

TWP3 风廓线雷达发射机典型故障诊断流程

吴维¹ 吴艳锋^{1*} 段士军¹ 陈浩君² 赵兴炳³ 胡江凤⁴ 王亚东¹

(1 北京敏视雷达有限公司, 北京 100094; 2 上海市气象信息与技术支持中心, 上海 200030;
3 成都高原气象研究所, 成都 610072; 4 四川省达州市开江县气象局, 开江 636250)

摘要 在 TWP3 风廓线雷达各种故障中, 发射机故障率高居榜首。基于 TWP3 风廓线雷达发射机工作原理和关键点信号特性, 结合故障统计数据, 将发射机常见故障归纳为 6 类典型故障。通过分析典型故障, 研究出一套故障诊断流程, 并结合 3 个典型案例进行剖析。结果表明: 发射机典型故障诊断流程可以快速、准确诊断发射机故障, 具有思路清晰、操作规范、基层雷达站技术人员容易掌握的特点, 可有效缩短发射机故障修复时间, 提高 TWP3 风廓线雷达技术保障水平。

关键词 风廓线雷达; 发射机; 关键点信号; 典型故障; 诊断流程

中图分类号: P415 **DOI:** 10.19517/j.1671-6345.20190005 **文献标识码:** A

引言

目前中国气象局已投入运行的 TWP3 风廓线雷达有 40 多部。对 2013—2018 年全国 TWP3 风廓线雷达故障统计表明, 在 TWP3 风廓线雷达各种故障中, 发射机故障率高居榜首。目前针对风廓线雷达发射机的研究多以设计或理论为主^[1-8], 其中, 刘宁波等介绍了发射机固态放大链路的组成及原理, 张垚等介绍了发射机控制系统的设计, 陈浩君等介绍了发射机对雷达整机性能的影响。从雷达运行和保障角度来看, 目前缺乏一种基层雷达站技术人员容易掌握的规范化、通用化的故障诊断流程。基层雷达站技术人员在遇到发射机故障时无从下手, 只有等厂家技术人员现场维修, 导致雷达故障时间长, 影响灾害性天气监测。本文基于 TWP3 风廓线雷达发射机工作原理和关键点信号特性, 结合故障统计数据, 将发射机常见故障归纳为 6 类典型故障。通过分析典型故障, 研究出一套流程图式故障诊断方法。

1 TWP3 风廓线雷达发射机工作原理

TWP3 风廓线雷达发射机, 是一个能将脉冲射

频信号进行高倍放大, 并具有自我检测、故障定位和自动保护功能的放大链路及相关模块的组合。TWP3 风廓线雷达发射机采用模块化设计, 由驱动器、带通滤波器、1:4 分配器、4 个 650 W 放大器、4:1 合成器、定向耦合器、主控单元、组合电源、风冷装置等组成, 图 1 为发射机工作原理框^[1]。来自频率源的激励信号由射频输入端口进入驱动器。驱动器对激励信号取样、检波并送主控单元检测, 之后将此信号放大驱动后级模块。驱动器放大后的射频信号经带通滤波器进行频谱整形, 使输出频谱符合国家相关规定。滤波后的射频信号由 1:4 分配器等分为 4 路, 分别去推动 4 个 650 W 功放模块。4 个 650 W 功放模块的输出由 4:1 合成器进行功率合成, 经定向耦合器输出。定向耦合器同时会将输出信号采样, 送主控单元检测。主控单元接受系统计算机控制, 负责重点信号及各功能模块的状态检测、控制和保护。组合电源为发射机各个模块提供直流能量。风冷装置是两个轴流风机, 负责为发射机降温。避雷器是为了防止发射机受到雷电影响而增加的防雷模块。

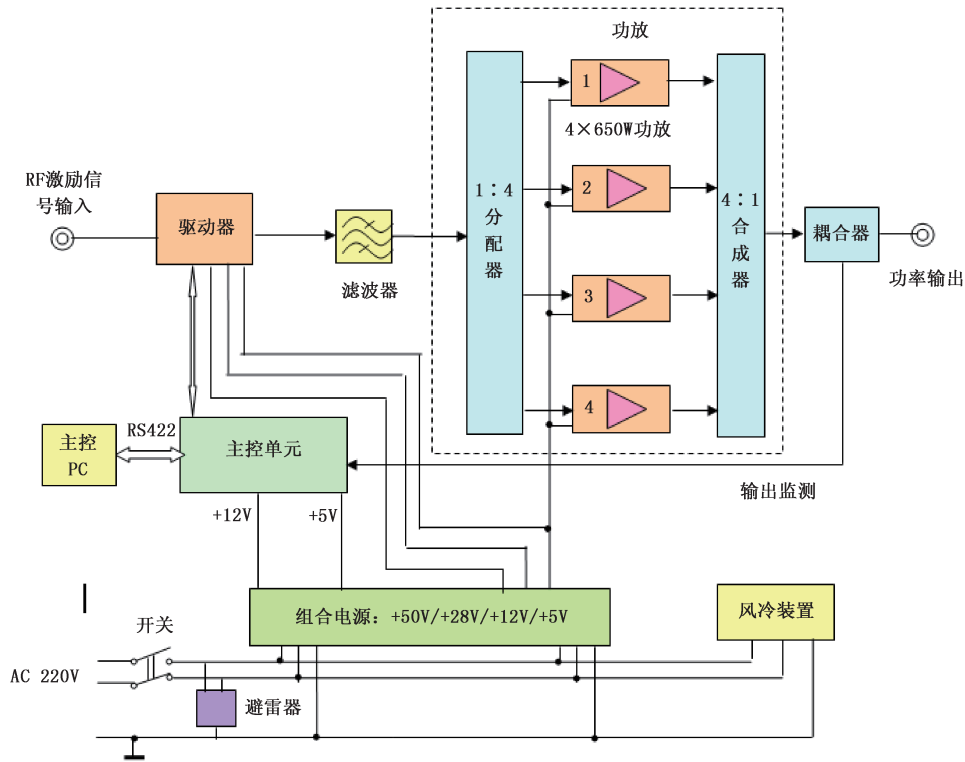


图 1 TWP3 风廓线雷达发射机工作原理

2 TWP3 风廓线雷达发射机关键点信号

2.1 激励信号和使能信号

进入雷达发射机并被放大的脉冲射频信号就是激励信号,雷达低模式工作时,激励信号如图 2 绿色实线波形所示^[9]。此时激励信号频率 1290 Mhz,脉宽 0.4 us,峰值功率 8~11 dBm。发射机使能信号是一个 TTL 门脉冲信号,如图 2 蓝色虚线波形所示。使能信号与激励信号同步,门脉冲的上升沿与下降沿刚好将激励信号包住。雷达高模式工作时采用了脉冲压缩技术^[10],激励信号增加了调制、展宽处理,使能信号也做了相应展宽。诊断发射机故障时,通常令雷达工作在低模式下。

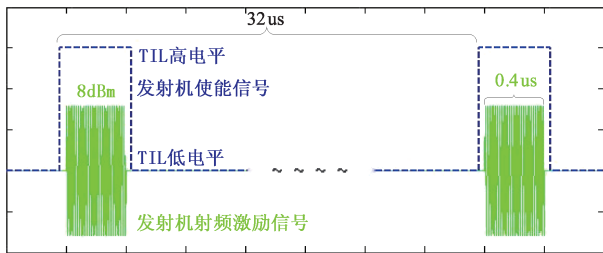


图 2 低模式工作时的激励信号和使能信号

2.2 发射机放大链路增益与电平分配关系

发射机正常工作时,放大链路增益与电平分配关系如图 3 所示^[1]。检测放大链路某一级的增益或电平时,使用射频功率计,测量信号的脉冲峰值功率即可。

2.3 发射机激励信号、输出射频功率信号及输出反射回波信号检测点信号

发射机内部采用 Mini-Circuits 公司的射频功率传感器模块 ZX47-40+对激励信号、输出射频功率信号、输出反射回波信号进行实时监测,3 个模块编号分别为 PT1、PT2、PT3。环境温度 25 °C 时,ZX47-40+的输入输出关系如图 4 所示。利用射频功率计和万用表,测量 ZX47-40+模块的输入功率和输出电压并与图 4 对比,可以判断此模块是否正常。

2.4 发射机内部温度检测信号

发射机内部采用 Ti 公司的温度传感器 LM35A 对温度进行实时监测,编号为 TT1。LM35A 静态电流与摄氏温标呈线性关系如图 5 所示。单电源供电模式下,LM35A 在 0 °C 时输出 0 V,每升高 1 °C,输出电压增加 10 mV。通过温度计和万用表可以验证 LM35A 是否正常。

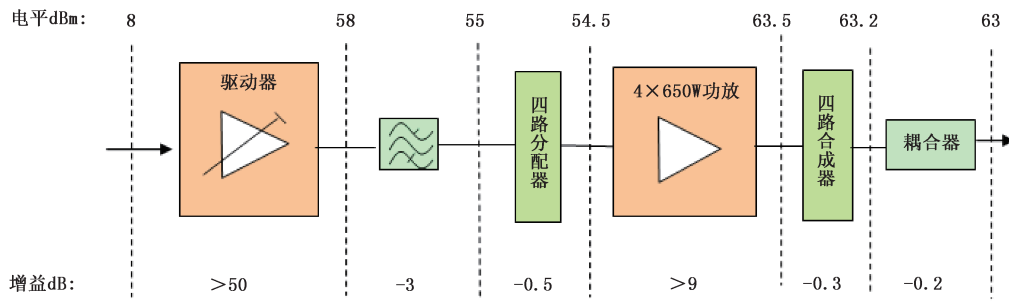


图 3 放大链路增益与电平分配关系

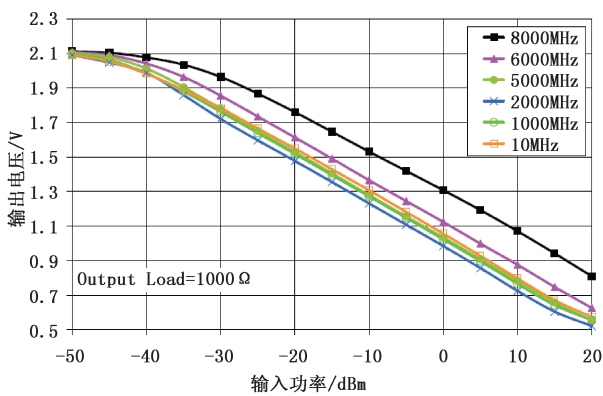


图 4 25°C 时 ZX47-40+ 的输入输出关系

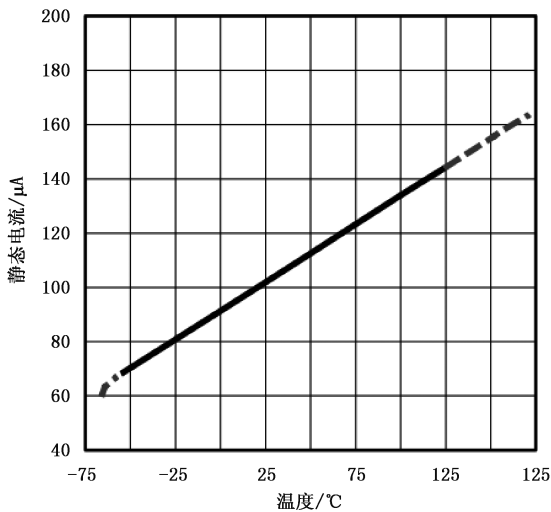


图 5 LM35A 环境温度与静态电流关系

3 TWP3 风廓线雷达发射机故障发现途径、诊断思路及典型故障分析

有 3 种途径可以发现 TWP3 风廓线雷达发射机故障:控制软件 WPCS 的发射机状态和报警信息

提示,发射机和组合电源面板上的报警灯提示以及利用仪表进行测试^[11]。雷达无人值守运行时,远程遥控一般通过控制软件 WPCS 的发射机状态和报警信息来发现故障,如图 6 所示。

发射机发生故障时需要及时诊断,思路是:首先观察放大链路,更换有明显故障痕迹的模块;其次沿放大链路测量,针对每一级,首先确认此级所有输入是否正常,输入不正常需返回上一级查找原因,然后确认此级所有输出是否正常,输入正常而输出不正常,一般意味着此级有重大故障嫌疑。如果这一级所有输入输出都正常,那就再检查下一级,依次递推。这种思路对诊断发射机整体故障、内部模块故障或者芯片故障都适用^[12]。

针对 2013—2018 年全国 TWP3 风廓线雷达发射机故障统计可以归纳出,发射机常见故障可以归纳为直流电源故障、无输出或输出功率不足故障、输入信号故障、输出驻波超限故障、温度超限故障以及主控单元故障 6 类典型故障,这 6 类典型故障占到发射机总故障率的 90% 以上。

3.1 发射机电源故障

基于概率统计,造成发射机电源故障的原因及诊断方法如表 1 所示。组合电源模块自身故障可以通过万用表测量组合电源测试点电压判断。发射机放大链路模块短路引发过流现象造成电源报警,一般可以在放大链路模块中观察到芯片烧焦、电容碎裂等现象,测试时断开相关模块电源接线,组合电源输出电压恢复,保持功率放大模块电源连接,组合电源输出电压骤降。用万用表沿电流传输路径测量电压跳变点可以诊断线缆是否接触不良。

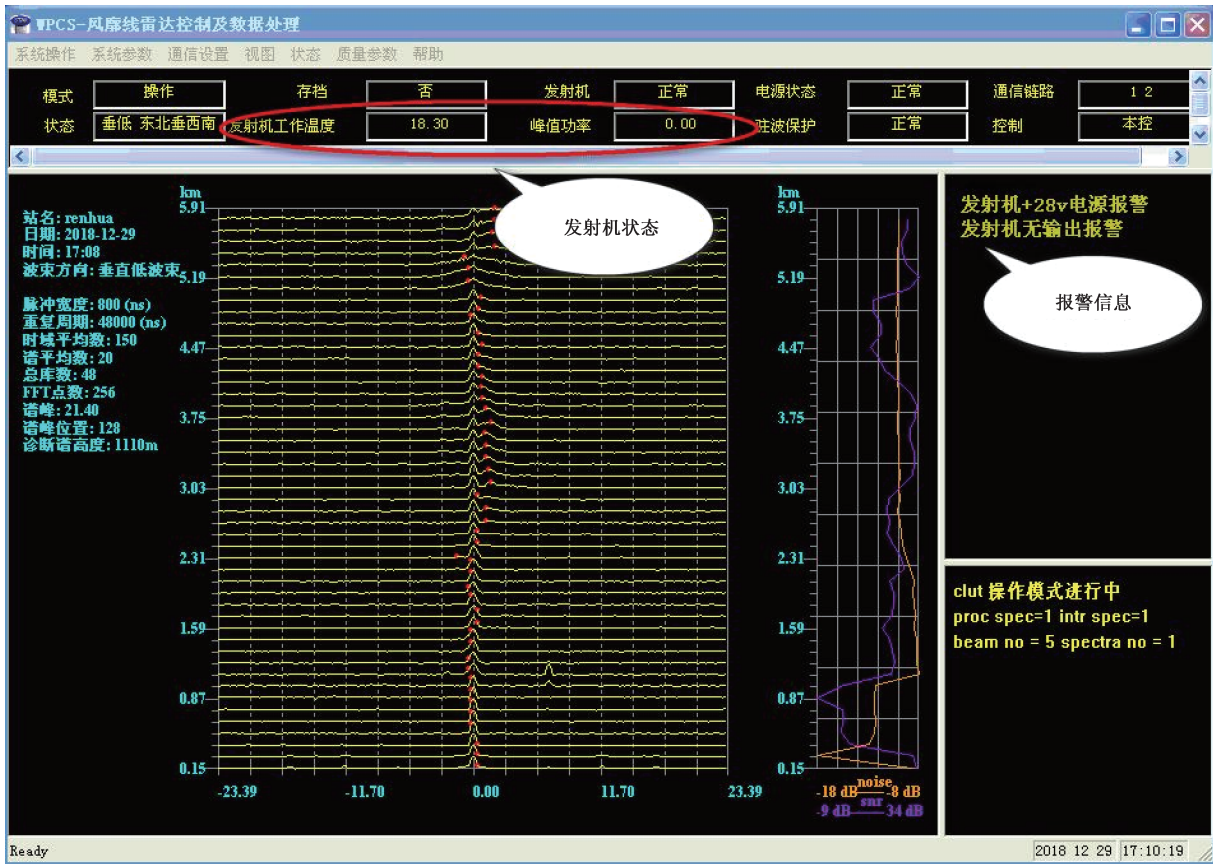


图 6 控制软件 WPCS 显示发射机状态和故障

表 1 发射机电源故障原因及诊断方法

序号	故障原因	诊断方法
1	组合电源模块故障	万用表测量组合电源测试点电压
2	放大链路模块短路	断开相关模块接线,电压恢复
3	线缆接触不良	万用表测量电流传输路径

3.2 发射机无输出或输出功率不足故障

发射机无输出或输出功率不足故障原因比较复杂,此故障往往伴随其它故障一起出现。诊断步骤如下:①观察放大链路是否有模块烧毁,无明显异常则先诊断其它故障。②其它故障解决后,如发射机无输出或输出功率不足故障依旧存在,需要对放大链路进行逐级测试,将放大链路射频信号实测数据与图 3 放大链路增益与电平分配关系对比,可诊断放大链路异常。③放大链路正常而发射机无输出或输出功率不足故障仍然存在,参考图 4 中 ZX47-40+ 的输入输出关系,检查射频功率检测模块 PT2 是否正常。④PT2 测试数据正常而发射机无输出或输出功率不足故障仍然存在,更换发射机主控单元。

3.3 发射机输入信号故障

基于概率统计,发射机输入信号故障原因及诊断方法如表 2 所示。将发射机工作模式设置为低模式,用射频功率计和示波器测量激励信号以及使能信号,与图 2 正常工作时的激励信号和使能信号进行对比。如果输入信号没有问题,应检查功率传感器模块 PT1。若 PT1 正常,需要更换发射机主控单元。

表 2 发射机输入信号故障原因及诊断方法

序号	故障原因	诊断方法
1	激励信号异常	测量激励信号,与正常激励信号对比
2	使能信号异常	测量使能信号,与正常使能信号对比
3	传感器 PT1 损坏	测量功率传感器模块 PT1,坏则更换
4	主控单元故障	前 3 项都正常,更换主控单元

3.4 发射机输出驻波超限故障

基于概率统计,发射机输出驻波超限故障原因及诊断方法如表 3 所示。雷达室外部分失配是造成发射机输出驻波超限故障的重要原因,通过矢量网

络分析仪(简称矢网)测量驻波可以判断。耦合器、环行器或射频输出电缆故障,可以通过矢网测量相关器件驻波和插损这两个指标判断。通常情况下,驻波参数应小于 1.5,通路插损应小于 0.5 dB。耦合器、环行器或射频输出电缆故障,经常伴随有接头烧毁或插针烧黑等现象。传感器 PT3 和主控单元损坏概率较低。

表 3 发射机输出驻波超限故障原因及诊断方法

序号	故障原因	诊断方法
1	雷达室外部分失配	测量雷达室外部分驻波
2	耦合器或环行器故障	测量耦合器、环行器的驻波和插损
3	射频输出电缆损毁	测量射频输出电缆的驻波和插损
4	传感器 PT3 损坏	测量功率传感器模块 PT3,坏则更换
5	主控单元故障	前 4 项都正常,更换主控单元

3.5 发射机温度超限故障

基于概率统计,发射机温度超限故障原因及诊断方法如表 4 所示。由放大链路故障引发的温度超限,通常伴随有组合电源电流显示值较正常值偏大等现象,维修时需要像处理发射机无输出故障一样,对放大链路逐级检修。轴流风机故障通过听声音看风机转速可以确认。传感器 TT1 偶尔会因为误碰造成物理损坏,主控单元温度检测部分故障率较低。

表 4 发射机温度超限故障原因及诊断方法

序号	故障原因	诊断方法
1	放大链路模块故障	测量放大链路增益
2	轴流风机故障	通常可通过观察发现问题
3	传感器 TT1 损坏	测量温度传感器 TT1,坏则更换
4	主控单元故障	前 3 项都正常,更换主控单元

3.6 发射机主控单元故障

当发射机主控单元故障时,故障现象不好归纳。诊断主控单元时,应对主控单元除尘除杂除水雾,并确保所有连线接触良好。如果主控单元执行完上述操作后还有异常,应更换主控单元。实际上,主控单元自身有多重保护,故障率很低。

4 发射机故障排查流程

发射机是一个复杂的整体。各种故障之间,往往互相联系。比如无输出功率时,有可能同时出现电源故障或输出驻波超限故障,此时需要整体考虑。

为了便于雷达站技术人员操作,研究出一套典型故障诊断流程,如图 7 所示。遇到发射机故障时,可参考此流程并结合典型故障分析进行诊断。

5 TWP3 风廓线雷达发射机故障诊断典型案例

5.1 2018-06-24 广东阳江发射机无输出故障

故障现象:WPCS 控制软件状态栏显示发射机无输出。

故障分析:除发射机无输出这个故障外,WPCS 控制软件没有提示其它故障。参考发射机故障排查流程图,检查的重点,是发射机内部放大链路。参考图 3 放大链路增益与电平分配关系,逐级测试每个模块的输入和输出,寻找异常点。

故障处理:仔细观察放大链路,发现第一路 650 W 功放模块输出端发黑,隔直电容烧毁。更换此模块。推断仅此一个模块损坏,不足以造成发射机无输出故障,可能存在其它问题。用功率计逐级测量放大链路各个模块的输入和输出,发现驱动级输入功率 8 dBm,输出只有 25 dBm,和正常值不符。更换驱动器模块后,发射机输出总功率满足要求,故障解决。

5.2 2018-10-12 四川开江发射机电源故障

故障现象:WPCS 控制软件报警栏提示发射机无输出、+28 V 电源故障。

故障分析:造成发射机无输出的原因很多,参考发射机故障排查流程,先检查电源。解决完电源故障后,再判断发射机无输出的问题。

故障处理:观察发射机内部放大链路,没有发现短路或烧毁的痕迹。测量组合电源测试端,发现 +28 V 电压消失。更换 +28 V 电源模块后,发射机电源恢复正常。尝试开机,发射机输出功率恢复正常,故障解决。

5.3 2018-10-28 上海世博园发射机输入故障

故障现象:WPCS 控制软件报警栏提示发射机无输出、输入信号故障。

故障分析:参考发射机故障排查流程图,先解决输入信号故障,再考虑无输出故障。测量激励信号和使能信号,与正常信号对比。输入信号故障解决后,针对无输出故障,先观察放大链路是否有明显模块损毁现象,再考虑逐级测试。

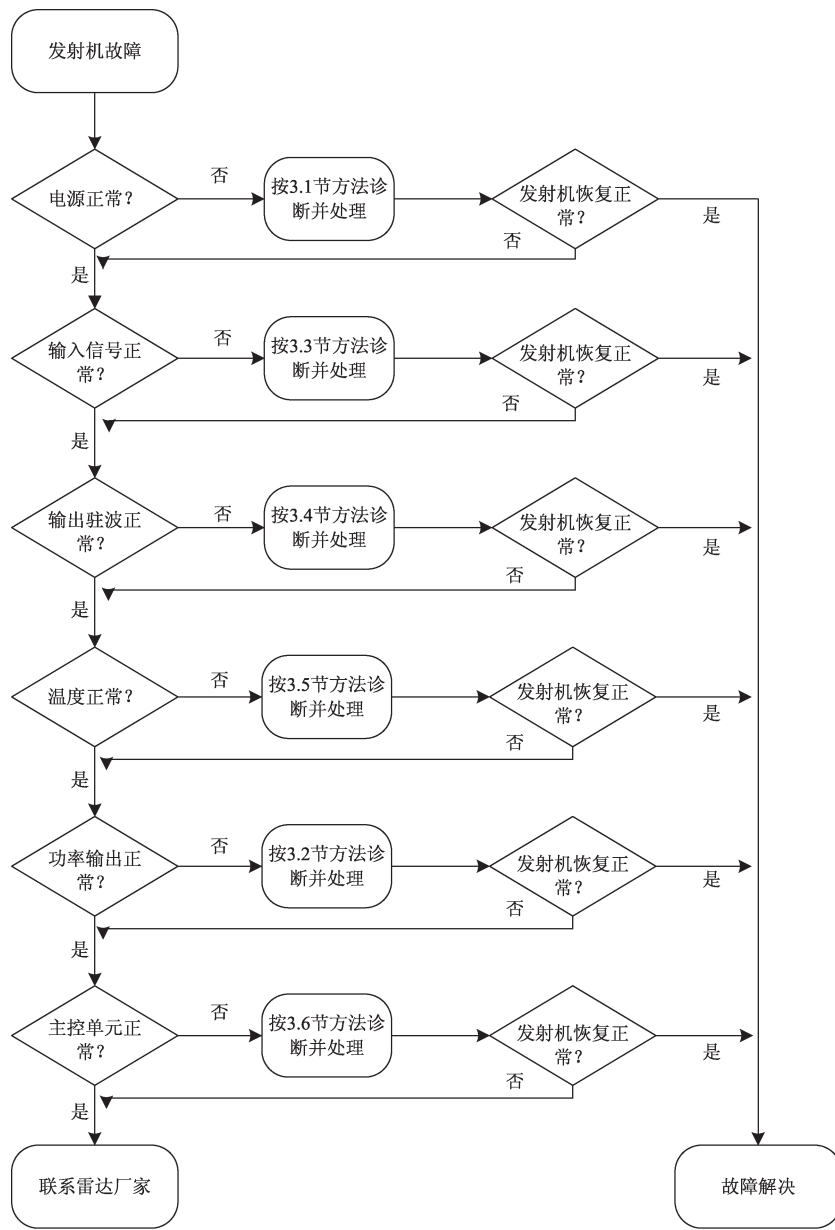


图 7 发射机典型故障诊断流程

故障处理:检查发射机放大链路,未发现明显短路或器件烧毁的现象。测量激励信号的脉宽、功率值,没有发现问题。测量使能信号,发现使能信号消失。更换定时器后使能信号恢复。重新开机,发射机输出功率恢复正常,故障解决。

6 结论与讨论

在 TWP3 风廓线雷达各种故障中,发射机故障率高居榜首。基层雷达站技术人员面对发射机故障时缺乏一种规范化、通用化的诊断方法。本文基于

TWP3 风廓线雷达发射机工作原理和关键点信号特性,结合故障统计数据,将发射机常见故障归纳为 6 类典型故障。通过分析典型故障,研究出一套故障诊断流程,具有思路清晰、操作规范,基层雷达站技术人员容易掌握的特点,可有效缩短发射机故障修复时间,提高 TWP3 风廓线雷达的技术保障水平。

从雷达运行和保障角度来看,快速准确诊断发射机故障,还有很多工作需要进一步落实和完善。基层雷达站技术人员需要熟练掌握发射机工作原

理、牢记关键点信号特点并能熟练使用万用表、射频功率计、示波器等仪表。雷达厂家如果能在 TWP3 风廓线雷达控制软件 WPCS 菜单栏增加“故障诊断”菜单,集成本文流程图式故障诊断方法并提供部分参考案例(同时建议集成其它单元或模块的故障诊断及参考案例),将更有助于基层雷达站技术人员做好雷达保障工作。

参考文献

- [1] 刘宁波,段士军,刘强,等. 边界层风廓线雷达发射机放大链路设计与实现[J]. 气象科技进展, 2018, 6(21):102-108.
- [2] 张垚,尹春光,刘强. 上海世博园风廓线雷达 TWP3 发射机控制系统设计与实现[J]. 气象科技, 2012, 40(1):15-19.
- [3] 陈浩君,黄兴友,王亚东,等. 上海 TWP3 型边界层风廓线雷达探测性能评估[J]. 气象科技, 2015, 43(3):355-360.
- [4] 董秋婷,贺明慧,刁军,等. 夏季不同天气条件下风廓线雷达探测精度分析[J]. 气象科技, 2018, 46(1):16-28.
- [5] 曾孝平,杨凡,熊东. L 波段雷达发射机中功率放大器的研制[J]. 半导体技术, 2010, 35(8):819-822.
- [6] 姚日升,涂小萍,丁焯毅,等. 浙江北部近海边界层风廓线特征分析[J]. 气象科技, 2017, 45(3):516-525.
- [7] 石铁峰,顾淡云. 1kW UHF 声电测风雷达系统全固态发射机[J]. 现代雷达, 1996(4):67-75.
- [8] 洪健,钟国俭,徐晓容,等. L 波段大功率电磁兼容测试发射机研制[J]. 空军预警学院学报, 2016, 30(4):240-243.
- [9] 北京敏视达雷达有限公司. TWP3 边界层风廓线雷达技术描述[Z]. 北京:中国气象局, 2009:23-24.
- [10] 宋一鑫,姚振东. 风廓线雷达 MMSE 脉冲压缩的实现[C]// 全国虚拟仪器学术交流大会, 2009.
- [11] 陈冰怀,黄宏智,陈捷雄,等. 风廓线雷达实时监控系统的开发与应用[J]. 广东气象, 2015, 37(1):68-70.
- [12] 杨金红,高玉春,柴秀梅. 新一代天气雷达运行保障能力分析[J]. 气象科技, 2014, 42(1):31-37.

Flow-Chart Method for Diagnosing Typical Faults of TWP3 Wind Profile Radar Transmitter

Wu Wei¹ Wu Yanfeng¹ Duan Shijun¹ Chen Haojun² Zhao Xingbing³
Hu Jiangfeng⁴ Wang Yadong¹

(1 Beijing Metstar Radar Co., Ltd., Beijing 100094; 2 Shanghai Meteorological Information and Technology Support Center, Shanghai 200030; 3 Institute of Plateau Meteorology, CMA, Chengdu 610072;
4 Kaijiang Meteorological Service, Sichuan, Kaijiang 636250)

Abstract: Among all kinds of faults of TWP3 wind profiler radar, the failure rate of transmitters is the highest. At present, there is still a lack of a transmitter fault diagnosis method suitable for the technical personnel of radar stations. Based on the working principle and key point signal characteristics of TWP3 wind profile radar transmitters, combined with fault statistics, the common faults of the transmitters are classified into six types of typical faults. By analyzing these typical faults, a method for diagnosing typical faults by means of the flow chart is developed, and three typical cases are analyzed. The results show that this method can diagnose the transmitter faults quickly and accurately. It has the characteristics of clear thinking, standardized operation and being easy to grasp by the technical personnel of radar stations. It can effectively shorten the repair time of transmitter faults and improve the technical support level of TWP3 wind profile radar.

Keywords: wind profiler radar; transmitter; working principle; key point signal; typical fault; flow chart