

李靖

武器装备从单体到体系的演化

在体系对抗出现之前，武器装备在形态上都是各自独立、自成一体，无论是冷兵器、热兵器，还是机械化武器。20世纪90年代，随着网络技术的普及，以互联网为基础，将己方分布于不同地域、不同空间的武器装备联为一体，实现了网络互联、信息互通、整体协同，武器装备由此进入了体系对抗时代。

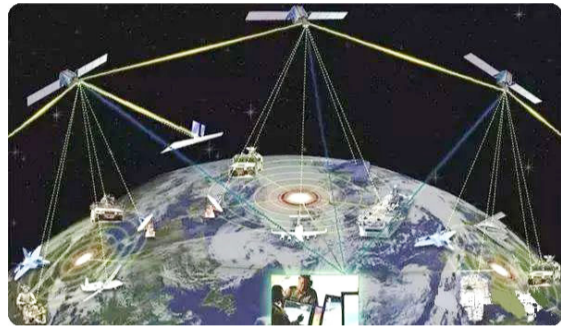
什么是武器装备体系？

武器装备体系，是由相互依赖、相互作用的武器装备系统按照特定需求所集成的高层次武器装备系统。简而言之，武器装备体系是武器装备系统的集成，是系统之系统（system of systems, SOS）。

武器装备系统，是由武器及其相关的技术装备等组成的具有特定作战功能的有机整体。包括武器本身及其发射或投掷工具，以及探测、指挥、控制、通信、检测等分系统或设备。例如，以飞机为主体的航空武器系统，以地空导弹为主体的地面防空武器系统等。

武器，是直接用于杀伤敌方有生力量，毁坏敌方装备、设施等的器械与装置的统称。包括匕首、枪械、大炮、炸弹、导弹等等。

可以看出，武器的概念最为宽泛，包含了武器装备系统和武器装备体系。武器装备体系是伴随着武器装备全系统、全寿命管理思想而产生的，强调主装备与配套装备同时规划、同时研发、同时交付、配套使用。武器装备体系，则是在武器装备系统的基础上产生的，是武器装备系统的系统集成，包括现实中的后天集成和发展中的“生而集成”。



为什么要有武器装备体系？

武器装备从单体到体系，是历史发展的必然。回溯历史，有两条主线，一是武器装备在形态上日趋复杂，二是武器装备的使用越来越强调协同配合、整体运用。

冷兵器时代，主要通过开发和改进材料，打造物无不陷之“矛”与物莫能陷之“盾”。在形态上形成了格斗、投射和防护三大类，每一类还可以进一步细分。在战争实践中，人们发现冷兵器的配套使用有利于提高整体作战效能，于是出现了方阵作战。典型

的方阵由三部分构成：甲兵，身披重甲，手执长矛，是方阵的主体，前面几排将长矛指向敌方，后面几排把长矛架在前排士兵的肩上形成屏障，阻挡敌方的投射类武器。轻步兵，身着轻甲，使用弓箭、标枪等投射类武器，也可使用短剑、砍刀等格斗类武器，部署于甲兵前方和左右两翼。骑兵，使用长矛、砍刀等格斗类武器，用于战场突击，并可护卫方阵两翼。交战时，轻步兵首先发起进攻，以投射类武器阻挡和迟滞敌方的进攻。随后，骑兵发起冲击，将敌阵撕开口子。最后，甲兵以排山倒海之势冲向敌军，轻步兵穿行其间，使用短剑、砍刀等与敌军短兵相接，直至结束战斗。

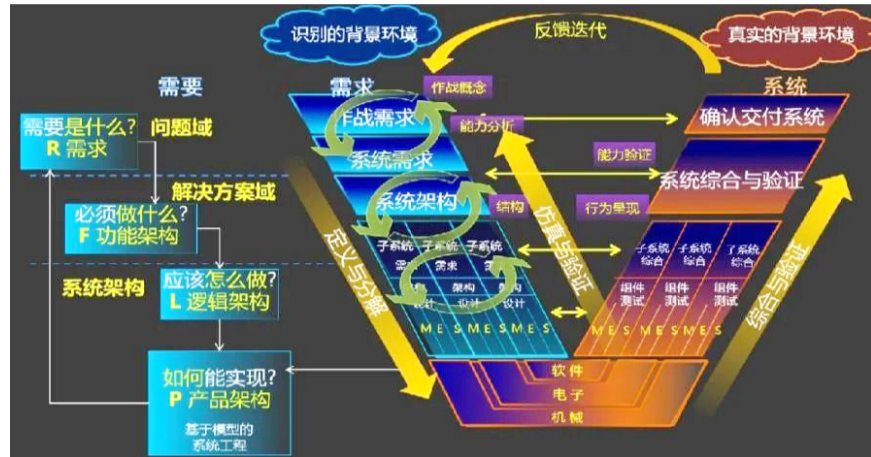
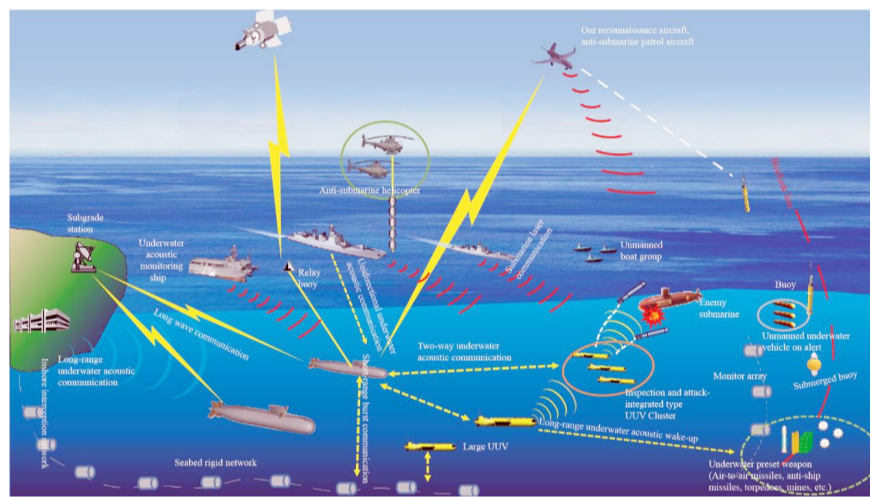
热兵器时代，主要通过开发和改进火药，打造射程更远、毁伤力更强、使用更便捷的各种长枪短炮。在形态上出现了步枪、冲锋枪、轻重机枪以及各种火炮。在作战使用中，单兵使用步枪、冲锋枪，班用轻机枪，连用重机枪，火炮通常配备到营以上的作战单元。

机械化时代，主要通过提高火力



和机动力并将二者集成于一体，出现了适用于陆、海、空战场的各类机械化武器装备，也称之武器装备系统。在形态上主要按战场空间进行分类，如以坦克为代表的陆战武器系统，以舰船为代表的海战武器系统，以飞机为代表的空战武器系统，每一类可以进一步细分。在作战使用中，既强调同一战场空间内的不同武器装备之间的协同配合，更强调不同战场空间内的更大范围的武器装备之间的协同配合，与之相适应，出现了合同作战和联合作战。

随着信息化时代的到来，信息的主导作用不断增强，态势感知系统、指挥控制系统等也被纳入了武器装备的范畴，并在此基础上形成了“杀伤链”的概念。如果在武器装备形态上，继续沿用机械化时代的“基于平台”的一体化集成模式，将态势感知系统、指挥控制系统等也植入相应的机械化平台，在平台层面实现“杀伤链”的闭合，



那么随着平台集成度的提高，武器装备系统的复杂度、研制成本等必将迅速攀升，而其可靠性、完好率等反而会直线下降，最终导致武器系统无法使用。体系化，提供了武器装备建设的新思路，其本质是超越单一武器系统的限制，通过网络互联，将不同地域、不同功能和不同类型的武器系统联为一体，形成体系，从而在更大范围、更多手段和更高效能等维度上协同完成侦、控、打、评等功能，构建更为完善、更具弹性的“杀伤链”。目前的武器装备体系大都是基于现有武器装备的后天集成，未来随着分布式结构的普及可能出现“基于设计”的“生而集成”，并将实现由“杀伤链”到“杀伤网”的跨越。

怎么构建武器装备体系？

构建武器装备体系，包括体系设计与体系建设。

（一）体系设计
体系设计，本质是体系需求分析，

着眼客户的使命任务，设计出满足其需求，符合其使命定位的武器装备体系，以牵引新型武器装备的研制与生产。

体系设计是一个需要多次反复的迭代过程，一般可以将其核心内容浓缩为四大部分：需求分析、功能分析、逻辑分析与物理实现。对应于英文单词是 Requirement、Function、Logic、Physics，简称 RFLP。

着眼架构方法，体系设计就是建立以需求分析、功能分析、逻辑分析和物理实现为行，以 What、How、Where、When、Who、Why 为列的

需求矩阵的设计过程，重点工作在于明确对应于需求矩阵的各单元格的具体要求。其中，需求分析，着力回答需要什么的问题。要求从国家安全需求导出顶层作战概念，目的是明确与谁打仗、在哪打仗、怎么打仗，内在逻辑是国家安全战略→国防战略→军事战略→顶层作战概念，前者决定后者，后者体现前者。顶层作战概念规定了军队联合作战的主要对手、主要方向与主要任务，这些方向与任务不是单一的，而是一系列的作战方向与作战任务的集合，简称作战方向集与作战任务集。

功能分析，着力回答干什么的问题。要求依据主要作战对手、主要作战方向与主要作战任务，推导出遂行作战任务必须具备的顶层作战能力。其中，信息力、机动力与火力是构成作战能力的三大要素，顶层作战能力可以依据不同作战任务，分别对以三大要素为核心的能力类型、能力等级与能力时空分布等进行具体描述。

逻辑分析，着力回答怎么干的问题。要求依据不同作战任务，构建相应的作战场景；依据作战流程，剖析每一作战活动；依据作战活动的内在逻辑，明确其对信息力、机动力和火力的战术、技术要求，从而确定其战术、技术指标。

物理实现，着力回答谁来干的问题。要求区分体系层、系统层和子系统层，分别实现相应的战术、技术要求。

对应于体系研制的一般过程，前三项体现于图中 V 字型的左半边（蓝色部分），特点是定义与分解，强调自顶向下。第四项体现于 V 字型的右半边，特点是综合与验证，强调自底向上。

（二）体系建设

伴随着体系化技术的发展，体系建设先后经历了“网络中心战”和“云作战”时期。无论是“网络中心战”，还是“云作战”，武器装备体系都采用了四重拓扑结构，“云作战”还将“杀伤链”拓展为更具弹性的“杀伤网”。

其中，基础设施网，以通信网络和计算机网络为主体，包括通信链路、计算节点、操作系统与信息管理平台，具备网络信息传输、存储、处理、分发和防护等功能，为联合作战提供网络通信与网络计算服务。

态势感知网，分为战略、战役和战术三个层级，由各种星载、机载、舰载、陆基和单兵传感器组成，功能是对这些传感器进行任务分配，并将获取的情报数据处理后，融合形成战场空间态势图。战场感知网突破了局部空间和局部传感器的能力极限，为联合作战提供了及时、准确和完整的战场态势感知信息。

指挥控制网，由分布在陆基、海基、空基和天基战场的各类指挥控制中心构成，是合理分配作战任务、实施高效指挥控制、夺取决策优势的核心环节。一体化、扁平化是对指挥控制网的基本要求。

火力打击网，由分布在陆上、海上、空中和空间的各种作战平台和武器系统组成，基本任务是充分利用战场态势感知网提供的战场态势信息，有效完成目标的快速搜索、捕获、筛选及精确打击等作战任务。

在信息化和智能化时代，实现“四网一体”是武器装备体系化建设的核心内容和重要任务。武器装备体系化建设提出至今已经 30 多年过去，依然面临许多理论与实践问题，武器装备体系化建设仍将在路上。

MQ-25舰载无人加油机经济性综述

隋子扬 张海涛

2022年4月，美国国会研究服务部（CRS）发布了美军无人机项目综合评估成果《无人机系统：当前和潜在项目》，指出单套MQ-25“黄貂鱼”无人机系统（1个地面站、1架无人机）平均采购单价高达1.21亿美元（2018财年币值）。本文对MQ-25无人机系统经济性情况进行综述，供读者参考。

项目进展

MQ-25型无人机源于美海军于2010年提出的无人驾驶、航母弹射起飞的空中监视与打击（UCLASS）系统，旨在研制突破防空系统的隐形打击平台。经过进一步论证后，该型飞机的定位从打击任务转移到空中加油机/情报、监视与侦察（ISR）任务，并正式定名为MQ-25“黄貂鱼”（Stingray）。该机型将用于扩展舰载机联队（CVW）的任务半径，缓解当前的航母打击群（CSG）在情报、监视与侦察方面的不足，并担任未来舰载机联队中的加油机角色。2019年9月19日，波音公司完成工程研制型飞机首飞。项目预计采购76架无人机，其中4架为工程研制型（EDM），3架为系统演示测试型（SDTA），这7架飞机的相关费用包含在研制费用当中；其余69架飞机由美海军飞机采购局（APN）



完成采购。

采办进度方面，2018年8月14日，MQ-25项目作为IB类采办项目进入采办过程的工程和制造开发（EMD）阶段。由于项目仍处于研制初期，各方面进度情况与项目初始基线基本保持一致。（见表1）

研制经费

根据美海军2022年4月公布的国防预算报告，自2017财年起以舰载无人机（UCA）项目开始为MQ-25项目拨付研制经费以来，研制经费逐年上升，2021年首飞完成后，研制经费支出回落，下降到峰值的1/3左右。这表示随着该型无人机首飞完成，研制经费的投入高峰已经结束，研制过程已经进入了全新的阶段。根据美海

表1 MQ-25项目采办进度变化情况

里程碑	初始基线	最新基线	当前评估
工程研制开始	2018年8月	2018年8月	2018年8月
系统设计审查	2019年10月	2019年10月	2020年4月
首飞	2021年9月	2021年9月	2021年9月
舰上首飞	2022年12月	2022年12月	2023年6月
小批量生产决策	2023年2月	2023年2月	2023年8月
初始作战能力	2024年1月	2024年1月	2024年7月
初始作战能力	2024年8月	2024年8月	2024年8月
大批量生产决策	2026年4月	2026年4月	2026年4月

注：表中“首飞”与波音公司已于2019年完成的原型首飞有所区别，为军方投资发展的工程研制型首飞。

军预算评估，与研制经费投入对应的下一个小峰值则是定于2022年底完成的舰上首飞，在此之后，研制经费投入将逐年减少。

根据美国国防部2019年发布的采办报告预测，在2017年至2028年的研制周期内，MQ-25项目的研制经费总额约为2160.7万美元。

根据美海军2022年4月公布的国防预算报告，从研制经费的工作包构成方面来看，该项目主要包括产品研制、综合保障、试验试飞和项目管理工作包。各个工作包工作内容见表2。

从各个工作包的经费占比来看，产品研制为项目的主要投入，占据了84.16%。此外，综合保障占1.20%，试验试飞占12.22%，项目管理占2.42%。

从各个工作包经费的年度分配情况来看，与研制经费的整体情况类似，产品研制在2021年之前持续保持上升趋势，但随着2021年首飞完成，机型研制进入试验阶段，产品研制的研制经费占比显著下降，约为峰值的70%；而与之对应的，试验试飞在研制费中

的整体占比出现明显上升，相比前一年上升了近9倍。这也表明，近几年的研制重心将转为试验试飞及其相关的设计调整。

采购经费

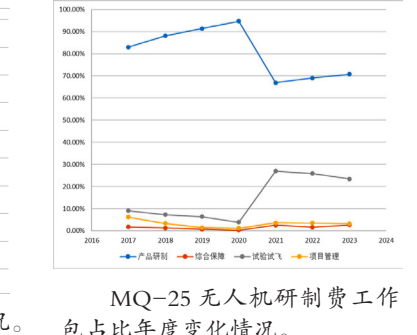
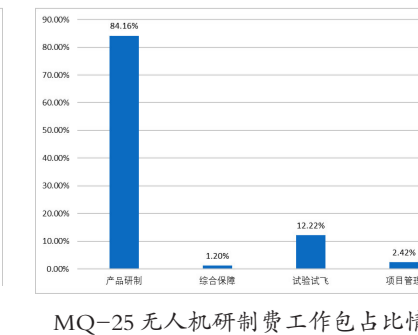
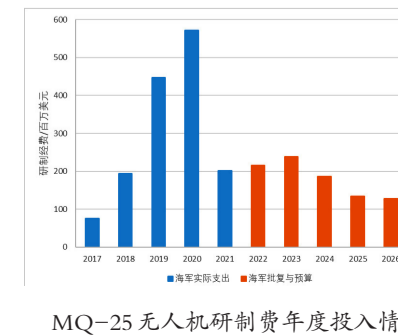
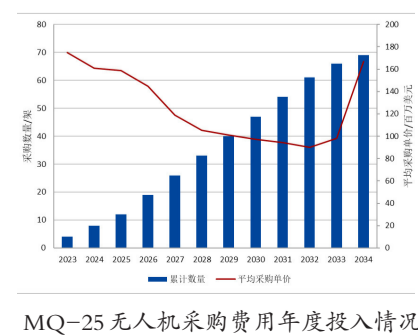
美国国会研究部的评估报告援引2019年美国国防部采办报告数据称，海军采购的69架MQ-25无人单机平均成本（无人机平台+地面站）约为1.21亿美元（2018年币值），且随着批量逐渐增加，平均采购单价整体上呈现逐渐下降趋势。

根据2019年美国国防部采办报告，MQ-25飞机采购价格按系统分解来看，总出厂成本占79.75%，保障成本占20.25%。其中，在总出厂成本中，重复性出厂成本占76.01%，非重复性出厂成本占3.73%。

根据2022年4月美海军发布的国防预算报告，首批小批量生产的4架MQ-25采购预算中，机体占重复性出厂成本的77.45%，机载设备占24.32%，发动机占28.17%，其他占0.44%。

总出厂成本(%)		保障成本(%)	合计
重复性出厂成本(%)	76.01%	20.25%	100.00%
非重复性出厂成本(%)	3.73%		

重复性出厂成本			
机体(%)	77.45%	发动机(%)	3.47%
机载设备(%)	11.36%	设计变更(%)	7.72%



美国海军推进为MQ-8C研发新品机载扫雷系统



据 forecastinternational 网站5月17日刊文，美国海军拟在单一系统多任务机载水雷探测（SMAMD）项目下，为MQ-8C“火力侦察兵”无人飞机开发一种新的机载扫雷系统（MCM）传感器套件，使无人直升机能够探测定位滨海/海上水雷、障碍物等威胁目标。

目前，美国海军正在加速推进SMAMD项目最终研发和演示阶段工作。项目由“火力侦察兵”项目办公室、美国海军研究局（ONR）和无人小型战机项目执行办公室（PEO/USC）合作推进研发，由海军空战中心飞机分部（NAWCAD）AIRWork、飞机原系统部（APSD）、韦伯斯特外场（WOLF）和空中测试评估中队（UX-24）提供演示支持。

SMAMD将是MQ-8C平台搭载的首个MCM系统，也是该平台迄今配装的最重的有效载荷。SMAMD系统由BAE系统公司研制，采用机载光学传感器套件，具有实时机载处理能力和低误报率，可使作战人员对威胁迅速反应。现有的MCM技术均需在任务结束后进行分析，威胁探测和排除时间较长。SMAMD系统的出现能够使机载实时探测/定位水雷等威胁目标成为现实。

“火力侦察兵”项目办认为，随着作战场景的变革，MCM能力将愈发重要。未来的战斗可能发生在水雷严重威胁的沿岸水域。MCM

能力将大大降低濒海战斗舰的作战风险。

今年2月，UX-24基于MQ-8C平台进行了飞行质量/性能（FO&P）测试，使用仿SMAMD系统重量/尺寸的等效模型代替SMAMD系统原型吊舱进行了测试，通过采集飞行数据，评估飞行器性能和操作，进而评估了飞行安全和适航性。

2022年春，联合研发团队在佛罗里达州巴拿马城的海军水面战中心举行了MCM原型陆上演示。该演示主要从海湾区延伸，探测浅水区和深水区的漂流水雷和系泊水雷，最远探测区域离岸10千米。本次演示的目的是为MQ-8C和SMAMD采集性能数据，为未来集成工作提供数据支撑。基于SMAMD系统演示和平台测试，充分证明了吊舱式MCM系统可在MQ-8C平台上运行，不会对无人飞机造成不利影响，也不会显著缩短平台续航时间。

“火力侦察兵”项目办透露，后续将继续采集信息，为未来COBRA Block II水雷探测系统与MQ-8C集成提供数据支撑。

目前，MQ-8C已在美国海军“密尔沃基”号（LCS-5）上部署，以支持美国第四舰队作战行动。MQ-8C能够提供实时情报、监视、侦察和目标定位能力，提高舰队在分布式海上作战行动中的态势感知能力。

（石峰）