

过程设备设计

Process Equipment Design

北京化工大学

机电工程学院 过程装备与控制工程系

国家级精品课程《过程设备设计》

课程教学小组



关于《过程设备设计》课程

课程性质：专业核心课、特色课

对象：化工静设备

教材内容：

1-4章：压力容器设计（如何？为什么？）

5-8章：化工设备设计（如何？结果？）

介绍流体储运、传热、传质和反应设备的一般设计方法，是一门涉及多门学科，综合性很强的课程。

教学参考书：

1. 王志文主编，《化工容器设计》第二版，化工出版社
2. 聂清德主编，《化工设备设计》，化工出版社
3. 徐芝纶，《弹性力学》
4. **GB150** 《钢制压力容器》
5. **GB151** 《管壳式换热器》
6. **GB4732** 《钢制压力容器——分析设计标准》
7. **TSG R0004-2009** 《固定式压力容器安全技术监察规程》

绪论

INTRODUCTION

绪论

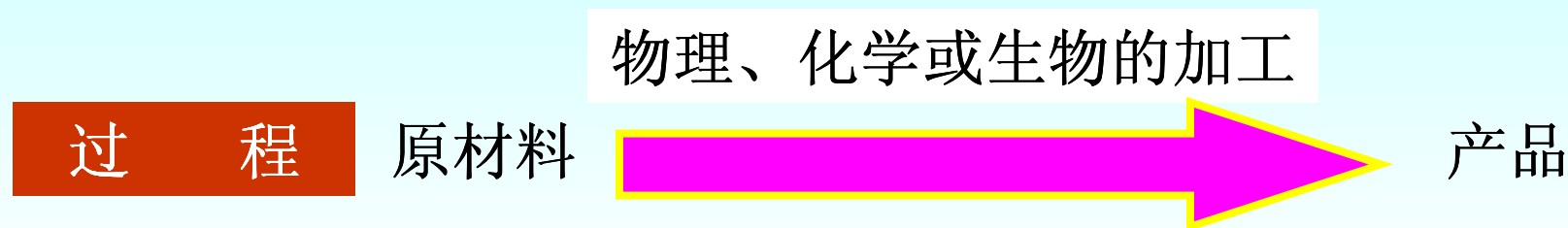
教学重点：

过程设备的特点和基本要求

教学难点：

无

绪论（P1）



过程设备

完成物理、化学或生物加工所用到的设备。

即：完成物料的粉碎、混合、储存、分离、传热、传质、反应等操作的设备。例如，泵、压缩机、管道、储罐、塔、换热器、反应器等。

过程设备设计

根据设备的工艺、强度、经济性等要求制订出的可用于制造的技术文件。

绪论（续）

- 过程设备的应用
- 过程设备的特点
- 过程设备的基本要求
- 过程设备设计概述
- 本课程的内容

绪论（续）

（一）过程设备的应用

过程设备的应用领域： 所有的工业过程



绪论（续）

过程设备的典型例子：

- a. 加氢反应器： 加氢反应过程的关键设备。
- b. 储氢容器： 液态储存——深冷（**-253℃**） 高压**40MPa**
气态储存——**40-75MPa**
- c. 超高压食品杀菌釜： 超高压食品杀菌所需关键设备，
150-700MPa

绪论（续）

- d. 核反应堆：核电站的核心设备。
- e. 超临界流体萃取装置：萃取和分离过程中所需的萃取釜、换热器、分离器等设备。
- f. 军工产品：如潜艇外壳——承受外压作用的壳体。日本于1988年研制成功的潜深为6000m的深海潜艇，其耐压舱为一壁厚70mm的钛合金制球形壳体。

绪论（续）

（二）过程设备的特点

随着科学技术的发展，过程设备向多功能、大型化、成套化和轻量化方向发展，呈现出以下特点：

- a. 功能原理多种多样，是典型的非标设备。
- b. 化机电一体化。
- c. 外壳一般为压力容器。

压力容器：凡是含有压力介质的封闭容器都被称做压力容器。

绪论（续）

过程设备 = 承受一定压力的外壳 + 各种各样的内件

压力容器的
载荷

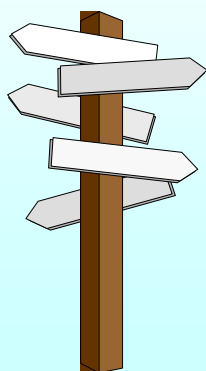
除压力载荷、温度载荷外，还可能受风载荷、地震载荷、冲击载荷的作用。

压力容器的
失效

失去正常的使用功能，彩图2和彩图3是压力容器断裂后的外观；

可能的
失效原因

选材不当、材料误用、材料缺陷、材质劣化、介质腐蚀、制造缺陷、设计失误、缺陷漏检、操作不当、意外操作条件、难以控制的环境等原因。



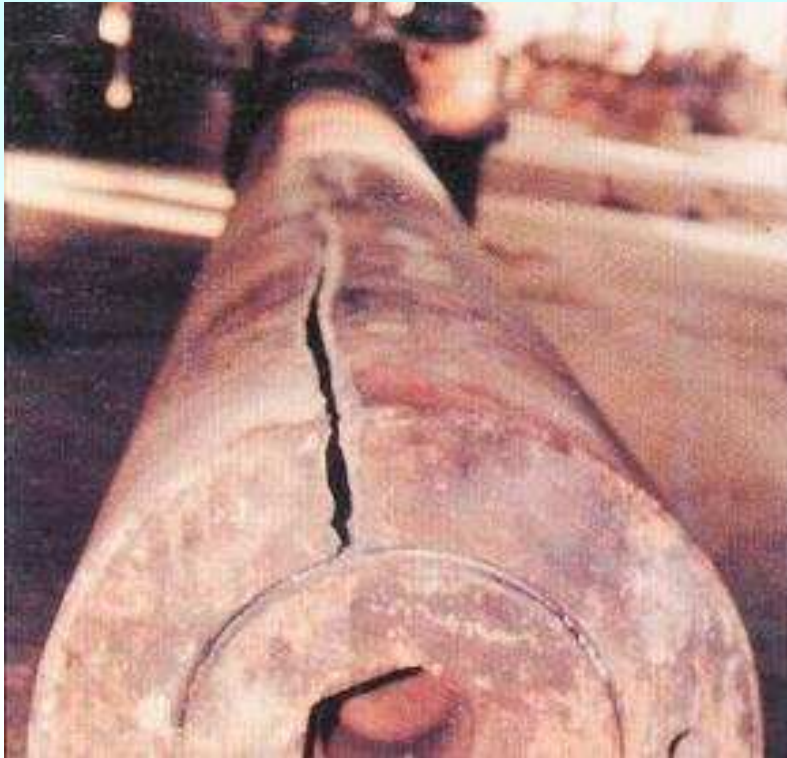


图2 厚壁容器
脆性断裂外观



图3 薄壁容器韧性断裂外观

绪论（续）

压力容器的规范标准——一般是结合本国国情而强制或推荐使用的

对压力容器的材料、设计、制造、安装、使用、检验和修理、修改提出相应的要求。

如我国的**GB150** 《压力容器》

JB4732 《钢制压力容器——分析设计标准》

JB/T4735 《钢制焊接常压容器》

技术法规 《固定式压力容器安全技术监察规程》等

绪论（续）

（三）过程设备的基本要求

- a. 安全可靠
- b. 满足过程要求
- c. 综合经济性好
- d. 易于操作、维护和控制
- e. 优良的环境性能

绪论（续）

a. 安全可靠

影响过程设备安全可靠性因素主要有：

材料的强度、韧性和与介质的相容性；
设备的刚度、抗失稳能力和密封性能。

绪论（续）

（1）材料的强度高、韧性好

材料强度：是指载荷作用下材料抵抗永久变形和断裂的能力。
屈服点和抗拉强度是钢材常用的强度判据。

材料韧性：韧性是指材料断裂前吸收变形能量的能力。
材料韧性越好，临界尺寸越大，过程设备对缺陷就越不敏感。韧性随着强度的提高而降低。在选择材料时，应特别注意材料强度和韧性的合理匹配。

环 境：影响材料韧性。低温、受中子辐照或在高温高压临氢条件下工作，都会降低材料韧性，使材料脆化。

绪论（续）

（2）材料与介质相容

过程设备的介质通常是腐蚀性强的酸、碱、盐。材料被腐蚀后，不仅会导致壁厚减薄，而且有可能改变其组织和性能。因此，材料必须与介质相容。

绪论（续）

（3）结构有足够的刚度和抗失稳能力

刚度：是过程设备在载荷作用下保持原有形状的能力。

失稳：是过程设备常见的失效形式之一。

（4）密封性能好——密封性是指过程设备防止介质或空气泄漏的能力

内泄漏：内部各腔体间的泄漏；轻者引起产品污染，重者引起设备爆炸等。

外泄漏：介质通过可拆部件或穿透性缺陷泄漏到环境中，或空气进入设备中的泄漏。引起环境污染、中毒、燃烧和爆炸等。

绪论（续）

b. 满足过程要求

（1）功能要求：要求达到某种功能，以满足生产的需要

如：储罐的储存量、换热器的传热量和压力降，反应器的反应速率，塔的流量、传热传质效率等。

（2）寿命要求

高压容器：> 20年

塔设备、反应设备：> 15年

一般设备：> 10年

绪论（续）

C. 综合经济性好

（1）高效低耗

生产效率：过程设备单位时间内单位容积（或面积）处理物料或所得产品的数量。

消耗：一是指降低过程设备制造过程中的资源消耗，如原材料、能耗等；二是指降低过程设备使用过程中生产单位质量或体积产品所需的资源消耗。

工艺流程和结构形式都对过程设备的经济性有显著影响。

（2）结构合理、制造简便

（3）易于运输和安装

绪论（续）

d. 易于操作、维护和控制

- （1）操作简单
- （2）维护性（**maintainability**）和修理性(**reparability**)好
- （3）便于控制

绪论（续）

e. 优良的环境性能

留下蓝天和绿地！



绪论（续）

上述要求很难全部满足，设计时应针对具体问题具体分析，满足主要要求，兼顾次要要求。



绪论（续）

（四）过程设备设计概述

设计是过程设备研制的第一道工序，设计工作的质量和水平，对产品的质量、性能、研制周期和经济效益往往起着决定性的作用。

A. 基本设计步骤

B. 影响参数设计的因素

绪论（续）

A. 基本设计步骤

需求分析、目标界定、总体结构设计、零部件结构设计、参数设计和设计实施等，是一个不断决策的过程。

在总体结构设计、零部件结构设计和参数设计中都要反复应用图0-1所示的决策过程。

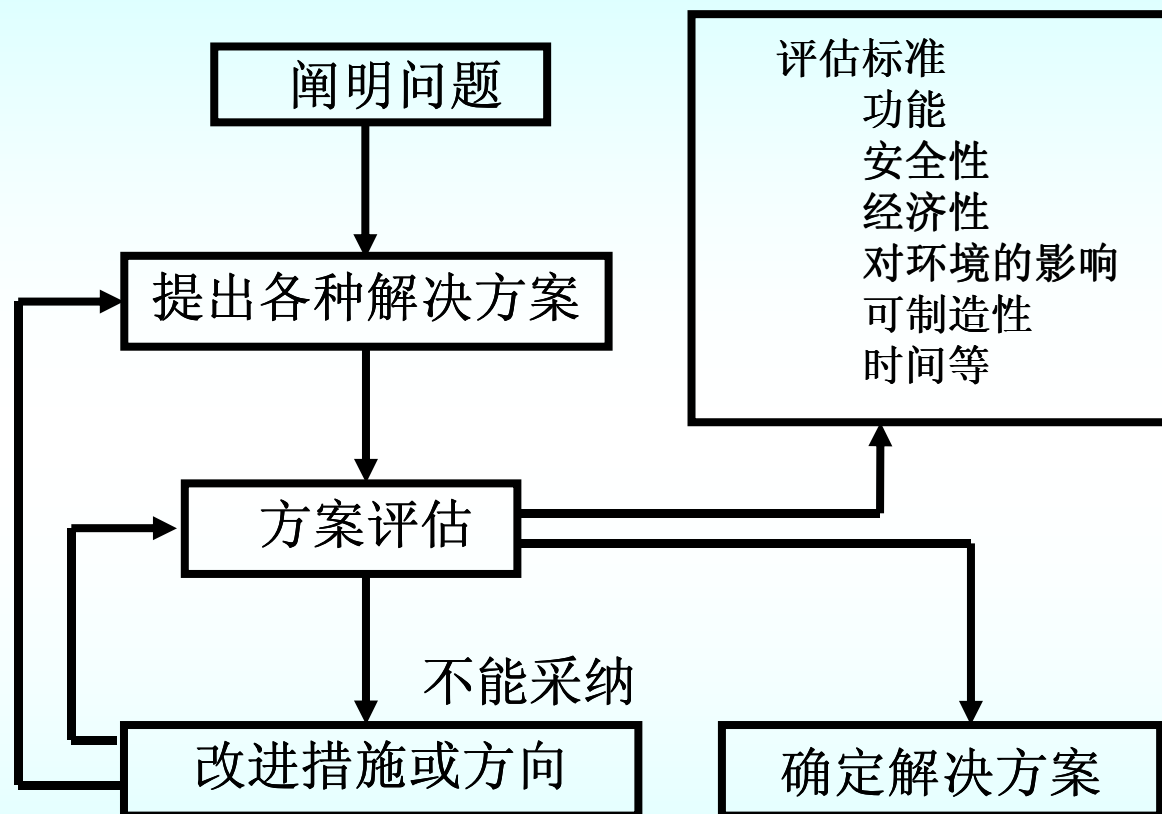


图 0-1 设计常用的决策过程

成功的设计必须综合平衡产品性能、成本和环境这三个要求

绪论（续）

（1）需求分析和目标界定

（2）总体结构设计

任务：确定过程设备的工作原理、总体布局和零部件之间的相互关系。它对过程设备的效率、安全性、可靠性、可制造性等有显著的影响，有时甚至起到决定性的作用。

方法：总体结构设计时，常常根据设计要求，将过程设备功能逐步分解，直至零部件。

（3）零部件结构设计

（4）参数设计

参数分类：确定参数、**设计参数**、状态参数和性能参数。

绪论（续）

a. 确定参数——

由工艺计算确定而在设计中不允许改变的参数。

如：工作压力、工作温度、容积等。

b. 设计参数——

可以在一定范围内变化的参数，由设计计算确定。

如：容器壁厚、搅拌轴直径、换热管长度等。

c. 状态参数——

根据确定参数、设计参数和工作条件，按计算模型或经验公式（包括图表等）计算得到，需按强度、刚度、稳定性等要求控制的量。

如：应力、应变、位移、固有频率等。

d. 性能参数——

描述过程设备性能的参数。是设计时所追求的目标。

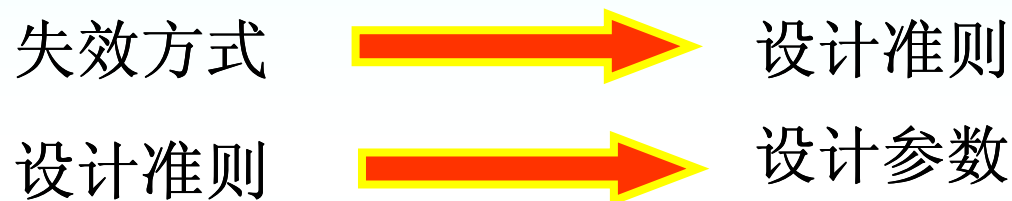
如：重量、成本、生产效率、寿命等。

绪论（续）

B. 影响参数设计的因素

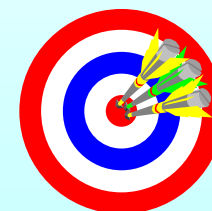
影响设计参数、状态参数和性能参数的因素主要有：

（1）设计准则



参量 < 许用值，限制条件

随着经验的积累、测试手段的改进、计算技术的提高和研究的深入，设计准则不断得到丰富和发展。例如，压力容器**常规设计**（弹性失效设计准则），压力容器**分析设计**（弹性失效设计准则、塑性失效设计准则、弹塑性失效设计准则）。



绪论（续）

B. 影响参数设计的因素（续）

（2）材料

屈服点、抗拉强度、断后伸长率、断面收缩率、弹性模量、泊桑比、应力应变关系、持久强度、夏比V型缺口冲击功、断裂韧性、裂纹扩展速率、热膨胀系数等。

（3）规范标准

设备设计需要满足许多规范标准的要求

标准使用要求 { 一、设计时要采用最新标准
二、全面正确的使用标准，不可套用或混用³⁰

（五）本课程的内容

第一篇：介绍压力容器总体结构、应力分析模型、环境和时间对材料性能的影响、失效形式及各种设计方法等，提高学生在设计阶段分析和解决压力容器全寿命过程中安全问题的能力。

第二篇：介绍储运设备、传热设备、塔设备和反应设备等典型过程设备，突出功能要求、结构特点与设计选用的联系。

