

Xuanlong Hydrogen Energy Loyalty Pilot: Unmanned Collaborative Combat Level Leap

Chenzhi Zhou

China Optoelectronics Hunan Network Co., Ltd., Changsha, Hunan, 410003, China

Abstract

Human-unmanned collaborative combat has become the core form of future air warfare, where the concept of “loyal wingman” significantly enhances operational effectiveness by integrating drones into manned aircraft combat systems. Taking the China Attack-11 “Xuanlong” drone as the research object, this paper proposes the innovative concept of “Xuanlong Hydrogen Energy Loyalty Wingman” and explores the technical pathways and strategic value of deeply integrating hydrogen energy power systems with stealth unmanned combat platforms. The study shows that hydrogen energy technology can provide loyal wingman with ultra-long endurance, zero carbon emissions, and low-temperature adaptability, resolving the current contradiction between flight duration and payload capacity of unmanned platforms. Meanwhile, stealth unmanned combat aircraft represented by the Attack-11 have already achieved practical deployment capabilities, offering a mature platform for embedding hydrogen energy technology. The Xuanlong Hydrogen Energy Loyalty Wingman will achieve a leap from “arm” to “extension” and from “consumable” to “strategic asset” in the “human-commanded, unmanned-assault” combat model, driving the evolution of air warfare systems toward intelligence and greenness.

Keywords

Attack-11; Xuanlong; hydrogen energy; loyal; human-unmanned collaborative

玄龙氢能源忠诚僚机：无人协同作战能级跃迁

周琛知

中国广电湖南网络股份有限公司，中国·湖南长沙 410003

摘要

有人-无人协同作战已成为未来空战的核心形态，其中“忠诚僚机”概念通过将无人机纳入有人战机作战体系，实现了作战效能的显著提升。本文以中国攻击-11“玄龙”无人机为研究对象，提出“玄龙氢能源忠诚僚机”的创新构想，探讨将氢能动力系统与隐身无人作战平台深度融合的技术路径与战略价值。研究表明，氢能源技术可为忠诚僚机提供超长续航、零碳排放和低温适应能力，破解当前无人平台航时与载荷之间的矛盾；而以攻击-11为代表的隐身无人战机已具备实战部署能力，为氢能技术的嵌入提供了成熟平台。玄龙氢能源忠诚僚机将在“有人指挥、无人突击”的作战模式中，实现从“臂膀”到“延伸”、从“消耗品”到“战略资产”的能级跃迁，推动空战体系向智能化、绿色化方向演进。

关键词

攻击-11；玄龙；氢能源；忠诚僚机；有人-无人协同

1 引言

2025年11月，空军微电影《梦远》首次公开“威龙”有人战机与“玄龙”（攻击-11）无人机编队飞行画面，标志着中国有人-无人协同作战正从概念验证迈向实战部署，作为全球首款实战忠诚僚机，“玄龙”的亮相意味着中国在该领域实现从“跟跑”到“领跑”的跨越。与此同时，氢能源技术正掀起无人机革命。其燃料电池能量密度达锂电池3-5倍（300-1000Wh/kg），加氢仅需3-5分钟，低温适应性优异。

【作者简介】周琛知（1974-），男，中国湖南长沙人，工商管理硕士，工程师，从事自然语言处理、大模型、智能情报分析与数据挖掘研究。

典型机型“天目山一号”已创下连续飞行4小时17分的世界纪录。当氢能源“长续航”优势与忠诚僚机“高智能”特性相遇，“玄龙氢能源忠诚僚机”构想应运而生。本文系统论证该构想的技术可行性、作战价值与战略意义，通过分析氢能无人机优势、攻击-11平台特性及协同作战模式，揭示氢能与忠诚僚机深度融合的能级跃迁效应，为未来空战体系发展提供理论参考。

2 氢能源无人机：技术优势与作战潜能

2.1 氢动力技术路线对比

氢能源无人机主要采用氢燃料电池和氢内燃机两条技术路线。前者通过质子交换膜燃料电池将氢气与氧气发生电化学反应产生电能，能量转换效率可达60%-80%，仅排放

水，噪声低、振动小，是目前主流技术路线；后者则将氢气在气缸内燃烧推动活塞做功，适用于对功率密度要求极高的场景。在实际应用中，多数机型采用“氢电混动”或“氢锂混动”方案：燃料电池提供稳定基础功率，锂电池在起降、加速、高负载时提供峰值功率，并回收制动能量。这种混合动力设计有效弥补了燃料电池动态响应不足的缺陷，提升了系统整体效率与可靠性。

2.2 核心性能优势

相较于传统锂电池无人机，氢能源无人机在多项关键指标上展现出显著优势：续航能力是氢动力最突出的优势。氢燃料电池无人机的续航时间普遍可达2-10小时，部分机型可达20小时以上，而锂电池无人机通常仅有0.5-1小时。以协氢新能源推出的全球首款量产氢能AI工业无人机H15为例，其续航达150分钟，适用于光伏风电巡检、应急搜救等长航时任务场景；能量密度方面，氢燃料电池系统可达300-1000 Wh/kg，最高达1200 Wh/kg，而锂电池仅100-260 Wh/kg。这意味着在相同重量下，氢动力系统可携带3-5倍的能量，为长航时、重载荷任务提供了根本性的能源保障；补能效率具有颠覆性优势。氢动力无人机加氢仅需3-5分钟，而锂电池充电通常需要1-2小时。在大规模集群部署和连续出动场景下，这一优势将直接转化为作战节奏的提速；环境适应性同样值得关注。氢燃料电池可在-40℃至60℃宽温区稳定运行，高寒、高原性能优异。氢航科技M350氢能无人机已在高寒地区电网巡检中验证了这一能力，而锂电池在-20℃以下性能明显衰减。

2.3 典型应用与作战潜能

当前氢能源无人机已在多个领域展现出应用价值：长距离基础设施巡检中，单架次可覆盖数十公里输电线路；海岛、山区物资运输中，可在中雨和七级阵风条件下跨海飞行；应急救援中，可提供长时间空中监视和通信中继。航天氢能研发的氢能货运无人机更实现了百公斤有效载重、300公里航程，加氢仅需3-5分钟。这些能力若映射至军事领域，其作战潜能不言而喻：长航时意味着更久的战场存在、更广的监视覆盖；快速补能意味着更高的出动强度、更强的持续作战能力；低温适应性意味着在高寒战区仍可保持战力。对于需要前出突防、持久巡逻的忠诚僚机而言，这些优势恰恰切中其任务需求的核心。

3 攻击-11“玄龙”：忠诚僚机的中国方案

攻击-11（代号“玄龙”）是中国自主研发的隐身无人作战飞机，采用无尾飞翼布局和全频谱隐身设计，雷达反射截面积（RCS）极低。该机可携带空空导弹、精确制导炸弹和电子战设备，执行侦察、打击、电子压制等多类任务。据公开报道，攻击-11已与歼-20、歼-16D等有人机构成协同作战体系，实现“有人指挥、无人突击”的作战模式。在2025年9月3日纪念抗日战争胜利80周年阅兵式上，攻击-11作为空中无人作战方队的重要装备接受检阅。台湾国防安全

研究院的分析指出，目前攻击-11主要承担察打一体任务，后续改进型可能进一步强化空战能力，成为歼-20的“忠诚僚机”。舰载型攻击-21也已亮相，将装备航母及076型两栖攻击舰。

3.1 协同作战模式定位

在有人-无人协同作战体系中，攻击-11的定位清晰而独特。根据空军工程大学专家的分析，有人机-无人机协同作战的核心理念是“将有人机作为指挥、决策和高端任务平台，与多种类、多功能、多用途的无人机作为感知、打击、诱饵、电子战等前沿节点，通过网络化信息系统融合，形成分布式空中作战体系”。在这一体系中，攻击-11扮演着“前出突防”的关键角色：为歼-20提供目标指示和火力支援，承担高风险任务，将作战风险向低成本无人平台转嫁。据相关试验分析，有人机-无人机协同可使反应时间缩短50%、生存力提升25%、任务成功率提升35%。

3.2 现有平台的优化空间

尽管攻击-11已实现实战部署，但从能源动力角度审视，仍存在优化空间。当前无人作战平台普遍采用传统航空煤油或锂电池动力，前者虽能量密度高但热信号明显，后者则受限于续航时间。对于需要长时间前出巡逻、大范围战场监视的任务场景，现有动力方案难以兼顾“隐身”与“续航”的双重需求。这正是氢能源技术嵌入的价值所在：在不牺牲隐身性能的前提下，通过氢燃料电池系统显著延长续航时间，同时利用氢动力低温排放特性降低红外信号，实现“长航时+低可探测性”的双重增益。

4 玄龙氢能源忠诚僚机：融合构想与能级跃迁

4.1 技术融合路径

将氢能源动力系统嵌入攻击-11平台，需解决以下关键技术问题。动力系统集成：需对原动力舱段进行改造，以容纳氢燃料电池堆、高压储氢瓶及配套管路。鉴于燃料电池体积功率密度较低，可采用分布式动力布局：主燃料电池堆提供巡航功率，辅助锂电池组用于起降、加速和机动阶段的峰值功率输出；储氢方案选择：目前以70MPa高压气态储氢技术成熟度最高，适合攻击-11这类中型平台。未来可探索液态储氢以进一步提升能量密度。储氢罐布置需综合考虑重心配平、结构强度和隐身性能，可采用保形储氢模块嵌入机体内舱。热管理与隐身协同：氢燃料电池运行温度约60-80℃，虽远低于涡喷发动机，有利于降低红外辐射，但电堆散热仍需通过热交换器排出。散热口设计需兼顾排气效率与隐身要求，可采用分布式微通道散热或与机体蒙皮一体化设计；任务系统适配：氢动力系统需与航电、飞控、武器系统深度集成。可开发“能量-任务联合管理模块”，根据不同作战阶段智能调配功率分配，在侦察、巡逻、突击等模式下优化能耗，确保作战任务高效执行。

4.2 作战效能跃迁分析

玄龙氢能源忠诚僚机若研制成功，将在以下维度实现

作战效能的显著跃升。航时倍增：以氢燃料电池 300-1000 Wh/kg 的能量密度计，在相同燃料重量下，续航时间可达原型的 3-5 倍。这意味着单架次可完成更长时间的战场监视、更广范围的巡逻覆盖，或支持多次前出突击任务；隐身增强：氢燃料电池工作过程仅排放水，无高温尾焰，红外特征远低于传统涡喷发动机。这对于需要前出突防、抵近侦察的忠诚僚机而言，意味着更强的生存能力；出动强度提升：加氢仅需 3-5 分钟，远快于锂电池充电或传统加油。在大规模集群作战中，这一优势将转化为持续作战能力的倍增——同一平台可在短时间内多次出动，或以更少平台维持更高任务节奏；环境适应性扩展：氢燃料电池在 -40℃ 低温环境下仍可正常工作，使玄龙氢能源僚机具备极地、高寒战区全年部署能力，填补现有平台在极端环境下的作战空白。

4.3 协同模式深化

氢能源带来的长航时特性，将进一步深化有人-无人协同作战的模式创新。持久前出哨戒：玄龙氢能源僚机可前出部署至威胁方向，执行长达数十小时的持续监视，为后方有人机提供实时态势感知。有人机只需在必要时前出介入，实现“无人持久感知、有人精准打击”的分工；跨域能量协同：未来可探索“空中加氢”概念，以大型运输机或加油机为氢能无人僚机实施空中补氢，彻底突破航时限制，实现近乎无限的持续作战能力；智能集群续航：氢能源的高能量密度使小型化蜂群无人机同样获得航时增益。玄龙僚机可作为“蜂群母机”，携带并释放微型氢能无人机群，形成“忠诚僚机+蜂群”的多层协同体系，进一步扩展作战覆盖。

5 战略意义与发展前景

5.1 对空战体系的革新价值

玄龙氢能源忠诚僚机的出现，将推动空战体系在三个层面实现革新。能级结构重塑：传统空战中，航时与载荷能力往往与平台大小、成本正相关。氢能源技术打破了这一线性关系——中小型无人平台亦可获得长航时能力，使“低成本可消耗平台”与“战略级持久存在”得以兼容；作战成本优化：氢燃料电池系统成本正随着技术进步和规模化生产快速下降。单机成本远低于有人战斗机，而在氢动力加持下，单架次任务覆盖范围大幅扩展，单位任务成本进一步降低。这种“低成本+长航时”的组合，使大规模部署氢能忠诚僚机在经济上可行。绿色作战概念：氢燃料电池仅排放水，全生命周期碳排放远低于传统航空燃料。在国防领域日益关注环境责任的背景下，氢能源无人机的“绿色”属性具有战略象征意义，也为海外部署、盟国协同提供了更低的准入壁垒。

5.2 技术挑战与突破方向

玄龙氢能源忠诚僚机从构想到现实，仍需攻克多项技术难题。储氢密度提升：当前 70MPa 储氢罐的质量储氢密度约 5.7%，距理论极限仍有差距。需发展更高强度的储氢

材料、优化罐体结构，或探索液态储氢、金属氢化物等下一代储氢技术；燃料电池功率密度：航空应用需开发轻量化高功率密度电堆；并验证储氢罐在弹击等战损下的安全性，建立战场加氢保障体系，确保生存力与后勤可行。

5.3 发展前景展望

从技术成熟度和发展态势判断，玄龙氢能源忠诚僚机有望在 2030 年前后完成技术验证，2035 年前后实现实战部署。届时，以歼-20、歼-35 等隐身有人战机为核心，以氢能源版攻击-11 为“忠诚僚机”，以更小型氢能蜂群无人机为“外围节点”的三层协同体系将初步成型。在更远的未来，随着氢能技术与人工智能、无人集群、有人-无人协同等领域的深度融合，空战形态将从“平台对抗”彻底转向“体系智能涌现”。玄龙氢能源忠诚僚机作为这一进程中的关键节点，其意义不仅在于技术层面的突破，更在于为未来空战提供了一种新的范式：以绿色能源支撑持久存在，以智能协同实现效能跃升，最终达到“心随念动、剑随意发”的作战境界。

6 结语

有人-无人协同作战已成为未来空战的核心形态，而氢能源技术正在为无人机领域注入新的变革动能。将二者深度融合的“玄龙氢能源忠诚僚机”构想，既立足于中国在忠诚僚机领域的领先实践——攻击-11“玄龙”已实现实战部署，又顺应了氢能技术在航空领域加速突破的时代趋势。氢能源带来的长航时、零碳排放、低温适应性和快速补能优势，将与攻击-11 的隐身性能、智能协同能力形成互补增益，推动忠诚僚机从“臂膀”到“延伸”、从“消耗品”到“战略资产”的能级跃迁。这一跃迁不仅意味着单个平台性能的提升，更预示着空战体系结构、作战成本曲线和战争形态本身的深刻变革。从“威龙”与“玄龙”比翼齐飞的画面，到氢能驱动的无人僚机群穿梭长空的未来，中国航空工业正以自主创新书写着空战演进的新篇章。在这场变革中，技术融合想象力与战略前瞻的判断力同等重要——而玄龙氢能源忠诚僚机，正是这种融合与前瞻的生动注脚。

参考文献

- [1] 吕明远,吴震,乔要宾.应用于空中平台主动防御作战轨迹预测过程的状态估计方法研究[J].航空兵器,2024,31(04):41-48.
- [2] 张毅,王志松,杨秀霞,等.未知动态环境下有人/无人机协同搜救研究[J].航空电子技术,2023,54(02):21-25.
- [3] 贾梓豪,邵冬,董芃呈,等.应用于高空无人机的发动机改型性能分析技术发展[J].航空动力,2024,(06):28-31.
- [4] 俞松林,王玉东,李华雷,等.大涵道比涡扇发动机整机空中辅助启动热力模型修正方法[J/OL].航空动力学报,1-9[2026-03-01].
- [5] 向巧,胡晓煜,王曼,等.关于氢能航空动力发展的认识与思考[J].航空发动机,2024,50(01):1-9.
- [6] 黄东亮.致远的理想,致精的奉献——发展中的航空工业上电所[J].航空档案,2025,(03):4-12.