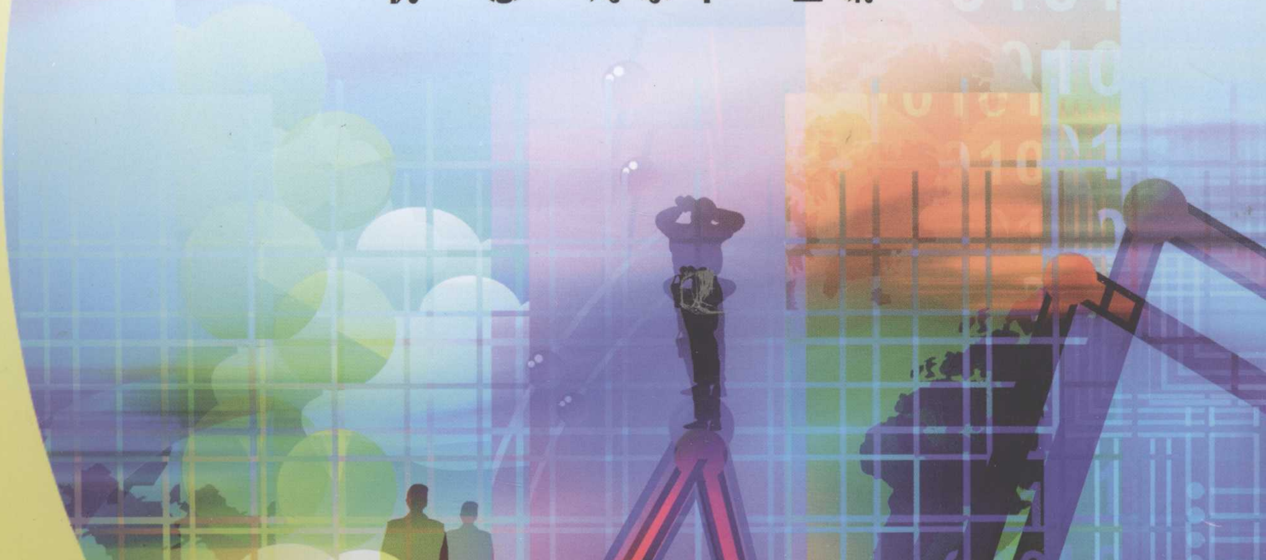
医学课程学习纲要与强化训练

医学物理学学习指导

仇　惠　刘东华　主编



科学出版社
www.sciencep.com

医学课程学习纲要与强化训练

医学物理学学习指导

主　编　仇　惠　刘东华

副主编　王亚平　王阿明　马天义

编　委　（以姓氏笔画为序）

丁晓东　大连医科大学
马天义　佳木斯大学理学院
王　静　兰州大学物理科学与技术学院
王亚平　辽宁医学院
王光昶　成都医学院
王阿明　徐州医学院
王昌军　辽宁医学院
仇　惠　牡丹江医学院
冯永振　广东医学院
刘东华　新乡医学院
张瑞兰　北华大学
钟守昌　江汉大学医学与生命科学学院
徐春环　牡丹江医学院
盖立平　大连医科大学
韩　琳　新乡医学院
程　阳　徐州医学院
鲍　艳　咸宁学院

科　学　出　版　社

北　京

内 容 简 介

本书是根据教育部对本科《医学物理学教学大纲》的基本要求，结合医学生教学培养的特点并总结多年来医学物理学教学的经验和成果而编写的。

本书是仇惠、余大昆主编《医学物理学》（案例版）的配套习题教材，全书内容分18章，每章内容分教学基本要求、知识要点、典型例题、主干教材习题解答、自测题及答案，在书末编有模拟试题及答案，以供学生自测使用。本书特点是：以案例引导教学，培养具有创新能力的高素质医学人才。

本书可供全国高等医学院校基础、临床、预防、口腔、检验、麻醉、影像等本科学生使用，也可作为广大医学工作者的学习参考书。

图书在版编目（CIP）数据

医学物理学学习指导 / 仇惠，刘东华主编. —北京：科学出版社，2008
医学课程学习纲要与强化训练
ISBN 978-7-03-021978-7

Ⅰ. 医… Ⅱ. ①仇…②刘… Ⅲ. 医用物理学－医学院校－教学参考资料 Ⅳ. R312

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 069012 号

策划编辑：李国红 / 责任编辑：周万灏 李国红 / 责任校对：张怡君
责任印制：刘士平 / 封面设计：黄 超

科 学 出 版 社 出版
北京东黄城根北街16号
邮政编码：100717
http://www.sciencep.com
双 青 印 刷 厂 印刷
科学出版社发行 各地新华书店经销
*
2008年5月第 一 版 开本：787×1092 1/16
2008年5月第一次印刷 印张：14
印数：1—5 000 字数：351 000
定价：20.00元
（如有印装质量问题，我社负责调换〈双青〉）

前　　言

医学物理学是高等医药院校一门重要的基础理论课程。为了适应医学教育的改革发展，全面推进素质教育，更好地贯彻少而精的原则，让学生能用较少的时间掌握更多的现代医学所需的物理学知识，培养学生自学习惯的形成，提高学生分析问题和解决问题的能力，我们根据教育部制定的医学物理学课程的基本要求和学生培养任务的实际需要，在各位编者总结了长期教学工作经验的基础上，编写了《医学物理学学习指导》这本教材。

本教材是仇惠，余大昆主编的全国高等医学院校规划教材《医学物理学》(案例版)的配套教材，本书的特点是按其配套理论教材的章节内容编排有"教学基本要求"，以教学大纲为主，要求学生明确学习的重点和难点，分清掌握、熟悉和了解的内容；"知识要点"，提示教学内容的要点，引导学生复习理解本章的基本内容和重点内容；"典型例题"，帮助学生学习总结解题方法，讨论解题技巧；"主干教材习题解答"，对配套的《医学物理学》(案例版)各章的习题给出详细的参考解答，供学生检查所做习题时使用；"自测题"，通过选择题、填空题、名词解释、问答题、论述题、计算题的练习，强化学生对所学知识的掌握；"自测题解答"，给出了解题过程和答案，供学生自学和教师教学参考使用。书后附有模拟试题及答案，以供学生自测。本书力求知识准确，习题难易程度适中，覆盖面广，题解详细，其中案例分析题有分析过程及答案提示，并尽可能结合理论知识进行归纳、总结。

本学习指导是复习《医学物理学》内容的有力工具，可以使学生掌握教材中的重点、难点及需要了解的内容，使学生在动脑、动手、演算每一道习题的过程中，掌握物理学知识，做到学有所获。

由于编者水平有限，经验不足，教材中难免存在缺点和错误，恳切希望使用该教材的师生及同行给予批评指正。

仇　惠

2007 年 12 月

目　录

第一章 力学基础

教学基本要求

（1）掌握描述质点运动状态的方法，建立运动学的基本概念：质点、参照系、位移、速度、加速度、角速度和角加速度。

（2）理解力、力矩、动量、动能、功、转动惯量和角动量的概念。

（3）掌握动量守恒、动能定理、角动量守恒等定律，了解对称性概念以及对称性守恒定律的关系。

（4）掌握牛顿运动定律、转动定律分析和解决基本力学问题。理解惯性系和非惯性系以及离心力的概念。

（5）掌握形变、应力、应变、弹性模量、变形能等基本概念以及应力与应变的关系。

（6）了解骨骼和肌肉的力学特征，理解骨骼几种基本受力形式和肌收缩力学。

（7）了解人体的主要关节和椎体的结构，掌握人体的主要关节和椎体的受力分析。

知识要点

力学是研究物体机械运动的规律及其应用的科学。在力的作用下，物体的运动状态发生改变的现象称为力的运动效应，物体的形状发生改变的现象称为力的形变效应。

1. 力的运动效应

（1）质点运动学规律。

1）质点：忽略物体的形状和大小，把它看成一个具有它的质量的几何点。

2）位置矢量：用来确定质点在空间位置的矢量，即$\vec{r} = r_x\vec{i} + r_y\vec{j} + r_z\vec{k}$。

3）位移：质点在一段时间内位置矢量的改变量，即$\Delta\vec{r} = \vec{r}(t+\Delta t) - \vec{r}(t)$。

4）速度：表示位置矢量随时间的变化率，即$\vec{v} = \lim\limits_{\Delta t \to 0}\dfrac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \dfrac{d\vec{r}}{dt}$。

5）加速度：表示速度随时间的变化率，即$\vec{a} = \lim\limits_{\Delta t \to 0}\dfrac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \dfrac{d\vec{v}}{dt} = \dfrac{d^2\vec{r}}{dt^2}$。

6）运动方程积分形式：若质点在力的作用下作匀加速直线运动，假设在$t=0$时刻，质点的位移是$\vec{r}_0$，速度是$\vec{v}_0$，则$t=t$时刻，质点的位移$\vec{r}$和速度$\vec{v}$分别为

$$\vec{v} = \int_0^t \vec{a}dt = \vec{v}_0 + \vec{a}t \quad \vec{r} = \int_0^t \vec{v}dt^2 = \vec{v}_0 t + \frac{1}{2}\vec{a}t^2$$

位移、速度和加速度是运动学中很重要的三个物理量，具有瞬时性、相对性和矢量性特点。所谓瞬时性，是指这三个物理量一般都随时间而变，它们的量值都是某一瞬时的量值；所谓相对性，是指这三个物理量都是相对于我们选定的那一个参照系。对不同参照系可有不同的量值；所谓矢量性，是指这三个物理量都是矢量，必须同时指明它们的大小和方向，必须按照矢量的法则进行计算。

7）牛顿第一定律：任何物体（质点）都有保持其原有的静止或匀速直线运动状态，除非其他物体的作用迫使它改变这种运动状态为止。

8）牛顿第二定律：物体的动量对时间的变化率与它所受的合力$\sum\vec{F}$成正比，并沿合力的方向，即$\sum\vec{F} = \dfrac{d(m\vec{v})}{dt} = m\dfrac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}$。

9）牛顿第三定律：两个物体之间的作用力总是相互的，而且它们大小相等，方向相反，即$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$。

10）惯性系：牛顿运动定律可以适用的参照系。

11）非惯性系：牛顿运动定律不能成立的

参照系。绕一个相对于惯性系固定轴转动的盘是一个非惯性系。随盘转动的小球的惯性力大小为 $F_i = m\dfrac{v^2}{R} = m\omega^2 R$。

12）动量：物体的质量 m 和速度 $\vec{v}$ 的乘积称为物体的动量，即 $\vec{P} = m\vec{v}$。

13）冲量：物体所受合外力对该时间的累积效应，即 $\vec{I} = \int_1^2 \vec{F}\mathrm{d}t$。

14）动量定理：在 Δt 时间内，物体的动量变化量等于该时间内物体所受合外力对时间的累积效应。$\int_1^2 \sum \vec{F}\mathrm{d}t = \int_1^2 \mathrm{d}(m\vec{v}) = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1$。

15）冲力：在物体碰撞和冲击过程中，两物体相互作用的时间很短，作用力迅速达到很大的量值。如果我们知道了物体碰撞过程前后动量的变化量和时间 Δt，就可以算出冲力的平均值 $\bar{F}$，即 $\bar{F} = \dfrac{\int_1^2 \mathrm{d}(mv)}{\int_1^2 \mathrm{d}t} = \dfrac{m_2v_2 - m_1v_1}{\Delta t}$。

16）功：质点从 a 到 b 沿曲线轨道运动，力 $\vec{F}$ 对质点所做的功 $A = \int_{a\to b} |\vec{F}|\cos\theta\,|\mathrm{d}\vec{r}|$。

17）动能：物体的动能与物体的质量 m 和运动速度 $\vec{v}$ 有关，即 $E_k = \dfrac{1}{2}mv^2$。

18）动能定理：外力对物体所做元功 $\mathrm{d}A$ 等于物体的动能改变量 $\mathrm{d}E_k$，即

$$\begin{aligned}\mathrm{d}A &= F_t\mathrm{d}s = ma_t\mathrm{d}s = m\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\mathrm{d}s = mv\mathrm{d}v \\ &= \mathrm{d}\left(\frac{1}{2}mv^2\right) = \mathrm{d}E_k\end{aligned}$$

(2) 刚体的转动规律。

1）刚体：是固体的理想化模型，是指在外力作用下，形状和大小均不会发生变化的物体。

2）角位移：转动平面内任意质点到固定点的矢经在任意时间 t 内所扫过的角度，即 $\Delta\omega$。

3）角速度：描述刚体转动的快慢程度，即 $\omega = \lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta\theta}{\Delta t} = \dfrac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}$。

4）角加速度：描述刚体角速度变化的快慢程度，即 $\alpha = \lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta\omega}{\Delta t} = \dfrac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t} = \dfrac{\mathrm{d}^2\theta}{\mathrm{d}t^2}$。

角位移 θ、角速度 ω 和角加速度 α 是以角度为基础描述刚体转动的物理量，称为角量。刚体作定轴转动时，其中任意各质点的线位移 $\vec{s}$、线速度 $\vec{v}$ 和线加速度 $\vec{a}$ 也是描述刚体转动的物理量，称为线量。线位移 $\vec{s}$ 与角位移 θ 的增量之间的关系有 $\Delta s = r\Delta\theta$；$v = \dfrac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t} = r\dfrac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t} = r\omega$；$a_t = \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = r\dfrac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t} = r\alpha$；$a_n = r\omega^2 = v\omega = \dfrac{v^2}{r}$。

5）力矩：$\vec{F}$ 力对刚体的转动效应，即 $\vec{M} = \vec{R}\times\vec{F}$。

将 $\vec{F}$ 沿平行和垂直于转轴分解为 F_y 和 F_{zx}，只有 F_{zx} 产生对 y 轴的转动效应，即 $M = M_y = F_{zx}d = F_{zx}R\sin\varphi$。

6）转动惯量：刚体转动惯性的度量，即 $I = \sum\limits_{i=1}^{n} m_ir_i^2 = \int r^2\mathrm{d}m$。

7）转动定律：刚体相对于某一定轴所受的合外力矩的大小等于刚体对该定轴的转动惯量与在此合外力矩作用下获得的角加速度的乘积，即

$$\sum_{i=1}^{n} f_ir_i = \left(\sum_{i=1}^{n} m_ir_i^2\right)\alpha = I\alpha$$

8）转动动能：等于组成刚体的各个可视为质点的体积元所具有的动能之和，即 $E_k = \sum\limits_{i=1}^{n}\dfrac{1}{2}m_ir_i^2\omega^2 = \dfrac{1}{2}\left(\sum\limits_{i=1}^{n} m_ir_i^2\right)\omega^2 = \dfrac{1}{2}I\omega^2$，与质点运动动能 $E_k = \dfrac{1}{2}mv^2$ 相比较，可以看出刚体的转动惯量 I 与物体的质量 m 是相对应的。

9）角动量：质点矢经 $\vec{r}$ 与其动量 $m\vec{v}$ 的矢积，即 $\vec{L} = \vec{r}\times m\vec{v}$。

10）冲量矩：刚体所受合外力矩对时间 t 的累积效应，即 $\int_1^2 M\mathrm{d}t$。

11）角动量定理：作定轴转动的刚体所受到的冲量矩等于刚体对该转轴的角动量的增量，即 $M\mathrm{d}t = \mathrm{d}(I\omega) = \mathrm{d}L$；$\int_{t_1}^{t_2} M\mathrm{d}t = \int_{t_1}^{t_2}\mathrm{d}L = L_2 - L_1$。

12）角动量守恒定律：在定轴转动中，如果刚体所受到的外力对转轴产生的合力矩为

零，即 $M=0$；$\frac{dL}{dt}=0$；$L=I\omega=$ 常量。

2. 力的形变效应

（1）基本概念。

1）应力（全应力）：作用与物体内单位面积上的弹性力，即 $\vec{P}=\lim_{\Delta A\to 0}\frac{\Delta F}{\Delta A}$。

2）正应力（张应力）：全应力 $\vec{P}$ 的法向分量 σ。

3）剪应力（切应力）：全应力 $\vec{P}$ 的切向分量 τ。

4）体应力：物体在法向外力 $\vec{F}_n$ 的作用下体积发生变化时对应的应力。

5）应变：在外力的作用下，物体的线度、形状和体积的改变量与其原来的线度、形状和体积之比值。

6）线应变：物体在受到外力的拉或压时发生的长度变化量 Δl 与物体原来的长度 l_0 的比值，即 $\varepsilon=\frac{l-l_0}{l_0}=\frac{\Delta l}{l_0}$。

7）剪应变：物体在剪应力的作用下，上下表面的相对位移为 Δx 与两表面的垂直距离为 d_0 的比值，即 $\gamma=\frac{\Delta x}{d_0}\approx\tan\varphi$。

8）体应变：在法向力的作用下（形状不变），物体体积的增加量 ΔV 与物体体积 V_0 的比值，即 $\theta=\frac{\Delta V}{V_0}$。

9）弹性：在外力除去后物体具有能恢复原来形状的特性。

10）塑性：外力除去后形变不能恢复原来形状的特性。

（2）材料拉伸（压缩）的力学特性：整个拉伸（压缩）过程中应力－应变曲线分四个阶段：①弹性阶段；②屈服阶段；③强化阶段；④颈缩阶段（局部变形阶段）。

1）比例极限 σ_p：弹性阶段内 σ 与 ε 成正比的最高应力值。

2）弹性极限 σ_e：弹性阶段内的最高应力值。

3）屈服极限 σ_s：屈服阶段的最低应力值。

4）强度极限 σ_b：应力－应变曲线中应力最高值。

（3）应力与应变的关系。

在弹性范围内，物体的线应变与所受正应力成正比，即 $\sigma=E\varepsilon$。比例系数 E 称为该物体材料的弹性模量。

当物体受到切应力的作用时（在弹性限度内），切应力与相应的切应变成正比，即 $\tau=G\gamma$。比例系数 G 称为该物体材料的剪切模量。

当物体受到体应力的作用时（在弹性限度内），体应力与相应的体应变成正比，即 $\omega=-K\theta$。比例系数 K 称为该物体材料的体变模量。

（4）变形能：弹性体在外力的作用下产生变形时，其内部将存储弹性势能。伴随弹性变形而存储的弹性势能也称为变形能，即

$$U=w=\int_0^{\Delta L}F_1\cdot d(\Delta L_1)$$

$$=\int_0^{\Delta L}k\Delta L_1\cdot d(\Delta L_1)=\frac{1}{2}k\int_0^{\Delta L}d(\Delta L_1^2)$$

$$=\frac{1}{2}k\Delta L^2=\frac{1}{2}F\cdot\Delta L$$

位能密度（或比能）：单位体积的变形能，即 $u=\frac{U}{LS}=\frac{1}{2}E\frac{\Delta L^2}{L^2}=\frac{1}{2}E\varepsilon^2=\frac{1}{2}\sigma\varepsilon$。

3. 骨和肌肉的力学特性

（1）骨骼的力学特性。

1）骨的功能适应性：骨的形态及骨在人体上的分布与功能相适应，不同形态骨具有不同的力学性质。

2）骨的结构：骨组织是一种特殊的结缔组织，包含骨细胞、骨基质和骨纤维三种成分。成年人骨组织几乎为板层骨，依据骨板的排列方式和空间结构可分为密质骨和松质骨两类。

3）骨小梁：互相交错构成，呈蜂窝网状。骨小梁与力的传递方向一致，能承受较大的压力。

4）长骨的力学性质：长骨是人体骨骼的主要受力部分，有塑性材料的弹性和韧性，又具有脆性材料的强度和硬度。从长骨的形态、结构和载荷作用方式分析其力学性质。

受拉伸与压缩载荷作用时，长骨表现为既抗拉又抗压。

受扭转载荷作用时，长骨横截面上主要是切应力的作用，在截面中心部位切应力最小，

在边缘处切应力最大。

受弯曲载荷作用时，长骨横截面上主要是正应力的作用，在中性层正应力最小，在边缘处正应力最大。

5）骨的应力刺激：一定范围内的应力刺激，会影响骨的组织、结构和形态，从而影响骨的力学性质。

6）拉压时受力分析：拉压载荷施加于长骨两端，大小相等、方向相反。通过受力分析，长骨的任意横截面的内力与外力大小相等。

7）剪切时受力分析：剪切变形是由大小相等，方向相反，作用线垂直于骨骼杆轴且相距很近的一对外力所引起的。受剪骨骼杆件的两部分横截面在外力作用下发生相对错动，这时骨的横截面上存在大小相等、方向相反的切应力。

8）扭转时受力分析：骨骼受到扭转载荷作用时，横截面承受切应力作用。切应力的大小除与扭矩 M 成正比外，还与点到轴线的距离成正比，在轴线处切应力为零，越靠近边缘切应力越大，在边缘处的切应力最大。

9）弯曲时受力分析：当骨骼受到使其轴线发生弯曲的载荷作用时，骨骼会发生弯曲形变。横截面上的应力为正应力，应力的大小与至中性层的距离成正比。

10）复合载荷时受力分析：同时受到两种或两种以上载荷的作用，这种载荷称为复合载荷。股骨头所受的载荷是压缩和弯曲两种复合而成的载荷。

（2）肌肉的力学特性。

1）肌肉的组成：肌肉包括平滑肌、心肌和骨骼肌，包括肌动蛋白、肌浆球蛋白和 ATP 在内的有关肌肉收缩的生物化学机制也大致一样，但结构、功能及力学性质有一定差异。

2）肌纤维：由肌内膜、细胞核、肌浆和肌原纤维所组成。

3）肌原纤维：由许多肌微丝串联并联组成。肌微丝可分为细肌丝（肌动蛋白细丝）和粗肌丝（肌浆球蛋白微丝）两类。

4）肌肉构造的简化模型：把肌肉看成弹性元和收缩元的联合体。

5）并联弹性元：表示在完全松弛后的肌肉力学性质。

6）串联弹性元：表示两种肌丝和横桥的弹性。

7）收缩元：对应于肌原纤维节的另一些局部，肌动蛋白微丝同肌浆球蛋白微丝正好在那里互相覆盖。

8）张力 - 长度曲线：静息时和受激时的肌肉的弹性张力 - 长度关系。

9）肌收缩力学：肌肉收缩时收缩元力学状态的变化叫做激活状态。

10）肌肉张力的大小决定于三个因素：该瞬间肌肉的长度；长度变化的速度；从开始激发时刻起算所经历的时间。

11）肌收缩的功：在等长收缩时没有位移，所以没有做功，功率为零；在异长状态下，功率等于力与肌肉长度改变速度之乘积。

4. 人体关节和腰椎的受力分析

（1）人体关节和腰椎的基本解剖结构和特性。

（2）人体关节的受力分析步骤：确定要研究的对象；了解关节的瞬时旋转中心及肌肉力或外力作用下关节面；明确肌肉作用的起止点，即肌肉作用的大小和方向；建立研究对象力平衡方程和力矩平衡方程；运用牛顿第三定律求研究对象作用与相接触部位的力。

（3）关节和腰椎受力分析。

1）肩关节：手臂受到重力、三角肌的等效张力和肩胛骨对肱骨的支持力（方向通过肩关节转动点）的作用。重力和三角肌的等效张力使手臂处于转动平衡。

2）肘关节：前臂手臂受到重力、肱二肌力（或肱三肌力）和肱骨对尺、桡骨的支持力（方向通过肘关节转动点）的作用。

3）髋关节：单腿站立时，盆骨受到髋外展肌力、除去一条支持腿外身体重力和股骨头对髋骨支持力（方向通过髋关节转动点）的作用。

4）膝关节：双腿弯曲时，股骨受到髌韧带的张力、小腿以上身体重力和胫、腓骨对股骨支持力（方向通过膝关节转动点）的作用。

5）腰椎：当人们弯腰或从地面提取重物时，把脊柱（腰椎和四个胸椎）简化为一个刚体，脊柱受到骶棘肌或骶脊肌的张力、骶骨以上身体重力和骶骨对腰骶椎间盘基底部支持力（方向通过脊柱转动点）的作用。

(4) 临床意义。

1) 半月板损伤：当伸膝最后10°～20°时，胫骨要外旋4°～15°。这种旋转产生在半月板与胫骨之间，是由于外侧半月板随着伸膝而向后滑动，而内侧半月板几乎不动，从而产生胫骨绕其纵轴之旋转。在屈膝有相反的内旋产生。这些综合运动使半月板易受损伤。

2) "馈病"步态：当外展肌受损或麻痹时不能提供平衡肌力时，要减少外展肌力，就必须减小体重(除去支持腿)力臂，也就是说重心尽可能靠向病腿髋关节，这样容易形成"外反股"病态。可借用手杖来减少外展肌力加以避免。

3) 椎间盘脱出症：如果长期弯腰提起重物姿势不正确，使作用在腰骶椎间盘上的力很大，会使椎间盘变得很虚弱，它就会脱出或突出(使纤维环破裂，髓核外流或向椎管突出)，从而压迫脊神经、神经根或关节面，导致疼痛和肌肉痉挛。同时，该力与脊柱轴线方向之间出现夹角，这就使椎间盘除了受正压力外，还出现了切向作用力。

典型例题

例题1-1　想一想 $\frac{dr}{dt}$ 是瞬时速度的大小吗？如果已知质点的运动方程为 $x = x(t)$，$y = y(t)$，能否先用 $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ 求出 r，再根据 $v = \frac{dr}{dt}$ 求得质点的瞬时速度的大小？

解：质点作曲线运动时，位置矢量的大小和方向都在变化。

如图1-1所示。r 是位置矢量 $\vec{r}$ 的大小，$dr = r' - r$。$d\vec{r} = \vec{r}' - \vec{r}$，

其大小为 $|d\vec{r}| = \overline{AB}$。$\frac{dr}{dt}$ 表示位置矢量大小随时间的变化率，瞬时速度的大小 $v = \left|\frac{d\vec{r}}{dt}\right| = \left|\frac{dx}{dt}\vec{i} + \frac{dy}{dt}\vec{j}\right| = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}$，

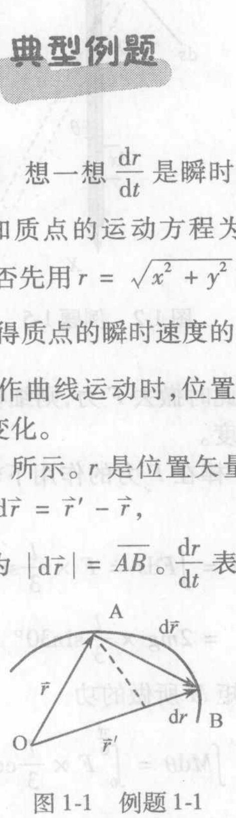


图1-1　例题1-1

故不能写成 $v = \frac{dr}{dt} = \frac{d}{dt}(\sqrt{x^2 + y^2})$。

例题1-2　一质点在 xy 平面上运动，运动方程为 $x = 3t + 5$，$y = \frac{1}{2}t^2 + 3t - 4$。式中 t 以秒计，x, y 以米计。

(1) 以 t 时间为变量，写出质点位置矢量的表达式；

(2) 求出 $t = 1$s 时刻和 $t = 2$s 时刻的位置矢量，计算这一秒内质点的位移；

(3) 求出质点速度分量的表达式，计算 $t = 4$s 时质点速度的大小和方向；

(4) 求出质点加速度分量的表达式，计算 $t = 4$s 时质点加速度的大小和方向。

解：(1) $\vec{r} = (3t + 5)\vec{i} + (\frac{1}{2}t^2 + 3t - 4)\vec{j}$

(2) $\vec{r}_1 = 8\vec{i} - \frac{1}{2}\vec{j}$，$\vec{r}_2 = 11\vec{i} + 4\vec{j}$

$$\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 = 3\vec{i} + \frac{9}{2}\vec{j}$$

(3) $v_x = \frac{dx}{dt} = 3\mathrm{m \cdot s^{-1}}$，$v_y = \frac{dy}{dt} = (t + 3)\mathrm{m \cdot s^{-1}}$

当 $t = 4$s 时，$v_x = 3\mathrm{m \cdot s^{-1}}$，$v_y = 4\mathrm{m \cdot s^{-1}}$

$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = 7.6\mathrm{m \cdot s^{-1}}$，$\theta = \arctan\frac{7}{3} = 66°48'$

(4) $a_x = \frac{dx}{dt} = 0$，$a_y = \frac{dy}{dt} = 1\mathrm{m \cdot s^{-2}}$

$$\vec{a} = 1\vec{j}\mathrm{m \cdot s^{-2}}$$

例题1-3　高空走钢丝演员的体重为50kg，为了安全起见，演员腰上系一根长5.0m的弹性安全带。当演员不慎跌下时，如果弹性缓冲时间为1.0s，那么在缓冲时间内安全带给演员的平均作用力是多少？如果弹性缓冲时间为0.05s，平均作用力又是多少？

解：演员跌下可看成两个过程。

(1) 物体作自由落体运动，初始速度为0。设人下落 $h = 5.0$m 后的速度为 v_0，其量值为 $v_0 = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9.8\mathrm{m \cdot s^{-2}} \times 5.0\mathrm{m}} = 9.9\mathrm{m \cdot s^{-1}}$。

（2）物体由初始动量变为静止，人的初始动量为 mv_0，末动量为零。

设安全带给人的平均作用力为 F，取竖直向上为正，根据动量定理有

$$(F-mg)\Delta t = 0-(-mv_0)$$

当 $\Delta t = 1.0\mathrm{s}$，$F = mg+\dfrac{mv_0}{\Delta t} = 50\mathrm{kg}\times 9.8\mathrm{m\cdot s^{-2}}+\dfrac{50\mathrm{kg}\times 9.9\mathrm{m\cdot s^{-1}}}{1.0\mathrm{s}} = 985\mathrm{N}$

当 $\Delta t = 0.05\mathrm{s}$，$F = mg+\dfrac{mv_0}{\Delta t} = 50\mathrm{kg}\times 9.8\mathrm{m\cdot s^{-2}}+\dfrac{50\mathrm{kg}\times 9.9\mathrm{m\cdot s^{-1}}}{0.05\mathrm{s}} = 1.04\times 10^4\mathrm{N}$

通过对该题的计算，说明缓冲时间对安全带的平均作用力有很大的影响。在日常生活中，常常通过措施延长缓冲时间来减小平均作用力，增加安全性。

例题 1-4 一飞轮的直径为 0.3m，质量为 5kg，边缘绕有绳子。现有恒力拉绳子的一端，使其由静止均匀地加速，经 0.5s 后角速度达到 $10\mathrm{rev\cdot s^{-1}}$。假设飞轮可看做实心圆柱体，求

（1）飞轮的角速度及在这段时间内转过的圈数；

（2）拉力的大小及在这段时间内拉力所做的功；

（3）开始拉动后，$t=10\mathrm{s}$ 时飞轮的角速度及轮缘上一点的速度和加速度。

解：（1）飞轮作匀加速转动，则有 $\omega = \omega_0+\alpha t$，且 $\omega_0 = 0$

当 $t=0.5\mathrm{s}$ 时角速度为 $10\mathrm{rev\cdot s^{-1}}$，则 $\alpha = \dfrac{\omega}{t} = \dfrac{20\pi}{0.5} = 125.6\mathrm{rad\cdot s^{-2}}$

飞轮在 0.5s 内转过的圈数 $N = \dfrac{\theta}{2\pi} = \dfrac{1}{2\pi}\int_0^{0.5}\omega\mathrm{d}t = \dfrac{1}{2\pi}\int_0^{0.5}\alpha t\mathrm{d}t = \dfrac{1}{2\pi}\times\dfrac{1}{2}\alpha(0.5^2-0) = 2.5$

（2）设实心圆柱体的半径为 r（$r=0.15\mathrm{m}$），转动惯量为 $I=\dfrac{1}{2}mr^2$。

由刚体的转动定律 $M = I\alpha$ 可得，$Fr = \dfrac{1}{2}mr^2\alpha$，故

$$F = \frac{1}{2}mr\alpha = \frac{1}{2}\times 5\times 0.15\times 125.6 = 47.1\mathrm{N}$$

这段时间内拉力所做的功

$A = F\cdot 2\pi rN = 47.1\times 6.28\times 0.15\times 2.5 = 111\mathrm{J}$

（3）当 $t=10\mathrm{s}$ 时，飞轮的角速度 $\omega=\alpha t = 125.6\times 10 = 1256\mathrm{rad\cdot s^{-1}}$；轮边缘上一点的速度 $v=\gamma\omega=0.15\times 1256=188.4\mathrm{m\cdot s^{-1}}$；轮边缘一点的切向加速度为 $\alpha t = \alpha\cdot\gamma = 125.6\times 0.15 = 18.84\mathrm{m\cdot s^{-2}}$，法向加速度为 $\alpha_n = \gamma\omega^2 = 0.15\times 1256^2 = 236630\mathrm{m\cdot s^{-2}}$，飞轮边缘一点的加速度为 $\alpha=\sqrt{\alpha_t^2+\alpha_n^2}=2.3\times 10^5$，$\alpha$ 的方向几乎与 α_n 方向相同，指向轮心。

例题 1-5 均质细棒长 l，质量为 m，可绕 O 点（$\overline{OA} = \dfrac{l}{3}$）在竖直平面内转动。恒力 $F=2mg$ 水平作用棒 A 端，使棒由静止转过角度 θ（$\theta=30°$），如图 1-2 所示。求：（1）F 力所做的功；

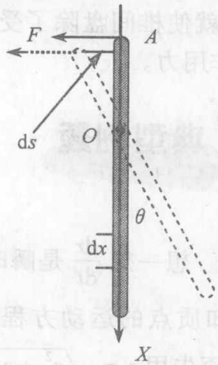


图 1-2 例题 1-5

（2）若此时撤去 F 力，则细棒返回平衡位置时的角速度。

解：（1）棒在 F 力的作用下转过 30°角，F 力所做的功

$$A = \int F\mathrm{d}s = F\times\frac{l}{3}\sin\theta$$

$$= 2mg\times\frac{l}{3}\sin 30° = \frac{1}{3}mgl$$

或者力矩 M 所做的功

$$A = \int M\mathrm{d}\theta = \int_0^{\frac{\pi}{6}} F\times\frac{l}{3}\cos\theta\mathrm{d}\theta$$

$$= \int_0^{\frac{\pi}{6}} \frac{2}{3}mgl\cos\theta \mathrm{d}\theta = \frac{1}{3}mgl$$

(2) 在 F 力的作用下细棒转过 30°，其转动动能为零。撤去 F 力后细棒返回平衡位置，细棒转动动能为零，势能为 $U = A = \frac{1}{3}mgl$。返回平衡位置时转动动能为 $E_k = \frac{1}{2}I\omega^2$，势能为零。根据能量守恒定律，则有

$$U = A = \frac{1}{3}mgl = \frac{1}{2}I\omega^2,\ \omega = \sqrt{\frac{2}{3I}mgl}$$

以 o 点为原点，建立 x 坐标轴。在细棒中任取长度为 $\mathrm{d}x$ 的线段，该线段到 o 点的距离为 x，细棒的线密度为 $\lambda = m/l$，那么线段 $\mathrm{d}x$ 的质量 $\mathrm{d}m = \lambda\mathrm{d}x = \frac{m}{l}\mathrm{d}m$，$\mathrm{d}x$ 线段的转动惯量是 $\mathrm{d}I = x^2\mathrm{d}m$，细棒总的转动惯量为 I。

$$I = \int_{-\frac{l}{3}}^{\frac{2l}{3}} x^2 \frac{m}{l}dx = \frac{m}{3l}\left[\left(\frac{2l}{3}\right)^3 - \left(-\frac{l}{3}\right)^3\right] = \frac{1}{9}ml^2$$

故细棒返回平衡位置时的角速度 $\omega = \sqrt{\frac{6g}{l}}$

例题 1-6 有一铜杆长 2m，横截面积 2.0cm²；另一钢杆长 $l_{钢}$，横截面积 1.0cm²。今将两杆接牢，然后在两杆外端施以大小相等而方向相反的拉力 F，$F = 3\times10^4\mathrm{N}$。已知杨氏模量 $E_{铜} = 1.1\times10^{11}\mathrm{N\cdot m^{-2}}$，$E_{钢} = 2.0\times10^{11}\mathrm{N\cdot m^{-2}}$。问：

(1) 求各杆中的应力是多少？

(2) 求各杆中的应变是多少？

(3) 如果两杆伸长相等，那么钢杆长 l 是多少？

解：(1) 根据应力的定义 $\sigma = \frac{F}{S}$ 可得，

$$\sigma_{铜} = \frac{F}{S_{铜}} = \frac{3\times10^4\mathrm{N}}{2.0\mathrm{cm}^2} = 1.5\times10^8\mathrm{N\cdot m^{-2}}$$

$$\sigma_{钢} = \frac{F}{S_{钢}} = \frac{3\times10^4\mathrm{N}}{1.0\mathrm{cm}^2} = 3.0\times10^8\mathrm{N\cdot m^{-2}}$$

(2) 根据应力与应变的关系 $\sigma = E\varepsilon$ 可得，

$$\varepsilon_{铜} = \frac{\sigma_{铜}}{E_{铜}} = \frac{1.5\times10^8\mathrm{N\cdot m^{-2}}}{1.1\times10^{11}\mathrm{N\cdot m^{-2}}} = 1.36\times10^{-3}$$

$$\varepsilon_{钢} = \frac{\sigma_{钢}}{E_{钢}} = \frac{3.0\times10^8\mathrm{N\cdot m^{-2}}}{2.0\times10^{11}\mathrm{N\cdot m^{-2}}} = 1.50\times10^{-3}$$

(3) 根据应变的定义 $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ 可得，

$$\Delta l_{铜} = \varepsilon_{铜}\, l_{铜},\ \Delta l_{钢} = \varepsilon_{钢}\, l_{钢}$$

因 $\Delta l_{铜} = \Delta l_{钢}$，故有 $\varepsilon_{铜}\, l_{铜} = \varepsilon_{钢}\, l_{钢}$，即

$$l_{钢} = \frac{\varepsilon_{铜}\, l_{铜}}{\varepsilon_{钢}} = \frac{1.36\times10^{-3}\times2\mathrm{m}}{1.5\times10^{-3}} = 1.82\mathrm{m}$$

主干教材习题解答

1-1 回答下列问题

(1) 位移和路程有何区别？

(2) 速度和速率有何区别？

(3) 瞬时速度和平均速度的区别和联系是什么？

(4) 物体能否有一不变的速率而仍有一变化的速度？

(5) 速度为零时，加速度是否一定为零？加速度为零时，速度是否一定为零？

(6) 当物体具有大小、方向不变的加速度时，物体的速度方向能否有改变？

(略)

1-2 有一物体做直线运动，它的运动方程式为 $x = 6t^2 - 2t^3$，x 的单位为 m，t 的单位为 s，试求：(1) 第 2 秒内的平均速度；(2) 第 3 秒末的速度；(3) 第 1 秒末的加速度；(4) 这个物体的运动形式。

解：(1) 物体第 1 秒末的位移 $s_1 = 4\mathrm{m}$，第 2 秒末的位移 $s_2 = 8\mathrm{m}$，则

第 2 秒内的平均速度 $\bar{v}_2 = \frac{s_2 - s_1}{\Delta t_2} = \frac{8-4}{1} = 4\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$

(2) 物体做直线运动，其速度 $v_x = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = 12t - 6t^2$，故

第 3 秒末的速度 $v_3 = 12\times3 - 6\times3^2 = -18\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$（方向与初始方向相反）

(3) 物体做直线运动，其加速度 $a_x = \frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t} = 12 - 12t$，故

第 1 秒末的加速度 $a_1 = 12 - 12\times1 = 0$

(4) 因为物体的加速度随时间变化，所以

物体做变速直线运动。

1-3 如图1-3所示，质量为 m 人站在台秤上，处在有竖直加速度 a 的升降机里，试求台秤所受到的压力。

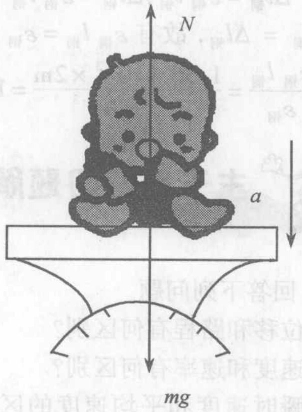


图1-3 主干教材1-3

解:(1) 取人作为研究对象，其在竖直方向受到地球引力 mg 和台秤的支持力 N，产生加速度为 a。

根据牛顿第二定律 $\sum F = am$ 可知，$mg - N = am$，故

$$N = m(g-a)$$

(2) 台秤所受到的压力 N' 与人受到台秤的支持力 N 是一对作用力与反作用力，故台秤所受到的压力 $N' = m(g-a)$，方向竖直向下。

1-4 根据动量原理可知：力的时间过程中的累积效应，引起动量的改为 根据功能原理可知：力的空间累积引起动能的改变。

(1) 如果物体受合外力作用了一段时间(即受到合外力的冲量作用)，动量发生了改变，那么，是否一定会引起物体动能的改变？

(2) 如果物体受合外力作用，并且在力作用的方向上有了位移(即合外力对物体作了功)，使物体的动能发生了变化，是否一定会引起物体动量的改变？

答:(1) 质量为 m 物体受合外力作用了一段时间，其速度由 v 变成 $-v$，动量改变量为 $2mv$，但物体动能仍不变($\frac{1}{2}mv^2$)。

(2) 物体受合外力作用并且在力作用的方向上有了位移，物体的动能发生了变化，说明物体速度的大小发生了改变，故物体动量一定发生改变。

1-5 在生物物理实验中用来分离不同种类的分子的超级离心机的转速是 60×10^4 rev · min^{-1}。在这种离心机的转子内，离轴10cm远的一个大分子的向心加速度是重力加速度的几倍？

解:已知角速度 $\omega = 60\times10^4 \mathrm{rev\cdot min^{-1}} = 2\pi\times10^4 \mathrm{s^{-1}}$，半径 $R = 0.1\mathrm{m}$，$g = 9.8\mathrm{m\cdot s^{-2}}$

根据向心加速度 $a_n = \omega^2 R$ 可知，

大分子的向心加速度 $a_n = (2\pi\times10^4)^2\times0.1 = 39.5\times10^8 \mathrm{m\cdot s^{-2}}$

$$n = \frac{a_n}{g} = \frac{39.4\times10^8}{9.8} = 4\times10^8$$

答:大分子的向心加速度是重力加速度的 4×10^8。

1-6 质量为1kg的球以 $25\mathrm{m\cdot s^{-1}}$ 的速率竖直地落到地板上，以 $10\mathrm{m\cdot s^{-1}}$ 的速率跳回。

试问在球与地板接触时间内作用在球上的冲量多大？设接触时间为0.02s，问作用在地板上的平均力多大？

解:设球竖直向下速度为正，则 $v_1 = 25\mathrm{m\cdot s^{-1}}$，$v_2 = -10\mathrm{m\cdot s^{-1}}$

根据动量原理 $\sum \vec{F}\mathrm{d}t = \mathrm{d}(m\vec{v})$ 可知，球与地板接触时间内作用在球上的冲量等于球的动量改变量，即 $\int_1^2 \sum F\mathrm{d}t = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1 = -875\mathrm{N\cdot s}$；43759.8N

1-7 一半径为1.0m、转速为300rev · min^{-1}的飞轮受制动后均匀减速，50s后停止转动。求：(1) 角加速度；(2) 飞轮转过的圈数；(3) 25s时飞轮的角速度；(4) 25s时轮边一点的速度、切向和法向加速度。

解:已知 $r = 1.0\mathrm{m}$，$\omega_1 = 300\mathrm{rev\cdot min^{-1}} = 10\pi \mathrm{rad\cdot s^{-1}}$，$\omega_2 = 0$，$\Delta t = 50\mathrm{s}$

(1) 飞轮受制动后均匀减速，故角加速度

$$\alpha = \frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\Delta t} = -0.628\mathrm{rad\cdot s^{-2}}$$

(2) 当 $t = 0$ 时，$\omega = \omega_1$，$\theta = 0$，根据 $\alpha = \frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}$ 可得，

$$\omega = \alpha t + \omega_1,\ \theta = \frac{1}{2}\alpha t^2 + \omega_1 t$$

50s 后停止转动飞轮转过的圈数 $= \frac{\theta}{2\pi} = 125\text{rev}$

(3) 25s 时飞轮的角速度 $\omega_{25} = 25\alpha + \omega_1 = 15.7\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$

(4) 25s 时轮边一点的速度 $v = \omega \cdot r = 15.7\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

切向加速度 $a_\tau = \alpha \cdot r = -0.628\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

法向加速度 $a_n = \omega_{25}^2 r = 246\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

1-8 求质量为 m，半径为 R 的均薄圆环的转动惯量，轴与圆环平面垂直并且通过其圆心，如图 1-4 所示。

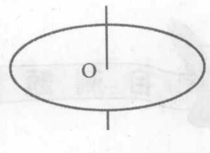


图 1-4　主干教材习题 1-8

解：以圆环圆心为原点建立极坐标，取圆环 dl 的圆弧，则

$$dm = m\frac{dl}{2\pi R}$$

按转动惯量定义，均薄圆环的转动惯量：

$$I = \int r^2\ dm = \int_0^{2\pi R} R^2 m \frac{dl}{2\pi R}$$

$$= \frac{mR}{2\pi}\int_0^{2\pi R} dl = mR^2$$

1-9 质量为 m_1、半径为 R 的水平圆盘可绕过圆心且垂直盘面的竖直轴转动，盘原来静止并站着一个质量为 m_2 的人，人距盘轴为 r $(r<R)$，当人以相对于盘的速率 v 沿切向走动时，圆盘的角速度多大？

解：设圆盘角速度为 ω，则人切向走动的速率为 $(v-\omega r)$，角速度为 $(\frac{v}{r}-\omega)$。

按转动惯量定义，圆盘的转动惯量 $I_1 = \frac{m_1}{2}R^2$

人走动的转动惯量 $I_2 = m_2 r^2$

根据角动量守恒定律，有

$$I_1\omega + I_2(\frac{v}{r}-\omega) = 0$$

将 I_1、I_2 代入上式，$\frac{m_1}{2}R^2\omega + m_2 r^2(\frac{v}{r}-\omega) = 0$

$$\omega = \frac{-2m_2 rv}{m_1 R^2 - 2m_2 r^2}$$

1-10 试说明下列各物理量的定义、单位以及它们之间的关系。

(1) 拉伸应变、拉伸应力、杨氏模量。

(2) 剪应变、剪应力、切变模量。

(3) 体变模量、压缩率。

答案：略

1-11 如果某人的一条腿骨长 0.6m，平均横截面积为 3cm²。站立时，两腿支持整个人体重为 800N，问此人每条腿骨要缩短多少？已知骨的杨氏模量为 $10^{10}\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$。

解：已知 $l_0 = 0.6\text{m}$，$s = 3\text{cm}^2 = 3 \times 10^{-4}\text{m}^2$，$F = 800\text{N}$，$E = 10^{10}\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$

设单条腿骨缩短 Δl，则其应变 $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$，单条腿骨承载的应力 $\sigma = \frac{F/2}{s}$。

因腿骨发生弹性变形，根据 $\sigma = E\varepsilon$，有 $\frac{F/2}{s} = E\frac{\Delta l}{l_0}$。

代入 F、s、l_0 和 E 的数据，得 $\Delta l = 8 \times 10^{-5}\text{m}$。

1-12 松弛的二头肌。伸长 5cm 时所需要的力为 25N，而当这条肌肉处于紧张状态时，产生同样伸长量则需要 500N 的力，如将此肌肉看成是一条长 0.2m，横断面积为 50cm² 的圆柱体，求上述两种状态的弹性模量。

解：松弛状态下，已知肌肉力 $F_1 = 25\text{N}$，肌肉横断面积 $s = 50\text{cm}^2$，

肌肉长度 $l_0 = 0.2\text{m}$，伸长量 $\Delta l_1 = 0.5\text{cm}$。

根据应变、应力的定义，$\varepsilon_1 = \frac{5\text{cm}}{0.2\text{m}} = 0.25$

$$\sigma_1 = \frac{F_1}{s} = \frac{25\text{N}}{50\text{cm}^2} = 5 \times 10^4\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$$

根据 $\sigma = E\varepsilon$ 得，弹性模量 $E_1 = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_1} = \frac{5 \times 10^3\text{N} \cdot \text{m}^{-1}}{0.25} = 2 \times 10^4\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$

收缩状态下，肌肉力 $F_2 = 500\text{N}$，肌肉横断面积、长度以及伸长量相同。

同理，$\varepsilon_1 = 0.25$，$\sigma_2 = 10^5\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$

$$E_2 = \frac{\sigma_2}{\varepsilon_2} = \frac{10^4 \mathrm{N \cdot m^{-1}}}{0.25} = 4 \times 10^5 \mathrm{N \cdot m^{-2}}$$

1-13 边长为0.2m的立方体的两个相对面上，各施以9.8×10^2N的切向力，它们大小相等、方向相反，施力后两个相对面的相对位移为0.0001m，求：(1) 此物体的切变模量；(2) 物体的形变势能密度；(3) 形变势能。

解：(1) 已知 $l_0 = 0.2\mathrm{m}$, $\Delta x_0 = 0.0001\mathrm{m}$, $F = 9.8 \times 10^2 \mathrm{N}$

切应力 $\tau = \dfrac{F}{l_0^2} = 2.45 \times 10^4 \mathrm{N \cdot m^{-2}}$，切应变 $\gamma = \dfrac{\Delta x_0}{l_0} = 5 \times 10^{-4}$

物体的切变模量 $G = \dfrac{\tau}{\gamma} = 4.9 \times 10^7 \mathrm{N \cdot m^{-2}}$

(2) 物体的形变势能密度 $u = \dfrac{U}{l_0^3} = \dfrac{1}{2}G\left(\dfrac{\Delta x_0}{l_0}\right)^2 = 6.1\mathrm{J \cdot m^{-3}}$

(3) 设物体在切向力 F 的作用下相对位移元 $\mathrm{d}x$，则外力做微功为 $\mathrm{d}A$，于是

$$A = \int_0^{\Delta x_0} F \mathrm{d}x$$

因 $\dfrac{F}{l_0^2} = G\dfrac{x}{l_0}$，将 F 代入上式，$R_y = 205\mathrm{N}$

切向力做功 A 等于物体变形势能 U，于是

$$U = \frac{1}{2}G l_0 \Delta x_0^2 = 4.9 \times 10^{-2}\mathrm{J}$$

1-14 借助三角肌的作用，人能把手臂平伸出去，其受力图如图1-5所示。若已知$\alpha = 16°$，臂的重力$W_1 = 70\mathrm{N}$，手内物体的重力$W_2 = 45\mathrm{N}$，求三角肌的等效张力T及肩胛骨作用于肱骨的水平分力和垂直分力。

解：取手臂及手内物体为研究对象，确定肩关节处A点为转动固定点。

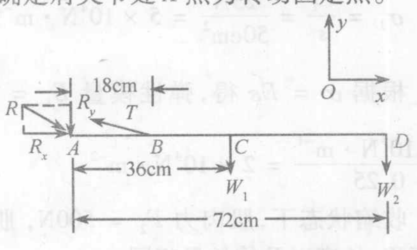


图1-5 主干教材习题1-14

分析研究对象受力情况：臂的重力$W_1 = 70\mathrm{N}$，

手内物体的重力$W_2 = 45\mathrm{N}$，三角肌的等效张力T，

肩胛骨作用于肱骨力R(方向通过A点)。

设力R水平分量和垂直分量分别为R_x和R_y，建立力平衡方程和力矩平衡方程：

$$R_x - T\cos\alpha = 0$$
$$T\sin\alpha - W_1 - W_2 - R_y = 0$$
$$T\sin\alpha \cdot AB - W_1 \cdot AC - W_2 \cdot AD = 0$$

解方程得：$T = 1161\mathrm{N}$, $R_x = 1116\mathrm{N}$, $R_y = 205\mathrm{N}$

自测题

一、选择题

A型题

1-1 下列说法正确的是

A. 加速度恒定不变时，物体的运动方向也不变

B. 平均速率等于平均速度的大小

C. 质点作曲线运动时，质点速度大小的变化产生切向加速度，速度方向的变化产生法向加速度

D. 当物体的速度为零时，加速度必定为零

1-2 一运动质点在某瞬时位于$\vec{r}(x,y)$矢经的端点处，其速度的大小为

A. $\dfrac{\mathrm{d}\vec{r}}{\mathrm{d}t}$ B. $\dfrac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}$

C. $\dfrac{\mathrm{d}|\vec{r}|}{\mathrm{d}t}$ D. $\sqrt{\left(\dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\right)^2 + \left(\dfrac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\right)^2}$

1-3 质量为m的小球，刚好能在半径为R的竖制直光滑圆环轨道内作圆周运动。则小球在轨道最低点时对轨道的压力为

A. $3mg$ B. $4mg$

C. $5mg$ D. $6mg$

1-4 用细绳系一小球使之在竖直平面内作圆周运动，则

A. 小球在任意位置都有切向加速度

B. 小球在任意位置都有法向加速度

C. 小球在任意位置绳子的拉力和重力是惯性离心力的反作用

D. 当小球运动到最高点时，它将受到重力、绳的拉力和向心力的作用

1-5 一力学系统由两个质点组成，它们之间只有引力作用。若两个质点所受外力的矢量和为零，则此系统

A. 动量、机械能以及对一轴的角动量守恒

B. 动量、机械能守恒，但角动量是否守恒不能断定

C. 动量守恒，但机械能和角动量守恒与否不能断定

D. 动量和角动量守恒，但机械能是否守恒不能断定

1-6 质量为 m 和 $4m$ 的两个质点，分别以 E 和 $4E$ 的动能沿一直线相向运动，它们的总动量为

A. $2\sqrt{2mE}$　　B. $3\sqrt{2mE}$

C. $5\sqrt{2mE}$　　D. $(2\sqrt{2}-1)\sqrt{2mE}$

1-7 下列物体哪些是刚体

A. 固体　　B. 液体

C. 气体　　D. 都不是

1-8 刚体的转动惯量与下列哪些因素无关

A. 刚体的质量　　B. 刚体所受的力

C. 刚体转轴的位置　　D. 刚体质量分布情况

1-9 定轴转动的物体，转动动能一定时

A. 转动惯量与角速度成正比关系

B. 转动惯量与角速度成反比关系

C. 转动惯量与角速度的平方成正比关系

D. 转动惯量与角速度的平方成反比关系

1-10 两物体的转动惯量 $I_1 = I_2$，当其转动角度速度 $\omega_1:\omega_2 = 2:1$ 时，两物体的转动动能 $(E_1:E_2)$ 之比为

A. 4∶1　　B. 2∶1

C. $\sqrt{2}$∶1　　D. 1∶$\sqrt{2}$

1-11 质量完全相同的两个细棒，第一根轴过垂直中心，第二根轴在一端与棒长垂直，其两都转动惯量之比等于

A. 1∶4　　B. 1∶2

C. 1∶1　　D. 2∶1

1-12 长为 l_0 的金属丝受力作用时长度变为 l，此时金属丝的线应变为

A. $\dfrac{l_0}{l}$　　B. $\dfrac{l-l_0}{l_0}$

C. $\dfrac{l-l_0}{l}$　　D. $\dfrac{l_0-l}{l_0}$

1-13 边长为 l_0 的正方形物块在切应力作用下，在受力作用的面上各偏移 Δl，那么此物块的切应变为

A. $\dfrac{2\Delta l}{l_0}$　　B. $\dfrac{\Delta l}{l_0}$

C. $\dfrac{\Delta l}{2l_0}$　　D. $\tan\dfrac{\Delta l}{l_0}$

1-14 应力是

A. 作用在某物体两端上的力

B. 作用在物体中点上的力

C. 作用在物体任意一个截面上的力

D. 作用在物体上任一单位截面积上的力

1-15 在各种应变中应力的方向

A. 一定是和截面垂直

B. 一定是和截面平行

C. 两者都对

D. 两者都不对

1-16 把一块不锈钢放在静止的深水中，它所受到的应力是

A. 线应力　　B. 压应力

C. 切应力　　D. 三者都有

1-17 不太长的时间间隔重复地拉伸肌肉，肌肉长度的增加量跟单次拉伸相比

A. 要长　　B. 要短

C. 相等　　D. 不确定

二、填空题

1-1 力是物体对物体的作用，也是物体______和______发生变化的因素。物体的这些变化称为力的______和______效应。

1-2 质点是一个理想模型，是忽略物体的______和______，把它看成一个具有它的______的几何点，是实际物体有条件的、合理的抽象映像。

1-3 一质点在 $x = 10\mathrm{m}$ 处有静止开始沿 ox 轴正方向运动，它的加速度 $a = 6t$，以 $\mathrm{m\cdot s^{-2}}$ 为单位，经过5s后它在 $x =$ ______ 处。

1-4 物体的______等于物体所受合外力对时间的累积效应；物体的动能变化量等于物体所受合外力对______的累积效应。

1-5 小口径步枪每秒打出10发质量为

0.002kg 的子弹，子弹速率为 $500\mathrm{m\cdot s^{-1}}$。子弹射出后被一刚性墙挡住（忽略空气阻力）。每一子弹的动量 $P=$________，子弹对墙的平均冲力 $F=$________。

1-6 一倔强系数为 K 的轻弹簧，两端系着质量分别为 m_1、m_2 的木块，再用一根细绳从处悬挂起来。如突然剪断悬线，在此瞬时 m_1 的加速度 $a_1=$________，m_2 的加速度 $a_2=$________，m_1 和 m_2 组成的系统质心的加速度 $a_c=$________。

1-7 一个物体在任何力的作用下它的各个部分之间的________保持不变，或者它的________和________都不发生变化，这样的物体就叫________。

1-8 一质量 $m=2200\mathrm{kg}$ 的汽车以 $v=60\mathrm{km\cdot h^{-1}}$ 的速度沿一平直公路行驶。则汽车公路一侧距公路 $d=50\mathrm{m}$ 的一点的角动量 $L_1=$________；对公路上任一点的角动量 $L_2=$________。

1-9 一个以恒定角加速度转动的圆盘在某一时刻的角速度为 $\omega_1=20\pi\mathrm{rad\cdot s^{-1}}$，再转60转后角速度 $\omega_2=30\pi\mathrm{rad\cdot s^{-1}}$，则角加速度 $\alpha=$________，转过上述60转所需的时间 $\Delta t=$________。

1-10 人体处于腾空状态时，由于不受外力矩作用，人体活动服从________守恒定律。当人体某一环节转动时所产生的角动量必然被另一环节产生的________角动量所抵消。

1-11 弹性是指物体在引起形变的外力除去以后能________原来形状和大小的性质；刚度是指物体________的能力。

1-12 在剪切弯曲中，横截面 m－m 上不同点处主应力的大小不同，方向也不同。上下边缘处其受力是________状态；中性轴上正应力等于________。

1-13 从高处跳下，人体关节在落地缓冲过程中活动（弯屈）的时间顺序是________、________和________（髋关节、膝关节、踝关节）。

1-14 骨的受力骨是人体内最主要的承载组织，骨骼的变形、损伤或破坏与受力的方式有关。人体骨骼受力的四种基本形式，________、________、________和________。

1-15 肌原纤维由许多肌微丝串联并联组成，这些肌微丝可分为细肌丝（________）和粗肌丝（________）两类。

1-16 如果经过不太长的时间间隔重复地拉伸肌肉，肌肉的长度的增加量要比单次拉伸要________（多或少）。

1-17 椎间盘看做一块充有胶质弹性流体的橡皮袋。在正常情况下，它不仅能均匀地传递椎体之间的压强，而且可以承受较大的________，吸收________，减缓________，保护椎体。

三、简答题

1-1 物体能否有一不变的速率而仍有一变化的速度？

1-2 当升降机以加速度 a 上升时，在升降机内用弹簧秤和用等臂天平称同一物体，结果是否一样？为什么？

1-3 人从大船上容易跳上岸，而从小船上则不容易跳上岸，这是为什么？

1-4 转动惯量的物理意义是什么？它由哪些因素决定？

1-5 作圆周运动的质点，对于圆周上某一定点，它的角动量是否守恒？

1-6 两个质量相同的小球以相同的速率沿同一圆形轨道运动，两球绕行方向相反。由于发生碰撞合为一体而静止。问这一现象和角动量守恒是否矛盾？

1-7 平行于 Z 轴的力对 Z 轴的力矩一定为零，垂直于 Z 轴的力对 Z 轴的力矩一定不为零。上述两种说法都对吗？

1-8 一个系统的动量守恒和角动量守恒的条件有何不同？

1-9 弹性材料拉伸过程中有哪四个阶段？

1-10 弹性材料在应力作用下发生线应变，其位能密度与应力的平方或者应变的平方成正比，对吗？为什么？

1-11 骨松质结构的力学性质表现在哪些方面？

1-12 动物骨头有些是空心的，从力学角度来看它有什么意义？

1-13 骨的应力刺激的临床意义有哪些？

1-14 长骨受到扭转力矩作用时其横截面的应力分布如何？