

对轻水堆的核保障： 现在的做法和未来的方向

作为 IAEA 为实现更有效和效率更高的核保障体系所作的努力的一部分,正在试验对轻水堆的先进核查方法

Neil Harms
和 Perpetua
Rodriguez

世界轻水冷却反应堆(LWR)——当今发电用核动力堆的主要堆型——的核保障措施已经相当完善。无核武器国家*目前有 220 多座 LWR 和其他堆型的动力堆置于 IAEA 核保障之下。

本文介绍目前 IAEA 对 LWR 的核保障做法,以及正在考虑和发展中的超出当今做法的核保障措施。

IAEA 为什么对核电厂实施核保障?这些设施是怎样构成对核扩散的一种威胁?为回答这些问题,看看核电厂的各种核材料是重要的。LWR 目前除了使用铀-钚混合氧化物(MOX)燃料外,还使用低浓铀(LEU)。从其可能用于制造核武器的观点来看,LEU 被划为“可间接使用”材料。这些核材料作为燃料在反应堆堆芯中使用后,其乏燃料则被划为“可直接使用”材料。根据核保障观点,乏燃料中的钚以及新的 MOX 燃料是战略材料。这是影响一个核设施的核保障方案和检查指标的诸多决定因素之一。

对这些设施实施核保障,是一个国家或若干国家与 IAEA 间缔结的协定规定的。

为履行其根据这些协定承担的义务,IAEA 经常进行核查活动,以便得出自己的独立的核保障结论。对于根据《不扩散核武器条约》(NPT)缔结的协定,INFCIRC/153(Corrected)第 28 条把核保障的技术目的规定为“及时探知重要量核材料从和平核活动转用于制造核武器或其他核爆炸装置,或其他未知目的,并依靠早期即被探知的可能性来遏制这种转用”。根据非 NPT 体系缔结的核保障协定,以文件 INFCIRC/66 Rev. 2 所含细则为依据;该文件要求对核材料、核设施、核设备和非核材料以及某些技术资料实施核保障。IAEA 设计这些设施的核保障活动所采用的方法,被称做“核保障方案”。

经典核保障方案

这种核保障方案基于两点,一是对一设

Harms 先生和 Rodriguez 女士是 IAEA 核保障司业务(B)处职员。

* 截至 1996 年 1 月,无核武器国家有 226 座动力堆置于 IAEA 核保障之下。世界目前有 437 座核动力堆;这两个数字之差为核武器国家里未受 IAEA 核保障的动力堆数。

施里所有技术上可能的转用途的分析,一是具体核保障协定的要求。该方案还应设计成能够制止可直接使用材料可能的未申报的生产。这涉及核材料衡算、封隔、监视的系统,以及为实施核保障而选择的其他措施。以下5个方面也在考虑之列:(i)可供机构使用的测量方法和技术;(ii)设施的设计特点;(iii)核材料的形式和可接触性;(iv)可能存在未受保障的核活动;以及(v)检查经验。

检查指标

对一设施的检查指标包括数量指标和及时性指标两个部分。(见右下表。)数量指标与为担保在材料平衡周期(MBP)内没有重要量(SQ)核材料被转用所必要的检查活动的范围有关。另一方面,及时性指标与为担保未发生突然转用所必要的定期检查活动有关。对每个设施而言,如果与该设施内的各种材料相关的所有指标均已被达到,则认为达到了检查指标。在其执行核保障过程中,机构力求完全达到检查的数量指标和及时性指标。

封隔和监视(C/S)措施。这些措施用来补充乏燃料核保障所用的衡算核实方法。由于LWR堆芯通常一年打开不多于一次,所以给反应堆压力容器顶盖加封记常常是可行的。

安装一个环视乏燃料贮存场所的监视系统,使机构能够探知核材料的未申报的移动,以及对封隔和(或)机构核保障装置的潜在干扰。

总之,为达到IAEA检查指标要进行下列活动:

- 审查衡算记录,并将其与提交机构的报告作比较;

- 检查运行记录,并看其是否与衡算记录相符;

- 核实装入堆芯前的新燃料。为探知新燃料的可能转用,用物件计数、序号识别和无损检验(NDA)的方法进行核实。对使用新MOX燃料的设施,如果此燃料来自受IAEA核保障的设施,用物件计数、序号识别和封记核查的方法,每月进行一次核实。但是,在新MOX燃料来自未受核保障的设施的情况下,要进行附加NDA测量,并对保存在干式贮存设施中的燃料要加封记,对保存在湿式贮存设施中的燃料要加以监视。除使用通常的衡算核实方法外,每月还要进行封记核查

核材料的重要量和及时性指标

目前核保障的执行

目前IAEA核保障是如何执行的?从根本上说,机构执行核保障受IAEA《规约》和核保障协定制约。核保障协定范本INFCIRC/153(Corrected)的第2段更明确地规定,核保障将被适用“……唯一目的在于核实这类材料未被转用于核武器或其他核爆炸装置……”。在LWR的情况下,为达到此检查指标,核保障方案考虑如下两种基本手段:

物项衡算。这包括物件计数和识别,以及旨在核实物项连续完整性的无损测量和检验。

分类	类型	重要量	及时性指标
可直接使用材料	铀*	8 千克铀	1 个月
	高浓铀	25 千克铀-235	1 个月(新燃料)
			3 个月(乏燃料)
	乏燃料中的铀	8 千克铀	3 个月
	铀-233	8 千克铀-233	1 个月
可间接使用材料	低浓铀**	75 千克铀-235	12 个月
	钍	20 吨钍	12 个月

* 铀-238 含量低于 80% 的铀。
** 铀-235 含量低于 20%; 包括天然铀和贫铀。

和(或)监视情况评价。

● **核实堆芯内燃料。**在换料后和反应堆压力容器封盖前,要用物件计数和序号识别方法核实堆芯中的燃料。对堆芯中使用新 MOX 燃料的设施,装料要在人员或水下监视下进行。核实后不久,应采取 C/S 措施,以确保反应堆堆芯不被改动。

● **核实乏燃料水池。**在传送管道闸门封闭后或反应堆堆芯封盖时,要核实池中乏燃料。除评价所采取的 C/S 措施外,还通过使用 NDA 技术观察与评价切伦科夫辉光来核实乏燃料。

每年,IAEA 发表核保障执行情况报告。该报告记录所得出的主要结论,提请人们注意不足之处,并建议应采取的纠正行动。所遇到的问题包括:一些监视措施不能产生明确效果;缺少合适的设备;一些核保障措施不够完善;某些核材料的核实方面存在困难;对检查规划的限制;检查员指派方面存在困难;以及其他间接影响 IAEA 检查指标达到的行政问题。

根据解决这些问题过程中获得的经验,为尽量减少这些问题的发生而建议采取的措施,已大大改善核保障执行情况。在欧洲联盟的国家里,机构和欧洲原子能共同体(EURATOM)之间已达成一项从事合作活动的协定(称为新伙伴关系方案)。这个协定已使检查工作量减少,并引入一些新的监视系统。设备经改进后能够适应设施的困难条件。在那些条件下,传统的设备不能提供明确的核实结果。运营者的合作也使某些设施的核保障方案得到了进一步改进。

93+2 计划和未来的方向

最近的一些事件已经证明,IAEA 的核保障体系不仅就已申报核活动而且就不存在未申报核活动,都必须提供可靠的担保。这个以核材料衡算为基础的体系已证明,在就已申报材料 and 已申报设施及装置的和平利用方面提供担保是可靠的。不过,采用一

些新措施,尤其是提高机构探知缔结全面核保障协定的国家中未申报活动的的能力,可以加强这个体系并使其效率更高。业已强调有必要采取超过现有核保障协定范围以外的加强措施。这就产生了所谓的“93+2 计划”。该计划的目的是,为加强核保障同时降低某些其他措施的使用频度从而节省费用提供最有效的全面方案。

远距离监测系统。作为实现 IAEA 降低 LWR 检查费用和提高核保障效率和有效性的目标的一个步骤,瑞士和机构合作,利用一个远距离监测系统(RMS)在一座半静态贮存设施上进行现场试验。目前试验中的 RMS 基于一种全数字方法,这种方法便于图像和数据(例如,关于机构封记的数据)处理、传输、加工和储存。通信系统独立于该监测系统。这种设备有足够的内部数据储存容量和电池电源,使该监测系统在万一失去正常电源和(或)设施电源时仍能搜集图像和数据。必须提供有关系统运行及其环境的“健康状况”数据,以便判断设备工作正常或发生故障。该系统能够提供近实时信息,但这取决于图像和数据采集的方式。可以预料,在 LWR 设施使用 RMS 将使宣布的或不宣布的临时检查次数减少。不宣布的检查意味着,只当 IAEA 检查员到达要检查的设施入口处时,才通知当事国和当事运营者机构进行这种检查的意图。

假如在 LWR 设施采用先进技术例如 RMS,将如何影响现行核保障的执行呢?目前每年对 LWR 进行 3—4 次季度性临时检查。对这种设施的检查次数可能减少,也许在实物存量核实之外只进行 1 次不宣布的检查。对使用新 MOX 燃料的 LWR,目前每年按月进行的临时检查可能被减少为 2—4 次不宣布的检查。结合进行例行检查和不宣布的检查,广泛进入“扩大申报”中所确认的场所,增强与国家衡算和控制系统(SSAC)的合作,采用先进的 C/S 技术,以及设施运营者更经常地申报某些运行数据和核材料转让数据,由这些方面的相互促进效应所产生的结果,将更能担保设施仅供和平利用和不存在未申报的活动。

考虑一种备选核保障方案时,顾及直接受 IAEA 对 LWR 核保障的影响的各方(即一个具体国家的设施运营者和 SSAC)的想法是有益的。

每一次 IAEA 核保障检查,均被看作是对核设施运营者的常规活动的一次“干扰”。在换料停堆期间,维修和停堆活动占用设施运营者的许多时间,他们如何看待核保障检查呢?一次正常的例行核保障检查要用多少时间?下述措施应得到适当考虑:

- 减少 IAEA 检查次数,特别是在换料和维修停堆期间;

- 对于接受新 MOX 燃料的 LWR, IAEA 核查可与其他国家(发货者)的监管职能相协调,以便使操作减至最少并降低对人员的照射;

- 采用改进的无人值守监测和监视系统,以便降低检查频度和费用,同时保持和改善核保障的有效性;这些系统可将信息直接传输到 IAEA 供近实时分析用;

- IAEA 检查人员更多地利用计算机化的运行人员记录,以便及时而高效地进行审核;

- 在 SSAC 和 IAEA 专门业务处之间达成一项实际的工作协定,以便利用人数不多而又熟悉具体核电厂布局和程序的经指派检查人员。这样做的意图是避免每次都看到新的检查人员。如果在日历年年初就确定最可能执行检查的经指派的检查人员“核心”,SSAC 就能采取必要措施,以简化在保安和辐射安全方面对运营者的管理要求,并放松在检查中有时遇到的繁琐程序;然而,这可能要求在检查进度计划方面有较大自由度,或要求多一些检查人员;

- 把 IAEA 检查安排在日班(如,08:00 点到 18:00 点)之内进行,以保证了解 IAEA 核保障的设施工作人员在场。对此,或许有不可避免的例外,例如,涉及向堆芯装入新 MOX 燃料的换料活动。还有,重要的是使值班人员了解 IAEA 设备的需要,例如,在装有 IAEA 监视设备的区域保持足够的照明,或者在 IAEA 封记受损的情况下要采取的相关行动。

迈向更大的合作

对目前世界上置于 IAEA 核保障之下的大多数 LWR 均实施经典核保障方案。这一方案把例行的临时检查与实物存量核实的检查结合起来。它包括核材料物项衡算,封隔和监视,以及为确信没有发生不受核保障的核活动而需要采取的其他措施。

作为 IAEA 为设计改进的轻水堆核保障方案所作的努力的一部分,IAEA 正根据 93+2 计划的授权,研究在一国家选定的 LWR 上建立无人值守的近实时监视系统网的可能性。从这种网获取的信息将为 IAEA 以稍低频度进行的检查所补充,而且多半将不予公布。还可以预计,检查人员在其不经常的检查期间需要更多进入核电厂场址。这个新方案产生的费用节省,部分取决于要检查的特定的燃料循环和设施数目。

随着先进技术的利用和(或)对关于不存在未申报的活动特别是不存在未申报的后处理和浓缩活动越来越有把握,重新制订对 IAEA 及时性指标的要求也将为降低对天然铀和低浓铀燃料循环中申报材料实施核保障的费用奠定基础。

瑞士莱布施塔特核电厂。

