

工业 CT 研制进展

强玉俊 蒋大真 盛康龙
(中国科学院上海原子核研究所 上海 201800)

摘要 本文介绍中科院上海原子核所工业 CT(Industrial Computerized Tomography)的研究情况. 工业 CT 借助于现代辐射成像技术, 以建立高清晰度的物体断面图象. 它在工业设备或产品的无损检测和质量评价中得到日益广泛的应用, 显示出远胜于常规检测手段的优越特性, 并正在步入工业生产程控领域.

关键词 工业 CT, 高分辨率图像, 无损检测.

计算机断层扫描(CT)技术是核物理、核电子学、精密机械和计算机科学相结合的产物, 是近年来核科学技术应用研究领域发展很快的一个重要领域. 它诞生于 70 年代初, 随即使放射医学发生了革命性变化, 医用 CT 已是家喻户晓的诊断设备. 80 年代以来, 工业 CT 的发展和运用引人注目, 它不但成为工业设备或部件无损检测和质量评估的新军, 并以强劲之势, 步入工业生产过程的在线实时质量监控和工业设备在役安全检查等领域, 显示出用常规手段无法替代的优异功能.

CT 技术的物理原理基于射线(X 射线或 γ 射线)与物质的相互作用. 射线束穿越物体时, 由于光子与物质的相互作用, 相当部分的入射光子为物质散射, 从而入射方向上的射线强度将减弱. 一束初始强度为 I_0 的 X 射线穿越密度为 ρ 的均匀物质后, 其强度减弱为 $I = I_0 e^{-\mu_m \rho D}$, 其中 μ_m 为质量吸收系数, 与物质种类和射线能量有关; D 为射线在物质中的行程, 亦即被测部位的横向线段. 当射线穿越多种物质时, 则 $I = I_0 e^{-\sum \mu_m \rho_i D_i}$, 亦即射线强度衰减为不同物质吸收作用的指数和. 它是被测物剖面图像重建最主要的信息来源.

以图 1 所示装置为例简述工业 CT 的基本结构. 它主要由放射源、前后准直器、探测器组、样品台、电子学系统与接口、计算机及外围设备构成.

放射源采用寿命较长能量较高的 ^{60}Co 源. 放射源强度直接影响数据收集时间和测

量精度等, 国外商品机一般采用十至数十厘米的点源($\Phi 1 \times 5\text{mm}$). 为缩小体积和加强屏蔽效果, 采用贫化铀作容器.

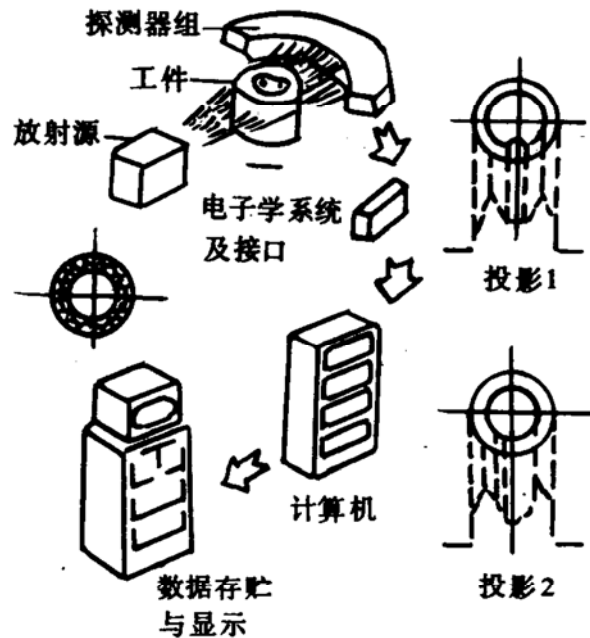


图 1 工业 CT 的结构与原理

经前准直器形成扇形射线束. 前准直器有固定式和可调式(调节扇形束厚度)两种, 以满足不同测量对象和精度. 后准直器为锥形孔, 其作用有二, 一为获得与探测器结构相配的束流形状; 二为屏蔽, 使相邻探测器间的干扰小于有用计数的 1%. 其结构也有固定式和可调式两种.

探测器组有多种结构, 如快速塑料闪烁体和光电倍增管, 或氟化钡-光电倍增管, 钨酸镭光电二极管等. 电子学系统包括高低电

源设备,样品台控制操作系统,信号放大成形和计数(分辨时间 30ns 左右),CAMAC 控制器及数据采集接口.采用计算机(如 VAX3300 或 PC)作数据采集、系统控制、图像重建和图像分析.

样品台放置待测样品,应 X、Y、Z 三维可调,以选择需要的测量部位.样品台在源—探测器组间的相对位置对图像分辨率有影响,应视测量需要而定.样品台还应有 360° 旋转的功能,并保持足够的水平度.一般而言,要获得 $<0.1\text{ mm}$ 的图像空间分辨率,平移调节精度应控制在几十微米以内,旋转角度的精度为 $0.005^\circ \sim 0.01^\circ$,探测器的间距也应控制在相应的精度范围之内.

由图 1 可知,从放射源出来的射线经前准直器后,成为有一定厚度、特定张角的扇形束,后准直器则切割出符合要求的扇形束,然后由探测器接收.探测器的脉冲计数率由源强和被射线切割的工件剖面的线度和物质种类决定.探测器组计数率分布直接反映了该剖面的“不透明度”信息.经计算机处理后,成为该剖面的投影,如图 1 中右侧所示(为简捷直观,已将扇形束转化为平行束,从而给出图中的投影).对同一剖面的不同角度进行测量,可获得大量投影数据,一般每隔 $1^\circ \sim 2^\circ$ (甚至更小)测一个投影.

通过计算机对每个投影数据进行处理,通过一定的“投影重建算法”建立被测截面图像.图像上每一点的“灰度”即表明该处的材料吸收系数,也即物质种类,并据此进行密度分布、尺寸、缺陷等的定量分析研究.一个清晰的 CT 图像需要几万乃至几十万计数数据和数以亿次计的计算量.

本所工业 CT 研究分三个阶段进行.第一阶段为单源单探头系统,以验证物理设计思想、研制电子学系统和机械台架、设计图像重建软件.用该装置对样品作了扫描,所获剖面图像令人满意.图 2 为该样品剖面图.其为自制特殊结构的待测物,由钢、铜、铝、油石、大理

石、铝型材、木材、有机玻璃、橡皮泥、胶木棒等不同密度的材料组成,以检测该系统对各种材料的密度及空间分辨率.所获数据可对图像重建软件的重建速度、成像优劣、滤波函数的选取、图像后处理软件的设计等提供依据.测试方法为平移加转动,平移步长 0.44 mm ,每转动 2° 获取一个投影数据,数据量 13500.经图像重建后,与原样品结构完全相符,样品中所有物品的边界均清晰可辨、灰度差别明显.经计算,其密度分辨率 $\approx 3\%$,空间分辨率 $\leq 0.5\text{ mm}$.

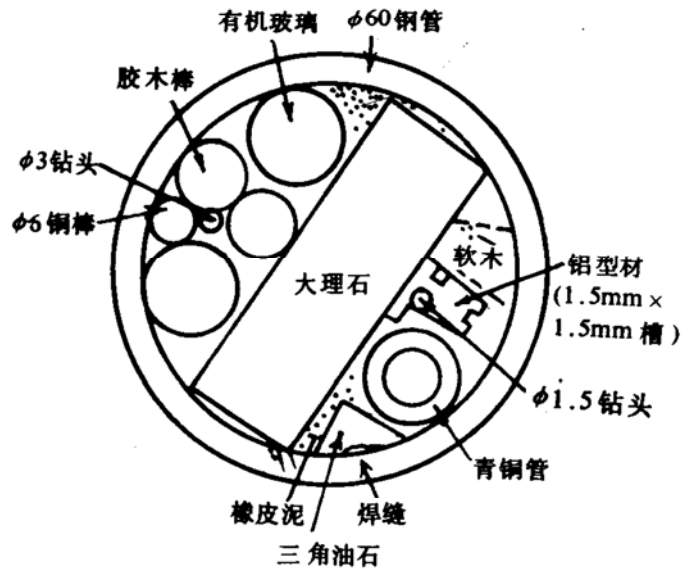


图 2 试样实物

第二阶段为单源多探头扇形束系统,即正在研制的 NICT-I 型工业 CT 样机.该机暂用 $100\text{ mCi}^{60}\text{Co}$ 源和铅容器作放射源,固定式扇形束准直器,张角 33° ,厚度 2 mm .探测器为塑料闪烁体与光电倍增管.限于国产元件的尺寸,该探测器组暂由 15 个探测器组成.源-探测器组可绕样品旋转.样品台可放置样品的最大直径(或横向线度)为 30 cm ,最大重量 30 kg .样品台平移和源-探测器组旋转由计算机自动控制.采用 386 微机作数据采集和系统控制,486 微机作图像重建和图像分析.目前,该机正在最终调试中.同时,已对扇形束图像重建算法进行了一系列研究,并重点解决多次散射对图像重建的影响.

在前二阶段取得实验数据和经验的基础

上,准备在第三阶段开发有实用意义的通用工业 CT 系统. 目前计划为 71 个探测器系统,最大可检测工件直径不大于 50cm,空间分辨率好于 $100\mu\text{m}$,密度分辨率 $<1\%$. 这一工程将由本所与有关单位合作,争取在 2~3 年内完成.

Progress of Developing Industrial Computerized Tomography

Qiang Yujun Jiang Dazheng Sheng Kanglong

(Shanghai Institute of Nuclear Research, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract The research activities of industrial computerized tomography (ICT) at SINR is described. Because of its superior qualities in spatial and density resolutions, ICT has been and will be widely used in non-destructive test, quality evaluation and process control.

Key Words industrial computerized tomography, high resolution imaging, non-destructive test.

(上接 28 页)

nanometer scale, including processes such as repair, replication and regulation. At the same time, nanobiology is also extended to the fields of cellur coherence, nanoscale characterization and biocomputing and other nanoscale devices. A group of scanning probes microscopy at Shanghai Institute of Nuclear Research has obtained many excellent results on nanobiology in recent years. This paper introduces the development of scanning probes microscopy and the ongoing research projects of the group.

Key Words nanobiology, scanning probe microscopy, biomolecular structure, molecular craft.