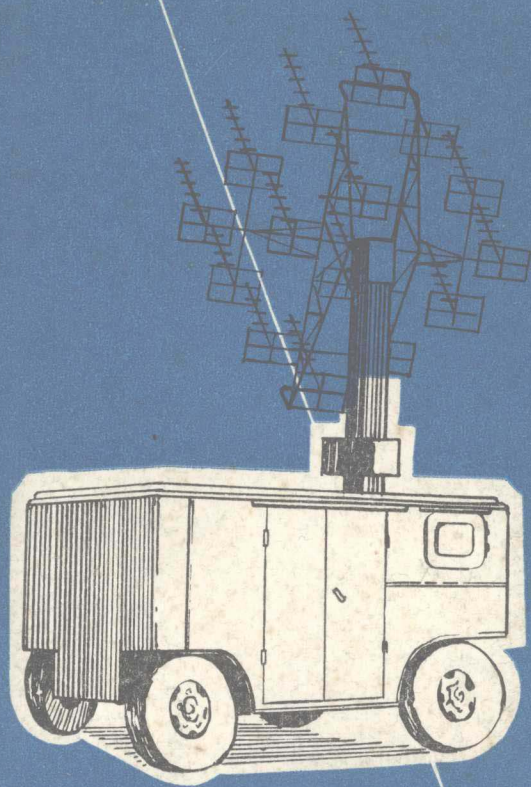


高空气象观测手册

——701 雷达观测使用部分——



中央气象局

一九七九年二月

目 录

第一章 701 雷达的概述	(1)
第一节 雷达探测的基本原理	(1)
第二节 雷达的组成及其作用	(4)
第三节 雷达的性能	(11)
第二章 701 雷达的场地选择和架设	(13)
第一节 雷达场地的选择	(13)
第二节 雷达的架设	(14)
第三节 雷达的标定	(19)
第四节 测角精度和最低工作仰角的检查	(23)
第三章 701 雷达的观测	(26)
第一节 观测前准备	(26)
第二节 观测抓球方法	(27)
第四章 各分机的检查与调整	(33)
第一节 天线馈线系统的检查与调整	(33)
第二节 发射机的检查与调整	(36)
第三节 接收机的检查与调整	(38)
第四节 定时器的检查与调整	(44)
第五节 测距显示器的检查与调整	(50)
第六节 测角显示器的检查与调整	(53)
第七节 电源分机的检查和调整	(55)
第五章 701 雷达的维护与使用	(58)
第一节 维护的基本知识	(58)
第二节 主要元件的维护与检查	(59)
第三节 定期维护	(61)
第四节 雷达精度标定检查规定	(62)
第五节 雷达使用注意事项	(62)
第六节 各种登记制度	(63)
第六章 701 雷达的检修	(69)
第一节 检修的基本知识和要求	(69)
第二节 发射机的检修	(71)
第三节 接收机的检修	(73)
第四节 定时器的检修	(76)
第五节 测距测角显示器的检修	(77)
第七章 附录	(79)

第一节 随机仪表的使用.....(79)

第二节 各分机的波形表.....(85)

第三节 常见故障的补充.....(109)

第四节 发射回答器.....(111)

第五节 701 雷达固定有源目标物标定方法.....(118)

第一章 701 雷达的概述

701 测风二次雷达,是我国自己设计制造的一种专用气象雷达。它和探空仪等相配合,用以对高空大气层的风向、风速、气压、温度、湿度等五个气象要素进行综合性的探测。

用雷达观测高空风可以不受黑夜、阴雨、烟雾等条件的限制,所以探测高度比经纬仪观测的高度高,能更好地为国民经济建设和国防建设提供高空气象情报和资料。

701 雷达是二次雷达。所谓二次雷达是指所追踪的目标是有源的,具有发射无线电波能力的“无线电回答器”(简称回答器)。工作时,回答器受雷达发射的“询问信号”所触发,而立即发射出“回答信号”又为雷达所接收,作为回波信号。这种一问一答的工作状态就构成了二次雷达的基本特点,故称为二次雷达。二次雷达与一次雷达(即一般雷达)不同之处是,一次雷达所测定的目标是一个无源的反射体(如轮船、飞机、反射靶等),是靠目标反射电磁波被雷达所接收作为回波信号。因此,二次雷达和一次雷达其根本区别,就在于所测目标是有源的还是无源的。

采用二次雷达的优点在于,在相同的探测距离时,它较一次雷达的地面发射功率可以小很多。这是因为二次雷达所测定目标是一个具有发射无线电波能力的回答器。另一方面由于回答器可兼作探空仪发射机,所以能对高空气象要素进行综合探测。

第一节 雷达探测的基本原理

701 测风雷达的探测方法是和探空仪、回答器等相配合的。利用跟踪挂在探空气球上的回答器并测定其空间每一瞬间位置来测定风向、风速。因为气球带着回答器上升的同时,随高空风而飘移,只要测出其单位时间内的水平位移,就可以测出各层风向、风速。同时,在探空气球上挂有探空仪遥测大气层各高度上的温、压、湿三个气象要素,通过电码筒编成不同电码去调制回答器并发回地面,由雷达接收经检波后,输出温、压、湿探空信号供抄收。以上具体内容和方法详见《高空气象观测手册》“高空风观测部份”和“高空温、压、湿观测部份”。

本雷达测定回答器在空间的位置,采用的是测出其斜距、方位、仰角三个数据。以下就分别介绍它的测距、测角的基本原理。

§1 测距原理

本机测得斜距是采用二次雷达法进行的,其测距原理和一次雷达法一样。工作时,探空气球带着无线电回答器升空,雷达发射的“询问信号”(即超高频发射脉冲)经天线向回答器方向发射出去(如图 1-1 中实线箭头所指路径),当回答器接收到此“询问信号”时,立即被触发并发射出一个“回答信号”循原路(图中虚线箭头)返回雷达,又被雷达所接收而显示出一个回答脉冲,只要测出发射脉冲(主波)与回答脉冲(回波)之间的时间间隔 t (即电波在雷达和回答器之间往返的时间),就可以求出回答器离雷达的斜距离 R 。

$$R = \frac{1}{2} C \cdot t$$

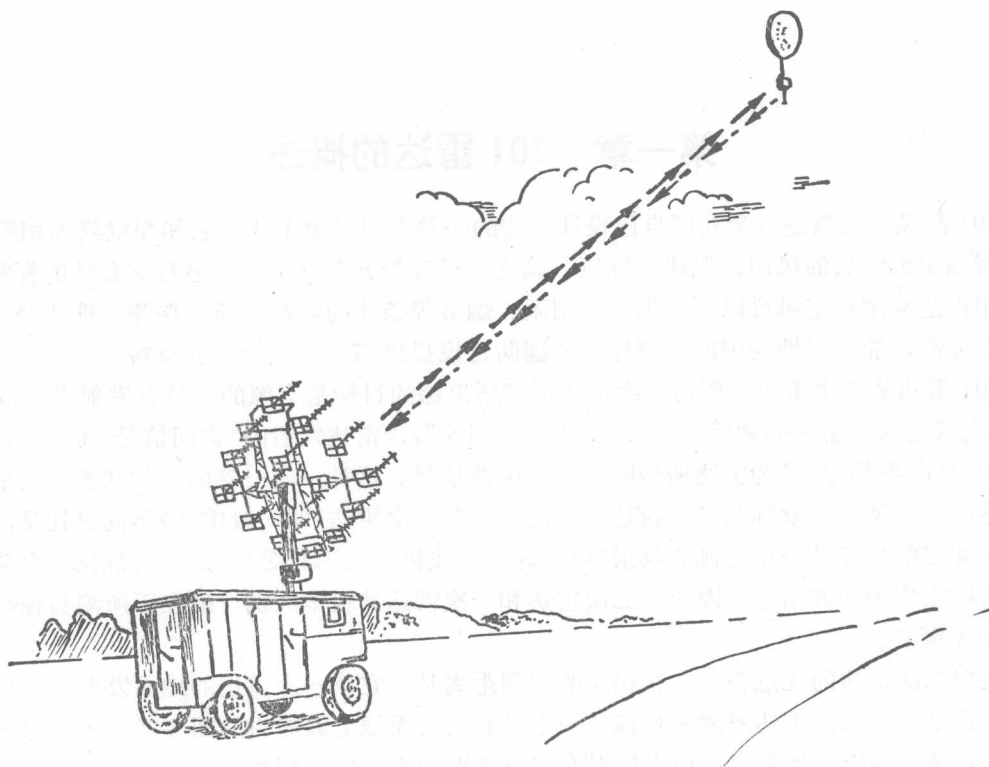


图 1-1 测距原理示意图

无线电波在空间传布的速度近似于光速，即 $C=3 \times 10^8$ 米/秒，是一个已知常数。电波在目标(回答器)与雷达之间往返的时间 t 是极短的，通常以微秒计算(1 秒 = 10^6 微秒)，因此又可以写成：

$$R(\text{米}) = 150 \times t(\text{微秒})$$

例如，若测得 t 为 $133.3\mu\text{s}$ ，则 $R=150 \times 133.3=20000$ 米。

所以雷达测距实际上是将距离的测量转换成时间的测量。测定时间 t 这一任务，在 701 雷达中是由定时器和显示器等配合完成的。由定时器输出一个触发脉冲去控制测距显示器使时间基线开始扫描；同时这一触发脉冲经过延迟 2 公里后去控制发射机工作，产生超高频发射脉冲。所以在测距显示器扫描基线起始端可看到主波脉冲，待天线接收到回答信号时，又显示出回答脉冲。如图 1-2 所示。因此主波脉冲前沿与回波脉冲前沿之间的时间间隔 t 就得以测定。再借助于距标或距离刻度盘，就可以直接读得距离值。显示器上的主波脉冲是发射超高频脉冲的瞬间从收发开关处漏进接收机的微小部份，由显示器显示出来的，所以它的前沿可以作为起始时间。

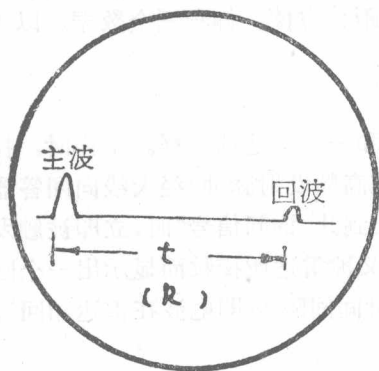


图 1-2 回波显示示意图

§ 2 测角原理

雷达测角(目标的方位、仰角)是靠天线的方向性来

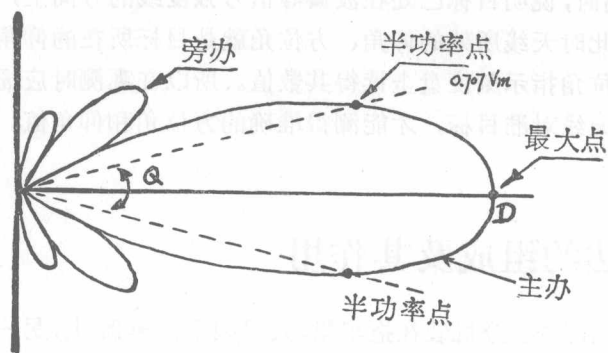


图 1-3 天线波瓣示意图

此方向返回来的超高频能量。测角时，若天线最大辐射值D点的方向对准目标时，回波信号最强，偏离一个角度时，回波信号便减弱。因此可通过转动天线，观测回波信号的强度变化来判断天线是否对准目标。当回波信号最强，表示天线正对目标，此时天线的方位角和仰角便是目标物所在的方向。这种测角法叫做最大信号法。利用这种方法测角精确度较差，因为目标稍偏离最大辐射值D点时，其回波信号变化不大，所以很容易造成较大的测角误差。

为了提高测角精度，701 测风雷达是利用波瓣偏扫的原理，采用“等信号强度法”来进行测角。所谓等信号强度法，就是比较天线的四个方向稍不同的波瓣(上、下——仰角，左、右——方位)所接收到的信号强度。当四个波瓣接收到的信号强度相等时，表示天线对准目标。701 雷达有上、下、左、右四组天线，天线的馈线系统里装有定向环和换相电容，它将四组天线所接收到的信号以各种不同相位关系进行叠加，使波瓣与天线的几何中心轴偏离一定角度(约4~5度)，并在空间按一定规律，随换相电容的转动而产生偏扫(波瓣扫描是跳变的)。这样，波瓣的最大点就依次偏上、右、下、左四个方向周而复始地扫描(不是同时有四个波瓣)，而其等信号强度线与天线几何中心轴是重合的。因此，便可利用波瓣偏上偏下两个方向时测量仰角；偏左偏右两个方向时测量方位角。例如：目标正好落在两个波瓣等信号强度线上(如图 1-4 OP 方向上)，则上波瓣和下波瓣接收到的信号强度才相等。若目标落在 OP' 的方向上，则上波瓣和下波瓣接收到的信号强度就不相等(上弱下强)。若要对准目标，则应转动天线使上下波瓣所接收到的信号强度相等，即使 OP 方向对准目标。

701 雷达测角显示器，它对一个目标有四个回波，即在测角显示器上可以看到四条亮线。这四条亮线的长度分别代表各相应波瓣所接收到的信号强度，亮线长表示接收到的信号强。左边两条亮线代表仰角，右边两条亮线代表方位角。观测四条亮线，若发现右边两条亮线不等高时，则说明天线在方位上没有对准目标，只要摇动方位手轮转动天线，使两条亮线等高，才能使天线在方位上对准目标。同理，仰角也

实现的。天线的方向性可用天线波瓣图来表示，如图 1-3。它表示在离天线等距离的接收点上，天线所辐射(或接收)能量的大小与不同方向之间的关系。以最大辐射强度的半功率点处(或最大电压 U_m 的 0.707 倍)两点之间夹角 Q 叫作波瓣宽度。701 雷达的水平波瓣宽度不大于 11.5° ，垂直波瓣不大于 10° 。

雷达天线通常都具有很强的方向性，它能使发射的超高频能量集中地向某一方向发射。同样，它也只能接收沿

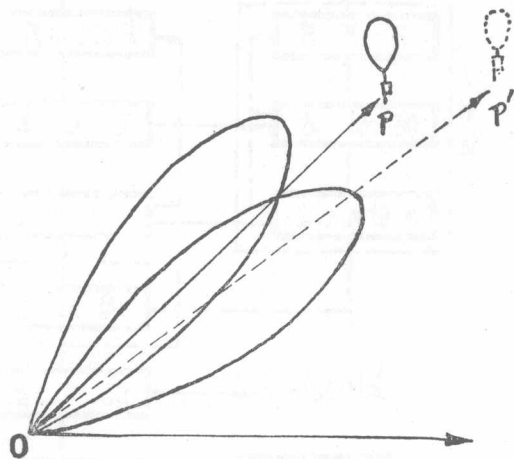


图 1-4 等信号定位法示意图

§ 1 主要组成部份

外學與內學 第四輯 第 4 卷 第 4 期 1994 年 12 月 1 日出版 每本售價 1.50 元 郵費 0.10 元 總發行 中國社會科學出版社



图 1-5 整机方块图

分为：定时器、发射机、接收机、天线及馈线系统、测距显示器、测角显示器、一号电源、二号电源、配电盘、天线传动系统等分机。

§2 各分机的作用

各主要分机的作用及相互关系如下：

1. 定时器

定时器是全机工作的控制中心，它产生各种脉冲作为计时的基准去控制其它几个有关的分机，使全机协调一致地工作。它供给发射机正的发射触发脉冲，以控制发射机工作，从而产生超高频的发射脉冲；它供给接收机与测角显示器正的触发脉冲，用来产生抑制主波和近距离地物回波的方波；供给测距显示器负扫描触发脉冲，使显示器产生粗、精测距扫描时间基线；还送给测距显示器各种距标和可移距离刻度脉冲，以便测出目标的斜距离。定时器的组成方块图如图 1-6 所示。

2. 发射机

发射机由超高频振荡器、调制器 and 高压电源等三部分组成，方块图如图 1-7 所示，是全机的高功率源。调制器在定时器送来正的触发脉冲控制下，定时地产生宽度约为 1 微秒的高压脉冲去调制超高频振荡器，振荡器便产生约 1 微秒宽和强功率的超高频发射脉冲。该发射脉冲经定向耦合器、收发开关、高频旋转关节、天线换相器等送到天线，向空间辐射，作为回答器的“询问信号”。

一号仪表柜内装有定向耦合器和功率指示器，发射机输出的超高频脉冲首先通过它，再经馈线系统馈送到天线上，所以可利用该仪表来检查发射机和馈线系统的工作性能。

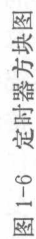
3. 接收机

它的任务是将接收到的回答和探空信号加以变频、放大、检波。把回答信号和探空信号从高频转变为视频脉冲，供给测距显示器和测角显示器，以便进行观测；进而还要把探空信号从视频脉冲转换成音频的探空信号加以放大，供操纵人员监听和探空人员收听。接收机的组成方块图如图 1-8 所示。

另外，接收机中还有主波抑制电路，用以抑制接收机对主波和近距离地物回波的放大，以减小其对近距离观测的影响。

4. 测距显示器

用来显示目标回波并测出目标离雷达的直线斜距离。为了提高测距精度，采用两只示波管分别担任距离粗显示和距离精显示，如图 1-9 所示。由于气球移动规律是由近到远连续移动和观测工作的连续性，在粗显示波管可不必将雷达最大探测距离(200 公里)一次全部显示出来，而是分段显示的，每段为 20 公里。精显示波管是将粗显示波管上显示的距离取出一小段(2 公里)加以展宽后进行显示。如图 1-10，设目标离雷达的距离为 131 公里，粗显示波管的显示基线选在 120~140 公里的一段，精显示波管选在 130~132 公里的一段所显示出的回波情况。在精测示波管扫描基线上，有一个可移暗点，叫做可移距离刻度标记，用它来对准回波(或回答脉冲)的前沿，才能读出准确的斜距离。距离读数是从定时器面板上三个小窗口读取。如上例的 131 公里，是从“距离粗档”读出“120”，“距离精档”读出 10，从精测刻度盘读出 1000 米，即 1 公里，三者加起来即为 131 公里。距离量程的转换是利用定时器上两个波段开关控制的。两个示波管扫描基线的起点都由定时器送来的触发脉冲控制，电刻度距标也是从定时器送来的。另外，测距显示器还兼有检查示波器的作用。



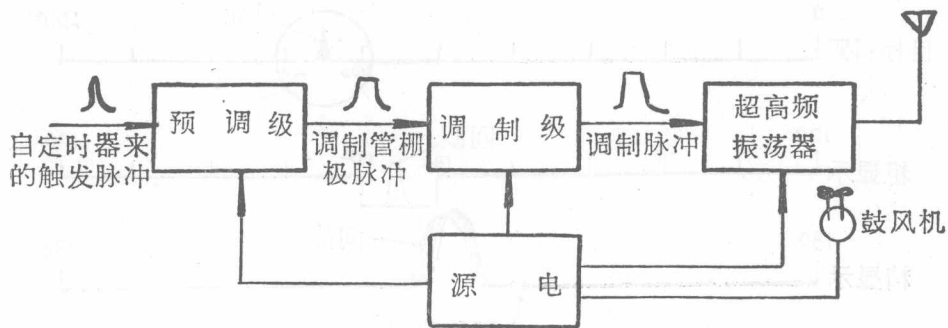


图 1-7 发射机方块图

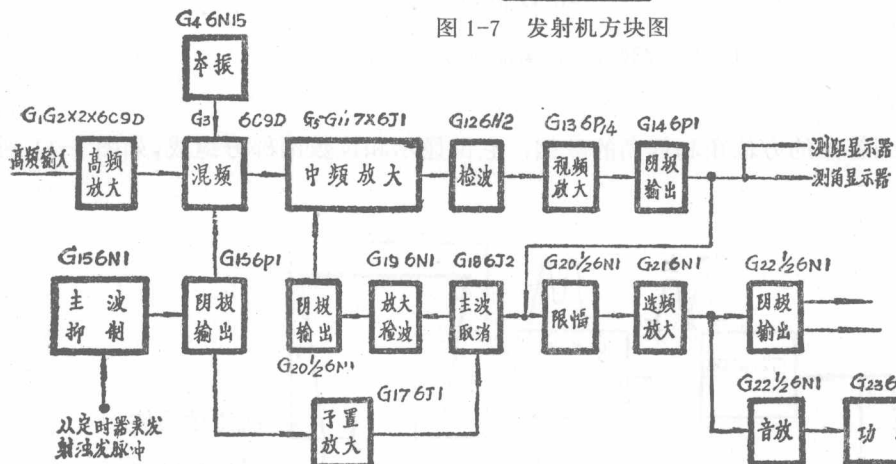


图 1-8 接收机方块图

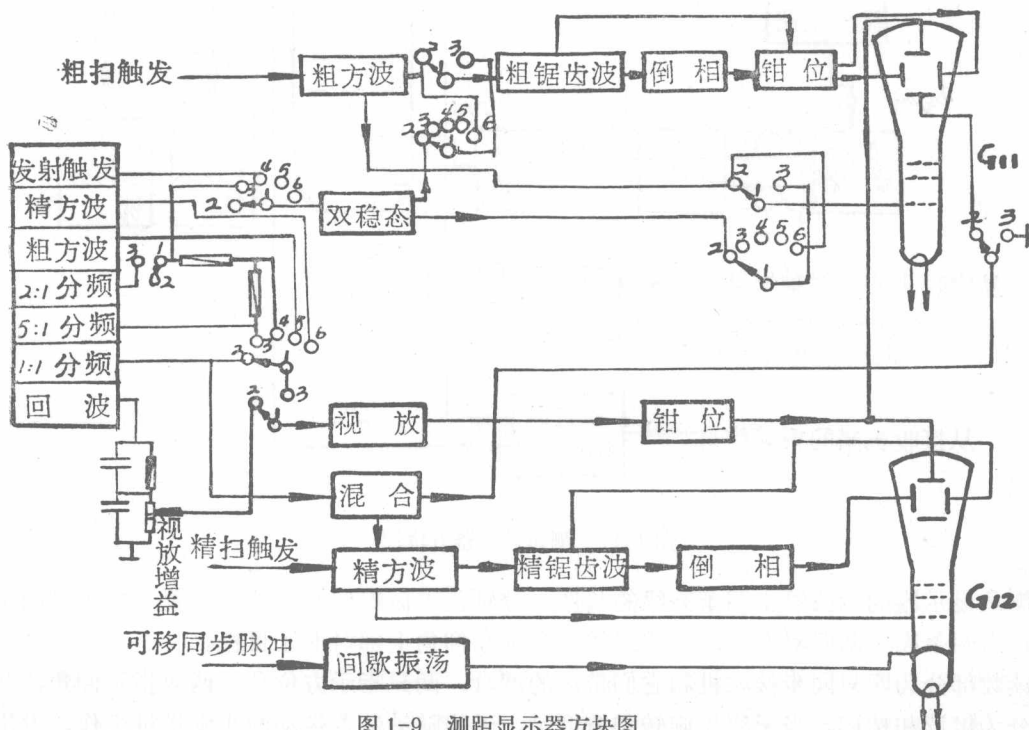


图 1-9 测距显示器方块图

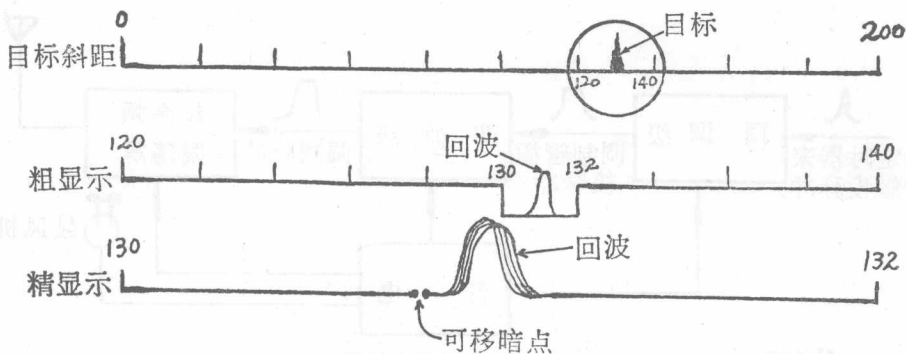


图 1-10 测距显示器距离显示示意图

5. 测角显示器

用来测出空中回答器的方位角和仰角的数据，它由显示和读数两部分组成，如图 1-11 所示。

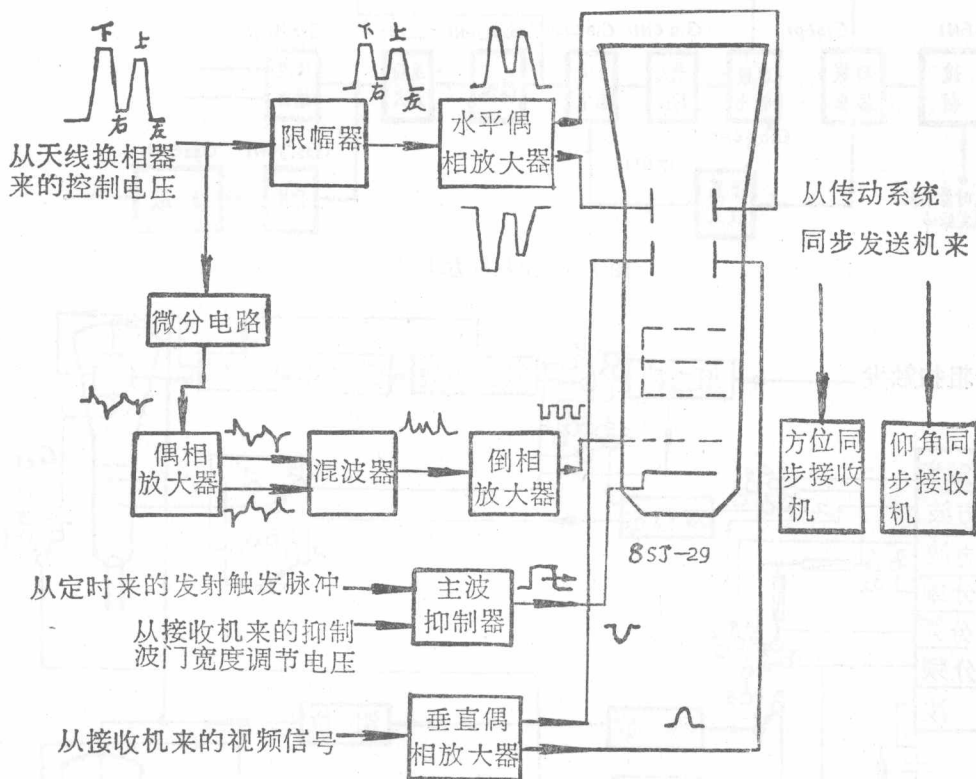


图 1-11 测角显示器方块图

测角显示器的示波管上四条亮线的长度，分别代表波瓣偏扫时四个位置上接收到的信号强度。当四条亮线两两对齐时，表明天线在方位和仰角上都对准了目标。

读数部分为四只同步接收机和它们带动的度盘，两只指示方位角，两只指示仰角，其中各又分为粗读和精读。当天线作旋转和俯仰时，天线随动装置带动同步发送机工作，发出随

动信号使同步接收机带动度盘随天线转动，因而从刻度盘上就可以读出天线的方位和仰角数值。粗读同步机每转一周为 360° ，精读同步机每转一周为 10° 。

6. 天线及馈线系统

它是由天线阵和馈线两部分组成。如图 1-12 所示。

天线是用来定向发射和接收无线电波用的，它由 16 根引向(八木)振子及其反射网等组成。每四根振子按菱形排列成一小组天线，分成上、下、左、右四个小组。四个小组天线仍按菱形编组排列，组成总体天线阵。天线阵由天线传动装置控制它作方位转动(360°)和上下俯仰(90°)。

馈线系统的作用是将发射机产生的超高频发射脉冲有效地送到天线阵的各个引向振子上，并有效地将天线阵接收到的超高频回答脉冲及探空信号送到接收机。

7. 天线传动系统

其结构如图 1-13 所示。它由方位角传动系统和仰角传动系统两部分组成，分别用来操纵天线作方位转动和上下俯仰。整个天线安装在主轴上。主轴分外轴和内轴两部分，整个主轴通过轴承与轴底相连。方位角传动系统控制带动外轴转动，天线便作 360° 的方位转动；仰角传动系统控制带动内轴转动，再经过一套俯仰机构，使天线作 -0.3 — $+90^\circ$ 的仰角转动。

方位和仰角两个传动系统，用两个手轮手动操作，每个手轮都分为快、慢、空三档。手摇右边方位手轮时，便带动一对正齿轮转动，再经过两个万向接头传至蜗轮箱的蜗杆，此蜗杆使与天线外轴固定在一起的蜗轮转动，于是转动手轮，架在直立外轴上的天线随着转动。天线转动的同时，外轴通过一套齿轮带动方位粗、精同步发送机转动。

转动左边仰角手轮时，便带动一对正齿轮转动，再经过二个万向接头传至锥形齿轮箱内的两个锥形齿轮，又经过二个万向接头传至轴底内的一对正齿轮，然后带动天线主轴的内轴转动。内轴转动后又经过二个万向接头带动顶端蜗轮箱内锥形齿轮转动，再带动蜗杆转，此蜗杆使与天线仰角轴直接相连的大蜗轮转动，于是，架在其上的天线也随着作上下俯仰转动。仰角轴转动的同时，通过一套齿轮带动粗、精仰角同步发送机转动。

方位和仰角粗、精四只同步发送机的随动信号，通过低频旋转关节送到测角显示器的同步接收机，使其带动刻度盘随着天线同步转动，因而从刻度盘上就可以直接读取天线的方位

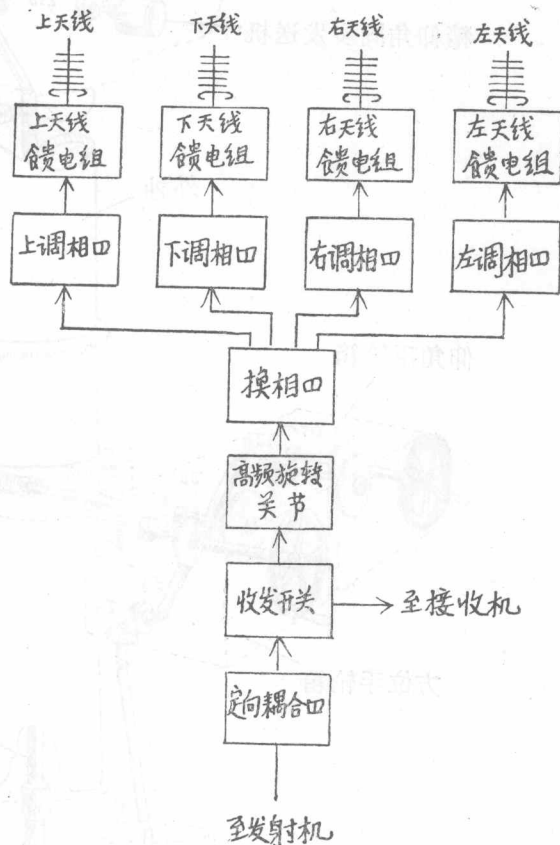


图 1-12 天线及馈线系统方块图

流电源。

除上述外, 701 雷达还装置有自动报分钟等, 配发有“探空检查仪”, “SBM-3”型脉冲示波器, “MF-5”型复用表和波长表等。除脉冲示波器外, 所配发仪表分别放在“二号”和“三号”仪表柜内。

第三节 雷达的性能

我们应该熟悉机器的性能数据, 在使用和维护中做到心中有数, 使机器处于良好的工作状态, 并在客观条件的基础上发挥主观能动性, 充分发挥雷达的探测效能, 更好地完成探测任务。

1. 701 雷达的最大作用距离可达 150~200 公里; 探测高度不小于 25 公里; 最小作用距离不大于 300 米。

701 雷达的最大作用距离是要与一个工作稳定、可靠的回答器相配合, 与雷达的发射功率(能良好地触发回答器工作), 回答器回答的功率、频率、雷达接收机的灵敏度等都有关系。最小作用距离, 即近距离盲区, 它与发射脉冲宽度有关, 因为目标回波同主波脉冲重迭, 回波被掩盖而分辨不出来, 所以发射脉冲宽度越宽, 近距离盲区越大。

2. 雷达方位角转动范围不受限制; 仰角的转动范围为 -0.3° — $+90^{\circ}$; 在观测场地良好的情况下, 最低工作仰角可达 8° 。

3. 雷达测定座标的精度为: 斜距离均方根误差不大于 80 米; 方位角、仰角(仰角在最低工作仰角以上时)均方根误差不大于 0.15° 。

4. 雷达的工作频率为 400 ± 3 兆周, 波长约 75 厘米, 属于分米波段; “询问”和“回答”信号都用同一频率。

5. 发射脉冲重复频率为每秒 1500 周或 1875 周, 脉冲宽度为 1 ± 0.2 微秒, 脉冲峰值功率大于 20 千瓦。

6. 波瓣宽度, 垂直波瓣不大于 10 度, 水平波瓣不大于 11.5 度。

7. 接收机灵敏度在频率 400 ± 3 兆周, 信号与杂音之比为 1:1 时, 不大于 5 微伏。

8. 雷达的测角灵敏度为, 方位角、仰角各向左、右、上、下偏过 1° 时, 其信号幅度的差不小于 20%。

9. 接收机通频带宽度大于 2.5 兆周。

10. 雷达的连续工作时间可达 6 小时, 八级风时仍能正常工作。

11. 雷达全机的供电电源为单相 50 周、220 伏, 全机消耗功率不大于 3 千瓦。

701 测风二次雷达发射脉冲的重复频率比一般中程雷达高, 而且是两种重复频率。这是因为该雷达所跟踪的发射回答器是单一的有规律运动的目标, 为了使回波浓一些, 便于跟踪和观测, 所以提高了重复频率。

如果只用 1875 周(周期为 533 微秒)一种重复频率, 则前后两次发射主波的距离相当于 80 公里(即在测距显示上 80 公里处能看到第二个主波), 这样在 80 公里处回答信号就有被主波淹没的可能。因此当目标到 80 公里或 160 公里时, 将重复频率改为 1500 周, 使第二个主波移到 100 公里处。当目标到 100 公里时, 根据同样的道理, 又可把重复频率改 1875 周, 其余类推。

701 雷达的脉冲重复频率和测距的关系如下表所示:

目 标 距 离	采 用 的 重 复 频 率
0—80 公里	1875 周
80—100 公里	1500 周
100—160 公里	1875 周
160—200 公里	1500 周

第二章 701 雷达的场地选择和架设

第一节 雷达场地的选择

701 雷达场地条件的好坏,直接影响到探测的距离和测角精度。我国的高空风较大,观测时仰角往往低于 10° 。雷达处于低仰角工作时,由于地面和障碍物反射会影响天线波瓣变形而造成测角较大误差。为了适应我国高空风的特点,701 雷达在设计已采取措施,尽量减少地面反射的影响,使最低工作仰角可达 8° 。但雷达的这一性能,在使用过程是否能发挥出来,很重要的一个方面是取决于架设场地环境的好坏。所以选择雷达观测场地必须十分重视,应充分发挥雷达的测角性能,使最低工作仰角达到 10° 以下,力求接近 8° 。

§1 场地选择的基本要求

1. 雷达观测场地总的要求是四周开阔,无高大障碍物,地形平坦。
 - (1) 由雷达架设地点向四周观察,在高空盛行风的下风方向(方位一般在 30° — 160° 范围)上,障碍物的遮挡仰角不应大于 3° ,其它方向不宜大于 5° 。
 - (2) 高空盛行风的下风方向,场地半径 40 米范围内要求平坦,此方向 500 米范围内应无高大障碍物,特别是钢筋结构的建筑物和高压线等。在地形复杂的地区,难以选择平坦场地时,应选在高坡上,在主要方向上斜面不要对向雷达机。
 - (3) 地形复杂地区,如有多年高空风探测资料证实本站最低工作仰角几乎没有低于 10° 的,根据情况,上述要求可适当放宽。
 - (4) 场地条件是否良好,最后应通过雷达最低工作仰角的测定和检查来确定。
2. 有了符合上述条件的场地,还应考虑以下几个问题:
 - (1) 通往雷达架设场地的道路和桥梁,能否允许雷达车通过(雷达自重约七吨)。
 - (2) 电源、水源及通信联系是否方便或便于解决。
 - (3) 要考虑到今后场地周围进行基本建设规划的情况,力求避开或减轻对雷达效能的影响,避开有源干扰和便于组织场地防卫。
 - (4) 便于领导和适当考虑工作和生活上的方便。上述要求是互相联系互相制约的,选择和确定场地时,应根据具体情况,全面衡量慎重考虑。

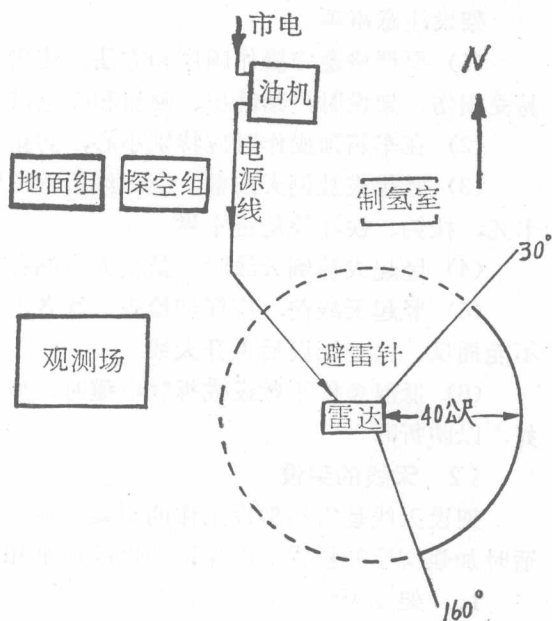


图 2-1 场地部署

§2 场地部署

选择场地时,应考虑雷达站各种设置的配备。各种设置和工作室尽量建在雷达非主要工作方向上。放球场地一般应设在制氢房前面又尽量靠近地面层最多风的下风方向,以便拿出气球和免得放球时造成气球脱手后就过顶。在条件允许时可参照图 2-1 部署。

在雷击频繁地区需架设避雷针,避雷针应该架设在高空风盛行的上风方向。避雷针不能有金属拉线。具体要求可与当地电业等部门联系。

第二节 雷达的架设

雷达架设是一项细致的工作,任何差错都可能影响整个工作的进行,甚至造成事故。因此,有关领导和负责机务工作者必须亲自指导与安排。架设前应进行动员,做好组织分工,使全体参加架设人员了解架设的程序、要求和注意事项。架设时,要有高度的责任心,要严格遵守各项操作规定,密切配合,重视质量,注意安全。

§1 架设前的准备和注意事项

1. 将雷达拉到已准备好的场地,取下篷布,打开两个车门取出需用工具和器材。

2. 从车箱顶取下油机滑轨,装在后门的固定槽内,固定好滑轨中间的连接杆,松开车箱底板上固定油机的螺丝,由二、三人在车箱内掌握油机下滑方向和速度,两人在车箱外滑轨两侧扶住油机,互相配合使油机沿滑轨慢慢滑到地面,并推到预定位置。

3. 平整和加固千斤顶下的地面(最好事先将整个车箱下垫面垫高打实或铺上水泥),卸下千斤顶垫木分别放在四个千斤顶下面,用千斤顶将车箱顶起,使四个轮胎离开地面并使车箱保持大致水平。

4. 竖起车箱牵引杆穿上铁栓。

架设注意事项

(1) 要严格遵守操作顺序和方法,使用规定的工具,谨慎细致地操作。天线是铝制品,易受损伤,架设时严禁乱拉、硬扭和随意敲打。

(2) 在车箱顶操作时应特别小心,防止人员失足或将工具和部件掉下造成事故。

(3) 竖起或放倒天线前,应仔细检查支臂撑杆的钢丝绳有无锈蚀或折断,起重葫芦有无卡死,挂钩、铁环等是否牢靠。

(4) 竖起或放倒天线时,禁止人员站在天线的背面。

(5) 竖起天线前,应仔细检查天线各电缆是否安装正确牢靠,U形平衡器应同相馈电,不能插反,检查无误后再升天线。

(6) 低温条件下敷设或拆收电缆时,应先将电缆放在温暖处恢复其弹性后再放开或卷好,以防折断。

§2 天线的架设

架设天线是雷达架设工作的重要一环。此项工作可由六人左右进行,负责机务的人员要适时加强指导和检查,以保证架设的质量和安

1. 架设天线

(1) 准备好各种维护用品(棉纱头、白布、酒精、黄油等)和各种工具(二个活动扳手、一个平口钳)上车箱顶,将左、右天线桁架和上天线桁架展开,并将活动关节的螺丝拧紧固定