

辐射防护相关知识

李裕熊

李珏忻

中国科大核科学技术学院

确定性效应

辐射的确定性效应是一种有“阈值”的效应，受到的剂量大于阈值，这种效应就会发生，而且其严重程度与所受的剂量大小有关，剂量越大后果越严重。

随机性效应

随机性效应（癌症等疾病）是指效应的发生几率（而非严重程度）与剂量大小有关的那些效应，其后果的严重程度说不上与所受剂量有什么关系，

辐射防护中把随机性效应的发生几率与所受剂量之间的关系简化地假设为“线性”、“无阈”。

确定性效应阈值的估计值

组织与效应		单次照射阈值 (Sv)	多次照射的累积剂量阈值 (Sv)
皮肤	红斑 (X、 γ)	5 - 8	
	暂时性脱发	3 - 5	
	永久性脱发	7	
睾丸	精子减少	0.15	无意义
	永久性不育	3.5	无意义
卵巢	永久性绝育	2.5 - 6.0	6.0
眼晶体	混浊	0.5 - 2.0	5.0
	视力障碍	5.0	>8.0
骨髓	血细胞暂时减少	0.5	无意义
	致死性再生不良	1.5	无意义
	受照者50%死亡	2 - 3	

急性照射放射病

不同照射剂量对人体损伤的估计

剂量(Gy)	类型	初期症状或损伤程度	
<0.25 0.25-0.5 0.5-1		不明显和不易察觉的病变 可恢复的机能变化，可能有血液学的变化 机能变化，血液变化，但不伴有临床症状	
1-2	骨髓 型 急性 放射 病	轻度	乏力，不适，食欲减退
2-3.5		中度	头昏，乏力，食欲减退，恶心呕吐，白细胞短暂上升后期下降
3.5-5.5		重度	多次呕吐，可有腹泻，白细胞明显下降
5.5-10		极重度	多次呕吐，腹泻，休克，白细胞急剧下降
10-50	肠型急性放射病	频繁呕吐，腹泻严重，腹痛，血红蛋白升高	
>50	脑型急性放射病	频繁呕吐，腹泻，休克，共济失调，肌张力增高，震颤，抽搐，昏睡，定向和判断力减退	

未经治疗的急性照射的半致死剂量是4 - 5Gy。

生活中的放射性照射数据

天然辐射照射的世界平均辐射剂量值 (UNSCEAR2000)

照射源			年有效剂量 mSv	
			平均值	典型范围
外照射	宇宙辐射	直接电离辐射和光子	0.28	0.3 - 1
		中子成分	0.10	
		宇生核素	0.01	
	陆地外照射	室外	0.07	0.3 - 0.6
		室内	0.41	
内照射	吸入内照射	铀、钍系列	0.006	0.2 - 1.0
		氡 ^{222}Rn	1.15	
		氡 ^{220}Rn	0.1	
	食入内照射	^{40}K	0.17	0.2 - 0.8
		铀、钍系列	0.12	
总计			2.416	1 - 10

我国国民所受天然辐射照射的 平均年有效剂量及典型范围

照射源			年有效剂量 mSv	
			平均值	典型范围
外照射	宇宙辐射	电离成分	0.26	0.2 - 1.09
		中子成分	0.057	
	陆地外照射		0.54	0.34 - 1.24
内照射		铀、钍系列	0.185	0.2 - 10
		氡及其短寿命子体	0.916	
		^{40}K	0.17	
		其他核素	0.17	
总计			~ 2.3	

2000年天然和人工辐射源所致 年均个人有效剂量

源	世界范围个人年均有效剂量(mSv)
天然本底	2.4
医学检查	0.4
大气核试验	0.005
切尔诺贝利事故	0.002
核能生产	0.0002
职业照射	0.6

全世界医用X射线检查的频率、有效剂量

检查	每1000人口检查次数	每次检查的有效剂量 (mSv)
胸部X射线摄影	87	0.14
胸部X射线透视	37	1.1
腰椎	15	1.8
胸椎	4.1	1.4
骨盆和腹部	11	0.83
上胃肠道	13	3.7
下胃肠道	3.4	6.4
尿路造影	3.8	3.7
CT	16	8.6
血管造影	2.1	12
介入程序	0.84	20
总计	330	

用核医学方法进行肾功能与甲状腺功能检查时所需的¹³¹I活度

检查项目	所需 ¹³¹ I活度 (Bq)
肾功能	$(18.5 \sim 25.9) \times 10^7$
甲状腺功能	$(37 \sim 55.5) \times 10^7$

人类生活方式对辐射水平的影响

类型	剂量水平 (mSv)
夜光表	0.02 mSv/a
乘飞机	0.005mSv/h (2000km)
眼镜 (局部)	0.01 ~ 0.04mSv/a
家用天然气 (局部)	0.06 ~ 0.09mSv/a
假牙 (局部)	1 μ Sv/a
吸烟每天20支 (“钋弹”)	0.5 ~ 1 mSv/a
使用火力发电厂带来的照射	0.005

辐射防护的基本原则

辐射防护的任务在于既要保护从事放射工作的人员、他们的后代以及公众的安全和保护环境，又要允许那些可能会产生辐射的必要实践进行，以造福于人类。

辐射防护的目的是防止有害的确定性效应，并限制随机性效应的发生率，使它们达到可以接受的水平。

为了达到辐射防护的目的，就必须遵循辐射防护的三项基本原则，即：正当性原则、防护最优化原则和剂量限制的应用原则。

ALARA

辐射防护常用单位及相关因子

吸收剂量

吸收剂量是单位质量受照物质所吸收的平均电离辐射能量，单位是 J/kg ，专门名词是戈瑞（Gray），符号“Gy”。这是个很大的单位，因此在实际应用时，往往用其千分之一或百万分之一作单位，即 mGy 、 μGy ，甚至更小， nGy 。

吸收剂量适用于任何类型的辐射和受照物质。在对环境进行 γ 辐射监测时，经常用 nGy/h 作测量单位（吸收剂量率单位），意思是测量地每小时的吸收剂量值。正常的天然本底辐射水平视地域的不同而不同，一般在几十到二百 nGy/h 之间。

当量剂量

不同类型的和能量的射线所产生的生物效应会不同，因此相同的吸收剂量未必产生同等程度的生物效应。为了用同一尺度表示不同类型和能量的电离辐射对人体造成的生物效应的严重程度或发生几率的大小，采用了当量剂量，这是一个考虑了辐射权重因子的量。

当量剂量的单位也是。为了同吸收剂量单位的专门名词区别，当量剂量单位有一个专门名称叫希沃特(Sievert)，简称“希”，符号是“Sv”。实际应用中往往用mSv、 μ Sv、nSv。

值得注意的是，在报道中所提到的测量水平数值都是以剂量率的形式出现的，即每小时多少剂量，也就是说如果在该地停留一小时将接受多大的剂量。所以一个人实际接受了多少照射，应该是剂量率与停留时间的乘积。

在实际测量时，如果包含有多种射线，应使用当量剂量单位。

有效剂量

实践中，因放射性照射引起的随机性效应（癌症等疾病）的发生概率与当量剂量之间的关系还与受照组织或器官有关，因为各种组织器官对射线的敏感度是不一样的，而人体受到的任何照射几乎总是不止涉及到一个器官或组织。为了计算辐射给受到照射的有关器官和组织带来的总的危险，在辐射防护中引入了组织权重因子这一概念，有效剂量就是考虑了这一因素后产生的，可以说这是一个既考虑了射线种类也考虑了器官组织权重因子的量。有效剂量单位的专门名称也是希沃特(Sievert)，简称“希”，符号是“Sv”。

辐射权重因子 W_R

W_R 是与辐射品质相对应的加权因子，称为辐射权重因子，无量纲；是根据射到身上（或源在体内时由源发射）的辐射的种类与能量来选定的。

辐射权重因子

辐射类型	能量范围	W_R
光子	所有能量	1
电子和 μ 子	所有能量	1
中子	<10keV	5
	10-100keV	10
	100keV-2MeV	20
	2-20MeV	10
	>20MeV	5
质子	>2MeV	5
α 粒子、裂变碎片、重核		20

组织权重因子 W_T

组织权重因子是器官或组织T受照射所产生的危害与全身均匀受照射时产生的总危害的比值，也就是说，它反映了在全身均匀受照下各器官或组织对总危害的相对贡献。或者说它反映了不同器官或组织对发生辐射随机性效应的不同敏感性。组织权重因子没有量纲。

组织权重因子 W_T [ICRP-60, 1991]

组织或器官	w_T (1991)
性腺	0.20
红骨髓	0.12
结肠	0.12
肺脏	0.12
胃	0.12
膀胱	0.05
乳腺	0.05
肝脏	0.05
食管	0.05
甲状腺	0.05
皮肤	0.01
骨表面	0.01
其余	0.05

放射性活度

放射源的强弱用单位时间内发生衰变的原子核数来衡量。一个放射源在单位时间内发生衰变的原子核数称为它的放射性活度

放射性活度的SI单位为Bq（贝克）

$$1\text{Bq}=1/\text{s}$$

历史上放射性活度曾用居里(Ci)为单位，规定一个放射源每秒钟有 3.7×10^{10} 次衰变定义为一个居里，即

$$1\text{Ci}=3.7 \times 10^{10}/\text{s}$$

所以 $1\text{Ci}=3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$ 。

特定核素的性能

^{131}I (碘131)

碘131不是天然核素，它是核反应的裂变产物。物理半衰期是8.04天，在人体内一般器官中的生物半衰期是12天，而在甲状腺中的生物半衰期是120天。实际上，对广大公众来说碘131并不是一个完全陌生的东西，它已被广泛应用于核医学领域。它可以作为示踪标记物对病人进行肾功能和甲状腺功能的检查，也可以用于甲状腺肿瘤的治疗。

碘131在衰变过程中发出 β 射线和 γ 射线，对于人体的伤害主要发生在其被吸入或食入体内后所产生的内照射。由于碘131的半衰期比较短，进入体内后衰变快，短时间内就发出较多射线，相对 γ 射线来说， β 射线的射程比较短，会在体内器官上因产生电离而沉积能量，对器官造成损伤。尤其是碘131极易停留在甲状腺这个组织权重因子比较大的部位，对其造成比较严重的伤害。

在碘131进入人体前后较短时间内服用一定剂量的没有放射性的碘制剂，是为了让这些患处较小的碘抢先占据甲状腺中的相应位置，碘131进入人体后就没有停留的位置，而以较短的生物半衰期排出体外，减少了对器官的伤害程度。但是碘剂对人体并不是完全无害的，这只是一个“两害相权取其轻”的应急措施。

^{137}Cs (铯137)

铯137的物理半衰期是30.2年，生物学半衰期成年人全身是50-150天，儿童全身是44天。在衰变过程中发出 β 射线和 γ 射线。过量的铯137会造成人体造血系统和神经系统损伤。

有关的国家标准

个人剂量限值

a

		剂量限值(mSv)	
		职业照射	公众
年有效剂量		20 (在规定的5年内平均 ^b)	1 ^c
年当量剂量	眼晶体	150	15
	皮肤 ^d	500	50
	手和足	500	—

注：a. 限值用于规定期间有关的外照射剂量与该期间摄入量的50年（对儿童算到70岁）的待积剂量之和。

b. 另有在任一年内有效剂量不得超过50mSv的附加条件，对孕妇职业照射施加进一步限制。

c. 在特殊情况下，假如每5年内平均不超过1mSv，在单独一年内有效剂量可允许大一些。

d. 对有效剂量的限制足以防止皮肤的随机性效应，对局部照射需设附加限制以防止确定性效应。上述规定的剂量限值不包括医疗照射及天然本底照射。

食品通用行动水平

放射性核素	一般消费食品 (kBq/kg)	牛奶、婴儿食品、饮用水 (kBq/kg)
^{137}Cs	1	1
^{131}I	1	0.1

The image features a solid teal background. On the left side, there is a decorative graphic consisting of a grid of squares in various shades of teal, ranging from light to dark. The squares are arranged in a pattern that tapers to the right.

谢谢大家!