

工业 CT 技术参数对性能指标的影响(续)

——兼谈如何选择工业 CT 产品

张朝宗

(清华大学, 北京 100084)

摘 要:叙述了工业 CT 技术参数对性能指标的影响,以便读者在选择和购买工业 CT 设备时,能恰如其分地提出技术要求,合理地在性能和价格之间取得折中。

关键词:工业 CT;技术参数;性能指标

中图分类号: TG115.28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2007)03-0142-04

Effect of Technical Data of an Industrial CT on its Performance(Continuation): a Guide for Industrial CT System Selection

ZHANG Chao-zong

(Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The influence of technical specifications of industrial computed tomography (ICT) equipment on its application performance is discussed. So that the readers are able to put forward their technical requirement appropriately and make a reasonable trade-off between the performance and price, when they prepare to select or purchase a ICT equipment.

Keywords: Industrial computed tomography; Specification; Performance

3 如何选择订购工业 CT 产品

前面简单的论述基本上还没有涉及图像重建等过程,但已可以看出 CT 系统的性能指标涉及许多技术领域,是一个相当复杂的问题。这使许多使用者在选择工业 CT 产品时感到困惑。然而购买者并不需要考虑那么多设计制造者需要面对的问题。购买者首先需要考虑的是使用上的技术要求,同时在预算和支出费用之间作平衡,其次是考虑如何考核最后送到自己手上产品的技术指标,最后当然也要考虑产品供应者的信誉和售后服务能力。

用户的使用技术要求显然是整个订购工业 CT 产品的基点。属于使用技术要求的内容大致有以下方面:

(1) 检测对象的大小、形状、重量和材料组成。

(2) 基本功能,包括断层成像(CT)、数字成像(DR)、实时成像(RTR)和传统胶片照相(FR)。

(3) 主要检测目标,包括材料内部缺陷(还应区分缺陷类型,如气孔、夹杂、疏松、裂纹和脱粘等)、材料内部结构(如分析生物材料孔隙率或分布)、零件内部尺寸(如涡轮发动机叶片)和整机或部件内部装配情况。

(4) 对这些主要检测目标的要求是,如检测材料内部缺陷,还应提出各种缺陷的检测灵敏度;如检测零件内部尺寸,应提出检测灵敏度和精确度。

(5) 检测工件数量或检测速度要求,检测速度可以进一步考虑扫描时间、图像重建时间、调整切片位置时间和更换检测样品时间。

(6) 专门要求。如防爆、必要工装或样品检测姿态,对接触检测对象有无特殊要求(如生物样品或者工件某些位置要避免接触或夹持等)。

(7) 设备运行和检测的结果,包括用户界面、检测结果的提供方式和格式、专门的图像显示及图像后处理要求或专用数据处理软件、资料文档管理和检测报告形式。

(8) 放射性剂量和其它安全问题应符合国家或

收稿日期: 2006-04-28

作者简介: 张朝宗(1938—),男,研究员,从事无损检测科研工作。

行业的有关标准或法规。

(9) 预期寿命和维护周期等,尤其应关注射线源寿命或某些成像器件的辐射损伤。

(10) 设备使用条件,如场地、环境温/湿度要求,电源负荷及稳定性要求等。

以上都是购买者的基本要求。不过一台工业 CT 显然还有很多重要的问题,如射线源(加速器还是 X 射线机、最大能量、束流强度甚至生产厂家等)、辐射探测器(类型、闪烁体材料、尺寸和探测单元数量等)、准直器(材料、式样和尺寸等)、电子电路(如 A/D 变换位数、数量和型号等)、机械扫描系统(加工精度、丝杠导轨技术参数等)、扫描电控系统(采用驱动电机或位置传感器的种类或技术参数)、计算机硬件(CPU 数量、速度、型号和内存大小等)和计算机软件(重建算法和通讯方式等)。

可能还有许多购买者关心的其它重要问题。这一类主要是涉及设计制造者为满足购买者使用要求应当考虑或选择的技术方案的问题,购买者的任务只是审查设计制造者所选用的技术方案能否满足希望达到的目标。但是有时购买者为了保证最终产品的质量,事先对上述这一类内容作了许多限定,替制造者完成了不少具体设计,可是这样做的结果很可能事与愿违,甚至对系统设计带来负面影响。应当说一般的购买者并不具备设计 CT 系统的能力,其设计往往是东拼西凑某些厂商的技术方案而成的,并不一定是最适合于实际检测任务要求的技术方案。在这些问题上应当留给设计制造者一些空间,发挥他们的创造性,而不要让设计者的工作仅仅变成一个简单的加工过程。购买者如果特别关注某些部件,完全有可能把这些关注转化成对于产品性能的要求,合理地向制造者提出。归根到底购买的是一台设备,而不是某一公司的某种零件或部件,即便是这些部件何等关键或重要,也一定能在总体性能上体现出来。购买者应该更多地关注设计制造者是怎样通过具体技术方案来满足用户对产品性能的要求,如果达到这些要求的道路不止一条,下面的任务就是全面地判断它们的优劣,决定取舍。

验收工作也是非常复杂的,这是因为 CT 产品的各项技术指标的测定本身比较复杂。应当在购买者和提供者最初签订合同时给予足够细致的考虑才能减少最后的麻烦。

作为使用者显然最希望用实际的缺陷(假定用户的 CT 系统主要检测目标是材料内部缺陷)来检

验系统的能力,也可以肯定地说这是最好的检验方法,在可能时应尽量采用接近实际的试样检测实际的缺陷。然而完全与实际缺陷一致的标准样品往往很难制作,很多情况下制作的带有缺陷的标准样品与实际情况相差甚远,检测结果仅有参考意义。另一方面,相对说来被典型化的技术指标——如空间分辨率和密度分辨率还更加能够比较客观地反映 CT 系统的真实性能,更容易比较出工业 CT 产品性能的优劣。虽然国内外关于工业 CT 的空间分辨率和密度分辨率的测定方法都还没有强制性的标准,但有一些已被业内普遍认可的方法应当优先选用,这些方法有的被列为企业内部标准,有的被列为标准推荐的方法。例如,测定 CT 的空间分辨率采用均匀圆盘或线对测试卡的 MTF 方法,测定 CT 的密度分辨率采用均匀圆盘的 CDF 函数法、固体或液体密度差试件和利用部分体积效应的空气隙试块法等。上述方法虽然可能没有简单的对应关系,测试结果也不一定完全一致,但不是相互排斥的。可以在合同中选定一种或几种验收方法,同时应当规定具体测试条件,使得供求双方对产品技术指标达成真正的共识。

还有一些经验方法可以参考^[11]。例如,检测主要目标在于发现夹杂等细小(如四个像素)的高对比度缺陷,在背景均匀的情况下,其图像对比度只要高于单个像素平均噪声 5~6 倍就可以被识别。如果感兴趣区内图像噪声水平是 2%,小的缺陷至少要有大约 10% 的对比度才能被识别。再假定检测主要目标在于鉴别大面积(如 400 个像素)的微小辐射密度变化,在背景均匀的情况下,可以识别的密度变化等于 3 倍单个像素平均噪声除以像素数的平方根。如果感兴趣区内图像噪声水平还是 2%,上述面积内 $0.3\% (=3 \times 2\% / \sqrt{400})$ 的密度变化可以被识别。从上面的实例可以更进一步了解到一台工业 CT 的检测能力与系统噪声的关系是多么密切。作为参考,有人这样来评价 CT 系统的优劣,图像噪声水平低于 1% 的为优,图像噪声水平等于 2%~4% 的为良好,图像噪声水平等于 5% 的算中等,图像噪声水平大于 10% 的为差。

因为 CT 是一种包含复杂技术的产品,而且大体上是非标准产品。所以选购 CT 与普通商品有一个较大的区别就是要在性能-价格的平衡问题上给予更多关注。购买者首先应在以下几个选择中确定自己的目标,即性能最好的、价格最贵的、最适合使

用的或最新奇有创意的。如果打算选购一台最适合使用的工业 CT 设备,那么就要注意避免陷入以下常见的几个误区。

最常见的就是“贪大求高”。“贪大”就是不少用户总希望 CT 系统能够检测尽可能大的样品,或者考虑到以后可能的发展,提出的最大检测工件尺寸远远大于主要或经常需要检测的工件尺寸。购买者应意识到,尺寸的加大一般都要带来成本的提高,购买者也应明白这种增加的成本归根到底都是由购买者自己来承担的;购买者往往不易意识到检测工件尺寸的增大总是要以技术指标的下降为代价的。

首先考虑一下空间的布置。容易理解,在射线源对于样品的张角 α 固定的条件下,样品越大,只能放得越远;射线源到旋转中心距离越大,射线源到探测器的距离也越大。射线源到探测器的最小距离

$$L_{\min} = S + R = \frac{R}{\sin \frac{\alpha}{2}} + R = R \left[\frac{1 + \sin \frac{\alpha}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right]$$

式中 R ——CT 成像范围半径(检测工件大小);
 S ——射线源到旋转中心距离。

计算出各种张角条件下射线源到探测器的最小距离与样品半径的关系,结果如图 5 所示。

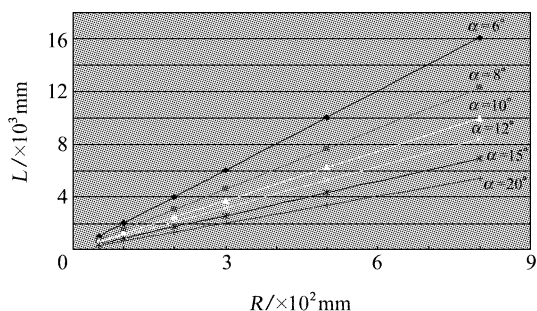


图 5 射线源到探测器的最小距离与样品半径的关系

射线源到探测器的距离基本上随样品尺寸线性增加。前面已经分析过,射线源到探测器的距离的增加将导致系统优良度下降。如果采用二代扫描方式,有可能不增加射线源到探测器的距离,但也要改变系统几何条件,一般会引起空间分辨率的降低,在此不再详细分析。

“求高”的一种倾向是追求高的技术指标。且不说很多过高的指标目前国内外的技术根本达不到,就算可以做到,也必然带来成本的增加。例如机械加工的精度提高到一定程度后,再继续提高将带来成本大幅度增加。订购 CT 产品时一定要事前在性能和费用之间考虑折中,这里包括各部件之间性能

费用的折中,一般情况下某一部件费用的提升必然带来其它部件费用的紧缩。

另一种倾向是脱离实际需要,片面追求个别的高指标。这种倾向更为有害,最典型的就是片面追求高空间分辨率。前面已经分析过,空间分辨率、密度分辨率和一个断层图像的平均产生时间这三项技术指标是互相制约的,一项指标的提高可能带来其它指标的降低。对于空间分辨率也有一个认识上的误区。有人以为探测器越小,空间分辨率就一定更高,探测器数量越多系统越先进。这就使有些本来不适合使用面探测器,尤其是半导体芯片探测器的场合使用了这些探测器,不仅影响了总体性能,空间分辨率也没有达到预想的结果。看起来上面的说法似乎不合逻辑,在这里值得注意的是理论空间分辨率的极限与实际系统在特定条件下的空间分辨率并不永远有良好的对应关系。如前所述,决定系统理论空间分辨率的因素并不仅是探测器宽度一项,还有别的因素;同时任何实际的测量都是在系统噪声存在的条件下进行的,探测器越小通常信噪比低,可以想象湮没在噪声中的图像如何分辨细节呢? 这样上面的结论在很多实际情况下就合乎逻辑了。为了帮助理解该问题,还可以数码相机为例,一般说来相机好坏主要看镜头质量和芯片尺寸大小,并不简单地是像素越多相机就越好;一般情况下在像素数目相同时,芯片尺寸越大,相机越贵,也就是单个成像单元尺寸越大越好。毫无疑问,最后照片的清晰度是照相机的价格和质量的的最基本因素。

第二个误区在于对现有工业 CT 能力的了解不够。虽然工业 CT 与医用 CT 的历史相差不多,但由于工业 CT 实际应用的多样性和复杂性,加上两种 CT 投入的研究力量和资金总量对比悬殊,工业 CT 还远没有医用 CT 成熟。目前工业 CT 的应用还比较有限,只是在某些领域取得了很成功的应用,在一些有潜力而其它检测方法无能为力的领域则还要不断努力才能取得新的突破。

另外要意识到对于工业 CT 设备,不可能在一次检测中或一种工作条件下,使空间分辨率、密度分辨率和断层图像产生时间这三项技术指标同时达到该设备的最高指标。由于工业 CT 的很多技术指标是随测试条件变化的,设备说明书给出的技术指标都是在特定的测试条件或买卖双方协商的条件下得到的,并不是任何条件下一成不变的。比起设备说明书给出的指标,样品实际指标有的会高一些,有的

会低一些;甚至对于同一样品,选用不同测试参数结果也不尽相同。例如,同一设备检测较大样品得到的“绝对”技术指标就会比检测较小的样品时低一些,用检测小样品的要求检测大样品是不现实的,这是由物理学或数学等客观存在的自然规律所决定的。从使用的角度考虑人们更应关心的是接近于实际使用时的技术指标;同时也应优先接受公认的一些标准测试条件,便于对不同设备进行性能比较。要避免简单地从孤立的个别数字上判断系统的优劣。总的说来,在考察生产厂家提供的 CT 图像时,应当特别注意测试设备型号和技术条件。在这里特别希望提醒用户们注意近年来国内许多厂家,也包括一些国外公司提出的技术指标已经远远高于技术上在国际领先的某些美国著名企业的事实。如果确实如此当然是好事,但用户还是应从技术上考察一下支持这些指标的技术基础。至于有的厂商把不是同一种工作条件下,甚至不是同一台设备测得的技术指标或图像放在一起,不加说明,则是属于商业利益驱动有意误导用户的行为,应提高警惕。

还有一个对于三维图像的认识问题。应当说 CT 从二维图像向三维发展是一个方向。在螺旋和多层 CT 出现以后,尤其是医学领域,无论在三维图像数据获取还是三维图像的利用方面都取得很大成就。近年来工业 CT 对三维的关注显然也大大增加,也取得了明显的进展。不少地方提出“反向工程”技术或“先进制造”等概念,如能实现绝对是意义重大的。然而分析一下医学领域和工业应用的特点就会发现一些问题。医学诊断关心的尺度在毫米量级,而工业应用往往要求到 0.01 mm 量级,甚至微米量级;从医学诊断的目标来说最大的就是人体,而工业应用的对象一般都是 100 mm 量级或者更大。仅数据量这一点就可以看出两者相差好几个量级,工业领域的难度可想而知。所以说“反向工程”等问题在目前还只有演示意义。在三维领域已取得的成就有对较轻材料用面探测器进行三维直接重建,可以大大缩短成像平均时间;或者进行三维图像的各种立体演示,或某种程度的内部缺陷检测,虽然由于面探测器固有的缺点,图像质量可能受到某些限制;也可进行部件的内部装配情况显示等。目前还有模仿医用螺旋 CT 原理研制安检应用的三维 CT 的工作,希望未来在查毒和危险品方面得到应用等。综上所述,三维工业 CT 仍处在发展阶段,用户应当考虑本身实际需要提出适当的要求。

因为工业 CT 的检测比较费时,在实际操作中往往不可能做到无遗漏检测。而数字化照相即 DR 的检测速度快得多,于是出现了一种说法,先用 DR 检测样品,发现缺陷或可疑处再用 CT 检测。这种说法不够确切。用 DR 发现缺陷或可疑后再用 CT 检测,固然可以更进一步精确地测定缺陷的位置和性质。但是 DR 并不能发现全部 CT 可能发现的缺陷,也不能给出辐射密度的精确数值从而发现材料中密度的微小变化。如果不是这样,CT 存在的价值就值得怀疑了。

最后一个问题就是扫描方式的选择,前面已经对平移-旋转(TR)和只旋转(RO)扫描方式作了一些分析。应当指出,认为 RO 方式要比 TR 方式先进的看法可能也是认识上的一个误区。暂且不说 TR 方式能从根本上消除 RO 方式难以避免的年轮状伪像,比较适合于圆对称的回转体的检测,也不说探测器数量显著减少带来的成本降低和容易维护,就是对一般认为属于 RO 方式优点的射线利用率高也要作具体分析。对于一个样品尺寸变化范围大的 CT 系统,在检测小样品时,大部分探测器获取的数据是无用的,射线利用率大打折扣。同时由于只利用了少量探测器,有可能引起正弦图上位移方向数据量不足。虽然可以用探测器微动的方法插值作一些补救,但是 RO 扫描方式检测速度快的优势就要大打折扣。此外,为了控制探测器的数量并保证最佳的几何条件,RO 方式的射线源到旋转中心的距离要比 TR 方式大,又使 CT 系统的优良度有所降低。综上所述,孰优孰劣还是要具体问题具体分析。

4 结论

选购工业 CT 产品时一定要从实际需要出发,尽可能加深对工业 CT 的理解,了解各个组成部分的作用以及具体怎样影响到 CT 产品的性能指标。这样才可以减少盲目性,加强科学性,促使我国工业 CT 的开发应用更加健康顺利地发展。

参考文献:

- [1] 康克军. 实验工业 CT 系统及其图像重建方法研究[D]. 北京:清华大学,1988.
 - [2] 张朝宗,郭志平,吕军震. 检测陶瓷零件的微焦点 X-CT 实验研究[J]. 科学技术研究成果公报,1993(11):29.
 - [3] 张朝宗,郭志平,吕军震,等. 用于检测陶瓷零件的微焦点 X-CT 实验系统[J]. CT 理论与应用研究,1991(2):5—9.
- (下转第 172 页)

www.KeQiaoNDT.com

英国 SONATEST(Asia)CO.Ltd 华东地区总代理,专门经销英国声纳集团公司各成员单位的产品,如 DAKOTA,SONATEST 的超声探伤仪和测厚仪。BALTEAU 的射线机,NDT SOLUTION 的快速扫描仪以及 HAFANG 公司的便携式超声相控阵等。

电话:(021)6769 2080/6769 2015/6413 6531
传真:(021)6769 2080/6413 6772
E-MAIL:sonatestshg@vip.sina.com
keqiaondt@sina.com.cn

NDT 北京有色金属研究总院 CENTER 无损检测中心

拥有强大的开发和研制涡流、超声和漏磁等无损检测设备的技术力量。

与俄罗斯动力诊断公司合作推广金属磁记忆检测技术,并设立联合研发培训中心。

地址:(100088)北京市西城区新街口外大街2号
联系人:袁琪 手机:13501390616
电话:010-62010116 传真:010-62352572
E-mail:enerdiag@163bj.com

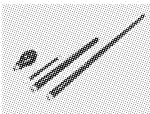
PHILIPS

WINGSPAN NDT 专用光源专家

- PHILIPS 系列 NDT 黑光灯管: 高显专用观片灯管;
 - WINGSPAN 加强型黑光灯, 黑光效果遥遥领先, 独有技术, HPW125、HPW250、BLB40W/R、BLB60W/R;
 - UV-5040 大面积高强度紫外线灯。
- 高强度、大面积, 荧光渗透和磁粉探伤最佳伴侣, 性能卓越。

飞利浦特殊光源进口产品中国服务中心
上海市漕河泾路90号平盛大厦1001室
(200433)

Tel: 021-65349470, 65349471
021-65504069, 65503721
Fax: 021-65503025
Email: sales@wingspan.com.cn
Website: www.wingspan.com.cn



无损检测标准网

<http://www.chinandt.org.cn>

由 SAC/TC56 全国无损检测标准化技术委员会主办的无损检测标准化专业网站, 可方便查询国内外无损检测标准化动态和信息。

A Website of China NDT Standardization

《无损检测常用标准汇编》出版发行

为满足广大无损检测责任单位和无损检测人员对常用标准和新标准的需求, 同时也为无损检测委托单位和监督(监理)单位及其有关人员提供应用无损检测的基础知识和标准, 从而有助于有关各方了解和正确使用无损检测方法和标准, 推进我国各行业无损检测技术水平的提高, 使无损检测工作实现全面规范化, 中国标准出版社和全国无损检测标准化技术委员会共同选编并出版了《无损检测常用标准汇编》。该标准汇编收集了无损检测现行标准 69 个, 其中国家标准 49 个, 行业标准 20 个, 适用于冶金、机械、电力、航空、造船、建筑、化工及教学等部门涉及到无损检测的各类工程技术人员。

该标准汇编内页 775 页, 约 136 万字, 定价 200 元, 数量有限, 欲购者请与上海材料研究所科技期刊发行部王敏先生联系, 电话\传真: 021-65527634。

(上接第 145 页)

- [4] Zhiping Guo, Qing Ye, Jiemo Tian, et al. High-resolution CT tests cramic parts[J]. American Ceramic Society Bulletin, 2000, 79(1): 59.
- [5] 陈志强, 李亮, 冯建春. 高能射线工业 CT 最新进展[J]. CT 理论与应用研究, 2005, 14(4): 1-4.
- [6] Chaozong Zhang, Zhiping Guo, Xiangang Wang, et al. 3-D computed tomography for testing ceramic parts[J]. American Ceramic Society Bulletin, 2002, 81(7): 57.
- [7] 倪培君, 王存龙, 李旭东. 工业 CT 系统的结构及配置[J]. 无损检测, 1996, 18(3): 84-87.
- [8] Jiang Hsieh, 著. 计算机断层成像——原理、设计、伪像和进展[M]. 张朝宗, 郭志平, 王贤刚, 等, 译. 北京: 科学出版社, 2006.
- [9] GJB 5312—2004 工业射线层析成像(CT)检测[S].
- [10] GJB 5311—2004 工业 CT 系统性能测试方法[S].
- [11] ASTM Standard E-1672-95 Standard Guide for Computed Tomography (CT) System Selection[S].

(全文完)

(上接第 168 页)

(6) 观察 观察时应选用较亮的安全行灯, 60 W 以上安全灯上应装有反光板防止光线直对人的眼睛, 必要时将防护网拆除以免产生阴影。在釜圈上观察显示时应采用放大镜。

(7) 记录 焊缝上缺陷以丁字焊处为坐标原点, 纵缝为 X 轴, 环缝为 Y 轴, 在釜圈上作缺陷记录时, 应以门圈驱动装置处为起点, 顺时针方向, 以每个门齿编号记录缺陷位置。缺陷影像应用数码照相记录后存入电脑以便今后对比。

4 安全防护

(1) 使用硝酸时应配齐耐酸手套和防酸围裙等防护用品(使用前应检漏)。

(2) 探伤操作中应注意通风和防火。

(3) 选用 220 V 电源设备时应使用安全隔离变压器, 从变压器到用电设备电线长度应 < 2 m。

(4) 因是不锈钢容器要防止碳钢污染, 包括要检查检验人员的鞋掌。