

基于图像处理的高压互感器自动化检定装置研究

随着各省市电力公司省级计量中心的自动化检定装置逐步投运,电能计量装置的智能化检定、配送水平不断提升,工作效率也得到提高,但由于高压互感器的自身特点,例如种类繁多、接线方式复杂、预防性实验要求高电压等情况,目前尚未有自动化检定装置建成使用,而人工检定是一种耗时费力高风险的工作。针对这一问题,本文提出基于图像处理的高压互感器自动化检定装置的研究,建立高压互感器的全自动化检定装置,降低人工作业的劳动强度和风险。本装置采用图像处理技术进行互感器外观检测,利用端子定位技术与自动压接系统相结合的原则进行高压互感器端子自动定位,解决了因器件表面的裂缝、铭牌残损、铭牌信息残缺和端子缺失等外观信息对自动化检定存在直接影响,实现高压互感器的全自动化检定过程。

庄葛巍¹ 张晓颖¹ 林玉涵² 武坤² 何肖军²/1.国网上海市电力公司电力科学研究院 2.厦门红相电力设备股份有限公司



庄葛巍/工程师

关键词/Keywords

图像处理·
特征检测·
模板匹配·
端子自动定位技术·
自动压接系统·

0 概述

由于高压互感器(指6~35 kV电压等级的互感器)基本上属用户资产,在选购上拥有自主权,且跟供电要求、开关柜尺寸形状有很大关系,因此在外观上很难做到统一,现有的各省市电力公司省级计量中心(以下简称“计量中心”)集中检定的自动化检定装置很难满足这种多样性。

高压互感器的预防性试验要求较高,包括工频耐压、感应耐压、开路电压和绝缘电阻测试(以后可以扩充至局部放电试验),最高试验电压达到95 kV,在空间

狭小的自动化设备里面,要做到很好的抗干扰需要有独特的设计,并且在高压端接线方式上的多样化如羊角的、水平的、一垂直一水平的和倾斜的等等,使高压互感器检定过程成为耗时费力高风险性的工作。因此研究新的检定方式,弥补现有检定方式的不足,就显得尤为重要。

现有的计量中心的智能检定线很难满足高压互感器的外观多样性、接线方式多样化及其高抗干扰性的要求,因此本文提出了自动化图像处理技术,结合自动压接技术和自动化输送线,研制出一套高压互感器自动化检定装置。该装置利用图像处理技术对互感器表面的缺陷(如裂缝)进行检测,并自动识别铭牌信息,自动选择端子接线方案和检测方案,真正实现高压互感器的全自动化检定。

1 图像处理技术

本装置通过外观检查单元,借助图像处理技术实现对互感器表面缺陷性的非接触式全自动的检查,并将处理结果反馈给上层检定系统。外观检查主要包括互感器铭牌的信息识别、互感器端子的检测和互感器表面裂缝的检测三个方面。

1.1 互感器铭牌的检测

铭牌检测的主要内容包括铭牌定位、铭牌的完整性判断和铭牌中信息特征提取三部分。

1.铭牌定位

根据获取的互感器铭牌图像信息

分析, 本文利用纹理信息对铭牌进行定位。采用canny算子^[1]提取图像的纹理信息分为如下四步。

Step 1: 为平滑图像, 消除噪声干扰, 采用高斯平滑函数处理图像。

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

Step 2: 采用一阶差分卷积模板增强边缘。

两个方向模板如图1所示, 图1a体现的是在x方向上的差异, 图1b体现的是在y方向上的差异。同时获得梯度幅值的大小以及方向角。通过该步, 获得在边缘位置处特征被加强的图像。

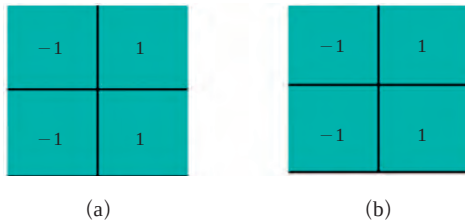


图1 方向模板

$$H(x,y) = e^{-\frac{a^2+b^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

$$G(x,y) = f(x,y)H(x,y) \quad (3)$$

一阶差分卷积模版为

$$H_1 = \begin{bmatrix} -1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}, H_2 = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\varphi_1(m,n) = f(m,n)H_1(x,y) \quad (5)$$

$$\varphi_2(m,n) = f(m,n)H_2(m,n) \quad (6)$$

$$\varphi(m,n) = \sqrt{\varphi_1^2(m,n) + \varphi_2^2(m,n)} \quad (7)$$

$$\theta_\varphi = \arctan \frac{\varphi_2(m,n)}{\varphi_1(m,n)} \quad (8)$$

$$H(x,y) = e^{-\frac{a^2+b^2}{2\sigma^2}} \quad (9)$$

$$G(x,y) = f(x,y)H(x,y) \quad (10)$$

Step 3 仅仅得到全局的梯度并不足以确定边缘, 因此为确定边缘, 必须保留局部梯度最大的点, 而抑制非极大值, 图2所示为抑制 (NMS)。

四个扇区的标号为0~3, 对应3×3邻域的四可能组合。

在每一点上, 邻域的中心像素M与沿着梯度线的两个像素相比。如果M的梯度值不比沿梯度

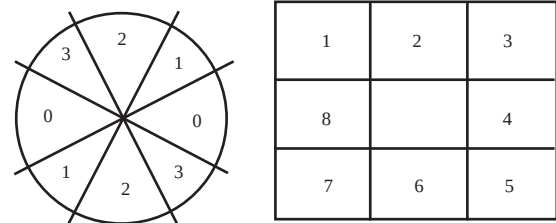


图2 示意图

线的两个相邻像素梯度值大, 则令M=0。

假设上一步骤得到的梯度图为 $G(x,y)$, 对 $G(x,y)$ 进行初始化 $N(x,y)=G(x,y)$, 在梯度和反梯度方向上各找 n 个像素点。若 $G(x,y)$ 不是这些点中的最大点, 则将 $N(x,y)$ 置为0, 否则保持 $N(x,y)$ 不变。

Step4: 双线性阈值

首先是一个较大的阈值 $N_{\max}$, 使用该阈值二值化后的图像含有较少的假的边缘点, 但是端点较多。使用较小的阈值 $N_{\min}$, 使用该阈值二值化后的图像含有较多的假的边缘点。

通过上一步获取的边缘点, 判断其8邻域内有无第二步获得的边缘点, 然后进行连接。

提取边缘后, 沿x轴方向进行投影, 将波形出现尖脉冲处的区域沿y轴方向进行投影, 根据投影值对铭牌区域进行粗定位, 并对粗定位的候选区分别沿x轴方向和y轴方向进行二次投影以最终确定候选区。外观检查单元将该区域反馈给上层检定系统, 若不存在满足条件的候选区, 则判为铭牌缺失, 同时反馈告警信息通知上层检定系统。

2.完整性判断

高压互感器铭牌区域基本上都是长方形以及区域的对比平行, 临边垂直。根据这一几何特性, 对定位到的候选区的边缘进行判断, 若存在不满足对比平行、临边垂直的情况, 则系统判为铭牌不完整, 可能存在缺角等情况, 并将告警信息反馈到上层检定系统。

3.信息的完整性判断

利用图像处理技术对铭牌信息是否完整进行判断, 同时将结果反馈到上层检定系统。

铭牌信息获取的处理步骤:

Step 1 按照候选区域的水平投影曲线进行分行截取, 切割成多个小区域。

Step 2 把每个小区看成一个平面, 将图片向垂直投影 (图像中每一列, 在x轴上的投影), 这样

有字的地方投影高,没字的地方投影低,投影曲线向一个个山头。

Step 3 约束两山头中心线之间的最小距离(大于该距离切割,小于该距离合并山头),从左向右扫描进行切割,并将切割出来的字符,分割成一个个小块。

Step 4 归一化处理。分割出来的字符大小不同,本文采用双线性插值算法来计算相应像素值的方法进行插值处理,将分割出来的字符归一化为 25×50 像素大小的图像。

Step 5 细化处理。为保存字符特征的基本骨架,本文采用Rosenfeld的并行细化方法,对归一化后的字符图像进行细化,可以得到字符特征的骨架特征。

Step 6 统计一下每小块的值为255的像素数量(字符),这样得到一个矩阵 M ,或者将这个矩阵简化为矢量 V 。

Step 7 分类将获取的铭牌中的信息与模板中的铭牌信息进行匹配,若存在差异则提示铭牌信息不完整,并且反馈告警信息到上层检定系统。

1.2 互感器端子自动定位技术

本装置中借助外观检定单元采用特征提取和模板匹配^[2]的方法进行端子自动定位,并且将端子的位置信息反馈到上层检定系统,由上层检定系统操作压接机构实现自动接拆线功能。

鉴于互感器种类繁多、外观形状各异,接线方式多种多样,为提高端子定位精度,本文利用人工建模定位技术和图像处理定位技术相结合的方式。

1.2.1 人工建模定位技术

由于互感器的多样化,而图像采集的安装角度、安装数量和光源设置都具有一定局限性,造成采集的图像噪声干扰比较大,导致端子自动定位偏差较大,无法完成自动接线过程。为适应类似特殊情况,本装置增设了人工建模模块,由人工参与配合外观检测单位完成这类特殊情况下的端子定位过程。

对于特殊互感器,本装置提供了人工建模接口,即由人工校准被试互感器在检定线中的位置,从而定位为一次端子、二次端子的相对位置,并将该类特殊互感器的位置信息等保存到检

定系统中。

1.2.2 图像处理定位技术

针对互感器端子的特殊性,本文利用端子特征提取结合模板匹配的方法进行端子检测。

1.特征提取

鉴于互感器器身和端子的颜色具有明显的差异,颜色是端子最显著的特征之一,利用颜色差异法可以有效的提取出可能的端子区域,排除复杂背景的干扰,从而减少计算复杂度。

目前,用于分割的颜色空间很多,比如RGB、YCbCr、YIQ和HSV等。由于YCbCr空间广泛的应用在视频压缩标准(MPEG、JPEG等)中,并且端子颜色能够形成非常紧密的聚簇,因此本文选用YCbCr空间建立端子颜色模型。

首先通过一个统计学习的过程,得到一个CbCr平面的端子颜色分布模型,然后判断图像中各个像素点的色度值是否符合模型的分布,最后得到分割结果。

角点是互感器端子的另外一个最显著的特征,并且角点具有旋转不变性和不随光照条件变化而变化的优点,角点能够减少参与计算的数据量而不损失重要的灰度信息,在图像匹配中可用大大提高匹配速度。因此,本文采用Harris算子^[3]提取端子的角点特征进行检测,计算步骤如下:

Step 1:对每一像素点计算相关矩阵 M 。

$$A = w(x,y) \otimes I_x^2 \quad (11)$$

$$B = w(x,y) \otimes I_y^2 \quad (12)$$

$$C = D = w(x,y) \otimes I_x I_y \quad (13)$$

$$M = \begin{pmatrix} A & D \\ C & B \end{pmatrix} \quad (14)$$

Step 2:计算每像素点的Harris 角点响应。

$$R = (AB - CD)^2 - k(A + B)^2 \quad (15)$$

Step 3: 在 $w \times w$ 范围内寻找极大值点,若Harris 角点响应大于阈值,则视为角点。

1.3 互感器表面损坏程度的检测

互感器器身的裂缝等缺陷对互感器检定过程存在直接影响,本装置中利用Canny算子对互感器图像进行边缘检测,由经验信息可知,排除互感器器身结构边缘信息,若存在其他边缘信息则判为裂缝,并告知上层检定系统。

2 自动检定装置

本装置采用全封闭模块化设计,分为自动仓储模块及自动检测模块。具有良好的扩展性,可根据检定规模任意增加检定及仓储模块,能够与智能仓储模块自动、无缝驳接,实现互感器自动驳接、身份识别、上下料、拆接线、预防性试验、误差检定、分拣和输送控制^[4]等功能。其电气控制依照先进的以太网架构布局,全面达到控制自动化、信息网络化和检测无人化。装置防护罩采用透明亚克力板既美观整洁又使高压测试与参观通道有效隔离,使测试环境更加安全可靠。

试验项目及试验方法应满足:JJG 313-2010《测量用电流互感器检定规程》、JJG 314-2010《测量用电压互感器检定规程》、JJG 1021-2007《电力互感器检定规程》、GB 1208-2006《电流互感器》和GB 1207-2006《电磁式电压互感器》。

2.1 电压互感器一次高压侧接线

电压互感器由于品种规格众多,特别是其一次端高低位置各不相同,使一次接线十分困难。本项目一次接线采用机械手模拟人工接线方式,将各种规格的互感器放在工位上用机械手测出其一次高压端及二次端的位置将数据与型号,绑定存于计算机中当检定时输入互感器型号,机械手能从系统中获取该互感器一次(见图3)及二次端的位置信息将完成高压接线。

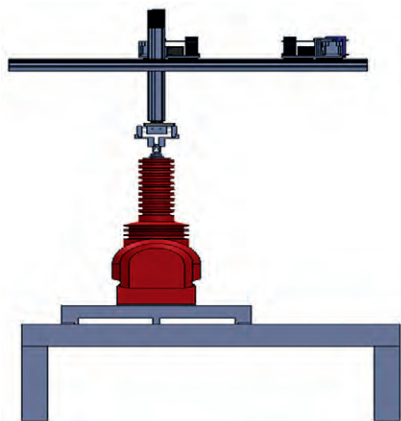


图3 一次压接机构

2.2 电压互感器二次端接线结构

电压互感器二次接线端因个数与位置各不相同是自动化接线的主要难点,本方案采用模块化接线方式来解决该难题。将各种型号的电压互感

器接线端个数及端子排列方式分类做成压接模块,将模块编号排列,在电脑中与互感器型号绑定。检定时在系统中输入互感器型号机械手根据模块编号能自动从模架上提取模块完成压接。

2.3 自动堆垛机

自动仓储模块由立体货架与单轨式货物堆垛机组成。采用现今成熟的智能仓储技术^[5],货架分上下两层共14个仓位(基本存储量),如图4所示。

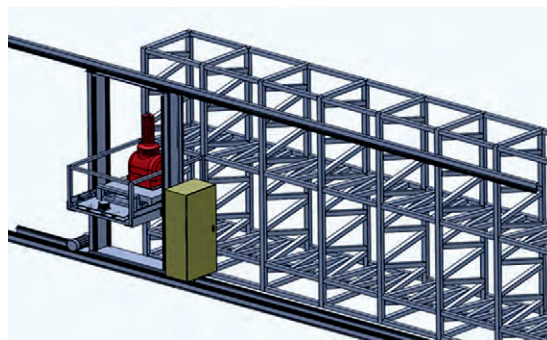


图4 堆垛机

堆垛机是一个高精度能够多轴移动的智能化货物输送平台,由独立的PLC控制器、伺服电动机及光电传感器组成。其通过无线网络与主控计算机连接,接收主控计算机指令负责把被检互感器从输送线上取出放到指定仓位。

2.4 电流互感器一次接线

直接式互感器因一次电流不大,一般在1 kA以下,并且一次端之间距离近且表面光滑^[6],因此采用压接方式对一次端进行自动接线。系统采用门架式机械手作为系统移动定位平台,在平台上安装大缸径气缸作为系统的出力机构,如图5所示。在线体下安装顶升机构以免损伤线体。

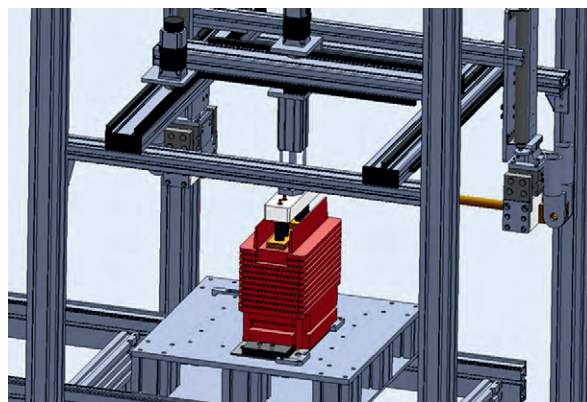


图5 电流互感器一次接线机构

2.5 电流互感器二次接线机构

高压电流互感器二次自动接线与电压互感器二次接线方法一致。

2.6 一次接线机构组成

高压互感器自动化检定装置的一次接线机构由机架、门架式机械手、夹具机构和高压线伸缩机构组成，如图6所示。一次接线机构中的门架式机械手具备高精度定位特点，通过机械手模拟人工接线方式对电压互感器一次高压端进行自动接线，能大幅提高互感器一次接线的速度，具有定位准确和可靠性高的优点。

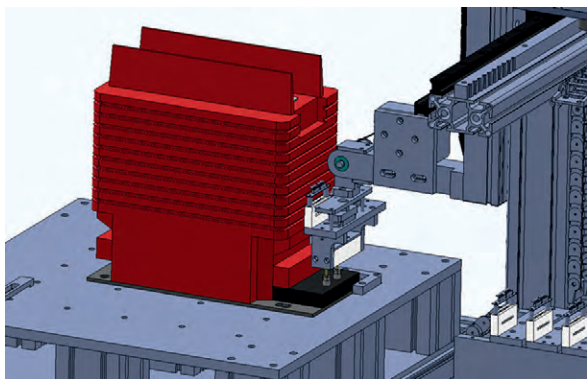


图6 二次接线机构

2.7 二次接线机构组成

高压互感器自动化检定装置的二次接线机构包括PLC控制系统、机械手、接线机构、二次接线模块和模架组成，可有效避免了需专业人员对不同规格型号的互感器二次接线手工操作和接线完成后对接线的反复校对，具有接线准确和接线效率高的优点。

3 结束语

结合图像处理技术构建的互感器自动化检定装置实现了互感器的自动输送、自动接拆线和检定完成自动下线等过程，解决了高压互感器检定工作强度大、安全隐患高的问题；可避免错误接线，将测试过程人为失误降低为零；形成统一的信息服务、集成平台；大大提高了工作效率，保证电力部门的经济效益。

参考文献

[1] 段瑞玲, 李庆祥, 李玉和. 图像边缘检测方法研究

综述[J]. 光学技术, 2005, 03.

[2] 高军, 李学伟, 张建, 等. 基于模板匹配的图像配准算法[J]. 西安交通大学学报, 2007, 03.

[3] 张小洪, 李博, 杨丹. 一种新的Harris多尺度角点检测[J]. 电子与信息学报, 2007, 07.

[4] 张晶, 代洁, 肖江文. 低压电流互感器自动检定系统时间模型研究与分析[J]. 2012:25-27.

[5] 高利明, 陈卓娅, 张欲晓, 马磊. 一种智能化全自动流水线电能表检定系统. 河南电力, 2011, 4.

[6] Q/GDW 572-2010, 计量用低压电流互感器技术规范[S].

(收稿日期: 2015-03-30) EA

作者简介

庄葛巍 (1983-) 男, 硕士, 工程师, 从事电能计量技术管理工作。

张晓颖 (1976-) 女, 硕士, 工程师, 从事电能计量技术管理工作。