



环境署

# 辐射

## 影响与源

什么是辐射？  
辐射对我们有什么影响？  
辐射来自哪里？

>1 000 毫希沃特

放射治疗所用剂量

100 毫希沃特

航天员受照剂量  
(4个月)

10 毫希沃特

腹部CT扫描

1 毫希沃特

核工业工作人员受照剂量  
(1年)

0.1 毫希沃特

胸部X射线透视或飞行 (20小时)

0.01 毫希沃特

牙科X射线透视

0.001 毫希沃特

巴西坚果 (30克)

联合国环境规划署





环境署

# 辐射

## 影响与源

什么是辐射？  
辐射对我们有什么影响？  
辐射来自哪里？

联合国环境规划署

## 免责声明

本出版物主要依据的是联合国原子辐射影响问题科学委员会(UNSCEAR—United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation)的研究结果，联合国原子辐射影响问题科学委员会是联合国大会的一个下属机构，其秘书处由联合国环境规划署为其提供。本出版物未必代表该科学委员会或联合国环境规划署的观点。

本书用的名称和引用的资料，并不代表联合国环境规划署对任何国家的法律地位、领土、城市或区域、或其国界和边界的划分表示任何观点。

出于教育或非盈利目的，在未经版权所有者特别许可情况下，本出版物可以被部分复制，需注明文献来源。联合国环境规划署希望收到源于本书的任何出版物。

未经联合国环境规划署事先书面许可，本出版物不得转售或用于其他任何商业目的。

联合国环境规划署希望在全球范围内和在自己的活动内推动环境友好实践。本出版物用百分之百无氯再生纸印刷。联合国环境规划署的发行方针是减少碳排放量。

图书目录: 辐射: 影响与源, 联合国环境规划署, 2016年

书号: ISBN: 978-92-807-3596-3

编号: DEW/2032/NA

版权: 联合国环境规划署, 2016年

修正电子版本





环境署

# 辐射

## 影响与源

什么是辐射？  
辐射对我们有什么影响？  
辐射来自哪里？

联合国环境规划署

## 致谢

这本小册子基于联合国原子辐射影响问题科学委员会的研究结果和杰弗里·林恩（Geoffrey Lean）最初在1985年和1991年编写的联合国环境规划署出版物《辐射：剂量、影响、危险》编写而成。

本书原版为英文版。中文版由中国辐射防护学会组织翻译，我们对此表示感谢。如有歧义，以原版为准。

技术编辑: Malcolm Crick 和 Ferid Shannoun

文本编辑: Susan Cohen-Unger 和 Ayhan Evrensel

图表与版面设计: Alexandra Diesner-Kuepfer

此外，以下人员对本书做出了宝贵的贡献，提出了宝贵的意见：

Laura Anderson, John Cooper, Susan Cueto-Habersack,  
Emilie van Deventer, Gillian Hirth, David Kinley, Vladislav Klener,  
Kristine Leysen, Kateřina Navrátilová-Rovenská, Jaya Mohan,  
Wolfgang-Ulrich Müller, Maria Pérez, Shin Saigusa, Bertrand  
Thériault, Hiroshi Yasuda, Anthony Wrixon.

## 前言

广岛、长崎、三哩岛、切尔诺贝利和福岛第一核电站，这些名字已经与公众对辐射的恐惧联系在一起，这些恐惧有的来自核武器的利用，有的来自核电站事故。实际上，在日常生活中人们更多地受到来自其他许多辐射源的照射，包括来自大气和地球的照射，以及医学和工业辐射应用的照射。




1955年，核武器试验引发了公众关于原子辐射对空气、水和食物影响的担忧。针对这种担忧，联合国大会设立了联合国原子辐射影响问题科学委员会（UNSCEAR）来收集和评估有关原子辐射照射水平和影响的资料。科学委员会的第一个报告奠定了1963年《部分禁止核试验条约》谈判的科学基础，条约禁止大气核层武器试验的进行。从那时起，科学委员会继续研究和提出备受关注的辐射照射报告，包括从切尔诺贝利核电站事故的报告到福岛第一核电站事故的报告。科学委员会坚持不懈地向科学界和决策者提供极有价值的工作。

虽然科学界已经发表了关于辐射源与影响的资料，但往往是技术性的，对公众可能是难以理解的。这些资料与其说是向公众提供信息，莫如说这些信息往往使公众感到困惑，也就是说，几十年前造成的恐惧和困惑一直在流行。本出版物详细地讲解科学委员会的最新科学资料，包括辐射类型、辐射源、以及对环境的影响，来解决这些问题，做到使普通读者便于理解。

现在，UNSCEAR秘书处在联合国环境规划署(UNEP)的支持下工作，帮助各国实施环境友好的政策和实践。帮助公众认识辐射，认识辐射如何影响这个星球上的生命，是联合国环境规划署的核心使命。

我非常高兴地祝贺所有为本出版物做出贡献的人，并祝贺过去六十年来为这些极其重要的问题勤奋工作的科学委员会全体成员及代表。



Achim Steiner

阿希姆·施泰纳

联合国环境规划署执行主任，兼联合国副秘书长

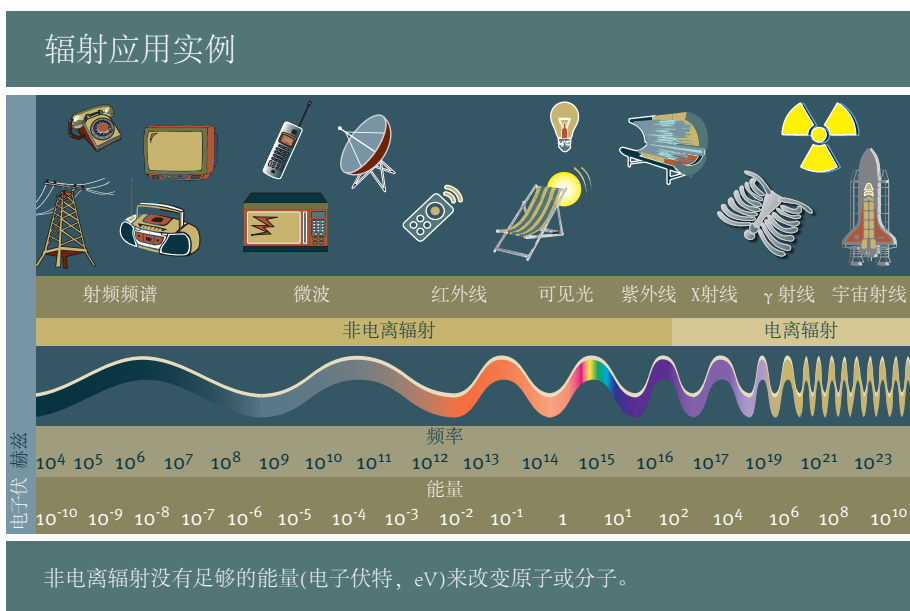
# 目录

<b>引言</b>	<b>1</b>
<b>1. 什么是辐射?</b>	<b>3</b>
1.1. 简史	3
1.2. 基础知识	4
放射性衰变和半衰期	6
辐射单位	7
1.3. 辐射贯穿本领	9
<b>2. 辐射对我们有什么影响?</b>	<b>11</b>
2.1. 对人的效应	13
早期健康效应	14
延迟健康效应	15
对后代的效应	18
2.2. 对动植物的效应	22
2.3. 辐射剂量与效应的关系	24
<b>3. 辐射来自哪里?</b>	<b>27</b>
3.1. 天然源	28
宇宙源	28
陆地源	29
食物和饮用水中的源	32
3.2. 人工源	32
医学应用	33
核武器	37
核反应堆	39
工业应用和其他应用	48
3.3. 对公众和工作人员的平均辐射照射	54



## 导言

在正文开始之前，需要区分什么是电离辐射，什么是非电离辐射。电离辐射有足够的能量使原子释放电子，从而使原子带有电荷。而非电离辐射如无线电波、可见光或紫外辐射则非如此。本出版物介绍的是来自天然源和人工源的辐射照射影响。下文中提到的术语“辐射”仅指电离辐射。



今天，我们对辐射源和辐射照射的了解要多于任何其他有害物质，而且科学界正在不断地更新和分析这些知识。大多数人知道辐射在核电生产或医学实践中的应用。然而，对核技术在工业、农业、建筑业、科学研究和其他领域的应用还知之不多。导致公众最大照射的辐射源未必是最引人注目的源，这对于第一次触及这个问题的人来说，可能会感到出乎意料。事实上，最大照射是由环境中一直存在的天然源引起的。人工源中对辐射照射贡献最大的是辐射在全球范围内的医学应用。此外，在日常生活中，如航空旅行或居住在某些地区隔热良好的房屋中，都会大大增加辐射照射。

本出版物是联合国环境规划署(UNEP)和联合国原子辐射影响问题科学委员会(United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation—UNSCEAR) 为了提高人们对辐射源及电离辐射照射的水平和影响的认识，并加深对这些认识的理解所做的一种尝试。为了评估世界范围的辐射照射、影响和风险，1955年联合国大会设立了科学委员会，现已包括了27个成员国的一流科学家。然而科学委员会既不制定也不推荐安全标准，而是提供国家主管部门或其他机构藉以制定或推荐安全标准的科学资料。科学委员会过去60年来的科学评估是本出版物的主要资料来源。



# 1. 什么是辐射?

为了能够讲述辐射照射的水平、影响和危害，我们首先需要介绍一些辐射科学的基础知识。放射性及辐射在生命出现以前很久就已经在地球上存在。事实上，自从宇宙起源以来太空中就有放射性，放射性物质自地球形成以来就是其中的一部分。但是，人类第一次发现这个基本的普遍现象只是在十九世纪最后几年，我们仍然在探索辐射利用的新途径。

## 1.1. 简史

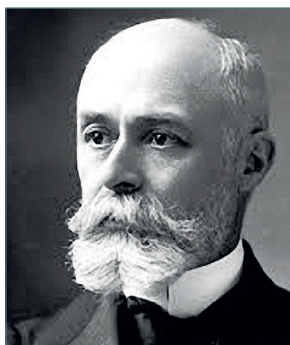
1895年，德国物理学家威廉·康拉德·伦琴发现了可以用来透视人体的辐射，后来命名为X射线。这一发现预示了辐射的医学应用，从此以后，医学应用有了不断的发展。鉴于为人类做出的特别贡献，1901年伦琴获得第一届诺贝尔物理学奖。在伦琴发现X射线一年以后，法国科学家亨利·贝可勒尔将感光底片放进有含铀矿物碎片的抽屉里。当他对底片显影时惊奇地发现，底片受到了辐射的影响。这种现象称为放射性，是由原子自发释放能量产生的。现在，放射性单位用贝可勒尔（Bq）表示，是以亨利·贝可勒尔的名字命名的。之后不久，年轻化学家玛丽·斯克多夫斯卡·居里做了进一步研究，第一个提出了术语放射性。1898年，她和丈夫皮埃尔·居里发现当铀发出射线后，可以神奇地转变为其他元素，其中一个元素称为钋，是以她祖国的名字命名的，另一



威廉·康拉德·伦琴 (1845 - 1923)



玛丽·居里 (1867 - 1934)



亨利·贝可勒尔 (1852 - 1908)

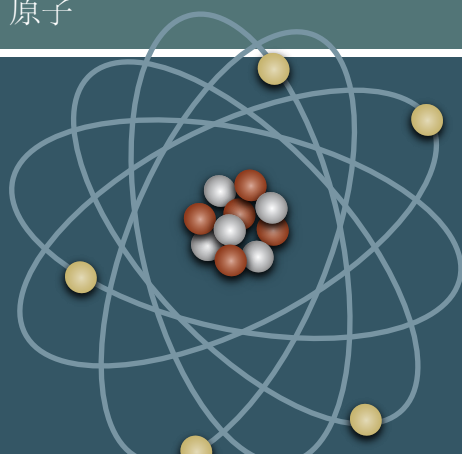
个元素称为镭，即“发光的”元素。玛丽·居里与皮埃尔·居里和亨利·贝可勒尔分享了1903年诺贝尔物理学奖。在1911年，她又因放射化学方面的发现第二次获得诺贝尔奖，是第一位两次获得诺贝尔奖的女性。

## 1.2. 基础知识

科学家希望探索并了解原子，尤其是原子结构。我们现在知道原子是由一个微小的、带正电荷的核子和围绕核的带负电荷的电子云组成。原子核仅为整个原子大小的十万分之一，但却占到了原子的几乎全部质量。

原子核通常是由质子和中子组成的粒子簇，粒子彼此紧紧依附在一起。质子带一个正电荷，中子不带电荷。化学元素是由该种元素原子中的质子数确定的（如硼原子有5个质子，铀原子有92个质子）。具有相同质子数、不同中子数的元素称为同位素（如铀-235和铀-238的差别就在于它们的核子中相差3个中子）。完整的原子通常既不带正电荷也不带负电荷，因为带正电荷数的质子数与带负电荷数的电子数相同。

原子



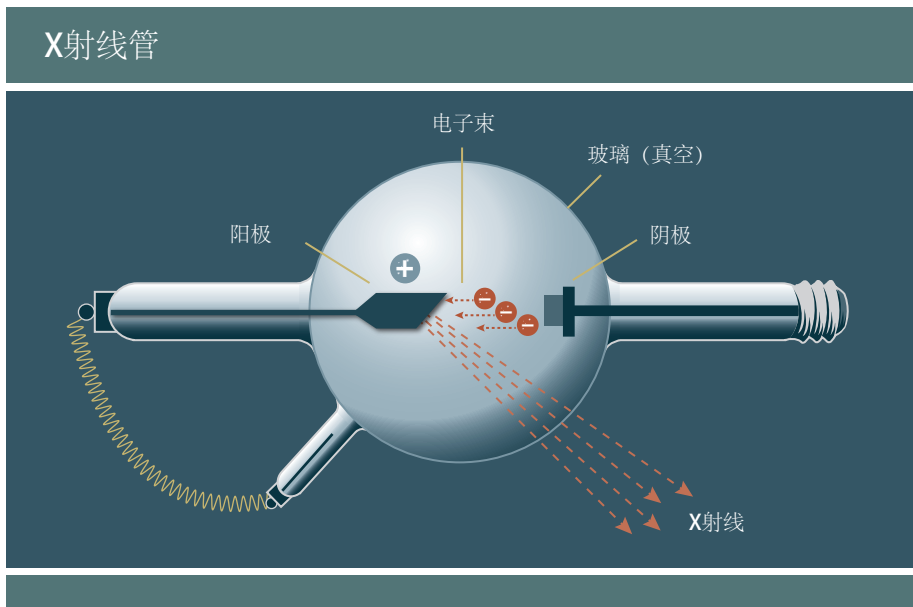
原子序数 5 - 电子数  
符号 B - 质子数  
名称 硼

电子 质子 中子

原子由一个原子核及一群绕核运动的带负电的电子构成，其中原子核由不带电荷的中子和带正电荷的质子组成。在不带电荷的原子中，电子和质子的数目相等，表示该元素的原子序数。

自然界中有些原子是稳定的，而其他原子则是不稳定的。不稳定原子核自发转变，以辐射的形式释放能量，含有不稳定核的原子称为**放射性核素**。释放的能量可以与其他原子相互作用，并使后者电离。电离是原子通过获得或失去电子而导致其带正电荷或负电荷的过程。电离辐射有足够的能量撞击电子使其脱离电子轨道，从而产生带电原子，称为**离子**。发射两个质子和两个中子的过程称为 **$\alpha$ 衰变**，发射电子的衰变称为 **$\beta$ 衰变**。通常，不稳定核素往往处于激发态，发射粒子后仍不足以平静下来。然后以电磁波形式释放能量，这种辐射称为 **$\gamma$ 射线**。

**X射线**也是电磁辐射，与 $\gamma$ 射线一样，但是光子能量较低。当由**阴极**发射出的电子束轰击被称为**阳极**的靶材料时，在由玻璃制成的真空管中就产生具有不同能量的X射线谱。X射线谱取决于阳极材料和电子束的加速能量。因此当需要时，X射线可以由人工精确地产生，这非常有利于工业和医学上的应用。

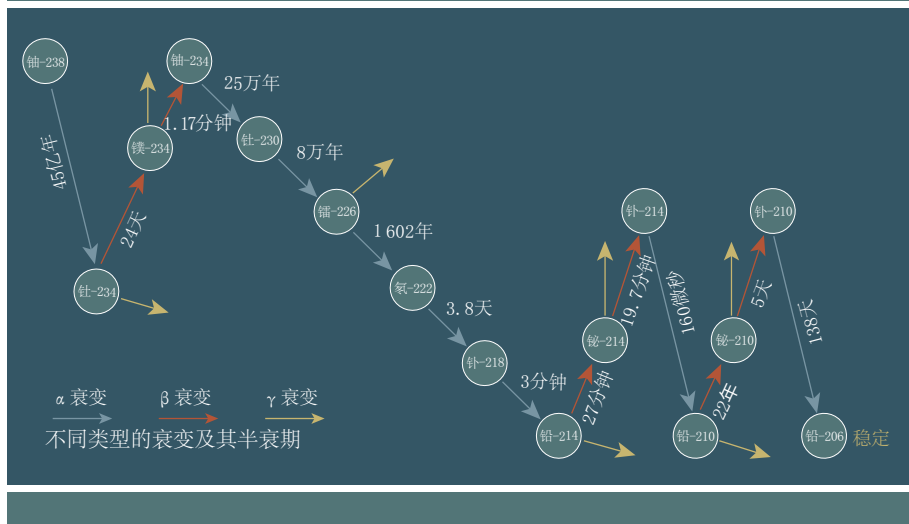


什么是辐射？

## 放射性衰变和半衰期

虽然所有的放射性核素都是不稳定的，但是有些核素比另外一些核素更不稳定。比如，铀-238原子核中的粒子（92个质子和146个中子）聚集在一起。但最终由两个质子和两个中子构成的粒子簇分离出来，以 $\alpha$ 粒子形式离开原子，于是铀-238转变为钍-234（90个质子和144个中子）。钍-234也是不稳定的，但发生转变的过程不同。钍-234发射高能电子（ $\beta$ 粒子）使一个中子变为一个质子，从而转变为镤-234（91个质子和143个中子）。此核素极其不稳定，很快转变为铀-234。铀-234继续释放粒子，发生转变，直到最终成为稳定的铅-206（82个质子和124个中子）而结束。有许多这样的转变序列或通常所说的放射性衰变序列。

### 铀-238——放射性衰变链

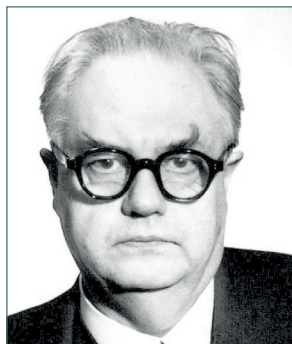


一定量的某种核素衰变一半所需要的时间称为半衰期。经过一个半衰期后，平均每100万个原子中有50万个原子转变为别的核素。在下一个半衰期里，大约又有25万个原子发生衰变，如此下去，直到全部衰变为止。经过10个半衰期后，原有的100万个原子中只剩有大约1 000个（0.1/100）原子。在上文中举出的例子中，

钷-234原子衰变一半变为铀-234的时间只需要一分钟多一点的时间。相比之下，铀-238原子衰减一半变为钍-234所需的时间是45亿年。就是说环境中天然存在的放射性核素只是少数。

## 辐射单位

现在，我们知道辐射能量可以损伤生物组织，在生物组织内沉积的能量的大小用一个称为剂量的量来表示。辐射剂量可来源于任何一种核素，也可以来源于多种核素，不论这些核素是在体外，还是在体内(比如吸入体内或食入体内)。剂量的大小可以用不同的方式来表示，取决于身体的多大部分到受照射，身体的哪些部位受照射，而不论是一个人还是多个人受到照射，也不论照射的时间长短(如急性照射)。



哈罗德·戈瑞 (1905 - 1965)  
罗尔夫·希沃特 (1896 - 1966)

每千克组织所吸收辐射能量的大小称为吸收剂量，用单位戈瑞(Gy)来表示。这个单位是以英国物理学家、放射生物学先驱哈罗德·戈瑞(Harold Gray)的名字而命名的。但仅用这个量是不够的，因为在相同剂量下来自 $\alpha$ 粒子的损伤可能比来自 $\beta$ 粒子和 $\gamma$ 射线的大得多。为了比较不同辐射类型所致的吸收剂量，需要对这些剂量引起某种生物损伤的可能性进行剂量加权。被加权的剂量称为当量剂量，用单位希沃特(Sv)表示，该单位是以瑞典科学家罗尔夫·希沃特(Rolf Sievert)的名字命名的。1希沃特等于1 000毫希沃特，就像1升等于1 000毫升，1米等于1 000毫米一样。

还有一种考虑，是身体的有些部位比其他部位更容易受到损伤。例如，某一给定当量剂量的辐射更容易引起肺癌，而不是肝癌，而且由于遗传效应的危险，生殖器官需要给予特别关注。因此，为了比较不同组织或器官受到照射的剂量，也应当对身体不同部位受到的当量剂量予以加权，其结果称为有效剂量，用希沃特(Sv)表示。然而，有效剂量是低剂量照射后发生癌症和遗传效应可能性的一项指标，并不用于度量高剂量照射效应下的严重程度。

必须用这个复杂的辐射量体系将这些量纳入到一个一致的框架结构中，从而使辐射防护专家可以一致地和有比较地记录个人剂量，这对从事辐射工作的人员和受职业照射的人员来说有重要意义。

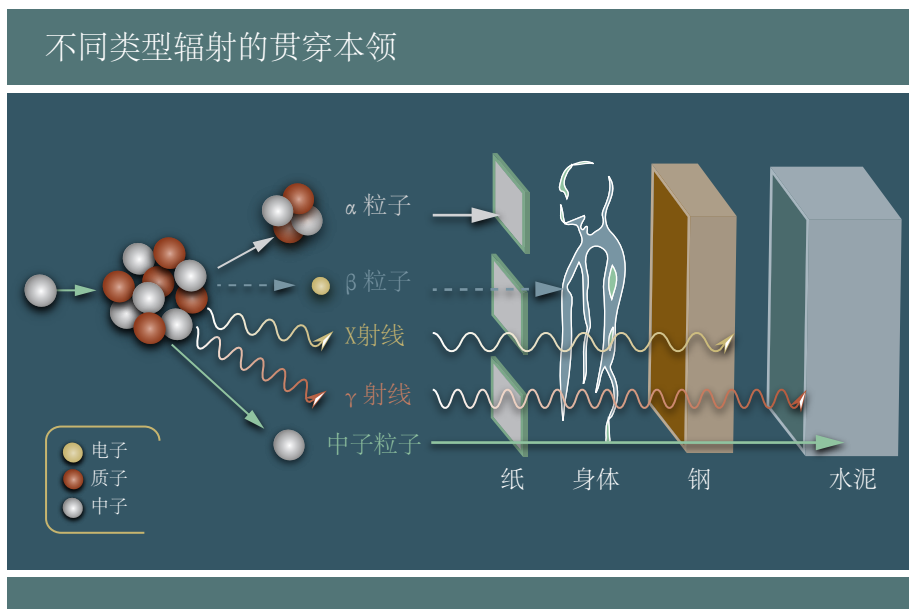
辐射量	
物理量	
活度	单位时间内发生的核转变数目。用每秒的衰变数来表示，单位为贝可勒尔（贝耳）。
吸收剂量	辐射在单位质量的物质如组织或器官中沉积的能量。用戈瑞（Gy）表示，相当于每千克焦耳。
计算量	
当量剂量	吸收剂量乘以辐射权重因子（ $W_R$ ），以考虑不同辐射类型引起的组织或器官的生物危害。用希沃特（Sv）表示，相当于每千克焦耳。
有效剂量	当量剂量乘以组织权重因子（ $W_T$ ），以考虑不同组织或器官对危害的敏感性，用希沃特（Sv）表示，相当于每千克焦耳。
集体有效剂量	一个人群或人群组受到辐射照射后，所有有效剂量的总和。用人·希沃特（人·Sv）表示。



然而，这样仅仅描述的是个人所受的剂量。如果我们把—个群体中每一个人受到的剂量相加在—起，其结果称为集体有效剂量或简称集体剂量，用人·希沃特表示。例如，世界人口的年集体剂量1 900万人·希沃特，相当于年平均个人剂量3毫希沃特。

### 1.3. 辐射贯穿本领

简单的说，辐射可以有粒子形式（包括 $\alpha$ 粒子、 $\beta$ 粒子和中子）或电磁波形式（ $\gamma$ 射线和X射线），它们各自有着不同的能量。不同的发射能量和不同的粒子类型导致它们有不同的贯穿本领，因而对生命物质有着不同的效应。 $\alpha$ 粒子由两个带正电荷的质子和两个中子构成，是所有辐射类型中带电荷最多的。较多的电荷数，意味着与周围原子有较多的相互作用。这种相互作用使粒子的能量快速减少，因而减小了贯穿本领。例如， $\alpha$ 粒子可以被—张纸阻挡。 $\beta$ 粒子由带负电荷的粒子组成，载带的电荷数较少，因此其贯穿本领大于 $\alpha$ 粒子。 $\beta$ 粒子可以穿透1厘米或2厘米的生物组织。 $\gamma$ 射线和X射线穿透力极强，可以穿透密度小于厚钢板的任何物质。通过原子核裂变或核聚变，可以用人工方法从不



稳定核中释放中子。作为宇宙辐射的成份，中子也可以是天然存在的，因为中子是呈电中性的粒子，当与物质或组织产生相互作用时有很强的贯穿本领。



## 2. 辐射对我们有什么影响?

在我们更加详细地讲述辐射照射的效应之前，应当回顾一下上文中提到的辐射科学的先驱们。亨利·贝可勒尔在发现放射性之后不久，亲身遭受了最痛苦的辐射损害，即辐射对生物组织的效应。一小瓶装在衣服口袋里的镭损伤了他的皮肤。

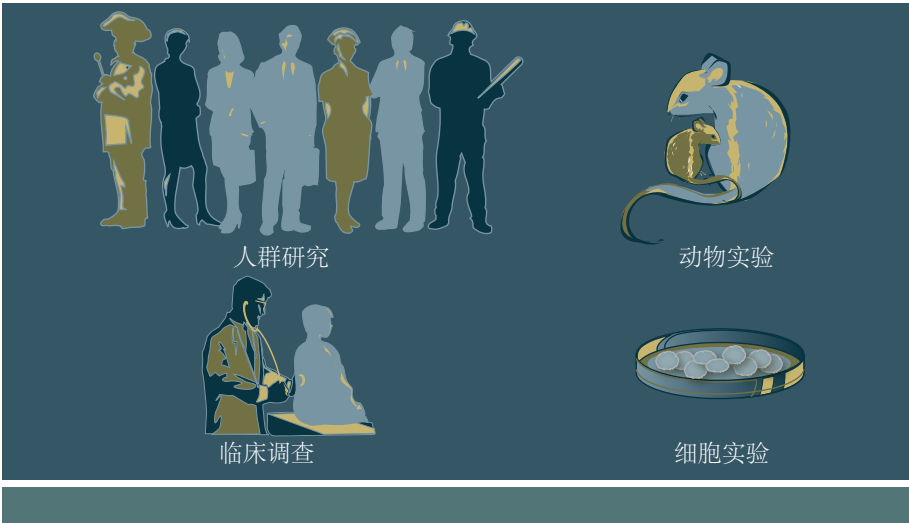
威廉·康拉德·伦琴1895年发现X射线，1923年死于肠癌。玛丽·居里在一生的工作生涯中也受到辐射照射，1934年死于血液病。

据报道，到20世纪50年代末，至少有359位早期辐射工作人员（主要是医师和其他科学家）由于没有意识到防护的必要性而死于辐射照射。

毫不奇怪，正是那些应用辐射治疗患者的辐射工作人员们，率先制定了工作人员辐射防护建议。在1928年斯德哥尔摩第二届国际放射学大会召开期间，成立了国际X射线和镭防护委员会(International X-ray and Radium Protection Committee)，罗尔夫·希沃特当选为第一任主席。第二次世界大战后，考虑到辐射在医学领域外的新利用，重组了国际X射线和镭防护委员会，更名为国际放射防护委员会(International Commission on Radiological Protection)。后来在1958-1960年期间，罗尔夫·希沃特当选为科学委员会(UNSCEAR)第四任主席，而当时特别关心的问题是核武器试验对人类的遗传效应。

由于越来越多地认识到辐射照射伴随的风险，在20世纪，辐射对人类和环境影响的研究深入开展起来。对辐射受照人群组的重要评估，是对1945年第二次世界大战结束时广岛和长崎大约86 500名原子弹爆炸幸存者（以下称原爆幸存者）的研究。此外，可靠的数据还来源于受照射患者和受突发事故照射的工作人员的经历（例如：切尔诺贝利核电站事故），也来源于动物实验和细胞实验。

## 关于辐射效应的资料源



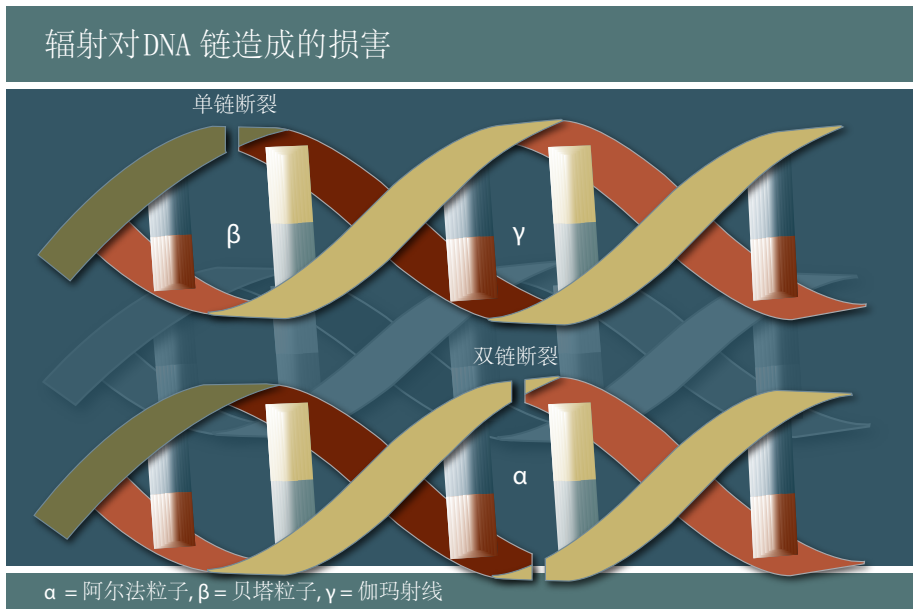
科学委员会评估辐射照射对人类和环境的影响，试图尽可能可靠地阐明什么样的效应是由什么水平的辐射照射引起的。在上文中已经提到，辐射照射的程度随辐射类型、照射时间长短和物质中沉积能量的不同而不同。为了进行评估，科学委员会目前用术语**低剂量**来表示低于100毫戈瑞但大于10毫戈瑞之间的水平，用术语**极低剂量**指低于10毫戈瑞水平。

## 科学委员会所用的剂量范围

高剂量	大于1戈瑞	严重辐射事故（如切尔诺贝利事故中的消防员）
中剂量	约100毫戈瑞~1戈瑞	切尔诺贝利事故后恢复工作的人员
低剂量	约10~100毫戈瑞	多层计算机体层摄影（CT）扫描
极低剂量	小于约10毫戈瑞	常规放射摄影（即不用CT）

## 2.1. 对人的效应

自从发现辐射以来，一个多世纪的辐射研究已经产生了大量的关于辐射如何影响健康的生物机制的资料。我们已经了解辐射可以产生细胞水平的效应，通常由于对染色体中脱氧核糖核酸（DNA）链的直接损伤而导致细胞的死亡和改变。如果损伤或死亡的细胞数目足够的大，则可引起器官功能障碍，甚至死亡。此外，还可能发生不至使细胞死亡的其他DNA损伤。这种损伤通常是可以完全修复的，如果不能修复，那么引起的改变（称为细胞畸变）将反映在后来的细胞分裂中，最终可能致癌。如果被改变的细胞将遗传信息传递给后代，则可能发生遗传疾病。关于生物机制和遗传效应的信息往往是通过实验室实验获取的。



根据对这些现象的观察，辐射照射后的健康效应定义为早期健康效应和延迟健康效应。通常早期健康效应通过个人临床症状诊断就能明显地看到，而延迟健康效应（如癌症）则要通过流行病学研究，观察群体中发病率的增加。此外，这里应该特别关注对儿童、胚胎和胎儿的效应，以及遗传效应。

辐射对我们有什么影响？

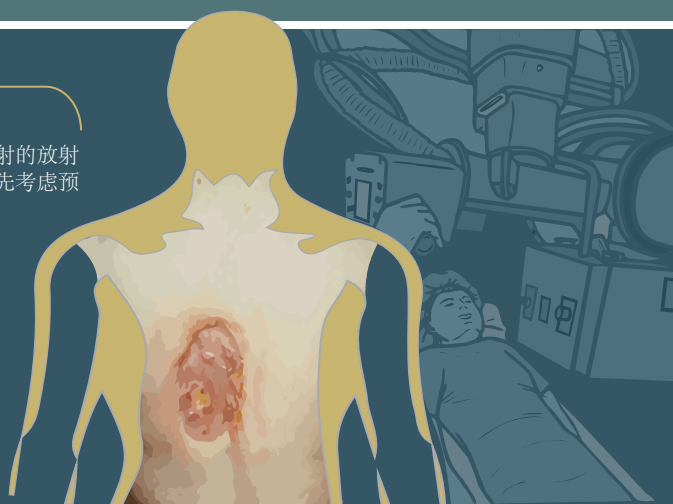
## 早期健康效应

早期健康效应是由于细胞大量死亡或损伤引起的，诸如皮肤烧伤、脱发和生育能力障碍等症状。这些健康效应的特点是，在效应发生前，短期内照射剂量超过了比较高的阈值。在超过阈值后，效应的严重程度随剂量的增加而增加。

一般说来，大于50戈瑞的急性剂量会损伤中枢神经系统，导致严重到在几天内死亡。即使剂量低于8戈瑞，也会表现出放射病综合症，也称为急性放射综合症。其中包括恶心、呕吐、腹泻、肠痉挛、多涎、脱水、疲倦、冷漠、精神萎靡、出汗、发热、头疼和低血压等症状。术语“急性”是指照射后立即发生的医学问题，而不是照射后较长时间出现的问题。然而，受照者可能最初存活下来，但在之后的1~2周内死于胃肠道损伤。较低的剂量可能不会导致胃肠道损伤，但在几个月后，仍然可能主要由于红骨髓的损伤而导致死亡。如果剂量再低，则疾病延迟发作，症状不再那么严重。在接受2戈瑞剂量后，约有一半人在大约3小时后出现呕吐，若低于1戈瑞时，这种状况则为罕见。

### 医疗事故照射

涉及患者高剂量照射的放射治疗。因此，应优先考虑预防急性效应。



幸运的是，如果红骨髓和造血系统的其余部分受到的剂量不到1戈瑞，则有显著的再生能力，而且完全可能恢复，尽管在以后的岁月里发生白血病的风险较高。如果只是身体的一部分受到照射，则足够的骨髓将无损伤地正常存活下来，取代已受损的骨髓。动物实验表明，即使只有十分之一的有增生能力的骨髓避免了辐射照射，存活的可能几乎是百分之百。

辐射可以直接损伤细胞DNA，基于这种事实，在癌症治疗中有意使用辐射杀死癌细胞，这种过程称为**放射治疗**。在放射治疗中所用的总辐射量因所治疗的癌症类型和阶段不同而不同。治疗实体肿瘤所用的典型剂量是20~80戈瑞，这种剂量如果作为单次剂量给与患者会危及患者生命。因之，为了控制治疗，辐射剂量要分次重复给与，每次最大2戈瑞。剂量分次给与可以使正常组织得到恢复的同时杀死肿瘤细胞，因为肿瘤细胞在辐射照射后的修复效率较低。

## 延迟健康效应

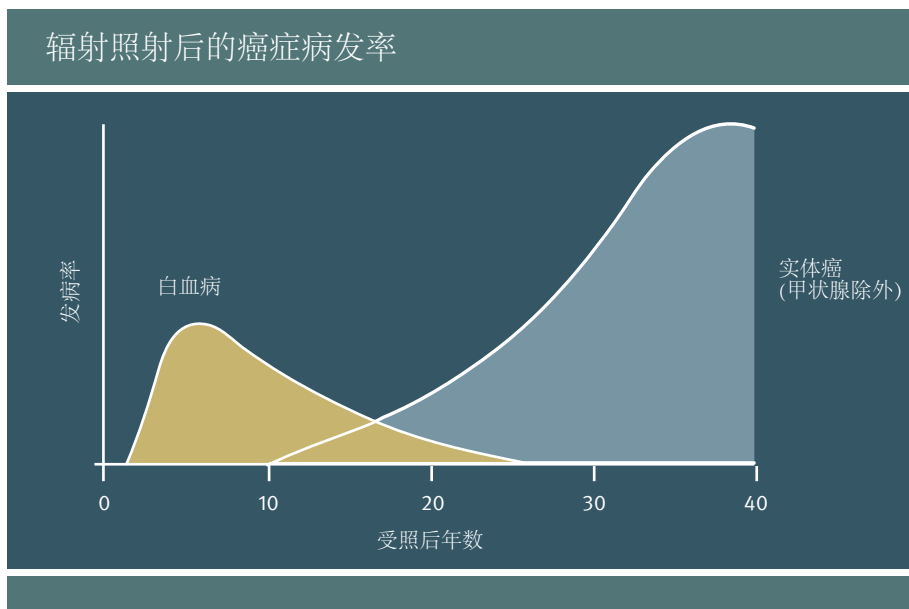
延迟健康效应在照射后较长时间发生。一般说来，延迟健康效应往往也是随机效应，也就是发生概率取决于受照剂量的大小。这些效应被认为是在辐射照射后由于细胞遗传物质的改变而引起的。延迟效应包括发生在受照者个人身上的实体瘤和白血病，以及发生在受照者后代身上的遗传疾病。这些效应在人群中的发生频度（而非严重程度）随剂量的增加而增加。

流行病学研究对于认识辐射照射后的延迟健康效应非常重要。这种研究用统计学方法将受照群体中健康效应（如癌症）的发生率与未受照射群体中的发生率加以比较。如果发现在受照群体中发病率有显著增加，则就整个群体而言可以认为是与辐射照射有关。

关于受照群体的最重要的长期评估是对原爆幸存者的流行病学研究。这项研究是迄今所进行的最全面的研究，涉及人员之多基本上代表了整个群体，并且是全身受照，分布相当均匀，剂量范围宽。对这个群体的受照剂量的估算值也有了很好的理解。到目前为止，该研究表明受照群体中出现的癌症数比如果没有发生照射情况下所预期的癌症数要多几百例。在原爆幸存者中有许多人至今仍然在世，研究仍将继续下去，以便完成对受照群体的评估。

## 癌症

由癌症引起的死亡占全部死亡的20%，而且是工业化国家继心血管疾病后最常见的死亡原因。一般人群在他们一生中，10人中就有4人罹患癌症，即使在没有辐射照射的情况下也是如此。近些年来，男性最常见的癌症是肺癌、前列腺癌、结直肠癌、胃癌和肝癌。女性最常见的有乳腺癌、结直肠癌、肺癌、子宫颈癌和胃癌。



癌症的形成是一个复杂的过程，包括几个阶段。似乎是一个始动事件启动了这一过程，这一事件最可能仅仅影响了单个细胞，但是在细胞恶化和肿瘤形成之前似乎还要发生一系列的事件。初次始动损伤后，经过一段潜伏期后，癌症才会变得明显起来。如果一个人群组受到足够高水平的辐射照射，导致了克服统计学和其他不确定性的癌症发生率的增加，则辐射照射后癌症的发生的概率是主要关心的问题，且发生概率是可以计算的。然而辐射作为癌症的一种起因，其真实的作用依然是未知的。

在辐射照射后的几年里，首先出现的是白血病、甲状腺癌和骨癌，而其他癌症有时需要到照射后至少10年，甚至往往是几十年后才会显现出来。但是，没有一种单一类型的癌症是只由于辐射照射引起的，所以不可能将辐射诱发的肿瘤与其他原因诱发的肿瘤区别开来。因此，必须估算特定剂量后癌症的发病率，以便为制定照射限值提供坚实的科学基础。

对接受放射医学治疗的人员、职业性受照射人员、特别首先是原爆幸存者进行了研究，由此奠定了辐射照射与癌症的关系的基础知识。这些研究覆盖了样本量很大的人群，他们身体多个部位受到照射，并且随访了相当长时间。但是有些研究有重大缺陷，主要是年龄分布不同于正常的人群分布，而且证据表明这些患者在受照射时已经患病，并已接受癌症治疗。

更为根本的问题还在于，几乎所有的数据都是基于对接受相当高剂量照射的人员的研究得出的，这些剂量约为1戈瑞或几戈瑞；一般是单次剂量照射或在比较短的时间段内分次照射。关于长时间低剂量效应的资料很少，只有少数研究关系到辐射工作人员正常照射剂量范围内的效应，实际上还没有关于一般公众辐射照射后果的直接资料。研究需要长期随访大量的人员，与基线癌症发病率相比，最终效应仍有可能太弱，可能观察不到癌症发病率的增加。



科学委员会全面审议了受辐射照射人群的癌症发生率，经估算，因受到100毫希沃特以上辐射照射而死于癌症的附加可能性，约为每希沃特每100人中有3~5人。

### 其他健康效应

心脏高剂量照射会增加心血管疾病（如心脏病发作）的发病概率。这样的照射可能在放射治疗期间发生，但现在的治疗技术所需的心脏剂量较低。然而，现在还没有科学证据认为低剂量照射会引起心血管疾病。

科学委员会认识到切尔诺贝利应急工作人员白内障发生率已经增加，此变化可能与高剂量辐射照射有关。科学委员会还研究了辐射对原爆幸存者、切尔诺贝利核电站应急工作人员和接受放射治疗患者对于免疫系统的效应。免疫系统辐射效应的评估是通过估算细胞数量的变化，或通过各种各样的功能分析来完成的。高剂量辐射抑制了免疫系统，主要是因为淋巴细胞受到损伤。目前淋巴细胞数目的减少被认为是急性照射后确定辐射剂量的一项早期指标。

### 对后代的效应

如果辐射损伤发生在生殖细胞（精子或卵子中），则可导致对后代的遗传效应。而且，辐射可以直接伤害到子宫中发育的胚胎或胎儿。区别对待成人、儿童、胚胎和胎儿的辐射照射是非常重要的。科学委员会对这个群体的健康效应进行了全面审议，其中包括遗传效应。

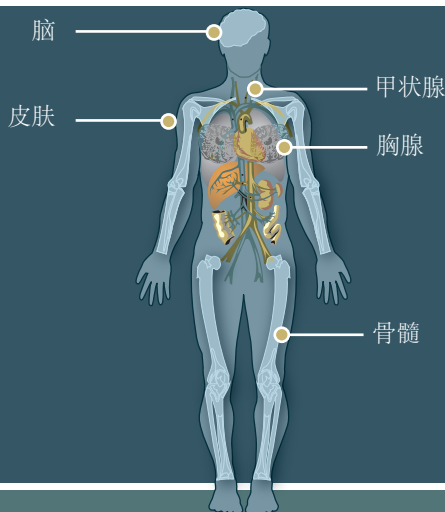


## 对儿童的效应

人类健康效应取决于许多物理因素。由于存在解剖和生理差异，辐射照射对儿童的影响和对成人的影响是不同的。而且由于儿童身材矮小，体表组织的屏蔽较少，在给定外照射下儿童体内器官受到的照射剂量高于成人的。而且儿童身材矮于成人，所以受到地面沉积的放射性核素的照射剂量也较高。

至于内照射，由于儿童身材较矮，内部器官相聚紧密，所以浓集在一个器官内的放射性核素对其他器官的照射比成人的相对较多。还有许多其他与年龄相关的因素，涉及代谢作用和生理机能，使得不同的年龄之间有实质性差别。有些放射性核素对儿童内照射而言需要特别关注。涉及放射性核素碘-131释放的事故是甲状腺照射的主要来源。对于给定的摄入量，婴儿甲状腺受到的剂量比成人受到的要高9倍。切尔诺贝利核电站事故的研究肯定了癌症和碘-131之间的联系，碘-131主要集中在甲状腺中。

### 儿童对辐射特别敏感的器官



20岁以下儿童受辐射照射后患**脑癌**的可能性是受相同剂量照射的成人的大约两倍。

20岁以下女孩受照射后，**乳腺癌**也有类似的关联。

流行病学研究表明，在接受相同的辐射照射后，20岁以下的年轻人患白血病的可能性约是成人的2倍。10岁以下儿童尤其敏感；其他一些研究还表明，10岁以下儿童死于白血病的可能性比成人高3~4倍。其他研究还表明，20岁以下女子受照后罹患乳腺癌的可能性约为成年女性的2倍。在辐射照射后，儿童比成人更有可能罹患癌症，但可能要到癌症高发年龄才会显现出来。

科学委员会审议了科学资料，指出儿童癌症发生率方面的变化因素比成人更大，与肿瘤类型、儿童年龄和性别有关。诱发癌症方面有一个术语“辐射敏感性”，是指辐射引起肿瘤的发生率。关于成人和儿童之间辐射敏感性差异的研究发现，儿童更容易发生甲状腺癌、皮肤癌、乳腺癌和白血病。

高剂量（如放疗中接受的剂量）照射后，儿童早期健康效应的差异是复杂的，但可以用不同组织与生物学机理的相互作用来解释。有些效应在儿童期受到照射比在成人期受到照射更为明显，如大脑缺陷、白内障和甲状腺结节等；而对少数效应而言，儿童组织如肺和卵巢更有抵抗力。

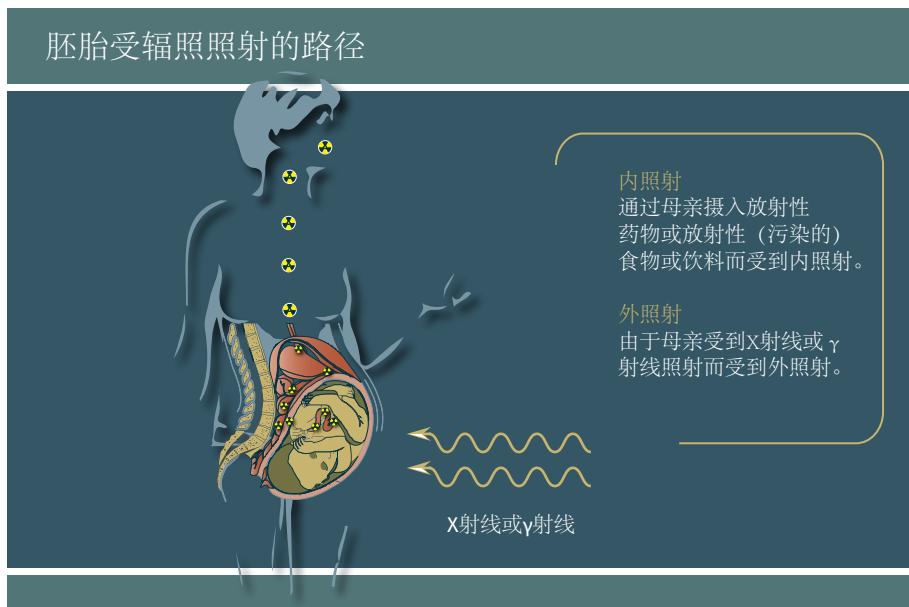
### 对未出生儿的效应

母亲通过饮食所载带的放射性物质（内照射），或通过直接外照射，可能使胚胎或胎儿受到照射。由于胎儿受子宫的保护，所以对于多数辐射照射事件来说，胎儿所受的剂量往往低于母亲受到的剂量。然而，胚胎和胎儿对辐射特别敏感，照射的健康后果可能是严重的，即使辐射剂量低于母亲直接受到的剂量。这类后果包括生长迟缓、畸形、脑功能受损和癌症等后果。

哺乳动物在子宫内的发育大致分为三个阶段。第一阶段从受精开始到胚胎附着在子宫壁上，对于人类而言是妊娠的前两周。在这一阶段，辐射可以杀死子宫中的胚胎。研究这一阶段发生的

事件非常困难；不过主要由动物实验提供的资料表明当辐射剂量高于某个阈值时对早期胚胎有致死效应。

第二个阶段，对于人类来说是第2周到第8周，这一阶段的主要危险是辐射能导致发育中的器官变为畸形，而且可能导致出生时死亡。动物实验表明，眼睛、脑、骨骼等器官如果在发育时受到辐射照射，则特别易于发生畸形。



最大损伤是神经中枢系统损伤，发生在第8周后，即妊娠的第三个阶段也就是最后一个阶段。关于未出生儿脑辐射照射效应的认识已经取得许多进展。比如，在1 600名出生前受到1 戈瑞剂量照射的原爆幸存者中，有30个孩子患有严重智力残疾。

胚胎辐射照射是否可以引起后来生命中的癌症，对此一直是有争议的。动物实验未能对此证明任何特定的关系。科学委员会一直致力于估算儿童死亡、畸形、智力残疾和癌症等辐射效应的总危险。经科学委员会估算，在每1 000个子宫中受到0.01 戈瑞照射的新生儿童中，最多有2个会受到影响，相比之下，自然发生相同效应的概率是6%。

辐射对我们有什么影响？

## 遗传效应

辐射可以使细胞发生改变，将遗传信息传递到后代，引起遗传疾病。对这种疾病进行研究是困难的，因为通过辐射照射人类会遭受什么样的遗传效应，关于这方面的资料还微乎其微。一方面是因为遗传效应的全部信息需要通过许多代人才能充分显现出来，另一方面是因为很难将这些效应与其他原因引起的效应区分开。

许多受到严重影响的胚胎和胎儿无法存活。据估算，大约一半流产儿中有异常遗传成分。即使他们活到出生，患有遗传疾病的婴儿死于5周岁之前的可能性比正常儿童大5倍。

遗传效应分为两大类：一是涉及染色体数目或结构改变的染色体异常，二是基因本身的突变。二者都可能出现在后代身上，但未必一定会出现。

对父母是原爆幸存者的儿童的研究并未发现可观察到的遗传效应。但这并不是说没有受到伤害，只是说即使一个相当大的群体受到中度的辐射照射也不会有可观察到的效应。然而受到高剂量照射的动植物的实验清楚地表明，辐射可以诱发遗传效应，人类不可能是一种例外。

科学委员会只考虑了严重遗传效应，估算出辐射受照者第一代后裔的总危险度是0.3%~0.5%每人每戈瑞，小于致死癌症发生率，后者为1/10。

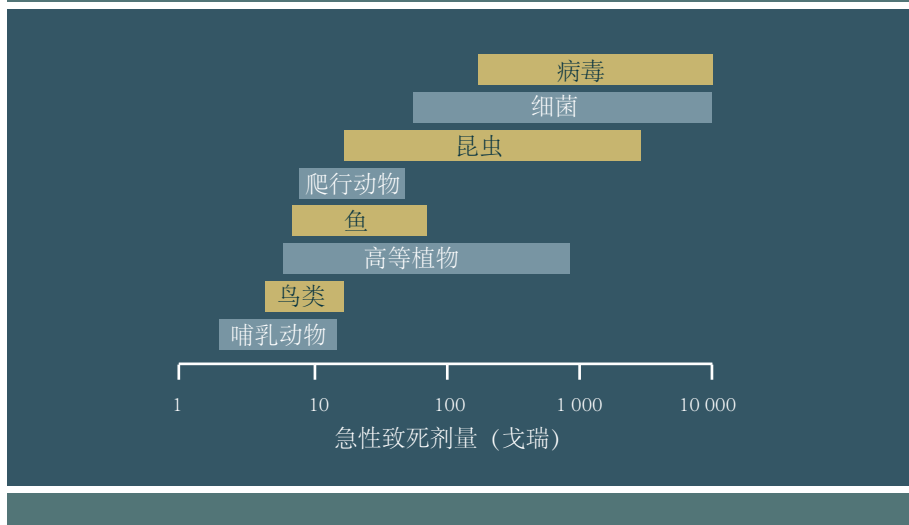
## 2.2. 对动植物的效应

辐射照射对动植物的效应受到了比以往更多的关注。过去几十年来，主流的观点认为如果人类的生命得到了足够的保护，那么动植物同样受到了保护。科学委员会评估了辐射照射对动植物的效应，发现1~10戈瑞范围的剂量不可能引起对动植物的效应，还发现个体对辐射照射的响应是不一样的（哺乳动物是所有动物

中最敏感的)。在群体水平上表现明显的效应是：生殖能力、死亡率和诱发的畸变。生育能力改变，是一个比死亡率更为敏感的辐射效应指标，如后代的生育数目。

致死剂量是指使受照对象死亡50%的剂量。对于在比较短时间段内受到照射（急性）的植物而言，致死剂量可以是小于10戈瑞到大约1 000戈瑞。总的说来，大的植物的辐射敏感性比小的植物更强。小哺乳动物的致死剂量范围是6~10戈瑞，大哺乳动物的约为2.5戈瑞。有些昆虫、细菌和病毒可以耐受1 000戈瑞以上的剂量。

某些动植物的急性致死剂量范围



过去的主要资料源于对切尔诺贝利核电站周围地区动植物辐射照射的观察。科学委员会评估了环境受到照射的途径，并制订了评价潜在辐射照射效应的新方法。

近期，科学委员会评估了福岛第一核电站事故后某些动植物辐射照射的剂量及其相关效应。结论是，总体而言辐射照射水平太低，观察不到急性效应。但是，不能排除生物标志物的变化，这些变化对生物体，特别是对哺乳动物而言，是某种特定疾病或生理学状态的指标。不过，这些变化对于这些生物群体完整性的重要意义还不清楚。

辐射对我们有什么影响？

必须指出的是，为减少人类辐射照射所采取的防护和补救行动已经有了更加广泛的显著影响。比如，这些措施影响到了环保产品和服务业，影响到了工业、林业、渔业和旅游业等行业所用的资源，还影响到了用于精神活动、文化活动和娱乐活动所依赖的基础设施。

### 2.3. 辐射剂量与效应的关系

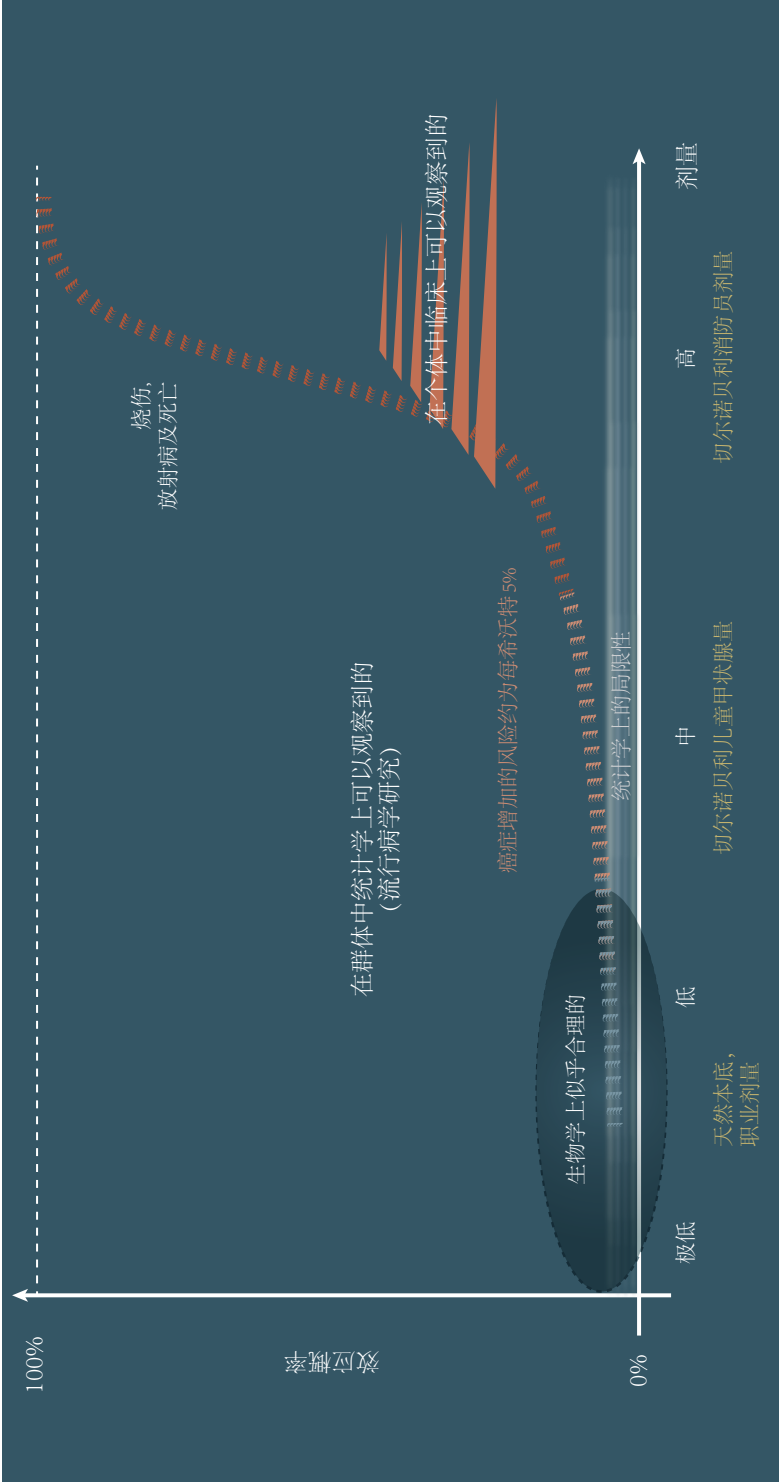
在总结辐射剂量与健康效应之间的关系时，科学委员会强调将对受照群体有健康效应的观察与对未来可能效应的理论预测加以区分。对于这两种情形，必须考虑到任何不确定性和不准确性，不论是在辐射测量、统计学考虑方面，或是在其他因素方面。

就现有的知识而言，如果在高于1戈瑞的剂量照射后个体中出现了早期效应（如皮肤烧伤），则可以将观察到的健康效应归因于辐射照射。这种剂量可以发生在辐射事故中，如切尔诺贝利核电站事故期间应急工作人员受到的剂量，或放射治疗事故中患者受到的剂量。

如果观察到剂量的增加高得足以克服任何不确定度，则可以用流行病学法将受照群体中的延迟健康效应（如癌症）发生的增加归因于中等剂量。然而，目前没有生物标志物可以用来区别癌症是否是由辐射照射引起的。

鉴于统计学的和其他的不确定性，在低或极低水平辐射照射后，如环境辐射照射和职业辐射照射情况下，延迟健康效应发生率与辐照照射的关系还没有得到确认。尽管如此，还不能排除这种效应的存在。

# 辐射剂量与健康效应之间的关系



辐射对我们有什么影响?

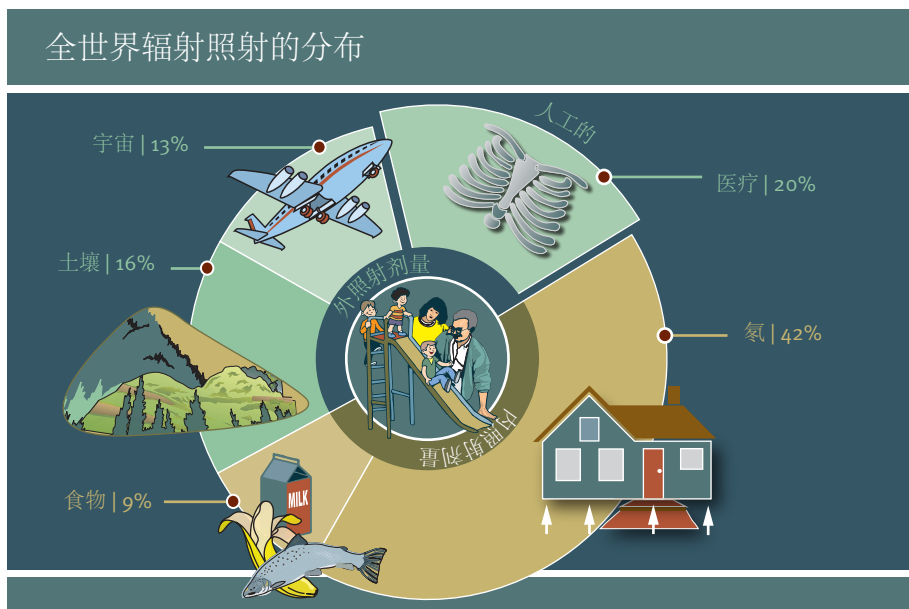
关于未来可能发生的健康效应，对于如何估算高、中剂量辐射效应的发生概率已经有所认识。然而，在低或极低辐射剂量下，必须进行假设并利用数学模型估算辐射所导致的任何健康效应的概率。对于低或极低辐射剂量，由于预测中存在不可接受的不确定度，所以科学委员会在评价中不再选用这种模型来预测健康效应或死亡数，比如在切尔诺贝利和福岛事故后。尽管如此，出于公众健康比较或辐射防护的目的，使用这种计算方法还是有用的，前提是要考虑到不确定度并对局限性做出明确的解释。



### 3. 辐射来自哪里？

我们一直都会不断受到来自许多辐射源的照射。地球上所有的物种都在受到天然本底辐射照射的环境中生存和繁衍。近期，人类和其他生物体还受到过去一个多世纪以来形成的人工辐射源的照射。我们受到的80%照射都来自天然源，只有20%来自人工源（主要是来自辐射的医学应用）。在本出版物中，我们按照源的类型对辐射照射进行分类，重点针对公众所受到的辐射照射。出于监管目的（如辐射防护），需要涉及许多不同的人群。因此，这里提供关于因辐射的医学应用受到照射的患者和在工作场所受到照射的人员的附加信息。

对辐射照射进行分类的另一种方式是看辐射是如何照射我们的。环境中的放射性物质和辐射可以从外部照射我们的身体，这种现象称为外照射。我们可能吸入空气中的放射性物质，吞下食物和水中的放射性物质，或通过皮肤或伤口吸收放射性物质，然后从身体内部来照射我们，这种现象称为内照射。从全球来说，来自内照射和外照射的剂量是几乎相同的。

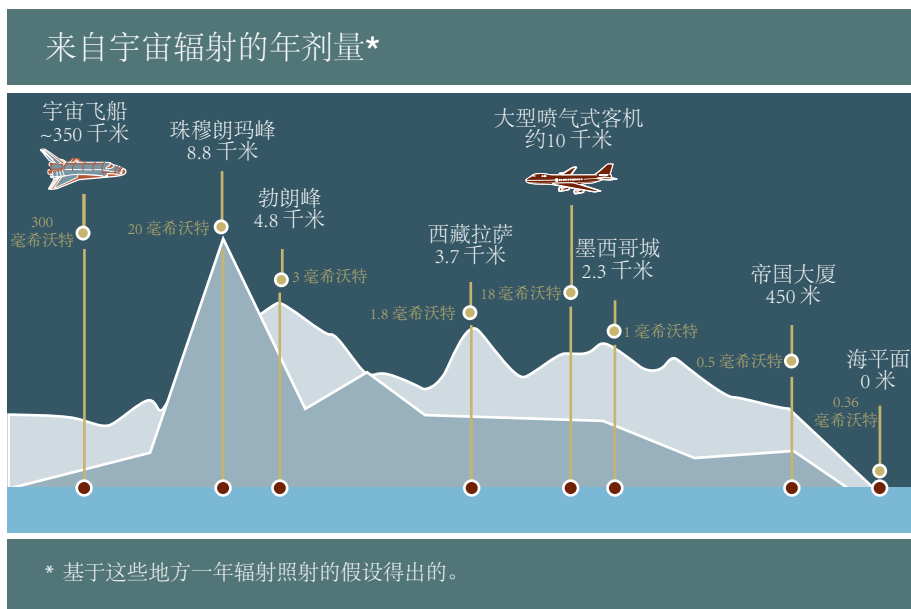


### 3.1. 天然源

自从地球形成以来，其环境就受到来自外层空间辐射及地壳和地心中放射性物质的照射。这些天然源的照射是无法回避的，事实上占到全世界居民所受辐射照射的大部分。全球人均年有效剂量约为2.4毫希沃特，剂量范围大约1~10毫希沃特，这与人的居住环境有关。建筑物中可以聚集一种称为氡的放射性气体，或建筑材料本身也可能含有放射性核素，这些都增加了辐射照射。虽然这些源是天然源，但是通过我们的选择是可以改变我们所受的照射的，比如：如何居住，居住在哪里，吃什么食物，饮用什么水等等。

#### 宇宙源

宇宙射线是外照射的主要天然源。这些射线大多来源于星际空间深处；有些是在太阳耀斑期间由太阳释放的。它们会直接照射地球，并与大气层相互作用，产生不同类型的辐射和放射性物质。宇宙射线是外层空间的主要辐射源。地球大气层和磁场显著地减少了宇宙辐射，不过地球上有些地方受到的照射多于其他地



方的照射。由于宇宙辐射被磁场偏转到南北两极，所以那里受到的照射要多于赤道区受到的照射。

此外，由于上层空气稀薄难以形成屏蔽，照射水平会随着海拔高度而增长。居住在海平面的居民每年从宇宙辐射源的辐照的有效剂量约为0.3毫希沃特，约为天然源辐照总剂量的10%~15%。生活在海拔2 000米以上的人受到的剂量是居住在海平面的人的几倍。飞机乘客受到的剂量甚至更高，这是因为来自宇宙源的辐射照射不仅与海拔高度有关，而且与飞行时间长短有关。比如，在飞行高度中飞行10小时的平均有效剂量约为0.03~0.08毫希沃特。换句话说，从纽约到巴黎的往返航行中个人受到的剂量约为0.05毫希沃特。这个剂量近似等于一个患者接受常规胸部X射线检查所受到的有效剂量。虽然单个乘客在一次飞行中受到的有效剂量的估算值很低，但是集体剂量却相当高，因为乘客数量众多，航班遍布世界各地。

## 工作场所的照射

---

来自宇宙源的剂量对于频繁飞行的人员特别重要；例如飞行员和机上乘务人员，他们受到的年平均剂量约为2~3毫希沃特。对一些太空飞行任务也进行了剂量测量。短期太空飞行报道的剂量范围是2~27毫希沃特，这与太阳活动有关。前往国际空间站执行宇航任务的宇航员，在距离地面350千米的地球轨道上4个月中受到的有效剂量约为100毫希沃特。

## 陆地源

### 土地

地球内的和地球上的万物都含有原生放射性核素。这些放射性核素寿命极长，存在于大地中，如钾-40、铀-238和钍-232以及由它们衰变产生的放射性核素镭-226和氡-222，这些核素早在地球形成以前就已经在发射辐射。据科学委员会计算，全世界每人每年平均从陆地源外照射受到的有效剂量约为0.48毫希沃特。

外照射由于地理位置的不同而有着很大的区别。比如，法国、德国、意大利、日本和美国的研究表明，在这些国家95%的居民生活的地区，室外年平均剂量在0.3~0.6毫希沃特之间。然而，在局部地区人们每年所受到的剂量可能高于1毫希沃特。在其他的国家，陆地源辐射照射水平还有可能更高。例如，在印度喀拉拉邦西南海岸，一片人口密集的55公里狭长土地上，富含钍的沙子使当地人每年受到的剂量平均为3.8毫希沃特。在巴西、中国、伊朗伊斯兰共和国、马达加斯加和尼日利亚等国家，也有一些高水平天然陆地辐射源地区。

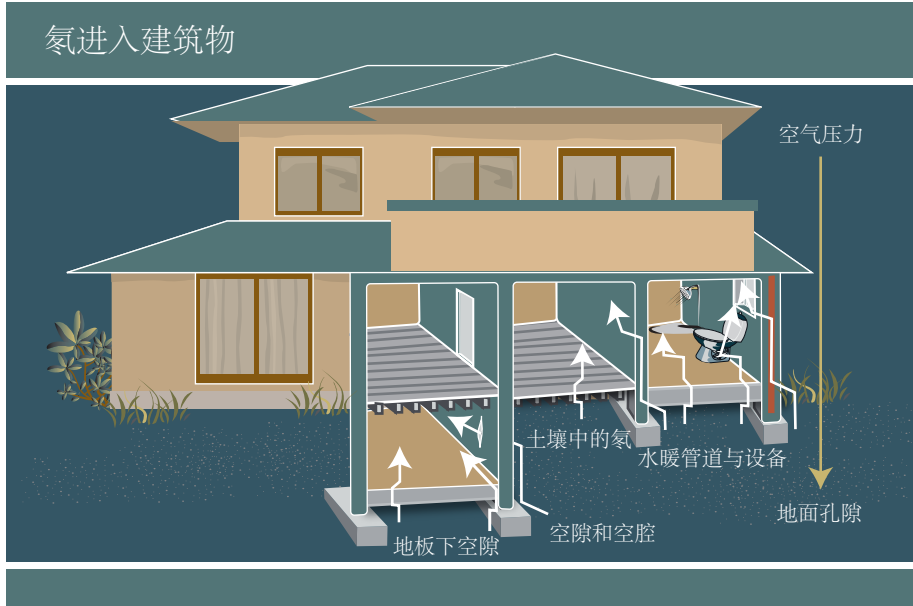
## 氡气

氡-222是一种以气体形式存在的放射性核素，通常来自土壤。氡-222产生于地球岩石和土壤中存在的铀-238衰变系。吸入后，氡的短寿命的衰变产物（主要是钋-218和钋-214）滞留在肺中，照射呼吸道细胞。因此氡是吸烟者和不吸烟者患肺癌的主要原因；然而由于吸烟与氡照射之间有着强烈的相互作用，所以吸烟者更容易患癌。

氡存在于空气中，可以通过地下室和地板直接渗入到建筑物中，从而导致氡浓度积累，这里的浓度是指一定体积空气中单位时间内衰变的放射性量。当室内供暖时，热空气上升，空气通过窗户或孔隙从房屋顶部逸出，使底层和地下压力降低。这样就使得氡通过裂隙和孔隙（如各种管道入口周边）从地基下的土壤中快速析出。

世界范围的室内氡平均浓度约为50贝可/立方米。但是这个平均值掩盖了各地之间的巨大差异。就总体而言，各国的平均浓度差异很大。在塞浦路斯、埃及和古巴等国家中不到10贝可/立方米，而在捷克共和国、芬兰和卢森堡各国则大于100贝可/立方

米。在加拿大、瑞典和瑞士等一些国家，有些房屋中的氡浓度介于1 000到10 000贝可/立方米之间。不过，这种高水平浓度的房屋是少见的。引起这种差异的一些因素包括局部地区的地质状况、土壤渗透性、建筑材料和建筑物通风等因素。



尤其，通风是其中一个关键的因素，它与气候有关。如果通风良好，如在热带气候中，氡的积累可能就不严重。但是在温带和寒冷的气候中，场所的通风往往不够充分，氡浓度就可能大量积累。所以在设计节能建筑物时，限制通风的作用是重要的。许多国家已经开展了广泛的测量项目，为实施室内氡浓度减少措施提供了依据。

水中的氡浓度水平通常都非常低，但是也有些高浓度的水源，如芬兰赫尔辛基的深井水和美国阿肯色州的温泉。水中的氡会加重空气中氡的浓度，特别是在浴室中淋浴时。然而，科学委员会的结论认为，通过饮用水摄入的氡比吸入的氡的剂量要小很多。据科学委员会估算，由氡所致的年平均有效剂量是1.3毫希沃特，约为所有天然源所致公众剂量的一半。

辐射来自哪里？

## 工作场所的照射

---

就某些工作场所而言，氡的吸入是工作人员辐射照射的主要来源。氡是所有类型矿井下辐射照射的主要来源。煤矿工人的年平均有效剂量约为2.4毫希沃特，而其他类型矿工的大约为3毫希沃特。核工业工作人员的年平均有效剂量约为1毫希沃特，主要来自铀矿开采中的氡照射。

## 食物和饮用水中的源

食品和饮用水中可能含有某些原生核素和其他一些放射性核素，他们主要来源于天然源。放射性核素可以通过岩石，土壤和水中的矿物质转移到植物，然后再转移到动物。因之，剂量的变化不仅取决于食物和饮水中放射些核素的浓度，还取决于当地的饮食习惯。

例如，鱼和水生贝壳类生物含有相对高水平的铅-210和钋-210，所以大量食用海鲜的人受到的剂量可能略高于一般人群。居住在北极区的人消费大量的驯鹿肉，他们受到的剂量也比较高。北极区的放牧驯鹿的地衣中累积有钋-210，从而导致驯鹿体中也含有较高水平的钋-210。据科学委员会估算，食物和饮用水中天然源所致的年平均有效剂量是0.3毫希沃特，主要来自钾-40及铀-238和钍-232天然放射系的核素。

除天然源放射性核素外，食品中还可能存在人工源放射性核素。但是，经批准后向环境排放的放射性核素剂量是很小的。

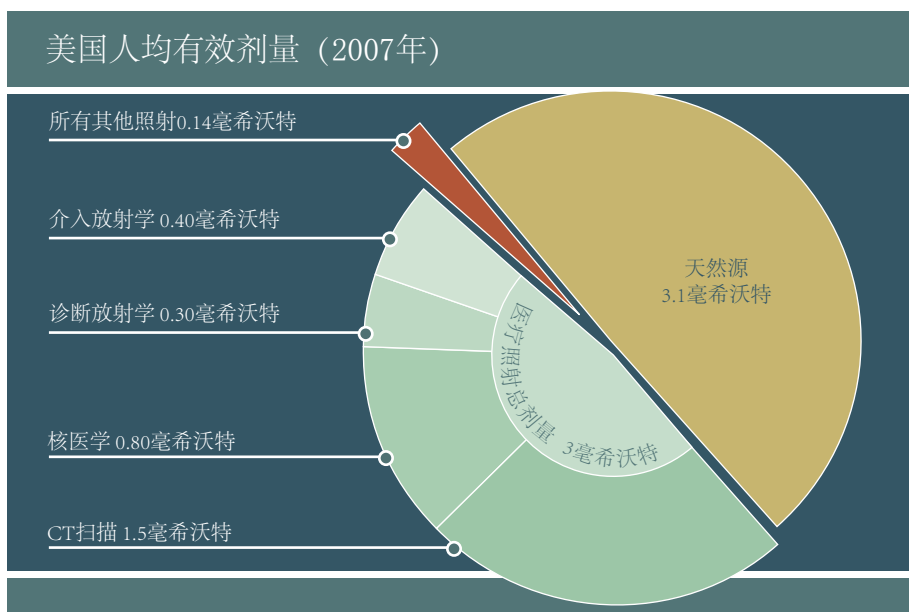
### 3.2. 人工源

自从科学家们揭秘原子能，并开展多种用途的应用以来，辐射的应用在过去几十年里有了显著的增加。应用的范围包括军事、医学（如癌症治疗）、电力生产和家庭应用（如烟雾探测器）。这样和那样的人工源，无论对于个人还是全球居民，都增加了除来自天然源之外的辐射照射。

人工辐射源所产生个人剂量变化较大，多数人受到的剂量比较小，但少数人受到的剂量数倍于平均值。利用辐射防护措施可以使人工辐射源得到良好的控制。

## 医学应用

利用辐射对某些疾病进行诊断和治疗，在医学上起着重要的作用，成为目前全球主要的人工辐射源。平均而言，医学照射应用贡献了所有人工辐射源照射的98%，是继天然辐射源之后对全球居民照射的第二大辐射源，贡献了总照射剂量的20%。这种情况大多发生在工业化国家，这些国家有较多的医疗资源，放射设备的应用很广泛。在有些国家，医学应用导致的年平均有效剂量与天然辐射源所致的剂量相同。



医学照射与其他许多类型的照射之间有实质性的差别。典型的医学照射只涉及人体的一部分，而其他照射往往涉及整个人体。此外，患者的年龄分布通常会以较高年龄段的居多。另外，



考虑到患者从照射中直接受益，所以在将医学照射所致的剂量与其他源所致的剂量加以比较时，应很谨慎。

城市化的发展以及生活水平的逐步改善，不可避免地意味着有更多的人可能接受卫生保健。因此，由医学照射产生的集体剂量在世界范围内增长。科学委员会定期收集有关诊断和治疗的资料。根据1997-2007年间的调查，全世界每年大约实施近36亿次医学照射程序，而在1991-1996年期间的调查中为25亿次，前者与后者相比，增加了几乎50%。

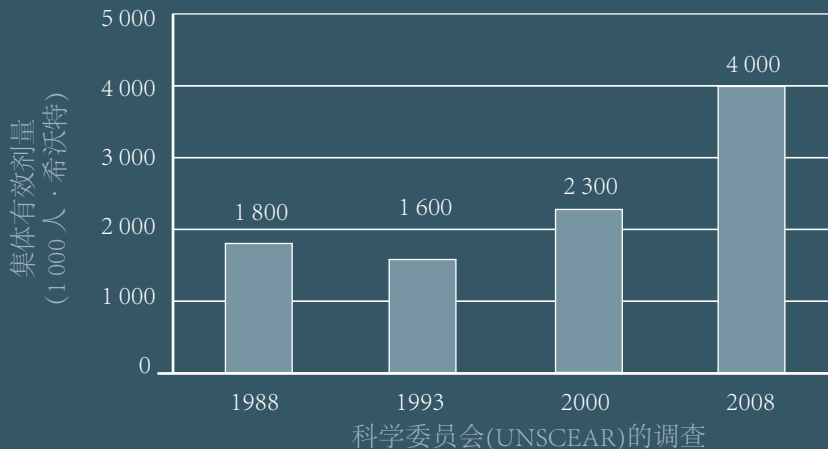
医学辐射实践主要分为三大类：放射学（包括介入程序）、核医学和放射治疗。在科学委员会的定期评估中，不包括如健康筛查及自愿参与医学、生物学、诊断和治疗研究项目等辐射应用。

**诊断放射学**是用X射线获得的影像进行分析的技术；如普通X射线照相检查（胸部和牙科X射线检查）、荧光透视检查（如钡餐和灌肠剂）和计算机断层扫描（CT）。科学委员会不涉及非电离辐射成像方式，如超声和核磁共振成像等成像方法。**介入放射学**使用最小侵袭性（微创）影像引导程序来诊断和治疗疾病（如在血管中引导植入导管）。

由于CT的广泛使用和每次检查引起的显著剂量，诊断放射学程序所致的全球平均有效剂量从1988年的0.35毫希沃特，上升至2007年的0.62毫希沃特，几乎翻了一番。根据科学委员会的最新调查，CT扫描剂量现在占到放射学检查所致总集体剂量的43%。这些数据在世界各地是不一样的。生活在工业化国家的人口占世界人口的25%，接受了所有放射程序的大约三分之二。而其余75%的全球人口所接受的放射学程序的年频度基本保持不变，即使是简单的牙科X射线检查亦是如此。

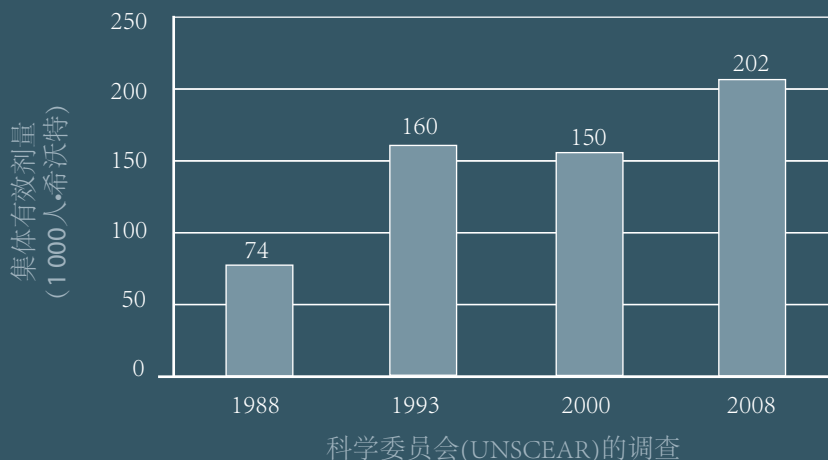


## 放射学所致全球照射剂量（1988-2008年）



**核医学**是将非密封的（可溶的和未封装的）放射性物质引入体内，大多数情形下用于获取有关结构和器官功能的资料，少数情形下用于治疗疾病；如治疗甲状腺功能亢进和甲状腺癌等病症。一般情况下，将放射性核素制成可以静脉注射或口服的放射性药物。药物根据物理或化学性质分散在体内，以便于扫描。这

## 核医学所致全球照射剂量（1988-2008年）



样，就可以分析放射性核素在体内发出的辐射，用以产生诊断影像或用以治疗疾病。

在世界范围内，核医学诊断次数从1988年的2 400万增加到了2007年的3 300万。年集体有效剂量从7.4万人·希沃特增长到了20.2万人·希沃特。在现代核医学中，辐射的治疗应用也在增加，全世界每年的患者数达到90万。此外，核医学应用的分布也相当不均匀，90%的检查发生在工业化国家。

**辐射治疗**（也称**放射治疗**）利用辐射来治疗各种疾病，通常是治疗癌症，也用于治疗良性肿瘤。体外放射治疗是指用患者体外的辐射源治疗疾病，也称**远距离放射治疗**。这种治疗使用含强放射源（通常是钴-60）的治疗机或产生辐射的高压设备（如直线加速器）。辐射治疗也可将金属源或密封源暂时或永久地放置在患者体内实施治疗，称为**近距离放射治疗**。

据估算，全世界接受放射治疗的患者在1988年为430万人，在1997-2007年间上升到每年510万人。其中大约470万人接受远距离放射治疗，40万人接受近距离放射治疗。居住在工业化国家的全球人口的25%接受了全世界70%的放射治疗和40%的近距离放射治疗。

## 工作场所的照射

---

过去几十年来，医学放射诊断程序的总数在显著增加，涉及的护理人员数因之而超过了700百万，每个工作人员的年平均有效剂量约为0.5毫希沃特。从事介入放射学和核医学的医务人员受到的剂量可能高于平均值。

## 医学应用中的事故

在有些医学辐射应用（如放射治疗、介入放射学和核医学）中，涉及给患者授与高剂量。如果错误地应用剂量，将会引起

严重的损伤，甚至死亡。受到风险的人不仅包括患者，也包括医师和附近其他人员。人为错误是引起这些事故的最常见原因。例如，错误的治疗计划导致错误的剂量、不适当地使用设备、使错误的器官受到照射或甚至偶尔使错误的患者受到照射。

尽管严重放射治疗事故是少见的，收录的事故已有100多例。科学委员会审议了自1967年以来报道的29例事故，这些事故造成了45例死亡和613例受伤。然而，还可能有一些死亡和许多损伤并未被报道。

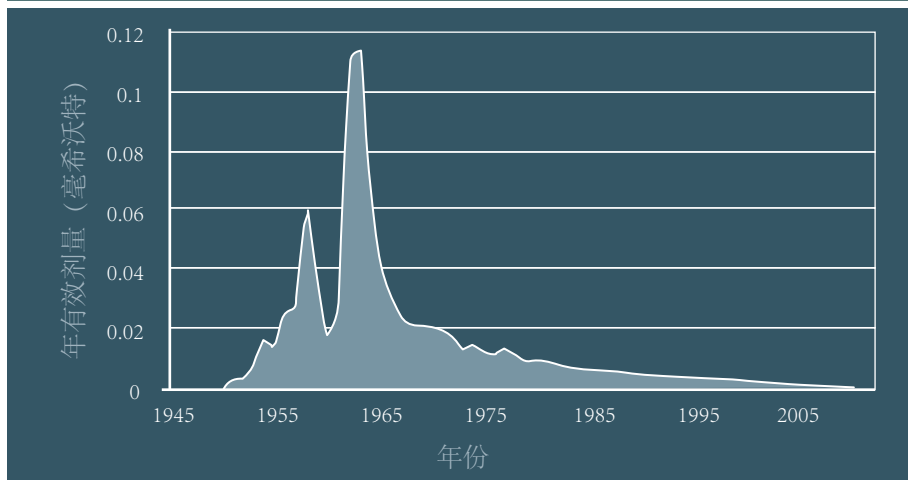
不仅过度照射可以引起严重后果，照射不足也可以引起严重后果，例如，当患者接受的辐射剂量不够时，不足以治疗威胁生命的疾病。质量保证大纲有助于维护高标准实践的一致性，以便使事故风险减到最小。

## 核武器

1945年，在第二次世界大战的最后阶段，两颗原子弹分别于8月6日和8月9日投掷在日本广岛和长崎。两弹的爆炸使将近13万人死亡，这两次事件是历史上在战争中仅有的两次使用核武器的事件。然而，在1945年后大气中曾进行了多次核武器试验，主要在北半球。最活跃的试验期是1952-1962年间。总共进行了500次核试验，总威力430兆吨TNT当量，最后一次试验是在1980年。全世界居民都受到了来自核武器落下灰的照射。鉴于对人类和环境辐射照射的担忧，1955年联合国设立了原子辐射影响问题科学委员会。

核武器大气层试验产生的全球落下灰所致的年平均有效剂量的最高估算值是0.11毫希沃特，出现在1963年，后来降低到现在的水平，约为0.005毫希沃特。未来这种照射将非常缓慢地下降，因为其中大部分照射来源于寿命较长的放射性核素碳-14。

## 核试验落下灰所致全球人均剂量



在地面核试验产生的落下灰中，多达50%的沉积在试验场100千米范围内。居住在试验场附近的人们会受到当落下灰的照射。然而，由于试验是在相对偏远的地区进行，当地受到照射的居民群体很少，没有对全球集体剂量构成明显贡献。尽管如此，居住在试验场下风向的人们受到的剂量还是比平均值高得多。

科学委员会于1958年发表的第一个报告奠定了关于《禁止在大气层、外层空间和水下进行核武器试验条约》谈判的科学基础。1963年《部分禁止核试验条约》签署后，直到20世纪90年代，每年会有大约50次核试验在地下进行；之后，又进行了少数几次核试验。这些试验的当量大多都比大气层试验的小得多，除有气体被排出或泄漏到大气中外，放射性碎片都被围封在地下。虽然试验产生了极大量的放射性残留物，但不会对公众形成照射，因为这些残留物位于地下深处，基本上与围岩熔合。

对于试验场区的再利用问题（如动物放牧或作物种植）是存在担忧的，因为有些场区正在被利用。有些试验场放射性残留物的剂量可能较大，例如位于今天哈萨克斯坦的塞米巴拉金斯克核

试验场的局部地区；而另一些地方，对最终居住在试验场的公众所贡献的剂量不会大于正常本底照射的一部分，如法国波利尼西亚岛群中的穆鲁罗阿环礁和方加陶法环礁。还有一些试验场，如马绍尔群岛和马拉林加试验场，美国和英国分别在这里进行了核试验，这里的居民所受的照射与饮食习惯和生活方式有关。

## 核反应堆

用中子轰击铀或钚的某些同位素，可使核分裂为两个更小的核，这一过程称为核裂变，同时释放出能量和两个或多个的中子。释放出的中子还可以再轰击其他铀或钚原子核，使其发生分裂，释放更多的中子，这些中子会再轰击和分裂更多的核。这种过程称为链式反应。这些同位素用作核反应堆中的燃料，在反应堆中链式反应受到控制，以阻止反应过快进行。

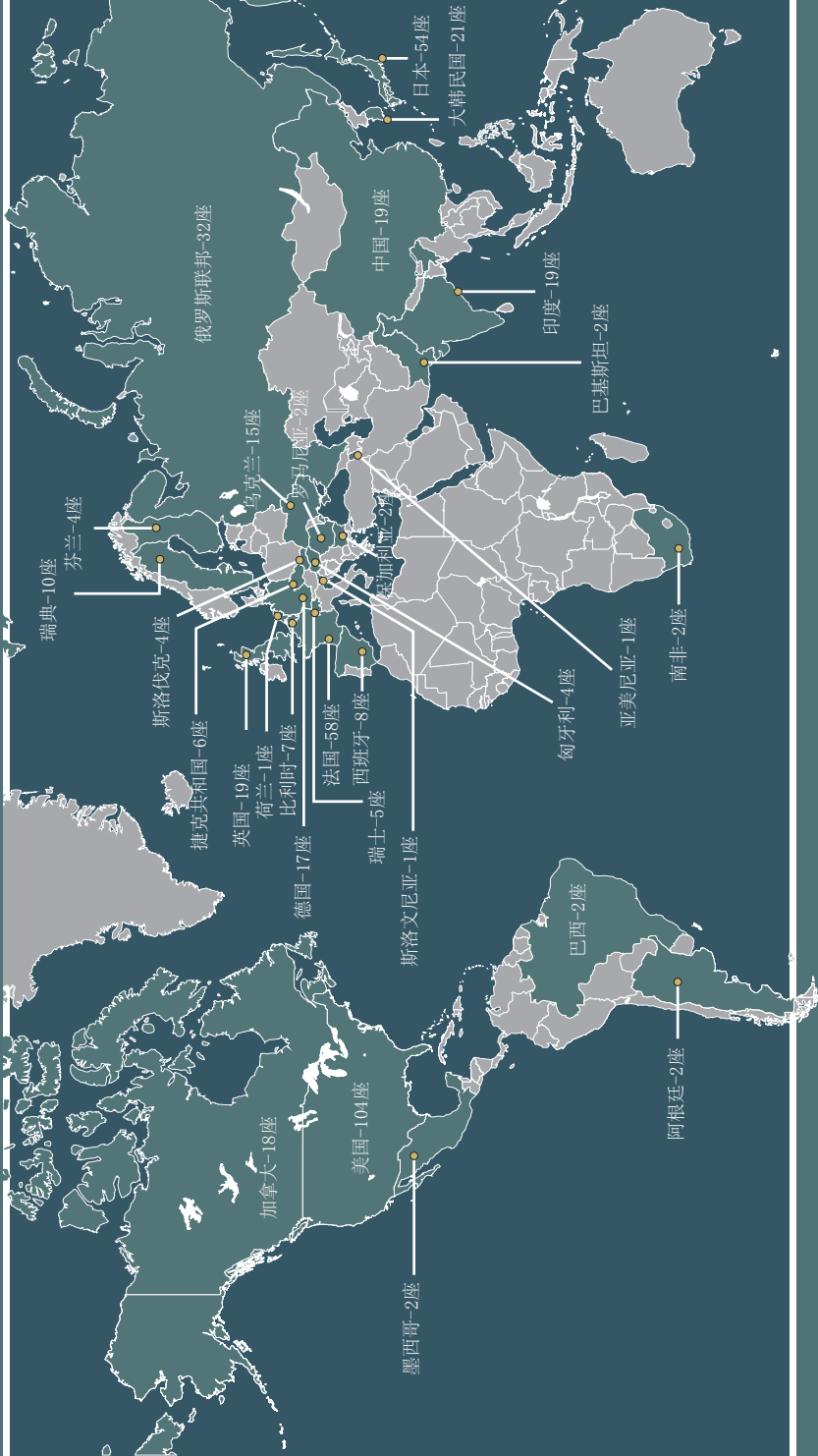
核反应堆中裂变所释放的能量，可用于核电站生产电能。此外还有各种研究反应堆，有的用于测试核燃料和各种材料、有的用于核物理和生物学研究、有的用于生产医学和工业用的放射性核素。虽然这两种反应堆之间存在着差别，但二者都需要铀矿开采和废物处置等工业过程，这样就带来了职业照射和公众照射。

## 核电站

1956年英国建造了世界第一座工业规模的商用核电站——考尔德豪尔（Calder Hall）核电站，从那时起，核电站电力生产快速增长。尽管旧反应堆的退役在增加，但是核电生产继续在增长。到2010年底，全球29个国家有440座动力反应堆在运行，提供了全球电能生产的10%，在56个国家还分布着240个研究反应堆。

虽然对于核动力发电往往是有争议的，但是在正常运行情况下，它对全球辐射照射的贡献是微乎其微的。而且辐射照射水平因设施类型的不同、地理位置的不同随时间而有很大不同。

全世界核电站分布（2010年）



核电站的电力输出在增长，反应堆正常排放的总照射水平却在下降。部分原因归功于技术进步，部分原因是由于实施了更加严格的辐射防护措施。总的来说，核设施的排放引起的辐射剂量非常低。核电站周围居民的年集体剂量估算为75人·希沃特。这样，居住在核电站周围的人受到的年平均有效剂量约为0.0001毫希沃特。

核能生产辐射照射主要来自矿山开采。铀矿开采和水冶产生了大量的尾矿形式的残留物，其中含有高水平的天然放射性核素。到2003年，全世界铀总产量达到大约200万吨，伴之而来的铀尾矿总量达到20亿吨。当前的尾矿堆维护得很好，但是存在着许多废弃的旧场址，其中只有少数经过了补救。据科学委员会估算，当前矿山和水冶场及尾矿堆周围居民组的年集体剂量约为50~60人·希沃特。

反应堆卸出的乏燃料（反应堆内“燃烧”过的核燃料）可以进行后处理，从中回收铀和钚以便再利用。目前乏燃料大多暂存在中间贮存设施，迄今为止所产生的三分之一的乏燃料已经得到后处理。导致的年集体剂量在20~30人·希沃特之间。

目前，低放废物和有些中放废物处置在近地表设施，但是过去有些时候曾向海洋倾倒。后处理产生的高放废物和未经后处理的乏燃料都被暂贮起来，但最终还需要进行处置。废物处置适当的情况下，即使在遥远的未来也不会构成对人们的照射。

## 工作场所的照射

---

在核工业领域，地下铀矿山中的氡释放对职业照射的贡献很大。放射性矿石的开采和加工活动非常普遍，这些矿石中含有高水平的放射性核素。核工业工作人员的年平均有效剂量自20世纪70年代开始以来就逐年下降，从4.4毫希沃特降到现在的1毫希沃特。这主要是因为铀的开采显著减少，加之采用了更先进的开采技术和通风设备。



## 核工业主要流程

转化、浓缩和提纯，用以制备作燃料铀



燃料加工制成燃料棒，一般用陶瓷燃料芯块中的铀，用金属管作包壳。



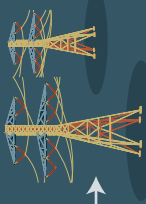
后处理的乏燃料中的铀和钚可在转化和浓缩后作循环用作燃料。

水冶从矿石中提取铀。残留物成为矿渣，其中含低浓度的长寿命放射性核素。



天然铀主要通过露天矿或地下采矿萃取。

研究反应堆和动力反应堆中的铀原子核分裂（裂变）并释放能量，使水加热。

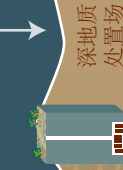


反应堆产生的放射性同位素可被分离出来，用于医学和工业。



放射性副产品使燃料的效率降低。在12至24个月之后，乏燃料从反应堆中卸出。

包括乏燃料在内的高放废物，目前暂存于中间贮存设施中，待深层地质处置场最终处置。



地质处置场

低中水平放废物大多处置在浅地层中。



浅层和中等深度

地表贮存



## 核设施事故

民用核工业设施正常运行期间的照射水平非常低。但是，也发生了一些严重的事故，受到了公众的广泛关注，科学委员会对其后果进行了评估。例如，1958年前南斯拉夫万萨(Vinča)研究设施事故、1978年美国三哩岛核电站事故，以及1999年日本东海村燃料转化设施事故。

在1945–2007年间发生过35起核设施严重辐射事故，导致了员工死亡或严重损伤，其中7起事故引起放射性物质释向场外释放，使居民受到了可以探测到的辐射。在其他核武器计划的相关设施中也发生了严重事故。已知有32例死亡和61例需要医学护理的辐射相关损伤，这里不包括1986年切尔诺贝利事故和2011年福岛第一核电站事故，这两起事故在下文中另行介绍。

在切尔诺贝利事故之前最严重的民用核设施事故是1979年3月28日发生的三哩岛核电站事故，一系列事件导致反应堆芯部分熔化。事故使大量的裂变产物和放射性核素从受损的反应堆芯释放到安全壳厂房，但对环境的释放相对很少，因而对公众的照射也非常小。

### 切尔诺贝利核电站事故

1986年4月26日发生的切尔诺贝利核电站事故，不仅是民用核电史上最严重的事故，也是导致公众辐射照射的最严重事故。事故导致的集体剂量比其他所有事故集体剂量的总和都大许多倍。

事故发生后有两名工作人员立即死于外伤，134人患急性放射综合征，其中28人被证实死亡。皮肤损伤和辐射相关白内障是幸存者的主要问题。除应急人员外还有数十万人投入了恢复行

动。在1986年和1987年受到高剂量照射的人中，白血病和白内障的发生明显增加，除此之外，至今还没有一致的证据表明在这一群体中有其他辐射相关的健康效应。

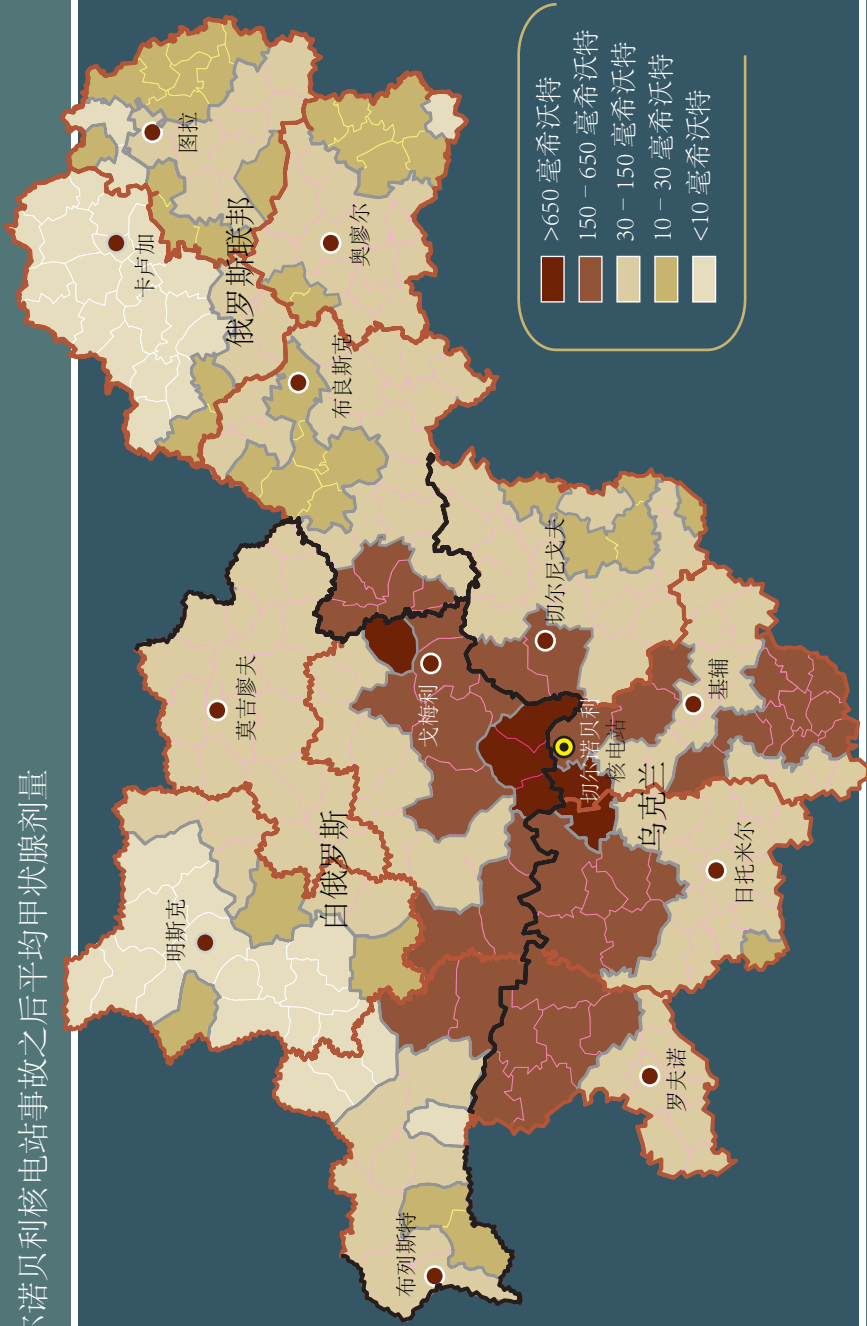
事故引起了放射性物质向环境的最大非控制释放，是任何一个民用核设施前所未有的；大量放射性物质向环境释放了大约10天。事故产生的放射性烟云扩散到整个北半球，大量放射性物质沉降在前苏联的大片土地和欧洲的其他地方，尤其是污染了如今的白俄罗斯、俄罗斯联邦和乌克兰的土地和水体，给广大居民带来了严重的社会和经济混乱。

新鲜牛奶受到短寿命放射性核素碘-131（放射性半衰期8天）的污染，加之没有紧急对策，致使前苏联地区甲状腺剂量，尤其是儿童甲状腺剂量非常高。从20世纪90年代初，在白俄罗斯、乌克兰以及俄罗斯联邦受影响较严重的4个地区，在1986年正处于儿童或少儿时期受到照射的人员中，甲状腺的发病率已经增加。在1991-2005年期间报告了6 000多例，其中已经证明15例死亡。

从长期来讲，公众还受到主要是来自铯-137（半衰期30年）的辐射照射，包括放射性沉积外照射和来自食品的内照射。但所引起的长期辐射剂量比较低，在1986-2005年间，白俄罗斯、俄罗斯联邦和乌克兰污染地区的人均有效剂量是9毫希沃特，这种剂量不可能对公众导致明显的健康效应。事故引发的严重动乱产生了重大的社会和经济影响，对受影响地区的居民产生了巨大的精神压力。

科学委员会在多次报告中详细研究了事故的放射后果。国际社会做出了空前的努力来评估事故在一般地区和各个重点地区的严重程度和特点，以便提高对事故放射后果和其他后果的认识，提供事故缓解方面的援助。

# 切尔诺贝利核电站事故之后平均甲状腺剂量



辐射来自哪里?

1986年以来的研究表明，无论是儿童时期受到碘-131照射的人员，还是受到高辐射剂量的应急和恢复工作人员，他们受到的辐射诱发效应的风险在增加。不过大多数地区居民受到的辐射照射是低水平的，与天然本底辐射水平相当，或比天然本底辐射水平高几倍。

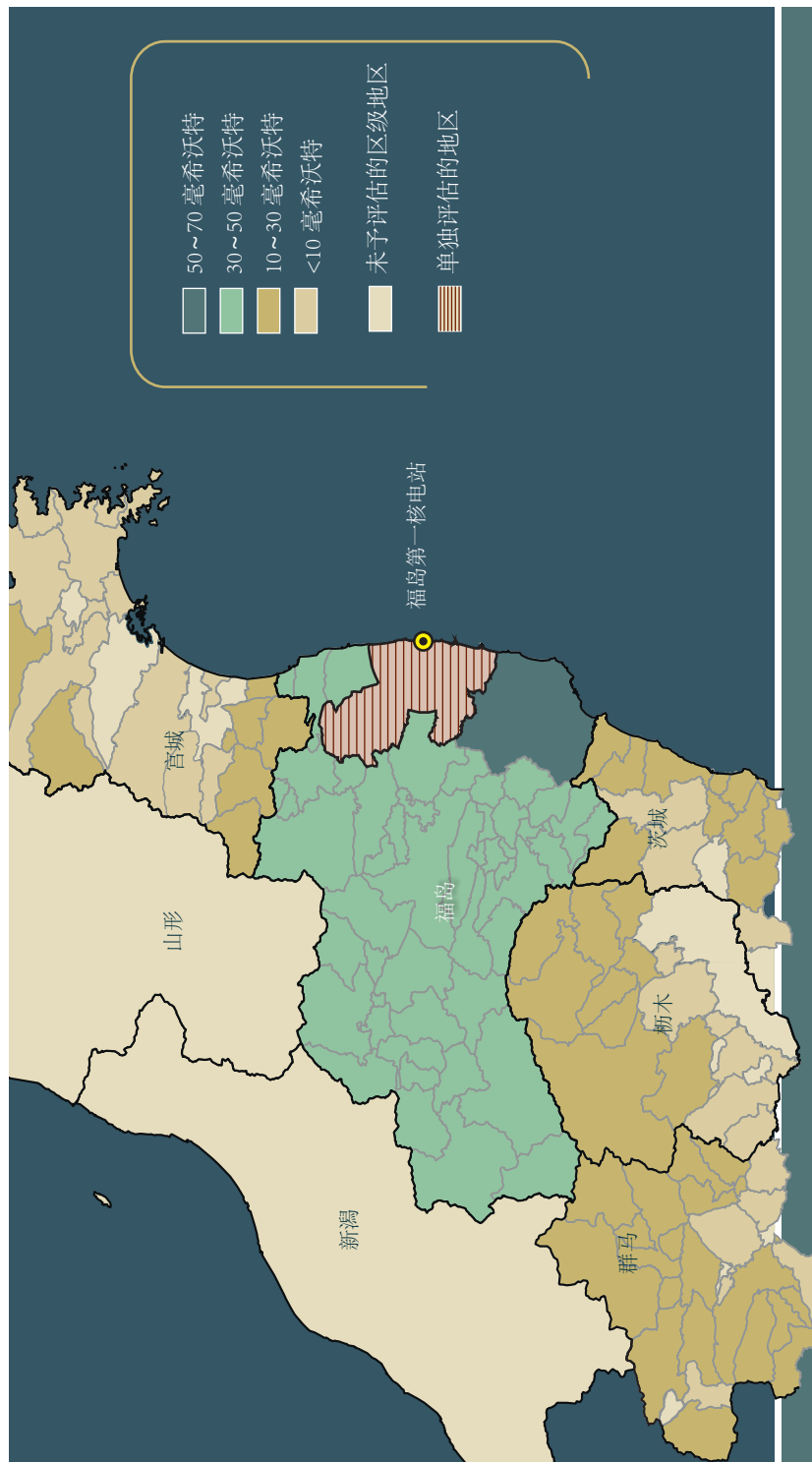
### 福岛第一核电站

2011年3月11日，日本东部9.0级大地震及继发的日本北部东海岸海啸，使福岛第一核电站受到严重损害，导致放射性物质向环境释放。3月11日至15日期间采取了预防措施，核电站场址周围20公里范围内以及其附近地区大约85 000居民撤离，核电站20~30千米范围内的居民在自己家房屋内躲避。稍后于2011年4月，由于地面放射性核素水平升高，居住在电站西北的另外10 000人被进一步建议撤离。这些撤离措施大大减少了受影响人员可能受到的照射水平。对水和食品的消费暂时予以控制，以便限制对公众的照射。在处理核电站应急情况时，有些运行人员和应急响应人员受到照射。

科学委员会评估了这次事故所产生的辐射剂量及对健康和环境的影响。在事故后的1年半里，大约有25 000名工作人员参与了福岛第一核电站现场的缓解和其他行动。工作人员当时受到的平均有效剂量约为12毫希沃特。但是有6名工作人员的累积剂量达到250毫希沃特；报告的最高总剂量为680毫希沃特，这是一名工作人员主要通过内照射（约90%）受到的剂量。12名工作人员受到的甲状腺剂量在2~12戈瑞范围内。在受到事故辐射照射的人员中没有观察到辐射相关的死亡和急性疾病。

在事故后的第一年里，福岛县撤离区内成人的平均有效剂量分布在1~10毫希沃特范围内，1岁婴儿的有效剂量大约为成人的两倍高。在福岛县未撤离区和相邻县，剂量是较低的。

# 福岛第一核电站事故后婴儿的平均甲状腺剂量



辐射来自哪里？

在受照最严重人员中，主要由碘-131导致的甲状腺平均剂量的估算值，成人可达35毫戈瑞，1岁婴儿可达80毫戈瑞。然而主要由外部天然辐射源导致的甲状腺年剂量，其典型值仅为1毫戈瑞。科学委员会得出一种理论上的可能：受辐射照射最严重的儿童人群组的甲状腺危险可能增加。然而，甲状腺癌在幼童中是一种罕见的疾病，所以在统计学上这个人群中预期观察不到这种效应。

与切尔诺贝利灾难相比，福岛第一电站事故在许多方面是截然不同的，如反应堆类型、事故发生方式、放射性核素释放及弥散的特点，以及采用的防护措施。两个核电站都向环境释放了大量的碘-131和铯-137，这两个核素是事故后照射的最重要放射性核素。福岛事故释放的碘-131和铯-137分别是切尔诺贝利事故释放的10%和20%。

## 工业应用和其他应用

辐射源有着广泛的工业用途。其中包括用于医药产品灭菌、食品保存和病虫害消除的工业辐照装置；用以检查焊缝缺陷的工业照相；用作枪炮瞄准器发光层、应急出口标志和地图照明灯低水平光源的 $\alpha$ 或 $\beta$ 发射体；在测井活动中用于测量矿物、石油、天然气勘探的、测量钻孔中地质特性的放射源或小型X射线机；在测量材料厚度、水分、密度和料位的装置中使用的放射源；以及科学研究中使用的其他密封源。

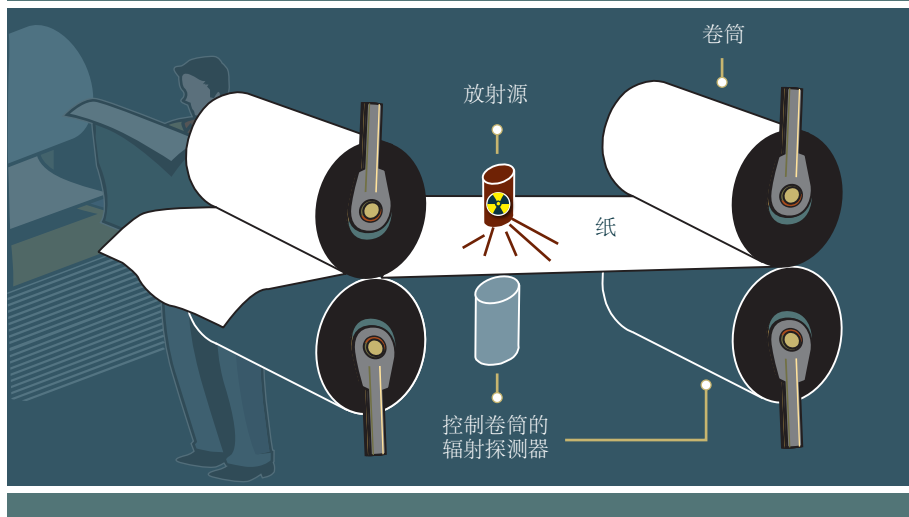
虽然辐射源有着广泛的用途，但是工业和医疗实践中使用的放射性核素的生产对公众的照射水平却非常低。然而，在事故情况下，局部区域可能被污染，引起高水平照射。

## 工作场所的照射

---

参与辐射源工业应用的工作人员数在21世纪初约为100万人，每个工作人员的平均年有效剂量为0.3毫希沃特。

## 辐射测厚装置



## 天然放射性物质

在世界各地还有几种类型的设施，它们虽然与核能的利用没有关系，但由于其工业产品、副产品和废物中的天然放射性物质（NORM）浓度的增加，而可能使公众受到照射。其中最重要的设施与矿物的开采和加工有关。

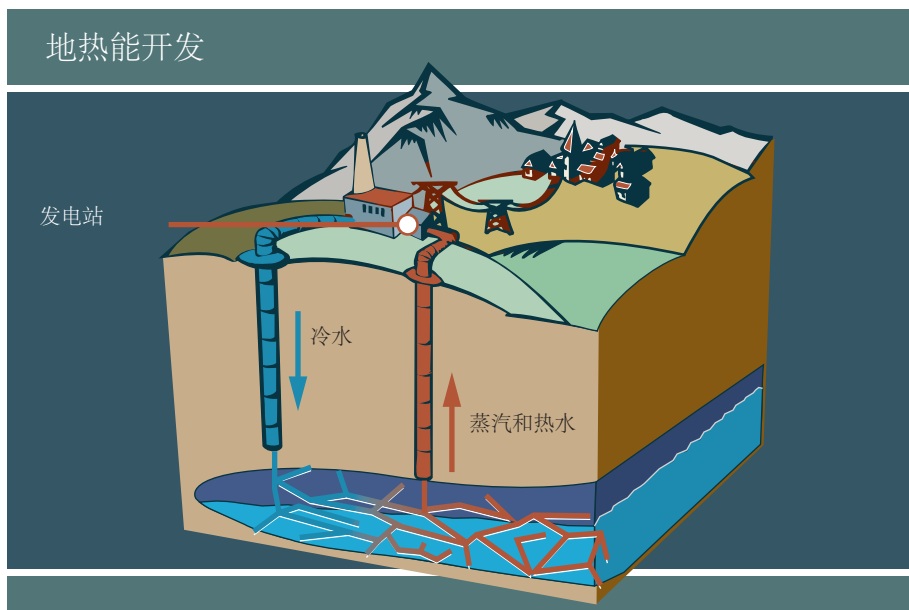
与矿石开采和加工相关的活动能够导致天然放射性物质水平的增高。这些活动包括金属矿开采和熔炼、磷酸盐生产、煤矿开采和燃煤电力生产、石油和天然气钻探、稀土和钛氧化物行业、锆和陶瓷行业、天然放射性物质的应用（典型的应用是镭、钍同位素的应用）。

以煤为例，煤中含有微量原生放射性核素。煤的燃烧使这些核素释放到环境中，使人们受到照射。这就意味着，世界燃煤电站生产的每吉瓦年电能使世界人口受到的集体剂量每年增加大约20人·希沃特。此外，粉煤灰（煤燃烧的残留物）已被用于填埋和道路建设，但用于建造房屋可导致直接辐射照射和氡的吸入照射。而且倾倒入粉煤灰可使倾倒入场周围的辐射照射水平增高。

辐射来自哪里？



地热能开发是公众的又一个辐射照射源。这种技术通过抽取地下蒸汽和热水实现电能生产或采暖。意大利和美国采用这种技术的排放贡献，据估算约占燃煤电站生产每吉瓦年电能所致集体剂量的10%。目前地热能对世界能源生产的贡献较小，因而对辐射照射的贡献也较小。



人类的其他各种实践也能够使人受到天然放射性物质的照射，如水处理产生的淤泥在农业生产中的利用。但是它对公众的照射水平极低，大约小于每年1毫希沃特的千分之几。

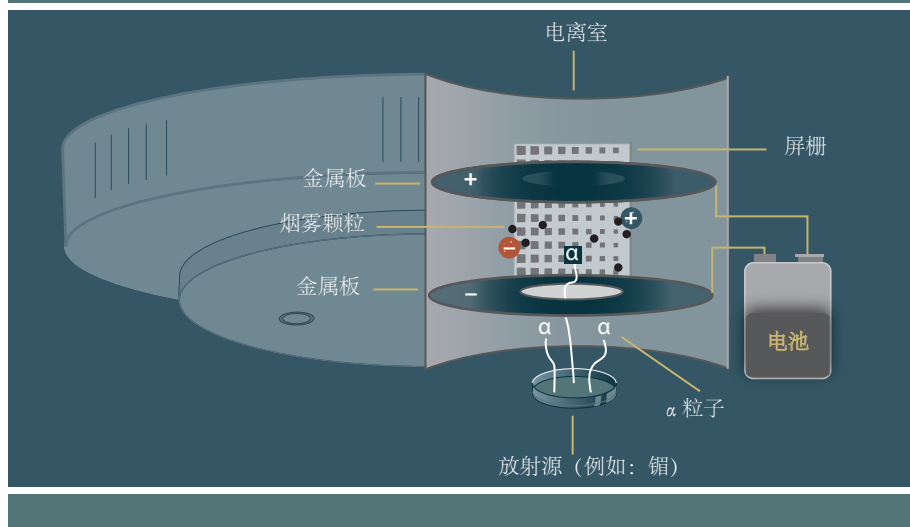
铀浓缩的副产品是贫铀，其放射性小于天然铀。多年来贫铀已经应用于民用和军事用途。贫铀密度高，用于辐射屏蔽或飞机的配重。贫铀在军事方面的利用，特别是在装甲弹中的利用，已经引起对残余污染的担忧。除了个别情况（如长期操作）外，贫铀的辐射照射极低。事实上，贫铀的最大有害特性是化学毒性。



## 消费品

一些日常使用的产品中含有经慎重考虑后添加的低水平放射性核素，这是为了利用它们的化学性质或放射性性质。历史上发光消费品中使用最多的放射性核素是镭-226。但镭-226在几十年前已不再使用，被放射毒性较小的铷-147和氢-3（氚）所取代。即使如此，含氚化合物的钟表或手表由于移动性强也存在氚泄露问题。但氚只发射非常弱的 $\beta$ 粒子，不能穿透皮肤，氚只有在进入人体后才会使人受到照射。

### 辐射烟雾探测器功能



一些现代烟雾探测器由电离室和小片的镅-241构成，镅-241发射 $\alpha$ 粒子，产生恒定粒子流。周围空气可以自由进入探测器，如果烟雾进入探测器，则干扰电流，触发报警。

烟雾探测器中镅源的放射性活度非常低。镅源的衰变非常缓慢，半衰期432年。这就是说探测器在使用10年后仍然基本保留原有的全部活度。只要镅源保留在探测器中，照射是小得可以忽略不计的。镅源的照射水平非常低，尽管用灵敏的探测设备可以

辐射来自哪里？

探测到。一个人在离开探测器2米以外站立8小时，据估算每年受到的剂量小于0.0001毫希沃特。

## 工业事故

与工业放射源相关的事故比发生在核电站的事故更为常见。但是，这些事故即使对工作人员和公众中成员造成了广泛的辐射照射，也并非总能受到足够的重视。

在1945–2007年间，报道了大约80起发生在使用辐射源、加速器和X射线的工业设施的事故。在这些事故中有9例死亡，120名工作人员受伤。有的受伤工作人员罹患急性放射综合征。手是常见的受伤部位，往往不得不截肢。科学委员会认为，还有些发生在工业设施的、涉及死亡或受伤的事故未被记录。

这些事故的原因和造成的效应是多种多样的。这里举出两个例子。1978年在美国路易斯安那州，一名在驳船上工作的工业放射技师受到3.7万亿贝可铯-137源的照射，左手遭受辐射损伤，可能是由于剂量计故障所致。三周后他的手变红肿，皮肤出现水泡，在5~8周内治愈。然而六个月后，食指部分被截。1990年在中国上海，由于安全措施不当，有7名工作人员在一家工业设施受到钴-60源的辐射照射。一名工作人员受到的剂量估算为12戈瑞，在照射后25天死亡。另一名工作人员受照剂量估算为11戈瑞，90天后死去。其他5名工作人员所受剂量估算为2~5戈瑞，经医学处理后恢复。

## 失控源

在1996–2007年期间，发生了31起因丢失、被盗和废弃的放射源引起的事故，这些源称为失控源。事故引起了包括儿童在内的42名公众成员死亡。另外，由于急性放射综合症、严重局部损

伤、内污染或心理问题，还必须对数百人进行医学护理。其中有6起事故与废弃的医用放射治疗机有关。

精确地讲，现在还不知道世界上有多少个失控源，但认为是在数以千计。美国核管理委员会（NRC）报道，从1996年到2008年，美国数家公司丢失大约1 500枚放射源，有一半以上没有收回。欧盟的一项研究估算，在其边界内每年有多达70枚放射源失去监管控制。虽然这些源绝大多数不会构成明显的放射危害，但是事故主要关心的是失控源。

密封源或其容器对从事废旧金属交易的人们来说是有吸引力的，因为这些源看上去似由贵重金属制成，而且可能没有显示辐射警告标志。在无危险意识的工作人员或甚至公众成员破坏放射源的案例中，有些出现了严重损伤，有些甚至出现死亡，例如1987年的巴西戈亚尼亚事故。一台废弃的、装有强放射性铯-137源（50.9 太贝可）的远程放射治疗机被偷，源盒被砸开。在接下来的两周内，可溶性氯化铯粉末扩散到整个废品收购站及周围房屋。很多人遭受疾病和皮肤损伤，11万人受到放射性污染监测，其中多人受到铯-137体内污染。这次事故导致4人死亡，其中包括一名儿童。

#### 全球严重辐射事故的估算值\*

事故类型	1945 – 1965	1966 – 1986	1987 – 2007
核设施事故	19	12	4
工业事故	2	50	28
失控源事故	3	15	16
科学研究中的事故	2	16	4
医疗事故	未知	18	14

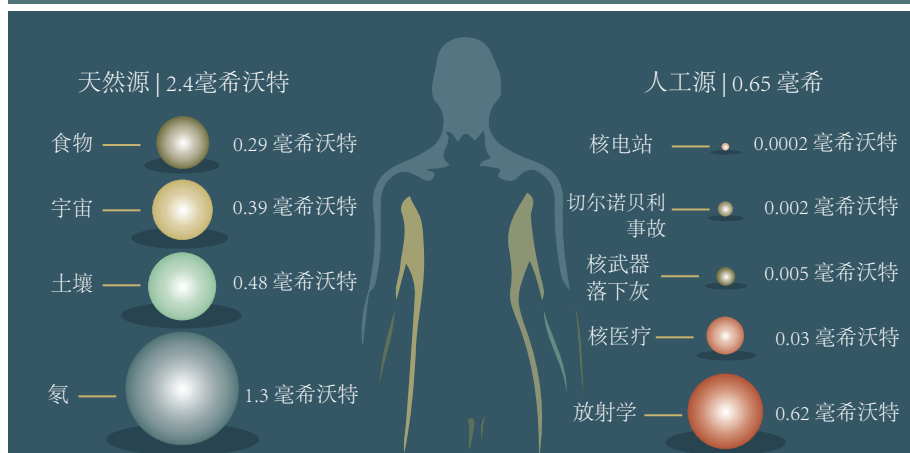
\* 基于正式报道的或公布事故数。预计未报道的事故数要大得多，特别是医疗事故。

### 3.3. 对公众和工作人员的平均辐射照射

总的来讲，公众从天然源受到的辐射照射在总的照射中为主要成分。根据科学委员会的估算，个人所受的年平均有效剂量约为3毫希沃特。平均而言，从天然源受到的是2.4毫希沃特，其中三分之二来自我们呼吸的空气中的、我们吃的食品中的和我们饮用水中的放射性物质。来自人工源的主要照射源是医学照射，年平均有效剂量是0.62毫希沃特。医学辐射照射的水平因地区、国家和健康护理体系的不同而不同。科学委员会估算了工业化国家医学辐射应用所致的年平均有效剂量为1.9毫希沃特，而在非工业化国家为0.32毫希沃特。但是这些值可能差异很大（如在美国为3毫希沃特，在肯尼亚仅为0.05毫希沃特）。

在20世纪90年代以前，对工作人员辐射照射的关注集中在人工辐射源。如今人们认识到很大一批工作人员受到天然源的照射，主要是来源于采矿工业的照射。对于采矿行业的某些职业来说，氡气的吸入是工作场所的主要辐射照射源。虽然井下铀矿中氡的释放对核工业职业辐射照射贡献很大，但整个核工业工作人

#### 辐射源所致公众的平均照射剂量\*



\*一年内个人有效剂量估算值（世界平均值）。

员个人的年平均有效剂量从20世纪70年代的4.4毫希沃特下降到了今天的1毫希沃特。然而，煤矿工人的年平均有效剂量仍然是2.4毫希沃特，其他类型矿山工人的剂量约为3毫希沃特。

目前估计，全世界被监测的工作人员的总数大约是2 300万，其中有1 000万人受到人工源的照射。在受到人工源照射的工作人员中，每4人中有3人工作在医疗行业，每位工作人员的年平均有效剂量为0.5毫希沃特。对每个工作人员的年平均有效剂量的评估表明，天然源照射的增加主要归因于矿山开采，而人工源照射的下降是因为成功地实施了辐射防护措施。

全球工作人员辐射照射趋势（毫希沃特）*				
时间段	20世纪70年代	20世纪80年代	20世纪90年代	21世纪前十年
<b>天然源</b>				
航空机组人员	—	3.0	3.0	3.0
煤矿开采	—	0.9	0.7	2.4
其他矿山开采**	—	1.0	2.7	3.0
其他	—	6.0	4.8	4.8
共计	—	1.7	1.8	2.9
<b>人工源</b>				
医学应用	0.8	0.6	0.3	0.5
核工业	4.4	3.7	1.8	1.0
其他行业	1.6	1.4	0.5	0.3
其他	1.1	0.6	0.2	0.1
共计	1.7	1.4	0.6	0.5

\*工作人员一年内受到的平均有效剂量估算值。  
\*\*铀矿开采包括在核工业中。

## UNSCEAR出版物

联合国原子辐射影响问题科学委员会(UNSCEAR)自设立以来已经发布了25部重要报告和100多个科学附件。这些出版物受到高度评价，被认为是对来自核武器试验和核电生产、医学辐射应用、职业辐射源和天然辐射源的辐射照射进行权威性评价的主要来源。科学委员会还评估了关于辐射诱发癌症和遗传疾病的详细研究，评价了事故对健康和环境的放射后果。联合国原子辐射影响问题科学委员会所发布的报告和其科学附件被作为联合国的销售出版物发行([unp.un.org](http://unp.un.org))，也提供免费电子版下载([unscear.org](http://unscear.org))，目的在于传播评估结论，惠及联合国成员国、科学界和公众。

欢迎对本出版物提出反馈意见,通讯地址如下:

UNSCEAR secretariat  
Vienna International Centre  
P.O. Box 500  
1400 Vienna, Austria  
E-mail: [unscear@unscear.org](mailto:unscear@unscear.org)



1955年，联合国大会设立了原子辐射影响问题科学委员会(UNSCEAR—United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation)，来收集和评估有关电离辐射水平和影响的资料。

这是针对当时大气层核武器试验落下灰通过空气、水和食物到达人体，引起了人们对电离辐射产生的人类健康和环境影响的关注而做出的响应。科学委员会的第一个报告奠定了1963年《部分禁止核试验条约》谈判的科学基础。

这本出版物试图客观地，以普通读者可以接受的方式提供关于辐射水平和影响的最新知识，本出版物根据科学委员会(UNSCEAR)的科学报告编写而成，这些科学报告是本出版物的主要资料来源。



环境署