



指导性文件  
GUIDANCE NOTES  
GD 06-2020

中 国 船 级 社

直流配电电力推进系统检验指南  
GUIDELINES FOR SURVEY OF  
DC DISTRIBUTION ELECTRICAL  
PROPULSION SYSTEMS

2020

2020年5月1日生效  
Effective from 1 May 2020

北 京  
**Beijing**

# 目 录

<b>第1章 通则</b> .....	<b>1</b>
1.1 一般要求.....	1
1.2 定义.....	1
1.3 图纸资料.....	2
<b>第2章 系统设计</b> .....	<b>4</b>
2.1 一般要求.....	4
2.2 系统设计的要求.....	4
2.3 短路保护.....	6
2.4 控制和监测.....	6
2.5 障模式和影响分析.....	9
<b>第3章 电气设备</b> .....	<b>10</b>
3.1 一般要求.....	10
3.2 电源装置.....	10
3.3 直流主配电板.....	11
3.4 半导体变换器.....	12
3.5 推进控制系统.....	12
<b>第4章 试验和验证</b> .....	<b>13</b>
4.1 一般要求.....	13
4.2 首次安装系统的试验和验证.....	13
4.3 系泊和航行试验.....	13

# 第1章 通 则

## 1.1 一般要求

1.1.1 本指南适用于海上航行的电力推进船舶，且：

- (1) 船舶设置的公共发电站兼具船舶主电源和推进系统动力电源功能；和
- (2) 公共发电站主汇流排采用额定电压1.5kV及以下的直流电制。

1.1.2 本指南对如1.1.1所述直流配电系统的系统设计、系统短路和过载保护、控制和监测等提出了规定，还对直流配电系统和相关设备的检验提出了要求。

1.1.3 安装本指南所规定的直流配电系统的海上航行电力推进船舶，除应满足本指南的要求之外，还应依据其船舶特性和航行区域，符合相应法规和CCS规范的规定。

1.1.4 本指南的规定基于目前应用的直流配电系统型式，考虑到该技术尚处于发展阶段，如对本指南要求的计算方法、评定标准、制造程序、检验和试验方法，能提供相应的试验、理论依据、使用经验或有效的公认标准，经CCS同意，可以接受作为代替和等效方法。

## 1.2 定义

1.2.1 本指南适用的定义如下：

(1) **直流配电系统**：母排为直流配电，连接直流电源和直流负载和/或通过电力电子器件连接交流发电机和交流负载的双线绝缘配电系统。

(2) **直流母排**：连接电源和负载的直流汇流排。

(3) **能量管理系统**：监测直流母排，通过控制电源和母排连接设备，确保系统安全运行的一套装置。

(4) **泵升电压**：系指驱动电动机的变流器，当电动机处于再生制动状态时，机械能通过电动机转换为电能，此能量回馈到变流器直流侧电容引起的电压升高。

(5) **固态开关**：系指采用电力电子功率半导体作为电流分断的无触点开关。

(6) **电池管理系统**：系指控制或管理电池系统电气或热性能的电子装置。

(7) **电池组**：系指由于电压或功率要求由一个或多个电池模块串、并联而成，且作为独立电源接入直流母排的一套装置。

### 1.3 图纸资料

1.3.1 除本节要求之外，还应按照船舶入级适用规范的规定提交图纸资料，其中“电力推进船舶电力系统各主要节点(包括主配电板、分配电板等)的谐波畸变计算”仅适用于交流配电电网部分。

1.3.2 制造商在CCS入级船舶上首次安装直流配电系统时，应将下列图纸资料提交批准：

(1) 系统说明书，应至少包含系统概述、各主要部件功能、系统保护原理、系统控制功能以及系统外部接口描述；

(2) 直流配电系统单线图；

(3) 直流配电系统短路电流计算；

(4) 配电系统选择性保护分析，包括直流和交流部分；

(5) 直流系统短路电流计算和选择性保护分析验证资料，对1.3.2(3)和(4)的内容进行试验验证；

(6) 直流配电系统控制和监测系统图；

(7) 直流配电系统故障模式和影响分析；

(8) 直流配电系统系泊和航行试验大纲。

1.3.3 经过首次安装批准后，在CCS入级船舶上后续安装同型式<sup>①</sup>直流配电系统时，应提交首次安装的船舶信息，并将下列图纸资料提交批准：

(1) 直流配电系统单线图；

(2) 直流配电系统短路电流计算；

---

① 同型式即指系统拓扑结构、保护原理和控制逻辑无原则性变化。

(3) 配电系统选择性保护分析，包括直流和交流部分；

(4) 直流配电系统控制和监测系统图。

1.3.4 经过首次安装批准后，在CCS入级船舶上后续安装同型式直流配电系统时，应将下列图纸资料提交备查：

(1) 系统说明书，应至少包含系统概述和框图、各主要部件功能、系统保护原理、系统控制功能以及系统外部接口描述。

1.3.5 经过首次安装批准后，在CCS入级船舶上后续安装同型式直流配电系统，但有个别组件产生变更时，CCS可要求增加送审图纸和资料。

1.3.6 已完成CCS原则认可的直流配电系统，无须满足1.3.2的要求，应按照1.3.3至1.3.5的要求进行图纸资料的提交。

## 第2章 系统设计

### 2.1 一般要求

#### 2.1.1 直流配电系统应能:

(1) 确保为保持船舶处于正常操作状态和满足正常居住条件所必需的所有电力辅助设备供电, 而不需求助应急电源;

(2) 确保旅客、船员及船舶的安全, 免受电气事故的危害。

2.1.2 除本章规定外, 电力推进装置还应满足《钢质海船入级规范》第8篇第15章的要求。

### 2.2 系统设计要求

#### 2.2.1 直流配电系统的电压和频率波动应符合下列要求:

(1) 直流母排电压的稳态和瞬态波动应满足《钢质海船入级规范》第4篇的要求, 除非所有连接于直流汇流排的设备能在系统供电电压波动幅值内均能正常工作;

(2) 直流母排经半导体变换器向船舶交流电网供电时, 半导体变换器输出端的电压和频率波动以及电压谐波成分应满足《钢质海船入级规范》第4篇第1.2.2和1.2.3的规定。

2.2.2 公共发电站的电源可以是交流同步发电机、交流异步发电机、直流发电机等发电装置和蓄电池(或能量型超级电容器)等储存电能的装置。公共发电站应满足以下要求:

(1) 至少由2台发电机组组成;

(2) 直流母排应由两个及以上的分段(或部分)组成;

(3) 当直流母排任一分段丧失后, 剩余的电源应能继续对正常推进运行、船舶安全等必需的设备供电, 并能保证最低舒适居住条件。

#### 2.2.3 公共发电站的电源容量应满足以下要求:

(1) 当任一主电源停止工作时, 剩余主电源应有足够的容量, 以使当最大负荷增加时, 不至于使系统电压大幅跌落和使任何电机失速, 或使任何其他设备失效。

(2) 当加载最大负荷时，主电源应具有足够的容量或措施，不至于使配电系统电压大幅跌落而引起电网失效。

2.2.4 直流母排应满足以下要求：

(1) 直流母排在重启时，若必须使用充电装置，则其充电装置的电源应确保可用；

(2) 应对直流母排进行绝缘监测，并且绝缘监测系统应能够在绝缘电阻异常低时发出听觉或视觉报警。

2.2.5 电源装置若需要通过半导体变换器与直流母排连接，则每一台发电机组应配备独立的半导体变换器(组)，每一电池组应配备独立的DC/DC变换器(组)。

2.2.6 固态开关应满足以下要求：

(1) 应设计合适的措施，减小并联工作的半导体器件的导通和关断所产生的 $di/dt$ 和 $du/dt$ ，不至造成半导体器件的损坏或击穿。

(2) 并联工作的半导体器件的驱动脉冲信号应准确同步。

(3) 固态开关的缓冲电路应具有过电压抑制和故障能量的快速吸收的功能，特别应考虑，在短路故障切除时，快速下降的故障电流在固态开关两端产生过电压，不至造成半导体器件的损坏或击穿，其缓冲过程应能在固态开关重合闸之前完成。

2.2.7 直流母排上连接的各电源支路应具备均流或按设定值分配电流的功能。

2.2.8 电气系统设计应能抑制或消耗制动能量，避免电气系统或设备由于泵升电压过高导致损害，且在电动机正常运行与电动状态时，泵升电压抑制电路不应启动。

2.2.9 泵升电压抑制电路动作结束时，不应使直流侧电压降得过低，避免引起系统不稳定。

2.2.10 电气系统各支路均应设置隔离开关或类似措施，防止设备处于维护状态时，人员因接触带电部件造成伤害。

2.2.11 推进电机采用永磁电动机时，应设置合适的措施，以防止能量回馈而产生高压危及检修人员安全。

## 2.3 短路保护

2.3.1 直流配电系统中的交流系统部分的短路计算和短路保护电器的选择，应满足CCS《钢质海船入级规范》第4篇第2章2.5.2、2.5.3和2.5.4条的要求。

2.3.2 直流配电系统中直流系统部分的短路计算，应包括仿真模型、计算方法和计算结果，并提交最大短路电流和最小短路电流计算数值。

2.3.3 直流配电系统的短路选择性保护，应满足CCS《钢质海船入级规范》第4篇第2章2.5.4条要求。当无法满足CCS《钢质海船入级规范》第4篇第2章2.5.4.1(1)时，经CCS同意可通过直流母排母联保护装置的分断，来实现配电系统供电连续性。

2.3.4 直流母排由两个及以上的分段(或部分)组成，在母排发生短路或类似故障时，母联保护装置应首先动作，保证非故障的一侧在45S内恢复供电，且非故障侧直流母排上连接的半导体变换器不会因电压跌落过大而闭锁。母联保护装置建议采用固态开关，当采用其他型的保护装置时，应提交证明资料说明在任何工况下均能实现同样的选择性。

2.3.5 当交流系统发生短路故障时，为船舶交流配电板提供电能的电源和半导体变换器，应能提供和承受足够大的电流，并保持至交流系统内保护电器动作。

2.3.6 当故障发生于变换器内时，应采用独立的措施来隔离短路电流，不至造成其他连接于直流汇流排分路的脱扣。此种保护措施可以为熔断器、直流断路器或固态开关。当采用固态开关时，应有能够将固态开关与电路完全隔离的措施。

## 2.4 控制和监测

2.4.1 直流配电系统的控制和监测应基于系统设计原理和各设备组件功能而设置，以保证船舶电网的供电连续性和船舶推进系统的可靠运行。

2.4.2 配电系统和推进系统应至少设置表2.4.2要求的报警和显示项目。这些项目应在机舱集控室(如无集控室，在机旁)设置，经CCS同意，可设置与表中项目等效的报警和显示；在驾驶室设置安全动作报警和推进发电机、推进电动机、推进半导体变换器的组合报警。

直流配电系统和电力推进系统监测和报警项目表

表2.4.2

系统	监测参数	报警	显示	自动停车	备注
推进发电机	轴承润滑油进口压力低或轴承温度高	√	√	√	原动机自动停机
	电压(高/低)	√	√		读取所有相；异步发电机不适用
	频率或转速(高/低)	√	√		仅对交流推进发电机
	电流		√		读取所有相；异步发电机不适用
	功率		√		
	定子绕组温度高	√	√		读取所有相；发电机容量>500kW
	发电机开关断开/闭合		√		适用于不经过半导体变换器与直流母排直接连接的情况
	发电机运行		√		
	在网发电机故障	√			
	发电机冷却介质温度高	√	√		如适用时
	发电机冷却泵或风机故障	√			如适用时
	励磁电流		√		
换向极绕组温度高	√	√		对直流发电机而言	
推进电动机	轴承润滑油进口压力低或轴承温度高	√	√	√	
	电压(高/低)	√	√		读取所有相。对于变频器控制的推进电动机，可用变频器的输出来替代。
	频率(高/低)	√	√		仅对交流推进电动机。对于变频器控制的推进电动机，可用变频器的输出来替代。
	电枢电流		√		读取所有相
	励磁电流		√		对同步电动机
	定子绕组温度高	√	√		读取所有相；电机功率>500kW
	电动机开关断开/闭合		√		适用于不经过半导体变换器与直流母排直接连接的情况
	电动机运行		√		
	电动机超速	√	√	√	对直流推进电动机而言
	在网电动机故障	√			
	电动机冷却介质温度高	√	√		如适用时
	冷却泵或风机故障	√			如适用时
换向极电流		√		仅对直流推进电动机	

系统	监测参数	报警	显示	自动停车	备注
发电机/推进电动机/船舶交流电网半导体变换器	电压		√		测量半导体变换器输出侧；发电机半导体变换器输出侧频率测量免设。
	电流		√		
	频率		√		
	过载(大电流)	√			在保护装置动作前报警
	配电开关断开/闭合位置		√		
	变换器冷却介质温度高	√	√		如适用时
	变换器冷却泵或风机故障	√			如适用时
	相间电抗器温度高	√	√		安装相间电抗器时
	滤波电路保护脱扣	√			如适用时
直流主配电板	母排电压(高/低)	√	√		每一分段
	母排功率		√		显示总功率和可用功率
	配电板冷却系统综合故障	√			
	配电板内冷却系统介质泄漏	√			如适用时
	母排母联保护装置动作	√			
	发电机/负载保护装置(熔断器或直流断路器等)动作	√			
	负载半导体变换器故障	√			除推进电动机之外
	能量管理系统综合故障	√			
	负载半导体变换器预充磁故障	√			如适用时
	母排预充电失败	√			适用于需预充电时
其他	励磁电路接地故障	√			无刷励磁系统和额定功率小于500kW的电机励磁电路，可免设
	主推进电路接地故障	√			

2.4.3 电池作为直流配电系统的电源时应设置电池管理系统。铅酸等蓄电池的管理系统应至少具备对电压、放电电流、电池温度和电池内阻的监测功能。锂电池(包括能量型超级电容)的管理系统应符合CCS《纯电池动力船舶检验指南》的要求。

2.4.4 应设置能量管理系统，以保证在船舶正常操作工况供给足够的电力，至少具有以下功能：

- (1) 发电机启动/停止；
- (2) 电源自动并网和负载分配；

- (3) 电源的自动断开；
- (4) 非重要负载的自动卸载；
- (5) 重载问询；
- (6) 逆功率保护，如果半导体变换器能闭锁任何功率回馈，则可免除；
- (7) 重要设备的顺序起动；
- (8) 与电池管理系统进行数据传输(如有时)。

## 2.5 障模式和影响分析

2.5.1 本指南要求的故障模式和影响分析应按照不低于IEC 60812出版物《系统可靠性分析技术—故障模式和影响分析(FMEA)程序》对直流配电系统各组件进行分析和记录，无需包括交流配电系统各组件。一般包括(但不限于)以下故障分析：

- (1) 发电机及其半导体变换装置的故障分析；
- (2) 储能装置故障分析，例如电池、能量型超级电容器、电池(或能量型超级电容器)管理系统等；
- (3) 直流主配电板内各主要组件故障分析，例如半导体变换装置、母排连接用固态开关、熔断器、能量管理系统装置、发电机保护装置、隔离开关等；
- (4) 直流主配电板冷却系统故障分析；
- (5) 直流主配电板短路故障分析。

## 第3章 电气设备

### 3.1 一般要求

3.1.1 直流配电系统中使用的电气设备的制造和试验应符合国际或国家标准。对于没有标准的新设备或设备的新用途，应提交文件证明其与传统设备具有等效性。

3.1.2 除本章规定之外，直流配电电力推进系统中电气设备的制造、试验和检验还应符合CCS《钢质海船入级规范》和《产品检验指南》的相关规定。

### 3.2 电源装置

3.2.1 额定功率50kVA及以上的发电机组应进行单件/单批检验，持有CCS产品证书。

3.2.2 《产品检验指南 E-04发电机》中表6.3所规定的稳态短路检验试验，可按如下规定进行校核：交流发电机及其励磁系统，在稳态短路状态下，至少应能维持其保护装置设定的最大短路电流，耐受时间为保护装置设定的最大分断时间。

3.2.3 三相交流异步发电机应按照表3.2.3的要求进行型式试验。获得型式认可证书后，单件/单批检验项目应至少包括表中1至8项。

三相交流异步发电机型式试验项目表

表3.2.3

序号	试验项目	技术要求
1	外观检查	批准的图纸及技术文件
2	绝缘电阻测量	CCS《钢质海船入级规范》第4篇3.2.9.6
3	绕组电阻测量	技术条件
4	过载/过电流试验	CCS《钢质海船入级规范》第4篇3.2.5.1
5	超速试验	IEC60034-1第9.7条
6	耐压试验	IEC60034-1第9.2条
7	空载试验(空载电流和空载损耗的测定)	GB/T 19071.2第4.5条
8	轴承检查	CCS《钢质海船入级规范》第4篇3.2.9.16
9	最大转矩测定	GB/T 1032第9条
10	工作特性曲线的测定	GB/T 19071.2第4.7条

序号	试验项目	技术要求
11	额定负载试验和温升测量	CCS《钢质海船入级规范》第4篇3.2.3
12	倾斜试验	CCS《电气电子产品型式认可试验指南》
13	交变湿热试验	CCS《电气电子产品型式认可试验指南》
14	盐雾试验Ka <sup>①</sup>	CCS《电气电子产品型式认可试验指南》
15	外壳防护等级试验	IEC60034-5

注：① 未进行盐雾试验的产品需在认可证书及产品证书中注明“不适于安装在开敞甲板”。

3.2.4 发电机组不必进行《产品检验指南 E-05发电机组》中要求的并联运行试验或负载转移试验。

3.2.5 交流异步发电机组若在制造厂完成《产品检验指南 E-05发电机组》中规定的所有试验项目不可行时，应经CCS同意，在制造厂至少完成《产品检验指南 E-05发电机组》中第5.4(1)至(8)和(17)的试验项目，在系泊试验期间完成其余的试验项目。

3.2.6 锂电池(包括能量型超级电容)的制造、试验和检验应符合《纯电池动力船舶检验指南》的规定。

### 3.3 直流主配电板

3.3.1 直流主配电板应进行单件/单批检验，持有CCS产品证书。

3.3.2 直流主配电板柜体(含汇流排)应符合IEC61439-1《低压成套开关设备和控制设备 第1部分 总则》和IEC61439-2《低压成套开关设备和控制设备 第2部分 成套电力开关和控制设备》的规定。

3.3.3 直流主配电板应完成以下出厂试验：

- (1) 结构及接线检查，必要时应进行外壳防护等级试验；
- (2) 电气间隙及爬电距离的检查；
- (3) 冷却系统效用试验；
- (4) 电气功能试验，检查半导体变换装置、仪表、报警、指示、显示屏等的效能，能量管理系统的功能试验应尽实际可能进行；
- (5) 汇流排温升试验，对批量生产的同型产品可仅对首件产品进行温升试验；

(6) 耐压试验；

(7) 绝缘电阻测量。

3.3.4 直流主配电板中部件持证要求应符合表3.3.4的规定。

直流主配电板部件持证要求

表3.3.4

序号	部件名称	证件类别		认可模式				审图	备注
		C/E	W	DA	TA-B	TA-A	WA	PA	
1	熔断器	—	X	—	X4	—	—	X	适用于发电机分路、负载分路和船舶交流电网分路
2	隔离开关	—	X	—	X	—	—	X	
3	母排连接用固态开关	—	X	—	X	—	—	X	
4	发电机保护装置	—	X	—	X	—	—	X	
5	能量管理系统	—	X	—	X	—	—	X	
6	电工仪表	—	X	—	X	—	—	X	
7	绝缘监测仪	—	X	—	X	—	—	X	
8	接触器	—	X	—	X	—	—	X	
9	继电器	—	X	—	X4	—	—	X	
10	电线电缆	—	X	—	—	—	X	X	

符号说明：1) C—船用产品证书；E—等效证明文件；W—制造厂证明；X—适用；O—可选；

2) DA—设计认可；TA-B—型式认可B；TA-A—型式认可A；WA—工厂认可；PA—图纸审查；

3) X4：经CCS特别同意可以接受。

### 3.4 半导体变换器

3.4.1 每一半导体变换器应设置过压和过流保护。

3.4.2 功率50kW及以上的半导体变换器应按照《钢质海船入级规范》第1篇第3章附录1A持有证书。

### 3.5 推进控制系统

3.5.1 推进控制系统应按照《钢质海船入级规范》第1篇第3章附录1A持有证书，可参照CCS《产品检验指南 E-16主机遥控系统》进行型式试验。

3.5.2 推进控制系统的软件应符合《钢质海船入级规范》第7篇第2章第6节的规定。

## 第4章 试验和验证

### 4.1 一般要求

4.1.1 除本章规定的直流配电系统的试验和验证外，船舶电力推进和船舶配电系统的试验和检验还需满足CCS《钢质海船入级规范》要求。

4.1.2 制造商在CCS入级船舶上首次安装其制造的直流配电系统，需按照4.2和4.3的规定，进行试验和提交文件。

4.1.3 已获得CCS原则认可的直流配电系统首次安装于CCS入级船舶上，无需进行4.2规定的试验和验证。

### 4.2 首次安装系统的试验和验证

4.2.1 直流配电系统安装上船之前，制造商应进行如下试验，且应由CCS验船师到场见证，以验证其系统保护的合理性：

(1) 直流母排故障短路。该故障情况下，连接母排的保护装置动作，船舶电网在45s内恢复供电，直流母排上连接的半导体变换器不会因电压跌落过大而闭锁。

(2) 直流主配电板任意屏故障短路。该故障情况下，故障屏保护器件动作，其余屏供电不受影响。若无法做到前述选择性保护，至少应确保满足4.2.1(1)的要求。

上述试验若在上船安装之前因设备配套原因无法完成，允许在系泊航行试验中进行。

4.2.2 直流配电系统制造商应基于4.2.1的试验，提交1.3.2(5)所要求的文件以证明其短路电流仿真计算和选择性保护分析的正确性。该文件应至少包括4.2.1所规定试验的试验方法、试验结果和故障电流波形图，并与仿真计算所得波形图对比。

### 4.3 系泊和航行试验

4.3.1 直流配电系统的电源装置为同步发电机组时，系泊试验需进行以下项目：

(1) 柴油发电机组起动试验；

(2) 柴油发电机组安全系统模拟效用试验；

(3) 柴油发电机组负荷试验，分别在最高转速和最低转速进行试验；

(4) 突加和突卸负荷试验，最高转速时进行试验；

(5) 并车和负荷转移试验，分别在最高转速和最低转速进行试验。应尽实际可能为每台机组加载至100%负荷。若存在困难，应至少加载并车总负荷等于推进电动机总功率或直流配电系统向船舶交流配电板提供的负荷(两者取大者)，并经CCS同意。

4.3.2 直流配电系统的电源装置为异步发电机组，且按照3.2.5的规定进行出厂试验时，系泊试验除需进行4.3.1中所述试验之外，还应进行《产品检验指南 E-05发电机组》第5.4(9)至(15)的试验项目。

4.3.3 直流配电系统的航行试验，除常规试验项目外，还应进行以下试验项目：

(1) 电力负荷估算书中若存在两台及以上发电机组并联运行工况，则需选择最少台数发电机并联运行工况进行试验。在该工况停止其中一台发电机组，验证系统供电连续性。若发电机组额定功率不同，则需停止较大功率机组；

(2) 根据电力负荷估算书，在航行工况停止一台推进电动机，验证系统电压调节性能和稳定性。

4.3.4 电源装置包含电池(或能量型超级电容)，且电力负荷估算书中具有仅使用电池电源的工况，应考核电池承受负载突加/突卸的稳定供电能力，可采用以下试验方法或提交试验报告经CCS同意：

(1) 在系泊试验时应进行突加和突卸负载试验，选取电力负荷估算书中最大额定功率设备作为突加和突卸负载功率；

(2) 在航行试验时，进行最大功率电池组(或最大功率能量型超级电容组)停机试验，和停止一台推进电动机试验。