

# 二次射线照相法计算支撑绝缘子缺陷尺寸

郭铁桥<sup>1</sup>, 郭涛涛<sup>2</sup>, 王达达<sup>2</sup>, 高 阔<sup>1</sup>, 于 虹<sup>3</sup>, 吴章勤<sup>4</sup>

(1. 华北电力大学 机械工程系, 保定 071003; 2. 呼和浩特供电局, 呼和浩特 010051;  
3. 云南电力研究院高压研究所, 昆明 650217; 4. 云南电力研究院金属研究所, 昆明 650217)

**摘 要:**将设备缺陷分成表面缺陷与内部缺陷两种情况进行讨论, 表面缺陷尺寸直接利用三角形相似定理进行计算, 而内部缺陷则需用二次透照方法所得的图形利用两次三角形相似定理进行计算。最后将设备解体(即打开罐体)后直接对缺陷进行测量, 将这直接测量值与以前透照方法所得的计算值进行比较, 验证了该方法的准确性。

**关键词:**X 射线; 缺陷尺寸; 计算方法

中图分类号: TG115. 28

文献标志码: B

文章编号: 1000-6656(2013)05-0078-03

## Calculation of the Defect Size of Support Insulator Defects Size by Secondary Radiography

GUO Tie-Qiao<sup>1</sup>, GUO Tao-Tao<sup>2</sup>, WANG Da-Da<sup>2</sup>, GAO Kuo<sup>1</sup>, YU hong<sup>3</sup>, WU Zhang-Qin<sup>4</sup>

(1. Department of Mechanical Engineering in North China Electric Power University, Baoding 071003, China;  
2. Hohhot Power Supply Bureau, Hohhot 010051, China; 3. Yunnan Electric Power  
Test & Research Group CO, LTD Electric Power Research Institute, Kunming 650217, China;  
4. Postdoctoral Workstation of Yunnan Power Grid Corporation, Kunming 650217, China)

**Abstract:** The device defect is divided into two cases of surface defects and internal defects to discuss, the surface defect size direct use of triangle similarity theorem to calculate, the internal defects use secondary radiographic methods and two triangles similarity to calculate. Finally, the defect measure by the disintegration of equipment and then verify the accuracy of the method.

**Keywords:** X-ray; defect size; calculation method

对支撑绝缘子进行 X 射线检测时, 为了更加准确地判断内部缺陷的性质, 有必要对缺陷大小做出准确计算。

X 射线数字平板探伤技术是近几年发展起来的新技术, 鉴于其具有快速性、可视化等特点, 该技术已经在航天、制造、安检等行业广泛应用, 但在电力行业尚无应用<sup>[1]</sup>。

笔者单位率先将 X 射线数字平板探伤技术引入到电力设备的现场检测中。

收稿日期: 2012-04-23

基金项目: 云南电网公司重点资助项目“基于 X 射线的电力设备数字成像透视检测系统研发与应用”(K-YN2010-301)

作者简介: 郭铁桥(1958—), 男, 学士, 副教授, 主要从事机电、物流系统研究。

## 1 缺陷尺寸计算方法

### 1.1 设备表面缺陷尺寸计算方法

位于被检设备的表面缺陷分为两种情况: 缺陷位于近成像板侧, 远离成像板侧<sup>[2]</sup>。缺陷位置与系统布置示意如图1所示, 图1表面缺陷1远离成像

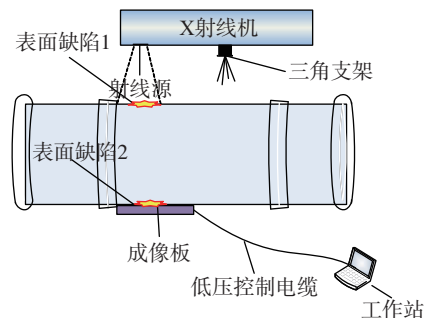


图1 表面缺陷位置与系统布置示意图

板侧,表面缺陷 2 近成像板侧。

假定射线源为点源,  $a$  处缺陷位于远离成像板侧,  $b$  处缺陷位于成像板侧附近。图 2 为表面缺陷成像几何示意。

近成像板侧罐体表面缺陷的实际尺寸近乎等于成像板采集图像中缺陷  $b$  的大小,  $b = L_1$ 。缺陷  $a$  的大小可以根据几何三角形相似的原理进行计算, 计算公式如下:

$$\frac{M_1}{F_1} = \frac{a}{L_2} \quad (1)$$

式中:  $M_1$  为射线源到罐体表面的距离;  $F_1$  为射线检测选择的焦距值;  $L_2$  为采集图像中缺陷的尺寸(直接由 Rhythm Review 软件直接测量)。

由上述公式可以推出:

$$a = \frac{M_1 \times L_2}{F_1} \quad (2)$$

$M_1, F_1, L_2$  都可以经过测量直接得到, 经过计算即可得到缺陷大小  $a$  的值。

## 1.2 缺陷位于被检设备的罐体内部

缺陷位置与系统布置示意图如图 3 所示。

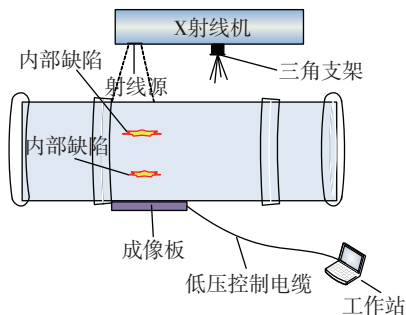


图3 内部缺陷位置与系统布置示意图

当缺陷位于罐体内部时, 由于无法测量射线源到工件表面的距离, 采用简单的三角形相似原理无法计算缺陷的实际大小。

经过理论的研究与现场试验的论证, 在保证 X 射线机管电压、管电流、缺陷位置等不变的条件下采用不同的焦距值对同一部位进行两次检测试验, 通过两次检测所得的两张图像的各类参数组成一个多元方程组, 通过求解此方程组即可计算出缺陷的实际尺寸大小<sup>[3-4]</sup>。

假设 X 射线源为点源, 检测试验时保证透照参数不变, 改变两次透照试验的焦距值。图 4 为内部

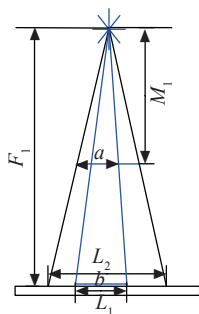


图2 表面缺陷成像几何示意图

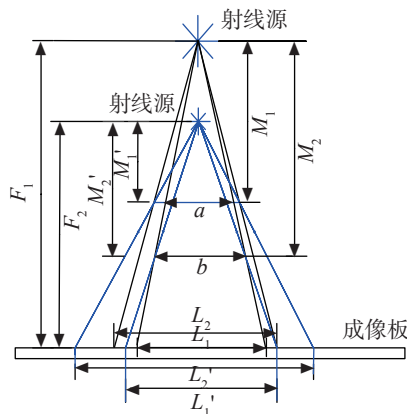


图4 内部缺陷成像几何示意图

缺陷成像几何示意图。

分别对两次试验使用三角形相似方法得到:

$$\begin{cases} \frac{M_1}{F_1} = \frac{a}{L_2} \\ \frac{M_1'}{F_2} = \frac{a}{L_2'} \\ M_1 - M_1' = F_1 - F_2 \end{cases} \quad (3)$$

式中:  $M_1, M_1', a$  为三个未知量;  $F_1, F_2, L_2, L_2'$  均为测量值。

通过式(3)解得:

$$a = \frac{L_2 \times L_2' (F_1 - F_2)}{L_2' F_1 - L_2 F_2} \quad (4)$$

同理可得:

$$b = \frac{L_1 \times L_1' (F_1 - F_2)}{L_1' F_1 - L_1 F_2} \quad (5)$$

通过上式可得设备内部缺陷大小, 只需要对相应缺陷进行两次测量即可。

## 1.3 计算实例

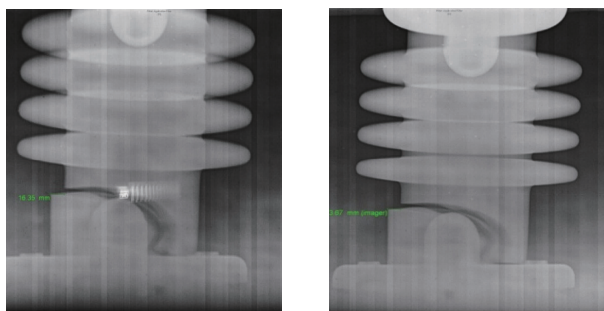
以怒江六库中心变电站发现的 GIS 母线支撑绝缘子断裂故障为例, DR 检测系统为 GE 公司的 DXR250V 平板探测器, 有效探测面积为  $41 \text{ cm} \times 41 \text{ cm}$  和 ERESO MF4 系列便携式 X 光射线机。X 射线机管电压最大值为  $300 \text{ kV}$ , 最大功率为  $900 \text{ W}$ , 焦点尺寸为  $2.6 \text{ mm} \times 2.6 \text{ mm}$ 。

两次透照的参数如下, 透照电压  $300 \text{ kV}$ , 电流  $2.8 \text{ mA}$ , 曝光时间  $2 \text{ s}$ , 采集次数为 4 次, 透照焦距分别为  $1200$  和  $1300 \text{ mm}$ 。

支撑绝缘子成像效果图与 Rhythm Review 软件直接测量的支撑绝缘子错位位移值如图 5 所示。

根据式(4)并将式中的字母所代表的参数值全部代入, 则可直接计算缺陷大小值:

$$L = \frac{16.35 \times 13.67(1300 - 1200)}{13.67 \times 1200 - 16.35 \times 1300} = 4.61 \text{ mm}$$



(a) 第一次透照

(b) 第二次透照

图5 支撑绝缘子成像效果图

打开罐体后检测人员对支撑绝缘子的缺陷进行了测量,测量值为 4.55 mm,测量值与计算值基本一致。

## 2 结论

通过理论的研究与现场试验的论证,利用二次射线照相可以准确计算出支撑绝缘子缺陷的大小,进而判断出缺陷的性质。

(上接第 61 页)

## 5 结论

PF 方管铝甲焊缝 6 次透照法工艺规范顺利通过 ASME 三级人员的评定,也得到了 International Organization (IO) 的认可。目前已成功应用于 ITER 项目中 PF 方管铝甲焊缝的检测。

对于类似 PF 方管铝甲外方内圆结构的管材焊缝,可以采用垂直透照 6 次的方法,既保证了焊缝的 100% 检测,也保证了细小缺陷的识别。

对在无损伤行业有严格要求的领域,提供了一个可参照的方法。在对角透照时,射线束偏离对角  $15^\circ$ ,减少了黑度差,给缺陷的识别提供了另一种保障。

### 参考文献:

- [1] 强天鹏. 射线检测[M]. 北京:中国劳动社会保障出版社,2007:129—135.
- [2] ASME—2007 Sec. V Nondestructive Examination [S].
- [3] 吕松. 小径管 X 射线检测透照布置的探讨[J]. 无损检测,2010,32(7):513—514.

该方法可以推广到其他机械制造航天领域设备的 X 射线检测计算内部缺陷大小,判定缺陷性质。

该方法对于缺陷方向与透照方向成  $90^\circ$  或者角度较大时,无法准确判定缺陷大小与性质。因此利用该方法时应首先对 X 射线图像中缺陷的方向进行判断。

### 参考文献:

- [1] 曾祥照. X 射线实时成像检测图像最佳放大倍数和最小检出缺陷[J]. CT 理论与应用研究,2002,11(4):13—16.
- [2] 孔凡琴,路宏年. 基于数字射线成像的航空发动机涡轮叶片缺陷尺寸的自动测定[J]. 兵工学报,2005,26(3):335—337.
- [3] 韩加强. 数字射线图像缺陷尺寸的自动测定[J]. 科技信息,2009(23):856—857.
- [4] 李衍. 微焦点 X 射线照相法的特性和应用探讨[J]. 无损探伤,1995(1):6—11.

(上接第 63 页)

纹波以外,还要对以下主要的假信号进行识别。

(1) 螺栓颈部与螺纹之间过渡圆弧反射信号,用手指沾油触及过渡圆弧并观察其波形变化<sup>[2]</sup>。

(2) 变形波。用手沾油拍打产生反射波部位,看波峰是否跳动,若跳动,可判断为变形波,看此波是否在同一位置出现,出现可认为是缺陷波,若消失可认为是变形波。

## 8 结论

采用纵波小角度斜探头放在两端面上径向检测和横波斜探头放在光杆部位周向检测能较好地检出汽轮机高温紧固螺栓螺纹根部裂纹,对螺纹根部裂纹信号和假信号的辨别,需通过计算声程确定螺纹根部裂纹(裂纹波)和假信号(螺纹波和反射杂波等)位置,并结合探伤经验加以识别,作出正确判断。

### 参考文献:

- [1] DLT694—1999 高温紧固螺栓超声波检验技术导则[S].
- [2] 郑晖,林树青,主编. 超声波检测[M]. 2 版. 北京:中国劳动社会保障出版社,2008.