

一个模拟串扰的散射因素的实验

杨 杰, 过惠平, 杨贤明, 王 冬, 李如松

(第二炮兵工程学院, 西安 710025)

摘 要:模拟了工业 CT 中射线束穿过物体后的散射情况。采用较强的⁶⁰Co 源和体积小而探测效率高的 CdZnTe 探测器, 经长时间测量和利用 matlab 处理数据后, 射线穿过物体后在出射方向的 0°~2°间有较高的能量沉积, 然后随着角度的增加能量沉积迅速下降。因此, 在设计和选用探测器阵列时应考虑 0°~2°之间的散射效应。

关键词:工业 CT; 散射; 串扰; 射线探测器

中图分类号: TG115. 28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2007)07-0389-03

An Experiment Simulating the Scattering Factors of Cross-Talk Noise

YANG Jie, GUO Hui-ping, YANG Xian-ming, WANG Dong, LI Ru-song

(The Second Artillery Engineering College, Xi'an 710025, China)

Abstract: This text simulates the scattering rays from the industry CT get through the material through an experiment. This experiment used a high intension source ⁶⁰Co and a small bulk but high efficiency CdZnTe detector, through 24 hours measuring and matlab calculating, the results showed that rays had a high energy aggradations between 0—2 degrees from the collimation direction after the rays was collimated, then the energy aggradations decreased quickly as the angle increasesd, it shows that one should think about the aggradations affection between 0—2 degrees when design and select the detector rays.

Keywords: Industry CT; Scattering; Cross-talk; Rays detectors

串扰现象是影响工业 CT 成像质量的一个重要因素, 串扰的来源主要有两种, ① 一条入射射线穿过物体后由于散射的原因同时进入多个探测器单元; ② 一条射线进入某探测器单元后由于散射的原因再次进入其他探测器单元。这两种情况都会引起探测阵列内部的串扰。

在工业 CT 中一般使用高能 X 射线或 γ 射线对高密度、大工件进行无损检测, 射线能量从 1 MeV 至十几 MeV 之间, 散射效应非常明显。传统 CT 装有前后准直器, 以压低散射光子, 但装了准直器后给扫描机带来了许多弊端, 在某种程度上限制了 CT 机的性能发挥。但若去掉准直器, 各种散射光子都可能被探测器检测到, 如果不作散射修正, 这些散射光子所产生的膺像和伪影将影响成像质量。

根据康普顿散射公式可知, 散射是不可避免的, 即使在 180°方向仍然存在散射。同时物体密度、核素分布、射线束宽度等因素也会造成射线穿过物体后能量分布的改变。

笔者通过实验模拟了串扰来源的第一种因素, 即射线穿过物体后由于散射的原因同时进入多个探测器单元的情况, 对散射引起的串扰进行了讨论。

1 测量原理

射线穿过物体时由于康普顿散射, 会造成出射方向的改变, 出射光子在空间中的能量沉积随角度的变化公式为:

$$\frac{Ed\delta}{d\Omega} = r_0^2 \frac{1}{1 + \alpha(1 - \cos\theta)} \cdot \frac{1 + \cos^2\theta}{2} \cdot \left\{ 1 + \frac{\alpha^2(1 - \cos\theta)^2}{(1 + \cos^2\theta)[1 + \alpha(1 - \cos\theta)]} \right\} \cdot \frac{E_\gamma^2(1 - \cos\theta)}{m_0c^2 + E_\gamma(1 - \cos\theta)} \quad (1)$$

收稿日期: 2006-07-21

作者简介: 杨 杰(1982—), 男, 研究生, 从事辐射防护研究。

式中 E ——出射光子的能量;
 δ ——康普顿散射截面;
 Ω ——出射立体角;
 r_0 ——经典电子半径;
 E_γ ——入射光子的能量;
 θ ——出射方向与准直方向的夹角;
 $\alpha = E_\gamma / m_0 c^2$ 。

图1是一条 γ 射线与一个自由电子发生康普顿散射后能量沉积的微分截面随角度的变化。从图中可看出能量沉积的微分截面在 10^{-25} MeV量级,散射能量随着角度的增加而迅速下降,在角度为 0.5° 时(即 28° 左右)能量降为原来的一半。光子能量越高、物质内部电子密度越大,康普顿散射效应越明显,因而高能工业CT对大型金属工件进行成像时射线的散射效应会对成像的质量造成很大的影响。

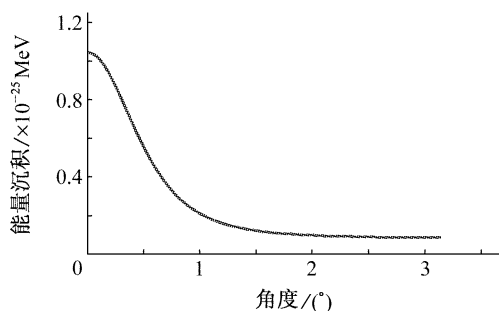


图1 康普顿散射能量沉积随角度的分布

另外物体密度、核素分布、射线束宽度等因素也会造成射线穿过物体后改变能量的分布。

图2为实验测量原理图,即使用经过准直的 γ 射线束穿过一定厚度的钢板,由于射线束有一定的宽度及康普顿散射等原因,会造成射线在出射的各个角度都存在能量的分布,通过测量散射的能量随角度 φ 的分布便可评价散射对串扰的影响。

考虑到实验所用的 ^{60}Co 源射线的能量较高(1.17 MeV和1.33 MeV),强度相对较弱(约为1mCi),准直器准直效果有限(其准直比是22.5882

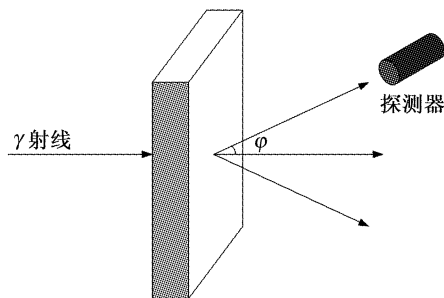


图2 实验示意图

: 1)等因素的影响,为得到较好的模拟射线和测量效果,需要①源与准直器必须有一定的距离(实验为5 cm),以减小由斜入射带来的出射方向的改变。②使用小尺寸探测器远距离测量。但源与准直器有一定的距离,会导致出射射线的强度减小,测量难度加大;近距离测量必然导致探测器无法视为一个点,甚至无法测量散射效应所引起的射线在空间中的能量沉积率,而远距离(如2 m)测量也会导致进入探测器的射线减小,影响测量精确度,有时甚至测不到出射的射线。

基于以上考虑,对实验参数进行了反复调整,最终使用了CdZnTe探测器(其尺寸为15 mm×15 mm×3.5 mm,能量分辨率为: ^{137}Cs 源在662 keV时 $\leq 2.8\%$; ^{57}Co 源在122 keV时 $\leq 7.5\%$),在距钢板88 cm处对能量沉积进行长时间测量。

2 实验结果与数据处理

2.1 能量刻度与效率刻度

采用 ^{137}Cs 和 ^{60}Co 两种源对仪器进行能量刻度,其能量刻度曲线 $E=0.4883x-2.595$ (x 为道数)。采用相对效率刻度的方法对仪器进行刻度,其效率为75%,即穿过探测器的射线有75%与探测器发生作用,实验中探测效率随位置的变化可以忽略。

2.2 本底的测量结果与分析

为了更好地测量本底,采用长时间(10 h)测量的方法。经过10 h的测量,由随机性引起的统计涨落已变得很小。从图3可见,除了低能部分电子噪声引起的峰之外整个能谱是平坦的,说明此时测量到的是白噪声,从而最大限度地减小了宇宙射线等随机因素的影响。

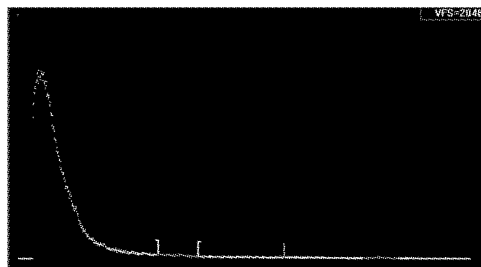


图3 10 h本底的测量能谱图

2.3 有源情况下的测量结果与分析

以图4为例来说明CdZnTe探测器在不同角度下对能量沉积的测量。图4可见,经过1 h的测量统计,涨落变得很小,可以清楚地分辨主峰、康普顿坪、反散射峰以及电子噪声部分,通过matlab对数

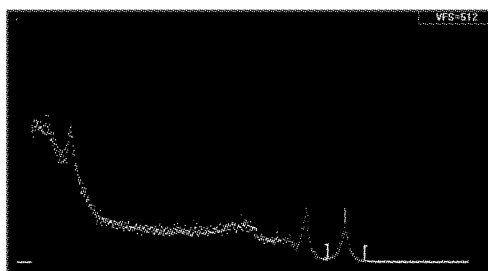


图4 1 h对0°射线准直后穿过钢板的能谱图

据的拟合可以确定康普顿坪的区域和主峰的区域。

2.4 数据处理

由图4可见,低能区的电子噪声和反散射峰都不是由射线穿过探测器引起的,在数据处理时应予以去除。通过 matlab 对能谱拟合后确定康普顿坪总的能量沉积与两个主峰总的能量沉积,它们的和扣除本底在这一区间中的能量沉积,即为射线在探测器中总的能量沉积。

实验中共测量了8组角度从0°~7°的能量沉积,经过 matlab 对能谱的数据处理、死时间校正以及效率刻度后,得到1 h γ 射线在探测器中的能量沉积与角度的关系,见表1。

表1 探测器的能量沉积随角度的变化

角度/(°)	能量/MeV	角度/(°)	能量/MeV
0	1 999.6	4	1 347.3
1	2 237.4	5	1 056.1
2	1 922.2	6	833.4
3	1 600.5	7	700.7

扣除本底后射线在探测器中的能量沉积随角度的变化见图5。图5是利用5次多项式对数据进行拟合的结果。可见,能量沉积随着角度的增加先略有上升然后迅速下降,并且有一半以上的能量沉积在0°~2°之间。图5的下降趋势与图1结果是一致的,但图1所描述的曲线没有升高的过程,下降相对也慢得多。造成图5与图1不一致的原因主要是①图1描述的是康普顿散射所引起的能量沉积分布,此外光子与物质相互作用形式还有光电效应与电子对效应,而且还有大量的光子未与物质发生任何作用直接穿过物体,所以能量主要沉积在0°~2°之间的结果是合理的。②图1描述的是一条射线与电子发生康普顿散射能量的分布情况,而图5描述的是有一定宽度的射线束出射能量的分布情况,体源发出的射线在各个方向存在差异,并且实际准直器准直效果有限,由此产生的小角度内能量沉积随角

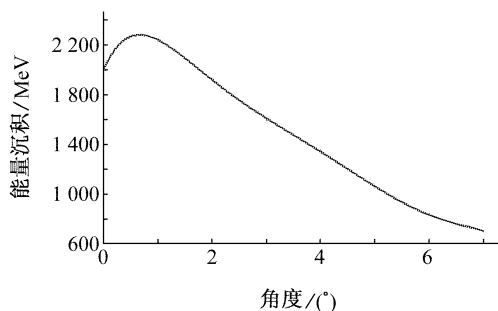


图5 能量沉积随角度的变化

度增加的现象也是合理的。因而实验结果与康普顿散射公式并不冲突。

3 讨论

(1) 散射效应在出射方向0°~2°之间较为明显,到了7°左右接近本底水平。同时计算机模拟实验表明,散射效应随着准直比的增加而明显减弱,因而必须对0°~2°间的散射进行修正。在实际工程运用中常采用后准直的方法,一方面它有效地增加了探测单元与射线穿过物体方向的立体角,另一方面它使得探测单元与放射源之间的立体角大为减小,从而提高了准直比,这两个方面都大大地减弱了散射效应的影响。

(2) 在工业CT中适当地选用高强度、高能量的辐射源能有效地减少测量时间、增大测量精度。在实验中辐射源经过准直后强度大为减弱,为了达到实际效果抑制本底而采用了长时间(10 h)测量的方法;为了提高穿透效率,增加源的强度和能量有时候也是很有必要的。但根据式(1),它也会导致散射效应更明显,这也是必须考虑的。

(3) 减小射线束宽度可有效抑制散射。模拟和实验数据表明,准直比越高散射效应越弱。在极高准直的情况下,0°~2°方向的能量沉积达97.82%,其能量衰减极快。在实际工业CT中,常采用扇形束,穿过某一点的平行射线束宽度与源的体积和源与物体的距离有关,为减小射线束宽度可采用减小源的体积、增大源与物体之间的距离来实现,但这会导致探测单元的射线减小,影响测量精度。

参考文献:

- [1] Ramakrishna G S, Urnesh Kumar, Datta S S, et al. Design and Applications of Computed Industrial Topographic Imaging System (CTIS) [C]. Proceedings of 14th World Conference on NDT. New Delhi, India; 1996, 293—299.

(下转第427页)

第9届欧洲无损检测会议论文题录

Index for Proceedings for 9th European Conference on Nondestructive Testing

中图分类号: TG115.28

文献标识码: D

文章编号: 1000-6656(2007)07-0427-01

模拟与信号处理

无损检测中场和波的数字模拟

R Marklein(德国)

用于分辨力检测的导波阵列

A Velichko, P Wilcox(联合王国)

现场稀疏换能器阵列的多种模式和多重频率差动的 LAMB 波成像

J Michaels, T Michaels(美国)

对冲击回波的数据分析和解释的时基频率技术

N Gucunski, P Shokouhi, A Maher(美国)

在 EMAT(电磁超声)信号中减少噪声方法的比较

V Matz, M Kreidl, R Smíd, 等(捷克)

G Dermody(联合王国)

海上管道(近海)

用于船只(油罐)腐蚀状态探测的声发射检测(AT)

P Tscheliesnig, TÜV Österreich, Wien(奥地利)

应用新的检测技术测定转动架缺陷

R D Carneval, L R Brillhante, M R Richter, 等(巴西)

风电转子叶片的温度记录法检测

P Meinlschmidt, J Aderhold(德国)

巴西石油公司(PETROBRAS)精炼厂 ACFM 的应用

R D Carneval, L S Brilante, J M Dos Santos, 等(巴西)

双层油罐监控中声发射信号的采集和分辨

H Buglacki, W Darski, P Kallas, 等(波兰)

计算机化层面 X 线照相术

用于铸件检测和测量的全自动 CT(计算机化层面 X 线照相术)设备

O Rokitta(德国)

纯平移层面 X 射线照相法——由层面 X 线照相术改造的非旋转方法

M Iovea, G Mateiasi, M Neagu(罗马尼亚)

用配有快速自动缺陷识别和有限元方法的计算机化层面 X 线照相术进行材料和组织的分析

F Pauly, R Patzak(德国)

从有限投影和视角进行图像重建的一种新 HULL-VOXEL 方法

V V Vengrinovich, S Zolotarev, B M Hesse, 等(德国)

X 射线计量学——在生产场所的周围用计算机化层面 X 线照相术测量加工数据

换能器和传感器

用于非接触超声波探伤的 EMFIT(电磁现场检验技术)铁电膜换能器

V Bovtun, J Bartusch, U Beck, 等(德国)

对于航空结构可健全监测的 NDT 传感器的发展

J Barshinger, S Nath, N Tralshawala, 等(美国)

对土木工程结构可健全监测的无线声发射传感器网络

C Große, S Glaser(美国); M Krüger(德国)

斜电磁超声换能器设计的特点

V E Chabanov, V I Gordely(俄罗斯)

用于破损诊断的多层薄膜传感器

Y Gordienko, E Zasimchuk(乌克兰); J Schreiber(德国)

(待续)

(蔡超荣 译, 马铭刚 校)

(上接第 391 页)

[2] Dastarac D. Industrial Computed Tomography: Control and digitalization[EB/OL]. 1999-10-16. <http://www.ndt.net/v04n09.htm>.

[3] 周日峰, 张平, 张泽宏. 高能 X 射线探测器射线串扰模拟研究[J]. 核技术, 2005, 12(12): 937-939.

[4] 范志新, 张浩苗, 马少龙, 等. 激光散射实验[J]. 河北工业大学成人教育学报, 2006, 3(1): 13-15.

[5] 陈文, 陈钢. α 粒子散射实验分析[J]. 高师理科学刊, 2006, 2(1): 92-94.

[6] 李玉兰, 李元景, 王少锋, 等. 高能 X 射线成像系统固体探测器模块的设计[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2003, 43(12): 1594-1596.

[7] Jamees H Johson. The Growing of High Energy X-Ray Line Accelerators for Non-Destructive Evaluation Systems. In seventh Asian-Pacific Conference on Nondestructive[C]. Shanghai: 1993: 451-454.

[8] 陈文, 陈刚. α 粒子散射实验分析[J]. 高师理科学刊, 2006, 2(1): 37-39.