

义齿系统生物力学理论探索丛书之四



义齿系统的 固体力学认识

YICHI XITONG DE GUTI LIXUE RENSHI

黄庆杰◎著



知识产权出版社

全国百佳图书出版单位

义齿系统生物力学理论探索丛书之四



系统的 固体力学认识

YICHI XITONG DE GUTI LIXUE RENSHI

黄庆杰◎著



知识产权出版社

全国百佳图书出版单位

图书在版编目 (CIP) 数据

义齿系统的固体力学认识 / 黄庆杰著. —北京: 知识产权出版社, 2015.1

ISBN 978-7-5130-2739-7

I. ①义… II. ①黄… III. ①义齿学—固体力学—研究 IV. ①R783.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 103442 号

内容提要

本书属于义齿系统生物力学理论探索丛书中的基础研究部分, 内容主要讲述义齿系统的内应力应变。本书分为三篇, 第一篇阐述义齿的材料力学认识, 这是学习义齿系统固体力学的基础。第二篇阐述支持组织的弹性力学认识。第三篇从系统论的角度阐述支持组织系统与可摘义齿系统、固定义齿系统。

责任编辑: 刘雅溪 刘琳琳

责任出版: 孙婷婷

义齿系统的固体力学认识

黄庆杰 著

出版发行: 知识产权出版社有限责任公司

社址: 北京市海淀区马甸南村 1 号

责编电话: 010-82000860 转 8324

发行电话: 010-82000860 转 8101/8102

印刷: 北京中献拓方科技发展有限公司

开本: 720mm×960mm 1/16

版次: 2015 年 1 月第 1 版

字数: 200 千字

ISBN 978-7-5130-2739-7

网 址: <http://www.ipph.cn>

邮 编: 100088

责编邮箱: caihong@cnipr.com

发行传真: 010-82000893/82005070/82000270

经 销: 各大网上书店、新华书店及相关专业书店

印 张: 10.5

印 次: 2015 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 36.00 元

出版权专有 侵权必究

如有印装质量问题, 本社负责调换。



第一篇 义齿构件的材料力学认识

第一章 义齿系统的固体力学认识·····	(3)
第二章 材料力学的基本概念·····	(7)
第三章 弹性胡克定律·····	(10)
第四章 义齿构件的拉伸与压缩·····	(16)
第五章 义齿构件的剪切与扭曲·····	(21)
第六章 义齿构件的剪切与弯曲·····	(24)
第七章 义齿构件的复合应力应变·····	(34)
第八章 义齿构件的塑性力学认识·····	(37)

第二篇 支持组织的弹性力学认识

第九章 弹性力学概述·····	(51)
第十章 天然牙·····	(59)
第十一章 颌骨与牙槽骨·····	(69)
第十二章 牙周膜与牙槽黏膜·····	(76)

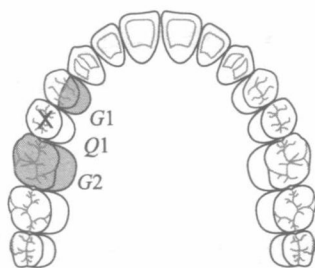
第三篇 支持组织系统

第十三章 系统论·····	(89)
第十四章 理想牙系统·····	(94)
第十五章 理想牙系统与荷载·····	(100)

第十六章 理想牙系统与应力·····	(109)
第十七章 理想牙系统与应变·····	(125)
第十八章 天然牙系统·····	(129)
第十九章 基牙系统·····	(137)
第二十章 非理想天然牙系统·····	(145)
第二十一章 牙槽嵴系统·····	(149)
参考文献·····	(160)

第一篇

● 义齿构件的材料力学认识



第一章 义齿系统的固体力学认识

第一节 义齿系统的固体力学认识

一、义齿系统

义齿系统的组成包括义齿部分与支持组织部分。

义齿部分的组成包括常规修复的可摘义齿、固定义齿以及特殊修复义齿等。

支持组织部分的组成包括天然牙支持组织、牙槽嵴支持组织以及特殊的种植体支持组织。

广义义齿系统的组成还包括口腔周围肌肉、黏膜，以及口腔内的唾液、空气等。

人们在研究义齿系统的受力过程中所接触到的物质绝大多数是固体材料，因而对义齿系统的经典力学认识，主要包括义齿系统的理论力学认识与义齿系统的固体力学认识。

二、义齿系统的材料学认识

义齿系统固体物质的组成，包括属于非生命的义齿部分以及具有生命活性的支持组织部分。

（一）义齿部分

1. 固定义齿

固定义齿的物质组成包括金属材料与非金属材料。

金属材料有黑色金属（钢铁）、有色金属、特种金属等。非金属材料主要是特种陶瓷等。

2. 可摘义齿

可摘义齿的物质组成中，树脂基托式义齿的主要成分是有机高分子材料，

以及锻制金属材料。整铸支架式义齿的主要成分还包括铸造金属材料。

(二) 支持组织部分

基牙支持组织是由天然牙—牙周膜—牙槽骨组成的生命固体物质, 牙槽嵴支持组织是由牙槽黏膜—牙槽嵴组成的生命固体物质。

义齿系统中的支持组织, 除了具有高分子材料的基本力学属性外, 还具有生命物质的特殊属性, 如新陈代谢、应激性、生长发育等。

对支持组织基本属性的认识, 属于生物力学的研究范畴; 对支持组织特殊属性的认识, 属于生物化学、分子生物学的研究范畴。

(三) 理想义齿系统固体物质的基本假设

为了更好地认识义齿系统的固体物质, 我们对其作以下理想化假设。

1. 连续性假定

连续性假定即认为所研究的固体材料内各质点之间不存在空隙, 物体的物质粒子连续地充满了物体所占的空间, 且认为物体在变形后仍保持这种连续性。

2. 均匀性假定

均匀性假定即认为所研究的物体是由同一类型的均匀的固体材料所构成, 其各部分的物理性质都是相同的, 并不因坐标位置的变化而变化。

3. 各向同性假定

各向同性假定即认为物体在各方向具有相同的物理性质, 物体的弹性常数不随坐标方向的改变而变化。

义齿系统中的义齿部分, 通常可以简化为理想的固体材料。而支持组织部分由于组成结构复杂, 往往属于非理想的固体材料, 具有非连续性、非均匀性与各向异性的特征。

三、义齿系统与固体力学

1. 义齿构件的材料力学认识

在义齿构件的材料力学认识中, 我们以理想的 1D 元杆件为研究对象, 如大连接体构件、卡环构件, 分析其在外力荷载作用下的内应力变化规律。

2. 义齿部分的结构力学认识 (略)

3. 支持组织部分的弹性力学认识

在义齿系统的弹性力学认识中, 我们以各向异性的、属于 3D 元的支持组织为研究对象, 分析天然牙、牙槽骨、牙周膜、牙槽黏膜, 在外力荷载作用下的内应力变化规律。

4. 支持组织系统的整体认识

对支持组织各个组成要素的分析,并不能使我们认识到支持组织系统整体的受力特征。对由义齿部分与支持组织部分组成的义齿系统,我们需要运用系统论的知识进行分析,才能够获得完整的认识。

第二节 义齿系统的固体力学与理论力学认识

一、理论力学与固体力学

宏观物体之间的机械相互作用有两个基本类型,即物体之间外部位置发生变化的过程,以及物体内部各部分之间相对位置发生变化的过程。

从分析力学的角度,物体系统可分为自由体与受约束体。

理论力学研究的是自由体之间位置发生变化的过程。研究自由物体的受力与运动,研究自由物体运动的平衡与稳定。

固体力学研究的是不可变约束体内部各部分之间相对位置发生变化的过程。研究受约束物体的荷载与应变,研究受约束物体应变的平衡与稳定。

(一) 理论力学的研究范畴

- | | | |
|--------------|-----------------|-------|
| 1. 理想固体物质 | 质点、刚体 | |
| 2. 理想外力的简化分析 | 单纯合力作用 (F) | 平动或静止 |
| | 单纯合力偶作用 (M) | 转动 |
| | 一般力系 | 不规则运动 |

(二) 固体力学的研究范畴

- | | | |
|--------------------|-------------------------|--|
| 1. 固体力学的研究对象 | 理想固体物质、
一般固体物质
形状 | 各向同性体
各向异性体
1D元、2D元、3D元
(杆件、板壳、实体) |
| 2. 理想固体物质
内力的简化 | 单纯内力 | 正应力 σ ——拉伸压缩应变 ε
剪应力 τ ——剪切应变 φ |
| | 组合内力 | 弯曲应力、应变 $\sigma \perp \tau$
扭曲应力、应变 $\sigma // \tau$ |
| | 一般内力 | 一般应力、应变 |

二、义齿系统的理论力学认识与固体力学认识

义齿系统的理论力学认识，主要以可摘义齿为研究对象，分析理想义齿系统在各种外力作用下的运动、平衡与稳定。

义齿系统的固体力学认识，主要以义齿部分以及支持组织为研究对象，分析理想义齿系统在各种内力作用下的应力与应变。

理论力学与固体力学

理论力学	外力	内力	固体力学
刚体运动	合力 F 、合力偶 M	正应力 σ 、切应力 τ	弹性体应变
静止平衡	$F=0$ $M=0$	$\sigma=0$ $\tau=0$	理想固体无形变
单纯平动	$F \neq 0$ $M=0$	$\sigma \neq 0$ $\tau=0$	纯拉伸压缩形变
单纯转动	$F=0$ $M \neq 0$	$\sigma=0$ $\tau \neq 0$	单纯剪切形变
组合滚动	F 、 $M \neq 0$ $F \perp M$	σ 、 $\tau \neq 0$ $\sigma \perp \tau$	组合弯曲形变
组合螺旋	F 、 $M \neq 0$ $F // M$	σ 、 $\tau \neq 0$ $\sigma // \tau$	组合扭曲形变
一般运动	一般力系	一般内力	一般应力应变
基本力、干扰力	外力的稳定准则	内力的稳定准则	弹性、塑性形变
摩擦学	外力与界面相	内力与界面相	接触力学

第二章 材料力学的基本概念

材料力学是固体力学的一个分支学科，以最简单尺寸外形——1D 元杆件及最简单物质结构——各向同性、均匀性、连续性的材料为研究对象。因而材料力学是固体力学中最简单的一门基础课程。对义齿系统固体力学的认识，就是从最简单的材料力学开始的。

一、义齿构件材料力学的研究内容与任务

受约束的杆件工作时，在各种外力作用下将发生一定的变形。

为了保证结构或机械的正常工作，要求杆件在受到荷载作用时，不发生破坏或不产生显著的塑性变形，不产生过大的变形。在载荷作用下，具有保持原有平衡形式的能力。

杆件要正常工作需满足以下三点。

1. 具有足够的强度

杆件的强度是指杆件在荷载作用下，抵抗破坏或过量塑性的能力。

2. 具有足够的刚度

杆件的刚度是指杆件在荷载作用下，有抵抗弹性变形的能力。

3. 具有足够的稳定性

杆件的稳定性是指杆件在荷载作用下，保持其原有平衡状态的能力。

义齿材料力学研究的主要内容，是义齿杆件的强度、刚度和稳定性问题。

义齿材料力学研究的主要任务，是将义齿系统中的简单构件简化为 1D 元杆件，分析义齿构件在外力荷载作用下的应力、应变的规律，选择适当的材料、截面形状和尺寸，为设计既经济又安全的义齿构件，提供强度、刚度和稳定性分析的基本理论和计算方法。

对修复医师而言，材料力学认识是重要的基础知识之一。

对力学工作者而言，在解决实际问题时与工程师们共事中，掌握了材料力学才会有最基本的共同语言。

二、外力与约束力

对于受约束的杆件而言，其所受到的外力，包括主动荷载和约束力。

（一）荷载

1. 体积力

体积力，就是连续分布于构件内部各点上的力，如义齿的重力。

2. 表面力

表面力，就是作用于构件表面上的外力，如殆力荷载。

3. 按荷载随时间变化的情况分类，有静荷载、动荷载、交变荷载、冲击荷载。

（二）约束力

一个物体在空间位置上受到其他物体的限制称为约束。

约束物体与被约束物体之间通过接触面和接触点上的力相互作用，我们把施加于被约束物体上的这种作用力叫做约束力或支反力。

在材料力学中最常见到的约束可简化为支座，支座有简支座、铰支座和固定支座等。

（1）简支座是使物体上某点的邻域既可以移动，也可以绕这点转动，相应的支反力的方向是已知的，其大小是未知的。

（2）铰支座是使物体上某点的邻域不能移动，但可以绕这点转动，相应的支反力作用于铰链中心（就是那个不动点）上，其大小和方向都是未知的。

（3）固定支座是使物体上某点的邻域既不能移动也不能绕这点转动，相应的约束力是一个未知的力矢量和一个未知的力矩矢量。

三、杆件的基本形变

实际中的杆件有各种不同的形状，材料力学研究的主要对象为直圆杆件。

直圆杆件所受的荷载多种多样，产生的形变也有各种形式，在工程结构中，杆件的基本形变有以下几种形式：

1. 轴向拉伸与压缩——拉压杆

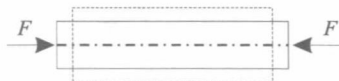
杆件的形变是由大小相等、方向相反、作用线与杆件轴线重合的一对向外拉伸外力引起的，表现为杆件的长度发生伸长。

杆件的形变是由大小相等、方向相反、作用线与杆件轴线重合的一对向内压缩外力引起的，表现为杆件的长度发生缩短。



拉伸

图 2-1



压缩

图 2-2

2. 剪切杆

杆的形变是由大小相等、方向相反、相互平行且作用线相距很近的一对力引起, 表现为受剪杆件的两部分沿外力作用方向发生相对错动。

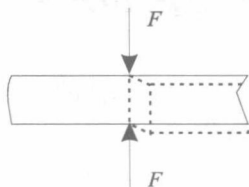
3. 扭转轴

杆的形变是由大小相等、转向相反、作用面都垂直于杆件轴的两个力偶引起, 表现为杆件的任意两个横截面发生绕轴线的相对转动。

4. 弯曲梁

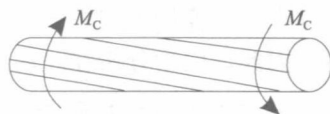
杆的形变是作用线不与杆件轴线重合的两对力引起, 一对为拉力, 一对为压力。杆件表现为长度的部分伸长、部分缩短, 整体表现为轴向弯曲。

轴向弯曲也可以理解为, 杆的变形是由垂直于杆件轴线的横向力, 或由作用于包含杆轴线的纵向平面内的力偶引起, 表现为杆件轴线由直线变为曲线。



剪切

图 2-3



扭转

图 2-4



弯曲

图 2-5

在实际工程中, 构件在荷载作用下的变形, 属于某种基本形变的情况较少, 常为上述几种基本变形的组合。处理这类问题时, 若构件以某一种基本形变形式为主, 其他形变为次时, 则按这一种基本形变计算。若几种基本形变同等重要, 则按组合形变计算。以下在分析讨论每一种基本形变的基础上, 再分析组合形变。

第三章 弹性胡克定律

第一节 弹性胡克定律

一、内力

(一) 内力

杆件在外力作用下发生变形，其内部各部分之间因相对位置发生改变，从而引起相邻部分的相互作用力，称为内力。

杆件在荷载作用下内力的大小与分布规律，直接影响构件的强度、刚度和稳定性，因此，内力分析在材料力学中占有重要地位。

(二) 内力认识的截面法

为了显示内力，可用一假想的平面将物体截开分为两部分，也就是破坏物体的内约束，同时用内力代替这种内约束。这样，内力就是物体两部分之间的相互作用力。这种阐明物体内部相互作用（内力）的方法叫做截面法。这种方法不仅在材料力学中使用，也在其他连续介质力学中使用。

实际上物体的两部分，在假想截面上的相互作用是某种连续分布的力。在材料力学中，我们将这种分布力的合力定义为内力。

一般来说，我们研究的是细长杆，它的垂直于杆轴的截面（叫做横截面）是最重要的截面。在这个截面上的内力是由一个力矢量和一个力矩矢量构成，或者说由三个力的分量和三个力矩的分量构成。

三个力分量记为 N_x , Q_y , Q_z ，它们分别是 x 轴方向的轴力 N ， Q_y 、 Q_z 分别是关于 y 方向和 z 方向的剪力。

三个力矩分量记为 M_x , M_y , M_z ，其中 M_x 是关于 x 轴的扭矩， M_y 和 M_z 分别是关于 y 轴和 z 轴的弯矩。

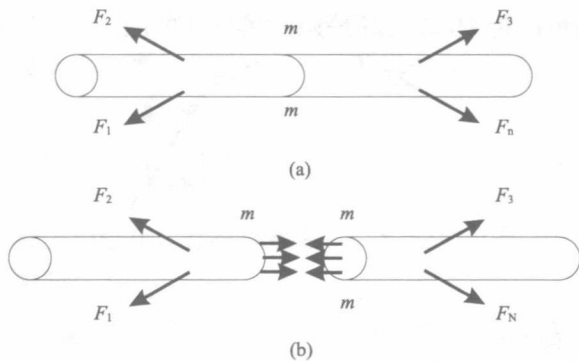


图 3-1

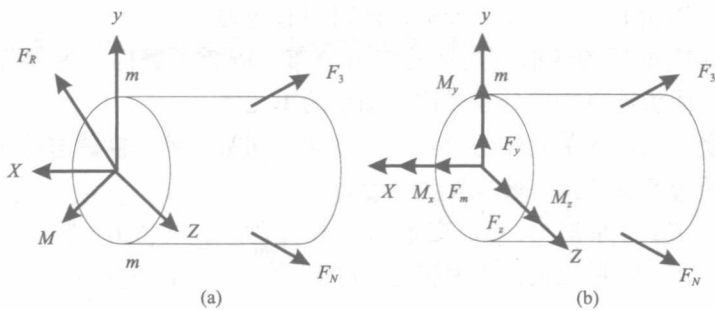


图 3-2

二、应力

如上所述，内力是构件内部相连两部分之间的相互作用力，并沿截面连续分布。为了描写内力的分布情况，现引入内力分布集度即应力的概念。

如图所示，在截面 $m-m$ 上任一点 K 的周围取一微小面积 ΔA ，并设作用在该面积上的内力为 ΔF ，则 ΔF 与 ΔA 的比值，称为 ΔA 内的平均应力，并用 p 表示，即 $p = \Delta F / \Delta A$ 。

显然，应力 p 的方向即 ΔF 的极限方向。

为了分析方便，通常将应力 p 沿截面的法向与切向分解为两个分量。

沿截面法向的应力分量称为正应力，并用 σ 表示；

沿截面切向的应力分量称为切应力，并用 τ 表示。

显然， $p^2 = \sigma^2 + \tau^2$ 。

在我国计量单位中，力与面积的基本单位分别为 N 与 m^2 ，应力的单位为 Pa （帕），其名称为“帕斯卡”（Pascal）， $1 Pa = 1 N/m^2$ 。

应力的常用单位为 MPa, 其值为 $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$ 。

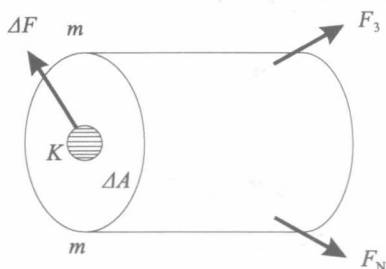


图 3-3

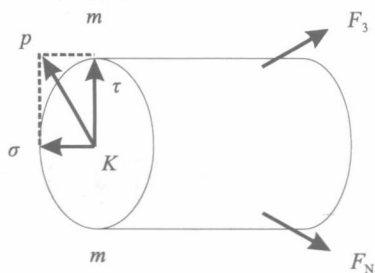


图 3-4

三、应变

在外力作用下, 构件发生变形, 同时引起应力。

为了研究构件的变形及内部的应力分布, 需要了解构件内部各点处的变形。为此, 假想地将构件分割成许多细小的单元体。

构件受力后, 各单元体的位置发生变化, 同时, 单元体棱边的长度发生改变, 相邻棱边所夹直角一般也发生改变。

设棱边 Ka 的原长为 Δs , 变形后的长度为 $\Delta s + \Delta u$, 即长度改变量为 Δu , 则 Δu 与 Δs 的比值, 称为棱边 Ka 的平均正应变, 并用 ε 表示, 即 $\varepsilon = \Delta u / \Delta s$ 。

当棱边长度发生改变时, 相邻棱边之夹角一般也发生改变。微体相邻棱边所夹直角的改变量, 称为切应变, 并用 γ 表示。切应变的单位为 rad。

综上所述, 构件的整体变形, 是由各微体的局部变形的组合结果, 而微体的局部变形, 则可用正应变与切应变量度。

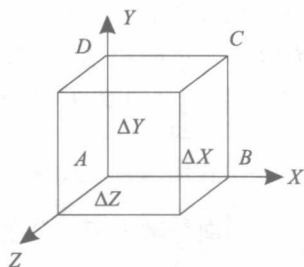


图 3-5

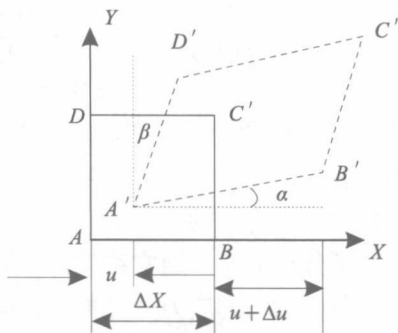


图 3-6

四、泊松比

设杆件的原长为 L , 横截面积为 A , 在轴向拉力 F 作用下, 杆长度为 L_1 ,