

指导性文件
GUIDANCE NOTES
GD009-2024



中国船级社

船舶应用混合动力系统指南

2024

2024年7月1日生效

北京

目 录

第 1 章 通则	1
第 1 节 一般规定	1
第 2 节 入级与检验	2
第 2 章 混合动力系统的技术要求	4
第 1 节 一般规定	4
第 2 节 并联混合动力系统的特殊要求.....	11
第 3 节 串联混合动力系统的特殊要求.....	16
第 3 章 混合动力装置产品检验要求	18
第 1 节 一般规定	18
第 2 节 固态开关	18
第 4 章 混合动力船舶检验要求	20
第 1 节 建造中检验	20
第 2 节 建造后检验	23

第1章 通则

第1节 一般规定

1.1.1 适用范围

1.1.1.1 《船舶应用混合动力系统指南》（以下简称本指南）适用于船长20m及以上^①设有混合动力系统的船舶（以下简称混合动力船舶）。

1.1.2 一般要求

1.1.2.1 安装本指南所规定的混合动力系统的船舶，除应满足本指南的要求之外，还应满足CCS《钢质海船入级规范》或《国内航行海船建造规范》或《钢质内河船舶建造规范》或《国内航行海船入级规则》或《内河船舶入级规则》等规范（以下简称相关规范）的相应要求。

1.1.2.2 考虑到混合动力系统技术尚在不断发展中，对于特殊的和新型的混合动力系统，不能满足本指南规定的技术要求，而需采用基于相应的理论计算、试验结果、使用经验或有效的公认标准进行评估，经CCS同意，可以接受作为代替和等效方法。

1.1.2.3 安装有燃料电池发电装置、锂离子蓄电池或能量型超级电容器等作为混合动力系统能量源的船舶，除符合本指南的有关要求外，还应符合CCS《船舶应用燃料电池发电装置指南》《船舶应用电池动力规范》等相关规范的相应要求。

1.1.2.4 混合动力系统能量源可能是多种能量源（如储能装置、燃料电池系统、燃油主机、燃气主机、燃油发电机组、燃气发电机组等）的组合，通过不同的能量混合方式构成串联混合动力系统或并联混合动力系统。当出现本指南未提及的能量源时，其特殊要求，应经CCS特别考虑。

1.1.3 定义

1.1.3.1 除本节明确规定者外，CCS《船舶直流综合电力系统检验指南》《船舶应用电池动力规范》的相关定义适用于本指南。

(1) 混合动力系统：系指包含多种能量源（不含风帆）可同时作为船舶主推进动力的系统。混合动力系统可能存在只使用某种单一能量源作为船舶主推进动力的工作模式，但应至少还存在一种工作模式，使用多于一种能量源为船舶主推进提供动力。

(2) 串联混合动力系统：船舶推进器的直接驱动力只来源于电动机的混合动力系统。其特征是在一种工作模式中，多种能量源（见1.1.2.4）提供的电能经变流器（如有时）通过电动机驱动船舶推进器。此特征并不限制在其他工作模式中，可以采用任何单一能量源向电动机提供电能驱动船舶行驶。

(3) 并联混合动力系统：船舶推进器的直接驱动力可由电动机和主机同时供给的混合动力系统。其特征是在一种工作模式中，电能经变流器通过电动机与主机共同驱动船舶推进器。此特征并不限制在其他工作模式中，可以仅采用电动机或主机单独提供动力驱动船舶行驶。电动机一般通过弹性联轴节、自动同步离合器和减速齿轮箱传递动力，主机一般通过液力耦合器或弹性联轴节、自动同步离合器和减速齿轮箱传递动力。

(4) 充电装置：系指设置在船舶上，用于为储能装置充电的变流器或类似装置。

(5) 充电连接装置：系指设置在船舶上，能将岸电电缆连接到船舶，用于接收岸电为储能装置充

^① 如《内河小型船舶检验技术规则》和《沿海小型船舶检验技术规则》对小型船舶的船长范围作出调整，则应执行两规则适用范围中新的船长范围的有关规定。

电的设施。

(6)轴带（发）电机：与主机连接，可利用主机富余功率发电（PTO），也可由其他发电装置供电单独推动（PTH）或与主机一起（Boost/PTI）推动螺旋桨的旋转电机。

(7)PTH：系指轴带（发）电机作为电动机单独驱动螺旋桨的推进模式。轴带（发）电机由主机以外的动力源驱动。

(8)PTO：系指轴带（发）电机作为发电机运行的发电模式。从主机吸收能量用于发电。

(9)Boost/PTI：系指轴带（发）电机作为电动机，且与主机并车共同实现船舶推进的混合推进模式，轴带（发）电机由主机以外的动力源驱动。

(10)储能装置：储存电能或其他能源的装置，能够为船舶负载提供电力来源。

(11)发-电并车：系指在主机离合器接排、电动机离合器脱排，主机单独驱动船舶推进器运行的情况下，通过并车控制系统使电动机离合器接排，实现电动机与主机并车。

(12)电-发并车：系指在电动机离合器接排、主机离合器脱排，电动机单独驱动船舶推进器运行的情况下，通过并车控制系统使主机离合器接排，实现主机与电动机并车。

(13)PWM：系指脉宽调制。

第2节 入级与检验

1.2.1 附加标志

1.2.1.1 对于使用混合动力系统的船舶，经船东或船厂/设计单位申请并经CCS审图与检验，确认符合本指南的相关规定后，可授予Hybrid或Battery（Power-h）附加标志。具体含义如下：

(1)Hybrid 混合动力系统：设有多种能量源（不含风帆）可同时作为主推进动力，且未采用锂离子蓄电池和能量型超级电容器作为推进动力的船舶，可授予该附加标志；

(2)Battery（Power-h）电池（混动）：船舶正常运行过程中，采用蓄电池作为部分推进动力或储能电源，详见《船舶应用电池动力规范》1.1.5.2。

1.2.2 图纸和资料

1.2.2.1 混合动力船舶除按相关规范的要求提交图纸资料外，还应将下列图纸资料提交CCS批准：

(1)电力系统图；

(2)机舱布置图，应标示出混合动力系统内各组成设备的位置及基本参数；

(3)动力系统的辅助系统（如燃料供应、冷却和润滑等）的原理图；

(4)与混合动力相关的控制、监测和安全系统系统图；

(5)监测报警项目表（见2.1.6.4 及表2.2.9.3）；

(6)混合动力有关的系泊与航行试验程序（包括各工作模式及模式切换的试验计划）。

注：实际图纸/文件的名称可以与上述图纸/文件不同，但应反映其内容要求。

1.2.2.2 混合动力船舶除按相关规范的要求提交图纸资料外，还应将下列图纸和资料提交CCS备查：

(1)储能装置生命周期说明，例如功率衰减预测曲线或类似资料；

(2)储能装置功能测试说明（见2.1.2.5）；

(3)储能装置潜在危害安全性说明（见2.1.2.6）；

(4)混合动力系统的原理说明和系统框图（包括各工作模式的描述，动力和电气设备在各工作模式下及模式切换过程中的工作状态，PMS/EMS工作原理，超负荷保护和卸载逻辑等）；

(5)所有工况下混合动力系统的操作模式（见2.1.1.7）和功能说明；

(6)PMS/EMS功能有效性、动作安全性和能量管理策略有关的试验报告（见2.1.6.7(15)）；

(7)船舶电站功率动态响应能力有关说明文件（见2.3.2.9）。

(8)2.1.7 所要求的风险评估文件（如适用），用于识别混合动力系统设计、安装和试验相关的风险，以及为保障新能源、新系统和新设备安全运行的必要安全措施。

1.2.2.3 混合动力船舶除按相关规范的要求提交图纸资料外，船上还应至少保存的图纸和资料如下：

(1)储能装置紧急操作说明（见2.1.2.3）；

(2)储能装置维护说明（见2.1.2.5）及维护/检查记录（见2.1.2.4）；

(3)储能装置潜在危害安全性说明（见2.1.2.6）及减轻风险的安全预防措施。

1.2.2.4 有关锂离子蓄电池和能量型超级电容器设计相关的图纸资料，还应按照CCS《船舶应用电池动力规范》的要求提交图纸资料。

1.2.2.5 有关直流综合电力系统设计相关的图纸资料，还应按照CCS《船舶直流综合电力系统检验指南》的要求提交图纸资料。

1.2.2.6 有关天然气、甲醇、乙醇、氨、氢、液化石油气或其他燃料作动力的船舶设计相关的图纸资料，还应按照CCS《船舶应用天然气燃料规范》或《船舶应用甲醇/乙醇燃料指南》或《船舶应用氨燃料指南》或《船舶应用燃料电池发电装置指南》或《船舶应用液化石油气燃料指南》等相关规范的要求提交图纸资料。

第2章 混合动力系统的技术要求

第1节 一般规定

2.1.1 一般要求

2.1.1.1 混合动力系统设计与布置，应使得混合动力船舶的安全性和可靠性不低于传统动力船舶。

2.1.1.2 在发生各类内外部故障条件下，系统及设备应具备适当的保护，以避免下列情况发生：

- (1) 设备本身受损；
- (2) 连接到故障设备的其他设备损坏；
- (3) 船员和乘客受伤。

2.1.1.3 推进系统各组成设备之间的参数应匹配，以保证设备能正常运行；在船舶规定的航速状态，各装置应能在设计航速范围内的任一航速稳定运行。

2.1.1.4 推进系统应有足够的转矩余量，以便在恶劣天气下航行或多螺旋桨船舶在转向情况下电机不致失步，并确保在各种环境状态下能可靠起动。

2.1.1.5 在整个转速范围内，包括最低速以及两个旋转方向，主机、推进电动机、齿轮和轴系的轴承，均应保持有效的润滑。在可预计的油温范围，不论是主机、电动机或是螺旋桨所引起的缓慢转速情况下，不应导致上述轴和轴承损坏。

2.1.1.6 推进系统的电源可以由专供推进用的电源装置供电，也可以由能向推进和日常负载供电的公共电站供电。

2.1.1.7 应提交资料明确混合动力船舶所有可能出现的操作模式，每种操作模式中应注明：

- (1) 用于提供动力的每个设备的种类，例如直流发电机、交流发电机、蓄电池、逆变器、燃料电池或光伏电池等；
- (2) 每个设备的工作模式，如恒电压、恒电流或可变电压等；
- (3) 配电系统的构成说明，包括但不限于接地方式和保护策略的内容；
- (4) 每种工况下功率和能量的分配模式及控制策略，如推进总功率、在网电源装置总容量、主机功率等；
- (5) 每种工况下离合器或齿轮箱的接合状态。

2.1.2 储能装置的补充要求

2.1.2.1 除应符合本节2.1.2.2 -2.1.2.13 规定外，锂离子蓄电池和能量型超级电容器还应满足CCS《船舶应用电池动力规范》的有关规定。

2.1.2.2 蓄电池（含能量型超级电容器）的铭牌应标注其化学类型。

2.1.2.3 采用储能装置作为推进动力的混合动力船舶，应在船上备有储能装置的紧急操作说明，紧急操作说明应至少包括发生储能装置外部火灾和储能装置内部发生放热连锁反应等故障时的处理程序。

2.1.2.4 采用储能装置作为推进动力的混合动力船舶应在船上备有储能装置的维护（包括检查）和功能测试说明，应载明专业人员（一般是蓄电池制造商或其授权人员）如何对系统和部件进行测试，测试的周期，以及其他详细说明。应制定维护周期记录表并保持更新，维护/检查后应留有记录。

2.1.2.5 2.1.2.4 中所述的定期维护和功能测试包括但不限于以下内容：

- (1) 测试蓄电池SOH（如适用）；
- (2) 对涉及储能装置控制、报警和安全的全部设备和系统进行测试；
- (3) 测试的实际结果及验收标准；

(4)故障识别和修理。

2.1.2.6 采用蓄电池/超级电容器作为推进动力的混合动力船舶应在船上备有蓄电池/超级电容器危害的安全性说明，说明中应包括以下内容：

- (1)泄漏可能产生的物质（有毒物质、易燃物质、腐蚀性物质等）；
- (2)可能产生的气体（有毒气体、易燃气体、腐蚀性气体等）；
- (3)火灾/爆炸危险性；
- (4)电击危险性；
- (5)浸水危险性；
- (6)推荐的灭火方式；
- (7)减轻风险的安全预防措施。

2.1.2.7 除另有规定者外，储能装置模块的外壳应是不燃材料。

2.1.2.8 储能装置（含变流器）应通过可以提供短路和过流保护的保护电器连接到配电系统。保护电器应按照可靠性、选择性、灵敏性和速动性的原则选取，且与电流方向无关。保护电器动作后应锁定故障，由人工复位后方能再次投入配电系统。

2.1.2.9 储能装置（含变流器）接入配电系统处的电能质量应满足相关规范对电能质量的有关要求。

2.1.2.10 储能装置如由多组蓄电池簇组成，应采取相应措施，防止蓄电池簇之间因并联运行出现足以威胁储能装置安全性的环流，并说明该措施在船舶营运过程中实际出现的各种充放电倍率下的有效性。

2.1.2.11 储能装置不得危及操作人员或维护人员的人身安全。

2.1.2.12 连接储能装置（含变流器）和电网的设备应有醒目标识。标识应标明“警告”、“双电源”等提示性文字和符号。

2.1.2.13 储能装置的主要电气参数和温度超限时所采取的安全措施，不应设置越控。

2.1.3 变流器

2.1.3.1 变流器除满足本节2.1.3.2 -2.1.3.15 要求外，还应符合CCS《钢质海船入级规范》第4篇第3章“电力半导体变换器”的适用要求。

2.1.3.2 本节提到的变流器，包括DC/AC、AC/DC、DC/DC和AC/AC四种类型，可以是受控整流的方式（如AFE类型），也可以是不控整流的方式（如DSU类型）。

2.1.3.3 当采用PWM变流器时，应评估电压上升率（ dv/dt ），PWM变流器所连接的设备，如推进电机、浪涌保护器和变频电缆等应能耐受此电压上升率而不致损坏。

2.1.3.4 变流器柜内部线路应排布合理，控制线应与动力电缆分开布置。

2.1.3.5 变流器应具备输出过流、接地故障（可考虑与配电系统绝缘电阻监测一并进行）、过欠压、缺相（如适用）、IGBT过流、IGBT过温等保护功能。

2.1.3.6 并联运行的电源装置变流器，应能在最大和最小负载的工况下实现稳定的负荷分配，还应考虑合理的过载工况。当任意在网变流器故障停止工作，其余在网运行的变流器不应受到影响，系统应保持供电连续性。

2.1.3.7 在输入或输出端子上发生短路时，应具有合适的内部保护措施，使得变流器不会出现永久性的损害。

2.1.3.8 应提供联锁装置，以防止操作/维护人员在电压降至安全电压之前接近电容器。可采用如变流器的柜门上设置与电容器电压联锁的闭锁装置。如不易设置联锁装置，则应设置电容电压监测装置，指示电容电压值，并具有电击提示标识。

2.1.3.9 变流器输出端或内部存在直流环节时，变流器应设置预充电回路，在直流环节电压非常低时，应对初始充电电流进行限制。

2.1.3.10 变流器的急停应通过硬线连接，并与控制、监测和报警系统相互独立。

2.1.3.11 配电系统向变流器控制电源供电的电源线路数量应不少于两路，且互为冗余；变流器应能够实现两路电源不间断切换，并在任意控制电源故障时发出报警。

2.1.3.12 变流器应采用制动电阻或类似措施消耗或抑制电机制动能量（如推进电动机全速倒车产生的能量），避免变流器由于泵升电压过高导致损害，或能提交证明文件，表明电机制动能量的回收不会导致变流器直流环节电压泵升至有害程度。在推进电动机正常电动状态运行时，泵升电压抑制电路不应启动。泵升电压抑制电路动作结束时，不应使直流母排电压降得过低，避免引起系统不稳定。

2.1.3.13 用作为负载提供电源的变流器，当发生过载和短路故障时，应能提供足够保护电器动作所需的电流，直至保护电器动作。

2.1.3.14 用作为负载提供电源的变流器具有孤岛运行及并网运行两种运行模式时，两种模式均应能稳定运行，模式之间的切换过程应保证供电连续性的同时满足相应电能质量要求。

2.1.3.15 用作实现电源装置电力变换和驱动推进电机的变流器，应具备就地（电动机旁能实现操作电动机全部必要功能时，可免设）和遥控操作功能，且能在不依赖遥控系统的条件下，就地控制能够实现相关基本的控制、监测和安全功能。

2.1.4 充电装置

2.1.4.1 充电装置应按照储能装置容量的需要进行设计。

2.1.4.2 充电装置应能在额定负载下长期连续运行，内部各发热元器件及各部位的温升不应超过制造商的规定。

2.1.4.3 充电装置应具有运行状态指示装置。显示信息字符清晰、完整，且不依靠环境光源可辨识；显示输出内容应包含充电电压、充电电流、充电功率；在手动设定过程中应显示人工输入信息；在出现故障时应有相应的提示信息。

2.1.4.4 充电装置应能通过状态指示灯或显示屏显示故障信息，同时形成故障情况信息记录。

2.1.4.5 充电装置的充放电模式选择、启动和停机应在PMS/EMS控制下执行，并向PMS/EMS反馈相应状态信息。

2.1.4.6 在充电准备阶段，充电装置应完成辅助/控制电源上电、充电前检测及与BMS/CMS系统的通讯验证，并在BMS/CMS限定的条件下运行。

2.1.4.7 充电装置在充电前应能检测储能装置电压。

2.1.4.8 在充电阶段，充电装置和BMS/CMS应能监测电压、电流和温度等参数，并由BMS/CMS管理整个充电过程。BMS/CMS向充电装置实时发送储能装置充电需求参数，充电装置根据电池充电需求参数实时调整充电电压和充电电流。充电装置应在不超过1s内将充电电压和充电电流调整到与BMS/CMS发送的电池充电需求命令值相一致，以保证充电过程正常进行。BMS/CMS根据充电过程是否正常、电池状态是否达到BMS/CMS自身设定的充电结束条件、是否收到PMS/EMS中止充电信号来判断是否结束充电。充电装置根据是否收到PMS/EMS中止充电信号、充电过程是否正常、是否达到人为设定充电设定值、是否收到BMS/CMS中止充电信号来判断是否结束充电。

2.1.4.9 充电阶段中出现异常（如与BMS/CMS通讯失败、与PMS/EMS通讯失败等）时，充电装置应发出报警并立即自动停止充电，并断开相应断路器连接，但辅助和控制电路可以保持通电。

2.1.4.10 充电装置应在电流和电压超过预设值（过高或过低）时，发出报警并停止充电。

2.1.4.11 充电装置应有短路及过流保护功能，充电线路发生短路或过流时，保护装置应能迅速将其断开而不会导致设备损坏。

2.1.4.12 充电装置应有断线保护功能，当充电线路断线时，保护装置应能快速识别断线情况并将其断开，保护过程中不应产生过电压危害设备安全。

2.1.4.13 充电装置在恒流状态下运行时，当直流输出电压超过限压整定值时，应能立即进入恒

压充电状态，自动限制其输出电压的增加；在恒压状态下运行时，当直流输出电流超过限流整定值时，应能立即进入限流充电状态，自动限制其输出电流的增加。

2.1.4.14 储能装置出现不可接受的温度时，应发出报警并立即停止充电。

2.1.4.15 当充电装置采用多个高频开关整流模块并联工作时，各模块应能按比例均分负载，当各模块平均输出电流为50%~100%的额定电流值时，其均流不平衡度不应超过±5%。

2.1.4.16 充电装置应具备限制冲击电流功能，冲击电流不应超过充电装置短时耐受能力。

2.1.4.17 串联充电的储能装置，其充电时间应由容量最高的单体电池/电容器决定，放电时间应由容量最低的单体电池/电容器决定。必要时应配置均衡电路来实现串联成组的各单体电池/电容器之间的电压平衡。

2.1.4.18 充电装置充电时应具有防止充电连接器意外脱落的锁止装置。

2.1.4.19 充电装置应具备电压调节能力，恒压充电模式下输出电压误差不应超过设定值±0.5%。

2.1.4.20 充电装置恒流充电模式下输出电流误差不应超过设定值±1%。

2.1.4.21 直流侧应设有共模保护措施，防止共模电压对电池造成损害。

2.1.4.22 充电结束阶段，BMS/CMS应至少向PMS/EMS发送充电统计数据，包括但不限于电池组SOC、单体最高电压和最低电压等。

2.1.4.23 采用无线充电时，充电装置还应符合下列规定：

(1)无线充电装置应具备对位检测功能，在原副边对中偏差值符合技术文件规定值时，才可进行充电操作；

(2)当无线充电装置感应到任何可充电物时，应在充电控制位置发出指示信号；

(3)无线充电装置在充电准备阶段，原副边设备应自动进行兼容性验证，包括但不限于：

- ① 传输功率等级；
- ② 工作频率；
- ③ 线圈类型；
- ④ 谐振补偿拓扑；
- ⑤ 工作气隙。

(4)无线充电装置应具备异物检测功能，能够识别传能路径内影响无线电能传输的异物，当检测到异物时应发出报警，并停止充电；

(5)无线充电装置应能防止原副边之间的异物因充电过程导致其表面温度过高，成为具有接触危险的物体；

(6)无线充电装置应能适应充电过程中船舶产生的倾斜或摇摆，在规定的倾斜和摇摆情况下可正常工作，当船舶的倾斜及摇摆超出其允许范围，无线充电装置应安全停止工作。

(7)停止充电后，无线充电装置谐振补偿电容器应有放电通路，避免人员可触及的导电部分持续带电；

(8)无线充电装置应具备电磁兼容性，不应干扰其它设备的正常运行。

2.1.5 充电连接装置

2.1.5.1 充电连接装置的最大工作电压和额定电流的标志应在显而易见的位置上标示出。

2.1.5.2 充电连接装置的设计应保证不出现以下两者之间的不正确连接：

- (1)信号/控制触头与带电功率触头；
- (2)接地触头和带电触头；
- (3)相线触头和中性线触头（如适用）。

2.1.5.3 充电连接装置应有防反接措施，插头与插座只能以唯一的方式进行连接，以保证连接的正确性，连接装置未可靠连接应无法合闸。

2.1.5.4 充电连接装置应设有接地触头和接地端子。保护接地触头应可以直接且可靠地连接到保

护地端子上。

2.1.5.5 插头和插座应具有良好的接触压力，确保在充电期间的可靠连接。

2.1.5.6 充电连接装置的插头和插座的连接/断开顺序建议为：

(1) 连接时：接地触头—主回路相线/中性线/两极触头—控制触头；

(2) 断开时：控制触头—主回路相线/中性线/两极触头—接地触头。

2.1.5.7 在正常和故障条件下，充电连接装置电击防护应符合如下要求：

(1) 外露导电部分不应带电；

(2) 危险带电部分应避免被触及。

2.1.5.8 充电连接装置应设计为，当与岸电装置连接时，不用工具就能打开的部分被打开后，其中危险带电部分不应被触及到。

2.1.5.9 接地触头应能承载与相触头相等的电流而不会过热。

2.1.5.10 不论是电气连接还是机械连接，均应能经受正常使用时出现的机械应力。

2.1.5.11 插座和配套的插头应能承受预期最大短路电流值。

2.1.5.12 充电连接装置应始终检测与岸电装置的连接，当处于连接状态时，应禁止船舶推进系统误动作。

2.1.5.13 应设置必要的安全措施，如闭锁装置，防止充电过程中电缆被拔出。

2.1.5.14 应在充电连接设备周围合适的位置设置警告标志以指示高压危险。

2.1.5.15 充电连接装置附近不应有易燃材料。

2.1.6 自动化系统

2.1.6.1 除满足相关规范的有关要求外，推进控制系统、功率/能量管理系统（PMS/EMS）和全船监测报警系统还应满足本节2.1.6.2 -2.1.6.7 的要求。除另有规定外，上述系统可以是一个装置，也可以是多个装置的组合。

2.1.6.2 可能发展成为安全隐患的异常状况，应在达到危险级别前进行报警。

2.1.6.3 推进控制系统、功率/能量管理系统（PMS/EMS）和全船监测报警系统应由两路电源供电，其中，一路为主电源供电，一路为蓄电池电源或不间断电源UPS(后备式UPS除外)供电。当主电源失效时，应能自动转换为蓄电池或UPS电源供电，并能在就地和驾驶室进行报警显示。电源切换时不影响系统正常工作。蓄电池电源的供电时间应不低于30min。当船舶仅以蓄电池作主电源时，上述系统应由主汇流排不同分段两路进行供电。

2.1.6.4 监测与报警

(1) 除满足相关规范的有关要求外，下列信息应进行监测并在驾驶室或有人值班的位置显示：

① 混合动力系统的工作模式；

② 混合动力系统的总推进功率（可采用间接估算方式获得）；

③ 混合动力系统各推进装置的实际功率（可采用间接估算方式获得）；

④ 电源装置运行状态（起动/停止）；

⑤ 电源装置当前功率流向及大小；

⑥ 电源装置的负荷率/可用功率；

⑦ 电源装置变流器的运行状态（恒压、恒流、恒功率或可变电压等）；

⑧ 电源装置变流器的运行模式（孤岛运行或并网运行）；

⑨ 储能装置的荷电状态；

⑩ 离合器的接合状态；

⑪ 齿轮箱的接合状态；

⑫ 舵桨系统运行状态；

⑬ 轴带（发）电机的使用状态（运行就绪；直流预充电就绪；励磁就绪；变流器就绪；并联

就绪；并联带载工作；独立带载工作等）；

- ⑭冷却系统的使用状态；
- ⑮控制电源的使用状态（正常或失电）；
- ⑯控制、报警与安全系统的使用状态。

(2)除满足相关规范的有关要求外，下列信号应在驾驶室或有人值班的位置进行报警：

- ① 混合动力系统工作模式异常（如切换失败）；
- ② 混合动力系统的总推进功率自动大幅降低时（如功率限制、驱动系统或动力源部件高温）；
- ③ 电源装置故障或可用功率不足；
- ④ 并网运行的电源装置功率分配异常；
- ⑤ 储能装置内部故障（见2.1.6.5 (3)）；
- ⑥ 储能装置的荷电状态低于设定值（见2.1.6.7 (13)）；
- ⑦ 离合器接合失败；
- ⑧ 离合器接合时间过长；
- ⑨ 舵桨系统交/直流失电；
- ⑩ 主轴转速低（轴带（发）电机不能满功率供电）；
- ⑪ 主轴转速过低（转速低于轴带（发）电机工作转速）；
- ⑫ 辅助电源失电；
- ⑬ 控制、报警与安全系统自身故障；
- ⑭ 触发紧停动作。

2.1.6.5 全船监测报警系统

(1)全船监测报警系统应对船舶动力装置及机舱主辅设备的重要参数进行连续监视、测量、记录；

(2)推进控制系统、PMS/EMS应能将混合动力系统和电站的故障信号和运行参数的越限报警信号延伸至驾控台进行报警。

(3)储能装置的重要故障（过电压、欠电压、过电流、温度高等）应能在全船监测报警系统进行报警。

2.1.6.6 推进控制系统

(1)推进控制系统应至少涵盖推进系统及其设备控制与安全管理，自动/半自动功能失效不应影响手动功能的实现；

(2)推进控制系统应能就地和遥控控制，就地控制具有最高优先级。其中电动机的就地控制可以是电动机旁控制箱，也可以是变频器控制面板，当电动机处于PTO、Boost/PTI模式随主机运行的模式，或处于仅主机推进模式时，电动机的就地控制应受推进控制系统限制；

(3)推进控制系统应根据混合动力系统各设备和PMS/EMS等处采集的信息，对主机和电动机进行遥控，进而实现对混合动力系统输出功率和转速的控制；

(4)各推进支路的控制系统应相互独立，任一支路推进控制系统故障不影响其他支路；

(5)推进控制系统应具备实施显示主机和电动机的转速、电动机功率等数据以及混合动力系统与推进有关设备的综合报警、综合故障等必要的报警信息；

2.1.6.7 功率/能量管理系统（PMS/EMS）

(1)PMS/EMS应根据负荷水平，控制、调度和优化本船全部电源装置的启动、并网、解列和停机，实现本章第2节、第3节对混合动力系统及装置的功能要求；

(2)电源装置的实际操作状态（如处于手动模式或处于PMS/EMS调度模式），PMS/EMS应进行提示；

(3)PMS/EMS应具备容量预储备管理功能，使得在全部航行/停泊工况下为船舶用电设备储备足够的电能，防止失电，并在船舶失电后自动启动足够的电源装置，恢复供电；

(4)PMS/EMS应对电源装置投入顺序进行管理；

(5) PMS/EMS应在启动电源装置失败次数进行管理；

(6) PMS/EMS应在停止电源装置失败时进行报警；

(7) PMS/EMS应在并联运行的电源装置的功率或电流分配超出设计范围时进行报警，并对分配最大差值进行显示；

(8) PMS/EMS应包含对各电源装置和配电板的保护监视功能，并对能量/功率管理提供完善的可视化功能，对各电源装置和配电系统（如全船失电、部分汇流排失电等）的故障和异常应进行报警提示；

(9) 除另有规定外，PMS/EMS的设计应保证当PMS/EMS发生故障时不会导致发出一个错误的指令信号，不会导致电源装置的可用功率发生变化，并在驾驶室和机舱集控室(如无集控室，在机旁)发出报警；

(10) PMS/EMS应能检测主配电板上所有电源装置主断路器的状态；

(11) PMS/EMS应具备功率限制功能，将变频器的转速控制与主配电系统的状态关联起来，达到限制主推进系统功率的目的。使得当一台或一组电源装置故障停机后，能立即限制推进功率，不会导致其他在网电源装置过载跳闸而造成全船失电，待系统动态过程恢复后再解除推进功率的限制，调节推进负载至合适的需求功率值。当主推进系统处于功率限制状态时，PMS/EMS应进行显示；

(12) PMS/EMS应具备分级卸载功能（如适用），在机组即将过载或电网负荷率过高时，根据各类负载的重要性，分两级进行卸载，保护电网可靠供电及稳定运行；

(13) PMS/EMS应监测PTH模式下储能装置的荷电状态。储能装置的荷电状态的设定值应由船舶设计方予以确定，荷电状态低于设定值时应予以报警。设定值应依据下列原则制定：

① 能够使船舶通过自身的驱动系统返航；

② 当储能装置同时为船舶正常航行和满足正常生活条件所必需的电气设备供电时，其最小剩余电量应能保证这些设备的需要。

(14) PMS/EMS应能及时显示涉及配电系统的重要参数和安全事件报警信息，并尽可能给出可能的原因和影响分析；

(15) PMS/EMS功能有效性、动作安全性和能量管理策略应采用数字仿真或模拟试验等方式加以验证。

2.1.7 风险评估

2.1.7.1 根据相关规范应进行风险评估（含危险源识别分析，危险与可操作性分析，故障模式与影响分析等）的船舶，如取得DP-2和DP-3附加标志的动力定位船舶，设有冗余推进系统的船舶等，当使用混合动力系统技术时，应识别与混合动力系统全生命周期设计、安装和安全操作相关的所有可预见的风险，特别是新能源技术与传统能源技术的协同工作的有关风险。应确保安全措施能涵盖所有的动力和电力设备及其控制器等在任何合理并可预见的故障发生时对船舶产生的影响。

2.1.7.2 混合动力系统中包含的系统和设备，如直流综合电力系统，燃料电池发电系统、锂离子蓄电池等，其风险评估可与混合动力系统风险评估合并进行。

2.1.7.3 可以使用多种风险评估技术。危险源识别分析（HAZID）技术和/或危险与可操作性分析（HAZOP）技术可以用来识别可能对人员、环境和设备造成的潜在风险。故障模式和影响分析（FMEA）技术可以用来分析单一故障不会导致不可接受的后果。

2.1.7.4 应使用CCS接受的标准^②和分析方法对风险进行评估，应至少涵盖部件损坏、人员操作的影响、天气的影响、电气故障、非预计发生的化学反应、毒性、偶然的燃料点燃、起火、爆炸和断电。评估应确保尽可能消除风险，不能消除的风险应尽可能的予以减轻。风险识别及减轻/消除风险的安全措施应形成文件。

2.1.7.5 对单一故障严重度进行划分时，混合动力系统可参考以下原则：

^②如 IEC60812：2018《系统可靠性分析技术-故障模式和影响分析（FMEA）程序》。

(1)灾难性的：故障发生后导致电力供应或推进/操舵系统发生严重故障，无法维持供电或无法继续保持船舶推进/操舵动力，船舶处于失控或濒临失控状态，产生灾难性影响。

(2)严重的：故障发生后导致电力供应或推进/操舵系统发生故障，供电能力降低或推进/操舵动力降低，导致船舶动力性能水平降低，产生严重影响。

(3)临界的：故障发生后导致电力供应或推进/操舵系统冗余性丧失，但可正常供电或推进/操舵，不会产生严重影响。

(4)轻微的：故障发生后不影响电力供应或推进/操舵系统正常供电及其冗余性，仅产生轻微影响。

2.1.7.6 应基于混合动力系统和设备的故障分析提出风险控制措施，风险控制措施可采取诸如故障探测、保护功能、备用启动、重启和转换等方式，风险评估报告应论述这些措施能够限制故障影响范围不至严重危及船舶动力。增设备用系统时应说明备用系统与原系统的独立性，且能在合理时间内投入运转并接替故障系统。增设纠正措施时应说明纠正措施与原系统的相互作用关系，以及纠正措施投入后消除或减轻故障的后果。

第2节 并联混合动力系统的特殊要求

2.2.1 一般要求

2.2.1.1 涉及推进轴系的振动计算应包括全部适用的工作模式，振动计算应核实动力系统在各个模式中转速，不应存在转速禁区。

2.2.1.2 混合动力系统推进轴系的振动与校中应满足《钢质海船入级规范》第3篇第12章或《钢质内河船舶建造规范》第2篇第8章等相关规范的适用要求。

2.2.1.3 混合动力系统相关设备（诸如飞轮、皮带传动装置、齿轮等运动部件）运转时，可能对工作人员构成危险的部位，应设置防护罩或栏杆等安全设施。

2.2.2 PTO 模式

2.2.2.1 应制定PTO模式下，主机发电转速许用范围，确保主机在全部转速许用范围内，均具有足够的功率储备通过轴带发电机向船舶电气负载供电，不应造成主机过载。

2.2.2.2 轴带发电机和齿轮箱相应输出齿轮之间建议设置PTO离合器，或能提交证明文件，表明在不设置此离合器时，轴带发电机在任何模式下随主机空转时不会影响系统和人员安全。

2.2.3 PTH 模式

2.2.3.1 对于定距桨，应根据螺旋桨转速-转矩对应关系和电源装置容量制定PTH模式转速许用范围。不应造成在网电源装置过载。

2.2.3.2 主机和齿轮箱输入齿轮之间建议设置主离合器。

2.2.3.3 如同时存在PTO或Boost/PTI模式，且混合动力系统的设计使得PTH模式下螺旋桨处于低效率状态（如使用调距桨时，在PTH模式下通过调小桨距来适应高转速），齿轮箱宜针对轴带（发）电机的PTO或Boost/PTI模式和PTH模式采用双速比设计，增设PTH离合器，PTO离合器与PTH离合器之间除应在推进控制系统中设置联锁之外，还应设置液压联锁环节。

2.2.3.4 轴带电机起动应能顺利起动至PTH模式下的设计转速，不对船舶主电网产生较大冲击。起动过程中主汇流排的瞬态压降和频率跌幅不应超过限值。

2.2.3.5 应采取柔性接排措施使得离合器合排过程中的转矩和功率冲击降至最低。

2.2.4 Boost/PTI 模式

2.2.4.1 轴系和传动装置（包括齿轮箱、离合器和推力轴承等）的额定扭矩应按照Boost/PTI模式中最大推进扭矩重新进行核算。主机和电动机并联时推进轴系强度应满足《钢质海船入级规范》第3篇第11章或《钢质内河船舶建造规范》第2篇第8章的适用要求。

2.2.4.2 应采取可靠措施实现轴带电机与主机合理的负荷分配，以保证其在任何合理可预见的工况（如恶劣海况下螺旋桨负载剧烈频繁波动）下均能并联运行的稳定性。不应仅采用轴带电机与主机自然调速特性来实现推进负载的分配。

2.2.4.3 当轴带电机采用恒功率运行方式时，只有在其汇流排电压和频率能保持稳定时，才可与船舶主汇流排并联。

2.2.4.4 轴带电机和齿轮箱相应输出齿轮之间建议设置离合器，通常该离合器与2.2.2.2 PTO离合器为同一个。

2.2.5 模式切换

2.2.5.1 模式切换控制系统应能确保混合动力系统在PTO、Boost/PTI、PTH等模式之间可靠切换。

2.2.5.2 混合动力系统在各运行模式之间切换时，应能合理控制离合器力矩导入、控制螺旋桨桨距、协调主机力矩与轴带（发）电机力矩等，并符合下列规定：

- (1) 不应导致离合器热负荷过大、动力输出中断、传动轴系剧烈冲击；
- (2) 不应导致轴带（发）电机过电流保护装置误动作；
- (3) 不应导致轴带（发）电机汇流排瞬时电压降过大；
- (4) 不应导致主机因载荷突卸飞车。

2.2.5.3 各运行模式之间切换过程中，系统的电压、频率和谐波等应符合相关规范对电力推进船舶补充规定中的相关要求。

2.2.5.4 模式切换控制系统的安保控制单元应能在切换时间过长、运行模式错误等故障情况下及时响应并输出报警信号。

2.2.6 并车控制

2.2.6.1 混合动力系统应能安全平稳地实现发-电并车和电-发并车。

2.2.6.2 主机和轴带电机并车控制系统应具有并车流程控制、功率分配、功率限制等功能。

2.2.6.3 并车控制系统的安保控制单元应具备混合动力系统的缺相保护、过流保护、欠过压保护、逆功保护、短路保护等功能。

2.2.6.4 预接排控制阶段，宜将主机和轴带电机的转速差控制在30 r/min以内。发-电并车时，轴带电机起动后应将其转速调节至接近主机转速的同步转速；电-发并车时，从安全角度考虑，宜降低轴带电机转速使其接近主机转速。

2.2.6.5 主机和轴带电机的转速差控制在合适范围内后，应将轴带电机由转速控制模式切换至扭矩或功率控制模式。

2.2.6.6 轴带电机在扭矩或功率控制模式下转速易产生波动，应在轴带电机切换为扭矩或功率控制模式后及时完成接排操作。

2.2.6.7 主机和电动机并车时的功率分配策略应尽量使主机工作在最佳油耗区间，当电动机额定功率较大（如 $P_{\text{电机}}/P_{\text{主机}} \geq 30\%$ ）时，宜根据工况按照主机和电动机额定功率比例进行功率分配。

2.2.6.8 主机和轴带电机应在预定时间内完成功率分配，该预定时间应根据主机、轴带电机的动态响应能力等因素确定。

2.2.6.9 并车推进模式下，应通过调节主机转速控制推进器转速，轴带电机转速应处于随动状态。

2.2.7 布置与安装

2.2.7.1 在设备和管路的布置、安装中应留有足够的空间便于操作、检查和维修保养。

2.2.7.2 为进行检修、保养而需拆卸的障碍物（如管路、花钢板和栅栏）应降至最低限度。

2.2.8 传动装置的设计要求

2.2.8.1 除满足相关规范的有关要求外，传动装置还应满足本节2.2.8.2 -2.2.8.5 的要求。

2.2.8.2 齿轮箱

(1) 齿轮箱的设计除应满足速比、强度等方面的要求外，还应具有传递最大推进功率和承受推力的能力；

(2) 齿轮箱传动装置应能承受由于船舶回转和机动操作等引起的超扭和超推力负荷及持续交变扭矩；

(3) 应能就地读取齿轮箱润滑油温度、润滑油压力、离合器工作油压力、离合器控制电磁阀等信息，并在润滑油压力低、工作油压力低、滤器压差大时就地和远程（驾驶室或有人值班的位置）发出报警；

(4) 隧道式齿轮箱应符合下列规定：

- ① 齿轮箱输入轴应通过高弹联轴器与船舶推进主轴连接；
- ② 船舶推进主轴应通过两端轴承可靠支撑在齿轮箱箱体上；
- ③ 船舶推进主轴与齿轮箱箱体及齿轮箱输入轴之间的间隙应尽实际可能均匀一致。

2.2.8.3 离合器

(1) 液压离合器的滑油系统应是独立的循环系统，系统中应设有滤器、冷却器、集油柜等设备；

(2) 液压离合器一般应设有独立的备用泵，对于多机多桨推进模块，在一个机舱内可共用一台备用泵；

(3) 液压离合器转差率应不大于3%；

(4) 气胎离合器的工作气压应不小于1.0MPa。

2.2.8.4 联轴器

(1) 弹性联轴器应能承受额定功率时所施加的扭矩，以及机动操纵过程中所施加的附加扭矩，并能承受弹性安装的柴油机的正常位移、热位移和冲击位移；

(2) 弹性联轴器所能承受最大扭转力矩、发热量应不超过其许用值；

(3) 联轴器的设计寿命应与所连接的齿轮箱或主机的寿命相同。其间允许更换弹性元件。如果所联接的设备寿命不同，则联轴器应按较长的寿命要求设计；

(4) 联轴器的设计应保证在不拆除所接轴的情况下可以单独拆卸；

(5) 如果联轴器是经表面硬化处理的，则螺栓孔及其邻近区域不允许进行表面硬化处理；

(6) 套筒轴、转轮盘、圆盘和法兰应用紧配螺栓固定到轴或间隔件上，如使用花键或热套，应使用锁紧螺母。贯穿螺栓所用的螺母均应是自锁的；

(7) 护罩应为拼合式的。重量超过16kg的部件应设置起重凸缘螺栓和起重环首螺栓；

(8) 齿形联轴器应设有对中的槽口。法兰上应有藏纳螺栓头和螺母的沉头孔；

(9) 高转速、大功率所用的齿形联轴器应采用强制润滑的方式予以持续润滑。联轴器应设计成使润滑油能穿过齿面流动，并尽可能减少油泥渣的积聚；

(10) 在设计双向啮合、多层膜片联轴器时，一般要提供确保间隔件定位装置，防止间隔件移动，在所有使用状态下使振动减少到允许的量级。应提供应急传动措施，如设置齿轮，保证在圆盘出故障时传递扭矩。

2.2.8.5 液力偶合器

(1) 液力偶合器在传递规定的功率时，其可能的滑差和扭矩损失要尽量小；

(2) 泵轮应装有快速泄放装置；

(3) 独立于齿轮箱的液力偶合器应装有冷却水循环的油冷却器，还应配有一台油泵，保证当其相连的柴油机停车而液力偶合器转子由其它发动机驱动时，维持通过冷却器的油量，保持油的连续循环；

(4) 液力偶合器的壳体上应安装泄放塞。

2.2.9 轴带系统的设计要求

2.2.9.1 轴带（发）电机

(1) 轴带（发）电机应具有在PTO、PTH和Boost/PTI模式下长期运行的能力，选型设计应满足船舶电站的容量及耐受电网冲击要求；

(2) 轴带（发）电机与混合动力系统各组成设备之间的参数匹配，以保证系统和设备能够正常运行；

(3) 轴带（发）电机的配置及容量应满足混合动力系统总体设计规定的航速要求；

(4) 轴带（发）电机与推进轴系不应有有害扭转振动；

(5) 轴带（发）电机设计时应有措施限制轴电流的产生，防止轴承过早损伤。对于大功率轴带（发）电机，应考虑采用多种措施抑制轴电流，包括但不限于绝缘轴承、接地碳刷和零共模电压的空间矢量调制技术等；

(6) 轴带（发）电机能够运行在电动模式和发电模式，除常规的对外监测报警信号接口外，还需提供不同运行模式的励磁控制（如适用）信号接口；

(7) 轴带（发）电机转速应设置预警，当电机转速接近运行限值时，提示PMS/EMS启动新的电源装置并投入电网；在转速超限时，电机退出运行。

(8) 抱轴式轴带（发）电机应符合下列规定：

① 转子应使用包括但不限于以下措施，与主轴可靠连接：

a. 主轴打孔，转子通过螺栓与主轴连接；

b. 转子通过法兰与主轴连接；

c. 转子通过胀套联轴器或夹紧装置与主轴连接，涨紧力的大小应与负载大小相适应；

② 定转子之间的气隙大小和不均匀程度应符合制造商的规定；

③ 应合理设计和布置主轴轴承位置，减小主轴因自重和载荷产生的挠度影响抱轴式轴带（发）电机运行，以匹配安装转子状态下各处轴承的负荷需求。

2.2.9.2 变流器

(1) 轴带发电运行

① 变流器（或配电板）应能实现轴带发电机的就地启动，停止，电压/频率/功率的调节和急停。变流器柜门操作面板应能显示就地操作必要的信息、参数、实际值和故障信息；

② 变流器应能执行轴带发电机断路器的合分闸操作；

③ 轴带发电机完成启动后，应能向PMS/EMS发送“启动完成”信号，指示当前轴带发电机未带负载并已完成并车前准备。

④ 轴带发电机与船舶主电网连接时，应采用整流器和逆变器使之能够以恒压恒频方式向负载供电；

⑤ 对于电励磁轴带发电机，还应具备一个单独的变流器调节励磁；

⑥ 与其他电源装置并联运行的变流器，应能输出并承担无功功率；

⑦ 与其他电源装置并联运行的变流器，其有功功率应接受PMS/EMS调度；

⑧ 变流器后端应设有LC等类型滤波器，除非有资料证明在任何工作模式下轴带发电机向负载的供电电能质量符合相关规范的规定；

⑨ 在转速接近限值时，变流器应能向PMS/EMS发出报警信息；

⑩ 在转速即将超限时，变流器应提示PMS/EMS自动启动其他电源装置，完成负载转移后，轴

带发电系统解列，负载改由其他电源装置供电；

①变流器应具有预报警功能，提供一定的延时功能，满足其他发电机组启动、并网和负载转移的要求。

(2) 驱动轴带电机

① 变流器应能实现轴带电机的就地的启动，停止，推进功率调节和急停（电动机旁能实现以上全部功能时，可免设）。变流器柜门操作面板应能显示就地操作必要的信息、参数、实际值和故障信息；

② 变流器应能接受PMS/EMS等外部设备的远程控制，根据主电网剩余功率调节轴带电机推进功率输出，并向PMS/EMS反馈实际功率；

③ 变流器应能独立对轴带电机重要参数（轴承温度信号、3相绕组温度信号、轴带系统断路器信号等，如适用时）的监测，在不依赖遥控系统的前提下实现轴带系统的稳定运行。

2.2.9.3 报警与安全

(1) 轴带系统应设置合适的仪表设备，能够就地和远程（驾驶室或有人值班的位置）对本章前述内容所要求的参数及故障进行读取，以确保对整个轴带系统的安全管理，综合报警可采用无源触点输出。

(2) 报警及限定故障后果的安全动作应根据表2.2.9.3 进行设置。对于非常规和复杂的轴带系统，应考虑增加新的报警及安全动作。

轴带系统监测和报警

表 2.2.9.3

监测参数	报警	显示	自动 停车	备注
主轴转速过低	√	√	√	
设备检测到自身严重故障（无法正常工作）	√		√	
轴承滑油进口压力低或轴承温度高	√		√	
轴带（发）电机交流电压超限	√	√	√	
轴带（发）电机励磁（如有时）失效	√		√	
变流器网侧电压/频率严重超限	√	√	√	
变流器综合故障	√		√	
变流器半导体器件散热器温度高高	√		√	
变流器过电流（短路）	√		√	
变流器长时间过载	√		√	
变流器预充电电路故障	√		√	
急停按钮触发	√		√	
轴带（发）电机励磁功能下降	√		√	视需要可延时 ¹⁾
轴带（发）电机绕组温度高	√		√	视需要可延时 ¹⁾
轴带（发）电机轴承温度高	√		√	视需要可延时 ¹⁾
冷却风扇故障	√		√	视需要可延时 ¹⁾
变流器输出端过载	√	√	√	视需要可延时 ¹⁾
变流器缺相	√		√	视需要可延时 ¹⁾
变流器网侧过/欠电压、过/欠频率	√	√	√	视需要可延时 ¹⁾
变流器半导体器件散热器温度高	√		√ ²⁾	
冷却液温度高或冷却空气温度高	√		√ ²⁾	
冷却系统压力/流量不足	√		√ ²⁾	
冷却系统泄漏	√		√ ²⁾	

变流器辅助电源部分失效	√		√ ²⁾	
主机转速较低（接近输出运行范围限值）	√		√ ²⁾	
蓄电池或 UPS 电池电量低	√			
设备检测到自身一般性故障（可以正常工作）	√			
变流器-PMS/EMS/推进控制器通讯故障	√			仅对“总线-协议”通讯方式
设备运行就绪		√		
设备接地故障		√		
各支路开关断开/闭合状态		√		
各离合器接/脱排状态		√		
轴带（发）电机励磁正常		√		
1) 在保证航行和设备安全的前提下，提示 PMS/EMS 起动新的发电机组并投入电网，可延时一段合理的时间，待其他发电机组投入电网后，经 PMS/EMS 调度卸载后再执行自动停车。				
2) 视需要可起动其他发电机组，转移负载后停机。				

第3节 串联混合动力系统的特殊要求

2.3.1 一般要求

2.3.1.1 除应符合本章规定外，串联混合动力船舶还应符合相关规范对电力推进船舶的适用规定。设有直流综合电力系统的船舶，还应符合《船舶直流综合电力系统检验指南》的规定。

2.3.1.2 电源装置应能提供足够的容量和冗余度，应确保在容量最大的发电机或储能装置（连同变换器）不可用时，也能为船舶正常航行和满足正常生活条件所必需的电气设备供电，而不需求助于应急电源。

2.3.1.3 电气系统的电压和频率波动，应符合相关规范的要求。如果有更高的波动范围出现，制造厂应提供文件证明，该系统所涉及的全部设备能在较高的电压和频率波动下长期无故障地运行，经相关各方同意，CCS可特别考虑。

2.3.1.4 电气系统各支路均应设置隔离开关或类似措施（断开后具有明显断点的设备），防止设备处于维护状态时，人员因接触带电部件造成伤害。

2.3.2 多种能量源/电源装置接入配电系统的特殊要求

2.3.2.1 除应符合本章规定外，配电系统还应满足CCS《钢质海船入级规范》或《钢质内河船舶建造规范》的有关规定。采用直流综合电力系统时，还应符合满足CCS《船舶直流综合电力系统检验指南》的有关规定。

2.3.2.2 接入配电系统的电源装置、保护电器、励磁系统、调速控制系统、调压系统、通讯设备、安全自动装置的设计和制造应使得配电系统能够安全稳定运行。

2.3.2.3 在“自动”运行模式下，各电源装置在未获得PMS/EMS允许前，不应并网运行。

2.3.2.4 当检测到大范围失电时，各电源装置应能接受PMS/EMS控制指令，依次起动，尝试恢复供电。

2.3.2.5 具备调频、调压能力电源装置的容量和数量，应确保电力系统全部在网电源装置的输出有功功率和无功功率与当前负荷的稳态和暂态需求相适应，以符合相关规范对电能质量的有关要求。

2.3.2.6 电源装置的变流器原则上应具备快速调频、调压能力，当采用恒电流/恒功率模式接入配电系统时，应能接受并执行PMS/EMS发送的有功功率控制信号。并应在2.3.2.5 任一电源装置失效时，其余在网电源装置仍能正常工作。

2.3.2.7 励磁系统及调压系统的强励水平、放大倍数、时间常数等技术性能参数应与供电和配电

系统构成和性能水平相适应。

2.3.2.8 调速系统的各项技术性能指标应符合CCS《钢质海船入级规范》或《钢质内河船舶建造规范》中对发电机组调速器的有关要求。

2.3.2.9 功率动态响应能力较弱的电源装置（如燃料电池发电装置），应采取措施保证电源装置带载性能与船舶电气负载加载特性相匹配。可采用配备储能装置或其它辅助装置实现船舶负载的峰谷调节（如《船舶应用燃料电池发电装置指南》第7章7.4.2.2的要求），保证船舶电站正常工作。应结合船舶电力负荷计算提交相应的说明文件，证明措施的有效性。有多组这类电源装置时，应考虑汇流排分段运行时，确保每一段汇流排上储能装置（或其他辅助装置）均具有足够的容量。

2.3.2.10 仅允许单向输出电流的电源装置（如燃料电池发电装置）接入配电系统时，应采取措施保证能量仅能由电源装置单向流入配电系统，防止逆功率损坏设备。可采用单向DC/DC接入配电系统，且应在电力系统异常（如系统过压）或设备故障（DC/DC故障）等单点故障情况下仍应满足该要求。

2.3.2.11 电源装置的变流器的电压和频率耐受能力原则上应与发电机组相当，应具备涉网保护的功能，在网侧频率或电压异常时能够发出报警，必要时能够从配电系统中断开。

2.3.2.12 储能装置接入配电系统，还应满足下列要求：

- (1) 储能装置应向PMS/EMS系统提供充放电倍率、可调容量范围、最大可调节能力等涉网参数；
- (2) 因电池寿命衰减、内部故障等因素造成储能装置性能参数发生重大变化时，应及时提供给PMS/EMS系统；
- (3) 储能装置是船舶电站上唯一在网运行的电源时，当主汇流排电压超限时，储能装置（或与其连接的变流器）应设计为能短时耐受异常电压（包括高电压和低电压）直至电压恢复正常，且电压超限时间超过设定时限后储能装置方可从配电系统中断开。

2.3.3 固态开关

2.3.3.1 应设计合适的软开关技术，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 dv/dt ，不至造成半导体器件的损坏或击穿。

2.3.3.2 并联工作的半导体器件的驱动脉冲信号应准确同步。

2.3.3.3 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。

2.3.3.4 2.3.3.3 中缓冲过程应能在固态开关重合闸之前完成。

第3章 混合动力装置产品检验要求

第1节 一般规定

3.1.1 一般要求

3.1.1.1 对本指南要求的检验和试验方法，若能提供相应的试验、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。

3.1.1.2 除规定的检验项目外，CCS检验机构可根据产品的重要程度、成熟程序、使用经历等考虑增减其他项目。凡是列入检验的项目，如发现有不合格，对抽样检验的，均应加倍抽样复验。若复验仍有不合格时，应停止检验，由制造厂消除缺陷后重新提交检验。

3.1.1.3 固态开关持证要求应符合表3.1.1.3 的规定。

固态开关持证要求

表 3.1.1.3

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.	固态开关	—	X	—	X	—	—	X	本章第二节

3.1.1.4 混合动力系统所使用的其他装置和设备的产品检验要求，应满足CCS其他规范和指南的相关要求。

第2节 固态开关

3.2.1 试验

3.2.1.1 固态开关的型式认可试验应按照CCS《电气电子产品型式认可试验指南》的规定进行认可试验。

3.2.1.2 固态开关型式认可试验和出厂试验项目应符合的规定。

固态开关试验项目

表 3.2.1.2

序号	试验项目	型式试验	出厂试验
1	空载试验	×	×
2	压差超限保护功能试验	×	
3	瞬态短路分断保护性能试验	×	×
4	长延时分断保护性能试验	×	
5	短延时分断保护性能试验	×	
6	过压分断保护性能试验	×	
7	过温保护性能试验	×	
8	温升试验	×	

3.2.1.3 空载试验

固态开关在额定电压下接通电源，按技术文件（根据技术规格书编制的经批准的试验大纲，下同）要求进行空载启动和断开试验，并检验各状态下的工作状况。

3.2.1.4 压差超限保护功能试验

固态开关在连接的两端电压差超过技术文件要求时，在接到导通指令后，母联控制器应不导通，并反馈压差故障。

3.2.1.5 分断保护性能试验

(1)瞬态短路分断保护

固态开关闭合后，将负载侧试验开关短接，固态开关应可靠分断，且分断时的 di/dt 不超过技术文件的限值。

(2)长延时分断保护

固态开关闭合后，缓慢升高负载侧电流直至达到技术文件要求的长延时保护设置值（参数如可调节，应按照插值法测试不少于3个点），并计时，固态开关应在计时时间结束后可靠分断。

(3)短延时分断保护

固态开关闭合后，升高负载侧电流直至达到技术文件要求的短延时保护设置值（参数如可调节，应按照插值法测试不少于3个点），并计时，固态开关应在计时时间结束后可靠分断。

3.2.1.6 过压分断试验

固态开关闭合后，缓慢调节输入侧电压直至达到技术文件要求的过压分断保护设置值，固态开关应分断。

3.2.1.7 过温保护试验

固态开关闭合后，采用实际或模拟的方法，调节固态开关内部温度监控点直至达到技术文件要求的过温保护点，固态开关应能分断。

3.2.1.8 温升试验

固态开关在额定电压下闭合后，调节负载侧电流使之达到额定电流值，稳定运行至固态开关母排、电抗器、水冷板温升稳定，记录稳定温升（温升稳定判据为固态开关母排相对于环境温度，温升变化小于1K/h，电抗器、水冷板相对于冷却水入口水温，温升变化小于1K/h）。温升稳定后，稳定运行半小时，记录此时母联控制器母排、电抗器、水冷板温升值，不应超过技术文件的要求。

第4章 混合动力船舶检验要求

第1节 建造中检验

4.1.1 一般要求

4.1.1.1 混合动力船舶的建造检验除按相关规范对建造检验的要求进行检验外，尚应增加4.1.1.2-4.1.1.11 检验项目：

4.1.1.2 检查混合动力系统及其设备的布置、安装和工艺等符合批准的图纸和其他技术文件（根据技术规格书编制的经批准的系泊与航行试验程序，下同）的要求且安装验收合格。

4.1.1.3 检查各电气装置外观无明显损伤，绝缘测量正常。

4.1.1.4 检查为混合动力系统运转服务的辅助机械装置、泵、管系等符合批准的图纸和其他技术文件要求且试验合格。

4.1.1.5 检查混合动力系统控制、监测和安全系统相关的显示、报警装置和安全保护装置安装到位，线缆连接无误并调试合格。

4.1.1.6 混合动力系统应至少进行以下验证：

(1)PTO模式：

- ① 轴带发电系统手动（如适用）和自动的起动/停止功能验证；
- ② 验证轴带发电系统独立运行时的谐波不超过技术文件要求；
- ③ 使主机转速分别处于轴带发电系统满功率发电转速范围中的上、下限和中位数（或额定值），进行轴带发电系统空载和满载试验，验证轴带发电系统输出性能符合技术文件要求；
- ④ 使主机转速处于轴带发电系统满功率发电转速的额定值，进行轴带发电系统突加突卸负荷试验，验证轴带发电系统输出性能符合技术文件要求；
- ⑤ 使主机转速处于轴带发电系统降功率发电转速范围中的下限，进行轴带发电系统负荷试验，验证输出功率符合技术文件要求；
- ⑥ 推进功率最大且轴带发电系统在达到最大发电功率时，验证主机能够稳定运行且负荷率符合技术文件要求；
- ⑦ 验证轴带发电系统与其他发电装置手动/自动并车和解列功能正常；
- ⑧ 验证轴带发电系统与其他发电装置并联运行试验，应至少考核不少于3个负荷率下电流、电压、频率和功率值，计算电压和频率波动率、有功功率和无功功率分配差度符合技术文件要求；
- ⑨ 验证轴带发电系统与其他发电装置之间负荷转移功能正常；
- ⑩ 验证在网轴带发电系统故障（含主机降速）时，备用发电装置在PMS/EMS控制下自动投入试验（如有时）。

(2)PTH模式：

- ① 轴带电机的起动和停止，如轴带电机经主汇流排供电，则应验证过程中主汇流排电压和频率波动不超过相关规范中对瞬态电压和频率偏离额定值的限值；如轴带电机经与主汇流排独立的专用汇流排供电，则应验证电压和频率波动符合技术文件要求；
- ② 轴带电机接排功能试验，PTH离合器正常合排且不会产生剧烈冲击（柔性接排），轴带电机加速过程离合器不打滑，不脱开；
- ③ 轴带电机进行100%设计推进功率试验，应无异常发热、振动、泄漏等情况，测量轴带电机噪声和振动符合技术文件要求；
- ④ 轴带电机调速试验，应至少验证不少于3个转速点下能正常、稳定运行。遥控系统显示的转速和设定转速一致，遥控系统显示的功率和变频器本地数据一致；

⑤ “主机”模式-“PTH”模式切换功能正常，主机和轴带电机负载转移过程平稳、状态指示正确，无剧烈冲击，无异响；主机/轴带电机脱排至轴带电机/主机接排切换时间应符合技术文件要求，相关变流器状态、离合器状态等信号显示正确；

⑥ 进行轴带电机快速制动，变流器直流环节或系统直流母线电压超调量不超过技术文件要求。

(3)Boost/PTI模式：

① 主机功率和轴带电机同时达到最大功率时，验证混合动力系统能够正常、稳定运行；

② 使主机转速分别处于Boost/PTI模式工作转速范围中的上、下限和中位数（或额定值），轴带电机进行100%设计推进功率试验，轴带电机无异常发热、振动、泄漏等情况，测量轴带电机噪声和振动符合技术文件要求；

③ “主机”模式-“Boost/PTI”模式切换功能正常，主机和轴带电机负载分配和转移过程平稳、状态指示正确，无剧烈冲击，无异响；轴带电机接脱排时间应符合技术文件要求，相关变流器状态、离合器状态等信号显示正确；

④ “PTH”模式-“Boost/PTI”模式切换功能正常，主机和轴带电机负载分配和转移过程平稳、状态指示正确，无剧烈冲击，无异响；主机接排时间应符合技术文件要求，相关变流器状态、离合器状态等信号显示正确；

⑤ 功率分配试验，分别进行“发-电”并车和“电-发”并车功能正常，并车过程平稳，无剧烈冲击，无异响。调节主机转速分别处于Boost/PTI模式工作转速中的5个不同转速点，主机和轴带电机转速和转矩控制协调，混合动力系统参数正常，无异常报警；

⑥ 进行轴带电机快速制动，变流器直流环节或系统直流母线电压超调量不超过技术文件要求。

4.1.1.7 轴带（发）电机驱动变流器的检查和试验，应额外进行以下验证：

(1)网侧电压过/欠压报警与动作，应符合技术文件规定。该试验可以通过调整变流器过/欠压阈值的方式进行；

(2)网侧频率过/欠频报警与动作，应符合技术文件规定。该试验可以通过调整变流器过/欠频阈值的方式进行；

(3)变流器过温报警与动作，应符合技术文件规定。该试验可以通过调整变流器过温阈值的方式进行；

(4)变流器机侧缺相保护功能应予以验证。

4.1.1.8 离合器的检查和试验，应额外进行以下验证：

(1)验证主机在技术文件规定的最大接排转速下，主机离合器能够稳定接排，试验次数不少于3次；

(2)验证轴带（发）电机在技术文件规定的最大接排转速下，PTH离合器能够稳定接排，试验次数不少于3次；

(3)验证轴带（发）电机在技术文件规定的最大接排转速下，PTO离合器能够稳定接排，试验次数不少于3次；

(4)验证各模式下稳定带载时离合器无打滑现象及异常响声，离合器工作油压力、润滑油温度不超过限值。该试验可结合混合动力系统负荷试验一并完成；

4.1.1.9 轴系的检查和试验，应额外进行以下验证：

(1)轴系运转时，检查有无异常响动及抖动情况：检查轴承有无发热现象，轴系及轴承温度不超过技术文件要求；

(2)主机模式、Boost/PTI和PTO模式带载运行时，检查隔振器、弹性联轴器有无异常响声。该试验可结合混合动力系统负荷试验一并完成；

(3)主机和轴带（发）电机空车运转时，检查轴系有无带转现象；

(4)检查机座振动，主机、齿轮箱油、水接头工作是否正常；

(5)按照扭振计算书的要求，对各模式下轴系扭振振动进行测试，测试结果符合扭振计算书的计

算结论：

(6) 检查主机常用转速范围内($n=0.8\sim 1.0$)或特殊使用转速范围内未设置转速禁区。

4.1.1.10 对正常推进、船舶安全、保障最低舒适居住条件以及冷藏所必需的设备供电的逆变器，应至少进行以下验证：

(1) 逆变器的起动/停止试验；

(2) 逆变器的并网/解列试验；

(3) 逆变器带载运行的检查和试验；

(4) 并联运行的两台逆变器功率分配试验；

(5) 并联运行的两台逆变器之间相互转移供电，以及与其他交流电源装置（如有时）相互转移供电的试验，且转移过程中负载不断电；

(6) 逆变器供电的交流配电系统应按照《船舶直流综合电力系统检验指南》第3章3.4.4.2（4）-

（6）进行的短路保护试验，安装上船之前已进行试验者除外。

4.1.1.11 控制、监测和安全系统，应至少验证：

(1) 检查备用蓄电池或UPS工作正常，模拟辅助电源故障应能正确示警，且备用电源投入正确无延时；

(2) 除另有规定外，检查各设备通讯功能正常，模拟通讯线缆故障应能正确示警，所有设备维持当前运行状态，就地控制不应受到影响；

(3) 关停任一子控制器（如有时），该控制器设备停止运行，其他设备不受影响，并能在主控制器显示界面上正确示警；

(4) 关停任一主控制器，所有子控制器（如有时）控制的设备能够维持当前运行状态；

(5) 检查混合动力各模式下驾驶室与机舱仪表的工作准确性和一致性；

(6) 应对2.1.6.4 规定的控制、监测和安全系统进行最大程度的模拟功能测试；

(7) 验证推进控制系统功能正常，包括但不限于：

① 检查遥控操作功能，应依次验证主机模式、PTO模式、Boost/PTI模式、PTH模式遥控起动、变速功能正常；

② 检查遥控转换为就地控制的效用试验，试验进行2次，转换应迅速可靠无故障；

③ 对混合动力系统急停功能进行验证，待系统稳定运行时，按下急停按钮，检查系统的急停功能是否可靠，应特别验证急停按钮不依赖控制和安全系统能够独立实现急停功能；

④ 模拟推进电机/轴带电机绕组温度高、轴承温度高、变流器温度高，推进控制系统能够正常示警。如有“降速预警”功能，能够执行推进电机/轴带电机降速并发出“电机降速”指示；

⑤ 模拟推进电机/轴带电机绕组温度超高、轴承温度超高、变流器温度超高，推进控制系统能够正常示警，并执行推进电机/轴带电机和变流器自动停机；

⑥ 模拟推进电机/轴带电机瞬时过流，推进控制系统能够正常示警，推进电机/轴带电机停止运行，对应断路器动作；

⑦ 模拟推进电机/轴带电机延时过流，推进控制系统能够正常示警，推进电机/轴带电机在延时后自动停止运行，延时符合技术文件要求，对应断路器动作；

⑧ 模拟推进电机/轴带电机起动失败时，推进控制系统能够正常示警；

⑨ 模拟推进电机/轴带电机超速，推进控制系统能够正常示警，推进电机停止运行，对应断路器动作；

⑩ 模拟轴带系统进入/退出PTO模式失败，推进控制系统能够正常示警；

⑪ 模拟轴带系统进入/退出PTH模式失败，推进控制系统能够正常示警；

⑫ 模拟轴带系统进入/退出Boost/PTI模式失败，推进控制系统能够正常示警；

(8) 验证PMS/EMS功能正常，包括但不限于：

① 人机界面操作显示信息符合技术文件要求；

- ② 操作模式选择正常，“手动”和“（半）自动”模式下能够进行正确的电站管理；
 - ③ “手动”和“（半）自动”模式下对各发电装置的起动、停机功能正常。各电源装置起动、停机无误，状态指示及对应断路器动作正确；
 - ④ “手动”和“（半）自动”模式下对各电源装置的并网和解列功能正常，各电源装置并联带载负载分配和负载转移功能正常；
 - ⑤ 岸电接入及并网功能正常；
 - ⑥ 岸电对蓄电池充电控制功能正常；
 - ⑦ PMS/EMS与推进控制系统、BMS/CMS通讯正常；
 - ⑧ 模拟电源装置负荷率达到阈值，优先脱扣功能正常；
 - ⑨ 模拟电源装置启动失败，PMS/EMS应正确示警；
 - ⑩ 模拟各电源装置断路器合分闸失败，PMS/EMS应正确示警；
 - ⑪ 模拟外部设备发出重载问询，PMS/EMS根据电站剩余容量判断是否允许重载起动正确，反馈重载允许/不允许信号正常；
 - ⑫ 模拟电源装置负荷率超过阈值，功率限制功能正常；
- (9) 验证各联锁功能正常，包括但不限于：
- ① PTO离合器和PTH离合器不允许同时接排；
 - ② PTH模式时，推进手柄不在零位时变流器不允许起动；
 - ③ 轴带（发）电机绕组温度高时变流器不允许起动；
 - ④ 轴带（发）电机轴承温度高时变流器不允许起动；
 - ⑤ 齿轮箱综合报警未消除时变流器不允许起动；
 - ⑥ 触发急停未复位时变流器不允许起动；
 - ⑦ 检查各发装置断路器、轴带发电系统断路器与岸电断路器等之间联锁是否正确；
 - ⑧ PTH模式运行时，主机不允许合排，主机可以保持停机或怠速，但是不能通过遥控手柄调速。

第2节 建造后检验

4.2.1 年度检验

4.2.1.1 混合动力船舶的机械及电气设备年度检验除按相关规范对年度检验的要求进行检验外，尚应增加4.2.1.2-4.2.1.10 检验项目。

4.2.1.2 确认混合动力系统所在机器处所无潜在失火和爆炸危险。

4.2.1.3 确认混合动力系统包括推进机械、齿轮装置和轴系等，按规范规定进行维护保养，处于良好工作状态。

4.2.1.4 确认为混合动力系统推进装置服务的泵系统和管路系统得到维护保养，处于良好工作状态。

4.2.1.5 对混合动力系统设备和电缆应尽实际可行在工作状态下总体检查，检查电缆是否有损伤以及电缆与设备连接的紧固情况。

4.2.1.6 对控制、监测和安全系统进行总体检查。

4.2.1.7 操舵装置包括应急操舵装置应进行运转试验，并确认舵角指示器工作准确性及操舵装置失电、过载等故障报警的可靠性。

4.2.1.8 确认储能装置所在舱室的电气设备无不正确的改装，未新增无关热源设备及管路。

4.2.1.9 检查储能装置及其控制系统运行记录。当寿命达到厂家规定的寿命或出现损坏时，应予以更换。

4.2.1.10 检查配备的文件资料是否齐全，包括但不限于：

- (1) 2.1.2.3 要求的储能装置紧急操作说明；
- (2) 2.1.2.4 要求的储能装置维护/检查记录；
- (3) 2.1.2.5 要求的储能装置维护说明；
- (4) 2.1.2.6 要求的储能装置潜在危害安全性说明及减轻风险的安全预防措施。

4.2.2 中间检验

4.2.2.1 混合动力船舶的机械及电气设备中间检验除按相关规范对中间检验的要求进行检验外，尚应增加4.2.2.2 -4.2.2.4 检验项目。

4.2.2.2 本节4.2.1 年度检验规定的项目。

4.2.2.3 检查混合动力系统各设备运转情况，推进机械应在工作情况下进行运转试验，确认其处于良好工作状态。

4.2.2.4 混合动力系统应在工作状态下进行操作试验。对设有遥控和/或自动控制的重要设备，应以遥控和/或自动控制方式进行10%-20%的负荷试验，证明其处于良好工作状态。

4.2.3 特别检验

4.2.3.1 混合动力船舶的机械及电气设备特别检验除按相关规范对特别检验的要求进行检验外，尚应增加4.2.3.2 -4.2.3.8 检验项目。

4.2.3.2 本节4.2.2 中间检验规定的项目。

4.2.3.3 对混合动力系统各设备的过流保护电器和熔断器进行检查，以确定其对各自电路提供适当保护。对于熔断器，可采用目视检查法或电阻测试法；对于断路器，应核对整定值是否正确。

4.2.3.4 电源装置的空气断路器应尽实际可行进行试验，以验证其保护装置动作和延令人满意。

4.2.3.5 直流配电系统中的固态开关的过电流保护功能应尽实际可行进行试验。可采用外接直流断路器和短接排方式进行，也可采用调整保护阈值或其他模拟检测的方式进行试验。

4.2.3.6 电源装置在工作负荷状态下作单机和并联运行试验，检查调速、调压、负荷分配及转移功能：对储能装置作充、放电试验。

4.2.3.7 混合动力系统电缆应尽实际可行进行检查，确认其护套和铠装无不适当的破损，其固定设施处于良好状态。

4.2.3.8 对推进控制系统及PMS/EMS进行总体检查或效用试验，确认其处于良好工作状态：

- (1) 电源装置的自动起动和控制；
- (2) 电源装置的并网、解列和切换；
- (3) 推进电机的起动、停止和控制；
- (4) 推进电机与主机的并联和脱开；
- (5) 远程显示、报警和通信功能；
- (6) 确认遥控功能故障时转为手动控制的功能。