

对研究堆的核保障： 现在的做法和未来的方向

正在采用一些新的核查措施，以提高机构核保障
的效率和有效性

Giancarlo
Zuccaro-
Labellarte
和 Robert
Fagerholm

近180座研究堆和临界装置现在处于机构的核保障之下。绝大多数研究堆以比较低的功率(10 MW_t或更低)运行，而临界装置的功率实际为零。从核保障角度看，这一点是重要的，因为反应堆的功率是其产钚能力的决定因素。除高浓铀(HEU)与铀-233之外，钚也被认为是一种可转用于制造核武器的“可直接使用”材料。

本文讨论IAEA核保障在研究堆方面的实施情况，包括与转用和秘密生产情况有关的方面以及主要核查活动。此外，本文还介绍了为了担保不存在未申报的核材料和活动而正在采用的一些新的核保障措施。

研究堆类型是游泳池式反应堆，这种堆一般以约10 MW_t或更低功率运行。燃料元件通常由包在铝合金板、棒或管中的HEU(铀-235含量为20%或以上)或低浓铀(LEU，铀-235含量低于20%)组成。堆芯浸泡在大水池中，水起冷却和中子慢化作用。游泳池反应堆堆芯中的燃料组件通常是可以看见的，而且便于核保障测量。

另一些类型的研究堆，以较高的功率(大于10 MW_t)运行。它们需要更有功效的排热系统，因此通常被封装在堆芯容器内，且装备有冷却泵和热交换器。这些装置堆芯中的燃料元件通常是看不见的或不便于核保障测量的。

研究堆广泛用于科学研究和各种应用。研究堆产生的中子为在核的、原子的和分子

对研究堆的核保障

运行中的研究堆有几种类型。最普通的

Zuccaro-Labellarte 先生是 IAEA 核保障司业务(C)处程序科科长，Fagerholm 先生是该司概念和计划处保障分析学家。

* 临界装置是靠核材料配置而构成的一种研究工具，通过适当的控制能维持链式反应的进行。与研究堆或动力堆不同，它通常没有专门的冷却设备，高功率运行时不设置屏蔽。它的堆芯设计成具有较大的配置灵活性，和使用很容易获得的燃料。人们经常改变燃料及其位置，以研究各种反应堆概念。

的水平上研究物质提供了一种强有力的手段。核和固态物理学家、化学家,和生物学家常常用中子作探针。还可借助安装的束流管,在生物屏蔽之外进行中子实验。此外,可把一些样品放置在研究堆堆芯内或附近接受中子辐照,以便生产例如供医学和研究用的放射性同位素。

转用情景。根据现有的全面核保障协定,IAEA 有权力和责任核实没有核材料从和平应用被转用于核武器或其它核爆炸装置。各国根据它们在《不扩散核武器条约》(NPT)下承担的义务与 IAEA 缔结这些协定。

对于研究反应堆,要考虑到下列转用情景:

新的或经浅度辐照的燃料被转用于秘密地化学提取易裂变材料。因为只需使用一些一般的化学工程设备,就能实现这种转用情景,所以在这种情景下,尤其注意对含有 HEU 或钚的新燃料的设施的核保障。HEU 和钚无须进一步嬗变或浓缩就可用于核爆炸装置。约 20 座受 IAEA 核保障的研究堆现正使用这种可直接使用的易裂变材料,其数量在 1 个重要量(SQ)以上。为了核保障起见,1 SQ 现定义为 8 千克钚或铀-233,或 25 千克 HEU 形式的铀-235。

国际上的努力——例如,在美国降低浓缩度的研究和试验堆计划下开展的工作——一直瞄准着低浓化技术的开发,有了这种技术便可在研究和试验堆中用 LEU 燃料代替 HEU 燃料,同时又不使其在实验、费用或安全方面的实绩明显地变差。

乏燃料或经深度辐照的燃料被转用于在后处理设施中秘密地化学提取易裂变材料。因为所涉燃料的放射性水平高,这种情景较上述情景在技术上要求高和更费时间。不过,就约 15 座受 IAEA 核保障的研究堆来说,这种情景特别值得注意,原因是那里积累了大量的乏燃料。对其他 10 多座研究堆,这种情景也很重要。

秘密生产情景。通过辐照未申报的可转换材料秘密生产钚或铀-233 的可能性是存在的。随着应用中子的技术开发,人们需要

有更大的中子通量,以便在较短的时间内完成更加复杂和费时的实验。为了提供高中子通量,已建造了一些大型研究堆。在这样一些反应堆上,通过辐照未申报的可转换材料生产大量的钚或铀-233,技术上是可行的。例如,把靶材料放置到堆芯里面的或附近的辐照位置上,或用可转换材料靶取代反射层元件就可以进行这种生产。不过一些研究表明,在以低于约 25 MWt 的功率运行的研究堆上,一年内生产 1 SQ 钚是不可能的。实际的生产能力取决于各个堆的设计和运行参数。

机构现行的核保障体系要求对所有以 25 MWt 以上功率运行的研究堆进行评估,因为它们有每年至少生产 1 SQ 钚(或铀-233)的能力。

现在,约有 30 座以 10 MWt 或以上的功率运行的热中子研究堆受 IAEA 核保障。其中约 10 座堆以超过 25 MWt 的功率运行,并接受与秘密生产情景有关的附加核保障措施。

“经典” IAEA 核保障的组成部分

当前,IAEA 在研究堆上的主要检查活



日本的一座研究堆,用于试验燃料性能,这项试验是核安全研究的一部分内容。(来源:JAERI)



印度尼西亚的巴丹研究堆。(来源: Meyer/IAEA)

动是:每年一次的实物存量核查(PIV);针对新的(未经辐照)燃料、堆芯燃料和乏燃料而进行的起着及时探知作用的检查;审查记录和报告;对特种燃料转运的核查;和为证实不存在秘密辐照可转换材料的核查活动。

在 PIV 情况下,用无损检验(NDA)法核查新燃料和乏燃料,以证实所有申报的燃料得到了衡算。堆芯燃料是采用 NDA 法或临界检验(用其它反应堆数据加以验证)进行核查的。对研究堆要进行临时检查,其时间间隔由针对不同类型材料特定存量的核保障及时性要求确定。“如果设施有大于 1SQ 的易裂变材料,那么对堆芯燃料和乏燃料,每日历年要进行 4 次核查(每季度进行一次);而对含 HEU 和钚的新燃料,每日历年要进行 12 次核查(每月进行一次)。如果设施有大于 1SQ 的 HEU 或(新的和辐照过的)钚,则对含少于 1SQ 的 HEU 或钚的新燃料,每日历年要进行 4 次核查(每季度进行一次)。

* 临界检验是提供如下证据的一种检查活动:反应堆已达到临界和受控核反应得到维持,也就是堆芯至少含有最低限度临界量的核材料。

** 核保障及时性与核材料从其现有状态转变成 HEU 或钚金属所需时间有关。

如果含 HEU、钚或铀-233 的燃料和实验材料被运出或运入某个设施时,机构加了封记,则可在发运设施或接收设施进行核查。如果未加封记,则要在发运设施和接收设施都进行这种核查。

为了验证高功率研究堆(大于 25 MWt)不存在无记录的 1SQ 钚或铀-233 生产,可采用下述方法中的一种:

- 分析该设施的设计和运行;
- 封隔和监视(C/S),连同其它措施(例如功率监测)一道,确认该堆关闭或已相当长时间没有运行;

- 进行下列之一的活动:1)使用 C/S 措施,以证实没有发生可转换材料未作记录而被引入,或经辐照后被移出;或 2)评估新燃料的消耗和运营者提供的关于乏燃料燃耗数据,以证实它们与申报的设计资料和堆的运行情况一致。

成员国向机构提供与核保障有关的研究堆设计资料。按照已建立的机构程序对提供的资料进行检查和核实,而且每年至少复查 1 次。如果与核保障有关的设计资料有了变更或变化,就要对它们进行核实,以便为调整核保障程序奠定基础,然后进行必要的调整。

加强的研究堆核保障的组成部分

1995 年 6 月,IAEA 理事会核准了按所谓“93+2 计划”的第 1 部分确定的加强的和费效比高的核保障体系的总方向。第 1 部分措施是,根据全面核保障协定中规定的机构的现有法律授权可以实施的措施。

为提高和改善核保障的效率和有效性而设计的一些措施,属于一般性质的措施。它们包括及早提供设计资料;和描述国家的核燃料循环情况。

其它措施是更多针对具体设施的措施。它们包括研究和开发活动特别是与铀浓缩和后处理有关的活动的描述和现状;在为例行检查选定的要害部位进行环境取样;进行

不宣布的例行检查,以证实已申报的核活动和没有未申报的核活动;无人值守监测和核保障信息远距离传输。

新技术的不断发展还揭示了有可能出现新的核保障测量和监视系统,从而允许设备远距离操作和核保障数据远距离传输。这些新措施对运营者和各国将产生什么影响,在很大程度上取决于核设施的类型和这些设施所在的具体国家或地区。

采用所建议的措施时必须扩大与各国以及国家核材料衡算和控制系统(SSAC)的合作。为确保IAEA能更有效地规划和进行检查活动,必须有这种扩大的合作。SSAC和IAEA还可以联合进行检查活动或进行选定的支助活动,以节省资源和最佳利用现有体系。协调而有效地使用新措施,将减少现在对申报的核材料的核保障工作量,同时将增强探知可能未申报的核活动和材料的能力。

如前所述,对研究堆的检查频度每年在1—12次之间,这取决于研究堆中存在的核材料的类型和数量。当前的检查活动,是以能担保申报的核材料仍处在核保障之下的方式来规划的。在现在的体系内,很难提供

这样的担保:反应堆没有被用于通过未申报的运行来生产未申报的钚或铀-233,尤其是所生产的未申报易裂变材料的数量少于1 SQ时(例如每年生产2千克或以下的钚)。

对于现在每年进行12次检查的设施,在进行这些频繁的检查期间可采取一些措施来核对有无可能的未申报的运行。对于申报的核材料量低于1SQ的其它研究堆,检查的频度通常为每年1次,或对于较大的研究堆每年2次。在这些情况下,一些新措施会相当有助于提高机构担保不存在未申报的活动的的能力。

根据机构现有的法律授权现在正在采用的措施有:

环境取样。靶的辐照及随后为提取例如钚而在热室中进行的溶解,可以成功地瞒过传统的核保障措施,特别是所生产的数量大大少于1 SQ时。在宣布进行检查和频度限于每年1次的地方,隐瞒未申报的活动并在IAEA进行检查之前中断它也许是可能的。不过,在分离易裂变材料的任何化学过程中,总有少量材料将会转移至处理这种材料的地区周围。尽管极其注意防止损失,仍会

对研究堆的核保障措施和探知能力概览

探 知 能 力				
	申报的核材料		未申报的核材料/活动	
	确定数量	及时性	确定数量	运行/生产
现行的核保障措施	能	能	不能	能*
环境取样	不能	不能	不能	能**
未宣布的检查	能	能	不能	能
远距离监测:				
录像监视	不能	不能	不能	能
衡算数据传输	能***	能***	不能	不能
NDA,辐射监测器	能***	能***	不能	能

* 现行的核保障体系基于探知年产1SQ(或以上)未申报钚或铀-233的未申报运行。
 ** 环境取样对年产大大少于1SQ的情况也是有效的。
 *** 结合未宣布的检查安排。

留下这种活动的痕迹并能依靠用在环境擦拭样品方面的先进高灵敏分析方法探测出来。

这些分析技术给设施运行带来的影响是小的,因为取样是在定期检查期间在热室内或外通过采集擦拭样品进行的;几乎不需要运营者做准备工作。

不宣布的检查。不宣布的检查系指当IAEA检查人员抵达场址入口处时才首次通知当事国和当事运行者关于机构要进行检查目的的那些检查。当事国的合作是必要的,因为实施这样的检查要求当事国给予检查人员多次入境签证或允许无签证入境。除此之外,运行者必需做出安排允许机构检查人员在短时间内进入设施。设施运行者在任何时候都需要对不宣布的检查有所准备。这种检查的好处是,关于在检查时该设施没有未申报活动的担保意味着可以一定的概率说,自上次现场检查以来的整个时间间隔里,情况一直如此。

远距离监测。这些系统的类型有:

录像监视。安装可以远距离操作的摄像

机可允许连续监视设施运行,并减少可能进行未申报活动而又不被探知的可能性。这项技术不干扰运行人员,因为唯一要求是被监视区有连续和足够的照明。

测量和衡算数据。远距离传输检查数据将提供关于未发生未申报活动的附加担保,特别是当它与不宣布的检查结合使用时。在设施里可在多大程度上使用这种必要的设备,取决于设施条件和运行实践,并要求当事国、国家衡算和控制系统以及设施操作人员的合作,将由操作人员操作为IAEA提供数据的设备。

利用远距离监测将能降低对检查人员亲临现场的要求,还额外减少对设施运行的干扰(关于在研究堆上采用新的核保障措施所提供的核查能力概览,请见上一頁的表)。

未来的协同努力

在过去的几年里,IAEA及其成员国一直在采取措施来加强核保障系统的有效性和提高其效率。其目的是提供如下担保,即当事国申报的核材料仍保持和平利用,确认不存在未申报的核活动和核材料。

基于核材料衡算的“经典”核保障体系已证明,在提供有关申报的材料及申报的设施和装置用于和平目的方面的担保是可靠的。然而,在提供有关未申报核材料和活动的担保方面,该体系需要进一步加强。

已经核准的一些新措施其目的就是要加强该体系,并在某种程度上已被采用。它们大大提高探知已申报核材料的转用和未申报核材料的生产方面的能力。然而,它们不能确定通过未申报的活动而生产的未申报核材料的数量。达到这样的核查目标要求更大的协同努力和附加的核保障措施。

现在,IAEA理事会正在考虑采取进一步措施来加强保障的有效性和提高其效率。这些附加措施可能实施的程度将取决于理事会工作的成果。 □

IAEA各成员国已认可一些新的核保障措施,并正在考虑其他措施。(来源: Pavlicek/IAEA)

