

## 【论著】

## 透射型 X 射线管靶材的分析与评价

曹琴琴 金 川 任 翔 沙京田

中图分类号: TL75<sup>+</sup>2.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2013)04-0015-03

**【摘要】** 目的 分析八种透射靶的 X 射线出射效率随靶材厚度和 X 射线管电压的变化规律。方法 保持铍窗厚度和源探测距离不变, 采用 MCNP 软件, 对每一种靶材料模拟计算管电压分别为 10、20、30、40、50 和 60 kV 时不同厚度靶材料的 X 射线出射效率。结果 确定了铬、铜、钼、铑、银、钨、金、铅八种靶材在六种电压下的最大 X 射线出射效率和最佳靶厚。结论 X 射线出射效率随靶材厚度增加先增大后减小, 出射效率最大时对应最佳靶厚; 出射效率和最佳靶厚随管电压的增大而增大, 但对不同的靶材, 出射效率和最佳靶厚随管电压的增幅不同。

**【关键词】** X 射线管; 靶材; 出射效率; 管电压

Analysis and Estimate of Target Parameter in Transmission X-ray Tube. CAO Qin-qin, JIN Chuan, REN Xiang, SHA Jing-tian. *The First Research Institute of Ministry of Public Security of PRC Beijing 102200 China.*

**【Abstract】 Objective** To analyse the variation of eight kinds of eight kinds X-ray emitting efficiency with the target thickness and X-ray tube voltage transmission targets. **Methods** Keeping stable the target thickness and distance between source and detector, X-ray emitting efficiency of different target thickness is calculated by using the MCNP software for eight kinds of targets when the tube voltage is 10kV, 20kV, 30kV, 40kV, 50kV, 60kV. **Results** Maximum X-ray emitting efficiency and optimal target thickness is made certain for the eight kinds targets of  $^{24}\text{Cr}$ ,  $^{29}\text{Cu}$ ,  $^{42}\text{Mo}$ ,  $^{45}\text{Rh}$ ,  $^{47}\text{Ag}$ ,  $^{74}\text{W}$ ,  $^{79}\text{Au}$ ,  $^{82}\text{Pb}$  on six kinds of tube voltage. **Conclusion** X-ray emitting efficiency will increase at first and then decrease and it will to be maximized with the optimal target thickness. Emitting efficiency and optimal target thickness will increase with the increase of the tube voltage increase, but the would be different for different targets.

**【Key words】** X-ray Tube; Target Material; Emitting Efficiency; Tube Voltage

自伦琴在 1895 年发现 X 射线以来, X 射线已逐渐被应用到社会生活的很多方面, 比如工业探伤、安全检查、医疗、材料分析、静电消除、材料厚度测量、材料金相分析等。目前人工产生 X 射线的物理机制有同步辐射和轫致辐射两种<sup>[1]</sup>, X 射线管就是利用轫致辐射机制产生 X 射线的部件, 包括真空绝缘壳、阴极和阳极。按真空绝缘壳材料的不同, 分为玻璃管和陶瓷管; 按 X 射线出射方向不同, 分为透射靶管和散射靶管<sup>[2-4]</sup>。

与散射型 X 射线管的侧窗发射结构不同, 透射型 X 射线管均采用端窗发射结构, 即将靶材镀在铍窗背面, 阴极电子在电场作用下轰击靶面, 产生的 X 射线穿过铍窗投射到空气中<sup>[5]</sup>。透射型 X 射线管设计的一个关键任务是选择合适的靶材厚度, 它直接影响 X 射线的产生效率。靶材太薄, 产生 X 射线的效率比较小; 靶材太厚, 虽然产生了更多的 X 射线, 但这些 X 射线又会被靶材本身大量吸收, 最终透射出的 X 射线也很少。同时, 对不同的电压和不同的靶材料, 产生 X 射线的效率及最佳的靶厚也不同<sup>[6]</sup>。

为此, 笔者应用基于蒙特卡罗方法的粒子输运软件 MCNP-4C, 对八种靶材料产生 X 射线的性能进行了模拟计算, 通过分析各靶材料产生 X 射线的效率随

靶材厚度和高压的变化规律, 为实际选择合适的靶材参数提供参考。

## 1 材料与方法

计算模型如图 1, 铍窗厚度固定不变, 靶材通过溅射技术镀在铍窗的背面, 从阴极发射出的电子在电场作用下轰击靶面, 产生的 X 射线穿过铍窗投射到空气中, 接收 X 射线的探测器与铍窗表面的距离固定不变。

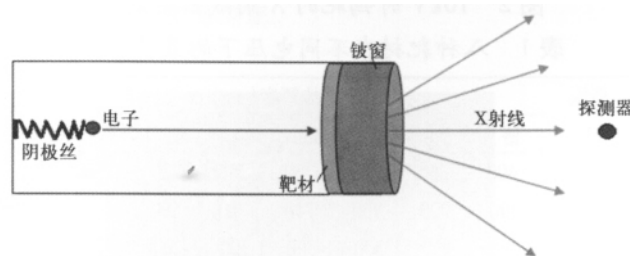


图 1 计算模型

按照上述模型, 本文模拟分析了八种靶材, 分别为铬  $^{24}\text{Cr}$ 、铜  $^{29}\text{Cu}$ 、钼  $^{42}\text{Mo}$ 、铑  $^{45}\text{Rh}$ 、银  $^{47}\text{Ag}$ 、钨  $^{74}\text{W}$ 、金  $^{79}\text{Au}$ 、铅  $^{82}\text{Pb}$ , 对同一种靶材和同一个管电压 (即同一电子能量), 计算不同厚度靶材的 X 射线产生效率, 根据 X 射线产生效率随靶材厚度的变化规律, 可确定对应管电压的最佳靶厚, 然后改变管电压分别为 10、20、30、40、50 和 60 kV, 考察最佳靶厚随电压的变化规律, 同时考察八种靶材在最佳靶厚条件下, X 射线产生效率随电压的变化规律。

作者单位: 公安部第一研究所, 北京 102200

作者简介: 曹琴琴 (1980 ~), 女, 山西吕梁人, 工程师, 硕士, 主要从事辐射物理理论设计和探测方法研究。

## 2 结果

**2.1 最佳靶厚** 对同一种靶材和同一管电压, 确定最佳靶厚如图 2 是以钨为靶材, 管电压为 10 kV 时, 在不同靶厚下的 X 射线出射效率。从图中可看出, 在每种管电压下, 随着钨靶增厚, X 射线出射效率先增加后减小。这与最初的估计一致, 即在钨靶较薄时, X 射线的出射效率比较小, 随着钨靶厚度增加, 新产生的 X 射线量大于靶本身吸收的 X 射线量, 故 X 射线出射效率逐渐增加; 当钨靶增加到一定厚度时, 新产生的 X 射线量与靶本身吸收的 X 射线量相当, 这时 X 射线出射效率达到最大值, 对应的钨靶厚度即为最佳厚度; 当继续增加钨靶厚度时, 新产生的 X 射线量小于靶本身吸收的 X 射线量, 故 X 射线出射效率逐渐减小。改变管电压分别为 20、30、40、50 和 60 kV, X 射线出射效率随靶厚的增加均遵循图 2 的变化规律, 从而取得钨靶在六种管电压下对应的最佳厚度, 各值见表 1。同样的方法分别计算了铬、铜、钼、铈、银、金、铅几种靶材在不同电压的最佳厚度, 各值见表 1。

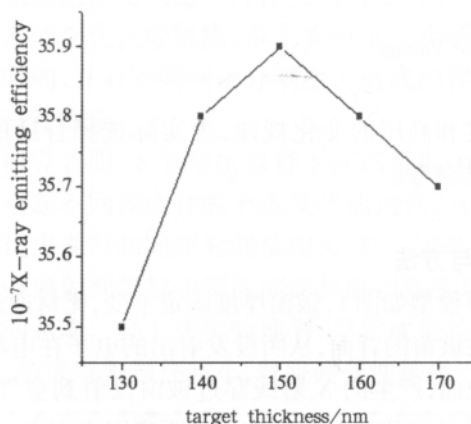


图 2 10kV 时钨靶的 X 射线出射效率

表 1 八种靶材在不同电压下的最佳靶厚

高压 (kV)	最佳厚度( nm)							
	铬	铜	钼	银	铅	铈	钨	金
10	400	300	240	260	250	220	150	150
20	1 300	900	700	740	700	600	420	420
30	2 300	1 900	1 500	1 300	1 300	1 200	770	700
40	3 700	2 800	2 200	2 100	2 000	1 800	1 140	1 200
50	5 100	4 200	3 200	3 000	2 700	2 600	1 700	1 600
60	7 000	5 500	4 600	4 000	3 800	3 700	2 200	2 200

**2.2 最佳靶厚随电压的变化规律** 图 3 是八种靶材在不同电压下的最佳靶厚随管电压的变化情况。从图中可看出, 对同一种靶材, 随管电压增大, 最佳靶厚增大。对照图 3 和表 2 中各靶材的密度可知, 低密度和低原子序数靶材的最佳靶厚随电压的增加幅度, 比高密度和高原子序数靶材的增加幅度大, 且密度对最佳靶厚随电压变化幅度的影响比原子序数大。相同密度,

不同原子序数的靶材, 在同一电压下的最佳靶厚比较接近。

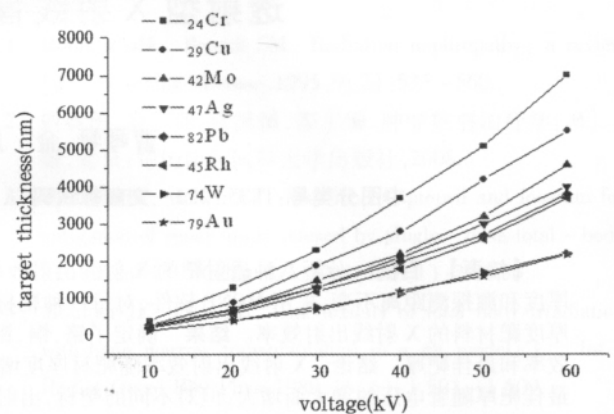


图 3 八种靶材的最佳靶厚随电压的变化

表 2 八种靶材的密度

靶材	化学符号	密度( g/cm <sup>3</sup> )
铬	<sup>24</sup> Cr	7.19
铜	<sup>29</sup> Cu	8.96
钼	<sup>42</sup> Mo	10.2
银	<sup>47</sup> Ag	10.5
铅	<sup>82</sup> Pb	11.34
铈	<sup>45</sup> Rh	12.4
钨	<sup>74</sup> W	19.3
金	<sup>79</sup> Au	19.3

**2.3 在最佳靶厚时, X 射线出射效率随电压的变化规律** 图 4 是八种靶材在不同电压下与最佳靶厚对应的 X 射线出射效率随管电压的变化情况。从图中可看出, 对同一种靶材, 随管电压增大, 最佳靶厚对应的 X 射线出射效率增大; 低原子序数低密度靶材在最佳靶厚的 X 射线出射效率随电压的增幅比高原子序数高密度靶材大; 原子序数在 24 ~ 47 之间的五种靶材, 在同一管电压下, 最佳靶厚对应的 X 射线出射效率随原子序数的增加而减小; 对原子序数在 74 ~ 82 之间的三种靶材, 在同一管电压下, 最佳靶厚对应的 X 射线出射效率随原子序数的增加而增大。

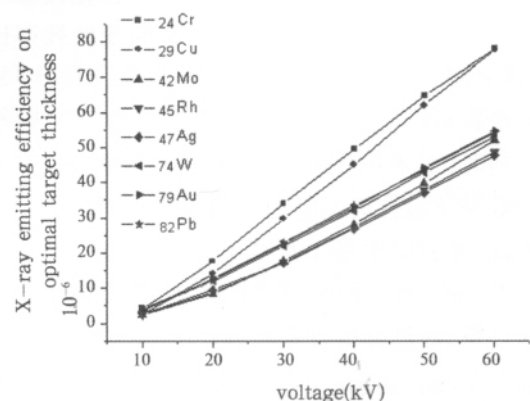


图 4 八种靶材最佳靶厚时的出射效率随管电压的变化

### 3 结论

用蒙特卡罗方法的粒子输运软件 MCNP-4C,从透射靶 X 射线出射效率的角度对原子序数在 24~82 之间的八种材料进行了比较分析,计算结果表明 X 射线出射效率受靶材种类、靶材厚度和管电压影响。在靶材和管电压不变时, X 射线出射效率随靶材厚度增加先增大后减小,出射效率最大时对应最佳靶厚,最佳靶厚随管电压的增大而增大,且在同一管电压下低密度低原子序数靶材比高密度高原子序数靶材的最佳靶厚大;对每种靶材,在最佳靶厚时对应的 X 射线出射效率随管电压的增加而增大,且低密度低原子序数靶材比高密度高原子序数靶材的增幅大。在实际应用中选择靶材时,除考虑高的 X 射线出射效率外,还需要综合靶材的耐高温性、加工工艺的可行性、价格等因素进行选择。

### 参考文献:

- [1] 杨福家. 原子物理学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2005: 360-420.
- [2] 房鸿, 李耀宗, 黄悦. 新型 X 射线管的研制与性能测试 [J]. 真空 2005 5: 36-38.
- [3] 田宇弘, 林德旭, 商颖健. 一种侧窗 X 射线管: 中国, 200620134242.0 [P]. 2007-12-12.
- [4] 田宇弘, 林德旭, 商颖健. 一种端窗 X 射线管: 中国, 200610114222.1 [P]. 2008-05-07.
- [5] 俞相富. 端窗式超软 X 射线管: 中国 200820121804.7 [P]. 2009-04-29.
- [6] 任翔, 沙京田, 曹琴琴. 低能 X 射线管的研发和在静电消除领域中的应用 [A]. 公安部第一研究所论文集 [C]. 2010: 119-122.

(收稿日期: 2012-07-05)

## 【工作报告】

### 特发性肥厚性硬脑膜炎一例

郭荣<sup>1</sup>, 马宾宾<sup>1</sup>, 姜庆军<sup>2</sup>

中图分类号: R445.2 文献标识码: D

男性, 52 岁。1 a 前无明显诱因出现持续性右侧头疼, 双眼胀痛, 15 d 前右侧视力、听力迅速下降, 并逐渐加重。现右眼仅有光感, 左眼视力 0.1, 听力亦下降。双眼对光反射迟钝。双耳感音神经性耳聋, 饮水呛咳, 颈软。MRI: 可见沿颅顶或颅底之颅板下方以及小脑幕、大脑镰分布的硬脑膜弥散性增厚, 呈等 T1 (图 1)、长 T2 信号 (图 2), 增强扫描可见强化 (图 3)。

肥厚性硬脑膜炎是一种少见的中枢神经系统慢性无菌性炎症性疾病, 其特点是硬脑膜和 (或) 硬脊膜的

纤维性增生, 引起神经系统进行性损害, 临床常见慢性头痛和多颅神经麻痹。病因不明者, 称为特发性肥厚性硬脑膜炎, 若合并脊膜炎则称肥厚性脑脊膜炎。临床上可与全身他处多种疾病并发, 如结节病、多灶性纤维硬化、心肌炎、肿瘤、再生障碍性贫血, 以及类风湿关节炎等自身免疫性疾病<sup>[1]</sup>。可以引起整个颅内硬脑膜弥散性或局灶性损害, 通常影响到大脑镰、小脑幕、鞍旁和海绵窦。

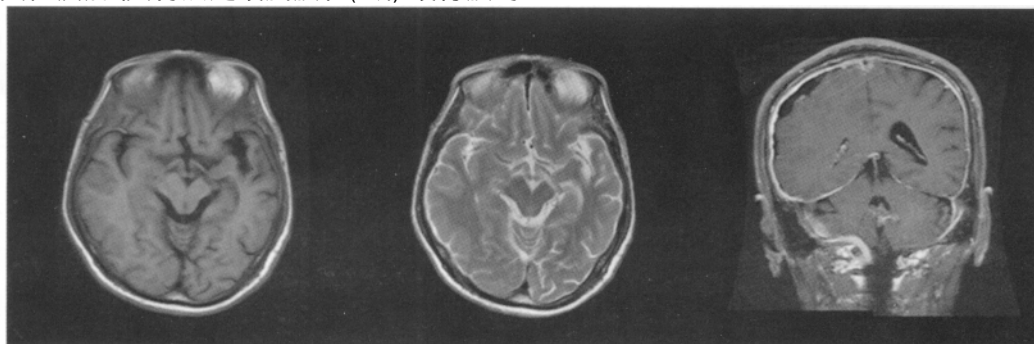


图 1 等 T1 信号图像

图 2 长 T2 信号图像

图 3 强化扫描图像

作者单位: 1 潍坊寒亭区人民医院放射科, 山东 潍坊 261100; 2 济南军区总医院影像中心

### 参考文献:

- [1] 黄晓芸, 曾进胜, 罗柏宁. 貌似短暂性脑缺血发作的特发性肥厚性脑膜炎 1 例报告 [J]. 中国神经精神疾病杂志, 2005 31(1): 70-71.

(收稿日期: 2012-07-02)