

消除电磁轭过电压的方法

林锡忠

(成都华林检测技术研究所,成都 610057)

摘要:针对将电磁轭直接用于市电 220 V 或直接接于逆变器中时出现的过电压现象,分析了产生过电压的原因,说明了过电压的危害性,并指出当频繁断开励磁电流时,出现过电压的可能性会急剧增大。提出了消除电磁轭过电压的两种方法,结果表明,采取抑制过电压后的电磁轭,使用 220 V 的交流电压进行磁粉检测是可行的。

关键词:磁粉检测;电磁轭;电感;过电压;安全防护

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号:1000-6656(2018)03-0034-03

Elimination of the Overvoltage of Electromagnetic Yoke

LIN Xizhong

(Chengdu Hualin Testing Technique Research Institute, Chengdu 610057, China)

Abstract: With the improvement of electromagnetic yoke insulation performance and voltage resistance level, it is possible to directly connect the yoke with the lines of 220 V or directly connect it to the inverter power supply transformer for the purpose of reducing the weight of the portable magnetic particle testing instrument. By doing so, on the other hand, the potential hazard to safety may arise and in some cases overvoltage may occur, which threatens the safety of equipment and personnel. This paper analyzes the causes of overvoltage, illustrates its harmfulness, and especially points out that the possibility of overvoltage occurs when the excitation current is frequently cut off. Two methods for eliminating overvoltage are proposed. It is advisable to use an alternating current of 220 V to carry out magnetic particle testing if the above-mentioned measures are taken in advance.

Key words: magnetic particle testing; electromagnetic yoke; inductance; overvoltage; safety protection

磁粉检测的基本原理是试件磁化后,在缺陷处会产生漏磁场,从而吸附磁粉,显示出缺陷。试件磁化的方法有多种,因此也就有多种与之相应的磁粉检测设备,便携式磁粉检测仪就是其中之一。由于该设备体积小、重量轻,便于携带至现场检测,因此得到了较为广泛的应用。便携式磁粉检测仪的主要部件电磁轭虽然常被使用,但电磁轭会产生过电压,给设备和人员的安全带来威胁。笔者分析了产生过电压的原因,说明了其危害性,并特别指出,当频繁断开励磁电流时,出现过电压的可能性会急剧增大。笔者提出了消除电磁轭过电压的两种方法,结果表

明,采取了抑制过电压后的电磁轭,使用 220 V 的交流电压进行磁粉检测是可行的。

1 便携式磁粉检测仪的概况及其发展

便携式磁粉检测仪的结构一般分为两大部分:一部分是电源;另一部分是电磁轭。电源的作用是产生励磁电流,并输出给电磁轭;电磁轭的作用是将励磁电流变为磁通输出给试件,将试件磁化。在其他条件一定的情况下,如果输入试件的磁通较大,得到的检测灵敏度就较高。

磁通 ϕ 、磁通势 N_1 (安匝数)和磁阻 R_m 的关系如式(1)所示。

$$\phi = \frac{N_1}{R_m} \quad (1)$$

由式(1)可知,采用较大的励磁电流 I 可得到较大的磁通 ϕ (ϕ 随励磁电流 I 的增加而单向增加,但不

收稿日期:2017-08-03

作者简介:林锡忠(1940—),男,高级工程师,主要从事应用磁学研究与产品开发工作

通信作者:林锡忠,linxizh@126.com

成正比)。同时,为了现场工作人员的安全要采用低电压,即“低压,大电流”。这是设计、制作便携式磁粉检测仪的基本原则。因此,人们常常采用含有电源变压器的电源箱,将市电 220 V 变为输出电压为交流 36 V 的安全电压,但要输出较大的交流电来给电磁轭供电。这就是较早期的便携式磁粉检测仪。

由于制作电磁轭的原材料的绝缘性能越来越好,耐电压程度也越来越高,甚至可高达 2 000 V。因此,有人就以为把电磁轭直接接于市电 220 V 是安全的,因为市电的峰值电压在 400 V 以下,远低于 2 000 V。

采用随身携带的蓄电池和逆变器,将直流电变为与市电 220 V 相近的交流电给电磁轭供电,既可消除引入较长市电电源线的麻烦,还可以解决某些野外作业不便接市电的困难。这样的电磁轭既可直接接于逆变器,又可直接接于市电 220 V,给检测人员带来了更大的方便。

2 电磁轭的特点

电磁轭是在硅钢片上密绕 N 匝线圈,用高绝缘材料予以保护,防止电击穿、漏电和短路的部件,电磁轭上还装有一个可随时闭合和断开励磁电流的小开关^[1-2]。

磁路的磁阻为 R_m ,磁路的长度为 l ,截面积为 S ,磁导率为 μ ,其间的关系如式(2)所示。

$$R_m = \frac{l}{\mu S} \quad (2)$$

将式(2)代入式(1),可得

$$\phi = \frac{\mu S N I}{l} \quad (3)$$

再将式(3)代入 N 匝线圈的感应电动势,得到结果如式(4)所示。

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{\mu S N^2}{l} \frac{di}{dt} = -L \frac{di}{dt} \quad (4)$$

式中: L 为线圈的电感; i 为电流。

由式(4)可知,对于一个密绕的长线圈,其截面积为 S ,长度为 l ,匝数为 N ,介质的磁导率为 μ ,则其电感为

$$L = \frac{\mu S N^2}{l} \quad (5)$$

$$\mu = \mu_r \mu_0 \quad (6)$$

式中: μ_r 为相对磁导率; μ_0 为真空磁导率。

当线圈中没有铁心时,即空心线圈,其磁导率 $\mu = \mu_0$,则电感 L 为不随励磁电流变化的常量。此

时的电感称为线性电感。当线圈中有铁心时,即非空心线圈,其磁导率 $\mu = \mu_r \mu_0$,则此时的电感 L 随励磁电流的变化而非线性变化,此时的电感称为非线性电感。电感 L 随励磁电流 i 变化的关系曲线与磁导率 μ 随磁场强度 H 变化的关系曲线很相似。

由于电磁轭的铁心常常是用冷轧硅钢片叠制而成的,其磁导率 μ 很大,则电感 L 也很大,而且是非线性的。也就是说,电磁轭的第一个特点就是其为一个非线性大电感负载。

电磁轭磁粉检测仪的 3 个特点如下所述。

(1) 电磁轭磁粉检测仪在检测过程中,开启(闭合)电磁轭上的小开关,让励磁电流通过线圈,产生磁通,使试件磁化。通电片刻后,就需要关断(断开)励磁电流,即进行了一次磁化。稍后,再进行第二次通电磁化。这种磁化过程在整个检测过程中将不断地重复出现,就需要该开关也不断地反复开启与关断。

(2) 电磁轭磁粉检测仪的电磁轭一般是手持式的。在现场,操作人员的手直接握住电磁轭,而未借助于另外的任何夹具。

(3) 电磁轭磁粉检测仪在实施检测的过程中,常常不是采用剩磁法,而是采用连续法,即操作人员的手直接握住电磁轭,将其磁头与试件直接接触,使试件磁化。同时,操作人员还向磁头与试件接触处及其附近的试件浇撒磁悬液。这样,电磁轭就在较潮湿的状态下工作。

3 电磁轭的过电压

3.1 电磁轭过电压的产生

由于电磁轭是一个非线性大电感负载,而且在使用时,用电磁轭上的小开关直接开启和关断励磁电流,而产生较大的过电压。

设电磁轭上的小开关在关断的瞬间,加于电磁轭线圈的励磁电流为 i ,电压为 u ,电容为 C ,则负载端积蓄的能量 E 为电感 L 中的电磁能及电容中的静电能之和,即

$$E = \frac{1}{2} L i^2 + \frac{1}{2} C u^2 \quad (7)$$

若忽略线圈直流电阻的损耗,其最大过电压发生在能量全部转化为静电能的时候,最大过电压如式(8)所示。

$$u_{\max} = \sqrt{\frac{L}{C} i^2 + u^2} \quad (8)$$

因为是大电感负载,所以电感 L 远大于电容

C, 关断励磁电流时的瞬间电压为 u , 在这里可以忽略不计, 则式(8)可近似用式(9)表示。

$$U = i \sqrt{L/C} \quad (9)$$

一般其比关断时的瞬间电压 u 高得多。

当励磁电压是正弦波时, 励磁电流则不是正弦波。其励磁电流的峰值也就不再是有效值的 1.4 倍, 而是有效值的 2.4 倍。因此, 电磁轭上的小开关关断的瞬间, 正好是励磁电流的峰值, 则过电压会更大^[3]。

3.2 电磁轭过电压的危害

一般在断开含有继电器、接触器、电磁离合器等电感负载时, 过电压可以超过电源电压的数十倍, 其值可达数千伏。电磁轭是一个大的电感负载, 其过电压将会很大。因此, 仅靠将绝缘材料的耐压升至 2 000 V 是不够的。过电压可使接触点间产生火花放电, 从而损坏触头, 影响绝缘层性能。再加上电磁轭使用的特点, 其常工作在潮湿的环境中, 对设备绝缘性能的要求就更高。否则, 难以保证直接握住电磁轭进行检测的工作人员的安全。

在应用手持式电磁轭进行磁粉检测时, 当励磁电压不是 36 V 安全电压, 而是市电 220 V 时, 电磁轭的这个过电压问题就显得尤为严重。因此, 过电压将给设备和工作人员的安全带来隐患。

3.3 抑制过电压的方法

(1) 应用压敏电阻抑制过电压

压敏电阻是一种对电压敏感的元件。由压敏电阻的伏安特性可知, 当加在压敏电阻两端的电压低于压敏电阻的转折电压时, 随着电压的增加, 通过压敏电阻的电流也缓慢增加; 但是当加在压敏电阻两端的电压达到压敏电阻的转折电压时, 通过压敏电阻的电流迅速增加, 从而使得压敏电阻两端的电压几乎不变。因此, 应用压敏电阻的这个伏安特性, 将压敏电阻与电磁轭的电感线圈或小开关并联, 可抑制其过电压。

(2) 减小关断的瞬间电流 i 来抑制过电压

由式(9)可知, 若大大减小电磁轭小开关关断的瞬间电流 i , 也可抑制其过电压。比如 XK-2 型交直流磁力探伤仪^[4], 其含有自动退磁模块, 当电磁轭上的小开关闭合时, 励磁电流逐渐增大至定值; 当该小

开关断开时, 励磁电流不是突然变为 0, 而是逐渐减小到很小时, 甚至接近于 0 才关断。也就是说, 电磁轭的小开关关断瞬间的励磁电流 i 很小, 甚至接近于 0。那么, 产生的过电压也就很小, 而接近于 0, 即这也抑制了其过电压。

另外, 根据峰值观点^[5], 磁粉检测灵敏度取决于磁感应强度(磁通)的峰值。磁通的峰值较高, 则检测的灵敏度就较高。

$$U = 4.44 f N \phi_m \quad (10)$$

式中: ϕ_m 为磁通峰值; f 为频率。

由式(10)可知, 要获得较高的磁通峰值 ϕ_m , 在频率 f 和线圈匝数 N 不变的情况下, 必须采用较高的电压 U 。也就是说, 在一定的条件下, 采用的励磁电压有效值 U 较高时, 可获得较高的磁通峰值 ϕ_m , 从而可获得较高的磁粉检测灵敏度。

综上所述, 将电磁轭直接接于市电(或经逆变器转换)的交流 220 V, 既方便, 又可提高灵敏度; 而带来的不利是将产生过电压。若采取了抑制过电压的措施, 将电磁轭直接接于交流 220 V 进行磁粉检测, 还是可取的。

4 结语

(1) 便携式磁粉检测仪的手持式电磁轭是一个非线性的大电感负载。在磁粉检测时, 电磁轭上的小开关频繁地闭合和断开, 会反复产生超过电源电压数十倍的过电压, 这会给设备和工作人员的安全带来隐患。

(2) 采取抑制过电压措施后的电磁轭, 用于交流 220 V 电压进行磁粉检测是可取的。

参考文献:

- [1] 俞大光. 电工基础[M]. 北京: 高等教育出版社, 1964.
- [2] 秦曾煌. 电工学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990.
- [3] 林锡忠. 一种带有过电压保护模块的高导磁探头: 中国, CN201620721289.0[P]. 2016-07-11.
- [4] 林锡忠. XK-2 型交直流磁力探伤仪的设计[J]. 无损检测, 1984, 6(1): 27-29.
- [5] 林锡忠. 脉冲电流磁化时的探伤灵敏度与磁化电流峰值的关系[J]. 无损检测, 1989, 11(12): 333-335.

欢迎网上投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告