

玻璃钢地面雷达天线罩

哈 玻 编著

哈尔滨工程大学出版社

[玻璃钢地面雷达天线罩]

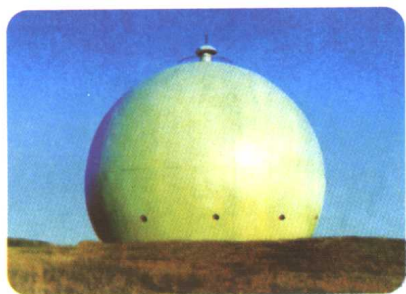


图 1-2 ★ 15m 介质板雷达天线罩



图 1-3 ★ 17m 和 20m 介质板雷达天线罩

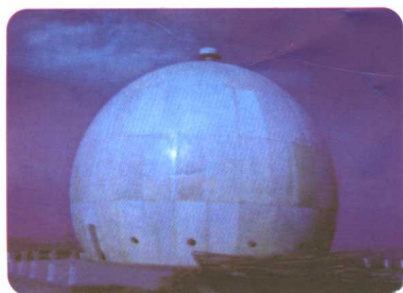


图 1-4 ★ 23m 介质板雷达天线罩

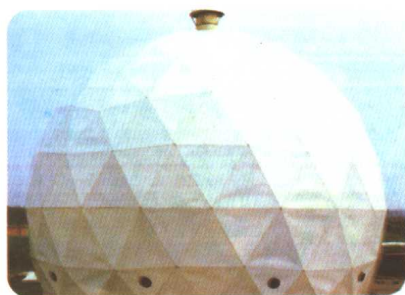


图 1-5 ★ 17m 金属骨架雷达天线罩

[玻璃钢地面雷达天线罩]



图 1-6 ★ 23m 金属骨架雷达天线罩

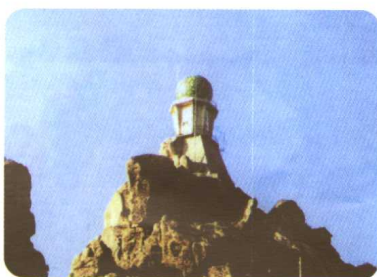


图 1-7 ★ 6m 高性能整体成型泡沫夹层天线罩



图 1-8 ★ 7m 随机分割高性能 C 夹层雷达天线罩

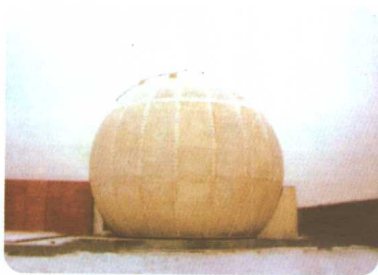


图 1-9 ★ 10m 泡沫夹层天线罩

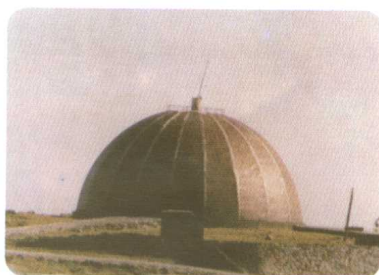


图 1-10 ★ 18.6m 蜂窝夹层天线罩

[玻璃钢地面雷达天线罩]



图 1-11 ★ 28m 准随机分割
高性能泡沫夹层天线罩



图 1-12 ★ 25m 随机分割高性能
泡沫夹层天线罩



图 1-13 ★ 高性能航管雷达天线罩



图 1-14 ★薄壁异形天线罩



图 1-15 ★泡沫夹层异形天线罩



图 1-16 ★6m 异形天线罩

主编的话

哈尔滨玻璃钢研究所自 20 世纪 70 年代开始研究、试制玻璃钢地面雷达天线罩,并于 1979 年组建地面雷达罩加工工厂。培养造就了一批从事玻璃钢地面雷达天线罩的开发、设计、测试的技术人员和管理人员,锻炼了一支生产、安装、维修队伍,积累了丰富的经验。他们设计生产的雷达罩有风格,有特点。20 多年来,共生产了一百多部地面雷达天线罩,分别架设在北起满洲里,南到海南三亚;东自嵎泗列岛,西至西藏的甘巴拉山和日喀则的广阔大地上。在使用中以其高质量、优良性能和可靠性而闻名全国。主编参与并目睹了迄今的全过程,并认为应从理论与实践的结合上予以总结,为此我们编著《玻璃钢地面雷达天线罩》一书,以积累已取得的成果、经验,供后人参考、修正和发展。

本书在编写过程中得到了哈尔滨玻璃钢研究所雷达天线罩工厂王雅丽厂长的支持,她对工厂地面雷达天线罩的生产和发展做出了重要贡献。

在本书的编著过程中,主编常常怀念对玻璃钢地面雷达天线罩做出重要贡献的刘凤鸣先生和冷兴武先生,他们给我们创建了一个很好的开端和基础。

本书编著者的分工如下:

第一章 孙宝华 王雅丽 陈宝金;第二章 孙宝华 孟松;
第三章 王秉权;第四章 佟丽莉 陈辉;第五章 佟丽莉 王秉

权 陈辉;第六章 佟丽莉;第七章 佟丽莉 张岩;第八章 王秉权;第九章 唐亮 董珲;第十章 王贵军 林敏 陈宝金;第十一章 王伟 陈宝金。

主编 王秉权

2002 年 10 月

目 录

第一章 地面雷达天线罩	1
1.1 概述	1
1.2 地面雷达天线罩的发展现状	3
1.3 地面雷达天线罩的设计步骤及其对雷达 性能的影响	11
第二章 地面雷达天线罩的电气设计	15
2.1 结构因素对电性能的影响	15
2.2 主要的电气设计参数及要求	20
2.3 功率传输系数和插入相位移的计算方法	24
第三章 地面雷达天线罩的载荷	38
3.1 风载荷	38
3.2 雪载荷	42
3.3 自重及其他载荷	42
第四章 地面雷达天线罩的强度校核	44
4.1 罩体应力的经典解析解	44
4.2 正交异性球罩的求解	76
4.3 空间构架式地面雷达天线罩内力的求解	81
4.4 用有限元方法进行强度校核	88
第五章 地面雷达天线罩的稳定校核	94
5.1 均匀球壳的临界载荷	94
5.2 用有限元方法进行稳定校核	99
5.3 夹层结构球罩的屈曲	101
5.4 地面雷达天线罩的破坏实例	103
第六章 地面雷达天线罩的板块划分	108

6.1	空间多面体	109
6.2	三角形板块划分	116
6.3	随机板块划分	119
6.4	经纬分割	126
第七章	地面雷达天线罩板块之间的机械连接	127
7.1	概述	127
7.2	接头破坏模式	129
7.3	接头破坏计算	133
7.4	设计许用应力和安全系数	134
7.5	四种天线罩单元件接头连接形式拉伸试验	136
第八章	地面雷达天线罩材料力学性能及电气性能	
	设计参数的确定	141
8.1	原材料的性能参数	141
8.2	增强复合材料的性能参数	142
8.3	夹层材料的性能参数	147
8.4	夹层板块基本性能的确认	157
第九章	地面雷达天线罩电气性能测试	160
9.1	板块的电气性能测试	160
9.2	整罩的电气性能测试	166
第十章	地面雷达天线罩成型工艺及质量控制	174
10.1	介质板型玻璃钢天线罩手糊成型技术	174
10.2	夹层结构玻璃钢天线罩袋压成型	180
10.3	玻璃钢天线罩制造过程中的质量控制	186
第十一章	地面雷达天线罩的安装	195
11.1	地面雷达天线罩的基础	195
11.2	地面雷达天线罩的安装	196
11.3	地面雷达天线罩的维修	203
参考文献		205

第一章 地面雷达天线罩

1.1 概 述

“千里眼”使人能看到几公里,几十公里甚至几百公里之外所关心目标在空中、海面的位置和运动行为。这些目标是空中的飞行器如飞机、飞船、导弹,海面上的船只,也可以是气象如风和云雨等。人们期盼的当今的千里眼实际上是指雷达(Radar),更确切地说是指雷达系统。我们在日常生活中看电视,听短波收音机,都需要有天线。电视的接受天线是各式各样的。雷达系统中也有天线,如图 1-1 所示,雷达天线是雷达系统中的重要组成部分。近几年雷达性能有了很大提高,对天线的性能要求也随之提高。尤其军用雷达的抗干扰性,要求天线具有低副瓣和极低副瓣性能。

一般把最大副瓣电平达到 $-30 \sim -35\text{dB}$, 宽角副瓣均方根电平达到 $-45 \sim -50\text{dB}$ 的天线定义为低副瓣天线,把最大副瓣电平低于 -35dB 、均方根副瓣电平低于 -50dB 的天线定义为超低副瓣天线。这样的天线价格很贵,有的高达数千万人民币。

价值昂贵而又极重要的天线,一般都架设在地、山顶或海岸上,常受风、雨及飞沙走石的袭击,为了保护雷达天线工作不受环境干扰,确保天线能在恶劣环境条件下正常工作,工程师们设计出了集电磁波透明性与结构为一身的功能性复合材料结构,罩在雷达天线上,称为雷达天线罩(Radome),本书仅论述地面雷达天线罩。

天线罩是雷达系统的重要组成部分,被称为雷达系统的“电磁窗口”。雷达天线罩对改善雷达特别是雷达天线馈线伺服系统的

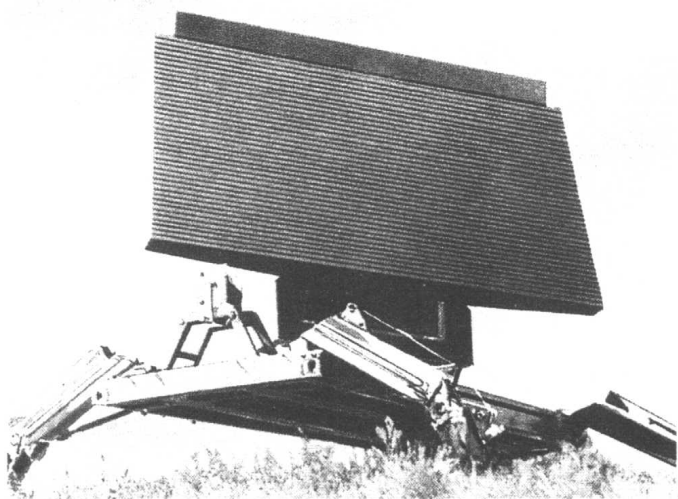


图 1-1 地面雷达天线

使用环境,延长雷达系统的使用寿命,提高其工作可靠性,降低寿命周期费用有积极的作用。在一些高寒地区、戈壁沙漠、海岛、特殊气候地理条件下,雷达天线罩更是不可缺少的。一些测量精度要求很高的雷达,如大型多目标相控阵测量雷达、毫米波相控阵测量雷达、精密跟踪测量雷达,为了确保天线座、天线不受风力、阳光照射引起温差的变形而带来的精度下降,都要求配备雷达天线罩。这种情况下,对雷达天线罩提出了电波折射率均匀性好的要求。雷达性能的提高相应会带来对雷达天线罩要求的提高。例如,雷达天线波束的低/超低副瓣性能对天线罩提出的突出要求就是不能因为加装了天线罩而使副瓣电平抬高过大。这给天线罩的设计、材料选择和加工工艺以及测试方法带来了有挑战性的课题。

地面雷达工作时,天线以天线座的轴为中心轴进行自转,进行 360° 扫描,除此之外,天线还要在一定的范围内进行俯仰运动,因此地面雷达天线罩大多为截球罩,结构和性能对称;也有的使用圆

柱壳罩。

40 年来,地面雷达天线罩大多是由复合材料制成。有的罩子是由金属框架与复合材料蒙皮组成的复合结构;有的罩壁是由夹层复合材料做成,其蒙皮是玻璃纤维增强不饱和聚酯,夹芯可以是玻璃蜂窝,纸蜂窝或蜂窝,也可是泡沫材料。玻璃钢的透波性能好,不同种类的纤维、树脂的介电性能各有差异,由它们复合而成的玻璃钢透波性能也有变化。

考虑到运输及成型工艺的方便,地面雷达天线罩特别是大型罩将被分割成若干板块,使用前将这些板块连接,架设成整体罩。

1.2 地面雷达天线罩的发展现状

天线罩是随着微波天线的发展而发展起来的。在第二次世界大战前后,由于形势的需要,雷达天线的发展突飞猛进,雷达工作的波长日益变短,精度要求越来越高,于是保护天线用的雷达天线罩应运而生。最先出现的天线罩为飞机上用的流线型罩,而第一部地面天线罩则是由美国康耐尔(Connell)航空实验室于 1946 年提出方案并进行研制的。这部 16.8m 直径的充气式天线罩 1948 年安装在 Buffalo(美国纽约西部的商港)。到 1955 年已有数百个这样的雷达天线罩在美国陆军服务。为了克服充气式天线罩结构上的不足,使之适应更恶劣的环境,1954 年美国林肯实验室研制出 9.5m 直径的 3/4 截球体增强塑料刚性天线罩,并于 1955 年完成了金属空间骨架天线罩的电信试验,使刚性天线罩的发展向前跨了一大步。当时最大的天线罩“赫斯台克(Haystack)”就采用了金属空间骨架的结构形式,直径达到了 47.75m。70~80 年代,金属空间骨架罩成为主流天线罩,“ESSCO”品牌的此类天线罩热销全球,我国也从爱尔兰引进了 10 多部。近十几年来,由于新材料的不断涌现,工艺水平的提高,同时,高性能雷达对天线罩不断提

出新的要求,使天线罩的研制开始向高性能方向努力。以 ESSCO 公司为代表的一些天线罩生产厂家,已经完成了高性能天线罩的研制工作。同时,在先进的伺服系统支持下,采用 RAYDEL(注册商标)蒙皮材料的充气式天线罩。大大地提高了天线罩的电气性能,成为大型高性能雷达选择之一。

我国天线罩的发展起步于 50 年代,当时在前苏联专家的帮助下,开始制造飞机用的机头罩。60 年代,我国开始地面雷达天线罩的研制工作,最早采用的是充气式罩的形式,后因结构和密封不好等原因而弃用。由于国防建设的需要,我国将地面雷达天线罩的研制列为“六五”攻关项目,哈尔滨、北京、上海等三家玻璃钢研究所分头进行不同型号天线罩的研制工作。1965 年到 1972 年,南京十四所、上海玻璃钢研究所和上海耀华玻璃厂合作,研制出我国目前最大的天线罩,它直径 44m,蜂窝夹层结构,是我国早期的较为成功的地面雷达天线罩之一。从 1975 年起,哈尔滨玻璃钢研究所介质空间骨架薄壁罩和金属空间骨架罩为方向,上海玻璃钢研究所蜂窝夹层天线罩为方向,生产了从 3m 直径到 28m 直径天线罩 200 多部。随着研制的深入,逐渐形成了哈尔滨玻璃钢研究所和上海玻璃钢研究所两大地面雷达天线罩研制基地。进入 90 年代后期,由于我国高性能雷达的相继问世,对高性能天线罩的需求甚为迫切,尤其是对天线的低副瓣性能影响较小的天线罩。在这期间,哈尔滨玻璃钢研究所在高性能罩的研制方面取得了很大的进展,相继推出 C 波段高性能天线罩、P/L 波段高性能天线罩和 S 波段高性能天线罩。

图 1-2~图 1-4 是三种不同直径的玻璃钢薄壁介质板地面雷达天线罩;图 1-5 和图 1-6 是钢骨架玻璃钢蒙皮地面雷达天线罩;图 1-7~图 1-12 为玻璃钢蒙皮夹层地面雷达天线罩,其中图 1-7、图 1-8、图 1-11 和图 1-12 是高性能低副瓣玻璃钢泡沫夹层罩;图 1-13 是高性能航管雷达用玻璃钢罩;图 1-14~图 1-16 为异形天线罩。

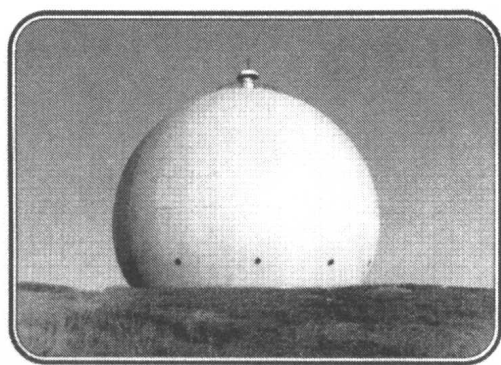


图 1-2 15m 直径介质板雷达天线罩

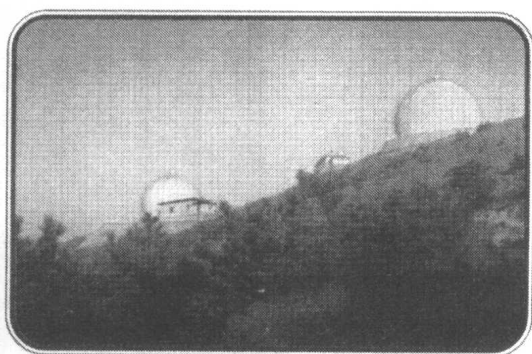


图 1-3 17m 和 20m 直径介质板雷达天线罩

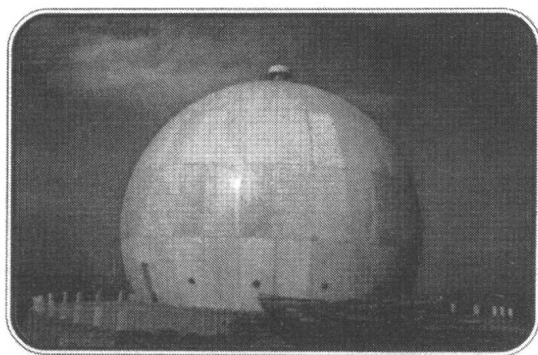


图 1-4 23m 直径介质板雷达天线罩

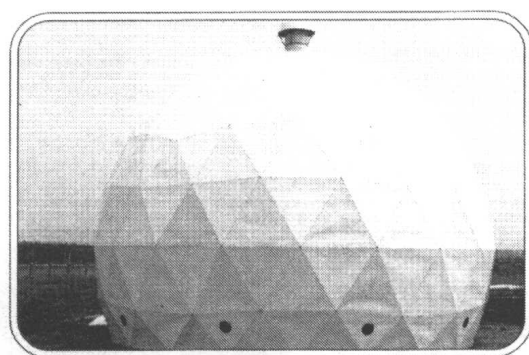


图 1-5 17m 直径金属骨架雷达天线罩

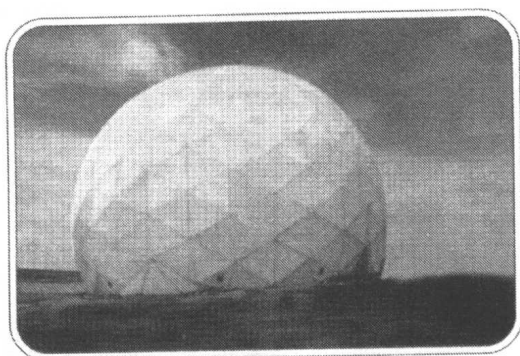


图 1-6 23m 直径金属骨架雷达天线罩

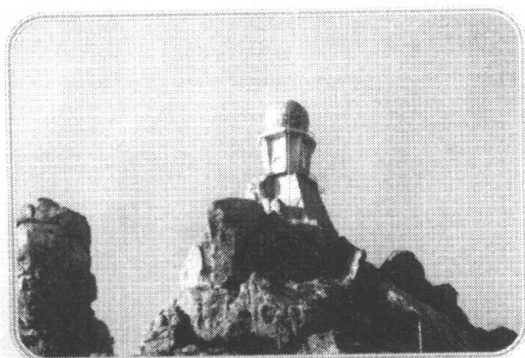


图 1-7 6m 直径高性能整体泡沫夹层天线罩

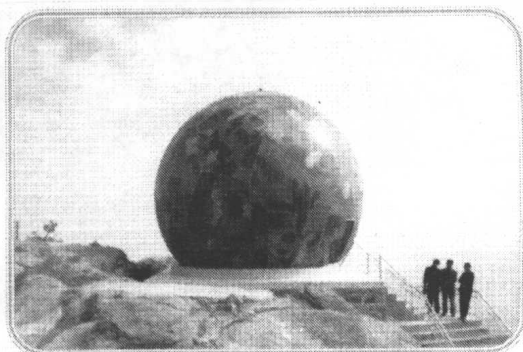


图 1-8 7m 直径随机分割高性能 C 夹层雷达天线罩

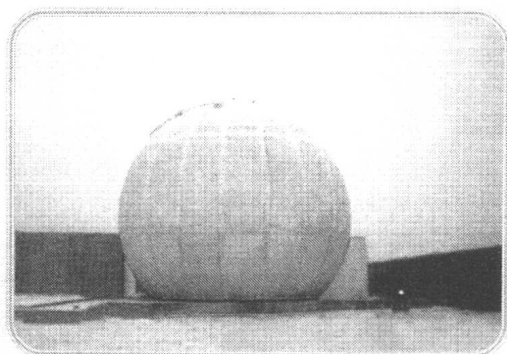


图 1-9 10m 直径泡沫夹层天线罩

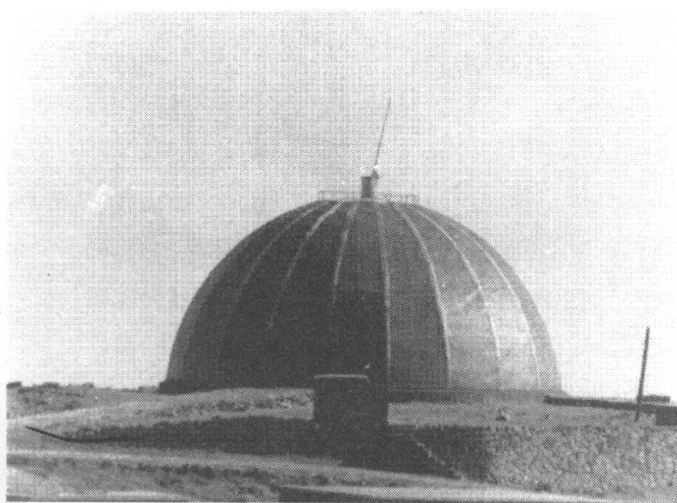


图 1-10 18.6m 直径蜂窝夹层天线罩