



## 土壤水分含量测定专题——TDR与TDT技术

- 1 实时准确监测土壤墒情意义重大
- 2 TDR与TDT技术原理简介
- 3 Moisture•Point土壤水分监测系统介绍
- 4 Gro•Point土壤墒情监测系统介绍
- 5 水分监测无线电控制系统介绍
- 6 节水灌溉领域的应用

### 引言

今年二月份以来，我国作物受旱面积之大、受旱程度之严重为多年来罕见，给我国经济带来了巨大的损失。因此，利用先进的仪器加强土壤墒情及时准确的监测具有十分重要的意义。为此，本期推出了土壤水分含量测定技术专题，并介绍了相关的先进仪器，这些仪器能迅速准确监测土壤水分状况，并且可结合气象、环境等因素分析，为旱情测报及抗旱救灾工作提供科学有力的支持。

时域反射法(TDR)与时域传播法(TDT)是目前国内外广泛使用的先进的土壤水分含量测量方法。可以快速实时的监测土壤水分状况，与其它土壤水分含量测定方法相比，在测量的实时性与精度上都更具优势，使用操作更加方便灵活，还可适用于各种不同类型的土壤环境。

加拿大ESI公司生产的Moisture•Point(TDR)与Gro•Point(TDT)土壤水分监测系统是当今市场众多同类产品中的佼佼者。Moisture•Point采用多点探杆，可实现多点多剖面同步监测土壤水分状况，且在盐分含量较高时仍能保持高精度。Gro•Point能测量土壤湿度、温度、电导率、湿润峰4个参数，且具有操作方便，价格便宜等优势。

Moisture•Point与Gro•Point土壤水分监测系统既可应用于农田灌溉、草坪管理、垃圾填埋监测等实际水分管理中，也可满足土壤水分科学管理和水分运动研究等科研级别的需求。能够实现自动监测，合理灌溉，减少浪费，优化水资源利用。

# TDR与TDT技术原理简介

## 1. TDR技术

TDR全称时域反射法(Time Domain Reflectometry)，是根据电磁波在介质中的传播速度来测定介质的介电常数从而确定土壤容积含水量及含盐量的方法。电磁脉冲沿着波导棒的传播速度取决于与波导棒相接触和包围着波导棒材料的介电常数(Ka)。电磁脉冲在土壤中传播时，其介电常数与土壤容积含水量有很好的相关性，与土壤类型、密度等几乎无关。一般来说，土壤成分包括空气、矿物质和有机颗粒以及土壤水分等。由于水的介电常数远远大于空气和土壤基质中其它物质的介电常数，因此土壤的介电常数主要依赖于土壤的含水量。

空气—土壤—水分混合物的较粗略的介电常数(Ka)可以通过公式来确定：

$$Ka = (t \times c / L)^2$$

“L”是波导的长度

“t”为电磁脉冲从波导的始端到波导的末端所需的时间

“c”是真空中电磁波的传播速度

电磁脉冲沿着波导棒传播就像一束光在传输线中传输。传输线的中断和周边物质的不连续会使传输中的部分能量通过传输线反射回来。当电磁脉冲到达波导棒传输线的终端时，脉冲的剩余能量都将通过传输线反射回来。(图1所示)这就像一束光沿着一条管传播，在管的终端被镜子反射回来。利用电磁脉冲的这些特征，我们可以利用精密的电子设备，测量电磁脉冲沿着传输线(波导)所需要的时间。考察脉冲输入到反射返回的时间以及反射时的脉冲幅度的衰减，即可计算土壤水盐含量。

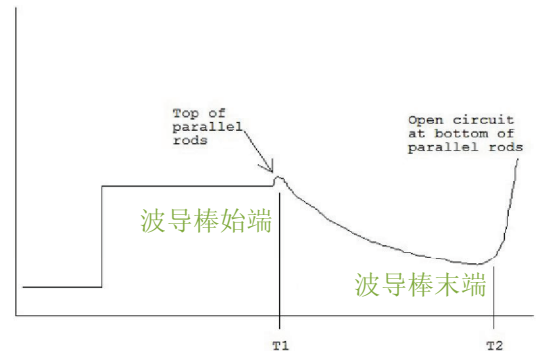


图1. 电磁脉冲在土壤中传播的典型路径

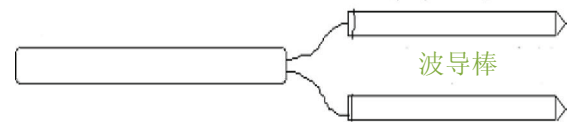


图2. TDR传感器简单示意图

TDR系统可以直接、快速、方便、实地监测土壤水盐状况，与其它测定方法相比，TDR具有较强的独立性，测定结果几乎与土壤类型、密度、温度等无关。将TDR技术应用于结冰条件下土壤水分状况的测定，可得到满意的结果，而其它测定方法则是比较困难的。TDR另一个特点是可同时监测土壤水盐含量，在同一地点同时测定，测定结果具有一致性，而二者测定是完全独立的，互不影响。

## 2. TDT技术

TDT全称时域传播法(Time Domain Transmissometry)，其基本原理与TDR相同，不同的是TDT脉冲是在单根导播棒中传播，其信号的接受端在远离发射端的导播棒的终端。而TDR脉冲信号的发射端和接收端均是同一端。

与TDR相比，TDT水分测量仪具有以下优势：

- 低频率，耗电小；
- 线路简单；
- 输出不需要波形显示和解释；
- 价格相对便宜等优势。

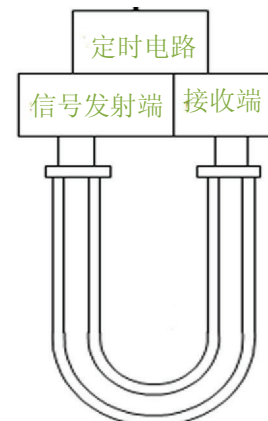


图3. TDT传感器简单示意图

## Moisture•Point土壤水分监测系统——TDR技术

Moisture•Point独特的探杆设计能有效获取各类土壤中的多点多剖面的水分含量。先进的信号检测和处理技术确保了测量结果的可靠性和精确度。既可以广泛应用于垃圾填埋场监测、农田灌溉、葡萄栽培管理等领域的一般级别的水分管理，也可以满足土壤科学研究、水分运动研究等科研领域级别的要求。此外，还可用于播种盆、苗盘等小容积里的精确水分管理，可以显著提高新生苗的质量，该项功能是Moisture•Point独创之处，可为客户量身定制该传感器。

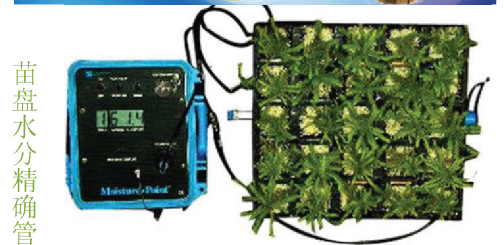
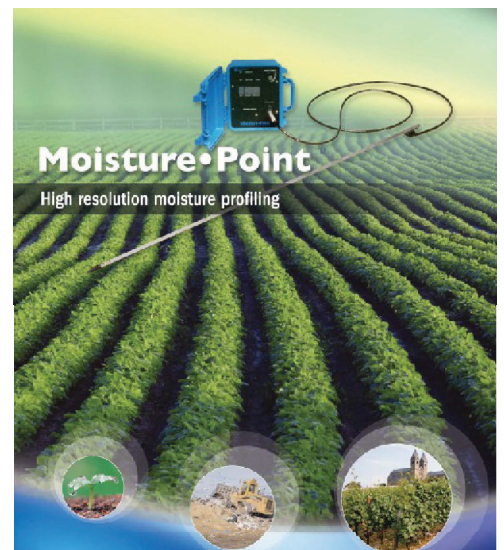
一个标准的Moisture•Point系统包括主机，电源/通信电缆、蓄电池充电器，传感器电缆、用户手册及标准5段传感器。MP-917主机用于访问MP探针，显示和输出数据，最多可连接31个不同类型的传感器。内置数据采集器或可单独配。传感器类型包括多点探杆、SDP、SDR 三种，SDP探针最长可达40cm，多点探杆可实现多点多剖面同时监测，还可实现远程数据监测和传输。通过电源/通信电缆外接电脑，利用View•Point软件控制MP-917仪器的运行、数据的输出和相关的波形扫描输出等。

### 优势

- 测量结果可靠，精确度高；
- 可实现多点多剖面同时监测；
- 最多可连31个传感器；
- SDP探针最长可达40cm；
- 6种可选操作模式，满足用户多样性需求；
- 可连接其它数据采集器；
- 配套的探杆安装和拔出工具，使用方便。

### 基本技术指标

- 数据输出：LCD显示四位数，两个窗口  
显示传感器编号及水分含量或时间延迟
- 电源：内置蓄电池（供野外使用）：
- 测量范围：0-100%
- 精度：0-50%：<1%，其它情况下：<3%
- 温度：工作时：0-50°C  
贮藏时：-15-70°C（不装蓄电池）  
0-50°C（装有蓄电池）
- 主机尺寸：274 × 248 × 173 mm
- 电缆线长度：标准2米，可延长至100米
- 多点探杆长度：51、81.5、98.5、112、142.5cm等

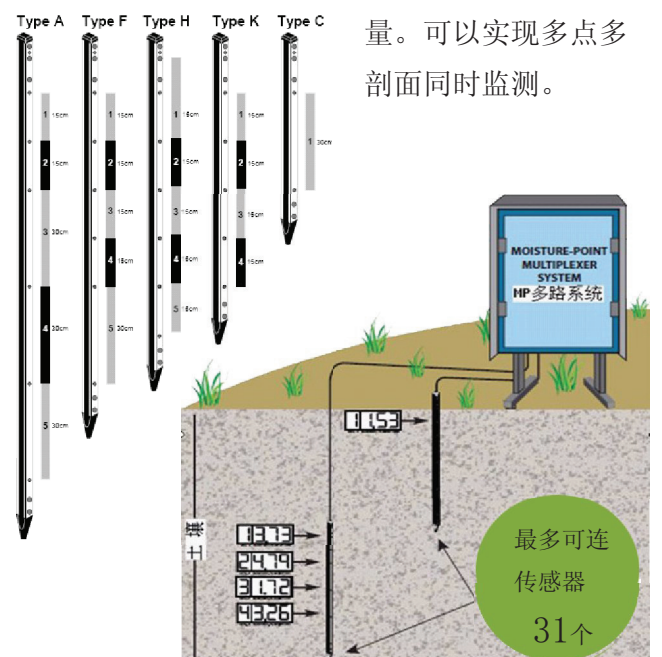


苗盘水分精确管理

### 传感器类型

#### 1. 多点探杆

多点探杆被分为若干分段（标准分段为5），可通过MP-917主机来设置每段取样点个数（最多达15个），测得的数据为该段土壤的平均水分含量。可以实现多点多剖面同时监测。

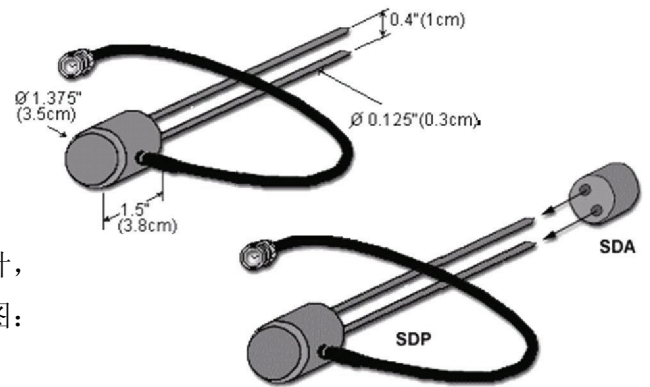


## 2. SDP型探针

包含两根平行的不锈钢针与二极管相匹配(探针长度可选择15-40cm)，通过同轴电缆与MP-917连接，可精确测量土壤水分含量。

### SDA (SDP附件)

相当于SDP末端的‘盖帽’，和SDP组装，连接两针，提供容器中土壤最佳的水分含量读数。组装方法如右图：



## 3. SDR型探针

能够精确测量30cm深度土壤周围水分含量，轻便，易携带，能快速轻松的插入地面，对土壤环境损害极小，并且两针能够留在土壤里。此种探针包含一套20或30cm长的可抽取的杆。

综上所述，将Moisture•Point传感器的类型及其规格汇总如下，见下表1。

说明：传感器的编号是依据其类型和分段数来确定的，在每个传感器的标签上都有标明，在操作模式设置时需要选择。此外，ESI公司还可以根据客户特殊使用条件要求，量身定制传感器的尺寸。

表1. 传感器类型汇总

| 编号 | 类型      | 传感器分段 |            |    |    |    |    |    |   |
|----|---------|-------|------------|----|----|----|----|----|---|
|    |         | 顶端    | 1          | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7 |
| 0  | SDP&SDA | 30    | SDP带有末端装置  |    |    |    |    |    |   |
| 1  | C       | 30    |            |    |    |    |    |    |   |
| 2  | A       | 15    | 15         | 30 | 30 | 30 |    |    |   |
| 3  | F       | 15    | 15         | 15 | 15 | 30 |    |    |   |
| 4  | H       | 15    | 15         | 15 | 15 | 15 |    |    |   |
| 5  | B       | 20    | 20         |    |    |    |    |    |   |
| 6  | Q       | 15    | 15         | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |   |
| 7  | E       | 15    | 15         | 15 |    |    |    |    |   |
| 8  | K       | 15    | 15         | 15 | 15 |    |    |    |   |
| 9  | SDP     | 30    | 单个二极管传感器   |    |    |    |    |    |   |
| 10 | L       | 30    | 30         |    |    |    |    |    |   |
| 11 | SDP     | 15    | 单个二极管传感器   |    |    |    |    |    |   |
| 12 | SDR     | 20    | 单个二极管，耐损外壳 |    |    |    |    |    |   |
| 13 | SDR     | 30    | 单个二极管，耐损外壳 |    |    |    |    |    |   |
| 14 | SDP     | 40.7  | 单个二极管传感器   |    |    |    |    |    |   |

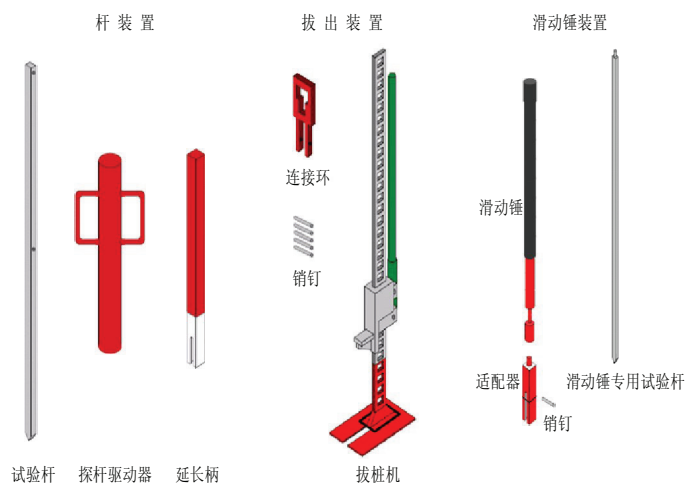
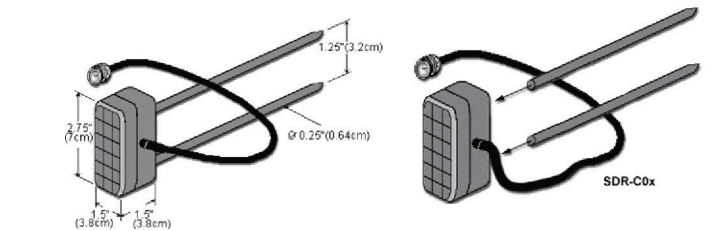


图1. 插入/拔出工具装置图

## 插入/拔出工具装置

为确保传感器在使用过程中不受到损害以及获得最佳土壤水分含量读数，ESI提供了剖面水分传感器(探杆)专用的插入/拔出工具装置，如图1所示，包括杆装置，带滑动锤的驱动装置，拔出装置等，客户可以依据使用环境的不同来选择和配置装置。

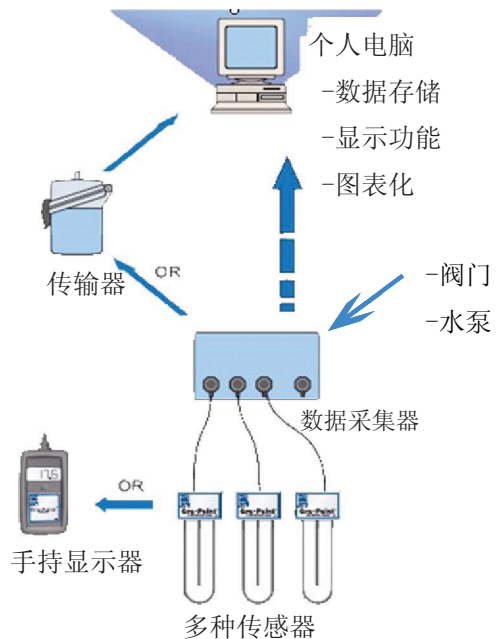
1. 杆装置：包括试验杆、探杆驱动器、延长柄。必须使用该套装置在探杆插入前预打孔，以确保探杆在插入过程中不受到损害。延长柄可以加深预打孔的深度以达到探杆插入深度的要求。

2. 带滑动锤的驱动装置：该装置主要是借助滑动锤的自身的重力，向下驱动试验杆，以达到目的深度。该装置能满足绝大多数土壤环境使用的要求。

3. 拔出装置：包括连接环、销钉和千斤顶。若土壤较松软可以直接用手或使用连接环与销钉缓缓垂直拔出试验杆或探杆；在压实土壤中必须强制使用千斤顶(最大能提起约2t重的物体)，以确保试验杆或探杆在拔出过程中不受损害。

## Gro•Point土壤墒情监测系统——TDT技术

Gro•Point是一款可靠的土壤墒情监测系统，能对各类土壤进行精确全面的水分测量。能够自动控制合理灌溉，确保土壤湿度的合理性，提高农作物产量及质量，优化水资源的利用，以及减少肥料的流失。该系统由传感器，数据采集器，独立阀门控制器，数据传输器，数据采集器配套软件等组成。



## Gro•Point土壤墒情监测系统组成

### 1. 传感器

Gro•Point土壤水分传感器为系统执行的核心，能快速准确反映测定区域的土壤湿度水平，传感器为不锈钢设计，可选择季节性安装也可永久安装。传感器可分以下三种类型：

#### GP 传感器

- 测量范围：0-100%
- 精度：<1% (8-42%)，其它范围3%
- 温度：0-65℃（工作时），  
-20-70℃（储存时）
- 输出电压：0.5-5.0 mA（标准），  
0-2.5V, 4-20mA（可选）
- 电缆长度：3m（标准长度）可加长15m或30m
- 连接方式：标准的3针，IP66/IP68额定连接器
- 电源：5.5-18 V（DC），10-20mA（max）
- 尺寸：9.5 × 3.8 × 24 cm



**优势**

三种型号可选择：  
GP-MS通用型，  
GP-SS适用砂质土壤，  
GP-HS适用盐质和粘质土壤。

#### GP Pro传感器

- 测量范围：0%-100%
- 精度：<1% (0%-50%)，其它范围3%
- 电导率：0-2.5 dS/m 精度：<0.1 dS/m
- 温度：-20-70℃ 精度：<0.5℃
- 电缆长度：3m，可加长15m或30m
- 连接方式：标准的3针，IP66/IP68额定连接器
- 尺寸：19.5 × 2.0 × 0.5 cm（末端1.0cm厚）

#### GP Lite传感器

- 测量范围：0%-100%
- 精度：<1% (0%-50%)，其它范围3%
- 重复精度：0.5%
- 电缆长度：3m，可加长15m或30m
- 连接方式：标准的3针，IP66/IP68额定连接器
- 尺寸：19.5 × 2.0 × 0.5 cm（末端1.0cm厚）

**优势**

价格便宜，设计小巧、精致和轻质。安装过程中几乎不会影响植被，与现有的GP设备相兼容。精确控制灌溉，可以部署在灌溉敏感区（如根部），最适用于草坪等浅根植物水分灌溉控制。



**优势**

安装过程中几乎不会影响植被，与现有的GP设备相兼容。唯一一种能输出土壤湿度、温度、电导率和湿润峰4种读数的传感器。



## Gro•Point土壤墒情监测系统组成

### 2. 手持显示装置

在监测点现场显示传感器测得的数据，可反映瞬时的土壤水分含量，方便、快捷，直观。但不能进行数据传输及与其它的相关设备相连接。



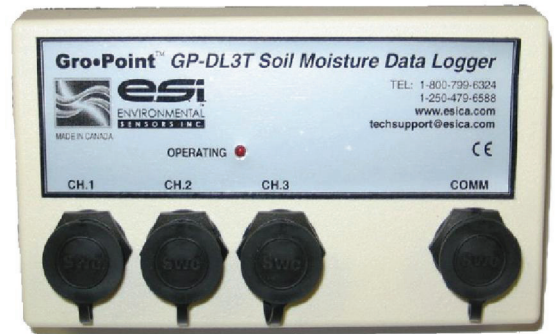
### 3. 数据采集器

该数据采集器具有耐候性，在各种大田气候环境下都能正常使用。

可以采集4个传感器的数据，这4个传感器可以是4个湿度传感器，3个湿度传感器和1个温度传感器（测量范围-40-100℃），2个湿度传感器和2个温度传感器。

采样时间间隔由用户选择，从1秒到9小时之间。

电池为3V锂电池（数据采集器）及9V蓄电池（传感器），正常使用下，电池可用一年多。



数据存储器即使在没有电池的情况也可以保持数据，可存储多达32520个数据，数据可以直接转移或通过数据下载器传输到个人电脑。

带有相关的配套软件，以Windows操作系统为基础，包括全功能编程，可以控制数据的采集、传输及以表格或图的形式显示数据输出。

在满足传感器标准输出的条件下，该系统还可以配置其它非ESI公司生产的数据采集器。

### 4. 数据传输器（含电缆套件）

能够读取数据采集器中的所有数据；检查数据采集器的电池电压；控制一个新的测量周期；便于将数据转移到电脑上；最多可同时下载40个数据采集器的数据。



### 5. 独立阀门控制器（SVC）

独立阀门控制器是一个简单、低成本的灌溉控制器单元。能将土壤湿度传感器读数与自动灌溉结合起来。依据土壤水分含量控制灌溉，维持适宜湿度，可提高水分利用率和作物质量。

具有一个基于用户设置的最高与最低水分含量阈值的自动控制的阀门，当水分含量到达最低的设置值时，将自动执行计划的灌溉，当水分含量达到最高值时，将停止灌溉。

独立的可调节的水分阈值水平，默认条件下自动运行。



#### 手持编程器

为独立阀门控制器的配件，具有显示界面。

该编程器主要用来调节独立阀门控制器的参数，监测水分传感器输出。当连接独立阀门控制器时，可显示当前的水分读数；设置阀门的输出是手动还是自动控制，显示和调节水分阈值。

## 水分监测无线电控制系统简介

ESI提供了基于灌溉和霜冻保护管理下的精确可靠的无线电数据传输系统，能够在办公室实现精确灌溉所需的全面控制，优化灌溉策略，提高作物产量和质量。能实现5km范围内或更远距离（需要调制解调器单元或中继器）的数据传输，避免长距离的埋设电缆，还具有安装容易，低功率，即插即用，防水性和持久耐用等优势。

### 无线电控制系统组成

现场节点：

- 最多能够读取4个水分、温度、渗流或压力传感器的数据；
- 可设置采样、报警模式及数据读取速度；
- 将数据传至网关处；
- 使用锂电池或太阳能电池；
- 有效距离为5km, 通过调制解调器单元或中继站可延伸传输距离；
- 安装容易，有界面显示来确认操作。

网关

- 用来插入电脑USB、调制解调器单元或中继站接口；
- 每个网关最多连接56个现场节点；
- 输出操作电流、电压；
- 显示灌溉控制器的主要输出；
- 现场节点与网关的有效范围为5km。

Gro•Point软件

- 设计直观，符合灌溉监测和管理工程的习惯；
- 远程调控数据读取频率，报警阈值及邮件报警；
- 访问网站www.mygropoint.com，可以查看到地理位置，实时数据，图表等，具体说明如下：

A. 上端菜单栏：可选择灌溉监控地点、现场节点、位置、区域等参数。

B. 中间地图显示区：展示所在区域周围环境（比例可调），鼠标放在现在节点标识处可以自动显示实时读数。

C. 左下编辑区：可显示每个现场节点实时读数，编辑其各种设置参数。

D. 右下侧图表：显示绘制成的历史数据图。可查看1-180天的历史数据。

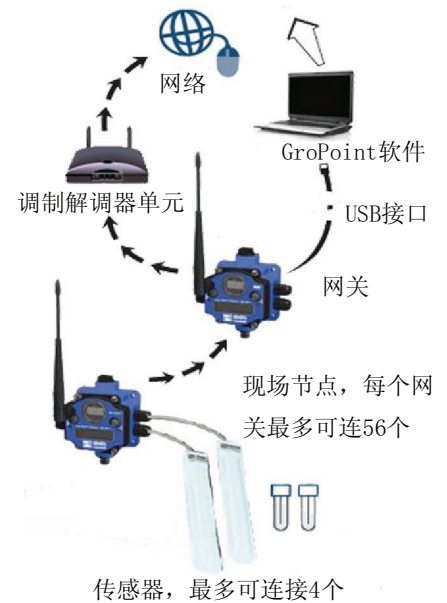


图1. 无线电控制系统图

单元调制解调器

- 将现场测量的数据通过GPM/GPRS传输到网络上；
- 通过网站www.mygropoint.com来访问数据；
- 确保在任何地方的数据连接安全。

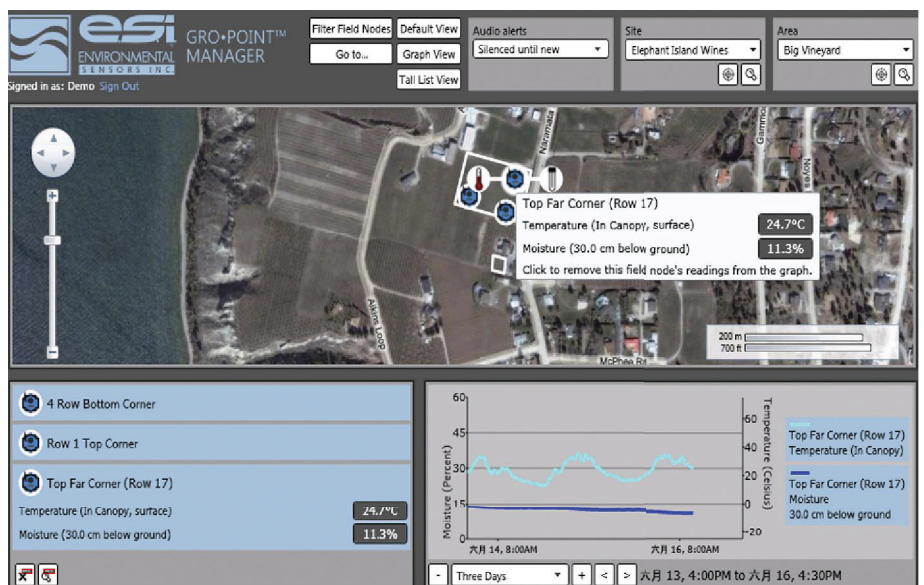


图2. 监测数据显示图

## 在节水灌溉上的应用

ESI提供的土壤墒情监测系统确保了土壤水分含量测定的精确性及可靠性，能与大田、苗圃、葡萄园等区域的滴灌或微喷灌系统结合进行节水灌溉管理。在节水灌溉系统中，需根据灌溉对象来确定传感器安装的深度和方向。通过该系统可确定灌溉目标以及根据实际情况调节灌溉目标，除了直观获取选定对象土壤水分含量数据外，还可根据获得的数据绘制水分利用曲线，计算水分腾发量和所需的灌溉量。

### 1. 传感器的安装

在灌溉系统中每个监测点安装2-3个传感器，1-2个安装在浅位，监控灌溉目标；另一个安装在深位，监测渗透水。

**滴灌系统中的安装：**可以直接安装在滴头下面，无论是水平还是垂直安装，传感器测量的都是周围活跃区域12-30cm附近的平均水分含量，

**微喷灌系统中的安装：**安装在喷头到湿润区域边缘距离的1/3到1/2处，确保装置区获得水分的一致性。

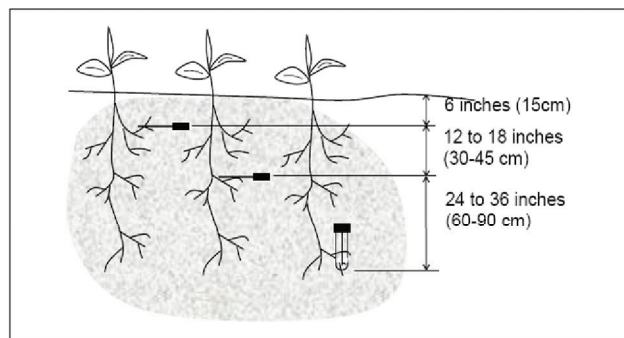


图1. 传感器安装示意图

**安装方向：**水平安装：适合浅位，一般在12-45cm区域；垂直安装：适合深位，一般在60-180cm区域。

### 2. 通过土壤墒情监测系统建立灌溉程序

**确定灌溉目标：**以大田为例，为达到作物质量和产量目标，必须选取有代表性的监测点。简单有效的灌溉管理，必须建立田间持水量、永久萎蔫点、开始灌溉的目标含水量、压力点等参数目标，经过一系列的测试后就可确定每块大田里灌溉所需要水的体积和灌溉时间。

**调整灌溉目标：**灌溉作物的改变，天气的变化等原因都要调整相应的灌溉目标。

### 3. 数据的实际应用

根据获取的土壤水分含量数据，可以绘制土壤水分利用曲线，通过该曲线，可以了解到水分利用程度以及什么时候开始灌溉最适宜。

结合ESI提供的相应气象传感器，可绘制出每日水分含量及腾发量动态曲线。

计算所需要的灌溉量：

灌溉量=（田间持水量-当前平均含水量）×所需灌溉深度

此外，还可以从图表上直观获取田间持水量、压力点及所需灌水量。利用数据结合无线电系统装置，可以实现精确灌溉管理。

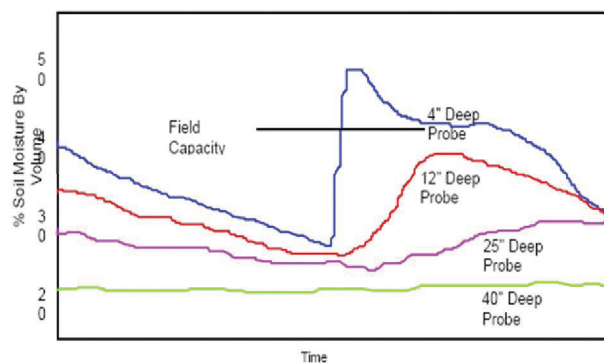


图2. 灌溉量的确定