

CT 图像重建方法在半影成像中的应用

谢红卫, 祁建敏, 陈法新

(中国工程物理研究院 核物理与化学研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要: CT 图像重建方法和半影成像是两种传统的辐射图像诊断方式。将 CT 图像重建方法应用到半影图像数据处理中, 探索出一种新的半影图像处理方法。在新的半影编码孔图像数据处理中, 首次应用了与图像诊断系统点扩散函数无关的编码孔图像处理方法, 解决了传统编码孔图像处理中由于图像诊断系统点扩散函数不确定带来的技术难题。在理论研究的基础上进行了半影模拟成像及图像重建, 获得了理想的研究结果。

关键词: CT; 图像重建; 半影像; 编码孔

中图分类号: TL8 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-6931 (2010) S0-0636-05

Application of Computer Tomography Image Reconstruction Method in Penumbra Imaging

XIE Hong-wei, QI Jian-min, CHEN Fa-xin

(Institute of Nuclear Physics and Chemistry, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

Abstract: The CT (computer tomography) image reconstruction and penumbra imaging were conventional radiation image diagnostic methods. A novel penumbra image analyzing method, in which CT image reconstruction method was applied. A coded-aperture image analyzing method with no consideration of the system point spread function (PSF) was firstly presented, and technical difficulties in conventional code-aperture image analyzing due to uncertainty of the diagnostic system PSF were thus resolved. Based on the theoretical results, penumbra imaging and image reconstruction of a simple example are processed, and satisfactory results are achieved.

Key words: computer tomography; image reconstruction; penumbra image; coded-aperture

在惯性约束聚变 (ICF) 实验中, 通过探测氘氚靶丸发生热核聚变放出的射线和粒子, 获得聚变热核内部信息。中子成像作为 ICF 实验中的主要诊断手段, 诊断靶丸内的中子发射空间分布能够反映燃烧内爆压缩区的尺寸、形状、均匀性和 DT 燃烧离子温度随半径的分布等信息, 从而验证内爆动力学计算的正确与否, 了

解靶丸压缩与产额之间的关系, 获得各种黑腔、靶丸设计的性能参数, 达到优化靶丸及黑腔设计等目的。与 X 射线成像相比, 中子针孔成像更能直观地反映聚变区空间特性, 且不受靶丸面密度大小的影响。

中子成像方式主要包括两种: 针孔成像^[1-2]和半影成像^[3-6]。中子针孔成像是使用小孔成

收稿日期: 2010-05-31; 修回日期: 2010-08-20

基金项目: 中国工程物理研究院科学技术发展基金资助项目 (2010B0103006)

作者简介: 谢红卫 (1966—), 男, 陕西三原人, 副研究员, 硕士研究生, 从事辐射源图像诊断技术研究

像, 辐射源尺寸相对于针孔尺寸较大, 可忽略针孔尺寸对辐射源尺寸的影响, 该方法能够直接获得辐射源图像。当成像孔径尺寸大于物体尺寸时, 针孔成像变成半影成像。半影成像的特点是针孔内径尺寸大于目标尺寸, 提高了射线的孔径通过率, 相对降低了探测器系统的灵敏度下限, 对于低强度中子图像诊断非常有用。在 ICF 实验早期, 中子图像诊断主要使用半影成像方式。

半影成像是一种复杂的编码成像, 图像信息存贮在半影区内, 像面上每一点包含多个物面图像信息, 物面上图像信息由多个像面点记录, 通过图像重建方法得到图像信息。我们研究了多种半影编码孔图像处理办法, 如 Wiener、Lucy-Richardson 以及 Blind 等图像数据处理方法^[7-10], 并成功应用于半影中子图像处理中。这些编码孔图像处理办法中有一显著特点, 就是都依据成像系统的点扩散函数对编码孔图像进行逆卷积, 经多次迭代计算后得到辐射源图像。

将 CT 图像重建技术应用于编码孔图像数据处理中, 研究出一种新的编码孔图像处理方法, 图像重建不依赖于图像诊断系统的点扩散函数, 本工作简单介绍 CT 图像重建方法在半影成像中的应用。

1 半影成像图像数据处理方法

1.1 CT 图像重建方法

CT 图像重建在现代医学、无损探伤等方面的应用非常广泛, 该诊断方式属于被动图像诊断方式, 其基本工作原理是: 1 束平行 X 射线 (实际多为扇形辐射源) 通过被测物体, 根据物体内部的密度分布得到投影面内的强度分布, 旋转 X 射线方向 (或旋转被测物体) 得到不同方向的投影强度, 然后进行图像重建, 得到物体断层图像, 多幅断层图像重建得到三维图像 (图 1)。在坐标系 $x-y$ 内, X 射线管 A 发出的单能窄束 X 射线穿过衰减系数为 $\mu(x, y)$ 的物体断层, X 射线束沿 S 路径的投影可写为:

$$P(x, y) = \iint \mu(x, y) dx dy \quad (1)$$

投影强度是射线通过路径的积分强度, 此积分强度分布仅与射线通过的路径有关, 在

$x'-y'$ 坐标系内 (x' 轴与 $x-y$ 坐标系内的 x 轴的夹角为 θ , X 射线束始终垂直与 x' 轴), 投影强度可表示为:

$$P'(x', \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} \mu(x', y') dy' \quad (2)$$

旋转坐标系 $x'-y'$, 得到不同方向的投影强度, 在 $x'-y'$ 坐标系内, 投影强度是与 θ 无关的线性强度分布。

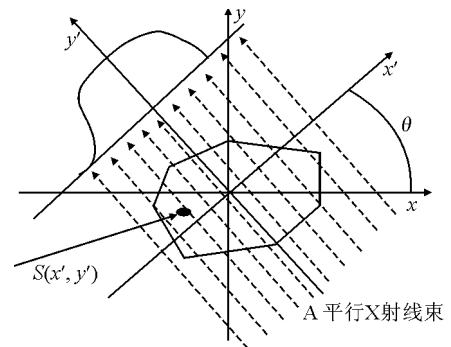


图 1 CT 图像重建时的投影强度示意图

Fig. 1 Scheme of projection intensity in CT image reconstruction

CT 图像重建的方法较多, 如滤波反投影法、不完全代数重建法、OSEM 迭代法、中心切片重建法及直接反投影法等, CT 图像重建法基本成熟。以最常用的滤波反投影法为例说明图像重建的基本过程 (图 2)。如图 2 所示, 通过原始图像得到不同角度方向的投影强度, 然后采用滤波反投影法重建图像, 重建图像与投影图像的幅数有关, 在图像幅数较少时可能出现伪像, 但伪像是有规律的, 能够通过图像滤波处理得到理想的重建图像。

1.2 侧面图像诊断方法

在测量高能闪光 X 射线源斑点尺寸、等离子体尺寸等辐射源图像诊断中^[11-12], 为了得到特定方向的图像尺寸, 通常采用刀口法, 基本原理如图 3 所示。在像面 (闪烁体) 和辐射源之间放置 1 块刀口形状的屏蔽体 (或圆形屏蔽体), 假设屏蔽体的透射强度忽略不计, 则像面处的射线强度为:

$$I(x) = \int_x^{\infty} S(x, y) dx dy \quad (3)$$

对上式进行微分:

$$\frac{dI(x)}{dx} = \int_x^\infty S(x,y) dy \quad (4)$$

从上式可看到，对积分图像沿 x 方向进行微分，可得到沿 y 轴方向积分的强度分布。

“中”字图像的模拟计算结果如图 4 所示。从模拟计算结果可看出，刀口法能够获得特定方向的投影强度。

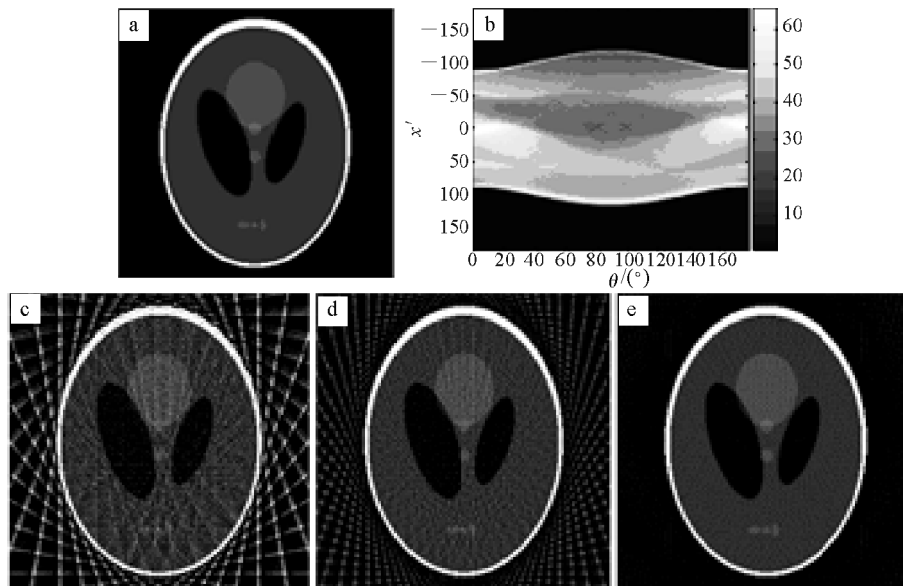


图 2 滤波反投影法 CT 图像重建示意图

Fig. 2 Scheme of CT image reconstruction using filtered re-projection method

a——原始图像；b——不同角度的投影强度；c——18 幅图像重建效果；d——36 幅图像重建效果；e——90 幅图像重建效果

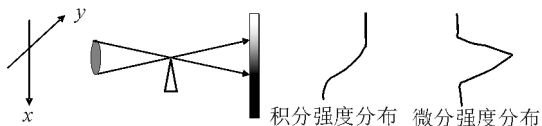


图 3 刀口法测量斑点侧面尺寸示意图

Fig. 3 Measurement of spot profile dimensions using knife-edge method

影成像的孔径比物体大，且孔径为圆形，图像信息包含在半影区内。半影成像无法直接获得图像，必须经过图像处理，常用的图像数据处理方法如 Wiener、Lucy-Richardson 及盲卷积等图像处理方法^[7-10]，都是建立在通过成像系统的点扩散函数对图像数据进行处理，点扩散函数对图像数据的处理起十分关键作用。

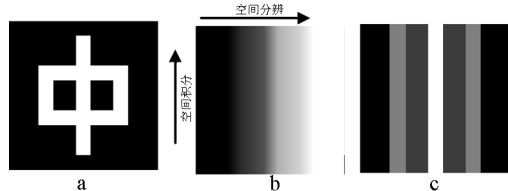


图 4 道口法模拟计算结果

Fig. 4 Simulation results using knife-edge method

a——原始图像；b——积分图像；c——微分图像

1.3 CT 图像重建方法在半影编码孔图像处理中的应用

半影编码孔图像诊断原理如图 5 所示。半

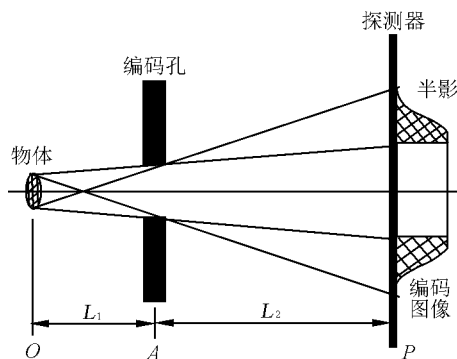


图 5 半影成像原理示意图

Fig. 5 Scheme of principle of penumbra imaging

在新的半影图像数据处理中(图6),将圆形孔径理解为多边形孔径,用多边形孔径进行半影成像,每1条边相当于1个刀口法图像诊断系统,然后对不同方向的积分图像进行微分,得到不同方向的投影强度,这样,将半影图像数据处理转换成CT图像重建。

2 模拟计算

2.1 CT 图像重建方法在半影成像中的模拟计算

半影成像主要应用于中子、 γ 射线辐射源图像诊断,且辐射源具有强度低、尺寸小等特点,使用小针孔无法直接诊断辐射源图像时才考虑使用。

在模拟计算中,采用滤波反投影法进行CT图像重建,根据图2所示,投影图像应在18幅甚至36幅以上才能获得理想的图像重建效果,设计这样的成像孔径在实际加工中存在一定的技术难度。因此,为了计算方便,将编码孔设计为圆形,将圆形孔径近似认为正360边形。在计算中,取物体尺寸为2mm,物面阵列为 100×100 ,孔径直径为6mm,物距与像距分别为1000mm,半影图像阵列为 1024×1024 ,圆形孔径为理想薄孔径,对光线不透明,光辐射在物面内均匀辐射。原始图像如图7a,模拟计算的半影图像如图7b,首先对半影图像沿半径方向进行微分,取每间隔 1° 的径向强度分布如图7c,然后使用CT图像重建方法,得到重建图像如图7d。

从图像重建结果可以看到,重建效果比较理想,重建图像相对于原始图像有噪声,即伪

像,伪像是CT图像重建本身所固有的缺点,有专门的伪像图像处理方法,这里不再论述。

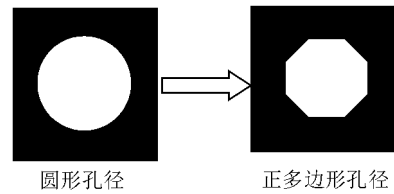


图6 圆形编码孔和多边形编码孔结构示意图

Fig. 6 Scheme of circular and polygonal coded-apertures

在辐射源图像诊断中,存在不同程度的噪声信号,对辐射图像进行噪声滤波是辐射源图像诊断的重要步骤。在图像中迭加90%的噪声信号,噪声信号幅度相对于图像信号幅度在10%以内(均匀迭加),对半影图像的微分图像影响比较明显,如图8a所示,重建效果如图8b所示,CT图像重建方法能够容忍较大的噪声信号。

2.2 几种半影成像图像数据处理方法的比较

在半影图像重建中,在已知成像系统点扩散函数的条件下,通常使用Wiener滤波和Lucy-Richardson滤波方法进行图像重建。模拟半影成像和成像系统的点扩散函数,利用Matlab软件包提供的图像重建方法,对理想半影图像进行重建(图9),从重建结果可看到,使用Wiener滤波和Lucy-Richardson滤波重建图像,图像边沿变得比较圆滑,锐度降低,而使用CT图像重建方法进行图像重建,能够真实地反映原始图像的基本信息,但重建图像有伪像现象。

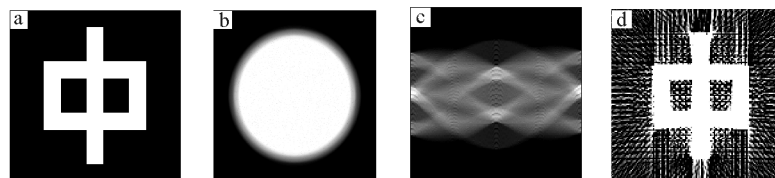


图7 CT图像重建方法在半影图像处理的应用

Fig. 7 Penumbra image reconstruction using CT image reconstruction method

a——原始图像; b——半影像; c——不同角度的投影强度分布; d——重建图像

3 结论

本工作将CT图像重建方法首次应用到半影图像数据处理中,并模拟进行了半影成像和

图像重建,取得了理想的模拟计算结果,首次在半影图像数据处理中采用了不依赖于成像系统点扩散函数的半影图像数据处理方法。

在图像模拟重建中, 迭加了 10% 的噪声信号, 噪声幅度小于 10% (均匀分布), 在图像重建中仍能获得原始图像, 说明该方法具有较强的噪声容忍度, 能够使用于具有较强辐照噪声环境的图像诊断。

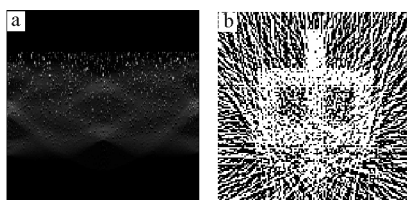


图 8 迭加噪声信号后图像重建效果

Fig. 8 Image reconstruction result of original image adding noise signals

a——迭加噪声后的投影图像; b——重建图像

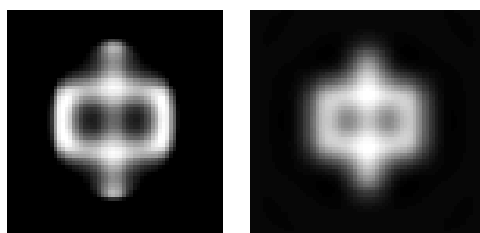


图 9 Lucy-Richardson 方法 (a) 和 Wiener 方法 (b) 重建图像

Fig. 9 Image reconstruction using Lucy-Richardson method (a) and Wiener method (b)

CT 图像重建方法与 Wiener 滤波重建和 Lucy-Richardson 滤波重建方法进行初步比较, CT 图像重建方法比较真实地反映了原始图像的信息, 但在图像重建中有比较严重的伪像。

在模拟计算中采用理想的圆孔径成像, 在以后的研究中将进一步研究厚孔径成像, 同时考虑中子、 γ 射线的穿透效应, 并进行相应的实验研究。

参考文献:

- [1] CHRISTENSEN C R. First results of pinhole neutron imaging for inertial confinement fusion[J]. Review of Scientific Instrument, 2003, 74(5): 2 690-2 694.
- [2] WILSON D C, CHRISTENSEN C R, MORGAN G L, et al. Goals for and design of a neutron pinhole imaging system for ignition capsules[J]. Review of Scientific Instrument, 2003, 74(3): 1 705.
- [3] DELAGE O. Aperture design and numerical reconstruction technique requirements for high resolution imaging of neutrons in inertial confinement fusion (ICF)[J]. SPIE, 1998, 3460: 67-77.
- [4] CHEN Y W. Penumbra imaging of laser imploded target and its blind reconstruction[J]. IEEE, 1998, 757: 755.
- [5] DELAGE O, GARCONNET J P. Neutron penumbra imaging of inertial confinement fusion targets at Phebus[J]. Review of Scientific Instrument, 1995, 66(2): 1 205-1 209.
- [6] SHINSUKE F. Penumbra imaging for measurement of the ablation density in laser driven target[J]. Review of Scientific Instrument, 2002, 73(7): 2 588-2 596.
- [7] XIAN Huahan. Reconstruction of penumbra imaging based on band filtering algorithm [J]. SPIE, 2007, 6787: 6 7872.
- [8] SHINYA N, CHEN Yen-Wei. A heuristic penumbra imaging technique for measurements of laser-produced plasma density profile[J]. Review of Scientific Instrument, 2002, 73(9): 3 198-3 204.
- [9] CHEN Y W. Blind reconstruction of X-ray penumbra images[J]. Review of Scientific Instrument, 1998, 69(5): 1 966-1 969.
- [10] KONG Xianglong. Restoration of pinhole images using Lucy-Richardson algorithm [J]. Acta Physica Sinica, 2006, 55(5): 2 364-2 370.
- [11] STEPHEN L, DARRYL D. Development of a dynamic spot size diagnostic for flash radiographic X-ray sources[C]// Pulsed Power Conference. [S. l.]: [s.n.], 2003.
- [12] VLADIMIR Y S. Measurements of micro-focus spot size (0.005-0.1) in X-ray tubes and lens[J]. SPIE, 2005, 15974: 1-8.