

雷达方位回转 $\pm 270^\circ$ 的安全保护装置设计

师雪丽, 刘建坤, 南江红, 唐启敬, 徐 雄

上海航天电子技术研究所, 上海

收稿日期: 2021年9月13日; 录用日期: 2021年10月4日; 发布日期: 2021年10月12日

摘 要

本文阐述了雷达方位回转 $\pm 270^\circ$ 时, 一种安全保护装置的设计方法。当雷达方位 $\pm 270^\circ$ 回转时, 通过方位转盘上的齿轮, 带动左、右安全保护装置上的丝杠转动, 丝杠带动螺母平动。利用左、右丝杠旋转方向的不同, 安装在左、右螺母上的机械缓冲器随着丝杠转动上下平动, 近角度的机械缓冲器下降, 方位转盘不被阻挡继续转动, 远角度的机械缓冲器上升, 方位转盘上的凸块与远角度的机械缓冲器碰撞, 使方位转盘无法继续回转, 实现 $\pm 270^\circ$ 机械限位。

关键词

方位 $\pm 270^\circ$ 回转, 丝杠螺母, 安全保护装置, 机械缓冲器, 机械限位

Design of Safety Protection Device for Radar Azimuth Turning to $\pm 270^\circ$

Xueli Shi, Jiankun Liu, Jianghong Nan, Qijing Tang, Xiong Xu

Shanghai Aerospace Electronic Technology Institute, Shanghai

Received: Sep. 13th, 2021; accepted: Oct. 4th, 2021; published: Oct. 12th, 2021

Abstract

This paper describes the design method of a safety protection device when the radar azimuth rotates $\pm 270^\circ$. When the radar rotates in azimuth $\pm 270^\circ$, the gear on the azimuth turntable drives the lead screw on the left and right safety protection devices to rotate, and the lead screw drives the nut to move horizontally. Using the different rotation directions of the left and right lead screws, the mechanical buffer installed on the left and right nuts moves up and down with the rotation of the lead screw, the mechanical buffer at the near angle decreases, the azimuth turntable continues to rotate without being blocked, the mechanical buffer at the far angle rises, and the boss on the

azimuth turntable collides with the mechanical buffer at the far angle, so that the azimuth turntable cannot continue to rotate, achieve $\pm 270^\circ$ mechanical limit.

Keywords

Azimuth $\pm 270^\circ$ Rotation, Lead Screw Nut, Safety Protection Device, Mechanical Buffer, Mechanical Limit

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

天线座是雷达通讯系统的重要组成部分,是支撑天线探测目标的装置,它通过天线控制系统,使天线能够按照预定的规律运动或者跟随目标运动,准确的指向目标,并且通过它精确的测出目标的位置[1][2][3][4]。随着近年来雷达技术的快速发展,已广泛采用相控阵技术进行仰角扫描,而在方位采用机械转动的混合式波束扫描系统[5]。周晨龙[6]等研究了某型号舰载三坐标雷达方位转台的设计,取得了预期的设计效果;范志刚[7]等研究了某小型转台方位装置结构设计,经过各种试验验证,该设计满足技术指标要求,性能稳定;田学光[8]等研究了基于高精度密珠轴承的车载雷达转台方位轴系,通过对整个方位轴系进行有限元静态和动态分析,证明此方位轴系力学性能满足设计指标;赖天华[9]研究了研究了天线方位转台的模块化结构设计,指出模块化结构设计技术是产品设计技术的主要发展方向之一。目前对于方位转台机械保护装置的研究较少,尤其对于方位转台大角度回转下机械保护装置的研究更少。

在雷达方位回转范围有限的情况下,方位上需设置安全保护装置,保证天线座使用安全可靠,预防由于各种意外情况造成设备损坏或人身事故,安全保护装置由行程限位开关和机械缓冲器组成。机械缓冲器安装在方位左右极限位置,当行程限位开关感应时,方位转动不会立刻停下来,直到方位转盘上的凸块碰到机械缓冲器后被迫停止。机械缓冲器内安装了压簧,方位转盘上的凸块碰到机械缓冲器的顶杆,压缩机械缓冲器的压簧,使方位转动速度降低直到停止[10]。

当方位小角度回转时,安全保护装置装在基座上对应极限位置即可,但当回转超过 $\pm 180^\circ$ 时,如果安全保护装置与基座固连,当方位往任何一个方向转动时,方位转盘上的凸块都被近角度的机械缓冲器阻挡而无法继续转动。

本文从工程实际出发,阐述了方位回转 $\pm 270^\circ$ 时,一种安全保护装置的设计方法,当方位回转时,通过方位转盘上的齿轮,驱动安全保护装置组件上的双丝杠转动,安装在双螺母上的机械缓冲器随着丝杠转动上下平动。两个安全保护装置上的丝杠螺母旋向相反,当方位往任何一个方向转动时,近角度的机械缓冲器下降,方位转盘不被阻挡继续转动,远角度的机械缓冲器上升,方位转盘上的凸块与远角度的机械缓冲器碰撞,使方位转盘无法继续回转,实现 $\pm 270^\circ$ 机械限位。

2. 安全保护装置总体布局

安全保护装置由左安全保护装置、右安全保护装置、机械缓冲器凸块、行程开关感应块和齿轮组成,见图1。左(右)安全保护装置由机械缓冲器、接近开关、导向装置、丝杆螺母和壳体组成,见图2。左(右)安全保护装置通过壳体安装在方位转台基座上(固定),行程开关感应块固定在齿轮上,机械缓冲器凸块和

齿轮固定在方位转盘上，跟随方位转盘一起转动，机械缓冲器和行程开关固定在螺母上，跟随螺母上下运动。

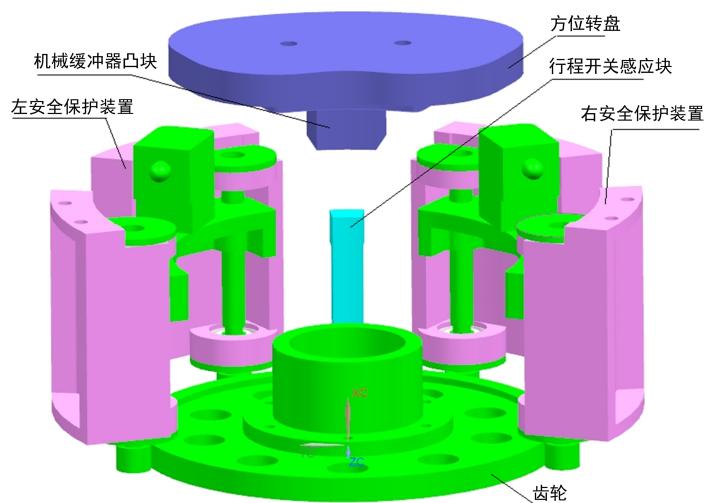


Figure 1. The overall layout of the safety protection device
图 1. 安全保护装置总体布局图

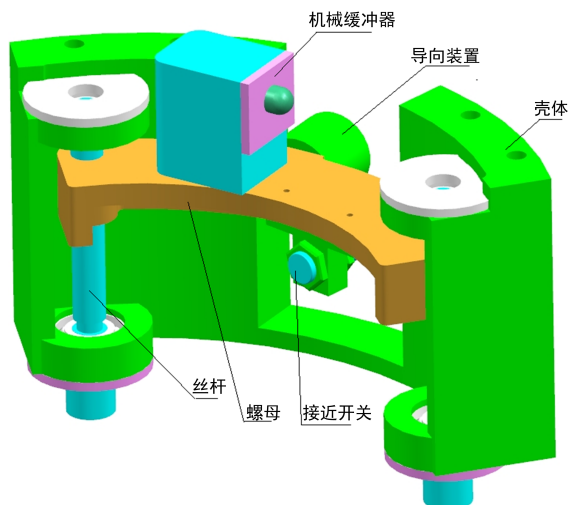


Figure 2. Schematic diagram of the right (left) safety protection device
图 2. 右(左)安全保护装置示意图

3. 安全保护装置运动分析

安全保护装置初始位置图见图 3。

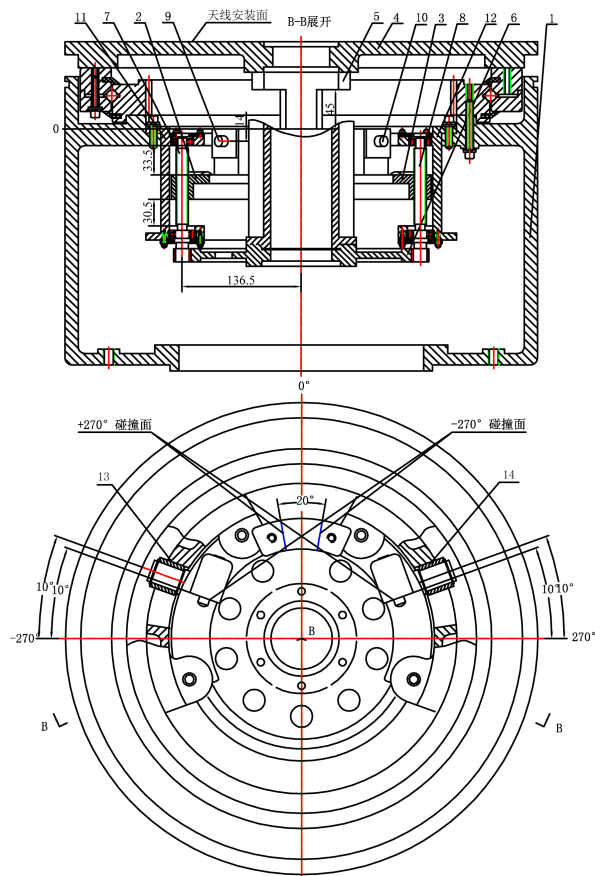
齿轮传动增速比 $i = 12$ ；丝杆螺母传动导程 $P_h = 3 \text{ mm}$ ，当丝杆转动时，螺母(机械缓冲器)产生的平动位移 S ：

$$S = \frac{\alpha \times i \times P_h}{360} \quad (1)$$

式中 S ——螺母(机械缓冲器)位移(mm)；

A ——方位转盘(机械缓冲器凸块)转动角度(deg)；

i ——齿轮传动比；
 P_h ——丝杆螺母导程(mm)。



- 1. 基座 2. 左螺母（左旋） 3. 右螺母（右旋） 4. 方位转盘
- 5. 方位转盘凸块 6. 齿轮 7. 左丝杆（左旋）
- 8. 右丝杆（右旋） 9. 左机械缓冲器 10. 右机械缓冲器
- 11. 左壳体 12. 右壳体 13. 左导向装置 14. 右导向装置

Figure 3. The initial position of the safety protection device
图 3. 安全保护装置初始位置图

左安全保护装置通过左壳体 11、右安全保护装置通过右壳体 12 分别固定在基座 1 上。初始状态时，方位转盘凸块 5 的下平面与左机械缓冲器 9、右机械缓冲器 10 的上端面齐平。

方位转盘 4 带动方位转盘凸块 5、齿轮 6 逆时针转动时，齿轮 6 带动左丝杆(左旋) 7、右丝杆(右旋) 8 顺时针转动，左螺母(左旋) 2 随着左丝杆(左旋) 7 的转动，带着左机械缓冲器和左接近开关向下平动，保证方位转盘凸块 5 不与左机械缓冲器 9 干涉，行程开关感应块不与左接近开关感应；右螺母(右旋) 3 随着右丝杆(右旋) 8 的转动带着右机械缓冲器和右接近开关向上平动，当行程开关感应块感应到右接近开关时，方位电机使能去除，方位转盘在惯性存在下继续逆时针转动，当方位转盘凸块 5 碰到右机械缓冲器 10 的顶杆时，压缩机械缓冲器 10 的压簧，使方位转动速度降低，直到方位转盘动能全部转化为压簧的弹性势能，方位转盘停止转动。

方位转盘 4 带动方位转盘凸块 5、齿轮 6 顺时针转动，齿轮 6 带动左丝杆(左旋) 7、右丝杆(右旋) 8 逆时针转动，右螺母(右旋) 3 随着右丝杆(右旋) 8 的转动，带着右机械缓冲器 10 和右接近开关向下平动，

保证方位转盘凸块 5 不与右机械缓冲器 10 干涉,行程开关感应块不与右接近开关感应;左螺母(左旋) 2 随着左丝杆(左旋) 7 的转动带着左机械缓冲器 9 和左接近开关向上平动,当行程开关感应块感应到左接近开关时,方位电机使能去除,方位转盘在惯性作用下继续转动,当方位转盘凸块 5 碰到左机械缓冲器 9 的顶杆时,压缩左机械缓冲器 9 的压簧,使方位转动速度降低,直到方位转盘动能全部转化为压簧的弹性势能,方位转盘停止转动。

方位转盘 4 转动角度、左机械缓冲器 9、右机械缓冲器 10 的位置关系见图 4。

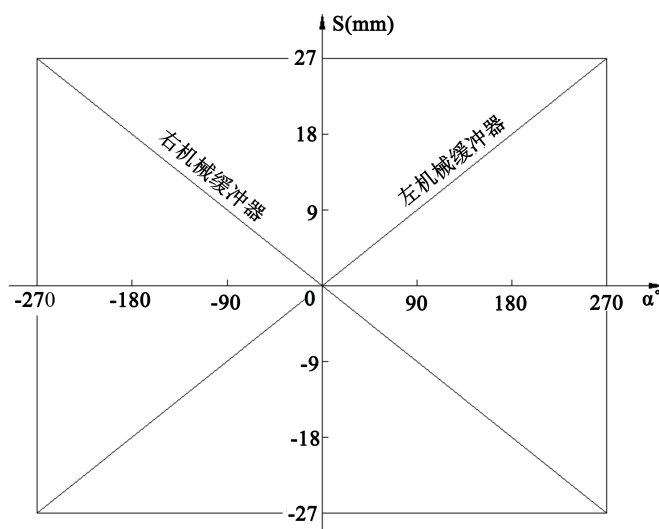


Figure 4. The relationship between the rotation angle of the turntable and the position of the buffer
图 4. 转盘转动角度与缓冲器位置关系图

4. 机械缓冲器设计

工作模式下,方位转盘带动天线以 $60^\circ/\text{s}$ 转动,在有限角度范围搜索目标,当行程开关感应到感应块时,驱动器使能消失,不考虑摩擦力矩和电机反电动势影响,方位转盘带动天线继续匀速转动,方位转盘上的凸块碰到机械缓冲器的顶杆,压缩机械缓冲器的压簧,弹簧弹性势能增加,方位转盘速度减小,动能减小,直到方位转盘速度为零。

压簧设计参数和装配初始尺寸见图 5。压簧设计刚度 $k = 137 \text{ N/mm}$,装配时初始压缩量为 1.75 mm ,最大压缩量为 7.75 mm 。根据动能定理,当方位转盘速度为零时,动能全部转化为压簧弹性势能[11]:

$$\frac{1}{2} \times I \times \omega^2 = \frac{1}{2} \times k \times \delta^2 \quad (2)$$

式中 I ——方位转盘转动惯量($\text{Kg} \cdot \text{m}^2$), $I = 20 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$;

ω ——方位转盘角速度(rad/s), $\omega = \pi/6 \text{ rad/s}$;

k ——压簧刚度(N/m), $k = 173,000 \text{ N/m}$;

δ ——压簧压缩量(mm)。

带入公式得压簧位移 δ :

$$\delta = \frac{\pi}{6} \sqrt{\frac{20}{13700}} = 6.32 \text{ mm} < 7.75 \text{ mm}$$

经过分析计算,当方位转盘速度为零时,压簧位移 6.32 mm ,小于最大压缩量 7.75 mm ,设计合理可行。

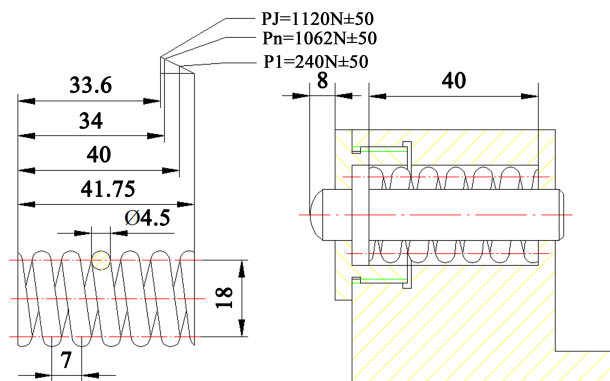


Figure 5. Compression spring design and assembly parameter diagram
图 5. 压簧设计和装配参数图

5. 导向装置设计

由于空间尺寸较小,安全保护装置设计非常紧凑,当方位转盘凸块压缩机械缓冲器推杆时,会在丝杆螺母上产生径向力,使丝杆螺母间摩擦力增大,降低传动效率,因此在壳体与螺母之间设计了导向装置。装配时,通过调整安全保护装置的安装位置,使导向装置的滚动体与壳体导向面紧密贴合。由于丝杠与螺母间存在齿隙,这样方位转盘凸块与机械缓冲器之间产生的径向力就发生在导向装置与基座间的导向面上。为减小当螺母上下直线运动时导向装置与壳体导向面上的摩擦力,导向装置上装有滚动体,将滑动摩擦转换为滚动摩擦。导向装置结构简图见图 6。

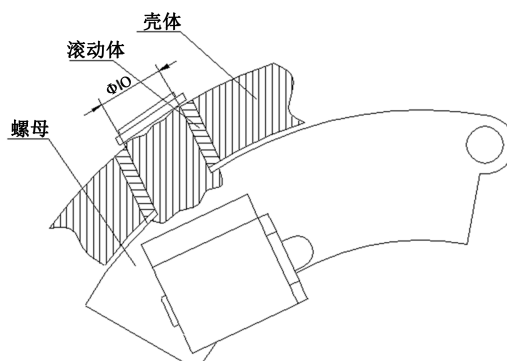


Figure 6. The structure diagram of the guiding device
图 6. 导向装置结构简图

6. 安全保护装置强度校核

6.1. 载荷分析

当方位转盘速度为零时,压簧位移 6.32 mm,压簧产生的压力 F :

$$F = k \times \delta \quad [12] \quad (3)$$

式中 F ——压簧产生的压力(N);

k ——压簧刚度(N/m), $k = 173,000$ N/m;

δ ——压簧压缩量(mm)。

带入公式得压簧产生的压力 F :

$$F = 173 \times 6.32 = 1093 \text{ N}$$

6.2. 导向装置强度校核

导向装置滚动体套在导向轴上，滚动体材料选用 QA19-4 铝青铜棒材，具有较高的强度、良好的耐磨性能和很高的抗腐蚀性能，导向轴材料选用 00Cr17Ni14Mo2 不锈钢材料，抗腐蚀性能好，强度高，抗拉强度 $\sigma_b = 480 \text{ Mpa}$ ，屈服强度 $\sigma_s = 175 \text{ Mpa}$ ，剪切强度 $\tau = 240 \text{ Mpa}$ 。

导向轴在压簧力作用下，将承受剪切应力 τ ：

$$\tau = \frac{4 \times F}{\pi \times d^2} < [\tau] \quad (4)$$

式中 F ——压簧产生的压力(N)；

τ ——导向轴剪切应力(Mpa)；

$[\tau]$ ——导向轴许用剪切应力(Mpa)；

d ——导向轴直径(mm)， $d = 10 \text{ mm}$ 。

带入公式得导向轴承受的剪切应力为 τ ：

$$\tau = \frac{4 \times 1093}{3.14 \times 10^2} = 13.9 \text{ MPa} < [\tau] = 240 \text{ MPa}$$

满足要求。

6.3. 方位转盘凸块强度校核

方位转盘转动过程中，当方位转盘上的凸块碰到机械缓冲器的顶杆，压缩机械缓冲器的压簧，弹簧弹性势能增加，方位转盘速度减小，动能减小，直到方位转盘速度为零，压簧压力在凸块接触面产生反作用力，凸块材料选用 00Cr17Ni14Mo2 不锈钢材料，与导向轴材料相同，对凸块进行强度校核。

将凸块安装面固定，在凸块与机械缓冲器接触面施加压簧压力 1093 N。用 UGNX 软件进行力学仿真，凸块接触面最大应力为 12.52 MPa，远小于其材料强度极限，见图 7，设计满足使用要求。

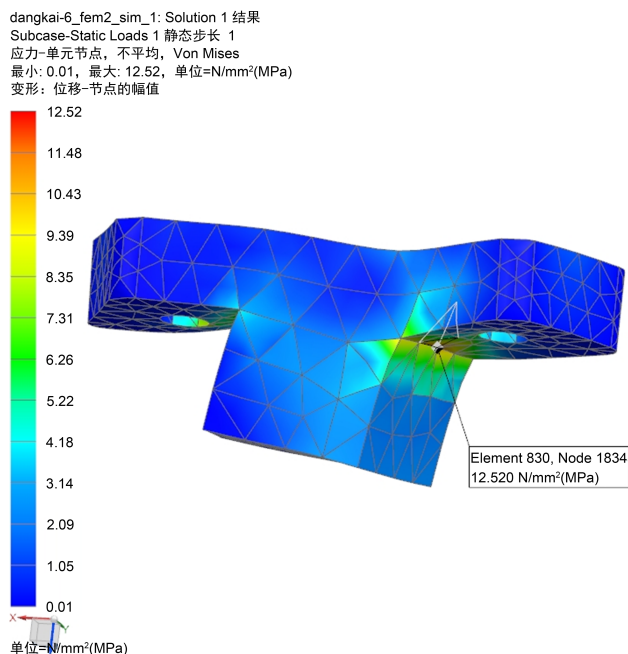


Figure 7. The stress cloud diagram of the azimuth turntable bump
图 7. 方位转盘凸块应力云图

7. 结论

本文从工程实际出发,介绍了一种雷达大角度回转时,安全保护装置的设计方法。通过对左右安全保护装置进行运动分析,确定齿轮传动比和丝杆螺母导程,保证设计方法合理可行;根据方位转盘回转速度,确定机械缓冲器中关键零件压簧的设计参数和安装初始位置,保证碰撞时,转盘动能可以全部转化为压簧势能,碰撞过程无冲击;导向装置的设计,降低丝杆螺母间摩擦力,提高传动效率和安全保护装置使用寿命;通过对安全保护装置进行载荷分析,对导向装置导向轴、方位转盘凸块进行强度校核,均满足要求,对于同类型安全保护装置设计具有一定的借鉴意义,在下一步研究中,将进行精细化、轻量化设计。

在结构尺寸允许的条件下,解决凸块与安全保护装置的干涉问题,也可用齿轮副一级减速,将回转角度转换到 180° 范围内,降低机械止挡设计难度,提高可靠性。

参考文献

- [1] 杨锡和. 一种新型雷达天线方位转台[J]. 雷达与对抗, 2004(2): 63-64+68.
- [2] 周晨龙, 余涛. 某型号舰载三坐标雷达方位转台的设计[J]. 火控雷达技术, 2017, 64(1): 60-63.
- [3] 樊松林. 某大口径车载雷达天线座方位转台设计方案[J]. 电子机械工程, 2005, 21(2): 32-33.
- [4] 陈美芳. 某一轴高速转台的结构设计[J]. 电子机械工程, 2014, 30(5): 22-24.
- [5] 龚振邦, 陈守春. 伺服机械传动装置[M]. 北京: 国防工业出版社, 1980.
- [6] 周晨龙, 余涛. 某型号舰载三坐标雷达方位转台的设计[J]. 火控雷达技术, 2017, 46(1): 60-65.
- [7] 范志刚. 某小型转台方位装置结构设计[J]. 山西电子技术, 2018, 35(6): 35-38+84.
- [8] 田学光, 吴玉彬, 等. 基于高精度密珠轴承的车载雷达转台方位轴系[J]. 机械设计, 2010, 27(10): 65-69.
- [9] 赖天华. 天线方位转台的模块化结构设计[J]. 电子信息对抗技术, 2001, 16(2): 44-48.
- [10] 吴凤高. 天线座结构设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1980.
- [11] 哈尔滨工业大学理论力学教研室编. 理论力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1983.
- [12] 濮良贵, 纪名刚. 机械设计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.