

化工工人技术理论培训教材



蒸 发

化学工业部人事教育司 组织编写
化学工业部教育培训中心

化学工业出版社

化工工人技术理论培训教材

蒸 发

化学工业部人事教育司 组织编写
化学工业部教育培训中心

化学工业出版社

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

B1

图书在版编目 (CIP) 数据

蒸发/化学工业部人事教育司, 化学工业部教育培训中心组织编写. —北京: 化学工业出版社, 1997
化工工人技术理论培训教材
ISBN 7-5025-1906-8

I. 蒸… II. ①化…②化… III. 蒸发-化工过程-技术培训-教材 IV. TQ028.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 18003 号

化工工人技术理论培训教材

蒸 发

化学工业部人事教育司 组织编写
化学工业部教育培训中心

责任编辑: 孙世斌

责任校对: 洪雅妹

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

北京管庄永胜印刷厂印刷

三 河 市 延 风 装 订 厂 装 订

*

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 4½ 字数 125 千字
1997 年 11 月第 1 版 1997 年 11 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—5000

ISBN 7-5025-1906-8/G · 512

定 价: 8.20 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

前 言

为了适应化工系统工人技术等级培训的需要,提高工人的技术理论水平和实际操作技能,我们依据《中华人民共和国工人技术等级标准》和《化工系统工人技术理论培训教学计划 and 教学大纲》的要求,组织有关人员编写了这套培训教材。

在教材编审过程中,遵循了“坚持标准,结合实际,立足现状,着眼发展,体现特点,突出技能,结构合理,内容精炼,深浅适度”的指导思想,以“等级标准”为依据,以“计划和大纲”为蓝图,从有利于教师教学和方便工人自学出发,力求教材内容能适应化工生产技术的发展 and 现代化生产工人培训的要求。

按照“中华人民共和国工人技术等级标准”规定的化工行业 168 个生产工种的有关内容,在编制教学计划和划定大纲时,在充分理解等级标准的基础上,吸取了国外职业教育的成功经验,对不同工种、不同等级工人围绕技能所要求掌握的技术理论知识进行分析和分解,作为理论教学的基本单位,称之为“单元”。在计划和大纲中,168 个工种按五个专业大类(及公共课)将不同等级的全部理论教学内容分解为 301 个教学单元。为了方便各单位开展培训教学活动,把教学计划中一些联系较为密切的“单元”合在一起,分成 112 册出版。合订后的全套教材包括以下六部分。

无机化工类单元教材共 25 册:《流体力学基础》、《管路的布置与计算》、《物料输送》、《气相非均一系分离》、《液相非均一系分离》、《物料混合》、《固体流态化与应用》、《加热与冷却》、《蒸发》、《结晶》、《浸取与干燥》、《制冷》、《焙烧与工业炉》、《粉碎与筛分》、《电渗析》、《吸附分离》、《离子交换》、《常见的无机化学反应》、《电解及其设备》、《物料衡算与热量衡算》、《合成氨造气》、《合成氨变换》、《合成氨净化》、《合成氨压缩》和《氨的合成》。

有机化工类单元教材共 7 册：《吸收》、《蒸馏》、《萃取》、《有机化学反应（一）》、《有机化学反应（二）》、《有机化学反应（三）》和《化学反应器》。

化工检修类单元教材共 43 册：《电镀》、《腐蚀与防护》、《机械传动及零件》、《液压传动与气动》、《金属材料热处理知识》、《机械制造工艺基础》、《化工检修常用机具》、《工程力学基础》、《测量与误差》、《公差与配合》、《化工机器与设备安装》、《化工压力容器》、《展开与放样》、《化工管路安装与维修》、《钳工操作技术》、《装配和修理》、《钢材矫正与成型》、《电工材料及工具》、《焊工操作技术》、《焊接工艺》、《阀门》、《化工用泵》、《风机》、《压缩机》、《化工分析仪表（一）》、《化工分析仪表（二）》、《化工测量仪表》、《电动单元组合仪表》、《化工自动化》、《集散系统》、《仪表维修工识图与制图》、《仪表常见故障分析与处理》、《过程分析仪表》、《化工检修钳工工艺学》、《化工检修铆工工艺学》、《化工检修管工工艺学》、《化工检修焊工工艺学》、《化工防腐橡胶衬里》、《化工防腐金属喷涂》、《化工防腐金属铅焊》、《化工防腐砖板衬里》、《化工防腐塑料》以及《化工防腐玻璃钢》。

化工分析类单元教材 6 册：《化学分析的一般知识及基本操作》、《化学分析》、《电化学分析》、《仪器分析》、《化验室基本知识》和《有机定量分析》。

橡胶加工类单元教材共 11 册：《橡胶、配合剂与胶料配方知识》、《再生胶制作机理、工艺及质量检验》、《橡胶加工基本工艺》、《轮胎制造工艺方法》、《力车胎制造工艺方法》、《胶管制造工艺方法》、《胶带制造工艺方法》、《橡胶工业制品制造工艺方法》、《胶鞋制造工艺方法》、《胶乳制品制造工艺方法》和《炭黑制造工艺方法》。

另外还有公共课及管理课类单元教材共 20 册：《电工常识》、《电工基础》、《电子学一般常识》、《电子技术基础》、《机械识图》、《机械制图》、《化工管路识图》、《工艺流程与装备布置图》、《工厂照明与动力线路》、《电气识图与控制》、《电机基础及维修》、《工厂电气设备》、《工厂电气技术》、《安全与防护》、《三废处理与环境保护》、《化工计量常识》、《计算机应用基础知识》、《化工应用文书写》、《标准化基础知

识》和《化工生产管理知识》。

按照“单元”体系组织编写工人培训教材，尚是一种尝试，由于我们经验不足和教材编审时间的限制，部分教材在体系的合理性、内容的先进性、知识的连贯性和深广度的准确性等方面还不尽如人意，为此建议：

一、各单位在组织教学过程中，应按不同等级的培训对象，根据相应的教学计划和教学大纲的具体要求，以“单元”为单位安排教学。

二、工人技术理论的教学应与操作技能的培训结合起来。技术理论的教学活动除应联系本单位生产实际外，还应联系培训对象的文化基础、工作经历等实际情况，制订相应的教学方案，确定相应的教学内容，以提高教学的针对性和教学效率。

三、在教学过程中发现教材中存在的问题，可及时与我们联系，也可与教材的编者或出版单位联系，使教材中的问题得到及时更正，以利教学。

本套教材的组织编写，得到全国化工职工教育战线各方面同志的积极支持和帮助，在此谨向他们表示感谢。

化学工业部人事教育司

化学工业部教育培训中心

1996年3月

内 容 提 要

本书包括两个单元，是在上海天原（集团）有限公司邢至川同志提供的初稿基础上改写补编的。蒸发单元介绍了蒸发原理、常用不同蒸发过程的特征，对蒸发过程的能耗作了分析，还介绍了一些节能的措施。蒸发器的种类及选用单元介绍了各种蒸发器的基本结构、使用条件，选用蒸发器及附设装置和维护方法。

通过本书学习能基本掌握蒸发及蒸发器的基本理论基础，促进蒸发操作工的技术水平和技术改造的能力。依照教学大纲的规定，在内容的安排上考虑到了对高、中、低级工的不同教学要求；书中有“*”的，可供对高级工的教学参考。

目 录

蒸发 (无 020)	1
绪 论	2
第一章 单效蒸发	7
第一节 单效蒸发流程	7
第二节 水分蒸发量的计算	9
第三节 加热蒸汽消耗量的计算	14
第四节 蒸发器传热面积的计算	22
第二章 多效蒸发	31
第一节 概述	31
第二节 多效蒸发流程	36
第三节 多效蒸发计算*	40
第三章 蒸发过程的讨论	51
第一节 温度差损失	51
第二节 蒸发器的生产能力和生产强度	55
第三节 蒸发操作条件的选择*	59
第四节 多效蒸发的效数	62
附录	66
一、水的物理性质	66
二、饱和水蒸汽性质表	68
三、液体比热容列线图	72
四、气体等压比热容列线图 (在 101.3kN/m^2 下)	74
五、液体汽化潜热列线图	76
六、某些水溶液在常压下的沸点	78
蒸发器的种类及选型 (无 021)	80
第一章 蒸发器的种类及特征	81
第一节 蒸发器的分类与基本构造	81
第二节 常用蒸发器	85

第二章 蒸发器辅助设备	102
第一节 真空装置	102
第二节 分离器	106
第三节 预热冷却设备	109
第三章 蒸发器的设计	121
一、蒸发工艺设计的基本问题	121
二、蒸发器的工艺设计	123
三、蒸发装置的热能利用*	130

蒸 发

(无 020)

湖南省化工学校 汤金石 编

绪 论

在化学工业、医药工业、食品工业及纺织企业的染整车间等众多的生产过程中，常用到蒸发这个单元操作，以将溶有固体溶质的稀溶液浓缩。工业生产中的蒸发是将溶液加热使其沸腾，部分溶剂气（汽）化，并将气（汽）化所产生的蒸气移走，从而使溶液中溶质的浓度提高。例如，化工生产中用电解法制得的烧碱溶液（ NaOH 水溶液）的浓度一般只有 10% 左右，而且内含大量 NaCl 等盐类，不能成为商品。为此，烧碱厂内设有蒸发车间（或工段），采用蒸发的方法，去除稀碱液中的部分水分，碱液浓度增加，盐类也不断结晶析出，最终获取符合国家标准的烧碱产品。又如食品工业中将一些果汁加热，使一部分水汽化，即可得到浓缩的产品。除此之外，蒸发操作还常用来将溶液中的溶剂气（汽）化，然后再加以冷却以获得固体的结晶产品，这工艺过程就是人们常说的蒸发-结晶，食糖的生产即属于此类。一句话，蒸发是一种应用极为广泛的单元操作。

蒸发操作的主要设备称为蒸发器。所处理的溶液可以是水溶液，也可以是含其他溶剂的溶液，而化学工业中则以蒸发水溶液为主，故本书只讨论水溶液的蒸发。蒸发操作中用来加热溶液的热源主要是由锅炉提供的水蒸汽，为便于区别，常将水溶液沸腾汽化所产生的蒸汽称为二次蒸汽，而将加热用的水蒸汽称为生蒸汽。若将二次蒸汽直接冷凝，而不利用其冷凝潜热的操作称为单效蒸发。若将水溶液沸腾汽化所产生的二次蒸汽引出以作为下一蒸发操作的加热蒸汽，这种串联的蒸发操作称为多效蒸发。多效蒸发利用了二次汽的冷凝潜热，可减少生蒸汽的消耗量。

尽管化工生产中用到的蒸发操作多种多样，其生产目的则主要是下述的三方面：

(1) 通过蒸发以获取浓度较高的溶液直接作为化工产品或半成品。

(2) 借蒸发以脱除部分溶剂，将溶液增浓至饱和状态，随后进一步加以冷却，析出固体产品，后面的这种操作又称为结晶。此种采用蒸发、结晶的联合操作以获得固体溶质（结晶）产品。

(3) 通过蒸发以脱除杂质而制取纯净的溶剂，如海水淡化等。

无论何种生产目的，蒸发操作都是从溶液中分离出部分溶剂，即实现了物质的分离，但过程的实质是热量的传递而不是物质的传递，溶剂汽化的速率取决于传热速率，故蒸发属于热量传递过程，但又不同于一般的传热过程。蒸发操作具有如下几方面的特点：

(1) 蒸发设备内传热壁面的一侧为加热蒸汽冷凝，另一侧为溶液沸腾汽化，属于壁面两侧流体均有相变化的传热过程。

(2) 蒸发过程中溶液常有结晶析出、加热表面容易结垢和产生泡沫；有些溶液在高温下还容易分解或聚合；溶液的粘度在蒸发过程中随浓度增加而加大，其流动性降低、腐蚀性增加。溶液的这些性质对蒸发设备的结构和蒸发操作提出了特殊要求。

(3) 溶液的沸点不同于纯溶剂的沸点。含有不挥发溶质（固体溶质）的溶液，其蒸汽压较同温度下纯溶剂（即纯水）的低，即在相同的外压下，溶液的沸点高于纯水的沸点。且随过程的进行，溶液浓度不断增加，沸点也在不断提高，故当加热蒸汽压一定时，蒸发溶液的传热温差要小于蒸发水的传热温差，并且不断变化；这个特点使蒸发设备的计算比一般换热器的计算复杂。

(4) 蒸发过程中产生的二次蒸汽常夹带有大量的液滴，在二次汽送出之前必须设法除去，否则不仅损失物料，而且还将污染后面的加热器（利用二次汽时）或冷凝器（不利用二次汽时）。

(5) 蒸发过程中，只有溶剂是挥发性物质，溶质是不挥发的。在整个操作过程中，可以认为溶质的数量不发生变化，这是对蒸发过程进行物料衡算的基本依据。

(6) 蒸发过程中要将大量溶剂汽化，需要消耗大量的热能，节能是蒸发操作应考虑的重要课题。

蒸发操作可以根据如下方法进行分类：

(一) 根据二次蒸汽是否利用分

1. 单效蒸发 其特点是二次蒸汽不再利用,而是经冷凝后直接排放掉。

单效主要在小批量、间歇生产的情况下采用。

2. 多效蒸发 其特点是将几个蒸发器按一定方式组合起来,将前一个蒸发器所产生的二次蒸汽引至后一个蒸发器作加热蒸汽。

多效蒸发中的每一个蒸发器称为一效,其中直接利用生蒸汽作为热源的蒸发器称为第一效,用第一效的二次蒸汽作为热源的蒸发器称为第二效,依此类推。

大规模的、连续化的生产一般采用多效蒸发。

(二) 根据操作压强分

(1) 常压蒸发; (2) 加压蒸发; (3) 减压蒸发。

蒸发操作可连续也可间歇地进行。工业生产中大量物料的蒸发通常是连续的定态过程。

化工生产中的蒸发操作常在减压下进行,这种操作称为真空蒸发,其主要特点是: (1) 减压下溶液的沸点下降,有利于处理热敏性物料,且可利用低压强的蒸汽或废蒸汽作为热源以降低生产成本; (2) 溶液的沸点随设备操作压的减小而降低,故对相同压强的加热蒸汽而言,当溶液处于负压下沸腾时,其设备两侧的传热总温差可以提高,但同时,溶液的粘度加大,又使总传热系数下降; (3) 真空蒸发系统要求有造成负压的装置,如真空泵,因此整个系统的投资费和操作费都比较高。

通过上述的简要介绍可知,在众多的化工单元操作中,蒸发是一个机理比较简单的过程,为了去除溶液中的部分溶剂,只需使溶剂汽化并将其产生的蒸汽引走即可。然而,溶剂的汽化可在常温下进行(低于沸点下进行的汽化,常称为自然蒸发),为什么工业生产中的蒸发操作总是将溶液加热使之沸腾汽化呢?这是因为沸腾汽化的速率要比低于沸点时的汽化速率大得多,而过程速率的大小是决定工业生产经济效益的重要因素。为了提高过程的速率以确保高效益,所以工业生产中的蒸发操作均在沸腾情况下进行。在沸腾情况下进行蒸发,就必须不断地向系统供热,热能的消耗是蒸发操作中经常性的主要消耗。

通过本单元的学习应该较全面地了解并掌握如何设法减少蒸发过程中的热耗、提高热能的利用率以降低生产成本。

蒸发操作虽然简单，但其应用十分广泛，所以，国内外学者对蒸发操作的研究仍十分活跃，研究、开发的主要方向可归纳为如下几方面：

(1) 大型化。现代工业规模日益扩大，而设备数量不能成倍增加，从金属消耗量、安装空间、能量消耗、管理控制等方面分析，装置的大型化已被认为是扩大生产规模的有效方法之一。为适应大型化的要求，人们不但从操作方式、器件与调节机构等方面对蒸发装置进行了改进，为了使大型化后的设备更为紧凑，在提高设备的传热性能方面还进行了更为深入的研究。如增大传热系数、合理配管以增加有效传热面等。其中最有效的途径是改变传热管形状或在管内放置辅件，以达到强化传热过程的目的。例如，在竖式长管蒸发器中采用双面纵槽管以后，其传热系数显著增加。

(2) 最佳化。蒸发是热能消耗大户，在能源供应紧张、价格不断上涨的情况下，如何降低和合理分配能源，有效地利用各种余热，已成为国内外有关人员研究蒸发操作所关注的热点。研究者广泛采用动态规划、经济参数的相对值、年经营费最小值等的综合研究，已提出对效数、传热温差、浓度比、年经营费用及总传热面积等方面的最优设计计算方法和程序。

(3) 改进和研制新结构的蒸发设备。改进原有装置的重点是使设备更为紧凑、增加流体的湍动程度，防止或减少结垢等。通过改进，使蒸发器可作为蒸发干燥、蒸发分馏、蒸发造粒等双重生产目的的操作设备。

(4) 减少蒸发器的结垢。在这方面人们虽已进行了大量的研究工作，但关于结垢过程的机理，至今尚未找到公认的、有说服力的解释。控制结垢的研究工作所面临的主要问题是：如何合理组织蒸发器的运行，使沉积在加热面上的污垢热阻的增长速度最小，并且较容易地从加热面上脱除。正因为如此，无传热面的闪蒸器和浸没式蒸发器将会得到更广泛的应用和更快的发展。

复习思考题

1. 什么叫蒸发操作？
2. 蒸发操作的主要设备是什么？
3. 化工生产中采用蒸发操作的主要生产目的是什么？
4. 与一般传热过程相比，蒸发操作有何特点？
5. 常见蒸发操作主要有哪些类型？
6. 蒸发过程中为什么要将溶液加热使之沸腾汽化？
7. 蒸发操作的研究、发展方向是什么。
8. 你曾经操作过何种蒸发设备？它有什么特点？

第一章 单效蒸发

如前所述，大规模的、连续生产一般均采用多效蒸发。但多效蒸发实为若干个单效蒸发的组合，因此，本单元将重点介绍单效蒸发。

第一节 单效蒸发流程

图 1-1 所示为工业生产中所见的典型单效真空蒸发流程。图中左面的设备是生产流程中的主体设备——蒸发器。蒸发器的种类很多、结构各异，下一单元将对此进行专门介绍。但目前生产上使用的大部分蒸发器均由两大部分组成，第一部分是下部的加热室，这实际上是一个由若干加热管组成的间壁式换热器；构成蒸发器的另一部分是上部的蒸发室（亦称分离室）。

如图所示，待蒸发的原料液（稀溶液）送入蒸发器后直接流入加热室的换热管内，而加热蒸汽则进入加热室的管间冷凝，所放出的潜

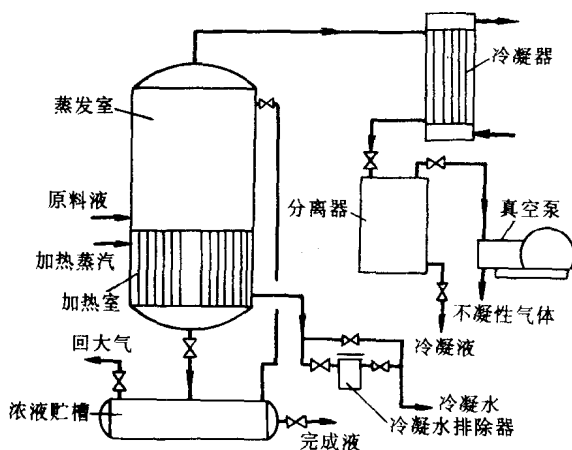


图 1-1 单效真空蒸发流程

热通过管壁传给在管内流动的料液，使溶液受热沸腾汽化，浓缩了的料液从蒸发器的底部排出，进入浓液贮槽即为产品（常称完成液）。加热蒸汽放热后自身冷凝为冷凝水，由加热室下部排出。

由于溶液在加热室内被加热至沸腾汽化，汽化所生成的二次蒸汽在上升过程中不可避免地要夹带一部分液滴，若任其带出，则既是一种物料的损失，而且还可能污染后面的管道和设备。因此，在二次蒸汽出蒸发器前应尽量将其所带液滴除去。蒸发器上方设置一个较大空间的分离室，其作用主要是使二次汽在此有足够的停留时间，利用重力进行汽、液分离，减少二次汽的带液量。二次汽由蒸发器顶部引出后进入冷凝器，冷凝器内以水为冷却介质，二次汽在此被冷凝后，从冷凝器的底部排出。

为了保持蒸发器内一定的真空度，二次汽中的不凝性气体经分离器与冷凝液分离后，由真空泵抽出而排入大气中。

浓缩液的贮槽与蒸发器的蒸发室之间有平衡管相连接，其目的是保持两设备的操作压相同，以便浓缩液能借重力作用由蒸发器直接进入贮槽。

真空蒸发的最大优点是：负压下溶液的沸点下降，当加热蒸汽压一定时，加热室内的传热温差增加；在维持传热温差不变的条件下则可使用低压蒸汽或废蒸汽作为热源，这都有利于提高过程的经济效益。因此，单效真空蒸发仍在工业生产中广泛采用。

当然，单效蒸发也可以是常压或加压，其物料在蒸发器的流向与真空蒸发相同，只是二次蒸汽由蒸发器顶部引出后直接排空或进入冷凝器内冷凝而不需要真空泵抽气。

完成单效蒸发的主体设备是蒸发器。蒸发器的功能是利用加热蒸汽的热量，将溶液加热并使其沸腾汽化。因此，工业生产中主要是从如下三个方面来考核一台蒸发器是否合用以及性能的好坏。

(1) 水分蒸发量。系指单位时间内从原料液中汽化的水分量，常用的单位为 kg/h ，表示每小时蒸发水分量的千克数，又称其为质量流率。水分蒸发量的大小表明了一台蒸发器的能力，同一设备、相同条件下，单位时间内蒸发的水分量越多越好。