8%;当基层回弹模量 1 300 MPa 时,应力值减小 26.0%,表面弯沉减小 40.1%;当基层回弹模量 1 700 MPa 时,应力值减小 25.5%,表面弯沉减小 40.0%。②当土基回弹模量由 30 MPa 时,基层回弹模量由 700 MPa 增加到 1 700 MPa,应力值增加 41.9%,表面弯沉减小 25.3%;当土基回弹模量由 50 MPa 时,应力值增加 49.3%,表面弯沉减小 25.2%;当土基回弹模量由 80 MPa 时,应力值增加 55.7%,表面弯沉减小 25.5%。

由此可以看出已知基层厚度时,土基回弹模量和基层回弹模量对基层底面拉应力和表面弯沉都具有显著影响。基层底面拉应力随土基回弹模量的增加近似呈线性下降,随基层回弹模量的增加近似呈线性上升,且两者的斜率基本保持不变。表面弯沉随土基回弹模量和基层回弹模量的增加呈曲线下降且曲线平缓度基本保持不变。

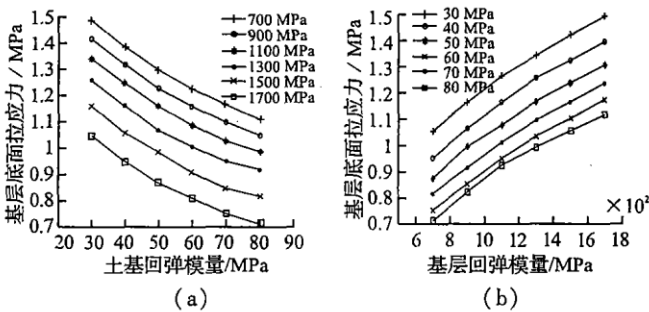


图 7 土基回弹模量、基层回弹模量与基层底面拉应力关系

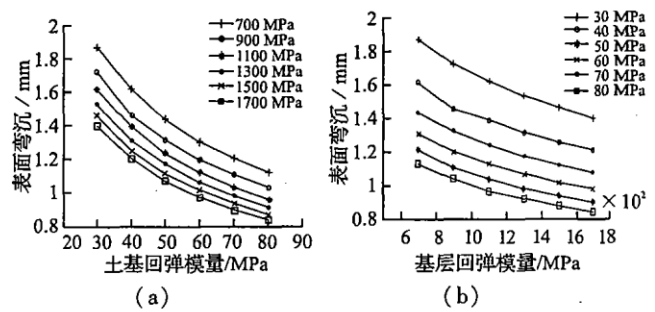


图 8 土基回弹模量、基层回弹模量与表面弯沉关系

2.4 面层底面应力影响分析

由计算得到:当面层厚度 $H_1 = 5$ cm,回弹模量 $E_1 = 1 200$ MPa;基层厚度 H_2 为 16 cm - 24 cm,回弹模量 E_2 为 700 MPa - 1 700 MPa;土基回弹模量 E_3 为 30 MPa - 80 MPa 时,面层底面受压,应力大小在 -1.25 MPa - 1.29 MPa 之内变化,波动很小。因此,薄层沥青道面面层底面应力受土基回弹模量、基层厚度和基层回弹模量的影响很小,可以忽略不计。

3 结论

半刚性基层回弹模量在 700 MPa - 1 700 MPa 范围内,机场薄层沥青道面结构的荷载应力与表面弯沉具有如下规律:

- 1) 土基回弹模量、基层厚度和基层回弹模量对基层底面拉应力和表面弯沉有显著影响,对面层底面应力基本上没有影响;
- 2) 基层底面拉应力随土基回弹模量、基层厚度和基层回弹模量近似呈线性变化,随着土基回弹模量和基层厚度增加而减小,随基层回弹模量的增大而增大;
- 3) 表面弯沉随基层厚度近似呈线性变化,随土基回弹模量和基层回弹模量呈曲线变化,都随土基回弹

模量、基层厚度和基层回弹模量的增加而减小。

参考文献:

- [1] 王振辉,蔡良才,刘晓军,等. 正交法碾压混凝土基层设计研究[J]. 混凝土,2007,(2):82-83.
- [2] 翁兴中,谭麦秋,孔大庆,等. 机场水泥混凝土大板接缝设计[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2002,3(6):4-6.
- [3] 翁兴中,谭麦秋,黄小明,等. 机场水泥混凝土道面板尺寸的确定方法[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2003,4(6):11-13.
- [4] 翁兴中,孙建斌. 军用机场沥青混凝土道面交通量换算[J]. 公路,2003,(6):82-87.
- [5] 孙建斌,翁兴中. 军用机场沥青混凝土道面结构设计指标确定[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2005,6(1):8-10.
- [6] 史保华,蔡良才,黄必斌,等. 机场道面沥青盖被摊铺机械的配置与铺筑方法[J]. 交通运输工程学报,2004,4(4):13-16.
- [7] 史保华,蔡良才,孙涛,等. 机场沥青道面碾压机械配置方法[J]. 交通运输工程学报,2003,3(4):25-30.
- [8] 刘朝晖,沙庆林. 超薄层沥青混凝土 SAC-10 矿料级配比较试验研究[J]. 中国公路学报,2005,18(1):7-13.
- [9] 曹东伟,胡长顺. 旧水泥混凝土路面沥青加铺层力学分析[J]. 西安公路交通大学学报,2001,21(1):1-5.
- [10] 翁兴中,焦明声. 机场水泥混凝土道面沥青薄层盖被起飞段的应力分析[J]. 公路,2002,(10):17-20.

(编辑:姚树峰)

An Analysis of Airfield Thin Layer Asphalt Pavement for Loading Stress and Displacement

WANG Zhen-hui, CAI Liang-cai, LIU Xiao-jun, Lü Xiao-cong, YANG Jian, HAO Wei

(The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

Abstract: This paper calculates the loading stress and surface deflection of flight strip thin layer asphalt pavement with the finite element of three-dimensional isoparametric element, analyzes the effects of the subgrade resilient modulus, the base resilient modulus, and thickness in the completely continuous interface condition. Results indicate that the semi-rigid base underside flexural-tensile stress almost has linear change with the subgrade resilient modulus, the base resilient modulus, and thickness. The surface underside is pressed, and the stress has very small change, which is not effected basically. The surface deflection has linear change with base thickness and curve changes with subgrade resilient modulus and base resilient modulus.

Key words: airport engineering; semi-rigid base; thin layer asphalt pavement; loading stress; surface deflection; three-dimensional isoparametric element