

[输电线路]

一起220 kV线路覆冰断线事故分析及整改措施研究

文/国网新疆电力公司 张振泉

国网新疆电力公司电力科学研究院 董新胜 张 东

国网新疆电力公司乌鲁木齐供电公司 杨肖辉 陈艳超

输电线路覆冰跳闸严重影响电力系统的正常运行，特别是严重覆冰引起的断线倒塔事故对电力系统的影响更大。

输电线路路径地形地貌复杂，容易受微地形、微气象条件的影响，特别是山区线路，由于新疆地区12月初寒潮来临时气温在0℃左右，此时遇上雨雪天气，极易造成输电线路覆冰。输电线路严重覆冰会引起导线过载断线、绝缘子覆冰闪络或导线上覆冰脱落跳跃进而引起线路跳闸等事故，这严重影响着输电线路的正常运行，目前覆冰造成的跳闸已成为继外力破坏、雷击和鸟害后的第四大跳闸因素，特别是覆冰断线、倒塔后抢修时间长且容易造成二次事故。因此，有必要对覆冰跳闸事故原因进行分析，找出覆冰引起跳闸的根本原因并制订有效的防范措施。

故障基本情况

1. 故障过程

2014年11月28日4时37分开始，某供电公司220 kV线路连续故障跳闸4次，选相A、B，前三次重合成功，最后一次重合失败。现场巡视人员发现该220 kV线路故障段覆冰严重，同时发现69#塔A相双分裂导线悬垂线夹断裂并累积挤压露出钢芯约10 m，如图1所示；68#塔A相下分裂子导线耐张线夹从引流板处掉落，如图2所示；68#塔上A相下导线仅剩钢锚和引流板。

2. 故障区段情况及天气情况

故障区段线路设计风速27 m/s，设计覆冰10 mm。



图1 69#塔A相导线钢芯抽出



图2 68#塔A相耐张线夹断裂

故障区段地貌主要为丘陵、高山大岭和平地。沿线海拔为1 000~1 400 m。导线采用2×LGJ-400/35，导线垂直分布，分裂间距为400 mm。两根地线分别采用GJ-80和OPGW光缆，68-69#档距626 m。故障时天气情况为雨夹雪，温度-2~2℃，风速为2~5 m/s，相对湿度均在85%左右，属易覆冰的气象条件。

3. 覆冰厚度确定

由于故障段未安装覆冰厚度在线监测装置，为了取得较真实的现场覆冰厚度，同时考虑现场条件的限制，采用测水重法对覆冰厚度进行测

量。测水重法原理为将长度为 L 的导线上的冰全部收集起来进行称重,得到一定长度 L 的导线上的冰重 G ,再根据导线直径和冰密度利用式(1)计算出标准状态下覆冰厚度,即

$$b = \sqrt{R^2 + \frac{G \times 10^3}{\pi \rho L}} - R \quad (1)$$

式(1)中, b 为标准覆冰厚度,单位为mm; R 为导线半径,单位为mm; G 为长度 L 的导线上冰的重量,单位为kg; ρ 为标准冰的密度,单位为 0.9 g/cm^3 。

根据上述方法及导线型号, LGJ-400/35导线直径为26.8 mm,用专用取冰装置取长度为1 m上导线覆冰,由于导线上覆冰的不均匀性,分别取5处求平均值。不同处冰样重量如表1所示。最后求出导线覆冰厚度为18.10 mm,超过设计覆冰10 mm。

表1 覆冰取样位置及冰重表

距68#塔 取样处	距68#塔 大号侧 10 m	距68#塔 大号侧 20 m	距68#塔 大号侧 30 m	距68#塔 大号侧 40 m	距68#塔 大号侧 50 m
重量 (kg/m)	2.34	2.21	2.51	2.18	2.25

覆冰跳闸原因分析

通过现场巡视发现在线路下方有掉落的冰块,同时在现场发现导线有明显的舞动现象,在天气晴好后对导线进行检查发现在档距中央处导线有明显放电痕迹,根据现场情况判断造成线路跳闸原因为脱冰舞动。

覆冰断线原因分析

根据覆冰厚度计算导线张力并未超过导线拉断力,可见造成线夹断裂的原因不是覆冰过载造成的,下面从线夹的压接工艺到线夹断裂的原因进行分析。

目前,电力系统通用的SDJ 226-87《架空送电线路导线及避雷线液压施工工艺规程》,规程中规定施压顺序如图3所示。

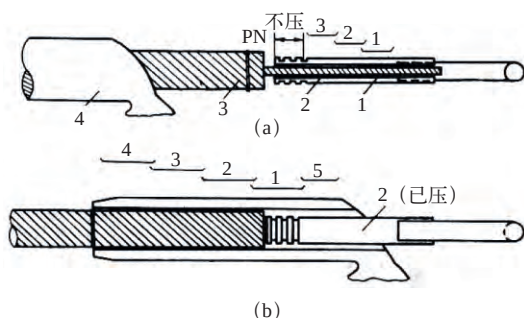


图3 钢芯铝绞线耐张线夹施压顺序

1—钢芯 2—钢锚 3—铝线 4—铝管

首先按图3a压接顺序压钢芯,然后将钢锚和铝线插入铝管中,从钢锚环箍处开始压接,压接时先压铝线处,最后压钢锚处。线夹的钢锚仅承担钢芯的拉力,约占导线整体额定拉力的80%~90%,铝管与钢锚环箍的压接约承担导线整体额定拉力的10%~20%。

结合本次事件使用的钢芯铝绞线耐张线夹的液压工艺与标准工艺对比如下。

1. 压接顺序

故障耐张线夹施工工艺如图4所示,钢锚位置和铝管位置与压接完成时位置一致,从图4中及钢锚压接痕迹和铝管压接痕迹可以看出,在压接钢锚时仅将一个环箍压接,未完全将钢锚环箍完全压接在铝管内。

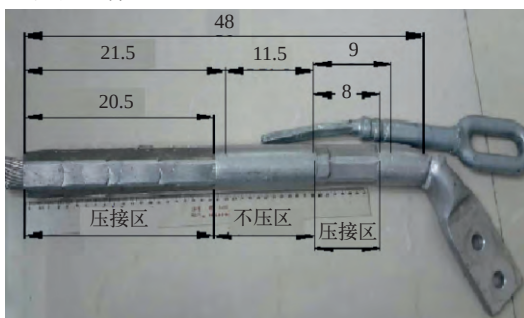


图4 故障线夹压接图(单位为cm)

2. 压接后对边距

根据规程规定,各种液压管压后对边距尺寸 s 的最大允许值为

$$s = 0.866 \times (0.993D) + 0.2 \quad (2)$$

式(2)中, D 为管外径,单位为mm。

但三个对边距只允许有一个达到最大值,超过此规定时应更换钢模重压。

用电子式游标卡尺实测钢锚管外径 D 为15.95 mm,则钢锚与钢芯压接后对边距尺寸 s 的最大允许值为

$$s = 0.866 \times (0.993 \times 15.95) + 0.2 = 13.89 \text{ mm}$$

而测量压接后钢锚对边距尺寸最大为14.29 mm,超过13.89 mm,不符合压接要求。

对于铝管与钢锚环箍压接完成后尺寸,实测铝管管外径 D 为45.23 mm,则铝管与钢锚环箍压接后对边距尺寸 s 的最大允许值为

$$s = 0.866 \times (0.993 \times 45.23) + 0.2 = 39.09 \text{ mm}$$

测量压接完钢锚环箍完成后铝管最大对边距尺寸为38.59 mm,符合压接要求。

对于铝管与导线压接完成后尺寸,其允许值与铝管与钢锚压接后一致。测量铝管压接导线最大对边距39.62 mm,超过最大允许对边距值,不

符合压接工艺要求。

3. 线夹断裂原因分析

首先分析线夹各个部位的断裂顺序。通过对断裂后线夹进行检查发现,线夹断裂原因为钢锚抽出,由此推断是钢芯与钢锚连接处首先断裂,导线张力全部施加到铝管引流板上,造成铝管引流板无法承受导线张力而断裂,造成导线掉落。

导线覆冰发展会先在顺风向覆冰,顺风向覆冰较多时导线会发生翻转,在另一面覆冰,直到导线上完全覆冰。由于施工过程中铝套管与钢锚压接后铝管压接导线对边距过大,致使铝套管承载的负荷转移到钢锚上,钢锚在导线覆冰翻转过程中转动,在导线舞动过程中振动,使得钢芯承担了超过其正常承载和疲劳,造成钢锚与导线钢芯连接处断裂,最终引起导线断线。

改造措施

1. 防脱冰舞动措施研究

通过前面的分析可知造成线路跳闸的原因为脱冰舞动。脱冰舞动造成跳闸的主要原因是线路档距较大造成导线弧垂较大,所以抑制脱冰舞动的最为有效的措施是减小线路档距,但故障区段线路断面如图5所示,68—69#跨越一个近50 m的深沟,在68—69#中间添加一新的杆塔难度较大,不具有可行性。

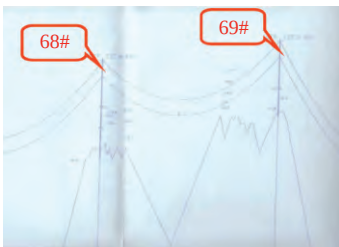


图5 68—69#断面图

另一种比较有效的防脱冰舞动的措施是安装相间间隔棒。在输电线路安装防舞间隔棒后,会在导线舞动时形成节点,如果节点前后的舞动固有频率相等,舞动就会向后传播,可能会引起线路谐振,引发更为强烈的舞动。为了解决安装防舞间隔棒后引起的线路谐振,在间隔棒的安装上应当遵守“相邻节距不相等,整体安装不对称”的基本原则。以消除因安装不当引起的线路舞动幅值增加。

同时按照国家电网生(2010)452号《输电线路舞动治理工作指导意见》、基建技术函《国家电网公司在建输电线路工程防舞设计要点》和国家电网公司企业标准Q/GDW1829—2012《架空输

电线路防舞设计规范》要求进行设计,不同档距相间间隔棒安装数量和位置如表2所示,因故障段档距大于600 m,应当从防止3阶舞动情况来治理线路脱冰舞动,现场间隔棒安装如图6所示。

表2 不同档距相间间隔棒安装数量及位置

档距/m	数量/只	布置位置/m (与小号侧的距离)	
		上相—中相	中相—下相
$100 \leq L < 400$	2	$\frac{1}{3}L$	$\frac{2}{3}L$
$400 \leq L < 500$	3	$\frac{1}{4}L, \frac{3}{4}L$	$\frac{1}{2}L$
$500 \leq L < 600$	4	$\frac{2}{9}L, \frac{3}{5}L$	$\frac{2}{5}L, \frac{7}{9}L$
$600 \leq L < 700$	5	$\frac{2}{9}L, \frac{1}{2}L, \frac{7}{9}L$	$\frac{2}{5}L, \frac{3}{5}L$

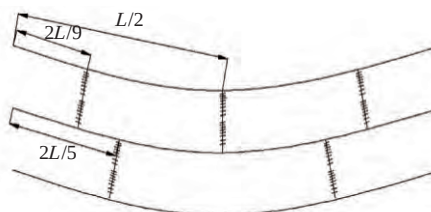


图6 相间间隔棒安装位置(L为线路档距)

2. 加强线夹压接工艺检查

线夹压接属隐蔽工程,且施工完成后检查只能登塔检查,在压接完成后发现压接问题较难。通过分析,得出本次线路断张线夹断裂的故障原因为压接工艺不满足规程要求,在铝管和钢锚的压接中,未将钢锚环箍全部压入铝管中是造成本次故障的主要原因。同时由于钢锚和铝管的长度固定,建议在以后的验收过程中根据钢锚上环箍位置和铝管压接位置确定钢锚环箍是否压接完全。如图7所示,在压接前测量钢锚到环箍的长度L,压接完成后测量钢锚到压痕的位置,进而确定钢锚环箍是否完全压接。同时应当严格控制铝管和钢锚压接后的对边距,确保对边距在误差的允许范围内。

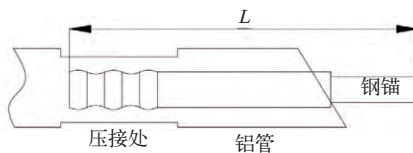


图7 钢锚环箍压接完全示意图

结束语

通过分析一起220 kV线路覆冰断线事故,根据故障区段地形地貌情况确定了采用相间间隔棒的方式防止脱冰舞动跳闸,在线夹压接工艺的检查上给出了检查方法,可以快速检查线夹压接工艺是否满足标准要求。EA

(收稿日期:2016.01.09)

(编辑:刘群点)