

欧洲共同体委员会
法国原子能委员会

辐射防护最优化

经验和方法

A. 奥迪兹 G. 尤·赞·恩 主编
H. 埃伯特 H. 埃里斯卡特

原子能出版社

译 者 的 话

随着核动力事业、放射性同位素应用和辐射技术应用的发展,辐射防护越来越受到人们的关注。国际放射防护委员会第26号出版物提出了辐射防护评价的三条标准:(1)合理性,(2)最优化,(3)剂量限制体系。其中,最优化的提出改变了辐射防护评价中的“定性的”观点,建立了经济的、定量的观点。现在,最优化原则已成为辐射防护的基本原则之一。核技术应用较为发展的国家对此进行了大量的理论工作和实验工作。

1979年在卢森堡召开的“辐射防护最优化”专题讨论会集中反映了这些国家在这一领域已取得的成果。会后出版的论文集不但收集了各国代表提出的论文,而且较详细地收录了代表们在圆桌讨论会上的发言,因此是一本了解世界发展水平,开展辐射防护最优化工作的较好参考书。

为了适应我国核技术应用发展对辐射防护提出的新要求,我们翻译了这本书,希望本书的出版对我国辐射防护最优化工作的开展和关于辐射防护的决策能有所帮助。

在翻译的过程中,译者曾就一些疑难问题请教了安徽医学院李树德教授,李教授不顾年高体弱,在教学和科研工作繁忙的情况下,花了不少心血,为我们解决了大量文字和专业问题,并对多处译文作了具体修改,提高了译文质量。最后我们特请核工业部情报所袁良本同志对译者不曾察觉的疏漏、错误作了全面校订。在此,谨向他们表示衷心的感谢。

由于译者水平有限,错误和不妥之处仍会存在,恳切希望读者给予指正。

译者

前 言

随着核能和平利用的发展，对公众和工作人员的辐射防护越来越重要。所以，辐射防护的法律和行政规定需要不断改进以保证它们是最新的和有效的，必要时还得进行补充，以跟上科学研究的最新发展；这也适用于欧洲原子能联营为防止电离辐射对公众和工作人员的危害而制定基本安全标准所作的指示。该标准在1959年第一次由部长理事会(Council of Ministers)采用，以后在1962、1966、1976年以及最近在1980年都进行过修订。因为欧洲原子能联营的指示基本上是以国际放射防护委员会(ICRP)的科学建议为基础的，所以在直接编入法定条款时这些建议并不是必然合适的。欧洲原子能联营基本标准的最新审定还考虑了ICRP第26号出版物的建议；在这个出版物推荐的剂量限制体系中特别重要的是着眼于辐射防护的最优化；就使用的最优化机制来说，它是使个人受照量确保在可合理做到的尽可能低的水平而被推荐的。

在那些对防护负责的人员和采用这些方法的专门人员之间先得有详细的讨论。可以看到，根据欧洲原子能联营-法国原子能委员会的协作合同，正在着手解决一些方法学问题。

为了提出和讨论想到的各种方法学手段，欧洲共同体委员会会同法国原子能委员会发起在1979年10月3~5日于卢森堡举行了一次科学讨论会。

这个出版物包括了讨论会上发表的报告和所有的讨论：它对科学地了解辐射防护最优化的重要性是一个重要的贡献，并是负责辐射防护的任何人的一本有用参考文献。

我们希望借此机会向帮助这次会议取得成功的所有各位致谢。

P. Recht F. Van Hoeck H. Jammet

开 幕 词

欧洲共同体委员会 H. Eriskat 博士

我荣幸地代表欧洲共同体委员会宣布这次讨论会开幕。我们衷心地欢迎共同体各成员国的官方代表以及来自共同体、第三世界国家和国际机构的各位专家。这次科学讨论会是由委员会（由两位总干事，即研究、科学和教育总干事及就业和社会事务总干事代表）会同设在封特耐欧罗兹的法国原子能委员会防护部联合召开的。

这次会议的宗旨是增进在辐射防护最优化的方法和问题方面的资料和知识的相互交流，我们希望这次会议将得出某些重要的结果。大家都知道，最优化连同剂量限制和正当性判断原则一道已经逐渐成为辐射防护的指导原则。首先，国际放射防护委员会（ICRP）对发展这个概念方面已经作出了重大贡献，特别反映在 ICRP 第 6、9、22 和 26 号出版物中。但是，我们都知道，这些原则仍然太抽象，直到现在，很多与最优化有关的决策很大程度上是建立在实际的或直观的基础上，而不是建立在精确计算的基础上。

对于委员会本身，这次讨论会是特别有意义的，因为大家几乎都知道，委员会在辐射防护领域内已经拥有相当大的权限。欧洲原子能联营条约授予它不仅决定有关工作人员和居民个人辐射防护方面的各种统一的安全标准，而且确保它们在成员国中的应用。但是这也意味着委员会必须保证欧洲

原子能联营的基本标准所规定的辐射防护原则和数值能够在共同体各个成员国的国家立法方面毫无困难地实施，尽管这些国家在法制和行政体制上有差别。因为委员会正在按照ICRP最近的建议书(ICRP第26号出版物)对1959年第一次规定的欧洲原子能联营基本标准进行修改，所以这次欧洲讨论会是非常重要的。

如从议事日程中所看到的，我们将集中于以下几点：一方面讨论最优化原则在各成员国、美国和瑞典实际应用中所获得的经验，另一方面是关于所用的方法问题。这些问题是法国原子能委员会(C.E.A.)和欧洲共同体委员会(EC-Commission)缔结的一项重要协作合同的内容。我们认为在这次讨论会上来讨论现时已经取得的一些结果将是一个好主意。

此外，在辐射防护和生物学领域中的长期研究计划方面，委员会同一些国家主管当局和研究所合作，开展着大量的活动，这些机构都直接关系到欧洲原子能联营的各种基本标准以及它们的现代化。

我希望全体与会者寄予这次讨论会的期望将能得到满足。

目 录

开幕词	(vi)
欧洲原子能联营与法国原子能委员会防护部协作合 同的总目标和研究规划	(1)
关于讨论会日程的说明	(4)

第一回会议 最优化方法中的经验

最优化——理论和实践	
US-40CFR190 研究情况	(9)
“.....可合理做到的尽可能低.....”	(28)

第二回会议 涉及最优化技术的方法学研究

某些决策辅助方法的评论	(51)
损害的估价	(69)
最优化的代价利益分析的意义	(80)
辐射防护最优化和数据的可变性：一种通用模 式和对压水堆流出物的应用	(90)
核设施辐射防护领域中最优化方法的应用	(104)
应用多属性分析于压水堆燃料循环放射性释放 的最优化	(149)

第三回会议 在制定决策组织中最优化方法的实施

瑞典核电站放射性物质释放限值规定背后的政 策考虑	(171)
-----------------------------------	---------

把最优化过程引入到实际决策过程中去的各种 有关问题圆桌讨论会	(191)
---	-------

第四回会议 各种发电系统所致 健康效应的比较

各种发电系统所致健康效应的比较：北美工作 进展的摘要和某些结果	(215)
能源链健康效应的比较——方法学问题和法国 的数据	(269)
公众对各种能源系统危险的认识	(285)

欧洲原子能联营与法国原子能委员会 防护部(EURATOM/CEA-DPr) 协作合同的总目标和研究规划

EURATOM/CEA-DPr联合研究组主任
G. Uzzan

以辐射防护一般性研究的共同规划的形式，欧洲原子能联营和法国原子能委员会（防护部）缔结了一项长期协作合同（1976~1980年），并以法国封特耐欧罗兹核研究中心为基础，委托一个 EURATOM/CEA 混合组在以下三个方面进行研究：

1. 在正常运行过程中和在各种事故释放情况下个人和集体剂量的评价方法；
2. 对人的辐射损害的评价方法；
3. 导致辐射防护最优化或辐射防护选择的合理化的决策方法。

这样，规划的主要目标是根据 ICRP 推荐的一般观点，提出群体受照后果的评价方法，并制定详细的实施规程，特别是关于集体剂量、最优化和辐照正当性判断等新概念的引入。

这些总目标几乎包括了辐射防护的全部领域，研究工作的第一步仅涉及某些特定问题的实际的、范围较小的目标。

例如，个人剂量评价方法的第一步是划出欧洲地区的网格，把它分成许多每边为100km的小格，汇总对这些小格作出评价所必需的数据：收集这些资料就需要在中等距离的范围内作出放射性污物的大气扩散模式，消费品的销售和流通的模式，人口分布模式，等等。

这些目标的达到并结合考虑不同核电站的实际地理位置和释放出的流出物的定性和定量成分，就可以导出在欧洲范围的个人和集体剂量的评价。这个评价采用了适合于欧洲环境的科学和技术数据，特别是食物链中污染的转移参数。

就人体辐射损害的评价方法来说，主要目标是增加在低剂量情况下剂量-效应关系的知识。

以下四方面的研究有助于达到这一目标：

1. 现有文献资料的调研和鉴定分析；
2. 实验研究（防护部的病理实验和毒理学研究）；
3. 理论上的综合研究和动物实验的模型化（这些研究是同牛津大学紧密合作下进行的）；
4. 流行病学的研究，它构成一个非常重要的部分，并是增加有关辐射损害知识的不可缺少的补充。

最后，从确定了的方法出发，评价人体所受的剂量，并且评价这些剂量所致的辐射损害，接下来的任务就是分析帮助决策的方法，要考虑到ICRP的关于辐射防护最优化程序的这一原则的实施。

换句话说，对一个给定的电站，考虑到经济和社会因素之后，寻求可合理做到的尽可能低的剂量水平（ALARA水平）。

这种最优化程序的依据是在下列两个方面之间进行比较，一方面是由于降低有关人群所受的照射，亦即是降低这

些人群所受的辐射损害水平，而预期获得的利益，另一方面是这种降低所花费的代价。

这就很清楚，这种程序需要关于防护的代价和辐射损害的代价的数据，后者则依靠人·雷姆的货币评价。

主要的困难是，如果说传统的经济学方法允许计算出防护代价，那么这种方法用来计算辐射损害的代价是很难想象的。评价这个代价需要精心创造适合于这样一个社会经济问题的方法，而不能归结为探求人的生命的代价，这种方法如果不是慎重使用，就很容易受到指摘。

这次讨论会的主要目标是涉及最优化程序的使用，它是以决策研究为基础，包括仔细讨论所研究的问题的不同方面，以便证明方法学的选择是恰当的。

从这种观点看来，这次讨论会给了我们一个机会来展示已经研究过的各种方法的初步成果。

它也允许我们展示出在EURATOM/CEA-DPr 协作合同的范围内以及由法国核防护评价研究中心（CEPN）进行的若干方法学研究。我们预料讨论会提出的内容将在决策者和欧洲辐射防护主管当局，以及使用决策方法的一些专业人员中间引起广泛的辩论。

关于讨论会日程的说明

EURATOM/CEA-DPr协作组 A.Oudiz

国际放射防护委员会 (ICRP) 的新建议强调今后改进辐射防护方法的重要性。迄今为止, 这些方法的依据主要是最大限度地减少公众和工作人员可能接受的剂量。因此, 曾经应用了“尽可能低”的原则。然而今后必须考虑各种辐射防护决策的经济和社会的反响。在考虑了经济和社会因素之后必须将危险度减少到尽可能低的水平, 也就是讲英语的国家所谓“可合理做到的尽可能低”(ALARA) 的水平。

因此, 所需要的是防护方案的选择的某种合理化。

这样一种合理化必须使得在经济和健康之间有可能达到满意的平衡。为了便于做到这一点, 可以使用各种辅助决策的技术, 特别是由 ICRP 引用的代价利益分析。

作为辐射防护最优化规划的一部分, EURATOM/CEA 协作组与核防护评价研究中心协作在实验基础上已经开始采用某些辅助决策的技术。组织这次讨论会的目的之一是总结一下这项工作。更广泛地说, 讨论会将提供一个机会来评论国际范围内的各种方法的经验。

开始, 我们将审议已经在实际中应用的最优化事例, 这也是第一回会议的目标。关于这一点, 美国提供给我们分别由环境保护局 (EPA) 和核管理委员会 (NRC) 发展的两个例子。第一个例子是代价-效能方法, 用来帮助建立轻水

堆燃料循环正常运行的防护标准。Rowe 先生将讲这个内容。

第二个例子是代价利益方法，用于决定轻水堆排出废物的“ALARA”水平。Baker 先生将详细地描述这个方法。

这两个例子是在七十年代早期发展起来的，而且据我们所知，是在放射领域中实际应用辅助决策技术的第一批例子。

已经取得经验的第二种形式的方法是一些探索性研究。这将是第二回会议的主题。

Clark 和 Fleishman 先生将论述英国国家放射防护局 (NRPB) 为了改进代价利益分析的应用而进行的一项工作。Bonka 先生将报道德意志联邦共和国 Westfälische 大学进行的研究。这些研究尤其针对与后处理厂废物处理的最优化有关的代价利益分析的应用。

在第二回会议中还将介绍 EURATOM/CEA 协作组以及 CEPN 进行的工作。

第一部分演讲将概括地给出代价利益和多属性方法的原理以及效用函数法。第二部分演讲将论证关于在防护选择合理化方面灵敏度分析的意义。第三部分演讲将论述为了选择防护方案而使用的多属性技术的程序。

在这一回会议中我们没有试图详尽无遗地叙述共同体进行的所有工作，而宁愿限制演讲的次数，以便有更多的讨论时间。

防护方案选择的合理化不仅仅引出方法学问题。在这方面必须强调的一点是，决策辅助技术的研究准备工作不能同获得可靠的技术和经济数据分隔开来。应用某一技术的方式在很大程度上取决于这种技术应用于什么样的数据。此外，

所涉及的决策辅助的目标将影响这个方法的选择和应用。这就是为什么我们认为把第三回会议的大部分时间用于圆桌会议是有益的。在圆桌会议上，辐射防护技术的专门小组和负责辐射防护的专家们将有可能讨论这些问题。而且，圆桌会议将提供一个机会来讨论在今后的日子里如何把决策辅助技术包括在实际的决策制定过程中，这是一个迫切要求解决的重要问题。

在这方面，Lindell先生将报告瑞典的经验，这篇讲演将对圆桌会议包括的各种议题起着引导作用。

在辐射防护领域中应用决策辅助技术，将使人们有可能确定公众和工作人员的“ALARA”危险水平，特别在核电领域更是这样。

把这些危险水平和其它发电方式（如煤、石油）所伴有的危险水平进行比较，是有意义的。当然，关于在不同电能生产领域中的防护限界代价资料也是一个非常重要的比较因素。防护限界代价是所安装的最后一项防护设施的代价，用所避免的效应来表示。若干国家特别是在协作组内，在这个领域进行着研究，但是因为他们取得的进展还不够大，似乎只能在每个领域中表示出剩余的危险水平。

第四回也是最后一回的会议将主 提出剩余危险方面的某些比较研究。Hamilton 先生将报告北美在这方面进行的工作。这类型研究中的方法学问题将由CEPN的Fagnani先生提出。最后，在讨论会的末尾主要讨论危险度管理的问题，考察一下与公众对这种危险度的看法有关的一些问题，将是有益的。国际原子能机构-国际应用系统分析研究所（IAEA-IIASA）的Niehaus先生将报告他的小组在这方面的

第一回会议

最优化方法中的经验

最优化—理论和实践

US-40CFR190研究情况

美国大学危险度分析研究所 W.D. Rowe

国际放射防护委员会(ICRP)提出的最优化包括对集体剂量和集体剂量负担确定辐射防护的限界代价,并且对一人·希沃特的价值作出价值判断。当限界代价太高以致不值得进一步引进控制时,就有必要判断一人·希沃特的价值。此外,当个人在很长一段时间内持续受照时,对于所有不相等的可控制的辐射源必须给以同一的剂量当量限值。

美国环境保护局(EPA)关于铀燃料循环的环境辐射标准(即美国联邦法规 40CFR190)的大部分工作都在 ICRP 第26号出版物发表之前作出的,但是标准的沿革和发展都受到 ICRP 工作的影响,反之亦然。40CFR190 最有意义的方面或许是它在历史上和政治上的发展,特别是最优化概念如何变成技术和政治方面的轰动一时的争论对象。

历史的剖析

首先我翻到本报告的末尾。表1是1977年1月生效的标准的摘要,包括个人剂量限值和长寿命放射性核素特别是氪-85、碘-129和超铀元素限值两个部分。碳-14和氚没有包括在标准之内,因为在标准颁布时发展危险度估价或控制代价都利用了不适当的资料。为使标准现代化,对后面这些核素的控制现正在考虑中;但是因为目前美国没有进行后处理,这个努力处于相对较低的优先地位。标准的某些部分在