
瞬变流

〔美〕 E. B. 怀利 V. L. 斯特里特

清华大学流体传动与控制教研组译

水利电力出版社

E. Benjamin Wylie Victor L. Streeter
FLUID TRANSIENTS
McGRAW-HILL INTERNATIONAL BOOK COMPANY 1978

瞬 变 流

〔美〕 E.B. 怀利 V.L. 斯特里特
清华大学流体传动与控制教研组译

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行 • 各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 19.75印张 432千字

1983年2月第一版 1983年2月北京第一次印刷

印数0001—2220册 定价2.05元

书号 15143·5036

内 容 提 要

本书论述了流体的瞬变流动及控制瞬变的方法,其中涉及到涡轮泵、活塞泵、天然气、明渠等有关的问题。书中主要采用特征线法,利用电子计算机以FORTRAN语言进行数值计算。本书可作为流体力学及与流体工程有关专业的高年级学生和研究生的教材及教学参考书,也可作为从事水利、电力、石油、天然气、流体机械、液压系统等工程领域的技术人员设计及研究时的参考书。

译 者 的 话

本书作者是美国密执安大学怀利 (E. Benjamin Wylie) 教授和斯特里特 (Victor L. Streeter) 教授。该书于1978年在美国出版, 并作为该校的教材及工程技术人员进修用书。书中主要讨论瞬变流的发生、发展的机理以及如何减少和防止由于瞬变流动造成的不利影响, 并给出了用计算机以FORTRAN语言计算瞬变的方法和程序以及控制瞬变流的工程措施。本书内容涉及了涡轮泵、调速水轮机、阀调节、往复泵、明渠、石油和天然气输送等工程实际问题。我们相信本书的翻译出版对于石油、化工、水利电力、天然气等方面的工程技术人员会有所帮助。

本书共十七章, 由清华大学工程力学系流体传动与控制教研组蔡敏学 (译第一至第六章及第十三章)、王学芳 (译第七至第十章及序言、目录、术语表)、叶宏开 (译第十七章及附录)、苗日新 (译第十一至第十二章)、刘汉钧 (译第十六章)、李英敏 (译第十五章) 和汤荣铭 (译第十四章) 等同志翻译。

华东水利学院张二骏同志对译稿进行了审校, 提出了许多宝贵的正确的意见, 在此我们谨对他表示衷心地感谢。

本书内容涉及较多的数学力学理论和广泛的工程实际问题, 而译者在这两方面都很不足, 因此, 译文中一定会有不少错误和不当之处, 恳请读者批评指正。

序 言

自从本书的前身[《水力瞬变》由麦克劳-希尔 (McGRAW-HILL) 图书公司 1967 年出版]出版以来, 人们又进行了许多的工作, 并在流体流动的数值计算方面取得了很大的进展。此增订再版本的内容已经扩大, 包括的材料超出了基本水锤分析的范围, 因此有必要将书名改为《瞬变流》。这个范围拟供实际工程技术人员和高等学校教学之用。这些内容已用作连续两学期的瞬变流动课程和实际工程技术人员进修的主要教材。

本书主要研究流体的非定常流动, 它提出的一些方法是用来解决范围广泛的流体瞬变及周期流动的问题。本书重点放在用计算机求解实际问题的数值解法上, 也包括了图解法, 后者应用在简单的问题上往往是满意的。

特征线法几乎完全用以解算实际的瞬变问题, 而正弦波解的线性方法用以解算振动问题。本书非常重视工程系统的分析步骤。流体系统设计师的任务是防止产生不希望出现的瞬变, 或至少设计出一个在运行中能不受瞬变有害影响的系统。因此我们讨论了对非定常条件的各种控制方法。在阀调节的一章内, 提出了系统设计概念方面的一些新的发展, 以减少瞬变变化幅度及改善系统的运行特性。

为了帮助读者对于有关内容获得进一步理解, 在适当之处均编入了例题和习题。为了说明某些方法在特殊情况下的应用, 还给出了FORTRAN语言的计算机程序。

作者愿在此提及许多研究同行在这一领域中的贡献, 并感谢曾在密执安大学相继学过流体瞬变课程的各届研究生所做的贡献。尽管少数人作出了极为突出的贡献, 这正是在很长时期内坚持不懈的努力, 才在这一领域中带来了相应的影响。这项工作于1960年在斯特里特 (Streeter) 教授指导下由劳钦度 (Chintu Lai) 开始, 继而由康特拉特 (D.N. Contractor)、巴尔撒 (R.A. Baltzer)、魏格特 (D.C. Wiggert)、齐尔克 (W. Zielks)、普洛普生 (T.P. Propson)、斯特纳 (M.A. Stoner)、卡凡斯 (J.L. Caves)、威勒 (M.E. Weyler)、姚 (W. Yow)、佩特里 (B. Petry)、艾瑞安 (M.F. El-Erian)、帕泼达克斯 (C.N. Papa-dakis) 和刘 (C.P. Liou) 等进行。他们的贡献明显地贯穿在本书之中。

术 语 表

A	导管截面积
A_e	等效面积
A_G	阀的开启面积
A_m	第 m 个谐和函数的振幅
A_n	喷嘴面积
A_p	在阻尼器中以及在活塞泵中活塞的面积
A_s	调压塔截面积
A_T	引水管截面积、总面积
A_{TH}	最小调压塔截面积
a	压力脉冲的速度
a'	自由气体的波速
a_n	无量纲喷嘴截面积
a_1	流入调压塔时孔口面积与流量系数的乘积
a_2	流出调压塔时孔口面积与流量系数的乘积
B	矩形截面的宽度、明渠底的宽度
B	等温波速
B	Allievi常数或管道常数, $aV_0/(gH_0)$ 或 a/gA
B'	无量纲Allievi常数
b	蓄水层厚度
b_p	永态调差
b_t	暂态调差
C	管容 $= gA/a^2$
C_D	孔口流量系数
CDG	组合流量系数
CG	特征线网格
C_s	飞摆速度对水轮机速度的比例常数
C_K	比例因子
C_M, C_p	特征线方程的已知常数
C_M	曼宁 (Manning) 公式中的常数
C_o	活塞位移次数、定容比热
C^+, C^-	特征线方程的名称
C	明渠中的波速、等熵波速
C	简易调压塔的损失系数
C_1	描述管子约束状态对波速影响的无量纲参数
D	管子下游端的下标、矩形截面的深度
D	管径、涡轮机械特征量纲
E	能量、弹性模数、在能量方程中各项的总和

E_m	τ 方程的阶
E_R	岩石或混凝土的刚性模数
e	管壁厚度
F	传递矩阵
F	沿管的负 x 方向传播的压力波、线性阻力系数
f	沿管的正 x 方向传播的压力波
f	达西-威斯巴哈 (Darcy-Weisbach) 摩擦系数、频率 (周/秒)
G	剪切弹性模数
g	重力加速度
gpm	加仑/分
H	瞬时测压计水头
H_a	绝对压头
$\bar{H}$	平均压头、大气压头
H^+	沿 $+x$ 方向上传播的振荡压头
H^-	沿 $-x$ 方向上传播的振荡压头
H_B	大气压头
H_0	定常压头或平均压头、在阀上的压头降、绝对标准压头
H_p	在特征线网格的 xt 平面中一未知计算点上的测压计水头
H_R	涡轮机的额定压头、蓄水库水头
H_{sub}	在一点上瞬时压头的复数符号, 下标表示测定位置
$H(x)$	压头的定常复值
HP	马力
HV	蒸汽压头
h	无量纲压头, H/H_0 或 H/H_R 、无量纲距离
h'	瞬时振荡压头
h_a	以流动流体柱的长度单位表示的大气压力 (绝对)
h_m	无量纲最大压头 H_{max}/H_0
h_v	以流动流体柱的长度单位表示的蒸汽压力 (绝对压力)
I	转动部分的极惯性矩 WR^2/g 、索引数
IND	检索数组的名称
i	沿管线的截面编号、 $\sqrt{-1}$
J	复杂系统中代表一特定管的下标
J	在水锤的代数解法中与时间有关的下标, $t = J\Delta t$
K	局部损失系数、体积弹性模量、水力传导系数
K'	流体和容器的综合弹性模数
K_e	当量体积模数
K_s	弹簧常数
k	入口损失系数
L	管长、导管的流感 $= 1/gA$
L_1, L_2	在特征线方法中连续性方程及力矩方程的标志
L_{cav}	气穴长度

l	管长
M	在谐和分析中用来描述一个周期运动的谐和函数的个数、在并联泵系中的泵数、质量
M	压头-流量曲线的斜率、气体质量流量
m	质量、在傅利叶级数中表示一特定谐和函数的整数、土层厚度、在摩擦项中直径的幂次、等温马赫数
$\dot{m}$	所释放的气体质量率
N	转速、为了计算一导管而划分导管的区段数
N_R	水轮机的额定转速
N_w	井数
NPSH	净吸水头
N_s	比速
n	自由振动模的模式
n	在湍流摩擦项中速度的幂次
n	曼宁粗糙度系数、土的孔隙率、多变指数
O	表示定常状态的下标
P	水锤代数解法中的整数, $P\Delta t = L/a$
P	在 xt 平面中的求解点
P	水轮机产生的功率、湿周长
$\mathbf{P}$	点传递矩阵
P_G	发电机所用功率
P_R	水轮机额定输出功率
P_1, P_2	阻尼装置中的缸压
PR	压比或放大系数
p	压力
p^*	堵塞压力
Q	在一截面上的瞬时流量
Q_H	单位时间内加在控制体上的热量
Q	截面上的平均流量
Q_R	水轮机的额定流量
Q_{ub}	某点瞬时流量的复值; 表示被测位置的下标
$Q(x)$	流量的定常复值
Q_1	水轮机的单位流量 $Q/(D^2 H^{1/2})$
q	单位时间内加在单位质量上的热量
q	单位长度上的分布出流流量
q'	瞬时振荡流量、偏离平均位置的脉动
R	水力半径 A/P 、在非线性土力学方程中的参数、气体常数
R	阻力系数、回转半径
R	蓄水池中径向距离、活塞泵曲柄长度
R	水轮调速器的无量纲常数, $C_4 L_2 / (L_1 + L_2)$
R_e	复数的实部
R_s	在 S 点上的复阻抗的实部

r	管径、径向距离
r_0	相应于初始状态的管径
S	连杆长度、存储系数、水力坡度线的斜率
S	溶解度系数
SI	国际单位制
S_K	弹簧常数
S_s	储量比 $= S/b$
s	复频率 $s = \sigma + i\omega$ 、管段的气流常数
T	管道的理论周期, $4L/a$ 、管壁内的拉力、调压塔系统的周期
T	二阶微分方程的特解(谐振)
T	水轮机和泵的瞬时扭矩、绝对温度
T	棱形截面的顶宽、土壤的渗透性 $= Kb$
T_b	拍周期
T_D	水轮调速器内阻尼器的时间常数
T_F	相应于强迫频率的周期
T_s	相应于最大伺服速度的阀关闭时间
T_m	水轮机的机械起动时间
T_m	第 m 个谐和函数的周期, $T_m = 2\pi/m\omega$
T_n	加在水轮机上的净扭矩
T_R	水轮机的额定扭矩
T_w	水力惯性时间
T_a	激发时间常数, 转速偏差的变化相对于相对伺服速度变化的比率
t	时间、表示偏微分的下标
tdh	总动力水头
t'	无量纲时间, $t/(2l/a)$
t_c	阀的关闭时间
t_1	某一特定时间
U	管道上游端下标、滑阀的位移(自关闭位置测量)
U	总传递矩阵
u	滑阀无量纲位移, $U/(R\omega_0)$
u	土壤质点在 x 方向位移
u	水轮叶片中心线的圆周速度
V	瞬时速度
V_s	在泵的吸入系统中最低压力点上的速度
V_0	流体初始速度、定常状态速度或平均速度
V_p	在特征线解的 xt 平面上未知计算点上的速度
V_r	调压塔引水管的入口速度
v	体积
v'_s	简化为标准状态气体的体积
v	无量纲速度, V/V_0 或 Q/Q_R
v_s	土动力学中的相速度

u_{01}	初始定常状态的无量纲速度
u_{02}	最终定常状态的无量纲速度
W	蓄水层泄漏参数、在二维蓄水层中单元的宽度
WB, WH	无量纲水轮机特性
WR^2/g	旋转部分的极惯矩
X	二阶微分方程的解, 它仅是 x 的函数
x	从管左端起距离
x	用以表示偏微分的下标
x	自全伸位置起的活塞位移
x'	在排放冲程时活塞位移 (自全伸位置测量)
x_1	从管右端起距离, $x_1 = L - x$
Y	在水轮调速器中主伺服油缸的位移
y	蓄水池及调压塔表面间高度之差
y, y_1	明渠流体的深度
Z_c	特征阻抗
Z_{sub}	下标所表示的那一点的水力阻抗
$Z(x)$	水力阻抗, 压头脉动对流量脉动的复值比
Z	阻抗
z	自基准算起的管高、土壤沿铅垂方向的深度
z	气体的压缩率
α	在活塞泵中连杆的角位
α	管和明渠的坡降、非线性土力学方程的参数
α	无量纲速比, ω/ω_0 或 N/N_R
α	地下水流动的惯性因子及天然气流动的惯性因子
β	单位长度上的管径变化
β	无量纲扭矩比, T/T_0 或 T/T_R
β	在 $h\nu$ 平面上特征线的斜率, $\tan^{-1}(aV_0/gH_0)$
Γ	反射系数、入射压力头和反射压力头之复比
γ	称为传播常数的复数
γ	流体的单位重量、剪应变, $\partial u/\partial z$
γ	无量纲的压力误差、在隐式法中的加权因子
γ_m	表示 x 向动量沿侧向分离的因子、允许的波速变化
δ	阀振荡的振幅
δ_a	复位弹簧座的位移
δ_c	缓冲缸的位移
δ_D	水轮调速器的无量纲化长度, $c_4\omega_0 L_2/L_1$
δ	自稳态位置算起的手动速度控制装置的位移
δ_p	缓冲器活塞自稳定状态位置开始的位移
ε	表示在 s 方向微小变化的复数, $\Delta\varepsilon = \Delta\sigma + i\Delta\omega$
ε	管壁的单位应变在蓄水层流动中限制误差的分数值
ζ	水轮机叶片的叶片角, 插值常数、惯性因子

η	水轮机和泵效率、缓冲缸活塞的位移
θ	特征线网格比值 $\Delta t / \Delta x$
θ	在吸入冲程中曲柄的角位置
θ_m	第 m 个谐和函数压头脉动的相角
θ_0	在活塞泵中单向阀打开时角位移
λ	特征线法的因子、波长
μ	泊松比、绝对粘度或动力粘度、粘性系数
ν	运动粘度
ξ	在阻尼部件中恢复弹簧的位移, $\delta_p - \delta_0$ 单位侧应变
ξ_1	单位纵向应变或轴向单位应变
ξ_2	单位侧向应变
ξ_T	总侧向或周向单位应变
ζ	密度
σ	复频率的实部、无量纲的摩擦项
σ	管壁单位应力
σ'	管壁单位应力
σ_1	轴向单位应力
σ_2	侧向单位应力
τ	切向应力, $\tau_m =$ 最大剪切强度
τ	表示流量系数与阀开启面积的乘积的无量纲数, $(C_D A) / (C_D A)_0$
τ_0	表示对应于平均流动参数的阀位置的无量纲数
τ_0	壁面的剪应力
ϕ	在排放冲程中曲柄的角位置、相角
ϕ	水轮机的速度因子, $DN / (1838 H^{\frac{1}{2}})$
ϕ_0	泵起动时曲柄的角位置
ϕ_q	复阻抗的相角
ω	角频率、角速度
ω'	曲柄轴的角速度
ω_{cf}	角频率
ω_F	强迫系统的角频率
ω_n	共振器自然频率
ω^*	无量纲频率

国际单位制和英制的换算及换算常数

$$\begin{aligned}
 \frac{4.448 \text{ 牛顿}}{1 \text{ 磅力}} &= 1 & \frac{0.3048 \text{ 米}}{1 \text{ 英尺}} &= 1 & \frac{0.4536 \text{ 公斤}}{1 \text{ 磅}} &= 1 \\
 \frac{14.594 \text{ 公斤}}{1 \text{ 斯勒格}} &= 1 & \frac{6894.76 \text{ 牛顿/米}^2}{1 \text{ 磅力/英寸}^2} &= 1 & \frac{32.174 \text{ 磅}}{1 \text{ 斯勒格}} &= 1 \\
 \frac{448.83 \text{ 加仑/分}}{1 \text{ 英尺}^3/\text{秒}} &= 1 & \frac{10 \text{ 泊}}{\text{国际单位粘度}} &= 1 & & \\
 \gamma_{\text{水}} &= 62.4 \text{ 磅力/英尺}^3 = 9802 \text{ 牛顿/米}^3 (50^\circ \text{ 华氏}) \\
 \rho_{\text{水}} &= 1.94 \text{ 斯勒格/英尺}^3 = 1000 \text{ 公斤/米}^3 (39.4^\circ \text{ 华氏}) \\
 \frac{1 \text{ 英制热量单位}}{1 \text{ 磅} \cdot \text{列氏度}} &= \frac{1 \text{ 大卡}}{1 \text{ 公斤} \cdot \text{开尔文}} & \frac{1055 \text{ 焦耳}}{1 \text{ 英制热量单位}} &= 1 \\
 \frac{1 \text{ 大卡}}{4187 \text{ 焦耳}} &= 1 & \frac{3.969 \text{ 英制热量单位}}{1 \text{ 大卡}} &= 1 \\
 \frac{5.38 \text{ 米} \cdot \text{牛顿/公斤} \cdot \text{开尔文}}{1 \text{ 英尺} \cdot \text{磅力/磅} \cdot \text{列氏度}} &= 1 \\
 1 \frac{\text{焦耳}}{\text{秒}} &= 1 \frac{\text{牛顿} \cdot \text{米}}{\text{秒}} = 1 \text{ 瓦} \\
 1 \text{ 马力} &= 746 \text{ 瓦}
 \end{aligned}$$

目 录

译者的话

序 言

术 语 表

国际单位制和英制的换算及换算常数

第一章 瞬变流概念	[1]
1-1 流动的分类及定义	[1]
1-2 瞬变流方程的数学推导	[1]
1-3 夹杂空气的影响	[6]
1-4 瞬变的起因及调阀的作用	[8]
1-5 液柱分离和气体释放	[9]
1-6 分析方法	[10]
1-7 非定常流中问题的范围和领域	[12]
第二章 瞬变流的基本微分方程	[14]
2-1 运动方程	[14]
2-2 连续方程	[16]
2-3 特殊导管内的波速	[18]
2-4 一些特殊用途的方程形式	[21]
2-5 大变形管的连续方程	[22]
第三章 特征线解法	[25]
3-1 特征线方程	[25]
3-2 有限差分方程	[26]
3-3 基本边界条件	[28]
3-4 单管的应用	[30]
3-5 复杂系统	[34]
3-6 高摩擦和衰减	[41]
3-7 带内插的特征线法	[43]
3-8 特征线网格法	[47]
3-9 和频率有关的摩擦	[48]
第四章 水锤的代数解法和图解解法	[51]
水锤的代数解法	[51]
4-1 代数水锤方程	[52]
4-2 上游为水库、下游为阀门的单管	[53]
4-3 串联管	[55]
4-4 带有泵起动的分叉管	[56]
水锤的图解法	[58]
4-5 方法的建立	[58]

4-6	图解分析举例	[60]
第五章	辅助边界条件及系统元件	[67]
5-1	集中元件	[67]
5-2	气室和蓄压器	[69]
5-3	其它调压装置	[70]
5-4	水冷凝器	[72]
5-5	进气阀	[72]
5-6	弹簧-质量系统	[78]
第六章	涡轮泵引起的瞬变	[80]
6-1	动力失灵期间事件的后果	[80]
6-2	涡轮泵的无量纲相似特性	[81]
6-3	水头平衡方程和转速变化计算	[84]
6-4	单泵边界条件	[86]
6-5	串联泵	[87]
6-6	并联泵边界条件	[89]
6-7	复杂泵组	[90]
6-8	泵起动	[90]
6-9	试验结果	[90]
第七章	水轮机调速	[92]
7-1	水轮机和调速器方程	[92]
7-2	稳定性	[98]
7-3	调速器-水轮机-水力系统	[101]
第八章	液柱分离、空气释出及截留空气	[106]
8-1	固定波速及无空气释出时的液柱分离	[106]
8-2	弹性管道中的液-气混合物	[108]
8-3	特征线网格模式	[109]
8-4	带有内插法的规定时间间隔法	[111]
8-5	模拟泵和冷凝器的例子	[114]
8-6	实验比较: 模拟泵及模拟管道	[116]
8-7	阀的快速关闭	[117]
8-8	截留在管系中的空气	[119]
第九章	阀调节	[121]
9-1	单管的无摩擦阀调节	[121]
9-2	单管的有摩擦阀调节	[123]
9-3	将阀调节推广到复杂系统	[129]
9-4	实验比较及实用见解	[132]
9-5	应用于意外停泵的阀调节	[136]
第十章	控制瞬变的方法	[139]
10-1	降低波速的方法	[139]
10-2	空气室或蓄压器	[140]

10-3	调压塔	[141]
10-4	控制流量的方法及阀门作用	[143]
10-5	系统几何形态的设计变更	[145]
第十一章 流体传送和分布系统		[146]
11-1	定常系统的解	[146]
11-2	索引	[146]
11-3	瞬变管网分析	[149]
11-4	传输管路	[152]
11-5	长输油管线中的快速切换	[153]
11-6	长输油管道的泄漏检测	[155]
11-7	联机操作和控制的瞬变模拟	[156]
第十二章 振荡流动的方程		[158]
12-1	线性化方法中使用的非定常流方程	[159]
12-2	传递方程和水力阻抗	[161]
12-3	频率响应分析和强迫振荡	[163]
12-4	应用于水力系统	[164]
12-5	附加的水力元件	[169]
12-6	驻波、行波和反射系数	[171]
12-7	矩阵法	[172]
12-8	多个强迫函数和非谐和强迫函数	[177]
第十三章 自由振荡与共振		[182]
13-1	共振	[182]
13-2	自然频率和模式形态	[187]
13-3	复杂系统	[190]
13-4	讨论	[197]
第十四章 活塞泵		[200]
14-1	活塞泵内流体的运动学和动力学	[200]
14-2	吸入管系的分析	[202]
14-3	排放管系的分析	[206]
14-4	在活塞泵系统中减小压力脉动的方法	[207]
第十五章 天然气管路的瞬变流		[209]
15-1	状态方程	[210]
15-2	连续方程	[210]
15-3	运动方程	[210]
15-4	定常状态方程	[211]
15-5	特征线解法	[212]
15-6	惯性因子 α 的计算	[214]
15-7	边界条件、压缩机、阀门和储气田	[215]
15-8	气体流动的计算机程序	[217]
第十六章 明渠的瞬变流		[221]

16-1	非定常明渠流的微分方程	[221]
16-2	特征线解法	[222]
16-3	隐式法求解	[227]
16-4	控制明渠非定常流的闸门调节	[230]
第十七章 专题		[234]
17-1	非棱柱形管段和侧向分布流动	[234]
17-2	特征线法在土力学上的应用	[236]
17-3	多孔介质中液体的非定常流	[241]
17-4	能量方程	[246]
17-5	狄塞尔燃料喷射系统	[250]
17-6	二元和三元瞬变流	[252]
附录 A 计算机程序设计辅助手段		[255]
A-1	求积法——用辛普森法则的数值积分	[255]
A-2	抛物线插值	[256]
A-3	用区间分半法解代数方程和超越方程	[256]
A-4	用牛顿-雷伏生法解代数方程与超越方程	[257]
A-5	微分方程的龙格-库塔解	[258]
附录 B 阀的流量系数		[261]
附录 C 第三章的参考程序		[262]
附录 D 第五章的参考程序		[265]
附录 E 第六章中泵的程序		[269]
附录 F 第七章的参考程序		[274]
附录 G 第八章的参考程序		[278]
附录 H 第十二章的参考程序		[281]
附录 I 第十三章的参考程序		[282]
附录 J 第十六章的参考程序		[285]
参考文献		[291]

瞬变流概念

从十九世纪中叶以来,液体的非定常流动一直是人们研究的课题。在这一章,我们来介绍这个问题。描述流动的基本方程是运动方程(或动量方程)和连续方程。解这两个方程,得到管系中流量和压力的扰动脉动波的传播方程。要一眼看清楚是不容易的。因此,本章以简化的形式来介绍它。在这里,对一些术语作了定义,推导了数学方程,讨论了夹杂空气的影响和它与液柱分离的关系以及某些分析方法。

1-1 流动的分类及定义

在定常流里,任一点的参数不随时间而变化;而在非定常流里,一点的参数可以随时间而变化。非定常流必须满足非定常流方程,定常流是非定常流的特例。在均匀流里,在任何瞬间,任何截面的平均速度均相同;而在非均匀流里,在任何给定的瞬间,速度沿导管有变化。虽然水锤这个术语习惯上只限于在水中使用,但在描述管路中的非定常流时它和瞬变流常常是作为同义语来使用的。当流动状态每隔一个称作振荡周期的固定时间间隔重复出现时,叫做定常振荡流,或称之为周期流或脉动流。而所谓管系流体的自由振动,是指在本系统的许多自然周期中的某一个周期上的衰减振荡流。术语涌波是指那些可以将流体当作不可压缩、管壁看成刚体而进行分析的非定常流情况。

管系的共振是一种振荡现象。共振时,非定常振荡的振幅随时间而增长,一直到发生事故或最后形成一个振幅异常大的定常振荡流为止。共振通常发生在其周期为该系统的自然周期之一或靠近这个自然周期时,这一自然周期可以是基本周期,也可以是谐振周期。

阀调节一词的意义只限于设计合适的边界条件以使流动以预先规定的方式发生。液柱分离是指气体和(或)蒸汽积聚在管路中某一部分的情形。

1-2 瞬变流方程的数学推导

首先取一段管子作控制体,对此应用非定常动量方程。然后对管内的流体建立连续方程。计及到泊松比的影响,这个影响和管子的固定方法有关。因为在第二章要作更为一般的推导,所以,为了使瞬变流更为形象化起见,这里加进了一些限定条件。

先讨论在下游阀门处流动突然截止的情形。然后将连续方程和动量方程应用于阀门的增量变化。在图1-1(a)中,忽略了摩擦损失和局部损失。在关阀的一瞬间,紧挨阀门的流体由于阀芯表面上产生的高压冲量使其立刻由 V_0 变成静止。一旦紧挨阀门的第一层流体停止下来,同样的作用加在第二层流体上,使其也静止下来。照这样,可以想像有一个高