

第四章 压力容器设计  
CHAPTER IV  
Design of Pressure Vessel

## 4.3 常规设计

4.3.6 支座和检查孔

4.3.7 安全泄放装置

4.3.8 焊接结构设计

4.3.9 压力试验

4.1 概述

4.2 设计准则

4.3 常规设计

4.4 分析设计

4.5 疲劳分析

4.6 压力容器设计技术进展

4.3.1 概述

4.3.2 圆筒设计

4.3.3 封头设计

4.3.4 密封装置设计

4.3.5 开孔和开孔补强设计

4.3.6 支座和检查孔

4.3.7 安全泄放装置

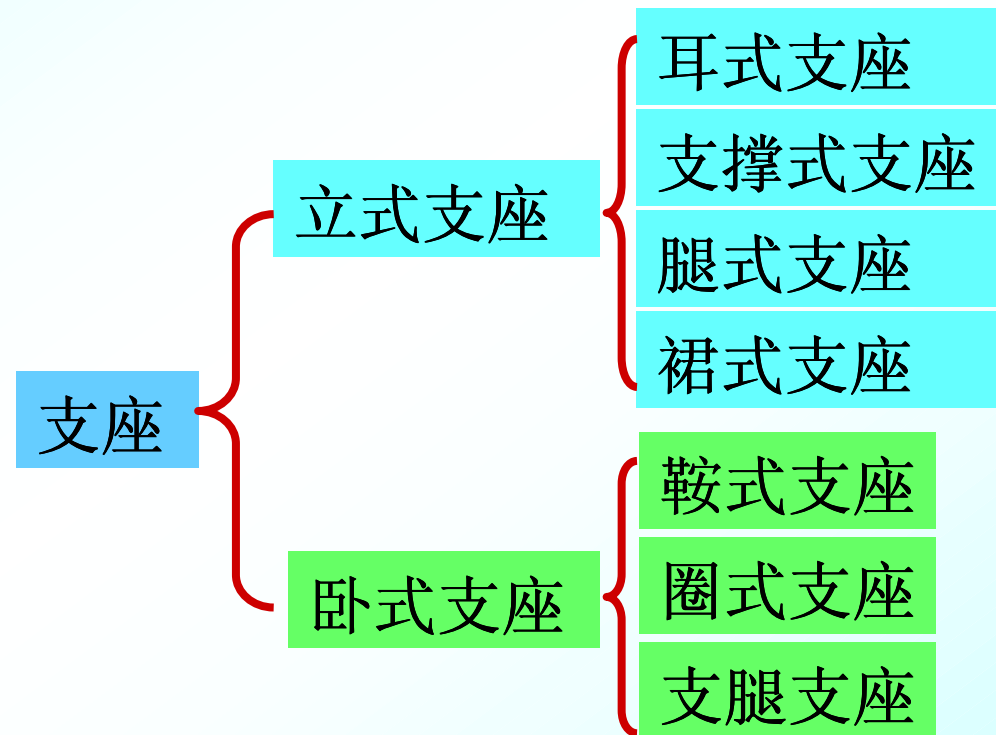
4.3.8 焊接结构设计

4.3.9 压力试验

## 4.3.6 支座和检查孔

### 一、支座

支座是用来支承容器及设备重量，并使其固定在某一位置的压力容器附件。在某些场合还受到风载荷、地震载荷等动载荷的作用。



### 1. 立式容器支座

#### (1) 耳式支座（悬挂式支座）

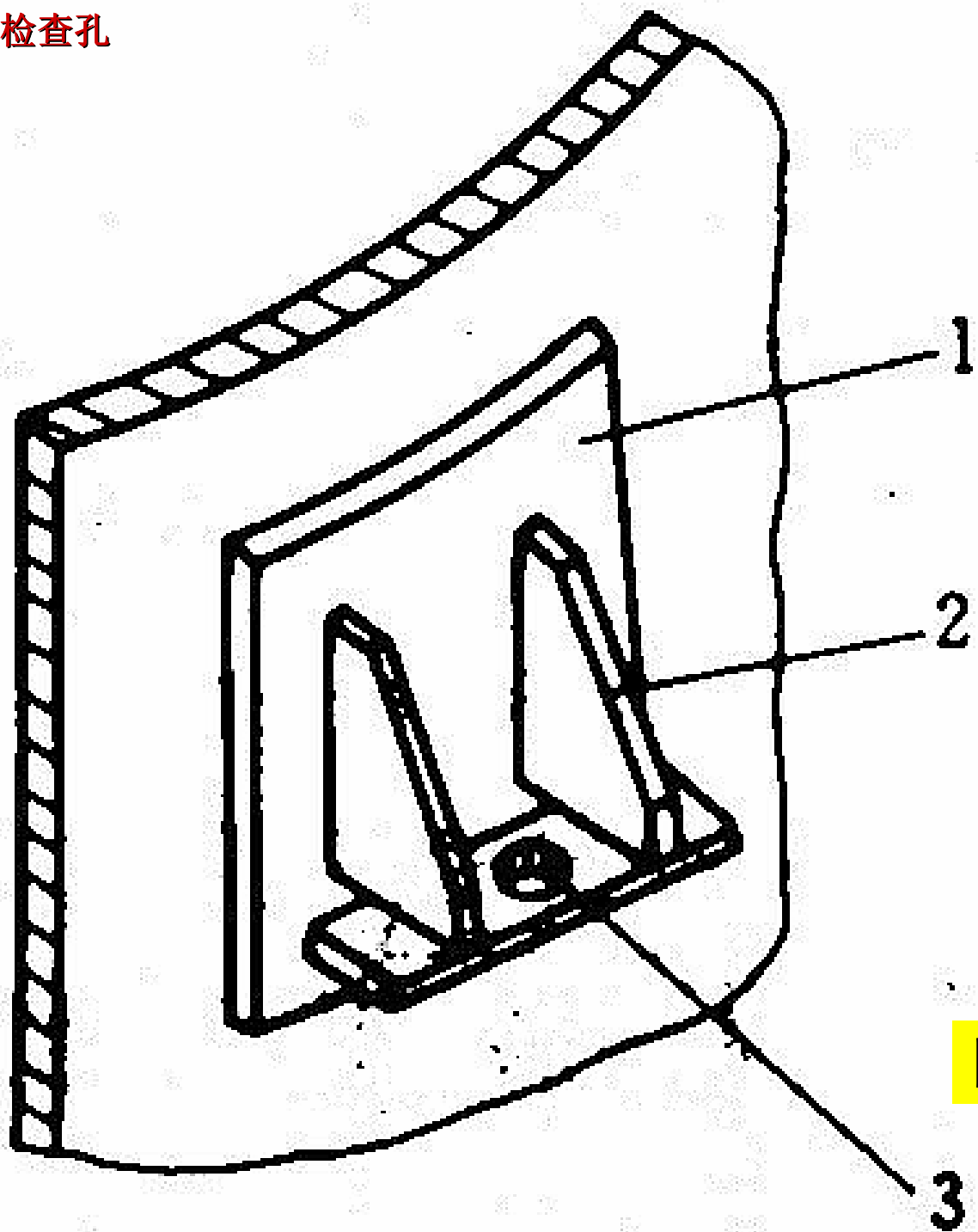
**结构：**由筋板和支脚板组成，广泛用于反应釜及立式换热器等直立设备上。

**特点：**简单、轻便，但对器壁会产生较大的局部应力。因此，当容器较大或器壁较薄时，应在支座与器壁间加一垫板，垫板的材料最好与筒体材料相同。

例如：不锈钢容器用碳素钢作支座时，为防止器壁与支座在焊接过程中合金元素的流失，应在支座与器壁间加一不锈钢垫板。

**标准：** JB/T4725

《耳式支座》，它将耳式支座分为A型（短臂）和B型（长臂）两类，每类又有带垫板和不带垫板两种，不带垫板的分别以AN和BN表示。B型耳式支座有较大的安装尺寸，当容器外面包有保温层，或者将容器直接放置在楼板上时，宜选用B型。



1-垫板；  
2-筋板；  
3-支脚板

图4-39 耳式支座

### (2) 支承式支座

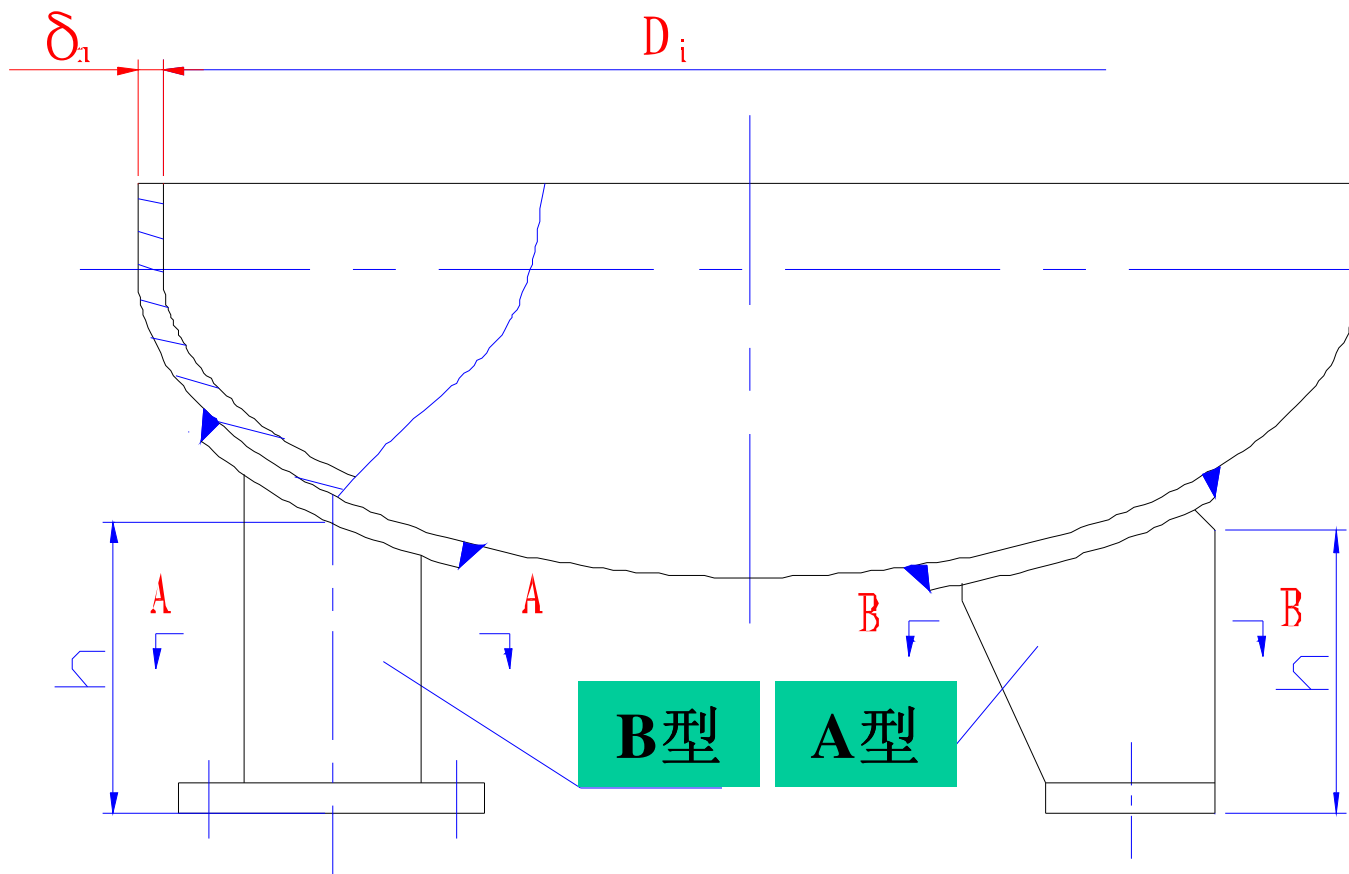
**结构：**在容器封头底部焊上数根支柱，直接支承在基础地面上。

**特点：**简单方便，但它对容器封头会产生较大的局部应力，因此当容器较大或壳体较薄时，必须在支座和封头间加垫板，以改善壳体局部受力情况。

**应用：**高度不大、安装位置距基础面较近且具有凸形封头的立式容器。

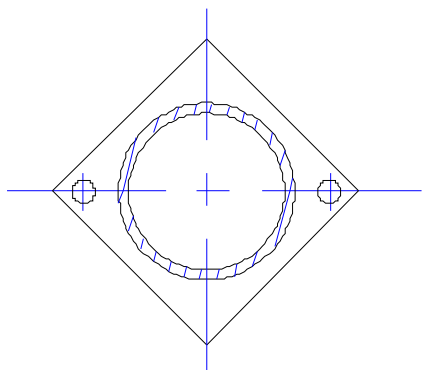
**标准：**JB/T4724 《支承式座》。

它将支承式支座分为A型和B型，A型支座由**钢板**焊制而成；B型支座采用**钢管**作支柱。支座与封头连接处是否加垫板，应根据容器材料和容器与支座焊接部位的强度及稳定性决定。

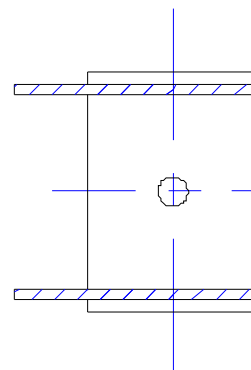


**B型**    **A型**

A-A



B-B



**图4-40 支承式支座**

#### 4.3.6 支座和检查孔

### (3) 腿式支座（支腿）

**特点：**结构简单、轻巧、安装方便，在容器下面有较大的操作维修空间。但当容器上的管线直接与产生脉动载荷的机器设备刚性连接时，不宜选用腿式支座。

**选用：**1) 根据容器公称直径DN和总质量选取相应的支座号和支座数量，2) 计算支座承受的实际载荷，使其不大于支座允许载荷。除容器总质量外，实际载荷还应综合考虑风载荷、地震载荷和偏心载荷。

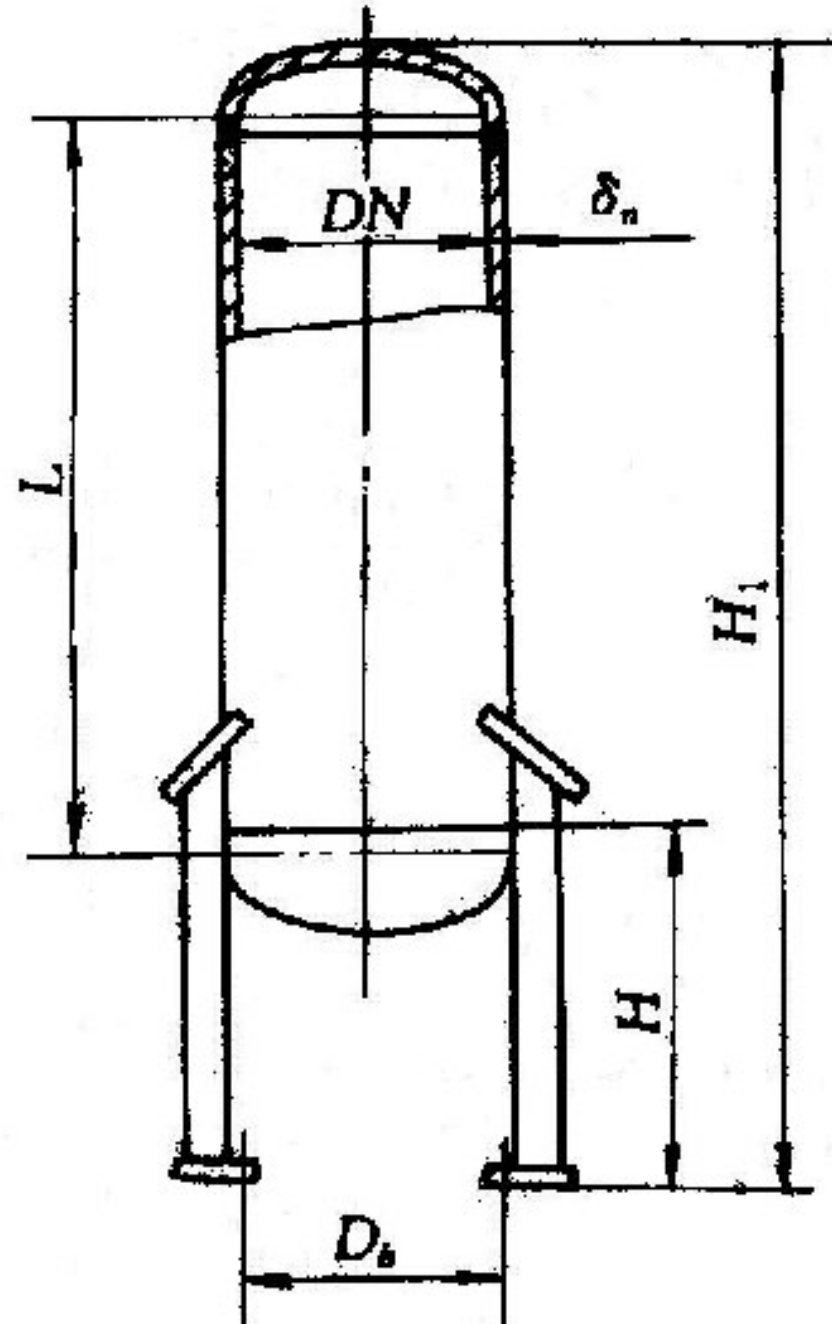


图4-41 腿式支座



**选用：**1) 根据容器公称直径DN和总质量选取相应的支座号和支座数量，2) 计算支座承受的实际载荷，使其不大于支座允许载荷。

除容器总质量外，实际载荷还应综合考虑风载荷、地震载荷和偏心载荷。

**与支承式支座的区别：**腿式支座是支承在容器的圆柱体部分，而支承式支座是支承在容器的底封头上。

**标准：**

JB/T4713 《腿式支座》。

**A型：**角钢支柱，易与容器圆筒相吻合、焊接安装较为容易；

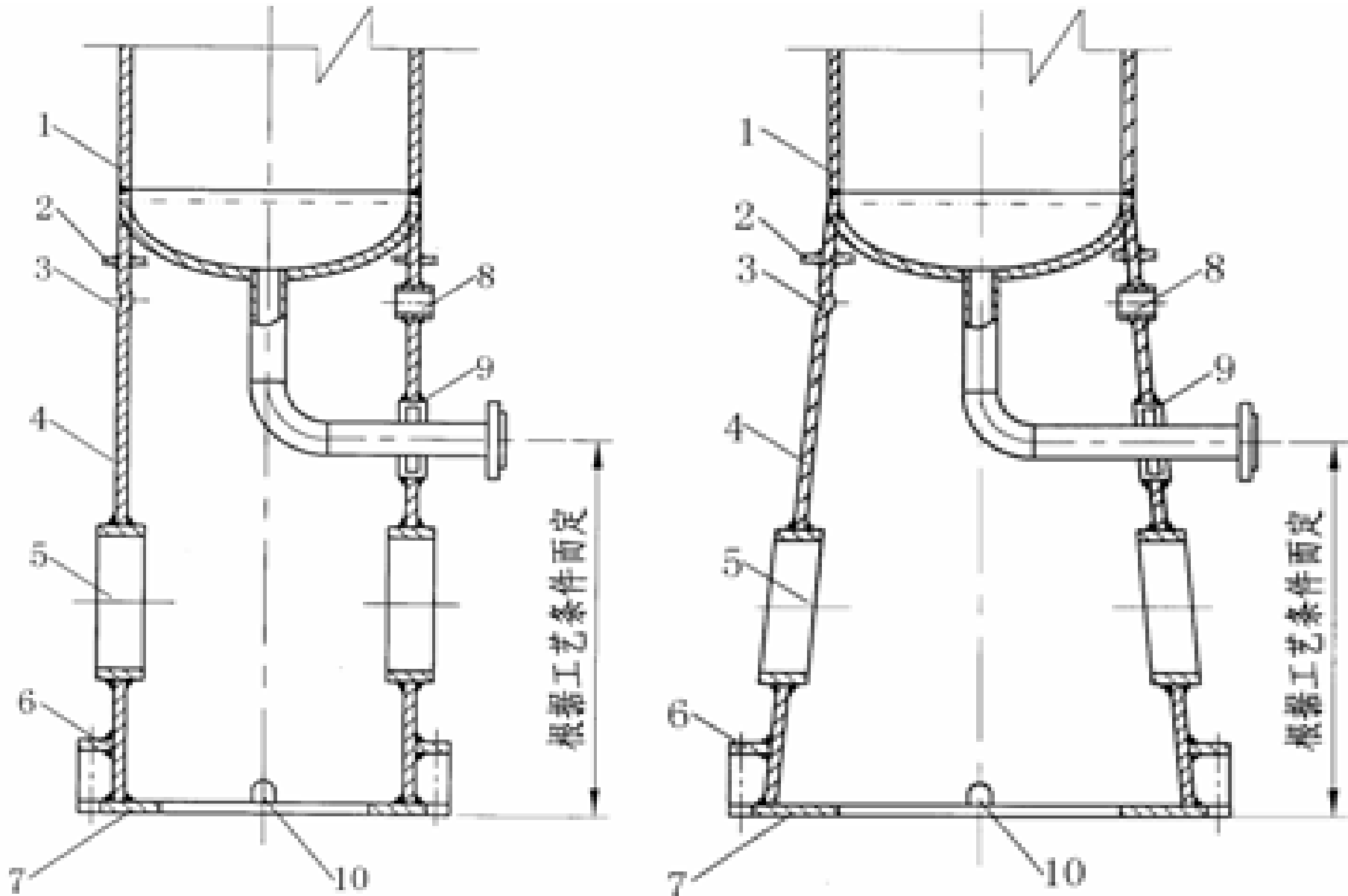
**B型：**钢管支柱，所有方向上具有相同截面系数、较高抗受压失稳能力，又有带垫板与不带垫板。

**应用：**多用于高度较小的中小型立式容器中。

(4) 裙式支座

应用：高大的立式容器，特别是塔器。

形式：圆筒形裙座和圆锥形裙座。第7章详细介绍。



1—塔体; 2—保温支承圈; 3—无保温时排气孔;  
4—裙座筒体; 5—人孔; 6—螺栓座; 7—基础环;  
8—有保温时排气孔; 9—引出管通道; 10—排液孔

图7-68 裙座的结构

## 2. 卧式容器支座

形式：鞍座、圈座及支腿三种

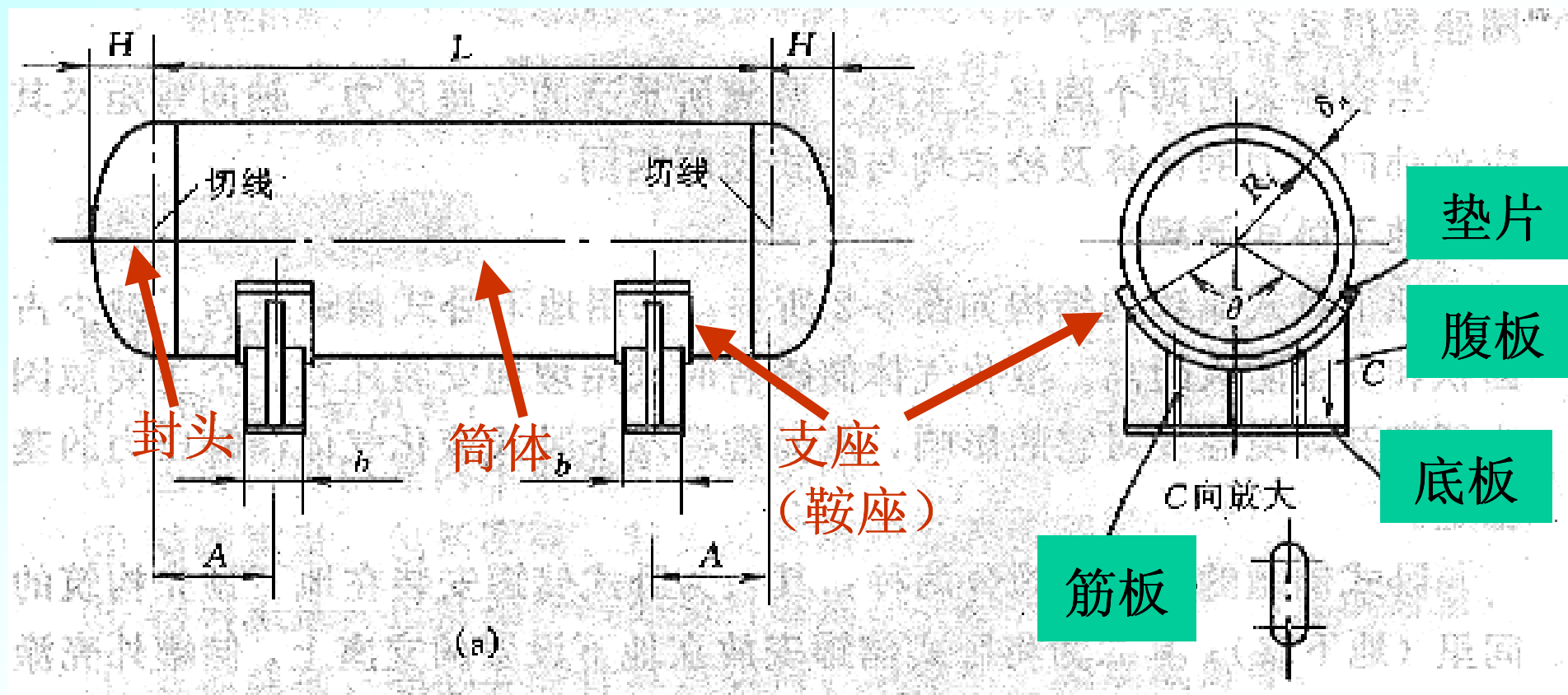
### 应用：

常见的大型卧式储罐、换热器等多采用鞍座。是应用最为广泛的一种卧式容器支座。

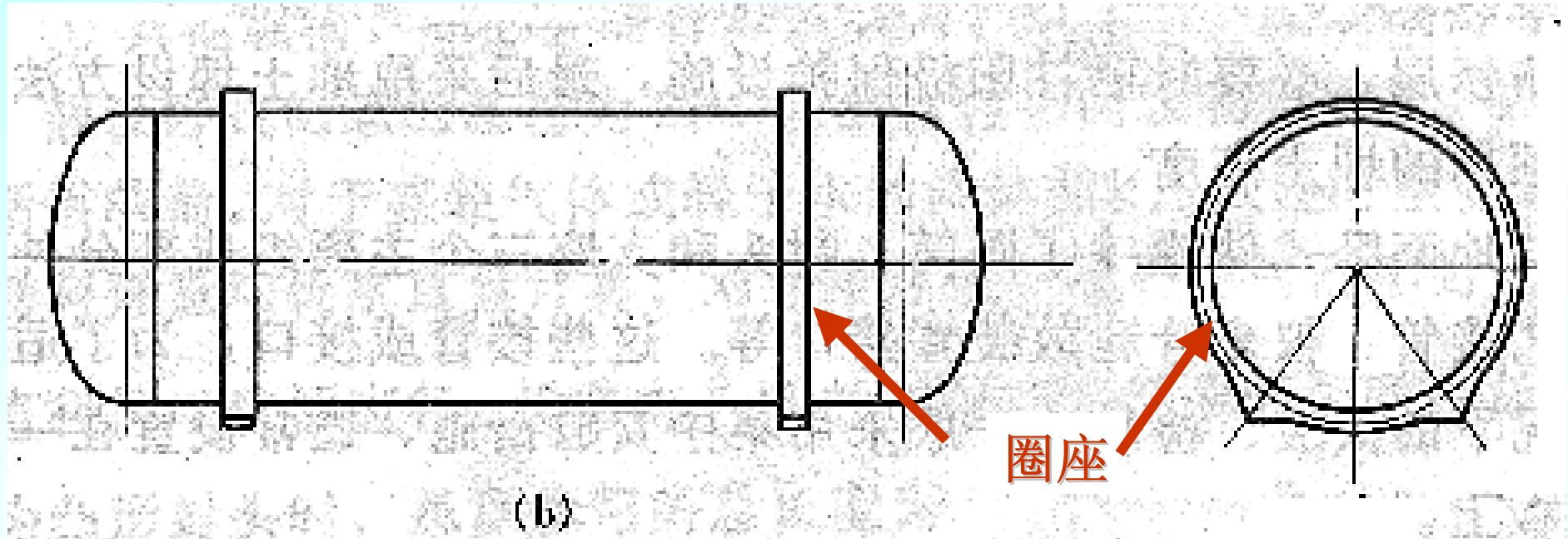
### 其它：

圈座：用于大直径薄壁容器和真空容器，增加局部刚度。

支腿：重量较轻的小型容器。详见第5章。



鞍式支座



圈座

## 二、检查孔

### 目的

检查容器在使用过程中是否有裂纹、变形、腐蚀等缺陷产生。

### 包括


人孔、手孔等，其位置应便于观察或清理容器内部。

### 规定

检查孔最少数量与最小尺寸应符合有关规范的要求。

不必开设检查孔：（符合下列条件之一）

- 筒体内径小于等于300mm的压力容器；
- 容器上设有可拆卸的封头、盖板或其它能够开关的盖子，其封头、盖板或盖子的尺寸不小于所规定检查孔的尺寸；

- 
- 无腐蚀或轻微腐蚀，无需做内部检查和清理的压力容器；
  - 制冷装置用压力容器；
  - 换热器。

#### 不能开设检查孔时：

应在设计时采取相关措施，如对所有对接焊缝进行**100%**的射线或超声检测；在设计图样上注明计算厚度，且在压力容器在用期间或检验时重点进行测厚检查；相应缩短检验周期。



### 4.3.7 安全泄放装置

#### 目的：

保证压力容器安全运行，超压时能自动卸压，防止发生超压爆炸的附属机构。

包括安全阀、爆破片，以及两者的组合装置。

#### 一、安全泄放原理

#### 作用：

1. 正常工作压力下运行时，**保持严密不漏**；超过限定值时，能**自动、迅速地排泄**出容器内介质，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。因为排放气体时，介质是以高速喷出，常常发出较大的响声，相当于报警音响讯号。

#### 要求：

1. 安全泄放装置的额定泄放量应不小于容器的安全泄放量。
2. 有超压可能的容器，才单独配备安全泄放装置，并非每台容器都必须直接配置。

#### 安全泄放装置的额定泄放量：

指它在全开状态时，在排放压力下单位时间内所能排出的气量。

#### 容器的安全泄放量：

指容器超压时为保证它的压力不会再升高而在单位时间内所必须泄放的气量。

对于不同的压力容器应按不同的方法取其值

## 二、安全阀

作用

通过阀的自动开启排出气体来降低容器内过高的压力。

优点：

仅排放容器内高于规定值的部分压力，当容器内的压力降至稍低于正常操作压力时，能自动关闭，避免一旦容器超压就把全部气体排出而造成浪费和中断生产；可重复使用多次，安装调整也比较容易。

缺点：

密封性能较差，阀的开启有滞后现象，泄压反应较慢。

## 1. 结构与类型

### 结构：

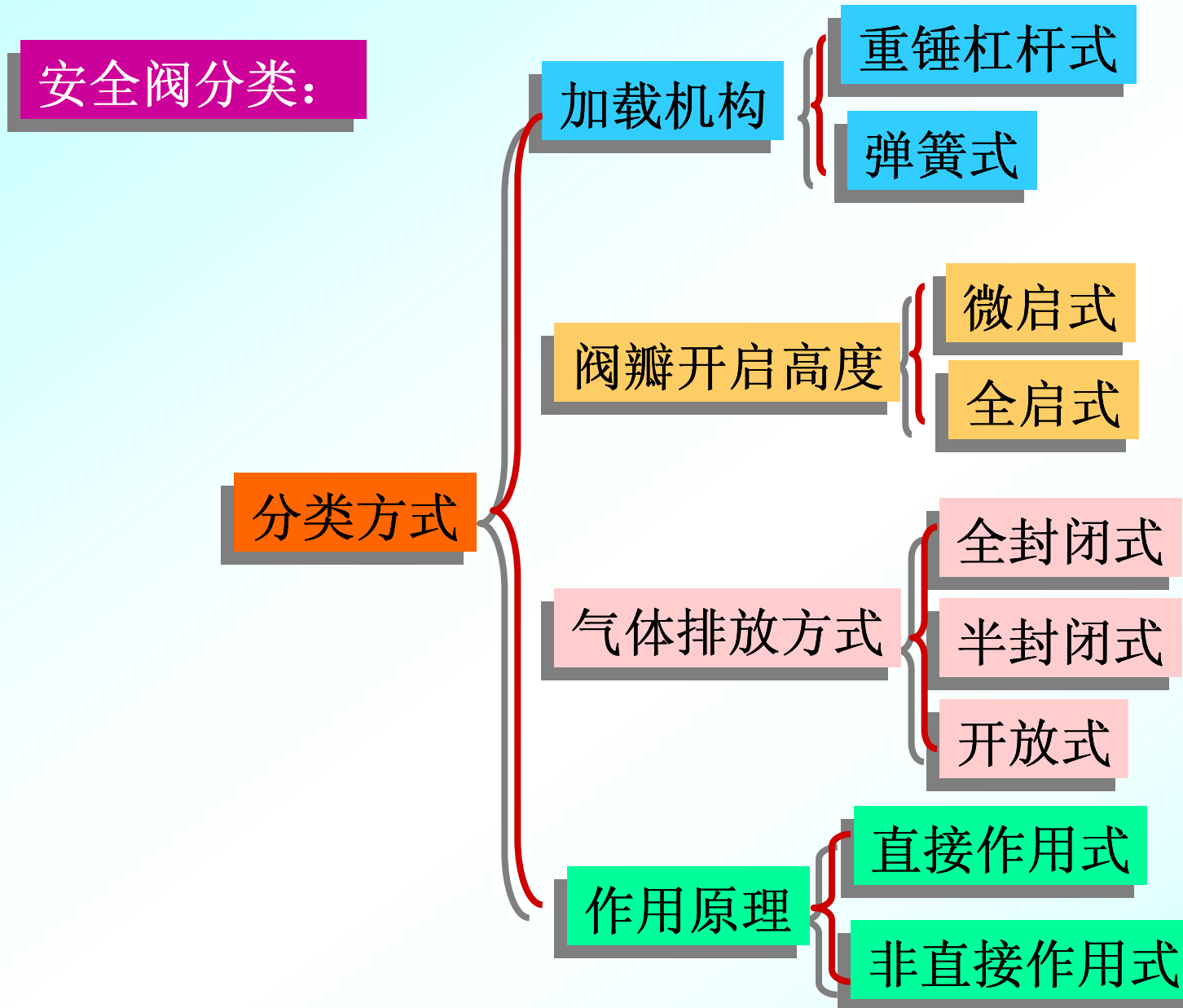
主要由**阀座**、**阀瓣**和**加载机构**组成。阀瓣与阀座紧扣在一起，形成一密封面，阀瓣上面是加载机构。

### 工作原理：

- (1) 安全阀通过作用在阀瓣上的两个力的不平衡作用，使其关闭或开启，达到自动控制压力容器超压的目的。
- (2) 正常工作压力时，容器内介质作用于阀瓣上的力小于加载机构施加在它上面的力，两力之差在阀瓣与阀座之间构成密封比压，使阀瓣紧压着阀座，容器内的气体无法排出；

#### 工作原理：

(3) 容器内压力超过额定的压力并达到安全阀的开启压力时，介质作用于阀瓣上的力大于加载机构加在它上面的力，于是阀瓣离开阀座，安全阀开启，容器内的气体通过阀座排出。如果容器的安全泄放量小于安全阀的额定排放量，经一段时间泄放后，容器内压力会降到正常工作压力以下（即回座压力），此时介质作用于阀瓣上的力已低于加载机构施加在它上面的力，阀瓣又回落到阀座上，安全阀停止排气，容器可继续工作。



## 举例：图4-42

**原理：**利用弹簧压缩力来平衡作用在阀瓣上的力。调节螺旋弹簧的压缩量，就可以调整安全阀的开启（整定）压力。图中所示为带上、下调节圈的弹簧全启式安全阀。装在阀瓣外面的上调节圈和装在阀座上的下调节圈在密封面周围形成一个很窄的缝隙，当开启高度不大时，气流两次冲击阀瓣，使它继续升高，开启高度增大后，上调节圈又迫使气流弯转向下，反作用力使阀瓣进一步开启。因此改变调节圈的位置，可以调整安全阀开启压力和回座压力。

**特点：**结构紧凑、灵敏度高、安装方位不受限制及对振动不敏感等优点，随着结构的不断改进和完善，其使用范围越来越广。

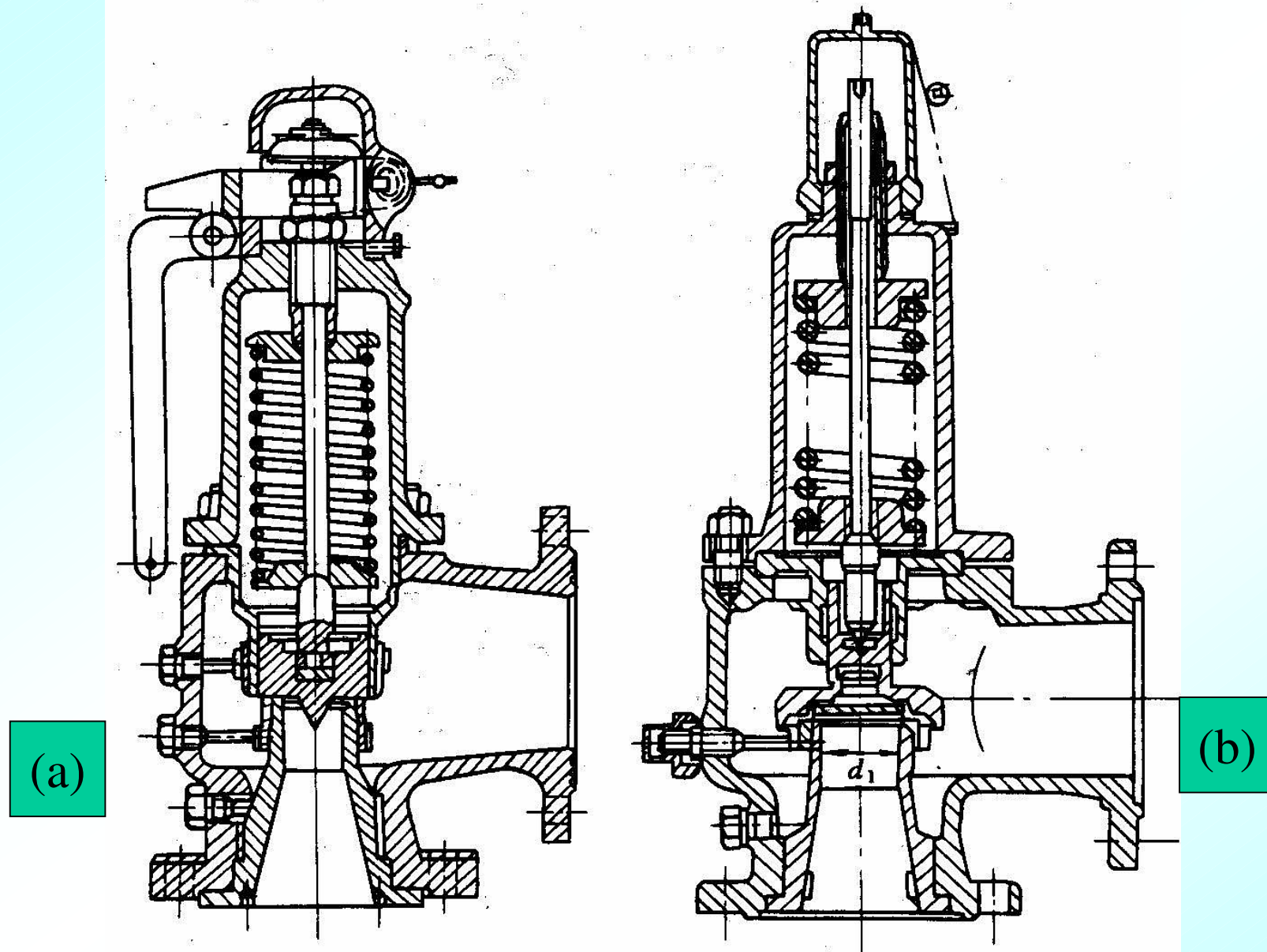


图4-42 弹簧式安全阀  
(a) 有提升把手及上下调节圈 (b) 无提升把手, 有反冲盘及下调节圈



## 2. 安全阀的选用

### 选用原则：

综合考虑压力容器的操作条件、介质特性、载荷特点、容器的安全泄放量，防超压动作的要求（动作特点、灵敏性、可靠性、密闭性）、生产运行特点、安全技术要求，以及维修更换等因素。

具体：

- ①易燃、毒性程度为中度以上危害的介质，必须选用封闭式安全阀，如需带有手动提升机构，须采用封闭式带扳手的安全阀；对空气或其它不会污染环境非易燃气体，可选用敞开式安全阀。
- ②高压容器及安全泄放量较大而壳体的强度裕度又不太大的容器，应选用全启式安全阀；微启式安全阀宜用于排量不大，要求不高的场合。
- ③高温容器宜选用重锤杠杆式安全阀或带散热器的安全阀，不宜选用弹簧式安全阀。

### 三、爆破片

#### 定义：

是一种断裂型安全泄放装置。利用爆破片在标定爆破压力下即发生断裂来达到泄压目的，泄压后爆破片不能继续有效使用，容器也被迫停止运行。

#### 特点：

- (1) 密闭性能好，能做到完全密封；
- (2) 破裂速度快，泄压反应迅速。

因此，当安全阀不能起到有效保护作用时，必须使用爆破片或爆破片与安全阀的组合装置。

## 1. 结构与类型

### 结构：

- 由爆破片元件和夹持器等组成。
- 爆破片元件是关键的压力敏感元件，要求在标定的爆破压力和爆破温度下能够迅速断裂或脱落。
- 夹持器是固定爆破片元件位置的辅助部件，具有额定的泄放口径。

爆破片分类:

分类方式

受力形式

拉伸型

压缩型

剪切型

弯曲型

产品外观

正拱型

反拱型

平板型

破坏动作

爆破型

触破型

脱落型

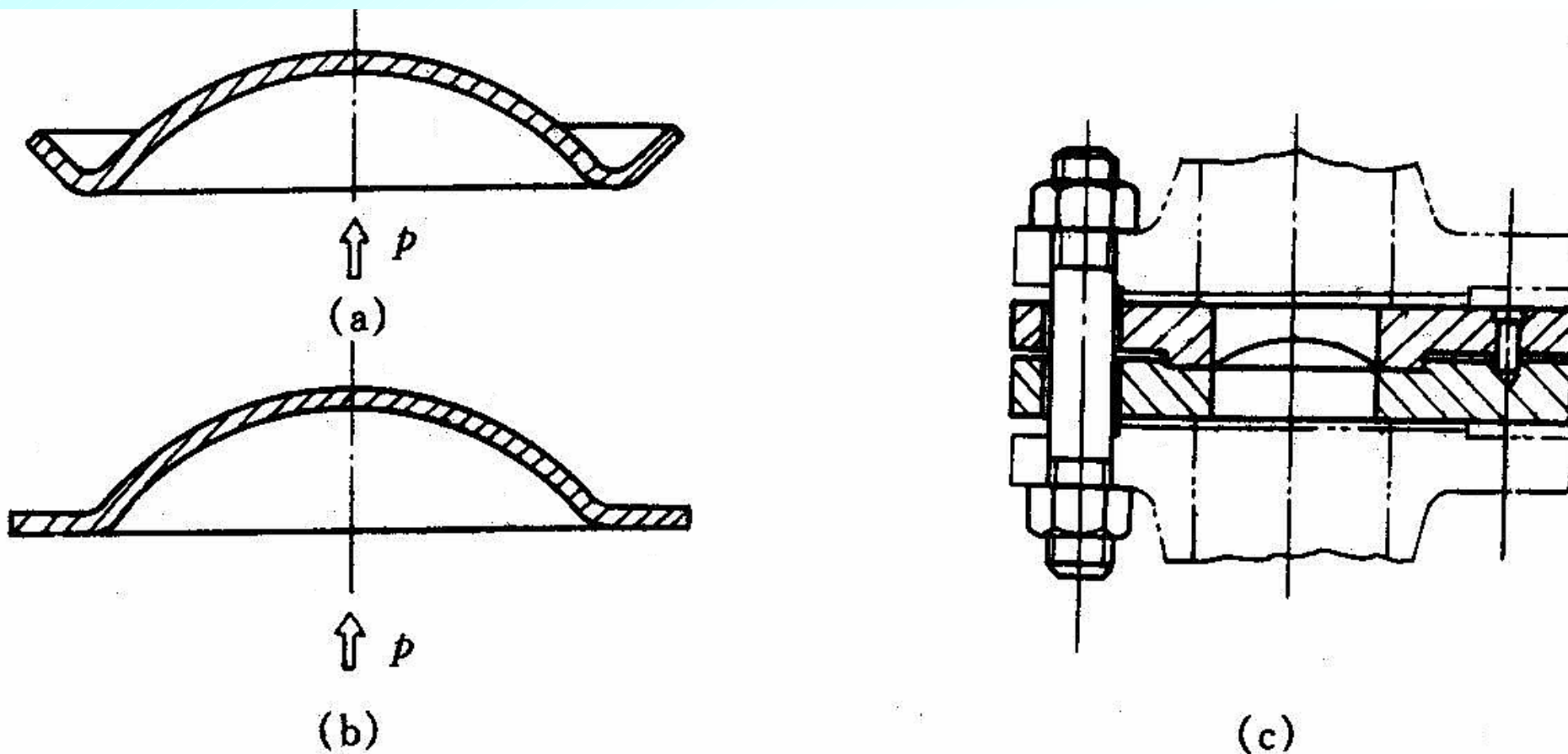


图4-43 正拱开缝型爆破片及夹持器

举例：图4-43

#### 结构：

拱型爆破片的压力敏感元件是一完整的膜片，事先经液压预拱成凸型（a）与（b），装在一副螺栓紧固的夹持器内（c），其中膜片按周边夹持方式分为锥面夹持（a）和平面夹持（b）。


#### 工作：

爆破片安装在压力容器上时，其凹面朝被保护的容器一侧。当系统超压达到爆破片的最低标定爆破压力时，爆破片在双向等轴拉应力作用下爆破，使系统的压力得到泄放。另外，夹持器的内圈与平面应有圆角，以免爆破片元件变形时周边受剪切，影响动作压力的稳定。

## 2. 爆破片的选用

(1) 多数压力容器都使用安全阀，然而安全阀存在“关不严、打不开”的隐患。

(2) 某些场合应优先选用爆破片作为安全泄放装置。

- 
- ① 介质为不洁净气体的压力容器，这些介质易堵塞安全阀通道，或使安全阀开启失灵；
  - ② 物料的化学反应使压力可能迅速上升的压力容器，这类容器内的压力可能会急剧增加，而安全阀动作滞后，不能有效地起到安全泄放作用；
  - ③ 毒性程度为极度、高度危害的气体介质或盛装贵重介质的压力容器，由于对安全阀来说，微量泄漏是难免的，故为防止污染环境或不允许存在微量泄漏，宜选用爆破片。
  - ④ 介质为强腐蚀性气体的压力容器，腐蚀性大的介质，用耐腐蚀的贵重材料制造安全阀成本高，而用其制造爆破片，成本非常低廉。

## 4.3.8 焊接结构设计

### 一、焊接接头形式

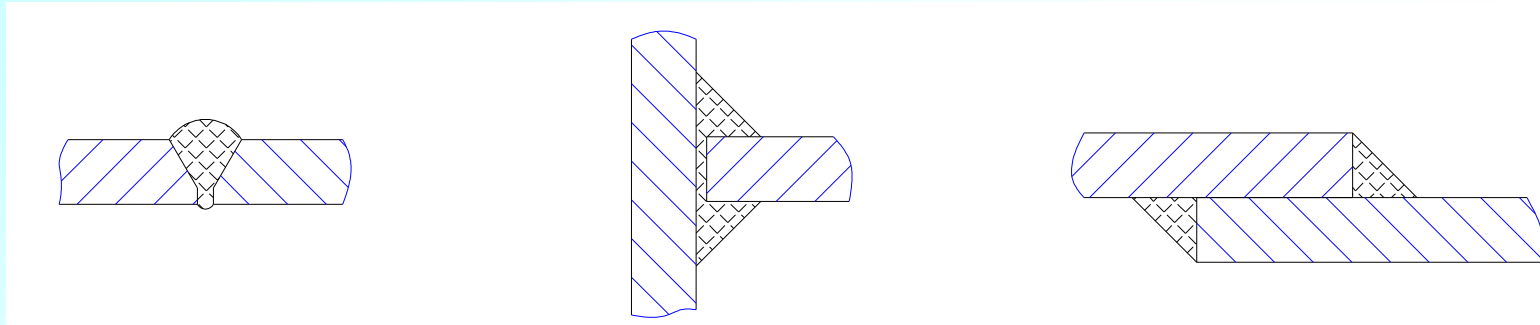
焊接接头形式

对接接头

角接头及 T 字形接头

搭接接头





(a) 对接接头； (b) 角接接头； (c) 搭接接头  
图4-44 焊接接头的三种形式

### 1. 对接接头

结构：

两个相互连接零件在接头处的中面处于同一平面或同一弧面内进行焊接的接头。

特点：

受热均匀，受力对称，便于无损检测，焊接质量容易得到保证。

应用：

最常用的焊接结构形式。

### 2. 角接接头和T型接头

#### 结构：

两个相互连接零件在接头处的中面相互垂直或相交成某一角度进行焊接的接头。两构件成T字形焊接在一起的接头，叫T型接头。角接接头和T字接头都形成角焊缝。

#### 特点：

结构不连续，承载后受力状态不如对接接头，应力集中比较严重，且焊接质量也不易得到保证。

#### 应用：

某些特殊部位：接管、法兰、夹套、管板和凸缘的焊接等。

### 3. 搭接接头

#### 结构：

两个相互连接零件在接头处有部分重合在一起，中面相互平行，进行焊接的接头。

#### 特点：

属于角焊缝，与角接接头一样，在接头处结构明显不连续，承载后接头部位受力情况较差。

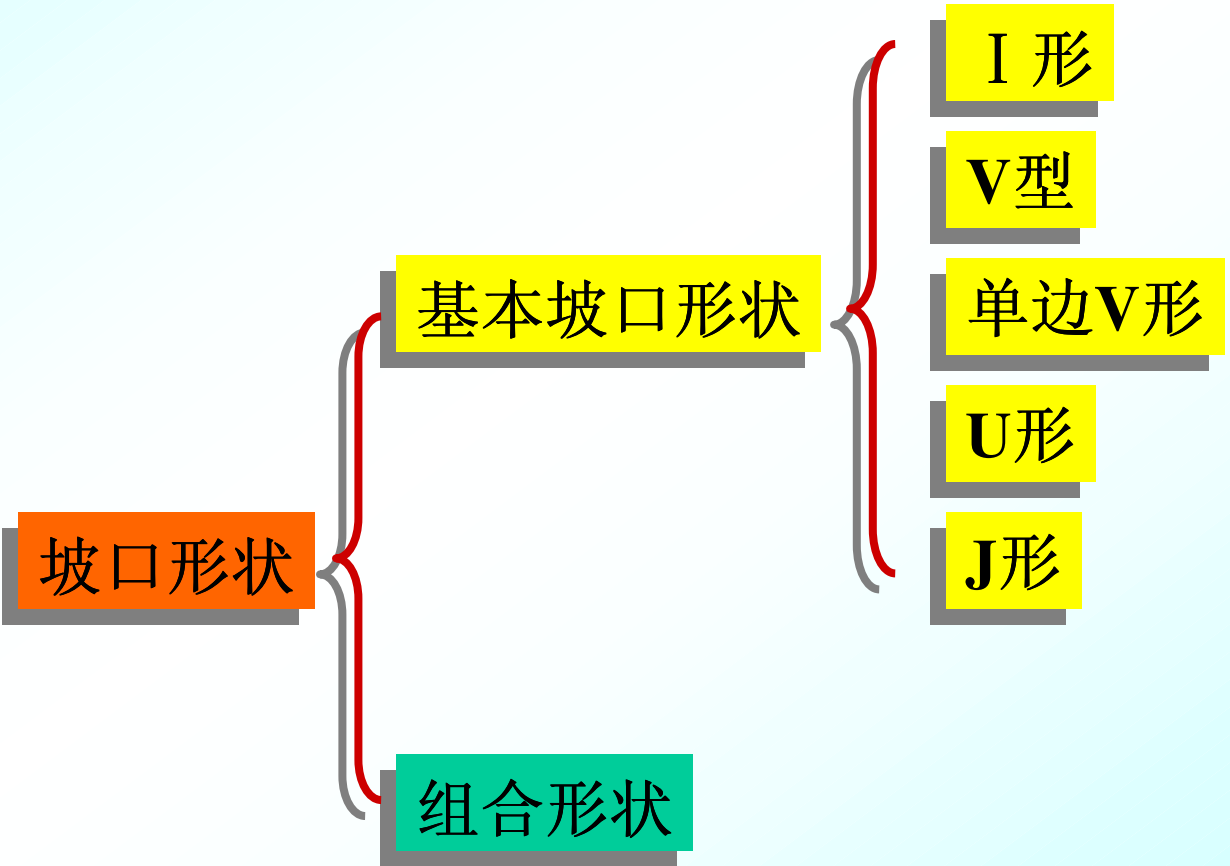
#### 应用：

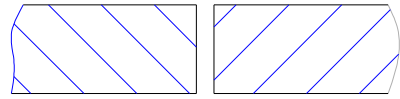
主要用于加强圈与壳体、支座垫板与器壁以及凸缘与容器的焊接。

## 二、坡口形式

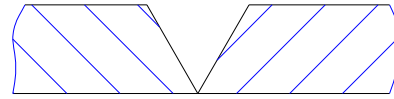
### 焊接坡口——

为保证全熔透和焊接质量，减少焊接变形，施焊前，一般将焊件连接处预先加工成各种形状。不同的焊接坡口，适用于不同的焊接方法和焊件厚度。

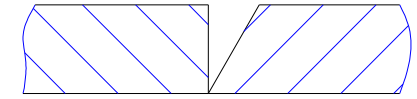




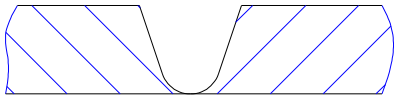
I型



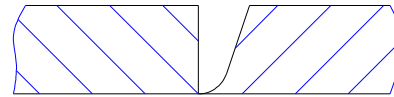
V型



单边V型



U型



J型

图4-45 坡口的基本形式

特例：一般接头应开设坡口，而搭接接头无需开坡口即可焊接。

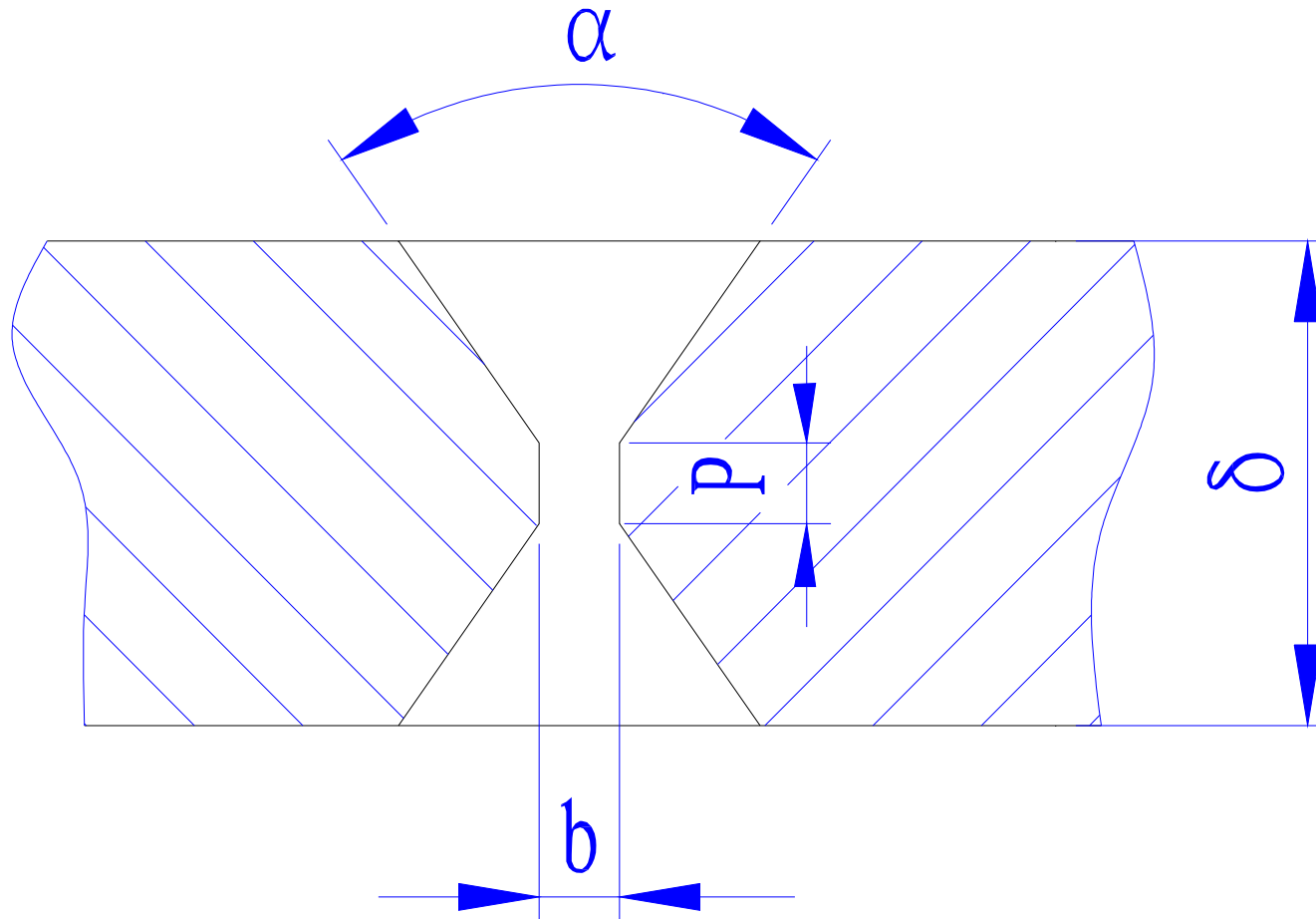


图4-46 双V形坡口

双V形坡口由两个V形坡口和一个I形坡口组合而成 38

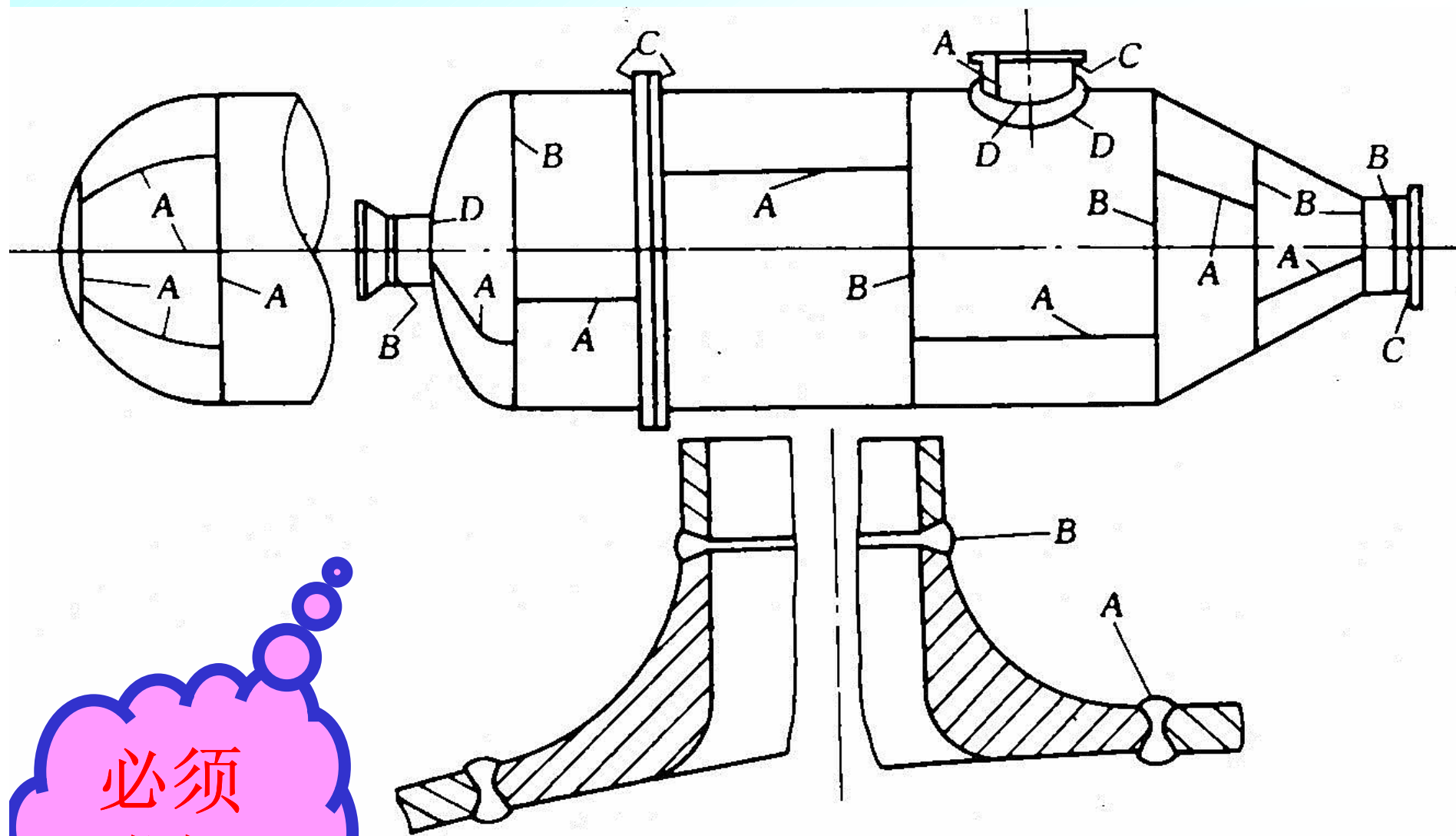
### 三、压力容器焊接接头分类

#### 目的：

为对口错边量、热处理、无损检测、焊缝尺寸等方面有针对性地提出不同的要求，GB150根据位置，根据该接头所连接两元件的结构类型以及应力水平，把接头分成A、B、C、D四类，如图4-47。

#### A类：

圆筒部分的纵向接头（多层包扎容器层板层纵向接头除外）、球形封头与圆筒连接的环向接头、各类凸形封头中的所有拼焊接头以及嵌入式接管与壳体对接连接的接头。



必须掌握

图4-47 压力容器焊接接头分类



##### **B类:**

壳体部分的环向接头、锥形封头小端与接管连接的接头、长颈法兰与接管连接的接头。但已规定为A、C、D类的焊接接头除外。

##### **C类:**

平盖、管板与圆筒非对接连接的接头，法兰与壳体、接管连接的接头，内封头与圆筒的搭接接头以及多层包扎容器层板层纵向接头。

##### **D类:**

接管、人孔、凸缘、补强圈等与壳体连接的接头。但已规定为A、B类的焊接接头除外。

#### 注意：

焊接接头分类的原则仅根据焊接接头在容器所处的位置而不是按焊接接头的结构形式分类，所以，在设计焊接接头形式时，应由容器的重要性、设计条件以及施焊条件等确定焊接结构。这样，同一类别的焊接接头在不同的容器条件下，就可能有不同的焊接接头形式。

## 四、压力容器焊接结构设计的基本原则

### 1. 尽量采用对接接头

易于保证焊接质量，所有的纵向及环向焊接接头、凸形封头上的拼接焊接接头，必须采用对接接头外，其它位置的焊接结构也应尽量采用对接接头。

#### 举例：

角焊缝，改用对接焊缝 [图48 (a) 改为 (b) 和 (c)]。减小了应力集中，方便了无损检测，有利于保证接头的内部质量。

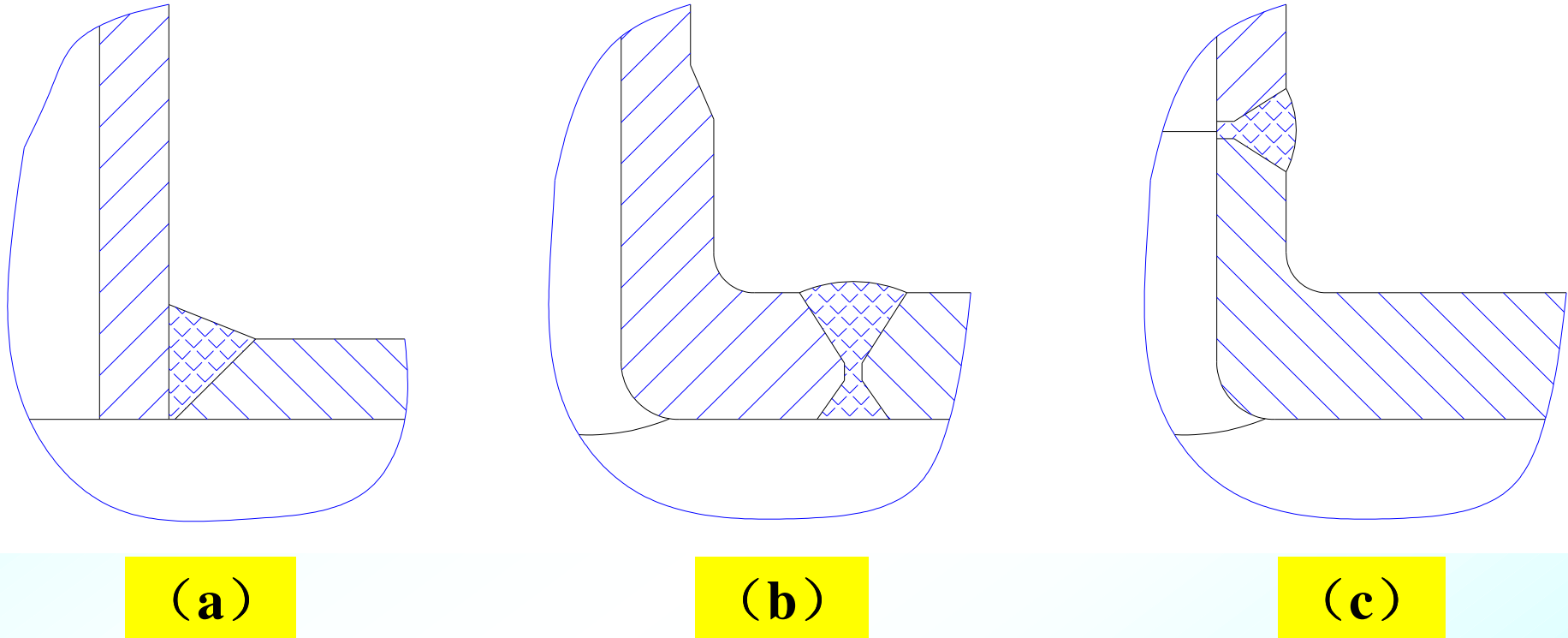


图4-48 容器接管的角接和对接

## 2. 尽量采用全熔透的结构，不允许产生未熔透缺陷

### 未熔透

指基体金属和焊缝金属局部未完全熔合而留下空隙的现象。未熔透导致脆性破坏的起裂点，在交变载荷作用下，它也可能诱发疲劳破坏。

### 改进

选择合适的坡口形式，如双面焊；当容器直径较小，且无法从容器内部清根时，应选用单面焊双面成型的对接接头，如用氩弧焊打底，或采用带垫板的坡口等。

### 3. 尽量减少焊缝处的应力集中

接头常常是脆性破坏和疲劳破坏的起源处，因此，在设计焊接结构时必须尽量减少应力集中。

#### 措施：

尽可能采用等厚度焊接，对于不等厚钢板的对接，应将较厚板按一定斜度削薄过渡，然后再进行焊接，以避免形状突变，减缓应力集中程度。一般当薄板厚度  $\delta_2$  不大于10mm，两板厚度差超过3mm；或当薄板厚度  $\delta_2$  大于10mm，两板厚度差超过薄板的30%，或超过5mm时，均需按图4-49的要求削薄厚板边缘。

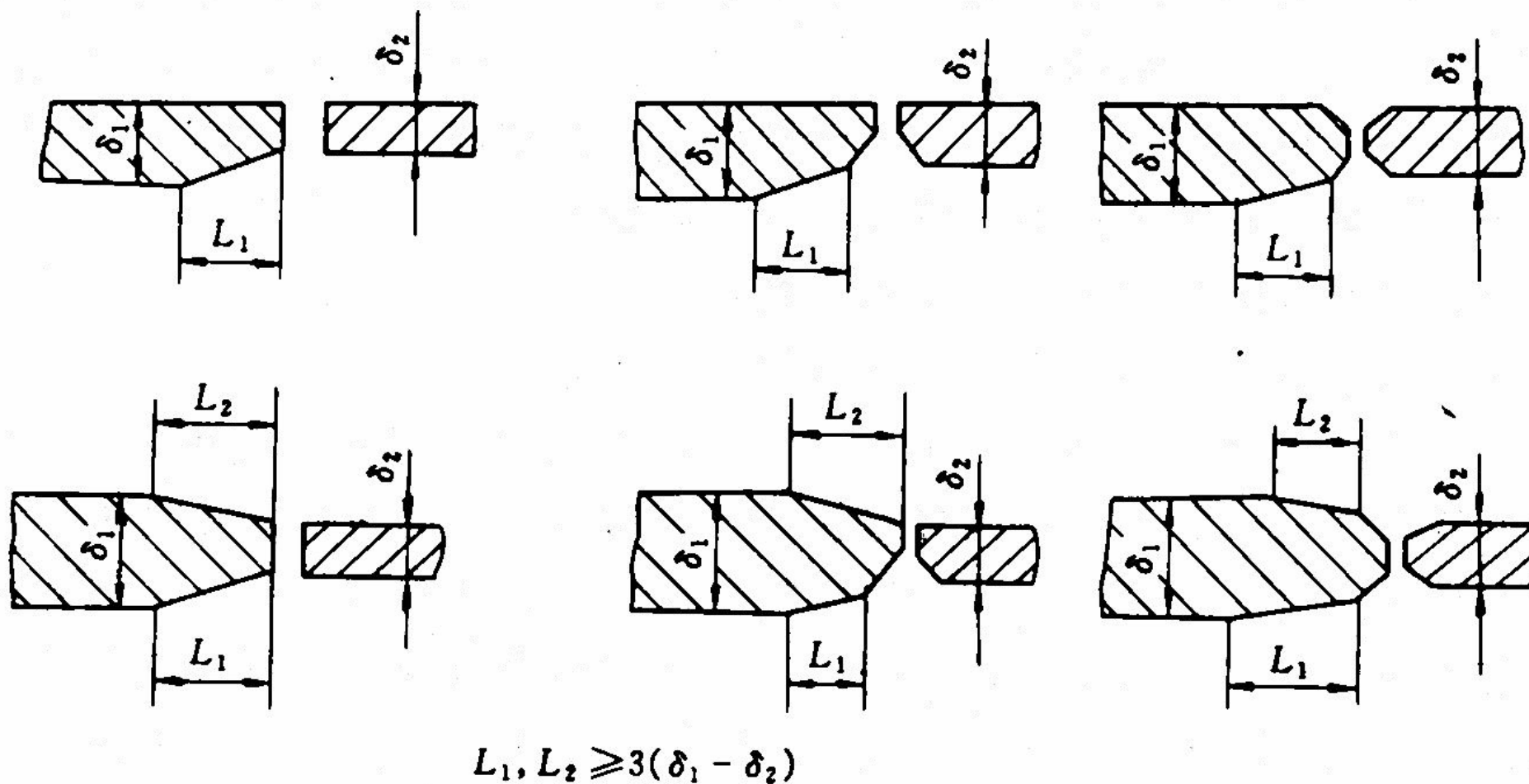


图4-49 板厚不等时的对接接头

## 五、压力容器常用焊接结构设计

### 主要内容：

选择合适的焊缝坡口，方便焊材(焊条或焊丝)伸入坡口根部，以保证全熔透。

### 坡口选择因素：

- ①尽量减少填充金属量；
- ②保证熔透，避免产生各种焊接缺陷；
- ③便于施焊，改善劳动条件；
- ④减少焊接变形和残余变形量，对较厚元件焊接应尽量选用沿厚度对称的坡口形式，如X形坡口等。



### 1. 筒体、封头及其相互间连接的焊接结构

纵、环焊缝必须采用对接接头。

对接接头的坡口形式可分为不开坡口（又称齐边坡口）、V形坡口、X形坡口、单U形坡口和双U形坡口等数种，应根据筒体或封头厚度、压力高低、介质特性及操作工况选择合适的坡口形式。

### 2. 接管与壳体及补强圈间的焊接结构

一般只能采用角接焊和搭接焊，具体的焊接结构还与容器的强度和安全性要求有关。有多种接头形式，涉及是否开坡口、单面焊与双面焊、熔透与不熔透等问题。设计时，应根据压力高低、介质特性、是否低温、是否需要考虑交变载荷与疲劳问题等来选择合理的焊接结构。下面介绍常用的几种结构。

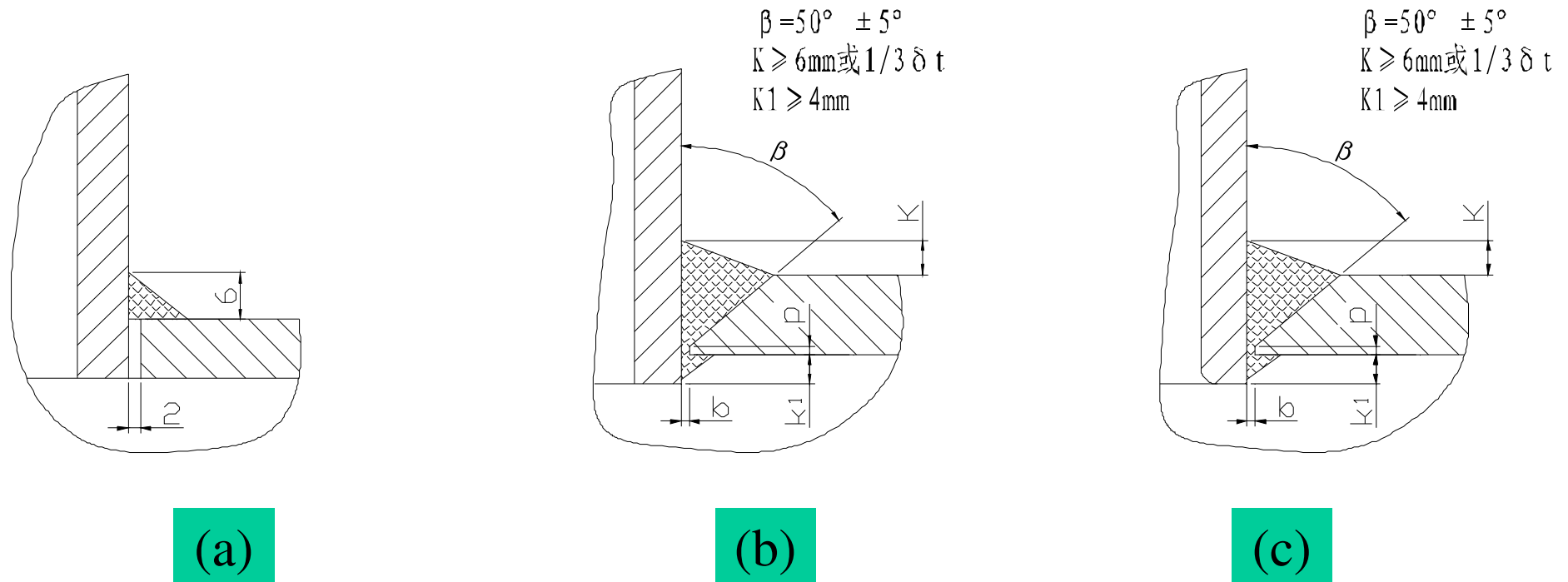


图4-50 不带补强圈的插入式接管焊接结构

### (1) 不带补强圈的插入式接管焊接结构

中低压容器不需另作补强的小直径接管用得最多的焊接结构，接管与壳体间隙应小于**3mm**，否则易产生裂纹或其它焊接缺陷。

- (a) 图：单面焊接结构，适用于内径小于**600mm**、盛装无腐蚀性介质的接管与壳体之间的焊接，接管厚度应小于**6mm**；
- (b) 图：最常用的插入式接管焊接结构之一，为全熔透结构。适用于具备从内部清根及施焊条件、壳体厚度在**4~25mm**、接管厚度大于等于**0.5**倍壳体厚度的情况；
- (c) 图：在(b)的基础上，将接管内径边角处倒圆，可用于疲劳、低温及有较大温度梯度的操作工况。

### (2) 带补强圈的接管焊接结构

#### 要求：

尽量与补强处的壳体贴合紧密，焊接结构力求完善合理。

但只能采用塔接和角接，难于保证全熔透，也无法进行无损检测，因而焊接质量不易保证。

#### 坡口：

大间隙小角度，利于焊条伸入到底，减少焊接工作量

**图 (a)：**一般要求的容器，即非低温、无交变载荷的容器

**图 (b)：**承受低温、疲劳及温度梯度较大工况的容器，保证接管根部及补强圈内侧焊缝熔透。

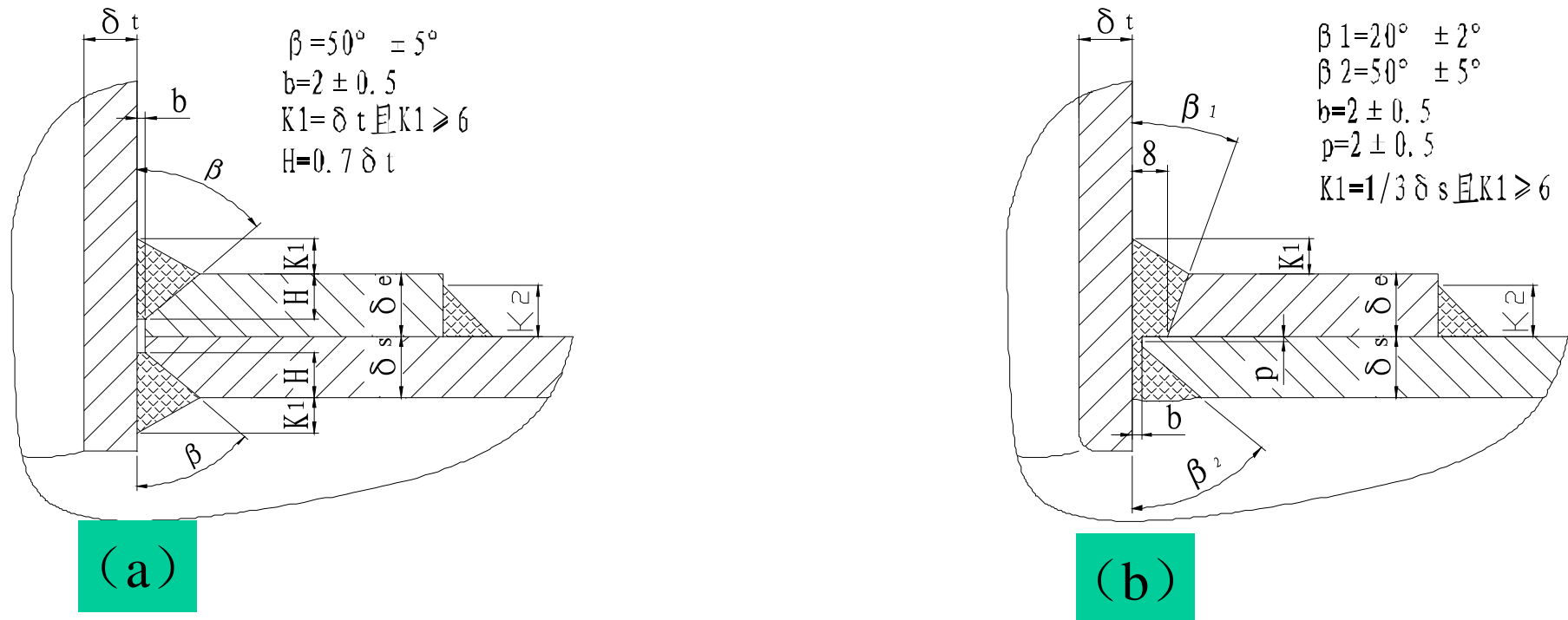


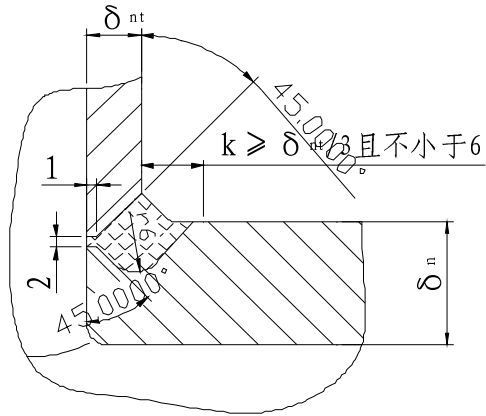
图4-51 带补强圈的插入式接管焊接结构

### (3) 安放式接管的焊接结构

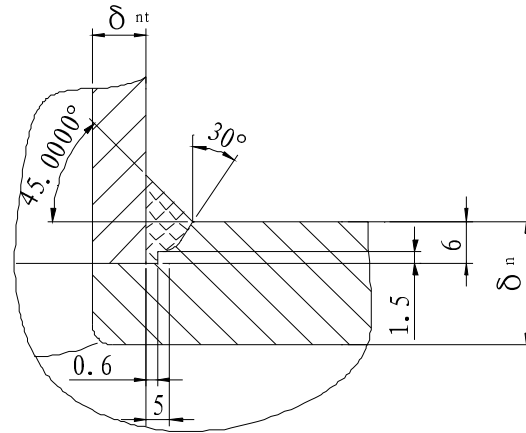
优点：结构拘束度低、焊缝截面小、较易进行射线检测等。

图 (a)：适用于接管内径小于或等于100mm的场合；  
图 (b) 和 (c)：适用于壳体厚度  $\delta_n \leq 16\text{mm}$  的碳素钢和碳锰钢，或  $\delta_n \leq 25\text{mm}$  的奥氏体不锈钢容器，  
其中图 (b) 的接管内径应小于或等于 50mm，厚度  $\delta_{nt} \leq 6\text{mm}$ ，  
图 (c) 的接管内径应大于50mm，且小于或等于 150mm，厚度  $\delta_{nt} > 6\text{mm}$ 。

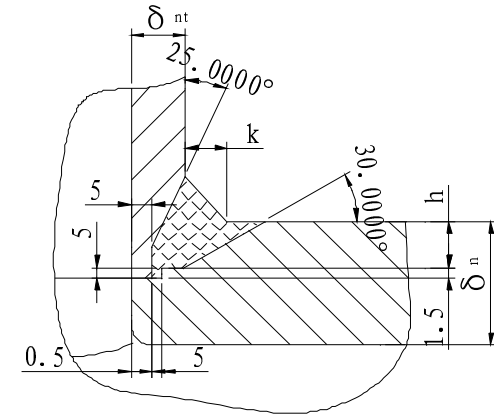
### 4.3.8 焊接结构设计



(a)



(b)



$k \geq \delta_{nt}/3$ , 且不小于6mm,  $h = \delta_{nt}$

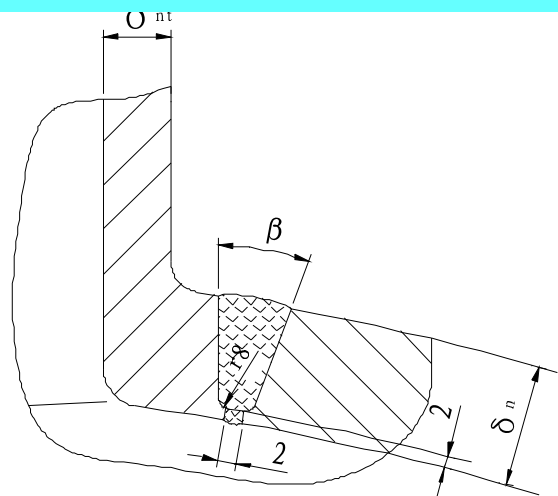
(c)

图4-52 安放式接管与壳体的焊接结构

## (4) 嵌入式接管的焊接结构

属于整体补强结构中的一种，适用于承受交变载荷、低温和大温度梯度等较苛刻的工况。

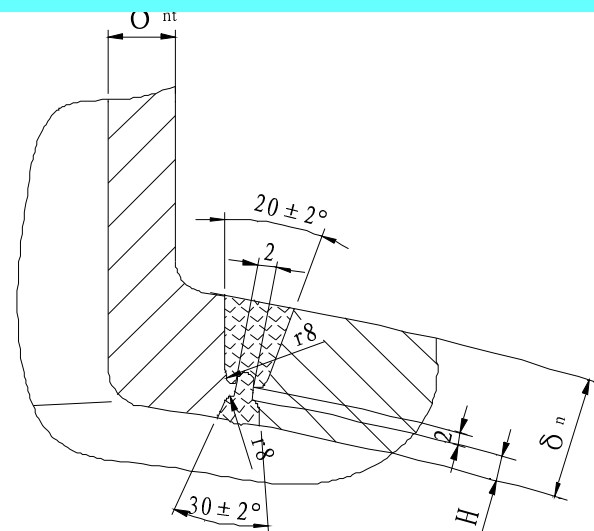
(a) 图：适用于球形封头或椭圆形封头中心部位的接管与封头的连接，且封头厚度  $\delta_n \leq 50\text{mm}$ 。



$\delta \leq 20\text{mm}$  时,  $\beta = 25^\circ \pm 2^\circ$

$\delta > 20\text{mm}$  时,  $\beta = 20^\circ \pm 2^\circ$

(a)



$\delta \leq 50\text{mm}$  时,  $H=10\text{mm}$

$\delta > 50\text{mm}$  时,  $H=15\text{mm}$

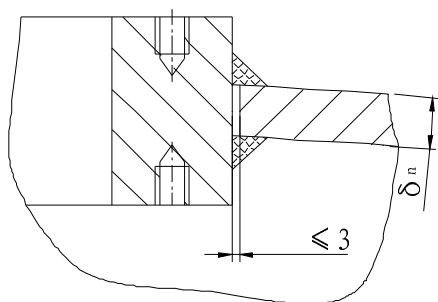
(b)

图4-53 嵌入式接管与封头的焊接结构

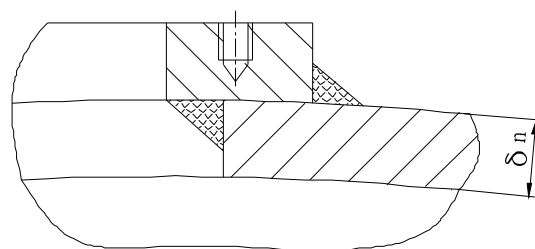


### (5) 凸缘与壳体的焊接结构

- 1) 角焊连接：连接不承受脉动载荷的容器凸缘与壳体，如图4-54所示。
- 2) 对接连接：连接压力较高或要求全熔透的容器凸缘与壳体，如图4-55。

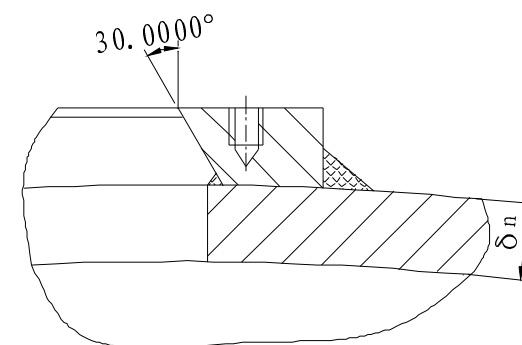


(a)



环与壳体应紧贴

(b)



内径侧应允许进行内部填角焊

(c)

图4-54 凸缘与壳体的角接焊接结构

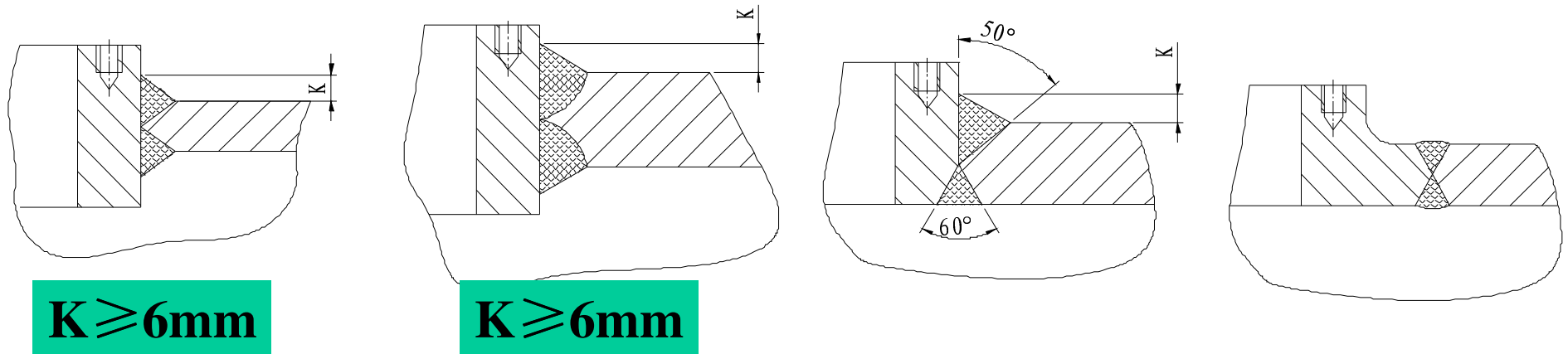


图4-55 凸缘与壳体的对接焊接结构

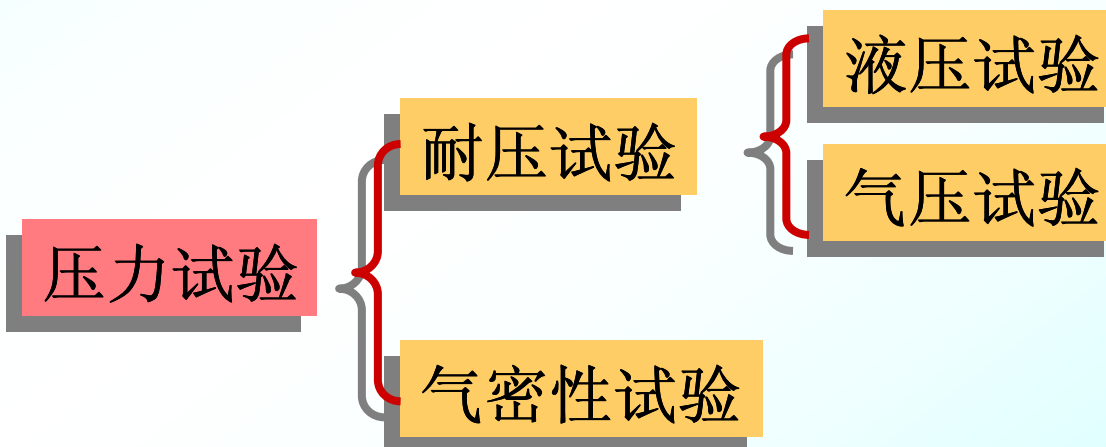
## 4.3.9 压力试验

### 一、目的

目的：

考虑缺陷对压力容器安全性的影响。  
在制造完毕后或定期检验时，都要进行压力试验。

内容：



(1) 耐压试验:

在超设计压力下进行的液压（或气压）试验

内压力容器试验目的:

在超设计压力下，考核缺陷是否会发生快速扩展造成破坏或开裂造成渗漏，检验密封结构的密封性能。

外压力容器试验目的:

检查是否存在穿透性缺陷。

做法：以内压试验进行“试漏”。

原因:

外压下，容器中的缺陷受压应力的作用，不可能发生开裂，且外压临界失稳压力主要与容器的几何尺寸、制造精度有关，跟缺陷无关。

#### (2) 气密性试验:

对密封性要求高的容器在强度合格后进行的泄漏检查。在等于或低于设计压力下进行的气压试验。

## 二、试验压力及应力校核

### 耐压试验

液压试验——用水。水的压缩系数比气体要小得多，经济实用。

气压试验——用气体。因结构或支承等原因，不能向容器内充灌水或其它液体，或运行条件不允许残留液体时才用气压试验。

## 1. 液压试验

温度：考虑韧脆转变温度。  
>5℃：碳素钢、16MnR和正火15MnVR  
>15℃：其它低合金钢制容器

水质：  
奥氏体不锈钢，氯离子含量控制在25mg/L以内，并在试验后立即将水渍清除干净。（氯离子能破坏其表面钝化膜）

### (1) 内压容器

试验压力：

$$P_T = 1.25p \frac{[\sigma]}{[\sigma]^t} \quad (4-87)$$

说明：

当各元件（圆筒、封头、接管、法兰及紧固件等）所用材料不同时，应取各元件材料许用应力比 $[\sigma]/[\sigma]^t$ 的最小值。

## (2) 外压容器和真空容器

无须考虑温度修正，因为以内压代替外压进行试验，已将工作时趋于闭合状态的器壁和焊缝中缺陷改以“张开”状态接受检验。

试验压力：

$$P_T = 1.25p$$

(4-88)

## (3) 夹套容器

夹套容器是由内筒和夹套组成的多腔压力容器，各腔的设计压力通常是不同的，应在图样上分别注明内筒和夹套的试验压力值。

内筒为**外压**容器：按式 (4-88) 确定试验压力；

内筒为**内压**容器：按式 (4-87) 确定试验压力。



**夹套：**

按内压容器确定试验压力。

**注意：**

在确定了夹套试验压力后，还必须校核内筒在该试验压力下的稳定性。

如不能满足外压稳定性要求，则在作夹套的液压试验时，必须同时在内筒保持一定的压力，以确保夹套试压时内筒的稳定性。

**(4) 液压试验应力校核:**

为使液压试验时容器材料处于弹性状态，在压力试验前必须按式（4-89）校核试验时筒体的薄膜应力  $\sigma_T$ 。

$$\sigma_T = \frac{P_T (D_i + \delta_e)}{2\delta_e} \leq 0.9\phi\sigma_s (\sigma_{0.2}) \quad (4-89)$$

## 4.3.9 压力试验

## 2. 气压试验

气体：干燥洁净的空气、氮气或其它惰性气体；

气体温度： $> 15^{\circ}\text{C}$ 。

注意：

气压试验较液压试验危险，故试验压力比液压试验低，容器上的对接接头应进行**100%**射线或超声检测。

(1) 内压容器

试验压力： $[\sigma]/[\sigma]^t$ 的取值要求同液压试验。

$$P_T = 1.15p \frac{[\sigma]}{[\sigma]^t} \quad (4-90)$$

气压试验应力校核：

$$\sigma_T = \frac{P_T (D_i + \delta_e)}{2\delta_e} \leq 0.8\phi\sigma_s(\sigma_{0.2})$$

(2) 外压容器和真空容器

试验压力： $P_T = 1.15p$

(4-91)

### 3. 气密性试验

规定：

介质为易燃或毒性程度为极度、高度危害或设计上不允许有微量泄漏（如真空度要求较高时）的压力容器，必须进行气密性试验。

气密性试验压力：

大小视容器上是否配置安全泄放装置而定。

若容器上没有安全泄放装置，其气密性试验压力值一般取设计压力的**1.0**倍；

但若容器上设置了安全泄放装置，为保证安全泄放装置的正常工作，其气密性试验压力值应低于安全阀的开启压力或爆破片的设计爆破压力，建议取容器最高工作压力的**1.0**倍。

注意：气密性试验的危险性大，应在液压试验合格后进行。

在进行气密性试验前，应将容器上的安全附件装配齐全。