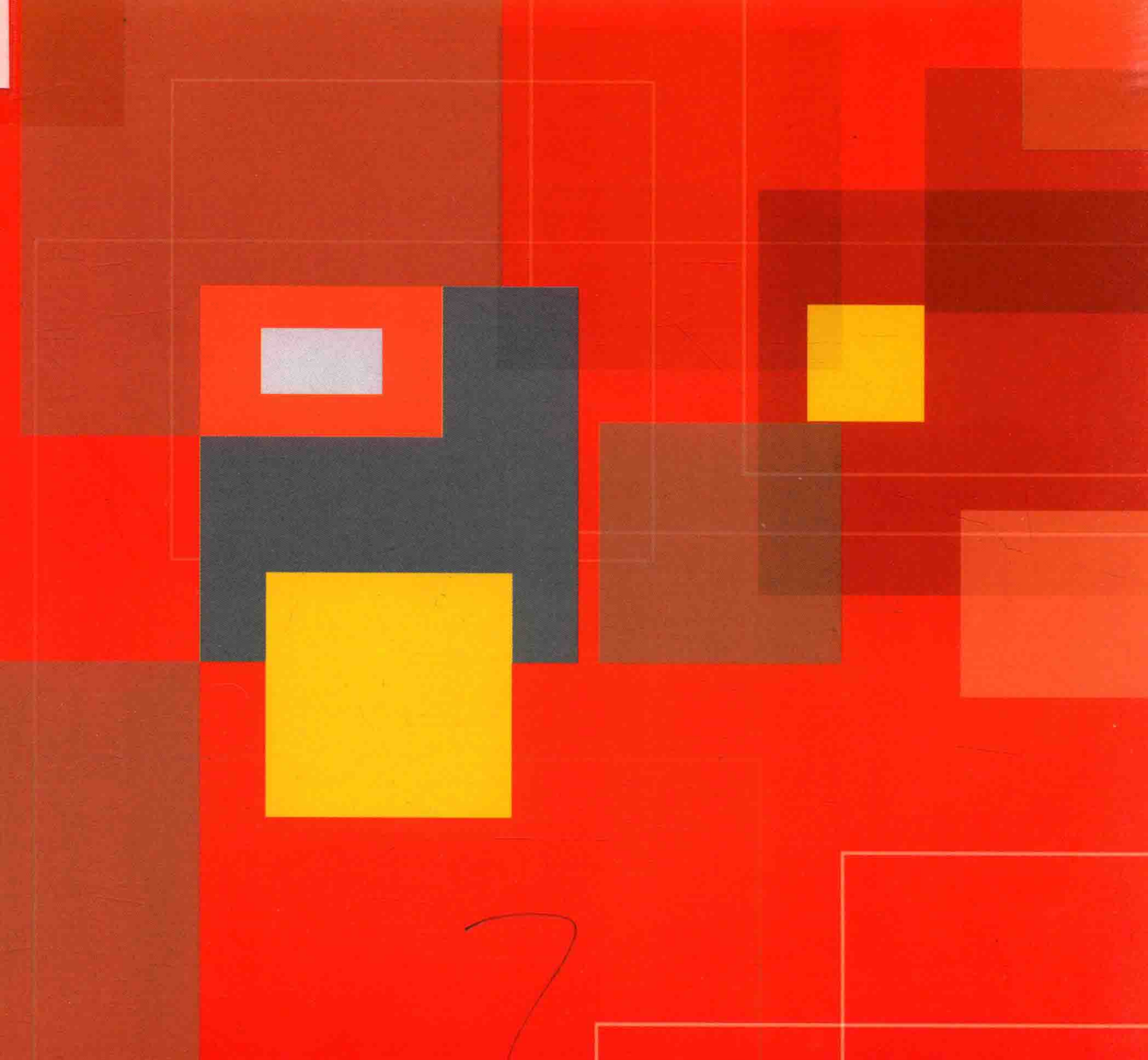
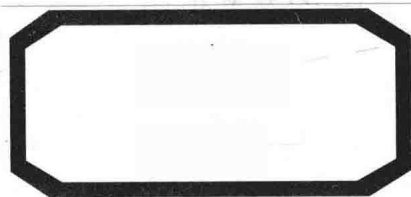




机械工程基础

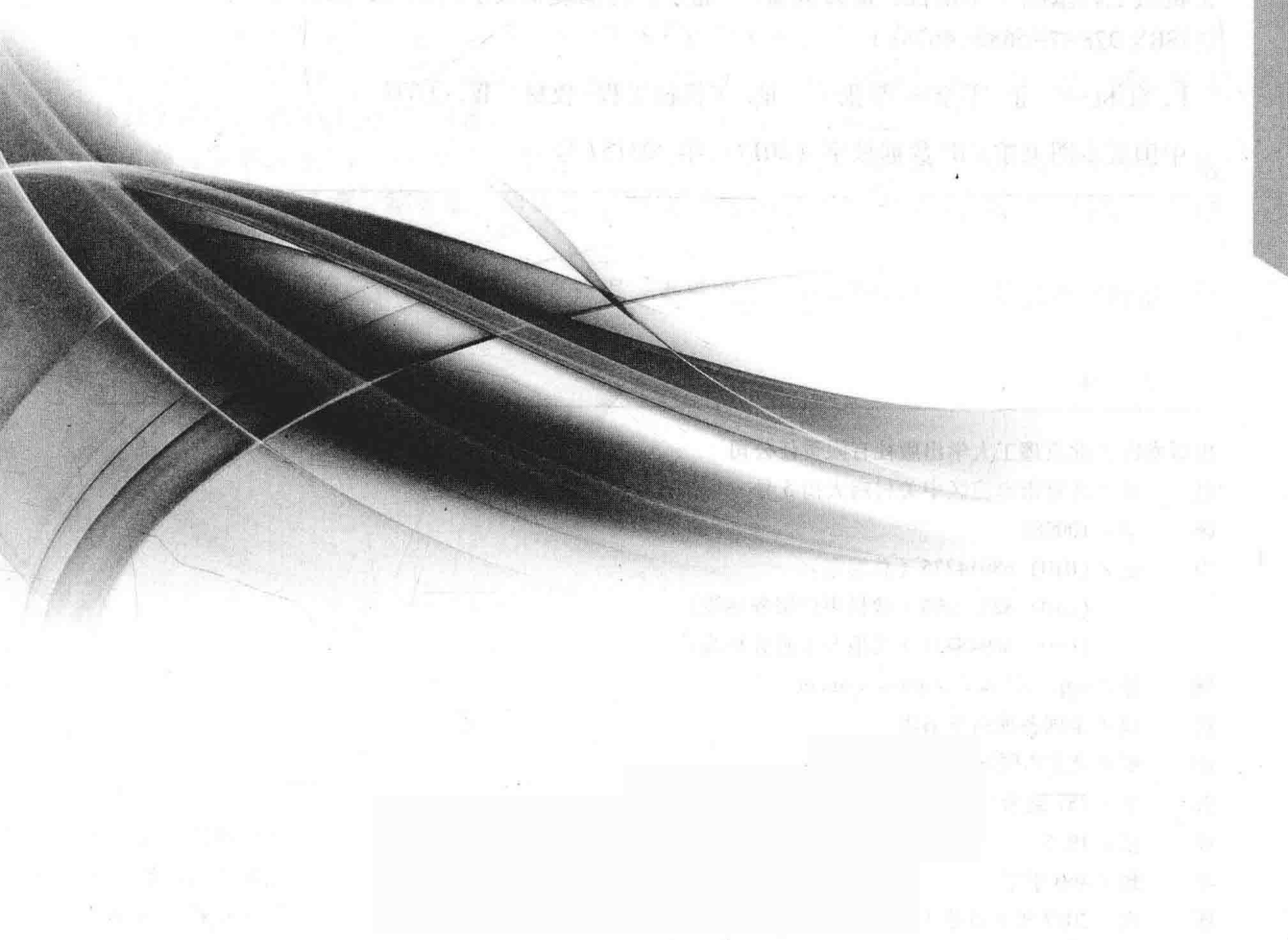
● 主 编 李清江 张 翼

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



机械工 程 基 础

主 编 李 清 江 张 翼



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书是根据制造大类中数十个专业的教学标准,并在总结多年来从事教学改革和参与生产实践经验的基础上编写而成的。本书突出高等教育的特点,结合专业人才培养目标,注重应用性和工程化的培养,并贯彻最新的国家标准。

本书是将工程力学(静力学、材料力学)、机械工程材料(常用的金属材料、常用的非金属材料)、机械设计基础(机构传动、机械零件)、液压与气压技术(液压传动、气压传动)四门课程的内容优化整合为一体的新型的机械工程基础教材。全书分为四篇,共分为13章,主要内容包括:静力学基础及物体的受力分析,材料力学基础及拉、压杆强度分析,机械工程材料,常用机构,连接,挠性传动,齿轮传动,轮系,轴,轴承,联轴器和离合器,液压传动,气压传动。各章均配有一定数量的思考题与习题,供教学时选用,同时附有必要的数据和资料可供查阅。

本书可作为高等院校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院的汽车类专业、机械制造类专业、近机类以及非机械类专业的教学用书,也可供有关工程技术人员、企业管理人员选用或参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机械工程基础 / 李清江, 张翼主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2017. 8

ISBN 978-7-5682-4678-1

I. ①机… II. ①李… ②张… III. ①机械工程-教材 IV. ①TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 203157 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京市国马印刷厂

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 19.5

字 数 / 460 千字

版 次 / 2017 年 8 月第 1 版 2017 年 8 月第 1 次印刷

定 价 / 69.00 元

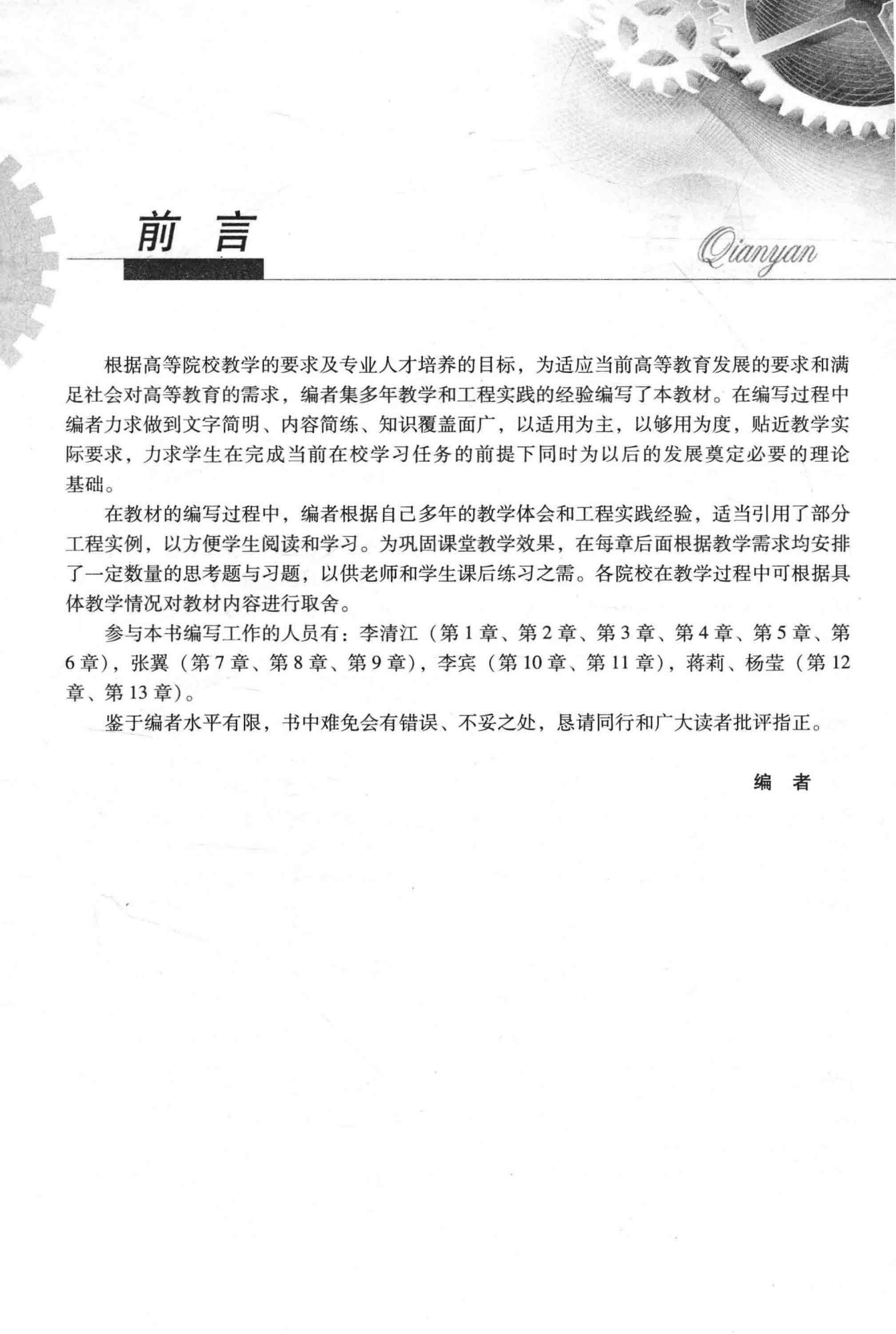
责任编辑 / 赵 岩

文案编辑 / 赵 岩

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换



前言

Qianyan

根据高等院校教学的要求及专业人才培养的目标,为适应当前高等教育发展的要求和满足社会对高等教育的需求,编者集多年教学和工程实践的经验编写了本教材。在编写过程中编者力求做到文字简明、内容简练、知识覆盖面广,以适用为主,以够用为度,贴近教学实际要求,力求学生在完成当前在校学习任务的前提下同时为以后的发展奠定必要的理论基础。

在教材的编写过程中,编者根据自己多年的教学体会和工程实践经验,适当引用了部分工程实例,以方便学生阅读和学习。为巩固课堂教学效果,在每章后面根据教学需求均安排了一定数量的思考题与习题,以供老师和学生课后练习之需。各院校在教学过程中可根据具体教学情况对教材内容进行取舍。

参与本书编写工作的人员有:李清江(第1章、第2章、第3章、第4章、第5章、第6章),张翼(第7章、第8章、第9章),李宾(第10章、第11章),蒋莉、杨莹(第12章、第13章)。

鉴于编者水平有限,书中难免会有错误、不妥之处,恳请同行和广大读者批评指正。

编者

第一篇 工程力学部分

第1章 静力学基础及物体的受力分析	003
第1节 静力学基础	003
第2节 物体的受力分析与受力图	007
第3节 力在坐标轴上的投影、力矩和力偶	016
第4节 平面力系的平衡方程及应用	020
思考与习题	025
第2章 材料力学基础及拉、压杆强度分析	028
第1节 材料力学基础	028
第2节 轴向拉伸和压缩的内力	032
第3节 轴向拉伸和压缩的应力	035
第4节 轴向拉伸和压缩的变形	036
第5节 材料在拉伸和压缩时的力学性能	038
第6节 轴向拉伸和压缩的强度计算	042
思考与习题	044

第二篇 机械工程材料部分

第3章 机械工程材料	049
第1节 金属材料的主要性能指标	050
第2节 常见工程材料的分类、标识及应用	061
第3节 钢的热处理常识	072
第4节 其他工程材料及应用	078
第5节 新材料发展趋势展望	084
思考与习题	086

目 录

Contents

第三篇 机构传动与机械零件

第4章 常用机构	089
第1节 机构的三种运动形式	089
第2节 运动副及平面机构运动简图	092
第3节 平面机构自由度的计算	096
第4节 平面连杆机构	100
第5节 其他常用机构	107
思考与习题	111
第5章 连接	114
第1节 键连接	114
第2节 键的选择和平键强度校核	119
第3节 销连接	122
第4节 螺纹连接	123
第5节 螺纹连接的预紧和防松	131
思考与习题	133
第6章 挠性传动	135
第1节 带传动	135
第2节 链传动	151
思考与习题	156
第7章 齿轮传动	157
第1节 齿轮传动的特点和分类	157
第2节 渐开线齿轮的齿廓与啮合特性	158
第3节 渐开线齿轮的主要参数与几何尺寸	161
第4节 渐开线齿轮的啮合传动	164
第5节 渐开线齿轮的加工	166

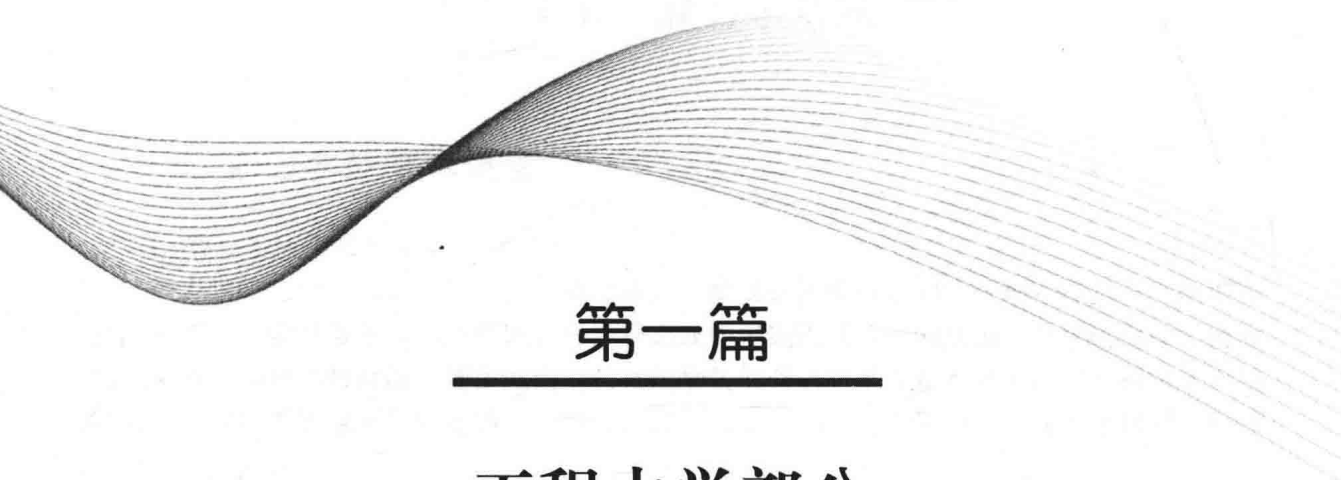
第6节 渐开线变位齿轮	168
第7节 轮齿的失效形式与材料选择	169
第8节 齿轮的结构与精度	171
第9节 渐开线直齿圆柱齿轮的传动设计	174
第10节 斜齿轮传动的参数及受力分析	180
第11节 直齿圆锥齿轮传动和蜗杆传动的受力分析	183
思考与习题	185
第8章 轮系	188
第1节 轮系的类型及其应用	188
第2节 定轴轮系的传动比计算	190
第3节 周转轮系传动比计算	193
思考与习题	195
第9章 轴	197
第1节 轴的分类及材料	197
第2节 轴的结构设计	199
第3节 传动轴的强度与刚度计算	204
第4节 心轴的强度计算	211
思考与习题	223
第10章 轴承	224
第1节 滑动轴承	224
第2节 滚动轴承	228
思考与习题	236
第11章 联轴器和离合器	237
第1节 联轴器	237
第2节 离合器	241
思考与习题	243

目 录

Contents

第四篇 液压与气压传动部分

第 12 章 液压传动	247
第 1 节 液压传动概述	247
第 2 节 液压传动的基础知识	249
第 3 节 液压泵	254
第 4 节 液压缸和液压马达	259
第 5 节 液压控制阀	267
第 6 节 液压辅助装置	278
第 7 节 液压基本回路	282
思考与习题	288
第 13 章 气压传动	289
第 1 节 气压传动概述	289
第 2 节 气动元件	291
第 3 节 气动回路	300
思考与习题	304

A decorative graphic consisting of several thin, parallel, wavy lines that create a sense of motion and depth, flowing across the upper half of the page.

第一篇

工程力学部分



第1章 静力学基础及物体的受力分析

第1节 静力学基础

一、静力学的基本概念

1. 静力学的研究对象

静力学研究物体在力作用下的平衡规律。平衡是物体机械运动的一种特殊状态。所谓**物体的平衡**，一般是指物体相对于地球保持静止或作匀速直线运动的状态。物体的运动是绝对的，平衡是相对和暂时的。例如地面上的建筑物我们看来它是静止不动的，但它相对于太阳系来说，却随着地球不停地运动着，因此，以后所说的物体处于平衡状态，都是相对于地球这个参考系而言的。

由于静力学仅研究在力作用下物体的平衡规律，并不研究力作用下物体的变形，为了突出事物的主要矛盾，忽略一些次要的因素，将静力学研究的物体抽象成一个理想的模型——**刚体**。所谓**刚体**，是指在外力作用下，几何尺寸和形状不发生变化的物体。

事实上，任何物体在力的作用下都或多或少会产生变形。而实际工程中的构件在力的作用下产生的变形非常微小，忽略这一微小变形不会对研究结果发生实质性影响，同时又能将所研究的问题简化。但是，将物体抽象为刚体是有条件的，这与所要研究问题的性质和内容有关，如果变形这一因素在所研究的问题中成为主要矛盾时，就必须以变形体为模型。这类问题将在变形体力学（如材料力学，见本书第三章）中研究。

由于在静力学中只研究刚体和刚体系统的平衡问题，所以，静力学又称**刚体静力学**。

2. 静力学的研究内容

静力学主要研究两个基本问题：

1) 力系的简化

作用在物体上的若干个力，称为**力系**。在研究物体的平衡问题时，为了方便地表示出各种力系对物体作用的总效应，并从中找出平衡规律，就需要将一个比较复杂的力系用另一个简单的力系来代替，但必须保证简化前后力系对物体的作用效果完全相同，这个过程称为**力系的简化**。由于力系简化前后并不改变物体原有的运动状态，这两个力系互称为**等效力系**。若一个力对物体的作用和一个力系等效，则称这个力为这个力系的**合力**，而该力系中的所有各力称为这个合力的**分力**。力系简化的基本工具和理论就是**静力学公理**。



2) 力系的平衡条件

若物体在某一力系作用下处于平衡状态,则该力系称为平衡力系。欲使物体处于平衡状态,作用于物体上的力系必须满足一定的条件,这些条件称为力系的平衡条件。

静力学的主要任务是:已知物体在某力系作用下处于平衡状态时,应用力系的平衡条件求解力系中的未知力(约束反力)。因此,力系平衡条件的建立及应用是静力学研究的主要内容。

3. 力的概念

1) 力的定义及其三要素

力是物体间相互的机械作用,这种作用使物体的运动状态发生改变或使物体产生变形。

力对物体机械作用的效应表现为两个方面:一是使物体的运动状态发生改变,如使物体运动速度的大小或方向改变,这种效应称为力的运动效应或外效应,二是使物体产生变形,例如使轴弯曲或弹簧伸长,这种效应称为力的变形效应或内效应。力的这两种效应是同时出现的,静力学只研究力的外效应,而材料力学将研究力的内效应。

由经验可知,力对物体的作用效应取决于力的大小、方向和作用点,这三个因素通称为力的三要素。

力的大小是指物体间相互机械作用的强弱程度。力的国际单位制为牛顿(N)、千牛顿(kN),且 $1\text{ kN}=1\,000\text{ N}$ 。

力的方向包含方位和指向两个意思。比如说重力是“铅直向下”,“铅直”是指力的方位;“向下”是指力的指向。

力的作用点是物体相互作用位置的抽象化结果。实际上,力的作用位置不是一个点而是分布在一定的面积或体积上的。一般来说,如果作用面积或体积很小,则可将其抽象为一个点,称为力的作用点,我们把这种力称为集中力;如果力分布作用的面积或体积比较大且不可忽略时,则称为分布力。

在力的三要素中,如果改变其中任何一个要素,也就改变了力对物体的作用效果。

2) 力的表示方法

力是一个有大小和方向的量,所以力是矢量,常用一带箭头的线段来表示,如图 1-1 所示。图中线段 AB 的长度(按一定的比例尺)表示力的大小;线段与某一参考线之间的夹角(如 θ 角)表示力的方位;箭头则表示力的指向;线段的起点 A(或终点 B)表示力的作用点,与线段重合的直线 KL 称为力的作用线。

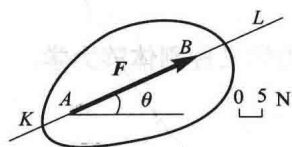


图 1-1 力的表示方法

本书中力矢量一律用黑体字母表示,例如 $\mathbf{F}$;而不用黑体字母表示的力只是表示该力矢量的大小,例如 F 。

二、静力学公理

公理,是无须证明就为大家公认的真理。静力学公理是人们从长期的生产和生活实践中对客观现实经过观察、分析、归纳和总结而得出的结论。它揭示了力的一系列基本性质,是静力学的理论基础。

公理一 (二力平衡公理)

作用在同一刚体上的两个力,使刚体处于平衡的必要和充分条件是:这两个力大小相等 (等值),指向相反 (反向),作用在同一条直线上 (共线)。如图 1-2 所示。

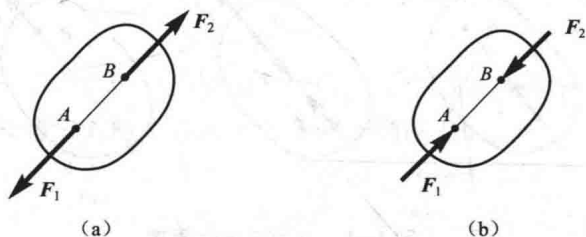


图 1-2 二力平衡公理

公理一说明,两个等值、反向、共线的力系构成了最简单的平衡力系。

只受两个力作用而处于平衡的杆件或构件称为二力杆 (或二力构件),如图 1-3 所示,其中 (a) 图为轴向拉杆; (b) 图为轴向压杆。

需要强调的是,二力平衡公理只适用于刚体,不适用于变形体。对于变形体来说,二力平衡公理中的条件只是必要条件而不是充分条件。



图 1-3 轴向拉、压杆

公理二 (加减平衡力系公理)

在作用于刚体上的任一力系中,加上或减去任意一个平衡力系,不会改变原力系对刚体的作用效应。

公理二的正确性是显而易见的,由平衡力系的定义可知,平衡力系不改变刚体的平衡或运动状态。公理二常被用来简化力系和推导一些定理。

同公理一一样,公理二也只适用于刚体。对于变形体来说,加上或减去一平衡力系后,将会引起物体形状的改变。

由前面两个公理可以推导出作用于刚体上力的一个重要性质。

推论 I (力的可传性原理)

作用在刚体上的力可沿其作用线移动到该刚体内的任一点,而不改变力对刚体的作用效应。

问题: 力 F 作用在刚体上的 A 点,现在要将力 F 移至刚体内力作用线上的任意一点 B 。如图 1-4 (a) 所示。

证明:

在 B 点沿 AB 线加上一对平衡力 F_1 与 F_2 , 并令 $F_1 = F_2 = F$, 如图 1-4 (b) 所示, 由于 F_1 与 F_2 为平衡力系, 加上之后并不改变原力 F 对刚体的作用效应, 在 F 、 F_1 和 F_2 组成的力系中, F 和 F_1 也是一个平衡力系, 因此, 除去这两个力, 也不改变 F 对刚体的原有效应。除去 F 与 F_1 后, 剩下一个作用于 B 点的 F_2 。 F 与 F_2 大小相等, 指向相同, 在一条作用线上, 这相当于把原来作用于 A 点的力 F 沿着作用线移到了任意一点 B 。如图 1-4 (c) 所示。

必须注意的是, 力的可传性原理也只适用于刚体, 而不适用于变形体。另外, 力的可传性原理多用于理论的推导和论证, 在研究具体的平衡问题进行受力分析时, 不能应用力的这一性质将力沿作用线随意移动。

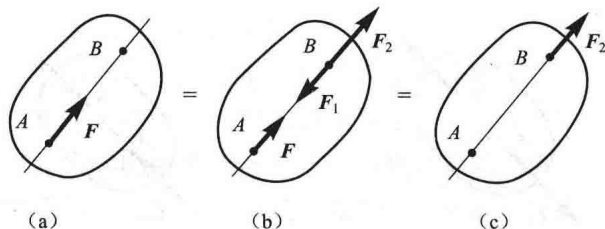


图 1-4 力的可传性原理

公理三 (力的平行四边形法则)

作用在物体上同一点的两个力可以合成为作用于该点的一个合力, 它的大小和方向由这两个力的矢量为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示。如图 1-5 (a) 所示。

作用在 A 点的两个力 F_1 和 F_2 与合力

R 的数学关系式为:

$$R = F_1 + F_2$$

上式为矢量表达式, 即作用在物体上同一点的两个力的合力 R 等于两个分力 F_1 和 F_2 的矢量和。求解合力 R 的大小和方向时, 可以根据力的平行四边形法则应用图解或几何关系求解, 这种合成的方法称为几何法。

力的平行四边形法则是力系简化的基础。它表明作用于物体上同一点的两个力可以合成为一个合力; 反之, 一个力也可以分解为同一平面内的两个分力, 但两个分力并不是唯一的, 即进行力的分解时必须给定分解方向, 否则没有唯一解。

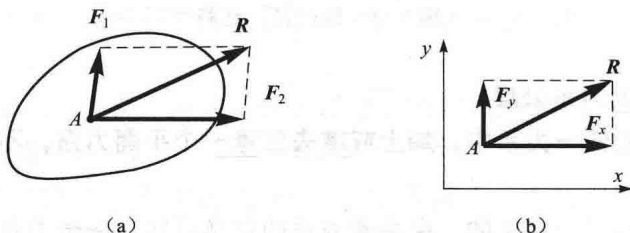


图 1-5 力的平行四边形法则

在工程实际中, 常把一个力沿直角坐标轴方向分解, 从而得到两个相互垂直的分力 F_x 和 F_y , 这样的分解称为力的正交分解。如图 1-5 (b) 所示。

推论 II (三力平衡汇交定理)

刚体受共面且互不平行的三个力作用而平衡, 则此三力的作用线必汇交于一点。

证明: 刚体受不平行的三个力 F_1 、 F_2 和 F_3 作用处于平衡状态, A、B、C 分别为三个力的作用点, 如图 1-6 所示, 应用力的平行四边形法则求出 F_1 和 F_2 的合力 R , 此时, 刚体只在两个力 F_3 和 R 作用下处于平衡状态, 由二力平衡公理可知 F_3 必与 R 等值、反向、共线, 即 F_1 和 F_2 的作用线的交点 O 与 F_3 的作用点 C 共线。因此, F_1 、 F_2 和 F_3 三力的作用线共面, 且汇交于一点 O 点。

公理四 (作用力与反作用力定律)

两个物体间的相互作用力, 总是同时存在, 它们的大小相等, 指向相反, 沿着同一条直线分别作用在这两个相互作用的物体上。

公理四揭示了任何两个物体间相互作用的关系, 不论物体是处于平衡状态还是处于运动状态, 也不论物体是刚体还是变形体, 公理四都是普遍适用的。公理四表明在相互作用

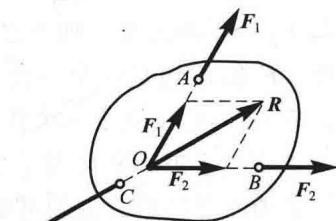


图 1-6 三力平衡汇交定理

的物体之间的力总是成对出现,有作用力就必定有反作用力,二者总是同时存在,同时消失。

值得注意的是,公理四容易与公理一——二力平衡公理混淆。作用与反作用力定律中的两个力分别作用在两个物体上,而二力平衡公理中的两个力是作用在同一刚体上的。

一般习惯上将作用力与反作用力用同一个字母表示,其中一个字母加上一撇表示区别。

一物体置于水平面上处于平衡状态,如图1-7(a)所示,现分析各物体所受的力及它们之间的关系。

G 为物体受到的重力, F_N 为水平面对物体的支承力(法向约束反力,属于光滑面约束,见本章第二节相关内容),如图1-7(b)所示,由于系统静止,所以力 G 与 F_N 必定满足公理一的条件,是平衡力系。 F'_N 为物体对水平面的压力,如图1-7(c)所示,力 F_N 和 F'_N 则是一

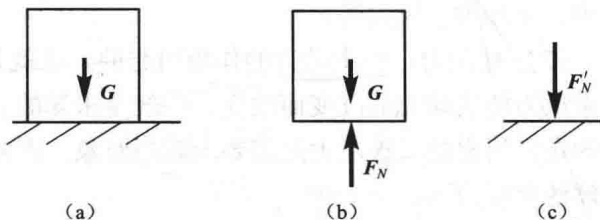


图1-7 作用力与反作用力定律

对作用力与反作用力。这两对力尽管都是等值、反向、共线的,但它们的物理意义是不同的,即力 G 与 F_N 是作用在同一物体上的平衡力系,而力 F_N 和 F'_N 则是一对作用力与反作用力,它们同时存在,同时消失,分别作用于水平面上和物体上。在以后分析多个物体组成的物体系统的受力情况时,根据作用力与反作用力定律可以把相邻物体的受力关系联系起来,因此,该定律也是分析物体系统问题的基本力学定律。

第2节 物体的受力分析与受力图

物体无论是处于平衡或运动状态,总是与周围其他物体相互联系着的。在研究力学问题时,首先需要了解物体与周围其他物体的机械联系方式和形式,从而掌握其规律,进而能正确分析物体的受力情况并进行进一步的分析和研究。

一、约束与约束反力

按照物体是否与周围其他物体直接接触可将物体分为两类:凡能在空间不受限制地作任意运动的物体称为**自由体**。例如飞行中的气球、子弹等。凡受到周围其他物体的限制,使其沿某些方向的运动或位移受到限制的物体称为**非自由体**。限制非自由体运动的其他物体(条件)称为该非自由体的**约束**。

例如用绳索悬挂的重物、沿铁轨行驶的火车、放置在桌面上的物品等都是非自由体,在这些例子中,绳索是重物的约束、铁轨是火车的约束、桌面是物品的约束,而重物、火车、物品称为被约束物体;绳索、铁轨和桌面则称为约束。约束是通过物体间的直接接触形成的,受到约束的物体就是非自由体。静力学主要研究非自由刚体的平衡问题。

约束既然限制了物体的运动,改变了物体的运动状态,那么,约束对物体必然有力的作用。约束作用在被约束物体上的力称为**约束反力**简称**约束力**。



约束反力的作用点在约束与被约束物体相互接触处, 约束反力的方向总是与约束所能限制的运动方向相反, 约束反力的大小则需要根据平衡条件来确定。

二、作用在物体上力的分类

1. 按照是否是引起物体运动的原因分类

(1) 主动力: 促使物体有运动或具有运动趋势的力, 工程上也称为**载荷**, 如重力、水压力、土压力、风力等。

(2) 被动力: 由主动力的作用引起的, 也就是约束反力。因此, 约束反力也称**被动力**。约束反力随主动力的改变而改变, 一般是未知的。在静力学所研究的问题中, 主动力是作为已知条件给出的, 被动力是需要求解的对象, 因此, 静力学研究的核心问题是根据平衡条件求解约束反力。

2. 载荷按照作用范围分类

(1) 集中载荷: 如果载荷的作用范围与结构尺寸相比很小, 则可认为其作用在一点。集中载荷包括集中力和集中力偶。

(2) 分布载荷: 也称分布力。载荷作用的范围比较大且不可忽略。分布载荷包括体积分布载荷 (在体积中分布的力)、面积分布载荷 (在面积上分布的力) 和线分布载荷 (在长度上分布的力)。

3. 载荷按照作用性质分类

(1) 静载荷: 由零开始逐渐缓慢地加在物体上的力, 作用到物体上后, 力的大小、方向不再改变。

(2) 动载荷: 加力过程中物体有明显的加速度产生, 作用到物体上后, 力的大小、方向会发生改变。

本书主要讨论的是静载荷中的集中载荷和线分布的均布载荷。

三、约束类型与约束反力

约束反力除了与作用在物体上的主动力有关外, 还与约束本身的性质有关。工程中实际约束的形式和结构是各式各样的, 通常是将工程中常见的约束理想化, 归纳为几种基本类型, 掌握这些基本类型约束反力的表达是绘制受力图进而应用平衡方程求解约束反力的关键, 下面就介绍几种常见的典型平面约束和各种约束的特性以及约束反力的确定方法。

1. 柔性体约束

由绳索、链条、皮带等柔性体对物体构成的约束称为**柔性体约束**。因柔性体只能承受拉力, 不能承受压力, 即只能限制物体沿柔性体伸长方向的运动, 因此, 柔性体对物体的约束反力只能是拉力, 作用在物体的连接点处, 作用线沿柔性体的中心线, 指向背离物体。即沿柔性体的中心线而背离物体。用 F_T 表示。

如图 1-8 (a) 所示, 起吊重物时, A、B 两处绳索的约束反力分别为 F_{TA} 、 F_{TB} 。又如图 1-8 (b) 所示的带传动中, 带对主动带轮 O_1 和从动带轮 O_2 的拉力分别为 F_{T1} 、 F_{T2} 和

F'_{T1} 、 F'_{T2} 。 F_{T1} 与 F'_{T1} 、 F_{T2} 与 F'_{T2} 为作用力与反作用力。

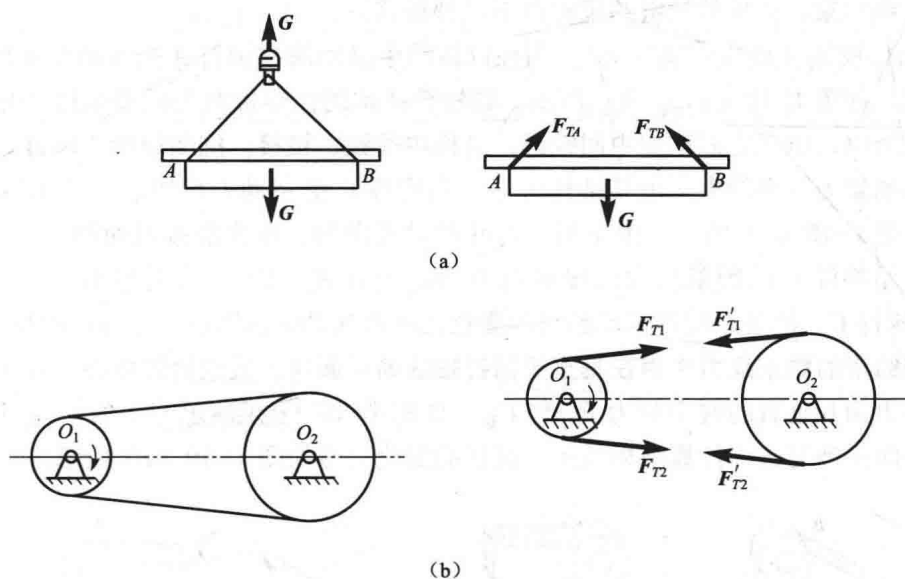


图 1-8 柔性体约束

2. 光滑面约束

两物体的接触可能是面接触或是点、线接触。

当忽略两物体接触处的摩擦力时，它们的接触就可认为是光滑的。不考虑摩擦的接触面（点、线）约束称为光滑面约束。这类约束的特点是不能限制物体沿接触处公切线任何方向的运动，只能限制物体沿接触处公法线而指向接触面方向的运动。因此，光滑面约束的约束反力只能是压力，作用在接触处，沿接触处的公法线指向被约束物体。用 F_N 表示。

如图 1-9 所示，各物块受到光滑面约束，约束反力均作用在接触处并沿接触处的公法线而指向物体。

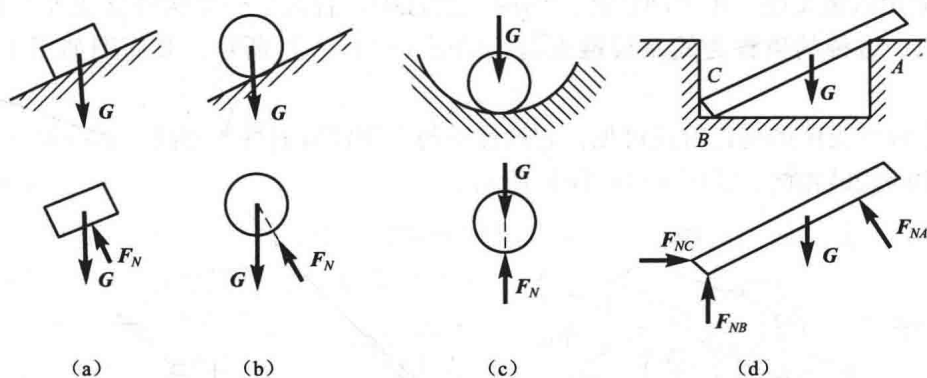


图 1-9 光滑面约束

3. 光滑铰链约束

在工程结构和机械设备中，铰链约束（也称转动副）常用来连接构件或零部件，它是一个圆柱形零件，称为销钉。两物体连接后，接触处的摩擦忽略不计，这类约束只能限制被