

X 波段多普勒天气雷达发射机故障分析及维修技术

高鑫

石楼县气象局，山西省吕梁市，032500；

摘要：在气象监测领域，X 波段多普勒天气雷达凭借高时空分辨率、能有效探测中小尺度天气系统等优势，成为了获取精细化气象信息的关键设备。发射机作为 X 波段多普勒天气雷达的核心组件，其稳定运行直接关系到雷达能否准确发射电磁脉冲信号，进而影响雷达对气象目标的探测精度和数据质量。因此，文章主要就 X 波段多普勒天气雷达发射机故障分析及维修技术进行研究。

关键词：X 波段多普勒；天气雷达发射机；故障分析；维修技术

DOI：10.69979/3041-0673.25.08.022

引言

气象灾害的准确监测和预警，是保障人民生命财产安全、促进社会经济稳定发展的重要工作。X 波段多普勒天气雷达作为气象监测的前沿装备，在探测暴雨、雷电、冰雹强对流天气方面发挥着不可替代的作用。但在实际应用过程中，X 波段多普勒天气雷达发射机故障频发的问题日益凸显。一旦发射机出现故障，可能导致雷达数据缺失不准确，进而在后续严重影响气象预报和灾害预警的及时性与可靠性。因此，深入开展 X 波段多普勒天气雷达发射机故障分析及掌握有效的维修技术，对于保障雷达系统的正常运行、提升气象监测水平具有极为重要的现实意义。

1 常见故障类型及分析方法

1.1 射频故障

射频故障是较为常见的故障类型之一，主要表现为发射机输出功率异常、频率不稳定以及信号失真等问题。在对部分地区多个 X 波段多普勒天气雷达发射机的故障统计中发现，射频故障约占总故障数的 30%。其中，功率异常故障的发生频率较高，约占射频故障的 40%。这可能是由于射频放大器中的功率器件长期工作在高功率状态下，容易受到温度、电压波动因素的影响，导致性能下降甚至损坏，从而引起发射机输出功率不足或过高。频率不稳定故障约占射频故障的 30%，主要原因可能是激励源的频率稳定性受到干扰，或者射频链路中的滤波器性能变差，导致频率漂移。信号失真故障约占射频故障的 30%，通常是由于射频放大器的非线性失真或信号传输过程中的干扰引起的。

1.2 调制器故障

相关统计数据显示，调制器故障约占总故障数的 2.5%。其中，调制脉冲异常故障较为常见，约占调制器故

障的 50%，表现为调制脉冲的宽度、幅度或重复频率出现偏差。这可能是由于调制器的控制电路出现故障，或者储能元件的性能下降，导致调制脉冲的参数无法满足要求。例如部分台发射机在工作时，调制脉冲的宽度突然变窄，使发射机输出的射频脉冲信号不符合要求，经检查是调制器控制电路中的一个电容损坏，更换电容后，调制脉冲恢复正常。

1.3 电源故障

电源故障在发射机故障中也占有一定比例，约占总故障数的 20%。电源故障主要表现为电源输出电压异常、电流过大或过小以及电源模块损坏。其中，输出电压异常故障约占电源故障的 40%，可能是由于电源的稳压电路出现故障，或者输入电压不稳定，导致输出电压波动超出允许范围。比方说发射机的电源输出电压突然升高，超出了正常工作范围，经检查发现是稳压电路中的一个稳压二极管损坏，更换二极管后，电源输出电压恢复正常。电流异常故障约占电源故障的 30%，通常是由于负载短路或电源内部的限流保护电路出现问题引起的。

2 典型故障案例深度分析

2.1 加高压时充电过压故障

以某地区的 B 雷达站为例，该站所配备的全固态型 X 波段天气雷达在一次日常开机加高压操作时，突发异常状况。操作人员刚下达加高压指令，操作面板上的充电过压故障指示灯便即刻闪烁，随后高压自动切断，雷达随即停止正常工作。面对这一故障，技术人员凭借经验，首先将排查重点锁定在全固态雷达的固态功率模块储能部分。全固态雷达与传统雷达在储能结构上有所差异，其采用先进的固态电容阵列进行储能。技术人员运用高精度的电子元件测试仪，对固态电容阵列进行了逐一检测。结果发现，其中一个关键位置的固态电容的

实际电容量与标称值偏差明显，并且存在轻微的漏电情况。这意味着该固态电容已经受损，无法有效地储存和释放电能，极有可能是引发充电过压故障的重要原因之一。除了储能元件，调制控制电路也是故障排查的关键。全固态型X波段天气雷达的调制控制电路采用了先进的数字化控制技术，对充电过程进行精确调控。技术人员对调制控制电路进行了深入细致的检查，利用专业的电路分析仪对各个关键节点的信号进行监测和分析。经过一番排查，发现电路中的一个可编程电阻出现了参数漂移的问题，其实际阻值与预设值存在较大差异。这种阻值的变化影响了调制控制电路对充电过程的精确控制，导致充电参数出现偏差，最终引发了充电过压故障。在明确故障原因后，技术人员对于损坏的固态电容，选用了与原型号参数完全一致的高品质固态电容进行更换。在更换过程中，严格遵循全固态雷达的精密操作规范，使用专业的焊接工具和工艺，确保电容连接牢固、接触良好，避免因操作不当引发其他潜在问题。对于出现参数漂移的可编程电阻，技术人员通过重新编程和校准，使其恢复到正常的工作参数范围，从而保证了调制控制电路能够准确地控制充电过程。

2.2 发射模块过热故障

全固态型X波段天气雷达在连续运行数小时后，监控系统发出发射模块过热报警信号，雷达自动降低发射功率以保护设备安全，这严重影响了雷达的正常探测性能。技术人员对这一故障展开了深入分析，分析得出发射模块长时间高负荷工作产生的热量无法及时散发，是导致过热故障的一个可能原因。全固态雷达的发射模块由多个固态功率放大器组成，在工作过程中会产生大量的热量。虽然雷达配备了散热系统，但如果散热通道被堵塞或者散热风扇出现故障，就会导致热量积聚，使发射模块温度升高。另外，发射模块内部的功率放大器性能下降也可能是引发过热的因素之一。随着使用时间的增加，功率放大器的晶体管等关键元件可能会出现老化现象，导致其工作效率降低，功耗增加，进而产生更多的热量。为了找出具体原因，技术人员首先对散热系统进行了全面检查。发现散热通道内积累了大量的灰尘，严重影响了空气流通。同时，其中一个散热风扇的电机出现故障，转速明显降低，无法提供足够的风量。针对这些问题，技术人员对散热通道进行了彻底清理，并更换了故障的散热风扇，确保散热系统能够正常工作。在完成维修后，技术人员对雷达进行了长时间的运行测试，监控发射模块的温度变化。经过测试，发射模块的温度稳定在正常工作范围内，雷达恢复了正常的发射功率和探测性能。

2.3 故障分析常用维护技术

2.3.1 波形检测技术

波形检测技术是故障分析的重要手段之一，它通过对发射机关键部位的信号波形进行监测和分析，能够直观地了解信号的特征和变化情况，从而判断发射机的工作状态是否正常。在检测发射机的调制脉冲波形时，正常情况下，调制脉冲应具有稳定的幅度、宽度和重复频率，波形边缘清晰且陡峭。若调制脉冲波形出现异常，如幅度波动、宽度变化、波形畸变，可能意味着调制器存在故障，如调制器的控制电路异常、储能元件性能下降或IGBT模块损坏。基于此技术人员可以使用示波器来进行波形检测，将示波器的探头连接到发射机的相应测试点，设置合适的垂直灵敏度、水平扫描速度和触发条件，即可清晰显示出信号波形。通过对正常波形和故障波形，能够快速定位故障点，为维修工作提供准确的依据。

2.3.2 频谱分析技术

相比较波形检测技术，频谱分析技术则侧重于对信号的频率成分进行分析，它可以帮助技术人员了解发射机输出信号的频率稳定性、杂散信号等情况。在X波段多普勒天气雷达发射机中，发射信号的频率稳定性至关重要，任何频率漂移或杂散信号的出现都可能影响雷达的探测精度和可靠性。对此利用频谱分析仪，技术人员可以对发射机的输出信号进行频谱分析。频谱分析仪能够将输入信号分解为不同频率的分量，并以图形的方式显示出各频率分量的幅度和相位信息。正常情况下，发射机输出信号的频谱应具有单一的主峰，且主峰频率与设计频率相符，杂散信号的幅度应在规定的范围内。若频谱分析结果显示主峰频率偏移、出现多个杂散峰或杂散信号幅度超标，可能表明发射机的激励源、射频放大器或滤波器部件存在故障。比方说激励源的频率稳定性变差可能导致主峰频率漂移，射频放大器的非线性失真可能产生杂散信号。通过对频谱分析结果的深入分析，技术人员可以准确判断故障原因，采取相应的维修措施。

3 维护措施的具体制定与要求

3.1 周维护

周维护是定期维护的基础环节，时间间隔设定为每周一次，主要由值班技术人员负责执行。维护项目包括多项内容，其中接收机机内噪声系数和动态范围测试及定标是重要内容之一。技术人员通过使用专业的噪声系数测试仪和动态范围测试设备，对接收机的机内噪声系数和动态范围进行精确测量。正常情况下，机内噪声系数应不大于3.0dB，动态范围不小于95dB。若测量结果

不满足上述要求，值班技术人员需及时查明原因，并进行定标操作，以确保接收机的性能正常。系统相位噪声测试及定标也是周维护的关键项目。借助高精度的相位噪声测试仪，对系统的相位噪声进行测试。系统相位噪声应不大于 0.06，若超出此范围就需分析原因并进行定标，以保证系统的频率稳定性。另外机内回波强度及径向速度测试及定标同样不可忽视。通过专用的测试仪器，对机内回波强度和径向速度进行测试，确保机内回波强度定标误差在 $\pm 1.0\text{dB}$ 之间，径向速度定标误差在 $\pm 1.0\text{m/s}$ 之间。若测试结果异常，需及时排查故障并进行定标。值班技术人员还需检查分机面板，确保各分机面板电压和电流指示正常且无报警信息，并持续记录钛系电源和灯丝电源的电压、电流数值，以便后续分析。

3.2 月维护

月维护的时间间隔为每月一次，期间天线波束指向和天线控制误差测试及定标是月维护的重点项目之一。有关技术人员通过使用专业的天线测试设备，对天线波束指向和天线控制误差进行精确测量。正常情况下，天线波束指向及天线控制误差应在 ± 0.03 之间。若测量结果超出此范围，专业维护工程师需查明原因并进行定标，以确保天线的指向精度和控制准确性。发射机脉冲宽度和脉冲功率测试及定标也是重要内容。利用高精度的脉冲宽度测试仪和功率计，对发射机的脉冲宽度和脉冲功率进行测试。比如对于 C 波段天气雷达，窄脉冲宽度应在 $(1.00 \pm 0.10) \mu\text{s}$ 之间，宽脉冲宽度在 $(2.00 \pm 0.20) \mu\text{s}$ 之间，脉冲功率不小于 250kW；对于 S 波段天气雷达，窄脉冲宽度应在 $(1.57 \pm 0.10) \mu\text{s}$ 之间，宽脉冲宽度在 $(4.70 \pm 0.25) \mu\text{s}$ 之间，脉冲功率不小于 650kW。若测试结果不满足要求，需分析故障原因并进行定标。

3.3 汛前巡检和年维护

每年汛期前和汛期结束后，技术人员须分别开展一次汛前巡检和年维护，由资深技术专家和专业维护团队共同负责执行。年维护的项目涵盖了对发射机各个方面进行全面检查和维护。检查周、月维护完成情况，确保所有周维护和月维护项目都已按照要求完成，并对维护记录进行详细审查。检查绝缘子、接线板、空气开关、交流接触器等接线松紧，并清洁灰尘；测量/记录各分机主要测试点的波形/参数，拆洗、维护空调机、除湿系统、风机等。进行天线座水平度测试及定标，确保天线座水平度不大于 30.00，同时进行天线波束指向测试及定标，保证天线波束指向误差在 ± 0.05 之间。检查波导旋转关节，查看是否有磨损、松动、打火痕迹，确保波导旋转关节正常工作。另外要检查雷达波导加压除湿装

置，确保正常工作，以保证波导内的干燥环境，防止水汽对信号传输的影响。

4 结语

综上所述，X 波段多普勒天气雷达发射机故障分析及维修技术，是保障雷达系统稳定运行、获取准确气象数据的关键环节。通过对发射机常见故障类型的深入分析，明确了故障产生的原因和影响因素。同时，针对不同故障，详细阐述了一系列行之有效的维修技术和方法，包括调试的要点以及预防性维护的措施。在实际工作中，需要不断积累故障分析和维修经验，提高维修人员的专业技能和综合素质。同时，要建立完善的故障监测和预警机制，加强对发射机的日常维护和管理，以降低故障发生率，提高雷达系统的可靠性和稳定性。

参考文献

- [1] 刘恒, 李爽. X 波段线性调频连续波雷达发射机的设计与实现 [J]. 信息通信, 2017(03): 186-188.
- [2] 李尧. X 波段宽带雷达发射机的设计研究 [J]. 数字技术与应用, 2015(10): 106.
- [3] 袁同山. 一种新型 X 波段气象雷达发射机 [J]. 工业技术创新, 2015, 02(04): 429-432.
- [4] 郭晓阳, 白鹏, 程宝山. X 波段宽带雷达发射机的设计 [J]. 信息通信, 2015(06): 81.
- [5] 马良. 可移式 C 波段雷达发射机及其故障分析 [C]// 中国气象学会. S9 雷达探测技术研究与应用. 甘肃省气象信息与技术装备保障中心, 2012: 104-110.
- [6] 郭继平. X 波段多普勒天气雷达发射机故障分析及维修技术 [C]// 中国气象学会. S9 雷达探测技术研究与应用. 青海省大气探测技术保障中心, 2012: 328-334.
- [7] 雷卫廷, 罗雄光, 周钦强, 等. L 波段雷达大发射机故障通用检测方法详析 [J]. 广东气象, 2012, 34(04): 60-62.
- [8] 郭继平, 王晓楠. 三江源 X 波段多普勒天气雷达发射机故障分析及维修技术 [C]// 中国气象学会. 第 28 届中国气象学会年会——S1 第四届气象综合探测技术研讨会. 青海省大气探测技术保障中心, 2011: 994-1000.
- [9] 陈士英, 陈杰, 左忠华, 等. L 波段雷达发射机故障案例分析 [J]. 内蒙古气象, 2011(04): 71-72.

作者简介：高鑫，（1997-02），男，汉族，山西省吕梁市石楼县人，本科，助理工程师，研究方向或职业：气象。