



中国船级社

基于闭合母排的动力定位系 统指南

(修订稿)

2023年8月

北京

目 录

第 1 章 总则.....	1
第 1 节 一般规定.....	1
第 2 节 技术原则.....	2
第 3 节 图纸资料.....	5
第 2 章 设计要求.....	7
第 1 节 一般规定.....	7
第 2 节 短路电流计算及短路选择性保护.....	7
第 3 节 发电机组.....	7
第 4 节 配电板和功率管理系统.....	8
第 5 节 先进发电机保护系统 (AGPS)	9
第 6 节 闭合母排电站保护设置.....	10
第 7 节 快速恢复.....	11
第 8 节 故障穿越.....	12
第 9 节 谐波.....	13
第 10 节 动态分析.....	13
第 11 节 互感器/传感器.....	14
第 12 节 控制系统.....	14
第 3 章 故障模式及影响分析 (FMEA)	15
第 1 节 一般规定.....	15
第 2 节 范围及流程.....	15
第 3 节 故障模式.....	16
第 4 节 报告更新与提交.....	17
第 4 章 试验与测试.....	18
第 1 节 一般规定.....	18
第 2 节 试验内容.....	18
第 5 章 营运检验.....	20
第 1 节 一般规定.....	20
附表 A 推荐使用的保护功能.....	21

第 1 章 通 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》、GB/T 14285-2006《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基础上而编制。

1.1.1.2 本指南旨在为动力定位系统闭合母排为直线型和环形的电力系统的设计、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上平台或海上设施。

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，并经过本社评估。

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，对于未做特殊要求的控制系统、外围测量系统、辅助系统、安全系统除满足故障穿越要求外，其余方面参照开环动力定位系统要求即可。

1.1.1.6 本指南内容仅是针对动力定位系统相关的配电与设备及系统要求，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船舶的动力定位时，需满足短路、接地、相不平衡等协调保护要求，但对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/直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、具有类似闭合母排电站配置/功能的双供电等系统。

1.1.2.2 母排之间开关闭合包括直线型母排闭合和环形母排闭合，简称闭合母排。本指南中的内容，除有具体说明外，均适用于上述两种母排闭合形式的电力系统。

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，对应授予附加标志为：

DP-2 (CBV)；

DP-2 (CBNV)；

DP-3 (CBV)；

DP-3 (CBNV)；

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	闭合母排(Closed Bustie)
CBV	闭合母排实船见证(Closed Bustie Onboard Verification)
CBNV	闭合母排不需要实船见证(Closed Bustie Not Onboard)
DP	动力定位
GOVERNOR	调速器
FMEA	故障模式及影响分析
AGPS	先进发电机保护系统
PMS	功率管理系统
IMO	国际海事组织
WCFDI	最严重故障设计意图(Worst Case Failure Design Intent)
AMS	报警与监测系统 (Alarm and Monitoring System)

1.1.4.2 本指南中涉及到的定义如下：

(1) 主保护是满足系统稳定和设备安全要求，能以最快速度有选择地切除被保护设备和线路故障的保护。闭合母排电站可以接受只设置可靠的主保护。

(2) 后备保护是主保护或断路器拒动时，用以切除故障的保护。后备保护可分为远后备和近后备两种方式。

① 远后备是当主保护或断路器拒动时，由相邻电力设备或线路的保护实现后备。

② 近后备是当主保护拒动时，由该电力设备或线路的另一套保护实现后备的保护。当断路器拒动时，由断路器失灵保护来实现的后备保护。

(3) 继电保护：主保护和/或其对应的后备保护的统称。

(4) 辅助保护是为补充主保护和后备保护的性能或当主保护和后备保护退出运行而增设的简单保护。辅助保护不能替代主保护和后备保护。

(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），在故障被自动清除之后，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。故障穿越阶段一般是指故障发生到电压和频率恢复至暂态值。

(6) 快速恢复：是指因为过载、短路、误操作等导致的某个冗余组失电之后，包含发电机组、配电板、推进器系统等，能够自动按照预设的逻辑，在指定的时间内恢复到可用状态。

(7) 双供电 (Dual Feeding)：是指不同冗余组汇流排同时向一个或等同一个汇流排供电的形式。被供电汇流排可能与 DP 无关。

(8) 大小机配合：是指在闭合母排主汇流排上并联接入的额定功率不同主发电机组的配电形式。

第 2 节 技术原则

1.2.1 一般要求

1.2.1.1 闭合母排 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 电站基本要求

1.2.2.1 电压、频率等要求应满足本社规范要求。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 1：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 谐波成分应满足《钢质海船入级规范》第 4 篇第 1 章的要求。

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。

1.2.2.5 高压配电板系统应满足《钢质海船入级规范》第 4 篇第 2 章第 14 节的要求。

1.2.2.6 直流配电系统应满足本社《船舶直流综合电力系统检验指南》要求。

1.2.2.7 动力锂电池系统应满足本社《船舶应用电池动力规范》相关要求。

1.2.3 可靠性要求

1.2.3.1 闭合母排系统应具有一定的可靠性要求，保证系统的连续和稳定，这些具体措施包括：

- (1) 单一故障对系统的影响，应尽可能的小，最大不超过 WCFDI；
- (2) 不同冗余组的控制回路、UPS、辅助系统等不应交叉，保持相互独立；
- (3) 控制/通信网络（含交换机、网络分布单元）、PMS、AGPS、推进器控制系统等因为整船控制需要的系统，应该满足一定的电气/物理隔离或冗余性，通过 FMEA 分析，不存在超过 WCFDI 的公共故障点；
- (4) 使用附加的物理分隔、高可靠性的设备/互感器、高等级绝缘的母排、单芯母联电缆、额外的保护逻辑加以辅助判断等；
- (5) 更多/额外的辅助通信、监测和报警、指示，通过对设备/系统状态、测量信号、动作执行及结果、反向闭锁等的措施，辅助系统的保护、管理逻辑判断，有利于整个电力系统的连续和稳性行；
- (6) 用于同一种保护的输入信号不应来自同一互感器，用于保护、管理等的校核信号不应来自同一互感器；
- (7) 备用设备/系统，如备用泵、传感器、控制回路、穿越电源等，应设有状态监测或报警指示功能；
- (8) 容易误操作的设备应有相应的防止误操作措施。

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 控制元器件（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。

1.2.3.4 与主母排连接的发电机主断路器、馈电断路器、母联开关等应尽可能采用双脱扣线圈，如果采用单一脱扣线圈时，应设有监测回路，或设置断路器故障保护（如 50BF）等其它措施也可以接受。

1.2.4 安全性要求

1.2.4.1 任何闭合母排 DP 系统，都应能够在母联断开下正常运行。

1.2.4.2 发电机、推进器、PMS 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。

1.2.4.3 动力锂电池的舱室布置及监测、通风、消防等应满足 DP 冗余要求和《船舶应用电池动力规范》相关要求，并设有其最小电量报警和指示，以满足闭合母排电站快速恢复和备用电源要求。

1.2.4.4 DP 模式下，闭合母排时，电站失电的汇流排数最多不应该超过 WCFDI。

1.2.4.5 闭合母排电站系统的所有保护，都需要具备可重复性。

1.2.5 其它要求

1.2.5.1 闭合母排 DP 的保护原则如下图 1.2.5.1 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。

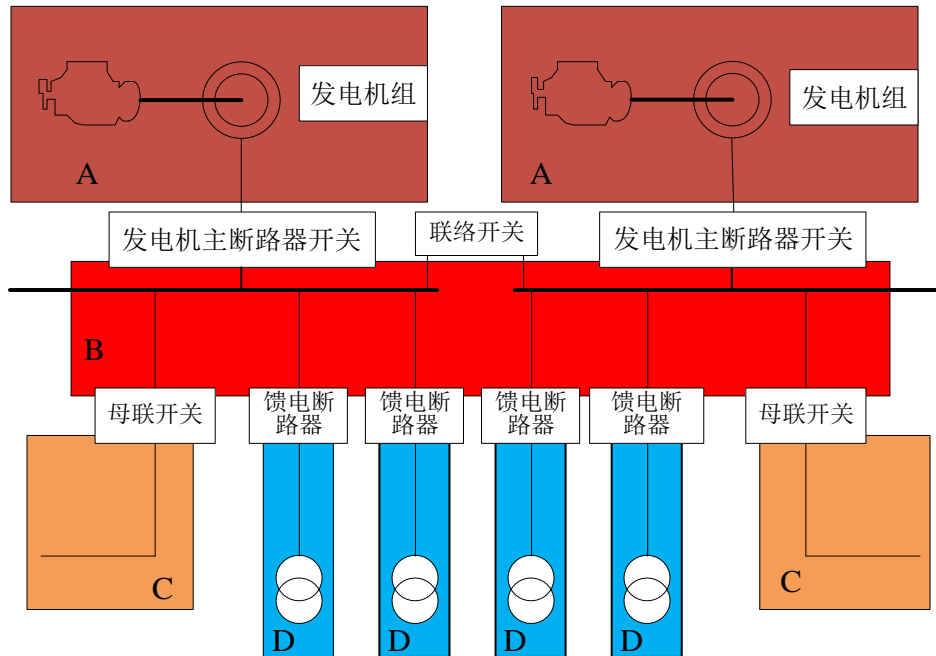


图 1.2.5.1 区域保护原理

第 3 节 图纸资料

1.3.1 一般要求

1.3.1.1 闭合母排 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，针对闭合母排 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；
包括电力系统的配置、DP 工况的定义、供电范围、相关连锁、母联开关的状态、WCFDI 等。
- ② 接地方式描述及电阻选取；
对于中高压系统，说明接地方式、接地电流的确定、接地电阻计算过程。
对低压/直流系统，包含对绝缘监测及其可靠性的描述。
- ③ 各保护设置及动作之后运行模式；
对各类保护设置的原理说明，至少含发电机组（电源）进线、馈电、母排、母联等故障后的运行模式。
- ④ 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、功率管理功能等说明。
- ⑤ 推进器、配电板、变压器/变频器的作业模式和保护原理图和说明；
- ⑥ 快速恢复；
含发电机组、推进器组、PMS 等自动恢复过程描述和逻辑说明。
- ⑦ 功率限制及预防局部失电；
包含具体功率管理方案描述和逻辑说明。

(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 闭合母排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 电机启动器（如有）；
- ⑤ 变频器；
- ⑥ 同步装置原理和说明；
- ⑦ 与 PMS、AGPS、DP 等对外通信和供电原理及说明。

(3) 发电机组保护系统，应包括：

- ① 保护原理；
- ② 系统组成及供电；
- ③ 信号采集与通信；
- ④ 保护功能介绍；
- ⑤ 调压器控制及监测；
- ⑥ 调速器控制及监测。

(4) 选择性保护分析报告，应包括：

- ① 保护功能说明；
- ② 各保护功能详细说明及整定。

(5) 故障穿越能力分析。

包含穿越场景和过程描述、参数整定、穿越时间说明等，推进变频器、舵机变频器（如有）的穿越能力描述，日用变压器、推进器变压器、变频器、推进器电机的辅助系统、循环油泵、舵机的穿越能力说明。

- (6) FMEA 报告（含最终版本）。
- (7) FMEA 试验验证程序/报告（含第 4 章试验内容）。
- (8) 闭合母排电站通信/控制网络。
- (9) 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) 短路、接地、相不平衡故障下的动态分析报告，应包括：
 - ① 工况说明；
 - ② 参数设置说明；
 - ③ 分析结果及说明；
 - ④ 与实船试验后结果对比说明；
 - ⑤ 如果是大小机配合，还需要包含有无功变化曲线；
 - ⑥ 双供电汇流排故障下的暂态分析内容（如有）。
- (2) 第 4 章内试验结果记录表。
- (3) 对闭合母排电站相关试验前的潜在危险识别分析报告。
- (4) 容性电流计算书（适用于高压接地系统）。
- (5) 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 闭合母排时，任何单一故障其后果都不得超过最严重故障设计意图，应包含在 FMEA 分析中，且通过试验验证。

2.1.1.2 常见的保护类型及使用见附表 A。推荐使用的其它保护类型只能作为辅助保护。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 闭合母排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一致，对于具有附加标志 CBV 的船舶，数学模型计算结果应与实船试验结果一致。

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冲击电流对选择性保护的影响。

2.2.1.4 对于高压高阻接地系统，应提交正常运行时的容性电流计算书。

2.2.1.5 对于高阻接地或对地绝缘的中/高压系统，应有应对因为间歇接地引起的过压措施，有报告/资料证明过压得到有效抑制的措施。

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，发电机定子绕组、转子轴承、内部循环空气宜进行温度监测和保护。

2.3.2 技术要求

2.3.2.1 闭合母排 DP 时，发电机组最好运行在恒频模式，除非设有能够在发电机恒频模式下工作的 AGPS 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，则其供电电源应尽可能

能可靠。对于 DP3 系统，应尽可能双电源供电，至少其中一路为 UPS，且避免不同冗余组之间交叉供电。

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应独立可靠，且电源应设有短路保护和监测。DP-3 系统，发电机电压调节器（AVR）的操作电源和控制电源均应双电源供电，电源应设有短路保护和监测。

2.3.2.4 发电机的调压器和柴油机的调速器应有足够快的反应速度，以满足快速启动、突加突卸等需求。

2.3.2.5 调速器和调压器均应设有状态监测和反馈信号功能。

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（WCFDI）。

2.3.2.8 大小机配合时，从机组选型时，应考虑到其转动惯量的匹配问题，实现调速、调压性能匹配及负荷分配，这些应包含在暂态分析报告中给予描述说明。

2.3.2.9 如果采用动力锂电池作为电源时，电源侧应设置的保护参见《船舶直流综合电力系统检验指南》。

2.3.2.10 如果电站采用直流发电机作为电源时，电源侧应设置的保护参见《钢质海船入级规范》第 4 篇第 2 章。

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、突加突卸引起的电网波动，以及断路器的故障。

2.4.1.3 功率管理系统应满足开排 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 1.2.3.4 要求，应由 2 个断路器组成。母联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联锁，当一个断开后，另一个也自动断开。母联断路器尽可能满足 1.2.3.4 要求。断路器之间的连接电缆的芯数应该尽量少。

2.4.2.3 同一冗余组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，以避免合闸过程对电网的冲击及其它设备的影响。

2.4.2.5 同一冗余组母排上发电机的同步，和不同冗余组母排之间的同步都应具有至少两种检测功能，防止误同步动作。不同冗余组母排之间的同步检测功能的信号应来自不同互感器。

2.4.2.6 配电板应具有尽量高的可靠性和完整性，比如中压配电板采用绝缘母排，承受最大短路电流时间尽可能长，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。低压配电板和直流配电板设有绝缘监测，绝缘监测满足在开排和闭排下都能可靠工

作。

2.4.2.7 闭合母排时，功率管理系统应与 AGPS 通信，实现：

- (1) 故障发电机组的隔离和备用发电机的启动；
- (2) 确认局部/全船失电状态，启动快速恢复操作；
- (3) 实现电站负荷分配模式的安全切换等功能。

2.4.2.8 DP-2/3 系统，重新启动的发电机，已启动但未并车的发电机组，未接入的电池组都不当作热备份电源。

2.4.2.9 闭合母排下，每段母排上至少有一台发电机在线。单台在线发电机的负荷率不应超过 $(N-1)/N$ ，这里 N 为在线发电机总台数。如果同一母排上发电机组共用如燃油供应泵、淡水冷却泵等时，且泵没有自动备用时，同一母排上的发电机组应该计为单台机组。

2.4.2.10 需要切换或重新启动的推进器都不应参与 DP 结果分析计算。

2.4.2.11 闭合母排电站上有大小机共同在线时，在选型匹配时，应考虑其不同的转动惯量、不同的调速器/调压器对电站的稳定性的影响。应提交仿真计算结果证明调速器/调压器的影响能满足突加突卸时 PMS 负荷分配要求，不会触发 AGPS 对健康机的隔离，不会发生负荷交替转移，瞬时逆功率不得超过在线最大机组额定功率的 15%。

第 5 节 先进发电机保护系统 (AGPS)

2.5.1 一般要求

2.5.1.1 先进发电机保护系统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 AGPS 应能实时检测发动机及发电机内部输入动态参数、实时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措施。AGPS 工作模式举例如下图 2.5.2.1 所示。

下图中，方框表示 AGPS 保护的设置范围，斜线表示 PMS 内设置的负荷分配曲线。无论是过油/欠油导致的过频/欠频，只要 F-P 点在 AGPS 方框内，AGPS 默认为健康机，如果偏离方框，AGPS 认为是故障机进行隔离。AGPS 也可以基于 P-Q 图（有功/无功曲线图）实施保护。

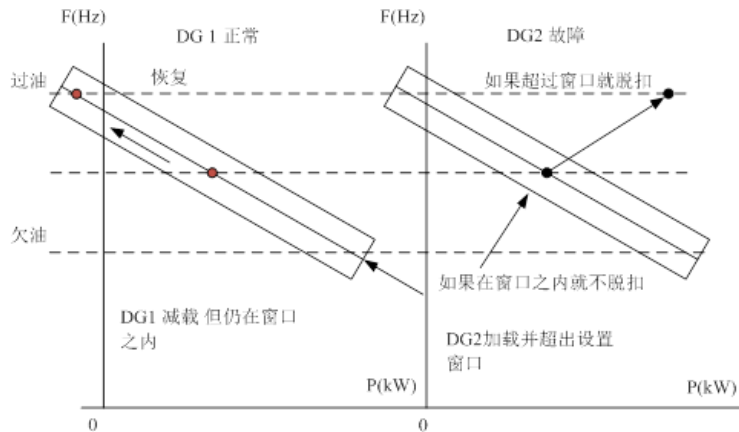


图 2.5.2.1 发电机保护模式

2.5.2.2 在提交的 AGPS 报告中, 需描述 AGPS 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 AGPS 保护的发电机组的过压/欠压、过励/欠励、过油/欠油、过频/欠频、无功/有功分配、逆功率等内容。

2.5.2.3 闭合母排时不同冗余组之间的发电机 AGPS 系统应相互独立, 这里的独立是指保护功能及动作、供电。DP-3 时, 每个冗余组内的发电机保护模块应相互独立。

2.5.2.4 对于闭合母排电站, AGPS 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, 识别方法/原理应在送审的文件资料中给予明确。

2.5.2.5 AGPS 是基于柴油机/调速器、发电机/调压器的性能/功能做出的保护, 协调保护分析一般由电站承包商提供, 因此船厂或者设计院应协调各方, 提供 AGPS 保护和电力系统保护的协调性文档以供批准, 二者不能分开送审。

2.5.2.6 对于直流闭合母排电站, 直流电站的保护分析和交流部分的保护分析应放在同一文档送审。

2.5.2.7 AGPS 应独立于船舶自动化、PMS 和参与有功功率、无功功率分配的所有子单元。当 AGPS 可以关闭时, 应该至少还有对发电机的主保护及其后备保护措施存在, 并需要实船验证。

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, 应立即实施隔离动作。

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, 应立即实施隔离动作。

第 6 节 闭合母排电站保护设置

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 1.2.3.4 要求, 否则隐性故障应给与考虑。对于 DP-3 系统, 母排之间的母联断路器应设 2 个。

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, 不应同时影响主保护和后备保护的功能和执行。

2.6.1.4 对于同一系统/设备的主保护、后备保护应基于不同保护原理。监测和测量信号如果来自同一互感器/传感器, 则应来自同一互感器/传感器的不同线圈。对于 DP-3, 主保护和后备保护功能的触发应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, 至少主保护和备用保护信号能动作于不同的脱扣线圈。

2.6.1.5 不同冗余组母排相关的控制器和继电器的供电要相互独立, 不能交叉供电。

2.6.1.6 辅助保护可以采用与主保护或者后备保护相同的信号源。

2.6.1.7 对于 DP-3 系统, 互感器/传感器应设有必要的监测或者测量手段。当监测或测量其出现故障后, 在满足故障安全原则的前提下, 应能进行相关功能屏蔽, 阻止原有逻辑动作的发生, 并及时报警。

2.6.1.8 闭合母排电站保护相关的继电器、控制器、信号传输的通信回路应足够可靠, 单一故障(如交换机/路由故障、断线、短路、接地等), 结果不能超过 WCFTDI。通信速率应与预期选择性保护方案匹配。

2.6.1.9 闭合母排电站选择性保护系统动作顺序合理，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小且足够快速。

2.6.1.10 闭合母排电站选择性保护，单一信号故障（含互感器、通信回路故障）不应超过 WCFDI。

2.6.1.11 辅助保护不应影响主保护和后备保护，例如反向闭锁功能的故障不能影响后备保护功能。

2.6.1.12 选择性保护中，应能识别和区分因为负荷分配瞬时流过母联的大电流，以及因为负荷均衡导致流过母联零电流的情形而不至于引起误动作，可以采断路器集辅助触点状态加以判断。

2.6.1.13 闭合母排电站来说，不同种类的选择性保护之间应满足协调性。短路保护不应触发接地保护，接地保护也不应触发相不平衡保护。同一种类的保护，例如 AGPS、AVR，主保护/备用保护对电站的欠压/过压和欠频/过频保护也应具有协调性。这些都应在 FMEA 中分析，并在试验中给予验证。

2.6.1.14 选择性保护至少考虑如下故障的保护，至少设置一种可靠的保护。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。对于直流系统，还要考虑变频器的自身过流整定值的作用。

- (1) 短路；
- (2) 接地；
- (3) 相不平衡；
- (4) 负载突加突卸。

第 7 节 快速恢复

2.7.1 一般要求

2.7.1.1 应该设有不同的检测信号确认失电情况发生，由功率管理系统、配电板、发电机组、推进系统按照 PMS 预设的逻辑程序实施快速启动。

2.7.1.2 快速恢复能力主要取决于发电机组的配置和性能，推进器的配置以及 PMS 逻辑设置，在一开始设计阶段，应明确发电机组、推进器、PMS 的相应快速恢复能力要求。

2.7.1.3 发电机组、推进器以及其辅助系统应该具有一定的自主性，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，但必须是有利于推进器的快速恢复。

2.7.1.4 快速恢复实施中，如果主母排故障未消除，应能阻止故障段母排快速恢复程序的启动。

2.7.1.5 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准备好整个恢复时间应该在 60s 之内完成。

2.7.1.6 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）。

2.7.1.7 快速恢复过程中不应使用应急发电机作为辅助电源。快速恢复过程中，不能有人为干预。

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。

2.8.1.2 应结合短路和接地暂态分析报告，在报告中明确故障穿越的时间段，该时间段与协调保护动作时间差匹配。

2.8.1.3 故障穿越阶段，不得人为干预。故障穿越之后，设备/系统应能自动恢复到故障之前的状态。

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 需要考虑故障穿越的故障包括：

- (1) 负荷突加突卸引起的不满足规范要求的过压/欠压、过频/欠频；
- (2) 母排短路；
- (3) 母排接地。

2.8.2.3 推荐应具备故障穿越能力的设备/系统包括：

- (1) 机舱风机风闸；
- (2) 主柴油机机带控制箱；
- (3) 发电机组的燃油供应泵、低温淡水冷却泵；
- (4) 调速器、调压器；
- (5) 发电机组、推进器用海水、淡水冷却泵及其压力开关；
- (6) 发电机组的驱动端、非驱动端的滑油泵；
- (7) 推进器就地控制站、关键的接口板/箱/柜；
- (8) 推进器的变频器、变频器冷却泵/风机、变压器的冷却泵/风机、推进电机的冷却泵/风机；
- (9) 推进器的转舵控变频器、转舵电机、滑油循环泵；
- (10) 日用变压器冷却泵/风机；
- (11) PMS、AMS（如需要）及其工作站电源；
- (12) 中低压配电板/直流配电板控制回路；
- (13) 发电机组、推进器、日用变压器（原副边）的断路器；
- (14) 中低压配电板之间断路器；
- (15) 发电机组、推进器冷却相关的温控阀；
- (16) DP 控制系统及外委传感器、位置参考系统等；
- (17) AGPS 系统；
- (18) AGPS、PMS、DP、AMS 等相关的网络、交换机等。

其它是否需要具备穿越能力，应经过 FMEA 分析，并实船试验验证。

2.8.2.4 应设有对故障穿越的辅助措施，如对 UPS 进行实时监测功能，防止隐形故障的存在。

2.8.2.5 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 闭合母排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。

第 10 节 动态分析

2.10.1 一般要求

2.10.1.1 对于闭合母排电站，依据船舶实际情况，需建立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的模拟；
- (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) 对故障穿越的模拟（见第 8 节）；
- (5) 相不平衡故障模拟；
- (6) 励磁及调速器故障模拟；
- (7) 接地故障模拟；
- (8) 典型负载突加突卸模拟；
- (9) 存在双供电时，对公共配电板的短路和接地故障的模拟。

2.10.1.2 动态分析形成报告和响应参数表，作为保护整定的依据，并与实船试验结果一致。

2.10.1.3 动态分析报告中的输出参数，应与实船的参数一致。

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 如果附加符号要求实船失效试验时，在实船试验中测到结果与动态模拟分析报告不一致时，应该进行分析，找出原因，给出说明，并对数学模型进行校正，待动态模拟分析报告与实测结果接近或一致后，重新生成报并提交备查。

2.10.1.5 动态分析的曲线应连续光滑，时间步长选取适当，曲线图应能清晰显示故障开始、保护动作、最大最小值等关键节点，以及恢复过程的波动情况。曲线的变化过程和波动，应能给出合理的解释。系统稳定阶段，曲线不应出现波动。

2.10.1.6 动态分析曲线中，非故障排上的相同型号柴油发电机组的变化曲线应一致。

2.10.1.7 计算模型中的发电机组及保护系统应与实际设备物理特性保持一致，比如设备的电磁特性，发电机保护系统的逻辑及采样环节等等，用于仿真不同故障下系统的动态计算机模型应提交并用于验证波形，以确保足够的准确度和分辨率，并可用于展示具有足够余量的可预测性。

2.10.1.8 为验证发电机组的保护功能时，在向发电机及附属保护系统注入的电流/电压波形的来源可以是来自动力装置的实际测试值，或者是足够精度的计算机模型计算结果，或其它公认方法生成的合适的波形。

第 11 节 互感器/传感器

2.11.1 一般要求

2.11.1.1 闭合母排中用到的电流/电压互感器、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灵敏度，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，有对应措施，防止保护失效或误动作。互感器选型时，参照电站故障时最大电压、电流值，互感器不能发生饱和。

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 AGPS、选择性保护、PMS、故障穿越等相关监测、自诊断、逻辑判断、执行机构等功能和网络组成的系统。

2.12.1.2 控制系统网络应冗余、可靠，单个故障，如断线、短路、接地、数据风暴、交换机故障等，不能导致超过 WCFDI 的结果。配电板、PMS、AGPS、AVR 等各集成商/供货商之间应协调，确保控制系统网络的通信速度满足选择性保护要求。

2.12.1.3 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。

2.12.1.4 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，闭合母排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，如需要时，在海上试验之后进行更新升版并重新提交批准。

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/发电机系统及调速器/调压器（含 AGPS）；
- (2) 机舱通风/风闸；
- (3) DP 相关电力系统（含故障穿越）；
- (4) 配电板系统（含控制电、同步操作、绝缘监测（低压和直流电站））；
- (5) 配电系统短路、接地、相不平衡、突加突卸保护；
- (6) 断路器及固态开关；
- (7) 日用变压器；
- (8) 功率管理系统（PMS）；
- (9) 推进系统及保护（推进变频器、变压器、转舵系统）；
- (10) 包括燃油、滑油、冷却水、压缩气体、通风、空调、温控阀等在内的辅助系统及压力开关、通信；
- (11) 应急关断、固定消防、液位遥测/阀门遥控等在内的安全系统及其故障安全设计理念；
- (12) 动力电池舱通风、冷却等辅助系统；
- (13) 动力电池的 IGBT；
- (14) DP/AGPS/PMS/AMS 等网络及通信系统；
- (15) AMS 系统（如需要）；
- (16) 快速恢复能力；
- (17) DP 相关舱室空调及通风；
- (18) 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, 并识别隐性/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 闭合母排 DP 系统 FMEA 应额外考虑如下内容:

- (1) 发电机组调速器、调压器性能及 AGPS 系统分析;
- (2) 配电板的同步、绝缘监测系统分析;
- (3) 配电板系统的短路、接地、相不平衡、突加突卸的选择性分析;
- (4) 快速恢复能力分析;
- (6) 故障穿越能力分析;
- (7) AGPS、PMS、DP、AMS 等网络分析;
- (8) 断路器、互感器、固态开关等设备的隐性故障。

第 3 节 故障模式

3.3.1 一般要求

3.3.1.1 闭合母排 DP 系统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 控制电源故障;
 - ② 励磁电流监测故障;
 - ③ AVR 操作电源故障;
 - ④ 其它 AVR 故障导致欠压/过压;
 - ⑤ AVR 通信故障 (如有);
 - ⑥ 调速器传感器信号故障;
 - ⑦ 油门调整机构故障;
 - ⑧ 调速器电源故障;
 - ⑨ 调速器故障;
 - ⑩ 其他原因导致的过油或欠油故障;
 - ⑪ 调速器通信故障 (如有);
 - ⑫ 同步故障。
- (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) 欠频/过频、欠压/过压故障模式：
 - ① 短路；
 - ② 接地；
 - ③ 突加突卸。
- (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（含短路、断线、接地、数据风暴）。
- (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）对保护快速启动的影响。
- (9) 故障穿越措施的故障。

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 CBV 附加标志，应对短路、接地、相不平衡、绝缘监测、突加突卸、AGPS、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 CBNV 应对其快速恢复能力、AGPS 保护、穿越能力、快速恢复进行实船实效试验验证，其他保护功能可以结合暂态分析结果采用实船模拟试验验证，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。

4.1.1.5 试验验证程序如果由 FMEA 第三方开发时，在提交我社批准之前，应经过电站/动力系统相关的集成商/供货商/船厂的审核和确定，确保试验的可行性和准确性。

4.1.1.6 试验结果的记录应完成，可回放。结果记录最好使用专用系统，包括保护动作响应时间、响应的顺序、触发值、设备的状态、触发报警记录等。

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 控制电源故障；
- ② 励磁电流监测故障；
- ③ AVR 操作电源故障；
- ④ 其它 AVR 故障导致的欠压/过压；
- ⑤ AVR 内部软件异常；
- ⑥ 通信故障（如有）；
- ⑦ 调速器信号故障；
- ⑧ 调速器电源故障；
- ⑨ 油门调整机构故障；
- ⑩ 其它原因导致的过油或欠油故障；
- ⑪ 有功/无功分配故障；

- ⑫ 同步故障;
- ⑬ 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: 均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: CBNV 只需进行实船模拟试验, CBV 需要实船实效试验。

(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: CBNV 只需进行实船模拟试验, CBV 需要实船实效试验。

(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: CBNV 只需进行实船模拟试验, CBV 需要实船实效试验。

(5) 欠频/过频、欠压/过压保护:

- ① 突加突卸。

说明: 需要海上实船实效试验。

(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: 海上实船实效试验, 包含局部。

(7) 故障穿越试验:

- ① 母排三相短路;
- ② 母排接地故障。

说明: CBNV 只需进行实船模拟试验, CBV 需要实船实效试验。。

(8) 通信网络试验

- ① 模拟网络短路、断线故障;
- ② 模拟网络数据风暴故障。

说明: 需要海上实船实效试验。

(9) 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、快速启动的影响。

说明: 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，对应附加标志需按照 4.2.1.1 进行试验，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（如需设有）
主/后备保护						
25	同步	×	×	×	×	×
32	逆功率	×				
27	欠压	×	×			×
40	欠励磁	×				
46	相不平衡	×	×	×	×	×
49	绕组温度	×		×	×	
50	短路瞬动	×	×	×	×	×
51/51V	过载/过流	×	×	×	×	×
59	过压	×	×			
67BB	母排短路		×			×
67BBNS	母排接地方向保护		×			×
67G	发电机接地保护	×				
67Ns	接地方向保护		×	×	×	×
81O	过频	×	×			×
81U	欠频	×	×			×
86	锁定	×	×	×	×	×
87G	发电机差动	×				
87L	电缆差动		×			×
87NsL	电缆接地		×			×
辅助保护						
74TC	断路器监测回路	×	×	×	×	×
传感器	弧光保护		×			×
MCS3I	电流测量回路监测	×	×	×	×	×

60	电压测量回路监测	×	×	×	×	×
CBCM	断路器状态监测	×	×	×	×	×
60FL	电压互感器熔断器	×	×	×	×	×
50BF	断路器故障保护	×	×	×	×	
U0>	位移电压报警	×	×	×	×	×
1>>>	故障接通	×	×		×	

