指挥与控制建模仿真十大前沿问题



中国指挥与控制学会
二零二六年十一月

前 言

为推动指挥与控制建模仿真领域建设发展，中国指挥与控制学会建模与仿真专业委员会2026年组织论证了《指挥与控制建模仿真十大前沿问题》，旨在从基础理论、关键技术和工程应用三个维度梳理指挥与控制建模仿真领域当前和未来五年内的关键挑战，提出其科学技术内涵和核心科技问题，凝聚领域共识，引导创新方向，以问题清单定义发展坐标，支撑指挥与控制学科建设。

论证工作自2026年1月起，历时10个月，按照“提案征集—专家初评—公示投票—专家评议—终评定稿—成果发布”六个阶段组织实施。论证工作启动后，得到全国各界的广泛响应和积极支持，共收到341条问题提案，经学术委员专家初评筛选出57条入围提案。论证组对入围的57条提案进行了深化论证，并开展了网上公示投票，全国共3879人参与投票。学术委员会参考公示投票结果，经多轮研究审议，最终确定了智能时代指控系统仿真架构、支撑智能指控的大模超实时多引擎并行仿真、指挥员行为智能建模方法等10大问题，论证组根据学术委员会意见修改完善、编辑成册。

下一步，专委会将持续深化对指挥与控制建模仿真领域技术的探索，迭代更新领域前沿问题清单，推动国内学术界和产业界围绕前沿问题开展创新性研究工作，为构建我国指挥与控制建模仿真领域自主知识体系贡献力量。

学术委员会

主　任：戴　浩、费爱国

副主任：胡晓峰、刘玉超

委　员：于　全、尹　浩、赵沁平、邱志明、李贤玉、江碧涛、蓝羽石、王积鹏、王春江、肖卫东、肖卫国、肖　刚、肖顺平、吴根水、杨　明、邱晓刚、战晓苏、黄四牛、王　力、王海青、石晓荣、朴海音、刘朝晖、刘必欣、汤　浩、李建伟、陆志沣、陈世国、陈洪辉、范慧丽、赵　锋、殷建丰、涂震飚、戴树岭、马　松、王学文、刘练达、池　沛、阳东升、兴军亮、朱　峰、关　欣、李　宁、李承延、李　雄、吴　曦、周　芳、欧　渊、宛东生、陶智刚、高跃清、倪晚成、徐文元、韩　剑、熊　伟

论证工作组

组　长：肖　刚、石晓荣、王海青

副组长：李子月、刘泽文

组　员：王　辉、王锐华、闫晶晶、师　磊、孙幸福、孙亚洲、李承延、陈仕波、贾　媛、陶　浩、万　伟、马　杰、王国岩、王言伟、王云舒、王奕辰、叶　玲、刘海颖、刘必欣、刘德生、朱恩成、朱　锐、曲玉言、李广运、李　伟、李　超、李　雄、陈世国、陈春波、陈思嘉、陈洪辉、陆志沣、张　乐、张　宇、张光卫、张　健、张　焕、吴云超、吴　静、汪　跃、杜　鹏、何　兵、罗　威、林连雷、周　芳、侯永柱、贺　沧、赵晓楠、段远征、徐志明、顾赵宇、郭褚冰、陶　鹏、黄　玮、康亮环、崔小舟、傅　琛、董晓璋、程跟上、韩　勇、楚　威、路　钊、蔡源龙、熊　伟、臧　博、王纪震、陈　帅、吴其华、李晓伟、胡祖辉、崔　鹏、崔志伟、彭妮娜、雷小永、满　亮、颜　坤

目 录

问题一：智能时代指控系统仿真架构 1

问题二：支撑智能指控的大规模超实时多引擎并行仿真 3

问题三：智能体参与下的联合作战指控体系建模 5

问题四：指控体系智能对抗建模仿真 7

问题五：分布式杀伤网构建、运行和调控建模仿真 9

问题六：跨模态战场态势认知 AI-物理融合模型 11

问题七：指挥员行为智能建模方法 13

问题八：智能蓝军战术自主行为建模仿真 15

问题九：无人集群协同作战效果涌现建模 17

问题十：智能指控仿真模型的可信性评估 19

问题一：智能时代指控系统仿真架构

智能时代指控系统以云计算为基础、以智能算法为核心驱动，组织形态与决策方式相较传统指控系统发生体系性变化，其仿真架构需同步演进，以支撑多域联动与智能决策。本问题研究智能时代指控系统的仿真架构，突破多域模型语义级互操作、智能行为仿真、虚实低时延交互等关键技术，构建云化弹性、随需重构的仿真环境，支撑智能指控系统全生命周期验证与联合作战体系推演。

问题内涵

本问题面向未来云化、智能化指控系统，研究贯通建模、集成、运行、演进四个环节的仿真参考架构，涵盖多域指控要素的统一表示与语义描述方法、异构仿真模型的组装集成与虚实装备互联、云化仿真资源的弹性调度与在线推演、适应体系编制调整与技术升级的架构重构等技术，定义多域互操作、虚实交互等关键技术在架构层面须遵循的结构约束与接口规范，支撑智能指控系统研发验证与能力持续演进。

问题意义

理论上，丰富智能条件下指控系统仿真架构理论，发展多域融合仿真与智能行为建模的理论方法，推动云原生、数字孪生技术向军事仿真迁移应用，促进仿真系统由人工定制向自主适配演进。工程上，形成智能指控系统仿真验证能力，实现虚实互感的体系推演，有效缩短新型指控系统集成验证周期，为联合作战能力生成提供随需重构的仿真基础设施。应用上，支撑作战方案多案比选、跨域杀伤链闭合分析与智能决策在线推演，形成平战一体的仿真运用模式，降低实装试验成本与风险。

问题难点

一是多域语义级互操作难。智能指控系统云化分布、多域异构，各域指控仿真模型体系、接口规范与语义标准不一，传统点对点集成只能实现接口层互通、难以达成语义层融合，物理、信息、认知多域融合缺乏统一的语义级互操作方法。需要解决跨域统一语义参照建立与多域模型语义级互操作的问题。

二是智能行为建模验证难。智能指控以大模型、智能体为决策内核，行为呈现涌现性与黑盒化特征；传统校核、验证与确认（VV&A）依赖可先验规约的期望行为与参照基准，智能决策的开放行为空间使校核验证失去前提。需要解决期望输出无法先验规约条件下的智能行为校核验证问题。

三是虚实双向实时交互难。智能指控强调人机协同、装备在环，要求仿真与实装双向低时延交互、作战态势虚实配准与推演过程因果保序，复杂仿真解算开销与实时性要求矛盾突出。需要解决高保真推演条件下交互时延约束与虚实状态一致性保障的问题。

问题二：支撑智能指控的大规模超实时多引擎并行仿真

未来智能联合作战对指控系统提出数万级实体协同、秒级决策的需求，传统集中式仿真在规模与效率上难以支撑实时指控决策。本问题研究支持数万级实体、多引擎兼容、万倍以上加速的超实时并行分布式仿真架构，攻关场景自适应聚合简化、去中心化群体行为受控涌现、蒙特卡洛重复实验编排与验证等难题，压缩仿真计算响应周期，服务智能作战指挥控制的实时态势预判和在线决策。

问题内涵

本问题针对智能化作战中实体交互规模爆炸、推演效率不足、多引擎协同困难等建模仿真难题，融合蒙特卡洛实验编排、场景自适应聚合简化、AI加速分析等技术，构建支持数万级实体、多引擎兼容的超实时并行分布式仿真架构，实现相比单引擎串行高保真仿真万倍以上的加速比。架构覆盖保真优先的近实时在线推演与速度优先的超实时离线批量实验两种工作模式，使仿真成为实时在线决策与离线批量实验论证共用的基础设施。

问题意义

理论上，发展超实时并行条件下大规模群体系统的建模仿真与实验方法，为数万实体场景的聚合简化与重复实验统计推断提供可操作途径。工程上，以并行分布式架构统一调度多类仿真引擎，通过场景自适应聚合简化、AI分析加速与多粒度并行，可支撑数万实体协同、百万级交互规模的仿真运行，可缩短仿真验证周期、降低方案试错成本。应用上，近实时模式支撑秒级窗口态势预判与智能决策在线推演，超实时模式支撑海量蒙特卡洛重复实验，分离并量化概率性因素对推演结论的影响，提升指挥决策的时效性与可信度。

问题难点

一是去中心化大规模群体行为与因果关系建模难。数万实体间交互关系随规模呈平方级增长、联合行为空间指数膨胀，去中心化规则难以保证受控涌现可观测、可复现、保持稳定；作战环节因果链条长，聚合简化易引入因果矛盾，影响结论可信度。需要解决去中心化条件下因果一致的聚合简化方法与受控涌现的可观测可复现机制问题。

二是超实时并行仿真的算力支撑与多引擎协同难。复杂模型规模化运算与万倍以上超实时加速所需的仿真算力，远非现有仿真计算基础设施所能支撑；多类仿真引擎在时间推进机制、事件调度语义与状态同步策略上各异，超实时加速下保持引擎间时钟协调与结果一致同样困难。需要解决仿真算力弹性扩展、异构引擎时间管理与协同调度的问题。

三是重复实验与工程兼容验证难。海量蒙特卡洛重复实验的随机种子、状态快照与结果聚合在分布式环境下需要高效的一致性保障机制；多引擎接口与多用户并发条件下，常规统计方法难以区分真实涌现与模型偏差，隐蔽的物理失真亦难以识别。需要解决群体特性与场景置信度的自动验证、隐蔽失真识别的问题。

问题三：智能体参与下的联合作战指控体系建模

未来智能化联合作战中，底层指控实体将部分实现AI化，智能体的自主性与行为自由度可动态调整，传统基于固定体制的指控体系模型难以刻画体系的动态指控关系和行为。本问题针对智能化联合作战中人、智能体混合指挥控制的特点，研究兼容人类指挥员与自主智能体的动态指控体系模型，为指挥流程优化和体系效能研判提供支撑。

问题内涵

本问题面向底层指控实体部分AI化的作战场景，研究联合作战人机混合指控体系动态模型的构建方法，涵盖随时间变化的指挥关系与交互链路结构、人类指挥员与自主智能体的统一行为接口，以及通信阻断、节点损毁、任务转换等条件下链路重组与权限交接的体系演化机制，实现人机混合指控体系在同一模型框架内的统一描述、推演与分析。

问题意义

本问题为智能化联合作战指控体系研究提供统一的模型基础。理论上，将指控体系建模由固定编制下的静态描述扩展至人机混合实体可变、权限可调的动态模型，有望丰富指控体系建模理论，并为体系对抗与智能指控的相关研究提供可复用的模型形式。工程上，动态体系模型可支撑仿真系统在想定中描述节点AI化与链路重组过程，人机统一行为接口可缓解人类指挥员与智能体两套模型分别建设、难以互联的问题。应用上，基于该模型的效能分析有望为指挥流程优化、兵力编组调整与通信资源配置提供量化依据。

问题难点

一是人机混合指控实体的统一描述难。人类指挥员的行为受认知偏差、经验与责任层级约束，自主智能体的行为由目标与规则驱动、自由度可由授权设定，二者行为逻辑来源不同，现有指控体系模型缺乏可容纳两类实体的公共状态空间与行为接口。需要解决人类指挥员与自主智能体在同一模型框架内统一表示、统一计算的问题。

二是指挥关系与交互链路的动态建模难。底层实体的AI化程度与行为自由度在运行期可调，通信阻断、节点损毁与任务转换都会触发链路重组与权限交接，体系结构由运行期恒定转为运行期可变。需要解决静态编制模型缺乏时变结构描述机制、而一般动态网络模型难以同时满足军事权限约束严格性与态势驱动重组灵活性的问题。

三是智能体行为的体系内可控难。智能体的自主性既是效能来源也是风险来源，约束过严会使其退化为脚本化节点、失去AI化价值，约束过松则可能越出权限边界行动，且约束对象不仅包括通信协议与数据权限，还须覆盖交战规则与人类监督层级。需要解决模型内为智能体设定可校验行为边界、并使越界行为事后可追溯的问题。

问题四：指控体系智能对抗建模仿真

智能对抗场景下，认知欺骗、自适应电磁干扰、集群博弈等对抗行为不断演化，指控体系面临信息不完备、态势变化快速、决策不确定性强等挑战。现有指控仿真以预设流程和固定规则为主，难以全面刻画对抗行为的策略演化过程及其对指控过程的影响机理。本问题研究智能对抗行为建模、对抗场景下指控体系建模、动态场景构建与仿真推演方法，形成指控体系智能对抗仿真验证能力，支撑指控体系设计、装备论证与训练演练。

问题内涵

本问题针对智能对抗条件下指控体系的建模与仿真问题，研究认知欺骗、自适应干扰、集群博弈等对抗行为建模，对抗场景下指控体系要素、结构、流程及耦合关系建模，以及动态场景构建与仿真推演方法，解决对抗行为策略演化难以刻画、红蓝博弈对抗过程难以复现的问题，形成指控体系智能对抗仿真验证能力，使对抗过程可推演、对抗结论可检验。

问题意义

本问题为智能化战争条件下指控体系建设提供可推演、可对比的仿真验证手段。理论上，推动指控仿真由流程驱动向认知博弈驱动转变，完善智能对抗行为建模与红蓝博弈仿真理论。工程上，支撑反干扰、欺骗识别、集群反制等新型指控装备的方案论证、功能迭代与性能分析，可降低实装试验的风险和成本。应用上，服务多域协同演练与指挥员临机决策训练，提升复杂不确定环境下的指控效能，为指控体系架构设计、装备建设和关键技术攻关提供量化决策依据。

问题难点

一是智能指控行为具有自主学习和动态博弈特征，决策逻辑难以穷举。认知欺骗中，攻击方会随防御方识别结果调整诱骗策略，固定规则和脚本难以复现策略演化，易造成仿真与实装偏差。需要解决随对手行为自主演化的对抗策略建模与策略演化过程复现的问题。

二是对抗场景下指控体系多域耦合机理难以高精度复现。侦察感知、信息传输、指挥决策与行动执行跨域相互影响，指挥关系随战损和任务动态重构，时序约束复杂；现有模型多为静态预设与局部简化，难以全面反映体系对抗中的跨域联动与体系结构动态演化特征。需要解决对抗条件下跨域耦合机理建模与体系结构动态重构过程复现的问题。

三是智能对抗行为建模缺乏数据与知识支撑，模型置信度难以保障。新型对抗样式实装数据涉密程度高、样本稀缺，作战条令与专家经验难以形式化，使得对抗智能体训练不充分，行为模型真实性缺少判据，制约仿真结果的可信性。需要解决小样本条件下对抗行为模型的数据获取、条令与专家知识形式化表达及置信度评估判据的问题。

问题五：分布式杀伤网构建、运行和调控建模仿真

分布式杀伤网是高端战场体系对抗的重要形态。本问题聚焦博弈对抗条件下杀伤网的自主构建运行、自适应演进和多维度杀伤效能评估中的建模仿真难题，研究云边端协同的仿真架构、对抗条件下分布式决策建模、面向任务效能的多策略优选与能力涌现分析等关键技术，为分布式作战体系设计与应用提供理论与方法支撑。

问题内涵

分布式杀伤网是由多个分布式部署的指挥决策节点与陆海空天预警/侦察/干扰、有人无人打击等平台组网构成的跨域网络化作战体系。本问题研究杀伤网构建、运行和调控的建模仿真机理，突破大规模协同杀伤拓扑构建、方案多策略演算优选、实时闭合评估等关键技术，解决传统链式杀伤流程失效、博弈对抗仿真效率低、能力涌现分析难等问题，使杀伤网构建、运行与调控可建模、可推演、可评估。

问题意义

理论上，将杀伤链建模由单链线性闭合扩展至并发的多目标资源决策、节点随机损毁与动态自动重组，丰富跨域作战体系建模仿真理论。工程上，以云边端协同的仿真架构解决云端仿真无法适配边缘侧、端侧实时推演的问题，支撑远域战场管理、跨域有人无人协同杀伤与无人集群自主协同推演。应用上，克服人工预设规则难以遍历隐性杀伤链路的局限，实现多策略杀伤方案定量测算排序与效能优化，为自适应跨域杀伤网落地应用提供建模仿真手段。

问题难点

一是红蓝博弈对抗条件下多决策节点态势、资源、状态、行为一致性维护难。节点损毁与链路状态随对抗持续变化，多节点间态势与资源视图难以同步，网络构建、运行、调控对端到端协同的影响亦难以准确仿真。需要解决抗毁抗扰能力建模与协同影响效应仿真的问题。

二是杀伤决策机理由“人在环内”向“人在环上”拓展后，杀伤策略自主学习与自适应生成难。人类退出内环后，决策依赖智能体间自主协商，基于规则的方法难以覆盖对抗策略空间，数据驱动模型的可解释性又难以保证。需要解决规则知识与态势数据双驱动的决策建模与策略自主生成问题。

三是动态博弈对抗条件下策略组合维度多、约束条件复杂，多级杀伤路径自主生成与动态调整难。路径规划须同时满足时效、资源、协同与对抗等多重约束，策略组合空间随规模急剧膨胀。需要解决动态杀伤网本体构建与智能体生成编排、多级路径高效演算的问题。

四是杀伤网动态涌现生成与自适应调整的时效性、可执行性、灵活性等多维指标统一量化评估难。运行机理层与任务效能层指标难以关联，体系韧性、抗毁生存、智能对抗杀伤等能力涌现缺少统一评估判据，制约建模置信度提升。需要解决分层评估指标体系构建与能力涌现性评估的问题。

问题六：跨模态战场态势认知AI-物理融合模型

多源数据语义割裂、物理约束与认知博弈难以统一建模、态势认知难成闭环，是战场态势认知面临的难题。本问题借鉴空间智能、世界基座模型、潜空间预测等前沿成果，融合多模态语义对齐、动态本体知识图谱与自进化智能体技术，构建贯通物理、赛博、认知、社会四个世界，统一表征、动态一致、可交互推演的世界模型，支撑指挥员穿透“战争迷雾”认知能力的形成。

问题内涵

本问题研究跨模态态势认知的统一表征与AI-物理融合建模方法，解决多源数据语义割裂、物理与认知分域建模问题。将战场态势以统一语义空间表征为物理、赛博（信息）、认知、社会四个子空间：前两者提供可观测、可计算的客观约束，后两者提供意图、博弈与价值判断的主观逻辑，在同一数学框架下统一表达物理动力学与认知博弈，动态一致演化、可交互推演，支撑“看得清、想得明、推得准”的闭环认知能力。

问题意义

本问题的突破有望为指挥控制建模仿真提供统一的语义建模基础。理论上，将装备机理、信息攻防、欺骗意图、组织行为等跨域因素纳入同一语义框架，推动建模仿真由分域走向全域统一。工程上，形成一次表征、多任务共享的态势语义基础，支撑目标识别、意图研判、威胁评估等任务复用，压缩传感器到射手决策周期。应用上，支持虚拟空间低成本探索因果关联、预演方案分支，为体系效能评估、方案验证、指挥员训练与毁伤评估提供建模分析工具。

问题难点

一是跨模态语义对齐难。侦察影像、雷达信号、电磁频谱、情报文本等观测机理与表征空间差异悬殊，语义编码面临保真度与对齐度取舍，强对抗与电磁静默下易出现态势断链。需要解决多源异构观测统一语义表征与数据缺失下的对齐问题。

二是物理规律与认知逻辑统一建模难。物理世界以确定性动力学为主（含确定性混沌），认知世界充满意图、欺骗等非确定因素，赛博与社会世界又引入信息攻防、组织行为等多重耦合约束，难以在同一框架下统一表达。需要解决物理动力学与认知博弈的统一表达与耦合建模问题。

三是动态一致与实时推演难。局部状态更新沿四个子空间跨域跨层级传播，误差累积放大，多物理场耦合推演算力开销巨大，边缘算力下实时性与连续性难以兼顾。需要解决跨子空间状态一致传播与算力约束下增量推演问题。

四是模型有效性验证难。物理预测与认知推断混合输出缺乏公认基准，须同时满足物理可解释与语义一致性双重标准。需要解决异构独立通道、物理规律可形式化子集与专家抽检基线相结合的有效性验证问题。

问题七:指挥员行为智能建模方法

指挥员行为建模是指挥控制建模仿真领域的经典基础难题,核心难点在于认知规律可变、个性化建模难度大、有效建模数据稀缺、模型验证缺乏准则。人工智能技术的发展为破解这一老问题提供了新契机,也赋予其新的研究内涵。本问题研究指挥员认知决策一体化智能建模方法,既可完善指挥控制建模仿真基础理论,也能逼真刻画指挥员行为,为作战方案论证、效能评估提供更可靠的技术支撑。

问题内涵

本问题研究指挥员行为智能建模方法,解决指挥员共性决策逻辑与个体行为偏好刻画不准的问题。指挥员决策行为以认知为基础,传统建模方法多基于规则或数据拟合构建模型,难以体现认知规律变化与个体风格差异。本问题引入智能技术,研究以共性决策逻辑为基础、以个体行为偏好为增量的指挥员认知决策一体化建模方法,为数字孪生指挥员构建提供新途径,实现指挥员行为的逼真刻画与推演交互。

问题意义

理论上,为构建数字孪生指挥员(复刻个体决策逻辑与行为偏好的指挥员行为模型)提供理论基础,完善指挥员行为建模与推演理论,支撑个性化训练评估与作战经验传承。工程上,使对抗仿真中的指挥实体具备更逼真的指挥行为,提升推演可信性和训练价值,支撑智能化指挥控制系统与指挥员深度协同。应用上,为作战方案论证与指挥体系效能评估提供实验支撑,为指挥人才培养、指挥能力量化评估提供方法参考,支撑人机混合指挥模式下的人机互适配、信任机制构建与动态权限调配。

问题难点

一是认知决策机理难以精准刻画。指挥员行为建模的核心是刻画其认知与决策过程，而该过程具有内隐性与动态可变性，难以通过规则推理、知识匹配等方法准确表征。需要解决内隐认知过程表征与认知规律动态演化的建模问题。

二是个性化行为建模难。现有指挥员行为模型多为通用型，实际作战中指挥员决策风格差异显著，行为个性化程度越高，建模难度越大。需要解决共性决策逻辑与个体风格差异在同一模型框架内的表达与个体模型校准问题。

三是建模数据支撑难。指挥员认知决策相关数据缺乏明确的定义边界与采集标准，内隐认知过程数据难以通过常规手段获取，也缺乏标准化验证数据集，理论方法难以落地。需要解决认知过程数据采集标准、小样本条件下的行为学习与验证数据集构建问题。

四是模型验证难。指挥员行为模型缺乏统一的验证评估准则，难以有效区分模型自身决策偏差与场景扰动带来的结果差异。需要解决行为一致性评估准则与偏差来源辨识方法的问题。

问题八：智能蓝军战术自主行为建模仿真

传统脚本式蓝军行为固化，难以模拟对手的自适应博弈行动。本问题面向智能化作战仿真发展的迫切需求，针对不完全信息自主决策、涌现行为管控等技术瓶颈，重点研究智能兵力的高逼真战术自主行为建模，并探索适配蓝军智能体的全生命周期VV&A理论与评估方法，突破现有确定性仿真验证体系的局限，为实战化对抗训练和推演、数字靶场建设等提供支撑。

问题内涵

本问题研究智能蓝军战术自主行为建模仿真方法，解决蓝军对手指挥决策、战术战法、集群对抗等自主行为建模与仿真可信性评价的问题。已有蓝军仿真在训练、推演场景中主要依赖脚本化规则，行为逼真度、对抗强度与战术多样性不足，且缺乏仿真可信性的有效评价手段。本问题以对手条令、作战理论、行为习惯、决策风格等知识为基础，依托智能体等技术构建贴合真实对手画像的蓝军智能体，实现动态战术演化与仿真可信性的量化评价。

问题意义

理论上，建立依托智能体刻画蓝军指挥决策、战术战法、集群对抗的建模框架，为智能对手自主行为建模提供理论依据。工程上，摆脱脚本约束实现动态战术演化，量化评估蓝军对手战术行为逼真度、规避失真风险，并按训练、论证、推演等用途分级采信仿真结果，使仿真系统具备逼真对抗博弈能力。应用上，为实战化训练、兵棋推演、装备论证、作战研究、数字靶场建设提供支撑，保障对抗推演与实战化训练结论有效可靠。

问题难点

一是不完全信息下对手战术行为建模难。战场存在战争迷雾与欺骗干扰，缺少对手真实战术样本，难以复现对手独有的思维和行为范式，智能体易出现战术逻辑偏离、泛化能力不足的问题。需要解决小样本条件下对手战术意图推断与行为泛化建模的问题。

二是开放环境多智能体涌现行为管控难。智能蓝军具备自主博弈特征，行为空间随智能体数量组合爆炸，会产生不可预知的涌现行为，容易出现违背军事常识的不合理战术，传统脚本约束手段失效。需要解决涌现行为的可控约束与违背常识行为的在线筛查问题。

三是对手画像知识表征难。对手条令、作战理论、行为习惯、决策风格等知识形式多样、来源受限且时效不定，难以系统化抽取与形式化表征，模型易与对手真实行为脱节。需要解决多源对手知识的抽取、表征与动态更新问题。

四是面向蓝军智能体的VV&A验证体系适配难。传统固定场景、固定测试集的校核验证方法无法覆盖开放式博弈，缺少针对涌现行为的量化评估指标与基准，仿真结果难以采信。需要解决开放式博弈下动态测试集构建、战术合理性筛查与复盘可解释性抽检等评估方法问题。

问题九：无人集群协同作战效果涌现建模

对抗条件下，集群个体简单交互规则经非线性放大，可涌现出超越个体之和的宏观作战效能，微小偏差亦可引发系统级失控，大模型驱动的智能体更使涌现行为呈现高度自适应与非脚本化特征。本问题研究集群局部行为规则非线性生成宏观作战效能的机理与计算建模方法，解决涌现因果归因、检测判别与有效控制等难题，为无人作战力量体系论证、作战效能评估与实战化训练提供方法论支撑。

问题内涵

本问题研究无人集群协同作战效果涌现的建模仿真方法，解决集群局部行为规则与宏观整体效能之间因果关联难以刻画、涌现结果难以预测与验证的问题。面向无人集群多域动态对抗场景，研究局部行为规则与交互博弈如何非线性涌现出超越个体之和的整体指挥控制效能与杀伤网模式，建立从微观决策到宏观态势的因果映射，形成可计算的建模仿真理论体系。

问题意义

理论上，揭示无人集群智能的耦合涌现机制，推动指挥控制科学由确定性流程优化向不确定性复杂系统涌现理论拓展，建立融合认知科学、系统科学与可解释性分析的智能涌现分析方法。工程上，突破大模型驱动智能体非线性交互中因果涌现机理的定量度量与语义归因难题，使涌现分析实现可度量、可追因，为智能化仿真工具研制提供方法基础。应用上，有望支撑无人作战力量的体系论证、作战效能评估与指挥员训练，提前预警负面涌现风险、识别正向涌现机会，为强对抗环境下杀伤网弹性与自愈能力验证提供支撑。

问题难点

一是涌现行为因果溯源难。大模型黑盒与多智能体非线性交互耦合，“微观—宏观”间的因果链条难以分解，涌现结果难以区分是真实机制还是模型偏见或训练数据烙印；因果涌现度量虽已有理论探索，但难以用于大模型驱动场景。需要解决黑盒条件下因果链分解与涌现归因问题。

二是涌现行为检测判别难。涌现既是建模仿真的研究对象，又是模型本身可能产生的非预期结果，检验缺乏独立参照；涌现界定缺乏统一检测判据，现有手段解释力薄弱。需要解决涌现行为统一检测判据、失范行为判别与涌现结果解释方法问题。

三是涌现行为有效控制难。指挥员需理解、信任并有效控制无人集群涌现效能，而人与机器智能的耦合冲突机制尚不明晰，涌现行为自主程度越高，越难以预测和干预。需要解决涌现效能可解释呈现、人机互信量化评估与有效干预控制问题。

问题十：智能指控仿真模型的可信性评估

可信性评估是智能指控仿真模型投入使用的必要前提。随着深度强化学习与大模型驱动行为生成技术的应用，模型决策逻辑难以逐条核查，传统评估方法已难以直接适用。本问题研究适配智能模型特点的评估方法、量化指标与试验程序，将客观验证与使用者信任判断相结合，使可信性评估跟上模型迭代节奏，为智能化条件下指挥控制仿真模型的验证与确认提供可操作的评估路径。

问题内涵

本问题研究智能指控仿真模型的可信性评估方法，解决智能模型缺乏可校核规格、真实决策基准难以获得、分析工具难以独立等问题，为模型的验证与确认提供评估依据。传统VV&A方法以模型规则可追溯为前提，智能化条件下这一前提不再成立，需要从评估对象、评估基准、评估手段三方面重建评估方法与量化指标，判断模型推演结果在多大程度上可为特定用途所采信。

问题意义

理论上，建立适配智能指控仿真模型的可信性评估方法与量化指标体系，使验证与确认工作有方法可依，缓解模型通过测试却难以获得采信的问题，使可信性评估既不因过度保守而限制智能技术的应用，也不因盲目信任而引入风险。工程上，建立随实战数据更新的模型校核方法，使模型偏差在对抗环境下能够持续校准，缩短校核周期与模型迭代周期的差距。应用上，识别并量化模型推演结果与指挥员真实决策之间的系统性偏差，使推演结论可用于作战方案论证、效能评估与列装审查。

问题难点

一是评估对象难以固定。模型决策逻辑是训练的产物，没有显式的规格说明可供校核；行为带有随机性，小概率错误行为难以通过有限次试验检验；模型行为随版本更新持续变化，评估周期跟不上迭代周期。需要解决黑盒决策逻辑刻画、随机行为统计表征与随版本同步评估等问题。

二是评估基准难以获得。可信性评估需要将模型输出与真实指挥决策对照，但真实决策数据往往保密、不可重复，对抗条件下对手还可能刻意展示失真行为，无人集群等新型作战概念目前也没有可用的对照物；模型行为与真实指挥决策相似到何种程度才算可信，缺乏公认度量。需要解决替代基准构建、行为逼真度度量等问题。

三是评估手段难以独立。决策归因、反事实推理等可信性分析工具本身也是训练出的模型，对模型行为的解释也可能只是对结果的事后合理化；而传统的专家检查法无法覆盖智能模型的全部结果空间，抽检覆盖率与结论置信度难以兼顾。需要创新针对智能指控模型的可信性分析工具，并明确评估主体、对照基准与试验程序。

致 谢

本次《指挥与控制建模仿真十大前沿问题》论证，得到了各领域专家的积极支持，也得到了院校、科研院所、军工企业等单位的大力支持。

在此谨向所有参与的专家和单位致以诚挚感谢！

参与论证的专家

丁　健、马　杰、马健康、马　松、万　伟、习　宁、毛玉辉、王　芳、王　辉、王康硕、王克让、王坤福、王　鹏、王　瑞、王锐华、王言伟、王奕辰、王云舒、王子豪、艾小锋、付建苏、田　露、叶　玲、江　帆、刘柏廷、刘必欣、刘朝阳、刘德生、刘海颖、刘练达、刘明阳、刘　毅、刘晓斌、刘　欣、刘子龙、曲玉言、任亚丽、任一凡、孙亚洲、孙幸福、孙晓琳、孙学超、汤　亮、朱恩成、朱宏涛、朱金冬、朱庆猛、朱　锐、肖传明、陈春波、陈大可、陈　迪、陈　虎、陈际玮、陈　然、陈仕波、陈思嘉、陈世国、陈治世、初　阳、杜　鹏、何　兵、何　红、李　超、李聪敏、李　盖、李广运、李江梦、李凌波、李思阳、李　伟、李向阳、李　雄、李耀宇、李泽后、李　宁、李志伟、李子月、陆志沣、宋超男、苏　醒、汪岸柳、汪　跃、吴其华、吴　静、吴云超、严永锋、杨丽丽、杨泽后、余　晓、余　跃、张　斌、张光卫、张　健、张　乐、张　冉、张鲁超、张　扬、张英朝、张　宇、张媛媛、范慧丽、罗　荣、罗汝斌、罗　威、欧　渊、苑世娇、岳忠奇、段远征、郝程鹏、郝　亮、郝　熠、贺　沧、贺　超、侯永柱、胡　浩、胡建国、战晓苏、赵　锋、赵健乐、赵晓楠、赵　涛、高　翔、高秀政、高育新、高跃清、顾赵宇、郭褚冰、郭　茜、贾炅昊、贾　媛、倪晚成、秦　旭、秦伟胜、陶　浩、陶　鹏、陶智刚、唐成师、唐文杰、涂震飚、徐　超、徐光浩、徐俊瑜、徐若曦、徐志明、殷　键、曹　欢、曹一丁、崔　鹏、崔小舟、黄　俊、黄晶靖、黄天羽、黄志宇、康亮环、董晓明、董晓璋、傅　琛、葛　薇、韩　翃、韩　勇、蒋　林、彭京徽、彭妮娜、谢廷毅、简　平、雷小永、蔡　玄、蔡源龙、慕东东、谭晶磊、臧　博、潘小义、戴树岭、魏佳宁

参与论证的单位

中国人民解放军三一二〇二部队、中国人民解放军三二〇〇九部队、中国人民解放军九三一八四部队、中国人民解放军九一〇五四部队、中国人民解放军军事科学院、中国人民解放军国防科技大学、中国人民解放军陆军研究院、中国人民解放军陆军工程大学、中国人民解放军火箭军工程大学、中国人民解放军航天工程大学、中国人民武装警察部队研究院、复杂系统设计、仿真与评估技术全国重点实验室、卫星信息智能处理与应用技术国家级重点实验室、智能协同感知与分析认知国家级重点实验室、中国电子科技集团有限公司总体院、中国电子科学研究院、电科云（北京）科技有限公司、中国电波传播研究所、中国电子科技集团公司第十五研究所、中国电子科技集团公司第二十研究所、中国电子科技集团公司第二十八研究所、中国航天科技集团有限公司第八研究院、中国航天科技集团有限公司第九研究院第七〇四研究所、中国空间技术研究院、航天科工智能运筹与信息安全研究院（武汉）有限公司、上海机电工程研究所、中国航天科工集团第三院体系总体部、中国航天科工集团第四研究院第四总体设计部、中国航天科工集团第四研究院第十七研究所、中国航天科工集团防御技术研究院第二部、航天科工集团智能科技研究院、航天物联网技术有限公司、中国航空工业集团公司第六〇一研究所、中国航空工业集团公司第六一八研究所、中国船舶集团有限公司系统工程研究院、中国船舶集团有限公司第七一九研究所、中国船舶集团有限公司第七一六研究所、中国舰船研究设计中心、中国兵器工业集团公司第二〇七研究所、中国兵器科学研究院、清华大学、北京航空航天大学、北京理工大学、北京邮电大学、北京化工大学、北京信息科技大学、哈尔滨工业大学、电子科技大学、西北工业大学、吉林大学、南京航空航天大学、南京理工大学、苏州大学、中山大学、电子科技大学（深圳）高等研究院、东北大学、大连海事大学、大连理工大学控制科学与工程学院、上海大学、山东科技大学、安徽工程大学人工智能学院、深圳力维智联技术有限公司、山西中北疏浚工程装备技术研究中心有限公司、北京九天翱翔科技有限公司、四川华域智创科技有限公司、白杨时代（北京）科技有限公司、湖南高至科技、南京雷电信息技术股份有限公司

特别鸣谢中国电子科技集团公司第二十八研究所的大力支持！