

水银触点式土壤水分传感器的研制和应用

徐 富 安

(中国科学院南京土壤研究所)

土壤水分传感器是监测农田水分状况的有效器件。它既可用于检测土壤水分状况,提供灌溉信号;又能配接在自动灌溉系统里实施灌溉自动化。由计时器控制的灌溉系统国外已有商品供应^[1]。国内也有类似的装置在运行^[2]。但这类自动灌溉系统是由一个预定的计时程序操纵,何时灌溉,灌水量多少,往往还是依据人们的经验。用土壤水分传感器作为自动灌溉系统的控制器件,则可做到当植物需要供水时打开水源,以避免盲目的灌水。

本文介绍的水银触点式土壤水分传感器可配接于上海工业自动化仪表研究所研制的TS S—200型程序控制喷灌系统。试验表明,这种传感器具有工作可靠,容易制造,结构牢固,造价低廉,使用方便等特点,适于生产上应用、推广。

一、传感器的研制

(一)水银触点式土壤水分传感器的原理与构造

土壤绝对含水量或土壤水势都可以通过传感器件将土壤水分信息转换为电讯号。在实际工作中,用土壤水势作为灌溉指标,比用土壤绝对含水量作灌溉指标更为方便和合理。除盐渍土等少数土壤外,不同土壤中,某一作物需要灌溉时的土壤水势值是基本一致的^[3]。而同一作物在不同土壤上需要灌溉时的绝对含水量却常常是不同的。因此,在选择供自动灌溉系统用的水分传感器时,最好能选用提供土壤水势信号的水分传感器。这既有利于产品的规格化,又有利于实际使用的方便。目前,许多作物需要供水时的土壤水势值已经明确,应用反应土壤水势的传感器就可方便地实现科学的灌水。

水银触点式土壤水分传感器是根据负压计原理,将土壤水势信号转换为开关式电讯号而启动灌机的。将负压计的土壤水势数值转换为电讯号可以通过压敏元件来实现。但是,由于压敏元件的价格较贵,用它制作的压阻式土壤水分传感器一般成本较高。其所产生的电讯号在进入程控器之前必须经过放大调制,这将进一步增加自动灌溉系统的成本。水银触点式土壤水分传感器采用水银压力计作土壤水势与电讯号的转换装置,不但制作成本低,而且由于采用开关式电讯号,可使自动灌溉系统的电路简化,降低了整个系统的造价。

这种传感器的构造如图1所示。它由陶土头、塑料连接管、集气管、U形水银压力计、刷形开关和调零管阀等部件所组成。其中陶土头、塑料连接管和集气管的作用原理与一般的负压计相同。不同的是U形水银压力计是封装在塑料连接管的内部。U形管一臂上部封闭着空气柱,另一臂顶部封接着感压薄膜。U形管在装有感压薄膜一臂上,按有12个金属导线触点。

1号触点在水银面以下，靠近U形管的下部，不论仪器处于何种负压，它始终与水银柱处于导通状态。与其相接的导线A直接引出在塑料连接管外，作为传感器的一条外接线。2—12号触点的连接导线分别穿过塑料连接管，被顺序焊接在刷形开关的各档焊片上，与另一条外接线B相接。

充满水的传感器埋入土中后，土壤基质吸力经由陶土头孔隙内水膜作用于传感器内，传感器内部少量水分经多孔陶土头流入土壤，系统内即产生负压。负压力通过感压薄膜的传递，使U形压力计内水银面作有规律的运动。通过刷形开关的换档，我们即可获得事先设定土壤水势的触点电讯号。例如事先我们将刷形开关的选择档定在0.5巴上，当土壤吸力达到0.5巴时，传感器即可起到电器开关的作用，起动灌机或开亮灌溉指示灯，起到控制灌溉的作用。本传感器刷形开关共有11位选择档，它们分别提供0.1、0.2、0.3、0.35、0.4、0.45、0.5、0.6、0.7、0.8、0.85巴触点电讯号。

传感器长期在负压条件下工作，有时会有微量漏气现象发生，使水银位面在土水吸力为零时回不到零位。调零管阀的设置即可解决这个问题。当水银位面不回零时，打开一下止气阀，水银面即回到零位。

(二) 负压信号转换装置的设计

水银压力计式负压计与空气膨胀式负压计均有改装成触点式土壤水分传感器的条件。但是，水银压力计式负压计的玻璃U形管长度在76厘米左右，容易破碎。直接改装成触点式土壤水分传感器后，在田间使用是不方便的。另外，此类负压计的压力是通过水来传导的，而负压计内部水中是含离子的(来自土壤溶液中的离子扩散)，具有导电能力，这就会使各触点经常处于导通状态。因此，不经改制的水银压力计作触点式土壤水分传感器是有一定困难的。空气膨胀式负压计虽然也有改装成土壤水分传感器的条件，但是，随着负压力增加，空气柱压力计的长度也将迅速增加，使制成的传感器过长，不便于田间使用(图2)。

本传感器的负压传感系统的设计，是综合采用了水银压力计式负压计、空气膨胀式负压计①和气传感型负压计^[4]的各自特点，满足了触点式土壤水分传感器的要求。如图

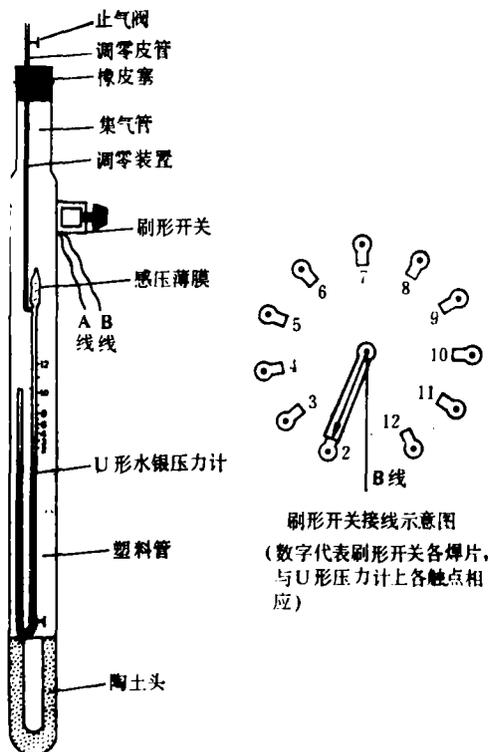


图1 水银触点式土壤水分传感器结构示意图

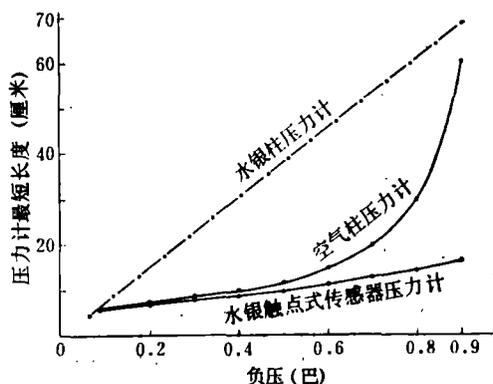


图2 不同负压时各类压力计所需最低长度

① 徐富安，空气张力计的应用(资料)1964。

1所示,它的一臂封闭有6厘米长的空气柱,使压力计具有空气柱压力计的特点。U型管的下部装有水银,一方面,它在负压作用下,上下移动以提供触点电讯号。另一方面,当负压增高时,由水银柱高差所产生的压力,与传感器系统内负压(吸力)方向相反,它将减小空气柱在负压下被拉长的距离。这就可使压力计的尺寸缩短。在U形管的另一端装有感压薄膜。它的作用一方面是使压力计感受负压计系统内的负压力;另一方面,它阻断了含离子水的进入。它的压力传感方式是通过空气传递的。由于整个压力计尺寸的缩短,以及U形管二端均处于封闭状态,这就有可能将压力计装入传感器的连接管内部。它与其它各种类型的负压计不同,别的负压计的压力显示部分均在地面以上,而本传感器的压力计随同传感器的连接管埋入地下,使温度对压力计精度的不良影响减小。而且,压力计装入传感器内部,使传感器结构牢固,适合于野外使用。

由土壤吸力引起仪器内部的真空度,通过感压薄膜传递,使水银面上升,同时使空气柱变长。当不考虑感压薄膜的张力时,压力计所显示出来的土壤吸力,即负压(图3),可由下

$$式表示: P = P_0 - \left[\frac{h_0}{h_1} P_0 - \frac{(h_1 - h_0) \times 2}{76} \right]$$

式中: h_0 ——封装时(1个大气压、20℃标准条件下)空气柱长度,为6厘米;

h_1 ——某一时刻的空气柱高度厘米数;

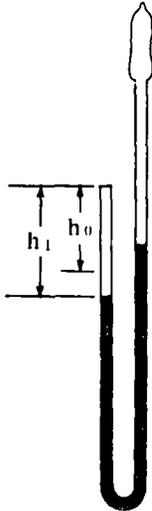


图3 压力计负压计算示意图

表1 汞柱移动距离与所显示的负压关系

| 各触点距零位 水银面距离 (厘米) | 空气柱长度所 反应的气压 (大气压) | 汞柱差所显 示的压力 (大气压) | 系统内总负压 (大气压) |
|-------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------|
| 0.56 | 0.915 | 0.015 | 0.100 |
| 1.21 | 0.832 | 0.032 | 0.200 |
| 1.98 | 0.752 | 0.052 | 0.300 |
| 2.88 | 0.676 | 0.076 | 0.400 |
| 3.94 | 0.604 | 0.104 | 0.500 |
| 5.19 | 0.536 | 0.137 | 0.601 |
| 6.64 | 0.475 | 0.175 | 0.700 |
| 8.32 | 0.419 | 0.219 | 0.800 |
| 9.25 | 0.393 | 0.242 | 0.849 |
| 10.24 | 0.370 | 0.270 | 0.900 |
| 12.00 | 0.333 | 0.316 | 0.983 |

P_0 ——标准大气压值(等于1);

P ——土壤吸力(负大气压数)。

根据这个公式计算出相应触点距原水银界面的距离数值列于表1。实际上,所用U形管的内径并非处处相等;而且在高吸力条件下,感压薄膜的张力对水银上升高度也有一定影响。因此,在实际制作中,各触点的位置可用实验的方法加以确定。即在一个透明而密闭的管道内,对压力计施加不同标准的负压,量测出各相应负压下水银面的实际位置。

理论计算表明,当水银面由零位(吸力为零)上升到12厘米时,它所标志的吸力为负0.983个大气压。而传感器内实际上只能达到负0.85个大气压左右。所以设置12厘米水银柱移动距离已经够了。

(三)传感器的感应时间及其精度

传感器埋入土中后,并不能立即反应出土壤水势值。因土壤吸力通过陶土头作用于传感器内,随着传感器内水分经陶土头流出,仪器内产生的真空度与土壤吸力相平衡,它需要一定的时间。采用水银触点式土壤水分传感器,其平衡时间要长于普通的负压计。因为在传感器内负压与土壤吸力平衡过程中,此种传感器内流经陶土头的水分将多一些。表2的资料是

表2 不同时间负压计和土壤水分传感器的土壤吸力值* (毫巴)

| 时 间 | 5分 | 10分 | 15分 | 20分 | 30分 | 1时 | 2.5时 | 4时 | 7时 | 9时 | 14时 |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| 负 压 计 | 357 | 456 | 527 | 599 | 657 | 694 | 730 | 754 | 766 | 769 | 777 |
| 传 感 器 | 214 | 303 | 373 | 417 | 465 | 578 | 690 | 714 | 733 | 733 | 748 |

* 由触点式土壤水分传感器量出的吸力值通常比负压计低一些,因为它的量程是跳跃式的。因此,观察4小时后,反映的数值已可视作与负压计相近。

表3 土壤水分传感器的误差

(重复9次)

| 系统的负 压值* (大气压) | 传感器显示的负压值 (大气压) | | 相对误差(%) | |
|----------------------|--------------------|----------------|--------------|-------------|
| | 纠正温度引 起误差之前 | 纠正温度引 起误差之后 | 未纠正温 度误差时 | 纠正温 度误差后 |
| 0.1013 | 0.1123 | 0.0934 | 10.9 | 7.8 |
| 0.2007 | 0.2158 | 0.1995 | 7.5 | 0.6 |
| 0.2997 | 0.3103 | 0.2949 | 3.7 | 1.5 |
| 0.4000 | 0.4139 | 0.4003 | 3.5 | 0.1 |
| 0.5000 | 0.5165 | 0.5043 | 3.3 | 0.8 |
| 0.6007 | 0.6203 | 0.6099 | 3.3 | 1.5 |
| 0.7020 | 0.7238 | 0.7154 | 3.1 | 1.9 |
| 0.7987 | 0.8198 | 0.8116 | 2.6 | 1.6 |
| 0.9013 | 0.9266 | 0.9196 | 2.8 | 2.0 |

* 由水银压力计参照显示。

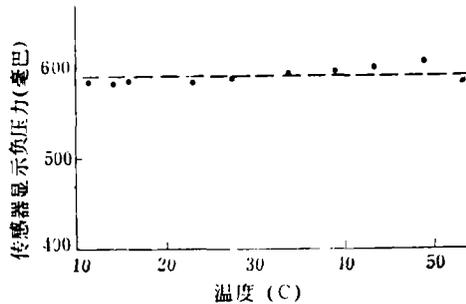


图4 温度变化对水银触点式传感器内压力计负压显示的影响

(虚线为传感器内实际负压值,各个点是传感器内压力计在不同温度下显示的负压值)

将真空表型负压计(重复2次)和水银触点式传感器(重复6次)同时埋入干土后,不同时间里仪器所反映的吸力值。这一资料表明,二者在试验开始时差异较大,到4个小时以后,二者所反映的土壤吸力值已相接近。作为指示灌溉用的水分传感器,它长期埋设于田间,这样的仪器平衡时间是可以允许的。

传感器内采用空气膨胀式压力计原理的传感器件,影响其测定土壤吸力精度的因素主要有两个方面。一是在低吸力区段,空气柱的长度(即水银位面)变化较小,由刻度(触点位置)造成的相对误差较大。如在0.05—0.1巴时,与汞柱式负压计相比,其相对误差可达4.5—8.3%^①。另一方面,传感器精度还受温度和气压变化的影响。因为在灌装空气柱时是在标准条件下(20℃,1个大气压)进行的,而传感器工作时并不是标准条件。这就会影响其精度。表3资料列出了这种传感器在不同负压区段的精度。总的来说,低负压段误差大一些,高负压段较小。实际测定的结果表明(图4),环境温度变化10℃时,传感器压力计的误差不大于10毫巴,其相对误差约为±1.7%。据在甘肃张掖灌区试验,传感器的埋深为30—40厘米。通常

表4 甘肃张掖县上午8时土温平均值*

(n=36)

| 土层深度 (厘米) | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 平均土温(℃) | 20.3 | 21.4 | 23.3 | 24.4 | 25.1 | 25.7 | 25.3 |
| 标准差 | ±3.1 | ±2.2 | ±2.0 | ±1.8 | ±1.8 | ±1.5 | ±1.2 |

* 测定时间为1984年7月8日至8月12日;为减小土温对土水势测定影响,以每日上午8时检测为准。

表5 甘肃张掖县主要灌溉季节土温变化*

(月均温℃)

| 深度 (厘米) | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 |
|------------|------|------|------|------|------|
| 20 | 17.4 | 22.0 | 24.2 | 23.7 | 19.1 |
| 40 | 16.3 | 20.5 | 22.7 | 23.0 | 19.2 |
| 80 | 13.3 | 17.4 | 19.8 | 20.7 | 18.9 |

* 1954—1980年平均。资料来自张掖县气象站资料汇编。

10厘米以下土层的地温日变化很少会超过15℃。下层土壤的温度变化将更小。表4和表5分别是甘肃张掖地区夏季上午8时及主要灌溉季节里的地温资料。资料表明,在大陆性气候明显的河西走廊地区,在主要灌溉季节,20厘米以下地温变化不剧烈。当然,在传感器制作时应考虑到温度和气压因素。在灌装空气柱时,应根据传感器使用地区灌溉季节的平均土温和气压资料进行封装。特别在高原或山区使用时,更应注意到这一点。例如,在海拔1500米高原地区,年平均气压在850毫巴上下。制作传感器时,气压影响的因素必须加以考虑。

二、传感器的应用

水银触点式土壤水分传感器有多种用途。它可用作指示田间需灌信号的器件;也可作为果园、大型温室、塑料大棚里实行简易自动灌溉时的土壤湿度传感器;也可用于配接在农田,草原大型自动灌机程控器上,作为土壤湿度感应部件,实行自动灌溉。

(一)制成土壤湿度报警器

将埋设于田间的传感器接线引入办公室或泵房。将刷形开关旋钮拨在预设的吸力(如0.5巴)档上。按一下按钮,若指示灯亮了,即表示需要灌水。就可人工启动灌机进行灌溉。这种装置称为报警式湿度计(图5)。

(二)作简单自动灌溉系统的土壤湿度感应器件

在简单的自动灌溉系统里,将土壤水分传感器接在延时继电器上,由继电器控制电磁开关或电磁阀工作。这种系统适用于小型喷、滴灌系统。当传感器感知土壤缺水时,传感器触点处于导通状态,使延时继电器工作,接通电磁阀,打开水源实施灌溉。灌水时间则由事先设定的延时继电器延时时间来确定。当继电器的电流不够大时,可通过大型交流接触器放大电流。这种自动灌溉系统成本较低。

(三)作为自动灌溉系统程序控制器的土壤湿度感应部件

在一个比较复杂的自动灌溉系统里,往往由单板机或微处理机为中心制成程序控制器,以指挥分区灌溉的实施和各种电机运转及阀门的开闭。这时仍由触点式土壤水分传感器根据土壤湿度提供开关讯号,使继电器闭合,程控器按设定的程序自动操作灌机及阀门的动作。1983年,我们已将这种传感器用在甘肃张掖地区灌溉试验站配接在TSS—200型程序控制喷灌系统

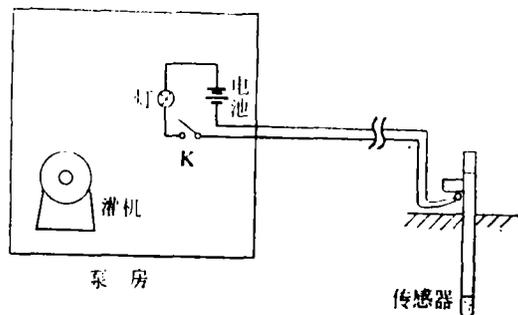


图5 报警式土壤湿度计示意图

里。它是一个单板机系统，试验表明，在12V直流供电电压条件下，距程控器200,400,600,800米处传感器均能顺利提供触点电讯号，起动固定式喷灌机。1986年在甘肃高台县骆驼城喷灌站，用这种传感器提供大型时针式喷灌机的需灌信号，均获得成功。

三、小 结

触点式土壤水分传感器在负压计的基础上制成。它所提供的触点电讯号使自动灌溉系统的供水有了客观依据。传感器内压力计的设计，不仅缩短了尺寸，使能装入连接管内，使仪器结构牢固，适于野外使用，而且在精度上已够灌溉上应用。它所反映的土壤水分量值系水势信号。因此，它不受施肥等因素引起土壤溶液中离子浓度改变的影响。这种传感器的用途较多，造价较低，装修也较方便，可望于推广应用。

参 考 文 献

- [1] R·J·Hanks, G·L·Ashcroft, Applied Soil Physics, Springer-Verlag, New York, 1980.
- [2] 余福敏、徐水生：苏州新庄自动化喷灌系统。喷灌技术，3期，1980。
- [3] S·A·Taylor(华孟等译)：物理的土壤学，农业出版社，1983。
- [4] 姜祖寿、周正度：气传感土壤水分负压计。土壤，2期，64—67页，1979。

土壤信息

日本全国土壤重金属自然背景值的调查研究工作

受日本国政府环境厅的委托，日本土壤协会自1978至1982年五年间进行并完成了日本的土壤环境背景值调查研究。该协会于1984年初向环境厅提交了“委托业务结果报告书”。该报告书共200多页，内容比较丰富。该项工作，在日本共设置采样点687个剖面，包括了水田、旱地、桑、茶、果园、森林和草地土壤。其中农业用地共设451个样点，面积500多万公顷。背景值测定的项目为Cu、Zn、Cd、Pb、Cr、Mn、Ni、As等八个元素。除了测定各元素的全量外，还分析了易溶态的含量。日本表土中八个元素的

几何均值(ppm)分别为：Cu 26.55、Zn 55.93、Cd 0.336、Pb 17.63、Cr 26.64、Mn 441.29、Ni 18.53、As 6.98。铬的几何均值26.64 ppm，明显偏低，这是因为酸溶法对含铬矿物分解不彻底所引起的。所以，报告书中还列出了用碱溶法分解233个土样，测定其含铬量的几何均值为92.93ppm。

报告书还就分析数据的频数分布问题及分析方法之间、表底土之间、元素之间的相关性进行了讨论，并对影响土壤环境背景值的若干因素进行了比较深入的探讨。

在报告书的附录中，还列有每个样点的原始分析数据和工作所使用的分析方法。特别值得指出的是：附录中还详细介绍了日本的土壤统群分类系统。该系统将日本土壤分为16个群、53个统群和309个统，列出了各土壤统的分布面积和主要利用状况等。

(杨国治据 环境厅“委托业务结束报告书”，1984)