

化工车间设计

(讨论稿)

下册

大学

第四章 反应器的设计	1
第一节 概述	1
一、化学反应器的设计要求	1
二、化学反应器的基本工艺条件及设计要点	2
三、化学反应器的分类及选型	3
四、化学反应器的设计基础及一般步骤	5
第二节 釜式反应器	6
一、釜式反应器的型式及其结构	6
二、反应釜设计程序及计算方法	8
三、设计举例	32
第三节 流化床反应器	38
一、流化床的简介	38
二、流化床反应器的流化过程	40
三、流化床反应器的设计计算	41
四、流化床反应器设计举例	57
第五章 悬浮物分离设备	73
第一节 旋风分离器	73
一、旋风分离器设计原理	73
二、旋风分离器的设计计算	75
第二节 过滤设备	79
一、板框压滤机	79
二、转鼓真空过滤机	80
三、用实验确定过滤面积的方法	82
第三节 离心机	84
一、离心机的分类及工作原理	84
二、离心机类型的选择	85
三、离心机型号的确定	85
四、几种常用离心机介绍	87
第六章 干燥器设计	89
第一节 固体物料气流干燥原理	90
第二节 干燥器选择方法	90
第三节 干燥器的设计程序	93

一、工艺计算	93
二、干燥器设计计算	96
第四节 设计举例	103
一、喷动床干燥器设计举例	103
二、沸腾床设计举例	107
第七章 材料选择与防腐	115
第一节 钢制板材的选择原则	115
一、材料的机械强度	115
二、材料的物理性能	117
三、材料的耐腐蚀性能	117
四、材料的焊接性能	117
五、材料的价格及来源	117
第二节 有色金属的一般性能介绍	119
一、铜材	119
二、铝材	119
第三节 防腐	119
一、腐蚀形式	119
二、防腐方法	119
第八章 化工容器的强度计算与校核	122
第一节 筒体的强度计算	122
一、内压圆筒的强度计算	122
二、外压圆筒的强度计算	123
第二节 封头的强度计算	128
一、凸形封头	128
二、平板形封头	130
第三节 开孔和开孔补强	131
一、内压圆筒和封头的开孔补强	131
二、平板形封头开孔补强	135
三、外压圆筒和封头的开孔补强	135
四、并联开孔补强	135
五、局部补强所适用的范围	136
第四节 压力试验	136
一、水压试验	136
二、气压试验	136
第五节 综合计算举例	137
一、筒体的强度计算	137
二、封头的强度计算	138

三、夹套计算.....	138
第九章 非定型设备施工设计条件的编制.....	139
第一节 设备结构条件图.....	139
第二节 设备管口方位图.....	140
第三节 非定型设备施工设计条件繪编方法.....	141

第三篇 非工艺部分

第一章 化工仪表自动化.....	142
第一节 概论.....	142
第二节 测量和变送仪表.....	145
一、压力的测量和变送.....	145
二、流量的测量.....	151
三、液面和料面的测量.....	155
四、溫度的测量.....	160
第三节 显示记录仪表.....	164
一、动圈式指示仪表.....	168
二、电子自动电位差计.....	168
三、气动记录仪.....	170
第四节 基本调节规律与调节器.....	170
一、双位式调节.....	171
二、比例调节.....	173
三、积分调节.....	175
四、微分调节.....	180
五、比例积分微分调节 (<i>PID</i> 调节)	182
第五节 复杂调节系统.....	186
一、串级调节.....	186
二、比值调节.....	188
三、均匀调节.....	191
第六节 执行机构.....	195
一、气动薄膜调节阀.....	195
二、 <i>DKJ</i> 型电动执行器.....	198
第七节 化工单元过程的典型控制方案.....	202
一、流体輸送的自动调节.....	202
二、换热器的自动调节.....	204
三、精餾塔的自动调节.....	205
四、化学反应器的调节方案.....	210
第八节 化工自动化控制设计的条件.....	211

第九节 化工自动化工程设计	212
一、工程设计	212
二、工程设计基本程序	212
附：统一规定的设计符号	217
第二章 土建	221
第一节 化工建筑的基本知识	221
一、建筑物结构构件	221
二、建筑物的防震抗震	227
三、工业建筑模数制	228
四、化工建筑的特殊要求	229
第二节 土建设计条件	233
一、土建设计一次条件内容	234
二、土建设计二次条件内容	234
第三章 公用工程	236
第一节 给排水	236
一、给水	236
二、排水	241
三、工艺向给排水提供的条件	247
第二节 供热	250
一、热源	250
二、蒸汽供热系统	252
三、热载体及供热系统的选择	253
四、工艺对供热提出的条件	253
五、供热系统的基本设计程序	254
第三节 冷冻	256
一、冷冻原理	257
二、概述	257
三、冷冻剂	258
四、载冷剂	266
五、工艺给冷冻设计提出的条件	266
六、冷冻站的设计程序	266
第四节 供电与电信	267
一、车间供电系统	268
二、照明	271
三、防雷	272
四、电信	276
第五节 采暖通风	279

	一、采暖.....	229
	二、通风.....	281
附录一	物性数据.....	286
	一、基本概念和常用计算公式.....	286
	二、有关物性数据的资料和手册介绍.....	308
附录二	气象、地质、水文资料.....	311
	一、设计用气象、地质、水文基础资料的内容.....	311
	二、获得这些资料的途径.....	313

第四章 反应器设计

第一节 概 述

一、化学反应器的设计要求

化学反应的设备是化工厂中主要的设备之一，是实现化学反应过程、从而将原料转变为所需产品的设备。

它的设计是否合理，对于高产、优质、低耗、安全生产、缩短工艺流程等有着关键性的影响。

对化学反应的一般要求是：

1. 原料转化率高。

转化率是指参加反应的主要原料 A ，经反应器反应掉的重量与该原料 A 进入反应器的重量之比。即：

$$\text{转化率} = \frac{\text{反应掉的 } A \text{ 重量}}{\text{进入反应器的原料 } A \text{ 的重量}} \times 100\%$$

2. 产品收率高，即付反应少。

$$\text{收率} = \frac{\text{转化为主产品的 } A \text{ 的重量}}{\text{进入反应器的 } A \text{ 的重量}} \times 100\%$$

或：

$$\text{收率} = \text{转化率} \times \text{选择性}$$

$$\text{选择性} = \frac{\text{转化为主产品的 } A \text{ 的重量}}{\text{反应掉的 } A \text{ 的重量}} \times 100\%$$

选择性——主反应在各个联立反应中所占的比重。

3. 单位反应体积的生产能力大，基建投资少。

4. 物料流动阻力小，能量消耗低。

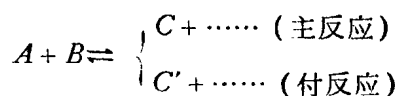
5. 热效率高，即热量消耗少或能够充分利用反应热。

6. 结构简单，容易制造，安全可靠，易于操作和调节。

化学反应的一般特点：

1. 化学反应本身的复杂性

由于化学反应有很多是可逆反应或存在付反应，所以产品的转化率和收率都不可能达到百分之百。例如：



2. 化学反应过程的复杂性

在化工生产中，化学反应过程较之其它过程都为复杂，如：流体输送中的泵类，仅是流体问题；换热器无非是流动和传热二个问题。而化学反应过程就不这么简单了，它不但包括化学原料之间的反应问题，还有传质、传热和物料流动等问题，所以化学反应过程是一个错综复杂的过程。

3. 化学反应物料的多样性

任何化学反应物料的纯度，一般都不能达到百分之百，物料中多少总会有一些惰性物质、杂质等，这就造成了物料组成的多样性。

二、化学反应器的基本工艺条件及设计要点

为了保证化学反应正常进行，并达到上述要求，就必须保证反应的最适宜条件，这些条件一般是：

（一）原料的精制

化学反应原料中的惰性物质、毒物和灰分等杂质对产品收率和设备腐蚀都有很大的影响。所以原料在参加化学反应之前需进行净化和予处理，提高原料的纯度。

（二）保证最适应的温度、压力和浓度

1. 温度是加快反应速度的有利因素，一般温度提高可以加速反应。但提高温度要考虑到转化率是否会因之降低或产生其它付产物；对设备的材料及触媒是不是有不良的影响等。另外对于吸热反应，提高温度将使原料的平衡转化率加大；对于放热反应，它的逆反应为吸热反应，提高温度将使原料的平衡转化率减小。

可见，温度对化学反应的进行影响很大，所以必须通过试验找到适宜温度。要保证反应器内的温度分布符合最适温度，必须要由传热装置和搅拌装置来满足此要求。

2. 对于物料体积减少的反应，提高压力有利于反应产物的生成（例如氨的合成）；对于物料体积增加的反应则提高压力不利于反应产物的生成。同时采用压力也受到压缩机和反应器本身强度及材料的限制。

3. 浓度：参与反应的物料浓度愈大，就愈促使反应向生成反应产物的方向进行，反应的速度也愈大。对有些反应，生成的反应产物应及时排出，否则引起反应逆向进行，降低了转化率。在起反应的原料处于流动状态的反应中，采取措施使物料流在设备内一直往前流动，而不倒退发生反应物料与反应产物的混合现象（称为“返混”），具有重大意义。否则原料的有效浓度降低，引起产率降低而降低设备的生产能力。

（三）最佳的催化剂

催化剂（或称触媒）的作用是加速化学反应过程，从而缩短反应时间。它是现代化学工业的一个重要特点。催化剂的一般作用如下：

1. 增加反应的速率；
2. 使反应趋向于产生需要的产品；
3. 消除不需要的付反应。

总的讲来，应通过试验，寻求转化率高、选择性好、反应速度快的催化剂以利反应的进行。

(四) 选定合适的接触时间和空间速度

接触时间（或称停留时间） τ_c ，定义式为：

$$\tau_c = \frac{V_R}{V_0} \left(\frac{\text{米}^3 \cdot \text{秒}}{\text{米}^3 \text{物料}} = \text{秒} \right) \quad (1)$$

式中： V_R 是反应器的体积 [米³]， V_0 是进口物料的体积流量 [米³物料/秒]。若物料进出口体积流量不变，流动方式为“活塞流”时， τ_c 即为物料在反应器内的真实停留时间或反应时间；否则它仅是真实反应时间的一个标度。

（“活塞流”——所有物料在反应器内的停留时间全部相同，“一刀齐”，这种假设的流动型式称为“活塞流”）。

接触时间的倒数称为“空间速度” w_R ，简称“空速”：

$$w_R = \frac{V_0}{V_R} = \frac{1}{\tau_c} \left[\frac{\text{米}^3 \text{物料}}{\text{米}^3 \cdot \text{秒}} \right] \quad (2)$$

可见，空间速度表示单位反应体积 [米³] 所流过的物料进料量 [米³/秒]，它反映了设备的生产强度——空速愈大，则设备的生产强度愈大。在设计中要确定最适的 τ_c 和 w_R 以提高生产强度、提高转化率与减少付反应。

(五) 减少返混

反应器内不同“年龄”质点之间的凝合称为返混。它是反应器内影响化学反应的重要物理因素之一。返混会影响反应的收率和选择性。一般说来，转化率要求高，反应速度慢，反应级数多，返混影响愈严重。此时应采取措施（采用管式、塔式设备，加隔板等）来减少返混。对聚合反应而言，返混会改变产物的分子量分布。由此可见，设法消除返混现象是很有意义的。

(六) 相接触与搅拌

许多化学反应是多相反应，必须使它们充分接触。反应组分混合的愈均匀，接触的愈良好，化学反应就进行的愈快。搅拌是使反应组分之间混合得良好的重要手段之一。因此设计或选择合适类型的搅拌器是要考虑的重要问题。

以上仅是工艺条件的简单介绍，至于深入研究诸因素之间的内在联系以及各因素之间的相互矛盾，这些就不属于本书研究的内容了，所以在此不需作进一步的讨论。

三、化学反应器的分类与选型

(一) 反应器的分类及特点

反应器的分类很复杂，这里仅按反应器的基本结构分类如下：

1. 管式反应器
2. 釜式反应器 $\left\{ \begin{array}{l} \text{间歇操作式} \\ \text{连续操作式} \end{array} \right.$
3. 固定床反应器
4. 流化床反应器

管式反应器：为一单管或管束（空管或充填触媒）。反应物料有的是一次通过，有的进行循环流动。如图 I—4—1 所示。

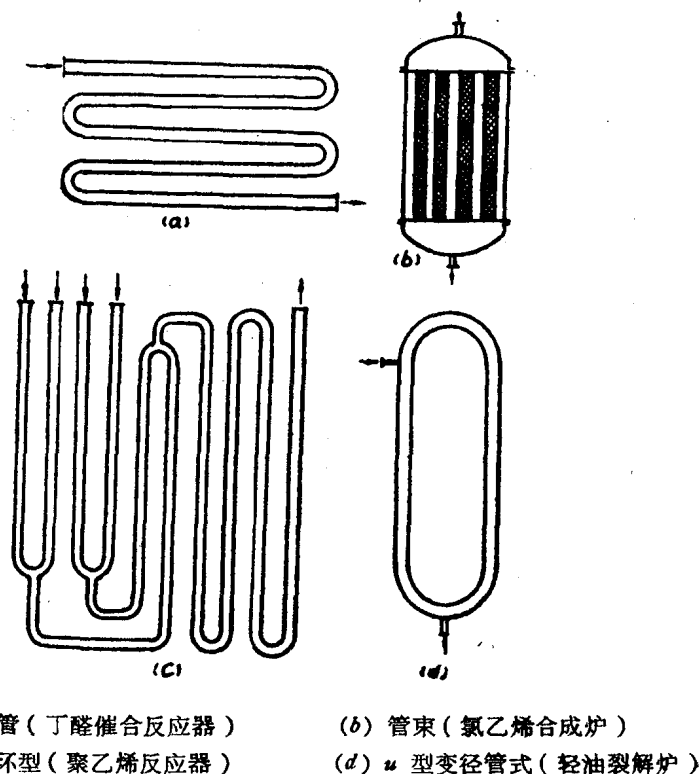


图 I—4—1 管式反应器类型示意图

特点：

1. 传热面积较大，给热系数较高；
2. 流体流速较快；
3. 反应物料停留时间短；
4. 便于分段控制，创造最适宜的温度梯度和浓度梯度。

釜式反应器（结构见第二节）特点为：

1. 可间歇操作，亦可连续操作；
2. 停留时间可长可短；

3. 温度、压力范围可高可低；
4. 在停止操作时易于开启进行清理；
5. 一般用于有液相参与的反应过程。

固定床和流化床（结构见第二节）反应器：

1. 气固间传热、传质面积大；
2. 传热、传质系数高，温度均匀；
3. 便于实现过程连续化和自动化；
4. 适于气固相的催化反应过程。

（二）选型

化学反应器的类型很多，选型是个复杂的问题，一般需经试验研究和长期的生产实践。

上述几种化学反应器适应范围一般是：

管式反应器：一般用于规模大的气体反应和若干场合下的液体反应，以及用于强烈放热（或吸热）的化学反应。

釜式反应器：一般用于有液相参与的化学反应。如：液体—液体；液体—固体；液体—气体；液体—固体—气体。

固定床反应器和流化床反应器：用于气固相反应、气——固相的催化化学反应。

本章仅重点介绍高分子化工生产中常用的釜式反应器和流化床反应器设计的基本方法和一般步骤。

四、化学反应器的设计基础及一般步骤

化学反应器的设计同其它项目的设计一样，必须建立在实践第一的基础上，一般认为有以下两个方面。

1. 科研实践

对于开发性的设计，没有实践数据，一般从小型试验开始，然后到中型试验，最后进行大规模的扩大设计。常常是以中型试验设备和试验室模型来放大设计。近来由于化学反应工程学的发展与电子计算机的应用，已有从小试直接放大到工业规模反应器设计的报导。

2. 生产实践

对于工业中已有生产的，应按照生产经验和存在的问题，总结工人的发明创造和建議来进行设计。

（一）反应器设计的一般步骤

化学反应器的类型很多，每一种类型反应器的设计程序都有所不同，但它们设计的基本步骤大致相同。

1. 根据化学工艺的要求，由试验室及中型试验取得停留时间、转化率以及反应动力学等有关基础数据，并选择适宜的化学反应器类型。

2. 进行物料衡算和热量衡算。
3. 从中型试验及模型数据计算放大后设备所需的尺寸、几何形状。
4. 选择或设计反应器所需要的有关主要辅助部件，如：搅拌器、工艺接管等。

以上只是反应器设计的一般步骤，而在每步当中以及各步之间，还有许多具体的工作需作，可能还会遇到一些特殊的矛盾，针对这些矛盾要在具体工作中进行具体地分析和解决。

（二）化学反应器设备设计的要点

总的说来，根据所指定的生产能力，设计一个化学反应器，应该满足以下几点：

1. 提供必要的“反应体积”，保证物料在反应器内停留时间能够达到所要求的反应转化率。
2. 采取适宜的搅拌或正确的床型，保证参与反应物料之间的良好接触。
3. 能够有效地换热，保证及时取走（放热反应）或供给（吸热反应）热量，维持合适的操作温度。
4. 具备足够的机械强度和耐腐蚀能力，保证运行可靠，经济耐用。
5. 操作方便，并且容易安装、检修和维护。

化学反应器的设计，需要涉及到化工生产中反应器最适宜的操作和控制、设计计算方法、模拟放大和经济核算等广泛的经验和理论知识。这方面的理论知识已总结成“化学反应工程学”。不过，由于工业生产中化学反应进行的条件十分复杂，化学反应器的合理设计，目前正在探索之中。

第二节 釜式反应器

釜式反应器是工业上常用的结构简单、操作较方便的一类反应器。它主要用于液相为连续相的反应，操作灵活性大，可以在一个很广的压力或温度范围内使用，对不同规模的间歇、半间歇、连续操作都适用。因此它广泛应用于石油化工、有机合成、高分子化工、制药……等化工生产。

一、釜式反应器的型式及其结构

釜式反应器按其安装形式不同，可分为立式反应器和卧式反应器（见图 I—4—2）。卧式反应器仅适用于处理悬浮浆状物料和处理粘性物料，立式反应器（下边简称反应釜）适用范围较广。

反应釜基本结构（见图 I—4—3）：

（一）釜体

它提供足够的反应体积，以便保证反应物达到规定转化率所需的反应时间。并且，

1. 有足够的强度和耐腐蚀能力，保证运行可靠；
2. 材料容易得到、经济、便于制造；
3. 操作方便，容易安装、检修和维护。

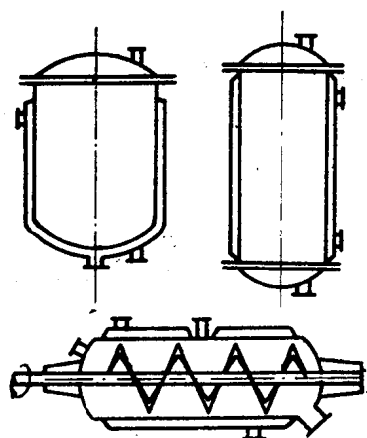
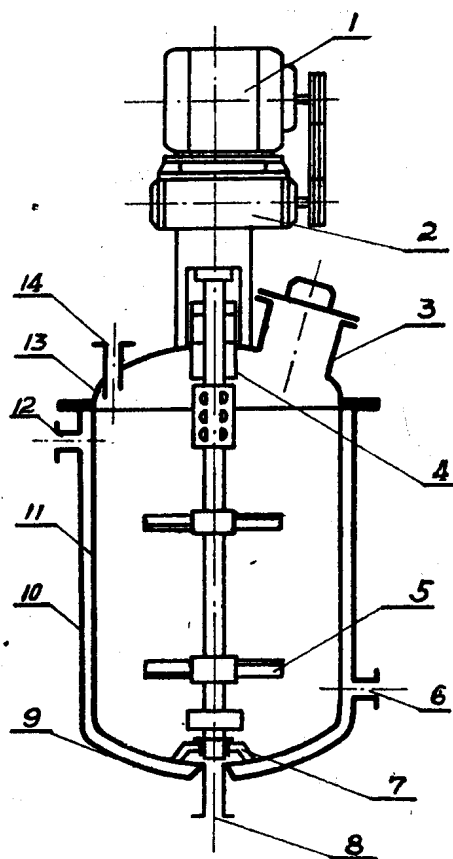


图 I-4-2 反应釜示意图



- | | |
|----------|-------------|
| 1. 电动机 | 2. 传动装置 |
| 3. 人孔 | 4. 密封装置 |
| 5. 搅拌器 | 6. 12. 夹套直管 |
| 7. 搅拌器轴承 | 8. 出料管 |
| 9. 釜底 | 10. 夹套 |
| 11. 釜体 | 13. 顶盖 |
| 14. 加料管 | |

图 I-4-3 反应釜的基本结构

(二) 换热装置

能有效地输入或撤出热量，以保证反应过程最适宜的温度。

(三) 搅拌器

加强反应物料与催化剂均匀混合、良好接触，强化釜内的传质与传热。

(四) 轴密封装置

用来防止釜体与搅拌轴之间的洩漏。

(五) 上、下封头

(六) 工艺接管

为适应工艺需要，设备上必须有各种加料、出料口及测温孔、视镜、人孔等，它们的大小、安装位置均由工艺条件确定。

二、反应釜设计程序及计算方法

(一) 了解工艺流程特点，明确反应釜的操作方式。如是间歇、半间歇，还是连续。

(二) 收集反应物料和生成物及其各组分的物性数据、计算依据。如：生产能力、转化率、(平均)反应时间、装料系数、温度、压力、比热等。

(三) 物料衡算和热量衡算。原则上同第一篇第二、三章。

(四) 反应釜体积计算。

1. 间歇反应釜

如已知每昼夜处理的物料量为 V_c 米³，生产一周的时间为 $\tau_{周}$ 小时，装料系数为 φ ，设备台数 m_p 台，

则每昼夜处理 V_c 米³ 物料的周期数 (次数)

$$\alpha = \frac{24}{\tau_{周}} [\text{次}]$$

$$\text{每釜每次处理的物料量} \quad V_p = \frac{V_c}{\alpha \cdot m_p} [\text{米}^3/\text{次} \cdot \text{台}]$$

$$\text{每釜的实际体积} \quad V_a = \frac{V_p}{\varphi} [\text{米}^3]$$

$$\therefore V_a = \frac{V_c \cdot \tau_{周}}{24 \cdot m_p \cdot \varphi} [\text{米}^3/\text{台}] \quad (3)$$

式中：

$\tau_{周}$ ——包括达到规定转化率所需的反应时间和装卸料等辅助时间。反应时间可以通过小试确定或用化学反应动力学方程式进行计算；也可以取实践或其它单位的经验数据。

m_p ——为生产中实际操作的反釜台数。要考虑到设备的检修和生产能力的储存，所以反应釜实际台数应为：

$$m = m_p \cdot n (\text{台}) \quad (4)$$

n ——设备的安全系数或备用系数。通常在 1.05~1.3 范围内，若 m_p 大时， n 可取少些，反之可大些。

φ ——装料系数。反应釜总体积 V_a ，包括物料体积 V_p 和空间体积 V_b ，我们把物料所占体积与设备总体积之比称为装料系数 (见图 I-4-4)。在液相反应时， φ —

一般取 $0.75 \sim 0.8$ ，对容易起泡和有气相参加的反应， φ 取 $0.4 \sim 0.5$ 。

2. 连续反应

连续操作和间歇操作比较，因为取掉了辅助操作时间，所以生产能力比间歇大，由于物料返混，故物料的反应时间为平均反应时间，反应转化率没有间歇反应的高。

如要用 m_p 台反应釜满釜生产，每小时处理物料为 V_c 米³，物料在设备中平均反应时间为 τ 小时，则每台设备体积（也是物料所占体积）：

$$V_{m_p} = \frac{V_c \cdot \tau}{m_p} \text{ [米}^3\text{/台]} \quad (5)$$

同样： $m_p = m/n$ [台]

如非满釜操作，每台设备的体积，同样也要除以装料系数 φ ：

$$V_p = V_{m_p} / \varphi \text{ [米}^3\text{/台]} \quad (6)$$

(五) 反应釜直径 D_0 与筒体高 H 的确定

根据釜容 V_p 与筒体长径比 γ ($\gamma = H/D_0$) 即可确定 D_0 、 H 之大小。

筒体体积应为：

$$\frac{\pi}{4} D_0^2 \times H = V_p - V_{\text{封}}$$

由于

$$H = \gamma D_0$$

∴

$$\frac{\pi}{4} D_0^2 \times \gamma D_0 = V_p - V_{\text{封}}$$

∴

$$D_0 = \sqrt[3]{\frac{V_p - V_{\text{封}}}{\pi/4 \cdot \gamma}} \quad (7)$$

上式中：

V_p ——每台反应釜的体积 [米³]

$V_{\text{封}}$ ——封头容积 [米³]，可由手册查知，在初算时可忽略。

$\gamma = H/D_0$ ——筒体长径比。在确定 γ 时应考虑：

- ① γ 趋于 1 时，单位釜容所消耗的钢材比 γ 大时较少；
- ② γ 愈大，单位釜容的（夹套）传热面积愈大，所以 γ 大，有利于传热；
- ③ γ 愈大，同一釜容的轴愈长，加工难，支承要求高，搅拌器结构复杂，不易检修。

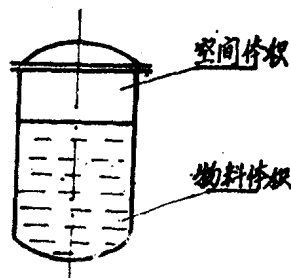


图 I-4-4

④ γ 大, 对气体的吸收有利;

⑤ γ 大时, 可减少物料返混。

各种反应要求不同, 故长径比没有一个统一的规定, 一般长径比在 1~3 之间使用较多。

(六) 搅拌器设计

在化工生产中经常使用的搅拌主要分为两种, 即机械搅拌与气流搅拌。而工业工使用的主要为机械搅拌。现将如何选择搅拌器型式、搅拌器功率计算等有关问题做以下简单叙述。

1. 机械搅拌器的基本类型与特征

常用的机械搅拌器有三种类型即桨式、推进式、涡轮式。它们的基本特征见表 I-4-1

表 I-4-1 说明:

(1) 表 I-4-1 所说的锚式或框式实际上是桨式的变形, 即在平板上装垂直桨叶而成。

另外, 开启平直叶涡轮式与平直桨式在外形上并无区别, 习惯上把 $z < 4, u_t < 3$ [米/秒] 的称为桨式, 而把 $z > 4, u_t > 3$ [米/秒] 者称为涡轮式。

(2) 桨式搅拌器 (包括锚式或框式) 的特点是要求转速较慢 (20~80 转/分)。它主要产生旋转方向的液流 (切向流), 由于物料粘性 & 壁表面阻力的影响, 使之产生半径方向的速度差, 因而能发生一些混合作用, 搅拌效率并不高。虽然这样, 但因其结构简单, 故仍广泛用于液体混合、促进传热、固体颗粒的溶解、混合等场合。

(3) 推进式 (或旋桨式) 一般要求其转数为 400~1750 [转/分]。当液体粘度较高 (> 500 厘泊), 含大量固体颗粒时, 液体会发生泡沫, 其转速为 150~400 [转/分]。它的构造较简单, 在较小的功率下可得到较高的转速, 多用于搅拌低粘度液体或含固体颗粒 10% 以下的悬浮液体等等。

(4) 涡轮式搅拌器转速高, 适用于大容器或含有大量固体 ($< 60\%$) 以及制备乳浊液及比重差较大的悬浮液的搅拌用。

2. 搅拌器安装形式及选择

搅拌器的安装形式是多种多样的, 但大体可分为下面几种, 见图 I-4-5

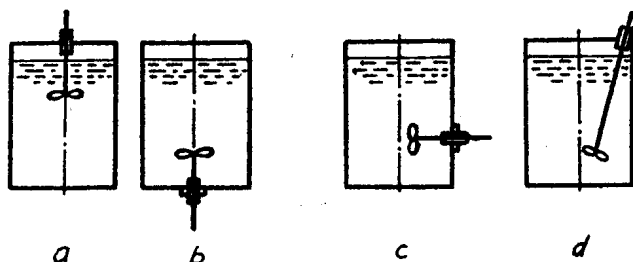
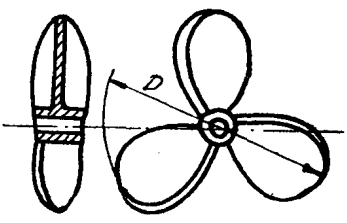
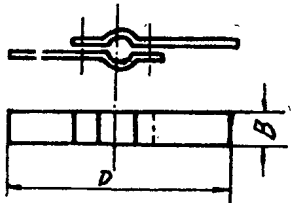
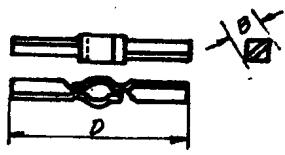
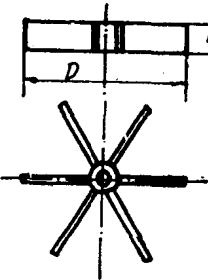


图 I-4-5 搅拌器的安装形式

表 I—4—1 搅拌器型式结构及特征

型式	特性参数	流体流动性	结 构
推 进 式 船 舶 型	$S/D=1$ $Z=3$ $u_t=5\sim15$ [米/秒] 与电机直联时 u_t 最大可达 25 米/秒	主要是推动液体轴向流动。所以作用以容积循环为主，剪切作用小 有垂直挡板时翻腾好，而且不产生漩涡。	 一般用鑄鉄 (HT15~33 等) 或不銹鋼鑄造, 也可用陶瓷, 硬木, 增强塑料等。
式 桨	平 直 叶	$D/B=4\sim10$ $z=2$ $u_t=1.5\sim3$ [米/秒]	 低速, 桨叶主要产生切向流, 转速增加时可逐步增加径向流。 无挡板时流动为涡流, 高速时液面有漩涡。 有挡板时以上下翻腾为主。 一般用扁鋼弯成, 夹在軸上, 为增强强度需加筋。
	折 叶	同 上	 同上, 但叶片斜折, 与小平面有一傾角 (一般为 45°)
渦 輪 式 开 启 平 直 叶	$D/B=5\sim8$ $z=6$ $u_t=3\sim8$ [米/秒]	主要产生径向流动, 剪切作用很强烈。 无挡板时液面有很深的漩涡。 有挡板时产生叶輪上下强烈循环。	 一般用扁鋼和軸套焊接。 材料为 A₃F (3 沸騰鋼) 0Cr13 (鉻13 低合金鋼) 1Cr18Ni9Ti 等。