



# 精密晶体管数字测温仪

宋为群

(江苏省无线电科学研究所)

用晶体管来制作电子温度计具有测温范围宽、灵敏度高、非线性小、价格低等优点。它是测温领域内待开发的一种敏感元件。关键在于怎样解决线性和传感器—探头能否互换的问题。本文从硅晶体管测温的物理方程出发，论述如何推求管子的能带间隙，它与线性、互换性之间的关系，导出了晶体管的实际测温方程，由此研制出了精密晶体管数字测温仪。同时，按照本文论述的原理，可以求出晶体管的能带间隙的平均值，用来检查晶体管制造的内在质量。新颖的线性校正电路，还能校正某些具有指数特性的敏感元件。

## 一、引言

人们早就知道，晶体管的基极——发射极正向电压随着温度的增加而减少。但由于晶体管参数的不稳定，用来制作温度敏感器缺乏实用价值。六十年代，国外的研究者为适应军事科学的需要，选用昂贵的高质量晶体管制成敏感器，用在科学卫星、高空气象探测和深海海洋温度的测量方面。这种晶体管温度计因为是电量输出，可以直接数字显示和作自动控制之用。与热电偶、热敏电阻、铜电阻等敏感元件比起来，它有不少优越性<sup>[1]</sup>，所以，在食品制作、茶叶加工、发酵杀菌及冷藏、生物化学、人体临床医学研究、电机和精密机械运动部位的温场变化、油井和海洋温度、高空气象探测等领域内有着广阔的发展前景。

近年来，半导体制造工艺突飞猛进，硅晶体管的性能已显著改善，高稳定、高质量和廉价的器件已可得到。这样，就有可能做出稳定可靠的、能够复制并付诸生产的晶体管温度计。

笔者对一些晶体管的基本性质作了分析研究，选出合适的型号，从理想 P-n 结模型的肖克莱方程出发，得到这种管子的实际测温方程，并探索出一种新颖的能自动校正非线性的测温电路，在此基础上，制成精密晶体管数字测温仪。该仪器的测量范围为 -50 — +150°C，分辨力为 0.01°C，在 -30 — +125°C 区间内，固有误差为 ±0.1°C。仪器的探头可以互换，可以连接十五米左右的长电缆。如果配上电脑，在高空气象探测中，可测范围为 -80 — +60°C。现就仪器中晶体管温度计的工作原理、电路设计考虑、准确度和互换性等问题作些讨论，分述如下。

## 二、温度敏感器的基本特性

硅晶体管用作温度敏感器，比较严密的理论是 1972 年由 T·C·Verster 阐明的<sup>[2]</sup>。1977 年，日本的大手明做了创造性的发展。1979 年，美国莫托罗拉电子器件公司为适应市场需要，专门生产测温晶体管及其组合件<sup>[3]</sup>。而 National 半导体公司则开发了单片测温集成块。图 1 为硅晶体管温度计的基本电路和测温特性。可以看出，它本质上是一只对数放大器。其中，集电极——基极的电位差常为零，基极——发射极电压  $V_{be}$  则由运算放大器  $A_1$  引出。晶体管的集电极电流，取决于电压源  $E$  和电阻  $R_c$ ，并保持恒定。加接的电容器  $C_1$  及电阻  $R_1$ ，用来防止寄生振荡。这个电路，如果忽略不计晶体管的再生电流——复合电流和表面电流，而只考虑扩散电流时，按照理想 p-n 结模型的肖克莱方程式，经过改写<sup>[2][3]</sup>，其集电极电流可以表达如下：

$$I_c = (\alpha T^r / \mu) \exp(-q V_{be} / kT)$$

$$\{\exp(qV_{be}/kT) - 1\} \quad (1)$$

式中  $\mu$  为电离因素;  $\alpha$  为取决于基极宽度等  
因素的常量, 它与晶体管的型号有关, 即使  
同一型号的管子也有差异;  $r$  为常量, 主要  
决定于基区内少数载流子迁移率的温度依从  
性;  $q$  为电子电荷;  $V_{go}$  为用外推法求得的  
硅能带间隙,  $V_{go}/q$  即绝对零度下的禁带  
宽度;  $k/q$  为波耳兹曼常数与电子电荷之比  
值, 取  $86.1706 \mu\text{V/K}$ ;  $T$  为绝对温度。

在以往的文献中, 常常取  $V_{go}$  为  $1.119 \sim 1.205 \text{V}$ ,  $r$  为  $1.5 \sim 4$ 。但事实上, 它们与  $\alpha$  一样,  
随硅晶体管的型号、结构及制造工艺而异。  
在温度降至临近绝对零度时, 硅 p-n 结的正  
向电压迅速增大, 发生突变<sup>[4][5]</sup>。在本文  
研究的温度范围内, 确定  $V_{go}$ 、 $r$  和  $\alpha$  的平均  
值的方法, 另述于后。

被选作测温用的晶体管, 在常温下, 其  
电离因素为 1, 即使温度降到  $100 \text{K}$  附近,  
也要能接近于  $1$ <sup>[2]</sup>。如果满足这点, 又假定  
 $qV_{be}/kT \gg 1$ , 那末公式 (1) 可简化为

$$V_{be} = V_{go} - (kT/q) \ln(\alpha T/I_c) \\ = V_{go} - (V_{go} - V_{be1}) T/T_1 - \\ (kT/q) \ln \{(T/T_1)^r (I_{c1}/I_c)\} \quad (2)$$

它的导数

$$\partial V_{be} / \partial T = (V_{be} - V_{go}) / T - (k/q) \{r - \\ (T/I_c) (\partial I_c / \partial T)\} \quad (3)$$

这里,  $V_{be1}$ 、 $I_{c1}$  分别是在温度  $T_1$  下的  $V_{be}$  值  
和  $I_c$  值。通常选  $T_1 = 298.15 \text{K}$  ( $25^\circ\text{C}$ )、 $I_{c1} =$   
 $50 \mu\text{A}$ 。

从 (2) 式看出, 在电流  $I_c$  一定时, 假  
设温度的范围逐渐增大,  $V_{be}$  的温度响应有  
着缓慢递增的非线性误差。这主要是由  $r$   
的作用引起的。

但作为一种敏感元件, 我们希望它有理  
想的线性温度响应, 即

$$V_{be}^* = V_{be1} + (\partial V_{be} / \partial T)_{T=T_1} (T - T_1)$$

为了将变量归一为  $T/T_1$ , 今设一个固定数  
 $V_{go}^*$ , 让

$$V_{go}^* = V_{be1} - (\partial V_{be} / \partial T)_{T=T_1} T_1 \\ = V_{go} + (kT_1/q) \{r - (T_1/I_{c1})\}$$

$$(\partial I_c / \partial T)_{T=T_1} \} \quad (4)$$

于是

$$V_{be}^* = V_{go}^* - (V_{go}^* - V_{be1}) (T/T_1) \quad (5)$$

将式 (5) 与实际响应式 (2) 比较, 得到

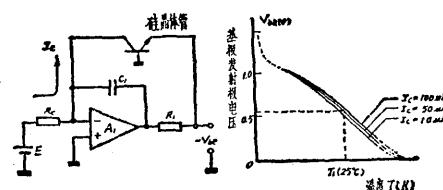


图 1 硅晶体管温度计原理图

离开线性的理论偏差

$$\Delta V_{be} = V_{be}^* - V_{be} \\ = \{k(T_1 - T)/q\} \{r - (T_1/I_{c1})\} \\ (\partial I_c / \partial T)_{T=T_1} + (kT/q) \\ \ln \{(T/T_1)^r (I_{c1}/I_c)\} \quad (6)$$

怎样使偏差值  $\Delta V_{be}$  减小, 直观的途径可挑  
选  $r$  值小的晶体管。例如常用的硅小功率管  
3DK、3DG 系列, 其  $r$  大致在 3 左右, 要挑选  $r$  小  
于 2.7 的管子不容易。即使这样, 在  $100^\circ\text{C}$   
上,  $\Delta V_{be}$  仍达到  $0.5 \text{mV}$  左右, 约  $0.25^\circ\text{C}$  的  
偏差。如果我们能使注入晶体管的集电极电  
流与温度的变化保持一函数关系, 那末:

$$\text{当 } I_c = I_{c1} \text{ 时, } \Delta V_{be} = r(k/q)(T_1 - T) + \\ r(kT/q) \ln(T/T_1) \quad (7)$$

$$\text{当 } I_c = I_{c1}(T/T_1) \text{ 时, } \Delta V_{be} = (r-1)(k/q) \\ (T_1 - T) + (r-1)(kT/q) \\ \ln(T/T_1) \quad (8)$$

$$\text{当 } I_c = I_{c1}(T/T_1)^2 \text{ 时, } \Delta V_{be} = (r-2)(k/q) \\ (T_1 - T) + (r-2)(kT/q) \\ \ln(T/T_1) \quad (9)$$

$$\text{当 } I_c = I_{c1}(T/T_1)^r \text{ 时, } \Delta V_{be} \equiv 0 \quad (10)$$

实现这些步骤的测量电路如图 2。其中, 运  
算放大器  $A_2$  与图 1 的完全相同。运算放大器  
 $A_2$  将  $V_{be}$  与一固定电压  $V_{go}^*$  相减, 得到几乎  
与绝对温度成正比的输出电压  $V_o$ , 然后经过  
函数发生器反馈到  $A_1$  的输入端。笔者对一些  
晶体管分析研究后, 发现 M-81 硅管适宜于做  
温度敏感元件, 其  $r$  值为  $3.593 \sim 3.606$ 。若使  
函数发生器的输出  $V_f$  刚好等于  $V_o^r$ , 则理论偏

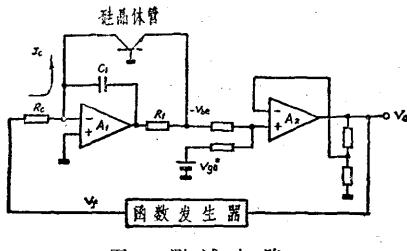


图 2 测试电路

$$\text{差 } \Delta V_{be} = 0$$

### 三、测温电路的设计考虑

幂为 3.6 的  $I_c = I_{c1} (T/T_1)^{3.6}$  曲线，可以用坐标轴转移后的二次幂曲线来逼近。设

$$I_c = I_{c1} \{ (1 - a_2 - a_3) + a_3 (T/T_1) + a_2 (T/T_1)^2 \} \quad (11)$$

式中  $a_2, a_3$  为待定的常数。令

$$a_1 = 2a_2 + a_3 \quad (12)$$

$$\Delta T = T - T_1 \quad (13)$$

假使  $\Delta T/T < < 1$ , 式(11)可简化成

$$I_c = I_{c1} \{ 1 + a_1 (\Delta T/T_1) + a_2 (\Delta T/T_1)^2 \} \quad (14)$$

于是在  $T = T_1$  时,

$$(\partial I_c / \partial T)_{T=T_1} = I_{c1} (a_1/T) \quad (15)$$

$$V_{go}^* = V_{go} + (k/q) T_1 (r - a_1) \quad (16)$$

将式(13)(14)(15)代入(6)式，并应用台劳级数将其对数项展开，得

$$\begin{aligned} \Delta V_{be} = & - (k \Delta T/q) (r - a_1) + \\ & k (T_1 + \Delta T) \{ r \ln (1 + \Delta T/T_1) \\ & - \ln [1 + a_1 (\Delta T/T_1) + a_2 (\Delta T/T_1)^2] \} \\ = & (k T_1/q) \{ [(r - a_1) - \\ & (r/2 + a_2 - a_1^2/2)] (\Delta T/T_1)^2 + \\ & [(r/3 + a_1 a_2 - a_1^3/3) - \\ & (r/2 + a_2 - a_1^2/2)] (\Delta T/T_1)^3 + \\ & [(r/3 + a_1 a_2 - a_1^3/3) - (r/4 - \\ & a_2^2/2 + a_1^2 a_2 - a_1^4/4)] (\Delta T/T_1)^4 + \\ & 0[(\Delta T/T_1)^5] \} \end{aligned} \quad (17)$$

假使  $a_1, a_2$  满足下列条件

$$(r - a_1) - (r/2 + a_2 - a_1^2/2) = 0 \quad (18)$$

$$(r/3 + a_1 a_2 - a_1^3/3) - (r/2 + a_2 - a_1^2/2) = 0 \quad (19)$$

则 (17) 式中的二次幂项和三次幂项变为 0, 结果

$$\Delta V_{be} = - (k T_1/q) \{ (r/3 + a_1 a_2 - a_1^3/3) - (r/4 - a_2^2/2 + a_1^2 a_2 - a_1^4/4) \} (\Delta T/T_1)^4$$

对 M-81 管，取  $r$  的平均值  $\bar{r} = 3.600$ , 代入 (18)(19) 式，得

$$a_1 = 1.3824;$$

$$a_2 = 1.3731;$$

$$a_3 = -1.3638。并有$$

$$I_c = I_{c1} \{ 0.9907 - 1.3638 (T/T_1) + 1.3731 (T/T_1)^2 \} \quad (20)$$

照式 (20)，在测温的上限 ( $125^\circ\text{C}$ )， $\Delta V_{be}$  计算得  $-0.1786\text{mV}$ 。

然而，(20) 式并非最佳的电流方程。从后文可知，考虑到对晶体管测温的理想方程作必要的修正后，取  $a_1 = 1.5418$ ；

$$a_2 = 1.4425;$$

$$a_3 = -1.3432。就能$$

得到近乎最佳的电流方程  $I_c^*$ 。

$$I_c^* = I_{c1} \{ 0.9007 - 1.3432 (T/T_1) + 1.4425 (T/T_1)^2 \} \quad (21)$$

这时， $\Delta V_{be}$  在测温范围内，可减低到  $0.1\text{mV}$ ，甚至更小的值。 $V_{be}$  几乎变成线性方程  $V_{be}^*$ ，

$$V_{be}^* = V_{go}^* - (T/T_1) (V_{go}^* - V_{be1})$$

继而，设定三个常量  $m, n, Va$ ，分别表示：

$$m = a_2 / (V_{go}^* - V_{be1})^2 \quad (22)$$

$$n = 1 - a_1^2 / 4a_2 \quad (23)$$

$$Va = V_{be1} + (a_1/2a_2) (V_{go}^* - V_{be1}) \quad (24)$$

代入式 (14) 后，得到

$$I_c^* = I_{c1} \{ m (V_{be}^* - Va)^2 + n \} \quad (25)$$

这表明，最佳电流  $I_c^*$  是一个变量的平方项与一个常数项之和。也即，图 2 中运算放大器  $A_2$  的输出电压，只要经过线性电路与平方电路的组合，就能获得最佳电流  $I_c^*$ ，代替  $I_c = I_{c1} \cdot (T/T_1)^r$ ，使晶体管温度敏感器的线性达到近乎理想的境地。显而易见，平方电路函数发生器在构造上要简单多了。图 3 是

硅晶体管温度计的电原理图。运算放大器  $A_4 A_5 A_6$  构成函数发生器，其中  $A_5 A_6$  及场效应管  $Q_1 Q_2$  等组成平方电路。 $A_6$  本质上是一只自激振荡脉宽调制器，它的振荡频率在 1200Hz 左右，而比较电压  $V_3$  的峰值应等于  $A_4$  的输出电压  $V_1$ 。它与参考电压  $V_r$  间有这一关系

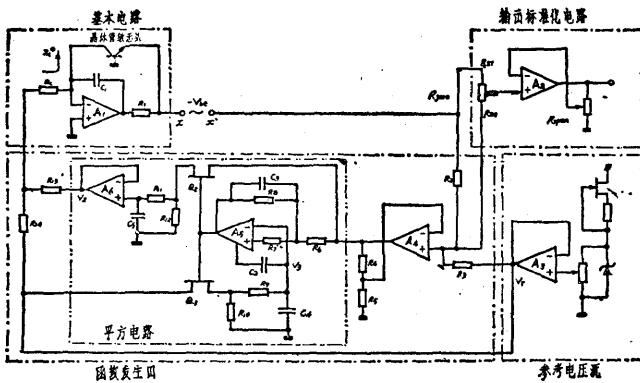


图 3 晶体管温度计电原理图

$$V_3 = V_1 = V_r (\tau / \tau_0) \quad (26)$$

这里， $\tau / \tau_0$  是场效应管  $Q_1$  的时空比。由于  $Q_2$  与  $Q_1$  配对，所以调制波形经  $Q_2$  解调并  $A_6$  放大后，其输出电压  $V_2$  与  $V_1$  之间的关系为

$$V_2 = V_1 (\tau / \tau_0) = V_1^2 / V_r \quad (27)$$

此平方电路在一定的输入电压范围内变换误差可小于 2mV。

$V_2$  通过  $R_{13}$ ， $V_r$  通过  $R_{14}$  在  $R_c$  上组合，构成晶体管敏感器的集电极电流  $I_c^*$ 。

图 3 中， $A_2$  为输出级，其功能是将输出电压转换为对应的摄氏温度量。调整方法：先在  $x'$  端送入一相当于温度为 0°C 时的  $V_{be}^*$  值，记作  $V_{BO}$ 。调节调零电位器  $R_{zero}$ ，使加到运放器  $A_2$  同相端的电压等于 0。然后  $x'$  端改接相当于 +100°C 时的  $V_{be}^*$  值，调节量程电位器  $R_{span}$ ，使输出等于 1000mV。于是在整个量程内，输出电压  $V_0$  标准化为

$$V_0 = G(V_{BO} - V_{be}^*) \quad (28)$$

其中  $G$  为电路的灵敏度，等于每变化  $\partial V_{be}^*/\partial T$  变化 10mV/°C。配上五位数字电压表，电

路显示成相应的摄氏温度量。

#### 四、准确度和互换性

T·C·Verster 指出，具有较宽基极与较低杂质浓度的硅晶体管，宜于做温度敏感元件<sup>[2]</sup>。考虑到本温度计的特点，笔者选用了 M-81 管。

确定所用晶体管的能带间隙  $V_{go}$ 、参数  $r$  及  $\alpha$  是整个研制的关键，方法如下。

在不同的温度点  $T_1$  (295.15K)、 $T_2$  (223.15K)、 $T_3$  (373.15K) 上，测出其对应的  $V_{be}$  值，取名  $V_{b1}$ 、 $V_{b2}$ 、 $V_{b3}$ ，代入式 (2) 后，不难导出

$$r = \{ (T_3 - T_1) (V_{b1} - V_{b2}) - (T_2 - T_1) (V_{b1} - V_{b3}) \} / (k/q) \{ (T_3 - T_1) (T_2 \ln T_2 - T_1 \ln T_1) - (T_2 - T_1) \}$$

$$(T_3 \ln T_3 - T_1 \ln T_1) \} \quad (29)$$

$$\alpha = l_c \exp \{ [1/(T_2 - T_1)] [(V_{b1} - V_{b2}) / (k/q) - r(T_2 \ln T_2 - T_1 \ln T_1)] \} \quad (30)$$

于是

$$V_{go} = V_{be} + (kT/q) \{ \ln(\alpha/l_c) + r \ln T \} \quad (31)$$

对于 M-81 管， $V_{go}$  的平均值为 1.1686(V)， $r$  的平均值为 3.600， $\alpha$  的平均值为 2.6338 (A/K<sup>r</sup>)。

表 1 列出在  $l_c = 50 \mu A$  固定量及  $l_c = l_c^*$  两种情况下的实验结果，并与理论计算值作了比较。从表 1 可知，在  $l_c = l_c^*$  的情况下，在 -50~+100°C 范围内， $V_{be}$  的实测值几乎符合理想的测温方程  $V_{be}^* = V_{go}^* - (V_{go}^* - V_{be1})(T/T_1)$ ，其非线性偏差  $\Delta V_{be} \leq | \pm 0.07 |$  mV，亦即  $\pm 0.03$  °C 左右。

问题是为什么取  $l_c = l_c^*$  而不用式 (20) 的值。分析  $l_c = 50 \mu A$  固定量下的实测数据并与式 (2) 的计算值相比较，笔者注意到它们之间有若干偏离，表示式 (2) 尚不能确切地表达实际过程，需要作若干修正。

如果在式 (2) 中加上一误差项  $\epsilon(l_c, T)$ ，

表1 M-81温度敏感器的典型特性

T (°C)	$V_{be}$ (mV)		$I_c = 50\mu A$		$I_c = I_{c*}$	
	实测值	$\Delta V_{be}$	实测值	$\Delta V_{be}$	实测值	$\Delta V_{be}$
-50	718.05	0.012	711.24	-0.042		
-20	647.59	0.033	642.72	0.031		
0	600.00	0.053	596.93	-0.031		
25	539.00	0	539.80	0		
50	478.95	-0.051	482.62	-0.019		
70	429.86	-0.068	436.88	-0.030		
95	368.08	0	379.70	-0.049		
125	293.31	0.141	311.09	-0.067		
备注	1, 与公式(2)计算值 比较		1, 与公式(4)计算值 比较			
	2, $(\partial V_{be}/\partial T)_{T=T_1} = -2.411 \text{ mV/}^{\circ}\text{C}$		2, $(\partial V_{be*}/\partial T)_{I_c=I_{c*}} = I_{c*}$			
	3, $\Delta V_{be} = V_{be} - V_{be*}$ (mV)		3, $\Delta V_{be*} = V_{be*} - V_{be}$ (mV)			

$$\begin{aligned} e(l_c, T) &= e_1(T - T_1)(T - T_2)(T - T_3) \\ &/T_1^3 + e_2(kT/q) \ln(l_c/l_{c1}) \end{aligned}$$

于是

$$\begin{aligned} V_{be} &= V_{go} - (kT/q) \ln(\alpha T^r / I_c) + \\ &e_1(T - T_1)(T - T_2)(T - T_3) / T_1^3 \\ &+ e_2(kT/q) \ln(l_c/l_{c1}) \quad (32) \end{aligned}$$

式中,  $e_1, e_2$  为引入的二个修正系数。这样, 实验与计算就更接近了。

对于M-81管, 其  $e_1 = 6.101 \times 10^{-3}$ ,  $e_2 = 3.583 \times 10^{-3}$ 。这样实测值与按(32)式的计算值之间的差小于  $0.04 \text{ mV}$ , 同标于图4中。

既然晶体管测温的基本方程(2)作了修正, 自然由展开式(6)而求得的系数  $a_1, a_2, a_3$  的值也要相应的修正。其修正的结果即是前面的式(21)。

至于M-81晶体管敏感器自身的稳定性, 经过二年以上的存放老化和八个月累计二千小时的使用, 检测其  $V_{be}$  值, 发现漂移呈双向性, 在  $\pm 0.05 \text{ mV}$  左右。

对参考电压源的稳定性, 环境温度对运算放大器等元器件的影响, 在制作时都作了考虑, 使  $V_r$  的变化限制在  $0.15 \text{ mV}$  以内, 相应的测量误差小于  $0.03^{\circ}\text{C}$ 。通过微调, 随时可将  $V_r$  调到规定的值上。

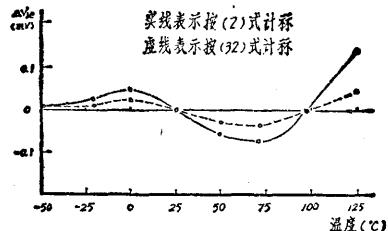


图4  $I_c = 50\mu A$  时及经修正后的  $V_{be}$  计算值对实测值的偏离

下面再讨论探头中敏感器元件的互换性问题。

假定有两个硅晶体管, 分别用下标a、b 标记其特性, 则

$$\begin{aligned} V_{bea} &= V_{goa} - (kT/q) \ln(\alpha_a T^{ra} / I_{ca}) \\ V_{beb} &= V_{gob} - (kT/q) \ln(\alpha_b T^{rb} / I_{cb}) \end{aligned}$$

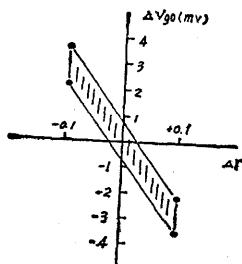
在用作温度敏感器时, 如果都校正在同一个温度点  $T = T_1$  上, 且  $I_{ca} = I_{cb} = I_{c1}$ , 这两个探头的替换误差  $\Delta V_{be}$  可以计算出来,

$$\begin{aligned} \Delta V_{be} &= V_{bea} - V_{beb} = (V_{goa} - V_{gob}) \\ &(1 - T/T_1) - (r_a - r_b) (kT/q) \\ &\ln(T/T_1) \\ &= \Delta V_{go} (1 - T/T_1) - \Delta r (kT/q) \\ &\ln(T/T_1) \quad (33) \end{aligned}$$

对M-81管, 为使探头的互换误差限制在  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  以内, 要求  $\Delta V_{go}$  与  $\Delta r$  落在图5的选择范围内。Pat o' Neil and Carl Derrington指出, 同一型号的晶体管, 如果它们的  $V_{be}$  值相等, 直流增益也相同, 那末它们的  $V_{go}$  和  $r$  参数必然相等<sup>[3]</sup>。这就使选管的工作量减轻了。

为具体考察探头更换的影响, 另取了一只M-81管, 构成探头B。其  $V_{be1} = 539.65 \text{ mV}$ , 比原管小  $0.15 \text{ mV}$ , 直流增益则比原管大5%, 在对仪器本体不作任何调整的情况下, 替下原探头A, 得到表2的实测数据。

此表2看出, 换上探头B后,  $V_{beb}$  普遍比  $V_{bea}$  小  $0.15 \text{ mV}$  左右。如果将B探头在  $25^{\circ}\text{C}$  上的  $l_c$  加以调整, 使  $V_{be1}$  也等于  $539.80 \text{ mV}$ , 那末, AB两探头的  $V_{be}$  值在诸实验的温度点上几乎重合了。



[图5 M-81管的选择范围]

表2 探头A、B互换的数据

V <sub>b</sub> (mV)	探头A I <sub>c</sub> = I <sub>c*</sub> V <sub>b</sub> <sub>c1</sub> = 539.80	探头 B	
		直接替下探头A	重调I <sub>c1</sub> , 使V <sub>b</sub> <sub>c1</sub> = 539.80
0	596.93	596.80	596.95
25	539.80	539.65	539.80
70	436.88	436.70	436.90
95	379.70	379.55	379.70

由此可见，我们研制的晶体管温度计，只要在一个温度点上调试校正后，就能在全量程得到近乎线性的输出，这是其他电子温度计难于做到的。作为敏感器的探头，能够方便的互换，这就为重复生产创造了有利条件。

### 参 考 资 料

- [1] R.A.Ruehle, Solid-state temperature sensor outperforms previous transducers, Electronics, March 20, (1975), 127—130.
- [2] T.G.Verster, The silicon transistor as a temperature sensor, ISA, Vol.4, Part 2, (1972), 1125—1134.
- [3] Pat O' Neil and Carl Derrington, Transistors—a hot tip for accurate temperature sensing, Electronics, Vol.52, No.21, (1979), 137—141.
- [4] 张开逊、王向, 低温下P-n结正向特性的实验研究, 物理, (1981), Vol.10, No.2, 97.
- [5] N. R. Waltham et al, 利用廉价的硅二极管测低温, Physics Education, (1981), March, No. 2. 李来政译, 科技译报, (1982), 2, 157—161, 华中师范学院科技情报科出版。

## 第二次“湿有效能量推广 应用经验交流会”简况

第二次“湿有效能量推广应用经验交流会”于1983年12月15—19日在杭州召开。会议收到材料133篇,交流了40篇。

1983年7月,陕南继19—21日出现暴雨后,28—31日又出现连续暴雨,致使汉江水位猛涨,安康遭受水灾。陕西省气象台与汉中地区气象台在1982年试用的基础上,1983年7月将湿有效能量方法正式投入试用。从试用效果看,均提供了比较可靠的信息,对作好安康暴雨的预报起到了一定的作用。

1983年汛期将湿有效能量方法投入大范围暴雨预报业务试用的单位共有46个。会议根据试用报告(有证明材料者)作出的统计表明:15个省、市、自治区气象台预报正确、空报、漏报次数各占66%、18%、16%;31个地区气象台预报正确、空报、漏报次数各占69%、19%、12%。

暴雨过程是一种能量转换过程。产生一场暴雨,需要很多动能,这些动能只有从有效能量转换而来。因此,把湿有效能量方法作为暴雨预报的一种补充手段,多给预报员提供一种信息,对预报员作出决策可能是有帮助的。从会议收到的材料看,各地已作了很多尝试,归纳出了不少方法,例如模式法、指标法、与数值预报产品相结合、与其他物理量场相结合以及与天气图相结合的方法等。从各地试用经验看:湿有效能量在大范围大暴雨发生之前以及汛期第一场暴雨或久晴后的第一场暴雨一般能提供比较明显的信息;空报次数往往多于漏报次数,特别是在干旱少雨地区,预报时效有时较短。

有效能量概念是本世纪初提出的,湿有效能量概念是1978年前后提出的,在理论上与业务应用方面都有很多问题需要进一步探索、实验。因此,会议向1984年欲投入试用的单位提出:试用前要制定出试用方案;试用方案中的指标或判据一般要用10年资料找出;试用期间每天的预报意见要当众公布;上报试用结果时要有本单位的鉴定证明。

(吴宝俊 刘延英)