

数字射线照相法现状评述

李 衍

(江苏太湖锅炉股份有限公司, 无锡 214187)

摘 要:概述和简析三种数字射线照相技术的基本特点和方法要点, 凸现其相对于传统的胶片法射线照相技术的各种优点, 并展示其在工业上的应用前景, 以期该新技术在国内迅速推广。

关键词:射线检测; 数字射线照相; 成像; 灵敏度; 分辨力

中图分类号: TG115.28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2006)04-0198-05

Digital Radiography: the State-of-the-Art

LI Yan

(Jiangsu Taihu Boiler Co. Ltd, Wuxi 214187, China)

Abstract: The essential features, key points and advantages of the three modes of digital radiography were outlined and analyzed briefly by comparison with traditional film radiography. Finally, the industrial application prospect of digital radiography was shown, attempting to spread the new technology in China soon.

Keywords: Radiographic testing; Digital radiography; Imaging; Sensitivity; Resolution

数字射线照相是对传统的胶片射线照相的挑战, 其最大特点是有缺陷识别软件和高级分析工具, 且所用射线能量低, 曝光时间短, 透照动态范围大, 但在国内至今未得推广应用。笔者试对国际上盛行的三种模式数字射线照相技术作一简介和评述, 意在为射线检测技术的国际接轨起推波助澜作用。

1 数字射线照相法的优点^[1]

数字射线照相始于 20 世纪 80 年代, 随后按工业需求不断改进, 其优点是① 图像数据利于存档。② 结果便于记录报告。③ 可共享信息。④ 可作数字增强处理。⑤ 对缺陷可自动识别。⑥ 易于实现检测自动化。⑦ 无需消耗品和化学药品(胶片扫描法除外)。⑧ 曝光时间短(效率高, 又利于防护)。⑨ 一次扫描动态范围非常大(厚度宽容度也非常大)。⑩ 可人机对话, 作多种后处理。

2 基本三要素^[2]

2.1 像素

数字图像由像素矩阵组成。典型的数字射线

照片可由几百万像素组成。目前流行的数码照相亦是如此。实际上, 数字射线照相与数码照相有许多相似之处, 如两者的像素数均有限, 像素尺寸一般比胶片颗粒要大得多, 因而有分辨率和图像清晰度的问题。要解决该问题, 有时可采用小焦点(0.1~0.5 mm)或微焦点(0.01~0.1 mm)作投影放大。数字射线照相速度通常也比胶片照相快, 就像数码相机芯片速度要比胶片照相快一样。对射线检测人员来说, 用数字射线照相显然更有利于健康。

2.2 比特(bit)

黑白数码照片通常只由 256 个灰度层组成。一般用 8 bit 的图像, 因为人眼不能识别更小的灰度差。数字射线照相通常为 12 或 16 bit 的图像, 换言之, 数字射线照片在理论上所包含的信息量要比人眼能看到的更多。此额外信息可借助于简单的数字图像处理, 往往是调节亮度和对比度来显示。

2.3 压缩

压缩常用于数码照相, 目的是减少文档占用空间, 但压缩后可能产生伪缺陷, 会与真缺陷相混淆。图 1 为两幅数码图像, 左图是经一般压缩处理的图像, 右图是过压缩图像, 均有“出格”像素显示, 特别

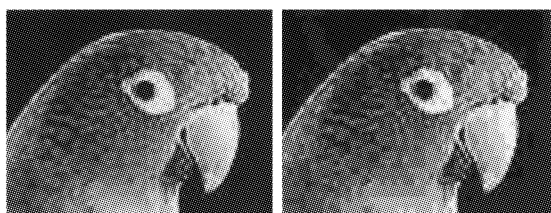


图1 数字图像的压缩

是鸟嘴顶部附近。因此,数字射线照相一般不作压缩处理,以免信息走样和失真,造成误判。然而,三因素的叠加,即大像素数、高比特率和零压缩组合在一起,会使数字射线照相的文档占用空间变得很大。

3 数字射线照相法的模式^[2]

数字射线照片的获得有三种模式,即①对射线照相底片作高分辨率扫描。②用柔性荧光成像板(IP)成像,统称CR技术。③用非晶硅(A-Si)平板探测器成像,统称DR技术。

CR和DR法的唯一区别是成像途径不同,一旦图像展示在显示器荧屏上,两者就毫无差别。

3.1 对射线照相底片作高分辨率扫描

要将射线底片上的影像转换成数字图像,即可采用该法。底片数字化的原因可能有以下三种,①存档和交流的需要,如典型缺陷的分类与存档,用于电化教育和人员等级培训。②某些低密度试件的数字射线照片可能含有比人眼可见更为丰富的信息。③因底片上的信息很有价值,将底片影像数字化后即可按需提取,犹如用平台式扫描仪将办公文件扫描进计算机,存取十分方便。射线底片的扫描结果也可刻录到CD上。该种扫描的像素芯距(Pixel-pitch)可变,通常约 $25\sim 50\ \mu\text{m}$;空间线性(再现射线底片上图像尺寸的准确度)也好。

3.2 用柔性荧光体成像板成像

用荧光体成像板和计算机获取数字射线照片的方法通常称为CR(Computed Radiography)技术。成像板自身为可曲性白色塑料片,其用法与胶片法相似。一般与增感屏一起装在避光暗匣中,然后像胶片一样放在要拍片的部位,甚至可将成像板弯曲后紧贴在管子圆弧面上透照。典型的曝光量约为Agfa D7胶片所用一般电压的70%,若用较低电压,则为其曝光量的10%;而用较高电压,则可为其曝光量的50%。值得注意的是,目前市售成像板已可获得类似于D7胶片的照相质量,而最近推出的成像板甚至可达相当于D4或D5胶片的质量水平。

成像板一经曝光,即可从暗匣移入暗室,但无需全暗环境。成像板为柔性,可绕在现成的卷筒上,随后放入特制扫描器进行数字化处理(图2)。视成像板尺寸和所需分辨率,扫描过程为 $3\sim 12\ \text{min}$ 。

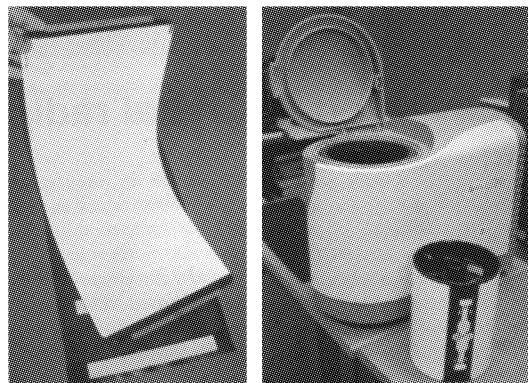


图2 成像板和成像板扫描器

荧光成像板工作原理是当X射线光子透过试件照射到成像板荧光体上时,光子能量被原子吸收,产生潜影。随后,该能量在扫描器中被氦-氖激光器释放。该激光器会释放一定量的蓝光,蓝光被光倍增管(PMT)检出,其量值与射线照相密度成正比。扫描器的像素芯距多为 $50\sim 150\ \mu\text{m}$ 。光倍增管两端的电压与增益成正比。提高扫描增益值会增大射线照相黑度,借此可减少成像板曝光时间,但会影响灵敏度;反之,降低增益值会减小射线照相黑度。为达到所需要的灰度值,需要使成像板作较长时间的曝光,从而提高灵敏度。

荧光成像板都很坚固耐用,可反复使用,只要将其放在普通灯箱上5 min,潜影即可消除,成像板即可重新使用。成像板在操作过程中沾上的污物和油脂,可用异丙醇清洁液清除。但需注意的是,手上的油污会严重影响成像板上的最终影像。制造者声称成像板有数万次曝光的理想工作寿命,但工业用户声称实际工作寿命只有数百次,至多上千次曝光,原因是成像板使用中会产生划伤。

荧光体成像板对低能射线特别敏感,因其最先是为牙科等医学领域设计的,后来才被应用于工业无损检测。但其对厚壁工件中产生的波长较长的散射线也敏感,会引起灰雾,干扰图像,必须采用适当的滤板和有效屏蔽。

3.3 用平板探测器成像

平板探测器有非晶硅和非晶硒(后者较新,但价格较贵)两种。两者所需曝光时间均较短。图3是Agfa非晶硒平板探测器的局部剖视图。该种成像



图3 非晶硒平板探测器

板能获得类似于胶片的成像质量,但其典型的像素芯距为 $100\ \mu\text{m}$ 。对直接转换的平板来说,常用光电导体取代闪烁体,将 X 射线直接转换成电荷。

平板探测器的电源和控制系统直接与计算机连接,可取代图像增强器用于实时成像,但由于该种探测器较精细,现场工作要小心维护。市售平板探测器有工业护套(带程序卡),并有适于现场工作的电池作电源,但其更常用于自动生产线(如大批量小径管对接环焊缝及小铸件在线检测)。

应用平板探测器时,应考虑其平均寿命。曝光过度、射线能量太高和两次曝光间不停歇,都会影响其使用寿命。特别是 $100\sim 150\ \mu\text{m}$ 像素芯距可能会产生问题。这可用投影放大来解决,但要以减小一次成像区域为代价。目前平板探测器的价格和技术特性还在不断翻新,订购时应考虑性价比。

4 图像质量评价的两个关键参数

4.1 关于分辨率的像素芯距

像素芯距相关于像素尺寸,但不可与分辨率相混淆。

图4将图1中鸚鵡的眼睛作了放大,可见要使其正确成像需要一定量的像素。

当从波形取样时,要使用波形中所含

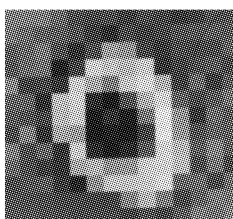


图4 像素芯距的示例

最高频率的两倍作为最小许

用取样频率。但一般认为,取样频率取 $2\sim 4$ 倍最高频率更为合适。从数字图像取样时,也同样如此。数字射线照相由于其固有分辨率较低,对气孔类缺陷的成像较为理想,而要使裂纹类平面状缺陷正确

成像,不借助于投影放大,往往不尽人意。但要注意,若清晰度大于像素芯距,则清晰度会成为分辨率的限制因素;反之,不清晰度对分辨率无影响。

4.2 关于灰度层次的光学密度

胶片射线照相的光学密度是观片灯入射光强与透射光强的常用对数之比。如光学密度为4的底片,会使透射光强降为入射光强的万分之一。数字射线照相结果不是放在观片灯上观测的,故不可对其照相黑白度如胶片法一样评价,通常用灰度层评价。一幅12 bit的图像,灰度层范围为 $0\sim 4095$ 。灰度层0为黑色,4095为白色。这些数字用起来很不方便,当使用16 bit的图像时,就显得更加繁琐。为此,有专家建议使用简单的百分数等级,即0%代表全白像素,100%代表全黑像素,就像胶片射线照相用光学密度一样方便,且不受比特数影响。

5 成像板和平板探测器与胶片的比较^[3]

表1就像质计(IQI)灵敏度、像素芯距和曝光时间等特性,对荧光体成像板、平板探测器和射线胶片作了比较。射线胶片和平板探测器在一定能量范围内可获得较高灵敏度。胶片的分辨率比平板探测器高得多,而平板探测器所需曝光时间要少得多。正如传统的胶片相机拍出的照片要比数码照相清晰,但需较多曝光量。成像板灵敏度最低,但其分辨率领先于各种数字射线照相法。

图5给出了三种成像法的等效透度计灵敏度

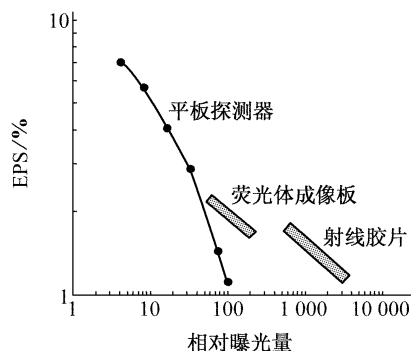


图5 三种成像法的等效透度计灵敏度(EPS)比较

表1 荧光体成像板、平板探测器与射线胶片的特性比较

成像模式	像素芯距/ μm	IQI 灵敏度		曝光时间		电压值 ¹⁾	保洁、坚固性	弯曲	重复使用	化学药品	自动识别缺陷	数字图像处理	后处理	自动化
		低压	高压	低压	高压									
荧光	40~100	中	低	短	长	低 10%	好	可	可	不用	可	是	简单	不可
平板	100~150	中/低	中/低	很短	短	低 30%	差	不可	可	不用	可	是	简单	可
胶片	—	高	高	长	长	高	好	可	不可	用	不可	否	复杂	不可

注:1) 该栏低10%和低30%是与胶片照相法相比。

(EPS)。可见,与胶片法相比,成像板和平板探测器均能以较短的曝光时间和较低的管电压,达到一般所要求的 2% 灵敏度。但平板探测器的灵敏度范围仍很有限。据悉,目前 GE 公司正在制造灵敏度更高的平板探测器。

6 数字射线照相的现行标准

有关数字射线照相的现行欧洲标准有 EN138 N 540 94《荧光体成像板工业 CR 法》、EN138N 541 95 的第 2 部分《金属材料 X 射线和 γ 射线检测一般原理》和 BS-EN 14096(2003)《射线照相胶片数字化系统的特性评定》的第 1 和第 2 部分;最新美国标准有 ASME(锅炉压力容器规范(2004 版)第 5 卷第 2 章强制性附录 III《胶片法射线照相和荧屏法射线照相中数字图像的采集、显示和存储》和附录 IV《胶片法射线照相和荧屏法射线照相检测结果的评定和处理》。

7 数字图像分析^[4]

7.1 快变焦与像素显示

在观片灯上观测射线底片时,影像中含有信息可能比人眼可见信息和监视器荧屏上显示的信息要多得多。典型的监视器荧屏由 1024×768 像素组成,而射线底片很可能含有比这更多的像素。因此,如果不用分辨率很高的监视器,荧屏上就不可能一次显示所有的图像像素。但即使监视器的分辨率很高,人眼的分辨率毕竟有限。分析数字射线照片时,软件的快变焦功能应调至 1:1,以保证监视器与图像中的像素以 1:1 显示。可将图像放大,但不可缩小图像尺寸($<1:1$),缩小会使图像中的有些像素不能被显示。

7.2 比特数与灰度等级

大多数监视器只能显示 8 bit 的黑白灰度等级,因为人眼一般不能识别较小的灰度等级差。市场上还有价格昂贵的能显示 8 bit 以上的监视器,但人眼并不能评价其灰度差。然而,图像显示卡必须能记录 12~16 bit 灰度等级图像。

通过调节亮度和对比度,可识别各种灰度等级,即使使用质量较差的监视器也可实现。如一幅 16 bit 的图像,通过亮度和对比度调节可分解成 3 幅 8 bit 图像,然后分别输出。有时通过调节对比度和清晰度以及快变焦,确能使图像信息显示更清晰,但也要防止有些过程(包括浮雕式处理和某些边缘增强法)

会使图像畸变。操作者应熟知软件中哪些程序会改变影像,哪些只是调节影像,使之变得易于观测。

7.3 像质计与像质评价

为调节图像尺寸、亮度和对比度作最佳观测,可借助于金属丝像质计进行评价。一般认为,凡能显示更多金属丝的调节会优化影像质量。有关数字射线照相技术的标准已提出,普通金属丝像质计和 Pt-W 双丝像质计要同时使用,前者用于评价灵敏度,后者用于评价分辨率。数字图像因其像素芯距有限,分辨率的测评尤为重要。

7.4 阶梯块与定量测试

数字射线照相的又一优点是可作准确的定量测试。图 6 给出了图像灰度等级的线测量示例。操作者仅需在阶梯块的射线透照图像上画一条横贯各阶梯厚度的直线,利用软件即可沿该线测出每一像素的灰度等级值。一目了然,简易可行。

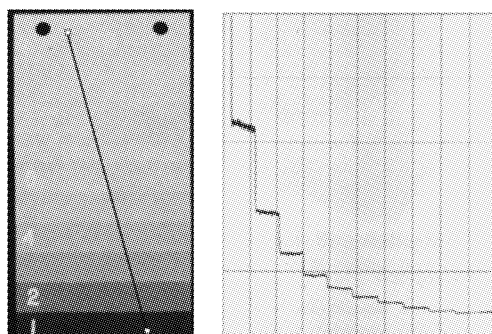


图 6 灰度级别的线测量示例

7.5 滤波法等附加处理

还有滤波和其它处理程序可用于数字射线照相,以辅助缺陷检出或揭示图像中的隐藏细节。例如检测一个阀门可得到三种图像,即未经滤波的原始图像、经锐化处理后的图像以及将相关区域作了浮雕处理的图像。

7.6 缺陷自动识别

缺陷自动识别用于缺陷图像分析,无需操作者参与评定。该程序适用于高度重复性工作,通常是将平板探测器用于生产线上。将 X 射线机以某种方式固定,以对每一被检工件提供恒定的照射量。

将完好工件的最佳图像与每个图像作减法计算,然后检查标定的估计有缺陷的危险区。两图像对准中的小误差有可能引起假像,为此,两图像先要登记注册,以保证像素与像素行列对准后,再作减法计算。该技术常用于汽车驾驶盘类铝铸件的检测。

8 计算机层析照相

计算机层析照相(CT)可用于重建三维图像或工件剖视图。例如将一机械零件放在可作步进级转动的转台上,每转一步用平板探测器照相。随后,将这些图像组合在一起,或作为形成工件移动的电视帧,或通过更复杂的算法进行处理,以构成工件三维图像。该图像可作旋转,以便从任意角度进行观察,也可作“切片”处理,以揭示工件中的相关细节。

9 射线检测人员所面临的新挑战

拍摄数字射线照片和一般射线照片所需的技术有很大不同,数字射线照相要求使用者掌握一定的计算机知识和熟练的操作技术,还要求射线检测人员会进行图像处理、数据处理、信息检索、多媒体和网络交流以及共享资源等。

10 结论

数字射线照相目前主要有射线底片扫描法、荧光体成像板法和平板探测器法三种方法。若影像要求微粒和高分辨率的胶片(如对细小裂纹的检测),

已有的数字传感器可能不能满足所需的分辨率,但该类传感器的问世已指日可待。若具体应用只要求中粒胶片、较短曝光时间和能沿弧面弯曲,就可考虑采用柔性荧光体成像板作传感器。若对平面工件或小铸件作高速度、全自动或实时检测,则可考虑采用硒平板探测器。锅炉小径管和液化气钢瓶等对接环焊缝的在线实时成像检测,也可考虑采用非晶硅或非晶硒平板探测器取代图像增强器,无需附加摄像机,并可减少因视频信号数字化而引起的图像损失。

参考文献:

- [1] Halmshaw Ron, Ridyard Neil. A reivew of digital radiological methods[J]. BJ NDT,1990,32(1):17—26.
- [2] Blakeley B. Digital radiography —— is it for you? [J]. INSIGHT,2004,46(7):403—407.
- [3] Purschke M. IQI sensitivity and applications of flat-panel detectors and X-ray image intensifiers——a comparison[J]. INSIGHT,2002,44(10):628—630.
- [4] Mohr GA, Bueno C. GE A-Si flat panel detector performance for industrial digital radiography [J]. INSIGHT,2002,44(10):631—633.

(上接第 184 页)

表 2 K89+140 钢筋锈蚀率表

y 测试 格点	x 测试格点对应的钢筋锈蚀率/ $\mu\text{m} \cdot \text{a}^{-1}$							
	1	2	3	4	5	6	7	8
8	5.9	196.9	3.5	45.2	4.8	3.1	361.7	141.4
7	2.9	85.5	1.6	61.9	121.7	75.4	78.3	57.1
6	19.4	0.6	8.7	10.2	12.9	71.0	5.7	9.8
5	72.8	4.5	1.9	44.0	5.4	23.5	3.0	37.8
4	3.9	34.3	161.8	46.0	35.7	60.7	75.4	11.3
3	122.3	59.1	56.7	93.8	78.0	69.4	66.2	49.1
2	20.7	88.2	16.3	72.6	65.2	2.0	3.3	1.2
1	7.2	195.9	96.5	105.1	75.7	80.5	21.6	90.7

表 3 锈蚀情况表

锈蚀率 $\mu\text{m} \cdot \text{a}^{-1}$	锈蚀 程度	测点分布/个		占总测点百分率/%	
		K89+384	K89+140	K89+384	K89+140
<20	微弱	12	24	5.3	37.5
20~50	较慢	40	10	17.8	15.6
50~150	中等	140	26	62.2	40.6
>150	较快	33	4	14.7	6.3

电位都不高,电势差 $>-150\text{ mV}$ 的点很少,按传统的评定方法,应该都是发生锈蚀概率很低的区域。但是结构内部的钢筋存在很高的锈蚀速率。说明钢筋的锈蚀正在迅速地发生,但还没有积累到一定的程度,这是采用传统半电池法无法发现的。如何降低结构内部钢筋的锈蚀率,成为业主维护的重点。建议业主在做路面高性能混凝土的同时,做好内部钢筋的防锈阻锈工作。

5 结论

GP 钢筋锈蚀率检测仪不仅可以定性测出混凝土内部钢筋是否已经锈蚀,而且还能定量测试出正在发生锈蚀的速率和程度,从而为无损检测结构内部钢筋锈蚀程度探索出新的途径,为混凝土结构维修保护方案设计提供准确的参数。

参考文献:

- [1] 埃文·瑞泽. 钢筋混凝土桥梁的维修与保护的材料和方法[J]. 混凝土,2002,(10):25—28.
- [2] 刘超英,孙伯勇. 水工混凝土钢筋锈蚀检测技术及应用[J]. 浙江水利科技,2003,(2):38—39.