



国外辐射防护

辽宁省劳动保护科学研究所

国外辐射防护

马全英
周文强

编译

辽宁省劳动保护科学研究所

1984. 11. 沈阳

前 言

随着原子能应用的发展，对于操作人员和公众的辐射防护就极为重要，有关防辐射法规应依据最新的科学知识不断地完善。为此，我们根据 CCE CEA “Optimisation de la protection radiologique” 一书编译了《国外辐射防护》这本内部参考资料。

本资料囊括欧洲共同体委员会与法国原子能委员会1979年10月卢森堡科学讨论会期间美国、法国、西德、瑞典、奥地利和英国等国家关于辐射防护的学术报告和论文。全文根据国际放射防护委员会（CIPR）第26号出版物的最新建议，阐述了辐射防护最优化这一新的科学概念，即进行代价与利益的分析，选择最合适的代价以取得最合理的效果，达到合理的降低剂量。全文从理论与方法上论述了在权衡利用辐射的某种实践所得到的利益超过付出代价的基础上，使一切照射应当保持在可以合理达到的最低水平。

《国外辐射防护》是石油、化工、矿业、水电、冶金、医学、环境保护、劳动保护、工业锅炉、科研、大专院校有关专业、核工业部系统的最佳参考书。

本资料编译过程中，承蒙东北工学院辛洪波同志，中国科学院沈阳自动化研究所刘奇同志以及我所有关同志的大力

协助，尤其是辽宁省劳动卫生研究所孔宪海同志利用业余时间对全文进行了专业技术方面的审核，在此谨致谢意。

由于我们水平有限，难免存在不足之处，恳请读者提出宝贵意见。

编译组

目 录

最优化——US40CFR190 理论与实践.....	1
能够合理达到的最低水平.....	24
评几种有助于决策的方法.....	44
对伤害的货币估算.....	64
代价——利益分析用于最优化的含意.....	77
辐射防护最优化和数据的变化.....	85
核装置中辐射防护最优化方法的应用.....	100
为使压水堆燃料循环的废物最优化,应用多标准分析法.....	145
关于瑞典限制核电站放射性物质的废物条例中的政策评述.....	167
关于不同发电系统的生物效应比较.....	185
能源作业系统生物效应的比较,方法论的问题和法国的数据.....	245
公众舆论对不同类型产能系统危险的认识.....	265

最优化——US40CFR190理论与实践

W.D. 罗

美国危险分析研究院 事务行政管理所

正如国际放射防护委员会 (CIPR) 所指出的那样, 最优化包括确定辐射防护的边际费用, 不但与集体剂量当量有关, 而且与其约定值以及人——西弗 (Sievert) 值的数值判断有关。这种判断有必要估算超过边际费用的部分和扩大某种防护不再得到承认的部分。另外, 当个体照射长期继续的时候, 对各种能够进行控制的放射源必须规定剂量限值。

美国环境保护机构 (EPA) 对于有关轻水堆循环的环境标准 (美国法律40CFR190部分) 所进行的大部工作已先于国际放射防护委员会第26号出版物, 然而, 标准的沿革与修定要先得到国际放射防护委员会的努力, 反之亦然。40CFR190最有意义的观点可能就是其历史的和政策的估价; 特别是最优化的概念, 无论是技术上的努力还是政策上的努力, 是如何成为主要的“著名理由”的。

沿 革

表1概括了1977年1月生效的标准。该表包括两部分: 个体剂量限值和长寿命的放射性元素的限值, 尤其是氦—

85、碘-129、和超铀元素。碳-14和氚不在本标准之内，因为，在颁发该标准时，还没有掌握足够的数据来预先估算危险度和防护费用。适用于这些元素的防护措施目前正在研究，并将对本标准进行修定。但是，美国目前没有进行任何加工作业，这种努力受益甚少。本标准的某些部分还要在几年后才能生效，因为从核管理委员会 (N.R.C) 方面，这些部分的使用还需要起草能达到标准的新规定。

导致起草标准的政策压力在沿革中起决定的作用。恰在我从事该项工作之前，于1960年又出现了这些政策压力。由于公共舆论对电离辐射怀有的恐惧，艾森豪威尔总统创立了联邦辐射委员会。(FRC) (1)。属于该委员会的头等大事便是对于有关原子弹大气爆炸落下灰的公众忧虑给以答复。该委员会就是这样向联邦辐射指导 (FRG) 建议的 (2)，直到现在仍然生效。关于个体剂量的一系列数字指示示出了对于个体认为可以忽略的 (或者至少是可接受的) 危险水平，无论辐射的原因是什么。这些数字指示还应附加两项其它的重要说明：

(1) 各种照射应把公益作用作为起点。

(2) 照射危险应“在可能的范围内”，恰在数字指示之下。

这是对最合理指示的概括，回顾以往，设想一整套最适于现时的建议是困难的。这些指示颁布后不久，大气中主要废物引起美国中止武器试验的计划 (3)。

然而，从1960年，发生的三次事件则与有关原子工业辐射标准有重大牵连。

(1) 仅仅在初始阶段，核工业就已取得某些成熟的经验并且已经成为节电的一项重要组成部分。

(2) 在10年的后期，国家环境政策条例 (NEPA)

(4) 由国会投票通过。众所周知，该法律要求对环境无论是短期的还是长期的影响进行详细的估价。不过，我们现在可以对核能进行较全面的估价，起初，该法律的大部分篇幅是对放射源、控制方式进行较详细和较精确的分析，后来是对各种新型核装置在环境中实际上并且一贯造成的废物做较详细和较精确的分析。综合这两种因素，便可达成某种谅解，使人们在其它任何大型工业中可能不再有放射性废物的能力和防护费用以及这些废物在环境中的变化。

(3) 第3点是为了实现技术研究的水平而未中断的发展；实际上，关于对健康的辐射效应所进行的庞大科研计划所获结果进行这样的综合已经成功，现在，可能把这些方面的内容并入公众决策之中。对于辐射效应引起的一场新的争论已有10年了，核能的反对者诸如Gofman和Tamplin，以及Sternglass均想对旧的指导再提出诉讼。在参议员Muskie和Gravel的请求下，联邦辐射委员会要求国家科学院(NAS)重新检查现行的联邦辐射指导的科学基础并且另外提供可以建立辐射危险数字估算的基础数据。1972年末，科学院(5)向环境保护机构通知了它们的报告，如果不沿着最强烈评论的过分要求是真实的，就要重新证明外推剂量—效应的关系中线性无阈假设的应用便是为确定标准的慎重措施，并且提供辐射危险特殊的数字化估算。通过得出的结论，科学院可再次了解全部的不确定性，包括我们的辐射生物效应达到低

剂量的知识。最后，建议了制定用于核工业的规则或标准，这些规则或标准考虑了有关降低（公众健康）危险的代价—权益关系。

在此期间，联邦辐射委员会被解散、其职能委托给了新成立的环境保护机构。同时，按照原子能法律制定原子能条例范围的环境辐射标准的老原子能委员会（AEC）的职能也转交给环境保护机构。尤其是第3号改组方案移交给了环境保护机构：

“原子能委员会的职能……在该委员会职能范围内主要是建立用于防止放射性物质的环境保护的一般适用于环境的标准。正如本文中所应用的那样，“标准”一词意谓照射限值或辐射水平，或者在拥有或使用放射性物质的人员控制下的场所范围之外的环境中放射性物质的浓度”。

把第3号造组计划呈报给国会的总统咨文明确规定了原子能委员会曾具有使这些标准生效的责任。其实，该委员会曾有权以自动化程序方面的规章条例、以检查机关和运用批准权限使这些标准付诸实施。原属原子能委员会（6）的这种责任现在已委托给核管理委员会（NRC）（7）。

至于一般适用于环境的标准说明和范围，起初，没有专门用语是环境保护机构和原子能委员会之间的重大区别，因而，这两个机构间的矛盾是必然的。原子能委员会考虑那些应该是很笼统的一般适用于环境的标准，而且能够示出由联邦辐射委员会指导所规定的5毫西弗（mSv）/年的比例。相反、环境保护机构则考虑其担负控制各种放射源的重大委托，而当前的任务是使辐射水平在实际上减少到尽可能低的

水平。这样，环境保护机构和原子能委员会就同时从事制定核反应堆的标准。在原子能委员会这方面是阐明有关设计的条例(美国法律10CFR50部分的附件1)。在1970年和1972年间提出的这项条例并产生了长期的争论。而环境保护机构方面则是阐明用于反应堆“有关周围环境的标准”以便确定放射源的辐射“尽可能低的”水平。在某些方面，这些标准是相同的，即5毫西弗/年。原子能委员会考虑的是关于设计的目标而不是限值，而环境保护机构方面则考虑实施的限值。正是在这时候，我重返环境保护机构并投入了这场论战。这两个机构都向管理局和预算局提出了他们要裁决的方案。结果很是出色(或说是令人不快)的“Ash章程”，它指出：环境保护机构对于确定反应堆标准还差得很远，应该确定他们自己用于燃料循环系统的标准。环境保护机构还必须对此重新进行研究。我们的第1个问题是要知道对于制定一般适用于燃料循环系统的环境标准是否利益不大。针对公众可信性和确定环境保护机构作用问题以外的问题好像技术问题是重要的，它对于燃料循环系统是有直接关系的，即在长寿命放射性核素环境中的累积问题。从世界范围来看，其它的国家可能已经认识到这个问题，但是，对于我们来说，还是新的课题。我们发现了称为“环境中约定剂量当量”是一个将临的问题，现在它已被国际放射防护委员会承认并称为“集体约定剂量当量”。对于环境保护机构来说，已构成了一个新的大方向。这种努力已达到一种降低剂量的代价—利益关系的概念，这正是我们现在称之为的最优化。

个体剂量的限值是另一个问题。燃料循环的其它方面可

不遵守0.05毫西弗/年的水平，但必须修正标准以考虑燃料循环中放射源的最坏情况，即矿石加工厂。对于反应堆，确定达到0.05毫西弗/年的水平是可能的。而对于燃料处理工厂在没有新的控制情况下则是0.15毫西弗/年。矿石加工厂提出了一个问题，为了遵守这些标准，现行标准把在其装置中使用的条例期限增加一年委托给核管理委员会。在某些工厂中，对0.25毫西弗/年的值必须进行控制，直至最低控制运转的时候止。环境保护机构和原子能委员会在讨论这个用于矿石加工厂的数据的同时，环境保护机构提出了0.25毫西弗/年的个体剂量限值的标准。在1974年和1975年期间，原子能委员会曾分为两部分：在其中一部分的范围内，核管理委员会继承了原子能委员会关于条例批准的权限（7）。在几年的期间内，环境保护机构与核管理委员会之间建立了良好的工作关系，关于标准的主要问题不再是数值，而是阐述特殊条款的方式。关于标准所需要修改的条文给出了必要的内容以阐述这个问题以及设计标准（核管理委员会）和性能标准（环境保护机构）之间的区别。人一西弗（Sv）值的选择已是该项最优化努力的转折点。陈述对环境影响的最初讲法是以判断间接值为依据，而不是强迫值。该值确定在按照可避免生物效应以美元（美元/可避免生物效应）表示的范围中，即100000—500000美元/可避免生物效应。必须要把控制在这个范围以下，不应在这个范围以上，除非是由同一部分人受到这种危害，或者超过个体剂量限值。在该两组数值之中，必须根据各种特殊残情况来判断。

如何进行这种判断呢？随便地讲，就是通过10美元一

10000000美元/可避免生物效应之间确定这个确切值，然后通过尽可能地压缩这个范围而进行判断的。我们公开要求过向我们推荐其它的判断方法，然而，从来没有人响应我们的方法。

作为标准基础的合理性

作为标准基础的合理性要求有因果关系；因此，就涉及到电离辐射的生物效应。这种低剂量可具有的和使我们考虑设计所有居民防护标准的最基本的形式是，特别是：1 线性无阈关系；2 对于辐射效应的阈值设想；3 上升的凹性曲线（当大部分维修机构达到低剂量率时就会产生这种曲线）；4 上升的凸性曲线（如果个体很容易达到可均匀施于每一位居民的低剂量时，这种曲线可对每位居民提出恰当的答案）。看来，我们已掌握了为证明这些看法的数据，然而，这是制定标准（8）时所考虑的剂量和效应之间的线性无阈关系。这项决策是用于公众健康防护问题中谨慎的需要而形成的，特别是在缺乏确凿的科学数据的情况下更需如此。同时，还反映出了专家们在该范围内所制定计算值的一致性。

确定集体剂量的计算是按照100年的期限，放射单位为 $S_{E,1}^{100}$ 的全部有效的约定剂量当量。这种计算是针对新研究的放射性核素，特别是对于表II所列出的器官。

在详细探讨经济方面、如降低危险的费用—效应关系之前，有利于发现不同的观点，按这些观点，可以重新研究适用于核工业造成放射性废物的标准，尤其是：

1 源于各种装置的各种放射性物质的废物途径对公众健康的影响发生在燃料循环系统；

2 为了可以生产给定的电量，综合所需燃料循环系统的各种成分的影响；

3 由于将来工业预算的增长如到2000年，综合全部燃料循环系统的影响。

为了估算控制源于专用型装置的废物各种产生途径的效应，必须考虑这些规定的第1项规定。对于条例的最后部分，例如作为制定技术指导和明确装置的设计与应用“实际上尽量低”水平的条例，该项规定特别有用。这便是我们称之为的最优化。其它两种情况意味着不同情况的来临。

第2点是可以利用根据废物控制水平对每单位（电）的工业总影响的估算形式来表示，它提供了需要在环境中产生的收益和相应的费用之间估算其关系的规定，这里指关于公众健康的潜在影响。

最后，只有第3点规定才能估算全部工业的总潜在影响，尽管这些条文的每条规定可以有助于构成对良好控制水平和与典型装置或燃料循环系统有关的可接受的影响的估算，这是针对一种产能单位而言。可以根据适用于环境的标准所要求的废物控制水平来考虑这种影响的数量级或者是控制到低水平。第3点最有利于政策计划，对于社会对国家未来产能建议的可接受性，必须采纳其中某些决策。

为了按照每种放射源的比例以GWe—年为单位进行计算，已经鉴别了每种放射源并奠定了一个基础（参见表Ⅱ）。对核燃料的预需量已经做了估算（参见表Ⅰ）。根据每种不

同放射源的扇形幅度计算了控制的费用。应用这些数据是为了根据符合压水堆（PWR）和沸水堆（BWR）循环系统防护费用给出降低危险边际费用的曲线。这些曲线已在图 2 中给出。与每一增量有关的斜率是使我们关心的边际费用。表Ⅳ概括出了含于这些曲线的设想。这些图表出自于有关环境影响的最近报告书的第 1 卷（环境影响报告书）和从中可看到各种参考资料。

表Ⅴ示出了这些标准关于潜在生物影响的结果，表中与其它水平进行了比较。图 3 也给出了这些标准的估算影响。

结 果

除了仅从 1980 年 1 月始涉及到矿石加工厂以外，这些标准均于 1979 年 1 月开始生效。核管理委员会制定了保证遵守这些标准的新条例。当前协作范围很窄的核管理委员会和环境保护机构更愿意确定那些针对各种燃料循环成分的标准。

这些标准不包括碳—14、氚、放射性物质的运输或放射性废物的管理。这些标准扩大到碳—14 和废物管理方面可能较晚一些。

无论使用什么方法，最重要的还是达到提出明显减少的 20 种因素（从联邦辐射委员会所确定的 5 毫西弗/年到 0.25 毫西弗/年）和源于长寿命放射性核素的控制，由于通过估价核能提出了问题，该方法确切地规定了用于核燃料循环系统所规定的排出物。公众感觉到该方法是最好的控制方法，工业能够遵守这些合理的标准，负责条例的机关也感到掌握

了能够付诸使用和遵守的论据。

最为显著的是最优化的概念（目前，更确切地说是减少辐射危险的代价—利益的关系）；它明确指出了运用这些标准的好处。正是这个最优化概念有能力提供对付强大反对意见所需要的力量。显些，最优化是一种实际的概念。些而，它应该具有关于人一西弗值这样的计算，对于超越国家边界的污染物质不是更应如此吗？辐射防护委员会和OCDP核能机构的公共卫生委员会关于废物的技术专家机构正要提出有关这个问题的报告。由我荣幸负责的这个机构所碰到的困难与环境保护机构遭到反对的非难在主要方面是一致的，即估算低剂量效应的方法，确定摄入空气，水的模式，选择防护的效果及其费用，以及当人们全都接触工业部门时，考虑不确定性的方法。与装置相适应的最优化包括选择防护和转移密封的放射性核素，具有极大的简易性。要与负责条例的机关相适应，必须考虑所有水平而遇到的不确定性。但是，工业不应以这些不确定性为借口不工作，而这些机关不应不再要求达到阻止各种灵活操作的严格控制。然而，确定人一西弗值不是容易的事情，确定这样一种数字的政策计划可能是不慎重的作法，但不同的国家或共同体国家可能很出色地达到不同值的计算。

没有简单的答复。对我来说，必须要知道的是这种方法要比使用的方法或应用值更为重要。至少是在美国，这一点好像是明显的。

轻水堆燃料循环的辐射标准

表 I

A. 个体剂量限值	
1 全 躯	25毫雷姆/年
2 甲 状 腺	75毫雷姆/年
3 其它器官*	25毫雷姆/年
B. 用于长寿命放射性核素的限值	
1 氦—85	50千居里/千兆瓦(电)年
2 碘—129	5毫居里/千兆瓦(电)年
3 超铀**	0.5毫居里/千兆瓦(电)年
C. 变化—按主管全部利益条例机关的规定, 如果:	
1 确需能源, 或者	
2 按期重新遵守标准所允许的	计划
D. 生效期限	
1979年1月, 除氦—85和碘—129, 它们只从1983年才生效	

* 除真皮、表皮和角膜外的躯体任何器官。

**仅指超过1年期限的 α 发射体。

循环铀引起的主要放射性废物和器官

表 I

废 物	关 键 器 官
惰性气体	全 身
放射性碘	甲状腺
氡	全 身
碳-14	全 身
溶于液体的铯和其它金属	全身和胃肠道
钚和其它超铀	肺
铀和同系元素	肺、骨
γ 射线和中子	全 身