

LLX02B 型数字化天气雷达 原理与维修

解放军理工大学气象学院

二 00 三年十二月

修订说明

本教材是为解放军理工大学气象学院大气探测工程系气象雷达本科班气象雷达装备课程编写的，同时可供部队气象雷达机务人员工作参考。

本教材是在《K/LLX 718 型数字化天气雷达（试用本）》基础上的修订版，与原书相比，除“数字终端分系统”内容完全不同之外，其余各分系统内容也作了补充和完善。为适应部队实际工作的发展需求，本书大幅增加了性能测试和维修内容。

本课程参考教学时数为 72 学时（不含综合实习），其主要内容包括：第一篇 工作原理，第二篇性能测试，第三篇勤务检修。

《K/LLX 718 型数字化天气雷达（试用本）》由解放军理工大学气象学院焦中生教授、陈加清副教授、丁荣安教授合作编写，本教材由陈加清担任主编，第一、二篇由陈加清编写，第三篇由空军南宁指挥所张永贵工程师编写，焦中生教授审阅了全书。

本教材的编写得到了总参气象局的大力支持，无锡湖光海星雷达有限公司提供了第二篇的初稿，值此表示衷心感谢！

由于编者水平有限，书中难免仍然存在缺点和错误，恳切希望读者批评指正。

联系方式：

211101 南京解放军理工大学气象学院 97 信箱 陈加清

Tel: 025-52641045（地方线），0501-830285、830290（军线）

02B 教材编写组

2003 年 11 月

目 录

第一篇 工作原理.....	1
第1章 概述	3
1.1 功能	3
1.2 主要战术、技术性能	3
1.3 技术体制简介	8
1.4 组成和概略工作过程	8
1.5 总体布局 and 结构配置	10
第2章 天线馈线分系统.....	12
2.1 概述	12
2.2 天线	13
2.3 馈线	14
2.4 结构与配置	20
2.5 检查	20
第3章 发射分系统.....	21
3.1 概述	21
3.2 定时触发器	24
3.3 调制器	26
3.4 磁控管振荡器	30
3.5 发射电源及其控保电路	31
3.6 测量指示电路	43
3.7 发射分系统的检查和调整	43
第4章 接收分系统.....	45
4.1 概述	45
4.2 信号支路	47
4.3 自动频率控制 (AFC) 支路	52
4.4 辅助电路	57
4.5 接收分系统的检查和调整	59
第5章 信号处理分系统.....	62

5.1	概述	62
5.2	工作原理	64
第 6 章	数字终端分系统	71
6.1	概述	71
6.2	工作原理	72
6.3	软件介绍	73
6.4	系统软件安装	77
第 7 章	天线控制分系统	79
7.1	概述	79
7.2	工作原理	80
7.3	各电路板功用与工作过程	84
7.4	结构与配置	93
7.5	天控分系统的检查和调整	94
第 8 章	监控分系统	96
8.1	概述	96
8.2	电源指示及电源检测电路	100
8.3	监控信号检测板电路	102
8.4	监控微机板电路	104
8.5	遥控接口板电路	108
8.6	监控操作板电路	109
8.7	显示板电路	109
8.8	25 个参数监测点及信号流程	110
8.9	监控分系统的检查和调整	117
第 9 章	配电分系统	118
9.1	概述	118
9.2	工作原理	118
9.3	配电分系统的结构	120
第 10 章	整机联系	121
10.1	雷达结构	121
10.2	各分系统之间互连线图	122
10.3	主要信号流程	126

附：02B 雷达电缆芯线信号	130
第二篇 性能测试	139
第 11 章 天线馈线分系统性能测试	141
11.1 馈线驻波比的测量	141
11.2 馈线收发双程损耗的测量	144
第 12 章 发射分系统性能测试	147
12.1 工作频率的测量	147
12.2 脉冲功率的测量	148
12.3 脉冲波形的测量	150
12.4 脉冲重复频率的测量	154
12.5 脉冲频谱的测量	154
第 13 章 接收分系统性能测试	157
13.1 噪声系数的测量	157
13.2 中频频率的测量	158
13.3 中频带宽的测量	161
13.4 对数中频放大器动态范围的测量	162
13.5 对数放大器精度的测量	164
13.6 自频调跟踪带宽的测量	164
13.7 自频调跟踪精度	166
第 14 章 信号处理分系统性能测试	170
14.1 量化字长	170
14.2 距离库长	171
第 15 章 配电分系统性能测试	174
15.1 交流电源电压	174
15.2 直流电源电压	174
第 16 章 整机测量	176
16.1 全机功耗	176
16.2 绝缘电阻	176

第三篇 勤务检修.....177

第 17 章	架设与拆收.....	179
17.1	阵地的选择.....	179
17.2	雷达的架设.....	179
17.3	雷达的标定.....	180
17.4	雷达的拆收和运输.....	184
第 18 章	雷达的维护.....	186
18.1	维护的目的和要求.....	186
18.2	定期维护.....	186
18.3	视情维护.....	187
第 19 章	维修技术基础.....	189
19.1	检修应具备的基本条件.....	189
19.2	检修基本方法及注意事项.....	189
19.3	检修基本步骤.....	195
19.4	常用半导体器件的检测方法.....	196
19.5	常用元器件的代换方法.....	200
第 20 章	雷达故障检修.....	203
20.1	发射分系统的检修.....	203
20.2	天馈分系统的检修.....	210
20.3	接收分系统的检修.....	211
20.4	信号处理分系统的检修.....	215
20.5	数字终端分系统的检修.....	219
20.6	天线控制分系统的检修.....	220
20.7	监控分系统的检修.....	225
20.8	配电分系统的检修.....	228
20.9	整机故障分析.....	229

第 一 篇

工 作 原 理

第1章 概述

1.1 功能

LLX02B 型天气雷达（以下简称 02B 雷达），主要用于探测、监视雷达周围 300km 范围内的气象目标，定量测量 5~150km 范围、高度 20km 以下云雨目标的强度、强度的空间分布，以及测定降水云发展高度、移向、移速等气象目标参数，为指挥员提供实时的空中气象情报。02B 雷达是气象短时预报的主要探测设备之一。

1.2 主要战术、技术性能

1.2.1 主要战术性能

1.2.1.1 工作波段 X 波段

1.2.1.2 探测范围

给定条件	孤立的 4mm / h 中等强度降水目标
距离	300km
高度	0~20km
方位角	360°
仰角	-2° ~ +60°
强度	0~80dB
定量探测距离	5~150km
显示距离	0~300km

测量维数

四维 距离、方位角、仰角、强度

1.2.1.3 探测精度

距离	$\leq 150\text{m}$
方位角	$\leq 0.5^\circ$
仰角	$\leq 0.5^\circ$
高度	$\leq 300\text{m}$ (距离 $< 100\text{km}$) $\leq 500\text{m}$ (距离 100~300km)

1.2.1.4 分辨力

距离	$\leq 150\text{m}$
方位角	$\leq 1.5^\circ$
仰角	$\leq 1.5^\circ$
强度	$\leq 0.32\text{dB}$

1.2.1.5 开机时间

正常 $\leq 5\text{min}$

紧急 $\leq 3\text{min}$

1.2.1.6 架拆时间（机动站）

在地面风速不大于 20m/s 、无降水情况下 3 人操作

架设 $\leq 90\text{min}$

拆收 $\leq 30\text{min}$

1.2.1.7 装载方式

固定站 标准集装箱 1 个

机动站 车载

1.2.1.8 运输方式

陆路 汽车 火车

水路 轮船

空运 运输机

1.2.1.9 连续工作时间 24h

1.2.1.10 电源

供电方式 市电或电源站

电源电压 $220\text{V}_{-15\%}^{+10\%}$ $50 \pm 2\text{Hz}$

1.2.1.11 可靠性

MTBF $\geq 200\text{h}$

1.2.1.12 维修性

MTTR $\leq 0.5\text{h}$

1.2.1.13 耗电量

雷达系统 $\leq 2\text{kW}$

附属设备 $\leq 4\text{kW}$

1.2.2 主要技术性能

1.2.2.1 天线馈线分系统

天线部分

天线型式 前馈旋转抛物面（栅网）

极化方式 水平线极化

天线口径	1.5m
波束宽度	$1.5^{\circ} \pm 0.2^{\circ}$
天线增益	$\geq 38\text{dB}$
副瓣电平	$\leq -23\text{dB}$

馈线部分

驻波比	≤ 1.5
系统损耗	$\leq 3\text{dB}$ (单程)
功率容量	$\geq 100\text{kW}$

1.2.2.2 发射分系统

工作频率	$9370 \pm 30\text{MHz}$
脉冲功率	$\geq 75\text{ kW}$
脉冲宽度	$1 + 0.2\mu\text{s}$
脉冲重复频率	400 Hz
发射管	多腔磁控管 (CKM-56)
调制器	固态

1.2.2.3 接收分系统

噪声系数	$\leq 3.5\text{dB}$
中频频率	$30 \pm 0.3\text{MHz}$
中频带宽	$1.6^{+0.4}_{-0.2}\text{MHz}$
动态范围	80 dB (对数)
AFC 搜索范围	10~50 MHz
AFC 跟踪精度	0.3 MHz
本振	体效应管振荡器 (9400MHz, 25~30mW)

1.2.2.4 信号处理分系统

采样速率	1 MHz
量化字长	8 bit
距离库长	0.15 km
积分方式	
方位	算术平均 (4 个脉冲重复周期)
距离	不积分 (由数字终端分系统软件作积分处理)

1.2.2.5 数字终端分系统

实时图像产品	
PPI	
距离量程	50 100 200 300 (km)

距离订正 相减订正或不订正

RHI

距离量程 50 100 200 300 (km) 水平距离

高度量程 10 20 (km)

距离订正 相减订正或不订正

原始回波数据存储

存储未经订正的 PPI、RHI、CAPPI 三种格式原始回波数据

非实时图像产品

PPI 50 100 200 300 (km)

RHI 水平距离: 50 100 200 300 (km) 高度: 10 20 (km)

CAPPI 50 100 200 300 (km)

ETPPI 50 100 200 300 (km)

EBPPI 50 100 200 300 (km)

REPPI 50 100 200 300 (km)

MPPI 50 100 200 300 (km)

RPPI 50 100 200 300 (km)

VCS 某一航线的垂直剖面

图像处理功能

保存图像

重显图像

同屏多图 2~4 幅任选

动画 2~20 幅任选

放大

平滑

锐化

强度直方图

辅助功能

背景显示 距离、仰角、方位角、高度、日期、时间、站名、色标、
PPI 背景地图

游标注释

PPI 距离、方位、强度

RHI 距离、方位、高度、强度

CAPPI 距离、方位、强度

ETPPI 距离、方位、回波顶高

EBPPI 距离、方位、回波底高

REPPI 距离、方位、强度

MPPI 距离、方位、含水量

RPPI	距离、方位、降水强度
VCS	距离、高度、强度
半自动编报	
距离订正	
方式	相减
精度	0.15dB

1.2.2.6 天线控制分系统

控制精度

方位角 0.2°

仰角 0.2°

工作方式 定点启停、PPI、RHI、CAPPI、点动

天线转速

方位 2、4 转 / 分

俯仰 2 往返 / 分

CAPPI 仰角步进值

最高仰角 60° 时

0.5° 1.2° 2.0° 2.9° 3.9° 5.1° 6.4° 7.9° 11.6° 13.8°
16.3° 19.0° 21.9° 25.0° 28.0° 32.0° 35.7° 39.6° 43.6°
47.7° 51.8° 55.9° 60.0°

最高仰角 32° 时

同上，至 32.0° 为止

标定项目

天线方位角

天线仰角

1.2.2.7 监控分系统

开关机方式

手动（本控）

程控（遥控、远控）

工作状态监测项目

发射分系统 磁控管电流、高压电源电压、高压电源电流、反峰电压

接收分系统 噪声电平、本振电压、晶流、放电管电流

信号处理分系统 信号自检

天线控制分系统 S/D 信号、励磁电压；方位驱动电压、俯仰驱动电压、
400Hz 激励源

配电分系统 220V 电源电压

其它 各分系统主要直流电源电压

故障报警方式

声光报警

CRT 屏幕显示

(两者同时进行)

1.3 技术体制简介

02B 雷达是一种常规数字化天气雷达, 它是对 LLX02 型雷达 (即 711 雷达) 经大修加数字化改装后以新面貌出现的 X 波段数字化天气雷达。02B 雷达保持了 711 雷达作为国家金奖产品所具有的优点, 又以成熟先进的计算机技术加以数字化改装, 使之具备较强的数字信号处理和数据与图象处理功能。可以将采集到的实时气象信息作进一步处理后获得更有价值的二次气象产品。这些二次气象产品不仅适用于国防部门, 还可用于民航、农业、水利等国民经济建设领域, 为国家现代化建设提供可靠的气象资料。02B 雷达基本上实现了固态化、集成化、模块化, 并且设置了 BIT 功能, 因而大大地提高了雷达的可靠性和维修性。在改装设计中, 规定数字终端系统可以配置在距离雷达主机 100m 的地方, 完全可以置于气象预报室中。根据用户需要, 可以设置远程遥控功能, 对主机总电源及发射机高压实施遥控, 从而做到可以由预报员直接控制雷达的开关机和决定雷达的工作状态, 在雷达的使用性能方面上了一个新台阶。

1.4 组成和概略工作过程

02B 雷达由天线馈线分系统、发射分系统、接收分系统、信号处理分系统、数字终端分系统、天线控制分系统、监控分系统和配电分系统等 8 个部分组成。雷达的简化框图如图 1-1 所示。

发射分系统产生的大功率高频发射脉冲能量, 经过馈线部分送到天线, 由天线定向辐射到空间。此外, 发射分系统还产生 400Hz 全机同步信号, 送到接收分系统的视放板; 在发射脉冲持续期间通过小孔耦合, 将主波样本送到接收分系统的 AFC 混频器。

从目标反射回来的微弱的高频回波脉冲, 由天线接收通过馈线部分送到接收分系统, 经过频率变换和幅度放大后, 成为模拟视频回波脉冲信号送往信号处理分系统。此外, 从接收分系统的视放板输出全机同步信号到信号处理分系统。

信号处理分系统将模拟视频回波脉冲信号经过 A/D 变换和预积分后, 形成数字回波信号送往数字终端分系统, 同时还送去全机同步信号。

数字终端分系统具有数字和图像处理功能。它能作实时 PPI 或 RHI, 分别显示回波的方位、距离、强度或仰角 (高度)、距离、强度。也可以将原始气象目标数据处理后形成多种二次气象产品在终端屏幕上显示。此外, 通过数字终端分系统计算机键盘或鼠标操作, 可以发出开关机指令和天线控制指令, 通过监控分系统控制发射分系统加去高压的时机, 以及将天线控制指令送到天线控制分系统, 以控制天线的工作方

式。

天线控制分系统接受来自监控分系统的天线控制指令，将其转换成天线控制信号，控制伺服电机使天线作方位和俯仰运动。同时，它输出 400Hz 激励电压加到天线座上的方位和俯仰同步发送机的转子绕组，这样，天线运动时，同步发送机的定子绕组上就会产生模拟角度信号，送到天线控制分系统，经 S/D 变换后，形成串行数字角度信号送往信号处理分系统，信号处理分系统将其处理成并行数字角度信号，送往数字终端分系统。此外天线控制分系统还接受来自天线座的微动开关限位信号。

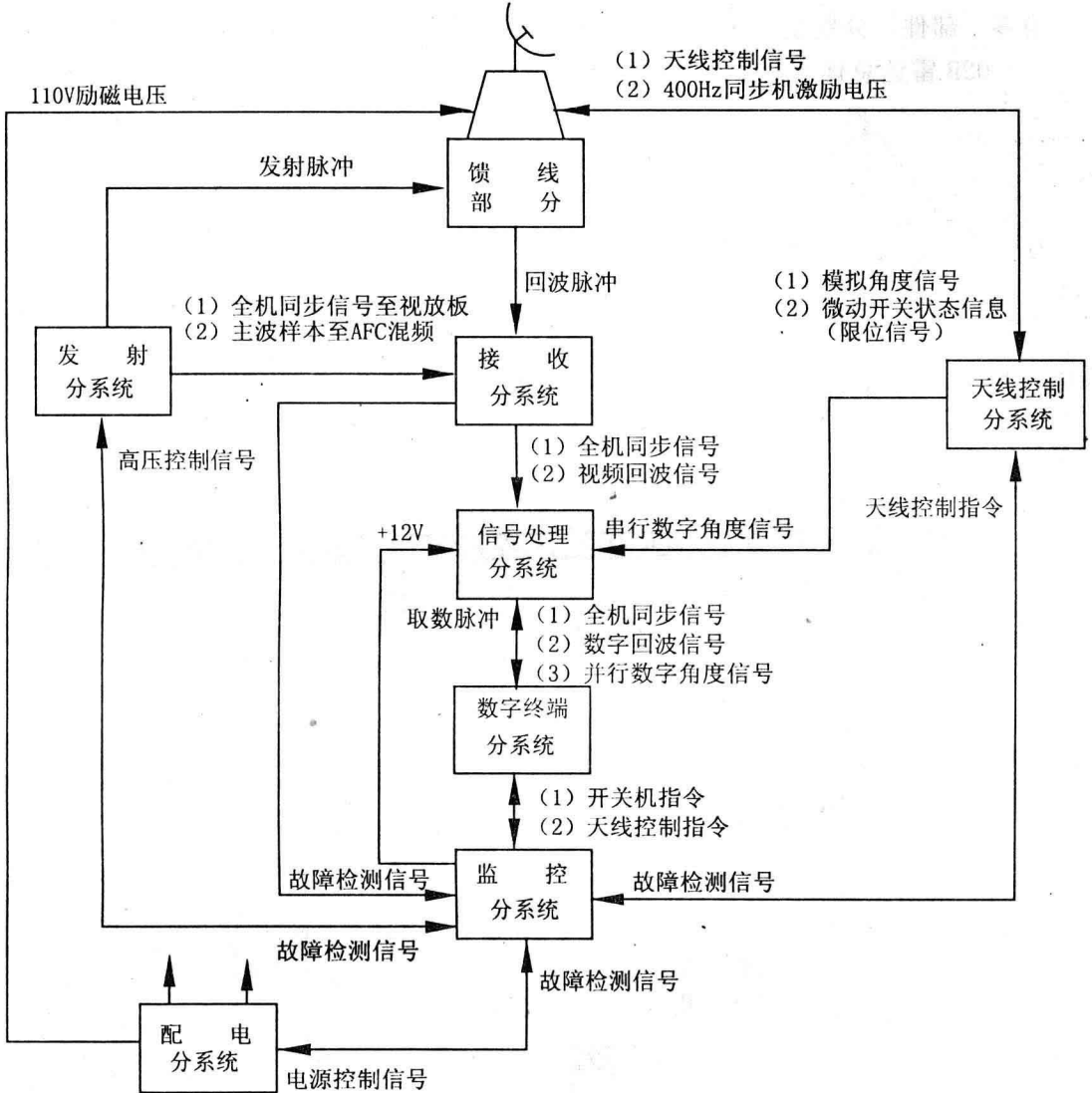


图 1-1 02B 雷达简化框图

监控分系统接受来自数字终端分系统和主机柜面板控制键的指令，完成雷达电源的开关控制和发射高压的开关控制。更重要的是它对雷达各分系统的主要工作参数进行监测，实现了 BIT (built-in test) 功能。发现故障能自动作出声、光报警，并将

故障信息在终端 CRT 屏幕上以中文菜单显示和在主机面板上以数字代码显示。

配电分系统提供全机各分系统电源。

1.5 总体布局 and 结构配置

02B 雷达的总体布局分为 3 个单元，即天线单元、综合单元和终端单元。对于固定站而言，这 3 个单元分别配置在房顶、机房和雷达工作室内。全机 8 个分系统的所有零、部件，分别安装在机柜或机座中，借助于波导和电缆、电线连接起来。

02B 雷达总体布局如图 1-2 所示。

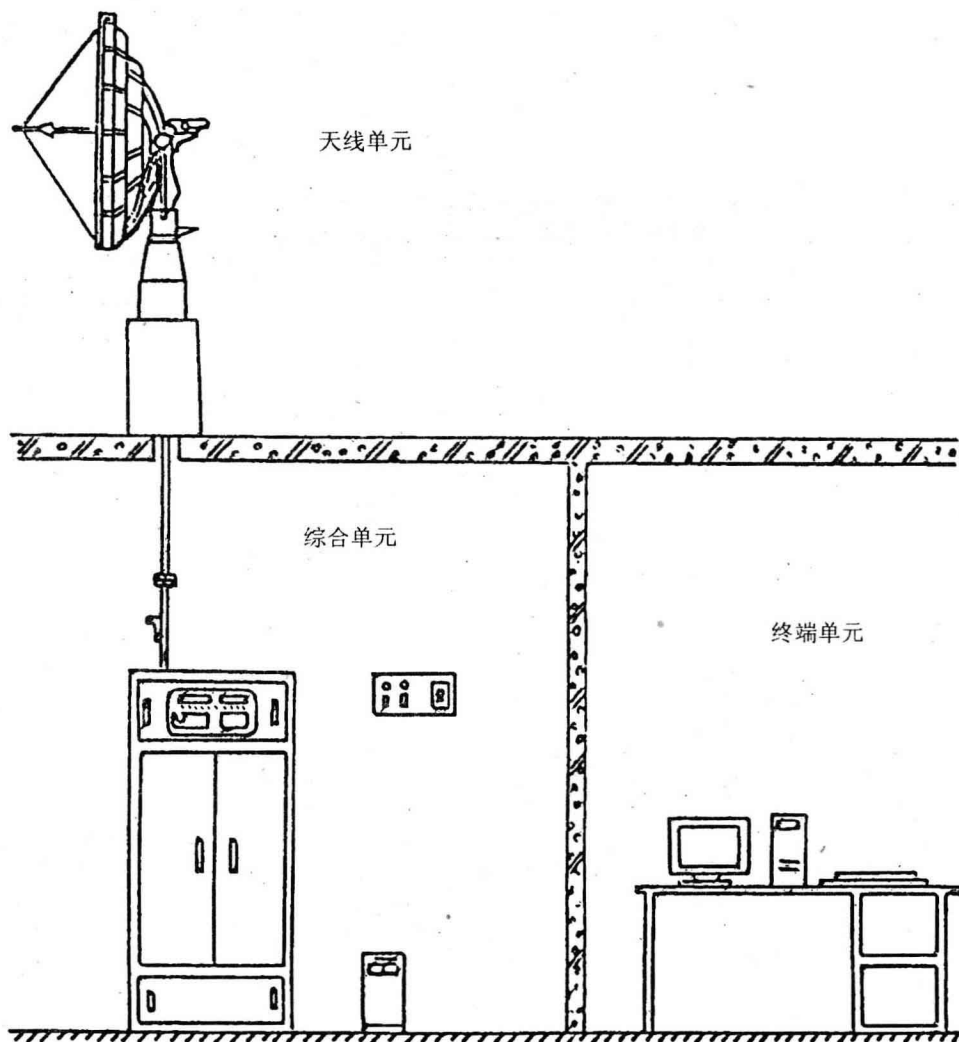


图 1-2 02B 雷达总体布局示意图

天线单元主要安置天线馈线分系统的大部件，以及天线控制分系统的方位、仰角传动机构的部件。它包括天线分机（代号 B11），馈线分机（代号 B12），以及天线座

(代号 162)，座架(代号 163)等，它们都安装在房顶。

机房内主要安置综合单元的主机柜(分机代号 01)，以及配电分系统的 220V3kW 交流稳压器(分机代号 182)和配电板。主机柜的外型尺寸为高 1507.45mm、宽 650mm、深 528.8mm。主机柜内各分机的配置情况示意图如图 1-3 所示。分别安装发射分系统、接收分系统、天控分系统、监控分系统以及馈线部分的器件、功能部件。

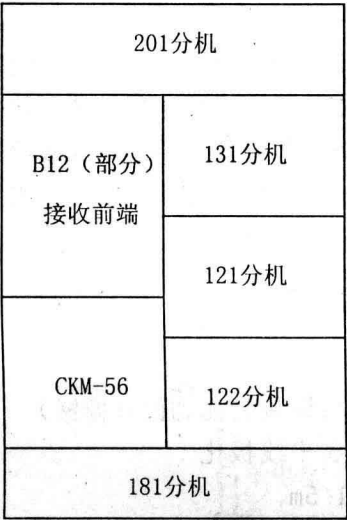


图 1-3 主机柜内各分机配置示意图

雷达工作室安置终端单元，包括信号处理分系统、数字终端分系统等。