

122-06A0014-B01003_雷达-操作使用手册

目录

1. 安全警告	3
1.1. 警告	3
1.2. 注意	3
2. 概述	3
2.1. 主要功能	4
2.2. 工作条件	5
2.2.1 正常运行条件	5
2.2.2 非正常运行条件	8
3. 组成、技术特征及接口	10
3.1. 组成	10
3.2. 工作原理	21
3.3. 技术指标	23
3.4. 接口情况	24
3.5. 布置情况	26
4. 操作使用	27
4.1. 操作使用项目索引表	27
4.2. 操作程序	28
4.2.1 正常操作程序	28
4.2.2 应急操作程序	39
4.3 战位操作表	46
5. 使用期间安全防护及注意事项	47
5.1. 安全防护	47
5.2. 注意事项	48

1. 安全警告

安全警告页标明系统、设备在使用或维修期间可能出现安全事故的警告图示和文字。警告和注意旨在说明危险、最低预防措施和可能发生的后果。

1.1. 警告

【最高级别警告】情境意识：始终保持对船舶位置、周围交通、水文气象、船舶状态和仪器读数的全面了解。自满是最大的危险。

【最高级别警告】有效沟通：船-岸、驾驶台-机舱、驾驶台内部、舵手-引航员之间的沟通必须清晰、无误、复诵确认。语言障碍是重大事故根源。

【警告】严格遵守规则：必须严格遵守《国际海上避碰规则》、《国际海上人命安全公约》、《港口特殊规定》及公司安全管理体系。

【警告】疲劳管理：严禁在过度疲劳状态下值班或操作。合理安排休息，必要时立即报告。

1.2. 注意

【注意】记录与交接：所有重要操作、命令、事件必须在航海日志、轮机日志、电子海图记录中准确、及时记载。交接班必须充分、清晰。

2. 概述

本文档系统定义了主机的安装、启停、操作、维护、监测及故障处置的全部标准和程序。

舰船雷达是装备在舰艇上的各种雷达的统称，是现代舰艇的核心感知系统，对保障航行安全、执行作战任务具有不可替代的作用。

舰船雷达是用于探测和跟踪海面及空中目标，为武器系统提供目标坐标数据，引导舰载机飞行和着舰，保障舰艇安全航行和战术机动的电子设备。它既是“舰艇之眼”，也是现代海军作战体系的核心传感器。

现代舰船雷达已从单纯的探测设备，发展为集感知、决策、指挥于一体的“信息中枢”，在海战中发挥着“信息制胜”的关键作用。正如美国海军上尉 Seiko Okano 所评价的，AN/SPY-6(V) 雷达是“改变游戏规则卓越雷达”，代表着舰载雷达技术发展的新高度。

在未来的海战中，雷达技术的先进程度将直接决定舰队的生存能力和作战效能，正如知识库中所述：“当你的‘视力’比别人远上一大截，处理信息的速度又快上好几倍时，战场对你而言就成了单向透明的。”

2.1.主要功能

一、对空搜索（Air Search）

远程预警：探测和识别高空、中低空的飞机、导弹等空中目标，提供早期预警。

目标指示：为防空系统（如导弹、近防炮）提供目标方位、距离、高度和速度信息。

典型雷达：大型旋转相控阵雷达（如美国的 AN/SPY-1 宙斯盾系统）。

二、对海搜索（Surface Search）

海面目标探测：发现和跟踪舰船、潜艇潜望镜、浮标等海面目标。

导航避障：在能见度低时辅助避开障碍物或其他船舶。

海况监测：分析海面波浪状况，辅助舰船航行安全。

三、火控雷达（Fire Control Radar）

精确跟踪：锁定单个目标（如导弹、飞机、舰船），提供高精度数据以引导武器攻击。

武器制导：直接控制舰炮、导弹或近防系统（如“密集阵”）瞄准目标。

特点：通常波束窄、频率高、更新速率快。

四、导航雷达（Navigation Radar）

近程航行安全：探测海岸线、航道浮标、附近船舶，防止碰撞。

气象监测：识别雨区、风暴等天气现象。

常用频段：X 波段（精度高，适用于短距离）。

五、目标指示雷达（Target Acquisition Radar）

中继引导：作为搜索雷达与火控雷达之间的桥梁，快速分配目标。

多目标处理：同时对多个潜在威胁进行初步跟踪。

六、敌我识别（IFF）

身份判别：通过询问/应答信号区分敌我目标，避免误伤。

协同作战：与友军单位共享目标身份信息。

七、扩展功能与趋势

低可观测目标探测：针对隐身飞机、小型无人机、潜望镜等目标，采用高频雷达或协同探测技术。

电子战支援：部分雷达具备电子侦察（ESM）能力，分析敌方雷达信号。

多功能一体化：现代相控阵雷达（如有源相控阵 AESA）可同时执行搜索、跟踪、通信、电子对抗等任务。

协同作战：通过数据链将雷达信息与其他平台（如预警机、卫星）融合，形成战场统一态势图。

2.2.工作条件



图 2.2 雷达工作条件

2.2.1 正常运行条件

1) 环境条件

表 2.1 环境条件

条件类别	具体说明	关键挑战与要求
物理环境	气候与腐蚀：长期暴露于高盐、高湿、霉菌环境 机械应力：承受船舶摇摆、震动、冲击等	要求材料与结构具备高强度防腐、密封防潮能力
电磁环境	复杂干扰：面临海面杂波、敌方电子干扰、以及舰上其他设备的电磁兼容（EMC）问题	需具备优异的抗干扰能力和严格的电磁兼容设计，避免相互干扰。
系统集成	多系统协同：需与火控系统、指挥控制系统、数据链等深度集成，协同工作	要求标准化的数据接口和高速信息处理能力，以融入舰船作战体系
人员操作	专业操控：需由专业操作员在作战信息中心内，进行配置、监控、故障诊断和信息分发	操作员需经受严格训练，同时系统应具备高可靠性和故障弱化能力（如部分单元损坏不影响整体）
技术性能	探测能力：需在严重海杂波中识别小型、低空、高速目标（如掠海反舰导弹） 多任务性：现代雷达需能同时执行对空搜索、对海搜索、目标跟踪、导弹制导等多种任务	采用脉冲多普勒、相控阵（特别是数字有源相控阵）等先进技术，以实现多功能、高数据率和多目标跟踪能力

2) 能源条件

表 2.2 能源条件

条件类别	具体要求与描述	对雷达系统的影响与用途
电	1. 电源规格： - 电压与频率：通常为 440V/60Hz 或 380V/50Hz 三相交流电，允许偏差一般不超过±10%。 - 功率容量：必须满足雷达峰值功耗要求，特别是发射机开机瞬间的冲击功率。 2. 电源质量： - 稳定性：电压和频率波动需在设备允许范围内。 - 纯净度：需抑制电网谐波、浪涌和尖峰脉冲干扰。 3. 备用与应急： - 应能无缝或短时切换至舰船应急电源。	核心能源 - 为所有电子设备（发射机、接收机、处理机等）和电机设备（伺服系统）提供动力。 - 电源不稳或中断将直接导致雷达关机或性能下降、部件损坏。
冷却（水/气）	1. 液冷（水或其他冷却液）： - 流量与压力：需满足冷却系统设计要求。 - 水质：通常要求去离子水或专用冷却液，以防止管路腐蚀和结垢。 - 温度：进口水温需低于规定值（如 30℃）。	散热保障 - 液冷：主要用于冷却大功率部件（如发射机的行波管/速调管、调制器等）。 - 风冷：用于机柜内各类板卡、电源等设备的常规散热。

条件类别	具体要求与描述	对雷达系统的影响与用途
	2. 风冷（气）： • 通风量： 机柜风扇和舱室通风系统需提供足够的气流。 • 空气品质： 空气应过滤，减少盐雾、灰尘，保持机柜内环境洁净、干燥。	• 冷却失效将导致设备过热、性能降级或永久性损坏。
油	1. 液压油： • 型号与等级： 必须使用设备规定的液压油（如特定的粘度等级、抗磨型）。 • 清洁度： 油路需保持极高清洁度，定期过滤或更换。 2. 润滑油： • 型号： 用于天线伺服系统的齿轮箱、轴承等（如GL-5 齿轮油、锂基润滑脂）。 • 定期更换： 需按维护周期更换，防止油脂老化、失效。	机械传动与润滑 • 液压油： 为大型雷达可能采用的液压驱动系统提供动力介质。 • 润滑油/脂： 保证伺服机构（方位/俯仰转动部件）平稳、低磨损运行，防止卡滞和过度磨损。
压缩空气	1. 压力与干燥度： • 提供稳定、干燥（常需露点低于-40℃）、洁净的压缩空气。 • 压力需符合设备要求（如 0.6~0.8 MPa）。 2. 用途分类： • 清洁用气： 用于吹扫天线反射面、波导口等。 • 气动用气： 部分雷达的波导开关、制动器可能采用气动操作。 • 加压用气： 用于维持天线罩或某些充气波导的正压，防止湿气、盐雾侵入。	清洁、驱动与密封 • 保持关键部件（如天线面、高压器件）表面清洁，维持绝缘性能。 • 驱动气动机构。 • 为正压密封系统供气，创造干燥内部环境，提升可靠性。
蒸汽	1. 可用性： • 在现代舰船雷达中直接需求较少，主要存在于某些特定老式系统或舰船通用保障中。 2. 潜在用途： • 环境控制： 在寒冷海域，或可用于雷达舱室的辅助供暖，防止设备冷凝。 • 除冰： 极少数情况下，可能用于天线面的除冰系统（现多采用电加热方式）。	环境维持（次要或备用） • 主要用于舰船整体的环境控制系统，间接为雷达提供适宜的工作温度环境，防止低温启动困难或冷凝水危害。

2.2.2 非正常运行条件

本节对雷达非正常运行条件进行说明。明确外部输入条件的变化可能对螺旋桨造成的故障。同时描述雷达因故障会导致非正常输出条件可能会导致其他设备故障。

表 2.3 非正常输入条件及产生后果

序号	项目	非正常输入条件	可能产生后果
1	电能输入	电压过高（超过+10%）、电压过低（低于-15%）、频率不稳、瞬时断电、谐波污染严重。	1. 过压：烧毁电源模块、滤波电容等敏感元器件。 2. 欠压：设备无法启动或运行不稳定，发射机功率不足。 3. 断电/闪断：系统非正常关机，数据丢失，硬件可能因断电时序错误受损。 4. 谐波：干扰控制系统，造成误报警或逻辑错误。
2	冷却水	流量不足、压力过低、水温过高、水质不洁（含杂质或导电离子）。	1. 流量/压力不足：大功率器件（如发射管）散热不良，导致过热保护关机或永久性热损伤。 2. 水温过高：冷却效率下降，同样引起设备超温。 3. 水质不洁：管路腐蚀、堵塞，降低冷却效率，可能引起绝缘下降和短路。
3	压缩空气	压力不足、湿度过高（含液态水）、含油分或杂质。	1. 压力不足：气动部件（如波导开关）无法正常动作，正压系统失效。 2. 湿度/杂质高：导致内部器件（尤其是高压部件）结露、积污，引发放电打火、绝缘性能劣化，严重时可致短路。
4	润滑油/液压油	油位过低、油质劣化（乳化、杂质多、粘度不符）、型号错误。	1. 油位低/油质差：伺服系统齿轮箱、轴承润滑不良，导致磨损加剧、噪音增大、传动精度下降，严重时卡死。 2. 型号错误：无法形成有效润滑膜，加速设备磨损，密封件可能损坏。
5	环境条件	舱室温度过高/过低、湿度过高、盐雾浓度超标、剧	1. 温湿度超标：电子器件性能漂移、可靠性下降，冷凝水导致短路。

序号	项目	非正常输入条件	可能产生后果
		烈振动。	2. 盐雾腐蚀：电路板、接插件、结构件腐蚀，接触不良，绝缘性能下降。 3. 剧烈振动：连接件松动，光学或精密机械部件失准，焊点开裂。

表 2.4 设备故障非正常输出条件及可能产生后果

序号	故障	非正常输出条件	可能产生的后果（对其他设备/系统的影响）
1	发射机频谱泄露	产生超出许可范围的杂散辐射或谐波。	1. 电磁干扰（EMI）：严重干扰舰船其他无线电设备（如通信电台、导航接收机、电子战系统）的正常工作，使其灵敏度下降或接收通道饱和。
2	电源故障	产生大的负载冲击（如短路）、向电网反馈谐波或电压尖峰。	1. 电网污染：影响同一母线上其他敏感电子设备的供电质量，可能导致其复位或损坏。 2. 保护跳闸：可能引起配电开关跳闸，导致局部或全船断电。
3	冷却系统泄漏	冷却水（液）泄漏至舱室或设备内部。	1. 电气短路：泄漏的导电液体导致其他相邻电气设备短路、损坏。 2. 舱室危害：引发舱室电气安全隐患，可能导致人员滑倒，腐蚀甲板和其他设备。
4	伺服系统失控	天线非指令性高速旋转或俯仰（“飞车”）、产生异常机械振动和噪音。	1. 机械碰撞：可能撞击周围的舰体结构、天线罩或其他设备，造成物理损坏。 2. 平台干扰：巨大的不平衡力矩和振动可能干扰舰船其他精密设备（如光学瞄准具、卫星通信天线）的稳定平台。
5	信号处理机故障	输出错误的目标数据（假目标、错误坐标/速度）、数据流中断或持续发送无效数据。	1. 作战系统误导：向火控系统、指挥系统（CIC）提供错误情报，导致误判、武器无效发射或丢失战机。 2. 数据链污染：通过数据链共享错误信息，误导编队内其他舰艇或飞机。
6	波导/馈线	高压射频能量泄漏至舱内。	1. 人员安全：高强度微波辐射对舱内人员造成健康危害（灼伤）。

序号	故障	非正常输出条件	可能产生的后果（对其他设备/系统的影响）
	系统损坏		2. 设备安全： 泄漏的微波能量可能点燃附近的易燃物，或干扰未做屏蔽的电子设备。

3. 组成、技术特征及接口

以下部分介绍雷达的组成、工作原理、技术指标、接口情况、布置情况，从各方面知悉雷达的基本信息。

3.1. 组成

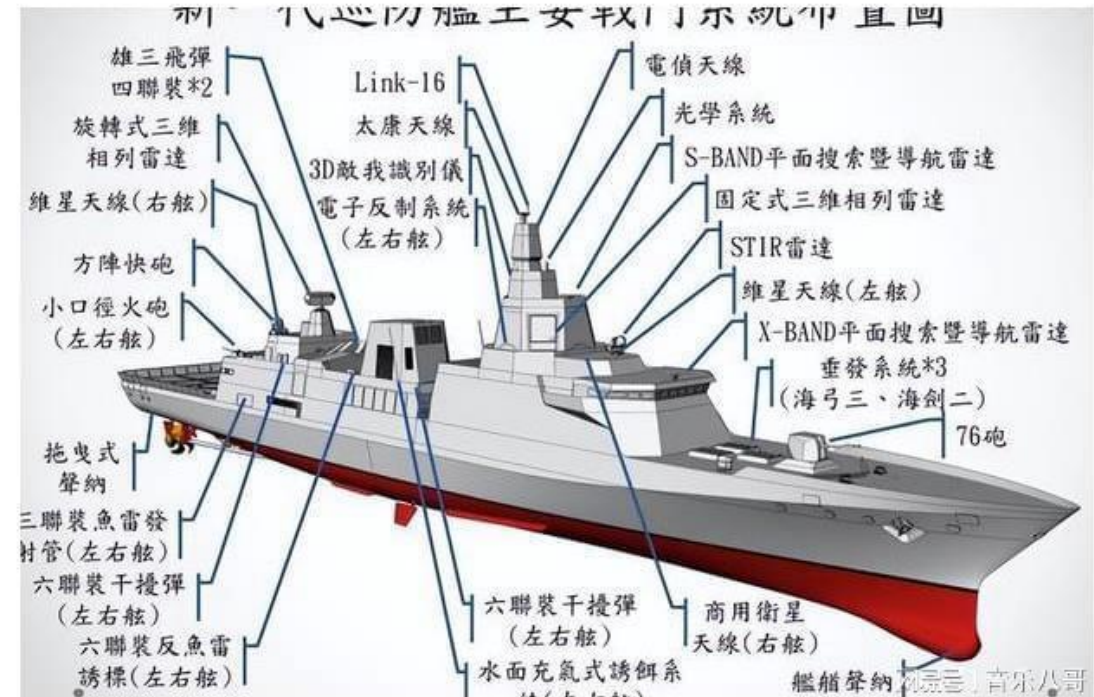


图 3.1 雷达组成

表 3.1 雷达组成表

序号	名称	图号或规格	数量	备注

1	天线系统	例如：S 波段抛物面天线 / 4 面阵有源相控阵	1 套	雷达的“眼睛”和“耳朵”，负责发射和接收电磁波。其形式（旋转/固定）、波段和尺寸决定了雷达的基本性能。
2	发射机系统	例如：集中式速调管发射机 / 分布式 T/R 模块	1 套	系统的“心脏”，产生高功率射频脉冲。相控阵雷达的发射机常分散于每个辐射单元后方。
3	接收机系统	例如：多通道超外差接收机	1 套	系统的“灵敏耳蜗”，将微弱回波信号放大并转换为中频信号。现代雷达常与处理机高度集成。
4	信号处理机	例如：基于 FPGA/GPU 的并行处理机柜	1 套	系统的“初级大脑”，负责从原始信号中检测、提取目标点迹，并抑制杂波和干扰。
5	数据处理与显控终端	例如：双冗余工控机与多功能显示器	1-2 套	系统的“高级大脑”和“人机界面”，数据处理机负责目标跟踪、识别；显控终端供操作员监视和控制。
6	配电与电源系统	例如：440V/60Hz 输入，多路直流/交流输出配电柜	1 套	系统的“能量中心”，将舰船电力转换为各分系统所需的不同规格电源，并包含滤波和保护功能。
7	冷却系统	例如：强制液冷循环机组（用于发射机等大热耗设备）	1 套	系统的“散热系统”，通过液体或空气循环为发射机等大功率部件散热，确保其稳定工作。
8	伺服控制系统	例如：全数字化交流伺服驱动单元（仅用于机械扫描雷达）	1 套	雷达的“肌肉与骨骼”，驱动机械扫描天线旋转，实现空域覆盖和对目标的精确跟踪。

一、天线系统

舰载雷达天线系统是现代海军舰艇上用于探测、跟踪、识别空中与海面目标，并为武器系统提供火控支持的关键电子设备组成部分。其核心功能包括目标搜索、跟踪、敌我识别、导弹制导、导航以及气象监测等。用于发射和接收电磁波。

（1）基本组成

舰载雷达天线系统通常由以下主要部分构成：

天线单元：负责电磁波的发射与接收，形式多样（如抛物面反射器、相控阵平面阵列等）。

伺服驱动机构：控制天线的方位角和俯仰角运动，实现对空域或海域的扫描。

射频收发组件（T/R 模块）：在有源相控阵雷达中，每个天线单元可能配备独立的 T/R 模块。

波导或馈线系统：连接天线与雷达主机，传输高频信号。

冷却与防护系统：保障高功率运行下的热管理和抗盐雾、抗腐蚀能力。

稳定平台（StabilizationPlatform）：补偿舰艇横摇、纵摇和偏航带来的指向误差，确保波束稳定。

（2）天线类型

根据技术体制不同，常见舰载雷达天线包括：

机械扫描天线：通过物理旋转实现空域覆盖，结构简单但扫描速度受限。

无源相控阵天线（PESA）：使用单一发射源，通过移相器控制波束方向，扫描速度快于机械式。

有源相控阵天线（AESA）：每个辐射单元集成独立 T/R 模块，具备多目标跟踪、抗干扰强、可靠性高等优势，是现代主力舰（如美国“阿利·伯克”级、中国 055 型驱逐舰）的核心配置。

（3）环境适应性要求

舰载雷达天线需满足严苛的海洋环境要求：抗高湿、高盐雾腐蚀；耐受强风、冲击与振动；在舰体摇摆条件下保持指向精度；具备电磁兼容性（EMC），避免与其他舰载电子系统相互干扰。

二、发射机

舰载雷达发射机是舰载雷达系统的核心组成部分之一，其主要功能是产生高功率、高稳定性的射频（RF）信号，通过天线辐射出去以探测目标。由于舰载环境的特殊性（如空间受限、高湿高盐、强振动等），舰载雷达发射机在设计上需兼顾高可靠性、高效率、抗干扰能力和多任务适应性。产生高功率射频信号。

（1）基本功能

产生高功率射频脉冲或连续波信号：用于照射目标区域。

支持多种工作模式：如搜索、跟踪、火控、导弹制导、电子对抗等。

与接收机协同工作：实现收发隔离（通常采用环行器、开关或频率/时间分隔）。

提供稳定的频率和相位参考：尤其对相控阵雷达和脉冲多普勒雷达至关重要。

（2）主要类型

①磁控管发射机

特点：结构简单、成本低、峰值功率高。

缺点：频率稳定性差、寿命较短、难以实现复杂波形调制。

应用：多用于老式或低成本舰载导航/对海搜索雷达（如 X 波段导航雷达）。

②速调管（Klystron）发射机

特点：高功率（可达兆瓦级）、高增益、频率稳定性好。

缺点：体积大、需高压电源、带宽较窄。

应用：适用于远程对空警戒雷达（如早期 AN/SPS-49）。

③行波管（TWT, TravelingWaveTube）发射机

特点：宽带宽、中高功率、适合频率捷变。

缺点：效率较低、寿命有限、需精密冷却。

应用：广泛用于现代多功能舰载雷达（如 AN/SPQ-9B）。

④固态发射机（Solid-StateTransmitter）

特点：采用 GaN（氮化镓）或 GaAs（砷化镓）功率放大器；模块化设计，冗余度高；高可靠性、长寿命、低维护；支持复杂调制（如线性调频、相位编码）；可实现分布式发射（尤其适用于 AESA 雷达）。

缺点：单模块功率较低，需大量合成才能达到高功率。

应用：现代先进舰载有源相控阵雷达（如美国 AN/SPY-6、中国 346B 型）普遍采用全固态发射技术。

三、接收机

舰载雷达接收机是舰载雷达系统中负责接收、放大和处理从目标反射回来的微弱射频（RF）回波信号的关键子系统。其性能直接决定了雷达的探测灵敏度、分辨率、抗干扰能力和多目标处理能力。在复杂的海洋作战环境中，舰载雷达接收机需具备高动态范围、强抗干扰性、高稳定性以及与发射机、信号处理器的紧密协同能力。放大并处理回波信号。

（1）基本功能

接收微弱回波信号：从天线接收经目标散射返回的极微弱电磁波（可能低至

微伏甚至纳伏级）。

低噪声放大：在信号链前端进行低噪声放大（LNA），以最大限度保留信噪比（SNR）。

频率下变频：将射频信号通过混频器转换为中频（IF）或直接数字化为基带信号（零中频/低中频架构）。

滤波与选择性：抑制带外干扰、杂波和邻道信号，提高频率选择性。

动态范围控制：应对强杂波（如海面、雨雪）与弱目标信号共存的场景，防止接收机饱和。

数字化输出：将模拟信号转换为数字信号，供后续信号处理单元（如脉冲压缩、MTD、CFAR 等）使用。

（2）典型结构组成

表 3.2 接收机典型结构组成

模块	功能说明
低噪声放大器（LNA）	首级放大，决定整机噪声系数（NF），常采用 GaAs 或 GaN 工艺。
混频器（Mixer）	将射频信号与本振（LO）混频，下变频至中频或基带。
本振（LO）源	提供高稳定、低相噪的本地振荡信号，常由频率合成器产生。
中频放大与滤波器	放大中频信号并滤除镜像频率和带外干扰。
自动增益控制（AGC）	动态调整增益，防止强信号导致 ADC 饱和。
模数转换器（ADC）	高速、高分辨率 ADC（如 12 - 16 位，采样率 $\geq 1\text{GSPS}$ ）实现信号数字化。
数字下变频（DDC）（可选）	在 FPGA 或专用 ASIC 中完成进一步降采样和滤波。

四、信号处理器

舰载雷达信号处理器是现代海军舰艇雷达系统中的核心组成部分，主要负责对雷达天线接收到的原始回波信号进行采集、滤波、处理和分析，以提取目标信息（如距离、方位、速度、高度等），并为后续的目标跟踪、识别、威胁评估及武器引导提供高精度、高可靠性的数据支持。对原始回波进行滤波、检测、跟踪等处理。

（1）基本功能

➤ 信号预处理

对接收机输出的中频或基带信号进行数字化（ADC 采样）；
实施杂波抑制、噪声滤除、增益控制等前端处理。

➤ 脉冲压缩与匹配滤波

对采用线性调频（LFM）、相位编码等调制方式的雷达信号进行脉冲压缩，提高距离分辨率和信噪比。

➤ 多普勒处理（MTI/MTD）

利用动目标显示（MTI）或多普勒滤波组（MTD）技术，从强杂波背景中提取运动目标；

支持恒虚警率（CFAR）检测算法，自动调整检测门限。

➤ 目标检测与参数估计

在距离-多普勒域进行目标点迹提取；

精确估计目标的距离、径向速度、方位角等参数。

➤ 抗干扰能力

具备电子对抗（ECCM）功能，如频率捷变、旁瓣对消、自适应波束置零等，提升在复杂电磁环境下的生存能力。

➤ 多目标跟踪支持

输出标准化点迹数据，供雷达数据处理机（RDP）或作战系统进行航迹起始、关联与滤波（如 $\alpha-\beta$ 滤波、卡尔曼滤波等）。

（2）典型应用场景

舰载对空搜索雷达（如 AN/SPY-6、346 型相控阵雷达）；

舰载火控雷达（如 AN/SPG-62）；

舰载多功能相控阵雷达（兼具搜索、跟踪、导弹制导等功能）。

五、显示控制单元（显控台）

舰载雷达显示控制单元（通常称为显控台，Display and Control Console）是舰载雷达系统中面向操作员的人机交互核心设备，负责将雷达信号处理器输出的目标信息、原始视频、航迹数据等以图形化、数字化方式呈现，并提供操作界面供舰员进行模式选择、目标管理、威胁评估及武器交战决策。人机交互界面，供操作员监视与操控。

（1）主要功能

① 雷达信息显示

1. PPI（平面位置指示器）显示：以极坐标形式展示目标的距离与方位；

2. B-Scope 或 RHI 显示：用于高度搜索或垂直剖面分析（部分对空/三坐标

雷达支持)；

3. 原始视频叠加：可选显示未经处理的回波视频，辅助判断杂波或低可观测目标；

4. 航迹符号显示：以符号、标签形式标注已跟踪目标的位置、速度、航向、敌我识别（IFF）状态等；

5. 威胁等级着色：根据目标类型、速度、航向等自动标红高威胁目标。

②人机交互与控制

1. 模式切换（如搜索、跟踪、锁定、静默等）；

2. 手动目标截获（MT0）与删除；

3. 跟踪波门调整、多目标优先级排序；

4. 与舰载作战管理系统（C4I/CMS）联动，发起武器交战流程；

5. 设置雷达工作参数（如扫描速率、频率、脉宽、PRF 等）。

③多源信息融合显示

1. 集成来自 IFF、ESM（电子支援措施）、光电系统、友邻平台（Link-16/Link-22 等数据链）的信息；

2. 支持综合态势图（CommonTacticalPicture, CTP）生成与共享。

④告警与辅助决策

1. 自动弹道导弹预警、低空突防告警、电子干扰告警等；

2. 提供交战建议、拦截窗口预测、武器匹配提示等战术辅助功能。

⑤记录与回放

支持任务过程录像、关键事件快照、操作日志存储，用于战后分析与训练。

（2）硬件与软件特点

高可靠性加固显示器：采用军用级 LCD/OLED 屏，具备抗眩光、宽温域（-40℃ ~+70℃）、防盐雾、抗震设计；

多功能输入设备：包括轨迹球、多功能键盘、触摸屏、语音指令接口等；

模块化架构：便于维护升级，支持热插拔；

实时操作系统（RTOS）：如 VxWorks、LinuxRT 等，保障毫秒级响应；

图形加速能力：支持 OpenGL/Vulkan 等，实现流畅的 2D/3D 战场可视化；

多显控台协同：在大型舰艇上，多个显控台可分工协作（如对空、对海、电

子战席位），并通过网络同步数据。

（3）典型部署场景

作战情报中心（CIC）：主雷达显控台通常部署于此，由雷达操作员或战术协调员值守；

舰桥备用显控终端：提供基本雷达态势，供舰长应急指挥使用；

武器控制室：火控雷达专用显控台，直接引导导弹或舰炮。

六、电源系统

舰载雷达电源系统是保障舰载雷达全天候、高可靠运行的关键支撑子系统，其主要任务是为雷达的发射机、接收机、信号处理器、显控台、冷却装置等各功能模块提供稳定、纯净、高效且具备冗余能力的电能。由于舰艇平台空间受限、电磁环境复杂、工作条件严苛（高湿、盐雾、振动、冲击），舰载雷达电源系统在设计上具有高度专业化和军用化特征。为各模块提供稳定电力。

（1）基本组成

①主电源输入接口

1. 接入舰船中压或低压配电系统（如 440V/60Hz 三相交流、或 230V/50Hz，部分现代舰艇采用中压直流 MVDC）；

2. 配备 EMI 滤波器、浪涌保护器（SPD）及隔离变压器，抑制电网干扰并提升安全性。

②交直流变换模块（AC/DC）

1. 将舰船交流电转换为雷达系统所需的多路直流电压（如+28V、+48V、±15V、+5V、+3.3V 等）；

2. 采用高频开关电源技术（如 LLC 谐振、移相全桥拓扑），提高效率与功率密度。

③高压调制电源（用于发射机）

1. 为磁控管、行波管（TWT）或固态功率放大器（SSPA）提供脉冲高压（可达数万伏）；

2. 具备快速上升/下降沿、精确时序控制、过流/过压保护功能；

3. 在有源相控阵雷达中，可能集成数千个 T/R 模块的分布式低压偏置电源。

④不间断电源（UPS）与储能单元

1. 配置超级电容或锂电池组，在舰船主电源瞬时中断时维持关键模块（如信号处理器、数据存储）短时运行；

2. 支持“无缝切换”，确保雷达任务不中断。

⑤电源管理与监控单元（PMU）

1. 实时监测各路输出电压/电流、温度、故障状态；

2. 通过 CAN、RS-422 或以太网与雷达主控系统通信，支持远程启停、故障诊断与健康监测（PHM）。

⑥冷却与热管理子系统

1. 电源模块通常集成风冷（舰用防爆风机）或液冷（与雷达冷却系统共用循环液）；

2. 热设计需满足 MIL-STD-167 或 GJB150A 等舰载环境标准。

（2）发展趋势

■ 综合电力系统（IPS）集成

新一代舰艇（如美国 DDG-1000、中国 055 型后续舰）采用中压直流综合电力系统，雷达电源直接从直流母线取电，提升能效与动态响应。

■ 智能电源管理

引入 AI 算法预测负载变化，动态调节电源输出，实现“按需供电”与节能运行。

■ 固态化与小型化

采用 SiC/GaN 宽禁带半导体器件，提升开关频率、减小体积重量，适应高密度集成需求。

■ 能量回收技术

在脉冲雷达关断期间，回收 T/R 模块或高压电源中的残余能量，提高能源利用率。

七、冷却系统

舰载雷达冷却系统是保障现代高性能舰载雷达（尤其是大功率相控阵雷达）稳定、可靠、长时间运行的关键支撑子系统。由于雷达在工作过程中，特别是发射机和 T/R（收发）模块会产生大量热量，若不能及时散热，将导致器件性能下降、寿命缩短甚至热失效。因此，舰载雷达冷却系统必须具备高散热效率、高可

靠性、抗恶劣海洋环境及与舰船平台高度集成的能力。保障高功率器件散热。

（1）冷却需求来源

● 有源相控阵雷达（AESA）

1. 数千个 T/R 模块密集排布于天线阵面上，每个模块功耗可达数瓦至数十瓦，总热负荷可达数十至数百千瓦；

2. T/R 芯片结温通常需控制在 $85^{\circ}\text{C}\sim 125^{\circ}\text{C}$ 以内。

● 高功率发射机

1. 行波管（TWT）、磁控管或固态功率放大器（SSPA）在发射脉冲时产生集中热源；

2. 高压电源、调制器等也伴随显著热耗。

● 信号处理与电源模块

高密度 FPGA、GPU、电源变换器等电子设备持续发热，需独立或共用冷却回路。

（2）主要冷却方式

①风冷（AirCooling）

适用场景：低功率雷达、早期舰载雷达、辅助设备；

特点：

✧ 结构简单、成本低；

✧ 采用舰用防盐雾、防腐蚀风机；

✧ 散热能力有限（一般 $<5\text{kW}/\text{m}^2$ ）；

✧ 易受舱室环境温度影响，且可能引入灰尘/湿气。

✧ 多用于小型舰艇或雷达的非核心部件（如显控台、部分接收机）。

②液冷（LiquidCooling）——主流方案

闭式循环液冷系统（Closed-LoopLiquidCooling）为现代高性能舰载雷达的标准配置。

典型结构：

一次侧（内循环）：去离子水或乙二醇水溶液在雷达内部流经冷板（ColdPlate），吸收 T/R 模块、电源等热量；

二次侧（外循环）：通过热交换器（如板式换热器）将热量传递给舰船中央

冷却系统（海水或淡水环路）；

泵组、膨胀箱、过滤器、温度/流量传感器构成完整闭环。

八、伺服控制系统

舰载雷达伺服控制系统是用于驱动和精确控制雷达天线（或天线阵面）指向的机电一体化子系统，其核心任务是根据作战需求或搜索策略，实时、稳定、高精度地将雷达波束对准指定空域或目标方向。对于机械扫描雷达（如传统旋转抛物面天线）或部分混合体制雷达（如“旋转+俯仰”三坐标雷达），伺服系统尤为关键；即使在有源相控阵雷达（AESA）中，若采用固定阵面以外的旋转/俯仰安装方式（如 X 波段火控雷达），仍需伺服控制。驱动天线旋转或俯仰。

（1）基本功能

❖ 天线指向控制

控制天线在方位（Azimuth）和俯仰（Elevation）两个自由度上的运动；
支持多种工作模式：连续旋转搜索、扇区扫描、凝视跟踪、多目标跳跃指向等。

❖ 高精度角度定位

定位精度通常达 $0.1^{\circ} \sim 0.01^{\circ}$ （取决于雷达用途，火控雷达要求更高）；
具备快速响应能力（角加速度可达数 $^{\circ}/s^2$ ）。

❖ 动态跟踪能力

能够平滑、无超调地跟踪高速机动目标（如反舰导弹）；
与雷达信号处理及跟踪滤波器闭环协同，实现“随动跟踪”（Track-While-Scan 或 DedicatedTrack）。

❖ 抗扰动稳定

抵消舰艇摇摆（横摇、纵摇、艏摇）引起的天线指向偏差；
集成舰船姿态传感器（如惯导/平台罗经）数据，进行稳定补偿（Stabilization）。

❖ 安全保护与限位

设置机械/电气限位，防止天线碰撞桅杆或上层建筑；
具备过载、堵转、断电、通信中断等故障保护机制。

（2）系统组成

表 3.3 伺服控制系统组成表

子系统	功能说明
伺服驱动电机	多采用高扭矩密度的交流永磁同步电机（PMSM）或直流无刷电机（BLDC），具备低速平稳、高速响应特性
减速传动机构	行星齿轮、谐波减速器或蜗轮蜗杆，提供大减速比与高刚性
角度反馈装置	高精度光电编码器（绝对式/增量式）、旋转变压器（Resolver），分辨率可达 19 - 23 位
稳定平台（可选）	对于高精度火控雷达，天线安装于陀螺稳定平台上，独立于舰体运动
伺服控制器	基于 DSP/FPGA 的嵌入式控制单元，运行 PID、前馈、自适应或鲁棒控制算法
舰姿补偿接口	接收舰船惯导系统（INS）输出的横摇（Roll）、纵摇（Pitch）、艏摇（Yaw）数据，实时修正指向指令
人机接口	接收来自显控台或作战系统的指向命令（如“锁定目标 XX”、“扫描 030°~120°”）

3.2.工作原理

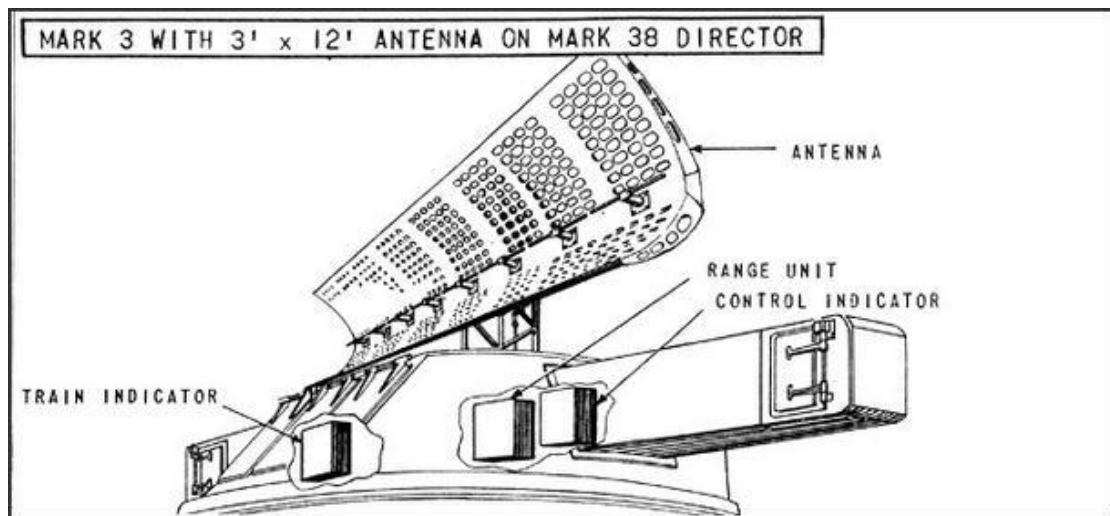


图 3.2 发动机工作原理

基本工作流程（四步循环）

一、发射电磁波

雷达发射机产生高功率、短时宽（微秒级）的射频脉冲信号。信号通过天线定向辐射到空间特定方向（机械扫描或电子波束指向）。

二、电磁波传播与目标反射

电磁波以光速 $c \approx 3 \times 10^8 \text{m/s}$ 向外传播。

当遇到目标（如飞机、导弹、舰船、岛屿）时，部分能量被反射（散射）回雷达方向。

反射强度取决于目标的雷达散射截面（RCS）、材料、形状、入射角等。

三、接收回波信号

天线在发射间隙（或同时，对连续波雷达）接收微弱的回波信号。接收机对信号进行低噪声放大、下变频、滤波和模数转换（ADC）。

四、信号与数据处理

信号处理器提取目标参数（距离、速度、角度）；数据处理器完成点迹凝聚、航迹起始、跟踪滤波、威胁评估等；最终结果送至显控台或武器系统。

五、关键参数测量原理

1. 测距原理（Range Measurement）

利用电磁波往返时间 t 计算距离： $R=2c \cdot t$

例如：若 $t=200 \mu s$ ，则 $R=3 \times 10^8 \times 200 \times 10^{-6} = 30km$

距离分辨率由脉冲宽度或带宽决定： $\Delta R=2Bc$ ，其中 B 为信号带宽（脉冲压缩可提升分辨率）。

2. 测角原理（Angle Measurement）

机械扫描雷达：天线波束最窄方向即为目标方位（精度受限于波束宽度，通常 $1^\circ \sim 3^\circ$ ）。

相控阵雷达：采用单脉冲技术（Monopulse）：同时形成和波束（ Σ ）与差波束（ Δ ），通过比幅或比相计算偏差角；角度精度可达 $0.05^\circ \sim 0.1^\circ$ ，满足火控需求。

方位角（Azimuth）和俯仰角（Elevation）共同确定目标空间方向。

3. 测速原理（Velocity Measurement）——多普勒效应

当目标与雷达存在相对径向运动时，回波频率发生偏移（多普勒频移）： $f_d = \frac{2v_r}{\lambda}$

其中：

f_d ：多普勒频率（Hz）

v_r ：目标径向速度（m/s，朝向雷达为正）

λ ：雷达波长（m）

通过 FFT（快速傅里叶变换）分析回波信号频谱，提取 f_d ，进而解算 v_r 。
脉冲多普勒雷达（PDR）可区分高速目标与静止杂波（如海浪、岛屿）。

六、典型信号处理流程

1. 脉冲压缩（Pulse Compression）

发射线性调频（LFM）或相位编码信号，提升距离分辨率而不牺牲平均功率。

动目标显示/检测（MTI / MTD）

MTI：利用延迟线对消器抑制静止杂波；

MTD：采用多脉冲多普勒滤波组，提升慢速目标检测能力。

2. 恒虚警率处理（CFAR）

自适应调整检测门限，使虚警概率恒定，适应不同海况/干扰环境。点迹形成与凝聚。将同一目标在多个脉冲中的回波合并为一个“点迹”（Plot），包含 R, θ, v_r 等信息。

3. 航迹起始与跟踪

使用卡尔曼滤波、 $\alpha - \beta$ 滤波或多假设跟踪（MHT）算法，将点迹关联成稳定航迹（Track）。

3.3. 技术指标

表 3.4 动力性能指标

指标名称	参数值
工作频段	常用 L、S、C、X、Ku、Ka 等波段。例如：S 波段用于远程对空搜索，X 波段用于火控和导航。
体制类型	脉冲雷达、连续波雷达、脉冲多普勒雷达、频率捷变雷达、合成孔径雷达（SAR）等。
扫描方式	机械扫描、电子扫描（相控阵）、混合扫描。
极化方式	线极化（水平/垂直）、圆极化，用于抗干扰和改善海杂波抑制。
抗干扰能力	具备频率捷变、旁瓣对消、自适应波束置零、低截获概率（LPI）等技术。
多目标跟踪能力	现代雷达可同时跟踪数百个空中/海上目标。
集成化与模块化	采用开放式架构，便于升级维护，支持软件定义雷达（SDR）理念。

3.4.接口情况

雷达作为舰船作战系统的一个核心传感器，其正常运行和功能发挥依赖于与舰船平台及其他子系统之间一系列复杂的物理、能源和信息接口。这些接口可概括为三大类：安装与机械接口、能源与保障接口、信息与控制接口。

一、 安装与机械接口

此接口确保雷达设备在舰船上获得稳固、精确的物理安装。

1. 天线系统安装接口：

基座与甲板： 大型旋转天线需要安装在经过加强的甲板基座上。接口包括预埋的安装螺栓、调平垫块，以及保证天线旋转中心与舰船参考轴线（如首尾线）对准的校准基准。必须考虑舰体变形、振动隔离等要求。

天线罩（若配备）： 天线罩与甲板或上层建筑的固定接口，需具备水密、气密及抗风载能力。

2. 室内设备安装接口：

机柜安装： 发射机、接收机、处理机等机柜通过防震底座或导轨固定在舱室甲板或舱壁上，接口需满足抗冲击、防松脱的要求。

电缆/管路贯穿： 所有通向天线或外部设备的电缆、波导、液冷管路等需要通过舱壁的密封穿舱件，这些穿舱件需保证舰船舱壁的密封性、防火性和电磁屏蔽性。

二、 能源与保障接口（油、气、汽、水、电）

此接口为雷达提供运行所需的能量和物理环境保障。

1. 电能接口（最核心）：

输入： 从舰船配电板接入符合规格（如 440V AC, 60Hz）的三相主电源，通常通过专用的主开关和配电箱。同时接入不间断电源（UPS）或应急电源线路，保证关键设备在短暂断电或主电源故障时安全关机或维持运行。

接地： 必须可靠接入舰船的综合接地系统，包括保护接地（安全地）和信号接地（工作地），以保障人员安全和设备电磁兼容性。

2. 冷却接口：

液冷接口： 对于大功率发射机等设备，需连接舰船提供的中央冷却水系统或独立冷却机组。接口包括进水/回水管道、流量/压力/温度传感器接口以及泄

压/排气口。对冷却介质的压力、流量、温度和纯度（如去离子水）有严格要求。

风冷接口： 机柜和舱室依赖舰船的空调/通风系统，提供符合温度、湿度和洁净度要求的循环空气。接口为通风管道或百叶窗。

3. 压缩空气接口：

用于天线面清洁、波导开关驱动或设备正压密封的干燥、洁净压缩空气，由舰船压缩空气系统通过减压阀和过滤器提供。

4. 油液接口（伺服系统）：

伺服驱动系统的液压油或润滑油补给口、回油口以及油压、油温检测接口。雷达自身油箱通过此接口与舰船油料系统或维护设备连接进行加注、取样或更换。

三、 信息与控制接口

此接口实现雷达与舰船作战系统之间的数据交换和状态管控，是发挥作战效能的关键。

1. 作战信息接口：

目标数据输出： 通过高速数据总线（如以太网、光纤通道、MIL-STD-1553B），将经过处理的点迹和航迹数据（包含距离、方位、高度、速度、属性等）实时发送给舰船作战指挥系统（CIC）、武器控制系统和数据链分发系统。

战术指令输入： 接收来自作战指挥系统的指令，如指定搜索空域、切换工作模式（对空/对海）、重点跟踪目标、敌我识别询问等。

2. 状态监控与遥控接口：

内嵌式测试（BIT）信息上报： 将雷达各分系统的健康状态（OK/Fault）、性能参数（如发射机功率、噪声系数）、故障代码等，通过以太网或串行总线（如RS-422） 发送至舰船平台管理系统（PMS） 或综合监控台。

遥控与连锁： 接收舰桥或作战中心的“开机/待机/关机”远程控制指令。同时，与舰船“三防”系统、火灾报警系统 有安全连锁接口，在特定条件下可自动切断高压或进入安全状态。

3. 检测与测试接口：

维护测试端口： 提供用于深度故障诊断和性能校准的专用测试接口（如用于信号注入和采样的射频口、用于软件加载和调试的维护以太网口）。

外部激励接口： 可接入雷达信号模拟器或舰载综合测试系统的激励信号，

用于系统级性能测试和训练，而不辐射真实射频信号。

4. 同步与授时接口：

接入 舰船统一时间基准系统（如 GPS/北斗授时系统），接收高精度时码信号（如 IRIG-B、NTP/PTP），确保雷达测量的时间戳与全舰乃至编队时间严格同步，这是多传感器数据融合的基础。

总结而言， 舰船雷达的接口是一个集机械工程、动力工程、环境工程、电子工程和信息工程于一体的复杂综合体。这些接口的标准化、可靠性和兼容性设计，直接决定了雷达在舰船平台上的集成效率、运行稳定性和整体作战效能的发挥。

3.5. 布置情况

以下是螺旋桨及其关键关联设备在舰船上的具体位置说明：

表 3.5 布置情况

序号	设备名称	位置信息
1	天线系统	露天甲板或上层建筑顶部（如桅杆平台、舰桥顶部）。需保证 360 度无遮挡视野，是雷达位置最高的部件。
2	发射机系统	舱室内（发射机舱），通常靠近天线基座下方或邻近舱室，以缩短大功率波导传输距离，减少损耗。
3	接收机系统	舱室内（接收机/电子设备舱），常与信号处理机等布置在同一环境受控的舱室，可能靠近发射机舱。
4	信号处理机	舱室内（电子设备舱/作战信息中心附近），位于环境条件较好的舱室，便于数据快速传输至指挥系统。
5	伺服控制系统	舱室内，通常位于天线基座正下方的伺服驱动舱，或与发射机舱相邻，以缩短大功率电机驱动电缆。
6	雷达数据处理机	作战信息中心（CIC）或电子设备舱，与舰船作战系统其他数据处理设备集中布置，确保高速数据交换。
7	显控台	作战信息中心（CIC），布置在雷达操作员战位，与其它传感器显控台并列，便于指挥决策。

序号	设备名称	位置信息
8	定时与同步系统	电子设备舱或专用时统机柜，通常与其它传感器的时统设备集中布置，接收统一的舰船时频基准。
9	监控与故障诊断系统	电子设备舱或 CIC，其状态显示终端可能集成在显控台上，或作为独立监控台布置在技术维护战位。
10	电源及配电系统	配电舱或电子设备舱，主配电箱靠近舰船电源引入口；各分系统的二次电源模块通常集成在对应机柜内。
11	冷却系统	专用冷却设备间或邻近发射机舱。水泵、换热器、水箱等大型部件需布置在通风良好、便于维护和检漏的位置。
12	波导/馈线系统	传输路径沿线，贯穿于天线基座、甲板、舱壁之间，通过波导导管或电缆桥架从天线连接至发射机/接收机。
13	结构及安装平台	全船多位置。天线基座位于甲板；设备机柜安装底座位于相应舱室甲板；天线罩（若配备）位于露天平台。

4. 操作使用

4.1. 操作使用项目索引表

本索引表按操作阶段和关键系统进行分类，列出了核心操作项目。操作使用项目索引表包括正常操作使用项目、应急操作使用项目。

表 4.1 操作使用索引表

操作项目编号	使用操作项目名称	页码
OT001	系统上电与正常启动程序	
OT002	工作模式选择与参数设置	
OT003	目标人工捕获与跟踪操作	
OT004	系统正常关机与待机程序	

OT005	紧急情况处置与急停操作	
OT006	紧急情况下雷达系统立即停车程序	
OT007	雷达舱室电气火灾应急处置程序	
OT008	紧急状态解除后系统安全检查与恢复程序	

4.2. 操作程序

操作程序是针对表 4.1 操作使用索引表中操作使用项目进行详细描述，包括操作的安全注意事项、保障设施、保障设备（工具）、人力人员需求、操作步骤等内容。

4.2.1 正常操作程序

表 4.2 系统上电与正常启动程序

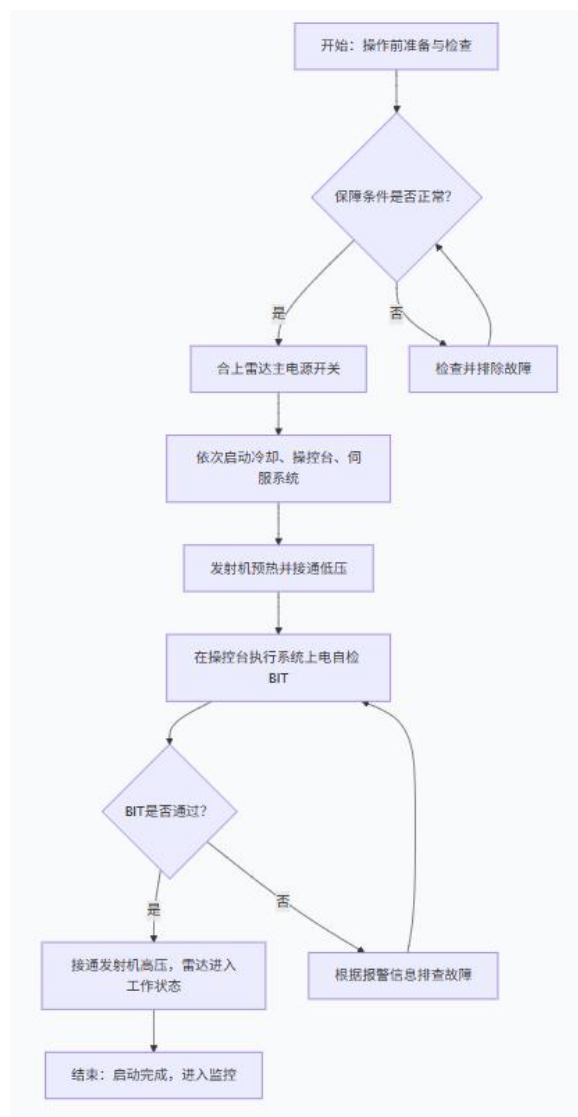
项目编号	操作项目			
OT001	系统上电与正常启动程序			
安全防护 个人防护装备佩戴：检查区域内严禁明火、吸烟。				
注意事项 1. 严格遵循 “先保障，后主机；先低压，后高压” 的开机顺序。2. 密切监视 电源、冷却、伺服、发射机等关键分系统的状态参数和报警信息。3. 出现任何异常应立即暂停或中止启动流程。				
保障设施、保障设备（工具）、人力人员需求				
1) 保障设施、保障设备(工具)				
序号	名称	规格 / 型号	数量及单位	备注
1	舰船主 / 应急电源	440V / 60Hz 或 380V / 50Hz	1 套	电压、频率需稳定在设备允许范围内。
2	冷却系统（液冷/风冷）	按雷达型号配套	1 套	启动前需确认液位、压力、阀门状态正常。
3	雷达主配电柜	配套	1 台	内含各级断路器和状态指示。
4	绝缘电阻测试仪	例如：Megger MIT515	1 台	定期检查系统绝缘，非每次开机必备。

2) 人力人员

序号	专业	人数	技能等级	备注
1	雷达操作员	1-2人	初级以上	负责执行操作流程并监控显控台状态。
2	雷达技师 / 电气员	1人	中级以上	负责检查保障设施，处置启动中出现的异常。

操作步骤.....

- 1) 准备与检查：确认天线区域无障碍，检查电源、冷却等保障系统状态正常。
- 2) 总电源上电：合上主配电开关，为系统供电。
- 3) 辅助系统启动：启动冷却系统，开启操控台计算机及伺服控制系统。
- 4) 发射机预热与低压上电：执行发射机预热程序，然后接通低压。
- 5) 系统自检与高压上电：在操控台完成系统自检（BIT），通过后施加发射机高压，雷达进入工作状态。



操作流程圖

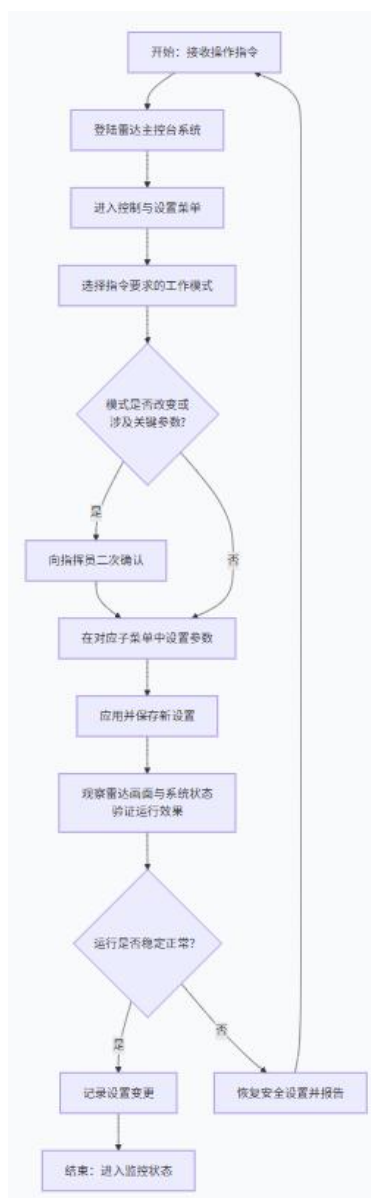
页码：3/3	版本号：1
--------	-------

表 4.3 工作模式选择与参数设置

项目编号	操作项目			
OT002	工作模式选择与参数设置			
安全防护				
个人防护装备佩戴：检查区域内严禁明火、吸烟。				
注意事项				
1. 严格依据作战指令或训练预案选择模式与参数。2. 所有参数设置严禁超出技术手册规定的安全极限值。3. 参数变更后，需密切观察雷达探测效果与系统负载至少 1-2 分钟，确保稳定。				
保障设施、保障设备（工具）、人力人员需求				
1) 保障设施、保障设备(工具)				
序号	名称	规格 / 型号	数量及单位	备注
1	雷达主控台 / 显控台	随雷达系统配套	1 套	人机交互核心，内置操作与设置软件。
2	稳定的电源供应	440V/60Hz 等	1 套	防止电压波动导致设置失效或设备复位。
3	空调 / 环境控制系统	配套	1 套	维持机柜内恒温，确保电子设备工作稳定。
4	内部通信系统	舰内电话或对讲机	1 套	用于接收指令与协同确认。
2) 人力人员				
序号	专业	人数	技能等级	备注
1	雷达操作员	1-2 人	初级以上	负责在主控台执行具体设置操作。
2	战位军官 / 指挥员	1 人	中级以上	负责下达或核准模式与参数变更指令。

操作步骤.....

- 1) 接收与确认指令：从指挥链明确接收当前任务所需的工作模式（如对空搜索、对海监视、跟踪）与关键参数要求。
- 2) 调出设置界面：在主控台上，进入雷达的“控制”或“系统设置”主菜单。
- 3) 选择工作模式：从模式列表（如“远程警戒”、“扇区扫描”、“跟踪”等）中选择指令要求的工作模式。
- 4) 设定关键参数：根据模式和任务，在相应子菜单中设置量程、脉冲重复频率、波束宽度等关键参数。
- 5) 应用与验证：确认所有设置后，点击“应用”或“确认”。观察雷达画面和系统状态，验证新模式下探测效果是否正常。



操作流程

表 4.4 目标人工捕获与跟踪操作

项目编号	操作项目			
OT003	目标人工捕获与跟踪操作			
安全防护 个人防护装备佩戴；检查区域内严禁明火、吸烟。				
注意事项 1. 捕获时，光标应稳定套住目标回波中心。2. 确认目标性质（如敌、我、不明）后再转入跟踪。3. 跟踪期间需持续监视跟踪质量（如误差大小），防止目标丢失或误跟杂波。				
保障设施、保障设备（工具）、人力人员需求				
1) 保障设施、保障设备(工具)				
序号	名称	规格 / 型号	数量及单位	备注
1	雷达主控台 / 显控台	随雷达系统配套	1 套	配备高分辨率显示器、操控杆/轨迹球等。
2	目标录取设备	配套（手动/半自动）	1 套	用于人工标定和捕获目标。
3	稳定的电源与散热	配套	1 套	确保处理机与显控系统稳定运行，防止卡顿。
4	内部通信系统	舰内电话或对讲机	1 套	用于捕获前后与指挥员、识别岗位的协同。
2) 人力人员				
序号	专业	人数	技能等级	备注
1	雷达操作员	1-2 人	初级以上	负责在显控台上执行具体捕获与跟踪操作。
2	指挥员 / 情报判读员	1 人	中级以上	负责下达捕获指令、判别目标性质。

操作步骤.....

- 1) 发现与标定：在雷达显示屏上发现可疑或指定目标回波，使用操控设备（如轨迹球）将录取标志（光标）精确移动并稳定套住目标中心。
- 2) 人工捕获：按下“捕获”（或“指定”、“锁住”）键，雷达系统即对该目标建立初始跟踪。
- 3) 属性判别与确认：根据指令、航迹信息或 IFF 应答，在系统中标记或确认目标属性（敌、我、不明）。
- 4) 转入稳定跟踪：确认后，系统通常会自动从“初始跟踪”转为“稳定跟踪”，持续输出目标的精确坐标、速度等数据。
- 5) 持续监控：监视跟踪波门是否紧套目标，以及数据是否连续稳定，必要时进行人工干预或重新捕获。



操作流程圖

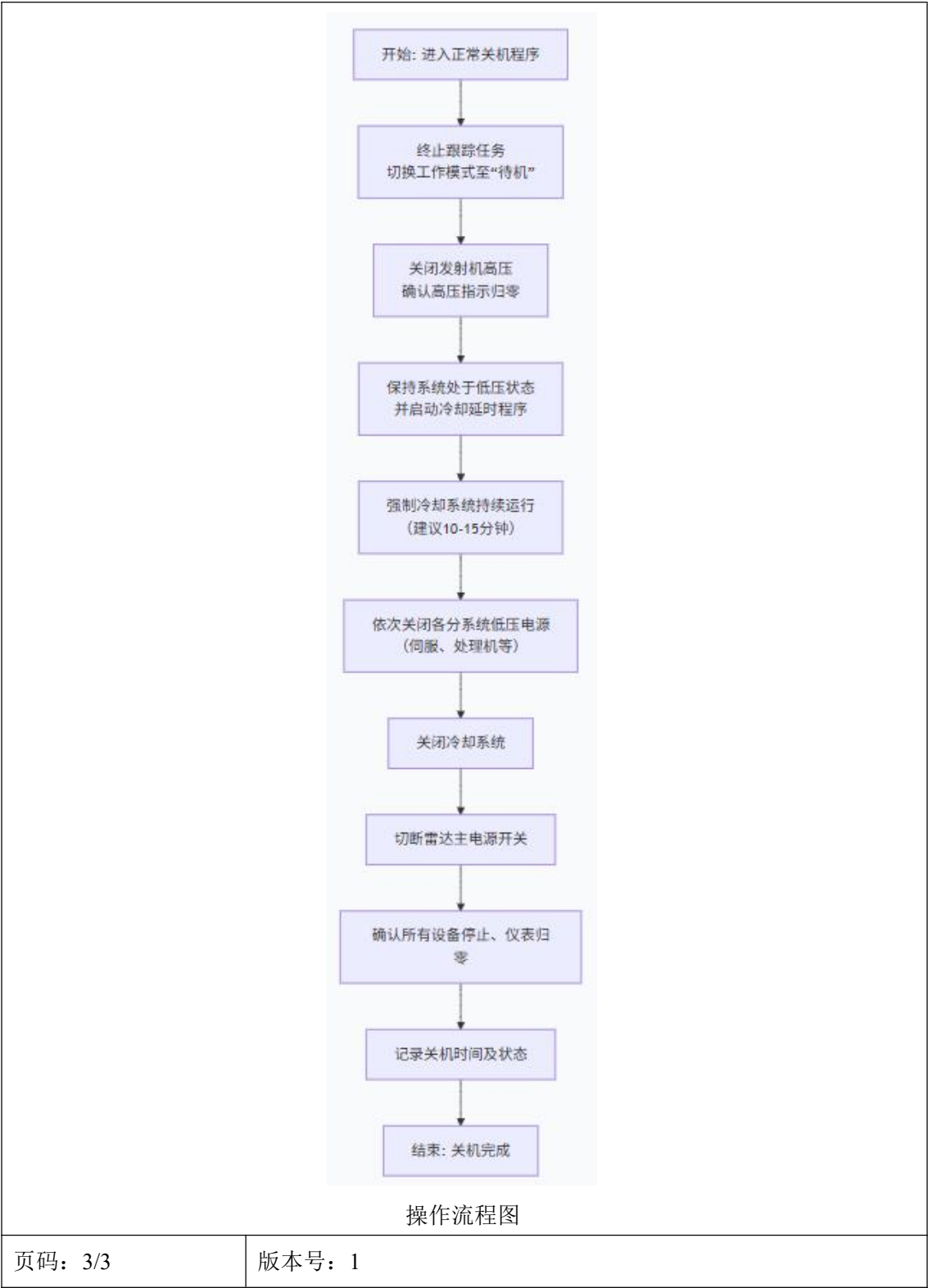
页码：4/4	版本号：1
--------	-------

表 4.5 系统正常关机与待机程序

项目编号	操作项目			
OT004	系统正常关机与待机程序			
安全防护				
个人防护装备佩戴；检查区域内严禁明火、吸烟。				
注意事项				
1. 严格逆序执行开机流程。2. 关闭发射机高压后，必须保持冷却系统持续运行，为发热部件充分散热。3. 关机后，务必确认主电源已切断并记录状态。				
保障设施、保障设备（工具）、人力人员需求				
1) 保障设施、保障设备(工具)				
序号	名称	规格 / 型号	数量及单位	备注
1	雷达主配电柜	配套	1 台	内有各级断路器，用于顺序断电。
2	冷却系统（液冷/风冷）	按雷达型号配套	1 套	关机后需延时运行的关键设备。
3	系统状态监控面板	配套	1 套	用于观察电压、电流、温度归零。
4	绝缘电阻测试仪（可选）	例如：Megger MIT515	1 台	关机后可进行绝缘测试，非常规必备。
2) 人力人员				
序号	专业	人数	技能等级	备注
1	雷达操作员	1 人	初级以上	负责执行软件关机流程与状态监控。
2	雷达技师 / 电气员	1 人	中级以上	负责操作配电柜断电及关机后检查。

操作步骤.....

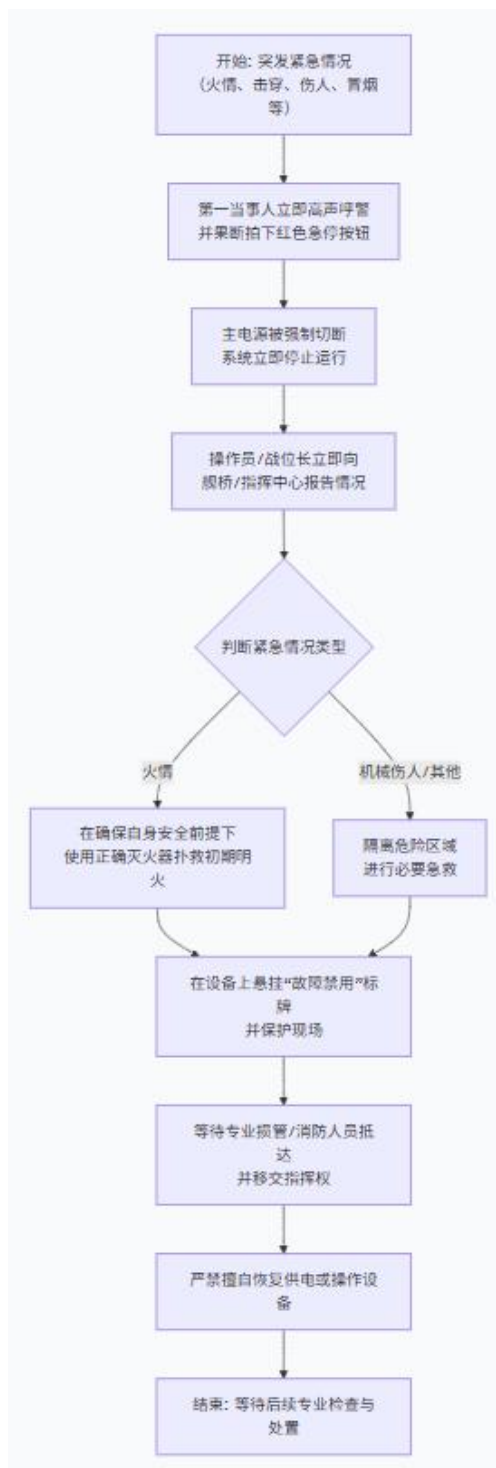
- 1) 任务退出与模式切换：停止所有跟踪任务，将雷达工作模式切换至“待机”或“准备”状态。
- 2) 关闭发射机高压：将发射机开关从“发射”档位切换至“准备”或“低压”档位，确认高压指示归零。
- 3) 系统泄能与冷却：保持发射机低压上电，让内部电容自动放电。关键步骤：保持冷却系统持续运行 10-15 分钟，为发射管等散热。
- 4) 顺序切断电源：充分冷却后，依次关闭发射机低压、伺服系统、处理机等电源，最后关闭冷却系统和雷达主电源开关。
- 5) 状态确认与记录：确认所有设备停止运行、仪表归零，记录关机时间与最终状态。



注意事项 1. 遇人身伤害、火情、设备严重损坏等紧急状况时，唯一正确操作是立即按下急停按钮。2. 接受紧急断电可能造成的设备损伤。3. 严禁在未查明原因前擅自恢复供电。				
保障设施、保障设备（工具）、人力人员需求				
1) 保障设施、保障设备(工具)				
序号	名称	规格 / 型号	数量及单位	备注
1	紧急停车（蘑菇头）按钮	随系统安装于显控台/配电板	至少 1 个	红色、醒目、易触及，直接切断主电源。
2	灭火设备（CO ₂ / 七氟丙烷）	根据舱室等级配置	若干	用于扑灭电气火灾，操作员需熟悉位置用法。
3	应急照明系统	舰船标配	1 套	主电切断后自动启动，保障撤离与处置照明。
4	消防报警按钮	舱室内	若干	按下后可向全舰报警。
5	绝缘工具 / 防护用具	耐压手套、绝缘靴等	1 套	置于指定位置，用于事后排查（非紧急时使用）。
2) 人力人员				
序号	专业	人数	技能等级	备注
1	所有在场人员	不限	不限	首要责任：识别危险并触发急停，高声示警。
2	雷达操作员 / 战位长	1 人	初级以上	首要动作：拍下急停，报告指挥中心，组织初期处置。
3	损管 / 消防队	按舰船编制	专业级	急停后，由其接管后续灭火、救援等专业处置。

操作步骤.....

- 1) 识别与触发：一旦判定发生火情、高压击穿、机械伤人、冒烟等紧急情况，第一当事人立即高声呼救并果断拍下最近的红色蘑菇头急停按钮。
- 2) 报告与警戒：操作员或战位长立即通过内部通信向舰桥或作战指挥中心报告：“[战位]雷达紧急停车，原因疑似...”。
- 3) 初期处置与隔离：
若为火情：在确保自身安全前提下，使用正确灭火器扑救初期明火。
其他情况：立即隔离危险区域，救治伤员（如适用）。
- 4) 移交与等待：待专业损管/消防人员抵达后，移交现场指挥权。在未得到明确指令前，严禁任何人试图恢复供电或重启设备。



操作流程图

页码: 4/4

版本号: 1

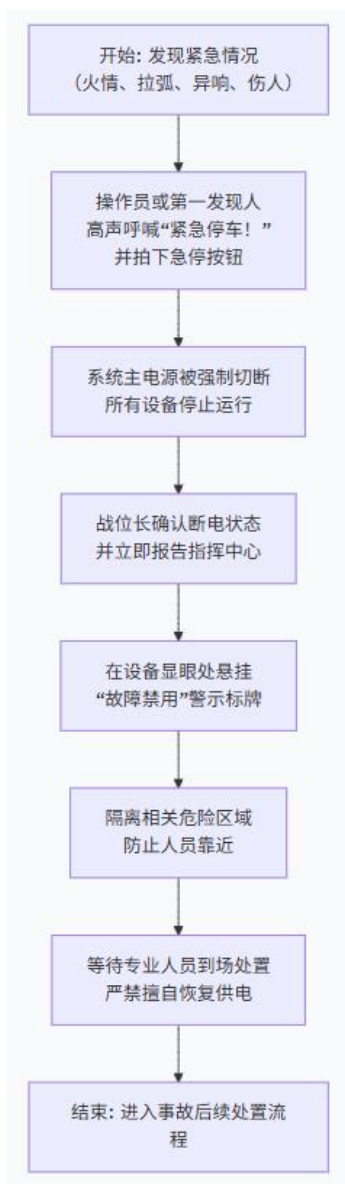
4.2.2 应急操作程序

表 4.7 执行发动机紧急停机操作

项目编号	操作项目			
OT006	执行发动机紧急停机操作			
安全防护 个人防护装备佩戴：检查区域内严禁明火、吸烟。				
注意事项 1. 情况紧急时，唯一正确操作是立即按下急停按钮，无需执行正常关机步骤。2. 必须高声示警通知舱内所有人员。3. 接受紧急断电可能造成的设备损伤。				
保障设施、保障设备（工具）、人力人员需求				
1) 保障设施、保障设备(工具)				
序号	名称	规格 / 型号	数量及单位	备注
1	紧急停车（蘑菇头）按钮	随系统安装于显控台/主配电板	至少1-2个	红色、自锁式，位置醒目、无遮挡、易触及。
2	应急广播或声光报警器	舰船/舱室标配	1套	急停触发后应能自动或手动启动，发出明确警报。
3	应急照明系统	舰船标配	1套	主电切断后自动启动，确保现场有基本照明。
4	“故障/禁用”警示标牌	标准	1-2个	急停后悬挂于设备显眼处，防止误操作。
2) 人力人员				
序号	专业	人数	技能等级	备注
1	第一发现人/任何在场人员	不限	不限	首要职责：识别危险，立即触发急停并高声呼救。
2	雷达战位长/操作员	1人	初级以上	核心职责：确认急停已生效，立即报告指挥中心。
3	舱室安全员/邻近战位人员	1-2人	基础训练	协助职责：协助疏散、警戒和初期处置。

操作步骤.....

- 1) 识别与触发：任何人员一旦确认发生危及人身或设备安全的紧急情况（如火情、高压拉弧、严重异响、机械伤人），应立即高声呼喊“紧急停车！”，并果断拍下最近的红色蘑菇头急停按钮。
- 2) 确认与报告：战位长或指定人员确认主电源已切断（观察设备停转、指示灯熄灭），立即通过电话或内部通信向舰桥或作战指挥中心报告：“[战位]雷达已紧急停车，原因疑似...”。
- 3) 警戒与隔离：在设备上立即悬挂“故障禁用”警示牌，隔离相关区域，防止他人靠近或误操作。严禁在未授权和查明原因前试图恢复供电。



操作流程圖

页码：1/1

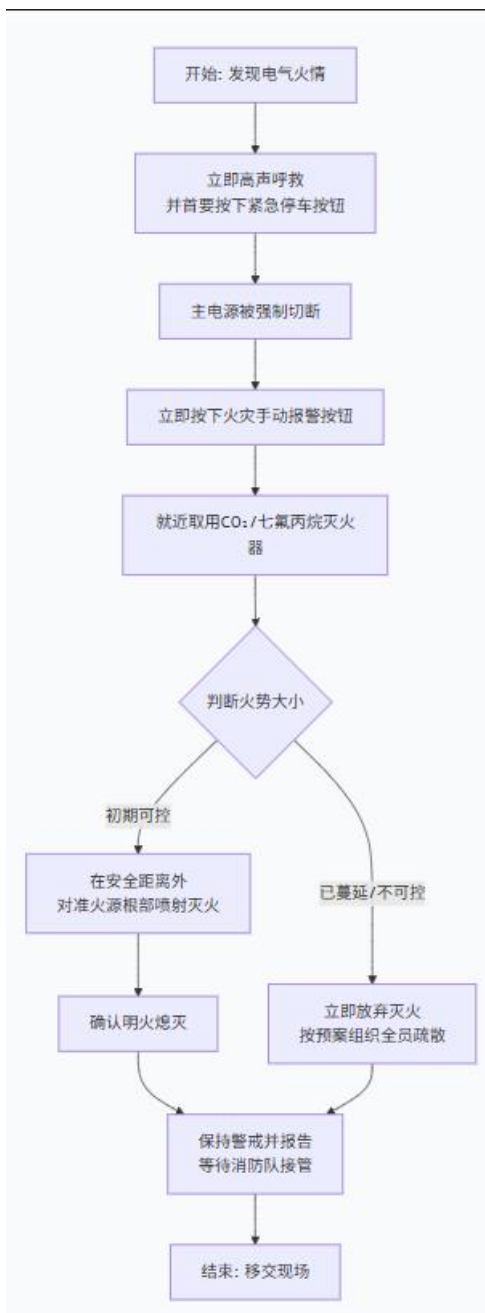
版本号：1

表 4.8 雷达舱室电气火灾应急处置程序

项目编号	操作项目			
OT012	雷达舱室电气火灾应急处置程序			
安全防护				
个人防护装备佩戴：检查区域内严禁明火、吸烟。				
注意事项				
1. 必须先切断设备电源，再进行灭火。2. 必须使用二氧化碳（CO ₂ ）或七氟丙烷等绝缘灭火剂。3. 禁止使用水或泡沫灭火器扑救电气火灾。				
保障设施、保障设备（工具）、人力人员需求				
1) 保障设施、保障设备(工具)				
序号	名称	规格 / 型号	数量及单位	备注
1	紧急停车（蘑菇头）按钮	随系统安装	至少 1 个	首要步骤：立即按下，切断主电源。
2	气体灭火器（CO ₂ /七氟丙烷）	按舱室等级配置	若干具	唯一适用于电气火灾，放置于门口和显眼处。
3	火灾手动报警按钮	舰船/舱室标配	至少 1 个	按下后向全舰消防站报警。
4	应急照明与呼吸器具	舰船标配	1 套	保障疏散与灭火时的视线和空气。
5	绝缘手套与靴	耐压等级合格	1-2 套	用于事后断电检查，非灭火时穿戴。
2) 人力人员				
序号	专业	人数	技能等级	备注
1	第一发现人	1 人	经过基础消防训练	首要动作：呼救并触发急停。
2	雷达战位人员	1-2 人	经过基础消防训练	核心职责：使用正确灭火器扑救初期火灾。
3	舰上专业消防队	按编制	专业级	接到报警后赶赴现场，接管灭火和处置。

操作步骤.....

- 1) 发现与报警：发现火情立即高声呼喊“着火了！”，首要动作是按下紧急停车按钮切断总电源。
- 2) 报告与灭火：立即按下火灾手动报警按钮向全舰报警。在确保自身安全前提下，就近取用二氧化碳或七氟丙烷灭火器，对准火源根部喷射，扑救初期明火。
- 3) 疏散与警戒：若火势无法迅速控制，所有人员立即按预案疏散。在舱室入口设置警戒，引导专业消防队，并告知火灾性质（电气火灾）。



操作流程圖

页码：1/1

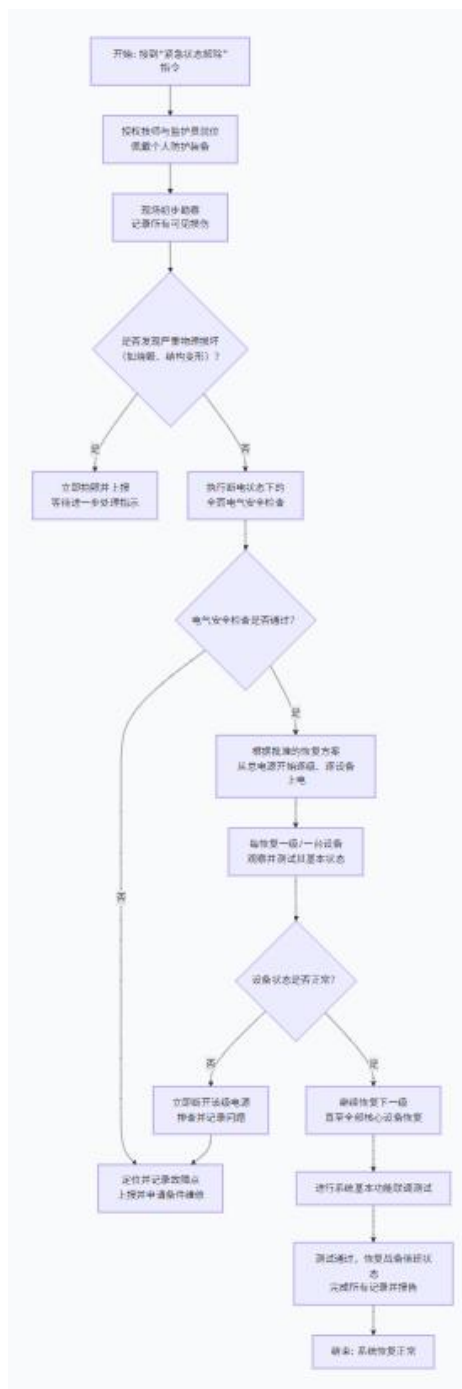
版本号：1

表 4.9 紧急状态解除后系统安全检查与恢复程序

项目编号	操作项目			
OT013	紧急状态解除后系统安全检查与恢复程序			
安全防护				
个人防护装备佩戴：检查区域内严禁明火、吸烟。				
注意事项				
1. 必须由授权技师完成全面安全检查后，方可尝试恢复。2. 严格按照顺序逐步上电，每步观察。3. 如发现任何损坏或隐患，立即停止并报告。				
保障设施、保障设备（工具）、人力人员需求				
1) 保障设施、保障设备(工具)				
序号	名称	规格 / 型号	数量及单位	备注
1	数字万用表	Fluke 17B+ 等	1 台	用于检查线路通断、电压及电阻。
2	绝缘电阻测试仪	Megger MIT515	1 台	关键设备，用于检查高压部件对地绝缘是否合格。
3	内窥镜 / 手电筒	工业级	1 套	用于检查设备内部有无烧蚀、熔痕或异物。
4	个人防护装备（PPE）	绝缘手套、护目镜等	1 套	检查时必须佩戴，确保人身安全。
2) 人力人员				
序号	专业	人数	技能等级	备注
1	雷达维修技师 / 工程师	1-2 人	中级以上，持证	唯一授权执行安全检查与恢复操作的人员。
2	安全监护员	1 人	经过安全培训	负责监督安全规程执行，并在紧急时协助。

操作步骤.....

- 1) 授权与勘察：在指挥中心正式下达“紧急状态解除”指令后，由授权技师进入现场，进行初步勘察，记录可见损伤。
- 2) 断电安全确认：确认总电源开关处于断开位置。使用万用表、兆欧表等工具，对受影响线路、部件进行全面的电气安全检查（绝缘、短路、接地）。
- 3) 分段恢复与测试：确认安全后，从供电源头开始，逐级、逐设备（先保障设备，后雷达主机）闭合断路器。每恢复一级，观察并测试设备状态，确认无异常后再进行下一步。



操作流程图

页码：1/1	版本号：1
--------	-------

4.3 战位操作表

表 4.10 战位操作表

序号	战位操作项目	战位操作人员	操作设备或控制台名称	安全注意事项	战位职责
1	系统状态总控与模式管理	雷达战位长/主操作员	主显控台 / 指挥终端	1. 参数设置严禁超出安全极限。 2. 模式切换需确认天线区域安全。	1. 全面监控雷达系统状态。 2. 接收指令，设置并切换工作模式。 3. 组织本战位协同，是操作安全第一责任人。
2	目标搜索、捕获与跟踪	雷达操作员 (搜索跟踪岗)	综合显控台 / 录取控制台	1. 捕获前需尽量判别目标属性，防止误跟。 2. 密切监视跟踪质量，防止丢失。	1. 在指定空/海域进行持续搜索。 2. 对可疑或指定目标进行人工捕获与跟踪。 3. 维持航迹质量，及时报告异常。
3	发射机与射频系统监控	雷达技师/技术监控员	发射机本地控制面板 / 射频监控台	1. 高压危险！运行时严禁打开机柜。 2. 监控反射功率，超限立即处置。	1. 监控发射机功率、波形、温度等关键参数。 2. 监控馈线系统状态，记录射频链路性能。 3. 执行发射机的开关机、预热及例行测试。
4	天线伺服系统监控	雷达技师/技术监控员	伺服系统控制柜 / 本地操控盒	1. 机械危险！天线转动时严禁人员进入扫描区。 2. 监控电机电流，异常增大立即停机检	1. 监控天线转速、位置及伺服驱动单元状态。 2. 执行天线的手动控制、锁定及维护模式操作。 3. 报告机械异响、振

序号	战位操作项目	战位操作人员	操作设备或控制台名称	安全注意事项	战位职责
				查。	动等异常情况。
5	保障系统监控与应急操作	雷达操作员/战位值班员	综合保障监控台 / 配电板	1. 熟悉急停按钮和灭火器位置。 2. 冷却失效时，必须按规定程序关机。	1. 监控电源、冷却、空调等保障系统运行状态。 2. 记录保障参数，执行日常开关机保障流程。 3. 在紧急情况下，负责执行急停或初期应急处置。

5. 使用期间安全防护及注意事项

5.1. 安全防护

表 5.1 安全防护

风险类别	危险源	可能后果	核心防护措施
1. 微波辐射伤害	天线主波束及近场辐射。	人体灼伤（尤其眼睛、睾丸）、神经系统影响。	划定并管控危险区域，开机时确保无人；使用辐射警示标志与联锁装置；为必要近场作业人员配备微波防护服与眼镜。
2. 高压电击伤害	发射机（数万伏）、调制器、电源系统。	严重电击、致命伤害。	严格执行“断电、放电、验电、接地”程序；高压区域设置绝缘垫和警示；使用绝缘工具并定期检测；检修时实施“上锁挂牌”制度。
3. 机械伤害	旋转的天线、伺服运动部件。	碰撞、挤压、卷入伤害。	天线转动区域设物理围栏和警示灯；执行“转动前清场、清场后转动”规定；检修时对天线进行机械与电气双锁定。

风险类别	危险源	可能后果	核心防护措施
4. 环境与化学危害	舱室密闭、冷却液泄漏、蓄电池气体。	窒息、化学品灼伤、爆炸风险。	保证通风系统有效运行；熟悉化学品安全数据表（SDS）并配备防护用具；规范处理废油、废液。
5. 操作与程序风险	误操作、未按程序、信息不清。	设备损坏、任务失败、诱发上述物理风险。	严格遵循技术手册与操作条例；关键操作双人复核；保持完整、准确的设备状态记录与交接班。

5.2. 注意事项

对天线系统：严禁在任何天气条件下攀登或触碰正在工作或刚停机（可能有余转）的天线。

对发射机：高压机柜门必须有机械或电气联锁，确保开门即断电。维护后必须检查所有工具，防止遗留在机柜内。

对冷却系统：注意高温管路烫伤风险；定期检查冷却液液位、电导率与管路密封，防止泄漏导致设备短路或失效。

对波导系统：检查时注意法兰盘连接紧固，防止辐射泄漏；在拆卸波导前，必须双重确认系统已断电且无能量残留。