

关于环网柜与 10kV 电缆连接问题的探讨及其解决措施

张海 翟志伟

(河南平高通用电气有限公司, 河南 平顶山 467000)

【摘要】在城市配电网中, 10kV SF₆ 共箱式环网柜因其全封闭、全绝缘、体积小、维护少、安装灵活方便等优点, 被广泛用于环网供电。SF₆ 共箱式环网柜, 适用于沿海城市的潮湿盐雾环境, 具有较高工作可靠性, 近年来, 故障多出现在环网柜套管和 10 kV 电缆的连接部位, 尤其是在室内外使用大电流、大电缆的情况下, 由于套管烧坏导致的爬动, 或者是套管破损、泄漏, 导致了较高的故障率。在发生意外以后, 必须切断电源, 对环网柜进行替换, 而 T 形连接头则需要重新安装和加工, 这对供电的可靠性造成了较大的影响。环网柜套管与 10kV 线路的接线已成为实际运行中的一大弱项, 本文对环网柜与 10kV 电缆连接问题进行了探讨, 并提出了相应的解决措施。

【关键词】环网柜; 10kV; 电缆连接; 问题; 解决措施

引言: 随着我国经济的快速发展, 城市对电力的需求不断增长。为保障配电网的安全、稳定, 江门地区中广泛使用的 10kV SF₆ 共箱式(欧洲)型环网柜。但是在实际使用中发现, 有些环网柜的套管和 10kV 电缆之间存在着一些故障, 如套管破损、烧毁、漏气、漏液等。在发生故障后, 所有的环网柜都需要断电才能更换, 而 T 形连接头则需要重新安装和制造, 这不仅对供电的可靠性造成了很大的影响, 而且还造成了很大的经济损失。

一、10kV 环网柜的类型及优点

(一) 10kV 环网柜的类型

环网柜是一种高压开关设备, 它是一种装配在钢板和金属箱中, 或制成装配隔式环网供电单元的电力装置, 以负载开关和熔断器为核心组件, 具有成本低、占地小、结构简单方便维修、可以提高供电能力的优点。简单地说, 这是一套环网供电的高压开关装置, 目前 10kV 环网柜主要选用三相联动的 SF₆ 气体负载开关和断路器, 通过匹配性能比较好的弹簧, 保证开关的快速、有效地开合, 从而保证环网柜可以在最短的时间内作出正确的响应。

环网柜的种类很多, 根据不同的情况, 可以将其划分为 SF₆ 和气体隔离的环网柜。这两种设备不仅能接通或关闭线路上的普通电流, 而且还能在发生事故时快速切断变压器与短路电流, 实现对电网的安全防护。根据操作的具体情况和工作场所, 可以将环网柜分为两类, 分别是: 室内及室外的环网柜。按其环网柜上的具体作用, 可划分为进线式环网柜和出线式环网柜。按开关装置进行了分类, 如: 地理信息系统、高压计量柜、断路器柜、负载开关环网柜。

(二) 环网柜的优点

对于电力系统而言, 10kV 环网柜在高层住宅小

区、城市公用建筑、工业区负荷中心的变电站及电缆分流器中应用十分广泛。10kV 环网柜之所以能够在城镇配电网中得到推广, 主要有以下优势: 一是能够在最短的时间内确定开关的开合位置, 保证电力系统的运行管理人员和维修工人的人身安全。二是环网柜一般为全封闭式和全绝缘型, 可以适用于各种不同的工作环境; 三是环网柜内部各部分的配置比较合理, 既小巧又轻便, 在安装时所需要的空间也比较少, 与其他电器相比, 可以更好地提高土地利用效率; 四是环网柜与其他设备相比, 结构比较简单, 安装方便、效率高, 具有更好的扩充能力, 在实际的维修工作中, 也更方便、更安全。

二、环网柜与 10kV 电缆连接存在的问题

当前, 我国引入的 10kV SF₆ 环网柜及线缆 T 形连接头多为欧洲品牌, 欧洲多为单芯, 其安装简便、易安装, 无线缆对套管的扭矩, 可确保接头与套管的贴合性, 降低了热失效的风险。但是, 我国现在使用的电缆多为三芯, 其安装要比单芯电缆复杂得多, 这就带来了以下几个问题:

第一, 三芯光缆的固定位置是外套, 不能对单个的单一相进行实质上的固定。就算全部接好, 因其本身的自重或外力的摇摆, 均会将每一单相的外转矩转移到套管段。

第二, 三芯电缆大多是在安装时进行相位调整, 在安装前需施加扭矩扭转, 但在安装后, 扭转引起的内应力会逐步释放, 形成回复扭矩, 并施加到套管上。

第三, 由于环网柜(适用于单芯电缆)较低的线缆小室, 使得每相线缆的芯长受到限制, 且对安装精度提出了更高的要求。

第四, 终端压接后, 已决定其装配长度, 由于单相长较小, 难以将其弯折至其装配部位, 若 T 型接

头无法直接装配到位，则需用较大的力量进行搬运、拉、撬等操作，从而造成套管损伤、接触不良等问题。

三、对策

针对以上存在的问题，可以从 T 型接头以及环网柜的选择、安装工艺的选择、环网柜的土建施工等几个方面入手，提出相应的对策。

（一）环网柜

1. 适当增大 SF₆ 共箱式环网柜电缆隔层的高度

SF₆ 共箱式环网柜是一种典型的高 600 毫米，宽 350 毫米的环网柜。在这样的空间中，单芯线缆相对容易，但是三芯电缆，特别是大断面（240 或者 300 mm²），由于 T 型连头的三叉管也必须布置在一个小腔中，因此，由于 T 形连接头的三根线缆的芯线十分坚硬，加上现场施工环境的限制，T 形接头安装到位和符合标准不易。尽管共箱式是一种标准化的产品，但是可以对其进行改进，通过增加支架将其提升至 800 毫米，并且保证所述固定缆线的扣环和所述高电压套筒的中间点之间的垂直距离不小于 750 毫米，这样所述的缆芯长为 600 毫米，以便在装配时方便地调节 T 型接头位置。增加环网柜吊箱底座，实质上就是把三芯电缆分叉，每一相的芯长度都会增大，形成一根单芯电缆，从而实现与套管的连接。安装时增加了调节范围，减小了对外力矩的需求，减小了泄漏气体的风险。

此外，不同品牌的环网柜，其电缆小室的尺寸也是不一样的，对于配有大截面电缆出入线路的环网柜，最好选择较大的电缆小室。

2. 在选择环网柜时，应充分考虑到环网柜套管表面接点的导电性

环网柜的额定电流为 630 A，其外径为 25 毫米，铜管的内直径为 M16（与 M16 紧固螺钉相配合），而铜管端面传导区域只为 289.6 毫米。由于与接线端子的贴装不同，导电区域自然也就更少了，若用不含铜线的不锈钢材质做电线 T 型接头的固定螺栓，则只能靠端面接触来进行传导。因为终端的传导元件都是封闭在一个绝缘套管里，所以不容易散发热量，而且也有一个容量下降的问题。在工程实践中，必须确保电缆终端和环网柜套管的铜管端面要做到完美的贴合，这一点比较麻烦，因为只要稍微有一丝的松动，就会在数百安培的大电流下产生过热。在 400 A 和大电流情况下，采用 240-300 mm 见方的 SF₆ 共箱式断路器，该断路器采用的是标准类型的，其额定电流为 800 A，而铜管的直径应该是 32 毫米，以减少热故障。

3. 对环网柜套管的运行温度进行监控

共箱式环网柜为全封闭式环网柜，在工作过程中不能开启，而当前使用的常规红外测温装置也不能实

现对其连接部位的温度进行检测，如果在其前板上设置测温孔，则会使其保护级别下降，所以在运行中发生的发热故障最为频繁。

在操作巡查时，可以通过触摸电缆箱的前板来感觉箱内的温度，从而确定 T 形接头有没有发热。对电流较大的环网柜，在安装完成后，要进行一定时期内的断电，并进行导线连接处的发热情况的检查。目前针对环网柜接头热故障所采取的各种操作措施均不够直观、不够完美，应根据工艺发展，在环网柜套管、T 形接头处加装温度传感器，实现对接头温度的实时监测。

（二）电缆 T 形接头

1. 确保传导元件的品质

由于多数生产厂家将 T 形头固定螺栓更换成不锈钢，因此，环网柜与电缆的连接只能依赖于套管的端面接触来实现，这对电缆终端等传导元件的结构和材料提出了更高的要求，需要将传导面积和传导能力完全保障。通过对各种类型 T 形接头导电部进行故障分析，发现其接线端接线表面宽度太小，中部开口太大，与开关柜的铜管端头匹配不良，传导面积下降；电缆终端材料质量差，表面电镀不平整，螺柱前端是 M16，后端是 M12，中部台阶锥形与线缆末端中央圆形孔的公差没有很好地匹配，导致电缆接线柱不能与环网柜高压套管相接触，导致只有不锈钢双头螺栓导电；铜垫片的厚度及面积不足，不能保证电缆接线柱与环网柜套管的铜管端面平行。上述问题均会对界面载流造成一定的影响，并有可能引起热失效。在订货时，要按照与之相匹配的环网柜，对 T 形接头的导电部进行详细的说明，例如：为了保证其能覆盖断路器外壳的传导部分，电缆终端连接表面的宽度应为 25 毫米或 32 毫米；端子材料需要 T2（含铜量在 99.9% 以上，采用电解铜，模压成形，再经回火），内外表面均涂有银镀层或锡镀层，以确保其导电性并减小接触电阻；平面垫圈需大面积，厚度为 3mm，以确保终端和铜套管端面有充足的压力。

2. 选用软材料 T 形接头，降低安装困难

有些电缆的 T 形连接部分采用了橡胶-塑胶外套或者 EPDM 等材质，其特点是偏脆、偏硬，在运行时，绝缘外套、线芯（截面较大的线芯）、应力锥等部位发生偏移，难以调节至适当的位置，且难以判断安装情况。另外，因其较弱的弹力而导致的放射状收缩力不够，长期运转下，极易发生内部界面脱离，导致漏电。

与之配套的共箱式环网柜，其 T 形接线接头选用硅橡胶材质较好。硅橡胶材质柔软，弹性好，安装时可将线芯、应力锥及绝缘套调节到位。硅橡胶材质

具有良好的径向收缩性和均匀性，便于密封、防漏。尽管硅橡胶的机械强度不如三元乙丙橡胶，但其力学强度仍能满足环网柜电缆腔内 T 形连接头的需求。

四、现场安装技术分析

(一) 在电缆进入环网柜时，必须将线缆固定好

三芯电缆进入环网箱时，应直接用缆线夹圈紧靠，在高压套管之下，不得对其进行倾斜或未进行紧固，以免对套管造成影响，造成扭力或者张力，长期受到压力，套管与箱体之间的密封会被破坏，SF₆气体会泄漏，会造成套管开裂，造成高压短路。要尽可能的让每一相的线芯都是竖直的，不能扭曲，分支手套要尽可能的低，并且要把电缆的卡箍放得更低一些，与套管之间的垂直间距应大于 750 毫米。在施工过程中，把配电箱底部的线缆接入到配电柜内的配电间，要将由于铺设电缆时损坏的线缆端头锯断，再对相位进行核对，在确定相位后，把电缆插进环网柜内，以实现三个缆心对正。若线缆倾角太大，则需将线缆重新放回线缆井内，在进入环网柜前，进行一定的角度调整，并用线缆卡箍进行紧固。当现场施工情况许可时，可采取双层固定法（将电缆外套分段固定），也就是在普通固定的下部电缆井中增设一根固定梁，再加上一个固位。

(二) 电缆分相技术要求

在对电缆进行分相处理时，要先用电缆卡箍将电缆分支手套的下端固定好，然后剪断电缆核心的长度，把 B 相和 B 相的套管分别对应起来，把 A 和 C 相从根部稍微向外弯曲，然后把它竖直地朝上。将两端固定螺钉旋紧，把终端吊到套管上，对照电缆的长度，锯掉过多的电缆芯。务必确保三根钢丝绳的长度和长度一致，防止钢丝绳受到外力作用，电缆终端与套管端部的接触不良。若未将缆线固定好，则缆线芯的长度将没有参考点，将产生偏移。所以，首先要做的就是打好电线。

此外，钢丝绳剥离工序的技术也是十分关键的，应注意如下：钢丝绳剥离的尺寸一定要根据 T 形连接头生产厂家的技术要求和与之相匹配的技术规格；在剥离过程中要小心，在剥离的过程中，不能损伤内层；应尽量避免在芯体绝缘上产生纵切痕，以防止产生内层现象；务必使用制造商提供的特殊清洁纸，切勿使用其它清洗剂，例如：工业乙醇；在涂抹润滑剂的时候，要选择对硅橡胶没有任何作用的聚氟烃，这样才能长期起到密封和绝缘作用，不能用含有硅脂的润滑油，因为它会和有机硅橡胶发生化学反应，导致界面爬电。

(三) 应力锥体的安装技术条件

在施工过程中，要确保应力锥与电缆截面的匹配，过盈量要适宜，过盈量太大或太小都会带来不利

的结果。尺寸太大，难以安装，易开裂；过小可能引起封接不牢，严重的甚至会出现沿壁放电现象。对于电缆 T 形连接件，它的应力锥和绝缘外套、电缆自身都有相对位置的需求，没有太多的随意性。为了达到应力控制和绝缘密封性的需要，必须严格按照安装的规定来进行（各个厂家的规格不同）。在安装过程中，应力锥应该尽可能地位于线缆的竖直部分，以确保完全封闭，尤其是要避免被锋利的东西刮伤到硅橡胶零件的内、外表面，过盈配合部位均应分别涂有专门的固定润滑膏。

(四) 接地的可靠性

在环网柜上安装的屏蔽类型的 T 形连接头，必须采用特殊的接地环与接地线进行牢固接地，并与环网柜的接地网相连，以免因外部电荷积聚而引起触电事故，同时表面电荷也会向周边电极间隙放电，从而使橡胶材料发生电腐蚀。

环网柜的地基高度通常为 300-500 毫米，基础下的线缆井应高于 800 毫米，若现场许可，则应高于 1000 毫米，这样可以保证当电缆从地面下到达环网柜时，具有一定的曲率半径，使其可以竖直插入，降低了应力。

五、结语

10kVSF₆ 共箱式环网柜及电缆 T 形接线方式的采用，极大地改善了配电系统的绝缘及供电的可靠性，但因其使用时间较短，且对产品的性能、标准、安装要求等内容尚不清楚，在实际操作中也存在许多问题，严重影响到其安全生产。本文通过对上述共箱式环网柜及电缆连接中出现的几个问题进行了归纳与思考，以减少在连接处操作时的失效率。

参考文献：

- [1] 王琪，李秋香，王晓健，张连升，宋乐永. 开关柜放电原因分析与治理 [J]. 山东电力技术，2014，41(3):40-43.
- [2] 葛洪光，刘俊德. 10kV 单芯电力电缆烧损事故分析及防范措施 [J]. 东北电力技术，2015，36(9):47-49.
- [3] 贾勇勇，杨景刚，高山，陶风波，邹海，张国钢. 高压开关柜内部电场仿真及其影响因素分析 [J]. 高压电器，2017，53(6):154-160.
- [4] 侯慧，曾金媛，陈国炎，顾春晖，薛梦雅，于士文，耿浩. 配电开关设备及其控制器可靠性研究综述 [J]. 武汉大学学报（工学版），2018，51(7):627-633.
- [5] 王海燕，陈硕，朱志豪，费翔，程显. 固体开关柜环氧树脂材料绝缘特性研究 [J]. 绝缘材料，2019，52(2):35-40.