



船舶设计 实用手册

电气分册

中国船舶工业总公司 编

国防工业出版社

第 1 篇 总 论

第 1 章 船舶电气设备系统设计总述

1.1.1 船舶电气设备系统设计的任务

船舶设计的任务,是根据船舶使命,按照船东和有关规则、规范的要求,设计出技术性能指标合理、经济性良好的船舶。电气设备系统设计仅是其中一个专业。随着船舶大型化、自动化和节能化的发展,电气设备系统设计的任务越来越重,在船舶设计中的地位也日趋重要。

通览电气设备系统设计的工作内容,虽然不同类型的船舶可能略有区别,但其可以大致概述为:

1. 船舶电力系统设计——诸如电源装置的选择、配电系统的设计、配电装置的设计及电力系统保护设计等。
2. 电力拖动系统设计——诸如船舶辅助机械电力拖动、起锚系统机械电力拖动、起重机电力拖动和舵机电力拖动设计等。
3. 照明系统设计——诸如照明系统设计和航行信号灯系统设计等。
4. 电力推进系统设计——诸如电力推进系统主电路、励磁系统及控制、保护系统的设计等。
5. 船内通信系统设计——诸如电话、操纵信号设备、广播和收音系统等。
6. 无线电通信和导航系统设计——诸如无线电通信及雷达、计程仪、测深仪和自动驾驶仪等船舶导航设备的系统等。
7. 机舱自动化设计——随着船舶自动化水平的日益提高,机舱自动化设计已成为船舶电气设备系统设计的重要组成部分,诸如机舱监视报警、主机遥控和自动电站等设计。
8. 特种船舶专用设备的电气系统设计——诸如渔业加工船、海洋调查船、汽车渡船、挖泥船等所用专用设备的电气系统设计。

1.1.2 船舶电气设备系统的分类

根据船舶电气设备系统设计的任务,按电气设备的性质和用途,船舶电气设备系统可以分为^[1]:

1. 电力系统。
2. 电力拖动系统。
3. 照明系统。

4. 电力推进系统。
5. 船内通信系统。
6. 导航系统。
7. 无线电通信系统。
8. 专用设备控制系统。

不言而喻,上述各系统相互之间有着密切联系,在进行各系统设计时,必须注意彼此间的关联问题。

1.1.3 本手册的内容概述

本手册包括以下主要内容:

1. 船舶电气设备系统设计总述。
2. 船用环境条件和电气参数。
3. 船舶电力系统。
4. 船舶机械电力拖动。
5. 船舶电力推进。
6. 机舱自动化。
7. 船舶照明和信号灯。
8. 船内通信。
9. 无线电通信和导航。
10. 附录,包括:
 - 船舶电气常用国际标准索引;
 - 产品性能介绍。

在本手册编写中,从实际使用出发,系统地阐述船舶总体设计中电气设备系统设计有关基础理论,详细地介绍电气设备系统设计原则和有关计算方法,并列入了设计、计算和设备选型实例。

编写中特别注重“设计”、“实用”和“手册”的特点,列入了国内外有关规范和规则的基本要求,汇集了科技人员的工作实践经验和科研成果,同时吸收了国外先进技术,是进行船舶电气设备系统设计的实用性工具书。

由于船舶电气设备系统设计受有关规范和规则的约束,所以必须注意各有关要求的变更。这些规范和规则主要有,

- 国际海事组织 IMO——International Maritime Organization;
- 国际海上人命安全公约 SOLAS——International Convention for the Safety of Life at Sea;
- 国际船级社联合会 IACS——International Association of Classification Societies;
- 国际标准化组织 ISO——International Organization for Standardization;
- 国际电工委员会 IEC——International Electrotechnical Commission;
- 中国船级社 CCS——China Classification Society;
- 日本海事协会 NK——Nippon Kaiji Kyokai;
- 美国船级社 ABS——American Bureau of Shipping;
- 挪威船级社 DNV——Det Norske Veritas;

英国劳氏船级社 LR——Lloyd's Register of Shipping;

德国劳氏船级社 GL——Germanischer Lloyd;

法国船级社 BV——Bureau Veritas;

苏联船舶登记局 RS——Ussr Register of Shipping;

美国电机电子工程师学会 IEEE——Institute of Electrical and Electronics Engineers。

1.1.4 设计阶段划分及各设计阶段的任务

1.1.4.1 设计阶段划分

一般划分为4个设计阶段,即:

1. 论证(方案)设计
2. 初步设计(或扩大初步设计)
3. 技术设计
4. 施工设计

具体设计阶段划分,一般在产品的设计合同中已予以规定,可合并或减少。根据委托方要求,也可以按基本设计、详细设计和生产设计来划分设计阶段。一旦设计阶段确定,应按规定的设计阶段工作内容开展设计,前一阶段设计工作未达到要求时,不能转入下一阶段工作。

1.1.4.2 各设计阶段的任务

1. 论证(方案)设计

开展多方案的技术设计和论证工作。确定主要电气参数(如电压等级、电流种类和频率)、配电系统以及主电源装置类型等,确定主要通信导航设备的配备及初步选型,并确定主要电气设备厂商表。有条件的话,可以绘制全船配电系统单线图,明确自动化水平。

2. 初步设计(或扩大初步设计)

根据任务书的要求,研制最优技术方案。主要设计工作为:

- 1) 估算全船电力负载——确定发电机组的容量和台数。
- 2) 确定全船配电系统——根据全船用电设备,按电力、照明、拖动和通信导航系统绘制配电系统图草图。
- 3) 进行短路电流估算——为主要配电设备选型提供技术依据。
- 4) 提出全船主要电气设备初步订货明细表——主要包括电源装置、配电设备、控制设备、电缆、通信、导航和无线电设备。
- 5) 估算主要设备尺寸——如主配电板。

如果条件具备,可以绘制主配电板、应急配电板单线图。

3. 技术设计

技术设计是进行深化设计的重要技术工作阶段。应以《技术任务书》和已经审查认可的初步设计为依据,优化和确定各系统的技术状态并予以固化。主要设计工作有:

- 1) 进一步核算全船电力负载。
- 2) 绘制全船各系统的系统图、控制图。
- 3) 全船电气设备布置。

- 4) 短路电流计算——为系统保护设计和设备选型提供依据。
- 5) 确定主干电缆走向。
- 6) 电气设备集中的舱室绘制安装布置图——如驾驶室、海图室、蓄电池室等。
- 7) 提出全船电气设备订货明细表。
- 8) 提出电气设备备品备件明细表。
- 9) 编制试车试航大纲及有关文件。
- 10) 其他必要的设计计算(如要求时)——如电压降计算和照度计算。

4. 施工设计

施工设计是以技术规格书和经审查认可的技术设计为依据,结合承造厂的施工要求,编制承造厂制造、安装、调试和验收的船舶全套专用图样和技术文件。

第2章 船用环境条件和电气参数

1.2.1 船用环境条件^[2,3]

当进行船舶电气设备系统设计时,特别是在电气设备选型时,必须根据船舶的航行海区、船舶种类、吨位、主机的种类和输出功率和有无特殊要求等,慎重加以考虑。由于船用环境条件的特殊性,决定了对船用电气设备的特殊要求。由于适用的规范和规则不同,要求的性能指标略有不同。一般船用电气设备应在表 1.2.1.1 规定的条件下正常工作,对于船用电子设备以及专用船舶的电气设备还另有规定。

表 1.2.1.1 船用电气设备正常工作条件

环 境 因 素	正常工作环境条件
周围空气温度最高值	+40℃ ^① +45℃
周围空气温度最低值	-25℃ ^②
海上潮湿空气影响	有
盐雾影响	有
油雾影响	有
霉菌影响	有
倾 斜	≤22.5°
摇 摆	≤22.5°
振 动	有
冲 击 ^③	有
<p>① +40℃主要适用于沿海、内河船舶用的电器,对于高于+45℃的场所应作特殊考虑。 ② 主要适用于安装在露天甲板及无保温措施的露天甲板舱室内的电器。对于低于-25℃的场所应作特殊考虑。 ③ 指船舶正常营运时产生的冲击</p>	

1.2.1.1 尺寸

由于船舶空间条件的限制,在不影响电气设备性能的情况下,其外形尺寸应尽量小。

1.2.1.2 重量

在不影响性能和强度的条件下,电气设备的重量应尽量轻;对于人工不易搬运的设备,应考虑附有便于搬运的结构设施。

1.2.1.3 环境温度

环境空气温度和初级冷却水温度如表 1.2.1.2 所示。该值与电气设备部位和船舶航行海

区有关。该表为中国船级社钢质海船入级要求,并规定适用于电子设备的环境空气温度上限值为 55℃。不同规范要求稍有不同,应充分予以注意。

表 1.2.1.2 环境温度

介 质	部 位	温 度/℃	
		无 限 航 区	除热带海区以外的有限航区
空 气	封闭处所内	0~45	0~40
	温度超过 45℃(或 40℃)和低于 0℃的处所内	按这些处所的温度	按这些处所的温度
	开敞甲板	-25~45	-25~40
水		32	25

1.2.1.4 湿度

为了使电气设备能适应其工作环境的湿度,必须充分考虑其结构材料和绝缘处理。

1.2.1.5 船舶倾斜

电气设备应满足的船舶倾斜和摇摆条件,参见表 1.2.1.3。

表 1.2.1.3 倾 斜 角 (°)

设 备、组 件	倾 斜 角 ^①			
	横 向		纵 向	
	横 倾	横 摇	纵 倾	纵 摇
应急电气设备、开关设备、电器和电子设备 ^①	22.5	22.5	10	10
上列以外的设备、组件	15	22.5	5	7.5

① 装载液化气体和化学品的船舶,其应急电源还应在船舶进水以致于最终横倾达 30°的极限状态下能保持供电。
② 纵倾、横倾可能同时出现

1.2.1.6 冲击、振动

电气设备应不受正常使用时可能产生的振动和冲击的影响,固定载流部件的螺钉和螺母应有效地锁紧,使其不因振动而松脱。必要时,对固定非载流部件的紧固件也应采取适当的措施,以保证在表 1.2.1.4 规定的振动试验条件下,无机械损伤和误动作。

表 1.2.1.4 船用电气设备应满足的振动要求

安装部位	频率范围/Hz	峰 值
一般场所	2.0~13.2	位移 $\pm 1\text{mm}$
	13.2~100.0	加速度 $\pm 7\text{m/s}^2$
往复机上和舵机舱内	2.0~25.0	位移 $\pm 1.6\text{mm}$
	25.0~100.0	加速度 $\pm 40\text{m/s}^2$

1.2.1.7 电压和频率波动

电气设备应保证在表 1.2.1.5 中所规定的电压和频率偏离额定值的波动情况下可靠工作。

表 1.2.1.5 电压和频率波动

设 备	参 数	稳态/%	瞬 态	
			%	恢复时间/s
一 般 设 备	电压波动	+6 ~ -10	±20	1.5
	频率波动	±5	±10	5
由蓄电池供电的设备: 充电期间接于蓄电池者 充电期间不接于蓄电池者	电压波动 电压波动	+30 ~ -25 +20 ~ -25	—	—

1.2.1.8 电气间隙和爬电距离

电气设备的不同电位的带电部件之间、带电部件与其他接地金属外壳之间,无论沿表面或通过空气之距离,计及绝缘材料性质和使用条件,应足以承受其工作电压。为此,有关规范和规则均规定了最小电气间隙和爬电距离。

1.2.1.9 盐雾、油雾和霉菌

由于电气设备的使用环境会受到盐雾、油雾和霉菌的影响,所以必须充分考虑耐腐蚀和不使绝缘性能变坏的措施。例如电气设备的材料和绝缘材料应考虑防盐雾、油雾和霉菌。

1.2.1.10 爆炸性气体环境条件

在爆炸性气体环境条件下工作的电气设备,必须满足有关用于爆炸性气体环境电气设备的要求,如 IEC79 号出版物和 IEC92-502 号出版物的附录 A 等。

防爆型式和标志为:

- 隔爆型 d;
- 增安型 e;
- 本质安全型 i_a, i_b ;
- 正压型 P;
- 充油型 o;
- 充砂型 q;
- 无火花型 n;
- 特殊型 s。

防爆电气设备分为下面两类:

- I 类——煤矿井下用电气设备;
- II 类——工厂用电气设备。

II 类电气设备按其适用的爆炸性气体混合物最大试验安全间隙 δ_{max} 或最小点燃电流比 MICR 分为 A, B, C 三级,如表 1.2.1.6 所示。

II 类电气设备的允许最高表面温度应符合表 1.2.1.7 的规定。

表 1.2.1.6 II 类电气设备分级

级别	$\delta_{\text{min}}^{\text{①}}/\text{mm}$	MICR ^②
II A	$\delta_{\text{min}} > 0.9$	MICR > 0.8
II B	$0.9 > \delta_{\text{min}} > 0.5$	$0.8 > \text{MICR} > 0.45$
II C	$0.5 > \delta_{\text{min}}$	$0.45 > \text{MICR}$
① δ_{min} 是按 IEC79-1A(1975)附录 D 方法测得的最大试验安全间隙。		
② MICR 是按 IEC79-3(1972)方法测得的最小点燃电流与甲烷测得的最小点燃电流的比值		

表 1.2.1.7 II 类电气设备温度组别

温度组别	允许最高表面温度/℃
T1	450
T2	300
T3	200
T4	135
T5	100
T6	85

一般船舶的油漆间、蓄电池和油灯间等有爆炸危险处所中,允许安装的合格防爆电气设备的类、级别和温度组别应不低于表 1.2.1.8 的规定。

表 1.2.1.8 一般船舶危险舱室允许安装防爆电气设备要求

处 所	类、级别	温度组别
蓄电池室	II C	T1
油漆间	II B	T3
油灯间	II A	T3
氨装置室	II A	T1
乙炔储藏室	II C	T2
危险货物舱	按载运的危险货物类别	按载运的危险货物类别
60℃及 60℃以下闪点的油管管隧	II A	T3
注:本表的防爆类、级别 II A, II B, II C 仅适用于隔爆型电气设备及本质安全型电路和电气设备,若采用其他类型防爆电气设备,则应采用 II 类设备		

由于船舶环境条件恶劣,还有很多因素应予以充分考虑,例如外部磁场、尘埃、噪音、无线电干扰以及意外触电和火灾等。

1.2.2 外壳防护等级

电气设备的外壳防护型式,应符合 IEC529 号出版物《外壳防护等级分类》或与其等效的国家标准的规定。表示防护等级的标志由特征字母 IP 及后面加两位数字组成。特征数字表示的防护等级规定,如表 1.2.2.1 和表 1.2.2.2 所示。

表 1.2.2.1 第一位特征数字表示的防护等级

第一位特征数字	防 护 等 级	
	简 述	定 义
0	无 防 护	无专门防护
1	防护大于 50mm 的固体物	人体某一大面积部分,如手(但不防护故意接近)。直径超过 50mm 的固体物
2	防护大于 12mm 的固体	手指或长度不超过 80mm 的类似物体。直径超过 12mm 的固体物
3	防护大于 2.5mm 的固体物	直径或厚度超过 2.5mm 的工具、线材等。直径超过 2.5mm 的固体物
4	防护大于 1mm 的固体物	厚度大于 1mm 的线材或带材。直径超过 1mm 的固体物
5	防 尘	并不能完全防止灰尘进入,但进入的灰尘数量不足以影响设备的良好运行
6	尘 密	灰尘不能进入

表 1.2.2.2 第二位特征数字表示的防护等级

第二位特征数字	防 护 等 级	
	简 述	定 义
0	无防护	无专门防护
1	防 滴	滴水(垂直滴落的水滴)应无有害的影响
2	15°防滴	当外壳偏离其法线位置倾斜至不超过 15°的任一角度时,垂直滴水应无有害影响
3	防淋水	偏离垂线不超过 60°的任一角度的淋水应无有害影响
4	防 溅	从任何方向向外壳溅水应无有害影响
5	防冲水	用喷嘴从任何方向向外壳喷水应无有害影响
6	防猛烈海浪	猛烈海浪的海水或强力喷嘴的喷水进入外壳不应达到有害的数量
7	防浸水	当外壳在规定的压力及时间条件下浸入水中时,应不可能进入有害数量的水
8	防潜水	设备适宜于在制造厂规定的条件下长期潜入水中 注:一般这就意味着设备是水密的。但对某些型式的设备而言,这也可意味着能进水,但不产生有害影响

电气设备采用何种防护等级,是由电气设备的安装位置决定,各安装位置中电气设备防护等级的最低要求,按 IEC92-201 要求,如表 1.2.2.3 所示。

表 1.2.2.3 防护等级的最低要求(符合 IEC529 号出版物)^①

(1) 安装位置举例	(2) 安装位置 的状况	(3) 按防护 等级的 设计	(4) 设 备 × 同第(3)栏 - 不推荐							
			配电板 控制装置 电动机启动器	发电机	电动机	变压器 半导体变流器	灯具	电热器	电炊具	耐具(例 如开关、 接线盒)
油船 ^① 氨制冷机房 蓄电池室 灯室 油漆储藏室 气焊瓶储藏室 危险货舱 含有闪点为 60℃或 60℃ 以下油的管路的管隧	有爆炸 危险	合 ^② 格 安 全 型	- - - - - -	- - - - - -	- - - - - -	- - - - - -	× × × × × ×	- - - - - -	- - - - - -	× ^③ × × × × × ×
干燥的居住处所 干燥的控制室	仅有接 触带电 部件的 危险	IP20	× ×	- -	× ×	× ×	× ×	× ×	× ×	× ×
控制室(驾驶室) 花铁板以上的机炉舱 舵机舱 制冷机室(氨装置除外) 应急发电机室 一般储藏室 配餐室 供应室	有滴液 和(或) 中等机 械损伤 危险	IP22	× × × × × × × ×	- × × - × - - -	× × × × × × × ×	× × × × × × × ×	× × × × × × × ×	× × × - × - - ×	× × × - - - - ×	× IP44 IP44 IP44 IP44 × IP44 ×
盆浴室和淋浴室 花铁板以下的机炉舱 闭式燃油分离器室 闭式滑油分离器室	增加了 滴液和 (或)机 械损伤 危险	IP34	- - IP44 IP44	- - - -	- IP44 IP44 IP44	- - - -	× × × ×	IP44 IP44 IP44 IP44	- - - -	IP55 IP55 IP55 IP55

(续)

(1) 安装位置举例	(2) 安装位置 的状况	(3) 按防护 等级的 设计	(4) 设 备 × 同第(3)栏 - 不推荐							
			配电板 控制装置 电动机起动器	发电机	电动机	变压器 半导体变流器	灯具	电热器	电炊具	器具(例 如开关、 接线盒)
压载泵舱 冷藏舱 厨房和洗衣室	增加了 滴液和 机械损 伤危险	IP44	×	-	×	×	IP34 IP34 IP34	×	-	IP55 IP55 ×
双层底中的轴隧或管隧 一般货舱	有液 ^① 体喷射 危险,有 的货舱 严重机 械损伤 腐蚀性 烟雾	IP55	×	-	×	×	×	×	-	IP56 ×
露天甲板	有大量 液体的 危险	IP56	×	-	×	-	IP55	×	-	×

① 油船见 IEC92-502 号出版物,附录 A。
 ② 在 IEC79 号出版物:《用于爆炸性气体环境中的电气设备》中提到的合格安全型设备用于露天甲板上或其他可能潮湿的处所时,可以提出附加的外壳要求。上述示例可作为指南。
 ③ 如设备本身达不到防护要求,则应采取其他措施或选择安装位置来保证达到本表规定的防护等级。
 ④ 花铁板以下的机舱、闭式燃油和滑油分离器室或要求安装合格安全型设备的处所中不应安装电源插座。
 ⑤ 对于有危险性尘埃的安装位置而言,合适的防护等级是 IP66 或合格安全型

1.2.3 电 气 参 数^[2,3]

船舶供电系统的主要电气参数有配电系统、电流种类、电压等级和频率等级等。正确地选择合适的电气参数,可以保证供电系统的可靠性和经济性。

1.2.3.1 电 流 种 类

船舶供电系统常采用的有交流和直流两种电制。由于交流电制具有许多优点,其重量、体积、电性能、操作和维修等指标都占有优势,所以很快在船舶上使用。目前,一般船舶,不论货船、液货船、集装箱船,还是客船和调查船,都优先采用交流电制。特殊船和小型船舶,如工作船和小艇,可以考虑采用直流电制,在只有少量照明为负载的小船上,甚至可以采用蓄电池组作为电源设备。

1.2.3.2 电 压

目前各规范和规则,对船舶供电系统的额定电压和最高电压均有明确的规定,IEC92-201

《系统设计——总则》中关于供电系统直流电压的推荐值,如表 1.2.3.1 所示,交流供电系统交流电压见表 1.2.3.2。

表 1.2.3.1 船舶供电系统的直流电压 (V)

用 途	额 定 电 压	最 高 电 压
动力	110, 220	500
炊具、电热	110, 220	250
照明和插座	24, 110, 220	250

1.2.3.3 频率

船舶供电系统的频率,各规范均以 50Hz 和 60Hz 作为标准频率。这一规定不包括弱电设备所需的特殊频率以及海上平台等特殊设备的频率。

1.2.3.4 配电系统

按 IEC92-201 的规定,直流配电系统和交流配电系统是有区别的,其规定如下:

1. 直流配电系统

下列系统可作为标准的配电系统:

双线绝缘系统;

以船体为回路的单线系统;

一极接地的双线系统;

中线接地但不以船体为回路的三线系统;

中线接地并以船体为回路的三线系统。

2. 交流配电系统

下列系统可作为标准的一次配电系统:

三相三线绝缘系统;

中点接地的三相三线系统。

对于 500V 及以下的所有电压,一次配电系统还可以采用下述系统:

中点接地但不以船体为回路的三相四线系统;

单相双线绝缘系统;

一极接地的单相双线系统。

下列系统可作为标准的二次配电系统:

三相三线绝缘系统;

中点接地的三相三线系统。

对于 500V 及以下的所有电压,二次配电系统还可以采用下述系统:

中点接地但不以船体为回路的三相四线系统;

单相双线绝缘系统;

一极接地的单相双线系统;

对照明和插座供电用的中线接地的单相双线系统;

中线接地但不以船体为回路的单相三线系统。

各有关规范又有些具体的规定,必须予以充分地重视。例如中国船级社《钢质海船入级

与建造规范》规定：1600 总吨及 1600 总吨以上的船舶动力、电热及照明系统，均不应采用利用船体作回路的配电系统。又规定钢铝混合结构的船舶，严禁利用铝质部分作导电回路。

对于油船、化学品船等液货船及其他特殊船舶，必须注意其配电系统的特殊要求，如油船可以采用的配电系统只限制在：

直流双线绝缘系统；

交流单相双线绝缘系统；

交流三相三线绝缘系统。

IEC92-201 推荐的船舶供电系统的交流电压和频率列于表 1.2.3.2。对于超过 1000V 交流供电系统的有关限制，请参见 IEC92-503《船舶电气设备 专辑：电压范围为 1kV 以上至 11kV 的交流供电系统》。

表 1.2.3.2 船舶供电系统的交流电压和频率

用 途	额定电压/V	额定频率/Hz		最高电压/V
1. 可靠固定和永久连接的动力、电热和炊具设备。 由插座供电的，以其本身的固定而永久接地的或以含有一（其尺寸符合 IEC92-401 号出版物：《安装和完工试验》表 I 的）连续接地导线的专用接线接地的设备	三 相	三 相	三 相	三 相
	120	50	60	1000
	220 } ①	50	60	1000
	240	50	-	1000
	380 } ②	50	-	1000
	415	50	-	1000
	440	-	60	1000
	660 ^{③④}	50	60	1000
	3000 ^④ /3300 ^④	50	60	11000
	6000 ^④ /6600 ^④	50	60	11000
	10000 ^④ /11000 ^④	50	60	
	单 相	单 相	单 相	单 相
	120	50	60	500
	220 } ①	50	60	500
	240	50	-	500
2. 固定照明，包括插座。这些插座用于项 1 和 3 未述及的用途，但拟用于具有加强绝缘或双重绝缘的设备或以含有一（其尺寸符合 IEC92-401 号出版物表 I 的）连续接地导线的软线或电缆相连接的设备	单 相	单 相	单 相	单 相
	120	50	60	250
	220 } ①	50	60	250
	240	50	-	250
3. 用于需特别当心触电处的插座： a) 用或不用隔离变压器供电； b) 用一台安全隔离变压器仅对一个用电器具供电的场合。 这些系统的两根导线均应对地绝缘	单 相	单 相	单 相	单 相
	24	50	60	55
	120	50	60	250
	220 } ①	50	60	250
	240	50	-	250
① 将来仅用 230V。 ② 将来仅用 400V。 ③ 将来仅用 690V。 ④ 仅适用于动力				

1.2.3.5 电气设备的额定电压和额定频率

船用电气设备的额定工作电压和额定工作电流组合,确定了船用电气设备的用途,各种使用类别以及相应的试验都与其有关。

对于单极船用电器,一般规定跨极两端(例如触头断开位置)的电压为额定工作电压,对于多极船用电器,一般以相间的电压为额定工作电压。

按我国现行“船用低压电器基本要求”的规定,船用电器一般应采用表 1.2.3.3 规定的额定工作电压和额定频率。

表 1.2.3.3 船用电器额定工作电压和额定频率

电流种类	额定工作电压/V	额定频率/Hz
DC	12, 24, 36, 110, 220, 440, 750	
AC	24, 36, (110), 220, 660 380 (440)	50 或 (60) 50 (60)

注:表中括号内数据仅供出口和国内维修产品用

按我国现行《船用旋转电机基本技术要求》的规定,船用电机的标称电压如表 1.2.3.4 所示。船用交流发电机的额定频率为 50Hz 和 60Hz。

船用变频机的额定电压为 120(或 115)V, 230(或 208)V 和 400(或 390)V;额定输出频率为 400Hz 和 500Hz。

表 1.2.3.4 船用旋转电机标称电压

标称电压/V	交 流 电 机			直 流 电 机	
	额定频率/Hz	额 定 电 压/V		额 定 电 压/V	
		发电机	电动机	发电机	电动机
24				28	24
110	50, 60	115 ^①	110 ^①	115	110
220	50, 60	230	220	230	220
380	50	390, 400	380		
440	60	450	440	460	440
660	50, 60	690 (600) ^③	660 (600) ^③		
800				800 ^② 750 ^③	800 ^② 750 ^③
3000	50, 60	3150	3000		
6000	50, 60	6300	6000		
10000	50, 60	11000			

① 仅适用于单相电机。

② 为单台供电的电压参数。

③ 仅供移动和固定式近海装置

按中国船级社规定,配电系统的最高电压如表 1.2.3.5 所示。根据我国有关标准,船舶配电系统的电压和频率如表 1.2.3.6 所示。

表 1.2.3.5 配电系统的最高电压

序号	用 途	最高电压/V	
		直流	交流
1	电力推进装置	1200	15000
2	固定安装、连接于固定布线、交流设备并符合第 4 篇第 2 章第 16 节要求的电力设备	500	15000
3	(1) 固定安装并连接于固定布线的电力设备、电炊设备和除室内取暖器以外的电热设备 (2) 固定安装的电力设备和除室内取暖器以外的电热设备,由于使用上的原因需用软电缆连接者,例如可移动的起重机等 (3) 以软电缆与插座连接,运行中不需手握持,并以截面积符合第 4 篇 1.3.4.4 要求的连续接地导体可靠接地的可移动设备,例如电焊变压器等	500	1000
4	(1) 居住舱室内的照明设备、取暖器 (2) 向下列设备供电的插座: ① 具有双重绝缘的设备; ② 以符合第 4 篇 1.3.4.4 要求的连续接地导体接地的设备	250	250
5	人特别容易触电的场所,例如,特别潮湿、狭窄处所中的插座: (1) 用或不用隔离变压器供电; (2) 由只供一个用电设备的安全隔离变压器供电,这些插座系统的两根导线均应对地绝缘	50 250	50 250

表 1.2.3.6 船舶配电系统的电压和频率

配电系统	用 途	额定电压/V	额定频率/Hz	最高电压/V
直流	动力设备	110,220	-	500
	电热和烹调设备	110,220		250
	照明设备和外接插座	24,110,220		
交流三相	可靠固定并永久连接的动力设备、电热和烹调设备	110,220	50,60	1000
		380	50	
		440	60	
		110,220	50,60	500
交流单相	狭窄处所、潮湿舱室、露天甲板、储藏室、机舱以及其他处所的可携设备、一般设备	24	50,60	50
	具有加强绝缘或双重绝缘的设备	110,220		
	由仅对一个设备供电的安全隔离变压器供电的设备	110,220		
	居住舱室和公共舱室照明设备、取暖器以及本表上述的可靠固定并永久连接设备和可携设备以外的其他设备	110,220	50,60	250

1.2.3.6 电气设备的介电性能

电气设备的介电性能,是电气设备重要参数之一。

船舶电力系统的绝缘配合是建立在瞬时过电压被限制在规定的冲击耐受电压优先数系的基础上,外来的瞬时过电压必须低于或限制在低于船舶电源系统规定的冲击耐受电压,而船舶电力系统中电器或设备产生的瞬时过电压也必须低于船舶电源系统规定的冲击耐受电压。因此船用低压电器用于船舶电源系统的条件为:

1. 船用电器的额定绝缘电压不应低于船舶电源系统的额定电压。
2. 船用电器的额定冲击耐受电压不应低于船舶电源系统的额定冲击耐受电压。
3. 船用电器产生的瞬时过电压不应高于船舶电源系统的额定冲击耐受电压。

船用电器设计时,一般都考虑了适用于多种船舶电源系统和适用于一种或几种安装类别,因此,船用电器的额定冲击耐受电压应按预期使用的多种电源系统中相对地的最高电压和最高安装类别来确定。

通常,船用低压电器的额定冲击耐受电压应按表 1.2.3.7 选用。

表 1.2.3.7 船用低压电器额定冲击耐受电压优先值

由电源系统额定电压确定的 相对地电压最大值(交流有效值或直流)/V	额定冲击耐受电压优先值/kV (1.2/50 μ s, 0m 的 U_{imp})			
	安装类别(过电压类别)			
	IV	III	II	I
50	1.80	0.95	0.54	0.36
100	2.90	1.80	0.95	0.54
150	4.80	2.90	1.80	0.95
300	7.20	4.80	2.90	1.80
600	9.80	7.20	4.80	2.90
1000	14.80	9.80	7.20	4.80
交流 1200 直流 1600	25.40	14.80	9.80	7.20

通常,具有隔离功能的船用电器,其断开触点间的隔离气隙上应能承受表 1.2.3.8 所规定的冲击耐受电压。

表 1.2.3.8 断开触头间气隙上规定的冲击耐受电压

额定冲击耐受电压(U_{imp})/kV	断开触头间的隔离气隙上规定的冲击耐受电压/kV
0.36 0.54 0.95	1.80
1.80	2.30
2.90	3.50
4.80	6.20
7.20	9.80
9.80	12.30
14.80	18.50
25.40	31.70

船用电器的介电性能,应该优先推荐用额定冲击耐受电压验证。由于 1min 工频耐压试验验证介电性能没有考虑绝缘配合的要求,为此应在有关产品标准规定允许下,方能采用。然而,有关性能试验后的介电性能验证,规定采用 1min 工频耐压试验来考核。

船用旋转电机绕组的耐压性能,也规定采用 1min 工频耐压试验来考核。

船用电器的主电路连接至主电路的控制电路和辅助电路,其 1min 工频耐压的试验电压列入表 1.2.3.9 中。表中 1200V 仅为直流。

表 1.2.3.9 工频耐压的试验电压

(V)

额定绝缘电压	介电强度试验电压(交流有效值)
$U_i \leq 60$	1000
$60 < U_i \leq 300$	2000
$300 < U_i \leq 660$	2500
$660 < U_i \leq 800$	3000
$800 < U_i \leq 1000$	3500
$1000 < U_i \leq 1200$	4200

1.2.3.7 船用电子式电气设备的附加要求

船用电子式电气设备除了满足一般通用要求外,还应满足下面附加要求。

1. 船用电子式电气设备的电子组件,应在 $0^{\circ}\text{C} \sim 55^{\circ}\text{C}$ 的环境空气温度范围内正常工作。

若预期安装在会出现特别高温的场所(如直接邻近主机、锅炉等位置),应作特殊考虑。如果安装在有发热器件的箱柜内,应保证在 $+70^{\circ}\text{C}$ 温度时不失效。

若预期安装在可能出现低温的处所,如露天甲板,无保温措施的甲板室内,应能在 -25°C 环境温度下正常工作。

2. 所有自动化设备应能在下列相对湿度下正常工作:

a. $95\% \pm 3\%$ 温度达 $+45^{\circ}\text{C}$ 时;

b. $70\% \pm 3\%$ 温度高于 $+45^{\circ}\text{C}$ 时。

3. 应在表 1.2.3.10 规定的交流电源电压和频率变化范围内正常工作。

表 1.2.3.10 电子式设备应满足的电压和频率变化范围

电 源 参 数	变 化 率		
	稳态/%	瞬 态	
		%	恢复时间/s
电压	± 10	± 20	1.5
频率	± 5	± 10	5

4. 绝缘电阻测量在交流侧和直流侧分别进行,测得数值不得低于表 1.2.3.11 的规定。

表 1.2.3.11 电子式设备绝缘电阻的要求

额定绝缘电压/V	试验电压(直流)/V	绝缘电阻/M Ω	
		湿热试验前	湿热试验后
$U_i \leq 60$	$2U_i$,但至少为 24	10	1
$U_i > 60$	500	100	10

注:当额定绝缘电压大于 660V 时,应使用 1000V M Ω 表测量

5. 介电强度仅在交流侧进行,试验电压按表 1.2.3.12 的规定。

表 1.2.3.12 设备介电强度试验电压 (V)

额定绝缘电压	介电强度试验电压(交流有效值)
$U_i \leq 60$	500
$U_i > 60$	$2U_i + 1000$, 但至少为 2000

6. 交流电源供电的设备应按表 1.2.3.13 中 1,2 和 3 组合各运行 15min 能正常工作。承受 4 和 5 组合作用时均应可靠工作。为证明电源丧失时产品性能仍良好,应连续切断电源 3 次,再进行性能测试。

表 1.2.3.13 电子式设备应满足的可靠工作条件

组合	电压变化/%		频率变化/%	
	稳态	瞬态(恢复时间 1.5s)	稳态	瞬态(恢复时间 5s)
1	+10	-	+5	-
2	+10	-	-5	-
3	-10	-	-5	-
4	-	+20	-	+10
5	-	-20	-	-10

7. 设备及其部件应具有表 1.2.3.14 所规定的抗电磁干扰的能力。

表 1.2.3.14 电子式设备及部件抗电磁干扰能力

序号	抗电磁干扰名称	电磁干扰源
1	抗高频传导干扰	干扰电压 120dB(即 1V)频率 0.15MHz ~ 300MHz
2	抗高频辐射干扰	干扰场强 120dB(即 1V/m)频率 0.15MHz ~ 300MHz
3	抗低频传导干扰	叠加电压为额定工作电压的 5%频率 150Hz ~ 15000Hz
4	抗浪涌过电压传导干扰	浪涌电压峰值为 $2.5\sqrt{2}U_n$, 浪涌电压宽度小于 20 μ s

1.2.4 船用电气设备的检验

船上使用的电气设备,必须经有关部门或政府机构检验,证明其适合于船用工作环境条件,其电气参数满足有关规范和规则的要求。

进行船用电气设备试验和检验时,必须按照有关标准规定的试验项目、技术要求、检验方法等进行。图 1.2.4.1 为船用高分断塑壳断路器的检验程序,从中可以略知检验的一般内容和程序。

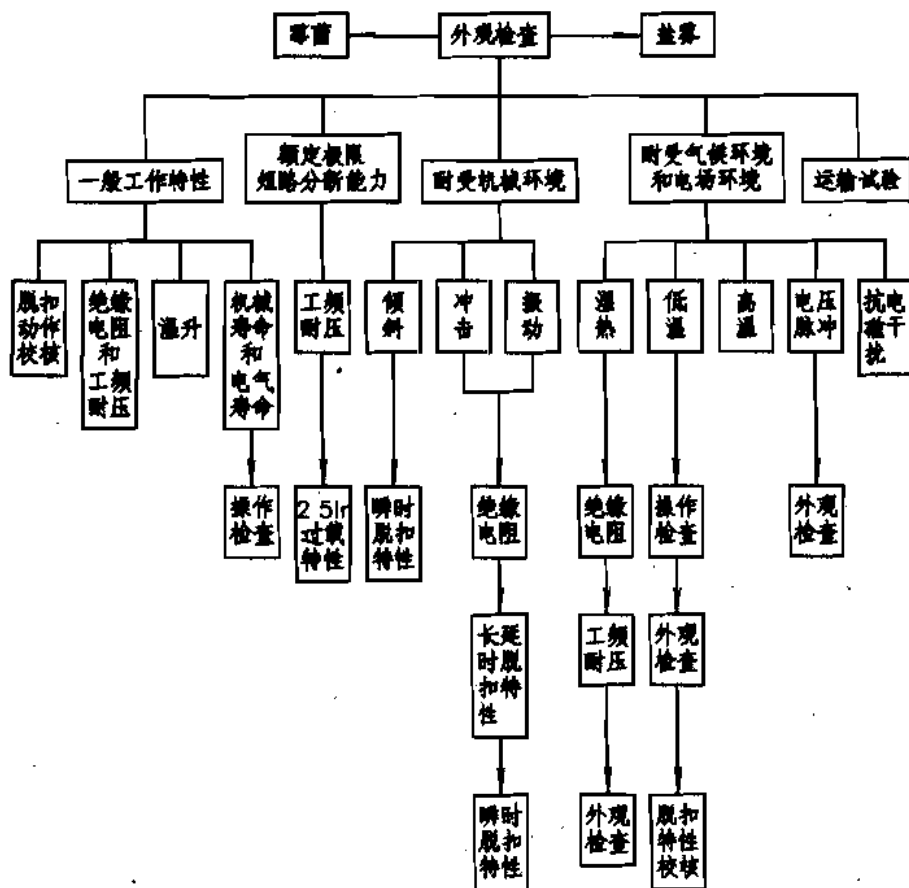


图 1.2.4.1 船用高分断型断路器的检验程序

主要参考文献

- 1 本书编写组. 船舶设计实用手册: 第5分册电气装置. 北京: 国防工业出版社, 1973
- 2 中国船级社. 钢质海船入级与建造规范. 北京: 人民交通出版社, 1996
- 3 日本船用機関学会編. 船舶電気・電子工学便覧. 日本: 海文堂, 1981

第2篇 船舶电力系统

第1章 船舶电力系统的设计任务和步骤

2.1.1 船舶电力系统的设计任务

船舶电力系统,是指由一个或几个在统一监控之下运行的船舶电源及与之相连接的船舶电网组成的、以向负载供电的整体。换句话说,船舶电力系统是由电源装置、配电装置和负载按照一定方式连接的整体,是船上电能产生、传输、分配和消耗等全部装置和网络的总称。

船舶电源装置主要是主发电机和主配电板。这是因为船舶主发电机的控制和监测等功能均由主配电板完成,这乃是船舶电站的特征之一。由于船舶配电的主要功能也是由主配电板完成的,所以主配电板的设计是电力系统设计的重要部分,是保证供电质量的关键。

配电装置与电力网是密切相联的,其主要任务是根据各用电设备(即负载)的性质和容量合理的选择供电方式,选择合适的配电开关和供电电缆。

船舶电力系统的保护设计是合理地选择保护装置,对用电设备(负载)加以保护;同时,系统的保护协调,可以提高电力系统的供电的连续性,提高电力系统的生命力。

具体地说,船舶电力系统设计任务有:

1. 决定船舶供电系统的电压、频率和配电系统。
2. 选择电源装置,如发电机容量和台数的选择、应急发电机容量的选择、电力和照明变压器容量的选择和蓄电池容量的选择等。
3. 设计配电装置,如主配电板、应急配电板和蓄电池充放电板的结构设计和配电开关的选择等。
4. 设计船舶电力网,如供电系统和全船配电系统的设计、电力设备的布置和电缆的选择等。
5. 船舶电力系统的保护设计,如发电机保护、电力和照明变压器保护、电动机保护和系统保护协调等。

2.1.2 船舶电力系统的设计步骤

船舶电力系统的设计步骤,通常可以按图 2.1.2.1 所示的流程进行。主要设计环节可以归纳为:

1. 在船舶各主要要素(如船种、船型、主机等)决定后,根据规范和船东设计任务书的要求,决定电力系统参数。