

辐射加工中的高剂量测量

国际原子能机构第205号技术报告

原子能出版社

**High-Dose Measurements in Industrial Radiation
Processing**

(Technical Reports Series No. 205)

Report of An Advisory Group Meeting on Standardization and High-Dose Intercomparison for Industrial Processing

Organized by The International Atomic Energy Agency and Held in Vienna, 25—29 September 1978

International Atomic Energy Agency

Vienna, 1981

辐射加工中的高剂量测量

国际原子能机构第205号技术报告

顾俊仁 叶信爱 译

龚德荫 张仲纶 校

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

原子能出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本787×1092 1/32·印张 9 ·字数 200千字

1986年9月北京第一版·1986年9月北京第一次印刷

印数1—1200·统一书号: 15175·759

定价: 1.85元

内 容 简 介

本书是国际原子能机构(IAEA)辐射加工标准化和高剂量比对咨询小组会议的论文集。全书共分五部分：(1)高剂量标准化和比对的意义；(2)IAEA高剂量测量的标准化和比对计划；(3)会议上宣读的论文(介绍了1977年国际高剂量比对的结果和评价，各国在高剂量测量方面的经验和今后的展望等)；(4)对1978年全面比对结果的评述；(5)咨询小组对今后发展高剂量测量技术的建议。

本书可供从事研究电离辐射在工业、农业、食品保藏、医学、生物学、化学、生物化学、三废治理等方面应用的科技工作者，辐射加工工厂的操作人员和质量控制人员，辐照商品质量监督、推荐或批准使用等机构的有关人员，以及大专院校有关专业师生参考。

前 言

本出版物是1978年9月25日至29日于维也纳召开的国际原子能机构工业辐射加工标准化和高剂量比对咨询小组会议的论文集。那时人们就已认识到，制订出一个高剂量测量标准化和比对计划是客观上的迫切需要。本论文集的第二部分概要地介绍了制订这一计划的背景和目的，以及国际原子能机构的作用，并介绍了这一计划本身的进展情况。文集的第三部分全文翻印了在这次咨询小组会议上宣读的研究论文，这样也就给出了对全面比对结果的评论，并成为这次会议期间所讨论的中心议题之一，而专家组成员的建议就作为本文集的结束语。

个别论文所表明观点只能代表论文作者自己的观点，而咨询小组报告提出的那些建议则反映了多数与会者的意见。

目 录

一、绪论	(1)
二、IAEA 高剂量测量的标准化和比对计划	(3)
I. 历史	(3)
II. IAEA 的作用	(4)
III. 标准化和比对计划的目标	(4)
三、科研工作论文	(7)
I. 高剂量的标准化和比对	
为辐射加工提供吸收剂量的国家标准——	
英国国家物理实验室的作用	(7)
高剂量测量的国家标准化计划	(21)
对1977年举行的初步比对的结果的一些看法	(42)
II. 在辐射加工装置中测量剂量的经验	
对于在工业中应用辐射时测量剂量的	
几点意见	(62)
电离辐射应用和培训中心所用的 γ 和电子束辐	
照剂量测量技术	(71)
高剂量辐照装置中的一些剂量测量问题	(82)
在匈牙利高放辐照装置中测量剂量的统一控制法	(98)
在工厂投产运行中使用塑料和化学剂量计时所	
遇到的问题	(119)
III. 剂量测量系统的发展和评价	
对常规使用的几种高量程剂量测量系统的	
评价	(125)
对辐射变色染料薄膜和其它塑料剂量计在辐射	

加工条件下使用时的评价.....	(147)
一种用于高剂量测量的实用的与机体组织等效 的丙氨酸剂量计.....	(171)
用于测量高剂量的晶溶发光剂量测量法的发展...	(187)
四、对1978年全面比对结果的评述.....	(220)
I. 引言	(220)
II. 结果.....	(222)
III. 比对结果汇总表.....	(230)
IV. 对辐照条件和被评定剂量计的概要说明.....	(253)
五、建议.....	(271)

一、绪 论

在辐射加工工业中大型辐射源的应用，目前正以平均每年递增20%左右的速度增长着。电离辐射已得到了广泛的应用，它为人们提供了更为安全可靠的消毒过的医疗用品和大量其它日用品。人们可用电离辐射来减少因虫害和微生物造成的食物损失，以帮助解决这个世界上挨饿人群的食物问题，所以，目前人们再次对食品的辐照处理产生了兴趣。一项非常有前途的最新发展起来的辐射应用项目是固体和液体废物的辐射消毒。

在这些辐射加工中有许多种加工会影响到千百万辐射加工产品使用者的健康和安全，因此，这些受辐照的产品应按照规定使用这些产品的有关部门所规定的条例正确地进行照射至关重要。无论是在开发辐射加工工艺和使之投入实际应用中，还是在商业性辐照装置的常规运行中，确定某种产品是否受到了正确加工的最好的检验方式是进行准确的辐射剂量测量。

有几个国际原子能机构（IAEA）的成员国在该机构的赞助和支持下，最近很快就要获得一座大型的辐照装置。建立这种装置的主要目的是，为了以工业规模的水平来推广应用这些对满足人类需要具有十分重要意义的辐射工艺的最新成就。IAEA有几个部门早就在从事着执行食品贮藏、医疗用品的消毒以及在生物学、化学、农业和工业中的辐射应用实施计划方面的工作。但迄今为止，在这样一些和平利用原子能方面如此重要的领域中，使用大型辐射源的剂量测量标

准化工作却没有协调一致的国际性的行动。不过, IAEA 剂量测量部在医疗和保健的低剂量应用方面(吸收剂量小于等于 10Gy), 对辐射测量的标准化是早就有了丰富的经验, 因此剂量测量部理应扩大其职能范围, 开展高剂量($>10\text{Gy}$) 的比对工作, 为全世界的辐照装置的操作者和条例的制订机构提供可靠的剂量测量方法。

二、IAEA高剂量测量的 标准化和比对计划

I. 历 史

1977年2月，IAEA剂量测量部关于工业辐射加工中高剂量测量标准化和比对的提案获得了批准，并任命了J. W. Nam为此项计划的负责人。在许多国家，早就用高剂量辐射装置来消毒医疗用品，以及研究辐射保藏食品和固体、液体废物的处理。在30个IAEA成员国中调查了57个使用高剂量辐射装置的机构，表明他们对制订高剂量测量的标准化和比对计划是非常支持的，并且很感兴趣。

1977年4月举行了一次协商会议，会议立即建议在钴-60 γ 射线初步比对中采用五种众所公认的不同的剂量测量系统，以便为今后的比对选出最合适的剂量测量系统。这次会议还建议，IAEA应当赞助那些以适于邮寄比对的新的剂量计系统的研制为目的的研究计划，以及那些对强电子束的剂量测量有用的研究计划。

1977年8月，全世界有九个不同的实验室参加了辐照各种不同剂量计系统的最早的一次比对工作，并在1977年11月又举行了一次协商会议，评价了这次初步比对的结果。1977年IAEA签订了三个研究合同，并商讨了五个研究协议。

1978年3月举行了一次小型的专家会议，为当年7月进行的全面比对工作制订了计划，并为当年9月举行的咨询小组会议的议事日程作了安排，而那次咨询小组会议的记录就

成了本技术报告的内容。

II. IAEA的作用

为了适应辐射加工方面飞速增长的需要，可以期望，通过国际度量衡局的斡旋，终将会做出一些正式安排来进行高剂量水平的辐射剂量初级标准的比对。这样，我们将得到一个在初级标准水平上建立起来的统一性的国际测量系统的基准，并且可以传递下去，在国家或地区基准的水平上进行现场测量。

但是，目前迫切需要的是，利用一种在精度、抗环境干扰、稳定性和可运输性等各项功能都很好的剂量测量系统来开发并进行（对用户参考剂量计进行标定的）参照服务。在不久的将来，这种参照服务应能提供一种方法，在全世界范围基准的水平上来检定辐射加工装置运行中剂量测量的一致性。

IAEA 的作用是：在初步和全面高剂量比对中所获得的经验的基础上，开展上述那样的参考剂量计的标定服务，并使各成员国都能获得这种帮助。

III. 标准化和比对计划的目标

IAEA 高剂量标准化和比对计划的目标是：研制出一系列可邮寄给全世界辐射加工装置操作者的剂量计系统，使之置于装置加工的产品中进行现场测量，平行地同装置操作者自身所持有的剂量计系统一起使用。再通过测量这些邮寄剂量计的一个中心读数实验室，给出在正常运行条件下辐射加

工装置产品中辐射吸收剂量的评定值，从而使装置操作者能把这种评定值同他用自己剂量计系统测得的剂量估计值进行比较。通过这种方式，装置的操作者就能获得可靠的剂量值，并能证实装置是否是正常运行，而装置的管理部門也就确信这种辐射加工过的产品是安全的，从而将促进辐射加工产品的国际贸易。所以这项计划被制订为使辐射加工得以投入实际使用的一个组成部分。在获得剂量保证的情况下，辐照装置操作者不仅可以正确地操作和标定他自己的剂量系统，而且可使他们相信其剂量系统在辐照装置中使用时是正确的。这一过程非常重要，正如经验所表明的，因为一种剂量仪表标定时的响应值与在装置中高剂量条件下实际使用时的响应值之间会有相当大的差异。

辐射加工中常用辐射源的类型有两种：一种为大型商用放射性核素 γ 辐照器，另一种为电子加速器。人们终究会研制出一系列的剂量计系统用在 γ 射线和电子束辐照装置的剂量测量中的。在执行这一计划的初始阶段，重点是开展对放射性核素 γ 辐照室的剂量比对服务工作。

我们规定的三种不同剂量测量范围为：

“低”剂量范围：10Gy—3kGy (1krad—300krad)

“中”剂量范围：1kGy—10kGy (100krad—1Mrad)

“高”剂量范围：5kGy—100kGy (500krad—10Mrad)

“低”剂量范围内的剂量适用于抑制洋葱和马铃薯的发芽、杀灭谷虫，以及延长几种食品在商店货架上的寿命。

“中”剂量范围内的剂量适用于对肉鸡那样的食品进行巴氏杀菌，以及对固体和液体废物作消毒处理。“高”剂量范围

内的剂量，适用于对食物和医疗用品的消毒，以及塑料改性的各种处理。

在“中”剂量范围内选用了五种剂量计系统，这是因为据说它们对环境变化是不敏感的，并且在辐照前后相当长一段时间内性能稳定，因此在剂量计的发放、辐照和读数之间允许有较长的时间间隔。所选用的五种剂量计系统为：硼酸锂热释光剂量计；D-丙氨酸电子自旋共振法（ESR）；测量光吸收的辐射变色染料薄膜剂量计；硫酸铈-高铈溶液电位测定法；氯苯乙醇溶液高频示波测量法。经过初步比对后，摒弃了硼酸锂系统和硫酸铈-高铈溶液系统。

在“高”剂量范围内选用的四种剂量计系统是：D-丙氨酸电子自旋共振法；测量光吸收的辐射变色染料薄膜；硫酸铈-高铈溶液电位测定法；氯苯乙醇溶液高频示波测量法。

为了研制新的剂量计系统，特别是为了用于“低”剂量范围和强电子束的测量中，已经推荐了一项研究计划，目前重点分别放在热释光和辐射变色染料薄膜上，但对其它系统也在审定。

为了避免出现任何形式的误解，也许在这里说清楚哪些并非是这项标准化和比对计划的目标是合适的。这项计划并不为高剂量吸收剂量的测量提供任何形式的初级标准；该计划并不为辐照装置操作人员提供服务性的剂量标定；该计划也并不为辐射加工装置研制出一、二种通用的常规剂量计系统。

三、科研论文

I. 高剂量的标准化和比对

为辐射加工提供吸收剂量的国家标准

——英国国家物理实验室的作用

S. C. Ellis

摘 要

文中对英国和国际标准化系统作了审评，尤其是对应用 $^{60}\text{Co}\gamma$ 光子和电子束辐射加工中所要求的测量高吸收剂量的标准化问题作了讨论。文章结合剂量的传递和比对方法讨论了制订初级标准的必要性，特别是致力于研究把较低剂量水平用的标准外推（到高剂量水平）的可能性。文章概要地介绍了英国国家物理实验室（NPL）在标准方面的现状以及今后的规划。

1. 国家和国际的测量系统

作为一个研究标准的国家实验室，它有三方面的任务：

- （1）为某一特定领域提供一种统一的国家级测量系统；
- （2）使上述这种测量系统同其它国家正在使用的那类系统相协调；
- （3）提供重要的标定服务。

第一项任务

彻底实现第一项任务，是提供一套以国际制单位表示数量的初级标准来满足某一特定领域全部测量的要求。在使用和控制电离辐射的过程中，要求能测量范围非常广的辐射类型、性质、强度或剂量率。目前还没有能直接满足每一个领域测量要求的初级标准。有些量须用理论的或是经验的转换因子从其它量中导出，在其它一些场合下还必须在辐射水平上进行外推。不管是采用哪种方式，其目的应是保证能获得相互一致的测量，例如要保证辐射防护中用的“戈瑞”在数值上不能同辐射加工用的戈瑞不等，也不能与给予吸收剂量的那种特定的辐射有关。

第二项任务

鉴于科学上的交流和贸易上的需要，所以要从全球的角度出发对实现第二项任务进行同样的考虑。进而言之，比较各种建于不同实验方法基础上独立导出的标准，对鉴别和消除由于系统上的原因造成的误差也是有价值的。有几个国际组织在帮助进行这种比较。正式的国际度量衡组织要追溯到100多年前的米制会议 (Metre Convention)，它除了已发展成若干协调性的机构之外，现已发展成为国际度量衡局 [the International Bureau of Weights and Measures (BIPM)] 和若干咨询委员会，以协调某些特殊领域中的国际性工作，电离辐射就是其中的一个领域。BIPM 在巴黎拥有辐射装置和标准器，因此它为一些国家级实验室研究特别的基本标准（或称初级标准）提供了进行直接比较的手段。以前所作的几次比对总结已送交较早的 IAEA 专家小组会议了^[1]。被比较的剂量测量的量为照射量，是用工作在医疗级水平的剂量率标准来完成的。所得测值的相对误差在1%以内，但似应指出，这不能理解为用这样一个级别的准确度

来对照射量进行绝对测量，因为这里对包含某些物理常数在内的一些量按照通常的惯例作了标准化的修正。就在最近，发现与先前的估计相反，验明了使用量热法传递标准是可行的，并在 BIPM 已开始了吸收剂量标准的比对^[2]。以最先进的水平作这项工作对开展精确的测量实践是必要的，也是需要时间做的。尽管在这个领域内有待进行的工作仍然是包括标准及其传递环节在内的测量工作，或者说要在地域上非常辽阔的范围内进行标准及其传递的测量工作，但像 IAEA 和世界卫生组织 (WHO) 这样的机构，通过组织包括现场测量在内的各种不同级别的比对，是能够以世界最先进的水平在检定测量的一致性方面作出重大贡献的。

第三项任务

为把这方面的测量工作同研究标准的第三项任务联系起来，一定要有一种适于标定用的或传递用的系统。当一个地区具有大量现场测量仪表时，采用分级传递制度是有利的；在这种制度中，某种具有最佳的性能和稳定性的仪表或系统，经过标定作为次级标准，然后再用以标定现场用仪表。在辐射加工中，高剂量的测量主要依赖于无源累积剂量计；在这种剂量计中吸收剂量的效应是与某种特定物质或材料的某些可测性质的变化相关联的。在这种情况下，可望有两条途径供我们选择：一条是把参考系统置于传递环节中；另一条是把一批特定的常规剂量测量用物质直接同国家级标准相比较。这些可供选择的途径示于图1。

2. 测量要求

在很多活动领域内，反应堆工艺学、加速器工艺学、防御上以及工业辐射加工等许多领域，都需要测量大于 1kGy

(100krad) 的高水平的吸收剂量。在辐射加工中，保证测量准确度和标准可追溯性的原则要求是由医疗用品的消毒和

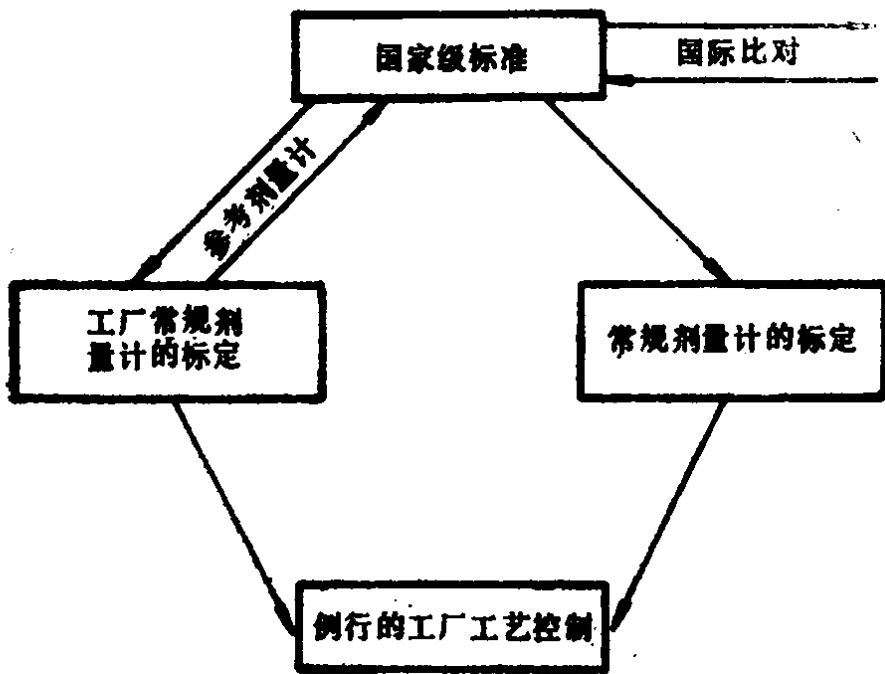


图1 标定剂量计的可选途径

食品的处理两个方面提出的。在这两种辐射加工中，不合格的加工，会对人们的健康产生潜在的影响，必须遵守按规定的剂量限值制订的法规或条例。可能需要测量的最大剂量高达50kGy (5Mrad) 。

辐射加工中的主要辐射源 为钴-60 和加速器的电子束，而其它像铯-137和轫致辐射X射线那样的光子源目前使用得还是很有限的。在钴-60 辐照室 中，剂量率的大小取决于源的装载量和在辐照室中的具体位置，典型的 最大剂量率为10—20kGy·h⁻¹ (1—2Mrad·h⁻¹) 。为了经济地 使用辐射源，需要使产品尽可能多地吸收辐射能，而产品是在随着离源距离的变化而变化的光子源能谱下接受照射的。对加速器

电子束来说，受照产品可能会发生核激活反应的能量上限值定为10MeV。如果使用能量很低的电子束，电子的有限的射程就将限定产品的厚度。对包装好的材料来说，电子入射能量的可用下限大约为4MeV。电子加速器产生的剂量率是很高的，如可达到 $10^8 \text{ Gy} \cdot \text{s}^{-1}$ ，并且电子束脉冲实际上可产生更高的瞬时剂量率。如同采用光子源时那样，有效地利用电子束的能量将要求产品在可度量的容许剂量分布下最大限度地吸收电子束的能量。因此就需要在必然会形成的能谱软化条件下来进行剂量测量。

吸收剂量这个量并不表征某一辐射场，而是表征辐射场同某一种特定物质的相互作用的。由于采用用户所需的量来传递测量标准是一种切合实际的做法，因此确认一种辐射加工最感兴趣的材料是有必要的。消毒的效果取决于沉积在细胞物质（碳水化合物、蛋白质和水，原子组成为C、H、O、N）内使微生物失活的能量的多寡。因此，通过与光子和电子的相互作用而沉积在这种物质内的能量，在人们感兴趣的能谱条件下是可用水相当好地近似的。

在医疗用品的情况下，致污染微生物最可能存在的地方，是在这类医疗用品及其包装物表面上极薄的一层内，因此沉积在这些微生物内的相当大的一部分能量是由产生在这种散装的物质内的次级电子给予的。幸运的是，这些物质大部分都是有机物，是由一些低原子序数的物质组成的，而且同水接近于等效。这些讨论同样适用于食品。因此，在考虑到采用一种成分非常清楚而组成又保持不变的物质有利于参照的要求后，选用水作为吸收剂量标准的特定的参考物质似乎是合理的。

归结起来，我们认为首要的是，要以目前使用的辐射源