



## 信息表

# X 射线

伦琴于 1895 年发现 X 射线，在一年内它就被应用于医学诊断和治疗。一个世纪后，X 射线开始应用于工业加工。

X 射线是指以光速传播的高能电磁辐射（没有静止质量，没有电荷），主要是使物质产生间接电离效应。像伽玛辐射一样，X 射线也是高能光子，但是在钴 60 等元素的放射性衰变过程中，伽玛射线以规定的能量发射。通过加速电子与原子电子和原子核的相互作用，X 射线以能量谱的形式连续发射。

X射线的特征在于其平均能量和最大能量，范围可能从数千电子伏 (keV) 到数百万电子伏 (MeV) 不等。

对于工业用途，X射线由高能加速器（通常为 5 兆电子伏特或以上）产生，在该加速器中，将一束窄的加速电子束发射到通常长度为 1 到 3 米的金属靶上。由于 X 射线的生成与目标材料原子序数  $Z$  的平方成正比，因此使用钽或钨等高  $Z$  元素作为转换靶。

原子核和原子电子的电场造成电子突然减速时，会导致产生电磁辐射（德语为 Bremsstrahlung 或“韧致辐射”）。

只有百分之几的电子动能会被转换成 X 射线，因为向后散射和目标中产生的热量会导致电子的大部分能量损失，因此在高功率下必须冷却转换靶和扫描窗。X 射线转换效率随着入射电子的能量和目标  $Z$  值的增加而提高，对于钽靶，5MeV 时通常为 8% 7 MeV 时就增加到 12%。

像伽马射线一样，高能 X 射线对物质的穿透力很强，且剂量分布比电子束更均匀。剂量率通常约为每分钟千戈瑞，略高于伽马射线，远低于电子束。



在高于 5 MeV 的能量下处理医疗器械时，必须评估感生放射性的可能性 (ISO 11137-1)。处理食物时，X 射线的能量不得超过 5 MeV（食品法典委员会和 ISO 14470），但美国、印度和加拿大三个国家的允许能量高达 7.5 MeV。

目前仍在运行的第一座 X 射线装置于 2000 年在美国夏威夷建成，用于对新鲜水果和蔬菜进行辐照。2002 年，美国布里奇波特安装了第一台多用途 X 射线装置。2010 年，首个专门用于对托盘医疗器械进行 X 射线灭菌的大型工业设施在瑞士达尼肯投入使用。该设施每天可以处理数百个托盘，其电子束功率为 560 kW，相当于数百万居里的钴 60。近期安装的许多加速器的设计是在双模式下运行，根据待处理产品的特性使用电子束或 X 射线。

近年来，作为伽马辐射的替代方案，X 射线技术似乎越来越有吸引力，但到目前为止，只有在待处理的体积较大且无法进行电子束处理的情况下，似乎才会有经济可行性。

全球有多家公司提供在实验室和医院中使用的自屏蔽 X 射线辐照装置，用于辐射血液、活体动物和生物样本，以使昆虫绝育（无菌昆虫技术 SIT）、进行细胞研究或病毒灭活。