

# 核安保——安保领域的皇冠

韩叶良, 陈鹤, 赵泽雨, 杨长杰, 宗波

国家核安保技术中心, 北京 102401

**摘要** 从核安保基本要素及措施分类、分区等角度, 介绍了核安保的基本理念, 综述了国际原子能机构、美国及中国在核安保领域开展的相关法规及技术工作现状; 从系统设计及建设、设备选型两个层次介绍了核安保系统的要求。针对新形势下核安保领域面临的网络安全、低小慢飞行器防御、水下防御、地下防御等挑战, 提出了核安保技术未来发展的建议。

**关键词** 核设施; 核材料; 核安保

核安保在广义上是指防止、侦查和应对涉及核材料和其他放射性物质或相关设施的偷窃、蓄意破坏、未经授权的接触、非法转让或其他恶意行为, 防范恐怖分子获取核材料、破坏核设施等, 包括对各种涉核恐怖事件的防范、处置和应对等内容; 狭义上是指核设施及核材料的安保措施。本文所提核安保是指狭义的核安保。

“911”恐怖袭击事件反映出规模庞大的国际恐怖组织倾向于进行超大规模的破坏行为, 核恐怖活动的危险已经由假想变为现实。近年来, 随着中国核能事业的快速发展, 核材料及核设施分布越来越广泛, 相应的核安保事件风险也在逐步加大, 核安保形势越来越严峻, 加强核安保工作显得尤为重要。

## 1 核安保的起源及发展

自 20 世纪 70 年代开始, 美国等国家针对核材料及核设施的安保问题开始发展实物保护技术, 颁布了一系列包括特种核材料的控制与衡算、核材料与核设施实物保护导则等核安保相关的法规标准。

国际原子能机构 (International Atomic Energy Agency, IAEA) 自 20 世纪 70 年代初, 便向各成员国提供实物

保护咨询与培训, 并相继发布了《核材料实物保护的倡议》和《核材料实物保护公约》, 制定了核安保计划, 为各成员国加强核安保体系建设提供支持和指导。

20 世纪 90 年代苏联解体, 一时间核材料与核设施的管理和保护处于失控状态, 偷盗和丢失核材料的事件频发; 同时, 一些地区恐怖主义活动猖獗。国际社会开始意识到核安保的重要性, 加强核安保措施逐渐成为国际社会的共识。

2001 年“911”事件之后, 国际社会对核安保给予了极大的关注, 联合国先后通过 1540 号决议和《制止核恐怖主义行为国际公约》, 国际原子能机构先后制定了 3 个核安保计划, 这些工作都提高了国际社会应对核材料及核设施安保问题的意识和能力。

随着核安保威胁形势的日益严峻, 自 2010 年至今, 先后举行了 4 届全球核安保峰会 (Nuclear Security Summit), 议题全部围绕防范核恐怖主义威胁及加强国际核安保体系展开。核安保峰会的召开, 反映了国际社会对核恐怖主义现实威胁的共识, 也为各国强化核安保措施和行动指明了方向, 并为开展相关国际合作奠定了基础。至此, 核安保进

入全球共建阶段。

## 2 核安保的理念

### 2.1 核安保基本要素

核安保包括 3 个基本要素, 分别是探测 (detection)、延迟 (delay) 和响应 (response)。其中, 探测是指探知核安保事件发生并发出报警的技术手段; 延迟是指能够延缓或阻止敌手实施行动的技术手段; 响应是为终止核安保事件的发展而采取的快速行动。

探测、延迟和响应 3 个基本要素之间相互联系, 缺一不可。探测要准确无误, 延迟手段要有效, 响应要迅速及时。准确的探测及报警复核能够使得响应尽早启动, 有效的延迟能够尽可能的延长敌手的行动时间, 快速的响应能够尽可能的保证在敌手成功前对其进行阻击, 如图 1 所示。核安保的总体原则, 即: 减小探测时间 ( $T_A$ )、缩短响应时间 ( $T_I$ )、增长延迟时间 ( $T_C$ ), 从而使得安保系统响应时间 ( $T_I$ ) 小于敌手行动时间 ( $T_C$ ), 即:  $T_I \leq T_C$ 。

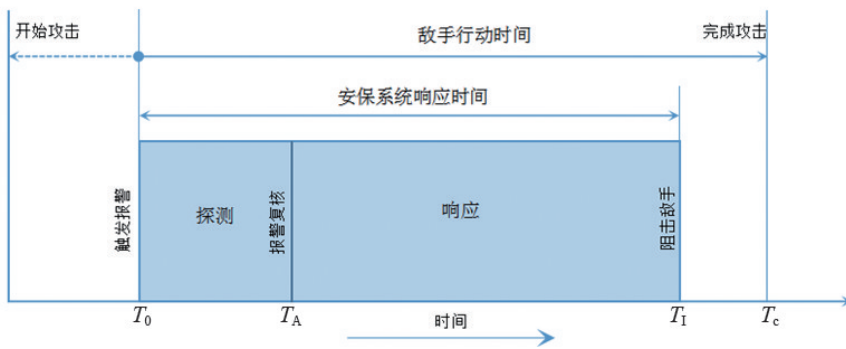
### 2.2 核安保措施分类分区

在空间防卫上, 按照纵深防御的原则, 对核材料及核设施的保卫实行分类分区管理。核材料安保类别根据核材料类型、易裂变同位素富集度、数量和

收稿日期: 2016-06-22; 修回日期: 2016-07-20

作者简介: 韩叶良, 高级工程师, 研究方向为核安保测试评估, 电子邮箱: snstc567@163.com

引用格式: 韩叶良, 陈鹤, 赵泽雨, 等. 核安保——安保领域的皇冠[J]. 科技导报, 2016, 34(15): 56-59; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2016.15.006



$T_0$ 为敌手触发报警的时间;  $T_A$ 为保卫人员确认报警的时间;  $T_1$ 为保卫人员行动的时间;  $T_c$ 为敌手克服障碍完成行动的时间

图1 核安保系统响应示意

Fig. 1 Schematic diagram of the response of the nuclear security system

按潜在风险,由高到低可分为I、II、III类;核设施安保类别根据遭受破坏后可能产生的放射性后果,按严重程度由高到低分为I、II、III类。I类核材料与核设施应设置控制区、保护区和要害区;II类核材料与核设施应设置控制区和保护区;III类核材料与核设施应设置控制区。保护区应设置在控制区内,要害区应设置在保护区内(图2)。

### 3 核安保现状

#### 3.1 IAEA核安保现状

IAEA内部设有核安全和安保司(Nuclear Safety & Security)负责核安全与核安保工作,其中核安保处专门负责核安保相关工作。在法律法规方面,IAEA出台了《核材料和核设施实物保护公约》,并于2005年进行了修订。2016年5月8日获得102个缔约国批准的《公约》修订案正式生效。IAEA出版了核安保系列刊物,包括基本法则、建议、实施导则、技术指南等4类,内容涵盖实物保护、核材料衡算、运输安保、网

络安保、核安保文化等,为各国开展相应的核安保工作提供了技术指导。

#### 3.2 美国核安保现状

美国有2个部门主管核安保工作,分别是核管制委员会(Nuclear Regulatory Commission, NRC)和美国能源部核军工管理局(National Nuclear Security Administration, NNSA), NRC主要负责商用核设施及核材料的使用及安保情况;NNSA执行能源部的国家安保任务,确保美国军工核设施及核材料的安保。另外,美国能源部下属多个国家实验室,如:桑迪亚国家实验室、洛斯阿拉莫斯国家实验室、西北太平洋国家实验室等,在实物保护、核材料衡算技术、核安保应急技术等方面,开展了大量的科研及政府技术支持工作。

美国政府历来重视核安保科技的研发投入,2013年,能源部为15个实验室和研究机构资助了1742个研究项目,总经费5.69亿美元。其中桑迪亚实验室共承担了447个核安保项目,经费达1.65亿美元;能源部为提高核设施核

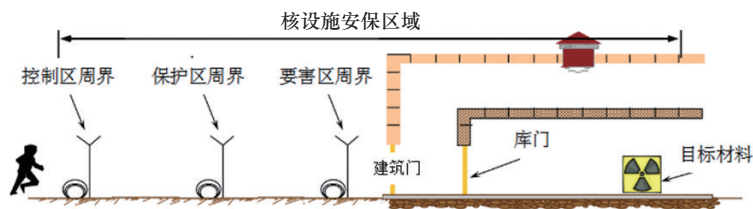


图2 I类核材料或核设施安保区域设置示意

Fig. 2 Schematic diagram of the security area of nuclear materials or facilities of category I

安保水平和研发基础能力,投入大量经费;核军工管理局2015年预算额度为117亿美元,主要用于更新和维护老旧的库存核武器和基础设施,防止核扩散,保护核材料不落入恐怖分子手中,其中的24亿美元用于总统承诺的进一步加强核军工管理局核安保能力建设,17亿美元用于加强核安保科学、技术和科研基础保障条件。

#### 3.3 中国核安保现状

中国政府一直高度重视核安保工作,自20世纪50年代以来,对核材料一直实施严格的管控,并于1987年及1990年相继出台了《中华人民共和国核材料管制条例》和《中华人民共和国核材料管制条例实施细则》,对不同等级核材料的保护措施进行了规定。近年来,中国还在不断完善核安保标准和监管体系,专门制定了《中华人民共和国核安保条例》,目前处于征求意见阶段。

中美联合建设的核安保示范中心(COE)于2016年3月18日在北京房山落成,COE配备了先进的核材料分析、核安保设备测试、响应力量训练及演练等方面的专业设备,以及功能齐全的教学与国际交流配套设施。中国在核安保方面采取了有效措施确保核材料和核设施安全,逐步形成了一套行之有效的管理和技术体系。

### 4 核安保系统的要求

#### 4.1 系统设计及建设

为确保核设施的安全,实物保护系统从设计、建设、验收以及后期的运行维护、升级改造全过程都是严格规范、科学严谨的。实物保护系统按照“纵深防御、均衡防护”原则建设,建设工作分为设计、建设和验收3个环节(图3<sup>[1]</sup>)。

设计环节中两个关键点:一是综合分析现阶段国际、国内核安保形势以及核设施所在地的核安保风险,制定切实可行的核设施实物保护系统设计基准威胁,从而明确核设施的保护目标、需应对的核安保敌手的类型、能力等内容;二是评价设计方案有效性,优化整

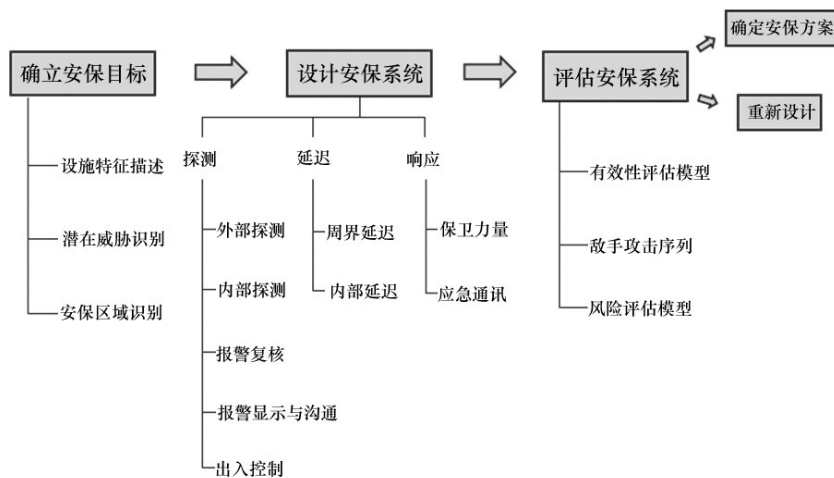


图3 核设施实物保护系统设计流程示意

Fig. 3 Schematic diagram of physical protection system design of nuclear facility

个系统的探测概率和截获概率。在建设环节中会对采购的设备做全面的安全和功能性检测以确保设备安全。验收环节有两个关键点:一是在验收前,根据国家规范标准和设计功能对设备和系统进行100%的功能测试;二是在验收前对整个系统开展有效性评价,确保实物保护系统探测概率和截获概率达到设计要求。在实物保护系统的运行过程中,设施单位和国家主管部门每年还会对实物保护系统进行安全性和功能性的例行检查和评估,根据检查和评估结果确定实物保护系统升级的必要性,从而确保实物保护系统的有效性,确保核设施安保状态始终在安全可控范围内。

#### 4.2 设备选型

由于实物保护系统对保护核设施的安全具有至关重要的作用,因此对系统性能的要求比一般安保产品的要求要更加严格。无论是对新产品的型式试验、产品采购的抽样试验、系统建成的验收试验及运行试验,均需要执行严格的标准,具体性能要求包括以下2个方面。

1) 长期可靠性。为验证实物保护系统探测、延迟、响应功能的有效性与可靠性,需要在核设施现场实地应用前,在核设施环境类似的室外测试场搭

建模拟环境,全天候、在线地对实物保护设备/系统进行长期的有效性与可靠性测试,并记录分析安保设备/系统对敌手各种入侵方式的性能响应。

2) 环境适应性。由于中国幅员辽阔,分布于不同地区的核设施所面临的气候和环境有很大差异,例如:北方冬天寒冷干燥、南方夏天高温潮湿、西北大风多沙等等。而实物保护系统大多布置在室外,使用过程中会经受过各种温度、湿度、振动、降雨、日晒、沙尘等环境应力的影响。另外,由于电子设备的广泛使用,实物保护系统所处的电磁环境非常复杂。如何确保实物保护系统在复杂的电磁环境中能够正常工作、相互之间不发生干扰、不影响核设施的正常运行也非常重要。因此在设备选型前,必须对实物保护设备/系统进行环境适应性及电磁兼容性试验,确保设备在各种复杂环境中的性能可靠性及安全性。

### 5 新形势下核安保面临的挑战

随着社会的快速发展,核安保面临一些新形势下的挑战,如网络安保、低小慢飞行器防御、水下防御、地下防御等问题。而相对于美国在核安保技术研发方面的投入,中国核安保相关科研工作开展稍显不足,未来应加强国内科研院所对核安保的关注,加大核安保科

研的投入,对核安保领域的关键科学技术问题开展研究工作。

#### 5.1 核设施网络安保

随着电子技术的飞速发展及网络技术的普及,核电站及核燃料循环设施的数字化、智能化水平不断提高,新建设施普遍采用了数字化控制系统,并且对网络的依赖程度日益增强,其遭受网络攻击导致敏感信息泄露和设施破坏的风险也随之加大。美国等西方国家利用“震网”病毒对伊朗布什尔核电站和纳坦兹设施离心机的大量损坏,成为核设施遭受网络攻击的突出案例。“震网”病毒攻击伊朗核设施的原理如图4<sup>[2]</sup>所示。



图4 “震网”病毒攻击核设施原理示意

Fig. 4 Schematic diagram of Stuxnet virus attacking nuclear facility

国际社会高度重视并广泛关注针对核设施关键信息系统和控制系统的网络攻击问题。为了应对日益增长的网络攻击威胁,国际原子能机构鼓励各国政府和私营机构采取有效的风险缓解措施,以确保核设施系统和网络的安全,并专门编写了相关导则,指导成员国开展核设施网络安保的立法和监管工作,美国也将网络攻击列入核设施必须应对的威胁类型,严加防范。中国也应充分重视网络安保在核设施保卫领域的重要性,一方面推进核安保设备及关键技术的自主可控研发工作,另一方面制定相关核设施网络安保标准规范,并研究核设施网络攻击防御技术。

## 5.2 空域“低小慢”飞行器防御

随着无人飞行器技术的发展与普及,核设施上空空域对“低空、小型、慢速”飞行器的探测及防御手段亟待加强,以防止飞行器加载摄像或破坏装置对核设施与核材料的安全造成威胁。据英国《每日电讯报》网站2014年10月30日报道,“在过去三周时间里,大小足以携带炸药的身份不明的无人机曾经从法国多达7个核电站的上方飞过。”<sup>[3]</sup>而法国法律明令禁止飞行器以低于1000 m的高度飞越核电站5 km<sup>2</sup>以内的范围。针对低空无人机威胁问题,目前国际上已经开始研究相应的防御技术,例如某航空公司的空域防卫部门在2016年国际消费类电子产品展览会CES上宣布,已研发出了一套反无人机系统用于探测与对抗无人机,该系统融合了多种数据采集技术、信号分析技术以及人为干扰技术,如图5<sup>[4]</sup>所示。因此,针对“低小慢”飞行器的威胁,中国也急需制定相关政策对核设施空域进行管制,并加强针对“低小慢”飞行器的探测和防御技术的研究。

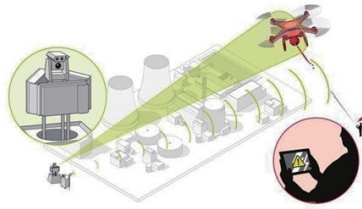


图5 反无人机系统  
Fig. 5 Anti-drone system

## 5.3 濒海水域及浮动堆安保技术

由于核电站主工艺系统需要大量循环水进行冷却,中国核电站往往修建于临海地区,而且中国未来要开发浮动反应堆。据了解,目前中国核动力研究院已完成针对中国海域的浮动核电站初步设计和关键技术攻关工作,计划2016年底启动示范堆建设。浮动反应堆模型见图6<sup>[5]</sup>所示。这些新形势均对核设施水域防护提出了更高的要求。由于濒海水域水况水文条件复杂、传统的声呐、微波等入侵探测手段难以满足使用需求,急需开发多种探测方式互相补偿、系统完善的水域防护技术。



图6 海上浮动反应堆模型  
Fig. 6 Model of floating reactor

## 6 结论

相对于一般领域的安保,核安保是一个具有成熟理论基础、涉及专业广泛、标准要求严格的综合领域,可以说是安保领域的“皇冠”。加强核安保工作对于保障公共安全乃至国家安全都具有重大意义。中国在核安保方面开展了卓有成效的工作,保障核工业的安全健康发展。新形势下,面对核电的快速发展及一些新兴技术的挑战,应进一步加强核安保法制建设和技术研发工作,加大社会公众和相关科研院所对核安保的关注,从而促进核安保工作再上一个台阶。

## 参考文献 (References)

- [1] Garcia M L. Design and evaluation of physical protection systems[M]. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2007.
- [2] 毛京东. 震网病毒黑了伊朗首座核电站[EB/OL]. 2011-02-28 [2016-07-06]. [http://www.cqwb.com.cn/cqwb/html/2011-02/28/content\\_256790.htm](http://www.cqwb.com.cn/cqwb/html/2011-02/28/content_256790.htm).
- [3] 董磊. 神秘无人机侵入法国核电站上空,大小足以携带炸药[EB/OL]. 2014-11-01 [2016-07-06]. <http://world.cankaoxiaoxi.com/2014/1101/549657.shtml>.
- [4] Uavsnews. Airbus 于CES上宣布了全新反无人机系统[EB/OL]. 2016-01-11 [2016-07-06]. <http://www.pcpop.com/doc/1/1670/1670000.shtml>.
- [5] 李华梁. 中国唯一具备完整自主知识产权的海上浮动核电站立项[EB/OL]. 2016-01-18 [2016-07-06]. [http://www.heneng.net.cn/index.php?article\\_id=37460&mod=news&action=show&article\\_id=38602](http://www.heneng.net.cn/index.php?article_id=37460&mod=news&action=show&article_id=38602).

## Nuclear security: The crown in the area of security

HAN Yeliang, CHEN He, ZHAO Zeyu, YANG Changjie, ZONG Bo

State Nuclear Security Technology Center, Beijing 102401, China

**Abstract** The basic concept, the origin and the progress of nuclear security are reviewed in this paper. The basic idea includes the nuclear security elements and the classification of measures. Then, the current states of the related regulations and technical work of International Atomic Energy Agency (IAEA), the United States and China in the nuclear security field are discussed. The requirements in the nuclear security equipment selection, the system design and the construction are analyzed. In the last part, the challenges in the nuclear security area, like the cyber security, the anti-drone defense and the underwater defense, are discussed, together with several suggestions about the future nuclear security technology R&D directions.

**Keywords** nuclear facility; nuclear material; nuclear security

(编辑 韩丹岫)