

团 体 标 准

T/CSNAME 163—2026

极地船舶动力装置进气系统防冰除冰装置
设计要求

Design requirements for anti-icing and de-icing devices of air intake systems in polar ship power plants

2026- 02-12 发布

2026- 05-11 实施

中国造船工程学会 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 设计依据 2

 4.1 功能要求 2

 4.2 结构要求 2

 4.3 环境要求 2

5 设计准则 2

 5.1 总则 2

 5.2 结构简化设计 2

 5.3 轻量化设计 3

 5.4 低能耗设计 3

 5.5 人机工程设计 3

6 设计内容 3

 6.1 设计项目 3

 6.2 设计流程 3

 6.3 总体结构设计 4

 6.4 详细设计 4

7 设计验证 8

 7.1 功能性试验 8

 7.2 可靠性试验 9

 7.3 环境适应性试验 9

 7.4 电磁兼容试验 9

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及到专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国造船工程学会船舶标准化专业委员会提出。

本文件由中国造船工程学会归口。

本文件起草单位：哈尔滨工程大学、中国空气动力研究与发展中心、中国船舶集团有限公司第七〇三研究所、中国航空发动机集团有限公司沈阳发动机研究所、中国人民解放军92942部队。

本文件主要起草人：王忠义、王艳华、王萌、陈小虎、武万强、周海盟、杨连峰、舒文一、胡站伟、原文琪、姚明舟、王媛媛、吴玥、敖晨阳、关涛、孙涛、曲永磊、万雷、栾一刚。



极地船舶动力装置进气系统防冰除冰装置设计要求

1 范围

本文件规定了极地船舶动力装置进气系统防冰除冰装置（以下简称“防冰除冰装置”）设计依据、设计准则、设计内容、设计验证等要求。

本文件适用于极地船舶动力装置进气系统防冰除冰装置设计。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 4798.6 环境条件分类 环境参数组分类及其严酷程度分级 船用

GB/T 10250 船舶电气与电子设备的电磁兼容性

GB/T 19666 阻燃和耐火电线电缆或光缆通则

GB/T 20159.6 环境条件分类 环境条件分类与环境试验之间的关系及转换指南 船用
中国船级社，船舶设备与系统可靠性验证指南，2023

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

极地船舶动力装置 polar ship power plants

极地低温、冰区环境下航行船舶的推进动力系统与辅机动力系统。

3.2

进气系统 air intake system

极地船舶动力装置中进气口至主辅机发动机或进气口至主辅机发动机冷却口的部分。

3.3

积冰预警装置 icing warning system

能够根据动力的性能变化或进气温度、湿度等环境参数或结冰传感器等判断动力进气系统是否存在结冰风险的装置。

3.4

动力装置运行状态 operating condition of the power system

动力系统不同转速或功率下发动机压气机、涡轮出口等典型位置的空气流量、压力、温度等参数状态。

3.5

防冰除冰装置 anti-icing and de-icing system

防冰除冰装置主要包括引气防冰除冰装置、内热源防冰除冰装置、电加热防冰除冰装置以及采用超疏水表面、化学涂层、化学试剂等方式的其他防冰除冰装置。

3.6

引气防冰除冰装置 bleed air anti-icing system

采用燃气轮机作为动力的可以通过将压气机的部分高温高压气体引入进气系统主流道，与进气主流掺混后增加来流空气温度，达到进气防冰除冰功能的装置。

3.7

内热源冰除冰装置 internal heat source anti-icing device

利用船上已有的热源（高温滑油、蒸汽等）通过换热器与来流空气进行换热，或安装在进气系统易结冰位置进行防冰除冰的装置。

3.8

电加热防冰除冰装置 electric heating anti-icing system

通过电阻丝、电热膜、电加热片等加热来流或壁面达到增加来流温度或壁面温度的效果，实现防冰除冰的装置。

3.9

监控系统 monitoring system

能够显示进气系统进气条件、结冰状态、结冰预警、部件运行状态以及在必要时对部件进行防冰除冰控制的系统。

4 设计依据

4.1 功能要求

防冰除冰装置宜具有以下功能：

- a) 结冰预警功能；
- b) 防冰除冰功能；
- c) 防冰除冰监控功能。

4.2 结构要求

防冰除冰装置结构设计依据船舶及动力装置要求，主要考虑：

- a) 满足船舶进气系统总体布局与结构型式要求，满足模块化结构设计，同时兼顾可生产性；
- b) 满足船体开口要求，保证设备拆装、维修、使用、保养方便；
- c) 满足船舶总体及单元件重量要求，同时满足船员或吊装设备重量要求；
- d) 满足船舶总体强度和振动要求；
- e) 满足设备使用寿命要求；
- f) 满足船舶使用环境要求；
- g) 满足可靠性、安全性、环境适应性要求；
- h) 满足耐低温冲击要求。

4.3 环境要求

防冰除冰装置的环境要求应包含以下内容：

- a) 环境温度：-50℃；
- b) 纵倾/横倾：满足船体总体设计要求。
- c) 纵摇：满足船体总体设计要求。
- d) 横摇：满足船体总体设计要求。
- e) 空气相对湿度：大于95%，有凝露；
- f) 有盐雾、油雾、霉菌的影响；
- g) 有冲击振动。

5 设计准则

5.1 总则

防冰除冰装置设计应遵循以下原则：

- a) 结构和选型应尽量简化；
- b) 应符合通用化、系列化、组合化要求；
- c) 应满足轻量化设计；
- d) 应满足低能耗设计；
- e) 应具有良好的人机工程。

5.2 结构简化设计

为了提高防冰除冰装置的维护性，在保证功能、可靠性指标的同时，应简化防冰除冰装置结构，尽量简化元器件的品种、规格和数量，同种功能的设备或元器件应选用相同型号产品。

5.3 轻量化设计

设计过程中应尽量满足轻量化设计，大幅度减少设备的重量。可通过强度校核设计、选材设计、组合设计等内容来满足要求。

5.4 低能耗设计

船舶动力装置进气防冰除冰应综合采用多种防冰除冰方式、热源类型以及表面处理等方式，降低防冰除冰装置能耗。

5.5 人机工程设计

防冰除冰装置使用操作应遵循相关的人机工程要求，操作方便，易上手。
防冰除冰装置使用设计应至少具备自动、遥控与手动控制三种模式，操作人员可根据实际情况进行切换。

6 设计内容

6.1 设计项目

防冰除冰装置设计内容主要包括：

- a) 总体结构设计；
- b) 详细设计：
 - 1) 材料选择设计；
 - 2) 功能设计；
 - 3) 接口设计；
 - 4) 环境适应性设计；
 - 5) 电磁兼容性设计；
 - 6) 安全性设计；
 - 7) 低能耗设计。

6.2 设计流程

防冰除冰装置设计流程如图1所示。

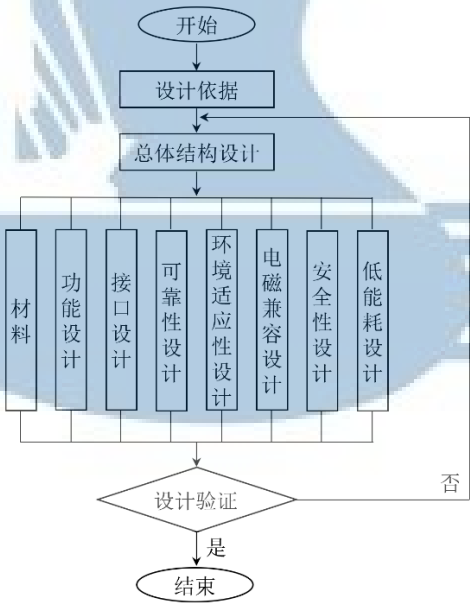


图1 防冰除冰装置设计流程

6.3 总体结构设计

防冰除冰装置结构布局应满足动力装置方案、最大外形轮廓尺寸以及与船体接口、进气舱室等相邻部件的连接和接口尺寸要求，结合功能要求、动力装置进气阻力等要求完成设计。

- 根据船舶动力装置进气口、进气舱室、船体接口尺寸设计防冰除冰装置的结构，宜包括进气百叶窗、进气过滤装置（过滤海洋环境下含盐气溶胶）、应急旁通装置（保证进气阻力）、引气防冰除冰装置等，对于封舱件要保证整体最大外形尺寸满足要求，对于非封舱件，各组成部件的最大外形轮廓需要保证通过船体开口运输安装。防冰除冰装置结构中备件外形尺寸和重量满足船舶机舱中吊装的要求；
- 根据船体开口、安装空间、舱室接口、引气口、内热源接口以及各部件的防冰接口等开展连接界面结构设计，保证整体防冰除冰装置的安装维修空间；
- 积冰预警设计要考虑积冰预警型式的各传感器尺寸及安装使用要求，尽量采用可靠性高的成熟产品型号，传感器安装及位置设计要保证防松防脱，对进气的干扰小等；
- 防冰除冰装置各组成部件的防冰除冰型式要根据其具体安装位置、进气环境、船上能够提供的能源功率以及防冰具体要求设计部件的防冰除冰型式，防冰除冰型式要保证部件在船舶动力装置正常进气条件下不结冰；
- 监控系统应包含防冰除冰装置监控台、防冰除冰装置远程控制箱、防冰除冰装置接线箱等设备，并通过减震器安装在船体结构上；
- 进行故障模式、影响及危害性分析，以便在设计中采取措施避免或减少故障的发生，为设计的综合评定、可靠性、维修性、保障性、测试性、安全性、环境适应性以及电磁兼容性等工作提供信息，为今后诊断故障提供依据。

6.4 详细设计

6.4.1 材料

材料选择应遵循以下原则：

- 电加热伴热带应选用高分子 PTC 材料，电热丝应选用铁铬铝、镍铬电热合金等抗氧化性能强材料，同时外部应包覆耐海洋环境的材料；
- 引气防冰除冰装置和内热源式防冰除冰装置应选用耐海洋腐蚀环境材料，例如 316L，含防腐涂层或防腐处理的铝合金材料等；
- 绝缘材料和非金属材料应耐潮、耐盐雾、耐霉菌、低毒，并满足阻燃要求或采取阻燃措施；
- 所有电缆或电线采用满足 GB/T 19666 规定的低烟、无卤、阻燃要求。

6.4.2 功能设计

6.4.2.1 积冰预警

6.4.2.1.1 基于温湿度传感器的积冰预警装置

基于温湿度传感器的积冰预警装置设计应包含以下内容：

- 传感器应正对来流且安装在进气道内壁面且不易结冰的位置，单个传感器尺寸不应大于 10 cm×10 cm×10 cm；
- 传感器通过安装支座与壁面刚性连接；
- 传感器外壳采用不锈钢封装，并在表面包裹四氟乙烯薄膜保证传感器的耐盐腐蚀及防盐雾飞溅性能；
- 传感器应具有基线校准功能，以便于及时修正因使用时间过长导致的测试结果漂移。
- 基于温湿度传感器的积冰预警装置响应时间不大于 2 s。

6.4.2.1.2 基于超声波传感器的积冰预警装置

基于超声波传感器的积冰预警装置设计应包含以下内容：

- 传感器应安装在进气道内壁面且正对气流；
- 传感器通过安装支座与壁面刚性连接；

- c) 传感器信号的采集频率不低于 100 MHz, 并通过 1 kHz 以上的带宽滤波, 信号更新响应时间不大于 0.5 s, 信号输出增益 -10 dB 以上, 信号输出采用常用模式且易被控制系统接收;
- d) 传感器外壳采用防潮绝缘防腐三防漆进行涂装; 超声敏感头不能进行涂装, 需要定期维护和更换;
- e) 为保证超声波传感器不结冰进而影响积冰预警, 内热源可以采用 PTC 加热片/加热棒、电加热膜或其他满足加热需求的电加热方式, 安装位置位于传感器外壳内表面, 通过导热胶粘接, 功率不低于 80 W;
- f) 传感器应具有基线校准功能, 以便于及时修正因使用时间过长导致的测试结果漂移。
- g) 基于超声波传感器的积冰预警装置响应时间不大于 2 s。

6.4.2.1.3 基于动力运行状态的积冰预警装置

基于动力运行状态的积冰预警装置设计应包含以下内容:

- a) 动力装置运行状态参数应选取较易获得的参数作为监测参数, 例如转速、压气机出口参数、燃油参数、涡轮后参数等;
- b) 基于动力运行状态的积冰预警装置应与其他积冰预警装置配合使用, 保证预警信号准确性;
- c) 基于动力运行状态的积冰预警装置响应时间不大于 2 s。

6.4.2.1.4 其它预警装置

其他预警装置设计应包含以下内容:

- a) 应保证对流场不产生影响;
- b) 应具有足够的响应时间、误报率、灵敏度;
- c) 宜采用不锈钢或防腐塑封外壳;
- d) 宜具备快拆、防水、电磁屏蔽功能;
- e) 宜具有本地显示、远程传输功能。
- f) 预警响应时间不大于 2 s。

6.4.2.2 防冰除冰

6.4.2.2.1 电加热防冰除冰

电加热防冰除冰设计应包含以下内容:

- a) 电加热可以采用电热丝、电热膜、电热涂层等多种方式, 要根据具体安装位置的要求选择合适的电加热方式;
- b) 电加热防冰除冰装置主要安装在进气百叶窗、进口导流罩、支板等位置, 其他位置需根据进气结冰试验或数值模拟结果中易结冰位置确定;
- c) 电加热防冰功率的选取应保证安装位置 (进气百叶窗、进口导流罩、支板等位置) 在 -50℃、额定进气条件下不结冰;
- d) 电加热防冰应根据结冰位置及结冰速率极限值, 合理布置电热丝、电热膜、电热涂层等, 并设置防冰功率;
- e) 电加热除冰功率密度一般选取 $1 \text{ W/cm}^2 \sim 3 \text{ W/cm}^2$, 发动机进气条件下结冰应选取上限值, 发动机启动除冰可根据结冰量和除冰时间要求, 合理选取除冰功率;
- f) 电加热防冰除冰装置可通过手动或遥控的方式进行控制。

6.4.2.2.2 引气防冰除冰

引气防冰除冰装置设计应包含以下内容:

- a) 引气防冰除冰装置一般应用于燃气轮机动力装置, 主要包含电动/手动截止阀、引气总管、引气支管、引气喷嘴等组成部件;
- b) 引气防冰除冰装置宜安装在进气口百叶窗前后, 百叶窗如有防冰除冰措施, 则安装在百叶窗之后; 否则, 安装在百叶窗之前;
- c) 每套引气防冰除冰装置的防冰除冰集管通过固定座和滑座与船体构架基座刚性连接;

- d) 为避免热量损失,引气防冰除冰装置管路应具有保温功能和良好的气密性。引气喷嘴应具有消音措施,尽量减少喷气与掺混产生的噪音;引气防冰除冰装置喷嘴应交替布置,引气经喷嘴喷射后与主流空气进行掺混,温度分布应尽可能均匀;
- e) 引气防冰功率应根据进气状态和发动机运行状态合理选取引气量,防冰状态下一般不超过总进气量的3%,除冰状态下引气量一般不超过发动机总进气量的5%;
- f) 引气防冰除冰应能通过监控系统自动获遥控打开或通过手动方式打开。

6.4.2.2.3 内热源防冰除冰

内热源防冰除冰设计应包含以下内容:

- a) 船舶动力装置内热源防冰除冰装置可用的内热源有蒸汽、滑油等;
- b) 内热源防冰除冰装置宜安装在进气舱室内,采用多片相同结构的中空式叶片,通过内热源与壁面换热,壁面与主流空气换热的方式加热来流空气;
- c) 内热源防冰除冰装置进出口需要安装电动/手动截止阀,以便在需要进行内热源防冰除冰装置进行开闭控制;
- d) 内热源防冰除冰装置应尽可能阻力小,以减小对来流空气进行加热时的流动损失;
- e) 内热源防冰除冰装置应尽可能大的加热能力,对于蒸汽内热源,应保证设备在-50℃条件下进气系统不结冰;对于其他内热源,应尽可能的增加来流温度;
- f) 内热源防冰应保证壁面位置温度不低于结冰温度,内热源除冰功率应根据船舶极限运行条件下进气速度、温度、液态水、冰雪含量等计算所得的热载荷需求确定。

6.4.2.2.4 其他防冰除冰方式

其他防冰除冰设计应根据实际情况选择合适的防冰方式,如超疏水表面、化学涂层、化学试剂、机械防冰除冰等方式;机舱机械送风风道、主管管宜敷设保温绝缘等方式,防止风道表面凝水和结冰。

6.4.2.3 监控功能

6.4.2.3.1 总体要求

监控系统的总体要求应包含以下内容:

- a) 环境监测参数应包括温度、压力、湿度、进气速度(可用其他参数代替)等;
- b) 状态监测参数应包括防冰除冰装置中各关键部套件的运行状态,例如阀门的开闭、位置、电压、电流、功率,热源、引气的温度、压力等参数;
- c) 监控系统应能够及时记录所检测的参数,记录参数报警时间、确认时间、解除时间等,并以数据包的形式及时发送给控制系统模块,同时,监控系统测量的所有参数都应显示在监控系统的屏幕上;
- d) 监控系统应具有界面美观、指示键(灯)易识别、操作简单等特点;
- e) 监控系统应具有记忆存储功能,实时记录系统的参数输入以及输出参数,数据存储时间不低于1年;
- f) 监控系统应保证至少具有远程遥控和就地手动控制2种控制方式,远程控制通过远程控制箱完成(包含手动和),就地控制通过就地控制箱完成;
- g) 在2种控制模式下,监控系统均具有报警功能,即当监控参数即将达到自动控制设定值时,控制系统会报警提示。报警参数值可通过系统设定。

6.4.2.3.2 防冰除冰参数监控

监控系统的防冰除冰参数监控应包含以下内容:

- a) 内热源防冰除冰监控应在进气系统进口处以及进气道中能够代表结冰状态的典型位置或需要重点防冰的位置的舱壁上安装温度传感器,并实施进行温度监测、记录。监控系统应能够实时监测内热源防冰除冰装置的壁面温度、进出口热源温度、进出口空气温度等参数;
- b) 电加热防冰除冰监控应在进气系统进口处以及进气道中能够代表结冰状态的典型位置或需要重点防冰的位置的舱壁上安装温度传感器,并实施进行温度监测、记录。应能够实时监测电加热防除装置的运行电压、电流、功率等参数;

- c) 引气防冰除冰监控应在进气系统进口处的舱壁上安装温度传感器,并实施进行温度监测、记录。同时应能够实时监测引气防冰电动/手动截止阀的工作状态;
- d) 其他防冰除冰监控应至少包含环境参数、结冰状态以及设备运行状态等。

6.4.2.3.3 防冰除冰报警

监控系统应具有超限报警功能,当进气环境温度降低到小于等于4℃时或典型位置已探测到结冰时,声光报警装置启动,应答后报警解除。典型位置结冰的声光报警应给出报警所对应的监测位置。

6.4.2.3.4 监控系统启动、运行及关闭

监控系统在检测到环境参数已达到结冰或已探测到结冰时,需按照以下逻辑运行:

- a) 监控系统的启动。监控系统启动应具备手动、遥控、自动三种模式;三种模式可以自由切换。在自动模式下:当进气温度小于等于4℃时或典型位置已探测到结冰时,声光报警启动。如是进气温度低造成的报警,在报警超过60s,监控系统自动开启相应的防冰除冰装置;如是结冰造成的报警,报警超过60s,监控系统应根据结冰报警对应的位置,启动该位置所对应的除冰装置。手动模式下:操作人员可随时通过手动方式开启防冰除冰装置;
- b) 监控系统的运行。监控系统运行过程中,监控系统应能根据6.4.2.3.2中监测到的参数确定装置各部件的运行状态以及防冰除冰效果,并判断下一步所需的控制;
- c) 监控系统的关闭。监控系统关闭应具备手动、遥控、自动三种模式;三种模式可以自由切换。在自动模式下,当进气温度大于等于21℃时,监控系统自动关闭防冰除冰装置,对于典型位置的除冰;当该位置的壁面监测温度大于80℃或超过15℃且持续一定时间后关闭。在遥控模式下,操作人员可根据监控系统显示器实时温度显示自主决定防冰除冰装置的关闭时间。手动模式下,操作人员可随时通过手动方式关闭防冰除冰装置。

6.4.3 接口设计

6.4.3.1 机械接口设计

防除冰装置零件及部套件的机械接口采用法兰连接。电控箱、监控箱等电气设备应通过减震支座与船体连接。

6.4.3.2 电源及信息接口

电源及信息接口设计应包含以下内容:

- a) 防冰除冰装置控制台如无特殊要求,宜采用220V;
- b) 防冰除冰装置远程控制箱:如无特殊要求,宜采用DC24V,接不间断电源;
- c) 防冰除冰装置电加热控制箱:如无特殊要求,宜采用三相三线220V、60HZ/50HZ(±10%)或440V、60HZ/50HZ(±10%);
- d) 引气防冰阀如无特殊要求,宜采用三相三线220V、60HZ/50HZ(±10%)或440V、60HZ/50HZ(±10%);
- e) 信息接口至少包含防冰除冰装置的工作状态及反馈信号、壁面温度、进气温度、阀门的运行状态、报警及指示信号等;
- f) 信息接口可采用CAN总线/485通讯等,信号类型可采用模拟数据或数字数据。

6.4.4 可靠性设计

防冰除冰装置应进行可靠性分析,根据装置的组成及安装型式进行设计与计算指标分析,主要包括产品功能及组成、故障判别、可靠性模型、部件可靠性预估以及整体可靠性评估等。若无特殊要求,除冰防冰装置可靠性设计指标为:

- a) 机械部分平均故障间隔时间最低可接受值不小于5000h,目标值不小于10000h;
- b) 电子部分平均故障间隔时间最低可接受值不小于2000h,目标值不小于3000h。

6.4.5 环境适应性设计

防冰除冰装置环境适应性设计应包含以下内容:

- a) 装置根据动力装置任务剖面确定盐雾浓度、温度、湿度、振动强度、冲击强度等自然环境和诱发环境参数；
- b) 材料应选用低温下韧性好的材料、耐腐蚀涂层以保证设备稳定性与可靠性；
- c) 装置应具有良好的抗振动、抗冲击特性，必要是采取减震、加固、冗余设计；
- d) 装置应进行防潮湿、盐雾、霉菌设计，例如材料增加防腐涂层、异种金属间增加防电化学腐蚀垫片、密封、灌封等防腐设计。

6.4.6 电磁兼容性设计

装置电磁兼容性设计应包含以下内容：

- a) 电磁兼容性设计应明确系统的电磁兼容性指标。所设计的控制系统在多强的电磁干扰环境中应能正常工作；控制系统干扰其他系统的允许指标；
- b) 在了解所设计的控制系统干扰源、被干扰对象、干扰的耦合途径的基础上，通过理论分析将这些指标逐级地分配到各分系统、子系统和单元电路上；
- c) 根据实际情况采取相应措施抑制干扰源，隔断干扰途径，提高电路的抗干扰能力。

6.4.7 安全性设计

应对设备进行安全性设计与分析，保证设备和机组的安全使用与维修。同时保证进气防冰除冰装置出现故障时不影响机组的正常运行。装置的安全性应包含以下内容：

- a) 装置外表面人员易接触部位温度不应超过 60℃；
- b) 组成设备不应有造成人员安全的结构凸起；
- c) 检查设备结构应稳固、各连接件可靠连接，检查控制箱柜门开合阻尼适中；
- d) 应可以正面安装、操作、维护各设备；
- e) 控制箱不同连接类型连接器应采用不同型号插头进行区分，防止误连接；
- f) 进气防冰出现故障时不能影响动力装置正常进气。

6.4.8 低能耗设计

应对设备进行低能耗设计与分析，保证防冰除冰装置能耗在允许范围内，一般不超过动力装置功率的5%。低能耗设计应包含以下内容：

- a) 应综合采用多种防冰措施减少能耗；
- b) 应充分利用船上已有热源进行防冰设计，例如滑油、生活热源等；
- c) 在满足防冰要求的前提下，减少设计裕度；
- d) 积极采用被动式防冰措施，例如表面处理等。

7 设计验证

7.1 功能性试验

7.1.1 结冰预警

选取典型的结冰工况，开展结冰预警装置响应时间测试，测试结果应满足6.4.2.1中结冰响应时间要求。

7.1.2 防冰除冰

通过缩比试验件，开展不同温度、不同含水量进气条件下电加热防冰测量，在1 W/cm²~3 W/cm²电加热功率下，应满足-50℃、额定进气速度下电加热表面不结冰的要求。

7.1.3 监控功能

切换监控系统至自动控制方式下，通过真实传感器或模拟信号模拟不同的结冰环境参数，进行防冰除冰参数监测与记录功能试验，试验结果应满足6.4.2.3.2的要求；进行防冰除冰报警功能试验，试验结果应满足6.4.2.3.3的要求。

切换监控系统至遥控或手动模式下，通过远程遥控或手动控制方式，进行监控系统启动、运行及关闭功能试验，设备应能正常执行操作指令。

7.2 可靠性试验

应按照《船舶设备与系统可靠性验证指南》进行可靠性试验，试验结果应满足6.4.4的要求。

7.3 环境适应性试验

应按 GB/T 4798.6 和 GB/T 20159.6进行环境适应性试验，试验结果应满足6.4.5的要求。

7.4 电磁兼容试验

应按GB/T 10250规定的方法进行电磁兼容试验，试验结果应满足6.4.6的要求。

中国造船工程学会

