

一种雷达天线转台系统的结构分析

肖万选

(船舶重工集团公司724所,南京210003)

TN95

A

摘要 对一种X波段天气雷达天线转台系统的主要参数、天线的结构、转台的传动型式、波导铰链和汇流环的结构型式做了分析,提供了一些有实用价值的数据。

关键词 天气雷达 天线转台系统 结构型式

0 引言

文中所介绍的雷达是一种X波段天气雷达,它可以用来测定周围空间积雨云层的距离、方位、高度和厚度,从而可以为我军作战训练提供气象保障,为实施人工降雨、消除冰雹、预防水灾以及飞机起飞和降落提供气

象服务。本雷达由天线、转台、机柜等部分组成,其中转台包括俯仰驱动装置、俯仰同步传动装置、俯仰支座、方位传动装置、波导铰链、汇流环等部件(参看图1和图3)。本文着重对雷达天线转台系统的主要参数、天线的结构、转台的传动型式、波导铰链和汇流环的结构型式进行分析。

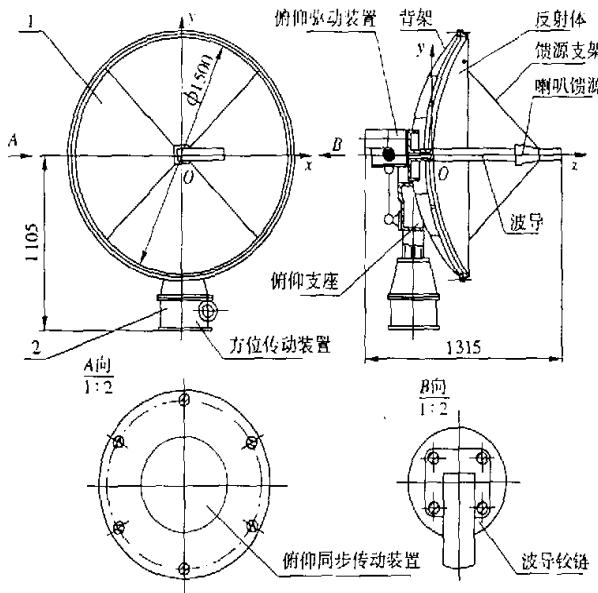


图1 天线转台系统的组成

1. 天线; 2. 转台

收稿日期: 1999-10-13

1 天线转台系统的主要参数

天线反射面的形状:旋转抛物面;

天线的口径与口径面积:口径:1.5 m,
口径面积:1.8 m²;

天线的焦距:590 mm;

天线反射面的漏空度:60%。

天线俯仰运动的范围与速度:范围:-2°~30°,速度:俯仰驱动装置使天线在-2°~30°的范围内以0~4次/min的速度做往复运动;

天线的方位转速:方位传动装置使天线以0~8 r/min转速做正反方向旋转运动;

天线的重量:36 kg;

天线转台系统的重量:126 kg。

2 天线的结构

雷达天线由反射体、背架、喇叭馈源、馈源支架(4支柱架式)、波导等部件组成(参看图1),天线通过背架上的底座(参看图3)与俯仰轴联接。

反射体采用由栅条构成的反射面,它包括支撑板(7个)、边筋(2个)、栅条(93个)等零件。支撑板和边筋分别采用铝合金板和型材(角铝),栅条采用铝合金线。栅条的有关尺寸如图2所示。支撑板与边筋通过L形件铆接在一起。支撑板上打了一系列圆孔,孔的中心都在抛物线上,栅条穿过这些孔,就可以使栅条构成的反射面与所设定的抛物面取得一致。在图1所示的oxyz直角坐标系

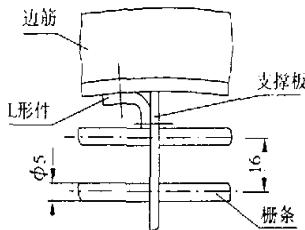


图2 栅条的有关尺寸

中,设o点为抛物面的顶点,f为抛物面的焦距,那么天线反射面的方程可以写成:

$$x^2 + y^2 = 4fz = 4 \times 590z = 2360z \quad (1)$$

式中:-750≤x≤750;-750≤y≤750;0≤z≤238.35。

背架包括底座(铸造铝合金)、片桁架(6个,由16Mn钢管焊接而成,钢管的外径为20 mm,壁厚为2 mm)、弯管(3种,共14个)、连接件(8个)等零部件(参看图3)。片桁架与弯管焊接,与底座通过连接柱铆接。反射体通过支撑板和边筋与背架固定。

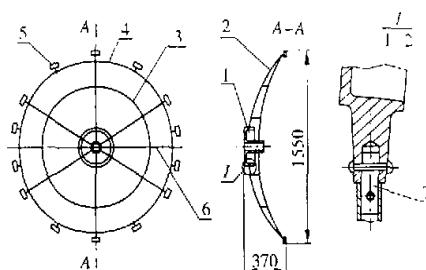


图3 背架的结构

1. 底座; 2. 片桁架; 3.4.6. 弯管;
5. 连接件; 7. 连接柱

3 转台的传动型式

图4表示了雷达转台的传动系统。可以看出,俯仰驱动电机通过两级蜗杆蜗轮传动和一级曲柄连杆传动,使天线做俯仰运动。曲柄轴(轴3)每转1转,天线就做1次俯仰运动。俯仰轴通过联轴器使俯仰自整角机转动。方位驱动电机通过一级蜗杆蜗轮传动和一级斜齿圆柱齿轮传动,使天线做方位旋转运动。方位轴通过两级小模数圆柱齿轮传动使方位自整角机转动。

设俯仰驱动系统的总传动比(即轴1与轴3的转速比)为*I_{FY}*,方位驱动系统的总传动比为*I_{FW}*,俯仰和方位同步传动系统的总传动比分别为*i_{FY}*和*i_{FW}*,利用图4所提供的数据,可以求出这4个参数的值:

$$I_{FY} = \frac{Z_2}{Z_1} \times \frac{Z_4}{Z_3} = \frac{26}{1} \times \frac{27}{1} = 702$$

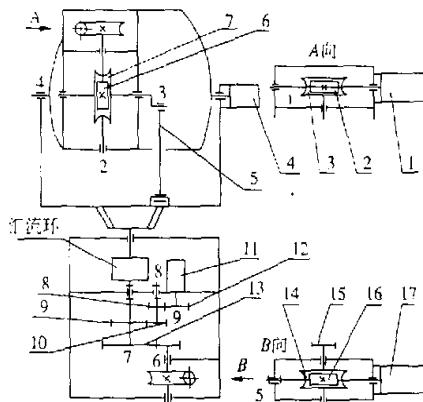


图4 转台的传动系统

1. 仰俯驱动电机; 2. 蜗杆(轴向模数 $m_x = 1.5$, 头数 $Z_1 = 1$); 3. 蜗轮(端面模数 $m_z = 1.5$, 齿数 $Z_2 = 26$); 4. 仰俯自整角机; 5. 曲柄连杆机构; 6. 蜗杆 ($m_z = 2.5$, $Z_3 = 1$); 7. 蜗轮 ($m_z = 2.5$, $Z_4 = 27$); 8. 齿轮(模数 $m = 0.5$, 齿数 $Z_{11} = 60$); 9. 齿轮($m = 0.8$, $Z_9 = 150$); 10. 齿轮($m = 0.8$, $Z_{10} = 60$); 11. 方位自整角机; 12. 齿轮($m = 0.5$, $Z_{12} = 150$); 13. 齿轮($m = 2$, $Z_8 = 114$); 14. 蜗轮($m_z = 2$, $Z_b = 60$); 15. 齿轮($m = 2$, $Z_7 = 19$); 16. 蜗杆 ($m_z = 2$, $Z_5 = 1$); 17. 方位驱动电机

$$i_{FW} = \frac{Z_6}{Z_5} \times \frac{Z_8}{Z_7} = \frac{60}{1} \times \frac{114}{19} = 360$$

$$i_{FY} = 1$$

$$i_{FW} = \frac{Z_{10}}{Z_9} \times \frac{Z_{12}}{Z_{11}} = \frac{60}{150} \times \frac{150}{60} = 1$$

下面根据图4和上面的分析对转台的传动型式及其特点进行讨论。

(1) 采用蜗杆蜗轮传动机构

该机构结构简单, 工作平稳, 噪音小, 传动比大, 但传动效率低。当蜗杆升角小于摩擦角时, 该机构具有反行程自锁作用, 使运动不可逆。这时, 传动效率很低, 小于0.5。

(2) 采用斜齿圆柱齿轮传动机构

该机构结构简单, 工作平稳, 噪音小, 传动效率高, 传递的转矩较大。

(3) 采用小模数圆柱齿轮传动

该机构结构简单, 加工方便, 容易达到较高的经济加工精度。

(4) 采用曲柄连杆传动机构

该机构能将轴3的旋转运动变为天线的

俯仰运动。当曲柄与连杆共线时, 天线处于俯仰角为最大值或最小值的极端位置。改变连杆的长度, 可以改变天线俯仰运动的范围。根据曲柄连杆机构的有关尺寸, 可以求出连杆长度为不同数值时天线俯仰角的最大值和最小值, 现将部分计算结果列于表1。可以看出, 连杆增长时, 最大和最小俯仰角减小; 此时, 如最小俯仰角为负值, 其绝对值增大。连杆缩短时, 最大和最小俯仰角增大; 此时, 如最小俯仰角为负值, 其绝对值减小。当连杆长度为345 mm时, 天线的俯仰角为 $-3.1^\circ \sim -31.4^\circ$, 完全满足设计要求。

表1 天线的俯仰角

连杆长度(mm)	最大俯仰角	最小俯仰角
335	35.4°	0.1°
340	33.4°	-1.5°
345	31.4°	-3.1°
350	29.5°	-4.7°
355	27.7°	-6.3°

连杆由上螺杆、下螺杆、上螺母、下螺母、连接杆等零件组成。上螺杆与连接杆的上端以及上螺母用左旋细牙螺纹联接; 下螺杆与连接杆的下端以及下螺母用右旋细牙螺纹联接。转动连接杆, 就可改变连杆的长度。

曲柄连杆机构结构简单, 加工方便, 工作可靠。它的应用对于简化俯仰驱动装置的结构非常有利。

4 波导铰链和汇流环的结构型式

4.1 波导铰链

本天线转台系统所采用的波导铰链是一种通过电磁耦合来传递能量和讯量的旋转连接装置。在俯仰轴的一端和方位轴的顶端均设置了波导铰链。来自喇叭馈源的波导(能做俯仰和方位运动)与来自机柜的波导(静止不动)是通过这两个铰链连接起来的。

该波导铰链包括有内导体、外导体、腔体

(由波导、法兰、匹配块焊接而成)、波导法兰、支座、轴承等零部件。波导法兰、内导体和外导体构成一个整体,它们能绕支座和腔体法兰(支座与腔体通过螺钉固定)的轴线转动。该波导铰链结构简单,电性能良好,工作可靠。测试表明,其驻波系数小于 1.2,衰减小于 0.3 dB。

4.2 汇流环

本天线转台系统所采用的汇流环是一种利用滑动接触来传递能量和讯息的旋转连接装置。它分为滑环组件和电刷组件两部分(参看图 5),共有 12 条通路。滑环组件装在方位轴上,电刷组件固定在方位传动装置的箱体上,电刷组件上的触头与滑环组件上相对应的导电环接触。来自俯仰驱动电机和自整角机的线缆与滑环组件的接线端相接,来

自机柜内相对应的线缆与电刷组件的接线端相接。由于俯仰驱动电机除随俯仰支座做方位转动外,还要随天线做俯仰运动,所以来自俯仰驱动电机的线缆应具有足够的长度,以满足电机做俯仰运动的需要。

滑环组件包括有套筒、导电环(12 个)、绝缘环(2 种,共 13 个)、压板、双头螺栓(3 个)、接线柱(12 个)等零件。导电环和绝缘环由套筒定心,并通过套筒、压板和双头螺栓固定在一起。滑环组件有 12 根连线,每根连线有一端与相对应的导电环的内表面焊接,另一端与相对应的接线柱相接。电刷组件包括有簧片(2 种,共 24 个)、触头(24 个)、绝缘板(2 种,共 2 个)等零件。簧片通过螺钉与绝缘板固定。导电环和绝缘环分别是用锡青铜和聚砜制成的。簧片和触头的材料分别采用铍青铜和纯铜。新装配好的汇流环应跑合一定的时间,使触头与导电环的接触面磨光,使汇流环的终端电阻(电刷接线端与相对应的导电环接线端之间的直流电阻)减小到允许的范围内。

表 2 给出了汇流环跑合时动态终端电阻的部分测量结果。可以看出,跑合开始时,每条通路的电阻较大,最大电阻为 0.019Ω 。跑合结束前测得的电阻较小,最大电阻为 0.012Ω 。前一种情况是由于跑合开始时,触头与导电环配合不好,接触电阻较大的缘故;后一种情况是由于跑合一定的时间后,触头与导电环的接触面磨光,两者配合得好,接触电阻较小的缘故。该汇流环结构简单,径向尺寸较小,加工比较方便,但轴向尺寸较大。

5 结束语

综上所述,可以把雷达天线转台系统在结构方面的特点概括如下:

(1) 天线的反射面采用由栅条构成的旋转抛物面,该反射面漏空度大,风阻力小,因此天线的重量比较轻。由于平行于旋转抛物

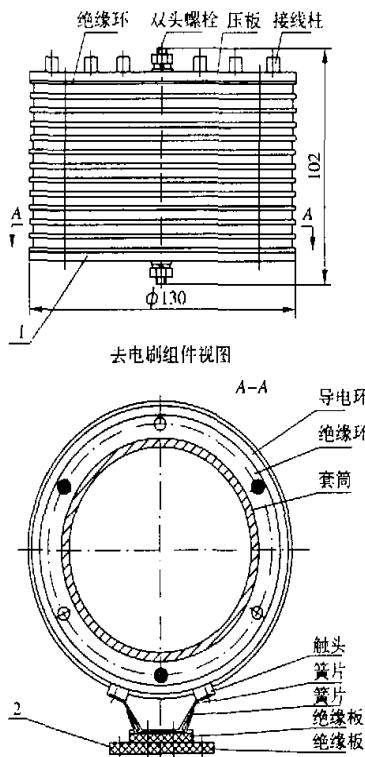


图 5 汇流环的结构

1. 滑环组件; 2. 电刷组件

表 2 汇流环动态终端电阻的部分测量结果

通路编号	$R_1(\Omega)$	$R_2(\Omega)$
1	0.015	0.011
3	0.018	0.011
5	0.016	0.012
7	0.019	0.012
9	0.015	0.011
11	0.013	0.012

注: (1) R_1 和 R_2 分别为跑合开始时和结束前测得的动态终端电阻; (2) 跑合时, 滚环组件的转速为 8 r/min; (3) 跑合时间为 24 h。

面轴线的任意平面与抛物面的交线也是抛物线, 而且它的焦距等于抛物面的焦距, 所以可以用形状完全相同而长度不等的抛物线形栅条来构成反射面。这样的反射面加工比较方便, 可以获得较高的表面精度。

(2) 俯仰和方位驱动系统均采用蜗杆蜗轮传动机构, 该机构结构简单, 工作平稳, 传动比大。俯仰驱动系统的末级采用曲柄连杆传动机构, 该机构能将轴 3(参看图 4)的旋转运动转变为天线的俯仰运动。调节连杆的长

度, 可以改变天线俯仰运动的范围。该机构的应用对于简化结构、减轻重量非常有利。

(3) 俯仰驱动装置设置在天线背架的底座上, 位于天线的另一侧。该驱动装置除具有驱动功能外, 还起着天线平衡的作用。这样的配置方式有利于减轻天线系统的重量。

(4) 所采用的波导铰链和汇流环是用来传递能量和讯息的旋转连接装置, 这两种装置结构简单、重量轻、工作可靠、完全满足使用要求。

(5) 天线的反射体和馈源支架采用铝合金板材或型材, 俯仰支座、俯仰驱动装置和方位传动装置的箱体以及天线背架的底座采用铸造铝合金, 这样可以显著地减轻天线转台系统的重量。

参考文献

- 1 吴风高. 天线座结构设计. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1986
- 2 肖万选. 天线稳定转台系统结构设计技术研究. 舰船电子对抗, 1999(4): 29~36

(上接第 22 页)

3 结束语

反舰导弹的威胁日益严重, 但它并不是不可战胜的。只要认真研究, 综合决策, 通过计算机把各种软硬杀伤武器完美地结合起来, 就能使舰船具有完备的综合防御体系。导弹和密集阵硬杀伤武器以及电子战软杀伤武器是防御反舰导弹的有效武器。由于目前和未来使用的反舰导弹武器系统大多采用复

合制导和多模制导体制, 所以单一防御技术具有局限性, 只有采用防御技术一体化才能大大提高舰船保护的可靠性和有效性。

参考文献

- 1 方有培. 反舰导弹及舰艇的干扰、隐身技术. 舰船电子对抗, 2000(3): 5~9
- 2 刘桐林. 世界导弹大全. 北京: 军事科学出版社, 1998
- 3 张上根. 世界舰船电子战系统手册. 北京: 科学出版社, 2000

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>