

车载式空中交通管理系统关键技术研究*

何启跃,王千骐,牛忠文,任翔,赵科

(安徽四创电子股份有限公司, 安徽合肥 230088)

摘要:在地震或其他强烈自然灾害后,机场固定式空中交通管理系统可能遭受严重破坏,车载式空中交通管理系统能够帮助快速恢复灾后机场交通。文中通过雷达载车系统的机动性设计和可快速拼接接收的碳纤维天线设计等方法将一次雷达、二次雷达、ADS-B 和空管自动化设备集成在载车平台上,以满足系统的机动性要求。样机系统经过实验验证,其功能指标满足一般中小机场的应急需要,架设和撤收时间均可控制在 4 h 以内,为空中交通管理提供了一种车载式应急产品。

关键词:车载式空中交通管理系统;机动性设计;碳纤维天线

中图分类号:TN82 文献标识码:A 文章编号:1008-5300(2016)04-0043-04

Key Techniques of Vehicular Air Traffic Management System

HE Qi-yue, WANG Qian-qi, NIU Zhong-wen, REN Xiang, ZHAO Ke

(Anhui Sun Create Electronics Co., Ltd., Hefei 230088, China)

Abstract: After an earthquake or other strong natural disaster, airport fixed air traffic management system may suffer from serious damage. Vehicular air traffic management system can help airport rapidly recover the traffic after disaster. In this paper, the primary radar, secondary radar, ADS-B and air traffic control automation equipment are integrated into a truck platform by the methods such as radar vehicle mobility design and carbon fiber antenna (with rapid mounting and dismounting capability) design to satisfy the system mobility requirements. Prototype system is experimentally verified that its functional performance meets the emergency requirements of common small and medium-sized airport. Time used for mounting and dismounting can be controlled within 4 hours. It provides a vehicular emergency production for air traffic management.

Key words: vehicular air traffic management system; mobility design; carbon fiber antenna

引言

目前民航机场的空中交通管理系统均为固定式产品,系统包含一次雷达、二次雷达、ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) 和空管自动化设备,它们均被安装在机场建筑物内,不能满足应急情况的机动性应用要求^[1]。民航机场应急装备中也有些机动式应用主要集中于单脉冲二次雷达。二次雷达采用协同监视的模式,工作时向空中发出询问脉冲,飞机接收到询问脉冲后向雷达发送应答信号告知当前飞机的状态位置信息。如果飞机上应答器发生故障或飞机是非合作目标,则系统不能完成监视任务^[2]。与普通机动式二次雷达相比,车载式空中交通管理系统信息获取途径更多元,能够监视非合作目标,系统不仅包含

监视设备,还能利用空管自动化设备完成机场飞行管制,但是这种功能完备的系统设备量较大,特别是一次雷达的大口径天线是车载式系统设计的关键和难点。本文将重点研究系统的载车平台和可快速拼接接收的碳纤维天线的设计思路和方法。

1 系统总体方案

空中交通管理系统的一般构成包含一次雷达、二次雷达、ADS-B 和空管自动化设备。车载式系统也由这些基本设备构成,电讯原理均为将一次雷达的主动监视、二次雷达的协同监视和 ADS-B 的相关监视 3 种目标信息经雷达录取终端进行数据融合处理后送空管自动化系统综合显示终端进行显示^[3]。空管自动化系统除了进行飞行报文处理,还对各雷达设备进行监

* 收稿日期:2016-05-12

控。此外,车载系统还必须配置必要的系统标校设备,图1给出了系统框图。

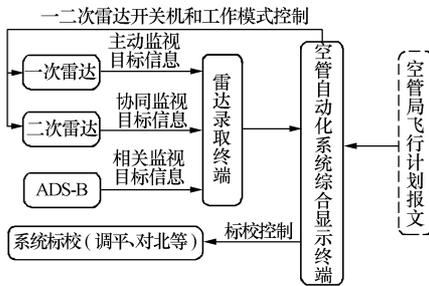


图1 车载式空中交通管理系统框图

车载式与固定式的不同主要体现在机动性的要求上。车载式系统被定位为中小型机场的应用,与固定式系统相比,其探测距离较近,固定式系统中二次雷达的最大探测距离一般为130 km和450 km,而车载式系统一般设计为100 km和250 km。降低部分探测指标的主要目的是在满足中小机场应用的条件下降低二次雷达天线尺寸(由8 m缩小到5.3 m)^[4]和一次雷达发射组件数量(由8组件减少为4组件)^[5],使载车设计更紧凑,机动性更强。

2 关键技术研究

2.1 系统载车平台设计

整个系统在结构上由1辆雷达车和1辆终端车构成,雷达车上装有一次雷达、二次雷达、ADS-B、系统标校等设备,终端车上装有空管自动化系统,雷达车与终端车之间通过网络和电缆进行连接,所有控制和显示都在终端车上完成。图2为雷达车和终端车布局图。

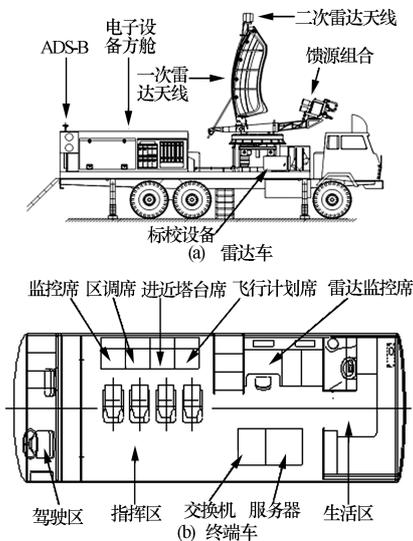


图2 雷达车和终端车布局图

一二次雷达的电子设备和空管自动化设备载车平台设计没有太多的难点。系统设计的关键在于较大的雷达天线(一次雷达天线口径为5 500 mm × 3 047 mm,二次雷达天线口径为5 300 mm × 340 mm × 310 mm)既超高也超宽,无法满足道路运输条件^[6]。所以系统载车平台设计的重点是雷达天线在运输状态和工作状态之间进行快速转换的能力。

运输时天线处于倒伏状态,工作时天线处于举升状态,这样就可以解决天线超高的问题,为此设计了电动天线倒伏机。但倒伏时天线仍然超宽,解决的办法是将一次雷达天线设计为3块拼装,中块宽度为2 400 mm,左右2个边块对称,宽度均为1 550 mm;将二次雷达天线设计为2块拼装。运输时,将一次天线整体向后倒伏,手工拆除左右边块及二次天线,将边块放置在电子方舱上部的边块箱中,二次天线放置在电子方舱中的空位处,满足道路运输条件。图3为雷达车工作状态和运输状态示意图。系统要求在无吊车等辅助设备的情况下,4 h以内人工完成安装架设或撤收。

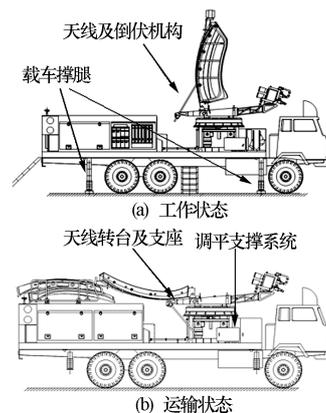


图3 雷达车工作状态和运输状态

天线反射体结构如图4所示。天线在运输状态和工作状态之间的转换是通过中块背筋上的螺旋升降机来实现的。中块于P0点与天线转台铰接,通过连接在P1点的推拉杆作用,绕P0点转动,以调整天线的姿态;左右两边块呈对称结构,利用定位、快速锁定机构与中块连成一体。

雷达车由运输状态到工作状态的转换还应解决系统快速标校的问题,这里标校主要指天线水平标校和天线方位标校。天线水平标校的基本原理是调平控制机依据天线转台上的水平传感器的信息自动调节雷达车上加装的4套支撑腿的长度来实现调平。天线方位标校的原理是通过2个分开放置在电子设备方舱顶部的GPS获取2个GPS天线连线与地球北的夹角数据,用此数据修正雷达方位码盘的正北数据来实现方位标校。

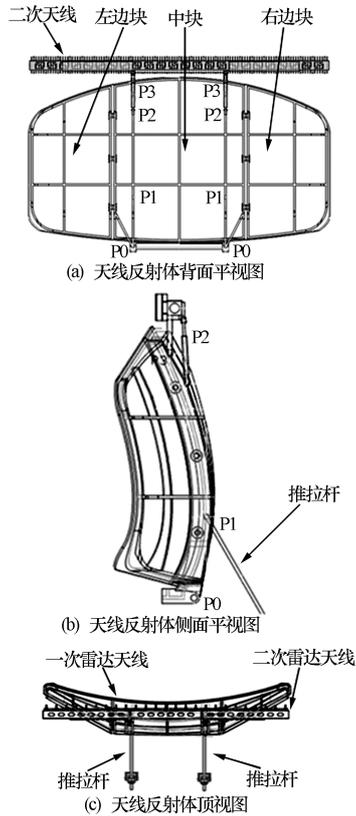


图 4 天线反射体结构图

2.2 可快速拼接撤收的碳纤维天线设计

固定式空管雷达天线没有机动性要求, 天线反射面多由金属材料构成, 重量较重, 架设时还需用吊车进行辅助安装。因为载车系统要求天线边块能够快速人工拆装, 所以天线在满足电性能指标的情况下重量应尽可能轻。

碳纤维是由有机母体纤维采用高温分解法在 1 000 ℃ ~ 3 000 ℃ 高温的惰性气体下制成的, 呈黑色, 坚硬, 具有强度高、重量轻等特点, 其比重不到钢的 1/4, 是一种力学性能优异的新材料。碳纤维复合材料抗拉强度一般都在 3 500 MPa 以上, 是钢的 7 ~ 9 倍, 抗拉弹性模量为 23 000 ~ 43 000 MPa, 亦高于钢。因此碳纤维复合材料的比强度即材料的强度与其密度之比可以达到 2 000 MPa/(g/cm³) 以上, 而 A3 钢的比强度仅为 59 MPa/(g/cm³) 左右, 同时, 碳纤维的比模量也比钢高。材料的比强度愈高, 则构件自重愈小, 比模量愈高, 则构件的刚度愈大, 因此, 碳纤维复合材料的“轻而强”和“轻而硬”的力学特性可满足车载系统的要求。

碳纤维复合材料天线由反射面和背筋构成, 与蒙皮加筋板结构的金属天线不同, 其天线面精度取决于反射面板的成型精度。结合碳纤维复合材料结构设计

和加工成型特点, 在结构设计中, 一方面从保证面板自身结构刚性入手, 另一方面从保证天线体整体刚度入手, 面板和背筋均采用 A 夹层形式。面板表面为 T300 碳纤维层, 中间夹层为铝蜂窝, 碳纤维层厚度为 0.6 mm, 铝蜂窝厚度为 30 mm; 背筋表面为 M40J 碳纤维层, 中间夹层为泡沫, 碳纤维层厚度为 1 mm, 泡沫层厚度为 40 mm, 碳纤维表面未进行涂覆。

经实际测量, 本文的碳纤维天线单个边块重量约 30 kg, 中块重量约 60 kg。天线边块 4 人配合就可实现人工撤拼。

天线的边块与中块之间通过快速定位锁紧装置进行连接, 这样可以保证天线的面精度达到一定水平; 天线中块和馈源组合之间的相对位置固定保证了天线波瓣的一致性。天线成型后与馈源组合一起进行了天线波瓣近场测试, 实测天线增益 $\geq 34 \pm 0.5$ dB, 波瓣宽度为 $1.45 \pm 0.1^\circ$, 空域覆盖 $\geq 40^\circ$, 满足电讯性能要求。表 1 和表 2 为天线实测数据。

表 1 天线增益表

频率/MHz	天线接收的功率/dB	标准增益喇叭接收的功率/dB	标准增益喇叭的增益/dB	测量天线的增益/dB
2 700	-6.27	-21.31	18.90	33.94
2 800	-6.12	-21.77	19.15	34.80
2 900	-7.53	-22.33	19.35	34.15

表 2 天线参数表

频率/MHz	水平面(H面)		垂直面(E面)	
	3 dB 波束宽度/(°)	3 dB 波束宽度/(°)	最大覆盖空域角/(°)	波束下边缘截止角/(°)
2 700	1.50	4.15	42.5	3.1
2 800	1.46	3.88	43.1	3.0
2 900	1.45	3.81	40.8	2.8

3 应用试验情况

3.1 机动性情况

车载式空中交通管理系统的机动性就是为了解决雷达系统运输状态与工作状态的快速转换, 本文按照下面的步骤分别进行了实测实验。

架设步骤: 1) 电缆铺设、边块及二次天线准备; 2) 支撑腿展开、调平; 3) 去转台锁, 推动转盘至左边块安装位置; 4) 安装左边块; 5) 推动转盘至右边块安装位置; 6) 安装右边块; 7) 安装二次天线; 8) 天线翻转至工作状态锁定。

撤收步骤: 1) 天线解锁倒伏至运输状态; 2) 拆掉

二次天线,放至固定架;3)拆卸左边块,放至边块箱固定;4)拆卸右边块,放至边块箱固定;5)收起支撑腿,收起垫木;6)天线锁定,转盘锁定;7)收电缆。

实验结果是:在无吊车等辅助设备的情况下,架设时间和撤收时间均小于4 h。

3.2 系统具有的功能及达到的目标

经测试和评估,认为该系统达到以下主要目标:

1)系统到达指定工作地点后能够快速展开,通过自动架设、调平、定北,达到工作状态;2)系统具备一二次点航迹数据、ADS-B数据及飞行计划报文的融合能力;3)一次雷达覆盖 ≥ 100 km(雷达发现概率 $P_d = 0.8$,雷达发现虚警率 $P_{fa} = 10^{-6}$,目标反射截面积 $\sigma = 2 \text{ m}^2$,SWI类目标);(4)二次雷达覆盖 ≥ 250 km($P_d = 0.9$)。

4 结束语

按照本文介绍的车载式空中交通管理系统的机动设计方法研制的样机已通过民航航空管理局的验收测试。该项设计的创新点在于大口径可撤拼轻质碳纤维天线的设计,碳纤维材料较轻的重量使得人工撤拼大口径反射面天线成为可能,此外,碳纤维天线与金属材料天线相比在加工成本和加工周期方面也有一定优势。实践表明,系统载车平台优化和轻量化可撤拼碳纤维天线的研制是中小机场车载式空中交通管理系统的机动性应用的有效途径之一。

参考文献

- [1] 谢玉兰,陈文秀. 美国空管自动化系统介绍[J]. 空中交通管理, 2007(6): 39-41.
- [2] 俞中良,王千骐,陈忠先. 3821 近程空管一次雷达产业化进展情况[J]. 空中交通管理, 2010(8): 10-12.
- [3] 蒋倩,程延松. 基于 ATC 系统多雷达信号模拟器的研究和应用[J]. 民航科技, 2014(6): 33-36.
- [4] 唐宝富. 二次雷达天线小型化设计[J]. 电子机械工程, 2006, 22(6): 26-28.
- [5] 张家勇,徐鹏,任翔. 机动多功能航管雷达系统研究[J]. 现代电子技术, 2014(9): 4-5.
- [6] 牛忠文,任翠锋,鞠金山,等. 大口径高精度航管雷达天线结构设计与应用[J]. 雷达科学与技术, 2015(1): 103-108.

何启跃(1959-),男,硕士,高级工程师,主要研究方向为无线电通信。

王千骐(1963-),男,研究员级高级工程师,主要研究方向为雷达工程。

牛忠文(1966-),男,硕士,研究员级高级工程师,主要研究方向为雷达结构工艺技术。

任翔(1982-),男,硕士,工程师,主要研究方向为雷达工程。

赵科(1988-),男,工程师,主要研究方向为雷达工程。

(上接第26页)

- [2] 尹本浩,蒋威威,何冰,等. 液冷电子设备的冷板流阻匹配研究[J]. 电子机械工程, 2013, 29(2): 1-4.
- [3] 赵仁祥. 高效散热微通道液冷冷板焊接技术及成形工艺研究[J]. 电子机械工程, 2008, 24(4): 33-36.
- [4] 任川. 微/小通道冷却技术的工程化应用[J]. 电子机械工程, 2014, 30(5): 1-6.
- [5] 翁夏. 微/小通道冷板在某型相控阵天线上的对比分析[J]. 电子机械工程, 2014, 30(5): 16-18.
- [6] 刘晓红,江建. 某数字 T/R 组件微通道液冷冷板的热设计[J]. 电子机械工程, 2016, 32(2): 13-16.
- [7] FAN Y, LEE P S, JIN L W, et al. A parametric investigation of heat transfer and friction characteristics in cylindrical oblique fin minichannel heat sink[J]. International Journal

of Heat and Mass Transfer, 2014, 68: 567-584.

- [8] LAW M, LEE P S, BALASUBRAMANIAN K. Experimental investigation of flow boiling heat transfer in novel oblique-finned microchannels[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2014, 76: 419-431.

- [9] LEE Y J, SINGH P K, LEE P S. Fluid flow and heat transfer investigations on enhanced microchannel heat sink using oblique fins with parametric study[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2015, 81: 325-336.

刘晓红(1982-),女,高级工程师,主要从事雷达结构热设计工作。