

# 现代浮空器军事应用

黄宛宁, 栗颖思, 周书宇, 张泰华

中国科学院光电研究院, 北京 100094

**摘要** 现代浮空器在军事应用中最成熟、最普遍的是系留气球。本文介绍了系留气球相对于其他飞行器的优势, 梳理了系留气球在军事应用中的主要作用, 列举国外典型的系留气球系统; 对系留气球的生存能力进行评估, 分析了国外平流层飞艇在军事应用中的现状, 最后对浮空器进行展望。

**关键词** 浮空器; 系留气球; 平流层飞艇; 军事应用

浮空器在军事领域的应用有着悠久的历史: 1794年, 在法国大革命中, 法军首次使用系留气球进行高空侦察。1870—1871年普法战争, 交战双方已经开始大量使用系留气球进行侦察, 被围困的城市也发明用气球越过敌人的封锁线传导消息的方法。飞艇堪称人类战争中最早的“空军”, 1914年, 德国海军的飞艇就飞行在海面上执行巡逻任务; 1915年初, 2架“齐柏林”飞艇轰炸英国; 1917年开始, 美国海军亦使用各种飞艇执行海上巡逻和舰队侦察任务。在第一次世界大战后期, 由于战争促使的航空工业飞速发展, 浮空器在军事领域的应用由进攻转为防御。第二次世界大战中依然有大量浮空器特别是系留气球用于低空防空, 其中最著名的是诺曼底登陆战役(图1)。



图1 诺曼底登陆中的防空气球

Fig. 1 Anti-air aerostats in the Invasion of Normandy

直到高空轰炸机的出现, 防空气球才从战场上销声匿迹。冷战结束后, 美国多次介入的局部战争都属于典型的非对称战争, 例如在伊拉克和阿富汗, 防空力量已基本不复存在, 使得具备有限自卫功能的飞行器能够在不设防的领土上空几乎不间断地飞行。在这些国家, 还特别需要用持续不断的空中能力实现对地面目标的监视与侦察从而获取情报以及有限度的导弹攻击, 美国国防部选择大量使用系留气球来执行此类任务。这些浮空器的续航时间从几天到几周不等, 目前美国已经在伊拉克和阿富汗部署了上百套系留气球系统(若考虑备份、损坏后再修复及损毁后再重新生产的系统, 其使用数量远大于上述统计数据), 用来保护在当地的驻军。

## 1 现代军用系留气球系统

系留气球主要包括气球本体、系缆、锚泊系统3部分。气球的软式气囊内充氦气或氢气产生静浮力升空。气球可以安装预警雷达、通信装备、红外摄像机及电子通信等不同类型的监视探测装备。系缆是为了约束气球停留在期望的高度, 内部有导线与光纤, 前者为气球所搭载的各种载荷提供电力, 后者可将传感器获得的信息传送至地面接收站。正因为系留气球大多采用地面设施供电, 其续航时间才不受能源的限制, 与其他飞行器相比具有显著优势。锚泊系统配备有绞盘, 可通过施放或回收系缆控制气球的上升与下降。系留气球还需要车辆与地面控制站进行机动部署, 并将获得的情报整合处理, 分送至相关单位。系留气球的优点除了任务载荷可按需灵活搭载, 其布设平台的弹性也很大, 在陆地、船舶上都可布放。

美国系留研制方面最具代表性的公司分别有: TCOM、

收稿日期: 2016-10-31; 修回日期: 2017-04-13

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2013AA122904)

作者简介: 黄宛宁, 高级工程师, 研究方向为浮空器遥测遥控、有效载荷应用, 电子信箱: hwn@aoe.ac.cn

引用格式: 黄宛宁, 栗颖思, 周书宇, 等. 现代浮空器军事应用[J]. 科技导报, 2017, 35(15): 20-27; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2017.15.002

Lockheed Martin、RAVEN、Bosch Aerospace 等,其中系留气球领域的王者当属TCOM公司(图2),TCOM公司获得了美国大部分军用系留气球平台研制的订单。



图2 TCOM公司的球库  
Fig. 2 Hangar of TCOM

以TOCM公司的28M™系留气球系统(图3)<sup>[1]</sup>为例介绍系留气球系统的组成及功能。典型系留气球系统由系留气球平台和载荷构成,包括球载和地面设备,球载载荷包括雷达、惯导、GPS、光学/红外相机、广播中继等(图4)。不同载荷可以安装于球体不同位置。通过系缆供电并传输数据。TOCM 28M™系留气球长度28 m(TCOM型号均以长度命名),球体体积1600 m<sup>3</sup>,设计抗风能力25.7 m/s,最大抗风能力36 m/s。载荷质量375~675 kg。载荷供电能力5 kV·A@900 m,3 kV·A@1500 m。

TCOM公司的28M™系留气球系统通过集成情报、监视和侦察载荷(intelligence, surveillance, reconnaissance, ISR),在900~1500 m的高空提供ISR数据的能力,使其能够担任更大范围的监视侦察及通信中继/广播任务。



图3 TCOM 28M™系留气球  
Fig. 3 TCOM 28M™ tethered aerostat

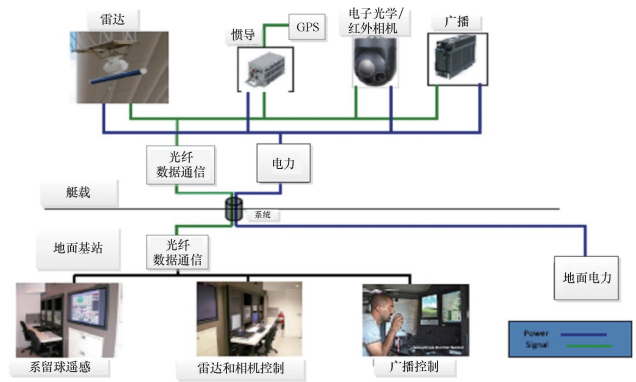


图4 TCOM 28M™系留气球系统组成示意  
Fig. 4 Systems of TCOM 28M™ tethered aerostat

## 2 系留气球优点

### 2.1 侦察能力强

球载监视系统可升空至3000 m的高空,相比地面监视系统,受地球曲率影响小,能够进行超地平线探测,消除一般山、海基雷达存在的探测和制导盲区,还能超越山峰限制,探索山谷内的目标。球载监视系统覆盖范围广,当气球升空高度达到3000 m时,对飞行高度50 m的目标,其监视距离可达到255 km,是地面雷达的5.7倍,监视面积达到2.8万 km<sup>2</sup>,是地面雷达的32.5倍<sup>[2]</sup>。系留气球对巡航导弹、超低空雷达的探测具有明显优势,有较强的侦察能力。

### 2.2 续航时间长

系留气球的能源可以通过与系缆集成在一起的电缆光缆从地面供给,无需气球上携带,与其他飞行器相比大大延长了滞空时间。图5即为系留气球与固定翼飞机的滞空时间对比。系留气球可滞空一个月,远远高于载人飞机和无人机不足一天的飞行时间。即使与其他中低空浮空器(lighter-than-air, LTA)相比,在滞空时间上也具有明显的优势。而其一次性滞空多日也实现了持续监控的目的。



图5 系留气球与固定翼飞机的滞空时间对比  
Fig. 5 Comparison of flying times of tethered aerostats and fixed-wing aircraft

### 2.3 效费比高

由于系留球能源由地面供给,使用常规电力即可,这样大大节约了飞行器的能源成本,也节约了飞行器需要携带燃料带来的附加成本。加之系留系统可根据军事需求灵活换装不同载荷,又可回收重复使用。综合看效费比较高,制造一套系留气球的价格远低于同规模的无人机和卫星。据估算,系留气球的使用成本仅为飞机的5%<sup>[3]</sup>,使用时,它可以比飞机降低约30%的能耗。

## 3 系留气球军事应用

### 3.1 ISR

目前,战场侦察监视主要依靠卫星和无人机等,侦察卫星的重复侦察周期较长,无法进行实时连续不间断的战场监视;无人机则存在留空时间限制,难以实现长时间对地观测。浮空器可以根据作战任务的要求,快速部署到战场附近空域,执行长时间、不间断的ISR<sup>[4-7]</sup>任务,且其观测成本低、空间和时间分辨率高、观测范围大,可有效提升战场态势感知能力,因此系留气球在ISR领域的军事应用非常广泛,型号众多。

#### 3.1.1 常规流线构型中型系留气球

2003年2月,由TCOM研制的第一套快速浮空器初始部署系统(rapid aerostat initial deployment, RAID)交付美国军方(图6),并在2003年3月部署到阿富汗,其目的是为覆盖区域提供持久、全景的观测,对潜在威胁和其他对情报目的有价值的事件发生时能够及时警告,为美军部队在地形复杂的地区顺利行动提供了强有力的情报支持。RAID系统使用的系留气球长度49 ft(15 m),体积10200 ft<sup>3</sup>(289 m<sup>3</sup>),载荷200 lb(90.7 kg),利用一台彩色昼间照相机、一台红外黑白昼/夜照相机和一台激光测距仪(带有一个方位指示器,可精确定位12 km或更远的目标)为美军提供持续的360°视角的战场情报覆盖,其滞空时间长达30天。RAID采用的TCOM 17M系留气球平台,通常飞行在1000 ft(305 m)高度,可覆盖半径数十千米的地面区域。在阿富汗,RAID执行了地区监视和部队保护任务以应对轻武器、迫击炮和火箭的威胁。



图6 TCOM17M锚泊状态

Fig. 6 Mooring state of TCOM17M

自2003年第一艘RAID系统交付以来,超过60艘系留气球平台和300套RAID系统(图7),作为持久监视和宣传系统(persistent surveillance and dissemination systems, PSDS2)的一部分,部署在伊拉克和阿富汗。RAID系统的飞艇简单实用,生存能力很强易回收易保养。尽管RAID系统较小,所执行的任务的重要性也不及导弹探测和预警,但是RAID在阿富汗获得了重要经验,这些对于未来的系留气球用户非常有益。RAID系统的使用促使了TCOM公司22M和28M<sup>TM</sup>系留气球平台的研发。



图7 快速浮空器初始部署系统(RAID)及其携带的侦察设备

Fig. 7 RAID and the airbornescouting equipment

类似RAID的系统还有持久地面监视系统(PGSS)、照片目标侦察系统(PTDS)等,均被美国海军或陆军大量采购用于军事领域ISR。这些系统采用的系留气球平台由TCOM或者洛克希德·马丁等不同公司生产,就体积而言一般为中型系留气球,其驻空时间从两周到一个月不等,搭载了不同的ISR有效载荷即构成了不同的任务系统。此类系留气球系统相对于大型、超大型系留气球机动性强、部署容易、成本低;相对小型系留气球滞空时间长、可靠性高、带载量大又可灵活布置载荷。因此此类系留气球系统在军事行动中得到广泛应用。

#### 3.1.2 小型自动充气快速部署系留气球

美海军研究办公室和美陆军器材司令部(Navy's Office of Naval Research and the Army's Materiel Command)为伊拉克作战而联合开发了快速发放浮空器平台(rapidly elevated aerostat platform, REAP)<sup>[8]</sup>,如图8、图9所示,REAP使用的系留气球长度31 ft,体积2600 ft<sup>3</sup>,载荷35 lb,驻空高度300 ft,滞空时间10天,搭载光电/红外载荷。“REAP虽小,五脏俱全”,同常规系留气球系统类似,REAP艇体具有尾翼、主气囊、副气囊,锚泊系统具有旋转平台、绞盘、锚泊杆和光电集成线缆。REAP最大的优点是可以在5 min内从高机动用途轮式车(HMMWV)的后部自动充气部署,能携带日光/微光相机。当漂浮在300 ft高度时,REAP上的传感器能覆盖半径18英里(28.97 km)的地面区域。

与REAP类似的自动充气部署小型系留气球还有TCOM 12M。由于其机动灵活,自动充气操作极其方便,颇受驻守在伊拉克和阿富汗美军基地的一线美军士兵青睐。

#### 3.1.3 非常规构型系留气球

以色列RT技术公司研制了一系列Skystar系留气球,包括Skystar100、Skystar180、Skystar220、Skystar250、Skystar300,

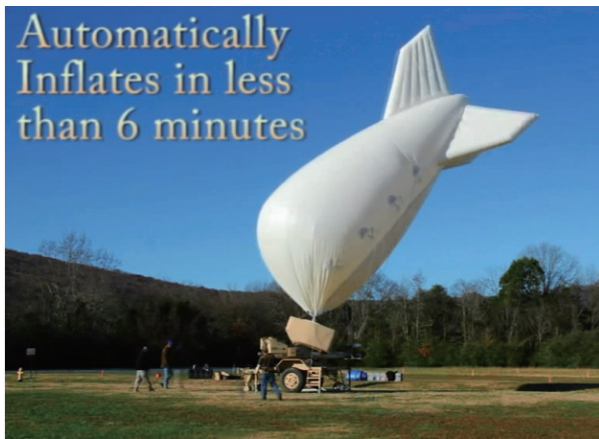


图8 快速空中浮空器平台

Fig. 8 Rapidly elevated aerostat platform

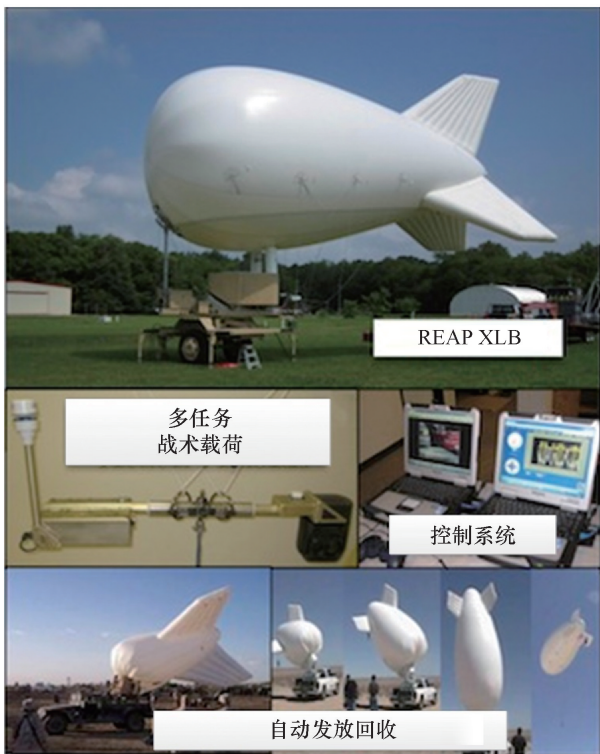


图9 REAP 各分系统

Fig. 9 Subsystems of REAP

以及最新款 Skystar330<sup>9-10</sup>。目前,RT 气球系统已被以色列、阿富汗、墨西哥、泰国、加拿大及俄罗斯使用。对典型的单兵系留气球 Skystar100 和战术级系留气球 Skystar300 进行介绍。

Skystar100 单兵系留气球系统(图10)是一种仅依靠两人即可实施操作的低空浮空平台系统,系统主要包括球体、系缆(含供电、数传)、绞盘、气瓶、载荷及其控制接收装置组成。全系统打包至一个或两个背包中,由单兵背负。气球直径 2.8 m, 体积约 12 m<sup>3</sup>, 系统总重 8 kg, 载荷质量 2.5 kg, 升空高度 100 m, 探测范围 1000 m, 目标辨识范围 500 m, 可以拍摄高清的图片和视频。



图10 单兵系留气球 Skystar100 系统

Fig. 10 Skystar 100 mini aerostat systems

在 2014 年 7—8 月加沙边境的冲突中,以色列沿边境部署了 13 套 Skystar300 系留气球系统(图 11)。该气球直径 7.7 m, 体积 100 m<sup>3</sup>, 部署时间仅需要 20 min。该系统可以在 350 m 高度搭载 50 kg 的载荷, 连续工作时间达 72 h, 抗风能力达到 20 m/s。



图11 以色列 Skystar300 战术级系留气球系统

Fig. 11 Skystar300 aerostat system

与 RT 技术公司的 Skystar 系列类似, 还有 SkySentry 公司的 TEA-45, Carolina Unmanned Vehicles 的 STMPAS, Allsop-Helikites Ltd 的 Skyhook 系列、Skyshot 系列、Desert Star 系列和 RescueMarker 系列等此类非常规构型系留气球系统。此类系留气球一般为椭球形, 无副气囊, 靠稳定风兜或带龙骨的“帆”调整球体内压力并稳定球体。体积一般在 100 m<sup>3</sup> 以下, 相比常规流线构型的系留气球, 体积面积比较高, 同样载荷能力的前提下, 更加轻巧紧凑、容易部署, 只需 1~2 人操作即可, 升空高度在 300 m 以下。

### 3.2 通信中继

常规地面无线电系统受地形限制, 传播范围有限; 卫星传输空间损耗较大, 难以实现小天线、低功率传输, 给边防海防通信建设和重点地区应急通信保障带来许多困难。大型浮

空器可作为战场中高空通信中继平台,可为地面、海面、低空对象提供宽带高速抗干扰及超视距通信能力,对高山两侧或海上机动部队间的通信提供中继,扩大了有效作战空间,对保障战场上各战斗小组间的联系起到重要作用,对稀路由、大容量、大范围的军事通信有重要意义。

在伊拉克战争中,美国海军陆战队提出了视野外低造价甚高频/特高频(VHF/UHF)中继通信的要求。2005年,首套美国海军空中中继系统(MARTS)部署至伊拉克,如图12所示,主要用于保持美国海军陆战队与指挥中心之间的通信联系,为海军陆战队的超高频/甚高频无线电、单信道地面/机载无线电系统(SINCGARS)、增强型定位和报告系统(EPLRS)及普通的模拟无线电提供中继。MARTS系统使用TCOM公司的32M系留气球平台,球体长度105 ft,体积63000 ft<sup>3</sup>,载荷500 lb,高度3000 ft,滞空时间15天,搭载设备包括中继AN/PRC-113、AN/PRC-117、AN/PRC-119(SINCGARS)和EPLRS(增强定位和报告系统)无线电台的应答机等。MARTS飘浮高度约1 km,在风速达22 m/s的状态下仍能保持漂浮,能够承受小型火力打击,通过一条光纤与指挥中心保持连通状态,并通过其配备的发射机将指挥人员的指令高速地传输出去。由于MARTS复杂的无线电和电源设备都安装在地面站中,气球上仅装有简单且可靠性很高的收发机,因此易于维护,系留气球需要每隔15天补充一次气体。



图12 海军空中中继系统

Fig. 12 Marine airborne re-transmission system

### 3.3 安全预警

随着目标隐身技术、综合电子干扰技术、超低空突防和反辐射导弹技术这“四大威胁”的迅猛发展,安全预警能力面临重要挑战。浮空器装载预警雷达和光学探测设备构成预警探测平台,可扩展雷达视距,提高雷达覆盖范围和对低空、超低空目标的探测能力,与卫星、预警飞机等一起组成全方位、全天候的预警探测系统,远距离探测、跟踪来袭的各类目标,查明其航向、航速等情况,并进行目标识别,在防空反导作战中发挥重要的作用。

联合对地攻击巡航导弹防御空中组网传感器系统(joint land attack cruise missile defense elevated netted sensor system, JLENS)的主要用途是帮助驻扎在国外的美国军队应对不断增长的巡航导弹威胁,其上安装的雷达能提供超视距监视(图13)<sup>[13]</sup>。一套JLENS系统由两只系留气球组成,其中一只上装有远程监视雷达,能进行360°监控,同时可跟踪数百个目标;另一只上装有装载了高性能的火控雷达,同时可应对几十个威胁目标,并且两只气球的雷达系统中都有敌我识别询问机。每只气球拴系在一个地面机动系留站上,并通过一根光纤/电力系缆连接到地面处理站。监视雷达进行初期目标探测,然后将数据提供给精准跟踪与照明雷达,后者进行火控精度的跟踪。JLENS系统已经与联合战术体系、联合作战能力、单通道地面/空中无线电系统以及增强定位报告系统集成到一起。

图14在部署能力、定点续航时间、战场生存能力、天气依赖性、生命周期成本、系统负担能力等方面将JLENS系统与固定翼飞行器进行对比,如果能与固定翼飞行器联合组网将达到最佳效果。

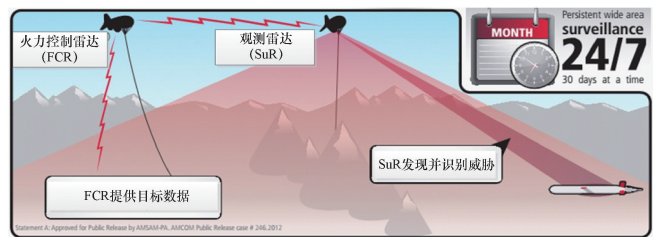


图13 JLENS系统

Fig. 13 JLENS system

	应用效果对比		
	固定翼	JLENS	结合
部署能力	● (Best)	● (Good)	● (Best)
在站扩展时间	● (Good)	● (Best)	● (Best)
战斗生存能力	● (Good)	● (Good)	● (Best)
天气适应性	● (Good)	● (Good)	● (Best)
生命周期成本	● (Good)	● (Best)	● (Best)
系统可购性	● (Good)	● (Best)	● (Best)

图14 联合组网后的应用效果对比

Fig. 14 Comparison of the effects of applications after combination

JLENS系统使用了TCOM 71M系留气球平台,球体长度233 ft,体积590000 ft<sup>3</sup>(16706 m<sup>3</sup>),载荷5000 lb(2268 kg),高度10000~15000 ft(3048~4572 m),滞空时间30天(图15)。

2012年2月,JLENS系统在犹他州试验训练场进行了进一步测试,成功证明了JLENS系统探测跟踪巡航导弹目标和为地面防空火力提供火控的能力,并展示了作为通信中继和



图 15 JLENS 系统使用的 TCOM 71M 系留气球平台  
Fig. 15 TCOM 71M aerostat system

提供敌我识别的能力。2012年4月26日,在犹他试验训练场洛·马公司的 PAC-3 导弹成功拦截并摧毁了巡航导弹目标,用 JLENS 系统和爱国者系统展示了前所未有的互操作性和超地平线探测、跟踪和提供火控的能力。

2012年6月, Raytheon 公司在美国大盐湖成功进行了一次试验,演示了联合对地攻击巡航导弹高空网络化传感器对水面目标的监视能力, JLENS 系统将在不远的未来在战略水域为美军士兵提供保护。试验中, JLENS 系统同时探测并跟踪了水面上的多艘快艇。这些快艇的特征与敌对国家海军舰船相似,并可模拟这些舰船在高度威胁环境下做出的战术机动动作。2012年9月21日, Raytheon 公司成功演示了 JLENS 系统对海域、陆地目标进行综合防御监视能力。JLENS 系统的火控雷达成功捕获并跟踪到反舰巡航导弹目标,并通过协同作战能力传感器网络系统将信息传送至海军,海军随后向目标发射了一枚标准-6(SM-6)导弹, SM-6 的各项信息通过 JLENS 系统发送至宙斯盾武器系统,直到 SM-6 雷达能够捕获和跟踪目标。

2013年2月,在美国新墨西哥州白沙导弹靶场进行的一系列试验中, JLENS 系统演示了其战术弹道导弹防御能力。利用所携带的 X 波段雷达, JLENS 探测并跟踪了 4 枚处于助推段的弹道导弹模拟弹(连续发射 2 枚,独立发射 2 枚),并满足了所有的试验目标,包括进行发射点估计、弹道跟踪和识别等(图 16)。这些模拟弹的弹道与全球高威胁地区的敌军战术弹道导弹可能的飞行弹道相似<sup>[1]</sup>。



图 16 气球腹部防风罩内安装的是球载雷达系统  
Fig. 16 Airborne radar system in the wind-shelter under the aerostat

## 4 系留气球生存能力

### 4.1 攻击耐受性

很多人会质疑系留气球在军事上应用的耐受性,即使是在伊拉克和阿富汗这样低烈度的战场环境,在敌人轻武器火力的攻击下,系留气球是否能够生存。

事实上,系留气球使用的材料与乳胶材料截然不同,即使受到枪击,也不会将全部材料一撕两半,而仅仅是破了一个小洞,升力气体的泄漏速度很小,受到攻击后能够有充裕的时间进行回收修复,在特定情况下,可以在孔洞上贴上防水密封胶继续使用,即使在野外也可以完成这种维修。

而且,如果用常规轻武器对系留气球进行攻击,有效射程仅在 900 m 以内,而系留气球的特长就是 ISR,高度 300 m 的系留气球就可以监视半径 15 km 的范围,如果敌对分子用轻武器对系留气球进行攻击,那大多数情况下他已经暴露了自己的位置,这种攻击无异于“自杀式攻击”。实际上,在阿富汗和伊拉克部署的美军系留气球系统较少受到敌对势力轻武器攻击,系留气球监视系统甚至成为美军驻地的一种威慑性设备,敌人往往避之不及,不敢贸然进犯。

### 4.2 抗风能力

军事上应用的系留气球系统一般都部署在野外,无球库之类的遮蔽设施,所以抗风能力是一项重要指标。不同的气球因体积、构型、环境适应性等要求的不同,其抗风能力大相径庭。小型的系留气球系统锚泊设施相对简单,系缆及球载系统追求轻便,抗风能力较弱,但其部署方便,可以根据天气预报情况快速撤收,避免大风对其造成损坏。中大型系留气球的锚泊设施、系缆、连接件结构等强度较高,具备整体较高的抗风能力。根据体积大小,系留气球分类及其性能如表 1 所示。

表 1 系留气球分类及其性能对比表  
Table 1 Table of aerostat classification and comparison of its ability

类别	体积/m <sup>3</sup>	高度/m	载荷/kg	抗风
微型	5~20	≤200	5	5级
小型	20~200	≤500	50	6级
中型	200~2000	≤2000	200	8级
大型	2000~5000	≤3000	300	10级
特大型	5000~10000	≤5000	500	10级
超大型	≥10000	≥5000	≥500	10级

一般而言,系留气球体积越大,有效载荷能力和抗风能力越强,升空高度越高,系统越复杂,所需配套设施越多,造价越高。

## 5 平流层飞艇

平流层是指 20~50 km 的大气层,这里气象条件下比较稳定,日照时间长,并且处于大多数战斗机和防空系统的射高

范围之外,适合飞行器长时间驻留。平流层飞艇与卫星与飞机相比具备较多的优势,与前者相比,平流层飞艇距离地面较近,载荷相对较大,并且可以得到较高的分辨率。与后者相比,平流层飞艇距离地面高度较大,目前预警机对地的雷达视距大约在 400 km,而平流层飞艇最多可以达到 1000 km,是前者的 2 倍左右。平流层飞艇在军用方面可以作为具有军用通信、远程侦察、情报、导航、预警等功能的通用平台,具有可定点飞行、留空时间长、探测范围广、载荷能力强和效费比高等优点,拥有极高的战略价值。正因为具备以上特点,这一概念一经提出,美、俄、欧、日等国政府机构、军方、研究机构、高等院校等先后启动了平流层飞艇研发工作。

2002 年 10 月,美国导弹防御局(Missile Defense Agency, MDA)启动 HAA(high altitude airship)项目,在后来的几个研究阶段合同均授予了洛克希德·马丁公司。

HALE-D (high-altitude long-endurance demonstrator) 是 HAA 的缩比试验艇,直径约 21 m,体积约 1.8 万 m<sup>3</sup>,携带约 22 kg 的摄像机和通信转发器,可到达 18~21 km 的平流层高度并停留 15 天,艇体由流线型旋成体艇囊和“X”型充气尾翼组成,艇体内置氦气囊和空气囊,用于浮力与压力控制,艇体表面采用热控涂层技术缓解辐射受热问题。

2011 年 7 月 27 日,美国军方和洛克希德·马丁公司在俄亥州实施了 HALE-D 平流层验证艇的首航试飞(图 17、图 18)。当 HALE-D 平流层验证艇升高到约 9.75 km 的高度时,由于排气阀被冰冻,无法及时排气造成艇体超压破裂,净浮力不足,无法继续上升,试验宣告失败。



图 17 HALE-D 出库  
Fig. 17 Test of HALE-D



图 18 HALE-D 起飞后  
Fig. 18 HALE-D just after launch

集成传感器即结构项目(Integrated Sensor Is Structure, ISIS)是 2006 年 4 月启动,由美国国防部高级研究计划局提供经费支持,美国空军研究试验室(AFRL)负责实施和管理的一个平流层新概念 ISR 飞艇的预研项目<sup>[12-13]</sup>。飞艇采用了艇体/传感器共型结构设计的方式,携带一个与艇体尺寸相当的巨型雷达,实现对地面和空中目标的持续监视能力。

ISIS 飞艇的主要技术指标为:艇长 300 m,结构重量 5500 kg,工作高度 20~21 km,天线高度 36 m,天线直径 50.5 m,UHF 孔径面积 5725 m<sup>2</sup>,UHF 单元数量 42365 个,X 波段孔径面积 5725 m<sup>2</sup>,X 波段单元数量 2030 万个。

ISIS 飞艇(图 19)所需的几项关键技术均已取得突破,但是在系统集成和功能验证方面仍面临巨大挑战。超大面积柔性天线阵列的制造精度、天线阵列的校准与补偿及能源保障等,都将是 ISIS 飞艇必须解决的重大难题,目前该项目飞行验证已经多次延期。

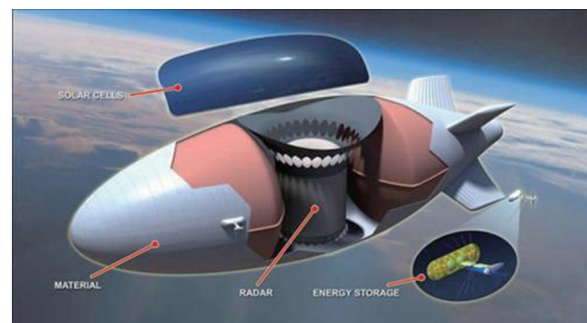


图 19 ISIS 飞艇  
Fig. 19 ISIS airship

平流层飞艇研制是一项极为庞大的系统工程,涉及的各方面技术均无太多的成功经验可借鉴,各国正处于关键技术攻关阶段。一旦技术成熟,进入工程实用阶段,必将在军事领域显示其巨大价值。

## 6 结论与展望

系留气球作为一种成熟的防御性武器装备,利用其续航时间长,ISR 覆盖范围大的特点,在低烈度非对称军事冲突中发挥了重要的作用。

阿富汗、伊拉克战争结束,美国从战地撤军后,战时用于保护军队的球载监视系统并没有因为撤军而被拆除。除一部分继续在海外进行反恐与军队保护外,另一部分正在逐步转换职能,从国防安全向国土安全转变。2013 年,系留气球雷达系统(tethered aerostat radar system, TARS)由美国空军转为美国海关和边境保护局(CBP)负责运行,凸显其国土安全使命。

平流层飞艇在军事上的价值显而易见,但受制于某些关键技术的限制,目前各国均尚未达到成熟的工程化应用。随着航空航天技术近些年飞速发展,假以时日,平流层飞艇必将接力系留气球,成为下一代军用浮空器中的王者。

## 参考文献 (References)

- [1] John A. Krausman, Shawn T. Petersen. The 28M™ tactical aerostat system: enhanced surveillance capabilities for a small tethered aerostat[C]//AIAA Lighter-Than-Air Systems Technology (LTA) Conference. Daytona Beach, Florida: Aerodynamic Decelerator Systems Technology Conferences, 2013: 1-11.
- [2] 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.  
Wang Anliu, Mao Weiwen. Analysis on developing status of American tethered aerostats surveillance systems[J]. Journal of Xi'an Aeronautical University, 2014, 32(3): 24-27.
- [3] 周如. 方兴未艾的军用无人飞艇[J]. 国防技术基础, 2004(2): 43-45.  
Zhou Ru. Unmanned airships for military use in the ascendant[J]. Technology Foundation of National Defence, 2004(2): 43-45.
- [4] The office of the Assistant Secretary of Defense for Research and Engineering, Rapid Reaction Technology Office. Summary report of DoD funded lighter-than-air-vehicles[R]. America: The office of the Assistant Secretary of Defense for Research and Engineering, Rapid Reaction Technology Office, 2014.
- [5] Case study: RAID[EB/OL]. [2017-04-13]. <http://www.tcomlp.com/tcom-tethered-aerostat-solutions-raid/>.
- [6] Compact aerostat offers affordable portable surveillance solution [EB/OL]. [2017-04-13]. <http://www.tcomlp.com/compact-aerostat-offers-affordable-portable-surveillance-solution/>.
- [7] Krausman J A, Petersen S T. The 22M class aerostat: increased capabilities for the small tethered aerostat surveillance system[C]//11th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations (ATIO) Conference. Virginia Beach: AIAA, 2011: 1-8.
- [8] Rapidly Elevated Aerostat Platform(REAP) XLB system information and specification sheet[EB/OL]. [2017-04-13]. <http://www.islinc.com/products/>.
- [9] Skystar 100-aerostat system [EB/OL]. [2017-04-13]. <http://www.taerostat.com/skystar-100>.
- [10] Skystar 300-aerostat system[EB/OL]. [2017-04-13]. <http://www.taerostat.com/skystar-300>.
- [11] 卢斌, 王斌, 吴兆彬, 等. 美军JLENS系统研制现状综述[J]. 飞航导弹, 2013(5): 50-54.  
Lu bin, Wang bin, Wu zhaobin, et al. The review of research progress of US ARMY's JLENS system[J]. Winged Missiles Journal, 2013(5): 50-54.
- [12] TCOM strategic class aerostat systems[EB/OL]. [2017-04-13]. <http://www.tcomlp.com/aerostat-platforms/strategic-class-aerostat-systems/>.
- [13] Lee M, Smith S, Androulakakiss. The high altitude lighter than air airship efforts at the US Army Space and Missile Defense Command/Army Forces Strategic Command[C]//18th AIAA Lighter-Than-Air Systems Technology Conference. Washington DC: AIAA, 2009: 1-26.

## Military applications of modern lighter-than-air vehicles

HUANG Wanning, LI Yingsi, ZHOU Shuyu, ZHANG Taihua

Academy of Opto-electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China

**Abstract** Tethered aerostat systems are the very most important lighter-than-air vehicles in modern military applications. They have a number of advantages, such as wide coverage, long battery life, sustainable monitoring, low cost and so on. Besides, they have a better ability to survive than other aero craft in the sense of attack resistance and wind resistance. Tethered aerostat systems mainly perform uninterrupted ISR, communication relay and radar warning tasks. Some typical tethered balloon systems are also introduced, such as RAID, PGSS, PTDS, REAP, MARTS and JLENS. The stratosphere airships have potential value in military applications, but no countries have so far had mature engineering applications. In the near future, they will be the king of next generation of lighter-than-air craft in military applications.

**Keywords** lighter-than-air; tethered aerostat; stratosphere airships; military applications

(责任编辑 刘志远)