

伺服机械结构

第三分册

# 天线座结构设计

西北电讯工程学院

吴凤高编

国防工业出版社



伺服机械结构

第三分册

# 天线座结构设计

西北电讯工程学院

吴凤高 编

国防工业出版社

## 天线座结构设计

西北电讯工程学院

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

解放军第七二二六工厂印刷内部发行

\*

787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 19 插图 7 个 451 千字

1980 年 12 月第一版 1980 年 12 月第一次印刷 印数 1-5000 册

统一书号：N15034（四教 41）定价 2.30 元

## 内 容 简 介

本书为《伺服机械结构》一书的第三分册。

本分册主要讨论雷达、通讯机械中天线座的结构形式、轴系误差的分析计算和测量、支承转动装置、平衡装置、滑环、安全保护装置、升降机构以及天线座结构固有频率的计算和测量等内容。

本书可供高等院校“无线电设备结构设计”专业作为教材（试用），亦可供其它有关专业及从事伺服机械结构设计的技术人员参考。

## 前 言

《伺服机械结构》一书系高等院校“无线电设备结构设计”专业统编教材（试用）。

全书分三个分册。第一分册为《伺服系统基本原理》，第二分册为《伺服机械传动装置》，第三分册为《天线座结构设计》。全书三个分册由上海科技大学龚振邦统编。

天线座结构设计是雷达、通讯机械工程的一个重要课题，这一分册主要讨论天线座总体结构设计方面的一些问题，其中主要内容为：天线座的结构型式、轴系误差的分析计算和测量、支承转动装置、平衡装置、滑环、安全保护装置、升降机构以及天线座结构固有频率的计算和测量。天线座的驱动装置和数据传动装置集中在第二分册讨论。

对上述内容的具体教学实施，各院校可按本专业的要求而有所侧重。

第三分册的主编为西北电讯工程学院吴风高。主审为上海科技大学王生洪。

上海科技大学，成都电讯工程学院、南京工学院和西北电讯工程学院等校有关教师参加了本教材的审定，提出了许多宝贵的意见；在编审过程中并得到了有关厂、所的热情支持，特在此一并致谢。限于编者水平，谬误之处在所难免，诚望读者批评指正。

编 者

1979年9月

# 目 录

## 第一章 绪 言

- § 1.1 天线座的作用和分类 ..... (1)
- § 1.2 天线座的组成 ..... (2)
- § 1.3 天线座的设计要求 ..... (8)

## 第二章 天线座的结构型式

- § 2.1 天线座的一般型式 ..... (11)
  - 2.1.1 俯仰—方位型天线座 ..... (11)
  - 2.1.2 X-Y型天线座 ..... (25)
  - 2.1.3 极轴型天线座 ..... (30)
  - 2.1.4 斜交轴天线座 ..... (35)
  - 2.1.5 直线驱动型天线座 ..... (37)
  - 2.1.6 三角支撑天线座 ..... (40)
- § 2.2 舰用天线座 ..... (42)
  - 2.2.1 舰用天线座的使用条件 ..... (42)
  - 2.2.2 基座不稳定对雷达性能的影响 ..... (43)
  - 2.2.3 机械稳定 ..... (47)
  - 2.2.4 电气稳定 ..... (57)
  - 2.2.5 消除航向改变的影响 ..... (61)

## 第三章 天线座的轴系精度

- § 3.1 概 述 ..... (65)
  - 3.1.1 精度指标 ..... (65)
  - 3.1.2 误差来源及分类 ..... (66)
  - 3.1.3 误差的性质和综合方法 ..... (69)
- § 3.2 天线座轴系误差对测角精度的影响 ..... (73)
  - 3.2.1 俯仰—方位型天线座的轴系误差 ..... (73)
  - 3.2.2 计算举例 ..... (77)
  - 3.2.3 X—Y型天线座的轴系误差 ..... (80)
  - 3.2.4 四轴天线座的轴系误差 ..... (82)
- § 3.3 轴系误差的分析 ..... (84)
  - 3.3.1 天线座在制造和安装过程中产生的误差 ..... (84)
  - 3.3.2 天线座在各种载荷作用下产生的误差 ..... (87)
- § 3.4 基准平台 ..... (93)
- § 3.5 轴系误差的测量方法 ..... (95)
  - 3.5.1 方位轴不铅垂度的测量 ..... (95)

3.5.2	俯仰轴与方位轴不垂直度的测量 .....	(97)
3.5.3	电轴、光轴与机械轴一致性的测量和调整 .....	(102)
<b>第四章 天线座支承转动装置</b>		
§ 4.1	立轴式支承转动装置 .....	(104)
4.1.1	受力分析 .....	(104)
4.1.2	方位支承转动装置 .....	(107)
4.1.3	俯仰支承转动装置 .....	(116)
§ 4.2	特大型滚动轴承转台 .....	(119)
4.2.1	交叉滚子轴承 .....	(120)
4.2.2	四点接触球轴承 .....	(129)
4.2.3	线滚道轴承 .....	(134)
§ 4.3	轮轨式支承转动装置 .....	(141)
4.3.1	载荷分析 .....	(141)
4.3.2	驱动能力和结构参数的选择 .....	(145)
4.3.3	轮轨强度校核 .....	(149)
§ 4.4	静压轴承 .....	(153)
4.4.1	概述 .....	(153)
4.4.2	系统的组成及工作原理 .....	(154)
4.4.3	节流器 .....	(156)
4.4.4	静压轴承的设计计算 .....	(162)
4.4.5	静压轴承设计举例 .....	(170)
<b>第五章 平衡装置和滑环</b>		
§ 5.1	平衡装置 .....	(179)
5.1.1	概述 .....	(179)
5.1.2	拉式弹簧平衡器 .....	(180)
5.1.3	推式弹簧平衡器 .....	(185)
5.1.4	扭杆平衡器 .....	(186)
§ 5.2	滑环和电缆卷绕装置 .....	(190)
5.2.1	滑环组合的作用和设计要求 .....	(190)
5.2.2	低频滑环 .....	(194)
5.2.3	中频滑环 .....	(198)
5.2.4	差动滑环 .....	(199)
5.2.5	电缆卷绕装置 .....	(206)
<b>第六章 安全保护装置和升降机构</b>		
§ 6.1	安全保护装置 .....	(209)
6.1.1	类型和用途 .....	(209)
6.1.2	缓冲器的设计计算 .....	(217)
§ 6.2	升降机构 .....	(225)

6.2.1	升降机构的作用和设计要求	(225)
6.2.2	采用普通丝杠传动的升降机构	(226)
6.2.3	采用滚珠丝杠传动的升降机构	(226)
6.2.4	采用液压油缸的升降机构	(232)

## 第七章 天线座的结构谐振

§ 7.1	驱动系统扭转振动固有频率计算	(236)
7.1.1	驱动系统的简化模型	(236)
7.1.2	扭转振动固有频率的解析计算方法	(237)
7.1.3	霍尔兹法(列表算法)	(238)
7.1.4	用电子计算机计算扭转振动	(244)
7.1.5	分支系统及差动振动	(247)
7.1.6	支座弹性对固有频率的影响	(250)
7.1.7	齿隙对固有频率的影响	(253)
§ 7.2	结构固有频率的矩阵解法	(255)
7.2.1	建立动力分析模型	(255)
7.2.2	建立动力学方程	(256)
§ 7.3	典型零部件的刚度计算	(264)
7.3.1	轴的扭转刚度	(264)
7.3.2	非圆截面杆的扭转刚度	(268)
7.3.3	轴弯曲变形的影响	(270)
7.3.4	轮齿变形的影响	(272)
7.3.5	托架的刚度	(274)
7.3.6	装架的刚度	(278)
§ 7.4	结构固有频率的测试方法	(279)
7.4.1	根据实验的频率响应确定结构固有频率	(279)
7.4.2	直接测量结构的固有频率	(281)
7.4.3	根据实测的系统刚度和惯量估算固有频率	(283)
§ 7.5	解决结构谐振问题的技术措施	(284)
7.5.1	提高结构固有频率	(284)
7.5.2	提高阻尼系数	(285)
7.5.3	正确配置敏感元件	(285)
7.5.4	从振动结点检测位置信号	(286)
7.5.5	在伺服回路中串联反谐振滤波器	(286)
7.5.6	串联滞后补偿网路	(287)



# 第一章 绪 言

## § 1.1 天线座的作用和分类

天线座是天线的支撑和定向装置，通过天线控制系统，使天线能够按照预定的规律或者跟随目标运动，准确地指向目标；并且通过它精确地测出目标的方向。它与电影经纬仪基座、导弹发射架、炮座等类似。都是用于瞄准的。所以，亦可以统称为瞄准基座。

早期的雷达通讯设备性能比较低，天线座的设计比较简单，不难满足电性能的要求。随着无线电技术的发展，雷达通讯设备广泛的用于天文、气象、航空、航海、航天等四个现代化建设上，天线尺寸小的可以随身携带，大的直径几百米。对天线座的设计提出了更高的要求。例如高炮射击指挥雷达，由于空袭武器的性能不断提高，飞行速度越来越大，并向高空和低空、超低空两极发展；由于现代化高效率火炮的发展，要求这种雷达的天线座结构设计提高可靠性、快速性、机动性，要使用简便，实现操作自动化。再如精密跟踪测量雷达，用于测量导弹、卫星或其它空间飞行器的飞行轨迹，波束宽度窄、测角精度高，要求天线座结构刚度好，静态和动态的变形小；在各种气候条件下尺寸稳定，轴系精度高；转动惯量小、结构固有频率高；间隙小、摩擦和摩擦起伏小、慢动性好。大型毫米波射电望远镜，波束宽度只有几角分，精度要求几角秒~几十角秒，对天线座的结构性能要求更高。还有卫星通讯地面站，从58年“SCORE”实验通讯卫星发射以来，至今才20多年，但是发展很快，特别是赤道同步卫星问世以后，广泛的用于民用通讯，广播、教育、外交、航海、航空及军事通讯上。天线尺寸有大有小，小的只有几十厘米，大的几十米。有背负式的、车载、舰载、机载的。有移动站、固定站。有全向可控和有限可控的，型式很多，精度要求也有很大的差别。

总之，由于天线尺寸和重量的增大；精度要求的提高；角速度、角加速度以及变速范围等使用性能要求的提高，在天线座的机械设计、制造工艺和测量技术方面都有一系列新的问题。在雷达通讯设备中，尤其是大型、精密的设备，天线座对设备的精度、可靠性、成本和加工周期影响很大，整机的性能指标在很大程度上取决于天线及天线座的结构设计和制造工艺水平。天线座的机械性能，有些直接体现了整个设备的使用性能。所以，天线座结构设计也是雷达通讯机械工程中的一个重要课题。

由于雷达通讯设备应用很广，天线座的种类很多，可按多种方法分类。

1. 按使用环境可分为：

陆用、海用、空用天线座。陆用又可分为移动式 and 固定式天线座。

2. 按设备的用途可分为：

搜索、跟踪、制导、测量、气象雷达天线座、卫星通讯天线座、射电望远镜天线座等。

3. 按转轴的数目可分为：

一轴、二轴、三轴、四轴和固定不动的天线座。

4. 按座架的型式可分为:

俯仰—方位型、X-Y型、极轴型、斜交轴型、直线驱动型天线座等。

俯仰—方位型天线座又可分为:立轴式、转台式和轮轨式天线座。

5. 按驱动方式可分为:

机电驱动和电液驱动的天线座。

6. 按设备的精度要求可分为:

高、中、低三级精度的天线座。例如现有跟踪雷达大致可区分为:高精度(0.01—0.1密位)。中等精度(0.1—1密位)、低精度(几密位)。

7. 按天线尺寸可分为:

大型(10米以上)、中型(3~10米)、小型(3米以下)的天线座。

## § 1.2 天线座的组成

天线座一般由下列几部分组成:

1. 支承转动装置——用以支撑天线、馈线系统,并保证天线能在工作范围内转动。包括转轴、轴承、座架等零部件。

2. 动力驱动装置——驱动天线绕各轴按一定的规律或指令转动。包括驱动元件、联轴器、减速器或其它传动元件。

3. 轴位检测装置——把各轴的转角转换成电信号输出,用以反映天线的运动规律。由轴位传感器和传动元件组成。传感器可以采用自整角机、旋转变压器、电容传感器、感应同步器或光学精码器等。

4. 滑环或电缆卷绕装置——用于天线座转动部分和固定部分之间传输功率电源和中、低频信号。

5. 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,造成机件损坏或人身事故。由行程限制开关、缓冲器、安全离合器及制动器等组成。有的还有连锁装置,存放或运输锁定装置等。

6. 其它辅助装置——为了减小驱动装置的负荷,减小伺服误差,通常还有平衡装置。为了提高设备的机动性和隐蔽性,有的还采用升降机构或倾覆收藏装置。

### 1.2.1 1.5米炮瞄雷达天线座

下面以图 1.1 所示天线口径 1.5 米的炮瞄雷达为例,具体说明该天线座的组成和实际结构。

这是俯仰—方位型天线座,可以分成方位、俯仰两大部分进行分析。

#### 一、方位转动部分

1. 方位支承转动装置。包括方位轴、轴承组合和座架。

方位轴是空心的,因为中间要穿过馈线和导线;而且在同样的重量下,空心轴的刚度比实心轴好。

由于方位轴上下支承间距较大,座架是拼合式的,上下轴承座孔难以保证精确同心,所

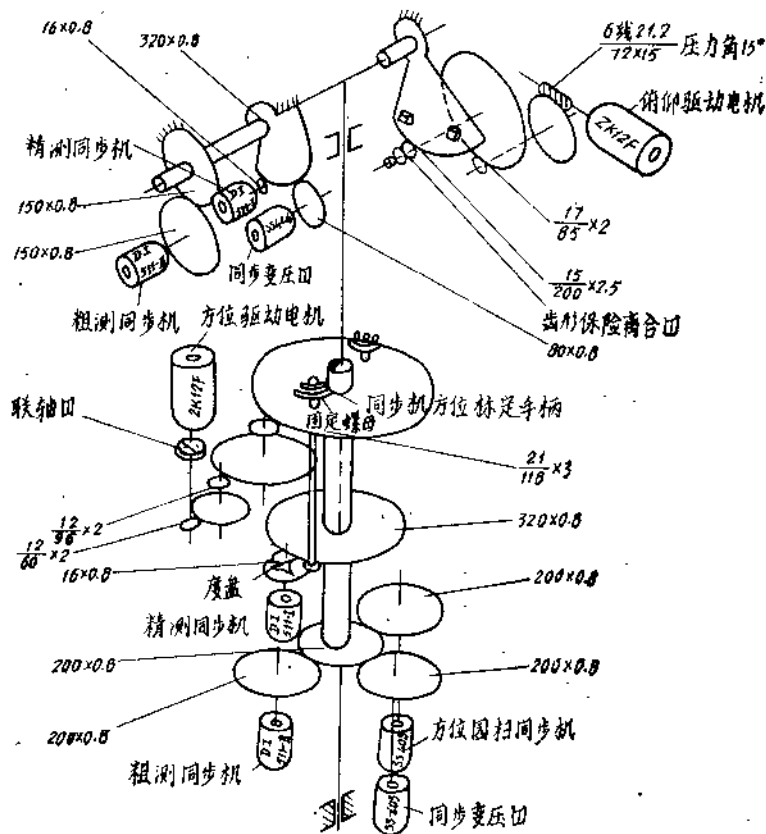
以上下都用了自动调心型双列向心球面球轴承，由它承受径向力和倾覆力矩，轴向力由止推轴承承受。为了保证球面轴承能够自动补偿轴承孔的不同心度，并适应方位轴的弯曲变形，在上下止推轴承上都加了球面垫圈。在转动和不动部分之间，均有密封环，防止灰尘、雨水和污物侵入。

座架由底盘、钟形罩、三个支撑杆和三个楔形块组成，互相之间用键、推钉或销钉连接，构成一个平面的整体。在三根支撑杆外面有用作防护和密封的铁皮罩，铁皮罩可以拆卸，而且铁皮罩上还有小窗盖，维修比较方便。

这种拼合式的座架，重量较轻、开敞性好、零件的加工精度要求低，但是装配、调整比较麻烦、刚度较差。整体式的铸件，轴承座孔的位置精度靠加工保证、刚度较好。

2. 方位动力驱动装置。如图 1.1 和图 1.2 所示，直流电动机 ZK-12F，通过二级直齿圆柱齿轮减速箱( $\frac{60}{12} \times \frac{96}{12}$ )和末级开式齿轮( $\frac{118}{21}$ )，带动方位轴转动。总传动比为 224.8，电动机额定转速为 3000 转/分，所以天线的最大方位转速为 13 转/分。

3. 方位同步传动系统。方位轴通过双联齿轮，带动四个自整角机；用于输出数推的精确和粗测的力矩式发送机；用作方位手控系统比较元件的控制式变压器；用于环示显示器伺



天线座传动图

图 1.2

服系统的控制式发送机。方位轴与精测力矩式发送机的传动比为 1 : 20, 其余均为 1 : 1。

在同步轮系中还有调零装置, 在雷达站标定时, 天线电轴指向正北是方位角的零位。调整自整角机的转子位置, 使自整角机上指示的方位角与天线的方位角一致。此调零装置由双片弹簧消除小齿轮、调整手柄、固定手柄和活动螺套组成。调整时, 先将固定手柄反时针拧松, 转动调整手柄, 改变双联数据齿轮和动力大齿轮的相对位置, 就可以调整自整角机和天线的相对位置, 使零位一致。

4. 滑环组合。在方位转动部分和固定部分之间传输功率电源和低频信号。此滑环组合共 35 环, 各导电环之间用绝缘环隔开, 每个导电环的内侧都焊有一根导线, 从方位轴中心通到转动部分上, 电刷采用银编织线, 它与固定部分相连。从而使转动部分与不动部分保持电气联接。

## 二、俯仰转动部分

1. 俯仰支承转动装置。包括俯仰轴、轴承组合和桥形架等。

俯仰轴也是空心轴, 以便通过馈线和导线。俯仰轴通过联接法兰和轴套与方位轴连接。法兰与轴套之间的连接面是一个斜面, 装配时, 调整二者之间的相对位置, 可以在小范围内改变俯仰轴与方位轴之间的夹角, 使两轴保持垂直。调好后, 法兰与轴套用螺钉夹紧。

桥形架通过轴承安装在俯仰轴上, 可以绕俯仰轴转动。桥形架的两边各有二个轴承, 左边安装俯仰动力驱动装置, 右边安装俯仰同步传动装置, 中间安装抛物面天线。在桥形架上还有光学瞄准器, 水准仪和平衡重。

水准仪是在雷达架设时, 用以检查天线座的水平度。

光学瞄准器的光轴与俯仰轴垂直, 它的作用是用来校准天线电轴与俯仰轴的垂直度; 标定天线的方位角和俯仰角。

平衡重块装在俯仰同步传动装置的箱体上, 使俯仰转动部分尽可能达到静平衡, 减小不平衡力矩, 减轻电动机的负载。

2. 俯仰动力驱动装置。如图 1.2 所示, 直流电动机  $ZK-12F$  通过一级蜗轮蜗杆传动和一级直齿圆柱齿轮的减速箱  $\left(\frac{72}{6} \times \frac{85}{17}\right)$ , 再通过末级扇形齿轮传动  $\left(\frac{200}{15}\right)$  带动天线。末级扇形齿轮固定在俯仰轴上, 小齿轮转动时, 就带动减速箱、桥形架和天线一起绕俯仰轴转动。总传动比为 800, 电动机额定转速 3000 转/分。所以天线的最大俯仰转速为 22 度/秒。

3. 俯仰同步传动系统。通过固定在俯仰轴上的二个齿轮, 带动三个自整角机; 用于输出数据的精测和粗测的力矩式发送机; 用作俯仰手控系统比较元件的控制式变压器。俯仰轴与精测自整角机的传动比为 1 : 20, 其余均为 1 : 1。

4. 安全保护装置。因为俯仰转动范围有限 ( $-3 \sim 87^\circ$ ), 为了防止天线转到上下极限位置时, 因冲击力过大或电动机堵转而损坏机件, 在俯仰转动部分设有电气限位开关、机械缓冲器和齿形安全离合器。

上、下两个限位开关装在桥形架上, 在扇形齿轮侧面有两块楔铁, 当天线转到上、下极限位置时, 限位开关的顶杆碰到楔铁, 使俯仰电动机制动。改变楔铁的位置, 可以调整上、下极限位置。

机械缓冲器装在上、下极限位置。当天线转到上、下极限位置时, 俯仰转动部分的凸块

碰到缓冲器的顶杆，压缩缓冲器的弹簧，这样就可以减小冲击力。

安全离合器如图 1.3 所示，装在俯仰动力减速器的输出轴上，离合器的右半部分即输出小齿轮，空套在输出轴上，离合器的左半部分与输出轴用花键连接。在正常情况下，由于压力弹簧的作用，使齿形离合器结合，输出轴带动输出小齿轮，使天线俯仰转动。当天线转到极限位置时，输出齿轮不能转动，如果限位开关失灵，电动机仍在转动，输出轴上的驱动力矩超过了离合器所能传递的力矩，离合器就打滑。这样，就能避免传动装置因受力过大而损坏，起了保护作用。转动调整螺母，可以调节打滑力矩。

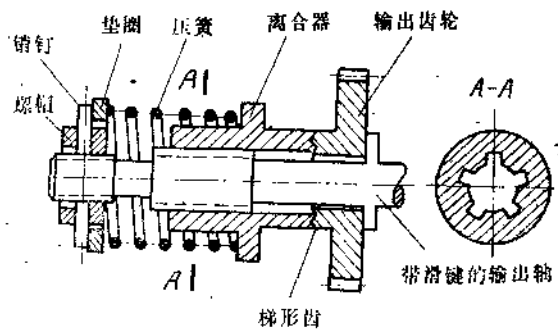


图 1.3

### 1.2.2 625 毫米电影 经纬仪瞄准基座

图 1.4 是口径 625 毫米的电影经纬仪瞄准基座，它的结构与精密跟踪雷达天线座类似。电影经纬仪是对飞行目标进行摄影和测量运动轨迹的大型光学仪器。它的作用除了直接观察和瞄准目标，并直接读出目标的方位角和俯仰角坐标以外，主要工作方式是用目标电影机和读数电影机分别记录目标和度盘读数的图象。

为了跟踪运动物体，该仪器具有跟踪用的瞄准镜和伺服系统。可以接受程序引导仪或雷达的引导进行自动跟踪，帮助瞄准员捕获目标。当目标进入瞄准镜视场后，可转换为由瞄准员操纵的半自动跟踪（有的配备激光或红外的误差检测装置，也可以进行自动跟踪）。当俯仰角小于  $65^\circ$  时，测角均方根误差小于 14 角秒。

电影经纬仪的瞄准基座主要由底部机座、照准架、驱动装置和外转台四个部分组成。

#### 一、底部基座

底部基座固定在仪器的柱形隔震地基上，它是固定不转的底座。由基座、底盘、调平机构，抗扭薄膜，立轴轴承等组成。

1. 基座和底盘。基座是铸铁的，直接固定在内地基上。基座的上面是底盘，底盘通过调平机构和抗扭薄膜同基座连接。底盘上面装有中心轴及立轴轴承，底盘的外圆上有一密封环，密封环上缩进的密封槽内有毛毡圈同转盘接触，防止灰尘和污物侵入。

2. 调平机构。由三套螺旋千斤顶和球面垫等组成。它的作用是把底盘上的推力轴承环工作面调到水平位置，保证方位旋转轴线的铅垂度。调整时，转动摇把通过蜗轮蜗杆传动机构使千斤顶的螺杆升降。

3. 抗扭薄膜。是一块环形的薄钢片，它的外缘固定在基座上，内缘固定在底盘的下部。由于薄钢片在平面方向具有较大的抗扭与抗拉刚度，在平面的垂直方向抗弯刚度很小。所以抗扭薄膜既不妨碍底盘的调整，又能保持方位度盘与瞄准镜的相对位置稳定不变，不受调平的影响。

4. 方位轴承。由单列向心球轴承和四列单向推力球轴承组成。向心球轴承的钢球直径25毫米，内座圈固定在中心轴上，外座圈装在转盘下面的端盖内，内外座圈的工作面都是圆柱面。推力轴承的钢球直径15毫米，四圈共480个。轴承的下环固定在底盘上，上环面定在转盘下面。上、下环的工作面都是平面。每个环的内外圆周上用36个压板固定。

中心轴是空心的，中心孔的两端各装一个向心球轴承，支承一根管子，以便照准架的旋转电缆从中通过。

## 二、照准架

照准架包括转盘、左右支臂和俯仰轴承。

1. 转盘和支臂。转盘是直径1700毫米的铸铁件。左右支臂固定在转盘上。俯仰轴架在左、右支臂的轴承座上，使摄影望远镜和瞄准镜能俯仰转动。转盘中心装有方位角度盘室，度盘室上面是方位自整角机齿轮箱。转盘上表面装有供仪器调平用的水准仪。左支臂内部装有光学读数系统和读数电影机。右支臂内装有俯仰动力传动系统。左右支臂上分别装有方位角和俯仰角的半自动操纵手轮箱和手摇传动齿轮箱。

2. 俯仰轴承。在摄影望远镜的筒体中段的两侧镶上左、右轴头，构成了俯仰轴轴体。左、右轴头用轴承钢GCr15SiMn制造。左、右两个轴承座各装一套向心球轴承，钢球直径20毫米，没有内座圈，直接与轴头上的淬火圆柱工作面接触。左端有双向推力球轴承用作轴向定位，钢球直径8毫米。俯仰轴右端装有调整俯仰轴与方位轴正交性的机构。右端向心球轴承外座圈的外形是六角形的，依靠斜度为1:100的楔块来调整右轴承的高低，使俯仰轴与方位轴的不垂直度小于2角秒。在两个支臂之间的俯仰轴上支承摄影望远镜的镜筒，镜筒的背部固定着摄影调节系统和目标摄影机。在俯仰轴的两端安装两个瞄准镜。

## 三、驱动装置

1. 方位驱动装置。仪器的方位驱动系统采用了多电机滚轮摩擦传动的方式。六套滚轮装置等距地分布在转盘的下端面。滚轮是青铜的，每一个滚轮用一台直流伺服电动机和一个减速齿轮箱带动。滚道是用不锈钢制造的环形平面，固定在转盘的底面上。滚轮架下面有螺旋压缩弹簧，使滚轮向上压紧不锈钢环。保证滚轮与滚道之间有足够的压力，能够产生方位驱动所必须的切向摩擦力，同时还可以减轻方位推力轴承的载荷。齿轮箱的减速比是150，滚轮和轨道的减速比是8，总减速比为1200。每个电动机的功率为170瓦。采用这种驱动方式是基于下列一些原因：

(1) 传动系统的抖动影响电影经纬仪的摄影质量。滚轮传动平稳性好，没有明显的间隙，而且不受磨损的影响。

(2) 滚轮和轨道的加工比大齿轮或蜗轮传动简单，维护也容易。

(3) 滚轮机构可将驱动的反作用力矩直接传至地基，不会引起仪器结构的变形。

(4) 在瞄准基座的驱动系统中，通常电动机转子的转动惯量大于负载的折算转动惯量。

所以，电动机转子的惯量对伺服系统的精度和快速性影响很大。采用多电机驱动，与同样功率的单个电动机相比转动惯量要小得多。例如一台ZK-32型电动机，功率0.75千瓦，飞轮力矩 $GD^2 = 0.053$ 公斤·米<sup>2</sup>，而六台S-569型电动机，总功率为0.96千瓦，飞轮力矩 $GD^2 = 6 \times 0.16 = 0.0064$ 公斤·米<sup>2</sup>。可见多电动机驱动比单电动机驱动的快速响应优越得多。

(5) 电动机输出力矩、碳刷摩擦力矩以及轴承阻力矩的波动,对低速平稳性有相当大的影响。用多电动机驱动可使波动趋向于拉平,从而改善低速平稳性。

但是,多电动机驱动必须解决载荷均匀分配问题。实践证明:利用在电动机电枢串联电阻调整电机机械特性的方法,可以基本上消除不均匀性。

为了便于调整和校准仪器,还有一套手摇传动机构。方位手摇传动齿轮箱装在左支臂的外壁上。手轮的旋转运动通过齿轮机构和连接轴穿过转盘,带动转盘底下的小齿轮,小齿轮与固定在底盘上的大齿圈啮合,并围绕大齿圈作行星运动,从而带动转盘绕方位轴转动。

仪器照准架上的电气部分,同地上固定的电气部分是通过仪器下而悬挂在空心柱形地基内壁的电缆连接的。为了避免电缆扭转变形过大,只允许仪器照准架在 $\pm 360^\circ$ 范围内旋转。因此需要限位装置。照准架转到极限位置,首先碰到限位拨叉,使两个行程开关依次起作用。第一个限位开关使交磁放大电机的电枢电路短路,而使驱动电动机的控制电压立刻降低,因而电动机的转速也立刻下降。第二个限位开关使交磁放大电机的推挽控制绕组之一短路,剩下反向的控制绕组起作用,这时驱动电动机的控制电压极性改变,电动机反向转动,使转盘退出限位位置。如果电气限位开关失灵,照准架继续转动,转盘上的撞块就碰到机械缓冲器,将缓冲器的螺旋弹簧压缩,吸收照准架的动能而转换为弹簧的位能,直到照准架完全停止转动。

2. 俯仰驱动装置。装在支臂内部,两个直流伺服电动机经过减速齿轮箱,一根长轴和蜗杆带动固定在俯仰轴右端的蜗轮旋转。蜗轮直径600毫米,模数4,齿数150,蜗杆是单头的。齿轮箱减速比是8,蜗轮付减速比是150,总减速比为1200。

俯仰手摇传动齿轮箱装在右支臂的外壁上。手轮的旋转运动通过齿轮机构、连接轴和离合器与蜗轮付接合,带动俯仰轴转动。

俯仰运动范围为 $-5^\circ \sim 185^\circ$ ,在右支臂内有限位装置。电气限位的工作原理与方位相同。弹簧缓冲器装在右轴承座上。

#### 四、外转台

仪器方位转动的负载,除了照准架及摄影望远镜、瞄准镜以外,还有两个操纵员、座椅、俯仰驱动电气控制柜和交磁放大电机等。这些负载有的重量不固定、有的位置不固定;有的是振动源和热源。为了保证仪器照准架的工作精度不受这些负载的影响,所以另外设计了一个外转台来承受这些负载。

外转台是一个用角钢焊接的环形桁架结构。上表面铺铝板和橡胶板,上面装有两个座椅和俯仰驱动电气控制柜。俯仰驱动系统和摄影控制系统的两套交磁放大电机装在转台的下面。桁架下而有六个轮子,在环形铁轨上运行。铁轨用六个柱子架起,柱子固定在外地基板上。外地基板是浇灌在混凝土地板上的,同安装仪器本体的柱形隔震地基是隔离的。

外转台的方位转动是由照准架通过弹性平板拨动的。这样可以减少外转台的振动和变形对照准架的影响。

### § 1.3 天线座的设计要求

天线座是雷达、通讯设备的一个组成部分，所以天线座的设计要求取决于整个设备的用途、使用条件和性能要求。各种设备对天线座的结构型式、运动范围、精度指标、尺寸和重量的限制有不同的要求。下面列举的是一些具有共性的、与机械设计有关的天线座设计一般要求。

#### 1. 保证天线的转动范围

一般要求天线波束能覆盖整个空域。对俯仰——方位型天线座来说，则要求方位能 $360^\circ$ 连续转动，俯仰能在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 范围内转动。考虑到安全保护装置的工作行程，俯仰转动范围还需适当扩大（如 $-2^\circ \sim +92^\circ$ ）。有的天线座为了便于轴系的测量和校正，将俯仰转动范围扩大到 $-16^\circ \sim +189^\circ$ 。

对于卫星通讯地面站，如果只要求在确定的地点、跟踪某个同步卫星，天线只需要定向可控，在基本指向周围能够转动 $\pm 5^\circ \sim \pm 10^\circ$ ；如果要适用于不同地区，跟踪不同空域上的同步卫星或者轨道卫星，则要求天线全向可控。

#### 2. 保证天线转动的角速度和角加速度

天线的角速度和角加速度是根据雷达、通讯设备的使用要求和目标的运动参数确定的。例如搜索雷达，天线的转速一般为 $4 \sim 60$ 转/分。

随着目标飞行速度的提高和雷达作用距离的增大，要求天线转速的变化范围很宽。既要能够快速跟踪近距离的高速飞行目标；又能平稳地跟踪远距离目标。

譬如某精密跟踪雷达，要求天线的最大角速度为 $10$ 度/秒、最大角加速度为 $8$ 度/秒<sup>2</sup>，在跟踪远距离目标时，要求天线最低转速为 $0.005$ 度/秒，并保证低速转动平稳。

有的火炮射击控制雷达，为了跟踪近距离的低空、高速目标，要求天线的转速高达 $120$ 度/秒。

舰载跟踪雷达采用两轴稳定时，为了补偿舰艇的摇摆，天线的方位、俯仰角速度和角加速度也需要大幅度的增加。一般高达 $120$ 度/秒和 $100$ 度/秒<sup>2</sup>。

对于跟踪同步卫星的地面站，主要是低速性能要好，但是在天线调整测量、维修、或从一个卫星转到另一个卫星和收藏时，旋转速度又不能太低。例如某 $30$ 米地面站的方位、俯仰跟踪角速度均为 $0.015 \sim 0.02$ 度/秒，最大跟踪角加速度为 $0.015$ 度/秒<sup>2</sup>；最大旋转角速度为 $0.3$ 度/秒，最大旋转角加速度为 $0.3$ 度/秒<sup>2</sup>。

对于跟踪天体的射电望远镜，跟踪角速度也很低，约为 $0.0042$ 度/秒，但在转移观察对象或调整测量和维修时，一般要求转速为 $0.3 \sim 1$ 度/秒，速度变化范围也很大。

为了保证快速性和低速平稳性，驱动系统要有足够的动力、转动惯量要小，而且要减小齿隙和摩擦起伏。

#### 3. 保证精度要求

精度是雷达、通讯设备的一项重要性能指标。搜索雷达应能准确地测定捕获目标的空间坐标；跟踪雷达要求准确地跟踪目标、并在跟踪过程中精确地测出目标的运动参数。

对于大型天线，为了保证性能、减轻重量降低成本，通常采用分级精度指标，即在不同



的风速下规定不同的精度要求。例如某 30 米地面站的指向精度要求为：

0.015° 无风时

0.032° 稳态风 13.4 米/秒、阵风 20.1 米/秒以下

0.060° 稳态风 20.1 米/秒、阵风 26.8 米/秒以下

影响雷达、通讯设备精度的因素很多，有伺服误差、机械误差、结构误差和调整误差。其中有许多是与天线座机械设计有关的因素。

#### 4. 保证天线座的刚度

天线座的结构变形影响雷达、通讯设备的精度；另一方面天线座的刚度还影响整个系统的固有频率，影响系统的动态性能。所以，为了保证雷达、通讯设备的精度和动态性能，天线座必须具有足够的刚度。

#### 5. 在规定的极限风速下，保证天线座的强度。

设计要求除了规定保精度工作风速以外，还规定了不损坏的极限风速（即保全风速）。在超过工作风速时，可将天线转到比较安全的位置锁定，在锁定位置按极限风速校核天线座的强度。

#### 6. 尺寸、重量和惯量的限制

对于机载、舰载和车载雷达，尺寸和重量都有严格的限制。尤其是机载雷达，随着飞机速度的提高，每公斤电子设备使飞机本身增加的重量急剧的上升。所以尺寸和重量也是一项重要的技术指标。惯量影响整个系统的固有频率、影响系统的稳定性和快速性，是一项重要的结构因素，所以有的设备也作为一项设计指标。

中型和大型的天线及天线座，还要考虑公路、铁路或空运的界限尺寸、安装时的吊装能力。结构设计应保证装拆简易、运输方便。

#### 7. 使用方便、维修容易、可靠性高、寿命长

设计时必须考虑到安装、调整简便，在现场只需要较短的时间就能架设起来转入正常工作。对于需要经常清洗、润滑或修理的部件，应该便于操作。维修最好不影响系统的正常工作、能带电维修。尽量采用积木化设计，尽量采用通用部件。易出故障的应有备份部件，必要时可以迅速地更换整个部件。天线座中应有足够的安全保护装置，如电气限位开关、缓冲器、力矩限制装置、连锁装置、存放锁定装置等，保证使用安全可靠，出了故障能够迅速的排除。

#### 8. 经济性

经济性是设计的一项重要原则，产品的经济性包括两个方面，一是制造成本，二是使用维护费用。对于技术复杂程度较高的大型雷达通讯设备，后者的开支是惊人的。

通常，天线座的加工量占雷达通讯设备整机机械加工量的 50%~70%。合理设计天线座对于降低整机的制造成本意义很大。为了降低制造成本必须处理好两个方面的问题：一是结构工艺性，应使设计尽量适应目前的生产条件。合理地选择结构型式、加工精度；尽量减少高精度部件和大型部件；减少加工复杂和装配困难的部件，能用常规的技术和通用设备加工。二是尽量减少新结构、新材料、新工艺的比例，尽量采用经过考验的、成熟的现有技术达到所要求的指标。这样，可以缩短生产周期、降低制造成本、提高设备的可靠性、降低使用维修费用。