

软硬结合的核应急基础设施建设与优化

耿 弟, 毛 毳, 邢 颖, 王 斌

清华大学核能与新能源技术研究院, 北京

收稿日期: 2023年9月15日; 录用日期: 2023年9月21日; 发布日期: 2023年9月27日

摘 要

核应急是核安全纵深防御体系的最后一道防线, 完备的核应急体系建设对于人员和环境的保护作用至关重要。核应急基础设施建设是保持和提高核运营单位核应急响应能力的重要保障, 本文以清华大学核能与新能源技术研究院的关键核应急基础设施的建设为例, 提出了软硬结合的建设与优化思想, 为其他核运营单位的应急基础设施建设提供参考。

关键词

核应急, 核设施运营单位, 基础设施, 软硬结合

Construction and Optimization of Nuclear Emergency Infrastructure with the Integration of Software and Hardware

Di Geng, Cui Mao, Ying Xing, Bin Wang

Institute of Nuclear and New Energy Technology, Tsinghua University, Beijing

Received: Sep. 15th, 2023; accepted: Sep. 21st, 2023; published: Sep. 27th, 2023

Abstract

Nuclear emergency response serves as the final line of the nuclear safety comprehensive in-depth defense system. The establishment of a robust nuclear emergency system is of paramount importance for safeguarding both personnel and the environment. The construction of nuclear emergency infrastructure stands as a crucial guarantee for maintaining and enhancing the emergency response capabilities of nuclear operational units. Taking the construction of key nuclear emergency infra-

structure at the Institute of Nuclear and New Energy Technology of Tsinghua University as an example, this paper proposes the concept of integrating both soft and hard elements for construction and optimization. It aims to provide insights for the emergency infrastructure development in other nuclear operational units.

Keywords

Nuclear Emergency, Nuclear Facility Operational Units, Infrastructure, Integration of Software and Hardware

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

核应急是核安全纵深防御体系的最后一道防线。以事故发生作为节点,在阶段上可以将核应急分为应急准备阶段和应急响应阶段,应急准备阶段的充分性是应急响应顺利进行的前提[1]。核应急研究对于应对核事故或核灾难具有重要的现实意义,可以最大程度地减少人员伤亡和环境污染,保障公众安全;此外,核应急工作的完备性还有助于提高应急响应和处置能力,增强国家应对核安全事件的能力和信心。

核应急是一门综合性的学科,涉及众多的研究领域,集成了应急行动水平、操作干预水平、应急计划区的确立等技术问题,还包括一系列的管理问题。近年来,尤其是福岛核事故发生之后[2],众多学者针对核应急,从不同的角度进行了研究。在技术方面,郝琦[3]基于算法研究与优化,研发了性能优越的核事故后果评价系统,为应急决策提供支持;臧小川等[4]提出了先进非能动轻水反应堆应急行动水平的优化方法建议;在核应急管理方面,胡新春等[5]着眼于不确定性因素,并对其进行分类,为管理人员提供了参考;王逊等[6]在突发公共事件的视角下,结合新冠疫情防控工作中的经验教训,给出了核事故应急管理的相关建议。

核设施营运单位作为开展核应急工作的主体,保持并提高自身的核应急能力是维护核安全的重要保障[7]。核应急基础设施建设是核能安全管理的重要组成部分,建设好核应急基础设施对于保障公众安全和环境保护具有重要意义。清华大学核能与新能源技术研究院(Institute of Nuclear and New Energy Technology,简称INET)是我国高等教育系统规模最大的研究院之一,也是北京市的涉核单位之一,位于昌平区虎峪村的研究基地含有一座双堆芯的游泳池式屏蔽试验反应堆,一座壳式5 MW低温供热试验反应堆和一座10 MW高温气冷实验堆[8]。本文以INET的核应急基础设施建设为研究对象,提出了软硬结合的建设与优化思想。

2. 应急基础硬件设施

2.1. 应急集合点和撤离路线

核事故发生后,需要迅速评估放射性释放量,并作为输入进行后续的事故后果评价,根据后果评价的结果与紧急防护行动通用干预水平进行比对,开展一系列的防护行动,如表1[9]。在进行人员的撤离时,预先制定好的应急集合点和应急撤离路线至关重要,科学合理的设计可以保证人员撤离的高效性,在最快的时间完成撤离,同时使得接受照射剂量最低。

Table 1. General intervention levels for emergency protective actions
表 1. 紧急防护行动通用干预水平

防护行动	通用干预水平
隐蔽	10 mSv
撤离	50 mSv
碘防护	100 mGy

本文主要讨论场内应急集合点和撤离路线的优化设计建议。首先, 需要根据建筑物建设布局、敏感气象条件如风向、间隔距离的适中性、场内地形等因素设计应急集合点与撤离路线, 使应急疏散更优化。此外, 还应考虑场内人员数量和总体面积, 设置足够数量、具有醒目而持久标识的安全撤离路线和集合点, 在应急集合点可设置相应的人数统计设备, 自动对进入应急集合点的人员进行人数统计, 并对四个应急集合点进行人数汇总。图 1 列出了 INET 昌平试验基地的核应急集合点与撤离路线图, 共设置了 4 个应急集合点和 2 条撤离路线。

清华大学核能与新能源技术研究院 应急撤离路线

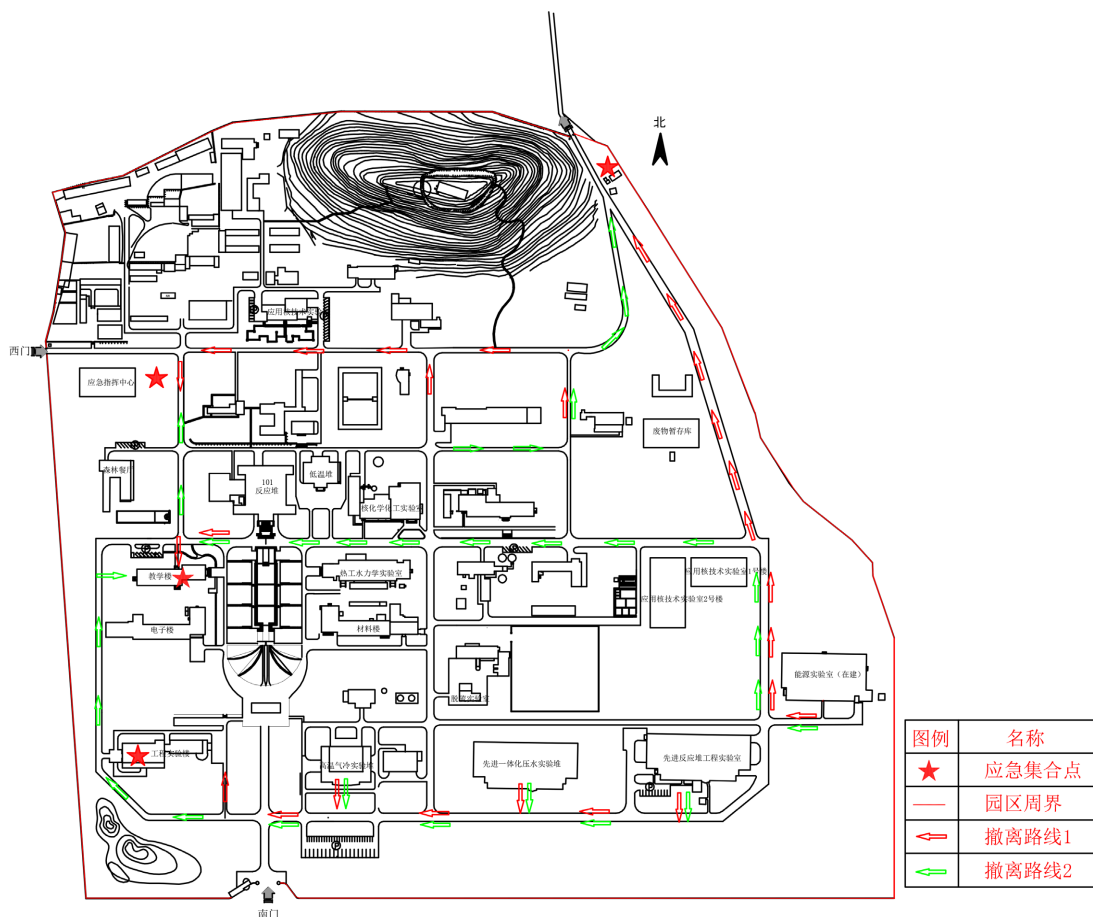


Figure 1. Emergency assembly points and evacuation route planning diagram
图 1. 应急集合点与撤离路线规划图

集合点采用型钢和钢梁做主体结构，并对应急集合点的地面进行硬化平整处理，顶部用钢化玻璃做阳光棚，墙里面采用玻璃幕墙，同时安装玻璃门。在顶棚位置安装全景摄像机配合超脑 NVR 对进入人员进行人数统计，再通过 LED 小屏对应急集合点内人数进行显示，如：1 号应急集合点共计人数 18 人，应急集合点样貌图见图 2。

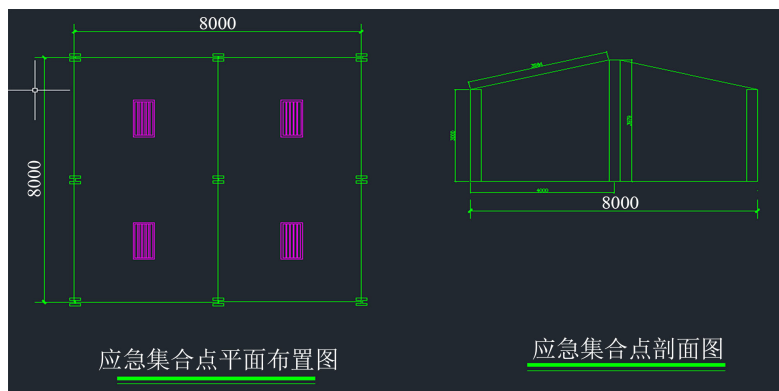


Figure 2. Appearance diagram of emergency assembly points
图 2. 应急集合点样貌图

2.2. 放射性洗消设施

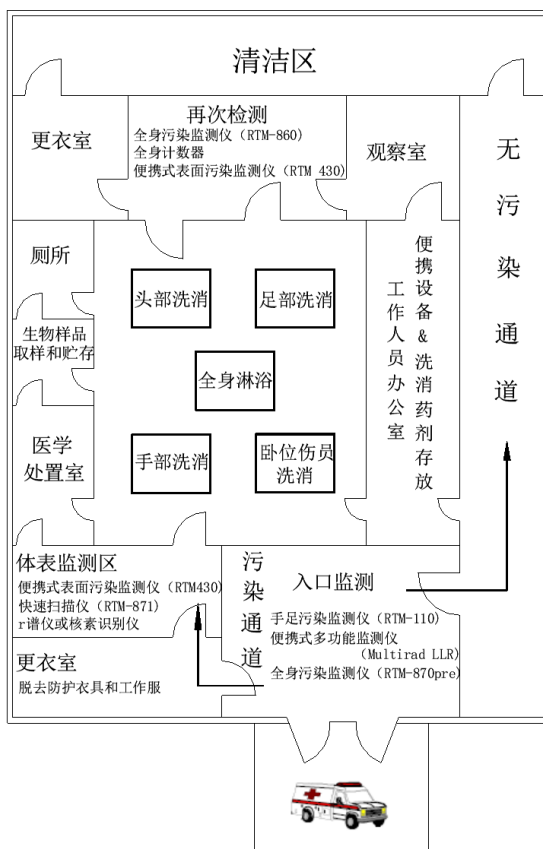


Figure 3. Decontamination and washing layout diagram
图 3. 去污洗消布置图

放射性污染应急洗消设施主要用于对受放射性物质沾染人员进行去污洗消，并便于对人员进行放射性内污染水平和照射剂量进行测量分析。此外，组织对辐射损伤人员和非辐射损伤人员实施医学诊断及救治，包括现场救治、地方救治和专科救治。因此，为了人员和环境的安全，核应急中的放射性物质洗消工作至关重要。

洗消系统的主要设备是洗消舱，洗消舱的建设是结合工作人员处于核污染中，根据实际情况来配备的。应急洗消舱内应有污染通道入口监测分类区及更衣室、工作人员准备区及更衣室、普通伤员洗消区、重伤员急救洗消区、洗消后再次检测评估区及观察室等，具体布置图如图 3。洗消站应配备放射性污染监测设备、医疗急救器材、洗消器材、污物收集器材、防护器材和放射性救治药品等。其中，放射性污染监测设备包括手足污染监测仪、便捷式表面污染监测仪等；特排管道包括洗消舱、废水处理系统和大罐的互通；辅助设施包括废水管监测体系、管道转换等。

2.3. 应急广播系统

应急广播承担紧急情况下的通知公告功能。在发生突发事件的情况下，应急广播系统能够实现第一时间的信息传输，是各类公共安全事件管理的通用工具[10]。对于核事故应急来说，完备的应急广播体系建设能够起到良好的防范功能。应急广播系统的建设与升级，需要实现场区全覆盖，死角不遗漏。同时考虑在设计上使其能兼容日常广播的使用需求，可以做如下设计：将应急广播系统分为日常广播和紧急广播两个系统，在功能上互相独立，在设备及器材上有机结合。需要明确，紧急广播的控制具有最高优先权，并采用智能的联动和自动火灾报警广播方案。平时在接收日常广播时可以调节音量或关闭，紧急广播时扬声器不受音量控制，都将处于紧急广播状态。

3. 应急指挥软件系统

3.1. 系统概述

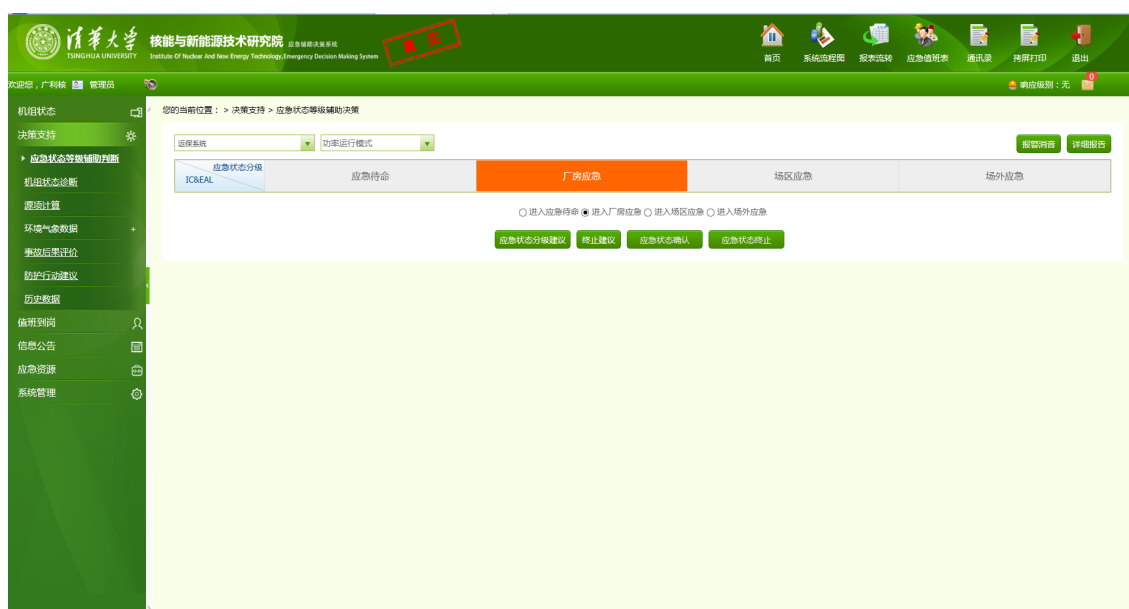


Figure 4. INET emergency support decision system interface

图 4. INET 应急辅助决策系统界面

事故后果评价及应急辅助决策系统是应急事故处理和应急防护行动决策的重要依据，该系统对核电

厂应急辅助决策具有重要意义[11] [12] [13]。《核安全与放射性污染防治“十三五”规划及2025年远景目标》[14]指出，在“十三五”末，核电厂要具有先进的事后果评价及应急辅助决策专家系统，确保核与辐射事故应急响应能力[15]。因此，升级优化事故后果评价及应急辅助决策系统，提高应急响应能力也是满足国家相关法规要求的重要工作。核应急支持系统可以服务于应急指挥中心的日常维护、应急培训、应急演练、事故发生后的应急响应各个阶段。

INET 应急指挥中心平台安装的应急辅助决策系统的界面展示如图 4 所示[16]。首先，针对使用模式，可以分为真实模式和演习模式，以服务于不同的使用场景，图 4 即为真实模式下的展示界面。其次，菜单部分，包含机组状态、决策支持、值班到岗、信息公告、应急资源、系统管理共六个功能栏，每一功能栏下设对应的子功能见图 5。本文从整体的角度列出了本系统的功能，具体的设计技术要点可参照文献。

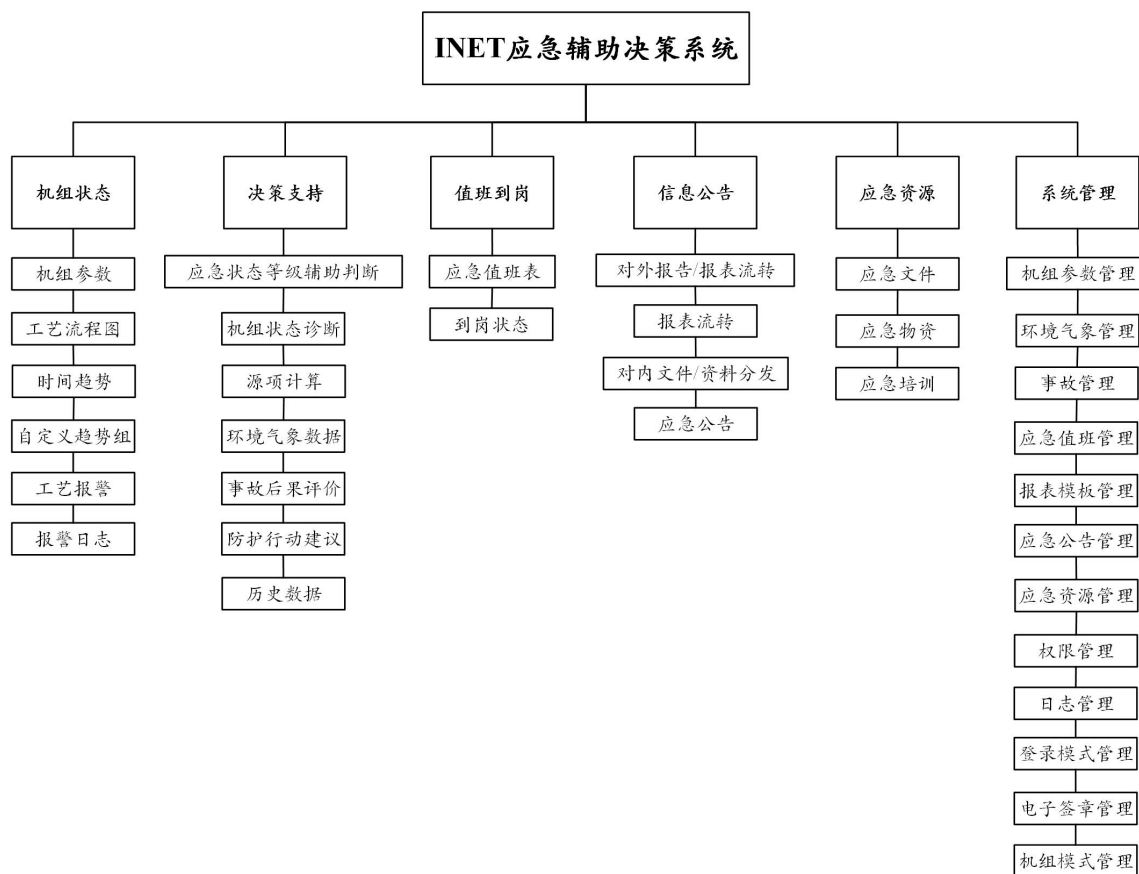


Figure 5. Functional structure diagram of the INET emergency support decision system
图 5. INET 应急辅助决策系统功能结构图

3.2. 系统升级优化

该系统自 2019 年安装在核应急指挥中心平台以来，其在 INET 的应急演练和日常维护中发挥了重要的作用。结合实际应用中发现的不足，计划对其从以下几个方面完成新一轮的优化和升级。

1) 系统文件功能升级。针对系统文件模块，完善提前录入的报表模板信息，并在报表中增加勾选功能，不再需要逐字录入，根据应急现场情况，技术支持组可通过勾选方式快速完成报表填写并将其上报，大大节省时间。此外，在报表流转模块增加电子签章功能，审核人在完成电子报表审核后可勾选电子签章功能，实现在线签字，无需下载打印手动签字，提高报表流转效率。

2) 事故后果评价算例优化。最初设计的后果评价算例计算完成时按照应急启动时间自动命名。在应急演习中发现,在不同时间计算多个算例由于都是按照应急启动时间进行命名,故很难区分。计划优化算例命名程序,将原有的按照“应急启动时间”命名改为“应急启动时间+绝对时间”的方式,并增加手动命名修改功能。

3) 应急响应建议功能优化。目前设计的应急响应建议以弹窗的形式出现,在应急演习中发现,当应急总指挥在查看系统报表界面时并未有弹窗建议提醒。计划优化这部分功能,当技术支持组组长发起应急响应建议时,应急总指挥不论在浏览任何界面都会出现弹窗提醒。

4) 界面显示功能升级。目前演习时在应急指挥中心大厅屏幕上展示的是应急辅助决策支持系统主界面的厂区及周边的 ArcGIS 地图,进入到应急状态时,地图上只显示放射性剂量随风向、风速及降雨等气象条件扩散情况。计划在大屏幕上增加一块区域显示应急状态的各时间节点,方便在演习及事故状态下,应急人员第一时间了解到事故进程。

5) 启动演习模式。通过模拟机提供参数或者人为给定参数的方式,启用演习模式功能,以供应急演习的应用。

4. 结论

核设施营运单位是核应急工作的第一责任单位,建立完备的核应急体系,优化核应急基础设施建设,提高自身的核应急响应能力,也是落实《核安全“十四五”规划》的重要举动。以 INET 的相关建设为例,本文提出了软硬结合的核应急基础设施建设与优化的思想,在硬件方面,介绍了应急集合点与撤离路线、放射性洗消设施和应急广播系统这三个关键的基础设施;软件方面,主要介绍了 INET 应急指挥中心平台安装的应急辅助决策系统。需要明确的是,限于篇幅本文只列出了关键的基础设施,并非表明核应急基础设施建设仅包含这些,核设施运营需要根据相关法规或标准的要求完善自身建设,为核事故应急响应做好万全的准备。

基金项目

核研院核与辐射应急安全保障系统工程(一期)(52280100221)。

参考文献

- [1] 康慧. 核事故应急介绍[J]. 中国核电, 2010, 3(2): 180-185.
- [2] 王韶伟, 柴建设, 岳会国, 等. 日本福岛核事故对我国核应急管理的启示[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2012, 48(6): 669-673.
- [3] 郝琦. 基于 MPI 并行计算框架的核事故后果评价系统研发[D]: [硕士学位论文]. 北京: 华北电力大学, 2022. <https://doi.org/10.27140/d.cnki.gbbu.2022.000432>
- [4] 臧小川, 刘涛, 童节娟. 先进非能动轻水堆应急行动水平的优化方法建议[J]. 核动力工程, 2018, 39(z1): 133-137. <https://doi.org/10.13832/j.jnpe.2018.S1.0133>
- [5] 胡新春, 陈凯明, 罗慧. 核应急管理的不确定性因素研究[J]. 中国应急管理科学, 2020(11): 10-17.
- [6] 王逊, 黄力, 李小丁, 等. 突发公共事件视角下对核事故应急管理问题的探讨和建议[J]. 核安全, 2021, 20(6): 110-113. <https://doi.org/10.16432/j.cnki.1672-5360.2021.06.019>
- [7] 吕玉航, 王铁骊. 核设施运营单位的核应急能力研究[J]. 价值工程, 2022, 41(23): 29-31.
- [8] 清华大学核能与新能源技术研究院(INET)我国高等教育系统规模最大的研究院之一[J]. 科技导报, 2006(7): 1.
- [9] IAEA (International Atomic Energy Agency) (1996) International Basic Safety Standards for Protection against Radiation for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- [10] 刘克甲. 应急广播系统建设构架探讨[J]. 电视术, 2022, 46(11): 126-129. <https://doi.org/10.16280/j.videoe.2022.11.034>

- [11] 曲静原, 赵春华. 我国核应急决策支持系统的研究与开发[J]. 核动力工程, 1999, 20(3): 68-71.
- [12] 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, 23(2): 184-187, 192. <https://doi.org/10.3321/j.issn:0258-0918.2003.02.016>
- [13] 凌永生, 贾文宝, 单卿, 等. 江苏省核应急管理与指挥决策支持系统的研究[J]. 原子能科学技术, 2012, 46(z1): 677-682.
- [14] 国务院批准实施《核安全与放射性污染防治“十三五”规划及 2025 年远景目标》[J]. 中国核工业, 2017(3): 5.
- [15] 李志荣. 核应急辐射监测系统作业效能评估[J]. 核技术, 2015, 38(12): 81-86.
- [16] 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.