

支柱绝缘子及瓷套超声波探伤工艺方法研究

王维东, 刘 勇

(徐州电力试验中心, 江苏徐州 221009)

摘 要:如何早期发现在役支柱绝缘子及瓷套中存在的危及安全运行的裂纹,一直是升压站和变电站检修的难题。分析了裂纹形成的原因,并根据试验研究的结果,提出了探伤方法。

关键词:超声检测;支柱绝缘子;瓷套;探头

中图分类号: TG115.28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2006)09-0460-03

Research on Ultrasonic Inspection Technique of Pillar Insulators and Porcelain Cover

WANG Wei-dong, LIU Yong

(Xuzhou Power Test Center, Xuzhou Jiangsu 221009, China)

Abstract: How to discover the dangerous slight crack in early stage in labor pillar insulator and porcelain cover, is a problem of the overhaul in step-up station and substation. The cause of the formation of slight crack was analyzed. The technique of flaw detection was put forward on the base of experiment study and practice.

Keywords: Ultrasonic inspection; Pillar insulator; Porcelain cover; Probe

1 支柱绝缘子及瓷套裂纹检测现状

在役支柱绝缘子及瓷套易在法兰处折断,原因在于支柱绝缘子是高温烧结成的瓷件,如果在制作过程中配方不当,原料混合不均,易形成瓷件内部缺陷,由于没有固有的形变能且韧性极低,长期承受运行中的机械负荷和风雨等,从而使末裙与法兰交界处附加应力增大,若瓷体存在微小缺陷,可能造成破坏。根据国家电网公司生技[2005]174号《72.5 kV及以上电压等级支柱绝缘子技术监督规定》的要求,进行调查得出断裂部位95%以上是在法兰口内3 mm到与瓷体相交附近的区域内(图1)。

2 超声检测方法准备

2.1 并联式爬波探头

爬波是折射角为 90° 的压缩纵波,对表面的粗糙度不敏感,将爬波探头的入射角 α 固定在第一临界角,根据探测距离选择适当的晶片面积,组成并联式结构,由于爬波仅仅对距表面深度8 mm内缺陷

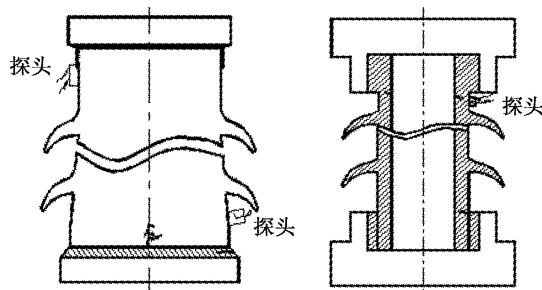


图1 支柱绝缘子及瓷套需要检测的部位

有效,因此应调整晶片与探测面间的夹角 θ 尽可能增加检测距离。由于爬波声速很大,因此回波距离始脉冲较近,而同时出现的横波声速仅为爬波的一半,由横波产生的信号在时基线上位置明显滞后,不会干扰检测。

2.2 纵波斜探头

爬波检验范围虽然有限,但对工程量大的普查无疑是一种快速简便的检验方法。由于爬波仅对支柱绝缘子及瓷套的表面下8 mm内的裂纹有效,对支柱绝缘子的内部以及瓷套的内壁缺陷无法检测,因此必须找到既有横波扫查功能又要保证在狭窄区域能有效扫查到内部及对称面微裂纹等缺陷的探头,同时还要考虑不同直径、不同配方及窑次烧结的

收稿日期: 2006-02-13

作者简介: 王维东(1948~),男,无损探伤技师,徐州发电厂金属室主任。

不同晶粒度等因素对探伤灵敏度的影响,因此需要找出适应上述条件的最佳频率及合适的探头折射角范围。研制得出的纵波入射角分别为 $5^{\circ}\sim 8^{\circ}$ 。

2.3 专用钢质系列标准试块

检验必须依据标准声速试块测定专用探头的入射点和折射角,调整扫描速度,确定探伤灵敏度和支柱绝缘子及瓷套的声速转换,比较缺陷的当量。超声波探伤试块的合理与否,直接关系到测试结果的准确性。陶瓷在原料配方、烧接工艺方面存在差异,常规测定普通瓷的声速为 $5\,700\sim 6\,100\text{ m/s}$,高强瓷则 $>6\,200\text{ m/s}$,声速的变化说明支柱绝缘子及瓷套具有不同的晶粒度,而晶粒度的变化将导致底波的位移,由于每个支柱绝缘子及瓷套的声速均不同,当利用瓷柱刻人工槽作为试块势必造成因每个瓷柱声速不同而无参考价值,且瓷柱试块无法做到和支柱绝缘子及瓷套不断变化的外径相吻合,导致声耦合不良而失去比较意义。这里采用了材料为20号优质钢作为试块,经锻打正火处理晶粒度为8级(此时的声速为 $5\,910\pm 50\text{ m/s}$ 的标准声速)。试块的形状与规格见图2。其中的 L, T, r, R 和 $\phi 1\text{ mm}$ 横通孔深度可按实测工件的直径和厚度确定。

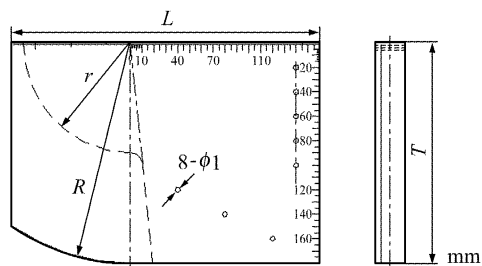


图2 JYZ-1型试块的形状与规格

便携式JYZ-BX试块(图3)为在一块试块上加工七个弧面和一个平面,其中不同直径的弧面可在试块的截面图中看出,满足了所有直径的支柱绝缘子及瓷套对试块弧面的要求。

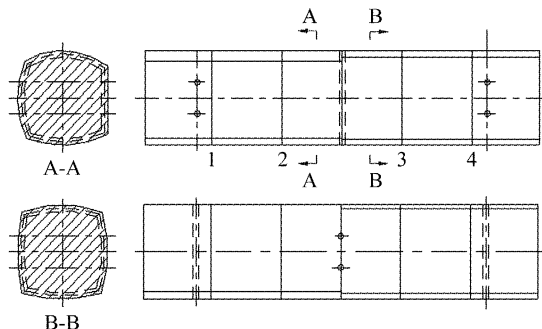


图3 便携式JYZ-BX试块的形状与规格制作要求

2.4 支柱绝缘子及瓷套的声速修正

利用超声波作声速的简易测定,在探伤时就可以迅速估算出声速的范围,这将有利于提高缺陷检出能力和识别能力。

已知碳钢标准试块的声速为 $5\,910\text{ m/s}$,当采用标准试块钢中的声速作为已知声速时可以用来比较瓷绝缘子的声速,因为二者间的声速有一定差异,所以探伤中必须进行如下的声速修正。

标准试块的声速应进行复核测定作为已知声速 c_c ,用已知声速试块调整仪器的扫描速度,然后测定瓷柱试块中回波的传播时间 t_A ,则瓷柱材料中的传播速度 c_A 可由下式求出

$$c_A = c_c \frac{t_c}{t_A} \quad (1)$$

式中 t_c 为超声波在标准试块中的传播时间。超声波在标准试块中的传播距离与瓷柱中相等时, t_c 和 t_A 在时间扫描线上有一定差异,可分别在示波屏上读取。

求出瓷柱声速后,以瓷柱声速与标准试块声速之比求出声速比例系数 c_A/c_c ,在应用时,以声速比例系数乘以瓷柱的某一反射信号的指示深度值 x_A ,即为瓷柱真实深度值 h_A ,即

$$h_A = \frac{c_A}{c_c} x_A \quad (2)$$

3 超声检测试验

3.1 采用爬波测定近表面裂纹深度^[1]

将探头置于与被探工件直径相近的JYZ试块的圆曲面,对不同深度的模拟裂纹进行测试发现,当模拟裂纹深度 $<6\text{ mm}$ 时,反射波高随模拟裂纹深度增加而增高,当模拟裂纹深度 $>6\text{ mm}$ 时,反射波高随模拟裂纹深度增加而平稳下降,结果表明模拟裂纹在深度为 $1\sim 6\text{ mm}$ 时反射波基本呈线性。图4为采用HS-611型数字式超声波探伤仪和ST-7型超声波探伤仪的测试情况,从图中看出,两种仪器测试结果的变化趋势相同。

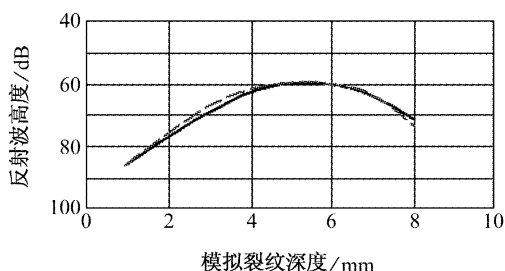


图4 两种仪器测试情况

3.2 采用纵波斜探头比较仪器状况

采用入射角 $5^{\circ} \sim 8^{\circ}$, 2.5 和 5 MHz 两种频率的纵波斜探头, 五台不同型号的超声波探伤仪, 实测支柱绝缘子试块及瓷套试块的内外壁模拟裂纹时的状况见表 1。

表 1 各仪器实测试块模拟裂纹的情况

仪器 型号	分辨率/dB		波高/dB	
	2.5 MHz	5 MHz	2.5 MHz	5 MHz
ST-7	>11	>13	7	20
CTS-2200	>11	>14	10	14
EPOCHIⅢ(2300)	>8	>11	10	7
USM25DAC	>8	>12	12	20
HS611	>10	>14	9	20

3.3 检测结果比较

试验表明, 裂纹与底波间的分辨率是裂纹检出的关键。而 EPOCHIⅢ(2300) 及 USM25DAC 数字式仪器分辨率低于其它仪器 2~3 dB, 显然识别能力变差, 采用纵波斜入射方法检测时, 当改变频率, 5 MHz 比 2.5 MHz 分辨率高约 4 dB。因此, 应根据晶粒度选择探头频率。在可能的情况下, 应尽可能选择较高频率, 以提高缺陷的分辨率。判定缺陷的当量则应根据 $\phi 1$ mm 横孔或深度 2 mm 模拟裂纹反射高度与缺陷反射波高进行当量比较。由于 EPOCHIⅢ(2300) 及 USM25DAC 数字式仪器重复频率和采样频率均低, 极易造成漏检, 应引起重视。

4 探伤灵敏度的确定

4.1 爬波探伤灵敏度^[2]

将探头置于试块上, 找出距探头前沿 20 mm, 深度为 2 mm 模拟裂纹的最强反射波, 调整至 80% 满屏高, 衰减 10 dB, 将探头置于支柱绝缘子或瓷套的探测面进行探伤, 此即探伤灵敏度。

4.2 纵波斜入射探伤灵敏度

采用 5 MHz 及相应折射角探头, 在试块上找出与支柱绝缘子及瓷套直径或壁厚相近的 $\phi 1$ mm 横孔最强反射波, 调整至 80% 满屏高, 将探头置于支柱绝缘子及瓷套的探测面, 在此基础上衰减 6 dB 进行探伤, 此即探伤灵敏度。

当采用 JYZ-BX 试块时, 应找出与被检零件直径相近的深 40 mm, $\phi 1$ mm 横通孔最强反射波, 调整为 80% 满屏高时增益 15 dB 进行探伤, 此即探伤灵敏度。

5 缺陷的定位定量

(1) 采用爬波检查外壁缺陷时, 显示屏始脉冲后基本无杂波, 缺陷信号容易识别。指示长度易测定。扫查时会出现两种情况, 即① 外壁缺陷信号不超过深度 1 mm 模拟裂纹反射波高, 此时应测定其指示长度, 当指示长度 ≥ 10 mm 时应判定为裂纹, < 10 mm 时应判定为近表面损伤。② 当缺陷反射波高高于深度 1 mm 模拟裂纹反射波高时, 指示长度 ≥ 5 mm 时应判定为裂纹。

爬波检查外壁缺陷判为裂纹时, 必要时应用纵波斜探头进行验证, 以便最终确定缺陷性质。

(2) 采用纵波斜入射探伤时, 当缺陷波与底波同时出现, 分为两种情况, 即① 两波信号比 < 6 dB, 即缺陷波信号低于底波信号, 且指示长度 > 10 mm 时应判定为裂纹。② 两波信号比 > 6 dB, 即缺陷波信号高于底波信号, 且指示长度 < 10 mm 时应判定为裂纹。

探测中如发现支柱绝缘子及瓷套内部缺陷, 应采用与缺陷深度相近的 JYZ 系列试块作当量比较。

6 实试验证

采用该工艺方法对国家电网公司 500 kV 常州政平换流站和 500 kV 徐州三堡变电站等一批 220~500 kV 变电站和升压站进行了普查检验, 发现了政平换流站 5053A 相编号 1 和三堡变电站 5333 线 5011 号刀闸支柱绝缘子裂纹, 因为及时更换, 避免了停电事故。经实试验证了该工艺方法是可行的。

参考文献:

- [1] 刘德荣, 贺潜源. 利用爬波测定表面裂纹深度[J]. 无损检测, 1988, 10(7): 197-199.
- [2] 樊利国, 荆洪阳. 爬波检测及其应用[J]. 无损检测, 2005, 27(4): 212-217.



2006 年第 7 期 392 页《射线底片评定中需注意的几个问题》第一行“10 mm 圆孔影像不应误判为缺陷而应将其评级”有误, 应改为“10 mm 圆孔影像不应误判为缺陷而将其评级”。

——编者注