



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 29034—2012

---

## 无损检测 工业计算机层析成像(CT)指南

Non-destructive testing—Guide for industrial computed tomography(CT) imaging

2012-12-31 发布

2013-10-01 实施

---

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局  
中国国家标准化管理委员会 发布

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
无损检测 工业计算机层析成像(CT)指南  
GB/T 29034—2012

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100013)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: [www.gb168.cn](http://www.gb168.cn)

服务热线: 010-51780168

010-68522006

2013年6月第一版

\*

书号: 155066·1-46470

版权专有 侵权必究

## 目 次

前言 .....	V
引言 .....	VI
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 概述 .....	1
4.1 目的 .....	1
4.2 CT 原理 .....	1
4.3 CT 的优势 .....	2
4.4 CT 的局限性 .....	3
4.5 系统性能 .....	3
4.5.1 概述 .....	3
4.5.2 空间分辨率 .....	4
4.5.3 密度分辨率 .....	4
4.5.4 统计噪声 .....	4
4.5.5 伪影 .....	4
5 CT 技术基础 .....	4
5.1 概述 .....	4
5.2 物理基础 .....	5
5.3 数学基础 .....	7
5.3.1 CT 图像 .....	7
5.3.2 雷当变换 .....	7
5.3.3 求解方程组重建图像 .....	7
5.3.4 迭代重建算法 .....	8
5.3.5 解析重建算法 .....	9
5.4 扫描方式 .....	9
5.4.1 概述 .....	9
5.4.2 一代扫描 .....	9
5.4.3 二代扫描 .....	9
5.4.4 三代扫描 .....	9
5.4.5 四代扫描 .....	11
5.4.6 锥束扫描 .....	11
5.4.7 螺旋扫描 .....	12
6 系统基本组成 .....	12
6.1 概述 .....	12
6.2 射线源系统 .....	13

6.3 探测系统..... 13

6.4 机械扫描系统..... 13

6.5 数据采集传输系统..... 13

6.6 控制系统..... 14

6.7 图像处理系统..... 14

6.8 辐射安全防护系统..... 14

7 性能指标..... 14

7.1 概述..... 14

7.2 对比度..... 14

7.2.1 对比度的定义..... 14

7.2.2 对比度差..... 14

7.3 分辨力..... 15

7.3.1 概述..... 15

7.3.2 PSF 的简单近似 ..... 15

7.3.3 采样对 PSF 的影响 ..... 16

7.3.4 MTF 曲线 ..... 17

7.3.5 CT 系统 MTF 的理论描述 ..... 18

7.3.6 MTF 曲线绘制 ..... 18

7.4 噪声..... 19

7.4.1 概述..... 19

7.4.2 噪声对重建的影响..... 19

7.4.3 噪声的估计..... 19

7.4.4 噪声对对比度的影响..... 20

7.5 CDD 曲线 ..... 21

7.6 性能预测与检验..... 22

7.6.1 系统探测能力..... 22

7.6.2 性能预测..... 22

7.6.3 性能检验..... 23

8 精度和偏差..... 24

图 1 CT 图像与传统射线照相的比较 ..... 2

图 2 CT 的工作原理图 ..... 3

图 3 射线与物质的相互作用 ..... 5

图 4 射线与物质的三种相互作用的比较 ..... 5

图 5 射线与物质的三种相互作用的示意图 ..... 6

图 6 Lambert 定律示意图 ..... 6

图 7 射线扫描示意图 ..... 8

图 8 一代扫描 ..... 10

图 9 二代扫描 ..... 10

图 10 三代扫描 ..... 10

图 11 四代扫描 ..... 11

图 12 锥束扫描 ..... 11

图 13	螺旋扫描 .....	12
图 14	工业 CT 系统组成示意图 .....	13
图 15	细节在背景材料上的理想 CT 扫描结果 .....	15
图 16	CT 系统射线束几何描述 .....	15
图 17	定性表示对比度差为 $\Delta\mu$ 的细节通过 CT 检测后的图像 .....	16
图 18	细节在背景材料上的实际 CT 扫描结果 .....	17
图 19	宽度为 $BW$ 的 PSF 与宽度为 $D$ 、间距为 $2D$ 的周期性细节的卷积结果 .....	17
图 20	由圆柱体 CT 图像获得 MTF 的过程 .....	19
图 21	含噪声情况下细节在背景材料上的实际 CT 扫描结果 .....	20
图 22	探测能力和 CDD 曲线的实例 .....	23
图 23	实际 CT 系统的理论和实验 CDD 曲线(常数 $c$ 为 8.5) .....	24

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国无损检测标准化技术委员会(SAC/TC 56)提出并归口。

本标准起草单位:重庆大学 ICT 研究中心、中国兵器科学研究院宁波分院、上海泰司检测科技有限公司、重庆真测科技股份有限公司、南昌航空大学、中国人民解放军重庆通信学院、北京航空综合技术研究所。

本标准主要起草人:程森林、王珏、倪培君、邬冠华、曾理、刘荣、张祥春、段晓礁、沈宽、安康。

## 引 言

工业计算机层析成像(CT)作为一种先进的无损检测技术,已广泛地应用于航天、航空、军工、铁路、铸造、机械、船舶、石油、化工、核工业等领域。本标准对工业 CT 系统的基本组成和性能参数评价方法的建立,具有指导意义。

# 无损检测 工业计算机层析成像(CT)指南

## 1 范围

本标准给出了与工业计算机层析成像(CT)检测相关的物理基础、数学基础和扫描方式,讨论了工业 CT 系统的基本组成部分,规定了 CT 的基本性能参数,阐述了表述和预测系统性能的方法。

本标准是关于工业 CT 成像理论和应用的入门指南。

本标准适用于工业 CT 技术与系统的研究、开发、设计、生产和使用。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 12604.11 无损检测 术语 工业计算机层析成像(CT)检测

## 3 术语和定义

GB/T 12604.11 界定的术语和定义适用于本文件。

## 4 概述

### 4.1 目的

本标准介绍了工业 CT 成像的基本原理和 CT 系统性能参数的定义以及系统性能参数与系统性能指标之间的关系。用户在判断 CT 系统的适用性、预测系统性能或开发新的扫描方法时可以参考本标准。

由于 CT 技术在不断发展,应用范围在不断扩大,应用情况十分复杂,因此,本标准不讨论具体的检测技术,如扫描参数的选择,扫描过程的实现和数据分析方法等。

### 4.2 CT 原理

CT 是一种射线检测方法,所得到的图像是物体的线性衰减系数的分布图。线性衰减系数描述了射线衰减的瞬时变化率。射线衰减是由于射线与被测物体的相互作用造成的。射线峰值能量低于 1.02 MeV 的 CT 系统中,主要的相互作用是光电效应和康普顿散射。光电效应主要依赖于吸收介质的原子序数和密度,在低能时起主要作用,康普顿散射主要依赖于材料的电子密度,在高能时起主要作用。

线性衰减系数与材料密度的比例关系是 CT 图像能反映物体密度分布的物理基础。但是线性衰减系数还与射线能量有关,这种特性有时会掩盖 CT 图像中的密度差异,但有时也会增强具有相似密度的不同材料的对比度。

图 1 显示了 CT 图像与传统的射线照相的区别。从图 1 可以看出,传统的射线照相检测对象特性时存在影像叠加,无法确定被测物体的空间位置。CT 图像从不同的角度对物体进行检测,可以得到更精确的位置信息。传统的射线照相中,切片平面“P”上的信息投影成一条直线“A-A'”,而 CT 图像可