

● 高等学校教学参考书

反应釜

渠川瑾 编

● 高等教育出版社

003
8

高等学校教学参考书

反 应 釜

渠川瑾 编

高等教育出版社

内 容 提 要

本书是为高等学校理科《化学工程基础》课程编写的教学参考书。

在编写过程中,编者力求结合教材,以化工生产中经常使用的机械搅拌釜为中心议题,在研究釜内液相反应的基础上,对传质和同时存在的气-液及液-液反应进行了较深入的研究和讨论。

全书共分五章,内容包括:绪论;反应物料的搅拌;反应釜的换热;多相反应过程中的传质;反应器模型。

本书可供高等院校化学系学生用作参考书,亦可供有关教师及技术人员参考。

(京)112号

高等学校教学参考书

反 应 釜

渠川瑾 编

*

高等教育出版社出版

新华书店总店北京科技发行所发行

河北省香河县印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 3.875 字数 93 000

1992 年 5 月第 1 版 1992 年 5 月第 1 次印刷

印数 0 001—1 763

ISBN7-04-003011-X/O·942

定价 2.50 元

目 录

第一章 绪 论	1
§ 1 反应釜操作方式.....	3
§ 2 反应釜装置的几何特性.....	4
2-1 叶轮直径 d 与釜径 D 之比.....	4
2-2 叶轮在釜内的位置.....	5
2-3 叶轮个数.....	5
2-4 标准搅拌釜.....	6
§ 3 反应釜的换热方式.....	7
第二章 反应物料的搅拌	10
§ 1 搅拌器作用原理.....	10
1-1 搅拌叶轮类型.....	10
1-2 叶轮对液体的循环作用.....	12
1-3 叶轮对液体的剪切作用.....	14
§ 2 搅拌釜内流体流动的情况.....	18
2-1 叶轮排量.....	18
2-2 叶轮速度头.....	19
§ 3 搅拌对化学反应速率的影响.....	20
§ 4 搅拌功率.....	22
4-1 搅拌雷诺准数.....	22
4-2 搅拌功率的量纲分析.....	23
4-3 功率曲线.....	25
4-4 形状因子对搅拌功率的影响.....	30
4-5 固液悬浮系统的搅拌功率.....	32
4-6 通气情况下的搅拌功率.....	37
第三章 反应釜的换热	40
§ 1 搅拌釜传热关连式.....	41

1-1	釜侧传热系数	41
1-2	夹套侧传热系数	41
1-3	蛇管侧传热系数	42
1-4	总传热系数的确定	42
§ 2	增强传热的途径	44
§ 3	其它体系传热系数的计算	45
3-1	固定体系	45
3-2	非牛顿流体	46
第四章	多相反应过程中的传质	48
§ 1	气液反应	48
1-1	搅拌鼓泡釜内流体力学	49
1-2	搅拌鼓泡釜内传递参数	54
1-3	传质和反应模型	62
§ 2	液液反应	71
2-1	搅拌转速与分散关系	72
2-2	液滴的平均直径	74
2-3	两相传质系数	75
2-4	传质和反应模型	76
第五章	反应器模型	80
§ 1	化学反应的选择性和收率	80
1-1	选择性	81
1-2	收率	81
1-3	微分选择性	82
§ 2	均相反应器模型	82
2-1	连续反应器(C. S. T. R.)	82
2-2	间歇和半间歇反应釜	89
§ 3	非均相反应器模型	106
3-1	气液反应器	106
3-2	液液反应器	112
	参考文献	115
	符号表	116

第一章 绪 论

反应器是化工生产的核心设备,它的型式多种多样,一般常见的有塔式,管式和釜式。其中釜式占有相当重要的地位。例如染料、医药、试剂、食品及合成材料等工业生产中,普遍使用反应釜作为主要的反应设备。

这些类型的产品,可用为数不多的、有代表意义的有机单元过程加以概括,如表 1-1 所示。

表 1-1 典型有机单元过程

单元过程名称	单 元 过 程 举 例
氧化	环己醇氧化、苯酚氧化等
加氢	油酸加氢、葡萄糖加氢等
氯化	苯的氯化、对甲酚氯化等
硝化	甲苯硝化、一般芳香烃的硝化
磺化	发烟硫酸及酸酐磺化硝基苯等
聚合	苯乙烯聚合、乙烯聚合等

由此可见,化工领域中涉及的有机单元过程所使用的反应设备大都为反应釜。反应釜所以能有广泛的适应性,是与它自身所具有的特性分不开的。

(1) 温度易于控制 对于连续操作的反应釜,良好的混合可以产生较低的,更易于控制的反应速率;当反应剧烈放热时,反应釜可以消除过热点;而间歇操作时,则可将温度按程序排定为反应时间的函数。

(2) 操作的灵活性 可按生产需要而进行间歇、半间歇或连续操作(详见下节)。

(3) 对于容量大和反应时间长的反应, 往往更为经济。

(4) 细小的催化剂颗粒能充分悬浮在整个液体反应体系中, 从而获得有效的接触。

(5) 在平行反应系统中, 连续釜有利于反应级数较低的反应, 间歇釜有利于反应级数较高的反应。

(6) 在连串反应系统中, 连续釜有利于最终产物, 间歇釜有利于中间产物的生成。

广义的反应釜, 实际上就是一个罐式容器, 有时, 也称为反应槽(tank)或罐(vessel)。在反应釜的中心垂直位置上, 常安装机械搅拌器, 以加速物料充分混匀和反应。

搅拌反应釜主要由釜体、釜盖、搅拌器、减速器及密封装置等组成, 如图 1-1 所示。反应釜内有搅拌器, 它分为叶轮和轴两部分, 其中主件为叶轮 7, 它随轴旋转而将机械能施加于液体, 推动液体不断运动。但应指出, 搅拌器性能好坏, 消耗功率的多少, 不仅取决于叶轮的形状、大小和转速, 也取决于所搅拌液体的物性, 以及搅拌釜的几何特性等。

釜型可以是碟形底, 圆底或锥形底。通常, 最好为碟形, 以降低功率消耗, 除特殊原因外不用锥形底。

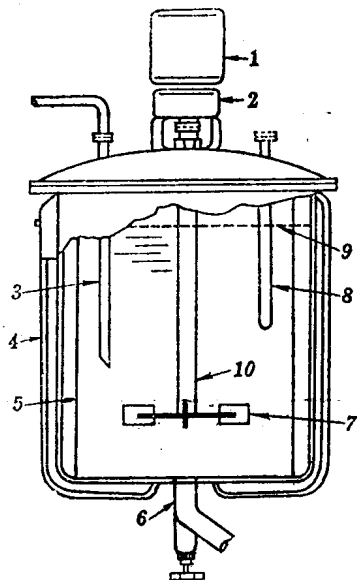


图 1-1 典型搅拌器装置

1—电动机; 2—减速器; 3—料管;
4—夹套; 5—挡板; 6—排放阀;
7—叶轮; 8—温度计套管; 9—液面;
10—轴

§ 1 反应釜操作方式

反应釜应用的广泛性,还体现在操作方式的多样化上,很少有—种反应器能适应多种操作方式,而反应釜在这方面却具有较大的灵活性。图 1-2 即为反应釜所进行的间歇、半间歇及连续操作的示意图。

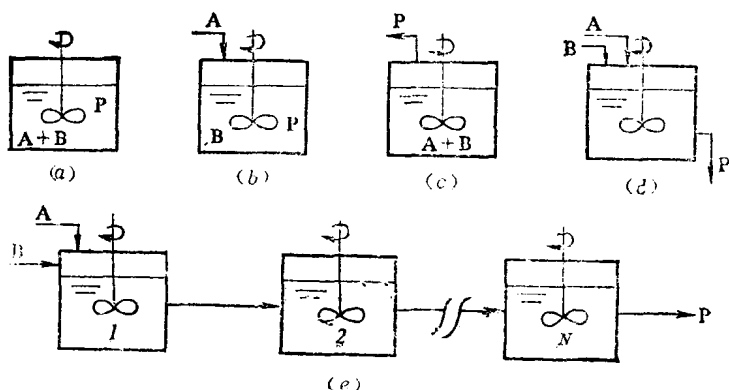


图 1-2 反应釜的操作方式

(a) 间歇; (b)、(c) 半间歇; (d) 连续; (e) 多釜串联

间歇操作时,反应物一次投入釜内,随即升温至反应温度,反应结束后,取出产物。如图 1-2(a)所示,这种操作方式较多地用于产量低,规模较小的精细化工生产中。

根据反应特点,反应釜也可进行半间歇(或半连续)操作。半间歇反应釜如图 1-2(b)所示,反应物之一连续加入,而另一物料事先加入釜内,形成又间歇又连续的操作方式。如有机硝化反应为剧烈的放热反应,反应物之一硝化酸(硝酸和硫酸的混合物),可以采用连续滴加的方法,以控制反应初期的反应速率不致过快。

半间歇操作常用的另一种方式,是在反应过程中将某一组分

连续取出,使该组分在反应区中维持较低浓度,从而抑制某些副反应的发生或提高主要产物的收率,这种半间歇操作方式如图 1-2(c)所示。例如,丁醇和醋酸在硫酸催化剂作用下所进行的酯化反应为一可逆反应,当酯化反应进行到一定程度后,反应速率减慢,但是,如果及时将酯化反应生成的水不断除去,反应即可不断向右进行,酯化产率不断增加。这就是工业上采用半间歇釜进行酯化反应的实例。

反应釜也可进行连续操作,这时,反应物料连续加入,反应产物连续取出,如图 1-2(d)所示。如果剧烈搅拌结果使物料完全混合,整个反应器内物料浓度和温度达到均匀,且反应器内物料浓度等于出口浓度,则这种反应器称为单级连续搅拌槽式反应器(Continuous stirred Tank Reactor),简称为 C. S. T. R.。它常用于进行低反应级数,同时有可能在低转化率下操作的化学反应。

C. S. T. R. 内强烈的返混作用,限制了它的应用范围,为了达到同一工艺条件下的相同转化率,显然,釜式将比管式所需反应体积大很多,为此,采用多釜串联操作更为经济。多釜串联参见图 1-2(e)。

§ 2 反应釜装置的几何特性

反应釜的釜型、叶轮类型、挡板型式及附件在釜内的相对位置及其尺寸比,构成搅拌反应釜的几何特性。

如果釜型、叶轮型式和附件事先已确定,主要的几何特性将决定于叶轮直径(d)与釜直径(D)的比值、叶轮在釜内的位置以及所需叶轮的个数。

2-1 叶轮直径 d 与釜径 D 之比

不同型式叶轮所使用的 d/D 值是不同的,对于低粘度液体的

叶轮,建议使用下述范围的 d/D 值:

叶轮型式	d/D 值
平桨	0.5~0.83
涡轮	0.33~0.40
螺旋桨	0.1~0.33

2-2 叶轮在釜内的位置

叶轮的轴大都垂直安装在釜中心线上,而叶轮距釜底的距离(即叶轮在釜内的位置),却可以有很大的伸缩性,一般为叶轮直径的一倍,特殊情况下,按被搅拌物料体系性质而异。例如,对于非均相物系,可采用如图 1-3 的相对位置:搅拌极易沉降的悬浮物时,常将叶轮置于靠近釜底[如图 3-1(a)]或安装底部挡板[图 3-1(b)],气液搅拌则要求进气口靠近叶轮下方[如图 3-1(c)]所示,而搅拌液-液体系的物料时,分散两相将成为主要矛盾,这时,叶轮的位置要根据具体情况而定,一般置于两相分界面处。

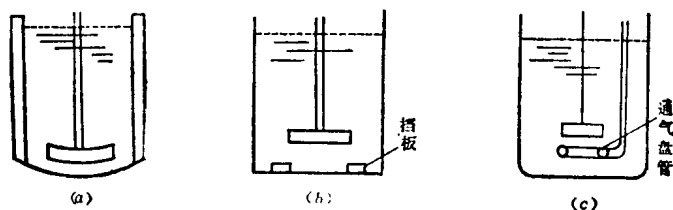


图 1-3 非均相反应釜搅拌器位置举例

(a)、(b) 固液悬浮; (c) 气液接触

2-3 叶轮个数

当液层深度与釜径之比大于 1.25 倍时,应使用多个叶轮,叶轮所需的个数可用液体当量水深(指实际液体深度与液体平均相对密度的乘积)与釜径之比来决定。叶轮间距应为叶轮直径的 1.0~1.5 倍,以保证各叶轮流场的液流得到充分搅拌而又不致自相干扰造成混合不均。

2-4 标准搅拌釜

由上可知,反应釜的几何特性可以各异,而它对液体流型和搅拌效果又有相当重要的影响。实践证明,在某一搅拌釜中所得结果,很难推广用于其它几何特性的搅拌釜,因此,建立一个标准构型的搅拌釜以满足不同化工生产中大多数工艺对搅拌的要求是很有必要的。

参阅图 1-4,将标准搅拌釜中各项几何尺寸说明如下:

(1) 采用六个平直叶涡轮[详见图 1-4(b)],釜壁垂直安装四块挡板。

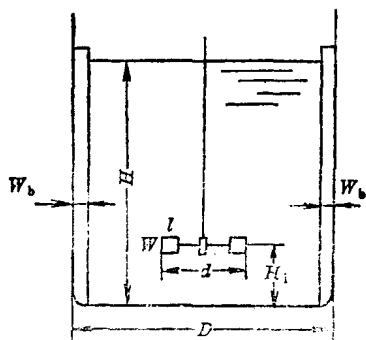


图 1-4(a) 标准釜主要几何尺寸

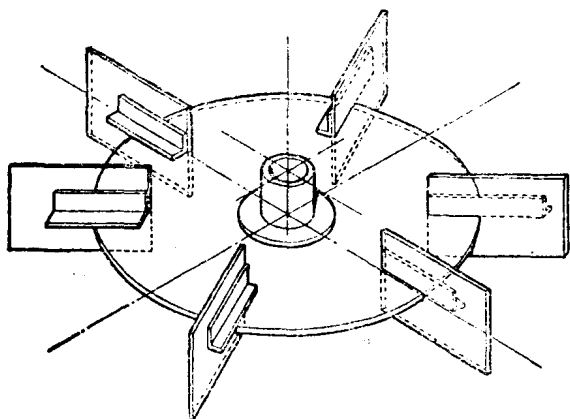


图 1-4(b) 圆盘六平直叶涡轮

(2) 釜内各附件或其它尺寸, 都以叶轮直径 d 的倍数表示:

釜径 $D = 3d$

叶轮距釜底距离 $H_1 = d$

叶轮叶片宽度 $W = \frac{1}{5}d$

叶轮叶片长度 $l = \frac{1}{4}d$

液层深度 $H = D = 3d$

挡板宽度 $W_b = \frac{1}{10}D = \frac{3}{10}d$

凡符合上述几何尺寸的搅拌釜, 即为装置标准构型搅拌器的釜。

实验证明, 标准釜基本满足化学反应过程的需要, 并可作为科研和设计初步中搅拌操作所使用的设备。

§ 3 反应釜的换热方式

反应釜应具备进行化学反应的条件之一是要有换热设施, 但反应釜的换热方式受釜结构所限制, 与塔式相比, 釜式反应器 D/H 较大, 有时, 单纯依靠常见的釜外夹套换热面积是有限的, 且釜径愈大, 单位釜体积的换热面积势必愈小, 而反应物料量却在不断增加, 这时, 将给放大工作带来困难。也即从换热面积考虑, 放大效应是不容忽视的。为此, 工业上采用如下措施, 以弥补其不足:

(1) 釜内换热 除夹套[图 1-5(a)]外, 在反应釜内, 还可设置螺旋管, 如图 1-5(b)所示。

(2) 釜外换热 根据不同情况, 可以在釜外加泵使液体在釜外循环换热; 当反应过程中存在低沸点溶剂时(如聚合反应), 釜外

要加设冷凝器，以回流溶剂并控制一定反应温度，如图 1-5(c) 及 (d) 所示。

针对不同化学反应应如何选择上述换热方式？

对于均相反应，首先应使参加反应的物料充分地混合，并达到不同物料间的相互溶解，致于反应的快慢，则主要由温度控制，较少受传质的影响。一般，温度愈高，反应速度愈快，其上限仅受设

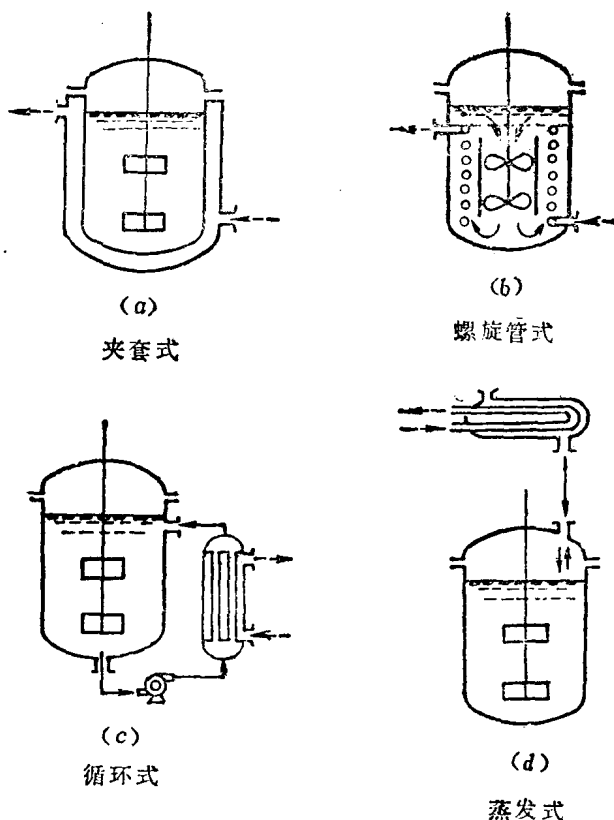


图 1-5 反应釜的换热方式

备材料允许范围所决定。可采用图 1-5(a) 装置。对于某些放热量较大的反应，因釜夹套换热面积有限，可以在釜内加设蛇管(或排

管),如图 1-5(b)所示。必要时,用釜外循环换热,除去大量热量,如图 1-5(c)所示。如果是常压反应,则沸点温度是最容易建立的反应条件,而且物料在沸腾状态下混合良好,许多有机化工生产中,常根据选用溶剂的沸点使反应控制在一定温度下进行,这时,反应釜只需有加热装置,如夹套,再配以釜外回流冷凝器即可,如图 1-5(d)所示。它与实验室使用的带有回流冷凝器的三口瓶类似,这种装置也称为蒸发式反应釜。此外,在某些地区能源方便,而所需反应温度又较高,这时炉灶式(蓄热式)换热也很重要。

如果是非均相反应,相互作用的反应物可能是部分互溶或互不相溶的两个液相,或者是气体鼓泡通过液层的气液两相反应,而一般该两相内的传质和传热较难分开进行,因此,减小界面阻力,尽量扩大相接触面积,有利传热和传质作用。通常是在反应釜内装置高效搅拌器,在急剧搅拌情况下,加大液体循环量和液体间湍流程度,使液滴分散或气泡击碎,表面不断更新,增强传热和传质的效果。

第二章 反应物料的搅拌

搅拌过程早在廿世纪五十年代在化学工程中已成为独立的单元操作之一。今天，它已进一步发展成为许多化工过程的重要组成部分，特别是搅拌反应过程，其搅拌效果直接关系到反应结果及产品成本。

§ 1 搅拌器作用原理

1-1 搅拌叶轮类型

常用的搅拌叶轮有桨式、螺旋桨式(推进式)、涡轮式、锚式、螺杆式及螺带式等，如图 2-1 所示。

另外，在桨式基础上发展起来的，为一些专门工艺所使用的布尔马金式及法都拉式叶轮也在化工生产中引起了人们的注意。图 2-1 中前六种为高速搅拌器，叶轮直径较小，适用于中等或低粘度液体的搅拌，后三种为低速搅拌器，叶轮直径相对较大，适用于高粘度液体的搅拌。

在搅拌器中样式最简单的是平桨，平桨是指桨叶的叶面是平面且垂直于搅拌液体的水平面，如图 2-1(a) 所示；斜桨则指桨叶面与釜的纵截面形成一定角度，如图 2-1(d) 所示。反应中以使用斜桨较多。

当叶轮旋转时，桨叶叶面对流体施加压力，使流体运动，由于桨叶形状，叶轮尺寸和其安装位置及转速的不同，使流体产生各种形式的运动，从而出现混合、悬浮和分散等不同的搅拌效果。

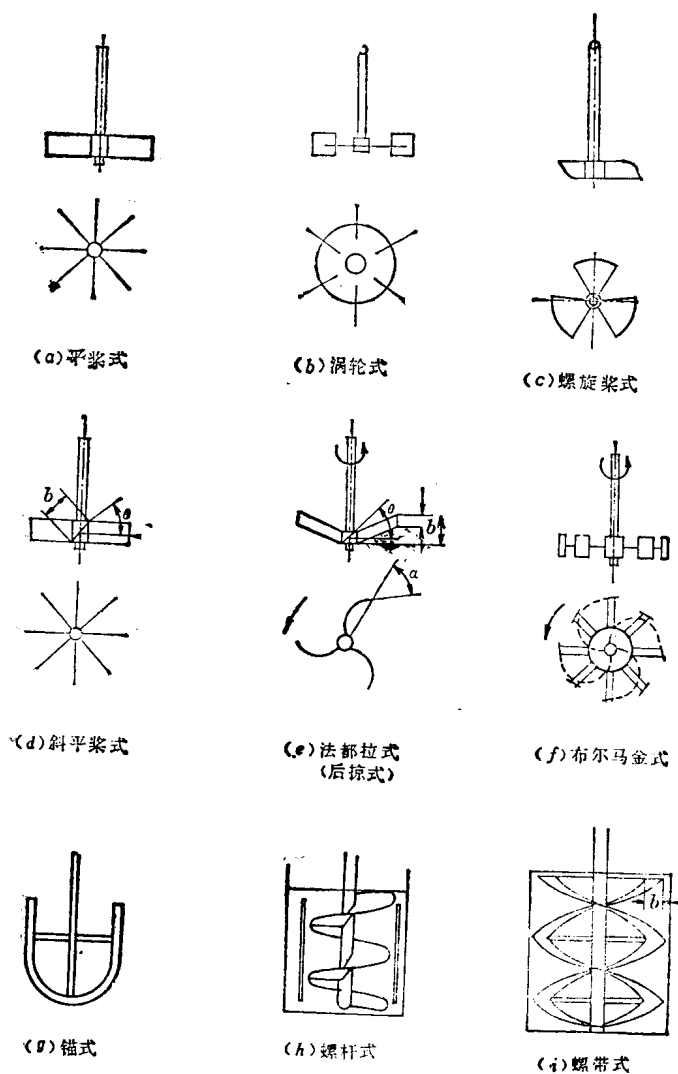


图 2-1 搅拌叶轮类型

实际生产过程中,对搅拌叶轮提出的要求是综合性、多方面的,使用一种型式的搅拌器很难达到尽善尽美,往往按照过程的一种

特殊要求，在某一两方面来满足要求，如在悬浮聚合反应过程中，着重要求通过搅拌使单体均匀分散并悬浮在连续相中，此时宜采用图 2-1(e)及(f)型叶轮，而对高粘度流体的搅拌和反应，主要要求搅拌起混合和搅动作用，宜采用图 2-1 中(g)，(h)及(i)型叶轮。

1-2 叶轮对液体的循环作用

(1) 两种流型

当叶轮获得外界供给的能量，产生自身旋转运动时，首先将机械能传给附近一小区域内的流体，使其造成高度湍动，随着湍流漩涡的扩散，一股高速射流开始推动周围缓慢流动的液体，并使其沿一定途径在釜内作大范围的主体循环流动，这种循环流动的途径就形成了搅拌釜内液体的流型。不同型式的叶轮可以产生不同流型，并区分为轴向和径向流型两种，参阅图2-2。所谓轴向流叶轮，是使液体轴向入轴向出；径向流叶轮则使液体由轴向入而由径向出。一般轴向流主要对液体产生上下翻动的循环作用，径向流主要对液体产生剪切作用，属于轴向流叶轮有螺旋桨，斜桨等；径向流叶轮有涡轮桨、平桨等。

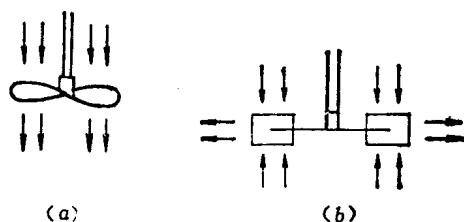


图 2-2 搅拌流型

(a) 轴向流； (b) 径向流

(2) 挡板及其作用

当叶轮搅拌较低粘度液体时，由于叶轮高速旋转，在离心力作用下产生一种切向流，它使液体甩向器壁四周，并沿釜周边上升，