



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 14325—93

## 辐射防护最优化纲要

Guide for optimization of radiation protection

1993-04-20 发布

1993-11-01 实施

国家技术监督局 发布

# 中华人民共和国国家标准

GB/T 14325—93

## 辐射防护最优化纲要

Guide for optimization of radiation protection

### 1 主题内容与适用范围

本标准规定了辐射防护最优化的一般要求,及其基本程序、方法和在一些领域中应用的指导原则。

本标准适用于一切受控制辐射源的辐射防护,包括核设施选址、设计、建造、运行、废物管理和退役,以及放射性物质运输和放射性同位素应用中的辐射防护。

### 2 术语

#### 2.1 辐射防护最优化

在考虑了经济和社会的因素之后,源的设计与利用及与此有关的实践,应保证将辐射照射保持在可合理达到的最低水平。

#### 2.2 实践的正当性判断

判断引入某一伴有辐射照射的实践是否正当,应视引入这一实践是否能带来超过代价的正的净利益而定。

#### 2.3 受控制辐射源

指其产生或出现,以及其活度是受到控制或制约的、或者是可以选择的辐射源。

#### 2.4 危害

辐射所致所有有害效应(包括对健康的损害和其他方面的影响)的数学期望值;确定这一期望值时,不仅要考虑引起每一件有害效应的几率,而且必须考虑该种效应的严重程度。

#### 2.5 货币价值的贴现率(年贴现率) $r$

每年货币的增值率  $r$  是  $x_F - x_P$  除以  $x_P$  的商:

$$r = (x_F - x_P) / x_P \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:  $x_F$  ——一年后的货币价值;

$x_P$  ——现在的货币价值。

#### 2.6 现值法

是以投资的现在价值  $x_P$  为指标比较投资方案优劣的一种方法。若各年的贴现率相同并计复利,则  $n$  年后价值为  $x_F$  的投资的现在价值  $x_P$  为:

$$x_P = \frac{x_F}{(1+r)^n} \quad \dots\dots\dots (2)$$

#### 2.7 代价分年估算法

把投资代价分年计算到成本中去的一种方法,是一种标准的工程成本分析方法。

#### 2.8 资本回收因子 $C_m$

初始投资  $x_P$  后,在投资周期内(在设备投资的情况下,是设备的寿期),每年回收的资本占初始投资的份额,定义为:

$$C_{in} = \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \dots\dots\dots (3)$$

3 一般要求

- 3.1 一切辐射防护的科学管理与决策,都必须遵循辐射防护最优化原则。
- 3.2 在进行代价和利益的权衡时,应考虑对辐射工作人员和公众成员的照射、内照射和外照射、集体剂量和个人剂量分布以及对环境的影响等因素。
- 3.3 在一切伴有辐射照射的实践中,应坚持不懈地寻求减少辐射照射的新途径,避免一切不必要的辐射照射。

4 基本程序和方法

4.1 辐射防护最优化的基本程序

进行辐射防护的最优化,应遵循如下基本程序:

- a. 明确所面临的防护问题,确定防护目标;
- b. 分析并确定危险的来源和各个危险的大小,从而确定与辐射防护有关的因素,明确防护的重点;
- c. 针对各个辐射照射来源,列出控制和减少辐射照射的各种防护方案;
- d. 对列出的各种防护方案进行定性、定量或半定量的比较,选出最优防护方案,并确定最优防护水平,形成初步决策。最优化的防护水平必须满足有关剂量限值的要求;
- e. 分析和估计初步决策所依据的资料或假设的不确定性和可变性对决策结果的影响,明确哪些因素对决策结果的影响最大,哪些因素发生怎样的变化时应当改变决策;
- f. 进行最终决策,此时,除必须考虑辐射防护因素外,还应考虑一些非辐射防护因素和非技术因素的影响,在综合权衡这些因素之后,作出最终决策。
- g. 将最终决策付诸实施,在实践中进行检验;并认真收集各级人员对实施情况的反映、意见和建议。通过这种反馈来获取关于最优化方案的有效性和如何改进的信息。

4.2 最优化决策辅助方法

目前需用的最优化决策辅助方法包括下列几种,实际工作中,应根据最优化的对象、目的和所具备的条件进行选用。

4.2.1 对各种防护方案进行比较的定性方法

4.2.1.1 多标准法

用各个判断标准在各种可供选择的防护方案之间两两地进行比较。判断的依据是现有的经验和资料。通过比较,舍弃较差的方案,保留较优的方案,直到选出最优方案。

4.2.1.2 多标准求优分析方法

用一种防护方案与所有其他方案一一进行比较,排除较差的方案,直到选出最优方案。

4.2.2 对各种防护方案进行比较的定量方法

对各种防护方案进行比较的定量方法是把每种防护方案所依据的各种判断标准的价值合并为单一的数值,然后把各种方案所相应的数值依优劣顺序排列,从而选出最优方案。

4.2.2.1 代价-效益分析法

比较各候选方案花费单位代价所能获得的效益,从而选出较优方案。使用这种方法,不需要先知道单位集体剂量指定的货币代价值。

4.2.2.2 代价-利益分析法

通过代价和利益的权衡,选取净利益最大的防护水平。

实践的净利益  $B$  为:

$$B = V - (P + X + Y) \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:  $V$  —— 该实践的毛利益;  
 $P$  —— 除辐射防护外的所有生产代价;  
 $X$  —— 为达到选定的防护水平需付出的防护代价;  
 $Y$  —— 该防护水平所相应的辐射危害代价。

为获得最大净利益, 必须满足:

$$\left. \frac{dB}{dS} \right|_{S_0} = 0 \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:  $S$  —— 集体剂量;  
 $S_0$  —— 最优防护水平所相应的集体剂量。

可以认为  $V$  和  $P$  与  $S$  无关, 因此有:

$$\left. \frac{d(X + Y)}{dS} \right|_{S_0} = 0 \quad \dots\dots\dots (6)$$

代价-利益分析方法的示意图如图 1。

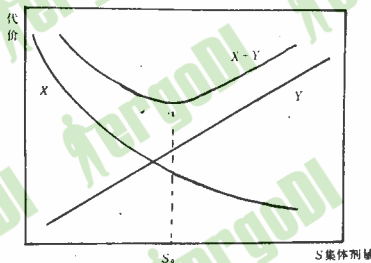


图 1 代价-利益分析示意图

#### 4.2.2.3 多属性效用分析方法

为每一种防护方案制定一个效用函数(在 0~1 之间取值)。效用函数的值是考虑了各主要的防护要求后确定的。然后比较各防护方案的效用函数, 选择效用函数值最大的方案。

### 4.3 辐射危害的货币代价

#### 4.3.1 货币代价的计算

辐射危害的货币代价可由(7)式求得:

$$Y = \alpha S \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:  $\alpha$  —— 为单位集体剂量规定的货币代价;

$Y, S$  —— 见 4.2.2.2 条。

$\alpha$  的具体数值由国家有关部门规定。

#### 4.3.2 贴现率对不同时间代价影响的考虑

必须考虑贴现率对不同时间价值的影响。如果用现值法和代价分年估算, 现在货币价值按式(2)计算, 则现在价值为  $x_p$  的货币代价在其投资周期  $n$  年内每年需承担的代价为  $x_c$ ;

$$x_c = x_p \cdot C_{nr} \quad \dots\dots\dots (8)$$

## 5 组织与管理

5.1 辐射工作单位的最高行政负责人是本单位辐射防护工作的第一责任者。

5.2 辐射工作单位应有独立于生产管理部门的相应机构和合格的人员负责本单位的辐射防护最优化工作。该机构的负责人应由本单位的主要负责人担任。也可聘请外部专家作为该机构的成员或顾问。

5.3 辐射防护最优化管理机构的主要职责应包括：

- a. 组织制定、监督实施和必要时修改本单位的辐射防护最优化纲要和程序；
- b. 审查、批准并监督执行下级组织的辐射防护最优化纲要；
- c. 规定与实施对本单位各级各类人员的辐射防护最优化教育和培训；
- d. 支持技术革新和工艺改造，鼓励不断地寻求减少辐射照射的合理途径；
- e. 直接向本单位最高领导负责并报告工作，也可直接向上级辐射防护监督和管理部门报告工作，

反映本单位制定和实施辐射防护最优化纲要的情况。

5.4 各单位应定期或在必要时召开辐射防护最优化工作会议(可邀请有关部门负责人参加)，审议辐射防护最优化纲要的执行情况和重要的修改建议，以及当前的主要问题。

5.5 生产或运行管理部门应执行辐射防护最优化纲要，并与辐射防护部门密切配合，提出最优化工作的改进意见和建议。

5.6 执行最优化纲要是每个工作人员的责任，所有工作人员都应具有辐射防护基本知识和技能，参加提高工效、减少辐射照射的技术革新和工艺改造的工作，认真总结并向有关管理部门反映执行最优化纲要中发现问题，提出改进意见和建议。

5.7 各单位应采用适当的方法，使全体工作人员了解最优化纲要的内容和要求，以便确信实现最优化目标符合他们的利益，从而使他们赞成并自觉执行最优化纲要。

## 6 教育和培训

6.1 教育和培训是辐射防护最优化计划的重要组成部分，各单位必须执行 GB 11924《辐射安全培训规定》中的要求，制定辐射防护最优化教育和培训计划并贯彻执行。

6.2 应对工作人员进行定期的辐射防护最优化教育和培训，包括：

- a. 就职前的教育和培训；
- b. 针对所从事工作的教育和培训；
- c. 继续教育和再培训。

6.3 教育和培训的内容应与实际情况和需要一致。对于不同的人员(如管理人员、辐射防护人员、运行操作人员等)，培训和教育的内容、深度和广度应有所不同。

6.4 教育和培训的形式可以根据需要采用正规课堂教学、培训班、学术会议、专门技巧的训练、班前对工作程序的讲解或演示等多种形式。

6.5 应结合本单位的性质和特点做好对公众的宣传教育工作。

## 7 辐射防护最优化一些应用的指南

7.1 设计中的辐射防护最优化

7.1.1 核设施的设计必须贯彻辐射防护最优化原则。

7.1.2 对各种有关的建筑物，在设计阶段应进行综合考虑、统一规划，使它们达到相同或相似的最优化防护水平，实现总体的辐射防护最优化。

7.1.3 核设施的设计应有利于分区管理、放射性物质的安全运输和人员通行的安全；有利于控制各类人员所受的辐射照射。

7.1.4 在核设施的设计中，既要考虑辐射防护的要求，也要考虑其他方面的要求，并与代价限制因素相协调。此外，还应考虑事故应急的要求和未来工作的发展。

7.1.5 应遵照辐射防护最优化原则，根据现有的运行经验和剂量控制经验，并考虑到今后工作的发展，选择相应剂量限值的特定百分数作为剂量设计指标，而不应简单地用剂量限值作为设计指标。

## 7.2 运行的辐射防护最优化

7.2.1 在进行涉及辐射照射的工作(生产、运行、科学实验等)之前,应依据辐射防护最优化原则,对工作进行全面规划,制定出既切实可行又能达成良好的剂量控制的辐射防护最优化纲要或程序。

7.2.2 应配备恰当的工作人员、仪器设备和工具。关键岗位或从事特殊辐射危险工作的人员,应取得必要的辐射工作许可证。

7.2.3 工作中必须按工作程序操作,避免一切不必要的照射。

7.2.4 应根据工作任务和最优化的要求,建立检查项目表,以减少辐射照射。

7.2.5 应认真填写辐射工作登记表,做好有关资料的记录与保存工作,总结经验教训,为改进以后的工作提出建议。

7.2.6 应对辐射防护最优化的执行情况进行监督和检查,发现问题及时解决。

7.2.7 辐射工作单位应按期向主管部门和辐射防护管理部门报告辐射防护最优化的实施情况。

## 7.3 辐射防护监测的最优化

7.3.1 应遵循辐射防护最优化原则,制定辐射防护监测方案。

7.3.2 应执行辐射防护监测质量控制的有关规定。

7.3.3 应对辐射防护监测结果进行分析、评价,及时通报有关人员,用于辐射防护最优化决策。

## 7.4 放射性废物管理的最优化

7.4.1 必须采取有效措施,尽量减少放射性废物的产生量。对于放射性废物应按类分级收集、处理和处置。严禁将非放射性废物混入放射性废物内。

7.4.2 在放射性废物的处理和处置中,应对各个环节(例如收集、净化、减容、固化、包装、贮存、运输和最终处置等)进行最优化分析,考虑各个环节的相互影响,做到总体最优化。

7.4.3 应合理地选择废物处理方法,尽力做到废物的再利用。

附录 A  
辐射防护最优化应用举例  
(参考件)

A1 为减少工作人员所受的剂量而设置屏蔽墙。假定被屏蔽的工作人员数为  $N$  人, 工作人员的工作时间因子为  $f$ , 在将要设置屏蔽墙的外侧处的最大剂量当量率为  $\dot{H}$ , 墙的寿命为  $\tau$ , 估算屏蔽墙的最佳厚度。

危害的货币代价为:

$$Y(w) = aNf\tau\rho\dot{H}e^{-\mu w} \dots\dots\dots (A1)$$

式中:  $\rho$  —— 工作人员接受的平均剂量当量率与  $\dot{H}$  之比;

$w$  —— 屏蔽墙的厚度;

$\mu$  —— 屏蔽墙材料的有效衰减系数。

设置屏蔽墙的代价为:

$$X(w) = X_v Lhw + X_s \dots\dots\dots (A2)$$

式中:  $X_v$  —— 屏蔽墙单位体积的造价;

$L$  —— 屏蔽墙的长度;

$h$  —— 屏蔽墙的高度;

$X_s$  —— 屏蔽墙支撑结构的代价。

屏蔽墙的最佳厚度  $w_0$  应满足:

$$\left. \frac{d}{dw}(X + Y) \right|_{w=w_0} = 0 \dots\dots\dots (A3)$$

即:

$$X_v Lh - aNf\tau\rho\mu\dot{H}e^{-\mu w_0} = 0 \dots\dots\dots (A4)$$

从而可求出  $w_0$ 。

A2 采用尿样分析方法监测工作人员的内照射剂量, 根据每次尿检的代价和在两次取样之间可能漏测的摄入量决定最优取样周期。

一年中进行尿检的总代价为:

$$X(T) = aN \frac{365}{T} \dots\dots\dots (A5)$$

式中:  $a$  —— 一次尿检的代价;

$N$  —— 受检人数;

$T$  —— 取样周数。

在两次取样之间可能漏测的最大内照射剂量为:

$$D = AF e^{-0.693 T/T_{1/2}} \dots\dots\dots (A6)$$

式中:  $A$  —— 尿检方法的最小可探测摄入量;

$F$  —— 该核素的剂量转换因子;

$T_{1/2}$  —— 该核素在体内的有效半减期。

对于  $N$  个受检人员, 可能漏测的集体剂量相当的货币代价为:

$$Y(T) = aNAF \frac{365}{T} e^{-0.693 T/T_{1/2}} \dots\dots\dots (A7)$$

最优取样周期  $T_0$  应满足:

$$\left. \frac{d}{dT}(X + Y) \right|_{T=T_0} = 0 \dots\dots\dots (A8)$$

$$\text{即: } \alpha A F \left( \frac{0.693}{T_{1/2}} T_0 - 1 \right) e^{-0.693 \tau_0 / T_{1/2}} - a = 0 \quad \dots\dots\dots (\text{A9})$$

由此可求出  $T_0$ 。

**A3** 为提高室内的空气质量,用机械方法降低室内空气中的氡浓度,选择最优通风速率。

室内空气中的氡浓度  $c$  和通风速率  $\lambda$  的关系为:

$$c = \frac{c_e + c_{out}(\lambda_n + \lambda_v)}{\lambda_v + \lambda_n + \lambda} \quad \dots\dots\dots (\text{A10})$$

式中:  $c_e$  —— 由于室内表面的氡析出等原因,使室内氡浓度的增量;

$c_{out}$  —— 室外空气中的氡浓度;

$\lambda_n$  —— 自然通风速率;

$\lambda$  —— 氡的放射性衰变常数。

室内居民吸入氡的危害代价为:

$$Y = \alpha N f_i \tau F c \quad \dots\dots\dots (\text{A11})$$

式中:  $N$  —— 室内居民人数;

$f_i$  —— 居民在室内的居留因子;

$\tau$  —— 通风系统的寿期;

$F$  —— 氡的剂量转换因子。

如果通风代价仅是能源消耗的代价,那么通风代价为:

$$X = a b f_i \tau \lambda \quad \dots\dots\dots (\text{A12})$$

式中:  $a$  —— 每度电的价格;

$b$  —— 实现单位通风速率所消耗的电能。

最优通风速率  $\lambda_0$  应满足:

$$\frac{d}{d\lambda} (X + Y) \Big|_{\lambda = \lambda_0} = 0 \quad \dots\dots\dots (\text{A13})$$

将(A10~A12)式代入(A13)式即得:

$$\lambda_0 = \left[ \frac{\alpha N F (c_e - \lambda c_{out})}{ab} \right]^{1/2} - (\lambda_n + \lambda) \quad \dots\dots\dots (\text{A14})$$

**A4** 为了减少核设施向环境排放的放射性物质质量,需要采取防护措施。对于液体流出物,可以采用延迟排放或过滤净化等方案,并从中择出较优方案。

对于延迟排放,第  $i$  种核素排放量的减少因子为:

$$a_i = e^{-\lambda_i V_d / Q} \quad \dots\dots\dots (\text{A15})$$

式中:  $\lambda$  ——  $i$  核素的放射性衰变常数;

$V_d$  —— 延迟罐(池)内的体积;

$Q$  —— 流出物在延迟罐(池)内的体流量率。

对于过滤净化处理, $i$  核素的排放量减少因子为:

$$a_i = \frac{c_{2i}}{c_{1i}} \quad \dots\dots\dots (\text{A16})$$

式中:  $c_{1i}$  —— 处理前  $i$  核素的浓度;

$c_{2i}$  —— 处理后  $i$  核素的浓度。

在延迟或处理设施寿期  $\tau$  内,流出物所造成的总集体剂量为:

$$S = \tau (\sum S_i A_i a_i + S_0) \quad \dots\dots\dots (\text{A17})$$

式中:  $S_i$  —— 排出单位活度的  $i$  核素所致集体剂量;



$A_i$  —— 不经处理时  $i$  核素的年排放量；

$S_0$  —— 在延迟排放或净化处理过程中对工作人员职业照射的年集体剂量。

对于不同方案  $j$ , 减少单位集体剂量所付出的防护代价为：

$$a_j = \frac{X_j}{S_0 - S_j} \dots\dots\dots (A18)$$

式中： $X_j$  —— 方案  $j$  的防护代价；

$S_0$  —— 不经处理时的总集体剂量；

$S_j$  —— 经  $j$  方案处理后的总集体剂量。

则  $a_j$  较小的方案为较优方案。

**附加说明：**

本标准由中国核工业总公司提出。

本标准由中国辐射防护研究院负责起草。

本标准主要起草人王恒德、郭其介。

