

# 地下滴灌灌水器流量和压力关系的试验<sup>\*</sup>

白丹 宋立勋 王晓愚 李永川 杨坤 付嘉

**【摘要】** 压力和流量的关系是地下滴灌灌水器最重要的水力要素之一,通过地下滴灌灌水器试验装置,测量了流量和压力关系。试验结果表明:压力不变情况下,地下滴灌灌水器流量是恒定的;地下滴灌灌水器流量对压力变化的敏感程度高于地表滴灌。

**关键词:** 地下滴灌 灌水器 流量 压力 试验

**中图分类号:** S275.5 **文献标识码:** A

## 引言

地下滴灌(SDI)灌水器压力和流量是2个重要的水力要素。在滴灌设计中,应保证田间管网内各个灌水器流量在允许范围内,由于灌水器流量难以计算,一般通过控制田间管网的支管和毛管沿程压力范围来控制田间管网内各个灌水器流量均匀度。

国内外对地下滴灌灌水器水力特性开展了研究,研究主要结论是:埋入土壤中的灌水器流量比自由出流时要小<sup>[1-2]</sup>;地下滴灌灌水器流量开始时较大,逐渐减小,并趋于稳定<sup>[2]</sup>;当地下滴灌灌水器周围土壤形成饱和区后,在出口处产生一定正压<sup>[3-4]</sup>;供水停止后,地下滴灌管网常产生负压,容易将灌水器周围土粒吸入<sup>[5]</sup>。

由于地下滴灌灌水器埋在土中,而且灌水器流量很小,难以直接测量,故目前普遍采用马氏瓶供水的方式,观测其流量变化,但马氏瓶供水一般试验压力在0.1 MPa以内,而在实际工程中,由于地形坡度和田间管网压力损失,灌水器工作压力变化范围在0.05~0.30 MPa。为使室内试验更加符合工程实际,本文提出一种新的地下滴灌灌水器试验测量装置。

## 1 试验系统

试验系统如图1所示,由供水加压装置、管道、灌水器、压力表、闸阀、土桶和支架等组成。为满足试验所需不同压力,采用高位水箱和加压水泵联合

加压方式。当测试所需压力较低时,关闭闸阀13和15,开启闸阀11、12、14和17,用高位水箱直接供水,同时根据系统所需压力,微调闸阀16和17,使系统达到所需的压力。在测试所需压力较高时,关闭闸阀13和14,开启闸阀11、12、15和17,同时开启水泵,根据系统所需压力,微调闸阀16和17,使系统达到所需的压力。系统的压力调节范围为0.05~0.3 MPa,可满足试验要求。

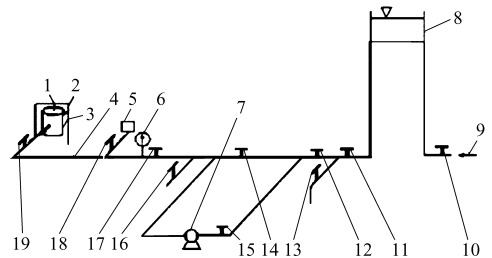


图1 地下滴灌灌水器流量压力试验系统

1.称量传感器 2.支架 3.土桶 4.支管 5.灌水器 6.压力表  
7.水泵 8.水箱 9.水源 10~19.闸阀

进行地表滴灌灌水器试验时,关闭闸阀19,开启闸阀18,调节到所需的压力后,用容积法测量灌水器流量。地下滴灌灌水器试验时,灌水器埋在土桶中,将土桶用支架悬空吊起,支架经过拉力式(S型)称量传感器与土桶相接。

## 2 测试系统

测试系统的主要功能是称量传感器测量数据的采集、传输与存储。测试系统包括硬件和软件。

收稿日期:2007-06-04

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金资助项目(项目编号:50549018)

白丹 西安理工大学西北水资源与环境生态教育部重点实验室 教授 博士生导师,710048 西安市

宋立勋 西安工程大学理学院 高级工程师,710048 西安市

王晓愚 西安理工大学西北水资源与环境生态教育部重点实验室 博士生

李永川 北京市土地整理储备中心 助理工程师,100013 北京市

杨坤 哈尔滨工业大学市政环境工程学院 博士生,150090 哈尔滨市

付嘉 西安理工大学西北水资源与环境生态教育部重点实验室 硕士生

## 2.1 测试系统硬件

地下滴灌测试系统的硬件由称量传感器、数据采集卡和计算机 3 部分组成,如图 2 所示。测试系统通过称量传感器获取土桶质量数据,可间接地获取土桶内地下滴灌灌水器流量的变化值。选用 PC-DAQ(personal computer-data acquisition)型组建方式,在计算机机内插入多功能数据采集卡,将传感器的模拟信号采集到计算机,经过 PCI 总线,由 CPU 进行分析、处理,并通过显示器显示。

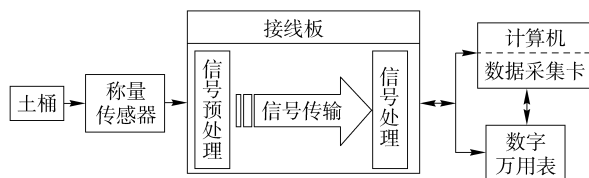


图 2 测试系统硬件示意图

## 2.2 测试系统软件结构

测试系统软件采用模块化设计,由系统初始化模块、系统管理主控模块和自动测量控制的子程序模块组成,子程序包括参数初始化设置、数据文件生成模块、系统运行管理模块、数据存储、系统退出等。软件采用 LabWindows/CVI 8.0 开发而成,按照测试系统所要实现的功能调用相应的功能模块。通过 RS-232 标准接口读取数据,根据测试流程以及数据的处理流程对功能模块进行调整和配置,再把各个模块之间传递的变量连接起来,构成整个测试系统的软件部分。

## 3 地下滴灌灌水器

供试土壤取自西安地区,为粘壤土,土壤体积含水率为 13%,按  $1.35 \text{ g/cm}^3$  容积密度装入试验土桶。试验选用陕西和平科技实业股份有限公司生产的外径为 16mm 紊流迷宫内镶式滴灌管,将滴灌管的灌水器埋入土桶中。

### 3.1 累计出水量

试验中,测试某一时刻土桶质量增加值,即为地下滴灌灌水器累计出水量值。共有 5 组试验方案,地下滴灌灌水器压力分别为 59、87、127、168 和 196 kPa,不同压力条件下测试的灌水器累计出水量如表 1 所示。从表 1 可以看出:在相同的灌水器出流时间,灌水器压力越大,累计出水量值越大。

### 3.2 流量分析

用一元线性回归方法,可得到某个压力下地下滴灌灌水器累计出水量和时间的关系为

$$W = qt \quad (1)$$

式中  $W$ ——地下滴灌灌水器累计出水量,L

$t$ ——时间,h

$q$ ——地下滴灌灌水器流量,L/h

表 1 地下滴灌灌水器累计出水量 g

时间/min	地下滴灌灌水器压力/kPa				
	59	87	127	168	196
0	0	0	0	0	0
1	53	54	58	61	52
2	70	94	95	97	98
3	92	130	133	136	150
4	115	158	194	200	204
5	133	180	191	200	252
10	250	322	358	396	499
20	485	648	718	808	1014
30	720	923	1 022	1 186	1 528
40	942	1 225	1 461	1 611	2 018
50	1 171	1 529	1 851	2 062	2 520
60	1 393	1 836	2 522	2 531	3 035

在压力不变的条件下,灌水器累计出水量和时间呈线性相关,且相关性甚好,如表 2 所示。

表 2 地下滴灌灌水器流量和压力的关系

地下滴灌灌水器压力 $h$ /kPa	地下滴灌灌水器流量 $q$ /L·h <sup>-1</sup>	相关系数 $R^2$
59	1.410 2	0.998 7
87	1.845 9	0.998 6
127	2.315 4	0.989 3
168	2.474 3	0.999 4
196	3.032 1	0.999 9

## 4 地下和地表滴灌灌水器压力流量关系

根据表 2 数据,通过回归分析计算,得到地下滴灌灌水器流量和压力的关系为

$$q = 0.128 4h^{0.591 7} \quad (2)$$

式中  $h$ ——地下滴灌灌水器压力,kPa

地表滴灌试验采用与地下滴灌相同型号和规格的内镶式滴灌管,用容积法实测地表滴灌灌水器压力和流量关系如表 3 所示,通过回归分析计算,得到地表滴灌灌水器流量和压力的关系为

$$Q = 0.089 9H^{0.681 8} \quad (3)$$

式中  $Q$ ——地表滴灌灌水器流量,L/h

$H$ ——地表滴灌灌水器压力,kPa

根据式(2)和式(3),地下滴灌和地表滴灌灌水器流量压力关系可分别表示为

$$q = kh^x \quad (4)$$

$$Q = KH^X \quad (5)$$

式中  $k$ ——地下滴灌灌水器流量系数  
 $x$ ——地下滴灌灌水器流态指数  
 $K$ ——地表滴灌灌水器流量系数  
 $X$ ——地表滴灌灌水器流态指数

表 3 地表滴灌和地下滴灌灌水器水力要素对比

灌水器压力 /kPa	地下滴灌灌水器流量 $q/L \cdot h^{-1}$	地表滴灌灌水器流量 $Q/L \cdot h^{-1}$
59	1.41	1.52
87	1.85	1.87
127	2.32	2.57
168	2.47	2.95
196	3.03	3.21

由式(4)可知当地下和地表灌水器压力相等 ( $h = H$ )时地下和地表灌水器流量关系为

$$q = k \left( \frac{Q}{K} \right)^{\frac{x}{X}} \quad (6)$$

当  $h = H$  时,由式(2)、(3)和(6)得出本试验采用的滴灌灌水器有以下关系

$$q = 0.3955 Q^{1.3873} \quad (7)$$

根据灌水器压力,用式(3)计算地表滴灌灌水器流量  $Q$ ,然后代入式(6),就可计算地下滴灌灌水器在同样压力条件下流量  $q$ 。

根据式(3)和式(5),可分别确定两类灌水器流量随灌水器压力的变化情况。

$$\frac{dq}{dh} = 0.07597 h^{-0.4083} \quad (8)$$

$$\frac{dQ}{dH} = 0.06129 H^{-0.3182} \quad (9)$$

实际上  $\frac{dq}{dh}$  和  $\frac{dQ}{dH}$  分别反映了地下滴灌和地表滴灌灌水器流量对压力的敏感性,可将其称为灌水器敏感性指标,从提高滴灌系统灌水均匀性考虑,希望这一指标越低越好。滴灌灌水器敏感性指标随压力变

化曲线如图 3 所示。

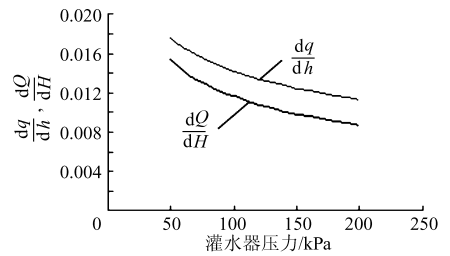


图 3 滴灌灌水器敏感性指标随压力变化曲线

从图 3 可以看出,压力较低时两类滴灌灌水器敏感性指标均较高,压力的变化对灌水器流量影响较大,随着压力的增加,两类滴灌灌水器敏感性指标降低,压力的变化对灌水器流量大小影响程度逐渐减弱。但两类滴灌灌水器在相同的压力条件下,始

终有  $\frac{dq}{dh} > \frac{dQ}{dH}$ ,即地下滴灌灌水器流量对压力变化的敏感程度高于地表滴灌。这是由于灌水器埋在土壤中,流量除受到灌水器本身流道构造影响外,还受到周围土壤性质的影响,如灌水器周围土壤含水率、土壤容重密度和土壤结构等。另外,在压力较低时  $\frac{dq}{dh}$  和  $\frac{dQ}{dH}$  相差不大,随着压力的增加,两者差值逐步增加,表明随着压力的增加,地下滴灌灌水器流量对压力变化的敏感程度明显高于地表滴灌。

### 5 结论

- (1) 在压力不变的条件下,地下滴灌灌水器流量是恒定流。
- (2) 地下滴灌灌水器压力越大,灌水器流量越大。
- (3) 相同压力下,地下滴灌灌水器流量小于地表滴灌灌水器。
- (4) 地下滴灌灌水器流量对压力变化的敏感程度高于地表滴灌。

### 参 考 文 献

- 1 Warrick A W, Shani U. Soil-limiting flow from subsurface emitters II: effect on uniformity[J]. J. Irrig. Drain. Eng. ASCE, 1996, 122(5): 296~299.
- 2 仵峰,李王成,李金山,等. 地下滴灌灌水器水力性能试验研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(2): 85~88.
- 3 Shani U, Xue R, Gordin K, et al. Soil-limiting flow from subsurface emitters I: pressure measurements[J]. J. Irrig. Drain. Eng. ASCE, 1996, 122(5): 291~295.
- 4 仵峰,李王成,范永申,等. 地下滴灌灌水器出口正压试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2003, 22(2): 48~52.
- 5 程先军,许迪. 地下滴灌专用灌水器的研制及初步应用[J]. 农业工程学报, 2001, 17(2): 51~54.
- 6 王伯雄. 测试技术基础[M]. 北京:清华大学出版社, 2003.