

不分昼夜调查受保障材料

文/Vincent Fournier

虽然视察是国际原子能机构核查活动的核心，但愈来愈多地被不分昼夜地工作的监视技术所补充。这使得原子能机构能够既提高保障的效率又加强保障的有效性。

对核材料和核设施的这种监测提供了解的连续性，即核材料没有从和平利用中被转用的最终保证。用摄像机和辐射探测器代替视察员到现场，记录长时间的运行情况，例如，可能历时数周的轻水堆换料操作。记录的数据要么实时妥善地传送到国际原子能机构，要么视察员在视察期间就地审查数据，检查所进行的活动是否与申报的一致。

全世界有1400多台监视摄像机和400多台辐射探测器与其他探头，采集的加密保障数据愈百万。安装在核设施上的2.3万多个封记确保对材料和设备的封隔。



警惕之眼

国际原子能机构的下一代监视系统（NGSS）包括若干台装在篡改指示容器中并配备有无外部电源情况下仍能长时间供电的长效电池的摄像机。下一代监视系统采集的监视数据采用三层不同的加密数据保护和多层物理、无源和有源篡改指示技术来保持其真实性和保密性。下一代监视系统摄像机的核心是采用一种可靠的核心监视部件来保护关键电子器件和光学探头，并通过有源篡改指示机理来保护加密的机密。

摄像机安装于乏燃料贮存区、乏燃料水池中及其周围和核材料可能经过的所有转运点。摄像机可能装有“鱼眼”光学镜头，可进行全景拍照。摄像机根据核查需要，按事先确定的时间间隔（1秒、10分钟或更长）拍照。譬如，在一座铀浓缩设施中，摄像机会更频繁地记录活动情况，而在贮存区，摄像机进行拍照的时间间隔会长一些。“如果你需要安装起吊设备来吊运贮存设施内的材料，我们会发现可疑的活动，尽管拍照的间隔较大。”国际原子能机构保障监视组组长Gabor Hadfi说。

Hadfi解释说，照相比连续摄影有优势，因为：可以延长电池的寿命，图像比电影胶片更容易处理和分析。

监视数据经过预处理后，借助专门的移动探测软件进行审查。视察员检查数据，评价其是否与设施正常运行和所报告的运行相一致。



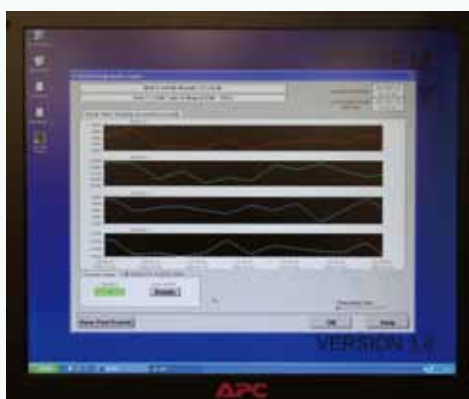
远程辐射检查

监视摄像机可以看见移动情况，但无法检测辐射水平。为此，国际原子能机构采用无人值守的无损分析监测系统，其中包括测量中子和 γ 辐射的辐射探测器和多种监测温度、流量和其他参数的探头。“这些设备安装于特定位置，对核材料进行表征和核查，监测乏燃料的移动情况，全天候地采集和传输加密数据。”国际原子能机构无人值守监测系统组组长Thierry Pochet说。

这些系统可以安装在视察员因大量辐射而难以接近的区域采集数据。有大约160套系统安装在40多个国家，其中包含有总共700个辐射探测器和探头。Pochet说。例如，一座典型的CANDU加压重水动力堆就安装有大约20个探头。

从浓缩厂到反应堆、乏燃料贮存设施和后处理设施，不同类型的无人值守系统被用于各种设施。从辐射监测收集的数据常常要结合视频监视进行分析，以追踪设施中的核材料移动情况：照片使视察员能远距离地观察引起辐射水平变化的情况。

VXI一体化燃料监测器用来追踪和计算从加压重水堆（包括CANDU堆）堆芯中卸出的燃料。在这些类型的反应堆中，燃料棒束需要在一天中更换若干次。监测系统利用许多中子探测器和 γ 辐射探测器追踪装入堆芯、在堆芯中搬移和卸入乏燃料水池中的燃料棒束。



乏燃料在乏燃料水池中冷却大约5年后，就准备运到通常离反应堆场址几公里的贮存点。运输时，乏燃料被转入装有移动单元中子探测器的专用罐中。移动单元中子探测器用于测量辐射水平，确保罐中所装的乏燃料不会在运输过程中被替换。这种设备基于中子探测系统，可采用电池供电进行数据采集和存储，连续工作时间高达8周而不用维护。



到达贮存点后，移动单元中子探测器被从转运罐上取下，罐中的乏燃料被转到竖井内。转运前，安装竖井入口 γ 监测器，其 γ 监测器用于监测装运过程。该设备与数据存储柜连接。竖井入口 γ 监测器同摄像机监视结合使用，记录转运过程的所有动作。





监测研究堆的功率

一些专门的系统被用于监测核研究堆的功率。**先进热工水力功率监测器**通过测量反应堆冷却回路中温度和水的流量来监测研究堆的功率输出。如果根据监测计算出的功率超过某个阈值，视察员就能调查判断反应堆运行是否与申报一致。高于申报的热输出功率，可能表明可能进行了钚生产，构成扩散风险。



后处理

在对铀乏燃料后处理期间，从辐照后的核燃料中回收可裂变钚。这种后处理后获得的钚又制成混合氧化物燃料（MOX）在热堆中再循环。占乏燃料材料主体部分的后处理铀，也可以再用作燃料。钚的存在代表了特定的扩散风险，后处理厂应用的不同工艺采用无人值守设备监测。例如，为日本的六所村后处理厂设计了20多个专门监测系统，其中包括数百台中子和 γ 辐射探测器。这座作为一座世界上最大的后处理厂，具有每年转换获得800吨铀或8吨钚的能力。采集的所有监测数据均通过专用安全网络实时传送到国际原子能机构设在厂内的视察中心。



追踪浓缩厂中的铀-235

2015年，国际原子能机构开发了一种在线富集度监测系统，专用于测量气体离心浓缩设施中的铀富集度。气体离心浓缩设施是通过逐步提高能维持链式裂变反应的铀-235同位素的比例来实现铀浓缩的。

该富集度监测系统测量从浓缩厂离心机级联流经处理管道的气态铀——六氟化铀（ UF_6 ）的特性。在管道的主接头装有一种采用碘化钠晶体的 γ 射线探测器，用于测量管道中的铀-235量，同时，温度和压力传感器能使机器测定气态铀的总量。据此就可以通过计算，实时将富集度存储或传送到国际原子能机构总部。该系统可以作为监测进出气体浓缩离心机级联的材料富集度的一个配置进行安装。

所有部件都装在通过特殊管道连接的密封箱内，所有外壳都是密封的。使用特殊油漆，确保一旦篡改就会知晓。

继2016年1月在伊朗纳坦兹燃料浓缩厂首次亮相后，国际原子能机构打算逐步在其他国家的气体离心浓缩厂推出在线富集度监测设备。由于新技术能够提供连续测量，因此取样和环境取样将会减少，从而提高效率和节省费用。

国际原子能机构的核准封记

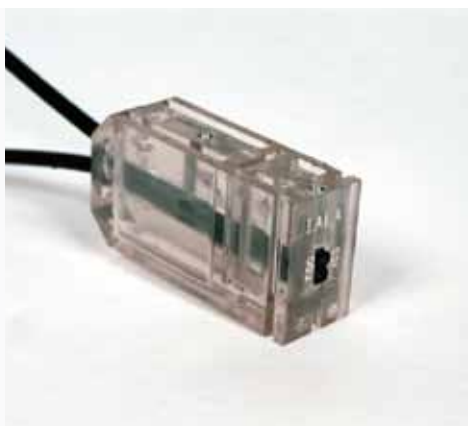
国际原子能机构的封记是最著名、也是最频繁使用的保障设备。尽管简单，这些篡改指示装置对威慑非授权接触受保障材料和国际原子能机构的保障设备十分有效。它们也为识别固定容器提供了一种独特的手段。封记核查包括仔细检查物项的包封以及封记的标识和完整性，从而发现篡改的迹象。

国际原子能机构视情况使用若干种封记。有些设计用于水下或极端环境。

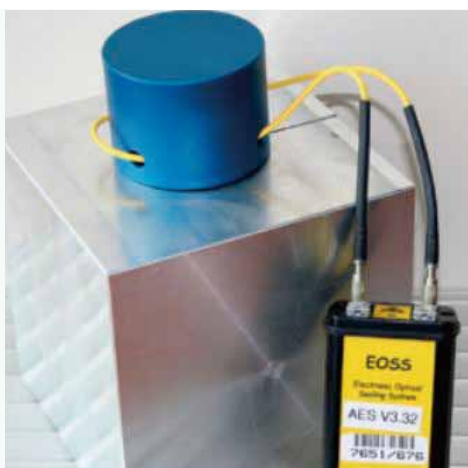
一次性使用的**金属盒盖封记**已经采用了30多年。每年要发放和核查约16 000个这样的封记。为便于识别，每个封记都作了编号，并在其内表面有独特的标记。在发放到视察员手上之前，这些编号和标记都作了记录。视察期间，封记要进行更换并带回原子能机构总部，通过检查标记是否与原有的相同来核实其有效性和真实性。



其他类型的封记由原子能机构视察员就地完成核查。例如，“眼镜蛇”封记包括一根多芯光缆，其两端封装在封记主体内。关闭封记时，一些光缆芯被随机切割，形成一个独特的光学图案。用摄像机摄下经过电缆的光，记录下该独特的识别标志。核查时，将视察图像与安装图像进行比较，确保该封记的标识和连续完整性。每年部署约2000个“眼镜蛇”封记，通常与金属盒盖封记结合使用，以进一步加强可靠性。



原子能机构还使用电子封记，例如，**电子光学封记系统**，可以由视察员远程查看，并连接到视频监视系统。这种封记包括一个光纤环和一个电子单元。它以很短的间隔通过光纤发送一个光脉冲来保持对环状况的监测。光纤环的开关时间、数据和持续时间被记录在一个加密的内部存储单元中。有源电子封记使得与国家当局和运营者的合作成为可能。国家当局和运营者被允许安装和拆除封记。这些修改要作记录，视察员可以将记录同申报的活动进行比较。



封隔核查激光测绘系统是在用的最新封记技术。该系统的扫描仪利用激光表面测绘技术，在容器置于使用中时生成容器封闭焊缝的高分辨率图。通过对焊缝再次扫描，将所得的新图同相应的参照图比较，就可进行识别和篡改检查。



图（除非另有说明）/国际原子能机构