



5000 吨
起重铺管船电气设备原理
与使用维护系列丛书

中压配电系统

(第一分册)

总 主 编 王华胜
本 册 主 编 丁相强
本 册 副 主 编 王华胜



大连海事大学出版社
DALIAN MARITIME UNIVERSITY PRESS



5000 吨
起重铺管船
与使用维护系列丛书

编著 (甲) 日 编著 王华胜

大连五次：大连一 编著 丁相强 王华胜

9.7105 大连出版

大连海事大学出版 大连海事大学出版 大连海事大学出版 大连海事大学出版

编著 丁相强 王华胜

中压配电系统

(第一分册)

总 主 编 王华胜
本 册 主 编 丁相强
本 册 副 主 编 王华胜



大连海事大学出版社
DALIAN MARITIME UNIVERSITY PRESS

© 王华胜 2017

图书在版编目(CIP)数据

中压配电系统 / 丁相强主编. — 大连 : 大连海事
大学出版社, 2017. 9

(5000 吨起重铺管船电气设备原理与使用维护系列丛
书 / 王华胜总主编 : 第一分册)

ISBN 978-7-5632-3556-8

I. ①中… II. ①丁… III. ①起重船—铺管船—船舶
配电—中压电力系统—配电系统—研究 IV. ①U674.3
②U665.14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 239237 号

大连海事大学出版社出版

地址:大连市凌海路1号 邮编:116026 电话:0411-84728394 传真:0411-84727996

<http://www.dmupress.com> E-mail:cbs@dmupress.com

大连住友彩色印刷有限公司印装

大连海事大学出版社发行

2017年9月第1版

2017年9月第1次印刷

幅面尺寸:210 mm × 297 mm

印张:25

字数:736 千

印数:1 ~ 800 册

出版人:徐华东

责任编辑:沈荣欣

责任校对:史云霞 董洪英

封面设计:解瑶瑶

版式设计:解瑶瑶

ISBN 978-7-5632-3556-8

定价:63.00 元

总前言

5000吨起重铺管船电气设备原理与使用维护系列丛书

编纂委员会成员

主任委员:王华胜

副主任委员:丁相强

委 员:徐永琦 高伟卫 魏福占 刘 道
邓赛赛 熊 睿 王颖然 李天杰
康存富 王秋天 韩朝珍 陈雪峰
沈 培

总前言

随着科学技术发展的日新月异,人类对未知领域的探索范围逐渐加大,大量的深海油气田被发现,可燃冰等新能源被开采利用,这些能源的开采利用极大地促进了深海钻井平台、深海起重船、深海铺管船等一系列高技术深海作业装备的设计、开发及使用。诸如中高压船舶电站系统、大功率电力推进系统、船舶深海动力定位系统、船舶自动化系统、深海铺管作业系统、起重机波浪补偿系统等一系列支撑远洋深海作业的新技术被不断地完善升级并投入使用,对深海海洋工程的发展起到了至关重要的支撑作用。

纵观国内各大高校、研究所及海洋工程配套供应商等,上述设备及关键系统的具体技术细节、设计、生产等尚属空白,大量的关键系统、关键技术仍垄断在国外各大供应商手中。他们对国内的采购设置了重重壁垒,对设备使用中后续的备品、备件采购,故障检修及维护保养等响应不及时,影响了设备工作性能的高效使用和海洋工程领域人才的培养。

随着我国综合国力的增强及造船工业水平的提高,我国对深海工程装备的需求也逐渐加大,先后建造完成了“海洋石油 201”“蓝鲸 1 号”等一系列深海作业装备。为了在该领域积累技术发展经验、加强人才培养,2012 年交通运输部正式立项建造烟台 5000 吨起重铺管船。该船是一艘具有自航能力、无人机舱、DP-3 动力定位、十点锚泊定位、5000 吨全回转起重能力(配置波浪补偿系统)的全球无限航区的作业船舶,同时配置有 S 型双轨铺管系统,可用于对水下沉船、沉物的打捞作业,具有应对突发事件,进行大吨位水下整体打捞、快速清障的能力,可在海上进行大型组块、平台模块、导管架等海洋工程结构物的起重吊装,同时具备平台作业支持、潜水作业支持等多项功能。

该船技术先进,在国内同类型船舶中尚属第一,创造性地应用了业内最新技术、采购了大量的进口先进设备,大部分设备为国内首次使用。编者全程参与了该项目的设计及建造过程,对该项目的设计理念及设计思路等进行了深入研究,对深海海洋工程装备的技术要求等进行了深入了解。在船舶的建造过程中,通过分析研究相关进口设备、系统的文件资料,并与设备服务工程师就技术问题进行了交流,详细地了解了相关海洋工程装备的系统构成、工作原理、功能设置、操作使用、维护保养及常见故障检修等相关内容并编辑成册,为行业中的技术人员提供了一套内容全面、系统、实用的海洋工程装备系列丛书。

本系列丛书把背景工程的相关技术呈现给读者,为后续类似系统的设计、建造,相关系统设备的操作使用及维护保养,相关单位海洋工程设备的人才培养等提供了较为全面的技术理论支撑及经验支持,为国家深海海洋工程领域的技术发展及创新贡献了一份力量。

由于时间仓促,编者水平及资料有限,书中疏漏与错误在所难免,敬请读者批评、指正。

编者

2017.9

本册前言

“5000吨起重铺管船电气设备原理与使用维护系列丛书”第一分册,是根据背景工程实船安装的发电柴油机组、配电装置、电力系统、自动控制等原理而编写。

背景工程是一艘具有自航能力、AUT-0无人机舱、DP3动力定位、锚泊定位能力的全回转起重船,起重能力5000吨;同时设有S型双轨铺管系统;可用于水下沉船、沉物的打捞作业,具有应对突发事件,进行大吨位水下物体整体打捞,快速清障能力;还可在海上进行大型组块、平台模块、导管架等海洋工程结构物的起重吊装。同时具备平台作业支持、潜水作业支持等功能。

背景工程配置DP3动力定位,用于起重铺管时的深水定位,DP3动力定位等级按照ABS船级社母联开关闭环运行相关要求设计建造,高压配电采用闭环结构开环运行模式。发电柴油机组、配电装置、电力系统、自动控制根据DP3动力定位能力分析计算,采用四机舱分布形式,提高电源装置运行效率及系统可靠性,确保在DP3定位作业时故障丢失率降低到最小,减少投资成本,以达到最佳性价比要求。

背景工程推进器、起重机、铺管动力设备、锚泊定位驱动装置等均采用变频器驱动,电力系统设计制造中严控配电系统电能质量,确保系统未来运行的动态稳定性。

背景工程高压配电板采用闭环结构开环运行,母排母联开关闭合运行,给电力系统保护及控制系统所有供电提出很高的要求,以保证未来各系统的运行可靠性。

本书主要针对船舶中压配电系统的特点,联系本背景船,中压系统从设计理念到使用维修保养,以全面、系统、实用为出发点而编写的。本书共分为七章:第一章介绍背景船中压配电系统;第二章介绍短路电流计算及谐波分析;第三章介绍背景船中压配电屏的控制;第四章介绍背景船中压配电系统的保护;第五章介绍中压配电柜的维护;第六章介绍继电保护理论知识;第七章介绍电缆及其附件。

在本书编写过程中,得到了本背景工程的设计单位——上海佳豪船舶工程设计股份有限公司的大力支持。教授级高工韩朝珍长期从事电力推进船舶的设计和建造工作,主持了国内第一条电力推进船“中铁渤海”火车客渡船的设计,在本背景工程设计中呕心沥血,感谢她在百忙之中抽出时间对本书进行了审校;感谢佳豪海工部总经理陈雪峰,及电气科王亮、贾颖辉对本书编写的大力支持。

为了给行业中的技术人员奉献一本内容全面、系统、实用的中压配电系统书籍,书中

部分内容引用了西门子及其他作者的文章,但是因各种原因未能与作者取得联系,在此对他们表示感谢。

本书把背景工程的相关技术都呈现给未来使用者及有相关需求的读者。读者若要了解船舶中压配电系统的相关知识并提高业务水平,本书则是一本较为实用的参考资料。

由于时间仓促,人手及资料有限,书中疏漏与错误在所难免,敬请读者批评、指正。

编者

2017.5

目 录

第一章 中压配电系统概述	1
第一节 5000 t 起重铺管船简介	1
第二节 AC 6 600 V 中压电站配置情况	2
第三节 电力负荷分析计算	4
第四节 电站机组在各种工况下的运行概况	9
第五节 背景船 PMS 模式功能描述	10
第六节 DP2/DP3 合排/闭环运行简介	13
第二章 短路电流、电压降及谐波分析	15
第一节 短路的类型	19
第二节 背景船短路引起的瞬态电压骤降影响分析	23
第三节 背景船电力系统谐波分析	29
第四节 背景船中压配电盘接地故障分析	43
第三章 中压配电屏控制	49
第一节 高压配电屏开关在各种工况下的控制流程	49
第二节 中压配电屏控制	77
第三节 断路器	80
第四节 母排跨接开关屏面板器件及内部元件功能	88
第五节 定位绞车变压器屏面板器件及内部元件功能	110
第六节 推进变压器屏面板器件及内部元件功能	114
第七节 日用变压器屏面板器件及内部元件功能(DN)	118
第八节 发电机屏面板器件及内部元件功能(DA#)	123
第九节 铺管变压器屏面板器件及内部元件功能(波浪补偿,吊机主钩、副钩)	141
第十节 母排内部连接开关屏面板器件及内部元件功能(DS#)	144
第十一节 母排提升屏	150
第四章 中压配电系统保护	151
第一节 背景船 6 600 V 中压电力系统保护	151
第二节 母联跨接屏综保系统	166
第三节 定位绞车屏综保系统	187
第四节 日用变压器屏综保系统	209
第五节 推进器屏综保系统	240
第六节 发电机屏综保系统	244
第七节 铺管变压器屏(波浪补偿,吊机主钩、副钩)综保系统	278
第八节 发电机中性点接地电阻箱	279
第九节 背景船主开关、接地开关的联锁	281
第十节 背景船中压板弧光压力保护	282

第五章 高压配电柜维护	285
第一节 NXAIRS 开关柜	285
第二节 开关柜结构	290
第三节 NXAIRS 安全性	295
第四节 维护与备件	296
第五节 开关柜的操作步骤	297
第六节 高压柜故障的消除方法	309
第七节 开关柜螺栓力矩	310
第八节 开关柜五防联锁	310
第六章 继电保护	315
第一节 保护装置配置依据	315
第二节 电力系统电流-时限保护	319
第三节 电网接地故障种类及保护策略	328
第四节 发电机继电保护	340
第五节 电弧光保护	349
第六节 船舶过流选择性保护	356
第七节 变压器内部故障主保护原理	356
第七章 电缆及附件	366
第一节 中低压电力电缆及附件	366
第二节 本背景船使用的中压电力电缆及附件	379
附录 A:短路保护的最小灵敏系数	383
附录 B:背景船动力分布框图	385
附录 C:背景船中低压配电屏单线图	386
参考文献	390

第一章 | 中压配电系统概述

第一节 5 000 t 起重铺管船简介

5 000 t 起重铺管船为国内首次设计建造的一艘具有多种作业功能要求的海洋工程辅助作业船；满足工程作业的电站容量需求较大、DP3 动力定位对各种作业工况下电能及配电系统的要求；DP3 动力定位母联开关闭合运行对电力系统保护要求极高。

5 000 t 起重铺管船主要用于中国沿海（如我国渤海、黄海、东海、南海等海域）水下沉船、沉物的抢险救助打捞作业，具有应对突发事件、进行大吨位水下物体整体打捞、快速清障等能力，并能兼顾在全球主要海区（如太平洋、印度洋、大西洋等海域）进行大型组块、平台模块、导管架的起重吊装，提供平台作业支持、潜水作业等作业需求。

安装 S 型铺管系统设备

舱室布置满足 398 人同时在船上作业、住宿的要求。

作业区域环境条件

起重机作业条件：

有义波高 $H_{1/3}$	3 m
波浪周期	3.5 ~ 13 s
风速	15.4 m/s
流速	3.0 kn
环境温度	$-20\text{ }^{\circ}\text{C} < t \leq 45\text{ }^{\circ}\text{C}$

动力定位环境条件：

有义波高 $H_{1/3}$	3 m
风速	15.4 m/s
流速	2.0 kn

锚泊定位环境条件：

有义波高 $H_{1/3}$	3 m
风速	15.4 m/s
流速	3.0 kn
水深	150 m

为满足自航、全回转起重、铺管等多种功能要求，主要技术参数如下：

船尾设置一台起重能力为固定吊 5 000 t/全回转吊 3 500 t 的起重机。

快速抗横倾调载系统的调载能力满足起重机最大全回转吊重工况 14 min 回转 90°的要求。

总体主参数

总长：	196.00 m
-----	----------

型宽:	47.68 m
型深:	15.00 m
设计吃水:	7.50 m
最大吃水:	10.60 m
最大航速(设计吃水):	13.5 kn
床位定员:	398 P

CCS 船级符号如下:

★CSA Floating Crane, Lifting appliance, Salvage Ship, Pipe Layer, SPS, PSPC (B), Ice Class B, Loading Computer (S,I,D), Helicopter Facilities, Electrical Propulsion System, In-Water Survey

★CSM AUT-0, DP-3, Electrical Propulsion System, ECM, SCM, Clean, FTP, GWC, AFS, BWMP, COMF (NOISE) 3, COMF (VIB) 3, NEC(II), BWMS

ABS 船级符号如下:

+A1 Offshore Support Vessel (Heavy Lift, Pipe Lay, DSV Capable, ROV Capable, SPS), E, +AMS, +ACCU, +DPS-3, BWT, CPS, CRC, ENVIRO, HAB (WB), HELIDK, Ice Class D0, MLC-ACCOM, POT, UWILD

第二节 AC 6 600 V 中压电站配置情况

根据分析计算确定的主要技术参数如下:

主发电柴油机组:6台、AC 6 600 V、6 680 kW、50 Hz

6台主柴油发电机组可长期并联运行

4个独立机舱

4块高压配电板

4台2 800 kVA 日用变压器

4块400 V 低压配电板

1块400 V 应急配电板和1块230V 应急配电板

2块400 V 厨房设备配电板和洗烘衣设备配电板(带隔离变压器)

4块230 V 低压配电板

停泊发电机组:1台、AC 400 V、1 500 kW、50 Hz

应急发电机组:1台、AC 400 V、640 kW、50 Hz

满足起重铺管 DP3 动力定位作业要求的电力系统略图见图 1.1。

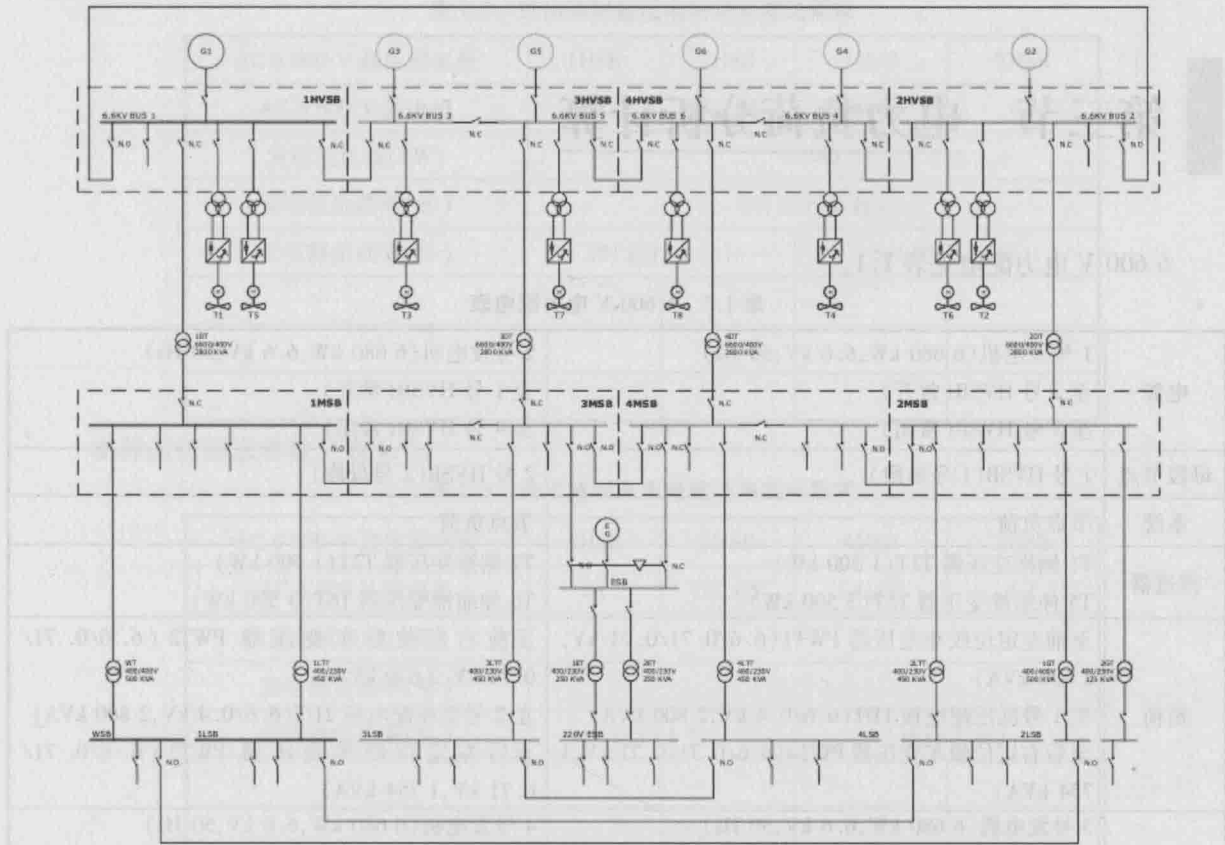


图 1.1 电力系统略图

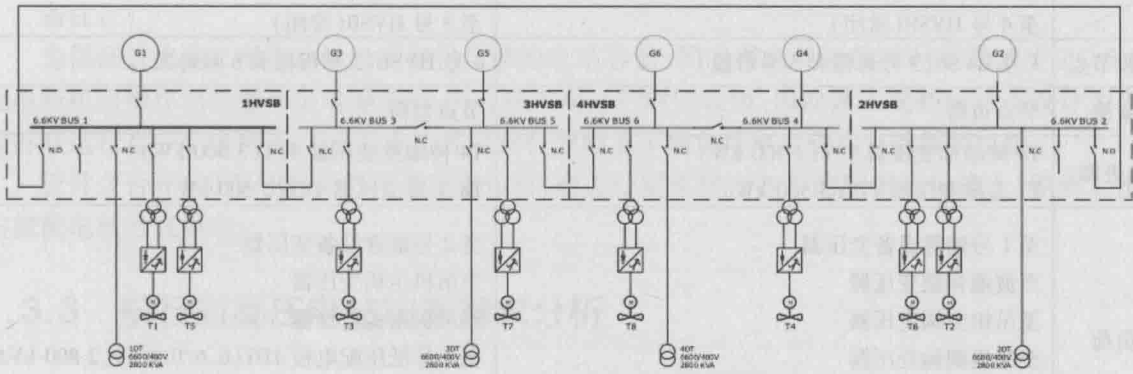


图 1.2 6.6kV 电力系统略图

6.6kV 配电盘通过 A60 级防火分隔和水密保护安装,更多信息见图 1.3。

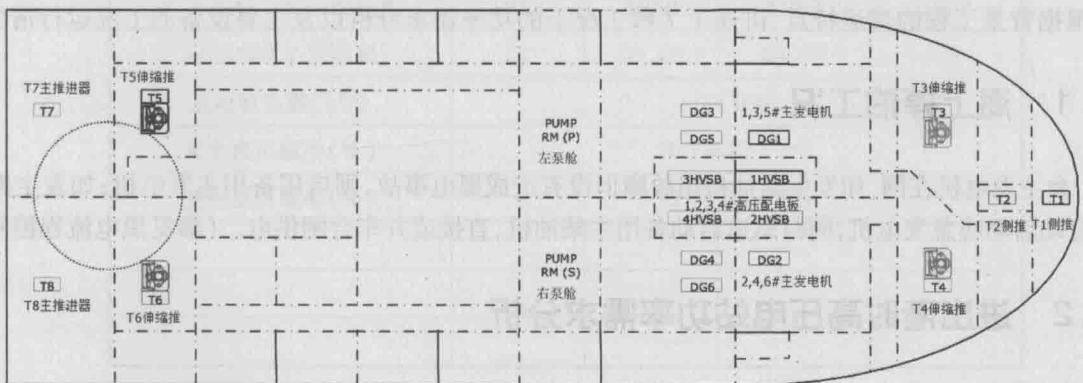


图 1.3 中压配电盘分布图

第三节 电力负荷分析计算

6 600 V 电力配电见表 1.1。

表 1.1 6 600 V 电力配电表

电源	1号发电机(6 680 kW,6.6 kV,50 Hz) 至2号HVS(常开) 至3号HVS(常闭)	2号发电机(6 680 kW,6.6 kV,50 Hz) 至1号HVS(常开) 至4号HVS(常闭)
母段节点	1号HVS(1号母段)	2号HVS(2号母段)
系统	节点负荷	节点负荷
推进器	T1侧推变压器T1T(1 500 kW) T5伸缩推变压器T5T(3 500 kW)	T2侧推变压器T2T(1 500 kW) T6伸缩推变压器T6T(3 500 kW)
负荷	至前左定位绞车变压器PWT1(6.6/0.71/0.71 kV, 2 630 kVA) 至1号低压配电板1DT(6.6/0.4 kV,2 800 kVA) 至后右定位绞车变压器PWT4(6.6/0.71/0.71 kV,1 754 kVA)	至前右定位绞车变压器PWT2(6.6/0.71/ 0.71 kV,2 630 kVA) 至2号低压配电板2DT(6.6/0.4 kV,2 800 kVA) 至后左定位绞车变压器PWT3(6.6/0.71/ 0.71 kV,1 754 kVA)
电源	3号发电机(6 680 kW,6.6 kV,50 Hz) 5号发电机(6 680 kW,6.6 kV,50 Hz) 至1号HVS(常闭) 至4号HVS(常闭)	4号发电机(6 680 kW,6.6 kV,50 Hz) 6号发电机(6 680 kW,6.6 kV,50 Hz) 至2号HVS(常闭) 至3号HVS(常闭)
母段节点	3号HVS(3号母段和5号母段)	4号HVS(3号母段和6号母段)
系统	节点负荷	节点负荷
推进器	T3伸缩推变压器T3T(3 500 kW) T7主推变压器T7T(5 500 kW)	T4伸缩推变压器T4T(3 500 kW) T8主推变压器T8T(5 500 kW)
负荷	至1号铺管设备变压器 至波浪补偿变压器 至吊机主钩变压器 至吊机副钩变压器 至3号低压配电板3DT(6.6/0.4 kV,2 800 kVA) 至左高压岸电箱	至2号铺管设备变压器 至吊机主钩变压器 至吊机副钩变压器 至4号低压配电板4DT(6.6/0.4 kV,2 800 kVA)

根据背景工程的营运特点,讲述了7种工况下的功率需求分析以及主要设备的工况运行情况。

1.3.1 海上停泊工况

1台主发电机在网,如发生柴油机组故障但没有造成黑电事故,则启用备用主发电机;如发生黑电事故则自动启动应急发电机,同时迅速启动备用主柴油机,直接或并车合闸供电。(参见黑电流程控制)

1.3.2 进出港时高压电站功率需求分析

理论需求参数见表 1.2。

表 1.2 进出港时高压电站功率理论需求

AC 6 600 V 高压配电板	1HSB	3HSB	4HSB	2HSB
AC 6 600 V 发电机	G1	G3, G5	G4, G6	G2
发电机负载(kW)	8 540			
发电机负载率(%)	64(运行 2 台)			
变压器负载率(%)	58(运行 1 台)		54(运行 1 台)	

实际运行需求参数见表 1.3。

表 1.3 进出港时高压电站功率实际需求

AC 6 600 V 高压配电板	1HSB	3HSB	4HSB	2HSB
AC 6 600 V 发电机	G1	G3, G5	G4, G6	G2
发电机负载(kW)				
发电机负载率(%)	(运行 2 台)			
变压器负载率(%)	(运行 1 台)		(运行 1 台)	

备注:

为保证进出港工况机动性必须提供足够的电站容量,同时考虑机动航行时尽量减少 AC 6 600 V 配电板机组操作以防意外失电等事故,并且该工况运行时间较短,因此该工况初始状态设计为 3 台主发并联运行在一个电网上,3 台发电机并联运行原则上不随负荷率变化而自动解列机组。

设计 2 台 6 600 V/400 V 日用变压器运行,副边分别连接在各自的配电板母排上,原则上按照左右舷配电板分区供电。

1.3.3 航行时高压电站功率需求分析

理论计算参数见表 1.4。

表 1.4 航行时高压电站功率理论需求

AC 6 600 V 高压配电板	1HSB	3HSB	4HSB	2HSB
AC 6 600 V 发电机	G1	G3, G5	G4, G6	G2
发电机负载(kW)	14 020			
发电机负载率(%)	70(运行 3 台)			
变压器负载率(%)	93(运行 1 台)			

实际运行参数见表 1.5。

表 1.5 航行时高压电站功率实际需求

AC 6 600 V 高压配电板	1HSB	3HSB	4HSB	2HSB
AC 6 600 V 发电机	G1	G3, G5	G4, G6	G2
发电机负载(kW)				
发电机负载率(%)	(运行 3 台)			
变压器负载率(%)	(运行 1 台)			

备注:

由于在航行工况下,开始航行时用电负荷不高,因此设计该工况初始状态为 2 台主发运行在同一电网上。当随着推进负荷的增加,有足够的时间让 PMS 依据实际负荷启动备用发电机时,提供 3 台发电机在网运行;2 台日用变压器 6 600 V/400 V,副边分别连接在各自的配电板母排上,原则上按照左右舷配电板分区供电。

1.3.4 锚泊起重时高压电站功率需求分析

理论计算参数见表 1.6。

表 1.6 锚泊起重时高压电站功率理论需求

AC 6 600 V 高压配电板	1HVSB	3HVSB	4HVSB	2HVSB
AC 6 600 V 发电机	G1	G3, G5	G4, G6	G2
发电机负载(kW)	15 625			
发电机负载率(%)	78 (运行 3 台)			
变压器负载率(%)	50	46	54	46

实际运行参数见表 1.7。

表 1.7 锚泊起重时高压电站功率实际需求

AC 6 600 V 高压配电板	1HSB	3HSB	4HSB	2HSB
AC 6 600 V 发电机	G1	G3, G5	G4, G6	G2
发电机负载(kW)				
发电机负载率(%)	(运行 3 台)			
变压器负载率(%)				

备注:

需要 4 台主发工作在左右对称的两块中压配电盘上,其余发电机处于自动备用状态;4 个日用变压器 6 600 V/400 V 分别向 4 块辅助配电盘供电。如果需要减少发电机工作数量,可以手动操作。

1.3.5 锚泊铺管时高压电站功率需求分析

理论计算参数见表 1.8。

表 1.8 锚泊铺管时高压电站功率理论需求

AC 6 600 V 高压配电板	1HSB	3HSB	4HSB	2HSB
AC 6 600 V 发电机	G1	G3, G5	G4, G6	G2
发电机负载(kW)	13 500			
发电机负载率(%)	67 (运行 3 台)			
变压器负载率(%)	72		55	

实际运行参数见表 1.9。

表 1.9 锚泊铺管时高压电站功率实际需求

AC 6 600 V 高压配电板	1HSB	3HSB	4HSB	2HSB
AC 6 600 V 发电机	G1	G3, G5	G4, G6	G2
发电机负载(kW)				
发电机负载率(%)	(运行 3 台)			
变压器负载率(%)				

备注:

需要 4 台主发工作在左右对称的两块中压配电盘上,其余发电机处于自动备用状态;4 个日用变压器 6 600 V/400 V 分别向 4 块辅助配电盘供电。如果需要减少发电机工作数量,可以手动操作。

1.3.6 DP3 起重时高压电站功率需求分析

理论计算参数见表 1.10。

表 1.10 DP3 起重时高压电站功率理论需求

AC 6 600 V 高压配电板	1HSB	3HSB	4HSB	2HSB
AC 6 600 V 发电机	G1	G3, G5	G4, G6	G2
发电机负载(kW)	22 070			
发电机负载率(%)	82.5 (运行 4 台)			
变压器负载率(%)	45	56	70	43

实际运行参数见表 1.11。