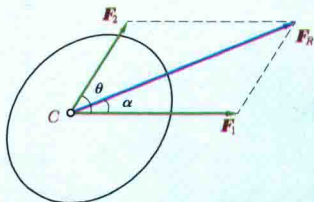


CENGCI DIJIN XUELIXUE

层次递进学力学

奚立平 著



黄河水利出版社

层次递进学力学

奚立平 著

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书是一本学习工程力学的辅导性参考书,共分四章:绪论、外力、内力、应力。后三章均由四部分内容组成:学习要点及学习指导、第一层次习题精选及分析解答、第二层次习题精选及分析解答、第三层次习题精选及分析解答。

本书可作为高职高专院校水利、土木等工程类专业的学生学习工程力学的辅导书,也可作为工程力学教师、有关工程技术人员、自学者的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

层次递进学力学/奚立平著. —郑州:黄河水利出版社,
2017.5

ISBN 978 - 7 - 5509 - 1757 - 6

I. ①层… II. ①奚… III. ①工程力学 IV. ①TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 113262 号

组稿编辑:王路平 电话:0371-66022212 E-mail:hhsllwp@163.com

出版社:黄河水利出版社

网址:www.yrep.com

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:河南新华印刷集团有限公司

开本:890 mm × 1 240 mm 1/32

印张:5.5

字数:160 千字

印数:1—1 000

版次:2017 年 5 月第 1 版

印次:2017 年 5 月第 1 次印刷

定价:16.00 元

前 言

作者在长期的教学过程中认识到,传统的工程力学课程教学模式不符合高职学生的认知特点,因而尝试着进行探索和研究,提出“层次递进,步骤导引,情境激发”的工程力学课程教学模式,本书就是以此模式为指导思想撰写的一本参考书,以期能帮助读者快速、轻松掌握工程力学的基本内容和计算方法,同时也希望抛砖引玉,与同行商榷。

本书将工程力学课程的教学内容整合成三个模块,第一个模块是外力,第二个模块是内力,第三个模块是应力,每个模块由学习要点及学习指导、第一层次习题精选及分析解答、第二层次习题精选及分析解答、第三层次习题精选及分析解答四部分组成。

本书的特点是:

(1)全书主线是“外力→内力→应力”,即按照由宏观到微观、由表及里的层次递进,最终指向明确具体的目标:承载能力(强度、刚度和稳定性)计算。每一个模块内,也是根据层次递进的要求,沿主线指向目标。

(2)每个模块在练习的安排上,按照由易到难、由简单到复杂的原则,分为三个层次,第一层次的难易程度为容易,主要针对基本知识进行巩固训练,第二层次的难易程度为中等,主要针对应用能力进行训练,第三层次的难易程度为较难,主要针对综合应用能力进行训练。每道习题都作了详细、有条理的分析解答,以便于学生学习。

(3)将抽象理论通过归纳、总结、提炼后编成口诀转变为符合学生认知特点,具体的、可操作的步骤来引导学生学习。

在本书撰写过程中,得到了安徽水利水电职业技术学院资源与环境工程系的领导和同仁们的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢!

由于作者水平有限,不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

奚立平

2017年1月于合肥

目 录

前 言

第一章 绪 论	(1)
第一节 工程力学“层次递进,步骤导引,情境激发”课程 教学模式内涵	(1)
第二节 工程力学“层次递进,步骤导引,情境激发”课程 教学模式应用	(3)
第二章 外 力	(9)
第一节 学习要点及学习指导	(9)
第二节 第一层次习题精选及分析解答	(21)
第三节 第二层次习题精选及分析解答	(27)
第四节 第三层次习题精选及分析解答	(35)
第三章 内 力	(42)
第一节 学习要点及学习指导	(42)
第二节 第一层次习题精选及分析解答	(47)
第三节 第二层次习题精选及分析解答	(54)
第四节 第三层次习题精选及分析解答	(64)
第四章 应 力	(71)
第一节 学习要点及学习指导	(71)
第二节 第一层次习题精选及分析解答	(82)
第三节 第二层次习题精选及分析解答	(105)
第四节 第三层次习题精选及分析解答	(131)
参考文献	(169)

第一章 绪 论

第一节 工程力学“层次递进,步骤导引,情境激发”课程教学模式内涵

工程力学主要包括理论力学和材料力学,是水利、土木等工程专业的专业基础课,先导课是高等数学,后续课是专业课,起着承前启后的重要作用,其教学效果的好坏直接关系到学生专业课的学习及专业能力的培养。因此,如何根据高职学生的认知特点,探索与之相适应的工程力学课程教学模式,以提升教学效果,是一项非常值得研究的课题。

一、高职学生的认知特点

高职学生的年龄大多在 18 岁以上,心理发展处于成年初期,情感和人格的发展趋于成熟,人生观和价值观趋于稳定,思维逐渐趋于理性、辩证和实用,在人际关系处理上更加成熟自信,情商较高,具有较广泛的知识和经验背景,认知方面的主要特点表现在以下两个方面。

(1)能自觉进行自我认知结构的构建与更新,但自我认知活动的监控和调节能力较差。虽然能基于自己的知识和经验背景自觉进行自我认知结构的构建与更新,但自我认知活动的监控和调节能力较差,不能主动依据学习材料提出相应的学习要求,对学习材料所要达到的目的和应用不愿或不能主动做深入的思考,信息迁移不活跃,对学习中的问题缺乏反思及补救意识,对学习方法及适应性缺少反省,因而老问题没解决,新问题又不断出现。若是按照由表及里、由易到难分层递进安排教学内容,并使之始终沿一条主线指向明确具体的目标,则能使学生在认知过程中找到方向感,觉得学习的内容有应用价值,则学生学习的积极性和主动性就会增强,进而循序渐进学习和掌握相应的教学内容。

(2) 认知主体性意识逐渐增强,但抽象思维能力较弱。虽然认知主体性意识逐渐增强,对于自己感兴趣的事物能主动探索,但抽象思维能力较弱,认知对象偏向于外显的、可操作的事物。若是按照变复杂为简单、变抽象为形象、变笼统为具体(可操作)的原则安排教学内容,并创设良好的教学情境,就能激发学生认知兴趣,从而主动建构螺旋式上升的知识体系。

二、工程力学课程教学存在的问题

目前,工程力学课程教学主要存在的问题如下:

(1) 教学内容繁杂凌乱,没有逐层递进,缺乏清晰的主线,目标性较差,与高职学生对自我认知活动的监控和调节能力较差的现实不匹配。工程力学教学内容章节较多,一般包括刚体静力学基础、平面力系的合成与平衡、空间力系、轴向拉(压)、剪切(连接件)、截面的几何性质、扭转、弯曲内力、弯曲的强度和刚度、应力状态和强度理论、组合变形和压杆稳定等 10 余章。理论力学部分将平面力系和空间力系截然分开,力对点之矩与力对轴之矩、力对平面直角坐标轴的投影与力对空间直角坐标轴的投影分两章教学,涉及材料力学的部分将应力的概念和应力状态分两章教学,将四种基本变形和组合变形分别各按一章教学,且都采用“平面假设→几何关系→物理关系→静力学关系→应力计算公式”这一相同的推导过程重复表述,而强度理论又单独作为一章内容独立于四种基本变形和组合变形的强度计算之外,这样导致每章都有一个主题,知识点多且凌乱,前后内容重复,在难易程度上没有逐次递进,缺乏清晰的主线来指向明确具体的目标,而高职学生对自我认知活动的监控和调节能力较差,深入思考不够,学生感觉只学了一些杂乱的知识点,找不到方向感和目标,不清楚学了这门课到底能干什么,学归学,不会用,在后续课程的学习中不能进行有效的信息迁移,更别说内化成专业素养。

(2) 教学内容理论性强,与高职学生抽象思维能力较弱的现实不匹配。高职工程力学教学内容大都是在本科力学教学内容的基础上进行了微调和删减,注重理论计算,对于数学基础要求较高,内容烦琐抽象,学起来枯燥乏味,没有考虑高职学生抽象思维能力较弱的认知特

点,学生普遍感到难学,虽然有基于现有的知识和经验背景主动建构认知体系的意愿,但找不到合适的方法,进而畏学,学习积极性和主动性不足,被动应付学习内容,导致学习效果大打折扣。

三、“层次递进,步骤导引,情境激发”课程教学模式内涵

基于高职学生的认知特点和工程力学教学存在的问题,作者尝试着进行探索和研究,提出“层次递进,步骤导引,情境激发”的工程力学课程教学模式。“层次递进”即整合工程力学教学内容,依据清晰的主线,逐层递进,指向明确具体的目标,相应的练习也按照由易到难的层次逐步递进;“步骤导引”即将教学内容变烦琐抽象的理论为口诀式的、有可操作感的具体步骤来引导学生学习;“情境激发”即教学组织上创设符合高职学生认知特点的教学情境,激发学习兴趣。作者多年的教学经验表明,采用此教学模式,使工程力学的教学生动、形象、具体,符合高职学生的认知特点,有效提升工程力学的教学质量。

第二节 工程力学“层次递进,步骤导引,情境激发”课程教学模式应用

一、“层次递进”安排教学内容

将工程力学的教学内容整合成三个模块:第一个模块是外力,是由刚体静力学基础、平面力系的合成与平衡、空间力系等内容整合而成的;第二个模块是内力,是由轴向拉(压)、剪切(连接件)、扭转、弯曲的内力等内容整合而成的;第三个模块是应力,是由轴向拉(压)、剪切(连接件)、扭转、弯曲的强度和刚度计算以及应力状态和强度理论、组合变形、压杆稳定等内容整合而成的。总体而言,其主线是“外力→内力→应力”,即按照由宏观到微观、由表及里的层次递进,最终指向明确具体的目标:承载能力(强度、刚度和稳定性)计算。每一个模块内,也是根据层次递进的要求,沿主线指向目标。如图 1-1 所示。

第一个模块外力,按照“荷载→受力图→力系的合成与平衡”主

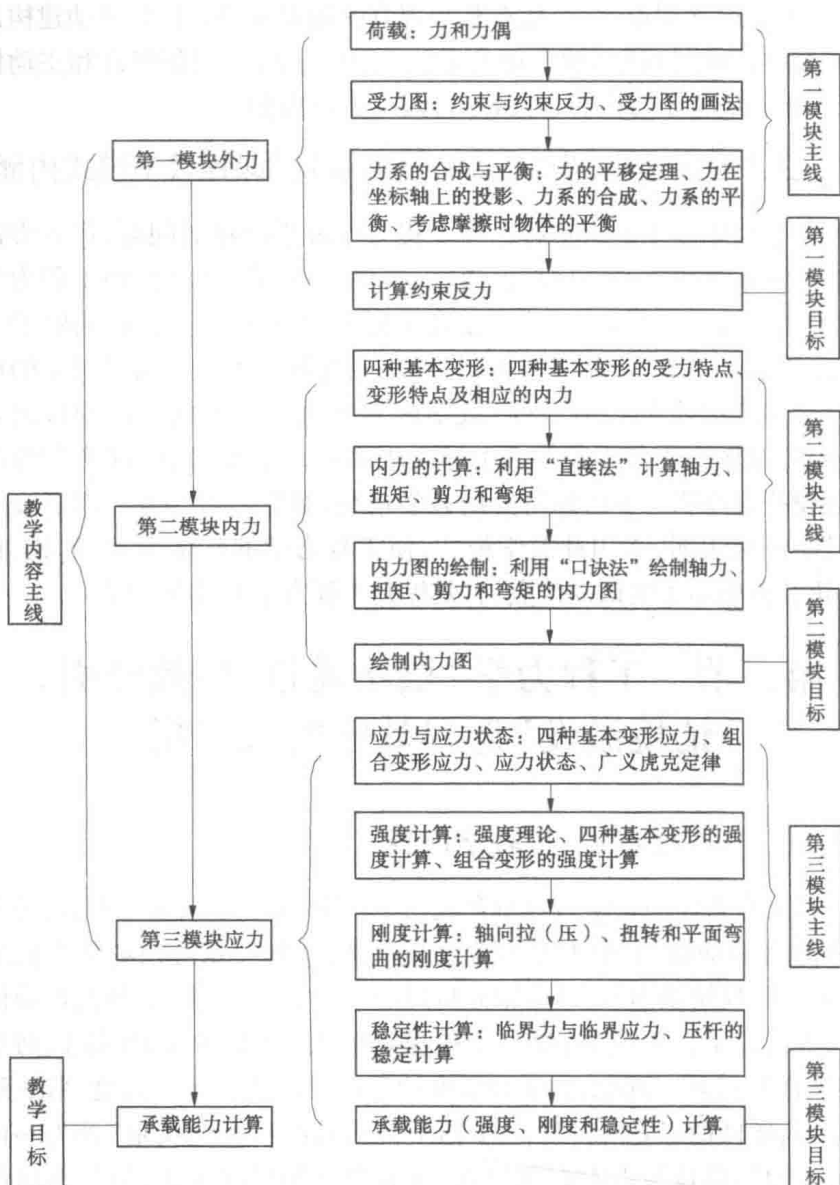


图 1-1

线,指向目标:计算约束反力。“荷载”包括力和力偶两个静力学基本要素,其中力主要包括力的概念、静力学公理(力的性质)、力对点之矩、力对轴之矩,力偶主要包括力偶的概念、力偶矩、力偶的性质。“受力图”包括约束与约束反力、受力图的画法。“力系的合成与平衡”包括力的平移定理、力在坐标轴上的投影、力系的合成、力系的平衡、考虑摩擦时物体的平衡。这样,不将平面力系和空间力系截然分开,力对点之矩与力对轴之矩、力对平面直角坐标轴的投影与力对空间直角坐标轴的投影也融合在一起,减少繁乱的知识点,概念上不产生混乱,条理清晰,便于理解和学习。

第二个模块内力,按照“四种基本变形→内力的计算→内力图的绘制”主线,指向目标:绘制内力图。“四种基本变形”包括四种基本变形的受力特点、变形特点及相应的内力。“内力的计算”主要是利用“直接法”计算轴力、扭矩、剪力和弯矩。“内力图的绘制”主要是利用“口诀法”绘制轴力、扭矩、剪力和弯矩的内力图。这样,将四种基本变形特点,轴力、扭矩、剪力和弯矩的计算,轴力、扭矩、剪力和弯矩图的绘制等类似的知识点放在一起教学,便于相互比较学习,计算及绘图也方便快捷,便于记忆和掌握。

第三个模块应力,按照“应力与应力状态→强度计算→刚度计算→稳定性计算”主线,指向目标:承载能力(强度、刚度和稳定性)计算。“应力与应力状态”包括四种基本变形的应力、组合变形的应力、应力状态、广义虎克定律。“强度计算”包括强度理论、四种基本变形的强度计算、组合变形的强度计算。“刚度计算”包括轴向拉(压)、扭转和平面弯曲的刚度计算。“稳定性计算”包括临界力与临界应力、压杆的稳定计算。这样,将应力的概念和应力状态、基本变形和组合变形、强度理论和强度计算融合在一起,每种应力计算公式采用“平面假设→几何关系→物理关系→静力学关系→应力计算公式”的推导过程只在开始简要地表述一次,不但大大减少前后类似内容的重复,做到知识点多而不凌乱,避免出现认识上的混乱,而且主线和目标明确清晰,便于掌握和应用。

每个模块在练习的安排上,按照由易到难、由简单到复杂的原则,

分为三个层次,第一层次的难易程度为容易,是在基本知识进行巩固训练;第二层次的难易程度为中等,是在基本知识掌握较好的情况下,针对应用能力进行训练;第三层次的难易程度为较难,主要针对综合应用能力进行训练。对于大部分学生可做第一层次和第二层次的习题,对于学习能力较强的学生或参加力学竞赛的学生可做第三层次的习题。

二、“步骤导引”学习力学计算

高职学生的抽象思维能力较弱,跟不上工程力学教学内容中烦琐抽象理论的学习,可将抽象复杂的理论转变为符合学生认知特点,口诀式的、具体的、有可操作感的步骤来导引学习。

第一模块外力,其目标就是通过平衡方程求解约束反力,这一部分所涉及的理论都是为列平衡方程服务的,可将其精简为“取、绘、列、解”四个步骤:“取”就是将研究对象的约束解除取为分离体;“绘”就是在分离体上标上所有主动力和约束反力绘其受力图;“列”就是列分离体的平衡方程;“解”就是解平衡方程求约束反力。

第二个模块内力,其内力计算采用“直接法”,任意截面的轴力、扭矩、剪力和弯矩的计算,都可归纳为“切、找、辨、和”四个步骤:“切”就是将待求内力的计算截面切开;“找”就是在切开的截面一侧寻找符合要求的所有外力;“辨”就是辨别已找到的外力的正负号;“和”就是将上述外力相加求代数和。内力图的绘制中以剪力图和弯矩图最难,学生学起来费劲,存在畏学情绪,可将剪力图和弯矩图的画法,编成口诀,依据口诀来画图。梁的剪力图可根据其上作用的荷载来绘制,编制口诀为“无荷载平杆走,遇力偶不用瞅,集中力直角拐,均布力锐角拐,拐方向力方向,拐多少力大小”。即从左至右绘梁的剪力图,正的剪力绘在上方,负的剪力绘在下方,具体绘制过程依据杆段荷载的类型及大小来进行。梁的弯矩图可根据其剪力图来绘制,编制口诀为“ Q 无 M 平, Q 平 M 斜, Q 斜 M 曲, Q 正 M 增, Q 负 M 减,增减多少,面积大小,力偶别行,顺多逆少”。即从左至右绘梁的弯矩图,正的弯矩绘在下方,负的弯矩绘在上方,具体绘制过程依据杆段剪力图的形状和面积来进行。

第三个模块应力,这部分公式较多,容易混淆,可进行归纳,找出其

共同特征,便于学生理解,便于归类记忆和掌握。轴向拉(压)正应力、剪切(连接件)剪应力、扭转剪应力、弯曲剪应力和弯曲正应力计算公式分别为:

$$\sigma = \frac{N}{A}, \tau = \frac{Q}{A_Q}, \tau = \frac{M_x \rho}{I_\rho}, \tau = \frac{QS_z}{I_z b}, \sigma = \frac{M_z y}{I_z},$$

均可表示为:应力 = $\frac{\text{内力} \times \text{距离}}{\text{截面几何性质}}$ 。轴向拉(压)应变、单位长度扭转角和弯曲的曲

$$\text{率计算公式分别为: } \varepsilon = \frac{N}{EA}, \theta = \frac{M_x}{GI_\rho}, \frac{1}{\rho} = \frac{M_z}{EI_z},$$

均可表示为:变形(应变) = $\frac{\text{内力}}{\text{刚度}}$ 。强度校核一般可将其精简为“反、内、应、核”四个步骤:

“反”就是计算支座反力;“内”就是计算危险截面的内力;“应”就是计算危险点的应力;“核”就是校核强度。

三、“情境激发”组织课堂教学

(1)创设贴近生活、贴近工程实际的教学情境。比如在学习力的转动效应(力对点之矩)的教学内容时,可以抛出“足球比赛时怎样踢出香蕉球?”的问题,引发讨论,加深学生对力对点之矩的理解;再比如在学习摩擦的教学内容时,可以提出“混凝土重力坝在水的推力作用下如何维持抗滑稳定?”的问题,请同学们讨论,提高学生对静滑动摩擦力的认识,并能轻松掌握考虑摩擦时物体平衡问题的求解。通过创设贴近生活、贴近工程实际的教学情境,使每个知识点都与具体的事物相结合,抽象的理论变得形象化、具体化,甚至可视化,符合高职学生的认知特点,学生容易理解,易于接受,学习起来有着力点,感到轻松愉快,能获得持久的记忆,很多知识点能内化为专业素养,对以后的学习、工作和生活都有益。

(2)创设认知冲突的教学情境。比如在学习压杆稳定的教学内容时,可以抛出“女生喜欢穿高跟鞋是为了获得不稳定平衡,你信吗?”“脚手架的钢管在荷载作用下应力没达到强度许用应力,但横杆间距过大,也会垮塌,你信吗?”等问题,引发讨论。对于第一个问题,通常我们的认知是穿鞋总是希望走起路来稳定舒适,但高跟鞋的鞋跟是尖

的,女生穿上高跟鞋处于不稳定平衡,走起路来就容易失稳,所以在走路的时候,必须通过摆胯来调整重心以便保持平衡,这样就显得婀娜多姿,平添许多魅力。对于第二个问题,学生在前面学习了强度计算,其认知是脚手架钢管在荷载作用下应力未达到强度许用应力是安全的,但事实上脚手架横杆间距过大,钢管容易失稳引起脚手架垮塌。这样,造成认知的冲突,导致学生认知结构由原有知识和经验背景下的平衡而产生失衡,进而激发兴趣积极主动建构和重组认知结构使之达到平衡,在此过程中获得螺旋式上升的处于新的平衡状态的认知结构。

本书就是以“层次递进,步骤导引,情境激发”的工程力学课程教学模式为指导思想撰写的一本参考书,希望能帮助读者快速、轻松掌握工程力学的基本内容和计算方法。

第二章 外力

主线:荷载(力和力偶)→受力图(约束与约束反力、受力图的画法)→力系的合成与平衡(力的平移定理、力在坐标轴上的投影、力系的合成、力系的平衡、考虑摩擦时物体的平衡)。

目标:计算约束反力。

第一节 学习要点及学习指导

一、力

(一) 力的概念

力是物体间相互的机械作用,这种作用使物体的机械运动状态发生改变,同时使物体发生变形。理解时要抓住三点:①产生力的根本原因是物体间相互的机械作用,力不可能脱离物体而单独存在;②力对物体产生运动和变形效应;③力对物体的作用效应完全取决于力的三要素:力的大小、力的方向和力的作用点。

(二) 静力学公理(力的性质)

1. 二力平衡公理

作用在同一刚体上的两个力,使刚体保持平衡的必要和充分条件是:这两个力的大小相等,方向相反,且作用在同一直线上,即等值、反向、共线。

仅在两个力作用下处于平衡的刚体称为二力体。若物体是杆件,则称为二力杆。二力体上的两个力的作用线必为这两个力作用点的连线。

2. 加减平衡力系公理

在作用于刚体的任意力系上,加上或减去平衡力系,并不改变原力

系对刚体的作用效应。

3. 力的平行四边形法则

作用于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。合力的大小和方向,由这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线表示。

如图 2-1 所示,力 F_1 、 F_2 夹角为 θ , 则合力大小: $F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\theta}$; 合力方向: $\sin\alpha = \frac{F_2}{F_R}\sin\theta$; 合力作用点: F_1 和 F_2 交点。

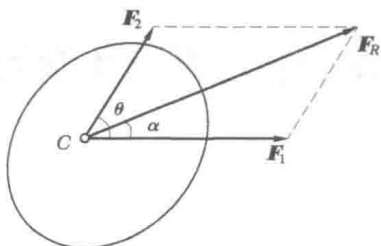


图 2-1

4. 作用与反作用定律

两个物体相互作用的力总是同时存在,同时消失,等值、反向、共线,分别作用在这两个物体上。

根据上述静力学公理可以导出下面两个重要推论:

推论 1: 力的可传性。

作用于刚体上某点的力,可以沿着它的作用线移到刚体内任意一点,并不改变该力对刚体的作用效应。

推论 2: 三力平衡汇交定理。

刚体在三个力作用下处于平衡时,若其中两个力的作用线汇交于一点,则第三个力的作用线必通过该点,且三力共面。

(三) 力对点之矩

力 F 对 O 点之矩,简称力矩,是指力 F 的大小与 O 点到力 F 作用线的垂直距离 d 的乘积,再冠以正负号来表示,即

$$m_o(\mathbf{F}) = \pm Fd$$

说明:

(1) O 点称为力矩中心, 简称矩心。

(2) $m_o(\mathbf{F})$: 力 \mathbf{F} 对 O 点的力矩, 在平面问题中, 力对点之矩取决于力矩的大小和转向, 力矩是代数量, 单位为 $\text{N} \cdot \text{m}$ 或 $\text{kN} \cdot \text{m}$ 。

(3) F : 力 \mathbf{F} 的大小, 单位为 N 或 kN 。

(4) d : 矩心到力的作用线的垂直距离, 称为力臂, 单位为 m 。

(5) 正负号表示在力矩平面内力使物体绕矩心转动的方向。一般规定: 力使物体绕矩心逆时针方向转动为正, 反之为负。

(四) 力对轴之矩

力对轴之矩是力使物体绕轴转动效果的度量, 其大小等于这个力在垂直于该轴平面上的投影对该轴与平面交点的矩。如图 2-2 所示, 力 \mathbf{F} 对 z 轴的矩为

$$m_z(\mathbf{F}) = m_o(\mathbf{F}') = \pm F'd$$

说明:

(1) $m_z(\mathbf{F})$: 力 \mathbf{F} 对 z 轴之矩, 单位为 $\text{N} \cdot \text{m}$ 或 $\text{kN} \cdot \text{m}$ 。

(2) F' : 力 \mathbf{F} 在垂直于 z 轴平面上投影 \mathbf{F}' 的大小, 单位为 N 或 kN ;

(3) d : 力臂, 单位为 m 。

(4) 正负号规定: 从轴的正向看, 逆时针转向的力矩取正号, 顺时针转向取负号。

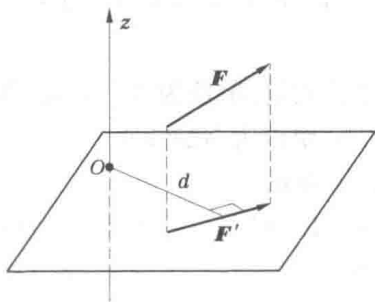


图 2-2