

改性聚乙烯软管沿程水头损失的试验研究

林性粹 樊志升

(西北农业大学水利与建筑工程系, 陕西杨陵·712100)

摘 要 试验表明,薄塑软管中的水流流态属光滑管紊流,它与一般塑料硬管在输水性能上的差别是:水流断面可随工作压力变化,因此其沿程水头损失和沿程阻力系数不仅取决于雷诺数,与其流量和直径有关,同时还受管首工作压力的影响。分析提出了薄塑软管断面呈全圆形时,管首工作压力一定和变动下的沿程水头损失及沿程阻力系数的经验公式。经验证,符合应用要求。

关键词 低压管灌系统,薄塑软管,光滑管紊流,沿程水头损失,沿程阻力系数

中图分类号 S274.2, TV134.1, TV131.22

近年来,我国北方井灌区大都采用全移动式低压管灌系统,其中所使用的软管主要有各种塑料软管、涂塑布管、尼龙绸布管、锦纶管、橡胶管和帆布管等,而以改性聚乙烯塑料软管(简称薄塑软管)应用最普遍^[1,2]。

由于薄塑软管壁薄、质软并具有一定的弹性,它的水流断面可随充水压力变化,所以其输水性能与一般硬质圆管有差别。为此必须通过试验,以分析研究薄塑软管的沿程水头损失及沿程阻力系数与流量、直径、工作压力等因素间的关系,为低压管灌系统的规划设计和薄塑软管的水力计算提供可靠的科学依据。

1 试验材料、方法及原理

试验管材采用青岛市塑料七厂生产的薄塑软管,直径规格选用 $\varnothing 102$ mm、 $\varnothing 191$ mm 和 $\varnothing 261$ mm 3种,其折径 $\times$ 壁厚相应为 160 mm $\times$ 0.4 mm。试验管长 65 m。

试验在西北农大灌溉试验站内进行。试验装置如图1所示。使用6B20型离心泵供水。在试验薄塑软管首部安装0.4级标准压力表,以监测供水压力。采用比压计直接测读薄塑软管首尾两断面间的压力差,对于 $\varnothing 102$ mm管,其压差大,使用水银比压计;其他两种直径管,压差较小,则用空气比压计测读。采用安装在量水箱槽内的直角三角形量水堰测定通过试验管段内的

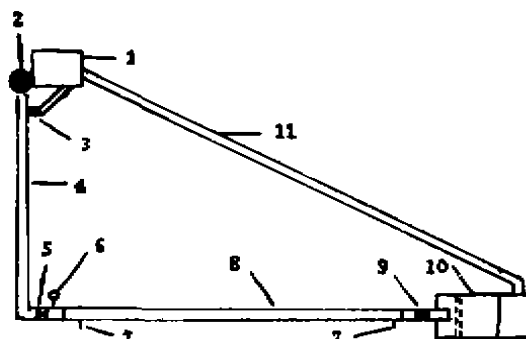


图1 试验系统平面布置图

1. 蓄水池; 2. 水泵; 3. 水阀; 4. 输水钢管;
5. 调节阀; 6. 压力表; 7. 比压计测压孔;
8. 试验薄塑软管; 9. 泄水阀; 10. 量水槽; 11. 退水槽

收稿日期:1992-02-16.

流量。用分水阀、调节阀及泄水阀控制和改变试验软管内的流量与水压。

处理采用单因子定压和变压两种对比试验。定压试验是在测试期间保持试验薄塑软管管首端的工作水压始终不变。变压则是在管首工作水压变动下进行的试验。

依水力学原理知,有压管流流态用雷诺数公式判别^{3,4},即: $Re = \frac{vd}{\gamma}$ (1)

式中: Re 为雷诺数; v 为管内流速, m/s ; d 为圆管内平均直径, m ; γ 为水的运动粘滞系数, m^2/s , 随水温而变, 本试验期间, 水温变化在 $20 \sim 23^\circ C$ 之间, 取水温 $23^\circ C$ 作为换算标准, 其 $\gamma = 0.96 \times 10^{-6} m^2/s$ 。一般塑料管内的水流流态均处于紊流区, 且多属光滑管紊流, 其雷诺数都大于下临界雷诺数(2320)。

水力学已推得圆管沿程水头损失的一般表达式为 Dacy-Weisbach 公式^{3,4}, 即

$$h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} \quad (2)$$

式中 h_f 为沿程水头损失, m ; l 为测试管段长度, m ; d 为圆管内平均直径, m ;

g 为重力加速度, m/s^2 ; v 为管内断面平均流速, m/s ; λ 为沿程阻力系数, 无量纲。

据尼古拉兹的试验研究, 当水流呈光滑管紊流时, λ 主要取决于 Re , 而与相对粗糙度无关, 其一般表达式为

$$\lambda = K / Re^{0.25} \quad (3)$$

式中 K 为常数, $K = 0.3164$ 。

根据上述原理, 通过试验实测出压力差, 即可按下式计算求得试验薄塑软管的 h_f 值。

$$\text{对于水银比压计} \quad h_{f100} = \frac{100}{l} \times 12.6 \Delta h \quad (4)$$

$$\text{对于空气比压计} \quad h_{f100} = \frac{100}{l} \times \Delta h \quad (5)$$

式中 h_{f100} 为薄塑软管百米长的沿程水头损失, m ; Δh 为比压计两测压管的水压差, m ; l 为管长, m ; 本试验 $l = 65 m$ 。

同时, 通过实测, 得知 h_f 、 l 、 d 和 v 值后, 可由公式(2)求出 λ 值, 即

$$\lambda = \frac{2gdh_f}{lv^2} \quad (6)$$

式中符号意义同(2)式。

2 结果及分析

表 1 薄塑软管的 v_{min} 和 Re_{min} , 水温 $23^\circ C$

折径 (mm)	直径* (mm)	v_{min} (m/s)	Re (min)
160	102	0.245	26 031
300	191	0.143	28 451
410	261	0.179	48 666

* 为充水压力起始呈全圆形时的平均直径。

试验取得的大量实测数据均经过统计检验剔除了可疑值, 从而为分析研究提供了可靠资料。

2.1 流态判别

表 1 列出了 3 种直径薄塑软管的最小流速值 (v_{min}) 及最小雷诺数值 (Re_{min})。由表 1 可知, 3 种直径的 Re_{min} 均 > 2320 , 说明薄塑软管内的水流流态都处于光滑管紊流区。

2.2 h_{f100} 的回归分析

试验表明,薄塑软管输水的沿程水头损失除受直径、流量或流速、管长及沿程阻力系数等因素的影响外,还受管首工作压力变化的影响。

在管首工作压力为 0.017MPa (1.7 m) 的定压试验情况下 (此时薄塑软管水流断面已呈全圆形), 对所取得的 38 组实测数据进行回归分析, 得到薄塑软管的 h_{f100} 与 Q 和 d 的关系式为

$$h_{f100} = 0.0773Q^{1.652}d^{-5.0} \quad (7)$$

式中 Q 为流量, m^3/s ; 其余符号意义同 (2) 式; 复相关系数 $R=0.9986$ 。

(7) 式的关系曲线见图 2。(7) 式经方差分析 F 检验, $F_{计算}$ 值 6 454.47 大大超过 $F_{0.01}$ 值 5.27, 表明 h_{f100} 与 Q 和 d 相关极显著。3 种直径的薄塑软管, 在流速 0.5~1.3 m/s 间, 用 (7) 式计算的 h_{f100} 值与实测的 h_{f100} 值相比较, 相对误差都 $< \pm 4.0\%$ 。

在变压试验中, 管首工作压力变化范围取 (0.017~0.049MPa, 此时薄塑软管过水断面呈全圆形, 并随充水压力的增高而加大), 对实测的 57 组试验数据进行回归分析, 其 h_{f100} 与 Q 和 d 的关系式为

$$h_{f100} = 0.06Q^{1.42}d^{-4.66} \quad (8)$$

复相关系数 $R=0.9949$

式中符号意义同 (7) 式。方差分析表明, 相关关系很密切。

薄塑软管具有一定弹性。由实测资料分析知, 对于同种直径的薄塑软管, 其 h_{f100} 与流量和工作压力间关系的一般表达式为

$$h_{f100} = AQ^m P^n \quad (9)$$

本试验的关系式为 ($d=102\text{ mm}$)

$$h_{f100} = 7903Q^{1.632}P^{-0.26} \quad (10)$$

复相关系数 $R=0.9979$ 相关很显著。

式中 A 为系数; m 和 n 为指数; P 为管首工作压力, MPa 或 m; 其余符号意义同 (7) 式。

2.3 h_{f100} 经验公式的检验与比较

目前最常用于塑料硬管和半硬管水力计算中光滑管紊流区的经验公式主要有: 勃拉修斯公式、瓦特——克勒公式、舍维列夫公式、哈森——威廉斯公式及韦斯贝克公式等, 各公式均有其一定的雷诺数适用范围^[2,4,5]。

我国北方井灌区, 单井流量一般均在 50~150 m^3/h 间, 最大不超过 200 m^3/h 。作为田间移动灌水管的薄塑软管, 据各地实践经验, 其适宜流速为 0.5~0.8 m/s, 最大

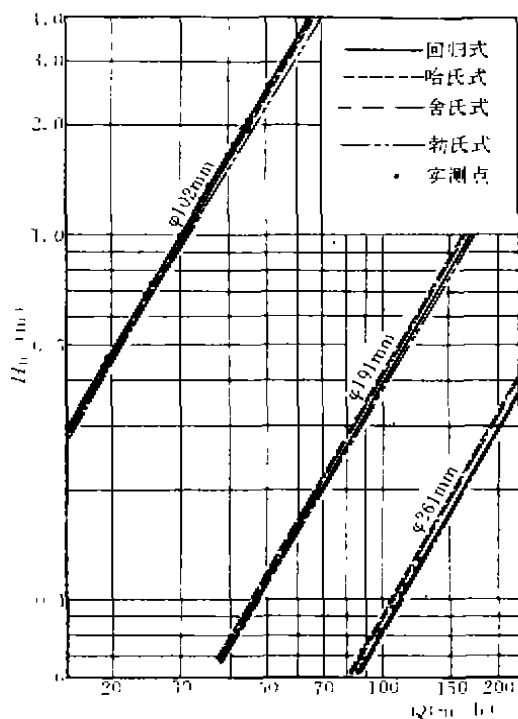


图2 薄塑软管 h_{f100} 与 Q 和 d 的关系曲线 ($P=0.017\text{MPa}$)

到 $1.3\text{m/s}^{[1,2,5]}$ 。依此范围,将本文(7)式与勃氏、舍氏和哈氏三经验公式进行比较(见表 2 和图 3),结果表明(7)式计算的 h_{f100} 具有较高精度,可应用于薄塑软管的水力计算中。

表 2 (7)式与其它公式计算 h_{f100} 值的比较

直径 (mm)	流量 (m^3/h)	流速 (m/s)	相对误差(%)		
			(7)式与哈氏	(7)式与舍氏	(7)式与勃氏
102	15~35	0.51~1.19	$<\pm 5.0$	$<\pm 5.0$	$<\pm 9.0$
191	45~110	0.44~1.07	$<\pm 4.0$	$<\pm 8.0$	$<\pm 3.0$
261	110~200	0.57~1.04	$<\pm 8.0$	$<\pm 8.0$	$<\pm 3.0$

公式形式:

哈氏, $h_f = 1.13 \times 10^8 d^{-4.871} (Q/C)^{1.832}$

舍氏, $h_f = 8.93 \times 10^4 Q^{1.77} d^{-4.77}$

勃氏, $h_f = 8.4 \times 10^4 Q^{1.75} d^{-4.75}$

式中 Q 为流量, m^3/h ; d 为直径, mm ; $c = 150$; l 为管长, m 。

2.4 薄塑软管的 λ 值

平常,薄塑软管不充水使用时,其外形呈扁平状,可折叠或缠卷。若用于输水、灌水,据观察,当充水压力 $< 0.01\text{MPa}$ 时,其水流断面呈扁椭圆形;充水压力 $> 0.01\text{MPa}$,达 0.017MPa 时,薄塑软管断面才完全呈全圆形;若压力继续增高,其断面仍会涨大。

对 $\varnothing 102\text{mm}$ 和 $\varnothing 261\text{mm}$ 两种直径的薄塑软管,当水流断面呈全圆形时,实测了管首不同工作压力下的 Q 和 h_f 值,并代入(6)式求得 λ 值(见表 3)。由表 3 可看出,薄塑软管的沿程阻力系数不同于塑料硬管,其不是常数,而是一个变数;它不仅取决于雷诺数,而且还随管首工作压力和圆管平均直径变化。

试验还发现,当管首工作压力一定时(本试验为 0.017MPa ,此时断面呈全圆形),依实测数据进行回归分析,得到下述关系式

当 $Re < 1.3 \times 10^5$ 时

$$\lambda = 1.14 Re^{-0.37} d^{-0.094} \quad (11)$$

当 $Re \geq 1.3 \times 10^5$ 时

$$\lambda = 0.0121 d^{-0.177} \quad (12)$$

式中符号意义同(6)式。

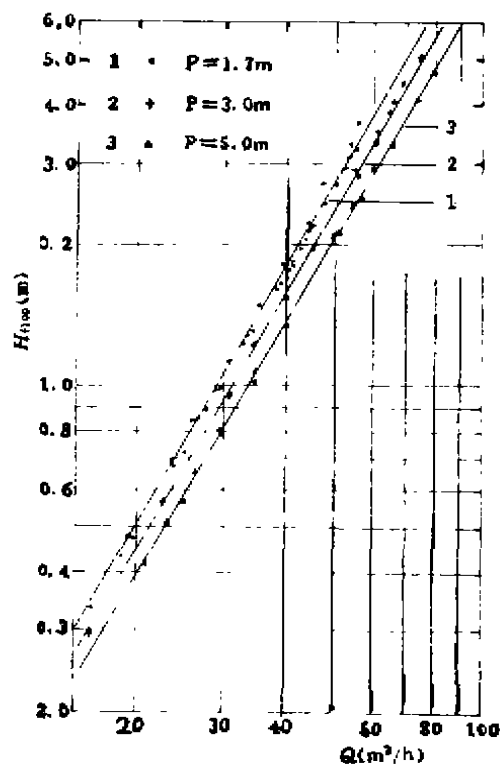


图 3 薄塑软管 h_{f100} 与 Q 和 P 的关系曲线($d = 102\text{mm}$)

表3 薄塑软管的沿程阻力系数 λ 平均值

项 目	$P(\text{m})$ ($d=102\text{mm}$)					$P(\text{m})$ ($d=261\text{mm}$)		
	1.0	1.7	3.0	5.0	变 压 (0.0098~0.049MPa)	1.7	2.0	变 压 (0.0098~0.049MPa)
测点个数	22	19	24	27	19	19	10	20
λ 平均值	0.0228	0.0188	0.0173	0.0151	0.0175	0.0171	0.0164	0.0185

表4为 $\Phi 102\text{ mm}$ 和 $\Phi 261\text{ mm}$ 两种直径薄塑软管,管首工作压力 0.017 MPa 时,实测的与(11)、(12)式计算的沿程阻力系数的比较。由表4可知,沿程阻力系数的计算值与实测值基本吻合。在 $Re < 1.3 \times 10^5$ 时, $\Phi 102\text{ mm}$ 的 λ ,实测值与计算值的相对误差都 $< \pm 5.0\%$;对 $\Phi 261\text{ mm}$ 的 λ ,相对误差多数 $< \pm 3.0\%$,仅有个别点,因流速过小,使相对误差达到了 15% 。在 $Re \geq 1.3 \times 10^5$ 时,两种直径的 λ ,计算值与实测值的相对误差均 $< \pm 2.0\%$ 。

表4 沿程阻力系数测算结果比较(管首工作压力 0.017 MPa)

流 量 (m^3/h)	管 径 (m)	100m 沿程 水头损失 (m)	流 速 (m/s)	雷 诺 数 Re	沿程阻力系数 λ		相对误差 (%)
					实测值	计算值	
$Re < 1.3 \times 10^5$							
23.76	0.102	0.677	0.808	85,850	0.020 7	0.021 1	+1.9
25.20	0.102	0.726	0.857	91,056	0.019 8	0.020 6	+4.0
29.52	0.102	0.992	1.004	106,675	0.019 6	0.019 5	-0.5
28.08	0.102	0.895	0.955	101,469	0.019 6	0.019 8	+1.0
33.48	0.102	1.258	1.138	120,913	0.019 3	0.018 6	-3.6
35.64	0.102	1.355	1.212	128,775	0.018 4	0.018 1	-1.6
37.08	0.261	0.017	0.193	52,472	0.023 3	0.023 1	-0.9
45.36	0.261	0.021	0.236	64,164	0.019 3	0.021 5	+11.4
53.64	0.261	0.036	0.278	75,581	0.023 8	0.020 2	-15.1
68.76	0.261	0.047	0.357	97,059	0.018 9	0.018 4	-2.6
75.24	0.261	0.052	0.391	106,303	0.017 4	0.017 8	+2.3
86.76	0.261	0.065	0.450	122,344	0.016 4	0.016 8	+2.4
86.76	0.261	0.066	0.450	122,344	0.016 7	0.016 8	+0.6
$Re \geq 1.3 \times 10^5$							
38.88	0.102	1.573	1.322	140,463	0.018 0	0.018 1	+0.6
39.24	0.102	1.621	1.334	141,738	0.018 2	0.018 1	-0.6
40.68	0.102	1.742	1.383	146,944	0.018 2	0.018 1	-0.6
41.76	0.102	1.839	1.420	150,875	0.018 2	0.018 1	-0.6
43.56	0.102	1.984	1.481	157,356	0.018 0	0.018 1	+0.6
44.28	0.102	2.056	1.505	159,906	0.018 1	0.018 1	0
46.80	0.102	2.322	1.591	169,044	0.018 3	0.018 1	-1.1
50.76	0.102	2.661	1.726	183,388	0.017 9	0.018 1	+1.1
53.28	0.102	2.927	1.811	192,419	0.017 8	0.018 1	+1.6
55.44	0.102	3.193	1.885	200,281	0.018 0	0.018 1	+0.6
97.92	0.261	0.076	0.508	138,113	0.015 1	0.015 3	+1.3
99.00	0.261	0.078	0.514	139,774	0.015 1	0.015 3	+1.3
105.48	0.261	0.090	0.548	148,988	0.015 3	0.015 3	0
108.72	0.261	0.095	0.564	153,338	0.015 3	0.015 3	0
113.76	0.261	0.107	0.591	160,678	0.015 7	0.015 3	-2.5
120.24	0.261	0.119	0.624	169,650	0.015 6	0.015 3	-1.9
123.12	0.261	0.123	0.639	173,728	0.015 4	0.015 3	-0.7

3 结 论

(1) 薄塑软管中的水流属光滑管紊流。

(2) 薄塑软管壁薄, 质软, 且具有一定弹性。它与一般塑料硬管在输水性能上的区别是, 水流断面可随工作压力变化。因此其 h_f 和 λ 不仅取决于 Re , 还与 Q 和 d 有关, 而且受 P 的影响。

(3) 管首工作压力一定时, $h_{f100} = 0.0773Q^{1.852}d^{-5.6}$; 管首工作压力变动时, $h_{f100} = 0.06Q^{1.62}d^{-4.46}$; 同种管径 ($d=102$ mm) 时, $h_{f100} = 7903Q^{1.632}P^{-0.26}$ 。

(4) 回归公式经方差分析, 相关性很显著; 回归计算值与实测值相当吻合; 与已有经验公式比较, 相对误差较小。回归公式具有较高精度, 可应用于实际低压管灌系统水力计算中。

参 考 文 献

- 1 林性粹. 我国干旱半干旱地区低压管道灌溉技术的探讨. 干旱地区农业研究, 1988(1), 20~26
- 2 水利部科技教育司. 低压管道输水灌溉技术. 北京, 水利电力出版社, 1991
- 3 成都科技大学水力学教研室. 水力学. 北京, 人民教育出版社, 1979
- 4 傅琳. 微灌工程技术指南. 北京, 水利电力出版社, 1988
- 5 山东省水利厅科教处. 低压管道灌溉. 济南, 山东科技出版社, 1979

Experiments of Frictional Head Loss for Polyvinyl Plastic Hose Changed in Nature

Lin Xincui Fan Zhisheng

(Department of Hydraulic and Construction Engineering,
Northwestern Agricultural University Yangling, Shaanxi, 712100)

Abstract Experiments indicate that the flow state in polyvinyl plastic hose belongs to the turbulent flow in the smooth tube, whose differences from the general plastic rigid hose in water delivery capability are that the cross section of water flow changes with the service pressure. Therefore, the frictional head loss and frictional resistant coefficients not only depend on Reynold's numbers but also relate to discharge and diameter, being affected by pipe service pressure. It is suggested through analysis that when the cross section of plastic hose appears to be circular in shape, empirical equations of frictional head loss and frictional resistant coefficient are established. Through the tests, these equations can well meet the requirements of practical application.

Key words irrigation system with low pressure, thin plastic hose, turbulent flow in the smooth tube, frictional head loss, frictional resistant coefficient