
纯电池系统在太湖某测量船上的应用

汪 涛¹

(1. 江苏省船舶设计研究所有限公司, 江苏 镇江 212003)

摘要: 针对目前国家对环保的重视, 尤其太湖流域是主要治理的水域之一。本船响应当地政府的功能要求, 提出目前最为环保的纯电池方案, 本方案提供了一套基于直流组网技术的电力推进系统, 供全船的动力和其他内部供电系统。结果表明: 本方案没有柴油机的空气排放污染, 没有油污对水体的污染, 同时也保证了本船的测量设备对低噪音, 低振动的要求。

本方案整个系统中的关键设备的设计、生产、测试主要参照欧洲和德国标准 IEC/DIN/VEC/EN 以及 DNV-GL 的规定执行。整个系统中的设计、生产、测试将覆盖中国船级社 (CCS) 的标准执行并且完成。

关键词: 直流组网

0 引言

本测量船主要再太湖流域对水体和空气经行检测, 同时将数据上传至岸上的数据中心。常规推进的船舶由于有柴油机等内燃机设备, 所排放的废气中含有 CO₂、NO_x、SO_x 还有一些颗粒物等对大气有污染的气体。同时柴油机的废油等对水体也有一定的污染。针对对于本船的主要使命任务我们提供一套基于直流组网技术的纯电力推进系统, 本船的所有能源都来自于本船底仓的电池组。

1. 主要使用条件和主要技术参数

1.1. 环境条件

整个系统在表 1 所示的环境条件下可长时间可靠运行。

环境温度	0~45℃
相对湿度	≤85%
船舶姿态	横摇±22.5° 横倾 ±15° 纵摇 ±7.5° 纵倾±5°
冷源水温度	≤32℃

表 1 环境条件参数

1.2 电气参数

根据船舶推进的功率以及国际上对类似船型的选择，推进系统的基本电气参数见表 2。

直流母线电压	直流 750V
锂电池组电压	直流 537.6V
岸电电源电压	交流 380V
推进电机电压	交流 380V
推进变频器电压	交流 380V
日用负载电压	交流 380V
船舶电网频率	50Hz
辅助电源	交流 380V
控制电源电压	交流 220V 及直流 24V

表 2 推进系统的基本电气参数

1.3 谐波

船舶日用交流电网的电压谐波畸变因数小于 5%，单次电压谐波小于 3%。

1.4 电磁兼容性

满足国际标准《调速电气传动系统》IEC 61800-3 中的要求，同时满足 IEC 60533《船舶 电气设备和电子设备的电磁兼容性》以及国家标准《船舶电气与电子设备的电磁兼容性》的要求。

2 总体配置

整个系统的单线图构成见图 1。

系统的动力能源来自于锂电池组，系统共接入 2 组锂电池组，每组容量 602kWh，整船 锂电池组容量共计 1204kWh，纯电池船需连续工作 5 小时。

直流母线变频控制配电系统驱动 2 台 110kW 的主推电机，同时提供 2 个互为冗余 34kVA 的日用电源，为船舶日用负载提供高品质的日用交流电源。

另外系统配备 150kW 岸电电源给锂电池充电，岸电充电时间约为 8 小时。

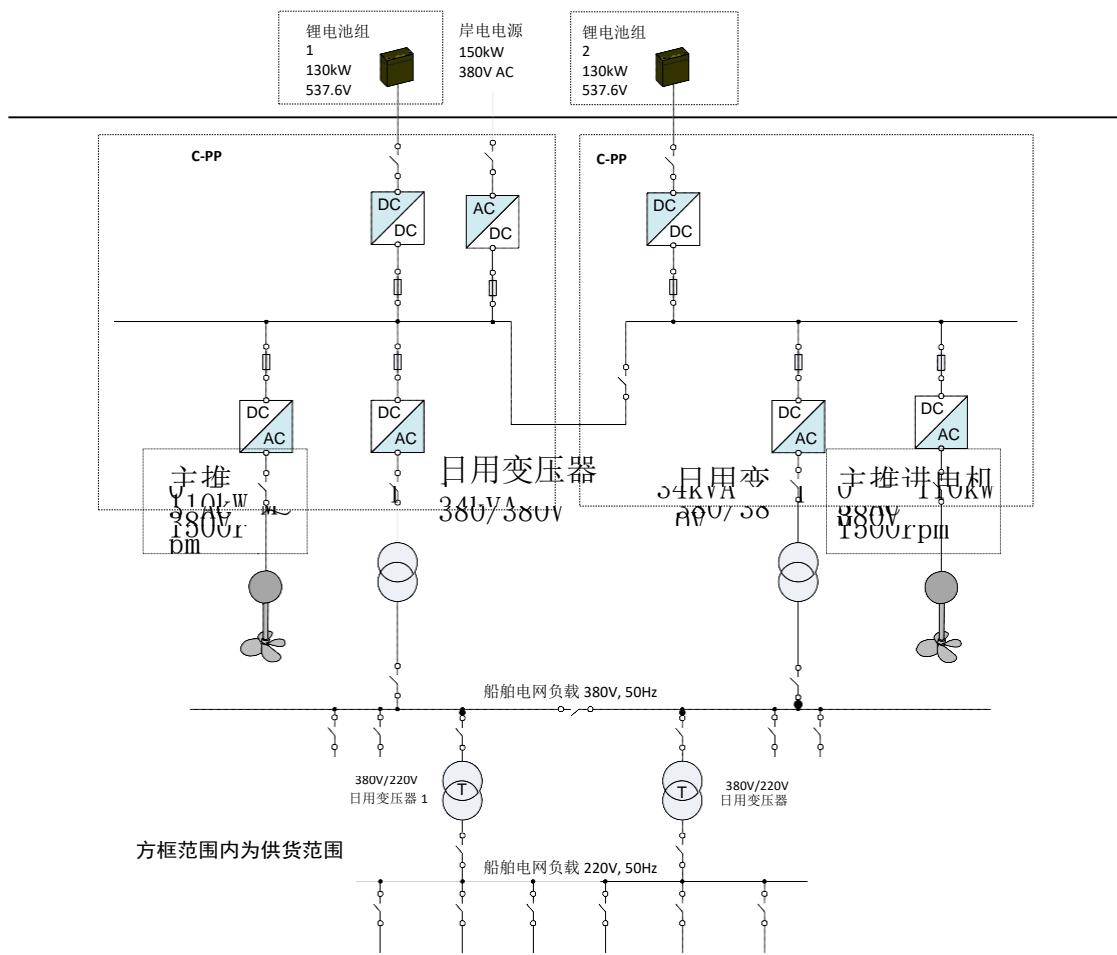


图 1 电力推进系统单线图

2.1 主要配置

整体推进系统的供货范围见表 3。

设备	数量	描述
直流母线变频控制 配 电 系统 (C-PP)	1	基于直流组网的推进变频系统，包括： 2 台 110kW 逆变器，连接主推进电机； 2 台 34kVA 电源逆变器，作为日用配电板电 源； 2 台 130kW 斩波器，连接锂电池组； 1 台 150kW 整流器，连接岸电； 1 套水冷柜，分别为左右舷设备提供冷却； 直流连接母排及其断路器和熔断器等； 相应的控制系统，包括： 1) 功率管理器 PMS，用于发电机及电源功率管理； 2) 推进控制器 PCS，用于推进器操控及控制，推进 控制器 不包括驾控台的操纵手柄及控制面板， 但接驳驾控台 坡道合全信息用于由主推进控
锂电池组	2 套	采用国内知名品牌。每套 602kWh@537.6Vdc，输出 功率设 置在 130kW。
主推进电机	2 套	采用 ABB 电机或国内同等品牌。驱动主推进器，电 机采用 异步电机，额定电压 380V，额定功率为 110kW，1500rpm，水冷。

表 3 供货范围

2.2 直流母线变频控制配电系统技术参数

直流母线变频控制配电系统的相关信息及技术参数见表 4。

生产制造	变频器单元采用赛思亿自有品牌产品，包括外围电路及系统控制在内的整个系统由赛思亿制造集成
额定电压	交流 380V， 直流 750V
电力推进	逆变模块 2 套，包括 主推进侧变频功率 110kW 2 套， 频率范围 0~50Hz
整流模块	整流模块 1 套，包括 岸电功率 150kW 1 套
逆变电源	逆变模块 2 套，包括： 船舶电网侧变频电源功率 34kVA 2 套， 额定频率
斩波	斩波模块 2 套，包括： 锂电池斩波功率 130kW 2 套
其它	正弦波滤波器、水冷单元、系统控制器（PCS、PMS）、 交流断路器、直流母排、直流开关
工作制	S1
防护等级	IP22
冷却方式	水冷
机柜进线	下进线
尺寸	见图表 2、图表 3，柜体高度为 2350mm，含底座不含吊
重量	待定
维护空间	前方、后方各 800mm，具体见图表 2。

表 4 直流母线变频控制配电系统信息

2.2.1 结构尺寸及重量

直流母线变频控制配电系统的结构尺寸图纸及设备布置见图 2 和图 3。注：

根据应用细化，图纸尺寸、重量可能微调，最终以认可图为准。

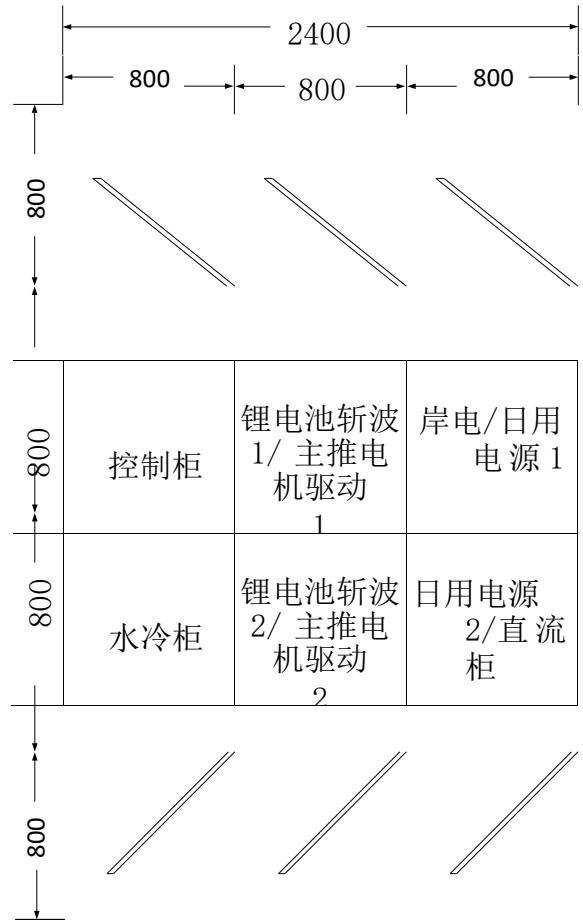


图 2 直流母线变频控制配电系统机柜布置方案 (单位为 mm)

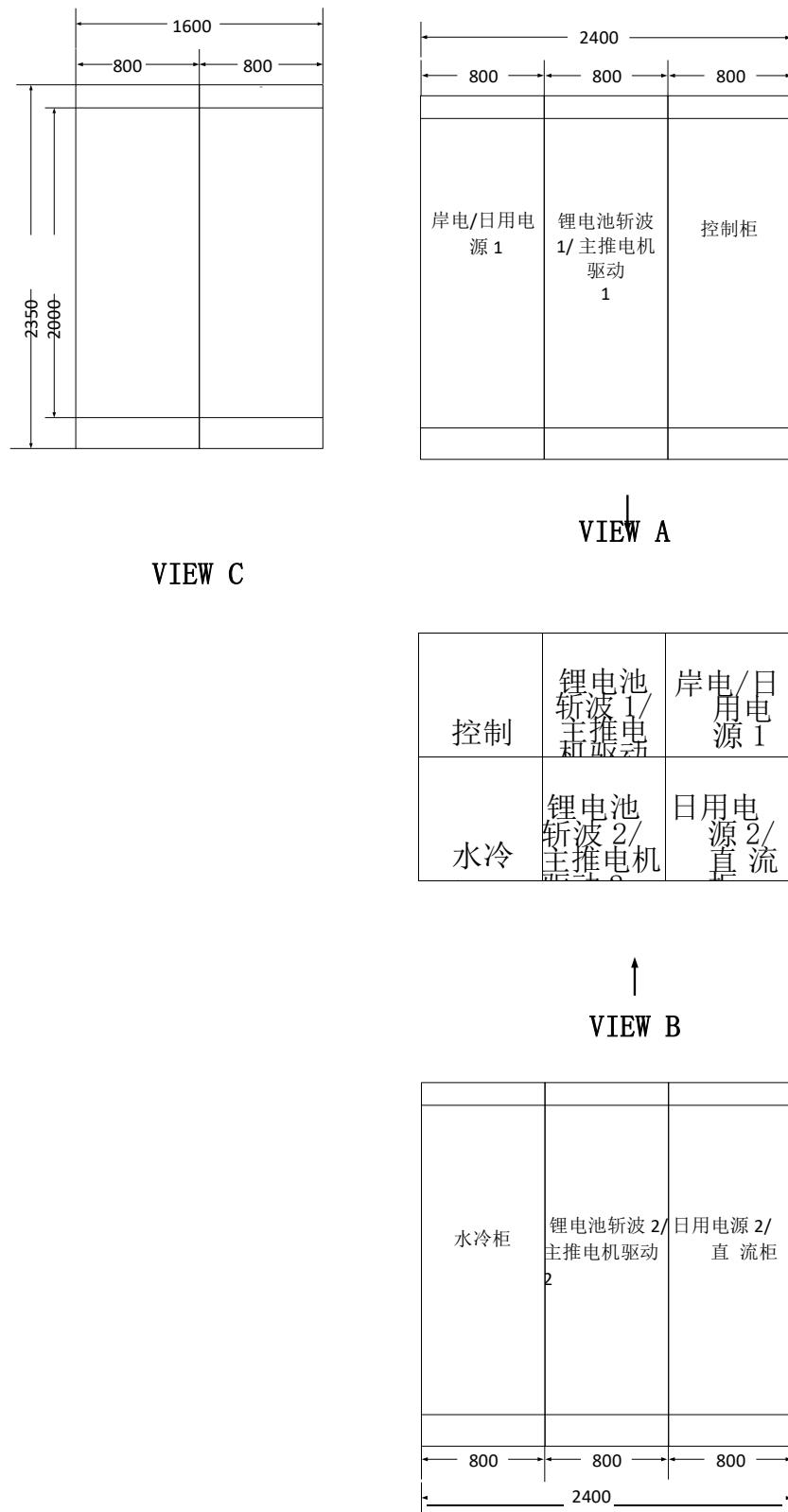


图 3 直流母线变频控制配电系统结构尺寸 (单位为 mm)

3 锂电池组配置

3.1 概述

该船的电池组主要由锂电池组成。锂电池组主要负责在特定推进工况下为整船提供推进 及日用电源，在固定码头时使用岸电接口进行充电。

3.2 锂电池组规格

本方案锂电池总容量为 1204kWh，连续供电 5 个小时，充电时间为 8 小时。分为 2 组 锂电池组并联，每组容量为 602kWh，每组电池组额定电压 537.6VDC，每组锂电池均配备有 BMS 管理系统。总占地面积约 13 m^2 ，总重量约 14 吨。

每组锂电池组由 5 簇电池柜组成，每簇电池柜基本参数见表 5。

每簇电池组成组方式	14 箱串联
额定电压	537.6VDC
电压范围	420~613VDC
标称容量	224Ah
标称能量	120.4kWh
每簇锂电池组尺寸	约 750mm (W) × 1800mm (H) × 1170mm (D)
每簇锂电池组重量	~1400kg
噪音	<65dB
内阻	$1\text{m}\Omega$
容量均衡性	3%
BMS 温度测量精度	$\pm 2^\circ\text{C}$
BMS 温度采样周期	100ms

表 5 每簇锂电池组基本参数

3.2.1 锂电池布置

锂电池布置图参考图 4。

电池柜
(高度 1800mm)

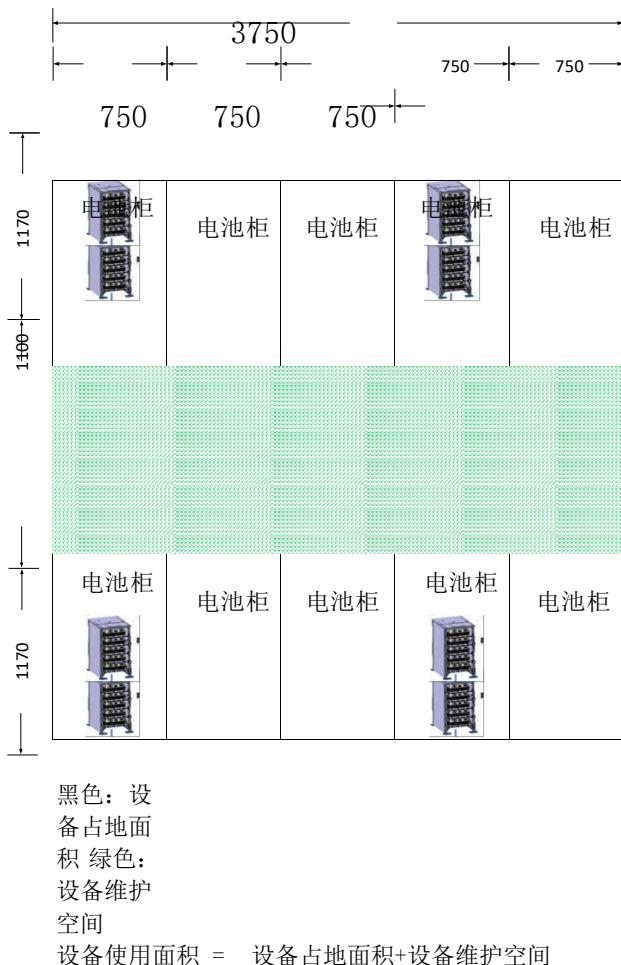


图 4 锂电池组布置图

3.2.2 BMS 管理系统

3.2.2.1 电池系统的 BMS 系统分二级管理，每级 BMS 主要功能如下：

3.2.2.1.1 一级 BMS 能够监测单体电芯的电压、温度和单个托盘的总电压，并通过通信向二级 BMS 实时传递以上信息。一级 BMS 不和上位和外部系统进行通信。

3.2.2.1.2 二级 BMS 连接所有的一级 BMS，能够检测整组电池的总电压、总电流，并通过现场总线向直流母线变频配电控制系统的充放电柜实时传递以上信息。能够显示电池充放电时容量、健康状态。控制继电开关和盘级单元电压

的均衡性。并且通过通讯方式与上位和外部系统进行通信。

3.2.2.2 电池管理具体功能如下：

3.2.2.2.1 模拟量测量功能：应能实时测量电池组串电压，充放电电流、温度和单体电池端电压、漏电监测等参数。

3.2.2.2.2 电池系统运行报警功能：在电池系统运行出现过压、欠压、过流、高温、低温、漏电、通信异常、电池管理系统异常等状态时，应能显示并上报告警信息。

3.2.2.3 电池系统安全管理：在电池系统运行时，如果电池的过充、过放、过电流、过温、低温等超过安全保护门限的情况时，电池管理系统应能够实现就地故障隔离，将问题电池组串退出运行，同时上报保护信息。

3.2.2.4 自诊断功能：电池管理系统具备自诊断功能，对电池管理系统与外界通信中断，电池管理系统内部通信异常，模拟量采集异常等故障进行自诊断，并能够上报到就地监测系统。

3.2.2.5 运行参数设定功能：电池管理系统运行各项参数应能通过本地和远程两种方式在电池管理系统或储能站监控系统进行修改，并有通过密码进行权限认证功能。

3.2.2.6 本地运行状态显示功能：电池管理系统应能够在本地对电池系统的各项运行状态进行显示，如系统状态，模拟量信息，报警和保护信息等。

3.2.2.7 事件及历史数据记录功能：电池管理系统应能够在本地对电池系统的各项事件及历史数据进行存储，记录不少于 10000 条事件及不少于 10 天的历史数据。

4 主推进电机技术

4.1 概述

本规格书给出了主推进电机的技术特性等信息，系统采用的是异步变频电机作为主推进电机，主推进电机与直流母线变频控制配电系统的变频器模块相匹配，实现主推进器的变频调速及转矩控制，以驱动主推进器。

4.2 技术参数

主推进电机的技术参数见表 6。

主推进电机	
制造商	ABB 电机或同等制造商
类型	异步变频电机
额定电压	3ph 380V
额定功率	110kW
额定转速	1500rpm
运行频率	0~50Hz
工作制	S1
效率	>94.6%
绝缘等级	F 级
冷却方式	水套冷
安装方式	IMB3
防护等级	IP55
功率因数	0.87
尺寸	见图表 5
重量	待定
维护空间	电机非轴伸端需 1 米的维护空间
冷却水温度	待定
冷却水进出口压差	待定
冷却水压力	待定
冷却水流量	待定
辅助部件	6 套 PT100 绕组测温端子; 2 套 PT100 轴承测温端子; 1 套冷却水泄露传感器;
	防凝露加热器;

表 6 主推进电机的技术参数

4.3 结构尺寸

主推进电机结构尺寸见图 5。注：根据应用细化，图纸尺寸可能微调，最终以认可图为准，但外形尺寸如超出图纸中的范围必须得到船东、设计院的认可。

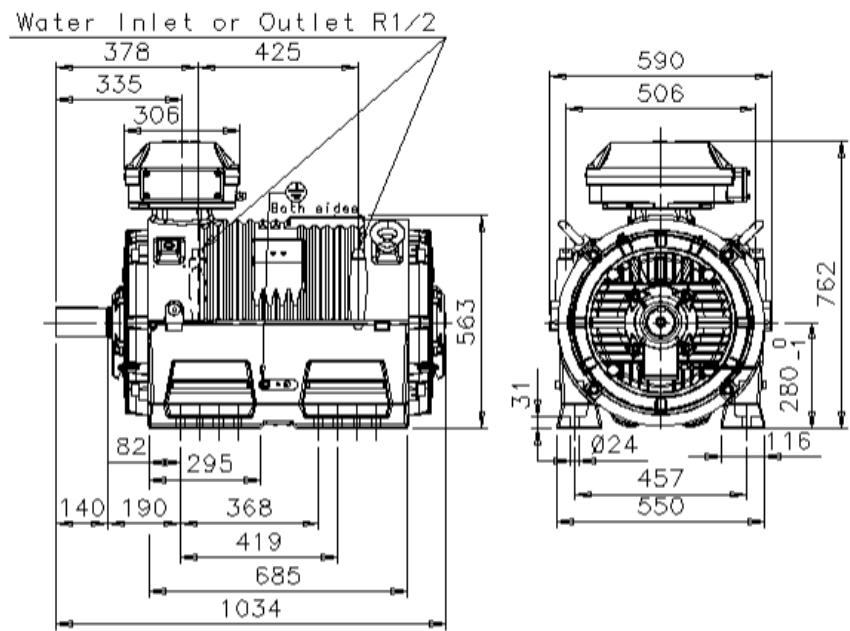


图 5 主推进电机结构尺寸

4.4 接口信息

主推进电机的接口信息主要包括：机械接口为底座底脚螺栓安装。电气接口中主电路接口为定子电缆连接，电源接口为 380V 三相电源一路，220V 单相电源一路，主要为冷却风机及加热器供电。控制接口主要包括温度传感器、流量传感器、速度传感器等传感器信号。以上接口信息的具体参数将在《设备端子接口图》中给出。

5 直流组网技术描述

5.1 主要特点和优势

直流组网的电力推进系统有效增加了设备的集成度，与传统的交流网电力推进系统相比，方案具备以上的特性优势：

5.1.1 设备占地面积和重量大幅降低：直流组网技术降低了所采用的设备数量，并且提高了设备的集成度。

5.1.2 更低的谐波及谐振风险：由于方案组网采用直流连接，因此在设备的谐波特性不会互相影响，也不会影响全船电网，因此系统在谐波、谐振方面的技术和施工风险都比传统方案明显降低。

5.2 针对目标应用的特定优势

更好的对电池的技术兼容性：相比起交流组网模式，直流组网技术与电池等储能设备具有更好的技术兼容性，由于电池同样为直流输出，直流网与电池的接口仅为简单的 DC/DC 斩波器，可以简单的集成在直流母线变频控制配电系统内，而交流组网模式需要单独的电池的逆变器、相应的变压器、以及配电板中的电池配电屏，方可将电池并入船舶电网。具体电池接口的比较见图 6。

交流电网系统

直流电网系统



图 6 电池接口比较

5.3 组网方式

系统的组网方式为直流组网，即船舶上的锂电池组与用电负载通过直流母线连接，但推进电机与日用负载皆为交流负载。

为了保证 50%的冗余度，整个直流母线被分为两部分，两部分的直流电网可以长期单独运行也可以长期并联运行，在故障或其他运行要求下，两部分的直流电网可以与单独的锂电池组形成独立的动力推进系统。

直流母线变频控制配电系统中用于提供船舶电网电源的变频器将采用正弦波滤波器，以保持优质的电压波形质量，从而满足船级社以及相关标准的要求。

5.4 故障选择性

与交流组网系统类似，整个直流组网系统可以提供足够的故障选择性（也称为“电器协调性”），以保证系统在设备故障和线缆短路等情况下，可以保持其他设备最大程度的正常运行。如果船舶日用负载发生短路，变频器将具备足够的短路电流支撑能力，该电流将持续足够的时间，保证能够选择性地触发负载回路中的断路器或熔断器，满足船舶电网的故障选择性要求。

6 结论

实际装船后经过 1 年半的使用情况发现该系统的主要优点还是能满足船东的使用需求的。

(1) 从绿色环保的要求上来看，满足船东的所有要求，且振动和噪音等非常小低于 55 分贝。

(2) 系统运行平稳，没有出现我们所担心的精密测量设备的损坏，无论水体的测量还是空气的测量其精度没有受到本船自身的影响。

作者简介：

汪涛（1981—），男，高级工程师，主要从事船舶动力装置的设计工作



江苏船舶微信公众号，欢迎关注，欢迎投稿！