

静态 RCS 测量雷达的设备布局及升降塔结构设计*

张兴唐,李志兵,马 萍

(北京无线电测量研究所, 北京 100039)

摘 要:文中对静态 RCS 全频段测量雷达多天线和多收发设备的布局进行了设计,针对结构设计的核心部分——可移动高架天线塔进行了详细论述,对升降塔风载荷进行了分析计算并用有限元法校核了天线塔身和天线安装架的强度,结果满足结构设计强度要求。解决了高架天线塔升降、天线安装调整、天线塔所装设备维修性和安全性的问题。对多波段静态 RCS 测量设备总体布局设计和高架升降塔的设计具有参考借鉴意义。

关键词:RCS 测量;全频段;布局;升降塔;结构设计

中图分类号:TN820.8⁺8; TH122 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-5300(2012)03-0036-05

Equipment Layout Design of Static RCS Measure Radar and Structure Design of Lift Tower

ZHANG Xing-tang, LI Zhi-bing, MA Ping

(Beijing Institute of Radio Measurement, Beijing 100039, China)

Abstract: This paper designs the layout of antennas and T/R equipments for whole frequency bands static RCS measure radar. Detailed discussion is performed for the mobile antenna tower which is the key part of structure design. Wind-load computing is carried out for the lift tower, the strength of antenna tower and antenna mounting structure is checked by finite element method, the results meet the design requirements. The problems of antenna going up and down, antenna stance adjusting, maintenance and security of equipments in antenna tower are solved in this paper. Study results of this paper are helpful to the layout design of multi-bands static RCS measure equipments and the structure design of lift tower.

Key words: RCS measure; whole frequency bands; layout; lift tower; structure design

引 言

随着电磁隐身技术在飞行器中的广泛应用,目标电磁散射特性测量的重要性日显突出,雷达截面积(RCS)是描述目标电磁散射特性的重要特征量之一。多波段静态 RCS 测量雷达就是对目标进行雷达全频段 RCS 特性测量的设备,能够全面地测量被测目标的 RCS 特性^[1]。

多波段静态 RCS 测量设备与一般雷达相比,不仅在发射、接收、信号处理等方面有特殊要求,在结构设计上也有很大不同,其特殊要求主要体现在^[2]:

1)覆盖测量雷达全频段,整套设备要集成多部天线和收发设备,设备布局需考虑的因素复杂;

2)为保证地平场的电气测试要求,所有天线在不同频率点其波束要能够对准被测目标,天线高度、方位、俯仰向都能调整,另外还要保证收发分开天线指向的一致性。

1 设备布局

1.1 单元划分

多波段静态 RCS 测量设备天线覆盖全频段,除 P/L 波段采用收发共用天线外,其他波段天线都采用收发分开的结构形式,天线数量达到 12 个。为保证各波段天线设备的移动性能,必须将设备划分成 4 个可移动单元。

移动单元的划分主要依据天线的物理特性和工作

* 收稿日期:2012-02-15

高度范围,各波段天线物性和工作高度范围见表1。综合考虑天线尺寸、重量和升降范围将设备划分为P/L波段、S波段、C波段、X/Ku/Ka波段4个天线塔单元,如图1所示。这样,首先每个天线塔上各波段天线工作高度接近,缩短了天线塔的升降距离;其次每个天线塔上天线物性相差不大,安装结构件的结构形式和外观一致性比较容易保证。为保证各波段天线设备的移动性能,每个移动单元设计成全挂车形式,能够进行牵引移动。

表1 天线物性及工作高度范围

天线 波段	外形尺寸 /m	质量 /kg	数量	天线中心 最低高度/m	天线中心 最高高度/m
P	Φ7	1 500	1	11	23
L	Φ6	1 500	1	4	16
S	Φ4	400	2	2.7	6.5
C	Φ2.5	125	2	1.3	3
X	Φ1.6	40	2	0.94	1.48
Ku	Φ1	30	2	0.57	1.11
Ka	Φ0.5	10	2	0.3	0.84

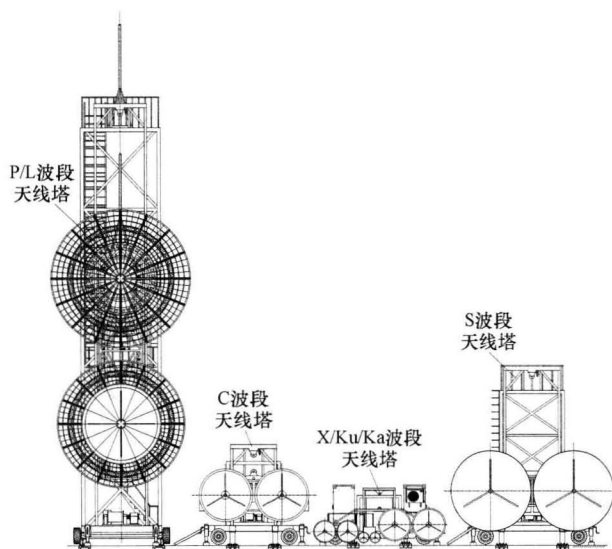


图1 静态 RCS 全频段测量雷达布局图

1.2 架设位置和固定方式

为避免4个移动单元天线设备相互遮挡,4个移动单元一字排开布置,相邻单元之间留有间隙,这样4个移动单元天线设备可以同时升降,大大提高了测试效率,使4个波段的天线可以同时进行测试工作。

各波段天线波束宽度不同,要求测量精度也不同。高频段天线安装位置要求尽可能靠近测试目标中心,如图1所示,X/Ku/Ka波段天线塔布置在中间,P/L

和S波段天线塔布置在两边。

天线塔上设备的风载荷较大,P/L波段天线塔上两部天线的口径分别是7 m和6 m,工作高度达到20 m以上,要保证静态 RCS 测量的稳定性,除了要保证天线塔自身的刚度和强度外还得保证天线塔能够与地基进行联接。由于天线布置在塔身前面,所以不能采用加稳定拉绳的方式,必须采用预埋件加支撑机构进行落地联接。为了让天线塔就位方便,联接方式采用T型槽加压板螺栓的结构形式,如图2所示。这样即使天线塔与地基有一定偏差,也能保证天线塔与地基的可靠联接。由于P/L波段天线塔上装设备质量大,架设高,设计难度最大,下面着重介绍P/L波段天线塔的结构设计^[3]。

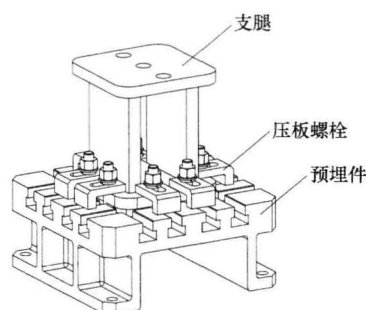


图2 支撑机构与预埋基础联接示意图

2 P/L 波段天线塔结构设计

2.1 主要问题

天线塔结构设计要重点解决以下几个问题:

- 1) 要满足天线工作高度范围和天线指向调整的要求,天线塔必须具备升降功能和天线调整功能;
- 2) 由于天线塔尺寸庞大,塔身和主要安装件的强度、刚度要求较高,必须进行严格的分析计算;
- 3) 天线塔(尤其是低频段)高度达20 m,天线塔结构设计要充分考虑上装设备的维修性和安全性。

2.2 结构设计

P/L波段天线塔设计难度最大,因此以P/L波段天线塔为例论述天线塔结构设计。

P/L波段天线塔主要由升降塔、天线安装架、就位支撑、收发舱、P波段天线、L波段天线和高频箱组成,如图3所示。天线塔塔身基本高度为20 m,通过合理设置天线安装架与升降机构联接位置,可以将P波段天线升高到23 m的高度进行工作。

天线通过天线安装架与升降塔前侧的滑升装置联接。为了缩短发射电缆的长度,P/L收发舱安装在升降塔的中间平台上。就位架设时通过就位支撑将升降塔与预埋基础联接,确保天线塔的抗风和工作稳定性。

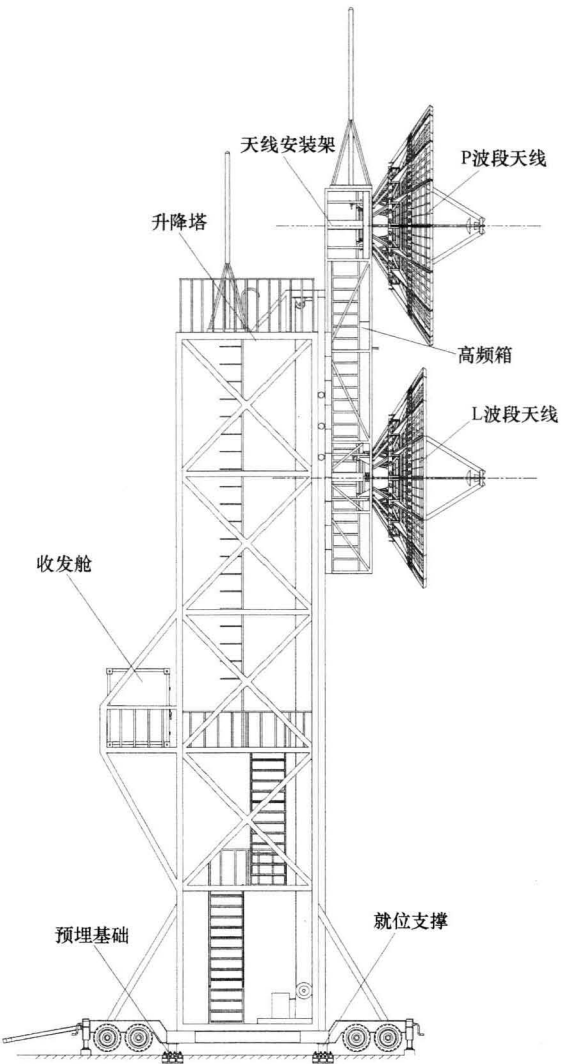


图 3 P/L 波段天线塔设备组成

升降塔采用钢架结构,升降塔前侧安装滑升机构,升降塔下部设置行走机构和千斤顶,中部设置收发舱安装平台,如图 4 所示。

为了方便工作人员登塔操作,在塔身内部从地面到收发舱安装平台设置扶梯,以上部分设置登顶梯。为了保证人员安全,在中部平台和顶部平台设置围栏。塔顶安装避雷针。

滑升机构由导轨、驱动装置、滑轮组、行走机构和钢丝绳组成,如图 5 所示。导轨采用 T 型钢结构;驱动装置采用升降绞盘;行走机构采用型材焊接而成,行走机构上安装滑块,与导轨之间采用滑动方式运行,前部设有与天线安装架联接接口;钢丝绳直径选择应能够保证 8 倍以上安全系数。

行走机构采用“全挂车”结构形式,具备转向功能,行走方向沿着天线的前后方向,这样能够提高天线塔行走抗倾覆能力。

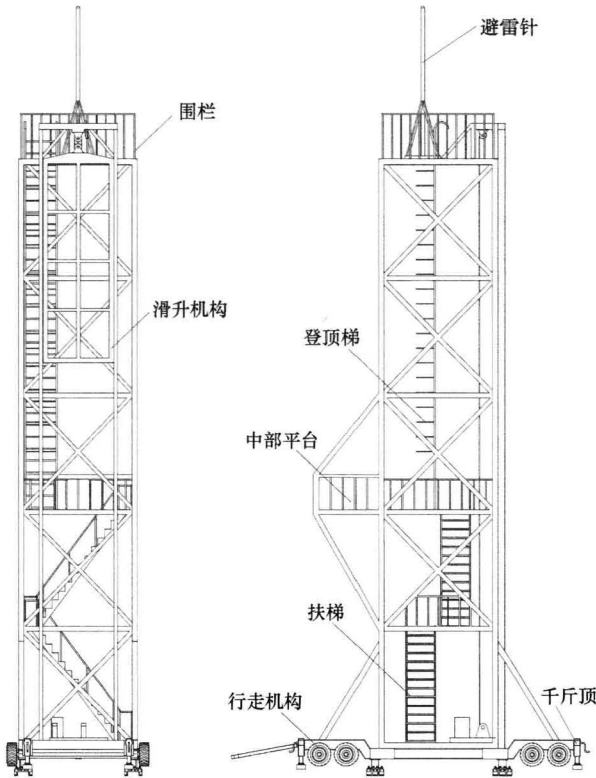


图 4 P/L 波段升降塔组成

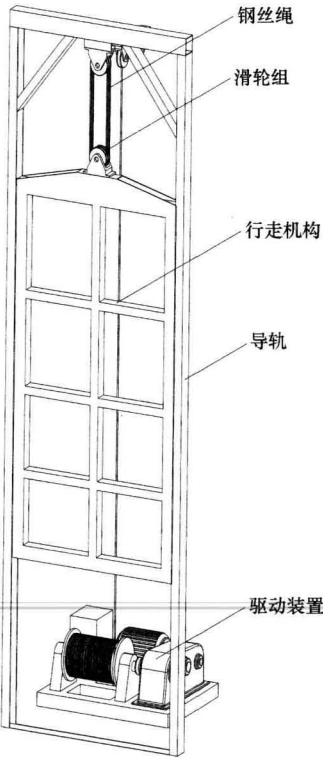


图 5 滑升机构示意图

升降塔配置 4 个千斤顶,每个千斤顶具有 16 t 以上承载能力,在天线塔就位架设时起过渡支撑作用。天线安装架是天线和升降塔之间的联接装置,采

用桁架结构。前部设有天线的安装接口,保证两天线的中心距离,并具备天线方位俯仰向的调整功能。后部设有滑升机构联接接口,接口设在整个安装架的中下部,这样能够将天线举升到需要的高度。天线安装架的结构示意如图6所示。

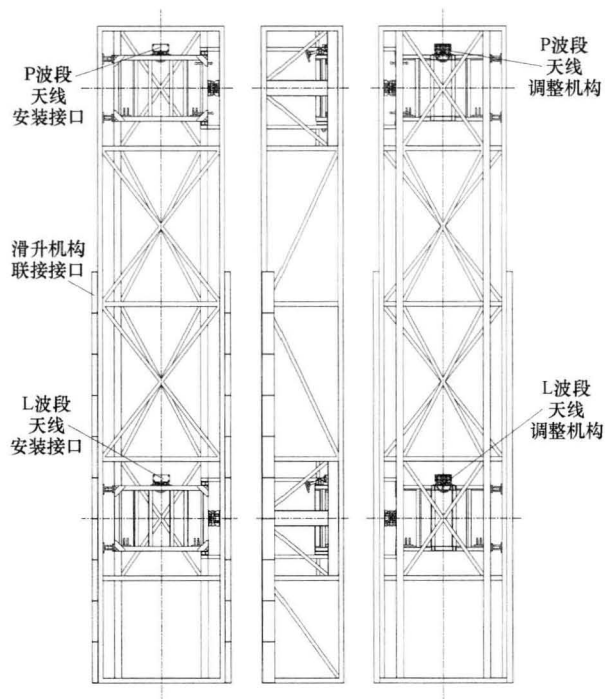


图6 天线安装架结构示意图

天线调整机构采用螺纹丝杠结构,如图7所示。俯仰向调整通过转动俯仰调整机构的手轮即可实现。方位向上除了螺纹丝杠外还增加了承重装置,以避免因天线重力造成丝杠损坏。

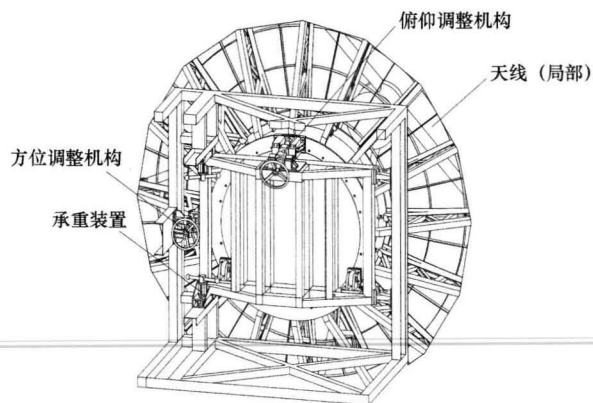


图7 天线安装架天线指向调整机构局部示意图

收发舱采用大板式方舱,为方便设备的使用维护,方舱采用双开门形式。收发舱背对天线安装在天线塔的中部位置,这样可使收发舱与天线间的连接电缆尽量短,又能使整个天线塔前后质量平衡,保证天线塔的移动性能。

2.3 校核计算

由于天线不进行俯仰和方位向的运动,只进行小角度的调整,天线塔的主要载荷为风载荷和重力。下面以P/L波段天线塔为例进行塔身和天线安装架的有限元分析计算。

2.3.1 天线塔塔身的有限元分析计算

2.3.1.1 计算风载荷

a) 计算风压

风压 q 的计算公式为

$$q = \rho v^2 / 2 = 1\,000 \text{ N/m}^2$$

式中: ρ 为空气密度,15℃时为 1.25 kg/m^3 ; v 为风速,40 m/s。

b) 计算风力

风力公式为

$$F = C_F q A$$

L波段天线的内圈面积 $A_1 = \pi \times (D_1/2)^2 = 3.14 \times (4/2)^2 = 12.56 \text{ m}^2$, 外圈面积 $A_2 = \pi \times (D_2/2)^2 - A_1 = \pi \times (D_1^2 - D_2^2)/4 = 3.14 \times (6^2 - 4^2)/4 = 15.7 \text{ m}^2$; C_F 为空气阻力系数(内圈为1.5,外圈为0.8);作用在塔架上的风力 $F = 1.5 \times A_1 \times 1\,000 + 0.8 \times A_2 \times 1\,000 = 31\,400 \text{ N}$ 。

由于P波段天线采用全漏空方式,风力取值与L波段相同,天线及天线安装架总重按6 000 kg计算。

2.3.1.2 有限元计算

有限元计算过程如图8~图11所示。

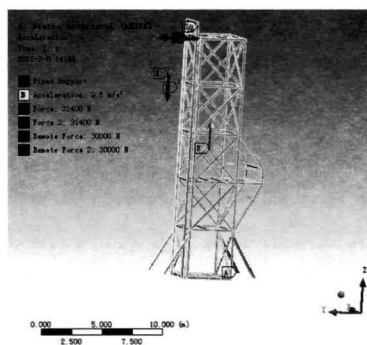


图8 塔架的施加约束及作用力图

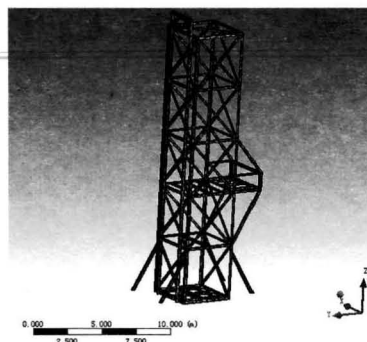


图9 塔架网格划分图

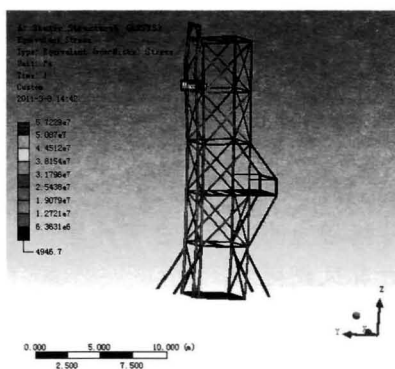


图 10 塔架应力云图

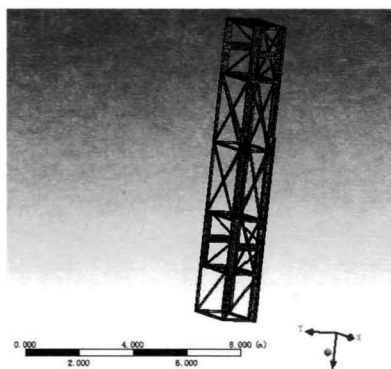


图 13 安装架网格划分图

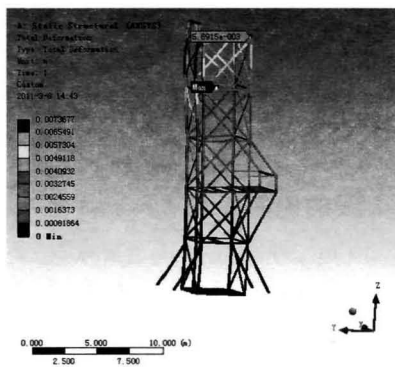


图 11 塔架位移云图

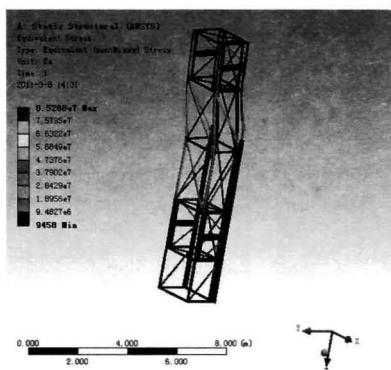


图 14 安装架应力云图

2.3.1.3 结果分析

由图 10、图 11 可以看到,塔架在 40 m/s 风速下,产生的最大应力为 57 MPa,天线塔顶部最大位移约为 6 mm。塔架材料为 Q235 钢,Q235 钢的屈服应力为 235 MPa>>57 MPa,天线塔强度完全满足要求。

2.3.2 天线安装架的有限元分析计算

2.3.2.1 计算风载荷

天线安装架风载计算与天线塔塔身的计算相同。由于 P 波段天线采用全漏空方式,风力取值与 L 波段相同。天线重量都是 1 500 kg。

2.3.2.2 有限元计算

有限元计算过程如图 12 ~ 图 15 所示。

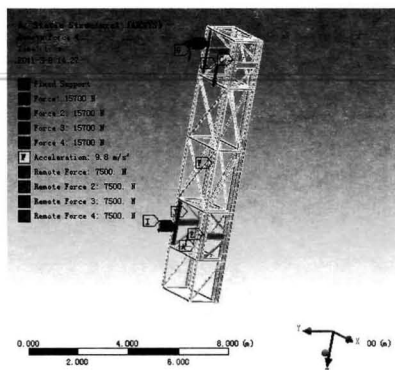


图 12 安装架的施加约束及作用力图

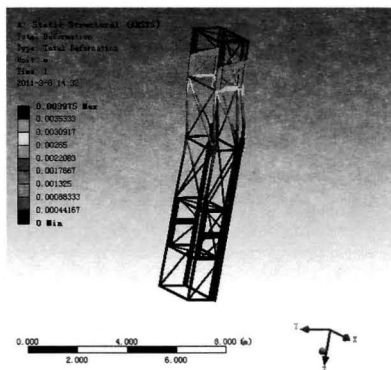


图 15 安装架位移云图

2.3.2.3 结果分析

由图 14、图 15 可以看到,天线安装架在 40 m/s 风速下,产生的最大应力为 85 MPa,安装架顶部最大位移约为 4 mm。安装架材料为 Q235 钢,Q235 钢的屈服应力为 235 MPa>>85 MPa,安装架强度完全满足要求。

(下转第 47 页)

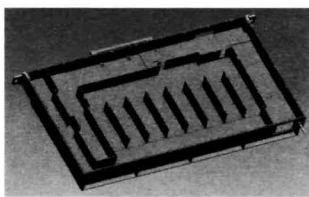


图9 对应布局图3的壳体装配

4 结束语

Top-down 方法是一种设计思想,体现在功放组件结构设计中就是:以总体结构及电讯布局为原始参照,通过复制几何、引用参照、参数传递等手段,建立起相关零件特征与设计输入之间的关联,并将组件装配视为有机整体,装配结构项与骨架零件或主体零件之间既有位置依存关系,又有零件特征的关联,通过装配中骨架零件或主体零件传递相关设计要素,组件壳体的内部开孔、挖槽、加筋等特征则参照电讯布局图进行,由此实现从总体到分机,从电讯到结构的信息传递过程。采用 Top-down 方法,可以显著加快建模速度,提高设计准确性,同时也方便了产品的后期调整与更改借用,达到快速设计的目的。

另外,运用 Top-down 方法,而不占用 Pro/E 软件的“高级装配”权限,尤其适用于小装配、单人设计项目。针对组成简单、结构形式确定,仅大小发生变化的情况,采用直接参照主体零件的方法,同样可以实现 Top-down 的设计思想,而且更加直观、便捷,可供同类设计借鉴。

参考文献

- [1] 朱静. 基于 Pro/E 的某类机柜通用模型的实现[J]. 电子机械工程, 2008, 24(4): 18-20, 24.
- [2] 朱静. 基于 Pro/ENGINEER 的自顶向下设计方法的应用[J]. 现代电子工程, 2008(2): 67-69.
- [3] 刘海平, 饶建平. Top-Down 策略在产品系列化设计中的应用[J]. 电子机械工程, 2011, 27(5): 57-60.
- [4] 周运金. 基于 Pro/E 的两种自顶向下的设计方法[J]. 机械设计与制造, 2007(3): 80-82.

鲍成艳(1962-), 男, 高级工程师, 主要从事雷达发射机结构专业技术工作。

(上接第 40 页)

3 结束语

可移动天线塔结构总体设计较好地解决了以下几方面问题:

- 1) 满足电气指标要求, 如天线的指向、工作高度、电缆走线长度等;
- 2) 天线塔设备多, 结构尺寸庞大, 该设计满足了设备的布局、使用性、安全性和维修性的要求;
- 3) 对升降塔的结构强度、刚度进行了充分的计算校核和有限元分析, 以此进行天线塔的结构优化设计。

该设计满足了多波段静态 RCS 测量设备的使用需求, 但由于天线塔设备庞大, 不能象有些 RCS 测量设备那样将整套设备集成在一个半挂拖车上进行机动运输, 只能进行小范围低速牵引移动, 在使用方便性上有一定的不足。另外, 出于设备安全性考虑, P/L 波段收发舱没有和天线一起升降, 造成电缆馈线较长, 线路

损耗较大。以后的天线塔结构设计将尽可能改进这些不足, 以提高天线塔结构的设计水平。

参考文献

- [1] 卢斌, 程翔. 舰船桅区电子设备结构设计中的隐身考虑[J]. 电子机械工程, 2004, 20(4): 25-27.
- [2] 姜卫东, 邱兆坤, 聂镭. 连续波微动测量雷达及目标微动特性分析[J]. 系统工程与电子技术, 2010(11): 2325-2327.
- [3] 谢华平, 何敏娟, 马人乐. 基于 CFD 模拟的格构塔平均风载荷分析[J]. 中南大学学报, 2010, 41(5): 1980-1986.

张兴唐(1973-), 男, 高级工程师, 主要从事测量雷达结构总体设计工作。