

# 船舶中压系统中性点接地的分析

许明华 游德智

(福建交通职业技术学院 福州 350007)

**摘 要:** 文章主要阐述船舶中压系统中性点接地和不接地存在的问题,并分析各自的优缺点。

**关键词:** 船舶 中压 电力系统 中性点接地 分析

随着社会的发展,船舶大型化设备越来越多,设备的用电功率也就越来越大,发电机的容量也不断增加。对于目前大多数船舶使用低压交流电力系统来说,由于线路的电流大,设备制造所占的体积也大,机舱空间有限,布线的电缆线粗,为了使船舶电力系统协调工作,现代化大型船舶采用中压系统是必然趋势。但随之而来的有许多问题需要解决,如配电网中单相接地、电容电流等。本文主要探讨的就是船舶中压系统安全运行存在的一些问题。

## 1 船舶中压中性点不接地系统分析

### 1.1 船舶中压中性点不接地系统的特点

我们知道船舶低压电力系统都是采用中性点不接地的三相三线制绝缘系统,在发生单相接地时不会产生短路电流而跳闸,也不影响三个线电压的对称关系,能最大限度地保持连续供电;而对船舶中压系统中性点不接地系统(小电流接地系统)具有如下特点:当一相发生金属性接地故障时,接地相对地电位为零,其它两相对地电位比接地前升高 $\sqrt{3}$ 倍。一般情况下,当发生单相金属性与船体接触故障时,流过故障点的短路电流仅为全部线路接地电容电流之和,其值一般不大,船舶电网就发出接地信号,值班人员必须尽快排除接地故障,保证人身安全和连续不间断供电。但当中性点不接地时,在接地点将通过全系统的对地电容电流,使非故障相的绝缘破坏进而造成相间短路,对电网造成很大的危害。

### 1.2 船舶电网与船体电容电流超标的危害

实践表明船舶电力系统中性点不接地系统也存在许多问题,随着电缆出线增多,配电网与船体中

单相接地电容电流将急剧增加,当系统电容电流太大时,将带来一系列危害,具体表现如下:

(1)当发生间歇弧光接地时,可能引起高达3.5倍相电压的弧光过电压,引起多处绝缘薄弱的地方放电击穿和设备瞬间损坏,使小电流供电系统的可靠性这一优点大受影响,而且对整个电网绝缘都有很大的危害;

(2)配电网的铁磁谐振过电压现象比较普遍,时常发生电压互感器烧毁事故和熔断器的频繁熔断,严重威胁着船舶配电网的安全可靠性;

(3)当有人误触带电部位时,由于受到大电流的烧灼,加重了对触电人员的伤害,甚至死亡;

(4)当船舶配电网发生单相接地时,电弧不能自灭,很可能破坏周围的绝缘,发展成相间短路,造成停电或损坏设备的事故,同时对不接地相电压升高,对设备绝缘等级要求更高;

(5)单相接地电容电流过大,使接地点热效应增大,对电缆等设备造成热破坏,该电流流入船体后由于接地电阻的原因,使整个接地网电压升高,危害人身安全和船舶安全;

(6)交流杂散电流危害。电容电流流入大地后,在船体中形成杂散电流,该电流可能产生火花,引燃瓦斯等爆炸,并且腐蚀水管、油管等。

### 1.3 船舶中压电力系统单相接地电容电流的分析

船舶中压电力系统电网单相接地电容电流有以下几部分组成:系统中所有电气连接的全部线路的电容电流、系统中相与船体之间的电容器产生的电容电流和变配电设备造成的电网电容电流的增加值。理论上可以计算配电系统的单相接地电容电流值,由于接地电流和正常时的相电压相差 $90^\circ$ ,在接地电流过零时加在弧隙两端的电压为最大值,造成故障点的电弧不易熄灭,常常形成熄灭和重燃交替

收稿日期:2009-01-09

作者简介:许明华(1963-),男,福建人,副教授,研究领域:船舶安全。

的间隙性和稳定性电弧,间隙性弧光接地能导致危险的过电压,而稳定性弧光接地会发展成相间短路,危及电网、船舶和人身的安全。从上面分析可知,对船舶中压系统采用传统的船舶电力系统中性点不接地的方式存在许多问题,不利于系统的安全运行。

## 2 船舶中压中性点接地系统分析

### 2.1 中性点经小电阻接地方式

如果船舶中压电力系统采用中性点经小电阻接地方式,可以泄放线路上的过剩电荷,来限制产生过电压,其优缺点是:

(1)系统单相接地时,健全相电压不升高或升高幅值较小,对设备绝缘等级要求较低,其耐压可以按相电压来选择;

(2)系统单相接地时,由于通过故障线路的电流较大,零序过流保护有较好的灵敏度,可以比较容易检查出接地线路;

(3)由于接地点的电流较大,当零序保护动作不及时,将使接地点及附近的绝缘受到更大的危害,导致相间故障发生;

(4)当发生单相接地故障时,无论是永久性的还是非永久性的,均作用与跳闸,使线路的跳闸次数大大增加,严重影响了船舶正常供电,使其供电的可靠性下降。

### 2.2 中性点经消弧线圈接地方式

如果船舶电力系统采用中性点经消弧线圈接地方式,发生单相短路时接地电流减小,但在正常运行状态下的系统不平衡电压往往会增加。在系统发生单相接地时通过接地点的电流较小,其特点是线路发生单相接地时,可不立即跳闸。因消弧线圈的电感可抵消接地点流过的电容电流,限制了接地故障电流的破坏作用,使残余电流的接地电弧易于熄灭;当残流过零熄弧后,又能降低故障相恢复电压的初速度及其幅值,避免接地电弧的重燃,电弧能自灭。单相接地故障并不发展为相间故障,因此中性点经消弧线圈接地方式的供电可靠性大大高于中性点经小电阻接地方式,但中性点经消弧线圈接地方式也存在着以下问题:

(1)由于传统消弧线圈没有自动测量系统,不能实时测量船舶电网对地电容电流和位移电压,当船舶电网运行方式或电网参数变化后靠人工估算电容电流,误差很大,不能及时有效地控制残流和抑制弧光过电压,不易达到最佳补偿;

(2)传统消弧线圈按船舶电压等级的不同、电网对地电容电流大小的不同,采用的调节级数也不

同,补偿精度很低;

(3)调谐需要停电、退出消弧线圈,失去了消弧补偿的连续性,响应速度太慢,隐患较大。如果遇到船舶电力系统异常或事故,来不及进行调整,易造成失控。若此时正碰上电网单相接地,残流大,正需要补偿而跟不上,容易产生过电压而损坏船舶电力系统绝缘薄弱的电器设备,引起事故扩大、雪上加霜;

(4)运行中的消弧线圈太少容量不足,只能长期在欠补偿下运行。传统消弧线圈大多数没有阻尼电阻,其与电网对地电容构成串联谐振回路,欠补偿时遇电网断线故障易进入全补偿状态(即电压谐振状态),这种过电压对船舶电力系统绝缘的危害性比由电弧接地过电压的危害性更大。既要控制残流量小,易于熄弧,又要控制脱谐度保证位移电压不超标,这对矛盾很难解决。鉴于上述因素,只好采用过补偿方式运行,补偿方式不灵活。

综上所述,当电网未发生单相接地故障时,希望消弧线圈的脱谐度越大越好,最好是退出运行。

### 2.3 自动跟踪补偿 PLC控制消弧装置

从船舶中压电网小电流接地系统对地电容电流超标所产生的影响和使用传统消弧线圈存在问题的分析,应采用自动跟踪 PLC控制消弧线圈补偿技术。目前,运行的消弧线圈有三种类型,即调匝式、调气隙式和二次调容式。所谓调容式消弧线圈就是通过接入一定数量的电容器以实现抵消消弧线圈电感电流的装置,具体做法是通过真空接触器的开、合来接入不同数量的电容器。由于感性电流和容性电流的相位相差  $180^\circ$ ,两者可以进行算术运算。因此,可通过对电容电流的开、合将消弧线圈二次侧的电容电流折算到一次侧去抵消电感电流,从而改变消弧线圈的电感补偿电流。调容式自动跟踪消弧线圈补偿成套装置由消弧线圈、电容调节箱、阻尼电阻箱、自动跟踪调节及控制器(装于控制屏中)、控制屏五部分组成(如图1所示)。

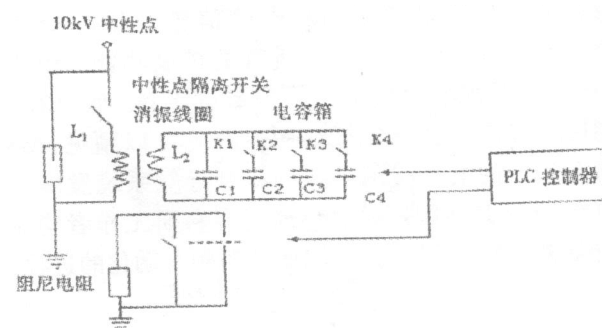


图1 调容式消弧线圈改变电感电流原理图

$L_1$  为主绕组,  $L_2$  为二次绕组。二次绕组连接电容调节箱。  $K_1 \sim K_4$  为真空接触器 (或双向晶闸管),  $C_1 \sim C_4$  为二次调节电容器, 当二次调节电容器全部断开时, 主绕组感抗最小, 电感电流最大, 二次绕组有电容器接入后, 根据阻抗折算原理, 相当于主绕组两端并接了相同功率的电容, 使主绕组电感电流减少。因而, 通过调节二次电容的容量即可控制主绕组的感抗及电感电流的大小。电容器调节箱装有 4 只电容, 容量配置原则为:  $C_1 : C_2 : C_3 : C_4 = 1 : 2 : 4 : 8$ 。根据二进制组合原理, 4 只电容有 16 种组合, 即 16 级调节。电容器调节箱由控制器根据电网对地电容的大小自动跟踪调节二次侧电容器的容量, 得到理想的补偿效果。当采用预调谐方式时, 必须加装电阻箱。因为在自动跟踪消弧线圈中调节精度较高, 残流较小, 接近谐振点运行, 为防止产生串联谐振过电压, 在消弧线圈接地回路串联了阻尼电阻箱, 因电阻的阻尼作用, 在运行中, 中性点电压不会升至太高。为避免单相接地后流过阻尼电阻上的有功电流使接地残流增大, 与阻尼电阻并接的接触器吸合, 将电阻短接。自动跟踪调节及选线控制器, 一般采用 PLC 控制极大地提高了装置的可靠性。

由上可知, 调容式自动跟踪消弧补偿成套装置的突出特点是:

(1) 用变压器及阻抗变换原理, 消弧线圈增设二次绕组, 通过调整二次绕组投入的电容量大小来调节消弧线圈的电感电流, 可在 0% ~ 100% 额定电

流全范围内调节;

(2) 集自动跟踪消弧线圈和单相接地选线于一体, 采用 残流增量法 对单相接地线路进行选线, 具有完善的功能和极高的可靠性;

(3) 成套装置具有调节范围宽、调节速度快、调节方式灵活及选线快速、准确等特点, 且调节开关寿命长、工作安全、可靠。

### 3 结语

船舶中压系统中性点接地还是不接地也有不同观点, 但从总体上看, 还是采取中性点接地和中性点不接地相结合的方式较好。当电网正常运行时, 采取中性点接地方式; 当电网绝缘出现故障时, 自动转换成中性点不接地的方式运行。随着科学技术的进步, 解决了船舶中压电网中性点经消弧线圈接地系统难以解决的技术难题。自动跟踪 PLC 补偿消弧线圈及接地选线装置的不断完美和推广应用, 为船舶中压电网中性点经消弧线圈接地提供了技术保护。为此, 采用更可靠、更安全的船舶中压电力系统将是发展方向。

### 参考文献

- [1] 陈多. 中压电网中性点接地方式分析与探讨 [J]. 山西电力, 2006 (3)
- [2] 吴庚申, 李成玉. 电力推进船舶的中压电力系统 [J]. 船电技术 2003 年第 6 期
- [3] 陈庆. 基于人为接地分流的小电流接地系统中性点接地方式的研究 [J]. 电力自动化设备, 2005 (12)

(接第 5 页) 或间接的加强船舶的安全性能。特别是在有雷达图像叠加的时候, ECD IS 与 AIS 的组合是船舶避碰最理想的选择。

本文认为未来的船舶发展趋势为技术模块的集成, 而非设备的连接叠加。这种技术叠加可以避免相关资源、设备的浪费, 减轻船员的负担。AIS 在航行安全方面有着明显的优势, 它的真正价值在于能够获得雷达不能完全预料到的信息。当前, 只有 ECD IS 能够完全支持 AIS 所有的扩展功能。由于 AIS 系统是所有公约船必须安装的设备, 而 ECD IS 则逐渐替代了官方的纸海图。因此可以预见, AIS 与 ECD IS 的组合应用是这种新型导航系统发展的前奏, 无论是我国还是世界航运界科研工作者均应加强这个方向的研究, 共同促进船舶自动化的进程,

营造一个先进、优异而且舒适的船舶驾驶环境, 使船舶驾驶导航走进新时代。使航海技术更加快速发展。

### 参考文献

- [1] 王世林主编. 电子海图显示与信息系统使用说明 [M]. 大连: 大连海事大学出版社, 1999: 45 - 120.
- [2] 孙文力, 孙文强编著. 船载自动识别系统 [M]. 大连: 大连海事大学出版社, 2001: 156 - 200.
- [3] 刘桂云, 郑道昌. 基于 AIS 和 ECD IS 的自动避让系统的研究 [N]. 浙江海洋学院学报. 自然科学版, 第 22 卷第 2 期.
- [4] 应忠于, 李宏亮. ECD IS 系统面临的挑战及应用前景 [J], 2005, (3): 54 - 56.
- [5] 王安国, 吴炳占. ECD IS 的现状及其发展趋势 [J], 航海技术, 1999, (3): 29 - 32.
- [6] 唐信源、邓洪章等. 中国海事搜救通信发展策略 [N]. 中国航海, 2000 年第一期, 49 - 53.