

# 电池动力船舶船员基本培训课程指南

# 目录

1.前言.....	1
2.简介.....	1
3.课程实施.....	2
3.1 课程计划.....	2
3.2 课程纲要和时间表.....	4
3.3 教员指南.....	6
教辅资料.....	15

CHINA MSA

## 1.前言

根据《交通运输部海事局关于加强电池动力船舶船员培训管理有关事项的通知》（海船员函〔2023〕1615号）的要求，电池动力船舶上的所有船员在任职前接受不少于2天的包含电池动力船舶常识和应急应变等内容的基本培训。

本指南由交通运输部海事局指导，广东海事局、福建海事局、江苏海事局承办，组织广州航海学院、福建船政交通职业学院、江苏海事职业技术学院、广东交通职业技术学院、中国船舶集团有限公司第711/712/719研究所、中船赛思亿（无锡）电气科技有限公司、中国船级社广州分社、中国船级社福州分社、广州金航游轮股份有限公司、湖北三峡旅游集团等单位共同编写。

## 2.简介

### ■目的

本指南目的是指导经营电池动力船舶的航运企业或企业委托的相关机构及其教学人员组织开展电池动力船舶船员基本培训，作为开展相关培训工作的技术性文件，鼓励参照使用。航运企业可结合企业经营、船舶航线和相关法律法规要求，科学制定并实施船员培训课程，充分考虑但不限于本指南内容。

### ■使用

教员在使用该指南时，应当审视课程计划和细化的教学大纲，考虑学员的入门标准、学员知识和技能的实际水准和之前所接受的相关教育和培训，并应当识别出在培训内容上由于学员实际入门水准的差异可能引起困难的任何部分，并加以强化。此外，教员还应当识别出学员可能还没有获得的任何学术知识、技能或技术训练。

本指南中设计了相应的课程安排及课程表，教员可结合实际培训环境及资源配置情况，对课程表进行评估，如有需要可根据实际情况进行相应调整。

### ■实施

为使培训课程顺利进行和取得成效,开展培训的企业或机构应充分做好下列各方面的准备:合格的教员、辅助人员、教室或其他场所、设备、教辅材料、其他参考资料。

### 3.课程实施

#### 3.1 课程计划

##### ■培训对象

本指南为以锂离子蓄电池或能量型超级电容器作为部分或全部动力源,动力电池组总容量大于 100kW·h 且设有直流综合电力系统的中国籍国内航行电池动力船舶上的所有船员而设置。航运企业岸基管理人员也可参加本课程。

##### ■培训证明

完成培训且考核合格,开展培训的企业或机构发放培训证明,并保持完整的船员培训记录,确保可供随时查询。

##### ■培训规模

培训开班的规模视教员的数量、培训投入的设备和设施的数量而定,培训班开班规模不超过 20 人/班。实操项目的分组和实操教员安排,应能确保每个学员都能得到充分的训练和指导。

##### ■教员

从事培训的教员应具备有关教学技能和培训方法知识,具有电池动力船舶常识和应急应变等能力,实操训练每一项目至少一名实操教员负责。船舶建造方、设计方、设备供应商、船级社验船师及有相关经验的航运企业船舶管理人员等具有教学能力的人员以及经培训的航海院校教师可担任教员。

##### ■培训设备和设施

理论教学使用一个配有投影机或电子屏幕的正规的教室,满足录像或幻灯片等视听材料教学的需求,配备可供 20 名学员进行案例分析、讨论的桌椅和相应

的设备，该教室也可用于学员课外练习和作业。

课程的实操训练，使用电池组总容量大于  $100\text{kW}\cdot\text{h}$  且设有直流综合电力系统的船舶将更有利于培训的开展。也可使用下列实训设备或设施进行培训：

- 1 间供火场逃生和营救演练的建筑，或类似设施
- 1 间实训室，配备一个演示操作台，空间可放置以下教学设备且容纳 20 名学员分组开展实操训练
- 1 套电池动力船舶模型，重点展示机舱和电池舱设备布置，且配置机舱设备组成系统布置挂图
- 绝缘防护装备（至少含绝缘手套、绝缘衣服、绝缘靴和属具等）5 套
- 专业绝缘杆 1 根
- 太平斧 1 把
- 各类火灾挂图一批
- 1 个消防栓每个消防栓配有 1 个出口或者 1 个可从开放水源供水的类似设施和消防泵
- 1 条直径  $65\text{mm}$  的消防水带
- 1 支水柱和水雾两用型水枪
- 2 套消防员装备、备件和维修工具
- 5 套紧急脱险呼吸装置
- 电工安全标示牌一批
- 1 套心肺复苏模拟人
- 1 副救援担架
- 1 个急救药箱
- 5 个手提式七氟丙烷灭火器。
- 1 套固定式七氟丙烷灭火装置或等效模拟装置

- 5 个感烟探测器，其中至少 2 个接入火警报警探测系统
- 5 个感温探测器，其中至少 2 个接入火警报警探测系统
- 5 个可燃气体探测器
- 1 套火灾监控报警系统或等效模拟装置，能对火灾发出声光报警
- 2 支测试火警探头功能的消防烟枪
- 堵漏器材一批，至少包括堵漏毯、木塞、沙袋
- 3 部高频对讲机
- 20 张应变部署卡
- 10 套救生衣
- 1 套图书资料，包括型式认可证书、检测报告、功能说明资料和操作说明资料等。

上述设备标准为推荐标准，航运企业可根据培训实际情况进行适当调整。

### 3.2 课程纲要和时间表

#### ■课程纲要

课程纲要	大概学时
熟悉、掌握和精通	理论教学、示范、展示和实际操作
<b>模块一、电池动力船舶基本知识（4 学时）</b>	
1.船舶安全用电常识理论 1.1 触电安全防护措施 1.2 触电事故及现场急救 1.3 船舶电气防火、防爆常识	0.5
2.船舶安全用电常识实操训练 2.1 船舶安全电压识别 2.2 船舶触电急救措施	1.5
3.电池动力船舶常识理论 3.1 电池动力船舶发展现状 3.2 主流船用动力电池的工作原理、结构组成 3.3 锂电池和超级电容的特性对比 3.4 锂电池和超级电容燃烧特性	1

4.电池动力船舶机舱设备组成 4.1 电池动力船舶动力系统介绍 4.2 电池动力船舶机舱各设备的功用	0.5
5.采取措施预防船舶电池造成的污染理论 5.1 船舶电池的污染危害 5.2 船舶电池的可持续利用和回收 5.3 电池动力船舶长期停航的管理	0.5
<b>模块二、船舶管理法规要求（0.5 学时）</b>	
1.电池动力船舶主要检验规范要求 1.1 内河船舶法定检验技术规则（仅内河船员） 1.2 国内航行海船法定检验技术规则（仅海船船员） 1.3 电池动力船舶相关检验技术规则（待发布）	0.25
2.电池动力船舶法定证书、文书 2.1 内河电池动力船舶应持有的法定证书、文书（仅内河船员） 2.2 海船电池动力船舶应持有的法定证书、文书（仅海船船员）	0.25
<b>模块三、火警与消防（3.5 学时）</b>	
1.火警探头以及火警报警系统理论 1.1 火警探头的种类 1.2 各类火警探头的工作原理 1.3 火警监控系统的组成及一般操作	0.25
2.火警与消防实操训练 2.1 火警探头的种类 2.2 火警探头的功能试验	1
3.电池动力船舶的防火与探火 3.1 动力电池舱耐热和结构性分隔 3.2 通风和散热系统 3.3 探火和报警 3.4 灭火系统 3.5 脱险通道	0.25
4.电池动力船舶的防火与探火实操训练 4.1 固定灭火装置和移动灭火装置操作 4.2 识别火灾种类 4.3 逃生和组织营救	2
<b>模块四、值班与应急处置（8 学时）</b>	
1.船舶安全值班一般要求（理论） 1.1 充放电期间安全值班注意事项	2

2.电池动力船舶应急应变理论 2.1 全船失电应急措施 2.2 机舱进水应急措施 2.3 电池舱火灾应急措施 2.4 舵机失灵应急措施 2.5 船舶充电期间火灾和漏电的应急处置	2
3.电池动力船舶应急应变实操训练 3.1 组织机舱进水、船舶失电、舵机失灵综合演习 3.2 组织船舶灭火演习	4
小计	16

### ■课程的时间表

时间/天	第一天	第二天
第一、二节	1.船舶安全用电常识理论 2.船舶安全用电常识实操训练	1.船舶安全值班一般要求（理论）
第三、四节	1.电池动力船舶常识理论 2.电池动力船舶机舱设备组成 3.采取措施预防船舶电池造成的污染理论	1.电池动力船舶应急应变理论
午间休息		
第五、六节	1.电池动力船舶主要检验规范要求 2.电池动力船舶法定证书、文书 3.火警探头以及火警报警系统理论 4.火警与消防实操训练 5.电池动力船舶的防火与探火	1.电池动力船舶应急应变实操训练 2.组织机舱进水、船舶失电、舵机失灵综合演习
第七、八节	1.电池动力船舶的防火与探火实操训练	3.组织船舶灭火演习

**备注：**教员应注意到上述各学习任务的先后次序和时间安排中理论和实际操作时间仅仅是建议性，具体培训内容可根据电池动力船舶航运企业运营和船舶实际装备的特点（如箱式电池动力船舶、混合电池动力船舶等），以及学员的实际工作经验、能力、培训的师资和设备等实际情况进行适当的调整。

### 3.3 教员指南

#### ■介绍

教员指南提供了教学过程中所需的教学素材的指导，反映并参照了《交通运



输部海事局关于加强电池动力船舶船员培训管理有关事项的通知》（海船员函〔2023〕1615号）中关于夯实基本培训的要求。

依据通知的规定，本教辅资料按四个知识模块编排：

模块一：电池动力船舶基本知识

模块二：船舶管理法规要求

模块三：火警与消防

模块四：值班与应急处置

本指南中课程纲要和时间表对课程教学的时间安排提供指导性的意见，教员可根据具体需要进行必要的调整。

应准备必要的投影仪和幻灯片教学讲义和专业培训材料分派给学员使用。通过图片或3D动画使学员结合理论知识，尽快并更容易理解和掌握电池动力船舶的各个系统和部件。

充分和良好的准备是课程成功和达到预期效果所必不可少的。教员应充分备课，以使学员通过本课程的学习，获得电池动力船舶专业知识和职业技能，同时培养学员发现问题、分析问题和解决问题的能力，培养学员整体思维、融会贯通、学会学习的能力。

在整个课程过程中，应始终强调严格遵守规章和规定以及采取一切安全措施的重要性，在实施实操训练时应告知学员如何避免事故的发生。

必须仔细研究详细培训大纲并应尽可能参照课程计划和授课说明。课程的设计是建立在对电池动力船舶船员工作内容层次和 workflow 分解的基础上，以职业能力培养为重点来进行的。

教学应尽可能地贴近船上的实际工作和使用设备实物，如可能应进行课堂案例分析和实物讲解。教学应遵循“以必须、够用为度”的教学理念和人的学习认知规律。教学内容的后续课程从“必须”和“够用”两个方面出发，同时兼顾知

识的完整性、系统性和学生的可持续发展性，知识讲授应力求化繁为简、化难为易，用通俗易懂的语言来进行阐述。

严格按照学员考勤制度的规定，实行课前和下课前点名管理，把学员的出勤率纳入考核成绩。

### ■日常安全工作

理论课程和实操训练期间的安全防范措施是课程安排中的主要组成部分，在整个课程期间必须确保学员的安全，尤其是用电安全和防火措施。

管理员应做好日常性的场地设施设备安全检查工作，对发现安全问题及缺陷必须限期改进。教员及其管理员必须严格监督和做好安全保护工作，必要时，教员应做好准备以便他们在需要时能够协助学员。其他安全措施包括实操前场地设施设备的检查和准备工作等。

### ■指导说明

下列说明是为了进一步突出课程的主要目标，说明包含了培训内容、教辅材料、场地设施设备及教具、培训方式和分组要求。

培训模块	培训内容	教辅资料	场地设施设备及教具	培训方式	分组
模块一： 电池动力船舶基本知识 (4学时)	<b>1.船舶安全用电常识(0.5学时)</b> 1.1 触电安全防护措施 1.1.1 了解触电伤害种类 1.1.2 熟知触电方式 1.1.3 电池动力船舶易发生触电的设备及操作 (1) 了解直流岸电插座箱操作风险 (2) 了解变压器操作风险 (3) 了解电池管理系统控制柜操作风险 (4) 了解冷却水柜操作风险 1.1.4 触电预防措施 (1) 熟知高压充电的安全措施 (2) 熟知电池舱内操作的安全措施 (3) 熟知直流系统的特殊防护措施	1-5 页	多媒体教室	理论授课	
	1.2 触电事故及现场急救 1.2.1 脱离电源 (1) 掌握高压触电脱离方法 (2) 掌握低压触电脱离方法	5-6 页	多媒体教室	理论授课	

1.2.2 对症救治 (1) 了解脱离电源后的体征判断方法 (2) 能够借助人体模型进行现场救护					
1.3 船舶电气防火、防爆常识 1.3.1 船舶电气防火常识 (1) 分析电池动力船舶火灾原因 (2) 了解电池动力船舶火灾特点 1.3.2 船舶电气防爆常识 (1) 分析船舶电气潜在的爆炸风险 (2) 熟知电池动力船舶主要防爆要求 1.3.3 采取正确的措施预防船舶电气火灾和爆炸	6-12 页	多媒体教室	理论授课		
<b>2.船舶安全用电常识实操训练 (1.5 学时)</b>					
2.1 船舶安全电压识别 2.1.1 安全电压常识 (1) 理解安全电压的定义 (2) 了解安全电压的分类 (3) 正确选择安全电压 (4) 能够识别不同场合的安全电压, 借助并不限于以下手段 2.1.2 实操训练 正确识别电气作业常用标示牌, 并正确使用标示牌。	12-18 页	各类电工安全标示牌一批	实操训练	10 人一组	
2.2 触电事故中现场救援演习 2.2.1 熟知对演习人员的要求 2.2.2 熟知演习器材要求 2.2.3 熟知应急救援演练职责 2.2.4 熟知演习背景 2.2.5 熟知演练内容 2.2.6 演练点评	18-20 页	1. 绝缘防护装备(至少含绝缘手套、绝缘衣服、绝缘靴和属具等) 4 套 2. 干燥木棒或专业绝缘杆 1 根 3. 心肺复苏模拟人 1 套 4. 担架 1 副 5. 急救药箱 1 个	实操训练	每组不超过 10 人	
<b>3.电池动力船舶常识 (1 学时)</b>					
3.1 电池动力船舶发展现状与趋势 3.1.1 了解电池动力船舶的发展现状 3.1.2 了解电池动力船舶的发展趋势	20-23 页	多媒体教室	理论授课		
3.2 主流船用动力电池的工作原理、结构组成 3.2.1 主流船用动力电池概述 了解目前主流船用动力电池的类型 3.2.2 磷酸铁锂电池	24-26 页	多媒体教室	理论授课		

	(1) 认识磷酸铁锂电池的内部结构 (2) 了解磷酸铁锂电池的工作原理 (3) 认识动力电池组的组成架构 3.2.3 超级电容 (1) 认识超级电容器的结构 (2) 了解超级电容的工作原理				
	3.3 锂电池和超级电容的特性对比 3.3.1 了解锂离子电池的特性 3.3.2 了解超级电容的特性 3.3.3 说明锂离子电池和超级电容特性的差异	27-29 页	多媒体教室	理论授课	
	3.4 锂电池和超级电容燃烧特性 3.4.1 了解锂电池起火燃烧的原理及特点 3.4.2 了解超级电容燃烧特点	29-30 页	多媒体教室	理论授课	
<b>4.电池动力船舶机舱设备组成 (0.5 学时)</b>					
	4.1 电池动力船舶动力系统介绍	30-30 页	多媒体教室	理论授课	
	4.2 电池动力船舶机舱各设备的功用 4.2.1 电源侧 4.2.2 电池管理系统 4.2.3 直流配电系统 4.2.4 能量管理系统 4.2.5 推进电机 4.2.6 推进控制系统	30-31 页	多媒体教室	理论授课	
<b>5.采取措施预防船舶电池造成的污染 (0.5 学时)</b>					
	5.1 船舶电池的污染危害 5.1.1 了解锂电池造成污染的形式 5.1.2 熟知船舶电池污染的防治措施	31-35 页	多媒体教室	理论授课	
	5.2 船舶电池的可持续利用和回收	35-35 页	多媒体教室	理论授课	
	5.3 电池动力船舶长期停航的管理 5.3.1 正确进行船舶长期停航的管理 5.3.2 熟知长期停航期间需维护保养的内容 5.3.3 熟知长期停航复航前的工作	35-36 页	多媒体教室	理论授课	
模块二：船舶管理法规要求 (1 学时)	<b>1.电池动力船舶主要检验规范要求 (0.25 学时)</b>				
	1.1 内河船舶法定检验技术规则 (仅内河船员) 1.1.1 了解《内河船舶法定检验技术规则 (2019)》及其修改通报 1.1.2 了解应用磷酸铁锂电池船舶的特殊要求	37-39 页	多媒体教室	理论授课	

	<p>1.2 国内航行海船法定检验技术规则（仅海船船员）</p> <p>1.2.1 了解《国内航行海船法定检验技术规则（2020）》及其修改通报</p> <p>1.2.2 了解分舱与稳性、机电设备中对锂离子蓄电池的附加要求</p> <p>1.2.3 了解防火、探火与灭火中对船舶使用锂离子蓄电池的附加要求</p>	40-44 页	多媒体教室	理论授课	
	1.3 电池动力船舶相关检验技术规则（待发布）	44-44 页	多媒体教室	理论授课	
<b>2. 电池动力船舶法定证书、文书（0.25 学时）</b>					
	<p>2.1 内河船舶持有的法定证书、文书（仅内河船员）</p> <p>了解内河船舶持有的法定证书、文书</p>	44-44 页	多媒体教室	理论授课	
	<p>2.2 国内航行海船持有的法定证书、文书（仅海船船员）</p> <p>了解国内航行海船持有的法定证书、文书</p>	44-45 页	多媒体教室	理论授课	
	<p>2.3 电池动力船舶持有的特定证书、文书</p> <p>2.3.1 了解需持有的型式认可证书</p> <p>2.3.2 了解需持有的检测报告</p> <p>2.3.3 了解需持有的操作说明资料</p> <p>2.3.4 了解常见缺陷及处理</p>	45-48 页	多媒体教室	理论授课	
<b>1. 火警探头以及火警报警系统（0.25 学时）</b>					
模块三： 火警与消防 (3 学时)	<p>1.1 火警探头的种类及工作原理</p> <p>了解各类火警探头的报警条件，包括</p> <p>(1) 感烟探测器</p> <p>(2) 感温探测器</p> <p>(3) 感光探测器</p> <p>(4) 可燃气体探测器</p> <p>(5) 复合探测器</p>	49-51 页	多媒体教室	理论授课	
	<p>1.2 火警监控系统的组成及一般操作</p> <p>1.2.1 了解火警监控系统的组成，包括：</p> <p>(1) 火灾探测器</p> <p>(2) 火灾报警控制器</p> <p>(3) 报警装置</p> <p>(4) 联动装置</p> <p>(5) 电源和备用电源</p> <p>(6) 通讯设备</p> <p>(7) 手动报警按钮</p> <p>1.2.2 正确进行火警监控系统的操作与管理，包括：</p> <p>(1) 启动前检查</p>	51-54 页	多媒体教室	理论授课	

	<p>(2) 启动系统 (3) 火警响应 (4) 记录信息 (5) 故障处理 (6) 日常维护 (7) 安全注意事项</p> <p>1.2.3 火警监控系统的维护管理</p>				
<b>2.火警与消防实操训练（1 学时）</b>					
	<p>2.1 火警探头的种类 通过观察实操现场配备的探测器外形，识别各类探测器，包括但不限于： (1) 感温探测器 (2) 感烟探测器 (3) 可燃气体探测器</p>	54-54 页	<p>1. 感温探测器 5 只 2. 感烟探测器 5 只 3. 可燃气体探测器 5 只</p>	实操训练	10 人一组
	<p>2.2 火警探头的功能试验（消防烟枪的使用） 2.2.1 了解消防烟枪的结构 2.2.2 使用消防烟枪测试火警探头 2.2.3 了解检测试验技巧 2.2.4 了解使用注意事项</p>	54-58 页	<p>1. 火灾监控报警系统或等效模拟装置 1 套 2. 消防烟枪 2 只</p>	实操训练	10 人一组
<b>3.电池动力船舶的防火与探火（0.25 学时）</b>					
	<p>3.1 动力电池舱耐热和结构性分隔 3.1.1 耐热和结构性分隔的要求     ■理解耐热和结构性分隔的目的     ■了解耐热和结构性分隔的具体措施 3.1.2 采用正确的程序对耐热和结构性分隔进行维护保养</p>	58-59 页	多媒体教室	理论授课	
	<p>3.2 通风和散热系统 3.2.1 了解动力电池舱动力通风系统要求 3.2.2 了解蓄电池舱应急排气系统要求 3.2.3 采用正确的程序对以上通风系统进行维护保养</p>	59-61 页	多媒体教室	理论授课	
	<p>3.3 探火和报警 3.3.1 了解探火和报警系统的作用与要求 3.3.2 正确检查探火和报警系统 3.3.3 采用正确的程序对探火和报警系统进行维护保养</p>	61-63 页	多媒体教室	理论授课	
	<p>3.4 灭火系统 3.4.1 了解相关规范对灭火系统一般要求，包括： (1) 设有水灭火系统的船舶 (2) 未设置水灭火系统的船舶 3.4.2 了解蓄电池舱固定式灭火系统的设置要求，包括但不限于： (1) 七氟丙烷灭火系统 (2) 二氧化碳灭火系统</p>	63-66 页	多媒体教室	理论授课	

	<p>3.4.3 了解蓄电池包火灾防控装置的要求，包括但不限于：</p> <p>(1) 应具备的功能</p> <p>(2) 应满足的要求</p> <p>3.4.4 了解手提式七氟丙烷灭火器配置要求</p>				
	<p>3.5 脱险通道</p> <p>■理解脱险通道的定义</p> <p>■熟知蓄电池舱出入口和通道应满足的功能要求</p>	66-66 页	多媒体教室	理论授课	
<b>4.电池动力船舶的防火与探火实操训练（2 学时）</b>					
	<p>4.1 固定灭火系统和移动灭火装置操作</p> <p>4.1.1 七氟丙烷固定灭火装置</p> <p>(1) 了解七氟丙烷固定灭火装置的系统组成</p> <p>(2) 演示七氟丙烷固定灭火系统的释放操作，包括：</p> <p>■电动释放流程</p> <p>■手动释放流程</p> <p>■应急释放流程</p> <p>(3) 采用正确的程序对七氟丙烷固定灭火系统进行维护保养</p> <p>4.1.2 手提式七氟丙烷灭火器</p> <p>■两人一组携带手提式七氟丙烷灭火器，按正确的程序和操作扑灭火灾</p> <p>■通过瓶头压力表检查灭火器状态</p>	66-70 页	<p>1.固定式七氟丙烷灭火装置或等效模拟装置 1 套</p> <p>2.手提式七氟丙烷灭火器 5 个</p>	实操训练	10 人一组
	<p>4.2 识别火灾种类</p> <p>■描述按火灾燃烧物性质的不同分类火灾</p> <p>■描述动力锂电池火灾的特点</p>	70-71 页	各类火灾挂图一批	实操训练	10 人一组
	<p>4.3 逃生和组织营救</p> <p>4.3.1 在模拟失火舱室火场逃生</p> <p>4.3.2 组织营救</p>	71-72 页	<p>1.模拟失火舱室 1 间</p> <p>2.紧急脱险呼吸装置 5 套</p> <p>3.消防员装备 2 套</p> <p>4.人体模型 1 套</p>	实操训练	10 人一组
模块四： 值班与应急处置 (8 学时)	<b>1.船舶安全值班一般要求（2 学时）</b>				
	<p>1.1 充放电期间安全值班注意事项</p> <p>了解电池动力船舶充放电期间安全值班的注意事项，包括但不限于已有措施</p>	73-73 页	多媒体教室	理论授课	
	<b>2.电池动力船舶应急应变（2 学时）</b>				
	<p>2.1 全船失电应急措施</p> <p>掌握全船失电应急措施，包括但不限于已有措施</p>	74-74 页	多媒体教室	理论授课	

	2.2 机舱进水应急措施 掌握机舱进水应急措施，包括但不限于已有措施	74-76 页	多媒体教室	理论授课	
	2.3 电池舱火灾应急措施 掌握电池舱火灾应急措施，包括但不限于： (1) 电池系统内部火灾的应急操作流程 (2) 电池系统外部火灾的应急操作流程	76-76 页	多媒体教室	理论授课	
	2.4 舵机失灵应急措施 掌握舵机失灵应急措施，包括但不限于已有措施	76-77 页	多媒体教室	理论授课	
	2.5 船舶充电期间火灾和漏电的应急处置 2.5.1 掌握充电期间火灾的应急处置措施 2.5.2 掌握充电期间漏电的应急处置措施	77-78 页	多媒体教室	理论授课	
<b>3. 电池动力船舶应急应变实操训练 (4 学时)</b>					
	3.1 机舱进水、船舶失电、舵机失灵综合演习 按照预设的场景进行应急演习	78-80 页	1. 救生衣 10 套 2. 堵漏器材一批(至少包括堵漏毯、木塞、沙袋) 3. 绝缘防护装备(至少含绝缘手套、绝缘衣服、绝缘靴和属具等) 5 套 4. 专业绝缘杆 1 根 5. 应变部署卡每人 1 张	实操训练	10 人一组
	3.2 船舶灭火演习 按照预设的场景进行应急演习	80-82 页	1. 高频对讲机 3 部 2. 消防员装备 2 套 3. 消防栓及皮龙水枪 1 套 4. 应变部署卡每人 1 张 5. 太平斧 1 把	实操训练	10 人一组

附件：教辅材料



附件

**教辅资料**  
**(第一版)**

# 前言

本教辅资料在编写过程得到广州航海学院、福建船政交通职业学院、江苏海事职业技术学院、广东交通职业技术学院、中国船舶集团有限公司第 711/712/719 研究所、中船赛思亿（无锡）电气科技有限公司、中国船级社广州分社、中国船级社福州分社、广州金航游轮股份有限公司、湖北三峡旅游集团等单位的大力支持，借鉴和吸收了国内电池动力船舶主流设计商、厂商和航运企业的相关技术资料。由于本教辅资料完成之时，电池动力船舶技术还在不断更新迭代，相关船舶技术检验规则、规范和行业标准也在不断修订和完善，难免有疏漏的地方，敬请使用单位斧正。

鉴于目前运营的电池动力船舶种类不一，船舶动力类型多样，本教辅资料内容仅供参考，未尽之处，各单位也可根据自身营运船舶种类、动力类型、经营航线等实际情况更新补充。

# 目录

模块一：电池动力船舶基本知识.....	1
1.船舶安全用电常识.....	1
1.1 触电安全防护措施.....	1
1.2 触电事故及现场急救.....	5
1.3 船舶电气防火、防爆常识.....	6
2.船舶安全用电常识实操训练.....	12
2.1 船舶安全电压识别.....	12
2.2 触电事故中现场救援演习.....	18
3.电池动力船舶常识.....	20
3.1 电池动力船舶发展现状与趋势.....	20
3.2 主流船用动力电池的工作原理、结构组成.....	24
3.3 锂电池和超级电容的特性对比.....	27
3.4 锂电池和超级电容燃烧特性.....	29
4.电池动力船舶机舱设备组成.....	30
4.1 电池动力船舶动力系统介绍.....	30
4.2 电池动力船舶机舱各设备的功用.....	30
5.采取措施预防船舶电池造成的污染.....	31
5.1 船舶电池的污染危害.....	31
5.2 船舶电池的可持续利用和回收.....	35
5.3 电池动力船舶长期停航的管理.....	35
模块二：船舶管理法规要求.....	37
1.电池动力船舶主要检验规范要求.....	37
1.1 内河船舶法定检验技术规则.....	37
1.2 国内航行海船法定检验技术规则.....	40
1.3 电池动力船舶相关检验技术规则（待发布）.....	44
2.电池动力船舶法定证书、文书.....	44
2.1 内河船舶持有的法定证书、文书.....	44
2.2 国内航行海船持有的法定证书、文书.....	44
2.3 电池动力船舶持有的特定证书、文书.....	45

模块三：火警与消防.....	49
1.火警探头以及火警报警系统.....	49
1.1 火警探头的种类及工作原理.....	49
1.2 火警监控系统的组成及一般操作.....	51
2.火警探头以及火警报警系统实操训练.....	54
2.1 火警探头的种类.....	54
2.2 火警探头的功能试验（消防烟枪的使用）.....	54
3.电池动力船舶的防火与探火.....	58
3.1 动力电池舱耐热和结构性分隔.....	58
3.2 通风和散热系统.....	59
3.3 探火和报警.....	61
3.4 灭火系统.....	63
3.5 脱险通道.....	66
4.电池动力船舶的防火与探火实操训练.....	66
4.1 固定灭火系统和移动灭火装置操作.....	66
4.2 识别火灾种类.....	71
4.3 逃生和组织营救.....	71
模块四：值班与应急处置.....	73
1.船舶安全值班一般要求.....	73
1.1 充放电期间安全值班注意事项.....	73
2.电池动力船舶应急应变.....	74
2.1 全船失电应急措施.....	74
2.2 机舱进水应急措施.....	74
2.3 电池舱火灾应急措施.....	76
2.4 舵机失灵应急措施.....	76
2.5 船舶充电期间火灾和漏电的应急处置.....	77
3.电池动力船舶应急应变实操训练.....	78
3.1 机舱进水、船舶失电、舵机失灵综合演习.....	78
3.2 船舶灭火演习.....	80

# 模块一：电池动力船舶基本知识

## 1.船舶安全用电常识

### 1.1 触电安全防护措施

#### 1.1.1 触电伤害种类

触电是指人体触及带电的物体，受到较高电压和较大电流的伤害。按照伤害程度的不同，触电可分为电伤（外伤）和电击（内伤）两类。

#### 1.1.2 触电方式

触电方式主要可分为直接接触电、间接触电、感应电压触电、剩余电荷触电等几种，每种方式下又有不同的具体触电方式。了解这些触电方式有助于避免在船舶及岸上触电事故的发生。

#### 1.1.3 电池动力船舶易发生触电的设备及操作

（1）直流岸电插座箱：船员打开黑色底座保护盖，插拔充电枪时手容易触碰到底座内部铜芯而导致触电，如图 1.1.1 所示。



图 1.1.1 直流岸电插座箱

（2）变压器：船员打开变压器盖子进行铁芯温度检测时，容易触碰到内部铁芯或铜排而导致触电，如图 1.1.2 所示。



图 1.1.2 变压器

(3) 电池管理系统控制柜：当该控制系统有故障需断电复位时，需把柜内交流 220V 和直流 24V 开关分合闸，此时手容易误触其他带电设备而触电，如图 1.1.3 所示。



图 1.1.3 电池管理系统控制柜

(4) 冷却水柜：船员清洗冷却水管过滤网时，由于出水口位置离电柜以及马达电机太近，容易造成电机和柜体涉水漏电，如图 1.1.4 所示。



图 1.1.4 冷却水柜

#### 1.1.4 触电预防措施

防止人身触电事故，应从两方面采取预防措施。一方面在技术上要采取相应的防护措施，如利用绝缘材料对带电体进行封闭和电位隔离、用屏护或障碍方法防止人体接触到带电体、电气隔离、特低电压、安全距离、漏电保护、自动断开电源、等电位等；另一方面要防止人为因素导致的触电事故，就是要求对船上人员，尤其是电气设备技术管理人员、电气设备的操作和使用人员，加强安全用电的教育，着重从以下几个方面入手，预防人为因素导致的触电。以下主要介绍电池动力船舶部分特定操作中的安全措施。

##### (1) 高压充电的安全措施

###### 1) 个人防护方面

必须穿戴绝缘手套、绝缘鞋、防护眼镜和绝缘服；使用专门设计的绝缘工具进行高压操作。

###### 2) 充电环境要求方面

要保持充电环境通风良好，防止有害气体积聚；充电区域应远离明火和高温区域。

###### 3) 设备检查方面

在开始充电前，要检查充电设备和电池的状态，确保无损坏和异常情况；要特别注意检查充电电缆和连接器，确保没有磨损或松动。

#### 4) 操作流程方面

要按照操作规程逐步连接充电设备，确保连接顺序正确；充电过程中，要持续监控电压、电流和温度等参数，防止过充、过流和过热；

#### 5) 安全管理方面

定期维护和保养充电设备，确保设备处于良好状态；在充电现场设置有明显的安全标识和警示牌，提醒工作人员注意高压充电的危险；要配备紧急断电装置，发生紧急情况时，迅速切断电源；操作人员要熟悉高压充电的应急预案，包括火灾、触电和电池故障等突发情况的处理措施。

#### 6) 培训和演练方面

充电操作人员必须经过专业培训，熟悉高压充电的操作规程和安全要求；船舶要定期组织应急演练，提高操作人员的应急处置能力。

#### (2) 电池舱内操作的安全措施

1) 进入电池舱前，要确保电池舱通风良好，避免有害气体积聚，并使用气体检测仪检测舱内气体，确保无有害气体。

2) 进入电池舱时，人员必须穿戴绝缘手套、绝缘鞋、防护眼镜等防护装备，携带专用绝缘工具以及通讯设备。

3) 进行带电设备操作时，使用绝缘工具操作电池和电气设备，避免直接接触带电部件。

4) 电池舱内配备应急照明和急救箱；紧急出口要有明确标识，并保持通道畅通。

#### (3) 直流系统的特殊防护措施

##### 1) 系统设计方面

直流系统应配备隔离开关和断路器，便于在故障或维护时切断电源；还应配备紧急断电装置，在发生故障时迅速切断电源；设备外壳应具有高防护等级，防止外部环境对设备的影响；使用高质量的绝缘材料，防止漏电和短路。

##### 2) 安全防护方面

确保直流系统的接地装置完好，防止电击事故；操作人员必须穿戴绝缘手套、绝缘鞋、防护眼镜等防护装备；配备专用的绝缘工具。

##### 3) 操作规范方面



操作直流系统时，应按照操作规程逐步连接和断开电源，防止电弧产生；使用监控系统实时监测直流系统的运行状态，及时发现异常。

#### 4) 应急处理方面

制定并熟悉直流系统的应急预案，包括火灾、触电和设备故障的处理措施。

### 1.2 触电事故及现场急救

船舶触电事故的现场救援需要冷静、迅速和专业的操作。急救工作包括脱离电源、对症救治。

#### 1.2.1 脱离电源

##### (1) 高压触电脱离方法

触电者触及高压带电设备，救护人员应迅速切断使触电者带电的开关、刀闸或其他断路设备，或用适合该电压等级的绝缘工具（戴绝缘手套，穿绝缘鞋并使用绝缘棒）等方法，将触电者与带电设备脱离。触电者未脱离高压电源前，现场救护人员不得直接用手触及伤员。救护人员在抢救过程中应注意保持自身与周围带电部分必要的安全距离，保证自己免受电击。

##### (2) 低压触电脱离方法

低压设备触电，救护人员应设法迅速切断电源，如拉开电源开关、刀闸，拔除电源插头等；或使用绝缘工具、干燥的木棒、木板、绝缘绳子等绝缘材料解脱触电者；也可抓住触电者干燥而不贴身的衣服，将其拖开，切记要避免碰到金属物体和触电者的裸露身体；也可用绝缘手套或将手用干燥衣物等包起产生绝缘效果后解脱触电者；救护人员也可站在绝缘垫上或干木板上，绝缘自己进行救助且需单手操作，从而减少电流通过身体的路径，降低触电的风险。

#### 1.2.2 对症救治

触电者脱离电源后，应按照触电者的伤害程度采取相应的救治办法。尽量在现场救护，同时申请医疗方面的帮助，先救后搬。在现场和搬运中也要注意触电者的变化，按伤势轻重采取不同的救治方法。

##### (1) 脱离电源后的体征判断

触电伤员如意识丧失，应在 10 秒内，用看、听、试的方法，判定伤员呼吸、心跳情况：

看：看伤员的胸部、腹部有无起伏动作。

听：用耳贴近伤员的口鼻处，听有无呼气声音。

试：测试口鼻有无呼气的气流，再用两手指轻试一侧（左或右）喉结旁凹陷处的颈动脉有无搏动。

若看、听、试结果，既无呼吸又无颈动脉搏动，则可判定为呼吸、心跳停止。

## （2）现场救护

1) 触电者伤害不太严重、神志清醒，只感到心慌、乏力、肢体发麻，应将其抬到通风处平卧，同时注意观察，如有必要，及时请医生诊治或获得外界帮助。

2) 触电后又摔伤的伤员，应就地仰面平躺，保持脊柱在伸直状态，不得弯曲；如需搬运，应用硬模板保持仰面平躺，使伤员身体处于平直状态，避免脊椎受伤。

3) 触电者神志不清，但呼吸、心跳正常，应将其抬至空气清新处平躺，解开衣领以利呼吸。如发现呼吸困难、脉搏变浅或发生痉挛，应准备心跳停止时的进一步救护。

4) 触电者呼吸停止，但心跳存在，应立即采用人工呼吸法抢救。

5) 触电者有呼吸无心跳，应采用胸外心脏按压法进行抢救，使其恢复心跳。

6) 触电者心跳、呼吸均已停止，则应立即按心肺复苏术就地进行抢救。只要触电者没有明显死亡症状就应坚持抢救。

在现场抢救的同时，应尽快通知医务人员赶至现场急救，同时做好送往医院的准备。如船在海上航行途中，应及时向外寻求帮助。

## 1.3 船舶电气防火、防爆常识

船舶是一个特殊的运输工具，其电气系统的防火与防爆措施至关重要。船舶电气系统的安全性与可靠性直接关系到船舶的安全运行。

### 1.3.1 船舶电气防火常识

电池动力船舶火灾具有蔓延迅速、难以扑灭和产生有毒气体等特点。为了降低火灾风险，需要采取综合性的预防措施，从提高电池与设备质量、规范充电与管理、加强设备维护与检查、优化设计与结构以及提高船员素质与安全意识等方面入手，确保电池动力船舶的安全运行。

#### （1）电池动力船舶火灾原因

##### 1) 电池质量问题

不合格的电池在生产过程中可能存在设计缺陷、材料选用不当等问题，导致电池在使用过程中容易发生短路、热失控等现象，从而引发火灾。

## 2) 电池热失控与管理不当

锂离子电池在特定条件下（如短路、快速放电、过度充电、制造缺陷、设计不良或机械损坏等）容易发生热失控。一旦某个电池单元进入热失控状态，会产生大量热量，导致相邻电池单元也进入热失控状态，形成连锁反应，产生极高的温度和压力，进而引发火灾。

电池热失控的内部因素可能为机械滥用，如电池包遭遇撞击变形导致内部电池短路；电滥用，如电池过充过放；热滥用，如环境温度高且电池充放电时内部累计大量热量。外部因素主要是其他设备高温或火灾，高温蔓延至锂电池。

此外，缺乏有效的电池管理系统或系统故障，未能对电池状态进行实时监测和有效控制，也会增加火灾的风险。

## 3) 电气设备故障或使用不当

船舶上的电气设备如果设计安装不当、电线老化、绝缘失效、线路短路、超负荷运作等，也会导致线路过流而发热，从而引发火灾。

## 4) 人为因素

船员操作不当或安全意识淡薄也是导致电池动力船舶火灾的原因之一。例如船员在航行过程中未按照安全操作规程进行操作，或者未能及时发现和处理火灾隐患，都可能导致火灾的发生。

### (2) 电池动力船舶火灾特点

#### 1) 火灾发生场景复杂多变

电池动力船舶在充电及行驶过程发生火灾概率较大，火灾的发生场景更为复杂多变。

电池动力船舶在充电过程中起火主要表现为自燃，通常包含两种原因：一是电池组在充电过程中发生热失控现象，引发电池膨胀、化学能大幅度释放、电池组爆炸等，导致船舶火灾。二是船舶内部的电路系统发生故障，电路老化、系统短路、接触不良等造成电池动力船舶在充电过程中局部电路温度过高，进而引燃绝缘层或者产生电火花。

在航行过程中，电池组处于放电状态，火灾原因主要分两种：一种是船舶由

于自身故障导致自燃。船舶的电路系统和电池组在长时间的运行过程中，温度急剧升高，达到峰值。此时若热管理模块出现故障，未能及时降温，船舶便会发生自燃现象。另一种是船舶遭受碰撞后，电路电池系统受损引发火灾。船舶发生碰撞事故时，电池动力船舶遭受猛烈冲击，电池在使用过程中发生破损，瞬间释放出大量的能量，电池温度急剧升高甚至爆炸。与传统燃油船舶相比，电池动力船舶在遭受猛烈碰撞后发生火灾的概率明显提升，且火灾发展迅速，往往未等到救援便已经烧毁。

#### 2) 火焰蔓延迅速，燃烧温度高

当电池动力船舶发生火灾时，电池会在燃烧过程中释放大量的气体，火焰迅速蔓延，电池温度急剧上升。此外，电池动力船舶发生火灾时，动力电池组在各种诱因下会产生不同副反应，进而释放大量的反应热。在热的作用下，电解液挥发、分解，电池内部安全保护装置被破坏，电解液着火，从产生明火到电池组完全燃烧只需要几秒钟时间。

#### 3) 易复燃、易发生二次事故

锂离子电池起火后，即使扑灭明火，内部仍处于热失控及热失控扩展状态，内部温度依然很高。经过试验验证，若只扑灭明火而未持续降温，在几分钟内所有锂离子电池都会发生复燃现象。

#### 4) 火灾扑救难度大

电池动力船舶的火灾具有难扑灭、易复燃的特点。锂离子电池内部具有可燃物、氧化剂、高温等燃烧三要素，部分材料在高温的作用下会形成氧化物，即使在缺氧的环境下，电池内部的燃烧依然可以持续很长时间，因此通过窒息法很难扑灭火灾。由于电池动力船舶的体积较大，在扑灭火灾之后，仍需对电池进行持续观测以防复燃，因此扑灭电池动力船舶火灾往往需要较长时间。

#### 5) 产生有毒气体

锂离子电池在燃烧过程中，部分材料会在高温作用下被氧化，产生甲苯、苯乙烷等有毒气体，长时间待在船舱内狭小密闭的环境中，船员会有中毒窒息等危险，严重的甚至会威胁到救援人员和被困人员的生命安全。

### 1.3.2 船舶电气防爆常识

电池动力船舶依赖大容量电池组作为动力源，这些电池组在储存和释放能量

的过程中，如果管理不当或遇到异常情况，极易引发火灾甚至爆炸。一旦电池系统发生爆炸，不仅会造成船舶损坏和人员伤亡，还可能对周围环境造成严重的污染和破坏。

#### (1) 潜在风险分析

1) 电池热失控：当电池遭遇过充、短路、快速放电或物理损坏时，其内部化学反应可能引发热失控甚至爆炸；电池在充放电过程中会产生热量，如果散热不良，也会导致电池过热，进而引发热失控甚至爆炸。

2) 电解液泄漏与腐蚀：电池内部的电解液具有腐蚀性，一旦泄漏会腐蚀电池舱内的其他设备，同时电解液与空气中的氧气反应也可能产生可燃气体，增加火灾爆炸风险。

3) 外部因素引发事故：船舶在航行过程中可能遇到碰撞、振动等外部因素，这些因素可能导致电池组受损，从而引发火灾或爆炸。

#### (2) 电池动力船舶主要防爆要求

电池动力船舶的防爆重点部位在于动力电池组和电池舱，防爆的主要措施是避免电池组热失控以及电池舱内可燃气体聚集，《船舶应用电池动力规范》(2023)及 2024 修改通报对以上部位防爆的有关要求主要包括：

1) 安全等级为 1 的蓄电池的箱（柜），应设置独立的应急排气系统，将可能产生的有毒/可燃气体直接排出箱（柜），应急排气系统应满足该规范 5.2.2.2、5.2.2.3 条的要求。

2) 安全等级为 2 的蓄电池的箱（柜），防护等级不低于 IP67 时，应急排气系统应满足第 1) 条的要求；防护等级低于 IP67 时，应急排气系统应满足第 1) 条或者第 3) 条的要求。

3) 安装有安全等级为 2 的蓄电池的蓄电池舱，应设置独立的应急排气系统，以便及时排出蓄电池热失控情况下产生的可燃气体，应急排气系统应满足该规范 5.2.2.2、5.2.2.3 条的要求。如舱内的蓄电池箱（柜）已设有满足第 1) 条要求的应急排气系统，则可免除本条要求。

4) 安全等级为 2 的蓄电池的箱（柜）如布置在蓄电池舱以外的围蔽处所，应满足第 1) 条和第 2) 条的要求。

5) 安全等级为 1 的蓄电池的箱（柜），应设置独立的可燃气体探测装置。

当探测到蓄电池箱（柜）内可燃气体浓度大于其爆炸下限（体积分数）的 20% 时，应在就地、驾驶室及其他船舶经常有人值班处所发出听觉和视觉报警，同时自动启动应急排气系统，并对箱（柜）内所有非防爆型电气设备断电。

6) 可燃气体探测装置应与蓄电池在热失控状态下产生的可燃气体成分相适应。可燃气体探测器的数量及布置位置应确保能随时探测到产生的可燃气体。

可燃气体探测装置应由主电源和应急电源两路供电，两路电源应能自动转换。

7) 安装有安全等级为 2 的蓄电池的蓄电池舱，应设置独立的可燃气体探测装置。该可燃气体探测装置在探测到蓄电池舱内可燃气体浓度大于其爆炸下限（体积分数）的 20% 时，应在就地、驾驶室及其他船舶经常有人值班处所发出听觉和视觉报警，同时自动启动应急排气系统，并对蓄电池舱内所有非防爆型电气设备断电。

可燃气体探测装置应满足第 6) 条的要求。

8) 蓄电池箱（柜）内应设置独立的温度监测装置，温度探测器的数量和位置应充分考虑箱（柜）内结构型式。当蓄电池箱（柜）内的温度高于设定值时，应能在船舶经常有人值班处所发出听觉和视觉报警。

9) 当蓄电池箱（柜）安装于蓄电池舱内，且箱（柜）内温度调节借助蓄电池舱的通风或其他温度调节装置完成时，可用第 10) 条要求的蓄电池舱的温度监测及报警代替第 8) 条要求的蓄电池箱（柜）的温度监测及报警。

10) 蓄电池舱内应设置独立的温度监测装置，温度探测器的数量和位置应充分考虑处所的型式。当蓄电池舱内的温度高于设定值时，应能在船舶经常有人值班处所发出听觉和视觉报警。

11) 蓄电池舱内，在蓄电池热失控状态下需维持工作的电气设备应为防爆型，如探火设备、固定式灭火剂施放预报警器、可燃气体探测装置及报警器、应急排气系统等，具体防爆要求（防爆类型，防爆类别，温度组别）应根据不同类型电池热失控产生气体的成分确定。并能切断蓄电池舱内无需工作的非防爆电气设备。

12) 蓄电池舱应安装固定式探火和失火报警系统。该类探火系统的设计和探测器的安装，应在蓄电池舱的任何部位以及在电池工作的正常状况和环境温度范

围内所需的通风变化下，当开始发生火灾时能迅速地探出火灾征兆。蓄电池舱内不应仅设置感温探测器。火灾探测器应适用于电池热失控所释放可燃气体与空气混合形成的爆炸性气体环境。

蓄电池舱的固定式探火和失火报警系统应能远程逐一识别每一探测器。当系统不具备识别单个探测器的功能时，每个探测器应设置成独立的环路。

固定式探火和失火报警系统应由主电源和应急电源两路供电，两路电源应能自动转换。

### 1.3.3 船舶电气防火、防爆预防措施

#### (1) 电池系统管理与维护方面

1) 电池组：根据船舶的实际需求和航行条件，选用符合国际标准和行业规范的电池，确保其性能稳定、安全可靠。工作中加强巡查和监控，注意电池组的散热系统工作状态，确保电池在充放电过程中能够均匀散热，避免局部过热。定期对电池组进行检测和维护，检查电池的外观、电压、温度等参数是否正常，及时发现并处理潜在的安全隐患，确保其处于安全状态。

2) 电池管理系统：定期对电池管理系统进行检查维护，确保系统工作正常，防止电池过热。

3) 避免过充过放：按照制造商的建议和航程长度，合理使用电池电量，避免过充过放现象的发生。

4) 安全操作：制定电池动力系统的安全操作规程，包括充放电和运行过程中的安全要求，禁止违规操作。

#### (2) 电池舱室管理与维护方面

1) 固定与防护：电池箱（柜）或电池包应牢固固定，并尽可能远离船舶舷侧及机器运动部件，避免碰撞。

2) 通风散热：电池舱（室）内严禁堆放杂物，应留有足够的空间以利于通风散热。保持电池舱通风口防火网和关闭装置状况良好，定期检查维护通风机和应急排气风机，确保能及时排除可燃气体和热量。

3) 火源管理：加强火源管理，蓄电池舱及其周边区域应设为禁烟、禁明火作业区域。

4) 探火和消防设施：对电池舱室的火警报警系统和消防设施进行定期检查

测试和保养，确保其处于良好状态。

### (3) 电气设备管理与维护方面

1) 合理安装：在易燃、易爆舱室内要安装或使用防爆电气设备，电气线路应合理布置，避免交叉和混乱，减少因线路老化、短路等引发的火灾风险。

2) 定期维护：定期对船舶上的电气设备进行维护和检查，及时发现和处理安全隐患。特别是要加强对电池舱、机舱等重要部位的巡查和监控。定期对电气系统的绝缘性能进行检测，确保绝缘电阻符合安全要求。

3) 加强清洁：定期清洁配电板、配电屏、配电箱等，防止油垢、灰尘等积存导致火灾风险。

### (4) 安全管理与培训方面

1) 制定安全管理规范：结合实际情况制定详细的船舶防火防爆安全管理规范，包括火灾应急处置预案等。

2) 加强人员培训：提高船员对电池动力船舶防火防爆安全的认识和重视程度，加强安全教育和培训，定期开展火灾应急演练和培训，确保在火灾发生时能够迅速、准确地采取措施。

## 2. 船舶安全用电常识实操训练

### 2.1 船舶安全电压识别

#### 2.1.1 安全电压常识

##### (1) 安全电压的定义

安全电压是指在一定条件下，对人体不产生危害或危险程度降到最低的电压值。根据人体和环境状态的不同，安全电压的界限值也有所不同。一般来说，安全电压定义为在特定条件下，人体接触后不致发生电击危险的电压值。

值得注意的是，国际电工委员会相关导则中有慎用“安全”一词的原则，因为安全电压只是作为特低电压保护型式的表示，并不是说采用安全电压电源供电就一定不会发生触电事故和电击伤害。可见“安全”电压是相对的，在某种状态或环境下是安全的，当状态或环境发生变化时就可能是危险的。

##### (2) 安全电压的分类

1) 国际上通用的可允许接触的安全电压分为三种情况：

人体大部分浸于水中：安全电压小于 2.5V。



人体显著淋湿或经常接触电气设备的金属外壳：安全电压小于 25V。

一般环境：安全电压小于 50V。

2) 我国将安全电压分为以下三个等级：

特别危险环境（如潮湿、腐蚀性蒸汽或游离物等）：安全电压为 12V。

高度危险环境（如潮湿、有导电粉末、炎热高温）：安全电压为 36V。

一般环境（如干燥、无导电粉末等）：安全电压为 65V。

### （3）安全电压的选择

GB/T3805-2008《特低电压（ELV）限值》参考了国际电工委员会 IEC 的相关标准。例如在皮肤阻抗及对地电阻均可忽略的环境下（如人体浸没），工作时安全稳态电压限制为 0V（交、直流）；在皮肤阻抗及对地电阻降低的环境下（如潮湿状态），安全稳态电压限制为交流 16V、直流 35V 以下（发生单个故障的情况下限制为交流 33V、直流 70V 以下）；在皮肤阻抗及对地电阻均不降低的环境下（如干燥条件），安全稳态电压限制为交流 33V、直流 70V 以下（发生单个故障的情况下限制为交流 55V、直流 140V 以下）。为预防电容放电所导致的触电，该标准还规定了易触及的不同电容（值）下的稳态电压限制值。

安全电压应根据人体和环境状态等因素选用。特别危险环境中使用的手持电动工具应采用 42V 的安全电压；有电击危险的环境中，使用的手持式照明灯和局部照明灯应采用 36V 或 24V 的安全电压；金属容器内、特别潮湿处等特别危险环境中使用的手持式照明灯应采用 12V 的安全电压；在水上作业等场所工作应使用 6V 的安全电压。采用超过 24V 的安全电压时必须采取防止直接接触及带电导体的防护措施。

### （4）安全电压的识别方法

1) 查看标识：合格的电气设备上通常会标有电压等级信息，包括额定电压、安全电压范围等。用户应仔细阅读并遵守设备说明书中的安全指导。

2) 使用专业工具：在需要精确测量电压的场合，应使用经校准的万用表或电压表进行测量，以确认实际电压值是否处于安全范围内。

3) 了解工作环境：在潮湿、导电性强的环境中工作时，应特别注意降低接触电压的风险，即使电压值在理论安全范围内，也可能因环境条件导致危害增加。

## 2.1.2 实操训练

电工安全标示牌是电气从业人员在工作时必须了解和使用的工具，以下是各种标示牌及其用途的详细，训练学生能够识别标示牌和正确使用标示牌。常用电工安全标示牌如图 1.2.1 所示。



图 1.2.1 电工安全标示牌

(1) 名称：禁止合闸，有人工作！

如图 1.2.2 所示。悬挂处：一经合闸即可送电到施工设备的断路器（开关）和隔离开关（刀闸）操作把手上。



图 1.2.2 禁止合闸，有人工作标示牌

(2) 名称：禁止合闸，线路有人工作！

如图 1.2.3 所示。悬挂处：如果线路上有人工作，应在线路断路器（开关）和隔离开关（刀闸）操作把手上悬挂“禁止合闸，线路有人工作！”的标示牌。



图 1.2.3 禁止合闸，线路有人工作标示牌

(3) 名称：禁止分闸！

如图 1.2.4 所示。悬挂处：对由于设备原因，接地刀闸与检修设备之间连有断路器（开关），在接地刀闸和断路器（开关）合上后，在断路器（开关）操作把手上，应悬挂“禁止分闸！”的标示牌。



图 1.2.4 禁止分闸标示牌

(4) 名称：在此工作！

如图 1.2.5 所示。悬挂处：工作地点或检修设备上，悬挂“在此工作！”标示牌。

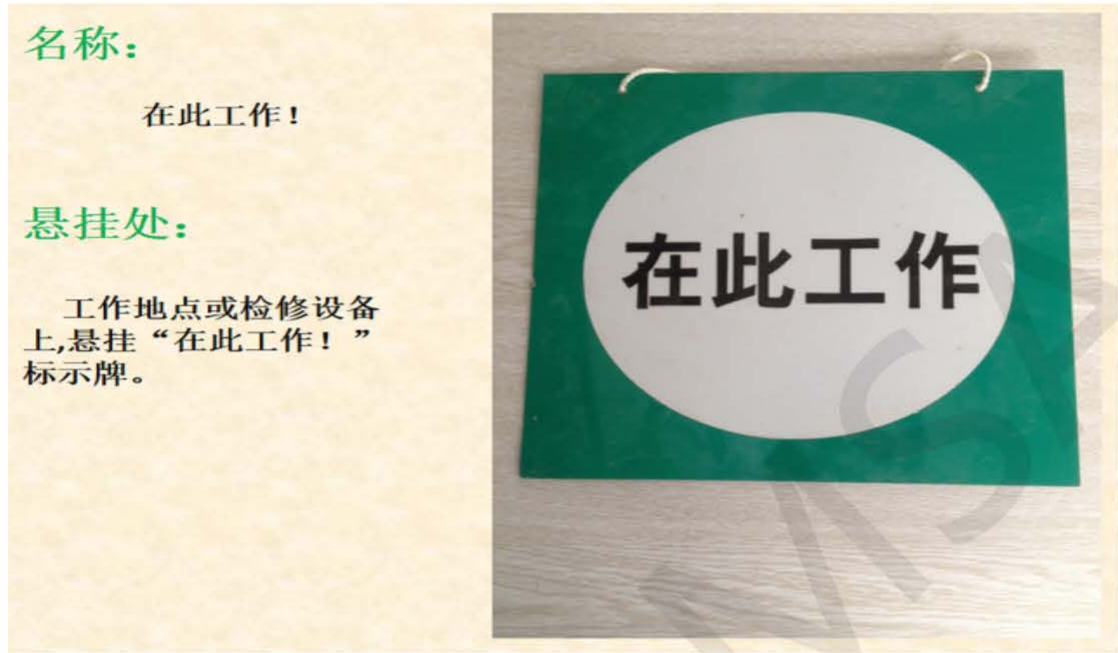


图 1.2.5 在此工作标示牌

(5) 名称：止步，高压危险！

如图 1.2.6 所示。悬挂处：在室内高压设备上工作，应在工作地点两旁及对面运行设备间隔的遮栏（围栏）上和禁止通行的过道遮栏（围栏）上悬挂“止步，高压危险！”的标示牌。高压开关柜内手车开关拉出后，隔离带电部位的挡板封闭后禁止开启，并设置“止步，高压危险！”的标示牌。在室外构架上工作，则应在工作地点邻近带电部分的横梁上，悬挂“止步，高压危险！”的标示牌。

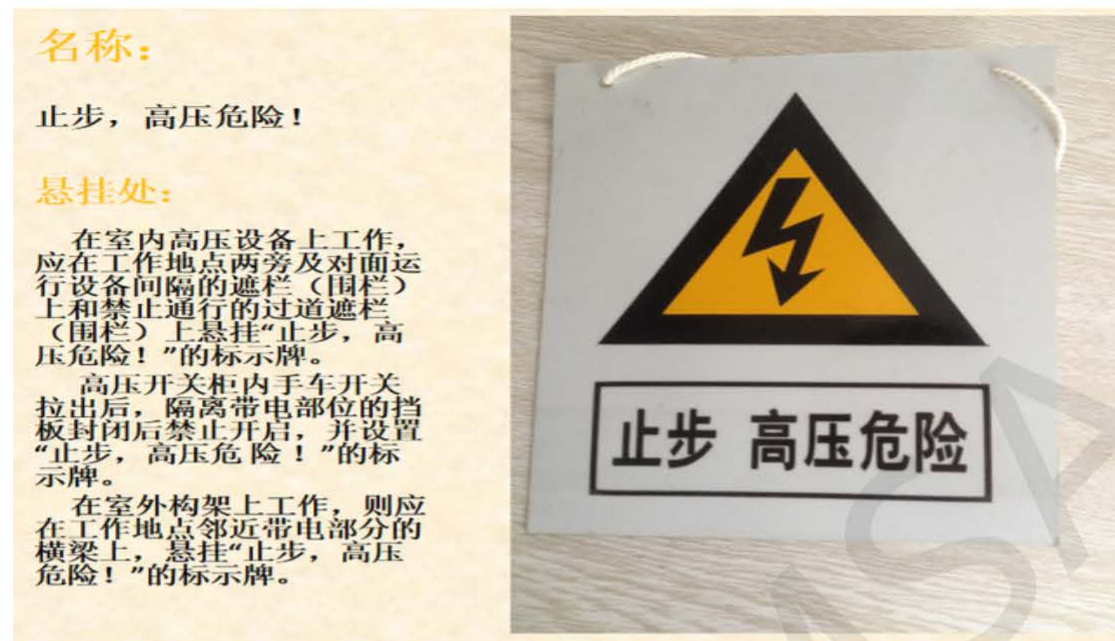


图 1.2.6 止步，高压危险标示牌

(6) 名称：禁止攀登，高压危险！

如图 1.2.7 所示。悬挂处：高压配电装置构架的爬梯上，变压器、电抗器等设备的爬梯上，应悬挂“禁止攀登，高压危险！”的标示牌。在邻近其他可能误登的带电构架上，应悬挂“禁止攀登，高压危险！”的标示牌。



图 1.2.7 禁止攀登，高压危险

(7) 名称：从此上下！

如图 1.2.8 所示。悬挂处：作业人员可以上下的铁架、爬梯上，应悬挂“从此上下！”的标示牌。

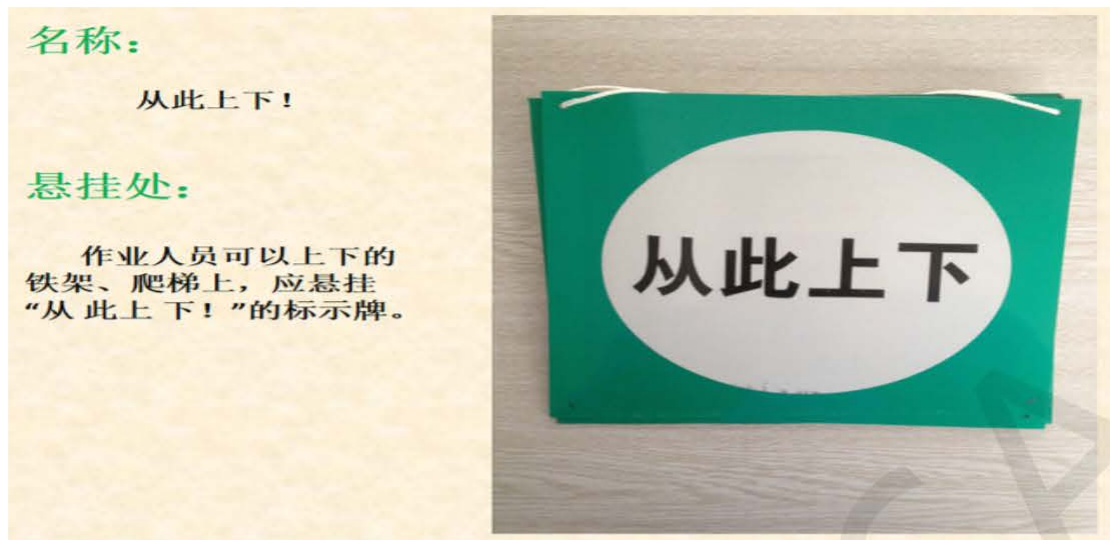


图 1.2.8 从此上下标示牌

(8) 名称：从此进出！

如图 1.2.9 所示。悬挂处：室外工作地点围栏的出入口处，悬挂“从此进出！”的标示牌。



图 1.2.9 从此进出标示牌

## 2.2 触电事故中现场救援演习

### 2.2.1 演习人员要求

学员以小组方式进行触电事故应急预案演练，小组内成员分别扮演发现者 1 人、救援者 1 人、现场指挥 1 人、担架队员 2 人、技术人员 1 人（共六人，具体

小组人数可根据实际情况进行适当调整），参加演习人员应穿好工作服、劳保鞋、劳保手套、佩戴安全帽。

#### 2.2.2 演习器材要求

- (1) 绝缘防护装备（至少含绝缘手套、绝缘衣服、绝缘靴和属具等）4 套
- (2) 干燥木棒或专业绝缘杆 1 根
- (3) 心肺复苏模拟人 1 套
- (4) 担架 1 副
- (5) 急救药箱 1 个

#### 2.2.3 应急救援演练各成员职责

发现者——发现触电人员，快速运用身边绝缘良好的工具，使触电人员尽快脱离触电状态并呼救并做好辅助工作。

救援者——确保现场环境安全对触电者进行现场急救。

现场指挥——在现场负责协调组织指挥。

担架队员——运用担架对触电者进行搬运。

技术人员——断开故障电路，确保现场环境安全，

#### 2.2.4 演习背景

假设人员甲在电池舱巡查工作，由于不小心手臂触碰到电池连接线路，使该人员不幸触电，并昏迷在事故现场，情况十分危急。

#### 2.2.5 演练内容

人员甲（心肺复苏模拟人训练器替代）在电池舱巡查工作，由于不小心手臂触碰到电池连接线路，使该人员不幸触电，并一只手接触线路昏迷在事故现场，情况十分危急。发现者看到后立即呼救并向现场现场指挥进行汇报，技术人员佩戴好防护装备断开该电池舱相关电路，确保现场环境安全后向现场指挥汇报。

之后现场指挥、技术人员穿戴好绝缘手套，绝缘靴，进电池舱将电线剥离受伤人员，确保人员甲脱离触电状态，并移到相对空旷地方，救援者携带急救药箱，担架队员携带担架，迅速到达事发地点。

救援者和担架队员立刻把人员甲移至平地，使其仰卧，并将上衣和裤带解开对人员甲进行呼救和生命体征检查和评估，之后向现场指挥汇报，人员甲目前昏迷，无呼吸，无脉搏现需要人工呼吸和心肺复苏救援。

现场现场指挥指挥人员对人员甲进行抢救，并与岸基专业医疗人员进行沟通，实时对救援工作进行指导协调。

救援者对人员甲进行人工呼吸和心肺复苏救援，发现者辅助（因在人工呼吸和心肺复苏救援过程中十分消耗体能为保证急救效果，这里要求发现者与救援者交替进行或分工合作）。

经过一轮急救，人员甲脉搏、呼吸恢复，逐渐清醒有意识。救援者向现场指挥汇报情况。

担架队员辅助救援者和发现者将人员甲放置在担架上，并确保将各处固定好，由担架队员将人员甲搬运到医护室后向现场指挥进行汇报。

救援者和发现者继续在医护室进行值守，有情况及时向现场指挥汇报。现场指挥继续同岸基专业医疗人员沟通，对人员甲进行进一步检查和治疗。

人员甲目前生命体征平稳，已脱离危险，神志恢复。

### 2.2.6 演练点评

现场培训教师对此次演习进行点评，尤其关注学员在相互紧密配合，人工呼吸、心肺复苏方式方法，指挥者对整体演习进度的掌控等方面，增进大家的安全意识、集体意识，使学员熟练掌握急救知识和人工呼吸、心肺复苏的操作方法。

## 3. 电池动力船舶常识

### 3.1 电池动力船舶发展现状与趋势

#### 3.1.1 电池动力船舶的发展现状

据国际贸易统计机构 UNCTAD 报告，全球商船队数量呈稳步增长趋势，2022 年达到约 10.3 万艘，年增长率为 1.5%。在这些船只中，绿色船舶的比例正在逐年提升。根据挪威船级社 DNV 的数据，2022 年全球绿色船舶保有量已超过 1000 艘，其中电池动力船舶占据了 586 艘，占比约 56%，如图 1.3.1 所示。

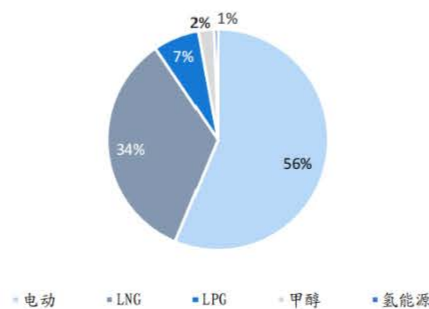


图1.3.1 各新能源船舶数量占比图



这些数据表明，尽管绿色船舶的整体市场渗透率还不足 1%，但电池动力船舶的发展势头强劲，市场接受度逐渐增加，各新能源船舶数量中，电池动力船舶占比较高，逐年增加，如图 1.3.2 所示。

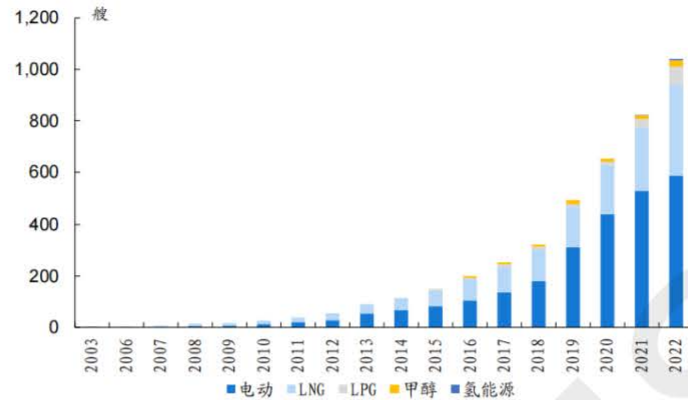


图1.3.2 各新能源船舶数量图

电池动力船舶的应用场景从传统的“消费品”场景，如小型豪华邮轮和客船，这些场景对系统的稳定性和舒适度有较高要求，逐渐向“经济实用”场景转变，包括工程船、海岸救援船和货船等，如图 1.3.3 所示。这种转变不仅体现了电池动力船舶技术的成熟，也标志着其应用范围的拓宽，适应了更广泛的商业和工业需求。



图 1.3.3 电池动力船舶应用

国际方面，2015年1月，世界首艘大型纯电池动力船舶“AMPERE”号船舶渡船在挪威下水。据 Maritime Battery 论坛和挪威船级社的数据显示，全球有近 600 艘在运营的电池动力船舶，以航线较为固定的渡船、客船、内河船为主，另外还有约 200 艘新造电池动力船舶的订单，将在货船、小型邮轮等船型上得到进一步的推广和应用，电池动力船舶正处于从“特定水域——近海水域——全球水域”的发展阶段。2023年8月，澳大利亚宣布正在建造全球最大的纯电池动力船——一艘 130 米长双体电池动力滚装渡船，标志着电池动力船舶正向大型化发展的趋势。

国内方面，据研究机构 EVTank、伊维经济研究院联合中国电池产业研究院共同发布了《中国电池动力船舶行业发展白皮书（2022 年）》显示，随着船舶对环保要求的逐步提升，电池动力船舶的产量快速增长，从电池动力船舶船用锂离子电池市场规模来看，2021 年中国电池动力船舶船用锂离子电池市场规模达到 2.17 亿元，同比增长 73.4%，预计在原有船舶电动化改造以及新造电池动力船舶的带动下，中国电池动力船舶的市场规模在 2026 年将达到 367.5 亿元。

我国电池动力船舶市场规模及锂电池出货量保持增长态势，电池动力船舶市场的增长得益于多个因素。随着国家对新能源应用的强化推广，以及锂电技术的发展，电池动力船舶在中国的渗透速度显著提升。2017 年以来，随着环保政策的实施和相关技术规范的完善，电池动力船舶展现出快速发展的趋势。截至 2024 年 4 月份，电池动力船舶数量已接近 300 艘，其中大型船舶超过 50 艘。

在应用方面，电池动力船舶的种类和场景越来越丰富。中国电池动力船舶主要集中在内湖、内河、岛屿以及近海港口等区域，船型包括小型邮轮、客船、渡船、干散货船和公务船等，如图 1.3.4 所示。这些船舶在提供低噪音、零排放的运输服务上显示出独特的优势。



图 1.3.4 国内电池动力船舶应用

中国内河区域的船舶电动化仍然充满潜力。随着政策的持续推动和电动技术的成熟，预计电池动力船舶的应用和市场渗透率将进一步增加。这不仅有助于提升船舶的环保标准，也将推动整个船舶行业向更可持续发展的方向发展。

### 3.1.2 电池动力船舶的发展趋势

根据智能新能源船舶技术创新产业联盟的预测，未来低碳、零碳燃料船舶的占比将不断提高，预计到 2030 年电池船舶的市场份额有望达到 15%，如图 1.3.5 所示。

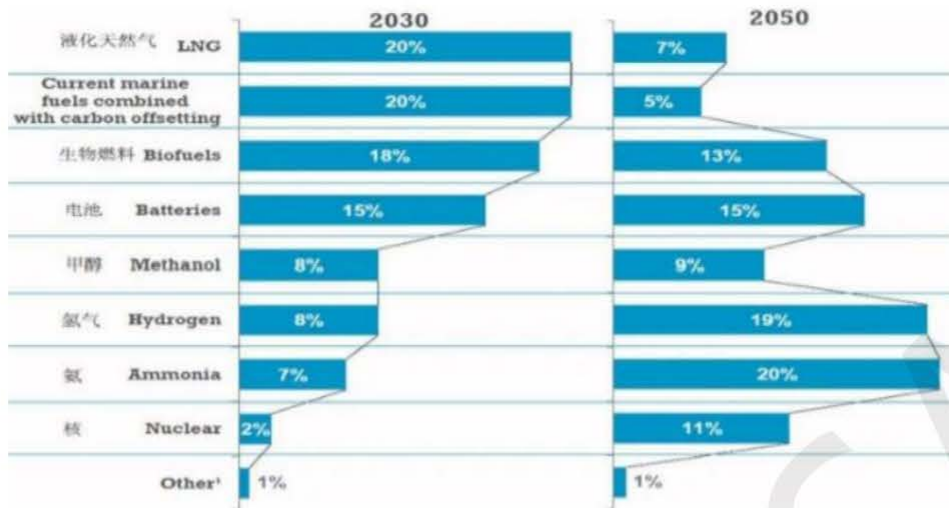


图 1.3.5 新能源船舶应用预测图

电池动力船舶快速增长主要得益于以下几个因素：

**技术进步与成本降低：**电池动力船舶技术，特别是电池技术的持续进步，将使得电池动力船舶在运营成本上更具竞争力。电池能量密度的提高和成本的降低，是推动该行业发展的关键。

**政策与规范推动：**全球范围内的政府和国际组织正通过制定严格的碳排放标准和提供财政补贴，加速传统船舶向电池动力船舶的转变。

**市场细分扩展：**随着技术的成熟，电池动力船舶预计将从目前主要的内河和近海运输扩展到长途海运市场。不同类型的船舶，如货船、客船和特种船只，将逐渐采用电动解决方案。

**全球市场的异质化发展：**不同地区的电池动力船舶发展速度和市场接受度将继续存在差异。发达国家可能因为政策推动而快速实现船舶电动化，而发展中国家可能因技术和资金限制稍显滞后。

**渗透率的提升：**尽管当前电池动力船舶的市场渗透率不高，预计未来随着技术进步和政策支持，电池动力船舶的渗透率将显著提高。

**内河运输和短途运输领域的快速增长：**在中国和欧洲，内河运输和短途运输领域的电池动力船舶发展将持续加速，这一趋势有望扩展到全球其他地区。

在技术创新、政策支持和市场需求的三方推动下，电池动力船舶预计将在未来几十年内达到前所未有的发展速度和市场覆盖率，成为全球船舶市场的重要组成部分。

## 3.2 主流船用动力电池的工作原理、结构组成

### 3.2.1 主流船用动力电池概述

常见的动力电池有铅酸电池、镍氢电池、锂离子电池、超级电容器。还有一些新体系电池，如燃料电池、飞轮电池、固态电池、锂硫电池、金属空气电池等。目前船用动力电池主要采用锂离子电池和超级电容器，但基于不同的应用场合需求，使用的锂电池类型各不相同。

国外以欧洲为技术应用开拓者，其船舶配置的动力电池主要应用在特定工况（如停靠港、静音水域、辅助动力等），因此普遍采用三元锂电池，利用其高能量密度、放电倍率和容量相对大的特点，提供船舶短时、大功率动力。

国内船用动力锂电池普遍采用磷酸铁锂电池，一方面是依据中国船级社规范指南要求，另一方面是该类型电池综合成本相对较低，高安全性、长寿命、无记忆效应等特点在许多应用领域得到了广泛的使用。

### 3.2.2 磷酸铁锂电池

#### (1) 磷酸铁锂电池的内部结构

磷酸铁锂电池的内部结构主要包括正极、负极、隔膜、电解质以及外壳等部分，如图 1.3.6 所示。

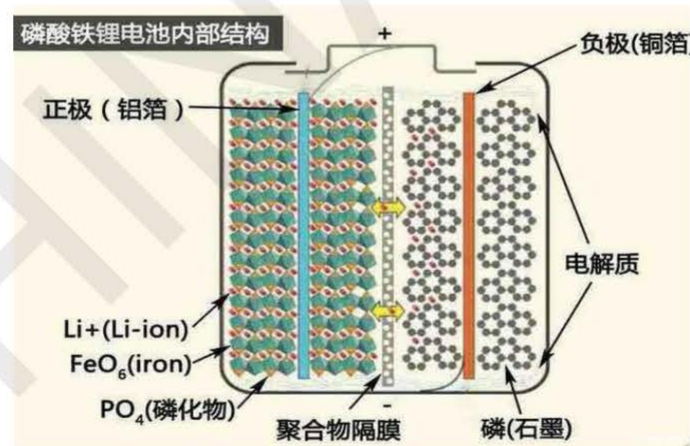


图 1.3.6 磷酸铁锂电池结构示意图

正极部分主要由磷酸铁锂（ $\text{LiFePO}_4$ ）组成，这是一种橄榄石结构的材料，具有高安全性和长寿命的特点。正极与铝箔连接，铝箔作为电流的导出端。

负极部分则主要由碳（如石墨）组成，它呈层状结构，允许锂离子在充放电过程中嵌入和脱嵌。负极与铜箔连接，铜箔同样作为电流的导出端。

在正极和负极之间，有一个隔膜，它将两者分隔开，防止短路。这个隔膜允

许锂离子通过，但阻止电子通过，保证了电池的安全运行。

电解质则填充在电池的正负极之间，为锂离子的迁移提供通道。电解质通常是液态的，也可以是固态或半固态的，具体取决于电池的设计和应用场景。

最后，整个电池被金属外壳密闭封装，既保护了电池的内部结构，又防止了外部环境对电池的影响。

## (2) 磷酸铁锂电池的工作原理

磷酸铁锂电池的充电和放电过程涉及锂离子的嵌入和脱嵌，通过锂离子在正极和负极之间的迁移来实现电能的储存和释放，其运作原理示意如图 1.3.7 所示。

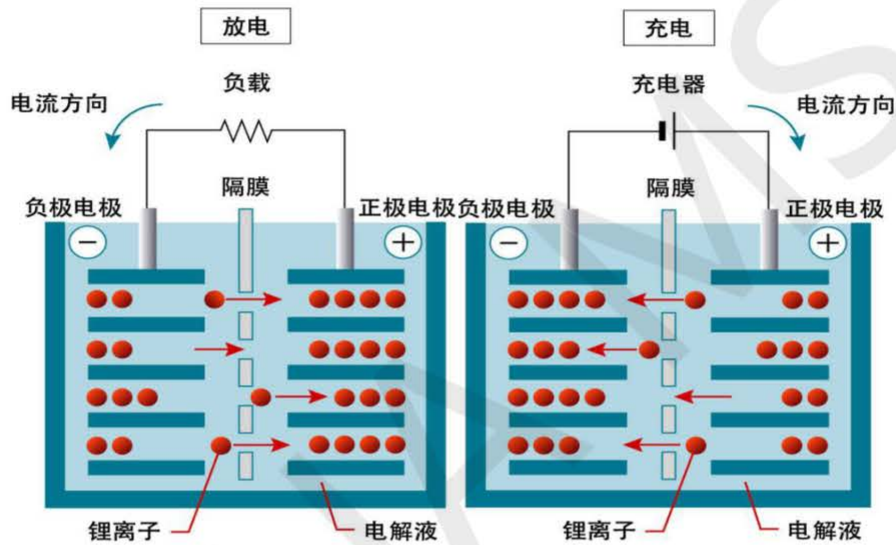


图 1.3.7 锂电池充放电示意图

磷酸铁锂电池充放电过程中，其内部化学反应过程原理如图 1.3.8 所示。

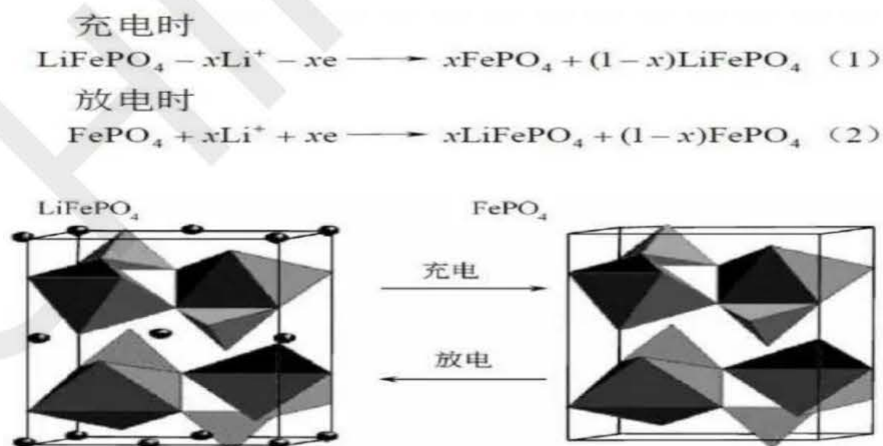


图 1.3.8 磷酸铁锂电池充放电过程化学反应原理图

电池充电时，锂离子从磷酸铁锂晶体迁移到晶体表面，在电场力的作用下，进入电解液，然后穿过隔膜，再经电解液迁移到石墨晶体的表面，而后嵌入石墨

晶格中。与此同时，电子经导电体流向正极的铝箔集电极，经极耳、电池正极柱、外电路、负极极柱、负极极耳流向电池负极的铜箔集流体，再经导电体流到石墨负极，使负极的电荷达至平衡。锂离子从磷酸铁锂脱嵌后，磷酸铁锂转化成磷酸铁。

电池放电时，锂离子从石墨晶体中脱嵌出来，进入电解液，然后穿过隔膜，经电解液迁移到磷酸铁锂晶体的表面，然后重新嵌入到磷酸铁锂的晶格内。与此同时，电子经导电体流向负极的铜箔集电极，经极耳、电池负极柱、外电路、正极极柱、正极极耳流向电池正极的铝箔集流体，再经导电体流到磷酸铁锂正极，使正极的电荷达至平衡。锂离子嵌入到磷酸铁晶体后，磷酸铁转化为磷酸铁锂。

### (3) 动力电池组的组成架构

动力电池组是纯电池船动力系统的核心，由多个单体电池串联或并联而成，如图 1.3.9 所示，通常分为电芯、电池包、电池簇、电池组、动力电池组，以电池包为基本单位，通过其化学特性存储电能，在航行中提供足够的电能来满足船舶的运行需求。



图 1.3.9 动力电池系统组成架构

## 3.2.3 超级电容

### (1) 超级电容的结构

电容器是一种物理电池，它的输入和输出均是电能，由两个彼此绝缘且相互平行的金属板组成，在两块金属板之间用绝缘材料隔离。超级电容器通常包含双电极、电解液、集电极、隔膜四个部件。

超级电容一般分为双电层电容器和锂离子电容器。

双电层电容器使用多孔炭作为正负极，纤维素酯为隔膜材料，均具有较好的化学稳定性，不含毒性。四乙基四氟硼酸铵/乙腈为电解液，其中乙腈为易燃有害物质，中等毒性。

锂离子电容器使用多孔炭作为正极材料，难石墨化碳为负极材料，纤维素酯为隔膜材料，均具有较好的化学稳定性，不含毒性。电解液采用锂盐作为电解质盐，碳酸酯类为溶剂。

### (2) 超级电容的工作原理

超级电容的工作原理是通过双电层结构和活性炭多孔电极储存电量。储存或释放电能即充放电过程中并不伴随着化学反应，是可逆的物理过程。因其内阻很小，故可大电流充放电。

## 3.3 锂电池和超级电容的特性对比

### 3.3.1 锂离子电池的特性

**能量密度：**锂电池具有较高的能量密度，这意味着它们能够在较小的体积和重量下存储较多的能量。

**充放电循环：**锂电池可以进行数百至数千次的充放电循环，使用寿命较长。

**自放电率：**锂电池的自放电率相对较低，适合长时间储存能量。

**工作温度范围：**锂电池工作温度范围较窄，极端温度条件下性能会受到影响。

**化学稳定性：**锂电池在正常工作条件下化学稳定性良好，但在过充、过放或高温条件下可能存在安全隐患。

目前市场上主流的锂电池分为三元锂和磷酸铁锂两种类型，两者特性又有所差异，对比如表 1-3-1 所示。

**表 1-3-1 三元锂电池和磷酸铁锂电池对比**

类别	三元锂电池	磷酸铁锂电池
能量密度	180~260W·h/kg	140~180W·h/kg
功率密度	~750W/kg	~170W/kg
放电性能（默认）	3C	0.5C
充电性能（默认）	3C	0.5C
价格对比	1.3	1
安全级别	等级 1（低）	等级 2（高）
循环使用次数	4000~5000 次	6000~8000 次
低温活性	高	低
燃点	~200℃	500~800℃

燃烧方式	燃点相对较低，燃烧强度大、燃烧速度快	冒白烟直到能量释放完毕，不会发生爆炸
------	--------------------	--------------------

注：上表参数为默认应用设定，在不同的特殊应用场合中，充放电倍率等可做适当调整，但也会带来其他参数的联动变化。

### 3.3.2 超级电容的特性

功率密度：超级电容器的功率密度非常高，它们能够在短时间内提供大量的能量，非常适合高功率脉冲应用。

充放电速度：超级电容器的充电速度极快，通常在数分钟内即可完成充电。

循环寿命：超级电容器的循环寿命非常长，可达数十万次，甚至在某些情况下可以达到无限循环。

工作温度范围：超级电容器能在较宽温度范围内工作，低温和高温性能优越。

安全性：超级电容器的充放电过程是物理过程，没有化学反应，因此安全性较高，不易发生爆炸或起火。

### 3.3.3 锂离子电池和超级电容的特性对比

锂离子电池和超级电容器是两种常见的能量存储设备，它们各自具有独特的特性和应用领域。锂离子电池和超级电容器的特性对比如表 1-3-2 所示。

表 1-3-2 锂离子电池和超级电容的特性对比

特性对比	动力电池（锂电池）	超级电容
能量转换	化学能 $\leftrightarrow$ 电能	电能
内部反应	氧化还原化学反应	极化电解质的物理反应
使用损耗	化学介质活性的降低，负极材料钝化使得容量衰减，充放电能量转换损耗正极材料	使用不当造成电解液泄漏
内部阻抗	充电时内阻下降，放电时内阻上升	低阻抗，根据耐压要求可调
单体标称电压	锂离子电池 3.0~3.7V	1.2~3.9V 左右
受温度影响	较大，明显的活性极化温度关系，工作范围：-25℃~+45℃	不大，很小的活性极化，工作范围：-40℃~+70℃
理想充放电时间	一次充满电 5~6 小时	单体数分钟
功率密度 (W/kg)	低，50~380W/kg	高，低阻抗带来高的功率输出 1000~20000W/kg
能量密度 (W·h/kg)	高，20~250W·h/kg	低，平均约为动力电池的 1/10，3~15W·h/kg
充放电效率	>95%	>95%
循环寿命（次）	平均约为 3000~5000 次 大功率充放电对寿命影响较大	>10 万次



荷电保持能力	存在低自放电	几乎不存在自放电
环保	即使采用无害化学材料,仍然具有潜在污染	几乎不存在化学污染
工程使用	单体的大规模串并联	单体的大规模并联,采用均压措施后可以串联使用

### 3.4 锂电池和超级电容燃烧特性

#### 3.4.1 锂电池起火燃烧的原理及特点

由于锂电池其自身的结构特性,高温环境下固体电解质界面膜、电解液及其他材料会发生分解反应。此外电解液的分解物还会与正、负极发生化学反应,电芯隔膜将被融化以及进一步分解,这些反应都会造成电池大量的放热。隔膜融化导致了内部短路,电能的释放又增大了热量的产生。这种累积的互相增强的破坏作用,将导致电芯防爆膜破裂,电解液喷出,从而发生燃烧起火。

以某磷酸铁锂电池燃烧试验为例,磷酸铁锂电池在安全阀破裂后会释放出大量的可燃气体,其中 50%与 100%荷电状态(SOC)锂离子电池的燃烧过程大致经历初次射流火、稳定燃烧、多次射流火及火焰熄灭等阶段;而 0%荷电状态(SOC)的锂离子电池较为稳定,经历初次射流火保持稳定燃烧,直至最终熄灭,整个过程并未出现多次射流火现象。

可见电池荷电状态(SOC)的降低会明显减弱电池燃烧的剧烈程度,而相应电池的燃烧时间将随着荷电状态(SOC)的降低而增加,在实验中 100%、50%以及 0%荷电状态(SOC)锂离子电池的燃烧时间分别为 385 秒、1758 秒和 1988 秒。通过对比标准热释放速率也可以发现,100%荷电状态(SOC)的目标电池燃烧速率高于汽油,存在较大的火灾危险性。

#### 3.4.2 超级电容燃烧特点

超级电容器工作过程主要基于碳/电解液界面的双电层储能,为物理过程,产品安全性较高。超级电容器可能发生火灾的诱因主要有电解液泄漏、安全阀开启等,主要是由内部压力过高、密封不良或单体过温、过压、过流甚至短路等因素导致。

《车用超级电容器》(QC/T 741-2014)是目前我国超级电容器强制检测的标准,内容涵盖容量、内阻、大电流放电、电压保持能力、高温特性和低温特性等性能测试,以及过放电、过充电、短路、跌落、加热、挤压、穿刺试验、温度冲击和耐振动性等安全测试。经过检验后的产品能够保证超级电容单体在正常条

件下不会有电解液泄漏。《船用超级电容器总规范》（SJ/T 11894-2023）是船舶超级电容器推荐性的行业标准，其规定了船用超级电容器的要求、检验规则、标志、包装、运输和储存。

## 4. 电池动力船舶机舱设备组成

### 4.1 电池动力船舶动力系统介绍

电池船舶动力系统的组成如图 1.4.1 所示，由电源侧（锂电池系统）、变频传动侧（直流配电系统）、推进侧（推进电机）、推进控制系统（PCS）等系统组成。

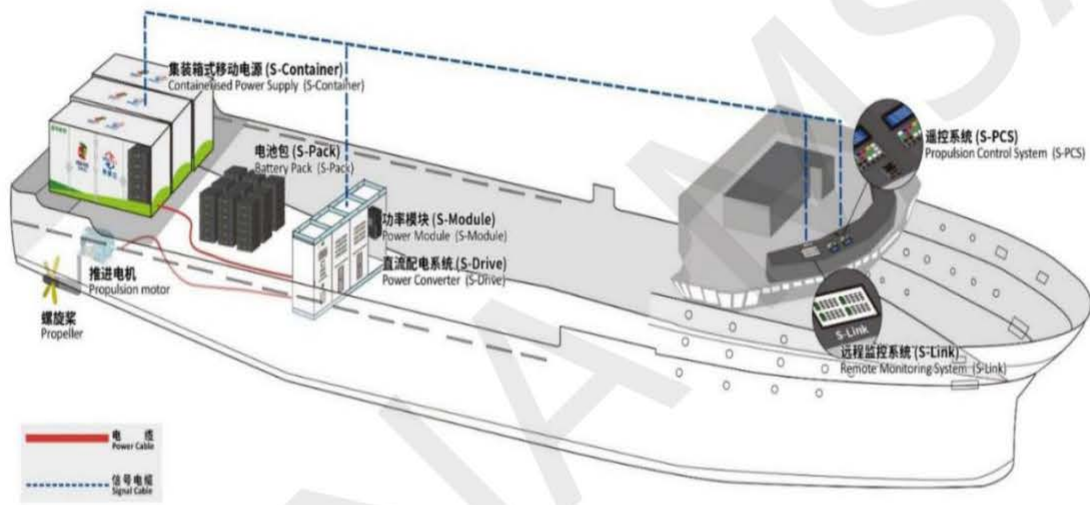


图 1.4.1 电池船舶动力系统的框架图

该系统通过电池组供电、电动机驱动和推进装置推进船舶。其工作原理简单清晰，具有环保、低噪音、高效能等优势，并广泛应用于船务、港口、河流等领域，推动了航运行业向绿色、可持续方向发展。

### 4.2 电池动力船舶机舱各设备的功用

#### 4.2.1 电源侧

锂电池组/集装箱式移动电源：按照功率需求左右舷配置若干组锂电池组。所有电池组通过电缆连接到斩波模块的输入端，通过斩波模块转换成相同的直流电压连接到公共的直流母线上。主要负责在特定推进工况下为整个船舶提供推进及日用电源，在固定码头时使用岸电接口进行充电，电源侧能源如图 1.4.2 所示。

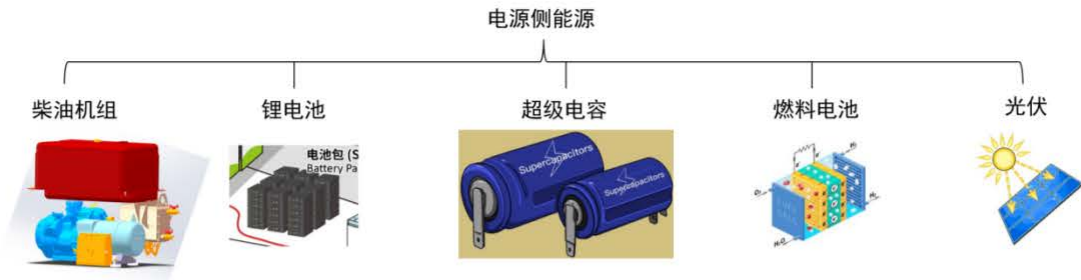


图 1.4.2 电源侧能源

#### 4.2.2 电池管理系统 (BMS)

BMS 用于监控、控制和管理动力电池的工作状态，包括监测每个电池单元的电压、电流和温度，以确保其工作在安全范围内。

#### 4.2.3 直流配电系统

船舶电力系统分为左右舷两段，中间由母联开关连接，母联开关一般处于分闸状态，母联开关的合闸和分闸可以通过直流柜上的柜门按钮来进行操作。

#### 4.2.4 能量管理系统 (EMS)

该系统负责船舶的电力分配和管理，确保各部分的正常运行。

#### 4.2.5 推进电机

推进系统由若干台推进电机组成，推进电机所需电能由连接直流母线的推进电机逆变模块逆变成交流电获得。

#### 4.2.6 推进控制系统 (PCS)

直流组网变频控制配电系统通过 PCS 来管理整个船舶的推进系统，PCS 负责接收遥控系统的操作指令，增加指令分配及控制保护等功能后，通过变频器驱动主推进电机。

## 5. 采取措施预防船舶电池造成的污染

### 5.1 船舶电池的污染危害

锂电池在正常使用过程中，不会产生任何污染，包括重金属污染、有机物污染、酸碱污染等。船舶锂电池的污染主要从两个方面进行考虑，一方面是在锂电池寿命期内，锂电池发生热失控或者失火。电芯发生热失控时会喷出高温气体和颗粒混合物，这些气体易燃、有毒，大量气体蔓延，污染环境，危害人身安全。另一方面主要考虑锂电池使用寿命终结，退役锂电池的不合规处置造成环境污染。

### 5.1.1 锂电池造成污染的形式

#### (1) 锂电池发生热失控或者失火造成的污染

锂电池的电极材料、电解质、溶剂、隔膜、粘合剂等在进行热失控时，会发生剧烈反应并释放到电池舱，引起严重的环境污染，具体分析如表 1-5-1、1-5-2、1-5-3、1-5-4 所示：

表 1-5-1 电极材料的化学特性与潜在污染性

材料种类	材料名称	主要化学特性	可能产生的污染
正极材料	钴酸锂 (LiCoO <sub>2</sub> )	与水、酸或氧化剂发生强烈反应，燃料或受热分解产生有毒的锂、钴氧化物	重金属钴污染
	锰酸锂 (LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )	与有机溶剂或还原剂或强氧化剂 (双氧水、氯酸盐等)、金属粉末等发生反应可产生有毒气体 (Cl <sub>2</sub> ) 受热分解产生氧气	重金属锰污染
	镍酸锂 (LiNiO <sub>2</sub> )	受热分解产生 Li <sub>2</sub> O、NiO 和 O <sub>2</sub> ，遇水、酸会发生分解	重金属镍污染
负极材料	碳材 (Cokes, glassy carbons)	粉尘和空气的混合物遇热源或火源可发生爆炸，可与强氧化剂发生反应，燃烧产生 CO 及 CO <sub>2</sub> 气体	粉尘污染
	石墨 (Graphite)	与强氧化剂 (氟、液氮) 发生反应，燃烧产生 CO 及 CO <sub>2</sub> 气体	粉尘污染

表 1-5-2 电解质的化学特性与潜在污染性

电解质	主要化学特性	可能产生的污染
六氟磷酸锂 (LiPF <sub>6</sub> )	有强腐蚀性，遇水可分解产生 HF，与强氧化剂发生反应，燃烧产生 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 等有毒物质	氟污染
四氟硼酸锂 (LiBF <sub>4</sub> )	LiBF <sub>4</sub> 具有强腐蚀性，与水、酸发生剧烈反应产生 HF 气体，燃烧或受热分解产生 Li <sub>2</sub> O、B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 等有害物质	氟污染
高氯酸锂 (LiClO <sub>4</sub> )	与强还原剂、硝基甲烷和肼等物质发生剧烈反应，燃烧后会产生 LiCl、O <sub>2</sub> 和 Cl <sub>2</sub>	有毒气体
六氟砷酸锂 (LiAsF <sub>6</sub> )	溶于水、吸湿性强，与酸反应可产生有毒气体 HF、砷化物等	氟污染、砷污染

三氟甲磺酸锂 (LiCF <sub>3</sub> SO <sub>3</sub> )	燃烧产物为 CO、CO <sub>2</sub> 、SO <sub>2</sub> 、HF，与氧化剂、强酸发生反应产生 HF	氟污染、有毒气体
------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------	----------

表 1-5-3 溶剂的化学特性与潜在污染性

电解质溶剂	主要化学特性	可能产生的污染
碳酸乙烯酯 (EC)	与酸碱强氧化剂、还原剂发生反应，水解产物产生醛和酸、燃烧可产生 CO、CO <sub>2</sub>	醛、有机酸污染
碳酸丙烯酯 (PC)	与水、空气、强氧化剂反应，燃烧产生 CO、CO <sub>2</sub> ，受热分解会产生醛和酮等有害气体，引燃可引起爆炸	醛、酮有机物污染
二甲基碳酸酯 (DMC)	与水、强氧化剂、强酸、强碱和强还原物质发生剧烈反应，水解可生成甲醛，燃烧产生 CO、CO <sub>2</sub>	甲醇等有机物污染
二乙基碳酸酯 (DEC)	与水、强氧化剂、强酸、强碱和强还原物质发生剧烈反应，水解可生成甲醛，燃烧产生 CO、CO <sub>2</sub>	醇等有机物污染
二甲基乙烷 (DME)	与水、强碱、强氧化剂发生反应，易燃、易爆，见光或受热易形成爆炸性的过氧化物	甲醇等有机物污染
二乙氧基乙烷 (DEE)	易燃、易爆，见光或受热易形成爆炸性的过氧化物，与强酸、强氧化剂发生剧烈反应	醇等有机物污染
甲基乙基碳酸酯 (EMC)	与水、强酸、碱、强氧化剂发生反应，水解产物含有易燃的甲醇	甲醇等有机物污染
醋酸乙酯 (EA)	与氯磺酸、氢化铝锂、发烟硫酸等物质反应，遇水会分解，遇火、受热会发生燃烧或分解会产生 CO 等有毒气体	有机酸污染
甲酯丙炔酸 (C <sub>3</sub> H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	与碱、强氧化剂反应，燃烧产生 CO、CO <sub>2</sub>	甲酸等有机物污染
1, 4-丁丙酯 (GBL)	与强还原剂、强酸、强碱会发生剧烈反应，燃烧产生 CO、CO <sub>2</sub> 、NO 等有害气体	醇、酸有机物污染

表 1-5-4 其他材料的化学特性与潜在污染性

物质名称	主要化学特性	可能产生的污染
隔膜 (PP、PE)	燃烧可产生 CO、醛、有机酸等	有机污染物
粘合剂 (PVDF、EPD)	PVDF 可与氟、发烟硫酸、强碱、碱金属发生作用，受热分解产生 HF，EPD 可燃烧	产生氟污染

## （2）锂电池退役不合规处理造成的污染

如果把废旧电池随意丢弃，其内部存在的重金属物质就会污染土壤与水源，破坏生态环境，因此船舶锂电池退役后需要按照环保要求集中处置。

### 5.1.2 船舶电池污染的防治措施

#### （1）密切关注锂电池系统的运行，避免锂电池发生热失控

1) 船员需要密切关注锂电池系统发出的各类报警及故障信息，并根据不同的报警状态及时处置，防止问题进一步恶化。

2) 船员应加强对锂电池系统的检查及保养维护，确保锂电池系统在设计环境条件下运行，减少外部原因触发热失控的机会，及时监控电芯温度、电压、电流、实时过温、过压保护及报警等数据，避免热失控的发生。

3) 锂电池系统发出声光报警时，船员应及时确认故障，如需要启动消防系统，应能正确操作灭火装置，在热失控初期进行灭火降温，有效降低事故损失，预防热失控以及其所致的有毒有害气体蔓延。

4) 船员应加强对可燃气体探测装置、感温感烟探测装置等的检测及维护，以保证可燃气体探测装置、感温感烟探测装置在事故发生时可有效工作，及时发出报警，为采取应对措施争取时间。

5) 还应加强对应急排气系统的检查及保养，确保系统可正常工作，当热失控发生时，应急排气系统能够及时启动，排出可燃气体，防止爆炸或其他更严重的事故发生。

#### （2）妥善安排电池回收处理

锂电池报废后必须能够全面的环保化处理，航运企业或者船员应当将报废后的锂电池交由具备回收资质的单位进行处理，不得私自拆解、丢弃或者交给不具备回收资质的单位或者个人。航运企业及船员应主动参与船舶锂电池回收工作，倡导绿色消费理念，减少锂电池废弃物的排放。

#### （3）积极学习锂电池相关环保知识

船员应积极学习环保知识，提高环保意识，加强认识环境污染的缘由，认识到废旧动力电池回收不当造成的资源浪费和环境污染，了解废旧锂电池的危害及回收处理的必要性，增强环保意识和责任心，积极参与到船舶废旧锂电池正确回收处理方式的宣传队伍中。

## 5.2 船舶电池的可持续利用和回收

随着动力锂电池市场需求量快速增长，受限于电池的生命周期，退役动力锂电池数量将不断攀升。锂电池含有大量具有经济价值的金属，如锂、钴、铝、铜和铁等，退役动力锂电池直接丢弃将造成资源的极大浪费。因此，航运企业需要重视并积极配合退役锂电池回收及再利用工作。

## 5.3 电池动力船舶长期停航的管理

### 5.3.1 船舶长期停航的管理

(1) 停航船舶应当在指定或划定的码头、锚地、停泊区内停泊，并应满足以下要求：

- 1) 不妨碍其他营运船舶的航行、停泊和作业安全。
- 2) 不得非法占用主航道和生产锚地。
- 3) 能抵御恶劣天气的影响。
- 4) 船舶一旦发生险情，能够及时得到救援。
- 5) 必要时船舶能够立即驶离该水域。
- 6) 满足通航安全管理规定的其他规定。

(2) 船舶停航期间应对船舶及设备进行维护，满足安全与防污染要求，以及船位调整、防台防汛等应急需求。

(3) 船舶停航时应按规定要求显示信号。

(4) 停航船舶无线电设备应保持可用，至少维持一种磁罗经可用以测得方位，船舶自动识别系统（AIS）应保持正常开启。

(5) 停航船舶的所有人、经营人或管理人应当根据安全与防污染管理的需要，对承担安全与防污染管理职责的岸基人员和值守船员进行定期应急培训，并开展应急演练。

(6) 停航船舶应根据停泊地的实际环境和船舶自身的安全需要，配备足够数量并具有熟练操作能力的值守船员，进行有效值守。

(7) 值守船员应按照规定等级持有海事管理机构签发的有效船员证书。

(8) 停航船舶的设备、器材应符合防污染相关规范要求，并定期检查污水水舱、标准排放接头、生活污水处理装置和机舱舱底水管系相关的泵浦、管路、阀门，保持设备处于良好状态。

(9) 停航船舶的污染物排放和接收应当符合国家防治船舶污染水域环境的有关规定，并按规定在相应的记录簿上如实记录，没有记录簿的，应记载于《航海日志》或《轮机日志》中。

(10) 停航船舶应保持与企业 and 海事管理机构的通讯联系，及时接收安全信息，并每天向当地海事管理机构报告船舶动态。

### 5.3.2 电池动力船舶长期停航期间需维护保养的内容

电池动力船舶维修保养除做好常规维护保养外，长期停航船舶需重点围绕电池系统开展维护保养工作。电池系统是自动化管理设备，维保以检查、清理为主要作业内容。

电池系统主要由动力电池组与电池管理系统组成，负责提供船舶推进和日用供电。需保持电池舱内通风良好，干燥清洁；电池舱温度应在 20~45℃ 范围内，禁止超过 45℃；应保证电池整齐分层排列在不易燃的货架上，不得随意堆放，货架底部绝缘性能良好；电池舱不许放置杂物或其他可燃、危险物品。

(1) 停航前将电池电量充至厂家要求的电量，并按照电池组厂家要求进行相关维护保养工作。

(2) 电池管理系统 (BMS) 主要就是为了监控电池的状态，能够提高电池的利用率，防止电池出现过充电和过放电，延长电池的使用寿命，按厂家要求进行检查维护。

### 5.3.3 电池动力船舶长期停航复航前的工作

船舶复航前，除需按照海事管理机构的规定完成相关手续外，还需开展专项检查，建议委托本船供电系统厂家开展一次系统全面性检查维护，并将电池充至满足航行里程所需的电量或充满。



## 模块二：船舶管理法规要求

### 1. 电池动力船舶主要检验规范要求

#### 1.1 内河船舶法定检验技术规则

##### 1.1.1 内河船舶法定检验技术规则概述

《内河船舶法定检验技术规则（2019）》于2020年6月1日起正式实施，旨在规范我国船长大于等于20米的内河船舶的设计、建造和营运检验，并对船长5米及以上的高速船作了专篇规定。规则对内河船舶检验制度、安全与防污染技术要求等方面作出了规定，例如在电池动力船舶技术标准方面，从动力蓄电池及相关产品、电力推进系统、消防等方面对内河船舶应用磷酸铁锂电池作出了系统性的安排，以满足业界对新能源船舶的需求，助力船舶绿色发展、持续发展。值得注意的是，规则并非一成不变，随着时间的推移和技术的发展，交通运输部海事局还会根据实际情况进行必要的勘误、修订和更新。

##### 1.1.2 应用磷酸铁锂电池船舶的特殊要求

###### （1）功能要求

为防止磷酸铁锂电池的燃烧或爆炸，将电池火灾和爆炸抑制、控制和扑灭在着火舱室内，需满足如下功能要求：

- 1) 应限制蓄电池舱、蓄电池箱（柜）内的温度；
- 2) 应限制蓄电池舱、蓄电池箱（柜）内的着火源；
- 3) 蓄电池舱限界面的隔热应充分考虑蓄电池舱与相邻处所的火灾危险程度；
- 4) 固定式探火和失火报警系统装置应适合于蓄电池舱的性质、潜在的火势增大和潜在的烟气产生；
- 5) 蓄电池舱灭火装置应适合电池的火灾特性；
- 6) 应为蓄电池舱内人员提供安全的脱险通道。

###### （2）布置与分隔

1) 蓄电池舱与起居处所应相互远离布置，若确需相邻布置时，二者的共用限界面应尽可能减至最小，并采用满足第4)条所要求的分隔结构。

2) 蓄电池舱内的蓄电池箱（柜）或蓄电池包，与舱壁及上方甲板之间应留有足够的空间以利于蓄电池通风散热，但与舱壁的间距应不小于150mm，距上

方甲板应不小于 500mm。

3) 蓄电池箱(柜)、蓄电池包应牢固固定,并尽可能远离船舶舷侧,避免碰撞的影响。蓄电池箱(柜)、蓄电池包至船体外板的水平距离应大于等于 500mm。

4) 蓄电池舱与其他相邻处所之间的舱壁和甲板应为“A-60”级分隔的结构,但与空舱、卫生间等无失火危险的处所相邻时上述分隔可为“A-0”级。

5) 当设有蓄电池托架时,托架应采用钢质材料制造。

### (3) 其他着火源

1) 蓄电池舱、蓄电池箱(柜)内不应安装与蓄电池无关的热源设备。

2) 蓄电池舱、蓄电池箱(柜)内,除电池系统外应避免安装其他电气设备。若必须安装时,应尽可能远离电池,且应将电气设备的发热量计入第(5)条通风量的计算中。

### (4) 探火和报警

蓄电池舱应安装认可型的固定式自动探火和失火报警系统。该类探火系统的设计和探测器的安装,应在蓄电池舱的任何部位以及在电池工作的正常状况和环境温度范围内所需的通风变化下,当开始发生火灾时能迅速地探出火灾征兆。应设置使用感烟探测器或感温感烟探测器组合的探火系统。

### (5) 通风系统

1) 蓄电池舱应设置有效的动力通风系统或其他温度调节装置,防止电池周围环境温度过高。动力通风系统应满足下列要求:

①通风导管应采用钢或等效材料制成;

②通风管道的布置应使蓄电池舱的所有空间均能得到有效通风;

③通风量计算应满足交通运输部海事局按规定程序认可和公布的中国船级社《钢质内河船舶建造规范》的相关要求;

④蓄电池舱通风系统应与其他舱室通风系统完全分开;

⑤蓄电池舱的通风导管不得通过起居处所、服务处所及控制站;起居处所、服务处所及控制站的通风导管也不得穿过蓄电池舱。但上述导管符合下列要求者除外:

a. 导管为钢质,如其宽度或直径为 300mm 及以下,所用钢板厚度至少为

3mm；如其宽度或直径为 760mm 及以上，所用钢板厚度至少为 5mm；如导管宽度或直径在 300mm 和 760mm 之间，其所用钢板厚度按内插法求得；

b. 导管有适当的支承和加强；

c. 通过起居处所、服务处所及控制站的导管，通过蓄电池舱的导管，均应隔热至“A-60”级标准。

⑥ 通风口应有防止水和火焰进入的措施，进风口应远离出风口；

⑦ 驾驶室应设有显示所要求的通风能力任何损失的装置；

⑧ 应设有在发生火灾时可从蓄电池舱外关闭动力通风系统的控制设施。

2) 对于蓄电池热失控情况下释放可燃或有毒气体可能使人员进入不安全的蓄电池舱，应增加换气次数或设置应急抽风机，风机应为不会产生火花的型式。当探测到可燃气体时应增加换气次数或自动启动应急抽风机，从风机排出的气体应引至开敞甲板上的安全地点，并远离有人居住或含有热源的处所。

#### (6) 灭火

1) 蓄电池舱内应配置固定式七氟丙烷灭火系统进行保护，同时还应至少配备 4 具手提式七氟丙烷灭火器。对于水平投影面积小于 4m<sup>2</sup> 的蓄电池舱，可用足够数量的手提式七氟丙烷灭火器代替上述固定式七氟丙烷灭火系统。在蓄电池舱舱壁上应设有喷放孔，便于人员使用灭火器对内释放灭火剂。

2) 布置在开敞甲板上或其他处所内的蓄电池箱（柜），应在其附近应至少设置 4 具手提式七氟丙烷灭火器。在电池箱柜上应设有喷放孔，便于人员使用灭火器对内释放灭火剂。

3) 蓄电池舱出入口附近应设置一只消火栓，并采用水柱/水雾两用水枪。

#### (7) 出入口和脱险通道

1) 蓄电池舱的出入口应直接通向开敞甲板。起居处所不应设置直接通向蓄电池舱的门或其他开口。

2) 对于人员可进入的蓄电池舱，应至少设置 1 条脱险通道。当采用梯道时，应为钢质材料且倾斜角不得大于 65°，对于净空高 2m 以下的电池舱可采用直梯。

3) 应设有供船员方便到达开敞甲板上蓄电池箱（柜）的通道。对于客船，该通道应独立于人员脱险通道。

## 1.2 国内航行海船法定检验技术规则

### 1.2.1 国内航行海船法定检验技术规则概述

《国内航行海船法定检验技术规则（2020）》于 2020 年 8 月 1 日正式实施，对船长 20m 以上的国内航行海船的检验制度、安全和防污染技术标准进行了系统修订，全面覆盖船舶种类，简化船舶检验要求，技术标准更加趋向科学合理。该规则结合航运发展和船舶检验实践要求，补充完善国内航行海船安全技术标准，增补海上作业自卸自吸砂船船型，优化客滚船系固要求，完善特殊构造船、敞口集装箱船、近海供应船等船舶的附加技术要求。在现有国内航行海船环保要求的基础上，坚持“就高不就低”的原则，全面对接船舶水污染物、船舶发动机排气污染物排放标准、船舶大气污染物排放控制区要求和有关国际公约要求，在防止船舶生活污水、船舶垃圾和空气污染等方面都采用行业最高标准，鼓励船舶节能减排，全面提升船舶环保水平。

为进一步提升国内航行海船安全和环保技术水平，推进航运业绿色低碳发展，交通运输部海事局组织制定了《国内航行海船法定检验技术规则（2022 年修改通报）》，主要包括锂离子动力电池在船应用、客滚船载运锂电池电动汽车要求、高速客船安全管理技术文件、船员舱室设置等效免除、船舶无障碍设施等相关要求。值得注意的是，规则并非一成不变，随着时间的推移和技术的发展，交通运输部海事局还会根据实际情况进行必要的勘误、修订和更新。

### 1.2.2 分舱与稳性、机电设备中对船舶使用锂离子蓄电池的附加要求

（1）本节中所述的锂离子蓄电池，仅适用于磷酸铁锂电池。

除本节另有规定外，船上使用的锂离子蓄电池应满足中国船级社《船舶应用电池动力规范》（2023）及 2024 修改通报中有关锂离子蓄电池船用技术要求和船舶布置的适用要求。

锂离子蓄电池组作为船舶主电源的组成部分时，可不必满足该规则第 4 篇第 2-1 章第 3 节 2-1.3.2 中主电源应至少由两台发电机组组成的要求。

（2）为主电源和推进动力分别设置锂离子蓄电池的船舶，锂离子蓄电池的容量应分别满足下列要求：

1) 主电源应至少设置两组独立蓄电池组，并能在任一蓄电池组失效时，剩余电源仍能继续对正常推进操作和安全所必需的设备供电，并应至少满足单程航

行需要（对于工程作业用船舶，剩余电源的容量还应考虑其工程作业时间的需求）。同时，最低舒适的居住条件也应得到保证，应至少包括为烹调、取暖、食品冷冻、机械通风、卫生和淡水等设备的供电。

2) 电力推进电源应至少设置两组独立蓄电池组，并能在任一蓄电池组失效时，剩余电源应至少满足单程航行需要（对于工程作业用船舶，剩余电源的容量还应考虑其工程作业时间的需求）。同时，推进配电板的汇流排应至少分成两个独立的分段，在任一分段失效时还能维持有效推进。

(3) 若仅由锂离子蓄电池组组成的公共电站作为主电源和电力推进电源，则应满足下列要求：

1) 公共电站应至少设置两组独立蓄电池组，并能在任一蓄电池组失效时，剩余电源仍能继续对电力推进、船舶和人员安全所必需的设备供电，并应至少满足单程航行需要（对于工程作业用船舶，剩余电源的容量还应考虑其工程作业时间的需求）。

2) 主汇流排应至少分成两个独立的分段，在任一分段失效时，剩余分段的蓄电池组应能向该规则第 4 篇第 2-1 章第 3 节 2-1.3.1.1 (1) 所述的所有设备供电，同时还应维持有效推进。

(4) 若由发电机组和锂离子蓄电池组共同组成的公共电站作为主电源和电力推进电源，则应满足下列要求：

1) 应能在任一台发电机组或任一组蓄电池组失效时，剩余电源仍能继续对电力推进、船舶和人员安全所必需的设备供电，并应至少满足单程航行需要（对于工程作业用船舶，剩余电源的容量还应考虑其工程作业时间的需求）。

2) 主汇流排应至少分成两个独立的分段，在任一分段失效时，剩余电源应能向该规则第 4 篇第 2-1 章第 3 节 2-1.3.1.1 (1) 所述的所有设备供电，同时还应维持有效推进。

(5) 若船舶使用直流配电电力推进系统，则还应满足中国船级社《船舶直流综合电力系统检验指南》（2023）的适用要求。

### 1.2.3 防火、探火与灭火中对船舶使用锂离子蓄电池的附加要求

#### (1) 一般要求

1) 船舶若按照该规则第 4 篇第 2-1 章第 3 节使用锂离子蓄电池，除应符合

本条规定外，还应符合该规则第 4 篇的相关规定。

2) 本附加要求所指 H 级耐火分隔，系具有与 A 级分隔同等的隔热性和耐火完整性，当按照《国际耐火试验程序应用规则》进行试验时，“标准时间-温度”温控曲线采用公认标准(如《耐火试验-可替代及附加程序》(BS EN 1363-2:1999)；或《确定大型碳氢化合物池火灾对结构构件及装配件的影响的试验方法》(ASTM 1529-14a)；或《建筑构件耐火试验》(ISO 834:1999))定义的碳氢化合物火灾温升曲线，具体试验程序和方法与 A 级分隔的相同。

#### (2) 布置与分隔

1) 锂离子蓄电池舱(室)的布置，应与起居处所相互远离，若确需相邻布置时，二者的共用限界面应尽可能减至最小，并采用满足第 4) 条所要求的隔热结构。

2) 锂离子蓄电池舱(室)内的蓄电池箱(柜)或蓄电池包，与舱壁及上方甲板之间应留有足够的空间以利于锂离子蓄电池通风散热，与舱壁的间距应不小于 150mm，距上方甲板应不小于 500mm，距离下方甲板应不小于 50mm。

3) 锂离子蓄电池箱(柜)、锂离子蓄电池包应牢固固定，并尽可能远离船舶舷侧及机器运动部件，与船体外板的距离应不小于 500mm，避免碰撞的影响。

4) 锂离子蓄电池舱(室)与相邻处所限界面的耐火完整性应达到 H-60 标准，限界面上的开口和贯穿应采取相应的措施确保限界面的耐火完整性。

(3) 锂离子蓄电池的托架应采用钢质材料制造。

#### (4) 通风系统

1) 锂离子蓄电池舱(室)如设有机械通风系统，则应满足下列要求：

① 锂离子蓄电池舱(室)通风系统应与服务于其他处所的通风系统相互独立；

② 锂离子蓄电池舱(室)的通风导管，不应通过起居处所、服务处所、控制站、机器处所、滚装处所、车辆处所、特种处所或其他蓄电池舱。起居处所、服务处所、控制站、机器处所、滚装处所、车辆处所、特种处所或其他蓄电池舱的通风导管，也不应通过蓄电池舱(室)。但上述导管满足下列要求者除外：

a. 导管为钢质，如其宽度或直径为 300mm 及以下，所用钢板厚度至少为 3mm；如其宽度或直径为 760mm 及以上，所用钢板厚度至少为 5mm；如导管宽度或直径在 300mm 和 760mm 之间，其所用钢板最小厚度按内插法求得；

b. 导管有适当的支承和加强；

c. 在导管穿过的所有处所内均隔热至 H-60 级标准。

③ 通风口应有防止水和火焰进入的措施，进风口应远离出风口；

④ 驾驶室应设有显示所要求的通风能力任何损失的装置，这可以通过设置一个报警装置来满足，此报警装置可由风机的启动继电器的断开来触发；

⑤ 蓄电池舱室的动力通风，应能从其服务处所外面易于到达的位置将其停止，该位置在其服务的处所失火时应不易被切断。

2) 锂离子蓄电池舱（室）应设有独立的应急排风和可燃气体探测装置。应急排风机应与舱室内设置的可燃气体探测装置联锁，当探测到舱室内可燃气体浓度大于其爆炸下限（体积分数）的 20% 时，应自动启动应急排风机，以便及时排出产生的可燃气体。从风机排出的气体应引至开敞甲板上的安全地点，并远离有人居住或含有热源的处所。应急排风量应根据评估确定，但不应小于 30 次/h 的换气次数。当探测到舱室内可燃气体浓度大于其爆炸下限（体积分数）的 20% 时，应在驾驶室发出听觉和视觉报警。风机应采用经认可的无火花型风机。当 1) 中所述的通风系统兼做应急排风时，应同时满足本条要求。

#### （5）探火和报警

1) 锂离子蓄电池舱（室）应设有符合该规则第 4 篇第 2-2 章第 1 节 2-2.1.12 规定的固定式探火和失火报警系统，探火系统探测器的选型应采取感烟探测器，或感温与感烟探测器组合的形式。

2) 锂离子蓄电池舱（室）内应设有手动报警按钮。

#### （6）灭火

1) 锂离子蓄电池舱（室），应设有下列固定式灭火系统之一：

① 符合该规则第 4 篇第 2-2 章第 1 节 2-2.1.4 规定的适用于机器处所和货泵舱的七氟丙烷灭火系统，其容量按该处所总容积的 9% 进行设计；

② 符合该规则第 4 篇第 2-2 章第 1 节 2-2.1.4 规定的二氧化碳灭火系统，其容量应按该处所总容积的 40% 进行设计；

③ 符合该规则第 4 篇第 2-2 章第 1 节 2-2.1.9 规定的适用于机器处所和货泵舱的压力水雾灭火系统，其出水率按  $5l/m^2 \cdot \min$  进行设计，喷嘴距锂离子蓄电池顶部的距离应不小于 0.5m。

2) 应按照如下要求配备手提式灭火器:

①应至少配备 4 具容量至少 5kg 的手提式七氟丙烷或二氧化碳灭火器, 其中应有 1 具设在该处所入口外附近处。

②对于甲板面积小于 4m<sup>2</sup>的锂离子蓄电池舱(室), 可用足够数量的手提式七氟丙烷或二氧化碳灭火器代替 1) 中所述的固定式灭火系统。在蓄电池舱舱壁上应设有喷放孔, 便于人员使用灭火器对内释放灭火剂。所要求的手提式灭火器应存放在距喷放孔 2m 之内。

③布置在开敞甲板上或其他处所内的锂离子蓄电池箱(柜), 应在其附近至少设置 4 具容量至少 5kg 的手提式七氟丙烷或二氧化碳灭火器。在电池箱(柜)上应设有喷放孔, 便于人员使用灭火器对内释放灭火剂。

(7) 出入口

1) 锂离子蓄电池舱(室)的门应气密且应向逃生方向开启。

2) 锂离子蓄电池舱(室)的门应自闭, 除非直接通向开敞甲板。

### 1.3 电池动力船舶相关检验技术规则(待发布)

请结合交通运输部海事局正式发布的相关技术文件学习。

## 2. 电池动力船舶法定证书、文书

船舶投入营运前必须根据船舶种类、吨位、航区等要素配备相应的法定证书、文书, 并在营运中保持船舶证书有效, 船舶文书记载规范。

### 2.1 内河船舶持有的法定证书、文书

根据不同适用情况, 内河船舶持有的法定证书、文书包括但不限于船舶国籍证书、内河船舶安全与环保证书、船舶操作手册、船舶维修及保养手册、培训手册、安全管理证书或临时安全管理证书、船舶最低安全配员证书、船舶营运证件、航海或者航行日志等。

### 2.2 国内航行海船持有的法定证书、文书

根据不同适用情况, 国内航行海船持有的法定证书、文书包括但不限于船舶国籍证书、国内航行海船安全与环保证书、符合证明或临时符合证明、安全管理证书或临时安全管理证书、船舶最低安全配员证书、船舶制式无线电台执照、水上移动通信业务标识码证书、航海日志、轮机日志、车钟记录簿等, 具体详见《中



华人民共和国海事局关于发布海船应持证书、文书清单的公告》。

## 2.3 电池动力船舶持有的特定证书、文书

电池动力船舶除了要配备和常规动力船舶一样的法定证书、文书，还需要持有一些特殊的证书、文书，如型式认可证书、检测报告及操作说明资料等。

### 2.3.1 型式认可证书

船舶配备的直流母排、电池装置、七氟丙烷灭火系统等设备需经型式认可和产品检验。

#### (1) 动力系统设备和动力电池组的产品证书

动力系统设备和动力电池组的产品证书。动力系统设备和动力电池组应持有船检机构颁发的符合规范要求的相应证书，包括直流主配电板产品证书、超级电容系统或船用磷酸铁锂电池产品证书等。

#### (2) 七氟丙烷灭火系统产品证书。

### 2.3.2 检测报告

电池船舶上的高压七氟丙烷灭火系统所有钢瓶每次中间检验时应进行称重检查（或液面测量）和管路吹通试验，并获得相应的检测报告。

### 2.3.3 操作说明资料

船上应备有经船检机构审查批准的直流配电系统操作说明和应急操作说明等说明材料，以便主管船员可以及时采取措施。

(1) 电池动力系统直流配电系统操作手册。直流配电系统的电池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) 直流配电系统安全评估。直流配电系统应有安全评估报告，报告包含如下内容：

- 1) 列出所有正常及可能发生的事故（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。

(3) 直流配电系统的功能说明。直流配系统功能说明资料，应包含如下内容：

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) 直流配电系统的试验报告。直流配电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。同型直流配电系统应用在后续其他船舶时，无需再次试验，仅提供具有同型直流配电系统的首制船试验报告即可。

(5) 电池系统的应急操作说明。应急操作说明应包括发生外部火灾和电池系统内部发生热失控时的处理程序。

(6) 电池系统的维护（包括检查）和功能测试说明。电池系统使用维护说明包含专业人员（一般是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，制定维护周期记录表并保持更新，或有远程数据记录的场合，保存 60 天或以上的电池状况记录。

(7) 直流综合电力系统故障模式和影响分析（FMEA）报告。

(8) 电池系统的安全性说明。安全性说明是否包含所有潜在的危害分析，至少包括以下内容：

- 1) 可能产生的泄漏（有毒、易燃、腐蚀等）；
- 2) 可能产生的气体（有毒、易燃、腐蚀等）；
- 3) 火灾危险性；
- 4) 爆炸危险性，包括电池在通风和热失控时释放气体的说明；
- 5) 动力电池舱/动力电池箱（柜）的气体探测及报警系统；
- 6) 动力电池舱的火灾探测及报警系统；
- 7) 动力电池舱的通风速率；
- 8) 推荐的灭火方式；
- 9) 电池内部故障/热失控；
- 10) 电池内部及外部短路；
- 11) 过流、过压及欠压保护；
- 12) 外部热源/火灾；
- 13) 安全的充/放电特性；
- 14) 减轻风险的安全预防措施。

(9) 电磁兼容分析和设计报告。

(10) 要求进行的固态开关定期校核记录。

电池动力船舶应持有的法定证书、文书还包括船舶安全与环保证书、动力支承船舶构造和设备证书、入级检验证书或技术文件等。

#### 2.3.4 常见缺陷及处理

常见缺陷及处理如表 2-3-1 所示。

**表 2-3-1 常见缺陷及处理**

缺陷代码	缺陷描述	建议行动代码
0180	无固定高压七氟丙烷灭火系统的称重/管路吹通报告	17（开航前纠正）
0180	七氟丙烷灭火系统定期检验检测报告未在船保存	17（开航前纠正）
0180	电池（动力）船舶直流母排操作说明未在船保存	17（开航前纠正）

0180	动力电池直流母排系统资料未在船保存	17（开航前纠正）
0180	电池动力系统设备/动力电池组未持有船检机构颁发的型式认可证书和产品合格证书	30（禁止离港）

CHINA MSA

## 模块三：火警与消防

### 1.火警探头以及火警报警系统

#### 1.1 火警探头的种类及工作原理

火灾自动报警系统的探头主要包括感烟探测器、感温探测器、感光探测器、可燃气体探测器和复合探测器五种基本类型，触发条件各不相同，具体如下：

##### (1) 感烟探测器

如图 3.1.1 所示。主要响应烟雾颗粒，通过检测烟雾阻挡光线或利用光电效应原理来触发报警。当烟雾浓度达到预设值时，探测器会发出报警信号。适用于早期火灾的探测，是火灾自动报警系统中使用最广泛的探测器之一。



图 3.1.1 感烟探测器

##### (2) 感温探测器

如图 3.1.2 所示。响应异常温度（通常大于  $60^{\circ}\text{C}$ ）、温升速率和温差变化（如 1 分钟内迅速上升达到预设的温差阈值  $20^{\circ}\text{C}$ ）等，通过检测环境温度的变化来触发报警。适用于控制室、变压器室等需要监控温度变化的场所。



图 3.1.2 感温探测器

### (3) 感光探测器（火焰探测器）

如图 3.1.3 所示。探测火焰发出的特定波段电磁辐射，可分为紫外、红外等类型，当红外探测器感应到环境中的红外辐射强度超过预设值或紫外探测器接收到特定波长的紫外光时，会触发报警，适用于快速燃烧或高温火灾的探测。



图 3.1.3 感光探测器

### (4) 可燃气体探测器

如图 3.1.4 所示。用于检测特定气体的浓度，如一氧化碳、天然气等，当探测器检测到可燃气体的浓度超过预设的阈值时，会触发报警。这种探测器对于预防因可燃气体泄漏而引发的火灾具有重要作用，适用于可能存在易燃气体的环境，如厨房、电池舱等。



图 3.1.4 可燃气体探测器

### (5) 复合探测器

结合了感烟、感温和感光等多种探测技术的探测器，能够提高火灾探测的准确性和可靠性，适用于需要高度安全保障的场所。图 3.1.5 为感烟感温复合式探测器，可以同时感应温度和烟雾浓度的变化。



图 3.1.5 烟温复合式探测器

这些探测器的设计和安装应根据具体的环境和火灾风险进行选择，以确保在火灾发生时能够及时准确地发出警报，从而最大限度地减少财产损失和人员伤亡。

## 1.2 火警监控系统的组成及一般操作

火警监控系统是一套集火灾探测、报警、联动控制和监控功能于一体的系统，实现对船舶内部气体、烟雾浓度、温度、火焰等参数的实时监测，并在发现异常情况时及时发出报警信号，提醒船员采取应对措施。可以实现对船舶火灾的早期监测、报警和应急响应，以最大限度地减少火灾带来的损失。在客、货船的起居处所、服务处所、控制站等处所，A类机器处所（A类机器处所是指装有主机、辅机、锅炉、惰性气体发生装置的地方和通道）应设置固定式火灾探测报警系统。

### 1.2.1 火警监控系统的组成

火警监控系统主要由火灾探测器、火灾报警控制器、手动火灾报警按钮、报警装置等设备组成，如图 3.1.6 所示。

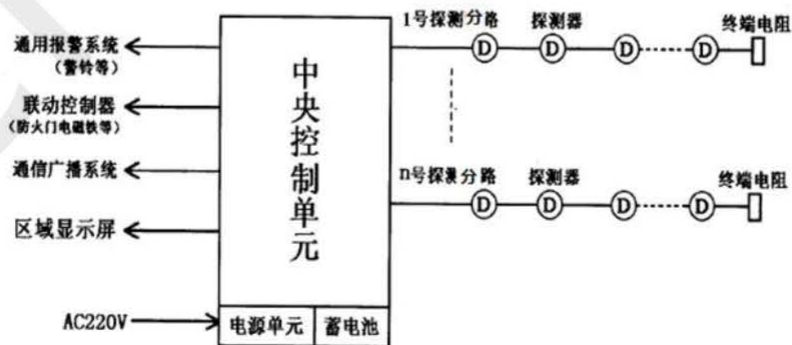


图 3.1.6 火灾探测报警系统基本组成

#### (1) 火灾探测器

用于检测环境中的火灾迹象。

#### (2) 火灾报警控制器

一般安装在驾驶台或消防控制站内，主要作用是接受火灾探测器从现场发送来的火灾信号，经过处理、运算和判断后给出声、光火灾报警信号，并显示出火警的部位。在船上应用的报警控制器有 PLC 控制、微机控制、逻辑电路以及继电器接触器控制等类型。

#### (3) 报警装置

在检测到火灾后，报警装置会发出声音、光或电信号等信号，以通知人员进行处理。

#### (4) 联动装置

联动装置一般安装在消防控制站内，连接报警控制器送来的火灾信号，当火灾报警控制器确认火灾后，联动装置会向有关消防设备（如消防泵、喷水灭火系统、防火门、风机、油泵等）发出控制命令，以控制火势或扑灭火源。

#### (5) 电源和备用电源

系统通常配备有可靠的电源供应，并在停电等意外情况下，通过备用电源保证系统继续工作。

#### (6) 通讯设备

火警监控系统通常还配备有通讯设备，这些通讯设备包括火警电话、消防应急广播等。

#### (7) 手动报警按钮

手动报警按钮通过电路与驾驶台或火警控制站相连，通常安装在船舶的重要舱室以及出入通道、走廊、公共处所或关键位置。在探测器未能及时响应的情况下，船员可以手动触发按钮使报警器动作向全船报警，并能显示火警部位。

### 1.2.2 火警监控系统的操作与管理

#### (1) 启动前检查

确认控制器及报警装置处于良好状态，所有探测器安装牢固，无遮挡。

#### (2) 启动系统

打开主电源开关，系统自动进行自检，自检完成后，系统进入待机状态。

#### (3) 火警响应



一旦探测器检测到火灾迹象，报警控制器将自动接收信号并进行火灾判断。若判断为火灾，系统将立即触发声光报警器，同时在控制面板上显示火灾位置信息。同时，通过通讯接口向船舶自动灭火系统发送指令，启动相应灭火装置（自动控制状态）。

#### （4）记录信息

系统会自动记录火灾发生的时间、地点等信息，以供后续调查和分析使用。

#### （5）故障处理:

1) 若系统发出故障报警，应立即查看故障信息，并根据手册或厂家指导进行排查处理。

2) 无法自行解决的故障，应及时联系厂家或专业维修人员。

#### （6）日常维护

1) 定期清理探测器表面的灰尘和污垢，保持其灵敏度。

2) 定期检查验证备用电源性能，确保在主电源失效时能提供足够的电力支持。

3) 定期(如每周)手动测试各探测器及报警装置的功能是否正常。

4) 定期(建议每周至少一次)进行系统自检，确保探测器灵敏度和系统应速度记录每次自检结果，及时处理发现的问题。

5) 根据厂家通知，及时对系统软件进行升级，以获取最新的功能和安全补丁。

#### （7）安全注意事项

1) 在进行任何维护或检修工作前，务必关闭系统电源，避免触电风险。

2) 严格遵守船舶消防安全规定，未经授权不得随意改动系统配置。

3) 定期对船员进行火警监控系统操作培训，提高应急响应能力。

### 1.2.3 火警监控系统的维护管理

（1）定期清理探测器表面的灰尘和污垢，保持其灵敏度。

（2）定期检查验证备用电源性能，确保在主电源失效时能提供足够的电力支持。

（3）定期（如每周）手动测试各探测器及报警装置的功能是否正常。

（4）定期（建议每周至少一次）进行系统自检，确保探测器灵敏度和系统

响应速度。记录每次自检结果，及时处理发现的问题。

(5) 根据厂家通知，及时对系统软件进行升级，以获取最新的功能和安全补丁。

## 2.火警探头以及火警报警系统实操训练

### 2.1 火警探头的种类

#### 1.设施设备要求

- (1) 感温探测器 5 只，其中至少 2 只可用于功能测试发出警报。
- (2) 感烟探测器 5 只，其中至少 2 只可用于功能测试发出警报。
- (3) 可燃气体探测器 5 只。

#### 2.实操内容

学员分为 20 人一组，每组配备一名教员指导。在教员指导下，通过观察实操现场配备的探测器外形，识别感温、感烟、可燃气体探测器。

### 2.2 火警探头的功能试验（消防烟枪的使用）

#### 2.2.1 消防烟枪

消防烟枪是用于测试火警探头功能的专用工具，如图 3.2.1 所示，通常由手持部分、电源部分和烟雾发生部分组成。烟雾发生部分使用特制的电子雾化技术，将液体烟雾转化为微小的颗粒，以模拟真实的火灾烟雾。电源部分提供电能，用于加热和产生烟雾。



图 3.2.1 消防烟枪

#### 2.2.2 操作说明



**01**  
**充电**

将专用电源充电器插入充电口中，  
观察充电器指示灯：  
红灯-充电状态  
绿灯-满电状态

**02**  
**吸取雾香液**

用注入器吸取5-6ml液体。




**03**  
**拆卸密封螺丝**

按逆时针方向旋转取出螺丝，反  
之密封。

**04**  
**注入雾香液**

将注入器插入枪头注液口内，按  
压注入5-6ml即可。




**05**  
**液位观察**

观察液位室内液体的高度。

## 06 连接

1. 环锁式卡扣连接杆顶部缩口部分向上插入连接杆。
2. 卡点卡入后，向上旋拧红色环锁，直至两支连接杆完全贴合无间隙即可。

向上插入连接杆顶部缩口部分

向上旋拧红色环锁至两杆之间完全贴合无间隙

## 07 功能开关

烟温

电源开关

上 高位—感烟  
低位—感温

下 高位—关机  
低位—开机

## 08 双色灯模式

温感测试 — 红色指示灯  
烟感检测 — 蓝色指示灯



### 2.2.3 检测试验技巧

使用前观察液位窗液体容量，当液位窗内无液体时，注入5~6ml雾香液即可。加烟试验时对一般的火灾探测器只需加烟3~5秒钟即可，等待主机巡检后即可报警，用户可根据实际检测经验掌握加烟时间，尽可能缩短加烟时间，以节省雾香液和电池的消耗。

### 2.2.4 注意事项

- (1) 枪头杆处设有电源按钮，烟温功能转换按钮。使用前请按压电源开关，指示灯亮起为电源开启状态；使用结束后请及时关闭电源，避免枪头在箱内自动工作造成安全隐患。
- (2) 充电器红灯亮表示充电状态，绿灯亮表示电池充满。
- (3) 试验器长期闲置，保持每周进行一次充电，延长电池使用寿命。

(4) 枪头为阳极化航空铝设计，使用时请注意与带电体保持一定距离。

(5) 测试烟感探测器时，建议测试时间 3~5 秒，等待主机巡检结束后即可报警。

(6) 使用前注入 5ml~6ml 雾香液即可。

### 3. 电池动力船舶的防火与探火

针对电池动力船舶锂离子电池储能系统面临的电池热失控燃烧与爆炸安全问题，根据船舶锂离子电池箱的特点，应对船舶电池箱内的锂离子电池、电芯热失控进行早期预警，实现快速有效的探测和预警。

#### 3.1 动力电池舱耐热和结构性分隔

##### 3.1.1 耐热和结构性分隔的要求

电池动力船舶的动力电池舱隔热和结构性分隔是为了防止相邻舱室的发热量传入电池舱内，使舱内温度超过电池工作安全范围。具体措施如下：

(1) 蓄电池舱与其相邻处所之间的舱壁和甲板应为“A-60”级分隔的结构，但与空舱、卫生间及类似处所等极少或无失火危险的处所或开敞处所（货物处所和滚装处所除外）相邻时，上述分隔可为“A-0”级。A-60 舱壁如图 3.3.1 所示。

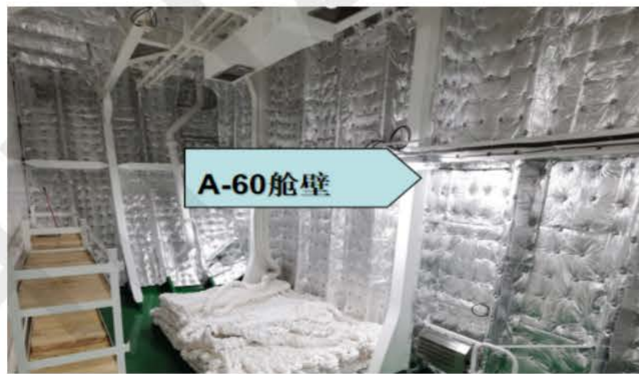


图 3.3.1 A-60 舱壁

(2) 对于船长 20m 及以上的客船，蓄电池舱与外部脱险通道之间的舱壁和甲板应为“A-60”级分隔的结构。对于船长 20m 以下的客船，此类舱壁和甲板应为“A-0”级分隔的结构。(1) 和 (2) 的要求不适用于纤维增强塑料船。

(3) 蓄电池舱与燃油或滑油舱柜之间应进行隔离，两者之间不应具有共同界面。所载燃料闪点小于 60℃ 的燃料舱，当与蓄电池舱之间采用隔离空舱进行隔离时，间隔至少为 900mm。

(4) 蓄电池舱的限界面上不应设置窗和舷窗。

(5) 对于纤维增强塑料船，其船体、上层建筑、结构舱壁、甲板、甲板室和立柱应以具有足够结构性能的不燃材料或阻燃材料建造。阻燃材料应按照《国际耐火试验程序规则》附件 1 第 10 部分通过试验予以确定。无失火危险处所内和开敞处所不适用本条。就本条而言，无失火危险处所指无着火源或含有少量可燃材料（可燃船体结构除外）的处所，如空舱、卫生间等；开敞处所不包括开敞货物处所和滚装货物甲板。

蓄电池舱应采用阻燃分隔进行围闭，其限界面应按照《国际耐火试验程序规则》附件 1 第 11 部分的要求进行试验，并至少具有 60 分钟的结构防火时间，还应具有承载能力，经试验确认能在该时间内不致使船体和上层建筑发生坍塌。位于轻载水线以下与水接触的结构可不作要求，但应考虑到从与水接触的无隔热结构向水面以上有隔热结构的热传递的影响。

### 3.1.2 船员维护保养要点

- (1) 检查船舶实际布设与防火控制图是否一致；
- (2) 检查动力电池舱与相邻处所的限界面隔热材料完整性，有无破损或存在未铺设区域；
- (3) 检查电缆导管、消防管路等穿过电池舱的舱壁和甲板后，是否采取有效措施保证舱壁或甲板分隔的耐火完整性。

## 3.2 通风和散热系统

由于电池动力船舶的动力电池集中布设在动力电池舱内，船舶在运行过程中电池将散发大量的热量。根据锂电池电化学特性和产生机理，当电池工作在过高或过低温度时会导致热失控和热散逸，会对电池的使用寿命造成不可逆影响。为防止热量聚集，不同于普通船舶电池间往往采用自然通风的方式，电池动力船舶电池舱采用动力通风方式。动力通风系统可有效调节动力电池工作环境温度，防止电池舱动力内易燃或有毒气体聚集，确保动力电池安全工作。动力电池舱通风系统一般采用钢质或其他等效材料制造，并确保电池舱的所有空间都能得到有效的通风，一旦发生火灾，还应具备快速的隔离通风的功能。

### 3.2.1 动力电池舱动力通风系统要求

- (1) 通风导管应采用钢或其他等效材料制成；
- (2) 通风系统的布置应使蓄电池舱的所有空间均能得到有效通风；

(3) 每一蓄电池舱的通风系统应独立，并与其他舱室通风系统完全分开；

(4) 对于船长 20m 及以上的船舶，蓄电池舱的通风导管不得穿过起居处所、服务处所、控制站、机器处所、滚装处所、车辆处所、特种处所或其他蓄电池舱。如满足第(6)条的要求，则蓄电池舱的通风导管可穿过起居处所、服务处所（厨房除外）、控制站、机器处所或其他蓄电池舱；

(5) 对于船长 20m 及以上的船舶，起居处所、服务处所、控制站、机器处所、滚装处所、车辆处所或特种处所的通风导管不得穿过蓄电池舱。如满足第(6)条的要求，则起居处所、服务处所（厨房除外）、控制站或机器处所的通风导管可穿过蓄电池舱；

(6) 上述(4)和(5)准许的导管应：

1) 导管为钢质，如其宽度或直径为 300mm 及以下，所用钢板厚度至少为 3mm；如其宽度或直径为 760mm 及以上，所用钢板厚度至少为 5mm；如其宽度或直径在 300mm 和 760mm 之间，所用钢板厚度按内插法求得；

2) 导管有适当的支承和加强；

3) 在靠近导管穿过的限界面处设有自动挡火闸；和

4) 从其服务处所的边界到每个挡火闸以外至少 5m 范围内隔热至“A-60”级标准；

或

5) 导管为钢质，如其宽度或直径为 300mm 及以下，所用钢板厚度至少为 3mm；如其宽度或直径为 760mm 及以上，所用钢板厚度至少为 5mm；如其宽度或直径在 300mm 和 760mm 之间，所用钢板厚度按内插法求得；

6) 导管有适当的支承和加强；

7) 在其穿过的所有处所均按“A-60”级标准隔热，但穿过空舱、卫生间及类似处所等极少或无失火危险的处所的导管除外。

(7) 通风口应有防止水和火焰进入的措施，进风口应远离出风口；

(8) 驾驶室应设有显示所要求的通风能力任何损失的装置；

(9) 至少应设有两个能切断风机的控制装置，其中之一应位于所服务处所外面易于到达的位置且不被其服务处所的火灾所隔断。

### 3.2.2 蓄电池舱应急排气系统要求



(1) 应急排气系统应与可燃气体探测系统联动，当探测到蓄电池舱、蓄电池箱（柜）或箱式电源蓄电池所在处所内可燃气体浓度大于其爆炸下限（体积分数）的 20%时，应自动启动应急排气系统；

(2) 从风机排出的气体应引至开敞甲板上的安全地点，并远离有人居住或含有热源的处所。应急排气口与其他处所的开口或进风口的水平距离应至少为 3m，对于船长小于 20m 的船舶，该距离可调整为 1.5m；

(3) 应急排气量应按该处所或箱（柜）换气次数不小于 30 次/h 进行计算。应急排气机应采用不会产生火花的型式；

(4) 应急排气管应由钢或其他等效材料制造，管路贯穿的细节应满足前文 3.2.1 通风系统的相关要求；

(5) 应设有两个能切断风机的控制装置，其中之一应位于所服务处所外面易于到达的位置，且不被其服务处所的火灾所隔断，另一个应设在驾驶室或有人值班的处所；

(6) 应急排气系统应由主电源和应急电源两路电源供电，两路电源应能自动转换；

(7) 当蓄电池舱应急排气系统由前文 3.2.1 所述的通风系统兼用时，该通风系统应同时符合本条要求。

供排气通风用的所有开口，应能在所在处所失火时在处所外部予以关闭。

### 3.2.3 船员维护保养要点

(1) 检查电池舱通风口布置有防火网和关闭装置状况是否良好，通风系统关闭装置正常营运状态下应始终处于开启位置，确保对电池舱的有效通风；

(2) 检查应急排气风机是否有不会产生火花的型式标识（如 EX 防爆型）；

(3) 检查驾驶室设置的通风机发生故障报警装置或指示装置是否正常；

(4) 检查/测试风机应急切断按钮是否可以快速关闭电池舱风机；

(5) 检查/测试应急排风系统与可燃气体探测装置联锁功能是否正常；

(6) 检查钢质通风管道是否存在锈蚀、洞穿等情况。

## 3.3 探火和报警

### 3.3.1 探火和报警系统的作用与要求

电池动力船舶的电池舱是船舶安全运营的动力心脏，因此对于电池舱在防火

要求上的安全防护与普通船舶 A 类机器处所的防护同样严格。为更快、更准地探测到动力电池舱中的火灾险情，电池动力船舶同普通船舶一样通过安装固定式探火和失火报警系统进行火灾探测。

通常动力电池舱中的探火系统应安装火灾自动探测器，但海船及以下类型内河船舶还应安装手动火灾报警装置：

- (1) 旅游船、客滚船和船长大于等于 30 米的其他客船；
- (2) 滚装货船及总吨大于等于 2000 的其他货船；
- (3) 总吨大于等于 1000 的油船；
- (4) 主机功率大于等于 735kW 的自航工程船和推（拖）船。

探火和失火报警系统可以帮助船员尽早地发现火情，起到及时探测、快速报警、减少火灾的损失的作用。探火及报警系统的有效维护及运行可及时探测着火源处的火灾，并发出安全离开和灭火行动警报，这对于电池动力船舶的安全运营起着十分重要的作用。对探火和报警系统的要求主要有：

(1) 蓄电池舱应安装固定式探火和失火报警系统。该类探火系统的设计和探测器的安装，应在蓄电池舱的任何部位以及在电池工作的正常状况和环境温度范围内所需的通风变化下，当开始发生火灾时能迅速地探出火灾征兆。蓄电池舱内不应仅设置感温探测器。火灾探测器应适用于电池热失控所释放可燃气体与空气混合形成的爆炸性气体环境。

(2) 蓄电池舱的固定式探火和失火报警系统应能远程逐一识别每一探测器。当系统不具备识别单个探测器的功能时，每个探测器应设置成独立的环路。

(3) 固定式探火和失火报警系统应由主电源和应急电源两路供电，两路电源应能自动转换。

### 3.3.2 检查要点

(1) 检查动力电池舱是否安装固定式探火和失火报警系统。探火系统的设计和探测器的安装，应在动力电池舱的任何部位以及在电池工作的正常状况和环境温度范围内所需的通风变化下，当开始发生火灾时能迅速地探出火灾征兆并进行报警；

(2) 检查固定式探火和失火报警系统是否由主电源和应急电源两路供电，两路电源能否自动转换；

- (3) 检查火灾探测器是否为感烟探测器，或感温与感烟探测器组合的形式；
- (4) 检查火灾探测器的安装位置是否使其性能受舱壁、通风口等的影响，探测器的探测范围是否有效覆盖电池舱；
- (5) 检查根据前述要求需在动力电池舱（室）内设置手动火灾报警装置的船舶是否按要求设置；
- (6) 检查探火和失火报警系统的报警功能是否正常，对于海上客船的固定式探火和失火报警系统应具备远程逐一识别电池舱的每一探测器及手动报警装置的功能，对于海上货船至少应表明已经动作的探测器或手动报警按钮所在的区域；
- (7) 检查船舶是否配有专用的探火系统测试工具；
- (8) 检查船员是否按照维护保养周期对探火和失火报警系统进行周期性检查并开展维护保养工作。

### 3.3.3 船员维护保养要点

- (1) 检查测试动力电池舱内探火系统是否处于良好的工作状态，船员可以通过系统自检或通过专用工具测试电池舱内探测器是否可以触发火警报警信号；
- (2) 检查测试报警系统区域识别功能是否正常，船员可以通过测试电池舱内探测器或手动报警按钮来查看每一独立的电池舱是否可以在报警面板提供单独的报警指示；
- (3) 日常船舶运营中探火系统产生的报警信号应及时消除，对于因维护保养需要对探火系统的区域隔离，在维护保养结束后应立刻复位，确保探火系统的有效运行；
- (4) 船员应按要求对系统进行周期性检查及开展维护保养工作。在日常电池舱巡检中应注意探火系统设备外观、工作指示状态是否正常的检查；
- (5) 核查船舶配备的专用测试工具是否充足、有效；
- (6) 船员日常应根据规则及企业制度要求加强电池动力舱火灾险情应急操作，熟练掌握探火和失火报警的系统的信息甄别，能够做到熟悉警报显示位置与船上实际位置的相互对应，确保在发现险情时能第一时间启动应对锂电池火灾险情的应急预案，迅速到达现场，确保电池动力船舶运行安全。

## 3.4 灭火系统

### 3.4.1 一般要求

(1) 对需设至少两股消防水柱的船舶，消火栓的数目和布置应确保至少能有两股不是由同一消火栓射出的水柱到达蓄电池舱或开敞甲板上的蓄电池箱（柜）的任何部位，其中一股仅用一根消防水带即可。对仅需设一股消防水柱的船舶，消火栓的数目和布置应确保有一股水柱到达蓄电池舱或开敞甲板上的蓄电池箱（柜）的任何部位。上述保护范围内的水枪应采用水柱/水雾两用型。应有措施保证当任一蓄电池舱或蓄电池箱（柜）失火时消防泵仍能正常工作。消火栓应设在船上适当位置，避免蓄电池舱或蓄电池箱（柜）的失火导致船员无法接近。应充分考虑应对蓄电池火灾所产生的大量水的排放，而不至于影响船舶稳性。

(2) 对于未设置水灭火系统的船舶，应在蓄电池舱或开敞甲板上蓄电池箱（柜）附近至少备有 2 只带适当长度绳子的消防水桶，船上已配备消防水桶的除外。

### 3.4.2 蓄电池舱固定式灭火系统

(1) 除能量型超级电容器处所外，甲板面积大于等于  $4\text{m}^2$  的蓄电池舱应设置下列固定式灭火系统之一进行保护：

1) 七氟丙烷灭火系统，其灭火设计浓度应至少为 9%。该系统尚应配备与所需灭火剂同等数量的备用灭火剂、气瓶和相关管路附件（释放阀及之后的管路及附件可共用），以便随时可用。如电池包内设有下文 3.4.3 中所规定的装置，则可不配备备用灭火剂；

2) 二氧化碳灭火系统，其灭火剂数量应按该处所总容积的至少 40% 进行设计。该系统尚应配备与所需灭火剂同等数量的备用灭火剂、气瓶和相关管路附件（释放阀及之后的管路及附件可共用），以便随时可用。如电池包内设有下文 3.4.3 中所规定的装置，则可不配备备用灭火剂。

(2) 甲板面积小于  $4\text{m}^2$  的蓄电池舱应设置固定式灭火系统进行保护。该系统应满足下列要求：

1) 固定式灭火系统的部件应可靠地紧固于船体结构上，以承受正常运行时的运动、冲击和振动。气瓶、管路和阀件应集中布置在专用的箱柜中。该箱柜应位于干舷甲板以上的开敞位置，箱柜的门应便于及时开启。箱柜内应有足够的照明，除了主照明以外，还应有应急照明；

2) 释放装置应为可见或其部位应有可见的标记, 并应标明受其保护的处所。释放装置应在受其保护的处所失火时易于到达处进行施放。在施放装置附近应设有该系统的操作说明;

3) 如受保护处所的空间足以容纳人员(工作或其他活动), 则在释放灭火介质前, 应先关闭所有受保护处所的开口, 并确认受保护处所的人员已全部撤离, 同时发出视觉和听觉报警信号, 确保能在受保护处所内都能听见;

4) 灭火剂的类型及数量应满足(1)中所述的要求, 但所需灭火剂和备用灭火剂可储存在同一气瓶内。如电池包内设有下文 3.4.3 中所规定的装置, 则可不配备备用灭火剂。

(3) 能量型超级电容器处所应设置固定式二氧化碳灭火系统或七氟丙烷灭火系统进行保护, 所需的灭火剂数量应分别按该处所总容积的至少 40%或按灭火设计浓度至少 9%进行设计。

#### 3.4.3 蓄电池包火灾防控装置

(1) 蓄电池包如设有专用的火灾防控装置, 该装置应能对可能引发火灾的危险源征兆进行探测, 并发出报警, 自动和/或手动启动喷放灭火介质。此类装置的设计、制造和试验应满足公认的国际标准或国家标准的要求或经中国船级社同意。

(2) 蓄电池包火灾防控装置应至少满足下列要求:

1) 应与所使用的电池化学特性相符;

2) 如采用气体灭火剂, 当所保护的蓄电池包数量大于 8 个时, 应将这些蓄电池包划分为不同的分区进行控制, 每一分区所保护的蓄电池包不应超过 8 个, 每个装置所保护的蓄电池包总数不应超过 40 个;

3) 采用手动释放时, 应能在所保护的舱室外且人员便于达到的位置进行操作, 并有防止误操作的措施。

#### 3.4.4 手提式灭火器

(1) 对于甲板面积大于等于  $4\text{m}^2$  的蓄电池舱, 应至少配备 4 具容量至少 5kg 的手提式气体灭火器(如七氟丙烷、二氧化碳), 其中应有 1 具设在该处所入口外附近处。甲板面积小于  $4\text{m}^2$  的蓄电池舱外易于到达的位置, 应至少设置 2 具容量至少 5kg 的手提式气体灭火器。

(2) 布置在开敞甲板上或其他处所内的蓄电池箱（柜），应在其附近至少设置 4 具容量至少 5kg 的手提式气体灭火器。对于船长小于 20m 的船舶，可设置 2 具。

### 3.5 脱险通道

船舶脱险通道是指在发生紧急险情时，提供人员脱险的通道，从而使船上人员能够安全迅速地从所在处所撤向安全处所。对于电池动力船舶，蓄电池舱出入口和通道应满足以下几点功能要求：

(1) 蓄电池舱的门应保持关闭，当开启时应在有人值班的处所发出报警，或采用自闭门，该门应为向外开启。

(2) 对于人员可进入的蓄电池舱，其脱险通道的设置应符合主管机关对非 A 类机器处所（海船）或其他机器处所（内河船）脱险通道设置的相关规定。

(3) 对于人员可进入的蓄电池舱，当采用梯道用作脱险通道时，应为钢质材料且倾斜角不应大于  $65^{\circ}$ ，出入口及梯道净宽度应至少为 600mm。对于净空高 2m 以下的蓄电池舱可采用直梯（直梯应满足相关国家或行业标准，如 GB 3892、CB/T 73-1999 等）。

## 4. 电池动力船舶的防火与探火实操训练

### 4.1 固定灭火系统和移动灭火装置操作

船舶固定灭火系统是指设备安装在某一固定场所，然后用管系接到各舱室的灭火设备。常见的固定灭火系统有七氟丙烷灭火系统、水灭火系统、自动喷水器探火和失火报警系统、二氧化碳灭火系统、泡沫灭火系统、干粉灭火系统、惰性气体系统等。移动式灭火设备主要包括便携式泡沫发生器、推车式灭火器以及各种手提式灭火器。

目前，电池动力船舶普遍配备的固定灭火系统有水灭火系统、七氟丙烷灭火系统或二氧化碳灭火系统，部分还配有细水雾灭火系统。移动灭火装置要求必须配备手提式七氟丙烷灭火器。

#### 4.1.1 七氟丙烷固定灭火装置

七氟丙烷是一种以化学灭火为主，兼有物理灭火作用的洁净气体化学灭火剂，不污染被保护对象，不会对财物和精密设施造成损坏。七氟丙烷能以较低的

灭火浓度可靠地扑灭 B 类火灾（可燃液体火灾）、C 类火灾（可燃气体火灾）及 E 类火灾（电气火灾）；储存空间小，临界温度高，临界压力低，在常温下可液化储存；释放后不含粒子或油状残余物，对大气臭氧层无破坏作用（ODP 值为零），在大气层停留时间为 31~42 年，符合环保要求。

与常规船舶使用二氧化碳作为固定灭火系统介质所不同的是，电池动力船舶往往使用七氟丙烷作为固定灭火系统的灭火介质，这是因为七氟丙烷作为一种高效、环保、无味、低毒的灭火剂，可以提高锂离子电池热失控的初始放热温度，缩短起始放热时间，提高锂离子电池的相对安全性，在锂离子电池火灾中表现出了独特的优势。

#### （1）系统组成

七氟丙烷固定灭火系统，如图 3.4.1 所示，由灭火剂储存装置、主控报警箱、遥控释放站、气控释放阀（选择阀）或快开阀（手动阀）、信号反馈装置、分配管系及喷嘴等组成。



图 3.4.1 七氟丙烷固定灭火系统

1) 灭火剂储存装置，如图 3.4.2 所示，包括七氟丙烷储瓶和瓶阀，用于储存七氟丙烷灭火剂。



图 3.4.2 灭火剂储存装置      图 3.4.3 主控报警箱

2) 主控报警箱, 如图 3.4.3 所示, 其操作面板上提供启动按钮、预报警信号、施放信号、泄漏信号及失电信号。

3) 遥控施放站, 如图 3.4.4 所示, 由箱体、控制气瓶、延时装置、压力表等组成, 用于遥控施放七氟丙烷灭火剂。



图 3.4.4 遥控施放站



图 3.4.5 电磁阀

## (2) 七氟丙烷固定灭火系统的释放操作

七氟丙烷灭火系统的释放操作有 3 种方式: 电动、手动和应急释放。

### 1) 电动释放流程

①按下失火舱室释放按钮;

②触发释放预报警, 电池舱内的防爆声光报警器响起, 人员撤离;

③如图 3.4.5 所示电磁阀动作, 打开 1#气瓶阀门及相应管路施放阀;

④延时 20~40 秒后, 电磁阀动作, 打开 2#气瓶阀门;

⑤自动打开主气瓶的瓶头阀, 施放灭火剂。

⑥电池动力船舶受操作空间的影响, 采取远程电控方式可以有效、便捷地进行操作。

### 2) 手动释放流程

①敲碎施放站钥匙盒 (如图 3.4.6 所示), 取出钥匙;

②用钥匙打开箱门, 限位开关 (如图 3.4.7 所示) 触发释放预报警, 人员撤离;

③拔下 1#安全销, 打开 1#气瓶阀门及相应管路施放阀 (如图 3.4.8 所示);

④拔下 2#安全销, 打开 2#气瓶阀门;

⑤延时瓶自动延时 20~40 秒后, 自动打开主气瓶的瓶头阀, 进行施放灭火



剂。



图3.4.6 钥匙盒



图3.4.7 限位开关



图3.4.8 气瓶及管路施放阀

### 3) 应急释放流程

① 掰动安装于消防主管路上施放阀的应急手柄装置（如图 3.4.9 所示），手动打开施放阀；

② 掰动所有主气瓶上的应急手柄（如图 3.4.10 所示），施放灭火剂。



图 3.4.9 消防主管路上施放阀



图 3.4.10 主气瓶上的应急手柄

### (3) 船员维护保养要点

1) 检查并测试固定式灭火系统预释放报警是否正常工作，电池舱内听觉和视觉报警信号是否清晰；

2) 定期检查释放管路上压力表指示是否异常，气瓶是否存在泄漏情况；

3) 检查七氟丙烷的启动气瓶压力是否正常，启动管路连接是否正常；

4) 检查七氟丙烷间通风装置是否正常，如设置的是自然通风，查看风雨密门状况是否良好；

- 5) 检查并测试七氟丙烷间主/应急照明是否正常工作；
- 6) 检查七氟丙烷间与驾驶室直接联系的通信设施是否正常。

#### 4.1.2 手提式七氟丙烷灭火器

目前锂电池失火一般采用七氟丙烷灭火器，手提式七氟丙烷灭火器如图 3.4.11 所示。



图 3.4.11 手提式七氟丙烷灭火器

手提式七氟丙烷灭火器的使用方法及注意事项：

- 1) 将灭火器携带至火场，注意不能过于靠近火源和高温物体，以免发生意外。
- 2) 先拔出保险销，用一只手握住喷嘴部（有提环的握住提环），另一只手用力压下压把。
- 3) 使用时，直接对准火源喷射七氟丙烷灭火剂。尽量从火源的底部或侧面喷射，以便在火上形成灭火层。均匀地喷洒，确保七氟丙烷落到所有火焰和燃烧物上。不断移动喷射口，以确保覆盖整个火源。
- 4) 每次使用后都要及时清理瓶头及喷嘴上的污物，防止堵塞或损伤喷，否则会影响正常使用及影响灭火器的性能指标。同时要注意定期检查压力表是否灵敏可靠：如压力表的指针指向红色区域则说明压力不足，如果指针指向黄色区域说明压力过高，如果是指向绿色区则表明压力正常。
- 5) 在室外使用时，操作者应处于上风位置；在室内狭小空间使用时，要特别注意防止窒息。

## 4.2 识别火灾种类

要识别不同火灾的特征，比较有效的方法就是对其进行分类。通常按火灾燃

烧物性质的不同，将火灾分为六类：A类火灾（普通固体可燃物火灾）、B类火灾（可燃液体火灾）、C类火灾（可燃气体火灾）、D类火灾（可燃金属火灾）、E类火灾（电气火灾）和F类火灾（烹饪油火灾）。

动力锂离子电池火灾属于复合型火灾，有电解液挥发的可燃气体火灾、电解液的液体火灾、隔膜正负极材料的固体火灾，还有电气线路的电气火灾，火灾发生时拥有A类、B类、C类、E类火灾的特点。

不同的物质具有不同的物理特性和化学特性，燃烧所表现出来的特征也是不同的。要扑灭具有不同特点的火灾，首先要了解它们的特点，再采取相应的灭火方法，使用最有效的灭火剂，才能迅速将火扑灭，所以对火进行分类。

### 4.3 逃生和组织营救

#### 4.3.1 火场逃生

在船舶发生火灾被困火场时，被困人员应积极开展自救逃生。自救逃生的要领如下：

- (1) 保持沉着冷静，不要惊慌失措，以增加获救的机会。
- (2) 在存放有紧急脱险呼吸装置的场所，立即取用该装置。
- (3) 决定从火场中逃生的路线：平时应熟悉本船的脱险通道，一旦发生火灾，才能迅速选择通达安全区域或救生甲板的路线。
- (4) 低姿行进：由于火焰、烟雾和热气流均向上升，四周的冷气流向舱底补充，所以保持较低姿势行走，不仅温度较低、烟雾较少，而且低层的空气还可以支持呼吸。
- (5) 沿舱壁行走：可以避免身体被火焰四面包围。
- (6) 减少身上的暴露部分：衣服可以防止热辐射灼伤，如有需要，可用浸湿的毯子或者棉被披在头部和身上，以减少身体的暴露部分，利于冲出火场。
- (7) 如未佩戴紧急脱险呼吸装置，以湿毛巾护口鼻，过滤烟雾以利于呼吸。
- (8) 在居住舱室或者值班场所时，应携带救生衣。
- (9) 必要时可由舷窗外逃，或破门逃生。
- (10) 要有旺盛的斗志，必胜的信心。

#### 4.3.2 组织营救

在船舶火灾中，当发现有人员被困火灾现场时，船上应立即组织力量进行营

救。组织营救的应遵循以下步骤：

（1）报警：船员应立即发出消防警报，并通过甚高频电话（VHF）或拨打水上求救报警电话，准确报告船位，随时补报火情信息。

（2）控制火势：降低船速，调整航向，使着火部位背风或将火焰吹向舷外。迅速切断油气管路，封闭机舱等重要处所，避免火势蔓延。

（3）组织营救：结合船舶的具体情况和《应急应变部署表》的部署，组织船上消防力量开展船舶灭火和被困人员营救工作。

（4）救助人员：优先救助人员脱险，清点船员和乘客，防止人员失散。如果火势严重导致无法控制，应果断按照应急预案采取抢滩或弃船措施，并做好逃生疏散和情绪安抚。

（5）灭火：根据起火部位和燃烧物种类，科学灭火。使用水灭火时，舱内要及时排水，避免船舶倾覆。彻底扑灭余火，杜绝复燃。

（6）等待增援：积极开展船舶自救，并等待专业救援。

（7）做好对内、对外通信及每一环节情况的详细记录。

## 模块四：值班与应急处置

### 1.船舶安全值班一般要求

电池动力船舶动力来源是电池，在开航前和航行中时刻注意电池电量，根据天气海况做好航行里程数估算，避免在航行途中失去动力，保证船舶与人员安全。

#### 1.1 充放电期间安全值班注意事项

在电池动力船舶充放电期间，安全值班的注意事项包括以下几点：

(1) 充电设备检查：在充电前，必须对充电设备、变阻器及仪表进行检查，确保没有失灵或故障，并在充电前修好。

(2) 检查接线是否正确：蓄电池的正极“+”应接直流电源正极，负极“-”接直流电源负极，不得接错。

(3) 电池容量匹配：不同容量和新旧不一的蓄电池不宜串联在一条线路里充电，不同类型也不得混用。

(4) 通风和防火：充电时注意蓄电池室及蓄电池箱进出风道保持通畅，并注意防火。

(5) 温度监控：在充电过程中，必须经常检查电解液的温度，确保不超过规定值。

(6) 安全工具使用：使用扳手或其他金属工具或电瓶夹子时必须特别注意，正负极不能相碰，以免造成短路。

(7) 电池维护：当蓄电池容量不足、性能不好、短路、外壳变形、渗漏或电解液混浊有杂质以及电压过低时，需要及时更换。

(8) 充电装置检查：检查电池系统是否配有足够容量的充电装置，是否有抑制无线电干扰的措施，是否有过流保护，包括短路保护，以及是否设有能指示充放电电流、电压、温度等参数的仪表。

(9) 充电装置：是否与电池管理系统（BMS）设有接口，并在 BMS 限定的条件下运行。

(10) 直流母排充电措施：若电池系统通过直流母排充电，应设有适当的措施，避免直流母排系统的故障对动力电池造成损伤。

## 2. 电池动力船舶应急应变

### 2.1 全船失电应急措施

(1) 立即报告：当发生全船失电时，轮机员应立即报告给驾驶台，告知失电情况。驾驶台发出船舶失控警报，船长指挥各岗位人员做好应急处置并向海事、港务、水警、企业等部门报告。船长根据失电情况，判断是否需要启动应急电源。若应急电源也无法启动，船长应决定是否需要紧急靠岸或寻求外部援助。

(2) 排故控险（排查失电故障—发航行警告—安抚乘客并指引穿着救生衣—抛锚制动—紧急疏散）。

1) 当全船失电后，驾驶台立即通知轮机长下机舱开展故障排查。

2) 在航时，驾驶员立即显示失控号灯和号型（白天：垂直两个黑球；夜间：垂直两盏环照红灯，并播报航行警告以及一切有效手段向周边船舶通告本船失控情况。

3) 服务人员使用广播或人工对乘客做好解释和安抚，引导穿好救生衣并维护船上秩序防止因恐慌发生次生灾害。

4) 轮机人员尝试复位重启电站，按照上电和启动日用流程重新上电，如果能够启动，船员恢复对整船的操作。

5) 如机舱不能恢复供电，船长立即指令应急抛锚。

6) 下锚后，驾驶员定时对外播报航行警告，等待支援船舶有序疏散乘客。

(3) 警戒和疏散。在事故发生区域附近设置警戒区域，严格控制非救援船舶进入，及时通过船对船过驳疏散方式疏散船上人员，清点人数。

(4) 医疗救护。有人员受伤时，服务人员应立即统计受伤人数，在等待救援到来前对受伤乘客进行简单的、必要的医疗救护，并对受伤乘客按照受伤严重程度进行区分，进行分类救助。

### 2.2 机舱进水应急措施

发现机舱进水，首先应发出警报，通知驾驶台，同时监测水位，启动排水泵进行排水，查明进水原因，穿戴绝缘水鞋、手套关闭电源总开关，同步实施上报并请求支援。

(1) 排险、控险

发现机舱进水，首先应立即发出警报（警铃或汽笛二长声一短声，连续放1分钟）召集船员，报告船长并通知机舱。然后监测水位、确认机舱进水原因，并关闭电源。关闭电源的基本方法如下：

- 1) 断开电源开关或其他紧急开关，切断电源。
- 2) 穿戴绝缘水鞋、手套等物件将电池舱内总开关关闭。

全体船员听到警报信号后（除固定值班人员外），应按应变部署表/船舶进水应急计划的分工，携带规定堵漏器材，迅速赶赴现场，做好堵漏准备。

驾驶室立即采取停车或减速措施，以减少水流和波浪对船体冲击；若已知漏损部分，应用车舵配合将漏损部位置于下风侧，以减少进水量。

#### （2）上报、警戒、疏散

- 1) 及时将现场情况上报。
- 2) 警戒：由当班人员设置警戒区域，严格控制人员进入。
- 3) 疏散：及时疏散无关人员，维持现场秩序，确保避免发生触电事故。

#### （3）排水

轮机人员打开机舱舱底应急吸入阀，启动所有水泵（包括便携式水泵）全力排水。

#### （4）查漏、堵漏

堵漏队在驾驶员或轮机员的带领下，直接担负堵漏和抢修任务，迅速开展查找漏损部位的工作。查明漏损部位后，及时测定破洞的位置、大小及进水情况等，并立即报告船长确定施救方案。查找漏损部位的方法包括：测量舱柜液位、倾听各空气管内有无水声、观察船旁水面有无气泡和旋涡、在舱内听声和目测漏损部位等。

船长应根据漏情发展，及时调整部署。若进水严重和情况紧急，船长应当请求第三方援助，并尽可能择地抢滩。若船长确认堵漏无效，船舶面临沉没时，应宣布弃船。

船长应指示值班驾驶员做好详细记录，向企业和有关当局报告。

#### （5）注意事项

- 1) 未采取绝缘措施前，救护人员不得直接关闭电房总开关。
- 2) 应急情况结束后，应进行全面彻底检查，确认危险已经彻底消除，防止

其他危险隐患存在或次生灾害的发生。

## 2.3 电池舱火灾应急措施

发现电池舱火灾，首先应发出警报，通知驾驶台，同时观察火情，判断是电池系统内部火灾还是电池系统外部火灾，并根据火灾性质不同，采取相应的应急措施。

### (1) 电池系统内部火灾

一旦电池系统内部发生火灾，推荐以下应急操作流程：

1) 快速按下集控室急停或者驾驶室急停或者电池舱内本地急停按钮，将电池系统与船舶电网进行隔离。

2) 将直流配电板内连接电池系统的隔离开关打开，保证电池系统与船舶电网隔离。

3) 如电池舱内没有发生大规模烟雾或者火灾，可以进入电池舱，通过高压箱断开 MSD 维修开关，保证电池系统与船舶电网隔离。

4) 若单电池包发生热失控产生烟雾或者火灾，可以采用电池舱内配置的七氟丙烷手持灭火器对准电池包进行灌入灭火。

5) 根据电池舱火灾情况，启动配置电池舱灭火系统进行灭火。

6) 若扑灭明火，则观察电池舱温度，直至温度降至室温。

### (2) 电池系统外部火灾

一旦电池系统外部发生火灾，推荐以下应急操作流程：

1) 快速按下集控室急停或者驾驶室急停或者电池舱内本地急停按钮，将电池系统与船舶电网进行隔离。

2) 将直流配电板内连接电池系统的隔离开关打开，保证电池系统与船舶电网隔离。

3) 根据电池舱火灾情况，启动配置电池舱灭火系统进行灭火。

4) 若扑灭明火，则观察电池舱温度，直至温度降至室温。

## 2.4 舵机失灵应急措施

(1) 确定情况：判断舵失效的原因，可能是电力系统故障——船舶多个设备出现失电情况或变频器故障，转舵无反应；控制系统故障——手柄控制失效或舵角传感器故障，转舵无反应；机械部件损坏或刹车未脱开——转舵缓慢等。



(2) 通知相关人员：立即通知船舶上轮机部门的其他成员，告知他们当前的情况和采取应急措施。确保船上各工位人员了解当前状况并做好应对准备。

(3) 值班驾驶员加强瞭望，根据实时海况进行主机减速或停车。

(4) 应急操舵：根据情况，切换至应急操作模式。可能需要机旁手动应急操作舵桨（按照该船应急舵操作说明进行规范操作）或启动备用控制系统（驾驶室判断设备正常，仅控制系统失效）。

(5) 评估现场状况：评估船舶周边环境，如船舶位置、天气状况、航行区域等，以便采取合理的应急措施（值班驾驶员应按《国际信号规则》和《国际海上避碰规则》规定显示号灯、号型）。对舵桨进行手动或备用控制系统操作，确保船舶的安全航行（若通过主、辅操舵装置，本地应急操舵等方式均无法转向时，1) 立即降速、备锚，尽快选择合适地点抛锚；2) 立即向海事管理部门和附近船舶发出遇险信号，并按规定显示号灯、号型；3) 轮机长到舵机舱组织抢险，必要时要求派拖船协助拖航；4) 如果轮机部自行抢修困难或无效时，轮机长应立即报告船长，说明舵机失灵的原因，已经进行的抢修措施，需提供的支援和准备进一步采取的措施）。

(6) 通讯和报告：与船上其他部位成员保持通讯，及时报告应急操作过程中的情况。在必要时，与岸上相关部门联系，汇报情况并寻求协助。

(7) 制定临时航行计划：在舵机故障期间，可能需要调整原有的航行计划。根据实际情况，制定临时航行计划，确保船舶能够安全到达目的地。

(8) 故障排查和修复：在确保船舶安全航行的前提下，对故障原因进行排查，并采取相应措施进行修复。如果无法现场解决问题，考虑在到达目的地后进行维修。

## **2.5 船舶充电期间火灾和漏电的应急处置**

### **2.5.1 充电期间火灾的应急处置措施**

(1) 发现异常情况（如冒烟、异常味道、异常声音、异常高温等），应迅速疏散事故受影响区域内人员、车辆、船舶。封锁事故影响区域，禁止船舶、车辆、人员靠近。

(2) 关闭充电桩电源或其他紧急控制开关，尽量防止火灾蔓延（如火灾发生在岸上，船舶还要脱开充电电缆并立即备车，随时准备驶离码头）。

(3) 火灾初期阶段，立即就近取灭火器材进行灭火，启用灭火器、消防栓等进行扑救。要注意在未切断充电桩电源开关时，尽量避免用水进行扑救，防止引发短路、触电的次生事故。

(4) 火情较大，现场不能控制，有蔓延扩大趋势时，立即拨打 119、110 报警电话。有序疏散受影响区域内人员、车辆、船舶，通知周边单位及人员进行紧急疏散。确保抢险通道畅通，及时向抢险人员反映事故情况，协助抢险救援。

(5) 采取其他保证人员安全、减少财产损失，避免事态进一步恶化的措施。

#### 2.5.2 充电期间漏电的应急处置措施

(1) 一旦发现锂电池充电期间漏电，应立即停止充电，疏散周围人员。

(2) 可立即远程切断单个电池舱室电池系统，对单个电池舱室电池系统急停或将所有舱室的电池系统进行急停。

(3) 进入电池舱室前务必做好电气防护措施。

(4) 建议尽快联系设备厂商专业人员检修，非专业人员不要随意拆卸或尝试修理，以避免造成自身或他人伤害。

(5) 按船舶减灾要求启动减灾措施或船舶应变部署，避免造成触电事故。

### 3. 电池动力船舶应急应变实操训练

#### 3.1 机舱进水、船舶失电、舵机失灵综合演习

**演习组织：**学员分为 10 人一组，每名教员同时指导两组开展训练。其中一组分角色进行应急演练；另一组扮演乘客，协助演练，同时观摩学习。

**角色分配建议：**船长、大副、二副（值班驾驶员）、轮机长、大管轮、二管轮（值班轮机员）各 1 人、普通船员 4 人。（教员可根据实际船舶配员情况及应变部署表安排进行适当的调整）

##### **演习器材要求：**

- (1) 救生衣 10 套
- (2) 堵漏器材一批（至少包括堵漏毯、木塞、沙袋）
- (3) 绝缘防护装备（至少含绝缘手套、绝缘衣服、绝缘靴和属具等）5 套
- (4) 专业绝缘杆 1 根
- (5) 应变部署卡每人 1 张

**演习背景：**模拟一艘电池动力客船在航行状态，船舶由左右电池舱同时供电，

直流配电系统和交流配电箱布置在机舱。电池动力船舶的机舱由于下暴雨和风浪大突发进水事故，船员立即启动堵漏程序。然而，在堵漏过程中，因进水使直流配电板电路故障，导致全船失电，进而引发舵机失灵，船舶失去控制。

### 演习步骤：

#### 第一阶段：机舱进水

(1) 由于下暴雨和风浪大，值班轮机员发现机舱进水情况后立即报告给值班驾驶员。

(2) 值班驾驶员立即通知船长，并根据船长指令，启动应急响应程序，发出全船警报（两长一短连续一分钟）。

(3) 船长迅速到达驾驶台进行应急指挥，值班驾驶员在驾驶台操纵船舶，同时协助船长指挥。

(4) 全体船员按照堵漏应急程序，各就各位，携带堵漏工具及绝缘用具到指定地点集合。

(5) 船长指令大副：组织人员查清进水的部位及进水情况，轮机长组织机舱人员切断进水可能影响到设备的电源。指令两名普通船员担任服务员到客舱做好乘客人数统计、疏导、维稳工作，随时待命。

(6) 大副向相关人员发布指令：

- 1) 大管轮穿戴绝缘防护装备，切断进水可能影响到设备的电源；
- 2) 两名普通船员担任堵漏队，穿戴绝缘防护装备，进入机舱查清进水的部位；
- 3) 值班轮机员准备排水设备；
- 4) 其他人员现场待命。

(7) 大副向船长报告，经查发现机舱水密门密封不好进水，进水量比较大，机舱底有不少积水。船长令大副组织人员择机堵漏，通知机舱排水。同时下令减速并调整航向至最佳。

(8) 大副组织现场堵漏抢险：

- 1) 堵漏队携带堵漏器材进行堵漏
- 2) 值班轮机员排水

#### 第二阶段：全船失电、舵机失灵

在堵漏过程中，机舱因进水使直流配电板电路故障跳闸，导致全船失电，舵机失灵，船舶失去控制。

(1) 船长广播通知全船失电，并询问大副堵漏情况，回复进水已得到控制，船长指令堵漏现场留下两名堵漏人员继续观察，其他人员按照全船失电、舵机失灵应急程序行动。

(2) 船长接手船舶驾驶，并发布命令：

1) 值班驾驶员显示船舶失控灯并挂出船舶失控信号，向企业和海事部门报告；

2) 机舱转换应急舵，并尽快恢复供电；

3) 大副前往船头备锚；

4) 通过全船广播告知乘客保持冷静，服务员现场做好安抚工作，并指导乘客穿戴救生衣等安全措施，做好现场维稳工作。

(3) 轮机长立即安排大管轮到机舱转换为应急操舵，并值守舵机间，随时执行驾驶台指令；轮机长带领值班轮机员立即到直流配电板进行检查，尝试恢复供电。如果不能恢复供电，随后立即排查故障，再进行恢复供电。

(4) 供电恢复后，轮机长立即向船长报告。驾驶台重新启动主推进装置，恢复船舶控制，同时通知大管轮将操舵装置转换为驾驶台遥控控制。

(5) 船长宣布演习结束，集中人员讲评（教员点评）。

### 3.2 船舶灭火演习

**演习组织：**学员分为 10 人一组，每名教员同时指导两组开展训练。其中一组分角色进行应急演练；另一组扮演乘客，协助演练，同时观摩学习。

**角色分配建议：**船长、大副、二副（值班驾驶员）、轮机长、大管轮、二管轮（值班轮机员）各 1 人、普通船员 4 人。（教员可根据实际船舶配员情况及应变部署表安排进行适当的调整）

**演习器材要求：**

(1) 高频对讲机 3 部

(2) 消防员装备 2 套

(3) 消防栓及皮龙水枪 1 套

(4) 应变部署卡每人 1 张

(5) 太平斧 1 把

**演习背景：**模拟一艘电池动力客船在航行途中，机舱/电池舱突发失火。

**演习步骤：**

(1) 发现火情，发出警报，立即报告船长，演习人员按照应变部署表迅速到达指定区域集合。

(2) 轮机长在船长领导下担任现场指挥职责，并保持与船长通信联络。

(3) 轮机长迅速做出判断报告船长采取果断措施，切断火场相关的电路、通风，紧急封闭火场。

(4) (若培训学员需适任客船，需进行此步骤) 船长通知广播员通过全船广播告知乘客保持冷静，并告知所有人回到自己的客舱；通知客房部工作人员携带应急设备，到分管楼层进行乘客人员清点，保证所有人回到自己的位置，做好现场维稳工作。

(5) 启动消防泵（若起火位置在机舱位置应启动应急消防泵）立即供水，接受消防水带、水枪待命。

(6) 两名探火队员，身着消防员装备，携带必要的灭火用具和防爆对讲机，尝试灭火、搜救可能被困人员、探明火源位置、火势和火的性质，报告轮机长、船长。

(7) 探火队员，探明火势较大，确保无人员被困后，立即关闭机舱各区域的防火门，防止火情扩散，做好火场封闭。

(8) 轮机长清点现场人员，人数无误后报告船长。

(9) 船长命令二副按设计要求启动七氟丙烷固定灭火系统或大型 CO<sub>2</sub> 系统灭火进行灭火。

(10) 消防皮龙组启动消防水冷却机舱周围。

(11) 扑灭明火，观察舱室温度，直至温度降至室温。

(12) 探火队员再次进入火情区进行探火，确认火灭无复燃可能后方可开舱通风，以保安全。

(13) 清理火灾现场，检查设备受损情况，确保安全恢复相关供电。

(14) (若培训学员需适任客船，需进行此步骤) 船长通知广播员、客房部工作人员告知乘客火警解除。

(15) 船长宣布演习结束，集中人员讲评（教员点评）

注意：电池系统内部火灾的演习步骤有部分区别：在演习电池舱室火灾消防时，应在发现火情后就近迅速按下急停按钮，将电池系统与船舶电网隔离；将直流配电板与电池系统的隔离开关断开。

CHINA MSA