

文章编号:1672-3317(2015)10-0015-04

# 弹簧性能参数对微灌压力调节器调压效果的影响

李连忠, 牛文全

(西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 利用流固耦合数值计算方法与样件测试验证方法, 分析了弹簧劲度系数和初始应力对压力调节器调压特性及流量的影响。结果表明, 弹簧劲度系数和初始应力对压力调节器出口预置压力和流量的影响均呈线性关系, 且弹簧初始应力的影响明显大于弹簧劲度系数; 压力调节器的临界工作压力与出口预置压力之差随着出口预置压力的增大而增大, 且该差值占临界工作压力和出口预置压力的比例随着出口预置压力的增大而线性增加。

**关键词:** 微灌压力调节器; 流固耦合; 数值计算; 压力; 流量

中图分类号: S275.6; TV131.2

文献标志码: A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2015.10.004

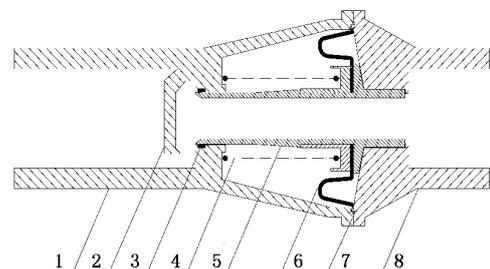
李连忠, 牛文全. 弹簧性能参数对微灌压力调节器调压效果的影响[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(10): 15-18.

微灌用压力调节器是保障管网安全的常用设备。已有研究对压力调节器的调节机理进行了一定探索<sup>[1-3]</sup>, 但压力调节器的调压机理及调压过程中各运动部件受力状态还不是十分清楚, 各结构参数与调压特性之间的定量关系尚未完全建立。流固耦合动力学方法是近年来发展比较迅速的数值分析方法, 该方法能够实现流体与固体相互作用过程的动态分析, 运用于相关领域并取得了一系列进展<sup>[4-6]</sup>。因此, 有必要在实验验证的基础上, 应用流固耦合数值计算方法, 研究微灌用压力调节器弹簧劲度系数和初始应力对压力调节性能的影响, 进一步探求微灌压力调节器的调压机理与各构件的运动规律, 为压力调节器的设计提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 微灌压力调节器的构成及特点

压力调节器结构如图 1 所示, 主要由上游接头、下游接头、进口花篮堵头、“O”型密封圈、弹性膜片、弹簧、调节组件等部分构成。其中, 调节组件是主要工作部件, 在受力过程中进行轴向移动, 改变调节组件与进口花篮堵头之间的过水断面, 达到消能效果, 从而使压力调节器的出口压力维持在某一特定的范围内。弹簧是压力调节器的关键部件, 初始为压缩状态, 用以平衡作用在调节组件断面上的前后压力差, 实现控制起调压力大小的目的; “O”型密封圈主要起密封作用; 弹性膜片起密封和连带作用; 上游接头、下游接头以及中部的的外壳由螺纹连接, 组合成一个整体。



1—上游接头; 2—进口花篮堵头; 3—“O”型密封圈; 4—弹簧; 5—调节组件; 6—弹性膜片; 7—螺纹接口; 8—下游接头

图 1 压力调节器结构示意图

### 1.2 试验设计与数值计算

研究表明: 弹簧劲度系数( $K$ )和初始应力( $F$ )对压力调节器的调压特性影响明显<sup>[1]</sup>, 故选取  $K$  和  $F$  二因素进行分析, 其取值如表 1 所示。

收稿日期: 2014-05-13

基金项目: 国家高技术研究发展技术(863)项目(2011AA100507)

作者简介: 李连忠(1986-), 研究生, 主要从事灌溉技术研究。E-mail: 15129659718@163.com

通讯作者: 牛文全(1971-), 研究员, 博士生导师, 博士, 主要从事节水灌溉新技术研究。E-mail: nwq@vip.sina.com

表 1 试验因素与水平

因素水平	$K/(N \cdot mm^{-1})$	$F/N$	因素水平	$K/(N \cdot mm^{-1})$	$F/N$
1	0.70	50	3	2.40	67
2	1.41	60	4	2.80	67

以压力调节器的调压效果和流量为研究指标,采用全因素试验方法进行计算分析。根据图 1 所示的压力调节器建立数值模型,并划分网格。进口直径为 10 mm,外壳为硬塑料。采用 4 节点四面体网格单元进行流体模型几何离散,模型尺寸较小位置适当加密。为保证数值计算与实际工况一致,在调节组件出口端与壳体的接触部分考虑接触作用,建立接触条件,模拟限位凸台的作用。调节组件壁面与接触面均选用 8 节点六面体网格,三维实体单元,接触壁面为 4 节点四边形网格。在调节组件的右侧非流固耦合面上设置弹簧单元,并施加 FORCE 条件,模拟弹簧的预压缩力及摩擦力(即初始应力)。与调节组件相互作用面设为流固耦合面,其他壁面均视为无滑移壁面。

流体分析采用 composite 时间积分格式,瞬态分析。压力调节器内水流视为不可压缩的牛顿流体,忽略热传递,液体密度为  $1\ 000\ kg/m^3$ ,动力粘度为  $0.001\ 3\ N/m^2$ 。流体控制方程包括连续方程、N-S 方程等<sup>[7]</sup>。流体控制方程采用有限体积方法离散,压力-速度耦合求解采用 simple 算法,收敛评价标准为  $1 \times 10^{-4}$ 。

压力调节器工作时,由于调节组件轴向运动较大,流体网格在调节组件与进口花篮堵头之间不断被压缩,畸变严重时将导致计算无法收敛,因此需要采用网格重构的方法,使流体网格保持一个较好的质量,从而实现计算。通过命令流的方式生成密度分布合理的网格,节省计算资源的同时能够比较精确地捕捉主要流动特征<sup>[8]</sup>。结构计算模型中,调节组件与流体相互作用面设为流固耦合面,采用隐式动力分析方法,稀疏矩阵求解器,时间积分格式选择 Bathe composite 格式<sup>[9]</sup>,完全牛顿迭代法求解。

### 1.3 试验验证

根据图 1 制作压力调节器样件,并进行测试。建立试验平台,如图 2 所示。压力调节器进出口压力均采用 0.25 级,量程为 0~250 kPa 的压力表测量;球阀用于控制被测压力调节器流量,进而控制进口压力。试验时,压力调节器的进口压力通过控制阀门 2 和阀门 4 的开度来共同调节,并按照 10 kPa 间隔,从 20 kPa 递增。待对应每个测量点的压力表读数稳定后,读取压力表 6 和压力表 8 数值并记录,同时,统计出口流量。待数据统计完后,根据绘制的进、出口压力与流量关系曲线推算出口预置压力值。

待进口压升到 160 kPa 后稳定一段时间,然后按与上面相同的方法,按 10 kPa 间隔,从 160 kPa 递减,读取各测量时刻压力表数值与换算流量值,并绘制降压过程中的压力调节器进、出口压力及流量关系曲线。

## 2 结果与分析

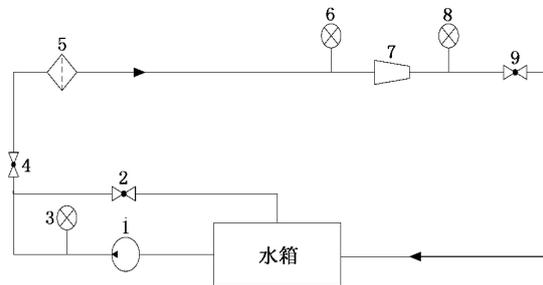
### 2.1 弹簧性能参数对调压特性的影响

定义计算模型 2 个相邻输出数据点的压力变化量占进口压力变化量的比例为出口压力变化率( $\mu$ );同时,定义满足出口压力变化率  $\mu < 5\%$  时的进口压力为临界工作压力( $P_1$ ),此时对应的出口压力为出口预置压力( $P_2$ )<sup>[2]</sup>。根据数值计算结果,拟合压力调节器在弹簧初始应力为 50 N 工况时的进出口压力关系,计算结果见表 2,其中, $R^2$  为拟合决定系数, $\Delta P$  为  $P_1$  与  $P_2$  的差值。

表 2 弹簧初始应力  $F=50\ N$  时压力调节器的进出口压力

$K/(N \cdot mm^{-1})$	$R^2$	$P_1/kPa$	$P_2/kPa$	$\Delta P/kPa$
0.70	0.998 6	94.82	78.92	15.90
1.41	0.998 9	104.68	82.47	22.21
2.40	0.999 2	115.00	87.55	27.45
2.80	0.999 3	125.42	90.51	34.91

从表 2 可看出,当弹簧初始应力不变时,压力调节器的进出口压力的相关性随  $K$  的增加而提高。 $\Delta P$  随  $K$  的增加而增大,且占  $P_1$  的比例由 16.77% ( $K=0.7\ N/mm$ ) 增加到 25.36% ( $K=2.8\ N/mm$ )。设  $\Delta P$  占  $P_1$  和  $P_2$  的比值分别为  $\varphi_1$ 、 $\varphi_2$ ,经分析, $P_1$  与  $\varphi_1$  以及  $P_2$  与  $\varphi_2$  均呈线性关系,其



1—机泵; 2—球阀; 3—压力表; 4—球阀; 5—过滤器; 6—进口压力表; 7—试验件; 8—出口压力表; 9—球阀

图 2 试验装置示意图

线性拟合式分别为：

$$\varphi_1 = 1.1568P_1 - 70.194 \quad R^2 = 0.9636, \quad (1)$$

$$\varphi_2 = 0.3218P_2 - 13.239 \quad R^2 = 0.9766. \quad (2)$$

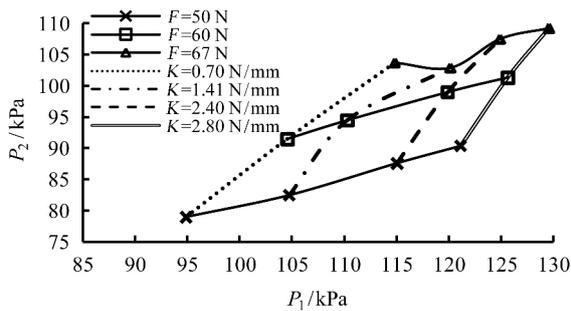


图3 弹簧性能参数对出口预置压力与临界工作压力的影响

系数时,对  $P_1$  和  $P_2$  进行线性拟合( $P_2 = aP_1 + b$ ),其相关系数如表3所示。

表3 出口预置压力与临界压力线性回归参数

F/N	不同弹簧初始应力			不同弹簧刚度系数			
	$R^2$	$a$	$b$	$K/(N \cdot mm^{-1})$	$R^2$	$a$	$b$
50	0.9953	0.4416	36.746	0.70	0.9994	1.2401	-38.484
60	0.9977	0.4658	42.968	1.41	0.9329	1.2651	-48.024
67	0.7909	0.4240	53.942	2.40	0.9906	2.013	-143.37
/	/	/	/	2.80	0.9971	2.2255	-178.85

由表3可知,不同弹簧初始应力时, $b$ 随弹簧初始应力的增加而增大,说明弹簧刚度系数的增加,出口预置压力也提高,而弹簧影响系数 $a$ 的变化较小,基本保持在0.42~0.47之间。不同弹簧刚度系数时,弹簧初始应力对压力调节器的临界工作压力和出口预置压力的影响随着弹簧刚度系数的增加而增强,常数项 $b$ 随弹簧刚度系数的增加而减小。可见,弹簧初始应力对压力调节器的临界工作压力和预置压力的影响明显大于弹簧刚度系数。

## 2.2 弹簧性能参数对流量的影响

$F=50, 60, 67$  N和 $K=0.7, 1.41, 2.4, 2.8$  N/mm时,弹簧性能参数对流量( $Q$ )和临界工作压力的影响如图4所示。

从图4可以看出, $Q$ 随 $K$ 的增加而增大,随弹簧初始应力的增加而增大且二者呈线性关系( $Q = aP_1 + b$ )。对 $Q$ 与 $K$ 以及 $Q$ 与 $P_1$ 进行线性拟合,其拟合参数见表4。

从表4可以看出,对于 $Q$ 与 $K$ ,常数项 $b$ 随着弹簧初始应力的增加而增大,而弹簧影响系数 $a$ 呈逐步减小趋势,说明弹簧初始应力越高,弹簧刚度系数对流量的影响越弱。对于 $Q$ 与 $P_1$ ,弹簧初始应力对压力调节器流量的影响随着弹簧刚度系数的增加而增强。

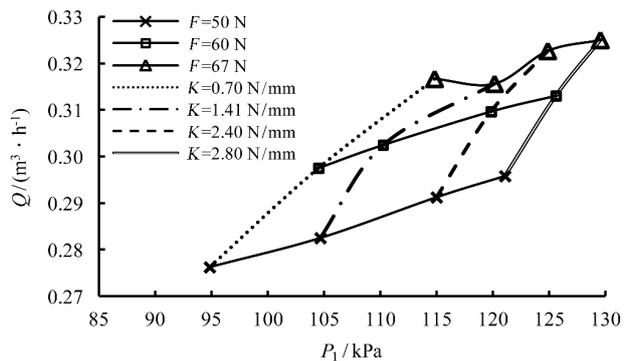


图4 弹簧性能参数对流量的影响

表4 线性回归参数

F/N	$Q = aK + b$			$Q = aP_1 + b$			
	$R^2$	$a$	$b$	$K/(N \cdot mm^{-1})$	$R^2$	$a$	$b$
50	0.9966	0.0008	0.2045	0.70	0.9978	0.0020	0.0855
60	0.9955	0.0007	0.2209	1.41	0.9245	0.0020	0.0718
67	0.8050	0.0006	0.2405	2.40	0.9881	0.0032	-0.0727
/	/	/	/	2.80	0.9957	0.0035	-0.1228

$Q$ 随 $K$ 和 $F$ 的增加而呈线性增加。其中, $K$ 对 $Q$ 的影响程度随 $F$ 的增加而逐步减弱,而 $F$ 对 $Q$ 的影响

则随  $K$  的增加而增强,  $F$  对  $Q$  的影响较  $K$  明显。

### 2.3 试验验证

根据实际样品尺寸制作试验件并按照相关标准搭建试验台<sup>[10]</sup>, 进行水力性能试验, 根据计算与试验结果分别绘制调压曲线和压力-流量曲线如图 5 和图 6 所示。

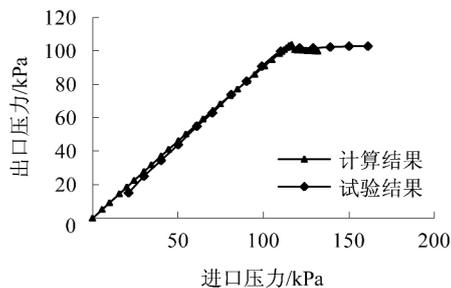


图 5 调压曲线

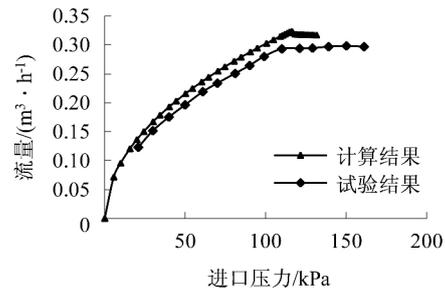


图 6 压力-流量关系

从图 5 可以看出, 随着进口压力逐渐增加, 出口压力的模拟计算结果和实测结果均先线性增加, 然后区域稳定, 起到调节出口压力的作用。当进口压力小于临界工作压力(起调压力)时, 实测出口压力略小于模拟计算结果, 但总体变化趋势一致, 实测曲线和模拟计算结果比较吻合。

从图 6 可以看出, 随着进口压力的增加, 压力调节器的出口流量逐渐增加, 并最终趋于稳定, 实测结果均小于模拟计算结果, 这主要是因为模拟计算过程中没有考虑到水头损失和摩擦阻力等因素, 但流量变化总趋势高度一致, 相关性较高。压力调节范围内, 出口压力模拟计算值与实测值的最大相对误差为 3.1%, 出口流量模拟计算值与实测值误差在 10% 以内。从流量趋势以及调压效果等方面综合考虑, 流固耦合方法对带有膜片的弹簧式压力调节器的数值计算适应性较好。

### 3 结论

1) 当弹簧初始应力相同时, 压力调节器的临界工作压力与出口预置压力之差随出口预置压力的增大而增大, 且占临界工作压力和出口预置压力的比例随着出口预置压力的增大而呈线性增加。

2) 微灌压力调节器的临界工作压力和出口预置压力随弹簧劲度系数和初始应力的增加而线性增加。弹簧劲度系数对临界工作压力和出口预置压力的影响程度随着初始应力的增加而产生波动。弹簧初始应力的影响趋势随着弹簧劲度系数的增加而增强, 初始应力对临界工作压力和出口预置压力值的影响明显大于弹簧劲度系数。

3) 微灌压力调节器的流量随弹簧劲度系数和初始应力的增加而线性增加。弹簧劲度系数对流量的影响随初始应力增加而逐步减弱, 初始应力对流量的影响随着弹簧劲度系数的增加而加强。弹簧初始应力对流量的影响明显大于弹簧劲度系数。

#### 参考文献:

- [1] 田金霞, 龚时宏, 李光永, 等. 微灌压力调节器参数对出口预置压力影响的研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(12): 48-51.
- [2] 严海军, 姚培培, 王敏. 灌溉用压力调节器性能试验与受力分析[J]. 排灌机械工程学报, 2010, 28(6): 548-552.
- [3] 李连忠, 牛文全, 魏正英, 等. 微灌压力调节器调压特性流固耦合数值计算及分析[J]. 西安交通大学报, 2013, 47(5): 131-136.
- [4] 郭正, 刘君, 陈广南. 安溢活门动态特性的流固耦合数值分析[J]. 机械工程学报, 2008, 44(8): 61-66.
- [5] 王静, 王文娥, 胡笑涛, 等. 基于流固耦合方法的压力补偿滴头水力特性研究[J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(3): 107-109.
- [6] 张伟政, 俞树荣, 张希恒, 等. 调节阀内部流场的数值模拟与试验分析[J]. 兰州理工大学学报, 2008, 34(3): 65-68.
- [7] 岳戈, 梁宇白, 陈晨. ADINA 流体与流固耦合功能的高级应用[M]. 北京: 人民交通出版社, 2010.
- [8] Bathe K J, Zhang H. A mesh adaptivity procedure for CFD and fluid-structure interactions[J]. Computers & structures, 2009, 87(11/12): 604-617.
- [9] Bathe K J. Conserving energy and momentum in nonlinear dynamics: A simple implicit time integration scheme[J]. Computers & Structures, 2007, 85(7/8): 437-445.
- [10] GB/T 18692—2002. 农业灌溉设备——直动式压力调节器[S].

(下转第 44 页)

## Effects of Different Bacterial Chaff Fertilizers on Speciation of Sewage Irrigation Pollution Soil Copper Form and Soil Enzyme Activity

WANG Teng<sup>1</sup>, WANG Xiaoju<sup>2</sup>, ZHANG Jianguo<sup>3</sup>, CHENG Hongyan<sup>1</sup>, WANG Qiang<sup>1</sup>, DONG Qing<sup>1</sup>  
(1. College of Resource and Environment, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China; 2. Center for Environmental Science in Saitama, Saitama 347-0115, Japan; 3. Shanxi conservancy Technical Institute, Yuncheng 044004, China)

**Abstract:** Pot experiments were performed to study the effects of different application of fungus chaff fertilizer on maize growth, different forms of Cu content and enzyme activity in soil. Results showed that, compared with the control, after applying different formulas of fungus chaff fertilizer, the Cu content in soil reduced by 7.35%~11.56%, the content of exchangeable Cu in soil increased by 25.41%, the carbon combined Cu content increased by 8.03%, the organic ? combined Cu content increased to some extent, the residue Cu content decreased a little, and the iron and manganese oxidation state Cu content had no significant change. Compared with the control, after applying the fungus chaff fertilizer, the enzyme activity in soil increased, invertase activity changed significantly, reaching the largest, which increased by 96.25%, the urease activity in soil increased, the maximum reached 54.50%, and the average growth of hydrogen peroxide enzyme activity was 31.67%. Applying different formulas of fungus chaff fertilizer could effectively improve the soil enzyme activity in Cu contaminated soil and also improve soil microorganisms' condition.

**Key words:** spent mushroom substrates; copper; speciation; soil enzyme

责任编辑:陆红飞

(上接第 18 页)

## Influence of Spring on Pressure Regulating Effect of Micro-irrigation Pressure Regulator

LI Lianzhong, NIU Wenquan

(Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

**Abstract:** The fluid structure interaction method and test specimen testing were used to study the influence of the spring stiffness coefficient and the initial stress on the flux and the regulating characteristic of pressure regulator. The results showed that both the preset outlet pressure and flux were in positive linear relationships with the spring stiffness coefficient and the initial stress. The influence of spring initial stress was greater than the spring stiffness coefficient; the pressure difference between measured critical working pressure and preset outlet pressure increased with the preset outlet pressure. The percentage of pressure difference to measured critical working pressure and preset outlet pressure increased linearly with the preset outlet pressure.

**Key words:** micro-irrigation pressure regulator; fluid-structure interaction; numerical computation; pressure; flux