

# 军用电子装备高功率微波防护技术研究

宁琦

中国航空综合技术研究所, 北京 101400

DOI:10.61369/ERA.2026010025

**摘要**：军用电子装备高功率微波防护技术的发展与完善，对提升装备在复杂电磁环境下的生存能力和作战效能具有关键意义。当前，高功率微波武器的快速发展给军用电子装备带来严峻威胁，现有防护技术在防护效率、适应性等方面仍存在不足。通过深入研究高功率微波对军用电子装备的作用机理，探索新型防护材料与结构设计，优化防护系统集成方案，可有效提升装备的防护水平，为军用电子装备的稳定运行提供有力保障。

**关键词**：军用电子装备；高功率微波；防护技术；作用机理；防护材料

## Research on High-Power Microwave Protection Technologies for Military Electronic Equipment

Ning Qi

China Aeronautical Comprehensive Technology Research Institute, Beijing 101400

**Abstract** : The development and improvement of high-power microwave protection technologies for military electronic equipment are of critical significance in enhancing the survivability and operational effectiveness of the equipment in complex electromagnetic environments. Currently, the rapid advancement of high-power microwave weapons poses a severe threat to military electronic equipment, with existing protection technologies still exhibiting deficiencies in terms of protection efficiency and adaptability. By conducting in-depth research on the interaction mechanisms between high-power microwaves and military electronic equipment, exploring novel protective materials and structural designs, and optimizing integrated protection system solutions, the protection level of the equipment can be effectively enhanced, providing robust assurance for the stable operation of military electronic equipment.

**Keywords** : military electronic equipment; high-power microwave; protection technology; interaction mechanism; protective materials

### 引言

高功率微波作为一种新型电磁攻击手段，其具备的高能量密度特性，能对军用电子装备的电路、元器件等核心部分造成不可逆损坏，严重影响装备作战任务的顺利执行。在现代信息化战争中，军用电子装备作为指挥、通信、侦察等作战环节的核心支撑，其可靠性直接关系到整体作战局势。针对高功率微波威胁，开展防护技术研究已成为保障装备性能、维护作战优势的重要举措，需从威胁特性、现有防护短板等方面入手，探寻更高效、可靠的防护路径，为后续技术研发与应用奠定基础。

### 一、军用电子装备面临的高功率微波威胁分析

#### (一) 高功率微波武器的技术特性与作战应用场景

高功率微波武器依靠其产生的强电磁脉冲，可通过天线辐射、线缆耦合等多种途径作用于军用电子装备。其技术特性主要体现在高能量密度、窄脉冲宽度以及宽频率覆盖范围，能在短时间内形成强大的电磁场环境。在作战应用场景中，该类武器可用于攻击敌方雷达系统、通信设备、导航装置等军用电子装备，既

可以实施单点精确打击，也能对一定区域内的多个装备进行集群干扰，在海、陆、空等多作战域均有广泛应用潜力，对装备的正常工作构成严重挑战。

#### (二) 高功率微波对军用电子装备的损伤机制与影响程度

高功率微波作用于军用电子装备时，会通过能量耦合进入装备内部电路。当能量达到一定阈值时，会导致元器件过热烧毁、半导体器件击穿，还可能干扰数字电路的逻辑功能，造成数据错误、程序紊乱。从影响程度来看，轻微情况下会使装备暂时失

效，经过重启或简单维修可恢复功能；严重时则会造成装备核心部件永久性损坏，完全丧失作战能力，甚至可能引发装备连锁故障，影响整个作战系统的正常运行。

### （三）当前军用电子装备在高功率微波环境下的脆弱性表现

当前多数军用电子装备在设计之初，对高功率微波威胁的考虑不够全面，导致在实际面临该威胁时呈现出明显脆弱性。部分装备的外壳防护结构无法有效阻挡微波能量渗透，内部线缆布局缺乏合理的电磁屏蔽设计，使得微波能量易通过线缆耦合进入设备内部。此外，装备中的敏感元器件，如集成电路、传感器等，自身抗微波干扰能力较弱，在高功率微波作用下极易出现故障，难以满足复杂战场环境下的使用需求。

## 二、军用电子装备高功率微波防护技术现状与不足

### （一）现有防护技术类型及在装备中的应用情况

现有军用电子装备高功率微波防护技术主要包括电磁屏蔽、滤波、接地、瞬态抑制等类型。电磁屏蔽技术通过采用金属外壳、屏蔽材料涂层等方式，减少微波能量进入装备内部，广泛应用于雷达、通信设备的外壳设计；滤波技术通过在装备电路中加入滤波器，抑制微波频段的干扰信号，常用于电源线路和信号线路防护；接地技术通过合理的接地设计，将耦合进入的微波能量导入大地，降低对装备的影响；瞬态抑制技术则利用瞬态抑制二极管等器件，吸收瞬间过高的电压和电流，保护敏感元器件。

### （二）现有防护技术在防护效率与适应性方面的局限

在防护效率方面，现有电磁屏蔽技术对高频微波的屏蔽效果较差，部分微波能量仍能通过屏蔽缝隙渗透；滤波技术存在插入损耗问题，会影响装备正常信号的传输质量，且难以对宽频率范围的微波干扰进行有效抑制。在适应性方面，多数防护技术针对特定类型的微波威胁设计，当面临微波参数变化（如功率、频率、脉冲宽度改变）时，防护效果大幅下降，无法满足多样化的战场威胁环境需求。

### （三）不同军用电子装备类型防护需求的差异与技术适配问题

不同类型的军用电子装备，由于其功能、结构和工作环境不同，防护需求存在显著差异。雷达装备需要处理高频信号，对防护技术的信号传输影响要求极高；通信装备需在移动环境下工作，防护结构需具备轻量化、小型化特点；导航装备对精度要求严格，防护技术需避免对内部精密电路造成干扰。当前存在技术适配问题，部分通用防护技术难以满足特定装备的个性化防护需求，导致防护效果与装备性能之间出现矛盾，影响装备整体作战能力。

## 三、军用电子装备高功率微波防护关键技术研发

### （一）新型高功率微波防护材料的性能优化与制备工艺

新型防护材料研发聚焦于提升材料的电磁屏蔽效能、耐高温性和力学性能。通过在传统金属材料中添加纳米颗粒（如碳纳米管、石墨烯），改善材料的电磁参数，增强对微波能量的吸收和反射能力；采用复合材料制备工艺，将金属层与高分子材料层复合，在保证屏蔽性能的同时，降低材料重量，满足装备轻量化需

求。此外，研发温敏型防护材料，使其在遭遇高功率微波时能快速改变结构，增强防护效果，且在正常工作状态下不影响装备性能，通过优化制备工艺，提升材料的稳定性和批量生产能力。

### （二）基于电路设计的防护技术改进与抗干扰方案

在电路设计层面，通过优化电路拓扑结构，减少微波能量耦合路径。采用差分信号传输方式，提高电路对共模微波干扰的抑制能力；在集成电路设计中，增加电磁兼容设计模块，集成瞬态电压抑制电路和滤波电路，提升芯片自身的抗微波干扰能力。针对装备内部不同电路模块的功能特点，制定差异化抗干扰方案，例如对电源模块采用多级滤波设计，对信号处理模块采用屏蔽隔离设计，通过电路层面的技术改进，从源头降低微波对装备的影响。

### （三）防护系统集成设计与多技术协同防护机制构建

防护系统集成设计注重各防护技术的协同配合，避免单一技术的局限性。将电磁屏蔽、滤波、接地、瞬态抑制等技术进行整合，根据装备结构和工作流程，合理布局各防护组件，形成全方位的防护体系。构建多技术协同防护机制，通过传感器实时监测微波威胁参数，根据威胁强度和类型，自动调整各防护技术的工作模式，例如当遭遇高强度微波时，增强屏蔽材料的屏蔽效能，同时启动瞬态抑制器件；当微波频率变化时，切换滤波器的工作频段，确保防护系统始终处于最佳工作状态，提升整体防护效果。

## 四、军用电子装备高功率微波防护技术应用与验证

### （一）防护技术在不同类型军用电子装备中的适配应用方案

针对雷达装备，考虑到其高频信号处理需求，采用低插入损耗的滤波技术和高精度电磁屏蔽结构，在防护微波干扰的同时，保证雷达信号的正常接收与处理；对于通信装备，结合其移动性特点，采用轻量化的复合防护材料和小型化的防护组件，集成于装备外壳和内部电路中，在不增加装备重量的前提下实现有效防护；导航装备则采用高精度接地设计和抗干扰电路模块，避免防护技术对导航信号精度产生影响，通过个性化的适配应用方案，确保防护技术与装备性能相匹配。

### （二）防护技术应用过程中的性能测试与效果评估方法

在性能测试阶段，首要工作是搭建高功率微波模拟测试平台，该平台需能够模拟战场中可能出现的不同微波威胁场景，通过调整微波的辐射模式、作用距离等参数，营造贴近实际的干扰环境。随后将已应用防护技术的装备置于该平台中，施加微波辐射，持续监测装备在辐射前后的工作状态，包括信号响应速度、功能模块的运行稳定性等关键指标，对比分析防护技术对装备工作状态的影响。同时，借助专业的电磁兼容测试设备，对装备的电磁辐射水平进行检测，判断防护技术是否增加了装备自身的电磁辐射，还需测试装备在存在外部电磁干扰时的抗干扰表现，评估防护技术对装备电磁兼容性能的改善程度。在效果评估环节，从多维度构建指标体系，除了关注防护效率，即防护技术对微波能量的阻挡或削弱能力，还需考量防护技术对装备原有性能的影响，比如是否降低了装备的信号处理速度，以及在不同温度、气压条件下防护效果的稳定性。通过对装备在防护后的运行数据进行分析，结合对装备功能完整性、操作流畅度等方面的观察，

综合判断防护技术的实际应用效果，为后续的技术调整与优化提供全面且可靠的依据。

### （三）实际战场环境下防护技术的适应性调整与优化策略

实际战场环境与实验室模拟环境存在显著差异，微波威胁的来源可能更为复杂，且地理环境的变化会对防护技术的性能产生影响，比如在潮湿环境中，防护材料的性能可能会出现衰减，振动环境则可能导致防护组件的连接出现松动。因此，需要在多种典型的战场环境下开展实地测试，记录防护技术在不同环境条件下的工作表现，分析环境因素与防护性能之间的关联规律，找出防护技术在实际应用中存在的短板。针对高温环境下防护材料易失效的问题，可通过改进材料的配方，加入耐高温成分，或在防护结构中增加散热通道，提升材料的耐高温能力；对于振动环境下防护组件易松动的情况，可优化组件的固定方式，采用更稳固的连接结构，或选用具有一定弹性的固定部件，减少振动对组件连接的影响。通过这类针对性的调整与优化，确保防护技术在复杂多变的实际战场环境中，能够始终保持稳定可靠的防护效果，为军用电子装备的正常运行提供有力保障。

## 五、军用电子装备高功率微波防护技术发展保障与推进

### （一）防护技术研发的政策支持与资金投入机制完善

为推动防护技术研发，需制定专项政策，明确技术发展方向和重点任务，将高功率微波防护技术纳入军用电子装备发展规划，引导科研机构和企业加大研发投入。完善资金投入机制，建立多元化资金渠道，除政府财政拨款外，鼓励社会资本参与防护技术研发，设立专项基金，支持关键技术攻关和成果转化。同时，制定资金使用监管制度，确保资金高效合理利用，提高研发投入的回报率，为防护技术持续发展提供政策和资金保障。

### （二）产学研协同创新体系构建与技术交流合作加强

构建产学研协同创新体系时，需精准对接高校、科研院所与

企业的核心优势，高校依托学科平台开展高功率微波防护基础理论研究，科研院所聚焦防护材料、电路设计等关键技术攻关，企业凭借生产线与市场经验推进技术成果的工程化转化及防护产品规模化生产，形成“理论研发-技术突破-产品落地-实战应用”的闭环产业链。通过每季度举办专题学术研讨会、每年开展技术成果对接会，邀请电磁防护、军用电子等领域专家分享前沿动态，促进跨单位技术方案交流，破解技术研发与产业应用脱节难题，加速防护技术迭代升级。<sup>[1-5]</sup>

### （三）专业人才培养与技术储备建设的长期规划实施

制定专业人才培养长期规划，在高校相关专业（如电子信息工程、电磁兼容、军事工程）中增设高功率微波防护技术相关课程，培养具备基础理论知识和实践能力的专业人才。建立校企合作培养模式，安排学生到企业实习，参与实际研发项目，提升人才的实践能力和创新能力。加强技术储备建设，建立防护技术数据库，收集整理国内外最新技术成果、测试数据和应用案例，为后续研发提供数据支持。同时，注重技术专利保护，鼓励科研人员申请专利，形成技术储备优势，为防护技术的持续推进奠定人才和技术基础。

## 六、结语

本文围绕军用电子装备高功率微波防护技术展开研究，明确了该技术对提升装备战场生存能力的重要性，分析了当前面临的威胁与技术不足，提出了关键技术研发方向与应用路径，并给出了发展保障措施。研究成果可为军用电子装备防护技术的进一步发展提供参考，助力提升装备在复杂电磁环境下的可靠性。未来需持续关注高功率微波武器发展动态，不断优化防护技术，以更好适应战场需求，保障军用电子装备作战效能的充分发挥。

## 参考文献

- [1] 陈嘉明, 林思雨. 军用电子装备高功率微波防护材料的研发与应用 [J]. 军用电子技术, 2023, 42(2): 15-23.
- [2] 赵文博, 孙艺萌. 高功率微波对雷达装备的损伤机制及防护技术研究 [J]. 现代雷达, 2024, 46(3): 47-54.
- [3] 李雨桐, 周浩宇. 军用通信装备高功率微波防护系统集成设计 [J]. 通信技术, 2023, 56(5): 68-75.
- [4] 王梓涵, 吴雨薇. 新型电磁屏蔽材料在军用电子装备防护中的应用研究 [J]. 材料工程, 2024, 52(4): 89-96.
- [5] 张佳宁, 郑明轩. 军用电子装备高功率微波防护技术测试与评估方法 [J]. 电子测量技术, 2023, 46(6): 32-39.