

# Effect Analysis of X-Ray Tube Target Angle on Imaging Quality

Hang Zhou, Xulei Qin\*

School of Sciences, Changchun University, Changchun Jilin  
Email: 42387255@qq.com, \*272346712@qq.com

Received: Nov. 2<sup>nd</sup>, 2018; accepted: Nov. 21<sup>st</sup>, 2018; published: Nov. 28<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

X-ray tube is one of the important influence factors of X-ray imaging quality. By studying the influence of different angles distribution of X-ray tube anode target on imaging quality, we use Monte Carlo method based MCNP5 simulation software to analyze the intensity distribution of X-ray tube under different angles. The uneven distribution of X-ray tube light intensity will affect the contrast of the image, so it can improve the imaging quality of X-ray tube by using different angles of X-ray tube.

## Keywords

X-Ray, Monte Carlo, Target Angle, Simulation

---

# X射线管靶材角度对成像质量的影响分析

周 航, 秦旭磊\*

长春理工大学理学院, 吉林 长春  
Email: 42387255@qq.com, \*272346712@qq.com

收稿日期: 2018年11月2日; 录用日期: 2018年11月21日; 发布日期: 2018年11月28日

---

## 摘 要

X射线管是X射线成像质量的重要影响因素之一。通过研究X射线管阳极靶材在不同角度使光强分布发生变化对成像质量的影响, 我们通过基于蒙特卡洛方法的MCNP5仿真软件进行仿真分析不同角度下X射线管光强的分布。X射线管光强分布不均匀会导致图像的对比度不清晰, 从而影响成像效果。因此通过仿真模拟X射线管靶材在5度、10度、15度、20度时不同角度下辐射场光强分布的变化, 以及从不同靶材

\*通讯作者。

角度对X射线粒子效率的影响关系进行分析, 通过分析靶材角度对成像质量的影响, 为之后提高X射线管性能参数提供一定的借鉴意义。

## 关键词

X射线, 蒙特卡罗, 靶材角度, 仿真

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

常规的反射式 X 射线管被广泛应用于生物医疗、工业无损检测等各个领域。X 射线管的性能指标对 X 射线检测的图像质量有着重要的作用, 在常规反射式 X 射管中靶材、靶角、电压和管电流等参数都对 X 射线管的性能有着决定性的作用。

在反射式 X 射线管中, 靶材角度的角度大小会同时造成焦点尺寸的变化、阳极靶材的温度变化, 激发 X 射线粒子数的变化以及 X 射线辐射场光强的分布变化等。这些参数上的变化都会对 X 射线成像质量造成一定的影响。

## 2. 靶材角度影响因素分析

X 射线焦点尺寸大小与图像几何清晰度有直接关系, 而焦点尺寸由实际焦点大小和靶材角度来决定。如图 1。

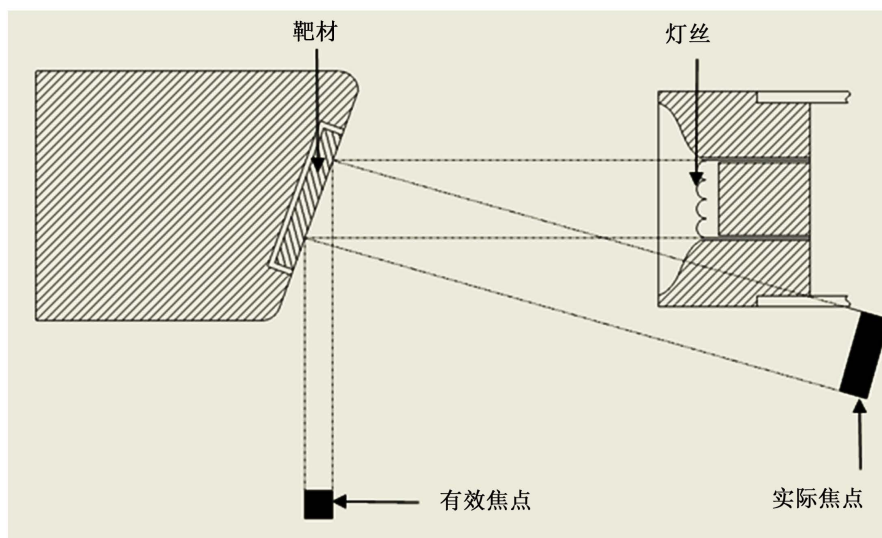
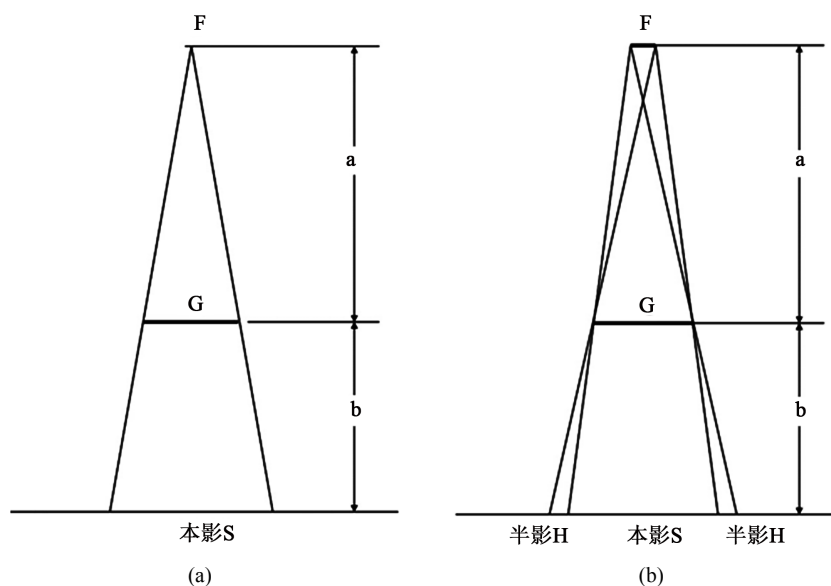


Figure 1. Effective focus diagram

图 1. 有效焦点示意图

随着靶材角度的减小有效焦点的尺寸也随之减小对于靶材角度对焦点尺寸的大小有着直接关系。如图 2 所示。



**Figure 2.** Illustration of images produced by different focus sizes  
**图 2.** 不同焦点尺寸产生图像的示意图

图 2 中 F 为焦点尺寸 G 为被测物体, 同过对比(a)中焦点 F 为理想点光源(b)中焦点 F 为实际当中有尺寸的面光源。从图中对比可以看出实际有焦点尺寸的光源会使获得的实际图像存在半阴影区, 从而引起几何模糊, 造成图像的清晰度下降。

反射式 X 射线管中的阴极灯丝溢出的热电子在 X 射线管高压作用下加速轰击阳极靶材, 靶材与电子轰击方向有一定的角度并从靶材内部一定深度处辐射出 X 射线, 辐射场的光强分布表现为越是靠近阳极侧, 衰减越大, 这个现象叫做足跟效应。产生原理:

高能电子在撞击阳极靶的过程中, 除了与靶表面原子发生作用, 还会深入到靶内一定深度[1]。这样除了靶的表面可以辐射出 X 射线, 从靶内部一定深度也可以辐射出 X 射线来[2]。

贴近阳极侧的射线比贴近阴极侧的射线在阳极靶内穿越的距离长, 所以能量与强度衰减的更多。

光强分布的不均匀会造成成像时图像对比度的不清晰影响图像质量[3]。对于辐射场强的分布在下面进行详细的介绍。

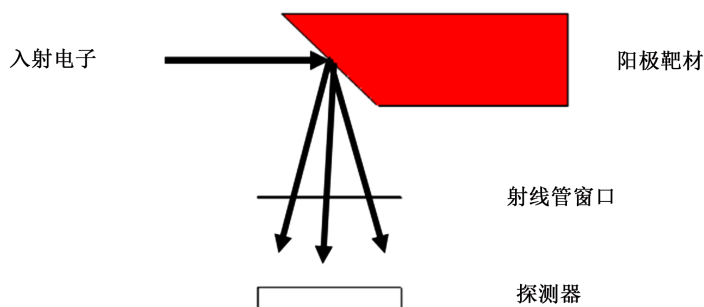
### 3. 通过 MCNP5 建立仿真模型

MCNP5 程序是一款基于蒙特卡洛方法的仿真软件, 全称为 Carlo N-Particle Transport Code System, 它是利用 Monte Carlo 方法模拟解决多粒子运输系统中粒子输运问题[4]。Monte Carlo 方法它是一种随机过程方法, 不是精确地模拟一些物理方程, 而是模拟准单粒子在介质中随机运动的过程, 然后将许多粒子的结果平均到系统中 作为近似的结果[5]。运输媒介的最终结果。MCNP 程序可用于处理中子, 电子和光子的传输过程。其中中子能量范围为  $10^{-11}$  MeV~20 MeV, 光子、电子能量范围为  $10^{-3}$  MeV~1000 MeV。

首先通过 MCNP5 建立 X 射线管模型, 我们在理想条件下对入射电子设置为点光源, 直射阳极靶材。入射电子能量大小选取为可控变量。

阳极靶材的材料选取常见的 X 射线管的阳极靶材有: 钨靶、钨靶、铜靶的等金属靶材。我们这里选取钨靶为阳极靶材材料。倾斜角为可控变量。

在距离 X 射线阳极靶材焦点 3 cm 处放置 X 射线窗口(通常窗口都有滤光片), 位置通常在窗口下方。如图 3 所示。

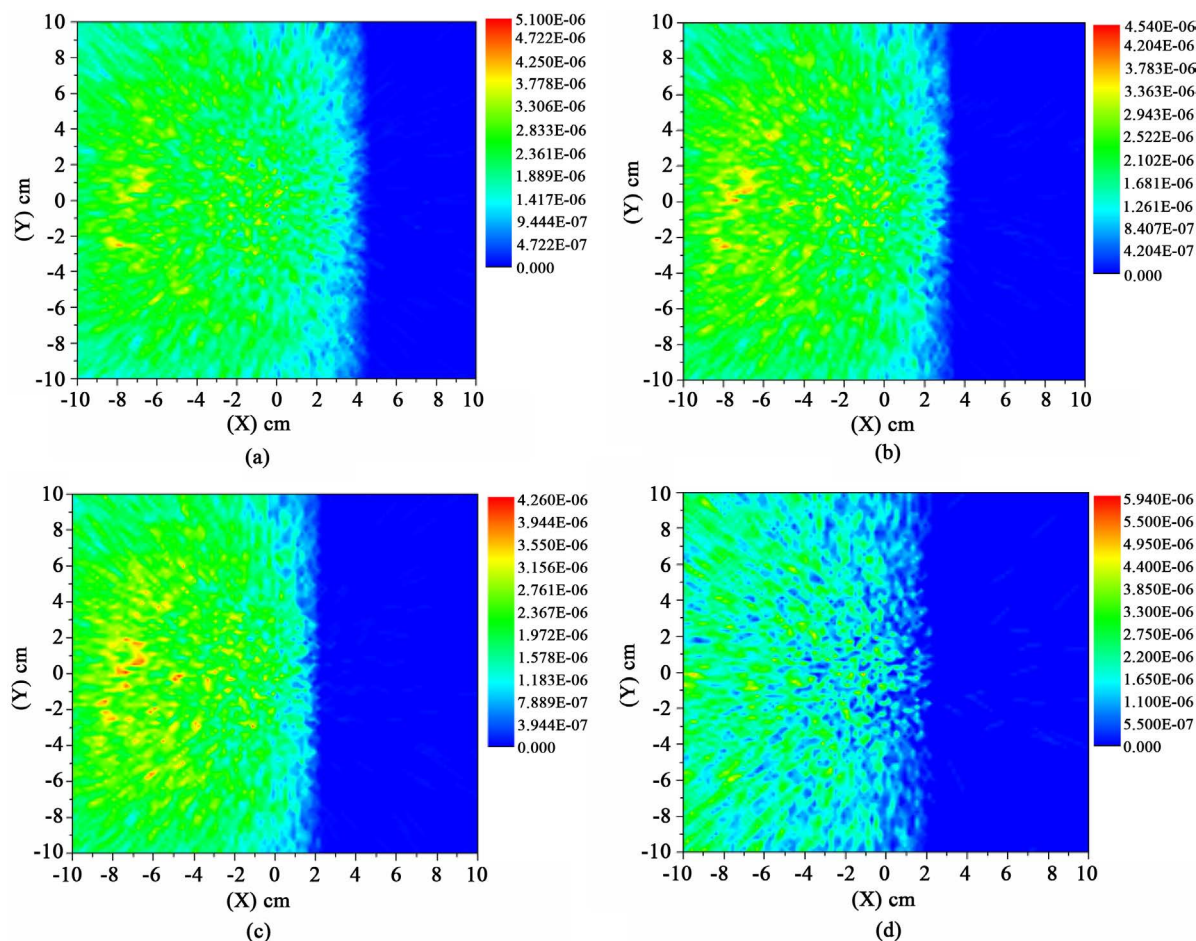


**Figure 3.** Construction of X-ray tube structure by MCNP5  
**图 3.** 通过 MCNP5 构建 X 射线管结构示意图

结合实际 X 射线管中的结构材料,我们在模型的 X 射线管窗口处加入了铍窗设置铍的厚度为  $200\ \mu\text{m}$ ,并且选取阳极靶材角度分别为 5 度、10 度、15 度、20 度的时刻。将入射电子的能量设置为 50 keV、70 KeV、90 KeV 和 110 KeV。入射电子数为 1 亿个电子。

#### 4. 仿真结果分析

通过仿真我们得到了 X 射线管在不同角度的下的光强分布结果图。如图 4 所示。



**Figure 4.** Light intensity distribution of 30 KeV incident electrons  
**图 4.** 30 KeV 的入射电子的光强分布

通过仿真得到 X 射线管在不同靶角的条件下光强分布。从图中能够看出(a)为 20 度时的光强分布(b)为 15 度时的光强分布(c)为 10 度时的光强分布(d)为 5 度时光强分布。因为 X 射线管靶角与焦点尺寸有直接关系靶材角度的减小能够减小 X 射线管有效焦点的尺寸[6]。从仿真的结果能够清楚的看出在靶材角度不断增加时光强的分布更加均匀中心射线强度也随之增加同样激发出的光子也更多。并且在光强分布图中能看出光强中心并不是在 X 射线管中心部分, 而是在坐标为  $X = -8 \text{ cm}$  对应的位置。这刚好也符合 X 射线管靶材的足跟效应。

通过对比 30 keV 不同靶材角度所获得的光强分布, 在对 50 keV、70 keV、90 keV 和 110 keV 时同样的条件进行仿真。分别对获不同情况下的光强分布图, 对所有的光强分布图中选取  $y = 0$  这一行的光强数值进行提取, 可以得到的结果为: 如图 5 所示。

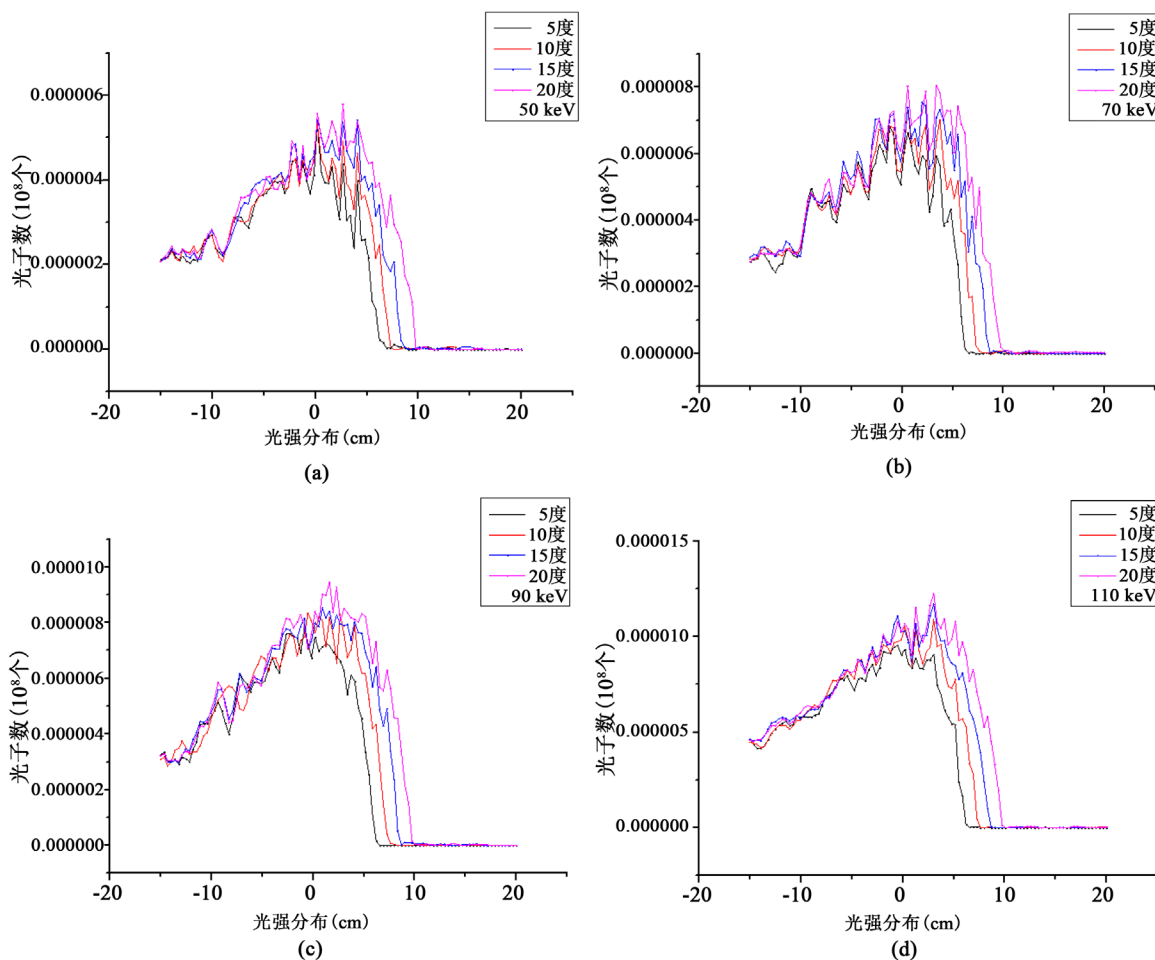


Figure 5. Extract the value of light intensity corresponding to  $y = 0$

图 5. 提取对应  $y = 0$  时的光强的数值

通过获得的图 5 中的结果我们可以看出对应 50 keV、70 keV、90 keV 和 110 keV 入射电子的能量大小都能够看出随着靶材倾斜角度的增大对应光强的强度也会随之增大, 同样光强分布的大小也会增加。对应  $y = 0$  一行的光强数值对比在相同角度下: 如图 6 所示。

对比图(a)~(d)光强数值随电压增加而增加, 但是光强辐射面积没有改变。可见光强分布的大小主要与靶材的角度有直接关系。这也对应的说明焦点尺寸与靶材倾斜角度大小有关。

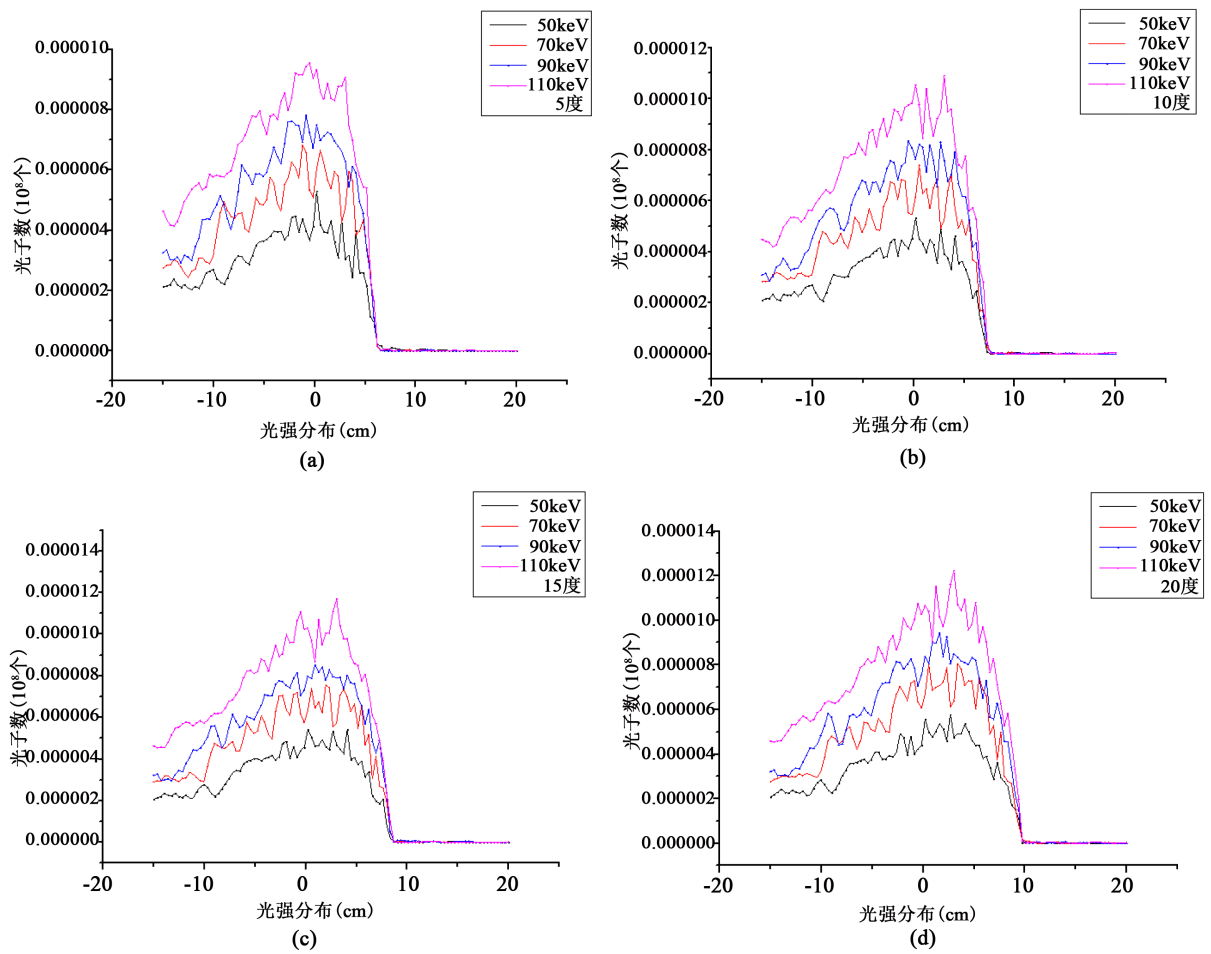


Figure 6. Comparison of light intensity at the same angle  
 图 6. 相同角度下的光强对比

在仿真过程中利用 F1 探测器能够获得 X 射线的粒子数量如图 7 所示。

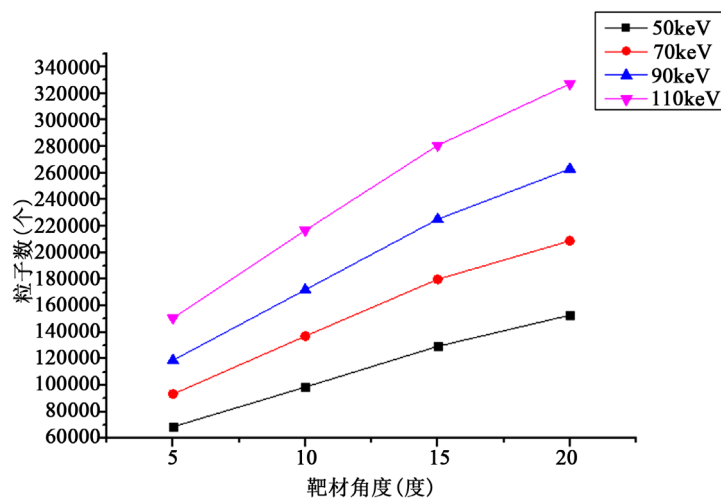


Figure 7. Number of particles corresponding to different conditions  
 图 7. 对应不同条件下粒子个数

随着靶材倾斜角的增加获得 X 射线光子的数量也会增加, 从图中能够观察出在 15 度与 20 度的靶材倾斜角出粒子数的增加开始变得缓慢。

## 5. 结论

从上述结果中我们能够得到结论: X 射线管的光强分布并不是在中心位置而是偏向阴极一侧的位置, 而阳极靶材的倾斜角度对于 X 射线的焦点尺寸和光强的分布有着直接关系, 通常倾斜角度越小, 有效焦点的尺寸越小, 能够减少图像产生伪影, 使获得的图像更加清晰, 但是靶材的角度过小激发的粒子数也会相应的减少。因此在实际中为了获得更小的焦点尺寸的同时, 也应考虑 X 射线管相同时间粒子效率的提高, 增大 X 射线管的使用寿命, 相应的也要增加 X 射线管的靶材角度。

通过对 X 射线管的仿真分析得到 X 射线管的靶材角度大小对 X 射线成像的图像效果有着直接关系, 对图像的清晰度与图像的灰度值都有着直接关系。通过分析仿真结果能够为研究 X 射线成像质量影响和 X 射线管质量参数的评价提供一些指导作用。

## 基金项目

教育厅项目(55KH20170603KJ), 长春市科技厅项目(170Y029), 科技厅项目(20180201034GX), 小动物 X 射线检测仪。

## 参考文献

- [1] 易龙涛, 孙天希, 王锴, 等. 一种基于方形多毛细管透镜的 X 射线探测系统设计[J]. 红外与激光工程, 2016, 45(S1): S117001.
- [2] 杜克铭, 蒋远大, 陈颖, 等. 基于压缩传感的光子计数成像系统[J]. 红外与激光工程, 2012, 41(2): 363-368.
- [3] Cho, H.-M., Ding, H., Ziemer, B.P., *et al.* (2014) Energy Response Calibration of Photon-Counting Detectors Using X-Ray Fluorescence: A Feasibility Study. *Physics in Medicine and Biology*, **59**, 7211-7227. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/59/23/7211>
- [4] 许淑艳. 蒙特卡罗方法在实验核物理中的应用[M]. 北京: 原子能出版社, 2006.
- [5] 裴鹿成. 蒙特卡罗方法及其在粒子输运问题中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [6] 耿磊, 马潇, 肖志涛, 等. X 射线线阵探测器校正与滤波[J]. 红外与激光工程, 2017, 46(12): 1226001.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2161-0916, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>  
期刊邮箱: [mp@hanspub.org](mailto:mp@hanspub.org)