DOI:10.3969/j.issn.1672-2337.2024.04.013

车载机动式测控站结构设计

关宏山，朱志远，时海涛

（中国电子科技集团公司第三十八研究所，安徽合肥 230088）

摘　要： 高机动性是电子装备提高战场生存能力的重要手段，本文针对新型机动测控站高机动性以及机动中工作的需求，提出了一种高度集成的一车一站车载机动式测控站，对其从整车布局、人机工程、热设计等多角度进行了论述，其共形相控阵天线阵面的设计理念既保证了系统空域的覆盖，也可以为内部工作人员创造优良的工作环境，通过专业软件对系统天线舱的力、热、磁、噪声等性能的分析评估，证明相关设计可以满足要求，其设计思路可为后续类似系统的研制提供借鉴。

关键词： 车载；机动；测控站；结构设计

中图分类号：TN959；TN957.8　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1672-2337(2024)04-0464-05

引用格式：关宏山，朱志远，时海涛. 车载机动式测控站结构设计[J]. 雷达科学与技术，2024，22(4)：464-468.
GUAN Hongshan, ZHU Zhiyuan, SHI Haitao. Structural Design of Vehicle Mounted Mobile Measurement and Control Station[J]. Radar Science and Technology, 2024, 22(4):464-468.

Structural Design of Vehicle Mounted Mobile Measurement and Control Station

GUAN Hongshan, ZHU Zhiyuan, SHI Haitao

(*The 38th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Hefei* 230088, *China*)

Abstract: High mobility is an important means for electronic equipment to improve battlefield survival capabilities. A highly integrated one-vehicle one-station mobile measurement and control station is proposed to meet the high mobility and operational requirements of new mobile measurement and control station. The design concept of conformal phased array antenna array is discussed from multiple perspectives such as vehicle layout, human-machine engineering, and thermal design. It not only ensures the coverage of the system airspace, but also creates a good working environment for internal personnel. Through professional software analysis and evaluation of the force, heat, magnetism, noise, and other performance of the system antenna cabin, it is proved that the relevant design can meet the requirements. The design concept can provide reference for the development of similar systems in the future.

Key words: vehicle mounted; mobile; measurement and control station; structural design

0　引　言

高机动性是现代电子装备应对战争威胁，提高战场生存能力最有效的手段之一[1-2]，因此高机动性已成为地面电子装备发展的必然趋势。传统车载机动测控站规模庞大，往往由天线车、设备方舱车、保障车等数辆车辆组成[3-4]，系统的规模限制了其机动部署的能力，且由于各辆车分散布置，相互之间有大量的线缆连接，严重影响了系统的架撤时间，且系统不具备机动中工作的能力。针对上述不足，发展一种高度集成化的车载机动式测控站，采用1辆车完成传统机动测控站3～4辆车的功能，实现一车一站的目的，系统架撤时间将大幅缩短，且能在行进中工作，战场生存能力必将显著提升。

本文以新型车载机动式测控站为需求，提出了一种高度集成的一车一站式机动测控站结构设计形式，从整车布局、人机工程设计、热设计等多方面进行综合优化论证，尤其是对大尺寸相控阵天线提出了共形式阵面设计理念，从构型、布局、重量、尺寸、散热、环境适应性、可维修性、电磁兼容性等方面开展迭代，实现产品在上述核心性能

收稿日期：2023-12-20；修回日期：2024-06-11

指标的优化匹配，可为类似系统的研制提供借鉴。

1　机动站关键技术

1.1　一车一站集成

一般车载式测控站包括测控天线、卫通天线、设备机柜、显控台等主设备以及载车平台、液冷设备、发电机组、空调器等辅助配套设备，设备量较大，因此传统车载式测控站通常均由测控天线车、卫通车、电子方舱车、电站车等 3～4 辆车组成，如此庞大的车队，各车辆之间还需要复杂的线缆连接，显然无法实现机动中工作的需求。为了实现机动中工作的目标，测控站所有设备必须集成安装在同一辆载车平台上，即需完成一车一站高度集成，结构设计难度较大。

1.2　共形式天线阵面

测控天线是测控站的核心设备，为了确保测控站的空域覆盖并能够具备机动中工作的能力，就要求测控天线能够覆盖车辆前进方向的左侧、顶部以及右侧，同时系统还需在载车有限的空间内，预留出设备机柜、显控台以及人员工作的场所。为合理利用有限的空间，既保证设备有效集成，并具有良好的维修可达性，又保证拥有良好的人机环境，确保操作人员工作的舒适性，创新地提出了共形式天线阵面的设计理念，即天线阵面采用共形舱体设计，测控天线构成天线舱的外表面，其包围构成的舱内空间划分为设备舱和操作舱，分别用于安装舱内设备和人员操作，并分别为设备舱和操作舱配备空调等温湿度调节设备，以保证设备工作的可靠性和人员工作的舒适性。

1.3　人机工程

作为一个高度集成的设备，车辆平台上既要安装精良的测控、卫通天线，也要安装具有较大振动以及大量散热的电站和液冷等设备，同时还要为内部工作人员创造优良的工作环境，因此良好的人机工程设计显得尤为重要。通过良好的人机设计可以确保系统更好地满足其使用需求，提高操作效率、安全性和舒适性。

2　一车一站集成设计

2.1　整车布局设计

根据总体需求，系统需采用高度集成化的单车布局方案，全机仅一个运输单元，根据设备量，最终确定采用汽车列车形式，由半挂牵引车和半挂车组成，其中牵引车为系统机动提供动力，半挂车作为系统设备的装载平台。根据设备特点，平台前部集成液冷电站舱，后部安装天线舱，同时两侧下部集成安装空调器室外机和附件箱等。图 1 为系统整车布局图。

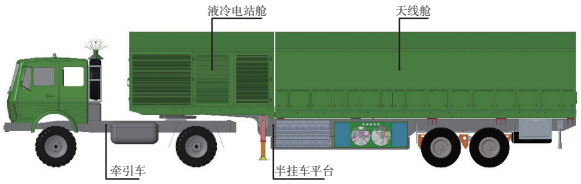

图 1　系统整车布局图

2.2　舱体设计

如图 1 所示，平台前部为液冷电站舱，后部为天线舱。其中，液冷电站舱用于安装电站、液冷机组和通信天线，受整车长度尺寸限制，液冷电站舱空间有限，为最大限度合理化利用有限的空间，结构设计将液冷电站舱分为上下两层，下层安装发电和液冷机组，上层安装通信天线。天线舱舱壁集成测控天线，内部安装设备机柜、显控台等设备。

3　共形式天线阵面设计

3.1　阵面布局设计

天线阵面布置于天线舱外侧，沿车长方向共分为发射天线和接收天线两部分，其中发射天线靠车头方向，尽量远离位于舱尾的操作舱，以减小对人员的影响，其布局如图 2 所示。

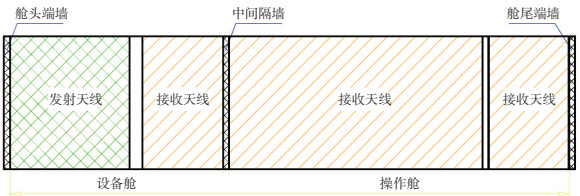

图 2　天线阵面沿车长方向布局示意图

沿车宽方向，天线阵面布置于天线舱左右两侧及弧顶位置，如图3所示，天线共由5段直线段组成，人员主要活动通道位于天线舱内中间位置，最大限度利用了舱室高度，以尽可能保证内部人员工作的舒适性。

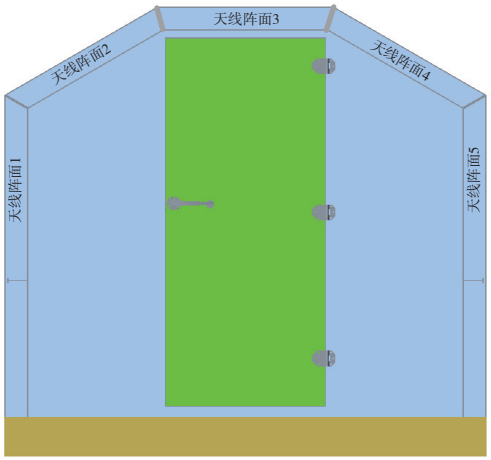

图3 天线阵面沿车宽方向布局示意图

3.2 天线舱舱体设计

天线舱舱体由天线骨架、内部隔断墙（含门）、维修门、底部平台、外部隔墙（含门）等组成，如图4所示。其中天线骨架分为5块，按照天线阵面的布局要求拼接为五面形，形成稳定的结构形式。5块天线骨架之间采用定位、螺栓相结合的连接方式，既能满足天线阵面安装精度要求，又能保证天线骨架的刚强度。

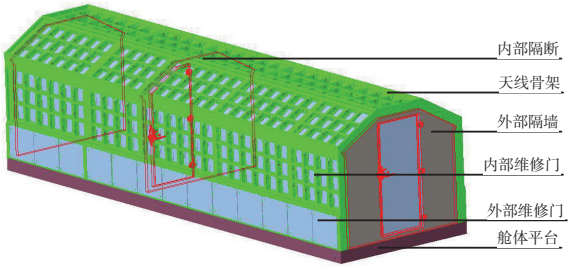

图4 天线舱体结构示意图

力学仿真分析表明，最恶劣工况条件下，天线动态最大变形为6 mm，静态变形为0.3 mm，具体见图5，满足刚度要求；结构材料最大应力钢材为164.3 MPa、铝合金为82.3 MPa，具体见图6，满足强度要求。

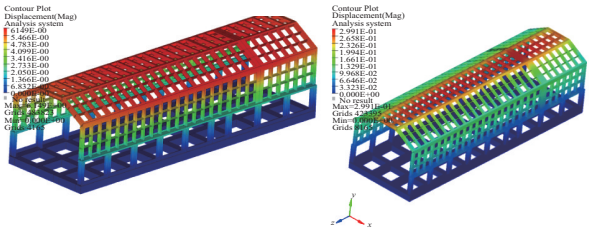

图5 天线舱变形云图

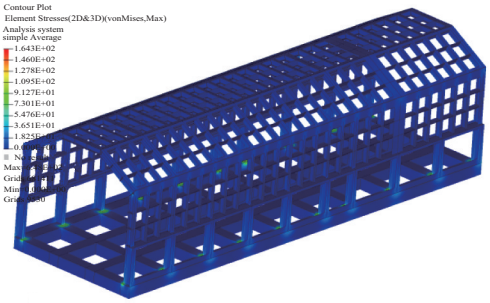

图6 天线舱应力云图

3.3 天线阵面热设计

天线热量大，采用液冷散热方式进行冷却，为提高天线的集成度，共形天线阵面液冷管网与阵面骨架一体化集成设计，具体为：阵面主供回液管路位于天线舱底部地板夹层内，液冷机组供应的冷却液经供液主管分配后进入阵面一侧的供液支路，冷却阵面设备后从阵面另一侧的回液支路返回回液主管，最终回到液冷机组完成循环，液冷管网原理如图7所示。

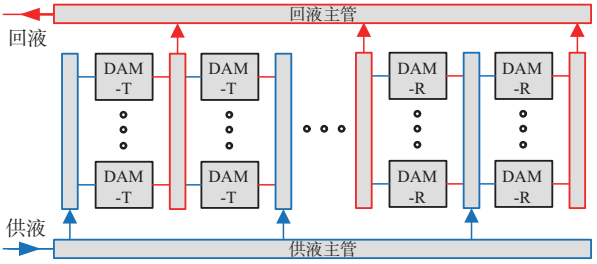

图7 阵面液冷管网工作原理图

DAM采用优化导热的液冷冷板设计[5]，图8分别为DAM-T与DAM-R的热仿真分析温度云图，分析结果表明极端高温工况时，DAM-T最高温度为79.8 ℃，DAM-R最高温度为71.9 ℃，均满足指标要求。

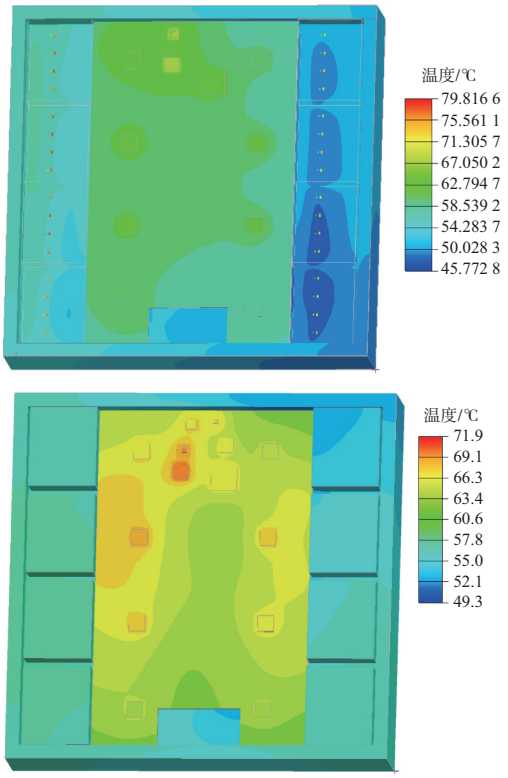

图 8　DAM-T 与 DAM-R 热仿真分析温度云图

4　人机工程设计

4.1　减振设计

本系统采用单车方案，电站及液冷机组等工作时易产生振动的设备与天线舱安装在同一辆载车上，且系统要求行进中工作，因此还需考虑载车行进带来的振动影响。在系统设计上，一方面要求整机设计具备良好的抗振动冲击能力，另一方面也要尽可能地减小系统自身振动以及载车行进振动对天线舱的影响，这对舱内工作人员的健康和系统长期工作的可靠性均具有十分重要的意义。本系统采取的主要减振设计措施有[6]：

1）设备选型上优选低振动设备，从源头上降低振动量值；

2）对大振动设备采用有针对性的减振措施，控制其对外界的影响；

3）对隔振要求较高的设备，采用单独的隔振措施，并尽可能远离振动源；

4）根据设备的类型、振动强弱、扰动频率等特点合理进行隔振装置及支承结构的选用及优化。

4.2　舱内环控设计

舱内环控采用空调器对舱内温湿度进行调节，根据舱内设备热量、舱体传导热、辐射热、舱内照明散热以及人体散热等，合理确定空调制冷量，分别对操作舱和设备舱进行环控。

空调器按结构形式不同，一般可分为整体机和分体机[7]，综合本系统设备集成布局的特点，空调器选用分体机的方案，即将空调器的室内机与室外机分开布置，以适应本系统车载方舱一体化布置的需求。舱内环控的工作原理如图 9 所示。

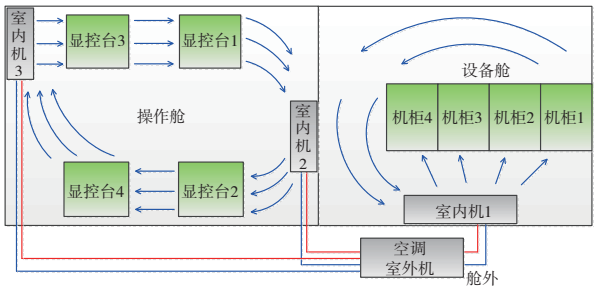

图 9　舱内环控工作原理图

设备舱环控仿真分析结果如图 10 所示，分析结果表明：设备舱内流场分布合理，舱内机柜靠空调侧平均空气温度约为 25 ℃，远离空调侧空气温度约为 30 ℃，可以较好地满足舱内风冷设备的散热需求。

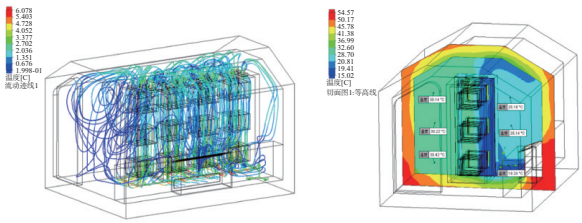

图 10　设备舱内空气流场与温度分布云图

操作舱环控仿真分析结果如图 11 所示，分析结果表明：舱内流场分布合理，舱内平均空气温度约为 26℃，可以为舱内人员和设备提供较为适宜的工作环境条件。

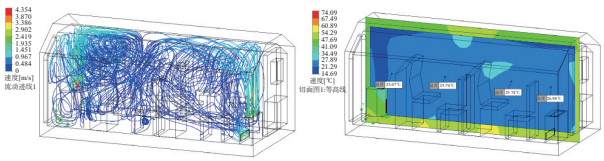

图 11　操作舱内空气流场与温度分布云图

4.3 舱内电磁防护设计

本系统天线阵面采用拱形共形阵面结构设计，操作舱位于天线所围成拱形区域的内部，由于天线需要收发电磁波，因此，对舱内空间尤其是操作舱进行足够的电磁防护设计是十分必要的。本系统针对舱内电磁防护主要采取了以下措施：

1）优化天线阵面布局，将发射天线阵面布置在整个天线阵面的最前部，尽可能地远离人员操作区域；

2）对舱内布局进行优化，将发射天线阵面对应的舱内区域用于安装电子设备，操作舱布置在接收天线阵面区域，两个区域之间设置一堵隔墙，且隔墙进行电磁屏蔽处理，减少电磁辐射能量向操作舱的传递；

3）对天线后部维修门进行电磁屏蔽设计，从源头上降低天线阵面对舱内的电磁辐射泄漏水平。

综合采取上述设计措施，并采用专业电磁仿真分析软件对操作舱内的电磁水平进行了仿真分析计算，分析表明舱内电磁水平满足人员长期工作的安全防护要求。

4.4 舱内降噪设计

为了确保工作人员长期工作的舒适性，对人员工作区域进行良好的降噪设计也是非常必要的。本系统针对人员长期工作的操作舱主要采取了以下几方面的降噪措施[8]：

1）优化系统中液冷机组和电站这两大噪音源的设计，均选用静音型产品，从源头上降低系统整体的噪音水平；

2）优化系统整体布局，将系统的主要噪音源即电站、液冷机组布置在载车的前部，且采用分舱设计，使人员所处的天线舱与电站、液冷机组所处的液冷电站舱在结构上相互独立，减小噪音向人员工作区的传递；

3）优化天线舱内设备布局，将噪音较大的电子设备机柜布置在设备舱，尽可能远离操作舱，且两个区域之间设置隔墙，降低电子设备机柜噪音对操作舱的影响；

4）操作舱的空调室内机选用静音型产品，其噪音不超过55 dB。

综合采取上述设计措施，并采用专业噪声仿真分析软件对操作舱内的噪声水平进行了仿真分析计算，分析表明舱内噪声水平低于65 dB，满足相关要求。

5 结束语

本文提出了一种新型车载机动式测控站结构，通过多系统单站集成融合优化、结构刚度与精度控制等系统集成技术，将传统类似系统3～4辆车的设备融合集成到1辆车上，实现一车一站设计，并通过一体化液冷、多级精密互联、共形阵面等低剖面天线集成技术，实现了天线阵面和舱室的高效集成，且人机工程优良，其设计思路可供同类产品结构设计参考。

参考文献：

[1] 房景仕，张根烜，王晨晨.一种车载高机动雷达结构总体设计[J].电子机械工程，2017，33(4)：6-9.
[2] 陈凡龙，江涛，朱志远.某大口径高机动雷达天线阵面结构设计[J].雷达与对抗，2022，42(4)：38-41.
[3] 张永泰，张力余.新一代统一测控系统的总体设计[J].遥测遥控，1997，18(6)：8-14.
[4] 张一帆.测控系统防雷设计[J].电子机械工程，2013，29(2)：11-13.
[5] 王子君，关宏山.32通道数字阵列模块PCB散热设计[J].雷达科学与技术，2022，20(5)：573-577.
[6] 李风新.军用电子设备环境适应性设计方法[J].环境技术，2023，41(7)：50-57.
[7] 魏勇亮，胡兴荣.军用方舱空调选型注意事项[J].装备制造技术，2017(9)：80-81.
[8] 梅源，江超杰，吴进凯.电子设备方舱风噪声降噪技术研究[J].现代雷达，2022，44(6)：77-81.

作者简介：

关宏山 男，工程硕士，高级工程师，主要研究方向为雷达结构与环控系统设计。

朱志远 男，硕士，高级工程师，主要研究方向为雷达天线系统结构设计。

时海涛 男，博士，高级工程师，主要研究方向为雷达结构力学与大阵列结构设计。