

核生化灾害模拟与仿真技术与装备研究综述

王奋伟, 梁赤勇, 王男

(国民核生化灾害防护国家重点实验室 北京 102205)

摘要: 随着科学技术的发展进步, 许多状况均可借助科学力量加以掌控, 灾害模拟更是备受英美等发达国家的重视。本文结合当前应急救援使用需求, 分析了核生化灾害模拟与仿真系统构建的影响因素及运行方式, 梳理了国外核生化灾害模拟与仿真技术发展状况及发展特点, 探讨了未来核生化灾害防灾减灾对策建议。

关键词: 核生化 灾害 模拟 应急救援

0 引言

近年来, 由大国之间博弈、及与中小国家间的利益冲突所导致的传统核生化威胁依然存在且持续显现。同时, 以次生核生化危害、核生化恐怖活动和工业核生化事故为主要代表的非传统核生化威胁, 正日益加剧。新的作战理论及作战样式下, 任何国家全纵深的核生化设施都有被远程精确制导武器攻击的可能性, 由此引发的次生核生化危害将成为战争中主要的核生化威胁形式。随着全球核生化工业的蓬勃发展, 由人为或自然灾害所导致的工业核生化事故数量长期居各类工业事故之首, 除造成生命财产损失外, 也是最严重的生态杀手。

2011年3月11日, 举世关注的日本福岛核电站核事故发生后, 日本政府疏散范围由原本3km, 逐步扩大至30km。美国也依据环境监测与扩散模拟系统所推演出的数据, 做出美国侨民撤离核电厂80km的决定, 此举成功地将核灾所带来之伤害降至最低, 这其中最大幕后功臣, 当属劳伦斯·利弗摩尔国家实验室所研发的环境监测与扩散模拟系统, 在此次日本福岛核灾事故中, 协助管理并控制灾害中做出了巨大的贡献。可以推测, 今后随着科学技术的进一步发展, 核生化灾害模拟与仿真技术更将受到各个国家的重视, 以期借助科学力量掌控核生化灾情。然而, 发展符合任务需要的核生化灾害模拟与仿真系统, 需要通过持续的经验积累、问题研讨与整合现有相关资源, 逐步奠定技术基础, 进而挖掘出相关科学技术的潜能, 再借助计算机技术, 来储存信息、推演实况以及寻求核生化事故中相关性, 进而提升模拟与仿真系统掌握核生化事故实际灾情的能力, 并通过用更加直观的方式将实时结果传达给决策者, 帮助其确定减灾目标, 优化救援措施, 评价减灾效益, 进行减灾决策。

1 核生化灾害模拟与仿真系统影响因素及其运行方式分析

理想的核生化灾害模拟与仿真系统, 须拥有大量而且准确的背景参数与广泛地整合相关辅助载体, 再加上专业团队来维持系统正常运行及持续更新。目前, 各种核生化灾害模拟与仿真系统研发上, 大多期望能将所有可能的功能, 全部纳入系统中。但是, 由于核生化灾害自身的特殊性, 核生化灾害模拟与仿真在发展上面临着技术层面以及资金等的局限, 结合当前核生化灾害预防与应急救援使用需求, 本文研究提出需考量的主要因素有:

一是气象条件, 主要包括事故发生时环境的风向、风速、大气稳定度、气温、湿度等。它们对核生化灾害物质扩散的影响是不同的。风向决定了核生化灾害物质云团扩散的主要方向, 一般分布在下风向。风速影响核生化灾害物质云团扩散速度以及空气对其的稀释速度, 因为风速越大, 大气的湍流越强, 空气的稀释作用就越强, 风的输送作用也越强。大气稳定度是评价空气层垂直对流程度的指标, 大气越稳定, 核生化灾害物质云团越难向高空消散, 而是贴近地表扩散; 大气越不稳定, 空气垂直对流运动越强, 核生化灾害物质云团消散得越快。气温或太阳辐射强弱主要是通过影响大气垂直对流运动而对核生化灾害物质云团的扩散发生影响的。大气湿度的影响, 一般地说, 湿度大不利于核生化灾害物质云团的扩散。

二是地理条件, 要是指发生核生化灾害事故当地的地形、地物或人工建筑物等。地面的地形地物既会

改变核生化灾害物质云团扩散速度，又会改变扩散方向。

三是核生化灾害物质特性资料，主要包括其物理、化学性质和毒理学性质。核生化物质具有高毒性、高放射性以及传染性等特性，不仅决定着其危害方式和效果，也影响着核生化物质云团的扩散方式、途径和数量等。

此外，除了核生化灾害模拟与仿真系统主体外，尚需要事故发生地实地监测数据来佐证系统预测的可靠性，监测方式可以是陆、海、空、天各个维度的监测。

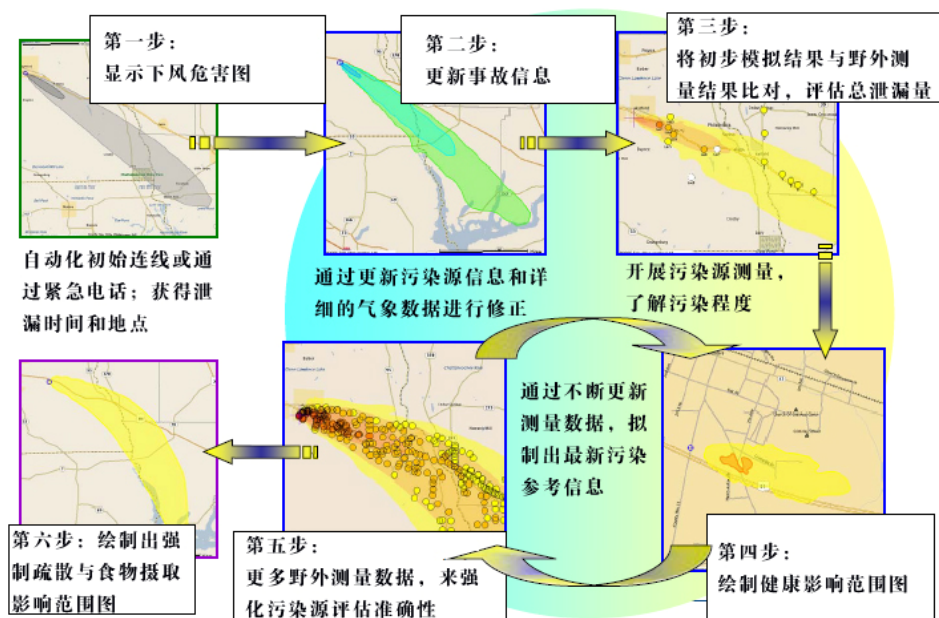


图1 扩散模拟步骤示意图^[1]

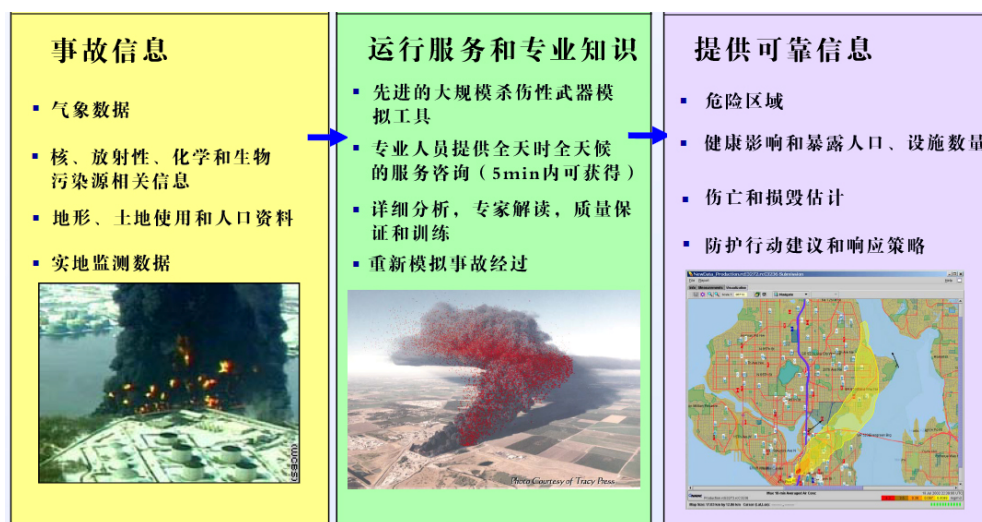


图2 环境监测与扩散模拟系统流程图^[2]

在收集完整的气象、地理、物质特性等相关资料后，核生化灾害模拟与仿真系统采取一定的运行方式进行分析，并经过不断更新灾情资料与运算，才能推演出符合实况且正确的参考数据。因此，为避免为求快速撷取结果，而造成与实际灾情不符的谬误，应依照一定的程序逐步模拟出符合现状的结果，其运行步骤为（见图1）：依据初报资料，先行完成下风危害预测图；依据当时气象资料，进行预测图修正；当污染检测数据获得后，在逐次进行预测图修正；当已有监测数据后，可进行人员健康影响范围评估；不断更新监测数据，以调制出最新的污染范围图，以便掌控污染范围；借助最新掌握的污染图，可作为拟定中、长期防护政策（如食物摄取影响范围、强制疏散范围等）的参考依据。此外，核生化灾害模拟与仿真系统，

进一步对灾害情况进行分析评估,并提供如下信息:污染范围;受影响人口数,包含推测因灾致死、致伤、致病的人口,因灾使生产、生活受到破坏的人口,以及家庭财产受到损害的人口;地区对健康潜在影响与实施掩蔽、疏散与强制驱散的防护行动指导;破坏程度评估;准确分析与预测污染区状况,且能够随着实地监测结果持续更新相关资料,直到威胁完全有效掌控为止(如图2)。

2 核生化灾害模拟与仿真技术与装备发展现状

第二次世界大战末,人类在战场上开启了核能时代。但直到1979年,美国发生三里岛核电站事故后,除了警示世人核能潜在危险外,也发现各国对于核辐射预警与监测机制十分地匮乏。至此,美国除了成立相关负责机构外,也开始重视环境监测与扩散模拟系统发展。起初主要针对核辐射扩散模拟研究,后来随着科技的发展与威胁形势的变化,逐步把化生武器、工业有毒化学物质、脏弹等纳入环境监测与扩散系统中,使之呈多元化发展^[3]。通过梳理国外核生化灾害模拟与仿真技术发展,可以发现国家层面战略规划百谋千计、技术层面百花齐放、装备层面百家争鸣的发展态势。本文重点就战略规划以及装备方面进行梳理总结。

战略规划层面。美国向来重视核生化防御技术的发展,作为国家和国防部战略的关键组成——《化生防御计划》(CBDP),非常重视发展模拟仿真技术,用于支持军事作战行动。在化生防御联合计划执行办公室(JPEO-CBD)授权下,化生放核防御(CBRND)模拟与仿真集成产品小组(IPT)制定了第一份《CBRN 防御模拟与仿真战略计划》。该计划的目标是帮助改善对国防部 CBRN 防御界的模拟与仿真支持及利用。它描述的目的和目标包括:改进国防部 CBRN 防御界的模拟与仿真能力的总体水平;提高互操作性、共同使用性及模拟与仿真工具的软件再利用性;促进全球信息栅格(GIG)范围内面向网络中心服务的能力;拥抱新兴的多芯计算革命;开发、促进通用的业务应用;帮助创办和参与校核、验证与确认(VV&A)活动;鼓励为通用模拟与仿真投资战略开展合作等^[4]。

2006年10月17日,英国国防部发布的《国防技术战略》,从满足国防能力需求出发,提出了优先发展的重点技术领域,并对各个领域中优先发展的关键技术战略进行了详细描述和分析。其中 CBRN 优先技术领域明确提出研究运算法则和源数据等,确保 CBRN 扩散的模拟和预测,以便掌握 CBRN 在各种环境不同气象条件下的空中扩散情况。

装备发展层面。美军开发出了众多能够进行核生化危害预测的模拟系统,这些模拟系统的作业对象各有侧重:有的模拟系统适合预测生物危害,有的模拟系统适合预测核电站、存储设施或有毒工业物质产生的危害,也有多元化的模拟系统,如美国劳伦斯·利弗摩尔国家实验室研发的环境监测与扩散模拟系统。此外,为了便于用户选择适用于他们所面临威胁的最佳模拟系统,美国陆军启动了联合效应模型(JEM)研究计划。它将会成为国防部核生化危害预测的标准模拟系统,能够模拟各种情况下的危害,包括对抗、防御、事故/事件、高空释放、城市核生化环境、建筑物内部和人为因素所引起的危害等,支持对核生化和有毒工业化学品/有毒工业物质的武器、装置与事件的防护。系统将遵循相应的 VV&A 程序进行模型校核、验证和确认。它是 C⁴I 系统的组成部分,C⁴I 系统中的报警系统将利用 JEM 预测危害区域,并向危害区域内的美军提供预警。作为分析工具,JEM 可以辅助国防部进行联合训练、制定条令和战术方针、评估战斗、提供技术和装备研制建议、评估编制情况等,(非密版)JEM 也可由内政当局和盟军使用,支持国土防御^[5]。

英国 SciSys 公司开发的核生化战场信息系统应用软件(NBC BISA)为英国国防部作战指挥保障信息系统(CSIS)提供了一种核生化报警与报知能力,它属于组成英国国防部(MoD)的网络激活能力关键的一系列软件中的一部分。该软件能够模拟出核生化威胁的发生路径以及性质、程度等^[7]。

丹麦研制的核生化分析软件能够根据从探测器接收到的探测数据形成的核生化袭击和毒剂释放报告,可以手工或自动地进入核生化分析软件。该软件系统可自动计算出危险区域并在地图上标识出来。在有核生化危险时,数据同样可传递给重点单位使用。能够对故意制造的核泄漏、化学武器存储设施发生泄漏、生物战剂存储设施及生产设施发生泄漏、有毒化工产品运输过程中发生泄漏等进行计算模拟和风险预测。软件还附加了爆炸物处理(EOD)模型,用来估算由未爆炸的弹药引发的危险。该装备在加拿大、捷克、

丹麦、芬兰、法国、德国、匈牙利、意大利、卢森堡、荷兰、挪威、波兰、西班牙、瑞典、土耳其等国均有使用。该系统作为商业现货供军队和地方政府应急响应部门使用，它的单机版具有附加地图显示、信息处理、通信模块选择等功能，能够显示部队的位置、集成嵌入 C⁴I 系统，实现核生化分析软件与外部数据源、单位所属数据库和系统以外通信设施相连接^[8]。

台湾中山科学研究院第四研究所，研制的核生化下风区危害预测模拟系统，包含了核生化易损性分析系统、炸前落尘预测系统、核生化终端模拟系统、核生化战情管制系统以及核生化资料库搜寻系统等五部分。软件设计结合了平、战时核生化防护需求，除了依据台湾核生化中心作业手册外，还参考了北大西洋公约组织——核生化攻击危害及区域预警报告操作手册（NATO ATP-45C）设计而成^[9]。

从以上分析可以看出，英美等发达国家开发的核生化灾害模拟与仿真系统具有如下特点，一是**模块式标准化设计**。系统能够很好与核生化检测器、气象仪器等兼容，自动化、智能化程度较高。二是**设计灵活适应性强**。系统大多能够根据用户的使用需求进行定制，满足用户多元化需求。此外，一般提供简易单机版模拟软件，提供作业人员随身使用，进行初步分析，可操作性、便利性、可靠性较好。三是**平战结合适用范围广**。系统一般都充分考虑了平时与战时需求，拓展了其应用领域，既能满足战时核生化防御需求，又能满足平时突发核生化事故应急救援需求。

3 结束语

科技与时俱进、灾害突发多变，大规模核生化灾害具有时间上的紧迫性、空间上的广域性和情境的复杂性，面对复杂的核生化灾害远超乎预期，更须注重灾害预防预警信息收集与早期应变准备。为更好实现核生化灾害风险规避与控制，本文研究提出以下三点建议：

一是**建立完善的信息资料数据库**。积极整合防灾应变研究成果，针对救援责任区域内有关气象、水文、地理等环境资料，实施长期收集、调查及研究，建立特征核生化物质特性数据库，为后续开展核生化灾害模拟与仿真技术研究提供参考资料，以满足突发核生化灾害预测与评估的需求。

二是**打造通用的模拟与仿真平台**。面向核生化灾害成因、演化过程及可能后果，研究和开展核生化灾害预测模型、数值方法和计算机模拟技术，打造通用的核生化灾害模拟与仿真平台，为实现对灾害发展情形的实时监控提供技术支撑。

三是**开展核生化灾害与风险评估研究**。深入开展核生化灾害评估研究，发展基于核生化灾害演化机理的风险评估方法及风险决策学，推动性能化防灾设计技术的发展，为国家军队实施灾前超前预防，灾中应急救援以及灾害减灾恢复，提供科学的决策依据，最大限度保障国民安全需求，减少各类损失。

参考文献：

- [1]Gayle Sugiyama.An Operational Perspective on Atmospheric Dispersion Modeling[C]. 14th Annual GMU Conference on Atmospheric Transport and Dispersion Modeling,2010.
- [2]Hoyt Walker,John Nassrom,Steve Homann.NARAC Software Quality Assurance: Adapting Formalism to Meet Varying Needs[C]2nd Joint Emergency Preparedness and Response & Robotics and Remote Systems Topical Meeting,2008.
- [3]Gayle Sugiyama,Ron Baskett,*et al.*National Atmospheric Release Advisory Center/Interagency Modeling and Atmospheric Assessment Center Overview[R].<http://narc.llnl.gov/documents.html>,2010.
- [4]David Ferris,John Wrigley,*et al.*CBRND modeling and simulation strategic plan unveiled[J].Chem-bio defense quarterly,2009,vol6,No.1:8-11.
- [5]赵 钦,朱之贞.从《国防技术战略》看英国 CBRN 优先发展技术领域（一）[J].国外防化科技动态, 2007,4:17-23.
- [6]李铁虎.联合效应模型(JEM)[J].国外防化科技动态, 2006,2:25-27.
- [7]朱晓行.英军装备新的核生化战场信息系统应用软件（NBC BISA）[J].国外防化科技动态, 2006,11:29.
- [8]朱晓行.丹麦研制新型核生化分析软件[J].国外防化科技动态, 2007,1:14.
- [9]曹树华.戴志谦,核生化下风区危害预测模拟系统功能及运用简介[J].核生化防护半年刊, 2009,102-118.