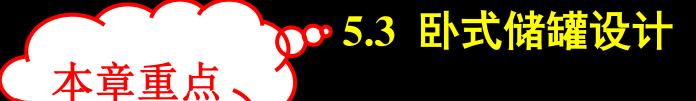
## 第五章 储运设备

第一节 概述

第二节 储罐的结构

第三节 卧式储罐设计

第四节 移动式压力容器



教学重点:

卧式储罐的设计计算。

教学难点:

卧式储罐的设计计算。

本章计算重点

本章计算 难点 5.3 卧式储罐设计

5.3.1 支座结构及布置

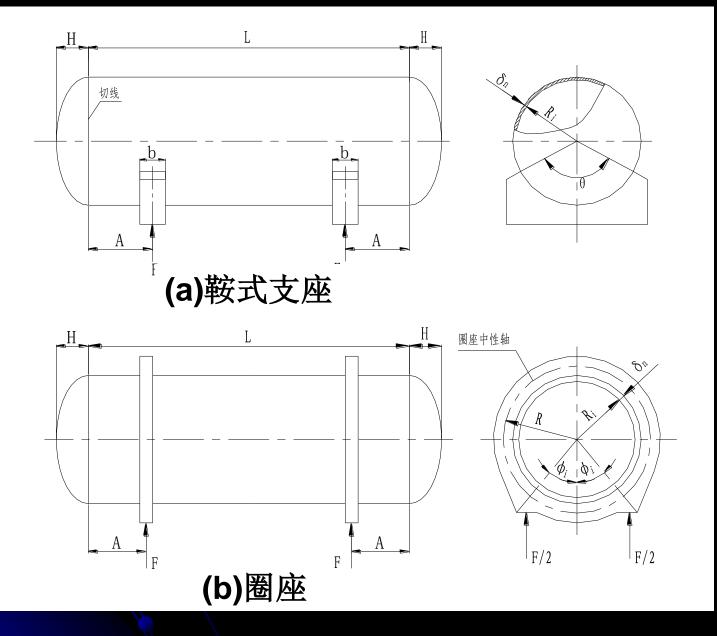
5.3.2 设计计算

### 5.3.1 支座结构及布置

卧式储罐常用支座形式——鞍式支座和圈座,如图5-19所示。

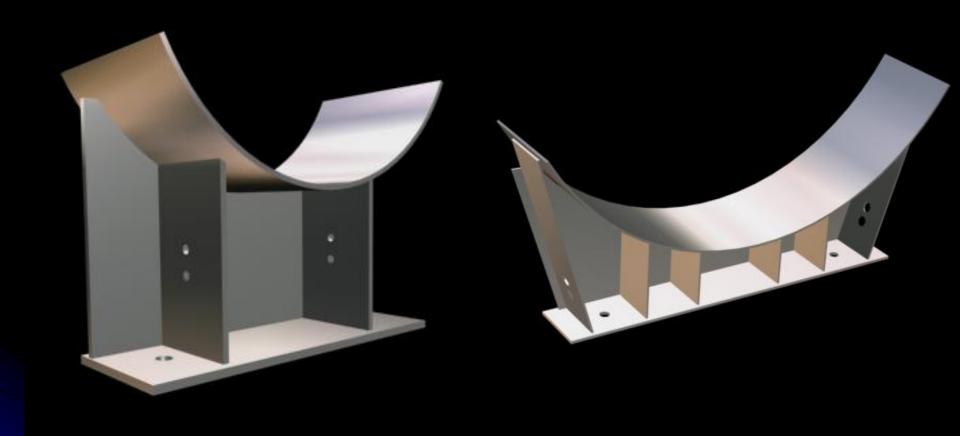
实际工程中很少使用圈座。只有当大直径的薄壁容器或真空容器因自身重量而可能造成严重挠曲变形时才采用圈座,以增加筒体支座处的局部刚度。

本节介绍——双鞍式支座的结构、布置、设计计算。



5.3 卧式储罐设计

过程设备设计



# 鞍式支座

### 支座数量的决定

双鞍座结构较普遍,多支座结构难 于保证各支座受力均匀

安装位置的安排

一般,A ≤0.2L,且最好A ≤0.5R <sub>m</sub> A 最大不超过0.25L



### 双支座

一个固定(重量大,配管较多的一侧)

一个可沿轴线移动(操作时和安装时的 温度不同可能引起热膨胀以及可能出现 弯曲造成附加应力)

鞍座包角的选取

影响鞍座处圆筒截面上的应力分布, 影响稳定性和储罐-支座系统重心的高低

常用包角120°、135°、150°。我国JB/T4712用120°、150°

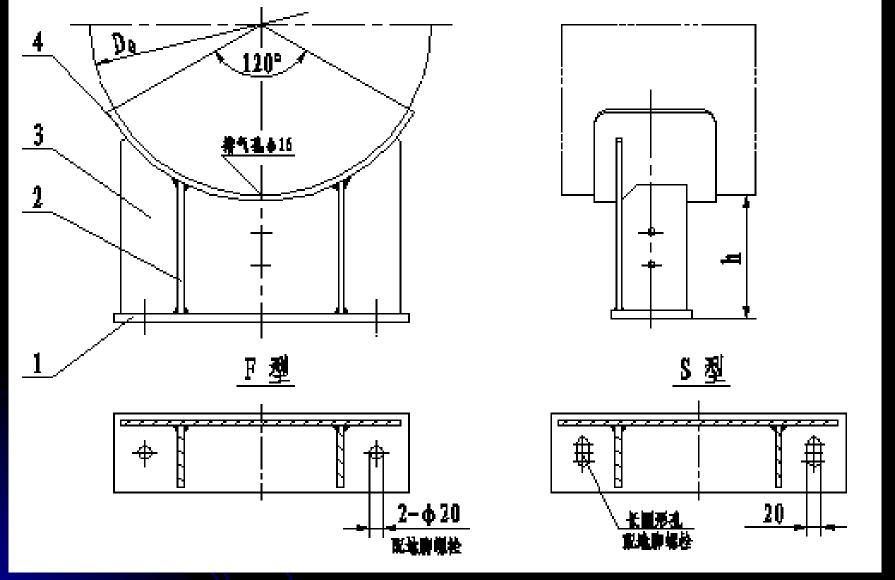


图5-20 重型带垫板包角120°的鞍座结构简图 1-底板; 2-筋板; 3-腹板; 4-垫板

鞍式支座的结构和尺寸,除特殊情况需要另外设计外,一般可根据储罐的公称直径选用标准形式(鞍座标准为JB/T 4712.1)。

根据NB/T 47042《卧式容器》规定: 当卧式储罐的鞍式支座按JB/T 4712.1选取时,在满足JB/T 4712.1所规定的条件时,可免去对鞍式支座的强度校核;否则应对储罐进行强度和稳定性的校核。



筋板、底板和垫 板的尺寸不同或 数量不同

除螺栓孔外,F型与S型各部分的尺寸相同。

在一台储罐上,F型和S型总是配对使用,其中滑动支座的地脚螺栓采用两个螺母,第一个螺母拧紧后倒退一圈,然后用第二个螺母锁紧,以保证储罐在温度变化时,鞍座能在基础面上自由滑动。

#### 标准鞍座标记方法:



#### 标记示例:

DN1600, 150°包角, 重型滑动鞍座, 鞍座材料Q235A, 垫板材料Q345R。

标记: JB/T 4712.1, 鞍座B II 1600-S; 材料: Q235A/Q345R

### 5.3.2 设计计算

- 5.3.2.1 设计载荷
- 5.3.2.2 载荷分析
- 5.3.2.3 弯矩和剪力
- 5.3.2.4 圆筒应力计算及校核
- 5.3.2.5 鞍座设计

圆筒轴向应力及校核

圆筒和封头切应力及校核

支座截面处圆筒体的周向应力

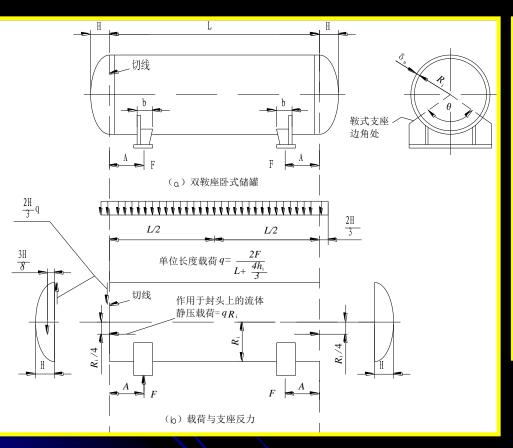
- 5.3.2.6 有附加载荷作用时卧式储罐的强度校核
- 5.3.2.7 三支座卧式储罐的强度校核简介

#### 5.3.2.1 设计载荷

设计载荷

- ①长期载荷——设计压力,内压或外压(真空);储罐的质量载荷,除自身质量外,还包括储罐所容纳的物料质量,保温层、梯子平台、接管等附加质量载荷。
- ②短期载荷——雪载荷、风载荷、地震载荷,水压试验 充水重量。
- ③附加载荷——指卧罐上高度不大于10m的附属设备(如精馏塔、除氧头、液下泵和搅拌器等)受重力及地 震影响所产生的载荷。

### 5.3.2.2 载荷分析



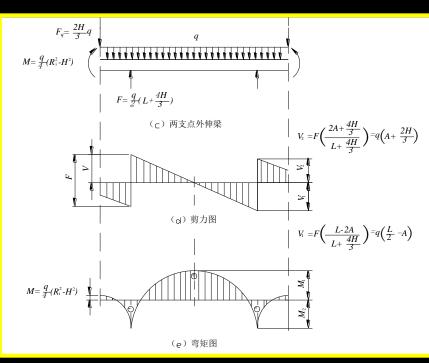
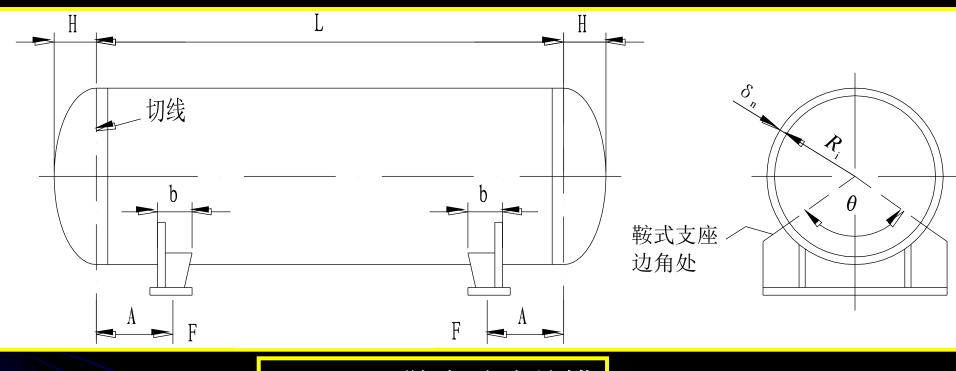


图5-21 双鞍座卧式储罐受力分析,弯矩图与剪力图

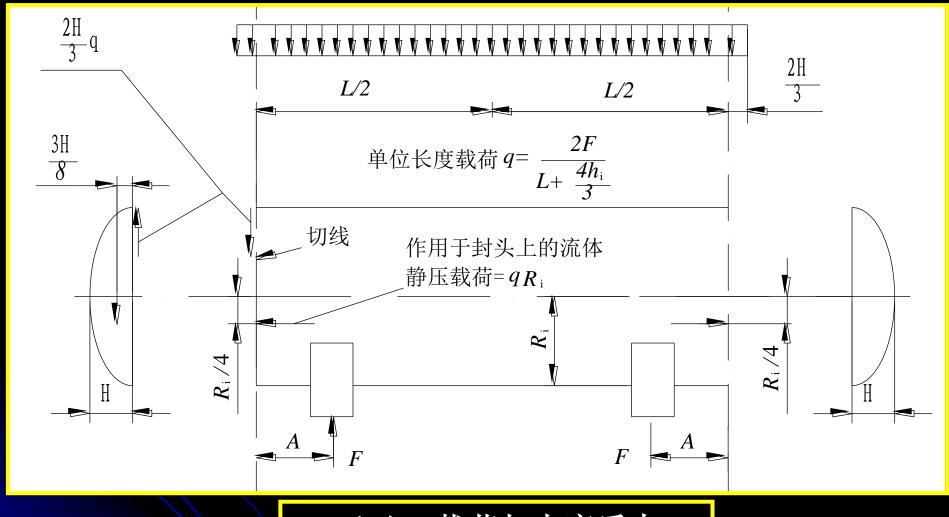


(a) 双鞍座卧式储罐

图5-21 双鞍座卧式储罐受力分析,弯矩图与剪力图

置于对称分布的双鞍座卧式储罐所受的外力——载荷和支座反力。

储罐受重力作用时,可以近似地看成支承在两个铰支点上受均布载荷的外伸简支梁,梁上受到如图5-21(b)所示的外力作用。



(b) 载荷与支座反力

图5-21 双鞍座卧式储罐受力分析,弯矩图与剪力图

### (1) 均布载荷和支座反力

总重: 2F(包括储罐重量及物料重量, 轻的储罐为水压试验时的水重)

重量载荷作用的总长度为

$$L' = L + \frac{4}{3}H$$

(5-2)

半球形、椭圆形或碟形等凸形封头,折算为同直径的长度为 2 的圆筒(H为封头的曲面深度)

### (1) 均布载荷和支座反力(续)

设储罐总重沿长度方向均匀分布,则作用在总长度上的单位长度均布载荷为

$$q = \frac{2F}{L'} = \frac{2F}{L + \frac{4}{3}H}$$
 (5-3)

### (1) 均布载荷和支座反力(续)

由静力平衡条件,每个支座的反力F:

$$F = \frac{q(L + \frac{4}{3}H)}{2}$$

**(5-4)** 

### (2) 竖向剪力 $F_q$ 和力偶M

封头本身和其中物料的总量

 $\frac{2}{3}$  Hq 作用在其重心上

凸形封头(包括物料)重心近似

$$e = \frac{3}{8}H$$
 到封头切线距离

凸形封头(包括物料)重量近似在简支梁端点的等效载荷为

剪力: 
$$F_q = \frac{2}{3}Hq$$

力偶: 
$$m_1 = \frac{H^2}{4}$$

### (2) 竖向剪力 $F_{\alpha}$ 和力偶M(续)

#### 当封头中充满液体时,液体静压力对封头有一向外的水平推力

因为液体压力  $p_y$  沿筒体高度按线性规律分布,顶部静压为零,

底部静压为

$$p_0 = 2\rho g R_i$$

故,水平推力向下偏离容器轴线,如图5-22所示

#### 罐内充满的液体对平封头推力力矩近似:

 $m_2 = Sy_c = qR_i \frac{R_i}{4} = \frac{qR_i^2}{4}$ 

对其他凸形封头的 推力力矩均简化为

平移到轴线后力的大 小忽略不计

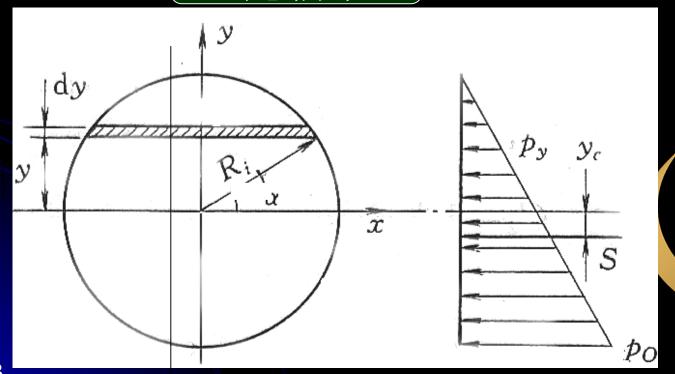


图5-22 液体静压力 及其合力 球形封头,液体静压力方向通过球心不存在力偶

 $m_2$ 

椭圆或碟形封头, 可求得

$$m_2 = \frac{qR_i^2}{4} \left( 1 - \frac{H^2}{R_i^2} \right)$$

简化后,各种封头,均取  $m_2 = \frac{qR_i^2}{qR_i^2}$ 

4

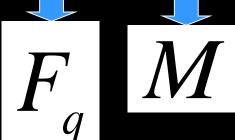
#### 梁端点力偶M

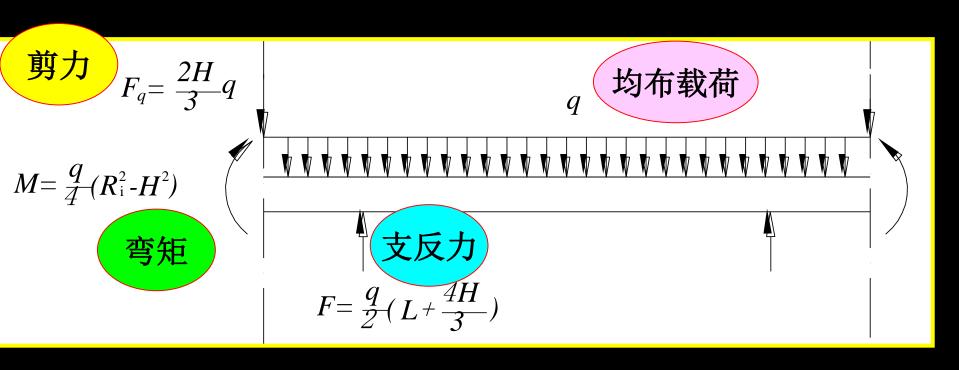
$$M = m_2 - m_1 = \frac{q^2}{4} (R_i^2 - H^2)$$

结论

双鞍座卧式储罐被简化为一受均布载荷的外伸简支梁,

梁的两个端点还分别受到横剪力和力偶的作用

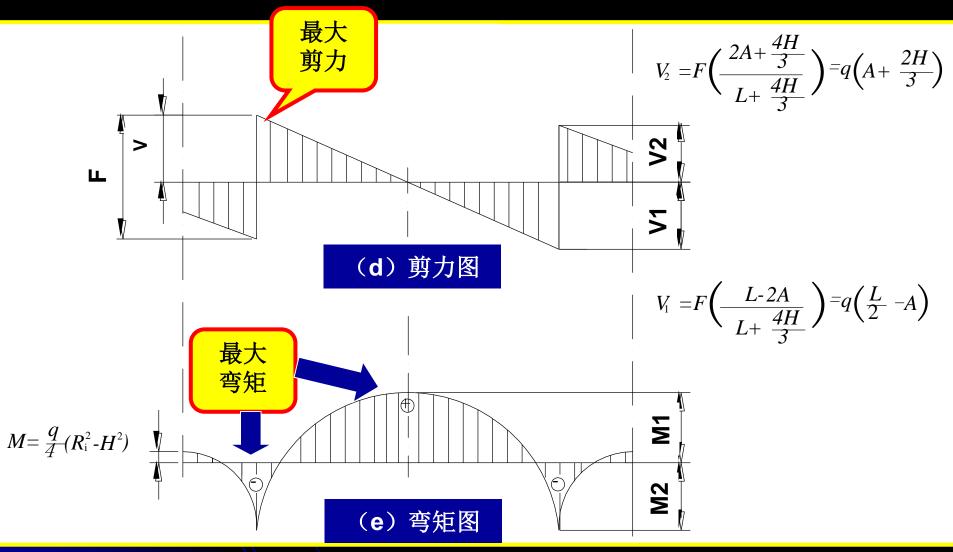




#### (c) 两支点外伸梁

图5-21 双鞍座卧式储罐受力分析,弯矩图与剪力图

### 5.3.2.3 弯矩和剪力



#### (1) 弯矩

① 支座跨中截面处的弯矩

$$M_1 = \frac{q^2}{4}(R_i^2 - H^2) - \frac{2}{3}Hq(\frac{L}{2}) + F(\frac{L}{2} - A) - q(\frac{L}{2})(\frac{L}{4})$$

整理得

$$M_1 = F(C_1 L - A)$$

中

$$C_{1} = \frac{1+2\left[\left(\frac{R_{i}}{L}\right)^{2} - \left(\frac{H}{L}\right)^{2}\right]}{4(1+\frac{4}{3}\frac{H}{L})}$$

 $M_1$  通常为正,表示简体上半部受压,下半部受拉

#### ② 支座截面处的弯矩

$$M_2 = \frac{q}{4}(R_i^2 - H^2) - \frac{2}{3}HqA - qA(\frac{A}{2})$$

$$M_{2} = \frac{FA}{C_{2}} \left( 1 - \frac{A}{L} + C_{3} \frac{R_{i}}{A} - C_{2} \right)$$

$$C_2 = 1 + \frac{4}{3} \frac{H}{L}$$

$$C_2 = 1 + \frac{4}{3} \frac{H}{L}$$

$$C_3 = \frac{R_i^2 - H^2}{2R_i L}$$

M<sub>2</sub>一般为负,表示简体上半部受拉,下半部受压

#### (2) 剪力

只讨论支座截面上的剪力。

支座跨距中点处截面的剪力等于0。所以不予讨论。

① 当支座离封头切线距离 A > 0.5 R<sub>i</sub>时,应计及外伸圆筒和 封头两部分重量的影响。支座处截面上剪力为

$$V = F - q \left( A + \frac{2}{3}H \right) = F \left( \frac{L - 2A}{L + \frac{4}{3}H} \right)$$
 (5-7a)

② 当支座离封头切线距离A≤0.5R;时,支座处截面上剪力为

$$V = F$$

### 5.3.2.4 圆筒应力计算及校核



两支座跨中截面处圆筒的轴向应力 支座截面处圆筒的轴向应力 圆筒轴向应力的校核

圆筒和封头切 应力及校核 支座处设置有加强圈,但未被封头加强(*A*>0.5*R<sub>i</sub>*)的圆筒支座截面处无加强圈且*A*>0.5*R<sub>i</sub>*的未被封头加强的圆筒支座截面处无加强圈但*A*≤0.5*R<sub>i</sub>*被封头加强的圆筒封头切向切应力

支座截面处圆筒 体的周向应力 支座截面处无加强的圆筒圆筒截面最低点处的周向压应力σ<sub>5</sub>圆筒截面最低点处的周向压应力σ<sub>5</sub>无加强圈圆筒鞍座处最大周向应力有加强圈的圆筒

### 5.3.2.4.1 圆筒轴向应力及校核

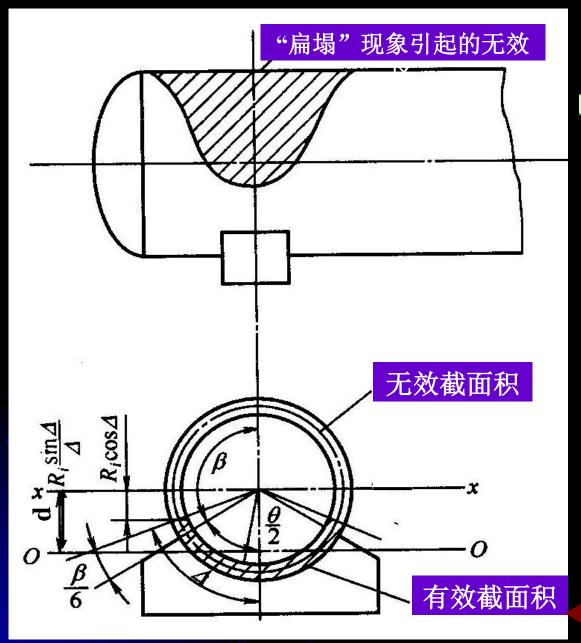
(1) 两支座跨中截面处圆筒的轴向应力

(2) 支座截面处圆筒的轴向应力

(3) 圆筒轴向应力的校核

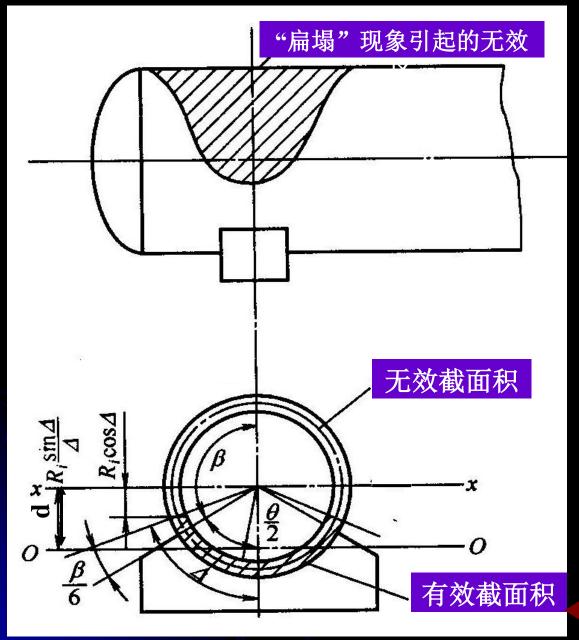
■根据Zick(齐克)试验的结论

除支座附近截面外,其他各处圆筒在承受轴向弯矩时,仍然可以看成抗弯截面模量为 $\pi R_i \delta_e$ 的空心圆截面梁,而并不承受周向弯矩的作用。



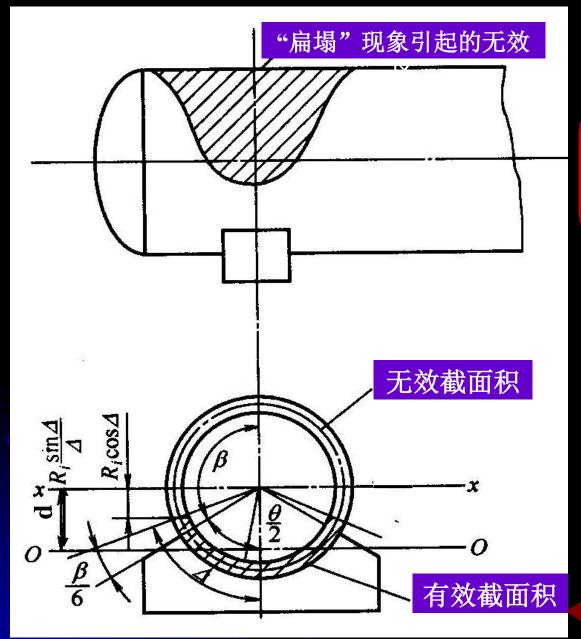
■如果圆筒不设加强 圈,且 $A>0.5R_i$ , 由于支座处截面受 剪力作用而产生周 向弯矩, 在周向弯 矩的作用下,导致 支座处圆筒的上半 部发生变形,产生 所谓"扁塌"现象

图5-23"扁塌"现



"扁塌"一旦发 生,那么支座处 圆筒截面的上部 就成为难以抵抗 轴向弯矩的"无 效截面",而剩 下的圆筒下部截 面才是能够承担 轴向弯矩的"有 效截面"

图5-23"扁塌"现

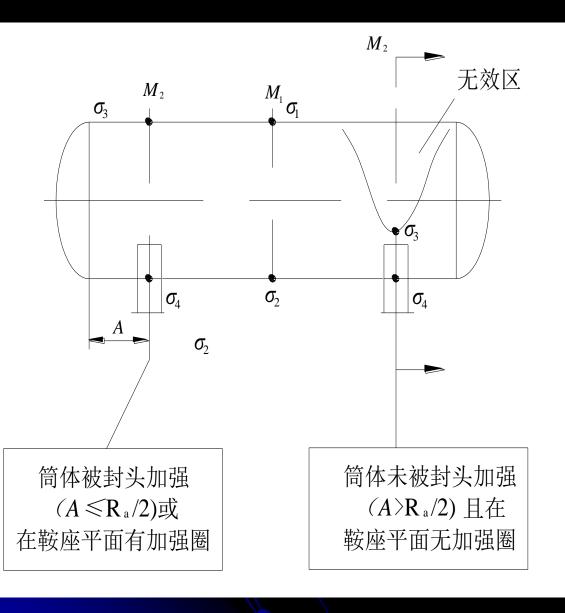


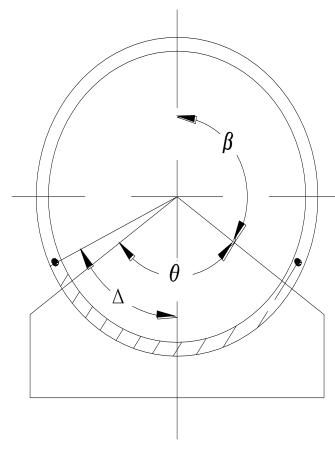
齐克据实验测定结果 认为,与"有效截面" 弧长对应的半圆心角  $\Delta$ 等于鞍座包角 $\theta$ 之 半加上 $\beta/6$ ,即

$$\frac{2}{2} = \frac{1}{6}$$

$$= \frac{1}{12} (360^{\circ} + 5\theta)$$

图5-23"扁塌"现象





据实验测定  $2\Delta = 2\left(\frac{\theta}{2} + \frac{\beta}{6}\right)$ 

# (1) 两支座跨中截面处圆筒的轴向应力

截面最高点(压应力)

$$\sigma_1 = \frac{p_c R_i}{2\delta_e} - \frac{M_1}{\pi R_i^2 \delta_e} \tag{5-8}$$

截面最低点(拉应力)

$$\sigma_2 = \frac{p_c R_i}{2\delta_e} + \frac{M_1}{\pi R_i^2 \delta_e} \tag{5-9}$$

式中  $\delta_e$  —圆筒有效厚度

## (2) 支座截面处圆筒的轴向应力

当支座截面处的圆筒上不设置加强圈,且支座的位置 A>0.5 R<sub>i</sub>时,说明圆筒既不受加强圈加强,又不受封头加强,则圆筒承受弯矩时存在"扁塌"现象,也即仅在 Δ 角范围内的圆筒能承受弯矩。

**(5-11)** 

## (2) 支座截面处圆筒的轴向应力(续)

支座截面最高点(拉应力)

$$\sigma_{3} = \frac{p_{c}R_{i}}{2\delta_{e}} - \frac{M_{2}}{K_{1}\pi R_{i}^{2}\delta_{e}}$$
(5-10)

中

$$K_{1} = \frac{\Delta + \sin \Delta \cos \Delta - 2 \frac{\sin^{2} \Delta}{\Delta}}{\pi \left(\frac{\sin \Delta}{\Delta} - \cos \Delta\right)}$$

支座截面最低点(压应力)

$$\sigma_4 = \frac{p_c R_i}{2\delta_e} + \frac{M_2}{K_2 \pi R_i^2 \delta_e}$$

中

$$K_{2} = \frac{\Delta + \sin \Delta \cos \Delta - 2 \frac{\sin^{2} \Delta}{\Delta}}{\pi \left(1 - \frac{\sin \Delta}{\Delta}\right)}$$

## (2) 支座截面处圆筒的轴向应力(续)

不存在"扁塌"现象时, $\Delta=π$ ;

存在"扁塌"现象时,
$$\Delta = \frac{1}{12} (360^{\circ} + 5\theta)$$

K和K为"扁塌"现象引起的抗弯截面模量减少系数, 将△值代入相应的计算式,得到的结果列于表5-1。

对于圆筒有加强的情况, $K_1 = K_2 = 1.0$ 

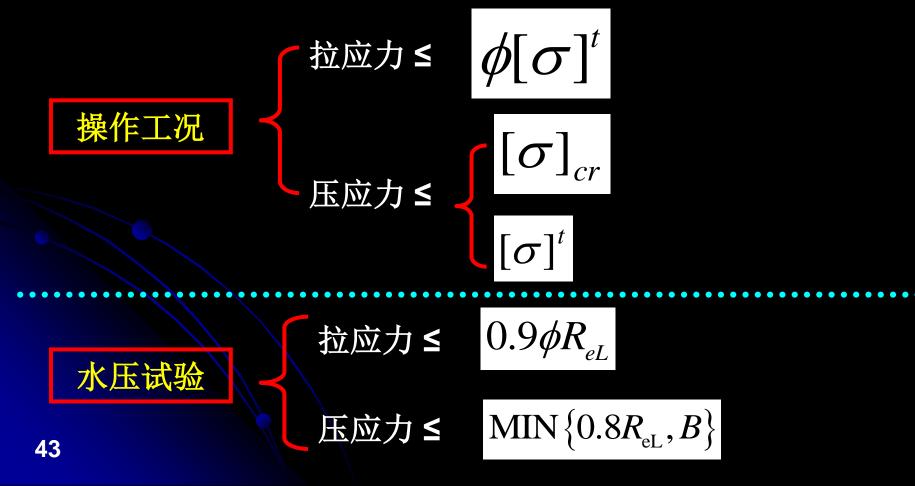
# (2) 支座截面处圆筒的轴向应力(续)

表5-1 系数

条件	鞍座包角 $\theta$ /(°)	$K_1$	$K_2$
被封头加强的圆筒,即	120	1.0	1.0
$A \leq 0.5Ri$ ,或在鞍座	135	1.0	1.0
平面上有加强圈的圆筒	150	1.0	1.0
未被封头加强的圆筒,即	120	0.107	0.192
A > 0.5Ri ,且在鞍座	135	0.132	0.234
平面上无加强圈的圆筒	150	0.161	0.279

## (3) 圆筒轴向应力的校核

计算轴向应力 $\sigma_1 \sim \sigma_4$ 时,应根据操作和水压试验时的各种危险工况,分别求出可能产生的最大应力。



## (3) 圆筒轴向应力的校核 (续)



正压操作的储罐,在盛满物料而未升压时,压 应力有最大值,取这种工况进行稳定性校核。

有加强的圆筒(图5-24中左侧 $M_2$ 截面),当

 $|M_1| > |M_2|$  时,只需校核跨中截面的应力;

反之两个截面都要校核。

## 5. 3. 2. 4. 2 圆筒和封头切应力及校核

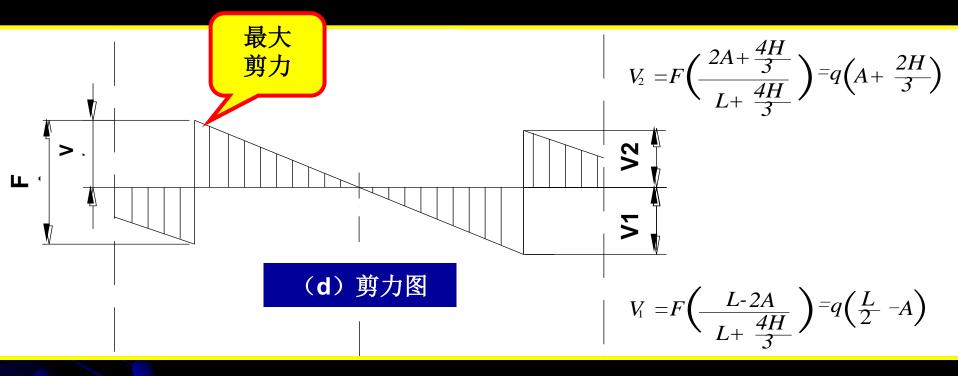
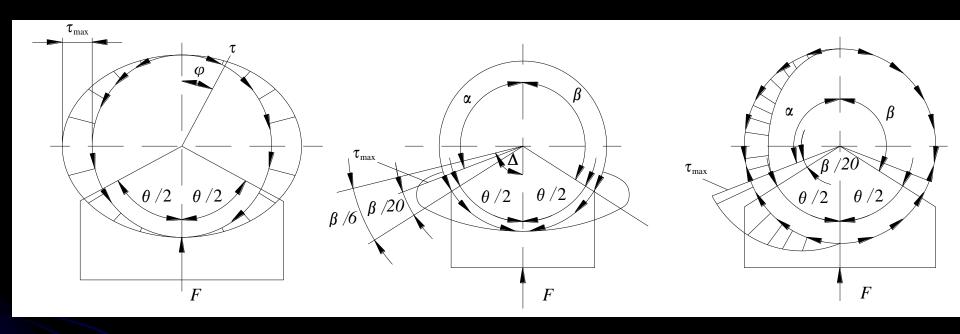


图5-21 双鞍座卧式储罐受力分析得弯矩图与剪力图

剪为总是在支座截面处最大,该剪力在圆筒壁中引起切向切应力。 计算支座截面切向切应力与该截面是否得到加强有关。分三种情况:

## 5. 3. 2. 4. 2 圆筒和封头切应力及校核

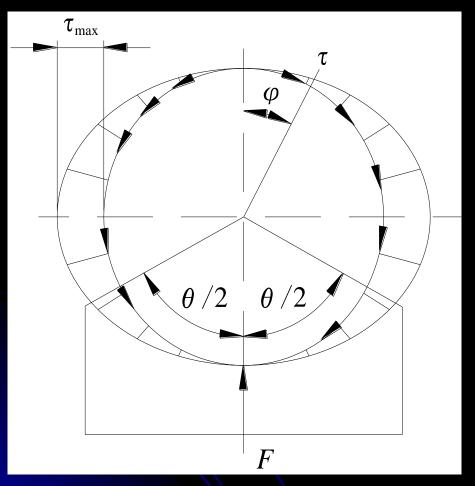


A > 0.5R<sub>i</sub> 且鞍座平面 内筒体有加强圈 (a) 加强圈加强 A > 0.5R<sub>i</sub> 且筒体无加 强圈或加强圈靠近鞍座 (b) 未加强  $A \leq 0.5R_i$  筒体被 封头加强

(c) 封头加强

图5-25 圆筒体切向切应力

### ① 支座处有加强圈,但未被封头加强( $A>0.5R_i$ )的圆筒



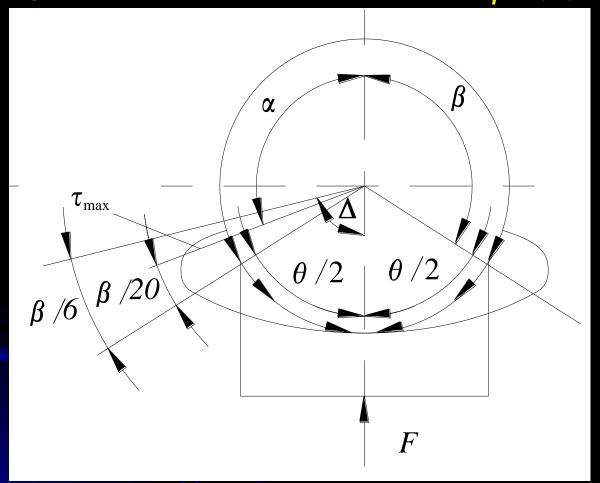
圆筒在鞍座处有加强圈加强,圆筒的整个截面都能有效地承担剪力的作用,此时支座截面上的切向切应力分布呈正弦函数形式,在水平中心线处有最大值。

$$\tau = \frac{K_3 F}{R_i \delta_e} \left( \frac{L - 2A}{L + \frac{4}{3}H} \right) = \frac{K_3 V}{R_i \delta_e}$$

A>0.5R<sub>i</sub> 且鞍座平面 内筒体有加强圈

(5-12)

### ② 支座截面处无加强圈且A>0.5R;的未被封头加强的圆筒



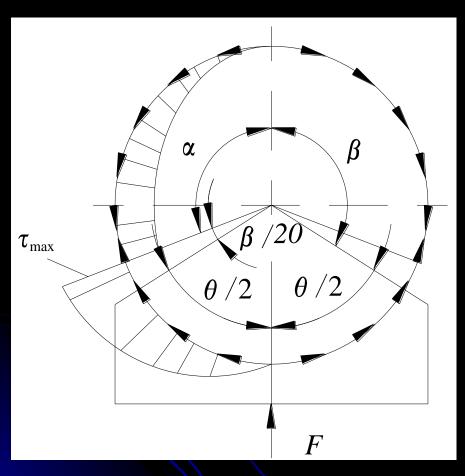
由于存在无效区, 圆筒抗剪有效截 面减少。应力分 布 如左图所示。 最大切向切应力 在

$$2\Delta = 2\left(\frac{\theta}{2} + \frac{\beta}{20}\right)$$

切应力的计算式 与式(5-12)相 同,但系数 *K*₃取 值不同。

A > 0.5R<sub>i</sub> 且筒体无加 强圈或加强圈靠近鞍座

### ③ 支座截面处无加强圈但A≤0.5R被封头加强的圆筒



大部分剪力先由支座(此处指 左支座)的右侧跨过支座传至 封头,然后又将载荷传回到支 座靠封头的左侧圆筒,此时圆 筒中切向切应力的分布见左图, 最大切应力位于

$$2\Delta = 2\left(\frac{\theta}{2} + \frac{\beta}{20}\right)$$

的支座角点处。

 $A \leq 0.5R_i$  筒体被 對头加强 最大切应力

$$\tau = K_3 \frac{F}{R_i \delta_e}$$

(5-13)

系数K。查表5-2

### ④ 封头切向切应力

当筒体被封头加强(即 $A \le 0.5R_i$ )时,封头中的内力系会在水平方向对封头产生附加拉伸应力作用,作用范围为沿着封头的整个高度,大小为:

$$\tau_h = K_4 \frac{F}{R_i \delta_{he}}$$

(5-14)

**K₄**——系数,查表5-2



表5-2 系数K<sub>3</sub>、K<sub>4</sub>

条件	鞍座包角	筒体	封头
	<i>θ /</i> (°)	<i>K</i> <sub>3</sub>	<i>K</i> <sub>4</sub>
圆筒在鞍座平面上无加强圈,且 $A>0.5R_i$ ,或靠近鞍座处有加强圈	120 135 150	1.171 0.958 0.799	/
圆筒在鞍座平面上有加强圈	120 135 150	0.319 0.319 0.319	/
圆筒被封头加强( $A \leq 0.5R_i$ )	120	0.880	0.401
	135	0.654	0.344
	150	0.485	0.297

#### ⑤ 圆筒和封头切向切应力的校核



₩ 圆筒:

$$\tau \leq 0.8[\sigma]^t$$

對头: 封头与简体的材料均相同, 其有效厚度往往不小于 简体的有效厚度, 故封头中的切向切应力不会超过 筒体,不必单独对封头中的切向切应力另行校核。

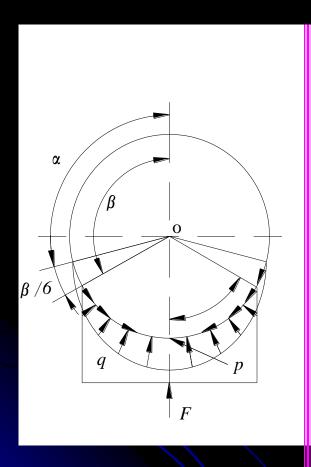
作用在封头上的附加拉伸应力和由内压所引起的拉应力 $(\sigma_n)$ 

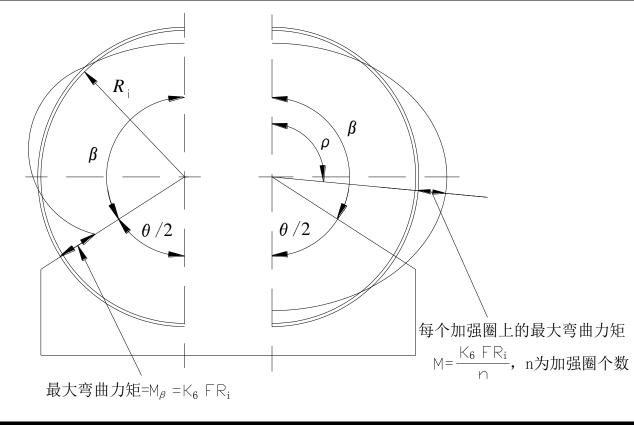
相叠加后,应不超过 
$$\tau_h + \sigma_h \leq 1.25[\sigma]^t$$

(5-15)

 $\sigma_h$  当封头承受外压时,式(5-15)中不必计算  $\sigma_h$ 。

# 5.3.2.4.3 支座截面处圆筒体的周向应力



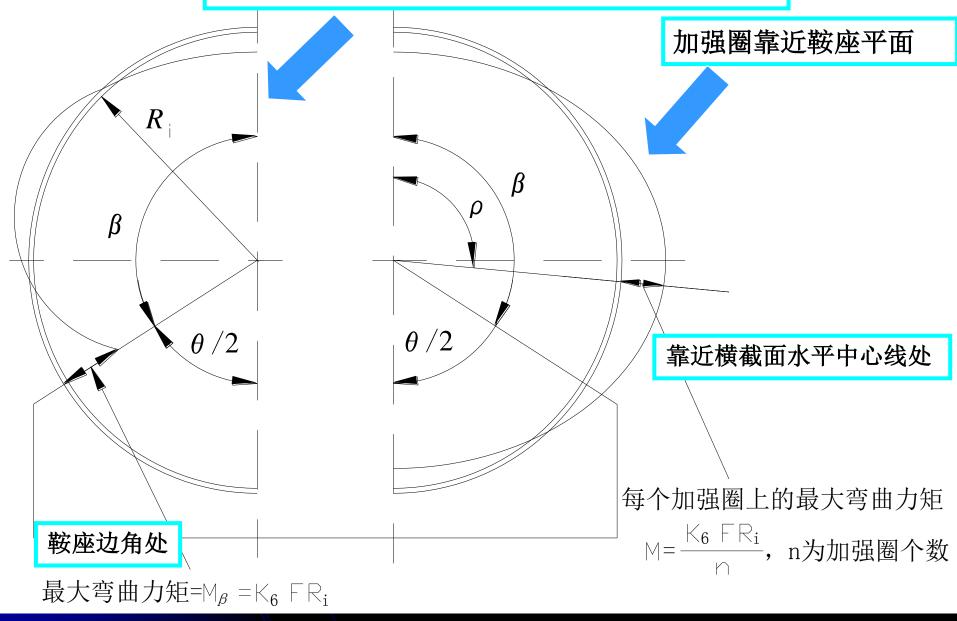


(a) 周向压缩力

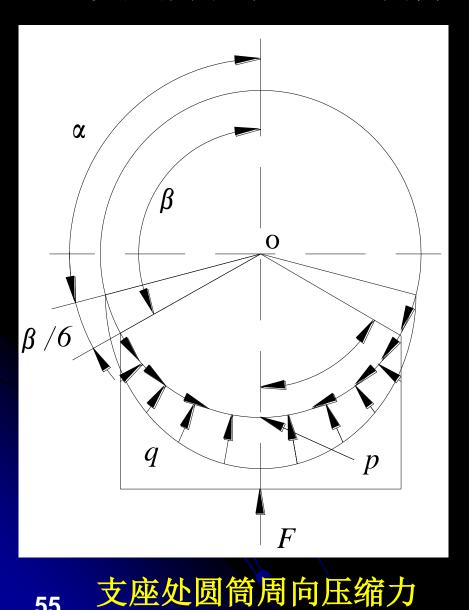
鞍座平面内无加强圈或 加强圈位于在鞍座平面内 (b) 周向弯矩

加强圈靠近鞍座平面

#### 鞍座平面内无加强圈或加强圈位于鞍座平面内



## (1) 支座截面处无加强的圆筒



支座反力在鞍座接触的圆筒上 产生周向压缩力P。当圆筒未 被加强圈或封头加强时,在鞍 座边角处的周向压缩力假设为

$$P_{\beta} = \frac{F}{4}$$

在支座截面圆筒最低处,周向 压缩力达到最大:

$$P_{\text{max}} = K_5 F$$

周向压缩力作用范围:

壳体有效宽度

$$b_2 = b + 1.56\sqrt{R_i \delta_n}$$

### 支座反力在支座处圆筒截面引起切向切应力。

导致在圆筒径向截面产生周向弯矩  $M_t$ 

周向弯矩在鞍座边角处有最大值。

$$M_{t \max} = M_{\beta} = K_6 F R_i$$

最大弯矩作用范围:有效计算宽度为 1 的圆筒抗弯截面上

当 
$$L \ge 8R_i$$
 时,  $l = 4R_i$ 

当 
$$L < 8R_i$$
 时, $l = 0.5L$ 

系数K5、K6可根据鞍座包角查表5-3得到,其中K6值还和与封头切线的相对距离 A/D 有关

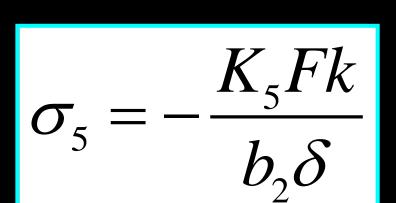
鞍座与封头切线的相对距离  $A/R_i$  有关。

表5-3 系数 
$$K_5$$

粹成句名/(° )		$K_6$		
鞍座包角 $\theta'$ (°)	$K_5$	$A \le 0.5Ri$	$A \ge R_i$	
120	0.760	0.013	0.053	
132	0.720	0.011	0.043	
135	0.711	0.010	0.041	
147	0.680	0.008	0.034	
150	0.673	0.008	0.032	
162	0.650	0.006	0.025	

注: 当  $0.5R_i < A > R_i$  时,  $K_6$  值按表内数值线性内插求值

# (2) 圆筒截面最低点处的周向压应力



(5-16)

k——系数; k=1,支座与圆筒体不相焊; k=0,支座与圆筒体相焊;

 $\delta$ 

—厚度;当无垫板或垫板不起加强作用,则

$$\mathcal{S} = \mathcal{S}_{_{\! e}}$$

当垫板起加强作用时,则  $\delta = \delta_e + \delta_{re}$ 



—鞍座垫板有效厚度。

垫板起加强作用的条件:要求垫板厚度不小于0.6倍圆筒厚度;

垫板宽大于或等于b<sub>2</sub>,

垫板包角不小于( $\theta+12^{\circ}$ )。

# (3) 无加强圈圆筒鞍座处最大周向应力 $\sigma_6$

a.鞍座边角处的最大周向应力  $\sigma_6$ 

当  $L \geq 8R_i$  时

$$\sigma_6 = -\frac{F}{4\delta b_2} - \frac{3K_6F}{2\delta^2}$$

(5-17)

 $\perp L < 8R_i$ 

$$\sigma_6 = -\frac{F}{4\delta b_2} - \frac{12K_6FR_i}{L\delta^2}$$

(5-18)

 $\delta$  ——厚度; 当无垫板或垫板不起加强作用,则

$$\mathcal{S} = \mathcal{S}_{_{\! e}}$$

当垫板起加强作用时,则  $\delta = \delta_e + \delta_{re}$ 

$$|\delta^2|$$
 以  $|\delta^2 + \delta_{re}^2|$  代替。

# **b.**鞍座垫板边缘处圆筒中的周向应力 $\sigma_6$

**b.**鞍座垫板边缘处圆筒中的周向应力  $\sigma_6^{\prime}$ 

当 
$$L \ge 8R_i$$
 时  $\sigma_6' = -\frac{F}{4\delta_e b_2} - \frac{3K_6 F}{2\delta_e^2}$  (5-19)

当 
$$L < 8R_i$$
 时  $\sigma_6' = -\frac{F}{4\delta_e b_2} - \frac{12K_6 F R_i}{L\delta_e^2}$  (5-20)

- → 式(5-17)~(5-20)中,第二项为周向弯矩引起壁厚上的弯曲应力
- 一式(5-19) ~(5-20)中, $\sigma_6'$  值为鞍座板包角( $\theta+12^\circ$ )的相应值

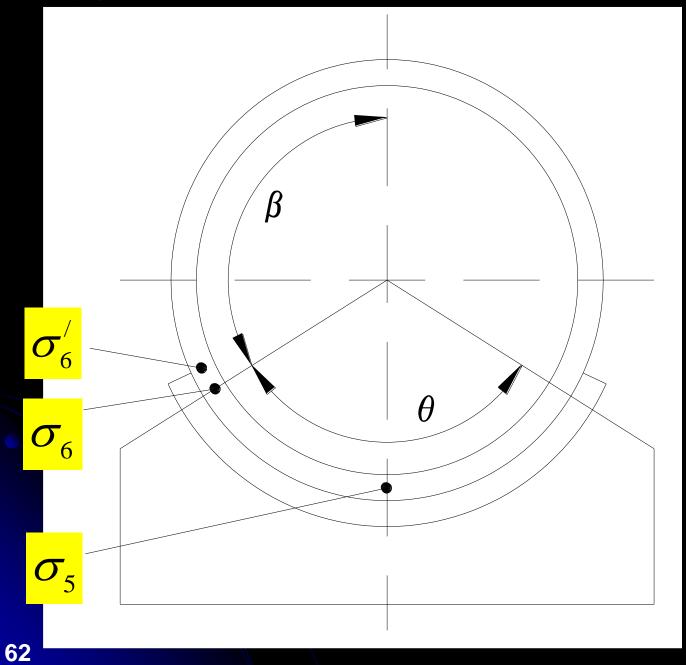


图5-27

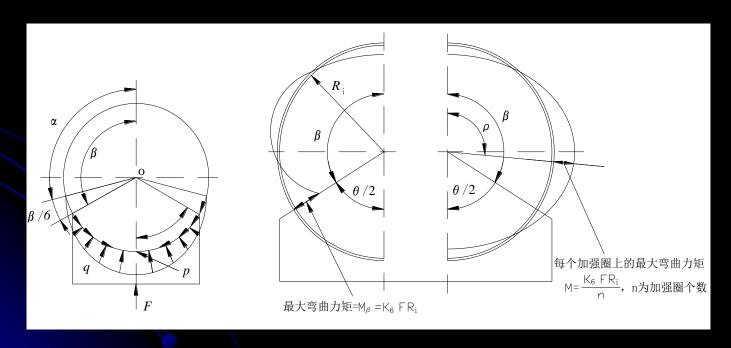
位置图

### (4) 有加强圈的圆筒

### a. 加强圈位于鞍座平面上(图5-26,图5-28)

加强圈中心平面与鞍座中心平面之间在容器轴线方向的距离

$$X \le 0.5b + 0.78\sqrt{R_i \delta_n}$$



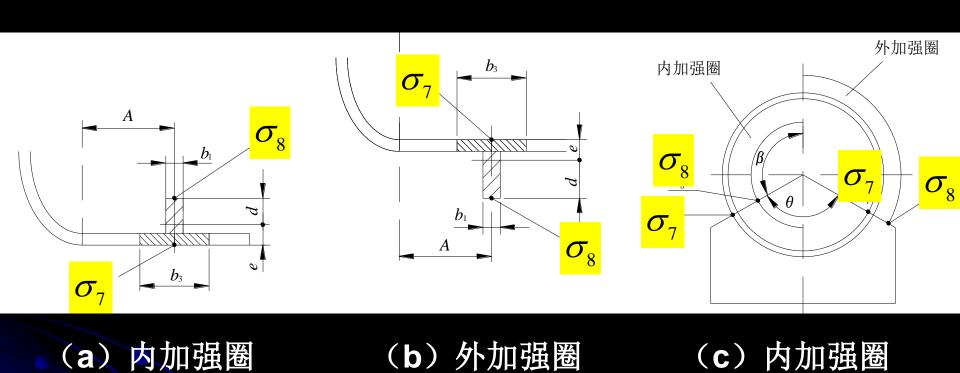


图5-28 加强圈在鞍座平面上时  $\sigma_7$  、 $\sigma_8$  位置

### 最大弯矩发生在鞍座边角处

圆筒的内外表面处最大弯曲应力  $\sigma_7$  为:

$$\sigma_{7} = \frac{-K_{8}F}{A_{0}} + \frac{C_{4}K_{7}FR_{i}e}{I_{0}}$$
 (5-21)

鞍座边角处加强圈内、外缘处的周向应力  $\sigma_8$ 为:

$$\sigma_8 = \frac{-K_8 F}{A_0} + \frac{C_5 K_7 F R_i d}{I_0}$$
 (5-22)

中

- $A_0$  ——一个支座的所有加强圈与圆筒起加强作用有效段的组合截面积 之和, $\mathbf{mm}^2$ ;
- e ——对内加强圈,为加强圈与圆筒组合截面形心距圆筒外表面之 距离(见图5-28);对外加强圈,为加强圈与圆筒组合截面形 心距圆筒内表面之距离(见图5-28),mm;
- $I_0$  ——一个支座的所有加强圈与圆筒起加强作用有效段的组合截面对该截面形心轴X-X的惯性矩之和, $\mathbf{mm}$   $\mathbf{q}$  。
- d 一对内加强圈,为加强圈与圆筒组合截面形心距加强圈内缘表面之距离(见图5-28);对外加强圈,为加强圈与圆筒组合截面形心距加强圈外缘表面之距离(见图5-28),mm。

系数C4、C5、K7、K8值由表5-4查取。

# 表5-4 系数C4、C5、K7、K8

加	强圈位置	位于鞍座平面				靠近鞍座				
$\theta$	/(° )	120	132	135	147	150	162	120	135	150
C	内加强圈	-1	-1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1
$C_4$	外加强圈	+1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	-1
C	内加强圈	+1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	-1
$C_5$	外加强圈	-1	-1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1
	$K_7$	0.053	0.043	0.041	0.034	0.032	0.025	0.058	0.047	0.036
	$K_{8}$	0.341	0.327	0.323	0.307	0.302	0.283	0.271	0.248	0.219

### b.加强圈靠近鞍座平面

加强圈中心平面与鞍座中心平面之间在容器轴线方向的距离

$$X > 0.5b + 0.78\sqrt{R_i \delta_n}$$

$$\mathbf{I} X \leq 0.5R_i$$

# 周向压应力 $\sigma_5$ 的计算式按式(5-16)

$$\sigma_5 = -\frac{K_5 F k}{b_2 \delta} \tag{5-16}$$

# 鞍座边角处周向应力 $\sigma_6$ 的计算式按式(5-17)和式(5-18)

当 
$$L \geq 8R_i$$
 时

$$\sigma_6 = -\frac{F}{4\delta b_2} - \frac{3K_6F}{2\delta^2}$$

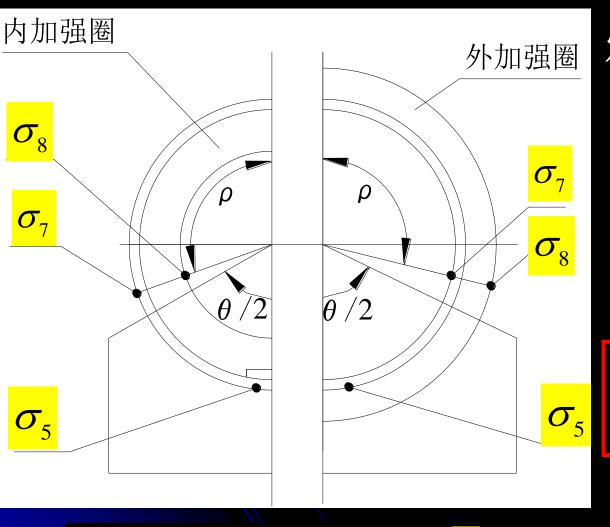
(5-17)

当 
$$L < 8R_i$$
 时

$$\sigma_6 = -\frac{F}{4\delta b_2} - \frac{12K_6FR_i}{L\delta^2}$$

**(5-18)** 

 $A \leq 0.5R$ , 选取。 K6按



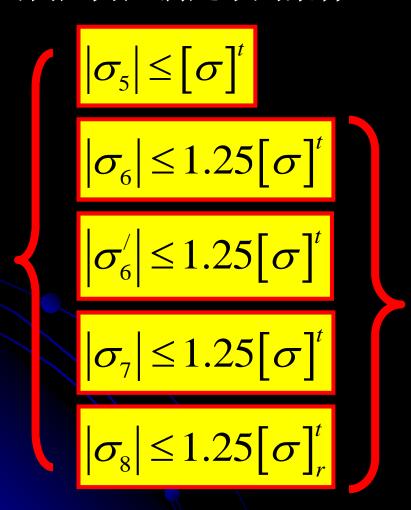
最大周向应力

发生在靠近水平中心线处 在90°左右)的圆 筒内外表面及加强圈的 内外缘。

K7、K8值与加强圈在 鞍座平面内的情况相同

#### (5) 周向应力的校核

周向应力应满足下列条件:





是周向压缩力与周向弯矩 产生的合成压应力,属于 局部应力,应不大于材料 许用应力的1.25倍

# 5.3.2.5 鞍座设计

一般取: 鞍座宽度b≥



|鞍座标准: JB/T4712.1~4712.4——2007 《容器支座》

其中: JB/T4712.1《鞍式支座》

当采用JB/T4712.1中标准"鞍式支座"时,b应取筋板大端宽度与腹板厚bo之和;

筋板对称布置时,b应包括腹板厚bo。

以下情况需对鞍座腹板-筋板组合截面进行强度校核:

(采用的鞍座超出标准规定的适用范围)

- 🍅 鞍座包角120°、150°
- ☆ 地震烈度8度
- ☆ 钢-钢摩擦系数0.3
- 🌣 卧式储罐上有附加载荷
- ☆卧式储罐上有配管及地震载荷
- 🌣 需抽芯的换热器



# 5.3.2.6 有附加载荷作用时卧式储罐的强度校核

当卧式储罐上设有立式设备(如换热器、精馏塔、除氧器等)、液下泵、搅拌器等附属设备(高度小于10m)时,其强度校核应将附属设备视为集中载荷作用在受均布载荷的双支承外伸梁上。

#### 计算、校核内容包括:

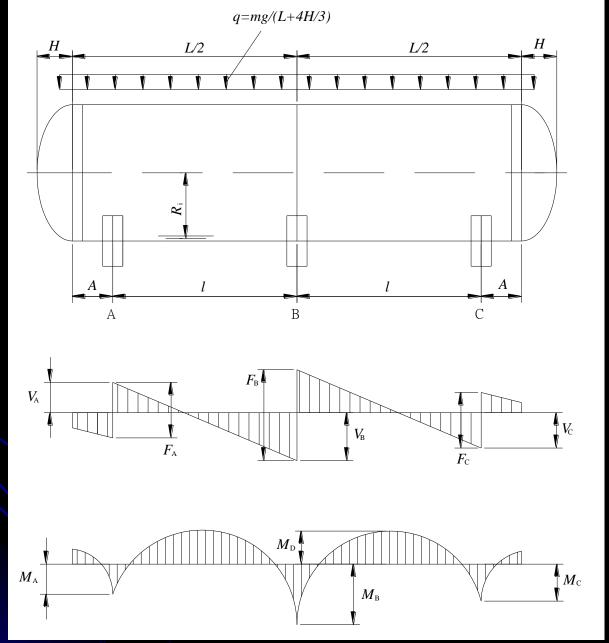
- ①附属设备的重力载荷对容器产生的支座反力、剪力和 弯矩;
- ②在考虑地震载荷(或者配管外力载荷)时,其轴向载荷分量引起的支座反力,以及计算截面处的剪力、弯矩;
- ③上述附加载荷在储罐圆筒中引起的局部应力;
- ④根据不同性质的载荷(长期、短期、温度等)计算得到的应力,按标准规定以不同的强度校核条件分别进行校核。

具体计算参见NB/T 47042《卧式容器》 附录B

# 5.3.2.7 三支座卧式储罐的强度校核简介

与双鞍座储罐类似,三鞍座(甚至多鞍座)储罐只能有 一个固定支座,其余两个必须为滑动支座。

假定三支座储罐以中间支座为准而左、右对称布置, 其余载荷条件同双鞍座卧罐,其强度校核如下。



### 三支座强度校核

#### (1) 截面弯矩

●端支座弯矩

$$M_A = M_C = -\frac{q}{2} \left( A^2 + \frac{4}{3} HA - \frac{R_i^2 - H^2}{2} \right) = M_k$$

(5-23)

**(5-24)** 

一中间支座弯矩

$$\boldsymbol{M}_{B} = -\frac{q}{8} \left( \frac{l}{2} - A \right)^{2} - \frac{1}{2} \boldsymbol{M}_{A}$$

●支座跨间最大弯矩

$$M_D = M_A + \left[ \frac{q}{2} \left( \frac{L}{2} - A \right) + \frac{M_B - M_A}{\left( \frac{L}{2} - A \right)} \right]^2 / 2q$$
 (5-25)

#### (2) 支座反力

- 端支座

$$F_{A} = F_{C} = K_{0} \left[ q \left( \frac{2}{3}H + \frac{L}{4} + \frac{A}{2} \right) + \frac{M_{B} - M_{A}}{\left( \frac{L}{2} - A \right)} \right]$$

中间支座

$$F_{B} = K_{0} \left[ q \left( \frac{L}{2} - A \right) + \frac{2(M_{B} - M_{A})}{\left( \frac{L}{2} - A \right)} \right]$$

(5-27)

式中, $K_0=1.2$  是考虑支座高度偏差对支反力分布的影响系数。

## (3) 圆筒的应力校核

轴向弯曲应力	切应力	周向应力
分别依据两支座间 最大弯矩处、边支 座及中间支座等处 是否被加强情况参 照双鞍座σ <sub>1</sub> ~σ <sub>4</sub> 公式 进行校核	分别对边支座及中间支座以FA、FB及是否被加强等情况进行T、T <sub>h</sub> 校核	根据是否有加强圈、垫板是否起加强作用及 $\begin{bmatrix} (L/2)/R_i \end{bmatrix} \text{ 值是否大于 或等于8等情况分别对 } \\ \sigma_5 、 \sigma_6 、 \sigma_6                            $

具体计算可参见NB/T 47042《卧式容器》附录D或 HG/T 20582《钢制化工容器强度计算规定》