

# 701 系列雷达的技术改造与安装调试

王庆有

(内蒙古自治区大气探测技术保障中心, 呼和浩特 010051)

**提 要:** 中国气象局 701 系列雷达探空系统大修及技术改造项目由内蒙古气象局雷达大修组承担。在雷达大修与技术改造过程中, 逐步运用了新的技术改造项目, 包括阵子、反射网、天线馈线、电路板、固态发射机及角度自动跟踪系统等, 使 701C 雷达基本实现自动化。在现场安装、调试与放球实验中, 雷达工作稳定可靠。

**关键词:** 雷达 技术改造 安装调试

## 引 言

内蒙古气象局雷达大修改造工作从 1986 年开始, 20 年来逐步建成了测试维修设备配套完善, 测试环境和场地优良, 工作人员技术精湛的气象探空系列雷达大修改造基地。共完成包括北京大气探测基地、西沙、喀什、林芝等 18 个省市自治区 60 多部 701A、701B、701C 系列雷达的大修工作, 期间逐步运用了新的开发与技术改造项目。2006 年受中国气象局委托, 完成全国 12 个台站 400MHz 电子探空仪系统改造项目。积累了丰富的实践经验, 锻炼了维修队伍, 为更好地完成内蒙古自治区高空技术保障工作提供了强有力的保证。

## 1 701 系列雷达的技术开发与改造项目

### 1.1 天线馈线

701 系列雷达天线馈线分为上、下、左、右四根小组馈线。在研制过程中将原来的短路模式改为开路模式, 将接线防水盒由

原来的 9 个减少为 7 个, 去掉所有短路头, 这样既能保证馈线的行波系数满足技术要求, 又能减少短路头开路、由于腐蚀而接触不良的故障发生率。

表 1 雷达小组馈线的行波系数

频率	上	下	左	右	指标
395MHz	92.1%	95.0%	93.5%	92.5%	≥75%
400MHz	92.1%	93.5%	88.5%	90.5%	≥75%
405MHz	91.5%	96.0%	95.5%	94.0%	≥75%

### 1.2 阵子和反射网

在研制过程中针对大风和不同环境的腐蚀情况, 特别将铝管的管壁加厚 0.2 毫米, 这样既能保证天线系统增益又能大大提高天线的抗风和抗腐蚀能力, 延长使用寿命。

### 1.3 电路板研制

从 2000 年开始筹备进行 701C 型雷达大修工作, 27 块电路板的研制是技术难点。从元器件的选型、采购、筛选到印刷电路制作、焊接、调试再到整机联调, 一次次实验、摸索、总结, 终于获得成功, 并被中国

气象局授权全国唯一一家701C雷达大修单位。我们起草编制的《701C测风雷达大修技术及暂行规定》，获内蒙古自治区气象局优秀成果贰等奖。

#### 1.4 发射机的技术改造

原701雷达发射机是由三部分组成，一是高压控制部分，二是调制器部分，三是振荡器部分。高压控制和调制器部分是由许多

变压器和整流、稳压及调制电子管组成，由于电压高（最高7kV）、电流大，因此故障率很高。另外电子管的价格也非常昂贵，并且笨重，给维修人员造成很大负担，经常因发射机故障影响雷达正常工作。为此对这两部分进行了固态化改造。设计制造了一种全部采用半导体器件的调制器，并将可调变压电源也组合在同一个分机内。工作原理如图1。

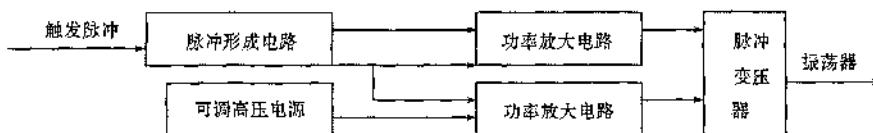


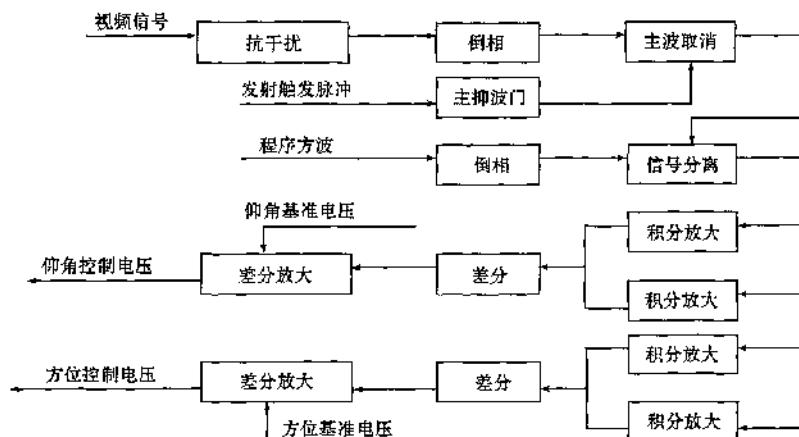
图1 固态调制器原理框图

由测距分机送来的发射触发脉冲，经过脉冲形成电路产生一个宽度为1微妙并能推动功放的脉冲。此脉冲分两路经过功率放大后，在输出脉冲变压器上合成为一个最大功率为10kW的功率可调脉冲，提供给震荡器中的发射管。并且当一路功放出现故障后，另一路能完全单独满足工作需要。发射机通过固态化改造后具有工作稳定、元气件寿命长、故障率低、维修成本下降、重量轻、维修方便等优点。

#### 1.5 角度跟踪系统技术改造

原701C雷达角度跟踪系统是人工手动跟踪，一方面会产生人为跟踪误差，另一方面劳动强度大，需要时刻盯着信号线，已不能适应400M电子探空仪的需要。为此对角度跟踪系统进行了自动化技术改造，在天控分机上加装一块自动跟踪板，实现了角度自动跟踪。

角度自动跟踪系统原理框图见图2。



系统将接收机的视频信号进行底部限幅、倒相，把检波器送出的负向信号变成正向信号。由测距分机送来的发射触发脉冲，触发主波抑制波门产生电路，产生出一个宽度为80微秒的脉冲，此脉冲是用来抑制掉主波和近距离地物回波的。利用测角分机送来的程序方波，把经过主波取消电路后的视频信号，按不同的时间段分离出上、下、左、右四个波瓣上接收到的信号。然后，分别把四个方向上各自信号的总强度进行积分。以俯仰路为例，先把上波瓣接收到的信号总强度减去下波瓣接收到的信号总强度，取出误差信号；再与基准电压进行比较得到仰角控制电压，送给仰角控制板，驱动天线仰角向减小误差的方向转动，直至天线仰角对准目标物，误差为零。这样就实现了雷达的角度自动跟踪。

### 1.6 优化雷达与数据终端的连接方式

原701C雷达与数据处理终端的连接方式，是采用从接收机(J2)连接几条飞线通过一个接口电路相连。这些飞线在雷达的维修和使用中极易被折断，造成雷达采集的数据向终端传输失败。另外，接口电路也易出现故障，影响到数据的有效传输。为了解决这一问题，我们把飞线绑制在分机的扎线上，焊接在J2分机XS4插座的几个空脚上，通过七芯电缆直接把雷达采集的数据送

入数据处理终端的串口。去掉了连接飞线和接口电路，这样既解决了问题又提高了数据传输的可靠性。

## 2 雷达的安装调试

雷达分机和整机的调试工作，对每一项技术指标都要求不仅有所提高，还要性能稳定。为此首先从选购元器件入手严把质量关。在板级调试中逐一测试每一点、每一极的电压和波形，调试、筛选元件使其达到最佳状态。在整机调试中，接收机和波瓣的调试是技术重点也是难点。

### 2.1 接收机调试

从信号接收路框图(图3)可以看出接收路环节多，不论哪一个环节调试不好都会影响信号的正常接收。其中螺旋滤波器、高频放大器、本振、前置中频放大器、主路中频放大器、探空路中频放大器的调试最为复杂和繁琐，不仅每一级要调好，还要联起来总调。例如增益调试，要用信号源和综合测试仪调试每一级放大电路(高放中有两级2SC3358和一级CY303、前中有三级XN402、主中有二级XN402和一级3DG8C、探中有两级XN402和一级3DG8C)的放大倍数，最后要用综合测试仪测试总放大倍数。例如带宽调试，每一级



图3 信号接收路框图

中心频率和带宽稍有偏差，从主中或探中输出端看扫频信号就会产生畸变。因此在调试中就要更细心和耐心，不断摸索规律。特别是用扫频仪调信号的宽度和中心频率时，需要调整每一级的三个带通滤波器电感线圈，联调时要六个线圈协调才能最终达到最佳结果。

接收机调试结果见表2。

表2 接收机调试结果表

项目	技术指标	397MHz	400MHz	403MHz
灵敏度	$\leq 1.4\mu V$	$1.12\mu V$	$1.10\mu V$	$1.14\mu V$
系统带宽	$2.5\sim 3.0M$	$2.7MHz$	$3.0MHz$	$2.8MHz$
放大量	$\geq 100dB$	$109.7dB$	$110.8dB$	$110.7dB$

## 2.2 波瓣的调试

701雷达是根据天线波瓣偏扫原理，用等信号法进行测角的，因此在雷达整机调试中波瓣调试是非常关键的。各省（区、市）气象局只有内蒙古自治区具备合格的调试场地、完整的测试设备和熟练掌握测试技能的技术人员。影响天线波瓣的因素主要有天线阵（包括珩架、阵子、反射网）、馈线、调相器和换相环。调试方法为首先保证天线阵没有变形，接触良好，其次在距雷达天线100米以上，仰角为15°左右的高处架一单元阵子，用高频信号发生器向其输出400MHz脉冲调制信号，雷达天线对准单元阵子接收信号，通过偏扫控制电压使得上、下、左、右四路逐一偏扫，看示波管显示四路信号幅度比是否超过10%，若超过更换馈线，没有超过则对调相器进行电轴调整使四路信号等高。然后改变高频信号发生器为连续波输出400MHz信号，用超高频毫伏表在换相环输出端测试天线方位和仰角转动

每一度的信号幅度值，在坐标轴上画出波瓣图像，若交点电平不合格（80±3%），则调节换相环上的L4短路线来改变电流相位，从而改变交点电平，这一过程要重复多次，不断总结变化规律，才能最终将其调好。

## 2.3 现场安装调试标定

首先，大修组将备份701雷达进行大修改造、调试完成后，由雷达使用单位组织进行出厂测试与验收。然后将雷达运抵使用现场进行安装调试与标定工作。主要进行天线系统的架设、室内工作台、测距、测角和天控分机、接收机、发射机的安装调试，馈线系统的安装，电缆的铺设，配电线路的改造和安装。对雷达车厢水平，天线三轴（机械轴、光轴、电轴），方位角、仰角、距离零点等进行调整和系统的标定。安装调试后经检测和通电放球试验，整机工作正常，接收信号清晰良好、终端软件处理正常。最后对工作人员进行雷达原理、操作、维修维护、常见故障排除、标定等系统培训，此后又进行答疑，对他们提出的问题都认真地进行解答。最后进行现场测试与业务验收。合格后投入业务运行。

## 参考文献

- [1] 空军雷达学校气象雷达教研组. 701测风雷达原理和维修 [M]. 北京: 气象出版社, 1980.
- [2] 张克潜, 宫莲. 电磁场原理 [M]. 北京: 中央广播电视台出版社, 1988: 318-333.
- [3] 胡寿松. 自动控制原理 (第四版) [M]. 北京: 科学出版社, 2001: 5-7; 13-15.
- [4] 陈志杰. 701C型测风二次雷达 (讲义) [G]. 2000: 8.