

# 船舶中压电力系统中性点接地方式研究

张东清

(南通中远海运川崎船舶工程有限公司 基本设计部, 江苏 南通 226402)

**摘要:**安全可靠是船舶电力系统建造和运营最基本的要求,在船舶设计之初,首要考虑的就是电力系统的接地方式。对于大型船舶而言,中压电力系统的中性点接地方式更是一个复杂的系统问题,合理的选择中性点接地方式,关系到电网运行的可靠性和船员的生命安全。中性点接地方式分为中性点不接地系统和中性点接地系统两大类,基于船舶中压电力系统各接地方式的特点,从可靠性、安全性等角度对比分析各接地方式的优缺点,认为中性点不接地的方式是中压船舶的首选,符合商船的经济性、实用性。

**关键词:**船舶;中压电力系统;中性点接地;可靠性分析

**中图分类号:**U665.12

**文献标识码:**A

**文章编号:**1671-9891(2018)03-0036-04

## 0 引言

船舶中性点的接地方式会影响到船舶电网的稳定,影响船员的生命安全,合理选用中性点接地方式,可以降低线路故障跳闸频率,延长设备使用寿命,提高电网稳定性。目前船舶低压电力系统中,大多采用中性点不接地系统,即三相三线制绝缘系统。而对于中压系统,短路故障时对电网及船员人身安全影响较大,需要考虑中性点接地,主要分中性点直接接地或经过低阻抗接地为大接地电流系统,以及中性点经消弧线圈或高阻抗接地,称为小接地电流系统。<sup>[1-2]</sup>现对电力系统各接地方式进行以下初步研究,以供船厂对中压电力系统进行接地方式选择时参考。

### 1 中性点接地方式分类

中性点接地方式可分为中性点不接地系统和中性点接地系统两大类,中性点接地系统又可分为中性点直接接地、中性点经消弧线圈接地、中性点接低阻抗接地、中性点经高阻抗接地四种方式,两大类接地系统的故障情况分析如下:

#### 1.1 中性点不接地系统(三相三线绝缘系统)

如图 1 所示, W 相发生接地故障时, d 为故障点, 则各相对地电压为:

W 相:  $\dot{U}_{wd} = 0$ , U 相:  $\dot{U}_{ud} = \dot{U}_u + \dot{U}_n = \dot{U}_{uw}$  (等于线电压)

V 相:  $\dot{U}_{vd} = \dot{U}_v + \dot{U}_n = \dot{U}_{vw}$  (等于线电压)

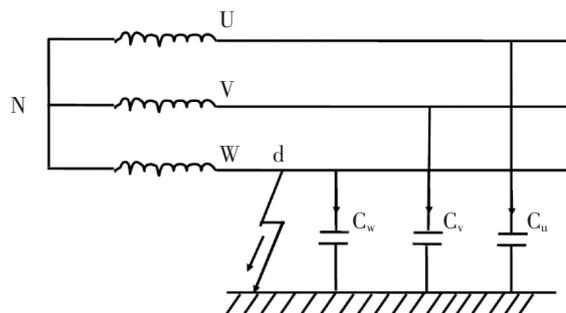


图 1 中性点不接地系统

收稿日期:2018-08-16

作者简介:张东清(1985—),男,江苏南通人,南通中远海运川崎船舶工程有限公司基本设计部工程师。

各相电流情况为：

U相、V相相等，电流有效值为  $I_{cu} = I_{cv} = \omega C U_x$

( $U_x$ —相电压； $\omega$ —角频率； $C$ —相对地电容)

W相因为接地故障，d处接地电流  $I_d = -(I_{cu} + I_{cv})$ ，故d处接地电流等于  $3\omega C U_x$

根据计算，电力系统发生单相接地故障对电力系统各相的影响主要如下：

(1)非故障相对地电压升高到故障前相电压的 $\sqrt{3}$ 倍(线间电压等于相间电压的 $\sqrt{3}$ 倍)；

(2)故障相电压及对地电容值不等，电容电流大约增加3倍，所以中性点电压也不为零，中性点对地产生电压，这就造成中性点偏移的现象。

综上，中性点不接地系统发生单相接地故障时，故障相流过的电流等于电容电流( $3\omega C U_x$ )，对信号干扰较小，并且非故障相电压的升高也在可控范围内( $\sqrt{3}$ 倍)，所以此接地方式发生单相接地故障时可以带故障持续运行，供电可靠稳定，被船东广泛推崇。但是，中性点不接地系统存在典型的缺陷，即无法消除系统产生的间歇性电弧。这种电弧现象对中高压电力系统影响尤为重大：当某相发生接地故障时，会引起电气回路的振荡甚至谐振，当电流振荡到零点时，电弧可能暂时熄灭，之后相电压不断升高，电弧可能随时重新燃起。中高压电力系统中产生间歇性电弧后，若及时发现并切断电源，很有可能会发展成相间短路故障，造成事故扩大。

## 1.2 中性点接地系统

基于对中性点不接地系统的了解，中压系统中性点接地的几种典型方式的特性如下：

(1)中性点直接接地方式。图2为典型的中性点直接接地系统，当发生单相对地接地故障时，故障相形成接地回路，形成很大的接地电流，会导致供电立即中断，直接影响了供电的连续性、稳定性，对船舶电力系统而言，中性点直接接地的方式显然不太适用，故一般用于陆用高压电力系统。

(2)中性点经消弧线圈接地方式。图3为典型的中性点经消弧线圈接地系统，其目的就是为了减小接地地点的故障电流，使上文中提到的间歇性电弧不会自行点燃，从而提高了供电的可靠性，保证了电网的稳定性。其原理是装在发电机中性点与大地之间的一个可调电感线圈，单相接地故障时，接地端与消弧线圈形成回路，并产生感性电流，与故障点容性电流方向相反，相互抵消，即称感性电流补偿容性电流。再简单地讲，消弧线圈利用其通直阻交，通低频阻高频的电感特性，在故障回路中形成感抗电流不断地抵消(或叫补偿)因接地故障导致电容产生的故障电流。这种方式是采用中性点接地条件下较灵活变通、稳定可靠的方案，只要估算出全船电力系统接地点可能产生的电容电流，就可确定消弧线圈的规格参数以补偿电容电流。目前电力系统经消弧线圈接地有三种方式，即全补偿、欠补偿、过补偿。

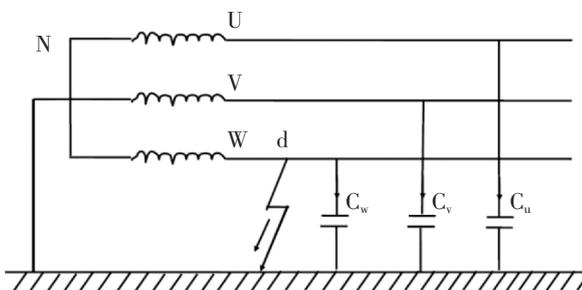


图2 中性点直接接地系统

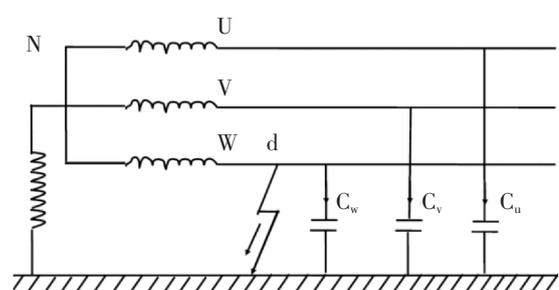


图3 中性点经消弧线圈接地系统

全补偿方式：顾名思义，使感性电流有效值等于电容电流有效值，即  $I_L = I_C$ ，再由公式推算可知消弧线圈的感抗等于系统故障点对地电容的容抗，此时系统就产生了上文提到的谐振，而且是危害最大的串联谐振，使中性点发生严重偏移，并可能产生远高于全船电力系统的电压，直接造成设备损坏，故一般不考虑全补偿方式。

欠补偿方式： $I_L < I_C$ ，因为补偿较少，故障点仍有电容电流流过，此时如果系统切断某个回路等其他操

作时,系统的对地电容电流将减少,最终系统可能又变回全补偿方式,再次出现上述后果,所以也很少被采用。

过补偿方式:此种方式下  $I_L \geq I_C$ ,即使系统切断故障回路或其他操作,首先肯定不会发展成为全补偿方式,其次也为日后全船电网设备的增加考虑了一定的补偿余量。<sup>[3]</sup>

(3)中性点接低阻抗接地方式。了解了上述第二种方案的原理,中性点接低(高)阻抗的接地方式会很容易理解,系统原理图只要将图3消弧线圈换为电阻元件即可。

(4)中性点接高阻抗接地方式。基本原理与中性点接低阻抗接地方式相同,区别在于电阻元件的参数不同。中性点接低(高)阻的方式较消弧线圈的优势在于它的经济可靠,因为阻抗额定值只要达到类似消弧线圈接地系统中的“完全补偿”即可,而且根据电阻特性,又不会产生消弧线圈接地系统完全补偿引起的串联谐振,较为值得推广。

## 2 两种系统对各船型的适用性选择

综合上述几种接地方式,对各种船型的系统选择考虑如下:

### 2.1 中性点不接地系统

中性点不接地系统最明显的优势在于其可以带故障运行,使得故障以外的系统稳定运行,但此方式无法消除系统产生的电弧,容易造成相间短路,进一步扩大故障。因此,中性点不接地系统适合电力系统较为简单的中低压船舶。

### 2.2 中性点接地系统

(1)中性点直接接地方式。此方式的优势在于非故障相电压为固定的 $\sqrt{3}$ 倍正常电压,能够维持正常运转,并且发生故障时接地电流很大,容易找到故障点。但是,接地电流较大也容易导致开关立即切断,系统稳定性不足,容易对设备造成损坏,对通讯线路产生电磁干扰,影响信号传输,开关较难选型,产生故障时会威胁船员人身安全。所以,这种方式多用在陆地高压输电系统,基本不会考虑用于船上。

(2)中性点经消弧线圈接地方式。此方式是通过补偿电容电流,减缓电压改变的速度,减少了间歇性电弧发生的概率,避免负荷启动等瞬时性接地故障对电网的冲击。且线圈电感可通过改变线圈绕组匝数而自由调节,比较灵活。但是,被动消除电弧存在一定的风险,随着电网负荷不断增加,原先的过补偿方式可能成为完全补偿,也存在风险。这种系统对船用电气设备具有较高绝缘等级要求,同样不适合用于船上,较多用于陆地。

(3)中性点经低(高)阻抗接地方式。此方式是通过电阻主动降低接地引起的电弧电压,可带故障运行,可以通过电阻及时发现和定位故障点,使系统安全稳定实用。但是带故障运行时,电阻器消耗能量较大,需要冷却装置,同时接地电流也很大,威胁船员人身安全,一般配置于OSV等中高压船型。

综合两大系统的优缺点,从商船的经济性、实用性出发,中性点不接地的方式是中压船舶的首选。

## 3 中性点不接地方式案例

以国内某船厂升级改造的万箱级集装箱船为例,升级前采用中性点不接地的方式,在某次靠泊码头时,数台机器发生过流报警,船员排查故障点花费了较长时间。后经确认,事故为单相接地故障引起了长时间中性点偏移,由于非故障端电压升高约 $\sqrt{3}$ 倍左右,船员没有及时排查到故障点,当故障持续一段时间后,发生间歇性电弧,并造成了相间短路,烧坏数台机舱辅机马达。升级时考虑保持中性点接地方式不变,并在系统中增设接地监测报警装置,以便故障发生时做到及时报警及时处理,使系统安全性得到显著改善,基本原理见图4。通过接地故障监测(EVT)装置及接地指示灯,测得接地故障,并通过接地灯显示故障,因无法检测故障点,需要人工排查并手动切断。

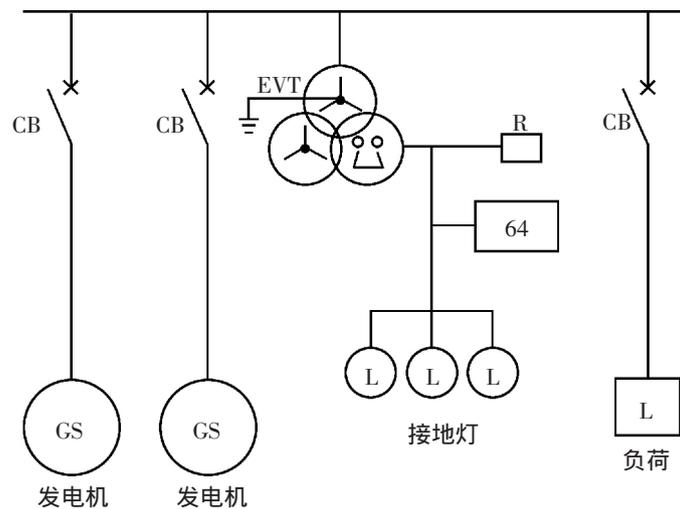


图4 接地故障监测(EVT)装置

#### 4 结束语

随着船舶大型化、自动化的不断发展,电气系统趋于复杂,由此引发的电气故障也是多种多样。对大型商船而言,特别是中压系统,在系统设计之初首要考虑的就是系统的接地方式,根据不同的船型选择合适的中性点接地方式,将使船舶营运时更加稳定可靠,船员操作更加安全便利。

#### 参考文献:

- [1]张莹.关于配电网中性点接地方式分析及选择[J].科技与企业,2012,(21):158-158.
- [2]方勇.配电网中性点接地方式的探讨[J].科技与企业,2012,(24):281-281.
- [3]史嘉旻,黄朝.浅谈 ZN 型接地变压器中性点接地方式[J].水电与新能源,2015,(11):62-64.

(责任编辑:顾力豪)

## Research on Neutral Grounding Method of Ship Medium Voltage Power System

ZHANG Dong-qing

(Dept. of Basic Design, Nantong COSCO KHI Ship Engineering Co., Ltd., Nantong 226402, China)

**Abstract:** Safety and reliability are the most basic requirements for construction and operation of a ship's power system. At the beginning of a ship's design, the primary consideration is the grounding method of the power system. For a large ship, the neutral point grounding method of medium voltage power system is a complex system issue. Reasonable selection of neutral point grounding method is related to the reliability of grid operation and the safety of crew's lives. The neutral point grounding method is divided into two categories: neutral point ungrounded and grounding system. Based on the characteristics of various grounding methods of ship's medium voltage power system, the advantages and disadvantages of each grounding method are compared and analyzed from the perspectives of reliability and safety. It concludes that the method that the neutral point is ungrounded is the first choice for a medium-voltage power ship, which is in line with the economic feature and practicality of merchant ships.

**Key words:** ship medium voltage power system; neutral point grounding method; reliability analysis