

铝蜂窝道面板承载能力试验

岑国平¹, 程传龙^{1*}, 许巍¹, 杨文山², 李德战³

(1.空军工程大学机场建筑工程系,陕西西安,710038;

2.空军场务技术研究中心,北京,100195;3.空军场务技术试验中心,山东济宁,272035)

摘要 为了研究铝蜂窝道面板的承载能力,铺筑了室外试验段并进行了现场试验,使用直径30 cm刚性承载板模拟飞机轮载,在道面板表面布置位移传感器和应变片,测试了铝蜂窝道面板在不同地基强度、不同地表状态下板体变形、表面应变。试验结果表明:地基强度的增加能改善道面板的受力情况,减少弯沉。当地基强度从70 MPa增加到100 MPa时,100 kW荷载作用下最大变形减小了39.2%。而脱空会使板底出现过大应力,显著降低道面板的承载能力。

关键词 机场工程;铝蜂窝道面板;现场试验;承载能力

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2014.04.001

中图分类号 V351.25 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2014)04-0001-04

Experimental Study on the Bearing Capacity of the Aluminum Honeycomb Sandwich Panel

CEN Guo-ping¹, CHENG Chuan-long^{1*}, XU Wei¹, YANG Wen-shan², LI De-zhan³

(1. Airport Architecture Engineering Department, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China; 2. Airfield Service Technology Research Center of Air Force, Beijing, 100195, China; 3. Center of Airport and Pavement Technology Experiment, Jining, 271035 Shandong, China)

Abstract: In order to study the bearing capacity of the aluminum honeycomb sandwich panel, outdoor test road was built, rigid bearing plate with 30 centimeter in diameter was used to simulate the tire load of aircraft. Displacement sensors and strain gauges were placed on the surface of the sandwich panel, vertical deformation and surface strain were measured with the foundation of different resilient and unevenness. Experiment results show that the rise of foundation modulus can improve the stress condition, reduce the vertical deformation. The void can produce large deformation on the bottom of the panel, reduce its bearing capacity.

Key words: airport engineering; aluminum honeycomb sandwich panel; field test; bearing capacity

常规的混凝土道面建设受原材料、气候等诸多外界因素制约,不能满足简易机场快速开设的要求。为了解决这一难题,国外先后研制出装配式铝合金

道面板 AM-2^[1]、折叠式玻璃钢道面板、表链式铝合金道面板等道面材料。随着飞机的重量增加、胎压增大,这些道面板已不能满足新形势下简易机场的

收稿日期:2014-03-04

作者简介:岑国平(1962-),男,浙江慈溪人,教授,博士生导师,主要从事机场规划设计及机场防洪排水研究。Email: cenguoping@163.com

* 通信作者:程传龙(1989-),男,硕士生,主要从事机场规划设计研究。E-mail: chuanlongcheng@163.com

引用格式:岑国平,程传龙,许巍,等.铝蜂窝道面板承载能力试验研究[J].空军工程大学学报:自然科学版,2014,15(4):1-4. CEN Guoping, CHENG Chuanlong, XU Wei, et al. Experimental study on the bearing capacity of the aluminum honeycomb sandwich panel[J]. Journal of air force engineering university: natural science edition, 2014, 15(4): 1-4.

建设要求。铝蜂窝板具有强度高、刚度大、重量轻等特点,在航空航天、汽车、船舶工程中有广泛应用^[2,4]。由于其复杂的结构形式和各向异性的材料性能,进行工程设计和理论分析都比较困难^[5]。道面板在使用过程中受力情况复杂,国外主要采用室外试验的方法对其性能进行研究^[6]。本文通过现场试验,获得了铝蜂窝道面板受荷载作用时的弯沉、应变数据,以研究不同地基强度条件下该型道面板的承载能力。

1 试验条件

1.1 地基概况

为了研究铝蜂窝道面板对地基(尤其是软弱地基)的适应情况,试验场专门修建了不同强度的加固土地基,使用的原材料有:①土:取自济宁试验中心现场,含水量约 16%,液限 30.6%,塑限 16.5%,塑性指数 14.1,为低液限粉土;②水泥:当地水泥厂生产 P·C 32.5 复合硅酸盐水泥,3 d 抗折、抗压强度分别为 3.3 MPa、16.4 MPa;③石灰:当地产的消石灰粉,CaO、MgO 含量分别为 55.82%、13.18%;④固化剂:北京亿路特通公司生产的 TG 土壤固化剂,该固化剂是由激发剂、催化剂等活性物质、电解质和表面活性剂组成的复合溶液。

首先处理天然地表,清除杂草和腐殖土,并开挖到设计深度,平整碾压。用拌合机将土料、水泥、石灰、固化剂拌合均匀,进行整平、压实,其中各组分比例为:土料 90.99%,水泥 5%,石灰 4%,固化剂 0.01%。施工时,修筑了厚度分别为 20 cm、40 cm 2 种基层结构,其中 40 cm 厚度加固土基层修筑时分 2 层施工,简称为双层地基,20 cm 厚度的称之为单层地基。最后用塑料膜覆盖养生 7 d。单层地基和双层地基的回弹模量分别为 70 MPa、100 MPa。

1.2 道面板

本试验中的铝蜂窝道面板,长为 2 140 mm,宽为 1 070 mm,总厚度 50 mm,上下面层为三系铝合金面板,厚度均为 3 mm,材料设计屈服强度为 145 MPa^[7]。中间为六边形铝蜂窝夹心,铝箔厚 0.2 mm,边长 6 mm。面板与蜂窝之间采用钎焊连接,板材四周采用折边封闭。表面进行喷砂处理以增加摩擦力。道面板边缘分别处理成凹凸形状,凹凸处为连接配合接口。

2 试验过程

试验时,在铝蜂窝道面板中心放置直径为 30

cm 的圆形承载板,下面放一个同样大小的硬橡胶垫。在承载板上部放置油压千斤顶,通过油压千斤顶上部的反力架将载荷施加到道面板上,其中反力架为型钢 H35 钢梁,长约 6 m,固定在两辆载重车后轴附近,见图 1。



图1 铝道面板承载力现场试验

Fig.1 Field test of aluminum honeycomb sandwich panel's bearing capability

在铝道面板表面粘贴应变片,测试加载过程中面板表面应变片的应变状况。应变片位于承载板四周、中轴线和板角部位。其中单层地基上板体表面应变布置见图 2,地基未脱空。同时,在板表面布设位移传感器,测试道面板的弯沉。位移传感器沿纵横方向轴线布置。测试时通过静态应变仪、数据采集仪采集,记录不同载荷时道面板各关键点的位移及应变值。

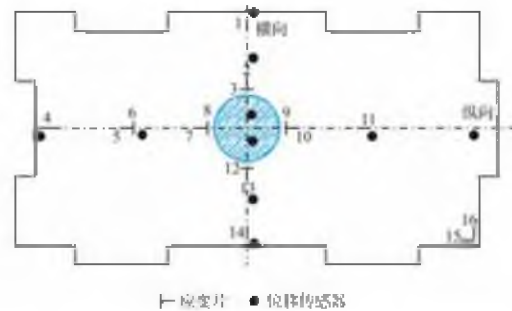


图2 应变片及位移传感器的布置

Fig.2 The layout of strain gauges and displacement sensors

针对不同情况的地基,分别采用单层地基中心脱空 1.5 cm、双层地基中心脱空 1.7 cm 和 3.2 cm 进行承载力试验。地基脱空时脱空区中心与承载板中心重合,脱空深度往边缘递减,系人工挖坑所得。

3 试验结果及分析

3.1 铝蜂窝道面板受荷时应力分布

表 1 为道面板在单层地基上受荷时表面的应变分布情况。

试验结果表明,荷载作用时,承载板四周垂直于荷载圆径向方向的应变片(3、8、9、12)均受压缩,而径向方向的应变片(2、7、13、10)被拉伸。其中受拉

的部位中,横向(2、13)应变远大于纵向(7、10)应变。距离荷载中心较远的部位(4、15、16)应变较小。

表 1 荷载 100 kN 时各点应变
Tab.1 Strain under the load of 100 kN

编号	应变/ 10^{-6}	编号	应变/ 10^{-6}
1	648	9	-993
2	902	10	155
3	-574	11	-67
4	90	12	-913
5	132	13	907
6	-186	14	373
7	141	15	29
8	-473	16	97

分析纵向轴线上 4、5、7、10、11 可以发现,其应变均较小,最大的 10 号位置仅为 155,而横向轴线上的 1、2、13、14 部位的应力均较大,这表明,道面板中心受荷载作用时,横向承担的力较多,受力较小。

3.2 地基强度对承载能力的影响

地基为道面板提供均匀稳定的支承,避免面板局部挠度过大。铝蜂窝道面板受荷载作用时,板中沿横向和纵向均出现整体变形,见图 3~图 4。

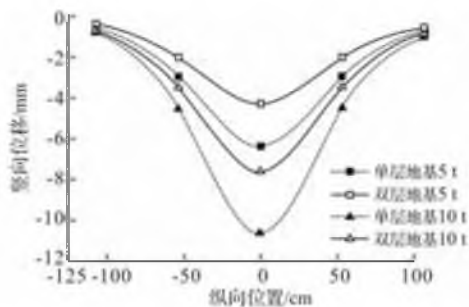


图 3 板中纵向的变形分布

Fig.3 Vertical deformation along the longitudinal axis

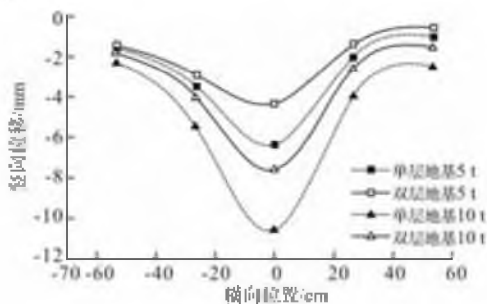


图 4 板中横向的变形分布

Fig.4 Vertical deformation along the transverse axis

可以发现,板中心位移较大,向外逐渐减小。随着地基强度的增加,板体变形明显减小。在 50 kN 荷载作用时,单层地基和双层地基上板中心的竖向位移分别为 6.39 mm 和 4.33 mm,减小 2.09 mm,100 kN 荷载作用时,分别为 10.61 mm 和 7.62 mm,减小 2.99 mm。这表明,随着地基强度提高,其支承刚度增大,抑制了板体受荷载作用时的变形,从而提

高了铝蜂窝道面板的承载力。

3.3 脱空对承载力的影响

本文所述铝蜂窝道面板直接在处理后的地基表面上铺装供飞机使用。实际情况中,地基表面不可能绝对平整,脱空情况不可避免。当飞机轮载作用于脱空位置时,脱空会使道面板局部失去有效的支承,导致道面板承受较大的弯矩作用^[8],从而产生大的变形。

本文采用人工挖坑的方法,模拟道面板使用过程中板底脱空的状态。双层地基上板底脱空区形状见图 5,在脱空的部位沿纵横 2 个方向布置应变片,测量板底应变,中心处最大脱空深度为 3.2 cm。

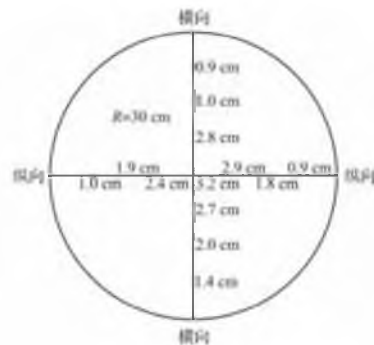


图 5 双层地基脱空区尺寸

Fig.5 Size of the void area

图 6 为双层地基上不同脱空程度下板体中心竖向位移变化。相比非脱空状态,脱空使板中竖向变形显著增大。脱空程度越高,变形越大。当荷载较小时(小于 20 kN),由于道面板与地面接触不紧密均有较大的初始变形,随着荷载继续增大,变形随之增大。当荷载大于 80 kN 后,变形趋缓。

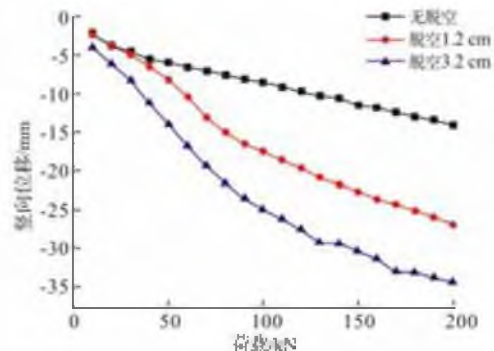


图 6 脱空时板中变形随荷载的变化

Fig.6 Deformation vs load when void

表 2 为双层地基上最大脱空 3.2 cm 时板底中心测得的应变值。

从表中可以看出,随着荷载增加,板底受拉力作用变形伸长。面板弹性模量取 70 GPa^[9],荷载为 70 kN 时,计算其应力为 181.51 MPa,超过了面板设计屈服强度(145 MPa),面板屈服;荷载为 90 kN 时,算得纵向应力为 147.63 MPa,超过屈服强度。

面板的横向应力大于纵向应力,而2个方向脱空程度基本相同。由于板的横向尺寸(约1 m)小于纵向尺寸(约2 m),受力时,主要是横向承担荷载,因此横向的应力大于纵向的应力。

表2 板底应变

Tab.2 Strain data of the panel

荷载/kN	纵向应变/ 10^{-6}	横向应变/ 10^{-6}
10	352	127
20	807	181
30	719	467
40	934	867
50	1 177	1 346
60	1 437	1 933
70	1 743	2 593
80	1 973	3 099
90	2 109	3 477
100	2 557	3 889
110	2 967	4 010

4 结论

本文通过现场试验,研究了铝蜂窝道面板在不同地基条件下受飞机轮载作用时的承载能力,以及地基强度、脱空状态对道面承载能力的影响,并对其作用机理进行了分析,主要得出以下结论:

1) 铝蜂窝道面板在受荷载作用时,上部面板在横向受拉力较大,纵向受力很小。这表明板体尺寸影响表层铝合金面板的材料性能发挥,尺寸越小,越能发挥材料性能。

2) 地基强度的提升可有效减小板的弯沉,提高铝蜂窝道面板的承载能力。

3) 脱空对铝蜂窝道面板的承载能力影响很大。板体在地基脱空状态下受荷载作用,下部面板容易出现过大拉应力,导致面板屈服。脱空部位的道面板受弯拉作用,产生较大的变形,影响飞机运行。

参考文献(References):

- [1] White T D A. Theoretical study of landing mat behavior[R]. Mississippi, US army engineer waterways experiment station, 1969.

- [2] 张铁亮,丁运亮,金海波.蜂窝夹层板结构等效模型比较分析[J].应用力学学报,2011,28(3):275-280.
ZHANG Tieliang, DING Yunliang, JIN Haibo. Comparative analysis of equivalent models for honeycomb sandwich plates [J]. Chinese journal of applied mechanics, 2011, 28(3): 275-280. (in Chinese)
- [3] 夏利娟,金威定,汪庠宝.卫星结构蜂窝夹层板的等效计算[J].上海交通大学学报,2003,37(7):999-1001.
XIA Lijuan, JIN Xianding, WANG Xiangbao. Equivalent analysis of honeycomb sandwich plates for satellite structure [J]. Journal of shanghai jiaotong university, 2003, 37(7): 999-1001. (in Chinese)
- [4] 汪浩,程远胜,刘均,等.新型矩形蜂窝夹芯夹层加筋圆柱壳抗水下爆炸冲击载荷分析[J].振动与冲击,2011,30(1):162-166, 226.
WANG Hao, CHENG Yuansheng, LIU Jun, et al. Anti-shock analysis for new type rectangular honeycomb sandwich stiffened cylindrical shells subjected to underwater explosion shock load [J]. Journal of vibration and shock, 2011, 30(1): 162-166, 226. (in Chinese)
- [5] 王兴业.夹层结构复合材料设计原理及其应用[M].北京:化学工业出版社,2007.
WANG Xingye. Design principle and application of structural sandwich composite materials [M]. Beijing: Chemical press, 2007. (in Chinese)
- [6] Delynn R. C-141A ground flotation test on landing mat and un-surfaced runways civil engineering support[R]. AFWL-TR-70-30, 1970.
- [7] 王祝堂,田荣璋.铝合金及其加工手册[M].长沙:中南大学出版社,2000:222-228.
WANG Zhutang, TIAN Rongzhang. Handbook of aluminum alloy and its process [M]. Changsha: Central south university press, 2000:222-228. (in Chinese)
- [8] 程涛,王国体.不同脱空形式下水泥混凝土路面破坏应力分析[J].合肥工业大学学报,2009,32(4):515-518.
CHENG Tao, WANG Guoti. Mechanical analysis of damage of the cement concrete pavement with different void forms [J]. Journal of hefei university of technology, 2009, 32(4): 515-518. (in Chinese)
- [9] 张其林,季俊,杨联萍,等.《铝合金结构设计规范》的若干重要概念和研究依据[J].建筑结构学报,2009,30(5):1-12.
ZHANG Qilin, JI Jun, YANG Lianping, et al. Comparative analysis of equivalent models for honeycomb sandwich plates [J]. Journal of building structures, 2009, 30(5): 1-12. (in Chinese)

(编辑:徐敏)