

# 基于系留气球的测控系统研究

汪 洋<sup>1</sup>, 赵伊宁<sup>2</sup>, 李梦超<sup>3</sup>, 杜以林<sup>3</sup>

(1. 中国人民解放军 92941 部队 44 分队, 辽宁 葫芦岛 125001;  
2. 北京航天飞行控制中心, 北京 100091; 3. 北京机电工程研究所, 北京 100074)

**摘要:** 当前, 对导弹移动目标实施遥测任务的主要平台有车载遥测站、遥测船以及遥测飞机等, 这些方式分别有各自的局限性; 在对现有主要遥测地面站特点进行分析的基础上, 结合遥测需求, 通过严格的理论论证, 提出了一种基于系留气球的新的测控系统实现方式; 通过分析各个部分的需要, 得到了一种可行的系统组成方式, 以及各组成部分需要满足的要求; 简要分析了这种模式的关键技术体系; 总体设计技术有来自升空高度和载荷能力的约束, 通过建立数学模型, 得到了计算总体设计指标的方式; 根据微系统技术的具体分析, 得到了微系统需要的各个模块的功能需求; 经过初步分析, 得到了相控阵与天线罩一体化设计技术等关键技术分析的应用能力; 综合以上的所有分析, 得出了基于系留气球的遥测系统的实现思路。

**关键词:** 系留气球、测控、关键技术。

## Research on Tethered Ballons—based Measuring and Controlling System

Wang Yang<sup>1</sup>, Zhao Yining<sup>2</sup>, Li Mengchao<sup>3</sup>, Du Yilin<sup>3</sup>

(1. China People's Liberation Army Troop 92941 Unit 44, Huludao 125001, China; 2. Beijing Aerospace Control Center, Beijing 100091, China; 3. CASIC Third Integrity Design Department, Beijing 100074, China)

**Abstract:** Nowadays, the main platforms for the telemetry system of missile moving targets are vehicle-mounted telemetry stations, telemetry ships and telemetry aircraft, which have their own limitations. Based on the analysis of existed main features of ground telemetry sites and rigorous theoretical argument, a new implement method of measuring and controlling system based on tethered ballons with telemetry system demands considered. Through the analysis of the needs of each part, a feasible way of system composition and the requirements that each part needs to meet are obtained. According to the specific analysis of microsystem technology, the functional requirements of each module required by microsystem are proposed. After preliminary analysis, the application ability of the integrated design technology of phased array and radome is obtained. Based on the above analysis, the realization idea of the telemetry system based on tethered balloons is proposed.

**Keywords:** tethered balloons; telemetry; key technologies

## 0 引言

当前, 对导弹移动目标实施遥测任务的主要平台有车载遥测站、遥测船以及遥测飞机等。采用车载遥测站和遥测船的方式, 因受视距限制, 作用距离较短, 需布置多个遥测站才能满足长距离的全程遥测任务, 且保障设备需求较多, 其难度较大; 遥测飞机能够通过升空解决视距影响, 但此种情形带来的问题是, 飞机、飞机改造以及单次使用成本均较高, 同时, 飞机起降需要机场保障, 且对天气条件有一定要求, 保障需求较高, 并且遥测飞机接收到的数据不能实时处理, 时效性较差。

系留气球是一种自身不带动力, 依靠浮力升空的浮空飞行器, 是近些年研究和应用较多的平台形式, 其具备的特点为: 第一, 滞空时间长, 大型系留气球可连续滞空 30 天以上; 第二, 系统覆盖范围大, 一般系留气球部署高度可达 4 km 以上, 系统覆盖范围可达 200 km 以上, 美国 JLENS 系统探测距离为 550 km, 俄罗斯美洲豹探测距离超

过 700 km; 第三, 载荷能力强, 理论上其搭载的任务载荷没有尺寸限制; 第四, 生存能力强, 系留气球的球体结构材料, 一般具有很好的透波性, 在受到炮火饱和和攻击后, 获得足够的回收和维修时间; 第五, 费效比较高, 载荷 1 吨的系留气球产品, 留空一天仅需花费 3 000~4 000 元; 第六, 系统要求低, 可以采用系留缆绳实现电源、信号与信息的双向传递。在美国, 系留气球的应用已经覆盖军用及民用的各个领域, 2017 年, 美国 TALONS 系统首次在海军现役舰船上开展试验, 该系统为一款翼伞系统, 由海事应用物力公司研发, 具有低成本、完全自动化的特点, 可携带重量不超过 68 kg 的情报、监视、侦查和通信载荷, 达到 150 m~450 m 的飞行高度。因此, 采用系留气球构建遥测站, 一方面可以通过升空解决视距问题, 另一方面, 由于充分利用系留气球的系留缆绳特点, 可以比较简单地构建测控系统, 是一种值得研究开发的新型平台。

本文第一部分简要介绍提出基于系留气球的测控系统技术的背景, 并简要分析了该技术的突出优点; 第二部分对组成该系统的球体结构、系留缆绳、任务载荷、锚泊平台、地面控制系统的五部分进行简要介绍; 第三部分对该系统的总体设计技术、相控阵与天线罩一体化设计技术、

收稿日期: 2018-11-21; 修回日期: 2019-03-26。

作者简介: 汪 洋(1969-), 男, 辽宁兴城人, 空军预警学院, 硕士, 高工, 主要从事测控与靶标总体技术方向的研究。

微系统技术等关键技术进行了初步分析,并简要给出了解决思路。

## 1 基于系留气球的测控系统组成

系留气球载测控系统主要由球体结构、系留缆绳、任务载荷、锚泊平台、地面控制系统五大部分组成,示意图如图 1 所示。

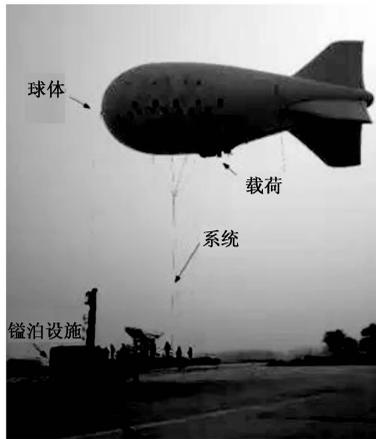


图 1 基于系留气球的测控系统示意图

以下分别对五个部分进行简要介绍。

### 1.1 球体结构

承载平台所使用的系留气球的外形一般可为水滴或纺锤形。但系留气球存在一定的限制性,其本身不具有动力,同时不具有操纵面,这些限制性需要系留气球拥有气动稳定性。系留气球具有三层结构,分别是连接层、承力层和阻氦层。气球的囊体材料由多层播磨和织物粘合组成。

系留气球的结构可以分为四个部分,头锥构成了气球的前部,氦气囊和空气囊两个气囊组成了气球的中部,充气尾翼构成了气球的后端,气球的下部安装整流罩,整流罩也被称为防风罩。充气的尾翼的布局通常为十字形或者倒 Y 字形,这两种形式的布局,都可以对加强系留气球的稳定性。当前,国外对系留气球的尾翼通常采用倒 Y 字形结构布局,这样会在保证其稳定性的情况下,增强其可操作性和工程稳定性。

### 1.2 系留缆绳

系留缆绳包括多个侧系缆和一个主系缆,侧系缆分成多股,将力分散在球体侧面;主系缆连接在球体的主节点上,从而保证在载荷重量改变时不会影响系留气球仰角。多个侧线缆也可以为载荷提供安装空间;主系缆为复合缆,集成了承力缆(一般为复合材料织物如芳纶)、供电缆(一般为高压)和通信缆(可以是电缆或光缆),一方面可以提供拉力约束球体,另一方面为气球设备载荷提供能源,并实现控制指令的上传和载荷数据的下传。

### 1.3 任务载荷

载荷安装在球体腹部,由以下主要部分组成:

1) 任务载荷控制器。任务载荷控制器用于接收、响应

地面控制系统发出的控制指令,并对球上设备的工作状态的进行控制。

2) 二次电源模块。二次电源模块负责将通过系留缆绳提供的电源转换成任务载荷各个模块所需要的电源,并符合系统设计的电源品质。

3) 环境和状态感知模块。环境和状态感知模块包含环境参数传感器和组合导航设备两大部分,其中环境参数传感器能够将任务载荷处的温度、电压等环境参数送给任务载荷控制器,惯导卫星组合导航设备通过惯导卫星组合导航设备,可获取载荷的位置、姿态以及时间信息,并通过卫星信息,及时修正位置及姿态误差。

4) 数据传输模块。该模块在任务载荷控制器的综合控制下,一方面负责接收由地面提供的指令信息,另一方面将采集到的遥测信息进行回传。

5) 遥测数据采集系统。该系统是任务载荷的主体部分,采用相控阵天线和一体化综合射频系统组成,一体化综合射频系统一方面接收相控阵天线接收的遥测射频信号,进行滤波、放大,下变频至中频后采样,将采样后的数字信号送入 DBF 和信号处理设备,在数字域进行数字波束成形和极化合成及解调调制等信号处理,然后送至数据传输模块,由数据传输模块传递至地面控制系统。

### 1.4 锚泊平台

锚泊平台是球载测控接收站系统的操控平台,一般有阵地式、车载式和舰载式三种,锚泊平台的主要作用是确保系留气球能够安全可靠地升空和回收,并在指定的高度上正常工作,当气球在地面系留时,能够方便地对气球及球上设备进行维护和修理。

大型系留气球所使用的锚泊平台一般是阵地式的锚泊平台,其通常的组成部分有:圆形导轨、机械转台、旋转基座、系留塔、水平横梁、防护舱和控制舱、绞盘等。车载式锚泊平台组成部分有:系留塔、水平支臂、绞盘、控制舱和半挂车等。该平台一般称为锚泊车,适用小型系留气球。舰载式锚泊平台通常,在舰艇的后甲板的左右两侧分别安装了单条导轨,两条导轨之间存在一定距离,导轨的上架有可以前后移动的滑架,滑架允许  $360^\circ$  旋转,同时系留系统固定在滑架上。在构建基于系留气球的测控系统时,可以根据任务特点分别应用三种锚泊平台于不同的场景。

### 1.5 地面控制系统

地面控制中心包括遥控、遥测和指挥系统。地面控制中心将用来检测,同时控制气球上的通信设备设施。其不仅可以完成连续监测升空气球的各项数据和工作数据,比如升空高度、风速、温度、气球姿态、供电状态等,还能完成遥测数据的分析与处理。

## 2 基于系留气球的测控系统关键技术分析

基于系留气球的测控系统是一种新的测控系统实现方式,系统设计和实现时需要解决系留气球设计和载荷设计

中的若干关键技术, 以下给出几个核心关键技术。

## 2.1 系统总体设计技术

系统总体设计中, 重点解决系留气球设计和选型问题, 是该测控系统的关键环节之一, 设计中需要重点根据作用距离确定气球升空高度, 并根据升空高度和载荷能力需求约束, 确定系留气球的种类和尺寸, 从而支撑完成系留气球的设计与实现。

### 1) 升空高度的设计。

系留气球需要根据需求合理设置声控的高度以尽可能降低系统对系留气球的要求。由于测控系统使用微波通信, 工作于微波视距, 该视距存在两个制约条件: 无线电视距和链路电平。无线电视线距离指两个天线之间保持无障碍通信的最大通信距离, 该距离与地球曲率、大气折射、地面反射、气候、地形等诸多因素有关。根据以往来自测控系统数据和得出的结论, 数学模型可以简化为只用地球曲率计算的几何视线距离作为无线电视距。仅使用地球曲率计算的视线距离公式为:

$$R = 3.57(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad (1)$$

式中,  $h_1$ 、 $h_2$  为天线高度, 单位 m;  $R$  为视线距离, 单位 km。根据公式可以得到目标与测控站无线电视距和目标飞行高度的关系, 根据此公式, 在确定测控目标的飞行包络后, 可以确定出最小视距, 从而可以确定气球升空高度。

### 2) 载荷能力约束。

测控系统分析时, 作用距离公式一般可以采用如下公示进行:

$$SM = 10\log_{10} \left( P_t G_t G_r \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \frac{1}{L} \frac{1}{k T_0 B F_n} \right) - E_b / N_0 \quad (2)$$

式中,  $SM$  为系统链路裕量,  $P_t$  为辐射功率,  $G_t$  为发射天线增益,  $G_r$  为接收天线增益,  $\lambda$  为载波波长,  $R$  为传输距离,  $L$  为系统损耗,  $k$  为玻尔兹曼常数,  $T_0$  为温度,  $G_r$  为带宽,  $F_n$  为噪声系数,  $\frac{E_b}{N_0}$  为保证系统传输误码率的信噪比, 可以看出, 在测控目标参数一定的情况下, 在确定了目标飞行包络后, 可以确定最大测控距离, 即为接收距离, 从而可以确定接收天线增益, 同时可以确定对接收机系统的需求, 进一步分析对导航定位等系统需求, 进而确定需要的载荷能力。

在确定升空高度、载荷能力等重要参数后, 可以完成系留气球的选型与设计。

## 2.2 微系统射频集成技术

根据系统任务需求, 载荷部分具备将前端(导弹、飞行器)遥测信号接收并将采集到遥测数据下载到地面测控站和将地面指令发送到导弹、飞行器实现遥控功能, 同时还要完成系留气球本身控制是系统核心。载荷体积重量直接决定系留气球测控系统的升空高度、滞空时间和系统成本, 是本系统设计关键, 应进行综合规划高集成度设计力图保证系统功能前提下实现系统轻小。首先系统分析任务剖面, 将功能接近的模块合并, 如姿态控制计算机和测控

转发处理器可硬件合并软件分时处理, 在此基础上采用三维 SiP 封装和 SOC 等微系统技术达到系统轻小。对于射频部分应分析系统上下行全部工作频率选择适当带宽, 采用滤波器组分时采集或全带宽高速采集数字滤波实现射频信道集成。通过综合孔径技术实现天线公用, 综合以上微系统射频集成技术最终实现系统小体积轻量化要求。

## 2.3 相控阵与天线罩一体化设计技术

测控系统设计实现时, 高增益天线是其中的核心关键内容, 根据系统使用约束的轻量化和大扫描角度要求, 基于系留气球的测控系统采用数字相控阵模式, 在实现高增益的同时, 采用相位控制的方式实现对测控目标的跟踪, 其中相控阵天线系统包括相控阵天线阵面、频综模块、数字波束形成模块、基带信号采集模块、电源模块等部分, 对电路部分, 采用上述微系统技术与其余系统进行一体化综合化设计; 考虑到环境对系统性能的影响, 需要采用柔面天线罩实现对相控阵天保护, 为了达到系统效果最优, 在相控阵设计实现时进行相控阵天线和柔面天线罩一体化设计。

## 3 小结

本文在对现有主要遥测遥控收发系统特点进行分析的基础上, 结合导弹、飞行器遥测遥控需求, 提出了一种基于系留气球的新的测控系统实现方式, 并进行了使用便捷性和低成本性分析。给出了系留气球的测控系统的主要组成, 简要分析了关键技术技术体系, 并对总体设计技术、微系统射频集成技术以及相控阵与天线罩一体化设计技术等关键技术进行了初步分析, 进行了初步系统设计和实现途径, 后续将开展进一步研究, 以期此模式在导弹飞行器遥测遥控领域尽快得以广泛应用。

### 参考文献:

- [1] 汪岸柳, 毛伟文. 美国系留气球载监视系统发展分析 [J]. 西安航空学院学报, 2014, 32 (3), 24-27.
- [2] 陈昌胜, 赵攀峰. 系留气球载雷达系统分析 [J]. 雷达科学与技术, 2007, 5 (6), 410-414.
- [3] 林回祥, 朱弘. 大型系留气球测控系统软件设计 [J]. 信息与电子工程, 2010, 8 (3), 360-363.
- [4] 黎刚果, 汪洋, 朱晓峰. 一种无人机统一测控系统 [J]. 无线电工程, 2014, 44 (9), 74-77.
- [5] 李洁, 汪洋. 系留气球载雷达系统综合载荷配置研究 [J]. 现代雷达, 2013, 35 (9), 1-4.
- [6] Badesha S S, Goldfinger A D, Jerardi T W. Optical communication system using a high altitude tethered balloon [Z]. 2002.
- [7] Arellano V G D, Duyenkerke P G, Weele M V. Tethered - balloon measurements of actinic flux in a cloud - capped marine boundary layer [J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 1994, 99 (D2): 3699-3705.