

通用卫星翻转装置运动学仿真与试验分析

秦利,李帅,李泳峰

(北京航天发射技术研究所,北京 100076)

摘要:为满足某型号不同卫星-适配器组合体总装时的翻转需求,通过设计一套通用翻转装置来实现一定力矩范围内产品的平稳翻转。利用 Adams 对翻转装置进行运动学仿真及优化设计,并结合配重对实物进行翻转试验,通过与仿真结果进行数据对比分析,验证了翻转装置的合理性与可行性。

关键词:卫星;装配;翻转装置;运动学仿真;机构设计

中图分类号:TH391.9 **文献标识码:**B **文章编号:**1671-5276(2020)06-0131-03

Kinematic Simulation and Experimental Analysis of Universal Satellite Flip Device

QIN Li, LI Shuai, LI Yongyi

(Beijing Institute of Space Launch Technology, Beijing 100076, China)

Abstract: To satisfy the turnover requirement of different satellite adapter assemblies, this paper designs a set of universal turnover mechanism, which is used to smoothly turn products within a certain range of momentsover. Based on this, the kinematic simulation and optimization design of the turnover device are carried out by using Adams, and combined with counterweight, this device is put into the turnover test. Compared with the data of the simulation results, the rationality and feasibility of this device are further verified.

Keywords: satellite; assembling; turnover device; kinematic simulation; mechanism design

0 引言

卫星-适配器组合体在总装过程中,需要竖直状态下在其周向进行总装操作,之后翻转至水平状态并吊离。由于不同的组合体质量、质心均不一样,因此为降低成本、提高设备使用率,设计一个通用化程度高、能适应一定翻转力矩的翻转装置十分必要。

翻转装置在工程领域应用广泛,国际上有较多诸如美国 Bushman、德国 Horst Kumbruch GmbH 等公司作为规模大、种类齐全的优秀制造商,拥有数百种系列产品,但多用于圆柱或形状规则的工件进行翻转等^[1];国内相关领域起步较晚,基本维持在“专件专用”阶段^[2],如太阳能电池片、自动补弹系统领域等^[3-4]。因此依据成熟经验及现有技术,结合卫星-适配器组合体自身特点,对通用化翻转装置进行设计与动力学仿真迫在眉睫。

1 工作原理与理论分析

1.1 工作原理

通用翻转装置结构简图如图 1 所示。

通过同步操作两侧的减速机来实现翻转组件及升降组件整体 0°~90°的翻转,其中升降组件可单独上下移动来适应不同产品的翻转力矩。

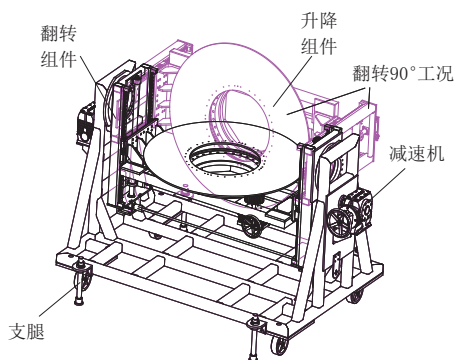


图 1 通用翻转装置结构示意图

1.2 理论分析

理论上为实现卫星-适配器组合体的平稳翻转,需通过调整升降组件的位置,并结合翻转组件,通过二者力矩的叠加来抵消产品翻转力矩 T_c ,即:

$$T_c = T_s + T_f = m_s g (\Delta h_s + \Delta h) + m_f g \Delta h_f \quad (1)$$

式中: Δh_s 为升降组件质心距离翻转中心的距离; Δh 为可调整的升降距离; Δh_f 为翻转组件质心距离翻转中心的距离。

当式(1)成立时操作人员最为省力。但由于翻转组件与升降组件的实际质量、质心与理论存在偏差,故翻转装置上还需设置标尺来适应实际的 T_c 值。本文重点分析

翻转装置在极限工况下的力学性能,并进行结构优化设计与试验验证。

2 仿真与优化

已知卫星-适配器组合体的最大翻转力矩为 12 600 N·m,此时质心距翻转装置支撑面 1 800 mm,当升降组件升至最高位进行翻转时为最恶劣工况。

2.1 动力学及有限元仿真

将翻转装置模型导入 Adams 中,建立运动副并添加相应的 Motions,得到所需的力矩曲线图如图 2 所示,其中升降组件在最高位、翻转至 0°即 60 s 时的力矩最大,为 5 689.6 N·m。

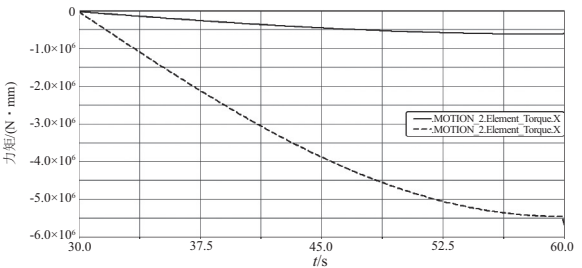


图 2 极限工况翻转力矩曲线

根据上述所得极限力矩值作为结构静力学计算输入,对翻转装置进行考核,在不产生倾覆并具有足够安全余量的情况下开展减重优化设计。

从三维建模软件导入模型至 ANSYS 中,所作前处理主要如下:

- 1) 将实体模型中的部分矩形钢管转换为壳体,赋予各截面厚度及方向属性;
- 2) 设置各壳体间的线-线及线-面搭接位置为 Bonded 接触;
- 3) 设置网格的 Elements Size 为 20 mm,节点数量约 18 万。

具体边界条件与载荷等详见表 1。

表 1 翻转装置仿真计算工况、约束及边界条件汇总表

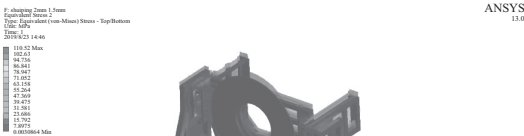
工况	运动副	运动	备注
动力学	直线导轨 (4 处)	1) IF (time - 30; -15 * time, -15 * time, -450) 2) 0	1) 前 30 s 使升降 组件移动至中位并 保持 2) 保持在最高位
	回转支撑 (2 处)	IF (time - 30; 0, 0, -3.0d)	每秒旋转 3°, 30 s 翻转至 0°

工况	载荷	约束	备注
静力学	回转支撑 (2 处): 5 689.6 N·m	支腿(4 处): displacement y 向为 0	水平翻转至 0° 位 置为极限工况

图 3 为优化后的计算结果,主要是针对装置中翻转组件、架体部分矩形钢管的壁厚进行了调整,具体数值及其对应的计算结果详见表 2。



(a) 变形云图



(b) 应力云图

图 3 仿真结果图

表 2 计算结果汇总表

序号	翻转装置主要承载 结构件壁厚/mm		最大应力值/MPa	最大变形/mm
	翻转组件	底架		
1	8.0	6.0	67.7	0.4
2	6.0	4.0	80.2	0.5
3	4.0	2.0	97.8	0.7
4	2.0	1.5	110.5	1.0

从表 2 的结果可知,除主要承力结构外(包括翻转组件的支撑法兰与升降组件的连接件等),当其余框架的壁厚分别减至 2 mm 及 1.5 mm 后,最大变形约 1 mm,最大应力 110.5 MPa,安全系数>3,跟最初的 8 mm 及 6 mm 壁厚相比,总重减少约 330 kg。

在实际操作时,翻转装置会依据翻转力矩的大小,从上至下依次设置标识,待所翻转的卫星-适配器组合体质量、质心数值确定后,预先将升降组件调整至理论高度再进行后续操作,可避免由误操作导致极限工况的出现。

2.2 倾覆分析

依据图 4 进行理论计算,分析如下:

$$m_1x - m_2 \times 1\,800 > 0 \quad (2)$$

式中: m_1 为翻转装置质量,kg; m_2 为负载质量,kg; x 为翻转装置至支撑面的距离。根据图示数值可知 x 为 404,故当承载最大负载时,在 0°~90°的翻转过程中机构不会产生倾覆风险。

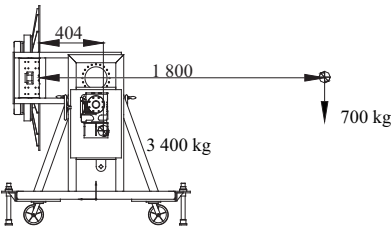


图 4 理论倾覆协调图

3 加载试验

3.1 试验要求

基于上述分析,对翻转装置开展加载翻转试验,并与理论计算结果进行验证。

根据有限元理论计算应力分布,试验测点位置如图5所示。

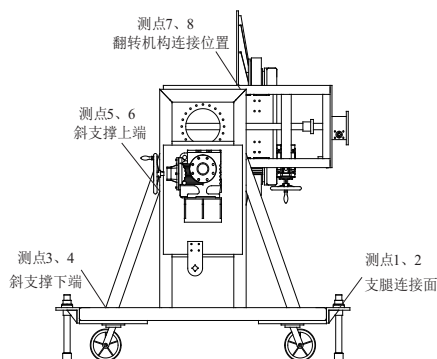


图5 加载测点示意图

a) 试验要求

1) 在翻转装置的支撑面上安装配重,以开展加载翻转试验(注:在加载试验前先进行空载试验以验证翻转过程平稳顺畅);

2) 在图5所示位置布设传感器(精度 $\pm 5\%$,采样频率100 Hz);

3) 操作岗位人员设有试验现场指挥1人、操作岗2人、多媒体记录岗1人及技安岗1人;

4) 试验次数为3次。

试验现场及试验结果见图6及表3。

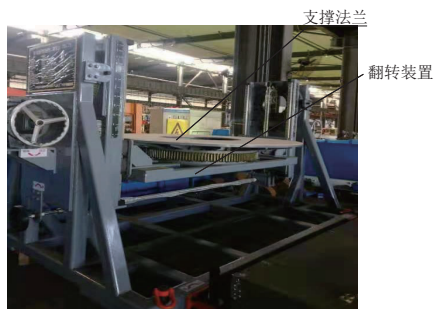


图6 试验现场

表3 试验结果汇总表

名称	测点位置	计算应力值/MPa	实测应力值/MPa
翻转装置	1、2	110.5	117.8
	3、4	97.2	92.6
	5、6	37.4	29.3
	7、8	45.3	53.4

b) 试验主要过程与方法

1) 通过左右两侧操作人员同步匀速地旋转手轮,使翻转组件带动负载进行 $0^\circ \sim 90^\circ$ 的翻转,待翻转到位后观察产品状态,确认无异常后再翻转归位,如此反复3次。

2) 在翻转过程中,通过在指定位置所贴应变片,记录数据并进行多媒体记录。

3.2 试验结果对比分析

由于传感器自身测量误差、真实试验条件与仿真模型存在少许出入,可认为试验所得数据与理论仿真一致,即所设计的翻转装置结构形式满足实际使用要求。

4 结语

通过对通用翻转装置在翻转过程中所受载荷进行动力学仿真分析,定量计算其在极限工况下的最大转矩值,得出经优化减重后的翻转机构能够满足实际使用工况,最后通过实物加载与翻转试验进一步验证了机构设计的合理性。

实际上通过与在产品连接的法兰处增加转接板,可按要求实现新状态卫星-适配器组合体的翻转功能,若超出翻转力矩范围,可采取额外增加配重的方式加以实现,但应在其防倾覆范围内。

参考文献:

- [1] 王冲. 起竖翻转装置的结构设计与研究[D]. 燕山:燕山大学,2016(5):3-5.
- [2] 杜聿静,王雷. 国内外翻转机发展现状概述[J]. 中国机械,2013(7):202-203.
- [3] 侯健. 某自动补弹系统翻转机构的优化设计[J]. 火力与指挥控制,2013(7):158.
- [4] 李海宁,丁志强. 基于ADAMS的太阳能电池片翻转机构的设计仿真与分析[J]. 装备制造技术,2016(7):261.

收稿日期:2019-11-15

(上接第130页)

参考文献:

- [1] 齐欢. INCONEL 718(GH4169)高温合金的发展与工艺[J]. 材料工程,2012(8):92-100.
- [2] 杜金辉,吕旭东,邓群,等. GH4169合金研制进展[J]. 中国材料进展,2012,31(12):11,12-20.
- [3] 章宇航,房晓龙,曲宁松. GH202材料电解铣削加工特性研究[J]. 电加工与模具,2019(3):47-53.
- [4] 张庆良,汪浩,曲宁松,等. GH4169电解磨削加工试验研究[J]. 电加工与模具,2016(4):21-25.

- [5] 叶而康. GH4169合金电解磨削加工试验研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2015.

- [6] LI H, NIU S, ZHANG Q, et al. Investigation of material removal in inner-jet electrochemical grinding of GH4169 alloy[J]. Scientific Reports,2017,7(1):3482.
- [7] NIU S, QU N, LI H. Investigation of electrochemical mill-grinding using abrasive tools with bottom insulation[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,2018,97:1371-1382.

收稿日期:2019-09-27