

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2019.06.041

不同流速对UPVC输水管道沿程损失影响的试验研究

张守军

(彭阳县水务局,宁夏彭阳756500)

摘要: 为了更合理的计算管道输水的沿程损失,采用室内模拟试验的方法,确定流速与沿程损失之间的关系,并对常用经验公式的主要参数进行修正。试验结果表明:UPVC输水管道沿程水头损失随着管道流速的增大而增加,两者之间有较好的幂函数关系;常用经验公式中,谢才公式、达西-魏斯巴哈公式和《规范》公式的系数,即曼宁糙率系数、沿程阻力系数和摩擦系数均随着管道流速的增大先迅速降低,流速大于1.040 m/s后,变化较小,趋于稳定,各系数与流速之间呈幂函数关系;海曾-威廉公式系数变化趋势相反,系数与流速之间具有较好的对数函数关系。采用修正后的经验公式计算值与实测值接近,相关系数均达到0.997以上。因此,通过修正后的经验公式可提高计算精度,满足计算需求。

关键词: UPVC输水管道;流速;沿程水头损失;沿程阻力系数;经验公式

中图分类号:TV93

文献标识码:A

文章编号:1672-1144(2019)06-0231-05

Experimental Study on the Effects of Water Velocity on Frictional Head Loss of UPVC Pipeline

ZHANG Shoujun

(Pengyang County Water Authority, Pengyang, Ningxia 756500, China)

Abstract: In order to calculate the accurate frictional head loss of the pressurized water transported by PVC pipeline, laboratory simulation tests were carried out to determine the relationship between the water flow velocity and the frictional head loss, and to correct friction factors of the experimental formulas frequently used. The results showed that, the frictional head loss increased with water flow velocity, and there was a good power function relationship between them; among the empirical formulas frequently used, Chezy formula, Darcy-Weisbach equation, and the empirical formula recommended in "Technical specification for irrigation projects with low pressure pipe conveyance", their friction factors, Manning roughness factor, friction factors of head loss, and coefficient of friction resistance, decreased quickly first, and then decreased slowly when water flow velocity is larger than 1.040 m/s. Finally, they tended to be a constant value. There were good power function relationships between the friction factors and the water flow velocity. On the contrary, the factor of Hazen-William formula increased with water flow velocity and had a good logarithmic function relationship between them. The values calculated by the revised formulations were approximately equal to the values measured, and their correlation coefficients were larger than 0.997. Therefore, the calculation accuracy could be promoted by the revised formulations, and the results would meet the requirements.

Keywords: pipe irrigation; water flow velocity; frictional head loss; friction factor of head loss; empirical formula

输水管道沿程损失的计算是确定工程水泵选型和管道尺寸的依据,因此,计算结果的准确性直接影响到工程的合理性和经济性^[1-4]。国内外大量学者

对管道水力特性进行了研究,并提出了多种管道沿程损失计算经验公式,为管道设计推广应用奠定了基础。目前采用较多的有谢才公式^[5]、达西-魏斯

收稿日期:2019-08-14

修稿日期:2019-09-20

基金项目:国家科技支撑计划子课题“规模化灌溉管网优化设计及安全调控技术”(2015BAD24B02-01)

作者简介:张守军(1969—),男,宁夏彭阳人,高级工程师,主要从事水利规划和设计工作。E-mail: 2747915633@qq.com

巴赫公式^[6]、海曾-威廉公式^[7]等,《管道输水灌溉工程技术规范》^[8](GB/T 20203—2017)推荐的经验公式是管道输水灌溉设计中使用最为普遍的公式。在水力计算过程中,应根据不同的水流流态采用与之适应的计算公式,并选取对应的水力计算参数,使水力计算成果准确可靠^[9-10]。如常胜等^[11]修正了海曾-威廉公式的参数,提高了公式的合理性;郑爽英等^[12-13]提出了优选 UPVC 管道沿程阻力计算公式的方法,并对海曾-威廉公式中系数 C 值进行校正;王宝宗等^[14]以海曾-威廉公式与达西公式分别对不同管径及不同流速情况下 PVC-U 管道输水的沿程水头损失进行了计算,并得出不同管径及不同流速条件下的适宜的沿程水头损失计算公式。为了简化计算,现有水力计算参数多为根据流态或材质确定的定值,而在管道输水灌溉工程中,尽管管网中流态和材质保持不变,其流速可能随着支管分流而减小,采用同一参数将降低计算精度^[15-16]。因此,研究不同流速对管道沿程阻力损失的影响,合理确

定计算公式的参数具有一定的必要性,本试验将通过室内试验研究不同流速条件下 UPVC 输水管道的压力变化,探求流速与各阻力(糙率)系数的关系,从而为提高沿程损失计算精度提供参考。

1 试验材料与方法

1.1 试验装置

试验在北京市大兴区中国水利水电科学研究院大兴试验基地水力调控试验大厅进行,试验装置如图 1 所示,输水管道为 UPVC 管,采用钢制 7 m × 6 m × 13 m(长 × 宽 × 高)水箱供水,最大供水流量为 1.5 m³/s。出水经电磁流量计、蝶阀和两个 90°弯头后输送进入测试管道。管道首尾各设置 3 个距离相等的测压管,1 与 4 测压面之间的实际距离、2 与 5 测压面之间的实际距离、3 与 6 测压面之间的实际距离均相等,都为 18.585 m。试验 UPVC 管道外径为 0.11 m,内径为 0.101 m。

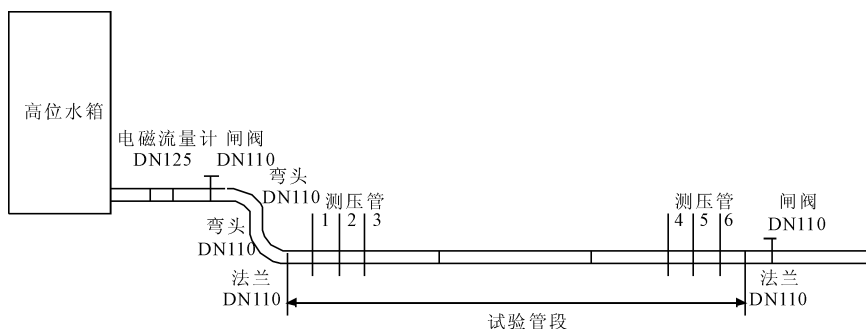


图 1 管道试验布置图

1.2 试验设计

试验通过调节水箱液面高度和蝶阀的开度控制管内过流流量,流量从 5 m³/h(流速为 0.173 m/s)开始,以 5 m³/h 为梯度,逐渐增加至 87 m³/h(流速为 3.016 m/s),待水流稳定后,读取各测压断面压力水头和流量 Q ,根据各断面间的水头损失 h_f 和断面间距 L 等研究不同流速对各经验公式中阻力/糙率系数的影响。

1.3 测定方法

流量采用电磁流量计(DN125,量程为 0.1 m/s ~ 15.0 m/s)测量。

水头差通过测压管测量,测压孔内径小于 2 mm;孔口垂直于边壁;测压管内径大于 10 mm,管径均匀;零点高程由水准仪校正。

用液温枪测量流入矩形堰的水温。

管径用游标卡尺测量,精度为 0.1 mm;管长用

钢直尺测量,量程 2 m,精度 0.1 mm。

2 试验结果与分析

2.1 沿程水头损失测定

不同流速条件下,管段沿程水头损失变化如图 2 所示,当管径不变时,随着管道流速的增大,沿程水头损失逐渐增加,流速从 0.173 m/s 增加到 3.016 m/s,沿程损失从 0.043 6 m 增加到 1.531 8 m,通过拟合分析,沿程损失(h_f)与流速(v)之间有较好的幂函数关系:

$$h_f = 0.3333v^{1.3028}, R^2 = 0.99 \quad (1)$$

沿程水头损失与流速的拟合公式和现有经验公式具有相同的形式,但谢才公式、达西-魏斯巴哈公式和海曾-威廉公式中流量的指数均为 2,规范^[8]中 UPVC 塑料管沿程损失计算经验公式中流量指数为 4.77。因此,现有经验公式沿程水头损失-流速

曲线与试验拟合曲线不相重合,即在某一流速区间内,经验公式计算精度较高,可用于沿程损失的近似计算,但在流速区间外,不能反映沿程损失的真实变化,且由于指数大于1,差异随着流速增加而增大。

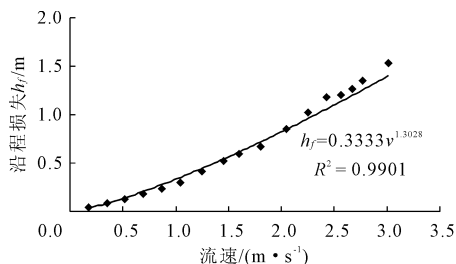


图2 试验实测流速与沿程损失关系

2.2 主要经验公式阻力系数与流速关系分析

公式(1)中的系数和指数是特定试验条件下的拟合值,即受管道长度、直径和材质等多因素影响,在现有经验公式中,系数是管长(L)、管径(D)及阻力系数的函数,指数为常数。其中管长、管径通过实测获得,影响计算精度的主要即阻力系数的取值,因此,探明流速-阻力系数的关系根据流速修正系数可提高经验公式的精度和适用性。

(1) 曼宁糙率系数

根据谢才公式,曼宁糙率系数 n 的计算公式为:

$$n = \frac{\sqrt[6]{R}}{C} = \frac{\sqrt[6]{R}}{\sqrt{\frac{v^2 \cdot L}{h_f \cdot R}}} = \sqrt[6]{0.25D} \sqrt{\frac{h_f \cdot D}{4v^2 \cdot L}} \quad (2)$$

式中: n 为曼宁糙率系数; C 为谢才系数; R 为过水断面水力半径,m,圆管流 $R = 0.25D$; h_f 为测量断面之间的水头差,m; D 为管道内径,m; L 为管段长度,m; v 为管道平均流速,m/s。根据试验结果,得到不同流速状态下 n 值,结果如图3所示。图3表明曼宁糙率系数随着流速的增加先迅速下降,随后持续缓慢减小,趋于稳定。流速从0.173 m/s增大到1.040 m/s, n 减小56.1%;流速1.040 m/s增大到3.016 m/s, n 减小23.1%;即使用谢才公式计算水头损失,小流速时 n 取常数将降低计算精度,当流速大于1.040 m/s时, n 可近似取值0.01。回归分析表明,曼宁糙率系数(n)与流速(v)之间具有幂指数函数关系: $n = 0.0115v^{-0.3486}$, $R^2 = 0.97$ 。

(2) 管道沿程阻力系数

依据达西-魏斯巴哈公式,管道沿程阻力系数 λ 的计算公式为:

$$\lambda = h_f \cdot \frac{D}{L} \cdot \frac{2g}{v^2} \quad (3)$$

式中: λ 为管道沿程水头损失系数; h_f 为测量断面之间的水头差,m; g 为重力加速度,m/s²;其他变量意义同前。根据试验结果,得到不同流速状态下 λ 值,结果如图4所示。

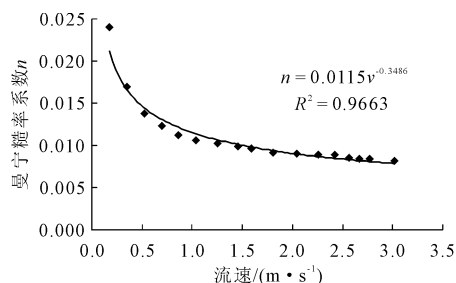


图3 水头损失系数与流速关系

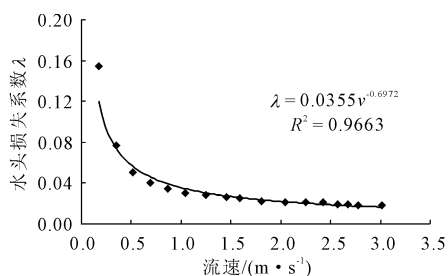


图4 水头损失系数与流速关系

图4中水头损失系数变化趋势与图2曼宁糙率系数变化一致,随着流速的增加先迅速下降,随后持续缓慢减小,趋于稳定。流速从0.173 m/s增大到1.040 m/s, λ 减小80.7%;流速1.040 m/s增大到3.016 m/s, λ 减小42.2%;即使用达西-魏斯巴哈公式计算水头损失,小流速时 λ 取常数将降低计算精度,当流速大于1.040 m/s时, λ 可近似取值0.022。回归分析表明,水头损失系数(λ)与流速(v)之间具有幂指数函数关系: $\lambda = 0.0355v^{-0.6972}$, $R^2 = 0.97$ 。

(3) 海曾-威廉系数

海曾-威廉公式适用于常温(水温15.5℃)下的清水输送管道,范围为光滑区至部分粗糙区,对应雷诺数 R_e 范围介于 $10^4 \sim 2 \times 10^6$,管内流速应小于3 m/s,管径大于0.05 m。其中,海曾-威廉系数 C_h 的计算公式为:

$$C_h = \frac{1.852 \sqrt{10.67 Q^{1.852} \cdot L}}{\sqrt{h_f \cdot D^{4.87}}} = \frac{1.852 \sqrt{10.67 \cdot (900 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot v)^{1.852} \cdot L}}{\sqrt{h_f \cdot D^{4.87}}} \quad (4)$$

式中: C_h 为海曾-威廉系数;其他变量意义同前。根据试验结果,得到不同流速状态下 C_h 值,结果如图5所示。从图5可以看出,海曾-威廉系数 C_h 随流速

的增大而增大,其中,流速小于 1.040 m/s 时, C_h 增幅较大,流速从 0.173 m/s 增大到 1.040 m/s, C_h 增大 60.2,增幅 110.6%;流速大于 1.040 m/s 时, C_h 增幅较小并趋于稳定,流速从 1.040 m/s 增大到 3.016 m/s, C_h 从 114.7 增加到 138.6, 均值 127.8, 增幅 20.6%。即使用海曾-威廉公式计算水头损失时,小流速时计算精度较小,当流速大于 3 m/s 时, C_h 可近似取值 127.8。回归分析表明,海曾-威廉系数 (C_h) 与流速 (v) 之间具有对数函数关系: $C_h = 28.537 \ln v + 108.5, R^2 = 0.9845$

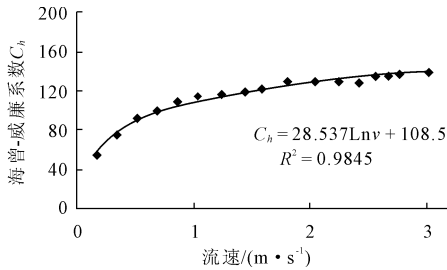


图 5 海曾-威廉系数与流速关系

(4) 规范^[8]经验公式

$$f = \frac{h_f D^{4.77}}{Q^{1.77} L} = \frac{h_f D^{4.77}}{(900 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot v)^{1.77} L} \quad (5)$$

式中, f 为管材摩擦系数;其他变量意义同前。根据试验结果,得到不同流速状态下 f 值,结果如图 6 所示。

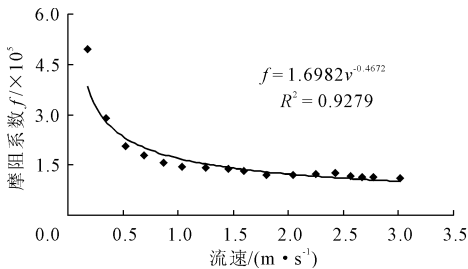


图 6 摩擦系数与流速关系

从图 6 可以看出,摩擦系数 f 随流速的增大而减小,其中,流速小于 1.040 m/s 时,减幅较大,流速从 0.173 m/s 增大到 1.040 m/s, f 减小 70.8%;流速大于 1.040 m/s 时, f 减小缓慢并趋于稳定,流速从 1.040 m/s 增大到 3.016 m/s, f 从 1.44×10^5 减小到 1.11×10^5 , 均值 1.25×10^5 , 减幅为 23.2%。即使用规范^[8]经验公式计算水头损失时,小流速时计算精度较差,当流速大于 1.040 m/s 时, f 可近似取值 1.25×10^5 。回归分析表明,水头损失系数 (f) 与流速 (v) 之间具有幂函数关系: $f = 1.6982v^{-0.4672}, R^2 = 0.93$ 。

2.3 管道输水沿程损失计算公式修正

根据对主要经验公式阻力系数的分析结果,将经验公式中的阻力系数用以流速为变量的函数表达,可得修正后的经验公式表达式分别为:

谢才公式:

$$h_f = \frac{n^2 v^2 \cdot L}{R^{4/3}} = (0.0115v^{-0.3486})^2 \frac{v^2 \cdot L}{(0.25D)^{4/3}} \quad (6)$$

达西-魏斯巴哈公式:

$$h_f = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0.0355v^{0.6972} \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (7)$$

海曾-威廉公式:

$$h_f = \frac{10.67 \cdot Q^{1.852} \cdot L}{C_h^{1.852} D^{4.87}} = \frac{10.67 \cdot (900 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot v)^{1.852} \cdot L}{(28.537 \ln v + 108.5)^{4.87} \cdot D^{4.87}} \quad (8)$$

规范^[8]经验公式:

$$h_f = f \frac{Q^{1.77} \cdot L}{D^{4.77}} = 1.6982v^{-0.4672} \frac{(900 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot v)^{1.77} \cdot L}{D^{4.77}} \quad (9)$$

将试验测得变量代入公式,各计算值与实测值如图 7 所示。

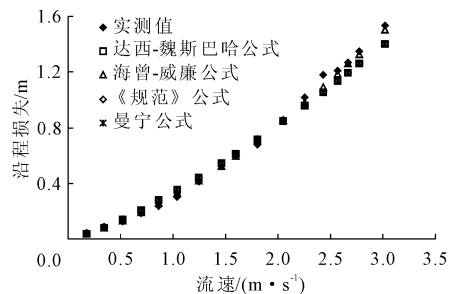


图 7 沿程损失实测值与修正经验公式计算值比较

图 7 表明修正后各经验公式的计算值与实测值相近,仅当流速大于 2.254 m/s 时,实测值高于计算值,但差值较小,小于 0.1 m。采用谢才公式、达西-魏斯巴哈公式、海曾-威廉公式和规范^[8]经验公式平均相对误差分别为 0.53%、-0.16%、0.51% 和 0.48%。根据成对样本统计分析,实测值与修正后的谢才公式、达西-魏斯巴哈公式、规范^[8]经验公式计算值相关系数均达到 0.997,与修正后的海曾-威廉公式计算值相关系数达到 0.999。即采用修正后的经验公式可得到较高的计算精度,符合实际。

3 结论

本文试验研究了不同流速条件下管道沿程损失

的变化特性,通过试验可得到以下结论:

(1) 管道沿程水头损失与管道流速之间有较好的幂函数关系。采用经验公式计算在某一流速范围内能够满足计算精度,当流速变幅较大时,经验公式计算精度下降。

(2) 常用经验公式中,谢才公式、达西-魏斯巴赫公式和规范^[8]公式的系数,即曼宁糙率系数、管道沿程损失系数和摩阻系数均随着管道流速的增大先迅速降低,流速大于 1.040 m/s 后,变化较小,趋于稳定,各系数与流速之间呈幂函数关系;海曾-威廉公式系数变化趋势相反,系数与流速之间具有较好的对数函数关系。

(3) 采用修正经验公式计算不同流速条件下的沿程损失,结果与实测值接近,相关系数达到 0.997 以上,即采用修正后的经验公式均可得到较高的计算精度,满足计算需求。

参考文献:

[1] 陈涌城,杜玉柱,耿安锋. 输配水管道沿程水头损失计算方法探讨[J]. 给水排水,2009,35(11):109-111.

[2] 龚懿婧,余小鹏,房凯,等. 宿迁市河网圩区农田管道输水灌溉系统适宜规模研究[J]. 水利与建筑工程学报,2019,17(4):249-253.

[3] 师志刚,刘群昌,白美健,等. 压力管道输水灌溉优化设计研究进展[J]. 水利与建筑工程学报,2017,15(1):1-7,38.

[4] 黄秋歌,周隰,孙昊,等. 基于动态规划法的宿迁地区灌溉管道经济流速研究[J]. 水利与建筑工程学报,2019,17(4):254-259.

[5] 常青,李江云,陈知超. 管道水力公式的选用对水泵选型的影响研究[J]. 中国农村水利水电,2014(3):172-175.

[6] 王雪原,黄慎勇,付忠志. 长距离输水管道水力计算公式的选用[J]. 给水排水,2006,32(10):32-35.

[7] 吴小刚,张土乔. 关于给水管网可靠性分析方法的综述[J]. 节水灌溉,2006(4):37-40.

[8] 管道输水灌溉工程技术规范:GB/T 20203—2017[S]. 北京:中国标准出版社,2017.

[9] 陈显忠. 关于塑料给水管道水力计算问题的探讨[J]. 中国农村水利水电,2004(12):60-61.

[10] 洪觉民. 中国城镇供水技术发展手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2006:5-100.

[11] 常胜,牧振伟,万连宾. 玻璃钢管沿程水头损失计算公式选用[J]. 南水北调与水利科技,2014(5):196-198.

[12] 郑爽英,莫璿涇,叶晖,等. 沿程水力计算公式在 UPVC 给水管道中的应用探讨[J]. 西南给排水,2014(6):16-19.

[13] 沈丹玉. 给水管网海曾威廉系数优化校正研究[D]. 沈阳:沈阳建筑大学,2018.

[14] 王宝宗,张刚,王春阳,等. 输水管道沿程水头损失计算公式的比较[C]//2011 年全国给水排水技术信息网年会暨技术交流会论文集,2011.

[15] 张土乔,许刚,吕谋,等. 给水管网管道摩阻校正方法研究[J]. 浙江大学学报(工学版),2006(7):1201-1205.

[16] 郑爽英,叶晖,周刚,等. 给水管网管段摩阻系数求解的反分析方法研究[J]. 中国农村水利水电,2015(7):89-93.

(上接第 209 页)

[7] 雷进生,刘非,王乾峰,等. 非均质土层的注浆扩散特性与加固力学行为研究[J]. 岩土工程学报,2015,37(12):2245-2253.

[8] 白云,侯学渊. 软土地基劈裂注浆加固的机理和应用[J]. 岩土工程学报,1991(2):89-93.

[9] 杨米加,陈明雄,贺永年. 注浆理论的研究现状及发展方向[J]. 岩石力学与工程学报,2001(6):839-841.

[10] 方晓博. 黄土劈裂注浆加固机理研究与工程应用[D]. 西安:西安建筑科技大学,2018:27-30.

[11] 高晓培. WSS 注浆预加固技术在黄土地铁隧道中的应用研究[D]. 西安:长安大学,2011:49-51.

[12] 刘丹. 西安地铁洞内 WSS 注浆加固区间联络通道[J]. 隧道建设,2012,32(S1):79-84.

[13] 孙志杰,袁杰,宿钟鸣,等. 富水黄土隧洞加固方式对其力学响应的影响[J]. 水利与建筑工程学报,2016,14(2):172-177.

[14] 邵标,尚艳亮,隆卫,等. 上软下硬大跨车站隧道施工方案研究[J]. 水利与建筑工程学报,2017,15(3):60-66.

[15] 凌同华,张胜,李升冉,等. 邻近隧道施工既有桥桩变形控制及注浆加固方案优化[J]. 中南大学学报(自然科学版),2014,45(7):2394-2400.

[16] 工程地质手册编委会. 工程地质手册[M]. 4 版. 北京:中国建筑工业出版社,2007:938-939.

[17] 砌筑砂浆配合比设计规程:JGJ/T 98—2010[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2010.