

国际原子能机构《核安保丛书》第2号

技术导则  
参考手册

# 核法证学支持



**IAEA**

国际原子能机构

## 国际原子能机构《核安保丛书》

国际原子能机构《核安保丛书》出版物旨在处理与防止和侦查涉及核材料和其他放射性物质及其有关设施的盗窃、破坏、擅自接触和非法转移或其他恶意为并做出响应有关的核安保问题。这些出版物符合并补充了国际核安保文书，例如经修订的《核材料实物保护公约》、《放射源安全和安保行为准则》、联合国安理会第 1373 号决议和第 1540 号决议以及《制止核恐怖主义行为国际公约》。

### 国际原子能机构《核安保丛书》的类别

原子能机构《核安保丛书》出版物按以下类别发行：

- **核安保法则**包含核安保的目标、概念和原则，并提供安保建议的基础。
- **建议**提出成员国在实施核安保法则时应当采用的最佳实践。
- **实施导则**进一步详细阐述这些广泛领域内的建议并提出其执行措施。
- **技术导则**出版物包括：**参考手册** — 在具体领域或活动中就如何适用实施导则提供详细措施和（或）指导；**培训导则** — 包括原子能机构在核安保方面的培训班教学大纲和（或）手册；以及**服务导则** — 在原子能机构核安保咨询工作组的行为和工作范围方面提供指导。

### 起草和审查

一些国际专家协助原子能机构秘书处起草这些出版物。对于核安保法则、建议和实施导则，原子能机构召开不限人数的技术会议，为感兴趣的成员国和相关国际组织提供适当的机会审查草案文本。此外，为确保高水平的国际审查和达成高度国际共识，秘书处向所有成员国提交草案文本，以供进行 120 天的正式审查。这使得成员国在文本印发以前有机会充分表示他们的意见。

技术导则出版物是与国际专家密切磋商后制订的。技术会议并非必需的，但为了广泛征求意见，也可以在认为必要时召开。

国际原子能机构《核安保丛书》出版物的起草和审查过程考虑到机密性，并且承认核安保与总体乃至具体国家的安全关切有着密不可分的联系。一个基本的考虑是在这些出版物的技术内容上应当虑及相关的原子能机构安全标准和保障活动。

核法政学支持

参 考 手 册

## 下列国家是国际原子能机构的成员国：

阿富汗	加纳	尼日尔
阿尔巴尼亚	希腊	尼日利亚
阿尔及利亚	危地马拉	挪威
安哥拉	海地	阿曼
阿根廷	教廷	巴基斯坦
亚美尼亚	洪都拉斯	帕劳
澳大利亚	匈牙利	巴拿马
奥地利	冰岛	巴拉圭
阿塞拜疆	印度	秘鲁
巴林	印度尼西亚	菲律宾
孟加拉国	伊朗伊斯兰共和国	波兰
白俄罗斯	伊拉克	葡萄牙
比利时	爱尔兰	卡塔尔
伯利兹	以色列	摩尔多瓦共和国
贝宁	意大利	罗马尼亚
玻利维亚	牙买加	俄罗斯联邦
波斯尼亚和黑塞哥维那	日本	沙特阿拉伯
博茨瓦纳	约旦	塞内加尔
巴西	哈萨克斯坦	塞尔维亚
保加利亚	肯尼亚	塞舌尔
布基纳法索	大韩民国	塞拉利昂
布隆迪	科威特	新加坡
柬埔寨	吉尔吉斯斯坦	斯洛伐克
喀麦隆	拉脱维亚	斯洛文尼亚
加拿大	黎巴嫩	南非
中非共和国	莱索托	西班牙
乍得	利比里亚	斯里兰卡
智利	利比亚	苏丹
中国	列支敦士登	瑞典
哥伦比亚	立陶宛	瑞士
刚果	卢森堡	阿拉伯叙利亚共和国
哥斯达黎加	马达加斯加	塔吉克斯坦
科特迪瓦	马拉维	泰国
克罗地亚	马来西亚	前南斯拉夫马其顿共和国
古巴	马里	突尼斯
塞浦路斯	马耳他	土耳其
捷克共和国	马绍尔群岛	乌干达
刚果民主共和国	毛里塔尼亚	乌克兰
丹麦	毛里求斯	阿拉伯联合酋长国
多米尼加共和国	墨西哥	大不列颠及北爱尔兰联合王国
厄瓜多尔	摩纳哥	坦桑尼亚联合共和国
埃及	蒙古	美利坚合众国
萨尔瓦多	黑山	乌拉圭
厄立特里亚	摩洛哥	乌兹别克斯坦
爱沙尼亚	莫桑比克	委内瑞拉
埃塞俄比亚	缅甸	越南
芬兰	纳米比亚	也门
法国	尼泊尔	赞比亚
加蓬	荷兰	津巴布韦
格鲁吉亚	新西兰	
德国	尼加拉瓜	

《国际原子能机构规约》于 1956 年 10 月 23 日经在纽约联合国总部举行的国际原子能机构规约大会核准，1957 年 7 月 29 日生效。国际原子能机构总部设在维也纳，其主要目标是“加速和扩大原子能对全世界和平、健康及繁荣的贡献”。

国际原子能机构《核安保丛书》第 2 号  
技术导则

# 核法证学支持

参 考 手 册

国 际 原 子 能 机 构  
2012 年·维也纳

## 版 权 说 明

国际原子能机构的所有科学和技术出版物均受 1952 年（伯尔尼）通过并于 1972 年（巴黎）修订的《世界版权公约》之条款的保护。自那时以来，世界知识产权组织（日内瓦）已将版权的范围扩大到包括电子形式和虚拟形式的知识产权。必须获得许可而且通常需要签订版税协议方能使用国际原子能机构印刷形式或电子形式出版物中所载全部或部分内容。欢迎有关非商业性翻印和翻译的建议并将在个案基础上予以考虑。垂询应按以下地址发至国际原子能机构出版科：

Marketing and Sales Unit, Publishing Section  
International Atomic Energy Agency  
Vienna International Centre  
PO Box 100  
1400 Vienna, Austria  
传真：+43 1 2600 29302  
电话：+43 1 2600 22417  
电子信箱：sales.publications@iaea.org  
<http://www.iaea.org/books>

© 国际原子能机构 • 2012 年  
国际原子能机构印制  
2012 年 2 月 • 奥地利

## 核法证学支持

国际原子能机构 奥地利 • 2012 年 2 月  
STI/PUB/1241  
ISBN 978-92-0-526910-8  
ISSN 1816-9317

## 前 言

核材料和其他放射性物质的非法贩卖自二十世纪九十年代初第一次被破获以来，一直是一个受到关注的问题。截至 2004 年年底，国际原子能机构（原子能机构）成员国已证实此类案件共有 540 起，而尚待证实的案件约有 500 起。大部分已证实的案件，即使不是为了已知的恐怖主义目的，也都具有犯罪的特点。2001 年 9 月在美国发生的恐怖袭击事件，极大地强调了需要加强对核材料和其他放射性物质的控制和安保。为响应原子能机构 2002 年 9 月大会通过的一项决议，原子能机构采取了一项旨在防止核恐怖主义的综合方案。这一方案将原子能机构有关以下方面的活动综合在一起：核材料和核装置的实物保护、核材料衡算、对非法核贩卖的侦查和应对、放射源的安保和安全、应急响应措施包括在成员国和原子能机构采取的应急准备措施，以及促进各国加入相关国际文书。

成员国有责任打击非法贩卖和防止意外转移放射性物质。原子能机构同成员国和其他国际组织合作共同致力于防止非法贩卖和意外转移事件，并通过一系列的技术援助和文件提供相关的建议来协调政策和措施。在这一方面，原子能机构在世界海关组织、欧洲刑警组织和国际刑警组织的共同倡议下，发布了一组三个有关放射性物质意外转移和非法贩卖的技术文件。第一个文件名为《防止放射性物质意外转移和非法贩卖》（IAEA-TECDOC-1311），第二个文件名为《边境放射性物质检测》（IAEA-TECDOC-1312），第三个文件是《对涉及放射性物质意外转移或非法贩卖事件的响应》（IAEA-TECDOC-1313）。

人们很快认识到，通过对已报告的非法贩卖案件的分析可以了解到很多东西。例如，这种材料具体可用来做什么？这些材料是从哪里获得的：贮存库、废料或废物？被缉获的材料量仅是更大数量材料的样品吗？通过对缉获的材料样品进行详细的技术鉴定可以回答这些问题和其他许多问题。用于这一目的的科学方法的组合，通常称为“核法证学”，这已成为核贩卖执法调查中使用的一个不可或缺的工具。

本出版物以劳伦斯利弗莫尔国家实验室的 M.J. Kristo, D.K. Smith 和 S. Niemeyer 以及太平洋西北国家实验室的 G.D. Dudder 编写的名为“核法证学和核归属分析示范行动计划”的文件（UCLR-TR-202675）为基础，并得到美国能源部对国际核走私技术工作组的资助。该文件的独特之处在于：它第一次进行了汇总，对早期仅散见于不同领域科学文献的各种核法证学调查的工具和程序作了简明而全面的描述。它的另一个优点是将执法机构和核法证学实验室在过去十年处理涉及核材料或其他放射性物质的非法活动案件时所积累的经验进行了综合。衷心感谢国际核走私技术工作组在这方面所做的工作，并对上述几位作者所做的工作一并表示特别的谢意。

在编写属于原子能机构《核安保丛书》的本出版物的过程中，与成员国进行了广泛的磋商，包括 2002 年 2 月在维也纳召开了一次不限人数的技术会议，和 2004 年 7 月在法国 Cadarache 召开的会议。作为编写过程的最后一步，在出版前将初稿分发给了所有成员国，进一步征求了它们的意见和建议。原子能机构核安全和安保司核安保办公室的 R. Abedin-Zadeh 是负责本出版物的官员。



## 致 谢

国际原子能机构对中国国家原子能机构为本出版物的翻译所作的贡献表示感谢。

## 编 者 按

本报告无论在法律方面还是在其他方面均不涉及因任何人的作为或不作为而引起的责任问题。

尽管在保持本出版物所载资料的准确性方面十分谨慎，但无论国际原子能机构还是其成员国均不对使用本出版物可能产生的后果承担任何责任。

国家或领土的特定称谓的使用并不意味着作为出版者的国际原子能机构对于该国家或领土、其当局和机构或其边界划定的法律地位做出任何判断。

提及具体公司或产品（不管是否已经载明为注册的公司或产品）名称并不意味着有任何侵犯所有权的意图，也不应当被解释为国际原子能机构方面的核可或推介。



# 目 录

<b>1. 引言 .....</b>	<b>1</b>
1.1. 背景.....	1
1.2. 目的.....	1
1.3. 结构.....	2
1.4. 定义.....	2
1.5. 核材料与其他放射性物质 .....	3
1.6. 核材料与其他放射性物质的可获得性 .....	6
1.7. 新出现的问题.....	7
1.7.1. 非法贩卖.....	7
1.7.2. 无看管源.....	8
1.8. 核法证学和核法证解读.....	9
1.9. 国际合作.....	10
1.10. 国际核走私技术工作组核法证学实验室 .....	10
<b>2. 核法证学行动计划 .....</b>	<b>10</b>
<b>3. 事件响应 .....</b>	<b>12</b>
3.1. 保护事件现场.....	12
3.2. 现场分析 .....	13
3.3. 放射性证据的收集.....	14
3.4. 传统法学证据的收集.....	17
3.5. 最终调查和现场的让渡.....	18
3.6. 证据保存场所.....	18
3.7. 证据的运送.....	19
<b>4. 核法证学实验室取样和分发 .....</b>	<b>19</b>
4.1. 核法证学实验室.....	19
4.2. 法证管理小组.....	21
4.3. 在核法证学实验室取样和分类.....	21

5. 核法证分析 .....22

5.1. 概述.....22

5.2. 表征.....22

5.3. 核法证解读.....23

5.4. 归属分析.....23

5.5. 可利用的工具汇总.....23

5.6. 技术和方法的排序.....24

6. 传统法证分析 .....25

6.1. 概述.....25

6.2. 可利用的工具汇总.....26

6.3. 技术和方法的排序.....26

7. 核法证解读 .....26

7.1. 相关识别标志.....26

7.2. 与其他核法证学实验室合作 .....28

7.3. 核工艺知识库.....29

7.3.1. 归档的材料.....29

7.3.2. 公开文献.....29

7.3.3. 内部文献.....30

7.4. 迭代过程.....30

7.5. 典型例子.....32

8. 结论的可信度 .....32

8.1. 分析数据的质量目标.....32

8.2. 精确度和准确度.....33

8.3. 灵敏度.....33

8.4. 结果的通报.....34

9. 通过原子能机构寻求核法证调查援助 .....35

10. 其他建议的活动 .....36

10.1. 常备事件应急预案和程序 .....36

10.2. 双边安排.....36

10.3. 演习.....37

10.4. 研究与发展.....37

附录 I： 通过国际原子能机构（原子能机构）请求核法证  
调查援助的程序 .....39

附录 II： 核法证学工具 .....43

附录 III： 传统法证证据示例 .....51

附录 IV： 国际核法证学实验室章程（2004 年 8 月） .....54

附录 V： 工作说明书示例 .....58

参考文献 .....61



# 1. 引言

## 1.1. 背景

在八国集团核不扩散专家组的主持下，为打击非法贩卖核材料和放射性物质，于 1996 年成立了国际核走私技术工作组[1]。该工作组的主要目的是在开展核法证学方面提供技术合作和协作。工作组成员的背景很广，涉及执法机关、保障部门、海关及科学团体，包括了大多数具有必需的设备、人员和经验能进行核法证分析的实验室。迄今已有来自超过 28 个国家和组织的代表参加了 9 次国际会议和一些循环式分析演习。在 2000 年 6 月于维也纳举行的一次会议上，该工作组采用了一个包括利用核法证学以应对核材料或其他放射性物质非法贩卖的参考“示范行动计划”。保加利亚、捷克共和国、匈牙利和乌克兰的相关主管部门对这一概念进行了测试，欧盟与其成员国一起也采取了类似的主动行动。

## 1.2. 目的

核法证学和核法证解读在打击核材料与放射性物质非法贩卖方面已成为日益重要的工具。本出版物对这些技术作了全面介绍，对迄今仅散见于不同领域科学文献的各种手段和程序进行了总结。本出版物的目的在于为国家政策制定者、决策人员和技术管理人员提供旨在应对涉及截获核材料和其它放射性物质的事件的综合指导，在发生此种事件时需要进行核法证调查。它是对原子能机构 2002 年发布的另一出版物《对放射性物质的非法贩卖和流失事件的响应》(IAEA-TECDOC-1313) [2]的补充。

迄今仅限于少数的国家实验室和国际实验室开展了核法证学领域的工作，这是因为所需设备的投资费用大，同时也缺乏专业人才。事实上，也只有数量有限的专家具有直接处理被截获核材料和附属证据的经验。大多数拥有必要的设备、人员和经验能进行核法证学分析的实验室都加入了国际核走私技术工作组。因此，有必要宣传关于适当应对核材料和其他放射

性物质的非法贩卖的资料，包括有关收集能满足适当法律标准的证据以及探求核材料和放射性物质走私的源头与路线的一整套方案。

除了提供核法证调查过程方面的资料外，本出版物还简要介绍原子能机构成员国在必要时为获得核法证学实验室的援助或其他相关专家的意见可能要遵循的程序。

### 1.3. 结构

首先是本引言和核法证学领域各种关键术语的定义；随后第 2 节描述核法证学行动计划；第 3 节是对事件的响应；第 4 节探讨在核法证学实验室取样和分发的问题；第 5 节涉及核法证分析；第 6 节讨论传统的法证分析方法；第 7 节讨论核法证解读；第 8 节描述结论的可信度问题；第 9 节详细介绍在进行核法证调查方面请求原子能机构援助时所涉及的步骤；第 10 节简要介绍在核法证学领域其他建议的活动。附录给出了在核法证调查时所用的各种方法和程序方面的资料。

### 1.4. 定义

“核归属分析”（Nuclear attribution）是查明非法活动中所用核材料或放射性物质的来源的过程，以确定涉及这些材料的源头和途经路线，并最终有助于起诉责任人。核归属分析要利用很多的输入项，包括：(1) 核法证样品分析的结果；(2) 对放射化学和环境识别标志的了解；(3) 核材料和核武器生产所用方法和开发途径的知识；(4) 来自执法机关和情报机关的资料。核归属分析将有关核走私事件的各种相关形式的资料整合成能够易于分析和解读的数据，以形成对该事件做出可信反应的基础。这种归属分析过程的目标就是要回答决策者对某个特定事件的需求、要求和疑问。

“核法证学”（Nuclear forensics）是对截获的非法贩卖的核材料或放射性物质及其任何相关材料进行分析，为核归属分析提供证据。核分析的目标是找出截获的核样品和放射性样品或周围环境中（例如，容器和运输车辆）的法证识别标志，这些识别标志来源于材料特征与工艺历史的已知联系。因此，核法证分析包括对材料的表征以及与其生产历史的相关性。



对具体的核事件的响应需要采用分级方案。

“分类”(Categorization)是为了解决某个具体事件所造成的威胁。分类的目标是向最初响应人员、执法人员以及公众指明安全风险，并确定是否有犯罪活动或对国家安全构成威胁。各国应努力发展其自己对核事件进行快速分类的国家能力，以确定适当的响应和采取后续行动。由具体事件造成的威胁的大小范围可以包括造成环境污染、对公众健康和安全的风险、直至造成扩散问题，对每一种情况都需要做出不同的响应。最初的分类可为进一步分析提供指导。

“表征”(Characterization)是为了确定放射性证据及相关证据的性质。基本表征给出放射性物质（包括主要成分、次要成分和微量成分）的全部元素分析结果。对于放射性物质中的那些主要成分，必要时，基本表征还要包括同位素分析和相（即分子）分析。基本表征也包括物理表征，例如应采用扫描电子显微镜对样品进行高放大倍率成像。对固体样品的关键尺寸以及粉末样品的颗粒大小和形状分布都应该进行测量。表征涉及在利用某个分析所得到的结果以指导选择随后的分析时所采用的迭代方案。由此可见，表征时所用的方法与传统的法证分析没有什么不同。

“核法证解读”(Nuclear forensic interpretation)是将材料表征与生产历史进行关联的过程。核法证解读的目标是确定生产的方法和时间，这个解读可以包括对反应堆和工艺模式和/或数据库进行探究以确定生产方法。使分析数据与现有关于放射性物质生产所用方法的资料，以及与涉及走私材料和截获材料的先前案例相匹配这种能力将有助于分析。核法证解读是核法证学实验室的最终产品。

## 1.5. 核材料与其他放射性物质

核材料通常可分为五类（表 1）：

- (1) 未辐照过的直接使用材料；
- (2) 辐照过的直接使用材料；
- (3) 替代材料；

- (4) 非直接使用材料[3];
- (5) 商用放射源[4]。

直接使用核材料包括高浓铀、铀-233、钚-238 含量少于 80%的钚、以及辐照过的核燃料。非直接使用核材料包括贫化铀、天然铀以及低浓铀和钚-238 含量大于等于 80%的钚。

未辐照过的直接使用材料最容易用来制造核武器，它特别包括铀-235 浓缩度大于 20%的铀以及钚-240 同位素少于 7%的钚。这种材料对那些试图发展核武器的国家和恐怖组织来说具有特别大的吸引力，因为拥有足够数量的这种材料可免除开发铀同位素浓缩或钚分离所需先进技术的必要性 [5]。但是，为了防止未辐照过的直接使用材料和辐照过的直接使用材料被恐怖分子所窃取和使用，预计各国会对这两种材料的库存提供全面安保。受到原子能机构保障的那些类型的材料必须接受较高频度的视察，以便对未辐照过的直接使用材料能在一个月内或对辐照过的直接使用材料能在三个月内探知可能的转用。

核反应堆燃料通常含有铀或铀钚混合物。铀通常以二氧化铀、铀合金或铀碳化物的形式存在，而且，或是具有天然同位素组成或是经过同位素浓缩达到含百分之几的铀-235。钚以二氧化钚或铀和二氧化钚混合物形式最为常见。如不对铀-235 进一步浓缩或者不对钚与燃料进行化学分离，大多数反应堆燃料不可能用于制造核武器。

表 1. 核材料[3]和其他放射性物质[4]的分类

分类	材料或装置的类型	放射性组成
未辐照过的直接使用核材料	高浓铀	铀-235 大于 20%
	钚和铀钚氧化物混合物 (MOX)	钚-238 小于 80%
	铀-233	已分离的同位素
辐照过的直接使用核材料	辐照核燃料	在辐照核燃料元件中或在乏燃料后处理溶液中

表 1. 核材料[3]和其他放射性物质[4]的分类（续）

分类	材料或装置的类型	放射性组成
可替代核材料	镅（Am-241）	已分离的元素或存在于辐照核材料、分离的钷、或在铀钷混合物中
	镎（Np-237）	
	贫化铀（DU）	
非直接使用核材料	天然铀（NU）	铀-235 等于 0.7%
	低浓铀（LEU）	铀-235 大于0.7%小于 20%，一般为 3—5%的铀-235
	钷（钷-238）	钷-238 大于 80%
	钷	钷-232
	放射性同位素热电发生器	钷-238、钷-244 和铯-90
1 类放射源	辐照器/杀菌器	钷-60 和铯-137
	远距治疗用源	钷-60 和铯-137
2 类放射源	工业伽玛射线照相用源	钷-60、铯-137 和镅-241
	高/中剂量率近距治疗用源	
3 类放射源	固定式工业计量仪	
	测井仪	
4 类放射源	低剂量率近距治疗用源	
	测厚仪/液位计	
	便携式测量仪（如湿度计、密度计）	
	骨密度计	
	静电消除器	
5 类放射源	眼血小板永久移植	短寿命放射性同位素，如碘-131
	X 射线荧光仪	
	电子捕获器	
	穆斯堡尔谱仪	
	正电子发射断层扫描装置	
	医学诊断用源	
	火灾报警器	

反应堆乏燃料放射性特别强，可用作放射性散布装置或“脏弹”的组成部分。反应堆新燃料的辐照风险要比乏燃料小，但如果将它吸入或摄入，仍然是很危险的。此外，公众对辐照风险的感性认识很有可能比实际风险要大得多。因此，爆炸一枚由新燃料制造的放射性散布装置与爆炸一枚由乏燃料制造的装置所造成的心理影响可能是完全一样的。

商用放射源由经过化学纯化、可以衰变放射出  $\alpha$  射线、 $\beta$  射线或  $\gamma$  射线的同位素组成。这些同位素通常由核反应堆生产，但也有一些可在加速器中制造。它们要么作为裂变过程的产物如铯-137 或锶-90，要么就是俘获中子的结果如钴-60 和镅-241。这些放射性同位素即是有用的放射性源，可用于医学诊断和治疗、材料的非破坏性分析、医疗设备和食品的灭菌以及在边远地区发电。很多商用放射源的放射性水平相当高，使得它们用作放射性散布装置的组成部分很具吸引力。

原子能机构为应急预案和响应的目的制定了放射性核素比活度标准。这些标准即  $D$  值，根据活度而定，高于该活度标准的放射源，可以认为是“危险源”，因为如果不加以安全和可靠的管理，则很有可能引起严重的确定性效应。原子能机构依照放射源的活度 ( $A$ ) 与其相关的  $D$  值之比[4]，对放射源的危险性进行分类。考虑将放射源分为 5 类（表 1），第 1 类包括最危险的源，其  $A/D$  比值超过 1000。危险性最小的列为第 5 类，其  $A/D$  比值低于 0.01。活度低于“豁免值”[6]的放射源不构成危险。

## 1.6. 核材料与其他放射性物质的可获得性

大多数国家对其生产或使用的核材料进行严格的监管（管制）。但是，政治和经济局势的动荡会导致即使是最为严厉的管制也会受到冲击的情况。核燃料也是贵重的资产，核燃料组件价值在 500 000 美元量级。因此，对商用反应堆燃料进行严格管制不仅是因为它的经济价值，还因为在动力堆中使用了大量燃料。虽然反应堆燃料不能直接用于生产核武器，但它能为未申报的浓缩过程生产出很具吸引力的供料。此外，利用未申报的后处理设施可从辐照过的反应堆燃料中获得钚。

研究堆燃料往往不如商用反应堆燃料那样受到严格的管制。研究堆大

多位于大学、研究机构和私营公司，那里常常只按法律所要求的最低标准来进行安保。很多研究堆已被关闭，学院或职员还要承担额外的安保责任。研究堆燃料的安保特别重要，因为这种燃料常常是高浓铀。在美国[7]和俄罗斯联邦[8]已经实施了降低研究堆和试验堆铀浓缩度的计划，通过将高浓铀燃料替换为低浓铀燃料以缓解这些反应堆所构成的安保风险，随后将高浓铀燃料返还给美国或俄罗斯。

商用放射源已经获得广泛使用，这些源的活度和辐射类型（ $\alpha$ 、 $\beta$  和  $\gamma$ ）都各不相同。因此，它们的放射性危害也不同。具有低水平放射性的源，例如用于烟雾探测器的镭-241 或钷，趋于更广泛的使用，而且，与高放射性水平的源例如放射治疗用钴-60 源相比，管制不那么严格。相应地，由普遍存在的低水平放射源引起的威胁要比高水平放射源造成的威胁小得多。直到最近，各国政府往往更加注重于放射源的安全方面，而对安保方面则关注得较少。各国对于商用放射源的衡算与控制的管理法规不尽相同，但通常都不如对核材料的管理那么严格。因此，据估计，每年全世界有数以百计的源成为无看管源[9, 10]。

辐照过的反应堆燃料和高放射性商用放射源在可能用于制造放射性散布装置方面都存在技术困难。高水平的放射性使这种材料对放射性散布装置制造者来说很具吸引力，但这样的高水平放射性同样也会对运输此种材料或将其装入放射性散布装置的人员造成危险。最强的辐射源可能会使自杀性炸弹袭击者丧身，而且几个戈瑞的剂量作用于身体局部也可以在其完成工作前使其致残。因此，中、低放射性的源用作放射性散布装置的部件可能更有吸引力。鉴于放射性散布装置的主要目的是造成社会动荡，因此，使用这类装置时即使涉及很低的辐射剂量也会造成相当大的心理影响。

## 1.7. 新出现的问题

### 1.7.1. 非法贩卖

自 1995 年以来，原子能机构一直在维护着它的一个有关涉及擅自使用、运输及持有核材料和其他放射性物质的案例[11, 12]的非法贩卖数据库。该数据库也包括可追溯至 1993 年的一些事件。它记录了一些已由成员国正式

报告的或已经成员国证实的事件，但也包括仍然有待证实的事件。截至 2005 年 12 月 31 日，该数据库已经记录了总共 823 起已经证实的涉及非法贩卖核材料和其他放射性物质的事件。在这些案例中，有 260 起涉及核材料。已经证实的核贩卖事件数量在 1993—1994 年间最多。在 1995—2002 年间，这类事件的数量大为减少，呈现出总体下降的趋势。但在 2003—2004 年期间数量再次增加。除了已经证实的核贩卖事件外，另有 120 多起还有待证实的事件，据说也涉及核材料。

虽然很难对未来的涉及核材料和其他放射性物质的擅自行为进行预测，但这类活动正在日益被视为应该考虑发展特殊能力加以应对的重大威胁。早在 1996 年 4 月，在莫斯科举行的八国集团首脑会议上即已认识到，核法证学是应对核非法贩卖事件的一个要素。鉴于在过去的这些年里所发生的国际事件，核法证学的价值和对它的需求看起来比以往任何时候都大。

### **1.7.2. 无看管源**

“无看管源”是那些已经被其合法的拥有者遗弃或者完全忽略、因而不受任何形式监管的放射源。这些源可以很容易被转用于比较恶意的目的。对这些源缺乏问责制，以及对其进行安全和安保处理时所涉及的固有的经费问题和官僚作风，已经导致在若干情况下将这些源遗弃。

在废旧金属场院内或在循环作业中[13, 14]常常能发现无看管的放射性源。至少有这么一个案例，最终用户在钢梁中探测到显著超标的放射性，经溯源归结为一个商用放射源不慎进入再循环。不过，更多的情况是，这些无看管源会成为某个设施的一般废物流的一部分，最终进入当地的垃圾填埋场。截至 2000 年 12 月 31 日，非法贩卖数据库包含了有关 72 起经过证实涉及在金属废料中发现放射源的事件的信息。

使用和管理这些放射源的商业企业可能会停止营运或歇业。在这种情况下，由于相关技术人员被解雇和另谋他就，有关这些源的法人知识也就随之丢失。管理部门常常不关心这些放射源的最终处置。教员和学生的流动以及研究重点的不断变化同样也可能影响研究机构 and 高等学校的组织设置。

在某些案例中，一些放射源在房舍内仍然处于不安全的状态。而在其他案例中，一些对放射源安全和安保风险一无所知的人可以决定它们的命运。1987 年在巴西戈亚尼亚发生的铯-137 大面积污染即与一家破产企业的一个未予保护的放射治疗用源有关，而且，随后由一些不知道辐射风险的人对其进行了清理和处置[15]。

## 1.8. 核法证学和核法证解读

确定核材料和其他放射性物质是怎么样失控的和在何处失控的，并对材料从转用一直到被截获所经过的这一段路经进行溯源，这是核法证学的重要目标。同样重要的是，要确定是否通过非法手段获取了其他对公众安全构成威胁的装置或材料。对这些问题的回答取决于确定材料的来源及材料的生产方法。

核法证学能对非法贩卖的放射性物质的生产方法及来源提供必要的深入了解，当它与传统的调查方法（包括情报来源和传统的侦查工作）结合起来时会有最大的功效。核法证学在放射性材料归属分析和起诉涉及放射性物质的犯罪方面可以起到决定性的作用。

核法证学目前存在某些局限性，是由于这个学科具有新兴的性质，同时对它的需求却日益紧迫所造成的。例如，一些成员国直到现在才开始分享核法证调查中所需的核材料和核工艺方面的资料。很多国家和组织现存的大量数据库对于核法证学未来的发展和应用可能是很有价值的。其中很多数据库的内容将永远不会被直接分享，但是开发一个“配给式”的综合性数据库（见第 7.3）将会有益于国际上的努力。此外，一些国家已着手将传统的法证学专家（通常在警察机关）和核专家（通常在大学和国家实验室）的经验和专长结合在一起。

核法证学将总是会受到被截获材料所固有的特征信息的限制。例如聪明的犯罪人可将传统法证学（指纹，杂散材料等）的重要印迹消除或减弱；有些核材料所固有的同位素或化学特征可以作为其特定来源和生产工艺的不容置疑的印记，而其他核材料则没有这种印记。幸运的是，核燃料循环工业的可识别的工艺步骤其数量有限，这使核法证解读成为可能。但是，



为了区分那些看起来其来源和生产历史相似但实际上却来自不相干场所的材料，将需要非常具体的资料。

### 1.9. 国际合作

许多国际核法证学实验室已在合作开发关于对核工艺进行分类以供核法证解读使用的共同技术战略和数据库。为了促进打击非法贩卖核材料方面的国际合作，于 1996 年成立了国际核走私技术工作组[1]。迄今，已有 28 个以上的国家和组织参加了 9 次国际会议和两轮分析演习。国际核走私技术工作组的技术重点包括编制关于证据收集和核法证学实验室调查用的可接受的通用规程；优化核与非核样品法证分析用的技术和方法；组织实验室之间的法证演习；开发为辅助解读用的法证资料库，以及向申请国提供技术援助。

### 1.10. 国际核走私技术工作组核法证学实验室

参加国际核走私技术工作组的核法证学实验室承诺开展核材料或其他放射性物质的表征工作，这些材料已被检获，并交由法律检察机关进行分析。依照现行出版物中的导则，这些实验室已保证彼此密切合作，并与检察机关合作以促进澄清涉及核材料与其他放射性物质的非法事件。这些承诺已正式载入于 2004 年 9 月通过的国际核走私技术工作组核法证学实验室（国际核法证学实验室）章程。附录 IV 中给出了有关国际核法证学实验室、其章程及联络点的描述。

## 2. 核法证学行动计划

原子能机构出版物（IAEA-TECDOC-1313[2]）为一线工作的官员提供了有关对涉及侦查与核材料和放射性物质有关的擅自行为的事件做出响应的资料。由于预计大多数执法人员不具备为有效利用此类资料所必需的学术背景，在 IAEA-TECDOC-1313[2]中已将学术资料的细节保持在最低限度。另一方面，本报告比较详细地介绍了相关的技术资料，这是因为它所面向



的对象是要求进行核法证调查的主管部门，还要面向需要对这类调查提供援助的主管实验室。

在截获可疑的放射源并在初始响应和业务响应表明这是一起可能的违法事件并确认需要进行战术响应后，将启动核法证调查。启动核法证调查以回答法律起诉机关及其调查小组提出的具体问题。核法证调查与所有的其他调查措施密切互动是必不可少的。依照国际核走私技术工作组制定的示范行动计划[16]，建议按以下行动计划开展核法证调查：

- (a) 现场使用警戒线隔离并由执法工作人员加以守护。
- (b) 通过专业服务确认材料的核性质或放射性性质，并确定是否存在潜在的核、辐照或化学危害。
- (c) 通知可以启动行动计划的主管部门。
- (d) 在现场采取以下行动：
  - 有关职业和公众辐射危害的保健物理学检查；
  - 遵照国家法律采取执法行动，以检查隐藏的炸药，保存证据并建立保管链；
  - 利用可移动的非破坏性分析仪器对缉获的材料进行现场分类；
  - 安全储存材料直至运输。
- (e) 预见要在专门的国家核法证学实验室进行以下调查：
  - 在打开包装前对隐藏的爆炸物进行检查；
  - 保存证据并对非放射性材料进行传统的法证分析；
  - 按照实验室的能力进行详细调查（目测、数量、取样、核性质等）；
  - 应按照国家材料生产或制造所用的工艺对核法证学专业实验室深入分析所得到的数据进行解读 — 通过解读对材料来源进行归属分析或许是可能的。
- (f) 如果国家核法证学实验室没有能力进行某些分析，可将此材料的样品运往外部的核法证学专业实验室，例如国际核法证学实验室。

- (g) 将结果与适当的数据库进行比较，可能导致进一步的调查。
- (h) 对缉获的材料进行分析得出的专家分析意见要以书面形式提交给扣押该材料的国家执法机关，要有来自请求方的专家参与起草专家意见。
- (i) 对所有证据的简介及评价要由国家法律部门来进行。
- (j) 由本国的法院对案件进行审理和结案。
- (k) 主管部门要对材料处置做出安排。

在本报告中，将依照五个类别对上述计划中所列的措施进行分组并加以讨论，其目的是要研究：

- 事件响应；
- 核法证学实验室取样与分发；
- 核法证分析；
- 传统法证分析；
- 核法证解读。

### 3. 事件响应

#### 3.1. 保护事件现场

在保护事件现场方面有三个关键目标：

- 尽可能减少与事件现场有关的任何辐射危害；
- 对核材料或其他放射性物质进行控制；
- 保存核法证证据和相关的传统法证证据。

事件指挥官将必须做出有关决定，这些决定涉及公众安全、环境保护、响应人员的安全等常常争相关注的问题以及数据的保存和收集。为了了解对核法证调查的要求，事件指挥官应在初期阶段成立事件调查组（图 1）。事件调查组应尽可能包括所有相关学科的专家，并向事件指挥官提供建议

和支持。事件调查组应尽可能有一位熟知核法证学的专家；如果没有，也要有一位执法法证学专家。事件调查组的专家们常常会反映各方面的利益，因此，他们达成的共识将在各种利益之间提供最佳平衡。事件指挥官可对事件调查组范围内的任何不可调和的争论进行裁定。

事件指挥官应该排好活动顺序以防止证据受到破坏和污染。例如，对现场去污的合理目标应当尽可能在收集证据后去实现。收集传统法学证据时应当保存核法学证据的完整性，反之亦然。所有重要证据在从现场取走前应当拍照。

### 3.2. 现场分析

收集证据时要假设具有适当资格的爆炸性弹药处置人员能够首先使任何爆炸装置变得安全。便携式 X 射线照相装置可以利用来加速这一过程，它可在现场对固体样品和容器进行成像以确认不存在隐藏的爆炸物或其他威胁。只有在爆炸物和武器专家进行清理并放行后，才可为核法证学提供准入。

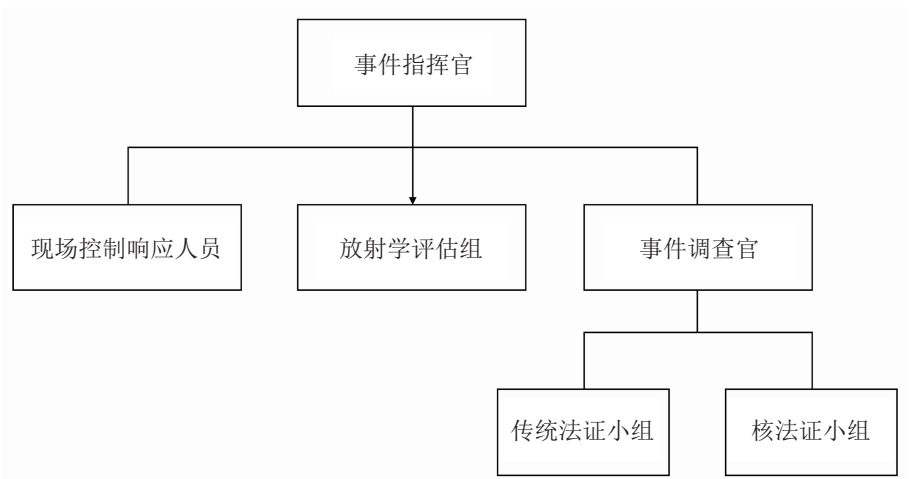


图1. 战术响应指挥结构示例[2]。

此外，采用  $\gamma$  射线谱仪和中子探测器进行现场非破坏性分析可对可疑的放射性材料进行分类而不影响证据，分类的目标是要确定该材料的总体组成。

分类分析可以快速进行。现场分类的一个很重要的成果是判断可能已经违反了何种法律，这是进行继续调查的依据，因此便携式  $\gamma$  射线探测器是事件调查组的一件重要设备。分类还可为放射性评估组和事件调查组的工作人员提供重要的信息。

成员国可请求原子能机构在事件现场作业和分析方面提供援助。为了评价核法证援助的必要性，成员国可请求原子能机构启动与国际核法证学实验室的联系（见附录 I 第 1 步）。此外，原子能机构通过国际核法证学实验室可以就诸如证据的收集和保存以及放射性材料的分类这样的活动提供咨询（见附录 I 第 2 步）。原子能机构或国际核法证学实验室的专家甚至可作为事件调查组的助手，通过电信工具就可能出现的核法证问题提供远程咨询。取决于事件的性质，也可依据《核事故或辐射紧急情况援助公约》（“援助公约”）[17]请求原子能机构提供援助。在应急情况（医疗、监测、源的回收）期间向原子能机构请求援助的程序见参考文献[18]。

### 3.3. 放射性证据的收集

放射学评估组通过使用辐射探查仪器可帮助在现场对放射性证据进行定位，采用网格系统将有助于现场的放射学调查，个人剂量读数可作为这些方块的参考。建议画出一张准确的事件现场示意图（包括罗盘方位或全球定位系统坐标），标出任何放射性材料或其他证据的位置、污染程度以及警戒线和控制区的设置。采用网格系统可有助于画出这么一张图。建议将照片归档。

要做出适当的安排（如培训、程序和设备）以确保按照原子能机构对工作人员（包括应急工作人员）的防护要求提供辐射防护。这些要求的某些要点列于如下：

- 需要 — 依照国际标准 — 做出安排，以便对应急人员所受的剂量进行管理、控制和记录[6, 19]。

- 需要事先做出安排，以便指派那些可以承担救死扶伤、避免大的集体剂量或防止灾难情况恶化等任务的人员作为应急人员。要求对不同的活动设置不同的剂量水平，应向处于较高水平剂量下的工作人员告知相关的风险，因此，应在自愿的基础上加以部署。
- 需要做出安排，针对应急人员为执行响应功能可能必须面对的各种危险情况，采取一切可行的措施为应急工作人员提供保护。这些安排包括：对应急工作人员持续进入及其所受剂量进行记录的安排；确保依照已制定的符合国际标准的导则对所受剂量和污染加以控制的程序；以及有关提供在预期的危险情况下为进行应急响应所需的适当的专业保护设备、规程和培训的安排。此种导则将包括应急响应人员在不同类型响应活动中默认的操作剂量水平，这些剂量水平经过量化设置可在执行这些活动期间直接加以监测（例如来自外部穿透辐射的总体剂量）。在为应急工作人员设置默认的操作剂量水平时，需考虑通过所有照射路径对剂量的贡献。这些剂量水平被称为“懦夫”水平。
- 一旦应急状态结束，承担诸如回收放射源等非应急操作的工作人员必须接受参考文献[6]附录 I 中所规定的职业性照射要求这一整个系统的约束。
- 一旦应急状态结束，必须向所涉及的工作人员告知其所受的剂量和随后的健康风险[6]。
- 要在应急预案和程序中指定每个响应组织中负责确保工作人员安全防护的人员[6]。

如果放射性证据封装得很好，例如在铅屏蔽容器中的低浓铀粉末，调查官员应该充分地保护好样品并将其从现场运走，并适当注意维护任何传统的法证证据。另一方面，如果证据四散，调查官员应小心地尽可能全面收集，因为很难预测哪一部分证据可以证明对解读极其重要。

事件调查官员应该如法证收集专家那样接受培训或由法证收集专家陪同。考虑到手头的工具和由于辐射水平使操作时间受到限制，他们应尽可能合理小心地将放射性物质剥离非放射性物质（局部的污物、草或叶子）

和证据。如果对哪个是证据哪个是污染物存在疑问，事件调查官员宁可犯错全面收集以至收集了太多的材料，而不应该收集得不够。原子能机构出版物[20, 21]描述了原子能机构保障视察员为获取核材料样品包括擦拭样品所使用的标准程序，它们可以为培训可能被要求加入调查组的官员提供一个良好的依据。

事件调查官员可用刮刀或铲子将固态样品挖出放到洁净的塑料袋中。如果看起来在不同的区域有好几类材料，那么，如果可行的话，事件调查官员应设法使用不同的刮刀或铲子收集各种类型的材料以最大限度减少交叉污染，或在两次取样之间，至少要清洗一下刮刀或铲子。所有的塑料袋要有适当的标签注明其内容物和适当的参考标号。

放射性液体样品可收集到洁净的塑料瓶中，事件调查官员可采用注射器或移液管将液体从现场转移到塑料瓶中。如果看起来有几种类型的液体，那么，如果可能，事件调查官可以试着对各类液体采用不同的注射器或移液管进行收集以最大限度减少交叉污染，或在两次取样之间至少要清洗一下注射器或移液管。对于体积特别大的液体，可能需要利用工业用湿式真空装置进行收集。在完成工作后，要求对真空装置进行去污。所有的瓶要有适当的标签注明其内容物和适当的参考标号。必须要对采集器械包括刮刀和注射器进行去污或将其作为放射性废物来处置。

最初的塑料容器可能足以容纳和运输只是  $\alpha$  或  $\beta$  发射的放射性样品。但是，如果样品是强  $\beta$  或  $\gamma$  射线发射体，那么放射学评估组可能会要求将这些样品装到铅屏蔽容器内进行运输。

如果比较大或不可移动的对象如建筑物或汽车已被污染，并带有放射性证据，那么事件调查官员将有必要对这些对象进行“擦拭”。采用过滤材料作为擦拭物，擦拭是收集微粒样品的传统方法。粘性胶带是一种可从对象表面收集微粒的便捷手段。事件调查官员应该设法擦拭尽可能大的区域，取走所有放射性证据。对新的对象进行取样应该采用新的擦拭物或新的粘性胶带。工作完成后，应对每个样品进行适当的包装并加上标签。

通过擦拭收集放射性样品可能会破坏传统的法学证据如指纹。因此，

适当考虑收集放射性证据和传统法证证据的时机选择是非常重要的。最终决定权在于事件指挥官，但同时要考虑事件调查组提出的建议。

在证据收集过程中，事件调查官员要维护适当的保管链程序。特别是，每个样品容器（塑料袋或瓶）应标上独特的标号。证据回收日志应将该标号与事件现场的特定位置和日期/时间以及收集方法的细节联系起来。核法证学实验室随后要维护资料性工作的保管链，这些书面资料将能把分析结果和结论与独特的标号联系起来。在事件现场等待运出时，必须确保安全、保护好所有的证据。

### 3.4. 传统法学证据的收集

再次建议画出一张准确的事件现场示意图（包括罗盘方位及全球定位系统坐标），图上标出任何放射性材料或其他证据的位置、污染程度以及警戒线和控制区的设置。采用网格系统可有助于画出这样一张图。这一示意图可以成为司法过程中的一项重要资料。再一次建议将照片归档。

收集传统法学证据时应该符合良好的辐射安全实践。传统法学证据经常受到放射性证据的交叉污染。通过早先描述过的时间、距离、屏蔽三原则，可使事件调查官员所受的辐射和有害照射降到最少。

当事件调查小组接近事件现场时，应该提防丢失任何证据。小组成员在调查和控制现场时要进行相关记录。在辐射安全官员的帮助下，他们应该不断评估所有操作的安全性。该小组应该判断到目前为止事件现场被保护的程度，并留心注意任何干扰证据的迹象。

事件调查组的第一项任务是启动初步调查，描绘出搜寻区域的范围，然后要标出与证据收集有关的任何实物或环境方面的限制，并获得为组织详细搜寻所必需的信息。

如果可能的话，应对现场进行全面的法证搜寻。如果实施网格系统，那么对每一方块的系统搜寻可揭示相关的法学证据。应该收集所有与放射性样品相关的证据，如最初的样品容器及相关的文书等。这些证据对于法证解读常常是非常重要的，并有可能是与材料失控有关的唯一证据。



传统法学证据的收集可能会妨碍对放射性/毒物证据的收集或分析。因此，适当考虑收集放射性证据与传统法学证据的相对时机选择是很重要的。最终决定权在于现场指挥官，但同时要考虑调查小组提出的建议。

与放射性证据的收集一样，事件调查官在证据收集过程中必须要维护适当的保管链程序。这包括将所有样品登录到证据回收日志中。此外，在事件现场等待运输时，必须确保安全、保护好所有的证据。

### **3.5. 最终调查和现场的让渡**

事件调查组在将事件现场让渡给适当的部门前，应该进行最终调查。在最终调查中，所有参与者应当以挑剔的眼光对搜寻工作的方方面面进行审查，以确保工作的完整性。他们应该确信没有忽略任何潜在的隐蔽之处或难于进入的区域。

还应检查文档是否有粗枝大叶的错误或遗漏之处。摄影师应将事件现场的最后情况做成档案。在离开现场前，应该对所有证据加以说明。最后，该小组应该将搜寻中用过的所有设备集中在一起。

最终调查完成后，事件指挥员可将事件现场让渡给适当的主管部门。应该将这一让渡情况做成档案，包括让渡的日期、时间、让渡给何人以及是谁让渡的。直到事件调查组一切准备好之后才应该让渡现场，因为一旦让渡了现场，重新进入可能需要得到批准。

### **3.6. 证据保存场所**

在证据收集后最终运往核法证学实验室之前可能需要储存证据，这取决于当地的规定及核法证学实验室的程序。因此，可能需要建立一个中间保存设施或保存场所。这种设施需要有保存证据所必要的安保措施，还要有处理样品中所含放射性量所必要的辐照/化学许可证。成员国可要求原子能机构和国际核法证学实验室在建立和运行保存场所方面提供援助（见附录 I 第 2 步）。

应该在存放场所利用 X 射线照相法对固体证据例如封闭容器再一次进



行成像，以了解证据的性质，并确认不存在隐藏的爆炸物或其他威胁。如果在事件现场未对材料进行分类，无疑应该在运往核法证学实验室之前在存放场所对其进行分类。即使在事件现场已经进行材料分类，利用更先进的仪器例如具有高分辨率的锗探测器代替碘化钠探测器的伽玛射线谱仪，对分类进行确认可能是很有用的。重新分类可提供额外的信息，也可对现场分类的效果进行评价。成员国可请求原子能机构就放射性材料分类提供咨询意见（见附录 I 第 2 步）。

### 3.7. 证据的运送

在将证据运往预先确定的中间储存设施或运往核法证学实验室时，事件指挥官需要征询辐射顾问的意见，考虑证据的安全、安保和保存。大多数放射性样品可保存在采集时所用的容器中进行运送。但是，这些最初的容器必须经包装后放到另一个经过认证可以运输这类材料的容器中。在所有情况下，包装和运输需要满足法规、安全和安保要求。应该采取措施避免由于运输容器引起可能的交叉污染。

成员国也可就放射性材料从事件现场或保存场所运往核法证学实验室的事项，请求原子能机构援助（见附录 I 第 3 步）。原子能机构可与国际核法证学实验室磋商，就如何包装以防止证据受到污染或交叉污染提供建议。这些要求预计与原子能机构有关核材料实物保护[22]和放射性物质安全运输的建议是一致的[23]。需要将这些要求原子能机构提供运输方面援助的请求与那些涉及“援助公约”[17]的请求区分开。

## 4. 核法证学实验室取样和分发

### 4.1. 核法证学实验室

应该将证据送往有条件接收和处理这些样品的核法证学实验进行分析。将传统的法学证据送往警方的犯罪研究室，而将核法学证据送往核法证学实验室或许是可能的。但是，很有可能这两类证据互相混杂，因而传

传统的法学证据为放射性材料物质所污染，而放射性物质上又含有某些传统的法学证据。因此，作为接收方的核法证学实验室应该有能力处理放射性物质，并小心地将传统的法学证据与放射性物质分离开来，留待以后由各学科的专家进行分析。因此，建议将样品送往兼具犯罪研究室和核法证学实验室技能的实验室进行核法证分析。核法证学实验室拥有能处理受污染证据的装备和人员，并适应传统法证分析和核分析的要求。

核法证学实验室应该是经过相应的资格认证的设施，有书面的分析程序和人员资格证书，能经得起同行学术评议和法律监督。另外，核法证学实验室接收被发送的证据需要得到适当的授权。接收设施需要能处理大量的核材料，但也要能分析痕量的材料组成和环境中的材料。因此，核法证学实验室必须消除固定的和分散的本底污染，以确保样品间没有交叉污染的机会。

另一个要求是核法证学实验室要全面满足环境、安全和健康协议，危险废物处置程序以及危险材料处理和储存方面的现行标准。该实验室应该配有适当的实物保护措施以及相应的核材料衡算与控制方面的适当程序。核法证学实验室应该非常熟悉法律调查的要求，包括有能力延续始于现场的样品保管链。

核法证学实验室的工作人员专家要能按照材料截获部门的要求进行各种水平的响应。这可能只涉及咨询或涉及提高数据获取和分析的水平，范围可以从表征到全面的核法证解读。

成员国也可以要求实验室提供核法证学分析方面的援助。国际核法证学实验室可以确定一个适当的实验室成员提供帮助（见附录 I 第 4 步），并确定所要求的分析水平（从表征到核法证解读）。实际的调查将在双边安排的基础上进行。国际核法证学实验室的成员实验室将与请求方的主管部门一道确定适当的工作说明书以促进核法证分析。附录 I 第 5 步列出了需要在工作说明书中解决的事项。工作说明书将明确成员国的要求，包括证据规则、资料共享、保密和不披露协议。请求方的主管部门也应该有一名专家参与分析的计划和执行以及最终报告的起草。工作说明书也应确定预计的时间表以及联系的频度和类型。附录 V 给出了一个相关工作说明书的示例。

## 4.2. 法证管理小组

建议在进行任何核法证分析或传统法证分析之前，建立一个法证管理小组。除了核法证专家外，法证管理小组还应该包括在犯罪学方面训练有素的实验室工作人员，以及适当的执法人员和政府官员。在成员国请求国际核法证学实验室提供援助的情况下，可在工作说明书最终定稿后建立法证管理小组，它将负责管理核法证学实验室对证据的分析。在这种情况下，法证管理小组要包括所有参加实验室的核法证学专家，以及来自请求援助的成员国的执法人员和政府官员。参加法证管理小组的人员应受工作说明书的约束，特别是在关于保密和不披露协议的条件方面。

## 4.3. 在核法证学实验室取样和分类

法证管理小组应制定初步的实验计划，该计划应该包括防止证据受到污染或交叉污染的方法。由于核法证过程的动态性质，随着有关样品和调查结果的新信息的获得，法证管理小组要调整计划。

实验计划不应该假定核材料是均匀的或者取自事件现场的不同采样的材料是相同的，因此，通过一次简单的总体分析就对样品进行全面分类、表征或解读可能并不适当。核法证学实验室需要建立良好的取样技术以对放射性证据进行适当表征。在极端情况下，这可能意味着对单个微粒进行分析，但是，更常见的是，这将意味着对放射性证据的各个组分进行单独的总体分析。

当所取材料样品的量很少时，需要针对有限的样品量安排实验计划。在这种情况下，必须首先完成所有的非破坏性分析。此外，痕量和微量分析技术与需要大量材料的分析技术相比，会更加合适。

对于固态证据如封闭的容器，应在核法证学实验室进行取样之前，采用X射线照相术使其成像，以了解证据的性质，并确认不存在隐藏的炸药或对检查人员的其他威胁。假设X射线分析表明没有危险，接着就可进行取样。

再重复一遍，对材料进行分类是很有用的。追加的分类可提供新的信息，包括核材料或放射性物质的总量，还可提供对现场和保存设施的分类效果的评价。高分辨率伽玛射线谱仪和同位素比值质谱仪对于在核法证学

实验室进行分类是必不可少的。对于散装样品，可利用热电离质谱法或电感耦合等离子体质谱法来进行同位素比值质谱测量。

## 5. 核法证分析

### 5.1. 概述

核法证学并不包含可普遍适用于所有证据的例行程序。相反，它涉及一个迭代方案，利用该方案可将一次分析所得的结果用于指导选择随后进行的分析。这样，应用于核法证学的放射性材料分析的运作方式与传统法证学分析没有什么不同。

必须强调的是，所有的取样和分析必须适当考虑保存证据并维持保管链。取样过程可提取证据但同样也可消除证据。很多用于放射性物质分析的工具是破坏性的，即在分析过程中它们会消耗一些样品量。因此，对分析方法进行适当选择并依次执行是很重要的。

最初的分类将会对进一步的分析提供指导。法证管理小组对接下来的分析方法的选择应该基于：调查的最终目标（见下一节有关基本表征与解读的讨论）、迄今为止所揭示的信息、可导致精确解读的潜在识别标志（物理的、化学的、元素的、同位素的）、可用于分析的样品量，以及法证识别标志的测量方法。

### 5.2. 表征

表征的目标是确定放射性证据的本质。表征给出放射性材料包括其主要成分、次要成分和微量成分的全部元素分析结果。对于放射性材料中的主要成分，必要时，表征也可包括同位素分析和相分析（即分子分析）。表征可以不包括对传统法证识别标志的分析或为了查出材料的可能来源而进行的反应堆模拟和数据库检索。

但是，表征确实包括物理表征。例如应采用扫描电子显微镜在高倍放大情况下使样品成像。对固体样品的关键尺寸以及粉末样品的粒子大小和形状分布都应该进行测量。

表征比全面解读花费的时间要少。这一过程的长短将取决于核法证学实验室的工作量，但一般可在接收样品后两至四周内完成。

### 5.3. 核法证解读

核法证解读是对材料进行归属分析的一个因素，它以核法证学实验室进行的分析为基础。它包括使分析数据与关于放射性物质来源和生产方法的现有资料以及先前涉及被截获核材料的案例相匹配的能力。尽管在分析的规范性方面随着技术的发展已经取得系统的进步，但为了解读目的解释放射化学数据的能力并没有取得同等的进步。未来面临的挑战是要开发并应用数据解读的工具，从而能综合而且可信地确定材料的生产地点和方法。从核法证解读所获得的信息将可用于归属分析。

### 5.4. 归属分析

归属分析的目标是对所有的放射性法学证据和传统法学证据进行分析，以便对核材料包括其来源、生产方法、存在更多材料的可能性、途经路线、失去监管的途径等进行归属、查出真相。这包括对传统法证证据的分析和对放射性证据的全面分析。完整的归属分析将包括数据库检索以确定生产方法和材料的可能来源。

### 5.5. 可利用的工具汇总

核法证研究人员手中有一大批分析工具，用于探查放射性材料中的识别标志。附录 II 给出了用于放射性物质分析的很多技术的清单，并进行了描述。这些单独的技术可整理成三大类：总体分析工具、成像技术和显微分析技术。

总体分析工具能让法证研究人员将放射性物质作为一个整体，对其元素和同位素组成进行表征。在某些情况下，总体分析是必要的，以便有足够的材料能对痕量组分进行充分检测和定量。痕量组分的存在及其浓度常常是某些生产工艺的很重要的识别标志，可用来确定化学分离后的时间以及确定该材料是否已经受到过中子辐照。

成像工具能给出材料的高倍放大的图像或图案，并可确认样品的同质性或异质性。由于总体分析是将样品作为一个整体来给出其完整的组成测量的，所以如果材料是非均质的，所得的分析结果可使单个组分中的重要识别标志变得含糊不清。成像将能捕捉到对于全面表征某个样品极为重要的空间和结构上的非均质性。

如果成像分析证实该样品是异质性的，那么，微量分析工具可对总体材料的单个组分进行定量或半定量的表征。微量分析工具也包括表面分析工具，它可探查痕量的表面污染或测量薄层的组成，这对于解读可能是很重要的信息。

### 5.6. 技术和方法的排序

将各种技术进行适当的排序以便在分析过程中尽可能早地给出最有价值的信息，对于这一点，国际核走私技术工作组已在核法证学界同行中达成全面共识。这种共识是通过开会讨论和磋商，并根据国际核法证学实验室两轮演练分析所得到的经验来实现的。表 2 给出了通常可接受的分析序列，可以将其细分为应在到达核法证学实验室后 24 小时内、一周内或两个月内使用的技术。

表 2. 建议的实验室技术和方法序列

技术/方法	24 小时	一周	两个月
放射性的	估计的总放射性剂 量率 ( $\alpha, \beta, \gamma, n$ ) 表面污染		
物理的	目测	SEM/EDS	TEM (EDX)
	射线照相	XRD	
	光学照相		
	重量		
	尺寸		
	光学显微镜		
	密度		
传统法证	指纹, 纤维		
同位素分析	$\gamma$ 谱仪	质谱仪	放化分离
	$\alpha$ 谱仪	(SIMS, TIMS, ICP-MS)	
元素的/化学的		ICP-MS	GC-MS
		XRF	
		分析 (滴定, IDMS)	

SEM/EDS: 带能量色散传感器的扫描电子微量分析; TEM: 透射电子显微镜; SIMS: 次级离子质谱; TIMS: 热电离质谱; ICP-MS: 电感耦合等离子体质谱; XRF: X 射线荧光分析; IDMS: 同位素稀释质谱; GC-MS: 气相色谱和质谱联用 (气质联用)。(更多参考材料请见附录 II)

## 6. 传统法证分析

### 6.1. 概述

传统法证分析与放射性物质分析一样, 可以是一个迭代过程, 在这一过程中, 一次分析的结果可用于指导对随后进行的分析的选择。法证分析



学家必须对事件现场取得的所有物项进行仔细检查，以便发现尽可能多的信息。不太可能并且显然不相关的证据常常是一宗案件成功起诉的关键。

再强调一遍，在进行所有取样和分析时要充分考虑保存证据。取样过程在寻求其他证据的同时可能会污染或破坏某些证据。从已受放射性污染的材料上收集传统法学证据也应该按照与良好辐射安全实践相一致的方式进行。

## 6.2. 可利用的工具汇总

各种传统法学证据以及收集和评价的方法几乎是无限的。附录III给出了有代表性但并不完全详尽的传统法学证据的汇总。例如，织物、头发、指纹与鞋印等证据通常可将个人与特定场所或目标联系起来，对事件现场发现的纤维、花粉或化学物质进行分析可提供有关动机或运输路线的信息。书面证据可提供有用的信息，不仅在于通信本身的内容，还在于这种通信所形成的附带细节（如纸、墨水、胶片类型、话外杂音或口音）。

## 6.3. 技术和方法的排序

国际社会已经商定，收集传统证据的顺序与收集放射性证据的方式相似。表 2 表明指纹和纤维证据的收集应该在收到样品后的头 24 小时内进行。采用诸如气相色谱—质谱这样的技术对其他证据进行的化学分析，可以在提取证据后两个月内进行。应该优先收集更具个性化的识别标志（DNA 或头发）或者对环境退化较为敏感的那些识别标志（如高浓铀残留物）。

# 7. 核法证解读

## 7.1. 相关识别标志

识别标志是核材料或放射性物质中能让人们区分此种和彼种该材料或其他放射性物质的某个给定样品的特征。这些识别标志有助于识别材料的生产工艺、材料的随后历史情况和此种材料以往曾经停留过的具体地点。



核法证解读的许多研究与发展集中于发现和了解这些识别标志。刻画识别标志的两个重要方法是：

- (1) 通过对核材料和放射性物质的系统分析，采用经验方法来发现；
- (2) 基于核工艺的化学与物理特征进行模拟。

识别标志包括材料的物理、化学、元素和同位素的特征。

材料的物理特征包括固态物体的质地、尺寸和形状以及粉末样品的粒子大小分布。例如，新核燃料芯块的尺寸往往是某个生产厂家所独有的。氧化铀粉末的粒度分布可以提供有关铀转化工艺的证据。即使是颗粒本身的形态，包括如夹杂物或吸着物这种异常都可以反映出生产工艺情况。

材料的化学特征包括精确的化学组成或共生的独特的分子组成。例如，可以发现铀氧化物有很多形态，例如二氧化铀、八氧化三铀或三氧化铀，其中的每一种都可以在铀燃料循环的不同部位找到。一些有机化合物（如某些轻煤油或磷酸三丁酯）与核材料共生可以反映出后处理操作的情况。

材料的元素识别标志包括确定材料中的主要元素、次要元素与痕量元素。主要元素当然有助于确定核材料的特性，但次要元素，例如作为可燃毒物的钆或钷、作为钚冶金相稳定剂的镅也有助于确定其功能。痕量元素也可证明是某个工艺过程的指示性标志，例如来自不锈钢模具的铁和铬残留物或来自水基清洗过程的钙、镁或氯。

材料的同位素识别标志包括探测裂变产物或中子俘获产物，它们表明该材料已在反应堆中停留过，可以作为一个给定反应堆的类型和运行工况的指纹。其他同位素是材料中放射性母体同位素产生的衰变产物，例如钷-230 是铀-234 的衰变产物，铀-235 是钍-239 的衰变产物。由于放射性同位素的衰变速率取决于材料中的同位素和母体同位素的半衰期，所以衰变产物和母体同位素的相对数量可用来确定材料的“年龄”（自母体同位素最后一次与其衰变产物分离以后的时间）。表 3 列出了钍样品中的一些相关识别标志以及这些识别标志可能揭示的内容。

7.2. 与其他核法证学实验室合作

核法证学实验室之间就具体案例进行合作可增强内源性信息（即通过对样品材料的分析和对所得数据的解读而获得的信息）的质量。从最广泛汇集的专家那里获取知识，可以增加对数据进行成功而独到解读的机会。国际核法证学实验室之间，遵照工作说明书中所规定的不披露要求进行信息共享，可利用每个实验室的丰富经验和新开发的能力，从材料分析中推断出新的有价值的信息。其他核法证学实验室的参与也有利于对核法证解读过程的同行评审，从而增加了对于解读工作的有效性和公正性的信心。因此，强烈建议工作说明书（见附录 I 第 5 步）应包括批准负责任的核法证学实验室与世界各地其他核法证学实验室一起共享信息，发表质疑和意见，以提高核法证学的现代化水平。

表 3. 相关放射性核素识别标志示例

识别标志	揭示的信息
子体同位素的生成	化学处理日期
钚同位素比	钚生产中所用铀的浓缩度 中子的范围以及在反应堆中的辐照时间
残留同位素	化学处理技术
短寿命裂变产物的浓度	化学产额指标

核法证学实验室之间就具体案例进行合作也可促进外源信息（即与事件有密切关系、但又不属于材料分析和结果解读的信息）的交换。正如在第 1.8 节中所指出的，国际合作对于核材料管制这一世界性问题十分重要。涉及核材料丢失的事件就其性质而言，可能是国际范围的，核材料来源于一个地点又会运送到另一个地点。能够分享某些具体事件的细节、独到的分析能力以及知识数据库这种能力对于应对核事件的威胁是很重要的。

### 7.3. 核工艺知识库

核工艺和核法证数据的广博知识库对于实验结果的有效解读（内生信息）以及对世界上有关核材料的来源、方法和起源的现有资料的利用都是非常必要的。将识别标志与现有知识和数据进行比较的能力是解读过程的核心所在。现在，很多国际的、国家的和非政府的实体都在维护着这些知识库。目前也在努力开发和编制用于核法证学的核工艺目录数据库。

在某些情况下，这些知识库包含了参加者可自由分享的资料，也有一些访问受到限制的专有资料或保密资料。来自各参加国或组织的专家，作为全球网络的一部分，可以有充分机会进入他们自己的数据库或知识库。在回应网络上其他专家对资料的查询时，他们可以通过释放查询结果做出反应，而不会危及作为这一反应依据的任何受控的资料和数据。因此，在适当考虑数据安全的情况下，可以利用分散的数据来为网络提供信息。

#### 7.3.1. 归档的材料

对已归档的核材料和其他放射性物质（包括截获的材料）进行比较分析可能是特别有帮助的。这些分析能使核法证专家在材料和所用的生产工艺之间建立联系。因为新的识别标志的发现要取决于新的分析方法，因此，在归档数据的同时，要附有归档的材料变得越来越重要。这样，便可采用新的分析方法对旧材料进行重新分析，并对由此所得到的数据进行分析以了解是否存在新发现的识别标志。样品档案可以包括真实的解读样品、反应堆燃料库存、其他核材料和放射源。

#### 7.3.2. 公开文献

基本核工艺中有很多已在公开文献如教科书、报告和论文中有所记载。这些文件可在技术图书馆和互联网上找到。例如原子能机构网站 (<http://www.iaea.org/>) 就有一些记载了可以公开提供的有关世界各地核设施的信息的数据库。

### 7.3.3. 内部文献

专有或保密的工艺资料可能仅在内部文献中记载。一些公司常常愿意在执行适当的不披露协议后，才与国家核法证学实验室分享专有信息。此外，国家实验室通常也能有权接触本国的保密文献，但显然不能接触其他国家的那些文献，这就使核法证学实验室之间的国际合作对于解决某些事件非常重要。

## 7.4. 迭代过程

放射性物质分析和传统的法证分析的结果应该由代表整个所有法证专业的专家进行解读。放射性物质分析和传统法证分析的结果对核法证案例的发展起着指导作用。核法证学专家采用单凭经验的方法（通过先前对核材料和其他放射性物质的分析）和建立模型的方法（基于核工艺的化学和物理特征）来预测这些工艺提供的相关识别标志。他们还利用有关分析科学的知识来选择适当的方法以验证是否存在这些识别标志。

在核法证过程的初期，从放射性物质和传统法证分析得到的结果将最有可能与许多事件的场景相一致。随着工作的继续进行，新的结果证明与那些场景不一致，即会排除某些场景。在最理想的情况下，只有一个场景将最终证明与所有的结果相一致。

案例的发展包括了很多的演绎过程（见图 2）。核法证学专家依据在该点上所得的结果提出一种或多种假设。这种假设暗示了其他识别标志，如果假设为真，则有可能或必定有这样的识别标志存在。专家们于是设计测试以验证是否存在这样的识别标志。与世界各地其他专家接触，查阅核法证知识库和访问已归档的样品库是允许核法证学专家提出假设及其测试方法的重要手段。如果测试表明该识别标志不存在，核法证学专家则必须放弃或调整他/她的假设以适应新的结果。如果测试表明该识别标志存在，那就意味着完成了唯一的解读，或者必须设计其他测试以排除其他可能的场景。

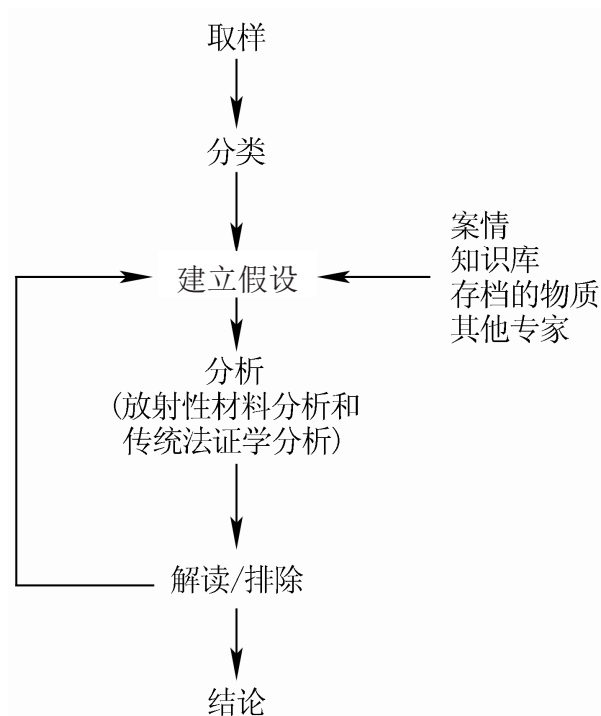


图 2. 核法证学过程。

持续的分析结果可提供指导和指引，从而帮助警方努力进行重点调查。而警方更加突出重点的调查，则有可能挖掘出可以用来将材料与特定的人和场所加以联系的进一步证据，这有助于核法证的进程。

同位素分析等某些结果，可能只提供一般的线索，用来帮助将材料归入某个大类（像可直接使用材料），或者也许能缩小潜在的材料来源国的范围。其他结果例如特征尺寸或标记的确定，则可提供具体的线索以确定具体的设施或生产日期。有时，一个分析结果只有在与其它分析结果联系在一起时，才有可能提供有关法证解读的有用信息。同样，各自独立的分析结果给出相同的一般线索或具体线索将会增加专家们对解读的信心，而分析结果给出不同的或者甚至彼此矛盾的线索则会减少这种信心。然而，起初似乎令人扑朔迷离或微不足道的分析结果，随着案情的发展可能会成为关键。

所有的法证解读都必须遵循证据与该案件管辖权相适应这一规则，例如在美国，解读必须满足 Daubert 标准中的某些准则，该标准允许引入在试用期间即已在特定科学领域获得公认的理论或技术[24]。

## 7.5. 典型例子

为了更好地说明核法证学和解读的过程及其复杂性，公开文献[25, 26]中报道了几个例子。这些例子描述了几个涉及发现非法核材料的案例，以及随后确定材料原产地并为起诉提出证据的步骤。读者也不妨考察一下参考文献[27]中给出的假想事例，该案例虽是假想的，但它也包含了来自实际经验的数据和情况。

# 8. 结论的可信度

## 8.1. 分析数据的质量目标

由于核法证调查的结果可用作刑事诉讼的证据，也可能影响国际上对扩散和恐怖主义威胁的判断，因此，数据及其解读应该可信至关重要。遵守保管链程序应确保分析结果与在事件现场所收集的证据 一 对应。核法证学实验室范围内的适当的质量保证与质量控制程序将确保分析数据的可信度。

核法证学实验室应该考虑实施质量体系，诸如 ASCLD 国际、ISO 9000 [28]或 ISO 17025 [29]。质量体系鼓励为样品的控制和分析建立书面程序，这样可提高结果的重复性和可追溯性，并为持续改善质量提供一个有利的机制。质量体系的建立和注册很重要，这不仅是为了其内部利益，而且也是为了激励外部的信心。

作为质量控制体系的一部分，在可行情况下，各实验室应该将其分析仪器置于相关的统计过程控制计划之下。一个有效的统计过程控制计划通过证明仪器在获取数据之前和之后都在接受统计控制，可以对分析结果产生信心。

8.2. 精确度和准确度

正如良好的分析规程所要求的那样，所有分析结果均应说明其测量的精确度以及任何不为精确度所反映的可能的误差来源。在没有偏差时，测量的精确度可以对误差来源和能够生产出具有给定识别标志的材料的生产工艺设定界限。如图 3 所示，虽然增加某个给定测量的精确度可以缩小可能的来源或生产工艺的范围，但采用独立的技术（可以核实是否存在与利用初始技术核实的那些识别标志不同的识别标志的技术）进行额外测量常常更加有效。

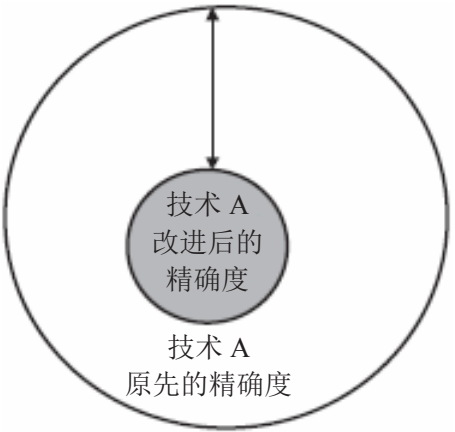


图 3. 改进精确度对结论的影响。

如图 4 所示，由于进行了较多的独立测量，解读的可信度和特异性常常会有所提高。

8.3. 灵敏度

当证据的数量不多时，分析技术的灵敏度将显得尤为重要。在某些情况下，犯罪者最初可能只提供极少量的样品给其潜在的客户，这些极少量样品据称是大得多的一批材料的代表。即使对于截获的大数量材料，分析技术也应该尽可能灵敏，因为微量组分常常是识别标志的重要组成部分。然而，随着分析灵敏度增加，对污染物和其他材料的敏感性也相应增加。

例如，分析工作者可能必须要判断分析中测出的铁和铬是某个生产工艺的识别标志，还是仅仅因为收集证据所用的不锈钢刮刀所产生的污染物。

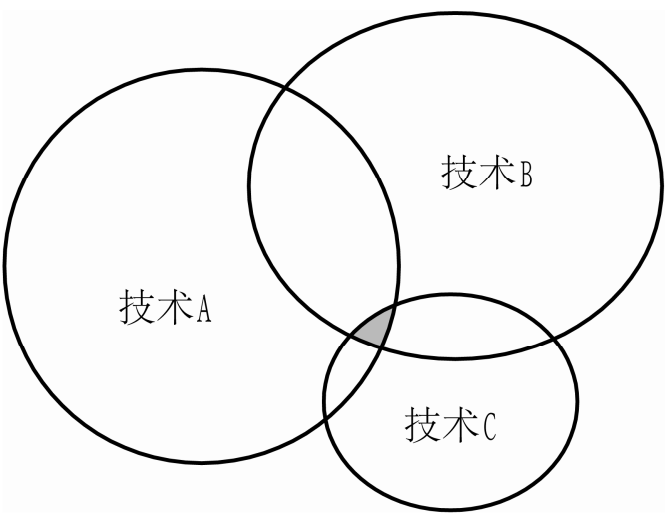


图 4. 多重分析对结论的影响。

### 8.4. 结果的通报

所有的结果和评价意见均应以技术报告的形式予以通报。报告的机密程度应依照工作说明书来确定。对于国际核法证学实验室向成员国提供援助的调查，最终报告的通报宣告了核法证援助工作的结束（见附录 I 第 6 步）。成员国就最终报告可能提出的任何特别要求（例如，要同时召开会议或口头信息发布会）应该列入工作说明书。

在对截获事件得出结论的过程中和得出结论后，可以定期发布报告，以使决策者能对调查所得的最新数据和见解进行评价。例如，核法证学实验室可以为了配合提供通过表 2 中所列的系列技术和方法获得的结果来发布报告（24 小时、一周、两个月）。然而，在对事件得出结论后，也要发布最终报告。该实验室应该明确说明评价中所用的所有数据和其他信息，并包括得出该结论的理由。实验室还应该明确说明任何与评价相矛盾的信息以及选择忽略或低估这些信息的理由。



理想的情况是，应该有一个能向决策者说明所有结论置信水平的明确方法。面对大量证据，并且每个证据都有其不确定性，用一份简单的专家意见报告书予以总结是很困难的。然而，还应该编制这样的报告书，以便向那些可能不具备对各个阶段的数据获取和分析进行严格评价所必需的技术背景的决策者传达证据的力度。

## 9. 通过原子能机构寻求核法证调查援助

附录 I 列出了通过原子能机构请求包括早期援助在内的核法证调查援助可能需要采取的步骤。它包括多种方案，并在前面已有讨论，因为它们适用于第 2 节中概述的行动计划的具体要点。在响应的任何阶段均可提供可选择的支持，包括从最初的接触开始到现场和保存场所的活动、材料或其样品的运送，以及实际的核法证分析或解读。请求方通过与原子能机构核安保办公室联络便可启动其中的任一方案。为取得核法证支持请求原子能机构提供援助不同于涉及“援助公约”[17]的那些援助请求。

附录 I 第 5 步中提到的工作说明书为准许核法证学实验室援助的双边安排奠定了基础。然而，由于核法证学和核法证解读是动态的迭代过程，因此，要有一个法证管理小组在整个调查过程中进行运作，以便就分析过程做出决策，这个法证管理小组要包括来自请求方的一名代表和来自参加国际核法证学实验室的一名代表。

正如 7.2 节中所描述的，让尽可能广泛的专家参与这一过程将会增加核法证分析成功的机会。因此，强烈建议请求方在工作说明书中授权多个国际核法证学实验室成员参加或者至少共享它们之间的信息。一个好的做法是将可能拥有与被调查材料相关的其他信息的其他主管部门包括进来。然而，请求方（或者请出请求的成员国）总是通过工作说明书来控制使用证据和信息共享。

## 10. 其他建议的活动

### 10.1. 常备事件应急预案和程序

事件应急预案需要有预见性的培训计划，以确保响应人员熟悉为万一发生涉及核材料或其他放射性物质的擅自行为所预先准备的程序和设备。参考文献[2, 30, 31]与本出版物一起对于建立适当的应急预案、程序和培训模块可能是有用的。

### 10.2. 双边安排

第2—9节和附录I中所述的核法证调查过程表明了国际合作对于核法证学的重要性和带来的好处。特别是，一个国家作为其本国应急预案的组成部分，可以订立一项国际核法证学实验室提供所要求的援助所依据的包括法律和财政条件在内的双边安排。这种安排涉及多种复杂问题，因此，可取的做法是：每个国家在其本国应急预案范围内明确规定在实际事件中可能需要的安排。

这种安排应该明确指出合作的目的、范围和限制条件。其中还应该尽可能考虑：

- 从请求国出口或运送核材料或其他放射性物质的样品并进入援助国领土的方法和程序；
- 样品残留物和分析废物的未来使用或处置方面的安排；
- 法证管理小组成员接触可能受限制的设施和信息的权力和限制条件；
- 关于向本国主管部门和国际权威机构通报调查结果共同义务；
- 资料保密和不披露协议方面的限制。

### 10.3. 演习

由于发现和截获核材料与其他放射性物质常常涉及管辖权的重叠（当地执法机构和国家执法机构、核材料和危险材料的监管机构等），因此，国家在实际事件发生之前解决好任何潜在的法律或政治障碍是很重要的。例如国家放射性物质运输规程可能阻止将截获材料运往境外的核法证学实验室。安全条例可能不包括查封放射性物质而没有采取破坏可能的法证证据的步骤。实施“桌面演习”可让所有参加者通过假想事件进行纸面操作以发现潜在的问题，而不会有与实际事件有关的严重后果。这种演习与实际事件相比，会有更多的时间和更多的慎重考虑这样的好处，因此也有利于政策和程序的制定。

除了桌面演习外，还建议根据实际情况定期进行示范演习。这些演习应该涉及实际材料、相关的主管部门和组织。在边境地点可进行这种演习，而且可以包括国际合作。

### 10.4. 研究与发展

核法证分析领域是一门新兴学科。大部分起步工作都是独立进行的，发达国家的国家实验室和国际实验室之间开展了一些协作。关于核法证学的迭代方案有着普遍的一致，该方案借助于一个工艺知识库来预测可以进行测量的物理、化学、元素或同位素的识别标志，还利用了可以核实是否存在这些识别标志的分析技术“工具箱”。

虽然对于核法证分析和解读的方案达成了一致，但由于这是一个全新的领域，持续研发是必不可少的。核法证学方面的国际协作已导致国际上开展研发工作，这将为每个国家的投入提供最大的回报。核材料转移到犯罪分子或恐怖主义分子手中所构成的现实威胁使得这些投入非常有价值。

需要继续努力的一个领域是开发有关核场址和核工艺的知识数据库。因为每个国家常常使用自己的材料和工艺，而这些材料和工艺或者是保密的或者是专有的，因此，这项工作需要国际协作。鼓励各国维护用于研发和工业应用的核材料生产的工艺记录。应把注意力集中于开发为访问国家

和综合数据库以及世界范围核专门技能所必需的数据库和检索工具。这种数据库需要设计成能为参与国提供最大量的信息而同时又不损害限制性信息。

在识别和开发新的放射性的和传统的法证识别标志方面也需要更多的努力。例如，考虑使用稳定同位素的自然变异或痕量有机物质或生物物质的存在作为独特的法证识别标志的研究很有希望。为使这些方法常规用于核法证解读，还需要进行更广泛的工作。

此外，在分析仪器和方法，特别是在提高精确度、改进灵敏度和减少空间尺寸等方面的改进，也将会导致用于核法证学的数据随之得到改进。

## 附录 I

### 通过国际原子能机构（原子能机构） 请求核法证调查援助的程序

#### I.1. 目的

在准备应对一个可能的事件时，国家应该确定本国法证学实验室的能力和对原子能机构援助的潜在需求，并与法证学实验室订立合同以获得援助。以下清单提供了成员国为评价核法证援助需求和通过原子能机构请求此种援助所需采取的一系列步骤。根据事件的性质，也可依据“援助公约”[17]请求原子能机构提供援助。在紧急情况期间（医学处理、监测、源回收等）请求原子能机构援助的程序可见参考文献[18]。

#### I.2. 着手与核法证学专家联系

- 与原子能机构核安保办公室联系，寻求核法证学需求评价方面的援助，并获得国际核法证学实验室的联系信息；
- 向原子能机构通报对核法证学援助的潜在需求；
- 确定国家、原子能机构和国际核法证学实验室的相关联系人；
- 在国家、国际核法证学实验室和原子能机构的联系人之间建立沟通渠道。

#### I.3. 现场和保存场所的咨询援助

通过与核法证学专家小组的电信联系，可以很快在现场获得非正式援助（或稍后在保存场所）：

- 请求放射性材料分类（例如核材料、反应堆燃料材料和/或商用源/放射源）方面的咨询：
  - 分类分析所用辐射探测器方面的咨询；

- 在解读现场辐射探测器所产生的图谱方面提供援助；
  - 可以提供专家进行分类分析。
- 在证据（核和非核）收集方面请求专家咨询或援助；
  - 在证据保全方面请求专家咨询或援助。

#### **I.4. 在材料运送方面的援助**

本节包括请求将材料从保存场所运往能进行核法证分析的一个或多个核法证学实验室（例如国际核法证学实验室）这方面的援助。很可能需要快速地将材料从事件现场运往国内的适当保存设施，以致在这一方面请求国外援助未必可行：

- 请求在包装和运输方面提供指导以满足法律要求（原子能机构援助）；
- 在包装和运输中防止交叉污染方面获得指导（原子能机构和国际核法证学实验室）；
- 请求原子能机构为包装和运往指定的国际核法证学实验室提供援助（见下一步）。

#### **I.5. 指定国际核法证学实验室提供援助**

这一步涉及确定所期望的核法证分析水平和将能提供这一分析水平的实验室（一个或多个）：

- 从国际核法证学实验室联络点获得可以提供样品核法证分析的实验室现有清单；
- 确定期望的分析水平：
  - 通过基本表征以确定材料的性质，也即物理结构、主要的元素组成（使用光学显微镜和扫描电镜）以及同位素组成（使用伽玛谱仪和质谱仪）；
  - 材料来源的技术解读：

- 可能的其它分析类型在第 5.5 节和第 7.1 节以及本出版物的附录 II 中给出；
  - 解读可能包括对相关材料的非核法证学分析；
  - 解读也可能包括对受到放射性污染的材料传统法证学分析。
- 确定有可能提供核法证援助的国际核法证学实验室（可以利用国际核法证学实验室和原子能机构联络点）；
- 与可能的国际核法证学实验室联系，以核实这个潜在的核法证学实验室/国家将不会拒绝提供援助；
- 启动与选定的核法证学实验室订立双边协议的过程；
- 确保实际的调查将在国家对国家的基础上进行。

## 1.6. 工作说明书的制订

工作说明书包括对以下事项做出规定：

- 确定需要分析的样品、分析的目标和范围，以及为核解读之目的对其做出评估；
- 建立核法证管理小组：
  - 预期该小组要在运送样品一直到最终报告的整个调查过程进行管理；
  - 该小组应包括代表当事国和每个参加的核法证学实验室的各一名联系人。
- 详述核法证管理小组的组织和职能；
- 为了获得最佳解读，应考虑有一个以上的核法证学实验室参加调查（或是通过多个双边协议或是让一个主要的核法证学实验室与其他指定的实验室一道工作）；
- 建立特殊要求，例如证据规则、保管链、资料共享、不披露协议和信息保密；
- 确定预期要进行的联系，例如联系的频度，需要事先批准的决策点的类型，有关结果的初始报告；

- 确定调查的各个“阶段”，例如从表征开始，随后可能是对来源的技术解读；
- 规定期望的灵敏度、准确度或分辨率，以及预期的核法证分析和报告的时间表；
- 规定需要列入最终报告的信息的类型；
- 商定在调查完成后对剩余材料的处置；
- 协议各方得到必要的政府批准。

其中有些事项必须成为国家与国家双边协定的组成部分。附件 V 给出了相关工作说明书的一个示例。

## **I.7. 完成工作**

国际核法证学实验室将最终报告发送给申请国即是核法证援助工作结束。此外，

- 最终报告可以附加一个口头的简况介绍会；
- 鼓励申请国向原子能机构提供反馈意见。

为此，需要成员国向原子能机构提供评估调查。此外，申请国可自行决定是否应将最终报告分送原子能机构。



附录 II

核法证学工具

本附录描述了核法证分析中一些最常用的工具，但是，这一描述并不是十分详尽的（也可参见表 4）。

表 4. 核法证学分析所用工具示例

测量目标	技术	信息类型	通常的探测限	空间分辨率
普查	HRGS	同位素的	ng-μg	
元素分析、同位素分析和总体分析	化学分析	元素的	Mg	
	放射化学/放射性计数方法	同位素的	fg-pg	
		元素的		
	TIMS	同位素的	pg- ng	
		元素的		
	ICP-MS	同位素的	pg-ng	
		元素的		
	GD-MS	同位素的	0.1 ppb–10 ppm	
		元素的		
	XRF	元素的	10 ppm	
成像	XRD	分子的	~5 at%	
	GC-MS	分子的	ppm	
	红外	分子的	ppm	
	目视检查	宏观的	0.1 mm	
	光学显微镜	显微的		1 μm
	SEM	结构		1.5 nm
	TEM			0.1 nm

表 4. 核法证学分析所用工具示例（续）

测量目标	技术	信息类型	通常的 探测限	空间 分辨率
微分析	ICP-MS	元素的 同位素的	pg-ng	
	TIMS	元素的 同位素的	pg-ng	
	SIMS	元素的 同位素的	0.1 ppb–10 ppm	0.2–1 $\mu\text{m}$
	SEM/EDS 或 WDS	元素的	0.1–2 %	1 $\mu\text{m}$
	XRD	分子的	~5 at%	

Mg: 毫克= $10^{-3}$  克;  $\mu\text{g}$ : 微克= $10^{-6}$  克; ng: 纳克= $10^{-9}$  克; pg: 皮克= $10^{-12}$  克; fg: 飞克= $10^{-15}$  克; at%: 原子百分比; ppm: 百万分之一重量单位; ppb: 十亿分之一重量单位;  $\mu\text{m}$ : 微米= $10^{-6}$  m;

HRGS: 高分辨率  $\gamma$  谱仪; TIMS: 热电离质谱仪; ICP-MS: 电感耦合等离子体质谱法; GD-MS: 辉光放电质谱法; XRF: X 射线荧光分析; XRD: X-射线衍射分析; GC-MS: 气-质联用; SEM: 扫描电子显微镜; TEM: 透射电子显微镜; SIMS: 次级离子质谱法; SEM/EDS: 带能量色散传感器的扫描电子微分析; SEM/WDS: 带波长色散传感器的扫描电子微分析。

II.1. 元素和同位素的总体分析工具

化学分析

化学滴定和控制电位库伦测定法是用来确定铀、钚、钚或其他核燃料材料主要组分的元素含量以便进行衡算测量或衡算核实的标准方法。在化学滴定中，让样品与精确定量的已知组成的某一选择性试剂反应，直至已知的化学计量反应完成或达到特征反应终点。除个别情况外，滴定方法特别根据终点的检验模式来选定，如电位滴定和分光光度滴定。在控制电位库伦法中，需要分析的元素在维持着适当选择电位的金属电极上被选择性氧化或还原。氧化或还原中所消耗的电量即是对样品中元素含量的量度。

这些方法的精确度和准确度优于 0.1%，这些方法已经十分成熟并在核衡算和核保障实验室得到常规使用。因此，只要能获得至少零点几克的样品，便可利用这些方法非常有效地对截获材料进行表征。

## 放射化学

很多样品太复杂，以致不能直接测量样品中存在的所有放射性同位素。通过利用元素的化学性质的差异，有可能设计出可对元素或元素组进行分离纯化的化学反应方案，然后再考虑利用放射性计数方法或质谱法来测量所含的同位素。通过参照称为“示踪剂”的内部同位素标准，可以回溯将测得的同位素与原始样本相联系。化学分离与纯化步骤能增加该技术的灵敏度和选择性。放射化学方法对于以低活度存在的同位素的测量尤其重要，而且可以利用  $\alpha$  或  $\beta$  发射或质谱法对这种同位素进行最佳测量。放射化学方法与放射性计数技术和质谱技术相结合，有可能测量低至  $10^6$  个原子或更少的某些同位素。

## 放射性计数技术

每一种放射性同位素能以已知速率发射出已知类型和能量的射线。通过测量样品发出的辐射，便可对每一个存在的测得同位素进行定量。通常认为有三种类型辐射可用于测量： $\alpha$ 、 $\beta$  和  $\gamma$  辐射。每一类辐射都有其自己的性质和探测方法。硅面垒探测器通常探测  $\alpha$  辐射，利用闪烁技术或气体电离探测器可探测  $\beta$  辐射，利用锗晶体则可探测  $\gamma$  辐射。

## 质谱法

质谱法可用于确定材料中各元素的同位素组成。通过加入已知量的特定同位素，也可以对这些元素进行定量（在应用于样品的主要成分时常被称作“分析”）；这一方法被称为同位素稀释质谱法。质谱法既能测定放射性同位素又能测定稳定同位素。在质谱法中，原子或分子被转变为正离子或负离子，所得到的离子接着根据其质荷比被分离，然后测量所得到的按质量分开的离子束的强度。除了在同质异位干扰这一特殊情况外，元素质谱技术通常由于质谱分析步骤而具有很高的选择性。质谱技术提供了极高的分析精确度和准确度以及高丰度灵敏度。

## 热电离质谱法

在热电离质谱法中，样品置于金属丝上，在高真空中通电将其加热。如果某个给定元素的离子化电位与金属丝的工作功能相比足够低，那么该元素的部分原子通过在高温下与金属丝表面相互作用而被离子化。热电离质谱分析的特异性可以通过化学分离步骤和离子化温度获得。该方法能够测量皮克( $10^{-12}$  克)至纳克( $10^{-9}$  克)级样品的同位素比，或者采用特殊的预浓缩技术，可使样品量降低至几十飞克( $10^{-15}$  克)。热电离质谱法可以常规测量 1 比  $10^6$  这一量级的同位素质量比差异。

## 电感耦合等离子体质谱法

在电感耦合等离子体质谱法中，样品以溶液形式送入电感耦合等离子体，等离子体的高温将样品分解为它的组成原子并使其离子化。除了测量同位素比，电感耦合等离子体质谱法既可用作一种灵敏的元素鉴定工具，又可用作精确定量样品中痕量元素组成的方法。探测限的范围在溶液中可从 0.1 ppb 至几十 ppb。由于本底、干扰或电离效率差等原因，电感耦合等离子体质谱法很难测量某些元素如碳、氧、磷、钾、硫和硅等。

## 辉光放电质谱法

在辉光放电质谱法中，样品作为辉光放电的阴极（氩通常是支持气体）。样品受到氩离子溅镀，样品中受到溅镀的中性物扩散到等离子体中。在等离子体中，这些中性物受到电子撞击而电离，或者更常见的是，与亚稳态氩原子碰撞而电离（彭宁电离）。辉光放电质谱法可能是用于直接测量散装样品（如尘土）的有效技术。辉光放电质谱法是高度定量的技术，极少受到基体效应的影响。它可用作灵敏的调查工具，其探测限的范围可从小于 1 ppb 至几个 ppm，取决于被分析的元素。但是，与放射化学法、热电离质谱法或电感耦合等离子体质谱法相比，此方法的精度较差。对于某些非均质样品，因为取样体积很小，并且不能用溶解或类似过程将样品均匀化，它也会给出令人误解的结果。

## 气相色谱-质谱法（气质联用）

气相色谱-质谱法是检测和测量散装样品中痕量有机组分的有用技术。在气相色谱-质谱法中，混合物的组分在气相色谱中分离，并用质谱法对其进行鉴别。气相色谱的主要部件是一个小口径的管子（称为“柱子”），并被保存在一个箱内。非常简单，混合物在已加热的导入口快速蒸发，混和物的各个部分被载气（通常是氦）带入并通过柱子。混和物的各个组分依照其发散性以及柱中材料和载气的相对亲和性在柱上被分离。柱子通常涂有一层特殊材料，以增强对感兴趣组分的分离能力。在理想情况下，所有组分都一一分离并每次一个被引入质谱仪。柱流出物在流速较低时可直接引入质谱仪。在流速较高时，气相色谱需要一个可与质谱仪的流速要求相匹配的接口，一般还要选择性地排出载气。

当每一组分从柱子中流出时，质谱仪会使其电离并形成碎片。可以使用很多不同的电离方法，但气相色谱-质谱法最常用的是电子碰撞。在电子碰撞中，具有较高能量（70 eV）的电子束轰击样品分子，其中一些电子将会击中样品分子并击打出一个电子，留下带正电的分子。电离碰撞往往将部分能量传递给分子，这种能量有时很大足以使离子依分子结构特点形成碎片（通常形成一个离子和一个中性碎片）。各种质量的离子的相对丰度（严格地说，应该是质量电荷比，不过电子碰撞中典型的离子电荷通常是 1）是完整分子的特征。质谱仪或是通过同时探测或是通过序列探测来测定各种质量的离子强度，这要取决于质谱仪的类型。所得的相对强度与质荷比的曲线图就是“质谱”。现在已经收藏了大量的电子碰撞质谱，可以用来帮助鉴别由气相色谱-质谱法分离和检测的未知化合物。

## X-射线荧光分析

X 射线荧光分析也可用于对样品进行广泛的、非破坏性的元素定量。入射 X 射线束激发出固体样品的特征次级 X 射线，其波长和能量通过固态计数器或正比计数器进行计数。X 射线荧光分析的探测限在 10 ppm 范围内。对轻元素也可进行分析，但由于特征 X 射线能量较低会存在较多问题。然而，X 射线荧光分析严格说来是一种元素分析工具，而电感耦合等离子

体质谱法或辉光放电质谱法则更灵敏，可测定同位素组成。X 射线荧光分析可以直接对固体样品进行，不过常常对溶液进行分析以提供样品均匀性。

## **X-射线衍射分析**

X-射线衍射分析是用于鉴别无机和有机晶体材料的化学结构的标准方法。撞击规则排列的晶格的 X-射线束，会随着晶格的空间、X-射线的波长以及 X-射线束的入射角的不同，而经受相长干涉和相消干涉。使样品相对于一个固定的 X-射线源进行旋转，干涉即会发生变化，从而产生特征衍射图。将这些衍射图与参考图谱进行比较，便可确定特定晶相。注意，此种分析法不能从无定形（非晶体）材料产生衍射图。

## **II.2. 成像工具**

### **目视检查和照相术**

对样品进行目视检查可以给出有关其可能身份的专家信息，特别是在联用伽玛谱测定法等非破坏性分析提供的数据和调查数据的情况下。尺寸和形状即可足以对一些物项进行鉴别，特别是如果能看到序列号或其他识别标记则会更加有利于鉴别。对化学制品而言，材料的颜色和形态可以是重要的线索。

### **光学显微镜**

光学显微镜常常是在高倍放大情况下检查样品的首选方法。光学显微镜利用光放大光学和样品照明的反射或透射方法，将样品的放大后图像呈现在用户眼前。在偏振光下观察样品也可揭示部分信息。轻盈的显微镜可以很容易将图像放大到 1000 倍。

### **扫描电子显微镜**

扫描电子显微镜采用传统的热灯丝源可提供高达 10 000 倍的图像放大，或者采用场发射源则可提供 500 000 倍的图像放大。在扫描电镜中，一束精确聚焦的电子束形成光栅或对样品进行扫描。高能量的入射电子束与样品相互作用产生背散射电子、次级电子和 X 射线。这些类型粒子的流量

与光栅或扫描位置有着函数关系，通过测量其中一类粒子的流量便可重建并显示出样品的图像或图谱。每一类粒子传达了关于该样品的不同信息，因此也提供了不同的对比机制。例如，次级电子承载了样品拓扑学方面的信息。背散射电子承载了关于成像区域的平均原子序数的信息，而且可用于快速检测不同化学组成的空间解构相。

## 透射电子显微镜

在透射电子显微镜中，高能量的电子束透过一个超薄样品（厚度~100 纳米）。透射电子显微镜的放大能力比扫描电子显微镜更高（可达数百万倍），并能描绘出极其精细的结构，但对样品的厚度有严格限制。在大多数情况下，需要制作样品薄片。传送的电子可以经历衍射效应，因此，可像 X 射线衍射一样用于确定材料的晶相结构。

## II.3. 微量分析工具

### X 射线微量分析

在扫描电子显微镜或电子微探针分析中产生的 X 射线承载了元素的信息，而且是测量微型样品或微粒的元素组成的一个简便方式。X 射线可以选用以下两种方法中的任一种来进行分析。第一种，能量色散谱仪采用固态探测器（通常是硅（锂）探测器）同时测量入射 X 射线的能量和速率。第二种，波长色散谱仪采用合成的分析晶体连续地将选定的 X 射线衍射到气体正比计数管内。由于电子束与样品的相互作用机制，会在大约 1 微米的泪珠形区域内产生 X 射线。因此，X 射线分析仅限于约 1 微米的空间分辨率。X 射线分析的检测限约为 0.01%—0.1%，取决于元素。X 射线微量分析是一种用于测量大于 0.01% 的元素的分析技术，而不是痕量元素分析技术。

### 次级离子质谱法

次级离子质谱法可用于小样品甚至微粒的元素调查和同位素分析。次级离子质谱法采用精确聚焦的初级离子束（例如  $O^+_2$ ， $Cs^+$  或  $Ga^+$ ）溅射样品表面。溅射过程产生的次级离子（样品的离子特征）可用质谱仪进行分



析。次级离子质谱法能获得同位素分布的显微图像（它能与已知同位素丰度的已知元素的元素图像相对应）。在此“显微镜”模式中，相对大的初级离子束轰击样品，而且由此产生的次级离子的空间位置在整个质谱仪中得以保持并被放大。成像探测器接着会显示并记录所得到的同位素图像。在“微束”模式中，一束精确聚焦的初级离子束以类似于电子显微镜的方式形成光栅或对整个样品扫描。接着，测量由此产生的次级离子信号，并使其与初级离子束的位置相联系，从而得到同位素图像。聚焦离子束对样品造成的样品消融，产生一个穿过样品表面的深度分布，这一点对于证明组分梯度或表面变化极有价值。

## 红外光谱法

红外光谱法对于鉴别有机化合物很有用。通过利用特种显微镜，红外光谱法可用于小至 15 微米的样品检测，是一种重要的微量分析技术。分子键按特征频率振动，如果一个特定分子的振动导致分子键的偶极矩发生变化，那么该分子可以吸收该特征频率的红外辐射，从而激发该振动。

在红外光谱法中，样品受到红外频率宽频带的照射，然后测量与频率呈函数关系的反射或透射的红外辐射的强度。通过了解入射强度和与红外频率呈函数关系的反射/透射强度，可重新构建红外吸收光谱。在特定频率下的吸收是某些键的特征。因此，红外光谱可以鉴定分子内的各种键和官能团。此外，目前已有巨大红外光谱库可以帮助鉴别未知化合物，或者至少，可以将其归入某些分子种类。

目前，傅里叶变换红外光谱仪用于大多数的红外光谱测定，这些仪器通过采用自动化的干涉仪来测量与频率呈函数关系的红外辐射的强度。干涉仪会产生其强度随着时间而变化的信号。对这种信号进行傅里叶变换可产生强度-波长的光谱。傅里叶变换红外光谱比其它红外光谱方法更灵敏，因为它在更短的时间内提供更高质量的图谱。



## 附录 III

### 传统法证证据示例

以下描述并非详尽无遗。

#### III.1. 文档证据

文件或录音（例如来自答录机）不仅可以通过该情报本身提供信息，而且可以通过其他能将文件或录音与人员或地点联系起来的证据来提供信息。对文件的彻底检查将包括对书面文件中的笔迹、字体及打印文件的类型特征和异常、复印机的特点和复印文件的异常，以及排版文档的机械印象等进行详细分析。对录音的检查将包括对语言、方言和杂散的背景音等进行分析。

对文件所用纸张的分析本身可提供宝贵的线索。纸张分析应包括仔细检查：纸张来源、纸张原料中的夹杂物，任何更改或涂掉的文字，碳纸或纠错油墨的使用，所用书写工具的证据，以及该文件的真实时效。甚至对烧伤或烧焦的纸张进行分析也可提供有价值的信息。

如果一台计算机或数据存储介质，例如计算机磁盘，是从事故现场回收的，那么法证分析师必须尝试恢复计算机上存储的所有信息。程序和文档可能记录了犯罪者的计划和方法，或者可能牵涉其他人。手机也可以提供有用的信息。

#### III.2. 印记

隐藏的指纹、掌纹或身体其他部位的印记，例如，贴窗倾听时留下的耳印，都能将某个人与某个地点或与事件中查获的某件物品联系起来。在事件现场发现的鞋印，通过他们的鞋子的独特的胎面花纹，也可以将某个特定的人与事件现场联系起来。同样，轮胎胎面也可用来将某辆汽车与事件地点联系起来。

### **III.3. 化学分析**

在事件现场查获的独特或特殊的化学物质可提供有价值的证据。受控物质或毒物可提供有关犯罪者或其动机的有用信息。用于纵火的促进剂或爆炸物残留物提供有关方法和目的的证据。特征染料和石油产品可将查获的证据与特定地点联系起来，也许可用作路线解读的标记。

### **III.4. 组织和头发证据**

在事件现场找到的人体组织也可将特定的个人与现场或查获的证据联系起来。通过血清学可确定血液的类型。可以对血液和其他组织进行核分析或线粒体 DNA 分析，也有助于牵出相关人员。头发样品提供有关种族和身体特征的信息。头发样本的形态学可以表明头发是如何失去的。即使是动物的毛发或组织也可以提供有用的证据，将特定类型的动物与犯罪者联系起来。

### **III.5. 武器证据**

如果发生引爆或截获炸弹这种情况，炸弹废墟和爆炸物残留物可以提供一个用来确定炸弹类型及其制造方法的模式。残留物中的独特材料可以帮助查明确切的犯罪者，或者通过此种材料的采购记录，至少可以限定潜在的犯罪者人数。

如有缴获枪械这种情况，检查弹丸中的铅、弹壳、枪击残留物及任何功能上的改变可以将犯罪者与某个特定地点联系起来，这是一个有助于路线解读的事实，也就是说它可能提供有关方法和目的的证据。

### **III.6. 工具痕迹**

犯罪者自己似乎已经对物品做了某些改变这一点非常重要。法证分析师应该寻找裂缝（尤其是那些与证据中的其他裂缝相匹配的地方）、在木材上的奇特痕迹、印记和模具的使用，以及对锁和钥匙的修改。法证分析师应该尝试恢复任何被湮没的痕迹。

### **III.7. 对纤维的检查**

纤维可用来将物件与犯罪者和具体地点联系起来。法证分析师需要特别注意纤维证据，例如织物、线和绳索，并确定其类型：动物（毛）、矿物（玻璃），合成物或有机物（棉花）。

### **III.8. 植物证据**

法证分析师应检查羽状物、植物材料、花粉或孢子的证据，它们是事件现场外某个位置的指示标志。这些证据对于路线解读可能是很重要的。

### **III.9. 其他物证**

应仔细检查其他相关证据，以便找出方法和路线解读方面的可能线索。如玻璃、土壤、灰尘、化妆品、涂料、油墨、染料、塑料、聚合物、金属物体和胶带等材料，其化学成分在各地往往有所不同。这种材料的独特特征或许能将犯罪者与具体场所联系起来，这也是一个对于路线解读可能很重要的事实。同样，在证据中发现的独特的矿物质也可能是特定地质和位置（例如地理位置）的特征。

## 附录 IV

### 国际核法证学实验室章程（2004 年 8 月）<sup>\*</sup>

#### 目的

国际核走私技术工作组核法证学实验室（国际核法证学实验室）是核法证学积极实践者的国际协会。其目标是推进用于核材料和放射性物质归属分析的核法证科学，并为需要此类能力的国家和执法机构提供需求服务。

国际核法证学实验室的活动包括：

- 制定核法证学最佳实践导则；
- 实施国际演习；
- 促进研究和发展活动；
- 与外部组织沟通并出版国际核法证学实验室报告；
- 提供核法证援助联络点；
- 在核法证调查方面相互帮助。

#### 与国际核走私技术工作组的关系

国际核法证学实验室是国际核走私技术工作组的附属单位，因此，国际核走私技术工作组的工作范围也适用于国际核法证学实验室。国际核法证学实验室章程对其活动和组织作了进一步详细说明，总的意图是国际核法证学实验室将侧重于核法证学的技术发展和应用。国际核走私技术工作组及其全体会议将为最终用户、利益相关者和决策者提供论坛，以便与科学家们一起参与解决涉及核法证学应用的相关问题。

#### 组织

将由一个执行委员会为国际核法证学实验室提供指导和监督。该执行委员会可以实施内部结构以利于开展工作，例如设主席、共同主席、秘书

---

<sup>\*</sup> 逐字转载。

等。执行委员会的职能包括（但不限于）：邀请新成员加入、规划会议、组成工作组以行使国际核法证学实验室的具体职能、与外部实体沟通、对网站内容和公布的文件进行监督，以及作为接收核法证调查请求的联络点。执行委员会将对会议之间的国际核法证学实验室工作进展情况进行跟踪，并保持相互间经常性沟通。

国际核法证学实验室的初始成员将是那些已经参加了前一次国际核走私技术工作组循环演习的实验室。执行委员会可以邀请其他成员。

国际核法证学实验室将每年至少召开一次会议，通常定在国际核走私技术工作组全体会议前夕。执行委员会可以要求召开额外的国际核法证学实验室会议。国际核法证学实验室也可以安排特别会议或安排参与其他讲习班和科学会议。

关于国际核走私技术工作组，参加者负责获得资金以支持其参加国际核法证学实验室。此外，执行委员会可以寻求从赞助国和赞助组织获得为履行国际核法证学实验室职能所需的额外资金。

## **核法证调查导则**

国际核法证学实验室的主要目标是通过制订核法证调查导则，对核法证调查结果和结论产生信心。共识将升级为基于“最佳实践”的导则，共识意味着国际核法证学实验室成员能够支持这一导则，而并不是说所有的成员都认为这是最好的导则。

导则将与一个能力配置模板相连接，这些能力配置将用来概括各个实验室所表现出的能力，导则可以包括对不同层次的能力加以具体说明。

国际核法证学实验室还将制订有关依据这些导则来证明实验室执行能力的方案。证明某一特定实验室能力的通行方案将是利用实际案例演习的综合结果，再加上参与实验室的现有质量保证程序。有关确认成员能力配置的具体过程将由国际核法证学实验室来确定。

演习可用于多种目的，例如培训、协议的制订和验证。过去的演习被用作一种合作学习的手段，这种演习应该继续进行，但未来的一些演习将

被设计成展示实验室能力的首选方式。演习任务组将负责设计和实施演习。

## **通信和报告**

通信实际上包括了国际核走私技术工作组和国际核法证学实验室的实际会议以外的各种活动，国际核法证学实验室将开发和维护一个网站作为沟通的主要手段。一个开放的访问网站将提供一般信息，而一个受控访问网站将用于国际核法证学实验室/国际核走私技术工作组参与者及其各自政府之间进行沟通。该网站将通过电子邮件通信得到加强。

通信包括向国家和国际监管机构提供导则和最佳实践。国际核法证学实验室将列出根据请求可提供援助的核法证学实验室的最新清单，同时附以支持性资料。通信还包括旨在落实国际核走私技术工作组核法证学示范行动计划的培训。

通信的一个特殊部分是留下国际核法证学实验室和国际核走私技术工作组的工作记录。国际核法证学实验室将制订并执行有关该实验室正式报告的审查和发布程序。这些报告将刊登在国际核法证学实验室网站上。

## **研究与发展**

国际核法证学实验室正在进行的一项活动是通过研究和发展来鼓励和指导核法证学持续发展。具体来说，国际核法证学实验室将评估核法证学知识的现状，为今后的研发工作提供建议，并在可能情况下协调不同实验室所做的研发工作。

## **协助核法证学调查**

国际核法证学实验室的目标是向请求国政府提供核法证援助。执行委员会共同主席将是援助请求的联系人。有能力提供此种援助而被列在清单上的每个实验室应该有一个确认的联络点，每个实验室的联络点应该设立一个可以安排援助请求事宜的特定渠道。

列在清单上的实验室都必须有能力提供所请求的此类援助，并需得到其政府批准，以提供此类援助。参与的核法证学实验室将负责取得资金以

便于他们开展工作。根据请求的具体情况及其现有资金和资源，实验室可以拒绝提供援助。

实际个案调查将通过请求国与被选定实验室所在国之间的国家对国家的协议来进行。每个核法证学实验室将事先签订议定书，批准其参加对其他国家的援助，以便加快对请求做出响应；实验室能力配置的资料将提供有关该实验室的请求和审批程序的细节。实际调查将根据工作说明书来规划和执行。国际核法证学实验室将提供工作说明书的模板，以作为制订具体案件工作说明书的基础。

工作说明书应当包括一项给请求者的建议，即测量和解读的成果可能得益于有一个以上的核法证学实验室参与分析和编写最终报告。国际核法证学实验室将寻求在国际核法证学实验室/各国之间达成谅解备忘录和保密协议，以促进信息共享和合作，从而推进案件的调查。工作说明书模板将强烈建议应有请求国的一名专家参与分析的规划和执行以及最终报告的起草。最后，工作说明书模板将包括一项请求许可的条款，即一俟案件完成，在案件中获得的经验 and 收集的信息可与国际核法证学实验室其他成员共享，以提高现有水平。

## **国际核法证学实验室**

可以通过与国际核法证学实验室共同主席之一联络来请求核法证支持方面的援助(目前共同主席是 Sidney Niemeyer, niemeyer1@llnl.gov 和 Klaus Mayer, mayer@itu.fzk.de)。国际核法证学实验室将保持一套实验室能力配置简介，其中概述了各个核法证学实验室可以提供的援助。这些简介也将详细说明可提供的不同层次的援助，比如，分类、基本表征和全面的核法证学。共同主席可向请求方提供现有的这一套实验室能力配置简介，介绍关于可提供的分析和解读类型的附加资料，并回答其他问题。

附录 V

工作说明书示例

工作说明书

.....

.....

以下简称“请求方”，由.....为代表签署本协议

及

.....

.....

以下简称为“核法证学实验室”，由.....为代表签署本协议。

达成协议如下：

为了获得有关请求国主管部门所检获的核材料/放射性物质的性质的信息，核法证学实验室将提供核法证援助。

为了实现这一目标，请求方将履行以下职责：

1. 采取必要措施保存所检获物项的传统法证证据和核法证证据，并贯穿于材料安保、储存、包装和运输的全过程。
2. 将所检获的材料（或其有代表性的子样本）提供给核法证学实验室使用。
3. 组织材料的运送，如有必要，请求国际原子能机构（原子能机构）提供经验和专业知识或在运输组织方面寻求原子能机构援助。



4. 与核法证学实验室分享任何可能有助于调查的、与检获情况和材料本身有关的其他信息。

核法证学实验室将承担以下责任：

1. 如果被请求，而且切合实际能够做到，可以为上述 1 至 3 的行动提供咨询或直接参与这些行动。这可能包括在现场分类和分析方面的援助。
2. 根据请求，核法证学实验室将在材料二次取样和适当的初级包装方面提供咨询或协助，以维护传统法证和核法证的证据。
3. 接收已检获的核材料和放射性物质，确保在全面遵守法律要求和利用适当设施的情况下，能在现有许可证范围内处理该材料。
4. 使请求方提名的一名本国专家能够参加核法证调查，准予访问实验室并分享所有的观察过程、调查结果和数据。
5. 使用附录 II 中所列技术进行核法证分析。注意：该清单列出了可以进行分析的类型。所要使用的技术取决于样品及分析的进展和结果。
6. 确保进行这些调查所需的资金。
7. 确保多余的样品材料将被储存、处置或返还给请求方。
8. 考虑所有与检获调查有关的数据和结果的保密，并确保未经请求方批准，不得与第三方共享（见以下 1 和 2 点）。

有些时候，共享数据和结果可能有利于分析的成功完成，而且有利于核法证学这一学科的发展。

1. 随着分析的进展，核法证学实验室可能发现有必要与外部专家进行交流以便充分解读所收集的数据，或有必要请求外部实验室进行测量。所用的任何数据和结果必须附加与信息接收者订立保密协议。
2. 从分析中获得的经验，可能对未来发生在其他国家的其他案件有借鉴作用。如能在完成法律程序后立即将这一经验转达给其他实验室，这将是有益的。

请求方

核法证学实验室

.....  
日期

.....  
日期

.....  
姓名

.....  
姓名

.....  
职务

.....  
职务

## 参 考 文 献

- [1] NUCLEAR SMUGGLING INTERNATIONAL TECHNICAL WORKING GROUP (ITWG), Terms of Reference, (1997).
- [2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Response to Events Involving the Inadvertent Movement or Illicit Trafficking of Radioactive Material, IAEA-TECDOC-1313, IAEA, Vienna (2002).
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safeguards Glossary, 2001 Edition, International Nuclear Verification Series No. 3, IAEA, Vienna (2002) Sections 4, 5, 12.
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Categorization of Radioactive Sources, IAEA Safety Standards Series No. RS-G-1.9, IAEA, Vienna(2005).
- [5] BRAGIN, V., CARLSON, J., LESLIE, R., “Categorization of nuclear material in the context of international safeguards”, Proc. Int. Symp. Bruges, 2001, ESARDA, Ispra (2001).
- [6] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR ORGANISATION, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, WORLD HEALTH ORGANIZATION, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115, IAEA, Vienna (1996).
- [7] ARGONNE NATIONAL LABORATORY, Reduced Enrichment for Research and Test Reactors, <http://www.era.anl.gov/natsec/rertr.html>
- [8] Funding for the U.S.–Russia RERTR program, Analytical Center for Nonproliferation Problems, Review Issue 9, <http://npc.sarov.ru/english/digest/92003/appendix8p2.html>
- [9] FERGUSON, C.D., KAZI, T., PERERA, J., Commercial Radioactive Sources: Surveying the Security Risks, Occasional Paper No. 11, Center for Nonproliferation Studies, Monterey, CA (2003).

- [10] VAN TUYLE, G.J., STRUB, T.L., O'BRIEN, H.A., MASON, C.F.V., GITOMER, S.J., Reducing RDD Concerns Related to Large Radiological Source Applications, Rep. LA-UR-03-6664, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM (2003).
- [11] ANZELON, G., HAMMOND, W., NICHOLAS, M., "The IAEA's Illicit Trafficking Database programme", Measures to Prevent, Intercept and Respond to Illicit Uses of Nuclear Material and Radioactive Sources (Proc. Int. Conf. Stockholm, 2001), C&S Papers Series No. 12, IAEA, Vienna (2002).
- [12] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Illicit Trafficking Database (ITDB), IAEA, Vienna (2003) <http://www.iaea.org>
- [13] STEEL MANUFACTURERS ASSOCIATION, Radioactive Scrap [http://www.steelnet.org/public\\_policy/public\\_policy\\_environment.html](http://www.steelnet.org/public_policy/public_policy_environment.html)
- [14] Report of the Joint Committee on European Affairs, Sub-committee on European Scrutiny, 27 March 2003, <http://www.irlgov.ie/oireachtas/Committees-29th-D%C3%A1il/jeasce-debates/JEASCES270303.rtf>
- [15] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Goiânia, IAEA, Vienna (1988).
- [16] JANSSENS, W., et al., "Assisting Eastern European Countries in the setting up of a national response to nuclear smuggling", Measures to Prevent, Intercept and Respond to Illicit Uses of Nuclear Material and Radioactive Sources (Proc. Int. Conf. Stockholm, 2001), C&S Papers Series No. 12, IAEA, Vienna (2002).
- [17] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Convention on Early Notification of a Nuclear Accident and Convention on Assistance in the Case of a Nuclear Accident or Radiological Emergency, Legal Series No. 14, IAEA, Vienna (1987).
- [18] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Emergency Notification and Assistance: Technical Operations Manual, EPR-ENATOM 2004, IAEA, Vienna (2004).
- [19] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION,

UNITED NATIONS OFFICE FOR THE CO-ORDINATION OF HUMANITARIAN AFFAIRS, WORLD HEALTH ORGANIZATION, Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, IAEA Safety Standards Series No.GS-R-2, IAEA, Vienna (2002).

- [20] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Destructive Analysis and Evaluation Services for Nuclear Material Accountability Verifications, STR-69/Rev. 4, IAEA, Vienna (2003).
- [21] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Sample Collecting Procedure for Swipe Samples, Safeguards Manual, Form WP EM1 Rev. 3, IAEA, Vienna (2002).
- [22] The Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities, INFCIRC/225/Rev.4, IAEA, Vienna (1999).
- [23] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, IAEA Safety Standards Series No. TS-R-1, IAEA, Vienna (2005).
- [24] SUPREME COURT OF THE UNITED STATES, Daubert, W., et al. versus Merrell Dow Pharmaceuticals, Inc., No. 92-102, LEXSEE 509 US 579 (1993).
- [25] Measures to Prevent, Intercept and Respond to Illicit Uses of Nuclear Material and Radioactive Sources (Proc. Int. Conf. Stockholm, 2001), C&S Papers Series No. 12, IAEA, Vienna (2003).
- [26] Advances in Destructive and Non-destructive Analysis for Environmental Monitoring and Nuclear Forensics (Proc. Int. Conf. Karlsruhe, 2002), IAEA, Vienna (2003).
- [27] KRISTO, M.J., SMITH, D.K., NIEMEYER, S., DUDDER, G.D., Model Action Plan for Nuclear Forensics and Nuclear Attribution, Rep. UCLR-TR-202675, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA (2004).
- [28] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Quality Management Systems — Fundamentals and Vocabulary, ISO 9000:2000, ISO, Geneva (2000).
- [29] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories, ISO/IEC 17025:1999, ISO, Geneva (1999).

- [30] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Method for the Development of Emergency Response Preparedness for Nuclear or Radiological Accidents, IAEA-TECDOC-953, IAEA, Vienna (1997).
- [31] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Generic Procedures for Assessment and Response During a Radiological Emergency, IAEA-TECDOC-1162, IAEA, Vienna (2000).



核法证学和核法证解读在打击非法贩卖核材料和放射性物质方面已经成为越来越重要的工具。本出版物汇总了从各种来源收集的有关这些工具的信息，其目的在于为国家政策制定者、决策者、技术管理人员提供有关应对涉及截获核材料和其他放射性物质的事件的综合指导，在发生此种事件时需要核法证调查。本书阐明了这一领域的关键术语，描述了“核法证学行动计划”，讨论了事件响应问题，并探讨了有关取样和向核法证学实验室分发的事项。涵盖的其他问题包括传统的法证分析方法、核法证解读，以及在进行核法证调查方面请求原子能机构援助时所涉及的程序。附件提供了为处理核法证学调查所需的各种方法和程序方面的资料。

国际原子能机构

维也纳

ISBN 978-92-0-526910-8

ISSN 1816-9317