

# 714CDP气象雷达发射机引起的回波偏弱分析与研究

董正洪, 郑迎宾

民航贵州空管分局, 贵州 贵阳

收稿日期: 2024年2月20日; 录用日期: 2024年5月1日; 发布日期: 2024年5月8日

## 摘要

雷达系统中的发射机和接收机是实现目标探测和信息接收的关键设备。其中, 发射机将电能转换为微波能量, 通过天线发射出去; 而接收机则接收反射回来的微波信号, 进行处理, 最终得到目标物的信息。在实际运行中, 雷达发射机会出现各种问题, 导致回波信号偏弱。本文将以714CDP气象雷达发射机为例, 对其可能引起的回波偏弱现象进行深入分析, 从接收机部分信号流程进行分析, 以速调管阴极绝缘被击穿为切入点, 逐步分析速调管、脉冲变压器、电压调节开关, 并对故障排查和维修处理过程进行了详细阐述和分析; 对雷达回波偏弱故障分析技巧进行提炼总结, 为气象雷达维护维修提供一定技术支撑和实际指导意义。

## 关键词

发射机、回波, 速调管, 脉冲变压器

## Analysis and Research on Echo Weakness Caused by 714CDP Weather Radar Transmitter

Zhenghong Dong, Yingbin Zheng

Guizhou ATC Branch of Civil Aviation, Guiyang Guizhou

Received: Feb. 20<sup>th</sup>, 2024; accepted: May 1<sup>st</sup>, 2024; published: May 8<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

The transmitter and receiver in radar system are the key equipment to realize target detection

文章引用: 董正洪, 郑迎宾. 714CDP气象雷达发射机引起的回波偏弱分析与研究[J]. 传感器技术与应用, 2024, 12(3): 261-267. DOI: 10.12677/jsta.2024.123029

and information receiving. The transmitter converts electrical energy into microwave energy, which is then transmitted through the antenna. The receiver receives the reflected microwave signal, processes it, and finally obtains the information of the target object. However, in the actual operation, the radar transmitter will have various problems, resulting in weak echo signal. This paper will take 714CDP weather radar transmitter as an example to conduct an in-depth analysis of the phenomenon of weak echo that may be caused by it, analyze part of the signal flow of the receiver, take the breakdown of klystron cathode insulation as the starting point, and gradually analyze the klystron, pulse transformer and voltage regulation switch, and explain and analyze the troubleshooting and maintenance process in detail. The analysis techniques of radar echo weakness fault are refined and summarized to provide some technical support and practical guidance for weather radar maintenance.

## Keywords

Transmitter, Echo, Klystron, Pulse Transformer

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

714CDP 型气象雷达, 是 C 波段多普勒双偏振天气雷达, 主要用于监测和预警强对流天气, 其是通过发射一系列脉冲电磁波, 利用云雾、雨、雪等降水粒子对电磁波的散射和吸收, 为探测降水的空间分布和铅直结构, 并以此为警戒跟踪降水系统。因 10 cm 波长的衰减, 用于探测台风、暴雨及冰雹较好。

气象雷达回波偏弱会对雷达数据质量、降水估计精度、天气识别能力等方面产生影响。

## 2. 故障表象

2023 年 3 月 6 日 22 时左右, 维护人员巡视发现气象雷达地物回波为 60 dBZ, 根据出厂记录正常情况为 70 dBZ 左右, 以及与邻近雷达融合回波进行对比发现本场 714CDP 气象场雷达回波偏弱, 初步判断偏弱 10 dBZ 左右, 回波强度的不准确严重影响了预报员对强对流天气、降雨强度等天气预报的准确性, 降低了用户的体验感, 严重情况会导致气象雷达提供的数据无时效性。

## 3. 初步分析

714CDP 雷达回波信号弱可能是由整个信号通道的各个部分引起的问题[1], 包括发射功率、接收机灵敏度、数据处理分机的放大调整以及微机终端定标输出等。如果其中任何一个部分存在异常, 甚至多个部分异常, 都有可能回波信号偏弱。因此, 解决这一故障需要确保信号通道的每个环节都正常运行良好。现场检查发现速调管绝缘层有烧焦的现象, 推断速调管故障, 因此优先排查发射。

## 4. 检查发射系统

### 4.1. 发射机工作原理

714CDP 型气象雷达的发射机通常采用脉冲式发射。控制系统会控制雷达的工作模式, 包括雷达的扫描方式和频率等参数; 当雷达需要发送脉冲信号时, 控制系统会触发发射; 发射机会产生高能量的脉冲信号, 并将其送入雷达的天线系统中; 脉冲信号经过天线系统发射出去, 形成电磁波; 发射出的电磁

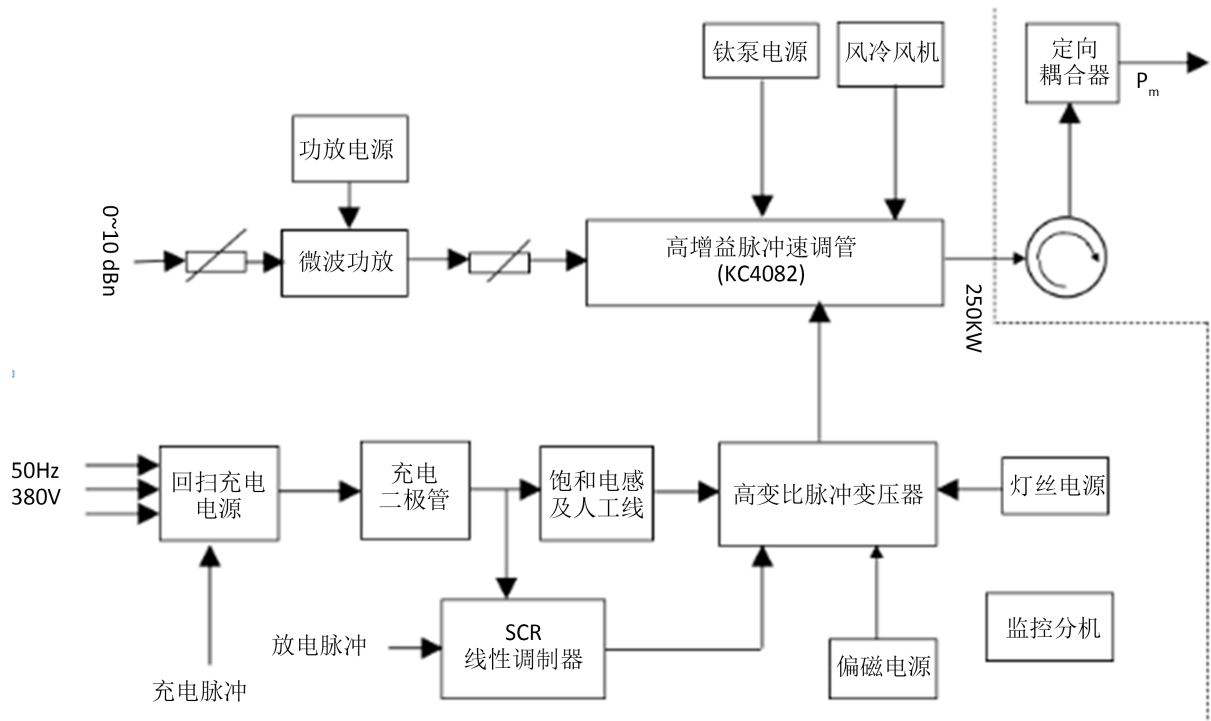


Figure 1. Block diagram of transmitter composition  
图 1. 发射机组成方框图

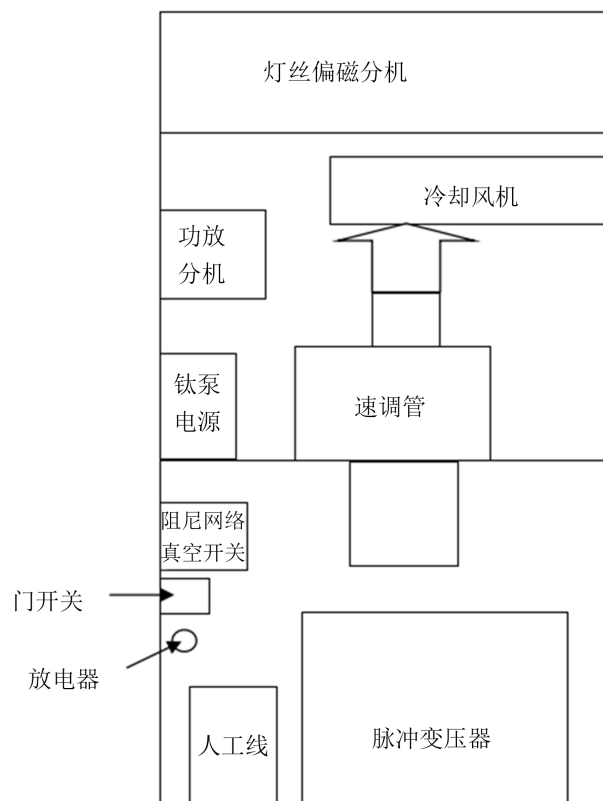


Figure 2. Layout of a high-frequency cabinet  
图 2. 高频机柜结构布局图

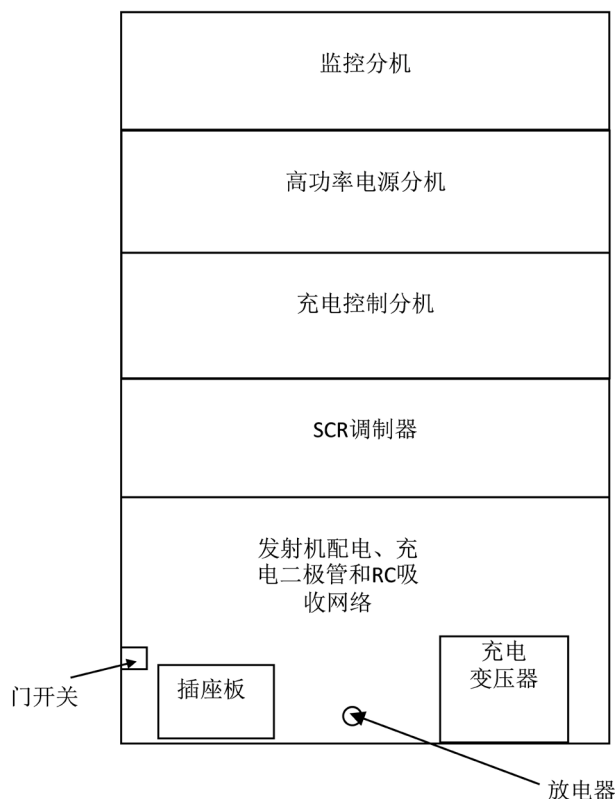


Figure 3. Structure layout of the mixing cabinet

图 3. 调制柜结构布置图

波在大气中传播, 遇到反射物体(如云、雨等)时会产生回波信号; 接收机接收到回波信号, 并进行信号处理与解析, 用于生成气象雷达图像或数据。发射机由调制柜和高频柜组成。发射机主要包括回扫电源、线性调制器系统、微波链路、高变比脉冲变压器(简称脉冲变压器)、高增益脉冲速调管(简称速调管)、人工线、监控分机及其它电路, 其组成框图如图 1 所示。

发射机调制柜的结构布置如图 2 所示, 高频柜结构布置图见图 3 所示。

## 4.2. 检查与处置过程

### 4.2.1. 速调管检查

检查中发现速调管的阴极绝缘层有烧焦的现象, 已被击穿, 如图 4 所示。为进一步确定速调管是否故障, 在不开高压的情况下, 对发射机的速调管灯丝电压进行测试, 将万用表打到直流电压档, 反复测量速调管的灯丝电压为 7.8 V 左右, 如图 5 所示, 根据速调管的名牌检查知速调管的灯丝电压标称值为 10 V, 灯丝电压异常, 推测速调管故障, 更换速调管。

更换注意事项: 1、首先关闭高压、低压、电源, 将各个雷达电源断路器断开, 等待十分左右, 以便高压部件总成内部电容放电, 从而确保高压线路的余电已释放, 保证人的人身安全。2、速调管不仅重 100 KG, 而且更换空间狭小, 在拆螺丝的过程中注意速调管摔落。3、更换新的速调管时, 必须保障每颗螺丝拧紧, 不能有丝毫缝隙, 以防影响速调管的性能。

更换速调管后对灯丝电压进行测量为 7.8 V, 以及测量速调管内阻在正常范围内, 并且在保证发射机部分关键数据正常的情况下回波依旧偏弱, 说明回波弱故障原因跟发射机的速调管故障没有关系, 它的故障有可能是发射系统的其它零件故障而引起速调管绝缘层被击穿。

更换速度调管后, 灯丝电源未恢复正常, 因此推测发射系统的电源模块或电源系统故障。



**Figure 4.** Breakdown diagram of cathode insulation of klystron

**图 4.** 速调管的阴极绝缘击穿图



**Figure 5.** Klystron filament voltage

**图 5.** 速调管灯丝电压

#### 4.2.2. 电压调节开关检查

为进一步排查, 检查发射机的各个参数是否正常, 检测发现注电流为 20 mA [2], 根据气象雷达技术手册, 当重复频率为 1000 Hz, 频率变化为 None 时, 注电流正常范围为 30~45 mA, 注电流明显异常, 为验证这一猜想, 调节电压调节开关, 调大或调小, 注电流无明显变换, 推测电压调节开关故障, 将其进行更换后进行测试, 注电流恢复正常; 同理在保证其他参数正常的情况下, 进行雷达回波测试, 本场气象雷达回波依旧偏弱, 排除电压调节开关故障引起的回波偏弱。

用万用表测量速调管的灯丝电压为 9.9 V, 发射系统的电源模块或电源系统恢复正常。

#### 4.2.3. 脉冲变压器检查

##### 1、脉冲变压器的作用

**脉冲放大:** 脉冲变压器能够将发射机产生的低能量脉冲放大到较高能量级别, 以满足雷达系统对较高的发射功率的要求。通过脉冲变压器的放大作用, 可以提供足够的脉冲能量, 使得雷达发射的脉冲能够在大气中传播并返回足够强的回波信号。

**脉冲形状调整:** 脉冲变压器可以对脉冲的形状进行调整, 以满足雷达系统对特定波形的要求。根据实际应用需求, 对脉冲的峰值、脉宽、上升时间等进行调节, 可以优化雷达系统的性能, 提高回波信号的接收和解析能力。

防止反射: 脉冲变压器通常会引入匹配电阻, 以防止由于脉冲反射引起的回波信号串扰。通过匹配电阻的合理设计和调节, 可以减少脉冲反射, 提高雷达系统的信号强度稳定性和分辨率。

脉冲变压器在气象雷达系统中起着放大脉冲能量、调整脉冲形状和防止脉冲反射等关键作用, 从而保证雷达系统能够准确地发射脉冲并接收回波信号, 实现对大气中降水、云层等目标的探测和观测。

## 2、脉冲变压器故障诊断

由表象可知, 速调管绝缘层被击穿, 很有可能是脉冲变压器输出的高压过高导致的, 推测脉冲变压器已经故障, 为了验证这一猜想, 做如下实验: 根据变压器原理, 输出电压与输入电压之比与匝数之比成正比[3], 如图 6 所示, 将脉冲变压器中的副线圈抽头 4 接在 3 上, 检查脉冲变压器周围的连接线和接头, 确保它们没有松动或损坏, 增大副线圈的匝数, 在输入电压不变的情况下, 根据原理脉冲变压器的输出电压相应的也要增大, 但其输出电压无变化, 根据测试总结出脉冲变压器故障。

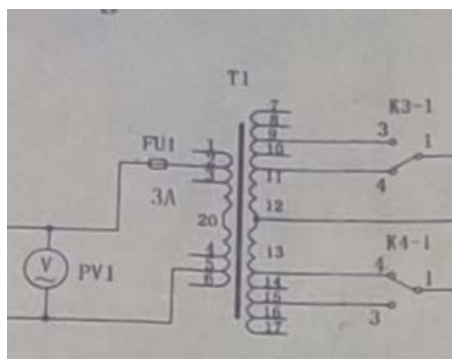


Figure 6. Pulse transformer tap

图 6. 脉冲变压器抽头

由于脉冲变压器的器件在油箱里面[4], 给脉冲变压器的修复造成了一定的困难, 因需及时恢复雷达正常工作, 在本场无备件的情况下, 设备维护人员第一时间联系厂家, 从厂家调备件至贵阳。

更换注意事项: 1、首先关闭高压、低压、电源, 将各个雷达电源断路器断开, 等待十分左右, 以便高压部件总成内部电容放电, 从而确保高压线路的余电已释放, 保证人的人身安全。2、注意脉冲变压器正负极不能接反。3、必须双人操作且带绝缘手套。

更换脉冲变压器后, 保证发射机部分关键数据正常的情况下, 按相同条件下进行地物回波测试, 值为 66.7 dBZ, 另外对气象雷达做在线测试、标校校正、太阳法标校等的检查值都与期望值相符, 并且与本地雷达回波强度进行对比, 经过数次的雷雨天气下, 回波强度接近, 气象雷达恢复正常运行, 雷达回波正常。

此次故障属于综合性故障, 给排除故障原因增加很大的难度。首先通过更换电压调节开关和速调管的方式进行测试, 排除它们故障没有引起气象雷达回波偏弱; 最终锁定脉冲变压器故障引起气象雷达回波偏弱。

## 5. 小结

此次 714CD 气象雷达回波偏弱的主要原因是脉冲变压器故障, 在开启高压时, 因脉冲变压器工作异常, 输出的高压过高, 使速调管的阴极绝缘层被击穿, 进而引发速调管的故障; 而灯丝电压异常是因为电压调节开故障; 并最终锁定本场雷达回波偏弱是脉冲变压器故障导致的。

总结出脉冲变压器是气象雷达的至关重要的零部件, 它故障不仅会导致气象雷达回波偏弱, 而且在灯丝电压严重偏低的情况下, 会引起无法开启高压; 另外严重情况下还会烧坏其它零部件, 例如此次



故障烧坏速调管。因此需加强对气象雷达的各个参数的巡视力度, 以便及时发现其中的异常, 另外各个零部件的库存检查, 以防设备故障时有备件进行更换。气象雷达回波偏弱的故障情况时, 需要细心分析各种异常表象以确定可能的故障部位。然后可以考虑采取以下方法来排除故障:

1、检查天线系统: 确保天线系统完好无损, 排查可能导致回波偏弱的天线故障或损坏情况。2、检查接收机和发射机: 对接收机和发射机进行仔细检查, 包括检查电路连接是否良好、组件是否损坏等。3、使用专业测试仪器: 利用天气雷达维修测试仪器对各个部件进行测试, 以确定故障点。4、检查电源供应: 确保稳定的电源供应对天气雷达的正常运行至关重要, 排除可能是由电源问题引起的回波偏弱情况。5、寻求专业帮助: 如果无法准确确定故障点或需要更深入的维修, 建议联系专业的雷达维修技术人员进行检修和维护。

在进行天气雷达的维修时, 必须充分考虑各种可能性, 并进行详细全面的分析、检查和测量工作。在日常操作和维护中, 需要更加用心地了解雷达及各部件的工作状态, 投入更大的精力, 以做到心中有数, 提高维修效率和准确性。这样有助于避免查漏补缺、重复工作, 确保雷达系统的可靠性和稳定性。

## 参考文献

- [1] 郑迎宾, 黄飞翔. 天气雷达回波弱的分析研究[J]. 电子世界, 2017(9): 137.  
<https://doi.org/10.19353/j.cnki.dzsj.2017.09.112>
- [2] 韩静. 我国天气雷达和星载雷达的数据匹配及其回波强度订正方法研究[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京信息工程大学, 2018.
- [3] 陈斯智, 杨泽鑫. 新一代天气雷达回波异常情况分析[J]. 农业技术与装备, 2020(2): 116+118.
- [4] 张巧明, 雷永恒, 余文会. 新一代多普勒天气雷达强度定标研究[J]. 中低纬山地气象, 2023, 47(5): 43-49.