

钢带加载技术及其模拟机身受力的有限元分析

樊优优,张慧峰,陈 莉

(航空工业飞机强度研究所,陕西 西安 710065)

摘 要:大型运输机机身直径大、蒙皮相对薄弱,集中载荷容易对其造成局部破坏。为了解决类似结构的加载问题,本研究阐述了钢带加载技术的结构形式、材料选择、胶粘剂选择及粘贴工艺,并通过有限元分析的方法模拟了机身的钢带加载。结果表明:钢带加载技术能够较好地模拟机身受力,且具有自身结构形式简单、成本低、体积小、使用灵活等众多优点。

关键词:钢带加载;有限元分析;机身蒙皮加载

中图分类号:V21

文献标识码:A

Steel Band Loading Technology and Its Finite Element Analysis of Fuselage Force Simulation

FAN Youyou, ZHANG Huifeng, CHEN Li

(AVIC Aircraft Strength Research Institute, Xi'an 710065, China)

Abstract: Large transport aircraft body cover has large diameter and thin skin, and is easy to be damaged by concentrated load. To study and solve the problem, the steel band loading technology is investigated from the perspectives of the steel band loading structure, selection of materials, adhesive selection and paste process. The steel band loading of fuselage is simulated by finite element analysis. The result shows that the steel band loading technology can simulate the force loaded on the fuselage effectively, and the technology is simple structured, inexpensive, small in volume, and flexible, therefore, the steel band loading technology is a technique worthy of further research.

Keywords: steel band loading; finite element analysis; radar cover loading

大型运输机机身直径很大,常常达到5 m多,机身蒙皮相对较薄,对面外集中载荷很敏感,采用常规的胶布带加载容易造成局部非正常破坏。因此,对于大直径机身加载技术的探索和应用迫在眉睫^[1]。

欧美等国在大型飞机强度试验中,机身加载多采用钢带加载装置来进行垂向加载。这种加载方式更符合其设计和真实受载情况。国内这方面的研究很少,也无大规模应用经验,需要开展相关技术攻关和应用验证,以解决大型运输机机身垂向载荷的施加问题。解决机身加载的难题,提高试验加载的精度,缩短试验的周期,并可以推广应用到其它机型(如轰炸机、大型民用飞

机等)的强度试验中,对于提高我国大型飞机结构试验的技术和水平具有重要的意义。

1 钢带加载技术

1.1 钢带加载的结构形式

国外在使用钢带进行加载时,将钢带与加载框连接在一起。如图1所示。

而国内没有将钢带和加载框作为一个整体进行生产,所以为防止加载钢带在加载时出现滑动,考虑采用胶接的方式将钢带固定在加载框上,加载钢带由钢带、帆布、胶粘剂、加载接头组

收稿日期:2019-10-17

作者简介:樊优优,1984年生,女,工程师,从事金属耐久性 & 损伤容限分析与研究。E-mail:yoyo.friends@163.com。

成,如图 2 所示。与国外整体钢带加载框相比,国内的钢带加载方式形式多变,更加灵活,可重复利用,并且造价较低。

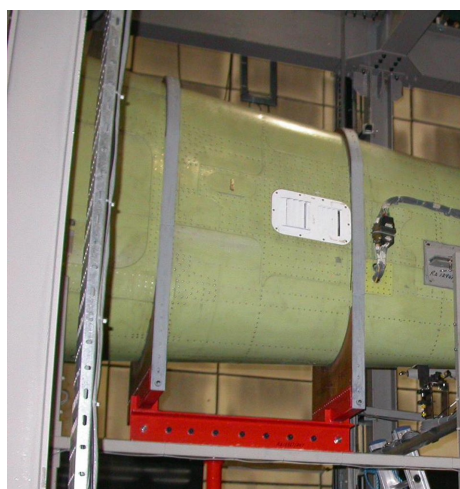


图 1 钢带加载框

Fig.1 Steel band loading frame

1.2 钢带材料

钢带材料的选择从力学性能、经济性等方面

进行考虑。301 不锈钢是一种亚稳奥氏体不锈钢,在充分固溶的条件下,具有完全奥氏体组织。在不锈钢中,301 不锈钢是最易冷变形强化的钢种,通过冷变形加工可使钢的强度、硬度提高,并且保留足够的塑性和韧性,另外,301 不锈钢含镍较多,所以抗碱性较好,不易生锈。Q235 是一种低碳钢,取材方便,具有良好的经济性。301 不锈钢钢带和 Q235 钢带的硬度均小于机身常用材料 7075 铝合金的硬度,而且这两种材料均具有较高的强度、良好的塑性和韧性^[2-3]。其力学性能见表 1。

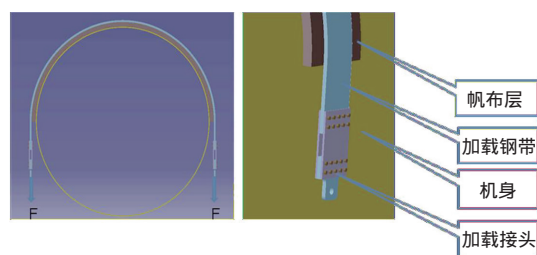


图 2 钢带加载组成图

Fig.2 Steel band loading composition diagram

表 1 钢带力学性能

Table 1 Steel band mechanical properties

材料	拉伸强度 R_m /MPa	屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa	伸长率 A /%	断面收缩率 Z /%	HB
301 不锈钢钢带	≥ 520	≥ 205	≥ 40	≥ 60	138
Q235 钢带	≥ 375	235	26	—	102~128
机身常用材料 7075	524	455	11	—	150

综上所述,钢带可以采用 301 不锈钢或 Q235 钢。

1.3 胶接工艺

上述两种钢带的硬度均小于机身材料的硬度,不会限制其变形。但考虑到钢带与铝合金之间的摩擦系数较小,为防止加载钢带在加载时出现滑动,需采用胶接的方式将钢带固定在加载框上^[4-5]。

具体的操作方式借鉴胶布带的粘贴方式及工艺,选择帆布作为钢带与机身之间的连接介质。粘贴方法有 3 种,分别为:

(1)帆布条蛇形缠绕在钢带上,将其与蒙皮接触的部分包裹起来,用 FN-305 胶将帆布与钢带牢固粘贴在一起,然后再用 FN-305 胶将其与

蒙皮粘贴在一起。

(2)帆布上下两面覆盖在钢带上,使用 FN-305 胶将其与钢带牢固粘贴在一起,然后再用 FN-305 胶将其与蒙皮粘贴在一起。

(3)使用 FN-305 胶将蒙皮、帆布与钢带依次粘接在一起。

粘贴示意图如 3 所示。

3 种粘贴方法均起到增大摩擦力的作用,在使用时可以根据需要自行选择。

1.4 应用范围

钢带加载技术适用于直径大、蒙皮相对薄弱及集中载荷容易对蒙皮造成局部破坏的结构,如机身、雷达罩等。一般用于进行垂向加载。

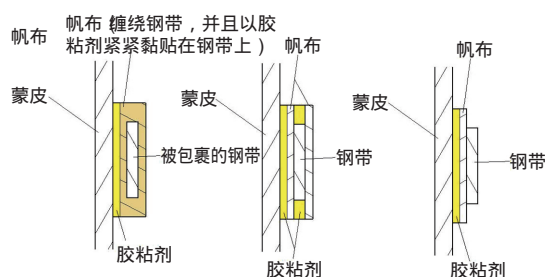
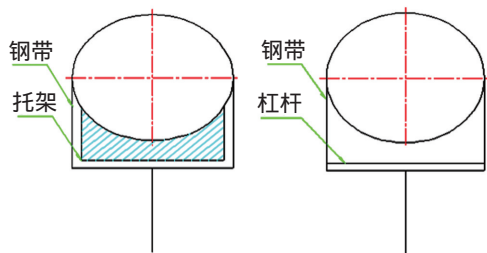


图3 蒙皮、帆布和钢带粘贴方法示意图

Fig.3 Schematic diagram of pasting on leather, canvas and steel band

钢带加载技术可以和胶布带加载、拉压垫加载、真空吸盘加载等多种加载方式混合使用^[6-10]。若试验工况中不仅有机身上表面压缩载荷(即机身垂直向下),还有机身下表面压缩载荷(即机身垂直向上),可采用图4(a)所示的加载方式,即钢带与托架的组合方式。若试验工况中仅有机身上表面压缩载荷或仅有机身下表面压缩载荷,可采用图4(b)的加载方式,即钢带与杠杆组合的方式。

与国外的钢带加载框相比,国内钢带加载方法更加灵活,同一套加载钢带可以使用在不同的试验件上,占据空间较小,适用的范围也更加广泛。



(a) 钢带与托架组合加载 (b) 钢带与杠杆组合加载

图4 钢带与其它加载方法的组合

Fig.4 Combination of steel band and other loading methods

1.5 钢带加载优点

钢带加载的优点如下:

(1) 钢带加载在应用中比较灵活。在试验中,可将钢带加载与其它多种加载方法混合使用。

(2) 钢带加载造价低,相比加载框架的造价低很多。

(3) 钢带加载具有可重复利用的能力。对于

等截面外形的试验件来说,钢带只需加工成平直的矩形即可。

(4) 钢带加载能够准确模拟分散载荷。钢带加载使用的是面对面的加载,比起胶布带等由多个点对面的加载来说,更加真实,相似程度更高。

2 有限元分析钢带加载

将钢带加载截面简化为一个最大直径为580 mm的薄壁桶状结构,厚度为3 mm,长度为700 mm,材料为7050铝合金,弹性模量为71 000 MPa,泊松比为0.33。钢带模型宽度取200 mm,厚度为3 mm,材料为Q235钢材,弹性模量为210 000 MPa,泊松比为0.33。将圆桶两头完全固定约束,在钢带两侧边缘分别施加7 060 N的线载荷。该分析结构需要进行接触分析,是一种高度非线性分析,为了进行有效计算,建立合理的模型是很必要的。使用ABAQUS软件建立分析模型,如图5所示。

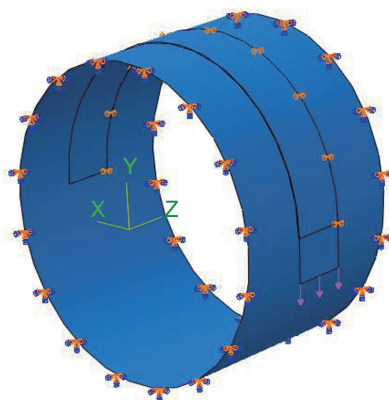


图5 分析模型

Fig.5 Analytical model

选择四边形网格,在圆桶与钢带接触面边缘以及圆桶边缘设置长度为4的种子,网格划分如图6所示。

设置分析步后,定义钢带与圆桶之间的接触。在圆桶与钢带之间设置几何接触面,忽略摩擦力,定义为法向行为,表面与表面接触并选择主从接触面。该边界设置与钢带粘接方式并无关系。应力云图如图7所示。

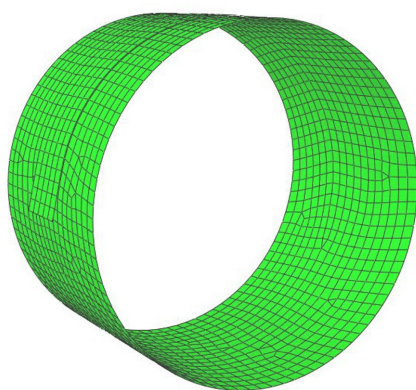


图 6 网格划分

Fig.6 Mesh generation

从应力云图可以看出,钢带与圆桶的接触面应力分布较均匀,圆桶结构上应力过渡自然,这也符合实际受力情况。取结构真实试验受力数据与模型推导数据进行对比,如图 8 所示。

图 8 中,试验数据 1、试验数据 2 和试验数据 3 是不同情况下 3 种真实机身载荷压力系数;模型数据为依据模型计算结果推导出的载荷压力

系数,且模型数据所对应的总载荷与试验数据 1 对应的总载荷相同。由图 8 可看出,模型计算推导出的载荷压力系数分布和真实情况下的载荷压力系数分布具有相同的 M 形规律;模型计算推导出的载荷压力系数分布值比真实载荷压力系数值偏大,这也符合预估偏重保守的规律。

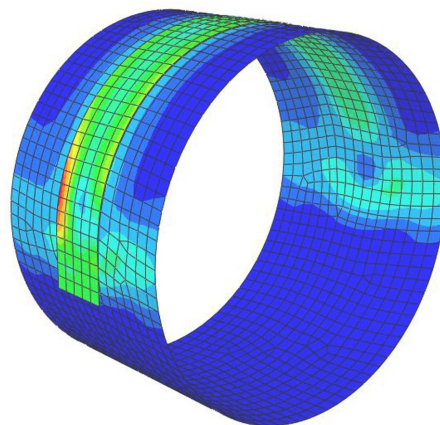
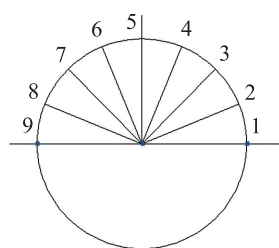
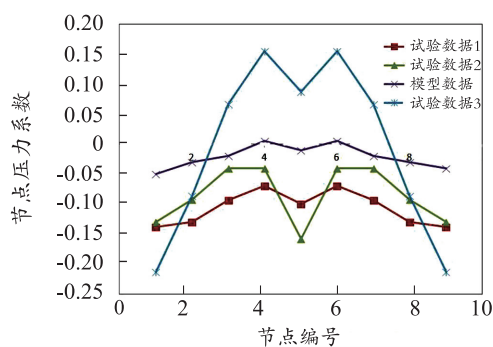


图 7 应力云图

Fig.7 Stress cloud map



(a) 截面节点划分



(b) 各节点压力系数分布曲线

图 8 受力截面载荷压力系数分布数据对比图

Fig.8 Comparison diagram of distribution data of load pressure coefficient

3 结论

钢带加载技术拥有自身结构形式简单、成本低、体积小、使用灵活等众多优点。模拟机身受力的有限元分析证明了钢带加载合理地模拟了机身的受力情况,是一种有效的加载方式;可发

现加载时的应力集中部位,在试验时重点关注;对类似结构的试验提供了很好的分析经验和数据支持。

参考文献:

- [1] 李丽雅. 中国大飞机研发历程与技术突破[J]. 中国工业评论, 2015, 2(3): 36-43.
- [2] 郑修麟. 工程材料的力学行为[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2004: 24-27.
- [3] 闻邦椿. 机械设计手册(第5版)[M]. 北京: 机械

- 工业出版社, 2012:142-154.
- [4] 王舟. 胶接技术在工程中的应用[J]. 机械工程与自动化, 2012(1): 195-196.
- [5] 王树鑫. 复合材料/金属胶接结构研究进展及发展趋势[J]. 玻璃钢/复合材料, 2017(11): 95-100.
- [6] 卓义. 飞机结构强度试验中拉压垫加载技术研究[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(2): 244-247.
- [7] 邵骞. 结构强度试验中真空吸盘技术研究与应用[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(10): 275-279.
- [8] 邵骞. 真空吸盘加载技术在 EC175/Z15 平尾疲劳试验中的研究与应用[J]. 航空科学技术, 2013(6): 43-46.
- [9] 杨家驹. 拉压垫加载技术在飞机结构强度试验中的研究[J]. 科技创新与应用, 2017(6): 80.
- [10] 张治君. 基于真空吸盘的新型振动加载技术研究及应用[J]. 实验力学, 2016(4): 543-549.

=====

(上接第 66 页)

- [7] 曹晓娟, 郝培文, 刘刚. 基于矿物填料浓度确定沥青胶浆粘度的经验框架[J]. 中外公路, 2013, 33(6): 283-289.
- [8] 田义. C80 自密实混凝土降粘措施研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2016.
- [9] TURCSANYI B, PUKANSZKY B, TUDOS F. Composition dependence of tensile yield stress in filled polymers[J]. Journal of Materials Science Letters, 1988, 7: 160-162.
- [10] 潘鹏举, 单国荣, 黄志明, 等. 空心玻璃微珠填充环氧树脂复合材料压缩性能研究[J]. 中国塑料, 2004, 18(8): 78-82.
- [11] 李乐. 基于空心玻璃微球的浮力材料的成型及性能研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- [12] 裴雷振. 深海用固体浮力材料的制备及其特性评价[D]. 大连: 大连理工大学, 2017.
- [13] 乔英杰, 韩哲, 陈俊英, 等. 树脂基深水浮力材料压缩性能研究[J]. 材料科学与工艺, 2012, 20(3): 46-50.
- [14] 亚斌. 碳纳米管增强复合材料的制备与力学性能研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2016.
- [15] 梁小杰, 陈先, 梁忠旭, 等. 空心玻璃微珠含量对浮力材料吸水性能的影响[J]. 化工新型材料, 2015, 43(10): 191-192.