

证据追查

核法医学及非法贩卖

Lothar Koch

1994年，德国巴登-符腾堡州警察在搜查了一个已知罪犯的家之后偶然发现了一个铀样品。经卡尔斯鲁厄的欧洲超铀元素研究所 (ITU) 分析，这纯粹是用于制造“原子弹”的合金混合物。

不幸的是，这不是一起孤立的事件。在IAEA的数据库中，还有另外一些核材料或其他放射性材料被非法贩卖的案例（见方框：非法贩卖核材料和放射性材料事件）。除了对传统的核扩散的担心外，“9·11”事件以后，公众还担心恐怖分子可能利用核或放射性散布装置 (RDD) 发动袭击。至目前为止，查获的核材料量虽然不足以制造一枚核爆炸装置，但却足以制造一个放射性散布装置。

由于认识到对公众健康和安全的全球挑战，八国集团国家（日本、美国、德国、法国、英国、意大利、加拿大和俄罗斯）已经要求“国际社会共同努力查明和禁止非法供应核材料和对核材料的非法需求，以及阻止潜在的贩卖者”。鉴定被查获的材料，并追根溯源，这是被称作核法医学的新兴学科的目标，这项措施的意义愈来愈大。

行动计划

我们一再看到，来历不明的核材料或其他放射性材料被释放到环境中或被非法占有。其起因有：

- 发生材料散布的事故；

- 非法倾倒核废渣或核废物；
- 公开或秘密活动释放痕量物质；
- 变成“无看管的”放射源；
- 核材料被转用；
- 核材料或其他放射性材料被非法贩卖。

调查此类事件的主要问题包括：被发现的核材料的计划用途、来源以及走私线路。为此，核走私国际技术工作组编写了一个“行动计划范本”，概括了一旦发现或查获核材料后所要采取的一系列步骤。IAEA和ITU曾通过一个示范演练，共同帮助一些成员国实施和应用该行动计划。由于培训和技术的提高，这些国家的执法部门现在能够确定查获的核材料会对职业危害或公众威胁有多大。如果必要，来自有关国家的科学家将在ITU核法医专家的帮助下研究所查获的材料特征，以查明这些材料的计划用途、来源和走私线路。

新模式

核材料或放射性材料的调查方式与传统的法医学区别不大。在保存证据前，官员采取必要的预防措施来保护他们自身和公众（在本国所要求的一系列监护措施的监视下）。将从被污染的表面取得的痕迹（纤维、灰尘、DNA、指纹等）很好地收集在适当的实验室中。

核法医学以什么方式帮助解开问题之谜呢？在每种核材料或放射性材料中，进来的化学元素的同位素组成是惟一给定的，并且不同于自然存在的元素的同位素组成，根据这一事实，核法医学能够提供重要线

索。同位素丰度特点反映各种同位素分离工艺过程和核反应堆中的辐照情况。虽然地质年代学或宇宙学使用同样的原理，但在核法医学中存在大量的人造核素，它们的核形成过程是众所周知的。母子核素比揭示核反应或随后的化学处理发生以来逝去的时间。放射性核素的丰度揭示生产的类型和条件。

1994年，执法部门在慕尼黑机场查获363克铀。但怀疑所查获的核材料是由以前查明的源组成的“假货”。对混合铀钚氧化物颗粒分析表明，铀是在异常软的中子能谱中形成的。这证明它们的年龄相近，并且不是用已知源制造和形成的。从此类固有的“刻在”核材料中的内部信息，可识别其预计的用途，但不能确定其原产地。值得庆幸的是，为保证质量和安全起见，所有核和放射性产品都必须要进行详尽的特征调查。具体设施所特有的生产条件和不同的材料规格，使每个产品与众不同。这些规格被系统地记录在数据库中，使法医专家能将表征的核材料与一个设施历史记录相匹配。这种匹配为说明其来源提供了有力证据。

当然，在分析刚开始时，被调查核材料的历史是未知的。因此，分析人员首先必须确定核材料的一些基本数据，然后查询设施历史记录或其他相关的可用数据库。遵循诊断原则，分析人员可通过生成额外要求的数据逐步排除可能的地点，直到最终确定惟一的来源地。换句话说，分析研究受现有的相关历史资料指导和支配。

核法医学的工具

核法医学可依赖各种成熟的和公认的方法。用于放射性材料和核材料制造的分析仪器仪表和程序，在获取与设施历史记录类似质量的信息方面，不仅是适当的，也是必不可少的。在工具箱（见方框：核法医学分析技术工具）中总结了正在使用的最常见的分析技术，它们按与以下有关的工具分组：

- 测量核材料（例如燃料芯块）的重量和尺寸；
- 确定主要核素丰度，例如铀-235富集度；

核法医学分析技术工具				
对于散装材料	测定年代	放射性毒性	使用	来源
光学显微术			×	×
γ或α能谱	×	×		
电感耦合等离子体 MS*	×	×	×	×
辉光放电 MS*		×		
微探针				×
电子显微法+EDX**				×
X射线衍射				×
热离子 MS*+同位素稀释	×	×		×
对于颗粒				
电子显微术				×
次级离子 MS*	×	×		×

*MS = 质谱分析 **EDX = 能量色散 X-射线分析

- 分析化学组成；
- 描述微观结构；
- 杂质检验。

为与可用的但却是非常具体的历史数据相比较，核法医专家有时要求进行例如燃料表面粗糙度、粒度等专门分析。

正如传统的法医学和地球宇宙学一样，核法医学也用化学分析以及光学和电子显微术。质谱仪技术尤其重要。这其中一些技术在天然元素痕量分析（例如，火花源或等离子体诱导质谱分析、溅射或激光消融质谱分析）中也很常见；但在核法医学中，决定性信息是从测得的同位素丰度变化中获得的。对于高比放射性核素来说，辐射测量技术，特别是α和γ能谱测量技术，是合适的分析方法。即便是带有弱放射性同位素的颗粒，也可通过与次级离子质谱分析配套的电子显微术有效地加以表征。相关的仪器将高空间分辨率与极高的化学探测敏感度和高（同位素）质量分辨率结合起来。

相关案例

在ITU中分析并列入IAEA数据库的两个早期事件，能够说明核法医学的用途。

在德国的乌尔姆，警察发现一个银行保险柜里有202个放射性小丸。从小丸的形状认定它们是轻水堆型

核燃料。分析显示其铀-235富集度为4.38%，表明它们被计划用于换料。其杂质有关参数与两个相关的制造这类球型燃料的核燃料制造厂相符。在这种情况下，需要有关杂质（例如，一个附近的引起ppb级特征钠（Na）含量的烧碱工厂）或制造技术（如燃料表面的粗糙度）的差别的附加信息，即使这些信息在技术上不太重要。最终确定原产工厂的信息是有关制造技术差别的信息：原产工厂使用湿磨法，其新产品表面比在其他地方使用的干磨法制造的更光滑。

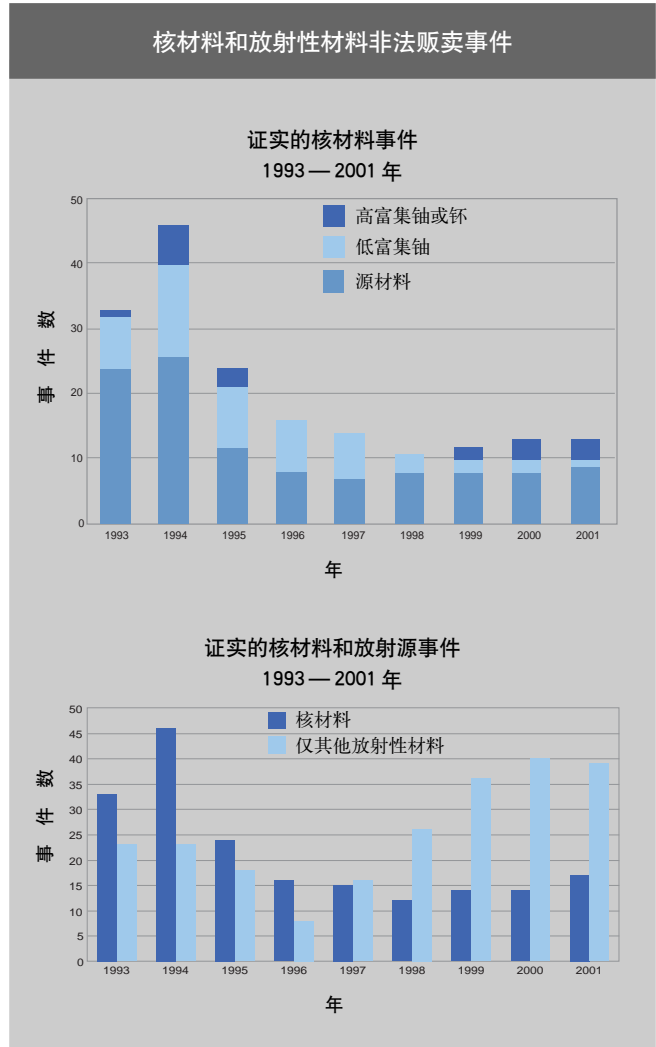
次级离子质谱法用来测量IAEA收集的环境样品中的擦拭样品颗粒的铀-235富集度，以探查秘密的铀富集活动。利用这种有力的技术，还从一个金属精炼厂废料场中的一个放射性不锈钢件中发现了87.8%铀-235颗粒。最后从其形状人们认定它是一个快堆燃料组件。通常情况下，快堆中的铀-235富集度是19%，不能用于核武器。因此，得出的结论是：该组件可能是为一个已知的、功率较小的试验堆制造的原型组件。高温化学制造的燃料已通过燃料棒的非专业砂轮切割而被移出。值得注意的是，移出的燃料在被警察查获前，已被通过几个国家分批非法贩卖。所有查获的核材料样品，在铀-235富集度和杂质方面都是相同的。

初步探讨

我们仍需要新的方法，来揭示未知的核材料或放射性材料的历史。正在进行的研究与开发必须找到更准确的分析技术，并对分析结果做出更明确的解释，以解读核材料中的隐含信息。将来，区分不同的铀-235富集过程，根据废物重建后处理厂的运行历史，并分辨材料的制造工序，这一切应变得更容易。

适当的分析仪器仪表和技术，正被广泛应用。但仅有少数实验室具有处理核材料或放射性材料的许可。为此，IAEA正在考虑建设一个国际法医实验室网络，为成员国表征和鉴定未知的核材料提供服务。科学家将可以进入网络实验室，观察对在其国家查获的核材料的调查。

历史数据在确定核材料的来源方面起着非常重要的作用。尽管由于法律约束、商业敏感性或国家安全



来源：IAEA数据库

考虑获取此类信息的机会受到限制，但已建议建立一个网络数据库，专供查询。分析调查将通过网络指导，直到在数据库中查到匹配的结果。只要最后的法定所有者能够承认该核材料并堵住漏洞，调查结果是否公布应该不是主要问题。

Lothar Koch一直在核非法贩卖领域与IAEA一道工作。他曾是德国卡尔斯鲁厄的欧洲超铀元素研究所的处长，最近刚刚退休。

电子信箱：koch.weingarten@t-online.de。