

DOI: 10.3969/j.issn.1672-2337.2018.03.020

数字阵列高机动雷达结构关键技术

江伟¹, 王劲宣², 严诺², 王虎²

(1. 安徽四创电子股份有限公司, 安徽合肥 230088;
2. 中国电子科技集团公司第三十八研究所, 安徽合肥 230088)

摘要: 数字阵列雷达因其具有资源调度灵活、抗干扰能力强、易于实现多功能智能化等突出优点,逐渐成为地面雷达产品开发的主流。基于地面数字阵列高机动雷达系统的基本架构,针对该体制雷达设备集成度高、天线收发组件功率密度大、机动性能要求高等技术特点,提出了顶层结构的CBB构建、有源天线的结构功能一体化及架撤机构的创新灵巧设计等关键技术及解决措施,并成功应用于某新型数字阵列高机动雷达的工程研制,取得了良好的实用效果。

关键词: 地面雷达; 数字阵列模块; 共用构件模块; 灵巧机构; 高机动性

中图分类号: TN959.7; TN957.8 文献标志码: A 文章编号: 1672-2337(2018)03-0347-04

The Key Technology of Digital Array High Mobility Radar Structure

JIANG Wei¹, WANG Jinxuan², YAN Nuo², WANG Hu²

(1. Anhui Sun-Create Electronics Corporation, Ltd, Hefei 230088, China;
2. The 38th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Hefei 230088, China)

Abstract: Digital array radar has gradually become the development mainstream of ground-based radar product because of its outstanding advantages, such as flexible resource scheduling, strong anti-interference ability, and easy realization of multi-function intelligence. Based on the basic architecture of ground-based digital array high mobility radar and aiming at the high integration of this kind of radar equipment, large heat flux of antenna T/R assembly, and high mobility requirements, this paper presents key technologies, such as the CBB build of the top-level structure, the integration of the structural functions of the active antenna, and the smart design of the erection and dismount mechanism, as well as the corresponding solutions. The successful application in the development of a new digital array high mobility radar shows their good practical effectiveness.

Key words: ground-based radar; digital array module(DAM); common building block (CBB); smart mechanism; high mobility

0 引言

数字阵列雷达具有资源调度灵活、抗干扰能力强、易于实现多功能智能化等优点,随着技术成熟度的提高和器件成本的降低,逐渐成为当今地面雷达产品开发的主流。但是,由于数字阵列雷达有源天线内部数字收发设备高度集成、组件热流密度大、光电液一体化互联互通的架构大幅增加了雷达系统的复杂程度和设计难度,给雷达整机结构技术的实现提出了新的挑战。

1 数字阵列高机动雷达系统基本架构

数字阵列雷达与常规相控阵雷达的主要不同点之一是引入了数字阵列模块^[1](DAM),该模块是数字阵列雷达的核心设备,是高度集成了微波电路器件、数字电路器件、光处理模块、电源及冷却液通道的多I/O数字化组件。由于DAM与雷达其他主要设备在物理上高度融合,其设计理念和技术实现与常规相控阵雷达有着明显的不同。

本文针对某新型数字阵列高机动雷达的开发,提出了地面数字阵列高机动雷达系统的基本架构,

如图 1 所示,可划分为数字阵列天线、机电液光传输机构、架撤机构、伺服传动与控制、运输载体、工作平台、电子设备方舱、液冷源、电站等主要部分。

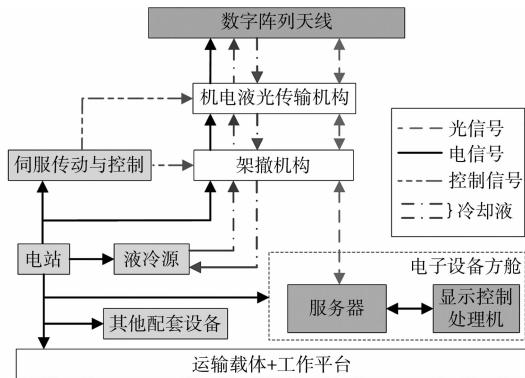


图 1 数字阵列高机动雷达系统基本架构

该体制雷达系统架构具有以下几个特点:

1) 多种功能模块高度集成

应用 CBB 思想^[2-3]进行雷达系统的顶层结构设计,根据各组成部分建立 CBB 基本数据库,可分别构建工作平台、架撤机构、伺服控制、电子设备方舱、液冷源、电站等 CBB 模块。根据不同雷达的要求,通过更换相应 CBB 模块,快速实现雷达系统的可重构。

2) 有源天线的结构功能一体化

由于 DAM 与其他设备存在着高密集度的光、电、液互联互通,传统的分离式设计已不能满足设计需求,需要采取多种融合设计的措施,实现结构功能一体化。

3) 架撤机构的创新灵巧化

本文以某型雷达为例(如图 2 所示),采用新型空间多连杆机构,通过多油缸协调运动实现雷达天线的展开折叠,具有动作时间短、展收压缩比大、刚性好、安全性高、外形美观等特点。

2 顶层结构的 CBB 构建

CBB 指在产品开发及集成过程中,可以共用的功能模块。根据实用需求建立 CBB 基本数据库,对各组成部分进行系列化的顶层规划,采集相应的共用数据,建立标准化、通用化的功能模块。

本文基于数字阵列高机动雷达基本架构,根据整机的技术要求和天线结构形式,进行了顶层结构的 CBB 构建。这里以具有代表性的工作平台

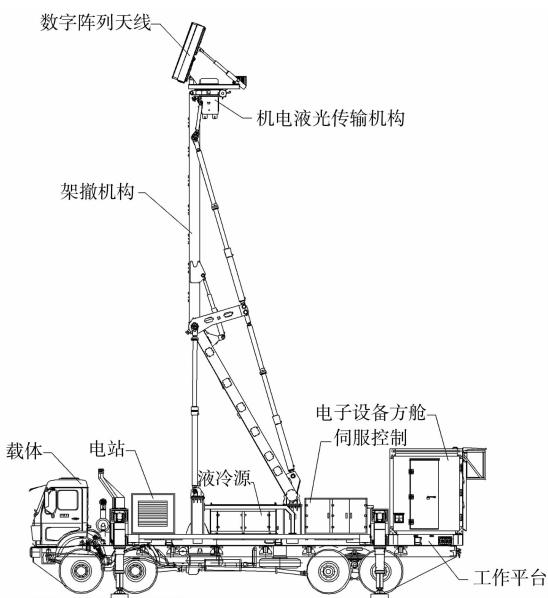


图 2 某新型数字阵列高机动雷达基本结构

与架撤机构为例简要说明 CBB 的构建思路。

2.1 工作平台的 CBB 构建

由工作平台的功能特性^[4]可知,其 CBB 模块的构建取决于上装设备的功能、重量、尺寸、运输安全性、抗倾覆能力等要素。根据上装可用空间、安装接口、刚强度、最大尺寸重量等参数对工作平台进行 CBB 构建,以满足各种情况下雷达机动运输、使用安全性等方面的要求。

2.2 架撤机构的 CBB 构建

由架撤机构的功能特性^[5]可知,其 CBB 模块的构建取决于架设高度、载荷、架设速度、展收压缩比等要素。根据机构的刚强度、重量、尺寸、运输性及液压系统的功能等方面对架撤机构进行 CBB 构建,以满足各种功能和体制的雷达架设需求。

3 有源天线的结构功能一体化

数字阵列雷达天线内部主要集成了大量的 DAM、辐射单元及复杂的液冷流量分配管网等设备,如图 3 所示。与常规有源天线相比,其设备更加密集,热流密度更大以及设备间互联关系更加复杂,是机电热高度耦合的复杂系统。天线结构设计必须围绕 DAM 等关键设备展开结构功能一体化设计,才能有效优化结构尺寸、重量等综合性

能,保证电气及机械互联的可靠性。

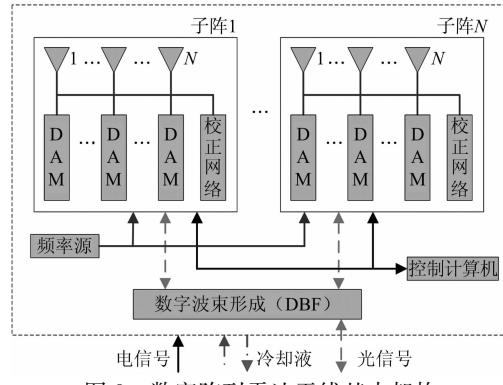


图3 数字阵列雷达天线基本架构

3.1 天线的结构功能融合设计

由于天线内部安装了大量的有源功能部件和必要的液冷管网,如果所有设备孤立地进行设计势必造成阵面尺寸、重量及安装空间的失控。因此,只有采用融合设计的方法,对结构件的功能进行优化,从而实现结构件的多功能一体化。

常规数字阵列天线结构设计以天线骨架为基础,前部是安装大量辐射单元的反射板,后部是安装 DAM 组件和液冷多级分配管网的插箱,两者之间通过大量的射频电缆互联,天线尺寸较厚,维修性相对较差。而高度融合的天线结构主要体现在基于多功能反射板的模块化子阵设计。多功能反射板是模块化子阵的基础,集成了各类射频、液冷盲配连接器与液冷多级分配流道,前部安装辐射单元与校正网络,后部通过盲配直接与 DAM 的射频通道、液冷通道互联互通,实现结构与热控的一体化设计,减少中间的电缆、水管的连接环节,不仅降低了系统损耗,还减小了天线厚度尺寸。

3.2 阵面环控的高精度流量分配

各 DAM 的温度不均匀将导致电性能不稳定,必须对各组件的温度进行高精度环控。通过液冷冷却液的均匀分配,控制天线内的众多 DAM 组件之间的温差在 3~5℃ 以内。液冷冷却液进入阵面后,需经复杂的分配网络,输送到各个模块化子阵天线。将阵面液冷流量分配管网一、二级分配水道集成在天线骨架中,管网结构材质选用高强度不锈钢,作为天线骨架结构的一部分,管路中设置各类流量控制阀,控制冷却液流量均匀分配至各

DAM 组件内的液冷流道,实现组件温度的高精度控制,也有利于天线的轻量化设计。

图 4 是一种地面数字阵列雷达天线的部分子阵结构示意图,采取了上述相应结构功能一体化技术,不仅简化了内部管路和线路连接,还实现了阵面的轻型化设计,使得天线结构更加紧凑,降低了雷达高机动性设计的难度。

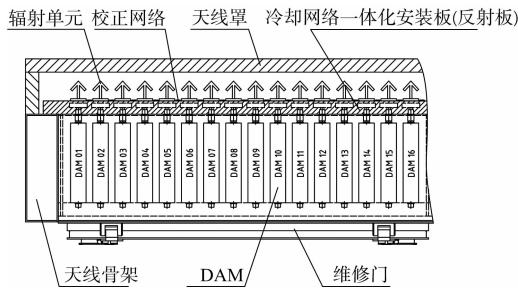


图4 地面数字阵列雷达天线部分子阵示意图

4 架撤机构的创新灵巧设计

采用先进的设计理念和成熟技术,提高架撤设备的集成度与自动化程度,达到架撤更快、举升更高以及运输性更好的目的。

传统的平面连杆架撤机构^[5-6]受构件空间运动方式的限制,压缩比与承载能力较小,已不能满足新一代数字阵列高机动雷达的架设更高、承载更大、稳定性更强等方面的需求。因此,新型架撤机构设计不仅需大幅提升架设高度、承载、外形、运输性等能力,还应注重 CBB 构建,实现通用性的要求。

4.1 基于空间连杆多缸协调驱动的架撤机构

某型高机动雷达架撤机构应用灵巧机构及 CBB 的设计思想,设计了一种基于两级并联机构串联、多液压油缸协调动作、多连杆折叠运动原理的新型空间连杆多缸协调驱动的天线折叠架撤机构,如图 5 所示。该机构包括第一级并联机构、辅助翻转机构、第二级并联机构、工作平台以及多个角度检测元件等组成。该机构通过高展收压缩比空间折叠机构、复杂空间机构液压系统设计、多油缸运动协调智能化伺服控制、光电液结构一体化融合设计等多项关键技术,成功解决了地面高机动雷达架撤机构的架设能力与运输兼容性之间相互制约的矛盾。

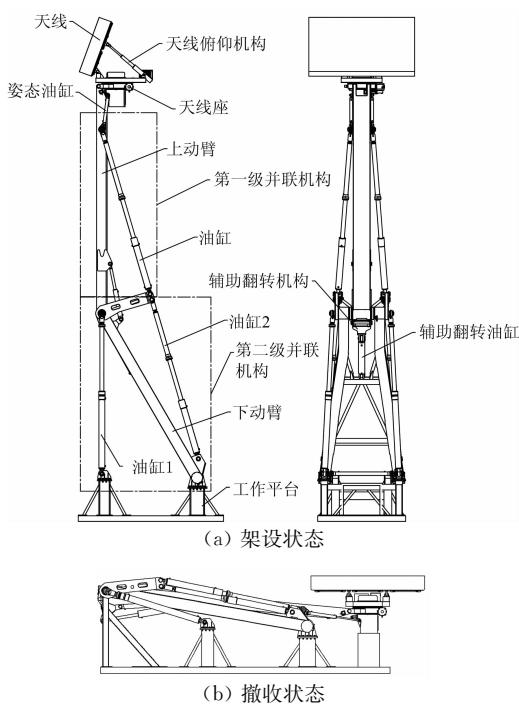


图 5 新型灵巧架撤机构示意图

4.2 多油缸协调动作的高可靠液压系统

该机构采用液压驱动, 动力源采用双电机双泵组合, 互为备份, 控制元件选用高可靠电液比例阀、截止式换向阀等元器件, 满足系统工作的需求。架设时多组油缸分别驱动辅助翻转机构和两级并联机构进行分步展开, 通过设置在上、下动臂转动关节的角度编码器进行协调控制, 各动作到位后液压油缸内部机械自锁, 形成内部带斜撑的空间多连杆塔式稳定结构。根据试用统计数据, 该液压系统已随雷达整机(如图 6 所示)连续工作 10 920 h 无故障。



图 6 某新型数字阵列高机动雷达

5 结束语

数字阵列雷达由于具有传统雷达不可比拟的优异综合性能, 在地面雷达技术发展中已成为主流。本文结合某新型数字阵列高机动雷达的成功研制, 对数字阵列高机动雷达结构系统 CBB 构建、功能结构一体化、架撤机构灵巧化等关键技术作了一些探索和设计验证工作, 并取得了显著的成效, 不仅实现了雷达系统的单车集成, 而且架撤过程仅需单人数分钟内完成, 雷达整机机动性指标达到了先进水平, 研究成果具有较高的应用推广价值。

参考文献:

- [1] 徐海洲, 吴曼青. 数字阵列雷达系统[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2008, 31(5):718-720.
- [2] 张昌菊. 实施 CBB 管理提高军品质量[J]. 电子质量, 2016(11):52-57.
- [3] 于晓彬. CBB 平台的设计与实现[J]. 现代电子技术, 2015, 38(15):104-106.
- [4] 陈世荣, 季汉忠, 常继根. 车载雷达平台的优化与仿真[J]. 电子机械工程, 2016, 32(5):57-60.
- [5] 张润達, 戚仁欣, 张树雄, 等. 雷达结构与工艺[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007:209-229.
- [6] 江伟, 席广辉, 宋为民, 等. 某机动雷达高架举升系统设计[J]. 雷达科学与技术, 2014, 12(2):218-222.
JIANG Wei, XI Guanghui, SONG Weimin, et al. Design of Elevated Antenna System of a Mobile Radar [J]. Radar Science and Technology, 2014, 12(2):218-222. (in Chinese)

作者简介:



江伟 男, 1986 年生, 安徽潜山人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为雷达结构总体及机电传动技术。

E-mail: ww117950089w@126.com

王劲宣 男, 1969 年生, 安徽合肥人, 硕士, 研究员级高级工程师, 主要研究方向为雷达总体研究与工程设计技术。

严诺 男, 1974 年生, 上海人, 工程硕士, 研究员级高级工程师, 主要研究方向为雷达结构总体技术。

王虎 男, 1986 年生, 安徽宣城人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为雷达结构总体及机电传动技术。