

射线检测中的仿真技术发展

孙朝明, 王增勇

(中国工程物理研究院 机械制造工艺研究所, 四川绵阳 621900)

摘 要: 分析了射线检测仿真的原理, 对一些射线检测仿真软件系统进行了介绍。将射线检测仿真技术分为两个层次, 介绍了仿真技术的进展及在射线检测中应用, 并对未来的发展趋势进行了展望。

关键词: 射线检测; 计算机仿真; 蒙特卡罗模拟

中图分类号: TG115.28; TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2006)09-0475-03

Overview of Computer Simulation of Radiographic Testing

SUN Chao-ming, WANG Zeng-yong

(Institute of Machinery Manufacturing Technology, CAEP, Mianyang 621900, China)

Abstract: The principle of computer simulation of radiographic testing is analyzed, and some software systems are listed. The development of simulation is classified as two stages and each of them is described separately. In the end, the trend of simulation of radiographic testing is predicted.

Keywords: Radiographic testing; Computer simulation; Monte-carlo simulation

1 射线检测仿真的原理

射线通过物体的衰减可用下式进行描述

$$N(E) = N_0(E) \Delta\Omega \prod_i \exp(-\mu_i(E)x_i) = N_0(E) \Delta\Omega \exp\left[\sum_i (-\mu_i(E)x_i)\right]$$

式中 $N(E)$ ——经物体到达探测器成像单元的光子数

$N_0(E)$ ——对应于能量 E 每单位立体角度射线发出的光子数

$\Delta\Omega$ ——对应的射线源立体角角度

$\mu_i(E)$ ——第 i 种材料对应于射线能量 E 的线吸收系数

x_i ——通过第 i 种材料的距离

式中没有考虑光子在物体内部的散射, 也没有考虑在探测器中的散射, 而这些都是将使实际射线图像的质量下降。

X 射线由一系列以光速传播的光子组成, 光子在透过物质时, 与物质中的壳层电子撞击而发生能量转化, 光子的大部分甚至全部能量被受撞电子吸收。吸收光子能量的电子沿不同方向以不同速度运动而成为自由电子, 它们与被透照物质的原子碰撞, 又产生低能的散射 X 射线。这些相互作用主要表现为光电效应、康普顿效应和电子对的生成, 三种过程的发生具有一定的随机性^[1]。

利用随机理论, 可对检测中的射线的散射进行分析, 应用较多的就是蒙特卡罗 (Monte-Carlo) 模拟。如果在系统模拟过程中, 随机变动 (或随机数) 对过程的进行起着重要作用, 这种模拟即称为蒙特卡罗模拟。1945 年前后, 由 J. Von. Neumann 和 S. M. Vlam 首先提出这一概念, 称为“使用随机数处理确定性数学问题的方法”。

综合文献来看, 对射线检测的计算机仿真大致可分为两个层次, 其一为确定性模拟, 其二为考虑随机散射的模拟。前者通过 CAD 模型对检测物体进行建模, 依据光线跟踪技术与射线衰减理论, 从而得到理想探测器成像的射线图像; 后者考虑了成像过

收稿日期: 2005-06-28

作者简介: 孙朝明 (1977~), 男, 工程师, 硕士, 主要研究无损检测中的信号分析与图像处理技术应用。

程中电子与光子的相互作用、散射等因素的影响,得到的图像与实际图像更趋一致。

2 射线检测仿真软件系统

所谓射线检测的仿真指利用计算机软件来模仿实际的射线检测系统,以得到和实际检测系统相同的结果。目前开发的用于射线检测仿真的软件系统主要集中在欧美一些国家。

XRSIM 是美国国家工业标准技术局所支持的基金项目,由 Iowa 州立大学的无损评估中心研制,该系统可允许用户定义和修改很多参数,包括检测对象的位置和方向、胶片和射线管参数等。BAM 是德国的一个仿真系统,初期系统只支持用体素描述的对象,新版本可支持各种 CAD 软件定义的实体模型,其中的噪声通过高斯白噪声进行仿真。由英国宇航局和法国 LETI-CEA 参与开发的 RADICAD 是一个欧洲各国共同开发的工程项目,支持由 BRL-CAD 软件包设计的 CAD 模型,另一个版本是 SINDBAD,主要针对工业中的单个零件进行仿真。CIVA 是法国原子能委员会(CEA)开发的一套软件,最初用于多种检测(超声、涡流和射线检测)数据的识别与处理,现在可实现这些检测系统的仿真计算。用于蒙特卡罗模拟的软件包有美国的 ITS, EGS 和 MCNP(Los Alamos 国家实验室)等和瑞士的 GEANT,这些可对高能粒子进行模拟。

3 射线检测的确定性模拟

法国的 Nicolas Freud 等人研究了包括射线照相、实时成像和 CT 等的计算机仿真技术,根据仿真类型的不同,在主频 600 MHz 的 PC 机上计算时间为 0.1 s 到数个小时。进行仿真的过程如图 1 所示。其中射线源所需参数为形状与尺寸、光谱、光子通量和曝光时间;光束参数为形状(准直器)和分布函数;检测对象参数为 CAD 定义、材料和运动参数;探测器参数为像素数、像素大小、位置分布和接收能量。考虑射线源的形状可进行几何不清晰度的模拟,由检测对象的运动参数可进行实时成像及 CT 成像的模拟,其中光谱及材料的吸收系数等参数可由相应的表格或数据库查找得到。应用 CAD 软件包可实现复杂物体的建模,记录下对应的节点

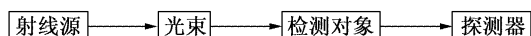


图 1 射线检测仿真示意图

和离散单元(STL 和 UCD 格式),并可进行调整。所得到的图像不包含光子噪声,通过添加随机的高斯噪声,实现了噪声对图像影响的分析^[3]。

在基于 ICT 的装配体产品反求及 CAD 建模技术研究中,针对大量基础数据(各种装配体产品切片图像)获取成本高、周期长的难题,西北工业大学进行了 ICT 成像物理过程的仿真技术研究。仿真系统中采用面向对象的方法进行软件设计,对射线源、检测样本和探测器进行抽象;采用 UG 建立的 CAD 文件格式对物体进行描述,利用 UG++ 接口中直线与实体求交的方法,方便实现了射线与几何实体的求交运算,得到了射线在物体中的衰减情况。但系统在仿真过程中并没有考虑散射线和噪声的影响,探测器为理想的模型^[4]。

4 随机散射的模拟技术

日本的小林信雄选取光子与物体碰撞几率等参数进行了随机分析,对平板试块进行射线检测,板内有四个不同直径的小孔,分析的最终结果可得到线吸收系数的统计规律,算出穿过工件的射线剂量值,据此可模拟出试块透射图像的黑度分布。

法国的 F. Mathy 等(LETI-CEA)结合 BRL-CAD 和 SINDBAD,对蒙特卡罗软件包 EGS4 Nova 进行了试验验证。但只考虑了射线在物体中的散射,而没有对探测器成像时的散射进行分析。试验中采用 Gd_2O_2S 组成的二维平面探测器,射线能量分为 70 和 140 kV,检测对象为简单的阶梯试件。结果表明,试验数据与仿真数据能较好地吻合,尤其在射线能量不高时吻合得更好^[5]。

在核反应堆控制装置进行射线检测时,由于检测对象相对较厚,须使用高能(1.33 MeV)的放射源(铯或钴),照射时间长达数小时,这就不能通过现场试验来调整检测参数以得到最佳的检测图像。法国的 A. Bonin 等针对这一问题,开发了一款基于 Monte-Carlo 技术的仿真软件,使检测人员在实际检测前就可确定最优的检测参数。该软件可对整个射线检测系统(包括射线源、检测对象和由胶片、增感屏组成的探测器)进行仿真,得到更接近实际的检测图像,通过软件得到的仿真图像与真实图像相对于检测参数变化的响应是非常相似的。仿真对光子运动路径进行简化,碰撞过程采用马尔科夫模型,得到了可接受的仿真速度^[6]。利用 MODERATO 软件,研究了射线源焦点半径、射线源的位置、焦点到

物体距离、缺陷位置、物体厚度、增感屏厚度和胶片厚度等参数对获取图像的影响^[7]。

虽然蒙特卡罗模拟可实现射线束与物体相互作用的建模计算,但存在一定不足,即计算非常耗时,对于检测物体及其中缺陷的模拟缺乏灵活性,而解析方法的应用可较好解决这一问题。德国的 G-R. Tillack 等(BAM)对检测中的散射线建立了解析模型,采用 Kolmogorov-Feller 方程求解,然后进行卷积处理,这种方法在速度上比蒙特卡罗模拟要好得多^[8]。美国的 F. Inanc 等(Iwoa 州立大学)使用确定性的方法对射线散射进行建模,对积分形式的 Boltzmann 运动方程进行简化,得到 Neumann 系列求解方法^[9]。法国的 J. Tabary 等介绍了在 SINDBAD 中对散射线仿真的进展,也采用了解析求解方式,并与蒙特卡罗模拟结合使用,在几分钟内完成模拟计算(而一个纯粹的蒙特卡罗模拟将花费数月时间)。

5 射线检测仿真技术的应用

通过对射线检测过程的建模和仿真,可对射线成像的机理进行深入了解,这对于检测人员培训和射线检测教学有很大帮助。此外,射线仿真技术的发展,将会在以下场合得到有效应用。

5.1 试验分析

在实际条件比较特殊,进行射线照相试验比较困难时,通过计算机仿真技术可进行试验分析,得到最佳的透照参数,获取仿真的试验数据。

德国的 G-R. Tillack 等(BAM)利用仿真技术进行了一系列试验。对透度计(DIN54109)进行试验,所得到的图像及灰度轮廓曲线与实际没有明显差别。对陶瓷结构中的裂纹进行了不同角度的仿真,从仿真图像指出了不同射线束的成像影响与裂纹发现能力的差异。对奥氏体焊缝中裂纹检测进行了不同射线角度的仿真,指出多角度透照可提高检测结果的可靠性^[10,11]。

5.2 射线检测的优化

进行特定对象的检测时,需要进行一系列试验,从而确定最佳的透照布置。通过计算机仿真技术,可得到不同透照布置所产生的图像,从而方便地达到检测要求。

5.3 检测图像的分析

对于不同形状、大小和位置的缺陷进行仿真,得到相应的仿真图像,这对于射线图像的分析将起到指导作用。射线照相法只能提供缺陷的简单定性信

息,而 CT 技术的应用却非常耗时。欧洲联合研究项目 RADICAD 的研究目标为利用 CAD 模型和多幅射线图像研究缺陷的三维表征,在速度上比 CT 要快,而缺陷定量要比简单的照相法要好。通过计算机仿真系统得到检测对象的仿真图像,将仿真图像与射线图像进行匹配(基于边缘的方法与基于灰度的方法),从而进行缺陷的重构^[12]。

6 射线检测仿真技术的展望

随着计算机技术的推动发展和无损检测的进步,射线检测的仿真技术将不断完善并得到逐步应用。综上所述,射线仿真技术大致有以下几个发展趋势:

(1) 蒙特卡罗模拟计算是比较耗时的,而要使其得到有效应用,则需要大大缩短计算时间,提高仿真计算的速度。

(2) 仿真过程非常复杂,目前大多通过假定一些条件来进行简化处理。而仿真结果是否与实际相符,还需要进行相应的试验验证。

(3) 为有效描述检测对象及缺陷,需要建立三维 CAD 模型;为使结果更接近实际,需进行散射线的模拟计算;射线检测仿真技术的不断发展,将建立一个集成系统,在统一框架下完成建模和仿真计算。

(4) 随着电子技术的迅速发展,CR(Computed-Radiography)和 DR(Direct Radiography)及实时成像技术获得了较多的应用。在这些系统应用中,射线检测中的一些参数可精确定量,同时省去了胶片后处理的过程,这将使计算机仿真技术得到更有效的应用。

7 结束语

射线检测中的仿真技术是计算机图形学、数学、无损检测和软件设计等方面的综合应用,是一个不断积累、发展和应用的系统工程,模型从简化逐步到精确,计算性能不断提高,软件系统逐步完善。而与国外的技术发展相比,国内还存在相当大的差距。

参考文献:

- [1] 张俊哲,游开兴,马振译,等.无损检测技术及其应用[M].北京:科学出版社,1993.
- [2] 屠耀元,郑世才,李 衍.射线检测技术[M].上海:世界图书出版社,1997.
- [3] Nicolas Freud, Philippe Duvaucheu, Daniel Babot, et al. Simulation of X-ray NDT imaging techniques[A].

第 17 届世界无损检测大会征稿通知

第 17 届世界无损检测大会技术委员会热忱欢迎全世界无损检测人员踊跃投稿。作者可要求稿件在大会发言、分组会交流或选择张贴。大会语言为英语。

摘要截止日期为 2007 年 10 月 31 日,2007 年 12 月 31 日前发录用通知。

全文截止日期为 2008 年 2 月 29 日,2008 年 4 月 30 日前发录用通知。

相关信息

* 整篇摘要的字数(包括作者姓名、单位、城市和国家)不得多于 300 字。

* 作者可通过网站 www.17wcndt.com 或电子邮箱 chsndt@public2.sta.net.cn 或 chsndt2008@163.com 投寄一篇以上的用英语书写的摘要,摘要录用后再投寄全文(英文),传真件一律不接受。

* 作者在投寄摘要时必须在网上填写一份登记表,注明稿件所属专业和选择口头交流还是张贴,并与摘要同时通过网站投寄。

* 大会技术委员会在 2007 年 12 月 31 日前发出摘要录用通知。

* 收到摘要录用通知后,作者必须在 2008 年 2 月 29 日前通过本网站注册参加大会,否则被视为不参加会议,论文将不收入大会论文集。

* 不得投寄以前发表过的摘要和文章。

* 与会代表将得到一本摘要集和一张收录大会全部论文的光盘。

摘要格式

摘要题目用英文大写。

第一作者,第二作者依次排列。单位,城市,国家。

摘要内容。

举例

PREPARING TESTING

BY PROVIDING CRITICAL SYSTEMS

D. Rouillard, P. Casteran, P. Felix, R. Castanet; Bordeaux; France

The objective of this study was...



15th World Conference on Non-Destructive Testing [C]. Rome;2000.

[4] 汪 鹏. 面向装配体的 ICT 计算机仿真及相关技术研究[D]. 西安:西北工业大学,2003.

[5] Mathy F, Guillemard R, Picone M, et al. Experimental validation of a couple photon Monte Carlo and CAD software[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research,2003,504A:317-320.

[6] Bonin A, Chalmond B, Lavayssiere B, et al. Monte-Carlo simulation of industrial radiography images and experimental designs [J]. NDT&E International, 2002,35:503-510.

[7] Bonin A, Lavayssiere B. New advances in the development of MODERATO[A]. 15th World Conference on Non-Destructive Testing[C]. Rome;2000.

[8] Tillack GR, Nockemann C, Bellon C, et al. X-ray modeling for industrial applications[J]. NDT&E International,2000,33:481-488.

[9] Inanc F, Gray J. New developments in the computer simulation of X-ray nondestructive evaluation process [J]. Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation,1991,10A:355-361.

[10] Tillack GR, Bellon C, Nockemann C, et al. Computer simulation of radiographic process—a study of complex component and defect geometry[J]. Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation,1995,14:665-672.

[11] Carsten Bellon, Tillack GR, Nockemann C, et al. Computer simulation of X-ray NDE process coupled with CAD interface[J]. Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation, 1997, 16: 325 - 330.

[12] Koenig A, Gliere A, Rizo P, et al. Object pose estimation using a set of local radiographs of a part and its CAD model[J]. Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation,1997,16:829-836.