航空科学技术
Aeronautical Science & Technology
Jan. 25 2021 Vol. 32 No.01 35-40

无人直升机系统发展展望

方永红*
中国直升机设计研究所，江西 景德镇 333001

摘　要：随着计算机、网络和智能技术的发展，无人机自主飞行能力和智能化程度不断提高，在社会多领域得到广泛应用。无人直升机既具有直升机独特的飞行和功能特点，又具有无人机的应用优势，发展前景广阔。本文简要描述了无人直升机的发展历程及现状，展望了无人直升机发展的前景，分析了未来装备发展趋势和技术发展方向，并提出推动无人直升机技术及产业发展的措施与建议，对国内无人直升机技术和产业发展有一定的参考价值。

关键词：无人直升机；发展前景；发展历程；发展方向；系统化；智能化

中图分类号：V275⁺.1　　**文献标识码：**A　　DOI：10.19452/j.issn1007-5453.2021.01.006

无人直升机具备直升机所有的飞行和应用功能，由于没有使用人员生理限制，大大降低了装备使用门槛；具备零伤亡特点，大大降低了装备应用风险；可在恶劣环境使用，扩大了装备应用领域。无人直升机正部分替代有人机，甚至超越有人机，在社会生活中发挥重要作用[1-4]。在军事应用领域，无人直升机可执行侦察警戒、通信中继、电子对抗、目标指示、火力支援以及战勤运输等任务。在民用领域，可执行警务巡检、新闻摄影、海洋监测、电网巡检、农林作业等任务[5-8]。

智能化/无人化是当今世界装备发展的重要方向，无人机极大地拓展了人类与环境交互过程的体能和智能，是未来航空装备发展的必然趋势。随着科学技术的不断进步，无人直升机系统能力越来越强，体现在环境适应性更好、人机交互更便捷、自主飞行能力更强、安全可靠性更高等方面。随着多领域广泛与深入的应用，更多用户的应用需求与实用反馈，促进产品技术能力提升和工程化程度提高，目前国内无人直升机产业呈现出市场端与供给端相互促进、良性发展的局面。

本文将简要描述无人直升机的发展历程及现状，展望无人直升机发展前景，分析未来装备发展趋势和技术发展方向，并提出推动无人直升机技术及产业发展的措施与建议。

1 国内外发展历程

1.1 国外发展历程与现状

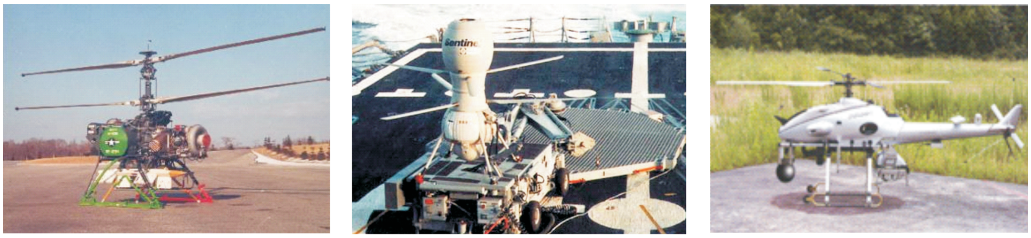
国外无人直升机研制始于20世纪50年代，在经历了试用期、萧条期、复苏期之后，现已步入快速发展期。20世纪90年代以前，是无人直升机起步发展阶段，国外研发的无人直升机产品以轻小型为主，主要由少数国家非主流公司承担。典型如美国基罗达因公司（Gyrodyne）公司的QH-50（见图1）小型舰载反潜旋翼无人机；加拿大庞巴迪公司的CL-227“哨兵”（见图1）遥控旋翼无人机；日本雅马哈公司的RX-50“小精灵”无人直升机（见图1）。该阶段产品主要特征为产品属中小型，任务载荷有限，自动化程度低，操纵难度大。

20世纪90年代以后，随着计算机、网络和智能技术发展，特别是受美军《无人系统发展路线图》牵引（2000年以来，美军每两年发布一版无人系统发展路线图，至2018年已发布8版），全球掀起无人直升机发展高潮。参与研制无人直升机的国家越来越多，主流航空制造公司全面介入，产品覆盖大、中、小型无人直升机，产品任务能力更强、自主飞行等级更高，典型如美国诺斯罗普-格鲁门公司的RQ-8A/MQ-8B/MQ-8C“火力侦察兵”（见图2），任务以侦察打击为主；美国卡曼公司的K-MAX无人直升机，任务以战场运输为主；美国波音公司的A160“蜂鸟”无人直升机，实现大载荷、长航时等。

“火力侦察兵”为美国海军主导研制的多用途无人直升机，主要用于侦察，增强态势协同感知和精确瞄准能力，并可提供火力打击，用来执行反潜、布雷和水面作战任务[9]。

“蜂鸟”（见图3）因采用高效涡轮发动机以及变转速等多项先进技术，留空时间可达20h，最大起飞重量（质量）3t，

收稿日期：2020-09-21；退修日期：2020-11-11；录用日期：2020-12-25
*通信作者：Tel.：0798-8465564　　E-mail：fangyh@avic.com
引用格式：Fang Yonghong.Development prospect of unmanned helicopter system[J].Aeronautical Science & Technology，2021，32(01)：35-40.方永红.无人直升机系统发展展望[J].航空科学技术，2021，32(01)：35-40.



（a）QH-50　（b）CL-227“哨兵”　（c）“小精灵”

图1　国外早期无人直升机典型代表

Fig.1　Typical early unmanned helicopter

（a）RQ-8A　（b）MQ-8B　（c）MQ-8C

图2　"火力侦察兵"系列无人直升机

Fig.2　“Fire Scout” unmanned helicopter

其武装型可挂8枚“海尔法”导弹，攻击力强大。K-MAX（见图3）主要执行货运补给任务，最大吊挂载荷约2t，续航时间约1h，2011年开始在阿富汗执行任务，至2013年共执行1300次任务，空投2000t货物，累计飞行2000h。

1.2 国内发展历程与现状

国内无人直升机发展起步于20世纪80年代，2000年以前，主要是院校和民企开展相关研究，参与研制的单位不少，但投入资源有限，研制的产品多为500kg以下的小型无人直升机。这一时期总体处于技术攻关阶段，产品性能不高，发展较缓慢。

20世纪90年代前后，南京航空航天大学开始研制“翔鸟”无人直升机（见图4），以突破无人直升机关键技术为目标，通过预研成果鉴定后，型号研制工作处于停止状态。1992年前后，北京航空航天大学开始研制BZK010共轴双旋翼无人直升机（见图4），2004年实现自主飞行，完成系统鉴定试飞，型号研制工作也处于停止状态。

南京模拟技术研究所从20世纪80年代开始，先后研制了Z1、Z2型遥控直升机、Z3型无人直升机（见图4），产品实现了市场销售，但产品性能有限，未能产业化。

上海雏鹰公司利用有人直升机，研制LE-110无人直升机，2004年完成超视距自主飞行，曾作为靶机使用过，后续研制工作处于停止状态。同期国内还有众多民企，如北京必威易、北京天途、深圳艾特、鹤壁天无、大连浦元、无锡汉和、潍坊天翔等单位投入力量进行中小型无人直升机的研制，由于经营或技术等原因，多数未能在市场上形成影响力。

2000年以后，国内无人直升机发展形势好转，一些专业研究机构、国企、民企等纷纷加入研发行列，研发了多款无人直升机。产品性能明显提高，任务能力覆盖了侦察监视、通信中继、巡查巡视、安保消防、森林防火、海事监管、辐射侦察、照明喊话等领域。

（a）A160“蜂鸟”无人直升机　（b）K-MAX执行吊运任务

图3　A160"蜂鸟"和K-MAX无人直升机

Fig.3　A160 and K-MAX unmanned helicopter

（a）“翔鸟” （b）BZK010 （c）Z3

图4 国内早期无人直升机

Fig.4 Early unmanned helicopter in China

中国直升机设计研究所研发了AR500系列无人直升机（见图5），产品系列在国际军贸领域、国内军民领域得到应用，任务覆盖了侦察监视、通信中继、察打一体、巡查巡视、森林防火、海事监管、辐射侦察等领域，形成了一定市场规模。

南京模拟技术研究所研发了Z5系列无人直升机，产品系列在军民领域得到应用，也形成了一定的市场规模。

北京中航智公司研发了TD系列无人直升机，产品实现了市场销售，也形成了一定市场规模。珠海隆华直升机科技有限公司研发XV系列无人直升机，目前在民用领域已经得到应用。北京通航江西直升机有限公司研制了“小青龙”系列无人直升机等。

图5 AR500系列无人直升机

Fig.5 AR500 series unmanned helicopter

纵观国内外无人直升机发展，都走过艰难的发展历程：一是早期无人化发展的技术支撑力度有限，无人直升机技术复杂，控制难度大，装备使用问题较多，无法满足用户的应用需求，是前期发展受阻的主要原因；二是无人直升机具有独特的应用优势，无法被其他飞行器所替代，自身具有强大的生命力；三是技术进步和新时期军民用应用需求，促进了当前无人直升机的快速发展。

2 装备发展趋势

当前无人直升机的关键技术（如飞控、测控等技术）已取得重大突破，从装备发展顶层分析，无人直升机系统逐渐从以“平台”为中心向以“任务”为中心转变，从单机使用向多系统协同应用方向转变；任务能力向多元化、综合化发展；构型多样化、控制更智能、网络更安全。

（1）从单机/单系统走向多系统协同发展

早期无人机研制“以平台为中心”，单机/单系统概念较强。未来无人机研制将更加强调“以任务为中心”、系统之系统概念。无人机系统将成为更大系统中的节点，需要与无人机系统外的其他系统进行信息、任务协同，关注点转到互用性、自主性、安全网络和人机协同上，也将从大系统视角来评估无人机系统的能力和贡献度。

（2）任务能力向多元化、综合化、协同化发展

目前无人直升机以中小型为主，主要执行侦察/监视等信息支援类任务，换装任务设备，任务扩展到察打一体等领域。未来无人直升机主要向长航时、模块化、协同打击等方向发展，形成与有人机协同作战的能力，成为未来信息化作战环境中的重要节点。

（3）构型多样化、控制更智能、网络更安全

无人直升机构型多样化发展，有单旋翼带尾桨式、共轴式、涵道/螺旋桨式、复合机翼/旋翼式、倾转旋翼式等，重量从几十千克到几千千克，任务载荷和续航能力不断提升。智能化水平和自主飞行控制能力不断提高，故障诊断与自适应、自主航路规划、协同飞行等技术得到应用。自主组网和网络安全技术得到进一步发展，网络更安全。

3 技术发展方向

3.1 总体系统化，突出系统能力

与有人直升机不同，无人直升机一般由飞行器平台、地面系统和数据链构成，系统特征更明显。无人直升机总体技术除关注常规的平台构型、总体气动布局和动力旋翼传动技术外，必须关注地面系统和数据链等技术。总体技术跨飞行器平台、地面系统和数据链等分系统，是多系统总体，必须支撑多系统设计与优化能力。

无人直升机系统能力将从传统的强调系统性能，到强

调用户使用体验转变，更好的人机交互、人机协同，以及更高效和便捷的使用维护保障等将成为系统总体能力的重要标志。未来无人直升机将更加强调“以任务为中心”，无人直升机将与其他系统共同执行任务，系统将在更大的系统中运行，系统间的协同技术是新的关注点。评价一型无人直升机的性能，也更强调在大系统中体系贡献能力，总体呈系统化发展。图6为无人机系统化工作概念场景示意图。

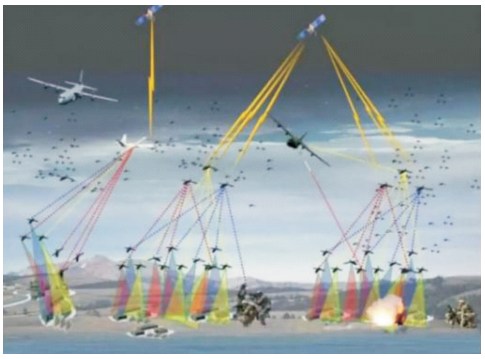


图6 无人机系统化工作概念场景

Fig.6 Conceptual scene of unmanned helicopter systematic operation

3.2 平台高速化，突破航时限制

常规构型直升机受旋翼前行桨叶激波分离等限制，飞行速度一般不超过300km/h，难以满足用户高速高机动的能力需求，高速化是直升机界共同努力的方向。目前国外有人直升机高速化研究主要有两大方向：一种是倾转旋翼构型，从V-22到V-280，其最大速度可超过500km/h，并具有大商载、远航程等优点；一种是共轴刚性双旋翼加推力构型，其最大速度也可达500km/h，且机动能力强。虽然常规构型无人直升机还是应用的主流，但高速化是发展的重要方向。一方面有人机的高速化研究成果将会快速应用到无人直升机上，另一方面由于无人机构型多样化发展，也会产生更多复合新构型，推进无人直升机的高速化发展。图7为V-247倾转无人机模型。

相比于有人机，长航时是无人直升机的优势，既可克服

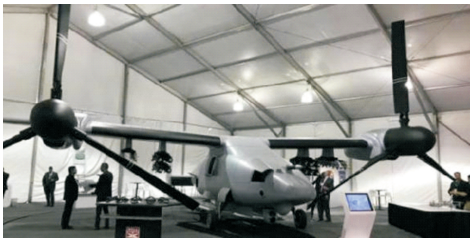


图7 V-247倾转无人机模型

Fig.7 V-247 tilting unmanned helicopter model

人员生理限制，又可提高任务效率。长航时无人直升机可在侦察、通信中继、边境巡逻等任务方面发挥更大的作用，发展留空时间大于24h的长航时无人直升机将是下一代无人直升机平台发展的重要方向。波音公司的A160“蜂鸟”无人直升机，携带135kg任务载荷，飞行时间超过24h，是典型的长航时无人直升机的代表。长航时无人直升机需要高效总体气动技术、先进轻质结构技术和动力传动等技术作支撑，也必将牵引相关研究，促进技术进步。

3.3 控制智能化，支撑多模式应用

无人机从自动飞行向自主飞行发展的重要标志就是智能化水平，智能化将重点提升无人直升机三方面的能力：一是环境适应能力，基于对环境的态势感知、推理、判断和决策，提高在低空/超低空环境下，适应地形地貌、复杂气象的飞行能力；二是无忧操纵能力，支持无缝、敏捷、自主的人机协作和机器间协作，重点提升多模态飞行控制、在线航路规划与重规划、集群协同控制等方面的能力，并最终实现“无忧”操纵；三是故障诊断与隔离能力，智能化将全面提升故障识别与隔离能力，最终实现“零故障升空与飞行”。

智能化的重要目的是不断把人从繁杂判断和操作中解放出来，降低人工操作差错，可选有人/无人驾驶将是未来重要的发展方向。可选有人/无人使直升机同时具备有人驾驶和无人驾驶两种使用模式，两种使用模式相互兼容，可随时切换，是未来直升机装备甚至是航空装备发展的重要趋势。目前市场有大量的有人直升机，飞行员培训难度大、培训周期长，经验丰富的飞行员是最宝贵的资源，可选有人/无人直升机是解决飞行员数量少的主要措施。可选有人/无人直升机既可使飞行员解脱于枯燥、长时间的常规操作，又可在关键任务时进行人工操纵，更大程度发挥直升机的使用效能。美国通过“有人/无人再补给空中运输装备”(MURAL)项目进行了可选有人/无人操纵技术验证，卡曼公司K-MAX无人货运直升机和波音公司“小鸟”直升机，都开展了可选有人/无人技术验证，2014年美国西科斯基公司完成可选有人/无人驾驶“黑鹰”验证机首飞，2019年基于电传操纵技术配备可选驾驶(OPV)技术的“黑鹰”直升机(见图8)首飞，是可选有人/无人操纵直升机发展的重要里程碑。

3.4 结构模块化，产品两极发展

模块化是拓展无人直升机任务功能及减少后勤维护保障的重要途径，一方面通过模块化实现飞行和任务系统的分开设计，模块化可实现机体和任务系统快速重构，拓展无人直升机的任务能力和应用方向，实现“一机多用”；另一方面模块化设计将改变无人直升机的维护保障模式，模块化

图8　可选有人/无人驾驶“黑鹰”直升机

Fig.8　Optional manned/unmanned “Black Hawk” helicopter

设计带来的“即插即用”功能，将极大提高装备使用效率。

随着直升机技术发展，无人直升机向速度更快、载荷更大、航时更长等方向发展的同时，向微小型化发展（见图9）也是重要方向。一方面随着平台性能大幅提升，用户对大型无人直升机的需求越来越迫切，要求续航时间大于12h，商载能力大于5t的大型无人直升机是当务之急；另一方面，微小型无人直升机具有尺寸小、重量轻、隐蔽性好、操作简单、携带方便等优点，适用于执行特殊任务，也是未来发展的重要方向。

图9　模块化与微小型无人直升机

Fig.9　Modularization and miniature unmanned helicopter

3.5 网络安全化，支持多系统协同

无人直升机通过数据链路实现飞行器平台与地面系统的互联互通互操作，数据链路存在截获、干扰、入侵、欺骗、破译等威胁，数据链路网络安全将直接影响任务实施，甚至飞行安全。无人直升机数据链路网络安全技术将成为未来技术发展的重点方向，涉及功率控制技术、天线技术、频谱与扩展感知、链路接入认证和信息加密等技术，最终形成网络攻击恢复能力和自主网络防御能力。

多系统协同的基础是网络，实现多系统间的互联互通互操作，重点离不开网络构建和网络安全技术的支撑。

4 结束语

无人直升机既具有直升机独特的飞行和使用特点，又具有无人机的应用优势，已经在军事和民用领域展示了良好的应用前景，必将成为未来航空器发展的重要方向。同时无人直升机发展与装备智能化发展高度契合，智能化技术发展也将促进无人直升机发展，拓展无人直升机应用领域和应用效能，无人直升机具有广阔的发展空间。

当前我国无人直升机发展受到社会各界高度关注，特别是在产业结构调整、经济转型升级时代背景下，社会资源/资本不断关注无人直升机的发展，参与研发的单位越来越多，市场需求旺盛，发展势头很猛。但我们必须清醒地认识到：航空作为高端制造业，具有技术难度大、投资强度大、研发周期长等特点，无人直升机发展机遇与挑战并存；随着技术进步和需求提高，无人直升机系统变得越来越复杂，技术难度更高，研发风险更大，必须摒弃“无人机门槛低”的观念；要实现无人直升机持续健康发展，技术是基础，人才是关键，必须夯实技术基础，坚持自主创新，必须引入市场化机制，坚持军民协作，充分利用社会资源，创新体制机制，促进无人直升机技术和产业跨越发展。

参考文献

[1] Collins A, Cummings M. A Historical perspective on the application of autonomy in rotorcraft[C]// American Helicopter Society 68th Annual Forum, 2012.

[2] 熊伟，吴冠桢，刘浩. 无人直升机发展的关键技术[C]//第二十七届直升机学术年会，2011.
Xiong Wei, Wu Guanzhen, Liu Hao. Discussion of the key technologies for the development of UMHs[C]// The 27th Annual Conference of the Helicopter Academy, 2011.（in Chinese）

[3] 潘寒尽，邱学军，张德和，等. 军用无人直升机及其技术发展趋势[C]//第二十七届直升机学术年会，2011.
Pan Hanjin, Qiu Xuejun, Zhang Dehe, et al. The technology development tendency of military unmanned helicopter[C]// The 27th Annual Conference of the Helicopter Academy, 2011.

(in Chinese)

[4] 张丽晓. 无人直升机飞行控制技术发展综述[C]// 第33届直升机学术年会,2017.

Zhang Lixiao. Development of flight control technology for unmanned helicopter [C]// The 33th Annual Conference of the Helicopter Academy,2017.(in Chinese)

[5] 罗鹏. 无人直升机技术及应用[C]//第25届直升机学术年会,2009.

Luo Peng. Unmanned helicopters technology[C]//The 25th Annual Conference of the Helicopter Academy, 2009. (in Chinese)

[6] 李丽红,施海伟,孙颖. 无人直升机的发展及应用研究[C]//第26届直升机学术年会,2010.

Li Lihong, Shi Haiwei, Sun Ying. Research on development and application of the unmanned helicopters[C]//The 26th Annual Conference of the Helicopter Academy, 2010. (in Chinese)

[7] 张洁,高洪祥,张宗奎. 浅谈无人直升机的军事应用与发展需求[C]//第二十七届直升机学术年会,2011.

Zhang Jie, Gao Hongxiang, Zhang Zongkui. Dicussion about the military applications and requirements of the development of unmanned helicopter[C]//The 27th Annual Conference of the Helicopter Academy,2011.(in Chinese)

[8] 徐国华,王海,彭延辉. 国外无人直升机的研究现状和发展趋势[C]// 第十九届直升机学术年会,2003.

Xu Guohua, Wang Hai, Peng Yanhui. Recent states and trends in unmanned helicopter development[C]//The 19th Annual Conference of the Helicopter Academy,2003.(in Chinese)

[9] 程明,夏伟. "火力侦察兵"发展之路及启示[J]. 直升机技术,2016,187(1):69-72.

Cheng Ming, Xia Wei. The development course and revelation of the "Fire Scout"[J]. Helicopter Technique, 2016,187(1):69-72.(in Chinese)

(责任编辑 王昕)

作者简介

方永红(1967-)男,学士,研究员,航空工业无人机首席技术专家。主要研究方向:无人直升机。

Tel:0798-8465564 E-mail:fangyh@avic.com

Development Prospect of Unmanned Helicopter System

Fang Yonghong*

China Helicopter Research and Development Institute, Jingdezhen 333001, China

Abstract: With the development of computer, network and intelligence technology, the level of autonomous capability of unmanned aerial vehicle (UAV) has been continuously improved; the UAV has been widely used in many fields. Unmanned helicopters not only have the unique flight and functional characteristics of helicopters, but also have the application advantages of UAV, and have broad development prospects. The development history and present situation of unmanned helicopter are briefly described, and the main development direction and key supporting technologies of unmanned helicopter in the future based on the development demand are analyzed. Finally, the measures and suggestions to promote the development of unmanned helicopter industry and technology are proposed.

Key Words: unmanned helicopter; development prospects; development history; development direction; systematization; intelligence

Received: 2020-09-21; **Revised:** 2020-11-11; **Accepted:** 2020-12-25

***Corresponding author.Tel.**: 0798-8465564 **E-mail**: fangyh@avic.com