

输配水管道沿程水头损失计算方法探讨

[我要评论] [返回]

作者：陈涌城;
出自：中国土木工程学会水工业分会给水委员会第十次年会暨 2005 年中日水处理技术交流会
发表时间：2005-11-9

摘要：水力计算是输配水管道设计的核心，其实质就是在保证用户水量、水压安全的条件下，通过水力计算优化设计方案，选择合适的管材和确经济管径。输配水管道水力计算包含沿程水头损失和局部水头损失，而局部水头损失一般仅为沿程水头损失的 5~10%，因此本文主要研究、探讨管道沿程水头损失的计算方法。

输配水管道沿程水头损失计算方法探讨

陈涌城
天津市河西区气象台路 99 号 300074

输配水管道是城市供水系统的重要组成部分，它将直接把合格的水送到水厂和千家万户，完成供水工程的最终目标。输配水管道投资一般占供水系统资金的 70~80%，因此深入地研究输配水管道工程设计意义很大。

水力计算是输配水管道设计的核心，其实质就是在保证用户水量、水压安全的条件下，通过水力计算优化设计方案，选择合适的管材和确经济管径。输配水管道水力计算包含沿程水头损失和局部水头损失，而局部水头损失一般仅为沿程水头损失的 5~10%，因此本文主要研究、探讨管道沿程水头损失的计算方法。

1.1 管道常用沿程水头损失计算公式及适用条件

管道沿程水头损失是水流摩擦做功消耗的能量，不同的水流流态，遵循不同的规律，计算方法也不一样。输配水管道水流流态都处在紊流区，紊流区水流的阻力是水的粘滞力及水流速度与压强脉动的结果。紊流又根据阻力特征划分为水力光滑区、过渡区、粗糙区。管道沿程水头损失计算公式都有适用范围和条件，一般都以水流阻力特征区分。

水流阻力特征区的判别方法，工程设计宜采用 $Re \frac{\Delta}{d}$ 数值做为判别式，目前国内管道经常采用的沿程水头损失水力计算公式及相应的摩擦阻力系数，按照水流阻力特征区分如表 1。

沿程水头损失水力计算公式和摩擦系数 表 1

阻力特征区	适用条件	水力公式、摩擦系数	符号意义
水力光滑区	$Re \frac{\Delta}{d} > 10$	$h = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (\text{达西公式})$ $\lambda = \frac{0.3164}{d^{\frac{1}{4}}} \quad (\text{勃拉修斯公式})$	$Re = \frac{Rv}{\nu}$ 雷诺数 h: 管道沿程水头损失 v: 平均流速
紊流过渡区	$10 < Re \frac{\Delta}{d} < 500$	$h = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (\text{达西公式})$	

		$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\lg \left(\frac{2.5}{Re} \sqrt{\frac{\Delta}{d}} + \frac{\Delta}{3.7d} \right) \quad (\text{柯列布克公式})$ $i = \frac{10.67q^{1.852}}{C^2 R^{4.87}} \quad (\text{海曾-威廉公式})$ (2)	γ: 水的运动粘滞系数 λ: 沿程摩阻系数 Δ: 管道当量粗糙度 q: 管道流量
紊流粗糙区	$Re \frac{\Delta}{d} > 500$	$i = \frac{h}{l} = \frac{v^2}{C^2 R} \quad (\text{谢才公式})$ $C = \frac{1}{n} R^{4/3}$ $n = 0.014 + \frac{0.13}{Re^{0.125}} \quad (\text{巴甫洛夫公式})$ $i = \frac{1}{100} \frac{v^2}{C^2 R} \quad (\text{曼宁公式})$	Ch: 海曾-威廉系数 C: 谢才系数 R: 水力半径 n: 粗糙系数 i: 水力坡降 l: 管道计算长度

达西公式是管道沿程水力计算基本公式，是一个半理论半经验的计算通式，它适用于流态的不同区间，其中摩阻系数 λ 可采用柯列布鲁克公式计算，柯列布鲁克公式考虑的因素多，适用范围广泛，被认为紊流区 λ 的综合计算公式。利用达西公式和柯列布鲁克公式组合进行管道沿程水头损失计算精度高，但计算方法麻烦，习惯上多用在紊流的阻力过渡区。

海曾—威廉公式适用紊流过渡区，其中水头损失与流速的 1.852 次方成比例（过渡区水头损失 $h \propto V^{1.75 \sim 2.0}$ ）。该式计算方法简捷，在美国做为给水系统配水管道水力计算的标准式，在欧洲与日本广泛应用，近几年我国也普遍用做配水管网的水力计算。

谢才公式也应是管道沿程水头损失通式，且在我国应用时间久、范围广，积累了较多的工程资料。但由于谢才系数 C 采用巴甫洛夫公式或曼宁公式计算确定，而这两个公式只适用于紊流的阻力粗糙区，因此谢才公式也仅用在阻力粗糙区。

另外舍维列夫公式，前一段时期也广泛的用做给水管道水力计算，但该公式是由旧钢管和旧铸铁管管材试验资料确定的。而现在国内采用的金属管道已普遍采用水泥砂浆和涂料做内衬，条件已发生变化，因此舍维列夫公式也基本不再采用。

1.2 输配水管道沿程水头损计算的实用公式

输配水管道沿程水头计算时，先采用 $Re \frac{\Delta}{d}$ 判别水流的阻力特征用，再选择相应的公式计算，科学合理，但操作麻烦，特别在流速是待求的未知数时，需要采用试算的方法确定雷诺数（Re）很不方便。为了使输配水管道水力计算能满足工程设计的需要，又可以方便的选择计算公式和进行简捷的计算，根据多年来管道水力计算的经验，《室外给水设计规范》GBJ13-86 修编报批稿，依据管材的不同和流速的常用范围，确定输配水管道沿程水头损失计算公式如下：

- (1) 塑料管

$$h = 2 \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (\text{达西公式})$$
- (2) 混凝土管（渠）及采用水泥砂浆内衬的金属管道

$$i = \frac{h}{l} = \frac{v^2}{c^2 R} \quad (\text{谢才公式})$$

(3) 输配水管道、配水管网水力平差计算

$$i = \frac{10.67 q^{1.852}}{c_h^{1.852} d^{4.87}} \quad (\text{海曾-威廉公式})$$

2.1 管道摩阻系数的属性及应用条件

每个管道沿程水力计算公式都有相应的摩阻系数和确定方法，表达形式也不一样。摩阻系数是一个未知数，应由试验确定。但实际应用时，一般都依据不同的管材和其不同的内壁光滑程度，参考已有的资料，由设计人员计算时选择采用。该数值非常重要，但随意性很大，而且取值的结果直接影响水力计算成果的精度。因此了解和熟悉摩阻系数的属性，掌握取值的方法和技巧，也同样是做好管道沿程水力计算的关键。

(1) 当量粗糙度 Δ

当量粗糙度是自然（也有称工业）管道，根据水力试验的成果，运用达西公式和尼古拉兹公式计算出的理论值。每种管材都有一个确定的当量粗糙度，且不因流态不同而改变，在判别水流流态和选择其他计算公式参数时，经常用到当量粗糙度。

(2) 摩阻系数 λ

摩阻系数 λ 可应用在不同的阻力特征区，不同区间 λ 的数值不一样。在紊流的光滑区，λ 数值仅与雷诺数 (Re) 有关，且随雷诺数 (Re) 的增大而减小；在紊流过渡区，λ 与雷诺数 (Re) 和相对粗糙度 (Δ/d) 两个因素有关；在紊流粗糙区仅和相对粗糙度 (Δ/d) 有关，只要管材与管径确定（即相对粗糙度 Δ/d 确定），在该区 λ 数值应为定值。

(3) 粗糙系数 n

粗糙系数 n 是采用巴甫洛夫公式和曼宁公式计算谢才公式 C 时的参数，它适用于紊流的粗糙区，在该区可根据管材内壁光滑程度，选择相应的 n 值，但一般情况 n 的取值范围宜大于 0.010，否则计算成果误差较大。

(4) 海曾—威廉系数 Ch

海曾—威廉系数适用紊流过渡区，Ch 取值范围宜大于 120，否则计算成果误差较大。

2.2 相应的紊流阻力特征区内不同摩阻系数间的对应关系

(1)
$$\text{紊流过渡区 } C_h = \frac{13.792 d^{0.149}}{\lambda^{0.149} q^{0.149}}$$

(2) 紊流粗糙区
$$n = 0.011288 \sqrt{\lambda \left(\frac{d}{4}\right)^y}$$
 (其中 y 采用巴甫洛夫公式计算，若 y=1/6 即为曼宁公式，这时 $n = 0.08961 \sqrt{\lambda d^{0.1667}}$)

3.1 《室外给水设计规范》GBJ13-86 修编建议沿程水头损失摩阻系数 (Δ、n、Ch) 取值见表 2。

管道沿程水头损失 (n Ch Δ) 值 表 2

管道种类		n (粗糙系数)	Ch (海曾-威廉系数)	Δ (mm) (当量粗糙度)
钢管、铸铁管	水泥砂浆内衬	0.011~	120~130	

		0.012		
	涂料内衬	0.0105~ 0.0115	130~140	
	旧钢管、旧铸铁管(未 做内衬)	0.014~ 0.018		
混凝土管	预应力砼管 (PCP)	0.012~ 0.013	110~130	
	预应力钢筒砼管 (PCCP)	0.011~ 0.0125	120~140	
现浇矩形混凝土管 (渠) 道		0.012~ 0.014		
化学管材 (聚乙烯管、聚氯乙烯管、 玻璃钢夹砂管等), 内衬涂塑管			140~150	0.010~0.030

结论: 沿程水头损失计算是输配水管道设计的基础, 正确的选用计算公式和采用适宜的摩阻系数, 计算成果才能真实的反映管道的水力特性。为保证输配水管道工程设计质量, 提高工程的经济效益和规范水力计算方法, 《室外给水设计规范》GBJ13-86 修编报批稿规定了管道三种沿程水头损失计算公式及摩阻系数的取值范围, 供设计人员选用。