

# 管路突然扩大时局部水头损失的数值模拟

谢海英

(上海理工大学 环境与建筑学院, 上海 200093)

**摘要:** 选取了 Spalart – Allmaras 湍流模型, 对  $Re < 5500$  时管路中突然扩大的局部水头损失进行了数值模拟。计算结果表明: 模拟得到的测压管水头与试验值吻合较好, 用断面平均速度计算速度水头时, 若取动能修正系数为 1.0, 则会使局部水头损失的计算值较实际值偏小, 速度水头计算方法的影响远大于突然扩大管路的沿程损失对局部水头损失系数的影响。

**关键词:** 管路突然扩大; 局部水头损失; 数值模拟; 湍流模型

中图分类号: TV139.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2013)03-0152-02

## Numerical simulation of local head loss of sudden expansion in pipe

XIE Haiying

(School of Environment and Architecture, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** Using Spalart – Allmaras turbulence model, local head loss of sudden expansion in pipe was simulated when  $Re$  was less than 5500. The results showed that the simulated piezometric head agreed well with the test. The simulated coefficient of local head loss was lower than actual value when velocity head was calculated with the average velocity of pipe section and the kinetic energy revise factor was 1.0. The influence of kinetic energy computation method was greater than that of the friction head loss occurred at the sudden expansion pipe on local head loss.

**Key words:** sudden expansion of pipe; local head loss; numerical simulation; Spalart-Allmaras turbulence model

## 1 概述

在计算管路突然扩大局部水头损失时, 通常对上、下游断面建立连续性方程、动量方程和能量方程, 并忽略上、下游断面间的沿程水头损失, 得到局部水头损失系数  $\zeta_l = (1 - A_1/A_2)^2$ , 其中  $A_1$  和  $A_2$  是上、下游断面的面积, 再根据  $h_j = \zeta_l v_1^2 / (2g)$  计算局部水头损失  $h_j$ ,  $v_1$  是上游断面的平均速度<sup>[1]</sup>。赵宝峰等<sup>[2]</sup>利用测压管对突然扩大的局部水头损失进行了测量, 认为由于  $\zeta_l$  理论公式的推导中忽略了沿程损失, 因此  $\zeta_l$  较实际值偏大。

本文利用数值模拟的方法, 对文献[2]中突然扩大的局部水头损失进行模拟, 将计算值和试验值进行比较, 并对相应的水头值进行计算和分析。

## 2 模型描述

数值模拟突扩管水头损失的计算域和坐标系选取如图 1 所示, 管道水平放置, 突扩管前后管段的管径大小为  $d$  和  $D$ , 其中  $d = 4 \text{ mm}$ ,  $D = 10 \text{ mm}$ 。突扩前

断面的平均流速为  $v_1$ , 突扩后断面的平均流速为  $v_2$ 。为使突扩断面前后的流动充分发展, 按图 1 选取计算域的进、出口, 计算域进口按来流速度取为速度进口边界条件, 来流湍流强度  $I = 0.16(\rho v_1 d / \mu)^{-0.125}$ , 式中  $\rho$  为水流密度,  $\text{kg/m}^3$ ;  $\mu$  为流体的黏度,  $\text{Pa} \cdot \text{s}$ , 水流温度为  $7.5^\circ\text{C}$ , 计算域出口取为出流条件, 管道壁面的当量粗糙度为  $0.01 \text{ mm}$ 。数值模拟的控制方程为连续性方程、动量方程和湍流模型方程, 壁面附近采用壁面函数法处理。

文献[3]就 5 种湍流模型对管道沿程损失的预测能力进行了比较, 结果表明 Spalart – Allmaras 湍流模型的预测能力最好, 因此本文选用 Spalart – Allmaras 模型, 进一步考察其在管道局部损失上的预测能力。

区域离散为三维六面体非结构化网格, 距离壁面最近的网格大小约为  $0.3 \text{ mm}$ , 采用有限体积法离散方程, 对流项选用 QUICK 格式, 速度与压力的耦合采用 SIMPLE 算法。

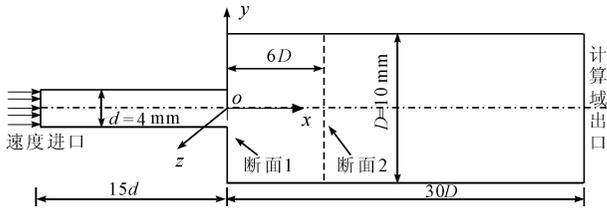


图1 突扩管计算域设置

### 3 计算结果与分析

定义  $Re = \rho v_2 D / \mu$ , 图2是  $Re = 4369$  时突扩管附近的流场图, 由图可知, 在管径突扩后, 主流与边壁脱离, 并在边壁附近形成漩涡区, 漩涡区的影响大约在6倍管径后基本消除, 文献在  $x = 0$  (命名为断面1) 和  $x = 6D$  (命名为断面2) 处的管壁上安装测压管, 分别测量上述两个断面处的测压管水头  $H_{p,1}$  和  $H_{p,2}$ 。

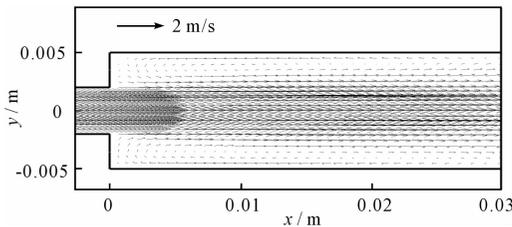


图2 突扩管附近的流场图

图3是测压管水头的模拟值和试验值比较, 由图可知, 断面1、2间测压管水头差的模拟值和试验值吻合较好, 说明 Spalart - Allmaras 湍流模型能够对突扩的局部水头损失进行有效模拟。

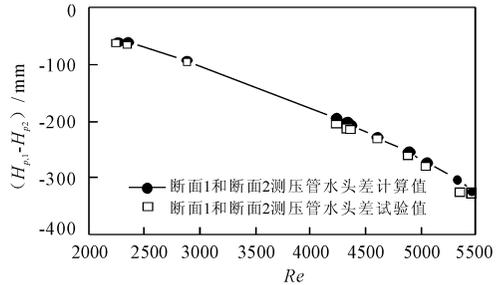


图3 断面1和断面2的测压管水头差

表1给出了不同工况下断面1、2间各水头差值以及沿程损失的模拟值。表中  $h_{p,1-2}$ 、 $h_{v,1-2}$  分别是断面1、2间测压管水头差和速度水头差的模拟值。定义  $h_{v,1-2}^* = (v_1^2 - v_2^2) / (2g)$ , 即采用断面平均速度来计算断面上的速度水头差, 并取动能修正系数为1, 为比较  $h_{v,1-2}$  和  $h_{v,1-2}^*$  的差别, 定义  $E_{hv} = (h_{v,1-2} - h_{v,1-2}^*) / h_{v,1-2}$ , 需要说明的是,  $\xi_t$  的推导采用的是  $h_{v,1-2}^*$ , 表1中  $h = h_{p,1-2} + h_{v,1-2}$ ,  $h^* = h_{p,1-2} + h_{v,1-2}^*$ ,  $h_{f,1-2}$  表示断面1、2间的沿程损失, 由能量方程可知  $h_j = h - h_{f,1-2}$ ,  $h_j^* = h^* - h_{f,1-2}$ 。

表1 断面1、2间的各水头差值和  $\xi$  值

Re	mm, %											
	$h_{p,1-2}$	$h_{v,1-2}$	$h_{v,1-2}^*$	$E_{hv}$	$h_{1-2}$	$h_{1-2}^*$	$h_{f,1-2}$	$h_{j,1-2}$	$h_{j,1-2}^*$	$\xi$	$\xi^*$	$E_\xi$
2253	-58.3	225.1	196.7	14.5	166.8	138.3	2.65	164.15	135.68	0.81	0.67	15.3
2343	-57.9	245.5	212.8	15.4	187.7	154.9	3.05	184.62	151.90	0.85	0.70	19.8
2875	-93.1	370.4	320.4	15.6	277.4	227.4	4.19	273.20	223.17	0.83	0.68	17.7
4233	-193.7	752.8	694.7	8.4	559.1	501.0	6.32	552.79	494.67	0.78	0.69	9.9
4324	-201.8	783.7	724.7	8.1	581.9	522.9	6.49	575.43	516.45	0.78	0.69	9.6
4369	-205.9	799.4	740.0	8.0	593.5	534.1	6.57	586.96	527.53	0.77	0.69	9.5
4596	-227.1	880.4	818.6	7.5	653.3	591.5	7.00	646.30	584.54	0.77	0.70	9.0
4867	-254.0	983.1	918.3	7.1	729.1	664.3	7.54	721.61	656.75	0.77	0.70	8.5
5048	-272.8	1055.0	987.9	6.8	782.2	715.1	7.92	774.29	707.14	0.76	0.70	8.2
5320	-302.4	1168.0	1097.1	6.5	865.6	794.6	8.93	856.64	785.70	0.76	0.70	7.8
5501	-323.1	1246.7	1173.0	6.3	923.6	850.0	8.93	914.71	841.05	0.76	0.70	7.7

由表1知, 在  $Re < 4000$  时,  $h_{v,1-2}$  和  $h_{v,1-2}^*$  的差别约为15%, 当  $Re > 4000$  时, 两者的差别约为6%~8%, 这说明随着  $Re$  的增加, 管道断面速度分布的不均匀性逐渐变小, 文献[1]推荐断面速度水头的修正系数为1.05~1.10, 这与表1中  $E_{hv}$  基本一致。

表1中的  $h_{f,1-2}$  均为  $h$  或  $h^*$  的1%~2%, 这说明断面1、2间的沿程损失占突扩管水头损失的比重

很小。文献[2]认为上述各工况的流动属于湍流光滑区, 并采用布拉修斯公式计算了沿程损失的大小, 其值约为总损失的3%, 显然, 本文采用数值模拟法对沿程损失的计算结果小于文献[2]的计算值。

当断面速度水头差用  $h_{v,1-2}^*$  计算时, 可得突扩管的水头损失系数  $\xi^*$ , 该值与文献[2]的计算结果基  
(下转第160页)

泛化能力三者的平衡点,也是制约多隐层神经网络应用的另一因素。

(3) 鉴于多隐层 BP 网络收敛速度慢以及存在局部极值等缺点,如何利用遗传算法、粒子群算法等智能算法进行网络初始权值、阈值以及网络结构等的优化,以期进一步提高多隐层 BP 网络的预测精度及收敛速度,将是下一步研究的重点和方向。

#### 参考文献:

- [1] 袁健, 树锦. 改进多元回归法与神经网络应用于水质预测[J]. 水资源保护, 2008, 24(3): 46-48.
- [2] 张立明. 人工神经网络的模型及其应用[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1993. 1.
- [3] 过仲阳, 陈中原, 李绿芊, 等. 人工神经网络技术在水质动态预测中的应用[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2001(1): 84-89.
- [4] 任黎, 董增川, 李少华, 等. 人工神经网络模型在太湖富营养化评价中的应用[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2004, 32(2): 147-150.
- [5] 任宏洋, 张代钧. 基于结构化设计的湖库富营养化模型研究[J]. 环境污染与防治, 2005, 27(5): 371-371, 381.
- [6] 刘载文, 崔莉凤, 王小艺, 等. 基于 RBF 神经网络的河湖水质软测量方法[C]//程代展, 吴敏. 第 26 届中国控制会议论文集, 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007: 108-111.

- [7] 郭劲松, 霍国友, 龙腾锐. BOD-DO 耦合人工神经网络水质模拟的研究[J]. 环境科学学报, 2001, 21(2): 140-143.
- [8] 裴洪平, 罗妮娜. 利用 BP 神经网络方法预测西湖叶绿素  $\alpha$  的浓度[J]. 生态学报, 2004, 24(2): 246-251.
- [9] 王晓萍, 孙继洋, 金鑫. 基于 BP 神经网络的钱塘江水质指标的预测[J]. 浙江大学学报(工学版), 2007, 41(2): 361-364.
- [10] 张德丰, 等. Matlab 神经网络应用设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009. 1.
- [11] 张良均, 曹晶, 蒋世忠. 神经网络实用教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008. 2.
- [12] 傅荟璇, 赵红, 等. Matlab 神经网络应用设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009. 10.
- [13] 苑希民, 李鸿雁, 刘树坤, 等. 神经网络和遗传算法在水科学领域的应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002. 8.
- [14] 汪金良, 卢宏, 曾青云. GA-BP 算法及其在冰铜品位神经网络模型中的应用[J]. 江西有色金属, 2003, 17(3): 39-41.
- [15] Matlab 中文论坛. Matlab 神经网络 30 个案例分析[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010. 4.
- [16] 范佳妮, 王振雷, 钱锋. BP 人工神经网络隐层结构设计的研究进展[J]. 控制工程, 2005, 12(S0): 105-109.
- [17] 丛爽. 面向 Matlab 工具箱的神经网络理论与应用[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2009. 4.

(上接第 153 页)

本一致,也略小于  $\zeta_i$  (为 0.705 6),但断面的实际速度水头差为  $h_{v,1-2}$ ,以该值计算得到的  $\zeta$  明显大于  $\zeta^*$ ,也大于  $\zeta_i$ 。令  $E_\zeta = (\zeta - \zeta_i)/\zeta_i$ ,其值见表 1,在  $Re < 4\ 000$  时, $\zeta$  比  $\zeta_i$  大 20%,随着  $Re$  的增加, $E_\zeta$  值逐渐减小,当  $Re$  为 5 500 时, $E_\zeta$  约为 8%。显然,速度水头的计算方法要远大于沿程损失对  $\zeta$  的影响,即在  $Re < 5\ 500$  时,如果速度水头采用断面平均速度的方法来计算,并取动能修正系数为 1.0 时,用  $\zeta_i$  计算管路的局部水头损失仍比实际的水头损失偏小。

## 4 结 语

从以上的计算结果和分析可知,Spalart-Allmaras 湍流模型能够对管路突然扩大的局部水头损失进行有效模拟;当  $Re < 5\ 500$  时,突扩管上、下游断面间的沿程水头损失只占两断面间水头损失的 1%

~2%;断面速度水头的计算方法对局部损失系数的影响更明显,为使管路的水头损失计算更准确,应考虑断面速度水头的动能修正系数,在  $Re < 4\ 000$  时,取动能修正系数为 1.15,在  $4\ 000 < Re < 5\ 500$  时,取动能修正系数为 1.06~1.08。

#### 参考文献:

- [1] 龙天渝, 蔡增基. 流体力学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004. 5.
- [2] 赵宝峰, 金英子, 卢玉邦, 等. 对突然扩大局部水头损失的初探[J]. 东北农业大学学报, 1997, 28(2): 175-178.
- [3] 周志军, 林震, 周俊虎, 等. 不同湍流模型在管道流动阻力计算中的应用和比较[J]. 热力发电, 2007, 36(1): 18-23.