

数字式 X 射线辐射扫描成像系统及其应用³

王利民 大卫 邬海峰 蔡庆胜

(清华大学核能技术设计研究院 北京 100084)

摘要 数字化图像具有非常突出的优点和广泛的应用,而 X 射线成像在医学诊断和工业无损检测等领域占据非常重要的地位,因此 X 射线成像的数字化必将成为一种趋势.文章介绍了数字式 X 射线辐射扫描成像的特点、原理及其应用前景.采用气体电离室探测器阵列完成了 32 路数字式 X 射线辐射扫描成像装置系统,其空间分辨率达到 0.15mm,并且获得了比较满意的 X 射线图像效果.

关键词 X 射线,数字式辐射成像,阵列探测器,数字图像处理

X-RAY DIGITAL RADIOGRAPHY AND ITS APPLICATIONS

Wang Limin Mo Dawei Wu Haifeng Cai Qingsheng

(Institute of Nuclear Energy Technology, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract X-ray projectional images are very important in medical diagnostics and industrial nondestructive testing. The digitization of this technology is bound to see rapid development. An outline is given of the properties, principle, and application of X-ray digital radiography. The development of a 32-channel X-ray digital radiography system with Xenon gas ionization chamber array detector and spatial resolution of 0.15mm is described. Results of this imaging installation are presented.

Key words X-ray, digital radiography, detector array, digital image process

1 数字式辐射成像的特点

辐射成像是在医学诊断、工业无损检测、社会发展及安全检查等方面都有广泛应用的科技领域.传统的辐射成像设备中的探测装置是感光胶片及荧光屏等,辐射分布将通过在其上形成的影像显示出来.感光胶片的乳胶银粒很小,因而有良好的空间分辨率.但是它存在一些重大缺陷:胶片感光后必须经过显影、定影、烘干等步骤后才能用来观察,无法实现实时、在线成像.虽然 80 年代推出了利用荧光屏及像增强器技术的 XTV(X 射线电视成像)系统,可以进行

实时观测,但仍然无法克服感光胶片对中、高能射线探测效率低、动态范围窄、不能准直束扫描成像等缺点,而且其视野受到荧光屏的尺寸限制.随着电子技术、辐射探测器技术和计算机科学的发展,射线成像技术也正面临着重大的技术飞跃——从感光胶片成像发展到采用阵列探测器及计算机图像处理技术的数字式辐射扫描成像.它采用阵列探测器作为探测装置,射线穿过物体后,由阵列探测器检测,输出信号经过放大、采样及数字化直接送入计算机处理、存储及显示.其优点是:以扫描方式工作,可以进行

3 1998-09-01 收到初稿,1998-10-20 修回

实时成像;可以对射线束进行准直以去除散射影响,从而显著提高了图像质量,同时使辐射剂量大为减少;探测器输出信号随辐射强度变化的动态范围大,最高达 10^5 倍,因而有很好的密度反差灵敏度,能直接获得数字图像,便于运用数字图像处理技术进行各种处理,以得到最佳

的显示效果,并且可以实现图像的自动识别检测;探测器输出信号响应快,噪声低,适用能量范围宽,对低、中、高能 X 射线或中子辐射都有相当高的探测效率.表 1 列出了数字式、感光胶片以及荧光屏辐射成像的一些性能指标的比较情况.

表 1 3 种辐射成像手段的性能比较^[1]

| 指 标 | 成像系统 | | |
|--------------|-------------------------|-----------|-------------------------|
| | 探测器阵列成像 | 感光胶片成像 | 荧光屏成像 |
| 动态范围 | 100,000 1 | 100 1 | 1000 1 |
| 对比度分辨率(%) | 011 | 1 | 1 |
| 空间分辨率(线对/mm) | 4 | 10 | 2 |
| 抗散射能力 | 可以准直以排除散射影响 | 不能准直测量 | 不能准直测量 |
| 成像速度 | 快(一次采集一行数据) | 慢(需要处理胶片) | 最快(实时) |
| 系统复杂度 | 复杂的模拟电路、计算机,以及机械运动装置 | 简单 | 从简单的模拟电视摄像到复杂的数字处理系统 |
| 后续处理 | 可以进行数字图像处理,以增强图像或进行自动识别 | 无法进行后续处理 | 可以进行数字图像处理,以增强图像或进行自动识别 |
| 基建投资成本 | 最高 | 最低 | 高 |
| 运行成本 | 最低 | 高 | 低 |

2 数字式辐射成像的应用

数字式辐射成像技术首先是在高能物理实验中发展起来的,并一直得到广泛应用,它可用以确定有关粒子的运行轨迹,并籍以发现了多种基本粒子.70 年代这一技术用于医疗诊断,出现了荣获 1978 年诺贝尔奖的 X 射线 CT 以及后来的单光子、双光子 CT.80 年代中期以来,法国施仑贝谢、德国海曼以及英国宇航公司相继开发了大型集装箱检测系统,清华大学现

在也已研制成功了这种系统.目前,数字式辐射扫描成像已经发展了多种系统,公安部第一研究所引进德国海曼技术,已批量生产用于机场或火车站对小件行李进行安全检查的低能 X 射线扫描成像检测系统,清华大学正在开发研制用于工业无损检测的成像系统.而当前国内外开展研究工作最为活跃的是用于医疗诊断的数字式 X 射线辐射成像系统.日本岛津公司和俄罗斯核物理研究院 Siberia^[2]研究室先后推出了数字式的新一代医用 X 射线摄影装置.这些检测系统的主要技术特点如表 2 所示.

表 2 几种数字式辐射成像系统的主要技术特点

| 成像系统 | 射线源 | 阵列探测器 | 空间分辨率 | 用途 |
|----------------|---|---|-------------------------------|-------|
| 英国宇航系统 | 10MeV 电子直线加速器 | 1024 路闪烁体光电二极管阵列 | 4mm | 集装箱检测 |
| 法国施伦贝谢系统 | 380keV X 射线机,5500 居里 ^{60}Co , 215MeV/5MeV 电子静电加速器 | 多丝正比室,对 011—4MeV 光子的探测效率为 20%,动态范围 10^5 | 5mm | 集装箱检测 |
| 德国海曼系统 | 380keV/400keV X 射线机,10MeV 电子直线加速器 | 1280 路闪烁体光电二极管阵列 | 5mm | 集装箱检测 |
| 清华大学 | 100 居里 ^{60}Co ,9MeV 电子直线加速器 | 512 路超高压气体电离室 | 5mm | 集装箱检测 |
| 公安部第一研究室 | 140keV X 射线机 | 闪烁体光电二极管阵列 | 116 \times 2mm ² | 机场行李 |
| 日本岛津公司 | X 射线机 | 碲化镉半导体探测器 | | 医学诊断 |
| 俄罗斯 Siberia 系统 | X 射线机 | 320 路多丝正比室 | 015mm | 医学诊断 |

可见,提高数字式辐射成像装置的空间分辨率将成为这一领域的发展趋势,研制高分辨率的探测器阵列是其中的关键技术.尽管当前已有高分辨率的产品问世,他们的系统已经达到能满足医学诊断应用的要求(0.15mm),但其探测器工艺复杂,成本较高,售价昂贵,不利于普及推广.

我们这一系统主要是针对医学诊断胸透检查设计的,各项指标都能达到实用要求,具有很大的应用前景;接受一次检查病人所受辐射剂量要远远低于传统透视方式的100mR左右,一般在3—5mR,而且将来产品的价格与传统的电视透视系统相当.

3 数字式辐射扫描成像系统介绍

系统包括X射线管、电离室探测器阵列、机械扫描系统、信号放大和数据采集处理单元及计算机图像处理、存储及显示系统.射线穿过物体时被吸收,束流强度随穿透物体的质量厚度呈指数规律逐渐减弱,从而反映了物体内部的密度分布.如图1所示,X射线被准直成扇形射线束,穿过物体后,经后准直器射入与之相对应的一维阵列探测器.每个探测器输出的信号与其所在位置接受到的射线强度成正比.将各路信号采集、处理并按顺序排列显示出来,就能获得图像的一条扫描线.随着辐射源-探测器

和客体的相对运动,将客体辐射投影图像的各条扫描线顺序显示出来,就获得了反映客体内部分布状况的二维辐射投影图像.

在各类探测器中,气体电离室具有工艺结构简单、成本低廉、可靠性高、一致性好、使用寿命长等优点,但尺寸不易作小,一般大于1mm,适用于低分辨率场合.而我们专门设计的气体电离室阵列,空间分辨率达到0.15mm,探测效率达到80%(50keV)以上.探测器包括两个相距1cm的相互平行的平板,一个作为高压极,另一个是收集极,其间充以工作气体.收集级是由蚀刻在印刷电路板上的一组宽度为0.15mm的电极,与扇形X射线束对应排列,极间空隙0.11mm.这样,收集极与高压极之间形成一个个的小室,其间由电离辐射产生的电子离子对在极间电场的作用下,分别向两极“漂移”,同时在外回路中产生输出信号并被电极收集.

这种探测器最显著的结构特点是每个电离室之间没有有形的边界,而是完全连通的,这样的设计大大简化了加工工艺,而且对进一步减小探测器单元尺寸,提高空间分辨率十分有利.工作气体及气压要精心选择,应选用高原子序数且平均电离能尽量小的气体^[3].为减少相邻电离室单元之间的信号串扰现象,气体要有足够的压力,以减少离子对的“扩散”运动,但气压过高又会阻碍离子对的“漂移”,影响信号的收集,需综合考虑.其结构如图2所示.

图1 数字式辐射扫描成像装置示意图

图 2

(a) 电离室结构示意图; (b) 电离室中离子对的运动

4 数字图像处理

常用的数字图像处理方法有对比度增强、灰度级分布调整、数字滤波、图像锐化及伪彩色处理等。对比度增强可以增大图像的灰度级范围,提高图像对比度;数字滤波可以降低图像噪声,提高信噪比;图像锐化技术能突出图像的轮廓;伪彩色处理是把灰度级转化为与之对应的彩色输出,扩展眼睛的分辨能力,从而提高对图像的识别性。

由于各路探测器和放大器的响应略有不同,输出信号不可能完全一致,这种系统的误差靠硬件调节是很困难的,却可以非常简单地通过数字方法得以校正。

在整幅图像中设置窗口,可以对感兴趣的区域进行单独处理。不仅处理速度快,而且在小范围区域内运用某些图像处理手段往往能观察到更细微的信息。

5 实验结果

由于目前使用的探测器阵列只有 32 路,因而只对小件物体进行了扫描成像。对于更大的客体,只需要增加探测器阵列和信号放大采集模块的数目。下面是扫描得到的一些图像,运用上述的数字图像处理方法,都能获得很好的效

果。图 3 是一支钢笔,其内部结构很清楚,由于笔帽和笔杆及笔尖密度相差较大,而一般的显示输出设备无法反映出更多的灰度级,因此可以分别对各部分进行局部处理。图 4 为集成电路芯片,其中的硅片和直径仅为数十微米的引线清晰可见。图 5 是一组小零件,其中各个螺钉的螺纹等细微情况都可以看到。图 6 是试电笔,发光氖灯泡内的灯丝以及后面的弹簧都很明显。

图 3 钢笔图像

(上图为原始图像;下图为局部处理,分别突出笔帽、塑料笔杆和笔尖)

图 4 集成电路图像

(左图为原始图像;右图为增强对比度后的图像)

图 5 一组小零件图像

(上图为台灯开关和航空插头;下图为台灯开关和钮子开关)

术,它融合物理、电子学、机械及计算机的优势,为医学诊断和工业无损检测等领域提供了非常有效的手段.随着高新技术的发展,研制出更高空间分辨率、更高探测效率的探测器阵列将进一步推动数字式辐射成像技术的推广和提高.

图6 试电笔图像

(上图为原始图像;下图为增强后的图像)

6 结束语

数字式辐射成像是一种非常有用的高科技

参 考 文 献

- [1] Gupta N K, Krohn B R. *Materials Evaluation*, 1987, 45:1320—1325
- [2] Babichev E A, Baru S E *et al.* *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 1991, A310:449—454
- [3] 安继刚,卿上玉,郭海峰. 1 充气电离室. 北京:原子能出版社,1997. 64—66

1999 年第 5 期《物理》内容预告

研究快讯

黎夸克偶素强衰变中新的反常表现(顾以藩等).

知识和进展

高 T_c 超导探测器的进展与应用前景(刘心田);
表面熔化(王凤平等);
北京谱仪 D_s 物理研究新进展(顾建辉等);
同步辐射时间分辨荧光光谱技术(邓杰等);
多重分形谱及其在材料研究中的应用(王晓平等);
中微子的静止质量及其在物理学和宇宙学上的意义(周国荣).

物理学和经济建设

防伪技术的新突破——核径迹防伪技术(严玉顺);
集成电路铜连线技术(徐毓龙).

实验技术

探针法测量磁电阻效应(龚小燕等).

讲 座

磁电子学讲座第九讲 金属磁性多层膜的结构及其对巨磁电阻效应的影响(麦振洪等).

物理学史和物理学家

迈特纳和她对发现核裂变的贡献(戴宏毅).

书刊评介

《量子力学导论》读后(周孝谦).

前沿和动态

正离子尺寸离散度对掺杂 La_4CuO_4 超导电性的影响(戴闻);

用光泵 NMR 探测 GaAs 量子阱中的电子态(戴闻);
第十届全国波谱学学术会议简讯(孟庆安).