

doi:10.3969/j.issn.1674-8530.18.1023



膜片对管上式压力补偿灌水器水力性能的影响

徐耀, 苏艳平, 杨培岭*, 任树梅, 李旭

(中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083)



徐耀

摘要:膜片的可变性是压力补偿灌水器实现高压条件下稳定出流的主要因素,膜片的特征参数及与灌水器壳体的相互配合直接影响灌水器的整体性能.以 PLASTRO 公司生产的 Supertif - 03120 - 0003 型管上式压力补偿灌水器为原型件,借助快速成型技术制作管上式灌水器试验件,选取硅橡胶材质的弹性膜片,对膜片的厚度、硬度进行单因素分析和正交试验,研究弹性膜片不同特征参数对灌水器水力性能的影响.经过多重比较分析得出灌水器水力性能与弹性膜片特征参数之间的定性关系,为压力补偿灌水器的优质膜片材料的研发提供依据.本试验结果表明:低流态指数最优组合为 A_3B_4 ,即弹性膜片的厚度为 2.0 mm,邵氏硬度为 60.

关键词:压力补偿灌水器;弹性膜片;硬度;厚度;水力性能

中图分类号: S275.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674 - 8530(2018)08 - 0702 - 05

徐耀, 苏艳平, 杨培岭, 等. 膜片对管上式压力补偿灌水器水力性能的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2018, 36(8): 702 - 706, 731.

XU Yao, SU Yanping, YANG Peiling, et al. Impact of diaphragm parameters on hydraulic performance of pressure compensating emitter on the pipe[J]. Journal of drainage and irrigation machinery engineering (JDIME), 2018, 36(8): 702 - 706, 731. (in Chinese)

Impact of diaphragm parameters on hydraulic performance of pressure compensating emitter on the pipe

XU Yao, SU Yanping, YANG Peiling*, REN Shumei, LI Xu

(College of Water Resources and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: The variability of the diaphragm is the main factor for the pressure compensation emitter to achieve stable outflow under high pressure conditions. The characteristic parameters of the diaphragm and the interaction with the emitter housing will directly affect the overall performance of the emitter. Supertif - 03120 - 0003 pressure compensating emitter on the pipe manufactured by PLASTRO was used as the prototype, and the on-tube type water emitter test piece was fabricated with the help of rapid prototyping technology and selecting silicone rubber elastic diaphragm. Through single factor and orthogonal test, the influence of different parameters of elastic diaphragm on the hydraulic performance of the emitter was studied. The relationship between the hydraulic performance of the emitter and the characteristic parameters of the elastic diaphragm was obtained via multiple comparison analyses. The result shows that the optimal combination of low flow index is A_3B_4 when the thickness of diaphragm is 2.0 mm and the hardness is 60.

Key words: pressure compensating emitter; elastic diaphragm; hardness; thickness; hydraulic performance

收稿日期: 2018 - 04 - 09; 修回日期: 2018 - 05 - 09; 网络出版时间: 2018 - 06 - 13

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1814.TH.20180613.1519.034.html>

基金项目: 内蒙古自治区重大水利科技专项(2014 - 117); 内蒙古自治区科技重大专项

第一作者简介: 徐耀(1994—),男,江苏盐城人,硕士研究生(807307628@qq.com),主要从事灌水器的研究。

通信作者简介: 杨培岭(1958—),男,内蒙古呼和浩特人,教授,博士生导师(yangpeiling@126.com),主要从事农业水土资源、节水灌溉理论与新技术研究。

滴灌是目前节水效率最高的微灌方式^[1-2],灌水器作为微灌系统的核心^[3],直接影响微灌系统的设计、使用寿命、抗堵塞性能及灌水均匀性.实际作物灌溉中,山地地形复杂、坡度大,导致灌水均匀性差,对植物生长造成很大的影响.而压力补偿式灌水器具有适用范围广、补偿性能好、灌水均匀度高、抗堵塞能力强等优点,因此压力补偿式灌水器成为世界灌水器研发的热点^[4].以色列、美国等国家很早就开始对压力补偿式灌水器进行研发,而中国起步较晚,相对于国际先进水平还有很多不足,研发性能良好的压力补偿式灌水器是亟待解决的问题^[5].

大量学者对现有的灌水器研究发现,压力补偿灌水器的工作压力在5~7 m,在低压条件下的补偿性能以及出流稳定性较差.灌水器的水力性能和抗堵塞性能成了当今众多学者研究的热点.李令媛等^[6]研究了无迷宫流道压力补偿式灌水器结构参数对灌水器水力特征的影响,分析了基座下腔高度、垫片厚度和垫片硬度对灌水器补偿区内的流态指数和流量的影响;魏正英等^[7]通过理论分析得到压力调节腔出口直径与工作区间成反比关系;李云开等^[8]指出灌水器因其消能流道尺寸狭小(仅0.5~1.2 mm),极易被滴灌水源中的固体颗粒物、微生物、化学沉淀、有机质、氮磷等杂质附着,导致灌水器堵塞,揭示了堵塞的机理并提出解决堵塞的办法.

文中采用 PLASTRO 公司生产的 Supertif - 03120 - 0003 型管上式压力补偿灌水器为原型件,利用上海美耐特数显卡尺对灌水器进行尺寸测量,其结构如图1所示.灌水器入水口直径为2.28 mm,流道宽度为1.03~1.55 mm,补偿腔高度为2.23 mm,直径为12.3 mm,补偿腔出水口直径为1.8 mm,出流槽深为0.34 mm,宽为0.5 mm;膜片厚度为2 mm,直径为13.8 mm,邵氏硬度为46,并采用快速成型技术对试验件进行制作,制作精度0.1 mm,灌水器试验件材料为进口 NEXT 树脂.

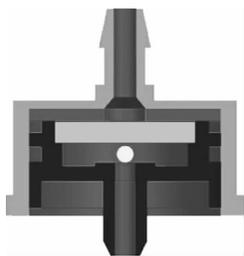


图1 灌水器结构图

Fig. 1 Structure of emitter

1 试验设计与方法

1.1 试验设计

试验在中国农业大学北京通州试验站连栋温室内进行.该装置由水泵、供水管网、过滤器(网式过滤器120目)、调节阀、压力表(YB150型,量程0~0.4 MPa,0.25级精密压力表)、毛管及灌水器、集水桶、同步滑轮、集水箱、试验架、加热器、供水箱、分流管路等组成.试验用水为城市自来水,在试验架上布置5根16 mm毛管,每根毛管布置5个灌水器.整个装置由水泵提供压力,通过调压阀及回流装置对毛管进口压力进行调节,图2为试验系统装置的示意图.参考 PLASTRO 公司生产的 Supertif - 03120 - 0003 型管上式压力补偿灌水器弹性膜片参数,设置了试验用灌水器弹性膜片参数,具体参数见表1.表中,因素A为膜片厚度 H ,因素B为膜片邵氏硬度 H_A .本次试验测试了灌水器入口压力从10 kPa到350 kPa时的流量变化情况.根据《农业灌溉设备滴头和滴灌管技术规范 and 试验方法》和《中华人民共和国行业标准——微灌灌水器》要求,每次测试时长3 min,每次试验重复2次,取平均值.

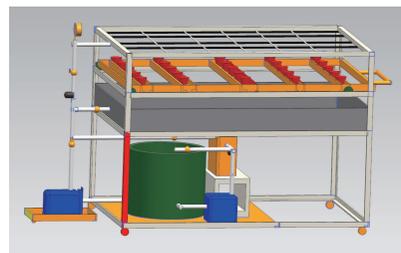


图2 装置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of test bed

表1 弹性膜片参数选择

Tab. 1 Selection of parameters in elastic diaphragm

水平	因素	
	A	B
1	1.6	30
2	1.8	40
3	2.0	50
4	2.2	60

1.2 试验方法

本次试验设置10,20,30,40,50,60,70,80,90,100,130,160,190,220,250,280,310,350 kPa共18个压力水平.利用回路阀门与主阀门相结合的方式调节到目标压力,通过测试平台上的同步滑轮车控制量水桶集水时间,再用电子秤(精度0.01 g)进行称量,最终得到不同压力条件下灌水器的出流量.

根据测试后的数据分析不同弹性膜片参数下灌水器出流量及流态指数等指标的变化情况。

1.3 测试指标

1.3.1 流态指数

灌水器的压力-流量关系是评价压力补偿灌水器优劣的指标之一,它们之间的关系主要依靠数值计算或者对同一批样本进行不同进口压力条件下的出流量测试进行统计分析.在一定的压力范围条件下,压力补偿灌水器压力-流量关系可表示为

$$q = K_d p^x, \quad (1)$$

式中: q 为灌水器流量,L/h; K_d 为灌水器流量系数; p 为进口压力,m; x 为灌水器流态指数, $0 \leq x < 1$.

1.3.2 起调压力与补偿区间

压力补偿灌水器工作时,当灌水器入口处压力达到一定时,其出流量会保持一定的流量,并且不会随着压力的增大而明显增大,通常灌水器开始保持稳定出流时的压力为灌水器的起调压力.当灌水器达到稳定出流以后,并不能够随着压力的增大一直保持出流量稳定,而是当压力超过一定范围之后开始出现流量下降的趋势,起调压力与这个压力之间的范围就是灌水器的补偿区间.灌水器的起调压力及补偿区间是评价灌水器性能的重要指标之一,直接关系到灌水器的适配选型,对提高灌溉均匀度、降低滴灌系统成本有着重要的作用.文中将通过压力补偿灌水器压力-流量关系曲线中流量趋于稳定时的拐点作为灌水器的起调压力,之后流量稳定阶段作为压力补偿区间.

2 试验结果与分析

参考 PLASTRO 公司生产的 Supertif - 03120 -

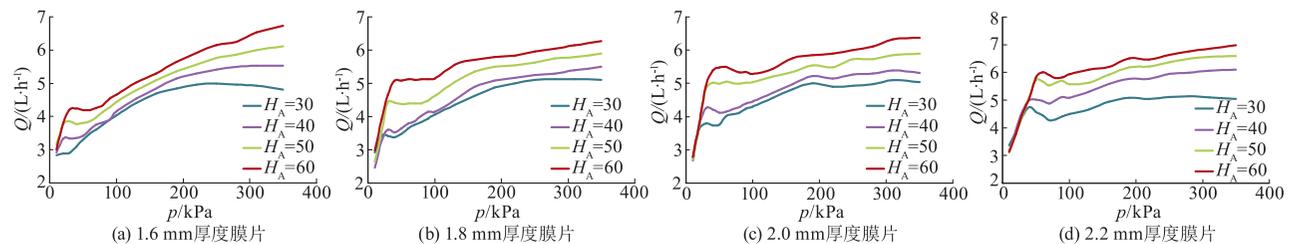


图3 膜片硬度对灌水器出流量的影响

Fig. 3 Influence of diaphragm hardness on flux

从图3数据计算拟合得出,灌水器的流态指数与弹性膜片硬度不是呈简单的线性关系,说明对本次试验用灌水器结构而言,弹性膜片硬度水平中存在最优选择,能够使灌水器流态指数达到最优.

0003型管上式压力补偿灌水器结构参数控制阀,对快速成型的16个压力补偿式灌水器试验件的补偿腔内的流道最宽处宽度 W_L 、凸台高度 H_T 、出流槽宽度 W_C 进行实际测量,具体尺寸见表2.

表2 试验件尺寸
Tab. 2 Size of test piece

编号	W_L / mm	H_T / mm	W_C / mm	编号	W_L / mm	H_T / mm	W_C / mm
1	1.50	0.28	0.50	9	1.46	0.27	0.52
2	1.42	0.35	0.49	10	1.47	0.36	0.51
3	1.50	0.37	0.51	11	1.46	0.30	0.52
4	1.51	0.28	0.50	12	1.51	0.24	0.52
5	1.47	0.33	0.51	13	1.46	0.27	0.50
6	1.47	0.32	0.51	14	1.49	0.29	0.52
7	1.46	0.29	0.52	15	1.48	0.33	0.49
8	1.46	0.29	0.49	16	1.46	0.28	0.52

基于原件尺寸计算得出流道最宽处宽度、凸台高度、出流槽宽度尺寸偏差率分别为0.79%、0.88%、3.54%,制造偏差系数均小于5%,为优等品.故本次试验可以忽略由试验件之间的尺寸误差所产生的流量偏差.

2.1 不同弹性膜片参数的单因素分析

2.1.1 弹性膜片硬度对灌水器水力性能的影响

图3所示为膜片硬度对灌水器出流量的影响.从图中可以发现,灌水器的出流量与膜片厚度相关,在相同厚度下,灌水器的出流量随膜片硬度增大而增大,其压力补偿点也随膜片硬度的增大而增大,通过对灌水器流态指数及补偿点数据分析发现,膜片硬度对灌水器的性能产生较大的影响.结合灌水器的工作过程分析可知,膜片的硬度越大,对压力差的变化越不敏感,所以在同一压力条件下灌水器的过流断面面积变化较小,导致出流量增大;同时硬度越小对压力变化越敏感,所以硬度较小的膜片提前发生大变形,降低了灌水器的起调压力.

2.1.2 弹性膜片厚度对灌水器水力性能的影响

图4所示为膜片厚度对灌水器出流量的影响.由图4可知,弹性膜片的2个主要数据参数厚度及硬度对灌水器的补偿点、出流量及流态指数有较大

影响. 通过对比可以发现,在 0 ~ 130 kPa 压力补偿灌水器压力流量曲线受弹性膜片厚度影响较大,同一硬度条件下,膜片的厚度越大,灌水器的出流量也越大,根据压力补偿灌水器的工作原理可知,厚度越大的弹性膜片,其对膜片上下压力差的变化就

越不敏感;在邵氏硬度为 30 和 40 时,灌水器流态指数与弹性膜片厚度成反比,在邵氏硬度为 50 和 60 时,弹性膜片为 2.0 mm 厚度时流态指数最优,说明弹性膜片与灌水器壳体有最优组合. 因此,有必要进一步研究其组合规律.

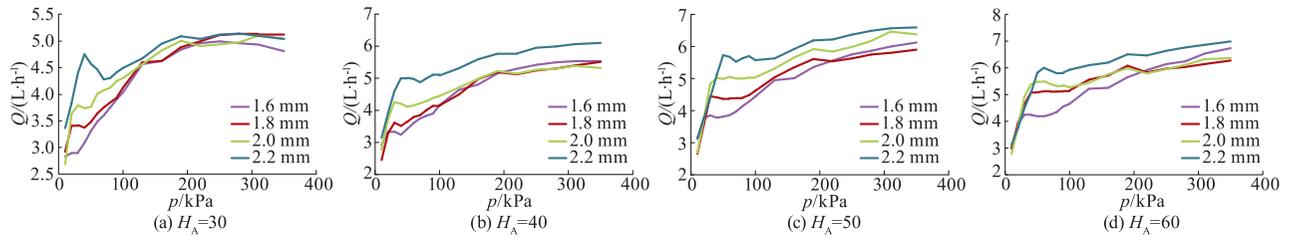


图 4 膜片厚度对灌水器出流量的影响
Fig. 4 Influence of diaphragm thickness on flux

2.2 不同弹性膜片参数的正交分析

为考虑不同弹性膜片参数影响,以灌水器膜片的厚度及硬度为试验因素,设置不同的水平,通过

正交试验表采用 16 个试验处理,结果如表 3 所示. 表中 Q 为流量, x 为流态指数. 计算用流量为灌水器在 100 kPa 时测得流量.

表 3 正交试验设计及其对应的流态指数
Fig. 3 Orthogonal experimental design and its flow index values

试验编号	H/mm	H_A	$Q/(\text{L} \cdot \text{h}^{-1})$	x	试验编号	H/mm	H_A	$Q/(\text{L} \cdot \text{h}^{-1})$	x
1	1.6	30	4.03	0.213 7	9	2.0	30	4.30	0.146 7
2	1.6	40	4.16	0.272 1	10	2.0	40	4.45	0.162 4
3	1.6	50	4.44	0.274 6	11	2.0	50	5.04	0.103 1
4	1.6	60	4.65	0.283 5	12	2.0	60	5.27	0.102 4
5	1.8	30	4.06	0.219 5	13	2.2	30	4.49	0.112 6
6	1.8	40	4.15	0.227 6	14	2.2	40	5.08	0.137 6
7	1.8	50	4.62	0.194 2	15	2.2	50	5.57	0.106 3
8	1.8	60	5.15	0.127 3	16	2.2	60	5.93	0.103 9

2.2.1 灌水器流量分析

正交分析试验灌水器流量及其对应的流态指数. 如表 3 所示,从表中可以看出,处理 16 流量最大为 5.93 L/h,处理 1 流量最小为 4.03 L/h,处理 16 比处理 1 的出流高 47.5%. 表 4 为流量方差分析,从表 4 分析可知,厚度及硬度的 Sig. 值均小于 0.05,说明这 2 个因素对模型的出流量有显著性影响($P < 0.05$).

表 4 流量方差分析
Tab. 4 Flux variance analysis

源	平方和	df	均方	F 比值	Sig.
校正模型	4.598	6	0.766	27.247	0.002
截距	355.228	1	355.228	12 631.274	0
A	2.049	3	0.683	24.281	0.001
B	2.549	3	0.850	30.212	0.006
误差	0.253	9	0.028		
总计	360.079	16			
校正的总计	4.851	15			

从 Duncan 多重比较(表 5)可以进一步分析发现,因素 A 和 B 的 4 个水平之间的差异显著,水平设置较好. 从灌水器出流量的角度对膜片参数分析

发现,出流量随着膜片厚度及硬度的增大而增大. 当膜片厚度选 1 水平,膜片硬度选 1 水平,即 A_1B_1 时,灌水器的出流量最小;当膜片厚度选 4 水平,膜片硬度选 4 水平,即 A_4B_4 时,灌水器的出流量最大. 这与试验结果(表 5)相符合,最大流量为处理 16,最小流量为处理 1.

表 5 流量 Duncan 多重比较
Tab. 5 Duncan multiple comparisons of flux

因素	N	水平	子集		
			1	2	3
A	4	1	4.320		
	4	2	4.495		
	4	3		4.765 0	
	4	4			5.267 5
		Sig.	0.174	1	1
B	4	1	4.220		
	4	2	4.460		
	4	3		4.917 5	
	4	4			5.250 0
		Sig.	0.074	1	1

2.2.2 流态指数分析

正交分析试验灌水器流态指数如表 3 所示,从

表中可以看出,处理 12 的流态指数最小为 0.102 4,处理 4 的流态指数最大为 0.283 5,处理 4 比处理 12 高出 176.9%。从方差分析(表 6)中可以看出,弹性膜片的厚度 A 的 Sig. 值小于 0.05,而弹性膜片硬度 B 的 Sig. 值大于 0.05。

表 6 流态指数方差分析
Tab. 6 Flow index variance analysis

源	平方和	df	均方	F 比值	Sig.
校正模型	0.058	6	0.010	10.282	0.001
截距	0.486	1	0.486	516.508	0
A	0.054	3	0.018	19.030	0
B	0.004	3	0.001	1.534	0.272
误差	0.008	9	0.001		
总计	0.552	16			
校正的总计	0.066	15			

从 Duncan 多重比较(表 7)可以进一步分析发现,膜片厚度 A 的 4 个水平之间差异显著,膜片硬度 B 的 4 个水平之间差异不显著。所以当膜片厚度 A 选 3 水平,膜片硬度选 4 水平时,即确定 A_3B_4 为最优组合,这与试验中最小流态指数为处理 12 (A_3B_4)一致。

表 7 流态指数 Duncan 多重比较
Tab. 7 Duncan multiple comparisons of flow index

因素	N	水平	子集		
			1	2	3
A	4	4	0.115 1		
	4	3	0.128 7		
	4	2		0.192 2	
	4	1			0.261 0
		Sig.	0.548	1.000	1.000
B	4	4	0.154 3		
	4	3	0.169 5		
	4	1	0.173 1		
	4	2	0.199 9		
		Sig.	0.800		

3 结 论

1) 通过单因素试验发现,在弹性膜片厚度相同的情况下,出口处的出流量会因膜片硬度的增大而增大,而流态指数在不同厚度的情况下与硬度的相关度也不尽相同;在弹性膜片硬度相同的情况下,灌水器的出流量随弹性膜片厚度的增大而增大,而其流态指数与膜片厚度之间为非线性关系。因此,在保证灌水器流态指数较小的情况下,选择适当弹性膜片厚度及硬度参数来对灌水器的出流量进行控制以满足不同流量灌水器的开发需求。

2) 通过对膜片特征参数进行正交试验设计并进行实测试验发现,对于灌水器出流量来说,弹性

膜片厚度 A 及硬度 B 的水平之间差异显著,对灌水器出流量影响显著 ($P < 0.05$),其最大流量最优组合为 A_4B_4 ,最小流量最优组合为 A_1B_1 ;对于灌水器流态指数,弹性膜片的厚度 A 的 Sig. 值小于 0.05,而弹性膜片硬度 B 的 Sig. 值大于 0.05。从 Duncan 表中数据分析来看,弹性膜片厚度 A 水平之间差异性显著,弹性膜片硬度 B 水平之间差异不显著,当膜片厚度 A 选 3 水平,膜片硬度选 4 水平时,即确定 A_3B_4 为最优组合。

综上所述,通过对试验件加上特制膜片的灌水器进行实测发现,弹性膜片厚度 A 及硬度 B 的水平之间差异显著,对灌水器出流量影响显著 ($P < 0.05$),其最大流量最优组合为 A_4B_4 ,最小流量组合为 A_1B_1 ;对于灌水器流态指数来说,其最好的搭配为 A_3B_4 。本研究的不足之处在于,仅仅通过测试试验得出弹性膜片的厚度、硬度对灌水器水力性能的影响,进一步研究中应该结合数值模拟计算分析,设置与其不同厚度、硬度相对应的模拟参数,对比实测值与模拟值,以期找到更好的弹性膜片制作材料。

参考文献 (References)

- [1] MARTINEZ V J, IBANEZ J, ALCALA F J, et al. The use of a hydrological – economic model to assess sustainability in groundwater-dependent agriculture in drylands [J]. Journal of hydrology, 2011, 402(1/2): 80 – 91.
- [2] LI Jiusheng. Increasing crop productivity in an eco-friendly manner by improving sprinkler and micro-irrigation design and management: a review of 20 years' research at the IWHR, China [J]. Irrigation and drainage, 2018, 67(1): 97 – 112.
- [3] 魏正英,苑伟静,周兴,等. 我国压力补偿灌水器的研究进展 [J]. 农业机械学报, 2014, 45(1): 94 – 101. WEI Zhengying, YUAN Weijing, ZHOU Xing, et al. Research progress of pressure compensating emitters in micro-irrigation systems in China [J]. Transactions of the CSAM, 2014, 45(1): 94 – 101. (in Chinese)
- [4] 龚时宏,李久生,李光永. 喷微灌技术现状及未来发展重点 [J]. 中国水利, 2012(2): 66 – 68. GONG Shihong, LI Jiusheng, LI Guangyong. The status of spray and focus on the future development of micro irrigation technology [J]. China water resources, 2012 (2): 66 – 68. (in Chinese)

(下转第 731 页)