

文章编号: 1000-6931(2001)03-0283-06

## 我国核应急决策支持系统研究开发的现状与展望

曲静原, 曹建主, 刘磊, 薛大知, 奚树人

(清华大学核能技术设计研究院, 北京 100084)

**摘要:** 国家核应急决策支持系统是以欧洲核应急决策支持系统为技术平台、结合我国核电站的环境特征建立的我国自己的核应急决策支持系统。这个系统可以在发生核事故的情况下,借助于评价模型和有关的环境监测信息,对放射性释放给环境和公众可能产生的风险作出分析和预测,成为决策者确定科学合理的应急防护行动的技术支持工具。本文介绍我国核应急决策支持系统研究与开发工作的组织、进展情况以及今后的应用展望。

**关键词:** 核电站; 核应急; 决策支持系统

**中图分类号:** TL73      **文献标识码:** A

目前,我国有两座核电站在运行之中,即位于广东省的大亚湾核电站(电功率  $2 \times 900$  MW, PWR)和位于浙江省的秦山核电站(电功率  $1 \times 300$  MW, PWR)。此外,还有4座核电站正在建设中,即位于广东省的岭澳核电站(电功率  $2 \times 1\,000$  MW, PWR)和位于浙江省的秦山二期(电功率  $2 \times 600$  MW, PWR)和秦山三期(电功率  $2 \times 720$  MW, CANDU)核电站,以及位于江苏省的江苏田湾核电站(电功率  $2 \times 1\,000$  MW, PWR)。

在1986年的切尔诺贝利核电站事故之后,我国开始制定有关核应急的法规,1993年国务院颁发了《核电厂核事故应急管理条例》<sup>[1]</sup>。这个条例确定了我国的核应急管理政策,规定了政府有关部门在核应急管理中的职责,阐述了在核应急准备、应急防护行动的实施以及应急响应程序的制定中应当考虑的重要事项。

1995年,我国主管部门为进一步加强我国的核应急管理水平,保障核能事业的健康发展,决定在“九五”期间作为国家的“九五”攻关项目研究开发我国的核应急决策支持系统。在国家核事故应急办公室的主持下,广泛调研了国际上核应急决策支持系统的研究开发现状,对我国在该领域的技术水平进行了认真的评估。在此之后,确定了引进和自行开发相结合的技术路线,并于1997年引进了欧共体的核应急决策支持系统 RODOS 作为研究开发我国核应急支持系统的技术平台。

收稿日期: 1999-12-06; 修回日期: 2000-06-19

作者简介: 曲静原(1956—),男,山东掖县人,副教授,博士,反应堆安全专业

考虑到这条技术路线的特点和国内在这个领域的研究现状,这个项目的实施分为三个步骤进行。首先是要保证引进的系统能够成功地运行,这包括掌握系统的运行原理,了解有关模块之间的数据流关系等内容。第二步是用 RODOS 系统中的有关评价模块,考虑我国核电站的环境特征,进行事故后果分析。第三步涉及深入的理论研究和评价模型的开发,即在前两个阶段工作的基础上,结合我国的实际情况,对 RODOS 系统中的有关模型进行改进,尤其是复杂地形条件下大气风场和扩散模型的研究与开发;对于决策分析模块,要研究开发出适合我国国情的决策分析方法和模型,包括建立必要的决策分析数据库。

## 1 RODOS 系统简介

无论从决策支持的技术层次上、从有关评价模型及方法的先进性、还是从系统硬件和软件的配置上,目前正在研究开发的欧共体核应急决策支持系统(RODOS),都是核应急决策支持领域内最为广泛深入的研究项目。RODOS 项目于 1990 年开始酝酿启动,整个项目分两个阶段进行,计划到 1999 年完成。1996 年完成了第一个阶段的工作,开发出了能应用于事故早中期阶段、几十公里距离范围内的决策支持系统软件,并已在德国和一些东欧国家安装运行。

RODOS 项目的目标是建立一个实时在线的核应急决策支持系统,该系统将在整个欧洲范围内投入使用。这个系统可以在事故的各个阶段内,在距事故地点的所有距离范围内,对事故的后果以及各种可选择的应急干预措施作出评价和预测;借助于模型和算法,可以将包括放射性、气象数据和测量结果在内的所有环境信息,处理成能反映当前和未来环境中辐射照射情景的图像,便于决策者进行决策。

整个 RODOS 系统在结构上是模块化的<sup>[2]</sup>,这为系统的进一步发展以及适应不同用户的特定硬件/软件环境提供了必要的灵活性。RODOS 系统(图 1)由 4 个子系统构成,即操作子系统(OSY)、分析子系统(ASY)、干预措施子系统(CSY)和评估子系统(ESY)。OSY 是整个 RODOS 系统的控制模块,控制所有其他模块的调用、数据流管理以及所有的通信接口。ASY 涉及大气扩散/沉降计算和辐射剂量计算,对释放的放射性物质在环境中产生的辐射情景进行诊断或预测。CSY 对应急干预措施的后果进行分析,计算受应急干预措施影响的区域面积和人数、可避免的辐射剂量、应急干预措施的经济代价等。ESY 在 CSY 分析结果的基础上,借助于有关的决策规则和专家判断对应急干预措施的利与弊进行决策分析,向决策者建议最佳的应急干预措施方案,并提供这种建议的原因及根据的解释说明。

在 RODOS 系统按计划全部完成之后,将能在如下不同的技术层次上向决策者提供应急干预决策支持。

第一层次:获取、验证有关的辐射数据,并直接或经过简略的分析向决策者提供这些数据,可以从地理信息系统中得到有关的地理和人口信息。

第二层次:借助于一定的计算模型、辐射监测以及气象数据,对当前和未来的辐射情景(在没有引进应急干预措施的情况下,放射性物质以及辐射剂量在空间和时间上的分布)作出分析和预测。

第三层次:对可选择的应急干预措施(如隐蔽、撤离、服用稳定碘片、避迁、食物限制等)进行模拟计算,尤其是确定有关应急干预措施的可行性以及对其利弊进行定量化分析。

第四层次:通过对可选择的应急干预措施方案的利(如可避免的辐射剂量、降低公众对辐射风险的忧虑等)与弊(如实施应急干预措施的经济代价、社会秩序的干扰等)进行合理的权

衡,并考虑有关因素的不确定性以及决策者的偏好,对可选的应急干预措施方案进行评估和优先度排序。

RODOS系统可以在哪一个技术层次上对决策者提供决策支持,在相当大的程度上依赖于以下几个因素:1)有关事故释放源项的定性/定量信息的可获得性,例如释放的放射性物质的核素组成和释放的途径(烟囱释放或反应堆建筑物释放)以及释放的物理和化学特征,对于事故释放源项的评估或重建,如何处理分析过程中的有关不确定性是至关重要的;2)系统对事故期间环境大气风场的诊断或预测能力,尤其是系统在复杂地形条件下进行大气扩散计算的能力;3)与系统相连接的辐射监测网以及气象预报网所能提供数据的数量和质量;4)系统在决策分析的过程中考虑决策者的偏好以及决策规则的能力和灵活性。

目前,RODOS项目在核应急决策支持方法学领域进行了大量的理论研究和实验研究,并在此基础上开发出了RODOS示范版本PV3.0和RODOS原型版本PRTY3.0,以及有关的独立软件程序。示范版本PV3.0包括有关的评价模型和数据库,以及系统在应急管理中心运行时所需要的有关功能;原型版本PRTY3.0除了包括RODOS示范版本PV3.0所包括的模型和数据库之外,还集成了有关的原型模型和数据库,这些模型和数据库还需要进一步的开发、集成和测试。在RODOS项目的下一个阶段,将开发出功能更加完善的RODOS示范版本PV4.0和RODOS原型版本PRTY4.0<sup>[3]</sup>。

## 2 项目的组织

我国核应急决策支持系统的研究开发工作基本上是按照RODOS系统的模块化结构进行组织的,这种组织方式也可以充分发挥不同参与单位各自的技术优势。从技术上来说,可以将这个项目的组织划分为两个类别:第一类工作是RODOS系统的运行管理和相应的开发工作,主要包括对整个系统的运行原理的理解、各评价模块(系统)的功能及数据接口要求及外部程序的集成等方面;第二类工作包括评价模型的研究开发和有关数据库的开发。就评价模型的开发来说,充分利用RODOS系统的研究成果是有益的,这也是这个项目所确定的主要技术开发原则之一。这一类研究开发工作的主要内容是:1)风场模型的建立与大气扩散/沉降的计算,辐射剂量计算及辐射健康效应的评估;2)应急防护行动的模拟及在考虑实施应急防护行动的条件下辐射剂量和健康效应的计算;3)研究开发用于应急防护行动决策分析的方法和模型,借助于这样的方法和模型,可以对各种应急防护行动方案的利与弊作出定性和定量的分析,为确定最佳的应急防护行动方案提供技术支持;4)对我国目前运行之中的核电站建立相应的地理信息系统,借助于这样的信息系统,可以将有关应急的数据和信息显示在计算机屏幕上,有利于决策者了解和掌握核应急的实际情况和可能发展趋势,以便作出科学的应急决策。

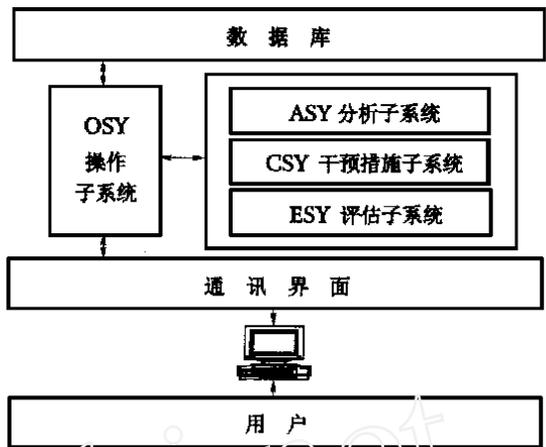


图1 RODOS系统的模块化结构<sup>[2]</sup>

Fig 1 Modular structure of the RODOS system<sup>[2]</sup>

### 3 系统的硬件和软件环境

目前引进的 RODOS 系统在清华大学核能技术设计研究院运行,安装在 HP 工作站上。这个系统的硬件和软件环境如下。

#### 1) 硬件

微机,5 台;工作站 HP 9000/C 110,1 台(128 兆内存,2 × 2 GB 内置硬盘 + 9 GB 外置硬盘);HP 图形终端,2 台;Compaq ProLiant 3000 NT 服务器,1 台;HP LaserJet 打印机,1 台;HP LaserJet 4050 打印机,1 台;EPSON Stylus™ COLOR 800 打印机,1 台;以太网卡,10 个;数字化仪,1 个。

#### 2) 软件

RODOS 原型版本 3.0;HP UX 操作系统;MS DOS 操作系统;NT 4.0 服务器;Novell Netware 网络系统;HP Allbase/SQL 数据库;OPEN INGRES 数据库;MS Windows,Windows 95 操作系统;X Windows;OSF/Motif;UIM/X 图形界面开发软件包;FORTRAN77, FORTRAN 90;C++ SoftBench 集成化软件开发环境。

### 4 研究现状

目前,已基本上掌握了 RODOS 系统的运行原理,对系统中各模块之间的数据接口和数据流有了清楚的了解,并在此基础上编译了用户手册、系统管理手册以及有关的技术文件。在系统的运行管理方面,所取得的最重要的进展包括模块的修改、编译和外部程序的集成,这为整个系统的成功应用及有关模块的深层次开发奠定了坚实的技术基础。

对于我国核应急决策支持系统的研究开发,除了稳定可靠的软件技术平台之外,就是针对我国正在运行和建造之中的核电站,开发相应的风场模型和大气扩散模型。在这个方面,结合我国核电站的环境特征进行了初步的分析研究<sup>[4]</sup>。目前,这个项目的关键任务是研究 RODOS 系统中风场模型的理论基础和运行方式,尤其是风场预测的模型与实现方式,并在此基础上结合我国的实际情况,提出我国核应急决策支持系统的风场诊断和预测分析方法。

目前,我国正在运行和建造的核电站均位于沿海地区,地形条件复杂,而复杂地形条件下大气风场和大气扩散模型的研究与开发是当前国际上在核事故后果评价方面的一个难点。近年来,我国有关研究机构对我国核电站(例如广东省大亚湾核电站)厂址的大气风场进行了很多的研究,取得了一些明显的成果,但对于实际应用还有一定的距离。总之,复杂地形条件下大气风场和大气扩散模型的研究与开发,关系到所开发出来的核应急决策支持系统是否能在发生事故的情况下为国家主管部门的核应急决策提供有价值的技术支持。这是我国核应急决策支持系统下一阶段研究开发工作中的一项重点攻关任务。

辐射剂量计算和应急防护行动的模拟模型涉及事故早期和晚期阶段。由于时间紧、资源有限,在目前这个项目中把研究开发的重点放在事故的早期阶段。由于辐射剂量计算和应急防护行动的模拟模型一般具有较好的普遍适用性,因而,这部分的工作主要涉及评价模型的本地化,即有关输入数据的收集整理和模型的局部修改。

核应急地理信息系统是我国核应急决策支持系统研究与开发项目中的另一项重要工作。这项工作的主要内容是建立大亚湾核电站和秦山核电站的地理信息系统。这个系统可以显示核电站周围的环境特征和有关数据,例如,交通道路、河流湖泊、城镇村庄及其人口的分布情况,应急计划区和撤离路线;同时可以显示有关的事故后果评价的计算结果,例如,等剂量线和

需要采取应急防护行动(隐蔽、撤离、服用稳定碘片等)的区域和人数等。核应急地理信息系统的最大优越性是可以图像的形式描述事故情景和各种应急防护行动的利与弊,便于国家主管部门作出科学的应急决策。目前,这项工作已取得进展。除此之外,正在探讨对 RODOS 系统提供的地理信息系统的功能进行扩展的可能性,使其能够发挥更大的作用,并提高整个系统的资源配置效率。

核应急决策分析的理论研究与模型开发是我国核应急决策支持系统研究与开发项目中的又一项重要工作。所谓决策分析,就是采用一定的理论模式对各种可供选择的应急行动方案的利与弊进行评价,并用统一的技术指标对应急行动方案的优先度进行排序,从而便于决策者综合考虑核应急决策所涉及的各种影响因素,确定最佳的应急行动方案。

由于核应急决策一般涉及到较多的影响因素,这些影响因素中有一些是很难进行定量评价的,即使是可以进行定量分析的影响因素,一般情况下,评价结果会具有一定的不确定性。因此,核应急决策分析是一项具有很大挑战性的研究开发工作。在目前这个项目中,这方面的工作主要集中在核应急决策分析理论方法的研究上,在此基础上开发相关的计算机软件将是一项长期的工作。

为了推动我国核应急决策支持系统的研究开发项目取得预期的目标,国家主管部门近期组织了项目专家评估组对这个项目的中期进展情况进行了全面的技术评估,对这个项目的最终成果提出了明确的要求。对于系统的运行,要求引进的 RODOS 系统能够“转得动、走得通”。对系统中关系到核应急早期决策的部分,要求能用得上和适合实际情况。对地理信息系统的开发,要求有关的社会和环境信息必须是我国自己的,并要与核电站和地方政府的核应急计划与准备的情况相协调。对于整个系统的实际应用,要求所开发的系统能够成为领导进行应急决策的辅助工具。除此之外,对项目的整体进度和目标以及有关的技术课题均提出了具体的要求。

## 5 研究展望与应用前景

如上所述,核应急决策支持系统能够在什么技术水平层次上向决策者提供技术支持,在很大的程度上取决于系统本身的功能和外部环境条件(例如气象、辐射监测网络等)。由于时间和经费的约束,在目前这个项目中还不能对核应急决策支持系统研究与开发所涉及的所有内容都进行深入的理论研究和模型开发,其中源项的重建等方面的数据同化技术、评价结果的不确定性分析,以及有关决策分析的理论与方法等对提高核应急决策支持系统的技术水平具有重要的意义,同时这些课题也是国际上在该领域的前沿研究课题,具有一定的难度。在目前这个项目中,只能对其中的某些个别方面(例如评价结果的不确定性)进行非常初步的考虑。对于完善和提高我国核应急决策支持系统的技术水平,今后安排相应的研究课题进行深入的理论研究和模型开发是非常必要的。

这个项目预计在 2001 年上半年完成。所开发出的系统应具有稳定可靠运行的技术平台,能够在合理的时间里对核应急早期决策提供必要的技术支持。由于这个系统具有较好的核应急决策支持功能,在国家核应急响应中心安装这样的系统是有好处的。另外,这个系统的强大而灵活的软件平台也可以在核电站和地方政府的核应急决策支持系统中得到应用。因此,对于最大限度地发挥这个系统的技术优势,在 RODOS 的技术平台上建立我国国家、地方政府和核电站三个层次上的核应急决策支持系统是有益的。

另外,这个系统在核应急的有关培训工作中可以发挥积极的作用,也可在其他常规工业领域的事故应急管理中(例如化工厂有害化学物质的释放事故等)得到应用。

#### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国国务院令 第 124 号,核电厂核事故应急管理条例[S].
- [2] Ehrhardt J, Weis A. Development of a Comprehensive Decision Support System for Nuclear Emergencies in Europe Following an Accidental Release to Atmosphere:FZKA-5772[R]. Karlsruhe:Forshungszentrum Karlsruhe,1996.
- [3] Ehrhardt J, Weis A. Mid-term Report of the RODOS Project:FZKA 6203[R]. Karlsruhe:Forshungszentrum Karlsruhe,1998.
- [4] 曲静原,赵春华,薛大知,等.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):260~263.

## Status and Perspective on the Research and Development of the Chinese Decision Support System for Nuclear Emergency Management

QU Jing-yuan, CAO Jian-zhu, LIU Lei, XUE Da-zhi, XI Shu-ren

(*Institute of Nuclear Energy Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China*)

**Abstract:** The research and development of the Chinese decision support system for nuclear emergency management is now under the way. The framework of the European decision support system for nuclear emergencies is taken as the platform for the development of the Chinese system. The objective of the Chinese project is to provide technical support to decision-makers in the decision-making of protective actions in the event of a major nuclear accident. The paper presents the organization, current status and future prospect on the Chinese effort.

**Key words:** nuclear power plant; nuclear emergency; decision support system