

33 文章编号: 1004-4140 (2009) 01-0099-012

# CT 技术的应用发展及前景

高丽娜, 陈文革

(西安理工大学 材料科学与工程学院, 西安 710048)

**摘要:** 本文介绍了 CT 机的基本工作原理, 并对其在医学、工业、工程、安全检查、农业等方面的应用进行了全面详细的阐述。同时指出 CT 在当前应用中存在的问题以及未来的发展方向。

**关键词:** CT 技术; 应用; 前景

**中图分类号:** TP 391.41; P 315; R 814      **文献标识码:** A

CT (Computerized Tomography) —— 计算机断层成像, 是一种在不破坏物体结构的前提下, 根据物体周边所获取的某种物理量 (如波速、X 线光强、电子束强等) 的投影数据, 运用一定的数学方法, 通过计算机处理, 重建物体特定层面上的二维图像以及依据一系列上述二维图像构成三维图像的技术<sup>[1]</sup>。Radon 变换是 CT 技术的主要理论基础, 1917 年, 数学家 Radon<sup>[2-3]</sup>证明, 已知所有入射角  $\theta$  的投影函数  $u(P, \theta)$  可以恢复唯一的图像函数  $f(x, y)$ 。以此为基础发展起来的断层成像技术最先在医学领域得到应用, 极大地推动了现代医学前进的步伐。随着 CT 技术和各专业学科的发展, CT 在物质探测方面所具有的巨大的优势使得 CT 技术非医学领域如工业、地球物理、工程、农业、安全检测等行业得到了广泛的应用。

## 1 技术简介

CT 设备主要由以下三部分组成: ①扫描部分, 由 X 射线源、探测器和扫描架组成; ②计算机系统, 将扫描收集到的信息数据进行贮存运算; ③图像显示和存储系统, 将经计算机处理、重建的图像显示在电视屏上或用多幅照相机或激光照相机将图像摄下。CT 工作原理流程如图 1 所示。

CT 是用 X 线束对被检测对象具体部位一定厚度的层面进行扫描, 由探测器接收透过该层面的 X 线, 转变为可见光后, 由光电转换器转变为电信号, 再经模拟/数字转换器转为数字, 输入计算机处理。图像形成的处理有如将选定层面分成若干个体积相同的长方体称之为体素。扫描所得信息经计算而获得每个体素的 X 线衰减系数或吸收系数, 再排列成矩阵, 即数字矩阵。数字矩阵可存储于磁盘或光盘中。经数字/模拟转换器把数字矩阵中的每个数位转为由黑到白不等灰度的小方块, 即像素, 并按矩阵排列, 即构成 CT 图像<sup>[4]</sup>。

## 2 CT 技术的应用及发展

CT 最引人注目的应用是在医学诊断领域, 其理论研究及设备制造技术在相当程度上与

医学科学有关。从 1971 年 Hounsfield 发明头颅 CT 到 20 世纪 80 年代, CT 技术的发展主要在于扫描部位的延伸, 即从单一的头颅检查拓展到体部检查; 从 80 年代到 90 年代, 主要是扫描速度的角逐, 突破了亚秒的扫描速度; 20 世纪 90 年代到 2000 年代, 螺旋 CT 技术使横断 CT 向可以连续扫描的螺旋 CT 过渡, 多层螺旋 CT 从 4/16/32/40 层到 64 层 CT 广泛的临床应用, 大大拓展了 CT 的临床价值。

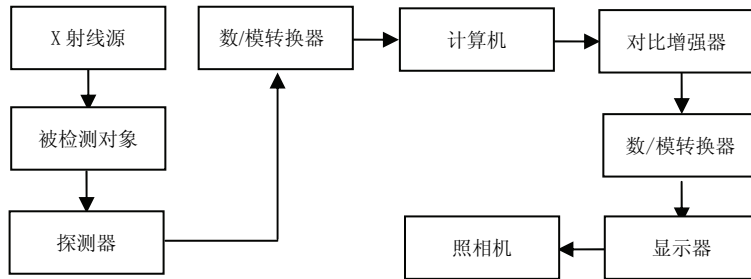


图 1 CT 工作原理流程图

Fig.1 The work principles flowchart of CT

## 2.1 多层螺旋 CT 技术在医学中的新应用

### 2.1.1 CT 灌注成像

CT 灌注成像 (CT perfusion imaging) 是新近开展的项目之一, 它不同于以往的 CT 形态学成像, 属于功能成像 (function imaging) 的范畴<sup>[5]</sup>。它充分利用了多层螺旋 CT 可以显示毛细血管染色情况这一功能, 通过在静脉中注射造影剂后, 对特定的组织或器官进行连续多层扫描, 以获得该组平面内的时间密度曲线 (TDC), 以使用不同的数学模型得出血流量 (BF)、血容量 (BV)、平均通过时间 (MTT)、峰值时间 (TTP) 等参数, 并用这些参数对该层面的组织或器官的功能进行评价。

在常规扫描和增强扫描上不易鉴别的肿瘤、感染、炎症、梗塞等, 其灌注参数均有所表现; 并可对痴呆、精神疾病、偏头痛等作出评价。有研究表明<sup>[6-7]</sup>CT 灌注成像灌注参数值的测定对于原发性肝癌、肝转移瘤和肝血管瘤的鉴别诊断以及对邻近的肝组织受累情况的评估具有重要的临床意义。

### 2.1.2 CT 心脏成像

运动器官一直是常规轴向扫描 CT 机临床应用的盲区, 多层螺旋 CT 的出现突破了这一盲区。最新的 64 层螺旋 CT 只用 5s 就可完成全心脏扫描, 可看清软、硬斑块及支架等。每幅图像的时间分辨率也已缩短至 0.4~0.25s。而且随着多层螺旋 CT 所谓扇形或斑状扫描, 可使一层面的数据重建由多列探测器分担采集, 时间分辨率已进一步缩短至百余毫秒甚至数十毫秒<sup>[8]</sup>。64 层螺旋 CT 做心脏冠状动脉成像成功率接近 100%<sup>[9]</sup>。

### 2.1.3 CT 血管成像

多层螺旋 CT 扫描覆盖范围宽, 能显示颅内到颈部、心脏主动脉弓到下肢大范围血管走行, 可了解有无血管畸形、狭窄、侧支循环等, 甚至可以判断肿瘤或炎变对血管的侵蚀、

推移等多种改变, 对手术与治疗帮助将不可估量。多层螺旋 CT 扫描速度快, 时间分辨率高, 血管成像操作简单、方便、安全、无创伤性, 可部分或基本取代传统的血管造影, 是目前无创伤性血管成像的又一主要手段。

血管造影智能跟踪技术, 能使注入血管中的造影剂在达到目的脏器(如脑、肾脏、肝脏)区域后与预先设定的阈值相等时启动扫描, 从而获得最佳动脉期、静脉期、与平衡期图像。能对动脉瘤、动静脉畸形、脑血管狭窄等多种脑血管患者进行多层螺旋 CT 血管造影检查, 并应用后处理工作站进行脑血管三维重建, 以立体图像显示出病变解剖关系, 获得准确清晰图像。CT 血管造影三维重建可全方位显示脑血管, 具有微创、安全、可靠、费用低廉等特点, 适合于手术计划制定、术前定位及随访, 对脑血管疾病手术有重要指导意义<sup>[9]</sup>。

#### 2.1.4 虚拟内窥镜

虚拟内窥镜包括虚拟血管镜、虚拟支气管镜、虚拟结肠镜、虚拟胃镜和虚拟胆管镜等。由于其无创、安全、无痛苦, 可以观察内窥镜无法达到的部位, 并且可以通过调节透明度和颜色, 同时观察腔内外情况, 使之没有真正的解剖边界, 更有利于观察病变周围结构和向外侵犯程度, 为手术和穿刺提供更准确、丰富的解剖信息。虚拟内镜是常规内镜的有力补充和潜在的替代方法。在极度狭窄的情况下, 虚拟内窥镜更具有优势<sup>[10-12]</sup>。(指光学纤维无法进入的脉管系统)

#### 2.1.5 外伤或急重症病人

外伤或急重症病人需要及时并且准确的诊断, 才能正确及时地抢救。最新 64 层螺旋 CT 全身高分辨率各向同性采集只要 10 s, 真正实现全身大范围的扫描, 可迅速查出内脏受损伤的情况, 以便及时进行抢救, 是外伤急诊 CT 临床应用的巨大突破<sup>[9, 13-14]</sup>。

#### 2.1.6 多层螺旋 CT 在尸检中的应用

随着科技高速发展, 影像诊断设备的功能和成像质量有很大提高。多层螺旋 CT 还应用于其他的领域。例如对于事故死亡的病人用多层螺旋 CT 扫描代替尸检, 具有简单、快速的优点<sup>[15]</sup>。在实际应用中受到法医的肯定, 避免了不必要的医疗纠纷和尸体解剖。

### 2.2 CT 技术在工业中的应用及发展

将 CT 技术应用于工业无损检测大致始于 20 世纪 70 年代中后期。最初的研究工作是用医用 CT 进行的, 检测的对象为石油岩芯、碳复合材料及轻合金结构等低密度工件。由于医用 CT 所用的射线源能量较低、穿透能力有限, 而机械扫描系统又是专门为人体设计, 因此, 在检测高密度及大体积物体方面存在着明显局限性。从 20 世纪 80 年代初期开始, 由美国军方首先提出若干专门的研究计划, 制造检测大型火箭发动机或小型精密铸件的 CT 设备。经过大约 20 年的发展, 工业 CT 研究已成为一个专门的分支, 并在以后的十多年内取得了飞速发展<sup>[16]</sup>。工业 CT 具有图像清晰直观、密度分辨率高、探测信号动态范围广、图像数字化等特点因此在无损检测中的应用中有着独特的优越性<sup>[17]</sup>。

#### 2.2.1 缺陷检测

工业 CT 图像与试件的材料、几何结构、组分及密度特性相对应, 多幅二维的 CT 图像组合实际再现了三维物体, 通过这些三维信息不仅能得到缺陷的位置、取向、形状及尺寸

大小等信息, 结合密度分析技术还可以确定缺陷的性质, 使长期以来困扰无损检测人员的缺陷空间定位、深度定量及综合定性问题有了更直接的解决途径。缺陷的正确评定与断裂力学理论、疲劳试验相结合, 可以制定出可靠的及经济的缺陷判废准则<sup>[18-19]</sup>。

缺陷检测方面最成功的应用例证是固体火箭发动机的检测<sup>[20]</sup>, 至 1985 年, 至少有 5 套 15 MeV 的加速器工业 CT 系统用于美国三叉戟潜艇导弹发动机成品的 100% 最终检测, 用工业 CT 可检测推进剂的孔隙、杂质、裂纹以及推进剂、绝缘体、衬套和壳体之间的结合情况, 每台发动机的具体检测时间为 10 h 或更长。

### 2.2.2 尺寸测量及装配结构分析

通过工业 CT 得到的三维空间信息同样可用于复杂结构件内部尺寸的测量及关键件装配结构的分析, 以验证产品尺寸或装配情况是否符合设计要求。

孙明太等人<sup>[21]</sup>利用工业 CT 对航空深弹进行结构分析, 精确测量其零部件位置及尺寸变化, 并据此绘制图纸、制定拆卸方案, 从而保证了深弹拆卸和研究的安全性和可靠性。工业 CT 的发展为我国引进的高尖端武器的研究以及延寿提供了充足的资料。

### 2.2.3 密度分布表征

工业 CT 图像提供的密度信息, 可直接用于均匀材料物理密度的测定, 以验证产品密度是否符合设计要求。当然, 将 CT 值和物理密度之间建立起对应关系需要特定的标定技术。

现代武器工业的发展对弹药装药质量提出了越来越高的要求, 各种大口径炮弹要求对各种装药缺陷(气泡、缩孔、裂纹、底隙等)进行严格的限制, 而这些缺陷通常又与炮弹的装药密度有着密切的关系。炮弹的装药密度不仅直接影响武器的杀伤能力, 而且炮弹装药密度的均匀性还对武器的发射安全性有着不同程度的影响<sup>[22]</sup>。实践证明, 高能工业 CT 技术在装药质量的检测中体现了其独特的优势<sup>[20]</sup>。

## 2.3 CT 技术在工程中的应用及发展

工程 CT 技术(即工程层析成像技术), 是将 CT 技术应用于工程所产生的。工程 CT 根据所采用的场源不同可分为弹性波 CT、电磁波 CT、电阻率 CT 三种。工程 CT 技术在国内的研究已经很深入, 然而国内的研究是从 20 世纪 80 年代后期才开始的。经过几十年的发展, 工程 CT 形成了三个重要的应用领域。

### 2.3.1 场地和线路勘察与评价

我国工程地质条件复杂, 特别是西部地区, 地质构造极其发育, 在那里的大型水利和火力电站、核电站等场地选择与勘察, 铁路、高速公路与输油气管线等选线勘察, 都需要工程地球物理勘察技术, 用于查清松散地层厚度, 风化岩层及基岩埋深以及基岩断裂等不利地质条件, 对场地和线路进行选择与评价<sup>[23-24]</sup>。

1998 年中国矿业大学利用瑞典 RAMAC 钻孔地质雷达对开滦矿务局范各庄煤矿露头区彭 2 孔和彭 6 孔奥陶系灰岩进行了跨孔雷达层析成像研究, 得到了地下深部的岩层特性<sup>[25]</sup>。我国水利水电工程大多分布在碳酸盐岩地区, 电磁波 CT 在对这些地区的岩溶探测方面具有良好的效果, 乌江构皮滩水电站左岸导流洞外侧 2 号公路隧道沿线底板的探测查明当地存在岩溶或溶蚀异常 5 处和岩石破碎异常 1 处<sup>[26]</sup>。山东省地震工程研究院将电阻率 CT 技术应用于活断层探测, 较为精确地确定了断裂活动的具体空间形态, 为城市规划和抗震设防提供了依据<sup>[27]</sup>。

### 2.3.2 工程地质灾害防治

国家建设中特别是西部地区,经常遇到滑坡、溶洞、地面下沉、水库坝基漏水等工程地质问题,查清引起这些灾害的工程地质条件,制定防治、整治措施,需要工程地球物理探测技术。

1998年,国内首次将电磁波 CT 技术应用于大坝隐患检测,在福建省莆田市东方红水库成功探测出大坝漏水的位置<sup>[28]</sup>,其后又在福建省漳平市大坂水库找到了大坝漏水的位置<sup>[29]</sup>。长委综合勘测局利用电磁波 CT 技术对黄壁庄水库的坝坝渗漏进行了勘察工作,其 CT 剖面图充分反映了坍塌范围,解释了漏浆原因,为整固处理提供了技术上的保障<sup>[30]</sup>。

### 2.3.3 工程质量检测

工程构筑物的质量检测、地下埋设物检测,是工程地球物理最具特色的研究领域,它发挥了工程地球物理技术高分辨能力的特长。近年来这方面的研究得到了飞速发展,检测领域不断拓宽,研究对象不断扩大。如桩基、台墩、混凝土衬砌、桥梁、锚杆、锚索、锚固桩、混凝土钢筋等质量问题,地下管线及腐蚀程度检测问题也与日俱增,检测精度不断提高。

1994年,冷元宝等<sup>[31]</sup>在我国首次用地震和声波 CT 技术对黄河小浪底主坝防渗墙混凝土施工质量进行了检测,查找出了不合格墙体,并经 10 个检查孔验证。近年来,混凝土声波检测也得到成功的应用,北京市政工程研究院、南京水利科学研究院分别在坝基检测、灌注桩声波检测中成功地进行了 CT 成像,获得了介质体直观的声波分布图<sup>[32]</sup>。

## 2.4 CT 技术在探测地球内部结构中的应用及发展

层析成像技术应用于地球物理领域产生了新的分支,即为地震层析成像技术,其原理类似于医学 CT,但地震层析成像比医学 CT 技术更为复杂。地震层析成像(Seismic Tomography)是通过对观测到的地震波各种震相的运动学(走时、射线路径)和动力学(波形、振幅、相位、频率)资料的分析,进而反演由大量射线覆盖的地下介质的结构、速度分布及其弹性参数等重要信息的一种地理物理方法。近年来,国际上利用地震层析成像技术在孕震机制、火山活动、板块动力学、地幔柱、洋中脊、地幔流等研究中,都取得了许多重要成果<sup>[33-37]</sup>。

随着我国地震观测台站的不断加密,高科技地震仪器的研制以及计算机技术的飞速发展,地震层析成像在方法上将不断改进,成像分辨率将不断提高,地震层析成像方法在我国未来的地震学、地球动力学、海洋科学等的研究中将发挥越来越大的作用。

## 2.5 CT 技术在安全检查中的应用及发展

从 20 世纪 70 年代初开始,对通过重要出入口(如机场、港口、车站、海关等)的人员所携带的行李物品实施安全检查已成为国际上广泛采用的安全措施。在各种检查手段中,低成本、低剂量、非接触式、可成像的 X 射线安全检查设备的应用最为普遍<sup>[38]</sup>。与传统的检查手段相比,CT 技术有如下的优点:①多视角能够分辨复杂背景中叠放的物体;②附加的双能量可以获得精确的原子序数;③极高的分辨率,能够将爆炸物和其他低原子数的类似物质区分开;④能够确定物质的厚度,提供三维密度信息等功能。

爆炸物是威胁公共安全的重要因素,随着世界范围内的各类恐怖袭击事件的不断发

生,爆炸物检测领域正在成为 CT 技术应用的一片新天地。采用 CT 技术的爆炸物检测装置具有很强的密度分辨能力和空间分辨能力,由于大部分的爆炸物的密度是确定的(在  $1.5 \text{ g/cm}^3 \sim 3.0 \text{ g/cm}^3$  范围内),结合其空间形状信息,CT 可以准确地发现并定位行李中隐藏的爆炸物<sup>[39]</sup>。

20 世纪 90 年代初,美国在医学 CT 扫描器的基础上开始研制爆炸物检查系统(Explosive Detection Systems, EDS),并于 1994 年推出第一台 CT 型 EDS 产品,该系统类似于医疗 CT,但所要面对的是千差万别的行李物品,因此在硬件组成上包括 X 光机、探测器、电子学系统等都有着其自身的特点。此外,对物体检查的高通过率是 CT 能应用于安全检查的最基本使用要求,这促使安检 CT 采用最先进的 CT 技术(例如螺旋锥束扫描);由于安检物品断面尺寸大于人体,且处于连续检查的工作环境,使得安检 CT 的硬件技术在许多环节超过了对医学 CT 的要求,如桶架系统(gantry)射线源(能量和流强的提高、X 光机球管冷却、X 射线束流稳定性等)、滑环系统、数据采集及传输系统等;安检 CT 有密度分辨、自动检查分析、智能识别及示警的特殊要求,检查对象又具有复杂性和多样性,这对算法及软件提出了更高的要求。

## 2.6 CT 技术在农业中的新应用

### 2.6.1 CT 技术在农畜产品内部品质无损检测中的应用

在农业生产中,农畜产品品质与品质评估是非常重要的。目前对农畜产品外部品质的检测已经有多种较成熟的技术,如可见光图像检测、红外图像检测等。但是,农畜产品内部品质(如果蔬的水分、糖酸度、机械损伤、碰伤、内部腐败、变质、虫害以及肉类等畜产品的外物污染、残留骨头等)的检测仍然是很困难的。由于 X 射线具有很强的穿透能力,CT 技术在农畜产品内部品质无损检测中的研究得到越来越多的重视。CT 技术可以通过三维重建获得农畜产品内部缺陷和损伤三维立体形状,能够更直接地反映农畜产品结构缺陷、结构变化方面的内部品质,而且 X 射线有很强的穿透能力,因此在水果的内部空洞(缝隙)、虫害、苹果水芯、内部水分、畜产品骨头残留等方面的检测中得到应用。

张京平等<sup>[40-41]</sup>利用 CT 图像上各点的 CT 值来检测苹果中的对应各点的含水率和富士苹果糖分的分布,取得了较好的效果。Girvin 等<sup>[42]</sup>使用 CT 技术对桃核、李核和骨头组织进行了分辨,结果发现该方法可以较好的分辨出不同组织。Jastrzebska 等<sup>[43]</sup>通过 X 射线 CT 技术检测食物中磷的含量,通过研究发现,该方法检测结果和常规方法检测结果的确定系数为 0.9285。Linden 等<sup>[44]</sup>建立了储藏过程中西红柿的储藏条件和储藏致损之间的回归关系。

### 2.6.2 CT 技术在农业无损检测中的应用

CT 技术除了在水产品无损检测中得到应用,在农业无损检测中的其他方面,例如畜牧业、林业等方面也具有广阔的应用前景<sup>[45-46]</sup>。CT 技术是一种以有效的检测作物削切或果实采摘后的断枝的木精素的分布的技术,Hirano 等<sup>[47]</sup>使用 CT 技术结合剂量调节装置,很好地检测了断枝的木精素的分布。

## 3 CT 成像技术的新发展

### 3.1 双源 CT 技术

双源 CT 技术在 2005 年北美放射学会(RSNA)年会上推出,展示了 CT 在技术与临床应

用领域的革命性创新,重新定义和诠释了 CT 的概念,全面拓展了 CT 的临床应用,将影像诊断领域推向了一个令人惊喜的高度。西门子 SOMATOM Definition 系统是全球首台双源计算机断层成像系统(Dual Source Computed Tomography, DSCT),它通过两个 X 射线源和两套探测器来采集数据。另外,通过双源在不同能量下的数据采集,即两个 X 射线源以不同的能量设置来工作。DSCT 拓展了新型临床应用的范围。该技术可应用于大量的临床实践,如肿瘤、神经系统疾病、心血管疾病和各类急症的诊疗等。

### 3.2 大孔径 CT 技术

东芝公司展示的 Aquilion LB 16 层 CT,其成像采集视野 FOV 达到 70 cm,仍能保持优异的图像质量,目前正在研究将 FOV 提高到 85 cm,并已在美国 Beth Israel 医院装机使用。该公司采用 256 排探测器采集的心脏图像已进入临床应用阶段。GE 公司 16 层大孔径 CT Light Speed Xtra,孔径 80 cm,承重 295 kg,100 kW 发生器,最大输出管电流 800 mA,扫描速度 0.5 秒/圈。不但可用于放射治疗计划,还可用于肥胖患者及介入检查。

### 3.3 纳米板技术和双能量探头技术

作为未来 CT 新技术的发展,飞利浦公司推出了两项创新的 CT 技术。即基于纳米板(Nano-Panel)技术的用于容积扫描新型探头平台,其最大覆盖范围达 16 cm,具有 256 列探测单元,只需一次旋转即可获得整个器官的图像,如心脏和头部等。双能量探头技术是可以同时采集高能和低能数据的双能量探头。该新型探头由多层探测器和滤线层组成,能够同时探测低能(软射线)和高能(硬射线)X 射线。两种射线同时成像可大大改进组织特征区分,可用于软组织的判别和诊断,并可简化 CT 血管造影的骨质和钙斑消除流程,此技术已应用于临床实验中。

### 3.4 移动 CT

NeuroLogica 公司推出的可移动的无线传输图像的头部专用 8 层 CT 机,该机安装在 4 个轮子上,可推到抢救患者床边进行头部 CT 检查,可用于急诊室/ICU/导管室/手术室等场所。该机没有检查床,由电池驱动,通过其设计的专利蜈蚣脚系统移动主机来扫描,扫描图像可通过网络传输到工作站。

## 4 前景及展望

CT 作为一种计算机层析成像技术,在医学、工业、地球物理、农业、工程检测和探测等多方面发挥着越来越重要的作用,随着科学技术的进一步发展,CT 技术将向着多源、多排、多层方向发展,以求得扫描速度、覆盖范围、图像质量的同时改善。同时便携化的 CT 技术也将成为今后 CT 发展的方向。

同时,近年来出现了分子成像<sup>[48-49]</sup>、 $\mu$ 子成像<sup>[50-51]</sup>等先进的成像技术。分子成像技术可以对疾病进行早期探测和跟踪,在致病因素尚未在患者体内成为疾病时或在患者尚未出现临床症状之前即作出明确的诊断。 $\mu$ 子成像检测技术具有穿透力强、对高原子序数材料敏感、消耗能源少等特点,特别适合检测特殊核材料,是监控核材料走私的有效方式之一。当今世界正处于一个日新月异的时代,相信在将来 CT 技术将会发挥越来越重要的作用。

## 参考文献

- [1] 李珍照. 国外大坝监测几项新技术[J]. 大坝观测与土工测试, 1997, 21(1): 16-18.  
Li Z Z. Several new technique of dam safety monitoring abroad[J]. Hydropower Automation and Dam Monitoring, 1997, 21(1): 16-18.
- [2] 马在田, 曹景忠, 王家林, 等. 计算地球物理学概论[M]. 上海: 同济大学出版社, 1997: 1-10, 254-284, 294-308.
- [3] 杨文采, 李幼铭. 应用地震层析成像[M]. 北京: 地质出版社, 1993: 142-160.
- [4] Kalender W A. 计算机体层成像[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2003.
- [5] 牟文斌, 张伟宏. 医用 CT 新进展[J]. 现代仪器, 2002, (5): 1-3.  
Mou W B, Zhang W H. Progress in computed tomography[J]. Modern Instruments, 2002, (5): 1-3.
- [6] 杨林. CT 灌注成像的原理及其在原发性肝癌的应用[J]. 川北医学院学报, 2008, 23(3): 215-218.
- [7] 薛敏娜, 白人驹, 李丰坦, 等. CT 灌注成像对原发性肝癌、肝转移瘤和肝血管瘤的鉴别诊断价值[J]. 国际医学放射杂志, 2008, 31(3): 152-155.  
Xue M N, Bai R J, Li F T, et al. Differential value of CT perfusion imaging in hepatocellular carcinomas, hepatic metastases and hemoangiomas[J]. International Journal of Medical Radiology, 2008, 31(3): 152-155.
- [8] 李世国. 螺旋 CT 心脏成像[J]. 中国医学影像技术, 2001, 17(12): 1228-1229.
- [9] 童双立. 多层螺旋 CT 的新进展[J]. CT 理论与应用研究, 2005, 14(4): 50-53.  
Tong S L. New advances of multislice spiral computed tomography[J]. CT Theory and Applications, 2005, 14(4): 50-53.
- [10] 谭理连, 李扬彬, 李树欣, 等. 螺旋 CT 血管造影及 CT 仿真内窥镜技术对主动脉夹层的诊断与评价[J]. 中国临床医学影像杂志, 2002, 13(3): 190-192.  
Tan L L, Li Y B, Li S X, et al. Application of SCTA and CTVE in diagnosing aortic dissection[J]. Journal of China Medical Imaging, 2002, 13(3): 190-192.
- [11] 向子云, 朱平先. 多层螺旋 CT 仿真血管镜在动脉硬化症诊断应用[J]. CT 理论与应用研究, 2004, 13(2): 37-42.  
Xiang Z Y, Zhu P X. Clinical application of multi-slice CT virtual intravascular endoscopy in diagnosis of arteriosclerosis[J]. CT Theory and Applications, 2004, 13(2): 37-42.
- [12] 詹松华, 毛新清, 杨振燕, 等. 主动脉粥样硬化斑块的 CT 仿真显示研究[J]. 中国医学影像技术, 2002, 18(11): 1095-1097.  
Zhan S H, Mao X Q, Yang Z Y, et al. Study of helical CT virtual endoscopy in diagnosis of atherosclerosis[J]. Chinese Journal of Medical Imaging Technology, 2002, 18(11): 1095-1097.
- [13] 李晓光. 多层螺旋 CT 的原理及临床应用[J]. 当代医学, 2001, 7(2): 61-63.  
Li X G. Principle and clinical applications of multi-slice CT[J]. China Contemporary Medical, 2001, 7(2): 61-63.
- [14] 蒲智, 阿旺益西. 高原地区脑肿瘤急性脑疝 11 例分析[J]. 中国神经肿瘤杂志, 2006, 4(3): 219-221.  
Pu Z, A-Wang Y X. Acute cerebral herniation in plateau area due to intracranial tumors: analysis of 11 cases[J]. Chinese Journal of NeuroOncology, 2006, 4(3): 219-221.
- [15] 蔡磊, 王洪生, 杨少平, 等. 多层螺旋 CT 在尸检中的应用[J]. 实用中西医结合临床, 2005, 5(1): 61.
- [16] 倪培君, 李旭东, 彭建中. 工业 CT 技术[J]. 无损检测, 1996, 18(6): 173-176.  
Ni P J, Li X D, Peng J Z. Industrial CT Technique (VI)[J]. Nondestructive Testing, 1996, 18(6): 173-176.
- [17] 王爱华, 李华. CT 技术在航天产品检测中的应用[J]. 航天控制, 2001, (2): 11-13.  
Wang A H, Li H. Application of the CT technique in detection of space product[J]. Aerospace Control, 2001, (2): 11-13.



- [18] 孙灵霞, 叶云长. 工业 CT 技术特点及应用实例[J]. 核电子学与探测技术, 2006, 26(4): 486-488.  
Sun L X, Ye Y C. Technical property and application of industrial computed tomography[J]. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2006, 26(4): 486-488.
- [19] 曹玉玲, 程耀勇. 焊接产品工业 CT 检测方法研究[J]. CT 理论与应用研究, 2002, 11(4): 9-12.  
Cao Y L, Cheng Y Y. The testing method research of industry computed tomography for welding products[J]. CT Theory and Applications, 2002, 11(4): 9-12.
- [20] 丁国富. 大型高能工业 CT 在固体火箭发动机检测方面的应用[J]. CT 理论与应用研究, 2005, 14(3): 35-39.  
Ding G F. Application of high energy industrial computed tomography in testing solid rocket engine[J]. CT Theory and Applications, 2005, 14(3): 35-39.
- [21] 孙明太, 梁跃旋, 胡柱喜, 等. CT 在航空深弹结构分析和拆卸中的应用研究[J]. CT 理论与应用研究, 2008, 17(1): 50-55.  
Sun M T, Liang Y X, Hu Z X, et al. Study on the Application of ICT to Structure Analysis and Dismantle in the Aerial Depth Bomb[J]. CT Theory and Applications, 2008, 17(1): 50-55.
- [22] 邵思杰, 曹勇, 王磊. 无损检测技术在弹药质量检测中的应用[J]. 火力与指挥控制, 2006, 31(S1): 39-41.
- [23] Zhao Y G, Jin H X, Wang C F, et al. Modern seismic methods in engineering investigation at a nuclear power plant site[J]. Scientia Geologica Sinica, 1996, 5(4): 409-417.
- [24] 赵永贵, 王超凡, 陈燕民, 等. 地震 CT 在寻找隐伏铜镍矿中的应用[J]. 地球物理学报, 1996, 39(2): 272-278.  
Zhao Y G, Wang C F, Chen Y M, et al. Seismic tomography and its application to prospecting of concealed nickel-copper ore[J]. Acta Geophysica Sinica, 1996, 39(2): 272-278.
- [25] 黄家会, 宋雷, 崔广心. 应用跨孔雷达层析成像技术研究深部岩层特性[J]. 中国矿业大学学报, 1999, 28(6): 578-581.  
Huang J H, Song L, Cui G X. Application of crosshole radar tomography in studying characteristics of strata in depth[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 1999, 28(6): 578-581.
- [26] 付晖. 电磁波 CT 在水利水电工程岩溶探测中的应用[J]. 人民长江, 2003, 34(11): 26-27.
- [27] 姜早峰. 高密度电法 CT 成像技术在活断层探测中的应用[J]. 东北地震研究, 2004, 20(2): 40-43.  
Jiang Z F. Application of complex resistivity CT tomography technology in active fault survey[J]. Seismological Research of Northeast China, 2004, 20(2): 40-43.
- [28] 刘立振, 何建文, 张海云. 电磁波层析成像 100 例的统计分析[J]. CT 理论与应用研究, 1995, 4(1): 15-19.  
Liu L Z, He J W, Zhang H Y. Statistics and analyses for 100 examples in EM tomography[J]. CT Theory and Applications, 1995, 4(1): 15-19.
- [29] 陈家璋, 陈维惠, 周厚昌. 地质层析成像(CT)新技术在水利水电工程中的应用[J]. 水利水电技术, 1999, 30(9): 52-54.  
Chen J Z, Chen W H, Zhou H C. Application of geologic stratified photography technology in water projects[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 1999, 30(9): 52-54.
- [30] 蔡加兴. 电磁波 CT 技术在水库堤坝隐患探测中的应用[J]. 人民长江, 2002, 33(1): 21-22.  
Cai J X. Application of electromagnetic wave CT technology in detecting hidden defects of dams and dyke[J]. Yangtze River, 2002, 33(1): 21-22.
- [31] 冷元宝. 工程 CT 技术在小浪底工程中的应用[J]. 工程勘察, 1996, (5): 67-70.  
Leng Y B. Application of engineering CT technology in XiaoLangdi project[J]. Geotechnical Investigation and Surveying, 1996, (5): 67-70.
- [32] 董里文. 超声法桩基完整性检测技术应用分析[J]. 甘肃科学学报, 2003, 15(8): 192-194.  
Dong L W. Application analysis of ultrasonic inspecting technique for the integrnty of piling

- foundation[J]. Journal of Gansu Sciences, 2003, 15(8): 192-194.
- [33] 丁志峰. 近展层析成像的理论及应用[J]. 国际地震动态, 2000, (10): 37-38.
- [34] 刘福田. 三维速度结构的研究现状和展望[J]. 地球物理学报, 1991, 34(6): 788-796.  
Liu F T. The research situation and a prospect on the three dimensional velocity structure[J]. Chinese Journal of Geophysics, 1991, 34(6): 788-796.
- [35] 熊熊, 滕吉文, 许厚泽. 地幔热柱动力学研究的新进展[J]. 地球物理学进展, 2001, 16(1): 62-69.  
Xiong X, Teng J W, Xu H Z. Progress of study on mantle plume dynamics[J] Progress in Geophysics, 2001, 16(1): 62-69.
- [36] 赵大鹏. 地震层析成像及其在消减带和地震断层带成像中的应用[J]. 世界地震译丛, 2001(2): 1-8.  
Zhao D P. Seismic tomography and its applications to the imaging of subduction zones and earthquake fault zones[J]. Translated World Seismology, 2001(2): 1-8.
- [37] 傅容珊, 郑勇, 常筱华, 等. 地震层析成像板块构造及地幔演化动力学[J]. 地球物理学进展, 2001, 16(4): 85-95.  
Fu R S, Zheng Y, Chang X H, et al. Seismic tomography and the evolution of the earth's mantle[J]. Progress in Geophysics, 2001, 16(4): 85-95.
- [38] 王琪, 陈志强, 邬小平, 等. X射线安全检查技术综述[J]. CT理论与应用研究, 2004, 13(1): 32-37.  
Wang Q, Chen Z Q, Wu X P, et al. Review of X-ray security inspection technology[J]. CT Theory and Applications, 2004, 13(1): 32-37.
- [39] 吴万龙, 李元景, 桑斌, 等. CT技术在安检领域的应用[J]. CT理论与应用研究, 2005, 14(2): 24-32.  
Wu W L, Li Y J, Sang B, et al. Application of computed tomography in explosives detection[J]. CT Theory and Applications, 2005, 14(2): 24-32.
- [40] 张京平, 王会, 彭争. 苹果剖面CT值与其糖含量分布的关系分析[J]. 农业机械学报, 2007, 28(3): 197-199.
- [41] 张京平, 彭争, 汪剑. 苹果水分与CT值相关性的研究[J]. 农业工程学报, 2003(2): 180-182.  
Zhang J P, Peng Z, Wang J. Correlation between moisture of apples and values of CT[J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(2): 180-182.
- [42] Girvin F G, Gupta D. Peach stone ileus: CT appearances of impacted fruit stones[J]. European Journal of Radiology Extra, 2006, (57): 75-77.
- [43] Jastrzebska A, Brudka B, Szymanski T, et al. Nutritional and Clinical Methods Determination of phosphorus in food samples by X-ray fluorescence spectrometry and standard spectrophotometric method[J]. Food Chemistry, 2003, (83): 463-467.
- [44] Linden V V, Scheerlinck N, Desmet M, et al. Factors that affect tomato bruise development as a result of mechanical impact[J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, (42): 260-270.
- [45] Otsuki B, Takemoto M, Fujibayashi S, et al. Pore throat size and connectivity determine bone and tissue ingrowth into porous implants: Three-dimensional micro-CT based structural analyses of porous bioactive titanium implants[J]. Biomaterials, 2006, 27: 5892-5900.
- [46] 陈雷, 戚大伟, 杨丽娟. 原木CT图像边缘检测的几种算法[J]. 林业机械与木工装备, 2005, 33(8): 23-25.  
Chen L, Qi D W, Yang L J. Different operators of the edge detection for the CT image of the log[J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2005, 33(8): 23-25.
- [47] Hirano T, Kimura M, Ito H, et al. Possible application of EB machines for plant quarantine treatment[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2000, (57): 721-723.
- [48] 蒋星军, 任彩萍. 分子成像及其应用[J]. 生命科学, 2005, 17(5): 456-460.  
Jiang X J, Ren C P. Molecular imaging and its applications[J]. Chinese Bulletin of Life Sciences, 2005, 17(5): 456-460.
- [49] 庄天戈. 走近分子成像[J]. 中国医疗器械杂志, 2007, 31(2): 79-85.  
Zhuang T G. Approaching Molecular Imaging[J]. Chinese Journal of Medical Instrumentation,

2007, 31(2): 79-85.

- [50] 涂超, 赵自然, 张丽. 天然宇宙射线 $\mu$ 子成像检测技术研究进展[J]. 中国体视学与图像分析, 2006, 11(4): 284-287.

Tu C, Zhao Z R, Zhang L. Cosmic-ray Muon Imaging for nuclear materials detection[J]. Chinese Journal of Stereology and Image Analysis, 2006, 11(4): 284-287.

- [51] 刘圆圆, 赵自然, 陈志强, 等. 用于宇宙射线 $\mu$ 子成像的MLS-EM重建算法加速研究[J]. CT理论与应用研究, 2007, 16(3): 1-5.

Liu Y Y, Zhao Z R, Chen Z Q, et al. Research on accelerating MLS-EM reconstruction algorithm for cosmic Ray Muon radiography[J]. CT Theory and Applications, 2007, 16(3): 1-5.

## The Application and Prospect of CT

GAO Li-na, CHEN Wen-ge

School of Materials Science and Engineering,  
Xi'an University of Technology, Xi'an, 710048, China

**Abstract:** This article reviewed the basic principles and the applications in medical science, industry, engineering, safety inspection, agriculture etc. of the Computerized Tomography, meanwhile, it pointed out the problems in application and the development direction in the future of CT.

**Key words:** computerized tomography; application; prospect

**作者简介:** 高丽娜(1983—), 女, 西安理工大学材料科学与工程专业硕士研究生, 主要从事纳米器件功能材料及粉末冶金的研究, Tel: 029-82312383, E-mail: gaolina\_1@163.com。