

## 耐张线夹和接续管压接质量的在线检测

张鹏<sup>1</sup>, 秦怡宁<sup>1</sup>, 熊细涛<sup>1</sup>, 陈龙元<sup>2</sup>, 贾迪<sup>2</sup>, 匡辉明<sup>2</sup>

(1.中国南方电网超高压输电公司曲靖局, 云南 曲靖 655000;

2.中国能源建设集团南京线路器材厂, 江苏 南京 210037)

**摘要:**在架空输电线路中,时常出现掉线等现象而引发线路事故,严重影响输电线路的运行安全。经事后处理分析多为耐张线夹和接续管因压接操作不符合相关规程而致,不仅如此,还会产生过热等不正常运行的现象。为杜绝上述事故与现象的发生,文中对压接型金具内部压接状态的检测方法进行了研究,提出射线检测方法可直观、无损的判别压接质量;研制的检测装置适用于施工压接中的检验,更可在空中直接对耐张线夹及接续管的内部压接状态进行非破坏性检验,并已在工程的线路上进行了应用。实现了架空输电线路中耐张线夹和接续管内部压接质量在线检测,在电力系统内杜绝因此类问题引发事故起到了关键的作用。

**关键词:**压接型金具;内部压接状态;压接质量;射线检测;耐张线夹;接续管

**中图分类号:** TM75

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-0665(2015)02-0065-04

在我国架空输电线路的运行过程中,导、地线连接大量采用压接型电力金具(耐张线夹和接续管),压接型电力金具既要承受导线或地线的全部张力,同时又是导体,起到过流的作用,此类金具一旦安装后,就不再拆卸。但国内有不少因耐张线夹和接续管压接质量问题引发的线路运行事故的报道,经事后处理分析,大多由导、地线在压接管中未穿到位或压接位置不符合相关规程等压接质量问题而引发<sup>[1]</sup>。当线路处于大负荷运行情况下,压接不符合要求的耐张线夹和接续管易引发局部发热温度过高而损伤导线,导致连接强度的降低,或因压接握力不足导致掉线,尤其在导线覆冰或舞动情况下,极可能因压接质量问题引起掉线事故,尤其是在导线覆冰或舞动情况下,极可能因压接质量问题引发掉线事故。因此,耐张线夹和接续管的压接质量严重影响输电线路的安全运行<sup>[2-4]</sup>。

## 1 线路施工中压接质量检测现状

目前新建输电线路工程中,对耐张线夹和接续管压接质量检测方法仅限于压接后外观尺寸检测和握力试验。

外观尺寸检测即通过标尺测量的方法,对压接后的产品进行外观压接尺寸测量,此检验方法不会损伤压接金具,但无法检测金具内部压接状态。握力试验是一种在试验室进行的破坏性检测方法,此方法可以直观地检测出产品的外部压接状态,但只是作为一种抽查试验,检验所测金具的压接状态,而不能代表线路中使用金具的压接状态,同时抽查试验会带来金具和导线的损耗。

实际应用都是耐张线夹和接续管压接完成后直接在线路中挂线使用,目前还无法对施工现场压接完成

后的金具内部导线和钢芯的压接状态进行非破坏性的检查与抽检,更无法对高空中挂线后的压接型金具进行压接质量检验,从而无法从根本上排除此类压接质量不正常所造成的重大事故的隐患。故开展耐张线夹和接续管压接质量的检测方法研究,通过有效的仪器检测并排除此类事故隐患,避免因施工压接质量问题引发的输电线路事故,显得尤其必要。

## 2 压接型金具内在状态检测的可行性

针对避免因压接质量问题而出现掉线等现象,曾有文章对耐张线夹和接续管内部压接状态的检测方法进行了讨论,并提出采用射线检测方法对产品的压接状态进行检验,此方法可以通过图片的形式直观、清晰地辨别出产品内部压接状态,并且不会对金具及导线造成损耗。

射线检测方法是利用射线穿透物体来发现物体内部结构和缺陷的原理来实现的,穿透作用是指射线通过物质时不被吸收的能力,利用差别吸收这种性质可以把密度和厚度不同的金属结构区分开来。这正是射线透视和摄影的物理基础。射线穿透物体时其强度的衰减与试件的密度、厚度及射线光量子的能量有关,射线检测原理如图1所示<sup>[5,6]</sup>。

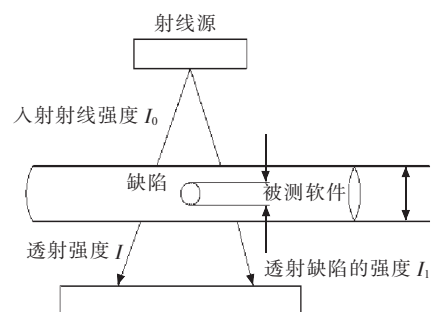


图1 射线检测原理图

射线衰减的基本规律:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

式(1)中: $I$ 为透射后的射线强度; $I_0$ 为原始入射线强度; $x$ 为穿透物体的厚度; $\mu$ 为物体的衰减系数;

根据式(1)便可得出入射线强度通过大小为 $\delta$ 的间隙后,透射后射线强度为:

$$I = I_0 e^{-\mu(x-\delta)} \quad (2)$$

式(2)中: $\delta$ 为试件间隙的大小。

根据射线衰减基本规律及指数函数性质可得,经多种均质材料透射后射线的强度为:

$$I = I_0 e^{-(\mu_1 x_1 + \mu_2 x_2 + \mu_3 x_3 + \dots + \mu_N x_N)} \quad (3)$$

式(3)中: $x_N$ 为不同物体的穿透厚度; $\mu_N$ 为不同物体的衰减系数。

耐张线夹和导线的材质为铝和钢2种,压接位置分别对应图3中 $a, b, c$ 3处。利用射线检测方法对金具内部压接质量进行检验,检测位置分别对应如图2所示中的 $A, B, C$ 3处。位置 $B$ 的放大图如图3所示。

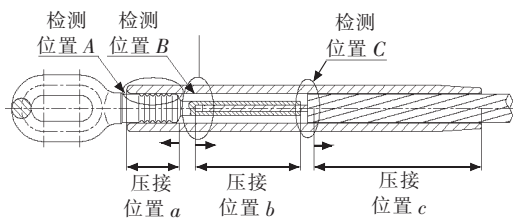


图2 耐张线夹的压接及检测位置

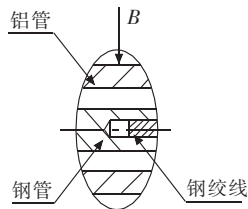


图3 位置 $B$ 放大图

如图3对位置 $B$ 处的内部压接状态进行检验,当钢绞线完全插入钢管时,射线穿透厚度为 $x_{\text{铝管}} + x_{\text{钢管}} + x_{\text{钢绞线}}$ ,当钢绞线未完全插入钢管内部时,射线穿透厚度为 $x_{\text{铝管}} + x_{\text{钢管}}$ 。对这2种情况下的透射后射线强度进行对比,代入式(3),得到:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{I_0 e^{-(\mu_{\text{铝管}} x_{\text{铝管}} + \mu_{\text{钢管}} x_{\text{钢管}} + \mu_{\text{钢绞线}} x_{\text{钢绞线}})}}{I_0 e^{-(\mu_{\text{铝管}} x_{\text{铝管}} + \mu_{\text{钢管}} x_{\text{钢管}})}} = e^{-\mu_{\text{钢绞线}} x_{\text{钢绞线}}} \quad (4)$$

式(4)中: $I_1$ 为钢绞线完全插入钢管时的穿透强度; $I_2$ 为钢绞线未完全插入钢管时的穿透强度;

以耐张线夹NY-400/35为例,当射线能量为0.25 MeV时, $\mu_{\text{铝}}=0.29$ , $\mu_{\text{铁}}=0.80$ ,钢绞线直径为0.75 cm,代入式(4)得:

$$\frac{I_1}{I_2} = e^{-\mu_{\text{钢绞线}} x_{\text{钢绞线}}} = e^{-0.8 \times 0.75} = 0.55$$

$$\text{即 } I_1 = 0.55 I_2$$

由以上计算结果得出,钢绞线完全插入钢管情况下的穿透强度约为钢绞线未完全插入钢管时的穿透强度的一半,即当选用合适的射线强度时,可以较明显地分辨出钢绞线插入钢管内的状态。因此,采用射线原理检验耐张线夹和接续管内部压接状态是可行的。

### 3 在线检测装置的研制

通过对射线检测使用原理的分析,研制适用于现场地面和高空作业的耐张线夹和接续管压接质量检测装置(简称检测装置)。该装置应具有以下特点:便于施工现场的安装、检测和携带;适用于空中检测;检测压接型金具内部铝和钢2种材质的内部状态;具有成像和存储等功能。

为满足地面和空中安装、检测、验收的需要,该装置应小巧、轻便和便于携带,故选用脉冲式射线检测仪,主要包括发射仪、接收仪以及软件成像系统3个部分,如图4所示。

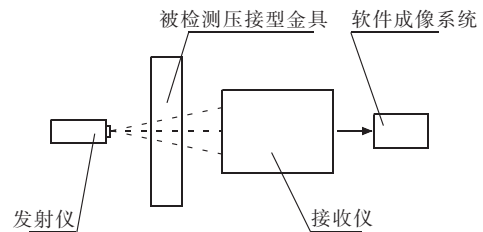


图4 射线检测装置的主要结构

为满足高空检测时安装操作简单、可靠的要求,还需研制一种装夹器具,该装夹器具应具有以下结构特点:(1)发射仪、接收仪应与被测金具装配成一体,且发射仪和接收仪固定在被测金具的两侧;(2)装夹器具可夹持不同导线型号的耐张线夹和接续管;(3)装夹器具配备有自动锁紧结构,用于锁紧在被测金具上;(4)装夹器具设计有滑动导轨结构,方便发射仪沿导线轴向滑动,用于检测不同位置处的金具压接状态;(5)装夹器具设计有固定结构,用于固定接收仪;(6)在发射仪处设计有特殊的滤光结构,以生成更加清晰的图像<sup>[7,8]</sup>;(7)检测装置各部件之间信号可以通过无线或有线传输;(8)检测装置可以用电池或交流电供电。经过大量的设计试验,确定该检测装置具体结构如图5所示。



图5 检测装置结构示意图

## 4 压接质量检测试验

利用检测装置对金具进行压接质量检验,以钢芯铝绞线耐张线夹为研究对象,其结构形式如图2和6所示,压接位置分别为图中 $a, b, c$ 3处,检测位置分别对应图中 $A, B, C$ 3处。

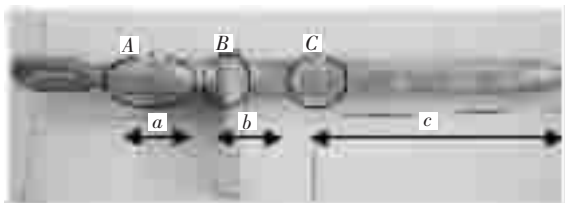
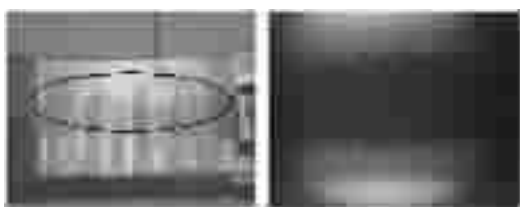


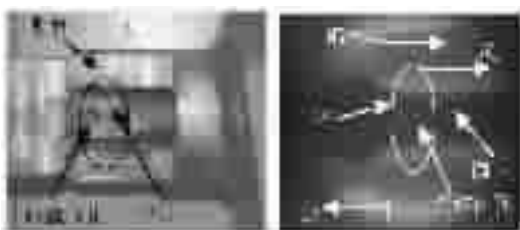
图6 钢芯铝绞线耐张线夹

压接位置 $A$ 处检验耐张线夹铝管与钢锚凸台相对压接位置;压接位置 $B$ 处检验钢管内钢芯的压接长度与压接位置;压接位置 $C$ 处检验铝管中导线的压接长度与压接位置。其压接质量的检测结果如图7—9所示。



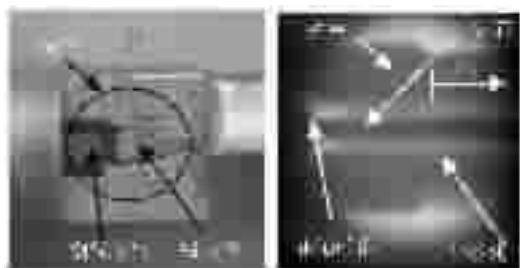
(a) 剖面图 (b) 透射图

图7 检测位置 $A$ 处试验结果



(a) 剖面图 (b) 透射图

图8 检测位置 $B$ 处试验结果



(a) 剖面图 (b) 透射图

图9 检测位置 $C$ 处试验结果

图7(a)和图7(b)分别为检测位置 $A$ 处的剖面图和透射图,图7(b)中可清晰辨识出钢锚凸台和铝管压接后的相对位置 $A$ 和铝管嵌入钢锚凸台内的状态。从图7中可以看出,图7(b)的检测结果与剖面图7(a)相吻合。

图8(a)和图8(b)分别为检测位置 $B$ 处的剖面图和透射图,从图中可清晰辨识出①为钢锚凸台侧铝管

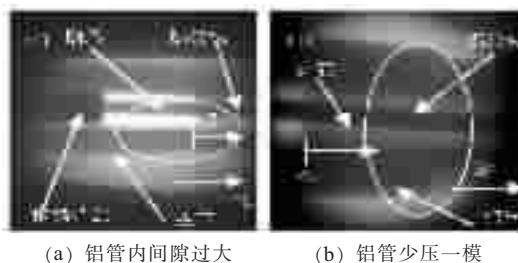
的压接起始位置,②为钢芯插入钢锚内孔的状态,③为钢锚压接起始位置。从图8(a)和图8(b)对比可以看出,透射图8(a)的检测结果与图8(b)剖面图相吻合,即可从图8(b)中看到位置 $B$ 处的压接状态。

图9(a)和图9(b)分别为检测位置 $C$ 处的剖面图和透射图,从图中可清晰辨识出钢锚端部、铝管、导线的铝绞线和钢芯压接后的相对位置,④为导线侧铝管压接起始位置。从图中可以看出,透射图9(a)与剖面图9(b)的试验结果相吻合,即可从图9(b)中看到位置 $C$ 处的压接状态。

从以上对比试验结果可以得出,检测装置可以直观、清晰地辨别出耐张线夹的内部压接状态,因此,射线检测方法是一种可行的检测耐张线夹和接续管内部压接状态的方法。

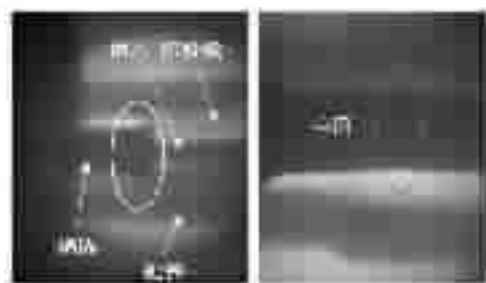
## 5 在线检测装置的应用

目前,该检测装置已在溪洛渡 $\pm 500$  kV同塔双回直流线路竣工验收过程中进行了试点应用,成功检测出存在压接问题的耐张线夹和接续管,如图10和图11所示。



(a) 铝管内间隙过大 (b) 铝管少压一模

图10 存在压接问题的耐张线夹铝管



(a) 钢锚未压接完全 (b) 钢锚压接后弯曲

图11 存在压接问题的耐张线夹钢锚

图10为耐张线夹 $NY-300/40$ 压接挂线后的压接质量检测结果,图10(a)中⑤为铝绞线被剥后的起始位置,⑥为铝管压接起始位置,从图10(a)可看出,压接时剥铝绞线过长,导致铝绞线在铝管内间隙过大;图10(b)中⑦为铝绞线被剥后的起始位置,⑧为铝管压接起始位置,从图10(b)可以看出,导线铝管少压一模。

该检测装置同样对 $\pm 500$  kV牛从直流接地极线路工程中的 $NY-300/50.1$ 耐张线夹进行了检测,其检测结果如图11所示。从图11中可清晰辨识出耐张线夹中各部分压接后的相对位置,图11(a)中铝绞线与钢

锚交接,钢锚未压接完全,导致钢锚尾部呈喇叭状,图11(b)中耐张线夹钢锚压接后弯曲。从以上现场检测照片可以得出,该检测装置可以清晰地检测出地面和空中耐张线夹和接续管的内部压接状态。为避免耐张线夹和接续管因压接质量问题而影响输电线路的运行安全和质量,施工现场压接操作人员应严格按照《输变电工程架空导线及地线液压压接工艺及规程》的工艺要求进行压接操作,该《规程》对导线的压接机具、液压操作、压接部位、压接方向、压接后质量检测等进行了严格的规定。同时,监理人员可选用此检测装置对金具内部压接质量进行检测,以提高金具在线路运行中的可靠性。

## 6 结束语

(1) 射线检测方法是一种检测耐张线夹和接续管内部压接质量的可行方法;

(2) 该检测装置实现了对耐张线夹和接续管的无损检测;

(3) 该检测装置实现了对架空输电线路金具高精度成像,可通过图片的形式直观、清晰的辨别出耐张线夹和接续管的内部压接状态;

(4) 该检测装置设计有装夹器具,以满足地面检测和高空检测的需要。

本文从理论上的研究,给出了无损检测的可行性,并率先在国内成功地研制出耐张线夹和接续管压接质量在线检测装置,解决了耐张线夹和接续管在压接后无法检测其内部压接状态等一系列技术难题,并通过现场应用实例,验证了该检测装置对输电线路中在线的耐张线夹和接续管无损检测是有效、创新的,具有较好的适用性。架空输电线路耐张线夹和接续管的无损

检测是对现有架空输电线路设备检测方法的革新,填补了压接检测方法的空白,对提高输电线路的压接施工质量、排除安全隐患、保证国家电网稳固、快速发展具有重大意义。

## 参考文献:

- [1] DL/T 5285—2013 输变电工程架空导线及地线液压压接工艺及规程[S]. 北京:中国电力出版社,2013.
- [2] 刘纯,熊亮,陈红冬,等. 500 kV 输电线路耐张线夹钢锚断裂分析[J]. 上海电力,2010(S1): 264-266.
- [3] 应伟国,胡旭光,黄旭骏. 架空导线耐张压接管压接尺寸与机械荷载的验证[J]. 浙江电力,2010(7): 14-16.
- [4] 冯爱军,金榕. 影响导线压接握着力因素分析[J]. 电力建设,2011,32(11): 85-88.
- [5] 陈慧. 大型桥梁缆索的无损检测技术研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2011.
- [6] 王仲生. 无损检测诊断现场实用技术[M]. 北京:机械工业出版社,2002:208-245.
- [7] 刘俊敏. 工业 X 射线检测图像处理关键技术研究[D]. 重庆:重庆大学,2006.
- [8] 陈光. 焊缝 X 射线数字图像处理及缺陷检测方法研究[D]. 兰州:兰州理工大学,2007.

## 作者简介:

张鹏(1979),男,河南淇县人,工程师,从事直流输电方面管理工作;

秦怡宁(1971),男,河北邢台人,工程师,从事输电线路管理工作;

熊细涛(1983),男,湖北通山人,工程师,从事输电线路运行维护与管理工作;

陈龙元(1963),男,江苏苏州人,高级工程师,从事金具与机具的研发和管理工作;

贾迪(1984),女,河北青龙人,工程师,从事电力金具的研发工作;

匡辉明(1983),男,江苏泰州人,工程师,从事电力金具的研发工作。

## Online Crimping Quality Monitoring of Strain Clamp and Splicing Sleeve in Overhead Transmission Lines

ZHANG Peng<sup>1</sup>, QIN Yining<sup>1</sup>, XIONG Xitao<sup>1</sup>, CHEN Longyuan<sup>2</sup>, JIA Di<sup>2</sup>, KUANG Huiming<sup>2</sup>

(1. Qujing Bureau CSG EHV Power Transmission Company, Qujing 655000, China;

2. China Energy Engineering Group Nanjing Line Accessories Manufacturer, Nanjing 210037, China)

**Abstract:** The operation security of overhead transmission lines is threaten by the disconnection between strain clamp or splicing sleeve and conductor. Violation of related operating regulation is found to be the cause of the accident, and it also leads to abnormal operating conditions, such as overheat. To prevent such accidents and phenomenon, the detection method for the internal crimping state of compression type fittings is investigated. A ray detection method is proposed to detect the internal crimping quality directly. The developed detection device can be applied to detect the internal crimping state of strain clamp and splicing sleeve during construction and in air directly. Furthermore, the device has been applied in transmission lines of some projects successfully. Online crimping quality monitoring of strain clamp and splicing sleeve in overhead transmission lines is realized. The method can also play an important role in preventing related accidents in the power system.

**Key words:** compression joint type fittings; internal crimping state; crimping quality; ray detect; strain clamp; splicing sleeve