

QUALITROL®

2020年8月 · 发电

行波故障定位系统与传统距离继电器在长距离输电线路上的成本节省比较研究

Jonathan M. Trejo – El Paso Electric公司系统保护和控制工程师
David Cole – Qualitrol技术应用专家





概述

过去10年，El Paso Electric (EPE) 的年均负荷增长率为2.88%，其中2014年、2015年和2016年的峰值负荷分别为1766MW、1794MW和1892MW。为了满足供电需求，EPE共有总长945英里的14 x 345kV输电线路、总长462英里的73 x 115kV输电线路以及总长204英里的32 x 69kV输电线路。

其中，345KV电网的输电量约为645MW，占到峰值负荷的30%，因此其重要性尤为显著。为了维持服务区域的供电，高可用性是关键。大多数345kV输电线路都位于非常偏远且地形崎岖的地区，其中两条线路的长度甚至超过了200英里。为了有效管理这些线路，并通过快速到达故障现场和减少停机时间来显著节省成本，稳定准确的故障定位技术不可或缺。

本文主要介绍双端行波故障定位方法的部署、该方法相对于现有阻抗方案的优势以及其在4个应用案例的维修作业中发挥的作用。

EL PASO ELECTRIC

El Paso Electric是一家区域性电力公司，为德克萨斯州西部和新墨西哥州南部格兰德河 (Rio Grande) 流域1万平方英里范围内约40万名零售和批发客户提供发电、输电和配电服务。该公司的服务范围从新墨西哥州的Hatch一直延伸到德克萨斯州的Van Horn，包括两条连接到墨西哥华雷斯 (Juarez) 和墨西哥国家电力公司——墨西哥联邦电力委员会 (CFE) 的输电线路（参见图1）。EPE的主要工业和大型客户包括钢铁生产、铜精炼和炼油企业以及美国军事设施，包括位于德克萨斯州的美国陆军布利斯堡基地以及位于新墨西哥州的白沙导弹试验场和霍洛曼空军基地。

EPE的净可靠发电容量达1,990 MW。其发电设施包括位于亚利桑那州温特斯堡 (Wintersburg) 的Palo Verde核电站15.8%的权益 (633MW)，位于新墨西哥州桑兰公园 (Sunland Park) 的Rio Grande发电站，以及位于埃尔帕索 (El Paso) 的Newman发电站、Copper发电站和Montana发电站。

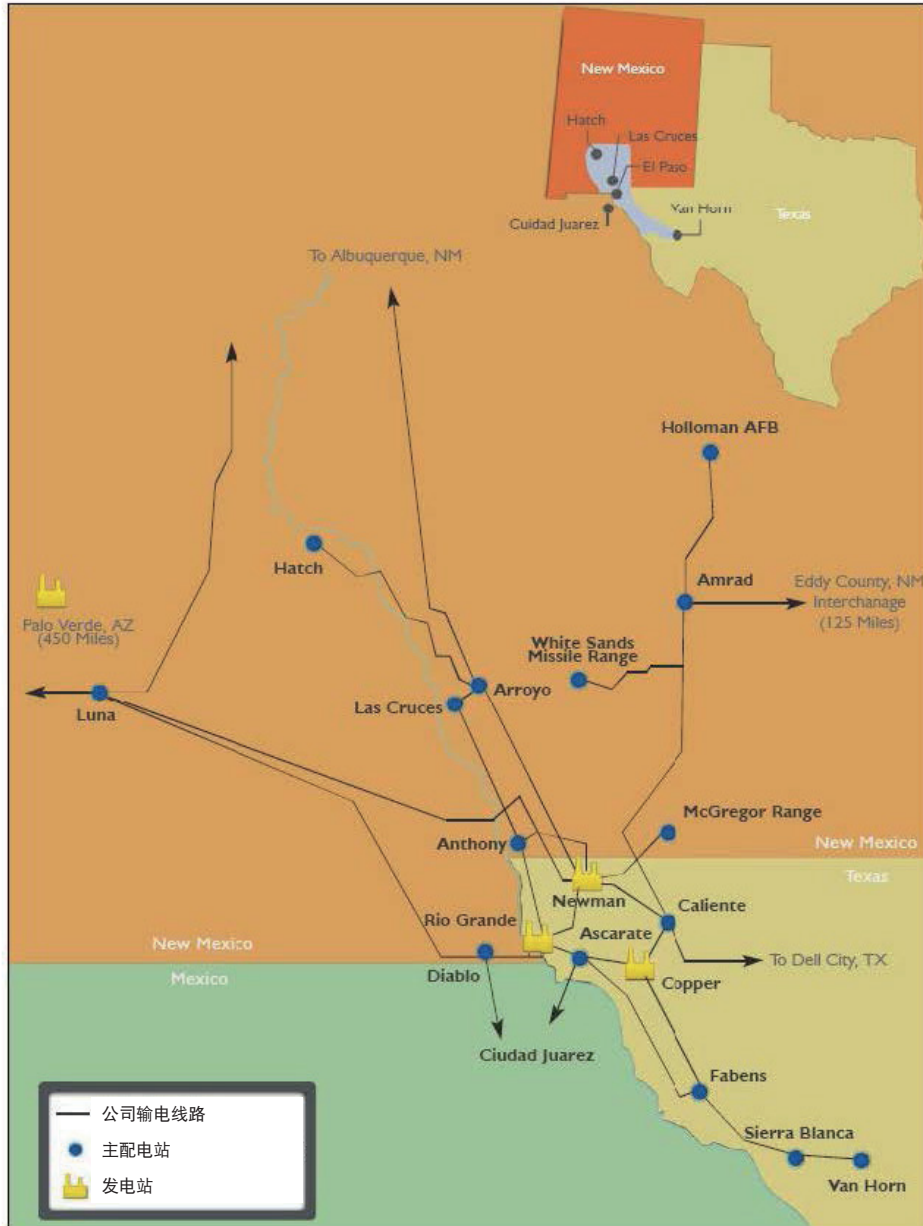


图1 El Paso Electric的服务区域

345KV电网

如概述中所述，由于345KV电网输电量约占峰值负荷的30%，因此其重要性尤其显著。该电网如图2所示。下文的案例研究包括图中标记的三条输电线路。

345KV电网的阻抗故障定位和案例研究

1990年代，345KV输电线路使用的是数字保护继电器，但没有故障定位功能。需根据故障记录离线进行单端阻抗计算，才能得到与故障位置间的距离。除了计算时间较长（通常达数小时），仅约10%到15%的精度还意味着难以找到永久性故障，且几乎不可能找到瞬时故障的根本原因。在最长的输电线路路上，搜索区域往往长达20到30英里，并且通常位于偏远和地形崎岖的地区。

案例研究1针对Luna到Springerville线路，这是从亚利桑那州进口电力的电网中最重要的输电线路之一。在1990年代，由于未知原因，该线路反复发生了多次瞬时故障。这促使电力公司在1998年首次安装了行波系统，使定位结果精确到最近的杆塔结构，这意味着可以确定根本原因并采取补救措施，从而显著提高可靠性。

案例研究2针对Amrad到Eddy线路。2013年，行波系统精确定位了冰风暴造成的损坏位置。

案例研究3针对Arroya到West Mesa线路。2016年，行波系统精确定位了火灾损坏的杆塔结构，并促成了接地系统的设计升级。

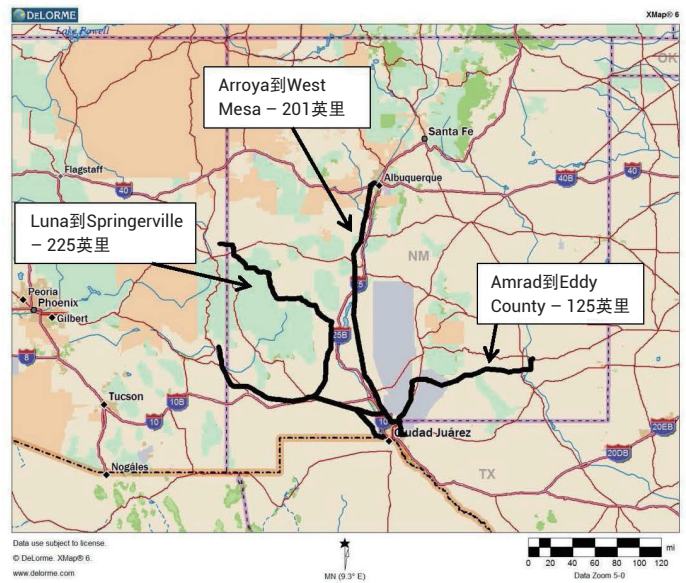


图2 El Paso Electric的超高压 (EHV) 电网

尽管现在电网上部署的现代继电器都具有阻抗故障定位功能，可以直接提供故障位置，但是单端阻抗方法的精度并没有明显提高。此外，目前与站点的通信是通过调制解调器进行的，出于安全原因，不能通过远程访问继电器来下载故障距离结果。通常需要通过现场访问来收集信息，这大幅增加了获得结果所需的时间。而与控制功能并未关联的行波设备可以通过调制解调器访问，因此目前这些系统在部署后成为了故障距离数据的主要来源。

案例研究1

从Luna到Springerville变电站的345kV输电线路总长225英里，沿线混合使用了木结构和钢结构（如下图3所示）。沿线路的零序值差异会导致单端阻抗计算出现误差。

这条输电线路在1990年代发生了大量停电事故（1990-1995年平均每年停电15次），然而事实证明定位故障的杆塔结构非常困难。该线路穿过了偏远且地形崎岖的地区，在许多地方只能步行或乘坐全地形车辆才能到达。运营商通常会在第一次跳闸后重合线路，并在第二天派出一名线路工作人员来查找根本原因。然而，由于基于阻抗的故障定位技术精度较差（20到30英里），通常会一无所获。如果发生永久性故障，需召集一个配备全地形车辆的4人巡逻小队前往处理。



图3 两种不同的345KV线路杆塔结构

找到故障至少需要2天时间（但实际时间通常会更长），每天要花费2,000美元。有时还要使用直升机，每天费用高达1,000美元。

Springerville线路对于在夏季应对峰值负荷尤为重要。为了在夏季的停电期间维持系统安全，通常需要在现货市场上购买电力，这一般会每天花费超过10万美元。因此，关键在于减少停电持续时间，并跟踪其根本原因以防未来再次出现停电。

1998年，为了提高故障定位精度，让线路工作团队能够更有针对性地开展调查，该线路安装了时间同步的双端行波故障定位系统。经过数次输电线路跳闸和故障定位后发现，线路的中间相线在木杆塔结构上发生了对地闪络。这是由于该线路上的高瞬态过电压以及中间相线到主横梁的离地间隙不足导致的（如图4中所示）。



图4 - 中间相线距离主横梁过近

因此，对每个塔杆结构都进行了设计更改和改造，将支撑横梁高度降低了24英寸并从拼接块中移除了接地（如图5所示）。自此以后，线路的可靠性显著提高。

行波系统继续运行良好。由于线路工作团队对故障定位结果充满信心，现在即使在出现持续故障之后，也只会部署一名工作人员。并且，故障现场可以快速定位，并将损坏的详细信息提供给工作人员，以便进行高效和及时的维修。



图5 - 降低中间相线以防对横梁闪络

案例研究2

从Amrad到Eddy County变电站的345kV输电线路全长125英里。在2013年的一次线路跳闸后，行波系统定位的故障位置与Amrad距离为58英里。当工作团队抵达现场后发现，一场严重的冰风暴造成了重大损失，共有103座杆塔结构倒塌或损坏，长度超过了16.7英里（参见图6）。虽然这种故障不难发现，但故障定位速度以及工作人员对其准确性的信心意味着工作团队可以在最短的时间内到达现场。



图6 - 冰风暴造成的杆塔结构损坏

案例研究3

从Arroyo到West Mesa变电站的345kV输电线路建于1968年，全长201英里。在2016年4月的一次线路跳闸后，行波系统定位的故障位置与Arroyo距离为53英里。当工作团队抵达现场后发现，某处杆塔结构因火灾而造成了严重损坏（如图7所示）。



图7 因火灾倒塌的杆塔结构

经过类似事故和进一步检查后发现，火灾是由于线路负荷增大引起的感应电流导致安装在杆塔上的地线发热造成的。经过近50年的使用，风化的杆塔更干燥，更易于被烧毁。此外，用于固定地线的线夹也松动了，导致了进一步的电弧放电。因此，共对1500个杆塔结构进行了设计更改和改造，使用固定支撑将地线远离杆塔（如图8所示）。

在补救工作计划期间，行波系统还成功定位了其他火灾损坏的结构，从而充分缩短了停电时间（参见图9）。在其中一次事故中，阻抗定位的故障现场为距离Arroyo变电站30.8英里处，而实际距离是行波系统定位的50.1英里处。如果没有行波定位结果，将需要4人巡逻小队花费几天的时间才能找到故障地点。



图8 地线的设计改进

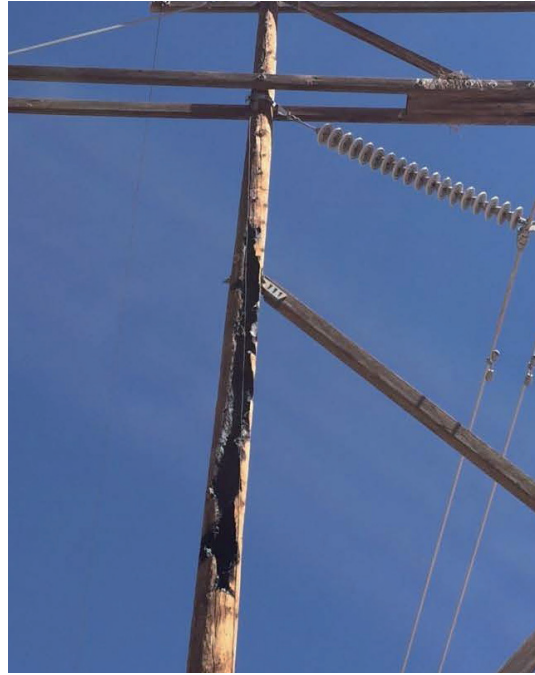


图9 其他火灾损坏的结构

这条输电线路的损坏降低了从新墨西哥州进口电力的能力，并将导致必须从现货市场以每天约50,000美元的成本购买额外的电力。

案例研究4 69KV线路

继345KV电网应用成功后，行波故障定位方法在低压线路上也得到了应用。本案例针对Alamo变电站到Farmer变电站的69kV输电线路。这是一条为两个变电站供电的径向线路，总长95英里，但行波系统监测的部分长度为84英里。

这段线路近年来一直受到大风的影响。每年都会有多达10次瞬时跳闸的记录，且时有因杆塔结构损坏导致的永久性故障。图10显示了一些严重杆塔结构损坏的示例。

由瞬时故障引起的电压骤降和持续故障引起的长时间停电会造成严重影响。本地负载包括会因电压骤降而跳闸的灌溉泵，它们必须手动重置。由于线路停止服务而造成的收入损失约为每天30,000美元。而且，它们会降低对客户服务的可靠性。行波系统可以正确识别出故障的杆塔结构，从而有利于立即抢修，并将停电时间缩短几天。这可降低EPE的系统平均中断持续时间指数 (SAIDI)，因此客户停电的时间更短，管制影响更低。

经过几次类似操作后，决定以每年约100个杆塔结构的速度用钢结构替代木结构。



图10 被大风损坏的69KV杆塔结构

行波系统的部署

继双端行波故障定位技术在345KV输电线路取得成功
后，EPE开始将该技术应用于115KV和69KV线路。迄今为
止，EPE共有42台行波设备总共监测64条线路，并已覆盖
所有的345KV线路。

在这些低压线路上，不太容易实现其他形式的故障定位，
因为许多低压线路仍然装有缺乏故障定位功能的机电继电器。
而在阻抗测量可行的地方，其精度一直无法令人满意。迄今为
止，行波装置的定位效果一直很好。

需注意的是，NERC现在要求115KV及以上线路发生的所有
线路跳闸都必须进行调查。这意味着为了降低成本并提高确定
根本原因的可能，线路工作人员必须在尽可能短的时间内到达
故障现场，尤其是在发生鸟类活动的情况下。行波系统可以始
终在短时间内提供准确的数据，协助开展这类调查。



总结

EPE输电网覆盖的区域非常广阔，并穿过了地形恶劣、崎岖难行的地区，其中大部分只能步行、乘坐全地形车或直升机巡逻。虽然继电器可以提供单端阻抗定位结果，但钢结构和木结构的不匹配以及沿线路的零序值不一致意味着故障定位的精度通常仅为线路长度的10%到15%。在某些线路上，这意味着搜索区域长达20到30英里。更糟糕的是，目前与变电站的通信是通过调制解调器进行的。出于安全原因，不允许使用调制解调器访问继电器，因此必须通过现场访问手动收集结果。

1998年，在一条负责从亚利桑那州进口电力的345KV线路发生多次停电后，EPE开始使用行波法进行故障定位。只要能够快速定位故障现场，每次跳闸EPE就可以节省超过4,000美元。更短的停电时间意味着能尽量减少在现货市场上购买补充电力，从而在高峰时段额外节省200,000美元。

行波系统的高精度显著提高了确定线路跳闸根本原因的可能。这可提高NERC报告的准确性，并在一些重要案例下推动实施旨在提高线路可靠性和可用性的设计更改。

迄今为止，双端行波故障定位设备共覆盖了64条线路，包括所有345KV电网和部分115KV和69KV线路。

由于能够直接前往故障现场，每次线路跳闸估计可节省4,000美元。更短的维修时间也降低了收入损失的影响（每条69KV线路每天不会超过30,000美元），并有助于改进系统平均中断持续时间指数 (SAIDI)。

作者简介

Jonathan Trejo目前是El Paso电力公司的高级系统保护和控制工程师，并已在该职位任职四年。他负责保护高压和超高压变压器、输电线路和变电站设备。此外，他还参与系统事件分析和输电线路故障定位。Jonathan Trejo拥有新墨西哥州立大学的电气工程理学硕士学位和金融专业的工商管理硕士学位。

David Cole目前是Qualitrol的高级技术应用专家，专注于电网监测产品。毕业后，他在一家英国配电公司工作，研究电缆局部放电位置的定位技术，并担任地下电缆故障定位的应用工程师。过去的30年里，David Cole从事过故障记录仪、断路器测试仪、电能质量设备和行波故障定位仪的商业和技术工作。

致谢

作者在此感谢El Paso Electric输电工程建设部门为本文提供的帮助。



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