

国际放射防护委员会第55号出版物

放射防护中的最优化和决策

原子能出版社

(京)新登字 077 号

内 容 简 介

本书是继国际放射防护委员会第 37 号出版物《辐射防护最优化中的代价—利益分析》(1983)之后又一部关于放射防护最优化方面的权威性著作。

本书全面地综述了放射防护最优化的最新发展。除了进一步阐述了代价—利益分析和扩展的代价—利益分析方法外,还用较多的篇幅介绍了其他决策辅助方法,如代价—效能分析,多属性效用分析和多标准评级方法,以及如何在设计和操作中应用这些方法。特别应当指出的是多属性效用分析和多标准评级方法更容易适用于那些不易量化的因素。

放射防护最优化是放射防护三原则之一,因此本书是放射防护领域内的研究人员、教学人员以及从事核设施设计、运行的工程技术人员的必备参考书。

ICRP Publication 55

Optimization and Decision-Making in Radiological Protection

ICRP. Pergamon Press, 1989

国际放射防护委员会第 55 号出版物

放射防护中的最优化和决策

龚德荫 译

潘自强 校

原子能出版社出版

(北京 2108 信箱)

原子能出版社激光胶印中心排版印刷

新华书店总店科技发行所发行·新华书店经售

☆

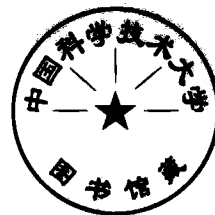
开本 787×1092 1/32·印张 3.25·字数 73 千字

1992 年 9 月北京第一版·1992 年 9 月北京第一次印刷

印数 1—800

ISBN 7-5022-0638-8

TL·381 定价: 2.20 元



序

1984年国际放射防护委员会建立了一个属于第4专门委员会的工作组,来提出一份有关代价—利益分析以外的辐射防护最优化方法的报告。随着工作组工作的进展,逐步明确,如果能提出一份全面的有关辐射防护最优化各个领域的报告,主要来说明如何才能够把包括代价—利益分析在内的各种方法恰当地应用于不同复杂程度的问题将更为有用。

工作组曾多次开会,其最后文稿在1988年第4专门委员会会议上通过,最终文件也于1988年委员会会议上通过。

工作组的成员有:

G. A. M. Webb (主席)	J. Lombard
J. Baum (1986—)	A. Oudiz
A. B. Fleishman (1984—1986)	B. C. Winkler
A. González	

通过此报告时第4专门委员会委员是:

H. J. Dunster	A. Salo
G. Bengtsson	S. D. Soman
R. E. Cunningham	F. Steinbäusler
A. J. González	G. L. Voelz
A. A. Moiseev	Z. Wang
J. -C. Nenot	G. A. M. Webb
R. V. Osborne	B. C. Winkler
S. Prêtre	Y. Yoshizawa

目 录

序	IV
1. 引言	1
2. 防护的最优化	7
2.1 最优化的作用	7
2.2 解决问题的分段方法	8
2.3 制定决策与推断	11
2.4 最优化与 ICRP 剂量限制体系其他观点的相互影响	13
2.4.1 实践的正当性	14
2.4.2 剂量限值	15
2.4.3 源上界	16
2.4.4 管理限值	16
2.4.5 其他约束	17
2.4.6 设计目标和操作、维护及在役检查程序	17
2.4.7 干预和行动水平	17
2.4.8 管理控制的豁免	18
3. 用于设计的最优化程序	18
3.1 确定待分析情况的范围	19
3.2 鉴别方案	20
3.3 估计方案的性能	22
3.4 定量决策辅助方法的应用	22
3.5 敏感性分析	23
3.6 最优化研究的结果	24
3.7 作出决策	24
3.8 通用结果	25

4. 用于操作的最优化程序	25
4.1 鉴别最优化研究的必要性	25
4.2 确定研究范围	26
4.3 基点情况的评价和定量	27
4.4 鉴别防护方案	28
4.5 估计方案的性能	28
4.6 定量决策辅助方法和定性评价的应用	29
4.7 最优化研究的结果	29
4.8 作出决策	29
4.9 通用工作规则	30
5. 定量决策辅助方法	30
5.1 代价—效能分析	33
5.2 代价—利益分析	35
5.2.1 用于辐射防护的代价—利益分析的简单表述	36
5.2.2 扩展的代价—利益分析	39
5.3 多属性效用分析	42
5.4 多标准评级分析	51
5.5 方法的选择	55
6. 定量化	56
6.1 防护努力的代价	56
6.1.1 直接代价	57
6.1.2 其他防护努力	58
6.2 集体剂量	59
6.3 个人剂量分布	59
6.4 剂量的时间分布	60
6.5 接受剂量的概率	61
6.6 其他有关放射防护因素	62
7. 程序的应用	64
7.1 如何应用程序	64

7.2 在设计中的应用	65
7.3 在操作中的应用	66
7.4 主管当局的一般职责	68
8. 结论	69
参考文献	69
附录	
A 各种最优化方法应用于铀矿的范例	73
B 单属性效用函数和权重因子的评价	84
C 给出情况研究实例的带注释的文献目录	89

1. 引 言

(1)委员会建议所依据的原理在 50 多年中曾经过不断演变。当人们受到来自 X 射线或天然放射性核素的足够大的剂量照射时曾直接观察到最初的急性效应。后来知道,这种效应只有在剂量超过某一“阈”值时才能观察到。这种效应的一个例子就是红斑。因此在早期人们认为低于此阈值的剂量是“可耐受”的,所以第一个剂量限制体系是用“可耐受”剂量来表示的,并设想不超过这一剂量将不会产生任何明显的有害效应。但是,不久就认识到辐射照射还有其他效应,即遗传效应和致癌。这些效应没有可观察到的阈剂量。防护方法必须变得更为复杂些。

(2)由于不可避免的统计上的局限性,无法论证小剂量下的致癌效应。但是,从本质上看电离辐射是损伤分子一级的机体。而且很可能是损伤活细胞。某些损伤也许会由于细胞机理而恢复或由于身体的防御机理而消失。然而,某些损伤也许会保存下来并发展到恶性情况,即癌。因此,从天然辐射源接受的剂量上的任何增量都存在某些癌的附加危险就成了放射防护的一个慎重的假设。由此自然得出,任何按照固定的剂量限值而建立的控制体系,即使所有剂量都低于所选定的限值,也都会留下一些剩余危险的成分。这样一种体系在某些情形下将是苛求过甚,而在另一些情形下却是容许不必要的过大的危险。在此情形下,采取一些适当的步骤来降低一切照射显然是正确的,那怕最后所得到的剂量已经低于选定的剂量限值。就是在这样一种基础上,现在委员会的放射防护体系包

含了“在考虑到经济的和社会的因素之后,所有剂量应保持在可合理做到的尽可能低的水平”这一概念,并作为其主要内容之一。

(3)这就有必要来考虑一下,为了降低个人的和社会的辐射危险,我们准备提供多少资源,以及如何才能最好地分配这些资源。研究这个问题的方法有很多种,从简单的常识到代价—利益分析和多属性效用分析等复杂的方法。在委员会看来,当付出很大努力来降低一项实践或一项实践某一确定部分所带来的危险时,这些方法都是辅助决策的方法。如果降低危害的下一步骤只有动用资源才能实现,而这种花费与所得到的降低极不相称,假如这时所有个人已得到适当的防护,那么,社会将不愿采取这样的步骤。于是可以说这种防护已经实现了最优化,在考虑了经济的和社会的因素之后,照射是可达到的尽可能地低的。防护最优化中所涉及的判断不纯粹是定量的,它们需要在不同类型的危害之间和财务上的代价与健康效果之间进行选择。但是它们也可以按本报告将要论证的那样取得定量方法的支持。有关个人防护的规定保证防护最优化的方法仅仅作为一种降低剂量的手段来使用,而这种剂量已经是低于用来保护个人的任何限值的。这种观点已包括在罗马教庭科学院一个工作组的有关防护最优化的声明中(Chargas et al. , 1985)。

(4)这些发展中的观点影响着委员会的早期建议,并在1955年的建议书中明确地提了出来(ICRP, 1955)。建议书指出:

虽然提出作为最大允许剂量的值所包含的危害比生活中的其他危害为小,但是,考虑到规定这个值所依靠的证据不够完全,并考虑到已知某些辐射效应是不可修复的和可积

累的,因此强烈地建议应当尽一切努力将各种类型电离辐射的照射降到最低的可能水平。

在这个说明中提出了两个原则作为防护理论的基础,一个是“限值”原则,即要求低于最大允许剂量;另一个是“最低化”原则,它要求作为一种义务,努力把剂量降到最低的可能水平。

(5)这种最初的说明,在 ICRP 第 1 号出版物(ICRP, 1959)中得到进一步阐明,如下:

应当着重指出,本节所建议的最大允许剂量是个最大的值。委员会建议,所有剂量都应保持在可实现的尽可能低的水平,任何不必要的照射都应避免。

这种陈述方式包含着仍然是委员会所建议的剂量限制体系的基石的两个观点的主要成分,即任何不必要的照射都应避免,而且所有剂量都应保持在可实现的尽可能低的水平。作为这种观念的发展的一部分,委员会明确地认识到,在确定被认为是可实现的尽可能低的水平的剂量时应当考虑两种具体条件,即经济的和社会的条件。在 ICRP 第 9 号出版物(ICRP, 1965)中,这种建议采取如下陈述形式:

由于任何照射可能包含某种程度的危险,委员会建议,任何不必要的照射都应避免,在考虑了经济的和社会的条件之后,所有剂量都应保持在容易达到的尽可能低的水平。

(6)委员会认识到,这种定性的建议形式已经在表达方面产生了某些困难,因此在 ICRP 第 22 号出版物(ICRP, 1973)中发表了一个更为详细的阐述其意图的说明。在该说明中,用“可合理地”来代替一般陈述中的副词“容易地”,并引入集体剂量这个量(在此之前称作群体剂量)作为辐射诱发危害的一种量度。在 ICRP 第 22 号出版物中还提出用货币单位来表示集体剂量的价值是有益的,这就为发展用于放射防护目的的代价—利益分析铺平了道路。

这样,降低集体剂量所获得的利益就可以直接与危害或实现这种降低的代价相比较。

实际上,在 ICRP 第 22 号出版物的一个附录中第一次介绍了以后成为著名的代价—利益分析的代表方法。

(7)随着委员会最近的总建议书 ICRP 第 26 号出版物(ICRP,1977)的发表,基本理论的和阐明达到了目前的水平。在这个出版物中叙述了剂量限制体系的三个组成部分,并分别规定如下:

(a)若引进的某种实践不能带来超过代价的净利益,就不应当采取这种实践。

(b)在考虑到经济的和社会的因素之后,一切照射应当保持在可以合理达到的最低水平。

(c)个人所受剂量当量不得超过委员会对相应的情况所建议的限值。

这三个原则通常称之为实践的正当性,防护的最优化(也用缩写字“ALARA”表示)和个人剂量的限制。应当注意,这些要求是有内在联系的,本报告旨在阐述第二个原则,即防护的最优化。

(8)防护最优化的概念就其性质来讲是注重实践的。对于涉及保护人们免受电离辐射照射的所有问题,常常要就其提供的防护水平作出判断,使得在所有防护水平下所得到的剂量低于有关剂量限值。最优化提供了一条基本的思路,它可以在其他因素和约束的背景下很好地对用于防护的资源 and 所得到的防护水平进行某种类型的平衡,以便得到在这种情况下所能得到的最佳方案。本报告还介绍了可用于上述平衡过程的一些方法及其各种不同程度的复杂性。本报告还打算就这些方法对各类问题的适用性给予指导。

(9)在关于操作上的剂量控制中的许多情形下,对负责控

剂剂量的人员和工作人员本身来说,除了要求了解最优化概念并把它付诸实施之外,不需要更多的拘泥于形式的要求。不打算把复杂情形下趋向于采用更为定量化的程序取代在这种基本水平下决策的判定。

(10)在更为正式的防护最优化的研究中所采用的程序都是“决策—辅助”程序中的某一种形式。对于需要决定防护水平的人们,他们的目的是阐明所包含的各种因素;如果这些因素是合理的和必要的,则使它们定量化;并使各个因素间的交换能够实现。

(11)在最优化过程中应用任何一种决策辅助方法时,必须牢记作为整个辐射防护体系基础的内在假设。作为一个例子,可以研究一下比例性这一基本假设。在这个问题上,重要的是区别旨在从生物学的和物理学的观点来了解电离辐射与物质间相互作用的连续的科学研究过程和作为日常防护工作基础的一个切实可行的假设的必要性。已经证明,比例性的假设是非常切实可行的。它的好处是可以就一个人接受一个源的照射剂量作出决策,而不必详细了解这个人接受其他源照射的剂量。但是我们必须记着这是一个假设,应用这种假设时会引入一些不确定度附加在体系的其他方面的不确定度上。这些被采用的方法包括对群体进行平均而不管受照者的年龄和性别,采用一个器官或组织的平均剂量,并采用平均危险系数和典型的食物和饮料的摄入值以及气象参数等等。虽然这些是明智的程序和概括,特别是涉及大的群体时,但这意味着任何具体的数值结果都有内在的不确定性,而这些不确定性很少是定量的。在应用最优化程序及最优化研究结果时,通常都应考虑到这些不确定性。

(12)除非全部放弃引起照射的人类实践的利益,否则不

可能把来自这些实践的辐射照射降低到本底水平。作为一般的规则,用于减少辐射照射的资源必须和用于社会其他需要的资源相比较。其总目标是把安全和防护方面的资源最优化。通常与健康和安全有关的一项好的实践必须确保具有同样的总目标,委员会在本报告及其他报告中所述的方法从其本来意义来看,应当是向这个总目标努力并理顺、阐明“好的最优化实践”的辅助方法。

(13)防护最优化是一个应用非常广的观念。从日常简单的决策到不同类型工厂设计的复杂分析等各种水平的问题都可以应用它。它可以用于辐射防护的所有领域,包括医疗诊断中的辐射应用、天然辐射照射的控制、一般工业中照射的控制以及更为公众所触目的核动力工业的领域。原则上,最优化的观念也应用于旨在防止和减轻可能导致辐射照射的事故或偶发事件的工艺过程。为此,应当考虑这种事件的概率及其后果,同时还要考虑为了减少事故发生的概率和减轻其后果所必需的工作中产生的常规照射。本报告所述的某些方法可以很灵活地用于这些广泛的领域内。

(14)一旦发生事故,最优化还可以在决定剂量降低的幅度或预防措施中发挥作用。在这方面应用的问题与事件的概率性质无关,而与事件发生后所需要的不同的决策类型及对正常生活条件的直接影响有关。

(15)在 ICRP 第 37 号出版物(ICRP, 1983)中,曾在广阔的范围内明确地叙述了辐射防护最优化的一般概念。但是那个报告着重讲的是把代价—利益分析作为一种方法来分析防护问题以确定最佳解。本报告则从防护最优化的一般概念出发来说明如何能把它用于不同级别的决策和在不同场合下使用适当的方法,其中之一是代价—利益分析。

(16)像以前报告中说的那样,引入平衡和交换的概念,集中注意那些已经用代价表示的因素,特别是防护的代价,以及那些尽管存在着某些困难但能够转换成代价的因素,可能是有用的。强调这一点是与早期作为最优化研究中较喜用的方法,代价—利益分析方法的发展有关的。但是,近来日益认识到,在实际的决策中有必要考虑那些较不容易定量化的更带有社会性的因素,在本报告中研究那些更为复杂的方法的一个关键理由是这些方法可以更容易地适应这些其他因素。

2. 防护的最优化

(17)在本报告中防护最优化的全部内容都是引言中所述的在历史长河中发展起来的一般概念的具体表述。这里,在使用“剂量”这个词时通常指的是 ICRP 第 42 号出版物,(ICRP, 1985 b)中委员会规定的来自外照射的有效剂量当量和在同时期内来自摄入的待积有效剂量当量之和。

2.1 最优化的作用

(18)防护最优化概念的基本作用是在每一个负责辐射照射控制的人员中造成一种思想状态,使他们不断地向自己提出问题“我是否尽了自己能合理做到的一切来降低这些辐射剂量?”显然,这个问题的解答是个判断问题,因为这不是一个能够回答的问题。同样还有关于剂量限值的相应问题。“我是否确保遵守了剂量限值?”如果一个工作人员所接受的剂量得到监测,在指定的期间内它的总量低于在规定期间内的限值,

则遵守与否的答案是“遵守”。这当然是一种习惯的回答,在很多情况下都忽略了剂量估算中的不确定性。尽管如此,它仍是一个令人满意的回答。对于最优化问题,没有那样斩钉截铁的技术答案,因为需要进行判断。因此,一旦最优化程序超出直观的操作水平时,它的主要功能是提供进行判断的方法和大纲。它还有助于理顺不同的人用它作出的判断以及同一个人不同情况下作出的判断。从长远观点来看,使用决策辅助方法有助于实现更为相互协调的一致决策。

(19)在某种意义上,本报告各章节所研究的最优化程序就是最优化概念的重要的实际体现。这些程序的目的在于阐明所考虑的问题,这样就能很好地鉴别主要辐射防护方案以及用危险降低程度来表示的它们的功能,它们的代价和一些其他有关因素。用这种方法系统地解决问题能保证所包含的判断得到承认。对于工作人员操作剂量的控制,程序可能稍为有所不同,在这里不需要对一些新的设计可能性的或操作方案的优劣进行评价,而可能对一个相对的静止状态进行评价,看看是否符合最优化原则。在此情况下,重要的是注意职业剂量管理程序,培训水平等因素以及用个人剂量分布表示的结果等。但是,即使在这种情况下,采用一个分段程序将导致一个更为系统的评价,看看这个给定的管理和控制系统是否符合最优化原则。

2.2 解决问题的分段方法

(20)为了保证不遗漏一切重要方面,为了记录对资料和其他人所作评价的分析,防护最优化的分段方法是非常重要的。这种分段方法的基本要素可以用图 1 来表示。在叙述图 1 中所示的步骤之前,阐明本文中所用的一些术语是有用的。

防护方案 一个具体的设计或一套操作程序。

基点情况 评价变更的出发点:对于一项设计研究,通常是指最经济的方案;对于操作,是指一套现行的程序。

方案的性能 采用一项具体的设计方案或操作程序的结果,用所得的个人剂量和集体剂量,过程的效率等来表示。

方案的代价 方案的直接的货币和资源代价以及培训等其他代价。

因素 一个方案的代价或性能的经过鉴别的量度,如货币代价、集体剂量、最大个人剂量、培训要求、穿戴防护服引起的不适。

属性 相当于因素,用于多属性效用分析技术术语中。

标准 对一个或多个因素就其可接受的或合乎要求的方面作出的定量或定性的量度。如个人剂量限值,单位集体剂量的某个特定的值。是可据以比较某一方案的性能或代价的基础。

放射防护因素 与所达到的防护水平有关的那些因素,这里包括那些以某种方式描述所得剂量分布的因素,那些描述变更剂量分布所引起的代价或其他损失的因素,如使剂量降低的换气速率所带来的不适。

其他因素 描述一个方案的性能、代价或与它们有关但与防护水平无关的那些因素,如纯粹为了提高过程的效率,为了审美的或公共关系的原因而付出的代价,表示公众接受它们的可能性的方案间的差别,生产量等过程效率的量度,规划的考虑等。尽管这些因素可能支配着最后的决策,但它们不是放射防护最优化的一部分。

(21)图 1 所示程序中的主要步骤是:首先是承认最优化研究的必要性并明确规定研究的范围;鉴别在最优化过程中

所要考虑的因素,将它定量化并把这些因素分为放射防护的和其他的;按照标准,最好是明确规定的标准,相对于每一个因素来分析(定性的和定量的)方案的性能;从分析中得出一个建议性的最优方案;关于需要采取何种行动,以及可能要考虑到放射防护以外的其他因素,甚至包括政治问题在内的最后决策的结论。在第 3 和第 4 章中叙述了这种基本分段方法在设计和操作情况下进一步应用的细节。这种简化的图形不可能包括所有内容,如在进行分析时,在某些地方可能要反馈或重新考虑。

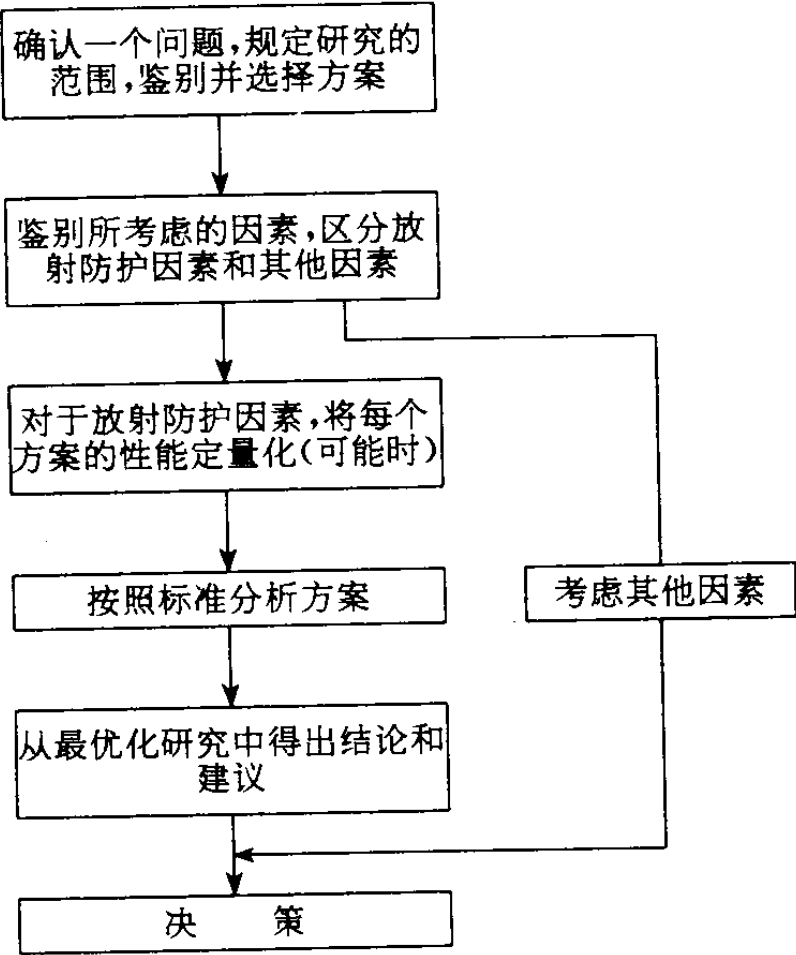


图 1 在制定决策过程中,防护最优化的分段方法

(22)在设计中,最优化研究的必要性通常是很明显的,问

题的焦点在于具有不同的防护内容,包括代价在内的努力及其他因素等在内的可能的设计方案。通常必须对方案的性能及操作问题作出预测。

(23)在操作中,往往需要随时作出决策,所以最优化应当是一个连续过程。有时,对于一项将要进行的具体的最优化研究有一种促进因素,这种促进因素可能来自内部管理的倡导或规章的要求。例如,由工作人员的高剂量所触发的。由此引起的研究常常是立足于对现状的分析。分析的范围与这些情况有关,但重要的是必须明确予以规定。方案的选择包括工作程序的变更,维护要求,培训和教育,组织管理,仪表和探测器的更新,还可能包括设计的变更等。分析的结果应指出最恰当的方案。行动的最后选择将考虑此分析结果以及其他因素的影响。对于一个程序或一个培训水平是不是最优,其判断标准在定量方面没有取得什么进展,可能不得不依赖于进行这种研究的人所积累的经验;但是,当许多研究的经验可以汇集在一起时,就能整理这些经验,至少可使它们成为定性的指导。由于所涉及的规章和程序的情况随国家而异,所以这主要是主管当局的事。本文所说的“主管当局”具有广泛的含义,它包括位于设计者或操作者之上的具有某种程度管理职责的有关当局。

2.3 制定决策与推断

(24)最简单类型的决策是指辐射剂量的降低伴随着资源的节约。最近的一些研究表明,这种事是常常会碰到的(Lochard et al., 1983; Lochard, 1988)。在此情况下,决策者几乎总是决定降低辐射剂量。这种决策完全符合最优化原则。更多的情况是,只有付出一定努力并调拨更多的资源后才能实