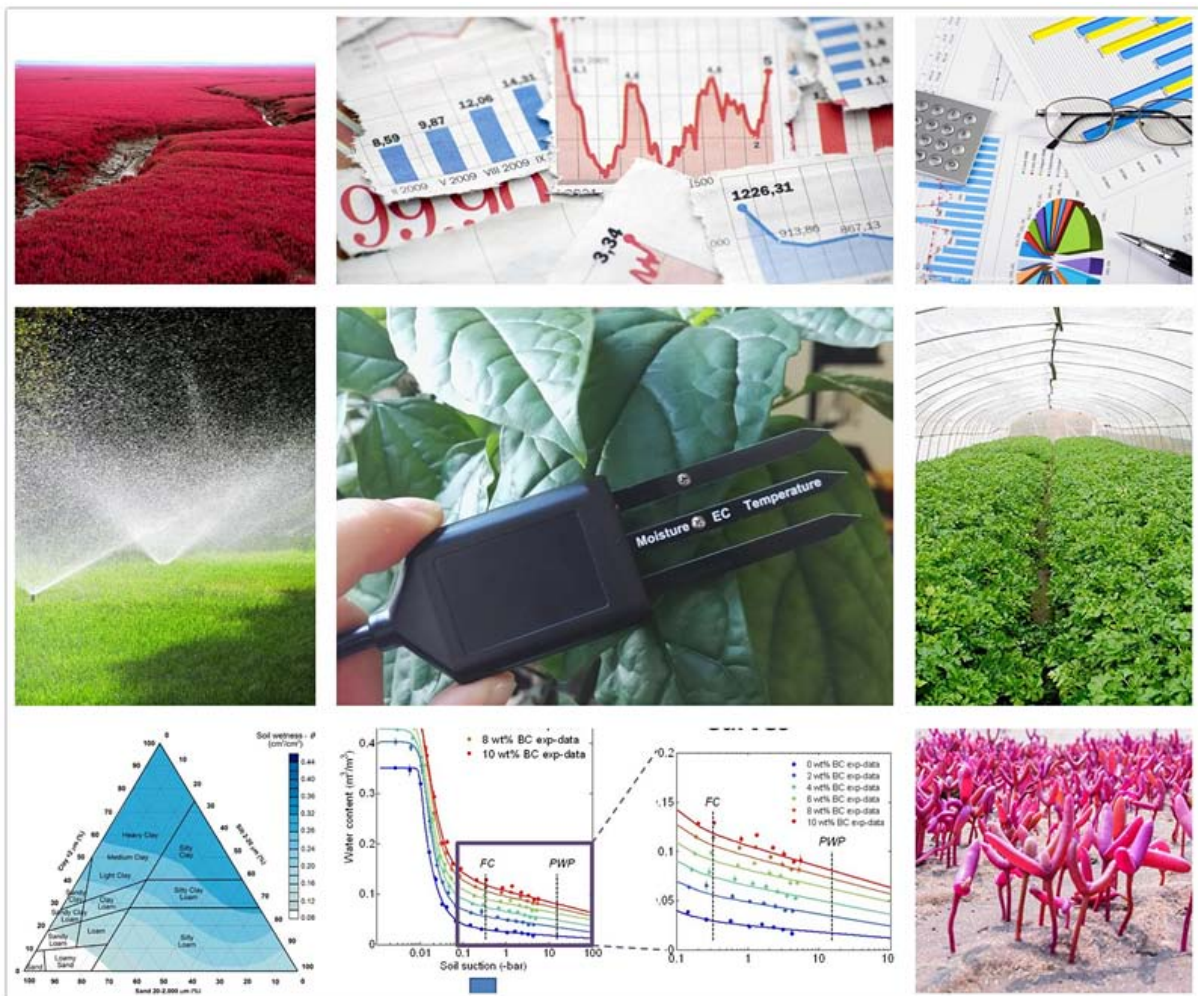


MT10土壤水分/温度/电导率传感器

SDI-12接口

用户手册



目 录

1	技术支持	3
2	产品介绍与背景知识	4
2.1	背景知识	4
2.1.1	土壤电导(盐分)对植物的影响	4
2.1.2	测量土壤电导(盐分)的意义	5
2.1.3	植物收到盐分胁迫的判断	5
2.1.4	电导与盐分的测量	6
2.1.5	土壤含水率对植物的影响	6
2.2	产品介绍	8
3	传感器接线	10
4	外型尺寸、选型订购	11
4.1	外型尺寸	11
4.2	选型订购	12
5	安装与测量	13
6	土壤水分，温度，电导率与输出的换算	14
6.1	土壤的水分换算	14
6.2	非土壤类的基质的水分换算	14
7	数据通信与输出	15
7.1	串行 ADI 接口	15
7.1.1	电气标准	15
7.1.2	协议解析	15
7.2	SDI-12 接口	17
7.2.1	电气标准	17
7.2.2	协议解析	18

1 技术支持

感谢您选择并使用我公司产品，此用户手册协助您了解并正确使用传感器。如需订购产品、技术支持、以及产品信息反馈，请通过以下方式联系我们。请在联系时附注设备的购买时间，购买方式，联系人信息，地址以及电话等相关信息，便于我们为您服务。

网址

<http://www.infwin.com>

E-Mail

infwin@163.com

电话

+86-411-66831953, 4000-511-521

传真

+86-411-82388125

版本控制

日期	版本号	说明	完成人
2015-04-23	V1.0	创建	fg49597
2016-08-16	V1.1	更新	sl51930

2 产品介绍与背景知识

2.1 背景知识

2.1.1 土壤电导(盐分)对植物的影响

土壤盐分过多对植物生长的影响是多种多样的, 主要危害有以下几个方面:

(1) 生理干旱。土壤中可溶性盐类过多, 由于渗透势增高而使土壤水势降低, 根据水从高水势向低水势流动的原理, 根细胞的水势必须低于周围介质的水势才能吸水, 所以土壤盐分愈多根吸水愈困难, 甚至体内水分有外渗的危险。因而盐害的通常表现实际上是一个旱害, 尤其在大气相对湿度低的情况下, 随蒸腾加强, 盐害更为严重, 植物生长异常, 植株矮小, 叶小暗绿, 似干旱缺水状。

(2) 离子的毒害作用。植物由于吸收某种盐类过多而排斥了对另一些营养元素吸收。

(3) 破坏正常代谢。盐分过多可抑制叶绿素合成与光合器中各种酶的发生, 尤其是影响叶绿-蛋白的形成, 生长在盐分过多的土壤中的作物, 一般净光合率低于淡土的植物, 净光合生产率低, 不利于生长。叶绿体是植物进行光合作用的主要场所。叶绿素含量是反映植物光合作用强度的生理指标。因此, 盐胁迫下, 对植物光合作用的影响主要是对植物体中叶绿体的影响。由于盐胁迫下, 植物吸收不到足够的水分和矿质营养, 造成营养不良, 致使叶绿素含量低, 影响光合作用。另外, 盐分过多使梭化酶和梭化酶活性降低, 叶绿体趋于分解, 叶绿素被破坏。叶绿素和类胡萝卜素的生物合成受阻, 气孔关闭, 使光合速率下降, 影响作物产量。

(4) 对植物细胞膜结构的影响。盐胁迫直接影响细胞的膜脂和膜蛋白, 使脂膜透性增大和膜脂过氧化, 从而影响膜的正常生理功能。正常情况下, 细胞壁和质膜相互接触, 细胞在失水时质膜收缩, 由于质膜与细胞壁的弹性不同, 质壁相互“撕扯”变形, 产生机械胁迫, 引起细胞内游离钙离子浓度增加, 诱导植物活性氧迸发。盐胁迫使细胞失水, 引起细胞膨压和渗透压变化。

(5) 阻碍农作物蛋白质合成。盐分过多对蛋白质代谢影响比较明显, 抑制合成促进分解, 抑制蛋白质合成的直接原因可能是由于破坏了氨基酸的合成, 如蚕豆在盐胁迫下叶内半胱氨酸和蛋氨酸合成减少, 从而使蛋白质含量减少。使作物产生有毒物质。盐胁迫使植物体内积累有毒的代谢产物, 如蛋白质分解的产物游离的氨基酸、胺、氨等的积累, 这些物质对植物有毒害作用, 致使植物叶片生长不良, 抑制根系生长, 组织变黑坏死等。

2.1.2 测量土壤电导(盐分)的意义

土壤中的总盐量是表示土壤中所含盐类的总含量。由于土壤浸出液中各种盐类一般均以离子的形式存在,所以总盐量也可以表示为土壤浸出液中各种阳离子的量和各种阴离子的量之和。近年来,土壤总盐量逐年升高,产生土壤酸化和次生盐渍化现象,这主要是由于土壤常年覆盖或季节性覆盖改变了自然状态下的水热平衡(高温、缺少雨水淋洗、蒸发强烈),土壤得不到雨水充分淋洗,致使盐分在土壤表层上聚集;也是不合理施肥所致。在土壤分析中,含盐量是一个重要的综合指标,而测定土壤中的电导率可以直接反映出混合盐的含量。因此,对土壤中电导率进行监测能够掌握其污染状况是十分必要的。

土壤电导率是研究精细农业不可缺少的重要参数,它包含了反映土壤质量和物理性质的丰富信息。例如:土壤中的盐分、水分、温度、有机质含量和质地结构都不同程度影响着土壤电导率。有效获取土壤的电导率值,对于确定各种田间参数时空分布的差异有重大意义,从而也为基于信息和知识的现代精细农业的普及推广打下基础。

(1) 了解水盐动态及其对作物的危害,为土壤盐分的预测、预报提供参考,以便采取有力措施,保证作物正常生长。

(2) 了解综合治理盐渍土的措施所产生的效果。

(3) 根据土壤含盐量及其组成,进行盐渍土分类,并进行合理规划,以达到合理种植、合理灌溉及合理排水的目的。

(4) 进行灌溉水的品质鉴定,测定灌溉水中的盐分含量,以便合理利用水利资源,开垦荒地,防止土壤盐渍化。

2.1.3 植物收到盐分胁迫的判断

土壤基质的电导率 EC 值越高,表明土壤中可溶性盐离子的浓度就越大,这样有可能形成反渗透压,将植物根系中的水分置换出来,使根尖受到损伤,进而丧失吸收水分和营养的能力,这也是过度施肥会引起烧苗的原因。

(1) 地上植株表现的症状为:萎蔫、黄化、组织坏死或植株矮小等症状。

(2) 根部表现的症状为:轻度时根尖变褐、侧根干枯、没有根毛,严重时整个根系腐烂坏死。土壤 EC 值过高也会增加根腐病(绵腐病菌引起)的发生机率。

当发现作物植株生长缓慢或停止生长时,切忌盲目性追肥补充营养。首先,应当观察植物根部情况,结合基质特性和水肥管理情况做判断,用土壤电导率(盐分)测试仪检测土壤的 EC 值。当植物根部吸收能力下降时,不合理的施肥会造成土壤盐分再度积累,加速植株死亡;其次,使用 EC 值较低的水灌溉冲洗土壤,以达到降低土壤盐分浓度的目的;第三,可以适当使用生根剂,促进植物根系生长,加速植株恢复正常。

2.1.4 电导与盐分的测量

通常电导率EC (Electrical Conductivity) 是用来衡量溶液中可溶性盐浓度的指标, 单位为西门子每米S/m ($1\text{S/m}=10\text{mS/cm}=10000\mu\text{S/cm}=10\text{dS/m}$)。根据土壤基质或营养液的电导率取决于其温度和盐度(即盐分)的性质, 通过测定其电导率和温度就可以求得盐度。EC值的测量温度通常为25℃, 同一溶液中, 测量温度越低EC值越低。正常的气温条件下, 每相差1℃电导率的变化值约为2%。

电导率与盐分大致成线性关系, 以温度25℃为基准, 其比例为: $1\mu\text{S/cm}=0.55\sim0.75\text{mg/l}$ 含盐量, 在其它温度下, 则需加以校正, 即温度每变化1℃, 其含盐量大约变化1.5-2%。温度高于25℃时用负值, 温度低于25℃时用正值。所以可以根据电导率估算盐分。

2.1.5 土壤含水率对植物的影响

适度的水分是植物生长的一个重要条件。水分过多或者缺乏, 生长就会受到以下多方面的影响。

(1) 对植物形态的影响

植物通过水分供应进行光合作用和干物质积累, 其积累量的大小直接反映在株高、茎粗、叶面积和产量形成的动态变化上。遭受水分胁迫后的植株个体低矮, 光合叶面积明显减小, 产量降低。

(2) 对叶片变化的影响

叶片是光合与蒸腾的主要场所。叶肉细胞扩张和叶片生长对水分条件十分敏感。植株叶片要保持挺立状态, 既要靠纤维素的支持, 还要靠组织内较高膨压的支持, 植株缺水时所发生的萎蔫现象便是膨压下降的表现。

(3) 对产量形成的影响

作物产量是太阳能转化为化学能在作物上的积累。土壤水分状况影响植物根系吸水和叶片蒸腾, 进而影响到干物质积累, 最终影响作物产量。

(4) 水分对根冠发育的影响

植物根系是吸水的主要器官, 其发育受多方面的影响, 但起主要作用的是土壤水分状况和通气状况。土壤水分状况影响根系的垂直分布, 当土壤含水量较高时, 根系扩散受到土壤的阻力变小, 有利于新根发生, 根系发达。土壤中通常含有一定的可利用水, 所以根系本身

不容易发生水分亏缺。土壤干旱或供水不足时，根系吸收有限的水分，首先满足自己的需要，给地上部分输送的就很少。所以土壤水分不足时对地上部的影响比地下部的影响更大。根冠比增大。反之，若土壤水分过多，土壤通气条件差，对地下部分的影响比地上部分的影响更大，根冠比降低。适度而缓慢的水分亏缺可增加绝对根重，抑制地上部分的生长，减少地上部分的干物质积累，单产降低，但有利于密植，从而提高总产。研究表明：一定时期的水分亏缺有利于提高产量和品质。前期干旱可以增强后期的抗旱能力，苗期的轻度抗旱能促进根系的“补偿生长”，提高植株的抗旱能力。

（5）对光合作用的影响

光合作用是绿色植物获能量的主要源泉。光合速率的大小与植物的水分状况密切相关。试验表明，植物组织水分接近饱和时，光合最强；水分过多，组织水分达到饱和时，气孔被动关闭，光合受到抑制。水分缺乏，光合降低；严重缺水至叶子萎蔫时，光合急剧下降，甚至停止。土壤水分状况也影响植物的光合作用。土壤含水量降低引起叶片水势降低，气孔阻力增大，最终导致叶片扩散阻力加大， CO_2 扩散受阻，光合速率下降。

（6）对有机质运输的影响

水分供应减少，叶片水势随之降低，从源叶运输到韧皮部的同化物质减少。原因一方面是叶片水势降低，光合速率降低，使叶肉细胞内可运出蔗糖浓度变低，另一方面是由于筛管内集流的纵向运动的速度降低。水是物质转化运输的介质，同时它也直接参运某些生化反应。通常，作物果实膨大期或灌浆期水分不足，由于光合作用和运输受阻，使果实和种子不能积累充足的有机物而变得干瘪瘦小。因此在干旱情况下，灌水可以加速有机物质的运输。但是，水分过多也不利于有机质的运输，这主要是由于水分过多而造成土壤通气不良，影响呼吸作用和其他代谢过程引起的。

（7）对矿质元素吸收和运输的影响

矿质元素必须溶解在水中才能被植物吸收。但是植物吸收水分和吸收矿质盐分的量是不成比例的，两种吸收均因环境的变化而产生很大差异。植物对水分和矿质的吸收是既有关，又无关。有关，表现在盐分一定要溶解在水中才能被植物根系吸收，并随水流进入植物的根系；无关，表现在两者的吸收机理不同。水分吸收主要是蒸腾作用引起的被动吸水，而矿质吸收主要是消耗代谢能量的主动吸收为主。

（8）对种子萌发的影响

吸水是种子萌发的主要条件。种子只有吸收了足够的水分后，各种与萌发有关的生理生化作用才能逐步开始。这是因为水分可以使种皮膨胀软化，氧气容易透入而增强胚的呼吸，同时也使胚易于突破种皮；水分可使原生质由凝胶状态转变为溶胶状态，使代谢增强，并在一系列酶的作用下，使胚乳的贮藏物质逐步转化为可溶性物质，供胚生长分化之用；水分可

促进可溶性物质运输到正在生长的幼芽、幼根，供给呼吸需要和新细胞结构的形成。

2.2 产品介绍

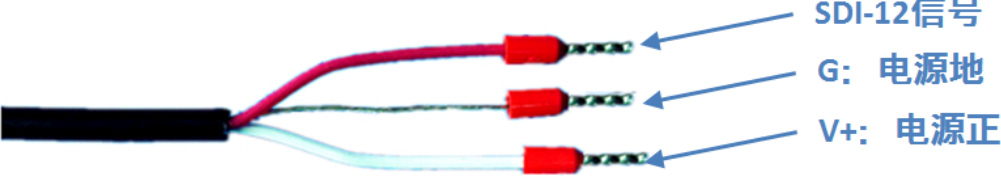
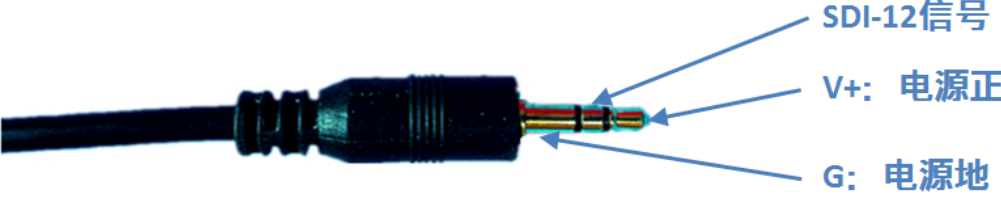
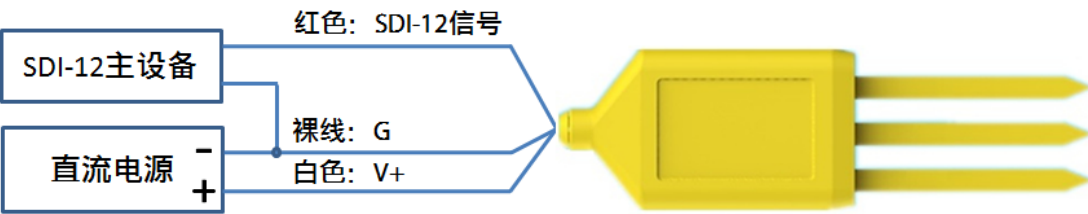

MT10 土壤水分/电导率/温度传感器性能稳定灵敏度高，是观测和研究盐渍土的发生、演变、改良以及水盐动态的重要工具。通过测量土壤的介电常数，能直接稳定地反映各种土壤的真实水分含量。MT10 土壤水分传感器可测量土壤水分的体积百分比，是符合目前国际标准的土壤水分测量方法。适用于土壤墒情监测、科学试验、节水灌溉、温室大棚、花卉蔬菜、草地牧场、土壤速测、植物培养、污水处理、精细农业等场合。传感器具有以下特点：

- (1) 土壤含水率、电导率以及温度三参数合一。
- (2) 也可用于水肥一体溶液、以及其他营养液与基质的电导率。
- (3) 电极采用特殊处理的合金材料，可承受较强的外力冲击，不易损坏。
- (4) 完全密封，耐酸碱腐蚀，可埋入土壤或直接投入水中进行长期动态检测。
- (5) 精度高，响应快，互换性好，探针插入式设计保证测量精确，性能可靠。
- (6) 完善的保护电路与多种信号输出接口可选。

技术参数	
信号输出类型	SDI-12接口V1.3版本
供电电压	3.6-16V/DC 直流
静态休眠功耗	0.03mA @12V DC 直流
动态测量功耗	当接收到测量指令时起的 150ms 内电流 10mA，然后返回静态休眠功耗
测量时间	150ms
数据采集器兼容性 (包含但不限于)	Decagon Device: Em50, Em50R 数据采集器 Campbell Scientific: 任何支持 SDI-12 接口的数据采集器 (CR10X, CR850, 1000, 3000, etc.)
土壤介电常数 ϵ_a 量程	可选量程: 0.88 (空气) - 81.88 (水) 分辨率: 0.88-40.00 内 ± 0.1 , 40.00-81.88 内 ± 0.5 精度: 0.88-40.00 内 ± 1 , 40.00-81.88 内 $\pm 5\%$
电导率 EC 量程	量程: 23ds/m (23000us/cm) 分辨率: 0-7ds/m 内 0.01 dS/m, 7-23ds/m 内 0.05ds/m 精度: 0-7ds/m 内 $\pm 5\%$, 7-23ds/m 内 $\pm 15\%$
电导率温度补偿	内置温度补偿传感器，补偿范围 0-50℃
温度测量量程	量程: -40~80℃, 分辨率: 0.1℃, 精度: $\pm 0.5^\circ\text{C}$
测量原理与测量方式	土壤水分 FDR 方法，土壤电导率交流电桥法 土壤原位插入或浸没入培养液、水肥一体营养液中直接测试

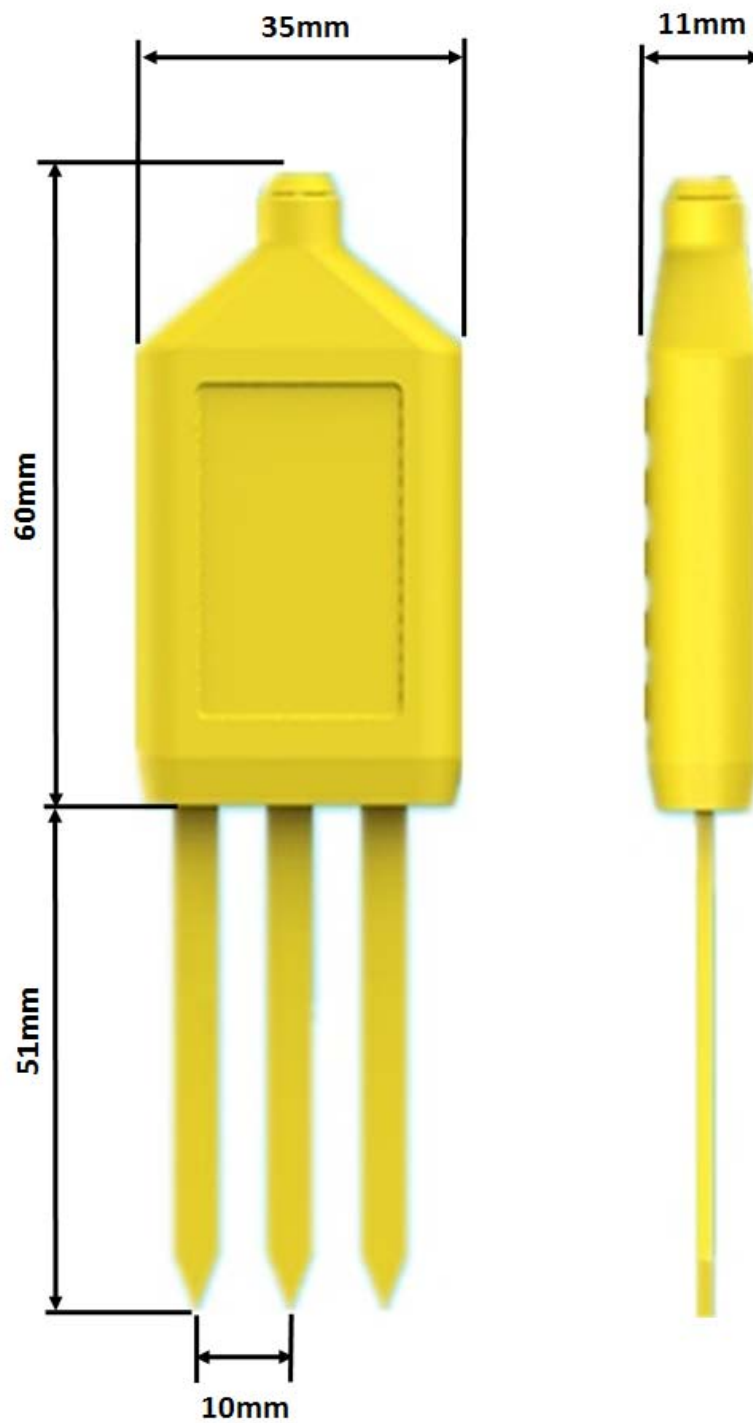
防护等级	IP68 浸没水中可长期使用
运行环境	-40~85℃
探针材料	防腐特制电极
密封材料	黑色阻燃环氧树脂
安装方式	全部埋入或探针全部插入被测介质
默认线缆长度	2 米，线缆长度可按要求定制
连接方式	预装冷压端子
外形尺寸	35*11*111mm
电极长度	51mm

3 传感器接线

型号	接线图
SDI-12 接口信号定义	<p>可提供两种输出接线方式：（1）三根冷压端子信号线（2）3.5mm耳机机头</p> <p>尾部为接线的定义</p>  <p>尾部为3.5mm耳机接头的定义</p> 
SDI-12 接口连接图	<p>尾部为接线的接法</p>  <p>尾部为3.5mm耳机接头的接法</p> 

4 外型尺寸、选型订购

4.1 外型尺寸



4.2 选型订购

代码编号	代码	代码说明
代码 1: 产品系列	MT10	MT10 传感器
代码 2: 测量参数	A	土壤水分, 土壤电导率 (EC) 与温度, 三参数测量
	B	土壤水分, 与温度, 二参数测量
代码 3: 土壤水分量程	B	0-100%
代码 4: 电导率量程	C	0-23ds/m
	X	无电导率测量
代码 5: 供电电压	B	3.6-16V 直流 (SDI-12 接口)
代码 6: 输出信号与 接口	A	SDI-12 耳机接口
	B	SDI-12 冷压端子接线
	C	SDI-12 蘸焊锡裸线
代码 7: 线长	005	5 米线长
	XXX	客户定制, XXX 为任意线长 (单位: 米)
型号举例: MT10 传感器, 土壤水分, 与温度, 二参数测量, 土壤水分量程 0-100%, 土壤电导率测量范围 0-20000us/cm, 3.6-16V 直流 (SDI-12 接口), SDI-12 耳机接口, 5 米线长。选型代码为: MT10 - B B C B F1 005		

5 安装与测量

由于电极直接测定土壤中的可溶盐离子的电导率，因此土壤体积含水率需高于约 20% 时土壤中的可溶离子才能正确反映土壤的电导率。在长期观测时，灌溉或者降雨后的测量值更接近真实水平。如果进行速测，可先在被测土壤处浇水，待水分充分渗透后进行测量。

安装时，请避开空气间隙以及金属物进行安装。如果在较坚硬的地表测量时，应先浇水后土壤松软时安装，或者钻孔（孔径应小于探针直径），再插入土壤中并将土压实然后测量；传感器应防止剧烈振动和冲击，更不能用硬物敲击。由于传感器为黑色封装，在强烈阳光的照射下会使传感器急剧升温（可达 50℃ 以上），为了防止过高温度对传感器的温度测量产生影响，请在田间或野外使用时注意遮阳与防护。

从土壤中取出传感器时，请不要直接拉拽线缆取出，这样有可能会使电缆内部损坏并导致传感器失效。因传感器线缆断线造成的传感器损坏不在保修范围之内。

6 土壤水分，温度，电导率与输出的换算

型号	参数范围	换算关系
SDI-12 接口	对应介电常数 ξ_a : 0.88-81.88	字符输出 0.88-81.88
	对应温度: -40.00-80.00℃	字符输出 -40.00-80.00
	对应电导率: 0-20000us/cm	字符输出 0-20000
客户订制	订制型号的输出请联系技术支持。	

读取到土壤介电常数后，需进行对应的转换到土壤水分。可参考以下章节进行水分的转换。

6.1 土壤的水分换算

种植类的土壤采用以下公式进行水分换算：

$$VWC = 4.3 * 10^{-6} * \xi_a^3 - 5.5 * 10^{-4} * \xi_a^2 + 2.92 * 10^{-2} * \xi_a - 5.3 * 10^{-2} , \quad \text{其中:}$$

VWC: 含水率 0-100%, ξ_a : 介电常数。

6.2 非土壤类的基质的水分换算

非种植类的基质采用以下公式进行水分换算。

▶ 盆栽基质 (Potting Soil)

$$VWC = 2.25 * 10^{-5} * \xi_a^3 - 2.06 * 10^{-3} * \xi_a^2 + 7.24 * 10^{-2} * \xi_a - 0.247 , \quad \text{其中:}$$

VWC: 含水率 0-100%, ξ_a : 介电常数。

▶ 岩棉 (Rockwool)

$$VWC = -1.68 * 10^{-3} * \xi_a^2 + 6.56 * 10^{-2} * \xi_a + 0.0266 , \quad \text{其中:}$$

VWC: 含水率 0-100%, ξ_a : 介电常数。

▶ 珍珠岩 (Perlite)

$$VWC = -1.07 * 10^{-3} * \xi_a^2 + 5.25 * 10^{-2} * \xi_a - 0.0685 , \quad \text{其中:}$$

VWC: 含水率 0-100%, ξ_a : 介电常数。

7 数据通信与输出

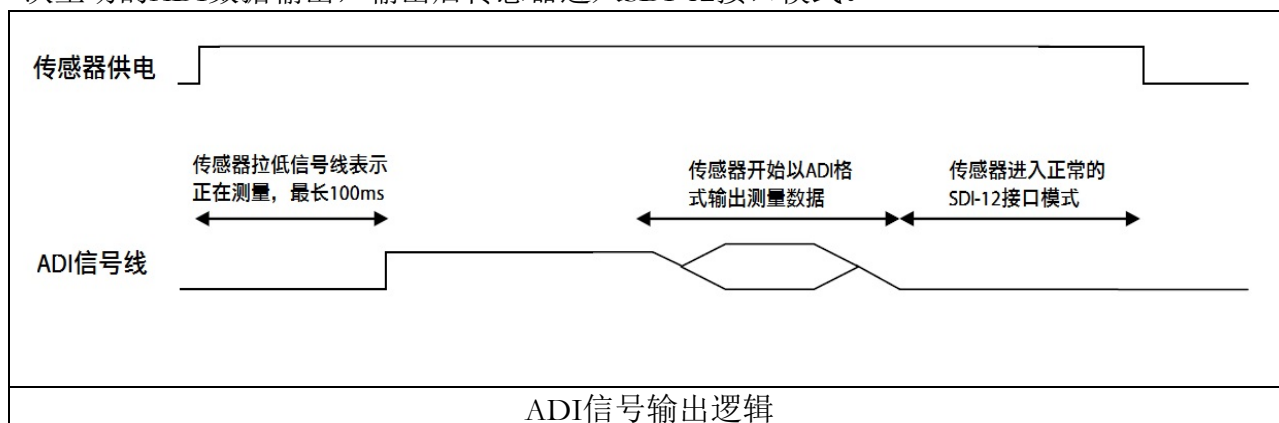
MT10 传感器可采用两种方式进行数字通信: 串行 ADI 接口(TTL 信号标准, Active Digital Interface) 以及 SDI-12 接口通信。

7.1 串行 ADI 接口

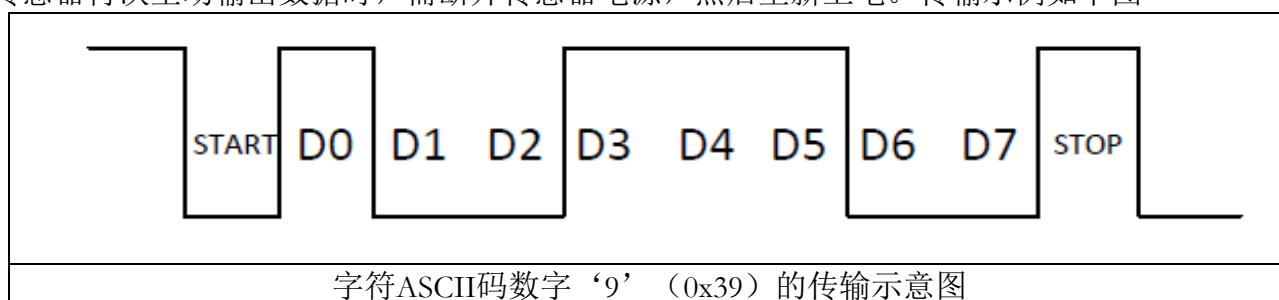
7.1.1 电气标准

串行 ADI 接口 (TTL 信号标准), 以下简称 ADI 接口 (Active Digital Interface, 主动输出数字接口)。

当传感器上电时如果 SDI-12 地址设置的是 0, 则传感器在上电后首先进入 ADI 接口模式, 同时传感器将信号线拉低 100ms 表示传感器正在进行测量, 数据测量后 (约 100ms 时间) 进行一次主动的 ADI 数据输出, 输出后传感器进入 SDI-12 接口模式。



ADI 接口数据流输出为串行 TTL 信号输出标准 (0-3.6V)，以 ASCII 码表示字符，串行波特率 1200bps，无校验，8 个数据位，1 个停止位。数据输出后，传感器进入休眠功耗。当需要传感器再次主动输出数据时，需断开传感器电源，然后重新上电。传输示例如下图



7.1.2 协议解析

数据流输出包含用空格分隔的 3 个数据，数据流以回车、换行终止。第一个数据代表介电

常数原始AD值，第二个数据是电导率原始AD值（对于无电导率的传感器始终为0），第三个数据代表温度值原始AD值。这三个数据经过换算后得到实际值。换算方法如下：

▶ 介电常数 ξ_a

介电常数原始AD值的范围从0~4094，代表介电常数从0.00~81.88。介电常数原始AD值为4095时表示测量异常。转换公式如下：

$$\xi_a = \text{介电常数原始AD值} / 50.00$$

▶ 电导率 $EC_{(bulk)}$

电导率原始AD值 EC_{raw} 的范围从0~1022，代表电导率 $EC_{(bulk)}$ 从0.00~23.10ds/m。电导率原始AD值 EC_{raw} 为1023时表示测量异常。转换公式如下：

如果 $EC_{raw} \leq 700$ 则最终真实电导率 $EC_{(bulk)} = EC_{raw} / 100$

如果 $EC_{raw} > 700$ 则最终真实电导率 $EC_{(bulk)} = \frac{700 + 5 (EC_{raw} - 700)}{100}$

最终真实电导率单位为：ds/m

▶ 温度

温度原始AD值 T_{raw} 的范围从0~1022，数据采用压缩算法，在-40.0~50.0℃时 T_{raw} 变化1个数字代表0.1℃；在50.5~111.0℃时 T_{raw} 变化1个数字代表0.5℃。温度原始AD值为1023时表示测量异常。转换公式如下：

如果 $T_{raw} \leq 900$ 则 $T_{raw2} = T_{raw}$

如果 $T_{raw} > 900$ 则 $T_{raw2} = 900 + 5 (T_{raw} - 900)$

最终真实温度值 $T(^{\circ}C) = \frac{(T_{raw2} - 400)}{10}$

举例：ADI接口输出如下信号，“56 432 645<0D>zG<0D><0A>”

参数	意义
56	$\xi_a = \text{介电常数原始AD值} / 50.00 = 56 / 50 = 1.12$ ，根据土壤类型换算出含水率。 如果为种植类的土壤则将 1.12 代入以下公式计算出含水率 VWC $VWC = 4.3 * 10^{-6} * \xi_a^3 - 5.5 * 10^{-4} * \xi_a^2 + 2.92 * 10^{-2} * \xi_a - 5.3 * 10^{-2}$
空格	空格字符
432	$EC_{raw} = 432 \leq 700$ 则最终真实电导率 $EC_{(bulk)} = EC_{raw} / 100 = 432 / 100 = 4.32 \text{ds/m}$
空格	空格字符
645	$T_{raw} = 645 \leq 900$ 则 $T_{raw2} = T_{raw} = 645$ 最终真实温度值 $T(^{\circ}C) = \frac{(T_{raw2} - 400)}{10} = \frac{(645 - 400)}{10} = 24.5^{\circ}C$
<0D>	回车符
z	表示传感器类型。 ‘z’ 代表MT10土壤水分、温度、电导率三参数型号 ‘x’ 代表MT10土壤水分、温度两参数型号

G	校验和，是这些“56 432 645<0D>z”数据采用校验算法计算出的值。用来校验输出传输的可靠性。
<0D><0A>	回车符、换行符，表示信息输出结束

ADI接口的校验和算法如下：

```
char CalcADIChecksum(char * Response)
{
    int length, sum = 0, i, crc;
    // 计算数据长度
    length = strlen(Response);
    // 数据校验
    for( i = 0; i < length; i++ )
        sum += Response[i];
    // 转换成可打印字符
    crc = sum % 64 + 32;
    return crc;
}
```

将字符串“56 432 645<0D>z”作为参数Response传入以上方法后，将得到返回值‘G’

7.2 SDI-12 接口

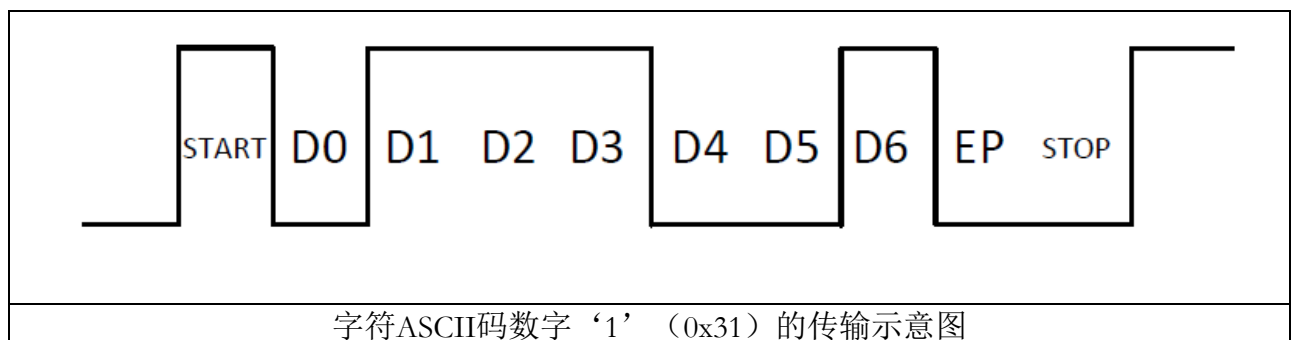
7.2.1 电气标准

SDI-12 通信采用三线，其中两根为传感器供电线，另外一根为 SDI-12 信号线。

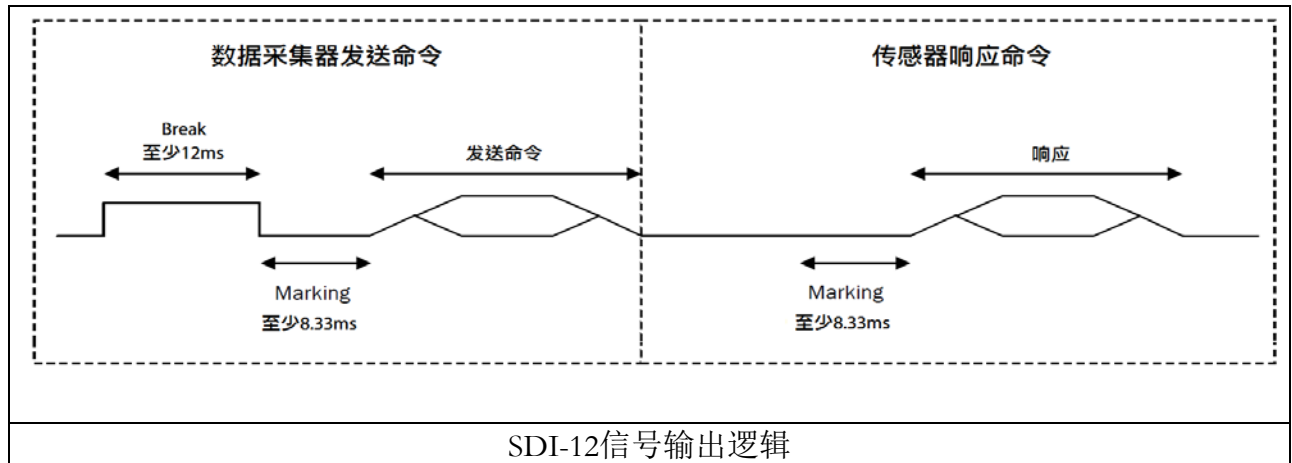
SDI-12 总线上的每个传感器具有一个唯一的总线地址，传感器地址可以设置为 0~9, A~Z, a~z，共 63 个。MT10 传感器出厂时的总线地址均默认为 0。

传感器供电采用 3.6~16V 的直流供电，处于休眠状态时每个传感器最大电流为 0.03mA（30uA），如果需要更低的功耗，可在供电电源处加电子开关，需要测量时打开供电，不需要时关闭省电。

SDI-12 使用串行波特率 1200bps，偶校验，7 个数据位（LSB 低位在前），1 个停止位。低电平有效。



所有的SDI-12命令都以传感器地址开始，以叹号结束。所有的SDI-12响应都以传感器地址开始，回车换行符结束。



7.2.2 协议解析

本章节介绍常用的 SDI-12 指令并举例。

确认传感器在线命令

命令	a!	a: 传感器地址 !: 命令结束符
响应	a<CR><LF>	a: 传感器地址 <CR><LF>: 响应结束符
举例	命令: 0! 响应: 0<CR><LF>	

获取传感器识别码命令

命令	aI!	a: 传感器地址 I: 传感器识别码指令 !: 命令结束符
响应	alccccccmmmmmvvvxx...xx<CR><LF>	a: 传感器地址 11: SDI-12版本 ccccccc: 公司名称代码 mmmmm: 传感器标识符 vvv: 版本信息 xx...xx: 产品序列号 <CR><LF>: 响应结束符
举例	命令: 0I! 响应: 013EDVRTECH MT103.01608280001000<CR><LF> 响应中: “0”为传感器地址 “13”为SDI-12版本 “EDVRTECH”为公司名称代码 “ MT10”为传感器标识符	

	“3.0” 为版本信息 “1608280001000” 为产品序列号
--	---------------------------------------

► 获取传感器地址命令

使用此指令时只能有一个传感器在线。

命令	?! ?: 获取传感器地址指令 !: 命令结束符
响应	a<CR><LF> a: 传感器地址 <CR><LF>: 响应结束符
举例	命令: ?! 响应: 0<CR><LF>

► 修改传感器地址命令

命令	aAb! a: 传感器现在的地址 A: 修改地址指令 b: 修改后的传感器地址 !: 命令结束符
响应	b<CR><LF> b: 传感器地址 <CR><LF>: 响应结束符
举例	命令: 0A1! 响应: 1<CR><LF>

► 启动测量命令

命令	aM! a: 传感器现在的地址 M: 启动测量指令 !: 命令结束符
响应	atttn<CR><LF> a: 传感器地址 ttt: 指示传感器将在ttt秒内完成测量 n: 传感器在回应后续的D指令（数据读取指令）的数据个数，数据范围从1-9。 <CR><LF>: 响应结束符
举例	命令: 0M! 响应: 00012<CR><LF>

► 启动测量命令，返回数据时附加CRC校验

传感器将在回应后续的D指令（数据读取指令）时，附加CRC校验。

命令	aMC! a: 传感器现在的地址 M: 启动测量指令 C: 返回数据时附加CRC校验 !: 命令结束符
响应	atttn<CR><LF> a: 传感器地址 ttt: 指示传感器将在ttt秒内完成测量 n: 传感器在回应后续的D指令（数据读取指令）的数据个数，数据范围从1-9。

		<CR><LF>: 响应结束符
举例	命令: 0M! 响应: 00012<CR><LF>	

▶ 数据读取命令

命令	aD0!	a: 传感器现在的地址 D0: 数据读取指令 !: 命令结束符
响应	a<values><CR><LF> (不附加CRC校验) 或者 a<values><CRC><CR><LF> (附加CRC校验)	a: 传感器地址 <values>: 逗号分隔的测量数据 <CRC>: CRC校验 <CR><LF>: 响应结束符
举例	不附加CRC校验: 命令: 0D0! 响应: 0+0.88+17.2<CR><LF> 附加CRC校验: 命令: 0D0! 响应: 0+0.88+17.2BCb<CR><LF>	

▶ 连续测量并返回数据命令

命令	aR0! (返回数据不附加CRC校验) aRC0! (返回数据附加CRC校验)	a: 传感器现在的地址 R0: 连续测量并返回数据指令 C: 附加CRC校验 !: 命令结束符
响应	a<values><CR><LF> (不附加CRC校验) 或者 a<values><CRC><CR><LF> (附加CRC校验)	a: 传感器地址 <values>: 逗号分隔的测量数据 <CRC>: CRC校验 <CR><LF>: 响应结束符
举例	不附加CRC校验: 命令: 0R0! 响应: 0+0.88+17.2<CR><LF> 附加CRC校验: 命令: 0RC0! 响应: 0+0.88+17.2BCb<CR><LF>	