

管道网系的系统分析*

华东纺织工学院

唐 志 康

提 要

对于不可压缩流体在一条串联管路上流动的计算, 伯努利方程的应用是十分广泛而有效的。但对于具有支路网络管道体系中流体输送的问题, 还比较缺少一套系统的分析原理和方法。

在本文中, 将一般导管阻力的计算公式:

$$H_R = \lambda \cdot \frac{l + l_e}{d} \cdot \frac{w^2}{2g}$$

改写成对体积流量线性元件的形式:

$$H_{Rj} = R_j V_j$$

并且引入了“全路”的概念, 即得到一组线性方程式, 可以用来描写复杂管路体系的一般流动问题。把此方程组用矩阵形式表达出来, 不但使列写方程组的过程中有一套明确而简便的规则可循, 不易出错, 而且还能便于运用电子计算机解方程组。

一、问题的提出

对于不可压缩的理想流体, 在稳定流动下沿流线符合于伯努利方程⁽¹⁾, 即

$$Z + \frac{p}{\gamma} + \frac{w^2}{2g} = H = \text{常数} \quad (1)$$

如图 1, 则有下列等式存在:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{w_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{w_2^2}{2g}$$

或

$$H_1 = H_2 \quad (2)$$

当流线上出现支线时, 上述等式仍能应用。如图 2, 只要将节点 O 看作是三根流线的公共点, 则不难得到

$$H_1 = H_2 = H_3 = H_0 \quad (3)$$

因此, 在各种交织成网络的理想流线系中, 任意一点的总能头 H 都是恒定的。

根据流线定义⁽²⁾可知, 过速度不为零的点, 只能有一条流线; 而在几条流线相交处, 速度必为零**, 否则在交点处将会有几个速度, 这

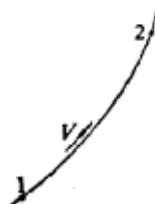


图 1

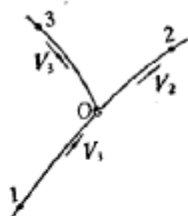


图 2

* 本文于1965年3月收到。

**对于速度场中速度为零的点, 除流线的交点外, 还可能产生各种其他的特殊点⁽³⁾。

在物理上是荒谬的。所以流线系节点处的动能为零，其总能头 H_0 中只包含静压头和位压头两种形式的机械能。

在工程计算上，对于粘性流体在导管内的流动，在考虑了输入能头 H_L 和摩擦损失 H_n 的校正项以后，式 (1) 可近似地推广到一根导管上的应用。如图 3，则有

$$H_1 + H_L = H_2 + H_n \quad (4)$$

它联系了点 1 (截面 1) 和点 2 (截面 2) 的能量关系。对于交叉成网络的管道系，和前面流线系的讨论相类似，各支路上的能量关系，在考虑了相应的 H_L 和 H_n 的校正项后，也可通过节点来取得联系。

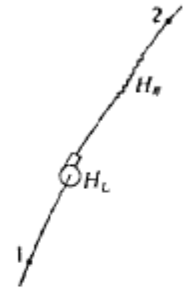


图 3

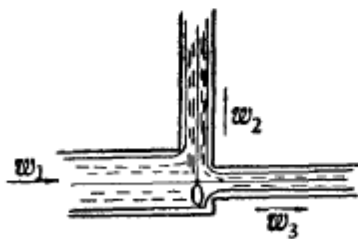


图 4

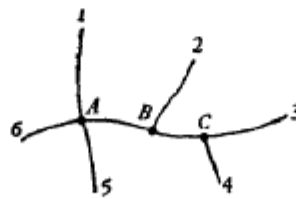
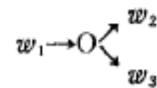


图 5

对于真实流体在管系中节点处的总能头，我们仍把它看作只包括静压头和位压头，此处总有一点速度为零。因此，流体自导管流经节点而折入另一支路时要经过两次速度的突变，即



好象流体流至节点时先经过了一个骤然扩大然后再分头纳入二支路各自流去 (图 4)，能量必有一定的局部损失。当然这象看待管系节点处的流动系以流线理论为基础，只不过是一种近似。

管道系常构成树枝网 (图 5，图 6) 或包含回路的网络 (图 7)。

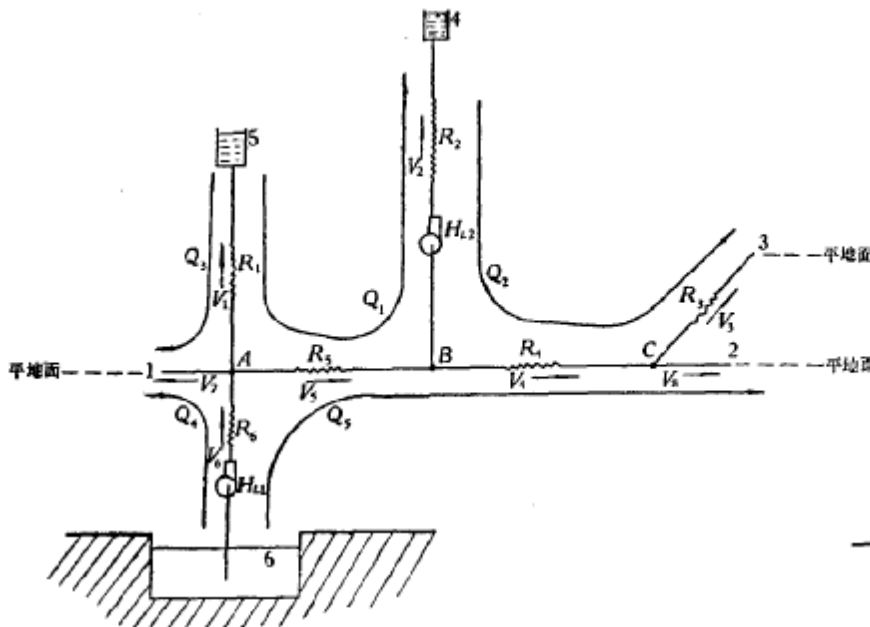


图 6

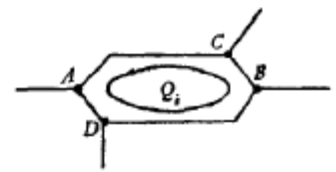


图 7

(图 7)。对它们的系统分析应该从物料平衡和能量平衡这两个化工上的基本依据出发。

二、系统分析的一般原则

管网中物料平衡和能量平衡体现在两方面：

- 1) 连续定律——流向每个节点的支路流量的代数和为零。

$$\sum_j V_j = 0 \quad j = 1, 2, 3 \dots \dots \quad (5)$$

进出节点的流量应取相反符号。

2) 能头方程——管网中任意两点(端点或节点)的能量关系应符合

$$\sum_m H_m = 0 \quad m = 1, 2, \Pi 1, \Pi 2 \dots L1, L2 \dots \quad (6)$$

即两点间的总能头差 $\Delta H = H_1 - H_2$ 和两点间的输入能头 $\sum_i H_{Li}$ 以及两点间的阻力损失 $\sum H_{\Pi i}$ 的代数和为零。

求和时必须注意符号的选择: 如图 8 中(先不看点 1 和点 2 间的虚线), 当选定 H_1 为正、 H_2 为负时, 表示将流向拟定为自点 1 到点 2 (也可以相反地拟定流向); 凡符合此流向的泵压头 H_L 都取正, 而由顺此流向所产生的阻力损失 $H_{\Pi i}$ 则取负。因此点 1 和点 2 的能量联系式按式 (6) 即为:

$$H_1 - H_2 + H_L - H_{\Pi 1} + H_{\Pi 2} = 0 \quad (7)$$

而当点 1、2 间以导管联接形成一个回路后, 能头差 $\Delta H = H_1 - H_2$ 一项自然就不存在了。

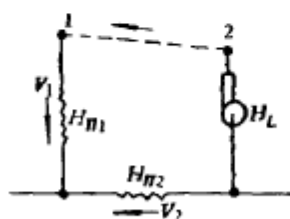


图 8

在具有 l 个端点和 v 个节点的树枝网管系中应有 $l + v - 1$ 个支路存在*, 各支路上的流量是不同的, 因此能写出 $l + v - 1$ 个独立支路方程:

$$\sum_m H_{mj} = 0 \quad j = 1, 2, \dots, l + v - 1 \text{ (支路序号)} \quad (8)$$

同时在 v 个节点上能写出 v 个独立的节点方程

$$\sum_j V_{jn} = 0 \quad n = 1, 2, \dots, v \text{ (节点序号)} \quad (9)$$

在实际问题里(图 5), 求出节点上的能头 $H_A, H_B, H_C \dots$ 等, 往往并无多大意义, 所以, 从 $l + v - 1$ 个支路方程中消去 v 个未知量, 则我们得到 $l - 1$ 个不包含节点能头的独立方程。和 v 个节点方程一道, 共有 $l + v - 1$ 个独立方程, 这也就是在管道系中可以求解的未知数的数目。

为了避免消去法的运算麻烦, 我们试图直接写出这 $l - 1$ 个只包含端点能头的方程。为此, 先引入“全路”这一概念, 把联接相邻两个端点的最近管线叫作一条全路; 那么在具有 l 个端点的管道系中就能够得到 $l - 1$ **条全路。选定全路以后, 可以任意方向绘一条全路流量 Q_i (参看图 6)***, 全路流量和支路流量之间应能进行简单的互换:

$$V_j = \sum Q_i \quad (10)$$

i 表全路序号, 取和应包括通过支路 j 上的所有全路。值得注意的是: 支路流量 V_j 是流体

* 在包含有回路的管网中, 则 l 应看作端点数和所包含的回路数之和, 如图 7 中 $l = 5$ 。

** 可以得出 l 条全路, 但能列出独立能头方程式的只有 $l - 1$ 条。

*** 当管网中出现回路时, 则相应该回路的全路流量便是一个无端的环流, 如图 7 中 Q_i 。

在支路 j 上的实际流量, 而全路流量 Q_i 则是为了进行一种系统计算的方便而虚拟出来的。

流体在管路中的阻力损失, 包括沿程损失和局部损失, 可以表达如下^[1],

$$H_{\pi j} = \lambda \frac{(l+l_e)_j}{d_j} \frac{w_j^2}{2g} = \lambda \frac{(l+l_e)_j}{d_j} \frac{V_j^2}{\left(\frac{\pi}{4}d_j^2\right)^2} \frac{1}{2g} \\ = \frac{8\lambda(l+l_e)_j}{\pi^2 g d_j^5} V_j^2 \quad (11)$$

$$\text{令} \quad \frac{8\lambda(l+l_e)_j}{\pi^2 g d_j^5} |V_j| = R_j, \quad (12)$$

R_j 称为支路 j 上的流阻, 又由于 $V_j = \sum Q_i$

乃得到

$$H_{\pi j} = R_j \sum Q_i \quad (13)$$

这样我们就把导管阻力损失化成用集中参量来表达, 并且是全路流量的线性元件的形式了。

今以讨论第 k 个全路为例, 将该全路中不与其他全路共有的一段支路阻力损失表为:

$$H_{\pi k} = R_k V_k = R_k \sum_{i=k} Q_i = R_k Q_k \quad (14)$$

例如图 6 中 R_3 就是 Q_2 全路中的这样一段支路。

当 k 全路上的某一支路为与其他全路 s 所共有, 则该支路上的阻力损失表为:

$$H_{\pi ks} = R_{ks} \sum_{i=k,s} Q_i = R_{ks} Q_s + R_{ks} Q_k \quad (15)$$

注意式 (14) 和 (15) 中的符号: 下标为 k 的 R 是 k 全路所独有的支路上的流阻, 下标为 ks 的 R 是 k 全路和 s 全路所共有的支路上的流阻。这些支路上的能头和泵压头也采用同一原则的符号表示。按公式 (6), 通过 k 全路上的全路方程则为

$$\sum_m H_{mk} = 0 \quad (16)$$

列出各项后, 则有

$$\Delta H_k + H_{Lk} + \sum_s H_{Lks} = H_{\pi k} + \sum_s H_{\pi ks} \quad (17)$$

把公式 (14) (15) 代入后, 得:

$$\Delta H_k + H_{Lk} + \sum_s H_{Lks} = \left(R_k + \sum_s R_{ks} \right) Q_k + \sum_s R_{ks} Q_s \quad (18)$$

公式 (18) 中 Q_k 的系数不是别的, 正是这一全路中所有流阻的总和, 其他各全路流量 Q_s 的系数等于该全路和 k 全路共有的支路的流阻, 若 Q_s 和 Q_k 的取向相同, Q_s 为正值, 否则为负值。用 $\tilde{H}_k$ 表示第 k 个全路中端点能头差和输入能头之和:

$$\tilde{H}_k = \Delta H_k + H_{Lk} + \sum_s H_{Lks} \quad (19)$$

再用 R_{kk} 表示第 k 个全路中所有流阻的总和, 即 Q_k 的系数为

$$R_{kk} = R_k + \sum_s R_{ks} \quad (20)$$

便得到統一形式的方程組:

$$\begin{aligned} \tilde{H}_k &= \sum_s R_{ks} Q_s \quad s; \quad k = 1, 2, \dots, n \\ &= 1, 2, \dots, (l-1) \end{aligned} \quad (21)$$

或其展开式

$$\left. \begin{aligned} \tilde{H}_1 &= R_{11}Q_1 + R_{12}Q_2 + \dots + R_{1n}Q_n \\ \tilde{H}_2 &= R_{21}Q_1 + R_{22}Q_2 + \dots + R_{2n}Q_n \\ &\dots \dots \dots \\ \tilde{H}_n &= R_{n1}Q_1 + R_{n2}Q_2 + \dots + R_{nn}Q_n \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

十分明显 $R_{ks} = R_{sk}$, 因为这些都是 k 个全路和 s 个全路所共有支路的流阻。这样当各流阻能通过支路流量按公式 (12) 計算出来后, 管路系統的分析便能用线性方程組的形式表达出来。

三、矩 陣 表 示 法

矩陣在化学工程的各种問題中早有广泛应用^[3,4]。特别是线性方程組能較方便地表示为矩陣形式。公式 (22) 的矩陣形式可写成:

$$\begin{vmatrix} \tilde{H}_1 \\ \tilde{H}_2 \\ \dots \\ \tilde{H}_n \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} R_{11} & R_{12} & \dots & R_{1n} \\ R_{21} & R_{22} & \dots & R_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{n1} & R_{n2} & \dots & R_{nn} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \dots \\ Q_n \end{vmatrix} \quad (23)$$

如果单独用一个字母来表示每个矩陣向量, 即

$$\tilde{H} = \begin{vmatrix} \tilde{H}_1 \\ \tilde{H}_2 \\ \dots \\ \tilde{H}_n \end{vmatrix} \quad R = \begin{vmatrix} R_{11} & R_{12} & \dots & R_{1n} \\ R_{21} & R_{22} & \dots & R_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{n1} & R_{n2} & \dots & R_{nn} \end{vmatrix} \quad Q = \begin{vmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \dots \\ Q_n \end{vmatrix} \quad (24)$$

則矩陣等式可写成如下的形式:

$$\tilde{H} = RQ \quad (25)$$

或者

$$Q = R^{-1} \tilde{H} \quad (26)$$

現以图 6 中管系为例, 組成 $\tilde{H}$ 向量中各元素应是各全路中端点能头差和所有泵压头的代数和, 即:

$$\tilde{H} = \begin{vmatrix} 1 & H_5 - H_4 + H_{L2} \\ 2 & H_4 - H_3 - H_{L2} \\ 3 & H_5 - H_1 \\ 4 & H_6 - H_1 + H_{L1} \\ 5 & H_6 - H_2 + H_{L1} \end{vmatrix} \quad (27)$$

为了写出矩阵 R , 先作一个纵横各分五格的方表。在序号为 k 的行和序号为 s 的列相交格内记下 R_{ks} , 并冠以正确的符号。 $R_{kk} = R_k + \sum_s R_{ks}$ 为 k 全路上所有流阻的总和, 常取正值。

R_{ks} 表示 k 全路和 s 全路共有支路的流阻, 当 Q_k 和 Q_s 在此支路上同向时取正号, 否则为负。则得到:

	1	2	3	4	5	
1	$R_1 + R_5 + R_2$	$-R_2$	R_1	O	R_5	(28)
2	$-R_2$	$R_2 + R_4 + R_3$	O	O	R_4	
3	R_1	O	R_1	O	O	
4	O	O	O	R_5	R_6	
5	R_5	R_4	O	R_5	$R_6 + R_5 + R_4$	

因此, 按照简单的法则直接观察管路系统就可以写出流阻矩阵。并且当支路只包含在一个全路中, 支路流量就是全路流量; 如果支路为两个全路所共有, 支路流量就是两个全路流量的代数和。这样得出全路流量向量后, 即可按公式(25) 计算能头向量 $\tilde{H}$ 。

四、数字计算实例

兹以图6中管路体系为例, 通过具体数字的计算来进一步说明前述理论的应用。

1. 题目的构成: 该体系由六个端点和三个节点所组成, 因此可以得到 $6+3-1=8$ 个独立方程式。也就是说, 当整个体系的未知参量等于8时, 一个封闭的问题便构成了。有关参量就是包括在线性方程组矩阵表示式(25)中的 $\tilde{H}$ 、 Q 、 R 等项; 而 $\tilde{H}$ 又包括各端点处由动能、位能、压力能三项所组成的总能头以及各支路上输送流体的泵压头; R 则和各支路上的导管长度、管件数目以及流量有关。所有这些参量在整个流动体系里并不都是可以自由变动的, 而受着8个独立方程的制约, 其自由度要比有关参量的总数少8。

2. 最简单的一种命题形式: 当支路流量有5个已知时, 则用3个节点方程可求出全部8条支路上的流量, 从而能计算出 R 矩阵和 Q 向量, 然后可按式(25) 逐求 $\tilde{H}$ 向量。

例如: 水塔5中水面比地面高10米, 供水量为10米³/分, 因此需不断自低于地面5米的水源由泵1输入等量的水补充; 高位槽4高出地面15米, 流量负荷为8[米³/分], 同时对地平面上1、2、3三个端点供水, 供水量分别为5、7、4米³/分。试求两个输水泵的压头 H_{L1} 、 H_{L2} 及1、2、3三个端点处的压力 p_1 、 p_2 、 p_3 。(各支路导管的内径以及包括局部阻力在内的当量长度可参见表1。)

3. 解题:

1) 求各支路流量

已知: $V_1 = 10$ [米³/分]; $V_2 = 8$ [米³/分];

$V_3 = 5$ [米³/分]; $V_4 = 7$ [米³/分]; $V_7 = 4$ [米³/分]。

利用节点方程 $\sum V_i = 0$ 得:

$$\left. \begin{aligned} V_1 + V_5 + V_7 - V_6 &= 0 \\ V_5 - V_2 - V_4 &= 0 \\ V_4 - V_8 - V_3 &= 0 \end{aligned} \right\}$$

解得 $V_6 = 34$ [米³/分]; $V_4 = 12$ [米³/分]; $V_5 = 20$ [米³/分]。

2) 求全路流量

利用支路流量和全路流量的互换公式 (13) $V_j = \sum_i Q_i$, 得:

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= -(Q_1 + Q_3) = 0.167 \text{ [米}^3/\text{秒]} \\ V_2 &= Q_1 - Q_2 = 0.133 \text{ [米}^3/\text{秒]} \\ V_6 &= Q_4 + Q_5 = 0.566 \text{ [米}^3/\text{秒]} \\ V_5 &= Q_1 + Q_5 = 0.333 \text{ [米}^3/\text{秒]} \\ V_4 &= Q_2 + Q_5 = 0.200 \text{ [米}^3/\text{秒]} \end{aligned} \right\}$$

解得 $Q_1 = 0.216$ [米³/秒]; $Q_2 = 0.0832$ [米³/秒]; $Q_3 = -0.383$ [米³/秒]; $Q_4 = 0.45$ [米³/秒]; $Q_5 = 0.116$ [米³/秒]。

3) 求各支路流阻

利用公式 (12)

$R_j = \frac{8\lambda(l+l_e)_j}{\pi^2 g d_j^5} |V_j|$ 来计算。把各有关的已知值和计算值列于表 1。

表 1 各支路流阻的计算值

数值 支路序号	项目 d_j (毫米)	$l+l_e$ (米)	V_j (米 ³ /秒)	W (米/秒)	$R_e \times 10^{-5}$	$\lambda^{(3)}$	R_j (秒/米 ²)	$V_j R_j$ (米)
1	450	600	0.167	1.05	4.73	0.0177	8.00	1.34
2	400	500	0.133	1.06	4.24	0.0180	9.70	1.29
3	350	300	0.0834	0.765	2.69	0.0189	7.43	0.620
4	450	200	0.200	1.26	5.67	0.0170	3.06	0.612
5	600	200	0.333	1.18	7.08	0.0168	1.20	0.401
6	800	150	0.566	1.13	9.04	0.0163	0.35	0.199

4) 求 $\tilde{H}$ 向量各元

把表 1 数值代入公式 (28)、(24) 和 (23), 则得:

$$\begin{bmatrix} \tilde{H}_1 \\ \tilde{H}_2 \\ \tilde{H}_3 \\ \tilde{H}_4 \\ \tilde{H}_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 18.9 & -9.7 & 8.0 & 0 & 1.2 \\ -9.7 & 20.19 & 0 & 0 & 3.06 \\ 8.0 & 0 & 8.0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.35 & 0.35 \\ 1.2 & 3.06 & 0 & 0.35 & 4.61 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0.216 \\ 0.0832 \\ -0.383 \\ 0.45 \\ 0.116 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.353 \\ -0.066 \\ -1.34 \\ 0.199 \\ 1.21 \end{bmatrix}$$

再从式 (27) 可得:

$$\begin{aligned}\tilde{H}_1 &= H_5 - H_4 + H_{L2} = 0.353 \text{ [米]} \\ \tilde{H}_2 &= H_4 - H_3 - H_{L2} = -0.066 \text{ [米]} \\ \tilde{H}_3 &= H_5 - H_1 = -1.34 \text{ [米]} \\ \tilde{H}_4 &= H_6 - H_1 + H_{L1} = 0.199 \text{ [米]} \\ \tilde{H}_5 &= H_6 - H_2 + H_{L1} = 1.21 \text{ [米]}\end{aligned}$$

并由已知条件: $H_5 = Z_5 + \frac{p_5}{\gamma} + \frac{w^2}{2g} = 10 + 10 + 0 = 20 \text{ [米]}$

$$H_4 = 15 + 10 = 25 \text{ [米]}$$

$$H_6 = -5 + 10 = 5 \text{ [米]}$$

可解得:

$H_{L1} = 16.54 \text{ [米]}$; $H_1 = 21.34 \text{ [米]}$; $H_2 = 20.34 \text{ [米]}$; $H_{L2} = 5.35 \text{ [米]}$; $H_3 = 19.72 \text{ [米]}$ 。

为求 1、2、3 各端点压力, 可从 H 中扣去速度头即得, 例如

$$p_3 = \left(H_3 - \frac{w_3^2}{2g} \right) \gamma = \left(19.72 - \frac{1.69^2}{2 \times 9.81} \right) 1000 = 18570 \text{ [公斤/米}^2\text{]} = 1.857 \text{ [公斤/厘米}^2\text{]}$$

当不需要作系统求解或者要对上列计算结果进行核算时, 可按公式 (6) 任取两个端点来列出能头方程。如取 6、4 两点, 则有

$$H_6 - H_4 + H_{L1} + H_{L2} - V_6 R_6 - V_5 R_5 - V_2 R_2 = 0$$

把表 1 中 $V_j R_j$ 的值代入上式, 即算得:

$$\begin{aligned}H_{L1} + H_{L2} &= H_4 - H_6 + V_6 R_6 + V_5 R_5 + V_2 R_2 \\ &= 25 - 5 + 0.199 + 0.401 + 1.29 = 21.89 \text{ [米]}\end{aligned}$$

它与前面系统计算的结果相符合。

4. 其他的命题形式: 当已知支路流量少于 5 个时, 全部支路流量无法肯定, 问题就显得复杂一些。这时既不能直接按公式 (12) 写出各支路流阻, 也得不到完整的全流向量, 这样就不能用两个已知矩阵相乘来求 $\tilde{H}$ 了。只有当所有支路内的流动都是层流, 流阻和流量无关时, 才可以从一元方程组来求解那些未知的流量和能头。这种情况在工程实践中往往是很少有的。(为某种特殊需要, 才会有目的地去制造这样的线性元件, 例如在气动模拟装置里。)遇到这类问题, 一般就必须采用试差法; 比较恰当的步骤是先把未知的流量估设出来, 然后列出全部流阻矩阵和全流向量, 将能头向量中已知各元和计算值进行比较, 逐步修正未知流量的估值, 直到口径完全对准为止。对于复杂的管道系统, 采用矩阵写法不但形式完整, 不易出错, 而且还便于使用电子计算机来解方程组^[5]。

本文承黄南薰同志协助修改计算, 特此致谢。

符 号 说 明

一、一般符号

z ——几何高度, [米];

p ——流体压力, [公斤/米²];

γ ——流体重度, [公斤/米³];

g ——重力加速度, $=9.81 \text{ [米/秒}^2\text{]}$;

d ——导管内径, [米];

$l + l_e$ ——相当总管长, [米];

λ ——阻力系数;

H_i ——第 i 点的总能头, [米液柱];

w ——流速, [米/秒];

H_{Li} ——第 i 个泵的输入能头, [米液柱];

$H_{\Pi i}$ ——第 i 个阻力损失, [米液柱]。

二、具有公共下标的符号

H_m ——第 m 项能头, [米液柱];

V_j ——第 j 条支路上的流量, [米³/秒];

H_{mj} ——第 j 条支路上第 m 项能头, [米液柱];

V_{jn} ——流往第 n 个节点的第 j 条支路流量, [米³/秒];

Q_i ——第 i 条全路上的全流量, [米³/秒];

$H_{\Pi j}$ ——第 j 条支路上的阻力损失, [米液柱];

R_j ——第 j 条支路上的流阻, [秒/米²];

下标的公共意义:

j 为支路序号;

m 为能头序号;

n 为节点序号;

i 为全流序号。

三、全路系统分析中使用的符号

Q_k ——全路流量, ($i=k$);

Q_s ——全路流量, ($i=s$);

$\left. \begin{array}{l} H_{Lk} \\ H_{\Pi k} \\ R_k \\ V_k = Q_k \end{array} \right\}$ 只有第 k 条全路通过的支路上各相应量;

$\left. \begin{array}{l} H_{Lks} \\ H_{\Pi ks} \\ R_{ks} \\ V_{ks} = Q_k + Q_s \end{array} \right\}$ 为 k 全路和 s 全路所共有的支路上各相应量;

$R_{kk} = R_k + \sum_s R_{ks}$ —— k 全路上的总流阻。

参 考 文 献

- [1] 张洪沅、丁绪淮、顾毓珍编著, 化工过程及设备(上册), 第一章, (1964).
- [2] Кочин, Н. Е., и др., Теоретическая гидромеханика, глава 1, (1959).
- [3] Jenson, V. G. and G. V. Jeffereys, *Mathematical methods in chemical engineering*, chapter 12, (1963).
- [4] Acrivos, A. and N. R. Amudson, *J. E. C.*, 47, 1533(1955)
- [5] Ralstor, A., H. S. Wilf, 徐献瑜等译, 数字计算机上用的数学方法, 第二篇, (1964).

ANALYSIS OF THE FLOW IN PIPE-NETWORK

(Chemical Technology and Engineering)

East China Institute of Textile Technology

TANG CHI-LIEN

ABSTRACT

For an incompressible fluid flowing in a line of pipes and pumps in series, Bernoulli's equation can be effectively applied to solve any particular flow problem. When the pipe system consists of a number of complicated branches and cycles, a systematic method for the analysis of the flow system is yet in need. In this article, by transforming the general formula of the pressure drop in pipes

$$H_{ii} = \lambda \frac{l + l_e}{d} \frac{w^2}{2g}$$

into the form of linear element with respect to flow rate,

$$H_{ii} = R_j V_j$$

and further, by introducing the idea of a "complete stream", a set of simultaneous linear equations can be obtained. Such equations can then be represented in the form of matrix, which, besides presenting the equations in a regular form, also makes possible the solution by using digital computers.