

中等专业学校教材

# 材料力学

马永林 王清达 合编  
吴国华 李建棠

高等教育出版社



中等专业学校教材



材 料 力 学

馬永林 王清达 合編  
吳国华 李建棠

高等教育出版社

本书是参考 1963 年 7 月修訂的中等专业学校机器制造和电机制造类专业四年制“材料力学教学大纲”編写的。

全书内容,除了緒言以外共分十章,其中包括拉伸和压缩、剪切、扭转、弯曲、組合变形的强度計算、压杆稳定、动荷应力和交变应力。各章之末均附有练习题,以供課内外复习和作业之用。

本书可作为中等专业学校机器制造和电机制造类专业的教材,也可作为其他专业的教学参考书。

本书編写分工如下: 上海机器制造学校馬永林編写第一、五、六章; 王清达編写第七、八章及緒言、第一、二章中的练习题; 咸阳机器制造学校吳国华編写緒言、第三、四章; 石家庄电机制造学校李建棠編写第二、九、十章。本书初稿曾經上海机器制造学校胡文光同志审閱。全部插图的繪制工作由范鳴人、凌炳文两位同志担任。

## 中等专业学校教材 材 料 力 学

馬永林 王清达 合編  
吳国华 李建棠

北京市书刊出版业营业許可証出字第 119 号

高等教育出版社出版(北京沙滩后街)

上海市印刷四厂印装

新华书店上海发行所发行

各地新华书店經售

统一书号 K15010·1207 开本 850×1168  $\frac{1}{32}$  印张 4  $\frac{13}{16}$

字数 128,000 印数 00,001—25,000 定价(6) 0.50

1966 年 3 月第 1 版 1966 年 3 月上海第 1 次印刷

## 序

1963年7月第一机械工业部教育局,委托上海机器制造学校负责召开了修订“工程力学教学大纲”的会议。会后,材料力学教材编审分组就开始了教材编写工作,于1964年8月印成试用教材,在部分学校内试用。在试用过程中,曾征求了不少兄弟学校的意见,其中特别是南京机器制造学校、上海船舶制造学校、上海冶金机械学校、上海航空工业学校,曾提出了很多宝贵意见,使本书的质量有了进一步提高。

本书是在第一机械工业部机械工业中等专业学校技术基础课教材编审小组胡文光组长直接指导下进行编写的。在编写过程中,还得到第一机械工业部教育局和有关兄弟学校的领导同志的指导,对本书的成稿起了很大的作用。

本书是依据“少而精”和“学以致用”的原则编写的。为了使理论联系生产实际,培养同学对实际问题的分析能力,本书中加强了实例分析。例如夹具的受力和强度分析,变形对加工精度影响的分析等。

对于既是难点又是重点的内容,如扭转应力和变形、弯曲应力等,都采用直观易懂的方法来分析推导,避免过去因强调严密而造成不易理解的困难;对于一些是难点但不是重点的内容,如压杆稳定的欧拉公式,则不予数学推导,而用实验的方法来建立。

本书中还将有些抽象难懂的内容进行分散处理。例如将平面图形的几何性质分散在扭转、弯曲和压杆稳定中分别叙述;又如将原来基本概念中的内力、应力等概念,分散在拉伸和压缩中讨论具体问题来建立。这样可以避免难点集中,同时能使抽象的内容

比较具体化。

根据“少而精”的原则，删去了一些次要内容，如拉伸、压缩的静不定问题，拉伸时斜截面上的应力等。这样可使基本内容得到保证，创造讲练结合的条件。

为了因材施教，本书将梁变形时弹性曲线的微分方程和弯扭组合变形的强度计算公式的推导，用小字排印。各校可根据实际情况自行取舍。

练习题是复习巩固基本知识和培养同学实际问题能力的重要内容。为了便于教学，在本书各章之末，均附有练习题。这些练习题绝大部分是基本的，但也有一些带“\*”号的较难的练习题。较难的练习题也可作为因材施教的内容。为了更好地使理论联系生产实际，特别是联系本校工厂的生产实际，各校可根据本校工厂的生产情况，选择适当的练习题。

由于编写时间匆促和限于编者的水平，本书一定存在不少缺点和欠妥之处，恳切地希望教师和读者，提出批评和建议。来信请寄北京沙滩后街高等教育出版社编辑部。

編 者

1965 年 8 月

# 主要字符表

| 主要字符            | 字 符 意 义 | 常用单位                             |
|-----------------|---------|----------------------------------|
| $E$             | 拉压弹性模量  | $\text{kg/cm}^2, \text{kg/mm}^2$ |
| $G$             | 剪切弹性模量  | $\text{kg/cm}^2, \text{kg/mm}^2$ |
| $P$             | 集中载荷    | $\text{kg}, \text{t}$            |
| $q$             | 均布载荷    | $\text{kg/m}, \text{t/m}$        |
| $M$             | 外力偶矩    | $\text{kg-m}, \text{kg-cm}$      |
| $P_{lj}$        | 临界力     | $\text{kg}, \text{t}$            |
| $n$             | 转速      | 转/分                              |
|                 | 安全系数    | 无单位                              |
| $A$             | 截面面积    | $\text{cm}^2, \text{mm}^2$       |
| $J_p$           | 极惯性矩    | $\text{cm}^4, \text{mm}^4$       |
| $J_z, J_y$      | 轴惯性矩    | $\text{cm}^4, \text{mm}^4$       |
| $W_p$           | 抗扭矩     | $\text{cm}^3, \text{mm}^3$       |
| $W$             | 抗弯矩     | $\text{cm}^3, \text{mm}^3$       |
| $i$             | 惯性半径    | $\text{cm}, \text{mm}$           |
| $\lambda$       | 柔度      | 无单位                              |
| $N$             | 法向内力    | $\text{kg}$                      |
|                 | 功率      | 马力, 千瓦                           |
| $Q$             | 剪力      | $\text{kg}, \text{t}$            |
|                 | 载荷      | $\text{kg}, \text{t}$            |
|                 | 惯性力     | $\text{kg}, \text{t}$            |
| $M_n$           | 扭矩      | $\text{kg-cm}, \text{kg-mm}$     |
| $M_w$           | 弯矩      | $\text{kg-cm}, \text{kg-mm}$     |
| $M_{dx}$        | 等效力矩    | $\text{kg-cm}, \text{kg-mm}$     |
| $\sigma$        | 正应力     | $\text{kg/cm}^2, \text{kg/mm}^2$ |
| $\sigma_{\max}$ | 最大正应力   | $\text{kg/cm}^2, \text{kg/mm}^2$ |

續前表

| 主要字符            | 字 符 意 义     | 常用单位                                    |
|-----------------|-------------|-----------------------------------------|
| $\sigma_{\min}$ | 最小正应力       | kg/cm <sup>2</sup> , kg/mm <sup>2</sup> |
| $\sigma_p$      | 比例极限        | kg/cm <sup>2</sup> , kg/mm <sup>2</sup> |
| $\sigma_s$      | 屈服极限        | kg/cm <sup>2</sup> , kg/mm <sup>2</sup> |
| $\sigma_b$      | 强度极限        | kg/cm <sup>2</sup> , kg/mm <sup>2</sup> |
| $\sigma_l$      | 拉伸应力        | kg/cm <sup>2</sup> , kg/mm <sup>2</sup> |
| $\sigma_y$      | 压缩应力        | kg/cm <sup>2</sup> , kg/mm <sup>2</sup> |
| $[\sigma]$      | 许用正应力       | kg/cm <sup>2</sup> , kg/mm <sup>2</sup> |
| $[\sigma]_l$    | 许用拉伸应力      | kg/cm <sup>2</sup> , kg/mm <sup>2</sup> |
| $[\sigma]_y$    | 许用压缩应力      | kg/cm <sup>2</sup> , kg/mm <sup>2</sup> |
| $\sigma_{dx}$   | 等效应力        | kg/cm <sup>2</sup> , kg/mm <sup>2</sup> |
| $\sigma_{-1}$   | 对称循环下的持久极限  | kg/cm <sup>2</sup> , kg/mm <sup>2</sup> |
| $\sigma_0$      | 脉动循环下的持久极限  | kg/cm <sup>2</sup> , kg/mm <sup>2</sup> |
| $\sigma_d$      | 动荷应力        | kg/cm <sup>2</sup> , kg/mm <sup>2</sup> |
| $\sigma_{jy}$   | 挤压应力        | kg/cm <sup>2</sup> , kg/mm <sup>2</sup> |
| $[\sigma]_{jy}$ | 许用挤压应力      | kg/cm <sup>2</sup> , kg/mm <sup>2</sup> |
| $\tau$          | 剪应力         | kg/cm <sup>2</sup> , kg/mm <sup>2</sup> |
| $\tau_b$        | 剪切强度极限      | kg/cm <sup>2</sup> , kg/mm <sup>2</sup> |
| $\tau_{\max}$   | 最大剪应力       | kg/cm <sup>2</sup> , kg/mm <sup>2</sup> |
| $[\tau]$        | 许用剪应力       | kg/cm <sup>2</sup> , kg/mm <sup>2</sup> |
| $\sigma_{lj}$   | 临界应力        | kg/cm <sup>2</sup> , kg/mm <sup>2</sup> |
| $\varepsilon$   | 拉伸或压缩应变     | 无单位                                     |
| $\gamma$        | 剪应变         | 无单位                                     |
| $\delta$        | 伸长率         | 无单位                                     |
| $\psi$          | 断面收缩率       | 无单位                                     |
| $\varphi$       | 扭转角         | 弧度                                      |
| $\theta$        | 单位长度内的扭转角   | 弧度/m, °/m                               |
|                 | 梁截面的转角      | 弧度                                      |
| $[\theta]$      | 许用单位长度内的扭转角 | °/m                                     |
| $y$             | 梁截面的挠度      | cm, mm                                  |

# 目 录

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 序                      | v   |
| 主要字符表                  | vii |
| 緒言                     | 1   |
| 练习题                    | 4   |
| 第一章 拉伸和压缩时的应力与变形       |     |
| § 1-1. 拉伸和压缩的概念        | 5   |
| § 1-2. 拉伸和压缩时的内力       | 6   |
| § 1-3. 横截面上的正应力        | 7   |
| § 1-4. 轴向变形和虎克定律       | 9   |
| 练习题                    | 12  |
| 第二章 拉伸、压缩时材料的机械性质和强度计算 |     |
| § 2-1. 研究材料机械性质的目的     | 16  |
| § 2-2. 拉伸时的机械性质        | 16  |
| § 2-3. 压缩时的机械性质        | 20  |
| § 2-4. 许用应力和安全系数       | 21  |
| § 2-5. 拉伸和压缩的强度计算      | 23  |
| 练习题                    | 27  |
| 第三章 剪切                 |     |
| § 3-1. 剪切概念            | 30  |
| § 3-2. 剪应力             | 31  |
| § 3-3. 剪切变形·剪切虎克定律     | 32  |
| § 3-4. 挤压              | 33  |
| § 3-5. 剪切和挤压的强度计算      | 34  |
| 练习题                    | 37  |
| 第四章 扭转                 |     |
| § 4-1. 扭转概念            | 40  |
| § 4-2. 外力偶矩、扭矩和扭矩图     | 41  |
| § 4-3. 圆轴扭转时的应力        | 43  |
| § 4-4. 极惯性矩和抗扭矩        | 46  |
| § 4-5. 圆轴扭转时的变形        | 48  |
| § 4-6. 圆轴扭转时的强度和刚度计算   | 49  |
| 练习题                    | 51  |
| 第五章 直梁弯曲时的内力           |     |
| § 5-1. 平面弯曲概念          | 55  |



|                    |    |
|--------------------|----|
| § 5-2. 梁的类型和支座反力   | 56 |
| § 5-3. 梁的内力——剪力和弯矩 | 58 |
| § 5-4. 弯矩图         | 60 |
| 练习题                | 68 |

## 第六章 直梁弯曲时的应力

|                    |    |
|--------------------|----|
| § 6-1. 纯弯曲时的正应力    | 71 |
| § 6-2. 截面的轴惯性矩和抗弯矩 | 75 |
| § 6-3. 梁的强度计算      | 78 |
| § 6-4. 梁截面的经济形状    | 81 |
| § 6-5. 等强度梁概念      | 83 |
| 练习题                | 85 |

## 第七章 梁的变形

|                     |    |
|---------------------|----|
| § 7-1. 基本概念         | 89 |
| § 7-2. 弹性曲线的微分方程    | 90 |
| § 7-3. 用积分法求梁的变形    | 92 |
| § 7-4. 求梁变形的查表法和叠加法 | 93 |
| 练习题                 | 99 |

## 第八章 组合变形的强度计算

|                        |     |
|------------------------|-----|
| § 8-1. 弯曲与拉伸(或压缩)的组合作用 | 102 |
| § 8-2. 弯、扭组合作用时的最大剪应力  | 103 |
| § 8-3. 弯、扭组合作用时的强度计算   | 106 |
| 练习题                    | 111 |

## 第九章 压杆稳定

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| § 9-1. 压杆稳定概念              | 115 |
| § 9-2. 确定临界力的欧拉公式          | 116 |
| § 9-3. 欧拉公式的适用范围·临界应力的经验公式 | 118 |
| § 9-4. 压杆稳定计算              | 120 |
| 练习题                        | 122 |

## 第十章 动荷应力和交变应力

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| § 10-1. 动载荷概念         | 124 |
| § 10-2. 动荷应力          | 124 |
| § 10-3. 交变应力概念        | 126 |
| § 10-4. 交变应力的变化规律和种类  | 126 |
| § 10-5. 钢材在交变应力下的破坏特点 | 128 |
| § 10-6. 钢材的持久极限       | 129 |
| § 10-7. 应力集中概念        | 130 |
| § 10-8. 影响持久极限的主要因素   | 131 |
| 练习题                   | 132 |

|        |     |
|--------|-----|
| 附录 型钢表 | 134 |
|--------|-----|

# 緒 言

## 一、材料力学的任务

在生产劳动中，经常要使用机器和工程结构。对于任何机器和工程结构，都必须保证它在承受载荷的情况下能够安全地正常工作。因此，组成机器和工程结构的每一个构件，也都必须保证它能够安全地正常工作。

图 1, *a* 表示车床的床头箱简图。在切削工件时，通过滑移齿轮将动力传递给主轴。当车刀上的切削力过大时，有可能使齿轮的轮齿折断(图 1, *b*)。这样，就不能达到安全地正常工作，这是不

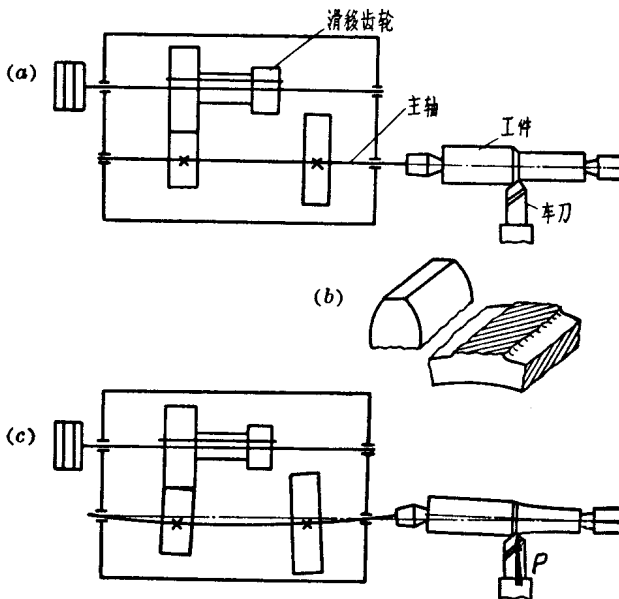


图 1. 床头箱简图

允许的。所以要求构件在承载时具有抵抗断裂的能力，这种能力通常称为构件的强度。

另外，切削力过大时，也可能使车床主轴产生过大的变形(图1, c)。这样，使加工出来的工件，不能达到预定的精度；同时齿轮的啮合情况变坏，影响传动的正确性。这种情况也是不允许的。所以还要求构件在承载时具有抵抗变形的能力，这种能力通常称为构件的刚度。

在生产实际中，由于工作条件的复杂性，对于构件有时还会提出其他的要求，不过，构件的强度和刚度是基本的要求。具有足够强度和刚度的构件，一般就能安全可靠地工作。

为了提高构件的强度和刚度，一般是加大构件的尺寸或选用质量好的材料。但是，构件的尺寸过于大、材料过于好，就会造成浪费，同时使结构笨重，因而就不能保证生产的经济性。这样做是不符合我国建设社会主义总路线中提出的“多、快、好、省”的精神的。

要求构件安全，则要多用材料或用好的材料；要求构件经济，则要少用材料或用差的材料。由此可知，安全和经济这两个要求是相互矛盾的。片面地追求经济而忽视安全，是绝对不允许的；但是，过分地强调安全而忽视经济性，也是不允许的。因此必须全面地考虑和正确地解决这一矛盾。材料力学就是为正确地解决这一矛盾而提供必要的理论基础。这一矛盾的存在，也是促使材料力学形成和发展的重要因素。

因此，材料力学的主要任务是：分析、计算构件的强度和刚度，为正确地解决安全与经济之间的矛盾提供必要的理论基础。

材料力学是一门技术基础课程，主要是为机械零件和有关专业课程奠定必要的理论基础；另外，也为一般构件的强度、刚度的分析和计算，提供必要的基础知识。

## 二、杆件变形的形式

在工程实际中，构件的形状是很多的。如果构件的长度远大于横向尺寸，这样的构件就称为杆件。杆件各横截面形心的连线称为轴线。

如果杆的轴线为直线，且各横截面都相等（图2），则称为等截面直杆。除此以外，还有变截面杆、曲杆等。

本课程主要研究等截面直杆。

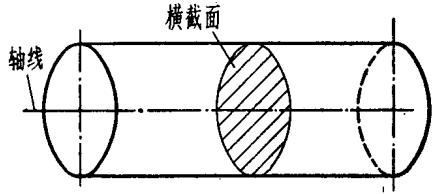


图2. 等截面直杆

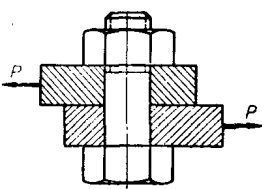
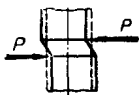
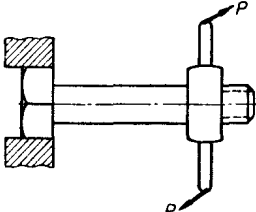
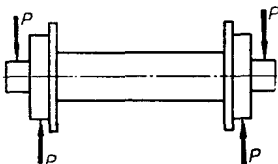
外力的作用方式不同时，杆件变形的形式也就不同。杆件变形的形式有如下四种（表1）：

- (1) 拉伸和压缩；
- (2) 剪切；
- (3) 扭转；
- (4) 弯曲。

表1. 基本的变形形式

| 基本形式 | 工程实例 | 受力简图 |
|------|------|------|
| 拉 伸  |      |      |
| 压 缩  |      |      |

續前表

| 基本形式 | 工程实例                                                                              | 受力簡图                                                                              |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 剪 切  |  |  |
| 扭 轉  |  |  |
| 弯 曲  |  |  |

杆件变形的形式，除了上面的基本形式以外，还有复杂的形式，但是总可把它看作是由以上几种基本变形组合而成的。

### 练 习 题

1. 试举例说明：哪些构件是由于强度不足而破坏的？哪些构件是由于刚度不足而破坏的？
2. 用自己的话来说，材料力学的任务是什么？
3. 杆件有哪些基本变形形式？试举例说明。

# 第一章 拉伸和压缩时的应力与变形

## § 1-1. 拉伸和压缩的概念

在工程实际中，有很多构件是受到拉伸或压缩作用的。例如起重机的拉杆  $AB$  和吊起重物  $Q$  的绳索(图 1-1)，以及千斤顶的螺杆等都是受拉伸或压缩作用的例子。当载荷足够大时，这些受拉或受压的构件就要破坏。那末，怎样才能使这些构件不破坏而能安全可靠地工作呢？这就需要研究拉伸和压缩的问题。

将图 1-1 中的  $AB$  杆和  $BC$  杆的受力情况画成计算简图，如图 1-2 所示。由此可知，拉伸和压缩的受力特点是：作用在杆端的两力，大小相等，方向相反，且作用线同杆的轴线重合。

作用在杆端的拉力(图中的  $P_1$ ) 或压力(图中的  $P_2$ )，对杆件来说称为外力。杆件在拉力作用下产生伸长变形；在压力作用下产生缩短变形。

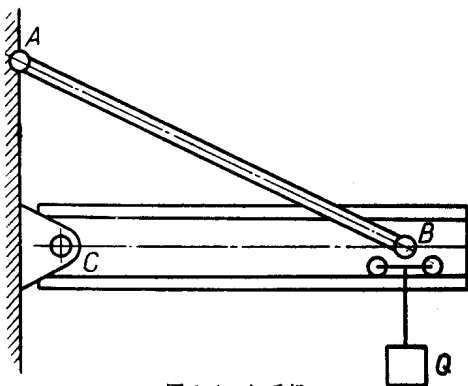


图 1-1. 起重机

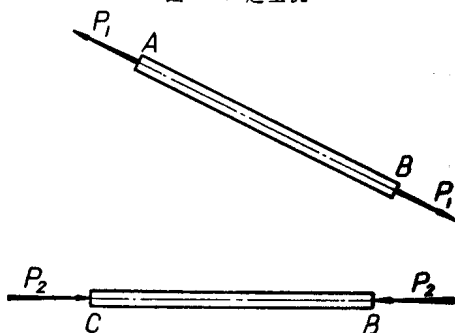


图 1-2.  $AB$ 、 $BC$  杆的计算简图

## § 1-2. 拉伸和压缩时的内力

先来研究一个实例。用手拉长弹簧时，手上就会感到有力作用。这是因为弹簧受力拉长时，内部产生一种抵抗力，它阻止外力使弹簧继续发生变形，这种抵抗力称为内力。手上用的力越大，弹簧拉得越长，弹簧所产生的内力也就越大。

放手后，弹簧就缩回到原来长度，这是由于弹簧的内力使变形消失。在外力去除后，物体具有消失变形的性质称为弹性。

因此，内力具有抵抗外力、阻止外力使物体继续发生变形，以及在外力去除后使物体消失变形的性质。

由上述可知，物体的内力是随外力的增大而相应地增大的。但是，内力的增大是有一定限度的，如果超过了这个限度，物体就要发生破坏。

杆件在怎样大的外力作用下，才能够保证安全可靠地工作呢？这就需要研究杆件内力的大小。为此，研究图 1-3, a 所示的杆，它

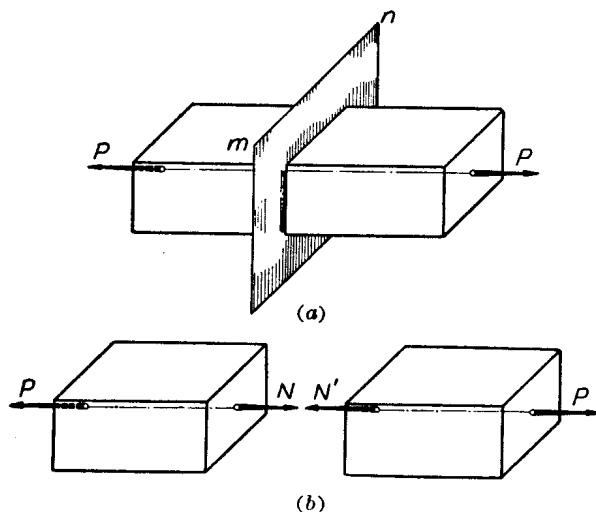


图 1-3. 计算内力

在外力  $P$  作用下处于平衡状态。为了计算内力，假想沿  $mn$  面将杆截开，分成左右两段(图 1-3, b)，并以  $N$  和  $N'$  分别表示左右两段上的内力。显然， $N$  和  $N'$  就是左右两段相互作用的内力，所以它们必须大小相等、方向相反。因此，在计算内力时，只需取截面两侧的任一段来研究即可。

现取左段来研究，应用平衡方程即可解得内力  $N$ ：

$$\Sigma P_x = 0, \quad N - P = 0, \quad \therefore N = P.$$

由此可知，拉伸(或压缩)时杆截面上的内力，等于拉力(或压力)  $P$ 。

总结上述，求杆件内力的方法是：先将杆假想截开，然后在截面上加以内力，最后用平衡方程求解内力。这种方法通常称为截面法。它是求内力的普遍方法。

### § 1-3. 横截面上的正应力

上节研究了杆件在拉伸和压缩时的内力。但是，仅知道总的内力  $N=P$  还是不够的，因为杆件的强度与杆件横截面(以后简称截面)的大小和内力在截面上的分布情况有关。因此必须研究杆截面上各点内力的密度，即单位面积上的内力，我们称它为应力。

怎样研究截面上的应力呢？先来研究实验现象。在图 1-4, a 所示的杆上，刻划出两条横向直线  $ab$  和  $cd$  (图中

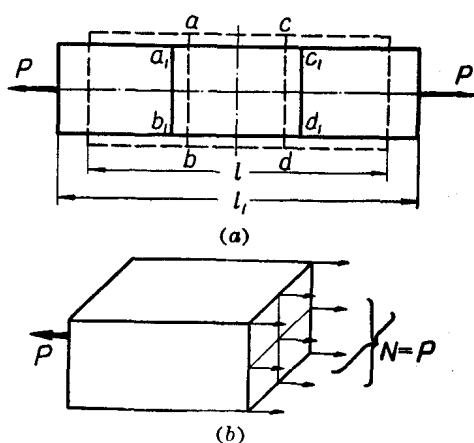


图 1-4. 横截面上的正应力



虚线), 当杆受到拉力  $P$  作用时, 直线  $ab$  和  $cd$  平移到  $a_1b_1$  和  $c_1d_1$  (图中直线)。

根据上述现象, 就可进行由表及里的假设: 杆的横截面在变形后, 仍保持为与杆轴线成垂直的平面。由此可知, 杆的各纵向纤维都受到相等的拉伸。

因此可以推论出: 杆受拉伸时的内力 (图 1-4, b), 在横截面上是均匀分布的, 它的方向与横截面垂直。设截面面积为  $F$ , 则应力为  $\frac{N}{F} = \frac{P}{F}$ 。因为这应力的方向与截面垂直, 故称为正应力, 以  $\sigma$  表示。所以

$$\sigma = \frac{N}{F} = \frac{P}{F}. \quad (1-1)$$

上式是根据杆件受拉伸时推得的, 但在杆件受压缩时也能适用。应力的单位是公斤/厘米<sup>2</sup> (kg/cm<sup>2</sup>) 或公斤/毫米<sup>2</sup> (kg/mm<sup>2</sup>)。

例 1-1. 内孔拉刀的头部尺寸如图 1-5 所示。现知其拉力  $P = 2300$  kg, 试计算拉刀头部各截面上的正应力。

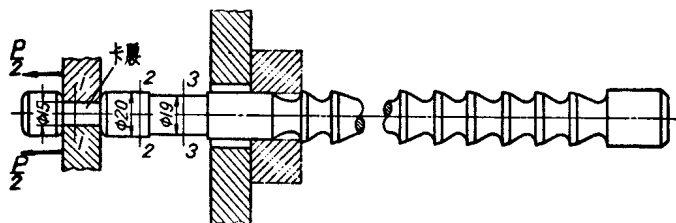


图 1-5. 计算拉刀的应力

解: 截面 1-1、2-2、3-3 上的内力都等于  $P$ , 即

$$N_1 = N_2 = N_3 = P.$$

各截面的面积:

$$F_1 = \frac{\pi \times 1.5^2}{4} = 1.77 \text{ cm}^2,$$

$$F_2 = \frac{\pi \times 2^2}{4} = 3.14 \text{ cm}^2,$$