

[变压器]

500 kV变压器整装转运更换技术与应用

文/赵建永 陈耀标 吕 玮
浙江省送变电工程有限公司

500 kV变压器是超高压电网中的核心设备，当其发生重大设备故障时，往往需采取更换变压器的方式解决。采用变压器整装转运更换技术能大幅压缩停电检修时间、减少施工投入，有效提升电网可靠性。对500 kV变压器整装转运更换技术的工作流程、施工方法、安全质量控制、工程实践与成效等进行了介绍，期望能为同行提供参考。

作为超高压电网的核心设备，500 kV变压器一旦发生在现场不可修复的重大故障，往往需采取更换新变压器的方式解决，而传统变压器的更换模式需经历以下步骤：故障变压器停电→拆除故障变压器电气连接→排故障变压器冷却油→拆故障变压器附件→故障变压器本体移出主变压器基础→故障变压器本体附件撤离变电站→新变压器本体附件进场→关键部件试验合格→新变压器本体卸车就位→装变压器附件→抽真空热油循环→静置→高压电气试验→新变压器电气连接→恢复供电运行。由于作业环节多、链条长，一组三台500 kV变压器更换需停电40多天，检修期间会引起大范围、长时间的停电、限电。如何最大程度地压缩变压器更换作业时间，尽快恢复通电运行，对保障电网的供电可靠性极为重要。

500 kV变压器整装转运更换技术主要是通过工作流程优化与施工工艺创新，实现了故障变压器与新变压器在变压器本体与高压套管、散热器、储油柜、风扇、连管和油阀等附件处于正常连接，变压器满油、变压器整体各项电气试验合格状态下的搬运更换作业。此作业方式在工作流程上将大部分的新变压器安装试验工作移至故障变压器停电之前，将故障变压器的拆解、撤离工作移至新变压器恢复供电运行之后，因而能大幅缩减停电抢修时间；

在施工工艺上主要采取了改进的液压无冲击移位转向、作业与振动实时监测、狭窄空间内多作业面安装试验等技术，保障了新旧变压器在整体搬运过程中的安全与质量。采用变压器的整装转运更换技术后，一组三台500 kV变压器更换停电时间能压减至20天左右，其经济、社会效益十分显著。

变压器整装转运的要求与作业难点

1. 施工作业要求

作为电网中最为贵重、精密及易损的核心设备，国家与行业相关标准规范对大型电力变压器的运输与吊装作业有着严格的要求：移动过程中变压器本体、高压套管及互感器等重要部件都须安装三维振动记录仪并连续记录，振动加速度均不得超出3 g；变压器本体长轴方向倾角不大于15°，短轴方向倾角不大于10°；须满油或充干燥空气（氮气）运输，气压始终保持在0.01~0.03 MPa之间。

变压器整装转运更换的作业对象是已完成全部周边附件装配的变压器整体，其尺寸、重量及重心高度较变压器本体有大幅增长。一台完成整体装配的500 kV变压器的外形尺寸（长×宽×高）在14 m×7 m×12 m以上，总重量在250 t以上，整体重心高度离地在3 m以上。另一方面，完成组装

后的变压器本体四周安装着高压套管、散热器、油阀及传感器仪表等精密、易损部件，使变压器整体的强度、刚度及抗振稳定性都有显著降低。为确保变压器整体转运过程中的设备安全与质量合格，通常要求在变压器整装转运过程中三维振动记录仪在X、Y及Z方向的最大加速度值均不得超出1 g，纵横方向倾角不得大于5°，所有部件不得出现漏气、渗油现象。总之，变压器整装转运作业的要求远远高于传统变压器本体运输吊装作业要求。

2. 施工作业难点

500 kV变压器整装转运施工的作业难度主要有以下几方面：

1) 变压器重量、尺寸大幅增加，作业难度大。通常500 kV变压器本体重量约为150 t，而完成装配后的变压器重量在250 t以上，整体装配后变压器长、宽及高尺寸增加2倍以上，重心高度提升约1 m。因此，变压器整装转运更换作业需要更强劲的机具设备与更优秀的施工队伍。

2) 场地空间小、交叉作业较多，安全风险大。首先，变压器更换抢修期间，变电站内的故障变压器拆除、新变压器安装试验工作经常需同时开展，工作面与施工人员数量较多；其次，施工场地位于带电运行变电所的狭小空间内，邻近周边各类高压带电设备作业空间受到严格限制；最后，连管、支架与散热器紧密布置在变压器本体四周，使得操作人员的作业空间非常受限，工器具搬动转移特别困难。因此，变压器整装转运更换作业具有很高的安全风险。

3) 搬运平稳性、振动控制苛刻，质量要求高。一方面，在变压器的整装转运作业过程中，振动超标可能引起变压器本体内部铁心移位、夹件跌落、线圈变形，引线连接松动、绝缘性能破坏、接缝渗漏油及连接件松动等问题；另一方面，冲击振动也可能对各种高压套管、散热器及传感器仪表等易损部件造成损坏。以上问题都会造成整体变压器抢修工期延误或投运失败。因此，变压器整装转运更换作业具有很高的质量要求。

解决方案与措施

1. 优化工作流程

对工作流程进行了重组优化，将大部分的新变

压器安装试验工作移至故障变压器停电之前，将故障变压器的拆解撤离工作移至新变压器恢复供电运行之后，尽可能地缩短变电所停电检修时间。优化后500 kV变压器更换作业流程为：规划搬运路线→作业区域整改与隔离→布置变压器临时安装平台→新变压器本体附件进场→新变压器本体在临时安装平台卸车就位→变压器油及关键附件试验合格→装新变压器附件→抽真空→热油循环→静置→高压试验合格→故障变压器停电→拆除故障变压器电气连接→故障变压器整体移出基础→新变压器整体搬运上基础→恢复新变压器电气连接→新变压器恢复运行→故障变压器排油→拆故障变压器附件→故障变压器本体及附件撤出离场。

在优化后的变压器更换作业流程中，许多故障变压器的拆除与新变压器的安装工作试验都需在变电所内同步进行，为避免两者作业相互干扰，应根据变电所实际条件，因地制宜、科学规划作业场地与搬运路线。变压器临时安装平台应尽可能靠近故障变压器，以减少搬运工作量，但同时还需留足机具、人员进出通道，与高压带电设备保持充足的安全距离。通常，变电所预留的变压器扩建区、变电所通道末端“T”形路口、邻近办公生活区的室外堆场、变压器基础对侧较宽裕的绿化带，这些区域通过整改加固后都可以选作变压器临时安装平台。在施工期前，须对变压器搬移转运通道两侧的高压带电设备按《国家电网有限公司电力建设安全工作规程》中关于邻近带电体作业的规定进行围护隔离；搬运通道在施工期间可能会被长时间占用，应事先规划好占用期间机械、人员绕行方案。

2. 改进施工工艺

在施工工艺上主要采取了组合式变压器临时安装平台，改进的液压顶推滑移、作业与振动实时监测、狭窄空间内安装等技术，保障了新旧变压器在整体转运更换过程中的安全。

1) 应用组合式变压器临时安装平台。首先对所选位置进行勘察，应确保平台位置地下无管沟、坑道，地面修理平整。采用大型组合梁钢模板搭建临时安装平台，各模块间拼接到位、两侧以重型搭扣锁紧，使之满足主变压器整体安装试验承载、稳定性要求。

2) 采取有效的加固保护措施。对变压器上悬伸

较多的高压套管、散热器、油管、开关和阀体等易损、关键部位采取支撑、捆扎和包裹等方式进行加固和保护，避免在搬运作业中受损。

3) 转运沿线加固、重型轨道铺装。对变压器移位转运路线事先须进行地下物勘，查明地下管线、沟坑位置，做好加固保护措施；用沙石或硬木板将坑洼路面填平，上面再密铺厚钢板加固以提升地面承载力；选用平直的50 kg/m重型钢轨铺设滑移轨道，拼长接头两端钢轨应垫在同一木板上，不得有留空。在钢轨滑道上装沉降实时监测系统，可实时灵敏反馈地面沉降情况。变压器临时安装平台如图1所示，重型轨道铺装如图2所示。



图1 变压器临时安装平台



图2 重型轨道铺装

4) 采用比例控制液压顶推平移技术。主要选用的设备为70 MPa高压油泵站、250 t液压千斤顶、30 t液压顶推器和30 t顺序随动液压夹具各4台，多

路同步平衡组合阀、反馈式比例遥控各1组。其中多路同步平衡组合阀主要保证多台千斤顶同步顶升以及多支推进器同速水平推进，反馈式比例遥控用于作业指挥根据遥控反馈显示的油压、行程与转速数据，实时监测负荷大小与作业工况，通过调整高压转阀开度调整顶升和推进速度，使变压器的顶升降落、推进滑移更平顺、更可靠和更智能。

5) 关键参数与作业部位实时监测。由于大型变压器整体的组件多、尺寸大、吨位重及要求高，整体转运作业宜在变压器上同时加装三个振动冲击记录仪，分别安装在变压器本体下部、本体箱体顶部、高压套管上端部的平整位置处。振动记录仪选用IMS-200智能监测终端，它可通过4G远程数据通信以及蓝牙近场通信技术在手机移动端、计算机端实时监测到变压器三维振动值、内部气压、主变压器纵横向倾角、移动速度及温湿度变化。在变压器的顶升位置、滑轨滑板位置等关键位置，套管、散热器等薄弱位置加装可移动的磁吸导管式视频监控装置，监控装置可以通过4G通信实现远程监控，同时通过Light bridge数字无线图传技术支持4个移动端在300 m距离范围内的实时监控（数据延时小于0.08 s），同时作业指挥人员能采用433 M射频遥控器方便地切换摄像头，以便在作业过程中能实时排查异常情况。实时监测过程图如图3所示。



图3 实时监测过程

6) 应用狭窄空间安装机具与技术。为适应在带电运行变电所多个工作面同时开展安装或拆除作业，应用了便捷式小型电动吊机，它有小巧的电动旋转伸缩的臂架，能在高度受限的散热器底部进行工器具搬运作业；应用攀附在变压器本体侧面的组装机吊架，完成紧凑空间条件下变压器零部件的垂直吊装，可明显提高安装、拆除效率。

(下转第39页)

存在150 mA电流,说明其回路存在环流。

4) 进一步排查发现:从就地端子箱引来的220 kV电压N600与TV并列屏电压N600在2#发电机变压器组保护C屏处相连接。

5) 故障发生时,短路电流在二次环路中产生感应电压,引起测量电压异常,造成保护误动作。

隐患整改

1) 拆除环路连接。2#机组停机期间对2#发电机变压器组保护进行了二次回路的检查、微机保护试验,经过对内母线TV端子箱和外母线TV端子箱引至TV并列屏、2#发电机变压器组保护C屏的N600中性线进行了校线,最终拆除了PT并列本体引至2#发电机变压器组保护C屏的4根N600中性线,其次测量了N600中性线由2#发电机变压器组保护C屏引至TA并列屏的电流,由原来的160 mA降至到现在的0 mA;TA并列屏一点接地的总电流也从原来的240 mA左右降至到现在的50 mA左右。因此,经过多次的测量证明2#发电机变压器组保护的N600中性线环流已解除。

2) 二次电缆接地完善。对220 kV内母线TV端子箱、220 kV外母线TA端子箱引至2#发电机变压器

组保护C屏的电缆线有3处未进行双端电缆屏蔽层可靠接地。

3) 加强N600接地在线监测装置的维护,出现告警后立即查明原因,快速消除,降低二次回路故障风险。

结束语

电压互感器二次回路对电网的安全稳定运行有非常重要的作用,《电力系统继电保护反事故措施》中明确规定,“经控制室N600连通的电压互感器二次回路,只应在控制室将N600一点接地”但在本次事故中,造成二次电压异常的原因并不是多点接地,而是由于N600回路存在环流。目前各发电厂和变电站均装有多点接地检测装置,但在日常工作中往往是没有报警就算正常,对其具体的接地电流数值并不关心,因此当其电流明显增加时并未引起足够重视,最终导致保护的动作。通过对本次事故的分析,希望能够引起大家对N600回路的认真审视,在设计、施工以及后续可能会进行的回路改造过程中严格执行《电力系统继电保护反事故措施》,避免类似隐患的出现和事故的发生。EA

(收稿日期:2022-09-19)

(上接第35页)

工程实践与成效

应用500 kV变压器整装转运更换技术,浙江省送变电工程公司分别于2020年11月完成500 kV湖州含山变电站2#变压器抗短路能力严重不足改造,2021年12月完成500 kV宁波威远变2#变压器乙炔严重超标、低能放电重大缺陷处理,2022年3月完成500 kV湖州含山变电站1#变压器增容改造,2022年10月完成湖州500 kV湖州汾湖变电站3#变压器抗短路能力不足检修等多项超高压电网检修改造工程。以上变压器整装转运更换项目,三维振动加速度要求控制在1 g以下,但实际完成值为0.6~0.8 g,指标管控较为理想,变压器安全质量有可靠保障,整个检修项目得以圆满完成,得到了运行单位与上级主管部门的高度好评。工程实践证明,采用大型变压器整体搬运更换方式,能有效解决停电窗口少、

时间短的困境,显著缩减了变压器停电复役时间。

结束语

采取整装转运方式更换大型电力变压器,能大幅缩减枢纽变电站的停电检修时间,快速恢复供电,有效提升电网可靠性,因而在电力变压器抗短路能力不足整治、变压器增容改造及异常处置等领域有较大推广应用价值。同时,500 kV变压器整装转运作业对施工企业的管理能力、作业机具设备与作业人员队伍都有很高的要求,施工单位应事先制定科学的施工作业方案,采取严格的防高压触电、设备保护及避振减振等措施,强化作业过程管理,确保工程质量,方能取得预期效果。EA

(收稿日期:2022-10-12)