



指南编号/Guideline No.: E-29(202605)

E-29

低压直流配电板

生效日期/Issued date: 2026年05月01日

©中国船级社China Classification Society

前言

中国船级社（以下简称“本社”）产品检验指南（以下简称本指南）规定了拟申请本社认可/检验的船舶入级产品、授权法定产品的适用技术要求及检验试验要求。

本指南并不限制用户采用其它试验方法和要求，但相关试验方法及要求应不低于本指南的要求。

本指南由本社编写和更新，通过网址<http://www.ccs.org.cn>发布，使用相关方对于本社指南如有意见可反馈至 service@ccs.org.cn。

历史发布版本及发布时间：新编

本版本主要修改内容：无

目 录

1 适用范围	4
2 规范性引用文件	4
3 术语及定义	5
4 图纸资料	5
5 技术要求	7
6 原材料及零部件	11
7 型式试验	11
8 单件/单批检验	12

低压直流配电板

1 适用范围

1.1 本指南适用于船长5m及以上设有直流综合电力系统且直流母线电压（小于或等于VDC1500V）的直流配电板的产品审图与检验。

1.2 直流配电板系指由发电装置、储能装置、岸电直接或相应接入变流器供电，分配和控制直流电能至船上各用电负荷的直流汇流排、开关设备、保护电器和监控设备（含强制冷却系统）的组合。

1.3 本指南不适用于上述设备上使用的电气/电子设备（如，断路器、熔断器、发电机保护装置等）的认可及检验。

2 规范性引用文件

2.1 中国船级社《钢质海船入级规范》（简称《钢规》）

2.2 中国船级社(GD018-2023)《船舶直流综合电力系统检验指南》（简称《指南》）

2.3 中国船级社（GD019-2024）《电气电子产品型式认可试验指南》（简称《认可指南》）

2.4 中国船级社《船舶应用动力电池规范》2025（简称《动力规范》）

2.5 中国船级社（GD009-2024）《船舶应用混合动力系统指南》

2.6 中国船级社（GD027-2025）《船舶网络安全指南》

2.7 中国船级社（GD028-2023）《船舶设备与系统可靠性验证指南》

2.8 IEC60092-302-2:2024《船舶电气设施 第302-2 部分:低压开关设备和控制设备组合装置 - 船电》

2.9 IEC60092-504:2016《船舶电气设施 第504部分:特殊设备 控制和仪器仪表》

2.10 IEC61439-1:2020《低压开关设备和控制设备组合装置 第1 部分:一般规则》

2.11 GB/T 7061：2016《船用低压成套开关设备和控制设备》

本指南所引用的文件，凡注明日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本指南；未注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本指南。

3 术语及定义

上述检验依据中所确定的术语及定义适用于本指南。为编写及使用方便，本指南直接引用或补充下列定义：

中国船级社《船舶直流综合电力系统检验指南》、《船舶应用动力电池规范》、《船舶应用混合动力系统指南》中的定义适合本指南。

4 图纸资料

4.1 图纸资料审查的基本原则

对于直流主配电板，CCS 采取产品审图与船舶审图配合进行的方式。船舶审图由 CCS 船舶审图单位进行。产品审图由有资质的产品检验单位（或审图单位）进行。

4.2 船舶审图

下列船舶图纸是主配电板、应急配电板等重要配电设备设计的基础，必须经 CCS 船舶审图单位批准。经 CCS 批准的船舶图纸及审图意见书应随产品图纸提交产品检验单位。对于首次安装的船舶（首次安装：纯电池船为同套图纸的首套，“同套图纸”见《电池船法规》5.2.1.2条，其他综合直流配电系统的船舶为同型式图纸的首套，“同型式”见《指南》1.2.1.3条），应提供包括但不限于以下图纸进行审查：

- (1) 直流综合电力系统短路电流计算书（注：适用于可能同时在网的电池系统所连接的变流器总功率大于 200kW 的纯动力电池船舶或适用于可并联电源装置总功率大于 200kW 的船舶）；短路电流的计算应按照《指南》规定的方法（详见附录）计算。
- (2) 直流综合电力系统选择性保护分析报告（注：适用于可能同时在网的电池系统所连接的变流器总功率大于 200kW 的纯动力电池船舶或适用于可并联电源装置总功率大于 200kW 的船舶），具体分析方法可参见 CCS《指南》的要求；
- (3) 直流配电板原理图（可为单线图）；
- (4) 直流配电板或直流综合电力系统（含直流配电板）故障模式和影响分析

(FMEA) 报告；（注：纯动力电池船需批准，其他船舶需备查）

- (5) 直流配电系统短路电流计算和选择性保护分析验证资料（注：适用于可能同时在网的电池系统所连接的变流器总功率大于 200kW 的纯动力电池船舶或适用于可并联电源装置总功率大于 200kW 的船舶），用于短路试验验证；
- (6) 电力系统图；
- (7) 电力负荷计算书。
- (8) 直流综合电力系统控制和监测系统图（含直流配电板）；

注：对于已经过首次安装批准，在后续 CCS 入级船舶上安装的直流配电板产品，以上(1)、(2)、(5)图纸所含内容需满足 4.3.2(4)条要求。

4.3 产品审图

4.3.1 应将下列图纸、资料提交CCS 批准：

- (1) 总图（包括外形图、基座图、结构图等）；
- (2) 面板布置图；
- (3) 产品技术条件（规定配电板的适用规范、型号规格、主要技术要求和试验，若配电板的其他图纸和技术文件已涵盖相关内容时可不提交）；
- (4) 电气原理图（标明各元器件代号、各回路电线型号/规格、汇流排材质和规格及主要设备参数等）；
- (5) 配套电器规格明细表（标明元器件名称、型号、规格、数量及其在图纸中的代号）；
- (6) 汇流排电动力计算及校核（若汇流排的最大预期短路电流大于 50kA，必要时可按 IEC61660-2 或 CCS 接受的其他标准，进行汇流排及其支撑件的短路强度计算和复核）；
- (7) 外部接线图。
- (8) 认为必要时，本社可要求增加送审图纸和资料的范围。

4.3.2 应将下列图纸、资料提交CCS备查：

- (1) 已退审的 4.2.1-4.2.4 条需提交备查的图纸、资料（如适用）；
- (2) 软件说明书（如有时，包括软件模块功能描述和相关硬件描述、控制/逻辑流程图、软件版本号、软件维护及更新说明）。
- (3) 产品使用说明书（若直流配电板的其他图纸和技术文件已涵盖说明书内容时可不必提交）；
- (4) 直流综合电力系统首次安装的有关信息，应至少包括已批准的首制船舶下列信息：船舶识别号、系统原理图（可为单线图）、短路电流计算书、选择性保护分析报告、试验验证情况等；
- (5) 直流配电板或直流综合电力系统（含直流配电板）电磁兼容设计和分析报告；

5 技术要求

5.1 一般技术要求

5.1.1 直流配电板柜体（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。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；

5.1.2 配电板应具有符合《钢规》第 4 篇表 1.3.2.2 规定的防护外壳。所有防护外壳均应以滞燃、耐腐蚀的材料制成（或有可靠的保护层），且有坚固的结构；

5.1.3 配电板的顶部应达到防护等级 IP22 的要求，但如安装在符合《钢规》第 4 篇 2.1.4.2 要求的控制室中，则其顶部的防护等级可为 IP21。配电板的两侧应有不低于防护等级 IP2X 的防护措施。额定电压大于 500V 者，其背面还应有不低于防护等级 IP2X 的防护措施；

5.1.4 电缆进入配电板处应有防止漏水沿着电缆进入配电板内部的措施；

5.1.5 对地电压或工作电压大于 50V 者，其裸露带电部分不应安装在面板上；

5.1.6 额定电压大于 500V 系统用的接线柱应与较低电压的接线柱隔开，并有明显的标志；

5.1.7 配电板各屏间应设有隔板。不同电压的配电系统的开关设备一般应设置在不同屏中；若设于同一屏中，尽量采用隔板相互隔离；如有冷却系统屏应采用防水防潮隔板隔离，保证冷却系统泄漏不至于影响至相邻电气屏；

5.1.8 配电板应采取措施，防止内部短路所引起的热游离气体从配电板前部逸出；

5.1.9 每一配电板均应配置一个安装在固定部件上的绝缘扶手，或者适当地安装在配电板前的绝缘手柄。为了操作和维护目的必须到上述配电板后，则在后面也必须绝缘扶手或绝缘手柄。绝缘扶手应水平固定安装在配电板上；

5.1.10 用于接线的有效空间应使规定材料的外接导线和芯线分开的多芯电缆能够正确地连接。导线不应承受影响其寿命的应力。

5.2 汇流排及汇流排分段装置

5.2.1 汇流排应由导电用电解铜或铜包覆的铝合金制成。汇流排的最大允许温升为45K，或满足IEC60092-302第7.8.102.2条的要求（注意应折算至45°C环境空气温度）；

5.2.2 汇流排及其支承件应能承受短路时产生的热应力及机械应力而不致损坏。对于额定短路电流大于50kA的配电装置，必要时可按IEC61660-2或CCS接受的其他标准，进行汇流排及其支撑件的短路强度计算和复核；

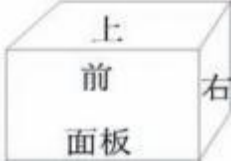
5.2.3 主汇流排（或其一部分）的额定载流量为最大负荷工况下的通过主汇流排（或其一部分）的承载电流（方均根值），分汇流排的额定载流量为分支线路的总电流并考虑适当的额定分散系数，如IEC61439-1的第5.4条和附录E。主汇流排的额定载流量应不低于CCS批准的电力负荷计算书中对应于最大负荷工况时流经此处的电流值。

5.2.4 汇流排（汇流排的支撑和连接）应适当处理以防止时间过长导致导电性能变差，螺母应有防松脱的措施；

5.2.5 配电板内汇流排相序（交流。）或极性（直流）的安装排列应符合表5.2.5的规定。

相序或极性的安装排列

表 5.2.5

汇流排	相序或极性	汇流排安装的相互位置			附图
		垂直布置	水平布置	引下线	
直流	正极	上	前	左	配电板正视方向示意图 
	均压极	中	中	中	
	负极	下	后	右	

5.3 运行指示和控制

5.3.1 在主配电板上，应设有绝缘监视报警器以连续监测系统的绝缘电阻，且能在绝缘电阻异常低时发出听觉或视觉报警信号。当主汇流排设有分段装置时，此要求亦应满足。对某些控制线路，如通过电源装置供电，此要求可以免设；

5.3.2 配电板上指示灯、报警灯及按钮的颜色应满足《钢规》第4篇第1章第3节的适用要求；

5.3.3 接线和部件标识；

5.3.4 配电板内部的接线及标识应满足附录1《船用电线电缆敷设及联接的技术要求》的原则规；

5.3.5 配电装置内部的电缆应为满足《钢规》第4篇第2章第12节要求的产品。对于电子设备的电缆的选型及敷设，应满足设备制造厂的相关要求；

5.3.6 对于线径大于 2.5mm^2 的电缆不应采用焊接连接形式，应使用电缆接线头的方式；

5.3.7 安装在配电板上的仪表、开关、指示灯、按钮、操作手柄和手轮等均应有标明其用途和操作位置的耐久铭牌；

5.3.8 每个电路及其设备（主要部件）应有耐久的标识。过载保护设备应有标明其定额或整定值的耐久标志，这些标志（标识）应设在设备（部件）的所在位置。对于500V以上的熔断器，当熔断器座可插入较低额定电压的熔断器时，则应设有专门的警告牌，例如“注意，只适用于660V熔断器”。

5.4 直流配电板绝缘

5.4.1 绝缘配电系统和经高阻接地配电系统应满足《船舶直流综合电力系统检验指南》（GD18-2023）中2.2.2条的规定；

5.4.2 直流配电板可采用两种配电拓扑形式见《船舶直流综合电力系统检验指南》（GD18-2023）第1.1.2.1（2）、（3）。

5.5 冷却系统

5.5.1 直流配电板应设有温度调节装置，如采用液冷方式进行冷却，则冷却系统应满足《动力规范》第4章第4.1.1.6条的要求。

5.5.2 直流配电板如采用风冷方式进行冷却，则冷却系统应满足《纯电动船舶技术与检验暂行规则》（2025）第5.1.1.4条的要求。

5.6 直流配电系统能够在推进系统短时大范围调速时，即在全速正车→全

速倒车→全速整车工况下，电网系统能够平稳有序运行，系统制动能量回馈机制既不会导致直流母线泵升电压过高而发生脱网失电，也不会导致变流器损坏或异常锁止；

5.7 推进变流器应具有紧急限转速/功率功能：应考虑到在突卸工况下（如有螺旋桨出水情况时），推进电机超过其转速上限时，推进变频器应能迅速降低推进电机转速并正常工作，防止推进电机损坏。

5.8 DC/DC,DC/AC变频器复用作为充电变流器使用，还应满足《船舶应用混合动力系统指南》（2024）2.1.4条相关规定。

5.9 直流电网电源在突加突卸时，能根据电力负荷计算书的工况，在保证船舶动力安全的情况下，尤其是停止最小并联工况下的功率较大的一台电源，能保证供电连续性，且不会导致全船失电。直流电网对其最大负载（一般是推进电机或侧推电机，工程泵电机）进行突加突卸试验时，应能保证供电连续性，不会导致保护器件误动作或全船失电。

5.10 直流配电板设计要求见《船舶直流综合电力系统检验指南》（GD18-2023）第2章第2节。

5.11 直流配电板保护设计及短路保护与计算要求见《船舶直流综合电力系统检验指南》（GD18-2023）第3章第2节、第4节。

5.12 直流配电板控制与监测要求见《船舶直流综合电力系统检验指南》（GD18-2023）第4章。

5.13 直流配电板电磁兼容性要求见《船舶直流综合电力系统检验指南》（GD18-2023）第5章。

5.14 直流配电板配电板如涉及网络安全，则应满足我社《船舶网络安全指南》（2024）的要求。

5.15 应用《船舶应用动力电池规范》的船舶，其直流配电板的关键设备，如船舶管理系统（含PMS/EMS/AMS）、变流器（整流器、逆变器、变频器、斩波器）、固态开关等应在产品认可阶段应进行可靠性验证，并持有CCS签发的可靠性符合证明。可靠性验证应依据CCS指导性文件《船舶设备与系统可靠性验证指南》（GD28-2023）的第5章设备要求进行。如有等效验证手段，应经CCS认可。

6 原材料及零部件

产品原材料及零部件持证要求应按照我社现行规范相关要求进行控制。

6.1 直流配电板中部件持证要求应符合《船舶直流综合电力系统检验指南》（GD18-2023）中1.3.2.2的规定。

6.2 固态开关试验要求见《船舶应用混合动力系统指南》2024第3章第1节，第2节。

7 型式试验

考虑到船用直流配电板及配电电器的产品规格多样性，CCS 未要求对此类产品进行工厂认可或型式认可，故本指南适用于未进行型式试验的低压配电设备。对于批量生产的此类产品，CCS 鼓励船用产品制造厂进行低压配电设备的型式认可及试验，具体要求可依据本指南所述标准的规定进行，但同时应满足本指南中适用要求。

8 单件/单批检验

8.1 一般要求

8.1.1 试验大纲,应经验船师确认;

8.1.2 在完成产品图纸审查的前提下，直流配电板应在制造厂进行出厂检验，在配电板应在制造厂按照确认的试验大纲，进行下述各项试验。对于部分出厂试验项目（如 PMS/EMS 等功能试验等），如果工厂不具备试验条件，以致无法在出厂试验时进行，在产品证书备注栏中应进行备注，要求待产品安装后，在系泊试验（或航行试验）中，由CCS 现场建造验船师试验确认。

8.2 试验内容

8.2.1 一般功能试验

8.2.1.1 外观检查

直流配电板的结构和接线进行检查、产品与图纸一致检查，必要时根据《电气电子产品型式认可试验指南》（GD019-2024）中2.15的要求进行外壳防护等级试验。

8.2.1.2 电气间隙及爬电距离检查

根据《钢质海船入级规范》第4分册第3章3.3.3.3的要求，或者《钢质内河船舶建造规范》（2016）第3篇第6章中6.2.5.6的要求，根据产品电压等级对产品汇流排进行电气间隙及爬电距离进行检查。

8.2.1.3 绝缘电阻试验

根据《电气电子产品型式认可试验指南》（GD019-2024）中2.3的要求，对产品进行耐压试验前后的绝缘电阻试验。

8.2.1.4 耐压试验

根据《电气电子产品型式认可试验指南》中2.14的要求，对产品进行耐压试验。

8.2.1.5 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，应根据《船舶直流综合电力系统检验指南》（GD18-2023）中1.3.2.4、《钢质海船入级规范》第4篇第3节3.3.7.2的要求进行温升试验。

8.2.1.6 冷却系统效用试验

采用冷却系统时，其设计应能防止因冷却系统的单一故障造成双套或多套设备的同时失效。对产品的冷却系统进行效用试验验证时，包括但不限于以下试验：

- (1) 冷却系统管系均应在工作情况下自动检查泄漏情况（如有液冷时）。
- (2) 采取措施避免冷凝水对电气设备造成危害（如有时）。
- (3) 冷却系统相关的冷却泵及其控制装置应采用冗余设计，且互为备用的冷却泵应从不同汇流排分段供电，冷却泵应能够自动切换（如有时）。
- (4) 冷却系统泵的双套配置，需要满足一侧汇流排失电故障情况下，冷却系统仍能保证非故障侧汇流排正常工作。
- (5) 冷却系统的冷却泵应具备故障自动切换功能，且正在运行的冷却泵失电后，恢复供电应能自动启动。

8.2.1.7 电气功能试验

- (1) 开关、保护及保护连锁试验

试验要求见《船舶应用电池动力规范》（2024）第10.2.5.1条第(1)，(2)，(3)条。

- (2) 变流器功能试验：

-
- ① 检查半导体变换装置、仪表、报警、指示、显示屏等的效能。
- ② DC/AC日用逆变器试验：，包括但不限于以下内容（如在制造厂没有条件时，可在陆上联调试验或船舶系泊试验阶段进行）：
- (a) 日用逆变器空载试验：对逆变器进行启动、停机控制（遥控及就地），记录空载电压和频率；
 - (b) 日用逆变器带载试验：启动逆变器，调节负载分别为25%、50%、75%、100%、110%（最大日用电站负载工况的110%），运行1~5min。记录逆变器输出电压、电流、频率、功率、组件温度以及电压谐波，滤波器绕组温度等运行参数；
 - (c) 日用逆变器突加、突卸负荷试验：逆变器启动后逐渐加载到额定负载稳定运行，做100%突卸试验，记录逆变器输出电压的变化和稳定时间；再按不低于0-50%-100%的要求突加负载，记录逆变器输出电压的变化和稳定时间；
 - (d) 日用逆变器之间（如适用），逆变器与主发电机组之间的转换试验（如适用），记录自动转换和手动转换的时间，验证模式的切换能够保证供电连续性及相关电能质量要求；
 - (e) 检查船电和岸电的相互转换功能（如有时）；
 - (f) 检查针对风险评估报告中识别出的配电系统的风险所采取的安全措施落实情况，并进行试验验证；
 - (g) 单独作为交流日用配电系统供电电源时，须完成日用逆变器的低压故障穿越试验，用以验证配电系统在穿越低压故障过程中的供电能力及连续性：
- ① 直流短路情况下对逆变器的要求：在直流短路的情况下（该逆变器所在直流母线短路或者逆变器支路本身直流短路情况除外）：要求在短路发生、直流电压跌落，到短路故障消除、直流母线电压恢复的整个过程中，逆变器可不间断工作，且其输出电压不得过低，触发交流负载的欠压保护，且直流电压恢复后，逆变器可连续正常工作，以保证供电连续性为原则。
- ② 交流短路情况下对逆变器的要求（短路电流维持能力）：在交流负载发生短路时（交流配电板未参与联调时可模拟），逆变器（单独

作为交流日用配电系统供电电源时)从恒压输出模式进入恒流输出模式,并持续一段时间,使得发生短路故障的负载保护器件动作,且在短路发生、交流电压跌落,到短路故障消除、交流母线电压恢复的整个过程中,逆变器可不间断工作,待短路故障消除后,逆变器立刻恢复恒压模式,继续正常工作,整个过程中交流母线电压不得触发交流负载的欠压保护,也不会导致逆变器至交流母线之间的任何断路器分闸。此时,要求逆变器恒流输出的电流应能够提供足够的短路电流,以满足协调性分析的要求,确保下游保护装置选择性跳闸,同时不会造成内部损坏。若持续恒流输出超过0.5s短路故障仍未被分断和隔离,应立即闭锁逆变器控制信号,限制逆变器输出;

- ③ 推进变频器试验,包括但不限于以下内容(如在制造厂没有条件时,可在陆上联调试验或船舶系泊试验阶段进行);
- (a) 启动/停止/连续启动/急停试验:对推进变频器进行启动、停机、急停控制(遥控及就地操作),连续启动2次确保电机驱动的变流器不过热保护;
 - (b) 机旁/遥控切换试验:可实现机旁箱控制和遥控控制,可以用手动模式在EMS/PMS故障时对推进器进行操纵(加减速及换向);

8.2.1.8 功率/能量管理系统(PMS/EMS)功能试验

功率/能量管理系统(PMS/EMS)的功能试验应尽实际可能进行,但如在制造厂没有条件时,可在陆上联调试验或船舶系泊试验阶段进行。

功率/能量管理系统(PMS/EMS)的功能设计应满足《船舶直流综合电力系统检验指南》(2023)、《船舶应用电池动力规范》(2024)第3.1.2条、《船舶应用混合动力系统指南》(2024)第2.1.6.7条的要求。

PMS/EMS/AMS应具有功率限制功能,当电源因故障解列后,能立即根据情况限制推进功率,不会导致其他在网电源装置过载跳闸而造成全船失电,功能性试验包含但不限于:

- (1) 手动/自动工况下电源的并网/解列、负载功率分配、自动卸载非重要负荷、功率/能量储备分析、重载问询(手动模式下不依赖PMS/EMS);
- (2) 能根据储能系统的荷电状态实时核算其可用功率和可用电量;

- (3) 如设有变速运行发电机组，功率/能量管理系统（PMS/EMS）在计算当前系统的负荷率时，应考虑变速运行发电机组在不同运行转速下可用功率差异；
- (4) 如设有燃料电池发电装置，功率/能量管理系统（PMS/EMS）应根据负载需求调整其并网数量，在满足燃料电池发电装置最低稳定功率的前提下，尽量使其工作在高效率运行区间；
- (5) 控制电池系统充放电；
- (6) 应能监测综合电力系统故障，当非故障段线路上的系统和设备供电中断时，应能自动执行相关措施恢复系统和设备供电；应能自动执行《指南》3.2.2.2 (3)、3.2.2.3 (4)、3.2.2.4 (3)和3.3.2.3 (2)等类似措施恢复系统和设备供电。
- (7) 控制和监测系统的检查和试验，应至少验证：
 - ① 控制位置（机旁/遥控）的设定和切换正常；
 - ② 控制模式（手动/半自动/自动）的设定和切换正常；
 - ③ 各电源装置及保护电器运行状态、参数显示及启停控制正常；
 - ④ 故障指示（声光报警）及历史故障记录调出显示功能正常；
- (8) 验证在发生如下情况时，系统能自动进入到安全状态，以验证PMS/EMS/AMS的重要部件（包括其供电、通讯及控制功能部件等）采用冗余设计或等效设计，避免船舶管理系统（PMS/EMS/AMS）单一故障造成全船失控：
 - ① 功率/能量管理系统（PMS/EMS）电源故障；
 - ② 功率/能量管理系统（PMS/EMS）可编程控制器故障；
 - ③ 功率/能量管理系统（PMS/EMS）通讯故障；

8.2.1.9 短路试验

(1) 试验基本要求：

- ① 首次安装批准的直流综合电力系统，安装上船之前，制造商应进行短路试验（直流配电板）。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，这些试验尽可能在出厂试验时或陆上联调时（如有时）完成；

- ② 对于已经过首次安装批准，在CCS入级船舶上后续安装的直流配电板（首次安装即对纯电池船为同套图纸的首艘（《电池船法规》5.2.1.2条），对其他船舶为同型式图纸的首艘（《指南》1.2.1.3条）），无需再次试验，但应提供验船师签署的首制船相关资料，具体见本指南第4.3.2（4）条；
- ③ 作为日用逆变器的DC/AC的低电压故障穿越试验尽量结合短路试验完成，要求见第8.2.1.7条（2）.b）.7）要求；
- ④ 短路保护动作原则上应满足《指南》3.2.2条要求。

(2) 短路试验平台的搭建

- ① 短路试验平台示意图，见图8.2.1.9（1）：

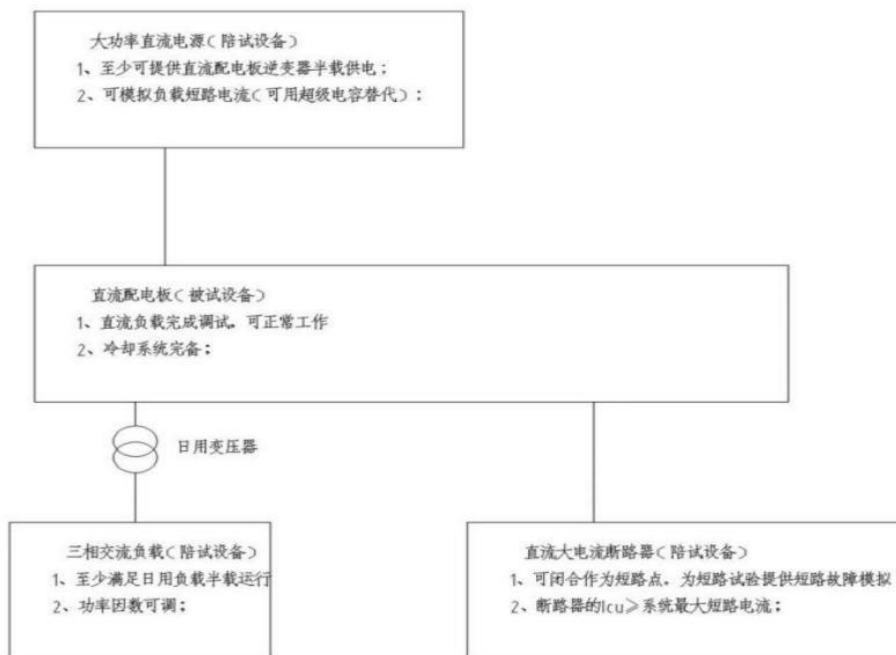


图8.2.1.9 (1) 短路试验平台示意图

- ② 试验条件准备：

电源，其容量足以提供足够的短路电流，如大功率整流电源，超级电容/薄膜电容/电池等；多通道示波器，直流负载，电流、电压探头、探针，毫欧表、模拟短路故障的工装（大电流断路器或IGBT）等；

- ③ 短路试验的阻抗匹配：应关注短路工装时的阻抗匹配问题对短路试验的影响，保证短路试验的准确性。
- ④ 短路试验的高低压选择：尽量选择电池系统低压进行。
- ⑤ 关于短路试验点的选取：

直流综合电力系统安装上船之前，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，经验船师签署的报告应上传至CCS产品检验发证系统：

- (a) 直流配电系统直流母排正负极间短路。举例如图8.2.1.9(2)如下：（尽量选择异侧）

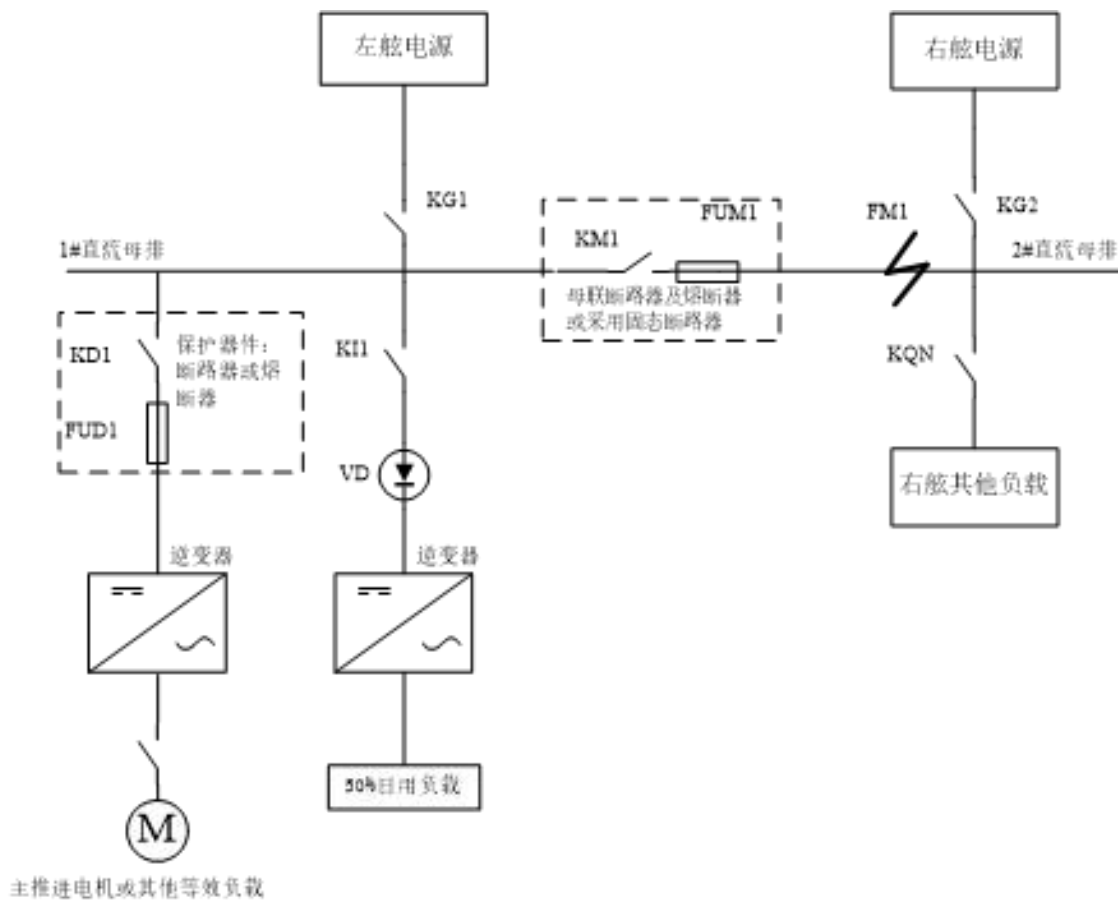


图8.2.1.9 (2) 母排短路试验示意图

(b) 直流配电系统负载装置（含变流器）输入端正负极间短路。举例图8.2.1.9(3)如下：

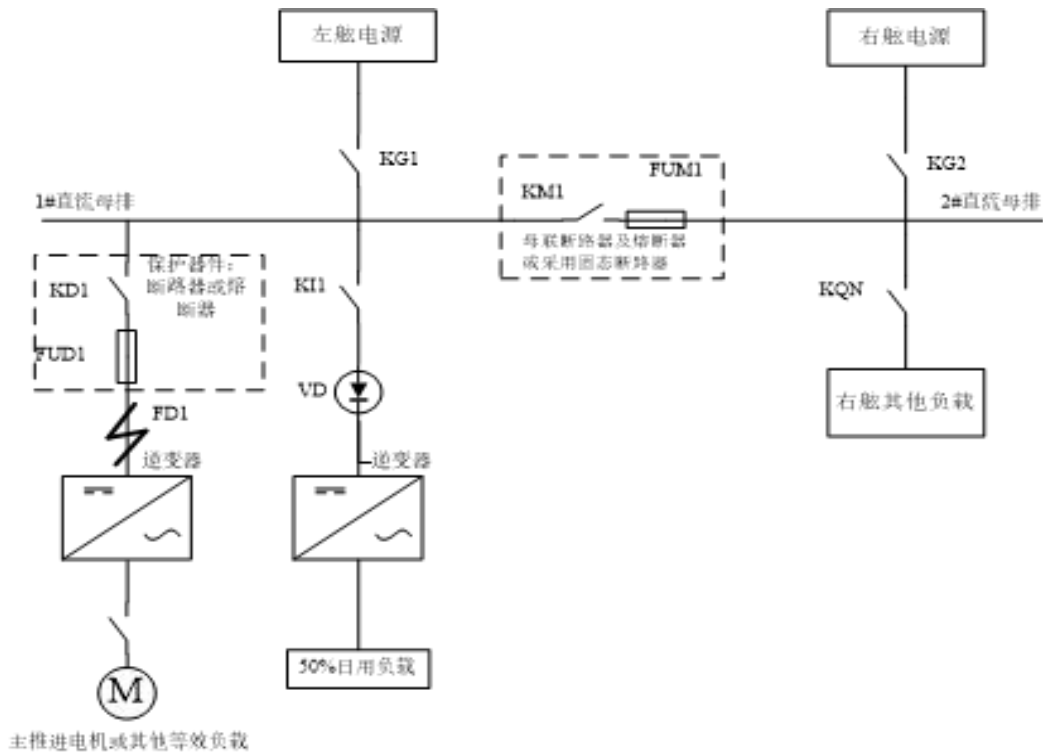


图8.2.1.9 (3) 负载侧短路试验示意图

(c) 直流配电系统电源装置（含变流器）输出端正负极间短路。举例图8.2.1.9(4)如下：

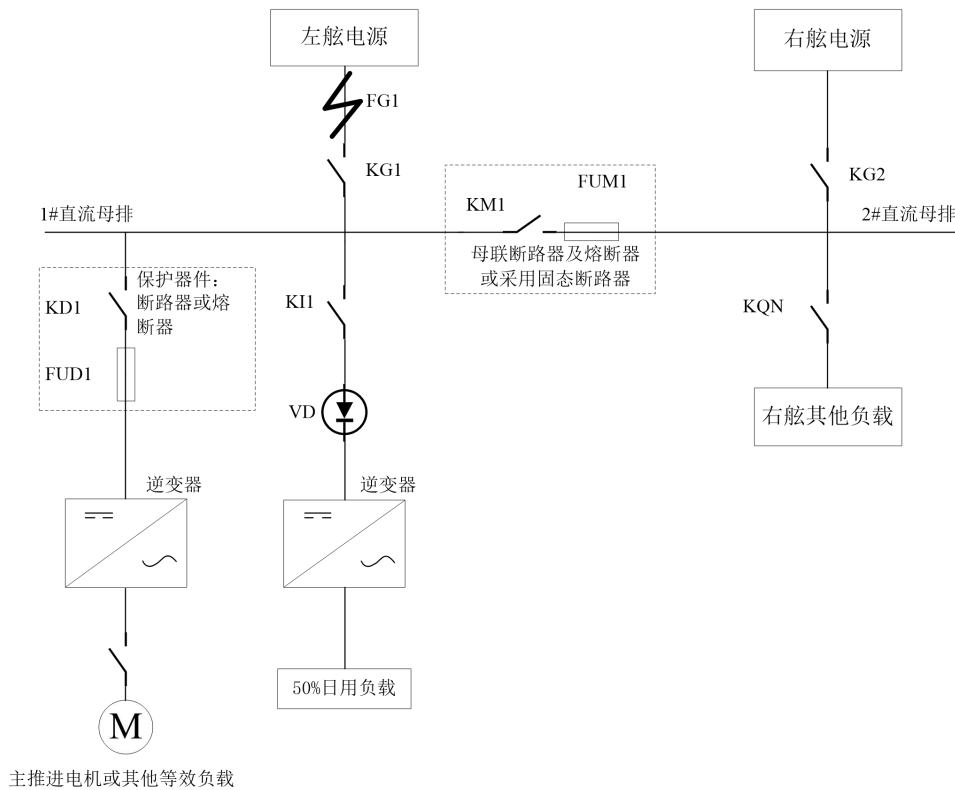


图8.2.1.9 (4) 电源侧短路试验示意图

(3) 短路试验结果的验证

在选取典型短路点进行试验后（尽量选择异侧、支路短路电流相差较小的拓扑结构）直流综合电力系统制造商应基于上述试验，提交“直流配电系统短路电流计算和选择性保护分析验证资料”以证明其《短路电流仿真计算和选择性保护分析》的正确性。该文件应至少包括上述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，试验结果应符合：

- ① 母排电压须自动恢复至标称值。
- ② 可观察到相关保护动作后的报警结果，且开关及熔断器等动作应满足仿真结果。
- ③ 重新更换损坏的元器件，上电后系统各种功能运行正常。
- ④ 短路试验后故障排查试验应满足第8.2.1.9（4）要求。

如其结果不符合，需重新整改并提交相关图纸资料审批后重做短路试验。短路试验结果应反馈至船舶审图中心以确认设计的正确性。

(4) 短路试验后故障排查试验

- ① 短路试验后应对整个直流配电板中的熔断器（短路计算应熔断的除外）应进行冷态阻值复核，并对比冷态阻值（试验前后相差大于或等于10%视为损坏）确认相关器件是否损坏。如损坏需更换，这里如熔断方案与仿真设计结果不符时，验船师须对照仿真结果并应考虑涉及设计问题，应要求制造商重新验算短路电流仿真结果并送审批准，重做短路试验直至满足要求。
- ② 短路试验后观察变流半导体器件是否有超压过流等异常报警记录。
- ③ 如有断路器，防反二极管、滤波器等装置串联在主电路中，这些器件不应损坏，可继续正常使用。

8.2.1.10 FMEA试验

制造商应提供直流配电板或直流综合电力系统（含直流配电板）FMEA分析报告，其格式见《船舶应用动力电池规范》第9章附录2。报告中应包含但不限于

于本篇涉及本设备的可接受的风险等级（见第9章附录3表3，绿色部分（4以下），黄色（6以下）应采取措施降低风险）的故障模拟试验（单一故障），以验证直流配电系统的系统安全性及逻辑性（FMEA中包含的短路故障如有验船师按指南要求已验证的短路电流报告，该破坏性试验可免除）；

- (1) 风险评估的内容应按照《船舶应用动力电池规范》（2025）第9章，9.1.2.3和9.1.2.4节的要求进行。风险评估过程应按照《船舶应用动力电池规范》（2025）第9章，第9.1.3节要求实施；
- (2) 检查针对风险评估报告中识别出的直流配电系统的风险所采取的安全

措施落实情况，并进行验证。

8.3 检验报告和船用产品证书

8.3.1 检验部门在按规定要求完成产品出厂检验工作后，归档检验资料，并向制造厂颁发“船用产品证书”。

8.3.2 “船用产品证书”证书上至少应标明产品名称、产品型号、产品编号、额定功率等重要技术参数、外壳防护等级、出厂日期等。

8.3.3 检验开始前，验船师应检查试验过程中使用的检测设备，主要包括检查设备名称、编号及其计量有效期（到期日期）。

8.4.4 检验标志

验船师在现场对直流配电板检验合格后，应在工厂铭牌上打上我社检验标志，产品证书号应标识在产品铭牌上。

注：船用电线电缆敷设及联接的技术要求见中国船级社产品检验指南E12《低压配电板》附件1。