

## 71-2 型 粮 食 温 湿 计

山东省益都县粮食局直属粮库

在粮食的收购和安全保管中,准确地检验和掌握其含水量和温度的变化情况,是一项重要的工作。过去沿用的检验器具,不但耗费一定的粮食,花费较长的时间,而且手续复繁,取样笨重。我库在各级党委的领导下,遵照毛主席关于“**在生产斗争和科学实验范围内,人类总是不断发展的,自然界也总是不断发展的,永远不会停止在一个水平上。因此,人类总得不断地总结经验,有所发现,有所发明,有所创造,有所前进**”的教导,发扬自力更生,艰苦奋斗的革命精神,大搞群众性的科学保粮技术革新活动,狠批了刘少奇、林彪一类骗子所散布的“科学神秘”、“群众落后”、“技术第一”等反革命修正主义黑货,充分发挥人的主观能动性,克服重重困难,在有关部门的大力协助下,试制成功晶体管 71-2 型粮食温湿计。现介绍如下:

### 一、主要技术性能

晶体管 71-2 型粮食温湿计是检验粮食含水量和温度的快速测量仪器(见图 1)。能用插入法和埋线遥

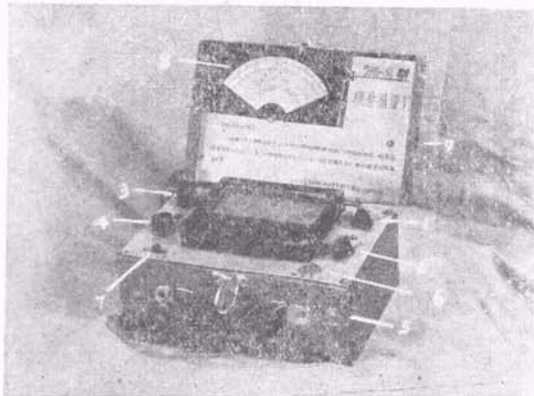


图 1 71-2 型粮食温湿计

1——波段开关  $K_1$ ; 2——波段开关  $K_2$ ; 3——测湿零点调整电位器  $W$ ; 4——测温、测湿满度调整电位器  $W_1$ ; 5——暗调电位器  $W_2$ ; 6——测量插口; 7——电源开关; 8——旋转尺对数尺; 9——摸边旋钮

第 2 期

测法对仓存、散装粮堆进行水份和温度的测量,对不使用上述两种方法进行测量的,亦可用取样法。水份的测量,随着传感器与被测粮食的接触,即能马上从指示仪表上读出其水份值。温度的测量,传感器在被测部位平衡三分钟后,即可以从指示仪表上读出其温度值。

品种范围:小麦、谷子、玉米、红粮、大米、稻谷等六个品种。

测量范围:

水份:(1)小麦:9%—18%;(2)谷子:10%—19%;(3)玉米:10%—16%;(4)红粮:12%—19%;(5)大米:13%—20%;(6)稻谷:11%—19%。

温度:  $-5^{\circ}\text{C}$ — $+45^{\circ}\text{C}$ 。

精确度:(1)水份误差:  $\pm 0.5\%$ ;(2)温度误差:  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

使用环境:(1)温度:  $-10^{\circ}\text{C}$ — $+50^{\circ}\text{C}$ ;(2)相对湿度:在  $20^{\circ}\text{C}$  时  $>95\%$ 。

整机耗电:(1)测湿最大电流: 2 mA;(2)测温最大电流: 2 mA。

体积:  $220 \times 140 \times 130 \text{ mm}$

重量: 3 kg

### 二、基本原理及电路

仪器由传感器、转换开关、直流放大器、测温电桥、指示仪表、电源等构成。方框图如图 2 所示。

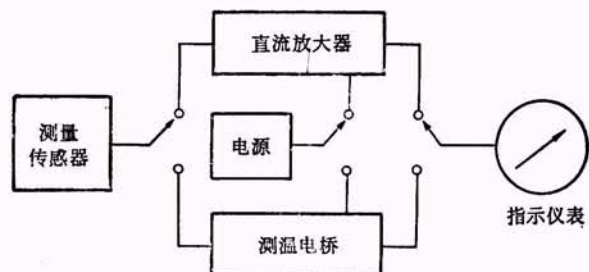


图 2 晶体管 71-2 型粮食温湿计方框图

## 1. 温度的测量

(1) **测温原理及电路:** 仪器的测温原理是以热敏电阻为感温元件, 利用其内阻随环境温度的变化而相应变化的性能, 采用不平衡电桥电路, 用指示仪表所反映的电流数直接对应其温度值。如图 3。\$R\_1\$、\$R\_2\$、\$R\_3\$、\$R\_4\$ 分别为电桥的四个桥臂, \$R\_{t0}\$ 为感温元件——热敏电阻。\$R\_1 = R\_2\$、\$R\_3\$ 等于测温范围下限的热敏电阻阻值, \$R\_4\$ 等于测温范围上限的热敏电阻阻值。根据电桥原理, 当 \$R\_{t0} = R\_3\$ 时, 则 \$R\_1 \cdot R\_{t0} = R\_2 \cdot R\_3\$, 电桥平衡, 表针指零。当 \$R\_{t0} = R\_4\$ 时, 则 \$R\_1 \cdot R\_{t0} \neq R\_2 \cdot R\_3\$, 电桥失去平衡, 表针偏转满度。因此, 当热敏电阻值随环境温度在测温范围内变化时, 表针便从零偏转至满度。电路适当选取了桥臂的阻值和配比关系, 改变了热敏电阻的非线性, 使指示仪表的刻度均匀, 读数方便。电源 \$E\$ 经电位器 \$W\$ 分压调节, 使其保持在 1.5 V 左右, 以满足表针偏转满度的需要。

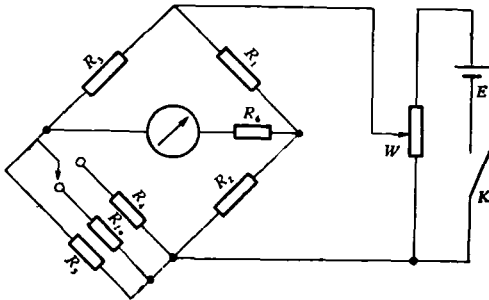


图 3 测温电桥

(2) **元件的选取与调整:** 感温元件——热敏电阻是 \$R\_{11}\$ 型负温度系数珠状热敏电阻, 20°C 时 1 kΩ, 误差 20%。\$R\_1 = R\_2 = 1.2\$ kΩ, \$R\_3 = 3.3\$ kΩ, 均选用 \$R\_T\$ 型 1/4 W 金属膜电阻, 误差 < 0.5%。\$R\_3\$、\$R\_4\$、\$R\_5\$ 视热敏电阻而定, 为便于按装和调整, 选用了 1.5 kΩ—3.3 kΩ 的小型紧口电位器。电桥的调整可根据热敏电阻在各不同温度下的阻值, 适当调节 \$R\_3\$、\$R\_4\$、\$R\_5\$ 使指示仪表的输出与温度变化呈线性为止。

(3) **温度的校正:** 温度的校正主要是热敏电阻的校正。因为一般生产厂只给 20°C 时的热敏电阻的阻值, 而且误差 20%。再者, 对于非线性变化的热敏电阻单纯用推算或其他计算方法所算出的各种温度情况下的阻值, 往往误差较大, 不能直接应用。这就要对所选用的热敏电阻在测温范围内的各种温度下的阻值做一精确的测量, 以便调整测温电桥, 减小测量误差。

关于热敏电阻的校正可视条件而定, 可用保温箱、盐冰浴等恒温设备, 亦可利用自然气温, 用二等标准水银温度计进行温度标定。用测量电流较小的电阻测量仪器(如电位差计、电桥表等)进行阻值测量, 注意不宜用万用表进行测量, 因为万用表测量精度太低, 同时低

阻档测量电流太大, 在测量中容易因测量电流大而引起热敏电阻自身发热, 造成测量误差大。

## 2. 水份的测量

(1) **测温原理:** 粮食的含水量与其导电率有一定的比例关系。如图 4, 粮食的含水量较低时, 其导电率也较低, 随着所含水份值的增加, 其导电率也按一定的变化关系增高。

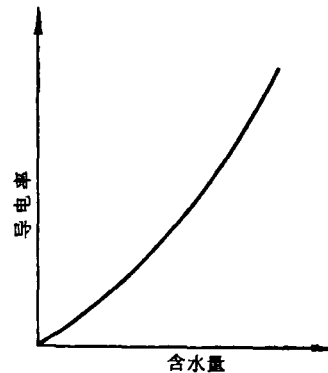


图 4 导电率和含水量关系

根据粮食的这一物理性能, 便可用图 5 所示的电路, 相应地反映出某品种粮食在一定电压情况下, 含水量与电流的关系。图中 \$r\_0\$ 为指示仪表内阻, \$R\$ 为一串联电阻, \$R\_x\$ 代表某品种粮食在一定含水量时导电率的等效电阻。当 \$r\_0\$、\$R\$、\$E\$ 为已知时, 按  $I = \frac{E}{R_x + R + r_0}$ , 则指示仪表所指示的电流数, 也就相应的代表了这一粮食的含水量。当这一粮食的含水量改变时, 其等效电阻 \$R\_x\$ 亦随着改变, 指示仪表所指示的电流数便相应地改变。若将这一粮食的含水量与指示仪表所指示的电流数进行校正, 并直接刻在表盘上, 那么指示仪表就将直接指示出这一粮食的含水量。

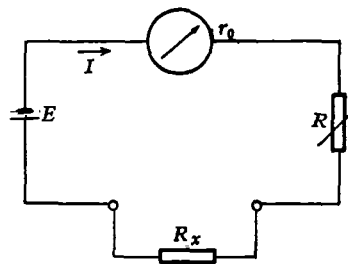


图 5 测温原理

粮食是有生命的有机物质, 它(粮堆、粮粒)所含水份的分布平衡与否, 受所处环境的变化的影响, 主要是受温度变化的影响。粮食水份分布的不平衡, 导致了导电率的减小。特别是低水份粮更为明显。如小麦在 20°C 含水量 9% 时, 其等效电阻值高达 3 kΩ 以上(在一定数量, 一定接触面积, 一定压力情况下)。这就

给既不插取粮样，又不对粮食进行特殊处理(如粉碎)而进行直接测量，带来了很大困难。

为使仪器的测量范围能适应本地区的粮食安全保管水份范围，如小麦9%—12.5%，故71-2型粮仓温湿计的水份测量系统采用了晶体管直流放大器。

(2) **测湿电路：**直流放大器存在着因电源电压变化和晶体管各参数随环境温度变化所引起的零点漂移。特别是在放大非常微小信号时，其影响更为显著。为了提高测量精度，使仪器能在 $-10^{\circ}\text{C}$ — $+50^{\circ}\text{C}$ 范围内稳定工作，又基于便携式小型仪器不宜采用太复杂的电路，所以仪器采用了对克服零点漂移有效的平衡差动式放大线路。如图6。它是由两组晶体管组成对称的电路。测湿传感器将待测量转换成与含水量成比例关系的微电流，作为放大器的输入信号，信号在管的基极(1、2端)输入，由“a”、“b”端输出。当 $R_{b1} = R_{b2}$ ， $R_{b3} = R_{b4}$ ， $R_{c1} = R_{c2}$ ， $BG_1$ 与 $BG_2$ 的特性一致的情况下，在没有信号输入时， $I_{c1} = I_{c2}$ ， $a$ 、 $b$ 两端电位相等，便有： $U_{ab} = I_{c1}R_{c1} - I_{c2}R_{c2} = 0$ ，其差值为零，故输出亦为零。由于环境温度的变化而导致晶体管各参数变化时，在元件和线路对称的情况下， $\Delta I_{c1}R_{c1} = \Delta I_{c2}R_{c2}$ ，所引起的实际漂移是微乎其微的。当有信号输入时， $BG_1$ 、 $BG_2$ 的输入端则分别加了大小相等方向相反的输入电压 $|U_{11}| = |U_{12}|$ ，其集电极电流 $I_{c1}$ 和 $I_{c2}$ 则分别相应增加和减小，导致 $a$ 、 $b$ 两端出现电位差，指示仪表便有相应的电流指示。其输出的大小直接反应了输入信号的强弱，从而达到鉴别其含水量的目的。

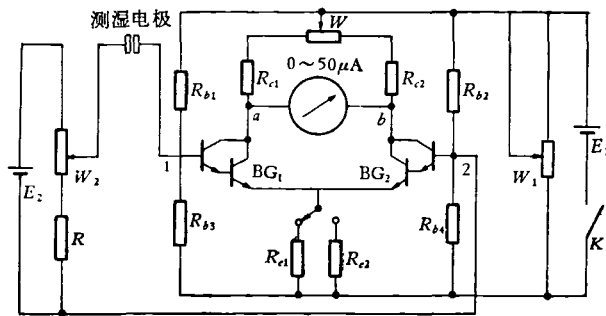


图6 测湿线路

两晶体管的基极偏流由 $R_{b1}$ — $R_{b4}$ 分压供给， $R_e$ 串接在发射极电路中，构成电流负反馈电路。并适当选取工作点，使集电极静态电流在小电流情况下为几十微安，大电流情况下为一毫安左右。 $R_e$ 的选取是使 $V_{be}$ 保持 $0.5\text{V}$ — $3\text{V}$ 之间，小电流情况下十几千欧，大电流情况下几百欧，从而进一步提高了稳定性，有效地克服了零点漂移。对于晶体管对之间特性的差异和温度变化所造成的微小漂移，则由调零电位器 $W$ 调节平衡。电位器 $W_1$ 调整电源 $E_1$ ，使其保持 $12\text{V}$ ，供放大器使用。电位器 $W_2$ 调整电流 $E_2$ ，使其保持 $110\text{V}$ ，作为

第2期

信号电源，从而消除了电流电压变化的影响，进一步保证了测量精度。

为了提高仪器的灵敏度和输入电阻，以及便于拆装、调整和维修，晶体管对采用了复合接法。

(3) **元件的选取与调整：**对测湿电路所用的元件进行严格的挑选和调整，是保证仪器在使用中能否稳定、可靠的关键。在这里晶体管的挑选是重要的方面之一。

晶体管的 $V_{be}$ 、 $\beta$ 、 $I_{cbo}$ 三个参数是温度的函数，因此，两组晶体管选用了 $I_{cbo} \leq 0.01\mu\text{A}$ 稳定性较高的硅三极管3DG6复合而成。经挑选使 $V_{be}$ 一致，因温度变化所造成的差值也不大于毫伏级。 $\beta \geq 90$ ，其差值不大于3%，这样就有效地使两组晶体管有相同的静态特性和温度特性。

对于接线板、接插元件及开关等要注意选用绝缘性能好的。

电阻元件选用了经老化处理的RT型 $1/4\text{W}$ 金属膜电阻， $R_{b1} = R_{b2} = 300$ — $500\text{k}\Omega$ ，具体数值需根据所用晶体管调整后决定。 $R_c$ 是发射极反馈电阻，用来调整放大器的灵敏度，同时用改变反馈量的大小的方法来达到转换两个测湿量程的目的。

对于放大器的调整可用信号输入法：在第一测湿量程，如小麦12%—18%时，适当调整 $R_{b1}$ 、 $R_{b2}$ 和 $R_{e1}$ ，使放大器有 $1$ — $50\mu\text{A}$ 的输出；在第二测湿量程如小麦9%—12.5%时，调整 $R_{e2}$ 使放大器有 $1$ — $50\mu\text{A}$ 的输出，若达不到此数值，可适当减小 $R_{b1}$ 、 $R_{b2}$ ，但减小 $R_{b1}$ 、 $R_{b2}$ 后须重新调整 $R_{e1}$ ，以保证第一测湿量程的输出。

(4) **水份的校正：**粮食的导电率能随所处环境温度的变化而相应变化(如测湿原理一节所述)。为保证仪器的测湿精度，可以从电路上解决，使之在不同的温度下保持其输出不变，但这必然使电路复杂，除增加成本外，还造成了拆装、调整和使用的繁琐。因此，该仪器用的是加、减温度校正系数的方法，就是指示仪表的水份刻度是在一定温度下校正刻度的，如果被测粮食的温度高于校正温度，那么粮食的导电率就必然高于在校正温度时同品种粮食的导电率，引起指示仪表读数偏高，这时就减去温度校正系数，反之则加上温度校正系数，使之反映出粮食的实际含水量。

在这里和其他电子仪器一样，我们以 $20^{\circ}\text{C}$ 为粮食的标准校正温度。通过实验得出同品种同水份而不同温度下的校正系数，并不是线性的，但又很接近(在 $0.1\%$ 左右)。即为了保证仪器的测湿精度，又为了便于计算，在用上述三种方法进行测量时，当被测粮食的实际温度每高于(或低于)校正温度( $20^{\circ}\text{C}$ )一度时，就在指示仪表的读数上减去(或加上) $0.1\%$ ，便是被测

粮食的实际含水量。如某小麦粮温 26℃，用所述三种方法测量，指示仪表所反映的含水量是 12.5%，因粮温比校正温度（20℃）高 6℃，所以应减去 0.6%，即粮食的实际含水量是 11.9%。如粮温是 16℃，指示仪表仍反映是 12.5%，那么，粮食的实际含水量便是 12.9%。

粮食的含水量与仪器的校正方法：将仪器测温范围内的各品种粮食样品，与仪器放在 20℃ 的环境中，经温度测定后，先用标准法（即 105℃ 烘箱法）进行检验，再用仪器测量。这样，标准法检验与仪器测量反复多次，便可得出一条不同品种不同水份的电流变化曲线，然后可根据这条曲线进行指示仪表表盘的水份刻度。实验证明，利用图 8 所示传感器进行插入或埋线遥测，同品种的粮食可使用同一条水份曲线，而用图 9 所示的量具进行测量时，其水份曲线与以上两种方法的水份曲线不能重合，所以适应量具的水份曲线须另行校正，分别刻度。

### 三、整机结构

仪器由测温系统、测湿系统、转换开关、指示仪表、湿度对数尺和传感器一探头（附设量具）等组成。整机线路见图 7。

测温、测湿共用一块指示仪表（61C3 型 0—50 μA），一组工作电源  $E_1$ （15F 20，22.5V）由 9×3 波段开关  $K_1$  转换，同时还转换（通、断）电源  $E_2$ （15F 20，

22.5V×7）和测量插口 CZ，以达测温或测湿的需要。

通过另一 9×3 波段开关  $K_2$  转换“满度调整”、“测量”以及  $E_2$  的电压校正电路， $W$  是测湿零点调整电位器， $W_1$  是测温、测湿满度调整电位器， $W_2$  是一个暗调电位器，用以调整测湿电源  $E_2$ 。

为了读数方便，测量迅速，温度刻度和常用粮食品种的水份刻度都直接绘制在指示仪表上。其他粮食品种的水份值则用湿度对数尺读数。因为六个粮食品种的 15 个不同量程的水份值，若用 8 条弧线直接绘制在指示仪表上，必造成刻度拥挤精确度差。若用复式表盘的方法，按品种更换表盘，不但繁琐而且因视线角度的不同，容易引入较大的读数误差。该仪器采用圆形旋转式湿度对数尺，按装在盒盖内侧，按指示仪表的读数，便可通过摸边旋钮相对应的调节出某品种粮食的水份值。使用方便，读数迅速，通过使用证明，其读数误差不大于指示仪表的读数误差。

传感器是该仪器的关键部件之一，如图 8，它的电极按装形式和几何尺寸在一定程度上决定了仪器的测量精度和测量范围，并使之能进行仓内最低层 2 cm 以下的测量。测湿电极和热敏电阻按装在同一个人有机玻璃骨架上，组成探头作为测量传感器，可用于埋线遥测，即将若干传感器预先埋在粮堆的若干部位，导线引至仓外，通过一编号分线盘，用三芯插头与仪器联接，便可进行定期或不定期的水分和温度的测量，这种方法最适用于地下仓、土圆仓等不便使用探杆插入法进行测量的仓房。将传感器固定在探杆的顶端，可用于

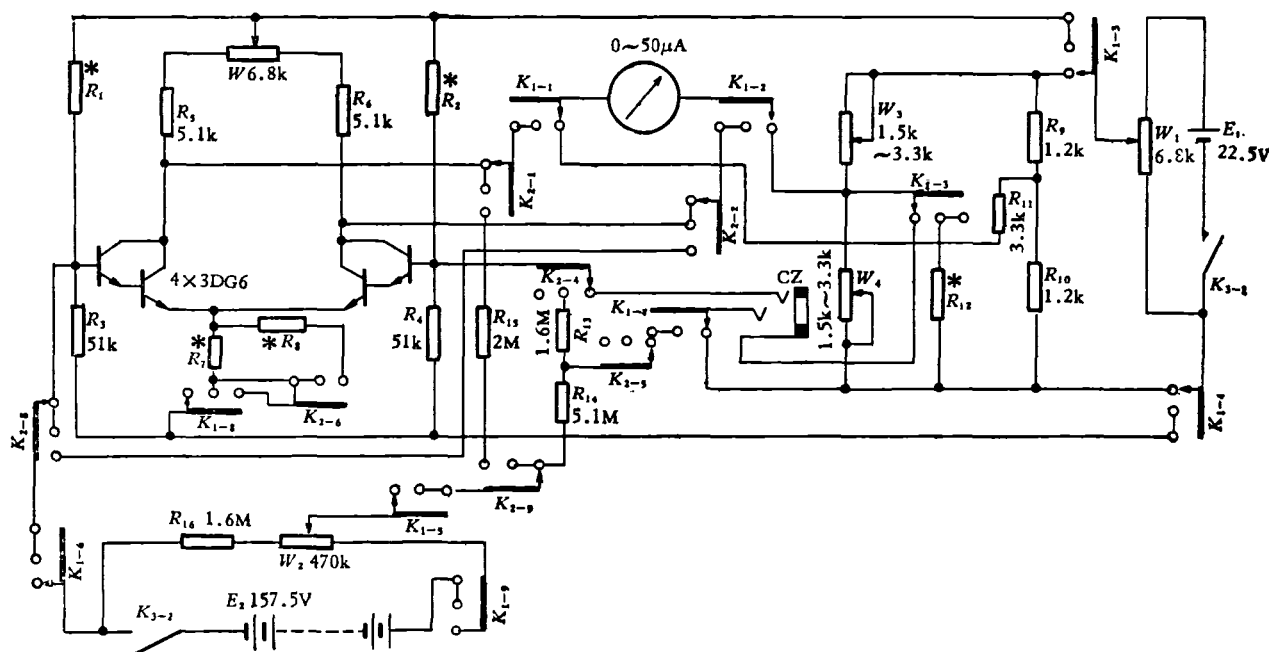


图 7 整机线路图

(1)  $K_1$  均在测温位置； (2)  $K_2$  均在测量位置

插入法进行测量。探杆用  $14 \times 3\text{mm}$  的钢管制成,共分三节,全长  $3.6\text{m}$ ,可供不同仓容条件使用。传感器与仪器的联接用软线从探杆中引出,用三芯插头与仪器联接。

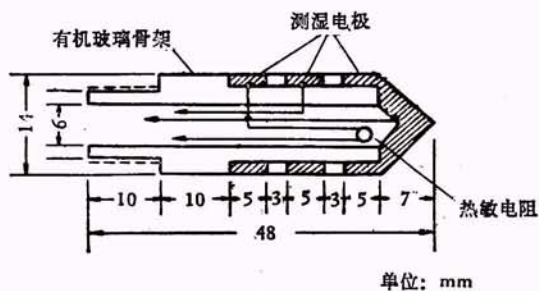


图8 传感器

仪器备有量具一套,如图9,量具由小磨、压式测湿电极、热敏电阻和定量勺、摇把(压把)等组成。通过三芯插头与仪器联接,该量具主要用于取样测量,适用于粮食的收购入库。

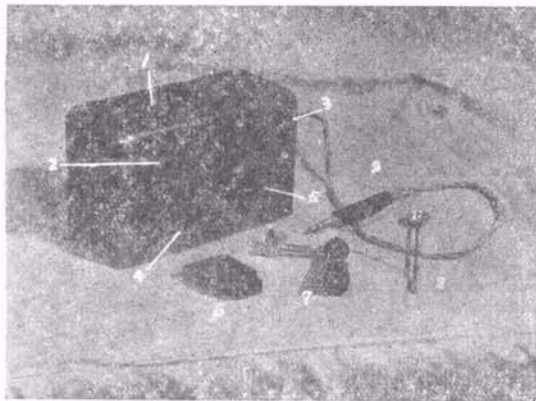


图9 量具

- 1—入料口; 2—摇把孔; 3—压杆孔;  
4—盛料孔; 5—测量孔; 6—盛料盘;  
7—摇把; 8—定量勺; 9—插头

为便于安装、调试和维修,为进一步提高仪器的稳定性,整机电路按装在一块  $110 \times 205 \times 2\text{mm}$  的有机玻璃板上,并经过一定的绝缘处理,以消除相对湿度在  $95\%$  时所产生的毫微安数量级的漏电现象。

## 四、使用方法和注意事项

### 1. 使用方法

- (1) 将探杆或量具引出线上的插头插入仪器的“测量插口”。
- (2) 根据测量目的,将量程开关  $K_1$  拨至“水份”或“温度”位置。
- (3) 开启电源。
- (4) 将调整、测量开关  $K_2$  拨至“校正”档,校正测

湿电源,调整暗调电位器  $W_2$ ,使表针指示满度。

(5) 再将  $K_2$  拨至“满度调整”位置,调节  $W_1$  使表针指示满度,然后拨至“测量”位置,调整  $W$  使表针指零(注意:此时探头应保持良好绝缘,并不得与任何物质接触)。重复上述两步骤,直至在“满度调整”档表针指示满度,在“测量”档表针指零,便可进行测量。

(6) 将仪器所测水份加上(或减去)温度校正值便是粮食的实际含水量。

(7) 测温时,将  $K_2$  拨至“满度调整”位置,调节  $W_1$ ,使表针指示满度后,再将  $K_2$  拨至“测量”位置,此时表针的指数便是所测温度值(注意:传感器须在欲测部位平衡三分钟左右)。

### 2. 注意事项

- (1) 传感器、量具和插头应保持清洁、干燥,以免造成不应有的零点漂移,带来测量误差。
- (2) 测量插口一定要与金属板绝缘。
- (3) 仪器严禁剧烈震动和受潮,存放环境温度不应超过  $50^\circ\text{C}$ 。
- (4) 在仪器的使用过程中,严禁传感器上的测湿电极短路,以免损坏仪器。

## 五、使用情况

晶体管 71-2 型粮仓温湿计主要用于检查粮食的水份和温度。通过在我省四个县和本县六个粮管所一年半的试用证明效果良好,使用效果情况请见附表。它的主要特点是不需扦取粮样,能随着探杆插入粮堆的不同深度,即可从指示仪表(或对数尺)上直接读出该部位的水份值。过去距仓底  $2\text{cm}$  以下的坏粮不易发现,而使用该仪器则不需要用挖底检查即可查出水份值和温度值。这样就大大减轻了劳动强度,提高了工作效率,而且不浪费粮食。温度的测量也较一般水银温度计快,只须平衡三分钟左右,即可读数,从而基本上改善了过去那种重、慢、费的局面。对仪器的电路和外型设计从实用出发,基本做到小型轻便,操作简便,灵敏度高,适应环境性强,测量品种多,测量范围也较广,经实际应用证明,能满足我地区粮食部门的需要,也特别适应广大农村的需要。目前,这种仪器已在我省各地广泛使用。

为了更好地服务于生产,服务于广大农村,应对仪器存在的以下几方面的问题进行不断改进和完善。

1. 仪器的灵敏度还需进一步提高。
2. 当前探杆虽能分节,但因有导线联接,节与节之间还不能完全脱离。
3. 还需对整机电路和结构作进一步的研究,使之在低成本,低消耗的前提下,做到电路更加完善、简化和稳定,结构更加适合于实用。

71-2 型粮仓温湿计检验记录表(摘录)

仓号	品种	粮温	检验部位	测量形式	水分 (%)			温度 (°C)			备注
					105°C 烘箱法	粮仓温湿计	误差 (+,-)	水银温度计	粮仓温湿计	误差 (+,-)	
4	玉米	20	中	插入	15.45	15.32	-0.13	20	19.7	-0.3	
4	”	20		取样	15.45	15.45		20	20		
13	”	18.5	上	插入	13.34	13.58	+0.24	19	18.5	-0.5	
2	”	15		取样	15.38	15.22	-0.16	15	15.5	+0.5	
5	红粮	19	上	插入	14.39	14.05	-0.34	19	19.5	+0.5	
5	”	19		取样	19.62	19.7	+0.08	18.5	19	+0.5	
圆四 3	”	18.5	中	遥测	14.69	14.3	-0.39	18.5	18.5		
1	”	14	下	插入	14.33	13.98	-0.35	13.7	14	+0.3	
3	谷子	16.5		取样	13.36	13.05	-0.31	16.5	16.5		
3	”	14	上	插入	12.87	13.4	+0.53	13.7	14	+0.3	
圆四 9	”	16.5	中	遥测	12.9	13	+0.1	16.5	16.5		
1	小麦	8	中	插入	13.62	13.8	+0.18	8	7.7	-0.3	
6	”	13.5	上	”	11.4	11.65	+0.25	13.5	13.5		
8	”	17		取样	11.28	11.15	-0.13	17.2	17	-0.2	
圆四 7	”	16.5	下	遥测	11.28	10.85	-0.43	16.5	16.5		
12	大米	18		取样	16.6	16.3	-0.3	17.7	18	+0.3	
12	”	22		”	16.08	16.2	+0.12	21.5	22	+0.5	
1	稻谷	15	中	插入	15.38	14.9	-0.48	15	15		
3	”	18.5	下	”	17.17	16.75	-0.42	19	18.5	-0.5	
3	”	18.5		取样	18.23	18.1	-0.13	18.5	18.5		

## 放射性同位素荧光分析法测铅

张家骅 张达明 李玉君 冯天碧 胡序胜

(上海原子核研究所)

放射性同位素检测仪表是原子能技术在国民经济中应用的重要领域。除了使用较早的厚度计、密度计、物位计、流量计、湿度计、真空计、继电器等之外,近年来,以放射性同位素作为激发源的荧光分析仪,在物质成份的分析方面也应用得愈来愈多。我们上海原子核研究所近年来在这方面也做了一点工作。下面就对这种仪器的原理、特点作一些简要的介绍。

### 一 原理及装置

当原子受到合适的初级射线源激发,会发出具有某些特征能量值的X射线(此种次级射线即称为荧光)。由于特征X射线的能量取决于该元素的原子结构,因此测得某特征X射线的能量就可作该元素的定性分析。又由于特征X射线的强度依赖于该元素的含量,因此测得其强度就可作定量分析。

如果上述的初级射线源为X光管,那么仪器就是人们比较熟知的“X射线荧光分析谱仪”;而如果使用的初级射线源为一合适的放射性同位素源,那就成为我们所要讨论的仪器。

图1为放射性同位素荧光分析仪的示意图。以下,结合我们的工作将各部分逐一简介。

### 1. 放射源

考虑到我们需加分析的主要元素为铅,而分析铅的K系谱线较L系谱线更为优越(荧光产额较高,受基体不匀性的影响较小),故选用国内用回旋加速器生产的 $^{60}\text{Co}$ 源(半衰期270天,主要用其122 keV的 $\gamma$ 射线)。该源原为液体,再自制成密封的固体小圆柱状,容器为不锈钢。制好不久,用相对测量法定出其强度约为13毫居里,至今已近两年,尚可使用。由于 $^{60}\text{Co}$ 的生产较难,价格较高,我们也曾使用过 $^{137}\text{Cs}$ 源(半衰