

HUAGONGJIQI

余国琮 孙启才 朱企新 主编

化工机器

天津大学出版社

化 工 机 器

余国琮 孙启才 朱企新 主编

天 津 大 学 出 版 社

内 容 提 要

本书为高等工科院校化工机械类专业本科生教学用书。全书共分高速回转件的强度计算、高速回转轴的临界转速、泵、往复活塞压缩机、离心压缩机、离心风机、固液分离机械等六章，主要介绍离心泵的工作原理、特性、主要零部件；活塞压缩机的热力、动力分析及主要工作部件；离心压缩机的工作原理及主要零部件；固液分离机械中过滤机和离心机的类型结构、生产能力计算及选型；高速回转的转鼓和叶轮的强度计算以及转轴的临界转速计算。使用时可根据具体情况选择有关内容。

本书内容既侧重基本原理，又注意联系工程实际，并辅以适当例题、习题。

本书还可供从事化工机器设计、科研和生产的工程技术人员参考。

(津)新登字012号

化工机器

余国琮 孙启才 朱企新 主编

※

天津大学出版社出版发行

(天津大学内)

河北省永清县印刷厂印刷

※

开本：787×1092毫米1/16 印张：24.5 字数：608千字

1988年2月第一版 1992年4月第二次印刷

印数：4501—9000

ISBN 7-5618-0028-2

TQ·1

定价：11.50元

编 者 的 话

本书为高等工科院校化工机械类专业本科生用教材。编写时，力求做到精选内容、加强基础、联系实际。

本书共分六章，各章重点及建议执行学时如下：

第一章 高速回转件的强度计算。重点是转鼓和叶轮的强度计算。9学时。

第二章 高速回转轴的临界转速。重点是临界转速的计算及其影响因素。10学时。

第三章 泵。重点是离心泵的基本原理、性能曲线、流量调节及结构分析。16学时。

第四章 活塞式压缩机。重点是热力及动力分析、结构分析及运转。24学时。

第五章 离心压缩机和离心风机。重点是离心压缩机的工作原理和主要零部件，离心风机的性能。14学时。

第六章 固液分离机械。重点是过滤机和离心机的性能、结构、生产能力计算和选型。23学时。

本书主编为余国琮、孙启才和朱企新。第一、二章由天津大学朱企新编写，第三章由成都科技大学吴英桦编写，第四章由天津大学钱树德编写，第五章由天津大学赵忠祥编写，第六章由天津大学金鼎五和成都科技大学孙启才编写。

本书第一至第五章的初稿曾分别在天津大学、成都科技大学、河北工学院和天津轻工业学院等院校的化机专业本科生教学中试用，并根据试用意见和部分院校教师的初审意见作了修改。修改过程中钱树德做了大量工作。本书由华东化工学院琚定一教授主审。在此谨表衷心谢意。

一九八七年六月

34250/11

目 录

第一章 高速回转件的强度计算.....	(1)
第一节 离心机转鼓壁的强度计算.....	(1)
一、概 述.....	(1)
二、转鼓自身质量引起的应力与变形.....	(1)
三、筛网质量引起的鼓壁应力与变形.....	(4)
四、转鼓内物料引起的应力与变形.....	(6)
五、转鼓壁的强度计算.....	(9)
(一) 整体转鼓.....	(10)
(二) 开孔转鼓.....	(11)
六、边缘应力问题.....	(15)
第二节 高速回转圆盘的应力与变形.....	(19)
一、基本方程式.....	(19)
二、等厚度回转圆盘的应力分析.....	(22)
(一) 已知圆盘内孔及外径处的径向应力 σ_{r0} 和 σ_{re} 时的应力计算.....	(22)
(二) 已知圆盘内孔处的径向应力 σ_{r0} 和周向应力 σ_{t0} 时的应力计算.....	(26)
(三) 实心等厚度圆盘的应力计算.....	(29)
三、锥形圆盘的应力计算.....	(29)
四、圆盘内外径比和厚度比的影响.....	(31)
五、实际圆盘的应力计算.....	(33)
(一) 截面突变的轮盘与轮盖的计算方法.....	(33)
(二) 二次算法.....	(34)
附录 国际单位制(SI)与工程单位制公式对照表.....	(38)
习题.....	(39)
主要参考资料.....	(40)
第二章 高速回转轴的临界转速.....	(41)
第一节 高速回转机械的振动问题.....	(41)
第二节 临界转速的计算方法.....	(42)
一、影响系数法.....	(42)
(一) 单转子轴的临界转速.....	(42)
(二) 刚性轴与挠性轴.....	(44)
(三) 多转子轴的临界转速.....	(46)
二、能量法.....	(51)
三、弹性振动解析法(特征值法).....	(56)
(一) 单自由度系统.....	(56)
(二) 多自由度系统.....	(57)
(三) 无限多自由度系统.....	(62)

第三节 影响临界转速的其它因素	(65)
一、回转效应	(65)
(一) 实心圆柱体的回转效应	(66)
(二) 空心圆柱体的回转效应	(71)
二、臂长影响	(72)
三、支承情况的影响	(76)
(一) 轴承的影响	(76)
(二) 弹性支承	(76)
(三) 油膜的影响	(77)
四、其它因素的影响	(77)
附录 国际单位制(SI)与工程单位制公式对照表	(78)
习题	(78)
主要参考资料	(79)
第三章 泵	(81)
概述	(81)
第一节 离心泵	(83)
一、工作原理	(83)
二、基本方程式	(87)
三、效率和功率	(94)
四、性能曲线	(98)
五、流量调节	(115)
六、汽蚀及允许吸入真空高度	(117)
七、主要零部件	(127)
八、离心泵主要类型	(141)
第二节 其它类型泵	(148)
一、旋涡泵	(148)
二、往复泵	(150)
三、齿轮泵	(152)
四、螺杆泵	(153)
附录 国际单位制(SI)与工程单位制公式对照表	(154)
习题	(155)
主要参考资料	(156)
第四章 活塞式压缩机	(157)
概述	(157)
第一节 活塞式压缩机的热力过程	(159)
一、热力学基础	(159)
二、压缩机工作过程的示功图分析	(164)

三、气缸的实际吸入气量	(167)
四、压缩机的排气量	(170)
五、压缩机的指示功、功率、效率和比功率	(172)
六、多级压缩	(176)
七、实际气体的压缩	(183)
第二节 活塞式压缩机动力学	(185)
一、曲柄连杆机构的运动	(185)
二、惯性力分析	(186)
三、压缩机中的作用力	(188)
四、切向力图	(196)
五、旋转不均匀度与飞轮矩计算	(196)
六、惯性力的平衡	(199)
第三节 活塞式压缩机总体结构	(203)
一、各种结构型的分析与选择	(203)
二、主要参数的选择原则	(208)
第四节 活塞式压缩机主要零部件的结构	(209)
一、气缸	(211)
二、活塞组	(214)
三、填料函	(220)
四、气阀	(223)
五、曲轴	(225)
第五节 活塞式压缩机的运转	(228)
一、输气量的调节	(228)
二、压缩机的润滑	(230)
三、压缩机的维护	(232)
第六节 石油、化工用压缩机的特点	(233)
一、氮氢气压缩机	(233)
二、氧气压缩机	(233)
三、二氧化碳压缩机	(233)
四、石油气压缩机	(233)
五、乙烯超高压压缩机	(234)
附录	(235)
4-1 常用气体的主要物理常数	(235)
4-2 $\cos\alpha + \lambda\cos2\alpha$ 的数值表	(236)
4-3 $\frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos\beta}$ 的数值表	(236)
4-4 空气及氮氢混合气的 ξ 值	(237)
4-5 国际单位制(SI)与工程单位制公式对照表	(238)
习题	(239)

主要参考资料.....	(241)
第五章 离心式压缩机及离心式风机.....	(242)
第一节 离心式压缩机.....	(242)
一、概述.....	(242)
二、离心式压缩机热力过程分析.....	(244)
(一) 连续性方程.....	(245)
(二) 欧拉方程.....	(246)
(三) 功率和效率.....	(247)
(四) 级中气体状态的变化.....	(251)
(五) 离心压缩机级的性能曲线.....	(257)
三、叶轮.....	(260)
(一) 叶轮的结构型式.....	(260)
(二) 叶轮的主要参数.....	(262)
四、其它零件.....	(267)
(一) 扩压器.....	(267)
(二) 回流器和蜗壳.....	(271)
五、迷宫密封及浮环密封.....	(272)
(一) 迷宫密封的一般结构形式和原理.....	(273)
(二) 迷宫密封漏气量的计算.....	(275)
(三) 浮环密封.....	(276)
(四) 其它类型的密封.....	(278)
第二节 离心式通风机.....	(279)
一、风机的分类.....	(279)
(一) 通风机.....	(279)
(二) 鼓风机.....	(280)
二、离心式风机的主要性能参数.....	(280)
(一) 离心式风机的总压头、风压、风量和功率.....	(280)
(二) 风机和性能曲线.....	(282)
三、离心风机的相似定律.....	(285)
(一) 风机的相似.....	(285)
(二) 相似条件.....	(285)
(三) 相似换算.....	(285)
四、离心式通风机的无因次性能曲线.....	(286)
(一) 流量系数 $\bar{Q}$	(286)
(二) 压力系数 $\bar{H}$	(287)
(三) 功率系数 $\bar{N}$	(287)
五、离心式风机的构造与系列.....	(290)
六、风机的选用.....	(292)
附录 国际单位制(SI)与工程单位制公式对照表.....	(292)

习题.....	(293)
主要参考资料.....	(294)
第六章 固液分离机械	(295)
第一节 概述	(295)
一、固液分离过程的分类及应用.....	(295)
(一) 浮选.....	(295)
(二) 重力沉降.....	(295)
(三) 离心沉降.....	(295)
(四) 滤饼过滤.....	(296)
(五) 深层过滤.....	(296)
(六) 筛滤.....	(296)
(七) 滤芯式过滤器.....	(297)
二、固体颗粒、液体及固液混合物的特性.....	(297)
(一) 颗粒特性.....	(297)
(二) 液体性质.....	(301)
(三) 固液混合物——悬浮液特性.....	(302)
三、固液混合物的预处理.....	(305)
(一) 对液相的预处理.....	(305)
(二) 对固相的预处理.....	(305)
(三) 固液混合物整体的预处理.....	(308)
第二节 离心机	(308)
一、过滤离心机.....	(309)
(一) 三足式离心机.....	(310)
(二) 上悬式离心机.....	(311)
(三) 卧式刮刀卸料离心机.....	(313)
(四) 活塞卸料过滤离心机.....	(314)
(五) 离心力卸料离心机.....	(317)
(六) 振动卸料和进动卸料离心机.....	(318)
(七) 螺旋卸料过滤离心机.....	(318)
二、沉降离心机.....	(320)
(一) 三足式沉降离心机.....	(320)
(二) 刮刀卸料沉降离心机.....	(321)
(三) 螺旋卸料沉降离心机.....	(321)
三、离心分离机.....	(324)
(一) 碟式分离机.....	(324)
(二) 室式分离机.....	(328)
(三) 管式分离机.....	(328)
四、离心机生产能力的计算.....	(329)
(一) 过滤离心机的生产能力.....	(329)
(二) 沉降离心机的生产能力.....	(332)

(三) 碟式分离机的生产能力	(335)
五、离心机的功率计算	(337)
(一) 启动转动件所需功率	(337)
(二) 启动物料到操作转速所需功率	(338)
(三) 轴承摩擦消耗的功率	(338)
(四) 机械密封摩擦消耗的功率	(339)
(五) 转鼓及物料表面与空气摩擦消耗的功率	(339)
(六) 卸出滤渣(或沉渣)消耗的功率	(339)
(七) 离心分离机用向心泵排液时, 向心泵所耗功率	(341)
(八) 总功率计算	(341)
第三节 过滤机	(342)
一、引言	(342)
二、过滤介质	(343)
(一) 过滤介质的分类	(343)
(二) 对过滤介质性能的共同要求和特定要求	(344)
(三) 过滤介质技术特性的测定	(345)
(四) 常用过滤介质及其主要性能	(347)
三、加压叶滤机	(351)
(一) 综述	(351)
(二) 水平滤叶型加压叶滤机	(352)
四、自动压滤机	(354)
(一) 压滤机的发展和分类	(354)
(二) 自动压滤机的操作与基本结构	(355)
(三) 自动压滤机的控制	(360)
五、带式过滤机	(364)
(一) 水平带式真空过滤机	(364)
(二) 带式压榨机	(366)
六、旋叶压滤机	(369)
第四节 分离机械的选型	(371)
一、固液分离机械的类型	(371)
(一) 沉降式分离设备	(371)
(二) 过滤式分离设备	(371)
二、固液分离机械的选型	(371)
(一) 选型的依据	(372)
(二) 固液分离机械的选型	(373)
附录 国际单位制(SI)与工程单位制公式对照表	(378)
习题	(379)
主要参考资料	(379)

第一章 高速回转件的强度计算

第一节 离心机转鼓壁的强度计算

一、概述

离心机转鼓是一个每分钟旋转几百转至几万转的高速回转容器，由圆筒形、圆锥形或圆筒—圆锥形的鼓壁和圆盘（或圆盘—圆锥）形的鼓底以及圆盘形的顶盖所组成（见图 1-1）。

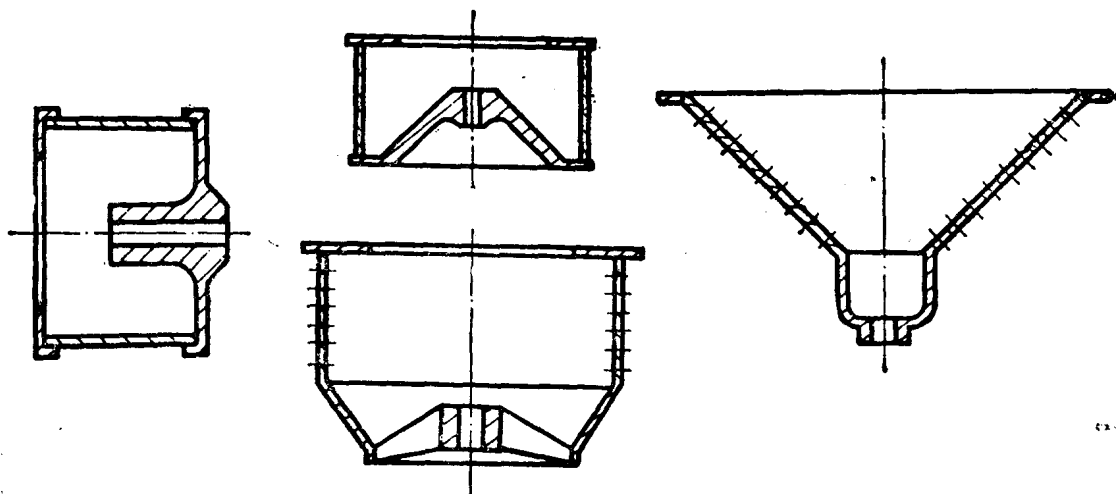


图 1-1 离心机转鼓

转鼓鼓壁是一个高速回转并受离心力作用的壳体。它除了要承受鼓壁自身质量产生的离心力外，还要承受筛网和物料质量产生的离心力。因此，在进行转鼓壁的强度计算时，必须同时考虑这三部分离心力所产生的应力。

转鼓鼓底和顶盖为高速回转薄圆盘，其强度的计算方法与鼓壁不同。

此外，在转鼓的圆筒和圆锥形部分的连接处，以及转鼓的圆筒形部分与鼓底、顶盖的连接处，由于转鼓壁的变形受到约束，会产生边缘应力。边缘应力局限在边缘连接处，并随着与边缘距离的增加而迅速衰减。在工程设计中，考虑到在局部区域的边缘应力可能达到很大值，在结构设计上要尽量减小边缘应力的影响并验算边缘应力。

二、转鼓自身质量引起的应力与变形

图 1-2 为围绕对称轴旋转的圆筒形转鼓。筒体内半径为 R ，厚度为 S ，长度为 L 。当转鼓以一定角速度 ω 旋转时，鼓壁上将产生由于自身质量引起的离心力 C 。此离心力对鼓壁的

作用和薄壁圆筒承受的内压基本一样，可以把离心力看作是内压相当的离心压力，这样就可以按薄壁圆筒承受内压的计算方法来计算应力。因此，先求出作用在鼓壁单位面积上的离心压力 P_1 。

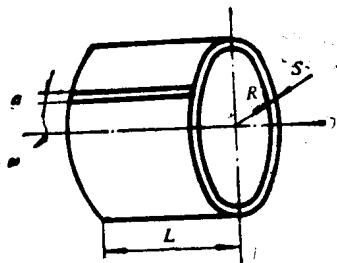


图 1-2 圆筒形转鼓示意图

设转鼓材料的密度为 ρ_0 ，则鼓壁上宽度为 a 的单元体所产生的离心力 C 为，

$$C = LaS\rho_0\bar{R}\omega^2.$$

式中 $\bar{R}$ ——转鼓壁的平均半径， $\bar{R} = R + S/2$ 。

由于鼓壁厚度 S 远小于转鼓半径 R ，即 $S \ll R$ ，所以可近似取 $\bar{R} \approx R$ ，于是：

$$C = LaS\rho_0R\omega^2.$$

离心力 C 均匀作用于转鼓的单元体上，它的方向和转鼓的轴线相垂直。所以，由鼓壁自身质量产生的单位面积上的离心压力为：

$$P_1 = \frac{C}{La} = \frac{LaS\rho_0R\omega^2}{La} = S\rho_0R\omega^2.$$

由于转鼓壁质量产生的离心力 C 的方向和转鼓轴线相垂直，因此它在鼓壁上不会产生径向应力 σ'_1 ，即：

$$\sigma'_1 = 0. \quad (1-1)$$

转鼓壁质量产生的离心力 C 使转鼓像受内压的壳体一样，它的周向（环向）应力 σ'_2 可由拉普拉斯方程求得：

$$\frac{\sigma'_1}{R_1} + \frac{\sigma'_2}{R_2} = \frac{P}{S}.$$

因为 $R_1 = \infty$ ， $\sigma'_1/R_1 = 0$ ， $R_2 = R$ ， $P = P_1$ ，则由上式可得：

$$\sigma'_2 = \frac{P_1 R}{S} = \rho_0 R^2 \omega^2 = \rho_0 u^2. \quad (1-2)$$

式中 u ——转鼓的圆周速度。

由上式可知，转鼓壁自身质量产生离心力引起的周向应力与鼓壁的厚度无关，而与转鼓材料的密度及圆周速度 u 的平方成正比。

图1-3为圆锥形转鼓的示意，设鼓壁任意部分的半径为 ρ ，转鼓壁的厚度为 S ，圆锥形转鼓的半锥角为 α ，转鼓材料密度为 ρ_0 ，则此部分器壁所受的离心压力 P'_1 ，为转鼓质量产生的垂直于转鼓轴线的离心压力在该点法线方向的分量，即：

$$P'_1 = S\rho_0\bar{\rho}\omega^2\cos\alpha \approx S\rho_0\rho\omega^2\cos\alpha.$$

式中 $\bar{\rho}$ ——在圆锥形转鼓内壁任一点处的平均圆半径。因壁厚与半径相比其值很小，故 $\bar{\rho} \approx \rho$ 。

显然，此时 P'_1 的大小是沿轴线变化的。因

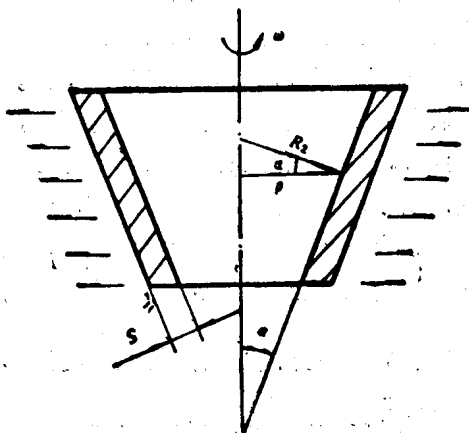


图 1-3 圆锥形转鼓示意图

为壳体的纬线曲率半径 R_1 为:

$$R_1 = \frac{\rho}{\cos \alpha}.$$

所以, 周向应力 σ'_2 为:

$$\begin{aligned} (\sigma_2)'_{\rho} &= \frac{P'_1 R_1}{S} = S \rho_0 \rho \omega^2 \cos \alpha \frac{\rho}{S \cos \alpha} \\ &= \rho_0 \rho^2 \omega^2 = \rho_0 u^2. \end{aligned} \quad (1-3)$$

由于转鼓壁质量离心力不可能产生经线方向的应力, 所以 $(\sigma'_1)_{\rho} = 0$.

从式(1-2)、(1-3)可知:

1. 圆筒形转鼓旋转时, 由于转鼓自身质量引起的周向应力沿经线是均匀的。而在圆锥形转鼓中产生的周向应力则不均匀, 在圆锥大口处应力最大, 在圆锥小口处应力最小;

2. 离心机空转鼓的鼓壁应力, 与转鼓材料的密度和圆周速度的平方成正比, 而与鼓壁的厚度无关;

3. 转鼓的许用最大圆周速度 $[u_{max}]$ 仅取决于转鼓材料的许用应力和密度, 即:

$$[u_{max}] = \sqrt{\frac{[\sigma]}{\rho_0}}. \quad (1-4)$$

因此, 当离心机空转鼓的鼓壁应力是设计计算的主要因素时, 例如超高速离心机, 其转鼓就一定要选用强度高、密度小也即 $[\sigma]/\rho_0$ 比值高的材料。

求出了 σ'_1 和 σ'_2 , 根据虎克定律就可算出鼓壁的半径增值。

圆筒形转鼓的半径增值 Δ'_R 用下式计算:

$$\begin{aligned} \Delta'_R &= R \epsilon_1 = R \left(\frac{\sigma'_2}{E} - \mu \frac{\sigma'_1}{E} \right) \\ &= \frac{\rho_0}{E} R^3 \omega^2. \end{aligned} \quad (1-5)$$

式(1-5)所示的半径增值只适用于与转鼓顶盖和转鼓底有一定距离的部位, 且在这些地方由于半径增值是均匀的, 所以经线弯曲转角为:

$$\varphi' = 0. \quad (1-6)$$

圆锥形转鼓在半径 ρ 处, 鼓壁的半径增值 Δ'_ρ 可用下式表示:

$$\Delta'_\rho = \rho \epsilon_1 = \rho \left[\frac{(\sigma_2)'_{\rho}}{E} - \mu \frac{(\sigma_1)'_{\rho}}{E} \right] = \frac{\rho_0 \rho^3 \omega^2}{E}. \quad (1-7)$$

在经线方向的应变为:

$$\epsilon_1 = \frac{(\sigma_1)'_{\rho}}{E} - \mu \frac{(\sigma_2)'_{\rho}}{E} = - \frac{\mu \rho_0 \rho^2 \omega^2}{E}.$$

上述 ϵ_1 计算式中的负号表示 ϵ_1 是压缩应变, 即圆锥形转鼓在鼓壁自身离心力作用下, 造成转鼓直径的增大和经线的压缩。由式(1-7)可知, 圆锥形转鼓半径的增值是和半径的立方成正比的, 所以变形后的经线就变成弯曲的形状, 如图1-4中圆锥部分的虚线所示。经线弯曲后

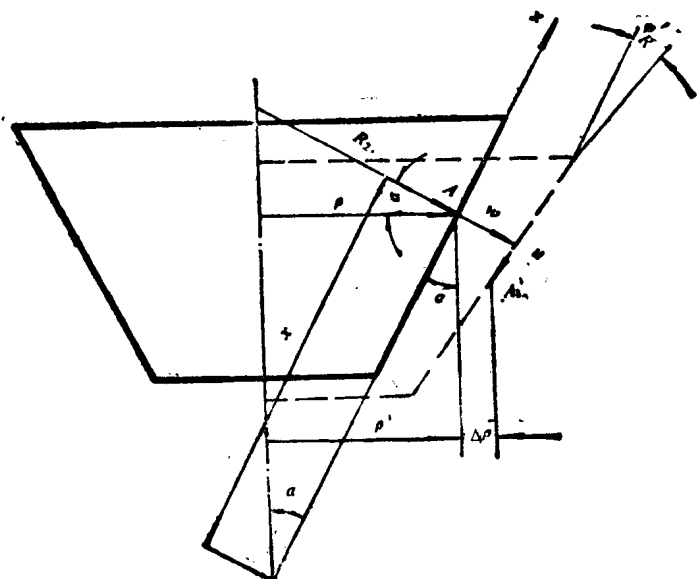


图 1-4 圆锥形转鼓变形示意图

的转角 φ'_ρ 可以按下式计算:

$$\varphi'_\rho = \frac{dw}{dx} \quad (1-8)$$

如图1-4 经线上的A点, 在变形后到达A₁点, 其纬线方向的位移为w, 经线方向的位移为u。从图中的几何关系分析可知:

$$w \cos \alpha = u \sin \alpha + \Delta'_\rho, \quad (1-9)$$

所以

$$\frac{dw}{dx} = \frac{du}{dx} \operatorname{tg} \alpha + \frac{1}{\cos \alpha} \frac{d\Delta'_\rho}{dx} \quad (1-10)$$

而

$$\frac{du}{dx} = -\varepsilon_1 = \mu \frac{\rho_0 \rho^2 \omega^2}{E}, \quad (1-11)$$

$$\Delta'_\rho = \frac{\rho_0 \rho^3 \omega^2}{E} = \frac{\rho_0 \omega^2 \sin^3 \alpha}{E} x^3, \quad (1-12)$$

$$\frac{d\Delta'_\rho}{dx} = \frac{3\rho_0 \omega^2 x^2 \sin^3 \alpha}{E} = \frac{3\rho_0 \omega^2 \rho^3}{E} \sin \alpha, \quad (1-13)$$

将 $\frac{d\Delta'_\rho}{dx}$ 和 $\frac{du}{dx}$ 代入式 (1-10) 和 (1-8) 得:

$$\varphi'_\rho = \frac{(3 + \mu) \rho_0 \rho^2 \omega^2}{E} \operatorname{tg} \alpha. \quad (1-14)$$

三、筛网质量引起的鼓壁应力与变形

转鼓内的筛网、衬网等附件在高速回转时也将产生离心力, 由于其径向尺寸一般不大。

安装位置又是均匀紧贴在转鼓筒体的内表面, 所以筛网、衬网等对转鼓筒体内表面的作用力是均匀的, 相当于转鼓筒壁受内压, 因而也同样使转鼓壁内产生应力。

对于圆筒形转鼓, 设筛网的总质量为 m , 由于筛网、衬网的厚度较小, 故其回转半径可近似取为鼓壁内半径 R , 长度为 L , 回转角速度为 ω , 当筛网、衬网与转鼓一起旋转时, 其作用在鼓壁单位面积上的离心压力为:

$$p_2 = \frac{mR\omega^2}{2\pi RL} = \frac{m\omega^2}{2\pi L}$$

若筛网材料密度 ρ_s , 则筛网质量 m 为:

$$m = 2\pi RLS_s\rho_s$$

式中 S_s —筛网当量厚度。

所以鼓壁单位面积上的离心压力为:

$$p_2 = \frac{2\pi R^2LS_s\rho_s\omega^2}{2\pi RL} = S_s\rho_sR\omega^2$$

与转鼓自身质量引起的应力一样, 筛网质量产生的离心力方向和转鼓轴线相垂直, 因此, 在转鼓壁内不产生径向应力 σ_1 , 所以

$$\sigma_1' = 0 \quad (1-15)$$

离心压力在转鼓壁内引起的周向应力, 可由拉普拉斯方程求得, 因为 $R_1 = \infty$, $\sigma_1'/R_1 = 0$, $R_2 = R$, $p = p_2$, 则

$$\sigma_2' = \frac{p_2R}{S} = \frac{S_s\rho_sR^2\omega^2}{S} \quad (1-16)$$

对于圆锥形转鼓, 筛网作用于鼓壁表面的离心压力 p'_2 是筛网质量产生的垂直于转鼓轴线的离心压力在鼓壁法线方向的分力, 即:

$$p'_2 = \rho_s S_s \bar{\rho} \omega^2 \cos \alpha \approx \rho_s S_s \rho \omega^2 \cos \alpha$$

式中 $\bar{\rho}$ —锥形筛网任意处网厚的平均半径, 可近似取此处鼓壁的内半径 ρ ;

ρ_s —筛网材料密度;

S_s —筛网当量厚度,

$$S_s = \frac{m}{2\pi \frac{R+r_1}{2} H \rho_s}$$

其中 m 为筛网质量, R 和 r_1 分别为锥鼓大口处与小口处的半径, H 为锥鼓母线长。因筛网质量产生的离心力, 在转鼓内不可能产生径向应力 $(\sigma_1)_\rho'$, 所以

$$(\sigma_1)_\rho' = 0 \quad (1-17)$$

离心压力 p'_2 , 在 ρ 处引起的周向应力可由拉普拉斯方程求得,

$$(\sigma_2)_\rho' = \frac{p'_2}{S} = \frac{\rho_s S_s \rho^2 \omega^2 \cos \alpha}{S} \quad (1-17a)$$

圆筒形转鼓壁在筛网等附件的离心力作用下引起的半径增值和经线弯曲转角分别为,

$$\Delta_r'' = R\varepsilon_2 = R \left(\frac{\sigma_2''}{E} - \mu \frac{\sigma_1''}{E} \right) \frac{S \cdot \rho \cdot R^3 \omega^2}{SE}, \quad (1-18)$$

$$\varphi'' = 0. \quad (1-19)$$

此半径增值 Δ_r'' 和经线弯曲转角 φ'' 仅在转鼓离开顶盖和鼓底一定的部位才正确。

圆锥形转鼓壁在筛网等附件的离心力作用下产生的半径增值和经线弯曲转角, 可由下式计算得:

$$\Delta_r'' = \frac{\rho \cdot S \cdot \rho^3 \omega^4}{SE}, \quad (1-20)$$

$$\varphi_r'' = \frac{(3 + \mu) \rho \cdot S \cdot \rho^2 \omega^2}{SE} \operatorname{tg} \alpha. \quad (1-21)$$

以上公式也是在离开顶盖和鼓底有一定距离时才适用。

四、转鼓内物料引起的应力与变形

为了分析转鼓内物料在鼓壁上引起的应力, 首先要研究当物料随转鼓一起作高速旋转时, 物料作用于转鼓上的离心压力, 如图 1-5 所示。在圆筒形转鼓内取一面积为 $dA = \rho \cdot d\rho \cdot d\theta \cdot dy$ 的微元体, 设物料的密度为 ρ_m , 当该微元体以角速度 ω 旋转时, 其所受的离心力为:

$$dF = \rho_m \rho^2 \omega^2 d\rho d\theta dy.$$

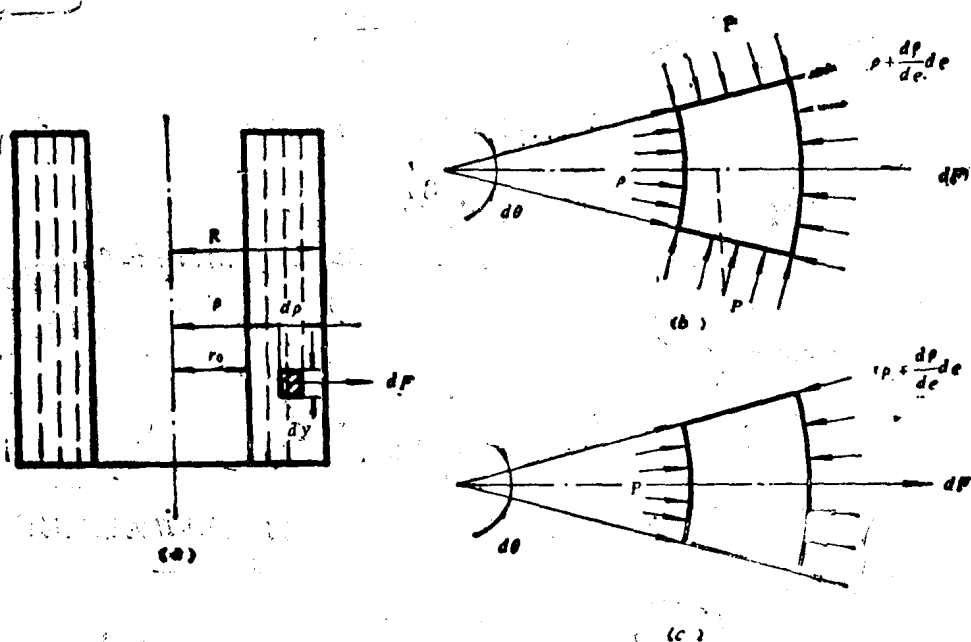


图 1-5 装有物料的圆筒形转鼓

列出该微元体在径向的受力平衡条件:

$$\left(p + \frac{dp}{d\rho} d\rho \right) (\rho + d\rho) d\theta dy - p \rho d\theta dy - 2p \sin \frac{d\theta}{2} d\rho dy = dF. \quad (1-22)$$

由于 $d\theta$ 很小, 故以 $\sin \frac{d\theta}{2} \approx \frac{d\theta}{2}$ 代入上式, 并略去高阶微量, 得

$$\frac{d\rho}{d\theta} = \rho_{mf} \rho \omega^2.$$

对上式积分, 得:

$$p = \frac{\rho_{mf}}{2} R^2 \omega^2 + C_0. \quad (1-22)$$

式中积分常数 C_0 可以由边界条件确定。

当旋转速度高达一定值后, 在液面半径 $\rho = r_0$ 处, $p = 0$, 故从式(1-22)可以得到:

$$C_0 = -\frac{\rho_{mf} \omega^2 r_0^2}{2},$$

代入式(1-22)可得到由物料产生的离心压力, 并以 p_s 表示, 即:

$$p_s = \frac{\rho_{mf} \omega^2}{2} (\rho^2 - r_0^2). \quad (1-23)$$

由上式可见, 物料产生的离心压力随半径 ρ 的变化而变化, 当 $\rho = R$ 时, 离心压力达最大值, 即:

$$p_{smax} = \frac{\rho_{mf} \omega^2}{2} (R^2 - r_0^2). \quad (1-23a)$$

已知物料引起的离心压力 p_s , 就可以求出鼓壁的应力与变形。由于有顶盖与鼓底存在, 因此离心压力 p_s 不只是作用于转鼓壁上, 同时也作用于顶盖与鼓底上, 如图1-5所示, 而作用于这两部分的离心压力 p_s , 将在鼓壁内引起应力 σ_1'' , 此应力的的大小可根据轴向力平衡的条件求得, 即:

$$\begin{aligned} 2\pi RS\sigma_1'' &= \int_{r_0}^R \frac{\rho_{mf}}{2} \omega^2 (\rho^2 - r_0^2) 2\pi \rho d\rho \\ &= \frac{\pi \rho_{mf} \omega^2}{4} (R^2 - r_0^2)^2. \end{aligned}$$

故得鼓壁内引起的经向应力为:

$$\sigma_1'' = \frac{\rho_{mf} \omega^2}{8S} \frac{(R^2 - r_0^2)^2}{R} = \frac{\rho_{mf} \omega^2 R^3 K^2}{8S}. \quad (1-24)$$

式中 K —转鼓的填充系数, $K = 1 - \frac{r_0^2}{R^2}$ 。

周向应力 σ_2'' 同样可以参照受内压的壳体, 由拉普拉斯方程求得:

$$\sigma_2'' = \frac{p_{smax} R}{S} = \frac{\rho_{mf} \omega^2 (R^2 - r_0^2) R}{2S} = \frac{\rho_{mf} \omega^2 R^3 K}{2S}. \quad (1-25)$$

算出 σ_1'' 和 σ_2'' 后, 即可求得鼓壁半径的增值和经线弯曲转角:

$$\Delta R'' = R\epsilon_z = R \left(\frac{\sigma_2''}{E} - \mu \frac{\sigma_1''}{E} \right) = \frac{\rho_{mf} \omega^2 R^4 K}{8SE} (4 - \mu K), \quad (1-25a)$$