

复合绝缘子压接质量监测仪的研制

李光海, 刘时风, 陈玉华

(清华大学机械工程系, 北京 100084)

摘要: 复合绝缘子越来越广泛地应用于输电线路中, 但其压接过程中的质量一直没有有效的方法进行监测。由于复合材料在变形过程中会出现声发射现象, 并且随着变形或损伤的程度不同, 其声发射信号的特征有所不同。分析这些特征可以对压接过程中绝缘子的压接质量进行判断。根据此原理, 构建了复合绝缘子的压接质量监测仪器, 并且重点描述了系统软、硬件设计中的关键问题。现场测试表明: 基于声发射技术的监测仪在复合绝缘子压接质量判别上有着良好的效果。

关键词: 声发射; 复合绝缘子; 质量监测

中图分类号: TP212 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-1841(2004)03-0013-03

Development of Quality Inspecting Instrument for Pressing out Composite Insulator

LI Guang-hai, LIU Shi-feng, CHEN Yu-hua

(Department of Mechanical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract Composite insulators are applied in electricity transmitting widely. However, the pressing out quality of insulators can not be inspected effectively all the while. Since Acoustic Emission(AE) signals can be brought out while the composite materials deforming, and AE characteristics are different at the different moment of deforming. By analyzing the AE characteristics, the pressing out quality of insulator can be set apart. Based on this theory, established a new quality inspecting instrument and also described the way to solve key problems of the hardware and software design. The result shows that this instrument based on AE technology is effective on quality inspection of composite insulator processing.

Key Words: Acoustic Emission; Composite Insulator; Quality Inspection

1 引言

绝缘子是高压架空输电线路中的关键部件之一。其性能将影响整条线路的安全。随着电网向超高压大容量发展, 瓷绝缘子越来越明显地暴露出性能上固有的缺陷与弱点, 如笨重、易破碎、机械强度低、表面呈亲水性、易产生污闪事故、清扫维护量大等, 已不再适应电力工业发展的要求。而合成绝缘子具有优良的防污与机电性能, 较好地克服瓷绝缘子的不足, 近年来已在我国推广应用。特别是随着电网建设的加快, 三峡工程、西电东送工程、大区联网工程中越来越多的采用直流系统, 这必将为合成绝缘子在线路上的应用提供广阔的空间^[1]。

复合绝缘子是一种由两种或两种以上复合材料制成的新型绝缘子。其基本结构为芯棒、伞裙护套、金具和均压环, 如图1所示。其中芯棒与金具接头结构的质量直接影响到合成绝缘子的机械性能。

压力产生的轴向摩擦力和发生了弹性形变的芯棒与发生了塑性变形的金具内腔的交界面产生的轴向的剪切力来共同承受。图2是压接式接头的结构示意图。

压接式接头的生产对压接工艺的要求很高。在实际生产中, 压制压力的大小、金具和芯棒的性能和外形都会对绝缘子的质量产生直接的影响。如果金具的塑性变形和(或)芯棒的弹性变形太小, 不能产生足够的预压力(“欠压”), 当加载时, 就会在低于额定机械负荷的情况下出现端部金具滑移的现象; 如果金具的塑性变形和(或)芯棒的变形过大, 就可能发生塑性变形乃至断裂(“过压”和“损坏”)。这3种绝缘子产品都不合格, 应该通过一定的检测手段将其筛选出来。

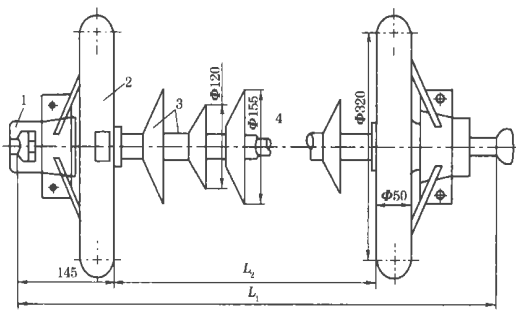


图1 330.5 MV 合成绝缘子结构简图

压接式接头工艺是用周向的挤压力使金具产生一定量的塑性变形, 使金具与芯棒的接触面上产生一定的预压力, 同时使芯棒产生一定量的弹性变形。绝缘子承载时, 外载荷将由预

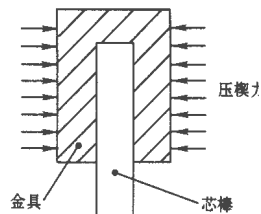


图2 压接式绝缘子接头

对压接式绝缘子生产过程中接头的压接状况还没有一种较好的监测方法。国内的大多数生产厂家采取的检测方法都是事后破坏性拉伸实验检测。在一批产品中通过随机抽样来抽取一定比例的样品, 进行拉伸实验。根据抽样实验的结果来估计这一批产品质量的好坏。为了能够实时监测每根绝缘子的压接质量, 人们提出了基于声发射技术的监测方法, 即将声发射技术对复合材料的研究应用于具体的工业生产领域^[2]。

2 声发射监测的原理

材料受外力或内力作用下, 局部源快速释放能量而产生瞬态弹性波的一种现象称为声发射(Acoustic Emission, 简称AE)。可以通过接收和分析声发射信号达到监测和诊断的目的。运用仪器检测、纪录、分析声发射信号和利用声发射信号对声发

射源进行定量、定性和定位的技术叫声发射检测技术。金属和非金属材料在一定条件下一般都有声发射现象发生。合成绝缘子中采用的芯棒是一种玻璃纤维加强复合材料,主要由玻璃纤维和树脂组成。在压接过程中,随着压力的增加,首先发生金具的弹性变形,然后是金具的塑性变形,同时芯棒的弹性变形也进一步增大,若继续加压,芯棒会发生塑性变形直至断裂。上述整个的变形和破坏过程中都会出现相应特征的声发射现象。文献也表明:采用声发射信号对玻璃纤维加强复合材料的形变、断裂等失效模式的检测非常有效^[3-5]。声发射检测是一种动态实时的检测方法,其信号来自检测对象本身,因此,用声发射检测可以判断被检对象的损伤程度。基于这些特点,可以利用声发射技术监测复合绝缘子在压接过程中的弹性变形和塑性变形以及损伤或缺陷的萌生与扩展,并据此评定变形或损伤的程度,以决定复合绝缘子的压接质量是否合格。

3 系统的硬件构成

3.1 系统的硬件设计

系统的设计应能满足最大限度地采集复合绝缘子在整个压接过程中的声发射信号。根据文献^[3],对于这种成分的复合材料,绝大部分声发射信号的能量集中在 20~1 200 kHz 频带范围内,即此带宽内的声发射信号能充分反映该材料从形变直至破坏的全过程特征。

据 Shannon 采样定理,确定数据采集卡的采样频率 $f_s > 2 f$ 5 MHz 即可,实际选用采集卡的采样频率为 10 MHz,以避免频谱的混叠并且保证所采集的波形信号尽量不失真。此外要求传感器、前置放大器和主放大器的频宽应不小于 20~1 200 kHz,并且有平坦的幅频响应。以上为声发射监测仪的硬件设计总体要求。

3.2 整个系统硬件的构成及特点

在满足硬件设计总体要求的情况下,硬件系统的构成还应满足通用性要求,并充分利用计算机强大的处理功能。系统的特殊性要求主要通过软件的设计来满足,这样可以大大节省整个硬件的设计和调试的时间,同时硬件设计和实现可利用成熟的技术和板卡,以缩短系统的硬件开发的周期,这些都充分体现了虚拟仪器设计思想。仪器硬件结构从功能上可以划分成如下 3 个部分:

(1) 传感器和信号调理部分主要由传感器(换能器)、前置放大器和主放大器 3 部分组成。这部分的功能是:传感器将采集到的声信号转化成模拟电信号,然后放大。

(2) 数据采集部分主要就是数据采集卡。其功能是将模拟信号转化成数字信号。

(3) 数据接受和处理部分主要是工业上使用较为普遍的工控机。这部分主要功能是控制数据采集、接受采集信号并应用各种分析手段来对信号进行分析处理,最终实现检测目的。

系统的结构框图及其特点在文献^[6]中有较为详细的描述。

4 系统的软件设计

4.1 软件系统的设计

软件系统主要完成如下功能:数据采集卡的控制;人机动态交互;数据的存储、分析和处理;对数据结果进行判断并报警。此外为了加强数据的统计分析功能和网络功能还引入了数据库管理技术,这将使系统向更加通用的方向发展。系统的软件设计选择了虚拟仪器的主流开发工具 LabView,同时为了更好的利用各种成熟的手段也使用了一些其它的工具。图 3

为软件设计的流程图。

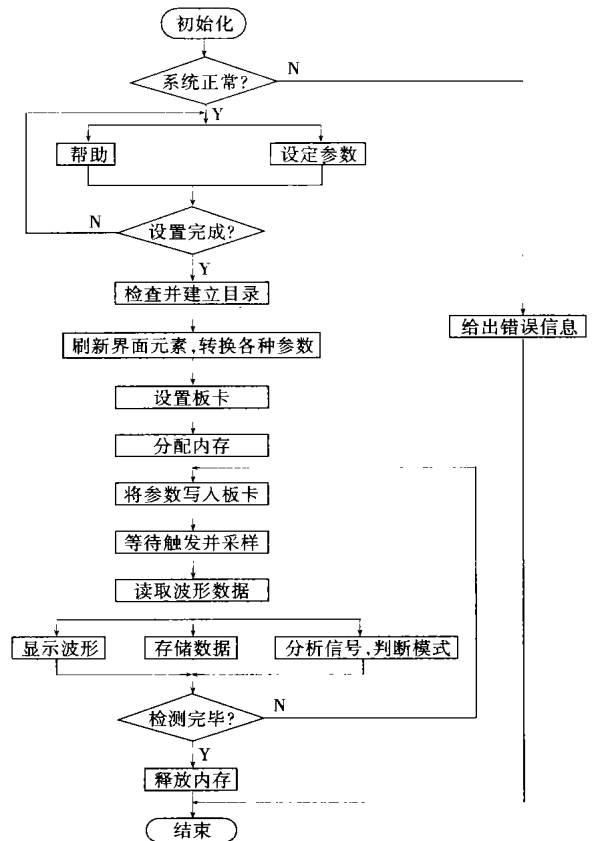


图 3 系统软件的流程图

按工程测试要求,系统还将具备事后分析和处理的能力,因此数据文件的存储不仅要保存波形数据还应保存当时系统的工作状态的一些信息。同时,系统数据文件应保存波形数据和当时系统的工作状态和条件的一些信息。对系统作进一步分析,考察其数据流图,并经过细化和处理,可以得到各级数据流图,从而有利于系统模块的划分。

由于绝缘子压接过程中的声发射信号丰富,为了保证不丢失有用的声发射信号,就要设定一定长度的采样时间,以保证充分采集压接过程中的信号。应用 LabView 直接控制数据采集卡的方式在采样时间很短(比如 200 ms 以下)时速度很快,但是随着采样长度和通道数的增加,这种直接使用的处理速度不能满足实际的采集要求。为此,LabView 中推荐了一种使用模式 CIN(Code in Node),这是一种内嵌 C 语言程序的方法。用户首先在 LabView 中定义一个 CIN 模块(在本系统中是连续采样模块),声明输入和输出参数的类型。LabView 将自动按照其 CIN 规则生成一个 C 语言空函数头,将 LabView 中的参数类型转换为 C 语言可识别的数据类型。用户用标准 C 语言来编写函数体,再按照 LabView 规定的编译模式将此函数编译为后缀名为 lsb 的函数库。然后在 LabView 中将此函数库调入先前定义的 CIN 模块。这 CIN 模块就具有了和 C 语言函数同样的功能,而且可以脱离 C 语言环境和 lsb 函数库而单独存在。

4.2 软件系统的功能

(1) 参数设置模块:设置采样长度、采样频率、延长时间、存盘路径,并完成对数据采集卡的初始化。

(2) 数据采集模块:该模块根据所设置参数实现对压力信号和声发射信号的采集并分别输出两种信号,供进一步处理。

(3) 数据处理模块:这部分是对采集的信号进行分析、判

断,给出绝缘子压接质量的正确结果。该模块主要是判别算法的设计和实现。

(4)显示和报警模块:结合 LabView 的多个控件模块,实现对结果的图像显示并通过控制声卡设备来发出报警声。

(5)数据存储分类模块:将判断结果输出到预先设定的磁盘目录中,并将声发射信号按照预先设定的不同模式来分别存储到不同的目录下。

4.3 软件的使用

在进行实时监测前,先进入“参数设置”界面进行参数设置。参数设置包括系统的硬件参数设置和声发射技术参数设置。硬件设置主要包括通道的选择、采样频率、采样长度、触发的阈值、触发方式等,主要用于控制信号的采集过程。声发射技术参数设置主要包括撞击定义时间(HDT)、参数统计阈值、声速设置、软件滤波设置等。声发射技术参数设置主要用于信号的分析过程,从所采集到的信号中,提取声发射技术参数,针对这些参数用各种形式的关联图进行显示。通过现场试验从波形或参数关联图的特征中,找出声发射数据与压接状态的联系,从而实现对压接过程的在线监测,实时判断出欠压、正常、过压和损坏4种状态。

5 现场测试

5.1 压接准备

在某公司的FP140压接机上,通过对18和24的两种型号的芯棒在不同状态(欠压、正常、过压以及损坏4个状态)下的压接,从而检验本监测仪器的有效性。

将带压紧磁环的声发射传感器用耦合剂耦合在压接机压头的端面。信号由传感器接收,送至前置放大器的信号端,经前置放大器放大后,输出至主放大器的输入端,再次经主放大器放大和信号调理后,输出至主控计算机PCI插槽中的数据采集卡,同时将警示喇叭接到声卡设备的输出接口上。

5.2 压接结果

为了验证仪器的可靠性,在复合绝缘子生产现场进行了仪器的测试。将仪器的判别结果和事后的机械性能实验以及解剖分析的结果进行了对比。表1给出了型号18的绝缘子压接的比较结果。

由表1可以看出,在欠压、正常、过压和损坏4种模式的判断结果上,准确性很高,能满足工程应用的要求。在欠压、正常、过压的判断上,全部做出了准备判断。对表1中12号工件,仪器判断为过压,但实际检验结果为正常,其主要原因是此工件金具与芯棒的间隙尺寸偏大,在压接过程中,金具塑性变

形量较大,因而其产生的声发射信号丰富,以至于误判为过压。5号工件识别结果也有误差,但从模式上区分应该不算误判。

表1 型号18的绝缘子压接的比较结果

工件号	仪器判别	实际结果	工件号	仪器判别	实际结果
1	过压	过压	13	正常	正常
2	损坏	损坏	14	损坏	损坏
3	正常	正常	15	损坏	损坏
4	损坏	损坏	16	损坏	损坏
5	损坏	损坏	17	损坏	损坏
6	正常	正常	18	正常	正常
7	欠压	欠压	19	正常	正常
8	正常	正常	20	正常	正常
9	欠压	欠压	21	正常	正常
10	欠压	欠压	22	正常	正常
11	正常	正常	23	正常	正常
12	过压	正常	24	正常	正常

6 结论

复合绝缘子在压接过程中,有很强的声发射信号,可以通过对压接过程中声发射信号的监测来评价金具和芯棒的压接质量。在压接过程中,首先是金具的弹性变形,接着是塑性变形,然后是芯棒的弹性变形,如果继续加压,芯棒将会发生塑性变形直至断裂。在上述每个阶段,其声发射信号都有不同的特征,通过对声发射波形、频谱或者参数进行分析能够实现材料的压接状态的判断。构建的仪器能较为准确地分辨出复合绝缘子在压接过程中欠压、正常、过压和损坏4种模式,并在现场得到了实际应用。

参考文献

- [1] 陈岭. 声发射技术用于合成绝缘子机械性能的研究:[硕士学位论文]. 北京:清华大学电机系,1999.
- [2] 陈玉华. 基于全波形声发射技术的应用研究:[硕士学位论文]. 北京:清华大学机械工程系,2002.
- [3] KOTSIKOS G, EVANS J T, GIBSON A G. Environmentally enhanced fatigue damage in glass fiber reinforced composites characterized by acoustic emission. *Composites Part A: applied science and manufacturing*, 2000 (31): 969-977.
- [4] DONG L, MISTRY J. An experimental study of the failure of composite cylinders subjected to combined external pressure and axial compression. *Composite Structures* 1998, 40(1): 81-94.
- [5] AGEORGES C, FRIEDRICH K, SCHULLER T, *et al.* Single-fiber Broutman test; fibre-matrix interface transverse debonding. *Composites Part A: applied science and manufacturing* 1999, 30: 1423-1434.
- [6] 李光海,王勇,刘时风. 基于声发射技术的管道泄漏检测系统. *自动化仪表*, 2002, 23(5): 20-23.

(上接第12页)

测量显示信息等。而DSP程序手动工作流程则包括上电初始化、仪器自检、与单片机通信接收手动设置信息、数据采集、自动分析诊断、向单片机发送测量和诊断分析的显示信息等。

4 结束语

便携式滚动轴承故障智能诊断系统利用共振解调技术处理振动信号,用BP神经网络技术自动诊断滚动轴承的故障,摆脱了传统的依靠操作人员对测试信息进行识别、判断以诊断故障的方式,具有自动化和智能化诊断的优点。诊断系统不仅便携,而且操作简单、方便,适用于生产现场对滚动轴承故障进行快速、自动监测和诊断。在工程中使用表明:该诊断系统不仅能够对实际的滚动轴承进行自动诊断,而且其诊断准确性

高、效果良好,具有很高的工程实用价值。

参考文献

- [1] 陈克兴. 设备状态监测与故障诊断技术. 北京:科技文献出版社,1991.
- [2] MCFADDEN P D, SMITH J D. Vibration monitoring of rolling element bearing by the high-frequency resonance technique—a review. *Int. J. Tribology*, 1984, 17: 3-10.
- [3] 梅宏斌. 滚动轴承振动监测与诊断——理论、方法、系统. 北京:机械工业出版社,1996.
- [4] 李孝安,张晓绩. 神经网络与神经计算机导论. 西安:西北工业大学出版社,1995.
- [5] Texas Instruments. TMS3203X User's Guide, 2000.
- [6] 张雄伟,曹铁勇. DSP芯片的原理与开发应用(第2版). 北京:电子工业出版社,2000.