

· 专题二:双清论坛“政策信息学与政策智能” ·

桌面推演技术前沿及发展趋势

吕欣* 蔡梦思 陈彬

国防科技大学 系统工程学院,长沙 410073

[摘要] 桌面推演通过模拟事件场景及处置过程来提高参演人员的风险感知能力、信息研判能力、指挥决策能力和协同配合能力,被广泛应用于军事作战、应急管理和教育培训等领域。本文立足于突发事件应对,介绍了桌面推演技术的内涵和意义,分析了桌面推演的主要技术方法,并重点介绍了桌面推演情景构建与大数据仿真等前沿技术的发展现状和面临的挑战,总结了桌面推演技术在全球及各领域的应用情况。最后,提出了集成平台开发、跨国演练合作、虚拟现实结合等大数据时代下桌面推演技术发展趋势。

[关键词] 桌面推演;兵棋推演;情景构建仿真;大数据;虚拟现实

DOI:10.16262/j.cnki.1000-8217.2021.05.023

当今,国际形势复杂多变、各类突发性灾害事件频发,严重威胁着人类身体健康和生命安全。其中,突发性灾害事件不仅影响人身安全,还将对政治、经济、社会、文化和生态环境等带来严重破坏,甚至造成次生、衍生灾害及多种风险叠加共振。例如,2019年末暴发的新冠肺炎疫情截至2021年6月6日造成全球累计确诊病例数超17263万,累计死亡病例数超371.8万;据估计,2020年全球自然灾害造成的经济损失总额达2680亿美元^[1]。面对突发事件的复杂性、系统性、破坏性、不确定性、传染性和持续性,各国政府制定了大量各级各类应急预案,并通过桌面推演、实战演练等演练方式对应急预案内容进行修订和完善,不断提升管理人员应急处置能力。例如,我国自2005年印发《国家突发公共事件总体应急预案》以来,截至2019年9月,全国应急预案总数达550余万件,为突发事件发生、发展、结束等阶段工作的统筹安排发挥了重要作用^[2]。

桌面推演也称桌面演练,是指参演人员利用地图、沙盘、流程图、计算机模拟、视频会议等辅助手段,针对事先假定的演练情景,讨论和推演应急决策及现场处置的过程^[3]。桌面推演通常在室内进行,针对预先设定的事件情景以口头交流方式对事件处



吕欣 国防科技大学系统工程学院教授,博士生导师。主要研究方向为大数据挖掘、复杂网络、应急管理。其开发的移动定位与网络大数据分析技术广泛应用在海地地震、霍乱疫情、日本3·11大地震、新冠肺炎疫情等多个国内外重大灾害事件的应急救援中,技术方法被MIT Technology Review列为“全球十大突破性技术”,获世界移动大会最佳应用奖(GLOMO Award),湖南省高等教育教学成果奖特等奖,教育部科技进步奖二等奖,中国仿真学会自然科学奖一等奖,军队科技进步奖二等奖。国家杰出青年科学基金获得者,入选教育部长江学者奖励计划青年学者。

置流程、角色职责、多方协同与决策等内容进行推演,通过模拟场景和事件的处置过程来促进参演人员掌握应急职责和程序,提高参演人员的风险感知能力、信息研判能力和解决问题能力^[4]。相比于实战演练,桌面推演不需要实际调动组织力量,具有投入少、风险小、操作性强、省时省力、形式灵活且不受场地限制等优点,被广泛地应用于军事、应急管理、教育培训等领域,并发挥着重要作用^[5]。例如,在军事领域,沙盘、兵棋和仿真等桌面推演技术可以逼真地反映实际作战过程,从而为作战计划和指挥决策等提供科学依据;在应急管理领域,桌面推演通过模拟应对突发事件的活动,可达到检验应急预案、完善

收稿日期:2021-06-20;修回日期:2021-10-10

* 通信作者,Email: xin_lyu@sina.com

本文受到国家自然科学基金项目(72088101, 72025405, 82041020)的资助。

应急准备、锻炼应急队伍、磨合应急机制、普及应急知识等综合效果;在教育培训领域,桌面推演通过角色扮演、案例分析、情景模拟等手段,可实现学员在理论知识、专业技能、沟通协调和团队合作等方面的综合培训。

随着信息技术应用的不断深入,桌面推演类软件和信息平台得到陆续开发,地理信息系统、虚拟现实、三维场景建模、仿真系统等技术的应用大大提高了桌面推演的真实感和有效性。结合情景构建、大数据仿真等前沿技术可以显著提高桌面推演的互动性和科学性,为决策者掌握事态演变过程提供预见性,并支撑在关键时刻做出科学而有效的决策^[6]。与此同时,大规模桌面推演过程中产生了海量涉及应急处置问题、参与人员、处置流程、处置结果、效果评估等应急管理政策制定相关信息,利用大数据技术等对这些信息进行分析,可以更好地理解并解决复杂的公共政策和应急管理问题^[7],支撑治理流程创新和治理政策评估,促进政策信息学的发展,并提高应急决策的智能化水平。

1 桌面推演主要技术方法

桌面推演通常采用文字、图片、地图、沙盘、流程图、计算机模拟、视频资料等方式描述突发事件场景,根据不同工作条件可借助各类工具以增强推演效果,如沙盘、兵棋、计算机模拟仿真等。

1.1 沙盘推演

沙盘模型通常按照一定的比例缩小展示,主要有地形沙盘、多媒体沙盘(或数字沙盘)、电子沙盘等模型。地形沙盘以微缩实体方式展示地形地貌特征,例如山体、水体、桥梁、道路等,被应用于军事、政府、水利、电力、交通、旅游、公安指挥和国土资源等领域及行业。多媒体沙盘则利用电、光、声、图像、三维动画、计算机程控技术等与实体模型相结合,实现多媒体展示、互动功能于一体,可达到逼真的动态视觉效果^[8],大多在科技馆、博物馆、数字展厅等作为展示型展项。电子沙盘以传统沙盘堆制理论为依据,以地形数据库数据为基础,采用现代计算机图形图像技术生成三维实体模型,可以为用户提供一个基于地形的逼真、实时、可交互的虚拟操作环境。随着现代计算机技术的发展与应用,电子沙盘结合网络环境虚拟技术、人机交互技术、三维地形生成技术等,具有误差小、解析度高、可实施性强、自动化程度高和科技含量高等优点^[9]。

电子沙盘系统具有良好的实用性,最早应用于

军事方面,根据军事要塞、机场、港口、山谷高地等军事地理目标的经纬坐标、土质地貌水文资料等真实地理参数,按一定的比例尺,结合现代的计算机技术、虚拟现实技术为军事作战和指挥提供三维的模拟地形环境,如美军的CATT(The Combined Armed Tractical Trainer)、NPSNET、STOW(Synthetic Theater Of War)、SIMNET(SIMulation NETworking)、C4ISR^[9]等。除军事领域外,电子沙盘还被应用于经济发展、城市规划、仿古建筑、应急抢险、科技表现、商业展示、课程教学等领域,加强了对实战的模拟程度,且具有互动性、趣味性、竞争性等特点。例如企业ERP沙盘通过角色扮演、情景演练等方式模拟企业经营管理过程,从而提高学员的管理能力和团队合作精神^[6];南水北调电子沙盘系统基于真实的遥感数据、工程数据等,直观地展示工程中重点区域及路线的全景动态等,为我国南水北调工程的建设运行管理提供了决策支持^[10]。

1.2 兵棋推演

兵棋(Wargame)是将地形、兵团人数及战斗力,还有天气等诸多因素集成在一个地图上的棋类游戏,用于对战争实际情况的模拟。现代兵棋(Kriegsspiel)由普鲁士的宫廷文职战争顾问冯·莱斯维茨于1811年发明,它由一幅地图、一套棋子、两个对阵人、一个裁判、一本详细规则、一张概率表和一个骰子组成,可以逼真地模拟当时战场的活动。20世纪60年代以来,随着信息化时代的到来,现代兵棋推演逐渐从传统手工兵棋演变成将兵棋推演思想与信息技术相结合的先进的计算机兵棋推演系统^[11]。例如,美军用于伊拉克战争的“联合战区模拟”(JTLS)和我国研发的“大型战略战役兵棋演习系统”是典型的大型兵棋系统,具有兵棋实体多、行动种类多、演习内容全、推演规模大和专业化程度高等特点。相比于手工兵棋,计算机兵棋系统着眼于复杂、动态、可配置的战场环境,不断提高作战模型的精度,可模拟仿真各种大范围区域的军事作战行为,并做到实时化和连续化推演,从而增强对战场态势的展现能力,提高推演逼真度及推演效率。

兵棋推演可以非常逼真地反映实际作战过程,陆、海、空、天、电联合并行作战,通过各方根据态势进行决策,从而驱动整个兵棋推演持续推进,最终模拟出实际的作战流程及作战效果(图1)^[11]。随着时代的发展,现代兵棋推演的应用已从军事领域扩展到社会经济等多个领域,并发挥着不可替代的作用。在社会管理领域,兵棋推演是进行恐怖袭击、流行病

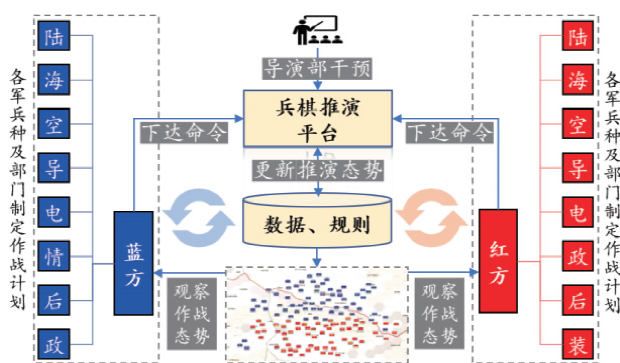


图1 象棋推演流程示例

传播等重大社会危机推演与预防的重要手段,例如美国的“天花病毒恐怖袭击”象棋推演模拟了恐怖分子对波特兰市的恐怖袭击,得出了控制人群隔离的关键要素^[12];2019年12月,加拿大农业和农业食品部为推演非洲猪瘟,邀请专家研发专门的象棋,将传统经验和精确模拟结合起来,增强了应急管理的预见性和时效性^[13]。在政治经济管理领域,象棋推演被用于研究政治或经济危机对世界范围的冲击影响及对策,例如美国开展的关于石油能源战争的“石油冲击波”演习^[14]、针对网络危机的“网络冲击波”演习以及针对金融危机的“金融大战”推演^[15]。

1.3 仿真推演

仿真推演是指利用系统建模仿真方法技术,模拟事件及其处置过程的活动,通过处置效果分析评估发现问题、改进应对方案、提高应对能力。仿真推演主要在虚拟环境进行,采用传统桌面推演的组织形式,融入建模和计算机仿真,而不需要调动实际装备和人员,具有经济性、可重复性等优点。三维建模技术可实现现实世界实体的真实再现,主要有边界表示法、线框表示法、实体几何构造法、空间位置枚举法等三维模型表示方法,以及基于 OpenGL、DirectX、Java3D、Simio、ExtendSim、Netlogo 和 Creator 等三维建模实现方法^[16, 17]。常用的仿真技术框架主要有仿真网络 (Simulator Networking, SIM-net)、分布交互式仿真 (Distributed Interactive Simulation, DIS)、聚合级仿真协议 (Aggregate Level Simulation Protocol, ALSP) 和高层体系结构 (High Level Architecture, HLA) 等。以系统动力学、元胞自动机、多 Agent 系统为代表的仿真技术被广泛应用于模拟传染病在人群中的传播扩散过程,评估各防控措施对控制疾病蔓延的效果。

沙盘和象棋都可以通过模拟手段,将突发事件

的内外部环境抽象为一系列的规则,通过模拟事件的发生,使参演人员在军事、经济、应急等一系列活动中感受逼真的环境。当下,随着信息技术的进步,大数据和仿真等信息化手段在推演技术中得到广泛应用,推演技术正在从简单的实操演练和桌面演练形式向结合计算机模拟仿真等技术方向发展,仿真模拟推演系统不断涌现。例如,1997年,美军开发了可操作的战场可视化系统“The Dragon”,通过三维可视化方式来展现战场空间,并应用于战斗演习^[18];目前,美国应急演练模拟中心已开发出能在虚拟环境下运用烟羽模型、疾病传播模型等进行基于组织机构的多人参与的模拟演练^[19];我国北京航空航天大学先进仿真技术实验室在20世纪90年代开发了以解放战争中某著名战役为背景的虚拟战场演示与观众参与系统,提供战场三维地形、地貌、地物、战斗单元、战场特效的显示^[20]。

2 桌面推演情景构建技术

“情景”最早被定义为对未来可能出现的和可以使事态由初始状态向未来状态发展的一系列事实的描述^[21],在突发事件应急决策中,情景是在突发事件发生后决策主体面临的真实情况,而且是随事件不断发展变化的。“情景”为应急演练提供了科学、可信的背景信息,同时提供了演练目标和要求,有利于形成复杂复发性灾害事件的综合应对能力。如何构建当前情景并分析推演下一情景,为突发事件决策者掌握情景实时演变过程提供预见性,从而在关键时刻做出科学且有效的决策是突发性灾害事件应急管理的关键问题。

情景构建是结合历史案例研究、工程技术模拟对未来一定时期内可能发生的、后果极其严重的事件情景进行科学假设和全景式描述,根据事件演化过程模拟计算事件后果,并依此开展应急任务梳理和应急能力评估,从而完善应急预案、指导应急演练,最终实现应急准备的提升^[22]。针对突发性灾害事件的不确定性、破坏性和紧迫性,传统的“预测—应对”型应急管理模式逐渐转变为科学、高效的“情景—应对”型应急管理模式,其中,如何科学地构建和描述突发性灾害事件情景的理论与方法最具有前沿性和挑战性^[23]。

目前,情景构建与推演主要采用“情景—任务—评估”技术框架,主要包括情景分析、任务梳理和能力评估三项主要内容。其中,情景分析通常采用经验总结、德尔菲法、头脑风暴法、事故预想、事件树分

析、案例分析等手段构建突发事件情景,采用情景链、情景网络等描述“突发事件—承灾载体—应急管理”情景要素间的复杂关系,并运用模糊推理、复杂网络、超网络、贝叶斯网络等理论与方法推演突发事件发展演化过程^[24]。任务梳理过程中形成任务清单,为制定应急处置预案提供依据。能力评估旨在为应急缺陷整改、应急能力提升等提供对策建议。基于情景构建技术,可事先分析确定最大可信度事件,提前开展情景后果分析和应急能力准备,提高预见性、降低不确定性,从而为系统提升突发事件的预防与准备、监测与预警、响应与救援、恢复与重建等能力提供技术支持^[25]。

针对常规管理模式无法应对的“小概率、大后果”突发性灾害事件,情景构建技术基于风险管理思想,“从最坏处准备,争取最好的结果”,从而为应急工作提供先导和目标,其所构建的情景事件具有典型性和代表区域最高风险的特点,可以在突发事件应急管理中很好地推广应用。例如,国内外学者开展了针对冰雪灾害危机事件演化^[26]、水污染突发事件演化^[27]、不确定性洪水应急物流^[28]、重大突发公共卫生事件疫情传播^[29]等场景的桌面推演情景构建。在国家层面,以“重大突发事件情景”引导的应急准备工作已经成为西方国家开展应急准备的标准化和抓手性策略。例如,美国自 2001 年“9·11”事件后开展“国家应急规划情景”(National Planning Scenarios)工作,总结提出了具有严重后果的 15 种威胁情景,包括潜在恐怖袭击与自然灾害,并整合集成为具有共性特点的 8 个重要情景组(见表 1),用以指导各层级政府开展应急准备工作^[30];德国自 2004 年开始针对“重大突发事件情景”持续地开展跨州演练工作^[31];英国从 2008 年开始开展“国家安全风险清单”工作,每两年一次动态分析未来 5 年威胁其国家安全的最坏可信情景,并将结果向社会公众开放^[32];丹麦^[33]、荷兰^[34]等国家在民防和突发事件应急管理风险评估指南中均对情景构建提出了系统化论述和标准化要求。此外,旧金山、东京等地以历史灾难为参考,以现实背景为依据,构建了详尽的地震情景,用来指导地方政府开展应急准备工作^[35];我国在近年来也积极开展情景构建工作,例如北京在 2012 年“7·21”特大暴雨灾害后启动了“北京市巨灾情景构建”工作,国家安全生产应急救援指挥中心于 2013 年 5 月开展“石化行业重大突发事件情景构建”工作。

表 1 美国国家应急预案制定情景

重要情景组	国家应急预案制定情景
1. 爆炸物攻击——使用自制爆炸装置进行爆炸	情景 12: 爆炸物攻击——使用自制爆炸装置进行爆炸
2. 核攻击	情景 1: 核爆炸——自制核装置
3. 辐射攻击——辐射扩散装置	情景 11: 辐射学攻击——辐射学扩散装置
4. 生物学攻击——附病原体附件	情景 2: 生物学攻击——炭疽气溶胶 情景 4: 生物学攻击 情景 13: 生物学攻击——食品污染 情景 14: 生物学攻击——体表损伤皮肤疾病
5. 化学攻击——附各种毒剂附件	情景 5: 化学攻击 情景 6: 化学攻击——有毒工业化学品 情景 7: 化学攻击——神经毒剂 情景 8: 化学攻击——氯容器爆炸
6. 自然灾害——附各种灾害附件	情景 9: 自然灾害——特大地震 情景 9: 自然灾害——大飓风
7. 计算机网络攻击	情景 15: 计算机网络攻击
8. 传染病流感	情景 3: 生物学疾病爆发——传染性流感

3 桌面推演大数据仿真技术

突发性灾害事件具有复杂性、动态性、不可预测性、破坏性等特点,但以往桌面演练由于无法提供相对真实的事件灾害场景和生动的应急背景,通常存在真实性差、可信度低等问题;建模与仿真技术以其安全、可控、可重复、无破坏性、不受时间和空间约束等特点,在突发性灾害事件应急管理方面具有广泛的应用前景和价值^[36]。美国于 2002 年将“系统分析、建模与仿真”被列为应对恐怖威胁的 7 项支撑技术之首。在我国,综合利用管理学、信息学、心理学等多学科优势融合,基于建模与仿真技术开展“情景—应对”型应急管理的理论、方法、技术及操作平台的研究已成为突发性灾害事件应急管理的重点。

桌面推演建模与仿真通过应用虚拟现实、大数据仿真、实时渲染等技术构建科学且相对逼真的模拟仿真应急演练平台,以较小的费用模拟并反复快速重建各种突发事件灾害现场,从而节省实战模拟演练场景搭建费用、降低演练综合成本,并提高演练的真实感、保证演练的安全性,可应用于突发事件的预防、发生、发展等阶段^[37]。例如,为预防突发事

件,针对各种可能的情景进行构建与仿真推演,以提出有效应对措施、形成动态应急预案;为应对突发事件,根据已发生的情景在仿真模型库中匹配相应的应急预案,利用收集到的实际信息不断更新情景推演方向,并据此对应急预案进行调整。

针对突发性灾害事件逐渐非常规化、多样化、复杂化、网络化、社会化的发展趋势^[36],传统的基于运筹学、案例分析、模糊推理等的推演技术在处理事件演化的不确定性、信息的动态性、复杂社会网络中的交互性等方面存在明显弊端。相比之下,大数据仿真技术利用计算机模拟灾害发生、演化等应急情景,通过获取实时的实际数据实现全过程动态模拟仿真推演,更适用于实际的大规模复杂系统。一种典型的桌面推演大数据仿真技术框架如图 2 所示,主要包括演练想定(脚本)、三维视景生成、建模与仿真、虚拟演练与评估等内容^[37]。大数据仿真技术有助于掌握各类突发事件在不同条件下的演变过程,并根据发展状况实时推演突发事件动态发展方向,为应急预案调整和应急决策制定提供技术支持^[38]。例如周柏贾等应用虚拟仿真应用技术构建了虚拟地震应急演练平台,使演练能够通过看地震灾害现场,做出相应决策^[37];李璐等应用多主体仿真技术构建一个传染病政策仿真系统,从微观层面模拟个体行为,进而推演出系统的宏观结果,实现了突发性传染病的传播动态过程再现及预防控制政策的模拟实施^[38]。此外,借助人群接触网络、人工社会建模、平行系统演化、社会计算等先进理论方法的大数据仿真技术,通过大样本计算实验能更真实地反映突发事件在复杂社会系统中的演变机制。例如,陈彬等使用非常规突发事件应急管理计算实验平台 KD-ACP(图 3),针对新冠肺炎疫情的传播开展多 Agent 仿真实验,构建了千万级以上人口的人工城市,实现了对疾控预案设置的事前评估与防控措施的精细化评测^[39];周芳等针对复杂多变、快节奏、强对抗的战

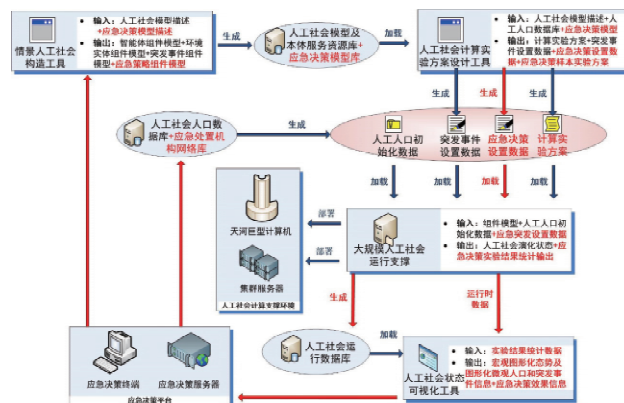


图 3 非常规突发事件应急管理计算平台 KD-ACP 架构^[40]

场环境,提出了一种实时态势数据驱动的平行仿真推演方法,以提升战场态势瞬息变化超前预测与快速决策能力^[40]。

4 应用案例

应急桌面演练具有检验预案、完善准备、锻炼队伍和评估能力等优势,被广泛应用于军事作战、政治经济危机、安全生产、事故处置、救灾抢险、疾病控制、风险评估、能力评估等场景,同时也是提高应急管理人员工作能力的重要培训手段。

4.1 军事领域

军事领域是桌面推演技术应用最早也最广泛的领域,更是兵棋推演的传统重点领域。军事作战推演的目的是通过不断逼近真实战场环境中实体行为,研究和发现问题,检验作战方案并提升作战能力,支撑未来交战态势的分析预测^[40]。例如,最著名的“内窥 03”大规模兵棋推演是美军在 2002 年为准备伊拉克战争而组织的,不仅完整地推演了全部作战计划,且参演人员超过 3 000 人^[41]。

美国是桌面推演技术在军事领域应用的集大成者,聚集了大部分世界上最著名的兵棋研究机构和企业。在军事与战争管理领域,美军先后推出了 CATT (The Combined Armed Tactical Trainer)、NPSNET、STOW (Synthetic Theater Of War)、SIMnet (SIMulation NETworking)、C4ISR 等先进的军事电子沙盘,以及 TACWAR(师级计算机兵棋)、TAM(战役级手工/计算机兵棋)、JTLS(联合战区模拟)等兵棋推演系统。其中,JTLS 是一个支持陆、海、空、天多边联合作战的交互式离散事件仿真系统,已连续不断开发 30 多年,主要用于武器装备体系作战能力评估、模拟训练和辅助演习,其模

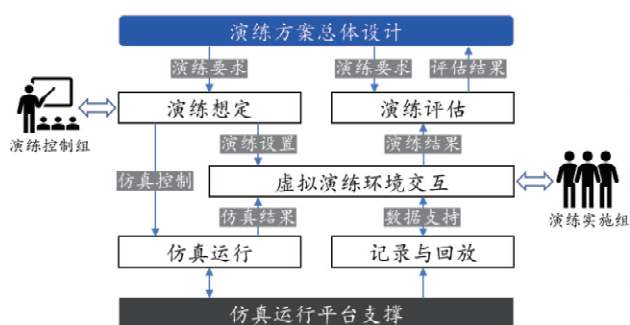


图 2 桌面推演大数据仿真技术框架

拟的作战层次是带有一定战术逼真度的战役行动,被应用于伊拉克战争、阿富汗战争等,且系统用户(除美军外,还有法国、韩国、日本、意大利等地区或国家的军队)和应用领域不断增加和扩大。与此同时,美国陆海空三军从2007年开始探索平行仿真技术在战场态势预测、方案推演等决策支持中的运用,并推出最具代表性的“深绿”(Deep Green)计划^[42];2019年,美海军信息作战系统司令部采用平行仿真思想,完成了首个数字孪生模型的构建,拟安装在林肯号航母上,以提高航母信息战能力^[43]。

德国是现代兵棋的发源地,且首次将军事兵棋推演纳入计算机系统,战争前进行兵棋推演已列为德军各种指挥机关制定作战计划的正规程序。我国早在战国时期,墨子与公输班就进行了著名的兵棋推演,而我军多采用自由式作战推演,即以人为主进行推演,靠事前约定裁决胜负,直到JTLS系统的出现以及2003年台军的“汉光兵棋推演”才开始重视采用定量军事方法和技术模拟战争。目前,由国防大学牵头全国几十个单位于2014年完成的“大型战略战役兵棋演习系统”,是我国第一个也是唯一一个已经使用的大型兵棋系统,在多场大规模战略、战役演习中取得了突出的效果。该系统经过专门模型研发和局部调整后,也可以支撑国家战略决策(如专项战略规划)、社会公共管理(如流行病控制)、经济商业管理(如市场战略)等民用领域的决策推演。

4.2 应急管理领域

在应急管理领域,桌面推演可针对事先假定的演练情景,讨论和推演应急决策及现场处置的过程,从而促进相关人员掌握应急预案中所规定的职责和程序,提高应急处置能力、指挥决策能力和协同配合能力。早在1974年6月,英国自弗利克斯巴勒一家化工厂发生爆炸事故后,首次提出应该制定应急计划(Emergency Plan),即应急预案,并于2001年出台《国内突发事件应急计划》,2004年各地政府建立集成应急管理系统(Integrated Emergency Management)。德国于2001年决定建立“危机预防信息系统”(deNIS),各级政府每年举行上千次各种类型应急演练,其中战略演练(LÜKEX)是国际级针对重特大突发事件的规模最大、层次最高演练项目。美国自2001年“9·11”事件后提出要加强以

情景构建为引导的应急准备工作,组建了美国国土安全部(Department of Homeland Security, DHS)^[44],并于2006年出台《国家应急规划情景》(National Planning Scenarios)提出15种重大突发事件情景(见表1)^[45]。目前,美国应急演练模拟中心已开发出能在虚拟环境下运用烟雨模型、疾病传播模型等进行基于组织机构的多人参与的模拟演练,还可运用仿真技术将自身的虚拟演练网络和模型网与国土安全部(DHS)数据传输系统实现联网演练^[46]。

我国自2003年SARS事件起全面加强应急管理工作,于2007年颁布《突发事件应对法》,2009年印发《突发事件应急演练指南》,并于2018年成立应急管理部,形成了以“一案三制”(应急预案,应急体制、机制和法制)为基础的多层次、多部门、多灾种的应急管理体系^[47]。在应急管理平台开发方面,清华大学牵头完成了情景推演总集成平台的研究,提出了“数据融合—模型推演—案例推理—心理行为规律”综合集成的“情景—应对”型应急决策理论和方法^[48];国防科技大学开发了非常规突发事件应急管理计算平台KD-ACP,该平台由人工社会情景构造、人工社会计算试验方案涉及、人工社会计算实验支撑环境、人工社会状态可视化和应急决策平台等工具构成(见图2)^[49]。

目前,国内外应急领域桌面推演主要针对地震、洪水、火灾等自然灾害,天花、流感、新冠肺炎等传染性疾病,以及恐怖袭击、战争等人为灾难。例如,2005年1月14日在美国华盛顿组织的“大西洋风暴”生物反恐桌面演练(图4),深入探讨了应对生物恐怖袭击的国际反应^[50];日本SOARS桌面演练以天花生物恐怖和流感大流行为情景,针对天花和流感制定应对政策,由SOARS(基于社会仿真的流行病模拟推演系统)对政策实施效果进行可视化计算评估。除此之外,具有代表性的应急桌面演练还有西雅图—塔科马港市炭疽事件恢复策略的桌面演练^[51]、“黑色死神”国际生物反恐桌面演练(Black Death)^[52]、兰德(RAND)系列桌面演练^[53]、“全球墨丘利”演练(Global Mercury)^[54]、“Clade X Exercise”“Event 201”等。总的来说,桌面演练在应急管理领域受到高度重视,并向多部门联合演练、计算机仿真辅助推演、桌面推演与实操演练相结合等方向发展。



图4 “大西洋风暴”生物反恐演练 (Atlantic Storm)

4.3 教育培训领域

桌面推演式教学法是一种综合培训形式,对参加培训的学员进行分组,进行角色扮演,以桌面推演的形式,辅以案例分析、情景模拟等手段,对特定情境内容进行系统性的培训,具有演练形式灵活、模拟内容丰富、培训成本低廉等优点。在应急管理培训方面,桌面推演被广泛应用于美国联邦应急管理学院、英国应急规划学院、德国应急规划和民事保护学院、加拿大应急管理学院的教学中[55]。例如,美国在“全球卫生参与”课程培训中举办了全球卫生资源配置下的人道主义救援与减灾桌面推演,设置了以埃博拉病毒、H5N1 和中东呼吸综合征(MERS)、H1N1 流感、地震或洪水等为例的自然灾害后人道主义救援与灾害救援情景,在提高各国人道主义救援与减灾、海上医学救援培训的组织筹划和部署实施等方面取得了良好成效。我国国家级和省级政府应急管理培训基地、高等院校等也日益普遍采用应急演练作为培训方式。

在军事作战培训方面,兵棋推演是整个美军军官的必修课程。例如,美国海军学院在 1953 年建院初期将兵棋作为七大课程之一;美国陆军于 1980 年组建兵棋推演“国家训练中心”,利用兵棋系统和相应的对抗部队,为旅、师、军级的指挥官和参谋人员提供经济有效的训练,美国海军陆战队、法国、德国、韩国、日本、加拿大和英国的陆战队部队都曾在次参加过兵棋推演;美国空军于 20 世纪 80 年代在位于阿拉巴马州的军事学院成立兵棋推演中心。

在国防教育方面,世界各发达国家在重点研发计算机兵棋系统以实现作战仿真的同时,继续发扬手工兵棋,并将其发展为与商业计算机相结合的军事智能玩具型民间兵棋。例如,美、德、日等国的军事研究机构推出了千余种普及型兵棋,不仅获得了巨大的经济效益,并且达到了宣扬民族传统、文化历

史和国防知识的教育效果。随着文化传播功能的体现,兵棋逐渐成为全民学军事、学战例的有效载体和提高国防意识、开展国防教育的有效手段[56]。

此外,桌面推演也被广泛应用于医学、社会学、管理学、经济学等领域的课程教育中,以及消防培训、应急管理人员培训等场景,使学员身临其境、主动探索、合作应对,从而激发学员的学习兴趣,提高教学和学习效率。

4.4 其他领域

桌面推演技术也被应用于经济发展、政治协商、环境治理等其他领域。例如,1978 年瑞典皇家工学院的 Klas Mellan 开发的 ERP 沙盘模拟对抗课程,通过角色扮演、情景演练等方式模拟企业经营管理过程,从而提高学员的管理能力和团队合作精神;北京仿真中心系统仿真实验室研发的南水北调电子沙盘系统借助遥感等真实数据直观地展现工程中重点区域及路线的全景动态,是我国南水北调工程仿真系统的重要组成部分,也是我国电子沙盘技术应用逐渐成熟的有力实据。此外,桌面推演也被应用于消防救援、水利防治、城市安全、档案馆及馆藏档案安全、突发中毒事件、生产安全、网络安全、能力评估等场景,例如国外“网络风暴”“网络卫士”“锁定盾牌”“网络神盾”“网络夺旗”等均是典型的网络安全应急演练。尽管不同的推演技术或平台在不同应用领域中有各自的问题领域、开发技术和应用情景,但几乎所有的推演本质上是“针对某领域问题,通过演绎推理,得出个别结论或问题解决的过程”[57]。

5 前景展望

桌面推演技术在军事、应急管理等领域的应用有效支撑了世界各国的军事行动分析、应急处置流程设置等,极大提升了参与者的战术和战略思维、应急准备和响应能力。桌面推演也日渐成为一种流行的教学工具,被应用于军事、医学、经济学、管

理学等领域的课程教育中。与此同时,桌面推演情景构建、大数据仿真等前沿技术的应用与融合发展,为大规模、跨部门的桌面推演提供了更为高效的研究模式和手段,桌面推演技术将不断深入和拓展,并向集成平台开发、跨国演练合作、虚拟现实结合等方向发展。

集成平台开发。互联网与信息技术的发展与应用促进了桌面推演软件平台的开发与应用,实现了跨地区、跨部门的线上推演,例如,“联合战区模拟”和“大型战略战役兵棋演习系统”等大型兵棋推演系统极大地提高了推演逼真度及推演效率,非常规突发事件应急管理计算实验平台 KD-ACP 实现了千万级以上人口城市的疫情传播仿真实验^[39]。然而,突发事件应急管理涉及目标、环境、主体、制度、方法、机制等社会治理要素,面对复杂多变的突发事件应急处置问题,有必要深入研究响应的应急辅助决策系统,集成地理信息系统(Geographic Information System, GIS)、全球定位系统(Global Positioning System, GPS)等信息技术,构建覆盖复杂社会系统全要素、应急管理全过程的多尺度信息系统,并结合集成方法构建系统性的综合应急平台,最终实现交互式大规模实时动态仿真推演。因此,基于现场、实验、仿真和数据的高度融合来研发突发事件实验和模拟技术,构建具有高度智能化的情景推演和综合分析平台,提升社会精准治理和决策智能化,是国家公共安全保障的重大需求。

跨国演练合作。面对全球经济政治社会一体化的总体发展趋势,单区域内发生的灾害事件将可能演变成成为影响全球的大规模灾害事件,例如新冠肺炎疫情已影响全球 200 个国家和地区。因此,小规模、单部门桌面推演终将演变成大规模、跨部门的桌面推演。目前,美国、俄罗斯、欧盟国家等积极开展综合性联合搜救应急演练活动,德国也在战略演练中新增国际合作内容。例如,2019 年 10 月 18 日,美国约翰霍普金斯大学健康安全中心联合世界经济论坛及比尔和梅琳达·盖茨基金会在纽约市共同举办了一场针对大规模流行病的桌面推演——“Event 201”,说明了当应对严重的大规模流行病所带来的对经济和社会的重大影响时,开展建立全球公共/私人合作响应的必要性。此外,“全球墨丘利神”“Clade X Exercise”“Atlantic Storm”“Dark Winter”等均是典型的跨国桌面演练活动。由此可见,桌面推演的复杂程度、综合化程度及其组织难度将不断

提升,应急演练将更加注重跨区域联动,全面提高各部门间的协同配合能力。针对重大突发性灾害事件的跨区域风险,开展跨国间的桌面推演合作,提高国际协作和全球治理能力,将成为未来突发性灾害事件应急管理的一大发展趋势。

虚拟现实结合。桌面推演借助建模与计算机仿真技术,模拟事件及其处置过程,桌面推演的逼真度越高,越能使参与者身临其境地进行“沉浸式”演练。近年来,虚拟现实(Virtual Reality, VR)、增强现实(Augmented Reality, AR)、数字孪生(Digital Twins, DT)等技术的发展极大地促进了虚拟世界与现实世界的融合。虚拟现实技术综合了虚拟技术、计算机图像技术、网络技术的优势,通过整合这些技术创造出一个虚拟世界,并向使用者提供听觉、视觉、触觉、漫游、导航等多种身临其境的感受。增强现实技术运用多媒体、三维建模、智能交互、传感等技术,将计算机生成的文字、图像、音乐、视频和三维模型等虚拟信息模拟仿真后,应用到真实世界中,从而实现对真实世界的“增强”。数字孪生技术则充分利用物理模型、传感器更新、运行历史等数据,集成多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真过程,完成实体空间向虚拟空间的映射。利用 VR、AR、DT 等技术实现推演过程中的“虚实结合”,可以有效解决演练的“真实性”问题,实现沉浸式演练,对提高未来灾害场景下的应急预测预警和应急反应能力具有重大的应用价值。

前沿技术应用。近年来,3D 仿真、人工智能、大数据分析等技术为实现桌面演练更真实、更有效、更全面的需求不断发展完善。例如,在桌面推演前,可以通过网络爬虫技术构建海量情景案例库;在桌面推演中,可以利用大数据技术驱动演练脚本设计与智能决策;在桌面推演后,可以运用人工智能算法对演练过程和结果进行有效评判。此外,面向人类社会复杂系统,人工社会集成了计算机科学、社会科学、系统科学、计算机模拟技术、多 Agent 系统技术、人工智能技术等,可以通过构建人工社会城市进行大样本的突发性灾害事件推演,对提高社会治理能力和完善治理政策等具有意义。

参 考 文 献

- [1] 新浪财经. 怡安:2020 年全球自然灾害造成经济损失 2680 亿美元. (2021-01-25)/[2021-05-10]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1689816923892953351&wfr=spider&for=pc>.

- [2] 中华人民共和国应急管理部. 应急管理部: 我国累计制定 550 余万件应急预案. (2019-09-18)/[2021-06-03]. https://www.mem.gov.cn/xw/bndt/201909/t20190918_336740.shtml.
- [3] 国务院应急管理办公室. 关于印发突发事件应急演练指南的通知. 2009.
- [4] 姜传胜, 邓云峰, 贾海江, 等. 突发事件应急演练的理论思辨与实践探索. 中国安全科学学报, 2011, 21(6): 53—159.
- [5] 李群, 代德军. 突发事件应急演练评估方法、技术及系统研究. 中国安全生产科学技术, 2016, 12(7): 49—54.
- [6] 万素萍, 钱洪伟. 突发事件应急桌面推演基本操作程序与方法. 中国应急救援, 2020(4): 34—40.
- [7] 段忠贤, 刘强强, 黄月又. 政策信息学: 大数据驱动的政策科学发展趋势. 电子政务, 2019(8): 2—13.
- [8] Quarantelli EL. Problematical aspects of the information communication revolution for disaster planning and research: ten non-technical issues and questions. Disaster Prevention and Management, 1997, 6(2): 94—106.
- [9] 赵沁平. 分布式虚拟战场环境—现代战争的试验场. 系统仿真学报, 2001, S2: 1—7.
- [10] 凡春伟. 交互式电子沙盘的设计与实现. 安徽大学, 2016.
- [11] 胡晓峰, 贺筱媛, 陶九阳. AlphaGo 的突破与兵棋推演的挑战. 科技导报, 2017, 35(21): 49—60.
- [12] Barrett CL, Beckman RJ, Berkgigler KP, et al. Portland study reports. Los Alamos National Laboratory, 2002.
- [13] 宋玉豪. 兵棋推演在应急管理领域的应用. 兵工自动化, 2020, 39(5): 41—44.
- [14] The Bipartisan Policy Center. Cyber shock wave. (2010-02-24)/[2021-05-30]. <http://bipartisanpolicy.org/events/cyber2010>.
- [15] 胡晓峰, 罗批. 兵棋推演: 复杂系统管理的创新与实践. 指挥控制与仿真, 2016, 38(6): 1—5.
- [16] 常洪亮. 武警机动部队处突演练兵力配置优化与仿真推演技术实现. 长沙: 国防科技大学, 2015.
- [17] 李新春, 刘全龙. 煤矿事故应急处置流程仿真模型及实证研究. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(2): 154—140.
- [18] 刘方涛, 王鑫, 俞蔚. 三维联动战场可视化系统的研究与实现. 计算机工程与应用, 2014(11): 247—250.
- [19] Keith H. Exercise modeling & simulation center (NESC) briefing. U. S.: National Exercise Division (FEMA), 2010: 10—17.
- [20] 李宁, 彭晓源, 马继峰, 等. 虚拟作战战场环境的研究与实现. 系统仿真学报, 2003(7): 969—972.
- [21] Herman K, Anthony JW. The year 2000: a framework for speculation on the next thirty-three years. New York: Macmillan Press, 1967: 67—74.
- [22] 盛勇. 基于情景构建技术的应急准备能力评估方法. 中国安全生产科学技术, 2017, 13(10): 43—47.
- [23] 刘铁民. 重大突发事件情景策划与构建研究. 中国应急管理, 2012(4): 18—20.
- [24] 王旭坪, 杨相英, 樊双蛟, 等. 非常规突发事件情景构建与推演方法体系研究. 电子科技大学学报(社会科学版), 2013, 15(1): 22—27.
- [25] 王永明. 情景构建理论沿革及其对我国应急管理工作的启示. 中国安全生产科学技术, 2019, 15(9): 57—62.
- [26] 陈长坤, 孙云凤, 李智. 冰雪灾害危机事件演化及衍生链特征分析. 灾害学, 2009, 24(1): 19—20.
- [27] 余廉, 刘山云, 吴国斌. 水污染突发事件: 演化模型与应急管理. 长江流域资源与环境, 2011, 20(8): 1004—1009.
- [28] Chang MS, Tseng YL, Chen JW. A scenario planning approach for the flood emergency logistics preparation problem under uncertainty. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2007, 43(6): 737—754.
- [29] 刘德海, 王维国, 孙康. 基于演化博弈的重大突发公共卫生事件情景预测模型与防控措施. 系统工程理论与实践, 2012, 32(5): 937—946.
- [30] U. S. Department of Homeland Security. National planning scenarios. (2010-01-16)/[2021-07-15]. <https://publicintelligence.net/national-planning-scenarios-version-21-3-2006-final-draft>.
- [31] Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK). LÜKEX-historie-von terror bis stromausfall. [2021-07-15]. https://www.kritis.bund.de/DE/AufgabenundAusstattung/Krisenmanagement/Luekex/Vergangene_Uebungen/vergangene_uebungen_node.html.
- [32] U. K. Cabinet Office. National risk register of civil emergencies-2015 edition. [2021-07-16]. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/419549/20150331_2015-NRR-WA_Final.pdf.
- [33] DEMA. DEMA's approach to risk and vulnerability analysis for civil contingency planning. [2021-07-16]. <https://brs.dk/globalassets/brs—beredskabsstyrelsen/dokumenter/krisestyring-og-beredskabsplanlagnig/2020/-background-paper-on-demas-approach-to-risk-and-vulnerability-analysis-.pdf>.
- [34] Dutch National Coordinator for Security and Counterterrorism. National Security Strategy. [2021-07-17]. https://english.nctv.nl/binaries/nctv-en/documents/publications/2019/09/19/national-security-strategy/National+Security+Strategy_2019.pdf.
- [35] Risk Management Solutions. What if the 1923 earthquake strikes again? A five-prefecture Tokyo region scenario. Topical Issues Series, RMS, Menlo Park, CA, 1995.
- [36] 邱晓刚, 樊宗臣, 陈彬, 等. 非常规突发事件应急管理仿真的需求与挑战. 系统仿真技术, 2011, 7(3): 169—176.
- [37] 周柏贾, 贾群林. 地震应急演练虚拟仿真应用技术. 自然灾害学报, 2011, 20(5): 59—64.
- [38] 李璐, 宣慧玉. 多主体仿真在公共卫生事件应急管理中的应用——以一个传染病政策仿真系统为例. 西安交通大学学报(社会科学版), 2010, 9(1): 76—99.
- [39] 陈彬, 杨妹, 艾川, 等. 基于人工社会的疫情传播风险预测和防控措施评估. 系统仿真学报, 2020, 32(12): 223—230.
- [40] 周芳, 毛少杰, 吴云超, 等. 实时态势数据驱动的平行仿真推演方法. 中国电子科学研究院学报, 2020, 15(4): 323—328.

- [41] 赵煦, 梁涛. 基于活动方法论的复杂系统体系结构建模. 科学技术与工程, 2010, 10 (33): 8277—8281.
- [42] John R. Surdu KK. The deep green concept// spring simulation multiconference. Military Modeling and Simulation. Ottawa: International Society for Computer Simulation, 2008: 1—5.
- [43] Navwar: complete first digital model of system on USS abraham lincon. (2019-10-15)/[2021-06-23]. <http://www.navy.mil/submit/display>.
- [44] 黎健. 美国的灾害应急管理及其对我国相关工作的启示. 自然灾害学报, 2006, 15 (4): 33—38.
- [45] Heather B, Charles AK, Mohammed N. Department of homeland security national planning scenarios: a spectrum of imaging findings to educate the radiologists. Emergency Radiology, 2010, 17 (4): 275—284.
- [46] Keith H. Exercise modeling & simulation center (NESC) briefing. U. S. : National Exercise Division (FEMA), 2010: 10—17.
- [47] 张海波. 应急管理的全过程均衡: 一个新议题. 中国行政管理, 2020(3): 123—130.
- [48] 张辉, 刘奕. 基于“情景应对”的国家应急平台体系基础科学问题与集成平台. 系统工程理论与实践, 2012, 32 (5): 947—953.
- [49] Chen B, Zhang LB, Guo G, et al. KD-ACP: a software framework for social computing in emergency management. Mathematical Problems in Engineering, 2015(5): 1—27.
- [50] Tara OT, Michael M, Thomas VI. Shining light on “Dark Winter”. Clinical Infectious Diseases, 2002, 34 (7): 972—983.
- [51] Heather R, Richard J, William JB, et al. Structuring uncertainty and conflicting objectives for life or death decisions following an urban biological catastrophe. Journal of Integrated Disaster Risk Management, 2012, 2 (1): 49—69.
- [52] Ronald K. Black death-interpol bioterrorism international tabletop exercise. (2017-11-12)/[2021-05-18]. <https://www.interpol.int/content/download/5901/48596/version/1/file/SGBioT20071203.pdf>.
- [53] David JD, James WB, Nicole L. Designing and conducting tabletop exercises to assess public health preparedness for manmade and naturally occurring biological threats. BMC Public Health, 2007, 7 (1): 1—9.
- [54] Global Health Security Initiative. Exercise GLOBAL MERCURY-Post exercise report. (2017-11-12)/[2021-05-26]. http://www.ghsi.ca/documents/ExerciseGlobalMercury_report.pdf.
- [55] 李雪峰, 王彩平, 李宇等. 应急管理演练式培训. 北京: 国家行政学院出版社, 2013.
- [56] Dennis B. Military wargaming: a commercial battlefield. Jane's Defence Weekly, 2004 (2): 5—9.
- [57] 张斌. 生物恐怖事件医学救援仿真推演关键技术研究. 北京: 军事科学院, 2019.

Frontiers and Development Trend of Tabletop Exercise Technology

Lyu Xin* Cai Mengsi Chen Bin

College of Systems Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073

Abstract Tabletop maneuvers are widely used in military operations, emergency management, education, training, and other fields to improve the risk perception, information research and judgment, command decision making, as well as coordination of participants through simulating incident scenarios and disposal process of the events. From the perspectives of emergency response, this paper introduces the connotation and significance of tabletop maneuvers technology, lists the main techniques and methods of tabletop maneuvers, highlights the development status as well as challenges of frontier technologies in the field of tabletop maneuvers such as scenario construction and big data simulation, and summarizes the application of tabletop maneuver technologies in various fields. Finally, the development trends of tabletop maneuver technology in the era of big data, such as integrated platforms development, transnational drills cooperation and virtual reality are proposed.

Keywords tabletop maneuvers; war game; scenario construction; simulation; big data; virtual reality

(责任编辑 姜钧译)

* Corresponding Author, Email: xin_lyu@sina.com