

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.09.015

# 农田土壤含水率和坚实度采集仪设计与试验<sup>\*</sup>

张淑娟<sup>1</sup> 裘正军<sup>2</sup> 王凤花<sup>3</sup> 赵华民<sup>1</sup> 张海红<sup>1</sup>

(1. 山西农业大学工学院, 太谷 030801; 2. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310029;

3. 昆明理工大学现代农业工程学院, 昆明 650224)

**【摘要】** 设计了可以定位、快速、同步测量农田土壤含水率和坚实度的采集仪。在探讨该仪器测量原理和软硬件设计的基础上,对其测量的准确性进行了试验分析。某苗圃地,选定 5 m × 5 m 的 30 个采样点,用农田信息采集仪和烘干法分别测量各点的土壤含水率,并对测量值进行简单相关分析,其相关系数为 0.9179,达到极显著性相关。以同样的方式,采用农田信息采集仪和 SC900 型数字土壤坚实度仪,分别测量 30 个采样点 10 cm 和 20 cm 深度处的土壤坚实度值,并对两种方法在两个深度时的测量值进行相关性分析,其相关系数分别为 0.8267 和 0.9245,达到极显著性相关。试验结果表明,该采集仪对农田土壤含水率和坚实度测量的准确性可满足农业生产要求。

**关键词:** 土壤 含水率 坚实度 采集仪

中图分类号: S126; S237 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2010)09-0075-05

## Design and Test on the Field Soil Moisture and Compaction Acquisition Instrument

Zhang Shujuan<sup>1</sup> Qiu Zhengjun<sup>2</sup> Wang Fenghua<sup>3</sup> Zhao Huamin<sup>1</sup> Zhang Haihong<sup>1</sup>

(1. College of Engineering, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China

2. College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China

3. College of Modern Agricultural Engineering, Kunming Sci-Tech University, Kunming 650224, China)

### Abstract

A field information acquisition instrument for positioning, rapid and simultaneous measurement of soil moisture content and compaction was designed. Based on the measurement theory and the software and hardware design of the instrument, the accuracy of measurement was analyzed. 30 soil samples were taken from a tree nursery with the sampling interval of 5 m × 5 m. The soil moisture content was measured by the field information acquisition instrument and drying method, respectively. The correlation analysis of the measurement values was carried out and the correlation coefficient is 0.9179. In the same way, 30 samplings of soil compaction in depths of 10 cm and 20 cm were measured by the field information acquisition instrument and SC900 digital soil compactness instrument. The correlation analysis to the measurement values of tow depths by both methods was carried out and the correlation coefficients were 0.8267 and 0.9245, respectively. The test results showed that the measurement accuracy of acquisition instrument for the soil moisture content and compaction in field satisfied the requirement of agriculture production.

**Key words** Soil, Moisture content, Compaction, Acquisition instrument

### 引言

土壤含水率的测量是实现科学用水、精细灌溉

和灌溉自动化的基础<sup>[1]</sup>。土壤坚实度不仅影响种子的发芽破土率及植物的根系发育状况,同时也直接影响土壤含水率的运移过程。所以,田间快速有

收稿日期: 2009-09-07 修回日期: 2010-03-24

<sup>\*</sup> 山西省科技攻关项目(2007031109-2)

作者简介: 张淑娟,教授,博士生导师,主要从事数字农业关键技术与装备研究, E-mail: zsujuan@263.net

效地采集影响作物生长的含水率和坚实度对农业生产有重要的意义<sup>[2]</sup>。关于土壤含水率和坚实度测量仪器设计方面的研究已有较多报道<sup>[3-7]</sup>。就目前的发展来看,为满足精细农业生产,关于土壤含水率和坚实度测量仪器设计方面的研究,要求既能测量被测点的位置信息,又能测量被测点的多种属性信息,才能便于 GIS 平台或其他管理平台进行综合分析和决策<sup>[8]</sup>。

本文研究以单片机为控制核心、基于 GPS 定位,可以快速、同步获得农田土壤含水率与坚实度信息,具有远程通信功能的便携式农田信息采集仪,并进行其测量性能的试验研究。

## 1 农田信息采集仪设计

基于单片机技术、GPS 定位技术、传感器技术设计开发了一套便携式多参数农田信息采集仪,该采集仪内置有 GPS-OEM 板,可实现土壤含水率、土壤坚实度等多项农田信息的快速定位集成测量。在设计时考虑到数据的后期处理,配置有串口数据传输功能,包括串行实时传输、手动串口传输和 GSM 短消息无线传输 3 种数据传输方式,可实现农田信息的有线和无线传输。该采集仪体积小,重量轻,田间测量时携带非常方便。

### 1.1 总体设计

该农田信息采集仪由传感器子模块、单片机子模块、GPS 信号测量子模块、A/D 转换子模块、键盘显示及存储子模块、通信子模块 (RS232、GSM 模块) 等组成,其结构框图如图 1 所示。GPS 信号测量子模块已在其他文章中论述<sup>[9]</sup>,本文主要介绍农田土壤含水率与坚实度测量仪的软硬件设计原理及有关试验。

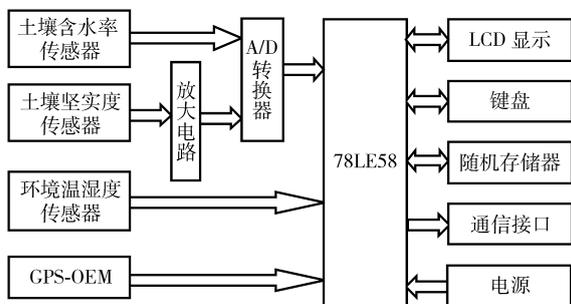


图 1 便携式农田信息采集仪结构图

Fig. 1 Structure diagram of the portable field information collection instrument

### 1.2 测量原理

#### 1.2.1 土壤含水率测量

土壤中水分含量通常用含水率来表示,如质量含水率和容积含水率。质量含水率是指土壤中水的

质量与干土质量的百分比,而容积含水率则是指土壤中水所占的体积与土壤总体积的百分比。本设计选用 SWR-2 型土壤含水率传感器,通过测量传输线上的驻波率来间接测量土壤中含水率。SWR-2 型传感器测量的是土壤中含水率的容积含水率,其传感器输出电压与土壤含水率相关,其关系可用三次多项式表示<sup>[3]</sup>为

$$\theta = 0.0319\Delta V^3 - 0.0589\Delta V^2 + 0.2076\Delta V + 0.0072$$

SWR-2 型传感器具有以下特点:①测量精度高,响应速度快。②土质影响小,应用地区广。③密封性好,可长期埋入土壤中使用,且不受腐蚀。④价格低廉。

#### 1.2.2 土壤坚实度测量

目前国内外土壤坚实度的测量方法很多<sup>[4-8]</sup>,本设计为使仪器尽可能地便于田间操作,采用基于圆锥法的压力测量方法,通过测量圆锥插入土壤规定深度所需要力的大小来反应土壤坚实度。选用杭州传感器厂生产的 CL-YB-13 型电阻应变拉压力传感器,其结构简单,测量可靠稳定,具有较好的抗冲击振动性,有优良的静态和动态性能。主要技术指标有:精度等级:0.5 级;额定载荷输出灵敏度 (mV/V):1~1.5;零点输出 (% FS):5;使用温度范围:-10~50℃。

### 1.3 软硬件设计

#### 1.3.1 硬件设计

(1) 土壤含水率测量电路,如图 2 所示。

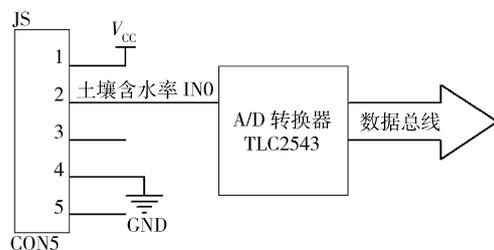


图 2 土壤含水率测量电路示意图

Fig. 2 Measurement circuit schematic diagram of soil moisture content

如图 2 所示,SWR-2 型水分传感器与 CON5 接口相连,其供电电压为 5 V,传感器输出代表土壤含水率值的模拟电压信号,通过 A/D 转换芯片 (TLC2543) 的 IN0 模拟输入端口传入 A/D 转换器,经模数转换后至数据总线。CPU 获取信号后,由软件优化处理完成测量,以解决传感器输出电压与土壤含水率之间的非线性关系。

(2) 土壤坚实度测量电路,如图 3 所示。

如图 3 所示,CL-YB-13 型电阻应变拉压力传感器通过两路差分电压输出,信号经 OP-07 差分

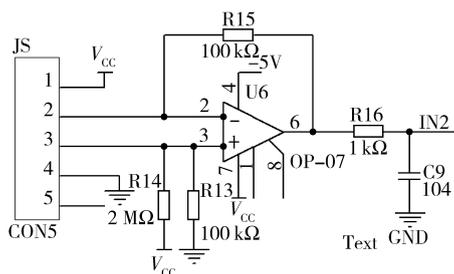


图 3 土壤坚实度测量电路图

Fig. 3 Measurement circuit diagram of soil compaction

放大器放大后,通过 A/D 芯片的 IN2 模拟输入端口至 A/D 转换器,经模数转换后到数据总线,通过计算得出压力值。

### 1.3.2 软件设计

仪器测量项目包括土壤含水率、土壤坚实度和 GPS 定位信息,当用仪器测量这些信息时,接通电源,系统自检和初始化之后,进入键盘数据采集处理子程序。按下“测量”键,开始测量数据的采集与处理,并将测量数据存入暂存数组。不同的测量项目通过上下翻页键来切换。单片机读取暂存数组中 A/D 转换器的返回数值,然后进行筛选、线性化或查表等计算,得出相应的测量结果,之后将测量结果显示在 LCD 显示屏上并实现实时发送,即完成测量子程序的设计。

## 2 试验分析

### 2.1 土壤含水率测量

分别用农田信息采集仪和传统烘干法测量土壤含水量来确定该采集仪测量土壤含水率的精度。某苗圃地,该地块的土壤质地为褐色沙壤土,有一年半的时间未耕作过,测量前 3 d 下过小雨。选定 5 m × 5 m 的 30 个采样点,用农田信息采集仪测量这 30 个点的土壤含水率,并用环刀在各采样点土壤表层(0~15 cm)取 30 个土样,用烘干法测定土壤质量含水率  $\theta_m$  (%),由于该采集仪测量的为土壤体积含水率  $\theta_v$ ,用环刀法测量土壤容重  $\rho_b$ ,通过  $\theta_v = \theta_m \rho_b$  进行换算,结果如表 1 所示。

由表 1 可知,将采集仪测得的含水率与烘干法所测且换算得到的体积含水率比较,绝对误差最大值为 2.98%,绝对误差平均值为 0.345%,相对误差小于 15%,且相对误差绝对值的平均值为 5.65%。对该采集仪土壤含水率测量值和烘干法测量值进行简单相关分析,其相关系数为 0.917 9,达极显著性相关。相关系数的临界值为  $\alpha = 0.05$  时,  $r = 0.361 0$ ;  $\alpha = 0.01$  时,  $r = 0.462 9$ 。从试验结果看,该采集仪测量土壤含水率可以满足农业生产要求。

表 1 土壤含水率测量的误差分析

Tab. 1 Error analysis of soil moisture

序号	content measurement %				
	烘干法		仪器测得的		
	质量含水率	换算的体积含水率	土壤体积含水率	绝对误差	相对误差
1	12.58	19.23	18.8	-0.43	2.24
2	13.62	19.48	19.4	-0.08	0.41
3	21.52	33.33	35.0	1.67	-5.01
4	14.81	23.58	23.8	0.22	-0.93
5	14.14	21.03	19.8	-1.23	5.85
6	17.09	25.03	22.2	-2.83	11.31
7	14.14	20.38	23.3	2.92	-14.33
8	20.76	30.28	27.7	-2.58	8.52
9	18.27	25.68	26.5	0.82	-3.19
10	20.23	28.18	28.7	0.52	-1.85
11	24.42	34.33	34.2	-0.13	0.38
12	20.38	29.98	28.7	-1.28	4.27
13	22.96	32.23	31.4	-0.83	2.58
14	19.18	28.63	27.2	-1.43	4.99
15	24.22	34.08	32.0	-2.08	6.10
16	17.77	24.33	22.0	-2.33	9.58
17	19.64	26.83	27.9	1.07	-3.99
18	16.84	24.63	22.2	-2.43	9.87
19	14.67	20.38	20.8	0.42	-2.06
20	14.97	21.03	20.9	-0.13	0.62
21	17.31	23.83	25.1	1.27	-5.33
22	21.15	29.18	31.6	2.42	-8.29
23	13.06	18.38	20.2	1.82	-9.90
24	18.76	27.48	24.5	-2.98	10.84
25	13.28	18.63	20.1	1.47	-7.89
26	20.09	26.73	25.2	-1.53	5.72
27	18.10	25.93	23.8	-2.13	8.21
28	17.00	25.03	26.6	1.57	-6.27
29	25.34	34.63	34.5	-0.13	0.38
30	16.11	22.78	20.8	1.98	8.69

### 2.2 土壤坚实度测量

#### 2.2.1 不同田块土壤坚实度的测量

2009 年 9 月 30 日,在校农场的试验田内选择了 3 块测试田,有苗圃、大豆田和菜地,土质均为褐色沙壤土,在测试前一周浇地。苗圃有一年半未耕作过,土壤较沉实。大豆田和菜地在播种前均耕作过,而且菜地的耕作时间最短,土壤较疏松。采用自制的农田信息采集仪,以每块田采集 30 个采样点来测量各田块的耕作层土壤坚实度,以此确定该采集仪测量土壤坚实度的统计特征,测量结果如表 2 所示。统计特征值如表 3 所示。

#### 2.2.2 与 SC900 型数字式土壤坚实度的测量比较

为了确定该采集仪测量土壤坚实度的可靠性,

表2 土壤坚实度测量值

Tab.2 Measurement values of soil compaction kg

序号	土壤坚实度			序号	土壤坚实度		
	苗圃	大豆田	菜地		苗圃	大豆田	菜地
1	33.8	20.1	21.7	16	24.4	11.7	11.7
2	23.8	22.8	20.5	17	28.9	14.7	11.6
3	28.0	15.1	18.9	18	21.5	15.9	15.7
4	26.7	18.4	16.1	19	34.0	17.6	13.5
5	34.4	13.8	16.7	20	28.9	12.0	12.9
6	25.6	20.1	19.6	21	28.9	14.0	13.0
7	24.1	18.1	18.0	22	21.4	12.0	12.5
8	28.9	15.3	15.3	23	25.3	13.9	12.5
9	30.6	18.3	13.2	24	29.0	18.1	19.5
10	21.0	15.0	14.9	25	27.9	13.0	20.6
11	27.5	11.2	15.5	26	27.5	13.1	16.4
12	31.8	15.8	15.1	27	29.7	15.0	13.7
13	26.1	17.5	17.8	28	33.2	13.4	13.6
14	25.8	15.2	11.5	29	29.0	13.7	12.8
15	22.0	13.7	16.2	30	35.7	19.0	19.4

表3 土壤坚实度测量值的统计分析

Tab.3 Statistical analysis of soil compaction measurement values

测试田块	统计特征值					
	最大值 /kg	最小值 /kg	均值 /kg	标准差 /kg	方差	变异系数/%
苗圃	35.7	21.0	27.846 7	3.940 7	16.064 6	14.15
大豆田	22.8	11.5	15.583 3	2.802 0	8.122 1	17.98
菜地	21.7	11.5	15.680 0	2.963 0	9.082 3	18.90

以目前市场上销售的 SC900 型数字式土壤坚实度仪(美国)和农田信息采集仪测量的土壤坚实度进行比较。SC900 型数字土壤坚实度仪依据 ASAE

(美国农业工程师学会)标准设计,测量单位为 kPa,分辨率 35 kPa,精度 103 kPa,量程是 0~7 000 kPa。选取某块苗圃地的 30 个样点,用采集仪测量各采样点的 10 cm 和 20 cm 不同深度处的土壤坚实度值。再用 SC900 型数字土壤坚实度仪在采样点附近采集土壤坚实度值,测量数据见文献[10]。对采集仪与 SC900 型土壤坚实度仪在 10 cm 和 20 cm 处的坚实度测量值进行简单相关分析,其相关系数分别为 0.826 7 和 0.924 5,达极显著性相关。相关系数的临界值为  $\alpha = 0.05$  时,  $r = 0.361 0$ ;  $\alpha = 0.01$  时,  $r = 0.462 9$ 。从相关系数看,在 20 cm 处的相关性更强,可能是由于表层深度不好控制,易出现偏差。试验结果表明,该采集仪用来测量农田土壤的坚实度是可靠的。

### 3 结束语

设计了便携式农田土壤含水率和土壤坚实度信息采集仪,对硬件部分各个模块的设计原理以及硬件电路图进行了分析,并对软件设计中各个子程序的设计思路和实现方法进行了研究。针对褐色沙壤土的田间试验表明,对该采集仪土壤含水率测量值和烘干法测量值进行简单相关分析,其相关系数为 0.917 9,达极显著性相关;采集仪与 SC900 型土壤坚实度仪在 10 cm 和 20 cm 处的坚实度测量值的相关系数分别为 0.826 7 和 0.924 5,达极显著性相关。利用采集仪测量苗圃、大豆田和菜地 3 种不同田块土壤坚实度的变异系数分别为 14.15%、17.98% 和 18.90%,测量结果表明采集仪测量土壤坚实度的重现性良好。因此,该采集仪可较好地定位测量土壤含水率和土壤坚实度,为精细农业生产提供新的测量工具。

### 参 考 文 献

- 罗锡文,臧英,周志艳. 精细农业中农情信息采集技术的研究进展[J]. 农业工程学报,2006,22(1):167~172.  
Luo Xiwen, Zang Ying, Zhou Zhiyan. Research progress in farming information acquisition technique for precision agriculture [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2006,22(1):167~172. (in Chinese)
- 贺明荣,王振林. 土壤紧实度变化对小麦籽粒产量和品质的影响[J]. 西北植物学报,2004,24(4):649~654.  
He Mingrong, Wang Zhenlin. Effects of soil compaction on grain yield and quality of wheat [J]. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica, 2004,24(4): 649~654. (in Chinese)
- 裘正军,何勇,葛晓峰,等. 基于 GPS 定位的土壤水分快速测量仪的研制[J]. 浙江大学学报:农业和生命科学版,2003,29(2):135~138.  
Qiu Zhengjun, He Yong, Ge Xiaofeng, et al. Development of soil moisture content measuring instrument based on GPS position [J]. Journal of Zhejiang Agricultural University: Agric. & Life Sci.,2003,29(2):135~138. (in Chinese)
- 童永忠,余劲炎,陈通权. 土壤坚实度仪的设计与应用[J]. 土壤,1978(2):64~67.
- 孟繁英,陈丽华. STJ-1 型数字式土壤坚实度仪的研制[J]. 拖拉机,1992(4):42~44.
- 朱兆龙,孙宇瑞,马道坤,等. 一种土壤剖面水分与坚实度同步测量装置[J]. 江苏大学学报:自然科学版,2007,

28(4):280~283.

Zhu Zhaolong, Sun Yurui, Ma Daokun, et al. An instrument for simultaneous measurement of soil water content and compaction[J]. Journal of Jiangsu University:Natural Science Edition, 2007, 28(4): 280~283. (in Chinese)

- 7 邵玲,林剑辉,孙宇瑞. 农田土壤含水率与坚实度快速信息采集系统[J]. 农机化研究,2007,29(2):83~86.

Shao Ling, Lin Jianhui, Sun Yurui. Quick measuring system for soil water content and soil hardness[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007,29(2): 83~86. (in Chinese)

- 8 王凤花,张淑娟. 基于精细农业田间信息采集关键技术的研究进展[J]. 农业机械学报,2008,39(5):112~121,111.

Wang Fenghua, Zhang Shujuan. Research progress of the farming information collections key technologies on precision agriculture[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008,39(5):112~121,111. (in Chinese)

- 9 王凤花,介邓飞,赵华民,等. 基于GPS-OEM的田间信息采集仪定位精度分析[J]. 农机化研究,2009,31(6):135~136,144.

Wang Fenghua, Jie Dengfei, Zhao Huamin, et al. Accuracy analysis on positioning accuracy of field information acquisition equipment based on GPS-OEM[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 31(6): 135~136, 144. (in Chinese)

- 10 王凤花. 农田信息采集与处理关键技术及设备的研究[D]. 太谷:山西农业大学,2009.

Wang Fenghua. Study on field information acquisition and processing key technology and instrument[D]. Taigu: Shanxi Agricultural University,2009. (in Chinese)

- 11 张小超,王一鸣,方宪法,等. 精准农业的信息获取技术[J]. 农业机械学报,2002,33(6):125~128.

Zhang Xiaochao, Wang Yiming, Fang Xianfa, et al. Information acquisition techniques of precision agriculture[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2002, 33(6):125~128. (in Chinese)

(上接第35页)

- 4 史岩,祁力钧,傅泽田,等. 压力式变量喷雾系统建模与仿真[J]. 农业工程学报,2004,20(5):118~121.

Shi Yan, Qi Lijun, Fu Zetian, et al. Model development and simulation of variable rate of pressure spray[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2004,20(5):118~121. (in Chinese)

- 5 Giles D K, Henderson G W, Funk K. Digital control of flow rate and spray droplet size from agricultural nozzles for precision chemical application[C]//Precision Agriculture, Proc. 3rd Int. Conference, 1996: 729~738.

- 6 吴春笃,杜彦生,张伟,等. 脉宽调制型变量喷雾系统雾量沉积分布[J]. 农业机械学报,2007,38(12):70~73.

Wu Chundu, Du Yansheng, Zhang Wei, et al. Study on the deposit distribution of the modulated variable rate spray system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2007,38(12):70~73. (in Chinese)

- 7 邓巍,丁为民. 基于PWM技术的连续式变量喷雾装置设计与特性分析[J]. 农业机械学报,2008,39(6):77~80.

Deng Wei, Ding Weimin. Variable-rate continuous spray equipment based on PWM technology and it's spray characteristics[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2008,39(6):77~80. (in Chinese)

- 8 邓巍,丁为民. 基于PWM间歇式变量喷雾的雾化特性[J]. 农业机械学报,2009,40(1):74~78.

Deng Wei, Ding Weimin. Spray characteristics of PWM-based intermittent pulse variable spray[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2009,40(1):74~78. (in Chinese)

- 9 Paice M E R, Miller P C, Bodle J D. An experimental prayer for the spatially selective application of Herbicide[J]. Journal of Agriculture Engineering Research,1995,60(2): 107~116.

- 10 刘志壮,徐汉虹,洪添胜,等. 在线混药式变量喷雾系统设计与试验[J]. 农业机械学报,2009,40(12):93~96.

Liu Zhizhuang, Xu Hanhong, Hong Tiansheng, et al. Key technology of variable-rate spraying system of online mixing pesticide[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2009,40(12):93~96. (in Chinese)

- 11 Gillis K P, Giles D Ken, Slaughter David C, et al. Injection and fluid handling system for machine-vision controlled spraying[C]//2001 ASAE Annual Meeting, Paper 011114, 2001.

- 12 Franklin Gene F, Powell J David, Emami-Naeini Abbas. Feedback control of dynamic systems[M]. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002.

- 13 “阀门管件设计”编译组. 美国阀门管件设计手册[M]. 北京:机械工业出版社,1984.

- 14 邱白晶,李佐鹏,吴昊,等. 变量喷雾装置响应性能的试验研究[J]. 农业工程学报,2007,23(11):148~152.