



TEACHING MATERIALS  
FOR COLLEGE STUDENTS

高等学校教材

# 油气管道与储罐设计

## OIL & GAS PIPELINE AND STORAGE TANK DESIGN

张足斌 王海琴 银永明 编著



联系电话 4006611715 或 010151185 转 808

刮涂层 输密码

中国石油大学出版社



TEACHING MATERIALS  
FOR COLLEGE STUDENTS

高等学校教材

# 油气管道与储罐设计

张足斌 王海琴 银永明 编著

中国石油大学出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

油气管道与储罐设计/张足斌,王海琴,银永明编  
著. —东营:中国石油大学出版社,2012.5  
ISBN 978-7-5636-3689-1

I. ①油… II. ①张… ②王… ③银… III. ①石油管  
道—设计 ②天然气管道—设计 ③储罐—设计 IV.  
①TE973 ②TE972

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 045557 号

中国石油大学(华东)规划教材

书 名:油气管道与储罐设计  
编 著:张足斌 王海琴 银永明

---

责任编辑:秦晓霞(电话 0532—86981532)

封面设计:赵志勇

---

出版者:中国石油大学出版社(山东 东营,邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: [shiyoujiaoyu@163.com](mailto:shiyoujiaoyu@163.com)

印刷者:沂南县汇丰印刷有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0532—86981532,0546—8392563)

开 本: 180 mm×235 mm 印张: 31.5 字数: 670 千字

版 次: 2012年5月第1版第1次印刷

定 价: 48.00 元

## 内 容 提 要

本书内容包括圆柱壳设计理论、架空管道、埋地管道、管道穿跨越工程、海底管道、立式圆柱形储罐、卧式储罐、气柜、球罐、管道和储罐的安全可靠性等。

本书内容结合国内外新近颁布规范,引用最新数据及相关成果,注重与工程实际相结合。对基本的内容,力求讲明“所以然”;对重点的内容,编制了与工程相关的例题;对复杂的方程,给出了参考解法。为方便设计与管理,搜集了较为详细的参考资料列于附录。

本书可作为油气储运专业和建筑环境与设备(燃气方向)专业的专业课教材,也可作为相关专业研究生进一步学习的参考资料,还可作为工程力学专业、过程装备与控制专业以及从事油气管道和储罐设计、施工与管理等相关技术人员的参考资料。

# 前 言

近十几年来,我国的油气储运事业获得了蓬勃发展。一条条长距离、大直径油气管道犹如一条条动脉日夜不停地向用户输送生产和生活所需的油气产品。新建的国家战略石油储备基地,正为我国经济长期健康、快速发展提供能源保障。油气田生产、处理离不开管道和储罐,油气运输和储存离不开管道和储罐,大型炼油厂的各种管道和储罐更是错综复杂、星罗棋布,大部分的油气产品都是通过储罐储存和管道输送最终送达用户的。

设计满足使用要求的管道和储罐,使之在寿命期内不发生结构失效,是本课程的主要任务,也是安排课程内容必须围绕的目标。

1986年,著名油气储运专家潘家华等编写的《油罐与管道强度设计》作为教材正式出版,它为我国众多油气储运人才的培养起到了不可磨灭的作用。该教材讲解了两方面内容——油罐和管道,油罐包括立式圆柱形油罐和卧式油罐,管道包括地上管道和地下管道,同时前瞻性地引入了结构断裂方面的知识。教材讲解过程中注重内容的完备性,并吸收了大量国内外已有成果。该教材的编写很是严谨,鲜有不当之处。正是潘老的这本书以及其他论文专著引领本书的编著者逐步进入管道和储罐结构设计领域。

## (一) 我国管道和储罐设计建设方面的新特点

(1) 长距离管道从原油管道发展到油、气管道并重,尤其是西气东输管线、陕京管线等的成功运营,使我国管道建设跻身世界前列。这些大直径、高压管道横贯我国辽阔国土,穿越各种不同地质条件的地区,对管道材质及结构安全提出了诸多高难度课题。例如,天然气管道不同于原油管道的一个显著特点是管材须具有更高的断裂韧性,这样才能有效防止管道的断裂或撕裂。

(2) 各种专门用途的管道和储罐得到了快速发展。国内油气生产逐步加快走向海洋的步伐,海上的油气管道和储罐的设计、施工建设有很多不同于陆地的要求;CNG、LNG在我国快速发展,耐高压储罐和超低温储罐正在大量建设;丙烷管道甚至液体乙烷管道不久将会在我国建成;国家战略储备基地正在不断建设和发展;经过消化吸收国外技术,自行设计建设的 $30 \times 10^4 \text{ m}^3$ 高炉煤气柜(直径64.36 m,高121 m)已正常运行多年; $1 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的天然气球罐,我国亦能自行设计建造。

(3) 管道的设计思想、管理方法正在发生深刻变化。穿越震区、塌陷区的管道,已经使用基于应变的设计方法;海底管道的设计已经使用荷载抗力系数法。可靠性设计思想逐步被广大科技工作者接受,国内多个行业的管道已推广荷载抗力系数法。可以预见,在不久的将来,陆上油气管道的设计也必将逐步过渡到使用荷载抗力系数法。

(4) 与油气管道和储罐有关的国家规范陆续发布或修订,包括《GB 50251—2003 输气管道工程设计规范》、《GB 50253—2003 输油管道工程设计规范》、《GB 50423—2007 油气输送管道穿越工程设计规范》、《GB 50459—2009 油气输送管道跨越工程设计规范》、《GB 50470—2008 油气输送管道线路工程抗震技术规范》、《GB 50341—2003 立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》、《GB 50473—2008 钢制储罐地基基础设计规范》、《GB/T 19624—2004 在用含缺陷压力容器安全评定》等等。

(5) 完整性管理的思想因其先进性正逐步被推广应用。完整性管理的一个重要方面,就是对管道和储罐进行安全评定,评估剩余强度、预测剩余寿命。对评定为“不可靠”的设备,不一定要报废,可继续评估其能否降级使用、能否修复使用。比如已经达到使用寿命的我国高海拔长距离成品油管道——格拉线,经过两次修复后,重新焕发生机,产生了巨大的效益。

(6) 更加重视管道和储罐的抗震设计。近几年来,国内外多次发生大地震,每次地震都会造成重大人员、财产损失。2008年5月12日,四川汶川8.0级大地震;2010年4月14日晨青海玉树发生两次地震,最高震级7.1级;日本时间2011年3月11日发生里氏9.0级东日本大地震。这些地震一次次告诫我们必须认真对待管道和储罐的抗震设计。

### (二) 本书内容及特色

结合国内管道和储罐的应用和发展,本书安排的内容包括:圆柱壳设计理论、架空管道、埋地管道、管道穿跨越工程、海底管道、立式圆柱形储罐、卧式储罐、球罐、气柜、管道和储罐的安全可靠性等。本书整体分三个部分:第一部分是圆柱壳设计理论,这是深入理解本课程必须掌握的理论。第二部分是主体内容,包括各种不同类型油气管道和储罐的设计理论、方法,内容注重渗透相关理论发展。对涉及的管道和储罐都介绍了抗震设计方法。第三部分即最后一章管道和储罐的安全可靠性分析,是提高部分,是进行安全评定的必需知识。本书在定名时有如下考虑:一方面,书的内容已不局限于管道和油罐,还包含低压储存设备——气柜,以及适合各种压力的储存设备——卧罐和球罐;另一方面,管道和储罐的设计内容不仅包括强度设计,而且注重讲解使用条件下的稳定性校核,故本书定名《油气管道与储罐设计》。

本课程内容较多,为降低难度,对于很多内容只讲述设计方法,乐于深究的读者可以根据作者给出的思路或方法,推演进一步的内容。对于本课程的重要内容,尤其是其他专业书上简略的内容,力求讲明“所以然”。很多内容的相关公式较多,作者经过精心比较,给出了相对合理或简单的公式。在相关章节中,引用了编著者多年来在该领域积

累的教学和科研新知识、新成果。对于课程的基本内容和重要章节,为方便读者理解,作者编制了相关例题。对比较复杂的方程或方程组,给出了参考解法。讲解相关知识时,特别注重与工程实际相结合,或给出解决问题的措施,或给出解决的方法或思路,如果所需知识超出本课程的范围,则推荐相关参考文献。

本书力求结合最新的规范,引用最新数据及相关成果。例如,根据2010年5月1日生效的最新版API 650,更新了在不同腐蚀裕量条件下运用变点法设计立式储罐壁厚度的方法,之前的API 650明确规定变点法只能用于腐蚀裕量相同条件下的罐壁厚设计。对部分文献甚至是国家规范上的印刷错误,引用时进行了订正。对部分国家规范上未明确说明的要点进行了补充。例如,讲到水击压力对管道强度的影响时指出:虽然各种标准都规定了管道在正常操作条件下允许的水击压力最大值或限制了安全阀的定压,但是产生水击的原因有多种,很多偶然原因(非操作工况)产生的管内水击压力并不能通过安全阀得到有效控制。

### (三) 学时安排建议

若要讲完本书全部内容,需要的学时较多。本书内容主要考虑了两个专业——油气储运工程和建筑环境与设备(燃气方向),并兼顾中国石油大学(华东)工程力学专业的选修课要求。对于学时较少的专业,老师可以根据需要有选择地讲解,主要讲解基本原理和基本方法;对于部分内容,建议授课老师以讲座形式进行,这样可以扩大学生视野,待学生将来工作需要时,自行深入学习。本书力求在以下五个方面做到平衡:一是不同专业要求之间的平衡;二是广度和深度之间的平衡;三是在校学生和工程技术人员之间的平衡;四是本科学习与研究生钻研之间的平衡;五是传统知识体系与新近发展趋势之间的平衡。

### (四) 成书历程

十几年来,作者为中国石油大学(华东)储运、建环和力学三个专业共四千多名学生讲授该课程。教学相长,不少已毕业学生将工作中遇到的问题与昔日的老师探讨,使作者获益匪浅。本书就是在不断完善讲稿的基础上,结合多年相关研究,跟踪最新国家规范编著而成。虽然从着手初稿至今,已近六年,期间不断更新内容,但深感水平有限,成书不易。著就一本教材,使众多读者长时间受益,能对我国管道和储罐事业起到有益作用,这是作者不懈追求的目标。

本书的完成离不开我校老一辈教授治学精神的激励。作者的硕士和博士生导师张国忠教授具有国际前沿眼光,治学严谨;作者景仰的冯叔初教授虽已退休多年,但学生仍时时想起老教授编著国家级规划教材的情景:先生退休后,多年如一日,独坐办公室,那盏明灯一直亮着,亮在学生心里。办公室众多的资料中,书桌左前方的那本草绿色64开本《新华字典》异常显眼,令学生终生难忘。老教授咬文嚼字,精益求精,这是何等严谨的治学态度!众多先生德高望重,堪为楷模。

中原石油勘探局勘察设计研究院的银永明教授级高工在百忙之中,为本书编著了

第四章管道穿跨越工程;中国石油大学(华东)教师李扬博士为本书编著了埋地管道和立式圆柱形储罐中有关抗震设计的内容,包括第三章第八、九节和第六章第七节;中国石油大学(华东)副教授王海琴博士后为本书编著了储罐部分第六章第一节至第六节以及第七、八、九章的全部内容,其余章节包括附录由张足斌编著并负责全书统稿。统稿过程中,遵循教学规律,对原稿件的部分内容做了改动。

中国石油大学(华东)张国忠教授和李自力教授百忙之中对本书精心审阅,并对作者热情指点。中国石油大学(华东)王鸿膺副教授和李扬博士对本书进行了细致审阅和勘校,提出了很多宝贵意见。他们的出色工作保证并提高了本书的质量。在此向他们表示衷心感谢。

中原石油勘探局勘察设计研究院的赵忠堂副总工程师、李德选副总工程师具有丰富的管道设计和施工经验,对本书细心审阅,提出了很多宝贵的意见。在此表示诚挚感谢。

本书编著过程中,得到了中国石油大学(华东)的支持,得到了李兆敏副校长的热情鼓励,并得到了其他多位领导、同事和校友的关心,在此表示衷心感谢。

在编著过程中,博士生毕海胜、硕士研究生王勇、张雷、朱森、崔凯燕、刘欢做了大量的辅助工作。

由于编著者,特别是统稿者的水平有限,书中难免存在不足和错误,恳请读者斧正。

张足斌

2011年12月于青岛



# 目 录

第一章 圆柱壳设计理论	1
第一节 材料力学基础知识	1
一、变形的基本形式	1
二、应力状态	6
第二节 轴对称薄壳的无力矩理论	7
一、无力矩理论基本方程	7
二、无力矩理论应用实例	12
三、无力矩回转薄壳的变形	15
第三节 圆柱形薄壳弯曲分析	17
第四节 弹性基础梁	24
一、无限长弹性基础梁	24
二、半无限长弹性基础梁	27
第五节 圆柱形薄壳的稳定性	30
一、薄壁圆柱壳的轴向失稳	30
二、薄壁圆柱壳的周向失稳	32
三、复杂荷载作用下的圆柱壳失稳	35
第六节 局部应力集中	35
一、壳体接管处的局部应力	36
二、降低局部应力的措施	38
第七节 管道和储罐的设计准则	39
一、管道和储罐的失效形式	39
二、强度失效设计准则	41
三、刚度失效设计准则	44
四、失稳失效设计准则	44
五、基于应变的失效设计准则	44
六、基于可靠性的失效设计准则	45
第二章 架空管道	46

第一节	概述	46
第二节	管道壁厚设计	48
一、	内压作用下薄壁管道的环向应力	49
二、	管道壁厚设计	50
第三节	管道跨度设计	53
一、	水平管道的允许跨度	53
二、	特定情况下的管道允许跨度	57
三、	增加管道跨度的措施	57
四、	设计管道跨度的注意事项	59
第四节	曲管的强度和柔性计算	61
一、	内压作用下的曲管应力分析	61
二、	弯矩作用下曲管的内力和变形	63
三、	曲管的强度校核	68
第五节	三通强度与补强方法	69
一、	内压作用下三通的强度	69
二、	三通的位移应力	70
三、	三通的补强方法	71
第六节	平面管系热应力计算	74
一、	固定约束直管道的热应力	74
二、	管系的自由热伸长	75
三、	固定约束条件下的平面管系热应力分析	76
四、	平面管系的线静矩、线惯性矩和线惯性积	77
第七节	立体管系热应力计算	86
第八节	油气管道热应力校核及补偿方法	92
一、	油气管道系统补偿能力校核	92
二、	油气管道热应力补偿方法	93
第九节	管道支吊架受力计算	97
一、	管道支吊架的分类	97
二、	支吊架荷载计算	99
<b>第三章</b>	<b>埋地管道</b>	<b>105</b>
第一节	埋地管道的敷设	105
一、	埋地管道施工设计	106
二、	埋地施工作业	108
三、	管道试压	110
第二节	埋地管道的荷载和作用力	112
一、	埋地油气管道的设计荷载	113

二、几种重要的荷载和作用力 .....	114
第三节 埋地直管道的应力及位移分析 .....	120
一、埋地直管道嵌固段应力分析 .....	120
二、埋地直管道过渡段的热伸缩 .....	124
三、埋地直管道强度校核 .....	125
第四节 埋地直管道的刚度和稳定性校核 .....	127
一、管道的径向变形 .....	127
二、直管道的径向稳定性 .....	129
三、直管道的轴向稳定性 .....	129
第五节 埋地管道弹性敷设计 .....	131
一、按强度条件确定弹性敷管段的曲率半径 .....	132
二、按变形条件确定弹性敷管段的曲率半径 .....	134
三、弹性敷管段的轴向稳定性 .....	137
第六节 埋地弯曲管道的应力及位移分析 .....	140
一、水平弯管的内力及位移分析 .....	141
二、竖向弯管的内力及位移分析 .....	143
三、弯曲管道强度校核 .....	145
四、弯曲管道的轴向稳定性 .....	146
第七节 固定支墩受力计算 .....	148
一、固定支墩的尺寸设计 .....	150
二、固定支墩抗倾覆校核 .....	151
三、固定支墩的地基压力校核 .....	152
第八节 一般埋地管道抗震设计 .....	153
一、埋地管道的场地地段和场地类型 .....	154
二、基于应变的设计思想 .....	155
三、一般埋地管道的抗震设计方法 .....	157
第九节 活动断层区埋地管道抗震设计 .....	158
一、断层处管道失效模式 .....	159
二、断层区埋地管道设计方法 .....	160
三、穿越断层管道的抗震措施 .....	162
第四章 管道穿跨越工程 .....	165
第一节 概 述 .....	165
一、水域穿越工程简介 .....	165
二、公路及铁路穿越工程简介 .....	166
三、管道跨越工程简介 .....	167
四、穿跨越管段试压要求 .....	170

第二节 无套管公路穿越	170
一、内压引起的管道环向应力	172
二、土荷载引起的管道环向应力	172
三、外部可变荷载引起的管道表面压力	173
四、外部可变荷载引起的管道周期应力	174
五、穿越管道有效应力的计算与校核	177
六、穿越管道疲劳的计算与校核	178
七、无套管穿越公路设计实例	179
第三节 水域穿越	181
一、常见敷设方式	181
二、水下管道的设计荷载	183
三、水下管道的强度和稳定性校核	188
四、水下管道的抗漂浮稳定性和抗移位稳定性	188
五、水下管道的振动	189
六、水下管道的管身结构与稳管措施	191
第四节 小型跨越工程	192
一、管道跨越设计的一般要求	192
二、梁式跨越管道的设计荷载	193
三、梁式跨越管道应力计算	196
四、梁式跨越设计计算	197
五、梁式跨越管道强度校核	199
第五章 海底管道	200
第一节 概述	200
一、海底管道的分类	201
二、海底管道敷管方法	202
第二节 海底管道强度设计	206
一、基本概念	206
二、分项安全系数法	209
三、海底管道内压力要求	211
四、海底管道的环向应力	211
五、海底管道的轴向应力	212
六、海底管道强度校核	213
第三节 海底管道的稳定性	213
一、海底管道的抗浮稳定性和抗移位稳定性	213
二、海底管道防共振措施	214
三、海底管道整体屈曲	214

四、海底管道局部屈曲 .....	217
五、海底管道屈曲扩展 .....	219
第四节 海底铺管静力分析 .....	221
一、铺管时的管道变形方程 .....	222
二、深水海域铺管分析 .....	224
三、浅水海域铺管分析 .....	227
第五节 开沟敷设的静力分析 .....	229
第六章 立式圆柱形储罐罐壁设计 .....	232
第一节 储罐的分类及结构特点 .....	232
一、立式圆柱形储罐 .....	233
二、卧式圆柱形储罐 .....	236
三、球形储罐 .....	236
四、低压气柜 .....	238
第二节 立式圆柱形储罐罐壁厚度设计 .....	240
一、油罐设计基础知识 .....	240
二、油罐罐壁厚度设计 .....	244
第三节 储罐的高度和直径设计 .....	254
一、最省材料的等壁厚罐 .....	254
二、最省材料的变壁厚罐 .....	256
第四节 罐壁的开孔补强 .....	258
第五节 抗风圈设计 .....	262
一、风荷载分布 .....	262
二、抗风圈设计 .....	264
第六节 中间抗风圈设计 .....	268
一、罐壁设计外压 .....	268
二、中间抗风圈设计 .....	269
第七节 立式储罐抗震设计 .....	273
一、立式储罐的地震破坏形式 .....	273
二、立式储罐的地震反应特征与地震反应谱 .....	275
三、立式储罐的地震作用与稳定性校核 .....	276
四、立式储罐的抗震措施 .....	279
第七章 立式圆柱形储罐罐底设计 .....	282
第一节 边缘应力的计算 .....	282
一、弹性地基法 .....	282
二、刚性地基法 .....	286
三、下节点强度校核 .....	290

第二节 罐底设计	297
一、罐底排板	297
二、罐底坡度	297
三、罐底钢板尺寸设计	298
四、罐底钢板间的连接要求	299
第三节 立式储罐常用基础形式	301
一、立式储罐对基础的要求	301
二、立式储罐常用基础形式	302
三、立式储罐基础形式选择	306
第四节 立式储罐基础沉降要求	306
一、立式储罐基础盘形沉降后的底板应力	308
二、立式储罐基础沉降要求	310
三、立式储罐地基加固处理方法	311
第八章 立式圆柱形储罐罐顶设计	312
第一节 拱顶设计	312
一、拱顶的结构	312
二、拱顶的设计荷载	314
三、拱顶设计方法	315
四、拱顶失稳破坏实例	317
第二节 拱顶罐包边角钢设计	318
一、拱顶罐包边角钢的结构	318
二、顶壁连接处的有效面积校核	320
第三节 浮顶的结构及设计要求	324
一、浮顶的结构	324
二、浮顶设计要求	329
第四节 单盘式浮顶的抗沉设计	329
一、浮顶破裂时的抗沉性	329
二、浮顶积水时的抗沉性	331
第五节 单盘安装高度设计	336
第六节 单盘式浮顶的强度和稳定性校核	340
一、单盘的强度	340
二、浮船的整体稳定性	342
三、船舱截面的承载能力	343
四、浮船的有效截面验算	344
第九章 其他储存设备	346
第一节 卧式储罐整体分析	346

一、卧式储罐的结构 .....	346
二、封头设计 .....	349
三、筒体整体受力分析 .....	352
第二节 卧式储罐局部分析 .....	357
第三节 卧式储罐的稳定性 .....	364
一、加强圈设计 .....	364
二、鞍座强度校核 .....	366
三、卧罐稳定性校核 .....	367
四、卧罐抗震设计 .....	370
第四节 低压湿式气柜的设计荷载 .....	371
一、低压湿式气柜的工作原理 .....	371
二、低压湿式气柜的形式 .....	372
三、低压湿式气柜的设计荷载 .....	375
第五节 低压湿式气柜设计 .....	379
一、低压湿式气柜结构设计 .....	379
二、低压湿式气柜工作压力确定 .....	386
第六节 球罐设计基础 .....	387
一、球罐的结构 .....	388
二、球罐抗震设计方法 .....	395
第七节 球罐设计计算 .....	396
一、球壳壁厚设计 .....	396
二、支柱设计计算 .....	398
三、拉杆设计计算 .....	405
第八节 10 000 m <sup>3</sup> 天然气球罐设计实例 .....	405
第十章 管道和储罐的安全可靠性 .....	412
第一节 应力强度因子 .....	413
一、裂纹的分类 .....	413
二、平面应力状态和平面应变状态 .....	414
三、裂纹的应力强度因子 .....	414
四、应力强度因子的修正 .....	417
第二节 应力强度因子应用 .....	418
一、平面缺陷的表征 .....	419
二、等效贯穿裂纹换算 .....	421
三、裂纹的启裂和止裂 .....	421
四、板材断裂时的应力强度因子估算 .....	422
第三节 延性断裂 .....	423

一、COD 准则 .....	424
二、能量释放率准则 .....	425
三、 $J$ 积分准则 .....	426
第四节 腐蚀管道剩余强度 .....	428
一、缺陷尺寸的表征 .....	428
二、管道剩余强度评估 .....	430
三、带凹坑缺陷容器的最高容许工作压力 .....	432
第五节 在用含缺陷管道和储罐的安全评定 .....	434
一、平面缺陷的安全评定 .....	434
二、通用评定图在管道和储罐上的应用 .....	438
第六节 裂纹的稳定扩展与疲劳断裂 .....	439
一、空气环境下的裂纹扩展速率 .....	439
二、空气环境下的疲劳寿命估算 .....	441
三、腐蚀疲劳破坏 .....	442
第七节 气体管道裂纹的失稳扩展与止裂 .....	444
一、速度判据 .....	445
二、韧性断裂的止裂韧性要求 .....	448
第八节 管道和储罐的可靠性分析 .....	449
一、可靠与失效 .....	450
二、几种常用的概率分布 .....	451
三、计算失效概率的常用方法 .....	454
附录一 各种补偿器的计算公式 .....	457
附录二 管道基本荷载计算方法与固定支架水平推力计算 .....	460
附录三 我国部分地区的基本风压和基本雪压 .....	466
附录四 风压高度变化系数 .....	467
附录五 常用立式圆柱形储罐设计数据 .....	468
附录六 常用钢制低压湿式气柜设计数据 .....	472
附录七 卧式储罐主要参数表 .....	478
附录八 球罐基本参数 .....	482
附录九 常用英制单位换算 .....	484
主要参考文献 .....	486



# 第一章 圆柱壳设计理论

## Chapter one

管道和储罐是油气长距离运输和存储的主要工具。油气处理过程中用到很多静止设备,如联合站使用的油-气-水三相分离器,原油处理过程中使用的电脱水器、水套炉、稳定塔,水处理过程中使用的立(卧)式沉降罐、滤罐、旋流分离器,轻烃处理过程使用的各种塔器如脱甲(乙、丙)烷塔、干燥塔,等等。这些设备的外壳都属于轴对称回转薄壳,要求其结构必须安全可靠,因此强度、刚度和稳定性都要满足特定要求。

本章主要讲解轴对称回转薄壳的无力矩理论、圆柱壳的弯曲理论、弹性基础梁、局部集中应力以及管道和储罐设计准则的相关知识,为后续管道和储罐设计打下理论基础。

## 第一节 材料力学基础知识

### 一、变形的基本形式

材料在外力作用下的变形包括轴向拉伸或压缩、剪切、扭转和弯曲四种基本形式,以及它们之间的组合形式。

#### (一) 轴向拉伸或压缩

杆件的轴向拉伸或压缩表现为沿轴线方向发生伸长或缩短。习惯上将拉伸时的轴力规定为正,压缩时的轴力规定为负。如图 1-1-1 所示,杆件截面上正应力的计算公式如下:

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad (1-1-1)$$

式中:  $A$  为轴力  $N$  作用处的杆件截面积。正应力符号规则:拉应力为正,压应力为负。

**说明:**本书中的公式,若未对式中变量的单位做专门说明,则所有变量单位取国际单位。若对变量单位有特别需要,可自行变换。例如,若式(1-1-1)中各变量及单位分别为  $\sigma/(\text{MPa})$ 、 $N/(\text{kgf})$ 、 $A/(\text{cm}^2)$ ,试对该公式进行变换。由于  $1 \text{ Pa} = 10^{-6} \text{ MPa}$ 、 $1 \text{ N} = 0.10194 \text{ kgf}$ 、 $1 \text{ m}^2 = 10^4 \text{ cm}^2$ ,所以式(1-1-1)变换为  $\frac{\sigma}{10^{-6}} = \frac{N/0.10194}{A/10^4}$ ,即  $\sigma = 0.0981 \frac{N}{A}$ 。