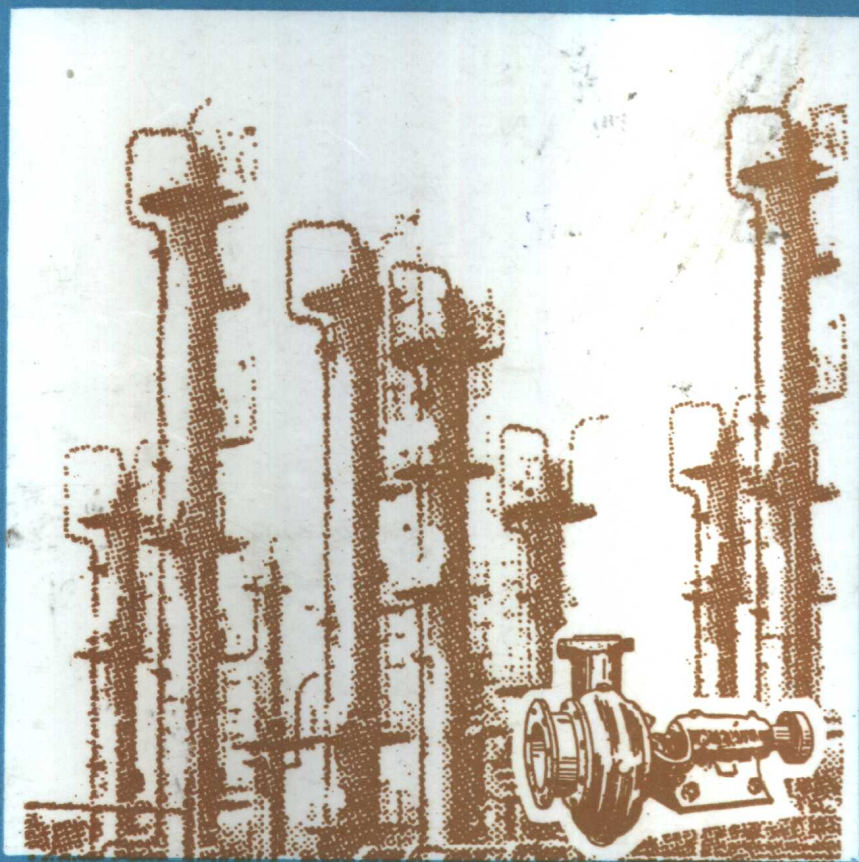




高等学校教材

化工容器设计 例题、习题集

蔡仁良 主编 贺匡国 审定



化学工业出版社

53.2-44

高 等 学 校 教 材

化工容器设计例题、习题集

蔡仁良 主编

贺匡国 审定

化 学 工 业 出 版 社

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

化工容器设计例题、习题集/蔡仁良主编. -北京:化学工业出版社,1996
高等学校用书
ISBN 7-5025-1595-X
I. 化… II. 蔡… III. 化工设备-容器-设计-高等学校-习题 IV. TQ053.2-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 18241 号

**高等学校教材
化工容器设计例题、习题集**

蔡仁良 主编

贺匡国 审定

责任编辑:孙世斌

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印制厂印刷

北京市同文印刷厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 13 插页 3 字数 319 千字

1996 年 4 月第 1 版 2000 年 4 月北京第 3 次印刷

印数: 6001—8000

ISBN 7-5025-1595-X/G · 416

定 价: 15.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

前 言

本书是高等学校化工设备与机械专业教学指导委员会审定为配合高等学校教材《化工容器设计》的教学用书。

本书是编者在过去多年教学经验的基础上整理编写而成,旨在帮助加深对课程中一些基本概念的理解,巩固所学的知识,提高分析和解决工程设计问题的能力,因此编写过程中力求选题广泛,突出重点,注重解题方法和技巧的训练,以便于读者自学。本书与《化工容器设计》教材中各章基本对应,各章中包含:基本要求、内容提要、复习思考题、例题和习题。全书共有复习思考题 123 道,例题 72 道,习题 119 道,书末附有部分习题参考答案,典型课程设计举例等。

本书由华东理工大学蔡仁良教授主编,参加编写的有华东理工大学蔡仁良教授(第一、二、五章)、郑建荣副教授(第六、七章),四川联合大学黄卫星副教授(第三章第一节,第四章)、潘永亮副教授(第三章第二、三、四、五、六节)。由大连理工大学贺匡国教授审定,在阅审过程中提出了许多有益意见;编者在编写过程中曾参考有关院校的习题讲义,特此一并致谢。

限于编者水平,书中错误和不当之处在所难免,恳请读者予以批评指正。

编 者

1995.5

内 容 提 要

本书是经高等学校化工设备与机械专业教学指导委员会审定为高等学校教材《化工容器设计》配套的教学用书。各章均有基本要求、内容提要、复习思考题、例题和习题,书末附有习题答案、典型课程设计举例等。

内容包括:概论、理论基础、中低压容器(按规则设计)、外压容器、高压容器、计算机辅助设计等(与教材内容对应)。

本书内容丰富、选题广泛、重点突出、释例清晰,不仅适合该专业本科、大专师生辅助教学使用,亦可供从事有关化工容器设计、生产、科研部门工程技术人员和报考该专业研究生参考。

目 录

前言

第一章 化工容器设计概论	1
1.1 基本要求	1
1.2 内容提要	1
1.3 复习思考题	2
1.4 习题	3
第二章 容器设计的理论基础	4
2.1 回转壳体的薄膜应力	4
2.1.1 基本要求	4
2.1.2 内容提要	4
2.1.3 复习思考题	7
2.1.4 例题	8
2.1.5 习题.....	27
2.2 压力容器的不连续应力.....	32
2.2.1 基本要求.....	32
2.2.2 内容提要.....	32
2.2.3 复习思考题.....	34
2.2.4 例题.....	35
2.2.5 习题.....	50
2.3 圆形平板的应力.....	52
2.3.1 基本要求.....	52
2.3.2 内容提要.....	53
2.3.3 复习思考题.....	54
2.3.4 例题.....	55
2.3.5 习题.....	62
第三章 中低压容器设计	64
3.1 壳体的设计.....	64
3.1.1 基本要求.....	64
3.1.2 内容提要.....	64
3.1.3 复习思考题.....	67
3.1.4 例题.....	67
3.1.5 习题.....	73
3.2 法兰的设计.....	75
3.2.1 基本要求.....	75
3.2.2 内容提要.....	75

3.2.3 复习思考题	77
3.2.4 例题	78
3.2.5 习题	88
3.3 开孔与补强设计	89
3.3.1 基本要求	89
3.3.2 内容提要	89
3.3.3 复习思考题	91
3.3.4 例题	91
3.3.5 习题	96
3.4 卧式容器与支座的设计	96
3.4.1 基本要求	97
3.4.2 内容提要	97
3.4.3 复习思考题	99
3.4.4 例题	99
3.4.5 习题	104
3.5 局部应力计算	105
3.5.1 内容提要	105
3.5.2 例题	106
3.5.3 习题	107
3.6 结构设计问题	107
3.6.1 基本要求	108
3.6.2 内容提要	108
3.6.3 复习思考题	108
第四章 外压容器设计	110
4.1 基本要求	110
4.2 内容提要	110
4.3 复习思考题	113
4.4 例题	114
4.5 习题	119
第五章 高压容器设计	121
5.1 厚壁圆筒的应力	121
5.1.1 基本要求	121
5.1.2 内容提要	121
5.1.3 复习思考题	124
5.1.4 例题	124
5.1.5 习题	134
5.2 高压容器的设计	135
5.2.1 基本要求	135
5.2.2 内容提要	135
5.2.3 复习思考题	137

5.2.4 例题	137
5.2.5 习题	143
第六章 化工容器计算机辅助设计	145
6.1 钢制压力容器设计计算软件包(SW6)	145
6.1.1 钢制压力容器设计计算软件包(SW6)简介	145
6.1.2 SW6 软件包操作步骤	145
6.1.3 例题	147
6.2 化工设备 CAD 绘图软件包	157
6.2.1 化工设备 CAD 绘图软件包简介	157
6.2.2 PVCAD 软件包操作步骤	158
6.2.3 例题	159
第七章 附录	164
7.1 部分习题参考答案	164
7.2 化工容器的设计举例	167
7.2.1 液体卧式贮槽	167
7.2.2 夹套反应釜	172
7.2.3 高压容器	176
7.3 化工容器用钢的力学性能与许用应力表	182
7.4 常用单位换算表	196
参考文献	197

第一章 化工容器设计概论

本章内容主要阐述了化工容器的特点,从安全性和经济性两方面分析了设计化工容器的基本要求,同时通过介绍压力容器质量保证体系这一重要概念,从而明确本课程的性质、对象、范围及方法。

1.1 基本要求

1. 明确本课程的主要任务和主要研究对象。
2. 了解化工容器的应用特点和设计化工容器的基本要求。
3. 充分认识压力容器建立质量保证体系的必要性并了解其基本内容。
4. 一般了解国内外主要的压力容器规范。

1.2 内容提要

1. 化工容器因有别于一般压力容器,因此“化工容器设计”的任务是研究容器在压力、温度和化学介质等作用下的受力、变形和失效的规律,为合理设计容器截面形状和尺寸提供有关强度、刚度、稳定性分析和密封性的基本理论和方法。

2. 化工容器设计是以材料力学、机械零件、金属材料等课程为基础的一门专业主干课,因此学习本课程不仅要掌握压力容器的一般设计方法,重在掌握基本原理和设计思想,学会综合运用其他课程的基本理论和方法,全面考虑、分析和解决工程实际问题。

3. 化工容器的本身特点决定其安全性是核心问题,因此设计容器应当是以安全为前提,综合考虑质量保证的各个环节,尽可能做到经济合理,可靠的密封性,足够的安全寿命,即使容器满足强度、刚度和稳定性的要求,此外,材料消耗低,制造、操作、安装和维修方便等。

4. 压力容器的质量管理和质量保证体系是更严格意义上的安全性,它是近代系统工程在压力容器领域中的应用,所以也称“压力容器安全系统工程”,它包括了安全监察、检验、设计制造、使用管理以及安全评估等方面。就一台容器而言,包括了设计、材料、制造与制造过程中的检验、在役检验与监控四个方面。其中,设计是先导,材料是基础,制造是关键,检验是保证。

5. 正确选择和合理使用材料是压力容器设计的一个重要组成部分,对于保证容器的结构合理,安全使用和降低制造成本至关重要。除了适合工艺过程要求外,材料的选择必须考虑力学性能和工艺性能两方面的要求。前者包括适当的强度、良好的塑性和较好的韧性,后者包括良好的冷热加工性能,较好的可焊性和适宜的热处理性能等。因钢材具有上述众多优点而成为主要的容器用材,但不排斥特殊的场合使用有色金属、非金属材料等。

6. 化工容器用钢按化学成分与用途主要有三类,即普通碳素钢、低合金(高强度)钢、不锈钢耐酸钢和耐热钢。普通碳素钢与低合金钢又可根据制造容器的特殊要求派生出压力容器用钢。压力容器用钢区别一般用钢主要在于降低了钢中的硫、磷的含量,增加了冲击功的指标和提高了质量检验要求。

表 1.1 列举了碳素钢钢板在不同厚度、热处理状态下,用于压力容器时允许使用的介质、压力和温度范围。

7. 压力容器的设计和制造都需遵循一定的标准规定,这类标准和规范是综合了理论、试验和经验的产物,在法律上是强制性的。我国的压力容器设计规范主要有GB150“钢制压力容器”以及JB4732“钢制压力容器—分析设计标准”,同时作为政府部门对压力容器安全监督的法规主要是“压力容器安全技术监察规程”。此外还有关于材料、制造、检验等必须遵循的国家标准和行业标准。这些共同组成了以GB150为核心的标准体系,是压力容器质量管理和质量保证体系中加强法制的具体表现。

8. 从安全的重要程度对压力容器分类,对于压力容器的技术管理和安全监督具有特殊的意义。这里,容器的类别按压力高低、容器大小、介质的危害程度以及在生产中的重要作用划分成三类,其中的三类容器最为重要,要求也最为严格。

表 1-1 压力容器用碳素钢钢板的适用范围

钢 号	钢板标准	使用状态	厚度 mm	适 用 范 围			
				容器设计压力 MPa	钢板使用温度 ℃	用作壳体厚度 mm	容器盛装介质
Q235-A、F (A3F,AY3F)	GB912 GB3274	热轧	$\frac{3\sim 4}{4.5\sim 16}$	≤ 0.6	0~250	≤ 12	非易燃,毒性程度为轻度危害介质
Q235-A (A3,AY3)	GB912 GB3274	热轧	$\frac{3\sim 4}{4.5\sim 40}$	≤ 1.0	0~350	≤ 16	非石油液化气,毒性程度为轻度、中度危害介质
Q235-B	GB912 GB3274	热轧	$\frac{3\sim 4}{4.5\sim 40}$	≤ 1.6	0~350	≤ 20	毒性程度为轻度、中度危害介质
Q235-C	GB912 GB3274	热轧	$\frac{3\sim 4}{4.5\sim 40}$	≤ 2.5	0~350	≤ 32	
20HP	GB6653	热轧	3~3.5		$> -20\sim 400$		
20R	GB6654 YB(T)40	热轧或正火	6~100		$-20\sim 475$		

1.3 复习思考题

- 化工容器与一般压力容器相比较有哪些异同点?为什么压力容器的安全问题特别重要?
- 从容器的安全、制造、使用等方面说明对化工容器机械设计有哪些基本要求?
- 对于压力容器用钢的冶炼方法、化学成分、力学性能等方面有哪些基本要求?
- 试区别下列名词术语:
 - 压力容器的质量保证和质量监督。
 - 材料在使用过程中的退化和时效。
 - 材料的塑性和韧性。
 - 无塑性转变温度(NDT)和蠕变温度。
 - V型和U型缺口冲击试样。
- 指出下列钢号按化学成分和用途分属哪类钢材,并注明各代号的意义:

Q235-A, Q235-A · F, Q235-B, Q235-C, 20HP, 15MnVR, 09MnNiDR, 0Cr18Ni9, 00Cr19Ni10

6. 压力容器专用的低合金钢板如 16MnR 与一般合金钢钢板如 16Mn 有什么主要区别?
7. 为什么压力容器选用 Q235-A · F 钢板时,对温度、压力范围及介质需加以限制?
8. 在低温(-20°C)以下工作的压力容器对材料有哪些特殊的要求?
9. 选择高温容器用钢时主要考虑高温对材料哪些性能的影响?
10. 为什么对压力容器分类时不仅要根据压力高低,还要视压力乘容积 PV 大小?

1.4 习 题

1-1. 指出下列正确的结论:()

- A. 质量保证与质量监督是同一概念。
 B. 质量保证就是质量监督。
☒ C. 质量监督是达到质量保证的具体手段。

1-2. 16MnR 的含碳量为多少?()

- A. 16% B. 1.6% ☒ C. 0.16%

1-3. 毒性为高度或极度危害介质 $PV \geq 0.2\text{MPa} \cdot \text{m}^3$ 的低压容器应定为几类容器?

(C)

- A. I 类 B. II 类 C. III 类

1-4. 设计压力为 0.6MPa,设计温度为 300°C ,厚度为 12mm 的容器,下列钢材选用哪个正确?(B)

- A. Q235-A · F B. Q235-A C. Q255-A

1-5. GB150 适用下列类型容器。(B)

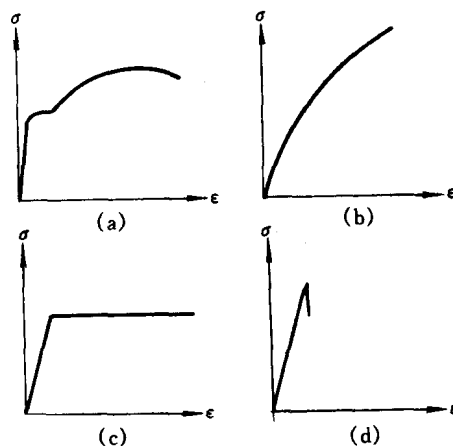
- A. 直接火加热的容器。
 B. 固定式容器。
 C. 液化石油气槽车。
 D. 受辐射作用的核能容器。

1-6. 试确定下列材料 σ - ϵ 图中对应的屈服点。

1-7. 所谓高温容器是指下列哪一种情况?

(C)

- A. 工作温度高于室温。
 B. 工作温度在容器材料的无塑性转变温度(NDT)以上。
 C. 工作温度在材料蠕变温度以上。



题 1-6 图

第二章 容器设计的理论基础

2.1 回转壳体的薄膜应力

本节通过介绍薄壳理论的一些基本概念、基本理论和分析方法,主要讨论回转薄壳的无力矩理论以及在轴对称条件下的薄膜应力和变形的计算。轴对称问题是容器壳体的应力分析和强度计算的最基本问题,对轴对称问题的理解和掌握是薄壁容器的工程设计的理论基础,同时无力矩理论所得结果总可以作为分析壳体在载荷、结构突变处附近局部区域弯曲问题(有力矩理论)的特解,因此掌握好本节内容将有助于后续各节的学习。

2.1.1 基本要求

1. 了解回转薄壳应力分析中采用两种计算理论的基本原理与意义。
2. 掌握回转壳体几何特性的基本定义,学会对几种典型回转壳体第一主曲率半径和第二主曲率半径的计算。
3. 熟练掌握利用无力矩壳体理论求解轴对称问题的基本方程式计算常用容器壳体的薄膜应力以及薄膜平行圆径向位移和经线转角。
4. 正确理解无力矩理论的应用条件。

2.1.2 内容提要

1. 工程实际中,薄壳指的是壳体厚度与其中间面最小主曲率半径的比值不超过 $1/10$ 的薄壁壳体结构。薄壁容器的外壳一般是这种,且其几何上对称于某一轴线的结构,故称回转薄壳。容器薄壳通常承受的外部载荷对称于同一轴线,且支承条件也是轴对称。由于载荷、结构是轴对称的,因而壳内的应力和变形均具有轴对称特点,解这类壳体问题统称为回转壳体的轴对称问题。

2. 分析壳体的应力有两种基本理论——“无力矩理论(或称薄膜理论)”与“有力矩理论”。对于轴对称问题,壳体中面微元四个边上存在法向力 N_φ 、 N_θ ,弯矩 M_φ 、 M_θ 和横向力 Q_φ 等五个内力分量(应注意它们是沿微元侧边分布的每单位长度的力与力矩)。若 N_φ 、 N_θ 相对于 M_φ 、 M_θ 、 Q_φ 大得多,可近似将后者均忽略为零,从而大大简化了计算,这种壳体理论就是“无力矩理论”,反之考虑全部内力,就是“有力矩理论”。

3. 回转壳体中几何特征中的第一主曲率半径(R_1)和第二主曲率半径(R_2)是计算壳体薄膜应力的两个重要几何参数。从定义出发, R_1 是壳体上任意点的经线曲率半径,因此可以直接由描述经线形状的关系式[如 $y=f(x)$, $R_1 = \frac{1}{|y''|}$]确定。而 R_2 是垂直于该点经线切线的截面切割壳体中面而成的曲线的主曲率半径,由于 R_1 的中心 O_1 与 R_2 的中心 O_2 都在中面的法线上,和第二主曲率中心 O_2 必在回转轴线上,故 R_2 即为壳体中面上所考察点沿法线至回转轴的长度,或利用 R_2 与垂直于回转轴与中面相割的平行圆半径 r 的关系式 $r = R_2 \sin \varphi$ 求解(图 2-1)。(应注意 R_1 、 R_2 可以是常数,如球壳、锥壳和圆柱壳;也可以是逐点变化的,如椭圆壳、尖顶壳等)。

4. 按无力矩理论计算回转壳体薄膜应力是薄壁容器强度计算的理论基础。若对于圆柱或球形薄壳,受均匀气压下可采用材料力学“截面法”计算周向内力 N_θ 和经向内力 N_φ ,但是对一般回转壳,因沿经线的内力不相同,只能采用从壳体上取微体的力平衡分析得到以下两个基本方程,以求解壳体上任意点的薄膜内力(仅考虑受法向分布面载荷 p_z),即

$$\frac{N_\varphi}{R_1} + \frac{N_\theta}{R_2} = -p_z \quad (2-1)$$

$$\frac{d}{d\varphi}(N_\varphi r) - N_\theta R_1 \cos\varphi = 0 \quad (2-2')$$

图 2-1 一般回转壳体的主曲率半径

将式(2-1)中的 N_θ 代入式(2-2'),并将所得表达式两边乘以 $\sin\varphi$,于是化为:

$$\frac{d}{d\varphi}(N_\varphi r) \sin\varphi + r N_\varphi \cos\varphi = -R_1 R_2 p_z \cos\varphi \sin\varphi$$

上述方程左边可写成: $\frac{d}{d\varphi}(r N_\varphi \sin\varphi)$,再对上式积分可确定 N_φ :

$$N_\varphi = -\frac{1}{r \sin\varphi} \left[R_1 R_2 p_z \cos\varphi \sin\varphi d\varphi + C \right]$$

其中 C 为积分常数。

于是令 $-2\pi \left[R_1 R_2 p_z \cos\varphi \sin\varphi d\varphi + C \right] = F$ 代入上式后,则有

(注意上式等号左边前项是 p_z 作用在 φ 角以内壳体的轴的合力,而后项是集中力或是沿平行圆周长分布的轴向合力)

$$2\pi r N_\varphi \sin\varphi = F \quad (2-2)$$

或

$$N_\varphi = \frac{F}{2\pi r \sin\varphi}$$

因此式(2-2)是式(2-2')的另一形式,但是在实际计算中却是一种简化。因为从壳体中通过 φ 角截出一部分,用 F 表示作用在该壳体上所有外部载荷的轴向合力,因轴对称, N_φ 沿 φ 角截出的壳体作用边为常数,所以根据轴向的平衡条件(图 2-2),即为式(2-2),而式(2-2)也称区域平衡方程式,式(2-1)因源于壳体微元静力平衡,故称微体平衡方程式。

(2-1)和(2-2)两个方程式即是求解回转薄壳轴对称问题的无矩内力的基本方程式。学生解题的难点通常是如何采用最直接的方法,根据外部载荷的具体情况,截取部分壳体列出轴向力平衡确定 F 以求出 N_φ 。 N_φ 确定以后,不难由式(2-1)算出 N_θ 。

5. 在壳体的理论分析中,我们考虑的是内力,而容器的工程设计关心的是壳体内部各点的应力。对于上述的 N_φ 、 N_θ 相当于矩形杆承受轴向载荷所引起应力的合力,因这种应力沿厚

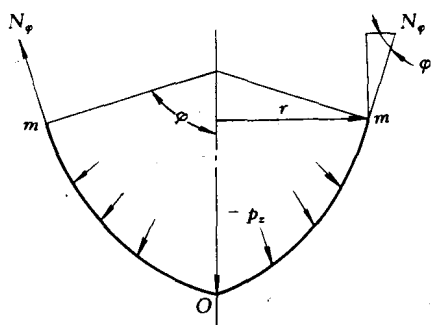
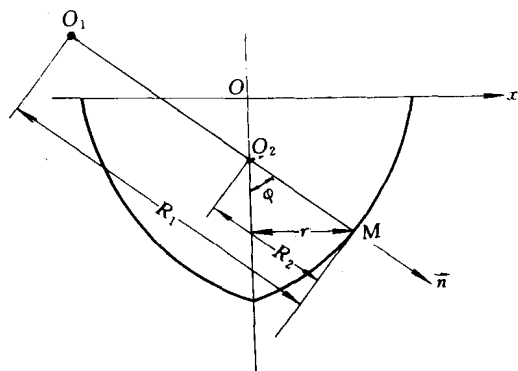


图 2-2 部分壳体的静力平衡

度均匀分布,因此环向薄膜应力 σ_θ 和经向薄膜应力 σ_φ 的计算式为:

$$\sigma_\varphi = \frac{N_\varphi}{t}$$

$$\sigma_\theta = \frac{N_\theta}{t}$$
(2-3)

其中 t 为壳体的厚度。根据薄膜理论的假设径向应力 $\sigma_r \approx 0$ 。

6. 轴对称加载的回转壳体,将产生轴对称变形。当薄膜应力已知时,可以求出这种变形,并称为薄膜变形。由于分析壳体不连续性概念与计算不连续应力的考虑,我们关注的是容器边缘处的薄膜平行圆径向位移(或平行圆半径增量)与经线转角。应注意按教材的规定,平行圆径向位移的符号约定为平行圆半径增大为负,反之为正;转角以回转轴左侧的经线为准,逆时针转动为正,反之为负。在以后壳体不连续分析时所采用的符号要与之一致。

7. 壳体的无力矩工作状态存在两种情况,一种是壳体的抗弯刚度非常小,以致壳体实际不能抵抗弯曲,只能是无矩应力状态;第二种情况是壳体既然有厚度,就具有有限的抗弯刚度,但由于特定的壳体形状、加载方式以及支承条件使弯曲应力比薄膜应力小很多,形成事实上的无力矩应力状态。第一种情况虽属于无力矩理论范围,但不是我们研究的对象,而实现第二种的无力矩工作状态就必须满足三个限制条件,即

- (1) 壳体的曲率,厚度和物理性质或作用在壳体上的载荷都是连续的且没有突然的变化;
- (2) 壳体的边界上没有力矩和横向力作用;
- (3) 壳体边界上的法向位移及转角不受限制。

图 2-3 是容器上不满足无力矩理论应用条件的一些局部区域的实例。

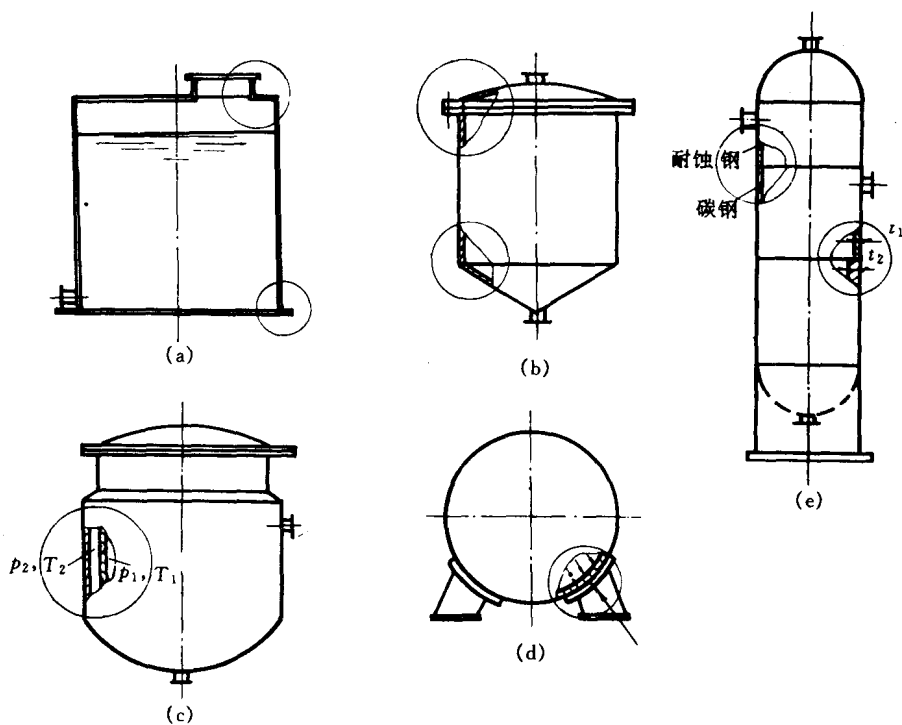


图 2-3 不满足无力矩理论应用条件的实例

2.1.3 复习思考题

1. 对壳体进行应力分析有哪两种理论？它们分别考虑壳体中哪些应力？为什么工程实际中可以用无矩理论？

2. 试用图 2-4(a)、(b)中所注尺寸符号写出各回转壳体中 A 和 A' 点的第一曲率半径和第二曲率半径，以及平行圆半径。

3. 试解释下列名词术语：母线，经线，平行圆，第一主曲率半径，第二主曲率半径，平行圆半径。

4. 为什么推导一般回转壳体的应力时不能采用材料力学中的截面法？对一般回转壳体取壳单元的假想截面采用垂直于轴线的横截面为什么是不正确的？应该如何取才是正确的？

5. 实际的薄壁壳体，当承受均匀内压 p ，其沿器壁厚度的各点上有否弯曲应力？若有则为什么无矩理论中不予考虑？

6. 使用无矩理论有什么限制？为什么说壳体边界上的外力只能沿壳体经线的切线方向？

7. 图 2-5 示出三个直径 D ，壁厚 t 和高度 H 均相同的薄壁容器，容器内充满液体，液体密度为 ρ ，分别悬挂在支座上，试问：

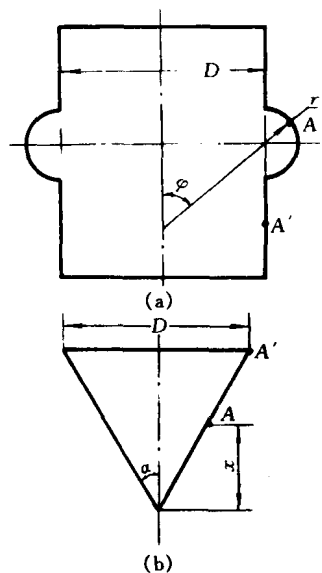


图 2-4

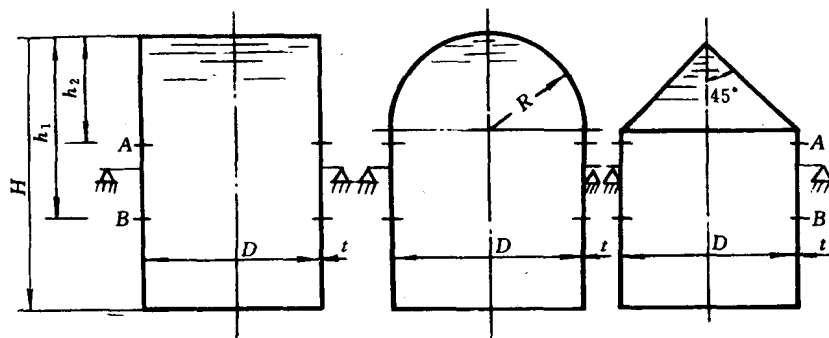


图 2-5

(1) 三个容器分别在 $A-A$ 和 $B-B$ 横截面上的经向薄膜应力 σ_φ 是否相等？为什么？

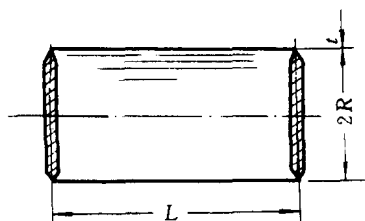


图 2-6

10. 如将图 2-6 所示充满液体的卧式贮罐竖立, 则器壁中的薄膜应力是否按卧式时一样计算? 为什么?

(2) 三个容器在同一高度的对应点上环向薄膜应力 σ_θ 是否相等? 为什么?

(3) 若将三个容器均直接置于平地上, 则 A-A 横截面上的 σ_φ 是否相等? 为什么?

8. 试分析标准椭圆形封头采用 $a/b=2$ 的原因? 为什么容器设计现在对碟形封头要规定最小允许过渡半径?

9. 为什么球壳是一种理想的压力容器或端盖?

2.1.4 例 题

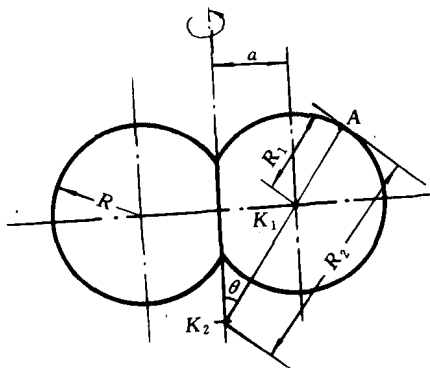
主曲率半径计算

例 2-1 试求例 2-1 图所示的回转薄壳上 A 点的主曲率半径 R_1 和 R_2 。

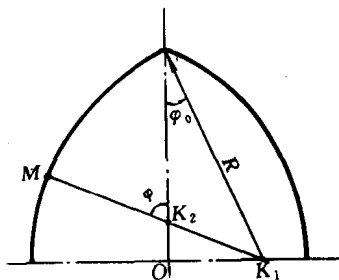
【解】 此回转壳体由两个连成一起球壳组成, 因此球壳上任一点的第一主曲率半径为:

$$R_1 = R$$

而 $R_2 = \overline{AK_2} = \overline{AK_1} + \overline{K_1K_2} = R + a/\sin\theta$



例 2-1 图



例 2-2 图

例 2-2 试求例 2-2 图所示的尖拱壳上任意点 M 的主曲率半径 R_1 和 R_2 。

【解】 由例 2-2 图可知, 尖拱壳的经线是由圆心为 K_1 点, 半径为 R 的部分圆弧形成, 故其第一主曲率半径在各处为常数, 即

$$R_1 = R$$

但第二主曲率半径是变量, 由几何关系可得:

$$\overline{OK_1} = R \sin \varphi_0 = \overline{K_1K_2} \sin \varphi$$

或

$$\overline{K_1K_2} = R \sin \varphi_0 / \sin \varphi$$

故有

$$R_2 = \overline{MK_2} = R - \overline{K_1K_2} = R(1 - \sin \varphi_0 / \sin \varphi)$$

显然, 当 $\varphi_0 = 0$ 时即为球壳, 此时

$$(R_1 = R_2 = R)$$

例 2-3 试求例 2-3 图所示碟形封头中面上 A、B、C 三点的主曲率半径 R_1 和 R_2 。

【解】 由例 2-3 图可知, 碟形封头中面由三部分组成, 其顶部为半径 R 的球面 ($A-a$), 紧接为半径等于 r 的部分圆环 (折边 $a-b$), a 点为公切点, φ_0 为其与回转轴的交角, 其次是半径为 R' 的圆柱壳 (直边 $b-c$)。由几何关系:

$$A: R_1 = R_2 = R$$

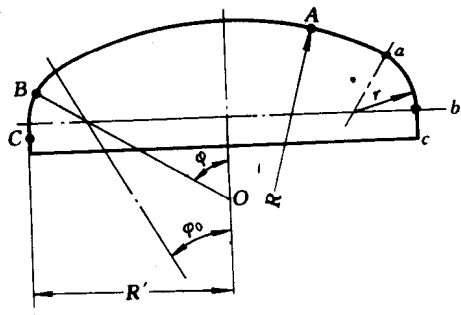
$$B: R_1 = r$$

$$R_2 = \overline{BO} = r + (R-r)\sin\varphi_0/\sin\varphi$$

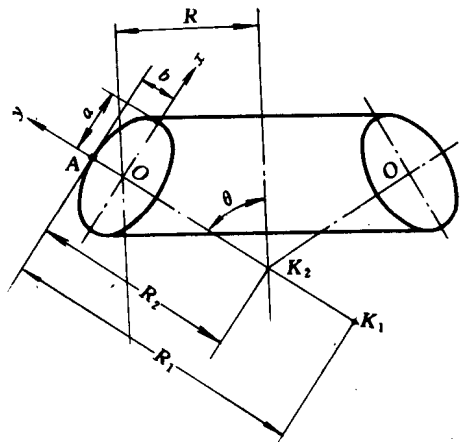
$$C: R_1 = \infty$$

$$R_2 = R' = r + (R-r)\sin\varphi_0$$

由此可见, 经线在 a, b 点是不连续的, 主曲率半径发生突变。



例 2-3 图



例 2-4 图

例 2-4 试求例 2-4 图所示圆环壳上点 A 的主曲率半径 R_1 和 R_2 。此圆环系一椭圆曲线绕旋转轴回转而成。椭圆之长短轴分别为 a 和 b , 短轴与旋转轴夹角为 θ , A 点即在外侧椭圆曲线且为短轴之顶端。

【解】 由题意可知:

$$R_1 = \frac{(a^4 y^2 + b^4 x^2)^{3/2}}{a^4 b^4}$$

令 $x=0, y=b$, 则

$$R_1 = \frac{a^2}{b}$$

$$\text{而 } R_2 = \overline{AO} + \overline{OK_2} = b + \frac{R}{\sin\theta}$$

【小结】 计算回转壳主曲率半径是下述壳体应力计算之前提。由例 2-1~2-4 可见, R_1 系该点经线的曲率半径, 若经线形状简单, 则可以直接判断, 否则要用公式计算确定; 而 R_1 和 R_2 的曲率中心都在该点的法线上, 且 R_2 的曲率中心必在旋转轴上, 故藉此可以确定 R_2 或 R_2 与平行圆半径 r 的关系。表 2-1 为常用容器壳体的 R_1 与 R_2 以及平行圆半径 r 。