

土壤含水率及紧实度复合测量方法研究及传感器研制

1 研究意义

土壤紧实度(soil compaction) 是土壤结构中的重要参数，它是衡量土壤松紧程度的一项重要指标。土壤紧实度是土壤强度的一个合成指标，由土壤抗剪力、压缩力和摩擦力等共同构成。土壤紧实度提高，土壤硬度也增大。土壤硬度以土壤机械阻力或阻抗(soil mechanical resistance 或 soil mechanical impedance) 或土壤强度(soil strength)或贯入阻力(penetration resistance)表示。土壤紧实度对植株生长和农作物产量的影响得到了全世界的关注。土壤紧实度的大小可影响作物根系的生长，可以用于评价土壤耕性。过于紧实的土壤会阻止水分的入渗，影响植物根系生长，降低化肥的利用率，从而导致作物减产。因此，得知土壤的紧实度显得尤为重要。

而土壤含水率对植物的生长就更为重要，并且对植株的繁殖以及光合作用等都有着至关重要的影响。所以如何准确、及时的了解土壤含水率及土壤紧实度对于指导林木抚育、农田生产以及精准节水灌溉都具有重要意义。

2 测量原理

2.1 基于驻波率原理的土壤水分实时检测方法

基于驻波率 (SWR) 的金属双环式含水率测量土壤含水率整个土壤含水率测量装置由信号源发生器、同轴传输线和双金属环式探针构成。信号发生器产生 100MHz 的正弦波，传输线采用特征阻抗 $50\ \Omega$ 的同轴电缆，双金属环探针为上下平行结构。图 2-1 为土壤含水率测量装置结构图 (赵燕东,1999)。



图 2-1 土壤含水率测量装置结构图

我们可以假设传输线为均匀分布，则可将任意一端均匀传输线划分成微分段

dz，并且看成是一个集总参数电路。如下图 2-2 所示：

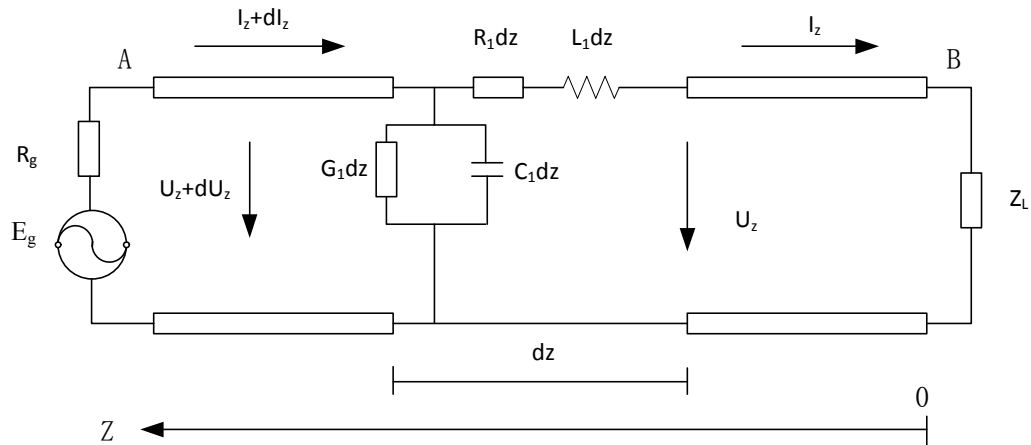


图 2-2 土壤含水率测量装置原理示意图

2.2 基于圆锥指数原理的土壤紧实度测量方法

土壤圆锥指数(Cone Index CI)，通常被用来描述土壤的强度，表示土壤对圆锥贯入阻力的大小。圆锥指数的定义为用标准圆锥仪压入土壤，其单位底面积上的平均压力即为圆锥指数。土壤圆锥指数是一个受土壤类型、容重和含水量等多种因素影响的综合参数。由此可知，土壤圆锥指数能真正表示土壤的贯穿阻力，即土壤紧实度。土壤圆锥指数仪器的测量原理为：

1) . 用符合 ASAE（美国农业工程师学会）标准的圆锥头，以符合 ASAE 标准的速度，匀速压入被测土壤中。

2). 记录下压入土壤时圆锥所受阻力。

3). 由于圆锥头底面积已知，则可通过公式：

$$CI=K*N/(S*1000)+B$$

式中：

CI——土壤圆锥指数（KPa）

N——圆锥匀速压入土壤时所受阻力（N）

S——圆锥头底面积大小（m²）

K、B——待定土壤参数

3 检测系统介绍

为了能更方便地进行野外土壤墒情监测，本复合传感器被设计为手持式，并且为了满足测量中能更有效的进行观察以及存储数据，本文设计制作了数据采集模块，其中加入单片机，模数转换器，以及键盘显示设备，具有数据存储、显示、数据通信和快速充电等功能，使得仪器功能更完善，操作更方便。

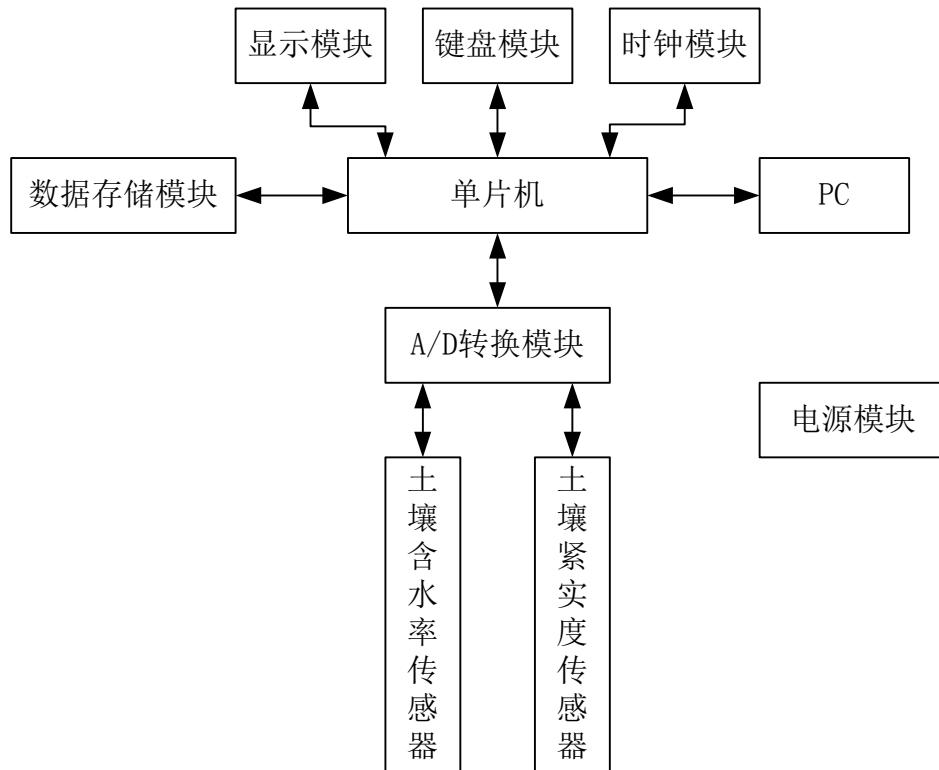


图 3-1 数据采集显示模块结构图

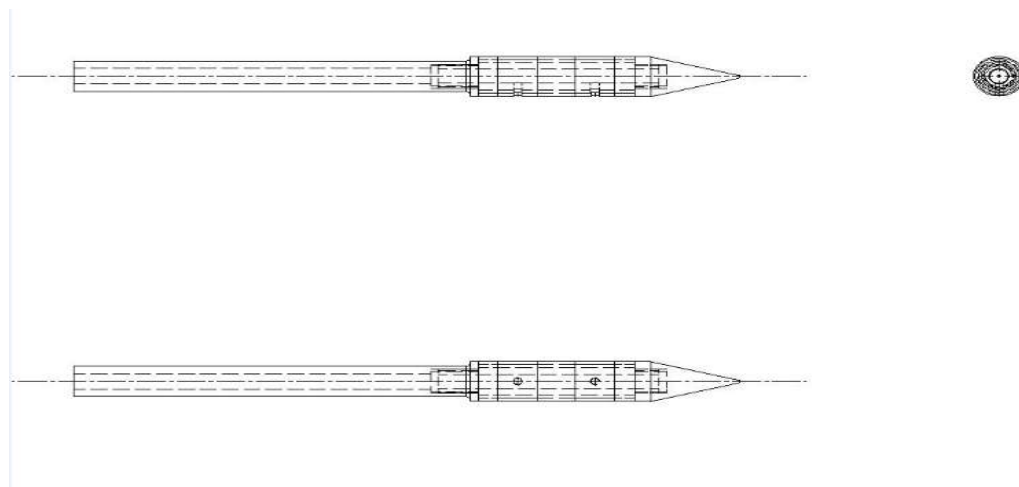


图 3-2 传感器圆锥头的加工图示意图



图 3-3 压力传感器及放大器实物图

本复合传感器含水率测量部分基于驻波率原理,紧实度测量基于土壤圆锥指数原理,整体外观部分遵循结实耐用,方便携带等原则。数据采集显示部分则应使工作人员能更方便进行操作。

1. 土壤水分传感器采用金属双环结构,紧实度传感器为单根圆锥结构。
2. 压力传感器摆放位置。需放置在金属杆顶端。

图 3-4 为传感器整体外形部分示意图。

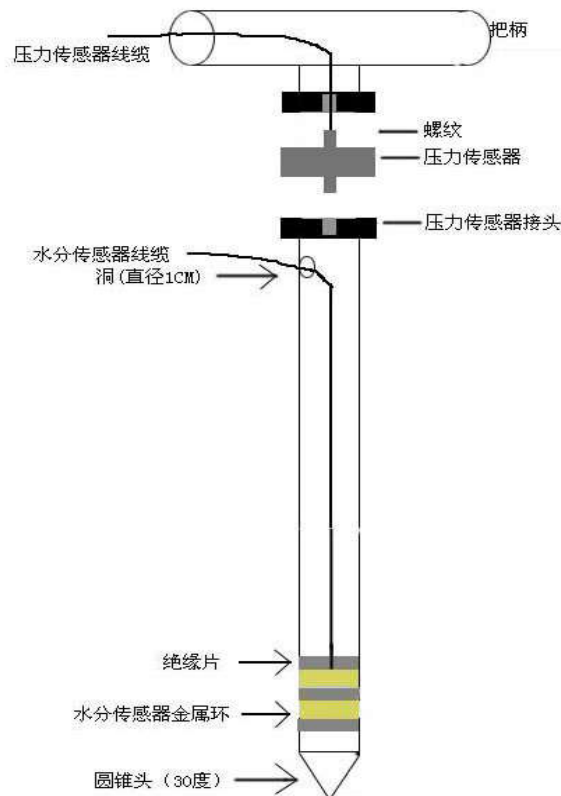


图 3-4 传感器整体外形示意图

4 实验分析

4.1 土壤含水率传感器输出电压试验

此实验用于给自制土壤含水率传感器进行标定。主要目的为得出不同土壤含水率情况下此自制传感器输出的模拟电压，根据此数据可编程逆向得出输出不同电压代表的土壤含水率，从而实现对此传感器的标定。

并且从实验结果中研究此传感器输出电压曲线，以及其输出规律，为以后此类传感器研究提供依据。

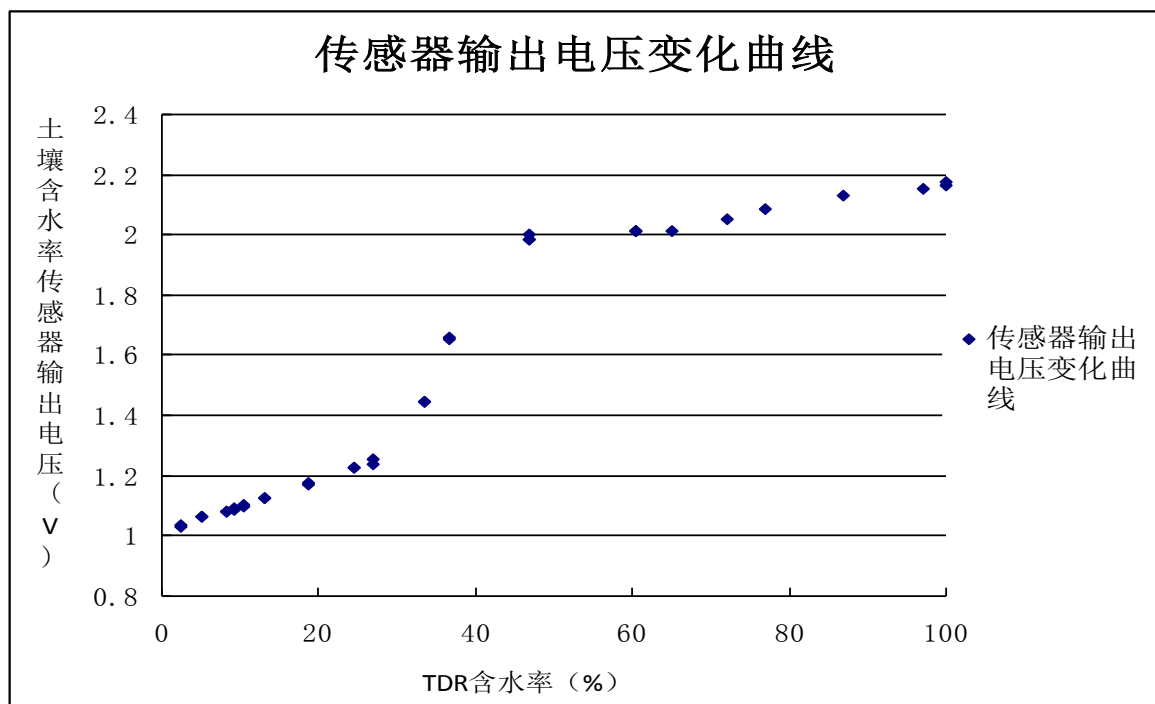


图 4-1 土壤含水率传感器输出电压变化曲线

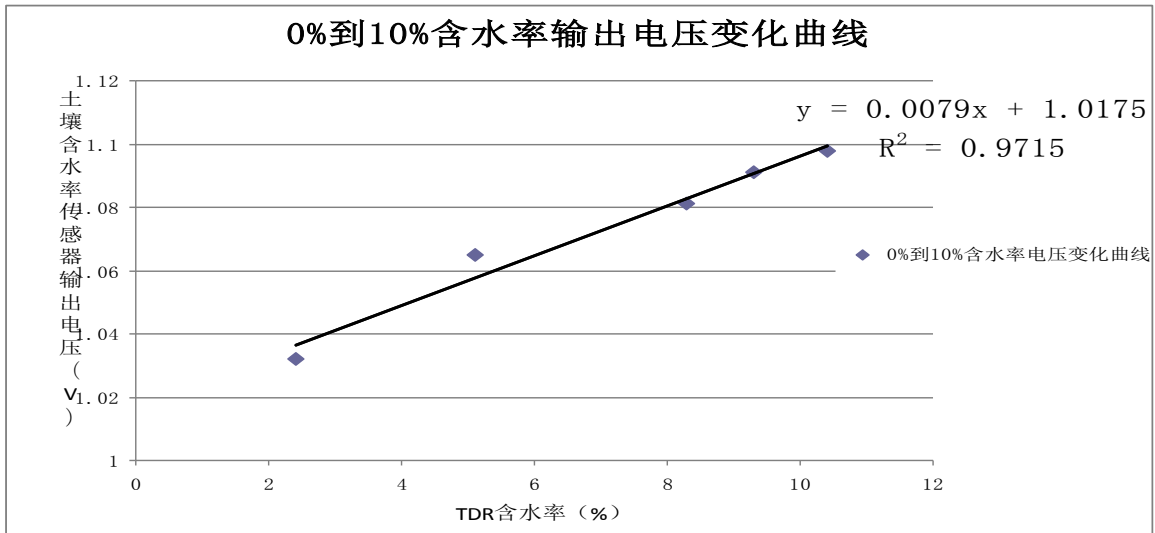


图 4-2 0%到 10%含水率传感器输出电压变化曲线

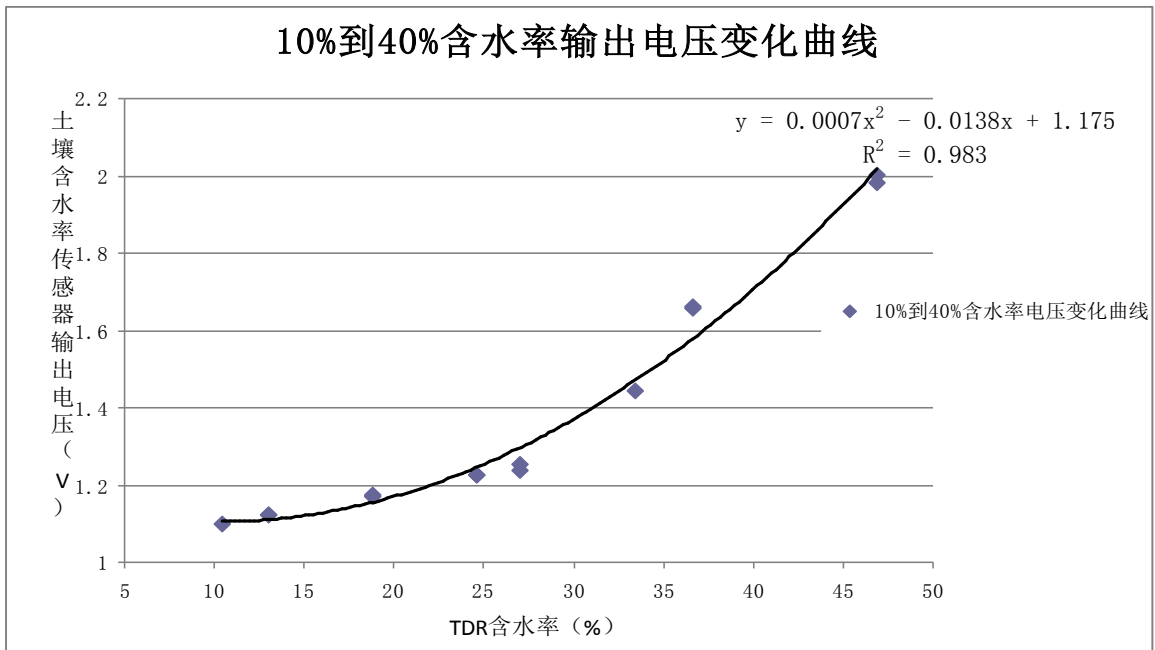


图 4-3 10%到 40%含水率传感器输出电压变化曲线

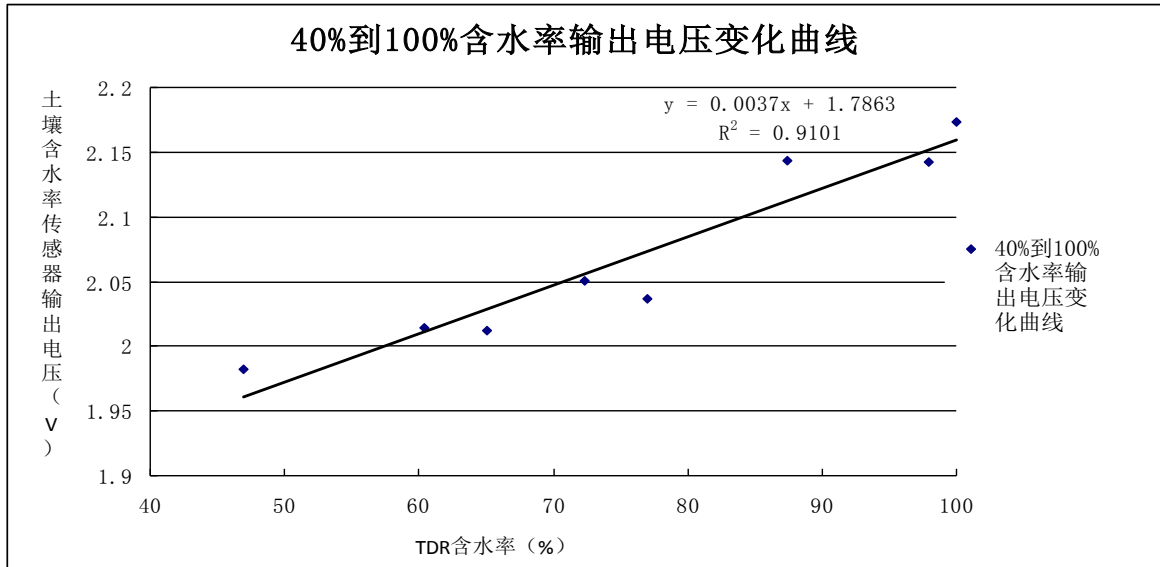


图 4-4 40%到 100%含水率传感器输出电压变化曲线

4.2 土壤紧实度传感器输出电压实验

由于紧实度传感器输出电压不仅涉及到压力传感器本身输出，也需要考虑到传输线压降，以及 A/D 转换后的精度问题，所以本实验是在完成数据采集显示模块制作后，进行的传感器整体实验。

由于实验器材有限，本实验所称量重物最大值为 18395g。



图 4-5 土壤紧实度传感器输出电压实验实物图

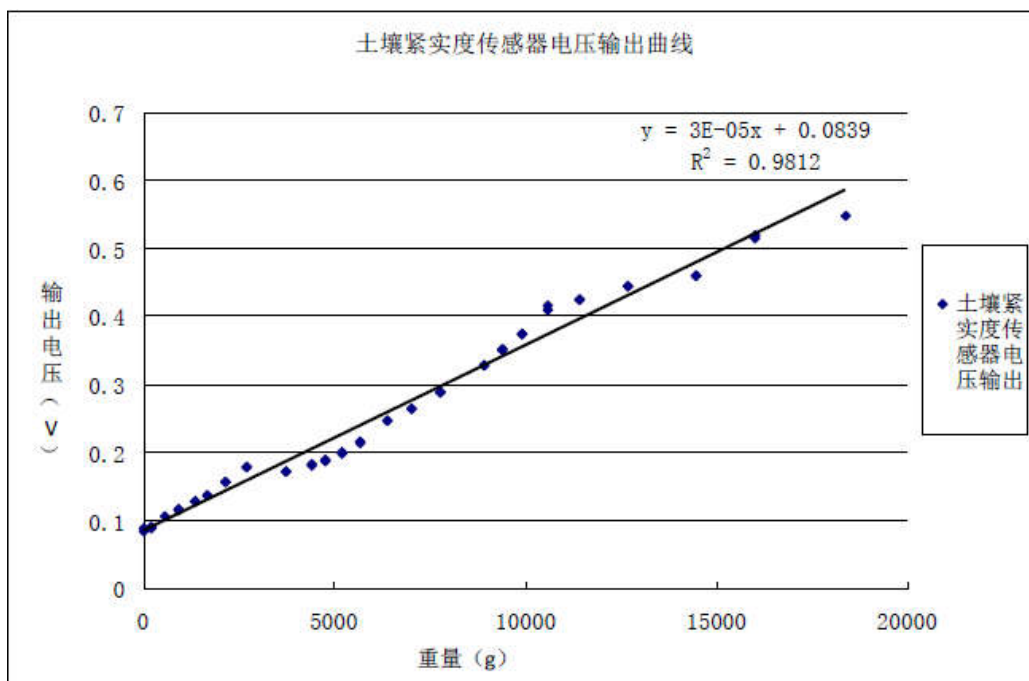


图 4-6 土壤紧实度传感器输出电压变化曲线

根据以上分析得出的结论，本自制传感器土壤紧实度部分电压输出为单调递

增关系，在实验范围内，即 0g~18395g，得出的线性拟合曲线的决定系数 R2 达到了 0.9812，说明此紧实度传感器输出电压能很好的反映出重量。

4.3 土壤含水率传感器稳定性实验

稳定性表示传感器在一个较长的时间内保持其性能参数的能力。在理想的情况，传感器的特性参数应该不随时间而变化。但是由于构成传感器的部件或敏感元件，其特性会随时间的变化而变化，从而影响了传感器的稳定性。所以在实际情况上，大多数传感器的特性随着时间的推移会发生改变。稳定性一般以室温条件下经过一规定时间间隔后，传感器的输出与起始标定时输出之间的差异来表示，称为稳定性误差。稳定性误差可用相对误差表示，也可用绝对误差来表示。

传感器的稳定性能好坏直接影响着整体性能，所以本实验主要目的是要得出本复合传感器的输出稳定性，即当复合传感器处于相同含水率或者压力下，传感器输出电压是否保持稳定。

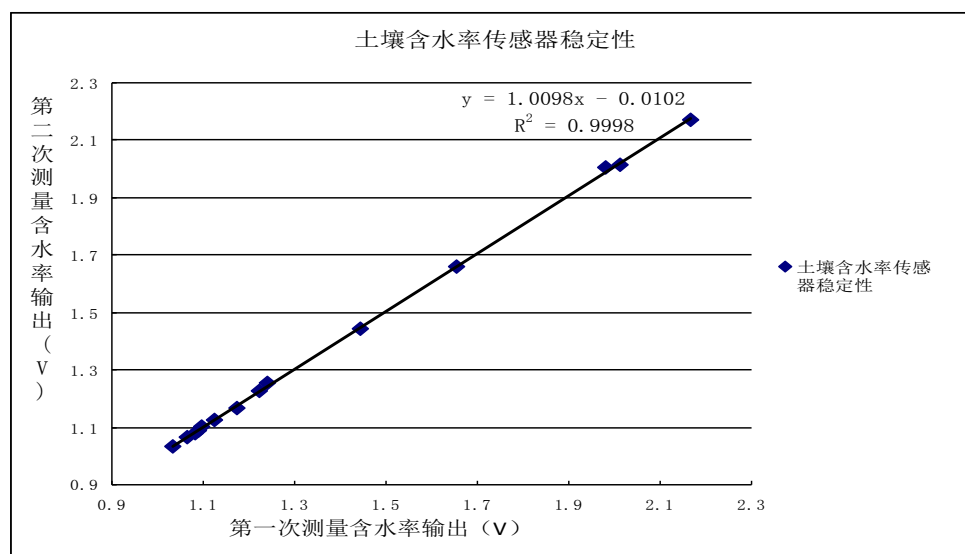


图 4-7 土壤含水率传感器稳定性

对数据进行了线性拟合得到的趋势线为 $Y=1.0098X-0.0102$ ，a 值接近 1，而 b 值接近于 0。且决定系数 R2 也到达了 0.9998，接近于 1。由此可得出结论本传感器稳定性能颇佳，即在一定含水率下，传感器的电压输出十分稳定。

4.4 土壤紧实度传感器稳定性实验

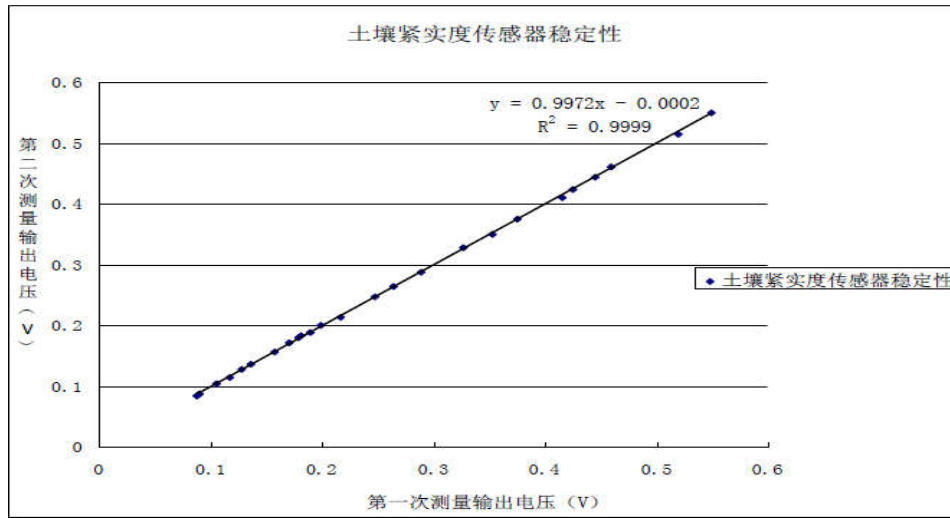


图 4-3 土壤紧实度传感器稳定性

对数据进行了线性拟合得到的趋势线为 $Y=0.9972X-0.0002$ ，a 值接近 1，而 b 值接近于 0。且决定系数 R^2 也到达了 0.9999，基本接近于 1。由此可得出结论本传感器稳定性能颇佳，即在一定压力下，土壤紧实度传感器的电压输出十分稳定。