

某单兵搬运雷达天线座结构设计

朱晓凯, 李俊伟, 张丽敏

(中国电子科技集团公司 第二十七研究所, 河南 郑州 450047)

摘要:研究了一种拆装方便并可单兵搬运的新型俯仰-方位天线座:采用转台式方位座和可重复拆装俯仰转台,从而满足拆分后单体质量要求.通过有限元方法分析天线座结构时忽略螺钉、销钉、平键等连接件,关键部位采用理论公式校核以保证其连接强度.结果表明,天线座结构合理,力学性能满足使用要求.

关键词:雷达天线座;强度;刚度;结构设计;单兵搬运

中图分类号:TN957.8 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.2095-476X.2014.03.016

Structure design of antenna pedestal of single soldier carrying radar

ZHU Xiao-kai, LI Jun-wei, ZHANG Li-min

(The 27th Research Institute of CETC, Zhengzhou 450047, China)

Abstract: The structure of a new type of elevation-azimuth antenna pedestal which is convenient in disassembly or assembly and can be carried by single soldier was studied. Rotary table azimuth rotating pedestal and repeatably assembled pitching turntable were used in order to meet the mass requirement of every part disassembled. While the structure of the antenna pedestal was analyzed by using the finite element method, some joints like screws, pins and flat keys were neglected and the key joints were checked by theoretical formula to ensure its connection strength. The results showed that the structure of the antenna pedestal was reasonable and its mechanical property also met the use requirements.

Key words: antenna pedestal of radar; strength; rigidity; structure design; single soldier carrying

0 引言

某地面雷达天线口径为2 m,最大工作风速为9级,要求拆装方便,拆成单体后各部分质量不超过30 kg,可单兵搬运.鉴于天线自重及风载荷的影响,目前可单兵搬运雷达天线的口径一般不超过1 m,工作风速不超过6级.为保证在如此苛刻的条件下雷达仍能正常工作,必须对天馈系统和天线座进行优化设计.天馈系统采用质量轻、刚性好的碳纤维复合材料作为主要原料,质量可比传统的铝合金材

料减轻一半以上,从而满足搬运要求^[1].天线座作为雷达负载关键的基础装置,其机械性能直接影响雷达整机的性能指标.本文将在保证强度和刚度的前提下,对天线座进行减重设计.

1 总体结构形式及设计特点

根据使用条件和性能要求,本雷达采用俯仰-方位型天线座,天线座为分体结构,可拆成 ≤ 30 kg的模块.拆分的原则有:尽量减少模块数量、各模块之间装配方便、各模块拆分后可单独密封储存等.

收稿日期:2014-01-14

作者简介:朱晓凯(1984—),男,河南省禹州市人,中国电子科技集团公司第二十七研究所工程师,主要研究方向为电子设备结构设计.

天线座结构布局如图1所示。

1.1 方位座设计

小型天线方位座的结构形式主要有立轴式和转台式。本文选用转台式结构,通过能承受轴向、径向以及倾覆载荷的带齿4点接触球轴承直接与方位底板和俯仰底板相连。与立轴式相比,转台式可以省略粗大的方位轴、减小轴向尺寸、降低雷达重心、增强天线座的稳定性^[2-3]。方位座结构如图2所示。方位底板位于方位座中部,紧贴方位轴承,可进一步减小设备重心与安装面的距离。中部滑环、编码器从安装面下方穿出,其保护罩不必承受外力,可有效减轻质量。电机、行星减速机先组装成一体,再从上方安装到俯仰底板上,以方便拆装。

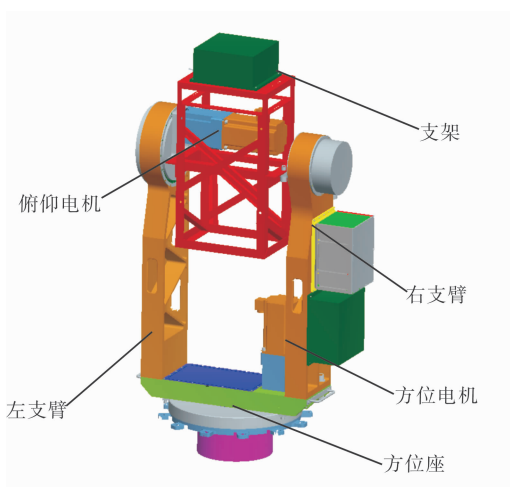


图1 天线座总体结构

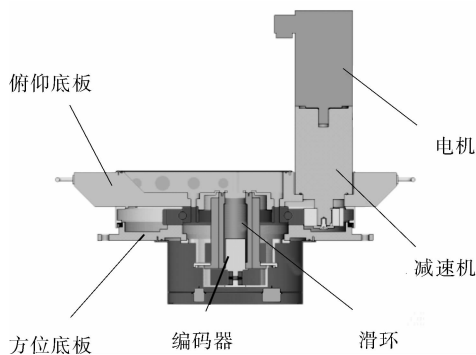


图2 方位座结构布局

1.2 俯仰转台设计

俯仰转台大多采用U形支臂的形式,也可以采用双悬臂式或电动推杆调节形式。本系统由于俯仰角度范围较大,且要求拆装方便,故选用U形支臂的结构。天馈系统、高频箱等通过支架安装在左、右支臂俯仰轴上,其重心位置尽量靠近回转中心,以

减小不平衡力矩。U形支臂为分体结构,左、右支臂分别安装在方位座俯仰底板上,通过销钉连接以保证装配精度。电机安装在支架上方,随支架及俯仰轴一起转动,这种结构外形紧凑,安装方便,且俯仰轴不承受扭转力。

2 天线座结构优化及受力分析

要天线座的强度满足9级风不破坏的环境要求,就要校核主要零部件及安装螺栓的强度是否满足要求。天线座的刚度直接影响雷达系统的精度,刚度不足还会导致伺服系统不稳定^[4]。因此,结构设计时,应确保设备具有足够的强度和刚度,同时,还要尽量减轻系统质量,减小惯量,使天线座结构达到最优。

2.1 结构优化

合理选择安全裕度,在保证刚度和强度的情况下尽量减轻质量(如选择尽量小的方位轴承);选择优质合金钢材料,减小俯仰轴和传动齿轮尺寸和质量;通过设计人字形加强筋提高支臂刚度;在保证工艺性的前提下尽量减小非受力面厚度;通过计算机辅助设计分析,进一步优化产品结构,调整截面尺寸,减小天线座质量。

2.2 计算机辅助分析

在天线座结构设计过程中,由于结构复杂,很难用简单的解析数学模型代替。而采用ANSYS等有限元分析软件,通过将连续体划分为有限个规则单元,可以求得连续体力学问题的数值解,从而提高产品研制水平^[5]。对于复杂的结构,如果采用较精确的计算模型,节点数和单元数将十分庞大,影响计算速度。为提高计算效率,分析时应应对模型进行适当简化。本文在连接处加载Bonded(粘接)约束进行模拟,忽略螺钉、销钉等局部应力对整体应力的影响,并采用公式计算的方式保证其连接强度。

根据风力、风力矩以及惯性力矩公式,可以估算出天线座所承载荷并添加到天线座支架上,对天馈系统和高频箱则采用质点代替^[6];方位座安装面按完全固定处理。载荷施加完成后,分别进行静力分析和模态分析,以验证设备的刚度和强度以及动态特性。分析结果如图3—图5所示。图3和图4分别为9级风工况下天线座变形云图和应力云图。图5为天线座第I阶模态振型图。从图中可知,天线座在工作状态下,最大变形约为0.85 mm,最大应力约为70 MPa,满足天线座刚度和强度要求。天线座的

I 阶频率为 19.3 Hz, 远大于伺服系统带宽 5 Hz. 由于左右支臂应力较小, 具有较大的减重空间. 天线 4 个安装孔变形值分别为 0.73 mm, 0.39 mm, 0.55 mm 和 0.27 mm, 左、右安装孔水平距离约为 400 mm, 由此计算出天线座变形引起的方位角度误差约为 0.089° , 小于方位座 0.2° 的变形误差要求. 因此, 仍有对结构进行适当优化的空间. 将左、右支臂壁厚各减小 2 mm, 质量各减小约 3 kg 后重新对模型进行受力分析, 分析结果表明改进结构亦满足使用要求.

2.3 局部受力分析

对于有限元分析中忽略的螺栓、销钉、平键等

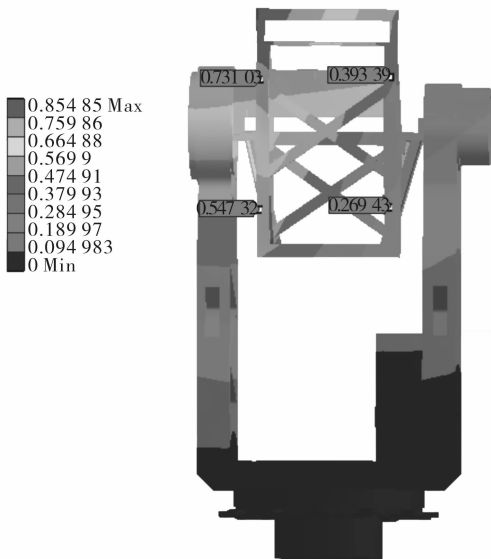


图3 天线座变形云图

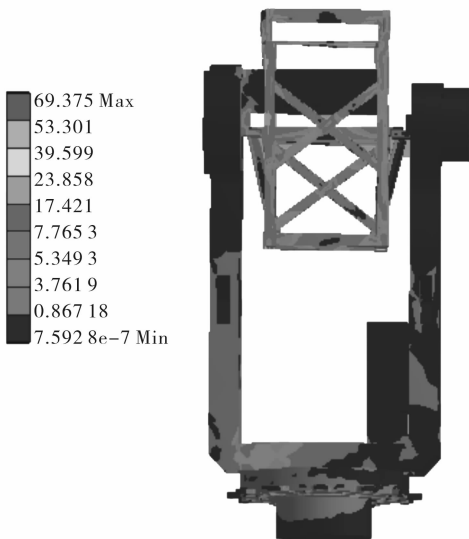


图4 天线座应力云图

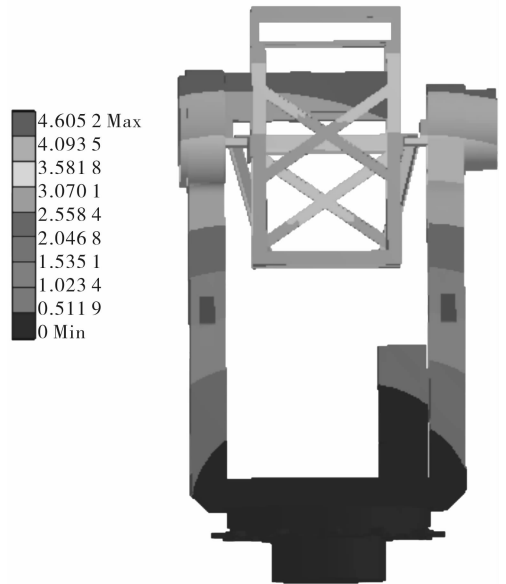


图5 天线座第1阶模态振型图

关键部位可采用理论公式进行受力分析^[7]. 如天线支架与左、右俯仰轴采用 4 个 M12 螺栓连接, 支架及负载自重约 500 N, 风力 $F = 992$ N, 旋转力矩 $T = 350$ N · m, 倾覆力矩 $M = 198$ N · m, 安装尺寸及受力如图 6 所示.

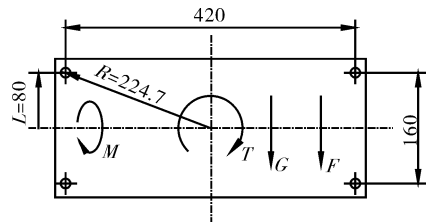


图6 天线支架安装尺寸及受力图/mm

为保证接合面在支架及负载重力下不产生相对滑动, 每个螺栓所需的预紧力约为 $F'_1 = 1\ 500$ N. 为保证接合面在风载荷下不产生相对滑动, 每个螺栓所需的预紧力约为 $F'_2 = 2\ 976$ N. 为保证接合面在旋转力矩作用下不产生相对滑动, 每个螺栓所需的预紧力约为 $F'_3 = 4\ 673$ N. 螺栓在倾覆力矩作用下最大工作拉力 $F'_4 = 743$ N.

尽管最大风载荷与重力方向不一致, 旋转力矩和倾覆力矩最大值也不会同时出现, 但考虑天线座受力情况复杂, 可简单地将这 4 种力相加, 作为螺栓所受总拉力, 这样也可以预留足够的安全裕度. 螺栓所受总拉力 $F' = 9\ 892$ N.

螺栓强度校核条件为

$$\sigma = \frac{4 \times 1.3F'}{\pi d^2} \leq [\sigma]$$

式中, d 为螺栓小径, M12 螺栓为 10.106 mm; $[\sigma]$ 为螺栓许用拉应力, 8.8 级螺栓安全系数取 3 时许用拉应力为 267 MPa.

螺栓危险截面上最大应力 $\sigma = 160 \text{ MPa} < 267 \text{ MPa}$, 满足设计要求.

销钉强度校核条件为

$$\tau = \frac{4F}{\pi d^2} \leq [\tau]$$

平键强度校核条件为

$$\sigma = \frac{2T}{kld} \leq [\sigma]_p$$

式中, F 为销钉承受的力, T 为平键传递的扭矩, d 为销钉直径, k 为键与毂槽的接触高度, l 为键的接触长度, d' 为安装键的轴的直径, $[\tau]$ 为许用剪应力, $[\sigma]_p$ 为许用挤压应力.

3 结论

本文设计了一种天线口径相对较大的可单兵搬运雷达天线座. 通过 ANSYS 分析计算, 得出以下结论:

1) 螺钉、销钉、平键等连接件的强度理论已十分成熟, 可在分析时忽略此类零件, 而在关键部位采用理论校核的方式保证其连接强度.

2) 本雷达天线座结构设计合理, 其力学性能满足使用要求, 分析结果可作为设计优化的理论依据.

参考文献:

- [1] 彭天志. 复合材料在雷达天馈系统结构设计中的应用[J]. 纤维复合材料, 2008(2): 18.
- [2] 吴凤高. 天线座结构设计[M]. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1986: 9-12.
- [3] 张腊梅. 某地面雷达天线座设计[J]. 电子机械工程, 2007, 23(5): 27.
- [4] 陈君. 舰载搜索雷达天线座结构设计探讨[J]. 机械工程师, 2011(1): 128.
- [5] 廖伯瑜. 现代机械动力学及其工程应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003: 24-25.
- [6] 陈玉振, 周勤. 基于 ANSYS 的雷达结构强度分析[J]. 电子机械工程, 2011, 27(1): 50.
- [7] 陈铁鸣. 机械设计[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1998: 31-60.

本刊数字网络传播声明

本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在中国知网及其系列数据库产品、万方数据资源系统、维普网等中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文. 其相关著作权使用费与本刊稿酬一并支付. 作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意我刊上述声明.