



## 事故下保障极地小型邮轮安全的电气系统设计

崔艳 顾雅娟

### Design of electrical system to guarantee safety of small polar cruise ship after casualty

CUI Yan, GU Yajuan

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.19693/j.issn.1673-3185.02514>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 基于海冰JH-2模型的极地邮轮冰船碰撞性能模拟分析

Simulation analysis on collision performance of polar cruise vessel based on JH-2 sea ice model

中国舰船研究. 2021, 16(5): 87-94 <https://doi.org/10.19693/j.issn.1673-3185.02085>

#### 基于组合赋权-TOPSIS法的极地邮轮减摇鳍选型评价

Selection and evaluation of polar cruise fin stabilizer based on combination weighting-TOPSIS method

中国舰船研究. 2021, 16(5): 121-126, 149 <https://doi.org/10.19693/j.issn.1673-3185.02037>

#### “雪龙2”号极地考察船月池系统的设计与应用

Design and application of moonpool system in polar icebreaker Xuelong 2

中国舰船研究. 2021, 16(5): 30-38 <https://doi.org/10.19693/j.issn.1673-3185.02032>

#### 极区航海导航与定位保障技术发展综述

Survey on polar marine navigation and positioning system

中国舰船研究. 2021, 16(5): 16-29 <https://doi.org/10.19693/j.issn.1673-3185.02045>

#### 基于多目标优化算法NSGA II的极地穿梭油轮型线设计

Polar vessel hullform design based on the multi-objective optimization NSGA II

中国舰船研究. 2017, 12(6): 66-72 <https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-3185.2017.06.010>

#### 基于共享理念的邮轮服务设计研究

A sharing concept-based cruise service design

中国舰船研究. 2020, 15(5): 41-48 <https://doi.org/10.19693/j.issn.1673-3185.01834>



扫码关注微信公众号，获得更多资讯信息

网络首发地址:

期刊网址: [www.ship-research.com](http://www.ship-research.com)

引用格式: 崔艳, 顾雅娟. 事故下保障极地小型邮轮安全的电气系统设计[J]. 中国舰船研究, 2022, 17(3): 1-6.

CUI Y, GU Y J. Design of electrical system to guarantee safety of small polar cruise ship after casualty[J]. Chinese Journal of Ship Research, 2022, 17(3): 1-6.

# 事故下保障极地小型邮轮安全的 电气系统设计



扫码阅读全文

崔艳\*, 顾雅娟

中国船级社上海规范研究所, 上海 200135

**摘要:** [目的] 为了解决极地航线所特有的天气状况恶劣、航线偏远、救援时间长、无合适的救援补给停靠港口等不利于保障人员安全的问题, 提出在发生火灾或进水事故时, 将极地邮轮本身视为救生艇的设计理念, 深入探讨实现该理念的电气系统设计方法。[方法] 通过对极地航线环境特点的分析, 总结极地航行风险及应对措施, 结合“安全返港”理念, 提出邮轮动力及人员安全的重要电气系统功能目标。总结双套冗余电气系统设计通用拓扑结构, 结合应实现的设计目标和原则对典型电气系统的设计方案展开分析。[结果] 结果显示, 在设计建造小型邮轮时尽可能采用双套冗余或隔离设计原则, 可实现重要电气系统在发生事故后仍能维持运行这一设计目标, 能极大地提高邮轮上人员的生命安全保障能力。[结论] 所做研究可为极地小型邮轮的电气系统设计提供思路和参考。

**关键词:** 极地航行; 小型邮轮; 安全返港; 电气系统

中图分类号: U662.2

文献标志码: A

DOI: [10.19693/j.issn.1673-3185.02514](https://doi.org/10.19693/j.issn.1673-3185.02514)

## Design of electrical system to guarantee safety of small polar cruise ship after casualty

CUI Yan\*, GU Yajuan

Shanghai Rules and Research Institute, China Classification Society, Shanghai 200135, China

**Abstract:** [Objectives] In order to solve problems such as bad weather conditions, remote routes, long rescue time and no suitable port of call for rescue supplies, which are unique to polar routes and not conducive to personnel safety, this paper presents a design concept in which the polar cruise ship itself is the best lifeboat in the event of fire or flooding, and discusses an electrical system design method for realizing this concept.

[Methods] This paper analyzes the characteristics of the polar route environment, summarizes risks and countermeasures, combines the Safe Return to Port (SRtP) concept and proposes the functional goals of important electrical systems in order to guarantee the power and personnel safety of polar cruise ships. It then provides the topology for the design of redundant electrical systems and analyzes the design scheme of typical systems combined with the realized design objectives and philosophy.

[Results] In the design and construction of small polar cruise ships, the design principle of double redundancy or isolation should be adopted as far as possible in order to achieve the design goal of maintaining the operation of important electrical systems after accidents, thereby greatly improving the life safety guarantee of cruise ship personnel.

[Conclusions] This paper can provide ideas and references for the electrical system design of small polar cruise ships.

**Key words:** polar navigation; small cruise; Safe Return to Port; electrical system

## 0 引言

随着全球极地旅游的持续火热, 近年来极地旅游市场呈逐年增长趋势。根据国际南极旅游组织协会 (international association of Antarctica tour

operators, IAATO) 的统计数据, 2016 年全球南极旅游游客数量为 45083 人, 至疫情前 2019 年为 74381 人, 游客数量以近 18% 的年增长率保持稳步增长<sup>[1]</sup>。而基于极地气候多变、环境恶劣等原因, 乘坐邮轮旅游成为大部分游客的首选。同时

收稿日期: 2020-09-07

修回日期: 2021-12-05

网络首发时间: 20xx-xx-xx xx:xx

作者简介: 崔艳, 女, 1984 年生, 高级工程师。研究方向: 船舶电气。E-mail: [cuiyan@ccs.org.cn](mailto:cuiyan@ccs.org.cn)

顾雅娟, 女, 1974 年生, 硕士, 高级工程师。研究方向: 船舶性能及能效。E-mail: [yjgu@ccs.org.cn](mailto:yjgu@ccs.org.cn)

\*通信作者: 崔艳

南极条约协商会议明确指出,载客 500 人以上的大型游船不允许驶入南极景点港湾<sup>[2]</sup>, 200~500 人规模邮轮虽可安排登陆,但可选择的地点较少,因此载客 200 人以下的极地小型邮轮成为极地旅游发展的主力需求。而对于极地旅游发展,国内外研究均相对集中在旅游线路规划<sup>[3]</sup>、环境保护和极地航线船舶操纵性设计<sup>[4]</sup>等方面,鲜少有区别于一般客船,对极地小型邮轮自身的航行和人员安全进行的深入探讨。

国际海事组织(IMO)为了进一步提高客船的生命力,保障人员安全,基于“船舶自身是其最好的救生艇”这一原则,将“安全返港(Safe Return to Port, SRtP)”概念引入国际海上人命安全公约(SOLAS)公约<sup>[5]</sup>,但相关要求仅适用于 2010 年 7 月 1 日以后建造的载重线船长为 120 m 及以上或具有 3 个主竖区及以上的客船<sup>[6]</sup>。国外关于客船安全设计方面主要从上述公约条款解读<sup>[7]</sup>、大型邮轮设计<sup>[8]</sup>等方面进行探讨,国内相关研究也大部分聚焦在安全返港要求对机电设计带来的影响等方面<sup>[9-10]</sup>,缺乏对船长小于 120 m 的小型邮轮在保障安全方面的具体要求研究。

以国产首制极地探险邮轮“格雷格·莫蒂默”号为例<sup>[11]</sup>,典型的极地小型邮轮通常只有 2 个主竖区、船长小于 120 m 且载客不超过 200 人。但极地航线具备其特有的天气状况恶劣、航线偏远、救援时间长、无合适的救援补给停靠港口等不利于人身安全保障的因素,一旦发生火灾或进水事故,将对邮轮乘客的人身安全造成极大威胁。而如果邮轮的设计建造使其在火灾或进水事故后仍有能力驶回港口并为船上人员在极端环境和条件下提供最低生存需求所需的各项安全保障,则能大大提高极地邮轮的生命安全保障能力,同时也能降低因事故导致船上人员必须撤离而在救生艇上长时间等待救援的概率,从而提升极地邮轮乘客的航行体验。

综上,本文将极地小型邮轮为研究目标,结合 IMO《国际极地水域操作船舶规则》(Polar Code)分析极地航行的风险和应对措施,提出火灾或进水事故条件下保障极地邮轮动力和人员安全的电气系统设计目标,结合典型案例探讨实现上述目标的通用设计原则和实施方案。

## 1 极地航行风险

### 1.1 极地环境

极地邮轮为开展极地旅游观光业务,其航行区域通常分为南极水域和北极水域。

北极水域航线主要有挪威的斯瓦尔巴群岛至俄罗斯法兰士约瑟夫地群岛附近水域,丹麦格陵兰岛的东、西两岸和南岸附近水域。这些水域气候寒冷,洋面大部分常年冰冻,最冷月平均气温可达 $-20\sim-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,暖季也多在 $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下。由于位于地球的最北部,每年都会有独特的极昼与极夜现象出现。

南极水域航线主要是南极半岛一直延伸到南极圈、南极海峡、沿南极半岛西侧的 Erebus & Terror。海拔高、空气稀薄、冰雪表面对太阳辐射的反射等因素,使南极成为世界上最寒冷的地区。同时,南极也是世界上风力最大的地区。

### 1.2 极地环境危险源

极地水域由于地理环境复杂、气候条件恶劣、信息不足、极地航行经验缺乏等特点,使得邮轮在极地水域航线面临众多区别于常规航行水域的潜在危险源。这些危险主要包括极端低温环境、海雾、极昼极夜、高纬度、缺少有效航行数据和信息、地磁暴现象、冰情等<sup>[12]</sup>。

### 1.3 极地水域客船事故

海上安全公司(Safety at Sea Ltd)受国际南极旅游组织协会(IAATO)委托,统计了近 40 年间在极地水域航行客船发生的事故和人员伤亡数据,为制定《国际极地水域操作船舶规则》提供了数据支撑。据上述统计分析,以南极水域为例,自 1967 年以来至少发生了 25 起从事旅游活动的客船事故,事故原因主要包括搁浅、机械故障、暴风雪等恶劣气象、强对流风、操纵失误等,事故发生的时间也均集中在南极夏季旅游旺季(11 月至次年 3 月)。在北极水域,从 1995~2004 年短短十年间,发生了 8 起客船事故,事故原因除搁浅、机械故障外,还有火灾和触冰,事故发生时间同样集中在北极夏季旅游旺季(7~8 月)。由此可见,极地邮轮航线发生事故的风险较高。

### 1.4 极地风险应对措施

极地水域众多的危险源构成了极地航行的特殊风险环境,从而导致客船事故频发。《国际极地水域操作船舶规则》针对不同危险源制定了目标型应对要求,但这些应对措施均仅基于邮轮本身未发生任何事故前的正常操作状态。具体如下表 1 所示。

## 2 极地航行安全相关系统

根据以上极地航行风险分析可知,一旦极地小型邮轮发生事故(如火灾、进水、机械故障等)

表1 极地航行风险及电气相关应对措施

Table 1 Risk of polar navigation and relevant response measures of electrical system

危险源	风险	电气相关应对措施
极端低温环境	人员冻伤、结构材料变形、设备故障	配备加热系统、除冰装置、防冷凝装置
海雾	能见度低	配备雾笛和雾灯
长昼夜	船员心理情绪低落和生理疲劳, 驾驶瞭望视野受限	配备可在驾驶室遥控的大功率探照灯
高纬度	导航仪器使用受限, 卫星通信无效, 定位困难	配备铱星电话、非磁性装置如GNSS罗经, GPS
缺少有效航行数据和信息	纸质海图与全球卫星导航系统(GNSS)导航不兼容, 可能导致搁浅、触礁或碰撞事故	配备电子海图, 格陵兰水域可依靠雷达设备和陆地导航
冰情	漂流的海冰影响通航路径的选择, 冰荷载可能对船舶结构造成损伤, 冰崩产生巨浪影响船舶操纵	配备能够接收冰域的气象传真接收机或等效设备、能够识别冰目标的雷达系统、两台独立的测深仪、海冰影响监测系统(A类极地船舶)
护航	航道操纵限制	配备一盏尾灯向可见指示停船的手动启动红色闪光灯, 至少2 n mile可视范围

导致船上保障安全的相关机电系统功能损失, 邮轮及乘客将立即面临需要紧急救援和撤离的极端危险处境。而极地水域救援时间长、难度高、生存环境恶劣, 如果邮轮能够靠自身能力返回港口, 则能最大限度保障船员和乘客的生命安全。

这与国际海事组织海上安全委员会第82届上提出的“安全返港”理念不谋而合, 即船舶本身就是最好的救生艇, 目的都是为了提高船舶和人员的生存能力。因此, 即使极地小型邮轮由于船长小于120 m而无需满足SOLAS公约有关安全返港的要求, 也仍然可以参考上述要求实现同等安全目标。

SOLAS公约II-2章第21.4条规定了安全返港的相关重要系统, 当发生未超过一定界限的火灾事故时, 在船上未受失火影响的系统其余部分仍保持运转, 同时船上可为受事故影响的人员提供安全区域, 则可视为有能力返港。结合上述公约要求以及本文第1节分析的极地航行必要的电气应对措施, 可梳理出事故条件下能够保障极地小型邮轮动力及人员安全的电气相关系统, 根据功能主要分为4类, 具体如表2所示。

### 3 系统设计目标和原则

为实现极地航行“安全返港”理念, 保障极地小型邮轮动力及人员安全的电气相关系统设计目标可制定为: 在发生不超过界限的事故后系统功能仍有一定程度保留, 尽可能地使邮轮能在极地水域航线中依靠自身动力返回港口, 并为受事故影响的人员配备维持基本生活条件的安全区。

上述设计目标中的事故类型主要为火灾或进水事故, 事故界限可参照SOLAS II-2章第21条安全返港要求, 即进水事故界限为单一水密舱室, 火灾事故界限为原发处所的A级边界, 如原发处所内未设置固定式灭火系统, 则事故界限延

表2 保障极地小型邮轮动力及人员安全电气相关系统及分类

Table 2 Electrical systems and their classification to guarantee the power and personnel safety of polar small cruise

系统	功能			
	保障动力安全	保障航行安全	保障船体安全	保障人员安全
全船配电系统	√	√	√	√
电力推进系统	√	√		
操舵和操舵控制系统	√	√		
固定式探火和失火报警系统			√	
内部通信系统				√
对外通信系统		√		√
航行系统		√		
航行灯控制系统		√		
浸水探测系统			√	
动力操作水密门电气系统			√	
照明系统	√	√		√
应急停止系统	√			
电加热系统	√	√	√	√

伸到相邻处所直至最近的A级边界。

不同的系统根据其自身功能特点, 可采用相同或不同的设计原则(例如, 双套、隔离等)来实现预定的设计目标。重要电气系统通常会采用双套冗余设计原则, 基于该原则的系统拓扑结构示例如图1所示。图中事故界限A和B仅代表双套系统的A和B分别布置在不同的事故界限内, 而不是A或B系统的所有组成部分均在同一事故界限内。冗余供电或信号连接电缆可根据成本、规范要求等实际情况确定是否必须, 例如两套系统为完全冗余, A套损失, B套仍可维持系统的全部功能, 则无需从A系统进行备份连接。

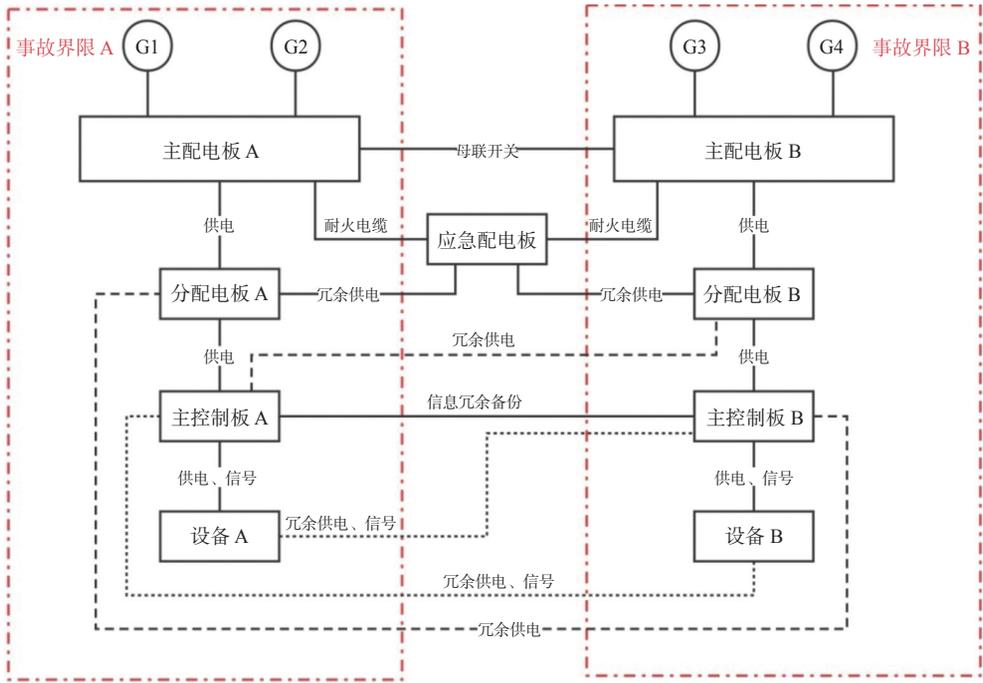


图1 电气系统双套冗余设计原则拓扑结构示例

Fig. 1 Sample of the topology of redundant design principles for electrical systems

## 4 典型电气系统设计案例分析

以下将以某极地小型邮轮为例，结合第3节总结的电气系统双套冗余设计原则分析保障极地邮轮安全相关的典型电气系统设计方案。

该极地小型邮轮为B类极地船型，PC 6冰级，总长100 m，型宽19 m，总吨位8 000 t，满载排水量6 200 t，服务航速14 kn，载员260人，2个主竖区，共8层甲板，主要航行区域为南极半岛向南延伸至南极圈、南极海峡等以及北极航线的斯瓦尔巴群岛到弗朗茨约瑟夫岛和格陵兰岛，运营时间分别为南北半球的夏季月份，运行区域的温度高于最低日均低温(LMDLT)-10℃，最长搜索和救援时间5天。

### 4.1 全船配电系统

配电系统作为各重要电气系统的动力来源，是在事故条件下保障邮轮动力安全、航行安全、船体安全和人员安全最重要的电气系统。

极地小型邮轮配电系统采用与本文图1相同的双套拓扑结构设计，配备4台690 V，1 500 kW交流发电机作为主电源，分别布置在前后机舱内，推进方式为电力推进。交流主配电系统为双套配置，两套主配电板分别布置在前后机舱的配电板间内。除配电板间跨接电缆外，双套系统各自的电缆均只敷设在各自布置的机舱内，且两个机舱间既为水密分隔，也是A级分隔，同时机舱内均设有固定式灭火系统。若前机舱发生事故，

后机舱内的两台发电机、推进电机均可不受影响，同时通过母联开关将前后机舱主配电板隔离断开，确保后机舱主配电板维持运行并能继续向推进电机及推进辅助系统供电，反之亦然。另将应急配电板作为主供电系统的一部分，在正常情况下由主配电板供电，并分别设置馈电电缆与前后主配电板连接，同时通过联锁确保两路馈电线不同时供电。当一个主配电板受事故影响而损失，另一主配电板仍能继续向应急配电板供电，由此也可确保本文表2列出的保障极地邮轮安全的重要电气系统仍能维持运行。

### 4.2 对外通信系统

极地区域航线偏远，救援力量薄弱，随时保持对外通信、遇险报警和接收航路气象信息的能力是保障极地邮轮航行安全和人员安全的关键。若对外通信系统因船上发生事故而损坏，导致极地邮轮无法及时发送遇险报警信息和进行现场短距离协调通信，在来往船只较少、周围救援力量不足的极地区域将使得邮轮安全面临极大风险。

邮轮对外通信系统通常由用于远距离通信的全球海上遇险与安全系统(GMDSS)无线电台和近距离通信的甚高频(VHF)无线电话以及对空用VHF无线电话组成。而由本文表2可知，极地区域的高纬度特性会导致卫星通信失效，因此在极地航行的邮轮还需配备铱星电话进行远距离对外通信。

以某极地小型邮轮为例，为防止因驾驶室发

生火灾事故导致对外通信系统失效,其在船上设置了备用驾驶室,与主驾驶室不属于同一事故界限。对外通信系统采用双套冗余配置,双套设备分别布置在主驾驶室和备用驾驶室,外部天线布置在不会受到火灾事故影响的露天甲板,系统设计采用与本文图1相同的双套配置拓扑结构,电源、供电电缆和信号电缆均相互独立。若极地小型邮轮主驾驶室发生事故,船上人员仍可在备用驾驶室进行外部通信,及时向岸上通报遇险情况并获得必要的营救。

极地小型邮轮对外通信系统的具体配置数量和布置如表3~表5所示,主驾驶室内对外通信系统的配备数量满足 SOLAS 公约第 IV 章第 11 条对航行于所有海区(包括 A4 海区)船舶的要求,备用驾驶室内各配置一套用于长距离、短距离和对空用的通信设施作为备用。

表3 短距离无线通信设施配置

Table 3 Short range wireless communication facility configuration

设备	布置位置	数量	功能
GMDSS VHF 无线电电话 (具备DSC值守功能)	驾驶室	2	日常短距离无线电通信
GMDSS VHF 无线电电话 (具备DSC值守功能)	备用驾驶室	1	驾驶室损失后进行短距离无线电通信
便携式VHF无线电电话及充电器	驾驶室	若干	救生艇筏用无线电通信
固定式VHF无线电电话	另一主竖区内	1	驾驶室所在主竖区损失后,进行短距离无线电通信

表4 长距离无线通信设施配置

Table 4 Long range wireless communication facility configuration

设备	布置位置	数量	功能
GMDSS MF/HF 无线电电话 (具备DSC值守和NBDP功能)	驾驶室	2	日常长距离无线电通信
固定式铱星电话	备用驾驶室	1	驾驶室损失后进行长距离无线电通信
固定式铱星电话	另一主竖区内	1	驾驶室所在主竖区损失后,进行长距离无线电通信

表5 航空用通信设施配置

Table 5 Aeronautical communication facility configuration

设备	布置位置	数量	功能
便携式航空VHF无线电电话	驾驶室	1	日常对空无线电通信
便携式航空VHF无线电电话	备用驾驶室	1	驾驶室损失后进行对空无线电通信
便携式航空VHF无线电电话	另一主竖区内	1	搜救通信用,以及驾驶室所在主竖区损失后,进行对空无线电通信

### 4.3 航行系统

航行系统用于在邮轮航行过程中进行导航、

定位和探测碰撞危险等功能,从本文表1分析可知,极地航线对航行系统的依赖度更高,为了应对高纬度导致的艏向定位仪器使用受限、缺少有效航道信息可能导致搁浅、触礁或碰撞事故、海冰影响通航等风险,极地邮轮除配备 SOLAS 公约第 V 章要求的航行设备外,还需配备用于高纬度定位的非磁性 GNSS 罗经、能够接收冰域的气象传真接收机、能够识别冰目标的雷达系统以及因纸质海图信息缺乏而必须配备的电子海图。

若极地邮轮的驾驶室发生火灾事故导致上述航行设备失效,即使其仍保持良好的推进和操舵能力,且稳性和结构未受影响,邮轮也将因无法导航、定位和探测碰撞而不能继续航行,使得船上人员面临撤离并长时间在恶劣环境中等待救援的处境。

以极地小型邮轮为例,为更好地保障航行安全,航行系统也采用本文图1的双套拓扑结构设计原则,与对外通信系统一样,双套设备分别布置在驾驶室和备用驾驶室,电源、供电电缆和信号电缆均相互独立。若驾驶室发生火灾事故,仍可在备用驾驶室实现导航、定位和探测碰撞危险的功能,从而保障邮轮能根据实际情况继续维持航行。

极地小型邮轮主要航行设备的具体配置数量和布置如表6所示,主驾驶室内航行设备的配备

表6 主要航行设备配置

Table 6 Main navigation equipment configuration

主要设备	主要功能	布置位置	数量
电子海图	替代极地航路信息缺乏的纸质海图,自动航线设计,综合反映航路信息和船舶行驶状态	驾驶室	2
		备用驾驶室	1
X波段雷达	确定和显示雷达应答器、障碍物、浮标、海岸线和航标的距离和方位,在极地水域识别冰目标,实现助航和避碰功能	驾驶室	1
		备用驾驶室	1
S波段雷达	确定和显示雷达应答器、障碍物、浮标、海岸线和航标的距离和方位,实现助航和避碰功能	驾驶室	1
		驾驶室顶甲板	1
磁罗经	磁性装置,确定船舶艏向	驾驶室顶甲板	1
电罗经	非磁性装置,确定船舶艏向	电气设备间	1
GNSS罗经	在高纬度极地水域确定和显示船舶艏向	驾驶室	1
磁罗经数字复示器	显示船舶艏向	备用驾驶室	1
电罗经分罗经	显示船舶艏向	备用驾驶室	1
GNSS罗经	在高纬度极地水域确定和显示船舶艏向	备用驾驶室	1
全球定位系统(GPS)	随时确定和更新船位	驾驶室	1
		备用驾驶室	1
自动识别仪(AIS)	自动提供和接收船舶信息、与岸基础设施交换数据	驾驶室	1
		备用驾驶室	1

满足 SOLAS 公约第 V 章要求,在备用驾驶室内配置极地航行所需的重要备用设备。

## 5 结 语

极地邮轮航线偏远、海况复杂、环境恶劣,若发生事故,如船舶和人员安全所需的各个安全保障系统无法运行,将对船员和乘客的生命安全带来巨大的威胁。虽然极地小型邮轮因尺度原因不用强制满足安全返港要求,但在设计建造时如尽可能采用双套冗余或隔离设计原则,以此实现重要电气系统在发生事故后仍能维持运行,在事故不超过一定限时邮轮仍能依靠自身动力返回港口这个设计目标,则能大大提高邮轮上人员的生命安全保障能力,同时也能最大限度地降低因事故导致船上人员必须撤离的概率,从而提高极地邮轮的乘客航行体验。

本文采用风险评估方法分析极地航行可能遇到的各种危险源和产生的风险,并给出相应的电气应对措施。以功能角度作为切入点,从动力安全、人员安全、航行安全、船体安全等4个方面将电气相关系统进行分类。结合风险评估结果和“安全返港”理念制定设计目标,总结能够实现目标的设计通用原则,给出双套冗余设计通用拓扑结构,通过案例分析配电、外部通信和航行系统等典型电气系统设计方案,验证设计原则实用性。通过风险评估-划分范围-制定目标-总结原则-系统设计这一路线,可为极地小型邮轮电气系统设计提供新的思路和参考,为我国极地小型邮轮的自主设计建造提供技术支撑。

### 参考文献:

- [1] 刘臣,郭歆. 极地探险邮轮市场分析与船型发展趋势 [J]. 船舶工程, 2021, 43(7): 14-23.  
LIU C, GUO X. Polar exploration cruise market analysis and ship type development trend[J]. Ship Engineering, 2021, 43(7): 14-23 (in Chinese).
- [2] 王自磐. 南极旅游的思考 [J]. 人与生物圈, 2017(增刊 1): 154-157.  
WANG Z P. Reflections on Antarctic tourism[J]. Man and the Biosphere, 2017(Supp 1): 154-157 (in Chinese).
- [3] 熊娜. 国外南极旅游研究综述 [J]. 海洋开发与管理, 2020, 37(5): 63-71.  
XIONG N. Literature review of overseas research on Antarctic tourism[J]. Ocean Development and Management, 2020, 37(5): 63-71 (in Chinese).
- [4] 胡晓芳,蔡敬标. 北极航道航行船舶操纵性设计需求分析 [J]. 中国舰船研究, 2015, 10(3): 37-44.  
HU X F, CAI J B. Analysis on the requirement of maneuverability for ships navigating through Arctic passage[J]. Chinese Journal of Ship Research, 2015, 10(3): 37-44 (in Chinese).
- [5] IMO. Maritime safety committee. MSC 82/3/31-comments on the criteria for safe return to port[R]. 2006.
- [6] 中国船级社. 实施 IMO 安全返港及有序撤离要求指南: GD05-2019[S]. 北京: 人民交通出版社, 2019: 1  
China Classification Society. Guidelines for implementation of IMO requirements for safe return to port and orderly evacuation: GD05-2019[S]. Beijing: China Communications Press, 2019: 1 (in Chinese).
- [7] KIM H, HAUGEN S, UTNE I B. Reliability analysis of the IMO regulation - safe return to port[J]. Ships and Offshore Structures, 2016, 11(5): 461-470.
- [8] VICENZUTTI A, BUCCI V, SULLIGOI G, et al. Impact of safe return to port rules on passenger ships power systems design[C]. Proceedings of 2016 AEIT International Annual Conference. Capri: IEEE, 2016.
- [9] 李艇,付云鹏,范永鹏,等. 安全返港理念下的船舶设计方法分析 [J]. 中国造船, 2020, 61(1): 187-193.  
LI T, FU Y P, FAN Y P, et al. Analysis of ship design method based on principle of returning safely back to port[J]. Shipbuilding of China, 2020, 61(1): 187-193 (in Chinese).
- [10] 鲁鼎. 满足安全返港的豪华邮轮轮机系统的拓扑结构 [J]. 船舶工程, 2020, 42(S1): 214-217,247.  
LU D. Topology of cruise ship machinery system for SRtP[J]. Ship Engineering, 2020, 42(S1): 214-217,247 (in Chinese).
- [11] 翟鸣晖,周玲. 小型极地探险豪华邮轮的电气生产设计方案 [J]. 江苏船舶, 2019, 36(6): 27-29.  
ZHAI M H, ZHOU L. Electric production design scheme of mini polar exploration luxury cruise[J]. Jiangsu Ship, 2019, 36(6): 27-29 (in Chinese).
- [12] 中国船级社. 极地船舶指南 [R]. 北京: 人民交通出版社, 2016: 5-12.  
China Classification Society. Guidelines for polar ship[R]. Beijing: China Communications Press, 2016: 5-12 (in Chinese).