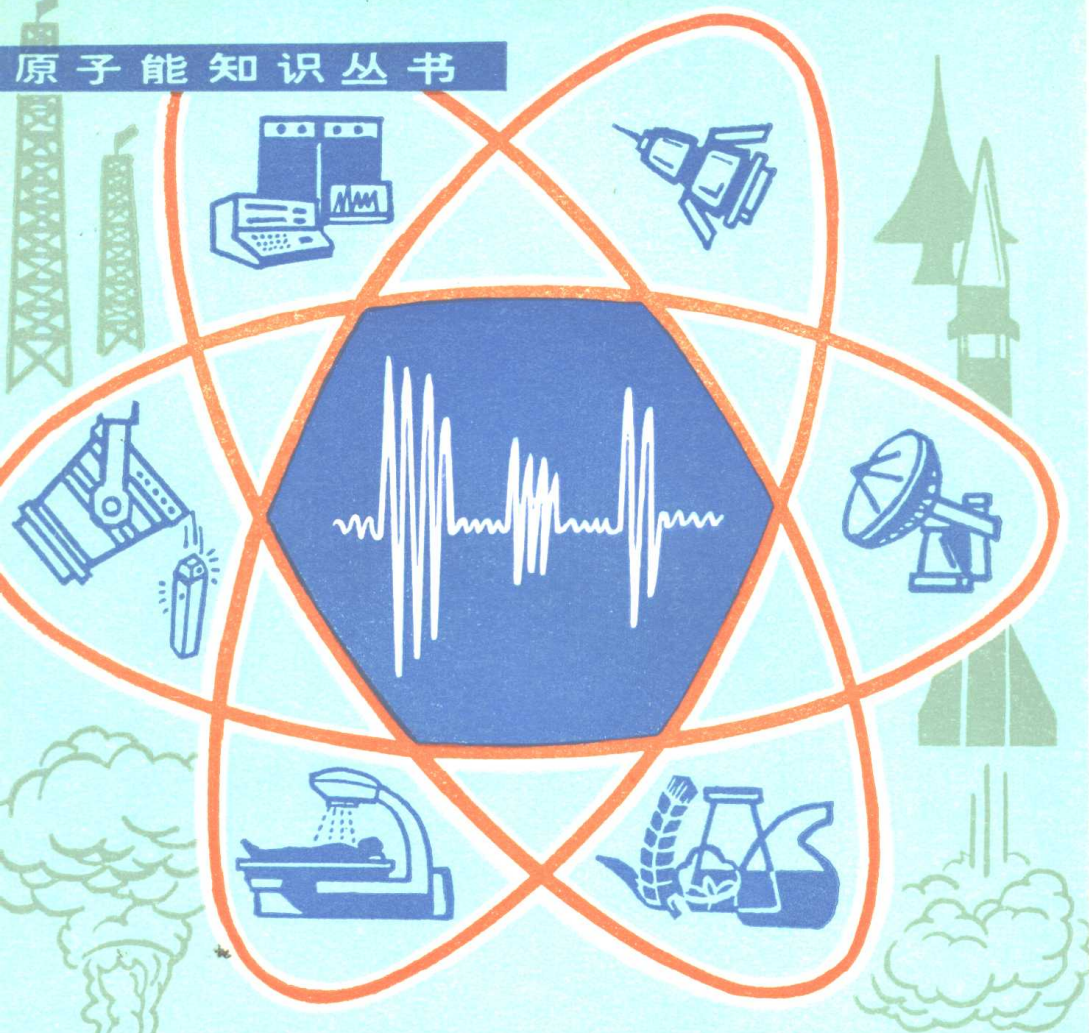
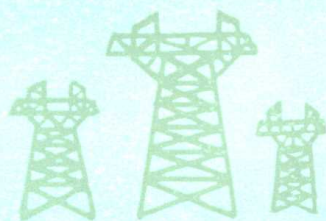


原子能知识丛书



无损检验



原子能知识丛书

无损检验

〔美〕H·伯 杰 著
张 斌 译

原子能出版社

无损检验

〔美〕H·伯杰著

张 斌译

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8号)

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

★

开本 $787\times 1092^{1/32}$ ·印张 $1^{1/4}$ ·字数 26 千字

1980年4月北京第一版·1980年4月北京第一次印刷

印数001——7200 · 定价：0.17元

统一书号：15175·206

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，我们有选译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。

随着科学技术的急速发展，书中引用的有些材料已经过时，但是这些材料对于理解基本概念还是有价值的。

目 录

什么是无损检验?	(1)
为什么要使用无损检验?	(4)
目前采用的方法	(6)
穿透辐射技术	(12)
超声波方法	(21)
渗透技术	(28)
未来的前景	(31)

什么是无损检验？

往自动售货机的放钱口投入一枚硬币，按一下开关，就可得到你所需要的糖果、香烟或瓶装饮料。

如果你不担任自动售货机的制造工作，你大概很少想到关于这台机器或投入这台机器里去的硬币的事。你可能会惊奇：在你知道这台机器把你所需要的货品送到你手上之前，它要对你的硬币进行很多试验，以断定硬币是不是真的。

在你把硬币投入放钱口到你要买的东西跳出来的几秒钟内，自动售货机是在测量硬币的大小、形状和磁性（某些机器还要测量硬币的重量和弹性）。

这些试验必须很快进行，而且在这些试验之后，硬币还能继续使用。在这方面，硬币的试验与工业上所做的许多无损检验基本一致。

然而，无损检验并不限于工业、医学或科学上的应用，其实我们在日常生活中多少也会用到它。假如你在家洗盘子，不小心把盘子或玻璃杯掉在地上，当你把它从地上拿起来，并看看它是否损坏了的时候，你就在应用无损检验了。如果你没有看到裂痕或破损，或再轻轻敲几下听听声音，你大概可以断定它并未损坏，可以继续使用。你只是靠观察它来加以鉴定，而并未破坏它，因此你所进行的试验就是无损检验。

另一方面，如果你以为盘子上有一条肉眼看不见的裂缝，将盘子靠在你的膝盖上，试着用力压，想让它弯曲，这种试验就可能不是无损的了。如果你用力过大，盘子就会破

碎。如果盘子碎了，它就不再有它原来的用途了。

显然，你和我每天都应用破坏性检验和无损检验。我们讨论到这里，你可能已经注意到使用“它原来的用途”这个用语了。这个用语是确定一种试验是破坏性检验还是无损检验的真正标准。例如，很多人可能认为，X射线照相——用X射线穿透物体所得到的可见图象来检查物体，是一项典型的无损检验。对于大多数情况来说，这的确是一个正确的说法，即X射线照相是一种广泛应用的无损检验方法。然而，如果我们用这种方法检查盒子底的照相底片，这种试验大概就不是无损检验了。因为由X射线引起的底片曝光，使它完全失去了“原来的用途”。

在试验之后，使被试验的物体仍然有用，这是我们定义无损检验的一项基本条件。因此，我们可以把无损检验描述为能不损坏被检物体未来使用价值的任何一种检验方法。检查的目的可能有：发现物体内部和外部的缺陷，测量物体的厚度，确定物质的结构或成分，测量或检查物体的性质。试验的方法可以是简单的目视法，或者是包括除可见光外的不同形式的电磁波，如X射线、红外线或微波。图1示出了这些电磁波所能具有的某些形式，无损检验所用的电磁波可包括整个频率宽度范围内的振动能量（声能）。通常，所用的频率在可听极限（20000周/秒）以上，直至10—20兆周*/秒的范围内。这些所谓的超声振动被广泛用于无损检验。

的确，几乎任何物理现象都可以作为无损检验的方法，而且其中的许多物理现象确实使用过。在这本小册子里，不可能也不必要把这方面的所有技术都叙述出来。但是，我们

* 1兆周等于1000000周。

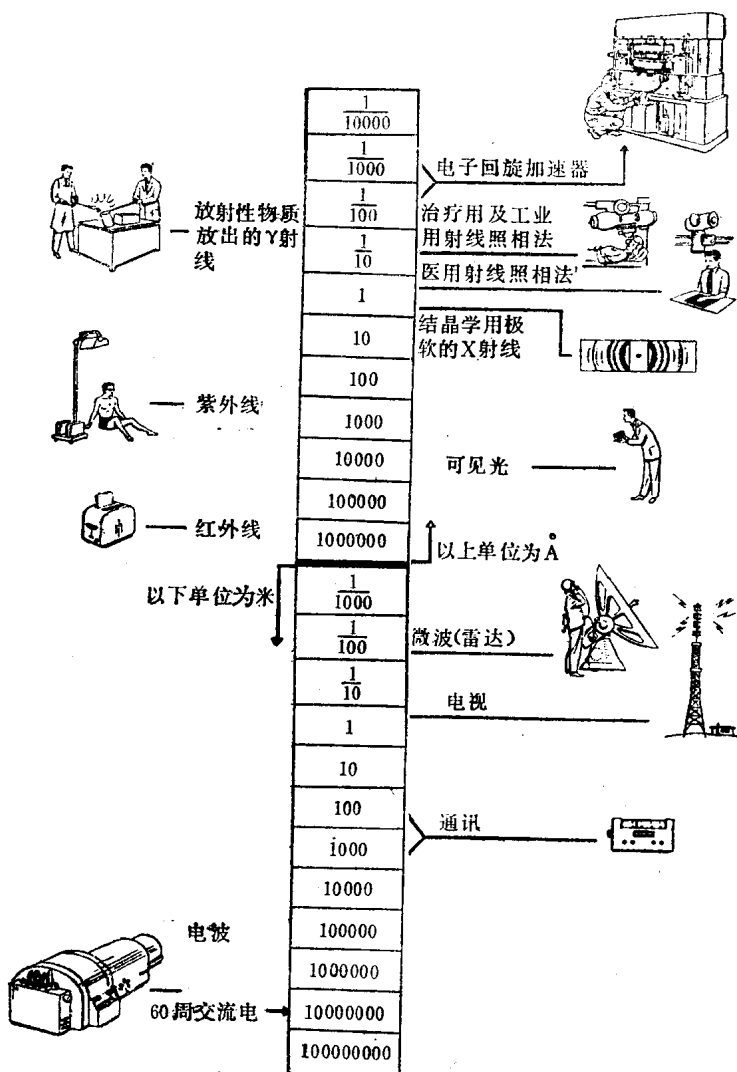


图1 电磁波谱

波长范围：图的上半部以埃(Å)表示 (10^{10} 埃 = 1米)；图的下半部以米表示。

可以讨论几种基本方法及其某些特点。此外，我们还想浏览一些目前正在研究的方法，以便对将来可能采用的无损检验方法有一些了解。

为什么要使用无损检验？

当你拿起掉在地上的玻璃杯或盘子看一看它是否破损了的时候，当一位售货员把一枚硬币投在柜台上听它的音响的时候，当一位顾客用手捏一捏西红柿或弹一弹甜瓜的时候，就在应用无损检验的原理和方法了。这些试验的目的是随着试验物本身而变化的。第一个例子是检查盘子，看它是否还能使用；第二个例子是测定硬币的成分，即识别硬币的真伪；第三个例子是用来看看西红柿或甜瓜是否适于食用。工业上无损检验的目的与上述几种相似。

例如，象我们用肉眼检查盘子那样，飞机维修人员进行定期无损检验，以确定飞机各部件的性能是否仍然良好，使飞机在飞行中不致发生故障。我们依靠自己的检查结果来确定盘子能否继续使用，不检查就要有弄脏桌子的危险；飞机维修人员通过检查告诉我们，飞机上的零件能否继续使用，如飞机不经检查，就有因零件失灵或损坏而使飞机坠毁的危险。在这两种检验上花费的精力都与所包含的危险的大小有直接关系。

从售货员和他听的硬币音响，可以联想到选择和鉴别材料是一个重大的工业问题。通过材料的磁性或电性来选择金属材料的试验容易采用，而且也容易加以解释。然而直到今天，仍然有不少产品成为废品是由于为某些机器零件粗心地

选用了不当的材料。

要在工业上找到一个捏一捏西红柿软硬的例子比较困难。顾客作的这个试验，为的是要弄清西红柿是否适于食用。她也许相当于一位试车员，这位试车员从汽车流水线尾部开出一辆刚装配好的汽车，以确定这辆汽车能否交付买主使用。

实际上，我们发现无损检验远在这最后一道工序之前就进入了生产流程，甚至一直延续到产品出厂以后。无损检验用于挑出准备加工成机器零件的不合格材料，用于挑出准备组装成产品的不合格零件，测量金属或其他材料的厚度，测定不透明容器（从大的汽油贮罐到小的啤酒罐）内所盛液体或固体的高度，检验和挑选材料，以及发现材料在加工或使用过程中可能进一步扩大的缺陷。

利用这些试验，可以使产品可靠、安全和成本更低。当然，增加产品的可靠性可以改善人们对厂家的印象，从而使产品的销路和利润大幅度增大。此外，厂家利用无损检验也可以改进和控制加工过程。

每一个厂主在无损检验方面进行初始投资，可能抱有各自不同的目的。他可能认识到，所采用的无损检验有很多优点，它能够代替或补充破坏性试验或验收试验。典型的破坏性试验是使厂主的一小部分产品受到一个足以破坏它们的力，以测定产品的强度。另一方面，验收试验是使每一个产品都受到一个预计使用时将受到的最大的力，以测定废品的百分数。

从顾客对产品的意见或对少量产品的长时间试验，厂主甲可能发现，他的产品并不如他所希望的那么可靠，或者产品的可靠性还不能满足在市场上竞争的需要。厂主乙可能发

现，他的工厂浪费了大量的时间和金钱在加工一些低劣的材料，后来才发现它们有缺陷，非废弃不可。厂主丙认识到，在生产某些环节上适当采用无损检验，能帮助他准确地找出降低生产成本所需要的改进。实际上，在很多情况下，采用无损检验并不会多花钱，相反，由于它改进了生产工艺而节省了钱。

在现代，无损检验对核反应堆、高性能军用飞机和宇宙飞船的发展越来越起着极为重要的作用(见图2)。这里，无

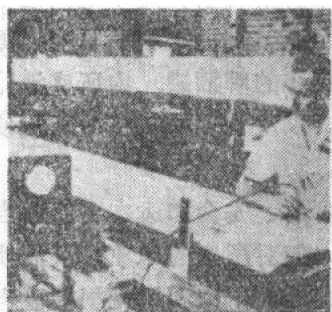


图2 检验员利用超声波测试装置对直升飞机的旋翼叶片进行无损检验，以寻找材料连接不妥之处

损检验费用所占的比例，并不象在其他消费品中那样重要，因为可靠性是一个基本要求。例如，美国的一枚登月火箭极，为成功地落到了预定目标，但是由于电视设备的故障使得这次试验一无所获，并付出了极高的代价。改进试验可以事先准确地找到出现问题的原因，这不仅节省了再次试验的费用，而且也节省了能用于研究

空间的其他方面的时间和精力。

目前采用的方法

既然我们有了什么是无损检验和为什么要使用无损检验的概念了，那么让我们来研究一下几种无损检验的方法。这些方法由于其复杂程度、所需的设备数量以及所进行的试验

类型各不相同，而有很大差别。

许多无损检验的方法可与我們自己的感官联系起来。例如，X射线、红外线、微波及类似的辐射可被认为是我們视觉的延长，因为它们都包括在电磁辐射中，与可见光相似。超声波的方法相当于我們的听觉，因为这两者都利用机械振动。检查表面及表面间连接的缝隙的检验技术，如渗透法，可算做我們触觉的伙伴。

感官本身給我們提供了某些重要的无损检验方法，例如用灯光检查鸡蛋的好坏（在这种方法中，将鸡蛋对着强光照一照，用眼睛便可检查这个鸡蛋是好还是坏）；同样，用古老的音响法来检查金属材料（即用锤子敲打金属部件，通过金属发出的声音来检查它是否有裂缝）。正如你会怀疑的那样，这些检查是否成功，经常取决于检验员在前一天晚上是否睡好觉了。今天，在检查方法上更加趋向于复杂和精密，这是因为机器部件越来越复杂，安全因数越来越精确，而且因为在空间科学和核能利用中，最重要的是要有极端的可靠性。

幸而，厂主和工程师们有很多的检验方法可供选择。但是，象其他科学领域一样，无损检验的方法不是一开始就有很多，而是在近十年到三十年间才有较大的发展。图3具体示出了近几十年来无损检验的基本方法及其发展情况。虽然图中示出的很多方法我們可能并不都熟悉，但我們不想对它們逐个加以讨论。不过，这棵“树”上的每一“枝干”都表示一种无损检验方法。

这棵“方法树”的生长开始很缓慢。例如，X射线是由德国物理学家W.伦琴（Wilhelm Roentgen）于1895年发现的。此后不久，医用X射线便开始在世界各地应用。但是，

直到第一次世界大战后，工业用的无损检验还很落后，并没有为人们所公认。一般说来，无损检验在第二次世界大战前没有多大进展。

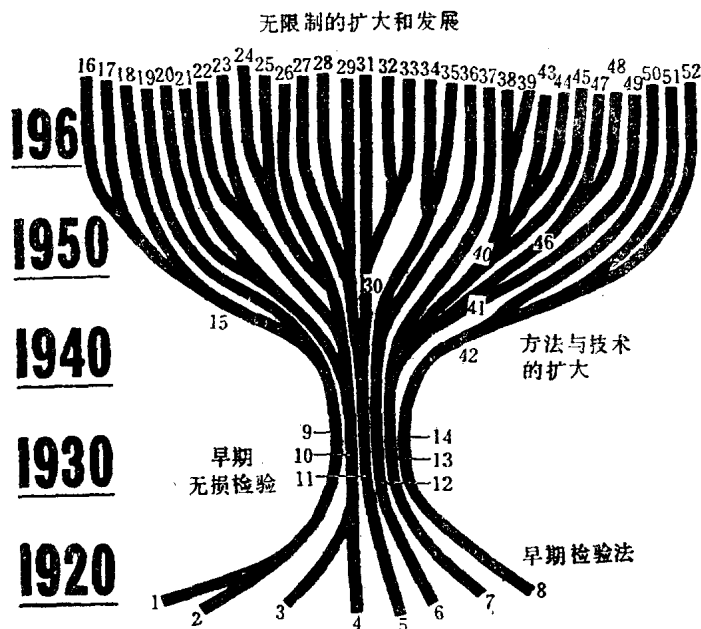


图3 无损检验方法的发展情况

1. Visual methods 目视法
2. Magnetic methods 磁铁法
3. Medical X Ray 医用 X 射线
4. Radium-Gamma Rays 镭 γ 射线
5. Oil and Whiting method 油和白粉法
6. Heat measurement 热测量
7. Ringing methods 音响法

8. Electrical tests 电检验
9. Magnetic Particles-colored 磁性颗粒染色
10. Radiography 射线照相法
11. Penetrants 渗透法
12. Thermal methods 热法
13. Sonic-ultrasonic 声及超声法
14. Resistance methods 电阻法
15. Improved magnetizing methods 改进的磁化法
16. Vector field 矢量场
17. Induced current 感应电流
18. Coil pick-ups tape records 线圈拾波磁带记录
19. Fluorescent particles 荧光颗粒
20. Artificial isotopes 人工同位素
21. Gamma radiography γ 射线放射照相法
22. Ultra-high voltages 超高电压
23. High voltage radiography 高电压射线照相法
24. Image intensification 图象增强法
25. Fluoroscopy 荧光镜法
26. Xero-radiography 干式射线照相法
27. Color contrast penetrants 色对比渗透剂
28. Water wash penetrants 水洗渗透剂
29. post emulsification 柱乳化
30. Fluorescent penetrants 荧光渗透剂
31. Water wash 水洗
32. Super bright 超亮
33. Post emulsification 柱乳化
34. Heat repelled liquids 抗热液体
35. Sharp melting indicators 灵敏的熔化指示器
36. Thermo-couples color indicators 温差电偶色指示器
37. Through transmission 全传输
38. C-Scan C型扫描
39. B-scan B型扫描

- 40. Pulse echo 脉冲回波
- 41. Resonance 共振 (共鸣)
- 42. Eddy currents 涡流
- 43. Tape record 磁带记录
- 44. Automatic scanning 自动扫描
- 45. Hand scanning 人工扫描
- 46. Visual 目视法
- 47. Meter read-out 仪表读出
- 48. Cathode ray tube 阴极射线管
- 49. Audio tuning 音频调整
- 50. Magnetic field measurements 磁场测量
- 51. Conductivity 电导
- 52. Impedance response 阻抗响应

虽然,初看起来,这好象很奇怪,但无损检验的发展缓慢是有其理由的。第二次世界大战前,对无损检验的需要并不迫切,因为对几乎每种产品都考虑了很大的安全系数。当然,机器在使用时也发生过故障,例如,火车轴和各种旋转设备的机轴,尽管有很大的安全系数,但在使用中还是损坏了。然而,在这些事故中,材料的不完善所引起的坏作用,在当时还没有完全被认识,因此,人们很少将注意力集中到材料问题上。

在第二次世界大战期间和战争刚结束后,影响产品使用期限的缺点逐渐被重视起来。在飞机设计、核工程和最近的空间探险方面,危险性很大、费用又很高,使最大的可靠性变得极为重要。此外,在战争的那几年,在设计与产品规格密切相结合的工业和科学应用中,各种检查方法已经有了很大的进展。

尽管这些方法有很多不同点,但也有许多共同点,因为

任何一种无损检验方法都要有以下五个基本要素：

第一，要有一个源，它能针对检测要求提供适当的探测工质。

第二，这种探测工质必须随受试物体的间断或改变而变化。

第三，要有一个探测器，以检测出探测工质的变化。

第四，要有一种装置，以便指示或记录由探测器发出的信号。

第五，必须具有某种解释这些信号的方法。

现在，让我们看一看，在X射线放射照相法中如何应用这五大要素吧。探测工质的源是X射线发生器，辐射就是由发生器发射的。当X射线穿过受试物体时，X射线发生一些变化。在此方法中，探测器通常是对X射线敏感的照相底片。底片变黑提供了这项试验的指示和记录，解释工作通常是由人的观察来完成。

这五个基本要素——源、变化、探测、指示和解释，是所有无损检验所共有的。让我们再以厨房中掉下的玻璃杯为例，探测工质的源（在这个例子中是光）大概是太阳或电灯，所产生的变化就是光从玻璃杯的不同部分透过或反射的情况。例如，从玻璃杯的裂缝中反射出的光就强。探测器就是人的眼睛。指示便是光线透过玻璃射入眼睛的亮度变化。在这个例子中，解释工作也是由人的大脑来完成的。

你可能要问，是否可以用任何别的方法来解释呢？回答是肯定的。例如，用电子学方法将指示和预定标准相比较的厚度计，就可用于这方面。其中的一些就装在轧制金属板的机器上，例如提供误差信号，以便告诉人们轧出的板材是厚了还是薄了。检查装有牛奶或果汁的容器液位的装置，通常

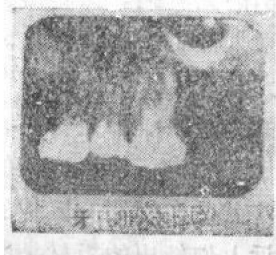
能自动剔出不合规定量的容器。上面这些情况的解释可由该装置本身来提供。

你可能会看到，这类装置主要应用于需要快速控制的大量生产上。在大多数情况下，无疑包括象反应堆燃料元件、飞机或火箭零件这类要求严格的产品的检查，其解释工作仍然必须由有经验的检查员来做。为了能有最高的工作效率，这位检查员必须了解他自己所做的试验的许多基本原理。下面我们将论述一下无损检验的某些基本原理。

穿透辐射技术

无损检验中所使用的穿透辐射，通常是 γ 射线或X射线——能够穿透比较厚的材料的短波电磁波。在科学和工业上用这些辐射进行无损检验，就同牙科医生用X射线“看一看”你的牙齿和牙龈是否为蛀牙或生病一样。在我们详细讨论这些方法之前，我们先学一些有关辐射方面的知识。

这些射线就象光线、红外线或无线电波一样，是电磁波的一种形式，但是如图1所示，它们的波长较短。X射线和 γ 射线的波长较短，其穿透材料的能力比波长较长的电磁波强得多。



牙齿的X光片

γ 射线与X射线仅在辐射源和波长上有区别。通常， γ 射线发自主原子核，也就是说， γ 射线是一种可由放射性物质的原子核发出的辐射，而X射线通常是由X光机产生。在该设备中，电子被高电压加