

[输电线路]

架空线路耐张线夹X射线检测分析与运维策略

文/广东电网有限责任公司广州供电局 于映坤 刘智勇 陈彦廷 黄海生

通过对在运行的500 kV线路共144根耐张线夹进行检测，对X光照片进行分析，发现该批耐张线夹存在数量众多的功能性缺陷。对该类缺陷的成因进行了分析，并提出了相应运维策略以防止该类缺陷的再次出现，为高电压等级耐张线夹的质量检测和运维策略的制定提供了理论和实践依据。

架空输电线路对大截面钢芯铝绞线进行安装时，一般采用压缩型耐张线夹进行压接安装。耐张线夹的作用是将导线固定在非直线杆塔的绝缘子串上，它既承受了导线的全部拉力，还承担着载流任务。在架空线路的重要交叉跨越处，耐张线夹是在运设备中的薄弱环节，耐张线夹压接质量的好坏直接关系到线路的安全运行和相应跨越物的公共安全。因此，采用液压方式进行线夹压接时，必须严格按照相关压接规程及工艺标准进行操作。然而，耐张线夹的压接属于隐蔽工程，受施工人员技能水平及高空压接环境等因素共同影响，输电线路中耐张线夹的压接质量往往难以得到有效保障，造成许多不符合工艺标准的耐张线夹投入运行，所以需要一种有效的方法对在运的耐张线夹进行检测。

架空输电线路耐张线夹压接质量的常用检测方法主要有外观检测、尺寸测量和力学性能抽查检测等。使用游标卡尺可以准确测量压接后的对边距值，根据标准中给定的公式 $S=0.866kD+0.2$ ，可检验出压接外形尺寸是否合格；对于弯曲度可以使用塞尺等工具进行测量。但上述方法无法检测到在运线路耐张线夹的内部结构，无法有效地判断在运耐张线夹的运行质量。因此，需要

一种新的检测方法对在运耐张线夹内部结构质量进行检测。

目前，国内已开始将X射线无损检测技术应用到部分电气设备的检测中。随着X射线无损检测技术在电气设备检测中逐步推广，该技术也初步应用到架空输电线路导线、钢芯、耐张线夹及铝管压接质量等检测中，且取得了初步成效。但该技术的判定标准有待进一步确立，与之相应的线路验收及运维策略有待探讨。

本文根据通过X射线无损检测方法，对500 kV在运线路的144根耐张线夹进行检测，对检测出的缺陷进行了成因分析，并制定了相应的应对策略。

检测系统简介

本文采用的X射线无损检测系统主要由XRS-3型X射线机、CARE VIEW 1500P型平板探测器、移动工作站和控制器四部分组成。其基本原理为：利用控制器控制X射线机触发产生高速电子并撞击金属靶面，从而产生X射线。平板探测器接收透照穿过耐张线夹的射线，形成X数字光片，经数字转换接口实时传送至移动工作站，从而完成X光片的画面显示。系统检测原理如图1所示。

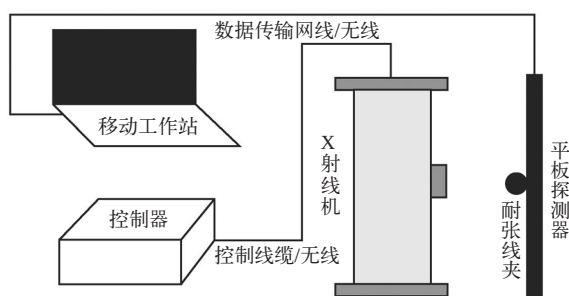


图1 X光检测系统原理图

试验结果及分析

由电力金具手册可知：耐张线夹NY-720/50的铝管外径 D 为62 mm，内径 ϕ 为37.8 mm，钢芯外径 d 为24 mm，内径 ϕ 为9.1 mm。设置X光设备参数如表1所示，可测量出如图2所示的结果。

表1 X射线仪器检测参数

检测参数	射线源种类	X射线	设备型号	XRS-3
	透照方式	外透	平板型号	Care View 1500P
	管电压/kV	270	成像方式	DR
	焦距/mm	700	脉冲数	20
	成像区域/mm	355 × 434	检测比例	100%



图2 钢管的X光检测示图及说明

如图3所示，本文将铝管的压接区域分为铝管与钢管的压接区：检测铝管与钢管之间连接是否紧密；铝管非压区：检测是否对铝管非压区进行压接；铝管与导线的压接区：检测铝管与导线的连接是否合格；钢管端部：检测钢芯贯穿是否到位。通过对上述四个部位的检测，能够判断耐张线夹压接质量是否合格。

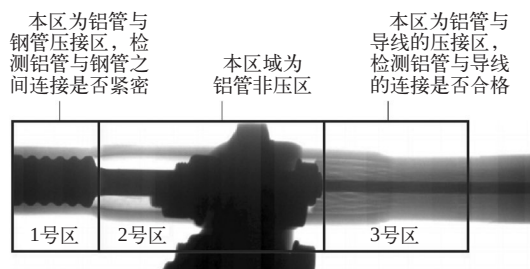


图3 铝管的X光检测示图及说明

1. 典型故障类型分析

根据上述方法，本文对四回500 kV在运架空

线路重要交叉跨越两侧的耐张线夹进行了X光检测。根据压接区域及状态，对典型缺陷进行梳理，说明缺陷产生的原因，及后期运维需要注意的问题及策略。

(1) 铝绞线欠电压

欠电压图谱如图4所示。

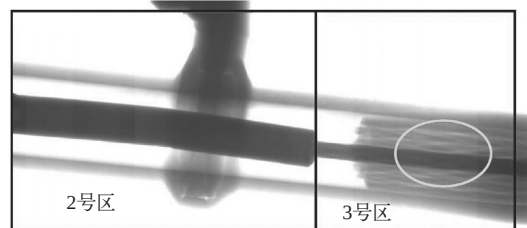


图4 铝绞线欠电压图谱

导致欠电压的原因：钢管压接后测量铝管侧压接区的起压位置靠后（靠近铝管管口侧）。

对在运线路的影响：导线欠电压可能导致铝线与压接管之间的接触面积不够，引起铝线与铝管的接触电阻过大，导致连接部位在大负荷时发热。

后期运维需要注意的事项：缩短对该重要交叉跨越耐张线夹的红外预试周期，由原本的一年一测改为半年一次，或由半年一测改为每个季度测一次。

(2) 钢锚存在凹槽未压接

凹槽未压接的图谱如图5所示。

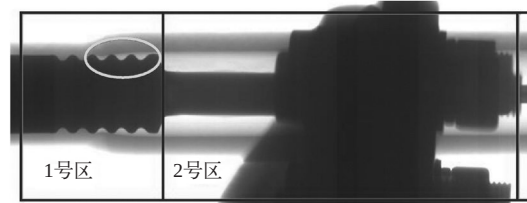


图5 钢锚存在凹槽未压接的图谱

导致凹槽未压接的原因：钢管压接后，钢锚凹槽端部至钢锚环处尺寸量度不正确，或压接过程中压钳未合模。

对在运线路的影响：铝管与钢锚的压接部位主要起固定铝管的作用，部分凹槽未压接将导致铝管与钢锚的连接力少于压接的标准，为后期运行埋下隐患。

后期运维需要注意的事项：日常巡视时注意铝管较正常位置是否有较大位移，如有则应考虑结合停电对该档导线进行更换。

(3) 钢锚表面有飞边

钢锚表面有飞边的检测图谱如图6所示。

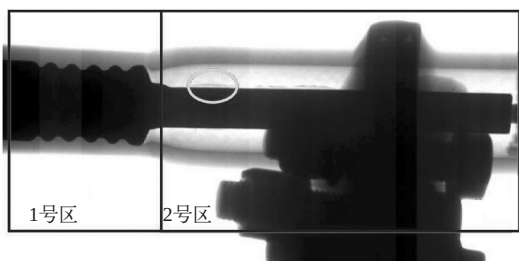


图6 钢锚表面有飞边的图谱

钢锚表面有飞边的原因：施工人员在压接钢锚与导线的钢芯后，并未按照施工工艺要求，使用钳子剪除钢锚表面的较大飞边，并使用锉刀打磨钢锚表面，使其达到平整光滑的标准。

对在运线路的影响：钢锚表面有飞边不会对在运线路有影响。

(4) 钢锚轻微弯曲

钢锚轻微弯曲的检测图谱如图7所示。

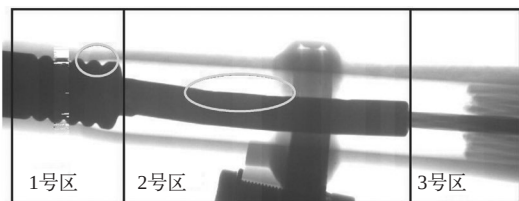


图7 钢锚轻微弯曲的图谱

钢锚轻微弯曲的原因：施工人员在压接钢锚与导线的钢芯时压接部位的两边没有放平，导致压接时出现弯曲。

对在运线路的影响：严格按照施工工艺要求，钢锚在压接时弯曲度不得超过2%，且压接部位的握着强度不得小于导线计算拉断力的95%；本故障中钢锚仅轻微弯曲，不影响钢锚的握着强度，对在运线路无影响。

2. 针对压接验收的措施

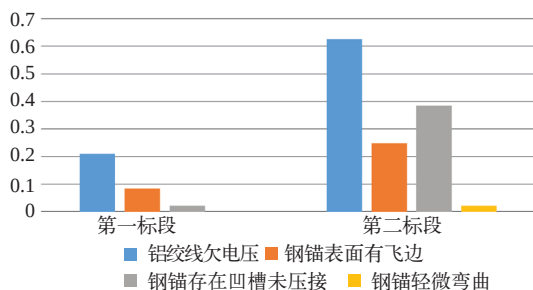
经过统计，第一、二施工标段抽检结果中累积的隐患数量类型及占比如表2所示。

表2 第一、二施工标段各故障类型数量统计

故障类型	第一标段 (抽样总数48)	第二标段 (抽样总数96)
铝绞线欠电压	10	60
钢锚表面有飞边	4	24
钢锚存在凹槽未压接	1	37
钢锚轻微弯曲	0	2

第一、二标段抽检结果中累积的数量类型及占比如图8所示。

由图8可看出，第一标段出现隐患的概率远低于第二标段出现隐患的概率。这表明不同施工队伍之间的施工工艺与水平存在较大差异。压接属



于隐蔽的验收项目，在压接完成后验收人员无法看到铝管内部的景象，这就要求运维人员必须在压接现场进行旁站，才能确保施工人员严格按照施工工艺进行压接。目前我国线路运维单位，普遍存在点多面广，人均线路公里数太长，验收时以点带面，不够精准细致的情况。为克服这种情况，建议采用以下管理手段，反向倒逼施工单位提高施工工艺：①要求监理在压接时全程进行旁站监督，对不符合工艺要求的压接行为应严格制止；②运维单位编制导线压接验收作业指导书，在作业指导书内要求施工单位在进行压接时保留压接前和压接后的照片，并编号存档，在竣工验收时一并交给运维人员，由运维人员再次检验，避免出现施工单位粗放式管理，施工工艺不符合标准的情况。

结束语

通过将 X 射线无损检测技术应用到耐张线夹压接质量缺陷检测中，对144根不同500 kV输电线路的耐张线夹进行检测分析，得到以下结论。

1) 耐张线夹压接质量缺陷主要由四类，分别是铝绞线欠电压、钢锚表面有飞边、钢锚存在凹槽未压接和钢锚轻微弯曲。

2) 四类不同压接缺陷中，铝绞线欠电压的缺陷在高压输电线路中出现较多，为50%左右；钢锚存在凹槽未压接及钢锚表面有飞边在抽检的耐张线夹中出现概率也较高，平均占比达20%左右。

3) 在抽检的第一及第二两个标段中，缺陷主要集中在第二标段。这说明缺陷的出现与施工单位及施工人员有较大关联；施工单位管理严格，施工人员工艺熟练，则缺陷出现少；反之，则缺陷出现多。

4) 对各类压接缺陷的运维和验收提出了建议，以保证输电线路的安全稳定运行。EA

(收稿日期：2020.02.05)

(编辑：朱金凤)