

# 下一代直升机技术发展 方向研究

吕春雷, 黄 利

(中航工业直升机设计研究所, 天津 300071)

[摘要] 技术的发展以需求为牵引和导向, 本文从直升机划代出发, 概括得出下一代直升机的典型特征、能力需求及其技术发展的 3 大方向, 即高速、绿色和智能化。

关键词: 直升机技术; 高速; 绿色; 智能化

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2016.08.051



吕春雷

1996 年毕业于南京航空航天大学, 2005 年获硕士学位。现就职于中国直升机设计研究所, 研究员, 所 B 级技术专家, 获得部级成果 2 项, 省级成果 1 项, 集团级成果 3 项, 荣立个人三等功 1 次, 二等功 2 次。

从 20 世纪 30 年代中期, 直升机真正投入使用, 至今, 直升机技术已经日趋成熟, 经历了 4 代技术发展阶段, 第五代技术正处于构想阶段。

依据参考文献 [1] 中对不同代际直升机的描述, 从 20 世纪 30 年代

~50 年代末, 以贝尔 47 和米 -4 为典型代表的第一代直升机; 20 世纪 60 年代初 ~70 年代中期, 以米 -8、“超黄蜂”和直 8 为典型代表的第二代直升机; 20 世纪 70 年代中期 ~80 年代末, 以“阿帕奇”、“山猫”、“海豚”和直 9 为典型代表的第三代直升机; 20 世纪 90 年代至 2010 年, 以“科曼奇”、NH-90 为典型代表的第四代直升机, 划代的主要依据无外乎发动机、材料、信息化程度、最大平飞速度以及振动和噪声水平。因此, 第五代直升机构想的主要特点可以定性描述为高速、高机动、隐身、远程、长航时等, 而且振动和噪声水平明显降低, 信息化与“5 性”水平显著提高。

换言之, 下一代直升机, 即第五代直升机的典型特征可概括为: 自身性能和环境友好性两个方面的能力有所提升, 甚或有质的飞跃。

## 下一代直升机 3 大技术发展方向

科学技术的发展只有以需求为牵引, 才有足够的动力与后劲, 下一代直升机技术发展也不例外。基于

上述能力提升需求, 可以预见下一代直升机技术应从高速、绿色和智能化 3 个方向发展。

### 1 高速技术

在直升机真正诞生之后, 尤其是 20 世纪 50 年代之前, 最大平飞速度一直徘徊在 200km/h 以下。直到 1963 年, 直升机的速度得到了快速提高, “超黄蜂”的速度达到了 250km/h。此后, 对速度的提升再次减缓。随着应用越来越广泛, 为了进一步适应军、民领域的市场需求, 提高直升机飞行速度成为不可避免的课题, 高速技术也已成为下一代直升机的技术发展方向之一。

分析表明, 直升机前飞时, 旋翼所处的复杂气动环境从根本上限制了直升机速度的提升, 而要将旋翼从极度恶劣的前飞工作环境中解脱出来, 主要技术手段包括总体构型革新与旋翼能力提升<sup>[2]</sup>。

#### (1) 总体构型革新。

前飞时, 由于来流速度的叠加, 造成旋翼的前行桨叶出现激波, 后行桨叶出现气流分离, 进而导致直升机前飞速度受到限制。而且研究发现,

由于旋翼所处的气动环境使然,采用常规办法根本无法突破这种限制,因此总体构型革新势在必行。倾转旋翼机、刚性旋翼直升机应运而生,V-22、BA609、X2/X3 就是典型的代表(图 1 和图 2)。尽管从严格意义上来讲,这些直升机已经不再是传统的、纯粹的直升机,它们结合了直升机和固定翼飞机的优点,但是人们依然称之为高速直升机。



图1 V-22鱼鹰  
Fig.1 V-22 Osprey



图2 西科斯基与波音公司联合研发的X2  
Fig.2 X2 developed by Sikorsky and Boeing

其中最具有发展前景的是倾转旋翼机。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。倾转旋翼机在飞行速度和飞行包线两方面都比直升机大大提高,比如:常规直升机最大平飞速度只有 315km/h, V-22 可达到 565km/h; 常规直升机最大实用升限一般在 6km 以下, V-22 的实用升限将近 8km<sup>[1]</sup>。

另外,美国的西科斯基飞机公司正在研究的一种 X2 新构型技术验证机,其巡航速度可达到 462km/h 左

右,具有非常巨大的技术潜力。西科斯基与波音公司联合研发、参与美国国防部 FVL 战略计划竞标的 SB>1 就是以 X2 技术为基础开展设计的,该技术采用可变转速传动系统来调整桨尖速度以适应高速巡航使用。同时参与竞标的其他 3 家公司( AVX 飞机公司、贝尔直升机特克斯特朗公司和凯瑞姆飞机公司)也不约而同采用了新构型<sup>[4]</sup>。

被美国陆军联合多功能技术验证机(JMR-TD)项目选中的 V-280“勇士”(图 3)第三代倾转旋翼机是在 V-22“鱼鹰”技术基础上的升级,当前设计方案的亮点就是提高了低速灵活性、高过载的机动性、低油耗和长航程等。



图3 贝尔公司V-280倾转旋翼机  
Fig.3 V-280 tiltrotor developed by Bell

## (2) 旋翼能力提升。

旋翼是直升机唯一的升力来源,因此旋翼能力的提升成为提高现代直升机飞行速度的最直接的途径。

旋翼能力提升技术<sup>[1-5]</sup>除了翼型配置、桨叶平面形状、气动扭转以及桨尖形状设计等常规途径以外,值得一提的是美国 NASA 新近开始的一种与具有创新意义的研究项目——逆速旋翼(Reverse Velocity Rotor, RVR)系统。采用逆速旋翼系统的直升机在快速前飞时,前飞速度大于逆速旋翼系统中桨叶的桨尖线速度,从而使整个后行桨叶处于反向气流之中,“逆速旋翼系统”因此而得名。逆速旋翼系统的桨叶采用前后缘对称的翼型,确保不论桨叶来流方向如何都可产生升力。然而,这种对称翼

型最大的优势在于可以将旋翼转速与前飞速度叠加,把对后行桨叶速度的影响降到最低,并推迟常规旋翼后行桨叶失速出现的时间。当然这种逆速旋翼设计,还需要可变速的传动装置和辅助推力系统的支持。逆速旋翼机的出现及其所达到的前飞速度水平,对现有像 V-22 那样的倾转旋翼机直接构成了挑战。与此同时,未来采用逆速旋翼系统的旋翼机还能避免倾转旋翼机技术复杂、结构复杂、重量效率低、可靠性低、动力学和过渡飞行控制技术难、双旋翼间存在干扰等技术难题。

## 2 绿色技术

直升机的使用空域一般在 5~6km 以下,与固定翼飞机相比,该范围更接近居民空间,同时为了凸显低空性、运输便捷性和使用价值的提高,直升机机场也更为接近居民区,因此在使用过程中所引起的周边环境变化,如外部噪声引起的噪声污染和发动机排放物引起的空气污染等,都会对周边的居民产生影响。因此,对这些外部环境污染的有效控制是绿色直升机的特征,也是直升机适用性的重要指标。通常来讲,降噪和减排的技术称之为绿色直升机技术。

目前,广为人知的绿色技术探索项目包括欧盟启动的“洁净天空计划”(Clean Sky)中的绿色旋翼机和美国国防预先研究计划局(DARPA)启动的任务自适应旋翼(MAR)项目。其中洁净天空计划的目标是为未来飞机开发绿色环保技术,作为该计划 6 个项目之一的“绿色旋翼机”(Green Rotorcraft)项目,要求直升机削减 10dB 噪声;涡轴直升机的二氧化碳排放量减少 26%,发动机本身的改进必须降低 10% 的二氧化碳排放量,另外气动布局 and 系统方面的改进必须降低 16% 二氧化碳排放和 65% 的氮氧化物排放量<sup>[6]</sup>。自适应旋翼项目性能目标更为明确,包括:有效

载荷增加 30%；航程增大 40%；旋翼声学可探测范围减小 50%、诱发振动减少 90%<sup>[5]</sup>。毫无疑问，这两个研究项目作为先驱，为绿色直升机技术的发展指明了方向。

### (1) 降噪技术。

直升机的外部噪声主要来自旋翼、尾桨和发动机，其中，旋翼噪声为主要来源，因此目前直升机外部降噪研究主要针对旋翼开展，研究的焦点基本都定位在降低桨—涡干扰(Blade Vortex Interaction, BVI)噪声。成果较为突出的包括高升力桨叶、“波形”桨叶设计和“主动扭转旋翼”。高升力桨叶技术被业内认为是最新的研究项目，主要通过降低巡航飞行时的旋翼转速，达到降低直升机至飞临区域的噪声。“波形”桨叶设计(Wave Blade)是 NASA 目前正在研究的一种新型桨叶，通过分散前一片桨叶产生的涡流降低 BIV 噪声。“可调式旋翼”是一种桨叶分布间距不均等的旋翼系统，通过调整旋翼桨叶的安装角，使旋翼桨叶不再呈常规的均匀分布安装位置，从而降低原先的 BVI 噪声的强度。“主动扭转旋翼”(Active Twist Rotor, ATR)的核心是通过每一片旋翼桨叶的载荷和空间位置进行独立控制，减小桨叶涡强度，使后一片桨叶不会和前一片桨叶产生的涡流相撞。NASA 的风洞试验显示主动扭转旋翼对于降低噪音和振动有明显的作用<sup>[5]</sup>。

### (2) 减排技术

直升机尾气由发动机产生，主要成分是二氧化碳和氮氧化物、水汽。减少发动机尾气排放可以从 3 个方面开展技术研究<sup>[6-8]</sup>，首先是从发动机出发，开展技术研究，降低耗油率，提高燃油效率，或者通过动力装置的改进从根本上消除发动机尾气的排放；其次是从直升机方面入手，通过机身气动优化、外部气动部件整流、起落架以外挂结构的收放来减少前飞时的废阻，进而降低对发动

机的功率需求，当然还可以通过无尾桨设计，降低需用功率；最后是通过进、排气优化等技术措施减少发动机的安装损失。

以上几方面研究中，值得一提的是柴油发动机、全电驱与混合动力直升机技术研究，这些都是可从根本上实现绿色直升机的可取之路。欧盟正在“绿色旋翼机”(Green Rotorcraft)项目中大力开展柴油动力直升机研发，先期目标是基于现有的柴油发动机技术实现降低 30% 的燃油消耗；远期目标是基于下一代的柴油发动机技术，结合直升机总体方案优化，实现减少 30%~40% 燃料消耗。相比于柴油发动机，电动发动机的使用可减少直升机复杂的动部件，降低振动和噪声，并且不需要航空燃料，更加绿色环保。西科斯基公司的“萤火虫”全电直升机(图 4)是对电驱动垂直起降飞行器的首次尝试。混合动力直升机项目主要是改进发动机的整体效率，使燃油消耗率与同级别直升机相比减少 30%，同时增加直升机的安全裕度，这种直升机尚处在概念研究阶段。此外，新能源发动机，如生物燃料、激光发动机等也将成为绿色直升机技术中不可或缺的成员。

## 3 智能化技术

### (1) 材料智能化。

智能材料结构通过微型传感器、微处理器、光纤和压电材料等植入复合材料中，使直升机旋翼或结构按照飞行员的指令或根据局部的空气动力特性自动作出响应，调整形状，从而提高性能和品质。目前，这类研究主要集中于旋翼系统，其核心是对桨叶展向扭转和弦向弯度进行调整，以实现悬停与平飞性能的同时提升。主要作法包

括：采用形状记忆合金驱动的桨叶后缘襟翼，在直升机旋翼大梁中引入形状记忆合金驱动装置以及在旋翼桨叶上铺设智能材料纤维等。2004 年，由波音牵头的一个研究小组对 MD 直升机进行改装，在桨叶上安装了由智能材料驱动的主动后缘舱面补偿片，并开展了台架试验，结果表明振动值降低了 80%<sup>[5,9]</sup>。

### (2) 人机界面智能化。

人机界面智能化技术的发展依托于信息化技术的发展，包括微电子技术、计算机技术和网络技术的发展。采用这些技术可以通过多余度数字式总线交联实现火—飞—发控制系统的数据共享；采用多功能集成显示技术，简化座舱布局 and 仪表盘布置，使驾驶舱朝着智能化方向发展，降低飞行员工作负荷，改善飞行品质等。早在 20 世纪末，贝尔直升机公司就提出了一项适应未来战场应用需求的“超级座舱”研究计划，目前，具有部分智能化功能的“超级座舱”已经应用于 AH-1W 等改型中。可以预见，随着更先进信息技术的应用，下一代直升机的驾驶舱智能化程度将大大提高<sup>[5,9]</sup>。

### (3) 飞行控制光传化。

飞行控制光传化，顾名思义是指采用光传技术实现飞行控制，一方面可通过取消机械控制机构减轻系统重量，另一方面可通过控制律设计、系统重构等技术的应用减轻驾驶员工作负荷，甚至实现无忧操作和自动



图4 西科斯基公司的“萤火虫”全电直升机  
Fig.4 “Firefly” all electric helicopter developed by Sikorsky

驾驶。随着直升机机载电子设备数量与复杂度的增加,电缆用量和线路布局愈加复杂化,线路干扰从一定程度上制约了使电传操纵系统的正常工作。解决这一问题的根本办法就是采用光传操纵系统。原因在于光传操纵系统的传输介质为光纤,具有重量轻、体积小、抗电磁干扰、抗电磁脉冲辐射和防雷电能力强等特点,可大大改进直升机的稳定性和操纵性,并使自动驾驶仪系统具有更大的灵活性,充分发挥和运用直升机的全部性能,并能减轻飞行员的工作负荷。目前,美国和欧洲在光传操纵系统研究方面均取得了很大的突破。2002年欧直公司一架装有光传操纵系统的EC-135直升机实现首飞,标志着光传操纵系统研究工作取得了较大突破<sup>[9]</sup>。

#### (4) 整机控制无人化。

整机控制无人化的发展取决于远程控制技术的发展。随着视距、超视距控制技术的发展,不仅促进了无人直升机的发展,更使直升机整机控制能够在有人和无人两种模式间进行自主切换成为可能。其最大的效益在于可通过在成熟的有人直升机平台加装相应的设备,实现整机控制无人化,大大降低研制成本与风险。以美国黑鹰直升机为例,西科斯基公司于2014年宣布开发UH-60A无人驾驶版的计划,并开始了飞行员远程操纵的试飞。随后加大了自主飞行

硬软件包 Matrix 的开发力度,以便为该机提供更好的自导向能力。2015年10月27日,一架自主飞行版“黑鹰”成功将一辆小型水陆两用全地形机器人车运送至位于佛罗里达州的空投区,通过了一项关于自主直升机飞行以及与机器人协同的关键测试,期间共完成了包括进场、吊起车辆、沿航线飞行5~7km、将车辆运送至地面定点位置、投放等数个指令,这次测试是对“该技术以及直升机与机器人车的协同合作”最为关键的一次验证。

### 结束语

尽管直升机具有可以悬停、机动灵活等诸多优点,但是其应用却始终掣肘于速度低、振动噪声大等缺点,因此要在未来的军、民用市场上保持旺盛的生命力,就必须以克服这些缺点为契机,从高速、绿色和智能化等3个方向开展技术研究,以期实现技术与能力的双重提升与飞跃。

### 参考文献

- [1] 吕春雷,朱璟,黄利. 突破直升机的速度极限[J]. 航空制造技术, 2014(19):34-37.
- LÜ Chunlei, ZHU Jing, HUANG Li. Breakthrough helicopter speed limit[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2014(19):34-37.
- [2] 吕春雷,吴希明,武庆中. 先进直升机设计发展现状与设计革新[J]. 航空制造技术, 2013(17):32-35.
- LÜ Chunlei, WU Ximing, WU Qingzhong.

Development situation and design innovation of advanced helicopter[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2013(17):32-35.

[3] 倪先平. 未来直升机技术发展展望[J]. 航空制造技术, 2008(3):32-37.

NI Xianping. Outlook of future helicopter technology development[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2008(3):32-37.

[4] HIRSCHBERG M. Joint multi-role moves forward[J]. Vertiflite, 2011,60(1):24.

[5] 严雅琳. 旋翼机技术研究新亮点[J]. 国际航空, 2004(8):62-63.

YAN Yalin. Rotorcraft progress depends on technology revolution[J]. International Aviation, 2004(8):62-63.

[6] 黄传跃. 绿色直升机——下一代民用直升机[N]. 中国航空报, 2013-01-15(T03).

HUANG Chuanyue. Green helicopter—the next generation civilian helicopters[N]. China Aviation News, 2013-01-15(T03).

[7] GRAHAM, WARWICK, 颜思铭. 绿色直升机动力及旋翼技术的进展[J]. 国际航空, 2015(2):54.

GRAHAM, WARWICK, YAN Siming. Development of power and rotor technology for green helicopter[J]. International Aviation, 2015(2):54.

[8] 周敏,葛志辉. 西科斯基研究“萤火虫”全电动直升机[J]. 国际航空, 2012(7):62-63.

ZHOU Min, GE Zhihui. Sikorsky developed “firefly” all electric helicopter[J]. International Aviation, 2012(7):62-63.

[9] 张广林. 旋翼飞行器的未来[J]. 国际航空, 2006(4):52-55.

ZHANG Guanglin. The future of rotorcraft[J]. International Aviation, 2006(4):52-55.

## Technology Development of Next Generation Helicopter

LÜ Chunlei, HUANG Li

(AVIC China Helicopter Research and Development Institute, Tianjin 300071, China)

**[ABSTRACT]** The development of technology is led and induced by requirements. This article, the gap partition of helicopter, typical characteristic and ability requirements of the next gap helicopter are summarized, and the three directions of its technology development are concluded, i.e. high speed, green and intelligence.

**Keywords:** Helicopter technology; High speed; Green; Intelligence

(责编 李丹)