



东方教育

EAST EDUCATION

普通高等教育“十五”国家级规划教材经典同步辅导丛书

理论力学 (II)

第六版

同步辅导及习题全解

普通高等教育国家规划教材研究中心

东方教育教材研发中心

赠学习卡
附名校真题



新 华 出 版 社

普通高等教育“十五”国家级规划教材经典同步辅导丛书

理论力学(Ⅱ)

第六版

同步辅导及习题全解

普通高等教育国家规划教材研究中心
东方教育教材研发中心

新 华 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

理论力学同步辅导及习题全解/王飞编著.

北京:新华出版社,2006.3

ISBN 7-5011-7395-8

I.理… II.王 … III.理论力学—高等学校—教学参考资料

IV.031

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 005303 号

东方教育教材研发中心
经典同步辅导丛书编委会

主 任：	清华大学	王 飞
副 主 任：	清华大学	夏应龙
	清华大学	聂飞平

编 委(按姓氏笔画排序)：

于志慧	王 焯	甘 露	朱凤琴
刘胜志	刘淑红	师文玉	吕现杰
李晓炜	李炳颖	李 冰	李燕平
李 波	李凤军	李雅平	李晓光
宋之来	宋婷婷	宋 猛	张 慧
张守臣	张旭东	张国良	张鹏林
周海燕	孟庆芬	韩艳美	韩国生

前言 / Preface



《理论力学》是现代理工院校本科教学中一门重要的基础课,是学习工程技术的基础。哈尔滨工业大学理论力学教研室编写的《理论力学》(第六版)以体系完整、结构严谨、层次清晰、深入浅出的特点成为这门课程的经典教材,被全国许多院校采用。为了帮助读者更好地学好这门课程,掌握更多知识,我们根据多年的教学经验编写了这本与此教材配套的《理论力学同步辅导及习题全解》。本书旨在使广大读者理解基本概念,掌握基本知识,学会基本解题方法与解题技巧,提高应试能力。

本书作为一种辅助性的教材,具有较强的针对性、启发性、指导性和补充性的特点。考虑到读者的不同情况,我们在内容上做了以下安排:

1. 学习要求:根据考试大纲的要求,总结各章重要知识点。
2. 知识网络图:以图表的形式贯穿各章知识网络,提纲挈领,统领全章,使知识体系更加系统化。
3. 内容概要:串讲概念,总结性质和定理,知识全面系统。
4. 典型题型与解题技巧:精选各类题型,涵盖本章所有重要知识点,对题目进行深入、详细的讨论与分析,并引导学生思考问题,能够举一反三,拓展思路。
5. 考研真题链接:精选历年考研真题进行深入的讲解。

6. 同步自测:根据各章的学习要求,精选了适量的自测题目,并附有答案。读者可以通过这些自测题目进一步掌握本章的内容要领,巩固和加深对本章知识的理解,增强解决问题的能力,并检查自己对所学知识的掌握程度。

7. 课后习题全解:本书给出了哈尔滨工业大学理论力学教研室编写的《理论力学》(第六版)各章习题的答案。我们不仅给出了详细的解题过程,而且还对解题思路或方法做了简要的说明。

编写本书时,依据大学本科现行教材及教学大纲的要求,参考了清华大学、北京大学、同济大学、哈尔滨工业大学、复旦大学等高等院校的教材,并结合教学大纲的要求进行编写。

我们衷心希望本书提供的内容能够对读者在掌握课程内容、提高解题能力上有所帮助。同时,由于编者的水平有限,本书难免出现不妥之处,恳请广大读者批评指正。

东方教育教材研发中心

目 录 / Contents



第一章 非惯性系中的质点动力学

- 1 学习要求
- 2 知识网络图
- 2 内容概要
- 3 典型题型与解题技巧
- 5 课后习题全解



第二章 碰撞

- 17 学习要求
- 18 知识网络图
- 18 内容概要
- 21 典型题型与解题技巧
- 26 考研真题链接
- 29 同步自测
- 30 同步自测答案及解析
- 30 课后习题全解



第三章 分析力学基础

- 45 学习要求
- 46 知识网络图
- 47 内容概要

49	典型题型与解题技巧
58	考研真题链接
64	同步自测
67	同步自测答案及解析
69	课后习题全解

第四章 机械振动基础

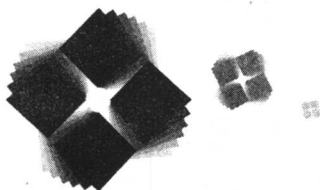
85	学习要求
86	知识网络图
87	内容概要
89	典型题型与解题技巧
97	考研真题链接
99	同步自测
100	同步自测答案及解析
100	课后习题全解

第五章 刚体定点运动、自由刚体运动、刚体运动的合成、陀螺仪近似理论

132	学习要求
133	知识网络图
133	内容概要
135	典型题型与解题技巧
142	考研真题链接
149	同步自测
150	同步自测答案及解析
151	课后习题全解

第六章 变质量动力学

168	学习要求
169	知识网络图
169	内容概要
170	典型题型与解题技巧
173	课后习题全解



第一章

非惯性系中的 质点动力学

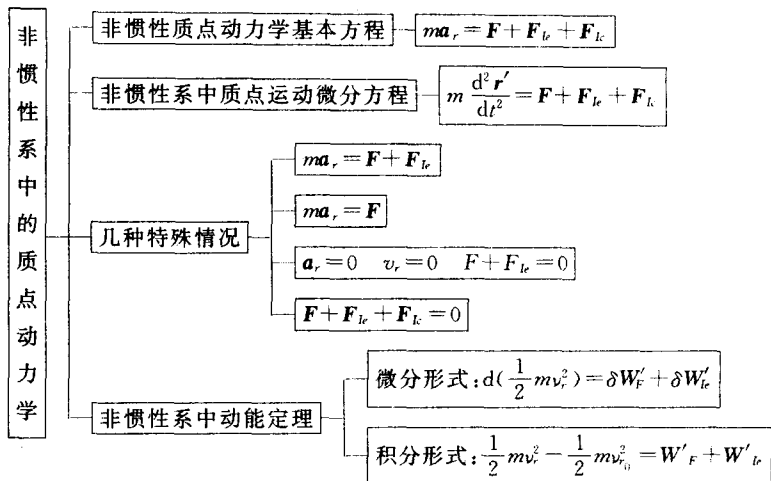
学习要求

本章主要研究速度远小于光速的宏观物体的机械运动,建立非惯性系中的质点动力学基本方程及动能定理。

学习目的

1. 正确分析质点复合运动,并附加相应的牵连惯性力和科氏惯性力。
2. 会求质点对于非惯性坐标系的相对运动规律。
3. 掌握非惯性系中质点动能定理。

知识网络图



内容概要

1. 非惯性系中的质点动力学基本方程

$$ma_r = F + F_{le} + F_{lk} \quad (1-1)$$

其中, a_r 为相对加速度, F 为作用于质点上的力, $F_{le} = -ma_e$ 为牵连惯性力, $F_{lk} = -ma_k$ 为科氏惯性力。式(1-1)是质点相对运动的动力学基本方程。

式(1-1)的几种特殊情况:

- ① 动参考系相对于定参考系作平移时。因为科氏加速度 $a_k = 0$, 所以 $F_{lk} = 0$ 。

式(1-1)可写为

$$ma_r = F + F_{le} \quad (1-2)$$

- ② 动参考系相对于定参考系作匀速直线平移时。因为牵连加速度 $a_e = 0$, 科氏加速度 $a_k = 0$, 所以 $F_{le} = 0, F_{lk} = 0$, 式(1-1)可写为

$$ma_r = F \quad (1-3)$$

第一章 非惯性系中的质点动力学

- ③ 质点相对动参考系作等速直线运动时。因为相对加速度 $a_r = 0$, 但是相对速度 $v_r \neq 0$, 从而科氏加速度 $a_k \neq 0$, 所以式(1-1)可写为

$$\mathbf{F} + \mathbf{F}_{lc} + \mathbf{F}_k = 0 \quad (1-4)$$

- ④ 当质点相对于动参考系静止时。因为相对速度 $v_r = 0$ 和相对加速度 $a_r = 0$, 所以 $F_k = 0$, 式(1-1)可写为:

$$\mathbf{F} + \mathbf{F}_{lc} = 0 \quad (1-5)$$

2. 非惯性系中质点的动能定理

质点在非惯性系中相对动能的增量, 等于作用在质点上的力与牵连惯性力在相对运动中所做元功之和:

$$d\left(\frac{1}{2}mv_r^2\right) = \delta W'_F + \delta W'_{lc}$$

质点在非惯性参考系中相对动能的变化, 等于作用在质点上的力与牵连惯性力在相对路程上所做功之和:

$$\frac{1}{2}mv_r^2 - \frac{1}{2}mv_{r_0}^2 = W'_F + W'_{lc}$$

3. 质点相对非惯性系问题的处理

质点相对非惯性系问题的处理, 只要加上相应的牵连惯性力 $\mathbf{F}_c = -m\mathbf{a}_c$ 和科氏惯性力 $\mathbf{F}_k = -m\mathbf{a}_k$, 就与质点在惯性系中的处理一样, $m \frac{d^2 \mathbf{r}'}{dt^2} = \mathbf{F} + \mathbf{F}_c + \mathbf{F}_k$

相对非惯性系而言, 牵连惯性力与科氏惯性力不仅有力的量纲, 而且对所作用的物体存在真实的效应。另一方面, 这种惯性力与一般力的不同之处在于, 只有受力体, 而没有施力体。

典型题型与解题技巧

- 【例 1】** 设飞机爬高时以匀加速度 a 作直线平动, 与水平面成仰角 β , 如图 1-1(a) 所示。已知挂在飞机上的单摆的悬线与铅垂线的偏角是 α , 摆锤重 G , 试求此时飞机的加速度 a 和悬线的拉力 T 。

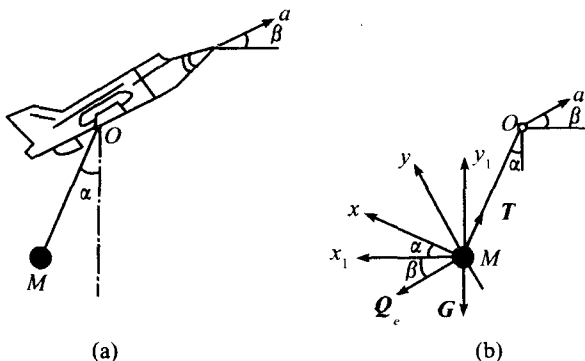


图 1-1

解题分析 本题是质点相对运动动力学的相对静止问题。取动坐标系 Mx_1y_1 随飞机作平动, 且单摆处于相对静止状态。摆锤所受重力 G , 约束力 T 和摆锤的牵连惯性力 Q_c 。如图 1-1(b) 所示, 科氏惯性力 $Q_c = 0$ 。

解题过程
$$Q_c = -Ga/g \quad (1)$$

由相对静止的动力学方程, 得

$$0 = G + T + Q_c \quad (2)$$

为了求加速度 a , 可把式(2)投影到与未知力 T 相垂直的轴 x 上, 得

$$0 = -G\sin\alpha + Ga\cos(\alpha + \beta)/g \quad (3)$$

为了求拉力 T , 可把式(2)投影到与牵连惯性力 Q_c 相垂直的轴 y 上, 得

$$0 = -G\cos\beta + T\cos(\alpha + \beta) \quad (4)$$

由式(3), 得飞机的加速度

$$a = \frac{\sin\alpha}{\cos(\alpha + \beta)}g$$

由式(4), 得悬线的拉力

$$T = \frac{\cos\beta}{\cos(\alpha + \beta)}G$$

【例 2】 如图 1-2(a), 一根与铅垂轴成夹角 θ 的光滑直管, 以匀角速

第一章 非惯性系中的质点动力学

度 ω 绕该铅垂轴转动, 求管内质点相对于管的运动微分方程。

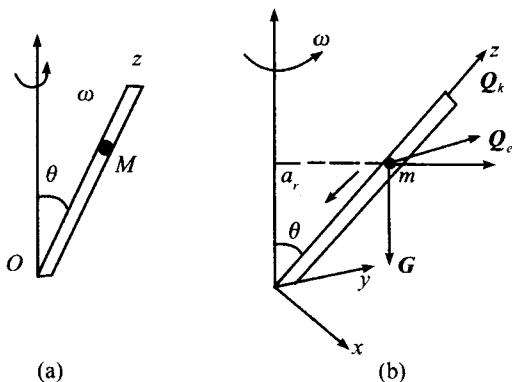


图 1-2

解题分析 本题考察的是非惯性系中质点运动微分方程。

解题过程 建立图示坐标系, y 向里面, 如图 1-2(b) 示。

$$ma_r = F + Q_c + Q_k$$

$Q_c = ma_c = -m\omega^2 z \sin\theta$, $Q_k = 2m\omega v_r \sin\theta$, Q_k 的方向为 y 的正向

$$a_r = -\ddot{z}, N_z = 0$$

投影到 z 向, 得微分方程为

$$\ddot{z} - \omega^2 \sin^2 \theta \cdot z + g \cos \theta = 0$$

课后习题全解

1-1 图 1-3 所示单摆 AB 长 l , 已知点 A 在固定点 O 的附近沿水平作微幅谐振动: $OO_1 = a \sin pt$, 其中 a 与 p 为常数。设初瞬时摆静止, 求摆的相对运动规律。

解 建立随点 A 平动的坐标系, 科氏惯性力

$$F_k = -ma p^2 \sin pt$$

质点 B 运动微分方程沿 ξ 方向投影为

$$ma_t = -F_k \cos \varphi - mg \sin \varphi$$

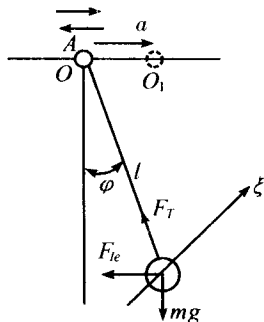


图 1-3

$$\text{即 } m\ddot{\varphi}l = ma\dot{p}^2 \sin pt \cdot \cos\varphi - mg\sin\varphi$$

$$\text{其中 } \sin\varphi \approx \varphi, \cos\varphi \approx 1$$

$$\text{所以 } m\ddot{\varphi}l = ma\dot{p}^2 \sin pt - mg\varphi$$

$$\text{化简得 } \ddot{\varphi} + \frac{g}{l}\varphi = \frac{a\dot{p}^2}{l} \sin pt$$

$$\text{初始条件为, } t=0, \varphi=0, \dot{\varphi}=0$$

$$\text{积分得 } \varphi = \frac{a\dot{p}^2}{l(\omega^2 - p^2)} (\sin pt - \frac{p}{\omega} \sin \omega t), \omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

- 1-2 三棱柱 A 沿三棱柱 B 的光滑斜面滑动,如图 1-4 所示。三棱柱 A 和三棱柱 B 的质量分别为 m_1 与 m_2 ,三棱柱 B 的斜面与水平面成 θ 角,如开始时物系静止,求运动时三棱柱 B 的加速度。摩擦略去不计。

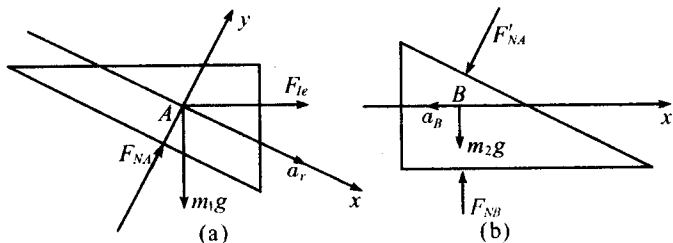


图 1-4

解 以 A 为研究对象,列运动微分方程,

$$y: 0 = F_{NA} + F_{le} \sin \theta - m_1 g \cos \theta$$

其中 $F_{le} = m_1 a_B$

以 B 为研究对象, 列运动微分方程,

$$x: -m_2 a_B = -F'_{NA} \sin \theta$$

联立解得 $a_B = \frac{m_1 g \sin \theta \cos \theta}{m_1 \sin^2 \theta + m_2}$

- 1-3 图 1-5 所示一重物 M 放在粗糙的水平平台上, 平台绕铅直轴以匀角速度 ω 转动, 重物与平台间摩擦因数为 f , 试求重物能在平台上保持相对静止时的位置。

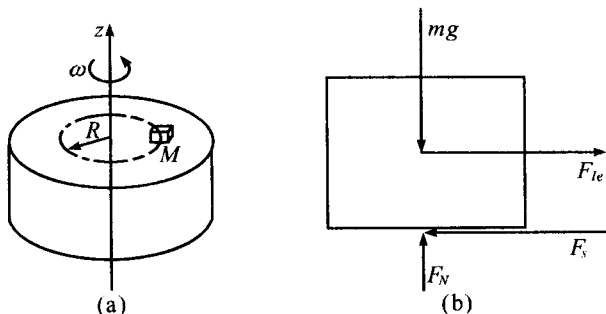


图 1-5

解 坐标系随平台作定轴转动,

$$F_{le} = m\omega^2 R$$

列平衡方程,

$$\sum F_x = 0, F_{le} - F_s = 0$$

$$\sum F_y = 0, F_N - mg = 0$$

解出 F_s 和 F_N 代 $F_s \leq f \cdot F_N$ 得

$$R \leq \frac{f g}{\omega^2}$$

- 1-4 质点 M 的质量为 m , 被限制在旋转容器内沿光滑的经线 AOB 运动, 如图 1-6 所示。旋转容器绕其几何轴 Oz 以角速度 ω 匀速转动。求质点 M 相对静止时的位置。

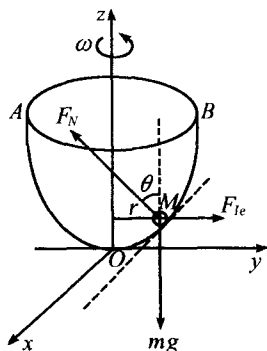


图 1-6

解 以 M 为研究对象, 列平衡方程,

$$(1) \sum F_y = 0, F_{le} - F_N \sin \theta = 0$$

$$(2) \sum F_z = 0, F_N \cos \theta - mg = 0$$

其中 $F_{le} = m\omega^2 r$

联立解得 $\tan \theta = \frac{\omega^2 r}{g}$

- 1-5 图 1-7 示一离心分离机, 鼓室半径为 R 、高 h , 以匀角速 ω 绕 Oy 轴转动。当鼓室无盖时, 为使被分离的液体不致溢出。求: (1) 鼓室旋转时, 在 Oxy 平面内液面所形成的曲线形状; (2) 注入液体的最大高度 h' 。

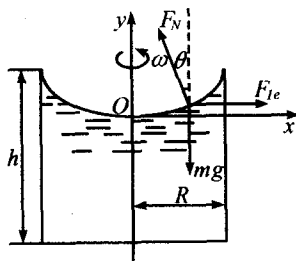


图 1-7

解 如图 1-7 所示, 由受力分析,