

核应急决策支持系统现状研究

张焯

陆军防化学院

DOI:10.12238/acair.v2i2.7410

[摘要] 核能的发展为人类社会进步注入新动力,同时也带来核安全风险和挑战。面对核与辐射突发事件,各级科学准确地选用决策支持方案,迅速有效地开展核应急行动,是控制、减轻核与辐射事故可能造成的人身伤害、财产损失及环境破坏的有效措施。本文通过调研国内外现有核应急决策支持系统现状,对比分析了各国决策支持系统的优缺点和应用情况,研究了国内各层级核应急决策支持系统的模块组成和数据流向,以福岛重大核事故核应急救援行动为例,反思总结目前核应急救援行动的薄弱环节,提出参加核应急行动决策支持行动的建议。

[关键词] 核应急; 决策支持; 核事故; 辅助决策

中图分类号: V445.2+1 文献标识码: A

Study on the Current Situation of Nuclear Emergency Decision Support System

Xuan Zhang

Institute of NBC Defense PLA Army

[Abstract] The development of nuclear energy has injected new impetus into the progress of human society, but also brought nuclear safety risks and challenges. In the face of nuclear and radiation accidents, it is an effective measure to control and mitigate the possible personal injury, property loss and environmental damage caused by nuclear and radiation accidents to choose the decision support scheme scientifically and accurately and carry out nuclear emergency actions rapidly and effectively. This paper investigated the current situation of nuclear emergency decision support system at home and abroad. The advantages and disadvantages and application of DSS in various countries are compared and analyzed. The module composition and data flow of nuclear emergency decision support system at different levels in China are studied. Finally, take the nuclear emergency rescue operation in Fukushima as an example, reviewing and summarizing the weak links in the current nuclear emergency rescue operations, put forward participation in the nuclear emergency action decisions support recommendations for action.

[Key words] nuclear emergency; Decision support; The nuclear accident; Aid decision making

引言

当前,民用、军工核设施数量多、分布广,涉核活动频繁,核电建设呈规模发展、多元发展格局,进入快速发展阶段。国家和各级政府、涉核企业高度重视核安全,做了大量卓有成效的工作。总体上看,核安全监管和核应急体系运转有效,但历史上已经发生的严重核事故表明,在重大自然灾害、人为操作失误和设备故障等因素作用下,发生核事故甚至严重核事故的可能性不能排除。一旦发生严重核事故,会造成大量放射性物质外泄,威胁公众生命财产安全,污染环境,影响社会安全稳定^[1,2]。如在俄乌冲突中,扎波罗热核电站问题就引发了多方关注的热议。因此有必要对核事故后果展开评价与预测,为各级开展核事故应急准备与响应工作,提供科学的决策支持方案^[3],降低核泄漏风险。

1 决策支持系统

决策支持系统(Decision Support System DSS)是一种用于解决复杂问题,辅助重要决策的计算机技术^[4]。早在二十世纪七十年代,决策支持的技术就已经开始逐渐形成,到今天已经被广泛的应用在各个领域,决策支持系统的内涵也随之不断丰富。

最初的决策支持系统主要服务于个人决策,后来随着应用需要,1985年Beginning提出了团体决策支持系统的概念(Group Decision Support System)GDSS,对于系统的意见评估和沟通支持提出了新的要求^[4]。进入二十一世纪后,团体决策支持系统就更加适应新的环境,对于决策过程也进行了相应的改进,融合了很多新的计算机技术来适应团体决策的形式,决策支持系统的优势逐渐凸显,可交互式平台逐渐成为趋势,可以根据需要提供

全局最优的决策方案^[5]。核应急正是多组织共同解决复杂问题的过程, 决策支持系统逐渐成为其中有力的辅助工具。

2 国家级核应急决策支持系统

上升鉴于实施防护行动的重要性和复杂性, 为了能够更好地在核应急过程中预测事故发展, 及时采取适当的防护行动, 各国都开发出了适用于核应急的决策支持系统 (DSS Decision Support System) 来辅助核应急的工作, 如美国开发的ARAC, 欧盟开发的RODOS, 和日本开发的WSPEEDI。

2.1 美国ARAC核应急决策支持系统

ARAC是“大气释放咨询能力”的缩写, 它的发展经历了两代系统演变, 升级诊断风场和扩散模式的物理结构, 还要把中尺度预报风场模型集成到系统中。新的ARAC-3(第三代)独立于计算机平台, 适应于多用户操作, 操作系统由专用型转变成开放型、为应急管理人员及时评价预报、扩大评价时间范围、提高评价质量等提供了技术环境基础^[6]。

新系统中, 用连续地形取代了台阶式地形。网格结构采用随地形变化的坐标系统, 还包含在水平方向和垂直方向改变网格分辨率的选项, 这不仅使模型更接近真实, 也消除了台阶式地形给风场与扩散的数值化带来的问题, 与大气预报模型的连续地形相匹配。

大气扩散模型是ARAC的主干, 主要采用一种新的拉格朗日粒子传输和扩散模型: LODI, 新模型对扩散过程采用Monte Carlo方法和随机位移方法RDM进行模拟^[7]。RDM扩散完全是网元独立的, 消除了梯度扩散法与网格精度相关的缺点。

诊断风场模型ADAPT能同化从多种途径得到的气象数据, 不但可增加风场的分辨率, 还改进矢量风场完整性, 能迅速产生世界各地详细的区域性大气流场变化, 以用于应急响应评价; 同时拓展了影响危害物传输和沉积的云场和雨场数据输入, 能够以实时方式采用预报模式产生48h有限地区预报, 分辨率为15km或更小一点。气象场数据每24h更新一次, 作为网格数据用于诊断模型^[8]。

在西班牙极南端临近Algeciras市的Cs源释放事故中应用了ARAC, 使用事故释放测量结果反推计算实际释放的大小和范围, 证实了模型技术并进一步评价了大范围模拟功能^[5]。

2.2 欧盟RODOS核应急决策支持系统

RODOS (Real time On-line Decision Support System) 是由欧盟R&D项目研发的核应急决策支持系统, 主要用于在核事故发生时, 模拟放射性物质的传播, 预测可能的后果, 辅助指挥者选择合适的防护行动^[9-12]。它能够处理各种时间尺度和地理尺度的核应急决策问题, 让所有的核应急决策基于相同的软件基础。主要基于三个子系统: 分析子系统 (ASY), 对策子系统 (CSY) 和评估子系统 (ESY)。

其中ASY用于放射性物质扩散的建模, CSY用于防护行动效果的建模, ESY用于帮助决策者比较不同的策略, 参考决策者偏好进行排序。三个子系统顺序使用, 共同支撑整个RODOS平台, 如图1所示^[13]。

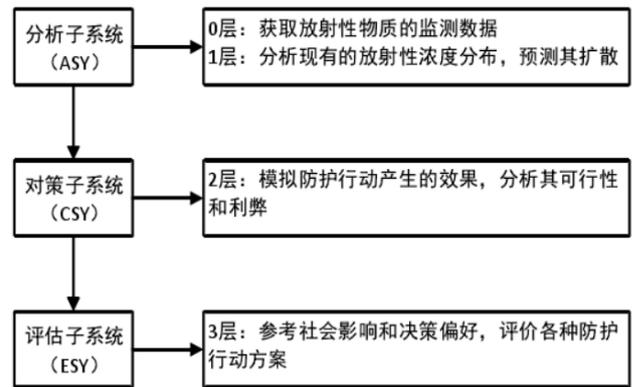


图1 RODOS的3个子系统

2.2.1 分析子系统 (ASY) 建立的模型主要包括源项分析, 确定泄露的物质的组成, 规模, 温度, 外廓; 根据天气条件, 确定放射性物质的大气扩散和沉积; 根据地理信息条件, 确定放射性物质的地面沉积等^[9,14]。

2.2.2 对策子系统 (CSY) 主要功能是模拟采用不同早期防护行动对后果评价结果的影响, 为了提示决策者在当前情境下, 辐射对人群产生或将要产生的影响, 以及采取防护措施的效果。其主要功能是模拟采用不同早期防护行动对后果评价结果的影响。它主要包括三个部分: EMEREIM, HEALTH 和ECONOM, 其关系和主要功能如图2所示^[9,12,15]。

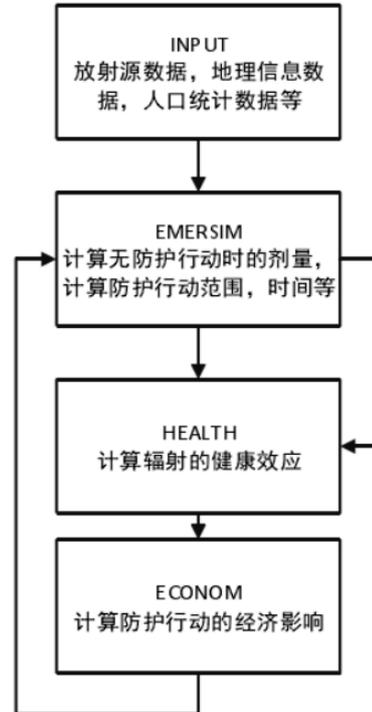


图2 CSY结构示意图

在EMERSIM中考虑的早期防护行动主要包括: 隐蔽, 撤离和服用碘片, 而是否采取某一类防护行动, 在何时开始实施, 实施的范围等问题则需要参考行动可用的时间和当前的技术、人力

资源。HEALTH可以评估放射性物质对人体健康产生的确定性效应和随机性效应。ECONOM是CSY中计算经济成本的模块,用于评估实施各种防护行动的情况下,事故产生的经济损失。

2.2.3评估子系统(ESY)用于计算各种响应措施(如撤离,隐蔽,食物和饮用水控制等)带来的影响,用各种评估模型来比较各种策略的优劣,主要由粗略的专家系统,排序模型和精细的专家系统三个子系统组成,可以给出详细的结果报告,解释对当前可行策略排序的结果和敏感性分析,说明在两种选择之间做出决策时需要考虑的因素^[14]。

2.3日本WSPEEDI核应急决策支持系统

WSPEEDI的前身是SPEEDI,SPEEDI是日本原子能研究所自美国三里岛核事故后开发的、计算机化的应急剂量预测系统。可以响应不同地域尺度的放射性释放事故^[16]。WSPEEDI发展了天气流体力学模型以预报详细的气象条件、通过耦合监测数据和大气扩散模型进行源项估计、一个国际数据通讯网原型在应急情况下交换大气扩散模型数据和环境数据等3个功能^[4,5]。

WSPEEDI对日本国内发生的事故,响应范围分为“本地”和“地区”(25~100km),对国外事故则可到几千公里或半球尺度。它包含三维大气扩散模型,主要有3个子模型:对国内事故为流体静力学气象预报PHYSIC,质量守恒风场WIND21和拉格朗日扩散模型PRWDA21;对国外事故则用质量守恒风场模型WSYNOP,拉格朗日扩散模型GERAN,大范围风场预报完全依赖JMA的全球气象预报(GSM)。

WSPEEDI根据监测数据和预测数据估计释放条件,发展了一种利用监测数据和大气模型估计源项的系统功能,功能源于大气传输模拟、空气剂量率/空气浓度预测及监测的统计分析。

WSPEEDI能用图形用户界面在短时间内组合4种参数(释放点、释放起始时刻、释放持续时间、每小时释放量)形成很多组源项,用并行计算机同时计算模拟大气传输,然后将所有模拟预测值与观测值比较,用两个程序NMSE和PCC作统计分析以找出预测与监测符合最好的源项组合。

1994年ETEX用带15个CPU的矢量并行计算机测试了源项估计功能,估计值与实际值符合得很好,适于长距离事故后果分析。

2.4中国核应急决策支持系统

中国依托国家核应急救援队理论培训基地配备了严重核事故仿真系统和后果评价系统,以供教学培训使用。开发的核应急辅助决策系统具备大气扩散模拟和事故后果评价的能力,可通过GIS技术,整合源项、气象、人口等基础数据,以及浓度场、剂量场等模拟结果,实现基于一张图的全面信息共享,以及防护行动决策建议的生成。后果评价系统利用Web浏览器,将各类信息和决策建议全面呈现给应急指挥决策等相关人员,能有效提升信息共享、分析、研判、调整、优化、总结的应急响应工作效率,有力保障核事故应急响应工作的高效开展^[3]。

后果评价系统主要功能模块包括系统管理模块、基础数据管理模块、模拟预测模块和GIS制图模块等部分。

后果评价系统数据流向如下图3所示。

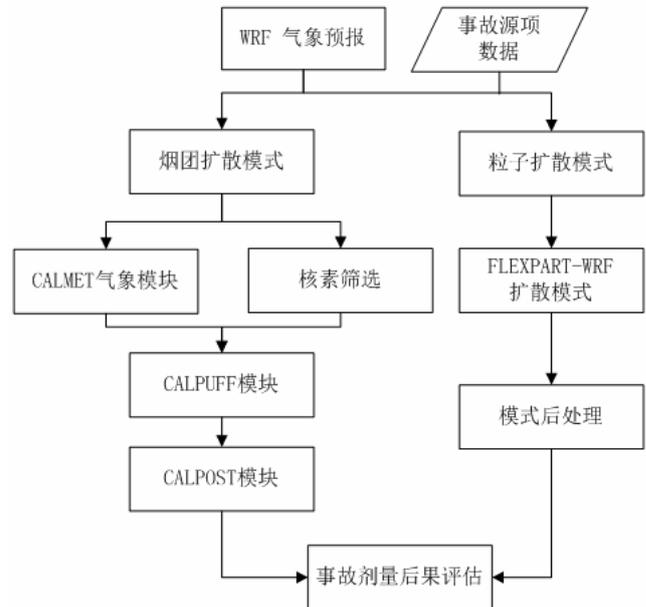


图3 系统数据流向图

3 地方级核应急决策支持系统

3.1 各省市级核应急决策支持系统

省、自治区、直辖市人民政府是本行政区域内场外核应急工作的责任主体,可能发生核事故或核事故发生后,省(市)级核应急委员会按照职责和省级相关预案开展应对响应工作。必要时,需成立省(市)核应急指挥部,直接指挥、组织、协调本行政区域内场外核应急响应行动,支援场内核应急响应行动。

但省(市)核应急指挥部接收的数据形式和结构复杂、信息形式缺乏规范、外部接口多,指挥系统层级复杂,各级别的需求多样,核应急要求信息处理时间短,面对可能涉及大量非专业人员行动指导,要求输出直观性高,针对以上特点大量学者开展了省(市)级的决策支持系统的研究工作^[17-19]。如凌永生等人^[20]研究设计了江苏省核应急管理指挥决策支持系统,该系统综合了后果评价和预测子系统、应急信息子系统、文件处理子系统、地理信息子系统和操作干预水平计算子系统,功能结构如图所示。实现了核应急信息资源在系统中加以存储、整理、传输和发布,从而为用户提供核应急信息的查询、统计、事故后果评价等服务,为核应急中决策人的规划、计划制定及各项具体的决策行为提供决策支持信息,并对决策的实施进行管理。

近年来,清华大学团队提出行动级核应急决策支持系统(PDSS)研究,并应用于广西核应急指挥系统^[5]。该系统是一个针对广西核应急管理设计的软件平台,其功能涵盖广西核应急工作各方面的业务需求,是一个整合多种功能的综合软件平台,包括主要在平时使用的门户系统,值守系统,监测报警和模拟演练四个功能模块;以及在事故情况下使用的指挥协同,后果评价,资源管理和地理信息四个功能模块。功能可以覆盖核应急

过程中的大多数应急人员,人员的行动基于同一平台,便于信息共享,不仅可以在平台上反馈信息,也可以根据自己的权限获取信息,同时,系统可直接完成沟通工作,如发送传真,下达指令等。

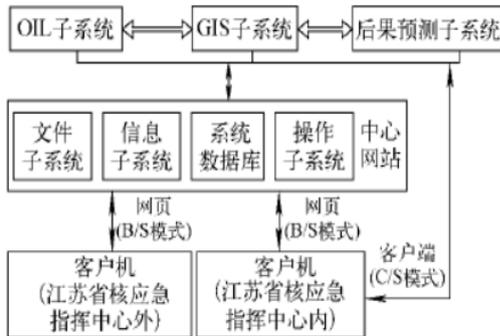


图4 系统功能结构示意图

3.2 各核电站厂区核应急决策支持系统

目前,国内核电站应急辅助决策主要包括数据处理、数字地图、人员清点、环境与气象、辅助判断、堆芯损伤、后果评价、到岗确认、应急资料查询、应急演习、电子报表创建及流转等功能。以华龙一号为例^[21,22](如图5所示)。

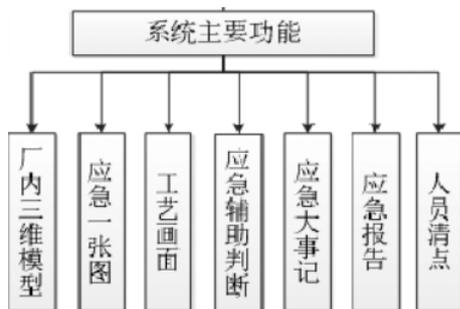


图5 应急辅助决策主要功能

蓝海键等人^[23]在传统压水堆应急系统的基础上,根据高温气冷堆具有其独特的性质,优化源项设置,压减计算量,简化场外应急建议,降低系统成本,具有操作简便,直观简洁等优点。

中国科学院刘杰等人^[2]基于多源异构核应急数据的整合与分析,构建面向核事故应急救援指挥的数据库系统,用于涉核目标周边区域基础数据、地理环境、应急力量、应急预案、保障资源、支援力量等核应急数据的管理与分析应用,配套建设法规标准、基础理论、案例分析等核事故应急参考文献,综合利用可视化、数字地图和人机交互等先进技术,直观呈现核应急数据与信息,为核事故应急救援提供辅助决策和技术支持。

4 反思和总结

2011年的福岛核事故为全世界的核应急准备再次敲响了警钟。事故发生后,TEPCO公司和日本政府都采取了一系列的有力措施,稳定核电厂状态,保证公众安全。然而在这个过程中还是暴露了核应急实践中存在的许多问题,这些问题在福岛事故过去十多年之后,依然值得我们关注和深思^[24]。

首先,传统核应急决策支持系统发挥的作用有限。在福岛事故中,由于事故状况紧急,现场情况复杂,收集到的信息不够充分,源项分析结果存在很大的不确定性,给出的后果评价结果差异很大。究竟采取哪些防护行动及其行动范围和持续时间等重要问题,大多都是由指挥人员根据经验和现场状况作出决定,各种决策支持系统的结果并没有起到关键作用。

其次,福岛核事故发生突然,客观条件非常恶劣,在事故的应对过程中,核应急决策系统不能正常运作,不同层级的决策存在冲突和混乱,某些适当的抢救措施没有及时实施,部分导致了事故的严重性。

再者,回顾福岛事故的核应急过程,暴露了应急人员分工不明确,沟通不及时的问题。TDSS无法为各级各类应急人员提供强有力的决策支持,使得应急工作过程有序高效。

目前,各类核应急辅助决策系统具备大气扩散模拟和事故后果评价的能力,可通过GIS技术,整合源项、气象、人口等基础数据,以及浓度场、剂量场等模拟结果,实现基于一张图的全面信息共享的核应急决策支持。总体上,偏重核事故危害预测方面较为普遍,侧重于核事故应急行动方案方面较少;偏重核事故实时监测数据方面较多,关于人工智能方面的研究较少。

随着核能技术的发展,核事故的种类增多,情况复杂、动态性强,从大量态势中获取有用信息形成正确认知,迅速做出决策,单纯依靠人力的分析判断显然是不够的。因此,研究基于人工智能的核应急行动决策支持技术是十分重要的,具有重要的现实价值。

[参考文献]

- [1]曲静原,曹建主,刘磊.我国核应急决策支持系统研究开发的现状与展望[J].原子能科学技术,2001,(03):283.
- [2]刘杰,郑晓磊,龙鹏程.核事故应急救援数据库系统设计与应用[J].辐射研究与辐射工艺学报,2021,39(02):78-85.
- [3]王百荣,袁彪.核事故后果评价与辅助决策[M].北京:中国环境出版集团,2021.
- [4]高卫华,姚仁太.决策支持系统的发展与核事故应急决策[J].辐射防护通讯,2002,(05):17-23.
- [5]耿雪松.行动级核应急决策支持系统的设计与实现[D].清华大学,2016.
- [6]张志勇.美国核事故实时应急响应评价系统(ARAC系统)简介[J].辐射防护,1992,(05):409.
- [7]池兵,方栋,李红.随机游走大气扩散模型在核事故应急中的开发和应用[J].核科学与工程,2006,(01):39-45.
- [8]蔡旭晖,陈家宜,康凌.核事故条件下的大气扩散模式及应用[J].辐射防护,2003,(05):293-9.
- [9]J.E.The RODOSS System: Decision Support for Off-Site Emergency Management in Europe[J].Radiation Protection Dosimetry, 1997,73(1-4).
- [10]曲静原,曹建主,刘磊.欧洲核应急决策支持系统研究开发的现状与展望[J].辐射防护通讯,1999,(06):12-6.

- [11]王醒宇,施仲齐.我国核应急决策支持系统研究现状及其与RODOS的比较[J].核科学与工程,2003,(02):184-7+92.
- [12]ANDRONOPOULOS, DAVAKISE, BARTZIS JG, et al. RODOS meteorological pre-processor and atmospheric dispersion model DIPCOT: a model suite for radionuclides dispersion in complex terrain[J]. Radioprotection, 2010, 45(5S).
- [13]张晓华,奚树人.开放式的核应急决策支持系统开发平台 RODOS[J].核动力工程,2002,(01):28-31.
- [14]PAPAMICHAIL K N, FRENCH S. Design and evaluation of an intelligent decision support system for nuclear emergencies[J]. Decision Support Systems, 2004, 41(1).
- [15]ANDERSSON K G, NIELSEN S P, THØRRING H, et al. Revision of deposition and weathering parameters for the ingestion dose module (ECOSYS) of the ARGOS and RODOS decision support systems [J]. Journal of Environmental Radioactivity, 2011, 102(11).
- [16]EL-ASAAD H, NAGAI H, SAGARA H, et al. Development of a user-friendly interface IRONS for atmospheric dispersion database for nuclear emergency preparedness based on the Fukushima database[J]. Annals of Nuclear Energy, 2020, 141(C).
- [17]凌永生,王醒宇,施仲齐.广东省核应急管理指挥决策支持系统的初步设计[J].环境保护,2003,(09):3-6+11.
- [18]王醒宇,凌永生,施仲齐.广东省核应急管理指挥决策支持系统的开发[J].环境保护,2008,(02):52-4.
- [19]梁漫春,刘绍国,黎岢.省市级核应急软件平台的框架设计; proceedings of the 中国核学会2013年学术年会, 中国黑龙江哈尔滨, F, 2013[C].
- [20]凌永生,贾文宝,单卿.江苏省核应急管理指挥决策支持系统的研究; proceedings of the 第八届(2012年)北京核学会核应用技术学术交流会, 中国重庆, F, 2012[C].
- [21]郭猛,王硕,杨萌.基于可视化界面设计的核电厂应急辅助判断方法[J].仪器仪表用户, 2021, 28(08):82-6.
- [22]郭猛,杨萌,王硕. “华龙一号” 应急辅助决策系统优化设计[J].仪器仪表用户, 2021, 28(09):89-93.
- [23]蓝海键,刘振军,王刚.应用于高温气冷堆的核应急辅助决策系统的研究与应用[J].自动化博览, 2019,(12):89-93.
- [24]IAEA 2021 福岛第一核电站事故后十年进展会议[J].辐射防护, 2021, 41(05):393.