



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

新华出版社

# 理论力学(Ⅱ)

第六版

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,2006.2

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

## 理论力学同步辅导及习题全解(Ⅱ)

---

责任编辑: 丁慧

装帧设计: 东方教育视觉艺术中心

责任校对: 王立

出版发行: 新华出版社

地 址: 北京石景山区京原路 8 号

网 址: <http://www.xinhupub.com>

邮 编: 100043

经 销: 新华书店

印 刷: 北京市昌平百善印刷厂

开 本: 850mm×1168mm 1/32

印 张: 27.75

字 数: 480 千字

版 次: 2006 年 8 月第 1 版第 3 次印刷

书 号: ISBN 7-5011-7395-8

定 价(Ⅰ、Ⅱ): 29.00 元

**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》是现代理工科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    |

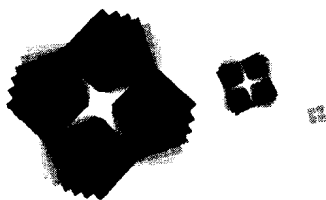
## 第五章 刚体定点运动、自由刚体运动、刚体运动的合成、陀螺仪近似理论

|     |           |
|-----|-----------|
| 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    |
|     |                     |           |
| 181 | 理论力学清华大学 2005 年期末真题 |           |
| 190 | 理论力学期末模拟试题          |           |

### 第一章



# 非惯性系中的 质点动力学

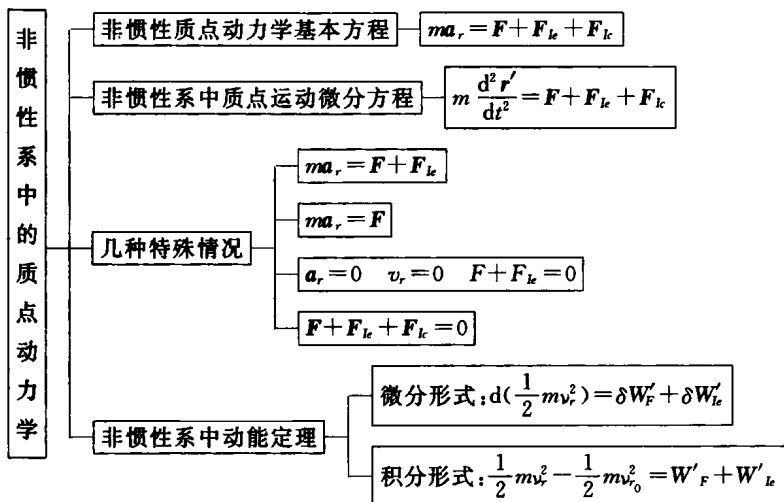
### 学习要求

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

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

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,  $F_{lc} = -ma_k$  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  $F_{lc} = 0$ 。

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  $F_{le} = 0, F_{lc} = 0$ , 式(1-1)可写为

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

- 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

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

- 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:

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

## 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:

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

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:

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

## 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  $F_e = -ma_e$  和科氏惯性力  $F_k = -ma_k$ , 就与质点在惯性系中的处理一样,  $m \frac{d^2 \mathbf{r}'}{dt^2} = \mathbf{F} + \mathbf{F}_e + \mathbf{F}_k$

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  $\beta$ , 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  $\alpha$ , 摆锤重  $G$ , 试求此时飞机的加速度  $a$  和悬线的拉力  $T$ 。

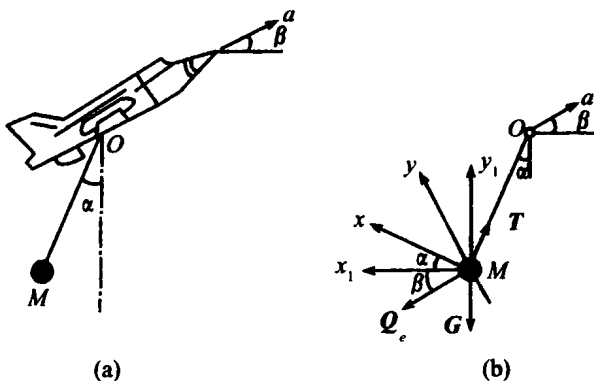


图 1-1

**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  $Q_k=0$ 。

**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  $\theta$  的光滑直管,以匀角速

度  $\omega$  绕该铅垂轴转动, 求管内质点相对于管的运动微分方程。

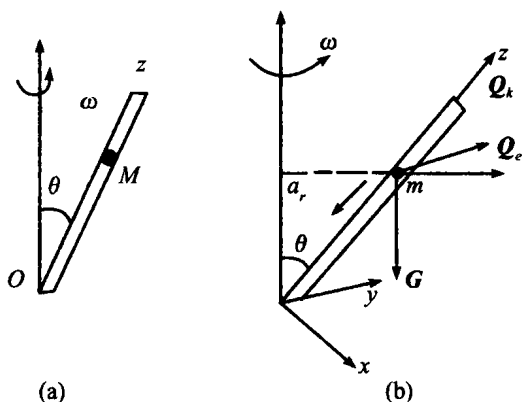


图 1-2

**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  $\xi$  方向投影为

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

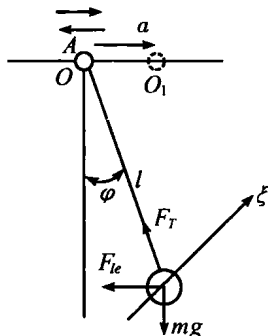


图 1-3

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

其中  $\sin \varphi \approx \varphi, \cos \varphi \approx 1$

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

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

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

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

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  $\theta$  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。

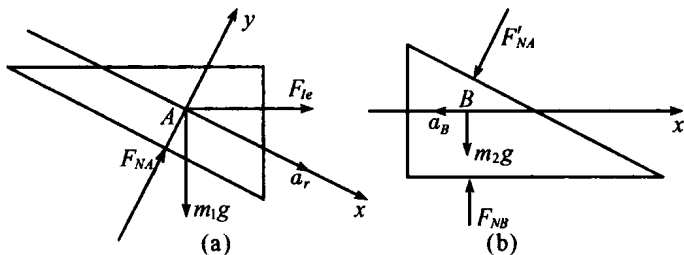


图 1-4

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,

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

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

- 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  $\omega$  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。

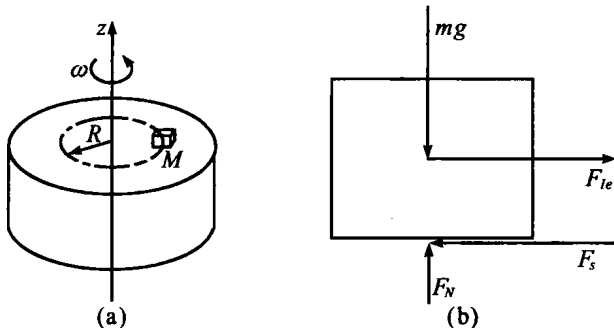


图 1-5

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

$$R \leq \frac{fg}{\omega^2}$$

- 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  $\omega$  匀速转动。求质点  $M$  相对静止时的位置。

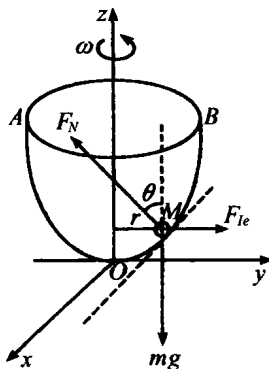


图 1-6

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

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

- 1-5 图 1-7 示一离心分离机, 鼓室半径为  $R$ 、高  $h$ , 以匀角速  $\omega$  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  $h'$ 。

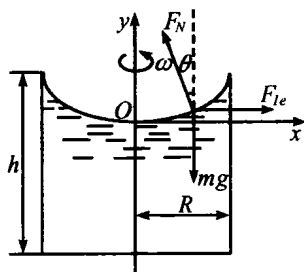


图 1-7

解 如图 1-7 所示, 由受力分析,