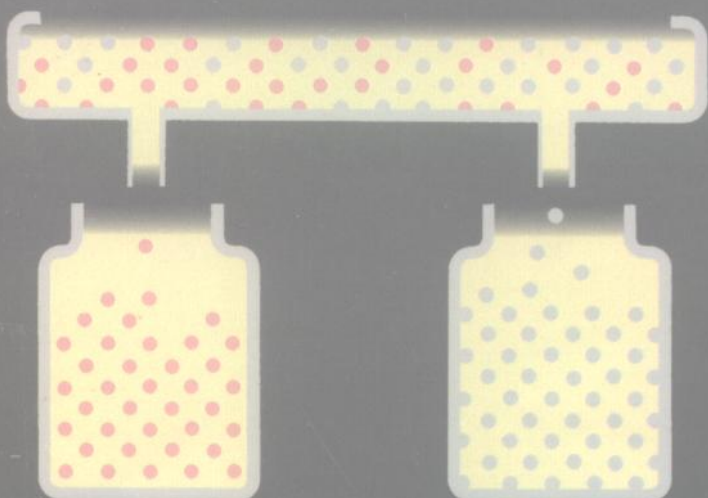


F L D K X Y J S

分离的 科学与技术

[日] 工学博士 大矢 晴彦 著
张瑾 译 梁振林 校

FENLI DE KEXUE YU JISHU



中国轻工业出版社 ZHONGGUO QINGGONGYE CHUBANSHE

分离的科学与技术

[日]工学博士 大矢 晴彦 著

张瑾 译 梁振林 校

 中国轻工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

分离的科学与技术/(日)大矢 晴彦著; 张瑾译.—北京:
中国轻工业出版社, 1999.8
ISBN 7-5019-2520-8

I. 分… II. ①大… ②张… III. 分离-技术 IV. O6

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第17330号

分離のサイエンスとテクノロジー

工学博士 大矢 晴彦 著
株式会社 コロナ社

Science and Technology for Separation Processes

Copyright © 1998 by Haruhiko Oya & Corona Publishing
Co., Ltd. All Rights Reserved.

Chinese translation rights arranged with Corona Publishing
Co., Ltd. Tokyo, Japan through Tuttle-Mori Agency Inc,
Tokyo, Japan.

责任编辑: 劳国强 责任终审: 滕炎福 封面设计: 张敬明
版式设计: 智苏亚 责任校对: 郭静 责任监印: 徐肇华

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街16号) 邮编: 100740

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

印 刷: 三河市宏达印刷厂

经 销: 各地新华书店

版 次: 1999年8月第1版 1999年8月第1次印刷

开 本: 850×1168 1/32 印张: 9

字 数: 233千字 印数: 1-2000

书 号: ISBN 7-5019-2520-8/TQ·177 定价: 20.00元

图书著作权登记号: 图字:01-1999-1728

• 如发现图书残缺请直接与我社发行部联系调换 •

54/52X
2

中文版序

我的著作《分离的科学与技术》由青岛海洋大学张瑾先生译成了中文,可得到更多读者的阅读,对此我非常荣幸。正如日本语版序言中所写到的那样,这本书是在按照尽可能简单的思维方式去理解各种分离法的尝试过程中产生的。书中对分离法的解释始终贯穿了这样三个简要的观点:平衡、速度差和反应。

当我选定分离膜为毕生的研究课题时就一直在思考——这种新的分离法在那些传统的分离法之中应处于什么样的位置呢?由此而进行的探索即成为构思这本书的开始。在日本历来都是把各种各样的分离法区分为扩散的分离操作和机械的分离操作,用以进行研究和进行教学的。究其原因,可能是由于以前东京工业大学有两位极具权威的学者:大山義年教授和藤田重文教授。他们为了互不侵犯对方的研究领域,而把研究内容分为两部分,从而形成了上述局面。以后这种分类法又被日本的大学教授们继承并延续了下来。但是若把分离膜看作是过滤的延伸,那就属于机械分离,然而反渗透以及气体分离的分离机理主要是平衡与扩散,把它们看作扩散分离则更为妥当。可是日本的许多化学工程书籍,却都因为膜分离要利用压力而把它归入机械分离的范畴内,看作是过滤的延伸来加以说明的。那么,Pervaporation这个词又该如何理解。

上述矛盾的产生被认为是把分离法区分为扩散的和机械的分类方法本身有些牵强造成的。那么若采用C.J.King的观点,采用平衡分离和速度差分离来对分离方法进行分类,可见会比较清晰一些。然而对于纯水、超纯水制造中所使用的、凭借着离

1107925

子交换树脂的离子来进行分离的方法来说,如果也用C.J. King的观点分类就又显得不太合适了。在技术高度发达的现代,无论是想获得更纯净的物质,还是要使排放更加清洁,都迫切需要有更高精度的分离技术来支持。为了适应这种需求,许多新分离法正在不断地涌现出来。尤其是在那些高精度的分离法当中,我们可以发现,很多都是利用反应来进行分离的。而关于利用反应来进行分离的观点,大阪大学的东稔教授很久以前就这么认为的,并且一直在大力倡导。由于反应发生在特殊情况下的特定组分之间,所以即使浓度很低也能进行非常精确的分离。综上所述我们把反应分离作为第三种观点来采用。

我们把可分离的组分和反应的物质都称为反应体,这样做有助于我们明白许多有趣的现象。我们知道反应萃取的液相反应体与离子或者螯合交换树脂(固体反应体)的反应基极为相似。当利用生物进行分离时,我们也将生物看成是反应体,故可将其归纳于反应分离之中。主要是利用微生物进行分离,但也用到较大的生物,例如自古以来都在利用蜜蜂从花粉中分离花蜜。研究可吸纳特殊组分的植物(比如能吸纳海水中铀的海藻),也许就能分离出浓度极为稀薄的物质。在我们将要面临的核能时代中,作为核反应堆事故的防范措施,若能找到可以吸纳核裂物质的植物,那么要消除土壤中的核污染,大概就会简单得多。

在这本书中,首先是把三个观点的原理,作为“科学”进行解释的,接着再把利用该原理的各种分离法作为“技术”来加以说明的。书中没有列入分离工程的内容(分离装置设计法)。因为我考虑能否形成比较统一的分离装置设计法,但眼下这项工作尚处在反复试验,不断摸索的阶段,显然不是我个人的力量所能及的。我希望阅读过本书的诸位读者,有兴趣去发现一个统一的分离装置设计法。在这里作为设计法的大框架,我想是否应

该包括以下内容: 不同类型的能量(产生界面的, 产生速度差的和生成反应体的)、基于能量观点的分离界限、一个分离级的尺寸、比较于理想分离级的差别之原因及其表现方式、以及最佳的多级化等等。

大矢 晴彦

1999年6月

译 者 的 话

译者1996年在日本横浜国立大学工学部大矢研究室工作时,有幸拜读了大矢晴彦教授的书稿《分离的科学与技术》。被大矢教授以全新构思著作的这本诠释分离方法的教科书所吸引。书中几乎囊括了所有的分离法。提纲挈领、深入浅出的论述,使得那些最新的分离技术以及发展方向都变得通俗易懂,使学术性教科书也具有了较强的可读性。于是萌发了将此书介绍给国内同行与读者的愿望,并相信大家会从中得到有益的启示。

毫无疑问,《分离的科学与技术》中文版的出版首先是仰仗于大矢教授的全力支持,尤其是教授在版权上所做的积极努力,才使得中文版顺利地与读者见面。在此出版之际,译者特别地向大矢教授致以崇高的敬意与深深的感谢。

中文版的完成还得到了青岛海洋大学领导与诸位同仁的大力协助。留日博士梁振林教授热心地为中文版做了全面的精湛的校对。郁伟军教授为本书的学术内容提供了指导。解静副教授以及青岛华鲁酒业有限公司的刘玉明高级工程师也都为本书的翻译、出版运作提供了大量的帮助。在此译者一并致以诚挚的谢意。尤其还要感谢中国轻工业出版社劳国强先生的有益指导。

限于水平和经验的不足,错误与不妥之处在所难免,恳切希望读者批评指正。

译 者

1999年6月

前 言

近来我们常可看到“收集起来就是资源,扔掉了就是垃圾!”这样的标语,如果在这个标语前面再加上一句“请将垃圾分类,废纸、纸箱、易拉罐要分别放置”的话,从废物回收再利用的角度来看是很容易理解的。然而对于自来水中具有致癌作用的三卤代烷,要怎样分离才好呢?对于垃圾燃烧炉排放气体中的二噁英(一种剧毒的有机氯化物——译者注),怎样才能把它分离出来并且不对人类产生危害呢?如此这般,要想解决由生活富裕而带来的、堆积如山的环境问题、资源枯竭问题,正确地把握分离这一概念的必要性将会与日俱增。

很久以前,我做小学生时曾读到过一篇希腊神话,至今还记得。说是有人被命令第二天必须要把混在一起的小麦和沙子分开。正当他束手无措时,出现了一群蚂蚁。为了报答这人以前的恩情,那些蚂蚁帮他把小麦和沙子分开了。这个故事告诉我们,自古以来分离就不是一件轻松的工作,要消耗大量的能量。通俗地讲,分离工作类似于我们把脏乱不堪的房间收拾干净的过程。房间整洁的程度、身体疲劳的程度亦即能量消耗程度等,都会依我们使用的工具是否得力,清理的顺序是否合理而改变。分离也是如此,也会因所利用的工具(好比是上面故事中的蚂蚁)不同,因向分离过程投入能量的方式不同,而使得分离产品的纯度以及必要的耗能量都出现很大差异。

向分离过程投入能量的方式大致可分为三种类型。迄今为止开发出的各种分离法都能够归纳到这三种类型中去。也就是说,若是理解了向分离投入能量的方法之科学与原理,就取得了对分离的发言权。而且当遇到分离的问题需要解决时,也就可以推测

和选择哪种分离法更为合适。

在各种类型中,技术的内涵就是如何巧妙地利用工具把能量投入到分离中去,而分离法的名称则表现了所确定的具体工具和相应措施。如果最终您竟然能够判断出使用哪些个分离方法对解决问题最为恰当的话,那可真正要让笔者喜出望外了。

笔者在昭和32年(1957年)之后的三年中,作为本科和硕士论文的题目,曾从事过“用脉动萃取塔从核废料中回收铀的研究”。据说位于日本国青森县六所村的核废料处理工厂现在使用的萃取塔与那时的几乎完全相同。自1962年始,笔者在昭和电工有限公司工作了七年,那期间遇到过各种各样的分离法。记得在当时的“化工便览”中所记载的方法中只有3种没见过,其中印象尤为深刻的是“使用连续逆向升华法从5 000mg/kg氰化氢反应生成气体中分离酞腈”的工艺开发。

1967年至1968年期间,笔者赴加拿大国立研究所留学,在Sourirajan博士指导下进行反渗透膜分离方法的研究。回国后在横浜国立大学一直讲授分离方法的课程。这期间毕业学生的就业范围已经相当广泛,从化学工业及工程公司,到文科类职业的银行、证券及保险公司。尤其是那些到银行、证券公司、保险公司工作的学生,他们常常要担任对企业最新投资项目进行审查的工作,审查内容有包含着分离法的新技术,也有其本身就是分离技术的,在这种情况下,就要尽量避开公式计算即工程设计的那部分,而是用大量的图表,浅显的说明把分离的概念清晰地描绘出来,得以佐证和支持所做的分析与判断。本书即是在讲义的基础上经过修改与加工,以便使分离的概念变得更加通俗易懂。

本书的约稿是在1991年,然而成书却比约定推迟了3年,当时的责任编辑现已离开了出版社。记得1991年,我曾以全新构思写了一本关于膜的书——《膜是什么》(新日晷丛书),由日晷公司出版。结果出版后不到一年时间,又有两家大出版社以两位旧帝国大学的老师为主编,并且还分别邀集了近10位执笔者也出版了

同样内容的书(当然,人手多又有样本参考,其内容自然也会好许多)。笔者着实吃了一惊。

不知今后是否也会出现与本书类似的书。

大矢 晴彦

1998年2月

著者简历

大矢 晴彦 Haruhiko Oya

1936年 生于佐贺县
1958年 毕业于东京大学工学部应用化学系
1960年 获得东京大学化学系大学院硕士学位
同 年 进入昭和电工株式会社工作
1967年 赴加拿大国立研究所工作
1968年 获东京大学工学博士学位
1969年 横浜国立大学工学部助教授、教授

至 今

任 职: 日本膜学会理事
日本海水学会副会长
膜关系JIS原案作成委员

主要著作: 《移动速度论》技报堂
《反渗透法·超滤法》幸书房
《膜利用技术手册》幸书房
《纯水·超纯水制造法》幸书房
《食品工学与膜利用》幸书房
《高性能分离膜》共立出版

目 录

第一章 分离概要

1.1 日常生活中的分离	(1)
1.1.1 饮食起居	(1)
1.1.2 能源	(2)
1.1.3 汽车公害	(2)
1.1.4 环境保护	(2)
1.1.5 提纯、净化	(3)
1.2 分离能耗的分析	(4)
1.2.1 混合的熵	(4)
1.2.2 分离——负熵的生成	(5)
1.2.3 能量的种类	(6)
1.2.4 分离的理论耗能量	(7)
1.3 分离方法	(9)
1.3.1 可被分离利用的物性	(9)
1.3.2 分离方法的分类	(10)
习题	(14)

第二章 场分离原理

2.1 移动粒子受到的阻力	(15)
2.1.1 作用于粒子的力	(15)
2.1.2 粒子受到的阻力	(16)
2.1.3 微粒受到的阻力	(17)
2.1.4 粒子在固体内移动时受到的阻力	(19)

2.2 粒子在重力场及离心力场的移动	(19)
2.2.1 物体在静止流体中的运动	(19)
2.2.2 离心效应	(21)
2.3 粒子在电场中的移动	(22)
2.3.1 荷电粒子的库仑力	(22)
2.3.2 粒子在气相中的移动	(23)
2.3.3 溶液中离子的淌度	(23)
2.3.4 扩散双电层效应	(24)
2.4 粒子在化学势梯度场($\approx$ 浓度差)中的移动	(25)
2.4.1 关于溶液的一般分析	(25)
2.4.2 对应于化学势变化的假想力	(27)
2.4.3 离子淌度与扩散系数	(27)
2.5 粒子在非均一空间的运动	(29)
2.5.1 一般性分析	(29)
2.5.2 粒子在圆管内的运动	(31)
习题	(32)

第三章 界面上的平衡

3.1 相平衡理论	(34)
3.1.1 相平衡条件	(34)
3.1.2 气-液平衡	(35)
3.1.3 液-液平衡	(35)
3.1.4 固-液平衡(溶解度)	(36)
3.1.5 固-气平衡	(37)
3.2 低压气液平衡及其算法	(38)
3.2.1 沸点算法 $[P, (x_1, x_2, \dots, x_N) \rightarrow t, (y_1, y_2, \dots, y_N)]$	(38)
3.2.2 露点算法 $[P, (y_1, y_2, \dots, y_N) \rightarrow t, (x_1, x_2, \dots, x_N)]$	(41)
3.3 气体溶解度	(43)
习题	(46)

第四章 反应分离的理论

4.1 反应的进行	(48)
4.2 反应平衡	(52)
4.3 平衡条件	(53)
4.4 可逆反应	(55)
4.5 沉淀反应	(55)
4.6 生物化学反应	(58)
习题	(59)

第五章 场分离技术

5.1 总论——原理与技术	(61)
5.2 重力场分离	(62)
5.2.1 位置的势能	(62)
5.2.2 沉降槽的计算	(63)
5.2.3 沉降槽分离粒径的范围	(64)
5.2.4 凝聚沉降槽(沉降槽分离范围的突破)	(64)
5.3 离心分离	(67)
5.3.1 旋风分离器	(68)
5.3.2 沉降式离心分离机	(69)
5.3.3 分子级离心分离机(液体用)	(70)
5.3.4 分子级离心分离机(气体用)	(71)
5.4 电磁场	(73)
5.4.1 静电除尘	(73)
5.4.2 电泳	(75)
5.5 有障碍物的非均一场(之一:筛效应)	(82)
5.5.1 利用重力的分离之一:筛分	(83)
5.5.2 利用重力的分离之二:筛滤	(83)
5.5.3 利用重力、离心力以及压力差的分离之三:过滤、滤袋集尘	(85)

5.5.4 利用压力梯度场(以及离心力场)的分离之四:	
膜分离(MF、UF).....	(92)
5.6 有障碍物的非均一场(之二: 凝胶层以及平衡关系的利用).....	(104)
5.6.1 利用温度场的分离: 渗透汽化.....	(105)
5.6.2 利用化学势梯度场的分离: 透析、气体膜分离和反渗透.....	(107)
5.6.3 利用电位梯度场(电压)的分离.....	(113)
习题.....	(119)

第六章 相平衡分离技术

6.1 总论——原理与技术.....	(122)
6.2 利用气液平衡的分离方法.....	(127)
6.2.1 气体吸收法.....	(128)
6.2.2 气提法.....	(137)
6.2.3 蒸发法.....	(137)
6.2.4 蒸馏法.....	(141)
6.3 气—固相平衡分离.....	(144)
6.3.1 吸附法.....	(144)
6.3.2 升华·逆向升华.....	(150)
6.4 液—固相平衡分离.....	(152)
6.4.1 吸附法.....	(152)
6.4.2 晶析法.....	(161)
6.4.3 固体浸出法.....	(169)
6.5 液—液界面平衡分离.....	(175)
习题.....	(179)

第七章 反应分离技术

7.1 概要.....	(183)
7.2 利用反应体的可逆反应分离.....	(183)

7.2.1 反应吸收(类型之一).....	(185)
7.2.2 化学萃取.....	(186)
7.2.3 浸取.....	(192)
7.2.4 离子交换.....	(195)
7.3 利用反应体的不可逆反应分离.....	(205)
7.3.1 反应晶析分离.....	(205)
7.3.2 分解反应.....	(210)
7.4 利用生物反应分离.....	(211)
7.4.1 利用微生物进行的分离.....	(212)
7.4.2 利用动物进行的分离.....	(218)
习题.....	(218)

第八章 分离方法的选择

8.1 选择分离方法的程序.....	(220)
8.2 高度分离技术(多级化与色层化).....	(223)
8.3 多组分混合物的分离.....	(225)
8.4 结束语.....	(234)
附录 I 逸度与化学势.....	(236)
附录 II 由热力学循环求溶解固体的逸度.....	(243)
附录 III 过滤模型.....	(244)
附录 IV 理论级数的计算方法.....	(247)
附录 V 吸附的固—气平衡.....	(249)
附表.....	(253)
引用·参考文献.....	(256)
习题解答.....	(259)

第一章 分离概要

常常听到分离这个词，但它与我们的日常生活究竟有着什么样的关系呢？首先让我们来分析一下它的真正意义吧！然后一边对比着收拾自己房间的顺序，一边来考虑做好分离工作的方法。

1.1 日常生活中的分离

环视一下我们的日常生活就会发现，把物质分开再加以利用的例子确实很多。

1.1.1 饮食起居

早晨起来洗脸，我们用着一开即来的自来水，非常方便。自来水大多是将河水用一种被称为过滤的分离方法除去其中的污浊物质而得到的。可是在淡水资源很少的冲绳，一部分自来水则是用反渗透分离法从含盐较多的海水中除掉盐分而得到的。有些健康意识较强的家庭，还在自家水龙头上安装净水器，利用净水器内的分离膜与吸附剂，除去水在管道中流过时产生的浊质以及灭菌添加剂氯所带来的副产物——三卤代烷。

用沸腾了的开水冲泡咖啡，顿时咖啡豆就释放出浓浓的咖啡香味，实际上这是使用了一种被称为固体浸出法的分离方法。这种方法还常在烹调中被用来除去蜂斗菜、问荆、牛蒡等蔬菜的苦涩味。许多人喜欢在喝咖啡时放些糖，这时所用的糖是把原糖溶解后又用晶析分离法再一次精制而成的。能产生与甜味相反的咸味的盐，则是通过电渗析法将海水中的盐分浓缩后，再用晶析法精制得到的。喜欢辣味的酒徒们常喝的生啤酒，也是用了比过滤