

# 一种适于土壤水势定位观测的新仪器<sup>①</sup>

信秀丽 徐富安 张佳宝 徐梦熊 朱安宁

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

**摘要** SM-1型便携式土壤水势监测仪可以在田间定位观测土壤水势、地下水位,从而可进一步获取土壤水分特征曲线、导水率等土壤水力性质参数。该仪器利用张力计原理,采用一个传感器结合多个探头的方法,对传统技术进行了改进,其测定精度可达到 $\pm 1\text{KPa}$ 。

**关键词** 土壤水势; 监测仪; 精度

**中图分类号** S152

土壤水分是作物生长发育所必需的条件,它影响着作物对养分的吸收利用<sup>[1,2]</sup>。因此,快速、准确地测定土壤水分,对于探明作物生长发育期内土壤水分的盈亏,适时地作出灌溉、施肥决策具有重要意义。土壤水势是土壤水分的强度指标,它的大小与土壤水的流动性及对植物的有效性有密切的关系<sup>[3,4]</sup>。测定土壤水势的方法有张力计法、离心机法、压力膜法、滤纸法、露点微伏计法等<sup>[5-7]</sup>。其中张力计法是最为方便的方法,该方法的测量范围总有一定的限度( $0 \sim -85\text{KPa}$ ),但它适于多数作物丰产栽培的水分状况监测<sup>[8]</sup>。张力计方法不受土壤盐分影响,能直接在田间测量,在农田精量灌溉管理中得到了广泛地应用。张力计大体有3种类型:压力表型、水银压力计型和压阻传感器型。压力表式张力计使用方便,但精度较低,其最小显示值一般为 $2.5\text{KPa}$ <sup>[9]</sup>。水银压力计型的精度最高,但该压力计在实际使用中容易受到损坏,其泄漏的水银会污染土壤和水体环境。压力传感器型测定土壤水分具有快速直读、精度高、便于长期观测和积累田间水势资料等优点,但传统方法每一个观测点用一支压阻式传感器,使得成本较高。

本文介绍的便携式SM-1型土壤水分监测仪,采用一个传感器结合多个探头的方法,对传统方法进行了改进,在提高精度的同时,降低了成本。

## 1 方法原理

### 1.1 仪器结构与原理

仪器由装于测筒中的传感器、带有显示窗的土

壤水势监测器及水势探头等部分组成(图1)。如图1所示,多个水势探头埋设于田间,当探头内外的

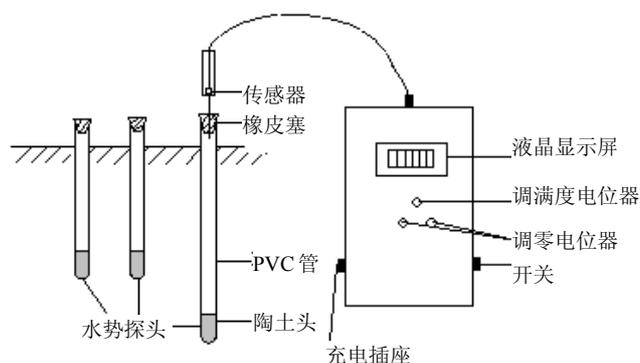


图1 水势监测仪工作状态示意图

Fig. 1 Sketch map of how the soil water potential monitor works

势值达到平衡后,水势探头中水的势值和土壤水势值相等,将测筒顶部注射针刺穿刺水势探头上部的橡皮塞,则水势探头内水势值将在显示器上被读出。测筒内装有一只24PCCFA6D型差压式压力传感器,其一端与注射针相连,另一端经电缆与监测器相连。监测器内电路一方面对传感器实施 $1.5\text{mA}$ 恒流供电,另一方面将传感器的输出讯号放大,并经A/D转换而数字化,显示在显示屏上。液晶显示数值范围为 $0 \sim 100$ ,最小显示值为 $0.1$ ,显示屏数显的单位为千帕斯卡(KPa)。

24PCCFA6D型差压式压力传感器测试范围为 $0 \sim -100\text{KPa}$ ,线性度为 $\pm 0.25\%$ 。在 $1.5\text{mA}$ 恒流供电条件下,满量程电压输出为 $150 \sim 200\text{mV}$ 。为减少

<sup>①</sup>国家高技术研究发展计划(863)课题(2003AA209010)和国家重点基础研究发展规划(973)项目(G1999011803)资助。

环境温度对测定精度影响，采用负温度系数热敏二极管对传感器进行温度补偿，使其在 0 ~ -100 KPa 范围内，0 ~ 50 °C 温度变化条件下，温度对压力影响在 ±0.5 KPa 以内。

水势探头由陶土头、PVC 管和橡皮塞 3 部分构成，埋设于田间不易受损。通常一台监测仪可与 50 ~ 100 个水势探头配备。

仪器由可充电电池做电源，带低电压警示。当电压低于工作电压时，提示监测器需充电。监测器的尺寸为 13.2 cm × 7.0 cm × 2.2 cm，便于携带。

## 1.2 使用方法

水势探头埋入湿润土壤中，平衡后即可进行土壤水势测定。测定时打开监测器电源将传感探头上注射针逐一刺入各水势探头橡皮塞，即可从显示屏上读取各测点水势数据。读数通常在温度变化较小的上午进行。

显示器显示的数值为针尖处的水势值，而陶土头处的水势值则与探头内水柱的高度有关，计算公式为：

土壤水势  $S(-\text{KPa}) = \text{水势读数 } S_1 - \text{探头水柱高 } H(\text{cm})/10.2$

式中，10.2 是厘米水柱高转换为千帕斯卡(KPa)的转换系数；

探头水柱高是从橡皮塞下缘到陶瓷头中心的高度。

## 1.3 仪器的标定

**零位标定：**打开仪器电源开关后，传感器针尖与大气相通时，显示屏上应显示为 0。若不是 0，应通过调零旋钮校准零点。显示器面板下方二个旋钮为调零旋钮（图 1）。若显示器显示为负值，先顺时针拧左面电位器到头（底），再反时针拧右面电位器使显示屏数字为零。若显示为正值，先顺时针拧右面电位器到头（底），再反时针拧左面电位器，使显示屏上数字为零。

**满度标定：**满度标定时以水银压力表做标准压力计（图 2）。开动真空泵抽气，使两水银柱的高差为  $H$  cm，其水势  $S$  应为：

$$S = H \times 13.6 / 10.2$$

式中：13.6 为水银柱换算水柱高的系数；10.2 为厘米水柱高换算成千帕斯卡的系数。

此荧屏显示应为  $S$ 。若显示数不是  $S$  值，应调满度纠正旋钮，使其显示为  $S$ 。

将注射针从橡皮塞中拔出，通过调零位电位器

将荧屏上数字调为零。再将注射针刺入橡皮塞，再一次调正满度数字。然后，再一次拔出注射针调节零位。经两次反复调节，仪器的标定即告完成。

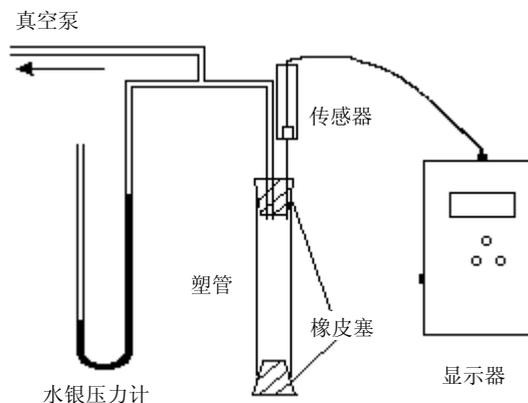


图 2 仪器标定示意图

Fig. 2 Sketch map of instrument scaling

## 2 仪器精度测试

随机选取两只标定好的仪器进行精度测试，与水银柱压力数值进行对照，水银柱水势值计算公式为：

$$\text{水势}(S) = \text{两水银柱的高差}(H) \times 13.6 / 10.2$$

A、B 两仪器测定值与水银压力表计算值相关性如图 3 所示，A 仪器测定的最大误差为 -0.81 KPa，均差为 0.06 KPa，最大相对误差为 5.39 %；B 仪器测定的最大误差为 -0.64 KPa，均差为 -0.15 KPa，最大相对误差为 -4.35 %。由此结果表明，SM-1 型土壤水势监测仪测定的误差均在 ±1 KPa 以内。传感器内腔与注射针孔隙内的空气是影响仪器精度的一个因素，测定前传感器内腔充水是保证仪器精度的重要步骤。图 4 为内腔充水与不充水的测定结果，不充水的测定误差高于充水测定的误差，而且，其中部分测定结果误差已经超过 1 KPa，故测定时，使针头和传感器内腔中充满水可以提高数据的准确性。

## 3 仪器应用

### 3.1 定位观测

本仪器可用于各种土壤水分模型研究中的水势测定、不饱和导水率测定、土壤水盐运动监测中的水势及水势梯度测定；另外，可用于田间试验和盆栽试验中土壤水分动态的监测。

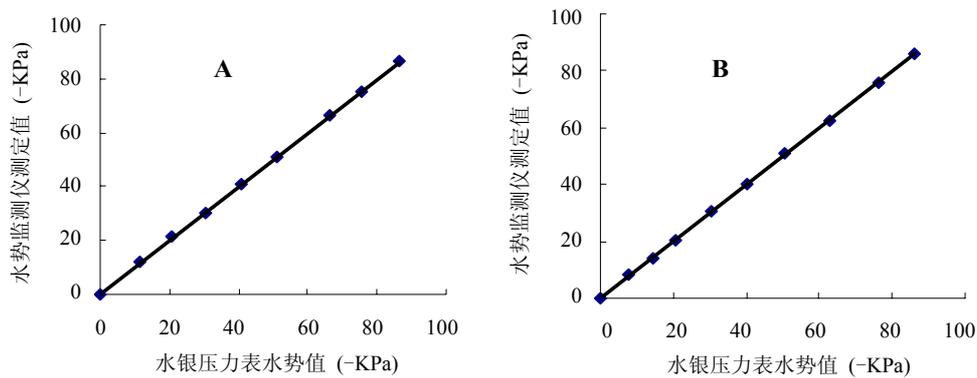


图 3 A、B 两仪器测定值与计算值相关性

Fig. 3 Relativity between calculated value and measured value of instruments A and B

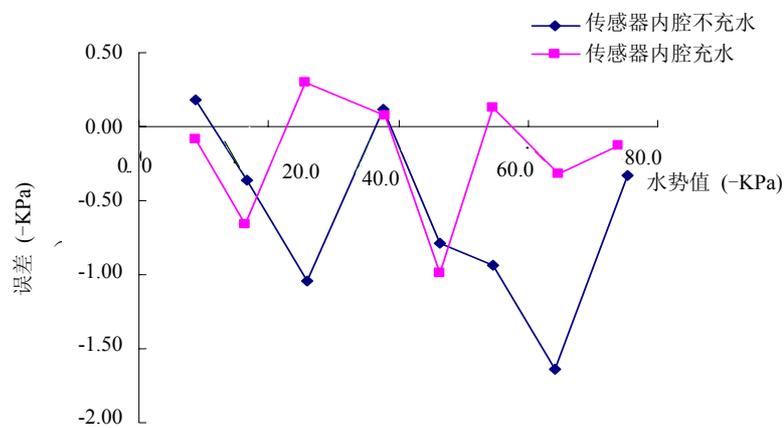


图 4 充水与不充水测定误差比较（与水银压力计相比较）

Fig. 4 Comparison in measurement error between with water and without water

### 3.2 土壤水分特征曲线测定

土壤水分特征曲线是土壤水势和含水量之间的关系曲线，对研究土壤水流和溶质运移起着重要作用<sup>[10]</sup>。用 SM-1 水势监测仪测定土壤水分特征曲线的原理与张力计法相同，只是用水势探头代替水银张力计测定水势，使实验室装置简化。

### 3.3 地下水埋深测定

如图 5 所示，将水势探头浸入地下水观测井中，使陶土头处在地下水位以下。水势探头内加满水，塞好橡皮塞以后，水势探头内重力势可由橡皮塞下缘到地下水埋深间厘米高  $H$  来计算。

地下水埋深  $h = H - h_1$

式中  $h_1$  为橡皮塞下缘到地面的距离 (cm)； $H$  可用 SM-1 型土壤水势监测仪测得： $H = S \times 10.2$  (cm)。

$S$  为监测仪测得的水势值；因此： $h = S \times 10.2 - h_1$

本方法适于多点联网观察地下水位时空变化特征，适于地下水埋深 0 ~ 9 m 变动的地区。

用本仪器测定地下水埋深，不仅一支传感器可多点测定，而且使传感器只在测试的短时间内承受张力，使硅片疲劳度降低，传感器寿命延长。

## 4 小结

便携式 SM-1 型土壤水势监测仪是根据现有张力计的原理，采用一个传感器结合多个水势探头的方法测定土壤水势，其测定精度可达到  $\pm 1$  KPa。测定时使传感器内腔充满水有助于提高测定精度。它可以用于定位观测土壤水势、地下水埋深，并可进一步获得土壤水分特征曲线和导水率等水力性质参

数。但由于陶土头测定范围的限制，对于高水势的情况，要配合其他测定土壤水分的仪器使用。

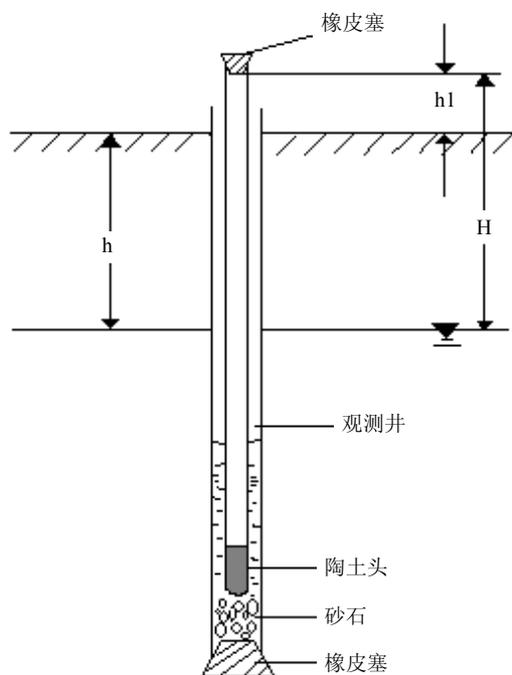


图5 地下水埋深测定示意图

Fig. 5 sketch map of measure of groundwater table

## 参考文献

- 1 Li FS, Kang SZ. Effects of atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment, applied nitrogen and soil moisture on dry matter accumulation and nitrogen uptake in spring wheat. *Pedosphere*, 2002, 12 (3): 207 ~ 211
- 2 赵炳梓, 徐富安, 周刘宗, 徐梦熊. 水肥(N)双因素下的小麦产量及水分利用率. *土壤*, 2003, 35 (2): 122 ~ 125
- 3 朱祖祥. 土壤水分的能量概念及其意义. *土壤学进展*, 1979, (1): 1 ~ 21
- 4 张君常. 运用能量概念研究土壤及生物科学是今后发展必然趋势. *陕西农业科学*, 1980, (6): 12 ~ 16
- 5 Hu JC, Cao WX, Zhang JB, Jiang D, Feng J. Quantifying responses of winter wheat physiological processes to soil water stress for use in growth simulation modeling. *Pedosphere*, 2004, 14 (4): 509 ~ 518
- 6 土壤水分测定编写组编著. 土壤水分测定方法. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 7 康绍忠, 蔡焕杰. 农业水管理学. 北京: 中国农业出版社, 1996, 286 ~ 289
- 8 华孟, 王坚. 土壤物理学. 北京: 北京农业大学出版社, 1993, 61 ~ 64
- 9 杨苑璋. 介绍一种测定土壤水分的仪器—2000型土壤负压计. *土壤*, 2000, 32 (6): 336
- 10 徐绍辉, 张佳宝, 刘建立, 陈德立. 表征土壤水分持留曲线的几种模型的适应性研究. *土壤学报*, 2002, 39 (4): 498 ~ 504

## A NEW INSTRUMENT FOR MONITORING SOIL MOISTURE IN FIELD

XIN Xiu-li XU Fu-an ZHANG Jia-bao XU Meng-xiong ZHU An-ning

(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

**Abstract** A new portable SM-1 type of soil water potentiometer can be used to measure soil water potential and groundwater table in field and hence a number of hydraulic parameters, such as soil water retention curves, soil hydraulic conductivity, etc. The theory of the new instrument is the same as that of the tensiometer except for some improvement to the traditional technology by combining a sensor with several probes and higher precision,  $\pm 1$  KPa.

**Key words** Soil water potential, Potentiometer, Precision