



第二章 压力容器应力分析

CHAPTER II STRESS ANALYSIS OF PRESSURE VESSELS



本章主要内容

●2.1 载荷分析

2.1.1 载荷

2.1.2 载荷工况

●2.2 回转薄壳应力分析

2.2.1 薄壁圆筒的应力

2.2.2 回转薄壳的无力矩理论

2.2.3 无力矩理论的基本方程

2.2.4 无力矩理论的应用

2.2.5 回转薄壳的不连续分析



本章主要内容

●2.3 厚壁圆筒应力分析

2.3.1 弹性应力

2.3.2 弹塑性应力

2.3.3 屈服压力和爆破压力

2.3.4 提高屈服承载能力的措施

●2.4 平板应力分析

2.4.1 概述

2.4.2 圆平板对称弯曲微分方程

2.4.3 圆平板中的应力

2.4.4 承受轴对称载荷时环板中的应力



本章主要内容

●2.5 壳体屈曲分析

2.5.1 概述

2.5.2 均布轴压圆筒的临界应力

2.5.3 周向受外压圆筒的临界压力

2.5.4 其他回转薄壳的临界压力

2.5.5 壳体许用临界载荷

2.5.6 壳体屈曲数值模拟方法

●2.6 典型局部应力

2.6.1 概述

2.6.2 受内压壳体与接管连接处的局部应力

2.6.3 降低局部应力的措施



2.1 载荷分析

● 2.1.1 载荷

● 2.1.2 载荷工况



2.1.1 载荷

载荷——能够在压力容器上产生应力、应变的因素，如介质压力、风载荷、地震载荷等。

介绍：

压力容器全寿命周期内
可能遇到的主要载荷

压力载荷

非压力载荷

交变载荷



2.1.1 载荷（续）

一、压力

压力是压力容器承受的基本载荷



内压

外压

内、外压

压力

绝对压力

- 以绝对真空为基准测得的压力。
- 通常用于过程工艺计算。

表压

- 以大气压为基准测得的压力。
- 压力容器机械设计中，一般采用表压。



2.1.1 载荷（续）

一、压力（续）

压力容器中的压力来源

1

流体经泵或压缩机，通过与容器相连接的管道，输入容器内而产生压力，如氨合成塔、尿素储罐等。

2

加热盛装液体的密闭容器，液体膨胀或汽化后使容器内压力升高，如人造水晶釜。

3

盛装液化气体的容器，如液氨储罐、液化天然气储罐等，其压力为液体的饱和蒸气压。

液体静压力——装有液体的容器，液体重量将产生压力。



2.1.1 载荷（续）

二、非压力载荷

The diagram illustrates the classification of non-pressure loads. A large red arrow points from the title '二、非压力载荷' down to a yellow box labeled '整体载荷'. Another red arrow points from the same title box diagonally down to a yellow box labeled '局部载荷'. Below each box is a callout bubble containing a description of the load type.

整体载荷

作用于整台容器上的载荷，如重力、风、地震、运输等引起的载荷。

局部载荷

作用于容器局部区域上的载荷，如管系载荷、支座反力和吊装力等。



2.1.1 载荷（续）

二、非压力载荷（续）

a. 重力载荷

定义——由容器及其附件、内件和物料的重量引起的载荷。

计算重力载荷时，除容器自身的重量外，应根据不同的工况考虑隔热层、内件、物料、平台、梯子、管系和由容器支撑的附属设备等的重量。



2.1.1 载荷（续）

二、非压力载荷（续）

b. 风载荷

定义——作用在容器及其附件迎风面上的有效风压来计算的载荷。

它是由高度湍流的空气扫过地表时形成的非稳定流动引起的。风的流动方向通常为水平的，但是它通过障碍物表面时，可能有垂直分量。

振动——风载荷作用下，除了使容器产生应力和变形外，还可能使容器产生顺风向的震动和垂直于风向的**诱导振动**。

第7.6节讲解



2.1.1 载荷（续）

二、非压力载荷（续）

c. 地震载荷

定义——作用在容器上的地震力，它产生于支承容器的地面突然振动和容器对振动的反应。地震时，作用在容器上的力十分复杂。为简化设计计算，通常采用**地震影响系数**，把地震力简化为当量剪力和弯矩。

参见塔设备
计算（第
7.5节）

地震影响系数与容器所在地的**场地土类别**、**震区类型**和**地震烈度**等因素有关，具体取值可参阅有关地震设计规范。



2.1.1 载荷（续）

二、非压力载荷（续）

d. 运输载荷

定义——指运输过程中由不同方向的加速度引起的力。

容器经陆路或海上运送到安装地点，由于运输车辆或船舶的运动，容器将承受不同方向上的加速度。

运输载荷可用水平方向和垂直方向加速度给出，也可用加速度除以标准重力加速度所得到的系数表示。



2.1.1 载荷（续）

二、非压力载荷（续）

e. 波浪载荷

定义——指固置在船上的容器，由于波浪运动而产生的加速度引起的载荷。

表示方法与运输载荷相同。
晃动载荷是**交变**的，应考虑**疲劳**的要求，有关设计数据，可参考船舶分类的规范标准。



2.1.1 载荷（续）

二、非压力载荷（续）

f. 管系载荷

定义——指管系作用在容器接管上的载荷。

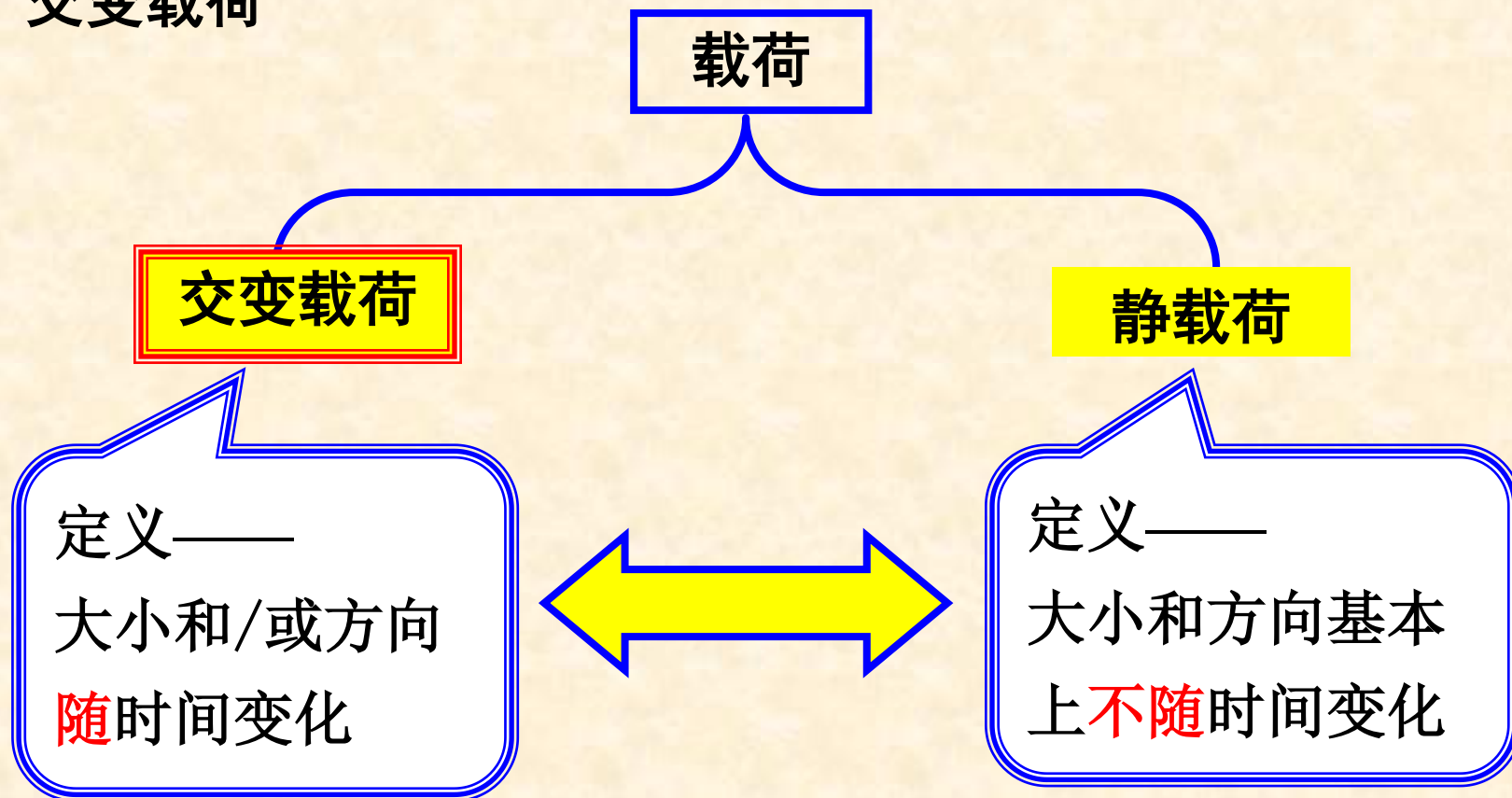
当管系与容器接管相连接时，由于管路及管内物料重量、管系的热膨胀和风载荷、地震或其他载荷的作用，在接管处产生的载荷就是管系载荷。

在设计容器时，管路的总体布置通常还没有最后确定，因此不可能进行管路应力分析来确定接管处的载荷。正是由于这个原因，往往要求压力容器购买方提供管系载荷。容器设计者必须保证接管能经受住这些载荷，确保不会在容器或接管处产生过大的应力。管线布置最终确定后，管路设计者要确保由接管应力分析得到的载荷不会超出指定的管系载荷。



2.1.1 载荷（续）

三、交变载荷





2.1.1 载荷（续）

三、交变载荷（续）—— 典型实例

- 1 间歇生产的压力容器的重复加压、减压；
- 2 由往复式压缩机或泵引起的压力波动；
- 3 生产过程中，因温度变化导致管系热膨胀或收缩，从而引起接管上的载荷变化；
- 4 容器各零部件之间温度差的变化；
- 5 装料、泄料引起的容器支座上的载荷变化；
- 6 液体波动引起的载荷变化；
- 7 振动引起的载荷变化（例如风诱导振动）。



2.1.1 载荷（续）

三、交变载荷（续）

载荷的——
▲ 变化范围
▲ 循环次数

疲劳设计

小载荷改变量 ↔ 大循环次数

大载荷改变量 ↔ 小循环次数

同样
认真
考虑

容器设计——
重要控制因素



2.1.1 载荷（续）

小结

压力载荷

内压
外压
内外压

通常要考虑

非压力载荷

重力载荷
风载荷
地震载荷
运输载荷
波动载荷
管系载荷

部分要考虑

交变载荷

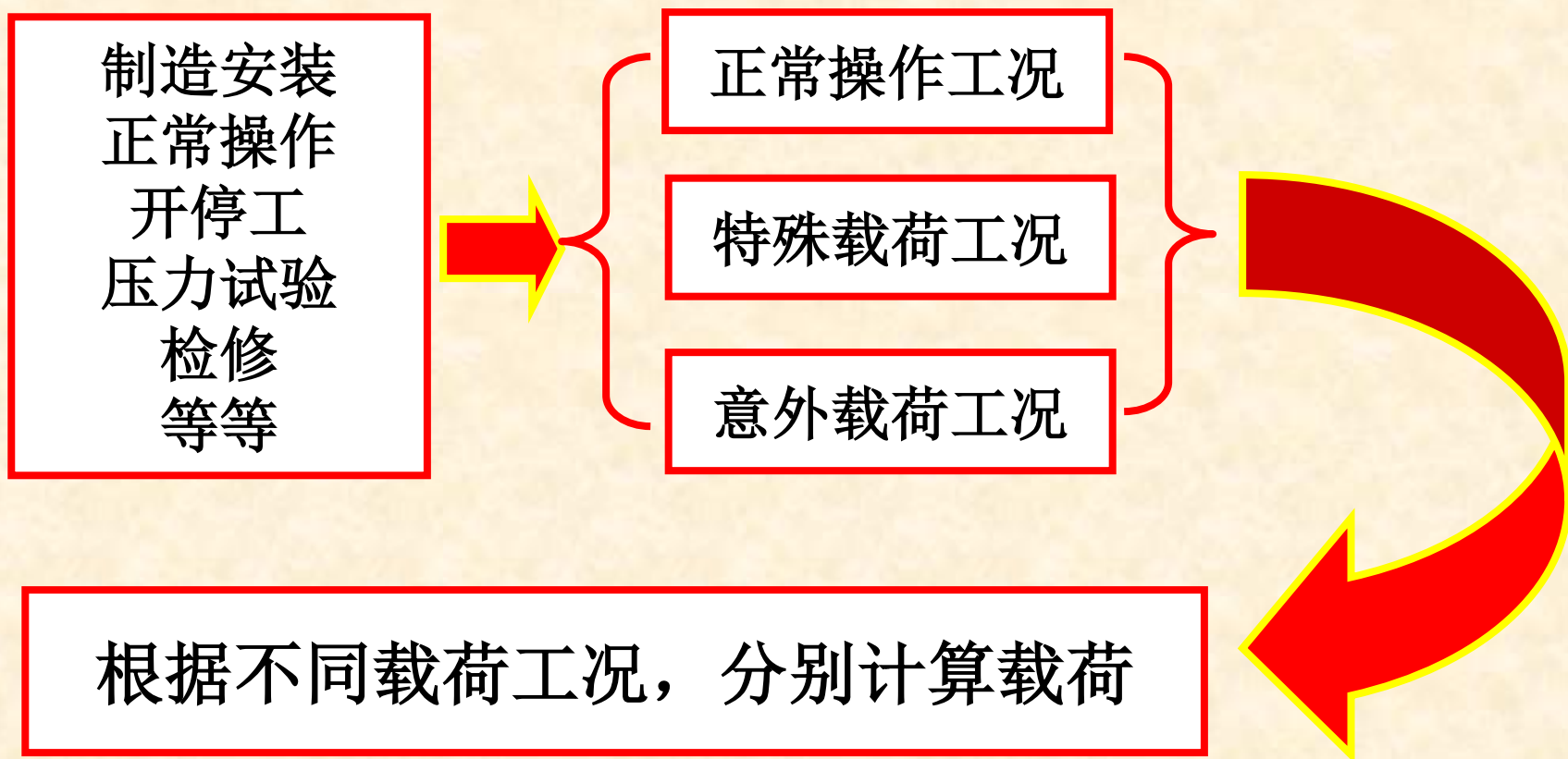
载荷变化
(大小
方向)
循环次数

具体情况考虑



2.1.2 载荷工况

定义——在工程上，容器受到不同载荷的情况。





2.1.2 载荷工况（续）

一、正常操作工况

载荷

设计压力

液体静压力

重力载荷

风载荷

地震载荷

其他载荷

隔热材料、衬里、内件、物料、平台、梯子、管系、支承在容器上的其他设备重量等



2.1.2 载荷工况（续）

二、特殊载荷工况

1. 压力试验

制造完工的容器在制造厂进行压力试验时的载荷。

一般不考虑
地震载荷

制造厂做压力试验
的载荷

试验压力
试验液体静压力和
实验液体的重量
容器自身的重量

立式容器卧置做水压
试验——

考虑● 液柱静压力
● 容器顶部的
压力校核
● 液体重量

现场做压力试验
的载荷

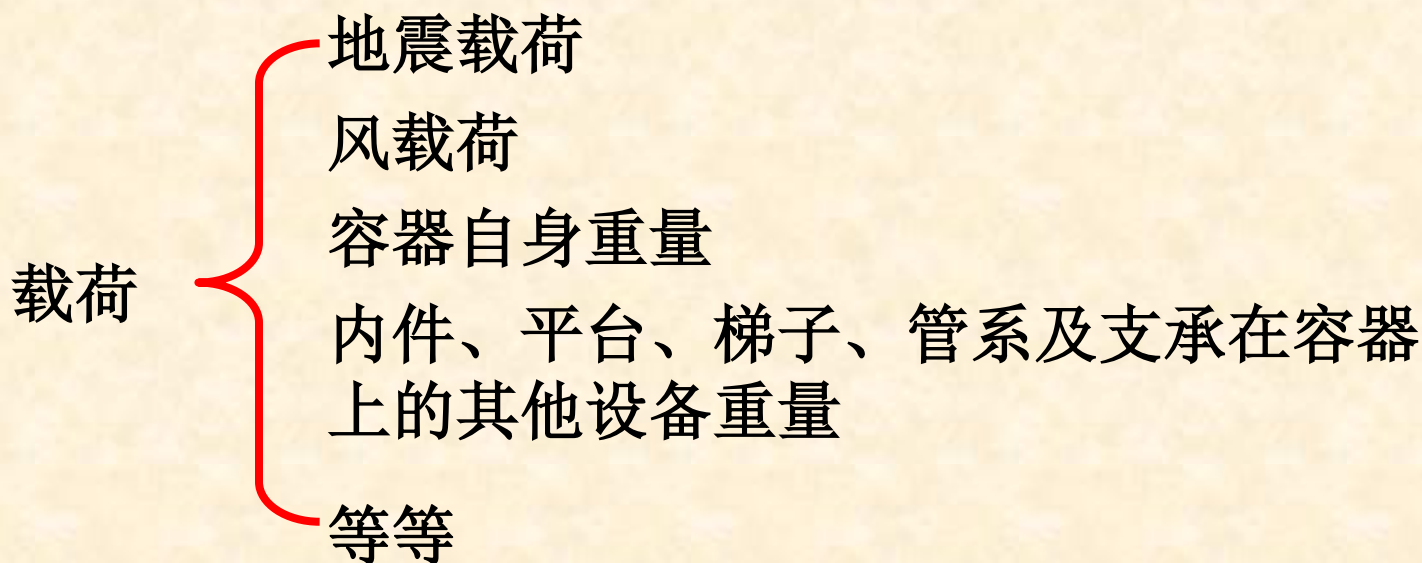
试验压力
试验液体静压力
试验时的重力载荷



2.1.2 载荷工况（续）

二、特殊载荷工况（续）

2. 开停工及检修



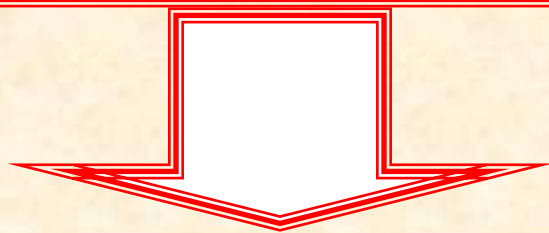


2.1.2 载荷工况（续）

三、意外载荷工况

紧急状态下

容器的快速启动或突然停车
容器内发生化学爆炸
容器周围的设备发生燃烧或爆炸等



爆炸载荷、
热冲击等意
外载荷