

## 320米气象塔的自动遥测系统\*

李兴生 郑达洲 张卫华 吴家麟 朱晋钊\*\*

(中国科学院大气物理研究所)

### 提 要

本文重点介绍北京320米气象观测塔上进行平均场垂直梯度测量的自动化设备,并介绍各层安装的风向、风速、温差以及地面温度仪等的性能。塔上大量数据输入两种自动化处理系统。一种是将各层平均风向、平均风速、温差以垂直廓线的形式记录在电子电位差计上;另一种是将上述瞬时资料以及其它快速感应信号送入DJS-130电子计算机进行处理。

### 一、引 言

用气象塔或其它现成塔进行大气边界层物理的测量研究和大气污染观测研究,是一种精度较高的直接探测方法,它具有时间连续、垂直方向同步、全天候和多用途等优点。目前,国内外大多用来研究大气边界层的结构和大气环境监测;直接探测仪器和遥感仪器的对比以及强天气的低层结构研究等;在军事上用来研究低层爆炸波的传播及预报,核火箭试验的扩散预报,地下核试验以及特殊沉降物和悬浮物的影响等等。

大气边界层物理的研究,要求塔上测量仪器的精度较高,要素较多,为了达到该目的,目前用于塔上的感应器种类较多<sup>[1]</sup>。另外,塔上测量数据的大量输出,要求数据处理系统和记录系统具有较高的自动化。目前,有利用大量记录器记录各要素瞬时值的<sup>[2]</sup>,但较多采用快速电子计算机进行处理<sup>[3,4]</sup>。我们采用的办法是将测量到的数据通过屏蔽电缆传输给两种数据处理系统:一种是通过自动程序控制采样装置将各类测量信号以廓线形式分别记录在几台自动平衡电子电位差计上;另一种是由巡回检测、模数转换装置将各类测量信号以瞬时量直接输入DJS-130小型快速电子计算机进行处理。

目前在320米气象塔的各高度上安装的测量仪器有:风向、风速、各层之间的温差以及地面绝对温度,此外,在有些层次上,装有湿度、垂直速度、超声脉动风速仪等,后者感应器的性能本文不作赘述,以后将另文介绍。地面还设有常规气象要素观测站。

### 二、观测塔 的 概 况

320米气象塔位于北京德胜门外马甸附近。塔基拔海49米,塔身是上下一致的等边三角形,边长2.7米,钢管结构,通风性能良好,每层装有平台,塔中间设有可供二

\* 本文于1979年8月30日收到,1980年1月15日收到修改稿。

\*\* 参加平均场仪器的协作单位有上海气象仪器厂,参加具体工作的还有郑淑珍、潘水泉、张炳根、张云龙等同志。

人上下的电梯(图 1)。

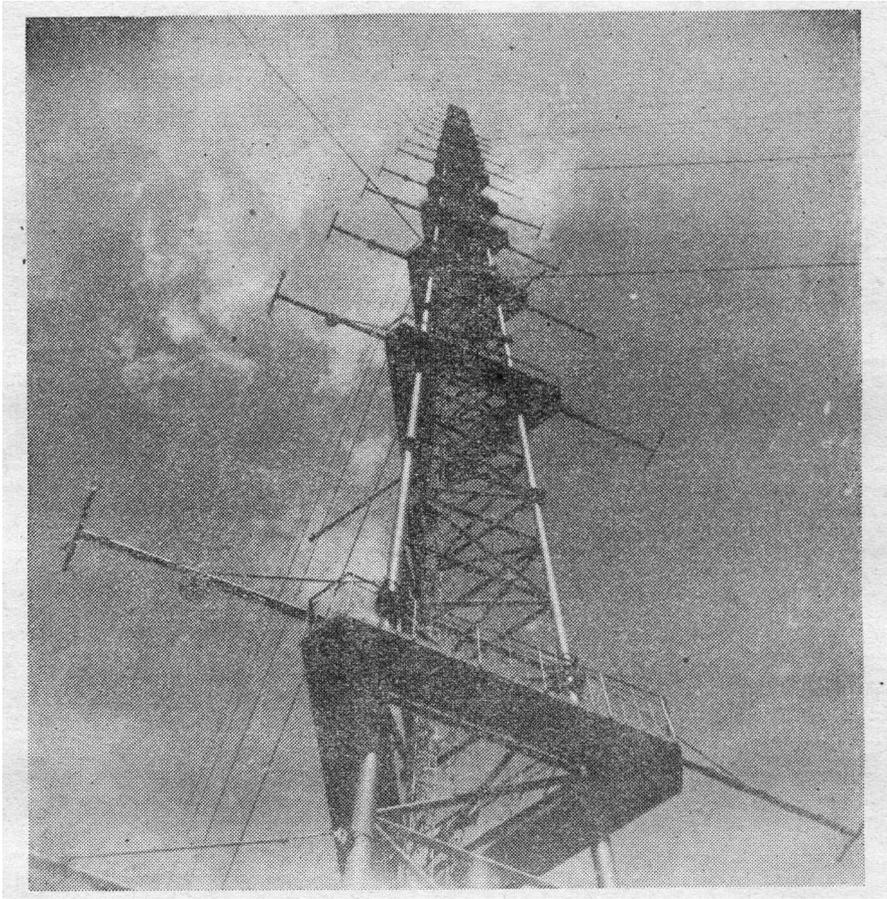


图 1 320 米气象塔的外形结构

风向、风速、温差等感应器安装在离地面 8,15,32,47,65,80,102,120,140,160,180,200,240,280 以及 320 米等十五层高度的活动伸臂上。塔体对测风感应器有影响<sup>[6]</sup>，为了减小和克服气流通过塔体造成的绕流对测风感应器的影响，我们将 320 米气象塔的塔体模型在风洞里进行了实验，风洞实验结果表明<sup>[6]</sup>：气象受塔体的影响和测风感应器距塔体的位置有密切的关系(图 2)，当风感应器距塔体的距离( $R$ )是塔体边长( $D$ )的二分之一倍和一倍时，塔体下风方造成的尾流角在  $70^\circ$  左右，尾流区风速减小 50% 左右，塔体两侧风的加大值可增加 10%，最大达 20%。当风感应器距塔体的距离是塔体边长的一倍半和二倍时，塔体下风方造成的尾流角在  $50^\circ$  以内，尾流区风减小 30% 左右，塔体对来流  $180^\circ$  圆弧内的风速无明显影响，另外  $180^\circ$  圆弧上最大风速增量约 5%。因此本测量塔的每一层设有二个活动伸臂，每个伸臂长 4 米，位于西北、东南方向，与北京常年气候统计的最多盛行风向一致。在地面上还有一台绝对温度测量仪及温差仪。

风向、风速、温差等感应器的外形结构及其在伸臂上的架设位置见图 3。

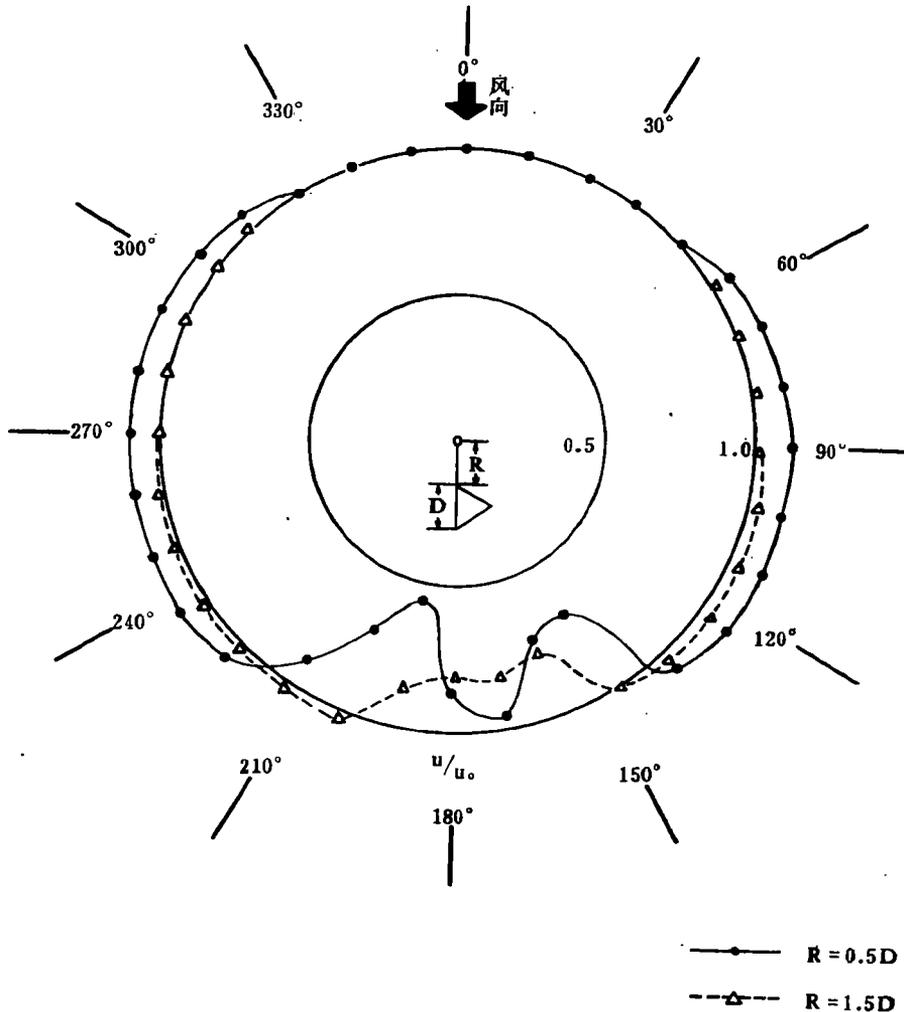


图 2 塔体对风速测量的影响

### 三、感应器性能

1) 风速仪：采用铝制三杯式感应器，风杯直径为 60 毫米，转臂长 90 毫米，风杯和一个齿盘同轴，齿盘外沿开有等距离的 24 个齿口，盘的两侧装有光源及光敏晶体二极管，当风杯带动齿盘旋转时，光路断续导通，齿盘每转一周，发出 24 个光脉冲，通过光敏晶体二极管及射极耦合触发器，把光脉冲变换为电脉冲。风杯的转速和风速在 0—50 米/秒范围内的关系，经风洞多次试验证明，二者成线性关系<sup>[7]</sup>。风速感应器之间的一致性亦较好。在风洞中还进行了风杯的惯性试验，测量了风杯的距离常数<sup>[8]</sup>。首先给定某一风洞风速  $V_1$ ，用小棒将风杯停住，待风速稳定后，迅速把小棒收回，风杯开始旋转，此刻同时打开快速光点记录器，将波形记录下来，在波形曲线上找出等于风洞风速  $V_1$  的 63.2% 所对应的时标  $T$ ，由风速  $V_1$  乘以时标  $T$ ，得到本风速仪感应器的距离常数约为 4 米左右。

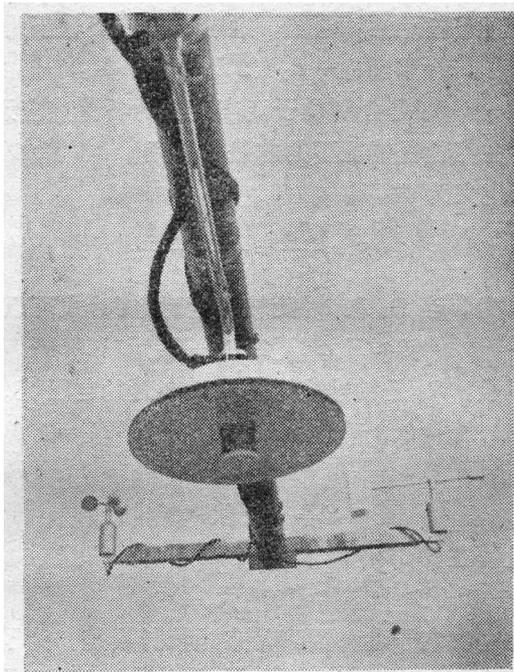


图 3 风向、风速、温差感应器外形及其在伸臂上的架设位置

风速感应器的起动风速为 0.4 米/秒, 测量范围 0.4—50 米/秒, 测量精度为  $\pm(0.2+0.02 \text{ 实际风速})$ 。风速感应器在恒温箱中从  $-60^{\circ}\text{C}$ — $+50^{\circ}\text{C}$  范围内测试, 其输出波形和工作状态正常。

2) 风向仪: 采用双片楔型铝制尾翼风向标, 风标全长 47 厘米, 风标轴和特制电位器的活动臂同轴, 因此, 风向用电位表示

$$\hat{\theta} = f(V) \quad (1)$$

电位器的结构和一般三端式不同, 因为, 三端式电位器造成风向在  $360^{\circ}$  处经常出现不连续, 为了避免此缺陷, 这里将胶木圆环上的漆包镍铬丝绕成两组约 5 千欧的电阻, 活动触点采用  $\phi 0.8$  毫米左右的五元合金, 用弹性铜片和转轴相连。 $360^{\circ}$  的电位器等分为两半, 每一开口端子均与压控电路控制的稳压源相连, 由此将风向方位的测量连续地扩展到  $720^{\circ}$ , 使记录有较佳的连续性。

风向感应器的惯性一般用风标的阻尼比<sup>[9]</sup>表示: 给定一风洞风速, 调整风标与电位器的相对位置, 使记录幅度位于记录纸的中部, 然后拨动风标, 使与风的来向成  $20$  度左右。待风速稳定后, 释放风标, 记录纸上即画出振荡的阻尼曲线, 阻尼比可以定义成

$$h = \frac{\theta_2}{\theta_0} = \frac{\theta_3}{\theta_1} \quad (2)$$

其中  $\theta_0, \theta_2, \theta_1, \theta_3$  是阻尼曲线相邻波峰 (及波谷) 的振幅。测试结果表明<sup>[7]</sup>, 风向感应器的阻尼比约为 0.3。

风向感应器的起动风速为 0.4 米/秒, 测量误差小于  $\pm 5^{\circ}$ 。

3) 温差仪: 这里采用差动式测两高度间温差的桥路形式<sup>[10]</sup>, 为了提高桥路输出的

灵敏度,四个桥臂都接上感应元件铂电阻,这时电桥输出电压为

$$e = E_s (R_1 - R_2) (2R_s + R_1 + R_2)^{-1} \quad (3)$$

其中  $E_s$  是电源电压,  $R_1$ 、 $R_2$  是分别位于两高度上的桥臂感应元件,  $R_s$  是限流电阻,并用来改善不平衡电桥在宽量程情况下的非线性作用。

电桥的灵敏度可以定义为

$$S = \frac{de}{dT} = \frac{\partial e}{\partial R_i} \frac{dR_i}{dT} \quad (4)$$

如果  $R_i = R_0(1 + \alpha T)$ , 当  $R_1$  和  $R_2$  比较接近时, (4) 式可以改写为

$$S \approx E_s \alpha R_0 [2(R_s + R_1)]^{-1} \quad (5)$$

其中  $\alpha$  是铂电阻温度系数,  $R_0$  是铂感应元件在  $0^\circ\text{C}$  时的电阻值。

如果取  $E_s = 12$  伏,  $R_s = 2.3$  千欧,  $R_0 = 100$  欧,  $R_1 = 100$  欧,  $\alpha = 4 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  代入 (5) 式后得

$$S \approx 10^{-3} \text{ 伏}/^\circ\text{C} \quad (6)$$

测量要求温差的量程在  $5^\circ\text{C} \geq |\Delta T| \geq 0.1^\circ\text{C}$  以内, 根据 (6) 式的灵敏度估计, 电桥输出的量程范围为  $5 \times 10^{-3} \text{ 伏} \geq |\Delta T| \geq 10^{-4} \text{ 伏}$ 。

电桥的测量精度完全决定于各种因素带来的累计误差, 为了保证 320 米气象塔两层最大距离间的温差精度在  $0.1^\circ\text{C}$  以内, 引文 [11] 对上述线路可能带来的误差因子作了详细的分析, 理论计算和实验表明, 本电桥的测量精度可以高于  $0.1^\circ\text{C}$ 。

各感应器之间采用引文 [10] 中的八线补偿法。铂电阻感应器置于电机通风的防辐射罩内。

4) 地面温度仪: 这里采用引文 [12] 中的不平衡式测温桥路, 为了提高测量电桥的灵敏度, 在桥路中用两个铂感应器作为电桥对边的两个臂, 另两个臂用温度系数很小的固定电阻组成。为了克服电桥的非线性输出, 我们在桥路中引入一个固定电阻  $R_s$  以及一个热敏电阻  $R_t$ , 它们一方面起限流作用, 另一方面起克服非线性作用。为了简化起见, 假定  $R_t = (R_x - \kappa t)$ ,  $R_t$  是热敏电阻在温度  $t$  时的阻值,  $R_x$  是  $0^\circ\text{C}$  时的阻值,  $\kappa$  是热敏电阻随温度的变化率。其输出公式为

$$e' \approx E_0 \frac{\alpha R_0 t}{2(R_s + R_0)} \left\{ \left( 1 - \frac{R_x}{R_s + R_0} \right) + t \left( \frac{\beta}{\alpha} + \frac{\kappa}{R_s + R_0} - \frac{\beta R_x}{\alpha(R_s + R_0)} - \frac{\alpha R_0}{2(R_s + R_0)} \right) \right\} \quad (7)$$

其中  $E_0$  为电源电压,  $R_0$  是铂电阻在温度零度时的阻值, 即:  $R_1 = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2)$ ,  $R_1$  是铂电阻在温度  $t$  时的阻值,  $t$  是相对温度,  $\alpha$ ,  $\beta$  是铂电阻温度系数。

为了使电桥的输出电压和温度的变化成线性关系, 则 (7) 式中必须满足

$$\kappa = \frac{1}{2} \alpha R_0 + \frac{\beta}{\alpha} R_x - \frac{\beta}{\alpha} (R_s + R_0) \quad (8)$$

电桥的灵敏度根据 (4) 式得

$$S_1 \approx E_0 \frac{\alpha R_0}{2(R_s + R_0)} \left( 1 - \frac{R_x}{R_s + R_0} \right) \quad (9)$$

如果取  $E_0 = 6$  伏,  $\alpha = 4 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ,  $R_1 = 100$  欧,  $R_s = 2247$  欧,  $R_x = 50$  欧, 则

$$S_1 \approx 5 \times 10^2 \text{ 微伏}/^\circ\text{C} \quad (10)$$

引文 [12] 对上述线路可能带来的误差因子作了详细的分析, 理论计算和实验表明,

本电桥的测量精度可以高于  $0.1^{\circ}\text{C}$ 。

这里采用的感应元件是北京玻璃研究所试验厂生产的玻璃铂电阻, 型号 WZB, 其滞后系数在升温时为 45 秒, 降温时稍大, 约 1 分钟左右。

#### 四、信号自动检查和检测

十五层风向、风速、温差及地面温度共计有 76 道输出信号, 经多股绞合屏蔽电缆输入数据处理系统, 这些信号除考虑同时性外, 主要要求正确可靠, 本系统对风向、风速、温差通风电机备有信号自动检查装置。

1) 每一路风速变换器输出的脉冲经电缆送至频压转换电路, 该电路包括射极耦合触发器, 限幅器及泵电路。射极耦合触发器的作用是把经过电缆传输后畸变了脉冲整形, 由于输入泵电路的脉冲幅度要求稳定, 所以在泵电路前设置一级限幅器, 泵电路是本变换器的核心部份, 起变频转换作用, 其线性度较好。

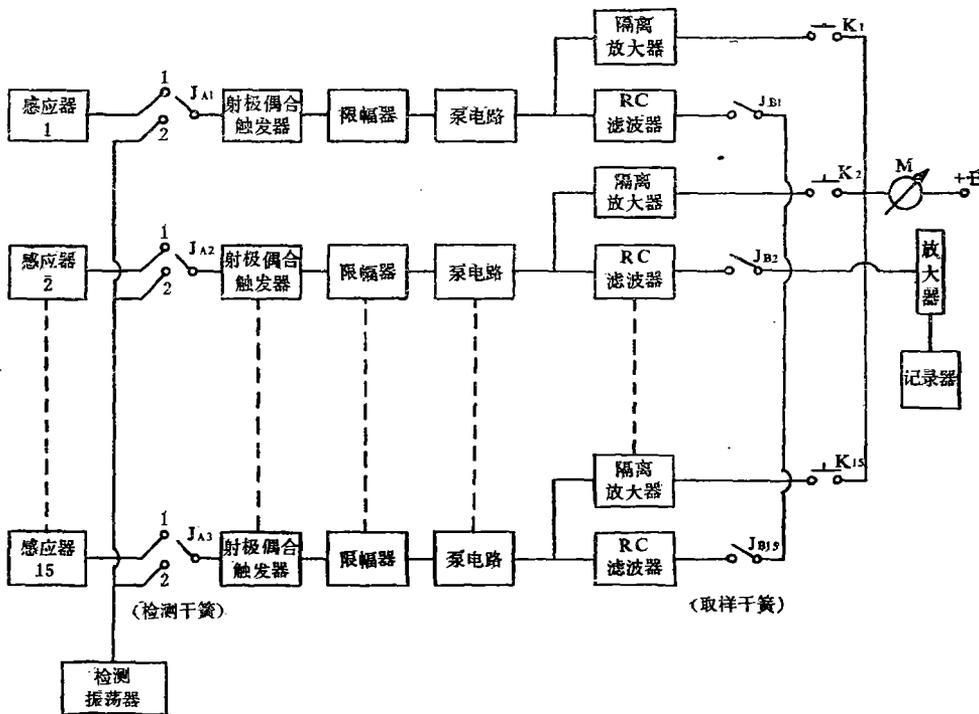


图 4 风速自检框图

十五路风速信号从感应器至数据处理系统, 首先通过检测转换干簧继电器(图 4), 利用它可以断开各路感应器, 并将各路频压转换线路接到检测振荡器上, 依次检查各路的工作状况, 调整输出的一致性, 进行精度校正等。利用此检查装置很容易将感应器和测量线路的故障区分开来, 可以及时发现有故障的通道及部位。

经检查过的十五道工作线路, 通过检测干簧继电器与感应器连通, 十五路风速信号通过相应的十五个频压转换电路、隔离放大器输出, 送至计算机处理系统中去; 十五路

信号由另一路经阻容滤波器平滑使信号在某一采样时间内同步，然后送入自动程序控制采样器按一定次序采样，使十五个通道变为单通道，由此只需用一个隔离放大器和一个模拟记录器记录 320 米的风速廓线。

2) 十五路风向电位器上的电位要求精确。每个风向电位器从零度到 720 度范围内，四个端子的电位都要变换一次，也就是说，每个电位器必须保证八个电位永久精确。十五路风向电位器共有 120 个电位，只有自动化测量才能达到迅速准确的要求。为了节省设备，简化线路，这里利用数据处理系统中的自动程序控制采样器以及自动平衡电子电位差计，再附加一些干簧继电器来构成风向检查装置(图 5)。当按下风向检测按键时， $J_A$  和  $J_B$  干簧均动作， $J_A$  接端子(2)，从而使放大器及压控电源的输入端经  $R_2$  接地，也即零电位。 $J_B$  接端子(2)，就把经由四个 15 刀单掷互锁式按键开关  $P$  选择得的压控电源送到程序控制采样器。当按下  $P_1$  键时，十五路压控电源的  $V_1$  接到采样器，按下  $P_2$ ,

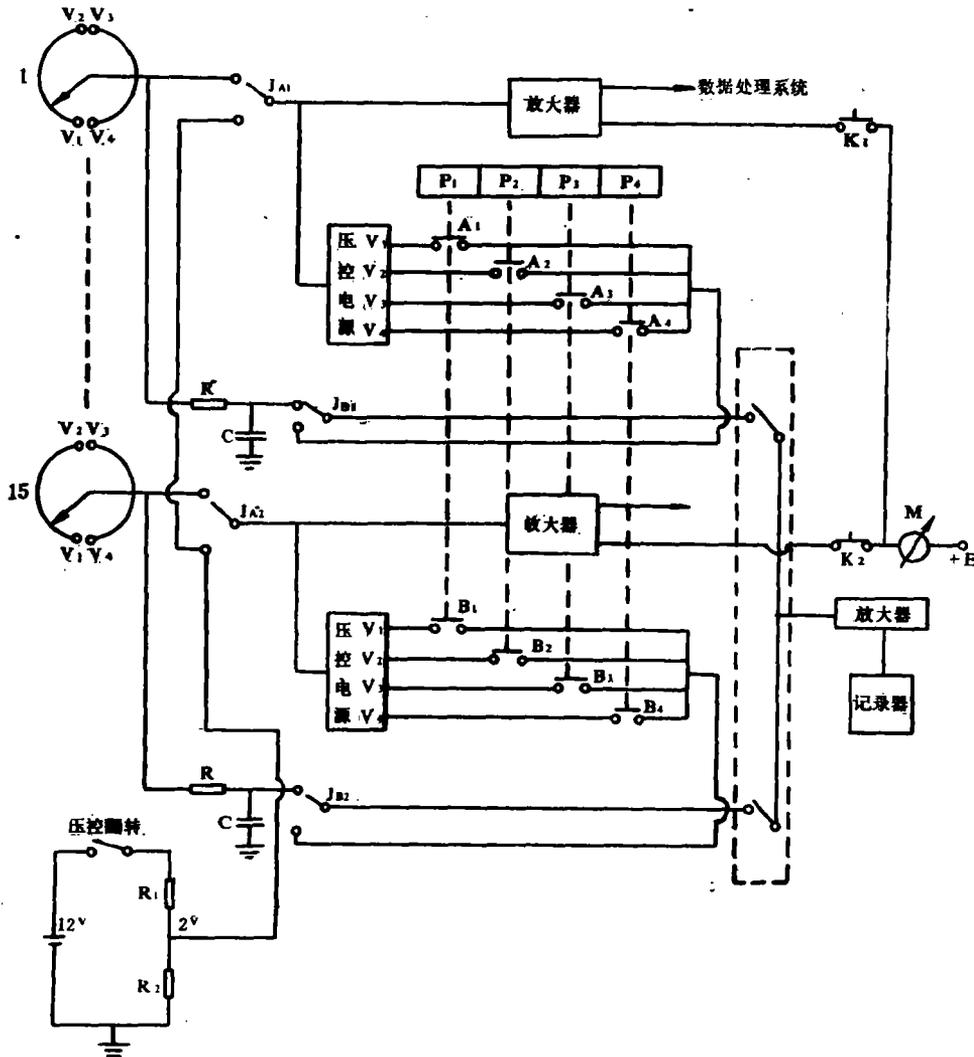


图 5 风向自检框图

则十五路压控电源的  $V_2$  送入控制采样器，因此分别按下  $P_1-P_4$ ，便可检测  $V_1-V_4$ 。由于采样器把十五个相同的电位送入记录器中，因此，如果各路压控电源工作正常，则所得的记录将成一直线，这样可以很容易发现问题所在。此时，因压控电源的输入为零电位，故压控开关均不动作， $V_1, V_2, V_3, V_4$  分别为 0, 0.6, 0.6, 1.2 伏。若按下压控翻转按键，则放大器及压控电源的输入端有 2 伏电压。因此，压控开关均动作，此时  $V_1, V_2, V_3, V_4$  分别变为 1.2、1.8、1.8、2.4 伏。所以，利用  $P_1-P_4$ 、“风向检测”按键和“压控翻转”按键，就可以很快检查 120 个电位。

经检查无误的 120 个电位通过检测干簧继电器分别与十五路风向感应器连通，风向电位器分三路输出：一路作为压控器的输入，使电位器上的电位分布满足扩展量程的要求。压控器前面的隔离级是一源极跟随器，有很高的输入阻抗，以防止压控器对其他两路的影响，保证了测量精度。隔离级前面的容阻滤波器起抗干扰作用，避免由于一些脉冲干扰使压控器误动作；第二路经隔离放大器以瞬时量形式输入电子计算机处理系统；第三路经 RC 滤波器滤去高频部份，使信号在某一采样时间内同步，然后送入自动程序控制采样器中，经采样后的十五路风向进入公用的隔离放大器，最后输入自动平衡电子电位差计描绘出风向廓线。

3) 温差通风电机在温差感应器连续采样时，处于连续工作状态。当定时采样时由程序控制采样器控制可控硅开关电路执行。十五路电机工作状态的正常与否可由电机自动检测线路检查(图 6)。

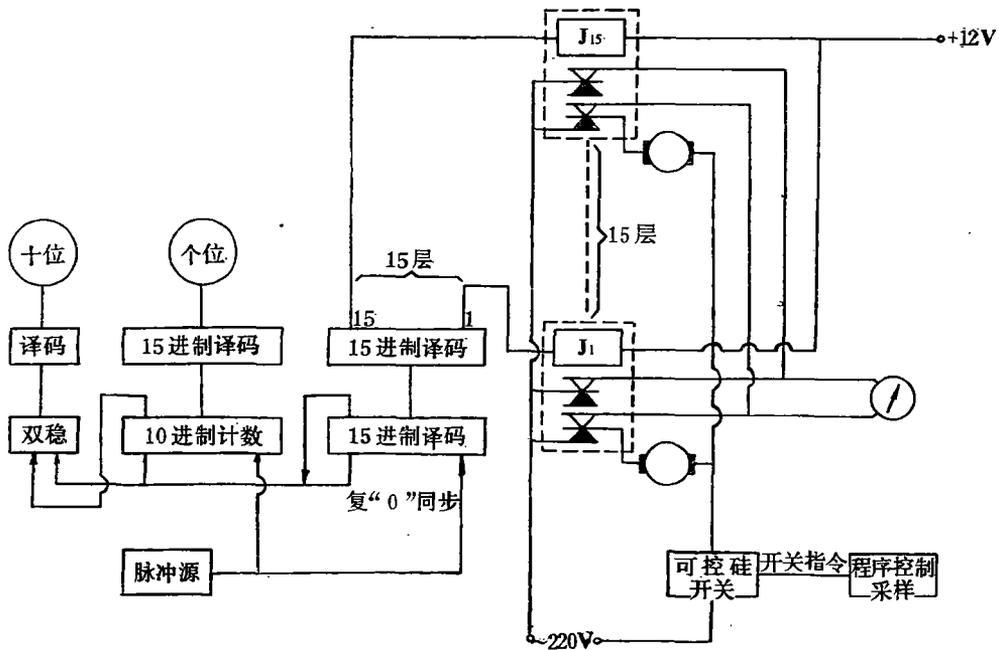


图 6 温差通风电机自检框图

### 五、数据处理系统

76道感应信号通过多芯绞合屏蔽电缆送入以下二套数据处理系统，其工作原理框图示于图7，外形结构示于图8。

1) 76道瞬时量首先通过数据放大器统一电平，然后由自动巡回检测系统将信号依次输入模数转换系统，自动巡回检测系统的扫描速度为每秒一万次，完全可以保证梯度测量的同时性。经变换后的数字量直接输入DJS-130小型快速电子计算机进行初始资

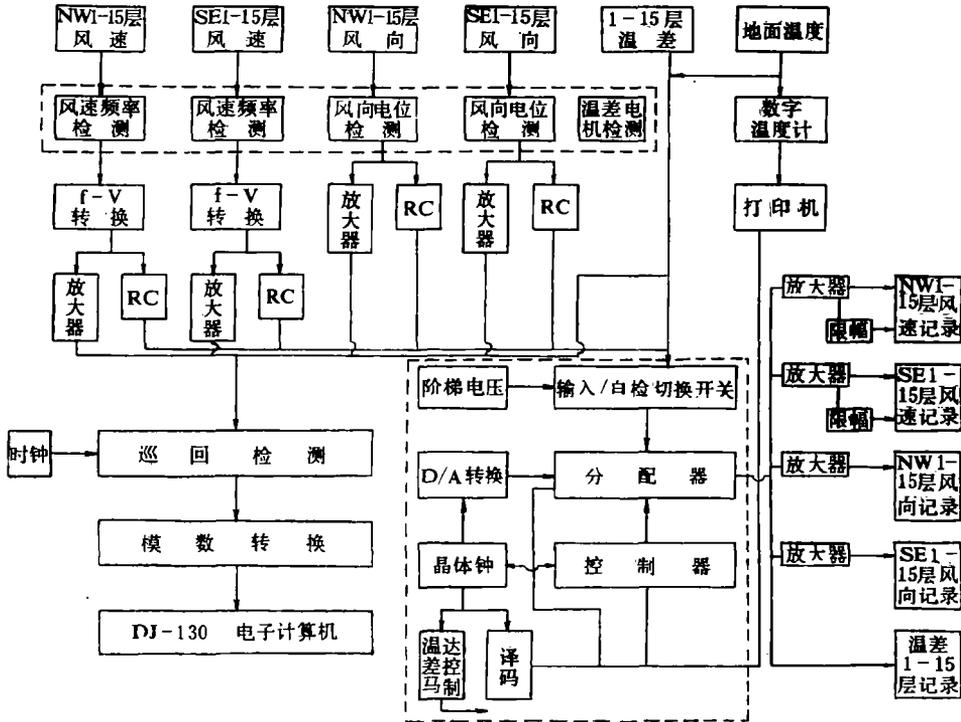


图7 数据处理自动化系统工作原理框图

料整理，该机内存容量为32K，运算速度为每秒30万次。其结果由宽行打印机和三笔自动绘图仪给出，数据可以由磁盘储存。本系统由时钟配合控制，可作连续和定时采样。

2) 除利用电子计算机系统处理初始资料以及各种运算外，本装置还配有第二种较为简单的自动化数据处理系统，其结果较为直观。首先将检测过的76道瞬时信号通过自动程序控制采样器把风速、风向、温差送入自动平衡电子电位差计，地面温度送进打印机。电子电位差计上描绘的分别是风速、风向、温差廓线。风速廓线分二笔记录，一笔量程为0—50米/秒，另一笔量程为0—20米/秒，后者的记录目的是提高低风速的分辨率。

自动程序控制采样器<sup>[13]</sup>由晶体钟给出时间控制信号给控制器，使走纸、采样协调工作。晶体数字钟还给出两路时间信号，一路去分配器，给记录器的模拟记录标上时

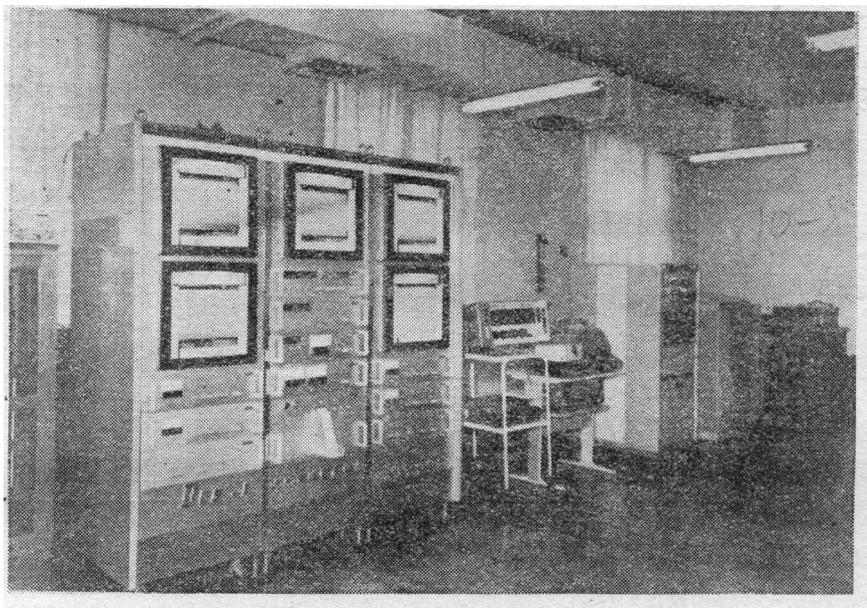


图 8 数据处理系统外形

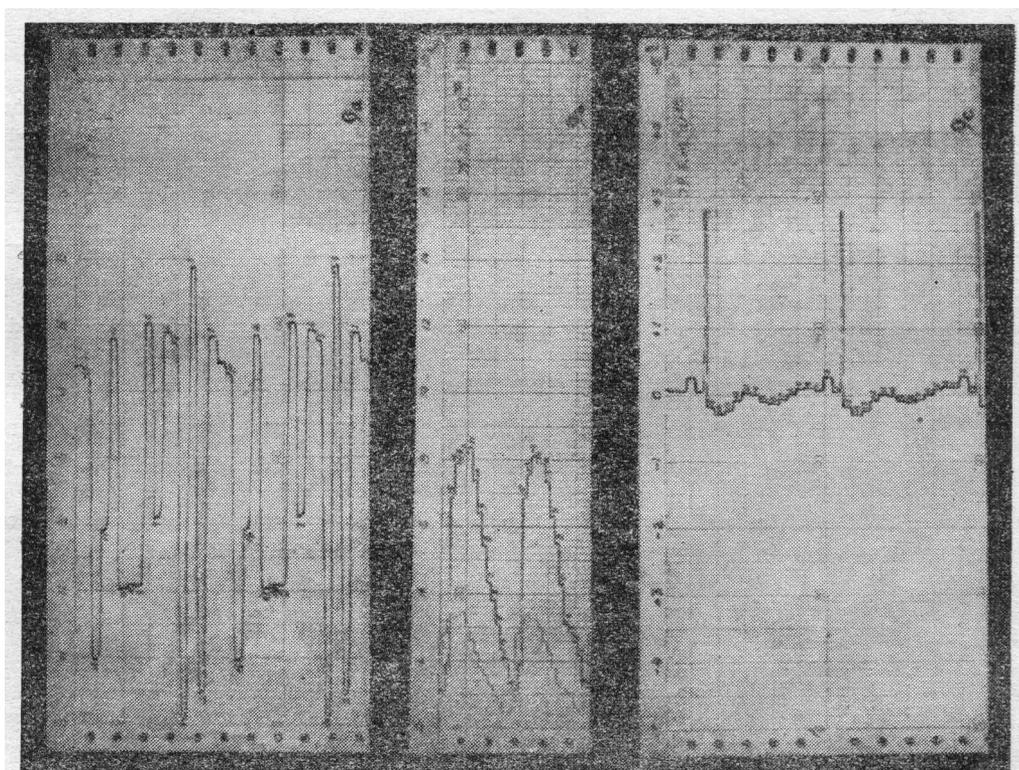


图 9 1979 年 8 月 10—11 日观测记录, a) 风向廓线; b) 风速廓线; c) 温差廓线。  
(图中 0, 1, 2, …, 15 分别表示高度层次)

间；另一路供打印机打印时间。此外晶体钟还给出控制信号按预定时间打开和关掉温差通风马达。

自动程序控制采样器可以连续或定时自动采样，为了满足电子电位差计笔尖的行程时间，一次扫描十五层次的信号约需十五秒钟。风速、风向瞬时信号输入自动程序控制采样器前，首先通过  $RC$  平滑电路，以保证输出信号在一次廓线采样时间内同步。温差及地面温度感应元件的滞后系数约一分钟。因此，在一次扫描时间内已自动同步。本系统除可以自动连续采样外，自动定时采样规定每小时整点前十分钟开始记录，每分钟扫描一次，十分钟描绘十条廓线。图 9 为 1979 年 8 月 10—11 日实时观测记录，图中的阶梯曲线表示一次梯度采样的风向、风速及温差廓线。

为了保证自动程序控制采样器工作正常进行，本系统亦备有自检装置，数据输入本处理系统时，首先经过输入/自检切换开关到分配器，分配器可将塔上 15 层数据以阶梯形式记录在相应的自动平衡电子电位差计上。当输入开关转向“自检”按键时，相应的一路数据将由机内的标准阶梯电压代替，记录器上记下规则的阶梯图形，由此可以检查分配器的工作正常与否。分配器受控制器控制并决定其工作与否及工作方式。

致谢：在写作过程中承周明煜同志的帮助，洪钟祥同志提出了不少宝贵意见；南京大学金一钙、周朝辅、蒋维楣等同志以及中央气象局张楚芳同志在研制该仪器中做了不少工作，特此致谢。

### 参 考 文 献

- [1] Kaimal, J. C., Sensors and techniques for direct measurement of turbulent fluxes and profiles in the atmospheric, *Atmos. Technol.*, 7, 7—14, 1975.
- [2] Клинов, Ф. Я., Об автоматических Метеорологических Измерениях в нижнем 300-Метровом слое Атмосферы, Тр. Всесоюзного Научного Метеорологического Общества, Том 7, 124—143, 1963.
- [3] Kaimal, J. C., D. A. Haugen and J. T. Newman, A computer-controlled mobile micrometeorological observation system, *J. Appl. Meteor.*, (5), 411—420, 1966.
- [4] Hall, Freeman F., Jr., The boulder atmospheric observatory, *Optics News*, 3(2), 14—18, 1977.
- [5] Horn, J. D., Structural-induced Interference on wind sensor measurement, symposium on the theory and measurement of atmospheric turbulence and diffusion in the planetary boundary layer, SG-M-68-191, 125—142, 1978.
- [6] 洪钟祥等, 气象塔引起测风误差的风洞实验, (待发表)。
- [7] 郑达洲等, 梯度测风仪的物理特性, (待发表)。
- [8] Gill, G. C., and P. L. Hexter. Some instrumentation definitions for use by meteorologists and engineers, second symposium on meteorological observations and instrumentation, 166—171, 1972.
- [9] Mazzarella, D. A., An Inventory of specifications for wind measuring instruments, second symposium meteorological observations and instrumentation, 172—177, 1972.
- [10] Stevens, D. W., High-resolution measurement of air temperatures and temperature difference. *J. Appl. Meteor.*, 6(1), 179—185, 1967.
- [11] 李兴生, 温度梯度测量的误差估计, (待发表)。
- [12] 李兴生、杨宝忠, 一个高精度的测温方法, 大气科学, 第 3 卷第 2 期, 170—174, 1979 年。
- [13] 张卫华, 数据处理系统中的自动程序控制采样单元, (待发表)。

## A 320 METER METEOROLOGICAL TOWER WITH AUTOMATIC MEASUREMENT SYSTEM

Li Xing-sheng Zheng Da-zhou Zhang Wei-hua

Wu Jia-lin Zhu Jin-zhao

*(Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica)*

### Abstract

An automatic measurement system of the 320 meters meteorological tower is described. This system is being designed to provide the vertical structure of the meteorological elements that will meet the research objectives of the air pollution and the atmospheric boundary layer.

Sensors to be described are the sensors of temperature at the ground, temperature difference between two levels, wind speed and direction. In addition, the feature of automatic data processing system is described. This system can be divided into two groups according to the desired sampling rate. One is for the form of profile of the mean wind speed, wind direction and temperature difference. The other is to sent the instantaneous data and signals of the fast response sensors.