



## Development and Design Innovation of Advanced Helicopter

北京航空航天大学 吕春雷  
中国直升机设计研究所 吴希明 武庆中



吕春雷

北京航空航天大学博士研究生,现就职于中国直升机设计研究所,高级工程师,专业方向为直升机总体设计,历任主管设计、副主任设计师、主任设计师、所B级技术专家,主持了多项课题预研工作,并参与了多个型号的研制,获得国家级成果2项,省级成果1项,集团级成果2项,荣立个人二等功1次。

先进直升机要突破速度限制、提高综合使用效能,必须大力开展技术革新与构型革新。技术革新是从理念上突破传统设计思想的限制,而构型革新则是从根本上摒弃传统构型的缺陷。但是,无论是技术革新,还是构型革新,都要立足于坚实的理论基础,依赖于科学技术的发展。

军用直升机在现代战争、局部地区军事冲突以及反恐等各种规模的军事行动中具有广泛的适用性,可用于军用物资/兵员运输、战场搜索与救援、伤病员护送、通信联络、战斗指挥/控制、侦察、目标指引、反舰/反潜、布雷/扫雷、护航、对地火力支持/攻击、战斗损伤评估等,几乎包括了军事应用的各个方面,因此直升机特别受到世界各国军事部门的青睐,并在历次战争得到了广泛的应用,也取

得了骄人的战绩。直升机作为现代战争中实现战术、战略目标的重要一环,占据了不可替代的重要地位。

### 世界直升机发展现状

世界直升机目前处于第三代和第四代并存发展的阶段,第三代直升机采用玻璃钢复合材料桨叶,带弹性轴承的无铰桨毂,机体次要结构采用复合材料,半综合航电系统。代表性型号有S-70/UH-60“黑鹰”、AH-

64“阿帕奇”、米-28、SA-365“海豚”等。第四代直升机采用先进复合材料桨叶,三维变化的先进翼型,桨叶寿命无限,无轴承或球柔性桨毂,机体主次结构都大量采用复合材料,高度综合化的航电系统。代表性型号有AH-64D、“虎”、卡-52、NH90、EH101、S-92、V-22等。

这些直升机在全世界各个领域,尤其是军事领域得到了广泛的应用,在一系列局部战争中取得了不菲的成绩。但是,也暴露出很多问题,如伊拉克战争表明,直升机飞行速度慢、飞行高度低是被击落的重要原因。现在军用直升机的作战任务和制空要求具有更大的范围,尤其在战场突袭、反潜方面,航程远才能完成各种战术要求。现代战争中进攻和防守的转化快,多点突击的“空中蛙跳”战术使穿插战术有了质的飞跃,这都要求直升机必须具有远航程的能力。另外,近几场局部战争也检验表明,当代直升机可靠性、复杂环境适应性、抗坠毁性、自身防护以及与其他武器装备联合作战等方面的能力还不能完全满足作战要求<sup>[1]</sup>。

简言之,当代直升机存在以下两大问题。

一是直升机的低飞行速度。气动、动力学和声学等各方面因素使常规直升机的飞行速度难以超越固定翼飞机。飞行速度低严重限制了直升机的使用和发展。常规直升机的速度记录是由“山猫”直升机保持的400km/h,而由美国贝尔公司研制的倾转旋翼机为565 km/h,西科斯基飞机公司的X-2技术验证机(图1)试飞最大速度达到了462 km/h,欧直公司研制的X-3技术验证机(图2)的巡航速度达到了472 km/h。由此可见,突破该“飞行速度限制”瓶颈的一条重要技术途径是直升机构型的革新。

另一个问题是仅提高某一个或某一些能力无法满足现代以及未来

战争对直升机的要求,提高综合使用效能才是硬道理。传统总体设计“单目标、单方向”特点无法适应以提高综合使用效能为目标的先进直升机的设计需求,技术革新势在必行。2000年乔治亚理工大学进行了基于分布式分析多学科设计优化体系结构的直升机总体多学科设计优化研究,通过利用代理模型集成各个学科精确分析模型,形成如图3所示的分布式分析的直升机总体多学科优化设计系统<sup>[2]</sup>。

为了解决以上两大问题,先进直升机总体设计被带入了“技术革新”与“构型革新”两个快车道,飞速发

展。

## 先进直升机总体设计革新

### 1 技术革新

传统的直升机总体设计是指从概念设计阶段到初步设计阶段进行方案设计的全过程,这一过程以用户对直升机的需求为中心,通过继承与创新、综合与协调、反复迭代与逐次逼近,最终得到最优的新机总体方案。

如前所述,目前“提高作战效能、降低研制成本、缩短研制周期以及加强直升机安全性、可靠性、经济性、舒适性、环保性和适用性”已经成为用



图1 X-2技术验证机



图2 X-3技术验证机

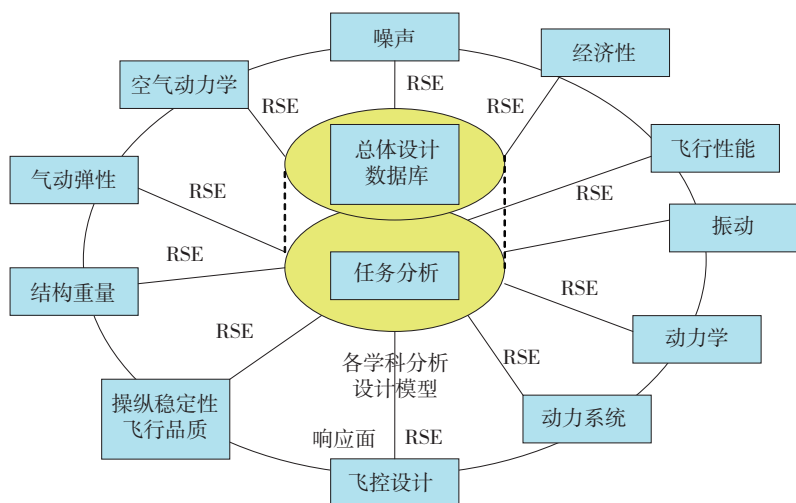


图3 分布式分析的直升机总体多学科优化设计系统

户对先进直升机的需求。围绕这一中心,必须从设计理念与模式、设计技术与方法上对总体设计进行根本性的转变与革新。

首先,从设计理念与模式上,必须完成从传统的“面向性能设计”到现代的“可负担性和质量设计”的转变,即从追求少数重要飞行性能发展到追求系统综合使用效能,从单纯追求性能发展到考虑全寿命周期费用,从采用串行设计模式发展到采用并行设计模式。也就是说先进直升机的总体设计要素从仅考虑气动、动力和重量等工程学科的一维度,转变为将工程学科以外的飞行力学、结构动力学、隐身性以及“六性”等学科考虑在内的多维度。

其次,从设计技术与方法上,必须完成从传统的单目标优化到多目标优化、多学科优化的跨越。NASA Langley 研究中心对直升机旋翼桨叶多学科优化涉及进行了大量的研究,结果表明通过考虑多个学科之间的耦合,可以提高旋翼的综合性能。推而广之,直升机总体设计涉及到空气动力学、飞行力学、动力学、结构强度、经济性等多个学科,这些学科之间存在着相互耦合关系,通过综合权衡与优化,必定能够获得全局最优的直升机总体设计方案。

此外,为了将所有的设计理念与模式、设计技术与方法转变的成果转化为价值,先进直升机总体设计的终点从传统的“最优的新机总体方案”转变为“满足用户需求的直升机产品”。

这三大转变成就了直升机总体设计技术的革新,也造就了先进直升机总体设计的三大特点,即丰富的内涵、广阔的外延与全方位的维度。而将技术革新付诸实施必须将直升机技术与当前快速发展的数字化和信息化技术有机结合起来。

实际上,早在 20 世纪 70 年代初就有人建议在直升机设计中应用总体综合设计技术,即把多学科综合设计优化方法应用到直升机的设计中去。但直到 20 世纪 80 年代才认识到这种方法的重要性,其主要原因是直升机设计问题复杂并且缺乏可靠的分析工具。

随着数字化设计技术与优化设计方法的快速发展,出现了专门的直升机总体综合设计软件系统,并以此为基础搭建了实用的直升机总体综合设计评估平台,先进直升机总体设计技术革新初见成效。

先进的综合设计评估平台涵盖需求、参数、气动、重量、人机工程、结构与系统、振动、噪声、寿命、“六性”、

经济性、时效性、风险性与效能等要素,将总体设计的内涵从传统的单向设计拓展到设计评估一体化的闭环优化,将其外延从传统的概念设计、初步设计与方案设计拓展到全寿命周期,将其维度从单一的工程学科拓展到多领域、多学科在内的全方位。具体地讲:

(1)需求是指全寿命需求管理;

(2)参数是指总体参数选择与优化设计;

(3)气动包括气动外形、气动性能、气动载荷、气动噪声、飞行品质以及气动隐身一体化;

(4)重量是指直升机重量重心控制;

(5)人机工程是人机界面与接口控制;

(6)结构与系统包括结构强度设计以及各系统的设计与开发;

(7)振动是指整机振动控制;

(8)噪声是指机内、外噪声控制;

(9)寿命是直升机及各系统、机载设备的寿命;

(10)六性包括安全性、可靠性、维修性、测试性、保障性以及环境适应性;

(11)经济性是指全寿命周期费用;

(12)时效性是指研制周期;

(13)风险性是指研制风险;

(14)效能是指综合效能,通过综合效能评估对每一轮设计迭代结果的优劣进行对比。

总地来讲,在先进的总体综合设计中,综合效能就像一条纽带,将用户需求与设计要素紧密结合起来,形成如图 4 所示的“A”型。

设计过程中以综合效能评估为判据,从两个层面上采用优化技术:一是整体优化;二是局部优化。局部优化是指各要素相对独立的小循环、细节优化设计,整体优化是指所有的要素相互关联的大循环、整体优化设计。

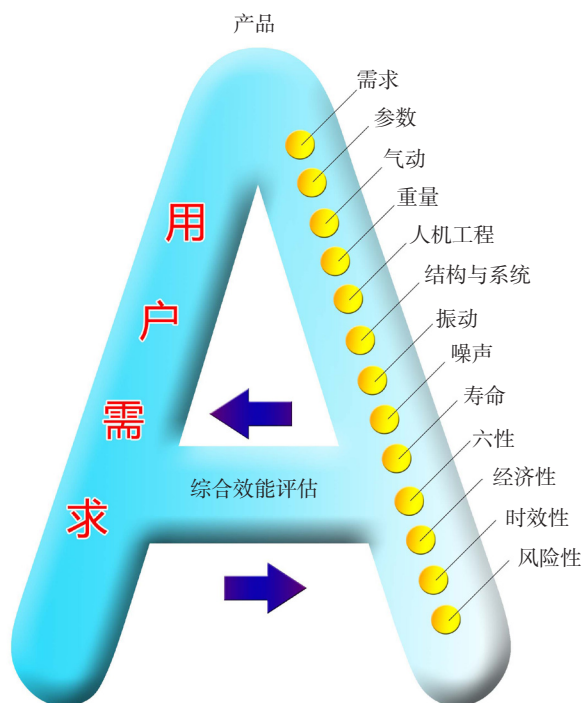


图4 “A”型总体综合设计

国外所进行的旋翼飞行器整体优化和分系统的局部优化结果显示,与传统的设计相比,先进直升机总体设计可大大提高直升机的综合效能。该技术的优点及其效果包括<sup>[2]</sup>:

(1)在初步设计阶段,作为一个整体来优化旋翼飞行器的外形和布局,可获得较优的外形,并可使旋翼飞行器的性能提高3%~5%;

(2)对旋翼桨叶进行优化中,仅通过改变桨叶外侧20%部分的桨叶截面,其振动幅度减少了15%~40%,桨叶重量减少了9%~20%。旋翼几何形状的优化可使旋翼消耗的功率减少2%~5%;

(3)通过优化旋翼桨毂设计,使桨毂应力的合成峰值减少了70%;

(4)通过对机身结构进行优化,可使其重量和振动水平各减少了5%以上;

(5)在翼型等设计中可大大减少风洞试验,节约大量的费用;

(6)可大大节省设计时间、人工成本,并提高研制质量;

(7)总体综合设计过程中比较

充分地考虑了总体、分系统、零部件之间的相互影响和各种关系,因此能大量减少生产过程中出现的各种协调问题;

限制,提高飞行性能,改善操纵品质,是满足未来对高速、远航程军用直升机性能需求的有效方法之一。通过多年的技术积累与储备,各种各样的新构型直升机逐渐在人们的视野中清晰起来,包括倾转旋翼机、X-2新构型验证机、复合型直升机、CHT复合直升机等。其中,目前最有发展前景的是倾转旋翼机。这种飞行器结合了直升机和固定翼飞机的优点,既保持了直升机能够向任意方向飞行的独特优点,又可以实现接近亚音速固定翼飞机的飞行速度,从而大大提高了旋翼类飞行器的使用效率。目前,世界上只有美国的贝尔公司掌握了倾转旋翼机的核心技术。前苏联和欧盟也进行了一些研究,但都没有进入到型号研制阶段。倾转旋翼机的飞行速度比直升机大大提高,目前常规直升机的最大平飞速度只有315km/h, V-22达到565km/h时,直升机的最大实用升限一般低于6km, V-22倾转旋翼机的实用升限高达将近8km。倾转旋翼机大大扩展了直升机的飞行包线,同时大大提高了直

升机的运输效率。

(8)直升机的许多先进性能只有靠综合设计技术才能实现。

## 2 构型革新

开展新构型研究,利用各种技术手段突破常规构型直升机的速度

升机的运输效率。

美国的西科斯基飞机公司正在研究的一种X-2新构型验证机也是一种新构型直升机,其巡航速度可达到462km/h左右,具有非常巨大的技术潜力。商用直升机、无人驾驶直升机、美国未来的高速联合重型升力直升机、联合重型起重直升机甚至高速攻击直升机等都可以应用X-2验证机的技术。

另外一种极具发展潜力的新构型是复合型直升机,与倾转旋翼机不同的是,它不是依靠旋翼倾转,而是利用独立的螺旋桨发动机或者涡轮喷气发动机,从而使直升机的飞行速度大大提高。复合式直升机的潜在优势具有非常大的吸引力,对这种构型直升机的研究工作近年来得到了较多的关注。比较典型的是,针对近几年来美国军方提出的新一代重型运输型直升机计划,美国有关研究机构提出了复合式直升机的方案。据介绍,要求该型直升机的巡航飞行速度达到555km/h。参与美国陆军空中机动和运输项目AMT的竞争称为卡特直升机运输CHT,根据验证机的试飞和分析结论,CHT复合直升机在12km高度的有效巡航速度可达676km/h。

## 结束语

先进直升机要突破速度限制、提高综合使用效能,必须大力开展技术革新与构型革新。技术革新是从理念上突破传统设计思想的限制,而构型革新则是从根本上摒弃传统构型的缺陷。但是,无论是技术革新,还是构型革新,都要立足于坚实的理论基础,依赖于科学技术的发展。

## 参考文献

[1] 张广林. 未来直升机技术发展展望. 国际航空, 2005(4): 26-30.

[2] 张呈林, 彭名华. 直升机总体设计技术的新进展. 航空制造技术, 2010(13): 56-60.