

文章编号:1671-1637(2015)06-0001-09

## 铺设拼装式铝合金道面板的道面结构加载性能

蔡良才<sup>1</sup>,周少辉<sup>1</sup>,许巍<sup>1</sup>,岑国平<sup>1</sup>,杨文山<sup>2</sup>

(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)

**摘要:**对拼装式铝道面板试样进行了四点弯曲试验以检测其强度。修建了2条不同强度的土质试验段,分别铺设了4种不同厚度与强度的蜂窝铝夹芯道面板,构建了不同类型的简易机场拼装式铝道面板道面结构,采用加载车模拟轻型与重型飞机荷载,以最大车辙达到30 mm与20%的道面板出现损坏作为控制标准,测试了拼装式道面板道面结构在不同轮载作用次数下的变形与表面车辙。试验结果表明:道面板1~4的有效综合模量分别为1 616、1 862、2 064、2 328 MPa;当道面板1~4分别铺设在单层稳定土基层上时,采用75 kN荷载作用,400次通行后各道面结构的竖向变形分别为35、19、10、12 mm,500次通行后各道面结构最大相对车辙分别为50、28、16、10 mm;当道面板铺设在双层稳定土基层上时,采用150 kN通行荷载作用,1 000次通行后铺设道面板4的道面结构的竖向变形仅为16 mm,铺设道面板3、4的道面结构的最大相对车辙分别为36、24 mm,道面板横向连接处易凹陷。可见,在相同基层条件与通行荷载作用下,采用3003型铝合金材料构造的道面板1相对采用6A02型铝合金材料构造的道面板2~4更易损坏,相应的道面结构也更易失效;道面板2~4铺设在单层稳定土基层上能满足轻型飞机低架次通行要求,道面板4铺设在双层稳定土基层上能够满足重型飞机的使用要求。

**关键词:**机场工程;简易机场;拼装式道面板;通行试验;变形;车辙

**中图分类号:**U416.212

**文献标志码:**A

### Loading performances of pavement with assembled aluminum mats

CAI Liang-cai<sup>1</sup>, ZHOU Shao-hui<sup>1</sup>, XU Wei<sup>1</sup>, CEN Guo-ping<sup>1</sup>, YANG Wen-shan<sup>2</sup>

(1. Department of Airport and Architecture Engineering, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, Shaanxi, China; 2. Institute of Airport and Pavement Technology, Beijing 100195, China)

**Abstract:** The strength of assembled aluminum mat was detected by four-point bending loading test. Two soil test sections with different strengths were built. Four aluminum honeycomb-sandwich mats with different thicknesses and strengths were paved on the test sections to simulate different pavements with assembled aluminum mats at expedient airfield. Light and heavy aircraft loads were simulated by using loaded cart. The deformations and ruts of the pavements under different loading times were measured and the control indexes were that the maximum rutting depth reached 30 mm and 20% mats were damaged. Experimental result indicates that the effective moduli of mats 1-4 are 1 616, 1 862, 2 064 and 2 328 MPa respectively. When mats 1-4 are installed over single-layer stabilized soil base and loaded by 75 kN, the vertical deformations of the pavements are respectively 35, 19, 10 and 12 mm after 400 loading times, and the relative maximum ruts are respectively 50, 28, 16 and 10 mm after 500 loading times. When mats 1-4 are installed over double-layer stabilized soil base and loaded by 150 kN, the

收稿日期:2015-08-12

基金项目:国家自然科学基金项目(51578580);军队科研项目(CKJ13C028)

作者简介:蔡良才(1960-),男,浙江宁波人,空军工程大学教授,工学博士,从事机场道面研究。

vertical deformation of the pavement with mat 4 is 16 mm after 1 000 loading times, the relative maximum ruts of the pavements with mats 3 and 4 are 36 and 24 mm respectively, and the horizontal joints of mats sink obvious. Under the same base condition and loading times, mat 1 made of 3003 aluminum alloy is easier to damage compared with mats 2-4 made of 6A02 aluminum alloy, and the pavement constructed by mat 1 is easier to fail than the others. When mats 1-4 are installed over single-layer stabilized soil base and loaded by 75 kN, the matting pavements can meet the using requirements of light aircrafts. When mat 4 is installed over double-layer stabilized soil base, the matting pavement can meet the using requirements of heavy aircrafts. 8 tabs, 15 figs, 25 refs.

**Key words:** airport engineering; expedient airfield; assembled mat; traffic loading test; deformation; rut

**Author resume:** CAI Liang-cai(1960-), male, professor, PhD, +86-29-84787008, Liangcai07@126.com.

## 0 引 言

在一定强度的基础上铺设拼装式道面板能够满足飞机快速起飞着陆对简易机场道面性能的要求。但在飞机重复荷载与环境因素作用下,拼装式道面板与基础会产生一定的永久变形,造成基层、土基出现车辙与开裂等病害,甚至造成道面板破坏,影响后续使用。

二战以后,国外学者就一直将拼装式道面板作为简易机场快速部署的关键技术,通过不断地改变材料类型与结构形式追求高强度、低成本的效果,以满足新型飞机的使用要求,并在理论研究上也取得了很多成果。在材料上,Dover等最早提出了有孔钢板道面的生产方案<sup>[1]</sup>;Ceo等将铝合金材料应用到拼装式道面板中,并采用隔框式结构研制AM-2型铝合金道面板,试验结果表明,在CBR值为4~6的土基上铺设的AM-2型铝合金道面板,可以满足轻型歼击机与轻型运输机的使用要求<sup>[2-6]</sup>。

随着研究的进一步深入与细化,机场领域拼装式道面逐渐演变为拼装式金属道面(钢板道面与铝板道面等)、水泥混凝土预制块道面与拼装式预应力钢筋混凝土道面<sup>[7]</sup>。其中,驻欧美国空军司令部采用预制混凝土板技术作为其主要的跑道快速修复方法,Merritt等将预制混凝土板技术引入到了高速公路路面的修建中,从修建工期、经济性等方面探讨了预制混凝土板技术的可行性<sup>[8]</sup>;Chang等在加利福尼亚与科罗拉多州等地高速公路建设时采用预制混凝土板技术,通过与其他传统的路面建设方法比较,确定了混凝土板技术的可行性,并对公路飞机跑道的通行性能进行了相应的分析<sup>[9-10]</sup>。拼装式混凝土道面强度高,承载能力大,施工快速方便,已广泛

应用于水泥混凝土道面的抢建中<sup>[11]</sup>。苏联最早将拼装式预应力钢筋混凝土技术应用到了机场领域,其在乌兹别克斯坦修建的机场能够满足C-17飞机起降而不受到任何损坏<sup>[12]</sup>。随着预制混凝土块在道路工程中的深入研究,预制混凝土道面与拼装式预应力钢筋混凝土道面在简易机场道面的建设中表现出较好的使用性能,但也有着明显的缺陷,在其适用性方面,由于混凝土预制块质量大等原因,会造成运输与拼装困难,因此,混凝土预制块现在主要局限于水泥混凝土道面的抢建。

随着材料科学的发展,20世纪70年代美军利用新型纤维复合材料,并结合有限元分析手段和飞机模拟加载车的实体通行试验,分析了AM-2道面板的材料、结构形式与连接方式,研发了新一代道面板AM-X,目标是满足C-17和F-15E飞机超过1 000次的重复通行作用<sup>[13-15]</sup>。这种道面板虽然质量逐渐减轻,强度有所提高,但对于质量与胎压逐渐加大的新型飞机,仍然难以满足其使用要求,而且由于新型纤维复合材料的造价与性能等原因,也只是在机场道面弹坑抢修中局部使用,因此,寻求一种新型道面材料至关重要。蜂窝铝复合材料质量轻,耐压强,强度大,性能稳定,能够满足未来重型飞机的使用要求,但由于其结构特殊性,将蜂窝铝道面板应用到简易机场铺设中将表现出很大的差异性。

针对飞机重复荷载作用下,拼装式蜂窝铝道面板铺设在稳定土基层上的道面结构形式失效问题,本文结合蜂窝铝材料特性,在济宁某试验中心内修建不同试验段,对铺设在不同试验段上的多种拼装式铝道面板进行了通行加载试验,测试了道面结构整体竖向变形(位移)与道面板、土基结构层的永久变形,分析了道面板强度对道面板变形的影响。

1 试验设计

1.1 道面板

针对通行试验共生产了 6 种道面板,道面板边缘为凹凸形状,见图 1,等效长方形道面板尺寸为 2 340 mm×1 070 mm。采用正六边形蜂窝夹芯,蜂窝壁厚为 0.2 mm,六边形边长为 6 mm。采用钎焊焊接单体蜂窝、蜂窝夹芯与面板。板材四周折边封闭,通过安装插销与锁套实现板与板之间的连接。由于蜂窝铝拼装式道面板的材料性质与面板厚度的不同,其主要性能(刚度)表现出较大的差异性,因此,在通行试验之前,对 6 种道面板进行了室内弯拉试验,以确定道面板是否有足够的刚度承载弯拉应力,保证在通行结束后,道面板不出现严重失效问题。根据《胶接铝蜂窝夹层结构弯曲性能试验方法》(GJB 130.9—1986)执行室内试验,通过“四点”弯曲试验测得 6 种道面板的有效综合模量,试验方法见图 2, $F$  为加载力。每种道面板采用 5 个试样,单个标准试样尺寸为 600 mm×120 mm。表 1 给出了试验道面板的关键性能参数,其中罗马数字Ⅲ代表 3003 型铝合金材料,罗马数字Ⅵ代表 6A02 型铝合金材料,分别简称为 3 系与 6 系道面板。根据室内试验,选择综合模量较高的道面板 1~4 作为通行试验道面板。

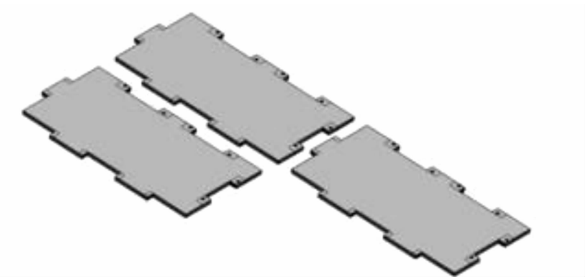


图 1 试验道面板构型  
Fig. 1 Test mat structure

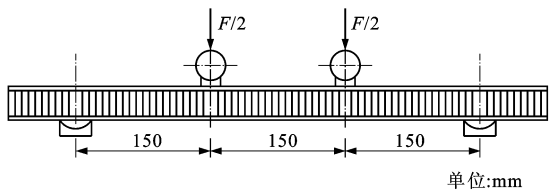


图 2 加载试验  
Fig. 2 Loading test

1.2 试验段与材料性质

在济宁某试验中心,针对轻型与重型飞机分别修建 2 条不同强度的稳定土室外试验段,见图 3、4。试验段一铺设道面板后主要供轻型飞机应急使用,

表 1 试验道面板参数  
Tab. 1 Parameters of test mats

道面板编号	面板材料	面板厚度/mm	夹芯厚度/mm	综合模量/MPa
1	Ⅲ	3.0	44	1 616
2	Ⅵ	3.0	44	1 862
3	Ⅵ	3.5	43	2 064
4	Ⅵ	3.5	53	2 328
5	Ⅲ	2.0	46	1 028
6	Ⅵ	2.0	46	1 216

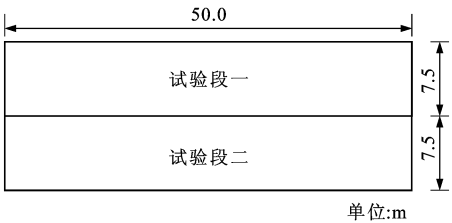


图 3 试验段尺寸  
Fig. 3 Sizes of test sections

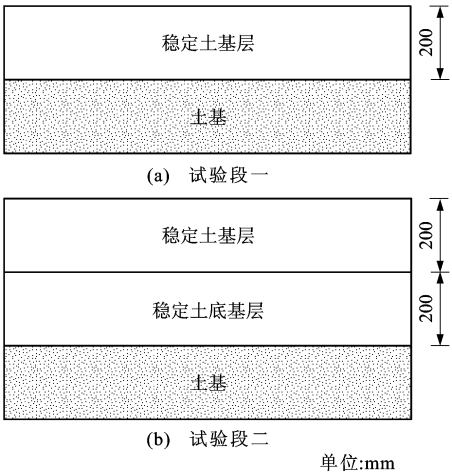


图 4 试验段结构  
Fig. 4 Structures of test sections

试验段二较试验段一多设一层 200 mm 厚稳定土底基层,主要供重型飞机应急使用。稳定土底基层配比为:4%水泥+4%石灰+0.015%稳定剂+济宁土,土基层配比为:5%水泥+4%石灰+0.015%稳定剂+济宁土。图 5 为修建后的土质试验段。当地济宁土的基本性能见表 2。采用山东省张山水泥厂生产的复合硅酸盐水泥,标号为 PO32.5。采用北京亿路特通公司生产的 TG-2 型土壤稳定剂,其基本性能见表 3。采用山东省焦城贵和石灰厂生产的石灰,主要性能指标检测结果见表 4<sup>[16-18]</sup>。依据《公路路基路面现场测试规程》(JTG E60—2008),对试验段进行基层顶面回弹模量测试,试验段一、二的综合回弹模量分别为 70、145 MPa。



图 5 土质试验段

Fig. 5 Soil test sections

表 2 土的基本性能

Tab. 2 Basic performances of soil

液限/%	塑限/%	塑性指数	最大干密度/( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )
30.6	17.5	13.1	1.9

表 3 土壤稳定剂性能

Tab. 3 Performances of soil stabilizer

外观特征	浓缩液 pH 值	25 $^{\circ}\text{C}$ 时重度/( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	凝结点/ $^{\circ}\text{C}$	阴离子表面活性剂含量(质量分数)/%
深红色	0.5~1.0	$1.00 \pm 0.01$	$<0$	8.4

表 4 石灰技术性能

Tab. 4 Technical performances of lime

产品名称	样品状态	检验依据	CaO 与 MgO 含量/%		结论
			一等品	实测结果	
消石灰粉	正常	《建筑消石灰粉》(JC/T 481—92)	$\geq 60$	69	该样品为镁质消石灰粉, MgO 含量为 13.18%

### 1.3 通行荷载

利用加载拖车分别模拟轻型与重型飞机荷载,见图 6、7。通过力学传感器测量加载车装载时主后轮承受力,从而控制轴载。共施加 2 种试验荷载:I型荷载为 75 kN,胎压为 1.2 MPa;II型荷载为 150 kN,胎压为 1.3 MPa。加载车通过牵引车以  $30 \sim 40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  的速度行驶。

### 1.4 测试方法

由于实际应用中主要关心道面板和稳定土基层与土基共同作用的结果,因此,本文定义道面结构的变形为通行试验中道面板和基层、土基竖向的位移。测量变形的理想方法是直接测量某一垂线上各结构层顶面与底面高程,从而得出总的竖向变形,但考虑室外条件限制以及试验过程中道面板的滑动偏移与蜂窝压缩变形等原因,在道面板底部布设传感器,间接得出通行期间道面结构的总体变形。采用直线差



图 6 加载车

Fig. 6 Load cart

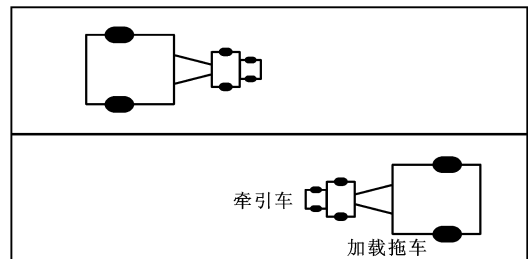


图 7 加载试验

Fig. 7 Loading test

动变压器式位移传感器(LVDT),根据张献民等对响应深度的分析结果<sup>[19-21]</sup>,结合实际布设实施情况,传感器位于土基底部 1.2 m 处,实际布设见图 8,其中加载车轴距为 4.0 m,纵向测点分布在主轮迹(宽度为 0.8 m)上,选取纵向测点中最大变形作为道面结构的观察变形。纵向测点每隔 2 m 布置一个传感器,布设长度为 30.0 m,横向测点每隔 0.5 m 布置一个传感器。试验初期主要是道面板与基层贴合压实过程,传感器测量值很小,不符合实际情况,而后期部分变形超过预期目标,传感器量程无法满足要求,因此,通行前后采用水准仪测量相对高程,辅助得到大致的竖向变形。

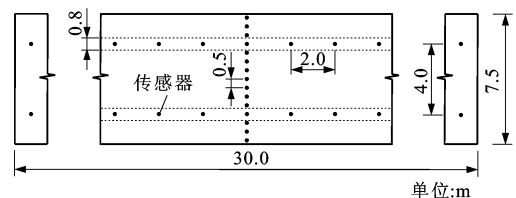


图 8 测点布置

Fig. 8 Distribution of measuring points

另外,本次通行试验还采用断面仪法(3 m 直尺)测量道面板表面变形(相对车辙),可以直观地反映道面板的表面形状。3 m 直尺沿通行荷载方向布设测得道面板纵向车辙,垂直通行荷载方向布设测得道面板横向车辙。

### 1.5 试验失效标准

当出现以下2种情况,就可以停止通行试验:最大车辙达到30 mm;20%的道面板出现损坏。在试验过程中,不对地基与道面板作任何修补或更换。

## 2 变形分析

4种道面板铺设在2条不同的试验段上构造出8种条件各异的道面结构,为了方便区分道面结构与道面板,定义当道面板1~4铺设在试验段一上时,拼装式铝道面板道面结构分别命名为道面结构A~D,定义当道面板1~4铺设在试验段二上时,拼装式铝道面板道面结构分别命名为道面结构a~d。

### 2.1 竖向变形

#### 2.1.1 道面结构A~D竖向变形

道面结构A~D在Ⅰ型荷载作用下每50次通行后竖向变形结果见图9。通行初始阶段变形都很大,主要是由于道面板与试验段存在间隙。前期通行主要是道面板与试验段接触压实过程,随后道面板系统趋于稳定并有一定的微小变形。随着通行次数的增加,道面板出现损伤、裂缝,从而急剧破坏。200次通行后,道面结构A~D的竖向变形分别为12、14、10、11 mm,相差并不明显。400次通行后,道面结构A~D的竖向变形分别为35、19、10、12 mm,道面结构A的竖向变形相对200次通行急剧增加,而其他道面结构的竖向变形增加较小。加载到500次后,道面结构A变形已经达到50 mm,道面板完全失效;而道面结构C、D表现相对较好,变形分别为11、14 mm,即使1 000次通行后,变形也没有达到失效标准,而是板体自身出现了开裂等破坏现象。道面板变形-通行次数曲线斜率与刚度有着直接的关系,刚度越大的道面板表现出越好的抗变形能力,因为刚度越大的道面板能够更好地分散作用在地基上的荷载,减小地基表面的应力、应变。并且3系铝合金材料相对于6系铝合金材料强度低,脆性大,可

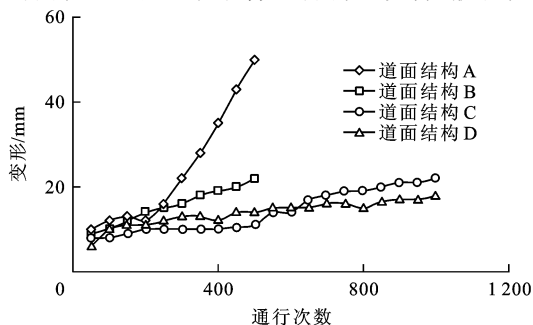


图9 道面结构A~D竖向变形

Fig. 9 Vertical deformations of pavements A-D

塑性强<sup>[22]</sup>,一旦蜂窝芯或者面层铝板出现裂缝、剥离等损坏,损伤会急剧发展,道面板损坏的影响又会通过土基顶面压应力的增大反映到土基上,导致整体竖向变形增大,可以认为对于3系铝合金材料生产的道面板1,裂缝等损坏的产生是竖向变形急剧发展的前兆或者拐点,而对于6系铝合金道面板,裂缝等损坏产生后,道面板依然有着良好的“带裂缝工作”性能,裂缝发展较缓慢。由于试验通行次数有限,无法观测6系铝合金道面板道面结构竖向变形急剧发展的时间拐点,但根据ERDC对其他多种类型道面板完全破坏通行的试验数据分析可以推断出对于任何不同刚度的6系铝合金道面板,存在一个竖向变形急剧发展的时间拐点<sup>[13,23]</sup>,当裂缝等损坏发展到一定程度后,竖向变形会急剧增加,而提高道面板的刚度能够延缓该拐点。

#### 2.1.2 道面结构a~d竖向变形

道面结构a~d在Ⅱ型荷载作用下每50次通行后竖向变形见图10,与道面结构A~D变形结果趋势基本相同,但相同通行次数下,变形稍微偏大。在Ⅱ型荷载作用下,道面结构a急剧变形的时间拐点明显提前,200次通行后,就已经达到26 mm;但道面结构d表现很好,1 000次通行后,变形只有16 mm,重型飞机作用下未达到失效标准。

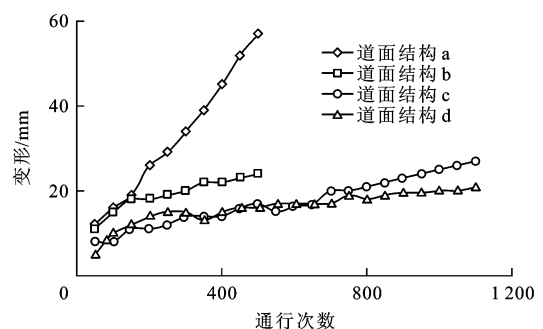


图10 道面结构a~d竖向变形

Fig. 10 Vertical deformations of pavements a-d

### 2.2 永久变形

类似应急机场薄层沥青铺设在稳定土基层的道面结构形式<sup>[24-25]</sup>,拼装式道面板铺设在稳定土基层上的道面机构竖向变形也由各结构层变形组成,同时,由于拼装式道面板与基层的不连续接触,不同于薄层沥青的道面形式,本文定义的道面结构竖向变形包括了通行初始阶段道面板和基层贴合压实的距离,道面板变形包括道面板竖向弯曲变形与蜂窝芯的压缩变形。道面板弯曲变形过程可以认为是随着通行次数的增加,轮迹越来越集中,通行荷载作用区域集中化导致基层与土基产生不均匀压缩变形,形

成了微小脱空区域,在连续通行荷载作用下,导致道面板不断弯曲弥补脱空间隙,因此,可以间接地将道面板弯曲变形等效为部分基层与土基压缩变形,若考虑间隙残留等其他因素,则需要乘以相应的折减系数。由于对道面板变形实时监测难度较大,试验过程中没有对各结构层进行变形观测,因此,在通行试验结束后,拆卸相应最大竖向变形处的道面板,通过直尺与游标卡尺对道面板弯曲变形与蜂窝压缩变形进行测量。表 5 列出了通行试验结束后,各道面板弯曲变形与蜂窝压缩变形,由于道面板 1 已经完全撕裂破坏,无法观测出具体变形。从表 5 可以看出,蜂窝芯厚度较大的道面板 4 虽然弯曲变形较道面板 3 小,但蜂窝压缩变形较道面板 3 大,可以理解为在通行荷载作用下,道面板通过弯曲和蜂窝压缩共同承担荷载,蜂窝芯厚度越大,蜂窝芯承担的比例也就越大,压缩变形也就越明显。道面板 2 为 500 次通行后变形结果,道面板 3、4 为 1 000 次通行后变形结果。

表 5 道面板变形  
Tab. 5 Mat deformations

试验段	道面板	弯曲变形/mm	蜂窝压缩变形/mm
一	2	8.7	1.6
	3	9.3	2.2
	4	8.0	2.8
二	2	8.6	2.3
	3	12.0	2.6
	4	9.0	3.4

根据对道面板弯曲变形的形成过程,基层、土基压缩变形为总的竖向变形减去道面板蜂窝压缩变形与初始阶段道面板贴合基层的距离,稳定土基层的变形相对土基较小,为了简化分析,根据有限元计算分析结果,本文设定基层变形为基层与土基压缩总变形的 1/10,表 6 列出了通行试验结束后,各基层与土基的压缩变形。可以看出在相同荷载作用下,刚度越大的道面板,土基压缩变形越小,其中道面板 2 为 500 次通行后变形结果,道面板 3、4 为 1 000 次通行后变形结果。

实质上对于各结构层,当变形达到一定程度后道面结构会失效。若将道面板弯曲变形、蜂窝芯压缩变形与土基压缩变形作为道面结构失效控制标准,则可避免考虑早期道面板与基层接触压实距离,单独分析结构层变形更加准确。而且当道面板弯曲变形或蜂窝压缩变形过大时,也会对道面板后期拆卸、使用造成影响,因此,需要对各结构层特别是道

表 6 基层与土基压缩变形

Tab. 6 Compressive deformations of bases and subgrades

试验段	道面板	基层变形/mm	土基变形/mm
一	2	1.3	11.7
	3	1.4	12.6
	4	1.2	10.8
二	2	1.3	11.7
	3	1.8	16.2
	4	1.5	13.5

面板弯曲变形进行失效标准控制。

### 2.3 竖向变形横向分布

图 11~14 为在 II 型荷载作用下道面结构 a~d 的竖向变形横向分布,其中横坐标为测点相对于试验段中心线的横向距离。由于道面结构 A~D 的变形横向分布与道面结构 a~d 呈现相同的规律和现象,因此,本文主要描述道面结构 a~d 竖向变形的横向分布。

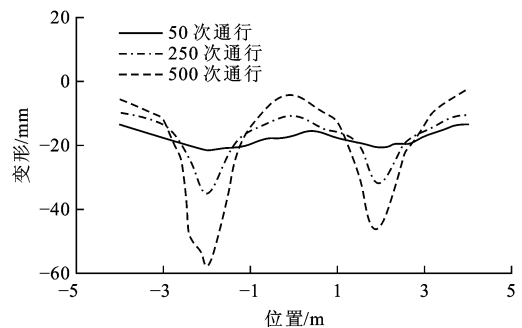


图 11 道面结构 a 竖向变形横向分布  
Fig. 11 Lateral distributions of vertical deformations of pavement a

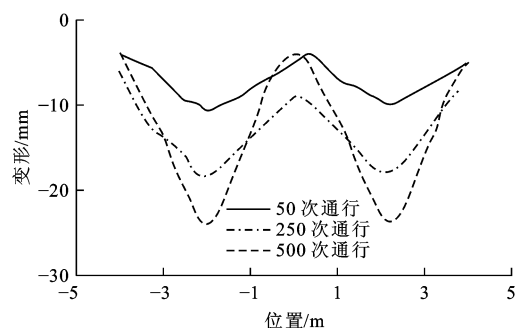


图 12 道面结构 b 竖向变形横向分布  
Fig. 12 Lateral distributions of vertical deformations of pavement b

从图 11 中可以看出道面结构 a 变形非常明显,并且进展迅速,随着竖向变形增大,轮迹的分布也越来越集中,500 次通行后,道面板已经完全破坏,两端翘起,中间主轮接触部分已经深深地陷入破坏的基层里。同时,由于道面板横向偏移的原因,导致板

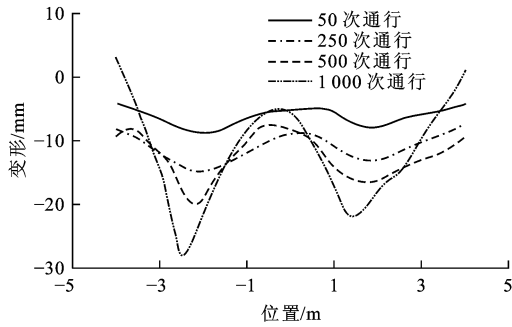


图 13 道面结构 c 竖向变形横向分布

Fig. 13 Lateral distributions of vertical deformations of pavement c

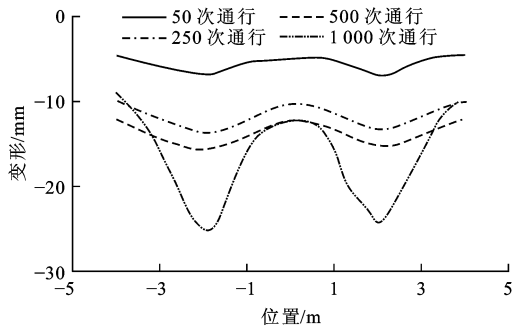


图 14 道面结构 d 竖向变形横向分布

Fig. 14 Lateral distributions of vertical deformations of pavement d

边悬空距离较大,产生次要车辙<sup>[13]</sup>,对道面板上的飞机运行安全造成威胁。道面结构 b~d 的变形比较平和,但道面板 2、3 的边角与联锁都有不同程度的损坏,道面结构 b 的主轮迹处的板面层与蜂窝芯有剥离分开的迹象,而道面结构 d 表现较好,1 000 次通行后,整体完整,变形横向分布没有明显偏移,最大变形仅为 16 mm,并且联锁拆卸方便,满足快速更换的要求。

随着通行次数的增加,基层表面出现了细小沙粒,在轮迹处相对更严重,相比未出现磨损现象的稳定土区域,道面结构竖向变形较大,见图 15,原因主要是由于荷载集中作用导致道面板与试验段上表面的摩擦作用显著,稳定土上层逐渐被磨成细粒,形成了类似道面板脱空的情形,从而恶性循环,变形增大。

### 3 表面相对车辙测试分析

为了直观评价道面板表观性能,在试验段上选取 12 个断面,通过 3 m 直尺测得不同断面的车辙,测量结果见表 7、8。

从表 7、8 中可以看出,横向车辙比纵向车辙大,约为纵向车辙的 2 倍。就表观性能而言,500 次通



图 15 土质基层表面

Fig. 15 Soil base surface

表 7 道面结构 A~D 相对车辙

Tab. 7 Relative ruts of pavements A-D

道面结构	通行次数	横向相对车辙/mm	纵向相对车辙/mm
A	500	50	24
B	500	28	20
C	500	16	9
	1 000	22	15
D	500	10	8
	1 000	16	10

表 8 道面结构 a~d 相对车辙

Tab. 8 Relative ruts of pavements a-d

道面结构	通行次数	横向相对车辙/mm	纵向相对车辙/mm
a	500	60	27
b	500	38	24
c	500	20	10
	1 000	36	23
d	500	14	7
	1 000	24	13

行后,道面结构 A、a 横向相对车辙分别达到 50、60 mm,表面变形较大,而道面结构 C、c 横向相对车辙分别为 16、20 mm,道面结构 D、d 横向相对车辙分别为 10、14 mm,表观性能较好,变形并不明显。同时发现道面结构 B、b、C、c 的部分较大横向车辙是由于局部面板凹陷导致,特别是道面结构 c,1 000 次通行后,在 2 块板的横向连接处面板凹陷,原因可能是通行荷载作用在 2 块板上时,轮印接触面积减小,局部压力增大,在蜂窝夹芯厚度较小的情况下,道面板局部缺陷更容易暴露出其短板性,导致凹陷产生。而道面板较大的纵向车辙主要出现在两道面板之间,主要原因是局部地基破坏导致单块面板急剧下降,纵向车辙扩大,该车辙类似道面板错台的形式,对飞机运行安全的威胁不容忽视。

## 4 结 语

(1)拼装式铝合金道面板能满足轻型飞机在单、双稳定土基层上低架次通行的要求,强度大的道面板能够完全满足重型飞机双层稳定土上的使用需求。

(2)在边、角、联锁处低刚度道面板容易出现裂缝与剥离等破坏。

(3)土质-道面板摩擦缺失是导致土质试验段上的道面板过早出现较大变形的一个主要原因,必须改善稳定土的抗磨性。

(4)道面板凹陷与道面板之间高差引起的车辙对飞机运行安全的威胁不容忽视。

(5)蜂窝芯厚度的提高能够减小道面板弯曲变形,但会增加蜂窝芯压缩变形。以后试验需要对各结构层变形进行准确测量,提出以道面板弯曲变形与土基压缩变形作为控制指标的适用标准。

(6)为了使土质道面更好地适应拼装式蜂窝铝道面板使用要求,必须增加基层表面与道面板之间的摩擦力或固定道面板以增强道面板系统的稳定性,改善邻板之间的连接方式,同时选择合理刚度与蜂窝芯厚度的道面板。在具体实际应用中,应根据飞机型号、飞行要求、道面板的价格、运输性与修建时效性等修建合适的基层与选取相应的道面板。

## 参 考 文 献 :

## References :

- [1] DOVER M D, ANDERSON M, BROWN R W. Recent advances in matting technology for military runways[C]//ASCE. The 27<sup>th</sup> Annual International Air Transport Conference. Reston: ASCE, 2002: 1-10.
- [2] COE C J, READ D L, MYERS J A. Mat instrumentation, finite-element analysis, and mat anchoring system reliability study, volume II[R]. Panama City: Tyndall Air Force Base, 1988.
- [3] 魏 武. 野战机场道面材料与结构型式研究[D]. 西安: 空军工程大学, 2002.  
WEI Wu. Research on matting material and configuration used in expedient airfield[D]. Xi'an: Air Force Engineering University, 2002. (in Chinese)
- [4] SMITH J C, GONZALEZ C R, SMITH D M. Analysis of Korean F-16 aircraft operating on AM-2 landing mat[R]. Vicksburg: US Army Corps of Engineers, 1997.
- [5] 赵文奇. 稳定土技术在野战机场中的应用研究[D]. 西安: 空军工程大学, 2003.  
ZHAO Wen-qi. Research on reinforced soil in construction of expedient airfield[D]. Xi'an: Air Force Engineering University, 2003. (in Chinese)
- [6] FORST D C. Decks for rapid runway mat application[R].

Dayton: Wright-Patterson AFB, 2007.

- [7] 程传龙. 拼装式铝蜂窝道面板的设计及力学性能研究[D]. 西安: 空军工程大学, 2014.  
CHENG Chuan-long. Aluminum honeycomb matting system design and mechanics test[D]. Xi'an: Air Force Engineering University, 2014. (in Chinese)
- [8] MERRITT D K, CULLOUGH F M, BURNS N H, et al. The feasibility of using precast concrete panels to expedited highway pavement construction[R]. Austin: Texas Department of Transportation, 2000.
- [9] CHANG L, CHEN Y T, LEE S. Using precast concrete panels for pavement construction in Indiana[R]. West Lafayette: Purdue University, 2004.
- [10] Ministry of Defence. Concrete block paving for airfields[R]. West Midlands: Ministry of Defence, 2005.
- [11] PRIDDYA L P, BLYA P G, JACKSON B C J, et al. Full-scale field testing of precast portland cement concrete panel airfield pavement repairs[J]. International Journal of Pavement Engineering, 2014, 15(9): 840-853.
- [12] SAPOZHNIKOV N, ROLLINGS R. Soviet precast prestressed construction for airfields[C]//FAA. 2007 Worldwide Airport Technology Transfer Conference. Atlantic City: FAA, 2007: 1-11.
- [13] GARTRELL C A. Full scale instrumented testing and analysis of matting systems for airfield parking ramps and taxiways[R]. Vicksburg: US Army Corps of Engineers, 2007.
- [14] GARTRELL C A, NEWMAN J K, ANDERTON G L. Performance measurements of pavement matting systems by full-scale testing over differing soil strengths[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2009, 21(10): 561-568.
- [15] DOYLE J D, HOWARD I L, GARTRELL C A. Full-scale instrumented testing and three-dimensional modeling of airfield matting systems[J]. International Journal of Geomechanics, 2014, 14(2): 161-170.
- [16] 史保华, 宁文溥, 许 巍, 等. 抗耐土壤稳定剂在简易机场道面中的应用[J]. 交通运输工程学报, 2013, 13(2): 25-33.  
SHI Bao-hua, NING Wen-pu, XU Wei, et al. Application of con-aid stabilizer in expedient airfield pavement[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2013, 13(2): 25-33. (in Chinese)
- [17] 戴圣睿. 抗耐土壤稳定剂在简易机场中的应用研究[D]. 西安: 空军工程大学, 2011.  
DAI Sheng-rui. Research on application of con-aid stabilizer in expedient airfield pavement [D]. Xi'an: Air Force Engineering University, 2011. (in Chinese)
- [18] 岑国平, 程传龙, 许 巍, 等. 铝蜂窝道面板承载能力试验[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2014, 15(4): 1-4.  
CEN Guo-ping, CHENG Chuan-long, 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. (in Chinese)
- [19] 张献民, 董 倩, 吕耀志. 机主起落架构型对道面力学响应的



- 影响[J]. 西南交通大学学报, 2014, 49(4): 675-681.
- ZHANG Xian-min, DONG Qian, LU Yao-zhi. Mechanical responses of pavement under aircrafts with different main landing gears[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2014, 49(4): 675-681. (in Chinese)
- [20] 张献民, 薛华鑫, 董倩, 等. 飞机跑道荷载响应深度变化规律[J]. 北京航空航天大学学报, 2014, 40(4): 427-432.
- ZHAN Xian-min, XUE Hua-xin, DONG Qian, et al. Influencing depth under aircraft loads of runway[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2014, 40(4): 427-432. (in Chinese)
- [21] 单景松, 李惠, 蒋含莞. 嵌锁块路面受力特性与设计方法[J]. 交通运输工程学报, 2015, 15(4): 9-17.
- SHAN Jing-song, LI Hui, JIANG Han-wan. Mechanical characteristics and design method of interlocking concrete block pavement[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2015, 15(4): 9-17. (in Chinese)
- [22] 韩千永. 容器用 3003 铝合金箔的研制[J]. 轻合金加工技术, 2010, 38(6): 29-31.
- HAN Qian-yong. Development of 3003 aluminum alloy foil for containers [J]. Light Alloy Fabrication Technology, 2010, 38(6): 29-31. (in Chinese)
- [23] GONZALEZ C R, RUSHING T W. Development of a new design methodology for structural airfield mats[J]. International Journal of Pavement Research and Technology, 2010, 3(3): 102-109.
- [24] 黄伟业, 张亚瑞, 操兵, 等. 公路飞机跑道沥青道面受力分析与承载能力检测方法[J]. 筑路机械与施工机械化, 2015, 32(11): 63-67.
- HUANG Wei-ye, ZHANG Ya-men, CAO Bing, et al. Force analysis and bearing capacity test of asphalt pavement of highway runway [J]. Road Machinery and Construction Mechanization, 2015, 32(11): 63-67. (in Chinese)
- [25] 王振辉, 蔡良才, 刘晓军, 等. 机场薄层沥青道面荷载应力和位移分析[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2007, 8(5): 9-12.
- WANG Zhen-hui, CAI Liang-cai, LIU Xiao-jun, et al. An analysis of airfield thin layer asphalt pavement for loading stress and displacement[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2007, 8(5): 9-12. (in Chinese)