

绪 论

一个典型的化工生产过程大致有三个组成部分（见图 0-1）：① 原料的预处理，即按化学反应的要求，将原料进行净化等操作；② 化学反应，即将一种或几种反应原料转化为所需的产物；③ 产物的分离，以获得符合规格的纯净化工产品。①、③部分为物理过程，②部分为化学反应过程。很显然，化学反应是化工生产过程的核心。用来进行化学反应的设备称为化学反应器，化学反应器是化工生产装置中的关键设备。

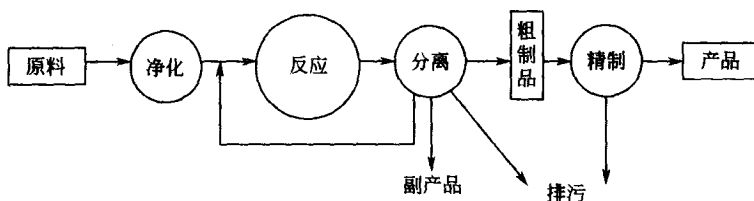


图 0-1 化工生产过程示意图

化学反应器中进行的过程不仅有化学反应过程，同时还伴有许多物理过程。这些物理过程与化学过程的相互影响、相互渗透，必然影响过程的特性和反应的结果，使反应过程复杂化。

一、化学反应器的分类

石油化工、有机化工、无机化工、精细化工、高分子化工、煤化工、冶金化工等生产涉及化学反应的产品种类繁多，每一产品都有各自的反应过程与设备。化学反应器的分类方式很多，按结构原理的特点可分为如下几种类型：管式反应器、釜式反应器、塔式反应器（包括板式塔、填料塔、鼓泡塔和喷淋塔反应器等）、固定床反应器、流化床反应器、移动床反应器、滴流床反应器等。图 0-2 为各类反应器的示意图，表 0-1 为各类反应器的应用特点和生产应用举例。

以上简要地介绍了化学反应器的主要类型及其应用。由于化工产品生产的特点，使实际生产中应用的反应器种类繁多，显然不可能都一一包括在内。

二、化学反应器的操作方式

化学反应器有三种操作方式：间歇（分批）式、连续式和半连续（半间歇）式。

表 0-1 化学反应器的应用特点与生产应用举例

形 式	适用的反应	应 用 特 点	应用举例
管式反应器	气相、液相	返混小,所需反应器体积较小,比传热面大,但对慢速反应,管要很长,压降大	石脑油裂解、甲基丁炔醇合成、管式法高压聚乙烯生产等
反应釜、单釜或多釜串联	液相、液液相、液固相	适用性强,操作弹性大,连续操作时温度、浓度容易控制,产品质量均一,但高转化率时,反应器体积大	甲苯硝化、氯乙烯聚合、酯化反应等
板式塔	气液相	逆流接触,气液返混均小,流速有限制,如需传热,常在板间加传热面	苯连续磺化、异丙苯氧化等
填料塔	液相、气液相	结构简单,返混小,压降小,有温差,填料装卸麻烦	化学吸收、丙烯连续聚合等
鼓泡塔	气液相、气液固(催化剂)相	气相返混小,但液相返混大,温度较易调节,气体压降大,流速有限制,有挡板可减少返混	苯的烷基化、二甲苯氧化等
喷淋塔	气液相快速反应	结构简单,液体表面积大,停留时间受塔高限制,气流速度有限制	氯乙醇制丙烯腈、高级醇的连续磺化等
固定床	气固(催化或非催化)相	返混小,高转化率时催化剂用量少,催化剂不易磨损,传热控温不易,催化剂装卸麻烦	乙苯脱氢制苯乙烯、乙炔法制氯乙烯、合成氨、乙烯法制醋酸乙烯等
流化床	气固(催化或非催化)相	传热好,温度均匀,易控制,催化剂有效系数大,粒子输送容易,但磨耗大,床内返混大,对高转化率不利,操作条件限制较大	苯氧化制苯酐、石油催化裂化、乙烯氧氯化制二氯乙烷等
移动床	气固(催化、非催化)相	固体返混小,固气比可变性大,粒子传送较易,床内温差大,调节困难	石油催化裂化、矿物的焙烧或冶炼
滴流床	气液固(催化剂)相	催化剂带出少,分离易,气液分布要求均匀,温度调节较困难	丁炔二醇加氢等

(1) 间歇(分批)式操作 采用间歇操作的反应器称为间歇反应器,其特点是进行反应所需的原料一次性装入反应器内,然后在其中进行化学反应,经一定时间后,达到所要求的反应程度时卸出全部物料,其中主要是反应产物以及少量未被转化的原料。接着是清洗反应器,继而进行下一批原料的装入、反应和卸料。所以间歇反应器又称为分批反应器。间歇反应过程是一个非定态过程,反应器内物系的组成随时间而变,这是间歇过程的基本特征。间歇反应器在反应过程中既没有物料的输入,也没有物料的输输出,即不存在物料的流动,整个反应过程都是在恒容下进行的。反应物系若为气体,则必充满整个反应器空间;若为液体,虽不充满整个反应器空间,由于压力的变化而引起液体体积的改变通常可以忽略,因此按恒容处理也足够准确。

采用间歇操作的反应器几乎都是釜式反应器,其余类型极为罕见。间歇反应器适用于反应速率慢的化学反应,以及产量小的化学品生产过程。对于那些批量少而产品的品种又多的企业尤为适宜,例如医药等精细化工往往就属于这种

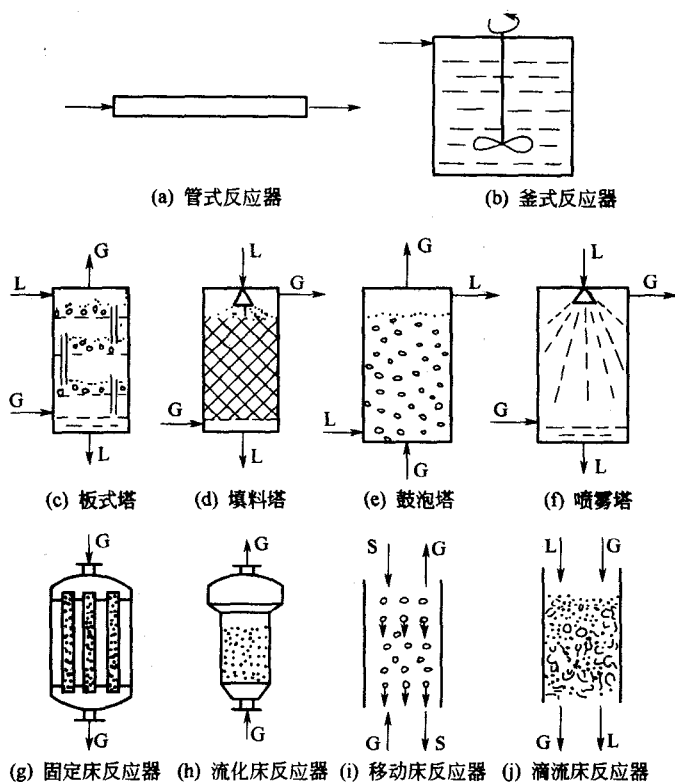


图 0-2 不同类型的化学反应器示意图

G—气体，L—液体；S—固体

情况。

(2) 连续式操作 这一操作方式的特征是连续地将原料输入反应器，反应产物也连续地从反应器流出，采用连续操作的反应器称为连续反应器或流动反应器。前面所述的各类反应器都可采用连续操作。对于工业生产中某些类型的反应器，连续操作是惟一可采用的操作方式。连续操作的反应器多属于定态操作，此时反应器内任何部位的物系参数，如浓度及反应温度等均不随时间而改变，但却随位置而改变。大规模工业生产的反应器绝大部分都是采用连续操作。因为它具有产品质量稳定、劳动生产率高、便于实现机械化和自动化等优点。这些都是间歇操作无法与之相比的。然而连续操作系统一旦建立，想要改变产品品种是十分困难的，有时甚至要较大幅度地改变产品产量也不易办到，但间歇操作系统则较为灵活。

(3) 半连续（半间歇）式操作 原料与产物只要其中的一种为连续输入或输出而其余则为分批加入或卸出的操作，均属半连续操作，相应的反应器称为半连续反应器或半间歇反应器。由此可见，半连续操作具有连续操作和间歇操作的某

些特征。有连续流动的物料，这点与连续操作相似；也有分批加入或卸出的物料，因而生产是间歇的，这反映了间歇操作的特点。由于这些原因，半连续反应器的反应物系组成必然既随时间而改变，也随反应器内的位置而改变。管式、釜式、塔式以及固定床反应器都可采用半连续操作方式。

三、化工生产中开、停车的一般要求

在化工生产中，开、停车的生产操作是衡量操作工人技术水平高低的一个重要标准。随着化工先进生产技术的迅速发展，机械化、自动化水平的不断提高，对开、停车的技术要求也就越来越高。开、停车进行的好坏，准备工作和处理情况如何，对生产的进行都有直接影响。开、停车是生产中最重要的一环。

化工生产中的开、停车包括基建完工后的第一次开车，正常生产中的开、停车，特殊情况（事故）下突然停车，大、中修之后的开车等。

（一）基建完工后的第一次开车

基建完工后的第一次开车，一般按四个阶段进行：开车前的准备工作；单机试车；联动试车；化工试车。下面分别予以简单介绍。

（1）开车前的准备工作 开车前的准备工作大致如下：① 施工工程安装完毕后的验收工作；② 开车所需原料、辅助原料、公用工程（水、电、汽等），以及生产所需物资的准备工作；③ 技术文件、设备图纸及使用说明书和各专业的施工图，岗位操作法和试车文件的准备；④ 车间组织的健全，人员配备及考核工作；⑤ 核对配管、机械设备、仪表电气、安全设施及盲板和过滤网的最终检查工作。

（2）单机试车 此项目是为了确认转动和待动设备是否合格好用，是否符合有关技术规范，如空气压缩机、制冷用氨压缩机、离心式水泵和带搅拌设备等。

单机试车是在不带物料和无载荷的情况下进行的。首先断开联轴器，单独开动电动机，运转 48h，观察电动机是否发热、振动，有无杂音，转动方向是否正确等。当电动机试验合格后，再和设备连接在一起进行试验，一般也运转 48h（此项试验应以设备使用说明书或设计要求为依据）。在运转过程中，经过细心观察和仪表检测，均达到设计要求时（如温度、压力、转速等）即为合格。如在试车中发现问题，应会同施工单位有关人员及时检修，修好后重新试车，直到合格为止，试车时间不准累计。

（3）联动试车 联动试车是用水、空气或者和生产物料相似的其他介质，代替生产物料所进行的一种模拟生产状态的试车。目的是为了检验生产装置连续通过物料的性能（当不能用水试车时，可改用介质，如煤油代替）。联动试车时也可以给水进行加热或降温，观察仪表是否能准确地指示出通过的流量、温度和压力等数据，以及设备的运转是否正常等情况。

联动试车能暴露设计和安装中的一些问题，在这些问题解决以后，再进行联

动试车，直至认为流程畅通为止。

联动试车后要把水或煤油放空，并清洗干净。

(4) 化工试车 当以上各项工作都完成后，则进入化工试车阶段。化工试车是按照已制定的试车方案，在统一指挥下，按化工生产工序的前后顺序进行，化工试车因生产类型的不同而各异。

综上所述，一个化工生产装置的开车是一个非常复杂也很重要的生产环节。开车的步骤并非一样，要根据具体地区、部门的技术力量和经验，制定切实可行的开车方案。正常生产检修后的开车和化工试车相似。

(二) 停车及停车后的处理

在化工生产中停车的方法与停车前的状态有关，不同的状态，停车的方法及停车后的处理方法也就不同。一般有以下三种方式。

(1) 正常停车 生产进行到一段时间后，设备需要检查或检修进行的有计划的停车，称为正常停车。这种停车，是逐步减少物料的加入，直至完全停止加入，待所有物料反应完毕后，开始处理设备内剩余的物料，处理完毕后，停止供汽、供水，降温降压，最后停止转动设备的运转，使生产完全停止。

停车后，对某些需要进行检修的设备，要用盲板切断该设备上物料管线，以免可燃气体、液体物料漏过而造成事故。检修设备动火或进入设备内检查，要把其中的物料彻底清洗干净，并经过安全分析合格后方可进行。

(2) 局部紧急停车 生产过程中，在一些想象不到的特殊情况下的停车，称为局部紧急停车。如某设备损坏、某部分电气设备的电源发生故障、某一个或多个仪表失灵等，都会造成生产装置的局部紧急停车。

当这种情况发生时，应立即通知前步工序采取紧急处理措施。把物料暂时储存或向事故排放部分（如火炬、放空等）排放，并停止入料，转入停车待生产的状态（绝对不允许再向局部停车部分输送物料，以免造成重大事故）。同时，立即通知下步工序，停止生产或处于待开车状态。此时，应积极抢修，排除故障。待停车原因消除后，应按化工开车的程序恢复生产。

(3) 全面紧急停车 当生产过程中突然发生停电、停水、停汽或发生重大事故时，则要全面紧急停车。这种停车事前是不知道的，操作人员要尽力保护好设备，防止事故的发生和扩大。对有危险的设备，如高压设备应进行手动操作，以排出物料；对有凝固危险的物料要进行人工搅拌（如聚合釜的搅拌器可以人工推动，并使本岗位的阀门处于正常停车状态）。

对于自动化程度较高的生产装置，在车间内备有紧急停车按钮，并和关键阀门联锁在一起。当发生紧急停车时，操作人员一定要以最快的速度去按这个按钮。为了防止全面紧急停车的发生，一般的化工厂均有备用电源。当第一电源断电时，第二电源应立即供电。

从上述可知，化工生产中的开、停车是一个很复杂的操作过程，且随生产的

品种不同而有所差异，这部分内容必须载入生产车间的岗位操作规程中。

四、本书的主要内容

每一种化工产品都有其特定的生产条件，化学反应器的结构形式、操作过程必须立足于具体化学产品的生产，因此，本书在编写过程中以典型化工产品为对象介绍化学反应器的操作。本书的主要内容如下。

- (1) 常见的化学反应器的结构、特点、工业应用。
- (2) 化学反应器的正常开、停车操作，日常运行以及不正常现象的处理方法。
- (3) 化学反应器的辅助设备结构、特点。
- (4) 与反应器相配套的换热装置、换热介质的特点及应用。
- (5) 固体催化剂的性能、装卸。

复习思考题

1. 化学反应器的操作方式有哪几种？各有何特点？
2. 按结构原理的不同可将反应器分为哪几种类型？各自适宜于哪些工业反应？各有什么特点？

第一章 搅拌釜式反应器

第一节 概述

一、搅拌釜式反应器在化工生产中的作用

装有搅拌器的釜式设备（或称槽、罐），是化学工业中广泛采用的反应器之一，它可用来进行液液均相反应，也可用于非均相反应，如非均相液相、液固相、气液相、气液固相等，普遍应用于石油化工、橡胶、农药、染料、医药等工业，用来完成磺化、硝化、氢化、烃化、聚合、缩合等工艺过程，以及用作有机染料和中间体等许多工艺过程的反应设备。例如聚合反应过程约 90% 采用搅拌釜式反应器。聚氯乙烯在美国 70% 以上用悬浮法生产，采用 $10\sim 150\text{m}^3$ 左右的搅拌釜。德国氯乙烯悬浮聚合采用 200m^3 的大型搅拌釜。中国生产聚氯乙烯，大多采用 13.5m^3 、 33m^3 不锈钢或复合钢板的聚合釜，以及 7m^3 、 14m^3 的搪瓷釜。涤纶树脂的生产，采用本体熔融缩聚，聚合反应器也使用搅拌釜。在精细化工生产中，几乎所有的单元操作都可以在搅拌釜式反应器内进行。

搅拌釜式反应器的应用范围之所以广泛是因为这类反应器的结构简单，加工方便，传质效率高，温度分布均匀，操作条件（如温度、浓度、停留时间等）的可控范围较广，操作灵活性大，便于更换品种，能适应多样化的生产。

二、搅拌釜式反应器的分类

（一）按操作方式分

按操作方式可分为间歇（分批）式、半连续（半间歇）式和连续式操作。

搅拌釜式反应器可以进行间歇式操作，一次加入反应物料，在一定的反应条件下，经过一定的反应时间，当达到所要求的转化率时，取出全部产物，如图 1-1（a）所示。间歇式操作设备利用率不高，劳动强度大，只适用于小批量、多品种生产，在染料及制药工业中广泛采用。

搅拌釜式反应器可以单釜或多釜串联进行连续操作，即连续加入反应物和取出产物，如图 1-1（d）所示。连续操作设备利用率高，产品质量稳定，易于自动控制，适用于大规模生产。

搅拌釜式反应器也可以进行半间歇操作，即一种物料分批加入，而另一种物料连续加入，如图 1-1（b）所示；或者是同时加入物料，用蒸馏的方法连续移

走部分产品的生产过程，如图 1-1 (c) 所示。半间歇操作特别适用于要求一种反应物的浓度高而另一种反应物的浓度低的化学反应，适用于可以通过调节加料速度来控制所要求的反应温度的反应。

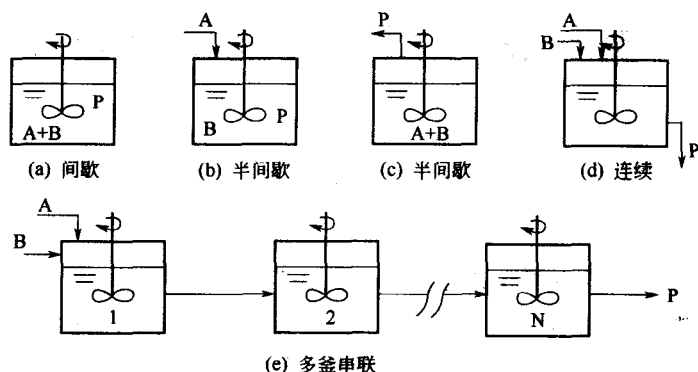


图 1-1 反应釜的操作方式

(二) 按材质分

按材质可分为钢制（或衬瓷板）反应釜、铸铁反应釜及搪玻璃反应釜。

最常见的钢制反应釜的材料为 Q235A（或容器钢）。钢制反应釜的特点是制造工艺简单、造价费用较低，维护检修方便，使用范围广泛，因此，化工生产普遍采用。由于材料 Q235A 不耐酸性介质腐蚀，常用的还有不锈钢材料制的反应釜，可以耐一般酸性介质。经过镜面抛光的不锈钢制反应釜还特别适用于高黏度体系聚合反应。

铸铁反应釜在氯化、磺化、硝化、缩合、硫酸增浓等反应过程中使用较多。

搪玻璃反应釜，俗称搪瓷锅。在碳钢锅的内表面涂上含有二氧化硅玻璃釉，经 900℃ 左右的高温焙烧，形成玻璃搪层。由于搪玻璃反应釜对许多介质具有良好的抗腐蚀性，所以被广泛用于精细化工生产中的卤化反应及有盐酸、硫酸、硝酸等存在时的各种反应。搪玻璃反应釜的性能如下。

①耐腐蚀性。它能耐大多数无机酸、有机酸、有机溶剂等介质的腐蚀，尤其在盐酸、硝酸、王水等介质中具有良好的耐腐蚀性能。搪玻璃设备不宜用于下列介质的储存和反应，否则将会因腐蚀而较快地损坏：任何浓度和温度的氢氟酸； $\text{pH} > 12$ 且温度大于 100℃ 的碱性介质；温度大于 180℃、浓度大于 30% 的磷酸；酸碱交替的反应过程；含氟离子的其他介质。

②耐热性。允许在 -30~240℃ 范围内使用，耐热温差小于 120℃，耐冷温差小于 110℃。

③耐冲击性。耐冲击性较小，为 2.5kgf/cm² (1kgf/cm² = 98.0665kPa)，因而使用时应避免硬物冲击碰撞。搪玻璃反应釜在运输和安装时，要防止碰撞。加料时严防重物掉入容器内，使用时要缓慢加压升温，防止剧变。

我国标准搪玻璃反应釜有 K 型和 F 型两种。K 型反应釜是釜盖和釜体分开，可以装置尺寸大的锚式、框式和桨式等各种形式的搅拌器，反应釜容积有 50~10000L 的不同规格，因而适用范围广。F 型是盖体不分的结构，盖上都装置人孔，搅拌器为尺寸较小的锚式或桨式，适用于低黏度、容易混合的液液相、气液相等反应。F 型反应釜的密封面比 K 型小很多，所以对一些气液相卤化反应以及带有真空和压力下的操作更为适宜。

搪玻璃反应釜的夹套用 Q235A 普通钢材制造。若使用低于 0℃ 的冷却剂时则需改用合适的夹套材料。选用技术参数可查阅有关设计手册和产品样本。

（三）按反应釜所能承受的操作压力分

按反应釜所能承受的操作压力可分为低压釜和高压釜。

低压釜就是最常见的搅拌釜式反应器。在搅拌轴与壳体之间采用动密封结构，在低压（1.6MPa 以下）条件下能够防止物料的泄漏。

高压条件下，动密封往往难以保证不泄漏，目前高压釜常采用磁力搅拌釜。磁力搅拌釜的主要特点是以静密封代替了传统的填料密封或机械密封，从而实现整台反应釜在全密封状态下工作，保证无泄漏。因此，更适合于各种极毒、易燃、易爆以及其他渗透力极强的化工工艺过程，是石油化工、有机合成制药、食品等工艺中进行硫化、氟化、氢化、氧化等反应的理想设备。

三、特点与发展趋势

目前在化工生产中，反应釜所用的材料、搅拌装置、加热方法、轴封结构、容积大小、温度、压力等种类繁多，但基本具有以下共同特点。

（1）结构基本相同。除有反应釜体外，还有传动装置、搅拌器和加热（或冷却）装置等，以改善传热条件使反应温度控制得比较均匀，并且强化传质过程。

（2）操作压力较高。釜内的压力是由化学反应产生或温度升高形成，压力波动较大，有时操作不稳定，突然压力增高超过正常压力几倍，所以反应釜大部分属于压力容器。

（3）操作温度较高。化学反应需要在一定的温度条件下才能进行，所以反应釜既承受压力又承受温度。

（4）在反应釜中通常要进行化学反应，为保证反应能均匀而较快地进行，提高效率，因此在反应釜中装有相应的搅拌装置，这样就要考虑传动轴的动密封和防止泄漏问题。

（5）反应釜多属间歇操作，有时为保证产品质量，每批出料后需进行清洗。釜顶装有快开人孔及手孔，便于取样、测体积、观察反应情况和进入设备内部检修。

化工生产的发展对反应釜的要求和发展趋势如下。

（1）大容积化。这是增加产量、减少批量生产之间的质量误差、降低产品成

本的必然发展趋势，如染料行业生产用反应釜国内为 6000L 以下，其他行业有的可达 30m^3 ，而国外在染料行业有的可达 20000~30000L，而其他行业的可达 120m^3 。

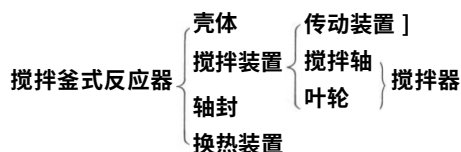
(2) 反应釜的搅拌器，已由单搅拌器发展到用双搅拌器或外加泵强制循环。国外除了装有搅拌装置外，尚使釜体沿水平线旋转，从而提高反应速度。

(3) 生产自动化和连续化以代替笨重的间歇手工操作。如采用程序控制，既可稳定生产，提高产品质量，增加收益，减轻体力劳动，又可消除对环境的污染。

(4) 合理利用热能、工艺选择最佳的操作条件，加强保温措施，提高传热效率，使热损失降至最小，充分利用余热或反应后产生的热能。热管技术的使用已是今后发展的方向。

第二节 结构

搅拌设备主要由壳体、搅拌装置、轴封和换热装置四大部分组成。其构成形式如下



搅拌釜式反应器的基本结构如图 1-2 所示。

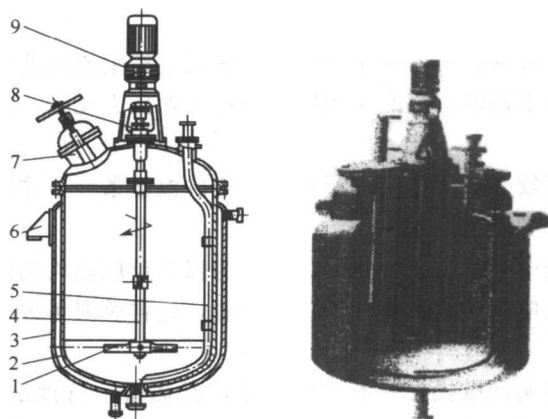


图 1-2 搅拌釜式反应器的基本结构

1—搅拌器；2—釜体；3—夹套；4—搅拌轴；5—压料管；6—支座；
7—人孔；8—轴封；9—传动装置

一、壳体

壳体由圆形筒体、上盖、下封头构成。上盖与筒体连接有两种方法，一种是盖子与筒体直接焊死构成一个整体；另一种形式是考虑拆卸方便使用法兰连接。上盖开有人孔、手孔和工艺接孔等。壳体材料根据工艺要求来确定，最常用的是铸铁和钢板，也有的采用合金钢或复合钢板。当用来处理有腐蚀性介质时，则需用耐腐蚀材料来制造反应釜，或者将反应釜内表面搪瓷、衬瓷板或橡胶。

釜底常用的形状有平面形、碟形、椭圆形和球形，如图 1-3 所示。平面结构简单，容易制造，一般在釜体直径小、常压（或压力不大）条件下操作时采用；椭圆形或碟形应用较多；球形多用于高压反应器；当反应后物料需用分层法使其分离时可用锥形底。

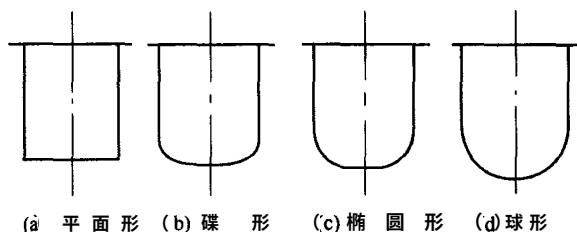


图 1-3 几种反应釜底的形状

二、搅拌装置

（一）搅拌要求

工艺过程对搅拌的要求，可以分为混合、搅动、悬浮、分散四种。

- （1）混合——搅拌使密度、黏度不同的物料混合均匀。
- （2）搅动——搅拌使物料强烈流动，以提高传热及传质速率。
- （3）悬浮——搅拌使原来在静止的液体中会沉降的固体颗粒或液滴悬浮在液体介质中。
- （4）分散——搅拌使气体、液体或固体分散在液体介质中，增大不同物相间的接触面积，加快传热和传质过程。

在实际生产过程中，对搅拌的要求通常是综合性的，但由于过程的特殊性，往往对某一个或两个方面着重提出要求。如悬浮聚合过程，着重要求通过搅拌使单体均匀地分散并悬浮在分散相中，而对于高黏度的物料，如本体聚合过程，主要要求搅拌起混合和搅动作用。

（二）搅拌液体的流型

液体在设备范围内循环流动的途径称为液体的“流动模型”，简称“流型”。在搅拌设备中起主要作用的是循环流和涡流，不同的搅拌器所产生的循环流的方向和涡流的程度不同，因此搅拌设备内流体的流型可以归纳成三种。

- （1）轴向流 物料沿搅拌轴的方向循环流动，如图 1-4（a）所示。叶轮与旋

转平面的夹角小于 90° 的搅拌器转速较快时所产生的流型主要是轴向流。轴向流的循环速度大，有利于宏观混合，适合于均相液体的混合、沉降速度低的固体悬浮。

(2) 径向流 物料沿着反应釜的半径方向在搅拌器和釜内壁之间的流动，如图 1-4 (b) 所示。径向流的液体剪切作用大，造成的局部涡流运动剧烈。因此，它特别适合需要高剪切作用的搅拌过程，如气液分散、液液分散和固体溶解。

(3) 切线流 物料围绕搅拌轴做圆周运动，如图 1-4 (c) 所示。平桨式搅拌器在转速不大且没有挡板时所产生的主要是切线流。切线流的存在除了可以提高釜内壁的对流给热系数外，对其他的搅拌过程是不利的。切线流严重时，液体在离心力的作用下涌向器壁，使器壁周围的液面上升，而中心部分液面下降，形成一个大漩涡，这种现象称为“打漩”，如图 1-5 所示。液体打漩时几乎不产生轴向混合作用，所以一般情况下，应防止打漩。

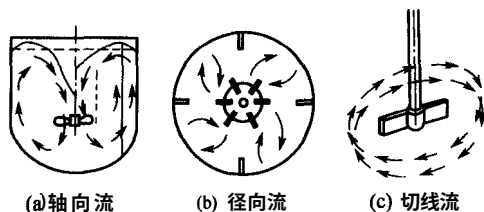


图 1-4 搅拌液体的流型

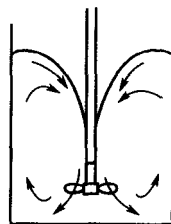


图 1-5 “打漩”现象

这三种流型不是孤立的，常常同时存在两种或三种流型。

(三) 常用搅拌器的类型、结构和特点

在化学工业中常用的搅拌装置是机械搅拌装置，典型的机械搅拌装置如图 1-6 所示。它包括下列主要部分。

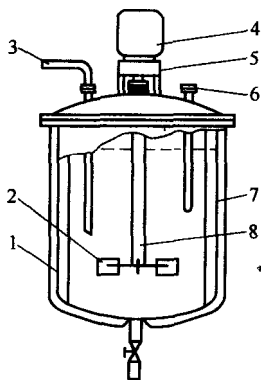


图 1-6 典型的机械搅拌装置

1—釜体；2—搅拌器；3—加料管；4—电动机；5—减速箱；6—温度计套；7—挡板；8—搅拌轴

- (1) 搅拌器，包括旋转的轴和装在轴上的叶轮。
- (2) 辅助部件和附件，包括密封装置、减速箱、电动机、支架、挡板和导流筒等。

搅拌器是实现搅拌操作的主要部件，其主要的组成部分是叶轮，它随旋转轴运动将机械能施加给液体，并促使液体运动。针对不同的物料系统和不同的搅拌目的出现了许多类型的搅拌器。

工业上较为常用的搅拌器类型有以下几种。

(1) 桨式搅拌器 图 1-7 所示的桨式搅拌器由桨叶、键、轴环、竖轴所组成。桨叶一般用扁钢或角钢制造，当被搅拌物料对钢材腐蚀严重时，可用不锈钢或有色金属制造，也可采用钢制桨叶的外面包覆橡胶、环氧或酚醛树脂、玻璃钢等。桨式搅拌器的转速较低，一般为 $20\sim 80\text{r/min}$ ，圆周速度在 $1.5\sim 3\text{m/s}$ 范围内比较合适。桨式搅拌器直径取反应釜内径 D_i 的 $1/3\sim 2/3$ ，桨叶不宜过长，因为搅拌器消耗的功率与桨叶直径的五次方成正比。桨式搅拌器已有标准系列 HG 5-220—65。当反应釜直径很大时采用两个或多个桨叶。

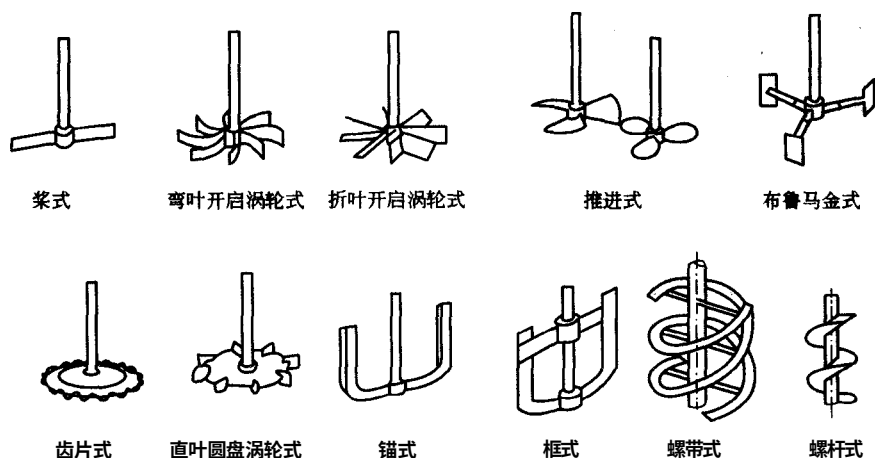


图 1-7 典型搅拌器类型

桨式搅拌器适用于流动性大、黏度小的液体物料，也适用于纤维状和结晶状的溶解液，如果液体物料层很深时可在轴上装置数排桨叶。

(2) 涡轮式搅拌器 涡轮式搅拌器按照有无圆盘可分为圆盘涡轮搅拌器和开启涡轮搅拌器；按照叶轮又可分为平直叶和弯曲叶两种。涡轮式搅拌器速度较大，线速度约为 $3\sim 8\text{m/s}$ ，转速范围为 $300\sim 600\text{r/min}$ ，开启式平直叶涡轮式搅拌器的标准系列见 HG 5-221—65。

涡轮式搅拌器的主要优点是当能量消耗不大时，搅拌效率较高，搅拌产生很强的径向流。因此它适用于乳浊液、悬浮液等。

(3) 推进式搅拌器 推进式搅拌器，常用整体铸造，加工方便。搅拌器可

用轴套以平键（或紧固螺钉）与轴固定。通常为两个搅拌叶，第一个桨叶安装在反应釜的上部，把液体或气体往下压，第二个桨叶安装在下部，把液体往上推。搅拌时能使物料在反应釜内循环流动，所起作用以容积循环为主，剪切作用较小，上下翻腾效果良好。当需要有更大的流速时，反应釜内设有导流筒。

推进式搅拌器直径约取反应釜内径 D_i 的 $1/4 \sim 1/3$ ，线速度可达 $5 \sim 15\text{m/s}$ ，转速范围为 $300 \sim 600\text{r/min}$ ，搅拌器的材料常用铸铁和铸钢。推进式搅拌器的标准系列见 HG 5-222—65。

（4）框式和锚式搅拌器 框式搅拌器可视为桨式搅拌器的变形，即将水平的桨叶与垂直的桨叶连成一体成为刚性的框子，其结构比较坚固，搅动物料量大。如果这类搅拌器底部形状和反应釜下封头形状相似时，通常称为锚式搅拌器。

框式搅拌器直径较大，一般取反应器（釜）内径的 $2/3 \sim 9/10$ ，线速度约 $0.5 \sim 1.5\text{m/s}$ ，转速范围为 $50 \sim 70\text{r/min}$ 。钢制框式搅拌器标准系列见 HG 5-757—78。框式搅拌器与釜壁间隙较小，有利于传热过程的进行，快速旋转时，搅拌器叶片所带动的液体把静止层从反应釜壁上带下来；慢速旋转时，有刮板的搅拌器能产生良好的热传导。这类搅拌器常用于传热、晶析操作以及高黏度液体、高浓度淤浆和沉降性淤浆的搅拌。

（5）螺带式搅拌器和螺杆式搅拌器 螺带式搅拌器，常用扁钢按螺旋形绕成，直径较大，常做成几条紧贴釜内壁，与釜壁的间隙很小，所以搅拌时能不断地将粘于釜壁的沉积物刮下来。螺带的高度通常取罐底至液面的高度。

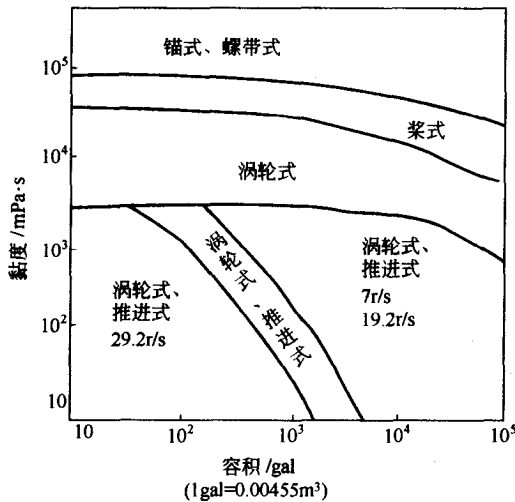


图 1-8 根据黏度选型

螺带式搅拌器和螺杆式搅拌器的转速都较低，通常不超过 50r/min，产生以上下循环流为主的流动，主要用于高黏度液体的搅拌。

(四) 搅拌器的选型

搅拌器的选型主要根据物料性质、搅拌目的及各种搅拌器的性能特征来进行。

(1) 按物料黏度选型 由于液体的黏度对搅拌状态有很大的影响，所以根据搅拌介质黏度大小来选型是一种基本的方法。图 1-8 表明了了几种典型的搅拌器随黏度的高低而有不同的使用范围。

(2) 按搅拌目的选型 根据搅拌过程的目的与搅拌器造成的流动状态判断该过程所适用的桨型，是一种比较合用的方法，表 1-1 是不同搅拌过程的搅拌器类型推荐表。

表 1-1 不同搅拌过程的搅拌器类型推荐表

搅 拌 目 的	挡板条件	推 荐 类 型	流动状态
互溶液体的混合及在其中进行化学反应	无挡板	3 片折叶开启涡轮($\theta=24^\circ$) 6 片折叶开启涡轮($\theta=45^\circ$) 桨式、圆盘涡轮	湍流
	有导流筒	3 片折叶开启涡轮($\theta=24^\circ$) 6 片折叶开启涡轮($\theta=45^\circ$) 推进式	
	有或无导流筒	桨式、螺杆式、框式、螺带式、锚式	层流
固液相分散及在其中溶解和进行化学反应	有或无挡板	桨式 6 片折叶开启涡轮($\theta=45^\circ$)	湍流
	有导流筒	3 片折叶开启涡轮($\theta=24^\circ$) 6 片折叶开启涡轮($\theta=45^\circ$) 推进式	
	有或无导流筒	螺带式、螺杆式、锚式	层流
液液相分散(互溶的液体)及在其中强化传质和进行化学反应	有挡板	3 片折叶开启涡轮($\theta=24^\circ$) 6 片折叶开启涡轮($\theta=45^\circ$) 桨式、圆盘涡轮、推进式	存在不连续流的湍流状态,有空穴产生
液液相分散(不互溶的液体)及在其中强化传质和进行化学反应	有挡板	圆盘涡轮 6 片折叶开启涡轮($\theta=45^\circ$)	湍流
	有反射物	3 片折叶开启涡轮($\theta=24^\circ$)	
	有导流筒	3 片折叶开启涡轮($\theta=24^\circ$) 6 片折叶开启涡轮($\theta=45^\circ$) 推进式	
	有或无导流筒	螺带式、螺杆式、锚式	层流
气液相分散及在其中强化传质和进行化学反应	有挡板	圆盘涡轮、闭式涡轮	湍流
	有反射物	3 片折叶开启涡轮($\theta=24^\circ$),在 $D/d \geq 1.5$ 时	
	有导流筒	3 片折叶开启涡轮($\theta=24^\circ$) 6 片折叶开启涡轮($\theta=45^\circ$) 推进式	
	有导流筒	螺杆式	层流
	无导流筒	锚式、螺带式	

表 1-2 的选型, 其使用条件比较具体, 涉及了桨型与流动状态和搅拌目的的关系, 还推荐了介质黏度范围、搅拌转速范围和罐的容积范围。

表 1-2 搅拌器类型适用条件表

搅拌器 类型	流 动 状 态					搅 拌 目 的							罐容积	转速	最高
	对流 循环	湍流 扩散	剪切 流	低黏度 液混合	高黏度 液混合	分散	溶解	固体 悬浮	气体 吸收	结晶	传热	液相 反应	范围 /m ³	范围 /r·min ⁻¹	黏度 /Pa·s
涡轮式	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	1~100	10~300	50
桨式	○	○	○	○	○		○	○		○	○	○	1~200	10~300	50
推进式	○	○		○		○	○	○		○	○	○	1~1000	100~500	2
折叶开 启涡轮式	○	○		○		○	○	○			○	○	1~1000	10~300	50
布鲁马 金式	○	○	○	○	○		○				○	○	1~100	10~300	50
锚式	○				○		○						1~100	1~100	100
螺杆式	○				○		○						1~50	0.5~50	100
螺带式	○				○		○						1~50	0.5~50	100

注: 有○者为合用, 空白者为不详或不合用。

(五) 搅拌附件

搅拌附件通常指在搅拌罐内为了改善流动状态而增设的零件, 如挡板、导流筒等。有时, 搅拌罐内的某些零件不是专为改变流动状态而设的, 但因为它对液流也有一定阻力, 也会起到这方面的部分作用, 如传热蛇管、温度计套管等。

(1) 挡板 挡板一般是指长条形的竖向固定在罐壁上的板, 主要是在湍流状态时为了消除切线流和“打漩”现象而增设的。·做圆周运动的液体碰到挡板后改变 90° 方向, 或顺着挡板做轴向运动或垂直于挡板做径向运动。因此, 挡板可把切线流转变为轴向流和径向流, 提高了宏观混合速率和剪切性能, 从而改善了搅拌效果。

而在层流状态下, 挡板并不影响流体的流动, 所以对于低速搅拌高黏度液体的锚式和框式搅拌器来说, 安装挡板是毫无意义的。

挡板的数量及其大小以及安装方式都不是随意的, 它们都会影响流型和动力消耗。挡板宽度 W 为 $(1/12 \sim 1/10)d_t$ (d_t 为反应釜内径), 挡板的数量在小直径罐时用 2~4 个, 在大直径罐时用 4~8 个, 以 4 个或 6 个居多。挡板沿罐壁周向均匀分布地直立安装。挡板的安装方式如图 1-9 所示。

低黏度液体时挡板可紧贴近罐壁上, 且与液体环向流成直角, 如图 1-9 (a) 所示。当黏度较高, 如 $7 \sim 10 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 时, 或固液相操作时, 挡板要离壁安装, 如图 1-9 (b) 所示。当黏度更高时还可将挡板倾斜一个角度, 如图 1-9 (c) 所示。

以有效防止黏滞液体在挡板处形成死角及防止固体颗粒的堆积。当罐内有传热蛇管时，挡板一般安在蛇管内侧，如图 1-9 (d) 所示。

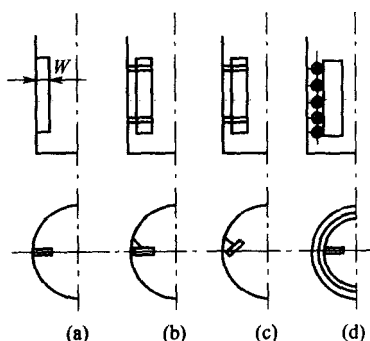


图 1-9 挡板的安装方式

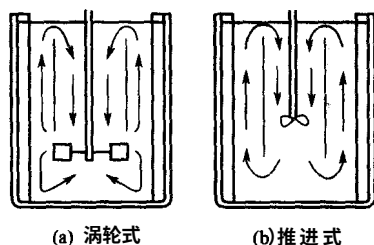


图 1-10 导流筒的安装方式

(2) 导流筒 导流筒主要用于推进式、螺杆式搅拌器的导流，涡轮式搅拌器有时也用导流筒。导流筒是一个圆筒体，紧包围着叶轮。应用导流筒可使流型得以严格控制，还可得到高速涡流和高倍循环。导流筒可以为液体限定一个流动路线防止短路；也可迫使流体高速流过加热面以利于传热。对于混合和分散过程，导流筒也能起到强化作用。

对于涡轮式搅拌器，导流筒安置在叶轮的上方，使叶轮上方的轴向流得到加强，如图 1-10 (a) 所示。对于推进式搅拌器，如图 1-10 (b) 所示，导流筒安置在叶轮的外面，使推进式搅拌器所产生的轴向流得到进一步加强。

三、轴封

轴封用来防止釜的主体与搅拌轴之间的泄漏，为动密封结构，主要有填料密封和机械密封两种。

(一) 填料密封

填料密封结构如图 1-11 所示，填料箱由箱体、填料、油环、衬套、压盖和压紧螺栓等零件组成，旋转压紧螺栓时，压盖压紧填料，使填料变形并紧贴于轴表面上，达到密封目的。在化工生产中，轴封容易泄漏，一旦有毒气体逸出会污染环境，因而需控制好压紧力。压紧力过大，轴旋转时轴与填料间摩擦增大，会使磨损加快，在填料处定期加润滑剂，可减少摩擦，并能减少因螺栓压紧力过大而产生的摩擦热。填料要富有弹性，有良好的耐磨性和导热性。填料的弹性变形要大，使填料紧贴转轴，对转轴产生收缩力，同时还要求填料有足够的圈数。

使用中由于磨损应适当增补填料，调节螺栓的压紧力，以达到密封效果。填料压盖要防止歪斜。有的设备在填料箱处设有冷却夹套，可防止填料摩擦发热。