

# 膜分离过程 设计法

日本膜学会 编

科学技术文献出版社

81.174

131.1

C.2

# 膜分离过程设计法

日本膜学会 编

王志魁 译

孙文粹 校

31020755

科学技术文献出版社

1988

## 内 容 简 介

目前, 各种不同类型的膜分离法已广泛用于核燃料及金属提炼, 气体及烃类的分离, 海水及苦咸水淡化, 纯水及超纯水制备, 环境保护和污水处理, 人工脏器的制造, 生物制品的提纯以及医药、食品、农业、化工等各个领域的生产和研制中。

本书对七种膜分离法, 即渗透蒸发法、渗析法、精密过滤法、气体的膜分离法、超滤法、电渗析法及反渗透法的原理和设计计算方法作了精辟的说明。附有例题和习题。

本书可供膜分离科学与技术研究单位的研究人员, 膜分离设备设计、制造单位的设计人员、生产人员以及有关高等院校的师生参考。

日本膜学会 编

膜分離プロセスの設計法

喜多見書房 1985年

### 膜分离过程设计法

日本膜学会 编

王志魁 译 孙文粹 校

科学技术文献出版社出版

北京京辉印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行 各地新华书店经售

\*

787×1092毫米 32开本 6.5印张 139千字

1988年9月北京第一版第一次印刷

印数, 1—2000册

科技新书目: 175—099

ISBN 7-5023-0600-5/TQ·2

定价: 1.90元

## 序

在分离方面应用膜的尝试，很早以来就一直进行着。但是，工业规模的应用是20世纪30年代才开始在人造丝工业从半纤维素回收烧碱中使用了渗析法。继而进入50年代，首先在海水及咸水脱盐中引进了电渗析法。以后，特别是在日本，电渗析法作为海水浓缩技术，代替自古以来的盐田晒盐法而引起了人们的重视，1974年进行了全面更换，在年产100万吨以上的食盐生产过程中占有重要地位。60年代非对称膜制膜法的发明，为反渗透法与超滤法的发展奠定了基础。反渗透法得到了美国内务部盐水局的支持，从70年代开始有了迅速发展。由于它的节能性，在不远的将来会成为中东各国海水淡化的主要方法。70年代初期，寄予期望的超滤法，因为在膜表面上形成凝胶层问题难以解决，约推迟了10年以后又开始发展。关于气体分离膜在工业上的应用，由于需要长时间解决高分子材料的分离系数增大而渗透速度减小的矛盾，所以80年代以后才有了发展。

另外，具有相变化的渗透蒸发法，还没有实际应用，尽管它需要增加一些能量消耗，但预计会有较高的分离系数，所以是很有发展前途的一种分离方法。

日本膜学会于1980年和1981年在东京举办了“人造膜性能评价法”的学习班。随后，1981~1982年在京都举办了“膜学入门”学习班，1982年在东京举办了“膜技术基础”学习班，1983年在东京举办了“膜迁移基础”学习班。1984

年在东京举办了“膜分离过程设计法”学习班。这个学习班正在壮大成长，相信这会对今后从事运用膜分离技术、力争得到更经济的分离方法的各位先生有参考价值。

现在把1984年学习班的讲课内容编成一本书发行，若能对更多的、为同一目的日夜钻研的同志有所帮助，则感到荣幸。

大矢晴彦

1984年12月

# 目 录

渗透蒸发法	石川  矫(1)
1. 前 言	(1)
2. 理 论	(2)
2.1 渗透蒸发设计计算的自由度与指定变量	(2)
2.2 渗透蒸发设计计算模型	(7)
2.2.1 错流型	(8)
2.2.2 逆流型	(9)
2.3 组分透过量 $q(i)$	(11)
2.3.1 使用渗透系数 ( $P_i$ ) 的方法	(11)
2.3.2 使用扩散系数( $D(i)$ )与溶解度系数 ( $K_c(i)$ ) 的方法	(12)
3. 例 题	(15)
4. 蒸馏与渗透蒸发的联合过程	(19)
5. 习 题	(21)
6. 结 束 语	(21)
渗析法	泰平信夫 末岡明伯(23)
1. 前 言	(23)
2. 渗析理论	(23)
2.1 渗析方程式 1	(23)
2.2 渗析方程式 2	(25)
2.3 原液侧的溶液增量	(28)
2.4 二组分物系	(29)

2.5 血液渗析	(30)
3. 习题	(32)
3.1 纸浆压滤液中碱的回收能力	(32)
3.2 酱油脱盐与氨基酸(总氮,用TN表示) 的损失	(34)
精密过滤法	泰平信夫 末岡明伯(38)
1. 前言	(38)
2. Ruth方程式	(38)
3. 中空纤维膜与通量	(41)
4. 孔径评价法	(44)
5. 血浆分离	(47)
6. 习题	(48)
气体的膜分离法	進藤勇治(57)
1. 前言	(57)
2. 气体的透过	(58)
3. 气体的膜分离	(65)
4. 气体的膜分离理论	(67)
5. 设计计算例题	(70)
6. 多组合物系的设计计算	(72)
7. 结束语	(80)
超滤法	木村尚史 中尾真一(83)
1. 前言	(83)
2. 超滤法的基础理论	(84)
2.1 浓差极化	(84)
2.2 传质系数	(86)
2.3 迁移方程式	(87)
2.3.1 超滤膜的性能评价	(87)

2.3.2	迁移方程式	(88)
2.4	微孔模型	(88)
2.5	透过膜的通量减少	(89)
2.5.1	透过膜的通量性能	(89)
2.5.2	渗透压模型	(91)
2.5.3	凝胶极化模型	(92)
3.	超滤装置设计	(93)
3.1	分子量分离	(93)
3.2	渗滤	(94)
3.3	间歇式浓缩	(95)
4.	装置设计用基础数据	(97)
4.1	商品超滤膜的性能	(97)
4.2	溶质的扩散系数与半径	(97)
4.3	渗透压	(107)
4.4	凝胶层浓度	(109)
5.	设计练习	(109)
	电渗析法	糸井 滋(116)
1.	前言	(116)
2.	电渗析的基本技术	(117)
2.1	电渗析的传质	(117)
2.2	极限电流密度	(120)
2.3	设备概况与操作方法	(121)
3.	工艺过程计算基础	(125)
3.1	电流密度	(125)
3.2	电渗析器的脱盐率	(125)
3.3	所需膜面积	(127)
3.3.1	连续操作的级数与膜面积	(127)



3.3.2	间歇操作的膜面积	(127)
4.	设计步骤	(129)
4.1	处理条件	(129)
4.2	电渗析器	(129)
4.3	电流密度的计算	(130)
4.3.1	组成换算系数	(130)
4.3.2	温度换算系数	(131)
4.3.3	安全系数	(131)
4.4	设备计算	(132)
4.4.1	连续操作	(132)
4.4.2	间歇操作	(133)
4.5	浓缩液量	(133)
4.6	其他	(134)
5.	过程设计计算例题	(134)
6.	结束语	(141)
	反渗透法	大矢晴彦(142)
1.	渗透现象与反渗透	(142)
2.	渗透压	(144)
2.1	遵从拉乌尔定律的溶液(理想溶液)	(144)
2.2	渗透压系数 $\phi_i$	(144)
2.3	凝固点下降 $\Delta T_f$	(150)
2.4	活度系数 $\gamma_w$	(150)
2.5	实用数据	(151)
3.	膜透过	(151)
3.1	膜透过模型	(151)
3.2	膜透过的实用方程式	(152)
3.3	膜渗透系数数据	(152)

4. 浓差极化	(166)
4.1 浓差极化模型	(166)
4.2 传质系数：理论值	(166)
4.3 传质系数：实测值	(168)
5. 工 程	(169)
5.1 基本方程式	(169)
5.2 流动体系基本方程式（大矢与 Sourirajan 的一般方程式）	(171)
5.3 径向流动体系基本方程式（大矢的一般方 程式）	(175)
6. 例题：一级反渗透过程的海水淡化	(178)
6.1 所需要的功	(184)
6.2 所需膜面积	(184)
6.3 成本估算	(187)
7. 习 题	(189)

# 渗透蒸发法

石川 娇

## 1. 前 言

渗透蒸发法 (Pervaporation) 是具有相变化的膜分离法, 膜的两侧分别为进料侧 (一次侧) 和透过侧 (二次侧), 进料侧为液体, 透过侧为蒸汽。渗透蒸发的历史悠久, 19世纪50年代已经有 Graham 用它进行过液体混合物的分离。以后, 1906年Kahlenbery使用橡胶膜进行现在称为渗透蒸发法的原型实验, 分离醇与烃的混合物。

尽管渗透蒸发法是古老的膜分离法, 但是其技术至今尚未建立起来, 这是因为渗透蒸发法要与蒸馏技术竞争。在通常状态下为液体的混合物, 加热生成的蒸汽组成与原液体组成不同。利用这个原理的蒸馏技术是分离液体混合物应用极为广泛的分离技术。在不太考虑所需能量, 只要纯度或回收率能满足要求就可以了的时代, 蒸馏被认为是无可比拟的技术。可是, 在要求推行节能, 依靠引进新技术, 开发能量消耗更少的分离方法的今天, 渗透蒸发法就重新被重视起来。特别是用一般蒸馏难于分离的恒沸混合物及沸点差较小的混合物, 用渗透蒸发法分离是适宜的。

渗透蒸发法中, 一次侧为液体, 二次侧为蒸汽, 所以与蒸馏相同, 需要蒸发潜热, 并且为了使渗透能够稳定地进行, 二次侧需要减压, 这还要消耗一些能量。所以与其它膜

分离法比较，其优点较难理解，过去有许多定性评价，也是意见不一。这是因为渗透蒸发膜过程的设计法尚未建立；数据少；所处理的混合物为非理想物系等所造成的。

本章将对渗透蒸发法作定量评价，为了能与过去的分离技术进行比较，还将介绍在已给出需要分离的混合物及其指定变量时，需要什么数据，用什么计算方法能计算出膜面积及所需能量。并且也将对渗透蒸发与蒸馏联合过程设计法作些简要说明，现在认为这种联合过程能率先使渗透蒸发在工业上得到应用。

## 2. 理 论

### 2.1 渗透蒸发设计计算的自由度与指定变量

在进行渗透蒸发法设计计算时，必需弄清楚给出什么指定变量，用什么计算模型（计算式），求出什么。渗透蒸发

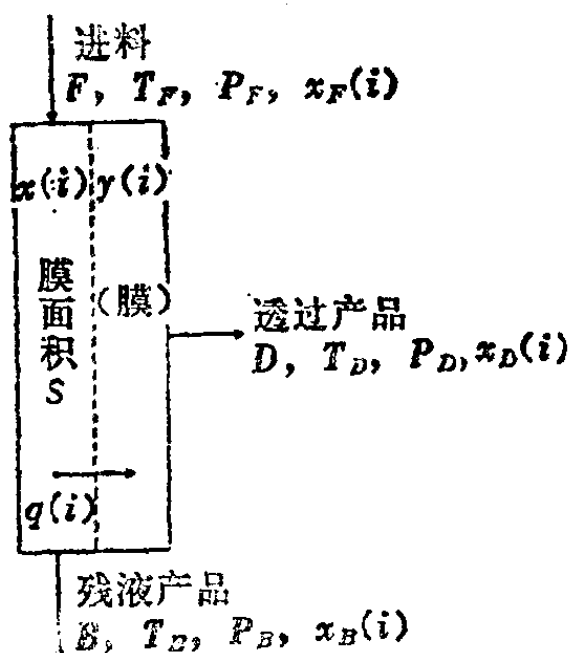


图 1 渗透蒸发计算模型

很少作为单独过程使用，通常或多或少要和蒸馏、闪蒸、热交换等单元操作共同构成一个过程。所以在指定分离纯度及产品量，要求计算出膜面积及所需动力之外，还需要有各种指定变量的方案。

例如，也有指定膜面积与产品回收率，欲求出残液产品纯度及透过物组成的情形。在这种情况下，若考虑

C个组分混合物，要事先知道能够指定几个变量。若指定的变量数过少，会有若干个解；反之过多时，则得不到解。

现在考虑C个组分物系，有一股进料、两股产品（透过产品，残液产品），由这三股物流组成的渗透蒸发（图1），可以作为指定变量的数，即自由度，如下表所示求得。

### 变量数 ( $N_v$ )

变量种类	个数
进料量( $F$ ), 温度( $T_F$ )	
压力( $P_F$ ), 组成( $x_F(i)$ )	$C+3$
透过产品量( $D$ ), 温度( $T_D$ )	
压力( $P_D$ ), 组成( $x_D(i)$ )	$C+3$
残液产品量( $B$ ), 温度( $T_B$ )	
压力( $P_B$ ), 组成( $x_B(i)$ )	$C+3$
膜面积( $S$ )	<u>1</u>
	$N_v = 3C + 10$

### 约束方程数 ( $N_r$ )

方程种类	个数
总质量衡算式 $F = D + B$	1
组分质量衡算式 $Fx_F(i) = Dx_D(i) + Bx_B(i)$	$C-1$
组分透过式 $q(i) = f(x(i), y(i), S, T, P)$	$C$
化学计量式 $\Sigma x_F(i) = 1$	1
$\Sigma x_D(i) = 1$	1
$\Sigma x_B(i) = 1$	<u>1</u>
	$N_r = 2C + 3$

因此，自由度 ( $N_f$ ) 为

$$N_f = N_v - N_r = (3C + 10) - (2C + 3) = C + 7 \quad (1)$$

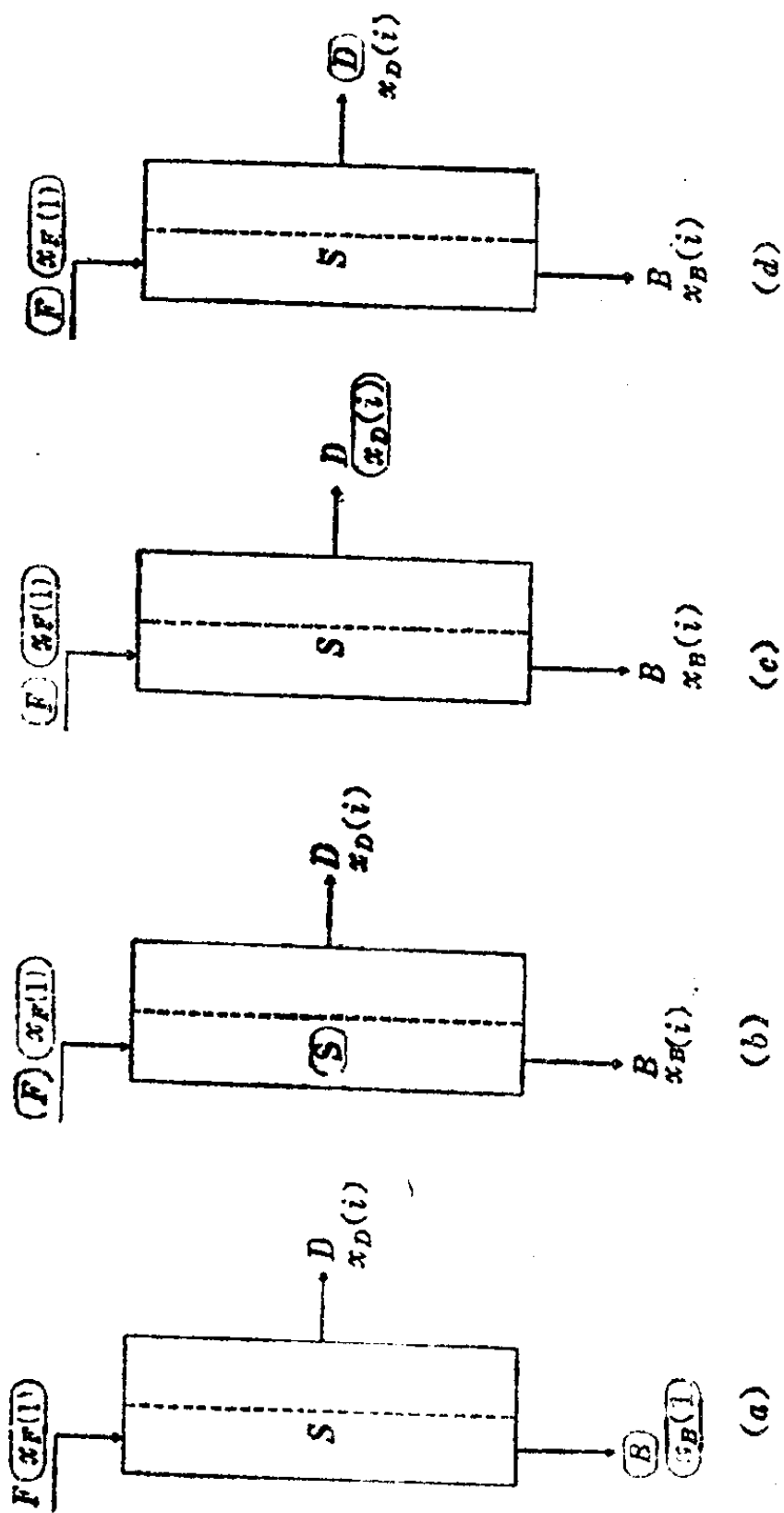


图 2 二组分混合物时的变量指定方案举例 ( $N_t=3$ )

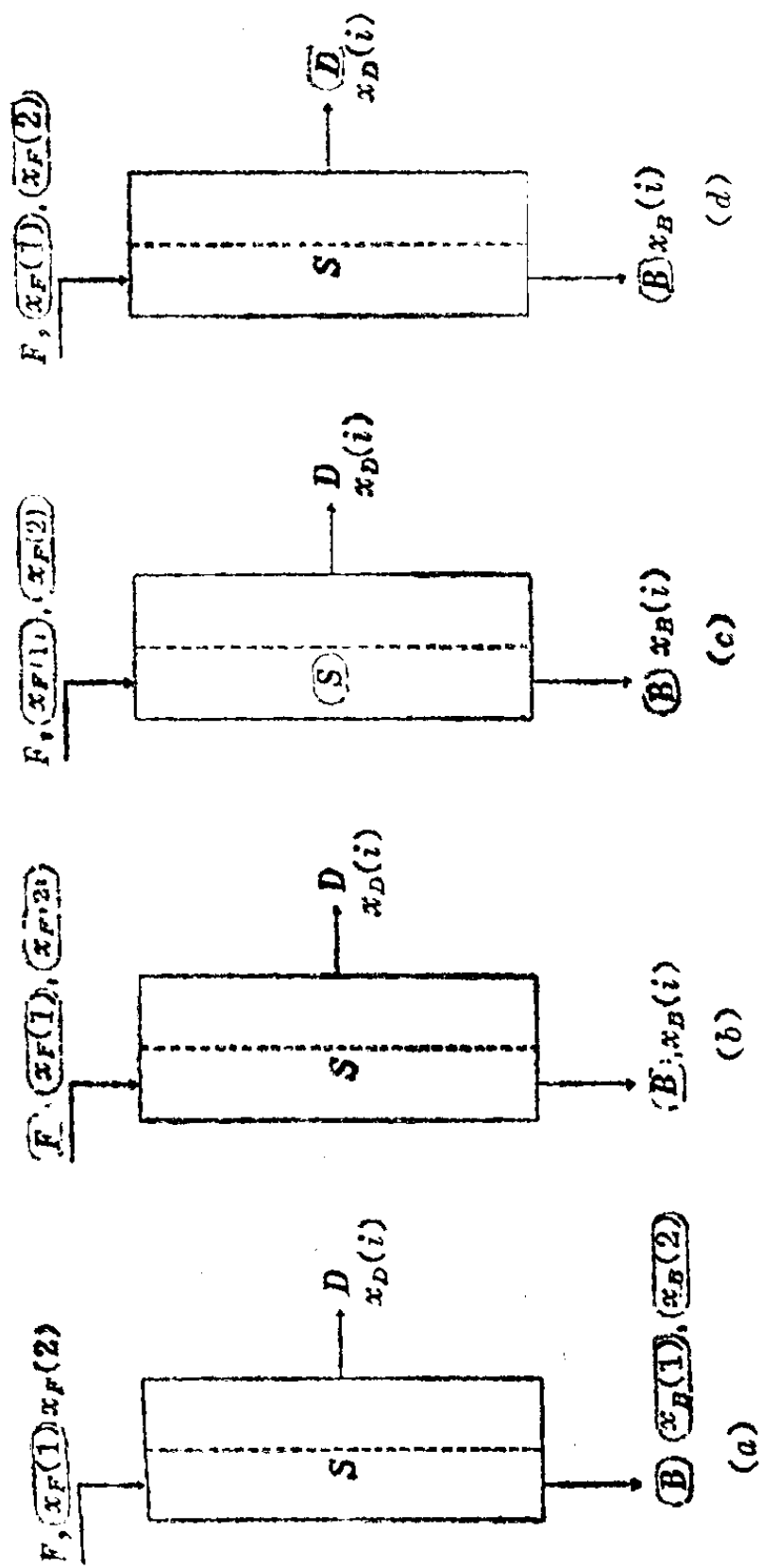


图 3 三组分混合物时的变量指定方案举例 ( $N_t = 4$ )

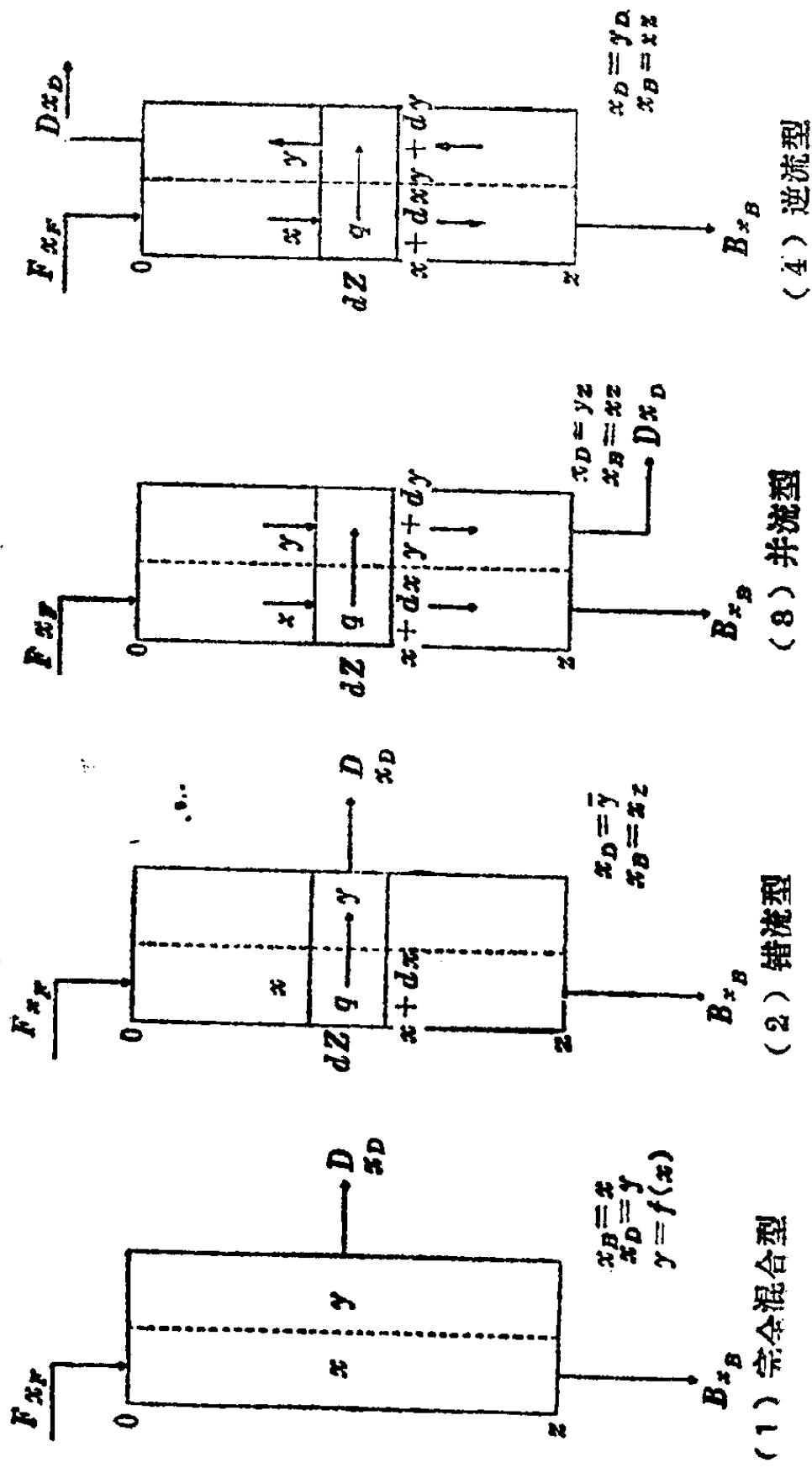


图 4 渗透蒸发的计算模型



在  $(C+7)$  个自由度中，若进料压力（一次侧压力）已被指定，并忽略流体流动的压力损失，则残液产品的压力即可决定。若再指定透过产品的压力（二次侧压力），则自由度变为  $(C+6)$  个。对于温度来说，假设为等温或绝热操作时，只要指定了进料温度，其他温度即可决定，结果自由度变为  $(C+4)$  个。

为了满足  $(C+4)$  个自由度，若指定了进料温度  $(T_F)$ 、压力  $(P_F)$  及二次侧压力  $(P_D)$ ，还剩下  $(C+1)$  个。例如，对于二组分物系，其变量的可能指定方案，如图 2 所示；对于三组分物系，可能指定方案如图 3 所示。在这些图中，用圆圈起来的变量为指定变量，而其他变量为待求变量。

根据变量的指定方案的不同，有的需要用试差法反复计算，也有的虽然自由度满足了，但所指定的数值在解的范围以外，而得不到解答。

## 2.2 渗透蒸发设计计算模型<sup>(1,2)</sup>

渗透蒸发设计计算模型与气体膜分离的情况相同，也分为：（1）完全混合型，（2）错流型，（3）并流型及（4）逆流型的四种类型（图 4）。实际的渗透蒸发膜组件属于（2）~（4）中任一种，而实验装置多数可用（1）或（2）的模型表示。实际装置中，一次侧或二次侧的流动很难假设为塞流的浓度分布，必须考虑用彼克莱（Peclet）数表示流动方向上的混合。

在这里介绍逆流型与错流型这两种类型的设计法。在用同一膜面积时，逆流型分离效果为最好。错流型中，一次侧液体组成沿流动方向上的分布为塞流，二次侧是沿膜的法线