

## 仪器研制

# 自动记录型土壤湿度计\*

杨苑璋 汪仁真 陈志雄

(中国科学院南京土壤研究所)

张力计，又称土壤湿度计[1]，是测定土壤水吸力的一种仪器。自动记录型土壤湿度计是用固态压阻传感器将测得的土壤水吸力信息转换为电讯号传给记录仪记录的仪器。

大家知道，田间土壤水吸力是不断变化的，故连续记录的土壤水吸力资料可供研究者掌握土壤水吸力的动态，这对研究土壤水分运动十分重要；在生产上，这样的资料对农田灌溉排水也很有价值，如果把这种仪器和灌溉系统联系起来，还可以做到灌溉自动控制。因此，这种仪器的研制，在理论研究和生产实践上都有一定的意义。

### 原理和结构

利用固态压阻传感器(简称传感器，下同)，将土壤湿度计测得的土壤水吸力转换为电压信号，再传输给记录或数字显示仪表，这就是自动记录型土壤湿度计的测量原理。自动记录型土壤湿度计的结构可分为三部分：(1)陶土管，(2)传感器，(3)记录仪(图1)。

陶土管是仪器对土壤水吸力的感应部件，它是一个多孔体，其孔隙特性有一定的要求[2]，当陶土管和被测土壤接触后，仪器的内部便产生和土壤水吸力相

应的负压，传感器同时感应到这一负压。

传感器是根据硅材料的压阻效应，采用集成电路工艺在硅膜片上制成一个惠斯顿电桥。它是将压力转换成电压信号的部件，传感器所受的压力与输出电压

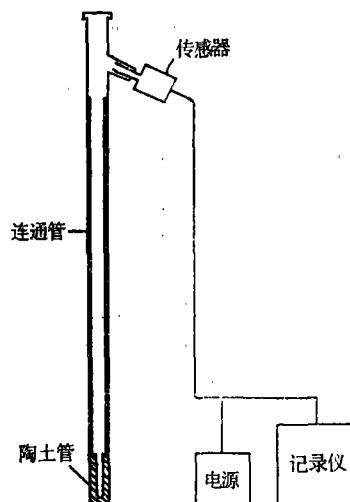


图1 自记土壤湿度计示意图

\*此项工作得到项惠贤、陆福贞同志帮助，特此致谢。

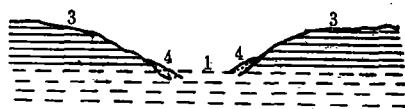


图6 不同岩相互层丘陵沟谷基底岩相风化物断面示意图(江西)

- |                  |                  |
|------------------|------------------|
| 1. 紫色泥岩风化物(水稻田)  | 2. 红色砾岩残积风化物(丘陵) |
| 3. 第四纪红色粘土(丘陵岗地) | 4. 堆积物           |

信号成线性关系。目前我们所用的传感器是宝鸡秦岭晶体管厂的CYG-A型固态压阻传感器。

显示仪表可用自动记录仪或数字电压表。记录仪同时可作多点记录，数字电压表则随时可以显示测量值。由于输出电压值与土壤水吸力呈线性关系，故由此相关可得出土壤水吸力的资料。

### 装配与校正

按图1的方式连接自动记录土壤湿度计，其传感器有四根引出线，其中两根接直流稳压电源(9V)，另外两根接记录仪。由于传感器制作时不能保证零位输出电压为0(毫伏)，满度(-1公斤/厘米<sup>2</sup>)输出为10(毫伏)，同时由于陶土管的连通管长短不一(以埋入土壤深度而定)，对传感器产生不同的静水压，故使用时需要作零位及满度校正。校正的参照压力以水银压力表的压力为标准。

校正装置见图2，将已经作除气处理的〔1〕、待校正的张力计插入密封的容器中，并使陶土管的一半浸入水中，这时，陶土管处于零位压力状态，传感器输出电压应为0(毫伏)。容器另有一连通管接抽气机，可使容器内的陶土管处于不同负压状态，其负压值以水银压力表指示(亦即湿度计的负压值)，此时，传感器的输出值(毫伏)应与容器的负压值一一对应。由于陶土管能承受的最大压力是-0.85公斤/厘米<sup>2</sup>左右，故传感器的满度值相应亦为8.50毫伏左右。

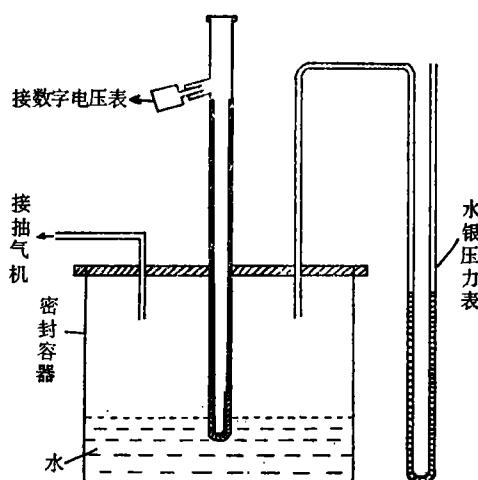


图2 校正湿度计装置示意图

校正时，在传感器的桥臂上接上一组电位器(图3)，旋转电位器可改变传感器内部电桥的阻值，以达到校正零位和满度的目的。零位校正时，根据分流原理，旋转电位器(R<sub>1</sub>)，使电桥平衡，输出值即为0(毫

伏)。满度校正则是根据分压原理，旋转电位器(R<sub>3</sub>)，使输出电压与所加的满度负压一致。

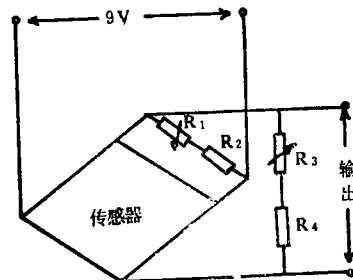


图3 零位、满度校正示意图

记录仪指示的电压值(毫伏)与土壤水吸力的关系如下：

$$\text{电压值(毫伏)} \times 100 = \text{厘米水柱值} \doteq \text{毫巴值}$$

例如，若记录仪指示4.83毫伏，即可换算成

$$4.83 \text{ 毫伏} \times 100 = 483 \text{ 厘米水柱} \doteq 483 \text{ 毫巴}$$

### 温度效应

传感器的压力输出受温度影响，它是产生测量误差的主要原因之一。由于土壤湿度计一般在田间应用，环境温度经常发生变化，故仪器的温度效应亦有必要事先进行试验。温度试验方法亦如图2所示，惟使湿度计处于不同温度(24.5℃及44.5℃)下进行测试，在容器内压力分别为0，-0.2，-0.4，-0.6及-0.8公斤/厘米<sup>2</sup>时，用PZ 8数字电压表测量，其结果示于表1。

根据表1的结果可算出湿度计的“零位温度系数”和“满度温度系数”，连同测定的其他技术指标一并列于表2，这些指标与传感器出厂时的指标比较，便可以看出这种传感器在湿度计上应用时的变化情况。同时，也可以由这些指标来计算仪器的精确性。上述结果表明，自记湿度计的电压输出(毫伏)与其所受的负压(公斤/厘米<sup>2</sup>)有良好的线性关系，其非线性都<±0.70%，重复性和迟滞均≤0.50%。表2同时表明，满度温度系数由10<sup>-4</sup>级增至10<sup>-3</sup>级，三只湿度计均<5.0×10<sup>-3</sup>/℃ F·S，即温度每升高1℃，其满量程温度系数<0.5%。说明当温度变幅很大(如20℃)时，满量程输出的最大误差可达到10%左右，因此，当测量精确度要求高时，它在常温条件下使用为宜。

此外，我们还模拟田间情况，将自记湿度计放于室外，插入土壤中，并引出导线100米至室内进行测量，其结果列于表3中，此试验在1978年8、9月间进行。

模拟田间情况，受夏天高温影响，使土壤湿度计产生误差，由表3看出，最大标准差为±0.185毫伏，换算成负压值约为±18.5毫巴，此值可作为田间应用这种仪器时的参考。

表1 不同温度下自记湿度计输出的电压值(毫伏)

编 号	温 度		24.5℃					44.5℃				
	负 压 (公斤/厘米 <sup>2</sup> )		0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8
134	第一 次	升	+0.01	-1.99	-3.99	-6.02	-8.04	+0.01	-1.93	-3.82	-5.82	-7.30
		降	+0.01	-1.99	-3.99	-6.01	-8.02	+0.01	-1.94	-3.83	-5.80	-7.48
	第二 次	升	+0.01	-1.99	-3.99	-6.00	-8.00	+0.01	-1.93	-3.82	-5.80	-7.24
		降	+0.01	-2.00	-3.99	-5.99	-8.00	+0.02	-1.93	-3.82	-5.80	-7.46
021	第一 次	升	+0.01	-2.00	-4.03	-6.07	-8.11	+0.11	-1.83	-3.73	-5.69	-7.49
		降	+0.02	-2.01	-4.03	-6.08	-8.11	+0.11	-1.85	-3.71	-5.70	-7.62
	第二 次	升	+0.02	-2.00	-4.03	-6.06	-8.09	+0.11	-1.84	-3.73	-5.68	-7.45
		降	+0.02	-2.02	-4.04	-6.06	-8.09	+0.10	-1.84	-3.74	-5.68	-7.58
197	第一 次	升	-0.01	-2.03	-4.03	-6.06	-8.09	-0.02	-1.94	-3.88	-5.84	-7.82
		降	-0.02	-2.03	-4.03	-6.07	-8.09	-0.02	-1.95	-3.82	-5.85	-7.82
	第二 次	升	-0.02	-2.03	-4.02	-6.04	-8.07	-0.02	-1.94	-3.84	-5.83	-7.77
		降	-0.02	-2.03	-4.04	-6.04	-8.06	-0.02	-1.93	-3.85	-5.83	-7.81

表2 自记湿度计、传感器的各项技术指标\*

编 号 技 术 指 标	134		021		197	
	湿 度 计	传 感 器	湿 度 计	传 感 器	湿 度 计	传 感 器
零位温度系数	—	$1.2 \times 10^{-4}$	$6.2 \times 10^{-4}$	$2.0 \times 10^{-4}$	$0.6 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-4}$
满度温度系数	$4.6 \times 10^{-3}$	$3.1 \times 10^{-4}$	$3.5 \times 10^{-3}$	$4.0 \times 10^{-4}$	$1.8 \times 10^{-3}$	$1.4 \times 10^{-4}$
非线性(%)	$\pm 0.29$	$\pm 0.28$	$\pm 0.68$	$\pm 0.10$	$\pm 0.56$	$\pm 0.27$
重复性(%)	0.50	0.05	0.25	0.04	0.37	0.03
迟滞(%)	0.50	0.05	0.25	0.05	0.37	0.03

\* 传感器的技术指标是出厂测试结果。

零位温度系数——零位电压输出(毫伏)随温度的变化率与常温满量程(F.S)输出(毫伏)之比;

满度温度系数——满量程电压输出(毫伏)随温度的变化率与常温满量程(F.S)输出(毫伏)之比;

非线性——校准曲线与拟合理论直线的最大差值与满量程输出之比;

重复性——输出作多次测量，各次校准曲线在同一方向各校准点的最大偏差与常温满量程输出之比;

迟滞——在同一次校准曲线中，相应于同一测量点上升行程和下降行程输出的最大差值与常温满量程输出电压之比。

表3 湿度计在模拟田间情况下测量结果\*

负 压 力 (毫米汞柱)	标 准 差 (毫 伏)	变 异 系 数 (%)
100	$\pm 0.125$	$\pm 6.03$
200	$\pm 0.070$	$\pm 2.05$
300	$\pm 0.026$	$\pm 0.55$
400	$\pm 0.060$	$\pm 0.99$
500	$\pm 0.114$	$\pm 1.54$
600	$\pm 0.185$	$\pm 2.13$

\* 表中的计算得到蒋能慧、刘光崧同志帮助，特此致谢。

这种自动记录型土壤湿度计结构比较简单，它的装配、校正都不需要很复杂的仪器，只要选用温度系数和线性都比较好的传感器，一般科研、教学单位都能自行制作。

#### 参考文献

[1]中国科学院南京土壤研究所水分组：土壤湿度计的原理与应用。土壤，第4期，228—233页，1976。

[2]陈志雄等：张力计陶瓷管的试制与鉴定。科学仪器，第4卷3期，130—133页，1966。