

国外公害资料

核工业污染及其防治

《核工业污染及其防治》编译组 编

原子能出版社

50.755

国外公害资料

核工业污染及其防治

《核工业污染及其防治》编译组 编

原子能出版社

内 容 提 要

本书是根据国外有关资料编写的。全书分五章：一、电离辐射对人体的危害及其防护标准；二、国外核工业的环境污染；三、核企业环境监测及厂址选择；四、放射性三废的处理与回收利用；五、核试验的环境污染及监测概况。

本书可供领导同志、环境保护工作者、核工业及有关部门的同志参考。

国外公害资料

核工业污染及其防治

《核工业污染及其防治》编译组 编

☆

原子能出版社出版

·北京印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

(限国内发行)

☆

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ · 印张 83/32 · 字数 231 千字

1978 年 6 月北京第一版 · 1978 年 6 月北京第一次印刷

统一书号：15175 · 111

定 价：1.00 元

绪 言

核工业是在第二次世界大战期间发展起来的。战后三十多年来，在政治和军事需求的推动下，国外核工业发展十分迅速。特别是苏修叛徒集团篡夺苏联领导权之后，苏美两个超级大国，为了争霸世界，大量制造核武器，疯狂发展核工业。

随着核军事工业的发展，从五十年代起，核能开始用于发电。核动力的应用，加速了核工业的发展。

核工业如同其他工业一样，在生产过程中也产生“三废”（废气、废液和固体废物）；如果不加以严格控制，任意排放，势将造成环境的严重污染，给人类带来危害。核工业不仅向环境排放出一般的有害化学物质，而且还排放出放射性物质。放射性物质放射出的射线，不能为人的感官直接感觉到，而必须用专门仪器来探测。射线通过它所具有的电离作用，可能使人的机体受到损伤。

排放到环境中的放射性物质的放射性，不会因自然环境的化学、物理、生化等作用而消减。大气和水等环境介质，只能使排放出的放射性物质扩散稀释或由一种环境介质转移到别的介质中去。环境中的放射性物质的放射性强度，只随着时间的增长而衰减。不同的放射性核素有不同的半衰期。核工业排放到环境中的长半衰期核素，如氡⁸⁵、氚、锶⁹⁰和铯¹³⁷等，它们的半衰期由十多年到三十年不等。在排放量不断增多的情况下，这些核素会在自然界中逐渐积累起来。

此外，有些水生生物，如水藻、牡蛎、鱼等，对某些放射性核素有浓集作用，而且有的浓缩系数（即有机体中的浓度与水中浓度之比）很大，如鲤鱼对铯¹³⁷的浓缩系数为3000；牡蛎对铯⁶⁵的浓缩系数为100000。人吃了这些水产物，会增大体内的照射剂量。有些陆生生物也有类似的情况。放射性污染的上述这些特征，增加了环境保护工作的复杂性。

关于电离辐射对人体损伤的机理和效应问题，还需要在实践中和通过实验研究进一步认识。总的来看，对于大剂量的效应，了解得比较清楚，有广岛、长崎原子弹受害者的有关资料，也有一些事故情况下职业工作者受到大剂量照射损伤的实际经验。已经明确知道，大剂量照射可以诱发白血病、癌症，甚至可以直接致死。而对于小剂量照射，例如目前实行的容许水平的照射对人究竟有没有危害，还是一个需要继续研究的问题。慢性小剂量照射的危害不是在较短的时间内能够显露出来的，需要长时间的观察和积累资料。核能的利用，比起其他工业来，历史比较短。而且，帝国主义国家，特别是超级大国，为了推行侵略政策、攫取高额利润，在发展核能的过程中，是不会重视环境的放射性污染可能给居民带来的危害，也不可能积极认真地从事有关问题的调查研究。

目前国外对于慢性小剂量照射的危害，还没有定论。有人提出：（1）任何小剂量的照射，都会给人带来损伤，没有阈值，剂量和效应之间成直线关系；（2）多次照射的剂量效应是叠加的，与剂量率无明显关系。在这个假设的基础上，把动物和昆虫的照射实验数据，以及人受大剂量照射的资料外推到小剂量对人的危害。必须指出，在制订辐射防护标准时，是出于安全起见才采用这一假设的。对目前广泛采用的标准，一般认为，从现有的知识来看是合适的。不过也有人持不同的看法。如有人认为这个标准“过分安全”，至少高估了六倍。另外也有人认为，这个标准“对癌症的危险，至少低估到实际情况的十二分之一”。

核工业对环境的污染，通常是一个小剂量照射的问题。在国外，对环境的放射性污染水平，主要以是否超过辐射防护标准中规定的限制浓度和限制剂量当量来衡量。

根据国外报道的资料，核工业企业在正常运行情况下对环境的污染，大多未超过国际的 and 国家的有关标准。某些核电站只达到国际放射防护委员会（ICRP）建议的居民限制剂量当量的百分之几或千分之几。目前，核工业对环境污染的程度，还不象某些老工业那么严重。其原因是：（1）与其他工业相比，核工业的历

史短，规模小，布局较为分散，而且多半位于偏僻地区；（2）对于放射性的危害，认识较早，本世纪二十年代就有了早期的辐射防护标准；核工业从开始建立时起，就考虑了一定的防护措施。但是应当看到，垄断资本集团是不会把真实的污染资料全部公诸于众的。他们往往采取种种欺骗手法来掩盖真实的污染情况。

在苏修、美帝争霸世界的今天，两霸大搞扩军备战，疯狂发展核武器，加紧进行核试验。从国外资料的分析中可以看出，全球性的人工放射性污染，主要是美苏两霸在 1963 年以前进行的大量大气层核试验造成的。在美苏合伙炮制的“部分核禁试条约”签订以前，他们进行了三百多次大气层核试验，总量约 200 百万吨 TNT 当量，注入平流层的铯⁹⁰估计可达 14.8 百万居里，占 1970 年以前所有大气层核试验注入量的 95% 以上。在 1963 年以后的十年间，美苏两霸共进行了四百多次地下核试验，苏联社会帝国主义的地下核试验次数逐年增多。两个超级大国不仅在本国生产和储存了大量核武器，而且在别国领土上建立核基地。载有核导弹的潜艇在别国领海恣意游弋；携带核弹的飞机在别国领空到处乱窜，成为对人类环境和各国人民安全的极大威胁。

资本主义国家核工业排放的三废也给环境造成了一定的污染。垄断统治集团，一味追求利润，不顾人民死活。他们在广大人民的日益不满和反抗下，也不得不采取一些措施。但是他们反动的阶级本性、腐朽的社会制度，决定了他们不可能真正去解决环境保护问题。

美国汉福特的二十一个中水平放射性废水贮存大罐，在 1958 年到 1973 年期间，发生了 16 次泄漏事故，漏出的放射性物质的放射性强度总计达 190 万居里。据估计，已造成的地下土壤的污染，在一、二百年以内也不会完全消失。

美国铀水冶厂从四十年代开始大量发展以来，直至五十年代末，长期任意排放三废，造成了环境的严重污染。如杜兰哥和乌拉文等水冶厂将废水直接排入阿尼玛斯河和圣米格尔河，使乌拉文厂下游 38 英里范围内河水所含溶解镭远超过饮水限制浓度，最

高达限制浓度的二十余倍。美国水冶厂排出的非放射性有害化学物质对环境的污染也是严重的。乌拉文等水冶厂排出的酸性废水有时使河水的 pH 值突然下降到 4.2(水产水质要求范围是 6.5—8.5)。河面漂浮的煤油膜直径有的达 1 英尺以上。工厂下游数十英里范围内,鱼、虾及其他软体动物完全绝迹,只剩极少数藻类和水虫。

英国核企业均建于沿海,一些企业将中、低放废水排入海洋。仅温茨凯尔后处理厂,每年即向爱尔兰海排放总放射性达几十万居里的废水,使附近海域可食用的紫菜受到严重污染。1957 年温茨凯尔 1 号反应堆堆芯发生烧毁事故,向大气排出三万多居里放射性物质(其中约二万居里为碘¹³¹),污染面积约达 518 平方公里,使大量牛奶中的碘¹³¹含量超过容许水平而废弃,损失达 6 万英镑。据计算,事故期间污染地区儿童甲状腺所受剂量为 16 拉德,成人最高为 9.5 拉德(未受污染地区为 1.2 拉德)。下风方向距工厂 1.6 公里处的 γ 照射量率最高值为 4 毫伦/小时,相当于本底的 400 倍。

应当指出,苏修对他们自己的核污染和事故真象,从不发表。但从国外卫星拍摄照片和监测等资料,可以推断,苏联的核污染是严重的。如 1965 和 1966 年苏修进行地下核试验时,有两次冒了顶,大量放射性物质冒出地面,造成环境的污染。1974 年苏联 BH-350 实验快堆起火,对附近环境必然造成污染。

苏修、美帝为了争夺世界霸权,加紧进行核扩军,疯狂推行掠夺政策、侵略政策和战争政策。帝国主义、新老殖民主义及其垄断集团,为了追逐高额利润,破坏资源,任意排放有害物质,污染和破坏环境,激起全世界人民日益强烈的不满和反抗。自从美帝于 1945 年用两颗原子弹残暴地屠杀了广岛、长崎几十万居民之后,世界各国人民强烈反对帝国主义的核竞赛、核讹诈和核污染。当前世界上,国家要独立,民族要解放,人民要革命,已经成为不可抗拒的历史潮流。超级大国任意主宰世界命运的日子已经一去不复返了。苏美两霸内外交困,日子越来越不好过,处于

“无可奈何花落去”的境地。保护和改善人类环境的斗争，已经成为世界人民反对两霸斗争的一个方面。

在世界人民强烈反对和抗议的巨大威力下，苏修、美帝为了掩盖其核扩军、核备战的实质，欺骗愚弄人民和限制第三世界发展核工业，大搞核骗局，装出一副愿意缓和紧张局势的姿态，提出“部分核禁试”、“不扩散核武器”、宣布削减一些裂变物质的生产和把原子能用于和平等等。这都是苏修、美帝骗人的鬼话。事实上，苏修、美帝的核武器越来越多，对环境的威胁越来越严重。他们在国内打出防治公害、保护环境的招牌，做了一些防治公害的事，如制订辐射防护标准、条例和法令，设立辐射监测和研究机构，采取了一些三废处理措施，在某些方面也可能取得一些成效。但这是他们为了维持他们的统治被迫而为之的。

核工业对环境的污染是可以控制的，也是能够防治的。决定性的因素是社会制度，是人民能否掌握自己的命运，真正成为国家的主人，有没有一条正确的路线。在资本主义制度下，核工业的污染问题同其他公害一样，是腐朽的资本主义的不治之症。只有消灭了万恶的资本主义制度，才能从根本上消除包括核污染在内的一切公害。

《核工业污染及其防治》一书是在国外公开资料的基础上编写的，只能部分地反映国外核工业污染及其防治的情况。本书主要介绍放射性环境污染的特点及危害、国外核工业（包括核武器试验）对环境污染的现状、控制环境污染的标准和监测、核设施的选址、防治污染的措施等，也介绍一些有关电离辐射对人体危害的基本知识。

遵照毛主席关于“认真学习外国的好经验，也一定研究外国的坏经验——引以为戒”的教导，我们向领导和有关同志提供国外在这个领域的情况和正反两方面的经验，作为同帝、修、反开展针锋相对的斗争和在国内进行环境保护工作时参考和借鉴。

由于我们的水平有限，在参阅资料上不够全面，在材料的组织和编写上都存在着缺点和错误，请领导和有关同志批评指正。

目 录

绪 言	i
第一章 电离辐射对人体的危害及其防护标准	1
第一节 放射性和辐射量单位	1
第二节 电离辐射对人体的危害	5
第三节 放射性物质进入人体的途径及其在体内的分布和代谢	24
第四节 放射性物质在自然环境中的动态及食物链	34
第五节 电离辐射的防护标准	48
参考文献	67
第二章 国外核工业的环境污染	72
第一节 核工业简介	72
第二节 铀矿山和水冶厂的环境污染	76
第三节 铀精制厂及元件加工厂的环境污染	88
第四节 气体扩散厂的环境污染	95
第五节 反应堆的环境污染	101
第六节 核燃料后处理厂的环境污染	121
第七节 核企业事故下的环境污染	130
第八节 核工业造成的全球性污染	136
参考文献	148
第三章 核企业环境监测及厂址选择	154
第一节 核企业环境监测	154
第二节 核企业厂址的选择	177
参考文献	188
第四章 放射性三废的处理与回收利用	191
第一节 核工业三废处理概况	191
第二节 铀矿山三废的处理	195
第三节 铀水冶厂三废的处理	197
第四节 铀精制厂和元件加工厂三废的处理	201

第五节 气体扩散厂三废的处理	202
第六节 反应堆和核燃料后处理厂三废的处理	204
第七节 放射性废物的回收利用	220
第八节 放射性三废处理动向	226
参考文献	231
第五章 核试验的环境污染及监测概况	236
第一节 核试验环境污染的由来及分布	236
第二节 近场区的污染事例——比基尼事件	243
第三节 核试验对全球环境的污染	247
第四节 核试验环境污染对人体的影响	258
第五节 国外核试验的环境监测概况	265
参考文献	267

第一章 电离辐射对人体的危害 及其防护标准

什么是放射性？射线是怎样和物质相互作用的？又是怎样损伤人体的？这些都是人们关心而又不太熟悉的问题。本章将介绍有关这些方面的基本知识，同时还将叙述放射性物质在自然环境中迁移的规律等，以便了解它们是通过哪些途径照射人体并对人体产生危害的，从而找出切实有效的环境保护措施。

此外，为了在阅读第二章有关国外环境放射性污染的情况时有一个衡量其污染程度的依据，在本章的最后一节里介绍了国外辐射防护标准制订的原则及几个国家的现行标准。

第一节 放射性和辐射量单位

世界是由运动着的物质组成的。尽管各种物质的形态各异、特性不同，如果对它们进行比较深入的分析就会发现，整个物质世界是由一百多种用化学方法不能再分的简单物质组成的。这一百多种具有一定物理与化学性质的简单物质叫做元素。目前已发现的有 106 种元素。

元素又是由什么组成的呢？组成元素的最小单位是原子。原子是很小的，若将一亿个原子一个紧挨一个地排列起来，大约只有一厘米长。原子虽然很小，但仍然是可分的，并具有十分复杂的结构。原子是由原子核和围绕原子核高速旋转的电子组成。原子核本身是由质子和中子组成的。一种元素的原子所包含的质子数，与核外电子数相同，叫做这种元素的原子序数。一个原子的中子数与质子数的总和叫做原子的质量数。世界上这一百多种元素，按照核外电子的数目和它们排布的规律，列成表格，称为元

素周期表。核外电子的数目决定着元素的物理与化学性质。

有一些原子，其核内的质子数相同而中子数不同，由这些原子组成的元素的化学性质几乎都一样，在元素周期表内占据同一个位置。人们把这种质子数相同而中子数不同的原子核构成的元素，称为同位素。一种元素往往有好几种同位素。例如氢有三种同位素：氢(H^1)、氘(H^2)、氚(H^3)；天然铀有铀²³⁴、铀²³⁵、铀²³⁸等。钋的同位素就更多了，从钋¹⁹²到钋²¹⁸有 26 个之多。目前已被发现的各种同位素总共有 1900 多种。

各种同位素的原子核有的是稳定的，有不少是不稳定的。不稳定同位素的原子核会发生衰变，衰变时放射出肉眼看不见的射线。这种能自发地放出射线的性质叫做放射性。常见的射线有 α 射线、 β^- 射线、 β^+ 射线和 γ 射线。能放出射线的同位素叫做放射性同位素，有时也笼统地叫做放射性物质。不发生衰变的同位素叫做稳定同位素。放射性同位素发生 α 、 β^+ 和 β^- 衰变后，变成另一种同位素(即衰变产物，也叫做子体)。有些放射性同位素的衰变产物是稳定的，不再衰变下去，但也有些仍然是放射性的，还将继续衰变下去，直至变成稳定同位素为止。例如铀的同位素铀²³⁸，经过 16 个子体同位素的递次衰变后，变成了稳定同位素铅²⁰⁶。整个衰变过程，叫做衰变链。 γ 射线通常是原子核从高能级跃迁到低能级(或基态)时发射出来的。放出 γ 射线后的原子核，其质子数和质量数都没有发生变化，所以不会变成一个新的同位素。

那么上面讲的射线到底是什么东西呢？原来， α 射线是带正电荷的粒子流。 α 粒子实际上是氦的原子核，即由两个质子和两个中子组成的。 α 射线的贯穿能力较小，在空气中一般只能走 3—8 厘米的路程即被吸收了。 β^- 射线实际上是电子流， β^+ 射线是正电子流。同一种放射性同位素放出的 β 粒子的能量并不相同，而是一个从某个最小值到某个最大值的连续分布。我们通常说的 β 射线的能量指的是最大能量。 β 射线的穿透本领比 α 射线强得多，在空气中一般可穿过几米至几十米才被吸收。 γ 射线是

波长极短(通常指 10^{-8} 厘米以下)的电磁波。各种放射性同位素所放出的 γ 射线,都具有明确的能量。 γ 射线的穿透本领比 α 和 β 射线都大得多。

半衰期是放射性同位素的一个特性常数。它基本上不随外界条件的变化和元素所处化学价态的不同而改变。半衰期是指某种放射性同位素的质量在衰变过程中减少到原有质量一半所需的时间(此时,其放射性强度也减弱一半)。例如,一克镭²²⁶经过 1622 年就剩下了半克,另外半克变成了其他同位素,所以镭²²⁶的半衰期是 1622 年。任何放射性同位素经过一个半衰期只剩下一半,再经过一个半衰期,在剩下的一半中又衰变掉一半,即剩下原有质量的 $1/4$,余可依此类推。不同放射性同位素的半衰期长短差别很大。如钋²¹²的半衰期仅为 3.0×10^{-7} 秒,而铀²³⁸的半衰期为 4.5×10^9 年,即 45 亿年。

由半衰期的定义可见,对质量相同的不同同位素来说,半衰期越短,则放射性越强,反之就弱。所谓强或弱,是指在单位时间内某放射性同位素衰变的多少。表示放射性强度的单位是居里(符号是 Ci)。1 居里等于某放射性同位素每秒发生 3.7×10^{10} 次衰变。通常也用毫居里(千分之一居里)、微居里(百万分之一居里)、毫微居里(十亿分之一居里)和微微居里(万亿分之一居里)。

射线是从原子核内以很高的速度发射出来的,带有很大的能量(动能)。当任何物质受到射线照射时,射线便和受照射的物质相互作用,逐渐失去能量,或者说受照物质接受了能量。对于带电粒子来说,每单位路程上的能量损失(比能量损失)与受照物质内部的电子密度和带电粒子的电荷成正比,但和带电粒子本身的速度的平方成反比。粗略地说,带电粒子在物质中主要是通过两种过程失去能量的:电离和激发。

在电离过程中,一个带电粒子和物质内部的电子相碰并将其击出,使原子失去一个电子;这时,原子因失去电子而带正电,并被打出来的电子形成离子对。这种现象叫电离。运动着的带

带电粒子的电离强度用比电离来表示，即带电粒子在物质中的路径上每厘米内产生的离子对数。在同一物质中，电荷数越大速度越小，比电离就越大；也就是说，对于能量相同的粒子，电荷数和质量越大，比电离也越大。由此可见， α 粒子的比电离比 β 粒子的大得多。例如： α 粒子穿过一个大气压的空气时，在每厘米路径上产生大约 50000 到 100000 个离子对，而 β 粒子只产生 30 到 300 个离子对。激发是带电粒子与物质相互作用时，将一定的能量传给原子，使原子从基态跃迁到激发态的过程。

不带电的射线，即 γ 和X射线光子束和中子流与物质相互作用时，不直接发生电离和激发，但由于其他一些作用会产生带电粒子，叫做次级带电粒子，如次级电子、反冲质子、正电子等。在与物质相互作用的情况下，这些次级辐射也会产生电离和激发。在电离和激发的过程中，带电粒子将能量传递给与之作用的物质。这种能量的传递，使物质的状态发生变化，对生物体来说，会造成损伤。

射线的生物效应取决于粒子沿其径迹损失能量的分布方式和每克物质吸收的总能量。射线沿每单位长度径迹上的能量损失，叫做线能量转移(LET)，用千电子伏/微米(水)表示。不同射线的线能量转移不同，因而相同剂量的不同射线的效应也不相同。

为了度量射线照射的量、受照物质所吸收的射线能量（即吸收剂量）以及表征生物体受射线照射的效应，采用的单位有：

(1) 伦琴(符号为 R，简称伦)是度量 X 或 γ 射线照射量的专用单位。1 伦琴的照射量能在 1 公斤空气中产生 2.58×10^{-4} 库仑的电荷，即：

$$1 \text{ 伦琴} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ 库仑/千克。}$$

(2) 拉德(符号为 rad)是吸收剂量的专用单位。1 拉德等于电离辐射(包括直接和间接电离辐射)给予 1 公斤物质 10^{-2} 焦耳的能量。

(3) 雷姆(符号为 rem)是剂量当量的专用单位，用来衡量各种辐射所产生的生物效应。某一吸收剂量的生物效应与辐射的种

类以及照射条件有关。因而，要推断对某一器官或组织所产生的效应，必须将吸收剂量乘以某些修正系数。如用 H 表示剂量当量，则

$$H = DQN$$

式中 D 是吸收剂量(拉德)； Q 是线质系数，考虑不同射线效应的差异，根据射线的线能量转移而指定的系数，例如，对于 X 、 γ 、 β 射线， $Q=1$ ，对于 α 射线， $Q=10$ ，对于慢中子， $Q=3$ ，对于快中子， $Q=10$ ； N 是其他修正系数(对于外照射， $N=1$)。

应当注意，这个单位只适用于低水平照射，不能用于大剂量的事故情况下的照射。

在防护工作中常常要求限制单位时间内接受的剂量，即剂量率。吸收剂量率是单位时间内的拉德数，即拉德/秒，毫拉德/小时等。伦琴和雷姆也有类似的表示方法。

据报道，国际权度大会 (General Conference on Weights and Measures) 于 1975 年正式批准了吸收剂量单位和放射性强度单位的新命名。将原来的吸收剂量单位“拉德”改为国际单位制的“格雷”(gray)，定义为 $1 \text{ 焦耳} \cdot \text{千克}^{-1}$ ，符号为 Gy；将原来的放射性强度单位“居里”改为国际单位制的“贝克勒尔”(becquerel)，定义为 $1 \text{ 次衰变} \cdot \text{秒}^{-1}$ ，符号为 Bq。并希望在今后十年内采用新命名。关于以焦耳·千克⁻¹表示的剂量当量单位“雷姆”的修订，还在讨论中。

第二节 电离辐射对人体的危害

自十九世纪末发现 X 射线和放射性起，人们逐渐认识到放射线对人有损伤作用。由于射线以人所不能感觉到的形式存在，长期以来，对于它是怎样损伤人体的并不了解。只是在近代科学技术有了比较全面的发展以后，对辐射损伤的机理才逐渐有所认识，但还未能彻底阐明。

射线如何损伤人体？有哪些因素影响辐射损伤？核工业的

环境放射性污染对人有无危害？等等，都是人们关心的问题。为了使读者对辐射损伤有比较完整的认识，本节分别介绍辐射对人的急性效应和远期效应。

急性效应只是在短时间内受到大剂量射线照射时发生，而远期效应可以在受到较低剂量射线照射后，经过一定时间的潜伏期后出现。从现有资料看，所有引起上述效应的辐射剂量，都远远超过核工业在正常运行情况下对周围环境造成的辐射水平。有关环境中长期慢性小剂量辐射引起人体损伤的资料极少。迄今国外对小剂量危害的评价，主要还是根据大剂量效应外推的，而且同类资料的结果和数据往往互相矛盾。因此，目前还很难确切评价核工业环境小剂量辐射的危害。随着实践经验的积累和科学研究的进展，人们对它的认识也会发展。

一、辐射损伤的机理及影响因素

1. 辐射损伤机理

无论是粒子辐射(α 、 β 、质子、中子等)还是电磁辐射(X、 γ)，当它们与生物体作用时，都与机体细胞、组织、体液等物质相互作用，引起物质的原子或分子电离，从而可以直接破坏机体内某些大分子结构，如使蛋白分子链断裂，核糖核酸或脱氧核糖核酸链断裂，破坏一些对物质代谢有重要意义的酶等，甚至可以直接损伤细胞的结构。射线还可以通过电离生物体内广泛存在的水分子，使其形成一些自由基，间接通过这些自由基的作用来影响机体某些组成成分。因此，辐射的电离作用，不仅可以扰乱和破坏机体细胞、组织的正常代谢活动，而且可以直接破坏细胞和组织结构。此外，辐射对有机体的作用，不能完全以电离辐射的直接作用和间接作用来解释。例如实验证明，要破坏离体细胞，至少要损伤细胞内原生质的1—10%。但根据物理剂量估算，致死剂量1000拉德的照射，只能损伤细胞原生质的百万或千万分之一。对于由神经内分泌系统调节平衡生命活动的活机体来说，

则更为复杂。局部的照射可以影响到远隔部位的效应（辐射的远隔效应），如局部照射肢体可以引起机体的白细胞、淋巴细胞和血小板的减少。当神经内分泌调节发生障碍时，辐射损伤的病理改变就更为严重。

2. 影响辐射损伤的因素

从电离辐射对细胞和组织的作用到临床症状的出现，其过程极为复杂，发生的机理还不十分清楚。实践告诉我们，很多因素，如射线的种类、照射剂量、剂量率和照射方式、机体生理状态、环境条件等，都直接影响辐射损伤的效应。 α 射线的生物效应较大，但粒子大，穿透能力小，在体外不构成对人体的威胁；但若进入人体内则具有较大危害。 γ 射线具有较强的穿透能力，即使是体外照射，也能对深部组织造成损伤。 β 射线的电离作用和穿透能力居于 α 与 γ 射线之间。

同一种射线还因照射剂量不同，效应亦不相同。例如 100 拉德剂量以下的 X 线或 γ 射线的外照射，并不引起急性放射病，而 450 拉德左右的 X 线或 γ 射线，可以引起 50% 的人死亡。照射时如有足够厚的防护层，也可以避免或减轻辐射损伤。例如在核爆炸时，18 英寸（约 0.5 米）厚的混凝土就能将 1000 拉德致死剂量的瞬时核辐射减弱到约 100 拉德，26 英寸（约 0.7 米）厚的泥土同样可减少到 1/10，3 英尺（约 0.9 米）厚的泥土可减少到约 1/30。

人体受照射的部位和照射的方式不同，辐射效应亦有差异，如局部肢体受照，可容许千拉德或更大剂量。同样是局部照射，还因受照的部位不同而损伤不同，如用 600 伦照射动物四肢引起的辐射损伤较轻，而 600 伦照射头或腹部时，则可见严重的病理变化。而全身照射约 450 拉德可半数致死。若分次照射，则可减弱辐射效应，有时分次小剂量照射的总剂量可以达一次急性照射剂量的几倍或几十倍，而且很少引起损伤。用不同照射量率对小鼠进行外照试验，当照射量率为 30 伦/分照射时，30 天内致死 50% 小鼠的照射量约为 840 伦；而当照射量率为 3 伦/分时，则需约 1200 伦。