

飞艇技术发展现状与趋势

Development of Airship Technology

西北工业大学 杨秋萍 席德科

飞艇主要由流线型艇囊、控制用的固定和活动尾翼、乘员或乘客用的吊舱以及推进系统构成。按早期的结构分类方法,飞艇可分为硬式、半硬式和软式结构。现代飞艇技术已经模糊了原先的定义,现代飞艇主要按用途进行分类:无增升类型、部分增升类型和全增升类型。

艇是由动力推进的轻于空气的航空器,也是浮空器的一种,是利用轻于空气的气体(氢气、氦气、热气等)提供升力。飞艇主要由流线型艇囊、控制用的固定和活动尾翼、乘员或乘客用的吊舱以及推进系统构成。按早期的结构分类方法,飞艇可分为硬式、半硬式和软式结构^[1]。现代飞艇技术已经模糊了原先的定义,现代飞艇主要按用途进行分类:无增升类型、部分增升类型和全增升类型^[2]。

飞艇发展简史

飞艇起源于1784年法国,在第二次世界大战前已得到了发展及军事

和商业方面的广泛应用。和其他飞行器相比,飞艇经历了从无动力到有动力推进,从无人到载人,从近距离飞行到远程飞行,从低空到高空的发展,并在发展中积累和形成了关于飞艇这种飞行器特有的技术:飞艇蒙皮制作和抛锚、系留技术等^[1]。由于1937年“兴登堡号”事件及飞机和直升机的迅速发展,飞艇逐渐退出航空舞台。随着航空技术、材料技术的发展和和其他关键技术的突破及20世纪六七十年代出现的石油危机,在突破老式飞艇技术性能差、安全性能差的缺点后,现代飞艇这一节能的飞行器又迎来了新的发展和运用。目前世

界各国飞艇的生产企业主要侧重广告、航拍、旅游观光、大载重运输等低空飞艇的研制生产,另有国家的政府机构向大的飞艇制造厂商和科研机构投资进行高空军用飞艇或超大载重飞艇的研制生产。美国、俄罗斯、英国、日本等国对飞艇的研制生产走在前列。中国华教公司于2004年第一次通过了首个中国飞艇的适航认证,其后有北京北航龙圣飞行器公司^[3]。目前我国有20多家飞艇生产企业和科研机构。

飞艇的特点及用途

由于飞艇与飞机相比飞行速度

较低(飞艇速度一般不超过 140km/h),起降场地简单,不需要长距离跑道,与直升机相比,载重量大,定点时燃油消耗率极小。所以飞艇可以作为高速和高耗能飞行器的补充,可用于远距离运输、极地探险、石油煤矿勘探、抗灾抢险、实况转播、航拍、广告作业等民用领域;也可用于搜救、海岸警卫等军用领域。飞艇与卫星相比主要占有经济方面的优势,又因与卫星相比,其驻空高度低,接收和发射信号的延时短,所以飞艇可以充当卫星完成中继转播、侦察、探测气象等任务。虽然飞艇也有自身的不足,如飞行中对定点和行进的控制、对气囊充气 and 放气的控制、飞艇回收和修复等技术还没有很满意的理论和大量实践上的指导。综上,凭借留空时间长且耗能少的优势,飞艇具有巨大的经济、军事应用前景和发展的空间。

现代飞艇的发展现状和发展趋势

飞艇在运行中存在的问题主要是这种轻于空气的航空器靠充入气囊中的浮升而得到空气的静升力,因而体积相比重于空气的航空器要大很多。飞艇吊舱及其他附属物的分布主要考虑飞艇纵向和竖向平面内的平衡,对于常规飞艇外形,其外部的气动升力相对于静升力可以忽略。

为了克服飞艇体积大而难于操纵的困难,发挥其留空时间长而耗能少的特点,目前,世界各国都在开展将空气静升力和空气升力相结合和混合式飞艇(也称组合式飞艇),典型的有飞艇+飞机组合,飞艇+直升机组合,还有 20 世纪七八十年代英国、美国、法国、俄国等国飞艇公司所设计构想、实验或投入使用的飞艇外形,如扁平体飞艇、多艇一体飞艇、透镜状飞艇、箭状飞艇等^[2]。组合式飞艇主要用于大载重、远距离运输,依靠飞艇艇囊和其他部分的静升力平

衡其自重,利用机翼或直升机产生的气动升力来提升重物,这样飞艇的体积大大减小,操纵性能得到改善,也大大提高了有效载荷(单个直升机气动升力可达 20t,其自重占 11t)。各种形式的组合式飞艇目前还处在研究阶段,笔者没有查阅到正在使用中的组合式飞艇。

组合式飞艇集空气静力与空气动力于一身,其研究发展的困难在于飞艇艇囊的其他构件(如机翼)的连接,对于常规飞艇,艇囊大多为软式结构(硬式低空飞艇终止于二次世界大战前),结构质量较轻、强度小,若是连接机翼或多个螺旋桨结构,其复杂性和结构质量将大大增加,且流场模拟分析比较困难。

利用飞艇长时间留空的另一个发展方向是高空飞艇,美国和日本的高空飞艇研制走在世界前列,美国导弹防御局于 2003 年委托克希德·马丁公司研制高空飞艇,日本用于环境监测、通信和广播领域的高空平流层飞艇已研究多年。高空飞艇面临的主要问题是能源问题、热问题等,目前,虽然有相应的技术改进,但是还不能令人满意。

1 低空飞艇的研究现状和发展趋势

低空飞艇是指运行于大气中对流层区(距海平面约 18km)的飞艇,与二次世界大战前的飞艇相比,其明显的改进是发动机台数由原来的

3~8 台减少到现在的 2~3 台,这主要归功于单台发动机功率的提高,有效载荷比率也得以提高。基于高强度、轻质材料和飞艇蒙皮制作技术的改进,现代低空飞艇大多采用软式结构。不论是无增升类型、部分增升类型还是全增升类型^[2],对于低空飞艇,除了要有足够的艇囊体积提供静升力外,设计一个好的流线型外形以减少空气阻力,从而减少发动机的燃油消耗率。

另外,低空飞艇主要是民用领域,也有的用于低空雷达预警等军事领域。所以低噪声是一个设计目标。在欧洲有两个知名的厂家——WDL 公司和齐柏林飞艇工业公司。在美国,目前有 7 家从事飞艇运营的公司,主要是乘客运输,最大吨位是 2t 量级。目前,中国从事飞艇研究、生产的单位有 20 多家,但其中集设计、研制和生产能力于一体的单位却只有三、四家。

用于载人的低空飞艇主要有两个发展方向:巨型化和小型化。美国和俄罗斯目前都在研发巨型载人飞艇。俄罗斯将研发可搭载 400~600 人的超大飞艇,中国特种飞行器总体技术设计部借鉴俄罗斯巨型飞艇技术,将设计运载能力目标定位在 1000 人的超大型飞艇。美国世界航空公司开发的小型化家用飞艇可搭载 3 人,具有操纵简便灵活、飞行速



英国skycat飞艇计划

度快等优点,具有可开发的市场潜力。

用于货物运输的飞艇趋于超大载重的巨型化和组合式飞艇的设计。美国有海象计划,英国和德国分别提出了“skycat”计划和“货物起重机”计划。我国和其他国家也在加紧这方面的研究工作。国外提出有“旋翼浮升式飞机”、“飞航浮升式飞机”、“盘翼浮升式”和“旋翼浮升式”组合方案。对于低空举行飞艇和组合式飞艇的主要设计目标是大载重、飞行速度和航程等。

2 高空飞艇的研究现状和发展趋势

高空飞艇是指平流层飞艇或近太空飞艇,高度为 20km ~ 100km,由于高空空气密度约为近地面的十几分之一甚至更少,体积巨大是高空飞艇的显著特点,高空飞艇半硬式应用较多^[4]。相对于低空飞艇,其定点任务决定了对其流线型外形要求不高。高空飞艇在国土防御、解决局部危机或冲突、采集大气样品等有重要作用,并可作为低耗能的卫星使用。

近些年,国内外掀起了平流层平台开发的热潮:美国导弹防御局已经着手制造的导弹防御高空飞艇(HAA),可运载 1814kg 的任务设备,到达约为 20km 的准静地轨道高空并停留一个月甚至一年的时间。德国斯图加特大学正在实施一项名为“高空飞行平台”的飞艇项目,飞行高度为 20km,载荷能力为 1t。2002 年 1 月,日本航空宇航技术研究所

提出利用同温层飞艇平台作为伪卫星以代替 GPS 承担卫星导航和定位的功能。以色列、加拿大等国也设计了平流层通信飞艇。2006 年,我国将平流层飞艇作为未来一段时间重点发展的科技项目。2007 年 3 月 30 日,航天科工集团公司成为欧盟 VEATAL 计划(飞艇国际合作计划)指导委员会正式成员。



美国HAA飞艇计划

关键研究领域

1 飞艇运行过程中需要解决的问题

虽然飞艇与飞机或直升机这类重于空气的飞行器相比有很多方面的优势^[3],但也存在飞艇运行特有的问题需要解决。

(1) 体积大,对侧风比较敏感,难于操纵。

因为飞艇主要是依靠轻于空气的浮升气体升空,所以体积大是飞艇外形的一个显著特点,特别是大载重飞艇。对于侧风引起的力矩,飞艇需

要安装较大面积的尾翼及舵面平衡相应的力矩,并且对舵面的操作需要有较快的控制响应。由此带来结构强度及控制响应要求的提高。

(2) 飞艇地面抛锚、系留的地面操作难度大,虽然现在有些改进。

飞艇的锚泊受浮升气体管理、结构设计和地面操作的直接影响^[1]。以上 3 个问题中地面操作困难最大,

其一般是使用人力,为了解决飞艇锚泊过程中繁琐的困难,人们在总结以往锚泊经验的基础上提出了移动锚泊系统和固定锚泊系统以及低速控制技术。设备和控制技术的改进可以有效地简化锚泊的过程,降低操作的难度,但是还是会有问题出现,特别是对大载重飞艇。使用飞艇艇库对飞艇的操作更为艰难,所以尽量避免使用艇库停放飞艇,因此为了使飞艇锚泊时能够抵抗预计的恶劣天气带来的载荷,要求飞艇要有足够的结构强度。

(3) 对飞艇燃油消耗的重量补给技术还很不完善。

飞艇在上升、巡航和下降的过程中需要消耗其携带的燃料,从而使自身的重量减少,如果在巡航和下降过程中重量减少,将会带来其升力的增加和力矩的不平衡,所以必须采取措施使其自身重量保持不变。实践中提出了多种重量补给方法和回收系统,但还有待进一步的完善。

(4) 对大载重飞艇,单程运输需



美国“海象”飞艇计划

要等量的压舱物。

由于飞艇外形基本不变，所以其能提供的升力也同样保持不变，在单程运输到目的地后，要有相应的等量压舱物作为有效载荷的补充。

(5) 现代飞艇大多是选用重于空气的飞行器所使用的发动机，其效率受限于飞艇的低航速而不能达到较高的效率值。

用重于空气的飞行器的发动机直接驱动推进器，而不经中间变速箱，推进器的效率正常巡航时只可达到 50%~55%。这是因为它们的输出转速是为了更高的重于空气的飞行器速度而设计，尤其是涡轮发动机。由于推进器性能与发动机输出转速和飞艇速度不匹配，很多设计研究引用的安装效率远超出实际可达到的效率，为了获得最高的效率，要求发动机、推进器和飞艇厂商之间在设计早期阶段就要密切合作，以适应飞艇更低的巡航速度^[1]。

2 低空大载重飞艇的关键技术

低空大载重飞艇多采用的是组合式结构，由参考文献[5]，设计此类飞艇需解决以下关键技术。

(1) 总体设计技术。该技术包括：

- 浮力体与升力面结合的总体布局设计研究；
- 浮力体、机翼、机身、尾翼、推进系统等一体化设计技术；
- 多学科优化技术。

(2) 低阻力、静升力综合气动布局设计。该技术包括：

- 动升力与静升力匹配研究；
- 机翼与浮升体气动优化设计；
- 稳定面与操纵面设计；
- 气动特性研究；
- 适于浮升式飞行器的气动数值模拟及实验方法研究。

(3) 大跨度先进材料轻结构设计技术。该技术包括：

- 大跨度超轻结构总体布局方案研究；

• 结构材料的特性与功能设计研究；

• 大型复杂结构系统的静、动力强度与刚度的设计研究；

• 复杂载荷环境下结构整体及多种连接结构细节的高可靠性与损伤容限设计技术；

• 大面积裸露表面的环境防护与结构日历寿命设计技术研究。

其中对前文提到的大体积飞艇的关键问题因为有组合飞艇的灵活性得以有效解决。

3 高空飞艇的关键技术

发展高空飞艇，建立飞艇平流层通信平台或者将飞艇用于从事大气数据采集任务等是世界各国发展和研究的热门方向，发展此类飞艇需要解决以下关键技术。

(1) 自适应定点控制技术。

高空飞艇一般为无人遥控飞艇，对飞艇的定点控制要求比较高，特别是携带高精密度仪器，飞艇的运动和强度安全对仪器的工作状态有很大的影响。为保证设备的高精度要求，必须实现飞艇的高精度定位^[6]。

(2) 高效轻质柔性太阳能薄膜电池技术。

为完成长期定点任务，必须为飞艇提供持续的动力和飞艇所载设备工作所需要的电能，太阳能为再生式能源、无污染、使用时无重量损失，因此太阳能的利用是高空飞艇的发展趋势，即太阳能飞艇。美国空军研究实验室(AFRI)已授予数家公司航空太阳能电池研究合同。欧洲、日本、以色列等国都积极进行平流层太阳能飞艇的研究开发，目前已经进入实际的研制和试验阶段^[7]。目前我国应高空飞艇发展的需要，对飞艇太阳能电池开展了初步的研究，例如施红^[8]、王海峰^[9]、鄢红陵^[10]等人的研究都阐述了高空飞艇太阳能电池的应用和设计方法。

(3) 高比能再生燃料电池技术。作为飞艇的能源存储设备，从性

能上讲，燃料电池优于普通电池，普通电池优于飞轮，为确保燃料电池的存储量并使其重量和体积不至于过大，选择或研发高比能的燃料电池至关重要。

(4) 高性能囊皮材料的研制。

由于高空飞艇要长期在低密度、高辐射、低温、低压的环境下运行，充填的氦气渗透性较高。因此，蒙皮材料必须要求具有高强度重量比、抗辐射、耐低温、低氦渗漏、抗撕裂和挠曲、高工艺性的特点^[11-12]。

(5) 设备舱温度自动控制系统的研制。

平流层气温较低(-50℃)，所以需要搭载在飞艇上的任务载荷进行温度控制，以保证任务载荷在高空低温环境下能正常工作。

(6) 升空和回收控制技术。

高空飞艇在驻空处风向和温度相对稳定，空气无对流，风场均匀，无雨、雪、雷电等气象现象。但是在飞艇升空、回收过程中经过对流层时，会遇到大风、大雨等恶劣天气，再加上高空飞艇惯性质量大，又是柔性体，运动具有时滞性，其操作和运动特性相对复杂，需要调节艇内压力，逆风升降，使其较快地通过对流层，以保证其顺利进入工作状态或返回^[5]。

结束语

本文主要介绍了飞艇的发展近况和发展趋势，阐述了低空大载重飞艇和高空飞艇的关键技术问题。我国对飞艇的研究相比国外从认识到技术还有一定的距离，处于起步阶段。所以在研究发展的同时，有必要关注国外飞艇的发展现状，借鉴国外的经验，用于我国飞艇的研究和发展。

本文共有参考文献 12 篇，因篇幅有限未能一一列出，读者如有需要，请向本刊编辑部索取。

(责编 侧卫)