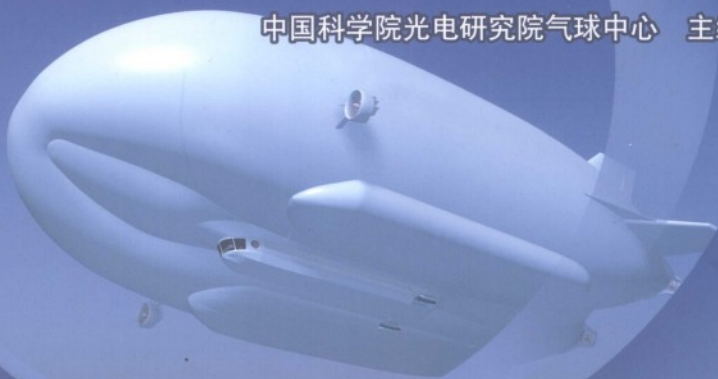


2007年

中国浮空器大会论文集

中国科学院光电研究院气球中心 主编



航空工业出版社

责任编辑：龙明灵

傅一凡

封面设计：王楠

ISBN 978-7-80243-068-6



9 787802 430686 >

定价：180.00元

2007 年中国浮空器大会论文集

中国科学院光电研究院气球中心 主编

审稿专家(以姓氏笔画为序)

王 生	李 彤	李兆杰	李源源
杨燕初	张汉勋	张向强	张泰华
茅志义	周江华	俞朝阳	姜鲁华

航空工业出版社

北 京

内 容 提 要

为促进中国浮空器科学与技术的发展,探讨我国开展浮空器研究的新技术、新思路及国际合作的技术途径,加快我国浮空器研究步伐,中国航空学会2007年11月在北京举办“2007年中国浮空器大会”。并将专家评选出的论文汇编成集。

本论文集共收录论文92篇。分为总体与综述、热学与气动、结构与强度、运动与仿真、测量与控制、能源与动力、材料与工艺、载荷与应用8个部分。

本论文集为航空航天科技工作者、航空航天院校师生、相关专业人员进行信息交流和学习提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

2007年中国浮空器大会论文集/中国科学院光电研究院
院气球中心主编. —北京:航空工业出版社, 2007. 11
ISBN 978-7-80243-068-6

I. 2… II. 中… III. 热力学—航空器—文集
IV. V27-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第171038号

2007年中国浮空器大会论文集 2007nian Zhongguo Fukongqi Dahui Lunwenji

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里14号 100029)

发行部电话: 010-64978486 010-64919539

北京地质印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

2007年11月第1版

2007年11月第1次印刷

开本: 889×1194 1/16

印张: 29.25

字数: 986千字

印数: 1—1300

定价: 180.00元

序

千百年来，人类冲破自身的限制，努力征服天空，实现飞行的梦想，这一伟大成就的取得，是人类进步、科技发展的重要标志。古圣先贤们为了谋求更大的生存空间，萌发了对天空的向往和对飞翔的渴望，受限于当时落后的生产力，所有的渴望最终只能寄托于一个个美丽的神话。但是，人类从不情愿受制于自然的束缚，而是用自己的智力和实践不断地探索 and 进步。

追溯历史，中国在 10 世纪初期的“孔明灯”应该是最早的浮空器，随后，公元 1271~1368 年，元朝军队也在作战时利用不同颜色的“松脂灯”作为联络信号，不论是“孔明灯”还是“松脂灯”，它们的原理都类似于现在的热气球。而西方最早出现浮空器是在 18 世纪末期，1783 年，法国蒙哥尔费兄弟在热气球中载上动物进行了 8 分钟的短时间飞行。同年，法国人又先后完成了人类第一次载人热气球飞行和载人氢气球飞行，这也是人类首次乘航空器进行飞行。1852 年 9 月 24 日，法国人吉法尔驾驶着人类第一艘飞艇飞上了天空，开创了人类可控动力飞行的新纪元，这比莱特兄弟第一架有动力可操控载人飞机试飞成功早了近半个世纪。

时至今日，浮空器作为承载人类飞行的伙伴已经陪我们走过了两个世纪，虽然其间曾因受限于材料、工艺等技术而经历过艰辛，甚至走入低谷，但随着现代材料、能源、电子科技发展和一系列关键技术的突破，其复兴已指日可待。同时，能源危机也为飞艇的再度兴起提供了契机。现代飞艇在交通运输、环境监测、高空遥感、通信及电视转播、空中预警和反潜方面都有巨大的应用空间。特别是最近平流层定点平台（平流层飞艇）以及大型载重飞艇概念的提出，无疑为飞艇的发展注入了新的动力，我们期待着飞艇时代的再次到来。

此次由中国航空学会主办、中国航空学会浮空器分会和北京航空航天大学协办、中国科学院光电研究院与北京航空航天大学承办的“2007 年中国浮空器大会”，意在促进我国浮空器科学与技术的发展，总结交流最新研究成果，探讨我国开展浮空器研

究的新技术、新思路及国际合作的技术途径,提高我国浮空器研究水平,加快我国浮空器研究步伐,为我国正在实施的相关浮空器工程和未来浮空器规划提供参考。在大会征文期间,得到了众多科研院所、部队、高校和相关单位的大力支持,众多专家不辞辛劳为大会献计献策,提出了宝贵的建议。光电院气球飞行器研究中心的同志为这次大会的召开做了精心且全面的准备工作。在此,我们将经专家评议和遴选出的 92 篇论文汇集成册,正式出版,以供广大读者交流参考。

雄关漫道真如铁,而今迈步从头越!我国的浮空器事业即将迈上新的征程。预祝本次大会圆满成功,同时祝愿我国的浮空器事业能够百尺竿头,更进一步!

中国科学院院士
中国科学院光电研究院院长



2007 年 10 月

目 录

总体与综述

中国“巨型飞艇”发展前景探讨	郭允良	刘 玲 (3)
平流层飞艇囊体体积设计及净浮力变化规律研究	高晓枫 段东北 郭硕	罗义平 单亚玲 (10)
新型空中展开飞艇	谭惠丰	孟松鹤 王 超 (17)
大载重升式运输飞机研究进展	张科施	宋笔锋 安伟刚 (22)
俄罗斯浮空器概述	顾正铭	陈 旭 (28)
飞艇概念设计比例效应分析研究	陈务军 高海健	任小强 付功义 (34)
飞艇总体构形新概念设计	杨燕初	王 生 姜鲁华 (39)
国内外高空气球发展简介		高 衡 (44)
空间充气结构的展开控制方法	彭 路	王 生 (48)
平流层飞艇概念设计初探	王伟志 高 滨	郑 昊 江长虹 (53)
平流层信息系统定点平台总体估算方法	江 京	王晓钧 冯玉宾 (57)
系留气球地面系留设备浅谈	鞠金彪	程士军 (63)
一种容积可变平流层飞艇概念及关键技术	周 雷	陈江涛 (66)
一种新型平流层空飘动力气球	俞朝阳	李源源 (70)

热力学与气动

平流层飞艇热力学模型和上升过程仿真分析	姚 伟 李 勇	王文隽 郑 威 (79)
充气式飞艇气弹性特性数值模拟方法	刘建阔 薛雷平	鲁传敬 付功义 刘 玲 (84)
浮空器气动弹性计算方法研究	王晚亮	单雪雄 陈 丽 (89)
高空飞艇的流固耦合数值研究	秦朝中 杨向龙 孙文斌	杨基明 赵攀峰 (94)
高空系留气球系留缆绳载荷计算方法研究	曾 毅	罗家桓 (100)
临近空间平台飞艇热分析、仿真设计和电力系统研究	方贤德	苏向辉 (107)
平流层浮空器定点悬浮过程中的温度变化研究	李德富	夏新林 (112)
平流层浮空器内部自然对流的数值模拟	杨小川 李德富	夏新林 (116)
平流层浮空器热分析与热控制的研究现状	李德富	夏新林 帅 永 (120)
平流层昼夜环境温度变化分析	曹黄强 杨春晖	章志鹏 (125)
系留气球气动力计算方法研究	易正清 段东北	罗义平 单亚玲 (128)
一种热气冲击射流强化换热的除冰雪方法	万小刚 彭桂林	陈 利 (134)

结构与强度

大型系留飞艇破损故障分析研究	余凤华	(139)
薄膜结构有限元分析的理论求解	唐 迎	(146)
充气梁展开仿真研究	张向强 任维佳 姜鲁华	王 生 李兆杰 (149)
飞艇结构动态特性分析		惠兴力 (154)
飞艇囊体结构分析小议	江长虹 郑 昊	王伟志 (164)
飞艇气囊压力与蒙皮张力的估算	王文隽 李 勇 姚 伟	郑 威 (168)

浮空器的有限元建模技术和无风载条件下囊体的张应力分布	寇东鹏	虞吉林 (172)
基于导弹爆炸冲击波和碎片的飞艇易损性研究	邢 军	王大华 (177)
车载系留气球锚泊状态动力学分析	张向强 姜鲁华 王立祥 张 童 张泰华	何小辉 (181)
囊体结构非线性有限元分析	程治国 任三元	肖 鹏 (184)
系留气球金属结构件与球体柔性材料连接强度评估	张泰华 高 衡	王立祥 (189)
系留气球静力有限元分析	何泽青 王 生	张向强 (194)
浮空器强度分析边界条件的确定	吴 玲	(199)
系留气球系留系统	冯大毛	(201)

运动与仿真

低空验证飞艇建模与仿真	王海峰 宋笔锋 李 栋	钟小平 (209)
常规布局平流层飞艇发射、回收过程分析	赵攀峰 王永林	刘传超 (214)
基于 Matlab/Simulink 的飞艇全数字仿真系统	苗景刚 杨 新	周江华 (220)
基于 Matlab 和 ADAMS 的飞艇运动仿真	马 毅 周江华	(226)
自然形高空气球发放阶段动力学研究	张向强 姜鲁华 王根华 郑荣廷 丁克尔	高 衡 (229)
平流层飞艇高度方向稳态运动特性分析	郑 威 王文男 姚 伟 吴志红	李 勇 (232)
平流层飞艇平台附加质量计算方法研究	李 庄 曾恒发	(238)
平流层飞艇重力下降速度研究	冯玉宾 江 京	(244)
系留气球“迎风低头”现象分析	杨 荣 任三元	刘兴兵 (248)
系留气球锚泊状态动力学建模与分析	杨燕初 王 生	(252)
系留气球时域响应分析	张向强 顾逸东 姜鲁华	(256)
系留气球系留点的工程设计方法研究	单亚玲 聂常胜	罗义平 (260)
系留气球纵向运动方程建模与动态仿真	聂常胜 段东北 陈 芒	(265)

测量与控制

电子罗盘在系留气球中的应用	张来宇	(273)
飞艇动力学方程	张向强 姜鲁华 王 生 李兆杰 杨燕初	冯 慧 (277)
飞艇气动半经验模型及其参数辨识	苗景刚 杨 新	周江华 (282)
无人飞艇总体布局对配平控制量的影响分析	周江华 顾逸东	(288)
飞艇风机的选型方法研究	黄宛宁 冯 慧 王挺鹤	(292)
高空飞艇高度保持控制器设计	陈 慧 杨 新	周江华 (296)
基于某低空飞艇的压力控制系统设计方法研究	冯 慧 黄宛宁	周江华 (301)
基于无线网络的浮空器地面集成电测系统	常 春 李保和	(305)
具有矢量推进系统的飞艇飞行控制研究与仿真分析	任 鹏 王大华	余 刃 (309)
平流层飞艇控制技术研究	郭 顺 明 振	(315)
平流层飞艇运动控制研究	陈 丽 胡士强	段登平 (318)
无人飞艇任务路径跟踪控制	周江华 顾逸东	(324)
系留气球三维动态仿真及测控系统设计	李田田 李保和	(328)
智能浮空飞行平台与飞控导航系统	李晚宇 舒 勇	(332)

能源与动力

飞艇推力转向技术研究	郭海军	(339)
------------------	-----	-------

高空长航时飞艇的能源与推进技术	李兆杰 (345)
平流层飞艇动力推进系统概述	聂 营 王 生 (350)
平流层浮空器能源动力系统初步研究	陶国权 孙康文 (357)
平流层气动飞艇概念研究	吴志红 郑 威 王文隽 姚 伟 李 勇 (362)

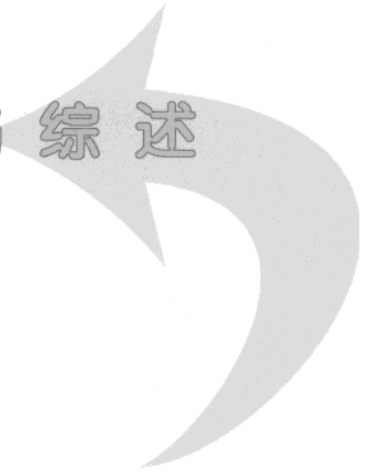
材料与工艺

大型柔性飞艇外囊体裁剪设计分析方法	陈务军 肖薇薇 任小强 付功义 (369)
大型系留气球系统氮气保障技术研究	任 敏 丛力田 高 英 施 锦 (374)
飞艇囊体加工工艺研究	阳建华 单亚玲 (379)
系留球褶皱问题浅析	王宝宇 段东北 罗义平 (384)
系留气球空中系留状态球体漏氮率的工程计算方法	彭桂林 王永林 (387)
系留气球囊体焊接方法探讨	李向阳 肖尚明 (390)
系留气球平台软式结构设计技术研究	宋安民 (394)
芳纶缆索端头胶接工艺研究	何小辉 王立祥 (402)

载荷与应用

超高空浮空器平台在预警探测领域应用研究	丛力田 任 敏 (407)
飞艇主气囊压力告警的故障诊断与维修决策	张 博 王大华 余 刃 (411)
浮空飞艇和高高空长航时无人机 SINS 组合导航系统	韩军海 郭 刚 陈效真 褚小青 杨 明 (415)
基于北斗卫星导航定位系统的测控应用	官 磊 (420)
近太空浮空器军事应用分析	李如恩 孙康文 (423)
平流层飞艇及综合战术信息系统研究	罗菲林 张万松 (426)
区域卫星导航系统临近空间应用设想	宾长江 (432)
用于无线输能的整流天线的设计与实验	杨雪霞 徐长龙 (435)
预警飞艇作战效能分析	张战宁 王大华 (441)
高空无人浮空器军事需求初步分析	孙大星 (445)
最适于城市警务任务的绿色航空器——中小型软式飞艇	郭允良 (450)
光纤通信在浮空器领域中的应用	徐继东 (455)

总体与综述



中国“巨型飞艇”发展前景探讨

郭允良¹ 刘 玲²

(1. 北京柯孚华新技术研究所, 北京 100101)

(2. 中国特种飞行器研究所, 湖北 荆门 448000)

摘 要: 本文采用系统工程的思路和方法, 分析了世界巨型飞艇发展的历史与现状, 探讨中国巨型飞艇实现跨越式发展的途径, 从系统工程技术发展角度提出了开展巨型飞艇研制的建议。

关键词: 巨型飞艇; 系统工程

中图分类号: TG156

0 前言

“巨型飞艇”, 通常指有效载荷在几百吨, 甚至上千吨, 长度在 200m 级的巨型或超巨型飞艇。它们往往同军事上的“战略空运”、“航母平台”或民用的“巨型货物空运”、“跨大洋航行”、“石油空运”等相联系。目前, 国际上“平流层飞艇”、“大装载巨型飞艇”和“中小型低空软式飞艇”已成为当代浮空器发展的三大主流。基于现代战争和现代经济发展商业运行之需, 探讨以飞艇为基础的现代巨型飞行器, 在全世界几乎是“雨后春笋”地活跃起来。本文是对中国“大装载巨型飞艇”的发展进行初步探讨。

1 历史上的“巨型飞艇”

在 20 世纪 30 年代最具代表性的硬式巨型飞艇有齐柏林 LZ127、“兴登堡”号 (Hindenburg) LZ129 (如图 1 所示) 等几艘长 200m 级的巨型飞艇, 他们在跨大西洋的欧美航线上运送了上千的乘客, 创造过人类飞艇史上的辉煌纪录。

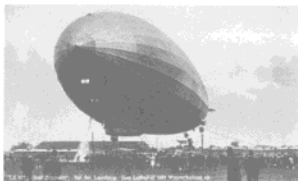


图 1 “兴登堡”号巨型飞艇

第一次世界大战时齐柏林 LZ127 型巨型飞艇曾担任过空中轰炸或侦察的任务。1936 年齐柏林建造的“兴登堡”号飞艇, 全长 245m, 直径 41.2m, 总重量 232t, 飞行速度 135km/h, 可连续飞行 16000km。该艇曾十次往返于大西洋两岸, 共载客 1000 多人次。齐柏林的继承人艾肯纳博士于 1927 年 7 月建造了命名为“格拉夫·齐柏林”的环球飞艇, 开辟了洲际长途客运。该艇长 237m, 最大直径 30.5m, 可充 10.47 万 m³ 的氢气, 本身重量为 118t, 载重 53t, 用 5 台柴油发动机作动力, 最大速度 193km/h。1929 年 8 月 8 日, 该艇开始了一次伟大的环球飞行, 从美国的新泽西州出发, 经德国、苏联、中国、日本, 于 8 月 26 日回到美国洛杉矶, 首次绕地球飞行一周, 航程达 5000km。整个航程历时 21 天 7 小时 34 分。值得指出的是, 该艇还在艳阳高悬的晌午时分, 掠过了我国的东北三省。

在 20 世纪 20 年代, 美国设计了“飞艇航空母舰”——“阿克隆”号超巨型飞艇。该艇上能停靠 4~6 架战斗机, 主要用途是远距离发现岸上的敌人, 在作战条件下飞艇和飞机相互配合, 飞机搜索敌人, 飞艇则是联络飞机和供应保障的中心。

早期以齐柏林飞艇为代表的巨型飞艇为硬式结构, 独立的密封艇囊包围在金属框架里面, 外面覆盖着非气体密封材料。艇囊不承重, 有保护艇囊的外壳, 使飞艇适应性更强。“兴登堡”号飞艇艇囊硬质构架由一根腹部纵向大梁和 24 根桁条及 16 个框架构成, 并采用大量纵向和横向拉线以增强结构强度。艇体构架外面蒙以防水蒙布。俄国齐奥尔科夫斯基的全金属飞艇艇体容积可变, 飞艇处于不同温度及高度下, 艇体升力气体容积可进行连续调节, 利用发动机废气热量给升力气体加热, 提高升力。采用

有皱纹的金属外壳结构增加飞艇强度刚度,采用流线型几何外形以减小飞行阻力。早期巨型飞艇参数见表1。

表1 早期巨型飞艇参数

型号	“兴登堡”	“马可”	AR3	ZR2
长度/m	245	206	206	212
直径/m	41	40	28	25
体积/m ³	200000	240000	68000	78000
有效载重/t	230	5架飞机	43	50
速度/km·h ⁻¹	135	112	130	112
发动机台数	—	8	5	6
发动机功率/kW	—	2310	294	261

早期“巨型飞艇”已有相当高的技术水准,除因氢气带来的易爆炸问题外,他们的许多设计思想和技术措施可以为我们现代人开展巨型飞艇设计提供借鉴。

2 现代“巨型飞艇”

2.1 现代“巨型飞艇”的需求

基于现代战争和现代商业运行之需,探讨以飞艇为基础的现代巨型飞行器,在全世界如火如荼地开展起来。

2.1.1 现代军事战略空运需求

美国在世界30多个国家和地区布置了1200处军事基地和设施,在海外驻扎了近40万人的部队。仅在伊拉克的美军每天就要消耗700万升燃料、50万升瓶装水。2004年对美军目的空运能力需求,保守估算每日8000万吨公里,如果同时打赢两场战争则每日需8200万吨公里,若在短时间应付3场战争,则需每日8800万吨公里。要完全降低战争失败风险,则需具备每日10700万吨公里的运输能力。美国运输司令部的400架运输机开足功率超负荷运转,仍无法达到要求。若采用能装载更多货物海运方式则运载时间过长,还存在沿途不确定危险因素。

为此美军首先提出了研制既能结合空运快捷,又能兼顾海运大载重的新型飞行器。尤其是其起

降对跑道需求不能太高,以符合美军“全球到达”战略的需要。这已成为美国运输司令部心仪已久的重大课题,美军兵力运输方式的变革不可避免。

2.1.2 现代作战任务需求

现代战争对巨型飞艇有诸多军事任务需求,以巨型飞艇用作空中远距离无线电探测平台为例,可在任何季节,全天候地在全球海洋范围内对重要区域实施侦察。除用作雷达监视站外,还可安装红外传感器、高频无线电测向仪、超视距雷达和卫星导航系统接收机等探测装置,进而可对远距离海上和空中目标以及水下潜艇发射的弹道导弹和巡航导弹进行探测和定位。这可引导海军和空军发射的杀伤性武器对这些导弹进行拦截。还可用飞艇跟踪在水下潜航的可疑潜艇,没有振动和噪声影响的飞艇,有利于发现水下低水平信号,为反潜部队攻击水下目标发射的杀伤性武器实施制导。

2.1.3 现代商业货运需求

有关航空运行专家认为,载重200t以上的飞艇,将在飞艇研发和制造投资市场上占有相当大的份额。

美德合资的Cargo Lifter公司的调研指出,100t以上、尺寸超过25m的军事与商业货物等运输市场前景极好。仅美国每年的市场需求值就达10亿美元,年增长率达12%(超过货运市场其他部分增长速度),而飞艇将能占领这一市场的10%。例如,美国“海象”巨型军事运输飞艇,具有洲际飞行能力,7天的续航时间内航程达22000km。

2.1.4 现代航空客运与旅游观光需求

巨型飞艇作为航空客运工具,完全可以做到提高其在旅途中的舒适度,可适当弥补它在飞行速度比不上飞机的弱点。巨型飞艇客运型方案可具有运载250名以上的客人,并可在内部设置舞厅、餐馆、赌场,甚至是泳池的充分条件。

在旅游观光行业,可利用巨型飞艇平稳地越过风景名胜之地,如开辟八达岭长城、九寨沟等著名景观的空中观光飞行等。

2.2 各国争相研制新型巨型飞艇

当今世界上正在研制的巨型飞艇有美国“海象”巨型军事运输飞艇、美德合资的CL-160巨型飞艇、英国的“天猫1000”巨型飞艇、俄罗斯巨型飞艇等,达十几种型号之多,可见其发展势头之强劲。表2列出了几种典型的巨型飞艇型号简要技术数据。

表2 当代几种巨型飞艇参数

型号	CL-160	“海象”	“天猫 1000”	巨型飞艇
国家	德国	美国	英国	俄罗斯
长/径/m	260/65	206/40	256/83 高	290/58
艇囊体积/m ³	550000	240000	—	—
有效载重/t	160	500~1000	16 辆 M1 主战坦克, 或 AH-64 等直升机	200
速度/(km·h ⁻¹)	140	112	240	90
飞行高度/m	2000	—	1200	—
最大航程/km	10000	11000	8000	15000
发动机台数	4	8	4	9

2.3 现代巨型飞艇的类型

2.3.1 常规半硬式单囊巨型飞艇

美德合资欲建造半硬式结构的 CL-160 飞艇, 艇长 260m、载重 160t, 专门用于运输发电机、涡轮机等大宗货物, 如图 2 所示。



图2 CL-160 巨型飞艇

该公司已建成 1/8 尺寸模型验证机模型, 检测其飞艇的设计, 包括碳纤维骨架、现代合成材料艇囊、6 台发动机、一个乘客舱和一个质量很小的起重机。检测显示, 该设计尺寸可以成比例增加到运载 450t 货物的巨型飞艇。全尺寸飞艇 (每架耗资 5000 万美元) 建成将需 15 名空勤人员, 速度可达 100km/h。

乌克兰“地球仪-250”无压载飞艇也已完成理论研究和实验研究阶段, 只是由于缺乏资金, 尚未进入试验设计阶段。

2.3.2 常规全硬式单囊巨型飞艇

俄罗斯正研制作战支援型巨型硬式飞艇, 艇长 290m, 直径 58m, 有效载荷 200t, 巡航速度 90km/h, 航程 15000km, 最大飞行速度为 150km/h。其动力装置为 9 台发动机, 推力矢量控制系统可为空中悬停状态下的飞艇提供姿态调整。

英国正在建造军民两用“天猫 1000”巨型飞艇。该艇载重 1000t (或载客 450 人), 艇长 256m, 宽 136m, 高 83m, 巡航速度 185km/h, 实用升限 1200m, 航程 8000km, 采用 6 台航空燃气涡轮涡扇发动机, 计划 2008 年首飞。该艇载货隔舱总面积 995m², 可运载几乎所有的武器和技术装备, 如 16 辆 M1 主战坦克, 或 AH-64 “阿帕奇”等直升机。该艇安装有装备装卸的专门设备, 如空中悬停装置, 以及在无准备的场地 (深雪地、沼泽地) 和水面实施降落等设备。

荷兰根据原齐柏林式飞艇的蓝图设计、建造了 RA-180 硬式巨型飞艇 (造价为 3000 万美元), 艇长 180m, 速度 150km/h。其载重 30t (或 240 名乘客), 发动机、艇囊均装进雪茄形状硬式结构中, 由 4 组螺旋桨驱动。

南非也筹措 3000 万美元款项, 准备建造长 160m、载重 20t、最高速度达 145km/h 的巨型飞艇。其一艘长 44m 的模型已试飞成功。

2.3.3 硬式多艇体巨型飞艇

法国国家空间研究中心 AVEA 计划研制载重 200~500t, 最终达 1000t 的巨型飞艇。该艇体由 10 个圆柱形氦气艇囊组成, 艇高 100m、宽 200m; 设计飞行高度 20000m; 巡航速度 100km/h, 航程 10000km。

2.3.4 组合式硬式巨型飞艇

美国研制一种软式飞艇和飞机、直升机组合的“海象 (Walrus)”巨型军事运输飞艇。其载重 500t, 巡航速度 150km/h, 具有洲际飞行能力, 可在 7 天内飞行 22000km。它既可在高空飞行, 又能在平流层飞行; 既可当“空中哨站”, 还可成为空中打击平台。“海象”在设计上采用当代新颖的结构设计技术、独特的升力与操纵方式、先进的综合推进系统和操纵系统等。“海象”除艇囊提供的静升力外, 还有动力系统和动翼产生的空气动力升力支撑, 能在未经整修的地面和较为平坦的草地上起降。

美国 AEROS 公司利用前苏联研究成果, 结合飞机、飞艇和直升机各自优势, 也推出了一种据说是“具有新型结构”的飞行器 AeroCraft。可一次运送 400t 货物, 最高速度 250km/h, 航程 10000km。其客运方案可运送 250 名携带全副装备的士兵或更多的旅游者。它从飞艇内装氦气储存器处获得部分升力的技术; 从直升机处吸取可在任何地点着陆的技术; 而从飞机处则获得可变换高度的技术。这使得该飞行器能以非同寻常的形式飞行, 实质上就是一种带有巨大艇囊罐的巨型机翼。该飞行器使用分布

在两侧的航空涡轮螺旋桨发动机, 氮气储存器的垂直上升升力可提供 60% 的升力, 使得该飞行器重于空气, 避免过于依赖气象条件等。发动机螺旋桨可倾斜方向, 保障飞行器可垂直降落, 机翼可保障轻松变换飞行高度和方向, 同时也更加安全, 一旦发生事故 (如发动机故障等) 可继续保持平衡, 在任何平坦的地面降落。

2.3.5 硬式单艇囊无人驾驶巨型飞艇

以色列研制的一种无人驾驶、远程遥控的操控模式飞艇, 艇长 190m, 艇宽 60m, 自重 20t, 足以容纳巨型高分辨率望远镜和一系列其他传感器以及电子战、目标追踪器、通信等设备。该艇采用无人驾驶和远程遥控操控模式, 自带导航、制导和控制系统。其动力能源白天靠设在顶部的太阳能电池供电, 夜间靠再生式燃料电池。推进系统靠安装于艇体尾部的电动引擎螺旋桨实施机动飞行。

3 现代巨型飞艇功能特点

3.1 独特功能优势

3.1.1 巨型、超大运输优势

美军专家认为, 与军用运输机相比, 飞艇最主要的优势是容积巨大具有超效载荷能力。这一优越性使巨型飞艇实际上可以运载几乎所有的军事技术装备, 包括主要的作战坦克、重型运输直升机, 以及其他不能预先拆解的大型武器装备。

在民用上, 巨型飞艇可运输桥墩、电梯、电站设备、船闸、大坝大门、气体存储箱、大型电站设备, 以及其他复杂建筑物构件等巨型、超大物件。

飞艇的优势还在于它可将货物“门到门”运送到位, 特别是可运抵人难以进入的地区。

3.1.2 超长续航时间与航速能力

新型概念下的现代巨型飞艇具有连续飞越半个地球的空中浮动堡垒运输军队和装备的功能。巨型飞艇可比现代海上运输舰艇速度快 3 倍, 比世界功能最强的大型运输飞机的运输能力高出 4 倍。

3.1.3 独特的军事功能优势

与航母相比, 处于空中飞行的巨型飞艇比处于海面舰只更易实现各种军事目的。如果多艘巨型飞艇在海上组网、轮流执勤, 不仅可以完成航母编队所能执行的前沿威慑、远洋作战、争夺制空制海权、支援登陆作战四大基本任务, 还可承担护卫航路、保卫商船、打击海盗及反恐等一些对航母编队来说难以执行的任务。

3.1.4 成本与经济性的优势

据测算, 美国“斯坦尼斯”号航母 30 年全寿命成本 330 亿美元, 与之具有同等军事功能, 而由 15 艘“海象”巨型飞艇组成的飞艇中队的全寿命成本仅为 110 亿美元, 是航母的 1/3。

巨型飞艇不仅可突破货物重量和体积的限制, 还因能无需包装、直接提吊式的“门到门”运送到位, 而能节约 20% 以上的运输成本。

巨型飞艇按载重计算的造价为, 乌克兰“地球仪-250”号飞艇为 30 万美元/吨 (仅是飞机的 1/5~1/4), 南非 Hamilton Airship 公司的飞艇为 150 万美元/吨, 荷兰 igid Airship Design 公司的飞艇为 100 万美元/吨。

据俄罗斯西伯利亚组件安装公司的专家估算, 这种巨型飞艇运输超大型物件的经济效益为传统运输工具的 22 倍。

3.2 可承担的综合军事任务

3.2.1 综合军事任务功能

各研制国和有关公司对其所设计现代巨型飞艇预计可承担的军事任务各不相同, 但综合起来可以概括如下:

- (1) 跨洲际大规模运送军事技术装备、物资和兵员;
- (2) 对周边国家实施侦察、预警和通信任务;
- (3) 反水面战;
- (4) 计算机与信息平台;
- (5) 商业重型、大体积重货运输;
- (6) 驻地到战场的“点对点”运输;
- (7) 搜索和超视距目标定位平台;
- (8) 海岸防御;
- (9) 远距高空投部队、武器和技术装备;
- (10) 舰艇编队指挥站和舰队联合防空系统组织中心功能;
- (11) 组织反潜作战和紧急救援;
- (12) 无人驾驶侦察飞艇替代间谍卫星功能。

以 (1) 功能为例, 美国“海象”巨型飞艇方案能一次性运载 500~1000t 军事装备和物资, 能在 4 天内运送 1800 名士兵和装备到世界任何战区。这相当于在一个星期内飞行 20000km 携带 10 辆 50t 的主战坦克, 或者 5000 名自重 100kg 的士兵, 绕地球半圈。10 艘这样的飞艇则可以在一个航程 (2 天) 内将美军第 82 空降师全员运送至欧洲, 并能在未做预处理的陆地和水面上着陆。除此之外, 在一次性运输作战单位时, “海象”还能同时携带足够一个作

战单位落地后维持 72h 的给养。这些性能将可能使“海象”成为美军未来战略空运的主力。

3.2.2 极为突出的海上军事用途

在当代先进科学技术背景下,人们对巨型飞艇用于海上军事用途能力重新作出评估,形成极为突出的海上军事用途。这体现在“3.2.1”中的“(7)、(8)、(9)、(10)、(11)”等 5 项军事内容中。

以“(7)、(8)”两项为例:

搜索和超视距目标定位平台。巨型飞艇空中远距离无线电探测平台,可在全球海洋范围内任何季节、全天候地对重要的区域实施侦察。除用作雷达监视站外,还可安装红外传感器、高频无线电测向仪、超视距雷达和卫星导航系统接收机等探测装置,进而对远距离海上和空中目标以及水下潜艇发射的弹道导弹和巡航导弹进行探测和定位。这可引导海军和空军发射武器拦截这些导弹,还可跟踪水下潜航可疑潜艇,由于飞艇无振动和噪声影响,更易于发现水下低水平信号,为反潜部队攻击水下目标发射的武器实施制导。

进行海岸防御。海岸警戒与巡逻是海军飞艇的主要任务之一。巨型飞艇可作为多用途海军航空兵部队的一个组成部分。可以 80~100km/h 的速度飞行,高于或等于舰船航行速度(50~80km/h),可在海上有敌导弹、飞机和水下可疑潜艇、舰队基地区域、港口和其他重要海上军事目标所在区域执行巡逻、监视、侦察和搜索任务,将信息直接传送给海上指挥站。此外,海上气象条件复杂多变,在多风暴的秋冬季节,在结冰、多雾、下雪条件下,以及在强阳光和磁暴活动期等恶劣气象条件下,科学设计的现代巨型飞艇,仍然可以利用其执行海上巡逻任务。

4 现代巨型飞艇技术特点

现代巨型飞艇设计技术,除属于传统的技术继承外,还有一些较为新颖的设计思想和技术内涵,值得我们进一步研究。综合可以概括如下:

4.1 重于空气的总体设计概念

美国为使“海象”巨型飞艇兼具巨大装载能力,又对飞艇体积过大,自身自重必然要大于同体积空气重量(自重将超过 500t)。计划采用大气离子静态推进技术,形成空气动力升力和推进力组合,大力补偿因艇囊体积不过大而损失的空气浮力。

4.2 无压载设计技术

乌克兰在研制“无压载”“地球仪-250”号新

式飞艇。设计上避免了传统飞艇起降需以吨计的水、沙等压舱物及其装卸等带来的限制。该艇能吊装和运输 250t 以上的大型重型物件,无货载飞行也无需压载重物,即可以空艇转场。也可两艘或两艘以上组合载运,例如,运 500t 货物可用两艘拼装模式,运 800t 可以三艘拼成一个等边三角形模式等。该艇设计综合了多种飞行器工作原理和设计特性,如:空气静力学升力原理(气球和经典飞艇)、空气动力学升力原理(飞机)、螺旋桨产生水平拉力、旋翼产生垂直运动牵引力(直升机)、浮体纵横向稳定原理(降落伞和气球)等。

4.3 真空和空气浮力补偿技术

美国“海象”巨型飞艇浮力主要依靠真空和空气浮力补偿技术提供升力。当前正在研制不使用燃料而利用万有引力推动的新型重力飞机就采用这种技术。

4.4 大气离子静态推进技术

现代巨型飞艇的先进动力系统,是离子推进的先进技术。它是一种靠等离子束和等离子波对飞行器进行驱动的技术。目前这项技术还仅用于航天领域,卫星上一般采用它进行轨道校正。2006 年,德国 Festo 公司设计出一款梭形飞行器,两台能在大气环境下工作的离子发动机设在尾部。离子发动机工作时由高达 3 万伏的直流电将带有负电的电子从空气中抽出,分离出正负离子,由此使正离子获得加速度,产生达 35km/h 的离子束,带动空气产生推力。目前,美俄均在发展利用离子加速器推进的巨型军用飞艇,有的速度可在 200km/h 以上。此速度可与许多战机的最小飞行速度相当,这有利于巨型飞艇与战斗机的战场配合。如美国“海象”巨型飞艇动力系统即欲采用该技术,它根据离子推进技术原理研制喷气式离子发动机,发动机提供前进动力,同时补偿部分浮力。离子发动机可大量节约燃料,而产生电流所需要的能量,也可来自太阳能。

4.5 气垫着陆系统技术

能像气垫船一样平稳地降落在平地、草地、雪地、沼泽或水面上,降落后不需要缆索系留。

4.6 艇体浮升气体预热技术

俄罗斯巨型飞艇将利用电弧等离子体加速器对浮升气体进行预热,以大幅度提高其飞行技术性能和使用性能。它可将飞艇在非平稳状态下,把巡航速度飞行时的距离提高 2 倍以上。它用多个电弧等离子体加速器,代替以往靠巡航发动机排放气体热量加热而装载的体积庞大、笨重、复杂的热交换装

置。该加速器尺寸小、调节范围宽、可控制热值，还可有效地解决飞艇高空飞行时艇体表面易结冰的问题。

4.7 艇囊装甲技术

艇囊表面采用特种防护材料，使其不会发生爆炸，并能抵挡轻武器的攻击，且具备自我修复能力。

4.8 多艇体设计技术

英国“天猫 1000”巨型飞艇艇体采用侧面相连共用艇囊的双体式结构，可使飞艇在巡航飞行时产生较大的升力，又相应减小单个艇囊体积。法国国家空间研究中心 AVEA 计划的巨型飞艇，浮力体由 10 多个含氦气圆柱形艇囊组成，可载重在 200 ~ 500t，最终目标为 1000t。该艇高 100m、宽 200m，研究重点是飞艇的压缩空气承载系统和雷达导航系统。预计的飞行高度将为 20000m，巡航速度 100km/h，航程 10000km。

4.9 太阳能技术

2004 年，以色列飞机工业公司 MLM 分部曾经制作过一项白天靠太阳能电池供电，夜间靠再生式燃料电池供电的巨型飞艇。美国“海象”巨型飞艇离子发动机产生电流所需能量，也来自太阳能，它白天靠太阳能电池供电，夜间靠再生式燃料电池供电。它的顶部可能由大面积的太阳能电池阵列覆盖，以提供持续不间断的供电。这可使“海象”飞艇能连续在空中工作 3 年时间。

各国对现代巨型飞艇的要求主要有：

飞艇飞行性能	飞行速度
	垂直起降 (VTOL) 能力
	降落场合限制
	恶劣天气飞行能力
飞艇维修性设计	位置保持能力
	地面操控与安全
	地面维护与保养
飞艇功能	不加油飞行距离
	有效载荷等

5 中国巨型飞艇应用前景

中国为幅员辽阔的发展中大国，与世界航空大国在航空产品上具有同样的军事的和商业上的巨大需求，而且巨型飞艇的需求可能更大，更具特色。因而，无论从巨型飞艇的独特功能来看，还是从巨型飞艇研制的造价低、周期短、能耗少，以及其噪声低体现出的“人文性”等方面考虑，都值得我们对世界巨型飞艇的发展予以关注。同时，也应尽早

在中国巨型飞艇的预研领域作出安排，以便在巨型飞艇发展上迎接新的挑战，并为巨型飞艇在中华大地的兴起做好理论上和技术上的准备。

中国有如下可能的需求：

- (1) 超大载荷、超大尺寸军事物资特种运输，军事后勤战略物资、人力大载荷快速空运需求；
- (2) 超大载荷、超大尺寸商务货物运输，国民经济特种货物运输需求；
- (3) 横跨全国的巨型飞艇客航与旅游观光需求；
- (4) 只有巨型飞艇才可完成的其他需求等。

开展我国巨型飞艇预研应关注的主要关键技术包括：

- (1) 巨型飞艇功能；
- (2) 巨型飞艇总体布局与硬式结构设计技术；
- (3) 高强度/质量比、长寿命艇囊材料技术；
- (4) 先进能源动力推进技术；
- (5) 浮升气体与压力控制技术；
- (6) 无压载设计技术；
- (7) 新的增压原理与技术；
- (8) 地面先进操控技术等。

对于巨型飞艇预研的几点建议：

- (1) 走“预研”→小艇原理试验→验证艇关键技术验证→1:1 样艇之路；
- (2) 集中国家飞艇优势科研、制造技术力量共同攻关；
- (3) 组织中国巨型飞艇预研技术协作中心以有效实施预研战略；
- (4) 充分发挥飞艇学术平台在理论技术上的交流作用；
- (5) 相关主管机关在经费上给予有效支持。

6 结束语

应该看到，现代巨型飞艇在理论和技术上有相当难度。与此同时，也应注意到，就飞艇而言，不少是可继承传统理论与技术的，且与飞机、直升机等飞行器相比，具有投资相对小、研制周期相对短、经营回收期也相对短等特点。另外，中国当前的飞艇发展水准，虽然与国际尚有不小差距，但已具备一定基础，再加上飞艇的上述特点，只要我们抓住机遇，部署得力，巨型飞艇在中国有可能实现跨越式发展。

参考文献

- [1] 刘玲. 高空飞艇发展趋势分析. [C]. 浮空器发展与应用学术交

流会论文集, 北京: 空军装备研究院, 北京航空航天大学, 2005: 68-71.

- [2] 高原, 贺志勇, 赵晋香. 机用锯条齿部表面强化组织的研究[J]. 材料科学与工艺, 1995, 3 (3): 62-66.

作者简介:

郭允良 (1939—), 男, 北京柯华孚新技术研究所总工/高工, 主要研究方向为通用航空器系统工程 (飞艇系统工程、旋翼机系统工程等) 方面的研究工作。电话: 010-64925153, 13683648011; E-mail: hdyv@sina.com

刘玲(1967—),女,副总师/研究员,主要从事飞行器总体设计和气动布局研究工作。E-mail: liuling200777@126.com