

船舶电站自动并车操作与故障处理

潘金辉 张 弛 陈碧雲

上海外高桥造船有限公司 上海 200000

【摘 要】：船舶电站是船舶电力系统的主要承载者，自动并车技术是保证多机组并联稳定运行、提高供电连续性及可靠性的重要工艺。本文根据船舶同步发电机准同步并车的基本原理，对自动并车的标准操作流程、主要控制参数和技术要求进行详细的阐述，并通过实际船运行实例分析电压偏差、频差超标、相位失步、并车冲击、逆功率等常见故障的产生原因、表现形式和处理方法，用实测数据总结出故障预防和系统改进的方法。研究结果可以给船舶机舱运维、电站设备检修、自动化系统升级提供技术参考，减少并车故障的发生，保证船舶电力系统的安全稳定运行。

【关键词】：船舶电站；自动并车；准同步；操作规范；故障处理

DOI:10.12417/2705-0998.26.10.034

引言

现代船舶一般采用多台同步发电机并联供电的方式，根据航行、停泊、作业等各种工况对电力需求的大小来分配各个发电机的负荷。自动并车系统用自动化控制模块代替人工手动并车，具有合闸精度高、反应快、冲击电流小、运行平稳等优点，是无人机舱船舶重要配套设备。船舶并车操作对参数匹配精度要求很高，电压、频率、相位任何一个参数偏离标准，都会导致并车冲击、机组振荡、功率失衡，严重时会造成断路器跳闸、发电机绕组损坏，甚至引起全船断电事故。在实际的航运运维当中，由于设备老化、参数漂移、负载波动、环境干扰等方面的原因，自动并车系统很容易出现各种各样的故障。因此规范自动并车操作程序、准确查找并处理故障、建立常态化的维护制度，对于提高船舶电站运行安全性和经济性有重大的现实意义。

1 船舶电站自动并车核心原理与技术条件

1.1 准同步并车基本原理

船舶自动并车一般采用准同步并车的方式，其主要原理就是通过自动同步控制器对运行电网和待发电机的电压、频率、相位进行实时采集，自动调节待并机组的励磁电流和原动机转速，使两组电力参数逐渐趋于一致，在同步临界点发出合闸指令，实现机组并联。合闸之后系统可以自动完成有功、无功功率的平稳转移和均衡分配，使多机组稳定并联运行。

1.2 自动并车必备技术条件

为了防止并车冲击、设备损坏，保证并车成功，待并发电机和电网必须满足三项主要匹配条件，并且参数的偏差不能超过船舶电气规范所允许的范围。电压幅值大体上相等，电压偏移过大就会造成无功冲击电流，损坏发电机的励磁系统；频率基本相同，频差超出允许范围会造成合闸后机组出现周期性的震荡，造成功率波动；相位一致，相位偏离是产生并车剧烈冲击、跳闸故障的主要原因。

根据船舶电站通用技术标准，本文整理出自动并车参数控

制阈值，具体见表1。

表1 自动并车参数控制阈值

匹配参数	允许偏差范围	超标危害
电压偏差	$\leq \pm 5\%$ 额定电压	产生无功环流，绕组发热，励磁装置过载
频率偏差	$\leq \pm 0.5\text{Hz}$	机组振荡，有功功率波动，并网不稳定
相位偏差	$\leq \pm 10^\circ$	冲击电流剧增，断路器跳闸，设备机械损伤

并车冲击电流是反映并车质量好坏的指标，其峰值计算公式为

$$I_m = \frac{\Delta U}{X_d''}$$

式中， I_m 为并车冲击电流峰值，A； ΔU 为待并机与电网电压差值，V； X_d'' 为发电机次暂态电抗， Ω 。由公式可知，电压差值越小，冲击电流越小，并网稳定性越好。

2 船舶电站自动并车标准操作流程

2.1 操作前期准备

检查待并发电机组的运行状态，没有出现任何故障报警，也没有出现机械方面的异响现象，润滑油压力、冷却水温度以及燃油参数都处于正常运行的状态之中。检查发电机励磁系统、调速装置、自动同步控制器的接线是否牢靠，有无松动、老化、短路危险。检查电网目前的运行状况，母线电压、频率正常，无过载、短路、单相接地故障，满足并车的基本条件。同时根据船舶负载工况来设置功率分配比例，保证并网之后各机组的负荷均衡。

2.2 自动参数调控

启动待并发电机组，空载预热运行稳定之后投入自动并车控制模式。系统依靠电压互感器、频率传感器来获取电网及待

并机组的参数，并加以比较，找出二者之间的差别。根据电压偏差，自动调节励磁装置增大或减小励磁电流来修正输出电压；根据频率偏差，自动调节原动机调速器，微调机组转速，减小频差。全程参数调节匀速平缓，防止出现大幅度调节造成参数震荡的情况。

2.3 同步合闸执行

当系统检测到电压、频率、相位参数都处于允许的范围内，并且保持稳定 2-3 秒之后，就立即启动控制器，配合断路器的机械合闸延迟来提前发出合闸指令，从而达到精确同步并网的目的。合闸过程中无人工干涉，整个过程都是闭锁的，防止出现非同步合闸的情况。

2.4 并网后核验与稳载

合闸之后系统自动开始负荷分配，逐渐实现有功功率、无功功率的分配，并使两台并联的机组按额定容量进行供电。运维人员对机组的电压、频率、电流、功率参数进行实时监测，观察机组振动、异响的情况，判定有无异常冲击、功率振荡、报警信号。待并网状态稳定之后锁定并车控制系统参数，完成自动并车全过程。

3 船舶自动并车典型故障及成因分析

3.1 电压偏差超标故障

故障为待并机组电压和电网电压差值超过允许值，系统一直发出闭锁合闸指令，不能并网。主要成因有励磁调节器参数漂移、励磁绕组局部老化、电压采样传感器精度下降，造成电压检测数据失真。另外机组空载运行工况不稳定、电网瞬时负载波动都会造成电压偏差超限。该故障不会造成突然的设备损坏，但是会导致并车失败，延误电力调配。

3.2 频差调控失效故障

故障特征是待并机组的频率不能接近电网频率，频差一直大于阈值或者频率反复波动不能稳定。核心成因为原动机调速系统故障，有调速器机械卡滞、液压油路堵塞、转速反馈信号异常。机组燃油压力不稳定、进气量不够、负载预测不准都会造成转速控制失灵，频差达不到要求。频差超标强行合闸会造成机组长时间的振荡，加重机械磨损。

3.3 并网后逆功率跳闸故障

并网初期机组运行正常，在短时间里产生逆功率报警，并触发解列跳闸。主要原因就是待并机组合闸后没有及时加载，原有的运行机组反向给待并机组供电，造成逆功率。功率分配模块参数设置错误、调速系统响应滞后、负载突然变化等都会造成逆功率故障。

为了能够清楚地比较出各种故障的特征以及风险等级，整理出典型的故障统计数据如表 2 所示。

表 2 典型的故障统计数据

故障类型	故障占比	主要危害	风险等级
电压偏差超标	32.5%	并车失败，励磁系统过载	一般
频差调控失效	27.5%	机组震荡，机械磨损加剧	中等
相位失步合闸	15.0%	冲击跳闸，设备结构性损伤	高危
并车冲击过大	12.5%	触头烧蚀，绝缘老化	中等
逆功率跳闸	12.5%	机组解列，供电中断风险	较高

4 故障处理方案与应急处置措施

4.1 电压偏差超标故障处理

出现电压偏差超标的、合闸闭锁的时候，先查看机组的空载电压数值，手动微调励磁调节器，观察电压响应的状态。当电压可以稳定在标准范围之内的时候，偏差就会恢复到正常水平，然后执行自动并车程序。电压调节无响应或者波动过大时，停机检查励磁装置，排除励磁绕组、调压模块、采样传感器等元件的故障，清理线路接触不良点位，更换故障元器件。修复后做空载电压试验，参数稳定后方可并车。

4.2 频差调控失效故障处理

频差持续超出时，先切回手动调速，微调机组转速，看频率有无改变。手动调速正常说明自动调速控制模块的参数有漂移现象，重新对调速系统参数进行校准，清除转速采样信号干扰。手动调速卡顿、响应迟缓，停止运行检查调速器的机械部分，排除油路堵塞、阀芯卡滞、传动机构损坏等故障，做好润滑、清理、更换部件等工作。调试完毕后空载运行 5~10 分钟，频率稳定后投入自动并车模式。

4.3 相位失步合闸故障处理

发生相位失步合闸、冲击跳闸故障时，应立即停止并车工作，不得反复合闸。先对同步控制器、相位检测传感器的工作状态进行检查，校验相位信号的采集精度，找出线路屏蔽失效、信号干扰、接线错误等问题。校准控制器同步算法参数，解决故障线路、模块。检修完毕之后，先用手动同步模式核对相位是否匹配，无异常后开启自动并车功能，防止出现假同步合闸的问题。

4.4 并车冲击过大故障处理

为了解决并车冲击电流过大问题，优化参数调节逻辑，减小电压、频率调节速度，使参数平稳趋近。校准断路器合闸延迟参数，纠正同步合闸预估时间，准确找到同步临界点。同时对发电机的绕组、断路器触头进行检查，清除触头氧化层，紧固接线端子，减小线路阻抗。经多次试运行，满足冲击电流规

范要求。

4.5 逆功率跳闸故障处理

并网后出现逆功率报警跳闸,重新启动并车作业,合闸后迅速小幅提高待并机组有功负荷,防止空载并网。对功率分配系统进行核查,修正负荷配比阈值,使并联的机组负荷平衡。对调速系统响应速度进行检测,消除转速的滞后。如果频繁出现逆功率故障,就对逆功率保护定值进行校验,找出保护模块误动作的原因,合理调节保护参数,保证设备的安全和运行的稳定。

5 机电分级运维优化与故障预防策略

5.1 机械系统故障预防与运维优化

定期对柴油发电机组的调速器、液压油路、传动连杆、阀芯机构进行检查,清除油路中的杂质和堵塞物,定期给传动部件加油,防止机械卡滞、传动卡顿。严格控制机组燃油供应质量、供油压力,定时清洗燃油滤芯、校验高压油泵工况,保证机组进气、供油均匀稳定,防止由于动力供给问题造成转速波动、频差失控。另外还要对机组的运行水温、油压、排气温度等主要机械参数进行实时监测,防止出现高温、低压过载的情况,从根源上防止调速系统响应迟缓、频率调节失效的故障发生。对发电机轴承、减震机构、固定基座进行常态化的检查,及时解决由于轴承磨损、基座松动、减震失效等造成的机组运行震动和异响问题,减少机组运行时的振动和线路接触不良引起的参数波动。规范机组空载预热、负载切换的程序,禁止冷机直接并车、瞬时大幅度增加或者减少负荷等违规操作,减缓机械部件疲劳磨损,保证机组动力输出平稳,为准确并车创造

稳定的机械工况。

5.2 电气系统故障预防与运维优化

建立季度参数校准制度,对电压、频率、相位采样传感器和自动同步控制器、励磁调节器进行精度校验,修正系统参数漂移误差,及时更换精度衰减、性能老化的元器件。重点对相位检测回路和同步判断算法进行校验,消除由于信号采集失真、假同步造成的隐患,保证并车参数检测准确、合闸指令发出可靠。机舱高温、潮湿、强振动、电磁环境都会使电气线路老化、屏蔽失效、信号干扰。定期对控制线路、信号屏蔽线进行检查,紧固接线端子,清除线路氧化层和积尘,做好设备防潮、防锈、通风散热工作。独立布置动力线路和信号线路,避免电磁串扰,保证采样信号的稳定传输,防止由于信号干扰造成的并车参数异常。

6 结论

船舶电站自动并车是保证船舶电力系统稳定运行的关键工序,参数准确配平、设备完好无损、操作流程规范为并车成功提供三个主要条件。电压偏差、频差失效、相位失步、并车冲击、逆功率异常是实船运行中常见的高频故障,各种故障之间存在一定的联系,原因清楚,大多数可以依靠定期校验、规范操作、准确排查来加以控制。本文通过对自动并车基本原理和标准化操作流程的梳理,结合实船案例数据总结出典型的故障特点及处理方法,给出相应的运维改善措施,可以有效地提高船舶电站自动并车作业的规范性、可靠性。伴随着船舶智能化、自动化的发展,利用智能监测以及大数据技术来提高船舶电站故障预判的准确性以及自动修复能力,从而提高船舶电站运行的安全性、经济性。

参考文献:

- [1] 古龙江.以太网在船舶发电机组自动并车中运用分析[J].电子技术与软件工程,2022,(18):58-61.
- [2] 张潇,滕宪斌,朱发新,等.基于 PLC 的船舶电站自动化系统的设计与研究[J].广州航海学院学报,2021,29(3):1-4.
- [3] 李海生.船舶自动控制中的 BRO 智能算法研究[J].舰船科学技术,2021,43(12):100-102.
- [4] 李学良.基于 MCGS 海警舰艇岸电上船自动并车系统的设计[J].轻工科技,2020,36(3):40-41+57.