

核辐射防护复习

依据每份 PPT 前面的上节要点回顾整理，结合作业题解答和简答题（不含计算）文件食用。——一小块浓缩铀

Chapter 1. 核辐射防护基础知识

本章要点

1. 辐射防护的目的、任务及原则；
2. 射线与物质的相互作用，几个系数的理解；
3. β 射线屏蔽；
4. 衰变计算。

核辐射防护的目的、任务及原则

核辐射防护的目的(2023论述)

1. 提供保护人类的适当的标准而不过分限制有益的引起照射的实践；
2. 防止确定性效应的发生；
3. 减少随机性效应的发生率。

核辐射防护的任务(2023论述)

保护人类赖以生存的环境，保护从事辐射实践的工作人员和公众及其后代，使其不受或尽量少受辐射危害，进而促进核科学与技术事业的发展。既要克服“核恐慌”，又要力戒“防护不防护无所谓”的态度。

核辐射防护的原则(2023简答)

1. 辐射实践的正当化原则：经过评估，只有当实践具有净收益的时候才能导入；
2. 辐射防护的最优化原则：应尽量减少辐射实践带来的健康危害；
3. 个人有效剂量限值：个人有效剂量的上限水平，通常不包括天然本底和医疗照射。

射线与物质的相互作用

带电粒子与物质的相互作用

电离与激发

电离：指在(物理性的)能量作用下，原子、分子形成离子的过程。

激发：原子吸收能量从基态能态转变为更高能态。核外电子获得能量后，跃迁到其它轨道上，但仍旧处于原子核束缚中。

电离与激发的区别在于原子壳层上的电子是否变成了自由电子。

轫致辐射

高速电子经过原子核附近时，受库仑作用减速，伴随放出电磁辐射。

“轫”是“刹车、减速”的意思，是造成轫致辐射的原因。

切伦科夫辐射

高速电子在穿过透明介质时，若电子在介质中的速度超过电磁波在介质中的传播速度，会在某一特定方向发射出电磁波。

可用作粒子甄别、探测器等。

γ 射线与物质的相互作用

两步过程

1. 初级作用：发生光电效应、康普顿散射或电子对效应（八字图），产生次级电子；
2. 次级作用：发生电离效应，次级电子使物质原子电离。

光电效应

光子与物质原子中束缚电子作用，把全部能量转移给某个束缚电子，使之发射出去成为光电子，而光子本身消失。主要发生在 K 层电子上。

康普顿散射

γ 光子与原子核外电子发生非弹性碰撞，一部分能量转移给电子，使其脱离原子核成为反冲电子，而散射光子的能量和运动方向发生变化。主要发生在外层电子上。

电子对效应

能量较高 ($E > 1.022 \text{ MeV}$) 的光子从原子核旁经过时，在核库仑场的作用下，入射光子转化为一个正电子和一个负电子。

γ 射线在物质中的减弱

射线强度满足

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x} = I_0 e^{-\mu_m x_m}$$

其中， $\mu_m = \mu/\rho$ ， $x_m = \rho x$ 。

对几个系数的理解

1. 质量减弱系数

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{\tau}{\rho} + \frac{\sigma}{\rho} + \frac{k}{\rho}$$

这表示， γ 射线总的减弱系数由光电效应、康普顿散射和电子对效应共同组成。

2. 质量能量转移系数

$$\frac{\mu_{tr}}{\rho} = \frac{\mu}{\rho} - \frac{\mu_p}{\rho} = \frac{\tau_a}{\rho} + \frac{\sigma_a}{\rho} + \frac{k_a}{\rho}$$

这是剔除了康普顿散射中 γ 射线保留的那部分能量。

3. 质量能量吸收系数

$$\frac{\mu_{en}}{\rho} = \frac{\mu_{tr}}{\rho} (1 - g)$$

其中， g 表示带电粒子的韧致辐射份额，这是在转移能中剔除了韧致辐射带走的能量，剩余能量用于物质的电离、激发。

4. 碰撞阻止本领

$$\left(\frac{S}{\rho}\right)_{col} = \frac{1}{\rho} \left(\frac{dE}{dl}\right)_{col}$$

描述带电粒子与介质原子作用：电离、激发时损失的能量。

5. 辐射阻止本领

$$\left(\frac{S}{\rho}\right)_{rad} = \frac{1}{\rho} \left(\frac{dE}{dl}\right)_{rad}$$

描述带电粒子与介质原子核作用：韧致辐射时损失的能量。

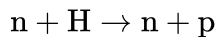
6. 总组织本领

$$\left(\frac{S}{\rho}\right) = \left(\frac{S}{\rho}\right)_{col} + \left(\frac{S}{\rho}\right)_{rad}$$

描述带电粒子与介质原子发生电离、激发，并与原子核发生韧致辐射时损失的能量。

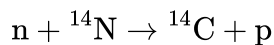
中子与物质的相互作用

与 H 原子核弹性碰撞



中子被减速，打出质子引起物质电离。

中子核反应



核反应产生质子，质子对物质产生电离作用。

β 射线屏蔽

1. 加适当厚度的较轻物质层屏蔽 β 射线；
2. 再加适量的重物质屏蔽 β 射线在较轻物质中产生的韧致辐射；
3. 在 β 射线能量很高时，在较轻物质层和重物质层间加入含氢物质层，对在较轻物质层中产生的光激中子慢化，重物质层内可添加硼，以吸收低能中子。

衰变计算

衰变常数 λ

衰变常数表示某种核素单位时间内原子核衰变的几率，即

$$\lambda = -\frac{1}{N} \frac{dN}{dt}$$

衰变规律

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

半衰期

$$\frac{N(t)}{N_0} = \frac{1}{2} = e^{-\lambda T_{1/2}} \Rightarrow T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Chapter 2. 辐射场及其度量

本章要点

1. ICRU 和 ICRP；
2. 辐射源的分类；
3. 天然辐射来源；
4. P26 两个图的解释；
5. 对氡气的认识；
6. 辐射场；
7. 注量/通量、能通量、照射量、能谱、吸收剂量；
8. 比放射性活度，P15 计算题；
9. 照射量率与能通量率的关系（系数是桥梁）；
10. 照射量率与放射性活度的关系，P23、P24 计算题；
11. 带电粒子平衡问题；
12. 辐射量的比较（重中之重）；
13. RBE 相对生物效应的定义；
14. 线传能密度；
15. 当量剂量和辐射权重因子，当量剂量和剂量当量的区别；
16. 有效剂量，P20 计算题，集体剂量；
17. 防护量与实用量。

ICRU 和 ICRP

- 国际辐射单位与测量委员会 (International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU)
- 国际放射防护委员会 (International Commission of Radiation Protection, ICRP) 设有主委会, 下辖五个分委员会: 辐射生物效应、次级剂量限值、医学中的防护、委员会推荐的应用、非人类生物效应。

辐射源的分类(2023简答)

1. 带电粒子辐射源
 1. α 放射源;
 2. β 放射源;
 3. 加速器带电粒子源(人工): 粒子种类多、能量可调、源强大;
2. 光子源(γ 射线及X射线)
 1. 低能光子源;
 2. γ 参考源;
 3. 高能 γ 射线源;
3. 中子源
 1. 同位素中子源;
 2. 加速器中子源;
 3. 反应堆中子源。

密封源

正常工作状态下没有开封或破损的可能性, 不会因泄漏、渗透等导致逸出或扩散的放射源。 α 源(静电消除、烟雾报警)、 β 源(杀菌消毒、测厚)、 γ 源(工业、医疗照射)。

开放性源

粒子加速器、核反应堆、核武器。

天然辐射来源

宇宙射线(来自于地球外层空间的高能粒子流)、宇生放射性核素(宇宙射线与空气作用生成的核素在环境中的沉降物, H-3、C-14等)、原生放射性核素(铀系、钍系、镭系、钾-40、氡气);

14C尖峰图

1. 尖锐峰不是 ^{14}C 宇生放射性核素;
2. 存在尖锐峰可能是因20世纪五十年代后(冷战时期), 多次核试验造成大气层中 ^{14}C 含量急速上升;
3. 该图在1950年前区域所对应的图像代表真实宇生 ^{14}C 放射性核素信息。

氡气

镭衰变为氡（ $226 \rightarrow 222$ 、 $224 \rightarrow 220$ 、 $223 \rightarrow 219$ ）。岩石、水泥所造地下室，岩洞，常闭不通风或通风不好的房间或场所等。

辐射场(2023名词解释)

辐射源产生的电离辐射无论在空间还是在介质内通过、传播以至经由相互作用发生能量传递的整个空间范围。

单位截面球是理想探测器（等效率接收各个方向）。

注量/通量、能通量、照射量、能谱、吸收剂量、比释动能

1. 粒子（辐射）通量注量：辐射场中粒子进入单位截面球的数目

$$\phi = \frac{dN}{da}$$

2. 粒子（辐射）通量：辐射场中单位时间间隔内粒子的增量

$$\varphi = \frac{dN}{dt}$$

3. （辐射）能注量：辐射场中粒子带入单位截面立体小球的能量

$$\psi = \frac{dE}{da}$$

还有能注量率(2023名词解释)。

4. 照射量：光子在单位质量空气中释放出来的所有正负电子被阻止在空气中时，产生的同一符号的离子的总电荷量， $1\text{ R} = 2.58 \times 10^{-4}\text{ C/kg}$ 。

$$\chi = \frac{dQ}{dm}$$

5. 能谱：粒子通量 ϕ 随能量 E 的分布。

1. 微分分布：单位能量间隔的通量 $\phi_E = d\phi(E)/dE$ 。

2. 积分分布： $\phi(E) = \int_0^E \phi_E dE$ 。

3. 归一化分布：归一化微分分布谱下的面积为 1。

$$\frac{1}{\phi} \times \int_0^\infty \phi(E) dE = 1$$

6. 吸收剂量：授予单位物质（或被单位物质吸收）的任何致电离辐射的平均能量， $1\text{ J/kg} = 1\text{ Gy}$ 。

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm}$$

注意授予能的定义(2023名词解释)。

7. 比释动能：单位质量的转移能

$$K = \frac{d\varepsilon_{tr}}{dm}$$

比放射性活度(2023名词解释)

单位质量(或单位体积中)放射性核素的放射性活度。

$$A = \lambda N = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot \frac{m}{M} N_A$$
$$A' = \frac{A}{m} = -\frac{1}{\rho} \frac{dN}{dt}$$

照射量率与能通量率的关系

$$\dot{\chi} = \dot{\psi} \cdot \frac{\mu_{en}}{\rho} \cdot \frac{e}{W}$$

照射量率与放射性活度的关系 → 点源的应用

$$\dot{\chi} = \frac{A \times \Gamma}{R^2}$$

带电粒子平衡(2023名词解释)

若每一个带电粒子离开 ΔV，就有另一个同种类、同能量的带电粒子进入 ΔV 来补偿，则称 O 点存在带电粒子平衡，其总是与辐射场内特定位置相联系的。

辐射量的比较

辐射量	照射量 χ	比释动能K	吸收剂量D
计量学含义	表征X,γ线在考察的体积内用于电离空气的能量	表征非带电粒子在考察的体积内交给带电粒子的能量	表征任何辐射在考察的体积内被物质吸收的能量
适用介质	空 气	任何介质	任何介质
适用辐射类型	X、γ射线	非带电粒子辐射	任何辐射
单位	C · kg ⁻¹	Gy	Gy
老单位	R	rad	rad

RBE 相对生物效应

引起同等程度某种生物效应所需的参比射线的吸收剂量与该种辐射吸收剂量的比值。

$$RBE = \frac{\text{产生某效应所需的参比射线的吸收剂量}}{\text{产生相同效应所需的实验射线的吸收剂量}}$$

线传能密度

带电粒子在组织(或其他物质)中经过一定距离时由于碰撞而损失的能量，J/m。

$$LET \propto \frac{Q^2}{v^2}$$

当量剂量和辐射权重因子，当量剂量和剂量当量的区别

当量剂量 H_T

组织或器官的当量剂量是此组织或器官的平均吸收剂量与辐射权重因子的乘积。

$$H_T = \sum_R W_R \cdot D_{T,R}$$

辐射权重因子 W_R

表征射线种类，能量与生物效应关系。

对于剂量当量，这个因子叫做“辐射品质因子”。

当量剂量与剂量当量

- 当量剂量是防护量，不可测；
- 剂量当量是实用量，可测， $H = DQN$ ， Q 为辐射品质因子。

有效剂量 H_E (2023名词解释)

各组织或器官的当量剂量 H_T 与相应的组织权重因子 W_T 的乘积的总和。

$$H_E = \sum_T W_T \cdot H_T$$

W_T 表征组织或器官的辐射敏感性。

集体剂量

特定人群所受辐射照射的总剂量，表征某一实践对社会的总危害。

$$S_T = \sum_i H_{T,i} \cdot N_i \quad S_E = \sum_i H_{E,i} \cdot N_i$$

防护量与实用量

- 防护量：当量剂量、有效剂量，不可测，需要采用运行实用量来评价。
- 实用量：周围剂量当量、定向剂量当量 和个人剂量当量，可测，用于监测。

Chapter 3. 电离辐射效应与法规

本章要点

1. 了解辐照的物理阶段、化学阶段以及生物阶段；
2. DNA损伤的直接作用、间接作用；
3. 电离辐射所致生物效应的分类；
4. 确定性效应、随机性效应；
5. 流行病学的概念；
6. 实践、干预；
7. 内照射、外照射；
8. 法规、标准；
9. 基本限值、导出限值、管理限值；
10. 参考水平；
11. 辐射防护体系的认识；
12. 低剂量的定义；
13. 低剂量的研究现状；
14. 你所理解的确定性效应因素；
15. 低剂量有益或有害的几种表现。

辐射三阶段

1. 物理阶段：物理过程与能量转移，电离产生初级电子，次级电子，作用于生物大分子；
2. 化学阶段：受损的原子和分子与其他细胞成分发生快速的化学反应的时期，主要是自由基的生成；
3. 生物阶段（数分钟--几十年）：分子组成及性质的改变。

DNA 损伤的直接作用、间接作用

- 直接作用：辐射直接作用于生物活性大分子，使其损伤；
- 间接作用：辐射作用于体液中的水分子，引起水分子电离、激发，形成自由基和水化电子等，间接造成生物分子损伤。

电离辐射所致生物效应的分类

1. 躯体效应（受照者本人）、遗传效应（受照者后代）；
2. 潜伏期效应（受照射到临床表现）、早期效应（受照射数周）、晚发效应（受照射数月）；
3. 确定性效应、随机性效应。

确定性效应、随机性效应(2023简答)

- 确定性效应：有剂量阈值，效应的严重程度与剂量成正比；
- 随机性效应：无剂量阈值，发生几率与剂量成正比，严重程度与剂量无关。
- 线性无阈假设：出于辐射防护的目的，假设随机性效应几率随剂量线性增加，并且不存在阈剂量。

流行病学的概念(不重要)

对人群中某种疾病的时间，空间分布及其影响因素的研究。

基本概念(了解即可)

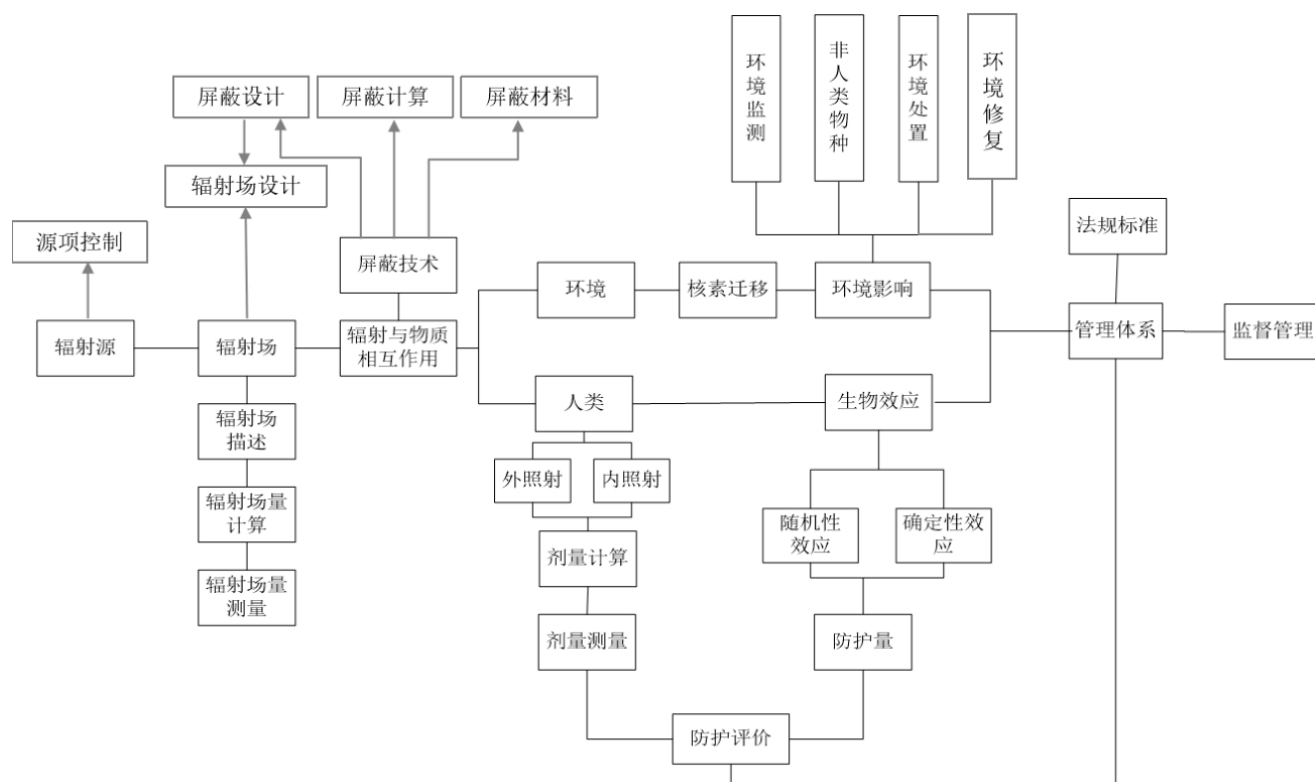
1. 实践：任何引入新的照射源或照射途径，或扩大受照人员范围、或改变现有的照射途径网络，从而使人们受到的照射、或受到照射的可能性、或受到照射的人数增加的人类活动；
2. 干预：任何旨在减小或避免不属于受控实践的或因事故而失控的源所致的照射或照射可能性的行动；
3. 内照射：由进入体内的放射性物质引起的辐射，食入、吸入或浸入放射性物质形成的辐射（持续性、选择性）；
4. 外照射：放射性核素在生物体外，使生物受到来自外部的照射（间断性，作用强度取决于机体吸收剂量大小）；
5. 法规：使辐射防护管理工作纳入法制管理轨道的保障；
6. 标准：对重复性事物和概念所做的统一规定，开展辐射防护监测与评价的科学依据。

辐射防护标准(了解即可)

1. 基本限值：也叫有效剂量限值，内外照射之和，但不包括天然本底照射和医疗照射；
2. 导出限值：年摄入量限值（用于内照射，通过待积剂量推算）、导出空气浓度（工作场所空气中放射性浓度限值）；
3. 管理限值：为了管理的目的，由主管部门或企业负责人根据辐射防护最优化的原则制定的限值，通常严于基本限值；
4. 参考水平：不是限值，是为决定采取某行动而规定的水平，分为记录、调查、干预水平。

辐射防护体系的认识(2023论述)

辐射防护体系的基本目的是要在不对可能与照射相关的有益人类活动带来过分限制的情况下，为防止辐射对人类和环境产生有害效应提出一个适当的防护水平。具体来说是要对电离辐射进行管理和控制，以防止确定效应，并使随机效应的危害降低到可合理到达的程度。



低剂量照射

对受照射人群 100 mGy 以下的低 LET 照射或 50 mGy 以下的高 LET 照射。

确定性效应因素

1. 物理因素

1. 辐射品质：不同种类、不同能量的射线，引起的生物效应不同；
2. 剂量-效应关系：剂量对发生几率和严重程度的影响；
3. 剂量率-效应关系：剂量率越高，辐射效应越明显；
4. 受照部位和面积；
5. 受照几何条件（角分布、空间分布）；

2. 生物因素 (对辐射的敏感性)

1. 不同组织或器官种类;
2. 不同年龄;
3. 不同生物种系。

低剂量研究现状（意思反一下可以作为“低剂量研究的意义”）

1. 相对来说, 对低剂量辐射效应和危害评价尚缺乏足够的了解和科学认识;
2. 对低剂量辐射效应的理解和理论模型等很多是从大剂量辐射效应中推导而来;
3. 对低剂量辐射的健康效应更缺乏理想的生物学监测手段和技术指标。

低剂量表现

适应性反应或兴奋效应 (有益)

低剂量的辐射对生物体或组织部分的刺激作用。

1. 刺激基本生命活动：对生命代谢活动产生明显的兴奋效应；
2. 诱导细胞产生各种适应性反应：诱导细胞对高剂量辐射有抵抗力；
3. 增强免疫：促进胸腺细胞分裂生长。

低剂量辐射超敏感性（有害、有益）

1. （有害）单位剂量的急性损伤效应比较高剂量照射损伤的更大；
2. （有益）增强辐射耐受性。

旁效应（有害）

总体辐射效应高于常规理论预期的辐射损伤效应。

低剂量辐射损伤 DNA 的滞留(有害)

引发的双链断裂可以维持数天时间不被修复。

Chapter 4. 辐射剂量的安全监察

本章要点

1. 对放射性监察的理解;
2. 测量时“死时间”问题;
3. 监察的目的和任务;

对放射性监察的理解

监察类别

1. 工作场所外照射监测;
2. 表面放射性污染监察;
3. 个人剂量监察。

监察目标物

1. 带电粒子（ α 射线和 β 射线）；
2. X/ γ 射线；
3. 中子、重带电粒子。

监察物理量

1. 放射性强度；
2. 剂量（率）；

3. 照射量（率）。

监察具体方面

1. 气体监测；
2. 液体检测；
3. 固体废弃物监测；
4. 乏燃料监测。

测量时“死时间”问题

- 在放射性测量中，相隔最近、分别能引起系统计数的两个脉冲之间的时间称为系统的分辨时间，也叫“死时间”；
- “死时间”是由探测器本身的性质决定的，例如探测器中的电子需要时间重新获得能量；
- “死时间”的存在会影响实验测量精度，一般要进行校正。

监察的目的和任务(2023简答)

1. 为了测定剂量，辐射是微观的，肉眼不可见的，使用专门仪器来测量（了解辐射种类及水平，当前剂量、历史累积剂量等）；
2. 为了做好安全防护。可以依据剂量情况选择合理的安全防护方式，例如调整工作方式、增加屏蔽防护措施、减少受照时间等等。

光电倍增管原理

光子撞击光阴极材料产生光电子，经电场加速聚焦后，带着更高的能量撞击第一级倍增管，发射更多的低能量的电子，这些电子依次被加速向下级倍增极撞击，导致一系列的几何级倍增，最后电子到达阳极作为信号输出。

Chapter 5. 外照射防护

本章要点

1. 内照射、外照射的区别；
2. 如何开展外照射防护；
3. 屏蔽方式；
4. 屏蔽材料；
5. 窄束、宽束、能谱硬化；
6. γ 射线屏蔽基本计算；
7. β 射线屏蔽。

内照射、外照射的区别(2023论述)

照射方式	辐射源类型	危害方式	常见致电离粒子	照射特点
内照射 外照射	开放源 密封源	电离、化学毒性 电离	α 、 β 高能 β 、 γ 、 x 、 n	持续 间断

如何开展外照射防护(2023论述)

- 1. 距离防护，可按平方反比律，通过拉大受照距离以减小受照剂量；
 - 2. 时间防护，可缩短受照时间以减小受照剂量；
 - 3. 屏蔽防护，可在源和受照体间设置屏蔽体减弱射线，以减小受照剂量；
 - 4. 源项控制，对产生源项的物理过程加以干预，使源的类别、源强、源能谱、源的角分布等尽可能得到有效控制，以减小受照体受照剂量。
- 这些途径可以联合使用，并可对它们的外延性方法加以充分利用。

屏蔽方式

- 固定式：防护墙、防护门、观察窗；
- 移动式：包装容器、防护屏、铅砖、铅围裙、防护眼镜等。

屏蔽材料(2023综合题, 8分)

射线类型	作用形式	材料选择原则	常用屏蔽材料
α	电离、激发	一般低 Z 材料	
β	电离、激发、韧致辐射	低 Z 材料+高 Z 材料	铝、有机玻璃、混凝土、铅
γ 、 x	光电、康普顿、电子对	高 Z 材料、	铅、铁、钨 混凝土、砖
中子	弹性、非弹性、吸收	含 H 低 Z 材料、 含硼材料	水、石蜡、含硼 聚乙烯

窄束、宽束、能谱硬化

窄束

不包含散射成分的射线束，减弱规律满足

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

能谱硬化：随着通过物质厚度的增加，不易被减弱的“硬成分”所占比重越来越大的现象；
平均自由程：线性减弱系数的倒数称为光子在物质中的平均自由程， $\lambda = 1/\mu$ 。

宽束

包含散射成分的射线束，减弱规律满足

$$I = I_0 B e^{-\mu x}$$

B 为累积因子，表征散射成分的穿透贡献。它的值取决于：光子能量，屏蔽材料的原子数，屏蔽层厚度，屏蔽层几何条件。

γ射线屏蔽基本计算

减弱倍数法

1. 先求无屏蔽时观测点处照射率（按点源）

$$\dot{\chi}_0 = \frac{A \times \Gamma}{R^2}$$

2. 再求出减弱倍数 K

$$K = f \frac{\dot{\chi}_0}{\dot{\chi}}$$

f 为安全系数，若无说明取为 1； $\dot{\chi}$ 是容许照射率。

3. 按 K 和能量 E_γ 查表得出屏蔽体厚度（ ^{60}Co γ射线平均能量 1.25 MeV）。

半减弱层法

半减弱厚度 $\Delta_{1/2}$ ：将入射光子数减弱一半所需的屏蔽层厚度。

1. 先求出减弱倍数 K
2. 再求出 n

$$n = \frac{\ln K}{\ln 2}$$

3. 查表得出相应屏蔽体半减弱厚度 $\Delta_{1/2}$ ，得到屏蔽体厚度 $d = n\Delta_{1/2}$ 。

积累因子迭代法

1. 计算通量 φ

$$\varphi = \frac{\dot{D}}{E_\gamma \times (\mu_{en}/\rho)}$$

PPT上公式里的 3.6×10^6 是为了化单位出现的， \dot{D} 为标准或题目要求的吸收剂量率， E_γ 为 γ 射线平均能量（ ^{60}Co γ射线平均能量 1.25 MeV）， μ_{en}/ρ 可查表。

2. 由放射性强度 I 得到源强 $S = nI$ ， n 为放射源每次释放的光子数（ ^{60}Co γ射线 $n = 2$ ）， I 为放射性强度，单位 1 Ci = 3.7×10^{10} Bq。
3. 设 $B = 1$ ，代入

$$\varphi = \frac{fBS}{4\pi L^2} e^{-\mu x}$$

f 为安全系数， L 是到源的距离， μ/ρ 可以查表得出， $\mu = (\mu/\rho)\rho$ ，解出 x ，得到 μx 。

4. 由 μx 查表得到 B ，代入 3. 中式子， μ 保持不变，得到新的 x ，这时候就有了新的 μx ，再查 B ，再代入，直到 B 的值收敛，取最后一个 x 值作为屏蔽体厚度。

β射线屏蔽

β射线与物质相互作用

作用方式：散射、吸收；带来的辐射：轫致辐射、切伦科夫辐射。

空气中吸收剂量率粗略估算： $\dot{D} = 8.1 \times 10^{-12} A/r^2$ ， A 为放射性活度， r 为距离。

屏蔽原则

1. β射线的屏蔽要分两层：先轻 Z ，后重 Z ；
2. 屏蔽材料的厚度一般应等于射线在物质中的最大射程。

屏蔽措施

1. 加适当厚度的较轻物质层屏蔽 β 射线；
2. 再加适量的重物质屏蔽 β 射线在较轻物质中产生的轫致辐射；
3. 在 β 射线能量很高时，在较轻物质层和重物质层间加入含氢物质层，对在较轻物质层中产生的光激中子慢化，重物质层内可添加硼，以吸收低能中子。

Chapter 6. 中子防护及应用

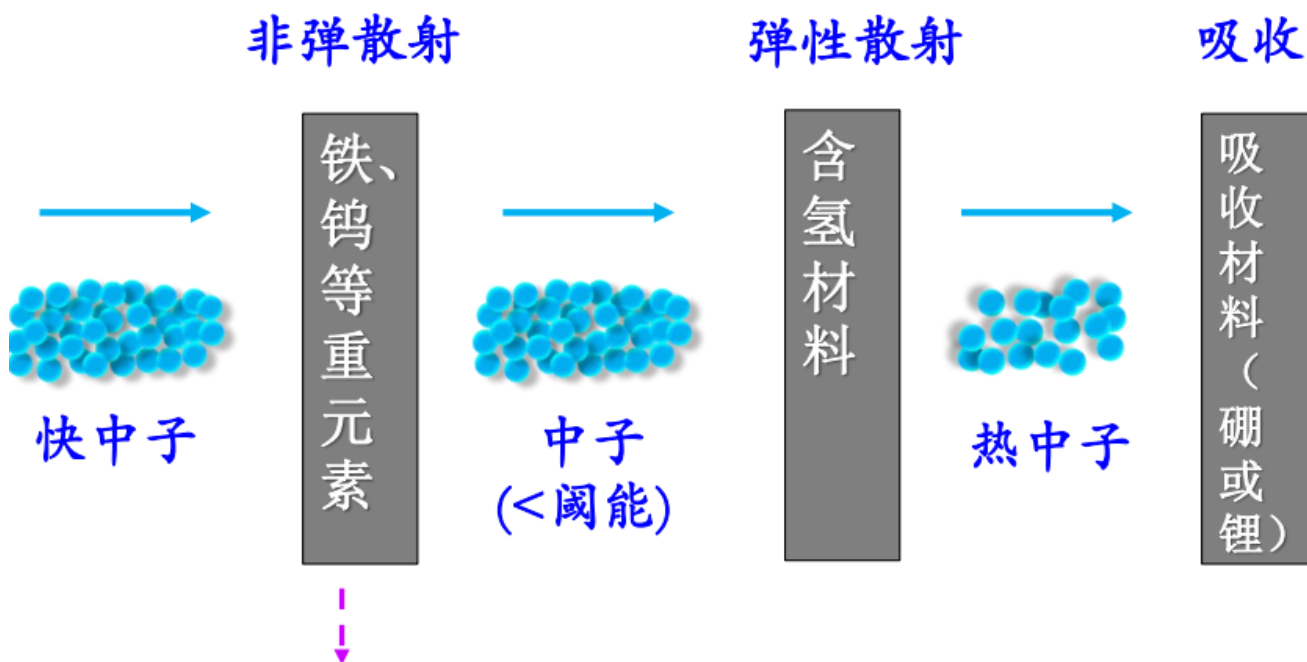
本章重点

1. 快中子如何来屏蔽；
2. 中子屏蔽材料的选择考虑因素；
3. 分出截面法计算中子屏蔽体厚度；
4. 中子活化问题；
5. 为什么在中子防护过程中要考虑 γ 射线；
6. 反应堆和核武器防护。

快中子屏蔽(2023论述)

快中子在物质中的减弱包括两个过程：快中子慢化和慢中子吸收。在慢化或吸收过程还会发射 γ 辐射，所以在屏蔽中子时还应注意对次级 γ 辐射的屏蔽，最后再加一层重核素吸收辐射俘获

的 γ 射线。



分出截面(2023名词解释)

表示中子通过单位厚度的材料时，从高于某一阈能的中子群体中被分离出来而进入较低能量的中子群的概率。

或：总截面扣除前向散射截面后剩余的截面。

计算多层屏蔽

- 准直束

$$N_n = N_0 \prod_{i=1}^M e^{-\Sigma_{Ri} d_i}$$

- 点源

$$N_n = \frac{N_0}{4\pi R^2} \prod_{i=1}^M e^{-\Sigma_{Ri} d_i}$$

分出截面法计算中子屏蔽体厚度(2023计算, 12分)

微观分出截面题目会直接给，重点在于核素质量分数的计算、宏观分出总截面的计算、厚度计算。参考课本75页，但过程有些地方写错了，注意明辨。

1. 质量分数计算

例如90%的聚乙烯($-\text{CH}_2-$)和10%的碳化硼(B_4C)，碳的质量分数计算如下，其他的同理。

$$q_C = 0.9 \times \frac{12}{12 + 2} + 0.1 \times \frac{12}{12 + 10.8 \times 4}$$

2. 宏观分出总截面的计算

代入公式

$$\Sigma = 10^{-24} N_A \rho \sum_i \frac{\sigma_i}{M_i} q_i$$

其中，若 ρ 的单位给 g/cm^3 ， σ_i 的单位给b，则 Σ 的单位就是 cm^{-1} ，考试也会这样给。

3. 厚度计算

代入公式

$$\varphi = \frac{S}{4\pi R^2} e^{-\Sigma x}$$

这里注意受照距离 R 的单位一般要化为m，与 φ ， S 对应，解出 $x(\text{cm})$ 即可。

中子活化

将样品用中子照射后，样品中原子经中子俘获而变得具有放射性的过程。俘获中子后的原子核通常会立即衰变，释放出中子、质子或 α 粒子同时生成新的活化产物。

反应堆防护

辐射源

中子（瞬发、缓发、光中子）， γ 射线（瞬发裂变产生、裂变产物产生、中子俘获产生）。

屏蔽层要求

1. 动力堆，层外辐射水平低于最大允许剂量水平；
2. 研究用堆，比最大允许剂量水平低一个量级；
3. 考虑中子、 γ 双重防护；
4. 既要有重元素又有轻元素；
5. 需要考虑防护材料的耐热问题和辐射损伤问题。

核武器防护

核爆杀伤因素

光辐射、冲击波、贯穿辐射、放射性污染。

放射性物质来源：核裂变产物、感生放射性、未反应的原子装料（半衰期长）。

核爆防护

1. 构筑防御工事和地下避弹所；
2. 不透明物质遮挡。

Chapter 7. 放射性物质安全操作

放射性工作场所分区

1. 控制区：受照剂量有可能超过年剂量限值的 3/10；
 2. 监督区：受照剂量很少有可能超过年剂量限值的 3/10。
- 边界限值：受照剂量很少有可能超过年剂量限值的 1/10；
 - 物理实现：防护墙，防护门，警示标志，联锁机构布点等。

编写语言及工具：Markdown + Obsidian

字体风格：思源宋体 CN + Palatino Linotype

初版时间：2023.5.26