

指导性文件
GUIDANCE NOTES
GD22-2020



中国船级社

闭环动力定位系统检验指南

2020

2020年9月1日生效

北京

目 录

第 1 章 总则	1
第 1 节 一般规定	1
1.1.1 一般要求	1
1.1.2 适用范围	1
1.1.3 附加符号	2
1.1.4 缩写与定义	2
第 2 节 技术原则	3
1.2.1 一般要求	3
1.2.2 稳定性要求	3
1.2.3 可靠性要求	3
1.2.4 安全性要求	5
1.2.5 其它要求	5
第 3 节 设计审查	6
1.3.1 一般要求	6
第 2 章 设计要求	8
第 1 节 一般规定	8
2.1.1 一般要求	8
第 2 节 短路电流计算及选择性保护	8
2.2.1 一般要求	8
第 3 节 发电机组	8

2.3.1 一般要求	8
2.3.2 技术要求	8
第 4 节 配电板和功率管理系统	9
2.4.1 一般要求	9
2.4.2 技术要求	9
第 5 节 发电机保护 (GP)	10
2.5.1 一般要求	10
2.5.2 技术要求	10
第 6 节 选择性保护	11
2.6.1 一般要求	11
第 7 节 快速恢复	12
2.7.1 一般要求	12
第 8 节 故障穿越	13
2.8.1 一般要求	13
2.8.2 具体要求	13
第 9 节 谐波	14
2.9.1 一般要求	14
第 10 节 动态分析	14
2.10.1 一般要求	14
第 11 节 互感器/传感器	15
2.11.1 一般要求	15
第 12 节 控制系统	15

2.12.1 一般要求	15
第 3 章 故障模式及影响分析 (FMEA)	16
第 1 节 一般规定	16
3.1.1 一般要求	16
第 2 节 范围及流程	16
3.2.1 一般要求	16
第 3 节 故障模式	17
3.3.1 一般要求	17
第 4 节 报告更新与提交	19
3.4.1 一般要求	19
第 4 章 试验与测试	20
第 1 节 一般规定	20
4.1.1 一般要求	20
第 2 节 试验内容	20
4.2.1 一般要求	20
第 5 章 营运检验	23
第 1 节 一般规定	23
5.1.1 一般要求	23
附表 A 推荐使用的保护功能	24

第 1 章 总则

第 1 节 一般规定

1.1.1 一般要求

1.1.1.1 本指南是在中国船级社《钢质海船入级规范》第 8 篇第 11 章动力定位系统产品要求、第 1 篇第 6 章动力定位系统试验要求、《故障模式和影响分析应用指南》、《电气电子产品型式认可试验指南》的基础上，参照了 IEC62271-200《额定电压>1KV~52KV 交流金属开关装置和控制机构》、GB14285-2006《继电保护和安全自动装置技术规程》等国际、国内相关标准以及近年来中国船级社的经验总结和研究成果而编制。

1.1.1.2 本指南旨在为动力定位系统直线型和环形母排闭合的电力系统的设计、配置和验证提供指导，对于母排分段运行动力定位系统可以参照 1.1.1.1 所述规范指南，本指南重点给出闭合母排相关的技术要求。

1.1.1.3 本指南中的船舶是指安装有动力定位系统的船舶或海工设施。

1.1.1.4 本指南中列出的相关故障类型、技术手段等都是基于现有技术经验积累和现有技术认识的基础上给出的。本社接受本指南列出的相关技术手段之外的新技术和新方法，这些新技术和新方法应同样能保证系统的完整性、可靠性、安全性，同时需经过本社评估。

1.1.1.5 本指南主要是针对直线型和环形运行的动力定位系统船舶或者海工设施的电力系统，包含功率管理系统（PMS）做出的要求，对于控制系统、外围测量系统、辅助系统、安全系统只需满足故障穿越要求，其余方面参照开环要求即可。

1.1.1.6 本指南所要求内容仅是针对动力定位系统相关的供电与控制设备及系统要求，对于其他诸如钻井、升降等作业类设备的馈电电路如果在发生故障之后会影响到 DP 的操作或作业时，需满足短路、接地、不平衡相等协调保护要求，但故障穿越等功能不做硬性要求。

1.1.2 适用范围

1.1.2.1 本指南适用于交流供电母排之间连接开关闭合的 DP-2 和 DP-3 系统，以及与 DP-2/DP-3 类似配置/功能的系统，例如具有类似配置/功能的 DP 系统、具有类似闭环电站配置和功能的冗余推进器等系统。

1.1.2.2 母排之间开关闭合包括直线型和环形母排闭合，简称闭环。本指南中的内容要

求，除有具体说明外，都将适用于两种形式的电力系统。

1.1.2.3 对于直流闭环配电系统，本社需要根据实际项目给予特殊考虑。

1.1.3 附加符号

1.1.3.1 满足本指南要求的 DP-2/DP-3 系统，对应授予附加符号为：DP-2(CB/CR)/DP-3(CB/CR)。

1.1.4 缩写与定义

1.1.4.1 本指南中出现的英文字母的含义如下所示。

缩写	含义
AVR	自动电压调节器
CB	直线型母排闭合(Closed Bustie)
CR	环形母排闭合(Closed Ring)
DP	动力定位
ESD	应急关断系统
FMEA	故障模式及影响分析
GP	发电机保护
PMS	功率管理系统
IMO	国际海事组织

1.1.4.2 本指南中涉及到的定义如下：

(1) 一次保护：是指通过对应的电压或/和电流互感器直接对短路、接地、相不平衡等监测实现的保护，一般是针对某个设备或者支路实现的保护。

(2) 二次保护：是指在一次保护失效时，通过电压或/和电流互感器、反向闭锁等方式实现对一次保护对应的备用保护。

(3) 主保护：一次保护和/或其对应的二次保护的统称。

(4) 备用保护：是指通过电压、电流等变量、辅助触点状态、温度等的监测实现对一次保护的效果进行监测并备份的保护，备用保护不能作为主保护。

(5) 故障穿越能力：DP 系统相关的设备（不包括因为故障被隔离的设备），在故障被

清除之后，能够恢复到故障出现之前的运行能力，且不会重启，也不需要人工干预。

第 2 节 技术原则

1.2.1 一般要求

1.2.1.1 闭环 DP 系统应具有一定的稳定性、可靠性、安全性，这些性能应能体现在包括隐性故障在内的故障发生之前及发生之后。常见的隐性故障包括传感器冻结、漂移、脱扣线圈回路故障、通信线路故障、接口故障等。

1.2.2 稳定性要求

1.2.2.1 电压、频率等要求应满足船级社规范要求。

电气设备应能在表 1.2.2.1 规定的电压和频率偏离额定值的波动情况下(在设备的输入端测量)可靠工作：

电压和频率波动

表 1.2.2.1

设备	参数	稳态 (%)	瞬态	
			(%)	恢复时间 (s)
一般交流设备	电压	+6~-10	±20	1.5
	频率	±5	±10	5
由直流发电机供电或经整流器供电的直流设备	电压	±10	--	--
	电压周期性波动	5	--	--
	纹波电压	10	--	--
由蓄电池供电的设备：	充电期间接于蓄电池 ^①	电压	+30~-25	---
	充电期间不接于蓄电池者		+20~-25	---

注：应对由充/放电特性决定不同的电压波动予以考虑，包括充电设备的波动电压。

1.2.2.2 交流电气设备应能在供电电源的电压谐波成分不大于 8%的情况下正常工作。当电源的谐波成分可能大于 8%时，应注意设备选择，保证其正常工作。单次谐波不应超过 5%。

1.2.2.3 其它如环境条件及接地等要求参照本社规范要求。

1.2.2.4 系统保护如短路保护、发电机保护、电动机保护等满足本社规范要求。

1.2.3 可靠性要求

1.2.3.1 与中压母排连接的发电机主断路器、馈电断路器、母联开关、联络开关等应尽可能采用双脱扣线圈，并带有独立跳闸监测回路，设置断路器故障保护（如 50BF）。

1.2.3.2 控制命令、状态信号、通信连接等应尽可能有自诊断功能，当出现不一致时，

应能及时报警，防止误动作。

1.2.3.3 电压自动调节器 AVR 的操作电源和控制电源都应两路供电，电源都来自其所在冗余组内。

1.2.3.4 对于闭环 DP-3 系统，当主母排采用方向性保护时，如果推进器、服务用电等馈电电路发生故障，该故障应具有反向闭锁主母排方向性保护功能。

1.2.3.5 为了保证数据传输速度以及保护动作的快速可靠，应尽可能采用高速数据传输协议，参照 IEC61850 标准的通信网络。

1.2.3.6 应尽可能减少常见故障模式和交叉连接，尽量提高系统的可预测性和可靠性，关键系统和保护要尽可能设计成可高度自主运行，这些要求包括诸如附加的物理分隔、使用高可靠性的设备、使用高等级绝缘的母联电缆及母排、必要的选择性保护等。

1.2.3.7 为了实现快速恢复等功能，推进器系统和发电机系统应最大程度实现自主性，也就是其供电（含控制、通信等用电）及辅助用电独立，其内的控制、通信、状态监测、故障诊断和处理实现自主判断。

1.2.3.8 高压系统（额定电压大于 1kV 但不超过 15kV，额定频率为 50Hz 或 60Hz 的交流系统）电力系统的设计要求满足船级规范要求，保护应满足如下要求：

(1) 应设有保护装置，以对发电机至主配电板之间的连接电缆出现相间故障和发电机内部绕组出现故障进行保护（包括可能的相间、匝间短路）或者对发电机组停机。该保护电器应能使发电机断路器脱扣，并自动对发电机进行灭磁；在中性点低阻或直接接地的分配系统中，相对地间故障也应按上述要求处理。

(2) 系统中任何接地故障应有视觉和听觉报警。在低阻抗或直接接地的系统中，应设有自动切断故障电路的保护设备。在高阻抗接地系统中，如果发生接地故障时输出电源未断开，则设备的绝缘应按线电压来设计。

(3) 电力变压器应设有过载和短路保护。若变压器需并联运行，则其初级侧保护电器的脱扣应能自动分断连接于次级侧的开关。

(4) 在电压互感器的次级侧应设有过载和短路保护。

(5) 不允许用熔断器作过载保护。

(6) 通过变压器从高压系统获得供电的低压系统应设有过电压保护，可采取下列方式：

① 低压系统直接接地。

② 适当的中性点电压限制器。

③ 变压器初级和次级绕组间的屏蔽接地。

1.2.4 安全性要求

1.2.4.1 任何闭环 DP 系统，都应能够在母联断开下运行。

1.2.4.2 发电机、推进器等关键设备及系统应设有防止误操作措施，包括设备启停、开关闭合/断开、联锁操作、同步操作等。

(1) 用于过载、短路或欠压的脱扣电源应独立于主电源。如果释放电路断路器或电源发生故障而产生报警的话，仍然可采用分励脱扣。

(2) 辅助电路应两路电源供电，其一应为 UPS，其中 1 套发生故障或丧失功能的情况下，不会导致 1 台以上发电机和/或成组的重要设备不能工作。

(3) 辅助设备（包括各种仪表、继电器、互感器/传感器、线圈、监测电路）应能承受由于开关的分、合闸产生的振动以及故障穿越，而不会误动作。

1.2.5 其它要求

1.2.5.1 当发生局部或者全船失电时，系统应能实现尽快自动启动与快速恢复供电，达到 DP 作业要求。

1.2.5.2 闭环 DP 的保护原则如下图 1.2.5.2 所示，同一冗余组内，C 区通常设置为区域保护的节点，A, B, D 为设备/馈电保护。它们之间保护应具有选择性。

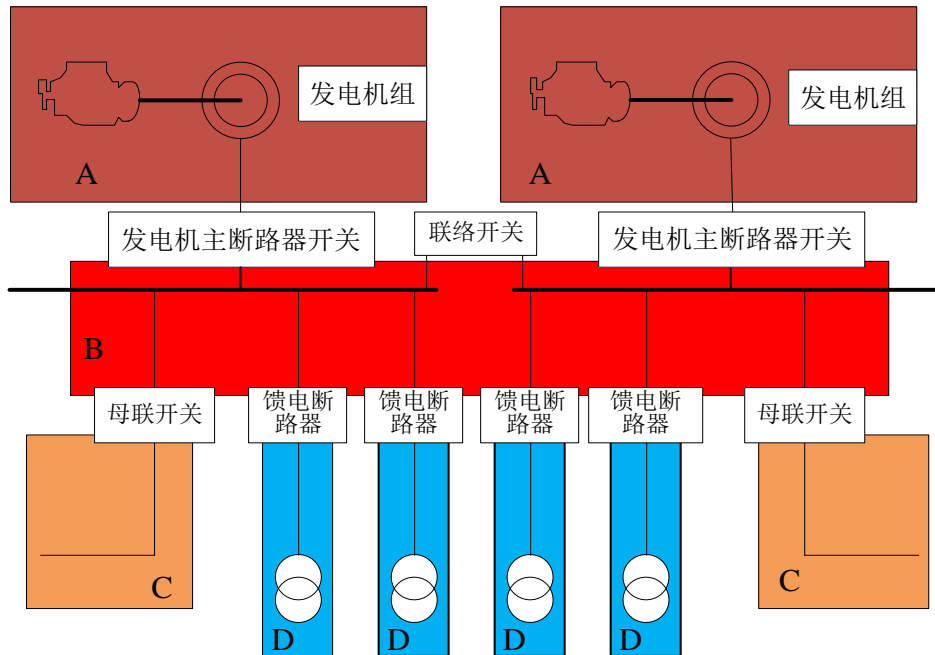


图 1.2.5.2 区域保护原理

第 3 节 设计审查

1.3.1 一般要求

1.3.1.1 闭环 DP 相关设备及系统的图纸资料应该送审，其内容应满足本指南第 2 章相关要求。

1.3.1.2 相关送审清单除包含《钢质海船入级规范》第 8 篇第 11 章要求的图纸资料外，针对闭环 DP 系统，还需要单独提交如下资料批准：

(1) 电力系统及控制，应包括：

- ① 电力系统的介绍；
- ② 接地方式描述及电阻选取；
- ③ 正常运行模式；
- ④ 保护动作之后运行模式；
- ⑤ 发电机组及控制原理图和说明（含发电机保护、发电机组动态特性等）；
- ⑥ 推进器、配电板、变压器配置的作业模式和保护原理图和说明；
- ⑦ 快速恢复（含自动恢复过程描述和说明）；
- ⑧ 功率限制及预防全船断电（包含具体功率管理方案描述和说明）；
- ⑨ 连锁。

(2) 配电板（含辅助配电板）功能设计，应包括：

- ① 自身控制与保护原理图及说明；
- ② 闭环相关保护原理及说明；
- ③ 对发电机控制与保护原理图及说明；
- ④ 马达启动器；
- ⑤ 变频器。

(3) 发电机保护系统，应包括：

- ① 保护原理；
- ② 系统组成；
- ③ 信号采集与通信；
- ④ 保护功能介绍；
- ⑤ 调压系统故障检测方法说明；

- ⑥ 调速系统故障检测方法说明。
 - (4) 选择性保护分析报告，应包括：
 - ① 保护功能说明；
 - ② 详细的保护功能分析（含整定的参数）。
 - (5) 故障穿越能力分析（含原理描述、参数整定、承受时间说明等）。
 - (6) 容性电流计算书（中压接地系统）。
 - (7) FMEA 报告（含最终版本）。
 - (8) 试验程序（含第 4 章试验内容）。
 - (9) 闭环系统通信/控制网络。
 - (10) 其它结合实际情况需要提交的图纸资料。
- 1.3.1.3 还需要提交如下资料备查：
- (1) 动态分析报告，应包括：
 - ① 工况说明；
 - ② 参数设置说明；
 - ③ 分析结果；
 - ④ 与实船试验后结果对比说明。
 - (2) 结果记录表。
 - (3) 对闭环相关试验前的潜在危险识别分析报告。
 - (4) 其它结合实际情况需要提交的图纸资料。

第 2 章 设计要求

第 1 节 一般规定

2.1.1 一般要求

2.1.1.1 闭环 DP 下，无论发生任何故障其后果都不得超过最严重故障设计意图。

2.1.1.2 常见的保护类型以及使用见附表 A。主保护包含一次保护和二次保护，推荐使用的其它保护类型不能当作主保护。随着技术发展，该表可以进行修改。

第 2 节 短路电流计算及短路选择性保护

2.2.1 一般要求

2.2.1.1 闭环 DP 配电系统须要进行精确的短路电流分析计算，短路点确定应考虑可能发生的情况，至少应考虑包括发电机出线端、母排、负载变压器低压侧、作业设备系统、低压配电板进线端等，短路应包括三相对称短路和相相不对称短路。

2.2.1.2 短路电流计算的数学模型应该足够精确，与动态分析等计算模型一致，且计算结果与动态分析结果和实船试验结果应一致。

2.2.1.3 电力系统保护设计应具有选择性，尤其发电机进线开关、负载供电开关、母联、变压器高/低压侧开关、低压配电板进线开关、作业设备供电开关等应具有选择性，同时也应该考虑到重负载启动时变压器/电机等所需匹配的选择性保护。

2.2.1.4 对于中压高阻接地系统，应提交正常运行时的容性电流计算书。

第 3 节 发电机组

2.3.1 一般要求

2.3.1.1 发电机组应至少设有过载、短路、欠压/过压、欠频/过频、差动、逆功率、不平衡等保护，发电机组绕组、轴承、内部循环空气宜进行温度检测和保护。

2.3.2 技术要求

2.3.2.1 闭环 DP 时，发电机组不应运行在恒频模式，除非设有能够在发电机恒频模式

下工作的 GP 系统，可以实现自我监测和快速隔离，有效阻止自身各种故障对其它机组及整个电网的影响。

2.3.2.2 发电机管理系统、调速器的供电电源如依赖于外部电源，则应尽可能双电源供电，至少其中一路为 UPS，且避免交叉供电。

2.3.2.3 对于发电机电压调节器（AVR）的操作电源和控制电源都应双电源供电。控制电源之一应为 UPS。

2.3.2.4 发电机励磁方式尽可能采用永磁发电机。发电机励磁过程应该有足够快的反应，以应对快速启动等需求。

2.3.2.5 调速器油门检测器应为双套。

2.3.2.6 当发电机组停机时，应该能自动灭磁。

2.3.2.7 应设有合理的保护逻辑，确保由发电机组的故障导致的最严重后果不得超过最严重故障设计意图。

第 4 节 配电板和功率管理系统

2.4.1 一般要求

2.4.1.1 与发电机连接的母排应设有短路、接地、负序、欠压/过压、欠频/过频等保护。

2.4.1.2 配电板的故障模式至少包括短路、接地、相不平衡、欠频/过频、欠压/过压，以及断路器的隐性故障。

2.4.1.3 功率管理系统应满足常规 DP-2/DP-3 系统要求。

2.4.2 技术要求

2.4.2.1 对于 DP-2，不同冗余组之间母排的连接，如果不满足 1.2.3.1 要求，应由 2 个断路器组成，断路器之间应进行电气连锁，当一个断开后，另一个也自动断开。断路器之间的连接电缆的芯数应该尽量少。

2.4.2.2 对于 DP-3，不同冗余组之间母排的连接，应由 2 个断路器组成，断路器之间应进行电气连锁，当一个断开后，另一个也自动断开。母联断路器尽可能满足 1.2.3.1 要求。断路器之间的连接电缆的芯数应该尽量少。

2.4.2.3 同一配电板内母排之间的联络开关在其故障后不会超过最大故障设计意图的前提下，可以是一个断路器，可以不做监测电路，也可以不参与选择性保护。

2.4.2.4 由母排供电的推进器、作业设备的变压器，如带有预充磁功能，合闸时应保证变压器一次电压和电网同步，以尽量避免合闸过程对电网的冲击。

2.4.2.5 发电机开关和母联都应具有至少两种同步检测功能。

2.4.2.6 配电板应具有尽量高的可靠性和完整性，比如高压配电板采用绝缘母排、空气/SF6 绝缘柜体、断路器采用六氟化硫(SF₆)或者真空断路器等做法。

2.4.2.7 对于闭环系统 DP 系统，功率管理系统应与 GP 通信，实现故障发电机组的隔离和备用发电机的启动；确认局部/全船失电状态，启动快速恢复操作；实现电站负荷分配模式的安全切换等功能。

第 5 节 发电机保护 (GP)

2.5.1 一般要求

2.5.1.1 发电机保护是指区别于常规的差动、逆功率、欠压、短路、接地等保护，专门用于对发电机组的动态性能参数进行监测和保护。

2.5.2 技术要求

2.5.2.1 GP 应能实时检测发动机及发电机内部输入动态参数、实际输出测量值和设定参数，并在他们之间进行比较，及时发现故障发电机组并采取针对性措施。一般的参考工作模式如下图 2.5.2.1 所示。

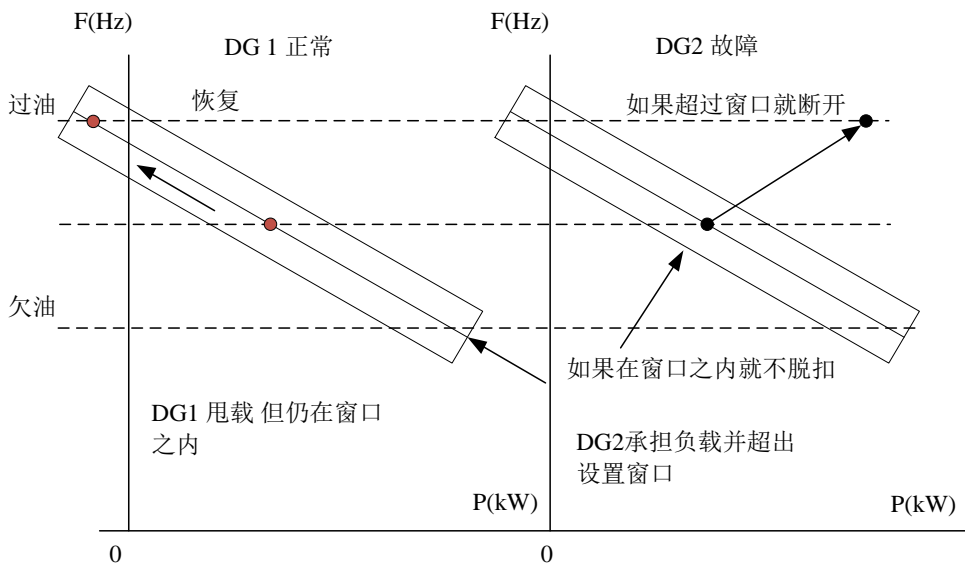


图 2.5.2.1 发电机保护模式

2.5.2.2 在提交的 GP 报告中，需描述 GP 的功能、供电、逻辑控制、发电机组的基本性能，如调压和调速特性以及对发电机和区域保护的整定等内容。整定内容应包括判断 GP 所在发电机自身内部过励/欠励、欠功率/过功率，其他并联在线发电机过励/欠励、欠功率/过功率等内容。

2.5.2.3 闭环 DP 中每个冗余组之间的发电机保护模块应相互独立。每个冗余组内的发电机保护模块应尽可能相互独立。

2.5.2.4 对于母排闭合的环形系统，GP 系统能够识别故障发电机的能力应与系统所设计的最小在线发电机数量匹配。

2.5.2.5 船厂或者设计院应提供 GP 保护和电力系统保护的协调性文件以供批准。

2.5.2.6 GP 应独立于船舶自动化、PMS、调速系统、调压系统和参与有功、无功分配的所有子单元。当 GP 可以关闭时，应该至少还有对发电机的保护及其二次保护的措施存在，并需要实船验证。

2.5.2.7 为了保证连续供电，在保护动作前应该采用不同的（状态、测量）信号进行判断，避免误动作。

2.5.2.8 发电机保护系统应能对自动电压调节器的指令信息和状态反馈信息进行监测，如果偏差超过预设值，应立即报警或跳闸。

2.5.2.9 发电机保护系统应能对发动机油门的开度指令信息和实际油门开度位置进行监测，如果偏差超过预设值，应立即报警或跳闸。

第 6 节 选择性保护

2.6.1 一般要求

2.6.1.1 对于 DP-2 系统，如果母排之间的母联断路器是 2 个，则可以不考虑断路器隐性故障；如果是母联断路器是 1 个，除非母联断路器满足 1.2.3.1 要求，否则隐性故障应给与考虑。

2.6.1.2 对母排内的联络开关的隐性故障，在不会超过最严重故障设计意图的前提下，可以不做考虑。

2.6.1.3 保护应是故障安全的。单一部件失效，不应同时影响一次保护和二次保护的功能和执行。

2.6.1.4 对于同一系统/设备的一次保护、二次保护可以基于同一保护原理。监测信号如果来自同一互感器/传感器，则尽量来自同一互感器/传感器的不同线圈。一次保护和二次保护功能的触发要来自不同的控制器或继电器，如果脱扣信号是发给同一断路器时，至少一次保护和二次保护信号能动作于不同的脱扣线圈。

2.6.1.5 同一母排相关的控制器和继电器都应采用两路供电，其中之一为 UPS。

2.6.1.6 备用保护可以采用与一次保护或者二次保护相同的信号源。

2.6.1.7 对互感器/传感器要有必要的监测或者测量手段。一旦监测出现故障之后，在满足故障安全原则的前提下，应能进行相关功能屏蔽，能够阻止原有逻辑动作的发生，并及时报警。

2.6.1.8 同一冗余组之内的继电器及控制器通信回路应该满足冗余要求。不同冗余组之间配电板的通信回路，如果故障之后不影响各自继续运行，则可以不冗余。

2.6.1.9 区域保护应有有效的选择性，保证系统保护顺序合理，且在不超过 DP 最严重设计故障意图的前提下，故障隔离区域尽可能最小且足够快速。

2.6.1.10 选择性保护至少考虑如下故障的保护，并且各种保护都至少有两种主保护。对于欠压/过压和欠频/过频保护，在设置系统保护选择性时，还要考虑与设备厂家自身设置的保护/允许值相协调。

- (1) 短路；
- (2) 接地；
- (3) 相不平衡；
- (4) 负载突增/突减。

第 7 节 快速恢复

2.7.1 一般要求

2.7.1.1 应该有不同的方式确认失电情况发生，由功率管理系统、配电板、发电机组、推进系统、DP 控制系统按照逻辑程序实施快速启动。

2.7.1.2 发电机组、推进器和它们的辅助系统应该具有一定的自主性，比如采取机带滑油泵、冷却泵、燃油气动泵等，便于实施快速启动并恢复供电。在快速恢复过程中，可以根据辅助系统的重要性，设置不同的恢复时间和顺序，但必须是有利于 DP 的快速恢复。

2.7.1.3 如果与发电机和推进器连接的母排发生短路,则应能够阻止故障段母排快速恢复程序的启动。

2.7.1.4 发生局部失电时,应该根据故障性质确定是否具有快速启动并恢复供电能力,从 PMS 快速恢复指令开始到推进器具备 DP 操作条件整个恢复时间应该在 60s 之内完成。

2.7.1.5 当发生如下故障导致整个或者局部系统失电时,系统也应具有快速恢复供电能力:

- (1) 故障导致发电机停机;
- (2) 故障导致发电机离线;
- (3) ESD 的误操作/误动作后复位(如可行)。

2.7.1.6 快速恢复过程中不应使用应急发电机及相关电源作为辅助电源。

第 8 节 故障穿越

2.8.1 一般要求

2.8.1.1 所有与 DP 相关的控制系统(含外围设备)、各电压等级的电力系统、推进器系统、UPS 以及所有相关的辅助系统等应具有故障穿越能力。这里的故障一般是指 2.8.2.2 所列故障。故障穿越能力的定义见 1.1.4.2。

2.8.2 具体要求

2.8.2.1 在故障穿越过程中,可以根据辅助系统的重要性,设置不同的穿越时间。DP 控制系统、推进器系统、发电机系统、辅助设备的穿越时间应满足整体保护要求。

2.8.2.2 引起过压/欠压、过频/欠频的故障包括:

- (1) 负荷突然增加/减少;
- (2) 母排短路;
- (3) 母排接地(2 相或 3 相)。

2.8.2.3 故障穿越能力应在实船试验时进行验证。

第 9 节 谐波

2.9.1 一般要求

2.9.1.1 电力系统中应该根据变频器设备的设置、滤波器故障对 DP 系统影响范围等因素设有适当的谐波测量/显示装置。

2.9.1.2 闭环电站应考虑潜在的滤波器故障等引起的电网谐波超出了 1.2.2.2 要求,导致辅助设备脱扣停机。

2.9.1.3 如果系统配有滤波器时,则在实船试验时,应模拟因为滤波器故障引起的最大谐波分量下的试验,验证系统具有承受能力。

2.9.1.4 上述 2.9.1.3 中模拟谐波时应该包含 $(6*N\pm 1)$ 次谐波,N 为 6 脉冲整流器个数。

第 10 节 动态分析

2.10.1 一般要求

2.10.1.1 对于闭环 DP 系统,依据船舶实际情况,需建立精确的数学模型对系统在正常工况和如下故障工况下的运行进行模拟,并能记录全部计算过程。

(1) 各区域的短路及电流;

(2) 大负载合闸时的冲击电流的模拟;

(3) 短路故障清除过程中正常母线发电机同步情况及保护动作之后的母排电压/频率恢复过程;

- (4) 至少对二次保护动作的模拟;
- (5) 对故障穿越的模拟(含发电机、推进器变频器、辅助系统变频器(如有时));
- (6) 相不平衡故障模拟;
- (7) 励磁及调速器故障;
- (8) 接地故障模拟;
- (8) 一台发电机突发故障模拟;
- (9) 一台变压器突发故障模拟。

2.10.1.2 动态分析形成报告和响应参数表,以便作为实船试验的依据和对照。

2.10.1.3 数学模型中,发电机的参数曲线应是实测的带 AVR 一同进行的全电压短路衰

减曲线。

2.10.1.4 在实船试验中测到结果与动态模拟不一致时，应该进行分析，找出原因，给出说明，报告升版后提交给我社。

第 11 节 互感器/传感器

2.11.1 一般要求

2.11.1.1 电流/电压互感器、传感器（弧光传感器、变送器）应该至少满足《钢质海船入级规范》第 4 篇第 3 章、第 7 篇和《电气电子产品型式认可试验指南》相关要求，并需持有本社产品证书。

2.11.1.2 互感器副边侧应可靠接地。

2.11.1.3 互感器/传感器应该有足够的精度和反应时间，准确测量信号值及状态变化。

2.11.1.4 在设计中，要考虑到包括副边侧线圈故障、磁饱和等故障模式，要有对应措施，防止保护失效或误动作。

第 12 节 控制系统

2.12.1 一般要求

2.12.1.1 本节控制系统是指 GP、选择性保护、快速恢复、故障穿越等相关监测、自诊断、逻辑判断、动作执行等功能和网络组成的系统。

2.12.1.2 控制系统的基本性能应至少满足《钢质海船入级规范》第 7 篇相关要求。

2.12.1.3 所有相关的可编程控制器（PLC）或继电器应持有本社型式认可证书。

第 3 章 故障模式及影响分析 (FMEA)

第 1 节 一般规定

3.1.1 一般要求

3.1.1.1 基于实际船舶的设计和配置、布置情况，闭环动力定位系统需要由独立第三方完成的 FMEA，用于识别和定性评估单一设备故障的严重程度及其对设备、人员、环境和生产的影响。

3.1.1.2 报告需要在海上试验程序提交我社之前提交批准。

第 2 节 范围及流程

3.2.1 一般要求

3.2.1.1 FMEA 范围应包括：

- (1) 发动机/发电机系统及保护（含 GP）；
- (2) DP 相关电力系统及保护（含故障穿越、快速恢复、同步操作等）；
- (3) 功率管理系统（PMS）；
- (4) 推进系统及保护；
- (5) 包括燃油、滑油、冷却水、压缩气体、通风、空调等在内的辅助系统；
- (6) 应急关断、消防等在内的安全系统及其故障安全设计理念；
- (7) 辅助电源；
- (8) 网络及通信系统；
- (9) 上述系统的防火/水密分隔（适用于 DP-3）。

3.2.1.2 FMEA 基本流程如下：

- (1) 建立系统边界，列出所有需要分析的子系统和设备；
- (2) 识别每个组件/子系统的故障模式；
- (3) 识别和记录每个组件/子系统的关键故障模式；
- (4) 描述所有系统的主要组成部分；
- (5) 构建功能方框图，显示它们之间的相互作用；

- (6) 所有活动部件上的重要单一故障；
- (7) 确定与每种故障模式相关的预测的最可能的原因；
- (8) 识别每一次故障对船舶位置的瞬态效应，即后果；
- (9) 识别检测故障发生的方法；
- (10) 故障对系统其余部分作业能力的影响；
- (11) 识别常见的公用设施，如电源、润滑油、燃料油、液压油、冷却水/空气系统，并识别潜在/公共故障模式；
- (12) 如果系统的某些部分被确定为非冗余的，并且不可能存在冗余，则在可靠性和机械保护方面确定缓解因素；
- (13) 确定在海上试验期间进行的试验计划，以证明在 FMEA 中建立的冗余性。

3.2.1.3 闭环 DP FMEA 应额外考虑如下内容：

- (1) 闭环电站发电机组、配电板、负载等相关保护及故障（含隐形故障）的识别分析；
- (2) 闭环电站发电机组、配电板、负载等相关保护原理分析；
- (3) 闭环电站发电机组、配电板、负载等相关通信及故障（含隐形故障）的识别分析；
- (4) 发电机保护系统的冗余性分析。

第 3 节 故障模式

3.3.1 一般要求

3.3.1.1 闭环 DP 所需要考虑的故障模式包括但不限于：

- (1) 发电机组故障模式包括：
 - ① AVR 电流互感器故障；
 - ② AVR 电压互感器故障；
 - ③ AVR 控制电源故障；
 - ④ 励磁电流监测故障；
 - ⑤ AVR 操作电源故障；
 - ⑥ 其它 AVR 故障导致欠压/过压；
 - ⑦ AVR 通信故障（如有）；
 - ⑧ 调速器传感器信号故障；

- ⑨ 油门调整机构故障;
- ⑩ 调速器电源故障;
- ⑪ 调速器故障;
- ⑫ 其他原因导致的过油或欠油故障;
- ⑬ 调速器通信故障 (如有);
- ⑭ 同步故障;
- ⑮ 设计允许最小在线发电机数量下发电机保护能力的验证。

(2) 短路保护故障模式:

- ① 发电机短路;
- ② 母排短路;
- ③ 母联电缆短路;
- ④ 馈线回路短路。

(3) 接地保护故障模式:

- ① 发电机接地;
- ② 母排接地;
- ③ 母联电缆接地;
- ④ 馈线回路接地。

(4) 相不平衡保护故障模式:

- ① 发电机相不平衡;
- ② 母排相不平衡;
- ③ 母联电缆相不平衡;
- ④ 馈线回路相不平衡。

(5) 短路、接地等引起的欠频/过频、欠压/过压故障模式:

- ① 发电机组;
- ② 母排。

(6) 滤波器故障:

- ① 滤波器故障。

(7) 网络故障

- ① 控制、通信网络故障 (含重要设备和关键信号接口)。

(8) 功率管理系统 (PMS)

①功率管理系统故障（接口、通信、误操作等）对保护、故障穿越、快速启动的影响。

第 4 节 报告更新与提交

3.4.1 一般要求

3.4.1.1 船舶进行海上试验之后，结合试验结果，需要对报告进行升版并重新提交我社批准。

3.4.1.2 如果在营运期间，发生了相关设备（软件）的更换，则报告需要升版并提交批准，同时需要对更换内容进行试验验证。

第 4 章 试验与测试

第 1 节 一般规定

4.1.1 一般要求

4.1.1.1 本指南中，试验包括码头试验、海上试验，统称实船试验。试验方法包括实船模拟试验和实船实效试验。

4.1.1.2 对于闭环 DP-3 应对短路、接地、相不平衡进行实船模拟试验，对 GP、穿越能力、快速恢复功能等进行实船实效试验验证，并记录结果。对于闭环 DP-2 应对其快速恢复能力和 GP 保护进行实船实效试验验证，其他保护功能及穿越能力可以使用仿真/模拟计算及实船模拟试验验证，具体要求见 4.2.1.1。

4.1.1.3 实船试验前，需要结合动态分析报告及设备厂家提供的参数，对包括发电机、推进器等在内的各类设备和系统、控制器、传感器、网络等进行详细的调试和参数设置，确定能够满足试验要求和试验目的。实船试验应包括所有的工况配置模式。

4.1.1.4 试验和测试程序需要经过我社批准。试验前，应对各类试验内容、操作步骤进行充分的风险评估 (HAZID 分析)，保障试验人员和环境安全，满足试验程序中对试验条件的要求，试验中尽量避免因试验导致设备的损坏。

第 2 节 试验内容

4.2.1 一般要求

4.2.1.1 试验内容应至少包括第 2 章提到的需要试验验证的保护功能，包括但不限于如下内容：

(1) 发电机组故障及保护功能：

- ① AVR 电流互感器故障；
- ② AVR 电压互感器故障；
- ③ AVR 控制电源故障；
- ④ 励磁电流监测故障；
- ⑤ AVR 操作电源故障；

- ⑥ 其它 AVR 故障导致的欠压/过压;
- ⑦ AVR 内部软件异常;
- ⑧ 通信故障 (如有);
- ⑨ 调速器信号故障;
- ⑩ 调速器电源故障;
- ⑪ 油门调整机构故障;
- ⑫其它原因导致的过油或欠油故障;
- ⑬ 有功/无功分配故障;
- ⑭同步故障;
- ⑮设计允许最小在线发电机数量下发电机保护能力的验证。

说明: DP-2 和 DP-3 需进行海上实船实效试验。

(2) 短路保护:

- ① 发电机短路;
- ② 母排短路;
- ③ 母联电缆短路;
- ④ 馈线回路短路。

说明: DP-2 和 DP-3 进行实船模拟试验。

(3) 接地保护:

- ① 发电机接地;
- ② 母排接地;
- ③ 母联电缆接地;
- ④ 馈线回路接地。

说明: DP-2 进行实船模拟试验, DP-3 至少进行母排接地实船实效试验。

(4) 相不平衡保护:

- ① 发电机相不平衡;
- ② 母排相不平衡;
- ③ 母联电缆相不平衡;
- ④ 馈线回路相不平衡。

说明: DP-2 和 DP-3 进行实船模拟试验。

(5) 欠频/过频、欠压/过压保护:

- ① 发电机保护;
- ② 母联保护。

说明: DP-2 和 DP-3 进行实船模拟试验。

(6) 快速恢复试验:

- ① 在自动控制模式下模拟失电, 记录响应过程及时间;
- ② 包括 2.7.1.5 在内的故障模式。

说明: DP-2 和 DP-3 海上实船实效试验, 包含局部和全船失电。

(7) 故障穿越试验:

- ① 母排三相短路;
- ② 母排接地故障;
- ③ 电压突升/突降。

说明: DP-2 至少进行母排三相短路仿真/模拟计算和电压突升/突降实船实效试验; DP-3 进行全部海上实船实效试验。

(8) 滤波器故障试验:

- ① 模拟滤波器故障 (如有滤波器)。

说明: DP-2 和 DP-3 均需要海上实船实效试验。

(9) 通信网络试验

- ① 模拟网络断线故障;
- ② 模拟网络数据风暴故障。

说明: DP-2 和 DP-3 均需要海上实船实效试验。

(10) 功率管理系统

① 验证功率管理系统故障 (接口、通信、误操作等) 对保护、故障穿越、快速启动的影响。

说明: DP-2 和 DP-3 均需要海上实船实效试验。

第 5 章 营运检验

第 1 节 一般规定

5.1.1 一般要求

5.1.1.1 参照《钢质海船入级规范》第 1 篇营运检验和试验内容。

5.1.1.2 在船舶特检时，相关的电力系统应进行系统故障穿越（三相短路接地）/快速恢复试验，试验程序提前交由现场验船师批准，试验应有验船师现场见证。

5.1.1.3 如果船舶在运营期间出现了自动脱扣、局部失电、恢复失败、穿越失效等，则应该查找原因并进行记录，书面提交我社以供评估。

附表 A 推荐使用的保护功能

ANSI Code	保护功能	保护对象				
		发电机及开关	母联	日用变压器供电开关	推进器回路供电开关	联络开关
主保护						
25	同步	x	x	x	x	x
32	逆功率	x				
27	欠压	x	x			x
40	欠励磁	x				
46	相不平衡	x	x	x	x	x
49	绕组温度	x		x	x	
50	短路瞬动	x	x	x	x	x
51/51V	过载/过流	x	x	x	x	x
59	过压	x	x			
67BB	母排短路		x			x
67BBNS	母排接地方向保护		x			x
67G	发电机接地保护	x				
67Ns	接地方向保护		x	x	x	x
81O	过频	x	x			x
81U	欠频	x	x			x
86	锁定	x	x	x	x	x
87G	发电机差动	x				
87L	电缆差动		x			x
87NsL	电缆接地		x			x
U0>	位移电压报警	x	x	x	x	x
备用保护						

74TC	断路器监测回路	x	x	x	x	x
传感器	弧光保护		x			x
MCS3I	电流测量回路监测	x	x	x	x	x
60	电压测量回路监测	x	x	x	x	x
CBCM	断路器状态监测	x	x	x	x	x
60FL	电压互感器熔断器	x	x	x	x	x
50BF	断路器故障保护	x	x	x	x	
1>>>	故障接通	x	x		x	