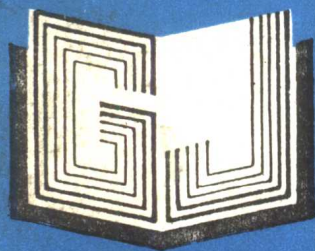


920146



高等学校教材

专科适用



# 材料力学

南昌水利水电高等专科学校 洪次坤  
河北水利高等专科学校 沈养中 合编  
浙江水利水电高等专科学校 徐文善



350140

# 高等学校教材

..... 专 科 适 用 .....

## 材 料 力 学

南昌水利水电高等专科学校 洪次坤  
河北水利高等专科学校 沈养中 合编  
浙江水利水电高等专科学校 徐文善

水利电力出版社

(京)新登字 115 号

高等学校教材

专科适用

材 料 力 学

南昌水利水电高等专科学校 洪次坤

河北水利高等专科学校 沈养中 合编

浙江水利水电高等专科学校 徐文善

\*

水利电力出版社出版

(北京三里河路 6 号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京市朝阳区小红门印刷厂印刷

\*

787×1092 毫米 16 开本 21.75 印张 504 千字

1995 年 5 月第一版 1995 年 5 月北京第一次印刷

印数 0001—3670 册

ISBN7-120-02141-9/TV·828

定价 12.30 元

# 前 言

本教材是根据水利部“一九九〇~一九九五年高等学校水利水电类专业专科教材选题和编审出版规划”的部署，按照国家教委“高等学校工程专科材料力学课程教学基本要求”编写的。适用于水工建筑、农田水利、工业与民用建筑、工程管理、水利工程施工（80学时）等专用。

根据我们在工程设计和工程施工工作中的体会以及在高等工程专科学校教学中的实践，编写本教材时，在以下几方面作了一些努力。

## 一、编写本教材的指导思想和侧重点

1) 土水类三年制工程专科学校的材料力学教学，过去多采用本科院校土水类多学时的教材，这类教材对专科来说知识面过宽，有些内容叙述也过详；而采用本科院校中学时的教材，虽学时数相近，但对土水类工程专科所需的重点教学内容的份量又嫌不够。为此本教材对理论阐述简明扼要，但对工程中常用的重点内容（如轴向拉（压）、平面弯曲的内力和应力、组合变形等），则给以较多的篇幅和较高的要求，其他章节的内容，则适当精简。

2) 工程专科学校的材料力学课程既须为后继课打好必要的理论基础，又须初步培养学生进行工程计算的技能。因此本教材各章除尽可能结合工程实际，列举较多类型的例题和习题外，在全书最后，编入一个综合性大作业，“钢三角架计算”。学生每人一套数据，独立完成。通过做大作业，使学生学习融会贯通地使用所学过的平面弯曲、组合变形、应力状态、强度理论、压杆稳定等一系列材料力学知识。

3) 对学生学习中较易产生错误的问题，本教材给以强调，例如：

①在基本变形和组合变形各章中，都首先分析外力作用线（或外力偶作用面）与杆轴线（或杆的纵向对称面）的相对位置的关系，以使學生正确辨认杆件的变形类型，从而正确地计算内力、应力、变形等力学量，防止盲目地套用公式。

②在进行基本变形杆和组合变形杆的强度计算时，引导学生先分析判断危险点的位置和应力特点，以便正确理解和选用强度条件。象斜弯曲、弯曲与拉（压）或偏心压缩等杆件，虽为组合变形，因其危险点处于单向应力状态，故这些组合变形杆的强度条件与轴向拉（压）杆的强度条件相同；而弯曲与扭转组合变形杆危险点处于复杂应力状态，须用强度理论建立强度条件。

③在压杆稳定计算时，强调先分析可能的失稳平面，然后计算在失稳平面内的长度系数和惯性半径值，使学生在概念清楚的基础上进行稳定计算。

## 二、教材内容先后次序的安排

1) 工程中纯剪切的杆件很少，薄壁圆筒受扭转可作为纯剪切的例子来进行实验和理论研究。因此，本教材不单列剪切这一章，而列“扭转和剪切”一章，将“薄壁圆筒扭转”列为其中的一节，在这一节中介绍剪切的基本概念，剪切弹性模量和剪应力互等定理等。

EAC44/06

2) 连接件强度的实用计算一章,放在扭转与剪切之后,因当螺栓或键用来连接受扭杆件时,其受力情况只有在掌握圆轴扭转横截面上的剪应力分布规律之后才容易理解。

3) 应力状态理论放在基本变形之后,但因分析基本变形时就须用到“单向应力状态”、“纯剪切”等概念。因此这几个概念提前在基本变形各章中逐步给以介绍和应用。符合国家教委要求的“对于教学中的难点和重点要适当分散”的原则。

### 三、本书各种计量单位均用国际制单位

对于力和应力这两个常用的量也给出国际制单位和工程单位间的换算关系。书中所用符号和角标除尽量采用国家教委归纳的“材料力学主要符号表”中规定的用法外,也采用少许工程设计中惯用的符号。如最大拉应力用  $\sigma_{\max}^+$  表示,最大压应力用  $\sigma_{\max}^-$  表示等。

本书附录 I 编入国家标准局新颁布的 GB9787—88、GB9788—88、GB706—88 和 GB707—88 热轧型钢表(表中的重量单位是 kg/m,使用时,应乘以 9.81 改为国际制单位 N/m)。

本书由南昌水利水电高等专科学校洪次坤(第一、六、七、八、十一章)、河北水利高等专科学校沈养中(第五、九、十、十二章)和浙江水利水电高等专科学校徐文善(第二、三、四章)编写,洪次坤对全书作了统稿工作。

黑龙江水利专科学校姜宝林担任本书主审,从书中内容的取舍、概念的阐述,以至术语、符号的统一等各方面均提出许多宝贵意见,显著地提高了书稿质量。山东水利专科学校侯国华老师对编写内容提出很好的建议。在此一并表示深切的谢意。

限于编者的水平,本书可能还存在不少缺点和不妥之处,敬请广大师生和读者提出宝贵意见。

## 内 容 提 要

本书包括绪论、轴向拉伸和压缩、扭转和剪切、连接件的实用计算、截面的几何性质、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态分析、强度理论、组合变形和压杆稳定等十二章内容。

本书各章均附有：教学要求和重点、复习思考题、习题和习题答案。全书最后还附有综合性大作业。

本书可作为高等工程专科学校中的水工建筑、农田水利、工业与民用建筑、工程管理和水利工程施工等专业材料力学课程(80学时)的教材，同时可作为函授大学、电视大学、职工大学等学校相近专业的材料力学教材，也可供有关工程技术人员参考。

# 目 录

## 前 言

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 第一章 绪论 .....                     | 1  |
| 第一节 材料力学的任务 .....                | 1  |
| 第二节 材料力学在学生知识结构中的地位 .....        | 2  |
| 第三节 材料力学研究对象的物理性质·变形固体 .....     | 3  |
| 第四节 材料力学研究对象的几何特征 .....          | 4  |
| 第五节 外力及其分类 .....                 | 5  |
| 第六节 杆件变形的基本形式 .....              | 7  |
| 本章教学要求和重点 .....                  | 8  |
| 复习思考题 .....                      | 8  |
| 第二章 轴向拉伸和压缩 .....                | 9  |
| 第一节 轴向拉(压)杆的实例·轴向外力 .....        | 9  |
| 第二节 轴向拉(压)杆横截面上的内力(轴力)·轴力图 ..... | 10 |
| 第三节 轴向拉(压)杆横截面和斜截面上的应力 .....     | 13 |
| 第四节 轴向拉(压)杆的变形·拉(压)虎克定律 .....    | 19 |
| 第五节 材料在拉伸和压缩时的力学性质 .....         | 23 |
| 第六节 轴向拉(压)杆的强度计算 .....           | 30 |
| 第七节 轴向拉(压)杆的超静定问题·温度应力简介 .....   | 33 |
| 本章教学要求和重点 .....                  | 35 |
| 复习思考题 .....                      | 36 |
| 习题 .....                         | 37 |
| 习题答案 .....                       | 41 |
| 第三章 扭转和剪切 .....                  | 43 |
| 第一节 扭转杆实例·扭转外力偶 .....            | 43 |
| 第二节 扭转杆横截面上的内力(扭矩)·扭矩图 .....     | 44 |
| 第三节 薄壁圆筒扭转 .....                 | 46 |
| 第四节 圆轴扭转时横截面上的应力·强度计算 .....      | 48 |
| 第五节 圆轴扭转变形·刚度计算 .....            | 55 |
| 第六节 圆轴扭转破坏分析 .....               | 59 |
| 第七节 矩形截面杆自由扭转理论的主要结果 .....       | 61 |
| 本章教学要求和重点 .....                  | 63 |
| 复习思考题 .....                      | 63 |
| 习题 .....                         | 65 |
| 习题答案 .....                       | 68 |

|                                          |     |
|------------------------------------------|-----|
| 第四章 连接件强度的实用计算 .....                     | 69  |
| 第一节 概述 .....                             | 69  |
| 第二节 拉(压)连接的强度计算 .....                    | 69  |
| 第三节 扭转连接的强度计算 .....                      | 77  |
| 第四节 其他连接情况的强度计算 .....                    | 80  |
| 本章教学要求和重点 .....                          | 81  |
| 复习思考题 .....                              | 82  |
| 习题 .....                                 | 82  |
| 习题答案 .....                               | 86  |
| 第五章 截面的几何性质 .....                        | 87  |
| 第一节 面积矩和形心 .....                         | 87  |
| 第二节 惯性矩和惯性积 .....                        | 90  |
| 第三节 平行移轴公式 .....                         | 94  |
| 第四节 转轴公式 .....                           | 99  |
| 第五节 形心主惯性轴和形心主惯性矩 .....                  | 100 |
| 本章教学要求和重点 .....                          | 104 |
| 复习思考题 .....                              | 105 |
| 习题 .....                                 | 106 |
| 习题答案 .....                               | 109 |
| 第六章 弯曲内力 .....                           | 110 |
| 第一节 平面弯曲的概念 .....                        | 110 |
| 第二节 梁的计算简图 .....                         | 112 |
| 第三节 梁横截面上的内力——剪力与弯矩 .....                | 113 |
| 第四节 剪力图和弯矩图——用“方程法”作梁的剪力图和弯矩图 .....      | 118 |
| 第五节 剪力、弯矩与荷载间的关系——用“分段法”作梁的剪力图和弯矩图 ..... | 128 |
| 第六节 用直接法作梁的剪力图和弯矩图 .....                 | 134 |
| 第七节 按叠加原理作梁的弯矩图 .....                    | 137 |
| 本章教学要求和重点 .....                          | 142 |
| 复习思考题 .....                              | 142 |
| 习题 .....                                 | 141 |
| 习题答案 .....                               | 149 |
| 第七章 弯曲应力·梁的强度计算 .....                    | 155 |
| 第一节 概述 .....                             | 155 |
| 第二节 梁在纯弯曲时横截面上的正应力 .....                 | 155 |
| 第三节 梁在横力弯曲时横截面上的正应力·梁的最大正应力 .....        | 161 |
| 第四节 梁弯曲时横截面上的剪应力 .....                   | 165 |
| 第五节 梁的强度计算 .....                         | 170 |
| 第六节 提高梁弯曲强度的措施 .....                     | 178 |
| 第七节 非对称截面梁平面弯曲条件·开口薄壁截面的弯曲中心 .....       | 181 |
| 第八节 考虑材料塑性时梁的极限弯矩 .....                  | 181 |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 本章教学要求和重点 .....             | 185        |
| 复习思考题 .....                 | 186        |
| 习题 .....                    | 187        |
| 习题答案 .....                  | 191        |
| <b>第八章 弯曲变形</b> .....       | <b>193</b> |
| 第一节 概述 .....                | 193        |
| 第二节 梁挠曲线的近似微分方程 .....       | 194        |
| 第三节 用积分法求梁的挠度和转角 .....      | 195        |
| 第四节 按叠加原理求梁的挠度和转角 .....     | 202        |
| 第五节 梁的刚度校核·提高梁弯曲刚度的措施 ..... | 204        |
| 第六节 用变形比较法解简单超静定梁 .....     | 206        |
| 本章教学要求和重点 .....             | 207        |
| 复习思考题 .....                 | 208        |
| 习题 .....                    | 209        |
| 习题答案 .....                  | 211        |
| <b>第九章 应力状态分析</b> .....     | <b>213</b> |
| 第一节 应力状态的概念 .....           | 213        |
| 第二节 平面应力状态分析 .....          | 216        |
| 第三节 梁的主应力迹线 .....           | 228        |
| 第四节 空间应力状态分析简介 .....        | 229        |
| 第五节 广义虎克定律 .....            | 232        |
| 第六节 弹性变形能 .....             | 234        |
| 本章教学要求和重点 .....             | 241        |
| 复习思考题 .....                 | 242        |
| 习题 .....                    | 243        |
| 习题答案 .....                  | 247        |
| <b>第十章 强度理论</b> .....       | <b>249</b> |
| 第一节 强度理论的概念 .....           | 249        |
| 第二节 强度理论 .....              | 251        |
| 第三节 莫尔强度理论 .....            | 254        |
| 第四节 复杂应力状态下强度计算实例 .....     | 258        |
| 本章教学要求和重点 .....             | 264        |
| 复习思考题 .....                 | 264        |
| 习题 .....                    | 265        |
| 习题答案 .....                  | 268        |
| <b>第十一章 组合变形</b> .....      | <b>269</b> |
| 第一节 概述 .....                | 269        |
| 第二节 斜弯曲 .....               | 270        |
| 第三节 偏心压缩 .....              | 278        |
| 第四节 截面核心 .....              | 284        |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第五节 弯曲与拉伸(压缩)组合变形 .....     | 286 |
| 第六节 弯曲与扭转组合变形 .....         | 291 |
| 本章教学要求和重点 .....             | 295 |
| 复习思考题 .....                 | 296 |
| 习题 .....                    | 298 |
| 习题答案 .....                  | 302 |
| 第十二章 压杆稳定 .....             | 304 |
| 第一节 压杆稳定的概念 .....           | 304 |
| 第二节 细长压杆的临界力 .....          | 306 |
| 第三节 压杆的临界应力 .....           | 310 |
| 第四节 压杆的稳定计算(一)——安全系数法 ..... | 314 |
| 第五节 压杆的稳定计算(二)——折减系数法 ..... | 316 |
| 第六节 提高压杆稳定性的措施 .....        | 321 |
| 本章教学要求和重点 .....             | 322 |
| 复习思考题 .....                 | 322 |
| 习题 .....                    | 324 |
| 习题答案 .....                  | 327 |
| 附录 I 综合性大作业 .....           | 328 |
| 附录 II 型钢规格表 .....           | 330 |

# 第一章 绪 论

## 第一节 材料力学的任务

任何一座建筑物或机器都是由若干个构件或零件按一定规律组合而成的。例如图 1-1 所示的厂房便是由排架柱、行车梁、屋顶大梁、屋面板等构件所组成；又如图 1-2 所示的水

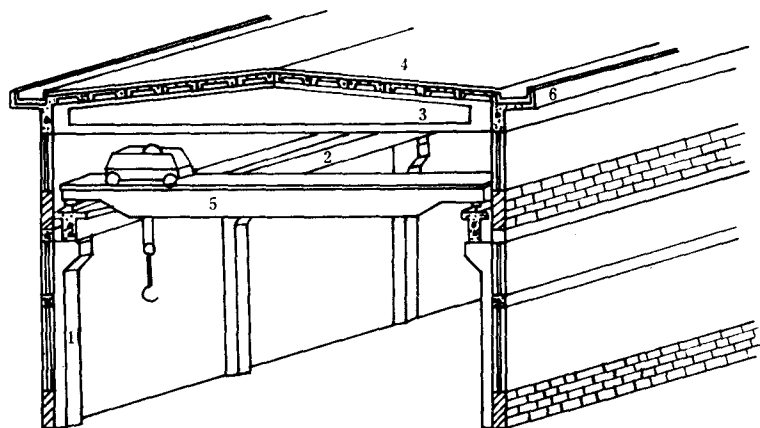


图 1-1 厂房示意图

1—排架柱；2—行车梁；3—屋顶大梁；4—屋面板；5—吊车梁；6—天沟

闸便是由闸室底板、边墩、闸墩、上游翼墙、下游翼墙等构件所组成。各种构件的形式、用途和材料性质虽有不同，但构件一般均须承受外力的作用。在外力作用下，构件的形状和尺寸将发生改变，称为变形，同时构件内部将产生一定的内力。随着外力的增大，构件的变形程度和内力值也逐渐增大，最后可能导致构件产生破坏或过大的变形。因此，为保证建筑物正常工作，要求组成建筑物的每个构件都必须具有足够的承担外力的能力，简称**承载能力**。构件的承载能力主要包括以下三方面的内容：

1) 构件在外力作用下不应发生破坏，即应有足够的**强度**。如厂房的屋面板、屋顶大梁、排架柱等均不许断裂；起重机的钢索、吊钩等均不许拉断。

2) 构件在外力作用下不应产生超过规定限度的变形，即应有足够的**刚度**。如行车梁受外力后，若产生过大的变形，则吊车不能正常行驶；机床主轴若发生过大的变形，则不能满足加工精度。

3) 构件承受外力后，不应失去原有的平衡状态，即应有足够的**稳定性**。例如受压的细长直杆当压力达到某一限度时，直杆会突然弯曲（失去原有的直轴状平衡状态）而失去工作能力。这种既不是因强度不够，也不是因刚度不够而失去工作能力的新问题，工程上称之为失去稳定性，简称**失稳**。

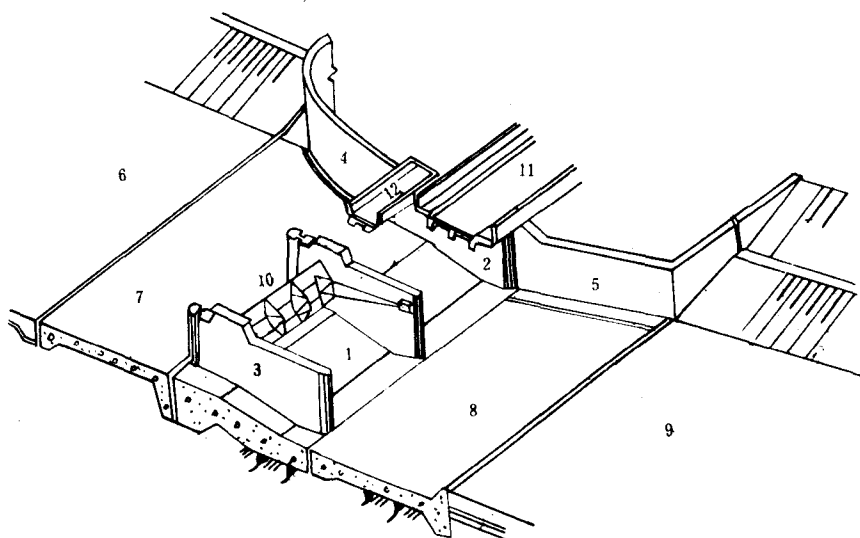


图 1-2 水闸示意图

1—闸室底板；2—边墩；3—闸墩；4—上游翼墙；5—下游翼墙；6—防冲槽；  
7—铺盖；8—消力池；9—海漫；10—弧形闸门；11—公路桥；12—工作桥

每一构件均应同时满足强度、刚度和稳定性这三方面的要求。但对某些具体构件来说，往往仅一方面的要求是控制条件（或强度方面、或刚度方面、或稳定性方面），当该控制条件满足后，其他方面的要求已能自行得到满足。

一般说来，只要加大构件的截面尺寸，选用高强度的材料，总能满足构件的强度、刚度和稳定性要求，即总能满足构件安全可靠的要求。但是设计构件还必须符合经济合理的原则，如果过分地追求安全，而不合理地选用材料，不适当地加大构件的截面尺寸，势必造成浪费，因此在经济和安全之间往往存在着矛盾。材料力学的任务正是合理地解决这种矛盾。随着生产的不断发展，实际工程中还不断出现新的矛盾，材料力学是在不断解决这些新矛盾的过程中逐渐发展成为一门丰富的实用科学。同时材料力学的发展又对生产实践起了重要的指导和推动作用。

构件的强度、刚度和稳定性与构件材料的力学性质有关。这些力学性质需要通过试验来测定，而且某些复杂构件的设计问题仅用现有理论还不能完全解决，须不同程度地依靠试验分析方法（如光测应力分析、电测应力分析等）。试验又可验证理论是否正确。因此试验研究与理论分析一样，是研究材料力学问题的重要手段。

综上所述可知，材料力学是一门用理论与试验相结合的方法研究构件（主要是杆件）的强度、刚度和稳定性的科学。它为既安全可靠又经济合理地设计构件提供理论基础和计算方法。

## 第二节 材料力学在学生知识结构中的地位

工科院校学生的知识结构大体分为基础课、技术基础课和专业课三部分。一般地说，技

术基础课在基础课和专业课间起着桥梁作用。

材料力学是一门技术基础课，学习材料力学需要有高等数学和理论力学等基础课的概念和理论，而材料力学的概念和理论不仅是专业课的基础，同时也是其他技术基础课（如建筑材料学、结构力学、土力学、工程地质学、钢筋混凝土结构学、钢结构等课程）的基础，因此在学生的全部学习过程中起着双重的桥梁作用。

工程技术人员毕生应坚持既安全可靠又经济合理的设计指导思想。这种思想应当在学校里逐步培养树立起来。材料力学课程则是进行这种职业教育的先行课。而且研究材料力学问题所采用的理论和试验相结合的方法，对学生后继课的学习和今后的工作都有一定意义。

材料力学的基本概念和有关理论是研究固体力学的基础。对工程专科学子今后自学有关固体力学方面的书籍和文献，继续提高和深造，都是必不可少的基础知识。

### 第三节 材料力学研究对象的物理性质·变形固体

制造构件所用的材料虽品种多样、性质各异，但有一个共同点，即它们都是固体。固体在外力作用下，都将产生变形（包括物体尺寸的改变和形状的改变），因此这些材料统称为**变形固体**。

在理论力学中把物体看成是绝对刚体，即认为物体在外力作用下，其形状和尺寸都绝对不变，这是为了研究上的方便而把真实物体进行了简化。实际上，自然界中并不存在绝对刚体。因为任何一门学科都不可能，也没有必要研究物体的所有真实属性，总是突出其主要性质，忽视其与研究问题无关或影响不大的次要性质，也就是将物体抽象化为一种理想的模型，然后再来进行分析研究。理论力学研究物体在外力作用下平衡和运动的规律，物体的变形对这些规律的影响很小，可以忽略，因此视物体为绝对刚体。

材料力学研究物体的强度、刚度和稳定性。物体的变形是其主要性质之一，非但不能忽略，还必须十分重视，因此材料力学把物体看作是变形固体。同时根据材料力学研究问题的特点，对物体的其他次要性质也给以简化，即对变形固体的其他性质作如下假设。

(1) 连续性假设 认为在物体的整个体积内毫无空隙地充满了组成该物体的物质。根据这一假设，我们可以应用高等数学中的连续函数来研究物体内部一些物理量的有关规律。

(2) 均匀性假设 认为物体内部任何一部分（不论其体积大小如何）其力学性质完全相同。根据这一假设，我们可以从物体内部任何位置取出一小部分来研究材料的性质，其结果均可代表整个物体。

(3) 各向同性假设 认为物体在各个方向上力学性质都相同。

实际上，物体是由许许多多极微小的颗粒（或是微粒、或是晶体）所组成，颗粒之间是有空隙的，颗粒的性质也有不同程度的差异，而且颗粒的力学性质具有方向性。但因颗粒和颗粒间隙的尺寸与构件尺寸相比是极微小的，可以忽略不计。所以可以认为物体是连续的。又因为颗粒在物体内的排列是不规则的，因此物体的均匀性和各向同性的表现是无数颗粒性质的统计平均值的反映。

上述这些假设对于钢、铜、铝等金属材料是符合的。对于由砂、石、水泥等组成的混凝土材料，若分别研究这些颗粒、它们的性质并不相同，但混凝土构件的尺寸比砂、石、水泥颗粒的尺寸大得多，所以仍可认为混凝土材料是均匀、连续、各向同性的材料。但钢筋混凝土构件中的钢筋长度与构件尺寸相当，故钢筋混凝土材料是非均匀材料，这种材料有专门的学科进行研究。木材可以认为是均匀连续的材料，但木材的纵向与横向的力学性质不同，是具有方向性的材料。材料力学的研究结果可以近似地用于木材。而且仍可得到较满意的解答。

物体在外力作用下将产生形状和尺寸的改变。如果当外力撤去后，能立即恢复其原有的形状和尺寸，这种性质称为**弹性**。如果当外力撤去后，不能完全恢复其原有的形状和尺寸，只能部分地恢复，还有一部分变形保留着，这种物体称为**部分弹性体**。部分弹性体的变形包括两部分：一部分是随外力撤去而立即消失的变形，称为**弹性变形**；一部分是在外力撤去后不能恢复，而仍保留着的变形，称为**塑性变形**（或称为永久变形）。物体产生塑性变形的性质称为**塑性**。只产生弹性变形，不产生塑性变形的物体，称为**完全弹性体**。

实际上，自然界中并不存在完全弹性体，一般变形固体在外力作用下，既有弹性变形也有塑性变形。不过实验证明：金属、木材等常用的建筑材料，当外力不超过一定的限度时，可以把它们看成完全弹性体。石料、混凝土等材料在外力较小时，可以近似地看成完全弹性体。

材料力学主要研究构件的弹性变形，而且只研究小变形。所谓**小变形**即构件的形状和尺寸的改变量与构件原始尺寸相比较是极微小的，因此在研究构件的平衡和运动规律时，可以忽略构件因变形而产生的尺寸的增量，仍可采用构件变形前的原始尺寸和形状（如杆的长度尺寸、横截面的尺寸等）。在研究和计算变形时，变形的高次幂项也可忽略。至于大变形问题本书不作研究。

将以上所讨论的内容加以概括，可以作如下结论：**材料力学的研究对象是产生小变形的变形固体、它是均匀、连续、各向同性的完全弹性体。**

#### 第四节 材料力学研究对象的几何特征

实际构件的几何形状多种多样，按其长、宽、高的比例特征大致可分为三类。

(1) **块体** 物体的长、宽、高三个方向的尺寸属于同一数量级时称为块体。如图 1-3 (a) 所示。

(2) **板或壳** 构件一个方向的尺寸（厚度）远小于其他两个方向的尺寸时称为板或壳。这种构件可以用其中面（平分其厚度的面）和与中面垂直的厚度来表示，如图 1-3 (b)，中面为平面时称为板，中面为曲面时称为壳。

(3) **杆** 构件一个方向的尺寸（长度）远大于其他两个方向的尺寸时称为杆。如图 1-3 (c) 所示。垂直杆的长度方向的截面称为横截面。横截面形心的连线称为杆轴线。杆轴线为直线的杆称为直杆，为曲线的杆称为曲杆。横截面沿杆轴线不变时称为等截面杆，否则为变截面杆。杆轴线为直线的等截面杆称为等直杆。

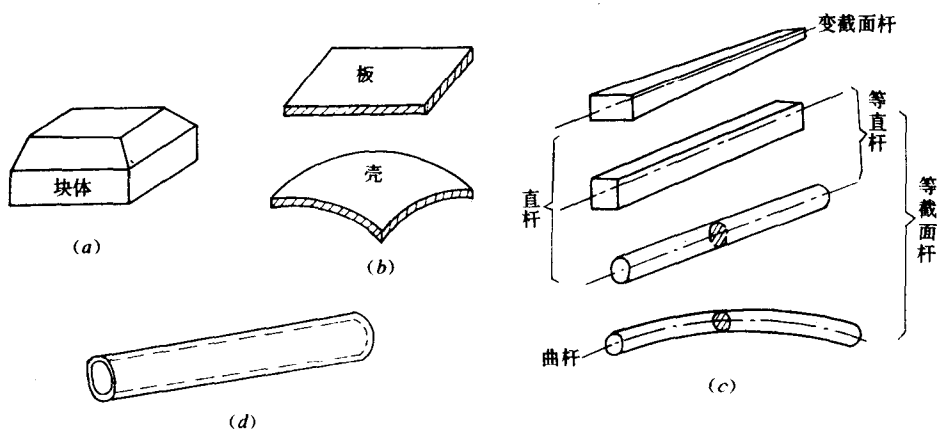


图 1-3 构件的几何特征分类

材料力学主要的研究对象是**等直杆**。等直杆的计算原理也可近似地用于曲率不大的曲杆和横截面变化不剧烈的变截面杆。材料力学也研究简单的壳体，例如图 1-3 (d) 所示的薄壁圆筒。

对于复杂的板、壳及块体的受力和变形问题，在高等材料力学、弹性力学或其他有关的固体力学书籍中研究。

## 第五节 外力及其分类

### 一、外力

作用于某物体上的外力是指其他物体对该物体的作用力。

在工程设计计算中，确定外力的性质和它的作用位置，并计算外力的数值是设计计算工作的第一步内容，如果外力分析计算错了，可能造成整个计算返工，因此必须十分重视。

外力包括荷载和约束反力。一般讲，荷载是主动力，约束反力是被动力。在理论力学课程中，已经研究了约束反力产生的原因和几个典型约束的约束反力的计算方法。今后在有关的技术基础课和专业课中，会从不同的侧面继续介绍约束反力和荷载的计算。材料力学课程先介绍荷载的简化和分类。

### 二、荷载分类

在实际工程中，构件所承受的荷载相当复杂。为了便于分析，须按不同要求，从不同的角度将荷载进行简化和分类。

(一) 荷载按其作用时间不同可分为恒载和活载

(1) 恒载 指长期作用在构件上的大小和作用位置均始终不变的荷载。例如构件的自重，自构件建造完毕以后，其大小和作用位置均不改变。

(2) 活载 指作用在构件上的可变荷载。例如风荷载、雪荷载、人群自重等荷载。它们有时存在、有时不存在。而行驶中的汽车荷载、行驶中的吊车荷载等，它们的作用位置时常变化。因此这些作用位置或数值变化的荷载均称为活载。

## (二) 荷载按其作用性质不同可分为静载和动载

(1) 静载 指从零开始缓慢加到构件上的荷载。例如构件自重、土压力、静水压力等荷载。它们从零慢慢增至最终值后，其大小、方向和作用位置就不再改变。在加载过程中，构件产生的加速度极小，可以忽略构件惯性力的影响。

(2) 动载 荷载的大小、方向和作用位置随时间变化，在加载过程中产生显著的加速度，构件的惯性力不能忽略，这种荷载称为动载。例如火车刹车时对桥梁的冲击力、地震力、打桩力等荷载。

## (三) 荷载按其作用范围不同可分为集中荷载和分布荷载

(1) 集中荷载 当荷载的作用面积与构件的表面积相比甚小，可以忽略不计时，可把这种荷载看作是作用在一个“点”上，这个点只有位置的概念，没有尺寸的大小，这种荷载称为集中荷载。例如厂房吊车的轮压力；次梁作用在主梁上的力等。集中荷载的单位是牛 (N) 或千牛 (kN)。

(2) 分布荷载 连续作用在物体表面的某一面积上的荷载称为分布荷载，按其分布均匀与否又可分为均布荷载和非均布荷载。

1) 均布荷载。荷载不仅连续作用而且其数值处处相等时称为均布荷载。例如板、梁等构件的自重可看成为作用于构件上的均布荷载。板的自重是以每一平方米的重量表示，称为**面均布荷载**，单位是牛/米<sup>2</sup> (N/m<sup>2</sup>) 或千牛/米<sup>2</sup> (kN/m<sup>2</sup>)；梁的自重是以每一米长的重量表示，称为**线分布荷载**，单位是牛/米 (N/m) 或千牛/米 (kN/m)。图 1-4 所示渡槽底板受静水压力作用，根据物理知识可知：水体任一点处的静水压强与水的容重 ( $\gamma$ ) 有关，且与该点处的水深 ( $h$ ) 成正比，即  $q = \gamma h = 9.8 \times 1.5 = 14.7 \text{ kN/m}^2$ ，底板上各点处的水深相同，即各点处的压强相同，故为面均布荷载。这个压强称为底板上各点处荷载的密集程度，简称为**荷载集度**。

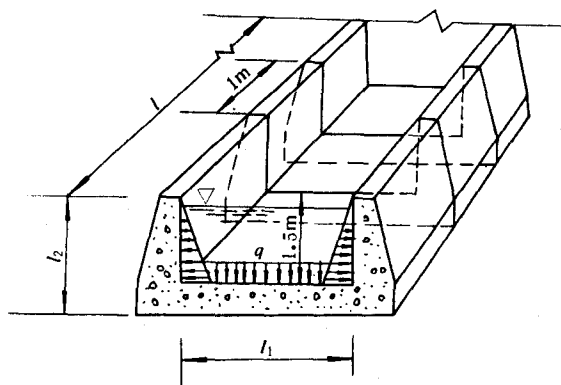


图 1-4 渡槽示意图

2) 非均布荷载。荷载连续作用但其数值各处不等时称为非均布荷载。有些构件所承受的分布荷载虽不均匀却有一定的分布规律。在水利工程中垂直挡水的构件 (如图 1-4 所示渡槽的侧墙) 所受的水压力即是呈三角形分布的。在水面处的面荷载集度为零，侧墙底部各点处的面荷载集度与底板上各点处的面荷载集度相同，亦为  $q = 14.7 \text{ kN/m}^2$ ，只是荷载的作用方向不同。

值得注意的是荷载集度是表示一点处承受荷载大小的程度，而不是表示该点所承受的荷载的总数值。例如侧墙底部一点处的面荷载集度  $q = 14.7 \text{ kN/m}^2$ ，并不等于该点处实际承受了  $14.7 \text{ kN}$  的力，而是指如果该点所承受的荷载不变其大小，扩展到一平方米范围内时，这一平方米面积上总共承受的力是  $14.7 \text{ kN}$ 。

许多建筑物沿其长度方向的几何尺寸、材料性质、约束情况和荷载分布均是相同的。为了计算上的方便，可以沿建筑物的长度方向取出一米（称单位长）来研究。见图 1-4，单位长的渡槽可以看成是由宽度为一米，长度为  $l_1$  的底板和宽度为一米，长度为  $l_2$  的两个侧墙组成。对一米宽的底板沿其长度  $l_1$  方向各点处的荷载集度为  $q_1 = q \times 1 = 14.7 \text{ (kN/m}^2\text{)} \times 1 \text{ (m)} = 14.7 \text{ kN/m}$ ，为线均布荷载；对宽为一米的侧墙沿其长度  $l_2$  方向的荷载是三角形直线变化的非均布荷载，其底部一点处的荷载集度也为  $q_1 = 14.7 \text{ kN/m}$ 。

## 第六节 杆件变形的基本形式

实际的杆件在外力作用下，可能产生各种各样的变形形式，但根据外力性质及其作用线（或外力偶作用面）与杆轴线的相对位置的特点，可以分为四种基本形式。杆的复杂变形则是几种基本变形同时发生的组合变形。

(1) 轴向拉伸或压缩 当一对方向相反的纵向力沿直杆轴线方向作用时，杆将发生轴向拉伸 [图 1-5 (a)] 或轴向压缩 [图 1-5 (b)] 变形。

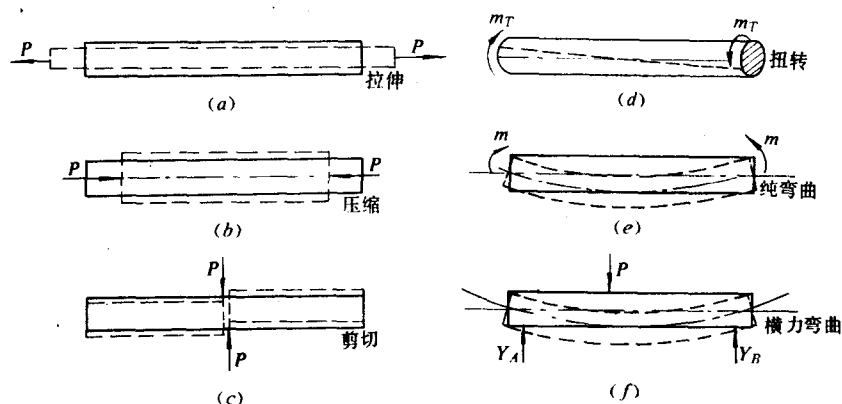


图 1-5 杆件变形的基本形式

(2) 剪切 当一对方向相对、作用线平行且相距很近的外力沿垂直于杆轴线方向作用时，杆将发生剪切变形，如图 1-5 (c) 所示。剪切变形多与其他形式变形同时发生。

(3) 扭转 当一对转向相反的外力偶分别作用在直杆的两个横截面上时，杆将发生扭转变形，如图 1-5 (d) 所示。

(4) 弯曲 当一对转向相反的外力偶作用在直杆的纵向对称面内时，杆将发生弯曲变形，如图 1-5 (e) 所示。这种变形形式称为纯弯曲。当直杆受一组平衡的横向力作用时，将发生纯弯曲与剪切的组合变形，称为横力弯曲，如图 1-5 (f) 所示。通常将横力弯曲变形和纯弯曲变形统称为弯曲变形。

工程实际中的杆件在荷载作用下的变形多为上述几种基本变形的组合，纯属一种基本变形者较少。在以后几章中，先分别研究直杆变形的基本形式，第十一章研究组合变形问题。