

# SWT-1型声雷达探测系统 数据自动采集与处理

胡景琳

(中国科学院大气物理研究所)

## 摘 要

本文介绍了我国自行设计的 SWT-1 型声雷达探测系统软、硬件设计的基本思路。

本文详细介绍了 SWT-1 型声雷达用户软件, 只需主机提供一个启动脉冲就可以实现对探测数据的连续自动采集, 实时处理, 屏幕三分量风廓线的直方图显示, 并打印出全风速与风向廓线, 湿度梯度值, 层间风速风向切变值以及相应的统计参量。

## 一、引言

声雷达探测系统是探测大气边界层的重要设备, 利用声回波信号的强度变化与多普勒 (Doppler) 频偏信号来研究边界层大气风场与温度梯度的变化规律, 从而深入研究大气边界层垂直结构和湍流的统计特性以及风切变等突变现象。此外还广泛用于污染扩散与环境评价研究。

从70年代开始, 美国、澳大利亚、法国等一些国家已普遍研制声雷达并投入实际观测使用。

1988年前, 我国曾从法国、美国分别购买过 Remetech、M2000、Xondar 等三种不同型号的多普勒测风声雷达, 实际使用效果, 尤其是探测高度与产品技术指标相差很远。由于微机提供数据处理软件与声雷达主机时序逻辑控制, 在不是非常熟悉全部软件与主机硬件相互交叉的细节时, 很难使声雷达运行在最佳状态。因此, 由微机提供声雷达主机固定的时序逻辑控制信号, 虽然可行, 但

实践证明并不可取, 目前 VLSI 器件和单片机完全可以很容易地满足各种时序逻辑控制的要求, 把软硬件交叉的复杂设计简化为简单的智能化设计, 降低了故障率, 易于运行维护与操作。

SWT-1 型声雷达探测系统就是根据上述思路由我国自己设计的测风 (W) 测温 (T) 声雷达 (S), 与主机配套的数据采集处理系统与用户软件组成了自动化运行程序, 实际探测使用效果很好, 由于 SWT-1 型声雷达探测系统的研制成功, 从而改变了购买国外声雷达而很难正常运行的局面。本文主要介绍 SWT-1 型声雷达数据采集处理系统与用户软件。用户软件的设计使 SWT-1 型声雷达探测系统全部实现了自动化控制, 从而使 SWT-1 型声雷达探测系统的研制达到了现代化设备的要求。可供使用与维护声雷达的科技人员参考, 也可用于对引进声雷达软件的改进, 使之能处于最佳运行状态。

## 二、SWT-1型声雷达探测系

### 统的结构与基本工作原理

SWT-1型声雷达探测系统的主要功能是探测大气边界层1000—1300m范围内不同高度上的温度梯度和风向值,并获得相应的温度廓线,风速廓线,有关的统计参量和频谱。

#### 1. SWT-1型声雷达探测系统的结构

SWT-1型声雷达探测系统主要由以下三个部分组成:

(1) 声天线与传感器:完成声脉冲的发射与声回波信号的接收并降低周围环境噪声对传感器的影响。

(2) 声雷达主机:按分时方式发射与接收声信号,检测声信号的Doppler频偏和温度梯度,产生各种时序控制信号。

(3) 数据处理装置:由A/D接口与PC/AT-286微机组成。

#### 2. 锁相跟踪滤波方案

目前检测声雷达回波Doppler频偏的基本方法分为时域信号分析与频域信号分析两类。在时域分析中常用的是锁相环PLL,在频域分析中常用的是快速傅里叶变换FFT,采用PLL虽然能降低信噪比,但有失锁现象存在,而FFT是一种在频域中提取Doppler频偏的有效方法,遗憾的是,它不能改善对信噪比的要求。我们研制了一种高性能的微弱信号检测方法,即跟踪滤波锁相方法PLTF,采用这种方法,既克服了PLL的失锁现象,又降低了对信噪比的要求,更为重要的是这种方法能获得连续的Doppler频偏波形,供微机进行灵活的高度分层处理,从而提高了精度和频谱的细致化。

### 三、数据自动采集与处理用户软件

SWT-1型声雷达探测系统用于研究大气边界层物理及环境污染。为使整套系统运行能获得研究大气边界层中所需基本参数,

必须有相应的用户软件支持。

SWT-1型声雷达探测系统的数据采集与处理,是由MS-1215A/D数据采集输入接口、IBM-PC/AT-286微型计算机、控制台、显示器、M1724快速宽行打印机以及自行研制的用户软件——SWT-1型声雷达探测系统的自动控制与处理程序所组成。设备框图如图1所示。

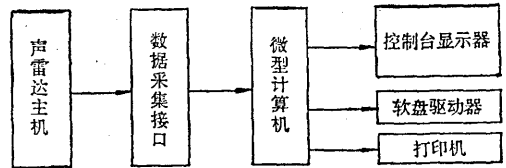


图1 SWT声雷达数据处理设备框图

该微机字长16位,内存1M字节,配有1.2M字节与360k字节的5英寸软盘驱动器,硬盘驱动器为20M。系统软件为MS DOS ver.3.0。该微机内存容量大,运算速度快。实时数据采集统计处理结果由快速宽行打印机绘出硬拷贝。

选用MS-1215接口板可在IBM-PC/AT或IBM-PC/XT等兼容机上运行。该接口板备有16路模入通道,2路模出通道。转换位数为12位,输入电压范围有 $\pm 5v$ 和0—10v两种,转换时间最长40 $\mu s$ ,精度 $\leq 0.25\%$ 。A/D启动方式,可采用程序启动及硬件外触发启动。MS-1215接口板的上述性能为SWT声雷达探测系统的数据采集提供了一个合适的硬件环境。

我们研制的用户软件——SWT-1型声雷达探测系统的自动控制与处理程序,采用了人机对话的方式。根据SWT-1型声雷达设备发送的脉冲信号,对整个SWT-1型声雷达系统进行运行控制和采集、处理数据,并设置了特殊功能键——停止运行键。在执行采集程序时,只要按照观测人员回答的有关问题,如:输入观测时间(年、月、日、时、分、秒)及输入声雷达探测系统主机设

定的采样周期等,就可对SWT-1型声雷达探测系统进行控制、自动采集数据并进行分析处理,打印出观测结果。程序可使整个系统连续采样及实时处理数据资料,打印观测结果表格、风速、风向、温度梯度廓线,显示风速廓线。观测人员要停止观测,只需按一下F8功能键,即可停止采集与处理,退出控制与处理程序。软件的设计是面对用户的,操作简单,使用方便。经过一段时间的使用,达到了预期的效果。程序长度为8k字节,采用BASIC语言编写。程序包括以下几个部分:数据采集、实时数据统计处理、以彩色直方图的形式显示风速廓线及打印水平平均风速、风向、温度梯度廓线。

### 1. 数据采集

SWT-1型声雷达探测系统在启动脉冲的控制下,按照图2框图工作。数据传送的时序如图3所示。

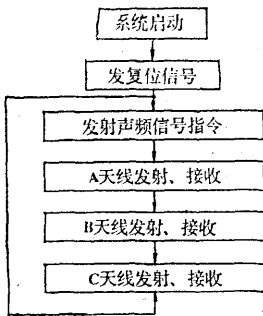


图2 SWT声雷达系统工作流程图

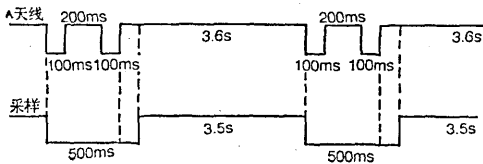


图3 SWT声雷达数据传递时序图

SWT-1型声雷达主机送入MS-1215接口板的信号有,启动控制脉冲(即标志启点发射从A天线开始轮换)、门脉冲信号、天线的回波信号及极性信号。

程序首先根据SWT-1型声雷达发射的

启动脉冲信号,其次根据门控脉冲信号,自动控制数据采集必须从A天线开始,然后接收A天线发送给微机的数据,由A天线的极性脉冲信号,得知风的方向,读取A天线的的数据资料,再由门控脉冲信号,依B、C次序自动控制,采集方法如上述A天线,分别读取B、C天线的的数据资料。读取完后,再根据SWT-1型声雷达发射的启动脉冲信号等,按三天线(A→B→C)顺序轮流接收三天线的的数据资料。程序可确保每次数据采集的启始点是按照天线的轮换顺序采集的。MS-1215接口板能使微机一次就能得到一个完整的数据,提高了采集数据的速度。数据采集完毕之后,等待实时数据统计处理。程序自动记下本次采集的开始及结束时间。采样的日期、时间全部利用微机现有的软时钟,使得SWT-1型声雷达探测系统主机设备不需要考虑硬件时钟的设计。

### 2. 实时数据统计处理

SWT-1型声雷达探测系统为了适应流动观测的需要,设计成车载单点式的,信道分时工作,信号在信道中各占1/3帧时间,天线自动切换,信号经电缆送至主机。

单点探测方式的天线通常按照直角坐标在垂直方向、互相正交的两个平面上倾60°方向各置一个天线,如图4所示。

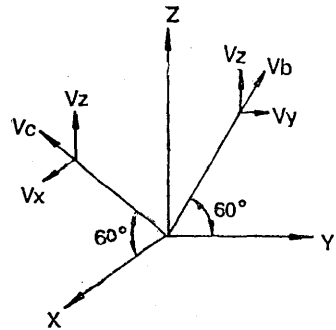


图4 三分向风矢量图

风速分量的计算公式如下:

$$\begin{cases} V_x = (v_c - v_A \cdot \sin \theta) / \cos \theta \\ V_y = (v_B - v_A \cdot \sin \theta) / \cos \theta \\ V_z = v_A \end{cases}$$

$$\begin{cases} v_A = -\frac{v}{2} \cdot \frac{f_{dA}}{f_A} \\ v_B = -\frac{v}{2} \cdot \frac{f_{dB}}{f_B} \\ v_C = -\frac{v}{2} \cdot \frac{f_{dC}}{f_C} \end{cases}$$

水平风向计算公式为： $\theta = \text{tg}^{-1} \frac{v_A}{v_B}$

式中， $v$  是大气层散射体的运动速度； $f_{dA}$ ， $f_{dB}$ ， $f_{dC}$  分别为天线 A、B、C 三分向各自的 Doppler 频偏； $f_A$ ， $f_B$ ， $f_C$  分别为通过天线 A、B、C 发射声信号的频率。只要分别测得  $f_{dA}$ ， $f_{dB}$ ， $f_{dC}$  就可求得  $v_A$ ， $v_B$  与  $v_C$ ，因为  $\theta = 60^\circ$ ，故风场计算公式完全可解。程序根据上述基本公式经数据统计处理可得到风速、风向等结果。

SWT-1 型声雷达探测系统的自动控制与处理程序，将每次采集的数据存贮在一个多维数组中，把数据按高度实时处理成风速分量等，处理的结果打印列表及存入磁盘，为将来检索资料提供了方便。处理过程中，我们进行了三个发射接收天线倾斜放置引起的高度修正。X、Y、Z 三方向风速、风向统计特征。

### (1) 天线倾斜放置引起的高度修正

如图 5 所示，A 路径和 B 路径在  $t_i$  时刻接

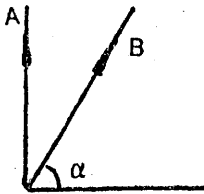


图 5 天线倾斜示意图

收到的回波分别对应  $H_{A, i}$ 、 $H_{B, i}$ 。  $H_{A, i}$ 、 $H_{B, i}$  必不在同一高度上，须进行坐标转换才可统一到一定的高度上，即

$$H_{A, i} \in [H_{B, j} \cdot \sin \alpha, H_{B, j+1} \cdot \sin \alpha]$$

设 B 路径探测量  $v_B$  在  $H_{A, i}$  高度线性坐标为  $v_{B, i}$ ，则有下式：

$$v_{B, i} = \frac{v_{B, j+1} - v_{B, j}}{H_{B, j+1} \cdot \sin \alpha - H_{B, j} \cdot \sin \alpha} \cdot (H_{A, i} - H_{B, j} \cdot \sin \alpha) + v_{B, j}$$

### (2) 谱统计量计算

X、Y、Z 三方向平均速度可表示为：

$$v = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i$$

$$\text{标准差: } \sigma_v = \left[ \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (v_i^2 - \bar{v} \cdot N) \right]^{1/2}$$

平均水平风速记为：

$$\bar{v}_H = (\bar{v}_X^2 + \bar{v}_Y^2)^{1/2}$$

平均水平风向记为：

$$\bar{\theta}_H = \text{arctg} v_Y / v_X$$

同时进行象限修正，使得风向分布为  $0^\circ$ — $360^\circ$  之间。还计算了水平风向的标准差，以及相邻两层间的风向、风速切变。

程序实时处理打印列表的处理结果有以下基本统计量：

垂直相对高度 HT (m)；南北风速分量 NS ( $m \cdot s^{-1}$ )；东西风速分量 EW ( $m \cdot s^{-1}$ )；垂直风速  $v$  ( $m \cdot s^{-1}$ )；温度梯度 TB；垂直风速标准差 SD ( $m \cdot s^{-1}$ )；水平平均风速 MAG ( $m \cdot s^{-1}$ )；水平平均风向 DIR (度)；风向标准差 SDD (度)；相邻层间风向切变 DELM；相邻层间风速切变 DELD 等。

### 3. 绘图功能

SWT-1 型声雷达探测系统的自动控制与处理程序，对数据的自动采集与实时数据统计处理之后，在显示器上显示南北、东西及垂直风速的廓线。在中分辨率 ( $320 \times 200$ ) 彩色图形方式下绘图。把屏幕分成三部分，按探测高度由高到低竖向排列，分别用彩色

直方图的形式描绘出三风速的廓线。并选用红、黄、绿三种颜色区分三风速廓线，每一风速分量显示30层，这样可直观地看到现场观测结果的廓线资料。

彩色直方图的绘制显示，只能在显示器上观看到，由于M1724打印机的限制，不能将绘制的彩色直方图记录在打印纸上，为此在自动控制与处理程序中，增设了专门为打印机绘制水平平均风速、风向及温度梯度廓线图的程序，这样在观测结束时或者观测过程中，就可以得到实时数据统计资料或廓线资料的硬拷贝。由于打印机不能象绘图仪及显示器上那样灵活地绘制各种曲线，打印机每走一行就不能再返回，为了使两张图形绘制在同一张打印纸上，将同一高度的数据，按照预先设计好的格式，同时绘制出两个图形的廓线。由于打印机的限制，图形不可能

十分精确，我们在软件设计上，尽可能使绘制的廓线平滑，不失去原始资料的真实性。这样所绘制的图形，可以得出风随高度的分布和随时间的变化，为研究大气边界层提供了基本资料。

程序框图如图6所示。

#### 四、结 语

SWT-1型声雷达探测系统用户软件，可实现自动控制、数据采集与实时数据统计处理、绘制廓线，使整个系统连续工作，使SWT-1型声雷达探测设备适用于海上和各种观测现场，并能在现场直接获取探测风速等结果。利用软件延时，解决了由于门控脉冲信号上升缓慢而造成的部分数据失真的情况，从而保证了观测资料的可靠性，提高了整个系统的实用价值。

此外，还可根据用户的不同要求，对用户软件进行开发实际各种谱的分析计算。

#### 参考文献

- (1) SWT-1型声雷达探测系统——研制方案，实验样机，中国科学院大气物理研究所。
- (2) 熊小芸、于允贤，信号检测中的V-F-BCD变换电路，电子科学技术，1988，第10期。
- (3) 陈景南、李诗明，测风声雷达数据自动采集与处理系统，气象，1986，第2期。
- (4) MS-1215模入模出接口软硬件用户手册，北京计算机配件五厂。
- (5) 周明德等编，微型计算机IBM-PC (0520) 系统原理及其应用，清华大学出版社。

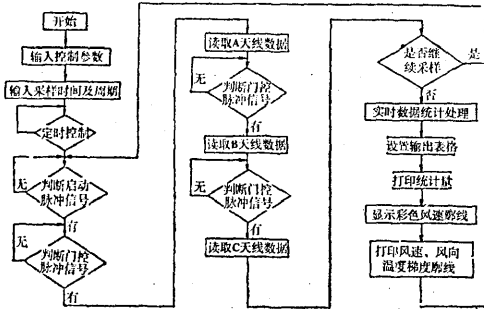


图6 SWT声雷达探测系统程序框图

## Auto data acquisition and processing in SWT-1 type sodar probing system

Hu Jinglin

(Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica)

### Abstract

In this paper, the basic design idea of software and hardware of SWT-1 type sodar probing system, made in our country, is described. The user software of SWT sodar is also described more detailedly here. Continuous auto-acquisition and real-time processing of probing data and screen display of three-dimension wind profiles form of histogram could be realized. Moreover, the profiles of total wind speed and wind direction, the values of temperature gradient, the wind speed and direction shear in the strata, and the relative statistical parameters, etc. could be printed out.