

## 专家论坛

## 国外系留气球和飞艇的应用与发展

王维相<sup>1</sup> 翁亚栋<sup>2</sup>

(1. 中橡集团沈阳橡胶研究设计院, 辽宁 沈阳 110024; 泰州长力树脂管有限公司, 江苏 泰州 225300)

摘要: 对系留气球和飞艇的优点、结构和所用材料进行了详细论述, 着重谈论了国外发达国家在这方面的开发和应用情况, 最后描述了其发展趋势和未来展望。

关键词: 国外; 系留气球; 飞艇; 应用; 发展

系留气球作为一种理想的空中平台, 自其诞生之日起, 就受到了人们的青睐。它具有留空时间长, 覆盖面积大, 能源消耗低, 便于拆收, 机动性强的特点。由于一般飞机升限不超过平流层(距地球表面 11~50 km 的空间范围视为平流层), 而系留气球则能在平流层停留, 可用于天气观测、预报, 也可用于对飞行器的监测等, 因而受到各方的关注。

除了用于气象预报、飞行器监测、广播通讯、地形测绘业务外, 系留气球还可以进行低空预警, 特别是作为边防、海防的空中监测平台以及对反恐的监测都是一种极好的选择。

例如, 上世纪 80 年代出现的几次局部战争就看到了它的潜在作用。在英阿马岛冲突后, 英国在总结“谢菲尔德”号导弹驱逐舰被击沉的教训时指出, 应当采用装有雷达的系留气球作为海上舰队的低空预警手段; 1988 年美国海军护卫舰在波斯湾被击中后也认为采用系留气球雷达系统作为舰船的预警手段是明智的, 这是因为采用气球配置电子设备所花的费用远远低于预警飞机, 而且留空时间长, 可以提供不间断的可靠的预警监测。

而飞艇则是在系留气球的基础上, 配置动力装置, 由于充氦气球巨大的浮力作用, 所以它只需要很少的动力就可以在空中飞行, 可以进行人员和货物的输送, 特别是在大型、超重型物品的运输方面有其它运输工具不可比拟的优势。

据相关资料报道, 美国在过去 10 多年中就已经投资 20 亿美元用于系留气球、充氦飞艇的研

制、应用, 就足以说明系留气球和飞艇的重要程度了。

### 1 系留气球和飞艇的发展概况

系留气球和飞艇的应用最早可以追溯到 18 世纪末期, 当时主要用于观察战场和战区军队的配备和运动情况。在第一次世界大战期间, 系留气球用于大炮炮弹弹着点的观测; 在第二次世界大战时, 除了战场观测和炮弹弹着点的校正观测外, 还用于城市的防空, 拦截低空突防的轰炸机, 起到保卫城市、舰船和军事目标的作用。

在越南战争期间, 美军为适合越南南方丛林地带的特点, 在系留气球上装备无线电调频装置, 作为指挥所与前沿部队的无线电转发台, 当时使用了一种体积为 150 m<sup>3</sup> 的三尾翼气球和一种体积 170 m<sup>3</sup> 的十字尾翼的气球, 升空 300 m 可在 35 km 范围内传输无线电信号, 还用于监测对方军队的行动和通讯信号。

气球的应用还深入到宇航领域。美国固特异航空公司研制的一种圆形、直径为 15 英尺, 可自动膨胀, 可在非常广的温度范围内使用的气球, 可用飞艇空投月球表面, 作为航天飞机上宇航人员的着陆标记。美国肯尼迪航天中心在上世纪 60 年代就研制出 600~2500 m<sup>3</sup> 的 B 系列系留气球, 升空 4000 m 和 6000 m; 另外研制的 2RG-2 型充氦气球(软式飞艇)可一次连续飞行 264.2 h。美国哥伦比亚 TCDML P 公司研制的用于海岸监视和执行空中监测任务的充氦气球, 可以定点浮空停留 4 个星期。美国导弹防御局(MDA)负责开发

的用于监视和通讯中继用的高空充氦飞艇(HAA)长约152m,直径49m,容积145000m<sup>3</sup>,可在19.8~21.34km高空持续飞行4周时间。2003年雷神公司为美国陆军制造一种快速飞艇,留空时间(飞行时间)为4周。

截止90年代末,美国就已拥有体积几百万立方米的系留气球和飞艇,最高升限达到100km,载重量数以百吨。

## 2 系留气球和飞艇系统的结构和材质

系留气球和飞艇的基本结构是由头锥、囊体、尾翼、设备或吊舱以及缆绳等组成。头锥是系留气球或飞艇与地面系留时重要承重部件;囊体则用于充注升力的气体(本文介绍的都是充注氦气);尾翼(包括舵面)为气球或飞艇提供稳定和操纵性;设备或吊舱为飞行员及系统设备提供搭载空间;缆绳是系留气球定点系留提供约束力,还可以为气球球载设备传输电能,也可为球载设备的数据传输提供光纤线路。

气球球体和气室膜布一般采用 Tedlar 外覆层(防护层)、聚酯涂覆织物以及增强材料粘层层压而成。为了保证尺寸稳定,还采用 Dacron 织物;为了防止氦气扩散,还须加一层 Mylar 薄膜。当然,由于应用场合不同,系留气球球体材质结构会有所改变。例如,美国 Sheddah 公司生产一种 CBV-250A 型系留气球,球体由 Tedlar 外覆层、Mylar 防氦气扩散层和 Dacron 涂覆织物构成。

为了满足对系留气球的需求,特别是使现有结构的气球承受更大有效负荷,减少飞行器的重量是要考虑的内容之一。美国航天局研究中心考虑采用 Kevlar 纤维,做一种双层结构的涂覆织物和一种单层薄膜层压结构材料。Kevlar 纤维是一种重量轻、强度高的材料,它的应用主要是从增强的角度来考虑,可用现有的编织、层压和涂胶设备制得。原型气球的质量鉴定和制造证实,充氦气球的质量得到了保证,内层材料在使用过程中耐风雨侵蚀、紫外线等侵害能力有所提高。美国杜邦公司生产的 Tedlar 材料(外覆层)多用于球体的外覆层。近20年来,国外研制的大型、重载的气球对其制造工艺,即对球体胶片的粘接质量、几何精度、增强材料提出了更高的要求。例如,一个容积30万m<sup>3</sup>的充氦气球是由112片、最大宽度

为2.8m的胶片组成,胶片长128m,气球的表面积达到2万m<sup>2</sup>,加强带的总长度达到15km。该系留气球的使用寿命在10年以上;而载荷视需要而定,可以装备雷达、通信设备以及电子系统等,一般载荷悬挂在球体下方的防风罩内;采用系缆作为系留气球与地面设施的连接线,用于发放、回收气球,并有传输信号和供电功能,系缆中心是导线,导线包以 Kevlar 纤维,在外面是避雷网套,最外面是金属编织套。地面上还有机械转台、系留塔、绞盘、操作控制室等设施。

### 2.1 系留气球和飞艇用增强织物

美国 Star 和 Mark 等球体材料中的承力层采用低支数、低密度的聚酯纤维织物,近年来具有强度高、化学性能稳定、耐老化的合成纤维织物也是很好的选择。

### 2.2 防氦气渗漏层材料

美国系留气球的防氦气渗漏层采用了一种牌号为 Mylar 的聚酯薄膜,它是由分子量在20000~24000之间的聚酯材料经双向拉伸而成,其厚度在0.02~0.03mm之间,这种薄膜由于结晶紧密,具有良好的抗渗透性,且不受大多数有机溶剂的腐蚀,耐老化性能好。

### 2.3 系留气球和飞艇球体保护层材料

充氦气球外保护层起到防止或减缓内层材料在使用过程中受风雨侵蚀、防紫外线和臭氧对气球球体造成损坏的作用。这一保护层对提高充氦气球的使用寿命是很有益处的。

根据文献介绍,美国杜邦公司生产一种牌号 Tedlar 含氟聚合物,它可作为气球的外保护层。这种含氟化合物—聚氟乙烯(PVF)是一种在分子中引入高极性氟原子、有很高强度和适中弹性的高分子化合物,在老化箱经18周老化后,其性能保持率仍然在60%以上。而同等的PVC性能保持率就下降到很低的水平了。另外,PVF的耐磨性也很好,有5倍以上普通保护层强度,还有很好的抗气渗透性,在室外使用的时间可以在20年以上。对于某些气体,甚至还高于气密性著称的聚酯薄膜。另外,它还具有良好的防污染性能。

据相关文献介绍,还有一种牌号 Mylarw 的特殊型号聚酯薄膜,它的耐天候老化性能也很好,仅次于 Tedlar 耐老化性能也达到了要求,与 PVC 等材料的老化性能对比见附表。

表 几种高分子材料的耐天候老化性能对比

材 料	Tedlar	MYlarW	MYlarA	PVC	PE
厚度 /mm	2	5	5	5	4
耐老化时间 /年	>7	>4	≥ 1/2	> 1/2	> 1/2

## 2.4 系留气球用粘合剂

粘合剂是结合球体材料各层间的媒介体,要求对聚酯纤维织物、聚酯气密层和外保护层之间都应牢固地粘合为一整体。经多次屈挠后不得出现离层、脱层,耐天候性能也要好。据文献介绍,HYt<sup>ro</sup>牌粘合剂的粘合强度达到 0.069MPa 以上。

由于制作气球材料—聚酯薄膜和聚酯纤维的结构成分是聚对苯二甲酸二乙酯 (PET),根据相似相容原理,所用的粘合剂也应当有与被粘物 (PET)相似或接近的分子结构,这样才有利于形成很好的粘合强度。也就是说,粘合剂也应当是聚酯类的高分子材料,并且应具有热溶性或溶剂溶解性能,以利于充氦气球的成型工艺。

作为充氦气球用的粘合剂,有共聚酯型、聚醚型、聚酯型、聚酰胺聚酯型,近年来又研制了粘合力强的粘合剂。这些粘合剂在具体应用时,应当根据被粘合材料性能而有所选择。

## 2.5 充氦气球用系统

系统也是充氦气球系统中重要的组成部分,以往采用钢缆,由于很重,直接影响到了系留气球的有效载荷。近 30年来,充氦气球和飞艇都采用 Kevlar 纤维制作系留气球的缆绳,并且汇集电力铜导线、光纤缆和保护层于一体的多功能复合缆绳代替了从前的钢缆绳。

## 3 国外系留气球和飞艇的研制与应用现状

近 20年来,国外研制和开发的大型、重载的充氦气球和飞艇都获得了成功的应用。这主要是系留气球和飞艇具有留空时间长,载重量大,预警功能强等优势刺激了诸方面,特别是军方的注意而获得长足的进展。在充氦气球和飞艇研制开发方面,美国投入费用在 10亿美元以上,为各国之首。而法国、英国、德国、俄罗斯、加拿大、以色列和日本等国家也都成功地研制和开发出一系列系留充氦气球和飞艇。

### 3.1 美国

早期,美国固特异公司为美国海军制造了一

艘增压充氦飞艇——ZPG-3W 之后又研制出改进型飞艇。飞艇长 123m 容积 42 万 m<sup>3</sup>,配置两台轮轴发动机,最大时速 19 km。固特异公司还制造了艇名为“Europear”的充氦飞艇,已制出 300 只,其中 244 只供美国海军和陆军使用,另外 56 只为商用飞艇。这种飞艇长 58.5m,高 18m,宽 15m,配置两台 210 马力的发动机,时速 80 km。2003 年,美国雷神公司为美国陆军制造一艘名为快速飞行器 (RAD) 的侦察飞艇,留空时间长达 30 天。2004 年,美国军方开始研制“Skycat”充氦飞艇,其为超大型充氦飞艇,其容积在 110 万 m<sup>3</sup>,飞艇的载重量 1000t。这种重型飞艇可以在一个航程 (2 天) 内从美国本土向欧洲运送两个摩托化步兵营 (包括全部人员和作战装备) 而 10 艘这样的飞艇则可以在一个航程内将美第 82 空降师运送至欧洲。另外,由于“Skycat”重型飞艇体积庞大,所以在运载主战坦克、重型火炮以及重型直升机时最为合适,这也是其它运输工具所不具备的优势。

在大气层外围 30 ~ 36 km 的空间被称为“近太空”。由于这里空气稀薄,不会出现恶劣天气,且大多数固定翼战斗机和地对空导弹无法达到这一高度,如果能有一种“近太空”领域活动的作战武器,将会有极大的战场主动权。基于这种考虑,美国空军空间作战实验室和空间作战中心从 2003 年初就开始研制一种半自动的近太空机动飞艇,该飞艇长 53m,宽 30m,外形为 V 形,艇内充注氦气,配置两台由燃料电池驱动的螺旋桨推进器,并由 GPS 系统进行导航,自身携带的控制系统可以调节各舱室间的氦气容量,以进行空中机动。2003 年 11 月,这艘名为 Ascender (攀登者) 充氦飞艇被释放到 30 km 高的空间进行初期验证试验,并在地面控制下返回基地。然后在 2004 年 6 月为 Ascender 飞艇进行配置试验,可以携带 45 kg 的通信和监视传感器设备,升入“近太空”区域进行巡航试验,完成地面操作指令反应,地面指挥所控制下的转换飞行以及点目标上空 5m 悬停、降落、返航等试验项目。

2003 年 9 月,应美国国防部要求,美国洛克希德·马丁公司获得为其研制大型高空飞艇 (HAA) 的订单, HAA 飞艇主要的作战任务就是能长时间停留在美国大陆边缘地区高空,监视可能飞向北美大陆的弹道导弹、巡航导弹等目标。

HAA飞艇还可以在战区上空不间断地监视敌方部队的运动情况,甚至可以携带激光测距瞄准仪,为美军的巡航导弹及其它制导炸弹指示目标。HAA飞艇长 152.4m,直径 48.7m,容积 15万 m<sup>3</sup>,艇体为柔韧、高强度、耐日光老化的合成橡胶涂覆织物构成,飞艇配置 4台电动螺旋桨发动机,表面配置薄膜光电电池组以吸收太阳能,除产生推动飞艇前进的部分动力外,还提供约 10kW的额外动力供其搭载设备使用,另外还配置能循环使用的氢燃料电池以备紧急情况下使用的动力。HAA飞艇配置的监视雷达可以监控和覆盖直径为 1200km圆形区域,能对来袭的洲际导弹和巡航导弹提供预警。该飞艇可运载 1814kg重的设备,在地面指挥站控制下到达 20km的轨道高空,由于飞行高度高,可以避免敌方飞机的攻击,同时其雷达还可以发现地面雷达很难发现的超低空突袭的飞机或巡航导弹,还可以返回基地进行维护和保养,这是侦察卫星不具备的优势。

美国在“9.11”事件后,面对反恐战争的需要,雷神公司将生产的第一套 RAD飞艇系统交付军方并很快布署到了伊拉克。部署到伊拉克的 RAD飞艇系统,由长 15m的充氦飞艇、监视雷达、网状传感器和多个地面控制塔组成。该系统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为美军提供持续 360°视角的战场监测,留空时间 30天。

2003年 9月,美国国际科学与技术公司(SIT)与美国海军研究签定一项总价 400万美元的 SIT载人反恐充氦飞艇。该飞艇长 61m,宽 19m,高 20m,总容积 7200m<sup>3</sup>,飞行时速 90km/h,最大航程 650km,飞行高度在 600~900m,飞艇空中侦察范围为 60km,而且能在目标上空悬停 12~72h。飞艇上装有红外传感器和高分辨率的相机,可进行昼夜监视并拍摄高清晰度的照片。此外,艇上还装有能拍摄隐藏在水下目标的“机载近海探测超光谱成像系统”(LASH System)。

### 3.2 法国

法国也是对充氦气球和飞艇研制和开发较早的国家之一。在上个世纪 90年代中期,法国就保持长期发放 35万 m<sup>3</sup>气球的水平。例如,法国 Thomson-IMI公司研制出 Rasi气球雷达系统,该系统升空 1500m后,可对距离 55km的车辆和

距离 25km的人员进行探测,并在 90年代就装备了法国军队。为了解决国内大型构件的运输问题,法国电子公司研制了一种“大力神”充氦飞艇,艇体为圆盘形,直径 235m,体积 150万 m<sup>3</sup>,有效载重为 900t。飞艇飘浮在空中时,用缆索系于地面,艇体切口处为充氦气囊,共有 96个独立的三角形充氦气囊。

另外,法国航空与空间研究院和航空公司共同研制一种重型飞艇,该飞艇由 4个独立的充氦气球组成,每个气球直径 80m,高 78m,体积有 25万 m<sup>3</sup>,配置 4个落地支架,两个支撑单推进器组合体横梁,安装 8台螺旋机翼,飞艇总重 1040t,有效载重 500t,可携带燃油 80t。

### 3.3 英国

英国早已把充氦气球作为一种防空用产品实施开发。将系留充氦气球同烟雾生成器、雷达反射体和红外诱饵一起升空,在 1000m高空构成空中屏障,用以拦截低空偷袭的飞机,还利用系留气球作为载体训练初级跳伞队员。用于训练跳伞队员的充氦系留气球,体积为 1510m<sup>3</sup>,一次可搭载 6名跳伞队员(含伞具)和 1名教员升空,升空高度 1500m(通常升空高度 300m),每次搭载跳伞队员升至跳伞高度并完成跳伞仅需要 10min。另外英国 John West公司设计一种“Skyship”大型客货两用充氦飞艇,艇体呈扁圆形,直径 220m,中心高度 55m,容积为 100万 m<sup>3</sup>,安装 10台 4000马力的涡轮螺旋桨发动机,时速度为 144km/h,飞行高度 1500m,航程为 6400km。

### 3.4 德国

德国在上世纪初就设计并研制出了“齐柏林”飞艇,在 60年代又设计出了 WDL-1、WDL-2、WDL-3和 WDL-4充氦飞艇,标准尺寸是艇长 55m,直径 14.5m,体积 6000m<sup>3</sup>,有效载重 1.5t,最大时速为 100km/h,而 WDL-2型飞艇长 80m,直径 20m,体积 2万 m<sup>3</sup>,有效载重 10t,安装两台 400马力发动机,时速为 140km/h,而 WDL-4型飞艇长 120m,体积 6.4万 m<sup>3</sup>,有效载重为 30t,艇上充气装置有加热系统,用来提高氦气的温度。

### 3.5 以色列

以色列采购美国 TCCM公司的充氦气球,装备自行研制的雷达,命名 REIMS用于海面监视和侦察。该系统升高高度 4000m,可用反射面积

100m<sup>3</sup>的快艇、船只实施监视,监视距离为 30 ~ 250海里。雷达数据可由地面站处理。

#### 4 系留气球和飞艇的发展趋势和设想

系留气球和飞艇在用于气象观测、信息传递、海上搜寻,特别是在军事领域内的诸多应用受到了人们普遍的重视。与预警飞机、卫星相比,军用充氦飞艇的费用可以降低 30%以上,只需要少量的维护工作就可以连续使用。一个 40m长的小型充氦飞艇的造价为 200万美元,远低于价值几千万美元的无人机和数亿美元的预警飞机、卫星。与军用运输机相比,重型充氦飞艇最大的优势是具有容积大、有效载荷高的优越性,能够把大体积的作战装备、部队运送到数千公里外的前线,而且现在的大型军用充氦飞艇的气囊由多个(许多)氦气填充的独立部分组成,一旦受到炮火的攻击,大型充氦飞艇也有足够的剩余浮力,不会出现坠毁的危险。

近年来由于 Kevlar纤维以及高强度织物的应用,又促进了系留气球和飞艇的发展。目前一批重型、超大型充氦飞艇相继研制投入使用,另外在超高空(20 ~ 100 km)之间也出现了充氦飞艇,其作战用途主要是作通信中继和监视平台。

目前比较有潜力的开发项目包括美国空军的近地空间飞行器(NSMY),即“V-飞艇”,以及美国导弹防御局(MDA)提出的高空飞艇(HAA)和正在设计的一种可充气、一次性使用的高空飞艇。

“V-飞艇”集卫星和侦察机的功能于一身,由地面设备遥控操纵,即可完成高空侦察、勘探,也可作战场高空通信中继站,保障指挥员在山脉中或山的另一侧与部队联络,基本上不受地面和空中任何武器的攻击,现代的技术发展为充氦飞艇带来了新的用武之地,安装上大功率发动机的飞艇要比航空母舰和大型运输舰来得快。

美国国防部资深官员认为,未来美国军事必须具有远高于现有的机动能力,必须考虑的是机动性而不是部署。机动是指从部署原始位置到最终的目的地,横穿较长距离的能力;原始位置系指本土或某一军事基地;而终点目标则是全球指定任何地方,而超大型、高机动性的充氦飞艇则是实施这一行动的最好工具。

除了新材料的应用,减轻了气球球体和系统的重量外又改善了球体的结构,通常 1 m<sup>3</sup>的氦气

可以携带 1 kg的负荷(包括球体自重和载荷),而且还大幅度地提高了气球的使用寿命。

在军事应用领域内,还采取“隐身技术”,在系留气球和飞艇的外覆层上涂覆雷达波吸收涂料,缩短了敌方雷达发现的距离,并且开发出全天候使用的气球、飞艇,可以在恶劣的气候条件执行特殊的任务,采用性能更好、重量轻、小型化的电子监控设备以及性能好的发动机使充氦飞艇的载重量、气度升空和航程都达到了最佳化水平。

我国的充氦气球应用开展得也较早,但是把气球用于大气物理、天体物理等项目的测试始于上世纪 70年代末期,例如中科院第一期高空气球工程中,建造一个容积 5万 m<sup>3</sup>、载荷 250 kg升限 30 km的充氦气球,继而又研制出体积 20万 m<sup>3</sup>、载荷 1470 kg的气球。

综上所述,充氦气球和飞艇有很好的发展前景,经过几十年的建设,国内已有可靠的技术,采用高性能的织物,特别是 Kevlar纤维的应用,国内各类热熔性聚酯粘合剂的应用,为生产和制造高性能的充氦气球和飞艇打下了很好的基础。中国是一个幅员辽阔、具有漫长海岸线、边防线和国境线的国家,而系留气球和飞艇作为早期预警、反恐、边防、海防的空中监视平台具有广阔的发展前景,它的应用领域必将受到人们的重视,因而一定会有辉煌的发展空间。

参考文献:略

## 大陆正式展示超级驱动轮胎

日前,在 IAA国际商用汽车展上,德国大陆公司正式向公众展示其新研发的 HDL1 超级驱动载重汽车轮胎,该轮胎具有更加省油、质量更轻的优点。像其他轮胎制造商一样,大陆公司也计划游说立法者,劝其让更多的消费者采用像 HDL1 一样的单胎。

据消费者反映,与传统 315/70R22.5 双胎配合相比, HDL1 超级驱动 495/45R22.5 可以降低油耗。这主要是大陆公司采用新的降低滚动阻力的技术,轮胎质量也降低了,而且内应力减少了。由此带来整车质量减轻,提高了有效载荷。

杨 静