



中华人民共和国国家标准

GB/T 34874.6—2020

产品几何技术规范(GPS) X 射线三维尺寸测量机 第 6 部分:工件的检测方法

Geometrical product specifications (GPS)—X-ray three dimensional
size measuring machines—Part 6: Testing method of workpieces

2020-04-28 发布

2020-08-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 检测任务分类	1
5 测量程序	2
5.1 断层扫描成像	2
5.2 三维图像重建	2
5.3 轮廓提取和表面重建	2
5.4 几何尺寸检测	2
5.5 公称值/实际值比较	3
5.6 壁厚分析	3
6 工件尺寸的检测方法	3
6.1 概述	3
6.2 设备选择	3
6.3 测量准备工作	3
6.4 测量和分析	4
6.5 测量报告	4
6.6 设备核查	4
附录 A (资料性附录) 检测过程的影响因素	5
附录 B (资料性附录) 被测工件材料对 X 射线三维尺寸测量机检测结果的影响	9
附录 C (资料性附录) 与 GPS 矩阵模型的关系	11
参考文献	12

前 言

GB/T 34874《产品几何技术规范(GPS) X射线三维尺寸测量机》分为6个部分：

- 第1部分：词汇；
- 第2部分：通用技术要求及应用；
- 第3部分：验收检测和复检检测；
- 第4部分：测量不确定度评定；
- 第5部分：特征元素的提取和拟合；
- 第6部分：工件的检测方法。

本部分为GB/T 34874的第6部分。

本部分按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本部分由全国产品几何技术规范标准化技术委员会(SAC/TC 240)提出并归口。

本部分起草单位：广东省计量科学研究院、中机生产力促进中心、中国计量科学研究院、山东省计量科学研究院、天津大学、中国计量大学、卡尔蔡司(上海)管理有限公司。

本部分主要起草人：施玉书、明翠新、张欣宇、曹丛、张勇、皮磊、张树、胡晓东、赵军、胡佳成、韩定中、朱悦。

产品几何技术规范(GPS) X 射线三维尺寸测量机 第 6 部分:工件的检测方法

1 范围

GB/T 34874 的本部分规定了基于计算机断层成像(CT)原理的 X 射线三维尺寸测量机进行工件检测的方法。

本部分适用于具备三维几何尺寸测量功能的工业 CT 测量机。

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 16857.1 产品几何量技术规范(GPS) 坐标测量机的验收检测和复检检测 第 1 部分:词汇

GB/T 18779.1 产品几何量技术规范(GPS) 工件与测量设备的测量检验 第 1 部分:按规范检验合格或不合格的判定规则

GB/T 34874.3 产品几何技术规范(GPS) X 射线三维尺寸测量机 第 3 部分:验收检测和复检检测

GB/T 34881 产品几何技术规范(GPS) 坐标测量机的检测不确定度评估指南

JJF 1001 通用计量术语及定义

3 术语和定义

GB/T 16857.1、GB/T 18779.1、GB/T 34881 和 JJF 1001 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

几何尺寸检测 **dimensional measurement**

通过测量确定工件几何形状(例如,形状和位置)的几何参数。

3.2

公称值/实际值比较 **nominal/actual value comparison**

数模比对 **digital models comparison**

比较两个数据集的几何特性,其中一个作为参考数据集(公称值),另一个作为被评估的数据集(实际值)。

3.3

表面提取 **surface extraction**

来自 CT 体素数据的表面构成过程。

4 检测任务分类

利用 X 射线三维尺寸测量机对工件进行检测时,基于被测工件的基本特性对检测任务进行分类,

见表 1。

表 1 检测任务的分类

任务类型		结果表示	特点
A	基于公称几何的公称值/实际值比较 (通常是 CAD 设计值与 CT 测量值的比较)	偏差的彩色编码表示(假彩色图像)、偏差分布统计、偏差直方图、指定点的选定偏差表示	1) 公称值和实际值的输入顺序是相关的(公称值和实际值的反向输入顺序会根据数据集的局部差异改变偏差的符号以及结果的形态); 2) 通过将较大的表面段分配给偏差值,偏差的颜色编码表示可以作为结果的过滤器,极端值的指示等会受到抑制; 3) 由于未对扩展体积元素进行平均,CT 测量的局部偏差对测量结果有显著影响; 4) 通常,在 A 型任务中将 CAD 设计值设置为公称值,在 B 型任务中将参考测量值设置为公称值
B	基于参考测量的公称值/实际值比较 (例如,光学或接触式测量与 CT 测量值的比较)		
C	尺寸、形状、位置公差分析及规则几何和自由形状曲面补偿参数的确定	表格或图形格式的测量报告(公称值、实际值、偏差)、补偿参数(如直径、方向、位置等)	1) 由于对扩展体积元素进行平均,CT 测量的局部偏差对测量结果影响较小; 2) 减少了统计误差,系统误差通常不变
D	壁厚分析	同 A、B 或 C	1) 确定 CT 体积内的测量值; 2) 通过将较大的表面段分配给偏差值,偏差的颜色编码表示可以作为结果的过滤器,极端值的指示等会受到抑制

5 测量程序

5.1 断层扫描成像

利用 X 射线照射工件获得几何结构的投影图像。通常,这一过程需要对平板探测器获得的 CT 投影图像进行校正。

5.2 三维图像重建

基于投影图像,通过一定的算法重建工件的三维断层图像。

5.3 轮廓提取和表面重建

基于重建的三维模型,利用数字图像处理技术抽取被扫描工件的轮廓点信息,通过三维重建技术建立外形和内部表面模型。

5.4 几何尺寸检测

在获得的工件三维外形轮廓上,直接利用与光学或接触式坐标测量机相同的坐标系对工件尺寸、形状、位置公差等几何尺寸进行检测。

对于工件内部结构尺寸的检测,通常需对 CT 图像切片序列进行剖切以获得切片序列的任意截面形状。获取剖切面图像的方法主要为剖面图像的重采样和重赋值。在 CT 三维图像序列中,通过采样得到剖面上各点坐标值,利用差值计算重赋值获得剖面图像的灰度值,根据灰度值范围的差异确定工件本身与背景的交界,从而获得工件的内部结构及尺寸。

5.5 公称值/实际值比较

通过模型匹配技术建立实际值与其 CAD 模型的坐标系统,进行实际值(或表面点云)与 CAD 模型中的公称值比对。通过计算工件测量数据点到其 CAD 模型边界曲面的距离,分析工件外形偏差。

基于偏差分析,可利用色差图等对外形偏差的分析结果进行可视化,便于检测人员直观了解外形偏差的分布情况。

5.6 壁厚分析

主要用于检查工件壁厚与设计壁厚的差别以及确定壁厚偏差是否处于所要求的壁厚偏差范围内,通常可利用三维壁厚分析和截面壁厚分析两种方式来实现。

三维壁厚分析是基于工件三维测量数据,分析工件上任意一点的法向壁厚。

截面壁厚分析是利用一个截平面对薄壁工件的测量数据进行剖分,获得薄壁工件的剖面数据,在二维剖面数据的基础上对壁厚进行测量和分析。

6 工件尺寸的检测方法

6.1 概述

本部分给出基于计算机断层成像(CT)原理的 X 射线三维尺寸测量机进行工件检测时的具体方法。这些方法仅针对工业应用,而非医学应用。使用者在进行工件尺寸的检测时,需关注检测过程中来自 CT 测量设备、应用、分析、环境条件和操作者的影响。X 射线三维尺寸测量机检测过程的影响因素参见附录 A。

基于计算机断层成像(CT)原理的 X 射线三维尺寸测量机与光学或接触式坐标测量机一样均利用坐标系进行尺寸测量。以下按照工件的检测过程进行描述,从设备的选择开始,直至测量报告的发布。

6.2 设备选择

按照 GB/T 34874.3 选择 CT 测量设备。

6.3 测量准备工作

进行 CT 测量前应详细了解测量任务。图纸中的任何信息(如形状和位置公差)和客户要求都应被纳入测量和分析说明中。定义被测工件时应考虑部件的功能(如密封、适用性、体积流率、机械应力等)。

当实际工件的几何形状与 CAD 描述之间存在较大差异时,基于 CAD 公称几何尺寸的 CT 测量分析可能产生系统误差。可通过已校准的测量样品或测量标准物质对测量不确定度进行评估。

在工件尺寸检测中,可被 X 射线成像的材料最大厚度需不大于所选设备对应材料的最大厚度,确保被测工件在设备测量能力范围内。

合理安装被测工件,并通过适当的安装使被 X 射线成像的工件厚度最小化。必要时,可通过模拟 X 射线成像条件建立最优的 X 射线成像方案。被测工件应稳固安装,避免由于沉降效应或 CT 测量过程中转台加速引起工件位置的变动。用于安装被测工件的夹紧元件应是弱吸收材料或以不会被射线成像的方式放置。当夹紧被测工件时,需防止由于夹紧力或重量引起的变形。被测工件材料对 X 射线三维尺寸测量机检测结果的影响参见附录 B。

当设置用于 CT 测量的控制参数时,可通过预先在不同角度位置(通过转台进行旋转)评估被测工件的多个投影图像来实现。应对屏幕图像的固定灰度范围和作为衰减函数的灰度范围,或在整个可见区域和部分区域上生成灰度值直方图的函数进行分析。

6.4 测量和分析

利用 CT 设备检测工件时应按照相关操作文件和第 5 章的测量程序进行。

应优先选择与精确阈值无关的方法,例如,使用球体中心、圆柱体或圆锥的轴等方法。

用于 CT 测量分析的软件算法应已知(例如,在元素形状分析中的最小区域补偿)。当使用复杂的 CAD 软件进行 CT 测量分析时,应对全程设置或一般设置进行严格评估。根据检测任务类型的不同,这些设置可能对测量结果产生至关重要的影响。

如果可行,应对被测工件的测量过程进行监控。监控的特性包括但不限于以下方面:

- 自由束强度变化情况;
- X 射线管控制系统的反馈信号;
- 通过测量标准件和被测工件得到的测量误差;
- 被测工件与 CT 测量系统的温度及温度变化(如设备具有工件或 CT 测量系统的温度自动补偿功能,也应启用)。

6.5 测量报告

除测量报告的一般要求(准确、清晰、明确和客观的表示和符合测量或校准程序要求)外,CT 测量报告应特别强调 CT 特有的测量特性:

- CT 测量的主要设置参数(扫描时间、投影数、体素尺寸、管电压和管电流、预过滤等)说明;
- 关于表面确定的说明(应用阈值法);
- 点测量时考虑的表面元素尺寸说明;空间分辨率信息(如可能);
- 已知范围内的显式或隐式过滤器的说明(如,公称值/实际值比较的颜色编码表示通常用作隐式异常值过滤器,而用中值运算符平滑测量数据是显式过滤器);
- 拟合技术的说明(用于公称值/实际值比较和基于元素的几何拟合)。

测量报告中应依据 GB/T 18779.1 给出符合性判断,并考虑测量不确定度的影响。当由于经济或其他原因不能明确说明检测任务的不确定度时,可参照类似部件的测量分析结果,并在测量报告中说明相应测量不确定度的大小。

6.6 设备核查

CT 测量设备的尺寸测量特性应定期核查,核查可按照 GB/T 34874.3 中间检查的方式来执行。核查间隔应考虑设备的使用与工作负荷。对于关键测量过程(例如,与安全相关的部件测量),宜进行风险分析,以进一步规范核查间隔。

附 录 A
(资料性附录)
检测过程的影响因素

A.1 基于计算机断层成像(CT)原理的 X 射线三维尺寸测量机检测过程主要受以下因素影响：

- CT 测量设备；
- 应用；
- 分析；
- 环境条件；
- 操作者。

在特定的 CT 测量设备中可能遇到更多的影响因素。使用者应关注特定于某一设备的影响因素，必要时可使用试验样本进行验证，或列入验收检测中。

A.2 CT 检测过程中与 CT 测量设备相关的影响因素及对测量结果的影响，见表 A.1。

表 A.1 CT 检测过程的影响因素及对测量结果的影响——CT 测量设备

影响因素		描述	对测量结果的影响
X 射线源	电压、电流	设置、短期和长期稳定性、量子噪声	管电压和管电流决定束流强度，管电压和管电流的变化可能引起投影图像质量的变化，影响 X 射线成像能力
	焦点	尺寸、形状、漂移、稳定性、位置	焦点尺寸影响最大分辨率，漂移可导致重建图像模糊；部分类型的 X 射线管，焦点尺寸与输出目标大小成正比
	X 射线源的固有滤过	材料、厚度、不均匀性	可改变束流光谱
	射线束限制（光阑/准直器）	调整、发散	根据外壳类型，散射辐射在被测对象和探测器中可能减少
轴	旋转轴方向	水平/垂直	用于优化应用的典型轴布置
	轴的正交性	X 射线源和探测器	偏差可能导致部分重构图像模糊
	轴控	控制速率、振动、加速	振动可能导致投影模糊，样品的加速可能导致无意识的样品移动，并引起伪影
	自然振动	系统稳定性、与样品重量相关的移动速率	样品重量可能改变旋转轴的特性，并导致重建图像的模糊
	局部加热	电机散热、照明	产生正交性与引导偏差
	导向偏差，平移（静态/动态）	位置偏差、直线度、俯仰角、偏航、滚动	产生正交性偏差和标尺误差，导致放大倍率/体素尺寸误差
	导向偏差，旋转（静态/动态）	位置偏差、摆动、径向跳动、同步	产生正交性偏差
探测器	内部散射辐射	背散射辐射及闪烁体内部的光散射（非线性效应）	导致投影对比度较弱，重建图像模糊
	串扰	非线性效应	导致投影对比度较弱，重建图像模糊

表 A.1 (续)

影响因素		描述	对测量结果的影响
探测器设计	防护	内外散射辐射	对电子设备的高压防护,利于减少内部散射辐射
	探测器滤光片	材料、厚度、不均匀性	利于被测对象、准直器和外壳减少散射辐射,可保护探测器但损失光强
	冷却	漂移效应	检测区域需保持温度均匀,冷却不足可能导致探测器状态不稳定
	转换层	衰退与持续行为	转换层的材料和厚度决定量子检测效率(DQE)以及持续的时间
探测器特性	像素尺寸	尺寸、填充系数	像素尺寸和放大倍率决定样品投影图像在平面上的分辨率
	像素数	与尺寸有关的数量	探测器尺寸和物体尺寸决定放大倍率和像素尺寸。相同辐射条件下,高像素数量会导致每个像素的信噪比变差
	数字化	易被 X 射线成像的物体的灰度分辨率	增强的灰度分辨率通常是指具有扩展动态范围的灰度图像
	刷新率	图像序列率	高刷新率可降低噪声
	曝光时间	适应 X 射线光子有效数量	延长曝光时间可在一定程度上提高 X 射线成像能力
探测器质量	缺陷像素	数目、聚集、校正	具有高像素数量的探测器并非永无故障,应采取最优方式进行校正,任何新的缺陷像素需探测及避免聚集
	时效行为	老化、缺陷增加、像素、灵敏度	探测器的老化取决于剂量和剂量率; 误操作可能导致图像老化(残差图像); 缺陷像素仅在特定的辐射条件下显示; X 射线灵敏度可能随时间而变化
	像素方差	增益和偏移校正、直线度	探测器的量子检测非线性性能时需使用一个或多个支撑点进行线性化。不同的程序和修正会导致不同的结果
	量子效率	量子检测效率(DQE)、噪声	特定 X 射线束的信号强度和质量
	动态范围	有实际样品的理想条件下	实际样品的动态范围受光束特性(电压,电流,射束硬化)的影响
	稳定性	机械稳定性、电稳定性	电源电压波动(高频和低频)可影响 X 射线管、探测器和处理单元
	串扰	相邻像素、非局部串扰、调制传递函数(MTF)	可发生在闪烁层中
探测器操作	操作行为	温度漂移	需保证足够的预热时间
	预曝光	老化或自上次测量的持续行为	需注意持续性行为引起的变化
	连续校准	缺陷像素、灵敏度	需记录测量过程中的变化
	间歇/连续测量/操作模式	单独一幅图的曝光或管连续发射的光束	根据探测器工作模式的不同,可获得不同的灰度值,对材料厚度分析有影响
	采样拟合	对同一扫描位置多次采样并对数据进行拟合优化	可降低噪声,一定程度上提高 X 射线成像能力

A.3 CT 检测过程中与应用相关的影响因素及对测量结果的影响,见表 A.2。

表 A.2 CT 检测过程的影响因素及对测量结果的影响——应用

影响因素		描述	对测量结果的影响
测量样品	固定	稳定性(漂移)、变形	样品固定不紧可能导致 CT 扫描数据不对称,引起图像重建误差
	旋转位置	旋转中心到中心平面的距离	旋转中心偏移或物品为环形时会导致分析困难,有可能产生数据量采集不充分
	几何形状	形状、最大壁厚、凸/凹曲面、粗糙度、波纹度	凸面几何形状样品绘制扫描边界区域优于凹形几何图形具有不规则形状的样品取向不是任意的
	材料	吸收	高吸收性材料产生的投影信号较弱,信噪比较差(材料对 X 射线三维尺寸测量机检测结果的影响参见附录 B)
	与能量相关的相互作用	散射、射束硬化	材料灰度重建错误,直至样本几何畸变
	散射辐射	来自测量样品的散射辐射、非线性相互作用	投影对比度较弱,重建结果模糊
测量参数	预过滤	材料、厚度、不均匀性	影响射束硬化
	角增量数	投影数、增量或连续旋转	根据探测器不同,可能产生连续旋转; 降低测量和重建时间并同时增加分辨率可优化扫描
测量设置	高度增量数(在扇束 CT 的情况下)	线阵探测器的高度分辨率	根据扫描类型不同可产生各种分辨率
	放大倍率	最大扇形角度或锥角、绝对距离	导致数据范围有限或强度不足
	测量区域的扩展	探测器或转台平移(水平,垂直)	在测量过程中移动探测器可获得更高的分辨率或允许测量较大的样品
	样品位置	样品在旋转工作台上的位置、距离(FDD, FOD)、放大倍率	X 射线掠入射到物体表面可能产生伪影; 在给定的距离和最大锥角时,样品尺寸受限于检测范围
测量限制	旋转角度限制	物体的非对称扫描、或不能在所有角度扫描	数据采集不充分可能产生伪影,需进行补偿或将影响最小化
	扫描限制	样品尺寸大于扇束角度或锥角	数据采集不充分可能导致伪影,需进行补偿或将影响最小化

A.4 CT 检测过程中与分析相关的影响因素及对测量结果的影响,见表 A.3。

表 A.3 CT 检测过程的影响因素及对测量结果的影响——分析

影响因素		描述	对测量结果的影响
分析	数据缩减(体素)	在探测器平面、重建及后处理中	探测器像素合并、重建合并或体素体积分级对于较小的数据集可能导致投影或体数据的损失
	数据缩减(表面)	STL 的后处理	表面数据集小于体数据集; 注意还原可能造成信息丢失
	表面提取	体素体积或表面数据集	用于数据比较,受多种参数设置影响
	表示方法	2D/3D、加窗、像素深度、过滤、渲染参数	由于渲染参数,表示方法需与体素分析不一致。同时需注意屏幕分辨率和颜色校准

表 A.3 (续)

影响因素		描述	对测量结果的影响
分析	通过已知的几何形状、测量物品和标样进行校正	几何、密度	部分迭代校正可提高物体的几何形状和密度分析结果有可能出现过补偿
	样品坐标系找正	参考元素的类型和质量、测量策略	多个被测样品进行比较时,须对样品坐标系进行找正;策略和算法均影响找正质量
	重建算法/滤波器	FDK (Feldkamp) 使用各种滤波器内核、代数重建技术及其子形式或更精确的重建算法	各种重建算法和滤波器内核产生不同的体素数据集;结果不是绝对的
	校正算法	射束硬化、散射辐射、数据限制	在样品穿透过程中,可为光束的非线性变化进行校正,但这种校正多是经验性的,且通常不产生绝对测量值
	分析算法	几何检查、几何比较、壁厚分析、形状和位置公差分析(坐标系定义)	各种算法均采用设定的参数,并应适用于光束条件和物体形状等

A.5 CT 检测过程中与环境条件相关的影响因素及对测量结果的影响,见表 A.4。

表 A.4 CT 检测过程的影响因素及对测量结果的影响——环境条件

影响因素		描述	对测量结果的影响
系统环境	空调	温度、湿度	恒温有利于样品几何形状的稳定; 温度梯度(空间和时间的)不可被忽略; 湿度可能与被测样品相关
	振动	频率、振幅	真空泵、建筑物振动或冲击噪声可能影响测量结果
	污染	颗粒尺寸、浓度、污染物组成	阴极、靶及探测器插口污染可能导致图像错误
	散射辐射	来自设备外壳和射线装置部件的散射辐射	导致投影对比度降低,重建图像模糊
	磁场	强度、方向	磁场可能对 X 射线管稳定性造成影响

A.6 CT 检测过程中与操作者相关的影响因素及对测量结果的影响,见表 A.5。

表 A.5 CT 检测过程的影响因素及对测量结果的影响——操作者

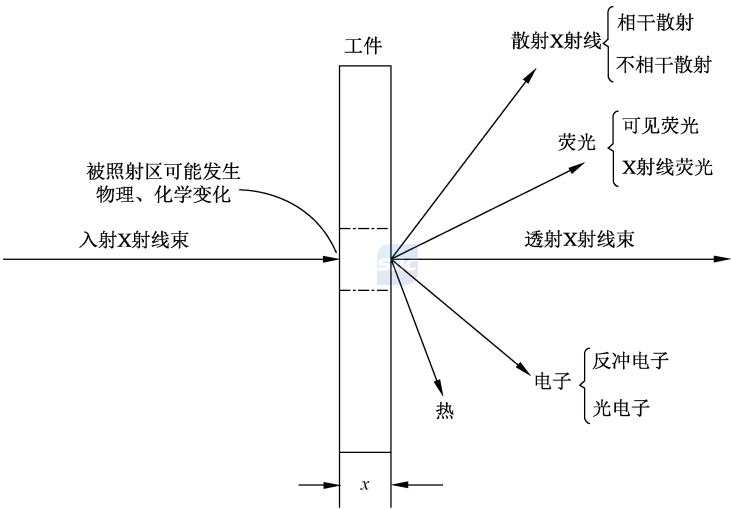
影响因素		描述	对测量结果的影响
操作者	误操作	对每一个测量程序步骤进行参数检查	对可重复的结果建立文档
	测量策略	预滤波、所需分辨率、工件对准补偿技术、标准件	应利于物理射束硬化的光束校正; 应注意与测量时间相当的 X 射线输出
	经验	重复相似测量	影响结果再现性,需注意样品对中、CT 测量机校准频率等

附 录 B
(资料性附录)

被测工件材料对 X 射线三维尺寸测量机检测结果的影响

B.1 X 射线衰减规律

X 射线穿透物质时,会与材料发生散射、吸收、光电效应等作用,如图 B.1 所示,从而使得 X 射线强度变弱。



说明：
 x ——工作的厚度。

图 B.1 X 射线与物质相互作用的关系示意图

X 射线衰减规律可利用式(B.1)表示为：

$$I = I_0 e^{-\mu_m \Delta x_m} \dots\dots\dots (B.1)$$

- 其中：
- I ——出射 X 射线强度；
 - I_0 ——入射 X 射线强度；
 - μ_m ——被测工件材料的质量衰减系数；
 - Δx_m ——质量厚度。

B.2 不同元素的质量衰减系数

质量衰减系数 μ_m :表示单位质量物质对 X 射线强度的衰减程度。如果吸收体是由多种混合元素组成的化合物或混合物,其总体的质量吸收系数是其组分元素的质量吸收系数的加权平均值。根据美国国家标准与技术研究院(NIST)测定的部分元素对 X 射线的质量衰减系数,材料的 X 射线衰减系数与其组成元素的原子序数基本呈正相关,如图 B.2 所示。

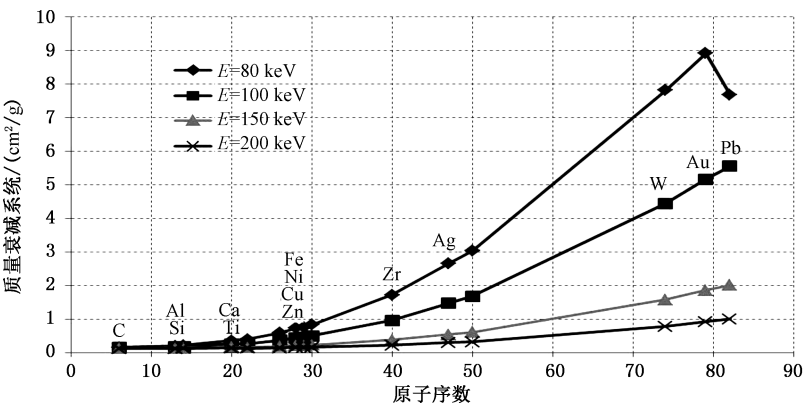


图 B.2 不同材料的 X 射线衰减规律

B.3 材料对成像的影响

根据 B.2,被测工件材料的成分对于计算机断层成像影响很大。由式(B.1)可知,即便是原子序数较小的材料,在 X 射线的穿透距离很长的情况下,也会对 X 射线造成很大的衰减,因而影响成像质量。微焦点计算机断层成像系统的射线源能量一般为 0 keV~450 keV,这一能量段的 X 射线对原子序数为 6~20 的元素成像较好。

B.4 X 射线三维尺寸测量机参数设置

X 射线三维尺寸测量机测量过程中涉及多种参数设置,包括管电压、管电流、曝光时间、增益、滤片等,这些参数的设置很大程度上都取决于被测工件的材料组成及尺寸。为保证成像质量,建议将被测工件的成像灰度分布曲线峰值调整到整个灰度范围(从极暗到极亮)大约三分之一处。

B.5 常见被测物分类

为便于用户更好地利用 X 射线三维尺寸测量机对工件进行尺寸测量,根据材料种类不同,对常见的被测工件进行分类,见表 B.1。

表 B.1 被测工件分类表

类别	主要组成元素	X 射线 穿透效果	常见材料
I	C、H	易穿透	石墨、金刚石等碳的同素异构体,碳纤维、各种有机高分子材料(PVC、聚乙烯、尼龙等)、有机玻璃、橡胶、木材等
II	Al、Si	可穿透	纯铝、铝合金等轻金属及其合金,红宝石/刚玉(Al ₂ O ₃)、单质硅、玻璃(SiO ₂)、普通陶瓷、混凝土等非金属材料
III	Ti、Ga	较难穿透	钛合金、石膏、大理石等
IV	Fe、Ni、Cu、Zn	难穿透	纯铁、各种钢材等重金属,铁磁、铁镍合金、铜、锌等
V	Zr、Ag、W、Au、Pb	很难穿透	银、钨、金、铅等超重金属,铅玻璃、氧化锆陶瓷等

附录 C
(资料性附录)
与 GPS 矩阵模型的关系

C.1 概述

关于 GPS 矩阵模型的完整细则,参见 GB/T 20308。
GB/T 20308 中的 GPS 矩阵模型对 GPS 体系进行了综述,本部分是该体系的一部分。除非另有说明,GB/T 4249 给出的 GPS 基本规则适用于本部分,GB/T 18779.1 给出的缺省规则适用于按照本部分制定的规范。

C.2 关于本部分及其使用的信息

本部分规定了基于计算机断层成像(CT)原理的 X 射线三维尺寸测量机进行工件检测的方法。

C.3 在 GPS 矩阵模型中的位置

本部分是一项 GPS 通用标准。本部分给出的规则和原则适用于 GPS 矩阵中所有标有实心点(●)的部分。见表 C.1。

表 C.1 GPS 标准矩阵模型

几何特征	链环						
	A	B	C	D	E	F	G
	符号和标注	要素要求	要素特征	符合与不符合	测量	测量设备	校准
尺寸					●		
距离					●		
形状					●		
方向					●		
位置					●		
跳动					●		
轮廓表面结构							
区域表面结构							
表面缺陷							

C.4 相关的标准

表 C.1 所示标准链涉及的标准为相关的标准。

参 考 文 献

- [1] GB/T 4249 产品几何技术规范(GPS) 基础 概念、原则和规则
 - [2] GB/T 20308 产品几何技术规范(GPS) 矩阵模型
 - [3] VDI/VDE 2630 Part 1.1;2016 Computed tomography in dimensional measurement; Fundamentals and definitions
 - [4] VDI/VDE 2630 Part 1.2;2018 Computed tomography in dimensional measurement; Influencing variables on measurement results and recommendations for computed tomography dimensional measurements
 - [5] VDI/VDE 2630 Part 1.4;2010 Computed tomography in dimensional metrology; Measurement procedure and comparability
-

