

中国科学院大气物理研究所集刊

第 10 号

声雷达和边界层大气探测

科学出版社

中国科学院大气物理研究所集刊

第 10 号

声雷达和边界层大气探测

科学出版社

1982

内 容 简 介

本集介绍单点声雷达测温系统及其在边界层大气探测中的应用。主要内容有：声雷达测温系统的技术总结；多普勒声雷达测风的误差估计；边界层大气温度结构系数和混合层的探测研究以及声雷达探测在天气分析和预报中的应用等。

本集可供从事大气物理方面的科研工作者、大专院校的大气物理专业师生以及环境保护工作部门的大气污染专业人员参考。

中国科学院大气物理研究所集刊

第 19 号

声雷达和边界层大气探测

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1982 年 12 月第 一 版 开本：787×1092 1/16

1982 年 12 月第一次印刷 印张：5 插页：1

印数：0001—1,500 字数：113,000

统一书号：13031·2092

本社书号：2856·13—15

定 价： 0.90 元

前 言

大气声遥感是近十年来发展起来的一门新技术。声波通过不均匀大气时的散射要比电磁波强得多。大气温度、湿度、风速的变化对声波折射指数引起的变化一般要比无线电波大三个量级,因此用声波探测大气的突出优点是灵敏度极高,缺点是声波在大气中传输时能量耗散较大,因此探测高度受到一定限制。但从现在的技术条件看,声雷达仍不失为探测低层大气的一种较好的遥感探测仪器。

在国外,声雷达探测已在大气物理研究中得到广泛应用,而且在测定与大气污染密切有关的边界层气象要素和逆温层分布等方面,也获得了很好的效果。

我所在七十年代中期研制成功声雷达测温系统,从而填补了我国在大气声遥感方面的空白。声雷达测温系统在边界层大气探测中得到一些良好的结果。本集刊发表了其中的部分研究成果,也许对我国年轻的大气声遥感技术的发展,对大气物理以及大气污染的研究工作和实际工作,将会起到一定促进作用。

陶诗言

目 录

单点声雷达测温系统·····	范锡安、陈景南、郑月明、谢葆良、苏立荣、周绍进 (1)
边界层大气的混合层结构·····	吕乃平、邓青山、丁春林 (25)
大气边界层温度脉动结构系数的探测研究·····	陈炎涓、吕乃平、樊锦华 (35)
近地层大气湍流特征与气象要素分布规律在声雷达探测中的应用 ·····	····· 陈炎涓、周明煜 (45)
大气湍流特征对多普勒声雷达测风的影响·····	陈炎涓、周明煜 (54)
锋前暖区天气的声雷达回波特征·····	朱翠娟、曲绍厚、周明煜 (61)
声雷达探测与天气分析和预报·····	周明煜、吕乃平、曲绍厚 (71)

单点声雷达测温系统

范锡安 陈景南 郑月明 谢葆良 苏立荣 周绍进*

一、概 述

声雷达是低层大气遥感的一种重要方法。自从 1968 年澳大利亚的 L. G. McAllister^[1,2]首先研制成功以来,迄今已有十几个国家对它进行了研究。最初,研制声雷达只是为了探测微波和激光在大气中传播时大气折射率的变化。后来才被大气物理学家用来研究大气的风速和温度结构。在边界层物理、大气湍流和空气污染等方面得到了广泛的应用。声雷达按其功能可分为三类:(1)是测温度梯度的;(2)是测风速风向的;(3)是测湿度的。但是迄今为止还没有看到测湿度的声雷达付诸实现。发展最早、使用最广泛的要算测温声雷达。美国、日本、芬兰等国都已制成商品。其技术方案亦日趋成熟。美国便携式回声探测器^[3]比较轻便灵活。但从技术的完善来看要算美国 NOAA 的 MARKVII 回声探测器^[4]。它们都是用现成的商品作为部件组合起来的。我们是在 1975 年研制成单点声雷达测温系统的。并于当年冬天在北京石景山地区进行短期连续观测,取得了很好的效果。

由于大气对声波折射指数的变化比对电磁波要大六个量级,声雷达用于探测大气有较高的灵敏度。但由于声波在大气中传播时衰减很大,目前,声雷达的作用距离只有 1—2 公里左右^[5]。为了提高声雷达的作用距离,有人将天线直径加大到 50 米,也有人从加大功率和降低发射频率入手。日本的秋田锦一郎^[6]为对抗声雷达噪声作了独特的研究,使声雷达即使在下雨的天气也能较好地工作。还有其他一些人专门对天线、隔音围墙等方面从事了研究,在提高接收灵敏度和改善讯噪比方面取得了一定的成绩。预计探测高度可能达到 10 公里以上^[5]。

当声雷达由地面垂直向上发射声脉冲时,声脉冲以声速向上传播。由于大气风速、温度分布的不均匀性引起声波散射,其后向散射部分仅与温度不均匀性有关,回波功率可以用散射公式表示^[7,8]:

$$P_r = \eta_T \eta_R A_R P_T \sigma(r, f) \frac{c\tau}{2} \cdot \frac{1}{h^2} L \quad (1)$$

式中 P_r 是接收到的讯号功率, P_T 是发射的电功率, η_T 是发射的电/声转换效率, η_R 是接收的声/电转换效率, A_R 是有效接收天线面积, $\sigma(r, f)$ 是后向散射截面积, c 是声速, τ 是发射脉冲宽度, h 是声波散射源的高度, L 是大气中传播(距离是 $2h$)的衰减损耗。从式中看到,当声雷达系统参数确定以后,接收到的回波功率 P_r 是与散射截面 σ 成正比,而与散射体的高度 h 的平方成反比。但由于 $\sigma \propto \left(\frac{dT}{dh}\right)^2$, 式中 T 是大气温度, $\frac{dT}{dh}$ 是

* 陈炎涓、曲绍厚、吕乃平同志参加了天线系统的工作。

大气温度梯度。因此回波功率正比于温度梯度的平方，而回波电压的幅度正比于温度梯度的绝对值。由此可以从回波强度随时间、空间的变化判断大气温度梯度的时空分布。

从散射公式还可看出，回波功率 P_r 还与衰减因子 L 有关。由于声波在大气中的衰减因子 L 是大气温度和湿度的函数，所以要精确计算回波强度，不仅要正确地测定回波强度，还需要对温度和湿度的影响加以订正。在目前条件下，能接收到的回波强度大约在 0.1—500 微伏范围内^[4]。本系统选择的基本参数如表 1。

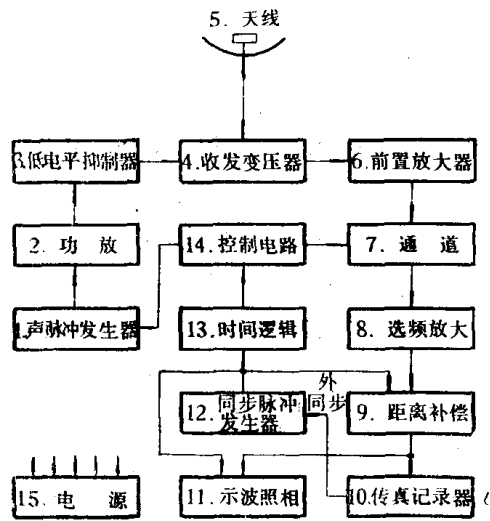


图 1 声雷达测温系统方框图

图 1 是声雷达测温系统的方框图。线路原理总图见附图 1。这是一种收、发共用一副天线的方案。这种方案比起收、发各用一副天线的方案在技术上要克服一些困难，但因天线体积庞大，从系统灵活性和适应能力看，这样做还是必要的。

在控制电路作用下，声脉冲发生器产生一个宽度为 τ 的声频载频脉冲。通过功率放大器放大到足够的功率，再通过发射变压器匹配耦合到天线换能器，将声频电脉冲转换成声脉冲。通过抛物面天线聚焦后，在大气中垂直向上传播。

当声脉冲波在大气中由下而上传播时，其

表 1 声雷达测温系统主要参数表

参 数 名 称		数 值
发射功率	P_T	100 瓦或 150 瓦
发射周期	T	3 秒或 6 秒
发射脉冲宽度	τ	100 毫秒或 200 毫秒
延迟时间	t_d	100 毫秒或 200 毫秒
最大探测距离	H_{max}	1000 米
高度分辨率	ΔH	17 米或 34 米
发射载频	f	1588 赫
盲区	H_0	34 米到 68 米*
天线直径	D	1.5 米
天线主瓣宽度	θ_0	$\pm 8^\circ$
接收机带宽	B	40 赫
接收机灵敏度	S_0	0.1 微伏
换能器接收灵敏度	S	9.3 毫伏/微巴

* 按 $\tau = 100$ 毫秒, $t_d = 100$ 毫秒 和 $\tau = 200$ 毫秒, $t_d = 200$ 毫秒计算最小和最大盲区

后向散射的回波通过抛物面天线聚焦到换能器转变成电的回波讯号。经收发变压器增强后，送到前置放大器。前置放大器是一个低噪声的放大器，位置紧靠着天线。将回波讯号放大得足以超过干扰噪声。然后用电线将它输送到接收通道。在声脉冲发射时，接收通道是闭锁的，但当有回波到达时，控制电路应使接收门开启，让回波讯号通过。回波通过接收通道后，送到选频放大器，进一步滤去噪声，选出所需频率的回波后，就可送记录器记

录。但是由于散射体的高度不同,即使大气结构的不均匀程度一样,不同高度的散射体产生的回波强度是不一样的。因此又加上距离(或高度)补偿器,以消除由于散射体高度不同产生的回波强度的差别。

记录系统包括示波照相机、磁带机和传真记录器。

示波照相机可用以显示回波的形状和大小,可作为显示设备监测系统的工作,也可以将波形拍摄下来进行分析处理。磁带机可将回波记录下来在适当的时候重现,还可以与计算机配合进行数据处理,是一种比较灵活的工作方式。传真记录器可记录回波讯号随时间和高度的连续变化。

二、天线部分

声雷达天线是由电-声转换器(即扬声器)、抛物面型反射体和隔音吸音围墙三部分组成。图2是声雷达天线照片。

我们采用国产 YH100-1 型(电功率 100 瓦)和 YH50-1 型(电功率 50 瓦)两种扬声器头加上铝制或玻璃钢制的指数喇叭筒作为电-声转换器。声脉冲的发射和回波的接收均用同一个扬声器。图3是 YH100-1 型 1# 和 2# 扬声器及 YH50-1 型扬声器的频响曲线。由图可见,在 1000—4000 赫频率范围内, YH100-1 型扬声器频响曲线的起伏量为 ± 5 分贝;而 YH50-1 型扬声器的起伏量较大些。此外,我们在消声室内测量了扬声器的余振时间,是指声脉冲发射停止后,达到噪音水平所需的时间。表2列出了两个扬声器头采用铝或玻璃钢制的指数喇叭筒在四种不同频率下的余振时间。可以看出,余振时间随频率的增加而减少。

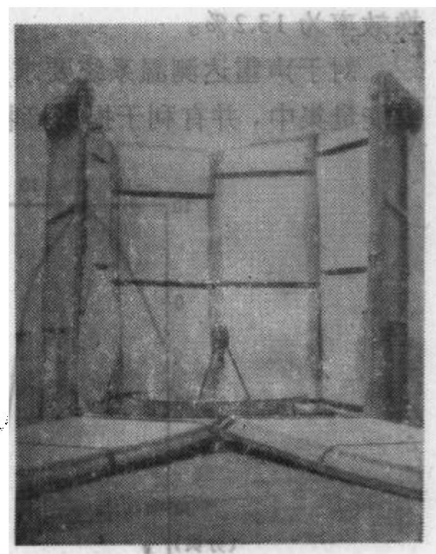


图2 声雷达天线

抛物型反射体的焦距为 50 厘米,直径为 1.5 米,反射体由铝板制成,为了防止余振和提高反射能力,在反射体背面涂一层厚为 1 厘米的水

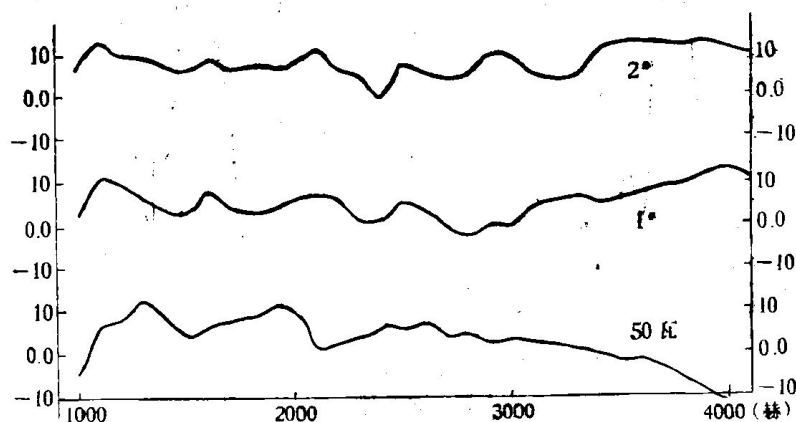


图3 扬声器频响曲线

表 2 扬声器的余振时间

频率(赫)		1023	1588	2301	3817
余振时间(毫秒)					
扬声器					
YH100-1 型 1#扬声器	铝 号 筒	480	170	105	85
	玻璃钢号筒	350	130	105	80
YH100-1 型 2#扬声器	铝 号 筒	310	160	70	50
	玻璃钢号筒	315	130	40	40

泥。扬声器置于抛物面天线之焦点处(如图2)。扬声器(包括反射体)的发射电功率为100瓦,当发射频率为1588赫时,用YH100-1型2#扬声器测出的天线系统,发射的电声转换效率为5%,接收灵敏度可达9.3毫伏/微巴(在40米高度上测量),接收的声-电转换效率为13.2%。

对于声雷达测温系统要求天线有较好的指向性,即主瓣尖锐,旁瓣小,使得天线的发射能量集中,并有利于提高接收的讯噪比。图4²⁾为1000,2000,3000,4000赫4种频率

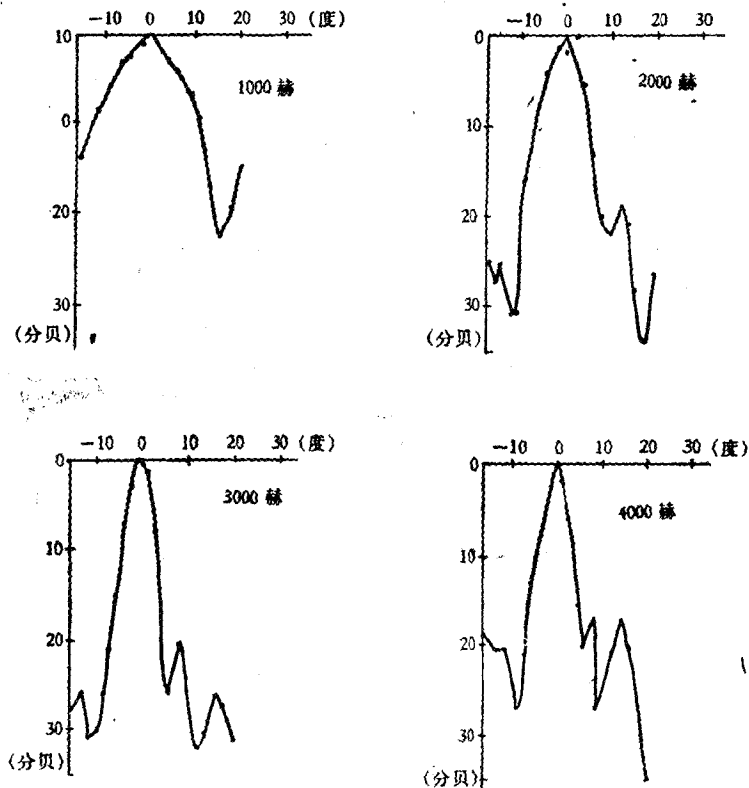


图 4 声雷达天线指向性图
(主轴方向为零分贝)

1) 测量是在楼顶平台进行的,建筑物的反射对测量结果有一定影响。

的天线指向性图,其主瓣宽度(半功率点)分别为 10, 7, 4, 3°。

由于声雷达的发射频率是在通常的声频范围内,在野外工作时存在着较强的环境噪音,(包括人类活动、各种交通车辆等)。而大气中的回波讯号很弱,往往淹没于噪声之中。为了抑制环境噪音,提高讯噪比,在声雷达天线外围,增加了一个隔音吸音围墙。该围墙要具有抑制外界环境噪音的作用,同时,当扬声器发射的声脉冲停止后,声能要很快衰减,不应在围墙内产生混响。因此,围墙内部要有较好的吸声性能。我们设计了一种简便的易于拆卸的隔音吸音围墙,是由八块木板组成的八面体,每块板高为 2.7 米,宽为 0.9 米,木板内侧附有 8 厘米厚的泡沫塑料。用电容传声器在围墙内外进行环境噪音的对比测量,结果列于表 3。可以看出,频率愈低,围墙对噪音的衰减作用愈大,当频率为 1588 赫时,衰减值为 10.1 分贝。

表 3 隔音吸音围墙对噪音的衰减值

频 率 (赫)	800	1000	1023	1250	1588	1750	2000	2301	3000	3500	4000
噪音衰减值(分贝)	20.8	20	17.6	15.8	10.1	13.9	9.2	7.6	8.0	3.8	1.6

由于环境噪音主要来自与声脉冲发射方向成 80° 与 90° 的地面附近的噪声源。我们测量了围墙在 80° 与 90° 方向声能的衰减值。即在围墙内外分别用 YH100-1 型扬声器垂直向上发射某一固定频率的声波,用电容传声器分别在 80° 和 90° 方向上测量两种不同情况时的声压。当频率为 1588 赫时,对声能的衰减值达 20 分贝以上。围墙对声能的衰减值大于对噪声的抑制能力。上述测量值往往与测量时的具体条件有一定关系,如环境噪声本身的大小及噪声源的分布等因子有关。可以认为我们使用的八面体围墙具有较好的隔声吸声性能。需要指出,设计性能更好的隔音吸音围墙将有利于提高讯噪比。

三、发 射 机

声雷达测温系统发射机部分的方框图如图 5 所示。它包括声脉冲发生器、功率放大器、低电平抑制器、匹配变压器和天线。它的功能就是将电功率为 100 瓦或 150 瓦的声脉冲按一定的周期发射出去。而且同时不对接收机产生干扰。下面将分方块说明发射机各部分的作用和技术要求。

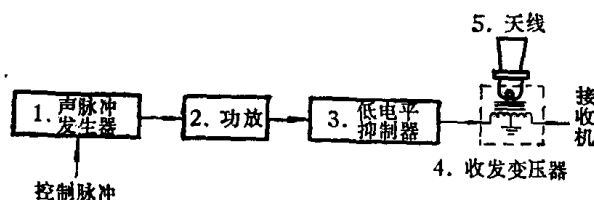


图 5 声雷达测温系统发射机方框图

(一) 声脉冲发生器

声脉冲发生器是由音频振荡器、限幅器、发射门和输出器构成的(如图 6)。

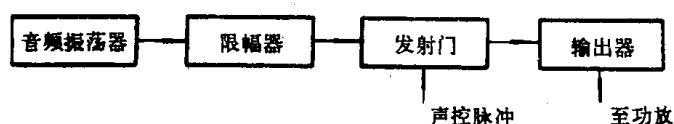


图 6 声脉冲发生器方框图

音频振荡器产生连续的载频，其频率的选择取决于大气的衰减特性和系统中电声元件的频响和电→声及声→电转换效率。本系统选的是 1588 赫，将连续的音频通过限幅器（避免发射门过载），送到发射门。发射门是由声控脉冲控制的。在声控脉冲持续的时间内通过一个载频为 1588 赫的音频脉冲。理想的发射门应当是开启时，音频通过无失真。闭锁时无泄漏讯号。但实际上，只要开启时讯号通过谐波失真不超过 5%，闭锁时泄漏电压不大于输入电压的 1/10000 即可。泄漏太大就意味着产生发射机噪声。

通过发射门形成的声脉冲经输出器（或叫缓冲放大器）后，具有一定的功率，便可送到功率放大器去了。

声脉冲发生器的线路原理图见附图 2。图中音频振荡器是用现成的商品 XD1 音频讯号发生器。两个 2CP6 正负极互相连接的二极管作为双向限幅器。两个 3DJ7F 构成二级发射门。利用场效应管作开关，其导通电阻低，夹断性能好，而且开关噪声低。平时 3DJ7F 的栅极处于负电位，发射门截止。当声控脉冲到达时，栅极处于零电位，于是门导通。输出级是一个 OTL 功率放大器。

声脉冲发生器的主要技术指标列于表 4。

表 4 声脉冲发生器的主要技术指标

参 数 名 称	量 值
输出脉冲幅度(连续可调)	0—1.9 伏
声脉冲宽度 τ (分两档)	100 毫秒, 200 毫秒
声脉冲周期(分两档)	3 秒, 6 秒
要求声控脉冲幅度(绝对值)	>2 伏
发生器输出阻抗	42 欧姆
发生器输出噪声	<120 微伏

选定这些指标的依据是：

(1) 输出脉冲的幅度必须足够大，使得功放输出功率符合系统要求。

(2) 脉冲宽度是考虑到声雷达空间分辨率和发射能量两个因素折衷处理的。脉冲宽度 τ 越大，发射总能量就越大，从而可以得到较强的回波。但脉冲宽度 τ 与高度分辨率 ΔH 之间的关系为

$$\Delta H = \frac{1}{2} c \tau$$

c 是声波在大气中传播的速度，若以 $c = 340$ 米/秒计算，令 $\tau = 100$ 毫秒，则 $\Delta H = 17$ 米。这就是说，若 $\tau = 100$ 毫秒，就不能对大气中尺度小于 17 米的结构加以分析。同时，在后面还要谈到， τ 的大小还影响声雷达的盲区。在本系统中，选择 $\tau = 100$ 毫秒和 $\tau = 200$ 毫秒。

(3) 声脉冲周期 T 实质上是确定声雷达向大气采样的频率。周期 T 同时又决定声雷

达最大探测高度 $H_{\max}$ 。这两参数间存在下列关系：

$$H_{\max} = \frac{1}{2} c T$$

若仍取 $c = 340$ 米/秒，则与 T 为 3 秒和 6 秒相应的最大探测高度分别为 510 米和 1020 米。

(4) 声控脉冲幅度是由发射门截止的要求提出的，使用不同的器件可能提出不同的要求。

(5) 输出噪声的来源在这里主要是放大器噪声和发射门开关时的脉冲噪声。由于采用了夹断性能良好的场效应管作为发射门，因此漏泄形成的噪声是很低的。但务必选用结电容小，栅-漏间绝缘电阻高的管子作发射门。使用 3DJ7 型管子，最好挑选栅-源绝缘电阻 $R_{GS} > 10^9$ 的管子(按产品指标，3DJ7 的 $R_{GS} \geq 10^7$)。

(二) 功率放大器和收发变压器

功率放大器用的是商品 JK-250 晶体管扩大机。它是 240 伏定压输出，输出功率 250 瓦。但我们使用扬声器的阻抗是 16 欧，所以必须用一个发射变压器加以匹配。同时由于本系统中扬声器又兼作接收换能器。为了提高接收灵敏度，还要加一个升压的接收变压器。升压比定为 10。这两个变压器绕在一起合成收发共用的变压器。设计要求如表 5：

表 5 收发变压器的技术要求

参 数 名 称	指 标
扩大机额定输出电压	240 伏
音圈阻抗	16 欧
扬声器要求馈送的功率	100 瓦, 150 瓦
变压器频响 (± 3 分贝处)	900—6000 赫
动态范围	24—240 伏
非线性失真	$< 1\%$
接收变压器升压比(或初次级匝数比 N)	10

(三) 低电平抑制器

低电平抑制器的功能在于大信号电平的电路中抑制小电平的噪声。在本系统中发射和接收部分是通过变压器直接耦合的。接收系统具有极高的灵敏度。它能将微伏量级甚至更小的讯号放大到足够的强度。而发射部分则是大讯号电平的。功放输出达到 240 伏(有效值)。而且收发变压器从发射端到接收端是升压的。因此发射机微小的噪声都会在接收机产生严重的，有时甚至是破坏性的干扰。例如声脉冲发生器的输出噪声只有 120 微伏。通过功放放大 340 倍以后就成了 95 毫伏。单这一项就足以使接收机严重过载。接收机接收的信号范围是 0.1—500 微伏。为了保证接收机正常工作，发射机发射脉冲时接收门是闭锁的。在发射停止后，接收门打开。这时必须使发射机处于“安静”的状态。低电平抑制器可以起到这个作用。

低电平抑制器的线路是很简单的。它是一对正负极互相对接的二极管(如图7)。由于半导体 P-N 结正向导通要求有 0.4—0.7 伏的导通电压,所以这对二极管组成的二端网络对大讯号来说,正、负半周都是导通的。但对低于 0.4 伏的信号却是不通的。图 8 画出了 GE1005 开关二极管的正向特性曲线。从曲线可看出,0.4 伏以下二极管的导通电阻是很大的。

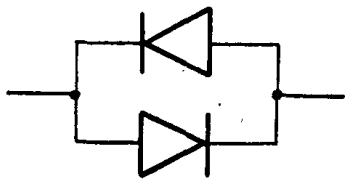


图 7 低电平抑制器

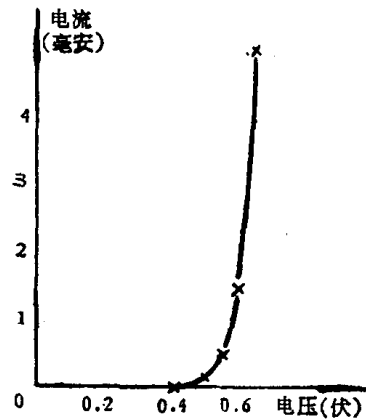


图 8 GE1005 正向特性曲线

低电平抑制器在原理上看来很简单,在使用上却不总是一用就灵的。其根本点在于要掌握噪声电平的大小。例如 JK-250 晶体管扩大机,其噪声电平为 -54 分贝(以 240 伏额定输出为 0 分贝)。这就是说噪声可达 480 毫伏左右。如果是正弦特性的噪声,其峰值可达 670 毫伏,如果是随机噪声,则脉冲峰值可大于 0.4 伏。这样直接在扩大机输出端接低电平抑制器是抑制不住噪声的。

如果象图 9 所示,将若干级低电平抑制器串联起来,则无疑可以提高抑制噪音电平的阈值。但一是元件太多,提高有限。二是随之而来对通的讯号也带来更大的失真。如图 10,通过低电平抑制器后,讯号的低电平部分被削去一段,从而产生失真。显然,如果讯

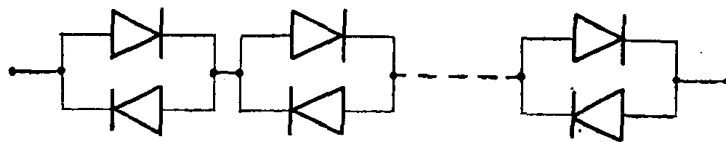


图 9 级联的低电平抑制器

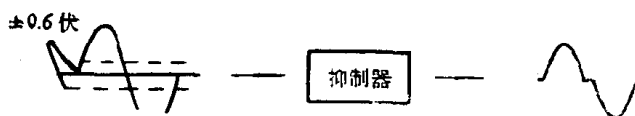


图 10 信号通过低电平抑制器时的失真

号比 0.6 伏大得多, 则失真是可以忽略不计的。如果是用 n 级低电平抑制器串联起来应用, 则这个阈值也将提高到 n 倍。

较好的解决办法是将低电平抑制器插入到线路这样一些节点上, 在这些节点上, 讯号幅度已够强而噪声电平还不超过抑制阀。这样使用低电平抑制器是最有效的。

在本系统中低电平抑制器是加在末级放大器输入端和扩大机输出端两个地方。有关部分线路图 (如图 11)。虚线框起的就是低电平抑制器。功放输出端的低电平抑制器不是加在紧靠扩大机的端上, 而是加在扩大机长的输出电缆的末端, 接近收发变压器的地方。这样可以将长电缆上感应的杂散电波也一并被抑制掉。

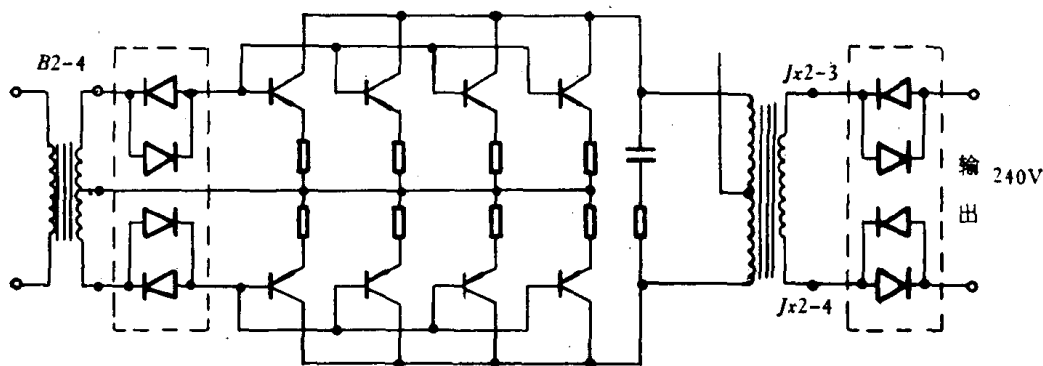


图 11 功放插入低电平抑制器的位置

四、接收机

声雷达测温系统的接收机部分可参阅图 1 方框图。从 6—15 共 10 个部件。4 和 5 是收发共用的。它包括了讯号的放大、选择、记录和系统控制。是本系统的重要部分。接收机最根本的任务在于要将讯号从背景噪声中分离出来。

对于声雷达系统, 噪声来源有两类:

一类是系统的电子噪声, 它包括放大器噪声、发射与接收门的开关脉冲噪声以及外界电子干扰噪声等。控制这类噪声的办法除了一般的屏蔽、隔离、滤波和选择适当的元器件外, 最根本的是要有一个低噪声的前置放大器, 将讯号电平提高到必要的程度。

通常放大器的输入噪声在音频范围大约是个微伏。丹麦 Type2107 频谱分析仪的输入噪声在 20000 赫带宽时约为 10 微伏, 在 3 分贝带宽仅为 6% 的选频情况下可达到 1—2 微伏。但是选用场效应管, 在适当的条件下, 可将输入噪声降到 1 微伏以下。若采用 10:1 的升压变压器, 等效输入噪声可降低到 0.1 微伏以下。这样就有可能接收到 0.1 微伏量级的信号。

另一类噪声源是声波噪声。环境噪声可以与回波一起进入换能器, 形成干扰信号的背景噪声。对抗这一类噪声有几种办法:

一种是采用隔音围墙将天线与外界环境噪声隔断。这样做的结果, 大约可将噪声降低一个量级。另一种是采用方向性好的天线。再一种是在线路中加滤波器, 尤其是高通滤波器。因为环境噪声的频谱主要在低频端^[3]。

秋田锦一郎^[6]的办法是从分析信号和噪声的幅度范围入手。设计出一种线路,使超过最大信号强度的那些干扰不能进入接收机(这样将喷气飞机和汽车发动机等强干扰排除了)。同时又从信号和噪声的频谱分析入手,选定讯号可能产生的频移范围。于是又将超过这个范围的那种宽带性噪声源(飞机、汽车发动机都是宽带性的)排除了。因此,他能在极强的环境噪声条件下使声雷达良好地工作。但是,据日本电波研究所统计,声雷达由于大风、下雨、强周围杂音和机器故障以致声雷达不能观测的时间在全年占 30%,而其它 70% 的时间声雷达都能正常工作^[6]。

(一) 前置放大器

前置放大器紧靠天线放着,从天线接收到的回波信号可以先在这里放大,并初步滤除噪声。因为是收发共用一个天线,所以在前置放大器上还必须带天线开关或其它保护装置。但是设计什么样的前置放大器? 提出什么样的指标才算合理呢?

(1) 首先必须是低噪声的。理论上是越小越好,但从技术实现可能性和整个系统的要求来说,输入等效噪声定 1 微伏较合适。因为前面还有一个升压 10 倍的接收变压器。所以等效输入噪声 1 微伏的前置放大器实际上可放大 0.1 微伏量级(在换能器输出端)的回波讯号。噪声更低一点当然好。但如果象环境噪音这样的噪声成分不能进一步压低,片面追求前置放大器的低噪声是没有意义的。

(2) 它必须具有高输入阻抗,因为前面采用升压变压器,阻抗是与匝数比的平方成正比的。最好能做到 1 兆欧左右。

(3) 要有足够大的动态范围,可能接收到的回波范围在 0.1—500 毫伏。所以至少要有四个量级的动态范围才能不失真地放大强度不同的各种讯号。在等效输入噪声已定为 1 微伏,放大系数若定为 100,那么就意味着最大的不失真输出必须达到 1 伏以上。

(4) 低输入阻抗。因为前置放大器后面要接几百米电缆,若输出阻抗高除易于引起振荡外,还易于引入外界干扰。估计做到 200—300 欧较合适。

(5) 放大器的频率特性最好是选频的。但是这样必须在前置放大器中加滤波回路,从而使方案复杂化。同时,本系统是一个实验性系统,很可能采用不同的声频,所以做成频响在 400 赫—10 千赫范围。

(6) 增益定为 100,太高则会减小动态范围,太低则不利于提高讯噪比。

(7) 应有强的过载能力。计算表明,在发射脉冲期间落到前置放大器输入端的电压高达 600 伏有效值。这样很容易将管子击穿。较好的办法是加天线开关,使发射时前置放大器断开,或输入端短路。

为了线路简单,我们只用一个限幅器保护前置放大器输入端,而用低电平抑制器消除发射机噪声。

前置放大器线路见附图 3,它的基本结构是二组负反馈放大器。第一组用两个低噪声高输入阻抗的场效应管 3DJ6F(或用 3DJ7F)。增益为 10。第二组信号电平较高,为防止在耦合电容上造成过载阻塞现象,采用两级直接耦合的负反馈放大器。负反馈降低了输出阻抗,又扩大了动态范围。增益也是 10,因为两组的增益都是由反馈电阻决定的,所以增益稳定性好。

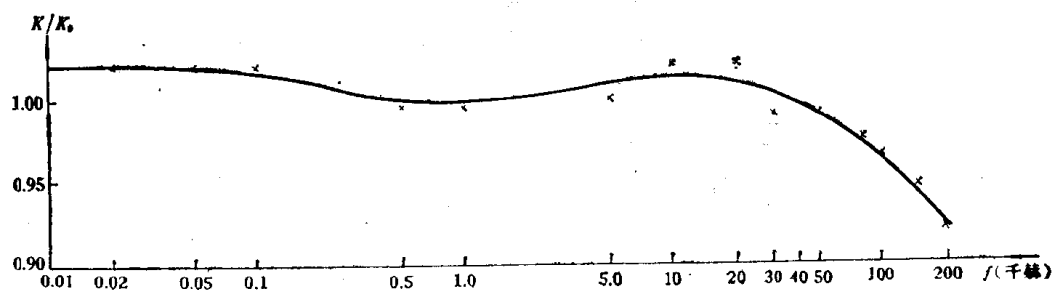


图 12 前置放大器的频率特性

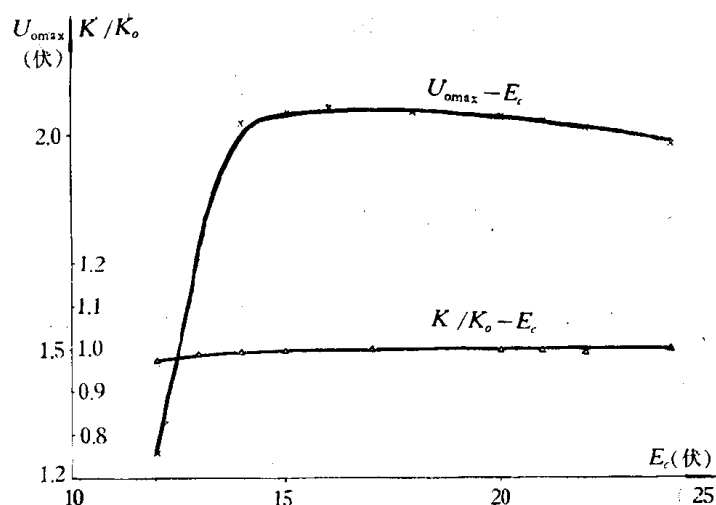


图 13 电源电压 E_c 对 K/K_0 和 U_{omax} 的影响

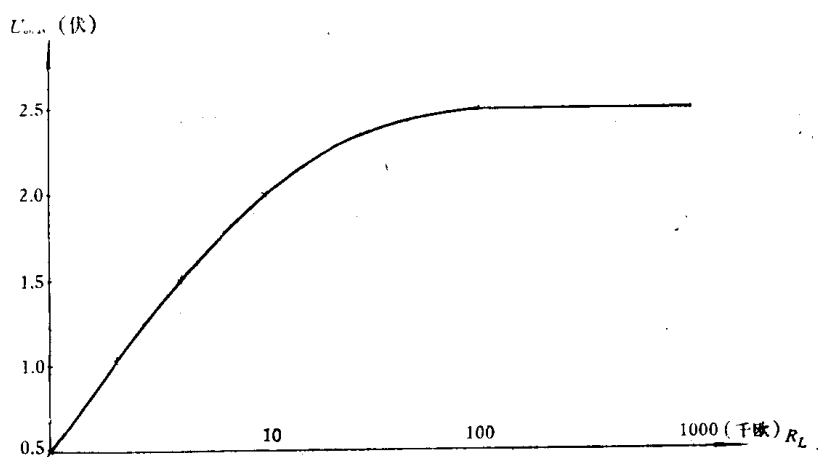


图 14 负载电阻 R_L 对 U_{omax} 的影响

输入端的双向限幅器可保证输入端电平不超过 0.6 伏(在外加电压达 600 伏时)。

放大器性能测试如下:

(1) 放大器的频率特性如图 12;

(2) 电源电压 E_c 对归一化增益 K/K_0 和最大不失真输出电压 U_{omax} 的影响如图

13;

(3) 输出阻抗 R_0 为 120 欧姆;

(4) 负载阻抗 R_L 对最大不失真输出 U_{omax} 的影响 (见图 14)。

这个放大器经过长时间的使用,性能是可靠的,能满足系统的要求,但它也有几个缺点:

(1) 耐过载能力不够理想,虽然由于限幅器的作用,放大器不会被发射脉冲击穿,但仍然能引起严重过载,从而引起阻塞现象。即由于过载产生基极电流(或基极检波)在耦合电容上积累过多的电荷。由于耦合电路时间常数都很大,所以一时来不及泄放,放大器就被截止。选择合适的时间常数可减轻这一现象,采用直接耦合的方法则可以完全克服这一缺点。

(2) 在电源电压 E_c 不足的情况下容易产生我们称之为“隔行扫描”的现象。即在工作过程中,前置放大器周期性地一次截止一次通过。使记录纸上可能出现一行有回波,一行无回波的现象。产生这现象的原因很可能由于 E_c 不足时容易产生前面所说的阻塞现象。但对这问题的解释还缺乏深入研究。

(二) 信号通道

信号通道的方框图如图 15 所示,它主要是将来自前置放大器的接收信号从发射脉冲和其它噪声的干扰中分离出来,并且,同时使信号进一步增强。它的主要部件是接收门、滤波器和放大器。线路原理图见附图 4。

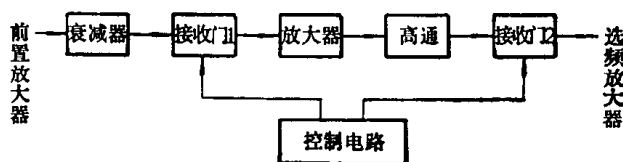


图 15 接收通道方框图

为了适应不同的频率,衰减器做成宽带的。分五档,每档按 1:1, 3:1, 10:1, 30:1 和 100:1 衰减。

接收门 I 在信号通道中是最关键的,因为信号虽然经过前置放大器的放大,在这里信号电平仍只有约 10 微伏的量级。因此,要求接收门 I 截止时漏泄的电压不超过 10^{-5} 。通导时信号衰减不超过 0.5。并且开关噪声绝对值不超过 10 微伏。最初曾试用干簧继电器,其开关特性是满足要求的,但开关噪声太大,引入相当强的感应,远超过 10 微伏。因此选用场效应管作开关,并采取下列措施:

(1) 在接收门前面预置一个由两个 2CK20D 组成的双向限幅器,把信号(包括发射干扰信号)电平限制在 0.7 伏以下。这样可对截止的要求降低一个量级。

(2) 选用截止特性好的场效应管。

(3) 选择串联门和并联门组合的线路如图 16 所示。当 T_1 的栅极加负电平时 T_2 的栅极加零电平,此时 T_1 呈高阻抗, T_2 为饱和导通。这时信号通不过,为截止状态。当 T_1 的栅极加零电平而 T_2 的栅极加负电平时, T_1 饱和导通而 T_2 截止。这时信号可以通过,呈导通状态。

由于在两个管的栅极上加的脉冲是大小相等,符号相反的脉冲,所以由开关脉冲漏泄