

# 视察员的行李箱中有什么？ 保障设备综述

文/Vincent Fournier

**现**场视察是国际原子能机构核核查活动的核心，给视察员装备适当的工具是实现有效核保障的关键。原子能机构视察员使用逾100种设备来核查核材料的形式、同位素组分和量。

通常，视察员每次视察时选用3至5件手持设备。“没有典型的视察这样的事。”为视察员提供监测工具的原子能机构无损分析科科长Alain Lebrun说。“设备是由视察员根据具体情况选择的。”

技术人员对视察员要带的设备进行准备、校准和包装。如果体积太大，还要提前将设备运到目的地。应用最广的手持设备是无损分析仪。无损分析仪用于检测核材

料（铀、钚和钍）的存在及其具体特性。核材料的物理特性（温度、重量、体积、厚度、光发射/光吸收）采用专用仪器进行评价。

“设备需要技术先进、多功能、坚固，方便用户。”Lebrun说。设备专家不断地审查和优化仪器，紧跟技术创新，简化用户界面。

有时，可以采用商用设备，以最大程度地减少定制，同时，国际原子能机构也需要专门委托研制设备或自行研制设备。“有些工具的费用远高于跑车。”Lebrun说。



## 辐射探测仪

最常用的设备之一是HM-5型设备。这是一种为保障核查用途定制的商用仪器。视察员携带这种仪器检测放射性材料的存在情况。如果辐射超过一定的水平，仪器就会发出“哗哗”声，并识别发出辐射的核素。这种仪器也可用于测量铀的富集度。鉴于这种多功能性，HM-5型辐射探测仪在实际中被用于原子能机构的各种视察。



## 富集度问题

维持核链式反应需要富集铀-235的铀。但是，浓缩厂中的核材料和技术也可以用于生产武器级的铀。在处理或/或贮存铀的设施中，视察员通过测量铀的重量和富集率来计算裂变材料的总量。

视察员用一种大的**负荷传感器**——悬浮式秤来称量钢瓶，得出其装载的材料（例如铀）的量。这种传感器有5000千克和20 000千克两种称量范围。

视察员往往使用高技术的 $\gamma$ 能谱探测仪来核查富集度。 $\gamma$ 能谱法是一种对放射源释放的 $\gamma$ 辐射进行监测和评价（即测量）的技术。例如，**电冷锗系统**是一种紧凑的便携式高分辨率探测仪。这种仪器利用有源的锗晶体在冷却到零下140℃时，可检测铀发出的 $\gamma$ 辐射。电冷锗系统可用于非实验室环境，因为与常规的锗探测器不同，它可以采用电池供电来实施冷却，而不用液氮冷却。液氮既不便于搬运，也不随处拥有。

从图中可见，分析的材料有时装在一个大的圆桶内。为确保电冷锗系统或其他工具能精确地评估和分析数据，根据圆桶壁的不同厚度而透过的 $\gamma$ 辐射有所差异的特点，视察员借助**超声厚度仪**来调整探测仪的灵敏度。





### 水下应用设备

视察员采用不同类型的探测系统来测量核设施中的乏燃料、过滤器和废物的特性。

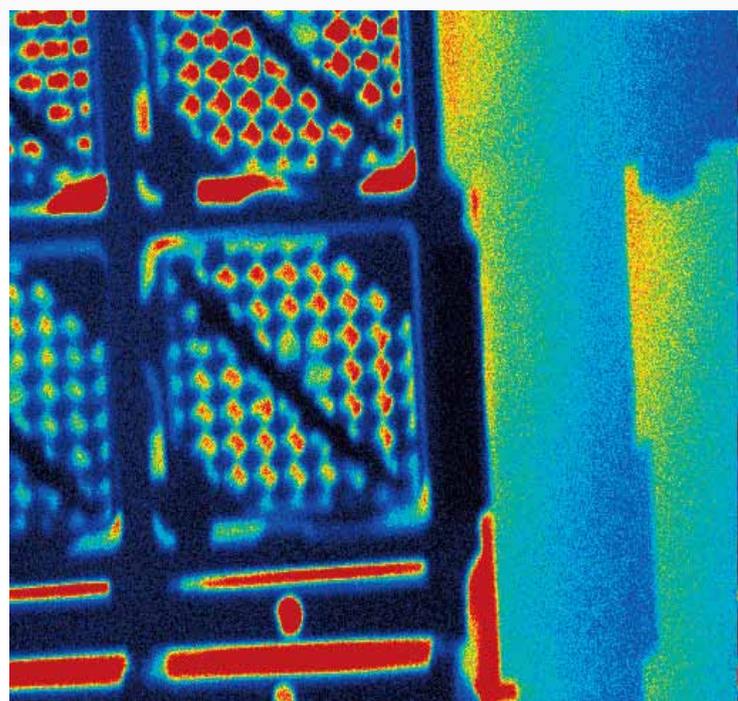
例如，辐照物项属性测试仪含有一个装在保护管内、大小与小的宝石差不多的高灵敏度 $\gamma$ 射线探测器。保护管伸入乏燃料水池，对其中贮存的物项进行测量。探测器通过电缆与乏燃料水池侧的分析设备连接。

辐照物项属性测试仪用来测量在不同能量水平下的 $\gamma$ 辐射强度。每种原子的每一种同位素都会发出其特有的 $\gamma$ 射线，通过 $\gamma$ 能谱就能核查各种物项在乏燃料水池中的量。如果水池中的乏燃料发生转移或替换，视察员通过质谱分析即可获悉。



### 观察乏燃料水池不被浸湿的设备

采用数字式切伦科夫观察装置可以替代辐照物项属性测试仪对乏燃料进行核查。数字式切伦科夫观察装置利用超灵敏照相机来检测紫外光。将这种照相机与计算机相连，通过专门的软件来进行图像分析。这种照相机是为国际原子能机构专门研制的天文设备。但它不是用来观察星星，而是采用专用镜头和传感器来捕捉乏燃料组件发出的紫外光。紫外光的图案可以揭示乏燃料组件的关键细节。数字式切伦科夫观察装置被用来核查乏燃料水池，确保乏燃料不被转移或被非燃料组件替换。重要的是，数字式切伦科夫观察装置不用浸入燃料水池中，不会受到放射性元素的污染。



## 实施中的附加议定书

附加议定书赋予国际原子能机构接触资料和场所的扩大权力，有助于进一步提供已实施全面保障协定的国家中不存在未申报的核材料和核活动的保证（见第4页文章）。

为根据附加议定书评价各国申报的完整性，视察员可以利用**补充接触工具箱**进行补充接触访问。补充接触工具箱为视察员提供多种工具来收集信息和核查申报。这些工具包括照相机、激光测距仪、全球定位系统工具、录音设备、手电筒、通用辐射测量系统（例如，HM-5型辐射探测仪）和环境取样盒（见第14页文章）。这些工具帮助国际原子能机构确认这些国家不存在未申报的核材料和核活动。



## 规划未来

技术进步不断给监测和核查工作带来新的机会和提高效率。装备的平均寿命约为10年。10年后，其可靠性将降低。在一些成员国的重要支持下，国际原子能机构正在为跟上新技术的发展步伐而努力。

“提高视察效率是国际原子能机构的一个优先事项。我们的目标是更快、更好地做我们今天做的事，且干扰现有的工作流程。”国际原子能机构技术预见专家Dimitri Finker说。“我们正在通过增加变革、对市场现有的工具和技术进行定制来这样做。”

例如，对补充接触工具箱的改进将允许视察员在不久的将来能更快、更准确地工作，在回到维也纳后只用较少的精力便可写出核查报告。

视察员将在现场用**电子笔**作记录，利用固定在视察员腿上基于惯性测量单元的**自动定位系统**跟踪其行走路线，利用不同的照相机，包括与测距仪与新的**小型化辐射探测器**相结合的**红外照相机**来探测和识别不同的辐射源。在现场采集的数据被上传到软件，进行信息组合，形成整个视察期内包含时间、辐射值、取样照片和精确位置的高精度定位检测报告。

“除了使视察员在采集信息编写报告方面节省一半的时间，我们还向他们提供技术解决方案，使他们腾出最多的时间进行分析。”Finker说。

国际原子能机构还正在评价利用**三维激光技术**进行核查的好处，该技术在视察员手持工具绕厂房行走一周时，就可迅速绘出厂房图。利用由此得到的三维图来核查国家的设施申报比利用标准照片的效率高得多。



图/国际原子能机构