「输电线路」

新疆地区750 kV输电线路覆冰跳闸原因分析及改造措施

文/国网新疆电力公司电力科学研究院　张　东　庄文兵　董新胜
国网新疆电力公司　付　豪　张振泉　王立福

通过分析一起750 kV输电线路覆冰跳闸，找出了造成线路跳闸的主要原因是线路覆冰舞动造成导线与地线安全距离不足，同时结合跳闸所发生线路段所处的地形地貌，总结出新疆地区750 kV线路发生线路覆冰区段的受微地形的影响、覆冰持续时间较短的两大特点。最后根据覆冰跳闸原因和覆冰特点提出了改造方案并实施，经过2年的运行，线路虽然有覆冰，但未造成跳闸或金具损坏，证明线路改造的实用性。为以后新疆地区750 kV线路覆冰改造提供了指导。

输电线路导线在适宜气候下容易结冰，在导线结冰初期，由于未形成圆形截面，此时受风影响，线路会形成一种频率较低，振幅较大的振动。同时由于输电线路结冰时不是整条导线均匀结冰，在一侧结冰较厚时，导线会发生一定的翻转，在未结冰面开始结冰，由于导线翻转会产生较大的扭力，在未结冰侧结冰时会再次造成导线翻转，第二次翻转时施放巨大的扭力，会造成导线大幅摆动。以上两种情况是输电线路覆冰舞动的基本原理。现场观测到的由于线路舞动造成的线路跳闸往往是两种情况相互结合造成的。由线路覆冰引起的舞动对输电线路的影响极大。例如，舞动幅值过大造成导线与地线或导线相间安全距离不足引起线路跳闸，烧伤导线或地线，同时由于舞动持续时间较长，很难重合成功；由于舞动幅值过大且舞动时间长，容易造成金属疲劳，进而造成杆塔横担强度降低，最终引起倒塔断线等事故。目前由于线路覆冰过厚造成线路过载的情况在新疆地区较为少见，95%以上的输电线路覆冰跳闸是由线路舞动引起的。

通过分析一起750 kV输电线路因覆冰跳闸故障，找出造成输电线路跳闸的运维、设计方面的不足，同时根据覆冰持续时间及线路停运影响情况等选取了适当的覆冰改造措施。

750 kV线路覆冰跳闸分析

1. 线路概况

750 kV达吐一线全长112.71 km，于2010年8月投运，与达吐二线全线平行架设，全线共有铁塔230基。导线全线采用6×LGJ－400/50钢芯铝绞线，导线分裂间隔400 mm，正六边形布置；左右两根地线分别为JLB20A0－100铝包钢绞线和OPGW－120光缆。线路设计风速30 m/s，设计覆冰10 mm。39至54号塔位于达坂城后沟山区地带，距离西侧达坂城盐湖约8 km。

2. 故障情况

2014年11月22日白天，达坂城盐湖地区持续大雾，能见度不足15 m，相对湿度80%以上，最高气温1℃，最低气温－1℃，西北偏西风2级，晚上8点左右风力加大，西北风5至6级。

2014年11月22日16时49分至19时58分750 kV达吐一线连续5次发生故障跳闸，其中3次重合成功，2次重合失败。最后一次跳闸后重合失败，直至11月23日15时线路恢复送电。11月23日现场巡视在47号左相110 m处发现导、地线有明显放电痕迹，放电痕迹长约20 m，放电痕迹如图1所示，由此确定了线路故障点。随后，带电作业人员使用补修条对受损导线进行了补修。

图1　导线放电痕迹

3. 故障原因分析

故障点地理位置：事故区段46至47号塔位于达坂城后沟山区南侧，两基杆塔均位于山顶，中间为山谷，其中46至47号档距947 m，高差99 m。故障区段断面如图1所示。事故区段路径整体自西向东走线，海拔约在1 200～1 620 m之间，处于山区地带，地形复杂，起伏较大。

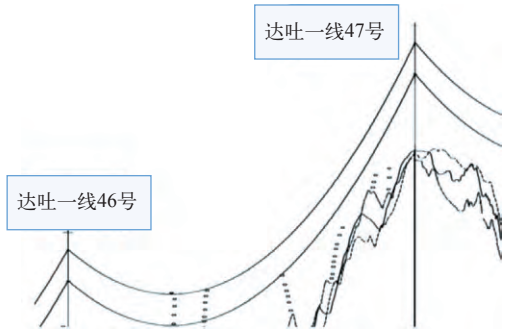

图2　故障点地理位置示意图

通过对750 kV达吐一线46号至47号左相导线及地线弧垂进行了测量，其中左相导线实测弧垂值为66.13 m，设计值为64.23 m，偏差＋2.9%，地线实测弧垂值为64.22 m，设计值为65.74 m，偏差－1.9%，符合设计要求。排除因施工不合格造成线路跳闸。

现场通过称重法测量等值覆冰厚度达30 mm，同时结合放电位置和现场天气情况，现场风向与线路夹角约为60°，满足冰风起舞的条件。由此判断故障原因为线路覆冰及风造成750 kV达吐一线46号至47号线路舞动，造成边相导线与地线安全距离不足引起线路跳闸。

新疆覆冰跳闸特点

1. 覆冰时间短

新疆地区输电线路覆冰跳闸发展速度快，持续时间短，例如上面分析的这次750 kV覆冰跳闸事故，在故障当天山区开始起雾并下有小雨，至线路跳闸时等值覆冰厚度已达35 mm，但第二天大雾散去，上山发现线路上几乎已经没有覆冰。同时分析其他因覆冰跳闸线路也发现，覆冰很少有持续24 h以上的。造成覆冰时间较短的主要原因是新疆气候干燥，空气湿度低，覆冰很难持续较长时间。

2. 受微地形影响大

输电线路易受覆冰影响区段往往受地形影响较大，通常情况下重覆冰容易发生在山区，其线路处于迎风坡且附近有丰富的水源。而且线路覆冰与线路所处海拔也有较大的关系，在海拔3 000 m以下时随着海拔增加线路越容易覆冰，且海拔越高覆冰越严重。通过分析新疆线路覆冰情况发现，新疆线路覆冰一般为小范围覆冰，受影响区段一般在5 km范围内的山区。

改造措施及效果

1. 改造原则

线路覆冰改造一般分为以下3类。

1）整个覆冰段改造。主要针对受覆冰影响严重的线路段，且线路段档距超过1 000 m或高差超过150 m的区段。

2）局部补强改造。主要针对线路覆冰仅造成线路跳闸，覆冰厚度未能造成倒塔、断线等严重影响线路运行的事故，且通常受覆冰影响线路段较短。

3）治理改造。主要针对线路覆冰厚度与设计覆冰厚度相差不大，由施工原因造成线路弧垂异常，大档距线路舞动时不满足运行要求的区段。

2. 改造方案

由于750 kV线路是新疆电网的主网架，但由于建设滞后，目前新疆电网网架结构薄弱，所有750 kV线路都是重要输电线路，不允许发生长时间非计划停运，同时结合新疆线路覆冰特点和改造原则，最终确定采用局部补强的改造方案。

根据现场情况和造成线路跳闸的主要原因，具体方案为在故障档档距中央增加一基耐张塔。

同时为了方便观测线路覆冰情况，在故障段加装了一套覆冰在线监测装置，以方便监测线路覆冰情况。

（下转第116页）

本文搭建了在DSP2812控制下系统的仿真控制原理图，仿真采用240 V直流电源代替发电组件，使用内部带有RL的三相电源模拟电网电压和相位，仿真设置电网线电压为380 V，功率为1 000 MV·A，利用三相RLC串联负载模拟用户端负载，中心点两侧电容大小为3 000 μF，仿真为了计算方便对数据进行了标幺化处理，如图中的A－＞pu2即为标幺化处理。本文采用DSP2812硬件控制模块，内部集成了系统的控制算法。三电平桥式电路IGBT门极输入PWM波形如图5所示，控制实验波形如图6所示。

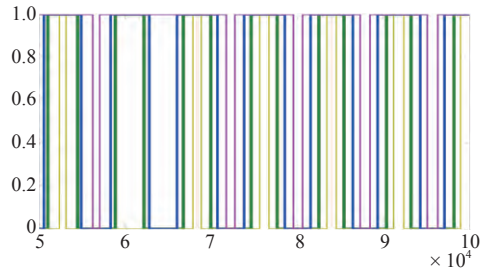

图5　三电平桥式电路IGBT门极输入PWM波形

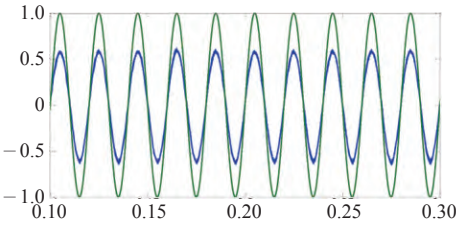

图6　并网电流跟踪电网电压仿真输出波形

2. 系统的仿真结果分析

在图5中共12路信号，分别控制12个IGBT的通断来控制并网电流，使之跟踪电网电压的相位；在图6中给出了标幺化后电网电压与逆变器输出并网电流的相位和频率，由图可见，跟踪效果满足要求，通过计算得到逆变器的输出功率因数约为0.96，完全满足实际需求，并且输出电流与电网电压的相位和频率基本一致，所以本系统的控制方法基本能保持输出电流与电网电压同频率、同相位，是一种较好的控制方法。

结束语

二极管钳位的三电平逆变器除了具有一般多电平逆变器的特点以外，还具有以下优点：便于双向功率流动，功率因素控制方便。存在的不足是直流侧电容均压较为复杂和困难。在二极管钳位多电平结构中，三电平逆变器的结构具有自动平衡的能力，是一种非常优异稳定的结构，目前实际应用中主要都是这种拓扑，本文也将其选为主要研究对象。

本文采用DSP2812为控制器进行仿真，采用优化的SVPWM算法进行控制。结果表明该方法简单易行，易于数字化实现，便于扩展应用到三电平整流及更多电平的逆变器中。EA

（收稿日期：2017.06.20）

（编辑：朱金凤）

（上接第112页）

3. 改造效果

本次线路改造仅对位于山区段大档距、高落差段进行了改造，有效减小了改造范围，降低了投资成本，改造方案具有较强的针对性。

改造后线路正常运行了2个覆冰季，通过在线监测装置发现线路覆冰厚度最大在32 mm，线路未发生跳闸和金具损坏情况，有效提高了线路抵抗覆冰的能力，减少了线路因覆冰跳闸对电网运行的影响。

结束语

总结出新疆地区750 kV线路发生线路覆冰区段的受微地形的影响、覆冰持续时间较短的两大特点。最后根据覆冰跳闸原因和覆冰特点提出了有针对性的改造方案并实施，经过2年的运行，线路虽然有覆冰，但未造成跳闸或金具损坏，证明线路改造的针对性的实用性。EA

（收稿日期：2017.05.30）

（编辑：刘群垚）