

指导性文件
GUIDANCE NOTES
GD07-2019



中国船级社

混合动力船舶检验指南

2019

生效日期：2019 年 6 月 1 日

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	9
第 3 节 串联混合动力系统的特殊要求	10
第 3 章 混合动力装置产品检验要求	13
第 1 节 一般规定	13
第 2 节 固态开关	13
第 3 节 超级电容器	14
第 4 章 混合动力船舶检验要求	16
第 1 节 建造中检验	16
第 2 节 建造后检验	17

第1章 通则

第1节 一般规定

1.1.1 适用范围

1.1.1.1 《混合动力船舶检验指南》（以下简称本指南）适用于设有多种能量源（不含风帆）可同时作为主推进动力的船舶（以下简称混合动力船舶）。

1.1.2 一般要求

1.1.2.1 混合动力船舶除满足本指南外，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》等（以下统一简称为相关规范）的有关要求。

1.1.2.2 考虑到混合动力船舶技术尚在不断发展中，如应用本指南的规定为不合理或不可行时，经CCS同意，可采用其他替代措施，但应通过试验或其他方法，确认其至少具有与本指南要求者相等的效能。

1.1.2.3 当出现本指南未提及的能量源，其特殊要求，应经CCS特别考虑。

1.1.3 定义

1.1.3.1 除另有明确规定者外，本指南适用的定义如下：

(1) 储能系统：系指通过电化学电池或电磁能量存储介质进行可循环电能存储、转换及释放的设备系统。本指南所涉及的储能系统主要包括蓄电池和超级电容器。

(2) 串联混合动力船舶：船舶推进器的直接驱动力只来源于电动机的混合动力船舶。其典型结构特点是发动机带动发电机发电，电能通过变流器驱动电动机，另外，储能系统可以单独向电动机提供电能驱动船舶行驶。

(3) 并联混合动力船舶：船舶推进器的直接驱动力可由电动机和发动机同时供给的混合动力船舶。

(4) 热源：系指SOLAS公约第II-2/4.2.2.6.1中所述表面温度超过220℃的设备。

(5) 火灾高风险设备：系指SOLAS公约第II-2/3.31中列出的设备。

(6) 变流器：系指转变电源电压、频率、相数和其他电量或特性的电器设备，主要包括整流器（AC/DC）、逆变器（DC/AC）、交流变流器（AC/AC）和直流变流器（DC/DC）。

(7) 超级电容器：一种电化学储能器件，介于普通电容器和蓄电池之间，其至少有一个电极利用双电层或赝电容实现储能，在恒流充电或放电过程中的时间与电压的关系曲线通常近似于线性。

(8) 充电连接柜：系指设置在船舶上，接收岸电为储能系统充电的装置。

(9) 固态开关：系指采用电力电子功率半导体作为元件电流分断的主开关。

(10) LEL/LFL：系指爆炸/燃烧下限。

(11) BMS/CMS：系指蓄电池/超级电容器管理系统，为蓄电池/超级电容器提供运行状态监测、控制和安全保护。

(12) EMS/PMS：系指能量/功率管理系统，为船舶能量分配提供相应的监测和控制。

(13) 电池舱：系指由船舶结构所围蔽的、其内设有蓄电池的处所。

(14) C-Rate：系指储能系统的充放电电流倍率。

(15) 密封电池：系指在正常工作状况下，能始终保持密封状态不释放气体或液体的蓄电池。

(16) SOC：系指储能系统可用容量占额定容量的百分比，用（0-100%）表示。

(17) SOH：系指储能系统的健康度，用（0-100%）表示。

(18) PTH：系指轴带电机作为电动机单独推进的应急推进模式，轴带电机由发动机以外的动力

源驱动。

(19) PTO: 系指轴带电机工作于发电机模式, 从主机吸收能量用于发电。

(20) Boost: 系指轴带电机作为电动机与主机并车实现的混合推进模式, 轴带电机由发动机以外的动力源驱动。

(21) 发-电并车: 系指在发动机离合器接排、电机离合器脱排情况下, 发动机驱动推进器运行, 通过并车控制系统使轴带电机离合器接排, 实现轴带电机与发动机并车。

(22) 电-发并车: 系指在轴带电机离合器接排、发动机离合器脱排情况下, 轴带电机单独驱动推进器运行, 通过并车控制系统使发动机离合器接排, 实现发动机与轴带电机并车。

(23) 熔断器弧前时间: 系指从施加足以熔化熔断器某一电流值开始到电弧出现瞬间止的时间间隔, 一般可以认为是熔断器开始熔化的时间。

(24) 熔断器飞弧时间: 系指熔断器从出现电弧的瞬间到最终电弧熄灭的瞬间所间隔的时间。

(25) 熔断器熔断时间: 系指从施加足以熔化熔断器某一电流值开始到完全熔断的时间间隔, 熔断时间包括弧前时间和飞弧时间。

(26) 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。

(27) 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 凡符合本指南要求, 装有混合动力系统的船舶, 经CCS批准入级, 可在CCS规定的入级符号后, 加注附加标志: Hybrid Ship。

1.2.2 图纸和资料

1.2.2.1 混合动力船舶除按CCS相关规范的要求提交图纸资料外, 还应将下列图纸资料 (若为纸质, 至少一式3份) 提交CCS批准:

(1) 主推进装置电力系统图;

(2) 电力设备布置图, 应标示出混合动力系统内各组成设备的位置;

(3) 电池舱布置图 (如适用);

(4) 危险区域划分图 (如适用);

(5) 电池舱通风系统图及计算书 (如适用);

(6) 直流母线系统短路电流计算及保护协调性分析 (适用于可能同时在网的发电机和储能系统所连接的变流器总功率大于200kW的船舶);

(7) 直流母线系统的短路试验报告, 设备和元件的短路电流承载能力的验证及分析应包含在试验报告中 (如适用)。

(8) 与混合动力相关的控制、监测和安全系统系统图;

(9) 混合动力系统的原理说明和系统框图 (包括EMS/PMS工作原理);

(10) 所有工况下混合动力系统的操作模式 (见2.1.1.13) 和功能说明;

(11) 直流母线系统安全评估 (见2.3.3.4)。

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 应将下列图纸和资料至少一式3份提交CCS备查:

(1) 储能系统生命周期说明, 例如功率衰减预测曲线或类似资料;

(2) 储能系统紧急操作说明 (见2.1.2.2);

- (3) 储能系统维护说明（见2.1.2.4）；
- (4) 储能系统功能测试说明（见2.1.2.4）；
- (5) 蓄电池/超级电容器潜在危害安全性说明（见2.1.2.5）；
- (6) 直流母线系统功能说明（见2.3.3.5）；
- (7) 直流母线系统操作手册（见2.3.3.3）；
- (8) 与混合动力相关的安全系统的设定值。

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船舶。

2.1.1.2 在故障条件下，电气系统及设备应具备适当的保护，以尽量避免下列情况发生：

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

2.1.1.3 安装了太阳能光伏系统作为动力系统能量源的船舶，应满足CCS《太阳能光伏系统及磷酸铁锂电池系统检验指南》的有关要求。

2.1.1.4 安装了燃料电池作为动力系统能量源的船舶，应满足CCS《船舶应用替代燃料指南》第2篇的有关要求。

2.1.1.5 蓄电池及电池舱的设计应满足CCS相关规范的有关要求，当使用磷酸铁锂电池时，还应满足CCS《太阳能光伏系统及磷酸铁锂电池系统检验指南》的有关要求。使用新型蓄电池时，应提供材料证明其消防配置与其他电池舱达到同等安全水平，并经CCS评估认可。

2.1.1.6 直流和交流配电系统的最高供电电压应不超过15kV。

2.1.1.7 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。

2.1.1.8 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。

2.1.1.9 在整个转速范围内，包括最低速以及两个旋转方向，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。

2.1.1.10 推进系统的电源可以由专供推进用的发电机组供电，也可以由能向推进和日常负载供电的公共电站供电。

2.1.1.11 公共电站应具备如下功能：

- (1) 备用发电机组或储能系统的自动起动和自动并车；
- (2) 自动卸载非重要负载或降低推进负载功率的措施以防止发电机组过载；
- (3) 重载问询；
- (4) 在网发电机组或储能系统的负荷分配及控制。

2.1.1.12 本节2.1.2、2.1.4和2.1.6适用于设置了除酸性铅板型和碱性镍板型以外的动力蓄电池的混合动力船舶。

2.1.1.13 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；
- (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，包括但不限于接地方式和保护策略；
- (4) 每种工况下功率和能量的分配模式及控制策略；
- (5) 每种工况下离合器或齿轮箱的接合状态。

2.1.2 储能系统

2.1.2.1 蓄电池/超级电容器的铭牌应标注其化学类型。

2.1.2.2 采用储能系统作为推进动力的混合动力船舶应在船上备有储能系统的紧急操作说明，紧急操作说明应包括发生外部火灾和储能系统内部发生热的故障时的处理程序。

2.1.2.3 采用储能系统作为推进动力的混合动力船舶应在船上备有储能系统的维护（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。维护/检查后应留有记录，应制定维护周期记录表并保持更新。

2.1.2.4 2.1.2.3 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SOH；
- (2) 对涉及储能系统控制、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。

2.1.2.5 采用储能系统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) 浸水危险性；
- (5) 推荐的灭火方式；
- (6) 减轻风险的安全预防措施。

2.1.2.6 储能系统的单体和模块的外壳均应是不燃材料。

2.1.3 储能系统接入配电系统的特殊要求

2.1.3.1 储能系统的输出回路应设置隔离开关作为检修时隔离使用。如采用等效措施替代隔离开关的使用，应经CCS评估。

2.1.3.2 储能系统应通过可以提供短路和过流保护的保护装置连接到配电系统。保护装置应具有选择性，且与电流方向无关。

2.1.3.3 连接在直流母线上并由直流母线进行充电的储能系统，变流器应设置适当的措施，以避免蓄电池/超级电容器受到直流母线可能发生的电气故障的影响。

2.1.3.4 储能系统接入配电系统，以及储能系统的运行、监控等应符合前述相关规范的要求。

2.1.3.5 储能系统接入配电系统不得危及操作人员或维护人员的人身安全。

2.1.3.6 储能系统接入配电系统处的电能质量应满足前述相关规范对电能质量的有关要求。

2.1.3.7 连接储能系统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。

2.1.3.8 在正常运行情况下，储能系统向EMS/PMS提供的信息应包括但不限于：

- (1) 储能系统充放电状态；
- (2) 储能系统荷电状态；
- (3) 储能系统充放电的有功功率和无功功率（如适用）；
- (4) 储能系统接入点的电压、电流；
- (5) 变压器分接头档位、断路器和隔离开关状态等（如适用）。

2.1.3.9 接入交流配电系统的储能系统，还应满足下列要求：

- (1) 储能系统经变压器接入配电网的，向电网馈送的直流电流分量不应超过其交流额定值的0.5%。
- (2) 储能系统不经变压器接入电网的，向电网馈送的直流分量应小于其交流额定值的1%。

(3) 储能系统应具备一定的耐受系统频率异常的能力，并在频率过高或过低时做出响应，如转换充放电模式或脱离电网等。

(4) 当配电网电压过高或者过低时，与之相连的储能系统应做出响应，如转换充放电模式或脱离电网等。

(5) 储能系统的变压器、变流器和储能元件应配置可靠的保护装置。储能系统应能检测配电网侧的短路故障和缺相故障，保护装置应能迅速将其从配电网侧断开。

(6) 储能系统应具有自动同期功能，启动时应与接入点配电网的电压、频率和相位偏差在相关标准规定的范围内，不应引起电网电能质量超出规定范围。

2.1.4 电池舱

2.1.4.1 电池舱只应布置与电池系统有关的设备（包括管路及电缆），严禁布置船舶关键设备及其辅助系统（包括管路及电缆），以防止动力蓄电池失效（如热失控）造成动力或舵系统的失效。

2.1.4.2 电池舱不得设置含有热源或火灾高风险装置。

2.1.4.3 电池舱及其通风系统的设计，应能防止由蓄电池产生的危险气体的积聚。

2.1.4.4 电池舱应具备温度控制能力，确保均匀散热和通风，使船舶在运动和停止过程中，蓄电池始终处于安全允许的温度范围内。温度控制的设定值应符合蓄电池制造商的建议。如采用水冷的方式，则可不设置用于控制温度的通风系统。

2.1.4.5 电池舱的通风系统应与其他位置的通风系统相互独立，并设置机械负压通风系统。

2.1.4.6 如蓄电池在非正常状态下有可能产生气体，采用水冷方式冷却的蓄电池所在的电池舱，仍应设置独立的机械排风系统用于排出易燃和（或）有毒气体。

2.1.4.7 应对电池舱通风系统的有效性进行监控，当通风失效时，可采取如下安全措施：

- (1) 减少或断开全部蓄电池负荷；
- (2) 尽可能增加蓄电池冷却（如适用）；
- (3) 未发生火灾时，将蓄电池产生的气体通风至船外（如适用）。

2.1.4.8 电池舱的通风系统应在电池舱确认发生火灾后自动关停。自动关停的动作应设置为故障安全型。

2.1.4.9 电池舱的通风系统应设置远程和就地控制，就地控制应在远程控制系统发生故障时仍能继续工作。

2.1.4.10 通风系统及设备应具有足够的耐火及耐高温性能。

2.1.5 BMS 系统

2.1.5.1 电池系统应设有与之配套的BMS系统。

2.1.5.2 BMS系统的设计与制造应参照CCS《太阳能光伏系统及磷酸铁锂电池系统检验指南》的相关要求。

2.1.5.3 BMS系统应对与蓄电池安全有关的主要参数（如电压、电流和温度等）进行监控，当蓄电池参数超出制造商的建议范围，应采取适当的安全措施。

2.1.5.4 BMS系统应监控蓄电池自放电的特性，以便能够检测到潜在的故障。

2.1.5.5 BMS系统温度传感器设置的位置，应保证蓄电池组温度得到有效的监控，以使得每一蓄电池处于安全运行的状态。

2.1.5.6 BMS系统和（或）EMS/PMS系统应能使得蓄电池的温度保持在限制范围内。可采取的限制措施包括但不限于：

- (1) 最大充放电电流倍率（C-rate）；
- (2) 最大和最低蓄电池电压，避免过充和过放。

2.1.6 危险区域

2.1.6.1 应提供电池系统可能释放或逸出气体的分析报告。分析应包括正常和故障状态下，由于蓄电池温度过高引起的电解质分解产生的气体，以及水与蓄电池内部成分接触的情况下可能由于电解或其他过程产生的气体。

2.1.6.2 有可能存在可燃气体的电池舱，应根据可燃气体的化学成分进行危险区域划分，划分原则应按照IEC60079-10-1出版物^①，危险区域划分用来选择和安装合适的电气设备。电池舱的危险区域划分应为整船的危险区域划分图的一部分。

2.1.6.3 如需要使用防爆设备，设备选型应符合IEC60092-502^②出版物的原则。

2.1.6.4 如蓄电池在故障或损坏时会释放可燃气体，应在排气口附近设置气体探测。当气体浓度达到20%LEL/LFL时自动报警，并在气体浓度达到40%时断开蓄电池回路。自动关停的动作应设置为故障安全型。

2.1.7 变流器

2.1.7.1 变流器除满足本节要求外，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。

2.1.7.2 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）。

2.1.7.3 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。

2.1.7.4 用作为负载提供电源的变流器，当发生短路故障时，应能提供足够保护设备动作所需的电流，直至保护设备动作。

2.1.7.5 并联运行的变流器，应能在最大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。

2.1.7.6 在输入或输出端子上发生短路时，变流器不应出现永久性的损害。

2.1.7.7 应提供联锁装置，以防止维护人员在电压降至安全电压之前靠近电容器，如变流器的柜门上设置与电容器电压联锁开门的装置。

2.1.8 充电装置

2.1.8.1 充电装置应按照储能系统容量的需要进行设计。

2.1.8.2 串联充电的储能系统，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。

2.1.8.3 设有BMS系统时，充电装置应能与BMS系统通信，并在BMS系统限定的条件下运行。

2.1.8.4 充电装置应在电流和电压超过预设值时，发出报警并停止充电。

2.1.8.5 储能系统出现不可接受的温度时，应立即停止充电。

2.1.9 充电连接柜

2.1.9.1 在正常和故障条件下，充电连接柜电击防护应符合如下要求：

- (1) 外露导电部分不应该带电；
- (2) 危险带电部分应该避免被触及。

2.1.9.2 充电连接柜应设计为，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。

^① IEC60079-10-1 爆炸性环境-第 10-1 部分：区域分级-按区域等级的爆炸性气体环境。

^② IEC 60092-502 船舶电气设备—专辑—液货船。

2.1.9.3 充电连接柜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。

2.1.9.4 应设置必要的安全措施，防止充电过程中电缆被拔出。

2.1.9.5 充电连接柜附近不应有易燃材料。

2.1.10 EMS/PMS

2.1.10.1 EMS/PMS应能控制和调度本船全部电站及储能系统，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。

2.1.10.2 EMS/PMS应能在全部航行/停泊工况下为船舶用电设备提供足够的电能

2.1.10.3 EMS/PMS应包含对电站、储能系统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。

2.1.10.4 EMS/PMS系统的设计应保证当EMS/PMS发生故障时不会导致发出一个错误的指令信号。

2.1.10.5 EMS/PMS系统能检测主配电板上所有断路器以及辅配电板上重要设备断路器的状态。

2.1.11 报警与安全

2.1.11.1 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) 储能系统的可用功率；
- (2) 储能系统能持续提供额定电压和功率的剩余时间或剩余里程；
- (3) 电池舱的环境温度；
- (4) 电池舱的通风运行指示；
- (5) 储能系统的SOC；
- (6) 储能系统的SOH；
- (7) 离合器的接合状态；
- (8) 齿轮箱的接合状态；
- (9) 变流器的下列状态及重要参数，包括但不限于：
 - ① 电压；
 - ② 电流；
 - ③ 功率；
 - ④ 温度；
 - ⑤ 过载状态；
 - ⑥ 通过风险评估确定会使系统和设备造成危害的其他参数。

2.1.11.2 下列信号应在驾驶室或有人值班的位置进行报警：

- (1) 发电机组或储能系统剩余功率不足；
- (2) 推进系统功率自动大幅降低时（如由于驱动系统或动力源部件高温）；
- (3) 电池舱环境温度高；
- (4) 电池舱通风失效；
- (5) 齿轮箱并车冲击载荷过大；
- (6) 储能系统剩余电量低于设定值；
- (7) 储能系统处于以下故障状态：
 - ① 蓄电池/超级电容器高温；
 - ② 过压和欠压；
 - ③ 蓄电池/超级电容器停止工作；
 - ④ 单体电压不平衡；

⑤ 电池断路器/继电器不正常动作；

⑥ 其他安全保护功能。

2.1.11.3 2.1.11.2 (6)中储能系统剩余电量的设定值应由船舶设计者予以确定，并应同时满足下列要求：

(1) 能够使船舶通过自身的驱动系统返航；

(2) 当储能系统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。

2.1.11.4 2.1.11.2 (7)中电池系统的任何异常应能在船舶的主报警系统进行报警。

2.1.11.5 2.1.11.2 (7)①中蓄电池/超级电容器温度过高，应在驾驶室发出视觉和听觉报警，并提示要求手动降低负荷，或者通过自动的方式实现。

2.1.11.6 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。

2.1.11.7 安全功能的激活应发出报警。安全系统的失效如使得安全功能无法实现，应能被监测到并予以报警。为船舶推进系统供电的电池系统，在安全系统故障被检测到时，应予以报警，但不必自动切断电池系统。

2.1.11.8 大于50kWh的电池系统应设置独立的紧急关断设备，用于断开电池系统的连接。

2.1.11.9 蓄电池/超级电容器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。

2.1.11.10 蓄电池/超级电容器系统的紧急断开装置应设置在下列位置：

(1) 电池舱/超级电容器舱之外易于到达位置；

(2) 驾驶室（仅适用于正常工作采用蓄电池做推进动力的混合动力船舶，或作为船舶主电源的冗余的船舶）。

2.1.11.11 紧急断开装置应通过硬线连接，并与控制、监测和报警系统相互独立。

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 齿轮箱宜针对PTO和PTH模式采用双速比设计，相应地应设置PTO和PTH两个离合器，两者之间应设置联锁机构。

2.2.1.2 PTH离合器（如设有）应采取柔性接排技术。

2.2.1.3 如并联型混合动力船舶包含储能系统，则该系统还应满足2.1.2 的要求。

2.2.2 模式切换

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

2.2.2.2 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、发动机会力矩与电机会力矩协调等，不应出现离合器热负荷过大、动力输出中断、传动轴系剧烈冲击等现象。

2.2.2.3 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CCS相关规范对电力推进船舶补充规定中的相关要求。

2.2.2.4 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。

2.2.3 并车控制

2.2.3.1 混合动力系统应能安全平稳地实现发-电并车和电-发并车。

2.2.3.2 发动机和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。

2.2.3.3 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。

2.2.3.4 预接排控制阶段，宜将发动机和电机的转速差控制30 r/min以内。发-电并车时，电机启动后应将其转速调节至接近发动机转速的同步转速；电-发并车时，从安全角度考虑，宜降低电机转速使其接近发动机转速。

2.2.3.5 发动机和电机的转速差控制在合适范围内后，应将电动机由转速控制模式切换至扭矩或功率控制模式。

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

2.2.3.7 如 $P_{电}/P_{发} \leq 30\%$ ，并车推进时应尽量使发动机工作在最佳油耗区间。如 $P_{电}/P_{发} > 30\%$ ，并车推进时宜结合工况进行功率分配。

2.2.3.8 发动机和电机应在预定时间内完成功率分配，该预定时间应根据发动机、电机的动态响应能力等因素确定。

2.2.3.9 并车推进模式下，应通过调节发动机转速控制推进器转速，电机转速应处于随动状态。

2.2.4 布置与安装

2.2.4.1 轴带电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。

2.2.4.2 发动机一般通过液力耦合器或弹性联轴节、万向联轴节、自动同步离合器和减速齿轮箱传递动力。

2.2.4.3 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。

2.2.4.4 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。

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CCS相关规范对电力推进船舶的适用规定。

2.3.1.2 发电系统及储能系统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系统（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 配电系统保护设备应提供过流保护，包括短路。所使用的保护设备应具有完全的选择性，并与电流方向无关。

2.3.1.4 电气系统的电压和频率波动，应符合CCS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，经合同相关各方同意，CCS可特别考虑。

2.3.1.5 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。

2.3.1.6 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。

2.3.1.7 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。

2.3.1.8 如采用电池系统为推进系统提供电力，应配备EMS/PMS系统。EMS/PMS系统应提供可靠的措施保证足够的能量和功率，并考虑蓄电池的SOC及SOH。

2.3.1.9 发电机、蓄电池组或燃料电池等如采用变流器向直流系统供电，当存在恒功率供电的工作模式时，应评估其对配电系统可能造成的影响。

2.3.1.10 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。

2.3.1.11 推进电机采用永磁电动机时，如设置合适的措施（例如抱轴锁紧装置）能够防止在非推进状态下回馈的能量，不会产生高电压危及人员安全，则无需设置永磁电动机这一侧的隔离开关。

2.3.1.12 对于直流母线型式的系统，如变流器支路上安装了隔离开关，安装在变流器和直流母线之间的隔离开关应始终保持在接通的状态，除非某一支路处于故障状态，或能提交证明文件，表明需断开的隔离开关不会影响系统的选择性保护。

2.3.1.13 如系统中使用了熔断器，应提供适当的标识，并在船上存有备件，以及安装替换熔断器的说明。

2.3.2 短路选择性保护

2.3.2.1 交流系统的短路选择性保护，应符合CCS相关规范的适用要求。

2.3.2.2 直流系统应进行短路计算，并提交所用方法供审查，包括计算依据、假定以及仿真模型的说明。

2.3.2.3 发生任何短路故障，短路保护应使得设备功率器件不受损害。

2.3.2.4 发生任何短路故障时，母线上的最大短路电流不应超过直流母排动稳定性和热稳定性的要求。

2.3.2.5 重要设备电路的短路保护应是选择性保护，并应符合下列规定：

- (1) 在发生短路故障情况下，应保证仅限最近故障点的保护电器动作切断故障电路；
- (2) 串联连接的保护电器的动作时间应能做到协调保护；
- (3) 在选择性保护所要求的时间内，保护电器应具有能承受起安装处的短路电流而不分断的能力。

2.3.2.6 采用直流母线系统为船舶推进和重要负载供电，且没有另外的电源系统作为备用时，直流母线应由两个或以上的分段（或部分）组成，在母线发生短路或类似故障时，母联保护装置应首先动作，保证非故障的一侧正常供电。母联保护装置宜采用固态开关，当采用其他型的保护装置时，应提交证明材料说明在任何工况下，保护装置均能实现同样的选择性。

2.3.3 直流母线系统的特殊要求

2.3.3.1 设置直流母线系统的混合动力船舶其安全性和可靠性应与传统船舶处于同一水平。

2.3.3.2 直流母线上连接的各电源支路应具备均流功能，以避免形成环流。

2.3.3.3 应用直流母线系统的船舶应在船上备有操作手册，手册应包含下列信息：

- (1) 系统的详情和说明；
- (2) 系统和设备的操作说明；
- (3) 设备安装布置的维护说明，包括但不限于：防止触电及电弧保护等；
- (4) 软件管理，包括系统中安装的所有软件的版本列表，以及系统或设备特定配置的参数列表等。

2.3.3.4 应对直流母线系统进行安全评估，安全评估应包括以下步骤：

(1) 列出所有正常以及可能发生的事故（故障）原因和结果，如启动、正常关机、停止使用和故障保护等；

- (2) 评估各风险因素，应考虑机械、电气和人为故障因素以及设计运行参数以外的误操作等；
- (3) 风险控制措施；
- (4) 需要采取的安全动作；
- (5) 电气保护理念；
- (6) 软件设计和安全性评价；
- (7) 形成FMEA报告。

2.3.3.5 直流母线系统应提供功能说明，应包括如下资料：

- (1) 电力推进系统构成，应包括构成系统的主要动力设备；

(2) 安装及布置说明, 应包括系统的主要动力设备安装情况;
(3) 功能描述, 应包括在正常情况和可以预见的异常情况下, 系统的各项功能和性能符合规范的情况, 包括但不限于:

- ① 异常情况下, 各种降级模式下的操作;
 - ② 负荷的管理及分配;
 - ③ 系统接地原理;
 - ④ 电气保护理念;
 - ⑤ 系统稳定性;
 - ⑥ 变流器及开关设备的动作。
- (4) 技术规格, 应包括系统技术细节, 如电压、电流、功率等;
(5) 设备外形图和尺寸;
(6) 设备外部接线图;
(7) 测试报告。

2.3.3.6 直流母线系统中的变流器, 应能承受直流母线上可能出现的电压或电流的尖峰, 应考虑正常和一切合理预见的异常情况下出现的状况, 例如由于短路, 保护设备动作所引起的电压尖峰。

2.3.3.7 直流母线系统应提供短路试验报告, 设备和元件的短路电流承载能力的验证及分析应包含在试验报告中。当无法提供经现场验船师见证的试验报告时, 应补充进行相应试验, 这些试验可以在工厂完成, 也可以在装船后完成。同型直流母线系统应用在后续其他船舶时, 无需再次试验, 仅提供首制系统试验报告即可。

2.3.4 固态开关

2.3.4.1 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。

2.3.4.2 并联工作的半导体器件的驱动脉冲信号应准确同步。

2.3.4.3 固态开关的缓冲电路应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。

2.3.4.4 2.3.4.3 中缓冲过程应能在固态开关重合闸之前完成。

2.3.5 超级电容器及其安装处所

2.3.5.1 串联使用的超级电容器组, 应由具有一致性较高的超级电容器构成。各超级电容器在串联充电时应具有一致的电压上升率。

2.3.5.2 串联使用的超级电容器组, 应能提供电压均衡功能, 或能提供资料证明不会由于电压的不均衡导致电容器的损伤或损坏。

2.3.5.3 连接超级电容器的变流器, 应具有短路、过载和欠压保护功能。

2.3.5.4 超级电容器输入端应设置极性反接保护。

2.3.5.5 安装超级电容器时, 不应强行倾斜或扭动电容器。

2.3.5.6 安装过程中, 特别是焊接时, 应避免使电容器过热。

2.3.5.7 超级电容器舱应符合CCS相关规范的有关要求。

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 磷酸铁锂电池及BMS系统的检验和试验方法，应满足CCS《太阳能光伏系统及磷酸铁锂电池系统检验指南》的产品检验要求。BMS的试验应记录所验证软件的版本。

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 固态开关型式认可试验和出厂试验项目应符合的规定。

表 1 固态开关试验项目

序号	试验项目	型式试验	出厂试验
1	外观检查	×	×
2	绝缘电阻测量	×	×
3	耐压试验	×	×
4	空载试验	×	×
5	压差超限保护功能试验	×	×
6	瞬态短路分断保护性能试验	×	×
7	长延时分断保护性能试验	×	×
8	短延时分断保护性能试验	×	×
9	过压分断保护性能试验	×	×
10	过温保护性能试验	×	×
11	温升试验	×	

3.2.1.2 固态开关的基本试验应按照CCS《电气电子产品型式认可试验指南》的要求进行认可试验。

3.2.1.3 外观检查

检查组件的外观结构、选用材料、制造工艺和标志，以保证其与提交审查的技术文件相符合，且不应有明显的外观损伤。

3.2.1.4 绝缘电阻测量

以500V直流高阻计进行测试，固态开关及其属件的带电部件对地之间的绝缘电阻应不低于1MΩ。

3.2.1.5 耐压试验

固态开关按下列的电压值进行耐压试验，但不低于2000V：

$$U_p = 2 \times \frac{U_m}{\sqrt{2}} + 1000 \quad V$$

式中： U_p 为试验电压有效值，V；

U_m 为固态开关任何一对端子之间的空载最高峰值电压，如其对地电压高于2个端子之间的电压（例如固态开关作串联连接时），则应取较高的电压，V。

但如 $\frac{U_m}{\sqrt{2}}$ 小于90V时，则 U_p 可以取1000V。

试验以25~100Hz之间任一频率的交流电压，如在设备的带电部分与可以接地的任一不带电的金属部分之间，历时1min而无击穿或闪络现象。

3.2.1.6 空载试验

固态开关在额定电压下接通电源，按技术文件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。

3.2.1.7 压差超限保护功能试验

固态开关在联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。

3.2.1.8 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。

3.2.1.9 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。

3.2.1.10 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。

3.2.1.11 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3节 超级电容器

3.3.1 试验

3.3.1.1 超级电容器的环境条件试验应按照CCS《电气电子产品型式认可试验指南》的要求进行认可试验。应至少进行如下试验项目：外观检查、性能试验、绝缘电阻测量、振动试验、交变湿热

试验、恒定湿热试验和滞燃试验（仅塑料壳）。

3.3.1.2 超级电容器单体应按照经认可的标准[®]进行结构、电气性能、安全指标和保护功能的设计、试验及检验，如QC/T 741中的检验方法6.2。

3.3.1.3 成组使用的超级电容器，还应对超级电容器模块进行试验，如QC/T 741中的检验方法6.3。

[®] 参见 QC/T 741（2014）《车用超级电容器》或其他等效标准。

第4章 混合动力船舶检验要求

第1节 建造中检验

4.1.1 混合动力船舶的建造检验除按 CCS 相关规范对建造检验的要求进行检验外，尚应增加下列项目：

4.1.1.1 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的要求。

4.1.1.2 进行混合动力系统正常运行试验，包括启动、额定负载和受控关闭。

4.1.1.3 检查不同工作模式下混合动力系统运行情况。

4.1.1.4 检查电气系统电压和频率的波动。

4.1.1.5 对2.1.11 规定的报警和安全系统进行模拟功能测试。

4.1.1.6 电池舱/超级电容器舱功能测试，包括但不限于：

(1) 通风系统的试验与检查；

(2) 气体探测系统的试验与检查（如适用）；

(3) 火灾探测系统的试验与检查；

(4) 消防设施的试验与检查；

(5) 温度监测装置的试验与检查；

(6) 对危险区域（如有时）内电气设备安装后的检查。

4.1.1.7 蓄电池安装布置的检查，包括但不限于：

(1) 蓄电池水冷系统的试验与检查；

(2) 蓄电池组的布置是否便于更换、检查、测试和清洁；

(3) 蓄电池组是否安装在可能遭受过热、过冷、水溅、蒸汽和其他损害其性能或加速其性能恶化影响的处所内。

4.1.1.8 BMS系统的检查，包括但不限于：

(1) BMS监控功能测试；

(2) BMS与EMS通信功能测试。

4.1.1.9 蓄电池充放电装置的检查，包括但不限于：

(1) 充电装置与电池系统接口的正确性测试（如适用）；

(2) 蓄电池充放电装置功能试验；

(3) 蓄电池充放电装置与BMS系统联动控制功能的试验。

4.1.1.10 充电连接柜的检查，包括但不限于：

(1) 充电连接柜电击防护的检查；

(2) 充电连接与船舶推进的联锁功能的检查；

(3) 充电连接时防止电缆拔出的功能检查。

4.1.1.11 检查配备的文件资料是否齐全，包括但不限于：

(1) 电池系统紧急操作说明；

(2) 电池系统维护说明；

(3) 直流母线系统操作手册。

第2节 建造后检验

4.2.1 年度/中间检验

- 4.2.1.1 检查混合动力系统各设备的完好程度；
- 4.2.1.2 检查混合动力系统的接线和支撑结构，应无明显松动和损伤；
- 4.2.1.3 检查混合动力系统仪表和显示装置正常工作情况；
- 4.2.1.4 检查蓄电池、BMS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；
- 4.2.1.5 检查电池舱内是否增加热源设备；
- 4.2.1.6 检查电池舱温度监测装置是否工作正常；
- 4.2.1.7 检查电池舱通风系统是否工作正常；
- 4.2.1.8 检查蓄电池冷却系统是否工作正常；
- 4.2.1.9 检查2.1.2.3 要求的蓄电池维护/检查记录。

4.2.2 特别检验

- 4.2.2.1 本节4.2.1 中年度/中间检验规定的项目；
- 4.2.2.2 对混合动力系统变流器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；
- 4.2.2.3 混合动力系统各设备作单机运行试验；
- 4.2.2.4 有并网功能的电气设备和变流器做并网运行试验；
- 4.2.2.5 系统报警和安全系统功能测试。