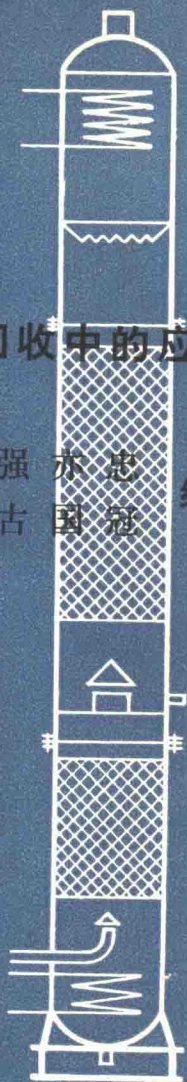


精馏

及其在核燃料后处理废液回收中的应用

强 亦 忠 编
古 国 冠



原子能出版社

精馏及其在核燃料后处理 废液回收中的应用

强亦忠 编
古国冠

原子能出版社

精馏及其在核燃料后处理

废液回收中的应用

强亦忠 古国冠 编

原子能出版社出版

(北京 2108 信箱)

北京印刷一厂印刷

(北京市西便门)

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

(限国内发行)

☆

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $11\frac{3}{4}$ · 字数 260 千字

1981 年 2 月北京第一版 · 1981 年 2 月北京第一次印刷

印数 001—1700 · 统一书号: 15175·183

定价: 1.70 元

前 言

精馏操作是重要的化工操作之一，广泛地应用于化工生产中。精馏是利用混合物中各组分沸点的不同使液体混合物在精馏塔中得到较完善分离的一种方法。本书对精馏原理和精馏设备及其设计作了介绍，为了方便阅读，还对有关的理化基础知识作了适当的叙述。

精馏技术在核燃料后处理“三废”治理中也得到了应用。本书介绍的真空急骤气化—精馏法回收磷酸三丁酯-煤油和减压精馏法从放射性酸性废水中回收硝酸就是精馏技术在核工业中应用的两个实例。

本书“精馏的基本原理”一章中，引用和参考了张洪沅同志等编著的《化学工业过程及设备》一书有关部分，特此对该书作者表示感谢。

在编写过程中，我们多次和有实践经验的同志座谈讨论，征求意见，并得到了他们的热情帮助，在此谨致谢意。

编者

内 容 简 介

本书介绍了有关的理化基础知识，精馏基本原理和精馏设备及其设计，并且叙述了精馏技术在核燃料后处理废液回收中的应用实例，即真空急骤气化-精馏法回收磷酸三丁酯-煤油和减压精馏法从放射性酸性废水中回收硝酸。书末附有常用数据和计量换算表等。

本书供技术工人阅读，也可供有关的技术人员参考。

目 录

前言

第一章 理化基础知识	1
第一节 物态的变化	1
一、物态的变化和相的概念	1
二、气体	4
1. 真实气体和理想气体	4
2. 气体基本定律和理想气体状态方程式	4
三、液体	8
1. 液体的几个基本概念	8
2. 理想溶液和真实溶液	9
3. 溶液浓度的表示方法及其换算	9
四、蒸发和沸腾	18
1. 物质的蒸气压	20
2. 拉乌尔定律	22
3. 道尔顿定律	24
4. 蒸气的比容	25
第二节 物质的热现象	26
一、物质的热性质	26
1. 温度	26
2. 比热	26
3. 潜热	27
4. 热焓	28
二、传热	28
1. 热传导	28
2. 对流	29
3. 热辐射	30

三、物质的热膨胀	30
第三节 流体的力学性质	31
一、质量和重量、重度和比重	31
1. 质量和重量	31
2. 重度和比重	31
二、流量、流速和粘度	33
1. 流量和流速	30
2. 粘度	34
三、压强	35
1. 压强及其单位	35
2. 液体内部的压强	37
四、流体流动时的连续性	38
五、流体流动时的能量平衡	40
第二章 精馏的基本原理	43
第一节 混合液的沸点-组成图	44
一、气液相平衡关系	44
二、压强-组成图(p - x 图)	45
三、沸点-组成图(t - x 图)	48
四、气-液相平衡图(y - x 图)	56
第二节 精馏原理	56
一、气化和冷凝	56
1. 一次气化和一次冷凝	56
2. 渐次气化和渐次冷凝	57
二、挥发度和相对挥发度	58
1. 挥发度	58
2. 相对挥发度	59
三、简单蒸馏	61
四、精馏过程	62
五、精馏操作的基本条件	66
第三节 精馏工艺过程	68

一、间歇精馏	68
二、连续精馏	70
三、特殊精馏	71
1. 共沸精馏	72
2. 萃取精馏	76
3. 水蒸气蒸馏	78
4. 分子蒸馏	80
四、精馏塔的操作分析	81
1. 操作线方程	81
2. 进料状态对操作的影响	85
3. 回流	89
第三章 精馏设备	95
第一节 精馏塔	95
一、精馏塔的一般构造	95
二、各种类型的精馏塔及其比较	97
1. 填料塔	97
2. 泡罩塔	106
3. 筛板塔	112
4. 泡沫塔	114
三、塔板上几种不正常的操作情况	117
四、精馏塔的设计和计算	120
1. 塔高的设计和计算	120
2. 塔径计算	147
第二节 换热器	151
一、常用换热器的分类、结构和选用原则	152
1. 列管式换热器	152
2. 套管式换热器	154
3. 蛇管式换热器	155
4. 平板式换热器	157
5. 螺旋板式换热器	158
6. 夹套式换热器	159

7. 再沸器	162
二、换热器的主要工艺参数及其影响因素	165
1. 热负荷	165
2. 传热系数	166
3. 热、冷流体在换热器中的流向和平均温度差	167
4. 流体的流速和压降	172
三、换热器的设计和计算	173
1. 列管式换热器的设计和计算	173
2. 套管式换热器的设计	179
3. 蛇管式换热器的设计	179
第三节 减压设备	181
一、真空泵	181
1. 往复式真空泵	181
2. 回转式真空泵	182
二、喷射器	184
第四节 管路	186
一、管子	186
二、管子的连接	191
三、管件	194
四、阀门	195
五、管路的热膨胀及其补偿	204
六、管路的安装和布置	205
七、管路计算	207
第四章 用真空急骤气化-精馏法再生降解磷酸三丁酯-煤油	214
第一节 TBP 和煤油的性质	215
一、TBP 的性质	215
二、煤油的性质	219
第二节 TBP-煤油在萃取过程中的降解及其影响	229
一、TBP-煤油在萃取过程中的降解	229

1. TBP 的降解	229
2. 煤油的降解	231
二、TBP-煤油降解产物对萃取工艺过程的影响	233
第三节 降解 TBP-煤油的再生方法	236
一、液体洗涤	236
二、固体吸附	237
三、离子交换	238
四、蒸馏	239
第四节 用真空急骤气化-精馏法再生降解 TBP-煤油	240
一、原理、流程和主要设备	240
1. 原理	240
2. 流程	241
3. 主要设备	243
4. 工艺流程和设备选择中的几个问题	247
二、生产操作	251
1. 开车前的准备工作	251
2. 开车操作	255
3. 正常操作	256
4. 正常操作条件分析	258
5. 生产过程中的控制分析和产品质量鉴定	261
6. 生产中常见不正常现象及其处理方法	264
7. 主要辅助装置的操作	269
8. 停车操作	272
三、生产中的安全技术	274
1. 防火灭火知识	274
2. 防爆知识	276
3. 放射性防护知识	279
第五章 用减压精馏法从放射性酸性废水中回收硝酸	285
第一节 核燃料后处理过程中放射性废液的来源和	

酸性废水的处理方法.....	286
一、放射性废液的来源和分类	286
二、放射性酸性废水的处理方法	289
第二节 硝酸水溶液的物理化学性质.....	293
一、物理性质	294
二、化学性质	300
第三节 用减压精馏法从放射性酸性废水中回收硝	
酸	301
一、工艺原理、流程和设备	301
1. 原理	301
2. 流程	302
3. 主要设备	304
4. 工艺流程和设备选择中的几个问题	310
二、生产操作及其分析.....	317
1. 开车操作	317
2. 正常操作	320
3. 生产中常见的不正常现象及其处理方法	325
4. 停车操作	328
三、腐蚀和防腐	329
1. 腐蚀的原因	329
2. 设备腐蚀的测试方法	331
3. 防腐措施	332
四、生产中的安全技术.....	336
附录.....	338
附录一 常用理化数据.....	338
一、水的物理性质	338
附表 1 水的物理性质	338
二、饱和水蒸气的性质	339
附表 2 饱和水蒸气的性质(以温度计)	339
附表 3 饱和水蒸气的性质(以压力计)	341

三、几种溶液的比重	343
附表 4 氢氧化钠、碳酸钠和硝酸钠的比重	343
四、不同温度(°C)下某些物质在水中的溶解度	344
附表 5 不同温度(°C)下某些物质在水中的溶解度	344
五、硝酸水溶液的物理性质	345
附表 6 20°C 时硝酸水溶液的各种浓度单位的对照表	345
附表 7 硝酸水溶液在不同温度下的比重	346
附表 8 硝酸水溶液的蒸气压	348
六、pH-[H ⁺]换算表	353
附表 9 pH-[H ⁺]换算表	353
七、溶液各种浓度表示方法之间的关系	354
附表 10 双组分溶液组成的各种浓度表示方法之间的关系	354
八、某些物质的导热系数	355
附表 11 某些金属材料在 0—100°C 时的导热系数	355
附表 12 某些建筑材料和绝热材料在 0—100°C 时的导热系数	355
附表 13 某些水溶液的导热系数	356
附表 14 某些气体的导热系数	356
九、工业用换热器传热系数 K 值的大致范围	357
附表 15 K 值范围	357
十、核燃料后处理中常见的几种放射性同位素的性质	358
附表 16 几种常见放射性同位素的性质	358
附录二 单位换算	359
一、压强单位换算	359
二、速度单位换算	360
三、体积流速单位换算	360
四、热容单位换算	360
五、能量单位换算	361
六、传热系数单位换算	361
七、导热系数单位换算	361
八、温度换算公式	362

九、动力粘度单位换算	362
十、运动粘度单位换算	362

第一章 理化基础知识

第一节 物态的变化

一、物态的变化和相的概念

气体状态、液体状态和固体状态是物质的三种存在状态。物质之所以呈现不同的状态是由组成物质的分子运动和分子之间相互作用的不同所决定的。

气体分子之间的距离较大，分子间相互的吸引力较弱，而气体的分子运动速度又快，因此在没有与别的分子或器壁发生碰撞之前，是始终在作直线运动，直到发生碰撞后才改变其运动的方向。所以，气体具有可以占有一切空间的特性，即气体既不能保持一定的形状，又没有一定的体积。因此气体受压时被压缩，遇热时发生膨胀的现象比较显著。由于分子运动较自由，所以气体的扩散也比较快，不同种类的气体放在一起，就能很均匀地混合。

液体分子之间的距离比气体小，分子之间的吸引力比气体大，液体分子的运动速度也较气体小，只是在一定位置上作振动和作较慢速度的移动。所以，液体能保持一定的体积，且不被压缩，但不能保持一定的形状，即液体具有流动性。液体的扩散速度较慢。

固体分子之间的距离更小，它们间的吸引力很强，分子

只是在一定位置上作微小的振动，只有极少数分子可以作相对的运动。所以，固体除具有一定的形状外，还具有一定的体积，且不被压缩。

物质以什么状态存在是有条件的，如水在通常的温度和压力下是液态，但在低温下就会变成固态，在高温下又会变成气态。因此，物质的三种存在状态在一定条件下是可以相互转化的。

物质的存在状态之所以不同，是由其分子运动的剧烈程度不同所决定的。物质中分子运动的剧烈程度（分子运动速度）与温度有关，温度愈高，分子运动速度愈快，所以物态的变化与温度的变化有直接关系。通常固体的分子是固定在一定的位置上，并作有规则的振动，仅有极少数分子能作移动。当固体加热时，其内部分子的运动速度随温度升高而加快。当达到一定温度时，固体分子有规则的振动就变成了无规则的移动，此时的固体就变成了液体。液体继续被加热，温度不断升高，分子运动速度不断加快，升到一定温度时，分子运动速度就能克服分子之间的相互吸引，从液面进入空间，这时液体就开始变成了气体。反过来，随着温度的不断下降，分子运动速度减慢，分子间的距离变小，气体就变成液体或液体变成固体。

所以说，物态变化在本质上是由于物质内部分子运动状态的不同所引起的。外界条件如温度、压力等的变化引起物质内部分子运动剧烈程度的改变，从而引起物态的变化。

物质由固体变为液体时的温度称为熔点；由液体变成气体时的温度称为沸点。

我们在研究物质的状态和性质时，常常要使用“相”的概念。通俗说来，“相”就是指物系中具有相同成分以及相同物

理性质和化学性质的均匀部分。这些均匀部分的数目就称为相数。相的存在与物质数量多少无关。相与相之间有明显的分界面，一般用肉眼即能分辨清楚，并且能够用机械的方法把它们分开。

例如，上面提到的冰 $\rightleftharpoons$ 水 $\rightleftharpoons$ 蒸汽的变化过程中，我们称冰为固相，水为液相，水蒸气为气相。一杯水，其各部分具有相同的物理性质和化学性质，也就是说，就整杯水而言，它是均匀的，因此，不论水的量是多少，水就是一个相。在杯中加入一块冰，则水与冰共存。虽然水和冰具有相同的化学性质(指组成而言)，但物理性质却不一样，水与冰之间有明显的分界面，可以用机械方法把它们分开，因此杯中的水和冰就是两个相。同样的道理，由冰、水和水蒸气组成的物系就有三个相。再如图 1-1 所示的物系，在一个容器里装有食盐水溶液，在液面的上方有从食盐水溶液挥发出来的水蒸气，这个物系也是两相组成的，容器下部为性质均匀的液相(食盐水溶液)，液面上的水蒸气为气相。

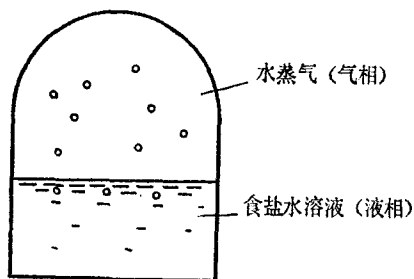


图 1-1 食盐水溶液的气相和液相

二、气 体

1. 真实气体和理想气体

在日常生活和工业生产中，我们所遇到的各种气体都是真实气体。所谓真实气体，就是指客观存在的气体，其分子是具有一定体积的质点，且分子之间相互有作用力存在。

气体分子本身的体积是很小的，如氢气(H_2)分子的直径为 $2.29 \text{ \AA}^{1)}$ ，氮气(N_2)分子为 $3.7 \text{ \AA}$ ，氧气(O_2)分子为 $3.58 \text{ \AA}$ ，其它简单气体分子的直径也都只有几个 $\text{ \AA}$ 。气体分子之间的距离要比分子本身的体积大上几千倍。由此可见，气体内大部分空间是空的。

所谓理想气体是为了研究的方便所假设的一种气体。它是分子本身的体积和分子之间的作用力都可以忽略不计的气体。因此，理想气体在任何温度和压力下都能严格地服从下面将要讲到的气体基本定律。

理想气体实际上并不存在，但由于真实气体分子的直径都很小，分子之间的距离很远，因此在较高的温度（和室温相比）和较低的压力（与常压相比）下，可以近似地把真实气体看成是理想气体。当然，真实气体对气体基本定律具有一定的偏差，但是在一般情况下，把高温、低压下的真实气体作为理想气体来处理，并且运用理想气体的规律解决一些实际问题还是可以的，而且也是足够准确的。

2. 气体基本定律和理想气体状态方程式

由于气体分子可以自由运动，因此气体没有一定形状，

1) $\text{ \AA}$ (埃)为表示分子或原子大小的单位， $1 \text{ \AA} = 10^{-8}$ 厘米。