

5月8日,在首届长三角国际应急减灾和救援博览会上,我国自主研发的大型水陆两栖飞机“鲲龙”AG600与多位用户完成签约工作,为国产航空装备助力国家应急救援体系建设注入新动能。

众所周知,水上飞机要从水面起降,必须兼顾船舶和飞机双重特性,具备水动和气动两种性能。无论是整体设计布局,还是工艺材料要求,比起陆基飞机,水上飞机研制都更有难度。目前,世界上只有少数国家具备大型水上

飞机研制能力。这是一个国家综合工业实力的集中体现。那么,水上飞机是如何“上天入海”的?制造一款大型水上飞机要突破哪些技术难题?请看解读。

# 水上飞机如何“上天入海”

■雷柱 刘桓玮 刘常春

军工世界

既要飞得高,还得会“打水漂”

要具备水上起降独特“本领”,水上飞机在机型设计上与陆基飞机有很大不同。在达到陆基飞机气动布局要求的同时,水上飞机更需要考虑复杂的水动力特性。

水动力特性之所以复杂,是因为它会随着水上飞机起降的不同阶段而发生变化。水上飞机滑行阶段,可以看成是一艘船舶低速加速到高速的过程,而滑行稳定性、水动阻力、喷溅等运动特性,在这一过程各个阶段都是不同的。

滑行稳定性主要取决于海上波浪对水上飞机的干扰强度。波浪干扰会导致飞机不断上下颠簸,如果这种干扰不可控,水上飞机就会产生“海豚跳”现象——像海豚一样上蹿下跳,甚至会一头“扎”进水里。

水上飞机对起飞重量的限制要求,决定它的重心无法像船舶一样置于水下,而是要处于水面之上。这样一来,飞机会产生横向倾斜,甚至发生侧翻。为了满足滑行阶段的稳定性,设计师通过在机翼两侧加装浮筒,不仅增加了飞机浮力,还具备良好的横向稳定性。

水动阻力,是水上飞机水动力设计的另一难点。水的密度是空气的800倍,在加速起飞阶段,水上飞机需要有足够动力去克服水的阻力。随着滑行速度增加,水上飞机所受阻力会出现两个峰值,只有越过第二个阻力峰值,飞机才能达到离水速度,顺利起飞。否则,水上飞机就是一艘贴着水面高速行驶的快艇。

船身底部的断阶设计,是解决飞机离水起飞的一个重要措施。断阶让水和机身之间产生一个空气层,使得水上飞机在高速滑行中能够克服气压差,在升力作用下顺利升空。

早期断阶概念诞生于“施耐德”杯水上飞机竞速比赛,设计师为提高飞行速度,将浮筒从无限过渡到有断阶时代。他们通过水动力试验,发现断阶的形式、高度以及相对飞机重心位置等对水上飞机水动阻力影响很大。

20世纪50年代,为提升船体和浮筒的水动特性,设计师提出采用收放式断阶替代固定式断阶的方式,通过起飞前后调整断阶深度,有效提升水上飞机飞行特性。

水上飞机在水面滑行时,机身底部会向四周喷射出强弱不等的水束,产生喷溅现象。喷溅除了冲刷船底增大滑行阻力外,还可能影响发动机正常工作,对螺旋桨、襟翼、尾翼等造成不良影响。

在水上飞机设计中,设计师一方面设法使螺旋桨、平尾等动力装置避开喷溅,比如水上飞机常用的上单翼、T型尾翼等布局设计;另一方面设法抑制喷溅,例如将船身首部设计为带有舵弯和抑波槽的形状,甚至利用边界层控制技术降低水动载荷等。



防腐和密封,难以逾越的两座“大山”

水上飞机作为“飞机+船”的组合产物,在制造上远不是两者技术叠加那样简单。除常规陆基飞机和舰船必需的技术外,考虑到高盐高湿工作环境,水上飞机制造对防腐能力、水密性等指标要求极高。

早期水上飞机,蒙皮接缝和铆钉孔很容易渗入海水,舱底内部经常积水,腐蚀问题十分常见。后来,设计师在水上飞机的结构和材料方面进行有益探索,使得防腐能力有了显著提高。

在结构设计方面,水上飞机多采用全机水密铆接,能够有效防止雨、雾和海水浸入结构内部;合理设计漏水孔和通风孔的位置大小,使得内部积水顺利排出;在铆钉、螺栓等连接件结合面进行适当隔离绝缘,防止双金属接触腐蚀。

在制造材料选择方面,水上飞机一般采用防腐材料和表面涂层等技术,为机体披上“防护衣”。目前,水上飞机使用的是常见合金材料,存在一定缺陷。研制新的防腐材料,一度成为各国研制水上飞机的难题之一。

发动机和各类电子元器件防腐能力同样是科研攻关的“重头戏”。水上飞机的动力系统会额外安装防腐装置,一般采用高压空气喷射方式,对发动机适时进行冲洗和清洁;机体内电子元器件也有着严密的防腐、耐盐雾、防腐防护和电磁兼容等环境适应性设计,这就要求水上飞机电控系统必须采用更强的防腐材料和涂层技术。

水上飞机在结构上开孔多、接缝多,密封难度可想而知。水上飞机一般采用3种方式确保机体密封性:一是在紧固件表面涂抹密封胶,消除紧固件与机身间的缝隙;二是在整机装配完成后,进行气密性检验;三是通过向机体进行高压喷水,检查是否有漏水、渗水问题。

为确保严格的水密性能,现代大

型水上飞机还采用整体结构设计,避免机体出现多处开孔。有些水上飞机还借鉴了轮船的设计理念,增加水密隔舱——将机身分割成若干个舱室,每个舱室之间用防水隔板和舱门分隔。一旦机身出现漏水现象,只需将舱门关闭,就可以将漏水控制在舱室内,而不会扩散到机身其他位置,避免飞机因进水而沉没。

除了防腐和密封两座“大山”,水上飞机在制造中还有很多“山峰”需要翻越,机体结构强度便是其一。水上飞机在高速接水过程中,会产生巨大冲击力,之后高速滑行过程,波浪也会对机体产生高频冲击。这种结构响应,给水上飞机结构强度设计带来很大挑战,需要付出更多结构重量。

在总装对接方式上,水上飞机相比陆基飞机难度也很大。设计制造水上飞机要同时考虑“半架飞机”和“半艘船”。这一过程非常复杂,不仅涉及高精度密封铆接技术、对接数字化定位技术等,还需要辅以数字化柔性工装及激光跟踪仪测量。

三次试飞,水上飞机的“破茧之旅”

现代水上飞机大都具有“水陆两栖、一机多型”的特点,在大批量生产前,必须进行3次不同方式的首飞试验。

陆上首飞,即验证水上飞机基本功能和飞行性能,是实现图纸到试验机的重要环节。水上飞机依靠起落架系统实现陆上起降,与陆基飞机并无太大区别。

水上首飞和海上首飞,包括飞机“从空中降落水面”和“从水面滑行升空”两个测试阶段。两者看似进行了相同的测试科目,但对水上飞机性能检验有着不一样的意义。

水上首飞一般在湖面进行,主要验证水上飞机各系统水面工作情况,并初步验证飞机水面起降的操作性能,为投入森林灭火和自然灾害防治体系建设做

充分准备。

海上首飞则重点检验水上飞机喷溅特性、抗浪性、加速特性和水面操纵性能,检验飞机各系统在海洋环境中的工作性能,以便收集海上飞行数据,对未来发展执行远海货物运输、水上应急救援等任务提供支持。

相比于水上起飞,海上起飞可以说是水上飞机的“终极考验”,有着更高的技术要求——

海上环境对水上飞机各项性能要求更加苛刻。海水盐度明显高于湖泊淡水,对水上飞机各系统腐蚀防护有着更严峻的挑战;海水密度大,水上飞机起飞时克服水的“黏性”更大,降落时海水对飞机的反作用力也更强,飞行员往往感到海面比湖面“偏硬”;海上不同类型波浪同时存在,且传播方向不一致,使得水上飞机飞行环境更加复杂,飞机可能会产生上下颠簸和摇摆现象。

海上起飞对飞行员的视觉感受和操纵要求更加严格。海面比湖面更开阔,飞机降落时,飞行员选择参考点不如湖面容易;海面环境比湖面环境更复杂,在试飞过程中,飞行员需要全面考虑风向、风速、洋流和浪涌等综合因素影响。

为此,飞行员需要更为丰富的经验决定飞机是迎风降落、逆海浪降落,还是正侧风、沿波峰等方式降落。

一般来讲,在正常波浪的海面起飞时,飞机发动机的拉力产生的低头力矩,使机头有一定的下俯角度,但在大波浪的条件下起飞时,机头反而抬起,在越过每个波浪后,机头又迅速下俯,产生更大的下俯角度。为了避免起降过程中飞机飞行姿态过大,飞行员必须调整好操纵,才可以保持飞机飞行状态的稳定性,这让海上试飞的难度变得更加突出。

无论是相对简单的陆上首飞,还是难度递增的水上首飞和海上首飞,都是水上飞机修炼“上天入海”本领的必由之路。只有经历过“破茧之旅”,水上飞机才能实现量产、赢得客户肯定。

上图:国产大型水陆两栖飞机“鲲龙”AG600在湖北荆门成功水上首飞。资料图片

控制供气管路中冷热空气的混合比例,实现温度控制功能。这样,乘客就能感受到座椅口气里吹出来的丝丝凉风了。

同时,压力调节子系统能够调节舱内气压,使舱内压力适合人体生理需求,使飞机机舱内外压差保持在机体结构安全要求范围内。

现代飞机装有各种先进电子设备,一块小小的电路板上就集成了成百上千个元件,它们同时工作时会产生大量热量。在空气循环制冷的基础上,还需要增加蒸发循环制冷加液冷循环,将大功率电子设备的热量传给燃油,从而实现飞机的综合热管理。

左上图:飞机空调系统。资料图片

军工科普

张坤办公室门外的墙上,挂着一张科学家钱学森的海报。

海报上,钱老微笑着。人像旁印着一行金色大字:“国为重,家为轻;科学最重,名利最轻。”

这是张坤的座右铭。

张坤是空军研究院某所室主任。他的工作是在新战机定型列装前,收集部队所反映问题,代表空军为厂家研制的新战机“挑剔”,并协助厂方拿出解决方案。

“简单来讲,我是唱‘黑脸’的。”张坤笑着说,“‘黑脸’一般都难唱。”事实也的确如此。

为摸清新战机性能底数,有针对性地提出贴近实战的试验鉴定总案,从新战机研发立项到装备列装定型、下发部队,张坤通常要参加几十场研讨会,多方面询问、征集、汇总有关情况。

列出的需求和问题多,有时厂方会觉得张坤是在“找茬”。一次,在制订某型军机试验鉴定总案时,张坤在项参数上毫不退让,厂方的技术人员甚至跟他拍了桌子。

研究所领导担心张坤有压力,会后专门找到他:“咱做的事对空军战斗力建设十分关键,一定要坚持。”

这一点,张坤何尝不知——试验鉴定是新战机列装的“头道关口”,一端连着飞行员的生命安全,一端连着空军战斗力,容不得半点马虎。

俗话说,生活是妥协的艺术。而对于工作,在张坤看来,“科学的字典里没有妥协”。

每次组织实施新战机试验鉴定时,张坤和战友都全力以赴。面对数以万计的装备参数和试验数据,为摸清新型战机的能力底数,他和团队需要把每一个数据清晰地标注出来,做好分析和鉴定。

压力大的时候,张坤会把自己关在房间里,听几遍《征服天堂》。这是电影《哥伦布传》的配乐。在恢宏的乐曲中,张坤能感受到一种拥抱挑战的力量。

那年,张坤参加某型战机定型试飞任务。战机刚起飞不久,机载某个系统突然断电。

哪个环节出了问题?张坤第一时间带着故障数据赶往研制厂家。检索历史记录和技术资料后,他发现该型战机存在一个设计缺陷。

那段时间,张坤同厂家一遍又一遍地核对数据,根据部队提出的需求改进设计并展开测试,经过两次调整,终于解决了问题。

几番磨合下来,厂方对张坤的态度慢慢地发生了转变:“张坤不是在和厂家较劲,他是为战斗力负责。”

那时,张坤和他的团队还在忙另一项工作。他们加班加点,多方查阅资料,梳理出几万条装备数据,经过几个月不懈努力,拿出了空军首个对该型战机的鉴定定型试验总案。

翻开张坤的工作手册,全是密密麻麻的试验记录。在这些记录中,出现次数最多的是一个重重的问号:飞机转弯极限在哪,导航的极限时间有多长等等。

回答这些问题,需要持之以恒地追问,更需要深入一线反复调查。

承担战机试验鉴定工作以来,张坤一年里有一大半时间在部队度过。一年,张坤到某飞行团调研某型战机试验情况。到了午饭时间,他去食堂用餐,碰上了该团几个飞行员。

听说张坤是空军研究院搞装备试验鉴定的,这几个飞行员打开了“话匣

科学的字典里没有妥协

记空军研究院某所室主任张坤

袁 叶海松

子”。他们讲得认真,张坤一笔一笔记得更是仔细万分,生怕有半点遗漏。情况了解完,张坤抬头一看,饭菜早凉了。

“收集一线飞行员的意见建议很重要。从某种意义上讲,我们就是空军飞行员的‘代言人’。”

回到办公室,张坤将这些飞行员反映的情况又仔细梳理了一遍。也就是在那时,他又有了新思路:若能建立一个试验鉴定数据库,让一线需求和厂方制造及时对接,就能提前发现和规避矛盾,提升新战机实战化水平。

不久,由张坤主导的动态数据库正式上线。有了这个数据库,部队上报信息方便直观,厂家调整的依据与方向一目了然,有效提升了试验鉴定工作的效率。

2019年国庆节,难得有空闲时间的张坤带着10岁的女儿走上北京的街头。长安街上,威武雄壮的受阅部队正在接受党和人民检阅。

当人民空军的新型战机飞越上空,女儿高兴得挥舞着双手喊了起来。看着那些由他参加鉴定过的战机飞过头顶,张坤的脸上洋溢着幸福和自豪。

科技先锋

## 武器研发要建立“施坦威标准”

■巩沛文

匠心慧眼

1836年,德国人施坦威在制造第一架钢琴时,对钢琴的设计、制造和调试流程,甚至每个零件的用料、材质作了严格细致的规范。如今,“施坦威标准”已成为各国钢琴制造商世代沿用的现代制琴规范。施坦威公司也因精湛的制琴工艺被业界称为“钢琴之王”。

他山之石,可以攻玉。推进武器装备现代化,加快构建适应信息化智能化战争和履行使命要求的武器装备体系,也应当建立和完善与之相适应的“施坦威标准”。

登高望远,体系支撑是信息化战争的一个显著特点,也是武器装备现代化的主要特征。未来作战是基于信息系统的体系对抗,装备建设标准化是体系作战的基石。事实证明,如果标准太粗略、太笼统,就会造成武器装备之间的不匹配、不兼容。即使拼凑出了作战体系,也难以产生真正战

斗力。在实战严酷考验面前,不过是沙上建塔,风一吹便倒。

标准化始终是装备发展建设的重要基础。打造武器研发的“施坦威标准”,建立完善武器装备建设的标准体系,需要权威主导、上下联动、多方努力。

决策层应着眼长远统筹标准要求,理清各层次各类型标准之间的逻辑关系,加强对标准的顶层设计、整体筹划,着力发挥标准的引领作用、牵引作用和推动作用。军工企业管理者应严格落实标准要求,建立健全装备研制标准体系和制度机制,加强标准计划制定和执行监督管理,通过有效的管理制度和手段,将标准化工作制度化、规范化、经常化,在装备建设中生根落地。

因此,建立信息主导的武器装备建设体系,必须像施坦威制造钢琴那样,将装备生产的每个环节、单元和要素细化分解,分类制定标准体系,要健全武器装备互联互通,真正融为一体,才能打造出体系作战的拳头力量。



## 把空调“搬”到天上

■邓为

制冷剂在系统内循环,流经蒸发器时,制冷剂气化吸热;流经冷凝器时,制冷剂液化放热,从而实现热量从室内到室外的传输功能。

飞机空调是飞机内的环境控制设备,与家用空调同样起到空气调节的作用。那么,为什么不能直接将家用空调搬到飞机上呢?这是因为飞机在爬升、下降、巡航等飞行过程中,面临振动、气压剧烈变化的严酷考验。

飞机空调给乘客和设备通风散热的

同时,还必须满足给飞机座舱增压的要求。目前,飞机空调主要采用空气循环制冷技术。飞机空调系统包括引气调节、制冷、空气分配、温度控制、座舱压力等子系统。其中,制冷子系统主要负责对发动机引气进行制冷。

高温、高压空气从发动机引入,经过多级换热器逐步冷却,再通过涡轮冷却器进行膨胀降温,由水分离器完成除水,由此得到干燥凉爽的空气。舱内空调控制器根据设定的温度调整热旁路活门开度,

飞行在万米高空,飞机周围环境温度只有地面大气压的四分之一,温度低至零下50摄氏度。置身于机舱内,飞行员需要打开飞机空调调节舱内温度。

那么,有人会问,飞机空调与家用空调有什么区别呢?

众所周知,家用空调是为了提高大家生活舒适度而设计的。它采用的是蒸发循环制冷原理,制冷压缩机推动制