

# 太阳观测台址的选择

## (二)

### 大气温度短周期脉动的测量和记录

钱忠钰

#### 一、系统工作原理

利用铂丝电阻值的温度效应，可以组成电阻温度计。通过它把温度的起伏转变成与之成线性关系的电压变化信号，该信号由与电阻温度计在一起的前置放大器加以放大，通过屏蔽电缆线传送到地面，然后经低通滤波器滤去不必要的高频干扰成分，再送到示波器去显示和记录。

为了能同时记录下四个不同地点的温度脉动信号，以便于对照比较，并减少工作量，我们在示波器前加了电子开关，把示波器的光迹振成四根线，分别显示放于不同地点的电阻温度计送来的信号，而且用照相的方法同时记录下来。图1就是整个测量系统的示意图。

#### 二、仪器描述

由系统示意图可以看出，整个测量系统可以分成电阻温度计、前置放大器、屏蔽传输线、低通滤波器、电子开关、示波器和照相系统等，现将各部分分述如下：

##### (1) 电阻温度计

铂丝的电阻值随温度的变化可由下式表示：

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t) \quad (1)$$

式中  $R_0$  为铂丝在  $0^\circ\text{C}$  时的阻值；

$R_t$  为铂丝在  $t^\circ\text{C}$  时的阻值

$\alpha$  为铂丝的电阻温度系数，在我们使用范围内是个常数。标称值  $\alpha = 3.9 \times 10^{-3}/^\circ\text{C}$ 。

当大气温度由  $t_1$  变化到  $t_2$  时，根据式(1)，很易求得铂丝阻值的变化量为：

$$\Delta R = R_0 \alpha \Delta t \quad (2)$$

式中  $\Delta R = R_{t_2} - R_{t_1}$ ；

$\Delta t = t_2 - t_1$ 。

式(2)表示，电阻变化量和温度的变化量之间有一个简单的线性关系。如果我们给铂丝通以恒定的电流  $I_0$ ，就可获得同样与温度变化成线性关系的电压变化信号：

$$\Delta V = I_0 \Delta R = I_0 R_0 \alpha \Delta t \quad (3)$$

记录下  $\Delta V$  的变化就记录下了温度的变化。

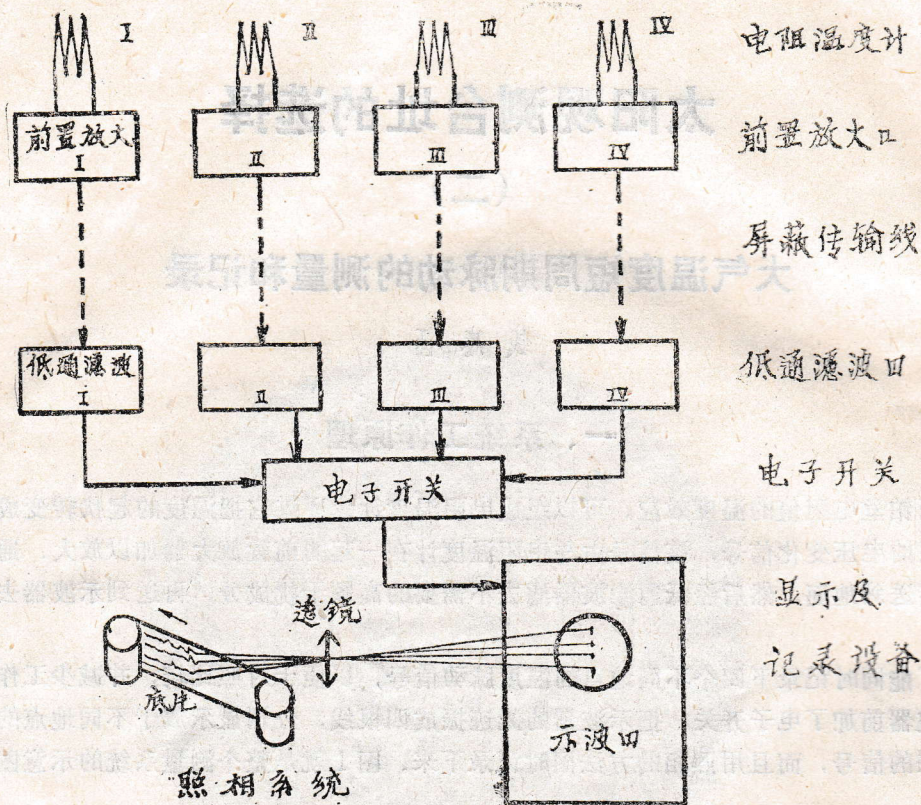


图1 大气温度脉动测量系统示意图

铂丝由于其优良的物理特性，化学性能以及电性能，特别是对可见光和红外线有很高的反射系数，所以是在阳光下测量大气温度脉动的较理想的材料。考虑到要求反应出快速的温度变化，选用了直径为 $10\mu$ 的很细的铂丝。

工作电流 $I_0$ 的选择主要取决于以允许的风速对测量精度的影响，在 $I_0$ 很大时，测得的就主要是关于风速的信息了。 $I_0$ 也不能太小，以免降低测量灵敏度。根据热平衡方程的计算<sup>[1]</sup>，考虑到 $0.02^\circ\text{C}$ 的测量灵敏度，可得要求工作电流 $I_0 \leq 0.5\text{mA}$ 的结果。有关计算参看附录。

根据上述计算，我们又通过实验，选择了 $I_0$ 为 $0.29\text{mA}$ 。这时就看不到风速的影响。

铂丝的长度由测量灵敏度而定，由于前置放大器有约 $5\mu\text{V}$ 的等效输入噪声，为了保证对 $0.02^\circ\text{C}$ 变化信号有2:1以上的信噪比，铂丝绕达600欧姆电阻值。（亦即 $R_0=600\Omega$ ）。这时温度每变化 $1^\circ\text{C}$ ，电阻温度计将给出约 $0.6\text{mV}$ 的电压变化信号。

在绕制时尚应注意铂丝绕制范围不要大但框架要大，支撑丝要尽量细并和铂丝焊牢，见图2。

### (2) 前置放大器：

用它就地放大电阻温度计的输出信号，以增强传输过程中的抗干扰能力，选用了北京无线电元件厂的线性集成电路BG3056，其主要参数如下：

输入失调电压 $V_{0s}$	$\leq 8\text{mV}$
输入失调电流 $I_{0s}$	$\leq 250\text{nA}$

输入基极电流 $I_{id}$	$\leq 500\text{nA}$
输出电压幅度 $V_{pp}$	$\geq \pm 4.5\text{V}$
开环增益 $K_v$	$\geq 94\text{dB}$
共模抑制比 CMRR	$\geq 70\text{dB}$
电源电流	$\leq 2.5\text{mA}$
电源电压	$\pm 6\text{V}$

(摘自该厂产品目录)

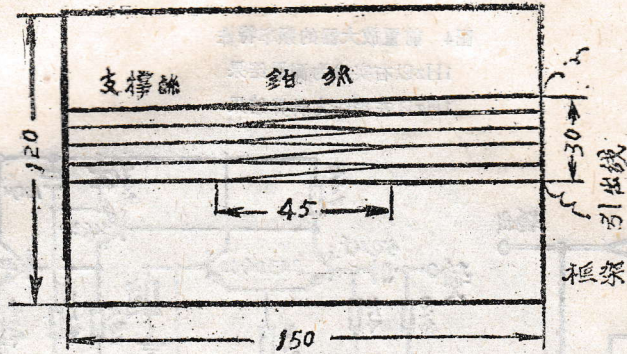


图2 电阻温度计结构示意图

挑选其中低噪声的产品接成典型的负反馈电压放大器就是相当理想的前置放大器。电压放大倍数  $K_o \approx R_f/R_b$ ,  $R_f$  为反馈电阻,  $R_b$  为输入基极电阻, 我们选  $R_f = 1\text{M}\Omega$ ,  $R_b = 2.4\text{K}\Omega$ , 则  $K_o$  为 416 倍。实际测量约为 420 倍。放大器的具体线路和测得的频率特性见图 3 和图 4。

在电阻温度计和前置放大器之间采用了交流耦合, 去掉了直流成分和缓变信号, 按耦合常数计算, 下限在 0.3Hz 左右, 这样既保留了我们感兴趣的信号, 又简化了调正手续, 也免除了前置放大器的过载。频率补偿电容  $C$  用得比较大, 这是为了让频率特性曲线在 80Hz 以后很快下降, 这从图 4 可以看出来, 曲线的右半部是实际测得的 ( $f \geq 1\text{Hz}$ ), 在  $f < 1\text{Hz}$  时是根据计算补上的。

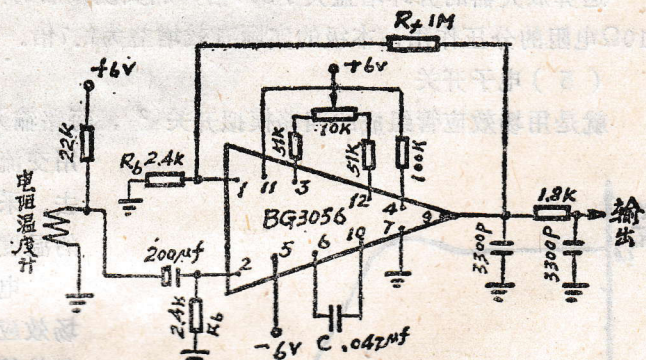


图3 前置放大器线路图

### (3) 屏蔽传输线:

经前置放大器放大后的信号仍然很小, 每  $0.1^\circ\text{C}$  约为  $26\text{mV}$ , 所以信号传输线要求用屏蔽良好的电缆, 并且要很好地接地, 以防广播信号和各种杂散信号的干扰。下述的低通滤波器也是为了抑制这些干扰。

### (4) 低通滤波器

为了除去主要在传输过程中接收的各种高频干扰, 使用了低通滤波器, 要求其通带也是

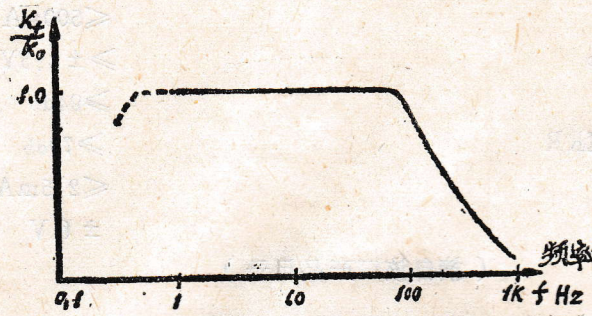


图4 前置放大器的频率特性  
1Hz以右实线为测量结果  
1Hz以左虚线为计算结果

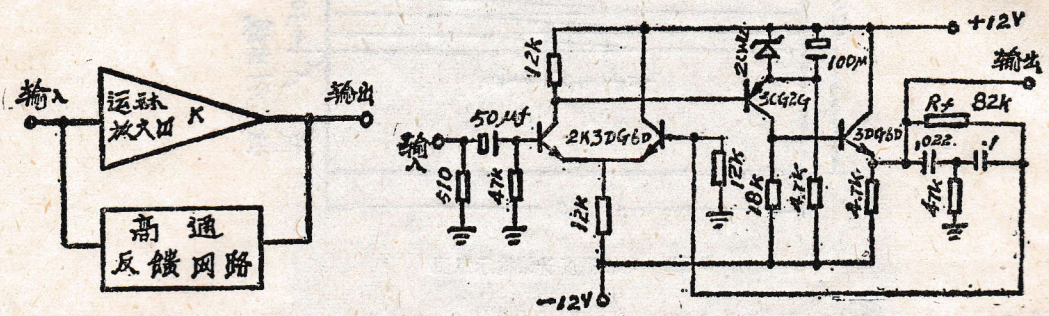


图5 低通滤波器原理图和线路图

0.3Hz—80Hz, 我们采用了有源形式的结构, 其原理和线路见图5, 通带特性见图6。

运算放大器的开环增益大于300倍, 加负反馈后的闭环增益 $K_0 \sim 7.7$ 倍, 由于输入后510Ω电阻的分压作用, 本级的实际有效增益为1.7倍。

#### (5) 电子开关

就是用场效应管组成的四路模拟开关<sup>[2]</sup>, 每路输入由电位器提供可调的直流电位, 又用交流耦合的方法把温度脉动信号叠加上去, 采用分时扫描的方法依次显示四个不同的温度信号, 而由底片同时记录下来。

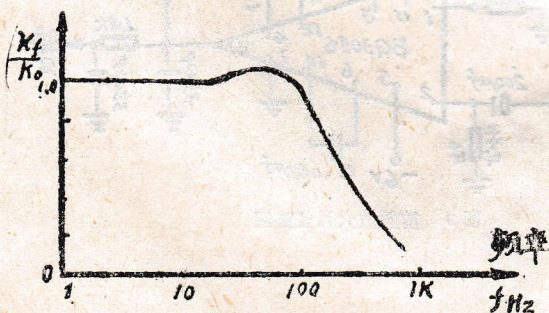


图6 低通滤波器的频率特性

图7是脉冲分配器示意图, 完整的线路见图8

#### (6) 示波器和照相系统

示波器要求用直流示波器, 以避免在测量的信号频率较低时, 出现四路之间的相互影响。我们使用的是SBM-10示波器。

电子开关由振荡器, 脉冲分配器<sup>[3]</sup>, 和场效应管开关等几部分组成。振荡器由单晶体管BT33F构成, 振荡效率约20KC。脉冲分配器用清华大学生产的MOS集成电路计数器MMJ-2B和与非门MOS-Q构成, 场效应管采用的3DO1F-B。

照相系统使用了英国 Cossor 公司的 1482MK II A 型示波器照相机，它不要求光点扫描，而由胶卷连续移动来记下连续的信号。胶卷扫描速度选每秒  $\frac{1}{4}$  吋。

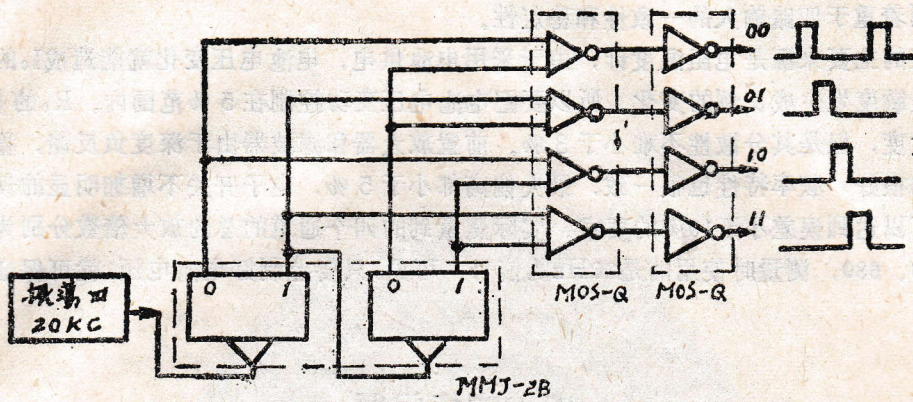


图7 脉冲分配器原理图

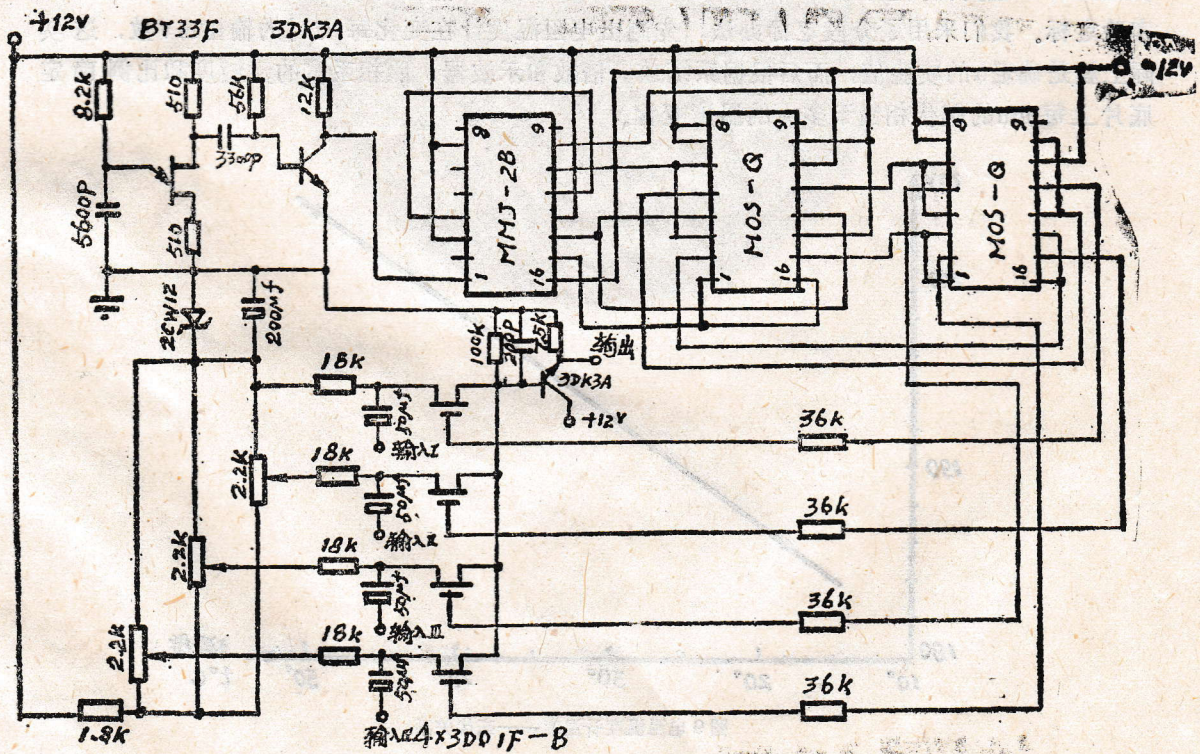


图8 电子开关线路图

### 三、系统精度的估计

根据测量的实际需要，系统误差要求小于10%。我们主要的目的是对数据作相对比较，所以特别着重于四路输入的一致性和稳定性。

误差的主要来源是电阻温度计，由于采用电池供电，电池电压变化就能造成 $I_0$ 的变化，也就使灵敏度发生比例的变化。所以要把电池电压变动控制在5%范围内。 $R_0$ 的阻值也影响灵敏度，但是其分散性不难小于3%。前置放大器和滤波器由于深度负反馈，稳定性和一致性都很好，频率特性也很一致，最大偏离都小于5%，电子开关不增加明显的误差，所以完全可以达到误差小于10%的要求。实际测量到的四个通道的总的放大倍数分别为：690、690、670、680，测量时使用的是30Hz的信号。可见，只要控制好电池电压，就可保证要求的精度。

### 四、定标问题

原则上可以由 $\alpha$ 值和电路放大倍数通过计算来解决定标问题。针对铂丝的具体情况，我们还是作了些实验测量。由于采用了交流耦合，所以就不能用均匀温度场来进行整个系统的实验定标。我们采用了分段定标办法，先测出电阻温度计在变化每 $^{\circ}\text{C}$ 时的输出mV数，这实际上就是确定 $\alpha$ 的实验值，而后根据系统放大倍数和示波器，照相系统的灵敏度和比例确定底片上每mm的起伏相当于多大的温度变化。

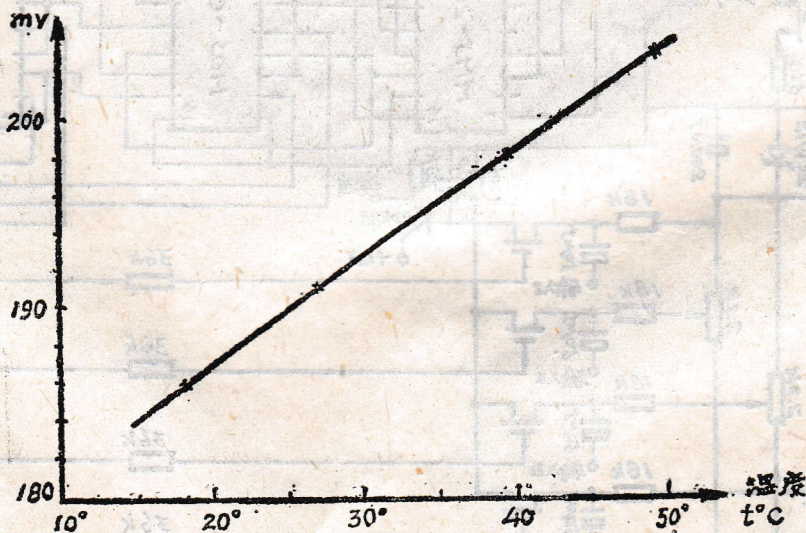


图9 电阻温度计温度——毫伏关系

实验中，对电阻温度和mV之间的直线关系，如图9所示。它表明 $\alpha$ 是常数。根据式(3)可得

$$\alpha = \frac{\Delta V}{V_1 \Delta t - \Delta V t_1} \quad (4)$$

根据图9的数据, 可算出  $\alpha \approx 3.6 \times 10^{-3} / ^\circ\text{C}$ 。

我们采用此数据使用于  $R_0 = 600 \Omega$   $I_0 = 0.29 \text{ mA}$ , 就求得电阻温度计的灵敏度为:  $0.56 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ , 取系统平均放大倍数为680倍, 示波器灵敏度  $0.1 \text{ V/cm}$ , 照相间物像比为  $2.5:1$ , 可以求得底片上每mm的起伏就相当于  $0.066^\circ\text{C}$  的温度变化。

## 五、使用和改进

(1) 经过仔细调整后, 系统显示了良好的稳定性和可靠性。经长途运输之后仍可立即投入使用

(2) 原计划使用气球带到空中测量, 所以对体积重量考虑较多, 后因气球受风速的限制大, 数据有一定的局限性, 改在塔上测量, 但仪器装置未作变动。如果预先就放松重量体积的限制, 改变供电方式, 将能提高系统精度。

(3) 由于级间采用交流耦合, 给工作带来极大方便。所得数据也能满足我们的需要。但是另一方面, 由于去掉直流成分和缓变部分, 亦使数据的应用范围带来某种局限性。

(4) 在测量灵敏度上是大有潜力的, 关键在于尽量挑选低噪声的前置放大器和抑制干扰, 达到  $0.01^\circ\text{C}$  以至更高的灵敏度预计不会有太大的困难。

(5) 本装置是为了特定的工作任务而作的, 考虑不可避免地带有局限性, 欢迎批评指正。在工作中, 得到激光组王德隆、胡景耀以及本组其它同志的大力帮助, 特此致谢。

## 附录: 铂丝工作电流的计算

根据〔1〕, 铂丝在气流中的热平衡方程为:

$$m_0 \frac{d\theta}{dt} = 0.24 i^2 R - k l (\theta - \theta_0) \left( 1 + \sqrt{2\pi \frac{\rho c_p V d}{k}} \right) \quad (1)$$

当  $\frac{\rho c_p V d}{k} > 0.08$  时

式中:  $m$  铂丝质量;  $c$  铂丝比热;

$\theta$  铂丝温度;  $\theta_0$  空气温度;

$i$  铂丝电流;  $R$  铂丝电阻;

$l$  铂丝长度;  $\rho$  空气密度;

$d$  铂丝直径;  $V$  风速

$c_p$  空气定压比热;

$k$  空气传热系数。

当  $d = 10 \mu$  时,  $V \approx 15.2 / \text{秒}$

则  $\frac{\rho c_p V d}{k} \approx 0.08$

在我们实际测量时， $V$ 总是大于15.2cm/秒，所以此式是可以适用的。

当达到热平衡时， $\frac{d\theta}{dt}=0$ 式(1)变为：

$$0.24i^2R = k l (\theta - \theta_0) \left( 1 + \sqrt{2\pi \frac{\rho c_p V d}{k}} \right) \quad (2)$$

式(2)的意义很明显：处于热平衡时，铂丝电流产生的热量等于通过传导和空气对流散发出去的热量。根据式(2)，我们就可算出对应于不同的*i*值， $(\theta - \theta_0)$ 对风速*V*的依赖关系，由此就可看出风速变化对测量结果的影响。计算结果见下表。

不同*i*值时， $(\theta - \theta_0)$ 和*V*之间的关系

风速 <i>V</i> 米/秒	$(\theta - \theta_0)$ °C <i>i</i> =1mA	$(\theta - \theta_0)$ °C <i>i</i> =0.5mA
0.152	0.035	0.009
0.608	0.025	0.006
2.43	0.016	0.004
9.72	0.009	0.002

由上表可以看出，当*i*=0.5mA时，只要风速大于15.2cm/秒，那么风速变化所引起的测量误差终是小于0.009°C，可以满足我们的要求。

通过实际试验，我们选*I*<sub>0</sub>=0.29mA，略小于上面计算的值，这时就实际上看不出任何风速变化的影响。

#### 参 考 资 料

- (1) 《激光大气传输专辑》第二集，第1页。中国科学院安徽光机所出版
- (2) Hermann Schmid 《Electronic Analog/Digital Conversions》p.95
- (3) 《晶体管脉冲数学电路》下册 第39页，清华大学电子工程系编

## AN APPARATUS FOR MEASURING AND RECORDING THE ATMOSPHERE TEMPERATURE FLUCTUATIONS CLOSE TO GROUND

Qian Zhong-yu

(Beijing Astronomical Observatory, )

#### Abstract

A set of electronics measuring and recording the atmosphere temperature fluctuations for solar optical siting is described in this paper. It includes four temperature sensors made of Pt wire in diameter 10μm, four low noise



preamplifiers, four low-pass filters, a four to one multiplexer, and a oscilloscope with camera as recorder, which uses film as recording medium. This apparatus can measure and record the atmosphere temperature fluctuations of four different places at same time. The measurement range of the temperature fluctuations is about  $0.02^{\circ}\text{C}$ - $2^{\circ}\text{C}$ , the frequency response is from  $0.3\text{Hz}$  to  $80\text{Hz}$ , and the total accuray of the system is better than  $10\%$ .