

原子能知识丛书



核动力的安全问题

ITC 10



原子能知识丛书

核动力的安全问题

〔美〕 J. F. 霍格顿 著
石庆元 译

原子能出版社

核动力的安全问题

〔美〕J.F.霍格顿 著

石庆元 译

原子能出版社出版

（北京2108信箱）

张家口地区印刷厂印刷

（张家口市建国大街八号）

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本 787×1092 $1/32$ ·印张 1 $1/8$ ·字数 25 千字

1982 年 3 月第一版·1982 年 3 月第一次印刷

印数001—1,700·统一书号：15175·356

定价：0.17元

出版说明

一提到原子能，就要和不可捉摸的放射性联系在一起，一些人往往望而生畏，敬而远之，这说明原子科学领域对于许多人来说还是陌生的。其实原子能既不可怕，也不神秘，它在我们的生活中正在起着愈来愈大的作用。

为了介绍原子能的基本知识和应用情况，我们有选择地翻译出版美国当代原子能学者和专家编写的原子能知识丛书（Understanding the Atom Series）。这套丛书取材广泛，内容丰富，语言生动，深入浅出，具有中等文化水平的读者，花一些气力，读懂它是不成问题的。

在科学技术急速发展的今天，书中引用的有些材料稍嫌过时，但是这些材料对于理解基本概念还是有价值的。

目 录

一、什么是核动力?	(1)
二、影响安全问题的因素是什么?	(3)
三、反应堆运行期间放射性物质的控制.....	(13)
四、事故的防止.....	(18)
五、防意外事故的安全壳.....	(25)
六、经验记录.....	(29)
七、安全问题研究.....	(32)

一、什么是核动力？

本书的主要内容是讲中心电站的核电站的安全问题。这些电站属于公用事业、为用户提供电力。本书将介绍一些有关核电站安全问题的实际资料，包括一些基本技术问题。

作为引言，我们首先介绍一些关于核动力的一般知识——何谓核动力？为什么要发展核动力？以及当今核动力的状况如何？

美国80%左右的用电是由普通蒸汽发电厂提供的。在这些蒸汽发电厂中，煤、石油或天然气（也就是所谓的“化石燃料”）燃烧产生的热使水转化为蒸汽，然后蒸汽推动汽轮发电机，从而产生电力。

核电站是一种新型的蒸汽发电厂，它的热能不是来自化石燃料的燃烧，而是从核燃料的裂变得到的。核燃料的基本来源是铀和钍。核电站的汽轮发电机部分，与普通蒸汽发电厂的相似，产生的电是相同的。

1. 核动力为什么重要？

开发和应用核动力有两个重要的刺激因素。首先是，在那些距离煤矿、油田和天然气田较远因而燃料运费昂贵的地方，核动力的利用可能有助于稳定并很快地降低发电成本。例如，在美国的东北各州和西海岸，燃料的费用一般约为总发电费用的一半。这些地区，由于利用了可与其它能源竞争的核动力而获益。

第二个原因是，核动力有可能成为全国不可缺少的能源。美国的化石燃料（特别是煤）虽然储量很大，但是消耗的速度也增长很快。不仅发电要消耗燃料（发电消耗燃料当前占燃料消耗的五分之一），而且在交通运输、工厂运行、供暖和其它活动中也要消耗大量的燃料。总起来讲，在今后二十年内，估计我们将用掉的燃料能量相当于美国独立战争以来*所用掉的能量的总和。如果考虑到预计能量消耗速度的增加，而我们还用目前这种方式使用燃料，那么再过二、三代就要出现化石燃料资源几乎耗尽的严重局面。用核燃料发电，可以保存化石燃料另做其它适当用途，并将大大地扩大未来的能源资源。

2. 当前核动力状况怎样？

美国供中心电站用的核动力的开发，真正开始于1954年，那时，美国国会通过立法，允许联邦政府外的公用事业公司和其它部门拥有核反应堆。采取这一行动，是为了鼓励制造业和公用事业公司开发和利用核动力。由于核潜艇推进器用的反应堆高度成功地发展以及反应堆用在其它主要领域中得到的经验，所以那时已经有了大量可以应用的技术。

1954年原子能法案成为法律以后不久，在核动力归入美国电力经济体系方面已取得很多成就。例如：

总发电能力约一百万千瓦的核电站已投入运行；另有一百万千瓦的核电站即将建成；还有二百五十万千瓦的核电站在设计中。相对于美国电力生产能力总量（目前差不多是两

*美国独立战争（1775—1783年）以来，系指到1964年本书出版的时间为止。——译者注

亿千瓦)来说,这个数目是很小的。但它是一个可观的量。例如,目前正在运行中和即将运行的装机容量二百万千瓦的核电站,能够满足如康涅狄格州和堪萨斯州或丹麦和匈牙利等国的电力需要。

到目前为止,美国公用事业公司对核电站的投资已达约十亿美元。

现在可以以一定的价格买到带有性能保证书的核电站。

这些成就是美国原子能委员会和工业界共同努力的结果。

今天有很大规模的核动力工业,其经验积累要回溯至1942年12月2日,这一天恩里科·费米和他的同事们在芝加哥大学的校园里,成功地示范了世界上第一座核反应堆。现在这个工业在美国已积累大约二百万人-年的经验了。

二、影响安全问题的因素是什么?

首先我们应该了解,核动力装置的工作原理实际上不可能象原子弹那样。在原子弹中,把一些足够纯的可裂变材料快速压缩,形成高密度的大块,在一瞬间强制它紧紧地结合在一起,以使链式反应遍及整体。这种情况不会也不可能核电站的反应堆中发生。反应堆用的燃料是低浓缩燃料,它们是按不同原理设计的,它们的运行也不一样。

核电站的安全问题,不取决于限制核能产生的力的大小,而在于约束核电站所产生的放射性物质。

核电站产生的主要放射性物质是裂变“灰”，也就是所谓的裂变产物，它们是各种各样物质的混合物，有的是气体，有的是固体；有的放射性核素衰变半衰期短*，有的半衰期长；有的核素是稳定的（没有放射性）。就质量来说，生成的裂变产物的量是很小的——在一个大工厂里每天只有几磅，而就放射性来说，它的量就很大了。当核电站运行时，反应堆内积存的放射性裂变产物逐渐增加，直到放射性消失的速度差不多正好抵销产生的速度时，则达到平衡。正如将要说明的那样，在正常情况下，除很少量裂变产物（低于十万分之一）之外几乎全部存留在燃料中。

在核电站中，通过中子的照射，还生成少量的放射性物质，叫做活化产物。这种情况仅在堆芯及其周围发生。堆芯是反应堆中唯一有大量中子存在的部分。大多数活化产物具有很短的半衰期，与裂变产物相比，它们的重要性差一些。

表示放射性强度的基本单位是居里，是为纪念镭的发现者玛丽·居里而取名的。一居里等于每秒 3.7×10^{10} 个原子蜕变。但无论是居里数还是每秒蜕变数都不能帮助我们理解放射性强度，由于后面这个术语正象前者一样，不为人们所熟悉。而更重要的是，当它应用于放射性物质的混合物（如裂变产物）的时候，很少有明确的意义。原因是，不同的放射性物质，放射出不同类型和强度的射线。一种射线（ α 射线）能被一张普通的写字纸挡住，而另一种射线（ γ 射线）却能穿透几英尺的水泥。另外，不同的放射性物质，除了具有不同

*放射性物质的寿命通常以半衰期表示，半衰期就是放射性物质失去一半放射性所需的时间。大多数裂变产物的半衰期在几分之一秒到几十年之间。

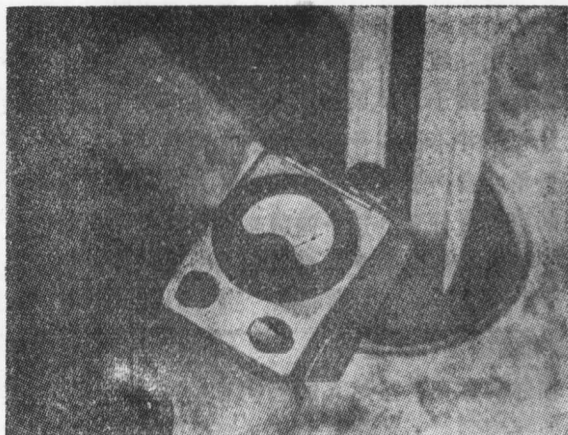
放射特性外，从安全观点看，还有其它一些重要性质。因此，说某个核电站有 x 居里放射性强度，就好象说，某个食品杂货店把一些橘子、苹果、葡萄、西瓜等等算个总数一样，它只是一个并不说明什么问题的数字。

从安全角度看，最有意义的度量放射性的方法是按人体可能受到的照射量计量。这个问题将在后面讨论。首先我们来讲一讲关于放射性的一个非常重要的方面，即辐射的检测和测量。

1. 辐射的检测和测量

原子辐射的存在，虽然人的感觉不能探知，但可用某种仪器容易地探测到。一种简单的辐射探测器是普通的照相胶片，它暴露在辐射中就会变黑，通常把它作成“胶片佩章”型式，用来测量工作人员在核能设施中给定工作期间所受的累积照射量。其它类型的探测器，例如盖革计数器、正比计数器和闪烁计数器等，是用来探测原子辐射的存在和测量它的强度的。这些仪器就象它们名字表示的那样，它们能够测量单个粒子。这种仪器通常是用来监测核能设施内部及周围的辐射水平。

辐射探测仪器可以计量单个粒子，这就有可能用它来做极灵敏的辐射测量，换一句话说，它可用以探测极微量放射性物质的存在。辐射探测仪器的这种本领，是微量放射性物质在科学和工业上广泛应用的基础，它们可用作生物、化学或物理过程中的“示踪”工具。现在，可用美国地质勘测局所进行的一个实验作例子加以说明。美国地质勘测局想要追踪水从一个大水库里的流失情况。为此目的，把微量的放射性氢（百分之几克）放进这个水库，然后在远离水库几英里



手提式辐射探测器

的一些地点取地下水样品。通过测量所取样品中放射性氢的浓度，就了解到水库中水的流失情况。以下的事实说明了这种示踪技术和辐射探测的灵敏度：样品中放射性氢示踪剂的浓度约为百万分之0.00000000003就可探测出来。

辐射探测在另一方面，即在分辨特定放射性物质的本领方面，也是非常灵敏的。由于每一种放射性原子具有其特殊类型的放射性，所以这种分辨是完全可能的。

因此，核电站的操作人员，可以应用辐射探测和测量仪器，在任何时候不仅对核电站内部及周围的放射性水平，而且对核电站流出物中任何裂变产物的类型和含量，进行非常精确的检查（参见下章）。

2. 本底辐射

原子辐射对我们来说并非新奇现象，它是我们自然环境

的一部分。我们一直生存在它们之中。这种天然辐射的“本底”有两个来源：一个是高能粒子型式的辐射，它来自外层空间，统称宇宙射线；另一个来源是天然放射性，即天然存在于普通物质（如花岗岩中）和我们每个人体内的放射性物质。例如，我们人体内的部分钾和碳就是放射性物质。下表表示出了人体从天然源接受的天然辐射的分类情况。这些数值都用千分之一雷姆（毫雷姆）表示。雷姆是考虑到辐射类型特性的一种计量单位。表中表示的总量每年125毫雷姆，是指平均数字。精确的数字随地区而异，这主要是因为世界各处天然放射性物质的量不同。变化的另一个原因是，宇宙射线通过地球的大气层时，它的强度就要减弱，因此，它们在高空就比在低空较强。在美国，本底辐射水平范围是，大约从每年90到稍小于200毫雷姆。有人曾报道过，在世界有些地区辐射水平高达12000毫雷姆。

典型的本底辐射分类表*

来 源	所受辐射剂量**（每年毫雷姆数）
宇宙射线	50
天然放射性	
外部来源	50
内部来源	25
总 量	125

* 本表取自1962年联合国原子辐射效应科学委员会的报告。

** 表中数据均指生殖器官和人体其它软组织所受的剂量。

3. 递增辐射照射*

当我们谈到核电站运行引起的辐射照射的时候，我们是说与自然界存在的相同型式的递增照射。递增照射的来源也不是只有核电站，医用的X射线、电视机、夜光表盘等都是大家熟知的辐射照射的来源。

原子辐射的生物学效应已经研究多年。现在我们已经比较清楚地了解到关于人体组织在大辐射剂量照射下的效应，因为已经观察到了这种效应。而对极低辐射水平的长期照射所引起的效应还没有观察到。然而根据较高辐射水平下得到的数据和我们一般知识作出的推论，科学家们假定，这种效应是存在的。要获得明确的资料来证明这个假定是很复杂的，这是因为，人类周围环境其它因素对人体组织引起的变化，和低辐射水平照射对人体组织引起的变化结果是一样的。

我们对低辐射水平的效应比对高辐射水平的效应知道得少一些，这一事实并不意味着，我们不具备辐射对环境影响的知识。在1960年，对辐射效应的资料研究后，国家研究委员会对这点曾作过一些评论。

区别辐射危害和其它外界环境危害是较容易的，因为辐射可以以很高的灵敏度进行探测和测量。

关于环境辐射的研究，正在连续不停地进行。美国公共卫生服务局和原子能委员会的监测站，辅以国家和地方公共事业单位，不断地检查全国各地取样点提供的空气、食物和

* 此处所指的递增的辐射照射，系指由核动力装置运行或其它原子能和和平利用所导致的结果，不包括医用的辐射照射在内。

水样。虽然这种监视网是为了监测核武器试验产生的放射性散落物而建立的，但它对放射性物质的存在，不管其来源如何，都提供了准确而连续的检查结果。对放射性物质在环境中行为的研究有助于处理放射性污染问题新技术的发展。建立了行动程序，以便一旦发生安全问题时，可以动员熟练的技术人员去处理。虽然所有这些工作主要是为美国民间防卫，但通过这些工作获得的知识和发展的技术，通常有助于对我们周围环境辐射的监控。



用于测量样品中放射性的仪器

4. 辐射防护标准

权衡危害和利益的问题，恐怕是人类经验中最老的问题了。在辐射方面，这个问题的解决是采取辐射防护标准这种形式。

多年来，活跃在辐射领域的科学家们组成的独立委员

会，试图制订出应用人造放射性的安全准则。例如，有国际辐射防护委员会（ICRP），它对世界卫生组织起咨询作用。在美国则有国家辐射防护和测量委员会（NCRP），它的总部设在国家标准局的办公大楼内，但它是一个独立机构。

核电站中所控制的实际可接受的辐射标准由原子能委员会确定，在联邦法律下，这是它的部分法定责任。在制订这些标准时，原子能委员会接受联邦辐射委员会（FRC）公务上的领导，后者的建议要送请总统批准；联邦辐射委员会的成员包括卫生、教育和福利部、国防部、商业部、劳工部、农业部的部长和原子能委员会主席。另外，原子能委员会享有国家辐射防护和测量委员会以及一些原子能委员会自己设立的咨询委员会，包括州政府之咨询委员会提供建议和帮助的益处。

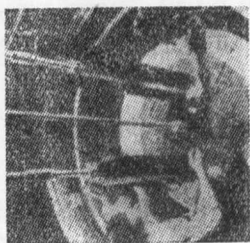
简言之，原子能委员会在制订辐射防护标准时所采取的行动，保证了实际上获得可能得到的科学上最好的指导。

联邦辐射委员会建议，普通的公众成员全身所受递增辐射照射，每年不超过500毫雷姆。相应地制订了原子能委员会辐射防护标准，它们包括特定放射性物质在空气、水等中的最大允许浓度，以表的形式表示。

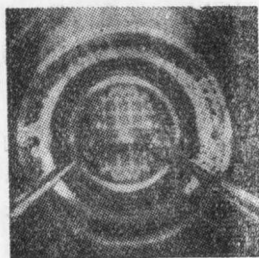
原子能委员会的基本辐射防护标准，已经在联邦法典上公布，具有法律效力。

在进一步讨论之前，应该述及，估计工业核电站附近村庄居民所受的递增辐射剂量只是联邦辐射委员会规定限值的非常小的一部分。我们说“估计所受”，是因为，尽管辐射探测仪器很灵敏，但通常发现，这种辐射水平与天然本底辐射水平很难区别。这样，这些核电站操作人员可能估计到附近居民

被照射情况的唯一方法是，根据该核电站排放出来的放射性物质的量和它们在环境中散布情况，来计算所受的辐射量。



堆芯物理测量用装置



反应堆堆芯内部分燃料元件组件



正运入安全壳的反应堆容器



正在安装的反应堆容器



安装前的燃料棒组件



装运用过燃料元件的笨重屏蔽容器

5. 本书的重点

这本小册子的重点是，在辐射防护标准的范围内核电站运行过程中的安全问题。记住下面几点：

（1）中心电站核动力的发展，正在成为国家和工业政策的重要课题；

（2）主管当局制订了辐射防护的准则，以控制这种活动；

（3）我们的目的是介绍有关安全设想和实践的实际资料，和总结迄今为止的工业安全记录。

核动力工业的安全“公式”如下：

（1）在设计核电站时，对事故发生的可能形式和程度要有足够的估计；

（2）利用有利的自然规律，采用工程上的安全设备，保守的设计，精心地建造和操作，作好所有可以作到的事，以避免事故的发生；

（3）采取可靠性措施，保证事故发生时核电站还是安全可靠的；

（4）在颁发执照和运行特许证之前，对核电站的设计、建造和运行的安全问题进行反复地检查；

（5）实施为了保证安全的研究和试验计划。