



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

化工设备基础

总主编 熊秀芳

主 编 王涛玉

HUAGONG SHEBEI
JICHU

化工设备基础

总主编 熊秀芳
主 编 王涛玉

北京出版集团公司
北京出版社

北京出版集团公司
北京出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

化工设备基础 / 王涛玉主编. — 北京 : 北京出版社, 2015.4 (2022 重印)

“十二五”职业教育国家规划教材

ISBN 978-7-200-11406-5

I. ①化… II. ①王… III. ①化工设备—中等专业学校—教学参考资料 IV. ①TQ05

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 118445 号

化工设备基础

HUAGONG SHEBEI JICHU

主 编: 王涛玉

出 版: 北京出版集团公司
北 京 出 版 社

地 址: 北京北三环中路 6 号

邮 编: 100120

网 址: www.bph.com.cn

总发行: 北京出版集团公司

经 销: 新华书店

印 刷: 定州市新华印刷有限公司

版 次: 2015 年 4 月第 1 版 2022 年 9 月修订 2022 年 9 月第 2 次印刷

开 本: 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张: 10.5

字 数: 174 千字

书 号: ISBN 978-7-200-11406-5

定 价: 23.00 元

质量监督电话: 010-82685218 010-58572162 010-58572393

目 录

绪论	1
项目一 认识化工设备材料及管理	5
任务一 认识化工设备材料	5
任务二 了解化工设备管理知识	11
项目二 认识静设备	13
任务一 认识管路系统	13
子任务一 认识金属管	13
子任务二 认识非金属管	16
子任务三 认识管件	18
子任务四 认识阀门	22
子任务五 认识管路的连接方式	33
子任务六 管路拆装实训	35
任务二 认识压力容器	37
子任务一 认识压力容器	38
子任务二 认识压力容器的安全附件	46
任务三 认识换热器	51
子任务一 认识换热器	51
子任务二 认识列管式换热器	55
子任务三 认识传热过程的强化及换热器运行	63
任务四 认识塔设备	66
子任务一 认识塔设备的分类及作用	66
子任务二 认识板式塔	70
子任务三 认识填料塔	80
任务五 认识化学反应器	92
子任务一 了解化学反应器	92
子任务二 认识釜式反应设备的部件	95
子任务三 认识其他反应器	104
项目三 认识动设备	108
任务一 认识泵	108
子任务一 认识离心泵	108

子任务二 认识其他类型泵·····	119
任务二 认识气体输送设备·····	124
子任务一 认识往复式压缩机·····	124
子任务二 认识离心式压缩机·····	145
任务三 离心泵、压缩机实训·····	151
子任务一 离心泵实训·····	151
子任务二 离心式压缩机实训·····	157
参考文献·····	162

北京出版社

项目二 认识静设备

任务一 认识管路系统

子任务一 认识金属管

在化工企业中，金属管（图 2-1-1）由于其良好的耐压和耐温性能而得到了广泛的使用。常用的金属管有有缝钢管、无缝钢管、铸铁管、铜管、铅管等。



图 2-1-1 金属管

一、有缝钢管

有缝钢管一般可以分为水、煤气钢管和电焊钢管两大类。

1. 水、煤气钢管

水、煤气钢管一般用普通碳素钢制成，按其表面质量可以分为镀锌管和不镀锌管两种。表面镀锌的水、煤气钢管称为镀锌管或白铁管（图 2-1-2），不镀锌的称为黑铁管（图 2-1-3）。

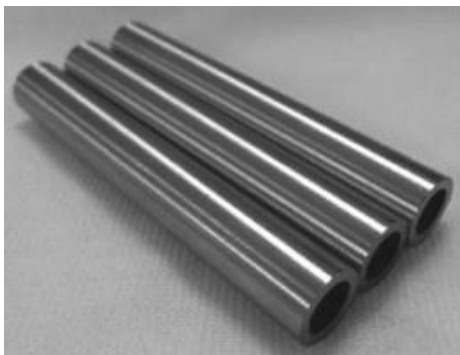


图 2-1-2 镀锌白铁管



图 2-1-3 不镀锌黑铁管

2. 电焊钢管

电焊钢管一般用低碳薄钢板卷制成管形后电焊而成。根据焊缝形式不同，一般可以分为直焊缝钢管和螺旋焊缝钢管。

直焊缝钢管（图 2-1-4）主要用于压力不大和温度不高的流体管路。螺旋焊缝钢管（图 2-1-5）主要用于煤气、天然气以及冷凝水管路。



图 2-1-4 直焊缝钢管



图 2-1-5 螺旋焊缝钢管

二、无缝钢管

无缝钢管（图 2-1-6）的品种和规格很多，按轧制方法的不同，无缝钢管可分为热轧钢管和冷拔钢管；按用途不同又可以分为普通无缝钢管、石油裂化用无缝钢管、化肥用高压无缝钢管、锅炉用高压无缝钢管、耐酸无缝钢管等。

无缝钢管的强度较高，所以主要用于高压和较高温度的管道上，或者作为换热器和锅炉的加热



图 2-1-6 无缝钢管

管。在酸、碱等强腐蚀性介质的管道上，可采用不锈钢耐酸无缝钢管。

三、铸铁管

铸铁管可以分为普通铸铁管和硅铁管两大类。

1. 普通铸铁管

普通铸铁管（图2-1-7）用灰铸铁铸造而成，它对泥土、酸、碱等具有较好的耐腐蚀性能。但是这种管子的强度较低，脆性较大，所以不能用于压力较高或者有毒、爆炸性介质的管道上。因此，普通铸铁管主要用作埋在地下的煤气总管、污水管以及给水总管等。



图2-1-7 普通铸铁管

2. 硅铁管

硅铁管可以分为高硅铁管和抗氯硅铁管两种。高硅铁管能抵抗多种强酸的腐蚀，但是这种管子硬度较高，因而不易加工，且受到振动和冲击易碎。抗氯硅铁管主要能够抵抗各种温度和浓度的盐酸的腐蚀。

四、铜管

铜管的导热性能好，并且在低温时有很好的力学性能，因此主要用于制造换热设备和深冷管路。根据材料中金属铜的含量不同，铜管一般可以分为紫铜管和黄铜管。

紫铜管（图2-1-8）所用的材质就是纯铜，纯铜的颜色是橘红色或玫瑰红，但是暴露在空气中会被氧化成紫色，所以叫紫铜。

黄铜管（图2-1-9）的材质一般是Cu-Zn合金，其含铜量约为80%。硬度比紫铜大，但是导电、导热性较差。



图 2-1-8 紫铜管



图 2-1-9 黄铜管

五、铅管

铅管（图 2-1-10）是由有色金属铅制成的管子。一般是由压机挤压成型的无缝管。

铅管的耐腐蚀性良好，能耐硫酸以及 10% 以下的盐酸腐蚀。最高容许温度是 140 °C。但不耐浓盐酸、硝酸和醋酸等腐蚀。也可以用于医疗设备上射线的屏蔽和核材料中射线的屏蔽。

铅管易于碾压、锻制或焊接，但性软，机械强度差，密度大，导热率低，必要时应用钢管铠装，以增加其受压能力。在安装时宜装在木槽内，或放在对剖的钢管或角钢做的槽内，以防止其变形下垂。

铅管被广泛应用于硫酸工业和处理酸性物料的有机工业中。



图 2-1-10 铅管

子任务二 认识非金属管

1. 塑料管

常用的塑料管为硬聚氯乙烯（PVC）塑料管，如图 2-1-11 所示。这种管子是以聚氯乙烯为原料，加入增塑剂、稳定剂和润滑剂等制造加工而成的。硬聚氯乙烯（PVC）塑料管易于加工成型，耐酸、碱的腐蚀性能好，一般在温度不高和压力不大的管路上使用。



图 2-1-11 硬聚氯乙烯（PVC）塑料管

2. 玻璃钢管

玻璃钢管（图 2-1-12）是用玻璃纤维及其制品（玻璃带、玻璃布和玻璃毡）作

为增强材料，以合成树脂（呋喃树脂、聚酯树脂和环氧树脂）为黏合剂，经过一定的成型工艺制作而成的，主要用于酸性和碱性介质流体的输送管路，但不能够用来输送氢氟酸、浓硝酸以及浓硫酸等介质。

3. 橡胶管

大多数的橡胶管（图 2-1-13）具有无毒、环保的特点，但一些要求较高的油气管，在橡胶材料中会添加一些阻燃剂，这些阻燃剂中含有毒有害物质，对人体和大气会产生轻微影响。

除此之外，橡胶管还有生理惰性、耐臭氧、耐紫外线、耐高低温（ $-80 \sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）、回弹力强、透明度高、耐压缩、永久不变形、耐酸碱、耐油、耐冲压、耐磨、难燃、耐电压、导电等性能。现在，聚氯乙烯软管已经在许多场合取代了橡胶管。



图 2-1-12 玻璃钢管



图 2-1-13 橡胶管

4. 耐酸陶瓷管

耐酸陶瓷管（图 2-1-14）是以石英、长石、黏土为主要原料，经高温氧化分解而制成的耐腐蚀材料。耐酸陶瓷管的主要成分是二氧化硅，它在高温焙烧下能形成大量的多铝红柱石，这是一种耐酸性能很高的物质。它具有耐酸、碱度高，吸水率低，在常温下不易氧化，不易被介质污染等性能。除氢氟酸及热磷酸以外，耐酸陶瓷管对硫酸、盐酸、硝酸等酸类及在常温下任何浓度的碱类，均有优良的抗腐作用。



图 2-1-14 耐酸陶瓷管

习题与训练

1. 根据焊缝的形式，指出图 1、图 2 中的管子各属于哪种类型？
2. 金属管有哪些主要类型的管子？
3. 非金属管有哪些主要类型的管子？



图 1



图 2

子任务三 认识管件

在化工企业中的管件指管路中的配件，用于改变管路的方向，接出支管，改变管径，以及封闭管路等，以满足生产工艺和安装检修的需要。本任务通过学习以下的知识点，使学生能了解常用的几种管件结构及其基本作用。

一、管件的种类

管件是用来连接管子、改变管路方向或直径、接出支路或封闭管路的附件的总称。有时候，一种管件能起到上述作用中的一个或多个，例如弯头，它既是连接管路的管件，又是改变管路方向的管件。化工生产中的管件类型很多，根据管材类型分为五种，即水、煤气钢管件，铸铁管件，塑料管件，耐酸陶瓷管件和电焊钢管管件。

二、水、煤气管件

水、煤气管件通常采用锻铸铁（白口铁经可锻化热处理）制作而成，也有些是用钢材制造而成，适用于要求相对较高的场合。水、煤气管件的种类很多，但均已经标准化，可以从有关手册中查取，也能在市场上直接购买使用，如管接头、三通、四通、弯头、堵头等。

1. 内螺纹管接头

内螺纹管接头（图 2-1-15）俗称“内牙管”“管箍”“束节”“管接头”“死接头”等，用于连接两段公称直径相同的管子。

2. 外螺纹管接头

外螺纹管接头（图 2-1-16）俗称“外牙管”“外螺纹短接”“外丝扣”“外接头”“双头丝对管”等，用于连接两段公称直径相同的具有内螺纹的管子。



图 2-1-15 内螺纹管接头



图 2-1-16 外螺纹管接头

3. 等径三通

等径三通（图 2-1-17）俗称“T形管”，用于接出支管、改变管道方向和连接三段公称直径相同的管子。

4. 异径三通

异径三通（图 2-1-18）可以由管中接出支管，改变管道方向和连接三段公称直径不同的管子。

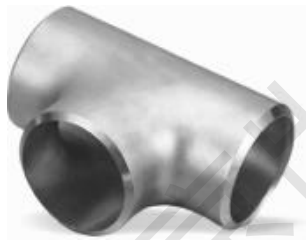


图 2-1-17 等径三通



图 2-1-18 异径三通

5. 等径四通

等径四通（图 2-1-19）俗称“十字管”，用来连接四段公称直径相同的管子。

6. 异径四通

异径四通（图 2-1-20）俗称“大小十字管”，主要用于连接四段具有两种公称直径的管子。



图 2-1-19 等径四通



图 2-1-20 异径四通

7. 等径弯头

等径弯头（图 2-1-21）俗称“弯头”“肘管”等，主要用来改变管道流向以及连接两段公称直径相同的管子，它可以分为 40°等径弯头和 90°等径弯头两种。

8. 异径弯头

异径弯头（图 2-1-22）俗称“大小弯头”，主要用来改变管道流向以及连接两段公称直径不相同的管子。



图 2-1-21 等径弯头



图 2-1-22 异径弯头

9. 异径管

异径管（图 2-1-23）俗称“大小头”，主要用来连接两段公称直径不相同的管子。

10. 外方堵头

外方堵头（图 2-1-24）俗称“管塞”“丝堵”或“堵头”等，主要用于封闭管道。



图 2-1-23 异径管



图 2-1-24 外方堵头

11. 活管接头

活管接头（图 2-1-25）俗称“活接头”等，是一种能方便安装拆卸的常用管道连接件，主要用于连接两段公称直径相同的管子。

活管接头主要由螺母、云头和平接三部分组成。一般由圆钢或钢锭模锻成型后机

加工而成。它的连接形式可以分为承插焊接和螺纹连接。承插焊接是将钢管插入承插孔内进行焊接，因此被称为“承插活接头”；螺纹连接是将钢管旋入螺孔内进行连接，因此被称为“螺纹活接头”。

12. 管帽

管帽（图 2-1-26）俗称“堵头”“盖头”“管子盖”“闷头”等，主要用来封闭管路，作用与管堵相同。



图 2-1-25 活管接头



图 2-1-26 管帽

三、其他类型管件

1. 铸铁管件

铸铁管件（图 2-1-27）包括弯头、三通、四通和异径管等，多采用承插或法兰连接。高硅铸铁管由于其自身易碎，所以常将管端制成凸缘，用对开松套法兰进行连接。

2. 塑料管件

塑料管件（图 2-1-28）经常与塑料管子配套使用，具有质轻、耐腐蚀、外形美观、无不良气味、加工容易、施工方便等特点，在建筑工程中获得了越来越广泛的应用。



图 2-1-27 典型的铸铁管件



图 2-1-28 典型的塑料管件

习题与训练

连连看——将典型的管件名称与其图片连接起来。



异径四通



等径四通



外方堵头



异径三通

子任务四 认识阀门

水龙头是生活中常见的一种阀门。在化工生产的管路中，也会经常用到各种阀门（图 2-1-29）。阀门是流体输送系统中的重要控制部件，具有截止、调节、导流、防止逆流、稳压、分流或溢流泄压等功能。阀门的品种、型号、规格以及材质都各有不同。阀门的内部结构如何、各自都有哪些特点、分别适用于哪些工作场合，这些都会在下面的知识中进行讲解。



图 2-1-29 阀门

一、阀门的基础知识

1. 阀门的定义

阀门是管路流体输送系统中的控制部件，用来改变通路断面和介质流动方向，具有导流、截止、节流、止回、分流或溢流泄压等功能。

用于流体控制的阀门，从最简单的截止阀到极为复杂的自控系统中所用的各种阀门，其品种和规格繁多，有公称口径极微小的仪表阀，也有口径达 10 m 的工业管路用阀。阀门的工作压力范围为 0.0013 MPa 到 1000 MPa，工作温度为 $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的超低温到 $1430\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温。阀门的控制可采用多种传动方式，如手动、电动、液动、气动、涡轮、电磁动、电磁液动、电液动、气液动、正齿轮、伞齿轮驱动等。

2. 阀门的分类

阀门的分类方法很多，按作用和用途可以分为以下几类：

(1) 截断类：如闸阀、截止阀、旋塞阀、球阀、蝶阀、针型阀、隔膜阀等。截断类阀门又称闭路阀、截止阀，其作用是接通或截断管路中的介质。

(2) 真空类：如真空球阀、真空挡板阀、真空充气阀、气动真空阀等。其作用是在真空系统中改变气流方向，调节气流量大小，切断或接通管路。也称为真空阀门。

(3) 特殊用途类：如清管阀、放空阀、排污阀、排气阀、过滤器等。排气阀是管道系统中必不可少的辅助元件，广泛应用于锅炉、空调、石油天然气、给排水管道中。往往安装在制高点或弯头等处，用来排除管道中的多余气体，提高管道使用效率及降低能耗。

知识拓展 >>

除了以上的分类方法之外，还可以按以下方法进行分类：

(1) 按公称压力

- ①真空阀：指公称压力低于标准大气压的阀门。
- ②低压阀：指公称压力 $PN \leq 1.6\text{ MPa}$ 的阀门。
- ③中压阀：指公称压力 PN 为 2.5 MPa、4.0 MPa、6.4 MPa 的阀门。
- ④高压阀：指公称压力 PN 为 10.0 ~ 80.0 MPa 的阀门。
- ⑤超高压阀：指公称压力 $PN \geq 100.0\text{ MPa}$ 的阀门。
- ⑥过滤器：指公称压力 PN 为 1.0 MPa、1.6 MPa 的阀门。

(2) 按工作温度

- ①超低温阀：用于介质工作温度 $t < -101\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的阀门。
- ②常温阀：用于介质工作温度 t 在 $-29\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间的阀门。

③中温阀：用于介质工作温度 t 在 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $425\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间的阀门。

④高温阀：用于介质工作温度 $t > 425\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的阀门。

(3) 按驱动方式

按驱动方式分为自动阀类、动力驱动阀类和手动阀类。

①自动阀：不需要外力驱动，而是依靠介质自身的能量来动作的阀门。如安全阀、减压阀、疏水阀、止回阀、自动调节阀等。

②动力驱动阀：动力驱动阀可以利用各种动力源进行驱动。分为电动阀、气动阀、液动阀等。电动阀：借助电力驱动的阀门。气动阀：借助压缩空气驱动的阀门。液动阀：借助油等液体压力驱动的阀门。此外还有以上几种驱动方式的组合，如气-电动阀等。

③手动阀：手动阀借助手轮、手柄、杠杆、链轮，由人力来操纵阀门动作。当阀门启闭力矩较大时，可在手轮和阀杆之间设置齿轮或涡轮减速器。必要时，也可以利用万向接头及传动轴进行远距离操作。

(4) 按公称通径

①小通径阀门：公称通径 $DN \leq 40\text{ mm}$ 的阀门。

②中通径阀门：公称通径 DN 为 $50 \sim 300\text{ mm}$ 的阀门。

③大通径阀门：公称通径 DN 为 $350 \sim 1200\text{ mm}$ 的阀门。

④特大通径阀门：公称通径 $DN \geq 1400\text{ mm}$ 的阀门。

(5) 按连接方法

①螺纹连接阀：阀体带有内螺纹或外螺纹，与管道螺纹连接。

②法兰连接阀门：阀体带有法兰，与管道法兰连接。

③焊接连接阀门：阀体带有焊接坡口，与管道焊接连接。

④卡箍连接阀门：阀体带有夹口，与管道夹箍连接。

⑤卡套连接阀门：阀体与管道采用卡套连接。

⑥对夹连接阀门：用螺栓直接将阀门及两头管道穿夹在一起的连接形式。

(6) 按阀体材料

①金属材料阀门：其阀体等零件由金属材料制成。如铸铁阀、铸钢阀、合金钢阀、铜合金阀、铝合金阀、铅合金阀、钛合金阀、蒙乃尔合金阀等。

②非金属材料阀门：其阀体等零件由非金属材料制成。如塑料阀、搪瓷阀、陶瓷阀、玻璃钢阀门等。

二、截止阀

1. 截止阀的组成

截止阀（图 2-1-30）类型代号为 J，是化工生产中使用最广泛的一种截断类阀门。截止阀主要由阀体、阀盘、阀座、阀杆、密封装置、手轮阀盖等组成。最常用的

截止阀阀体材料是铸铁，压力较高时，可用铸钢。

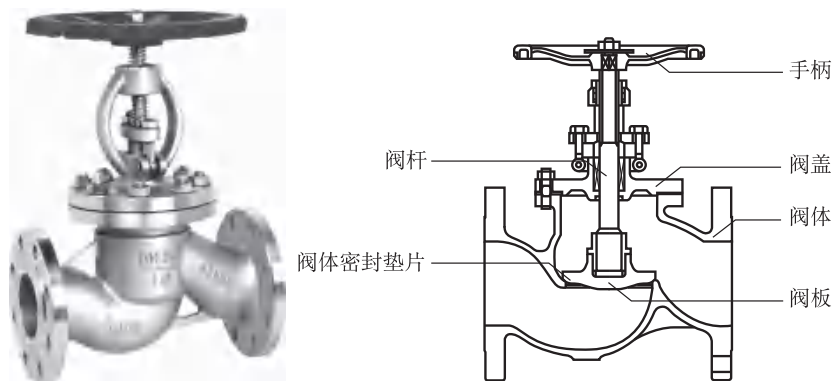


图 2-1-30 截止阀的外形和内部组成

2. 截止阀的启闭和连接方式

它的启闭件是塞形的阀瓣，密封面呈平面或锥面，阀瓣沿阀座的中心线做直线运动，通过改变阀瓣与阀座之间的距离达到控制阀门的启闭和开度。按连接方式不同，截止阀有法兰连接、丝扣连接和焊接连接三种连接方式。

3. 截止阀的分类

根据通道方向不同，常用的截止阀有以下几种：

(1) 角式截止阀 [图 2-1-31 (a)]

在角式截止阀中，流体只需改变一次方向，所以通过此阀门的压力比常规结构的截止阀小。

(2) 直流式截止阀 [图 2-1-31 (b)]

在直流式或 Y 形截止阀中，阀体的流道与主流道成一斜线，这样流动状态的破坏程度比常规截止阀要小，因而通过阀门的压力损失也相应的小了。

(3) 柱塞式截止阀 [图 2-1-31 (c)]



(a) 角式截止阀

(b) 直流式截止阀

(c) 柱塞式截止阀

图 2-1-31 常用的截止阀种类

这种形式的截止阀是常规截止阀的变形。在该阀门中，阀瓣和阀座通常是基于柱塞原理设计的。阀瓣磨光成柱塞与阀杆相连接，密封是由套在柱塞上的两个弹性密封圈实现的。两个弹性密封圈用一个套环隔开，并通过由阀盖螺母施加在阀盖上的载荷把柱塞周围的密封圈压牢。弹性密封圈能够更换，可以采用各种各样的材料制成，该阀门主要用于开或者关，但是备有特制形式的柱塞或特殊的套环，也可以用于调节流量。

4. 截止阀的特点

(1) 截止阀结构简单，制造与维修都较方便。

(2) 启闭时阀瓣与阀体密封面之间无相对滑动，因而磨损与擦伤均不严重，密封性能好，使用寿命长。

(3) 启闭力矩大，启闭较费力，启闭时间较长。

(4) 因阀体内介质通道较曲折，流体阻力大，动力消耗大。

(5) 全开时阀瓣经常受冲蚀。

(6) 安装时注意流体流向，即“低进高出”。

5. 截止阀的应用场合

截止阀主要用于水、蒸汽、压缩空气以及各种物料的管道，可较精确地调节流量和严密地截断通道，但不能用于黏度大、易结焦、含悬浮和结晶颗粒物料介质的管道。

三、闸阀

闸阀（图 2-1-32）类型代号为 Z，是作为截止介质使用的，在全开时整个流通直通，此时介质运行的压力损失最小。闸阀通常适用于不需要经常启闭，而且保持闸板全开或全闭的工况，不适合作为调节或节流使用。对于高速流动的介质，闸板在局部开启状况下可以引起闸门的振动，而振动又可能损伤闸板和阀座的密封面，而节流会使闸板遭受介质的冲蚀。

1. 闸阀的组成

闸阀的主要组成部分有阀体、阀座、闸板、阀盖、阀杆、密封装置、手轮等，如图 2-1-32 所示。闸阀常用黄铜、铸铁或不锈钢制造。

2. 闸阀的启闭

转动手轮，阀杆带动闸板上下移动，改变闸板与阀座之间的位置，达到阀门启闭的效果。

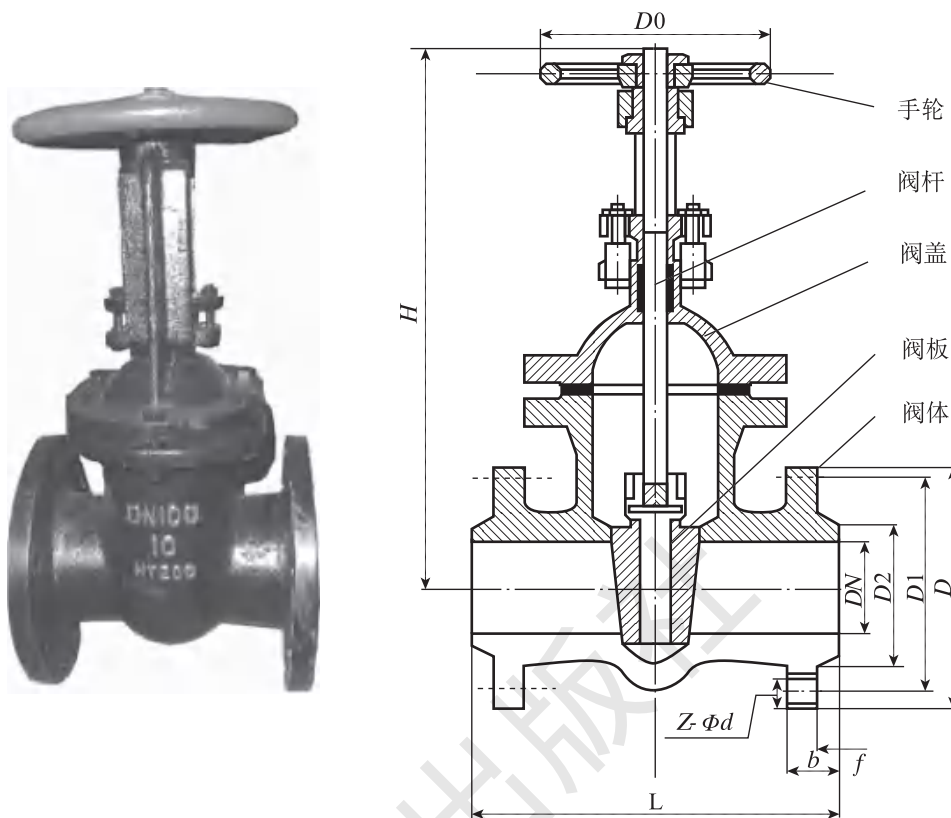


图 2-1-32 闸阀的外形和内部组成

3. 闸阀的分类

闸阀从结构形式上主要的区别是所采用的密封元件的形式不同。根据密封元件的形式，常常把闸阀分成几种不同的类型，如楔式闸阀、平行式闸阀、平行双闸板闸阀、楔式双闸板闸阀等。最常用的是楔式闸阀和平行式闸阀。

4. 闸阀的特点

优点：

- (1) 流动阻力小。阀体内部介质通道是直通的，介质成直线流动，流动阻力小。
- (2) 启闭时较省力。
- (3) 高度大，启闭时间长。闸板的启闭行程较大，升降是通过螺杆进行的。
- (4) 介质可向两侧任意方向流动，易于安装。闸阀通道两侧是对称的。
- (5) 形体简单，结构长度短，制造工艺性好，适用范围广。
- (6) 结构紧凑，阀门刚性好，通道流畅，流阻数小，密封面采用不锈钢和硬质合金，使用寿命长，采用 PTFE 填料，密封可靠，操作轻便灵活。

缺点:

- (1) 密封面之间易引起冲蚀和擦伤, 维修比较困难。
- (2) 外形尺寸较大, 开启需要一定的空间, 开闭时间长。
- (3) 结构较复杂。

5. 闸阀的应用场合

闸阀主要用于大直径的上水管道, 不适用于频繁启闭的场合。

6. 闸阀的应用事项

- (1) 手轮、手柄及传动机构均不允许做起吊用, 并严禁碰撞。
- (2) 双闸板闸阀应垂直安装 (即阀杆处于垂直位置, 手轮在顶部)。
- (3) 带有旁通阀的闸阀在开启前应先打开旁通阀, 以平衡进出口的压差及减小开启力。
- (4) 带传动机构的闸阀, 按产品使用说明书的规定安装。
- (5) 如果阀门经常开关使用, 每月至少润滑一次。

四、球阀

球阀 (图 2-1-33) 类型代号为 Q, 是由阀杆带动启闭件 (球体), 并绕方形工作轴线做旋转运动的阀门。球阀问世于 20 世纪 50 年代, 随着科学技术的飞速发展、生产工艺及产品结构的不断改进, 它已迅速发展成为一种主要的阀类。

1. 球阀的组成

球阀的主要组成部分主要有阀体、阀盖、密封阀座、阀杆、球体、手柄等, 如图 2-1-34 所示。



图 2-1-33 球阀的外形

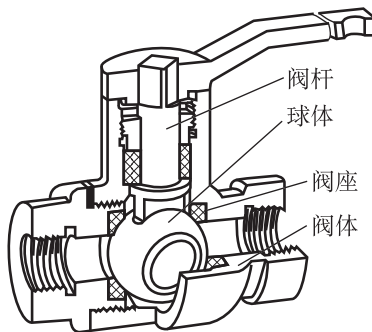


图 2-1-34 球阀的内部组成

2. 球阀的启闭

球阀通过转动手柄，使得带孔球体随着阀杆一起转动，从而改变球体与阀座之间的流通面积，并据此实现阀门的启闭。

3. 球阀的分类

球阀可以按使用功能的不同以及传动机构的不同进行分类。按使用功能来分，球阀可以分为旁通阀、空气阀、泄压阀、排污阀等。按传动机构来分，球阀可以分为气动球阀、电动球阀、液动球阀、气-液动球阀、电-液动球阀和涡轮传动球阀等。

4. 球阀的特点

- (1) 适用于经常操作的情况，启闭迅速、轻便。
- (2) 流体阻力小。
- (3) 结构简单，相对体积小，重量轻，便于维修。
- (4) 密封性能好。
- (5) 不受安装方向的限制，介质的流向可任意。
- (6) 无振动，噪声小。

5. 球阀的应用场合

球阀适用于输送空气等气体，水、有机溶剂等液体，以及含有悬浮颗粒的液体。它在航天、石油化工、长输管线、轻工食品、建筑等许多方面都得到了广泛的应用。

五、安全阀

安全阀（图 2-1-35）类型代号为 A，是阀门家族比较特殊的一个分支，它的特殊性是因为其不同于其他阀门仅仅起到开关的作用，更重要的是起到保护设备安全的作用。随着我国经济建设的快速发展，带有压力操控设备的项目工程越来越多。鉴于设备泄压的需要，安全阀在保护设备过程中起到至关重要的作用。

1. 安全阀的组成

安全阀由阀体、阀座、阀瓣、阀盖、弹簧、阀杆、保护罩等组成，如图 2-1-36 所示。

2. 安全阀的启闭

安全阀是一种安全保护用阀，它的启闭件受外力作用处于常闭状态，当设备或管道内的介质压力升高超过规定值时自动开启，通过向系统外排放介质来降低管道或设备内介质压力。当压力降到规定值时，安全阀自动关闭。



图 2-1-35 安全阀的外形

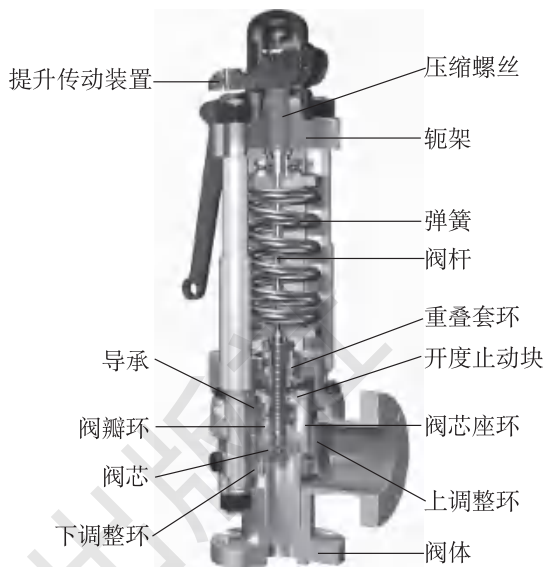


图 2-1-36 安全阀的内部组成

3. 安全阀的分类

(1) 按整体结构和加载结构的形式可分为重锤杠杆式安全阀、弹簧式安全阀和脉冲式安全阀。

(2) 按阀瓣开启高度与阀流通直径之比可分为微启式和全启式安全阀。

(3) 按安全阀气体排放的方式可以将安全阀分为全封闭式、半封闭式和敞开式三种。

4. 安全阀的特点

安全阀是化工企业为了防止设备或管路压力过高而自动卸压的一种装置。不同型号的安全阀也有不同的特点，详情请参见知识拓展。

5. 安全阀的应用场合

安全阀主要应用在受压设备和受压管路上。

6. 安全阀安装注意事项

- (1) 各种安全阀都应垂直安装。
- (2) 安全阀出口处应无阻力，避免产生受压现象。
- (3) 安全阀在安装前应专门测试，并检查其密封性。
- (4) 对使用中的安全阀应做定期检查。

知识拓展 >>

1. 安全阀的分类及特点

安全阀按其整体结构及加载机构的不同可以分为重锤杠杆式、弹簧式和脉冲式三种。

(1) 重锤杠杆式安全阀

重锤杠杆式安全阀（图 2-1-37）是利用重锤和杠杆来平衡作用在阀瓣上的力。根据杠杆原理，它可以使用质量较小的重锤通过杠杆的增大作用获得较大的作用力，并通过移动重锤的位置（或变换重锤的质量）来调整安全阀的开启压力。

重锤杠杆式安全阀结构简单、调整容易而且比较准确，所加的载荷不会因阀瓣的升高而有较大的增加，适用于温度较高的场合，过去用得比较普遍，特别是用在锅炉和温度较高的压力容器上。但重锤杠杆式安全阀结构比较笨重，加载机构容易振动，并常因振动而产生泄漏；其回座压力较低，开启后不易关闭及保持严密。



图 2-1-37 重锤杠杆式安全阀的外形

(2) 弹簧式安全阀

弹簧式安全阀（图 2-1-38）是利用压缩弹簧的力来平衡作用在阀瓣上的力。螺旋圈形弹簧的压缩量可以通过转动它上面的调整螺母来调节，利用这种结构就可以根据需要调节安全阀的开启（整定）压力。弹簧式安全阀结构轻便紧凑，灵敏度也比较高，安装位置不受限制，而且因为对振动的敏感性小，所以可用于移动式的压力容器上。这种安全阀的缺点是所加的载荷会随着阀的开启而发生变化，即随着阀瓣的升高，弹簧的压缩量增大，作用在阀瓣上的力也跟着增加。这对安全阀的迅速开启是不利的。另外，阀上的弹簧会由于长期受高温的影响而使弹力减小。用于温度较高的容器上时，常常要考虑弹簧的隔热或散热问题，从而使结构变得复杂起来。



图 2-1-38 弹簧式安全阀

(3) 脉冲式安全阀

脉冲式安全阀（图 2-1-39）由主阀和辅阀构成，通过辅阀的脉冲作用带动主阀动作，其结构复杂，通常只适用于安全泄放量很大的锅炉和压力容器。

上述三种形式的安全阀中，用得比较普遍的是弹簧式安全阀。

2. 安全阀的操作事项

(1) 要经常保持安全阀的清洁，防止阀体弹簧等被油垢脏物沾满或被腐蚀，防止燃气安全阀排放管被油污或其他异物堵塞；经常检查铅封是否完好，防止杠杆式安全阀的重锤松动或被移动，防止弹簧式安全阀的调节螺丝被随意拧动。

(2) 安全阀清洗完后，必须重新调试。

(3) 应选用轻油类清洗安全阀。

(4) 调试完后初运行阶段，应仔细观察安全阀的运行情况。

(5) 发现安全阀有泄漏迹象，应及时更换或检修。禁止用加大载荷（如过分拧紧弹簧式安全阀的调节螺丝或在杠杆式安全阀的杠杆上加挂重物等）的方法来消除泄漏。

(6) 定期检查运行中的安全阀是否存在泄漏、卡阻及锈蚀等不正常现象，并注意观察调节螺套及调节圈紧固螺钉的锁紧螺母是否有松动，若发现问题应及时采取适当措施。

(7) 安装在室外的安全阀要采取适当的防护措施，以防止雨雾、尘埃、锈污等脏物侵入安全阀及排放管道。当环境低于摄氏零度时，还应采取必要的防冻措施，以保证安全阀动作的可靠性。

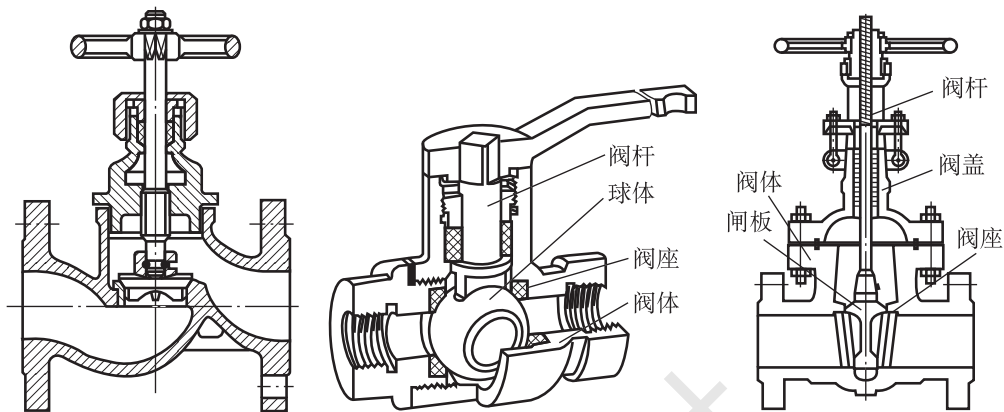
(8) 对燃气安全阀进行操作时除遵守本规程外，还应遵守《压力容器安全技术监察规程》和《安全阀安全技术监察规程》（TSG ZF001—2004）的相关规定。



图 2-1-39 脉冲式安全阀

习题与训练

1. 根据以下阀门的内部结构，判断此阀门属于哪一种类型。



2. 截止阀一般有_____、_____和_____三种连接方式。根据通道方向的不同，常用的截止阀有_____、_____和_____三种类型。

3. 截止阀的启闭件主要是_____和_____。

4. 截止阀安装时应注意_____，即_____。

5. 截止阀的类型代号为_____，闸阀的类型代号为_____，球阀的类型代号为_____，安全阀的类型代号为_____。

6. 完成下表。

名称	结构	启闭	分类	特点	应用	注意事项
截止阀						
闸阀						
球阀						
安全阀						
蝶阀						

子任务五 认识管路的连接方式

对于符合一定公称压力和公称直径的化工管道来说，不仅要使用合适的管子，还要采用合适的连接方法进行连接。管路的连接包括管子与管子的连接，管子与各种管件、阀门的连接以及设备接口处的连接等。常见的管路连接方法有焊接连接、法兰连接、螺纹连接和承插连接等。本项目通过以下知识点的学习，使学生掌握四种基本连接方式的特点。

一、焊接连接

焊接一般是管路连接，尤其是长管道、高压管道连接的主要方式。焊接连接的特点是密封性能较好，结构简单，连接强度高，属于不可拆连接，如图 2-1-40 所示。

焊接的方法和种类很多，比如气焊、手工电弧焊、手工氩弧焊、埋弧自动焊、埋弧半自动焊、气压焊等。其中最常用的方法是电弧焊。电弧焊是利用电弧所产生的高热量来熔化焊口和焊条，使构件连接在一起，根据操作方法的不同可分为手工电弧焊、埋弧焊等。常见的焊接接头有对接、搭接、角接和 T 形接四种基本形式，如图 2-1-41 所示。

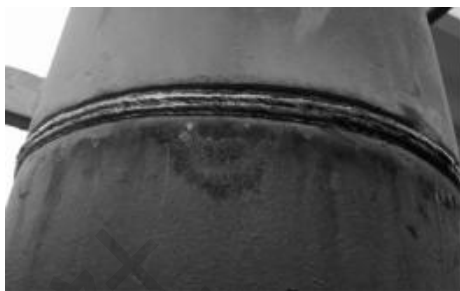


图 2-1-40 焊接连接

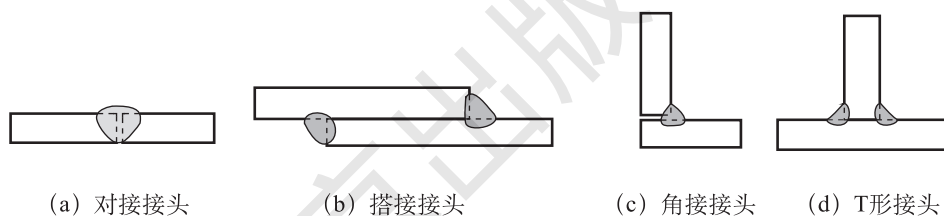


图 2-1-41 焊接接头的四种基本形式

二、法兰连接

法兰连接在化工、石油管路中应用极其广泛，尤其是一些需要经常拆卸的连接或者车间不允许动火的时候，必须使用法兰连接，如图 2-1-42 所示。它的优点是强度高，密封性能好，适用范围广，拆卸、安装方便。

需要注意的是，法兰连接的密封非常重要，根据介质压力大小以及密封性能的要求，法兰密封面有平面、凹凸面、榫槽面、锥面等形式。密封垫有非金属垫片、金属垫片和各种组合式垫片等可供选择。

三、螺纹连接

螺纹连接也称为丝扣连接，它主要是通过内、外管螺纹拧紧而实现的。螺纹连接的管子两端都有外螺纹，通过有内螺纹的连接件、管件、阀门等连接，如图 2-1-43 所示。为了保证螺纹连接处的密封性能，在螺纹连接前，通常在外螺纹上加装些填料。

常用的填料有加铅油的油麻丝或石棉绳等，也可用聚四氟乙烯带（图 2-1-44）进行缠绕。



图 2-1-42 法兰连接



图 2-1-43 螺纹连接



图 2-1-44 聚四氟乙烯带



图 2-1-45 承插连接

四、承插连接

承插连接（图 2-1-45）主要适用于压力不大、密封性能要求不高的场合，一般适用于陶瓷管、铸铁管和塑料管等的连接。承插连接时，插口和承口接头处留有一定的轴向间隙，在间隙内填充密封填料（例如油麻绳或石棉水泥等）来增加密封性能。

习题与训练

常见的管路连接方法有哪些？

子任务六 管路拆装实训

一、实训目的

1. 认识各种型号和规格的管子、管件及阀门，掌握其连接方法。

2. 能够根据管路布置图，进行管线的组装和拆除。
3. 能够进行管道的压力实验。

二、实训要求

1. 认识各种材料和规格的管子。
2. 认识各种类型和规格的管件。
3. 认识各种类型的阀门。
4. 会对管路进行组装和拆除，能对管路进行压力实验。

三、技能训练

管路的连接是根据相关标准以及图纸的要求，将管子与管子或管子与管件、阀门等连接起来，形成一套严密的整体，并且保证在使用时不发生泄漏等情况，从而满足人们的操作要求。

1. 了解管子、管件以及阀门常用的材料。
2. 认识管子的规格。能够根据管子的规格算出管子的内径、外径和壁厚。
3. 认识各种角度的弯头、法兰、盲板及各种短管、异径管及其他管件。
4. 能够识别各种阀门，观察阀门的结构和特点、流体的进出口方向。转动阀门的手轮或手柄，体会各种阀门的开启速度和难易程度。能够进行阀门的拆装，并能够更换阀门的密封垫片。

5. 管路的组装、压力实验以及管路的拆卸。

(1) 管路拆装的要求

- ①认识并能够正确使用管路拆装所需的工具。
- ②根据要求领取所需的工具并填写领料单。

领料单

姓名 时间

序号	名称	数量	备注

③在划定的范围内进行管路的组装，初步安装结束以后，需要请指导教师进行检查，如果发现其中有阀门、管件、盲板或压力表装错或装反的情况，必须重新进行

组装。

④如果管线安装正确，可以开始水压实验。首先在指导教师处填写压力值，待教师允许后进行实验。

(2) 操作步骤

①管路组装。

a. 对照管路示意图进行管路的安装。在安装中要保证管路的横平竖直，水平偏差不应大于 15 mm、垂直偏差不应大于 10 mm。

b. 法兰与螺纹在连接时，要注意每对法兰的平行度和同心度均应符合要求。螺纹接合时要做到生料带缠绕方向正确，并且生料带在螺纹上缠绕的厚度要合适，螺纹与管件咬合时要注意对准、对正，拧紧时用力要适中，既不要出现用力过小使螺纹松动，也不要出现用力过大造成滑丝的情况。

c. 阀门在安装前要注意将内部清理干净，且将阀门关闭好之后再行安装。对有方向性的阀门要注意安装方向，保证与介质流向吻合。另外，安装好的阀门手轮位置要便于操作。

d. 流量计和压力表及过滤器可按照具体安装要求来进行安装，但要注意流向。有刻度的位置要便于读数。

②水压实验。

在水压实验中，使用手摇式试压泵，按操作要求的试压程序完成试压操作。在规定的压强下和规定的时间内观察管路所有接口是否有渗漏现象。

③管路拆卸。

管路拆卸一般要按顺序进行，原则上是从上到下、先仪表后阀门的顺序。在拆卸过程中不得损坏管件和仪表。拆下的管子、管件、阀门和仪表要归类放好。

四、操作中应注意的事项

在管路拆装操作中，安装工具要做到使用合适、恰当。法兰安装时要做到对正、不反口、不错口、不张口等。安装和拆卸过程中注意安全防护，不要出现安全事故。

任务二 认识压力容器

在化工企业中有许多设备，比如换热器、精馏塔、反应釜等，这些化工设备的结构、作用各不相同，但是它们有一个共同的特点，就是都有一个外壳。化工生产中把所有化工设备的外壳统称为容器。能够承受一定介质的压力，并且与外界隔离的密闭

容器称为压力容器。而一般工厂中常见的容器均为压力容器，如图 2-2-1 所示。



图 2-2-1 列管式换热器的外壳

子任务一 认识压力容器

在化工生产中，化工容器一般都是化工设备的外壳，而工业生产中的介质通常都具有较高的压力，所以化工容器一般为压力容器。由于生产条件的不同，它们的形状各异，尺寸也千差万别，但是往往其主要部件是相同的。目前，为了便于化工设备的设计、安装和维修，一些零部件已经标准化。本任务就是通过学习以下的知识点，掌握压力容器的基本结构、类型以及失效形式，并对压力容器有一个整体的了解认识。

一、压力容器的定义

压力容器一般泛指在工业生产中用于完成反应、传质、传热、分离和储存等生产工艺过程，并能承受压力载荷（内力、外力）的密闭容器（图 2-2-2）。它是在石油化学工业、能源工业、科研和军工等国民经济的各个部门都起着重要作用的设备。



图 2-2-2 各种类型的压力容器

二、压力容器的基本结构

压力容器一般由筒体、封头、法兰、接管、人孔及安全附件所组成。如图2-2-3所示。

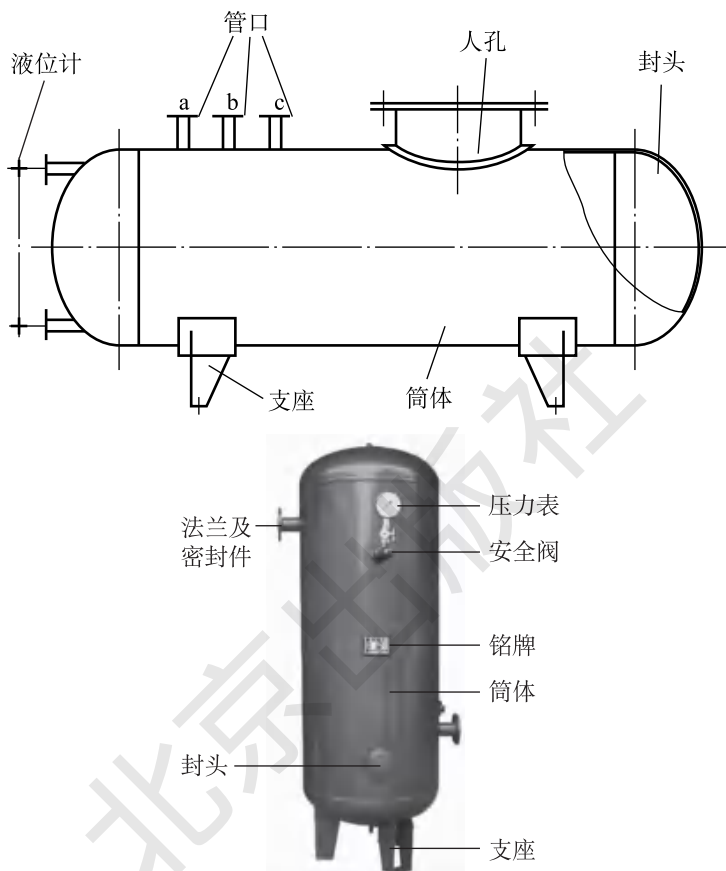


图 2-2-3 压力容器

1. 筒体

筒体的作用是提供工艺所需的承压空间，是压力容器最主要的受压元件之一，其内直径和容积往往需要由工艺计算确定。圆柱形筒体（即圆筒）和球形筒体是工程中最常用的筒体结构。

筒体直径较小（一般小于 500 mm）时，圆筒可用无缝钢管制作，此时筒体上没有纵焊缝；直径较大时，可用钢板在卷板机上卷成圆筒或用钢板在水压机上压制成两个半圆筒，再用焊缝将两者焊接在一起，形成整圆筒。

2. 封头

封头是容器的一个部件，主要是以焊接方式连接筒体（图 2-2-4）。根据几何形

状的不同，可分为球形、椭圆形、碟形、球冠形、锥壳和平盖等几种，其中球形、椭圆形、碟形、球冠形封头又统称为凸形封头。在焊接上分为对焊封头、承插焊封头。用于各种容器设备，如储罐、换热器、塔、反应釜、锅炉和分离设备等。材质有碳钢（A3、20#、Q235、Q345B、16Mn 等）、不锈钢（304、321、304L、316、316L 等）、合金钢（15Mo3、15CrMoV、35CrMoV、45CrMo）、铝、钛、铜、镍及镍合金等。



图 2-2-4 封头

3. 法兰

法兰是连接管子或阀门的零件，一般连接于管端。法兰上有孔眼，通过螺栓使两法兰紧紧连接起来（图 2-2-5）。法兰间用垫片进行密封。法兰分为螺纹连接（丝接）法兰、焊接法兰和卡套法兰。

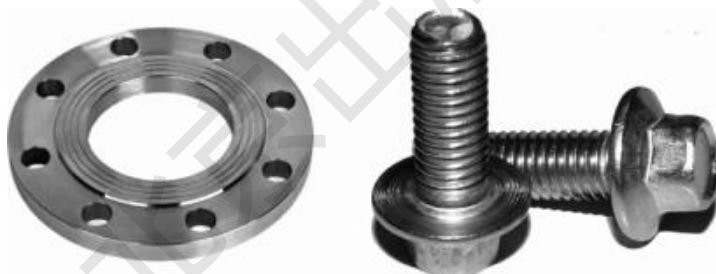


图 2-2-5 法兰及其配套螺栓

4. 人孔

人孔是一种带有盖的孔道，人可以由此孔进出排道、锅炉、反应釜中进行作业（图 2-2-6、图 2-2-7）。人孔分为紧急泄压人孔、防爆阻火呼吸人孔、罐顶人孔、罐壁人孔和带芯人孔等。



图 2-2-6 人孔的外形



图 2-2-7 人孔中正在作业的工人

三、压力容器的分类

压力容器主要为圆柱形，少数为球形或其他形状。压力容器工作压力越高，筒体的壁就应越厚。

1. 按承压性质分类

压力容器按照承压性质来分，一般可以分为内压容器和外压容器。

- (1) 内压容器：内部介质压力大于外部介质压力的容器。
- (2) 外压容器：外部介质压力大于内部介质压力的容器。

2. 按压力等级分类

化工厂中内压容器应用广泛且种类繁多。内压容器又可按设计压力 (p) 的大小分为四个压力等级，具体划分如下：

- (1) 压力范围为 $0.1 \text{ MPa} \leq p < 1.6 \text{ MPa}$ 时为低压容器（代号 L）；
- (2) 压力范围为 $1.6 \text{ MPa} \leq p < 10.0 \text{ MPa}$ 时为中压容器（代号 M）；
- (3) 压力范围为 $10 \text{ MPa} \leq p < 100 \text{ MPa}$ 时为高压容器（代号 H）；
- (4) 压力范围为 $p \geq 100 \text{ MPa}$ 时为超高压容器（代号 U）。

3. 按安全技术监察规程分类

《压力容器安全技术监察规程》采用既考虑容器压力与容积乘积大小，又考虑介质危险性以及容器在生产过程中的作用的综合分类方法，以有利于安全技术监督和管理。该方法将压力容器分为三类：

- (1) 第三类压力容器。具有下列情况之一的，为第三类压力容器：

- ① 高压容器；
- ② 中压容器（仅限毒性程度为极度和高度危害介质）；
- ③ 中压储存容器（仅限易燃或毒性程度为中度危害介质，且 pV 乘积 $\geq 10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3$ ）；
- ④ 中压反应容器（仅限易燃或毒性程度为中度危害介质，且 pV 乘积 $\geq 0.5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3$ ）；
- ⑤ 低压容器（仅限毒性程度为极度和高度危害介质，且 pV 乘积 $\geq 0.2 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3$ ）；
- ⑥ 高压、中压管壳式余热锅炉；
- ⑦ 中压搪玻璃压力容器；

⑧ 使用强度级别较高（指相应标准中抗拉强度规定值下限 $\geq 540 \text{ MPa}$ ）的材料制造的压力容器；

⑨ 移动式压力容器，包括铁路罐车（介质为液化气体、低温液体）、罐式汽车、运输（半挂）车、低温液体运输（半挂）车、永久气体运输（半挂）车和罐式集装箱

(介质为液化气体、低温液体)等;

- ⑩球形储罐 (容积 $\geq 50 \text{ m}^3$);
- ⑪低温液体储存容器 (容积 $> 5 \text{ m}^3$)。

(2) 第二类压力容器。具有下列情况之一的, 为第二类压力容器:

- ①中压容器;
- ②低压容器 (仅限毒性程度为极度和高度危害介质);
- ③低压反应容器和低压储存容器 (仅限易燃介质或毒性程度为中度危害介质);
- ④低压管壳式余热锅炉;
- ⑤低压搪玻璃压力容器。

(3) 第一类压力容器。除上述规定以外的低压容器为第一类压力容器。

可见, 国内压力容器分类方法综合考虑了设计压力、几何容积、材料强度、应用场合和介质危害程度等影响因素。例如: 因盛放的介质特性或容器功能不同, 即根据潜在的危害性大小, 低压容器也可被划分为第一类或第二类甚至第三类压力容器。

4. 按工艺用途分类

(1) 反应压力容器 (代号 R)

反应压力容器用于完成介质的物理、化学反应, 例如合成塔、反应釜等, 如图 2-2-8、图 2-2-9 所示。



图 2-2-8 塔设备的外壳



图 2-2-9 反应设备的外壳

(2) 换热压力容器 (代号 E)

换热压力容器主要用于完成介质的热量交换, 例如冷却塔、换热器等 (图 2-2-10)。



图 2-2-10 换热器的外壳

(3) 分离压力容器（代号 S）

分离压力容器主要用于完成介质的流体压力平衡缓冲和气体净化分离，例如分离器、缓冲罐等，如图 2-2-11 所示。

(4) 储存压力容器（代号 C，其中球罐代号 B）

储存压力容器主要用于储存、盛装气体、液体、液化气体等介质，例如球罐等，如图 2-2-12 所示。



图 2-2-11 缓冲罐的外壳



图 2-2-12 球罐的外壳

除上述常见的分类方式以外，还可以按照壁厚、工作温度和材料等对压力容器进行分类。

四、压力容器的失效形式

凡是因为安全问题导致容器不能发挥原有效用的现象均为失效。所谓失效，是指压力容器或零件在规定的使用环境和时间内，因尺寸、形状或材料性能发生改变而完全失去或不能达到原设计要求（包括功能和使用寿命）的现象。

常见的失效形式有以下三种。

1. 变形失效

(1) 弹性变形失效

弹性变形失效是指当压力容器所承受的工作载荷或工作温度使容器或其他零部件产生可恢复的变形大到足以妨碍其正常工作的现象。例如在风力的作用下，塔顶挠度超过许用值的现象。

(2) 塑性变形失效

塑性变形失效是指压力容器在一定条件下，发生过大的不可恢复的变形，从而导致不能继续工作的现象。例如容器内的压力异常升高，导致筒身膨胀的现象。如图 2-2-13 所示。

(3) 失稳

失稳是指容器在外压的作用下，突然出现的筒体失去原形、发生压瘪的现象。如图 2-2-14 所示。



图 2-2-13 薄壁容器塑性变形外观



图 2-2-14 薄壁容器失稳

2. 断裂失效

(1) 脆性断裂

脆性断裂是指容器或零部件在外加载荷作用下，未经明显的变形而发生的断裂。断裂时材料几乎没有发生过塑性变形。如杆件脆断时没有明显的伸长或弯曲，更无缩颈，容器破裂时没有直径的增大及壁厚的减薄。脆断的构件常形成碎片。材料的脆性不符合容器设计的要求是引起构件脆断的主要原因。如图 2-2-15 所示。

(2) 疲劳断裂

疲劳断裂是指容器在交变循环载荷的作用下，经过一定周期后发生断裂的现象，这也是大多数压力容器最常见的失效形式之一，如图 2-2-16 所示。疲劳断裂是突然发生的，因此具有很大的危险性。据有关资料统计，压力容器在运行中的破坏事故有 75% 以上是由疲劳断裂引起的。



图 2-2-15 脆性断裂失效



图 2-2-16 疲劳断裂失效

(3) 蠕变断裂

蠕变断裂是指压力容器或其零部件在高温和应力的共同作用下，经过一段时间后，其塑性变形不断增大，直到断裂的现象。如图 2-2-17 所示。

3. 腐蚀失效

腐蚀失效是指压力容器或其零部件，由于接触到化学介质而发生化学或者电化学反应，引起容器壁由厚变薄或局部腐蚀变质，从而使容器力学性能降低，最终因承载能力不够而发生破坏甚至破裂的现象。如图 2-2-18 所示。

压力容器金属腐蚀情况比较复杂，同一种材料在不同的介质中有不同的腐蚀规律。另外，不同材料在同一种介质中的腐蚀规律也各不相同。即使同一种材料，在同一种介质中，因为其内部或外部条件（如材料金相组织，介质的温度、浓度和压力等）的变化，往往也表现出不一样的腐蚀规律。



图 2-2-17 蠕变断裂失效

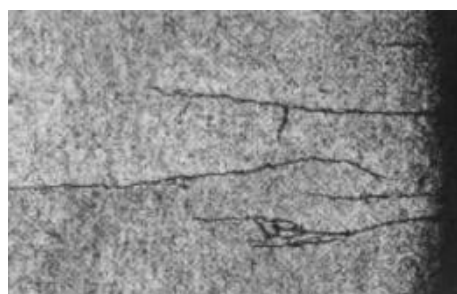


图 2-2-18 设备腐蚀失效的微观照片

压力容器的腐蚀形态很多，引起不同腐蚀形态的原因也是多种多样的。其原因大致有以下四个方面：

- (1) 压力容器维护保养不当。
- (2) 选材不当或未采取有效的防腐措施。
- (3) 结构不合理或者焊接不符合规范的要求。
- (4) 介质中杂质的影响。

习题与训练

1. 简述压力容器的结构。
2. 简述压力容器的分类。

知识拓展 >>

脆性断裂事例

20 世纪 50 年代, 美国发射了北极星导弹 (图 2-2-19), 其固体燃料发动机壳体采用了超高强度钢制造, 屈服强度为 1400 MPa。按照传统强度设计与验收时, 其各项性能指标均符合要求, 设计时的工作应力也远远低于材料的屈服强度, 但是在点火不久后就发生了爆炸。

为什么材料会发生低应力脆断的现象呢?

分析原因: 传统力学把材料看成是均匀、无缺陷且没有裂纹的连续理想固体, 但是, 实际工程材料在制备、加工 (冶炼、铸造、锻造、焊接、热处理、冷加工等) 以及使用中 (疲劳、冲击、环境温度等) 都会产生各种各样的缺陷 (白点、气孔、渣、未焊透、热裂、冷裂、缺口等)。缺陷和裂纹会产生应力集中, 导致所受到的拉应力为平均应力的数倍。过分集中的拉应力如果超过了材料的临界拉应力的阈值, 材料就会产生裂纹或缺陷的扩展, 导致脆性断裂。



图 2-2-19 美国制造的北极星导弹

子任务二 认识压力容器的安全附件

在化工企业中, 由于化工容器的使用特点以及化工容器内部介质的化学工艺特性, 往往需要在容器上设置一些安全附件, 用来保证压力容器的使用安全以及工艺过程的正常进行。安全附件一般包括测量操作压力、温度等参数的监测装置, 例如测温计、压力表等, 另外还有遇到一些异常工况时能保证设备安全的装置, 例如安全阀、爆破片等。本项目仅简单介绍一些常用的超压泄放装置及其类型、特点和应用场合。

一、超压泄放装置的原理及作用

在化工企业中, 超压泄放装置是一种保证压力容器安全运行, 超压时能够进行自动泄压, 用来防止发生超压爆炸的附属机构。它也是压力容器的安全附件之一。主要包括安全阀、爆破片以及两者的组合装置, 如图 2-2-20 所示。

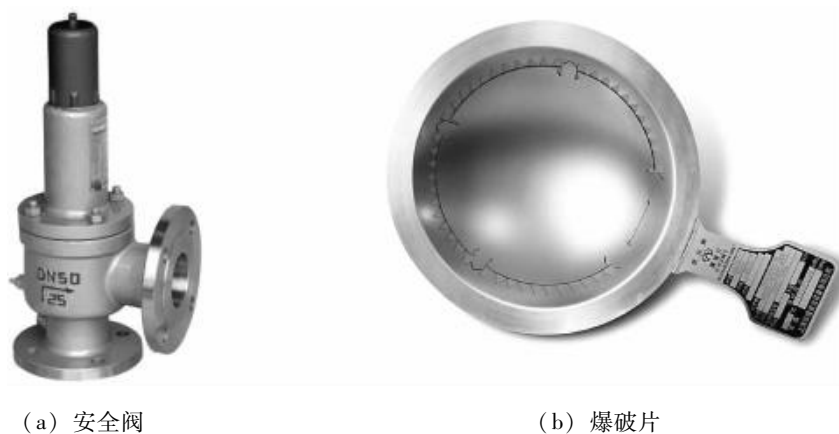


图 2-2-20 典型的超压泄放装置

1. 超压泄放的原理及作用

超压泄放的原理及作用主要有两点：

- (1) 在正常工作压力下运行时，必须保持严密且不发生泄漏；超过限定值时，装置能自动且迅速地排泄出容器内的介质，从而使容器内的压力始终保持在许用压力范围以内。
- (2) 自动报警作用。通常在排放气体时，介质都是高速喷出，常发出较大的响声，相当于报警音响信号。

2. 超压泄放装置的设置规定

超压泄放装置的设置一般有如下规定：

- (1) 当容器装有泄放装置时，一般以容器的设计压力作为容器超压限度的起始压力。必要时，可以用容器的最大允许工作压力作为容器超压限度的起始压力。当采用最大允许工作压力时，应对容器的水压试验、气压试验以及气密性试验相应地取 1.25 倍、1.15 倍和 1.00 倍的最大允许工作压力值，并在图样和铭牌中注明。
- (2) 当容器上安装一个泄放装置时，泄放装置的动作压力应小于或等于其设计压力，且该空间的超压限度应不大于设计压力的 10% 或 20 kPa 中的较大值。
- (3) 当容器上安装多个泄放装置时，其中一个泄放装置的动作压力应小于或等于其设计压力，其他泄放装置的动作压力可提高，但不得超过设计压力的 4%。该空间的超压限度应不大于设计压力的 12% 或 30 kPa 中的较大值。
- (4) 当容器有可能遇到火灾或接近不能预料的外来热源而造成危险时，应该安装辅助的泄放装置，使得容器内超压限度不超过设计压力的 16%。
- (5) 如果有以下情况之一者，则可以当成是一个容器，只需在危险的空间（容器或管道上）设置一个泄放装置。但在计算泄放装置的泄放量时，应把容器间的连接管

道包括在内。

①与压力源相连接的、本身不产生压力的压力容器，该容器的设计压力达到了压力源的设计压力时。

②诸压力容器的设计压力相同或稍有差异，容器间采用足够大的管道连接，且中间无阀门隔断时。

(6) 在同一台压力容器上，由于有几种工况而具有两个以上设计压力时，该容器泄放装置的动作压力应该能够适用于各种工况下的设计压力。

(7) 对于换热器等压力容器，若高温介质有可能泄漏到低温介质而产生蒸汽时，应在低温空间设置泄放装置。

(8) 当容器内的压力有可能小于大气压力，而该容器不能承受此负压条件时，应该装设防负压的泄放装置。

(9) 一般可任选一种类型的泄放装置，但符合下列条件之一者，必须采用爆破片装置。

- ①压力快速增长；
- ②对密封有更高要求；
- ③容器内物料会导致安全阀失效；
- ④安全阀不能适用的其他情况。

3. 超压泄放装置的设置

(1) 应该将超压泄放装置设置在压力容器本体或其附属管线上容易检查和修理的部位。安全阀的阀体处于垂直方向。

(2) 对于全启式安全阀和反拱型爆破片装置必须装在容器液面以下气相空间部分。用于液体的安全阀出口管公称直径至少为 15 mm。

(3) 容器与泄放装置之间一般不得设置截止阀。对于连续操作的容器来说，一般可在容器与泄放装置之间设置截止阀专供检修使用。该截止阀应具有锁住机构，在容器正常工作期间，截止阀必须处于全开的位置并被锁住。

(4) 泄放装置的结构应该具有足够的强度，并且能够承受该泄放装置泄放时所产生的反作用力。

二、超压泄放装置的类型

常用的超压泄放装置一般有安全阀和爆破片。

1. 安全阀

安全阀是一种特殊的阀门，当容器内的压力超过规定的压力值的时候，安全阀就能够自动地开启，泄出高出规定的部分压力，一旦压力达到或低于规定值时，它又能

够自动地闭合，用来保证压力容器继续正常的工作。

安全阀按阀瓣加载方式的不同，可以分为三类，即重块式、杠杆式和弹簧式三种，其中体积庞大、校验复杂的重块式已很少使用；而杠杆式则多用于工作压力不高、温度较高的场合，如图 2-2-21 所示；对于高压容器来说，通常多选择弹簧式，如图 2-2-22 所示。



图 2-2-21 杠杆式安全阀



图 2-2-22 弹簧式安全阀

弹簧式安全阀有时会有微量的泄漏，且开启和闭合均有滞后现象，处理黏性较大或者有结晶体的液体时，阀瓣有时会被黏住而影响启跳的精度。因此，弹簧式安全阀主要用于处理因物理过程而产生超压以及允许有微量泄漏且介质黏度不大的场合。

安全阀一般应与容器本体直接连接并垂直安装在容器的最高处；安全阀与容器之间的连接管和管件的通孔截面积均不得小于安全阀的进口面积；安全阀和容器之间一般严禁装设截止阀。如果安装了截止阀，则在容器正常工作时，该截止阀必须处于全开状态并且要加以铅封。

2. 爆破片

爆破片是压力容器、管道的重要安全装置。它能在规定的操作温度和操作压力下爆破，从而泄放压力，保障工人生命和国家财产的安全。爆破片安全装置具有结构简单、灵敏、准确、无泄漏、泄放能力强等优点，能够在高温、低温、黏稠、腐蚀的环境下可靠地工作，是超高压容器的理想安全装置。所以，爆破片被广泛地用于引进的石油、化工、化肥、医药、冶金等行业的大型装置和设备上。

爆破片主要由一块很薄的爆破膜片和夹持器构成。爆破膜片是爆破元件，主要起控制爆破压力的作用；而夹持器的作用是固定爆破膜片，也可以不设夹持器，直接用接管法兰夹紧膜片。

按照结构来分类，爆破片主要可以分为三种类型，即平板型、正拱型和反拱型。平板型爆破片（图 2-2-23）的综合性能较差，主要用于低压和超低压工况，尤其

是大型料仓。正拱型（图 2-2-24）和反拱型（图 2-2-25）爆破片应用的场合较多。

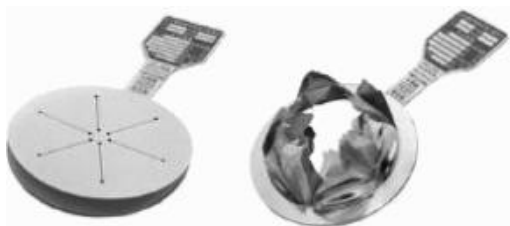


图 2-2-23 平板型爆破片



图 2-2-24 正拱型爆破片



图 2-2-25 反拱型爆破片

3. 安全阀与爆破片的组合装置

安全阀和爆破片组合而成的泄压装置，同时具有阀型（安全阀）和断裂型（爆破片）泄放装置的优点，既可以防止单独用安全阀时所造成的泄漏，又可以在完成排放过高压力的动作后恢复容器的继续使用。组合装置的爆破片可以根据不同的需要，设置在安全阀的入口侧或者出口侧。

当爆破片设置在安全阀的入口侧时，可利用爆破片把安全阀与容器内的气体隔离，以防安全阀受到腐蚀或被气体中的杂物堵塞或黏住。当容器超压时，爆破片断裂，安全阀也开启，容器降压后，安全阀再关闭，容器则可以继续进行暂时运行，等设备停机检修时再重新装入爆破片。这种结构要求爆破片在断裂时，不能妨碍后面安全阀的正常动作，而且要求在爆破片与安全阀之间设置检查器具，防止它们之间存有压力，而影响爆破片的正常动作。

当爆破片装在安全阀的出口侧的时候，可以使爆破片免受气体压力与温度的长期作用而发生疲劳破坏，爆破片则用来补救安全阀的泄漏。这种结构要求将爆破片与安全阀之间的气体及时排出，否则安全阀将失去作用。

组合型结构的安全泄压装置一般用于介质具有腐蚀性的液化气体，或剧毒、稀有气体的容器之中。由于装置中的安全阀有滞后作用，所以不能用于容器内升压速度极高的反应容器。

习题与训练

1. 典型的超压泄放类型有哪几种？
2. 爆破片设置在安全阀的入口侧或者出口侧，有哪些不同之处？

任务三 认识换热器

换热器是将热流体的部分热量传递给冷流体的设备，又称热交换器。通过换热器使化工介质温度或升高、或降低而达到工艺要求。换热器是化工、石油、钢铁、汽车、食品及其他许多工业部门的通用设备，在生产中占有重要地位。尤其在化工生产中，换热器可用作加热器、冷却器、冷凝器、蒸发器、再沸器或者用于热能回收利用等。

换热器在化工行业应用广泛，但是可以说没有万能的换热器，只有合适的换热器。在下面将会学习到换热器的类型以及如何不同场合下选择换热器、换热器的结构特征有哪些、为了保证换热器的使用效果应该怎样维护。

子任务一 认识换热器

一、换热器的分类

(一) 按换热器的传热方法分类

1. 直接混合式

直接混合式是将热流体与冷流体直接混合的一种传热方式。如图 2-3-1 所示。

这种直接混合式换热器传热效果好、结构简单，但不能用于发生反应或有影响的流体之间。

2. 蓄热式

先让热流体流过蓄热体，将热量储存在蓄热体上，然后让冷流体流过蓄热体，蓄热体将热量传递给冷流体。如图 2-3-2 所示。

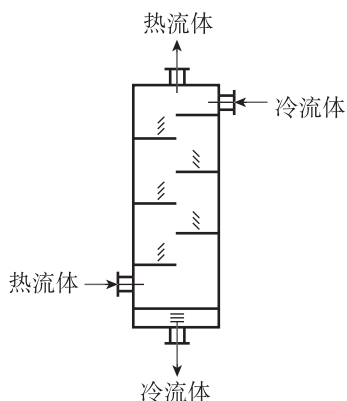


图 2-3-1 直接混合式换热器
原理示意图

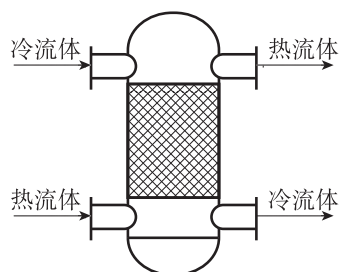


图 2-3-2 蓄热式换热器
原理示意图

蓄热式换热器适用于温度较高的场合，但有交叉污染，温度波动大，两种流体有少量混合。

3. 间壁式

热流体通过管壁或板壁将热量传递给冷流体称为间壁换热。

(1) 列管式换热器（后面将重点学习）。

(2) 薄板式换热器由一组长方形的薄金属板平行排列构成，用框架夹紧组装在支架上。两相邻流体板的边缘用垫片压紧，四角有圆孔形成流体通道，冷、热流体在板片的两侧流过，通过板片换热。结构如图 2-3-3 所示。其特点是：传热效率高，结构紧凑，操作灵活，安装检修方便，但耐温、耐压性较差，易渗漏，处理量不大。

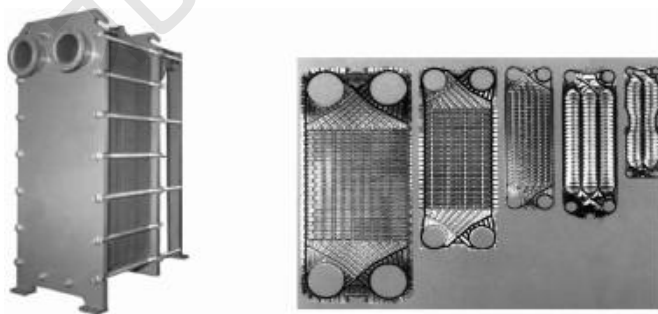


图 2-3-3 薄板式换热器

(3) 夹套式换热器在容器的外壁安装有夹套，夹套与器壁之间形成的密闭空间为流体的通道，冷、热流体的换热是通过容器的壁面进行的。如图 2-3-4 所示。

由于夹套换热面积受设备表面积限制和传热系数不高，夹套式换热器难以达到工艺要求，因此它常会和其他换热装置联合，比如反应釜外壁设置夹套，内部设置蛇管。

(4) 其他间壁式换热器。化工生产中间壁式换热器还有喷淋式换热器、沉浸式换热器、套管式换热器等。

喷淋式换热器是将蛇管成排地固定于钢架上，被冷却的流体在管内流动，冷却水由管上方的喷淋装置中均匀淋下，蛇管内、外的两种流体进行热交换。如图 2-3-5 所示。

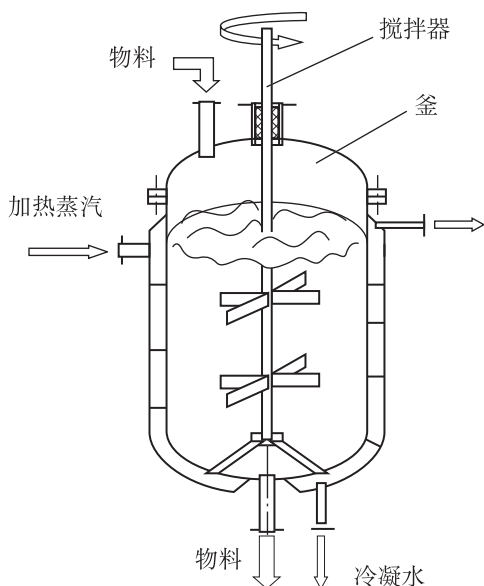


图 2-3-4 夹套式换热器原理示意图

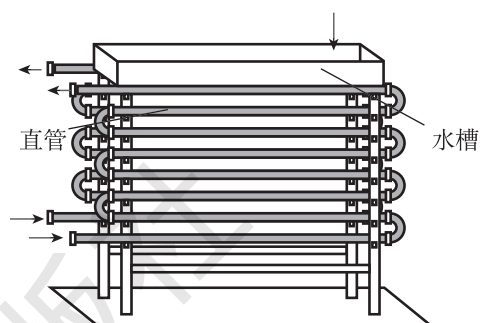


图 2-3-5 喷淋式换热器结构示意图

沉浸式换热器结构如图 2-3-6 所示，以金属管子绕成各种与容器相适应的形状，并沉浸在容器内的液体中。

套管式换热器是由两根直径不同的管子套在一起连接成同心套管，每一段套管称为一程，内管用 U 形弯道顺次连接，外管之间用法兰连接。如图 2-3-7 所示。



图 2-3-6 沉浸式换热器结构

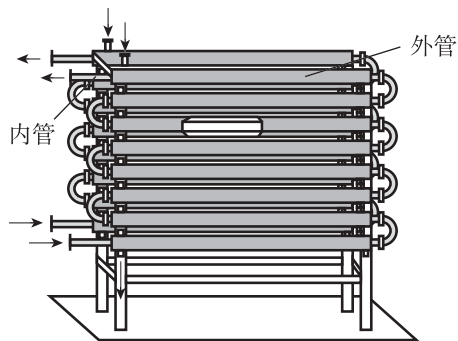


图 2-3-7 套管式换热器

这些间壁式换热器利用间壁进行热交换，冷、热两种流体相互隔开，互不接触，所以应用最为广泛。

(二) 按换热器的用途分类

- (1) 加热器。用于把流体加热到所需温度，被加热流体在加热过程中不发生相变。
- (2) 预热器。用于流体的预热。

- (3) 过热器。用于加热饱和蒸汽，使其达到过热状态。
- (4) 蒸发器。用于加热液体，使之蒸发汽化。
- (5) 再沸器。是蒸馏过程的专用设备，用于加热已冷凝的液体，使之再受热汽化。
- (6) 冷却器。用于冷却流体，使之达到所需温度。
- (7) 冷凝器。用于冷凝饱和蒸汽，使之放出潜热而凝结液化。

(三) 按换热器的传热面形状和结构分类

(1) 管式换热器：分为列管式换热器、套管式换热器、蛇管式换热器和翅片管式换热器等。

(2) 板式换热器：分为平板式换热器、螺旋板式换热器、板翅式换热器和热板式换热器等。

(3) 特殊形式换热器：有回转式换热器、热管式换热器、同流式换热器等。

(四) 按换热器所用材料分类

(1) 金属材料换热器：常用金属材料有碳钢、合金钢、铜及铜合金、铝及铝合金、钛及钛合金等。

(2) 非金属材料换热器：该类换热器主要用于具有腐蚀性的物料。

知识拓展 >>

热量传递的方式与传递速率：

(1) 热量传递有热传导、对流传热和辐射传热三种基本方式。热传导依靠物质的分子、原子或电子的移动或（和）振动来传递热量，流体中的热传导与分子动量传递类似。对流传热依靠流体微团的宏观运动来传递热量，所以它只能在流体中存在，并伴有动量传递。辐射传热是通过电磁波传递热量，不需要物质作媒介。

在实际生产过程中，往往是几种传热方式同时存在。如高温炉膛内热量向管壁的传递主要依靠热辐射，但对流和热传导也起一定作用。又如间壁式换热器中，热流体先依靠对流传热和热传导将热量传至热侧壁面，随即依靠热传导传至冷侧壁面，最后依靠对流传热和热传导将热量传给冷流体。

(2) 换热器传热强化通常使用的手段包括三类：扩展传热面积（ F ）、加大传热温差、提高传热系数（ K ）。增强换热器传热效果最积极的措施就是设法提高设备的传热系数（ K ）。读者可以自己查阅资料了解提高传热系数（ K ）的其他方法。

二、换热器的性能特点

在化工生产中，对换热器有以下基本要求：

1. 满足工艺要求

能满足温度、流量、压力等生产工艺指标的要求；换热器的主体材质及密封垫片不与物料反应、不被腐蚀；可长期稳定地运行。

2. 强度可靠

换热器要求强度可靠，密封性、耐蚀性有一定保障。设计压力、设计温度、材质选择、结构特点、设备密封等应该满足设备运行安全要求。

换热器设计还应该综合考虑并满足以下要求：结构简单，加工容易，一次投资费用合理；换热效率高，操作简单快捷，拆装维护方便；能量与资源消耗合理。另外，特殊使用场合，还要求设备结构紧凑，外形体积小巧。

习题与训练

1. 换热器如何分类？
2. 列举几种间壁式换热器。
3. 设计与制作换热器时，应该考虑哪些因素？

子任务二 认识列管式换热器

一、列管式换热器的结构

列管式换热器是目前化工生产上应用最广的一种换热器。它主要由壳体、管板、换热管、封头、折流板等组成。如图 2-3-8 所示。可采用普通碳钢、紫铜或不锈钢制造。

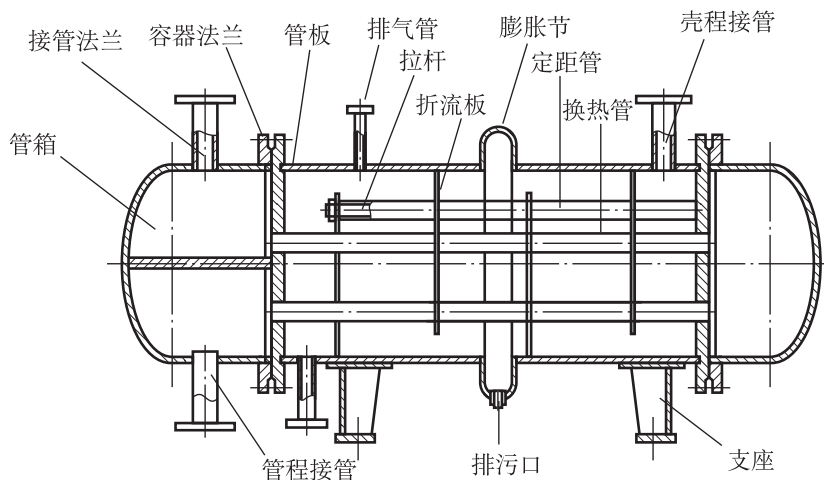


图 2-3-8 列管式换热器结构图

列管式换热器是把换热管束与管板连接后,再用筒体与管箱包起来,形成两个独立的空间——管程和壳程。在进行换热时,一种流体由封头的连接管处进入,在管中流动,从封头另一端的出口管流出,这称为管程;另一种流体由壳体的接管处进入,从壳体上的另一接管处流出,这称为壳程。

1. 管箱与壳体

列管式换热器的圆筒形壳体两端分别与管箱连接,形成密闭容器。壳体与管箱上开设有物料与传热介质的进出管口。

管箱即换热器的端盖,也叫分配室,其作用是将进入管程的流体均匀分布到各换热管,另一端管箱则把管内流体汇集在一起送出换热器。在多管程换热器中,管箱还可通过设置隔板起分隔作用。压力较低时可采用平盖,压力较高时则采用凸形盖。

管箱、管板、圆筒形壳体常用法兰或焊接法相连接。法兰连接检修时可拆下管箱对管子进行清洗或更换。

2. 管束与管板及其连接

管板是管壳式换热器中的一个重要零部件,它的作用是固定管束,连接壳体和端盖,分隔管程、壳程空间,避免冷、热流体的混合。如图 2-3-9 所示。



图 2-3-9 管板与管束

(1) 换热管

换热管是管壳式换热器的传热元件,主要通过管壁的内、外面进行传热,所以换热管的形状、尺寸和材料对传热有很大的影响。

换热管直径越小,换热器单位体积的传热面积越大,换热气结构越紧凑。因此,对于洁净的流体,管径可取得小些。但对于不洁净且易结垢的流体,管径应取得大些,以免堵塞。考虑到制造和维修的方便,加热管的规格不宜过多。

①换热管形式。有光滑管和强化传热管两种。光滑管因为结构简单,制造容易,使用较多。强化传热管包括翅片管(在给热系数低侧)、螺旋槽管、螺纹管等。

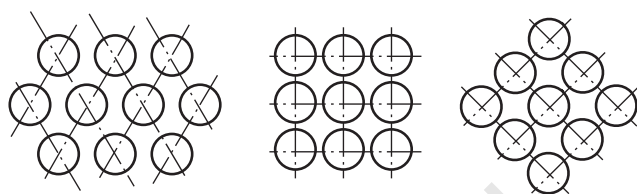
②换热管规格。目前我国试行的系列标准规定采用 $\phi 25 \times 2.5$ 和 $\phi 19 \times 2$ 两种规格,

对一般流体是适应的。此外，还有 $\phi 57 \times 2.5$ 的无缝钢管和 $\phi 25 \times 2$ 的耐酸不锈钢管。标准管长为：1.0 m、1.5 m、2.0 m、2.5 m、3.0 m、4.5 m、6.0 m、7.5 m、9.0 m、12.0 m 等。

③换热管材质。可以采用金属或者非金属加工制作。黑金属：碳素钢、低合金钢、不锈钢等；有色金属：铜、铜镍合金、铝合金、钛合金等；非金属：石墨、陶瓷、聚四氟乙烯等。

(2) 换热管在管板上的排列方法

其排列方法有正三角形排列、正方形直列和错列排列。如图 2-3-10 所示。



(1) 正三角形排列 (2) 正方形直列 (3) 正方形错列

图 2-3-10 换热管的排列方式

正三角形排列使用最普遍（图 2-3-11）。这是因为在正三角形排列方式下，同一管板上可以排列较多的管子，且管外传热系数较高，但管外不宜用机械清洗。适用于壳程流体较清洁、不需经常清洗管壁的情况。

正方形排列的传热管数虽然较正三角形排列得少，传热系数也较低，但便于在管外表面进行机械清洗。当管子外表面需用机械清洗时，采用正方形排列。

(3) 换热管与管板的连接（图 2-3-12）

其连接方法有胀接、焊接、胀焊接结合等。

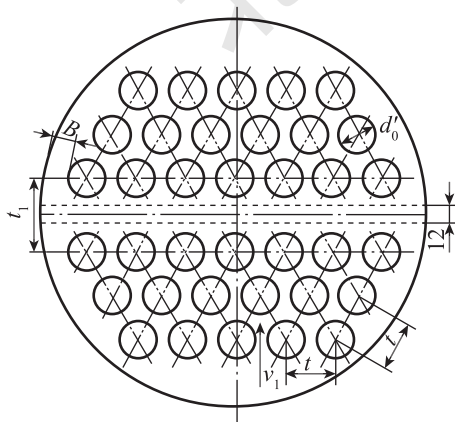


图 2-3-11 正三角形排列的管板



图 2-3-12 换热管与管板的连接

(4) 管板与壳体的连接方式

其连接方式分为可拆式与不可拆式两类。固定管板式换热器的管板与壳体间采用不可拆的焊接连接，而浮头式、U 形管式和填料函式换热器的管板与壳体间的连接采

用可拆式连接。

3. 折流板和支承板

为提高壳程流体流速，往往在壳体内安装一定数目的与管束相互垂直的折流挡板。折流挡板不仅可防止流体短路、增加流体流速，还迫使流体按规定路径多次错流通过管束，使湍动程度大为增加。

折流板有横向折流板和纵向折流板两类，单壳程的换热器仅需设置横向折流板，多壳程换热器不但需要设置横向折流板，而且需要设置纵向折流板将换热器分为多壳程结构。横向折流板兼有支承传热管，防止产生振动的作用。

常用的形式有圆缺形折流板和圆盘/圆环形折流板（图 2-3-13）。圆缺形折流板结构简单，性能优良，最为常用。

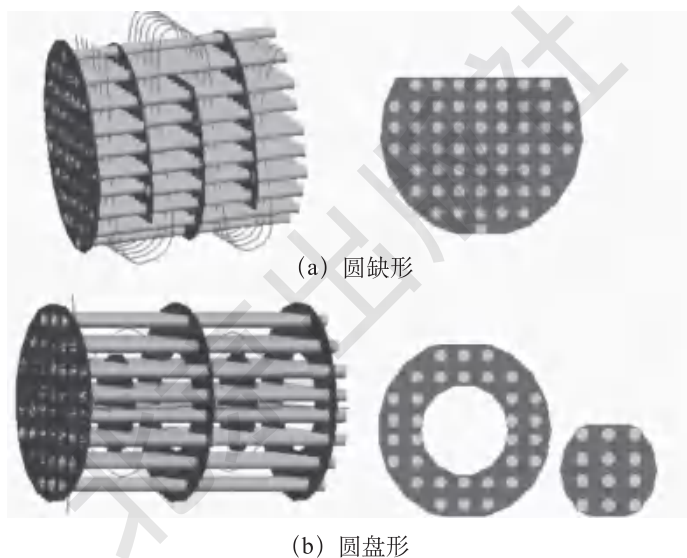


图 2-3-13 折流板

当工艺上无折流板要求而管子较细长时，应考虑有一定数量的支承板，以便安装和防止管子变形；支承板的尺寸、形状可与折流板相同。

4. 防冲挡板

在壳程进口接管处装有防冲挡板，可防止进口流体直接冲击管束而造成管子的侵蚀、管束的振动，还有使流体沿管束均匀分布的作用。

一般当壳程介质为气体和蒸汽时，应设置防冲挡板。对于液体物料，则以其密度和入口管内流速平方的乘积来确定是否设置防冲挡板。

5. 膨胀节

换热器在操作时，由于冷、热流体温度不同，使壳体和管壁的温度互有差异。这

种差异会导致壳体和管子的不同热膨胀，可能将管子扭弯，或将管子从管板上拉松。换热器壳体上设计膨胀节可以进行一定程度的补偿。常见膨胀节的形状如图 2-3-14 所示。

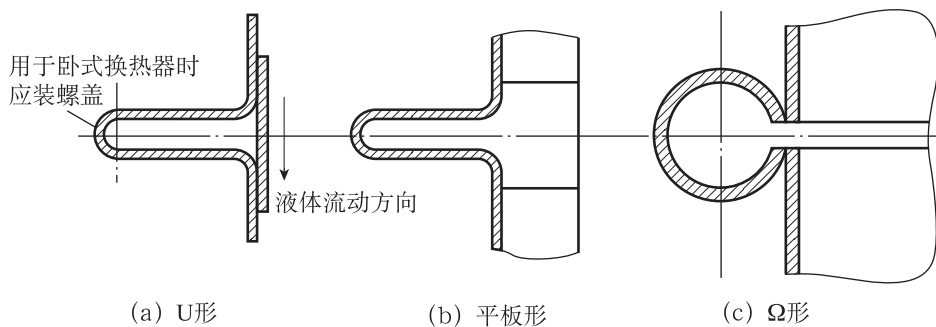


图 2-3-14 常见膨胀节的形状

6. 支座

列管式换热器有卧式和立式两种安装方式。卧式安装采用双鞍式支座，立式安装多采用鞍式支座或者耳式支座。如图 2-3-15 所示。

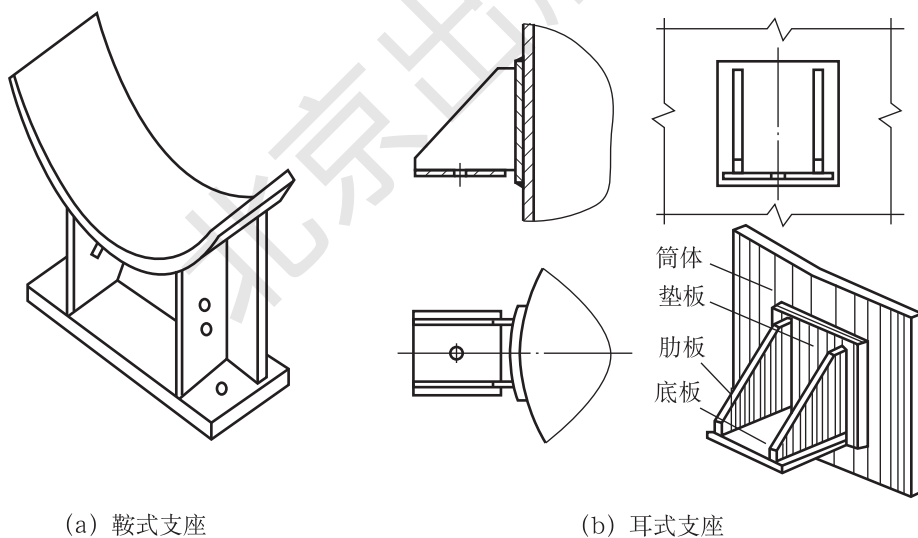


图 2-3-15 鞍式支座与耳式支座

7. 排液孔与排气孔

换热器壳程与管程的最高点要设排气孔，以备试压时排除气体。在最低点要设排液孔，以充分排除残液。

二、列管式换热器的类型

根据结构特点的不同，列管式换热器可以分为固定管板式换热器、浮头式换热器、U形管式换热器、填料函式换热器。

1. 固定管板式换热器

(1) 结构特点：固定管板式换热器的管子、管板和壳体刚性地连在一起。壳体上加入热补偿原件——膨胀节。如图 2-3-16 所示。

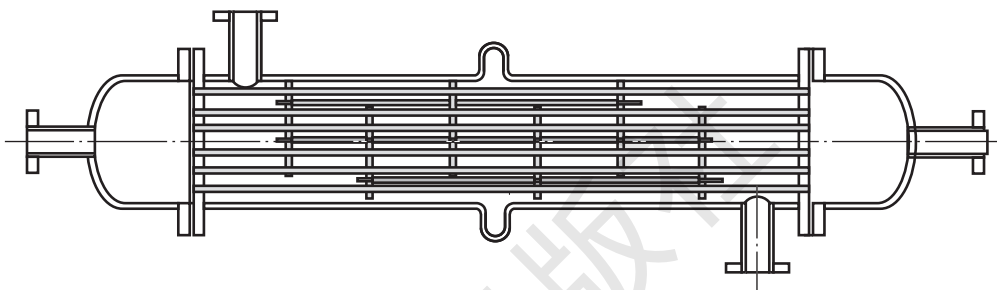


图 2-3-16 固定管板式换热器

(2) 优点：结构简单、紧凑，能承受较高的压力，造价低，管程清洗方便，管子损坏时易于堵管或更换。

(3) 缺点：不易清洗壳程，壳体和管束中可能产生较大的热应力。要求冷热流体温差不能太大（ $< 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）。

(4) 适用场合：适用于壳程介质清洁、不易结垢、管程需清洗以及温差不大或温差虽大但是壳程压力不大的场合。

2. 浮头式换热器

(1) 结构特点：浮头式换热器的一端管板与壳体固定连接，另一端则不与壳体连接，用一较小的端盖或管箱单独密封，称为浮头。如图 2-3-17 所示。

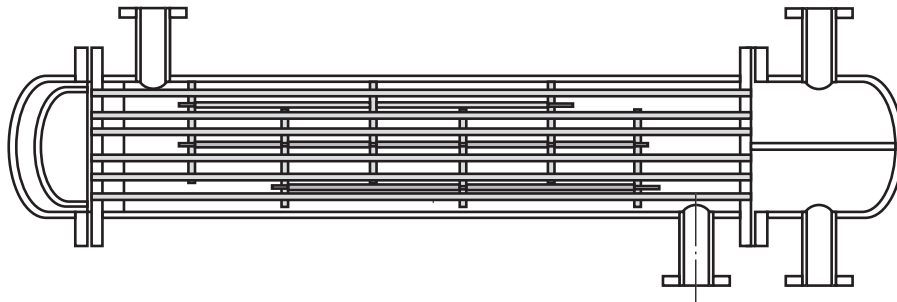


图 2-3-17 浮头式换热器

(2) 优点：管内和管间清洗方便，不会产生热应力。

(3) 缺点：结构复杂，设备笨重，造价高，浮头端小盖在操作中无法检查，密封要求严格，泄漏量不大时不易察觉。

(4) 适用场合：适用于壳体和管束之间壁温相差较大或介质易结垢的场合。

3. U形管式换热器

(1) 结构特点：U形管式换热器每根管子都弯成U形，进、出口分别安装在同一管板的两侧，封头用隔板分成两室，这样每根管子可以自由伸缩，而与其他管子和壳体均无关。如图2-3-18所示。

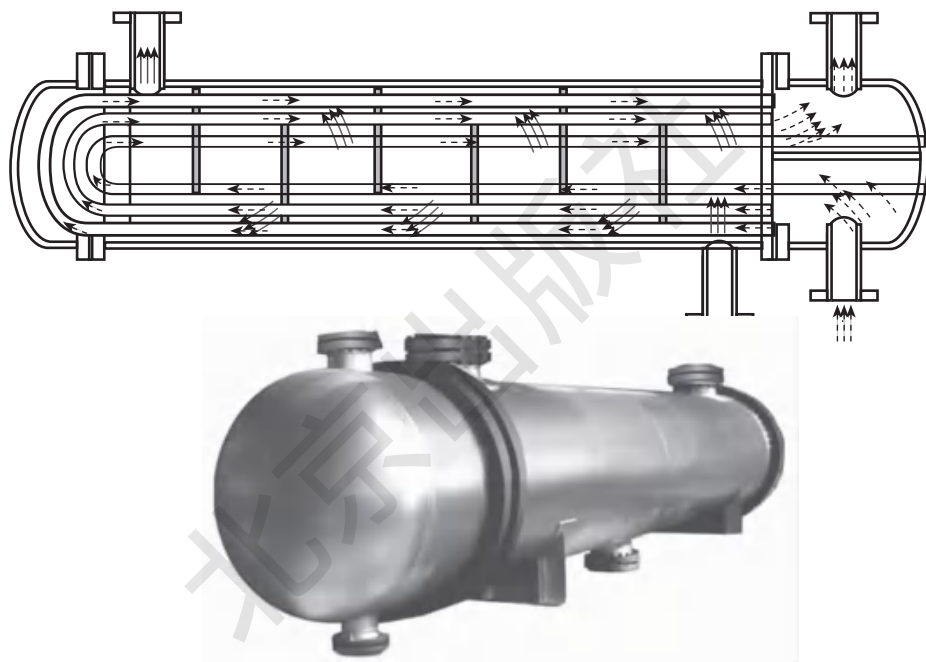


图 2-3-18 U形管式换热器

(2) 优点：结构简单，价格便宜，承受能力强，不会产生热应力。

(3) 缺点：布管少，管板利用率低，管内清洁困难，管子坏时不易更换。

(4) 适用场合：特别适用于管内易清洁而不易结垢的高温、高压场合。

4. 填料函式换热器

(1) 结构特点：填料函式换热器是将浮头式换热器的浮头移到壳体外边，浮头与壳体之间采用填料函进行密封。如图2-3-19所示。

(2) 优点：结构简单，加工制造方便，造价低，管内和管间清洗方便。

(3) 缺点：填料处易泄漏。

(4) 适用场合：适用于4 MPa以下场合，且不适用于易挥发、易燃、易爆、有毒

及贵重介质，使用温度受填料的物性限制。

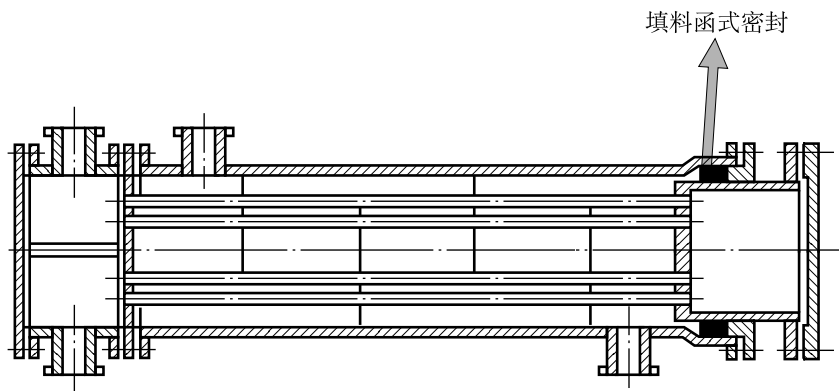


图 2-3-19 填料函式换热器

以上 4 种列管式换热器的优缺点如下所示：

各种列管式换热器的优缺点对照表

列管式换热器的种类	优点	缺点
固定管板式	结构较简单，造价较低，相对其他列管式换热器其管板最薄	管外清洗困难； 管壳间有温差应力存在； 当两种介质温差较大时必须设置膨胀节
浮头式	一端管板固定，另一端管板可在壳体内移动；管壳间不产生温差应力；管束可抽出，便于清洗	结构较复杂，金属耗量较大； 浮头处发生内漏时不便检查； 管束与管体间隙较大，影响传热
U 形管式	只有一个管板；管程至少为两程；管束可以抽出清洗；管子可自由膨胀	管内不便清洗； 管板上布管少，结构不紧凑，管外介质易短路，影响传热效果； 内层管子损坏后不易更换
填料函式	管束一端可自由膨胀；造价比浮头式低；检修、清洗容易；填料处泄漏能及时发现	壳程内介质有外漏的可能； 壳程中不宜处理易挥发、易燃、易爆、有毒的介质

习题与训练

1. 列管式换热器有卧式和立式两种安装方式。卧式安装采用_____支座，立式安装多采用_____支座。
2. 列管式换热器主要由_____、_____、_____、_____、_____等组成。
3. 对于列管式换热器，什么是管程？什么是壳程？
4. 列管式换热器中的折流板有什么作用？有哪些结构形式的折流板？
5. 列管式换热器根据结构特点的不同分为哪几种类型？了解它们的结构特点后，

谈谈怎么选型。

子任务三 认识传热过程的强化及换热器运行

一、传热过程的强化途径

强化传热指的是用较小的设备传递较多的热量，也就是说要使热交换器单位传热面积的传热速率 Q 越大越好。随着科学的发展，对换热设备的要求也越来越高，要求它能适应很高的热通量，或者能适应很低的传热温差。因此提高设备的换热能力，研制新型的高效率的热交换器，是工业生产的一个重要课题。

由总传热方程 $Q = KA\Delta t_m$ 可知，增大传热总系数 K 、传热面积 A 或传热平均温度差 Δt_m ，都能使传热速率 Q 增加。因此，强化传热的措施要从这三个方面来考虑。

1. 增大传热面积 A

传热速率与传热面积成正比，传热面积增加可以使传热强化。需要注意的是，只有热交换器单位体积内传热面积增大，传热才能强化。这只有改进传热面结构才能做到。例如，采用小直径管，或采用翅片管、螺纹管等代替光滑管，可以提高单位体积换热器的传热面积。我国浮头式热交换器系列由 $\phi 25$ 管改为 $\phi 19$ 管后，在壳径 $D = 500 \sim 900$ mm 时，传热面积可增加 42%，单位传热面积的金属消耗量可降低 21% ~ 31%。一些新型的热交换器，如象板式、翅片式热交换器在增大传热面积方面取得了较好的效果。列管式热交换器每立方米的传热面积为 $40 \sim 160$ m²；而板式热交换器每立方米能布置的传热面积为 $250 \sim 1500$ m²；板翅式更高，一般能达到 2500 m²，高的可达 4350 m² 以上。

2. 增大传热温度差 Δt_m

增大传热温度差是强化传热的方法之一。传热温度差主要是由物料和载热体的温度决定的，物料的温度由生产工艺决定，不能随意变动，载热体的温度则与选择的载热体有关。载热体的种类很多，温度范围各不相同，但在选择时要考虑在技术上可行和经济上合理。例如，水蒸气是工业上常用的加热剂，如前所述，水蒸气有许多优点，但水蒸气作为加热剂使用其温度通常不超过 180 °C。蒸汽温度到 200 °C 时，温度每上升 2.5 °C 就要提高一个大气压，到 250 °C 时，温度每上升 1.3 °C 就要提高一个大气压。使用高压蒸汽会使设备庞大，技术要求高，经济效益低，安全性下降。因此，当加热温度超过 200 °C 时，就要考虑采用其他加热剂，如矿物油、联苯混合物，甚至采用熔盐、液态金属等。由于载热体的选择受到一些条件的限制，因此，温度变化的范围是有限的。

如果物料和载热体均为变温情况，则可采用逆流操作，这时，可获得较大的传热

温度差。

3. 增大传热总系数 K

强化传热时主要是增大 K 值，从其计算式 $K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{b}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$ 可以看出，要提高

K 值就必须减小各项热阻，而且应该从热阻最大处着手。若内、外侧垢层为主要热阻时，应设法阻止或减小垢层的生成，或采取定期清洗等措施。若两侧的对流给热系数相差很大，应把重点放在提高较小的 α 值方面。若两侧的给热系数都比较小时，则应设法使两个 α 值同时提高。

对于在传热过程中无相变化的流体，增大流速和改变流动条件都可以增加流体的湍动程度，从而提高对流给热系数。例如增加列管换热器的管程数和壳体中的挡板数，使用翅片管换热器，以及在板式换热器中压制各种沟槽等；但同时应考虑到对于流动阻力和清洗、检修等方面的影响。

此外，采用导热系数较大的流体以及传热过程中有相变化的载热体，都可以获得较高的 α 值。

总之，强化传热的途径是多方面的，在具体实施过程中，要结合实际生产情况，采取经济合理的措施。

此外，在某些特殊的场合，则是与强化传热相反，是怎样削弱传热，又称为保温或热绝缘。例如蒸汽输送管需在管外壁包扎保温层，开水瓶需采用多种保温绝热措施等。在一般的情况下，大部分削弱传热的措施是增大热阻，采用 λ 数值很小的材料做保温层，如石棉、软木、聚氨酯材料等。

二、管壳式换热器的常见故障及排除方法

管壳式换热器在使用的过程中，最容易发生故障的是作为换热元件的管子。流体对管束的冲刷、腐蚀，都可能造成管子的损坏。因此在日常的维护中应经常对换热器进行检查，以便及时发现故障，并采取相应的措施进行修理。管壳式换热器的常见故障有管子振动、管壁积垢、腐蚀与磨损、介质泄漏等。

1. 管子的振动与防振措施

管壳式换热器中管子产生振动是一种常见故障。

引起振动的原因：管束与泵、压缩机产生的共振；由于流速、管壁厚度、折流板间距、管束排列等综合因素的影响而引起的振动；流体横向穿过管束时产生的冲击；等等。

振动严重，可能产生的结果：相邻管子或管子与壳体间发生碰撞；使管子 and 壳壁

受到磨损而开裂；管子撞击折流板而被切断；管端与管板连接处松动而发生泄漏；管子发生疲劳破坏；壳程流体流动阻力增大，等等。

当换热管发生振动时，应针对振动产生的不同原因采取不同的对策。

常用的方法：在流体入口处前设置缓冲措施防止脉冲；折流板上的孔径与管子外径间隙尽量减小；减小折流板间隔，使管子振幅变小；加大管壁厚度和折流板厚度，增加管子刚性；等等。

2. 管壁积垢

由于换热器操作中所处理的流体，有的是悬浮液，有的夹带有固体颗粒，有的黏结物含量高，有的含有泥沙、藻类等杂质。随着使用时间的延长，在换热管的内、外表面上会产生积垢。

积垢引起的故障：总导热系数下降，传热效率降低；换热管的管径因积垢而减小，流体通过管内的流速增加，造成压力损失增大；积垢导致管壁腐蚀，腐蚀严重时，造成管壁穿孔，两种流体混合而破坏正常操作。

对积垢采取的措施：加强巡回检查，了解积垢的程度；对某些可净化的流体，在进入换热器前进行净化（如水处理）；对于易结垢的流体，应采用容易检查、拆卸和清洗的结构；定期进行污垢的清除；等等。

3. 管子的泄漏

管子发生泄漏的主要原因：介质的冲刷引起的磨损导致管壁破裂；介质或积垢腐蚀穿孔；管子振动引起管子与管板连接处泄漏。

管子有泄漏现象时，采取的措施视泄漏管数的多少而定。

如管束中仅有一根或数根管子泄漏，可采用堵塞的方法进行修理。即用做成锥形的金属材料塞在管子两端打紧焊牢，将损坏的管子堵死不用。金属材料的硬度应低于管子材料的硬度。金属锥塞的锥度一般为 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 。采用堵管的方法解决管子泄漏现象简单易行，但堵管总数不得超过总管数的10%，否则将对传热效果产生较大影响。

发生泄漏的管子较多时，应采用更换管子的方法进行修理。更换管子时，首先采用钻孔、铰孔或錾削的方法拆除已损坏的管子。拆除管子时，应注意不要损坏管板的孔口，以便更新管子时，使管子与管板有较严密的连接。然后采用胀接或焊接的方法将新管连接在管板上。

习题与训练

1. 由总传热方程_____可知，增大_____、_____、_____都能使传热速率 Q 增加。

2. 管壳式换热器的常见故障有_____等。

3. 换热管发生泄漏的主要原因有哪些？

任务四 认识塔设备

塔设备是化工、炼油生产中最重要设备之一。因其高度明显大于直径，截面是圆形，外形像塔而形象地被统称为“塔设备”。塔设备常用使气体与液体、气体与固体、液体与液体或液体与固体密切接触，并促进其相互作用，以完成化学工业中的热量传递和质量传递过程。

下面将学习塔设备的应用、分类、结构特征，以及塔设备的操作与维护的基本方法。

子任务一 认识塔设备的分类及作用

塔设备（图 2-4-1）指化工生产过程中可提供气、液或液、液两相之间进行直接接触机会，达到相际传质及传热目的，又能使接触之后的两相及时分开、互不夹带的设备。塔设备的外形特点是：体型高，长宽比大。



图 2-4-1 塔设备

塔设备是化工、炼油生产中最重要设备之一。常见的可在塔设备中完成的单元操作有精馏、吸收、解吸、萃取及气体的洗涤、冷却、增湿、干燥等。

一、分类

塔设备按操作压力分为：加压塔、常压塔和减压塔。

按作用分为：精馏塔、吸收塔、解吸塔、萃取塔、反应塔和干燥塔。

按形成相际接触面的方式分为：具有固定相界面的塔和流动过程中形成相界面的塔。

按塔的内件构成分为：板式塔和填料塔。如图 2-4-2 所示。

最常用的是按塔的内件构成来分的。

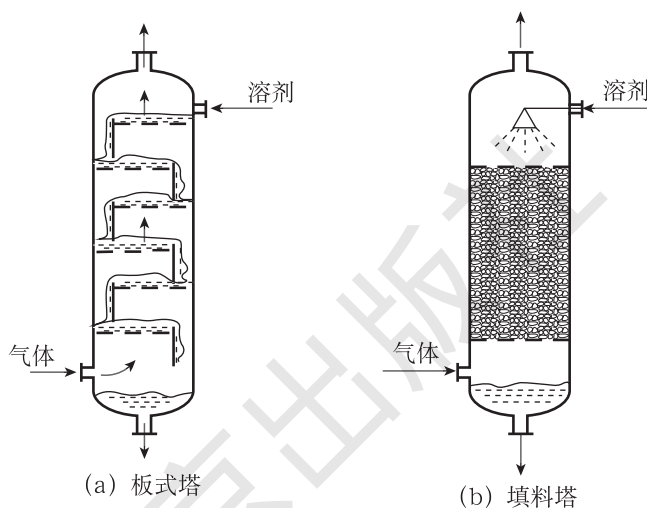


图 2-4-2 板式塔与填料塔内件结构示意图

二、按作用来分的各种塔的作用

(1) 精馏塔

使气、液两相充分接触，最终气、液两相得以分离。

(2) 吸收塔

使气体混合物和液体吸收剂充分接触，溶解度大的组分溶解于液体中，溶解度小的组分仍留在气相中，从而实现气体混合物的分离。

(3) 解吸塔

①把吸收剂中吸收的气体重新释放出来，获得高纯度的气体。

②使吸收剂释放了被吸收的气体，再返回吸收塔循环利用，节约操作费用。

(4) 萃取塔

将萃取剂加到要处理的液体混合物中，液体混合物中各组分在萃取剂中具有不同的溶解度，要分离的组分溶解在萃取剂中，其余的组分不溶，使混合液分离。

(5) 反应塔

通过反应塔的内部构件使气、液相和液、液相之间充分接触，进行质量传递和热量传递。

(6) 干燥塔

将料液在热气中喷成细雾，气、液两相接触面积大，雾滴在很短时间内被干燥成粉末。

(7) 凉水塔

利用吹进塔的风与由上洒下来的水形成对流，把热源排走，一部分水在对流中蒸发，带走了相应的蒸发潜热，从而降低水的温度。

三、认识塔设备的主要外部构件及作用

不论是填料塔还是板式塔，其基本结构（图 2-4-3）概括为：

(1) 塔体：包括圆筒、端盖和法兰连接等。

(2) 内件：指塔盘或填料及其支承装置。

(3) 支座：一般为裙座支座。

(4) 附件：包括人孔、进出料接管、各类仪表接管、液体和气体的分配装置以及塔外的扶梯、平台、保温层等。

1. 塔体

塔体即塔设备的外壳，常见的塔体由等直径、等厚度的圆筒及上下封头组成。

塔设备通常安装在室外，因而塔体除了承受一定的操作压力（内压或外压）、温度外，还要考虑风载荷、地震载荷、偏心载荷。此外还要满足在试压、运输及吊装时的强度、刚度及稳定性要求。

2. 支座

支座是塔体与基础的连接结构。因为塔设备较高、重量较大，为保证其有足够的强度及刚度，通常采用裙式支座（简称“裙座”）。裙座分为圆筒形和圆锥形两种，如图 2-4-4 所示。

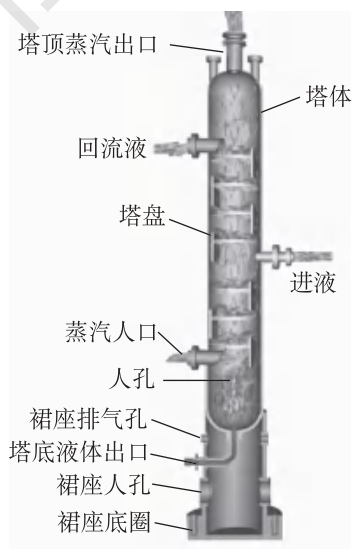


图 2-4-3 塔设备的基本结构

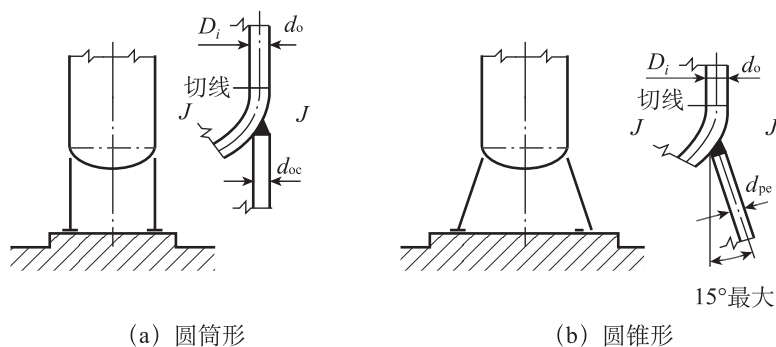


图 2-4-4 裙式支座

3. 人孔、手孔

为安装、检修、检查等需要，往往在塔体上设置人孔或手孔。不同的塔设备，人孔或手孔的结构及位置等要求不同。

4. 接管口

用于连接工艺管线，使塔设备与其他相关设备相连接。按其用途可分为进液管、出液管、回流管、进气出气管、侧线抽出管、取样管、仪表接管、液位计接管等。

5. 除沫器

用于捕集夹带在气流中的液滴。除沫器工作性能的好坏对除沫效率、分离效果都具有较大的影响。

6. 吊柱

安装于塔顶，主要用于安装、检修时吊运塔内件。

四、塔设备的基本要求

塔设备除了应满足工艺条件，如压力、温度及耐腐蚀性等方面的要求外，还应满足如下基本要求。

1. 生产能力大。即单位塔截面上单位时间内物料的处理量大。
2. 分离效率高。即气、液相能充分接触且分离效果好。
3. 操作弹性大。即有较强的适应性和较宽的操作范围，能适应不同性质的物料且在负荷波动时能维持操作稳定，仍有较高的分离效率。
4. 压降小。即流体通过时阻力小，这样可大大节约生产的动力消耗，降低成本。
5. 结构简单、耗材少，易于制造和安装，这样可以减少基建投资，降低成本。

6. 耐腐蚀, 不易堵塞, 便于操作、调节和检修。

一个塔设备要同时满足以上各项要求是很困难的, 而且实际生产中各项指标的重要性因具体情况而异, 不可一概而论。所以应从生产需要及经济合理性方面考虑, 正确处理以上各项要求。

习题与训练

1. 塔设备按塔的内件构成分为: _____和_____。
2. 不论是填料塔还是板式塔, 其基本结构大体包括: _____、_____、_____、_____、_____、_____六个部分。
3. 由于塔设备较高、重量较大, 为保证其有足够的强度及刚度, 通常采用_____支座。
4. 为_____的需要, 往往在塔体上设置人孔或手孔。

子任务二 认识板式塔

一、板式塔的原理与结构

气、液传质设备可分为两类: 其一是板式塔, 其二是填料塔。其功能是为混合物的气、液两相提供多级的充分、有效的接触与及时、完全分离的条件。在每级接触过程中进行传质, 然后进行分离。分离后再进行下一级的接触、传质与分离, 逐步实现混合物的分离。

板式塔工作原理: 在板式塔圆柱形的壳体内按一定间距水平设置若干层塔板, 液体靠重力作用自上而下流经各层板, 然后从塔底排出。各层塔板上保持有一定厚度的流动液层, 气体则在压强差的推动下, 自塔底向上依次穿过各塔板上的液层上升至塔顶排出。气、液两相在塔内逐板接触进行质、热交换, 两相的组成沿塔高呈阶跃式变化。

板式塔结构如图 2-4-5 所示。塔体为一圆式筒体, 塔体内装有多层塔板。塔板设有气、液相通道, 如筛孔及降液管、底隙、溢流堰等。

板式塔的主要构件:

(1) 塔体

塔体通常为圆柱体, 常用钢板焊接而成, 有时也将其分布为若干塔节, 塔节间用法兰盘连接。

(2) 溢流装置 (图 2-4-6)

①降液管: 使夹带气泡的液流进入降液管后具有足够的分离空间, 能将气泡分离出来, 从而达到仅有清液流往下层塔盘的目的。

结构形式可分为圆形降液管和弓形降液管两类。圆形降液管通常用于液体负荷低或塔径较小的场合, 弓形降液管适用于大液量及大直径的塔。

②受液盘：为了保证降液管出口处的液封，应在塔盘上设置受液盘。受液盘有平型和凹型两种。

③溢流堰及进口堰：溢流堰有保持塔盘板上一定高度液层和促使液流均匀分布的作用。采用平型受液盘时，为使上层塔板流入的液体能在塔盘上均匀分布，并为了减小入口液流的冲力，常在液体进口处设置进口堰。

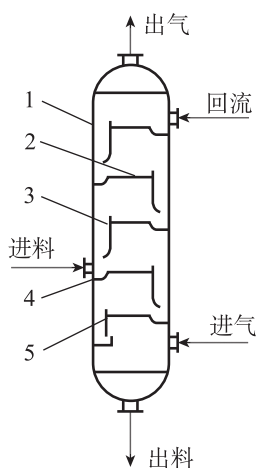


图 2-4-5 板式塔结构

1—塔壳体；2—塔板；3—溢流堰；
4—受液盘；5—降液管

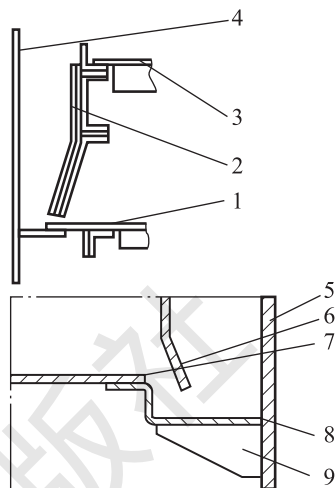


图 2-4-6 溢流装置

1、8—受液盘；2、6—降液盘；3、7—塔盘板；
4、5—塔壁；9—筋板

(3) 塔板

塔板是板式塔的核心构件，它的结构形式有很多种。下面具体展开学习。

二、塔板类型

板式塔的塔板常用的有泡罩形、筛板形、浮阀形、舌形及浮动舌形等。如图 2-4-7 所示。各种塔板都有其自身的特点和适用场合，现分述如下。

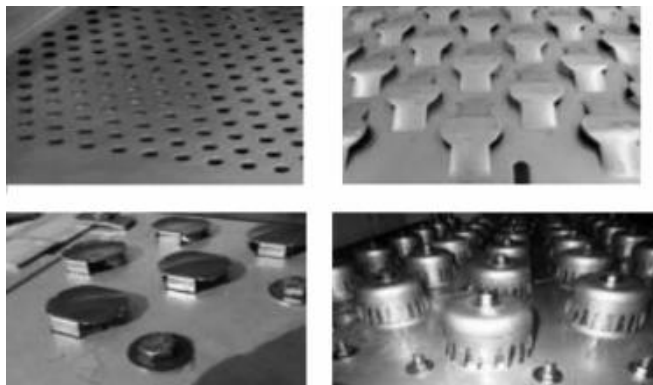


图 2-4-7 各种结构的塔板

1. 泡罩塔板

泡罩塔板如图 2-4-8 所示, 其传质元件为泡罩, 泡罩分圆形和条形两种, 多数选用圆形泡罩。其一般有 80 mm、100 mm、150 mm 三种直径, 泡罩边缘开有纵向齿缝, 中心装有升气管。升气管直接与塔板连接固定。塔板下方的气相进入升气管, 然后从齿缝吹出与塔板上液相接触进行传质。由于升气管的作用, 避免了低气速下的漏液现象。为此, 该塔板操作弹性、塔效率也比较高, 运用较为广泛。最大的缺点是结构复杂, 塔压降低时, 生产强度也降低, 造价高。



图 2-4-8 泡罩塔板

2. 筛板塔板

筛板塔板去掉泡罩和浮阀, 直接在塔板上, 按一定尺寸和一定排列方式开圆形筛孔, 作为气相通道。气相穿过筛孔进入塔板上液相, 进行接触传质。如图 2-4-9 所示。筛板塔板结构简单, 造价低廉, 塔板阻力小。

开始时由于对筛板塔性能缺乏了解, 操作经验不足, 认为筛板塔盘易漏液、操作弹性小、易堵塞, 使应用受到限制。后经研究和操作使用发现, 只要设计合理、操作适当, 筛板塔仍可满足生产所需要的弹性, 而且效率较高。若将筛孔增大, 堵塞问题也可解决。目前, 筛板塔板已发展为广泛应用的一种塔型。

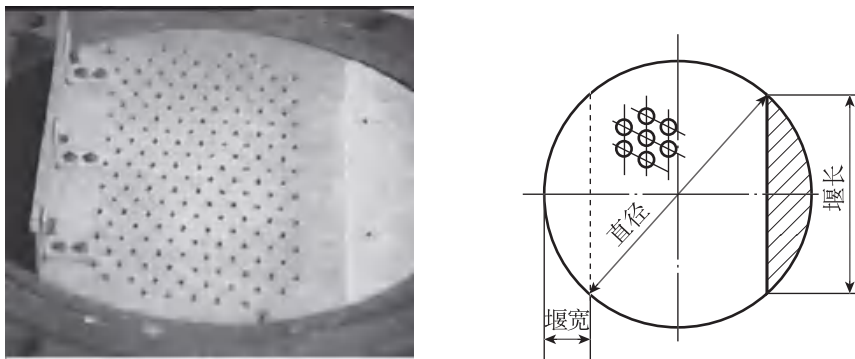


图 2-4-9 筛板塔板

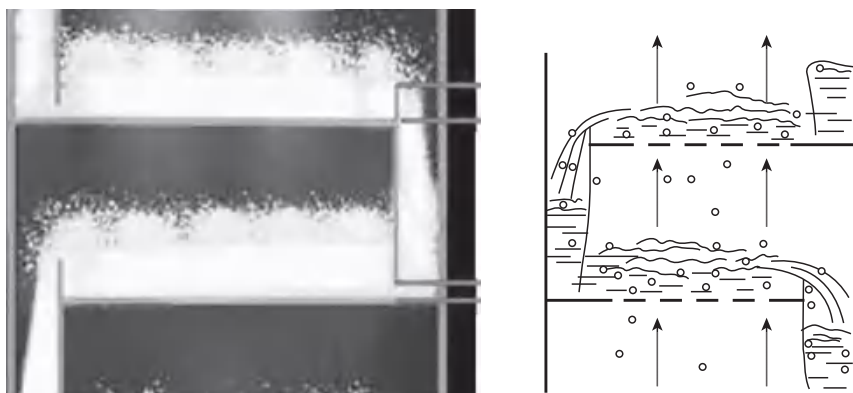


图 2-4-9 筛板塔板 (续)

3. 浮阀塔板

浮阀是第二次世界大战后开始研究, 20 世纪 50 年代开始启用的一种新型塔板, 后来又逐渐出现各种形式的浮阀, 其形式有圆形、方形、条形及伞形等。较多使用圆形浮阀, 而圆形浮阀又分为多种形式, 如图 2-4-10 所示。

浮阀取消了泡罩塔的泡罩与升气管, 改在塔上开孔, 阀片上装有限位的三条腿, 浮阀可随气流的变化上、下自由浮动, 提高了塔板的操作弹性, 降低了塔板的压降, 同时具有较高的塔板效率, 在生产中得到广泛的应用。

4. 舌形及浮动舌形塔板

在塔板上冲出若干按一定距离排列的舌形孔, 舌片向上张角 α 以 20° 左右为宜, 结构简单。如图 2-4-11 所示。

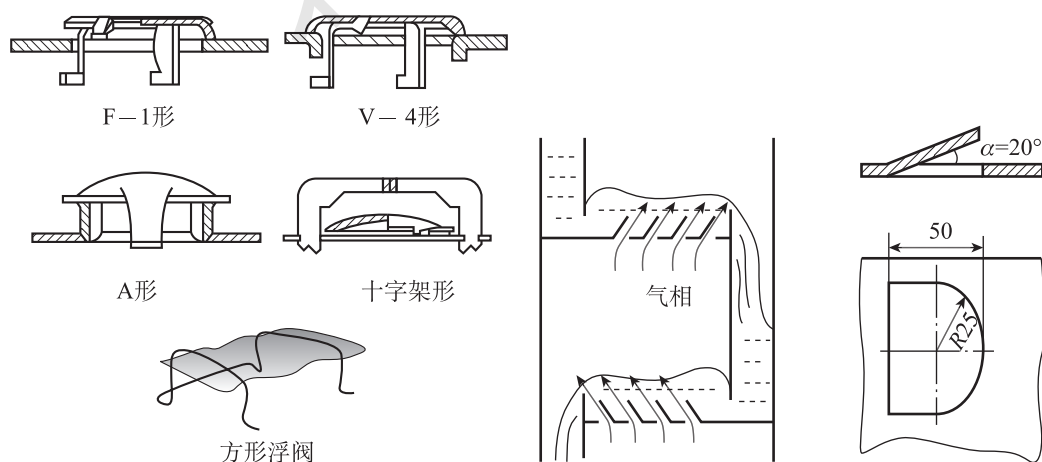


图 2-4-10 浮阀

图 2-4-11 舌形塔板

优点: 气流由舌片喷出并带动液体沿同方向流动。气、液并流避免了返混和液面落差, 塔板上液层较低, 塔板压降较小。气流方向近于水平。相同的液气比下, 舌形

塔板的液沫夹带量较小，故拥有较高的生产能力。

缺点：张角固定，在气量较小时，经舌孔喷射的气速低，塔板漏液严重，操作弹性小。液体在同一方向上加速，有可能使液体在板上的停留时间太短、液层太薄，板效率降低。

为使舌形塔板适应低负荷生产，提高操作弹性，研制出了可变气道截面（类似于浮阀塔板）的浮舌塔板（图 2-4-12）。

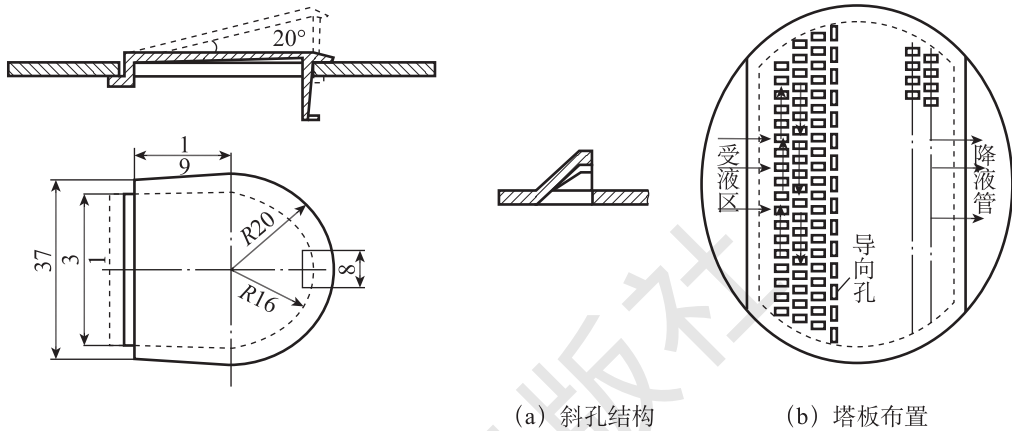


图 2-4-12 浮动舌形塔板

在舌形塔板上发展的斜孔塔板，斜孔的开口方向与液流垂直且相邻两排开孔方向相反，既保留了气体水平喷出、气液高度湍动的优点，又避免了液体连续加速，可维持板上均匀的低液面，从而既能获得大的生产能力，又能达到好的传质效果。

除以上介绍的塔形外，还有其他多种形式的塔板，如网孔塔板、垂直筛孔塔板、多降液管塔板、林德筛板、无溢流栅板和筛板等。各种结构形式塔板的性能比较如下。

各种结构形式塔板的性能比较

塔板形式	相对处理能力	相对效率	相对造价	操作特性	塔板阻力	结构特性
圆形泡罩	1	1	1	操作稳定，液体不易泄漏，操作弹性大。但液面落差大，雾沫夹带较大	气体拐弯多，阻力大	结构复杂，安装检修不便
筛板形	1.2 ~ 1.3	1	1/2	操作弹性较泡罩的小，在蒸汽负荷小时，液体易泄漏	阻力小	结构简单，但处理脏物料时容易堵塞
浮阀形	1.2	1 ~ 1.1	2/3	气体水平吹出，气体接触时间长，雾沫夹带比泡罩的少。操作弹性大，但在低气速下，效率不如泡罩	阻力较泡罩小，较舌形大	结构简单，但阀片易被卡住、黏住或锈住，不能自由活动
舌形	1.2 ~ 1.4	0.8 ~ 0.9	1/2	操作弹性小，在低气速下，液体易泄漏	阻力小	结构简单

续表

塔板形式	相对处理能力	相对效率	相对造价	操作特性	塔板阻力	结构特性
浮动舌形	1.2 ~ 1.4	0.8 ~ 0.9	—	操作弹性较大, 但操作易波动	阻力小	结构简单, 但也容易被卡住, 不能自由活动

三、板式塔的辅助设备及其作用

板式塔的辅助设备如图 2-4-13 所示。

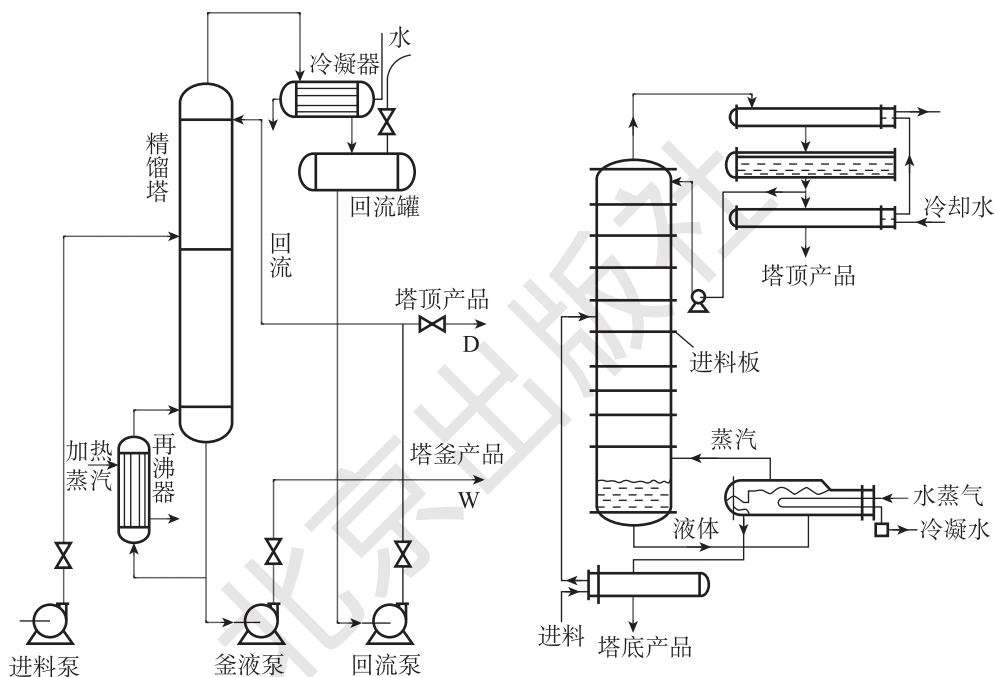


图 2-4-13 板式塔的辅助设备

1. 塔底溶液再沸器（又称塔釜加热器、循环蒸发器）

再沸器的作用：将塔内最下面的一块塔板流下的液体进行加热，使其中一部分液体发生汽化变成蒸汽重新流入塔，以提供塔内上升的气流，来保证塔板上气液两相的稳定传质。

2. 料液预热器

一般为列管换热器，其作用是将原料液加热到一定温度。

3. 塔顶蒸汽冷凝器

使塔顶上升的蒸汽冷凝成为液体。将一部分冷凝液回流入塔，以提供塔内下降的

液流，使其与上升气流进行逆流传质接触；另一部分作为溜出液采出。

4. 产品冷却器

将最后的产品冷却到一定温度。

四、板式塔的操作

1. 塔板上的异常操作现象

塔板的异常操作现象包括雾沫夹带、气泡夹带、漏液、液泛等，是使塔板效率降低甚至使操作无法进行的重要因素。因此，应尽量避免这些异常操作现象的出现。

(1) 雾沫夹带

气、液两相在塔盘上以鼓泡形式接触后，气体穿出液层时总不免带有许多细微的液滴，有的来不及分离出来就被带到了上一层的塔盘液体中，这种现象称为雾沫夹带。

被带上去的少量液滴所含的重组分比上一层塔盘上液体所含的重组分要多，降低了塔盘的分馏效率。极少量的雾沫夹带是避免不了的，也是允许的，但当气相负荷增加，塔内气速增加，雾沫夹带量就增加。一般认为当气体中夹带液体的质量超过上升气体的 10% 时为严重雾沫夹带，此时的气相负荷定为塔的气相负荷上限，在操作负荷性能图上对应的曲线称为雾沫夹带线。产生严重雾沫夹带，使塔不能正常操作，塔盘效率大大降低，这是不允许的。减少雾沫夹带的主要措施是控制气相负荷，使其在允许范围内。另外，增大塔盘间距（一般须在 300 mm 以上），改进塔盘结构也可起到一定的效果。

(2) 气泡夹带

液体横向流过塔盘，与气体接触后由降液管流到下层塔盘。液体流入降液管时常有大量的气泡，在降液管中停留足够的时间，使泡沫分离成气体和清液，气体上升回到上层塔盘。如果液相负荷增加，液体在降液管中流速增加，停留时间很短，液体中夹带的气泡来不及分离就被带入下一层塔盘，这种现象称为气泡夹带。此时的液体负荷定为液相上限，在操作负荷性能图上对应的曲线称为气泡夹带线。严重的气泡夹带同样会降低塔盘的分离效率，所以也是不允许的。防止气泡夹带的主要措施是控制回流量。

(3) 漏液

液体在塔盘上横向流动并经降液管流入下一层塔盘。如果气相负荷过小，塔内气速很低，大量的液体由于重力的作用，从阀孔或舌形塔盘的舌孔直接漏到下一层塔盘，这种现象称为漏液。产生漏液时的气体负荷定为气相下限，在操作负荷性能图上对应的曲线称为漏液线。由于漏液使气、液两相没有充分接触，降低了塔盘的效率，所以

处理量应控制在允许范围内，不可随意减小。

(4) 液泛

在实际操作中，若气、液负荷都过大，降液管面积不够用，而气速又大，使液体也不能从阀孔或舌孔中漏下，致使液体流动发生堵塞，使几层塔盘上的液体连成一体，这种现象称为液泛。发生液泛时气、液相流速的关系线称为液泛线。液泛严重时，流体可从塔顶冒出。可通过加大降液管的截面积（但这使塔盘上排列的阀孔或舌孔、泡罩的数量减少，减小了气体的通过能力）、控制回流量、改进塔盘结构等方法来防止液泛的发生。

2. 塔板的负荷性能图

影响板式塔操作状况和分离效果的主要因素为物料性质、塔板结构及气液负荷，对一定的分离物系，当设计选定塔板类型后，其操作状况和分离效果便只与气液负荷有关。要维持塔板正常操作和塔板效率的基本稳定，必须将塔内的气液负荷限制在一定的范围内，该范围即为塔板的负荷性能。将此范围在直角坐标系中，以液相负荷 L 为横坐标，气相负荷 V 为纵坐标进行绘制，所得图形称为塔板的负荷性能图，如图 2-4-14 所示。

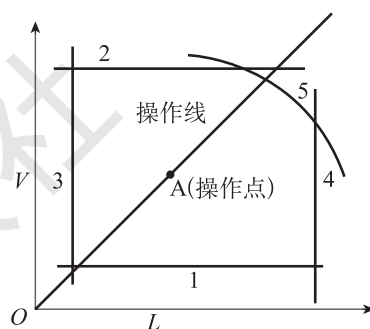


图 2-4-14 塔板负荷性能图

负荷性能图由以下五条线组成：

(1) 漏液线

图 2-4-14 中线 1 为漏液线，又称气相负荷下限线。当操作的气相负荷低于此线时，将发生严重的漏液现象。此时的漏液量大于液体流量的 10%。塔板的适宜操作区应在该线以上。

(2) 雾沫夹带线

图 2-4-14 中线 2 为雾沫夹带线，又称气相负荷上限线。如操作的气、液相负荷超过此线时，表明液沫夹带现象严重，此时液沫夹带量 $eV > 0.1 \text{ kg (液) / kg (气)}$ 。塔板的适宜操作区应在该线以下。

(3) 液相负荷下限线

图 2-4-14 中线 3 为液相负荷下限线。若操作的液相负荷低于此线时，表明液体流量过低，板上液流不能均匀分布，气液接触不良，易产生干吹、偏流等现象，导致塔板效率的下降。塔板的适宜操作区应在该线以右。

(4) 液相负荷上限线

图 2-4-14 中线 4 为液相负荷上限线。若操作的液相负荷高于此线时，表明液体流量过大，此时液体在降液管内停留时间过短，进入降液管内的气泡来不及与液相分离而被带入下层塔板，造成气相返混，使塔板效率下降。塔板的适宜操作区应在该线以左。

(5) 液泛线

图 2-4-14 中线 5 为液泛线。若操作的气、液负荷超过此线时，塔内将发生液泛现象，使塔不能正常操作。塔板的适宜操作区在该线以下。

3. 板式塔的操作分析

在塔板的负荷性能图中，由以上五条线所包围的区域称为塔板的适宜操作区。操作时的气相负荷 V 与液相负荷 L 在负荷性能图上的坐标点称为操作点。在连续精馏塔中，回流比为定值，故操作的气液比 V/L 也为定值。因此，每层塔板上的操作点沿通过原点、斜率为 V/L 的直线而变化，该直线称为操作线。操作线与负荷性能图上曲线的两个交点分别表示塔的上下操作极限，两极限的气体流量之比称为塔板的操作弹性。设计时，应使操作点尽可能位于适宜操作区的中央，若操作点紧靠某一条边界线，则负荷稍有波动时，塔的正常操作即被破坏。

应指出，当分离物系和分离任务确定后，操作点的位置即固定，但负荷性能图中各条线的相应位置随着塔板的结构尺寸而变。因此，在设计塔板时，根据操作点在负荷性能图中的位置，适当调整塔板结构参数，可改进负荷性能图，以满足所需的操作弹性。例如：加大板间距可使液泛线上移，减小塔板开孔率可使漏液线下移，增加降液管面积可使液相负荷上限线右移等。

还应指出，图 2-4-14 所示为塔板性能负荷图的一般形式。实际上，塔板的负荷性能图与塔板的类型密切相关，如筛板塔与浮阀塔的负荷性能图的形状有一定的差异，对于同一个塔，各层塔板的负荷性能图也不尽相同。

塔板负荷性能图在板式塔的设计及操作中具有重要的意义。通常，当塔板设计后均要作出塔板负荷性能图，以检验设计的合理性。对于操作中的板式塔，也需作出负荷性能图，以分析操作状况是否合理。当板式塔操作出现问题时，通过塔板负荷性能图可分析问题所在，为问题的解决提供依据。

五、塔设备的检修

1. 运行中检查

为确保塔设备安全稳定运行，必须做好日常检查，并记录检查结果，以作为定期停车检查、检修的历史资料。日常检查项目如下。

(1) 原料、成品及回流液的流量、温度、纯度，公用工程流体，如水蒸气、冷却水、压缩空气等的流量、温度及压力。

(2) 塔底、塔顶的压力以及塔的压力降。

(3) 塔底的温度。若低于正常温度，及时排水，并彻底排净。

- (4) 安全装置、压力表、温度计、液面计等仪表是否正常，动作是否灵敏可靠。
- (5) 保温、保冷材料是否完整，并根据具体情况及时进行修复。

2. 停车检查

塔设备在一般情况下，每年定期停车检修 1~2 次，将设备打开，对其内部构件及壳体上大的损坏进行检修。停车检查的主要项目如下。

- (1) 检查塔盘水平度，支持件、连接件的腐蚀、松动等情况，必要时取出塔外进行清洗或更换。
- (2) 检查塔体腐蚀、变形及各部位焊缝的情况，对塔壁、封头、进料口处筒体、出入口接管等处进行超声波检测，判断设备的使用寿命。
- (3) 全面检查安全阀、压力表、液面计有无发生堵塞现象，是否在规定的压力下工作，必要时重新进行调整和校验。
- (4) 如在运行中发现异常振动现象，停车检查时一定要查明原因并妥善处理。

3. 塔设备常见故障及排除方法

序号	故障	故障原因	消除措施
1	污染	灰尘、锈、污垢沉积，引起塔内堵塞；反应生成物、腐蚀生成物积存于塔内	进料塔板堰和溢流管之间要留有一定的间隙，以防积垢；停工时彻底清理塔板，若腐蚀严重时，可改用高级材质取代原有材质
2	腐蚀	高温腐蚀，磨损严重，高温、腐蚀性介质引起设备焊缝处产生裂纹和腐蚀	严格控制操作温度；定期进行腐蚀检查和测定壁厚；流体内加入防腐剂，器壁包括衬里涂防腐层
3	泄漏	人孔和管口等连接处焊缝裂纹、被腐蚀、松动，引起泄漏；气体密封圈不牢固或被腐蚀	保证焊缝质量，采取防腐措施，重新拧紧固定；拧紧、修复或更换
4	压力降	液相或气相负荷过大；设备缺陷	减少回流比，加大塔顶或塔底的抽出量；降低进料量或进料温度；查明设备缺陷处，采取相应措施

习题与训练

1. 塔板是板式塔的核心构件，它的结构形式有多种，例如：_____塔板、_____塔板、_____塔板、_____塔板、_____塔板等。
2. _____有保持塔板上一定液层高度和促使液流均匀分布的作用。
3. 塔板的异常操作现象包括_____、_____、_____等，是使塔板效率降低甚至使操作无法进行的重要因素。因此，应尽量避免这些异常操作现象的出现。
4. 塔设备常见故障有_____、_____、_____、_____等。

子任务三 认识填料塔

一、填料塔的结构特点

填料塔也是化工生产中较常用的一种气、液传质设备。与板式塔相比，填料塔具有结构简单、压力降小、填料种类多、良好的耐腐蚀性能，特别是在处理容易产生泡沫的物料和真空操作时，有其独特的优越性。

1. 主要结构

①塔体：一般为圆筒形，可由金属、塑料或陶瓷制成，金属筒体内壁常衬以防腐材料。如图 2-4-15 所示。

②填料：分为散装填料和规整填料两大类，是传热和传质的场所。

③塔内件：包括填料支承与压紧装置、液体与气体分布器、液体再分布器以及气体除沫器等。

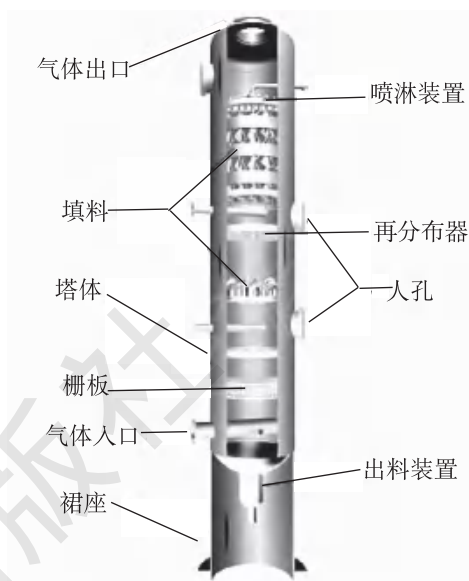


图 2-4-15 填料塔结构简图

2. 工作原理

工作时，液体自塔上部进入，通过液体分布装置均匀淋洒在填料层上，继而沿填料表面缓慢下流；气体自塔下部进入，穿过栅板沿填料间隙上升。这样气、液两相沿着塔高在填料表面及填料自由空间连续逆流接触，进行传质、传热。

二、填料的类型与特点

填料是填料塔的核心内件，它为气液两相充分接触进行传热、传质提供了表面积。可分为散装填料和规整填料两大类。

1. 散装填料

散装填料是指以乱堆为主的填料，这种填料是具有一定外形的颗粒体，又称为颗粒填料，根据外形分为以下三种。

①环形填料：拉西环填料、鲍尔环填料、阶梯环填料。

②鞍形填料：弧鞍形填料、矩鞍形填料、改进矩鞍形填料。

③金属鞍环填料。

(1) 拉西环填料

拉西环填料是在 1914 年被 F. Rasching 开发出来的。它是最早被发明出来的一种具有固定几何形状的散堆填料。它的外形简单，高度与直径的尺寸相等。如图 2-4-16 所示。大尺寸的拉西环（100 mm 以上）一般采用整砌方式规则填充，而 75 mm 尺寸以下的拉西环一般采用乱堆方式装填。拉西环填料的材质分为：金属、陶瓷、塑料等。

由于拉西环易于制造，价格低廉，且对它的研究较为充分，所以在过去较长的时间内得到了广泛的应用。但是，由于拉西环高径比大，堆积时填料间易形成线接触，因此液体在填料层流动时，常存在严重的沟流和壁流现象。且拉西环填料的内表面润湿率较低，因而传质速率也不高。

在拉西环基础上衍生了 θ 环、十字环及螺旋环等，其基本改进是在拉西环内增加一个结构，以增大填料的比表面积。

(2) 鲍尔环填料

在拉西环的基础上发展起来的鲍尔环是在其侧壁上开一层或两层长方形小孔，小孔的母材并不脱离侧壁而是形成向内弯的叶片。如图 2-4-17 所示。

比之拉西环，鲍尔环不仅具有较大的生产能力和较低的压降，且分离效率较高，沟流现象也大大降低。

鲍尔环填料的优良性能使它一直为工业所重视，应用十分广泛，可由陶瓷、金属或塑料制成。

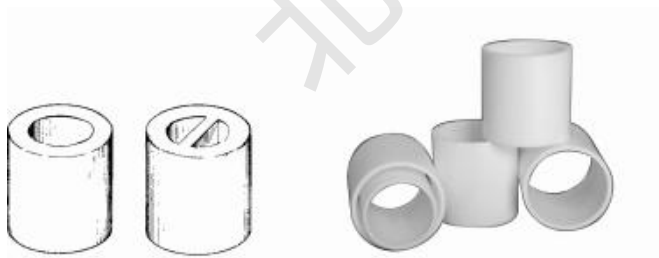


图 2-4-16 拉西环填料

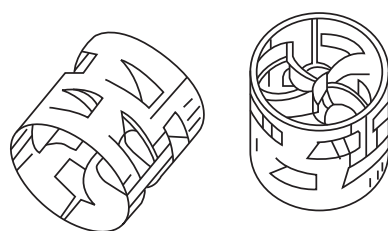


图 2-4-17 鲍尔环填料

(3) 阶梯环填料

阶梯环填料的结构与鲍尔环填料相似，环壁上开有长方形小孔，环内有两层交错 45° 的十字形叶片，环的高度为直径的一半，环的一端成喇叭口形状的翻边。如图 2-4-18 所示。

这样的结构使得阶梯环填料的性能在鲍尔环的基础上又有所提高，其生产能力可提高约 10%，压降则可降低 25%，且由于填料间呈多点接触，床层均匀，较好地避免了沟流现象。

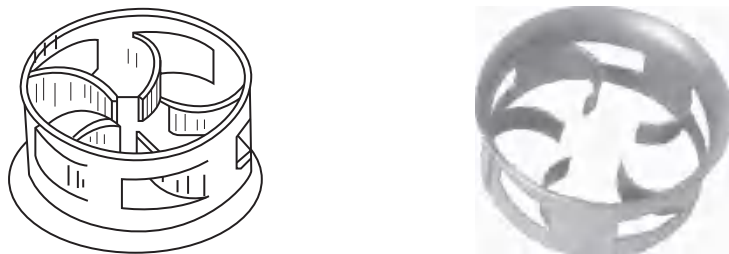


图 2-4-18 阶梯环填料

阶梯环一般由塑料和金属制成，由于其性能优于其他侧壁上开孔的填料，因此获得广泛的应用。

(4) 弧鞍形填料

弧鞍是较早开发的一种表面全部展开的具有马鞍形状的瓷质填料，又称马鞍填料。弧鞍填料在塔内呈相互搭接状态，形成弧形气体通道。如图 2-4-19 所示。

优点：与拉西环相比，空隙率高，气体阻力小，液体分布性能较好，性能优于拉西环。缺点：相邻填料易发生相互套叠现象，使填料有效表面降低，从而影响传质速率，因此弧鞍填料很快就被矩鞍填料所取代。



图 2-4-19 弧鞍形填料

(5) 矩鞍形填料

矩鞍是在弧鞍基础上发展起来的一种结构不对称的鞍形填料。矩鞍填料的两端为矩形，且填料的两面大小不等。这样的结构使矩鞍填料克服了弧鞍填料相互重叠的缺点，填料的均匀性得到改善，因而使液体分布均匀，气液传质速率得到提高。瓷矩鞍填料是目前采用最多的一种瓷质填料。

2. 规整填料

在乱堆的散装填料塔内，气液两相的流动路线是随机的，加之填料填装时难以做到各处均匀如一，因而容易产生沟流等不良情况，从而降低塔的效率。

规整填料是一种在塔内按均匀的几何图形规则、整齐堆砌的填料，空隙大，故生产能力大，压降小，且因流道规则，所以只要液体初始分布均匀，则在全塔中分布也均匀，因此规整填料几乎无放大效应，通常具有很高的传质效率。但造价较高，易堵塞、难清洗，因此工业上一般用于较难分离或分离要求很高的情况。

规整填料的种类按照结构可分为丝网波纹填料（图 2-4-20）和板波纹填料。使用时根据填料塔



图 2-4-20 丝网波纹填料

的结构尺寸，叠成圆筒形整块放入塔内或分块拼成圆筒形在塔内砌装。

3. 填料材质的选择

(1) 塑料：设备操作温度较低，除浓硫酸、浓硝酸等强酸外，体系对塑料无溶胀，但塑料表面对水溶液的润湿性差。

(2) 陶瓷：陶瓷一般用于腐蚀性介质，尤其是高温时，但对 HF 和高温下的 H_3PO_4 与碱不能使用。

(3) 金属：金属耐高温，但不耐腐蚀。不锈钢可耐一般的酸碱腐蚀（含 Cl^- 的酸除外），但价格较昂贵。

三、填料性能评价

填料性能与填料几何形状紧密相关。

1. 填料的几何特性

(1) 比表面积 a ：单位体积填料层所具有的表面积 (m^2/m^3)。

大的比表面积和良好的润湿性能有利于传质速率的提高。对同种填料，填料尺寸越小，比表面积就越大，但气体流动的阻力也要增加。

操作中有部分填料表面不被润湿，以致比表面积中只有某个分率的面积才是润湿面积。据资料介绍，填料真正润湿的表面积只占全部填料表面积的 20%~50%。

有的部位填料表面虽然润湿，但液流不畅，液体有某种程度的停滞现象。这种停滞的液体与气体接触时间长，气液趋于平衡态，在塔内几乎不构成有效传质区。为此，须把比表面积与有效的传质比表面积加以区分。

(2) 空隙率 ε ：单位体积填料所具有的空隙体积 (m^3/m^3)。代表的是气、液两相流动的通道， ε 大，气液通过的能力就大。 ε 的一般取值为 0.45~0.95。

对于乱堆填料，当塔径与填料尺寸之比大于 8 时，因每个填料在塔内的方位是随机的，填料层的均匀性较好，这时填料层可视为各向同性，填料层的空隙率就是填料层内任一横截面的空隙截面分率。

(3) 堆积密度 ρ_p ：单位体积填料的质量 (kg/m^3)。在机械强度允许的条件下，填料壁要尽量薄，以减小堆积密度，这样既增大了空隙率，又降低了成本。

(4) 其他：机械强度大、化学稳定性好以及价格低廉。

2. 填料的性能评价

填料性能的优劣常根据效率、通量及压降三要素衡量。相同条件下，比表面积越大，气液分布越均匀，表面的润湿性能越优良，传质效率越高；空隙率越大，则通量

越大，压降也越低。

一些难以定量表达的因素（几何形状）对填料的流体力学和传质性能也有重要的影响。新型填料的开发一般是改进填料集几何形状使之更为合理，从而获得高的填料效率。

四、填料的流体力学性能

填料的流体力学性能包括填料层的持液量、填料层的压降、液泛、填料表面的润湿及返混等。

1. 填料层的持液量

指在一定操作条件下，在单位体积填料层内所积存的液体体积，以 $\text{m}^3(\text{液体})/\text{m}^3(\text{填料})$ 表示。持液量分为静持液量 H_s 、动持液量 H_d 和总持液量 H_t 。

静持液量是指当填料被充分润湿后，停止气液两相进料，并经排液至无滴液流出时存留于填料层中的液体量，其取决于填料和流体的特性，与气液负荷无关。

动持液量是指在一定气、液操作条件下，以流动方式滞留于填料层中的液体量。它与填料、液体特性及气液负荷有关。

总持液量是指在一定操作条件下存留于填料层中的液体总量。显然，总持液量为静持液量和动持液量之和。

填料层的持液量可由实验测出，也可由经验公式计算。一般来说，适当的持液量对填料塔操作的稳定性和传质是有益的，但持液量过大，将减少填料层的空隙和气相流通截面，使压降增大，处理能力下降。

2. 填料层的压降

在逆流操作的填料塔中，从塔顶喷淋下来的液体，依靠重力在填料表面成膜状向下流动，上升气体与下降液膜的摩擦阻力形成了填料层的压降。

填料层压降与液体喷淋量及气速有关，在一定的气速下，液体喷淋量越大，压降越大；在一定的液体喷淋量下，气速越大，压降也越大。将不同液体喷淋量下的单位填料层的压降与空塔气速的关系标绘在对数坐标纸上，可得到如图 2-4-21 所示的线群。

在图中，直线 0 表示无液体喷淋（ $L=0$ ）时，干填料的 $\Delta P/Z-u$ 关系，称为干填料压降线、直线的斜率为 1.8~2.0。

曲线 1、2、3 表示不同液体喷淋量下，填料层的 $\Delta P/Z-u$ 关系，称为填料操作压

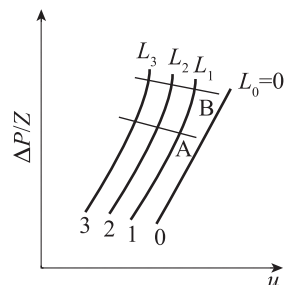


图 2-4-21 填料层的压降与空塔气速关系图

降线，折线存在两个转折点，下转折点称为“载点”，上转折点称为“泛点”。这两个点将 $\Delta P/Z-u$ 线群分成三个区段，即恒持液量区、载液区和液泛区。

(1) 恒持液量区。气速较低时，液体向下流动不受气流的影响，填料表面上覆盖的液膜厚度基本不变，因而填料层的持液量不变。在同一空塔气速下，由于湿填料层内所持液体量占据一定空间，故气体的真实速度较通过干填料层的速度高，因而压降也大，此时 $\Delta P/Z-u$ 曲线位于干填料压降线的左侧，且二者平行。

(2) 载液区。气速增大，气体对液膜流动产生阻滞作用，使液膜增厚，填料层的持液量随气速的增加而增大，此现象称为拦液。开始发生拦液现象时的空塔气速称为载点气速，超过载点后，曲线斜率大于 2。

(3) 液泛区。气速继续增大，由于液体不能顺利向下流动，填料层的持液量不断增大，填料层内几乎充满液体。气速增加很小便会引起压降的剧增，此现象称为液泛，开始发生液泛现象时的气速称为泛点气速，以 μF 表示。此区域内曲线斜率可达 10 以上。

应予指出，在同样的气液负荷下，不同填料的 $\Delta P/Z-u$ 关系曲线有所差异，但其基本形状相近。对于某些填料，载点与泛点并不明显，故上述三个区域间无截然的界限。

3. 液泛

在泛点气速下，持液量的增多使液相由分散相变为连续相，而气相则由连续相变为分散相，此时气体呈气泡形式通过液层，气流出现脉动，液体被大量带出塔顶，塔的操作极不稳定，甚至会被破坏，此种情况称为淹塔或液泛。影响液泛的因素很多，如填料的特性、流体的物性及操作的液气比等。

填料特性的影响集中体现在填料因子上。填料因子值越小，泛点气速越大，即越不易发生液泛现象。流体特性的影响体现在气体密度 ρV 、液体的密度 ρL 和黏度 μL 上。气体密度越小，液体的密度越大、黏度越小，则泛点气速越大。操作的液气比越大，则在一定气速下液体喷淋量越大，填料层的持液量增加而空隙率减小，故泛点气速越小。

4. 返混

在填料塔内，气液两相的逆流并不呈理想的活塞流状态，而是存在着不同程度的返混。造成返混现象的原因很多，如填料层内的气液分布不均；气体和液体在填料层内的沟流；液体喷淋密度过大时所造成的气体局部向下运动；塔内气液的湍流脉动使气液微团停留时间不一致；等等。

填料塔内流体的返混使得传质平均推动力变小，传质效率降低。因此，按理想的活塞流设计的填料层高度，因返混的影响需适当加高，以保证预期的分离效果。

五、填料塔的内件

填料塔的内件主要包括：填料支承与压紧装置、液体与气体分布器、液体再分布器以及气体除沫器等。如图 2-4-22 所示。

1. 填料支承结构

填料支承结构对填料塔的操作性能影响很大，要求其有足够大的自由截面（应大于填料的空隙截面），有足够的强度和刚度，以支承填料的重量，要利于液体再分布且便于制造、安装和拆卸。

常用的填料支承装置有栅板（或格栅板）填料支承、开孔波纹板、孔管式填料支承板。如图 2-4-23 所示。

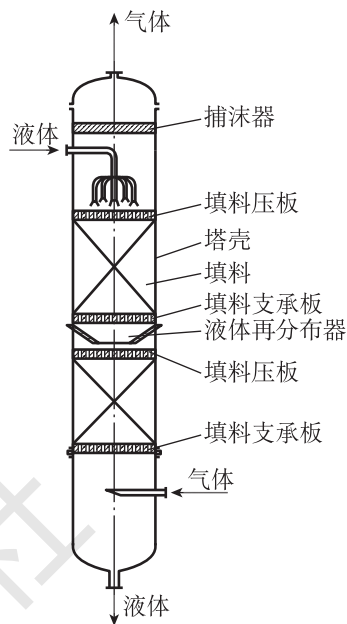


图 2-4-22 填料塔的结构

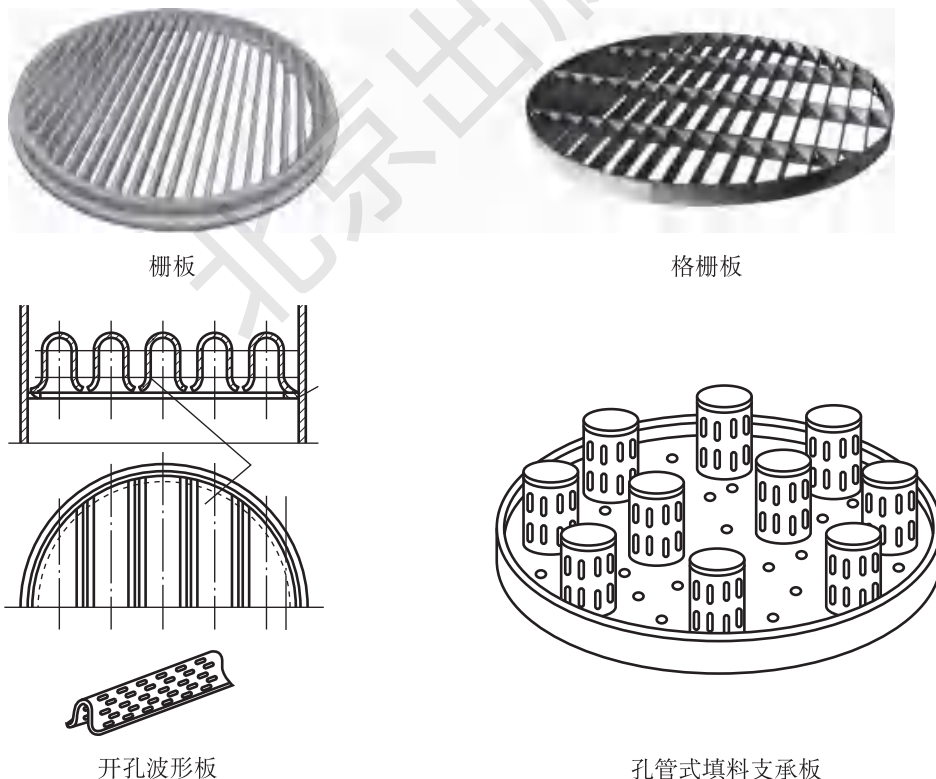


图 2-4-23 填料支承结构

2. 填料压紧装置

填料压紧装置安装在填料层上端。其作用是保持填料层为一高度固定的床层，从而保持均匀一致的空隙结构，使操作正常、稳定，防止在高压降、瞬时负荷波动等情况下，填料层发生松动或跳动。分为填料压板和床层限制板两种。

(1) 填料压板。自由放置于填料上端，靠自身重量将填料压紧。适用于陶瓷、石墨材质的散装填料。

(2) 床层限制板。固定在填料上端。

3. 液体分布装置

为了使液体能均匀地分布在填料上，以利于气、液两相的均匀接触，所以在最上层填料的上部设置液体分布装置。

(1) 喷淋装置

为了满足不同塔径、不同液体流量以及不同均布程度的要求，液体喷淋装置有多种结构形式（图 2-4-24）：



图 2-4-24 喷淋装置结构

①按操作原理分为喷洒形、溢流形、冲击形等。

②按结构分为管式、喷头式、盘式、槽式等形式。

(2) 液体再分布装置

由于气体填料层上升速度在塔截面上分布是不均匀的，中央气速大，靠近塔壁气速小，这样对下流的液体的作用也就不一样，使得液体流经填料层时有向塔壁倾斜流动的现象，这种现象称为“壁流”。这样在一定高度的填料层内，中心部分填料便不能被润湿，形成了所谓的“干锥”，使气液两相不能充分地接触，降低了塔的效率。

为了减少和消除壁流，避免干锥现象的发生，在经一定高度填料层时，还应设置液体分布装置，使液体再一次均匀分布在整個塔截面的填料上。如图 2-4-25 所示。

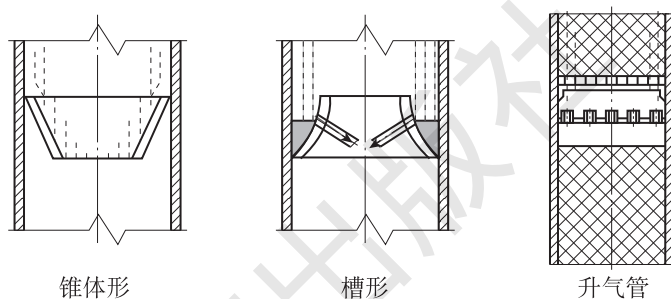


图 2-4-25 液体再分布装置

以上不同部位设置的液体分布装置作用相同、结构不同，为加以区别，将最上层填料上部的液体分布装置称为喷淋装置，而将填料层之间设置的分布装置称为液体再分布装置。

4. 除沫装置

当塔内操作气速较大或液沫夹带现象严重时，可在液体分布器的上方设置除沫装置，主要用途是除去出口气流中的液滴，防止塔顶气体出口处夹带液体。

六、填料塔的操作与维护

1. 填料吸收塔的操作要点

(1) 装填料

吸收塔经检查吹扫后，即可向塔内装入用清水洗净的填料，对拉西环、鲍尔环等填料，均可采用不规则和规则排列法，即先在塔内注满水，然后从塔的人孔部位或塔顶将填料轻轻地倒入（对于瓷质填料还应轻拿轻放），待填料装至规定高度后，

把漂浮在水面上的杂物捞出，并放净塔内的水，将填料表面整平，最后封闭人孔或顶盖。

(2) 设备的清洗

在运转设备进行联动试车的同时，还要用清水清洗设备（某些设备还要用稀碱液洗去其中的油污和铁锈），以除去固体杂质，清洗中不断排放污水，并不断向溶液槽内补加新水，直至循环水中固体杂质含量小于 50 ppm。

(3) 系统的开车

系统在开车前必须进行置换，合格后即可进行开车，其操作步骤如下：

- ①向填料塔内充压至操作压力；
- ②启动吸收剂循环泵，使循环液按生产流程运转；
- ③调节塔顶喷淋量至达到生产要求；
- ④启动填料塔的液面调节器，使塔底液面保持规定的高度；
- ⑤系统运转平稳后，即可连续导入原料混合气，并用放空阀调节系统压力；
- ⑥当塔内的原料气成分符合生产要求时，即可投入正常生产。

(4) 系统的停车

①短期停车。

- a. 通告系统前后工序或岗位；
- b. 停止向系统送气，同时关闭系统的出口阀；
- c. 停止向系统送循环液。关闭泵的出口阀，停泵后，关闭其进口阀；
- d. 关闭其他设备的进出口阀门。

系统临时停车后仍处于正压状况。

②紧急停车。

- a. 迅速关闭原料混合气阀门；
- b. 迅速关闭系统的出口阀门；
- c. 按短期停车方法处理。

③长期停车。

- a. 按短期停车操作程序停车，然后开启系统放空阀，卸掉系统压力；
- b. 将系统中的溶液排放到溶液储罐或地沟，然后用清水洗净；
- c. 若原料气中含有易燃、易爆物，则应用惰性气体对系统进行置换，当置换气体中易燃物含量小于 5%、氧含量小于 0.5% 时为合格；
- d. 用鼓风机向系统送入空气，进行空气置换，当置换气中含氧量大于 20% 时为合格。

(5) 正常操作要点

①进塔气体的压力和流速不宜过大，否则会影响气液两相的接触效率，甚至使操作不稳定；

②进塔吸收剂不能含有杂物，避免杂物堵塞填料缝隙。在保证吸收率的前提下，

尽量减少吸收剂的用量；

③控制进入温度，将吸收温度控制在规定的范围内；

④控制塔底与塔顶压力，防止塔内压差过大。压差过大，说明塔内阻力大，气液接触不良，致使吸收操作过程恶化；

⑤经常调节排放阀，保持吸收塔液面稳定；

⑥经常检查泵的运转情况，以保证原料气和吸收剂流量的稳定；

⑦按时巡回检查各控制点的变化情况及系统设备与管道的泄漏情况，并根据记录表要求做好记录。

2. 吸收塔操作正常维护要点

(1) 定期检查、清理或更换喷淋装置或溢流管，保持不堵、不斜、不坏；

(2) 定期检查算板的腐蚀程度，防止因腐蚀而塌落；

(3) 定期检查塔体有无渗漏现象，发现后应及时补修；

(4) 定期排放塔底积存脏物和碎填料；

(5) 经常观察塔基是否下沉、塔体是否倾斜。

3. 异常现象及处理方法

异常现象	原因	处理方法
尾气夹带液体量大	1) 原料气量过大 2) 吸收剂量过大 3) 吸收塔液面太高 4) 吸收剂太脏、黏度大 5) 填料堵塞	1) 减少进塔原料气量 2) 减少进塔喷淋量 3) 调节排液阀，控制在规定范围内 4) 过滤或更换吸收剂 5) 停车检查，清洗或更换填料
吸收剂用量突然下降	1) 溶液槽位低、泵抽空 2) 水压低或停水 3) 水泵损坏	1) 补充溶液 2) 使用备用水源或停车 3) 启动备用水泵或停车检修
尾气中溶质含量高	1) 进塔原料气中溶质含量高 2) 进塔吸收剂用量不够 3) 吸收温度过高或过低 4) 喷淋效果差 5) 填料堵塞	1) 降低进塔入口处溶质浓度 2) 加大塔吸收剂用量 3) 调节吸收剂入塔温度 4) 清理、更换喷淋装置 5) 停车检修或更换填料
塔内压差太大	1) 进塔原料气量大 2) 进塔吸收剂量大 3) 吸收剂太脏、黏度大 4) 填料堵塞	1) 降低原料气进塔量 2) 降低吸收剂进塔量 3) 过滤或更换吸收剂 4) 停车检修或清洗、更换填料
塔液面波动	1) 原料气压力波动 2) 吸收剂用量波动 3) 液面调节器出故障	1) 稳定原料气压力 2) 稳定吸收剂用量 3) 修理或更换液面调节器

续表

异常现象	原因	处理方法
鼓风机有响声	1) 杂物进入机内 2) 水带入机内 3) 轴承缺油或损坏 4) 油箱油位过低, 油质差 5) 齿轮啮合不好, 有活动 6) 转子间隙不当或轴向位转	1) 紧急停车处理 2) 排出机内积水 3) 停车加油或更换轴承 4) 加油或更换油 5) 停车检修或启动备用鼓风机 6) 停车检修或启动备用鼓风机

七、板式塔与填料塔的比较

板式塔和填料塔各有其自身的特点, 其主要性能对比见下表。在实际应用中选哪一种很难有一个绝对的标准, 选用时需要考虑的因素也很多, 如物流的性质, 操作条件, 塔的制造、安装、运转和维修等经济、技术方面的因素。往往是两种塔都能满足生产要求, 但不可能同时满足所有的要求。所以应在了解生产任务和要求的基础上, 抓住主要矛盾, 依具体条件综合考虑, 合理选用。一般来说, 对处理量不大且易起泡的料系、黏性较大的物料、含有悬浮物的物料、腐蚀性较大的物料、气相负荷较大及塔径较小 (800 mm 以下) 时宜选填料塔, 否则选板式塔。

填料塔常用于吸收、真空蒸馏等操作, 特别是当处理量小、采用小塔径板式塔在结构上有困难时, 或处理的是在板式塔中难以操作的高黏度或易发泡物料时, 常采用填料塔。但填料塔清洗、检修都较麻烦, 对含固体杂质、易结焦、易聚合的物料适应能力较差。

填料塔是一种连续式传质设备。

项目	塔型	
	板式塔	填料塔
压力降	一般比填料塔大	压力降小
空塔气速(生产能力)	空塔气速大	空塔气速小
塔效率	效率较稳定, 大塔板效率比小塔板效率有所提高	塔径 $\phi 1.5$ m 以下效率高, 塔径增大, 效率常会下降
液气比	适应范围较大	对液体喷淋量有一定要求
持液量	较大	较小
材质要求	一般用金属材料制造	可用非金属耐腐蚀材料制造
安装维修	较容易	较困难
造价	直径大时一般比填料塔造价低	$\phi 800$ mm 以下, 一般比板式塔便宜, 直径增大, 造价显著增高
重量	较轻	重

习题与训练

1. _____是填料塔的核心内件，它为气液两相充分接触进行传热、传质提供了表面积。
2. 填料塔散装填料有很多种，按照外形不同分为_____、_____、_____、_____、_____等。
3. 填料塔的内件主要包括：_____、_____、_____、_____等。
4. 为了使液体能均匀地分布在填料上，以利于气液两相的均匀接触，所以在最上层填料的上部设置_____装置。
5. 液体流经填料层时有向塔壁倾斜流动的现象，这种现象称为“_____”。设置_____装置，可以把流体再次均匀分布在填料上。
6. 设置_____装置，主要用途是除去出口气流中的液滴，防止塔顶气体出口处夹带液体。
7. 了解板式塔和填料塔，请比较描述其各自的特点。

任务五 认识化学反应器

子任务一 了解化学反应器

反应器广泛应用于石油、化工、医药、农药、橡胶、染料等行业中，参加反应的物料可以是气体、液体、固体等。反应器对产品生产的产量和质量起着决定作用。呈现在同学们眼前化工反应场景如图 2-5-1 所示。

在化工生产过程中，为化学反应提供反应空间和反应条件的装置，称为反应设备或反应器。

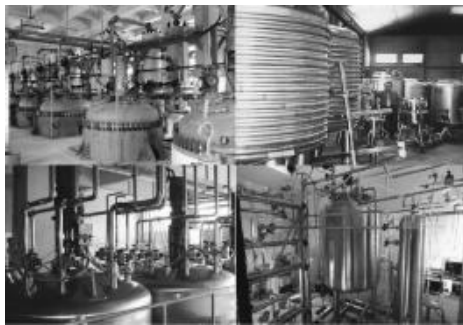


图 2-5-1 化工企业反应场景

一、对反应器的基本要求

- (1) 必须有足够的反应容积，以保证设备具有一定的生产能力，保证物料在设备中有足够的停留时间，使反应物达到规定的转化率。
- (2) 有良好的传质性能，使反应物料之间或与催化剂之间达到良好的接触。

(3) 有良好的传热性能，能及时有效地输入或引出热量，保证反应过程是在最适宜的操作温度下进行的。

(4) 有足够的机械强度和耐腐蚀能力，并要求运行可靠，经济实用。

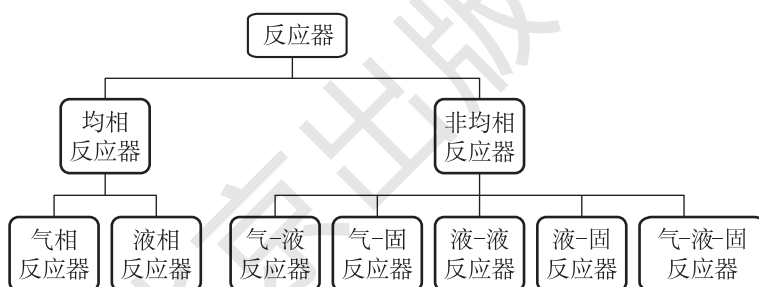
(5) 在满足工艺条件的前提下结构尽量合理，并具有进行原料混合和搅拌的性能，易加工，材料易得到，价格便宜。

(6) 操作方便，易于安装、维护和检修。

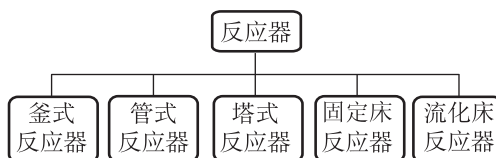
二、反应器的分类

在有机化工等生产中，化学反应的种类很多，操作条件差异很大，物料的聚集状态也各不相同，因此形成了各种不同的与其相适应的工业反应器形式。为了便于了解各种反应器的特点及选用适宜的反应器，下面介绍常用的反应器分类方法。

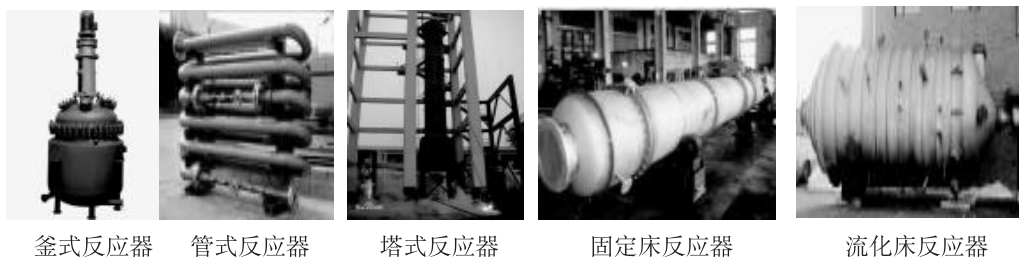
1. 根据物料的聚集状态分类



2. 根据反应器结构形式分类



常见典型反应器的直观图，如图 2-5-2 所示。



釜式反应器

管式反应器

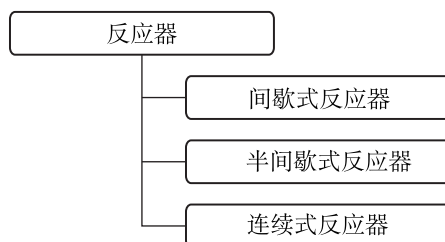
塔式反应器

固定床反应器

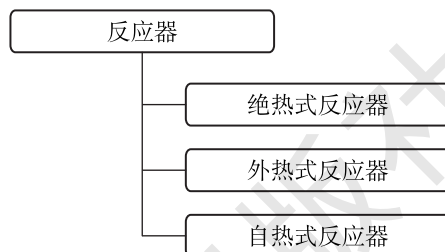
流化床反应器

图 2-5-2 常见典型反应器的直观图

3. 根据操作方法分类



4. 根据传热方式分类



本项目重点介绍在化工生产中应用最广泛的釜式反应器。

三、搅拌反应釜的原理

搅拌反应釜是一种典型的反应设备，广泛应用于化工、轻工、化纤、医药等工业。它是在一定压力和温度下，将一定容积的两种或多种液态物料搅拌混合，促进其化学反应的设备。通常伴有热效应，由换热装置输入或移出热量。

在化工企业，釜式反应器因原料的物态、反应条件和反应效应的不同有多种多样的类型和结构，但它们具有以下共同特点：

- (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（冷却）装置等；
- (2) 操作压力、操作温度较高，适用于各种不同的生产规模；
- (3) 可间歇操作或连续操作，具有投资少、投产快、操作灵活性大等优点。

1. 釜式反应器的总体结构

釜式反应器首先由钢板卷焊制成圆筒体，再焊接上由钢板压制的标准釜底，并配上釜盖、夹套、搅拌器等部件，如图 2-5-3 所示。

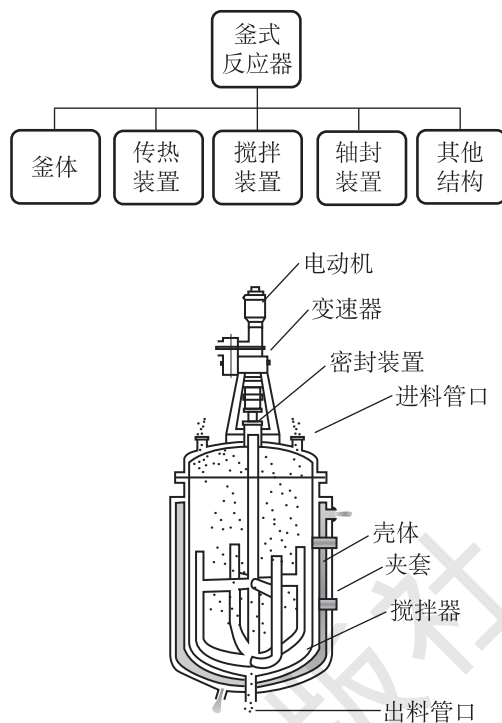


图 2-5-3 釜式反应器的结构

2. 工作原理

物料由上部加入釜内（有时是几种原料一次加入，有时则分段加入），在搅拌器的作用下迅速混合并进行反应。若需要加热，可在夹套或蛇管内通入加热蒸汽，如果需要冷却，则在夹套或蛇管内通入冷却水或冷冻剂。反应结束后，物料由釜体的底部放出。

习题与训练

1. 简述反应器的分类。
2. 简述釜式反应器的结构。

子任务二 认识釜式反应设备的部件

搅拌反应釜是一种典型的反应设备，广泛应用于化工、轻工、医药等工业。

一、釜体

反应釜的釜体是容纳物料进行反应的容器。釜体中的筒体基本做成圆筒形，封头常做成椭圆形封头、锥形封头和平盖，以椭圆形封头应用最广，如图 2-5-4 所示。

根据工艺需要，釜体上装有各种接管，以满足进料、出料、排气等要求。为对物

料加热或除去反应热，常设置外夹套或内盘管。上封头焊有凸缘法兰，用于釜体与机架的连接。操作过程中为了对反应进行控制，必须测量反应物的温度、压力、成分及其他参数，容器上还设置有温度、压力等传感器。支座选用时应考虑釜体的大小和安装位置，小型的反应器一般用悬挂式支座，大型的用裙式支座或支承式支座。



图 2-5-4 反应釜的釜体

二、搅拌装置

反应釜安设搅拌装置的主要作用是使物料混合均匀，强化釜内的传热和传质过程。在化学工业中常用的搅拌装置是机械搅拌装置。

1. 搅拌器

如图 2-5-5 所示，搅拌器是实现搅拌操作的主要部件，它能产生强大的搅拌能量。搅拌器主要的组成部件是叶轮，它把机械能施加给液体，促使液体运动。搅拌器有桨式、框式、锚式、推进式、涡轮式等。

桨式搅拌器结构简单，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，如图 2-5-6、图 2-5-7 所示。



图 2-5-5 搅拌器



图 2-5-6 叶桨式搅拌器



图 2-5-7 三叶桨式搅拌器

锚式搅拌器结构简单，搅动物料量大。当流体黏度较大时，在锚式桨中间加一横桨叶，即为框式搅拌器，以增加容器中部的混合。这类搅拌器常用在传热、析晶操作和高黏度液体的搅拌中，如图 2-5-8、图 2-5-9 所示。

推进式搅拌器能使物料在釜内循环流动，上下翻腾效果好，适宜黏度低、流量大的场合，常用于固体溶解、结晶、悬浮等操作，如图 2-5-10 所示。



图 2-5-8 锚式搅拌器



图 2-5-9 框式搅拌器



图 2-5-10 推进式搅拌器

涡轮搅拌器分圆盘和开启两种形式，它与桨式搅拌器相比，桨叶数量多、种类多，桨的转速高。这种搅拌器的主要优点是当能量消耗不大时，搅拌效率高，因此适合于乳浊液、悬浮液等的搅拌，如图 2-5-11、图 2-5-12 所示。



图 2-5-11 圆盘涡轮搅拌器



图 2-5-12 开启涡轮搅拌器

螺带式搅拌器常用扁钢按螺旋形绕成，转速不高，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，如图 2-5-13 所示。

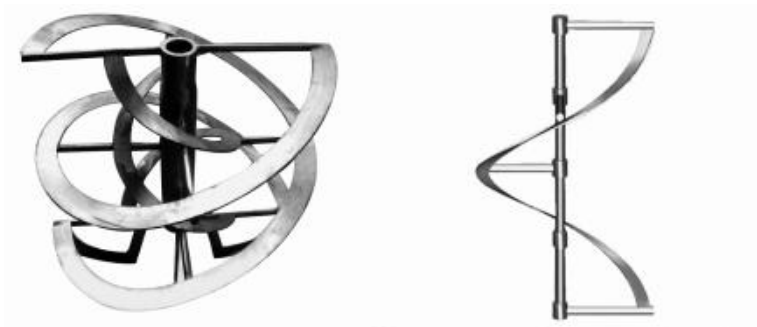


图 2-5-13 螺带式搅拌器

2. 轴、电机等辅助部件和附件

辅助部件和附件是为传递动力和改善流动状态而增加的部件。

三、换热装置

换热装置是用来加热或冷却反应物料，使之符合工艺要求的温度条件的设备。换热装置有夹套结构的壁外传热和釜内装设蛇管两种传热形式，应用最多的是夹套传热。当反应釜采用衬里结构或夹套传热不能满足温度要求时，常用蛇管传热方式。

1. 夹套传热及其结构

在釜体外侧，以焊接法兰连接的方法装设各种形状的外套，与釜体外表面形成密闭的空间，在此空间内通入蒸汽、过冷气等，用来加热或冷却釜内的物料，维持物料的温度在规定的范围内，这种结构称为夹套，如图 2-5-14 所示。夹套与反应釜的间距视反应釜直径大小采取不同的数据，一般取 25 ~ 100 mm。夹套的高度取决于传热面

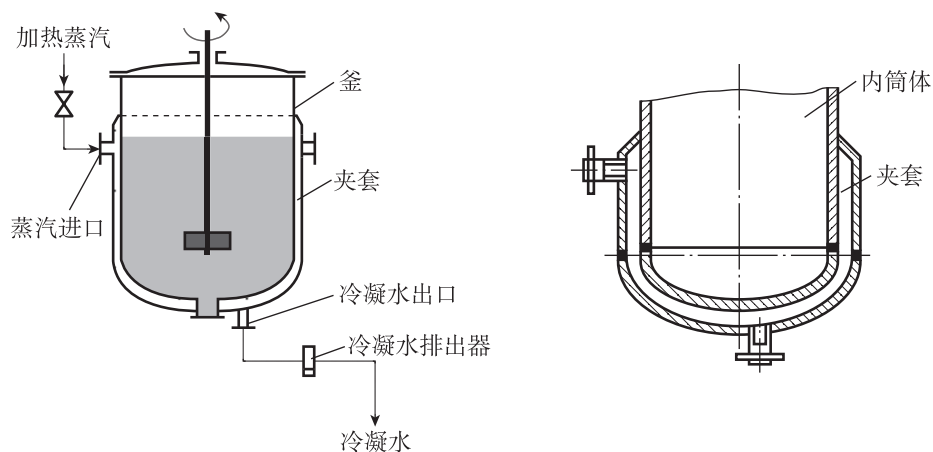


图 2-5-14 夹套传热示意图

积，而传热面积由工艺要求确定，但需注意夹套高度一般高于料液的高度，应比釜内液面高出 50 ~ 100 mm，以保证充分传热。

常用的夹套形式为整体夹套，整体夹套与筒体的连接方式有可拆连接式和不可拆连接式两种，如图 2-5-15、图 2-5-16 所示。可拆连接的连接方式是内筒和夹套通过法兰连接，适用于操作条件较差，或要求进行定期检查内筒外表面和需经常清洗夹套的场合；不可拆连接的连接特点是密封可靠，制造加工简单，适用于碳钢制造的反应釜。

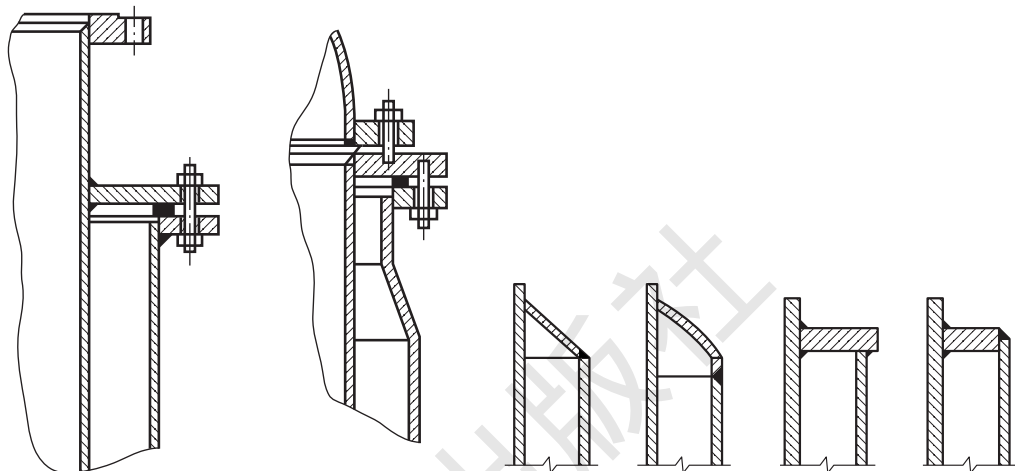


图 2-5-15 筒体与夹套可拆式连接结构

图 2-5-16 筒体与夹套不可拆式连接结构

整体夹套内的介质压力一般不能超过 1 MPa，否则釜体壁厚太大，增加制造难度。夹套内的介质压力大时，可采用焊接半圆管夹套、“型钢”（指轧钢厂轧制、市场有售的横截面为特定形状的钢材，如角钢、圆钢、扁钢等）夹套和蜂窝夹套，不但能提高传热介质的流速，改善传热效果，而且能提高筒体承受外压的能力，但是上述结构焊接工作量过大，给制造带来很大麻烦。

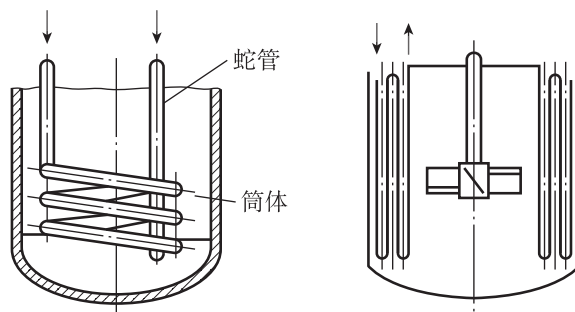
2. 蛇管传热及其结构

如果所需传热面积较大，而夹套传热不能满足要求时，或者不宜采用夹套传热时，可采用蛇管传热，如图 2-5-17 所示。工业上常用的蛇管有两种：水平式蛇管、直立式蛇管，如图 2-5-18 所示。

排列紧密的水平式蛇管能同时起到导流作用、排列紧密的直立式蛇管可以同时起到挡板的作用，它们对于改善流体的流动状态和搅拌的效果起积极的作用。蛇管检修困难，还可能因冷凝液积聚而降低传热效果。蛇管允许的操作温度范围为 $-30 \sim 280 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，公称压力系列为 0.4 MPa、0.6 MPa、1.0 MPa、1.6 MPa。如果要求传热面积很大时，可以用几个并联的同心圆蛇管组成。蛇管的排列如图 2-5-19 所示。若数排蛇管沉浸于釜内，其内外圈距离 t 一般为 $(2 \sim 3) d$ 。各圈垂直距离 h 一般为 $(1.5 \sim 2) d$ 。最外圈直径 D_0 一般比筒体内径 D_i 小 200 ~ 300 mm。



图 2-5-17 蛇管传热



(a) 水平式蛇管

(b) 立式蛇管

图 2-5-18 常用蛇管的结构形式

管在体内的固定形式较多，如图 2-5-20 所示。如果蛇管的中心圆直径较小或圈数不多、重量不大时可以将蛇管进、出口固定在顶盖上，不再另设支架固定蛇管。当蛇管中心管直径较大、比较笨重或搅拌有振动时，则需要装支架以增加蛇管的刚性。

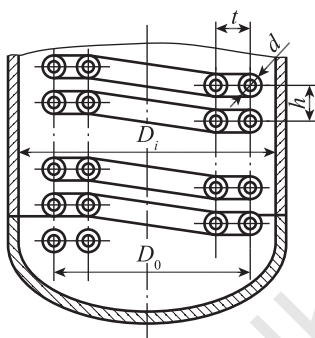


图 2-5-19 蛇管传热

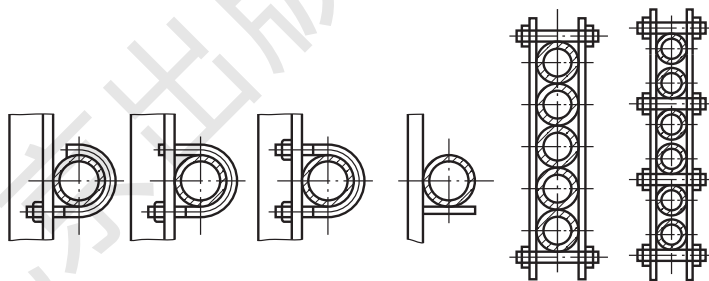


图 2-5-20 蛇管的固定形式

蛇管的进、出口一般都设置在顶盖上，常见的蛇管进、出口结构如图 2-5-21 所示。有可拆连接和不可拆连接两种：可拆连接用于蛇管经常拆卸清洗的场合；不可拆连接的蛇管与封头可以一起抽出。

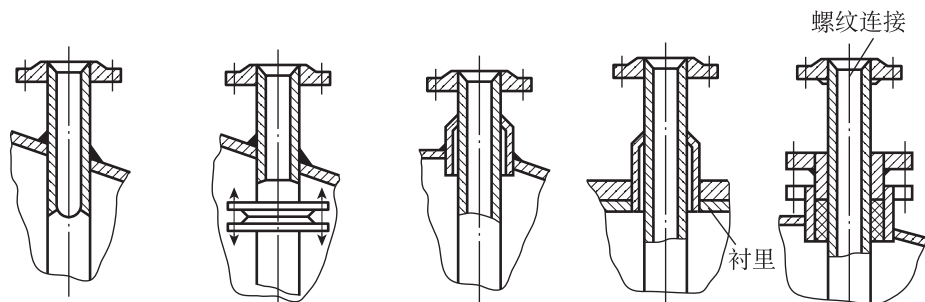


图 2-5-21 蛇管进、出口结构

四、轴封装置

由于搅拌轴是转动的，而釜体封头是静止的，在搅拌轴伸出封头之处必然有间隙，介质会由此泄漏或空气由此漏入釜内，因此必须进行密封，称为轴封（对轴伸出装置外部的位罝进行的密封），以保持设备内的压力（或真空度），防止反应物逸出和杂质的渗入。通常采用填料密封或机械密封。常见的轴封装置如图 2-5-22 所示。

除上述几部分主要结构外，为了便于检修内件及加料、排料，还需装焊人孔、手孔和各种接管。为了操作过程中有效地监视和控制物料的温度、压力并确保安全，还需安装温度计、压力表、视镜、安全泄漏装置等。



图 2-5-22 轴封装置

五、釜式反应器的故障及处理

1. 易燃、易爆、有毒、有窒息性介质的釜内检修时的注意事项

- (1) 切断外接电源，挂上“禁动”警告牌。
- (2) 排除釜内的压力。
- (3) 在进料进气管道上安装盲板。
- (4) 清洗置换后气体分析合格并设有专人监护时，方可进入釜内检修。

2. 常见故障及修理

釜式反应器较常见的故障有釜体损坏、超温超压、泄漏、釜内杂音等，图 2-5-23 所示为釜体的裂纹。

材质为钢制的（或不锈钢衬里）釜式反应器由于与腐蚀性介质长期接触易产生均匀腐蚀、点腐蚀、应力腐蚀或碱脆等现象。

局部缺陷可采用局部补焊法、保护板贴补法等方法处理。

若釜体使用到一定年限，釜壁厚度均匀减薄超过规定的最小厚度且腐蚀面积大于总面积的 20% 或焊缝裂纹不能修复等，釜体应作报废处理并重新更换釜体。

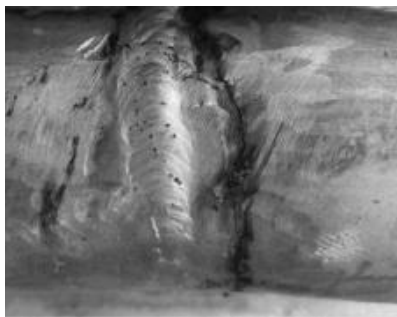


图 2-5-23 釜体的裂纹

釜式反应器经过检修之后一般要经过压力试验，检查合格后方可使用。

知识拓展 >>

一、搅拌釜式反应器由搅拌器和釜体组成

搅拌器包括传动装置、搅拌轴（含轴封）、叶轮（搅拌桨）、釜体（包括筒体、夹套和内件、盘管、导流筒）等。工业上应用的搅拌釜式反应器有成百上千种，按反应物料的相态可分为均相反应器和非均相反应器两大类。非均相反应器包括固-液反应器、液-液反应器、气-液反应器和气-液-固三相反应器。

釜是通过对物料在反应器内混合与流动状况的研究，利用研究所得的经验公式设计出来的，十分适合中小型化工企业生产的需要。研究表明，超过 50% 的化工过程是在搅拌反应器中进行的间歇操作，在中小型化工企业中这个比例更高，因此混合器设计和操作水平的提高对化工生产的过程、安全、产品质量和能耗有重大影响。

搅拌釜式反应器常用于微生物发酵、化学合成等研究与应用。

在现代化工生产中，混合（包括化工产品的加工等）在许多生产过程中有着重要作用。工程师们经常要面对许多问题，包括混合设备的选择、设计、放大和优化。可选择的混合设备很多，但是通常可以归纳为两类：

- (1) 由运动的机械部件完成的混合，比如机械搅拌釜、转子搅拌。
- (2) 由固定机械部件完成的混合，比如静态混合器、喷射、填充床、鼓泡床、塔盘。

二、轴封

1. 填料密封

填料密封又称压盖填料密封，其结构如图 2-5-24 所示。填料箱由箱体、填料、衬套（或油环）、压盖和压紧螺栓等零件组成。旋紧压紧螺栓时，压盖压缩填料（一般为石棉织物，并含有石墨或黄油作润滑剂），致使填料变形并紧贴在搅拌轴的表面上，阻塞了介质泄漏的通道，从而达到密封作用。其密封原理如图 2-5-25 所示。为保证良好的密封需控制好压紧力，压紧力过大，搅拌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发热。要求填料富于弹性，有良好的耐磨性与导热性。

填料密封结构简单，填料装拆方便，但使用寿命短。尽管大多数填料是非金属的并有润滑剂，但搅拌轴旋转时，轴和填料间的摩擦和磨损是不可避免的，因而总有微量的泄漏。填料密封适用于非金属和弱腐蚀性介质，密封要求不高，可定期维护的低

压、低速搅拌设备。在压力较高、温度较高的条件下，要保证可靠的密封，就必须增加填料圈数或增加填料的压紧力。常用的填料箱已有相应的颁布标准。

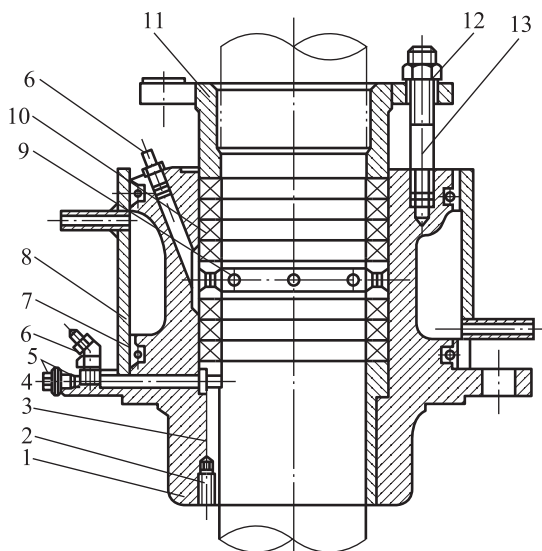


图 2-5-24 填料密封的结构

- 1—本体；2—螺钉；3—衬套；4—螺塞；
5—油圈；6—油杯；7—O 形密封圈；
8—水夹套；9—油环；10—填料；11—压盖；
12—螺母；13—双头螺柱

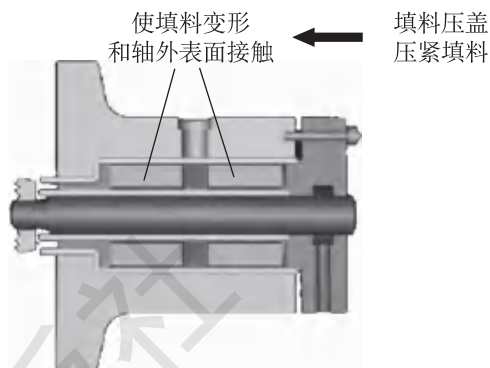


图 2-5-25 填料密封原理示意图

2. 机械密封

机械密封又称端面密封，如图 2-5-26 所示，是釜式反应器常用的一种机械密封，它是由两块密封元件在其垂直于轴线的光洁而平直的表面互相贴合（依靠介质压力和弹簧力作用），并做相对运动而起到密封作用的。

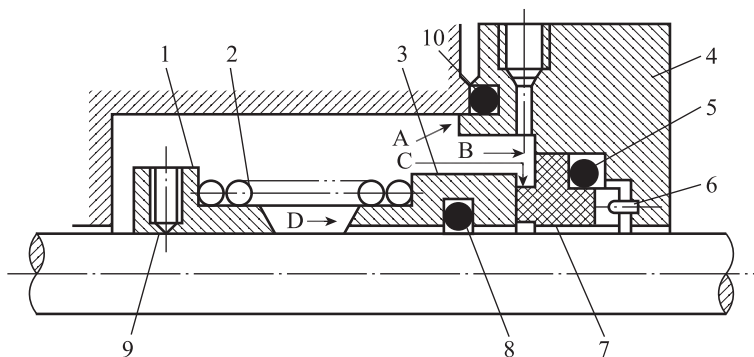


图 2-5-26 机械密封的结构

- 1—弹簧座；2—弹簧；3—动环；4—静环座；5—静环密封圈；6—防转销；7—静环；
8—动环密封圈；9—紧定螺钉；10—静环座密封圈

机械密封装置由动环、静环、弹簧加荷装置及辅助密封圈四个部分组成。从图中可见，静环依靠螺母、双头螺栓和静环压板固定在静环座上，静环座和釜体连接。当搅拌轴旋转时，动环与轴一起旋转，而静环则固定于座架上静止不动，动环与静环相接触的环形密封端面阻止了介质的泄漏。因此，从结构上看，机械密封主要是将极易泄漏的轴向密封，改变为不易泄漏的端面密封。

机械密封为在结构上防止四种泄漏途径，形成了四个密封点 A、B、C、D。

机械密封和填料密封相比较，机械密封优于填料密封。因此，机械密封正在得到迅速发展和广泛应用，但机械密封也存在结构复杂、加工精度要求高等缺点。

比较项目	填料密封	机械密封
泄漏率	180 ~ 450 mL/h	一般平均泄漏为填料密封的 1%
加工及安装	加工要求一般	动环、静环平面度偏差要求高，不易加工，成本高，拆装不便
对材料要求	一般	动环、静环要求较高减磨性能
摩擦功耗	机械密封为填料密封的 10% ~ 50%	
轴磨损	有磨损，用久后轴要更换	几乎无磨损
维护及寿命	需要经常维护、更换填料，个别情况 8 小时（每班）更换一次	使用寿命 0.5 ~ 1 年或更长，很需要维护
高参数	高压、高温、高真空、大直径等密封很难解决	高压、高温、高真空、高转速、大直径等密封可以解决

机械密封的功率小、泄漏率低，密封性能可靠，使用寿命长。主要用于在腐蚀、易燃、易爆、剧毒及带有固体颗粒的介质中工作的有压和真空设备，包括搅拌反应釜的轴封。

习题与训练

1. 釜式反应器主要由哪些部件组成？其作用是什么？
2. 简述釜式反应器的工作原理。
3. 搅拌器有几种？作用是什么？搅拌器的结构特征各是什么？适用于什么场合？
4. 反应釜常见的传热装置有哪几种？
5. 什么叫“轴封”？

子任务三 认识其他反应器

一、固定床反应器

固定床反应器多用于大规模的气相反应，在一些场合采用管子，故也称为管式反应器。其外形有圆筒式和列管式，其结构如图 2-5-27 所示。参加反应的物料以预定

的方向运动，各点的流体间没有沿流动方向的混合。这类反应器可以在一个圆柱壳体内装催化剂，参加反应的气体通过静止的催化剂层进行反应，氨合成塔、乙烯裂解炉等就属于此种结构。固定床反应器广泛用于催化反应。

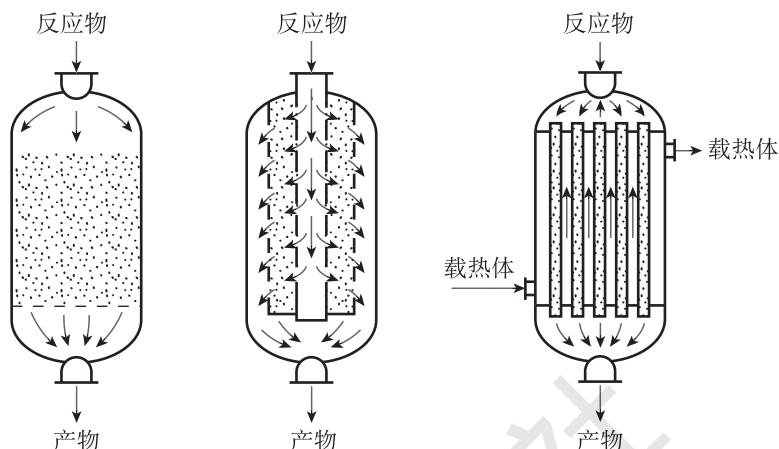


图 2-5-27 固定床反应器的一些类型

二、流化床反应器

流化床反应器多用于固体和气体都参加的反应，其结构如图 2-5-28 所示。在这类反应中，细颗粒状的固体物体装填在一个垂直的圆筒形容器的多孔板上，气体通过多孔板向上通过颗粒层，以足够大的速度使颗粒浮起呈沸腾状态，但流速也不宜过高，以防止流化床中的颗粒被气体夹带出去。颗粒快速运动的结果是使床层温度非常均匀，因而避免了固定床反应器中可能出现的过热点，这对在绝热条件下进行的反应过程非常有利。这类反应器的缺点是固体颗粒快速运动会造成催化剂磨损。另外，排出气流中含有大量的粉尘，增加了后处理难度。

三、鼓泡反应器

基本有机化工生产中的气液相反应过程（特别是一些较快反应）多选用鼓泡反应器，其结构如图 2-5-29 所示。在这类反应器中，由于液体中含有溶解了的非挥发性催化剂或其他反应物料，反应气体可以鼓泡，通过液体进行反应，产物可由气体从反应器中带出。在这种情况下传质过程控制反应速率。乙烯氧化生产乙醚就是在这种反应器中进行反应的。

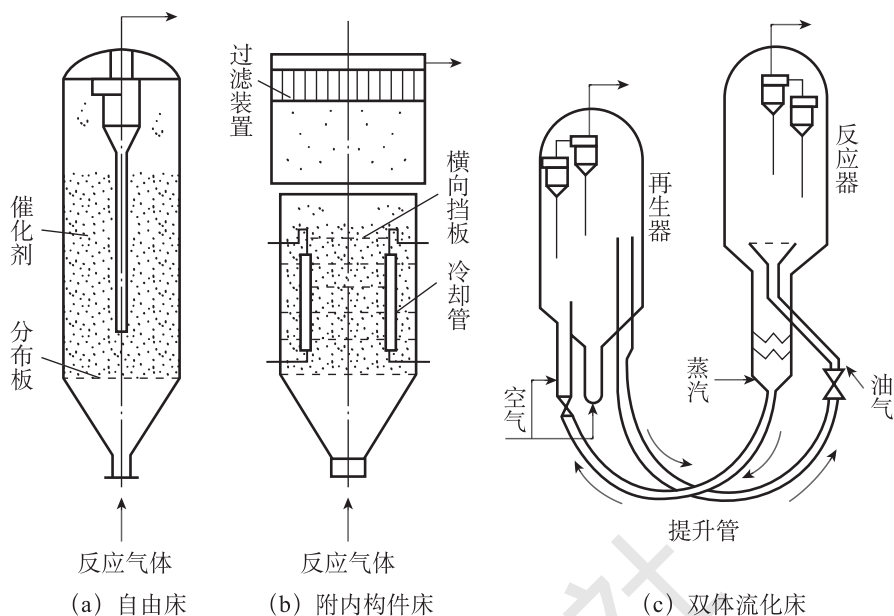


图 2-5-28 流化床反应器的一些类型

四、流动床反应器

在这种反应器中，固体从床层顶部加入，并向下移，自器底取出，流体向上通过填充层。这种反应器已用于二甲苯的催化异构反应以及离子交换法的连续水处理过程。

另外，在这些有机反应中，如丙烯高压水合制取异丙醇反应中，用到了滴流床反应器。在这种反应器中，固体催化剂并不呈流化状态而是作为固定床，两种能部分互溶的液体作为反应物料并流或逆流通过反应床进行反应。

一个反应过程在工业生产中究竟采用什么类型的反应器，并无严格规定，应以满足工艺要求为主，综合考虑各种因素，以减少能量消耗、增加经济效益为原则。

由于化工生产的反应器很多，在实际使用过程中，应根据实际生产的需要，选用合适的反应器。

知识拓展 >>

实现电化学反应的设备或装置统称为电化学反应器，如图 2-5-30 所示，它被广泛地应用于化工、能源等各个部门。在电学工程的三大领域，即工业电解、化学电源、电镀中应用的电化学反应器，包括各种电解槽、电镀槽、一次电池、二次电池、燃烧电池。它们的结构与大小不同，功能与特点不同，然而却具有以下一些基本特征。

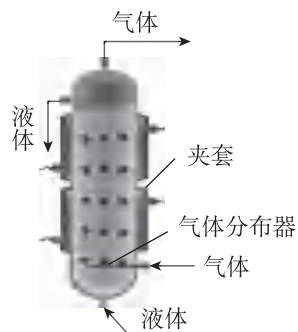


图 2-5-29 鼓泡反应器的结构



图 2-5-30 电化学反应器

1. 都由两个电极（第一类导体）和电解质（第二类导体）构成。
2. 都可归入两个类别，即由外部输入电能，在电极和电解液界面上促成电化学反应的电解反应器，以及在电极和电解质界面上自动地发生电化学反应产生电能的化学电解反应器。
3. 反应器中发生的主要过程是电化学反应，包括电荷、质量、热量、动量的四种传递过程，服从电化学热力学、电极过程动力学及传递过程的基本规律。
4. 电化学反应器是一种特殊的化学反应器。首先它具有化学反应器的某些特点，在一定条件下可以借鉴化学工程的理论和研究方法。其次它又具有自身的特点，如在界面上的电子转移及在体相内的电荷传递、电极表面的电势及电流分布、以电化学方式完成的新相生成（电解析气及电结晶）等，而且它们与化学及化工过程交叠，错综复杂，难以沿袭现有的化工理论及方法解释其现象、揭示其规律。

习题与训练

除了课本介绍的几种反应器外，你还知道哪些反应器？试举例说明并讨论。