

对低浓铀设施的核保障： 现在的作法和未来的方向

IAEA 对低浓铀设施的核查活动及为加强运营者
之间的合作而采取的步骤的概况

低浓铀(LEU)燃料循环设施涉及核工业的一类重要产品,它与核电生产密切相关。这类设施包括用于六氟化铀的生产、铀的浓缩(铀-235的含量低于20%)、向氧化铀粉末的转化及随后在反应堆中使用的核燃料组件的生产的那些设施。它们通常还包括用于乏燃料(含有钚)封装和处置的设施(不包括后处理厂)。本文主要论述使用LEU的燃料循环设施,并简要述及对将在地质处置库中最终处置的乏燃料的核保障。

所有LEU设施内都存在铀,这是IAEA按照根据《不扩散核武器条约》(NPT)缔结的协定对其实施核保障的原因。天然铀或低浓铀是唯一可间接用于核武器生产的核材料。进一步浓缩铀的同位素铀-235,使其丰度达到20%以上,这对于获得可用于核爆炸装置的装料是必要的。

这一事实是IAEA对LEU实施核保障的主要原因。机构有责任独立地得出下面的结论,即受核保障的核材料没有从和平利用转用于核爆炸或一些未知的目的。IAEA为达到这个目的而采用的核保障方法和标准

是在充分考虑到这种核材料用于核武器的潜在可能性而制订的。将天然铀或低浓铀转化成武器用材料必须使同位素铀-235浓缩,这是一个昂贵而费时的工艺过程,如果秘密进行的话更是如此。根据技术分析,估计一个国家可以在大约1年的时间内将这种核材料浓缩到适用于武器生产的浓缩度。不过,机构最近的一些研究表明,尽管建造(特别是秘密建造)一个浓缩厂是一项耗资大、工期长的工程,但是一旦浓缩厂建成后,对LEU的进一步浓缩可以在不到1年内实现。

Anita Nilsson

目前对LEU设施的核保障

IAEA对LEU实施核保障是以若干准则为基础的,这些准则规定了检查指标:重要量系指含75千克铀-235的铀的数量,及时性指标为1年。这就是说,当机构实施其核保障制度时,它必须能在1年的时间内探知到LEU中所含的铀-235至少有75千克被转用。

LEU燃料循环设施通常生产散料形式的核材料。在工业生产期间,用作供料的核材料可能发生同位素、物理和化学变化。在生产过程中,一些核材料还可能变成废物,

Nilsson女士是IAEA核保障司的一名高级职员。

少量核材料被排进废水中或以其它形式被排放掉。出于核保障和财政两方面的原因,共同的目标是努力使废物和损耗保持尽可能的最低水平。

为了达到以不同方式处理散料核材料的工业生产中的核保障指标,IAEA 建立了一种使之能够对特定时期内核设施的物料平衡进行年度评估和独立核查的核保障方案。

IAEA 必须不受运营者和成员国的影响独立地得出自己的结论。不过,为得出这些结论而进行的活动,可以与国家衡算和控制系统(SSAC)或地区衡算与控制系统(RSAC)联合进行。为了得出结论,对受核保障材料的数量的核实必须有相当的可信度。

根据现行核保障标准,对核设施生产流程中的核材料和库存的核材料应进行独立的核查。对于一个 LEU 燃料制造厂来说,核查必须覆盖生产流程中至少 20% 的核材料,而且还要每年核查一次运营者所提供的关于该设施中所有核材料的全部实物存量;这项核查工作是在为衡算目的而进行的物料平衡结束时进行的。

机构根据其对该设施工业生产流程的了解以及运营者和 IAEA 对核材料进行的精确测量,采用统计方法进行效费比高的核查。关于核设施所应用的生产流程和测量系统的资料都包括在提供给机构的设计资料中。

IAEA 各项活动所依据的资料是由当事国通过 SSAC 或 RSAC 提供给机构的。关于存量变化的正式国家报告要定期提交,一般是一个月提交一次,以反映上个月中存量的变化。

检查和核查活动。在例行检查期间,机构核实运营者所申报的物料衡算资料,如衡算记录和证明文件,以及将结果与 SSAC 或 RSAC 提交的正式存量变化报告进行比较,比较工作通常在总部进行。根据 IAEA 现在

适用的核保障标准,例行检查要达到检查指标。对一个 LEU 燃料制造厂来说,在物料平衡期间,通常为核查生产流程中的核材料要进行 5 次检查,为核查实物存量要进行 1 次检查。在一个浓缩厂,每个月都要进行检查,主要是证实所申报的浓缩度(即浓缩度没有超过 20% 铀-235)。根据每半年一次提交的运营资料及接收和装运核材料的事先通告,来制订检查计划。生产流程中核材料的核查采取的办法包括称重和取样(供随后的化学分析使用)以及无损分析(NDA)(以控制浓缩度)。当考虑到处理散料形式核材料的燃料循环设施设计的生产能力很大而核材料的库存量相对较小时,进行“流量检查”的重要性就很明显了。

实物存量的核查采用统计方法。当将一个处理散料形式核材料的设施的记录的存量(账面存量)与测量的存量(实物存量)比较时,经常有差异。这一差异被称为不明材料量(MUF)。物料平衡的统计评估得出一个结论,即此 MUF 是否在可接受限值范围内。尽管 MUF 量大可以表明核材料有可能被转用,但还需根据当事国对核材料的申报和 IAEA 对这些申报所做的独立核查,以更广阔的角度对这一可能的转用进行全面评估。

按照现有的核保障体系,SSAC 或 RSAC 每次都能得到提前检查通知。以前,认为这样做对于让当事国和运营者准备检查所需的核材料申报和其它文件是必要的。

衡算与控制。核保障体系要求运营者根据商定的标准和建议保持最新的核材料记录(总分类账)。不过,即使没有相应的核保障要求或体系,也可能要进行核材料衡算。核材料是昂贵的,它是核反应堆运行费用的重要组成部分。因此,为了核材料所有者的利益,总是设法保持最小的材料损失和维持尽可能高的质量控制水平。

核材料衡算是运营者始终监视加工的

核材料的一种方法,它是运营者对核材料所有者所负的责任的一部分。另外,核安全和反应性计算要求精确的浓缩度规格。一根燃料棒的燃料芯块中有一些点的浓缩度特别高,就可能导致燃料棒烧毁,使裂变产物泄漏到冷却系统中,必然引起电力生产损失。即使这种泄漏的水平很低,它也会成为使公众受到照射的辐射源。出于同样理由,燃料循环设施的运营者要控制核材料向环境中的泄漏并使其最小,测量与衡算系统也证明了这一点。

为了维持生产中的高质量,核燃料循环设施的运营者使用了先进的仪表。使用燃料棒扫描器进行浓缩度控制,使用精密天平来测定重量。一些设施中确立了一些机构可以使用运营者所拥有的设备的惯例。在这种情况下,为了保持其独立性,机构将一些用于校准目的的标准源和核材料封存在该设施中。这种合作方式能提高检查效率,并保持或提高核保障的有效性。

运营者保持控制系统的另一个原因是有关核不扩散的双边和多边协定的要求。核供应国要求保持核保障,并且要根据规定的标准来统计核材料。换句话说,核材料的衡算和IAEA的核保障是核贸易的前提,已经认识到没有高质量的核保障体系,即使能进行核贸易,也会受到严重的阻碍。

核保障可能的新组成部分

最近的一些事件表明,有必要改进核保障。为此,IAEA的核保障体系不仅应核查各国关于核材料的申报的准确性和完整性,还应提供关于不存在未申报的核活动的可靠保证。根据IAEA的所谓的“93+2计划”,提出了一个加强的核保障体系。该计划的第一部分正按照全面核保障协定加以实施,而构成第二部分的新措施要求给IAEA附加法律授权。1995年6月,IAEA理事会同意机

构开始执行该计划的第一部分,1996年6月,成立了一个理事会委员会,负责制订一项议定书,以补充现有的全面核保障协定。该议定书将为机构提供实施设想的整体加强的核保障体系所需要的附加手段。

对LEU燃料循环设施来说,该计划的第一部分包括尽可能增加实际进入和扩大与SSAC或RSAC的合作。增加实际进入包括进行不宣布的检查,即不事先通知当事国而进行的检查。如果可以得到关于核材料流量和设施运行情况的近实时申报,则不宣布的检查可以有益于提高效率和有效性。由于增加了进入权,检查员将可以进入某一核场址的所有建筑物。对于加强的核保障体系来说,目前系统的最佳利用也是非常重要的。增加由国家提供的来自SSAC的信息扩大了机构与国家或地区主管部门的合作。扩大合作包括共用测量仪表,及早向IAEA提交国家和地区主管部门所能获得的数据以及在IAEA能保持独立控制作用的前提下开展联合活动。通过扩大合作,不一致或疑问便可以及时地得到解决。

现场试验。已经在加拿大、芬兰和瑞典进行了加强的核保障体系的现场试验。这些试验为这一加强的核保障体系如何实际实施提供了良好的范例。

在加拿大进行的试验。在加拿大进行的试验表明,可以获得不宣布进入一些场所的权力,这些场所在很多燃料循环设施里通常是不允许为了核保障目的而进入的。所涉及的这些设施包括一座铀转化设施、一座燃料制造设施、两座多机组动力堆设施、一座部分退役的研究堆和一座研究与开发综合设施。试验还证明了(如加拿大原子能管理委员会通报的那样)加拿大SSAC和机构在以下几个方面的合作得到了加强:由运营者和SSAC编制的因场址而异的不宣布进入程序与IAEA共用从而在拟定检查安排日程时可考虑到该程序。尤其是,试验的范围从拟

议检查期间所要求的广泛进入到工作日以外时间的不宣布进入；采用的措施包括环境取样，设计资料核实，目视观查和无损分析。在任何情况下，都毫不拖延地准予进入，而且 IAEA 能开展所需的活动。就广义来说，试验表明可由 SSAC、运营者和 IAEA 做出程序性安排，从而能在不宣布和临时通知的情况下成功地进入加拿大核设施的任何场所。

在芬兰进行的试验。在芬兰进行的现场试验集中在环境取样和增强与 SSAC 的合作方面。评估了现场环境监测技术，结果表明市场上可买到的仪表能够用于 LEU 设施的环境监测，不必作大量开发工作。还成功地论证了射线照相法可用来筛选环境擦拭样品。芬兰的实验室分析了现场试验期间在不同地区采集到的各种样品，并提供了有价值的分析结果。开发了一套卫星导航和台式绘图系统，用以确定和记录在现场中环境取样的位置。已证明这一计算机化绘图和导航系统对设施外的环境取样是非常有用的。

在加强与 SSAC 合作方面所作的试验包括向 IAEA 提交 SSAC 调查表和扩大申报的信息，以及对几座 LWR 和一座研究堆进行不宣布的检查。结果，获得了通过这种获得更多信息和更广泛入场址来进行这类检查的经验。制订了不宣布的检查的程序和用于 WWER 型反应堆设施的一种新的改进的核保障方法。

在瑞典进行的试验。在瑞典进行的试验涉及环境监测和增强与 SSAC 的合作，包括向 IAEA 提交下列补充资料：近实时衡算报告、不宣布的检查情况、SSAC 信息和扩大申报的信息。

在瑞典进行的试验大部分集中在对一座 LEU 燃料制造厂进行不宣布的检查。不宣布的随机检查的计划按下述方法执行，即在此期间，任何一天和任何时刻都有进行检查的可能性。该计划除了其他事情之外要求

每周都要提供有关这座设施的运营预报。该信息通过一条加密电子链路提供给机构。在试验之前，商定了下列有关程序：检查人员签证，进入该设施，设施工作人员陪同进行检查，访问运营者的计算机化核材料衡算系统中的数据。不宣布的检查的结果和为完成试验而进行的实物存量核查一起，为评估这种方法提供了坚实的基础。

整个试验结果表明加强的核保障体系对 IAEA、国家主管部门和运营者都起到了积极的作用。简单地说，由于不宣布的检查的随机性，这些检查所得到的核查结果能反映在物料平衡期间的生产过程中所涉及的所有材料。这意味着有效性明显提高，从部分涵盖到全部涵盖生产流程中的核材料。增加检查员进入权使他们可以进行一些核查活动，以确保在设施所在场址不存在未申报的活动。

总之，业已证明所试验的方法能提供收费比更好的核保障：该体系得到了明显加强而检查工作量仍保持同样水平。对设施的运行来说，所开展的日常检查其入侵性比通常的“传统”体系所进行的检查的要小，这是因为前者针对生产过程而不是产品。这些优点很好地补偿了运营者为提供每周运行预报和建立允许对设施进行不宣布的检查所需的日常检查而增加的额外工作。

在机构内部，最近建立了一个特别工作组，任务是评估对 LEU 燃料制造厂可能采用的各种核保障方法，同时考虑不同方法对不同设施和不同国家的适用性。

未来的方向

加强的体系的组成部分。IAEA 理事会正在考虑的加强核保障的进一步措施都基于更多地获取有关各国核计划的信息、增加机构检查员对核设施和其它核场址的实际进入，以及使用新技术（主要是环境取样）和

目前体系的最优化。目标是既要核实没有发生核材料转用又要核实不存在未申报的核活动。此加强的核保障体系对一个国家总的的影响取决于该国的核计划。根据确保不存在未申报核活动的要求,该体系将对处理高浓缩铀或钚的敏感核设施投入更多的力量,对较不敏感的材料如低浓铀等投入的力量较小。正如以前所指出的那样,通过不宣布的检查能更有把握地说没有发生核材料转用,同时能更有信心地说不存在未申报的核活动。对于后者来说,环境取样的可行性是重要的。如果在定期检查期间进行环境取样,就没有必要进行单独的检查,否则会给 IAEA 和运营者造成附加费用。

由当事国提供的更多的信息将构成 IAEA 信息评估的基础。对于不存在未申报的核活动越来越有把握,就可能为减少对已申报的核材料的核保障力度提供正当理由。可以核动力堆乏燃料为例子。虽然乏燃料中含有钚,但是如果越来越能保证一个国家没有进行秘密后处理,则亦将会影响核保障方法。

在一些国家,乏燃料被完整地封装起来,准备放进深地质处置库中最终处置。在 IAEA 组织的一次咨询小组会议上,参加国代表们一致认为,不能中止对准备或已经在地质处置库中最终处置的核动力堆乏燃料的核保障。不过,会议也一致认为,采取的措施应该以“知识的连续性”为基础,还要考虑到核保障体系的发展。尽管地质处置库可能含有大量钚,但对该场址采取的核保障措施仍可能是有效并且效率高的——例如在该场址采取封隔和监视措施及保存被处置材料的信息——前提是加强的核保障体系能担保不存在未申报的核活动。

在通过 IAEA 的核保障支持计划进行的一次广泛的联合行动中,一些国家参与了有关对有待在地质处置库中最终处置的乏燃料的核保障方法的工作。将于拟定的下一

次咨询小组会议前准备好一份联合报告,这次会议将讨论解决关于燃料循环后端的核保障问题。

现代技术的应用标志着对 LEU 燃料循环设施的核保障的重大改变。衡算和运行数据通过电子方法近实时地传输可以提高效率和有效性。加密技术和特别传输议定书将确保数据的保密传输。可靠的测量数据的远程电子传输将为 LEU 设施提供实施远程监视的机会,就像对核反应堆进行远程监视一样。可利用的测量技术越来越多地能提供数字格式的结果,这对于测量结果的远程传输是必要的。因此,新技术的应用能进一步减少对设施的实际检查频度,同时也能保持或提高置信水平。

加强合作。对于 LEU 燃料循环设施来说,加强的核保障体系可能会(通过 SSAC 或 RSAC)使国家和运营者与 IAEA 之间的关系发生一定的变化。为提高核保障的有效性和效率设想通过更及时地提供部分运行事件的情况和接受不宣布的检查而进行更多的合作。

在核保障发展的这个改进阶段,应该认为现场检查的作用要超过核实核材料没有被转用的作用。当检查员在设施内会见运营者时,可以讨论关心的事项,解决不一致或疑问。在所有检查或控制体制中,各方人员之间的信任是重要的。

IAEA 的核保障检查员在这方面主要提供一种服务,即提供国际社会所要求的保证:设施中核材料的使用符合该国对不扩散的承诺。有了这些保证,这些设施就可以保持公众对它的信赖,即它仅从事和平活动,并通过它的工业生产为社会福利作出贡献。发展中的核保障体系要求并促进 IAEA、国家或地区主管部门及运营者之间加强合作。总之,核保障的有效和高效率应用是设施运营者的光荣,也是国家和国际社会的光荣。 □