

化工原理操作型问题的分析

何潮洪 窦 梅 钱栋英 编著

02
33

化学工业出版社

094852

化工原理操作型问题的分析

何潮洪 奚 梅 钱栋英 编著

化学工业出版社

·北 京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

化工原理操作型问题的分析/何潮洪等编著. —北京: 化学工业出版社, 1998. 7

ISBN 7-5025-2148-8

I. 化… II. 何… III. 化工单元操作-分析 IV. TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 09117 号

化工原理操作型问题的分析

何潮洪 窦 梅 钱栋英 编著

责任编辑: 廖叶华

责任校对: 李 丽 顾淑云

封面设计: 于 兵

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

新华书店北京发行所经销

北京市密云云浩印制厂印刷

北京市密云云浩印制厂装订

*

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 6% 字数 188 千字

1998 年 7 月第 1 版 1998 年 7 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—2000

ISBN 7-5025-2148-8/TQ · 1058

定 价: 10.00 元

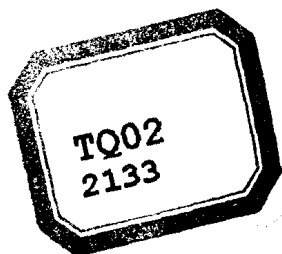
版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

内 容 提 要

本书包括流体流动、流体输送机械、机械分离、传热、吸收、精馏、萃取等七章。每章通过典型例题的定性分析和定量计算,阐述如何灵活应用相关的基本原理解决一类单元操作中的操作型问题(操作型问题是指在流程和设备给定的情况下,考察操作条件的变化对结果的影响,或对现有流程及设备进行核算)。本书可与化工原理教材配套使用,或作为高等学校教材、教学参考书,亦可供化工部门从事研究、设计及生产的工程技术人员参考。

本书由何潮洪主编,谭天恩教授审定。第一、二章由窦梅执笔,第三、四章由何潮洪执笔,第五章由何潮洪、钱栋英执笔,第六章由何潮洪、钱栋英、窦梅执笔,第七章由钱栋英执笔。黄有慧、谭式人参与了每章编写过程中的有关讨论,浙江大学传递与分离工程教研室南碎飞等对本书提出了很多宝贵意见。



序

化工原理是化学工程、化学工艺类及其相近专业的一门主干课，主要内容为单元操作有关设备及流程的设计与操作。从问题的类型上来看，大致可分为设计型与操作型两大类：设计型问题是已知生产任务及条件，要求定出合理的流程、设计一个较好的设备；操作型问题则是在流程和设备已给定的情况下，考察操作条件的变化对结果的影响，或对现有流程及设备进行核算。诚然，两类问题所依据的基本原理是相同的，但相比较而言，操作型问题的分析和求解更加复杂，要求对相关基本原理更能深刻掌握和灵活应用，是化工原理课程教与学和用于生产实际的难点所在。

本书编者从事化工原理教学多年，深感操作型问题的分析在化工原理课程中的重要性及教、学之不易。经过几年的摸索与讨论，初步总结出一些体会、经验，写成讲稿，经过几届学生的使用，取得了较好的效果；现作进一步整理，付梓以飨读者。

本书在写法上，首先对相应单元操作的原理进行简单的归纳，然后提出其操作型问题分析的一般性方法，在这基础上通过典型示例来说明分析的具体步骤及注意点，其中定性分析是本书的一大特色。

相信本书的出版能对化工原理的教与学起到推动作用，对工程技术人员也有所启发。

谭无恩

1997. 12

2A038107

目 录

第一章 流体流动	1
一、流体流动的数学描述	1
二、流体流动的操作型问题特点及其类型	4
三、流体流动过程中操作型问题的分析方法	4
四、分析与计算示例	5
本章符号说明	26
习题	26
第二章 流体输送机械	33
一、流体输送过程的数学描述	33
二、流体输送的操作型问题特点及其类型	34
三、流体输送的操作型问题分析方法	35
四、分析与计算示例	38
本章符号说明	59
习题	60
第三章 机械分离	64
一、机械分离过程的数学描述	64
二、机械分离操作型问题的特点及分析方法	66
三、分析与计算示例	66
本章符号说明	76
习题	77
第四章 传热	80
一、传热过程的数学描述	80
二、传热操作型问题的特点及基本类型	81
三、传热操作型问题的分析方法	82
四、分析与计算示例	83

本章符号说明	105
习题	106
第五章 吸收	109
一、吸收过程的数学描述	109
二、吸收操作型问题的特点及基本类型	110
三、吸收操作型问题的分析方法	110
四、分析与计算示例	111
本章符号说明	131
习题	132
第六章 精馏	135
一、精馏过程的数学描述	135
二、精馏操作型问题的特点及基本类型	135
三、精馏塔操作型问题的分析方法	137
四、分析与计算示例	139
本章符号说明	170
习题	170
附录一 液汽比对精馏塔理论板分离能力的影响	173
附录二 精馏操作型问题定量计算的程序框图	175
第七章 萃取	179
一、萃取过程的数学描述	179
二、萃取操作型问题的特点及基本类型	183
三、萃取操作型问题的分析方法	183
四、分析与计算示例	184
本章符号说明	194
习题	195
主要参考书	197
习题答案	198

第一章 流 体 流 动

一、流体流动的数学描述

在化工生产中,经常遇到流体通过管道流动这一最基本的流体流动现象。当流体在管内作稳定流动时,遵循以下两个基本衡算关系式。

质量衡算方程式:

在稳定的流动系统中,对某一划定体积而言,进入该体积的流体的质量流量等于流出该体积的质量流量。如图 1-1 所示,若取截面 1-1'、2-2' 及两截面间管壁所围成的体积为划定体积,则

$$u_1 A_1 \rho_1 = u_2 A_2 \rho_2 = u A \rho \quad (1-1a)$$

对不可压缩、均质流体(密度 $\rho = \text{常数}$)的圆管内流动,上式简化为

$$u_1 d_1^2 = u_2 d_2^2 = u d^2 \quad (1-1b)$$

机械能衡算方程式:

在没有外加功的情况下,流动系统中的流体总是从机械能较高处流向机械能较低处,两处机械能之差为流体克服流动阻力做功而消耗的机械能,以下简称为阻力损失。如图 1-1 所示,截面 1-1' 与 2-2' 间单位质量流体的机械能衡算式为

$$Et_1 = Et_2 + w_f \quad (1-2)$$

式中 $Et_1 = z_1 g + \frac{p_1}{\rho} + \frac{u_1^2}{2},$

截面 1-1' 处单位质量流体的机械能, J/kg;

$$Et_2 = z_2 g + \frac{p_2}{\rho} + \frac{u_2^2}{2},$$

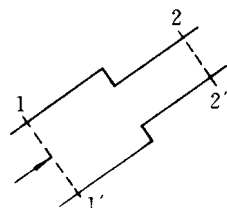


图 1-1 管道系统内的
稳定流动示意图

截面 2-2' 处单位质量流体的机械能, J/kg;

$$w_i = \sum \left[\left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \frac{u^2}{2} \right] = \sum \left[\lambda \frac{(l + \sum le)}{d} \frac{u^2}{2} \right],$$

单位质量流体在划定体积内流动时的总阻力损失,

J/kg。其中, λ 为雷诺数 Re 和相对粗糙度 $\frac{\epsilon}{d}$ 的函数,

$$\text{即 } \lambda = \phi \left(\frac{\rho u d}{\mu}, \frac{\epsilon}{d} \right)。$$

上述方程式中, 若将 Et_1 、 Et_2 、 w_i 、 λ 视为中间变量, 则有 z_1 、 u_1 、 p_1 、 d_1 、 z_2 、 u_2 、 p_2 、 d_2 、 d 、 u 、 l 、 $\sum \zeta$ (或 le)、 ϵ 、 ρ 、 μ 等 15 个变量, 而独立方程仅有式(1-1)(含两个独立方程)、式(1-2)三个。因此, 当被输送流体的物性 (ρ 、 μ) 已知时, 为使方程组有唯一解, 还需确定另外的 10 个变量, 其余 3 个变量才能确定。

通常根据管路布置方式的不同, 将管路系统分为简单管路和复杂管路两类, 它们的特点及流体在管路中流动时应满足的基本关系式分述如下。

1. 简单管路——没有分支或汇合的单一管路

简单管路的特点为:

①在稳定流动过程中, 通过各管段的质量流量不变, 对不可压缩流体则体积流量不变;

②整个管路的总阻力损失为流体流经各直管段及各管件、阀门等所引起的损失之和。

2. 复杂管路——有分支或汇合的管路

常见的有分支管路、汇合管路和并联管路, 分别如图 1-2(a)、(b)、(c)所示。

流体在复杂管路中稳定流动时也遵循质量衡算及机械能衡算关系。应当指出, 流体在分支或汇合过程中除因流速大小和方向的突变导致机械能损失外, 还会因流股之间的动量交换而引起机械能转移, 工程上通常将这种转移所引起的机械能变化归并到分叉点或汇合点处的局部阻力损失中, 在取得交叉点的局部阻力系数后, 仍可将单位质量流体的机械能衡算式应用于分支或汇合管路的计算。在长距离输送过

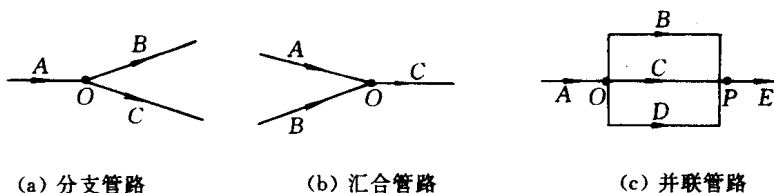


图 1-2 复杂管路示意图

程中，分叉点或汇合点处的局部阻力损失常常可以忽略。

(1) 在如图 1-2(a) 所示的分支管路中，有

$$V_A = V_B + V_C$$

$$Et_A = Et_B + (\sum w_f)_{AO} + (\sum w_f)_{OB}$$

$$Et_A = Et_C + (\sum w_f)_{AO} + (\sum w_f)_{OC}$$

流体由 O 点经分支点流向支路 B 或 C 时在分支点处的局部阻力损失应包含在 $(\sum w_f)_{OB}$ 或 $(\sum w_f)_{OC}$ 中。

(2) 在如图 1-2(b) 所示的汇合管路中，有

$$V_C = V_A + V_B$$

$$Et_A = Et_C + (\sum w_f)_{AO} + (\sum w_f)_{OC}$$

$$Et_B = Et_C + (\sum w_f)_{BO} + (\sum w_f)_{OC}$$

流体沿支路 A 或 B 经汇合点流向总管时在汇合点处的局部阻力损失应包含在 $(\sum w_f)_{AO}$ 或 $(\sum w_f)_{BO}$ 中。

(3) 在如图 1-2(c) 所示的并联管路中，有

$$V_A = V_B + V_C + V_D$$

$$Et_A = Et_E + (\sum w_f)_{AO} + (\sum w_f)_{OBP} + (\sum w_f)_{PE}$$

$$Et_A = Et_E + (\sum w_f)_{AO} + (\sum w_f)_{OCP} + (\sum w_f)_{PE}$$

$$Et_A = Et_E + (\sum w_f)_{AO} + (\sum w_f)_{ODP} + (\sum w_f)_{PE}$$

由上述方程式可知

$$(\sum w_f)_{OBP} = (\sum w_f)_{OCP} = (\sum w_f)_{ODP}$$

可见，复杂管路的特点为：

①对不可压缩流体，总管流量等于各支管流量之和；

②对任一支管，在分支前（或汇合后）单位质量流体所具有的机械能相同；

③并联管路中各支路的流动阻力损失相等。

在复杂管路的计算中，可根据上述特点求取各支管的流量分配及其阻力损失。

需指出，对于可压缩流体的管路计算，除前述关系式外还需要有表征过程性质的状态方程式（如理想气体的等温、绝热等过程的状态方程）。

二、流体流动的操作型问题特点及其类型

操作型问题的特点是管路布置已定，当某一操作条件改变时，核算该管路的输送能力、分析某流动参数的变化情况，或为达到某一输送能力应采取的措施等。其类型有：

（1）已知输送系统可提供的总压头，求给定管路的输送量或各支管的流量分配；

（2）已知管路布置和输送量，求输送所需的总压头及功率；

（3）分析操作条件改变时，管内流量等的变化情况。

三、流体流动过程中操作型问题的分析方法

1. 定性分析方法

对简单管路，当管路系统的操作状况发生改变（如管路中某一阀门开度或流体性质等发生变化）时，可根据问题中给定的条件，首先对整个管路系统运用机械能衡算式（包括各种阻力损失计算式）及质量衡算式，判断出管内流速、流量的变化趋势，然后分段运用机械能衡算式判断管线沿途各处静压力的变化趋势。若为复杂管路系统，应将机械能衡算式应用于各支管及总管段，再联合分支点及汇合点处的质量衡算式，分析总管线内流速及各处静压力的变化趋势，进而分析各支管内的流速、流量变化趋势。

2. 定量计算方法

对于输送量已知的这类命题,管内流速及雷诺数均可计算,因而可直接求取摩擦因数,再运用机械能衡算式便可求得有关未知量(如 w_e 等)。

对于输送量未知的命题,因流速未知,而 λ 与流速关系又是一个复杂的非线性函数,因而求解过程需试差。在求解这类问题时,由于摩擦因数 λ 值的变化范围不大,试差时可选 λ 作为迭代变量,并取流体流动已进入阻力平方区的 λ 值作为初值。

四、分析与计算示例

【例 1-1】 如图 1-3 所示,高位槽 A 内的液体通过一等径管流向槽 B。在管线上装有阀门,阀门前、后 M、N 处分别安装压力表。假设槽 A、B 液面维持不变,阀门前、后管长分别为 l_1 、 l_2 。现将阀门关小,试分析管内流量及 M、N 处压力表读数如何变化。

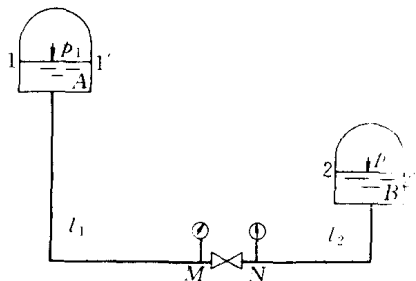


图 1-3 例 1-1 附图

解: (1) 管内流量变化分析

阀门关小后,管内流量将变小。论证如下。

在两槽液面 1-1' 与 2-2' 间列机械能衡算式

$$Et_1 = Et_2 + \left[\lambda \frac{(l_1 + l_2)}{d} + \sum \zeta \right] \frac{u^2}{2} \quad (1)$$

式中 $Et_1 = z_1 g + \frac{p_1}{\rho} + \frac{u_1^2}{2}$

$$Et_2 = z_2 g + \frac{p_2}{\rho} + \frac{u_2^2}{2}$$

当阀门关小时, z_1 、 z_2 、 p_1 、 p_2 均不变, $u_1 \approx u_2 \approx 0$ (因为水槽截面比管截面大得多),故两截面处的总机械能 Et_1 、 Et_2 不变;又管长 l_1 、 l_2 与管径 d 也不变,摩擦因数 λ 变化不大,可视为常数。但阀门关小时 ζ 增大即 $\sum \zeta$ 增大,故由式(1)可知 u 减小,即管内流量 V 减小。

(2) M 处压力表读数变化分析

由截面 1-1' 和 M 点所在的截面间的机械能衡算式可知

$$\frac{p_M}{\rho} = Et_1 - z_M g - \left(\lambda \frac{l_1}{d} + \sum \zeta_{1-M} + 1 \right) \frac{u^2}{2} \quad (2)$$

当阀关小时, 式(2)中等号右边除 u 减小外, 其余量均不变, 故 p_M 增大。

(3) N 处压力表读数变化分析

同理, 由 N 点所在的截面和截面 2-2' 间的机械能衡算式可知

$$\frac{p_N}{\rho} = Et_2 - z_N g + \left(\lambda \frac{l_2}{d} + \sum \zeta_{N-2} - 1 \right) \frac{u^2}{2} \quad (3)$$

当阀关小时, 式(3)中等号右边除 u 减小外, 其余量均不变, 且 $\left(\lambda \frac{l_2}{d} + \sum \zeta_{N-2} - 1 \right)$ 恒大于零 (因为 $\sum \zeta_{N-2}$ 中至少包含一个出口局部阻力系数 $\zeta_o = 1$), 故 p_N 减小。

本题分析表明, 流体在管道内流动时, 各流动参数是相互联系、相互制约的, 管内任一局部阻力状况的改变都将影响到整个流动系统的流速和压力分布。通过上述分析, 可以得出如下结论。

(1) 在其他条件不变时, 管内任何局部阻力的增大将使该管内的流速下降, 反之亦然。

(2) 在其他条件不变时, 关小阀门必将导致阀前 (或阀上游) 静压力上升以及阀后 (或阀下游) 静压力下降, 反之亦然。

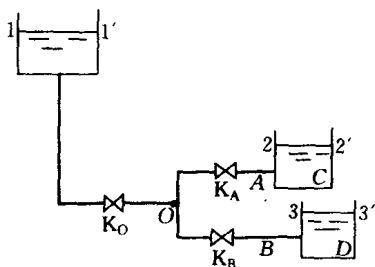
讨论: 用机械能衡算式分析管路某处静压力的变化时, 不宜将局部阻力系数已起变化的部分包括在衡算式内。如题中分析 M 处压力变化时, 若在 M 点所处截面与 2-2' 截面间列机械能衡算式

$$\frac{p_M}{\rho} = Et_2 - z_M g + \left(\lambda \frac{l_2}{d} + \sum \zeta_{M-2} - 1 \right) \frac{u^2}{2} \quad (4)$$

当阀关小时, 式(4)中 u 减小, 而 ζ_{M-2} 增大, 因此难以由式(4)直接判断出 p_M 的变化趋势, 使分析过程变得复杂。因此, 要适当地选取划定体积以避免式中同时出现两个或两个以上变量呈相反变化的情况。

【例 1-2】 如图 1-4 所示, 一高位槽通过一总管及两支管 A 、 B 分

别向水槽 C 、 D 供水。假设总管和支管上的阀门 K_O 、 K_A 、 K_B 均处在全开状态,三个水槽液面保持恒定。试分析,当将阀门 K_A 关小时,总管和各支管的流量及分支点前 O 处的压力如何变化。



解: (1) 总管和各支管流量变化

分析

图 1-4 例 1-2 附图

分别在液面 1-1' 与 2-2' 和液面 1-1' 与 3-3' 间列机械能衡算式

$$\begin{aligned} Et_1 - Et_2 &= \lambda_0 \frac{(l_0 + \sum le_0) u_0^2}{d_0} \frac{1}{2} + \lambda_A \frac{(l_A + \sum le_A) u_A^2}{d_A} \frac{1}{2} \\ &= \frac{8\lambda_0(l_0 + \sum le_0)}{\pi^2 d_0^5} V_0^2 + \frac{8\lambda_A(l_A + \sum le_A)}{\pi^2 d_A^5} V_A^2 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} Et_1 - Et_3 &= \lambda_0 \frac{(l_0 + \sum le_0) u_0^2}{d_0} \frac{1}{2} + \lambda_B \frac{(l_B + \sum le_B) u_B^2}{d_B} \frac{1}{2} \\ &= \frac{8\lambda_0(l_0 + \sum le_0)}{\pi^2 d_0^5} V_0^2 + \frac{8\lambda_B(l_B + \sum le_B)}{\pi^2 d_B^5} V_B^2 \end{aligned} \quad (2)$$

式中 Et_1 、 Et_2 、 Et_3 ——截面 1-1'、2-2'、3-3' 处单位质量流体的总机械能, J/kg;

λ_0 、 λ_A 、 λ_B ——总管及支管 A 、 B 的摩擦因数;

$\sum le_0$ 、 $\sum le_A$ 、 $\sum le_B$ ——总管及支管 A 、 B 中的所有局部阻力当量长度之和;

d_0 、 d_A 、 d_B ; l_0 、 l_A 、 l_B ——总管及支管 A 、 B 的内径和直管段长度;

u_0 、 u_A 、 u_B ——总管及支管 A 、 B 内的流速。

令

$$B_0 = \frac{8\lambda_0(l_0 + \sum le_0)}{\pi^2 d_0^5}$$

$$B_A = \frac{8\lambda_A(l_A + \sum le_A)}{\pi^2 d_A^5}$$

$$B_B = \frac{8\lambda_B(l_B + \sum le_B)}{\pi^2 d_B^5}$$

B_0 、 B_A 、 B_B 分别代表总管及支管 A 、 B 的阻力特性。于是式(1)、式(2)

变为

$$Et_1 - Et_2 = B_0 V_0^2 + B_A V_A^2 \quad (3)$$

$$Et_1 - Et_3 = B_0 V_0^2 + B_B V_B^2 \quad (4)$$

式中 V_0, V_A, V_B 为总管及支管 A, B 的体积流量。

再由分支点处的质量衡算得

$$V_0 = V_A + V_B \quad (5)$$

由式(3)、式(4)解出 V_A, V_B 并代入式(5)得

$$V_0 = \sqrt{\frac{Et_1 - Et_2 - B_0 V_0^2}{B_A}} + \sqrt{\frac{Et_1 - Et_3 - B_0 V_0^2}{B_B}} \quad (6)$$

当阀门 K_A 关小时, 式(6)中 $Et_1, Et_2, Et_3, B_0, B_B$ 均不变(λ_0, λ_B 可近似视为定值), 而 Σle_A 增大, 即 B_A 增大。若假设 V_0 不变或 V_0 增大, 则式(6)等号两边不等, 故只能 V_0 减小。上述方法称为排除法。

根据 V_0 减小, 再由式(4)可知 V_B 增大, 而由式(5)则知 V_A 减小。

(2) O 处压力 p_0 变化分析

在截面 1-1' 和 O 点所在截面间列机械能衡算式

$$Et_1 = z_0 g + \frac{p_0}{\rho} + \frac{u_0^2}{2} + B_0 V_0^2$$

当阀门 K_A 关小时, 上式中 Et_1, z_0, B_0 均不变, 而 V_0 减小即 u_0 减小, 故 p_0 增大。

讨论: 本题属复杂管路问题, 虽然仅支管 A 的局部阻力发生了变化, 但是分析过程却涉及到整个流动系统的流动参数及关系式。

本题分析结果表明: 阀门 K_A 关小后, V_0 减小、 V_A 减小、 p_0 增大, 即阀 K_A 上、下游管内流量下降, 阀 K_A 上游压力上升, 这与将管线 102 看成简单管路并应用例 1-1 的结论进行分析所得的结果相吻合。由此可见, 例 1-1 的结论也可用于分支管路。

需指出的是, 支管 B 不是阀 K_A 的上游, 故支管 B 的流量和压力变化分析不可使用例 1-1 的结论。事实上, V_B 并不减小而是增大 (p_0 增大 $\rightarrow V_B$ 增大)。

另外, 若总管阻力可以忽略不计 (比如流速很小或总管短而粗),

则管路系统的总阻力以各支管阻力为主, 通过类似上述方法分析可知, 某支管阻力的变化(如该支管上阀门关小或开大)只会对该支管内的流量产生影响, 对其他支管无影响。

【例 1-3】 如图 1-5 所示, 用汇合管路将高位槽 A、B 中的某液体引向低位槽 C 中。设三槽液面维持恒定。试分析, 当将阀门 K_2 开大时, 各支管、总管的流量及汇合点 O 处的压力如何变化。

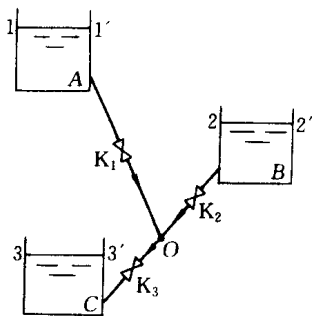


图 1-5 例 1-3 附图

解: (1) 各管内流量变化分析

分别在液面 1-1' 与 3-3' 间和液面 2-2' 与 3-3' 间列机械能衡算式

$$\begin{aligned} E_{t_1} - E_{t_3} &= \lambda_1 \frac{(l_1 + \sum l_{e_1}) u_{10}^2}{d_1} \frac{1}{2} + \lambda_3 \frac{(l_3 + \sum l_{e_3}) u_{03}^2}{d_3} \frac{1}{2} \\ &= \frac{8\lambda_1(l_1 + \sum l_{e_1})}{\pi^2 d_1^5} V_1^2 + \frac{8\lambda_3(l_3 + \sum l_{e_3})}{\pi^2 d_3^5} V_3^2 \\ &= B_1 V_1^2 + B_3 V_3^2 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} E_{t_2} - E_{t_3} &= \lambda_2 \frac{(l_2 + \sum l_{e_2}) u_{20}^2}{d_2} \frac{1}{2} + \lambda_3 \frac{(l_3 + \sum l_{e_3}) u_{03}^2}{d_3} \frac{1}{2} \\ &= \frac{8\lambda_2(l_2 + \sum l_{e_2})}{\pi^2 d_2^5} V_2^2 + \frac{8\lambda_3(l_3 + \sum l_{e_3})}{\pi^2 d_3^5} V_3^2 \\ &= B_2 V_2^2 + B_3 V_3^2 \end{aligned} \quad (2)$$

式中 B_1 、 B_2 、 B_3 分别代表支管 1、2、3 的阻力特性, 其中

$$B_1 = \frac{8\lambda_1(l_1 + \sum l_{e_1})}{\pi^2 d_1^5}$$

$$B_2 = \frac{8\lambda_2(l_2 + \sum l_{e_2})}{\pi^2 d_2^5}$$

$$B_3 = \frac{8\lambda_3(l_3 + \sum l_{e_3})}{\pi^2 d_3^5}$$

再由汇合点处的质量衡算, 得

$$V_1 + V_2 = V_3 \quad (3)$$

由式(1)、式(2)解出 V_1 、 V_2 然后代入式(3),得

$$\sqrt{\frac{Et_1 - Et_3 - B_3 V_3^2}{B_1}} + \sqrt{\frac{Et_2 - Et_3 - B_3 V_3^2}{B_2}} = V_3 \quad (4)$$

当阀门 K_2 开大时,式(4)中 Et_1 、 Et_2 、 Et_3 、 B_1 、 B_3 均不变(λ_1 、 λ_3 可视为近似不变),而 $\sum le_2$ 减小即 B_2 减小。用与例 1-2 类似的排除法分析可知 V_3 增大。

再由式(1)分析得 V_1 减小,由式(3)分析得 V_2 增大。

(2) O 处压力变化分析

在汇合点 O 处所在截面和截面 3-3' 间列机械能衡算式并整理,得

$$\frac{p_O}{\rho} = Et_3 - z_O g + \left(\lambda_3 \frac{l_3 + \sum le_3}{d_3} - 1 \right) \frac{u_{O3}^2}{2}$$

阀门 K_2 开大后,上式中 z_O 、 Et_3 不变, $\left(\lambda_3 \frac{l_3 + \sum le_3}{d_3} - 1 \right)$ 不变且恒大于零(原因见例 1-1 中(3)的分析),而 V_3 增大即 u_{O3} 增大,故 p_O 增大。

讨论:本题的分析结果表明,阀门 K_2 开大后, V_2 增大、 V_3 增大、 p_O 增大,即阀 K_2 上、下游管内流量增加,阀 K_2 下游压力上升,这与将管线 BOC 看成简单管路并应用例 1-1 的结论进行分析所得的结果一致。由此可见,例 1-1 的结论也可用于汇合管路。

同例 1-2 一样,需指出的是,支管 AO 不是阀门 K_2 的下游,故例 1-1 的结论不能用于该支管。事实上,支管 AO 的流量减小而不是增大。

【例 1-4】 如图 1-6 所示,一高位槽 A 通过并联管路向低位槽 B 输送液体。两槽液面维持恒定,支管 a 、 b 、 c 上的阀门 K_a 、 K_b 、 K_c 都处在半开状态,且支管 a 流量 V_a 大于支管 c 流量 V_c 。

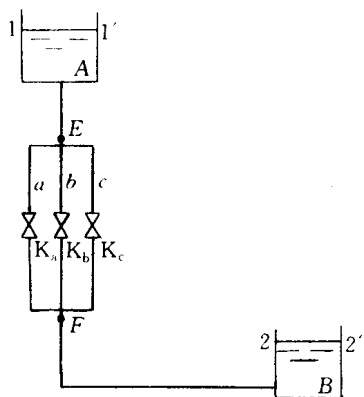


图 1-6 例 1-4 附图