

聚乙烯管壁厚对圆柱灌水器水力性能影响的研究

喻黎明^{1,2}

(1. 清华大学 水利系, 北京 100084; 2. 长沙理工大学 水利工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘要: 为提高圆柱灌水器流量设计精度及滴灌系统的均匀度, 以 7 种圆柱灌水器 and 4 种壁厚组成的 25 种滴灌管作为研究对象, 利用精密微小物体三维扫描仪 MCS-60 型测量灌水器流道结构参数, 并采用自动化程度较高的灌水器水力性能测试平台测试此 25 种滴灌管, 得出其流量压力曲线关系、流量系数和流态指数。测试结果表明, 使用不同聚乙烯 (PE) 管厚度对同一灌水器的流量确实产生影响, 其最大影响率能达到 20%; 不同的 PE 管壁厚对流量系数影响较大, 但对流态指数影响较小; 灌水器流道宽度也是造成不同 PE 管壁厚对灌水器出流的因素, 流道越宽, 对灌水器出流影响越大。

关键词: 灌水器; PE 管壁厚; 流量系数; 流态指数

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)03-0108-05

中图分类号: S277.9^{*} 5, TV131.2

Influences of Wall Thickness of Polypropylene Pipe on Emitter Performance

YU Liming^{1,2}

(1. Department of Hydraulic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. School of Hydraulic Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha, Hunan 410114, China)

Abstract: To improve the uniformity of irrigation system and the design precision level of emitters, this study using a 3D camge measurement system (MCS-60) measured the structural parameters of channels in twenty-five combinations (from seven cylinder emitters and four pipe thickness). The hydraulic performances of the combinations were also tested by an automatic testing platform. The curves of the flow and pressure, flow rate coefficient and flow index were obtained. The results show that the flow rates of the same emitters can varied up to 20% with polypropylene (PE) pipes of different wall thickness. The PE pipe thickness affected the flow rate coefficients greatly, and the flow index to a less degree. The width of the emitter flow path was another factor for the influence of the PE pipe wall thickness. The more the width of the flow path, the bigger the change caused by pipe wall thickness.

Keywords: emitter; wall thickness of PE pipe; flow rate coefficient; flow index

灌水器是滴灌系统中最核心的部件之一, 而影响灌水器本身水力性能的关键是流道各参数, 包含形状参数 (如角度、高度、宽度) 和不同流道几何参数 (如流道的长、宽、深)^[1]。此外, 灌水器与毛管连接方式也是影响灌水器水力性能的重要因素。目前灌水器与毛管连接方式主要包含管接式、管上式和内镶式^[2]。在这几种连接过程中, 由于一定程度上改变了原来的形状, 也使得水力性能相应发生了变化。管接式的连接方式影响比较小, 但使用起来不太方便, 特别是需要大量使用灌水器时, 更是费时费力; 管上式连接要方便一些, 但陈学敏等^[3]人认为管上式灌水器直接插到毛管上, 虽然单个灌水器的局部水头损失很小, 但是改变了管道的形状, 有部分接口伸入到毛管内, 而且个数较多, 不能忽略, 通常按照等效长度来计算^[4];

内镶式连接方式最方便, 而且这种内镶的圆柱形灌水器比贴片式灌水器更优, 王建东等^[5]通过对 7 种灌水器的测量和试验, 认为因为圆柱灌水器的流道长度比较长, 是贴片式灌水器的 5~10 倍, 但其流道横截面积一般会较贴片式灌水器大 2~3 倍, 其抗堵塞性能会明显大于贴片式灌水器。但是这种灌水器与毛管合到一体的连接将对灌水器水力性能有一定影响。根据需要所采用不同厚度的毛管在管道承压、抵抗紫外线分解和使用寿命上都会不同, 但采用不同厚度的毛管, 对灌水器的影响程度也会不一样。本文针对某公司生产的 25 种滴灌管, 是由 7 种不同直径、不同额定流量的灌水器, 采用了 0.6, 0.9, 1.0, 1.1 mm 这 4 种毛管壁厚连接而成, 利用 3D camge 三维数字化系统测量灌水器流道的几何参数, 并在此基础上对灌水器的

水力性能进行了研究, 以期为灌水器流道结构设计理论、滴灌系统设计打下基础。

1 材料与方 法

1.1 被测试灌水器的类型及结构

本研究选取的 25 种滴灌管是由 7 种不同灌水器 和 4 种毛管壁厚组成, 都是圆柱形灌水器, 公称直径 分别是 12 和 16 mm 两种, 流道形状基本相近如图 1—2, 只是各参数不同(表 1—2)。

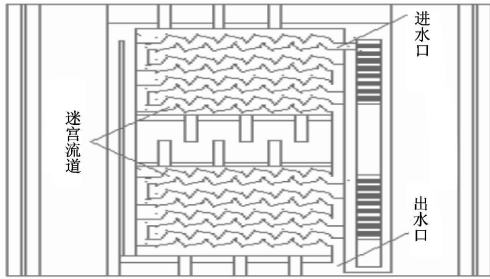


图 1 灌水器流道基本形状

1.2 测量方法

根据水利部国际合作与科技司针对节水设备与

材料制定的水利技术行业标准, 随机选取 3 个灌水器 测量流道的几何参数, 分别取了 3 个灌水器的流道 宽度、流道深度的最小值。由于本实验所用的灌水器 为圆柱形, 如果采用通常的测量方法如将灌水器剖开 并压平等方法^[1], 势必改变了原有的结构形式, 影响 测量精度。本实验采用三维扫描仪进行测量, 不需要 剖开也能直接测量灌水器的弧度、角度等参数。流道 结构参数测量: 选用北京博维恒信科技发展有限公司 销售的精密微小物体三维扫描仪 MCS-60 型(测量精 度 0.01 mm, 测量范围 60 mm × 48 mm)对灌水器进 行三维扫描, 输出三维图形至 Geomagic 软件测量各 数据如表 1—2 所示。

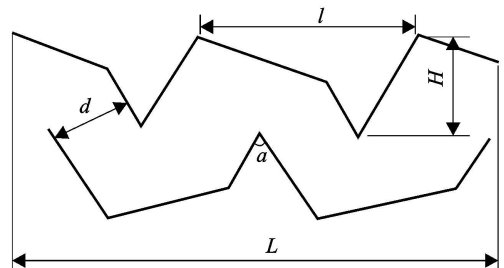


图 2 灌水器流道基本形状参数示意图

表 1 灌水器流道形状参数

公称直径/ mm	额定流量/ (L · h ⁻¹)	流道长 L/ mm	流道宽 d/ mm	流道深 D/ mm	流道截面 s/ mm ²	齿角 a/ (°)	齿间距 l/ mm	齿高 H/ mm
12	1.0	107.16	0.68	0.86	0.58	37.6	1.26	0.72
12	2.0	71.44	0.76	0.98	0.74	37.8	1.34	0.82
12	3.0	35.72	0.82	1.02	0.84	38.0	1.64	0.86
16	1.0	142.86	0.92	1.12	1.03	38.2	1.28	0.74
16	1.6	142.42	0.98	1.16	1.14	37.6	1.56	0.88
16	2.0	142.24	0.94	1.18	1.11	37.8	1.92	1.24
16	4.0	87.56	1.04	1.16	1.21	38.0	2.48	1.52

注: 公称直径为 12 mm 的壁厚分别是 0.6、0.9、1.0 mm; 公称直径为 16 mm 的壁厚分别是 0.65、0.9、1.0、1.1 mm。下同。

表 2 灌水器几何尺寸

公称直径/ mm	额定流量/ (L · h ⁻¹)	灌水器外径/ mm	灌水器内径/ mm	灌水器长度/ mm	毛管内径/ mm	毛管外径/ mm
12	1.0	11.76	8.4	37.5	10.4	11.7
12	2.0	11.76	8.4	37.5	10.4	12.2
12	3.0	11.76	8.4	37.5	10.4	12.4
16	1.0	16.00	12.8	39.8	13.8	15.1
16	1.6	16.00	12.8	39.8	13.8	15.6
16	2.0	16.00	12.8	39.8	13.8	15.8
16	4.0	16.00	12.8	39.8	13.8	16.0

1.3 测试方法

实验用水为居民饮用自来水。采用变频仪调节 水泵转速来稳压供水, 并配备精度为 0.2 级的压力表

来观测压力稳定的时间。通过计算机软件(该软件按 照国家标准研制自行开发, 具有压力变频调节、自动 采集功能。压力调节范围: 0.5~ 40 m, 误差不大于

2%; 变化量不大于 2%; 称重测定范围: 0~700 g, 称重误差不大于 $\pm 0.1\%$ 。), 控制每一个灌水器下面电子称重记来记录稳压时间段内灌水器的滴出水的重量, 并计算出灌水器的流量。每次实验时间是 10 min, 每次观测 2 次, 2 次测得的水量之差小于 2%, 取平均值计算各灌水器的流量。本试验装置完全满足《农业灌溉设备—滴头—技术规范 and 实验方法》^[6] 和《中华人民共和国行业标准—微灌灌水器》^[7]。

对每一种灌水器, 随机抽取 25 个灌水器测试, 所测灌水器的流量按照由小到大的排列编号, 随机测量第 3, 12, 13, 23 号滴头的流量。试验压力从 0.5~1.5 倍额定工作压力从小到大均匀分布至少 9 个压力点, 分别测量每个压力下这 4 个灌水器平均流量, 进而可以得到各种灌水器在不同壁厚下的压力流量关系曲线。

2 结果与分析

2.1 相同直径不同壁厚下的流态指数和流量系数

在流道参数给定的情况下, 根据试验结果压力和流量之间应当满足如下关系:

$$q = kh^x \quad (1)$$

式中: q ——滴头流量(L/h); h ——压力(m); k ——流量系数; x ——流态指数。

流态指数反映流道内水流流动的情况, 是衡量灌水器水力性能高低的一个标准。张俊等^[8]通过对齿形流道的齿夹角、齿宽、流道长及流道单元数正交试验认为, 齿角对流态指数影响最显著, 而本实验中齿角变化很小; 流量系数与流道横截面积的大小、流道的长度以及流道的不同形状如齿形、梯形、圆弧形等有非常密切的关系。

表 3 和表 4 为公称直径在 12 和 16 mm 情况下, 采用不同壁厚得到不同的流量、流量系数和流态指数。综合此两表得出: (1) 对于公称直径为 12 mm 的

内镶式灌水器, 随着毛管壁厚的增加流量明显下降, 尤其以额定流量为 1.0 L/h 的灌水器, 壁厚从 0.65 mm 增加到 1.0 mm, 流量下降 11.1%, 在此公称直径下, 随壁厚的增加, 流量系数下降, 流态指数上升。其它额定流量如 2.0, 3.0 L/h 的灌水器, 也有相同的规律, 流量下降百分比分别为 4.5% 和 4.1%。(2) 公称直径为 16 mm 的内镶式灌水器流量随壁厚的增加变化最大, 4 种不同额定流量的灌水器其平均变化率达到 16.1%, 而以额定流量为 1.0 和 1.6 L/h 的灌水器, 变化达到或接近 20%。2.0 和 4.0 L/h 的灌水器其变化率也分别达到 15.4% 和 13.9%。在此公称直径下, 随壁厚的增加, 流量系数下降明显且具有规律, 但流态指数变化没有规律, 基本上是在某一区间振动。(3) 由(1)和(2)的情况可知, 不同的毛管壁厚影响了灌水器本身的水力性能, 而且影响较大。(4) 不同壁厚对小流量灌水器的影响比大流量的要大, 表 3 中, 公称直径为 12 mm 的灌水器, 流量变化主要是 1.0 L/h, 其它大流量的灌水器变化反而小; 表 4 中, 公称直径为 16 mm 的灌水器, 流量变化主要是 1.0 和 1.6 L/h, 其它大流量的灌水器变化相对较小。(5) 就流量系数而言, 随着管壁厚度的增加, 流量系数是减小的, 而对流态指数而言, 在管壁厚度的变化下, 其变化并不明显, 有时随壁厚增加而增加, 有时会减小, 也有出现波动的情况。

另外, 随着壁厚的增加, 同一灌水器的流量下降趋势明显变缓, 如图 3 所示, 当壁厚从 0.65 mm 增加到 0.9 mm, 增加了 0.25 mm 的厚度, 额定流量为 1.0 和 1.6 L/h 的灌水器流量分别下降了 0.16 和 0.2 L/h; 而当壁厚从 0.9 mm 增加到 1.0~1.1 mm 时, 即每次增加 0.1 mm, 而对应流量为 1.0 和 1.6 L/h 的两灌水器流量下降比较小, 分别是 0.05, 0.03, h 和 0.1, 0.08 L/h。而且对此 2 种灌水器而言, 壁厚越厚, 其测定流量越接近额定流量。

表 3 直径为 12 mm 的 PE 管在不同壁厚下的不同水力性能

额定流量/ (L·h ⁻¹)	壁厚/mm	流量/ (L·h ⁻¹)	流量变化值/ (L·h ⁻¹)	流量系数 k	流态指数 x
1.0	0.65	0.99	—	0.329 7	0.472 8
1.0	0.90	0.93	0.11	0.301 6	0.490 9
1.0	1.00	0.88	—	0.283 0	0.502 0
2.0	0.65	2.20	—	0.743 0	0.471 1
2.0	0.90	2.16	0.10	0.713 4	0.479 9
2.0	1.00	2.10	—	0.668 0	0.491 0
3.0	0.65	2.92	—	1.050 4	0.458 1
3.0	0.90	2.90	0.12	0.955 0	0.486 2
3.0	1.00	2.80	—	0.919 0	0.488 0

注: 流量是在工作压力为 10 m 水头下测得。

表 4 直径为 16 mm 的 PE 管在不同壁厚下的不同水力性能

额定流量/ (L · h ⁻¹)	壁厚/mm	流量/ (L · h ⁻¹)	流量变化值/ (L · h ⁻¹)	流量系数 <i>k</i>	流态指数 <i>x</i>
1.0	0.65	1.22	0.24	0.3936	0.491 1
1.0	0.90	1.06	0.24	0.351 1	0.482 4
1.0	1.00	1.01	0.24	0.329 6	0.484 1
1.0	1.10	0.98	0.24	0.318 0	0.492 0
1.6	0.65	1.90	0.28	0.638 2	0.473 7
1.6	0.90	1.70	0.28	0.569 6	0.494 4
1.6	1.00	1.60	0.28	0.519 9	0.489 0
1.6	1.10	1.52	0.28	0.498 2	0.483 8
2.0	0.65	2.29	0.29	0.728 1	0.494 4
2.0	0.90	2.19	0.29	0.678 2	0.509 8
2.0	1.00	2.06	0.29	0.672 5	0.486 4
2.0	1.10	2.00	0.29	0.695 0	0.461 1
4.0	0.65	4.39	0.61	1.428 9	0.488 0
4.0	0.90	4.11	0.61	1.299 0	0.499 0
4.0	1.00	3.92	0.61	1.282 1	0.484 0
4.0	1.10	3.78	0.61	1.304 0	0.462 3

注: 流量是在工作压力为 10 m 水头下测得。

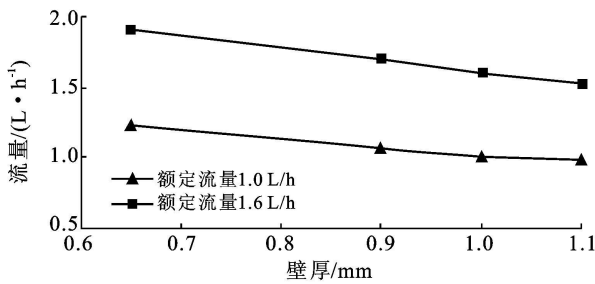


图 3 公称直径为 16 mm, 额定流量为 1.0, 1.6 L/h 的灌水器在不同壁厚下流量变化曲线

2.2 壁厚对流量影响的因素

灌水器是被 PE 管完全包裹在里面, 以公称直径为 16 mm, 公称流量为 2.0 L/h 的灌水器为例(如表 5 所示), 使用 PE 管厚度为 0.65 和 0.9 mm, 对比实际测量尺寸和理论尺寸。尽管在 PE 管管径变大的过程中, 壁厚会相应的变薄, 外径分别减小了 0.10 和 0.12 mm。

如果认为 PE 材料在壁厚变化过程中是不可压缩的, 或者压缩的量很小的话, 那么可以认为这个产生差距的原因在于, 多余的 PE 材料占据了流道的空

间, 即流道的深度变浅, 或者简单地认为, 流道深度分别减少了 0.10 和 0.12 mm, 从而使流量下降。同时, 国内外专家学者的研究结果如王建东等^[9]、张俊等^[8]对齿形流道结构的研究和李云开等^[10]对灌水器平面模型和分形流道的研究以及魏青松等^[11]对绕流形流道的研究认为, 流道的长度、宽度和深度对流态指数影响很小, 而主要影响的是流量系数。在李光永等^[12]的研究中, 甚至认为流道深度比其它因素更加影响灌水器的出流量。对比表 3 和表 4, 流量及流量系数变化比较大, 而流态指数变化率较小, 基本上是在一个区间段内变化。公称直径为 16 mm 的灌水器其表现很明显, 流量系数的数值变化是在小数点后的十分位上, 而流态指数的变化在小数点后的百分位上, 是不同数量级的变化。对于流态系数的变化, 由于测量、观测以及计算精度的采用等都有可能造成这样大的数据差别, 所以基本上可以认为流态指数的变化很小, 或者基本保持不变, 即 PE 管壁厚的变化主要是引起流量系数的变化而导致流量产生了变化, 对流态指数不影响。

表 5 公称直径为 16 mm, 公称流量为 2.0 L/h 的灌水器两种厚度下的外径对比

壁厚/ mm	灌水器外径/ mm	PE 管内径/ mm	灌水器长度/ mm	包裹灌水器 PE 材料体积/m ³	包裹在灌水器外 理论直径/mm	实际叠加 直径/mm	理论直径与实际 直径差距/m
0.65	16	13.80	39.80	1 173.80	17.13	17.03	0.10
0.90	16	13.80	39.80	1 653.38	17.58	17.46	0.12

公称直径为 12 mm 的灌水器, 其平均流道宽度是 0.75 mm, 而公称直径为 16 mm 的灌水器其平均

流道宽度是 0.97 mm, 即 16 mm 的灌水器平均比 12 mm 的灌水器要宽 0.22 mm。对应到流量影响程度,

公称直径为 16 mm 的灌水器出流平均影响率为 16.1%，公称直径为 12 mm 的平均影响率为 6.57%，不同壁厚的影响出流率差距达到 10%。根据表 1, 3, 4 可知, 对于公称直径为 12 mm 的灌水器, 流道宽度较小, 额定流量小, 不同壁厚的 PE 管包裹时流量变化也比较小; 对于公称直径为 16 mm 的灌水器, 当流道宽度增大, 对应的额定流量也是增大, 流道宽度的增加意味着 PE 材料更加容易嵌入到流道内, 占用更大的流道空间, 从而对灌水器流量减小造成更大的影响。

造成这个结果的主要原因有: (1) 流道宽时, PE 管材料能更容易嵌入流道; (2) 在滴灌管加工过程中, 滴头嵌入 PE 管内时, PE 管是热的, 而滴头是冷的, 这样 PE 材料容易占有流道的深度, 造成流道深度变浅, 从而更加影响灌水器的出流量, 而流道宽比较小时, PE 管材料嵌入得较少, 相对的影响出流程度就会小些。

2.3 制造偏差的影响

在制造过程中, 由于各种偶然因素, 会制造出尺寸大小、结构形状不尽相同的灌水器。尽管出现的尺寸、形状和表面光洁度偏差的绝对量应该很小, 但是代表的偏差百分数却比较大, 也导致同一批灌水器在同一压力下的流量也不相同。在灌溉业界, 一般采用 25 个灌水器在同一压力下进行流量测定, 然后统计出流量的偏差系数, 被称之为灌水器制造偏差, 可用下式计算:

$$C_m = \frac{1}{q} \sqrt{\frac{\sum(q_i - q)^2}{N-1}} \quad (2)$$

式中: C_m ——制造偏差系数; q ——所测试的同型号灌水器在同一压力下的平均流量(L/h); N ——测试灌水器数; q_i ——每个灌水器流量(L/h)。

对公称直径为 16 mm, 壁厚为 0.65 mm, 公称流量为 2 L/h, 工作压力为 10 m 水头的灌水器制造偏差进行了测试, 此灌水器的平均流量为 2.29 L/h, 制造偏差系数为 0.000 801, 这个偏差是非常小。在对流量压力曲线测试中采用的 4 个流量分别为 2.23, 2.28, 2.29 和 2.35 L/h, 平均值为 2.287 5 L/h, 与灌水器的平均流量非常接近, 其差距只有 0.002 5 L/h, 这说明制造偏差对在不同壁厚下流量变化可以忽略不计。

3 结论

本文就以色列某公司生产的 7 种圆柱灌水器在 4 种不同壁厚下的水力性能进行了研究, 可以得出如下

结论。(1) 不同的 PE 管壁厚对同一灌水器的流量系数影响较大, 在测试的 25 种产品中, 影响最大出流率达到 20%。(2) 流道的深度在影响灌水器出流上有较大影响, 深度越小, 流量越小; 但对流态指数影响比较小。(3) 制造偏差在不同壁厚对灌水器出流上的影响非常小。(4) 在设计圆柱形灌水器流道时, 应当考虑由于不同壁厚对滴头流量的影响。

当设计流量较小, 流道宽度也比较小时, 壁厚对流量的影响较小; 当流道宽度比较大, 达到 1 mm 左右时, PE 管材料对流量的影响较大, 可以适当地增加流道的深度来弥补由于 PE 管材料占据流道的空间, 减少 PE 管壁对流量的影响。

[参 考 文 献]

- [1] 李云开, 杨培岭, 任树梅, 等. 圆柱型迷宫式流道滴灌灌水器平面模型实验研究[J]. 农业机械学报, 2006, 37(4): 48-51.
- [2] 水利部国际合作司水利部农村水利司. 美国国家灌溉工程手册[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998: 8-37.
- [3] 陈学敏. 微灌系统的规划设计(下)[J]. 喷灌技术, 1989(1): 44-51.
- [4] 陈渠昌, 郑耀泉. 灌水器局部损失水头的估算[J]. 内蒙古水利, 1994(4): 52-54.
- [5] 王建东, 李光永, 邱象玉, 等. 流道结构形式对滴头水力性能影响的试验研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(S): 100-103.
- [6] 国家技术监督局. 农业灌溉设备: 滴头—技术规范 and 实验方法[M]. 北京: 中国标准出版社, 1997: 7-16.
- [7] 中华人民共和国水利部. 中华人民共和国行业标准: 微灌灌水器[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1994: 15-42.
- [8] 张俊, 魏公际, 赵万华. 灌水器内圆弧形流道的液固两相流场分析[J]. 中国机械工程, 2007, 18(5): 588-593.
- [9] 王建东. 滴头水力性能与抗堵塞性能试验研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [10] 李云开, 杨培岭, 任树梅, 等. 形流道设计及几何参数对滴头水力性能的影响[J]. 农业机械学报, 2007, 43(7): 109-114.
- [11] 魏青松, 史玉升, 芦刚, 等. 内镶式滴灌带绕流流道水力性能研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(10): 83-87.
- [12] Li G Y, Wang J D, Alam M, et al. Influence of geometrical parameters of labyrinth flow path of drip emitters on hydraulic and anti-clogging performance[J]. ASABE paper, 2006, 49(3): 637-643.