

新型多连杆举升机构运动特性分析研究

陈计军

(桂林长海发展有限责任公司 技术中心 广西桂林 541001)

摘要: 本文提出了一种雷达天线面阵举高, 重心调整的多连杆举升机构。对多连杆折叠机构进行了仿真分析, 验证了机构设计的合理性。同时对天线面阵俯仰运动在不同俯仰角度时, 对方位伺服转台产生的惯性力矩进行了计算。还介绍了此种多连杆折叠举升机构的伺服控制方式, 分析了(0°~90°)面阵天线举升全过程, 俯仰角度发生变化的情况。得出此种机构天线面阵俯仰角度在推杆电机恒定转速下, 俯仰角度呈非线性变化的规律。在大型雷达天线举升机构的应用领域, 具有一定的借鉴意义。

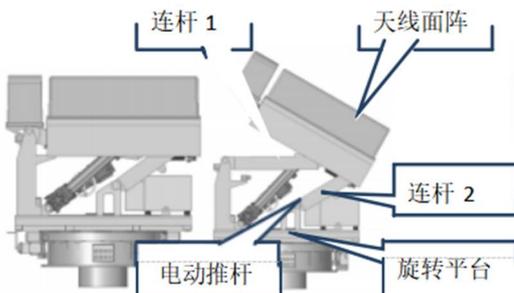
关键词: 四连杆机构 天线举升机构 电动推杆 天线面阵

1 概述

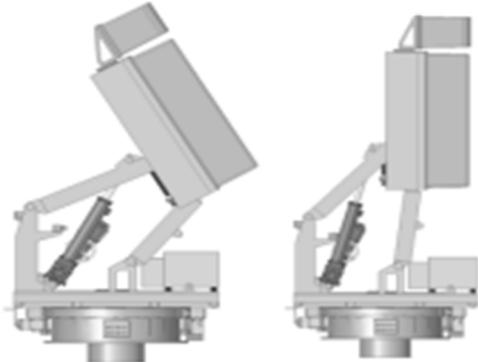
在车载雷达系统中, 整车在行车状态时天线需收藏于车辆副车架上, 满足整车铁路、公路运输要求。设备在工作状态时, 天线面阵需向上举升到一定高度和角度进行工作。为此本方案选择双电动推杆推动四连杆折叠举升机构实现天线的举升和翻转运动^[1]。因此, 需要对天线折叠举升机构提出较高的要求, 天线面阵在任意角度应保持较高的角度精度, 确保天线的正常工作。

2 折叠举升机构设计

折叠举升机构中, 除连杆 1 和连杆 2 外, 旋转平台和设备舱体各形成一个连杆, 组成四连杆如图所示。在天线举升时, 电动推动活塞杆伸出, 驱动天线面阵进行俯仰运动, 同时将天线面阵抬高和天线重心并向旋转平台的回转中心移动^[3]。运动过程如图所示。



a) 天线面阵 0° 状态 b) 天线面阵 30° 状态



c) 60° 状态 d) 90° 状态

图 1 机构举升过程意图

3 仿真分析计算

3.1 工况分析

满足伺服转台平稳运转需要计算的工况条件如下:

- a) 工况 1: 天线 90° 状态, 承受重力及 8 级风载荷。
- b) 工况 2: 天线 90° 状态, 承受重力及 10 级风载荷。

仿真简化模型和举升到位模型 如图所示, 仿真结果见图。

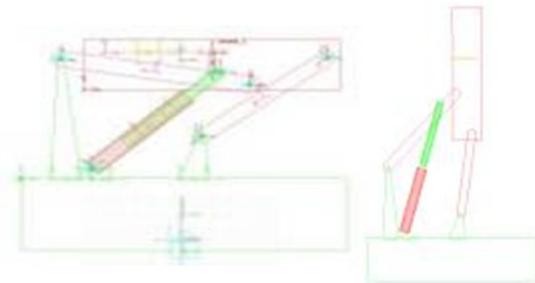


图 2 仿真简化模型

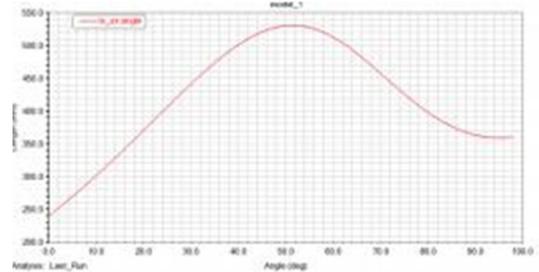


图 3 天线面阵重心位置—天线角度

小结: 天线面阵重心最大偏心量: 530mm

3.1 刚度仿真分析

3.1.1 风载荷

c) 10级风风阻力, 考虑阵风因子 1.5。

$$F_{w2} = C_w \cdot qA = 1.4 \times \frac{(1.5 \times 28.4)^2}{1.6} \times 11.5 = 18261N$$

d) 以上计算式中:

e) C_w —风阻系数, 1.4;

f) q —风压 (N/m^2), $q = \frac{1}{2} \rho v^2 = \frac{v^2}{16}$, 其中 ρ 为空气密度

1.25Kg/m³;

g) 天线特征(投影)面积 (m^2),取值为 11.5m²;

h)V—风速 (m/s) 10级风风速 28.4m/s;

3.1.2有限元建模

为便于模型的网格划分,对模型进行了必要的简化处理。由于此处考察平台和连杆变形对天线指向的影响,不考虑天线自身的变形^[8]。因此,天线可采用实体单元进行代替,以提高仿真效率。如图4所示。

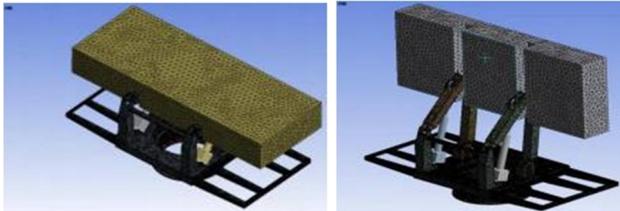


图4 天线 0°、90° 状态有限元模型

3.1.3边界条件

有限元模型建立后,根据工况对伺服转台施加相应的边界条件^[9],包括位移约束、风载荷、重力场等,有限元边界条件如图5、6所示。

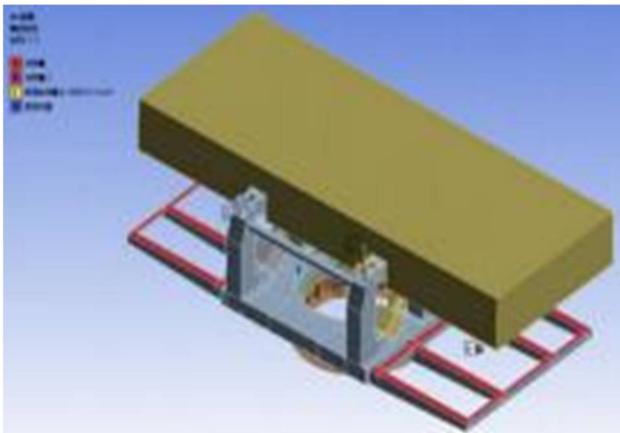


图5 天线 0° 状态,承受重力载荷

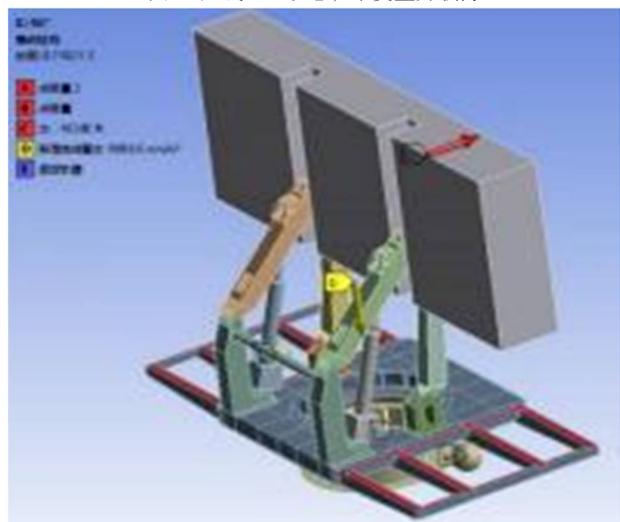


图6 承受重力及 10 级风载荷

分析结果见图7。该工况下,最大应力 72Mpa,天线最大位移 4.5mm,平台最大变形 1.7mm。

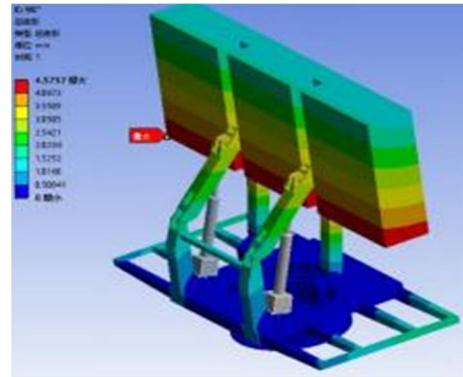


图7 承受重力及 10 级风载荷

小结:

俯仰传动机构有限元仿真分析结果汇总表1,所有分析工况下,最大应力 125Mpa,材料屈服应力 345Mpa,最小安全系数 2.8 倍。平台最大变形 1.7mm,满足不大于 2mm 的指标要求。

表1 分析结果

工况	应力	天线位移	平台变形	变角度	安全系数
天线 0°	99Mpa	2.5mm	1.6mm	0	3.4
天线 90°	72Mpa	4.5mm	1.6mm	0	4.7

3.2 惯性力矩计算

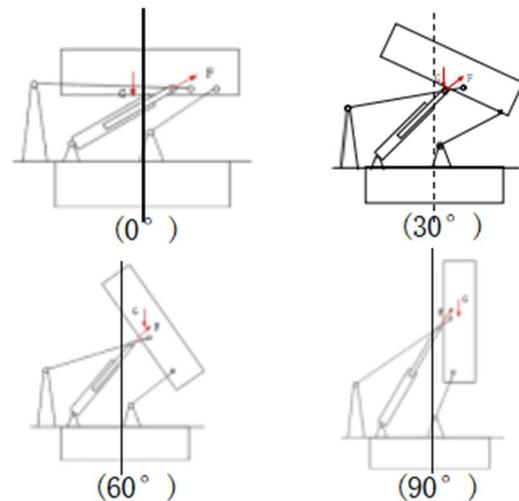


图8 折叠四连杆机构运动简图

转台转速为 3rpm,天线在 0°、30°、60°、90° 转态下天线面阵在不同俯仰角度下的转台的惯性力矩对比,代入公式[6]

$$M_{惯} = J \varepsilon$$

式中:

$M_{惯}$ ——惯性力矩, $N \cdot m$;

J ——转动惯量, $kg \cdot m^2$;

ε ——角加速度, $\varepsilon = \frac{2\pi \Delta n}{60 \Delta t}$, rad/s^2 。

具体计算见表2

表2 惯性力矩计算表

	$jk \cdot m^2$	$\varepsilon (rad/s^2)$	$M_{惯} N \cdot m$
0°	5340.9	3.14x101	1677.1

30°	5437.2	3.14X101	1707.3
60°	5368.8	3.14×101	1685.8
90°	5032.2	3.14x101	1580.1

通过折叠举升机构 0°~90° 俯仰全过程, 重心位置变化对方位转台旋转对方位电机产生的惯性力矩影响, 可以根据具体实际工况选择不同俯仰角度进行实时工作。

4 伺服控制设计

根据接收到的俯仰倒伏控制指令, 实现对俯仰传动装置的伸展、收缩控制; 伺服控制电路实时采集由倾角传感器传输的角度信息, 接收到控制命令后, 进行 PID 运算^[13], 下发速度报文 (can 通信) 给到伺服电机驱动器, 驱动器控制电机的正反转, 经减速器后带动俯仰装置运动, 直至满足俯仰装置到达指定角度要求。

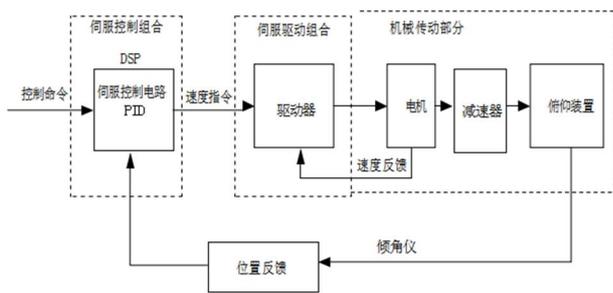


图 9 伺服控制原理框图

表 3 四连杆俯仰传动装置架设曲线表

序号	角度 (°)	时间 (s)	角速度 (°/s)	转速(RMP)
1	0~10	11.01	0.908	1000
2	10~20	15.84	0.631	1000
3	20~30	22.36	0.447	1000
4	30~40	31.29	0.319	1000
5	40~50	38.13	0.262	1000
6	50~60	40.76	0.245	1000
7	60~70	34.99	0.285	1000
8	70~80	24.94	0.400	1000
9	80~90	15.69	0.637	1000

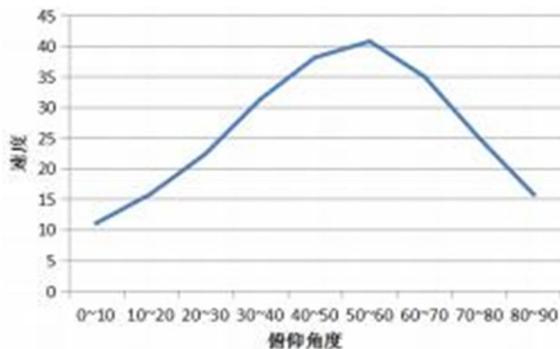


图 10 俯仰角度速度变化示意图

小结: 在电动推杆电机恒定转速下, 四连杆折叠举升机构推动天线面阵在举升过程中的俯仰角度呈非线性变化。

5 结论

1、四连杆折叠举升机构可以调整负载重心位置, 改变方位转台旋转时惯性力矩大小, 优化转台旋转的平稳性。同时天线面阵最底面与地面的高度与传统俯仰机构能抬高一定高度。

2、此种四连折叠举升机构在举升过程中, 天线面阵的俯仰角度变化呈现非线性变化。在大型雷达天线举行机构的应用领域, 具有一定的借鉴意义。

参考文献

1. 陈元涛, 李鹏, 张顺翔, 等. 太阳跟踪器电动推杆俯仰机构的参数优化[J]. 机械科学与技术, 2023,42(4): 546~552.
2. 彭京徽, 张弘昭, 朱孝磊, 等. 摆弹机构运动特性与误差分析[J]. 兵器装备工程学报, 2020,41(4): 91~94.
3. 严荣军. 某车载雷达俯仰平衡机构设计[J]. 电子机械工程, 2020, 36(4): 104+12.
4. 刘站平. 电动推杆的仿真分析[J]. 机械设计, 2022.
5. 郭靖. 行星轮并联均布齿轮传动系统的回差分析[J]. 机械传动, 2018.
6. 蒲良贵. 机械设计[M]. 高等教育出版社 (第九版)
7. 陈东生. 双驱动线性执行器加载同步控制技术[J]. 《机床与液压》, 2013年8月.
8. LI L B, SUN L L, ZHANG S Z, et al. Speed tracking and synchronization of multiple motors using ring coupling control and adaptive sliding mode control [J]. ISA Transactions, 2015, 58(1): 635-649.
9. B. Rouzbeh, G.M. Bone, Optimal force allocation and position control of hybrid pneumatic-electric linear actuators [J]. Actuators, 2020, 9(3),86.
10. J.A. Nava-Pintor, M.A.Carlos-Mancilla, H.A. Guerrero-Osuna,L.F. que-Vega, R. Carrasco-Navarro et al., Design, implementation, and control of a linear electric actuator for educational mechatronics [J].Machines, 2023, 11(9), 894.
11. 丁彦闯. 屈曲分析在车辆应用中的关键技术[J]. 大连铁道学院学报, 2003
12. 王勖成 邵敏. 有限单元法基本原理和数值方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997.
13. 陶伟明. 内压作用下压力容器封头局部屈曲分析[J]. 机械工程学报, 2004
14. 徐晓煜. 车载雷达不落地模式快速标校方法 [J]. 火控雷达技术, 2020(3):31-34.
15. 黄克, 孙怀花, 乔雷. 一种高架机动雷达天线升降杆结构设计 [J]. 雷达与对抗, 2019(3): 43-45.

作者简介:陈计军(1983—),男,湖南湘乡市,高级工程师、硕士研究生导师、副教授,主要研究方向:机械设计及机械传动、机电一体化方向。