

713 雷达一次天线追摆故障的分析与诊断

涂爱琴 马传成 郭海涛 徐百言

(山东省气象局 大气探测技术保障中心, 济南 250031)

摘要

天线追摆超标是雷达天控系统出现的一种较为严重的故障, 它不仅会降低雷达天线的控制精度, 还会磨损天线伺服系统的机械结构。全运会期间, 菏泽 713 雷达出现天线追摆故障: 在低仰角(仰角低于 80°)时, 天线需在预置角度附近摆动 4、5 次才能停止; 高仰角时, 摆动次数增加, 有时追摆不停, 但是天线的方位控制性能良好。本文从电路分析出发, 根据角度信号的流程对 713 雷达天线控制电路进行分析, 利用关键节点的实时数据和常态数据相比较, 确定故障部位, 在既保证天线控制的前提下又使天线追摆满足雷达指标要求。

713 雷达的角度控制信号是从天线控制器到直流放大电路, 再经天线控制保护器流入 PWM 的。天线控制器由角码变换器、控制器、角度数字显示器和天控转接板四个整件组成。计算机的角度控制信号需要经过角码变换器后才会送入控制器, 如果角码变换器工作不稳定, 变换后的角码错乱, 天线就会出现追摆故障。逐个更换控制器的缓冲器 D19、D20、D12 和 D13, 重新开机故障依旧, 所以排除是角码变换器的故障。

角码变换器的下一级是控制器, 手控状态下, 增加(或减少)仰角, 控制器末端的仰角误差电压输出应在负 9V(或正 9V)左右, 通过改变仰角测量此电压值, 发现都在正常范围之内, 故判断控制器是正常工作的, 故障原因可能出在直流放大器部分。

直流放大器模块引起追摆的可能有两个, 一是增益、速度及加速度电位器的值不适当; 二是并联的校正电路出现故障。反复调整三个电位器后, 雷达天线仰角的追摆现象有所缓解, 但是效果还不是很好, 故进一步分析并联校正网络电路。根据微分电路的特点, 为了加强加速度负反馈, 可以适当增加时间常数; 又因为调整电位器 R7 的值至最大效果不明显, 可考虑并联一个电容来增大 C8 的值。在 C8 旁并联一个 0.220 μF 的电容(原 0.01 μF)后检测天线的控制情况, 仰角追摆现象明显改善, 故障顺利排除。

关键词: 追摆 天线控制器 负反馈 713 雷达

引言

追摆是由于雷达天线的惯性而产生的一种常见现象, 由于其不影响雷达观测, 很少引起人们的重视, 但是追摆对天线和伺服均极为不利。天线追摆超标是雷达天控系统出现的一种较为严重的故障, 它不仅会降低雷达天线的控制精度, 还会磨损天线伺服系统的机械结构。尤其是天线在高仰角的追摆, 会引起缓冲器撞击天线传动齿轮, 图 1 就是某雷达站因忽视天线追摆, 几次天线过冲造成的天线传动齿轮磨损情况。



图 1 天线过冲引起的齿轮磨损图

全运会期间, 菏泽 713 雷达出现天线追摆故障: 在低仰角(仰角低于 80°)时, 天线需在预置角度附近摆动 4、5 次才能停止; 高仰角时, 摆动次数增加, 有时追摆不停, 但是天线的方位控制性能良好。由于其间武术散打比赛项目在菏泽举行, 为了保证不耽误气象保障服务, 技术人员进行了紧急修复。现将此次故障的分析和排除方法介绍于下, 以供技术交

流。

1 高仰角追摆易发性分析

713 雷达的抛物面反射体直径 3.7m, 重量约 400kg, 在做俯仰运动时, 采用弹簧式缓冲器解决其平衡问题, 仰角越低弹簧受力越大, 停机时, 通常都把仰角置于 88° 左右 (即复位) 位置, 以减缓弹簧的疲劳程度。基于 713 雷达的这种结构特点, 在高仰角时, 弹簧受力小, 天线更易受惯性影响, 所以高仰角追摆更常见。如前所述, 高仰角追摆的危害性比低仰角时更大, 尤其是当 713 雷达数字化改造后, 天线系统的三级保护改为二级保护, 天线在高仰角的追摆更容易造成天线过冲, 从而给天线装置造成严重磨损。所以在检修天线追摆故障时, 一定要保证高仰角的追摆在雷达指标范围之内。

2 天控系统电路分析

本天线控制系统由天线控制器、直流放大器、天线控制保护器、系统末级功放 (采用直流伺服 SC25HC250 PWM 组件) 和天线装置组成^[1], 其组成框图如图 2 所示:

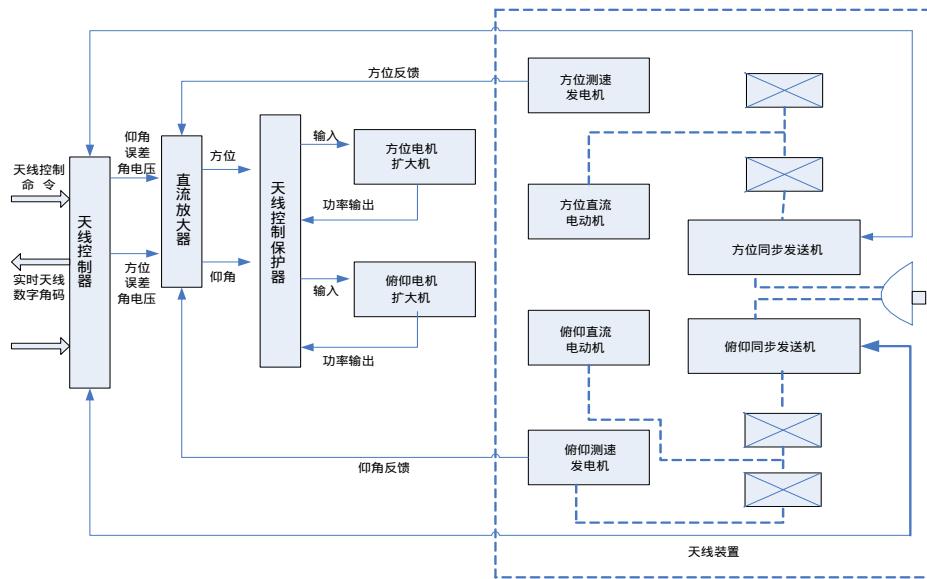


图 2 天线控制系统方框原理图

控制天线运转时, 由天线控制器接受天线控制命令, 并把命令中的预置角信息与实时采集的天线角信息相比较, 产生数字天线误差角信息, 再将其进行 D/A 变换, 产生误差角电压, 后经直流放大器放大送往 PWM 组件, 然后 PWM 的输出再作用于天线装置内的伺服电机电枢绕组, 这样电动机便通过机械传动装置驱动天线运转。

3 天线追摆故障分析与诊断

从上面的电路分析中, 可以知道角度控制信号是从天线控制器到直流放大电路, 再经天线控制保护器流入 PWM 的, 所以采取根据信号流程逐级检测的方法寻找故障根源。又因为天线的方位控制性能良好, 可以判断公用通道和方位通道正常, 只需分析电路中有关俯仰通道的部分。

3.1 天线控制器

3.1.1 角码变换器

天线控制器由角码变换器、控制器、角度数字显示器和天控转接板四个整件组成。计算机的角度控制信号需要经过角码变换器后才会送入控制器, 如果角码变换器工作不稳定, 变换后的角码错乱, 天线就会出现追摆故障。

角码变换器仰角通道的角码变换框图如图 3 所示。

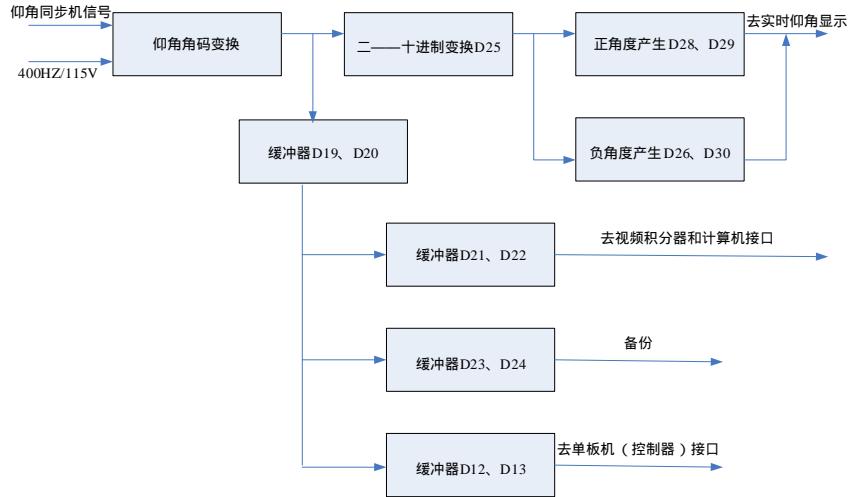


图 3 角码变换器的仰角通道框图

由于预置仰角的实时显示是正确的，所以图 3 中的仰角角码变换模块应该是正常的，故障可能出在到控制器的缓冲器 D19、D20、D12 和 D13 上。逐个更换 D19、D20、D12 和 D13，重新开机故障依旧，所以排除是角码变换器的故障。

3.1.2 控制器

角码变换器的下一级是控制器，它是天线控制的核心部件，输出方位角和仰角误差控制电压。手控状态下，增加（或减少）仰角，控制器末端的仰角误差电压输出应在负 9V（或正 9V）左右，通过测量此电压值可判断控制器是否正常工作。

在仰角 41.8° 的时候，预置仰角增加 10°，控制器末端输出电压为 -9.9V；预置仰角减少 10°，控制器末端输出电压为 +8.5V，均在正常范围之类，故判断控制器工作也正常。

3.3 直流放大器

直流放大器的功能是把天线控制器输出的误差角电压进行电流放大。同时引入天线测速发电机的输出作为天线控制的负反馈信号（包括速度和加速度的负反馈），校正整个控制系统的基本特性，使系统的稳定性、精度以及暂态特性等性能指标达到设计要求。

为了改善控制系统的性能，直流放大电路中引入了并联校正网络（如图 4 所示，以仰角通道为例）^[2]。

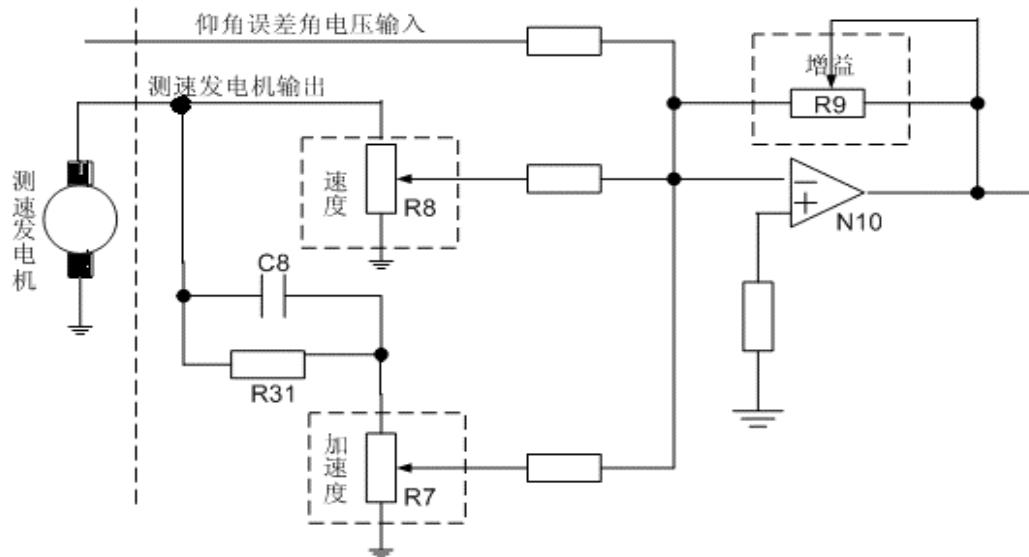


图 4 放大器俯仰通道电路图

校正网络由测速发电机（在天线装置内）和 C8、R31、“速度”调节电位器 R8、加速度调节电位器 R7 共同组成。测速发电机的转子通过齿轮与天线机械交连，其输出电压与天线的转速成正比，电动机的旋转方向决定测速电压的极性。该电压经校正网络分两路加至直流放大器的输入端，以起到负反馈的作用，从而改善整个控制系统的性能。测速电压经速度调节电位器 R8 分压加至放大器输入端的电压，称之为速度负反馈，其电压的大小跟天线转速成正比，其极性与误差角电压相反，目的是阻止天线转速突变。测速电压经 C8、R31 微分，由加速度调节器 R7 电位器分压加至放大器输入端的电压，称之为加速度负反馈，其电压的大小跟天线转速变化量成正比，跟速度负反馈相配合使天线的停止特性、起动特性匀速变化，以保证天线机械传动系统的使用寿命。

综上所述，此模块引起追摆的可能有两个，一是增益、速度及加速度电位器的值不适当；二是并联的校正电路出现故障。

增益、速度及加速度电位器的功能如表 1 所示。反复调整这三个电位器后，雷达天线仰角的追摆现象有所缓解，但是效果还不是很好，需进一步对并联校正网络进行分析。

表 1 仰角增益、速度及加速度电位器功能说明

测试点 (W 中心抽头)	正常 参考值	作用
增益电位器 R9	8.8 K	阻值越大，增益越大，控制精度越高，但是追摆加重
速度电位器 R8	5.5 K	阻止天线转速突变；阻值越大，速度越快
加速度电位器 R7	2.8 K	与速度配合，使天线停止起动均速；阻值越大，加速度越大

如图 4 所示，C8 和 R7 组成微分电路。根据微分电路的特点，开始时输入电压全部加在电阻上（电容电压不能突变）；随后，电容的电压按指数规律快速充电上升，输出电压随之按指数规律下降。这个暂态过程和充电时间常数 $\tau = RC$ 有关， τ 越小，暂态过程越短，加速度负反馈越弱。为了加强加速度负反馈，可以适当增加时间常数；又因为调整电位器 R7 的值至最大效果不明显，故可以考虑适当增大电容 C8 的值。

通过分析，在 C8 旁并联一个 $0.220 \mu F$ 的电容（原 $0.01 \mu F$ ），随后检测天线的控制情况，仰角追摆现象明显改善，至此故障顺利排除。

3.4 小结

根据角度控制信号的流程，713 雷达天线追摆的故障检测方法可用下面的流程图来归纳：

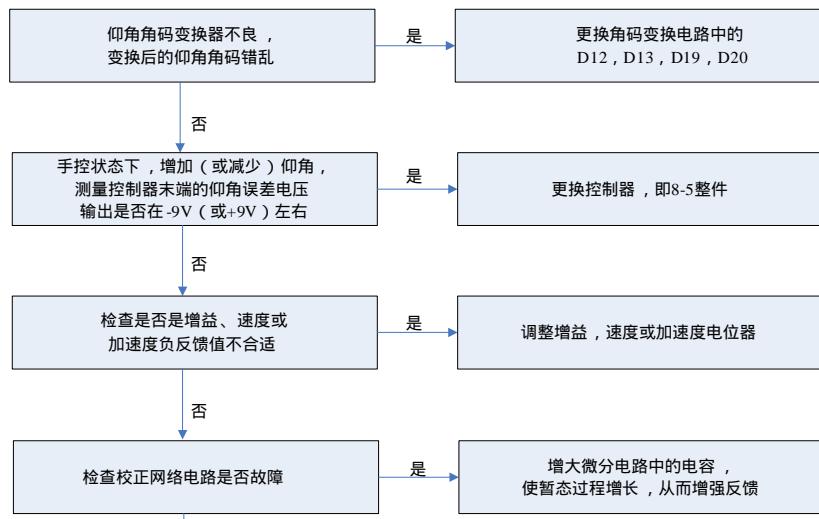


图 5 天线仰角追摆故障检修流程图

4 结语

引起 713 雷达天线追摆的原因有很多种，需要根据信号流程耐心分析，逐级排除，才能最终解决故障。此外，检修 713 雷达天线追摆故障时还需特别注意以下两点：

- 1、天线控制器与直流放大器和天线反馈校正网络形成一个闭环的控制系统，所以在检修天线控制器故障时不应忽视直流放大器和天线反馈回路。
- 2、由于 713 雷达的结构特点，其在高仰角时更易受惯性影响，复位位置处影响最大，所以在修复天线追摆故障后，要多次使雷达抬高到 88°，只有确保天线在 88° 时的追摆符合雷达指标，才算完全解决追摆问题。

参考文献

- 1 桂林长海电子有限公司. CTL-713C 天气雷达技术说明书.
- 2 桂林长海电子有限公司. CTL-713C 天气雷达技术图册.

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养, 更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果, 又能免除您舟车劳顿的辛苦, 学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲, 结合实际工程案例, 直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>