

柔性天线结构 分析、优化与精密控制

段宝岩 著



科学出版社
www.sciencep.com

柔性天线结构 分析、优化与精密控制

段宝岩 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书着重介绍柔性天线结构的数学与力学建模、结构分析、优化设计以及精密控制等内容。

全书共分三篇。第一篇主要讨论天线结构与柔性结构基础,旨在使读者能尽快了解柔性天线结构的整体概念和基本原理,共2章。第二篇主要论述大射电望远镜馈源悬索支撑结构系统的建模、仿真、控制以及实验,共10章。第三篇主要论述星载可展开天线结构的分析、设计与控制问题,共7章。

本书可作为工程结构专业的研究生教学用书,也可作为天线结构、柔性结构工程分析、设计与控制技术人员参考书。书中所给出的理论与方法对其他机械结构与工程结构领域的人员,也有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

柔性天线结构分析、优化与精密控制/段宝岩著. —北京:科学出版社, 2005

ISBN 7-03-014879-7

I. 柔… II. 段… III. 天线-研究生-教材 IV. TN823

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第003330号

责任编辑:巴建芬 贾瑞娜 胡 棠/责任校对:钟 洋

责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年4月第一版 开本:B5(720×1000)

2005年4月第一次印刷 印张:24 1/4

印数:1—1 500 字数:473 000

定价:48.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

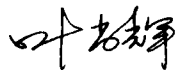
序

本书论述了天线结构的最新研究进展和技术应用,内容包含两个方面:一是架设在地面上的大型精密天线结构;二是太空卫星上的大型可展开天线结构。本书是作者多年来研究成果的总结。

世界上要求最高、尺寸最大的地面天线往往是应射电天文的要求而诞生的。20 世纪 70 年代初建立的德国 Max-Planck 射电天文研究所的 Effelsberg 口径 100 m 射电望远镜天线是目前最大的可动天线。尺寸巨大的反射面天线要实现空间中运动,在机械上存在许多难题。为此人们想到将反射面固定在地面上而使馈源在空间做扫描运动。美国阿里希博(Arecibo)射电望远镜天线就采用这个方案,口径 1000ft(305m)的反射面架设在一个山谷里,周围架设起三座高耸的铁塔,用来悬架庞大的扫描机构以实现馈源在空间中的扫描运动,但这个悬架在空中的机构竟重达 800t,十分笨重。20 世纪 90 年代国际天文学界又提出了接收面积为“1 平方公里的大射电望远镜计划”。我国天文学界对此积极响应,提出了建造口径 500m 射电望远镜的 FAST(Five-hundred-meter Aperture Spherical Telescope)计划。要实现这个计划,摆在我国科技界面前有一系列新的技术难题,其中最突出的一个创新方案就是:采用 6 根悬索牵引实现馈源舱在空间中的扫描运动,并使其定位精度达 4mm。这是一个十分具有挑战性的方案,在国际上还没有先例。本书第二篇详细论述了馈源悬索支撑系统的建模、仿真与精密控制等核心技术。具体来说,首先是馈源舱悬索牵引支撑系统数学模型的正确建立,这是实现馈源精确定位的基本前提。本书作者首次建立了这种悬索系统的数学模型,其正确性已在实践中得到验证。由于这种悬索支撑系统实质上是一并行机构,不可避免地会出现机构位形的奇异性问题,本书对此进行了数值分析。接下来要考虑这种悬索支撑系统在风荷激励下的振动及其抑制方法,以确保馈源舱的定位精度在允许范围之内。这种悬索系统要达到高精度的定位,就目前技术水平来看,不得不考虑增加一精调机构,实现 6 个自由度可调的机构中结构最简单的就是六杆机构的 Stewart 平台。本书对 Stewart 平台的运动分析与动力学分析进行了必要的论述。在控制问题上需要研究的,不仅是馈源舱悬索系统的控制与 Stewart 平台的内环控制,还有粗调与精调的两级复合控制,因此控制问题也比较复杂。对馈源舱的位置与姿态的精密测量,无论是对闭环控制还是对最终定位精度的检测来说都是十分必要的,这种对空中目标长距离的高精度测量也是一个比较困难的技术问题。以上各方面的技术问题,本书均予以充分的论述,提出了相应的解决办法。

从 20 世纪 60 年代开始,由于卫星的广泛应用,促使科研人员对星载可展开天线进行持续不断的研究,经历了 40 年,已取得了不少成就。各种各样结构的星载可展开天线层出不穷,到目前为止人们仍在不断探索新的结构形式。随着时代的发展与各方面的要求,对空间展开天线的尺寸要求越来越大,现在已有口径 150m 的展开天线在太空中运行。展开天线尺寸越大,问题也越复杂。关于星载可展开天线的资料虽然在期刊或会议录上有零星的介绍与报道,但迄今为止国内外还没有一本专著系统地论述这方面的问题,本书可以说填补了这方面的空白。本书第三篇系统地论述了可展开天线结构,除了介绍各种结构形式、展开类型、材料等以外,还专门论述了结构分析、动力优化、网面精度调整以及展开过程控制等核心技术问题,对展开天线感兴趣的读者可以参考此部分内容。

预祝本书的出版对我国天线结构的发展起到有益的推动作用。



2004 年 9 月 25 日

前 言

柔性结构以其众多优点越来越受到人们的重视并得到了广泛的应用。柔性索结构则是柔性结构中备受关注的结构,已成为近年来的研究热点之一。

柔索结构早已得到了广泛的应用,如大跨度桥梁、大跨度穹顶、起重设备等。但是,上述应用有两个特点:一是不可动;二是,即使可动,定位精度要求也很低。随着科学技术的迅速发展,对将柔索结构用于高精度动态定位提出了越来越高的要求。在大型天线结构中的应用就是一个很好的例证。

针对新一代大射电望远镜的技术指标要求与当前世界上最大反射面天线——美国 Arecibo 305m 口径天线的不足,经过反复分析论证,作者在 1995 年提出了集机械、电子、控制及光学测量技术于一体的机电光一体化的设计方案,引起了国内外同行的广泛关注与浓厚兴趣。该方案将柔性索结构应用于空间高精度(毫米级)动态定位。通过调整由计算机控制的 6 根大跨度悬索,使馈源舱达到分米级的定位精度,再通过舱内的稳定平台使馈源达到毫米级的定位精度。为此,需开展一系列研究工作,例如,索结构用于高精度动态定位时的力学特性;6 根索牵引馈源舱作高精度扫描运动的控制模型的建立;大跨度索结构随机风荷动力响应分析及被动控制技术;具有明显滞后特性的索结构主动控制;舱索粗调与舱内精调稳定平台的动力学耦合与复合控制;高精度动态测量技术等。除进行上述理论研究外,西安电子科技大学还实地建造了 LT50m 室外实验模型,通过大量实验,验证了创新方案的可行性。本书第二篇对此进行了详细的论述。

星载天线是 20 世纪 60 年代发展起来的一种新型天线结构形式。因其工作在太空无重力环境中,而且需由火箭送上太空,这就要求将天线结构做成可收拢与展开的,即发射时折叠起来,进入太空轨道后可自动展开成所预定的形状并投入工作。为减轻发射费用,天线应尽可能地轻。为达此目的,就要在天线结构的材料与结构形式上做文章。一般将其做得尽可能柔,即柔性结构,而柔性结构之最当属柔索结构。

对星载可展开天线而言,需进行一系列新课题的研究工作,例如,柔性结构的非线性力学分析,尤其是预应力索网结构的非线性分析;多柔体结构展开动力学分析;旨在既能降低质量又可提高其反射面表面精度与天线结构本身刚度的动力优化设计;具有展开态与收拢态的两态结构优化设计;考虑到地面与太空工作环境不同而依靠地面调整就能满足太空要求的反射面网面精度调整策略与方法;星载天线的展开过程控制与在轨形面保持策略与方法等。本书第三篇主要介绍这方面的

研究工作与部分成果。

此外,本书第一篇对天线与天线结构的基础知识、柔性结构的特点等也作了简要的回顾与总结。

希望本书的出版能够为我国天线结构,尤其是柔性天线结构与卫星可展开天线的分析、设计、精密控制以及测量技术的研究与工程实际带来一些益处。

以上工作是本书作者及其研究小组过去近 10 年研究工作的体会与总结。我想借此机会,对研究小组的同志们的勤奋工作与贡献表示诚挚的谢意! 特别感谢仇原鹰教授、苏玉鑫教授以及魏强、董志强、罗鹰、保宏等博士的合作和他们有意义的研究工作。感谢西安电子科技大学机电科学与技术研究所的老师与研究生们在研究工作中所给予的积极配合与大力支持。

由于时间仓促,加之作者水平有限,书中难免存在这样或那样的缺点与错误,敬请广大读者批评指正。

段宝岩

2004 年 8 月

目 录

序 前言

第一篇 天线结构与柔性结构基础

第 1 章 天线结构基础概述	2
1.1 背景知识	2
1.2 天线结构形式	4
1.3 地面天线结构形式	5
1.4 其他地面天线结构形式	7
1.5 星载可展开天线结构形式	10
1.6 二次曲面与天线反射面	11
参考文献	12
第 2 章 柔性结构在天线结构及其他领域中的应用	14
2.1 柔性结构的概念与特点	14
2.2 柔性索结构在天线结构中的应用	14
2.3 柔性索结构在建筑结构中的应用	17
2.4 柔性索结构在柔性并联机器人中的应用	18
参考文献	20

第二篇 馈源悬索支撑结构系统建模、仿真与精密控制

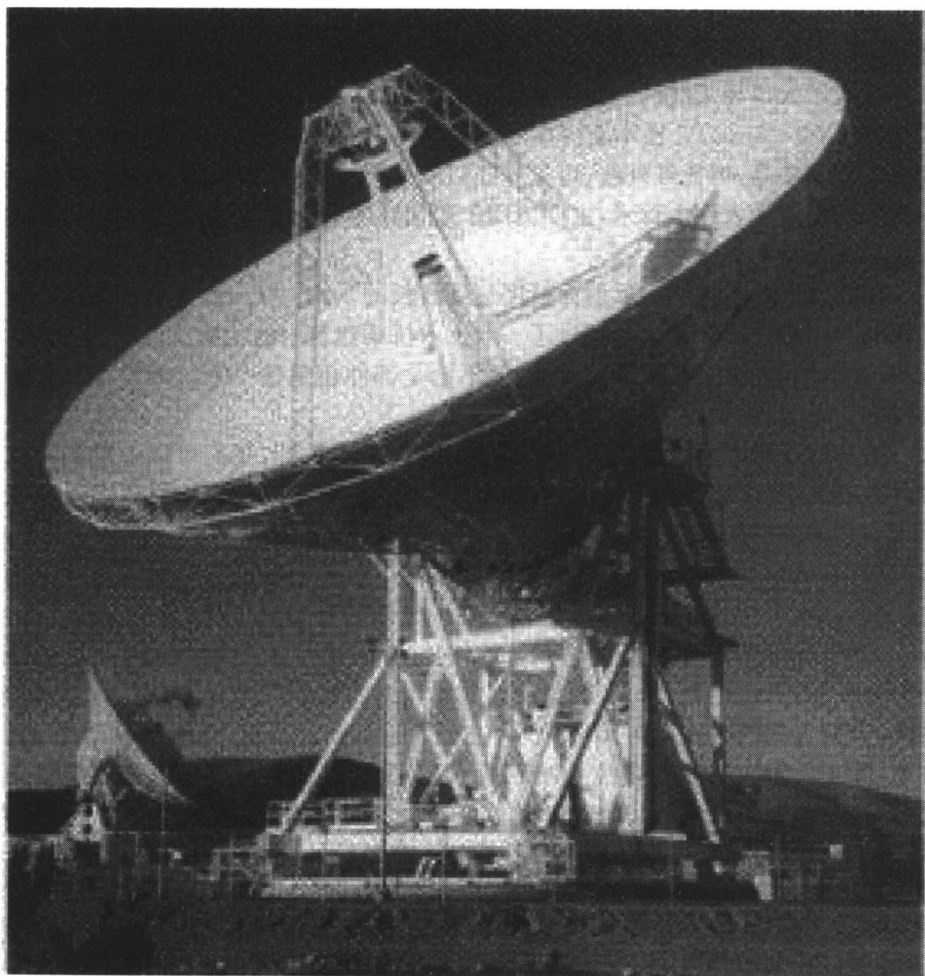
第 3 章 柔索结构的力学模型与分析	22
3.1 概述	22
3.2 柔索的悬链线模型	22
3.3 一种基于悬链线准确表达式的索结构模型	24
参考文献	30
第 4 章 柔索结构及其在大射电望远镜中的应用	31
4.1 概述	31
4.2 新一代大射电望远镜的基本概念	32

4.3	美国 Arecibo 球反射面射电望远镜	33
4.4	柔索式球反射面天线机电光一体化创新设计	34
	参考文献	37
第 5 章	舱索支撑结构系统的力学分析与风激振动	39
5.1	概述	39
5.2	舱索结构实验模型的力学分析	39
5.3	舱索结构的奇异性分析与消除措施	45
5.4	馈源舱中心的轨迹规划	55
5.5	舱索结构的非线性随机风荷动力响应分析	63
5.6	LT50m 模型的相似性分析	77
5.7	舱索结构的低速涡激分析	84
5.8	舱索结构的弛振分析	95
	参考文献	107
第 6 章	LT50m 舱索结构开环运动控制模型的实验修正	109
6.1	概述	109
6.2	舱索结构力学模型的修正	109
6.3	LT50m 模型舱索结构的开环实验与结果分析	112
	参考文献	128
第 7 章	舱索结构被动控制的多调协质量阻尼技术及其应用	129
7.1	概述	129
7.2	阻尼器的分类与选用	129
7.3	多调协质量阻尼器(MTMD)的分析与设计	130
7.4	LT50m 模型实验结果与分析	141
	参考文献	148
第 8 章	馈源舱动态定位精度的非接触式测量	149
8.1	概述	149
8.2	激光测距技术及其应用	149
8.3	CCD 测量技术及其应用	151
8.4	消除测量误差的小波滤波方法及其应用	155
	参考文献	162
第 9 章	柔性时变舱索结构的主动控制	164
9.1	概述	164
9.2	柔性结构控制的自适应反馈控制算法	164
9.3	柔性结构控制的学习型自校正控制策略与方法	165
9.4	舱索结构控制的程序设计	169

9.5 理论索长解和由测量结果到索长的反求问题	170
9.6 LT50m 模型舱索结构的实验结果与分析	172
9.7 舱索结构控制的硬件设计与工程实现	182
参考文献	192
第 10 章 精调 Stewart 平台运动学与动力学分析	193
10.1 概述	193
10.2 并联机器人 Jacobian 矩阵与运动学性能优化目标函数的确定	193
10.3 变位执行器组成构件的逆运动学分析	196
10.4 基于虚功原理的精调 Stewart 平台动力学分析	198
10.5 精调 Stewart 平台动力学分析结果与讨论	201
参考文献	202
第 11 章 精调 Stewart 平台系统的内环控制与实验研究	205
11.1 概述	205
11.2 Stewart 平台的控制策略	205
11.3 自抗扰控制器设计	207
11.4 数值仿真结果与分析	213
11.5 精调 Stewart 平台控制软件设计	220
11.6 精调 Stewart 平台实验结果	221
参考文献	236
第 12 章 粗调与精调复合控制	239
12.1 概述	239
12.2 复合控制系统的策略、方法与实现	242
12.3 轨迹规划策略与跟踪控制模型	244
12.4 复合控制系统的软件实现与人机界面	245
12.5 LT50m 实验模型轨迹跟踪控制实验结果与分析	248
参考文献	260
 第三篇 大型星载柔性可展开天线结构分析、优化与控制	
第 13 章 星载可展开天线结构的现状与发展	264
13.1 概述	264
13.2 星载可展开天线的结构形式	264
13.3 星载可展开天线的展开类型	271
13.4 星载天线材料的选择	272
13.5 星载天线的发展趋势	273
参考文献	274

第 14 章 大型星载可展开天线结构非线性分析	277
14.1 概述	277
14.2 柔索结构非线性分析	278
14.3 可展开天线结构的动力分析	285
14.4 实例分析	286
参考文献	292
第 15 章 大型星载网状可展开天线结构动力优化设计	295
15.1 概述	295
15.2 优化模型的建立	295
15.3 优化问题的求解	306
15.4 数值优化结果与分析	310
参考文献	313
第 16 章 大型星载网状可展开天线结构两态动力优化设计	317
16.1 概述	317
16.2 天线收拢状态结构分析	320
16.3 可展开天线结构两态动力优化建模	326
16.4 数值优化结果与分析	328
参考文献	330
第 17 章 大型星载网状可展开天线网面精度调整技术	332
17.1 概述	332
17.2 误差来源与分析	333
17.3 天线反射面网面精度调整过程	334
17.4 网面精度调整方法及其应用	339
参考文献	344
第 18 章 大型星载网状可展开天线展开过程控制	346
18.1 概述	346
18.2 基于位置控制的展开过程控制策略	347
18.3 基于力控制的展开过程控制策略	349
18.4 结构设计与控制的综合优化	353
参考文献	361
第 19 章 大型星载可展开天线综合设计平台	363
19.1 概述	363
19.2 总体设计方案	364
参考文献	375

第一篇 天线结构与柔性结构基础



第 1 章 天线结构基础概述

我们周围的世界在很大程度上都受到了波的影响。波的主要特征为其频率和波长,它们同波在不同介质中的传播速度有关,比如,电磁波在真空中的传播速度为 $1.182 \times 10^{10} \text{ in/s}$ ($3 \times 10^{11} \text{ mm/s}$),因而对于频率为 1 GHz 的电磁波,其波长为传播速度除以频率,即波长为 $1.182 \times 10^{10} / 1 \times 10^9 = 11.8 \text{ in}^{①}$ (300 mm)。

相应于大口径天线的波段多处于微波波段,即 $2 \sim 100 \text{ GHz}$,其波长大约为 $6 \sim 0.125 \text{ in}$ ($150 \sim 3 \text{ mm}$)。在不断提高的电磁频段中的微波频率比一般的无线电频率与电视频率要高,但比红外线、可见光线以及 γ 射线的频率要低。这里要讨论的天线口径小至几米大到上百米,主要应用于通信和射电天文,包括地面与空间的通信直至对外层空间的探求。

微波天线要求天线的反射面精度达到波长的 $1/12 \sim 1/50$,这意味着微波天线的精度与结构尺寸之比远远超过了一般土木桥梁建筑中的相应比例。尽管对这种天线的设计和分析具有极大的挑战,但不论是部件还是整个系统的设计和分析都已经有了相应的、精确的技术支持。

本章旨在对天线系统作一简要回顾。有关天线系统,我们可以追溯到第二次世界大战前,早在那时用于微波能量发射和接收的天线就已经出现,并且一直发展成为当代的高性能天线。该发展首先从时角赤纬轴极化固定式天线结构(HA-dec 或 polar-mount hour-angle and declination configurations)发展为比较现代化的方位俯仰式(az-el)天线。在此基础上,出现了较新的光速波导(beam-waveguide)天线,其光学系统是 az-el 天线光学系统的修正版,而馈源偏置天线则是 az-el 天线的另外一种形式,它避免了副反射面及其支撑系统的遮挡问题,但其结构过于复杂。因此,非偏置式的对称结构天线占据了主流。双反射面系统,不论是偏置式还是对称式,除主反射面之外都采用了副反射面以及通过副反射面发射和接收能量用的馈源,这一系统的优点是其物理焦距能够通过一个相应的放大系数进行有效放大。卡塞格伦系统与格里高里系统为双反射面天线系统的两种不同的布置形式,它们都成功地利用了二次曲线(面)的性质。

1.1 背景知识

早在 1888 年,赫兹(Heinrich Hertz)就发现了无线电波。6 年以后,伴随着奥

① $1 \text{ in} = 2.54 \text{ cm}$,后同。

利弗·洛奇(Oliver Lodge)对太阳辐射存在性的探索揭开了射电天文学的序幕。1932年,卡尔·詹斯基(Karl Jansky)首先发现了来自宇宙源的无线电波。詹斯基所使用的天线是布置在一个大约长30m的可以旋转的木制平台上的天线阵列。受詹斯基工作的启发,格罗特·瑞波尔(Grote Reber)于1937年建造了一个可旋转的口径达30ft^①的单轴旋转抛物面天线,它主要由厚2in、宽4in的木材制成,其反射面为镀锌的铁质金属片。图1-1-1为放置在西弗吉尼亚州格林河畔(Green Bank, West Virginia)的国家射电天文台入口处的瑞波尔模型的仿制品。

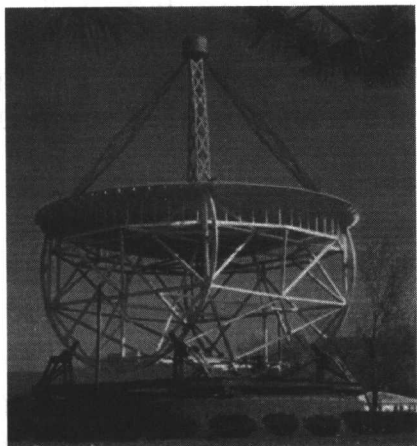


图 1-1-1 Reber 天线

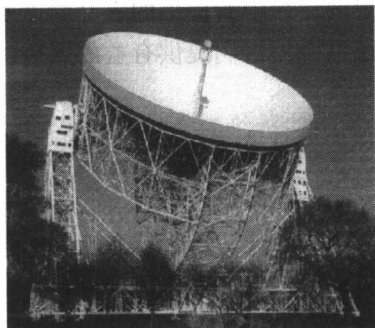


图 1-1-2 Jodrell Bank 天线

瑞波尔进一步证实了詹斯基对无线电波的发现并给出了无线电发射强度的天图。如同伯纳德·洛弗尔(Sir Bernard Lovell)所说,“虽然瑞波尔是一位业余爱好者,但他所做出的成就还是颇为卓越的。”在英格兰的焦德雷尔班克(Jodrell Bank),洛弗尔本人曾负责建造了口径达250ft的可操纵式az-el天线。该天线(图1-1-2)由曼彻斯特(Manchester)大学资助,于1957年建成。因此,该天线结构又被称为曼彻斯特装置(Manchester mount)。尽管该结构形式此后很少被采用,但在当时它似乎是一种能够提供方位与俯仰转动的可行方案。1957年Jodrell Bank天线因跟踪进入地球轨道的前苏联人造地球卫星Sputnik号,在历史上留下了不可磨灭的一笔,直到1973年德国人在Effelsberg建成了口径达100m的天线之前,它一直是当时世界上最大的全可动天线。

目前世界上最大的天线为口径达1000ft的球反射面天线,位于美国波多黎各的阿里希博(Arecibo, Puerto Rico)镇。该天线建于20世纪70年代初,其特点是

^① 1ft=3.048×10⁻¹m,后同。

反射面固定,可动馈源由悬索牵引,并提供微波波束控制。像这样大的或者比这些已经在使用着的天线还要大的天线今后可能还会建造,比如拟建的 500m 口径天线。

对抛物面天线的理解、相关技术研究以及人们对它的兴趣发展相当迅速。在 Jodrell Bank 天线完成后的 10 年内,在澳大利亚的派克斯(Parks),加利福尼亚的金石(Goldstone)等地都先后建成了 64m 口径的大型天线。其他的还有西弗吉尼亚州格林河畔(Green Bank, West Virginia)的口径为 300ft(100m)的天线,弗吉尼亚州沃洛普斯岛(Wallops Island, Virginia)的口径为 150ft 的天线,以及全世界范围内的几个口径达 85~90ft 的天线。另外,一个未完成的口径为 600ft 的全可动天线也曾经进行了方案及局部设计。这些超大型天线虽然不能够完全满足近年来在超短波使命中所提出的表面精度要求,但它们中的一部分已经服役了 30 多年,现在还继续为人们提供有益的服务。

1.2 天线结构形式

图 1-2-1 为一个 34m 口径的方位俯仰式的,带有滑轮轨道装置的卡塞格伦天

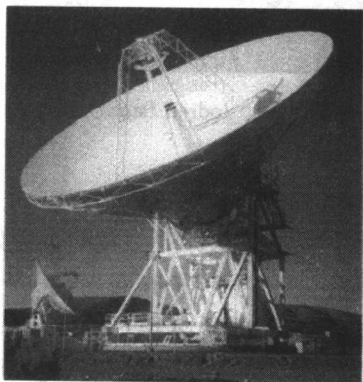


图 1-2-1 34m 口径天线

线结构。它是目前正在使用着的许多天线中的一个典型例子。其中,“滑轮轨道装置”指的是方位控制装置,它处于整个装置的基座处,由钢制平面轨道以及只能在该轨道上滚动的滑轮组构成。“方位俯仰式”表明同时存在彼此正交的两个转轴:方位转轴和俯仰转轴。天文学家所谓的纬度方位装置(alt-az mount)中隐含的用海拔高度代替了俯仰量。卡塞格伦系统指的是天线的副反射面位于主反射面与焦点之间的微波光学系统,与之相反,格里高里系统则指的是副反射面位于主反射面焦点外侧的微波光学系统。这一特点除了给格里

高里天线带来一些光学上的限制条件外,还带来了另外一个缺点,即必须提供一个更长的结构体来支撑副反射面。因此,迄今为止卡塞格伦天线仍较为通用。

卡塞格伦(或格里高里)天线系统的馈源位于反射面上方,而且通常情况下由馈源结构支撑定位。由于这两种天线都采用了除反射面之外的副反射面,因此都属于双反射面系统。另外一种光学系统不需要副反射面,其馈源位于焦点处(焦点馈源)。前两种情况下的副反射面以及第三种情况下的馈源都是由一定的杆结构装置支撑,这种装置通常由三腿或四腿支撑,且四腿装置是最普遍的。

1.3 地面天线结构形式

图 1-3-1 为 34m 口径方位俯仰式天线结构的侧视图。它是一个双反射面系统,包含一个与主反射面(抛物面)相连的卡塞格伦副反射面,该结构关于图面所在的截面对称。

1.3.1 转动装置

如图 1-3-1 所示,天线转动装置由反射面板、背架结构、副反射面、馈源、副反射面的四腿支撑结构以及俯仰齿轮构成,其中俯仰齿轮可以绕天线的俯仰轴旋转。

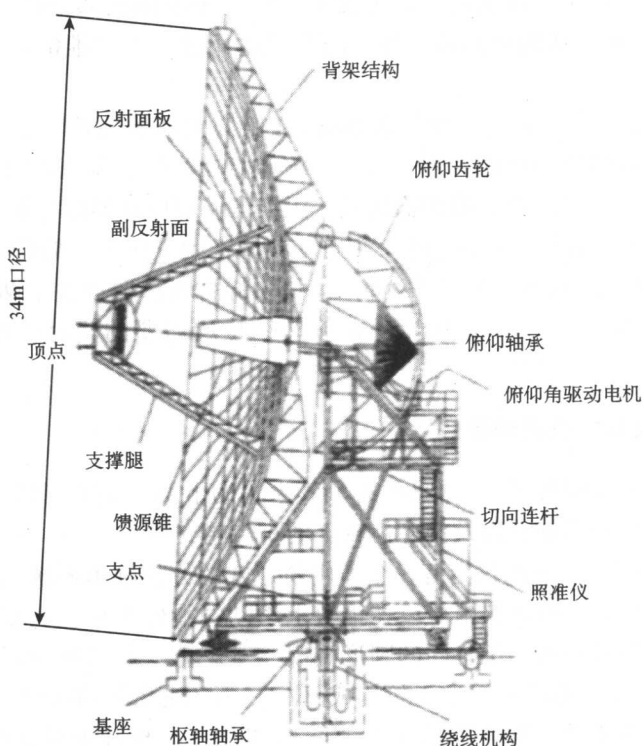


图 1-3-1 34m 方位俯仰天线结构

反射面板: 图 1-3-1 中所示天线的微波反射面是由 500 块高精度面板构成的,它们都属于无源构件。这些面板由独立的可调支架定位。因此,装配过程中可做到高精度定位。

背架结构:背架结构是一个三维桁架或刚架结构,它为面板支撑结构提供基础,为作用在系统上的外部环境荷载及自重荷载提供支撑,是一个关键性部件。另外,馈源以及副反射面的四腿支撑结构的底座也靠背架结构支撑。

副反射面:副反射面通过一个定位装置固定于四腿支撑结构的顶端。该装置可以调整副反射面的位置以弥补背架结构及其支撑结构在荷载作用下引起的偏差。

馈源:当发射微波时,它将能量直接传递给副反射面。当接收微波时,它又将副反射面上传递来的能量收集起来。该微波系统的另外两个主要能量通道为副反射面与主反射面之间的通道以及从主反射面到空间的通道。微波能量通道在发射和接收两种模式下实质上是相同的,只是方向恰好相反。

四腿支撑结构:图 1-3-1 中的四腿支撑结构直接与天线的背架结构在反射面上连接在一起。每个支撑腿都呈梯形截面,其中,平面桁架部分(图 1-3-1)构成较宽的边,而实体板构成较窄的边。所有的支撑腿通过一个三维桁架结构于顶点处连接在一起。

俯仰齿轮:俯仰齿轮与背架结构连接,在俯仰驱动器与控制系统的支配下可确定俯仰角。俯仰齿轮边缘处带有齿并与俯仰驱动器的小齿轮相啮合。该小齿轮位于由俯仰马达驱动的齿轮箱的输出端。天线的俯仰驱动器由与俯仰轮相切的一个连杆支撑,该连杆的另一端通过一个支点支撑于照准仪上。俯仰轮内侧靠近边缘的地方有混凝土、钢或铅制的平衡物,其具体的材料选取取决于两个方面:其一为可利用的空间大小,其二为用以平衡旋转结构所需要的相对于俯仰轴力矩的大小。

1.3.2 照准仪与方位驱动器

照准仪位于俯仰轴承、俯仰驱动器及其齿轮的下面。整个可转动结构均由位于俯仰轴两端的俯仰轴承以及俯仰齿轮上的小齿轮支撑。

如图 1-3-1 所示,照准仪上有一个滑轮轨道式的方位轴承系统,它提供了绕垂直方向转轴的转动。照准仪由可以在钢轨上滚动的滑轮机组在其拐角处支撑,而这些钢轨则高精度地固定于坚固的圆形混凝土基座上。方位驱动器由一组(或几组)马达、刹车、减速器以及输出齿轮构成,位于一个(或几个)滑轮车上。由于一般情况下滑轮轨道装置不能承受侧向力,通常都采用中心枢轴来保证照准仪基底的侧向稳定性。图 1-3-1 所示的天线枢轴位于混凝土基座中心的一个凹槽上方。该凹槽中有一个电缆缠绕装置,当方位转动时,它将自动协调相关的电缆、微波光缆以及导管的运动。

另外一种经常采用的方位驱动系统是应用一个位于基座上的大直径方位轴承,其基座通常由钢筋混凝土制成,而且具有一定的高度以确保在低俯仰角情况下