

# 地效飞行器发展回顾及前景展望

## Development Review and Prospect of Wing-in-Ground Effect Craft

林文祥 吴榕 唐雯/厦门大学

**摘要:**介绍了国内外地效飞行器发展情况和研制的最新进展,对其特点和应用前景进行了叙述,分析了地效飞行器发展中存在的技术障碍,探讨了地效飞行器的发展方向。

**关键词:**地效飞行器;地面效应;水上飞机

**Keywords:** wing-in-ground effect craft; ground effect; seaplane

### 0 引言

地效飞行器,也称作飞翼船、地效翼艇,利用地(水)面效应和动力增升原理在地效区中飞行,使升阻比增加,气动效率大大提高,是介于飞机、舰船和气垫船之间的一种新型高速飞行器。

从1897年法国人最早进行地面效应飞行试验至今,人类对地效飞行器的理论研究和实践试验已有了上百年的历史。不过因种种因素的制约,很多国家在该领域所取得的成就远不如在水上和空中运输工具方面那么明显。20世纪50年代末,前苏联水翼船之父阿列克谢耶夫受命领导地效飞行器研发项目,经过几十年艰苦不断的努力,攻克了许多关键的技术难题,成功地研制出不少具有各种用途的地效飞行器,使世人对地效飞行器的性能特点有了更加全面的了解,同时也引起许多经济发达国家的广泛兴趣。

时至今日,已有多种型号的地效飞行器登上历史舞台。

### 1 地效飞行器的研究现状

人们在中小型地效飞行器的设计和制造上已积累了丰富的经验,以俄罗斯为代表的一些国家,包括德国、中国、

澳大利亚、伊朗等,已经拥有了一些较成熟的技术。

#### 1.1 俄罗斯研究现状

前苏联十分重视发展地效飞行器,加之有里海、黑海等内海、大湖作为理想的试飞场所,因此在地效飞行器的设计、制造方面一直处于世界领先地位,先后研制出20余种型号的地效飞行器,其中“小鹰”、“雌鹞”等型号已经编入部队使用。1966年,苏联秘密建成了称为“KM”的大型地效飞行器1:1样机,并被运至里海基地开始试验。这就是所谓的“里海怪物”,长100m、重544t,可承载1000名武装士兵。20世纪80年代,第一架专为军事目的而设计的“小鹰”号地效飞行器问世。它最大起飞重量150t,巡航时速400km,共生产了5架。

地效飞行器的另一个重要军事用途,就是作为导弹武器的运输和发射平台。“雌鹞”地效飞行器就是专门为这一用途研制的。“雌鹞”重400t,可同时发射6枚SS-N-22超声速反舰导弹,被人称为“抗击航母的撒手锏”。其民用改进型包括“救星”、“救星”-2、“鹞”-P等。除了“小鹰”系列和“鹞”系列,俄罗斯还研制了多种类型的小型地效飞行器,比较著名的有“雨

燕”系列、“伏尔加”系列、“澳洲野狗”(Dingo)等。“雨燕”系列于1991年通过国家试验,并开始装备俄罗斯海军,用于训练海军地效飞行器驾驶员。伏尔加-2气垫型地效飞行器(也称之为气垫式地效艇),是一种可在内陆江河、湖泊、水库进行高速客运及公务运输的气垫式客艇。“澳洲野狗”是一种多用途轻型水陆两栖飞机。

值得一提的是,在2003年莫斯科航展上,别-2500超重型水陆两用运输机首度亮相,引起广泛关注。别-2500运输机设计运载量惊人,它的起飞重量为2500t,最大载重1000t,相当于10架美军C-17“环球霸王”运输机的运力总和。截至2007年,俄罗斯已经造出2架别-2500试验机,该机体型巨大,翼展156m,机身长123m,配备8台发动机,以8000m的高度飞行,高空飞行速度仍可达到800km/h,最大航程17000km。俄罗斯最新型的安-124运输机的载重量是150t,与前者比相差甚远。按照俄罗斯航空专家的说法,别-2500将主要用于跨大西洋和跨太平洋航线运输。

#### 1.2 美国研究现状

美国正在研制的“鹬鹑”地效飞行器,长152m,翼展109m,有效载重1270t,

作为军事应用可运送17辆坦克。海面飞行高度一般不超过6m,陆地上飞行高度可达6000m,海上航程超过10000km。对于民用则可做成载客2000人的越洋运输艇,但该型号似乎只处于概念设计阶段,并无实质进展。近些年来,俄美也联合研制了无人驾驶的地效飞行器,这种飞行器外形奇特,周围伸出4个机翼,酷似科幻电影里的“飞碟”。

### 1.3 德国研究现状

德国在掠海地效飞行器方面的研究也很有特色,德国还研制了多个系列的地效飞行器,有X系列,乔格系列,TAF VIII系列,HW20等。X系列地效飞行器采用下反倒三角翼和高置平尾的气动布局,从而解决了纵向稳定性的难题。乔格地效飞行器系列的特点是采用了串列式机翼,前后翼的展长和弦长相同,前翼低而后翼高,没有高置平尾。串翼式地效飞行器不仅适合水上高速航行,有着高度的舒适性与安全性,而且油耗低,只相当于常规舰船的1/10,同时具有良好的纵、横向稳定性,在排水状态低速巡航时,有充裕的浮力及一定的适航性。德国的地效飞行器走了一条与俄罗斯、美国等国截然不同的发展之路,它们更趋向于民用化、小型化和实用化。

### 1.4 意大利和日本研究现状

意大利也研制出了装有小型潜水翼和潜水舵的地效飞行器,该飞行器主要有两种设计形式:SPW-01型和SPW-02型。澳大利亚也曾研制了“海翼”型地效飞行器,最大航速290千米/小时,可搭载45人,主要用于执行海上巡逻、保护海洋环境等任务。近年来又购买了德国FS8地效飞行器的专利,组织进行批量生产。

日本在20世纪80年代末也研制出了适合该国地区特点的“天空-1号”。

### 1.5 国内研究现状

我国自20世纪60年代中期开始从

事地效飞行器的研究,并取得了可喜进展。20世纪70年代,中国船舶科学研究中心成功研制了单人单体902艇;中船总702所先后研制了“信天翁”系列的多种型号;中船总708所研制的双座750型、18座751型地效飞行器也都取得了突破性进展,为今后地效飞行器的实用化创造了技术基础。

1998年是我国地效飞行器的发展上具有历史意义的一年。这一年中航工业六〇五所的DXF100型10座地效飞行器,“天鹅”号(751型)15座动力气垫地效翼船先后都进行了水上演示。由中国船舶科学研究中心研制的“信天翁”-4型20座铝合金掠海地效飞行器,1998年在求新造船厂进入总装,1999年建成并开始海上试验。2003年第一艘实用型地效飞行器“信天翁”-5建成试航,同年开始装备边防巡逻艇大队。这一系列成果把我国的地效飞行器事业向实用化、工程化、商品化推进了可喜的一步。

在已研制的多种型号中,DXF100型地效飞行器是中国第一种投入商业生产运营的民用地效飞行器,可载客10人。“天鹅”号具有良好的总体性能,静垫升时有较大的静升推比,能从陆上下水也能顺利登陆,具有两栖性,水上起飞时有较小的阻力峰和较高航速,并在高速航行时有较好的稳定性。“天使鸟”号地效飞行器采用了动力增升型布局方式,与动力气垫型地效飞行器相比,“天使鸟”号虽然起飞性能有所下降,但是抗风浪性能大大提高,保证了掠海航行时的安全性。

“十一五”规划将地效飞行器列为我国民用通用航空方面重点支持的三个机种之一。据称,一种名为“鲲鹏”号的地效飞行器目前正在上海同济大学进行研制。“鲲鹏”号是12座掠海型具有高飞能力、全复合材料结构的新一代地效飞

行器,总重4t左右,巡航速度为180km/h,最高速度可达200~220km/h,航程为1000km,预计3年时间可以研制成功。

虽然我国在地效飞行器开发上取得了一定成绩,但主要还是往小型实用化方向发展,地效飞行器大型化的技术仍存在很多障碍,设计理论还不成熟。

## 2 地效飞行器的特点及应用前景

地效飞行器从贴水飞行、高升阻比、具有垫升力和地效力等特性引导出一系列使用上的优越性能。

1) 速度快。小型地效飞行器速度可达200km/h,大型地效飞行器速度可达600km/h,是普通舰艇的10倍甚至10倍以上,是气垫船的3倍以上,接近一般飞机,大大高于高速船。

2) 气动效率高。利用地面效应原理,气流下洗角和相应诱导损耗减少,另外端板的采用使得阻力进一步降低,从而升阻比可以达到20~25,节省动力和油耗,较一般飞机有更大的载重量和航程。

3) 经济性好。不用机场,只需要简易码头,投资少,单机成本略大于高速船,比飞机低。

4) 安全性好。贴近水面飞行,可随时起降。

5) 隐蔽性好。在接近水面的位置飞行,在水面杂波和地球曲率的遮蔽下,不易被雷达发现。

6) 运输效率高。地面效应提高了机翼的升阻比,现代运输机最大升阻比K为15~18,而地效飞行器则可以达到20~25,甚至更高。在相同的发动机功率下,地效飞行器的运载量可达自重的50%,而波音747运载量仅为其自重的20%。

## 3 技术障碍

尽管地效飞行器使用前景广阔,但

至今尚有不少技术障碍。

首先是地效飞行器设计理论还不成熟。与常规飞机设计不同,这种飞行器在飞行中不仅受地面效应影响,还会受到海情、浪高的许多随机因素的影响,在整个航行过程中大都处于非定常飞行状态,空气动力原理十分复杂,对飞行器操稳特性的控制和操纵面的设计带来很大的难度,因此这种飞行器设计大量依靠风洞试验和水面实际试航,不仅费时费钱,还很难得到一般规律。此外,这种飞行器要经常从水面进入大气,又要从大气进入水面,这两种介质的交替使用会给机体造成特别大的冲击载荷,并使飞行器的气动力受到强烈扰动,造成翻转、强烈颠簸,严重的会破坏机体结构,折断机翼、机身等。

地效飞行器的操纵性问题主要在回转性上,由于飞行高度很低不能作大坡度回转,因而回转半径大,不利于机动飞行,其整个操作过程也非常复杂,操作失误很容易造成艇毁人亡。苏联的第一架地效飞行器就是由于操作失误于1980年在黑海坠毁。

地效飞行器在波浪中起降的过程位于气水交界面上,受到高航速和波浪的双重作用,直接影响地效飞行器的安全性和可靠性。虽然采用动力增升或动力气垫技术,可使波浪中起飞降落性能得到相当改善,但不能说是彻底解决问题。

地效飞行器的发动机设计必须给予特别的考虑,因为它使用的介质是含有大量水气的空气,在贴海飞行时会吸入浪花,在贴地飞行时会吸入地面碎石和杂物。

飞行器的选材也是一大难题。既要能经受海面的冲击和振动,又要能耐海水的腐蚀;既要足够的结实,又不能太

重,还应有更好的耐应力疲劳性能。

正是存在以上许多未知或不定的对安全性和舒适性有很大威胁的因素,给地效飞行器设计带来了极大的挑战,高速时的操控问题更是一直没能很好解决,但可以深信随着现代科学技术的飞速发展,以上问题必将一一得到解决。

## 4 结束语

地效飞行器作为一种新型的交通工具,在安全性、经济性、快速性、舒适性等方面有其独到的优势,使得地效飞行器在民用和军事上都具有广阔的市场和应用前景。由于在气动、结构、稳定性和控制等方面地效飞机有其特殊性和复杂性,从而也制约着该类飞行器,尤其是大型的地效飞机的发展和运用,在大型化、实用化的一些关键技术,还存在一些问题尚待解决。我国拥有长江、黄河、珠江、黑龙江四大水系,5000多条河流和众多的湖泊,18000多千米漫长的海岸线与大量的岛屿,这为我国地效飞行器的发展提供了发展的巨大空间。

地效飞机作为运输工具所能获得的技术和应用优势最终都依赖于对象的操控品质,相对非线性多变量控制对象,专用的运动控制系统是保证其运行安全性、高效性和经济性的必要手段。合理的气动、水动布局也直接关系到飞行效率、稳定性、操纵性等问题。因此,今后应进一步在该领域加强气动、结构、稳定性和控制等方面的综合研究工作,尤其应加强适应地效飞机特点的专用控制系统的研究工作。

## 参考文献

- [1] 杨晖.地效飞机的发展和展望[J].飞行力学,2001(3).
- [2] 周常尧,华阳,刘振兴.地效飞

器的发展现状及军事应用研究[J].航空科学技术,2006(1).

- [3] 向溢,傅正蓉.一种新型的高速水运工具地效飞行器[J].造船技术,2004(1).

- [4] 李杰.掠海神鹰——神奇的地效飞行器[M].解放军出版社,2007.

- [5] 谭大力,王青,杨洋.地效翼船大型化的关键技术和军事应用研究[J].船舶工程,2004(1).

- [6] 袁昌华,石理国,彭桂华,程焱南.掠海地效翼船及其在我国的研制进展[J].中国造船,1998(10).

- [7] Kirill V. Rozhdestvensky. Wing-in-Ground Effect Vehicles. Aerospace Sciences, 2006: 211-283.

- [8] 恽良,谢佑农,孙君,邬成杰,彭桂华.“天鹅”号两栖地效翼船的研究与设计[J].船舶工程,2000(2).

- [9] Michael Halloran, Sean O'Meara. Wing in Ground Effect Craft Review. Australia: DSTO Aeronautical and Maritime Research Laboratory, 1999.

- [10] 陈东,高飞,王晓东.俄罗斯及我国地效飞行器发展[J].现代军事,2005(3).

- [11] 曾锐,昂海松.“天使鸟”号地效翼艇的设计与试航[J].兵工学报,2006(3).

- [12] 顾诵芬,崔尔杰.填补运输效率的黄金空白——地面效应原理与地效飞行器.现代军事,2005(3).

作者简介:吴榕,厦门大学航空系工学硕士,副教授,从事飞机工程、流体传动与控制、机械设计等研究工作。

林文祥,硕士研究生,从事地效飞行器研究。

唐雯,硕士研究生,从事流体传动与控制研究。