

QUALITROL®

2020年8月 · 发电

行波技术如何定位故障

苏格兰132KV T接回路的故障活动调查



南苏格兰电力公司 (SSE) 负责苏格兰北部地区的发电、输电和配电。苏格兰的电力系统主要服务于农村地区，大部分通过132KV双回路输电。其中一条通过T形连接为本地负荷供电的变电站回路，自2006年起呈现出跳闸活动增加趋势。此后，徒步巡逻和派出调查的直升机都无法完全解释这种故障不断增加的模式。由于本文中概述的多种原因，无法准确识别T接回路上故障的距离。

本文按照一年内和一天内发生故障的时间以及受影响的相线对故障进行了分析，试图对故障类型进行分类并深入了解可能的原因。本文还描述了SSE为提高性能而采取的补救措施，以及对现有行波故障定位系统的修改，以便对所有据称发生原因不明跳闸的T接线路段进行故障定位。

Sloy-Windyhill-Dunoon T接回路

这条回路于1950年代建成，是一条使用铁塔“轻型”结构的132KV双架空线路。从2006年开始，无法解释的故障活动不断增加并被发现起源于Dunoon的T接线路段。该T接线路段穿过的地形都是树木繁茂的丘陵和山谷，并有一长段跨越了海湾。其最大海拔达到370m，并且有几个靠近大海的线路段。完整回路的简化线路图如图1所示，其中一座线路铁塔如图2所示。在过去的一年里，使用行波测量对线路段长度进行了细化。

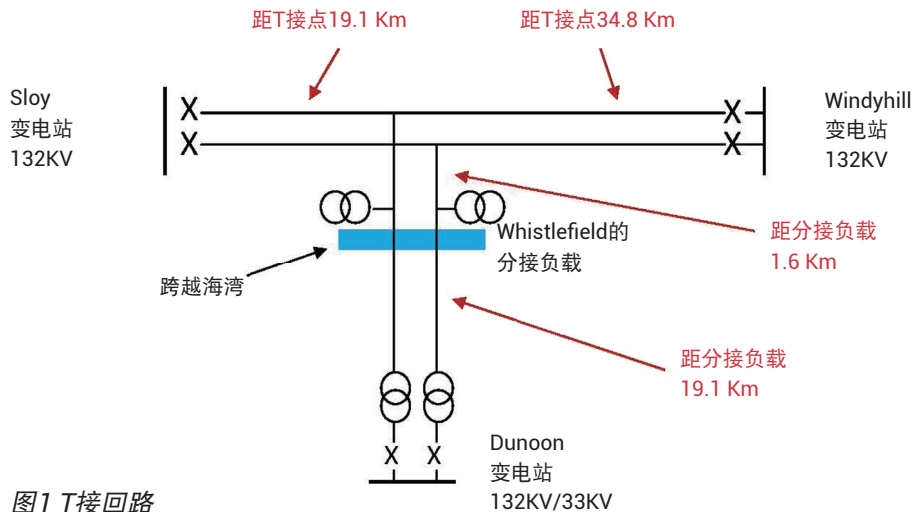


图1 T接回路



图2 Dunoon的T接线路段上的132KV铁塔

132KV回路在Sloy和Windyhill具有运行中距离保护，在Dunoon有定向过电流保护，它们可导致低压变压器断路器跳闸。

故障活动

从2005年到2012年，整条线路的线路跳闸历史记录如表1所示。在此期间，共发生了85次跳闸，其中33次与天气条件或外部影响有关，55次的原因未知。在85次跳闸中，共有79次成功自动重新合闸（临时故障），6次导致锁定状态（永久故障）。直到2012年，基于行波的故障定位设备在Windyhill到Sloy的主线路上一直很有效，但无法在Dunoon的T接线路上获得可靠的结果。从数据来看，大多数无法解释的临时故障都发生在Dunoon的T接线路上，并且故障均匀分布于两个回路。

故障活动的增加引起了SSE的关注，因为位于Dunoon的33KV一次变电站是为大约2万位消费者提供服务的资产。



年	线路跳闸次数	月	备注	故障
2005	3	6月	原因未知	临时故障
2006	2	3月	恶劣的天气条件	临时故障
	1	7月	原因未知	临时故障
	1	10月	原因未知	临时故障
2007	1	1月	原因未知	永久故障
	2	7月	原因未知	1次永久故障 - 1次临时故障
2008	3	1月到3月	原因未知	临时故障
	6	6月到8月	原因未知	临时故障
2009	2	1月到3月	恶劣的天气条件	临时故障
	10	4月到7月	原因未知	2次永久故障
2010	9	2月	风暴天气	1次永久故障 - 8次临时故障
	13	3月	某一天的暴风雪	临时故障
	4	6月到9月	原因未知	临时故障
	1	12月	外部事件	永久故障
2011	1	2月	原因未知	临时故障
	10	7月到9月	原因未知	临时故障
	2	10月到12月	恶劣的天气条件	临时故障
2012	4	1月到2月	恶劣的天气条件	1次永久故障 - 3次临时故障
	10	5月到8月	原因未知	临时故障

表1 2005到2012的故障活动

故障活动的分析

SSE对这些跳闸进行了分析评估，试图更好地理解这些故障。分析对象是针对与天气事件无关的临时故障。

图3显示了GL1和GL2在一天时间内的故障分布。由图中可见，两条线路的故障分布相似，且夜间发生的故障次数更多，特别是早上4点到6点之间。

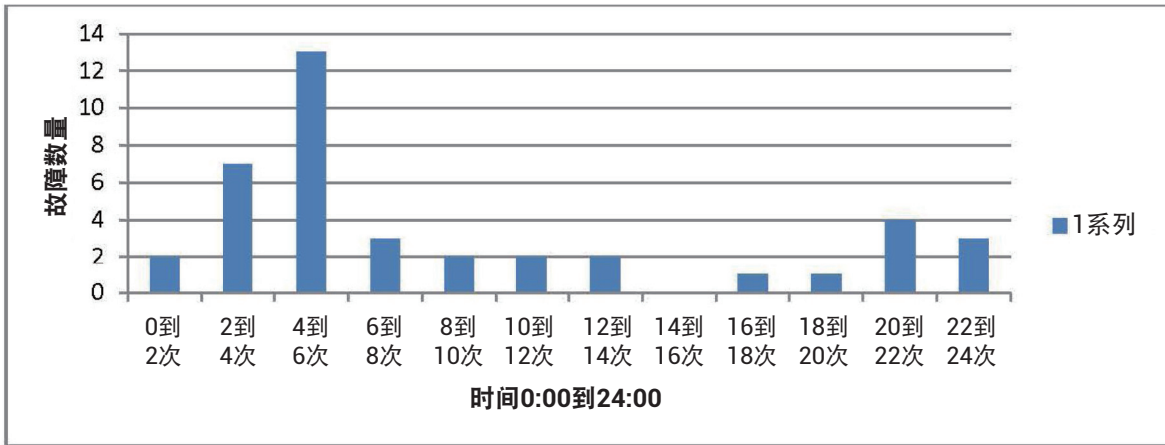


图3 一天时间内的故障分布

图4显示了GL1和GL2在一年时间内的故障分布。可以看到大多数故障发生在6月到9月之间，并且数量逐年增加。

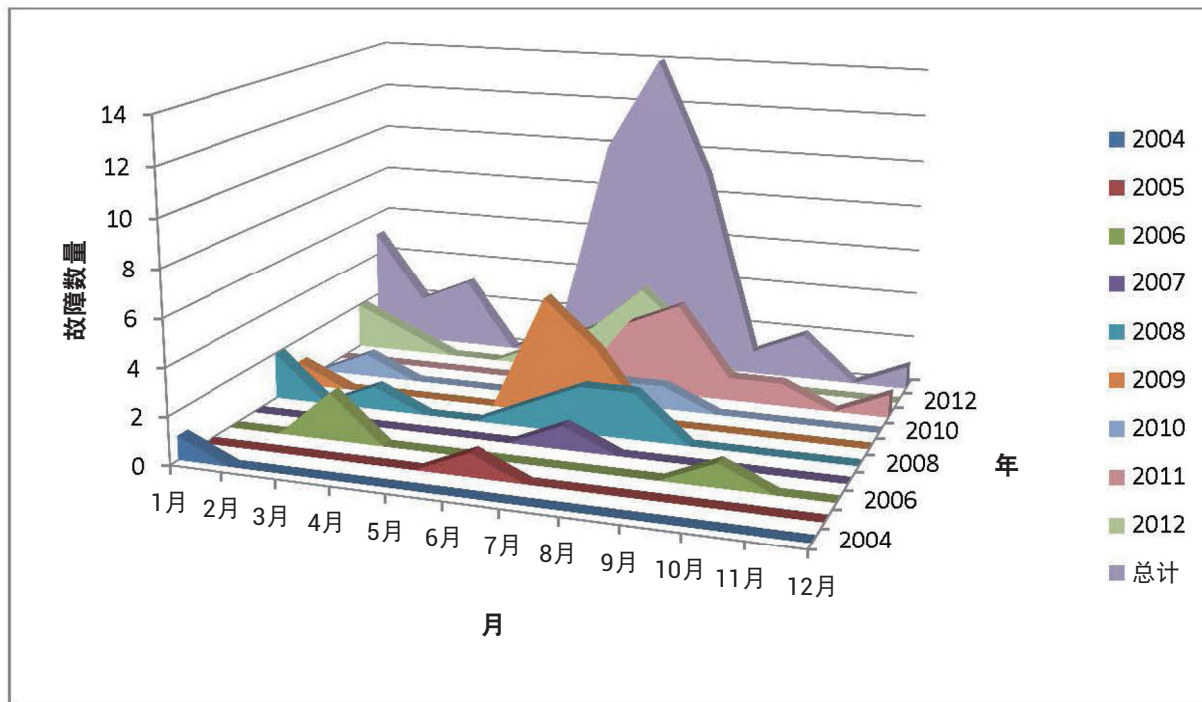


图4 一年时间内的故障分布

最后的分析检查了故障涉及哪些相线。同样，两条回路的分布是相似的。因此仅显示了GL1的故障。图5显示了影响顶部红色相线的故障分布，图6显示了中间黄色相线的故障分布。

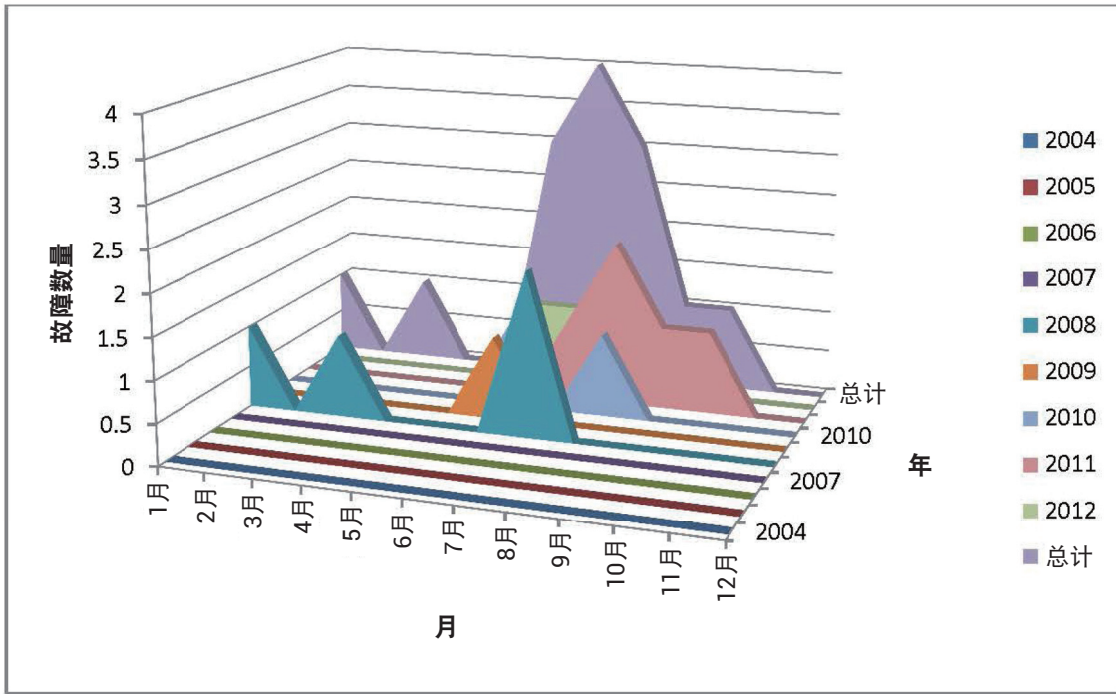


图5 GL1顶部相线的故障分布

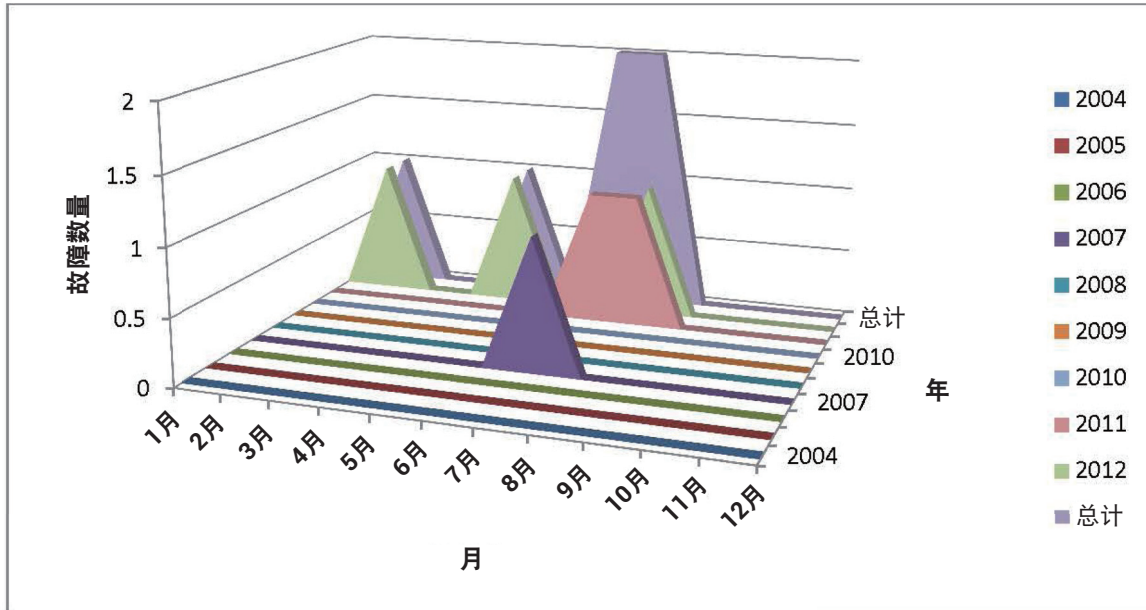


图6 GL1中间相线的故障分布

大多数故障发生在顶部相线，中间相线上发生的故障约为其50%，只有很少的故障发生在底部相线上。在分析过程中，SSE考虑了以下因素：



- 原来的玻璃绝缘子上积聚的污染和盐分可能会在露水和雾气常见的夜间和清晨造成闪络。一天时间内的故障分布支持了该假设，但如果是这样，大多数故障预计将出现在湿度更大的底部相线上，而实际情况却并非如此。
- 海湾和Dunoon周围沿海地区的风蚀盐雾也可能是一个促成因素。风向主要来自西南，但众所周知，线路周围的微气候会产生其他方向的风。
- 地线磨损和配件老化造成接地阻抗增大，从而导致雷电性能降低是一种可能，但雷电发生率与故障活动之间的关联无法佐证。检查确实发现了放电损伤与雷电冲击一致的证据，但考虑到设备的位置和使用时间，SSE并不认为这是近年来如此多线路跳闸的原因。
- 鸟害和绝缘子的污染被认为是最有可能的问题，尤其是2006年靠近输电线路且距离Dunoon约2km的地方新投入使用了垃圾填埋场（填埋生活垃圾）。这些地方会吸引鸟类并会产生风载碎片。故障事件大部分发生在夏季月份的傍晚和清晨，并且大多数发生在顶部相线，支持了这一理论。然而，尽管发现了一些鸟类污染的证据，但污染并不严重，并且没有发现靠近线路的羽毛或鸟类遗骸。
- Dunoon T接电路上缺乏有效的故障定位意味着无法识别发生故障活动的跨度或线路杆塔，从而阻碍了根本原因的确认。

南苏格兰电力公司 (SSE) 的补救工作

2004年，在越来越多的原因不明的线路跳闸事件发生之前，SSE已经更换了绝缘子并加装了杆塔拉线来限制导线的移动，试图提高线路高故障段的性能。这成功稳定了当时的故障活动。从此以后，“新”故障活动被认为不在这一部分线路。

随后完成了以下工作：

- 2009年11月进行了一项独立的结构调查，最终结论是这些铁塔仍然适合使用。然而，如果没有更广泛的结构评估，就无法引入导线负载，这排除了增大导线尺寸以适应未来风电发电场连接的可能性，至少在短期内如此。
- SSE委托进行了132kV绝缘子样品的独立评估。结果由曼彻斯特大学于2010年2月发布。结论是绝缘子样品的状况与其使用时间和位置相符，但相关的小型支撑钢结构显示出明显的金属应力疲劳迹象。出于经济平衡考虑，SSE决定将分支线路上的所有原始绝缘子更换成稍小的绝缘子（以减少动力学包络），并使用更长的爬电路径以尽可能减少相接地故障的可能性。
- 2012年8月，SSE进行的一项干预性调查发现了T接线路沿线不同位置的雷击损坏。因此决定更换地线和相关的小型钢结构，以提高防雷性能。

- 2013年，SSE决定在垃圾填埋场附近的7座线路铁塔上安装防鸟板。这是一个艰难的决定，尽管鸟类被认为是垃圾填埋场处线路故障的一个可能原因，但防鸟板上的尖刺可能会缠绕风载碎片（特别是塑料袋），并导致其他问题。
- 2013年，SSE决定在Dunoon变压器的高压套管测试分接头上加装电压传感器，以结合Sloy和/或Windyhill上现有装置的结果，实现整个T接线路的双端行波故障定位。
- 根据SSE记录，导线的状态被评估为良好，并且这在2014年的现场测量中得到了证实。这为不更换导线的决定提供了有力支持。

在2012年底，SSE确定了补救工作的范围。线路铁塔在结构上是可以接受的，地线将原样更换，原先的所有132KV绝缘子将进行更换，小型钢结构将进行改造。在完成这项工作的过程中，新的行波传感器将安装在Dunoon的变压器高压套管上，垃圾填埋场附近的线路铁塔将安装防鸟板并重新涂漆。

完成计划和预算后，上述工作在2013年和2014年分阶段完成。图7所示为装有防鸟板的铁塔。



图7 垃圾填埋场附近铁塔上安装的防鸟板



请注意，在补救工作计划阶段，故障仍在继续发生，尽管进行了直升机空中监测以及困难地形上的徒步巡逻，但故障原因仍然难以捉摸。

一些证据表明在安装防鸟板后，鸟类已不再栖息在线路铁塔上，但还有迹象表明防鸟板捕捉了一些风载碎片。总的来说，自2013年3月至今，安装防鸟板的效果是利大于弊的。上述工作完成以来，原因不明的线路跳闸次数已大幅减少，但还需要更多时间来确认这是补救工作的作用。

故障定位仪器

Sloy和Windyhill的距离继电器都具有阻抗故障定位功能，但由于上文所述的原因，在这个T接电网上的定位结果一直并不稳定。双端行波 (TW) 故障定位已在苏格兰被广泛用于架空线路上准确、一致的故障定位。这种情况下，TWS设备被安装在Sloy、Windyhill和Dunoon的T接回路的每一端。标准技术是通过使用分裂铁芯线性耦合器，在保护电流互感器 (CT) 的二次侧捕获故障行波的电流分量。这种方法的使用效果很好，但它假设变电站的终端阻抗要远低于线路的浪涌阻抗。这通常意味着必须有一条或多条线路连接到母线以及被监测的线路上。对于回路的Sloy和Windyhill端来说这是成立的，因此这些设备结合得很好，可为主线路上的故障提供良好的定位结果。然而，位于Dunoon的T接末端线路直接端接到变压器上，由此产生的高阻抗意味着测量电流是无效的。结果是Dunoon T接线路的故障会触发Sloy和Windyhill的双端行波 (TW) 设备，返回故障与T接点的距离。图8给出了2006年3月14日故障的TW结果示例，该故障位置似乎位于T接点，表明实际故障位置在T接点下面。请注意，当时使用的Windyhill到Sloy的线路长度为55.5Km。随后该长度被修正为53.9Km。使用新的线路长度与原始时间标签后，修正后的故障距离在图1中定义的T接点的300m范围以内。

通过Windyhill故障记录器对于同一故障事件的跟踪记录（如图9所示），双端行波 (TW) 波形表明的相间故障得到了确认。Dunoon的T接线路上缺乏准确的故障定位已被证明是确定线路跳闸根本原因的主要障碍，而直升机的使用成本高达每天6,000英镑，长时间的徒步巡逻也要花费数百英镑。

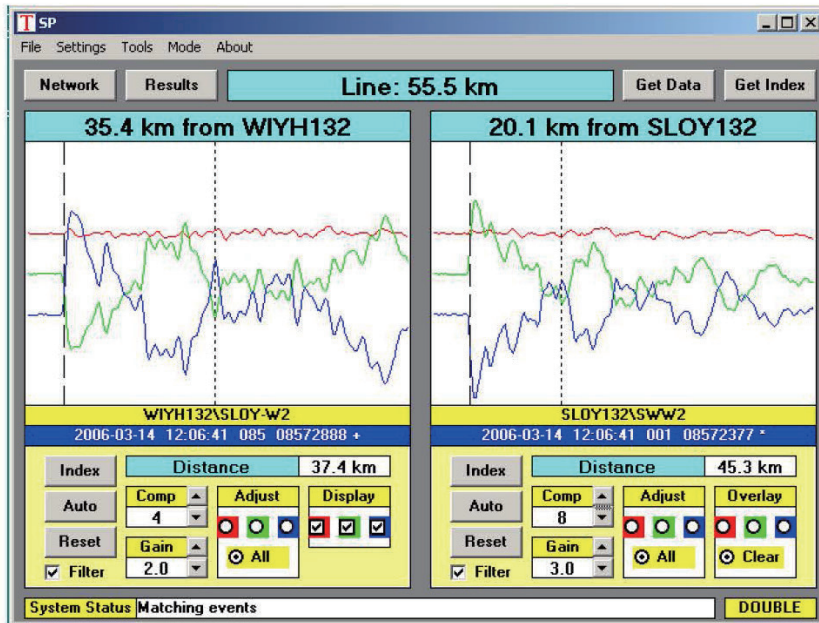


图8 2006年3月相间故障的行波结果

使用53.9Km的修正线路长度后，修正结果是距离Sloy 19.38Km和距离Windyhill 34.5Km

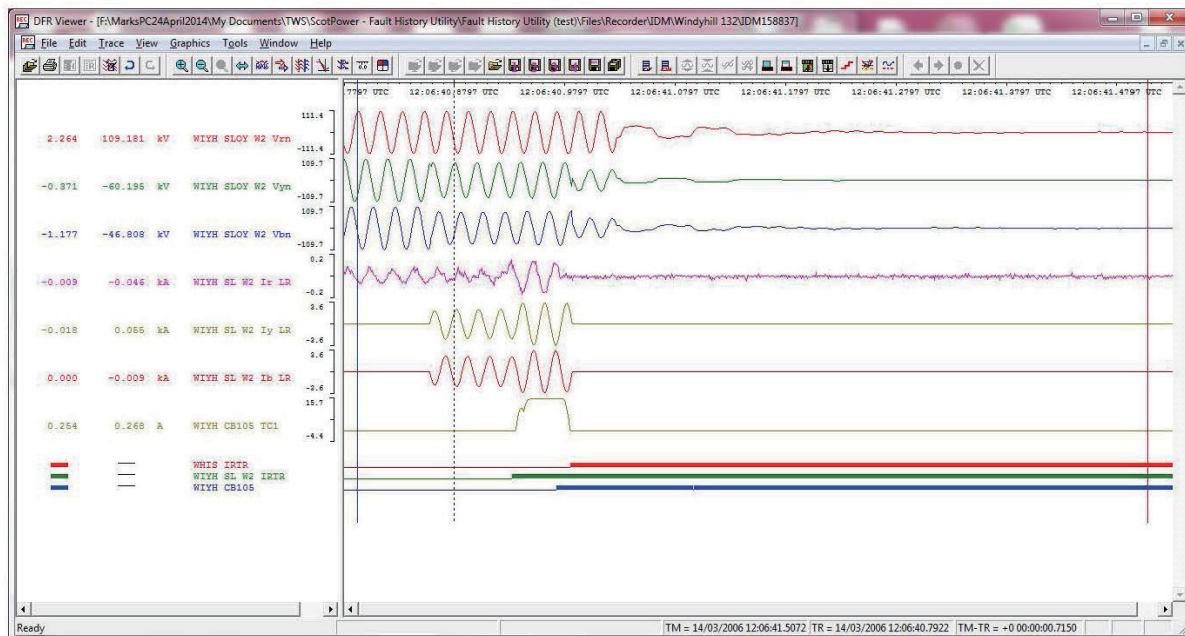


图9 2006年3月故障的Windyhill故障记录

为了提高回路可用性，SSE计划措施之一是将Dunoon的电流传感器替换成“电压”传感器，即连接到变压器高压套管分接点的耦合器。这些耦合器在2013年9月线路停电期间安装，通过套管电容测量瞬态电压引起的对地电流。尽管Dunoon的两台132/33KV变压器是相同的，但安装了两种不同类型的套管，这意味着必须部署两种不同设计的耦合器。耦合器如图10所示。



图10 安装在套管分接头上的适配器允许双端行波 (TW) 故障定位

图11显示了2013年9月18日，T接回路通过闭合Windyhill的断路器通电时，在Dunoon的TWS捕获的波形。调整触发点后，可以在距离Dunoon 19.21公里处识别出Whistlefield的相反极性反射，这证明了套管耦合器组件的正确运行。Whistlefield产生了相对较大的反射，因为使用了短地下电缆连接线路与变压器，产生了显著的阻抗变化。



图11 从Windyhill为GL2通电

故障定位结果

事实证明，安装在Dunoon变压器上的套管耦合器是良好的行波信号源，这意味着现在T接电路的三端已经完全覆盖。调试后，第一次跳闸于2013年12月5日发生在GL1回路上，距离Sloy主线路9公里。图12显示了分析软件的图形结果。在这个视图中，全部两端的可能结果都进行了标记，并使用X显示实际故障位置。

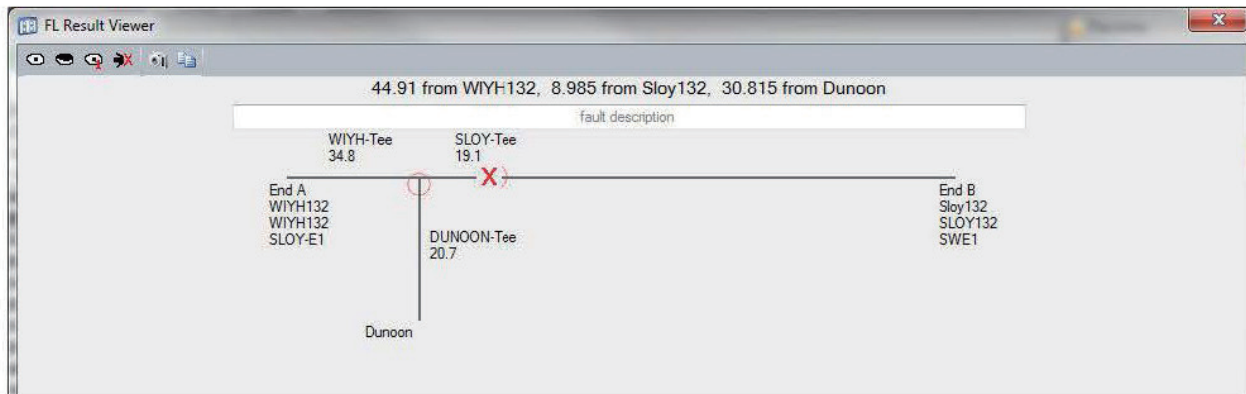


图12 2013年12月5日跳闸的结果

2014年发生了另外两次跳闸，全都位于Dunoon的T接线路段，而且都原因不明。第一次跳闸于5月14日23时02分发生在GL1回路的顶部相线（红色）上，双端行波 (TW) 系统将故障定位在距离Dunoon 1公里处，图13中显示了从Windyhill到Dunoon的双端测量结果。

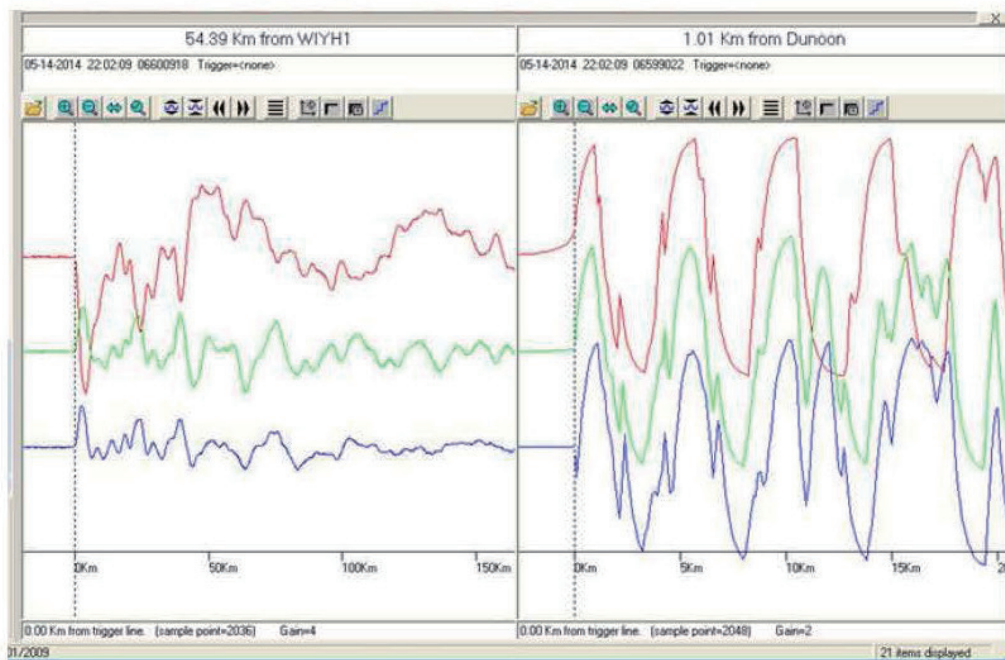


图13 2014年5月14日的故障定位

请注意，由于未启用夏令时功能，显示的时间提前了1小时

第二次故障于7月17日23时02分发生在GL2回路的顶部相线（蓝色）上。故障发生时，回路的Windyhill部分正因维护停止服务，Sloy的TW设备已下线，这意味着只能从Dunoon对故障位置进行手动单端分析。单端手动分析识别故障接近Dunoon，距离不到2Km。可以识别出相反极性的清晰反射（红色垂直光标所在位置）为17.91Km。如果故障是高阻抗，则这可能是来自Whistlefield的故障产生的瞬态反射，这意味着17.91Km是从Whistlefield 返回的距离。这可以将故障定位到距离Dunoon约1Km。



这两次故障都位于受防鸟板保护区域之外的同一地区，因此现在工作集中在这个小区域，以试图找出原因。故障同一时间发生也值得关注。

总结

在SSE对避雷线、绝缘子和小型钢结构进行补救工作后，Dunoon的T接回路上不明原因的线路跳闸次数有所减少，但仍需要更多时间来证实这一点。升级的行波故障定位系统已全面覆盖整个回路，并已成功在发生跳闸时定位故障位置。尽管这些故障位于同一地点附近，并且尚未确定原因，但搜索范围已明显缩小。这降低了线路巡逻的成本，并有信心仅在一两座线路铁塔上部署更干预性的调查。如果故障活动持续存在，拥有准确的运行故障位置将允许未来采取更集中的行动。



作者简介

David Cole获得了电气和电子工程荣誉学位，并随后在一家英国配电公司完成了为期两年的研究生培训课程。之后，他在BICC Power Cables（BICC电力电缆）的高压实验室工作了三年，开发了一种使用行波技术定位局部放电在聚合电缆中长度方向位置的方法，并在一家专门从事地下电缆故障定位的公司的应用工程部门工作了四年。David Cole已在Qualitrol工作了25年，从事故障记录仪、事件序列记录仪、断路器测试装置和行波故障定位仪的相关工作。他目前是Qualitrol IP系列产品的高级技术应用专家。David还是IET的成员，并发表过多篇论文。

Ron Garrett是特许工程师。获得电气和电子工程学位后，他继续担任电力行业的设计、施工和项目管理方面的咨询工程师。Ron Garrett是IET和IEEE的成员，目前在SSE的输电部门从事项目管理工作。



如需有关产品和解决方案的
更多信息

请联系我们: cs.china@qualitrolcorp.com