

国际原子能机构《核安保丛书》第 2-G (Rev.1) 号

实施导则

支持调查的核法证学



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》处理与防止和侦查涉及或针对核材料、其他放射性物质、相关设施或相关活动的犯罪行为或未经授权的故意行为并予以做出响应有关的核安保问题。这些出版物符合并补充国际核安保文书，例如《核材料实物保护公约》及其修订案、《制止核恐怖主义行为国际公约》、联合国安全理事会第 1373 号决议和第 1540 号决议以及《放射源安全和安保行为准则》。

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：

- **核安保基本原则**详述国家核安保制度的目标和这种制度的基本要素。这些基本原则构成“核安保建议”的基础。
- **核安保建议**提出国家按照“核安保基本原则”为实现和保持有效的国家核安保制度应当采取的措施。
- **实施导则**就国家可以实施“核安保建议”中提出的措施的方法提供指导。因此，这些导则注重如何落实与广泛的核安保领域有关的建议。
- **技术导则**就具体技术主题提供指导，以补充“实施导则”中提供的指导。这些导则注重如何实施必要措施的细节。

起草和审查

《核安保丛书》出版物的编写和审查涉及原子能机构秘书处、成员国专家（协助秘书处起草这些出版物）以及审查和核准出版物草案的核安保导则委员会。适当时，在起草期间还举行不限人数的技术会议，为成员国和相关国际组织的专家提供机会审查和讨论文本草案。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。

对于每份出版物，秘书处都要编写核安保导则委员会在编写和审查过程的相继阶段予以核准的以下内容：

- 说明预定新的或经修订的出版物的概要和工作计划、其预定用途、范围和目录；
- 提交成员国的出版物草案，以供在 120 天磋商期间发表意见；
- 考虑了成员国意见的最终出版物草案。

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的国家安保关切有着密不可分的联系。

一个基本的考虑因素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。特别是，在以上所述每个阶段由相关安全标准分委员会以及核安保导则委员会对涉及与安全有接口的领域的《核安保丛书》出版物（称作接口文件）进行审查。

支持调查的核法证学

国际原子能机构的成员国

阿富汗
阿尔巴尼亚
阿尔及利亚
安哥拉
安提瓜和巴布达
阿根廷
亚美尼亚
澳大利亚
奥地利
阿塞拜疆
巴哈马
巴林
孟加拉国
巴巴多斯
白俄罗斯
比利时
伯利兹
贝宁
多民族玻利维亚国
波斯尼亚和黑塞哥维那
博茨瓦纳
巴西
文莱达鲁萨兰国
保加利亚
布基纳法索
佛得角
布隆迪
柬埔寨
喀麦隆
加拿大
中非共和国
乍得
智利
中国
哥伦比亚
科摩罗
刚果
哥斯达黎加
科特迪瓦
克罗地亚
古巴
塞浦路斯
捷克共和国
刚果民主共和国
丹麦
吉布提
多米尼克
多米尼加共和国
厄瓜多尔
埃及
萨尔瓦多
厄立特里亚
爱沙尼亚
科威特
埃塞俄比亚
斐济
芬兰
法国
加蓬
冈比亚
格鲁吉亚
德国
加纳
希腊
格林纳达
危地马拉
几内亚
圭亚那
海地
教廷
洪都拉斯
匈牙利
冰岛
印度
印度尼西亚
伊朗伊斯兰共和国
伊拉克
爱尔兰
以色列
意大利
牙买加
日本
约旦
哈萨克斯坦
肯尼亚
大韩民国
科威特
吉尔吉斯斯坦
老挝人民民主共和国
拉脱维亚
黎巴嫩
莱索托
利比里亚
利比亚
列支敦士登
立陶宛
卢森堡
马达加斯加
马拉维
马来西亚
马里
马耳他
马绍尔群岛
毛里塔尼亚
毛里求斯
墨西哥
摩纳哥
蒙古
黑山
摩洛哥
莫桑比克
缅甸
纳米比亚
尼泊尔
荷兰
新西兰
尼加拉瓜
尼日尔
尼日利亚
北马其顿
挪威
阿曼
巴基斯坦
帕劳
巴拿马
巴布亚新几内亚
巴拉圭
秘鲁
菲律宾
波兰
葡萄牙
卡塔尔
摩尔多瓦共和国
罗马尼亚
俄罗斯联邦
卢旺达
圣基茨和尼维斯
圣卢西亚
圣文森特和格林纳丁斯
萨摩亚
圣马力诺
沙特阿拉伯
塞内加尔
塞尔维亚
塞舌尔
塞拉利昂
新加坡
斯洛伐克
斯洛文尼亚
南非
西班牙
斯里兰卡
苏丹
瑞典
瑞士
阿拉伯叙利亚共和国
塔吉克斯坦
泰国
多哥
汤加
特立尼达和多巴哥
突尼斯
土耳其
土库曼斯坦
乌干达
乌克兰
阿拉伯联合酋长国
大不列颠及北爱尔兰联合王国
坦桑尼亚联合共和国
美利坚合众国
乌拉圭
乌兹别克斯坦
瓦努阿图
委内瑞拉玻利瓦尔共和国
越南
也门
赞比亚
津巴布韦

国际原子能机构的《规约》于 1956 年 10 月 23 日经在纽约联合国总部举行的原子能机构《规约》会议核准，并于 1957 年 7 月 29 日生效。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-G (Rev.1) 号

支持调查的核法证学

实施导则

国际原子能机构
维也纳·2024 年

版权声明

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处：

Marketing and Sales Unit, Publishing Section
International Atomic Energy Agency
Vienna International Centre
PO Box 100
1400 Vienna, Austria
传真：+43 1 26007 22529
电话：+43 1 2600 22417
电子信箱：sales.publications@iaea.org
<https://www.iaea.org/zh/chu-ban-wu>

© 国际原子能机构 • 2024 年
国际原子能机构印制
2024 年 2 月 • 奥地利

支持调查的核法证学

国际原子能机构，奥地利，2024 年 2 月
STI/PUB/1687
ISBN 978-92-0-542923-6（简装书：碱性纸）
978-92-0-542823-9（pdf 格式）
ISSN 2790-7023

前 言

根据《国际原子能机构规约》，国际原子能机构的主要目标是“加速和扩大原子能对全世界和平、健康及繁荣的贡献”。我们不仅要防止核武器扩散，还要确保核技术可以用于健康和农业等和平目的。所有核材料、其他放射性物质以及相关设施均须得到安全管理，并予以充分保护，防止发生违法犯罪行为或未经授权的蓄意行为。

核安保是每个国家的责任。国际合作对于支持各国建立和保持有效的核安保制度至关重要。众所周知，国际原子能机构在促成此类合作和为各国提供帮助方面发挥着核心作用。国际原子能机构的作用反映了其广泛的成员关系、职责和权力、独特的专长以及为各国提供技术支持、专家和实用指导方面的丰富经验。

自2006年起，国际原子能机构发布《核安保丛书》出版物，帮助各国建立有效的国家核安保制度。这些出版物是对《核材料实物保护公约》及其修订案、《制止核恐怖主义行为国际公约》、联合国安全理事会第1373号和第1540号决议、《放射源安全和安保行为准则》等国际核安保法律文件的补充。

国际原子能机构成员国的专家们积极参与编制《导则》，确保其反映各国在核安保问题良好实践上达成一致。国际原子能机构核安保导则委员会成立于2012年3月，由成员国代表组成，负责在《核安保丛书》编制过程中对出版物草案进行审批。

国际原子能机构将继续与其成员国合作，确保世界各国人民都能享受和平核技术所带来的种种益处，帮助他们提高健康和福祉水平，促进繁荣。

编者按

国际原子能机构《核安保丛书》发布的导则对各国不具有约束力，但各国可利用这种导则协助其履行国际法律文书规定的义务以及在本国范围内履行其核安保责任。用“应当”表述的导则旨在提出国际良好实践和表示对各国有必要采取建议的措施或等效替代措施的国际共识。

安保相关术语按其所在出版物中或该出版物所支持的更高级导则中的定义加以理解。在其他情况下，词语均按其通常理解的意义使用。

附录被视为出版物的一个不可分割的组成部分。附录中的资料具有与正文文本相同的地位。附件用于提供实例或补充资料或解释。附件不是主文本不可分割的组成部分。

虽已尽力保持本出版物中所载信息的准确性，但是国际原子能机构及其成员国对使用本出版物可能产生的后果均不承担任何责任。

使用某些国家或领土的特定名称并不意味着国际原子能机构作为出版者对这类国家或领土、其当局和机构或其边界划定的法律地位作出任何判断。

提及具体公司或产品的名称（不论表明注册与否）并不意味着国际原子能机构有意侵犯所有权，也不应被解释为国际原子能机构的认可或推介。

目 录

1. 引言	1
背景 (1.1-1.4)	1
目的 (1.5)	2
范围 (1.6-1.8)	2
结构 (1.9)	3
2. 核法证学在国家核安保基础设施中的作用 (2.1-2.3)	4
作为预防措施的核法证学 (2.4-2.5)	5
核法证学示范行动计划 (2.6-2.8)	5
国家核法证学能力实施框架 (2.9-2.13)	6
与国际和国家法律文书有关的核法证学 (2.14-2.16)	7
3. 法证学检查计划的制定和相应的核法证学分析计划 (3.1-3.4)	8
样品类型和分析 (3.5-3.7)	9
二次取样 (3.8-3.9)	11
证据分发 (3.10-3.11)	12
4. 受放射性核素污染的证据的法证学检查 (4.1-4.2)	12
受污染的证据 (4.3-4.6)	12
受放射性核素污染的证据的处理 (4.7-4.13)	13
5. 核法证学实验室分析 (5.1)	15
表征 (5.2)	15
指定的核法证学实验室 (5.3-5.6)	16
分析工具 (5.7-5.10)	17
技术和方法的顺序 (5.11-5.12)	17
样品分析 (5.13-5.21)	18
6. 核法证学解释 (6.1)	21
解释过程 (6.2-6.6)	21
建立国家核法证学资料室 (6.7-6.9)	23
核燃料循环过程及放射源制造的知识 (6.10-6.15)	23
演绎过程和迭代过程 (6.16-6.17)	24

7. 核法证学调查结果 (7.1)	26
对调查结果的信心 (7.2-7.4).....	26
调查结果的通报 (7.5-7.8).....	27
行动后审查 (7.9-7.10).....	27
8. 国际合作与援助 (8.1)	28
国际合作 (8.2-8.6).....	28
核安保事件调查中的核法证学援助 (8.7-8.10).....	29
9. 核法证学能力建设 (9.1-9.2)	31
意识 (9.3).....	31
培训 (9.4-9.5).....	31
演习 (9.6-9.7).....	32
教育与专业发展 (9.8).....	32
研发 (9.9-9.10).....	33
参考文献	35
附录一 法证科学学科	39
附录二 表征技术	44
附录三 教育、培训、演习和研发活动示例	50
术语表	53

1. 引言

背景

1.1. 法证科学，又称法证学，是根据国际或国家法律的规定审查物理、生物、行为和文件证据的一门科学。法证学的目的是发现人、地点、事物和事件之间的关联。核法证科学又称核法证学，是法证学的一门分支，其任务是，在涉及到核安保的国际或国家法律程序中，对核或其他放射性材料，或者被放射性核素污染的证据进行检查。对核或其他放射性材料进行分析，旨在确定这些材料、其制造时间、地点和方式及用途。为了保护公众、环境和证据的安全，必须以安全、可靠的方式进行核法证学检查[1]。

1.2. 二十世纪九十年代中期，有关核及其他放射性材料脱离监管的报告开始增多，国际基本安全标准明确了管控范围，这意味着这些材料的非法贩运在不断蔓延。国际社会普遍认为，非法贩运这些材料构成了重大的安全威胁。为了调查涉及到核及其他放射性材料的贩运活动，各国监管机构都要求提供有关所述材料的制造方式、时间和地点，及其后续使用情况等信息。为了满足这些调查的要求，作为核安保基础设施的关键要素，核法证学应运而生[2]。

1.3. 考虑到核及其他放射性材料的广泛而重要的用途，各国都应了解核法证学在维护核安保中的角色。核法证学凭借着国家的能力来援助调查核安保事件，同时识别和修补国家核安保基础设施存在的薄弱之处。作为一种预防手段，核法证学能力是有效的：不仅有助于识别材料安保方面的缺陷，也有利于针对非法使用所述材料提出诉讼。

1.4. 在认识到核法证学能力对于落实国家核安保基础设施的益处后，国际原子能机构基于核法证学国际技术工作小组（ITWG）所提出的一般核法证学检查方法，于2006年首次在其《核安保丛书》第2号—《核法证学支持》¹中发布了有关这一领域的技术导则[3]。自出版后，核法证学已取得了进一步的发展。先后针对数起报告的、涉及高浓缩铀和钚的非法贩运以

¹ 国际原子能机构，《核法证学支持》，国际原子能机构《核安保丛书》第2号，国际原子能机构，维也纳（2006）。本《实施导则》取代2006年技术导则出版物。

及涉及核与其他放射性材料超出监管控制的事件成功地开展了核法证学检查。在援助核反恐行动和遵守各种国际法律文书（例如：《核材料实物保护公约》）等方面，采用了类似于核法证学的技术[4]。考虑到这些发展，对技术导则出版物《核法证学支持》进行了更新，以便为本《实施导则》提供基础。

目的

1.5. 本出版物旨在向国家政策制定者、主管机构、执法部门和技术人员介绍核法证学，及其在调查涉及脱离监管控制的核与其他放射性材料的各种核安保事件过程中所起到的作用。本出版物将说明核法证学在调查核安保事件过程中所起到的作用，并提供国家核安保基础设施内的核法证学背景。此外，本出版物还鼓励各国在适当的时候（发展能力或调查核安保事件时）寻求或提供援助，从而促进国际合作。

范围

1.6. 本出版物介绍了以下内容：核法证学检查的说明；核法证学在国家核安保基础设施内（包括调查核安保事件过程中）的作用；以及核法证学的国际合作与协作机制。其中也提到了核法证学能力建设的核心要素，即意识、教育、专长发展和培训。此外，本出版物还强调：核法证学能力不仅仅包含仪器测量或分析测量，核法证学涉及到由各国实施的综合性计划，旨在通过执法或核安保调查活动，确定核或其他放射性材料的来源和历史。此类调查包括但不限于非法贩运活动或其他在涉及到脱离监管的核及其他放射性材料的事件。

1.7. 本出版物未提供有关进行核法证学检查实验室的设计、设备或人员配备的详细导则；也未提供有关放射犯罪现场管理、核安保事件调查或管理或有关传统法证学检查的详细导则，尽管这些内容均有助于成功进行核法证学检查。传统的法证学是指由调查机构在法证学各学科领域内对物理、生物和文件证据进行检查。这些学科领域包括：

- 指纹；
- 遗传标记，例如：核 DNA 和线粒体 DNA；

- 鞋印和轮胎印；
- 工具痕迹；
- 炸药、油漆和其他化学品；
- 冶金学；
- 痕量证据，例如：纤维、毛发和花粉。

1.8. 本出版物支持 2011 年发布的《关于脱离监管的核材料和其他放射性物质的核安保建议》[5]，并得到国际原子能机构《核安保丛书》的其他出版物的补充：

- 打击非法贩运核材料和其他放射性物质[6]；
- 《关于核材料和核设施实物保护的核安保建议》（INFCIRC/225/Revision 5）[7]；
- 放射源和装置的识别[8]；
- 放射犯罪现场管理[9]。

结构

1.9. 继引言之后，第 2 部分阐述了核法证学示范行动计划，并强调了各国在发展核法证学能力时要考虑的问题。第 3 部分解释了制定法证学检查计划和核法证分析计划的重要性。第 4 部分提出了对受放射性核素污染的证据进行法证检查的各种方法。第 5 部分讨论了指定核法证实验室的要求及不同类型的核法证分析。第 6 部分概述了核法证解释中采用的各种方法和过程；第 7 部分介绍了信心对于分析结果和检查结果通报的意义。第 8 部分介绍了在核法证学方面的国际合作以及在请求核法证援助时需要考虑的因素。第 9 部分讨论了为发展和维持核法证能力而应开展的国家能力建设活动。三个附录分别提供了有关表征技术、其他法证学学科以及国际上能力建设活动现状的详细信息。最后一部分为术语表，其中的定义与其他国际原子能机构和联合国出版物中的定义一致。

2. 核法证学在国家核安保基础设施中的作用

2.1. 核与其他放射性材料普遍存在于整个核燃料循环中，并广泛应用于其他行业以及研究、医学和生物学研究，及其他技术和科学领域。国家有责任建立核安保基础设施，对这些材料进行保护，包括采取措施预防、探测和处理核安保事件。当探测到核与其他放射性材料脱离监管的情况时，各国应做好应对的准备，包括在调查中开展核法证学工作。表 1 举出了一些有关核与其他放射性材料的例子。

表 1. 核与其他放射性材料类型举例

材料类型	举例
核材料	Pu U-235
	U-233 U-238
医用放射性核素	C-14 I-125
	Co-57 I-131
	Ga-67 Tc-99m
	I-123 Tl-201
工业放射性核素	Am-241 Co-60
	Ba-133 Cs-137
	Cd-109 Ir-192
	Cf-252 Sr-90

2.2. 国际原子能机构的事件和贩运数据库 (ITDB)² 收录了各国自愿报告的、涉及到核与其他放射性材料的未经授权拥有、盗窃或丢失或其他未经授权活动的信息。自 1993 年 1 月至 2013 年 12 月，事件和贩运数据库共报告了 2477 例经证实的事件，其中 424 例涉及到非法拥有和相关的犯罪活动（包括 16 例涉及高浓缩铀或钚）、664 例涉及核或其他放射性材料的盗窃或丢失，共 1337 例涉及其他非法活动和事件。某一事件可能同时被认定为不同的类型，例如，盗窃和随后试图出售放射源。因此，分组统计的事

² 参见 <http://www-ns.iaea.org/security/itdb.asp>。

件总数可能不同于直接统计的事件总数。在 69 例事件中，所报告的信息不足以确定事件的类别。

2.3. 报告等级表明，尽管已有国家核安保基础设施，核与其他放射性物质失控的事件仍有发生——无论是无意的（例如丢失造成的失控），还是有意的犯罪行为（例如盗窃）。据此，各国需要提高预防、探测和处理涉及到核与其他放射性材料且可能造成核安保问题之事件的能力。所有此类事件统称为核安保事件[5]。在应对核安保事件时，核法证学检查就成为了重要的手段。

作为预防措施的核法证学

2.4. 根据在核安保事件调查中汲取的经验教训改进核安保措施，有助于预防未来的核安保事件。例如，核法证学调查结果可能确定：材料已从此前曾认为安全的设施或场地转移。无论在设施层面还是国家层面，都可通过材料衡算或核安保系统识别存在的漏洞。

2.5. 国家具有核法证学能力这一事实也能对企图转移或非法贩运核材料或其他放射性材料的个人或团体起到威慑作用[4]。作为一种威慑手段，核法证学的成功取决于其能否成功实施并为调查和随后依赖于调查结果的法律程序提供有力的证据。

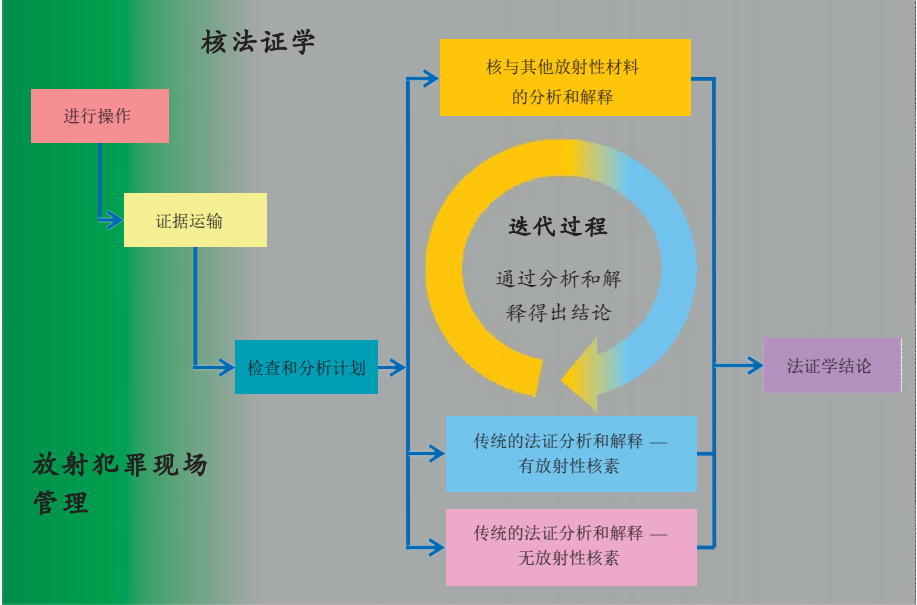
核法证学示范行动计划

2.6. 图 1 所示的核法证学示范行动计划，为开展核法证学检查和在调查核安保事件的背景下进行相关活动提供了一般性指导。该计划包含了政府当局要求进行核法证学检查的活动，以及由相关实验室进行分析和解释的活动。

2.7. 开展核法证学检查的目的是解决调查机构提出的关键问题，可能涉及到所调查核安保事件中核或其他放射性材料的用途、历史和来源。调查机构根据核安保事件的性质和调查后可能采取的相关法律程序提出问题。

2.8. 通过核法证学分析和解释，得出核安保事件中相关材料的调查结果。结合其他调查工作（包括传统的法证调查结果），可得出关于材料与

人、地点、事件和生产工艺之间关联性的结论。各国应认识到，尽管核法证学能力并非一种传统的手段，但却可能对核安保事件的调查具有重要意义。



注：背景阴影表示从放射犯罪现场管理到核法证学的过渡。

图 1. 核法证学示范行动计划：支持核安保事件调查的过程。

国家核法证学能力实施框架

2.9. 各国应建立核安保事件国家应对计划，保证做出适当、协调的应对。由于核法证学能够在核安保事件的调查中发挥关键作用，因此，应尽量将核法证学示范行动计划（见图 1）纳入国家应对计划。

2.10. 各国应明确规定核安保事件相关的核法证学角色和职责，并提供所需的专业能力、仪器仪表和程序。除此之外，也应制定关于如何安全储存已缉获的核与其他放射性材料的规定，并采取措施确保将所述材料从核安保事件现场安全地转移到证据储存场。储存场所可以是任何能够对所缉获材料进行表征的实验室，或者可临时保管所缉获材料的地点 — 直至将材料运送至指定的核法证实验室进行分析。

2.11. 国家在发展核法证学能力时，首先应确定其现有的能力，包括已经建立的设施和已经具备、但目前用于其他领域的专业能力，并建立起在调查中运用这些设施和能力的制度。例如：相关能力可能存在于辐射防护机构、大学的放射化学或核物理系、环境监测实验室、核燃料循环设施的质量控制实验室或安全和国防机构中。一些国家也可能利用为援助核查是否遵守国际条约而已经积累的经验或建立的基础设施，这些国际条约包括《不扩散核武器条约》[10]和《核材料实物保护公约》[4]及其 2005 年修订案[11]（尚未生效）。

2.12. 在可行的前提下，各国也可建立起由自身管控的国家核法证学库，以便针对脱离监管的核与其他放射性材料是否与本国所生产、使用或储存的材料一致进行可靠的评估。有关建立国家核法证学库的进一步讨论，请见 6.7—6.9 款。

2.13. 在国际合作中，各国可请求、接受和提供核法证学援助，以帮助提高能力或援助核安保事件调查。全世界范围内，只有极少数几个实验室拥有能够表征核与其他放射性材料的专用分析工具，并且这些工具也只用于调查少数核安保事件。对于无能力全面表征核或其他放射性材料，或有证据表明受放射性核素污染的国家，可通过与实验室签订双边或多边协议，或与之商定来获得进一步的核法证学能力和/或在必要时提供援助（见 8.7—8.10 款）。

与国际和国家法律文书有关的核法证学

2.14. 核安保及核法证学的责任完全由每个国家自行承担。目前，并没有任何单一的国际法律文书能够完全涵盖核安保基础设施的各个方面。各种对缔约国具有约束力的公约和条约、联合国安全理事会决议（对联合国会员成员国具有约束力，包括参考文献[4，10—20]中提到的决议），以及为了促进和安全可靠地使用核技术而制定的公认原则等一系列具有约束力的国际法律文书构成了核安保的法律基础。这些国际法律文书规定了相关的义务，要求各国（除其他义务以外）将涉及滥用核及其他放射性物质的特定故意行动定性为犯罪，并实施请求、接受和提供援助的机制。这些文书也包含了有关在特定场合和某些条件下返还材料的规定。双边和多边法律文书促进了合作，以及信息和能力的共享，并增强了国际安保。

2.15. 核法证学对措施实施的支持：

- (a) 国际核安保法律框架及该框架管理国家间关系的方式，尤其是在调查具有跨国影响的核安保事件方面给予合作与援助；
- (b) 国家核安保法律框架，尤其是支持国家针对核安保事件采取的法律行动，包括可能的刑事诉讼。

2.16. 各国应确保建立并完善全方位的法律和监管框架，为有关部门的工作提供支持。需要定义和履行的职责包括监管、海关和边境保护、材料运输、政策制定和执法，以及对涉及核与其他放射材料的犯罪行为提起诉讼和审判。

3. 法证学检查计划的制定和相应的核法证学分析计划

3.1. 在调查核安保事件时，一旦完成了初步的现场评估（包括对核或其他放射性材料的分类），调查机构应咨询相关的法证学实验室（包括指定的核法证学实验室）并制定法证学检查计划。分类旨在识别核安保影响，以及所缉获材料对首批响应人员、执法人员和公众的风险。法证学检查计划应说明为了提起刑事诉讼应当怎样进行检查。此外，制定法证学检查计划时，也应考虑到在法律程序中采用调查结果的情况下，法庭可能提出的有关样品保留的要求。

3.2. 开展法证检查时常常遇到的挑战是如何确定各项检查的先后次序。在传统法证学科和核法证学领域内，检查的顺序应确保获得关键信息且不会造成不必要的延误，并且从每个样品获得的数据的数量和质量应与主要调查机构的要求相一致。放射性核素的存在可能会限制检查类型以及检查的位置，加大检查的难度。应在法证学检查计划中说明检查的顺序。

3.3. 法证学检查计划应考虑到调查的需求、预期结果对于调查的价值、当检查推迟时关键特性随着时间推移带来的已知或可能的损失，以及在传统法证学科和核法证学领域内开展检查所需的国家程序。总体而言，相对于其结果可能用于识别某一组或一类人的检查（例如：鞋印或轮胎印，或者特定类型的炸药），应当首先开展能够通过结果识别某一个具体人的检查（例如 DNA 分析或指纹鉴定）。尽管如此，其他的调查资料或情报信

息也能够提高一般特征结果的价值，尤其是，缩小可能性范围对于明确调查重点具有重要意义。

3.4. 为了支持法证学检查计划，各法证学实验室应咨询负责的调查机构并制定分析计划。咨询的意义在于确保各法证学实验室在制定分析计划时不会忽略检查计划的关键要求。

核法证学分析计划的制定

3.5. 为了说明分析的具体类型，应编制核法证学分析计划，旨在满足调查要求并确定有关核与其他放射性材料及受放射性核素污染的证据的分析顺序。表征是核法证学分析计划的关键要素之一，其目的是确定放射性材料及相关证据的性质（关于表征所用的分析工具、实验室方法和技术，请分别参见 5.7—5.10 款和 5.13—5.21 款）。应由指定的一家或多家核法证学实验室制定核法证学分析计划，采用调查机构提供的资料并征得调查机构的最终同意，由此满足法证学检查计划和调查的需求。核法证学分析计划应有充分的灵活度和适应性，可根据调查中或样品分析中新获取的信息修改法证学检查的要求。必要时，可修改核法证学分析计划，但应进行相关的咨询和文件记录。

样品类型和分析

3.6. 在制定核法证学分析计划时，应考虑到样品的类型和回答调查机构问题所需的分析。表 2 举例说明了可在一次核安保事件调查中收集的样品类型、其潜在的法证学价值以及对这些样品的检查要求。因这些样品类型多样且具有不同的要求，可能无法在同一实体位置（例如：设施或设施的某一部分）分析全部样品，因此，在制定核法证学分析计划时应当考虑到这一点。例如，如果要求进行痕量放射性核素分析，则不会在散装核及其他放射性材料分析所用的实验设备上或附近进行测量。

表 2. 可支持核法证学分析计划的样品类型

样品类型	潜在的法证学价值	检查要求
散装核或其他放射性材料	确定非法持有；识别可能的材料来源；识别材料的工艺历史；与发现相同材料的案例关联	处理和表征散装放射性和核材料的能力和基础设施 具备解释结果所需的核燃料循环技术专业知识
受放射性核素污染的部件	识别核或其他放射性材料曾被搬运或处理的位置 识别此前可能已经在散装材料发现地点处理的其他核或放射性材料 找出涉案人或嫌疑人与材料的关联	核及其他放射性材料痕迹分析的经验以及对所述样品和结果潜在限制的认识（例如：环境背景的影响） 分离和分析小样品的能力 传统法证分析和解释能力
生物样品（即尿液、血液、毛发和组织）	识别已接触过核或其他放射性材料的个人 识别已接受外部辐射剂量的个人 找出个人与涉及核或其他放射性材料事件之间的关联	生物测定分析或血液剂量测定方面的经验 解释结果所需的经验健康物理学或放射生物学专业知识
与核或其他放射性材料有关的环境样品或地质样品	确定核或其他放射性材料的走私路线或运输途径	环境分析（即矿物、粉尘和花粉）及地质和地理化学数据解释方面的专业能力

实验室方面的考虑

3.7. 从事核法证学分析工作的实验室应根据质量保证计划开展工作。质量保证计划包括样品物证连续保管、有效的分析程序、合格的人员、书面程序、标准报告格式和记录管理。核法证学分析的程序应包括专门针对控制放射性核素污染或交叉污染的声明。在制定核法证学分析计划时，实验室应明确随后将要执行的程序、每一分析所需的材料量以及可预见的与书面程序的差异。核法证学分析计划还应包含与传统法证学分析之间必要的接口，例如，由传统法证学实验室进行检查之前，核法证学实验室是否会援助收集传统证据或清除材料的放射性污染（参见第 4 部分）。此外，即使是基于符合相关协议和标准的分析，若偏离法证学检查计划中的参数和规定的检查内容，核法证学调查结果的证据价值也会严重削弱。因此，执法专家应明确指出在法庭上哪些方法和标准是可以接受的，以及不符合核法证学分析计划可能造成的后果。

二次取样

3.8. 散装核和放射性材料的整体样品可能会大于分析计划中要求的样品大小。在实验室可接受和分析的物质和活动方面，可能也存在着法定的或技术上的限制。因此，可能需要在送交实验室之前将材料切割，这一过程称为二次取样。考虑到样品的潜在不均匀性，应采用特殊的二次取样方案，以确保子样品能够完全代表散装材料。应在分析计划中说明这些方法存在的局限性。

3.9. 采用一定的技术进行代表性取样，从而最大限度地降低由于证据不均匀性而产生误导性结果的可能性。在极端情况下，为了进行代表性取样，可能会要求分析单个颗粒；更为常见的是散料分析就足够了。当可用材料数量有限时，可能不要求二次取样，或者二次取样可能十分困难。但在这种情况下，核法证学分析计划应包括优先分配材料的方案。在材料有限的情况下，必须确保在进行任何可能消耗或改变样品特性的分析前进行全部的无损分析。此外，对于较小的样品，相比于针对大量材料采用的优化技术，可能更宜采用痕量和微量分析技术。二次取样可能会导致证据污染或降低证据的说服力，因此必须采取必要的预防措施。

证据分发

3.10. 一旦制定了法证学检查计划和核法证学分析计划，并进行了必要的二次取样，应将证据分发给负责分析的实验室。

3.11. 应采用维持物证连续保管的方法（例如：使用密封装置或标签）将法证学样品运送到实验室。为了将运输过程中证据意外变化的风险降到最低，应考虑运输条件（即温度、湿度或振动）可能造成的影响，并需要消除这样的影响。核及其他放射性材料的运输应谨慎规划，个人应具备运输危险材料（特别是放射性材料）方面的专业知识。此外，托运人与接收人之间应保持可靠、持续的通信，确保遵循必要的程序并将核或其他放射性样品安全运送到实验室。

4. 受放射性核素污染的证据的法证学检查

4.1. 在传统法证学许可领域内进行实物证据和文件证据的检查属于调查机构的例行调查内容。这些学科领域包括指纹、基因标记（即核 DNA 和线粒体 DNA）、鞋印和轮胎印、工具痕迹、爆炸残留物、枪械弹道、油漆和其他化学品、金属特征、文件和痕量证据（例如：纤维、毛发和花粉）的研究以及法医学。有关这些学科领域的其他信息，请参见附录一。

4.2. 传统法证学领域内的检查和核法证学检查应互为补充。两种类型的检查都能够得出人、地点、事件和过程之间是否存在关联，以及这些关联是否表明脱离监管的结论。在确定上述关联或决定是否将某些核或其他放射性材料不再进一步关注的情况下，这些结果尤其有用。放射性物质可能作为污染物存在于实物证据，由此对传统法证学领域内的检查提出了特殊的挑战。

受污染的证据

4.3. 对于任何与核安保事件有关的证据，都应检查其是否受放射性核素的污染。对于认定为无放射性核素污染的证据，可在有关部门批准后直接提交进行法证学检查，因为这种证据不会对证据处理人员构成放射性危害。

4.4. 当已知或怀疑证据受放射性核素污染时，必须特别予以考虑。对于法证科学家和核法证科学家而言，“受污染的证据”一词的含义并不相同，在此需要讨论。

4.5. 在一般法证科学的范畴内，“受污染的证据”是因为将无关材料直接或间接转移到法证样品或犯罪现场而产生的，也可称为“交叉污染”。受外部材料污染而说服力下降的证据对于调查过程的价值有限，且应当认真评估。

4.6. 在核法证学范畴内，“受污染的证据”是指物证表面或内部存在放射性核素。这一含义是本出版物的指定含义。在本出版物中，采用“受放射性核素污染的证据”来阐明这一含义。受放射性核素污染的证据会影响证据检查的方式和时效性。放射性核素交叉污染会改变放射性核素的标记，而这正是法证学检查的目标。因此，就核法证学而言，对“受放射性核素污染的证据”的检查必须遵守特殊的计划和程序。

受放射性核素污染的证据的处理

4.7. 运用传统法证学科知识检查受放射性核素污染的证据时，可采用两种方法。第一种方法要求在进行检查之前清除或分离证据中的放射性核素，一般称为“证据去污”。第二种方法则是在仍然存在放射性核素的情况下直接检查证据。两种方法都要求各相关机构提供意见，尤其是执法界之外的意见。为此，相关专家在制定法证学检查计划时，并且在处理受放射性核素污染的证据之前可能需要进行广泛的讨论。两种方法各有优缺点，应在调查过程中进行评估，详见 4.8—4.13 款。

对受放射性核素污染的证据进行去污

4.8. 在去污阶段，通过物理方式或化学方式清除证据中的放射性核素。为此，可采用多种技术，而最佳技术的选择取决于（除了其他因素之外）证据的形式、放射性核素的形式、检查的类型以及国家或当地要求的实践方法。在传统的法证学科领域中，在检查前进行证据去污的好处在于：

- (a) 对证据去污可以将暴露于辐射的可能性降至最低，可让检查人员更密切地接触证据。

- (b) 可按照与未受放射性核素污染的证据相似的方式检查已经去污的证据，因此不需要对放射性核素处理人员进行培训和认证（如适用）。
- (c) 不需要专门的基础设施来进行检查。

4.9. 尽管如此，在传统的法证学科领域中，在检查前进行证据去污也有一些不足之处。

- (a) 污染证据的放射性核素本身可能就是一种证据。
- (b) 可能需要较长的时间和大量的专家参与才能清除放射性核素。
- (c) 证据可能以某种形式改变，从而影响调查结果的精确性，或削弱作为检查对象的特征。
- (d) 彻底清除放射性核素通常无法实现，而不彻底的清除（如未能发现）会对证据造成无法纠正的辐射影响，和/或对检查人员造成无意辐射照射。严格遵守操作程序以验证证据的去污情况，可以降低发生意外后果的可能性。
- (e) 清除放射性核素的过程中产生的废物可能需要进行无害化处理之后才能排入环境。

4.10. 目前已进行了有关不同去污技术对各项实体检查影响的研究[21]。这项研究工作强调了某些结论，即何时才适合对某些类型的证据进行去污。应根据这些结论和进一步的研究，制定出有关处理受放射性核素污染的证据的规程。在开展有关核安保事件调查的检查工作前，应当考虑所述规程。

受放射性核素污染证据的检查

4.11. 可在不去污的条件下检查受放射性核素污染的证据。这一方法有很多优点，包括：

- (a) 尽量降低证据去污过程对检查造成的重要特征的损失或弱化；
- (b) 检验的便利性：可在收到证据后立即开始检查（假设有响应人员、设备和仪器以及书面分析计划）。

4.12. 但直接检查受放射性核素污染的物理证据也有一些缺点，包括：

- (a) 人员受到辐射暴露：可通过国际安全标准的适当辐射安全措施来减少辐射暴露[1]，但不可能完全消除暴露；
- (b) 需专门设施和受过训练的人员在传统法证学科范围内检查受放射性核素污染的证据，包括设施的专用设备和仪器操作人员；
- (c) 需验证传统法证科学技术对于在非法证检查设施中检查被放射性核素污染的证据的适用性；
- (d) 持续暴露于辐射可能会削弱或以其他方式影响证据的法证学质量。已经开始研究这种暴露的影响，以及如果有影响，是否可以减轻这些影响[22]。应在调查开始前完成这一工作。

确定适当的去污方法

4.13. 在制定法证学检查计划时，应决定是对证据进行去污，还是在仍受到放射性核素污染的情况下对证据进行检查，具体将取决于以下因素：

- (a) 证据的性质、污染物和需要进行的检查；
- (b) 相关检查资源的可用性；
- (c) 通过调查或情报收集以及已经进行的检查获取到的信息；
- (d) 国家有关应对核安保事件的政策和程序。

5. 核法证学实验室分析

5.1. 根据具体的分类和法证学检查计划的要求，可能需要在指定的核法证学实验室对核或其他放射性材料进行表征。开始分析前，实验室应制定核法证学分析计划并提交调查机构进行批准，相关讨论见第3节。

表征

5.2. 表征的目的是确定核或其他放射性材料的物理特性、化学和元素组成以及同位素比，为此需要进行一系列相关分析，必要时可能包括识别主要、次要和痕量成分。表征一般不包括基于传统法证学科的分析，也不包括解释性步骤——例如：可能与物质来源有关的核响应堆过程的建模或对可能来源的识别。因此，与全面解释相比，表征耗时较短。

指定的核法证学实验室

5.3. 指定的核法证学实验室是指由国家指定的、有能力接收和分析核和/或其他放射性材料样品并进行核法证学检查的实验室。各国应自行确定识别和指定核法证学实验室的标准与决策程序。一旦调查机构要求进行核法证学检查，应将证据提交给相关实验室。该实验室应已被确认和指定为核法证学实验室，已配备处理样品（核及其他放射性材料、受放射性核素污染的证据或组合）所需的设备，并有能力采用必要的分析技术组合进行分析。在对核安保事件作出响应后，调查机构与实验室之间应及早联系，以了解实验室的要求和能力，并在制定法证学检查计划和核法证学分析计划的过程中做好样品接收和分析的计划与准备工作。在将证据运送至指定核法证学实验室并由后者接收证据时，应特别注意证据的处理，包括做好样品处理的物证连续保管安排（见 3.11 款）。

5.4. 各个国家指定核法证学实验室的能力各有不同。某些国家可能没有自己的指定核法证学实验室，因此需要借助于双边或多边协作来完成表征工作。有些国家的指定实验室有能力进行某些方面的表征或对某些类型的材料进行表征，同时也计划在特殊技术方面寻求援助。世界上只有少数几个国家的实验室拥有成套的核法证学分析工具和技术。各国应充分了解自身的能力，并确保为各种可能性做好准备，包括做好请求、接受或提供援助的准备（如适用），从而在发生核安保事件时能够开展核法证学分析，以援助调查。

5.5. 各国应确保其指定的核法证学实验室有能力开展核法证学检查；这些实验室应采用有效的分析方法、配备合格的人员，并具有经验证的能力和相关的书面程序。为此，可根据国际上认可的质量标准（例如：ISO 9001:2008[23]、ISO 14001:2004[24]、ISO/IEC 17025:2005[25]和 OHSAS 18001:2007[26]）对实验室进行认证。此外，指定的核法证实验室应通过必要的授权接收核与其他放射性材料。如有可能，实验室应能够在必要时处理大量的材料（无论是质量上还是活动上），同时仍然能够进行痕量成分分析。指定的核法证学实验室可配备手套箱，或在存在高放射性样品的情况下配备热室。指定的核法证学实验室也应拥有适当的实验室设施和操作程序，以最大限度地降低样品交叉污染的风险。

5.6. 指定的核法证学实验室应采取适当的实物保护措施；必要时，实施核材料衡算与控制程序。实验室应完全遵守设施储存和处理放射性材料的要求[1]，并在必要时遵守危险材料储存和处理要求。实验室应采取适当的安保措施，以确保物证连续保管的完整性，同时保护有关核法证检查的敏感信息。

分析工具

5.7. 核法证学科学家运用多种工具来测量核及其他放射性材料的特性。附录二介绍了一些表征分析技术。这些工具和技术总体上分为三大类：成像、散料分析和微分析。

5.8. 成像工具可生成高倍率的材料表面图像，同时提供有关样品不均匀性和微观结构的信息。评估样品不均匀性的程度非常重要。对于不均匀材料，散料分析无法得到从较小样品中得出的代表性结果。成像也能够揭示空间和微观结构特征（例如：纹理和颗粒结构）。这些特征可提供有关材料的热力学或机械加工的信息。

5.9. 散料分析工具用于对整个样品或样品的一部分进行表征，从而确定材料的平均性能。核或其他放射性材料的表征可包括物理特性、化学和元素组成，以及同位素比的测量（见 5.13—5.20 款）。如果整体分析的目的是确定有关材料痕量成分的信息，则必须有足够的材料进行准确的测量。微量成分的存在与否及其浓度对提供制造过程相关信息十分重要。

5.10. 如成像分析确认样品不均匀，则可运用对极小样品（通常 $< 1 \text{ mg}$ ）进行化学鉴定和/或定量分析的微量分析工具来表征材料的具体成分。微分析工具也包括表面测量：可识别痕量的表面污染物或测量薄层或涂层的成分，这些措施可为解释提供重要信息。

技术和方法的顺序

5.11. 在核或其他放射性材料分析中采用的很多分析工具都属于破坏性技术（即在制备和分析中需要消耗样品）。因此，如何适当地选择分析技术并确定其采用的顺序非常重要，应在核法证学分析计划中予以体现。分析技术的排序应取决于法证学检查计划中应由调查机构回答的问题，同时也

要考虑到分析可用的样品数量、可用信息和潜在的特征（物理、化学、元素和同位素），从而保证准确的解释。

5.12. 国际核法证学技术工作组（ITWG）已提出了有关技术排序的建议，希望在分析过程中尽早提供最有价值的信息。工作组的建议是基于专家意见，以及国际核法证学技术工作组成员实验室进行的三次合作分析演习中的经验；这些演习将在附录三中进一步讨论。表 3 列出了国际核法证学技术工作组建议的分析顺序：按样品到达指定核法证学实验室之后的 24 小时、1 周或 2 个月内采用的技术进行排序（有关常用技术的说明，参见附录二）。在后期，为了在更长的测量时间内得到更加精确的结果，也可采用某些技术。根据完成材料分析所需的时间表确定报告结果的间隔，分别对应 24 小时、1 周和 2 个月的分析间隔期（取决于具体情况）。表征过程的持续时间取决于实验室的工作量、样品的性质以及法证学检查计划中详细提到的调查要求，但一般希望在收到样品后两个月内完成表征。

样品分析

5.13. 样品送达核法证学实验室后，应首先用高分辨率 γ 射线谱仪在受控条件下进行材料分析。该分析可能对现场分析进行确认或修改，也可能提供新的信息（例如：核或其他放射性材料的总量）。

5.14. 核或其他放射性材料的表征可包括物理特性、化学和元素组成，以及同位素比的测量，见 5.15—5.21 款及表 3。

表 3. 典型分析时间表下的实验室方法和技术

技术/方法	时长		
	24 小时	1 周	2 个月
放射性	剂量率 (α 、 β 、 γ 、 n) 表面污染放射影像学		
物理表征	外观检查 照相 确定质量 确定尺寸 光学显微术 密度	微结构、形貌和其他物理特征扫描电子显微镜 (SEM) X 射线衍射	纳米结构、形貌和其他物理特征透射电子显微镜 (TEM)
同位素分析	高分辨率 γ 能谱仪 (HRGRS)	热电离质谱仪 (TIMS) 电感耦合等离子体质谱仪 (ICP-MS)	二次离子质谱仪 (SIMS) 放射性计数技术
放射性年代法	高分辨率 γ 能谱仪 HRGRS (用于 Pu)	热电离质谱仪 (TIMS) 电感耦合等离子体质谱仪 (ICP-MS)	高分辨率 γ 能谱仪 HRGRS (用于 U) α 能谱
元素/化学成分	X 射线荧光	电感耦合等离子体质谱仪 (ICP-MS) 化学测定 傅里叶变换红外光谱 (FTIR) SEM/射线 光谱测定 同位素稀释质谱法	气相色谱-质谱联用
传统法证科学学科	有关传统法证科学证据的收集		有关传统法证科学证据的分析和解释

注：FTIR — 傅立叶变换红外；GC-MS — 气相色谱-质谱法；HRGRS — 高分辨率伽玛射线能谱仪；ICP-MS — 电感耦合等离子体质谱仪；IDMS — 同位素稀释质谱法；SEM — 扫描电子显微镜；SIMS — 二次离子质谱仪；TEM — 透射电子显微镜；TIMS — 热电离质谱仪。

物理测量

5.15. 样品表征的第一步一般是对材料进行外观检查，包括书面记录或拍照记录具体的标记（例如：序号或产品标志）、颜色、尺寸和外形。对于散装固体材料，其重量、密度、活度和微观结构的基本特征（颗粒尺寸、质地和夹杂物，如适用）以及目视检查结果，都可能会在宏观上揭示出足够的样品识别信息。例如，就核响应堆燃料芯块而言，新鲜核燃料芯块的确切尺寸和几何形状通常是某一制造商所独有的。对于密封的放射源，其尺寸、活度和封装形式通常都能够提供有关放射源制造商的信息。

5.16. 在微观层面上，可根据微观结构特征更为详细地比较材料。例如，铀氧化物燃料颗粒的粒度分布和颗粒结构可提供有关其生产过程的信息。在处理粉末擦拭样品时，颗粒的形态可表现出不同生产工艺的明显特征。

化学和元素测量

5.17. 核材料（例如：金属、氧化物或中间产物，如重铀酸铵）或其他放射性材料的化学形式是重要的指标，可揭示材料生产过程的相关信息，并可让人洞悉其最初可能的用途。就铀中间产品而言，该化合物可说明该材料的生产工艺，因此可缩小可能的生产设施的范围。

5.18. 除了相关的核或其他放射性材料之外，被调查的材料中也可能存在很多其他元素，有时其浓度甚至超过了放射性核素的浓度。这些元素可能是为了实现特定的材料特性（例如：铪和钷能够控制核燃料的响应性）而有意加入的。初始进料中的残留元素或生产过程中添加的化学品中的残留物（例如：酸残留物），以及容器和管道的腐蚀或磨损也可能导致意外的化学杂质存在。这些元素以痕量水平存在时，被称为杂质，并且其范围和浓度与特定过程、原材料或设施高度相关。这些元素的测量不仅可提供有关合法使用的信息，而且还可以提供有关其源材料或生产设施类型的信息，因此，对检查来说非常重要。

同位素测量

5.19. 同位素测量的目的是确定核或其他放射性材料中元素的同位素丰度。同位素丰度可提供物质的历史及预期用途的相关信息，例如：核材料是否具有天然同位素，或者如果已富含裂变同位素或经过后处理，是否有

可能被用作核燃料或用于核炸药。除了主要的易裂变同位素（钚-239 和铀-235）外，钚和铀的次要同位素（例如钚-240、钚-238 和铀-236）的相对浓度也可能揭示核材料的先前辐照历史。

5.20. 放射年代法通过同位素测量来确定自从上次化学纯化核材料或其他放射性材料以来经过的时间（即根据其母体放射性核素衰变而得到的子体核素与母体分离的时间）。可测量钚和铀的放射性衰变产物（子体核素，例如：镅-241 和钷-230）的浓度，并将其与母体同位素的浓度进行比较，以确定所分离出的核材料的年龄。放射年代法也适用于放射性同位素源，例如：含铯-137 的放射性同位素源 — 该同位素源衰减至稳定的钡-137。

5.21. 除了裂变元素的同位素组成及其衰变产物外，还可根据其他元素的存在和同位素组成（根据全球已知的自然同位素变化）得到有关样品来源的信息。样品中此类元素的同位素比可以说明某个过程或生产地点（例如：氧-18/氧-16 比）或进料（例如：锶-87/锶-86 比和钆-143/钆-144 比）。

6. 核法证学解释

6.1. 完成分析工作之后，有可能需要运用其他的专业知识来解释分析结果，并根据法证学检查计划提出核法证学调查结果。有可能需要从开展测量的实验室以外的其他机构获得所需的专业知识。核法证学解释是一个将样品特征与材料类型有关的现有信息以及与核或其他放射性材料有关的起源和生产方法、或者与以前涉及相似材料的案例进行比较和关联的过程。核法证学解释提供了相关的背景、分析结果的阐释以及核法证学研究结果的基础。

解释过程

6.2. 核法证学识别标志是指特定样品的一套或多套核或其他放射性材料的数据特性，根据这些数据特性，以确定样品是否与国家所使用、生产或储存的核或其他放射性材料一致或者不一致。核法证学识别标志有助于确定制造材料的过程及其随后的使用历史。

6.3. 对于整个核燃料循环的工艺过程和设施，同时采用经验法（涉及到以往核与其他放射性材料的分析结果）和建模法（基于核燃料循环过程的化学和物理特性）来建立其参考识别标志，从而揭示样品的分析结果。分析科学相关知识可指导选择适当的方法，以验证是否存在特定的核法证学识别标志。

6.4. 核法证学解释包括将有关样品的分析结果与有关现有或已知材料的相应特征信息进行比较。总而言之，单个材料的识别标志（例如：一种同位素测量）通常不足以识别已知多种类似材料中的某一个具体的样品。与传统的指纹检查不同，在没有可用档案的情况下，完全依靠将单个样品的分析结果与现有或已知样品的分析进行比较是不切实际的。但如果将同位素测量、杂质和微结构之类的特征组合在一起，就能够提高将特定样品与代表已知类别相似材料的数据相关联的信心。识别标志组合还可用于排除（特定样品不能与已知材料的数据类别进行比较这一结论），这对于核法证学解释也具有价值。

6.5. 有助于与已知材料类别的信息进行比较的资源包括国家核法证学资料室或相关数据库，其中包含了有关在国家内部使用、生产或储存的核及其他放射性材料的信息，并在解释过程中以专门的知识作为辅助。为便于比较，可重新分析已经归档的样品。

6.6. 例如，表 4 列出了一些对于回答有关钚样品及用于获取信息的识别标志所必需的信息。

表 4. 钚中相关放射性核素识别标志示例

所需信息	识别标志
化学处理日期	子同位素的内生
化学处理技术	残留元素（钚/钚比）
将放射性衰变能作为能源	钚同位素的活度（钚-238）
中子能谱和响应堆中燃料的燃耗	钚同位素比（例如钚-240/钚-239）

建立国家核法证学资料室

6.7. 国家核法证学资料室是用于核法证解释的一种工具。资料室和参考数据库有助于国家评估脱离监管的材料是否与在该国境内生产、使用或储存的核及其他放射性材料一致[5]。国家核法证学资料室是对某一国所生产、使用和储存的核及其他放射性材料相关信息的汇总，该汇总通过行政手段、有组织地实现，其信息来源可能多种多样。资料室能够有助于比较核及其他放射性材料的测量特性与已知类别材料的识别标志（例如：物理特性、化学和元素组成以及同位素比）。

6.8. 如为此目的而建立国家核法证学资料室，则应由国家建立、维护和控制该资料室，并与该国实际持有的核及其他放射性材料的规模与复杂性相适应。

6.9. 为了便于对比，在适当的情况下，应在通用的概念性组织框架下建立国家核法证学资料室。

核燃料循环过程及放射源制造的知识

6.10. 核法证学识别标志中反映的特征体现了核及其他放射性材料历史中的不同阶段（包括其制造）。了解这些识别标志在材料的生产过程中是如何创建、保留和修改的，对于核法证学解释至关重要。因此，有关核燃料循环过程和放射源制造的知识是对实验室测量进行有效解释的基础。这种知识来自于专门的知识和经验，通常由不同的国际、国家和非政府机构所掌握。

6.11. 通过对核燃料循环或材料生产过程进行建模或模拟，可以预测识别标志是如何在生产过程中体现到核及其他放射性材料中的。建模还能够提高对于创建或修改识别标志的现象，以及让其持续存在的现象的理解。在建模的过程中获得的知识有助于为随后的实验室测量奠定基础，也有助于揭示新的识别标志。

6.12. 将材料表征的结果与过程信息（例如：同位素测量、杂质和微观结构特征）的识别标志组合进行比较，就可以了解到材料的制造方式及其最初的预期用途。反之，如果未能在表征结果与特定识别标志组合之间建立关联，则此类比较也可以不考虑生产过程和预期用途。

归档的材料

6.13. 对已归档的核及其他放射性材料（包括缉获的材料）进行比较分析，可极大地增强对核法证学结果的信心。根据这些分析，核法证学专家能够建立起材料与其生产或制造过程之间的关联。随着新分析方法的运用，发现新的识别标志，因此将存档的数据与存档的材料一起存储也就变得越来越重要。根据特定材料中重要放射性核素的半衰期，采用新的分析方法重新分析已存档的材料，评估所得数据，是否存在新发现的识别标志。由操作人员、生产人员、监管人员、环境实验室和其他方保存的样品档案可能包含以往分析过的材料样品，例如：响应堆燃料、质量控制样品和工业放射源。

公开文献

6.14. 很多基础核过程已被公开并收录在各种教科书、报告和期刊文献中。例如，国际原子能机构的核信息网站就有多个记录了有关全球核设施公开信息的数据库。³

保密文献

6.15. 专有或机密的信息只记录在“保密”文献中。根据适当的保密协议，公司可能会愿意与有关当局或国家实验室分享其专有信息。核机构、有关部委和国家实验室也能够在其本国获取机密文献，但不太可能获准他国的机密文件。

演绎过程和迭代过程

6.16. 核法证学分析与解释涉及到一个演绎和迭代的过程，如图 2 所示。实施分析计划程序，将结果与现有或已知材料的信息进行对比，从而完成解释，并将分析结果归于背景材料。这种涉及分析结果和已知材料信息的比较过程反复进行，因为每一个连续的比较都可能会提供新信息，而根据这些信息可提出进一步的分析或比较，进而发现有助于更精确地标识材料的其他识别标志。由于这一比较过程也可用于逐步排除特定的过程、位置

³ 参见 <http://nucleus.iaea.org>。

或材料的可能的其他来源，因此，这一比较过程也可以是演绎性的。例如，将被缉获核材料的分析结果与已知生产工艺进行比较，从而确定被缉获材料可能的生产工艺，并确定无法制造被缉获材料的工艺。与其他现有生产过程或分析测量结果的比较也有助于缩小缉获材料可能的生产工艺的范围。

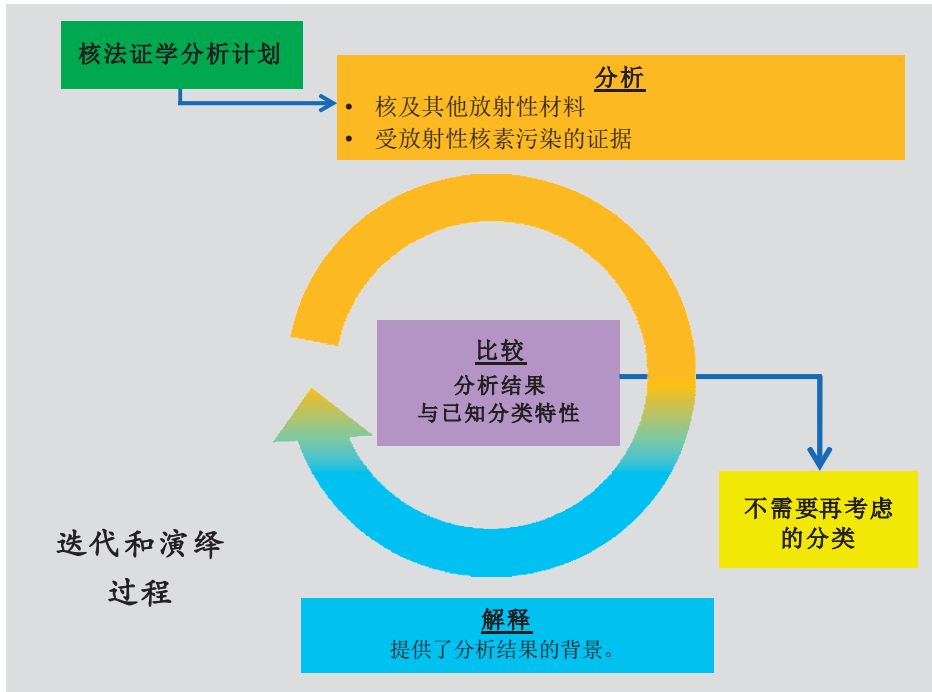


图 2. 核法证学分析、比较和解释：一种提供分析结果背景的迭代、演绎过程。

6.17. 对收到的分析结果进行解释，可从中得到执法人员开展调查所需的信息。有时，通过核法证学检查虽然无法确切地确定材料的制造方式或来源，但仍有可能排除与材料生产历史证据不符的过程。产生调查性线索和排除某些场景这两种行为都有助于缩小调查范围。最后，执法部门的调查结果有助于发现其他的证据，可根据这些证据确定核或其他放射性材料与相关人员、地点、时间、事件和生产过程之间的关联。

7. 核法证学调查结果

7.1. 核法证学调查结果是核法证学分析与解释的成果。调查结果可用于支持执法调查、监管查询和政策制定，也有助于其他利益相关方增强核安保并预防未来的核安保事件。无论何种场景，一般都会提出如下问题：

- 涉及到哪种材料？
- 材料可能的来源是什么？
- 可能的生产方法有哪些？

对调查结果的信心

7.2. 一般而言，对分析结果的信心取决于三个因素：(i) 经过验证的方法；(ii) 经过认证的参考材料；及 (iii) 经过证明的能力。采用经验证的方法可以确保分析适用于材料，并能够测量感兴趣的分析物项。使用经认证的参考材料可以确保根据已知和已认证的数值来鉴定测量值。经验证的方法和经认证的参考材料证明了相关程序的可靠性，从而增强了对调查结果的信心。经证明的能力也有助于增强从事分析工作的个人的信心。

7.3. 对解释的信心取决于对单个分析测量结果不确定度的描述、对分析结果与现有类别信息进行迭代比较的结果，以及在解释这些比较结果时要考虑到的其他解释。总而言之，这三个因素通过展示对其基础的正确理解，保证了解释及其相关的置信度可信。

7.4. 很重要的一点是，任何核法证学分析和解释都必须站得住脚，因为核法证学调查结果可能会用于法律程序或识别核安保薄弱环节。在调查过程中严格遵守物证连续保管程序以及在实验室严格执行质量保证和控制程序，都有助于增强分析结果的可信度。此外，基于多项结果而收敛到具体调查结果（例如关联或排除某些类别的材料）的分析计划也能增强对调查结果和结论的信心。

调查结果的通报

7.5. 所有的核法证学调查结果都应及时形成书面报告，报告可采用科学报告的形式或采用国家机构或牵头的调查机构要求的标准格式。报告中所含的敏感信息，需要明确并采取相应的保护措施。

7.6. 应根据法证学检查计划中的要求，明确告知结果及其解释的可信度。为了推进调查，将核法证学调查结果与其他学科（包括其他法证科学学科）的调查结果和信息，以及国家核安保机构等其他当局提供的信息结合在一起。应根据调查的需要，报告核法证学分析结果及相关的调查结果的置信度。

7.7. 对于讲求时效性的核安保事件，可能需要尽快获得可靠的初始信息。在对测量全面分析和解释之前，要求研究人员及决策者和其他官员进行核法证学研究。理想情况下，应该事先就具备一种能够表述与初步报告有关的置信度方法。为了解决调查员和决策者的信息请求，应编制初步核法证学调查结果报告大纲，其中包括关键调查结果及重要假设、所述调查结果的置信度，以及在当时的可用信息条件下仍然具有合理性的其他解释。

7.8. 为援助进行有关结果报告的期望管理，法证学检查计划应说明通报调查结果的具体形式和时间。在核安保事件发生期间及之后，可定期发布有关核法证学检查进展和调查结果的报告。可根据表 3 所述的 24 小时、1 周和 2 个月的典型周期编写报告。在检查完成后应编写最终报告。最终报告应包含评估中采用的全部数据和其他信息，并应包括所作的假设和对调查结果的论述。报告中也应指出与调查结果不一致的数据或信息，以及排除或不考虑的信息，或优先考虑其他信息的原因。

行动后审查

7.9. 在核法证学检查及相关法律程序结束后，为了评估调查期间哪些分析和程序达到预期，而哪些未能达到预期，可开展“行动后审查”。行动后审查的目的并不仅仅是为了了解不足之处，而且还在于了解哪些因素促使了行动达到或超过预期。通过行动后审查，相关人员有机会汲取经验教训、为计划所采用的程序提供反馈，并有利于在未来开展核法证学检查。

7.10. 考虑到需要改进核法证学分析的开展过程，在保密规定允许的前提下，也鼓励核法证学领域的专家与其他国家的同仁分享实际核安保事件或演习行动的经验教训。

8. 国际合作与援助

8.1. 国际合作与援助包括在核安保事件发生前、发生中和发生后的合作与援助。核法证学领域内的国际合作与援助的范围包括，从提高意识、研发、国际援助和能力建设。

国际合作

8.2. 各种国际组织、团体和倡议均提倡增强对核法证学重要性的意识，并应要求提供各种形式的核法证学支持。“打击核恐怖主义全球倡议”（GICNT）、国际刑警组织和国际核法证学技术工作组（ITWG）均给予了不同形式的培训、指导和援助。各国也在核法证学领域内开展了双边或多边合作。此外，一些国家还实施了为国际合作伙伴提供支持的国家项目。

“打击核恐怖主义全球倡议”

8.3. “打击核恐怖主义全球倡议”（GICNT）是各国共同成立的、旨在增强全球预防、探测和应对共同的核恐怖主义威胁的自愿性组织。目前，“打击核恐怖主义全球倡议”核法证学工作组正在开发工具来提高对核法证学的认识、促进政府间关系、开展联合演习并推广核法证学的最佳实践，从而援助伙伴国的政治领导层建立本国的核法证学能力[27]。

国际原子能机构

8.4. 为了援助各国建设和维护有效的核安保基础设施（包括核法证学能力），国际原子能机构发布了《核安保丛书》（包括现有的对示范行动计划的应用导则），同时应各国的要求采取措施援助应用相关的导则。进一步的措施包括提供有关核法证学意识、放射性犯罪现场管理和核法证学方法的培训，以及合作开展协调研究项目等[28]。

国际刑警组织

8.5. 国际刑警组织是致力于支持各国警察组织预防和打击包括放射和核恐怖主义在内的各种犯罪活动的国际组织。其主要任务是促进全球成员国之间的信息交流（包括调查信息）。此外，国际刑警组织还开展情报分析、提供培训（例如：有关放射性犯罪现场的管理），并能在核安保事件发生后给予行动支持。

核法证学国际技术工作组

8.6. 核法证学国际技术工作组（ITWG）是由核科学家、执法人员、第一响应人员和核监管专家组成的非正式工作组，也是核法证学从业者的工作团体[29]。核法证学国际技术工作组的目标是通过提出有效的技术方案，并向国家和国际有关机构提供关于如何以最佳的方式应对涉及核或其他放射性材料的犯罪行为 and 蓄意的未经授权的行为的建议，推进核法证学学科建设。核法证学国际技术工作组的工作内容包括制定技术指导方针、组织材料分析合作演习和桌面演习，以及在国际上宣传和推广核法证学。如需了解更多信息，请访问核法证学国际技术工作组网站。⁴

核安保事件调查中的核法证学援助

8.7. 通过国际组织或通过双边/多边协定和协议在调查核安保事件期间提供援助，包括证据收集、优化分析方法、进行核法证学分析、提高对分析的信心、收集数据以援助核法证学解释，或应要求提供其他类型的信息。

8.8. 在提出援助请求时，请求方在起草请求书时应考虑以下几点（排列不是按优先顺序）：

- (a) 该请求是针对已经发现的核或其他放射性材料脱离监管控制的具体事件，还是属于为此类事件做准备的策略[30, 31]；
- (b) 是否视为敏感事项而需要保护敏感信息；
- (c) 请求国是否允许援助方与不直接提供援助的第三方或其他方分享结果；如允许，在何种情况下以及如何分享；

⁴ 参见 <http://www.nf-itwg.org>。

- (d) 是否出于安全考虑及根据运输要求和关于核及其他放射性材料进出口的声明，要求援助方在请求方的领土上收集、包装和运输核料或其他放射性材料，并将其运输至援助方领土内的设施；
- (e) 援助方是否需要遵守请求方现有法律体系下有关物证连续保管和其他证据处理的规定；
- (f) 请求是否涉及到请求方和/或援助方的部长级审批；如是，将如何得到批准；
- (g) 援助方在提供援助的过程中产生的费用是否会得到补偿，或者是否由援助方自身承担相关费用；
- (h) 是否有必要由援助方的专家提供证明。如有必要，需要在何种情况下（例如亲自、书面或通过远程通信）提供此类证明；
- (i) 是否考虑将核或其他放射性材料退还给请求方。就此而言，无论是请求方还是援助方都应遵守国际法律文书中有关核及其他放射性材料的义务，例如《核材料实物保护公约》[4]和《制止核恐怖主义行为国际公约》[12]所载的义务，同时也应遵守保障协议和相关出口控制法规的规定。

8.9. 为了方便提出援助请求，可拟定一份工作说明书或类似文件，以便在请求方和一个或多个援助方之间达成协议。该协议可酌情处理上述问题，并具体说明关于报告的及时性和方式、分析计划的制定（如请求的性质决定了要求相关计划）、报告结果的方式以及对报告进行分析的期望。如果请求不涉及到实验室分析（例如请求分享在核法证学领域内的最佳实践、就核法证相关演习的开展提供专业意见，或援助制定核法证学国家能力增强计划），则可采用非正式的方式。

8.10. 鉴于此类安排一般涉及多个问题和复杂问题，因此，建议每个国家在其国家应对计划中定义并包括在发生实际核安保事件时与提供或请求国际援助有关的安排。

9. 核法证学能力建设

9.1. 各国有责任发展和维持核法证学能力。基础设施、法律和监管框架、运行、人力资本以及专用的设备和知识等要素，对于有效的核法证学能力至关重要。

9.2. 发展、测试和维持核法证学能力的战略，对于是否能对核安保事件作出适当响应也至关重要。具体的方法包括让各级利益相关者树立核法证学意识、对现有和未来的人员进行适当的培训、进行应对行动演习、制定研发计划、针对未来需求进行有效的知识管理，以及针对核科学进行有效的教育，以培养和维持能力（具体的示例见附录三）。

意识

9.3. 在发展国家核法证学能力时，关键的要素之一就是关于核法证学对国家核安保基础设施重要性的意识。国家内部各利益相关者对核法证学的意识提高，有助于：

- 促进核法证学能力的推动者和开发者对核法证学的了解；
- 明确角色和责任；
- 提高对应用于执法调查和核安保薄弱性评估的核法证学的认识；
- 鼓励各组织和学科采用通用术语。

培训

9.4. 国家应确保其国家核安保基础设施配备经过适当培训的人员。技术培训和人力资本开发应涵盖核法证学的各个方面，不仅是一种预防措施，也是一种应对能力。培训是核法证学可持续发展的关键要素：明确了有关核安保事件调查要求，并介绍了建议的分析和解释方法以及核法证学在国家核安保基础设施中的作用等基本信息。也可通过国际核法证学合作关系进行培训。

9.5. 应根据具体的学习目标开展培训。例如，为了在发生核安保事件后有效地将科学结果传达给执法官员和政策制定者或决策者，核法证学专业人员必须经过适当的培训，确保将信息有效地传达给受众。同样，原子能

机构也已开展了入门培训以及针对核法证学实验室所使用的特定技术分析
方法培训。

演习

9.6. 核法证学能力是否有效，要取决于科学技术组织、执法机构和其他
政府机构在国内和国际上的合作。建立协作和共享的程序与机制是核法证
学能力持续发展的关键。核法证学演习的计划、执行和审查对于增强这些
能力十分重要。

9.7. 通过核法证学演习，各国能够测试其应对核安保事件的能力并建立
起信心。决策者和相关人员也能借此机会在现实的、受控的风险环境中练
习如何扮演各自的角色。核法证学演习一般是基于具体的场景或分析目的
而开展。通过演习，利益相关者可评估自身的能力并在现实条件下检验各
自的表现，同时还能够评估角色、职责以及信息共享的途径和机制。通过
演习，各方能够修正其应对和恢复计划并加强利益相关者之间的协调。根
据演习的结果确定应采取怎样的补救措施、优化技术，并为改进整体应对
能力提出新的思路。此外，各国通过与信任的合作伙伴共享演习结果，也
能够增强各方应对新兴威胁的总体能力。

教育与专业发展

9.8. 教育与专业发展对于有效的、可持续的核法证学能力建设是关键的
要素。国家应培养拥有与核法证学高度相关的核和地球化学学科专业知识的
技术人员。为了储备足够的核法证学工作人员，必须在放射化学、核工
程与物理学、同位素地球化学、材料科学和分析化学等领域建立起从本科
到研究的学术途径，以培养下一代科学家。实际措施包括：

- (a) 鼓励国内学术界、科学界和政策界之间开展合作与交流，包括学生、
大学教职员工、在该国实验室工作的技术专家和政府官员等；
- (b) 向上述领域的本科、研究生和研究生水平的学生提供奖学金、助学金
和实习机会等资源，也包括在实验室设施开展实际研究的机会；
- (c) 援助各大学制定与核法证学有关的教育计划，包括促进跨学科学习
(例如：联合化学和物理系共同教授核法证学课程)；

- (d) 为年轻的核法证科学家提供指导，促进现有专家的专门技术知识的获取和转让。

研发

9.9. 核法证学是一门正在发展的法证科学。研发对于建立起对核法证学调查结果的信心以及评估核法证识别标志的可靠性（以此为基础确定材料的来源和历史）至关重要。特别是，研究应侧重于以下领域：改进核及其他放射性材料的分类和表征程序及分析技术、确定要纳入国家核法证学资料室的核法证学识别标志、了解如何在核燃料循环中创建、保持和修改识别标志，以及如何准确地测量识别标志[28]。

9.10. 致力于促进核及其他放射性材料分析科学的研究与开发，能够增强国家核法证学能力。此外，基于科学过程的同行评审也能够提高对此类分析和解释技术的接受程度与信心。经科学界认可，这些工具都可用于实际的核法证学检查。

参考文献

- [1] EUROPEAN COMMISSION, 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 ENVIRONMENT PROGRAMME, WORLD HEALTH ORGANIZATION, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3, IAEA, Vienna (2014).
- [2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Establishing the Nuclear Security Infrastructure for a Nuclear Power Programme, IAEA Nuclear Security Series No. 19, IAEA, Vienna (2013).
- [3] KRISTO, M.J., SMITH, D.K., NIEMEYER, S., DUDDER, G.B., Model Action Plan for Nuclear Forensics and Nuclear Attribution, Rep. UCRL-TR-202675, Lawrence Livermore Natl Lab., Livermore, CA (2004).
- [4] The Convention on the Physical Protection of Nuclear Material, INFCIRC/274/Rev.1, IAEA, Vienna (1980).
- [5] EUROPEAN POLICE OFFICE, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, INTERNATIONAL CRIMINAL POLICE ORGANIZATION–INTERPOL, UNITED NATIONS INTERREGIONAL CRIME AND JUSTICE RESEARCH INSTITUTE, UNITED NATIONS OFFICE ON DRUGS AND CRIME, WORLD CUSTOMS ORGANIZATION, Nuclear Security Recommendations on Nuclear and Other Radioactive Material out of Regulatory Control, IAEA Nuclear Security Series No. 15, IAEA, Vienna (2011).
- [6] EUROPEAN POLICE OFFICE, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL POLICE ORGANIZATION, WORLD CUSTOMS ORGANIZATION, Combating Illicit Trafficking in Nuclear

and other Radioactive Material, IAEA Nuclear Security Series No. 6, IAEA, Vienna (2007).

- [7] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Nuclear Security Recommendations on Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities (INFCIRC/225/Revision 5), IAEA Nuclear Security Series No. 13, IAEA, Vienna (2011).
- [8] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Identification of Radioactive Sources and Devices, IAEA Nuclear Security Series No. 5, IAEA, Vienna (2007).
- [9] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL CRIMINAL POLICE ORGANIZATION–INTERPOL, UNITED NATIONS INTERREGIONAL CRIME AND JUSTICE RESEARCH INSTITUTE, Radiological Crime Scene Management, IAEA Nuclear Security Series No. 22-G, IAEA, Vienna (2014).
- [10] Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons, INFCIRC/140, IAEA, Vienna (1970).
- [11] Amendment to the Convention on the Physical Protection of Nuclear Material, GOV/INF/2005/10-GC(49)INF/6, IAEA, Vienna (2005).
- [12] International Convention for the Suppression of Acts of Nuclear Terrorism, A/59/766, United Nations, New York (2005).
- [13] International Convention for the Suppression of Terrorist Bombings, A/52/653, United Nations, New York (1997).
- [14] International Convention for the Suppression of the Financing of Terrorism, A/RES/54/109, United Nations, New York (1999).
- [15] Protocol of 2005 to the Convention for the Suppression of Unlawful Acts against the Safety of Maritime Navigation, International Maritime Organization, London (2005).

- [16] Protocol of 2005 to the Protocol for the Suppression of Unlawful Acts Against the Safety of Fixed Platforms Located on the Continental Shelf, International Maritime Organization, London (2005).
- [17] Convention on the Suppression of Unlawful Acts Relating to International Civil Aviation, International Civil Aviation Organization, Beijing (2010).
- [18] Protocol Supplementary to the Convention for the Suppression of Unlawful Seizure of Aircraft, International Civil Aviation Organization, Beijing (2010).
- [19] United Nations Security Council resolution S/RES/1373 (2001), UN, New York (2001).
- [20] United Nations Security Council resolution S/RES1540 (2004), UN, New York (2004).
- [21] PARKINSON, A., COLELLA, M., EVANS, T., The development and evaluation of radiological decontamination procedures for documents, document inks, and latent fingermarks on porous surfaces, *J. Forensic Sci.* **55** (2010) 728–734.
- [22] COLELLA, M., PARKINSON, A., EVANS, T., LENNARD, C., ROUX C., The recovery of latent fingermarks from evidence exposed to ionizing radiation, *J. Forensic Sci.* **54** (2009) 583–590.
- [23] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Quality Management Systems: Requirements, ISO 9001:2008, ISO, Geneva (2008).
- [24] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Environmental Management Systems: Requirements with Guidance for Use, ISO 14001:2004, ISO, Geneva (2004).
- [25] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories, ISO/IEC 17025:2005, ISO, Geneva (2005).

- [26] BRITISH STANDARDS INSTITUTION, Occupational Health and Safety Management Systems: Requirements, OHSAS 18001:2007, BSI, London (2007).
- [27] HILL, D., “Emerging themes from the Global Initiative to Combat Nuclear Terrorism Nuclear Forensics Working Group”, Nuclear Security: Enhancing Global Efforts (Proc. Int. Conf. Vienna, 2013), IAEA, Vienna (2014).
- [28] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of Nuclear Forensics in Combating Illicit Trafficking of Nuclear and Other Radioactive Material, IAEA-TECDOC-1730, IAEA, Vienna (2014).
- [29] GARRETT, B., MAYER K., THOMPSON, P., BÍRÓ, T., LASOU, G., “The Nuclear Forensics International Technical Working Group (ITWG): An Overview”, Nuclear Security: Enhancing Global Efforts (Proc. Int. Conf. Vienna, 2013), IAEA, Vienna (2014).
- [30] PREPARATORY COMMISSION FOR THE COMPREHENSIVE NUCLEAR-TEST-BAN TREATY ORGANIZATION, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION, INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION, INTERPOL, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, UNITED NATIONS OFFICE FOR THE COORDINATION OF HUMANITARIAN AFFAIRS, WORLD HEALTH ORGANIZATION, WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 7, IAEA, Vienna (2015).
- [31] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Predisposal Management of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 5, IAEA, Vienna (2009).

附录一

法证科学学科

I-1. 本附录介绍了一些主要的法证科学学科，但侧重于可能为核安保事件的调查提供有用信息的学科。

I-2. 其中大部分学科在法证科学范畴内都有相当长的历史；因此，将这些学科统称为“传统法证学科”。数十年来，二进制数据（“数字证据”）用于调查的价值已得到了认可，而用于获取数字证据的装置在数量和类型上的发展又提高了其实现调查目的的重要性。分析数字证据和解释结果所用的工具和技术在不断发展并对法证学检查具有重要意义，因此，将在随后有关新兴法证科学学科的章节中予以讨论。

传统法证科学学科

生物证据的分析

I-3. 在核安保事件的调查中，可能在现场或从人体、地点或相关物体上提取作为证据的生物来源标本，包括血液、精液和唾液。包含核 DNA（nDNA）的人类生物学证据具有特殊的价值：可将测试结果与某一个人相关联，并且其可靠性也足以满足刑事司法目的（即测试的结果达到个体化）。

I-4. 线粒体 DNA（mtDNA）通过母系遗传并在所有与母体相关的个体（例如：兄弟姐妹、母亲和外祖母）之间共享。因此，就个体化而言，线粒体 DNA 的结果不那么有效，但也有助于缩小调查范围。此外，对于核 DNA 的浓度不足以进行有意义分析的标本，也可从这些生物标本中获取线粒体 DAN。这些标本包括自然脱落的毛发、毛发碎片、骨头和牙齿 — 在核安保事件现场可提取其中的任何一种。

I-5. 第二类生物来源的标本包括动物、植物或真菌来源的材料，如羽毛、植物物质（例如：叶子、花粉、种子和茎）和孢子。对此类材料的分析会提供一些线索，例如：核及其他放射性材料包装、存储或运输的地理区域。

图案和压印分析

I-6. 对指纹（即指印）、掌纹和鞋底纹图案进行的分析称为摩擦脊分析。在过去的一个世纪中，这一项技术就已用于个体识别。摩擦脊分析和核 DNA 分析是主要的法证学学科，其结果一般认为能够达到个体化。摩擦脊分析可能会得到与核 DNA 分析相似的结果，因此在制定法证学检查计划时应予以考虑，特别是在能够从事件现场、核或其他放射性材料，或用于储存或运输材料的容器提取指纹、掌纹或鞋底纹的情况下。在关联这些图案与具体的个人时，可利用各种指纹和掌纹数据库。执法部门可通过向国际刑警组织发出请求，以访问这些数据库。就法证学而言，数据库是可搜索的数据或信息的集合，通常（但并不一定）为电子或数字格式。美国的综合自动指纹识别系统就是一例。¹

I-7. 除指纹、掌纹和鞋底纹之外，也可能在犯罪现场或调查相关的其他现场发现其他的图案。这些图案一般被称为压印证据（当鞋或轮胎在表面上留下印记的时候出现）。需要分析的其他图案包括子弹和弹壳上的痕迹、耳纹、唇纹、血迹、咬痕和手套印。不同于摩擦脊分析的是，对这些图案的分析不可能达到个体化。相反，分析结果可能将图案归于某一类人或物体——例如：某一商标、某一尺寸的鞋或轮胎。这些结果对于缩小核安保事件的调查范围可能至关重要。

工具痕迹和枪械分析

I-8. 对工具痕迹和枪械的分析主要针对硬物（例如：工具或枪械的撞针）与相对较软的物体接触时产生的痕迹。工具痕迹和枪械痕迹的对比分析可作为一种特殊的压印分析。可根据对工具或撞针痕迹的分析缩小调查范围：这些痕迹可指向特定的制造商或工具、枪械的制造程序，并能够排除其他的制造商或程序。这些痕迹可见于核或放射性材料本身、材料运输或储存容器表面、在犯罪现场发现的其他物体或对调查有关的其他现场。

¹ 参见 https://www.fbi.gov/about-us/cjis/fingerprints_biometrics/iafis/iafis。

毛发分析

I-9. 人类和动物经常有毛发掉落。毛发可留在犯罪现场、转移到现场的另一个人身上或转移到调查相关的另一个地点。因此，在核安保事件的调查中，应考虑到毛发可能掉落到脱离监管的核及其他放射性材料之上或者附近。对毛发的显微分析有助于确定类别特征而非个体特征。即，结果可能与某一类人的毛发关联（例如：根据毛发的颜色或染色剂）而不是关联到某一个特定的人。在排除毛发可能来源的某些人群时，这些结果有助于缩小调查范围。

纤维分析

I-10. 在法证科学中，一直以来就通过显微检查来进行纤维分析。纤维包括合成材料例如丙烯、尼龙和聚酯，以及植物纤维，如很多绳索和细绳所用的纤维。显微检查类似于毛发检查，也具有相似的局限性 — 可识别类别特征，但不可能达到个体化。最近，傅里叶变换红外光谱等现代仪器分析法也开始用于纤维分析。仪器分析可得到对于调查有意义的其他信息。总体而言，根据纤维分析的结果，可确认当某一物体接触另一物体时发生了纤维转移，由此证实了某些人、地点或事物与脱离监管的核及其他放射性材料之间存在关联。

可疑文件的检查

I-11. 可疑文件的检查包括对比和分析文件以及相关的印刷和书写文书。检查的目的包括：

- 确定或排除个人作为手写内容的来源；
- 确定文件是否为打印机、复印机和传真设备等机械或电子成像装置的产物；
- 确定或排除特定的机器为印刷或打字来源；
- 发现涂改、增加或删除的迹象；
- 解密和储存受损的、被删除的或模糊的文件内容；
- 预测文件的年代；
- 识别和保留文件中可能存在的其他物理证据，例如：指纹、毛发、纤维和其他生物材料。

I-12. 因此，在制定法证学检查计划时，应考虑到对与脱离监管的核及其他放射性材料同时发现的文件进行检查。

涂漆、涂层和其他表面材料的分析

I-13. 在核安保事件调查中，对涂漆、涂层和其他聚合物材料的分析很有价值，尤其是在发现与核或其他放射性材料有关容器的情况下。这些容器上可能会有文字或其他标记。同样，容器内也可能使用了聚合物材料作为放射性材料的衬垫或密封。通过分析涂漆、涂层和其他聚合物材料的成分，得到的结果可有助于确定材料的来源地。

爆炸物分析

I-14. 需对很多材料进行爆炸物分析。对于无法引爆的爆炸装置、爆炸物和装置的其他部件均具有证据价值。如装置未引爆，则相关的证据包括未燃烧或未消耗的粉末、液体或浆状物设备的碎片，包括未爆炸或未燃烧的炸药；爆炸附近可能包含爆炸物残留物或装置碎片的、爆炸地点附近的物体。解释分析结果后可能会指向一个特定的群体或个体——根据爆炸物的设计、制造材料和材料的采购记录。因此，所有的法证学检查计划都受犯罪现场爆炸物的影响。

法医学

I-15. 通过两个主要的分支——临床法医学和法医病理学，法医可在核法证学相关的案件中提供专业知识。

I-16. 临床法医学涉及到对活体进行临床检查，以检查是否发生了与核安保事件的后果有关的伤害、灼伤、爆炸伤和并发症等。临床法医专家关心的是伤害（或灼伤）的类型和性质，无论伤害是否是因为暴露于核或其他放射性材料引起，受到伤害的日期、治疗时间和所导致的并发症，以及是否存在残疾（临时性或永久性）。

I-17. 法医病理学则是运用医学知识来检查人体残骸。为此最主要的工具就是尸检。法医病理学的一般目标包括确定死亡的原因和方式、确定受伤的性质和程度，及确定遗体的身份。

I-18. 许多实验室方法都可用于辅助法医学，包括与核DNA和线粒体DNA检查相关的方法（参见I-4）、人体检查方法（例如：X射线成像、磁共振成像和计算机轴向断层扫描）以及现代仪器分析方法（例如：气相色谱-质谱、液相色谱和电感耦合等离子体质谱法）。

I-19. 在出现核安保事件受害者时，可借助于法医病理学方法来确定受害者是否遭受了辐射或其他伤害。对于发生核或其他放射性材料散布的核安保事件，法医病理学家的检查结果经证明有助于估计每个受害者离散布点的距离。

新兴的法证科学学科

数字证据的分析

I-20. 随着数字记录装置类型的增多和个人、企业及政府机构对这些装置越来越广泛的使用，数字证据（其中常常是二进制数据）分析也愈加重要。采用法证学方法可以定位介质上和操作系统或应用内的数据。数字证据可能的来源包括但不限于：

- 台式机、笔记本电脑和平板电脑以及硬盘驱动器、存储卡和通用串行总线（USB）闪存驱动器；
- 移动电话；
- 安全和监视摄像机，例如：银行在自动取款机上安装的摄像机以及很多企业 and 一些住宅楼或社区安装的摄像机；
- 交通摄像机，用于发现交通违规行为或监视交通流量；
- 便携式媒体播放器；
- 数码相机。

设施内的数字仪器和控制系统都可能产生数字证据。在调查核安保事件时，可在缉获核或其他放射性材料的现场或现场附近、沿材料的运输路线，以及从导致材料缉获的事件的相关嫌疑人身上发现这些装置或其中的证据。数字记录设备的普及实现了按时间和地理顺序记录核及其他放射性材料的移动情况。

附录二

表征技术

核法证分析中常用的技术

II-1. 本附录基于参考文献[II-1]第 21 章，介绍了一些在核法证学分析中最常用的技术，如第 5 节表 3 所示。该表只列出了代表性技术，并非详尽罗列了全部的技术。作为对这些信息的补充，参考文献[II-2]中报告了关于在非法贩运核及其他放射性材料中应用核法证学的协调研究成果。

物理表征，包括外观检查和照相

II-2. 通过对样品进行外观检查，可得到有关样品标记的信息，尤其是在有序列号或其他识别标记的情况下，或者也可根据大小和外形识别某些材料。结合样品的尺寸测量结果和重量就能够计算其密度。对于某些化合物，材料的颜色也是重要的线索。校准长度和色标的使用也有助于记录物理测量结果。

光学显微镜

II-3. 光学显微镜是第一种以放大的方式检查样品的方法。光学显微镜通过放大光学器件以及样品照明反射或透射方法，将放大后的样品图像呈现给用户。在透射的偏振光下观察样品，也能够揭示有关样品组成和均匀性的信息。光学显微镜可以轻松地将图像放大 1000 倍。

扫描电子显微镜和 X 射线光谱

II-4. 扫描电子显微镜（SEM）采用常规的热灯丝源提供了高达 10 000 倍的图像放大倍率，使用场发射源时可达 500 000 倍放大。扫描电子显微镜中的一条精细聚焦的电子束扫描样品。高能入射电子束与样品的相互作用产生了反向散射的电子、二次电子和 X 射线。通过测量基于扫描位置产生的信号，可显示出图像或样品图。每一类信号都传达着不同的样品信息。例如，二次电子传达有关样品形态的高分辨率信息。反向散射电子的相对强度图则根据成像样品的平均原子序数显示出材料成分的空间分布。

II-5. 在扫描电子显微镜或电子探针分析过程中产生的 X 射线也是一种测量样品元素组成的方法。可通过两种方法中的任何一种对 X 射线进行定量分析。首先，能量色散 X 射线光谱仪（EDX）使用了固态探测器来同时测量 X 射线的能量和速率。其次，在电子微探针配置下，波长色散 X 射线光谱仪（WDX）使用了分析晶体将选定的 X 射线依次衍射到气体比例计数器中。X 射线分析局限于约 1 μm 的空间分辨率。X 射线分析的检出限约为 0.1%，这也取决于元素本身。结合扫描电镜能量色散 X 射线光谱仪或波长色散 X 射线光谱仪，可描述样品中元素的丰度和空间分布。

X 射线荧光分析

II-6. X 射线荧光（XRF）分析可用于多种样品的非破坏性元素定量分析。入射的 X 射线束激发了固体样品中的特征次级 X 射线，并在固态或正比计数器上计数。X 射线荧光的检出限为百万分之 10（ppm）。尽管发射出的 X 射线能量低，但也可利用质量吸收校正和分析晶体来分析轻元素（例如：硼、碳和氧）。

X 射线衍射分析

II-7. X 射线衍射（XRD）分析是一种鉴定晶体材料化学结构的方法。X 射线束撞击有序晶格并受到相长和相消干涉，取决于晶格的间距、X 射线的波长和 X 射线束的入射角。相对于固定的 X 射线源旋转样品，产生的干涉变化导致特征衍射图。将这些衍射图与参考光谱进行比较以确定特定的晶相。X 射线衍射无法在非晶（非晶体）材料上生成衍射图。

傅立叶变换红外光谱

II-8. 傅里叶变换红外光谱法可用于鉴定化合物。将样品暴露在较大的红外频率范围内，随频率的变化测量反射或投射的红外辐射强度。由此形成了红外吸收光谱。在特定频率下的吸收也是某些键的特征。因此，红外光谱能够识别分子内的各种键和官能团。现有的红外光谱的出版物有助于鉴定未知化合物，或至少对其进行某种分子分类。

放射性计数技术

II-9. 每个放射性同位素都基于其活度以已知速率发射一定类型和能量的辐射。通过测量样品发射的辐射，就可以量化每一种被测出的同位素的量。可以测量四种类型的辐射： α 、 β 、 γ 和中子。每一种辐射都有其自身的特性和探测方法。在核法证学中最重要的是 γ 能谱和 α 能谱，将在 II-10 至 II-13 中进一步讨论。

II-10. γ 能谱是在核法证学检查中对所缉获的核或其他放射性材料进行初步分类时首先采用的技术：便于进行测量、无损且不要求制备样品。虽然包装材料或屏蔽材料（尤其是铅）会吸收 γ 射线，但 γ 射线（即能量在 10 keV 到高于 500 keV 范围内的光子）仍然可以被测量到。在现场，使用便携式 γ 能谱仪（例如：碘化钠手持式识别器或便携式高纯锗探测器）进行初步分类测量。在实验室使用的则是更复杂、敏感度和分辨率更高的 γ 能谱系统。由此，可在更高的分辨率下测量丰度更小的 γ 射线。可在能谱中分辨出相互接近的能量。运用商业软件分辨观察到的低能量能谱中的钷和铀，并据此计算材料的同位素组成。但应注意的是，某些核素（例如：钷-242 或铀-236）无法被 γ 能谱仪探测到；为此需采用质谱仪。

II-11. γ 能谱在中子活化分析中也具有关键作用：用于测量反应堆或中子发生器中样品活化产生的核素。

II-12. α 能谱能够探测 α 粒子，即 3—8 MeV 能量范围内的 He^{2+} 离子。 α 能谱是一种破坏性分析技术。 α 粒子因与物质的强烈相互作用而很容易被阻挡，因此，要求对样品进行放射化学处理以通过 α 能谱计数。

II-13. 在放射化学处理后再进行 α 能谱分析，对于测量钷-238 和钷-239+240 活度十分重要。钷和镅的放射化学分离尤其重要：镅-241 和钷-238 发射的 α 粒子具有相似的能量，因而在能谱中重叠。同样，钷-239 和钷-240 的 α 能量也极为接近，因而无法在能谱中分辨。因此，只能测量其总和（即钷-239+240），通过质谱法得到钷-240/钷-239 的原子比。

化学测定

II-14. 化学滴定和可控电库仑法是用于测定核燃料材料中钷、钷、铀或其他主要成分元素浓度的标准方法，其目的是进行衡算测量或核查。在化学

滴定中，让样品与精确计量且成分已知的选择试剂反应，从而完成已知化学计量反应或达到反应的特征性终点。除其他因素之外，主要根据终点探测模式来指定滴定方法（例如：电位滴定法和分光光度滴定法）。采用控制电势库仑法时，待分析的元素在保持选定电势的金属电极上进行选择性氧化或还原。氧化中损失或还原中获得的电子数量就是样品中元素数量的度量。

II-15. 使用几百毫克的标准样品量时，这些方法的精确性和准确性高于0.1%。这些方法已经相当成熟并已成为核材料衡算和保障实验室的常规技术。因此，这些方法对于表征核材料是十分有效的，但前提是样品至少为十分之一克。

放射化学

II-16. 如无初步的处理和提纯，很多样品会因为过于复杂而无法测量所有存在的放射性同位素。通过利用元素化学性质的差异，可以设计一定的方案来分离元素或元素组，以便于通过放射性计数方法或质谱法测量存在的同位素。通过比对内部同位素标准（“加标”），测得的同位数在数量上与原始样品相关。化学分离和提纯步骤提高了该技术的敏感度和选择度。放射性化学对于测量低活度存在的同位素（并最好通过其 α 发射或质谱法进行测量）尤为重要。结合放射化学与放射性计数技术和质谱，就可以测量某些同位素至飞克级（ 10^{-15} g）。

辐射成像

II-17. 辐射成像技术有助于确定样品中放射性核素的空间分布和活度。例如，使用固态核径迹探测器进行裂变径迹分析和 α 径迹分析，从而定位和量化样品中的锕系元素，而使用照相胶片或基于现代电荷耦合器件技术的方法则可以定位和识别 α 和 β 发射体。

质谱

II-18. 质谱用于确定指定材料中各元素的同位素组成。质谱也可通过加入已知量的特定同位素实现元素量化（在应用于样品主要成分时一般称为“测定”）。这就是同位素稀释质谱法（IDMS）。质谱法也能够分析放射性同位素和稳定同位素。采用质谱法时，原子和分子被转换为带正电或带

负电的离子。然后根据离子的质荷比将其分离，并测量所得到的、质量分离的离子束的强度。由于有了质量分析这一步，元素质谱技术一般具有较高的选择性（在同量异位素干扰的特殊情况下除外）。质谱法能够实现极高的分析精确度和准确度，以及高丰度敏感度。

热电离质谱仪

II-19.采用热电离质谱仪（TIMS）方法时，将样品沉淀在金属丝上，让保持高真空的电流通过时加热金属丝。如果给定元素的电离电势与灯丝的电子逸出功相比足够低，则元素的部分原子会在高温下因与灯丝表面的相互作用而被电离。随后通过扇形磁场将质量在高真空条件下在质谱仪中分辨。热电离质谱分析的特异性不仅反映了化学分离步骤，也反映了电离温度。热电离质谱能够以常规的方式采用特殊的预浓缩技术测量纳克（ 10^{-9} g）或皮克（ 10^{-12} g）样品的同位素比率；或者对于稀有样品，可测量数十飞克（ 10^{-15} g）的同位素比率。热电离质谱一般以 1 ppm 的数量级测量同位数质量比差。

电感耦合等离子体质谱仪

II-20.采用电感耦合等离子体质谱仪（ICP-MS）进行分析时，需将样品作为溶液吸入到电感耦合等离子体中，等离子体的高温将样品分解成其组成原子并让这些物质离子化。除测量同位素比之外，电感耦合等离子体质谱法也是一种灵敏的元素测定工具，及精确量化样品中痕量元素组成的方法。溶液中的探测限从十亿分之 0.1（ppb）到大约 10 ppb。电感耦合等离子体质谱仪在测量某些原子量较低的元素（例如碳、氧、磷、钾、硅和硫）时存在问题：背景干扰或离子化效率低。

二次离子质谱

II-21.二次离子质谱仪（SIMS）用于样品（包括小颗粒）的元素分析和同位素分析。二次离子质谱仪采用了聚焦良好的一次离子束（例如 Cs^+ 、 Ga^+ 或 O_2^+ 以溅射样品表面）。在溅射过程中产生二次离子（样品的特征），可以通过质谱仪对此进行分析。在“显微镜”模式下，一条较大的一次离子束轰击样品，并且在整个质谱仪中维持和放大了二次离子的空间位置。使用对位置灵敏的成像探测器显示和记录同位素图像。在“微束”模式

下，聚焦良好的一次离子束以类似于电子显微镜的方式扫描样品。随后测量并将得到的二次离子信号与一次离子束关联，从而得到同位素图像。聚焦离子束在样品表面上的烧蚀产生了很深的剖面，这对于记录成分梯度或表面变化非常有价值。

气相色谱-质谱

II-22.气相色谱-质谱法（GC-MS）是一种用于探测和测量散料样品中痕量有机成分（即 ppm）的技术。在气相色谱-质谱法中，样品中的挥发性成分在气相色谱仪中分离并在质谱仪中进行鉴定。质谱仪将从色谱柱中洗脱出来的各种成分电离并使其碎片化。可采用很多不同的电离方法，但气相色谱-质谱法最常见的方法是电子撞击。质谱仪以同时或顺序探测的方式（具体取决于质谱仪的类型）测量各种质量的离子强度。得到的相对强度与质荷比的关系图即“质谱”。可利用大量的质谱库鉴定用气相色谱-质谱法探测到的未知化合物。

透射电子显微镜

II-23.在透射电子显微镜（TEM）下，一条高能电子束穿透超薄（约 100 nm 厚）样品。透射电子显微镜具有比扫描电子显微镜更高的放大倍率，并能够对非常精细的样品结构成像。透射的电子会发生衍射效应，可像 X 射线衍射一样用于识别材料中的晶相。

参考文献

- [II-1] KRISTO, M.J., “Nuclear forensics”, Handbook of Radioactivity Analysis, 3rd edn (L’ANNUNZIATA, M.F., Ed.), Elsevier, Oxford (2012).
- [II-2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of Nuclear Forensics in Combating Illicit Trafficking of Nuclear and Other Radioactive Material, IAEA-TECDOC-1730, IAEA, Vienna (2014).

附录三

教育、培训、演习和研发活动示例

III-1. 本附录介绍了国际上目前正在开展的一些能力建设活动。

教育

III-2. 2010 年，国际原子能机构建立了国际核安保教育网（INSEN），旨在通过发展、分享和推动优秀的教育来确保有效的核安保实践。国际核安保教育网包括了参与或计划参与核安保教育的教育和研究机构。国际核安保教育网的成员共同编写了教科书、教学工具和教学材料，对教师进行继续教育、交换学生，以促进信息共享、通过研发增强技术信心、评估学术论文和学位论文以及开展核安保教育效率指标评估。

培训

III-3. 国际原子能机构设计了一系列的培训课程以满足不同受众的需要，这些课程涵盖了核安保事件调查中核法证学的方方面面。具体包括核法证学入门、核法证学方法以及相关的课程 — 放射性犯罪现场管理。如需了解更多的信息，可访问国际原子能机构核安保处网站上的国际原子能机构核安保训练课程目录¹。

III-4. 国际刑警组织也向跨机构的跨国执法和科学人员团组提供了有关放射犯罪现场管理最佳实践的培训。

III-5. 此外，各成员国也在国内和国际上提供各种培训课程。

演习

III-6. 核法证学国际技术工作组（ITWG）开展了大量基于分析和场景的演习，让各实验室有机会来评估其在分析方面的表现并展示其能力。核法证学国际技术工作组演习任务小组在计划、实施和报导协作性材料演习（也

¹ 参见 <http://www-ns.iaea.org>。

称为“知更鸟”）中扮演了重要角色。在此期间，所有参与的实验室都会收到相同的核或其他放射性材料样品以及在某些情况下的非核证据，并承担起分析的任务。参与者以 24 小时、1 周和 2 个月的周期开展分析并报告结果。参与演习完全是自愿的，对自称具有测量能力的实验室开放。对结果进行了编码以便匿名报告每个实验室的结果，并且只有演习协调方知晓结果。演习的结果证明了各个实验室与宣称分析能力相比之下的表现，同时也确定了不同分析方法在同一样品上的实用性。演习涉及到多个国际实验室和不同的材料。目前，核法证国际技术工作组已完成了三次材料合作演习：

- (a) 1998—2000 年的演习，共有六个实验室分析了氧化铀。
- (b) 2000—2002 年的演习，共有十个实验室分析了高浓缩铀氧化物。
- (c) 2010 年的演习，共有九个实验室分析了高浓缩铀金属。

III-7. “打击核恐怖主义全球倡议”（GICNT）实施和评估小组举行了桌面演习和研讨会。演习的目标包括：

- (a) 发展和促进对核法证学能力与原则的共识；
- (b) 强调核法证学对政策制定者和决策者的重要性；
- (c) 讨论参与核法证学工作的各界（包括执法、司法、政策和技术界）的相互关系；
- (d) 探讨通过信息分享推动核安保事件调查的政策问题；
- (e) 寻求潜在的信息分享合作伙伴关系（国内和国际）。

研发

III-8. 为了构建对核法证学的信心、进一步研究核法证学识别标志、促进国家核法证学资料室的建立并推动国际合作，国际原子能机构启动了下列协调研究项目：

- (a) 2008—2011 年：“应用核法证学打击核及其他放射性材料的非法贩卖活动” [III-1]。
- (b) 2013 年至今：“为发展国家核法证学资料室识别高置信度核法证学识别标志”。

III-9. 更多的信息见国际原子能机构网站上的全部国际原子能机构协调研究项目。²

参考文献

[III-1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of Nuclear Forensics in Combating Illicit Trafficking of Nuclear and Other Radioactive Material, IAEA-TECDOC-1730, IAEA, Vienna (2014) .

² 参见 <http://www-crp.iaea.org>。

术语表

散料分析：对整个样品或样品的一部分进行表征，从而确定所测部分的平均性能。

物证连续保管：通过从收集到最终处置的全过程来跟踪实物证据的处理和存储，来说明实物证据完整性的程序和文件。描述此过程的其他术语还有“证据链”、“实物物证连续保管”和“持有链”。

表征：测定放射性材料及相关证据的性质。

一般特征：一类人或事物共有的属性或特征。

主管部门：一个国家指定执行一项或多项核安保职能的政府组织或机构。
例如，有关机构这一范畴可包括监管机构、执法部门、海关和边境控制机构、情报和安保部门以及健康机构等等。

指定的核法证学实验室：由国家指定的、有能力接受和分析核和/或其他放射性材料样品以进行核法证学检查的实验室。

检查：为了从证据中获取信息以得出有关证据的性质或证据关联性的结论而开展的程序。

个体化：将某一法证学结果或一系列结果具体地与单一来源（例如：某一个人、地方或生产过程）相关联的能力。

国家核法证学资料室：某一国家所生产、使用和储存的核及其他放射性材料相关信息的汇总，该汇总通过行政手段、有组织地实现。

核法证学解释：将样品特征与现有的、有关材料类型、来源及核及其他放射性材料的生产方法或以往涉及到类似材料的案例关联起来的过程。

核法证科学或核法证学：法证学的一门学科，涉及到在法律程序中检查核及其他放射性材料或受放射性核素污染的证据。

放射性年代法：利用材料样品中放射性衰变产物的测量结果，确定子体从母体材料上一次分离后经过的时间（即所测样品中材料的“年龄”）。

放射性犯罪现场：涉及到核或其他放射性材料的犯罪行为，或其他蓄意的未经授权行为发生或疑似发生的犯罪现场。

识别标志：给定样品的某一个或一系列特征，据此可将样品与参考材料进行对比。

痕量元素：样品中平均浓度低于 1000 $\mu\text{g/g}$ 或基质成分 0.1% 的元素。

当地订购

国际原子能机构的定价出版物可从我们的主要经销商或当地主要书商处购买。
未定价出版物应直接向国际原子能机构发订单。

定价出版物订单

请联系您当地的首选供应商或我们的主要经销商：

Eurospan

1 Bedford Row
London WC1R 4BU
United Kingdom

交易订单和查询：

电话：+44 (0) 1235 465576

电子信箱：trade.orders@marston.co.uk

个人订单：

电话：+44 (0) 1235 465577

电子信箱：direct.orders@marston.co.uk

网址：www.eurospanbookstore.com/iaea

欲了解更多信息：

电话：+44 (0) 207 240 0856

电子信箱：info@eurospan.co.uk

网址：www.eurospan.co.uk

定价和未定价出版物的订单均可直接发送至：

Publishing Section
International Atomic Energy Agency
Vienna International Centre
PO Box 100

1400 Vienna, Austria

电话：+43 1 2600 22529 或 22530

电子信箱：sales.publications@iaea.org

网址：https://www.iaea.org/zh/chu-ban-wu

本出版物为国际原子能机构《核安保丛书》第2号《核法证学支持》的修订版；《核法证学支持》于2006年出版，目前已为各国广泛用于发展核法证学能力。本出版物提供了有关以下方面的最新信息：核安保事件的调查、核法证学的法律基础、国家响应计划内的核法证学、检查的启动、基于现有国家能力的核法证学实验室的可用性，以及核与其他放射性材料及受放射性核素污染证据的法证学分析。