

# 90 年代的国际原子能机构核保障：继往开来

作为 NPT 关键组成部分的 IAEA 核查体系

将进一步提高其效率和有效性

Bruno Pellaud  
和 Richard  
Hooper

当《不扩散核武器条约》(NPT) 缔约国于 1995 年 4 月开始在纽约开会决定该条约的前途时，焦点之一将是 IAEA 的核保障和核查体系，它是世界上第一个国际性的现场检查体系。该条约的规定之一是，要求每个缔约国与 IAEA 缔结一个覆盖该缔约国内一切和平核活动中的一切核材料的全面核保障协定。

自 NPT 于 1970 年生效以来，IAEA 一直在越来越多的国家中根据“NPT 型”协定实施核保障。今天，大部分 IAEA 核保障协定属于这一类型，因而 NPT 审议和延长大会的结果对 IAEA 和国际社会将具有重要的意义。

在整个 90 年代，在加强 IAEA 核保障体系的各个组成部分方面进行了广泛的努力。例如，在 1991 年至 1993 年期间，IAEA 理事会确认过机构动用特别检查的权力；作出过有关及早提供和使用建造中或改建中设施的设计资料的决定；并表示赞同通报核材料的进出口情况和规定设备和规定非核材料的出口情况的制度。

伊拉克事件突出了把刚刚开始做的这几步贯彻到底的重要性。1992 年，IAEA 就实施核保障方面或许可以加以改进的一些具体问题从技术角度进行了一些研究，以便明确通过哪种机制和哪些活动可实现这些改进。1993 年 7 月，IAEA 提出了一项称作

“93+2 计划”的计划，以便拟订一份使核保障体系得到强化和费用效果更好的完整的建议书。按计划，该建议书即将于 1995 年 3 月，即 NPT 审议大会开会之前提交 IAEA 理事会。

本文扼要介绍该建议书的要点，以便人们能够对目的在于强化核保障和提高其费用效率的全面而一体化的方案的主要内容，和这些内容中可能存在的一些折衷办法和最佳协同，有一个概括的了解和估计。这个全面方案的实施，必定是一个随着时间逐步推进的过程。

## 强调的主要方面

“93+2 计划”中的想法和建议涉及的范围较广，性质上则是多样化的。它们既涉及已申报的核活动又涉及未申报的核活动。它们包括可能会采用的强化核保障的一些新措施，使完成现行核保障活动的效率更高的方法，以及一些可供选择的程序和技术。这些程序和技术有的也许可使核保障更有效，有的可在维持核保障有效性的同时只需较少的工作量和较低的费用。\*

改革的三个主要方面如下：

**获取信息权。**近几年在这方面已经采取

\* 有效性所涉及的是 IAEA 的核查达到不扩散目标的程度。效率所涉及的是 IAEA 核保障的生产率，即可动用的资源（人力、物力、财力）用于完成指明任务的好坏。

Pellaud 先生是主管 IAEA 核保障司的副总干事，Hooper 先生是该司概念与规划处处长。

的措施有：及早提供关于已申报设施的设计资料；更多地利用以公开、内部或其它方式获得的关于核活动的数据资料；以及通报核材料、规定非核材料和规定设备的进出口情况的制度。

在这方面设想的新措施主要有：

- 扩大当事国应提交的有关其核活动的信息的范围，从而提高核透明度；及

- 使用环境监测技术。

**进入场地权及其有效性。**已经采取的一些措施有：IAEA 理事会确认了关于特别检查的立场；以及一些政府自愿提出可以接待机构的“随时随地”访问。

新的发展可以包括有关以下几方面的建议：

- 在“战略点”以外与核有关场所的例行进入权；

- 扩大临时通知或不通知的立即进入权；及

- 在扩大的进入权方案中，进入敏感场所的“受控制的进入权”。

**合理化和提高行政管理效率。**已经采取的措施包括：扩大 IAEA 设在多伦多和东京的两个核保障办事处在本地区内的活动范围，与欧洲原子能共同体 (Euratom) 检查机构订立伙伴关系协定，及简化检查员选定程序的建议。

进一步的措施或许是：

- 更多地使用无人值守的远距读出设备以取代某些检查活动；

- 增设地区性的核保障办事处，以节约差旅费和便于进行临时通知或不通知的核保障活动；

- 供检查员使用的多次入境签证；

- 扩大检查员与总部自由联系的能力；

- 检查员的再培训；及

- IAEA 和当事国的核材料衡算与管制体系 (SSAC) 共同使用设备和实验室。

## 获取信息权

**扩大申报范围。**目前，当事国提交的申报仅覆盖该国领土内或者在其管辖或控制

下的核材料、相关的工艺过程（与工艺过程有关的资料仅限于对核材料实施核保障所必需的），以及含有或预计将含有已申报核材料的核设施。在“93+2 计划”中，考虑扩大申报的范围。这样的申报与一定的核查活动相结合，可使当事国的核燃料循环及与之相关的活动更加“透明”。“透明度”将是当事国与 IAEA 之间的高水平合作的结果。

**放宽或扩大当事国核活动的申报范围，**除申报与一切核材料有关的信息外，还应提供有关该当事国内其它的核及与核有关的一切活动的信息。此类信息包括描述所有与核有关工艺过程的地点、生产、研究与发展，以及培训方面的情况。此外，在这种范围扩大了申报中，应列明紧靠着核设施的工业、商业和军用设施。在“93+2 计划”的范围内，在由若干国家作东道国的现场试验过程中，正在逐步形成一种标准的扩大申报范围办法。

**信息源。**有效的核查取决于可获得有关被检查国家中核活动的可靠信息。信息可以来自 IAEA 数据库和来自公开的信息源（例如新闻媒介的报道和科学出版物）。内部来源包括核保障检查数据，收到的关于核材料的进出口及规定设备和规定非核材料的出口的信息，以及上述范围扩大了申报。关于公开信息源，IAEA 已建立了一个用于贮存和检索核保障有关信息的计算机化系统。该系统包含了从 IAEA 现有的动力堆、研究堆和核燃料循环设施数据库中选取的信息。它还包含范围相当广的有关各国核法规，能源的需求、生产与资源，核和与核有关的计划，国际合作以及从事核事业的公司、企事业单位的信息。这个系统还注意收集有关核方面的材料、工艺、设施和设备，包括两用物项在内的公开商业信息。

**环境监测。**环境监测技术可以大大增强 IAEA 探知未申报核活动的的能力。所以，“93+2 计划”很重视这种很有前途的手段。在 1993 年到 1994 年间，通过在 11 个国家（邀请 IAEA 进行此类试验的国家超过此数）中进行的现场试验，已在以下诸方面取得重要的进展：

- 评价在一系列有代表性的条件下启用环境监测的切实可行性、有效性和费用；

- 确定与各种各样核活动（重点为铀富集、反应堆和后处理作业）有关的远程和近程环境标记并将其编成文件；

- 建立样品的采集和分析程序与质量控制要求，并将其编成文件；及

- 在 IAEA 塞伯斯多夫实验室建立在“洁净室”中处理和筛选样品的能力；\* 扩大现有的分析实验室网，使之包括环境样品分析能力；建立对新入网实验室的认证要求。

任何一种生产或制造过程都会使少量工艺材料逸入邻近的环境中。损失的数量取决于很多因素，包括该工艺过程的性质、材料、限制损失的控制措施，以及这部分材料向邻近环境以外的迁移等。核材料的加工也不例外，即使能把损失限制在大大低于能引起健康与环境问题的水平，但不可避免的总还有损失。核材料还具有一些特殊的物理性质（如放射性），这些性质使探测极小数量的材料并弄清其特性成为可能。这种样品处理和筛选能力加上可以将特异标记毫不含糊地与特定的核工艺过程关联起来的可能性，是人们把环境监测看作有希望探知未申报活动的原因。环境监测现场试验的目标是，验证并在可能时标定这些方法，以便供核保障实践使用。

典型的样品介质是建筑物内外的擦拭样品、植被和土壤样品，以及水文样品（抓取的水、大体积水、沉积物和生物群）。在“93+2 计划”名下进行的现场试验中，重点放在近程监测上；这就是说，大部分样品是在核设施附近收集的。目前已计划的现场试验不打算收集和评价大体积空气样品和收集气体排出物。

作为现场试验的一部分，制定了样品分

发和报告协议以保护样品的“身份”。分发给扩大了实验室网的所有样品都以不可能查出原始取样点的方式编号。从迄今为止进行的现场试验中采集的样品，一直被分发给几个 IAEA 成员国（包括澳大利亚、加拿大、芬兰、匈牙利、俄罗斯联邦、联合王国和美国）的专业实验室。作为环境监测现场试验东道国的 IAEA 成员国，一直被邀请参加平行样品的分析工作。

某些现场试验的结果已经与相应成员国的代表一起审议过。下面是可报告的某些结果：

**在瑞典的现场试验。**1993 年 9 月中旬，在瑞典 5 座核设施附近的沿海水域收集了水、沉积物和生物群样品。共选择了 30 个取样点。取样地区是每座设施的排水口沿海岸向两边延伸 20—30 公里。从试验中得到的结果表明，这个沿海地区的核生产活动，能够在最远距该设施 20 公里处采集的水和沉积物样品中感觉到，实际的最远距离取决于当地的输运和混合条件。由于存在着活化产物，核反应堆的运行比较容易被察觉。从一座研究设施附近采集的大体积水样品中分离出了微量的钷（约  $10^{-15}$  克/升），这表明含有高燃耗同位素。这与那里当时正在进行乏燃料的特性研究这一事实相符。取自其它地点的沉积物仅含沉降钷，明显不同于取自该设施附近的沉积物。

**在南非的现场试验。**1994 年初，在南非的佩林达巴厂址进行了广泛的环境取样现场试验。在此次试验期间，在该设施内和设施附近收集了土壤、植被和水文样品。在已停产的原型铀富集设施（早期生产过高富集铀）的主工艺厂房内外，在半工业性低富集度设施以及在有关的工艺厂房收集了擦拭样品。收集的各种植被尽管能说明问题的同位素浓度极低，但还是提供了铀富集活动的证据。擦拭样品提供了铀富集工艺过程和富集水平的明显标记。尤其是所获得的有关细颗粒的结果表明，在来自工艺设备区、辅助房间和厂房外部的样品中，铀-235 富集度有类似的分布。

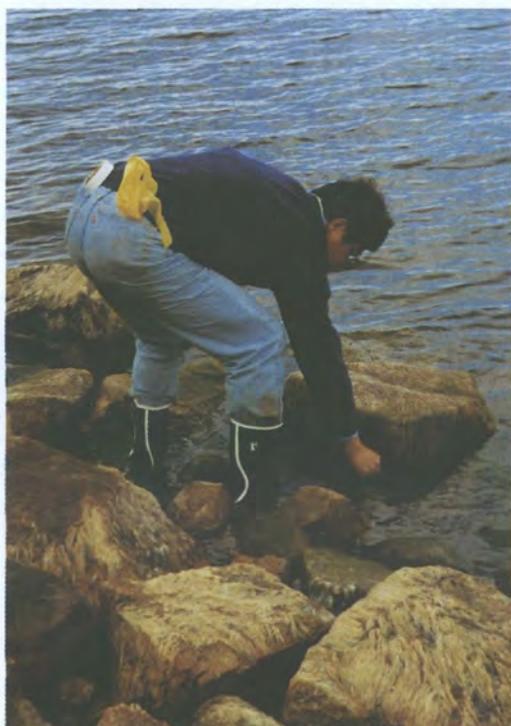
**在澳大利亚的现场试验。**1994 年 4 月，

\* 见 David Donohue, Stein Deron 和 Erwin Kuhn 撰写的《环境监测与安全保障：增强分析能力》，《国际原子能机构通报》第 36 卷第 3 期，1994 年。

作为现场试验的一部分，在澳大利亚核科学技术组织所属卢卡斯高地研究实验室收集了环境样品。从与生产放射性同位素钼-99有关的实验室中收集的擦拭样品清楚地表明，其中含有所使用的各种靶材料和所产生的辐照产物。从涉足冶金工作的实验室采集的擦拭样品，显示出被加工过的不同类型源材料的铀-235标记。在一幢曾安装过用于离心富集的研究与开发设施（14年前已拆除）的建筑物中采集的擦拭样品，清楚地揭示出曾从事过这种活动。

**在阿根廷的现场试验。**1994年5月的现场试验期间在阿根廷皮尔卡尼耶富集工厂厂内和周围采集的擦拭样品和植被样品，已取得结果。在此次现场试验过程中，采集了下面一些样品：9个点的土壤和植被样品；从该设施的上游和下游河段中采集的水、沉积物和生物群样品；以及从工艺厂房和一般用途厂房内的5个点采集的擦拭样品。对擦

来自与核保障有关的环境监测活动现场试验的几个镜头。在包括瑞典、阿根廷、澳大利亚和南非在内的许多国家的配合下，已进行过多次现场试验。（来源：D. Beals; E. Kuhn, IAEA）



拭样品、植被样品和土壤样品进行的颗粒分析所得出的结果清楚地表明，存在着贫化铀、天然铀和低富集铀。这些结果与该设施的运行情况相符。

在这些结果的基础上作出的结论，与这些国家申报的这些设施的活动相符。环境监测现场试验结果表明，这种技术是证实已申报活动或探知存在着未申报核活动的有力手段。应当指出，业已证明，这些取样方法在防止样品交叉污染方面是行之有效的。此外，扩大了实验室网中现有的分析技术，已经证明它们有能力进行极低浓度的放化和同位素测量。不同实验室报告的对于由同一样品分割出的各个小样品所进行的分析得出的结果相互一致，而且样品的“整体”分析结果也与同一样品的颗粒分析结果一致。样品的“整体”分析结果与更细致的颗粒分析结果之间的这种一致性很重要。这意味着“整体”分析能够在进行更细致的和花钱更多的颗粒级分析之前有效地筛选样品。

**扩散关键路线和有关规则。**由于有了更多的信息可用于进行系统分析，IAEA 理应能较早地找出国家的核活动与其申报不一致的任何事例。IAEA 在来自几个当事国的专家的帮助下，正在研究旨在把生产武器用材料及随后武器化的所有已知途径包括在内的扩散关键路线，以便总结出对信息资料的要求和对分析的要求。关键路线能把生产武器用材料和武器化所需的一切工艺过程用图解法表示为许多层次，一个层次比一个层次具体而详尽。第一个也是最高的层次包含一些主要步骤，例如同位素富集、后处理等。这一层次的每一部分又分成一些较具体的工艺路线或工艺方法。例如同位素富集部分被细分为 9 种可能的工艺方法（气体离心法、电磁法、气体动力学方法、气体扩散法、分子激光法、原子蒸气激光法、等离子体分离法、化学交换法和离子交换法），在这种情况下，这些具体方法构成扩散关键路线模型的第二层次。

每种工艺方法则以一些与该工艺的存在或开发相关的指示物表征，诸如专用设备、两用设备、核与非核材料、培训及环境

标记。这些指示物是扩散关键路线的第三层次。例如，与气体扩散富集工艺有关的一些指示物是扩散膜、气体增压机、六氟化铀、三氟化氯、释入环境的多种氟化化合物与热，以及大功率的输电线。出现在最高层次的与武器化有关的活动包括氟、富集锂和发射  $\alpha$  的放射性核素的生产，以及采购 X 射线高速照相器材之类高技术设备。

在专家们的帮助下，我们正在把扩散关键路线表述为逻辑上有联系的“如果—那么”规则。作这种表述的首要目的是判别信息的性质，并将其（例如出口数据）放入关键路线体系中的适当位置。关键路线考虑了或许会通过外部采购（例如采购源材料、六氟化铀（ $UF_6$ ）、富集铀等）使武器化的任何一条路线缩短的可能性。

### 进入场地权

自核保障问世以来，检查员的进入权一直是个关键问题。对于全面核保障协定中规定的例行检查来说，检查员有权进入被认为使 IAEA 能够履行其与材料衡算有关的核保障义务所必需的特定地点（所谓“战略点”）。更宽的进入权是强化核保障体系的关键。就增加关于不存在未申报核活动的担保程度而言，更宽的进入权是对现行实践的一项改进。

机构正在现场试验中评估把人员进入权扩大到若干不同类型场所的可能性。第一，让进入权突破受核保障设施中“战略点”的框框，扩大到该设施厂区内的任何场所。第二，应允许进入列入扩大了申报范围的这样一些场所，它们虽并不含有核材料或仅含有免除核保障的少量核材料，但含有或已经含有与核有关的活动。这头两类场所，包括了已列入扩大了申报范围的一切核的和与核有关的场所。第三，作为对加强合作和提高透明度的重要贡献，当事国应设法为检查员进入扩大了申报范围中的其它场所，即紧靠着核设施的工业、商业或军用设施提供方便。第四，有权进入已列入扩大了申报范围的那些场所以外的场所；但

这种进入要求只有掌握了特殊信息或执行技术措施(例如环境监测)的需要才能提出。

一种有点类似于《化学武器公约》中的“受控制的进入权”的概念也正在试验中。这种概念允许 IAEA 进入敏感的场所同时又承认该国保护敏感信息的权利。保护措施包括遮蔽设备、仪表刻度盘和电子学系统等。

为了有效性,正在现场试验中研究的这种更宽的进入权应当尽可能是不预先通知该国的那种进入权。“不通知”意味着不预先通知检查的时间、活动或部位。实际上,这意味着,当 IAEA 检查员到达可疑场所入口处时才把 IAEA 要进行这种检查的意图通知该国。为有效实施这种不通知的检查,要求当事国不要求 IAEA 检查员从事检查时办理签证或同意签发多次入境签证。

与这种“通知”密切有关的一个问题是,检查员从抵达该场所至到达被检查的特定部位所花费的时间。在多数场合下,这一时间间隔并不重要。但在某些情况下,为了能达到其目的,IAEA 也许需要迅速到达某一部位。为了检验用于这类情况的规程,在大多数试验中曾以最长时间为 2 小时作为目标。

## 资源的合理利用

**分析当前的核保障费用。**“93+2 计划”包括评估核保障实施费用与核保障技术参数(及时性、重要量 SQ 及探知概率)的数值之间的关系。与这些参数的现行数值相关的实施费用单价及其对这些数值的变化敏感度,均已被求得。为进行上述的费用评估工作,规定了各参数的合理数值范围。与进行这些研究的同时,人们正在考虑有关的技术情况,看看这些参数是否需要改变,例如改变金属铀/高富集铀的及时性指标及改变贫化铀、天然铀和低富集铀的转化时间/及时性指标。这些经济问题和固有的技术指标都正在加以处理。

**节约费用的潜力。**这项计划还涉及这样的活动,即找出并评价有潜力降低与实施当

前的核保障相关的费用的技术和行政管理措施。

与实施核保障有关费用中的主要组成部分,是工作人员、设备和差旅的费用,因而这些也就成了挖掘费用节约潜力的目标。随着置于 IAEA 核保障之下的设施数目和核材料数量的不断增加,减少受过培训的工作人员是不现实的。但是,采取以下措施可使工作人员和差旅资源得到效率更高的利用:应用现代化技术;用扩大现有地区办事处或建立新的地区办事处的办法,使核保障业务以更加经济的方式开展;以及效率更高地使用办公室自动化设备。设备方面的费用节约可以通过以下措施达到:提高标准化程度;和与运营者分享设备和分析服务并共同分担费用。以下两例也许能说明一些问题:

**无人值守设备。**使用能以无人值守方式工作的先进技术、检验方式和监测设备,可以减少检查员亲临设施现场的次数和时间。结果是检查工作量、检查员所受到的辐射照射及检查活动对运营者日常工作的影响都会减少。这类情况的实例包括:使用棒束计数器和堆芯卸料监视器系统,摄像监视系统,一种称作 Consulha 的系统(阿格工厂的封隔和监视系统),以及在混合氧化物(MOX)燃料制造厂使用的无损测量系统。可能采取类似措施的其它情况包括:在不停堆换料反应堆中核实乏燃料舱间转移,核实乏燃料向干法贮存罐的转移,在 MOX 燃料制造厂核实核材料的接收、贮存和装运,核实富集厂的进料及其产量,以及在后处理厂进行槽罐监测和取样。

**数据的邮寄。**目前的核保障规范需要定期核实受保障核材料的存量。在大多数情况下,核材料(例如乏燃料)是处于封隔与监视之下的。进行以及时性为目的的例行检查时要维护这些监视设备,更换/核对封记,或取回在一定时间间隔内搜集的无损数据。通过由 SSAC/运营者邮寄或远程传输来传递核保障数据,有可能减少期中检查的次数,从而节省检查工作量。

1992 年和 1993 年,IAEA 通过芬兰、匈

牙利和瑞典的原有核保障支助计划,成功地进行了几次现场试验,由 SSAC 向 IAEA 邮寄供其审查和评估的监视摄像带。从原则上讲,这种措施适用于装有机构摄像机的所有情况。另一种做法是,可以用电子学方法通过远程传输取回数据。在这两种场合下,都需要一些新设备以保护传输过程中的数据。凡是有现代化的电话通讯系统或其他系统的场合,远程传输是在设施与 IAEA 或其地区办事处之间传递数据的最佳手段。如无此条件,可以暂时利用邮寄方法。

**加强与成员国 SSAC 的合作。**SSAC 与 IAEA 之间的合作是使核保障能得到有效实施的一个必要条件。在传统上,SSAC 在这种合作中的作用主要限于提供按照核保障协定的规定必须提供的有关核材料存量及其变动的信息,确保检查员能够进入设施和接触核材料,以及建立设施级和国家级衡算系统。

如前面所指出的,SSAC 与 IAEA 之间需要进行高水平的合作,以利于扩大进入权和提高透明度所需措施的实施。即使 IAEA 需要保持其做出独立结论的能力,这种合作也有可能降低已申报核材料的核保障费用。在拟定与 Euratom 的新伙伴关系方案的过程中获得的经验,对于这一点是很有用的。(参见第 25 页开始的有关文章。)通过找出 SSAC 能够完成(由 SSAC 自己完成或与 IAEA 联合完成)的、旨在提高 IAEA 核查活动的效率因而减少 IAEA 的检查费用或其工作量的所有候选活动,已经得出了一种加强合作的标准模式。这些候选活动大多但不完全与检查工作有关。

最后一点,现正在研究地区性的衡算与管制体系问题。这包括审查可从加强合作的角度表征地区性体系、并能使国际社会从中得到不扩散担保的准则。以此为基础,正在制定供评估任何特定体系拥有这些特征的情况用的指导性意见。正被考虑的特征包括:当事国之间存在着具有约束力的不扩散协定;有关体系在技术方面是有效的;参加该体系的 国家数目;这些国家在该体系内的独立性;该体系的独立性和透明度;以及该

体系的法定权力。

**节省传统核保障活动的费用。**如果将来采取了一些强化措施后真的使不存在未申报活动的担保得到加强,则现行保障体系的某些组成部分(如辐射燃料的及时性检查)改用另外的方式完成、减少次数、甚至根本不做都是可能的。此类做法能节省多少费用及其对有效性有多大影响,确实应该认真研究,因为此种节省也许能抵销一部分强化措施的费用。

人们正在从设施类型的通用性或核材料类别的多样性的角度,把方案设计成能同等地适用于所有已缔结全面核保障协定的国家。在轻水堆、燃料元件制造厂、辐照燃料贮存设施及研究堆等处进行的各种现场试验,正在检验这些方案,以期提高对已申报材料实施核保障的费用效率和解决关于未申报活动的担保问题。为使关于不存在未申报活动的担保达到同样的水平所需的活动和工作量,国家之间可以不同,因为它们的计划的性质和规模等情况不同。

## 今后的工作安排

在“93+2 计划”名下进行的调查研究结果,即将于 1995 年 3 月报告 IAEA 理事会。该报告将全面介绍目前的核保障体系的实力和采取新技术、新的信息收集方法及新的行政管理措施后会带来的增强。它还将论述各种措施在技术、法律和财政方面的后果。

因此,重要的是要记住 NPT 核查的基本法律文件〔INFCIRC/153(修正)〕当时是以这样的方式起草的,即把实施核保障的许多细节留给 IAEA 检查机构考虑。在这方面,起草者有意把解释方面的某种灵活性写进了有关协议。因此,迄今为止在该计划名下提出的许多措施,可解释成仍在 IAEA 的现有权限之内。例如,在该国已申报的含有核材料和核活动的场所附近实施近程环境监测,以及这里描述的大多数降低费用的措施,都应看成是其权限范围内的事。□