

148985



鐵路員工技術手冊第二卷第一冊

材 料 力 學

苏联鐵路員工技術手冊編纂委員會編



人 民 鐵 道 出 版 社

321
031

鐵路員工技術手冊第二卷第一冊

材 料 力 学

苏联鐵路員工技術手冊編纂委員會編
唐山鐵道學院材料力学教研組譯

人 民 鐵 道 出 版 社

一九五八年·北京

本書是从苏联铁路員工技术手册第二卷第一册譯出。
原書第一卷包括材料力学，彈性理論，結構理論，土壤力学，机械零件，电的机器，电的照明，發动机，抽水机，冷藏設備，測地学，工程地質学，气象学，材料，燃料，技术量計等篇。

本書是其中的材料力学篇，闡述拉伸，压缩，剪切，扭轉，以及桿、板、容器的应力和变形，有关穩度与强度理論等知識，可供高中等專門技术学校及一般工程技术人員参考之用。

原書本卷主編者为М. А. ПЕТРОВ。

原書本篇編著者为В. И. КУЗНЕЦОВ及С. Р. ГВАМИЧ-АВА。

本書譯者为唐山鐵道学院材料力学教研組孙調方，牛清江，林德深，奚紹中，沈肇基等。

铁路員工技术手册第二卷第一册

材料力学

ТЕХНИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНИКА
ТОМ 2,

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

苏联铁路員工技术手册編纂委员会編

苏联国家铁路運輸出版社（一九五〇年莫斯科俄文版）

ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ

Москва 1950

唐山鐵道学院材料力学教研組譯

人民鐵道出版社出版

（北京市霞公府17号）

北京市書刊出版業營業許可証出字第010号

新华書店發行

人民鐵道出版社印刷厂印

（北京市建国門外七聖廟）

書号：926 开本：85G×1168 $\frac{1}{2}$ 印張7 $\frac{1}{16}$ 字数190千

1958年4月第1版

1958年4月第1版第1次印刷

印数9001—2,000册 定价(10)1.30元

目 录

基本原理	5
拉伸和压缩	10
剪切	48
扭转	52
平面圖形的慣性矩	77
弯曲, 外力和应力	100
桿的撓曲軸	120
复杂抗力	141
强度理論	150
大曲率桿的計算	163
厚壁圓筒	171
縱弯曲	175
接触应力	200
应力集中	211
材料力学中的动力問題	226
交变載荷作用下的許用应力	230

編 者 序

鐵路員工技術手冊第二卷的內容包括鐵路運輸各部門中技術計算所需的參考知識。

在《材料力學》一篇中，給出了桿受拉伸、壓縮、剪切和扭轉時計算的方法及參考資料^①，還有曲桿、板、容器內之應力和變形的計算方法，以及有關穩定及強度理論的知識。

在《彈性理論》一篇內討論了力對於在平衡狀態以及在運動中之彈性體的作用。

《結構理論》篇包括了與給定運用條件相符合之結構的計算資料。在《結構靜力學》一章內給出有關靜定和靜不定系統（梁，桁架，剛架，板，殼）計算方面的參考知識。《結構動力學》一章中包含了彈性振動一般理論的敘述及其對建築結構物動力學計算的具體應用。本章內除去有關具有任意自由度的結構之計算材料外，還給出了關於振動頻率及動力圖的參考資料，以及減輕和加速計算工作的表格和公式。

根據在蘇聯所研究之理論來計算薄壁截面強度和穩定方面的特殊方法，在本章內也佔有很大的篇幅。

如何保證即將修建之建築物與土壤安全地接觸的問題，是在《土壤力學》篇內講述的，其中包括建築物沉陷的計算和土壤穩定理論的要點。

《機械另件》篇內擇要給出計算螺旋聯接、螺釘聯接、鉚接、鉗接、楔聯接、鏈聯接和凸緣式聯接的計算公式及輔助用表，計算軸承、管箍、皮帶傳動裝置、齒輪傳動裝置、行星式傳動裝置、蝸輪傳動裝置及鏈傳動裝置、起重機械之另件及其傳動

^① 譯者註：該章內尚包括桿受彎曲時的計算方法。

裝置的計算公式和輔助用表。

《電的機器》篇包括原動發電機、變壓器、換流器及水銀整流器的分類、技術特征及其說明。

在《電的照明》篇內介紹了有關鐵路運輸中使用之電燈的知識，及設計照明設備的資料。

在《發動機》篇內研究了蒸汽機、蒸汽輪機、可移式蒸汽機、內燃機、燃氣輪機、風力發動機。本章也介紹了發動機的工作過程、草圖及熱力循環、熱力計算、最重要的特征及工作曲綫，發動機的試驗方法學以及燃料消耗的比較資料。

《抽水機》篇包括離心水泵及活塞水泵方面的參考資料，以及其他型式之揚水裝置的參考資料。

在《冷藏設備及制冰廠》一篇內介紹了有關冷藏業務的一般知識：對於規劃制冰廠的基本要求及其生產率的計算，冷卻機及冷卻設備的構造和它們的冷卻生產率的計算。

在《測地學》篇內介紹了勘測鐵路時測地工作的組織及進行方面的參考知識，並對最新的測地儀器作了說明。

《工程地質》篇包括岩石的特征及在鐵路運輸方面進行工程地質勘測的方法。本篇中的材料系從鐵路工程師實際使用這些材料的觀點加以挑選的。

在《氣象學》篇內簡短地介紹了有關鐵路運輸的氣象工作方面之知識。

在《材料》篇內介紹了在鐵路運輸上應用之一些材料的鑑定分類、化學成份及基本計算指標方面的知識；這些材料有黑色金屬及有色金屬，木材及其他建築材料。

在《技術量計》篇內介紹了量計的基本方法，並對鐵路運輸及工業上最常用的量計儀表作了說明。

編者請求讀者們向鐵道運輸出版社提出自己的意見和希望，以便在今後的工作中把它們作為鐵路員工技術手冊的資料。

譯者註：書中尚有“燃料”一篇，原書未曾介紹。

材 料 力 学

基 本 原 理

材料力学这一門科学研究不同材料在載荷作用下的性能。工程師根据这門科学解决关于选择建筑物、結構物和机械之構件的材料和橫向尺寸的問題。

在大多数情况下，当設計建筑物、結構物或机器的部件时必需滿足两个基本要求：安全可靠和最大經濟。

除了这些基本要求外，在某些情况下，設計及完成建筑物和結構物时还必需滿足其他的条件，例如建筑物的快速施工的要求，及結構物的最小重量的条件（例如在設計飞机等等时）。这些情况也影响到建筑物和結構物部件之材料和橫向尺寸的选择。

建筑物、結構物和机械之構件其可靠性的研究在材料力学中一方面应用分析的方法同时也借助於試驗的研究来进行。

理論的研究如果没有試驗作为根据，那么这种研究將是徒劳；同样地，沒有理論总结的零散的試驗不可能导出必要的定律，也無助於科学的繼續發展。

決定建筑材料强度的理論研究和实验方法的总和，便組成了材料力学这門科学的主体。

应 力

我們現在来研究一个处于平衡状态的固体（圖1）。如果在該物体上没有作用任何外力，在物体内部却仍然有內力存在；这些內力保证了物体保持其原来的形式。在外力 $P_1 \dots P_7$ 的作用

下，物体内产生了附加的内力。为了研究在任意一点 O 处这些附加内力的大小，用通过该点的截面 mn 将物体分截为两部份： A 和 B 。研究其中的一部份，例如 A ，可以知道它在外力 P_1, P_2 和 P_3 及连续分佈在截面 mn 上 B 部份对 A 部份作用之力的作用下而处于平衡状态。

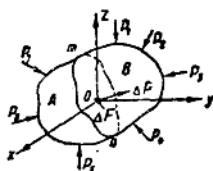


圖 1

在平面 mn 上圍繞着 O 点切出一面积 ΔF ，以 ΔP 代表附加於此面积上互相作用力的合力，那么比值 $\frac{\Delta P}{\Delta F}$ 就是这些力在 ΔF 之单位面积上的平均值。

如果假想面积 ΔF 的輪廓圍繞着 O 点逐漸收縮，則此时面积的值將減少，同时 ΔP 的值亦將減少。

当 $\Delta F \rightarrow 0$ 时，比值 $\frac{\Delta P}{\Delta F}$ 的極限称为截面 mn 上 O 点处的总应力

$$p = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta F} \dots\dots\dots$$

总应力 p 可以分解为与截面正交的分应力 σ 和与截面相切的分应力 τ （圖 2），这些分应力相应地叫做正交分应力和切線分应力，或者称为截面 mn 上 O 点处的正应力和剪应力。总应力、正应力和剪应力之間存着如下的关系：

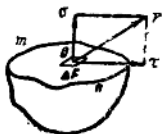


圖 2

$$p^2 = \sigma^2 + \tau^2.$$

每一点的应力值是材料在外力作用下由于变形而产生之附加內力的尺度。

应力表示单位面积上的力，所以它的因次是

$$\frac{\text{力}}{\text{面积}}.$$

当計量应力时，力通常以公斤为單位，而面积以平方公分或平方公厘为單位，所以应力的單位就可以表示如下：

$$\frac{\text{公斤}}{\text{平方公分}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) \text{ 或 } \frac{\text{公斤}}{\text{平方公厘}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right)$$

变 形

把要研究其变形的物体分割成無限多極小的立方体。物体变形时組成物体的小立方体也隨着变形，並且每一个單元立方体的变形可以用稜边的伸長或收縮及稜边之間原有直角的歪斜来表示。如果由所研究的物体分成的每一个單元立方体之稜边長度的变化和角度的歪斜已經知道的話，那末作出每一个立方体变形后的模型並將这些模型疊砌起来，就可以得到整个物体变形后的模型。

因此任何变形都可以分为線段的伸長或縮短及直角的歪斜。

線段長度的变化叫做**線变形**，而直角的歪斜叫做**角变形**或**剪切角**。

为了避免線段長度对其变形特性的影响，線变形通常以單位長度的伸長或縮短来表示，也就是以所研究之線段的总伸長或縮短对其原始長度 l 的比值来表示：

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

这个比值 ε 称为**相对伸長（縮短）**或**相对線变形**。

相对伸長是無名数。

剪切角或角变形以弧度計量。

因此角变形也是無名数。角变形（剪切角）也以二線段之比的形式表示；如剪切角很小，那末（圖 3）

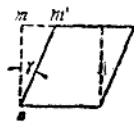


圖 3

$$\gamma = \frac{mm'}{mn}$$

式中 γ ——剪切角；

mm' ——所謂的**绝对剪切**。

* 譯者註：原書上为 $\lg \gamma = \frac{mn'}{mn}$ 。

彈 性

所有建筑材料都具有一定程度的彈性性質，這種性質就是：如果作用在建築物或結構物上的外力沒有超過一定限度，那末由這些力所引起的變形在力的作用去掉後便行消失。

在應用材料力學的理論所解決的大多數問題中，認為承受外力作用的物體是完全彈性的，也就是在外力除去後，完全恢復其原來的形狀。

均 一 性

假定彈性體的材料在其體積中是均勻而連續的。這就能夠假定由物體中切出的任何無限小的單元體與整個物體具有相同的物理性質。

各 向 同 性

這個性質是為了簡化理論研究而對材料所作的，假設認為物體的彈性性質在所有方向上是完全一致的。這樣的物體稱為各向同性體。

應力和變形間的关系

實驗證明，在彈性變形範圍內，應力和變形之間存在着簡單的比例關係，例如：當拉伸或壓縮時，桿在外力作用方向上線尺寸的相對伸長或縮短 ε 與正應力 σ 成正比例。此關係有下述的形式：

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E},$$

式中 E ——比例係數，稱為彈性模數，對每一種材料都有一定的數值。

剪切角 γ 和剪應力 τ 之間存在着類似的關係：

$$\tau = \frac{\tau}{G},$$

此处 G ——称为剪切模数的比例系数。

桿和細長桿的概念

桿是由一个平面圖形 F 沿着某一線段 AB (圖 4) 移动所形成的物体; 在圖形移动时其形心恒位於線段 AB 上, 圖形的平面垂直於該線段。假定圖形 F 的尺寸不大于線段 AB 的長度。

線段 AB 称为桿的軸線, 而圖形 F 称为桿的橫截面。



圖 4

根据桿的軸線是直線或曲線而將桿分为直桿和曲桿。

沿着桿的軸線長度方向, 橫截面不改变的桿称为**等截面桿**。

橫截面沿軸線变化的桿称为**变截面桿**。

橫截面尺寸与軸的長度相較非常小的細而長的桿称为**細長桿**。

变 形 型 式

变形可分为下述几种基本型式:

1) 拉伸或壓縮。例如: 鍊条、纜索、桁架中拉桿和压桿所受的作用等等;

2) 剪切——螺栓和鉚釘所受的作用;

3) 扭轉——軸所受的作用;

4) 弯曲——各种梁所受的作用。

这些变形型式称为**簡單变形型式**。

在建筑物中也遇到較為复杂的变形, 那时建筑物同时受到两种甚至三种簡單的变形型式, 例如: 兼有弯曲的拉伸或壓縮, 兼有扭轉的弯曲等。在这种情况下我們就遇到了所謂的**复杂变形**。

拉 伸 和 压 縮

線 應 力 狀 态

直桿在加於其兩端並沿軸線方向的二个互相平衡之外力作用下所产生的变形叫做簡單拉伸或壓縮（圖 5）。当力的方向由端截面向外时为拉伸，反之則为壓縮。

如果在桿变形前於其側表面上画上一組与桿軸垂直而彼此等距的平行直線（ $ab, a_1b_1, a_2b_2 \dots$ ），那末在变形以后，这些直線彼此按相等的距离分开（或靠近），但仍为平行的。这就可以假定以所画的直線为輪廓的橫截面仍旧保持为平面且互相平行。

而只有当桿的縱向纖維伸長相等时，才可能有平行截面的等距位移。

根据很多的实验查明，大多数材料当載荷未超过一定限度时，同样的变形对应於同样的应力。

因此可以总结如下，当簡單拉伸（或壓縮）时桿的橫截面上的应力是均匀分佈的。

截面的平面假設和桿橫截面上的应力均匀分佈之假定的正确性不仅为大量实验所証实，並且为数学彈性理論之理論研究所証明。

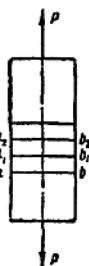


圖 5

應 力

在确定了拉伸（壓縮）时桿橫截面上的应力是均匀分佈的以后，就可以应用材料力学中所採用的截面法来决定应力的大小。用垂直於桿軸的截面 ab 將桿截为兩部分（圖 6），並棄去上面部分而研究下面一部分。棄去部分的作用，以均匀分佈在截面上的应力 σ 代替。应力 σ 的方向垂直於它所作用的橫截面的平面，所以称它为正应力。

由所研究的桿的一部份的平衡条件給出下列方程式:

$$\sigma \cdot F = P,$$

式中 P ——拉力;

F ——桿的橫截面面积。

因而

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

在簡單拉伸时, 桿的任意橫截面上任一点的正应力等於拉力除以橫截面面积。

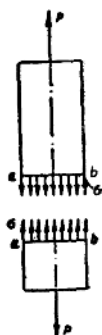


圖 6

变 形

縱向变形。 桿受拉伸时, 其長度增大。桿的長度的增大 (圖 7):

$$\Delta l = l_1 - l,$$

称为总伸長。

桿的單位長度的伸長:

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{l_1 - l}{l},$$

称为相对伸長。

当应力小于某一極限时 (此極限称为比例極限, 每一种材料均具有由实验确定的一定的值)

应力和相对变形間存在着如下的关系:

$$\sigma = E \epsilon \quad (2)$$

式中 E ——比例系数, 其單位和应力相同 $\left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right)$, 称为拉伸彈性模数或第一种彈性模数。

由公式 (2) 可見, 在同样的应力下, 彈性模数愈大則相对伸長將愈小。因而彈性模数是材料的剛度特征: 材料的剛度愈大, 它的彈性模数愈大。

彈性模数由实验測定。每一种材料的彈性模数之值在一很小

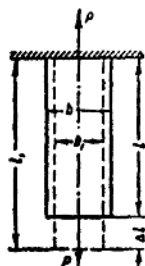


圖 7

范围的变动。

几种主要材料的弹性模数之平均值在表 1 中给出。

弹性模数和波桑系数

表 1

材 料 名 称	弹性模数 (kg/cm^2)		波桑系数 μ
	E	G	
灰口, 白口铸铁	$1.15 \sim 1.60 \times 10^6$	4.5×10^5	$0.23 \sim 0.27$
可锻铸铁	1.55×10^6	—	—
焊接钢	$1.60 \sim 2.0 \times 10^6$	7.7×10^5	0.28
铸钢和碳素钢	$2.0 \sim 2.1 \times 10^6$	8.1×10^5	$0.24 \sim 0.28$
铬镍钢	2.1×10^6	8.1×10^5	$0.25 \sim 0.30$
铸钢	1.75×10^6	—	—
压延钢	1.1×10^6	4.0×10^5	$0.31 \sim 0.34$
冷拉钢	1.3×10^6	4.9×10^5	—
铸钢	0.84×10^6	—	—
辗制磷青铜	1.15×10^6	4.2×10^5	$0.32 \sim 0.35$
冷拉黄铜	$0.91 \sim 0.99 \times 10^6$	$3.5 \sim 3.7 \times 10^5$	$0.32 \sim 0.42$
辗制锰青铜	1.1×10^6	4.0×10^5	0.35
辗制铝	0.69×10^6	$2.6 \sim 2.7 \times 10^5$	$0.32 \sim 0.36$
铝青铜 (铸)	1.05×10^6	4.2×10^5	—
辗制铝	0.71×10^6	2.7×10^5	—
辗制铍	0.84×10^6	3.2×10^5	0.27
铝	0.17×10^6	0.70×10^5	0.42
冰	$0.04 \sim 0.045 \times 10^6$	$0.13 \sim 0.16 \times 10^5$	—
玻璃	0.56×10^6	2.2×10^5	0.25
花岗石	0.49×10^6	—	—
石灰石	0.42×10^6	—	—
大理石	0.56×10^6	—	—
花岗石砌墙工	$0.09 \sim 0.1 \times 10^6$	—	—
石灰石砌墙工	0.06×10^6	—	—
砖砌墙工	$0.027 \sim 0.030 \times 10^6$	—	—
混凝土, 强度极限为 $100 \sim 200$ kg/cm^2	$0.146 \sim 0.232 \times 10^6$	—	$0.16 \sim 0.18$
木材, 顺纹	$0.1 \sim 0.12 \times 10^6$	0.055×10^5	—
木材, 横纹	$0.005 \sim 0.01 \times 10^6$	—	—
橡胶	0.00008×10^6	—	0.47

如果將公式 (2) 的兩边各乘以桿的長度 l ，並考慮到

$$\varepsilon l = \Delta l, \text{ 而 } \sigma = \frac{P}{F},$$

那末就可以計算桿的總伸長

$$\Delta l = \frac{P \cdot l}{EF}. \quad (3)$$

桿的總伸長與作用力的大小和桿的長度成正比，而與彈性模數和橫截面面積成反比。

這個關係稱為虎克定律。

橫向變形。受拉伸（壓縮）作用的桿，除縱向變形外還產生橫向變形。

實驗表明：桿在拉伸時（圖 7），其長度伸長 Δl ，而寬度則縮小：

$$\Delta b = b - b_1.$$

因此，相對伸長或相對縱向變形

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l},$$

相應的相對橫向變形

$$\varepsilon_1 = -\frac{\Delta b}{b}.$$

相對橫向變形 ε_1 與相對縱向變形 ε 之比

$$\mu = -\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon}, \quad (4)$$

稱為波桑系數。

每一種材料的波桑系數在比例極限以內是一常數。由實驗方法所測定的各種材料的波桑系數列在表 1 中。

大多數材料之波桑系數在下列範圍內變動：

$$\mu = 0.25 \sim 0.33.$$

體積變化。當波桑系數 μ 為已知時，就可以計算桿在拉伸時的體積變化。如果拉伸前桿的體積以 $v = lF$ 表示，那末拉伸後它將等於：

$$v_1 = l F (1 + \varepsilon) (1 - \mu \varepsilon)^2 = v (1 + \varepsilon) (1 - \mu \varepsilon)^2.$$

因为拉伸后杆的长度等於

$$l(1 + \varepsilon),$$

而横截面面积等於

$$F(1 - \mu \varepsilon)^2.$$

由于 ε 在比例極限以前是一非常小的数值，因此它的平方和高次方可以略去不計。

於是

$$v_1 = v [1 + \varepsilon (1 - 2\mu)].$$

相对体积变化等於

$$\varepsilon_v = \frac{v_1 - v}{v} = \varepsilon (1 - 2\mu). \quad (5)$$

拉 伸 圖

拉力和伸長之間只有当拉应力沒有达到某一个称为比例極限的数值之前才保持比例关系。超过这个極限，变形和应力的关系就变得比較复杂。

在研究超过比例極限后材料的机械性質时，变形与相应的应力間的关系通常以拉伸圖表示。

圖 8 表示軟鋼的拉伸圖。該圖上应力以縱座标表示，而相应的相对伸長以橫座标表示。

曲線 $OABCDK$ 表示变形和应力間的关系。由 O 点到 A 点，应力与变形成比例。所以应力 OA' 称为比例極限。超过 A 点，应力和变形之間便显然不服从虎克定律。当加载至高於比例極限时，伸長增長得很快因而圖形就成为曲線狀。

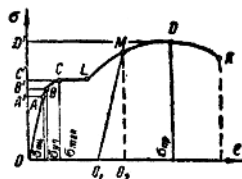


圖 8

在 C 点，桿發生突然的伸長而拉力則並無显著的增長。这个現象称为材料的流动，拉伸圖上以曲線之几乎水平的線段表示出