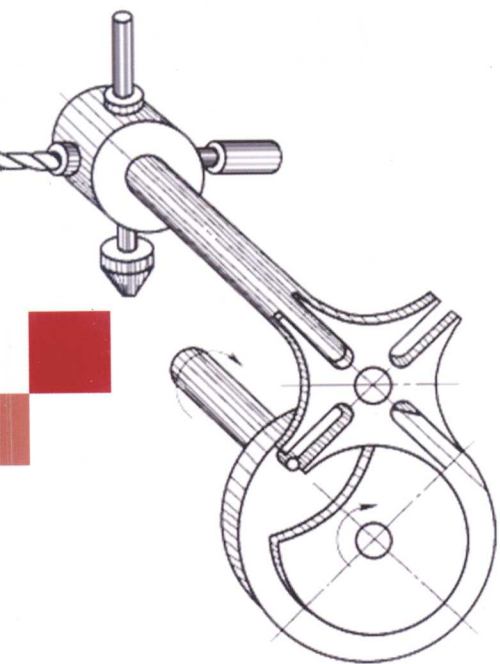




普通高等教育“十一五”国家级规划教材



工业设计

机械基础 第3版

Machinery Foundation of
Industrial Design 北京理工大学 阮宝湘 主编



D E S I G N D E S I G N D E S I G N D E S I G N



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

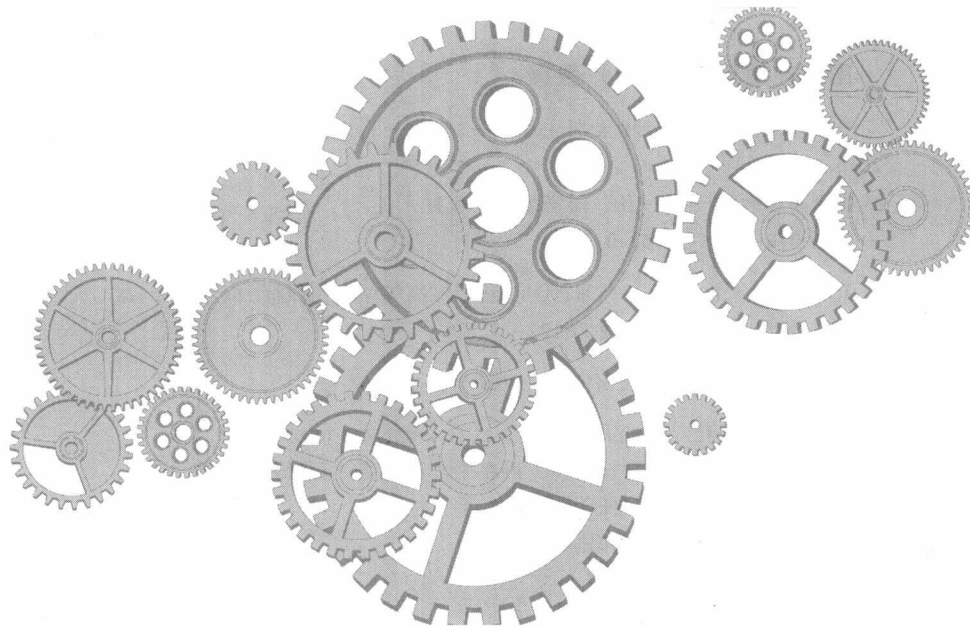
工业设计机械基础

第3版

主编 阮宝湘

参编 周殿春

主审 吴永健



机械工业出版社

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材，共分两篇，第一篇为工程力学基础，第二篇为机械设计基础。第一篇中的4章分别为工程力学的基本概念，构件与产品的静力分析，构件与产品的强度分析，构件的刚度、压杆稳定和动载荷问题。第二篇中的4章分别为机械设计概述、机械零件基础、常用机构、机械传动基础。本书的特点是：①尽量以日用工业品取代机械生产设备作为讲解的示例和作业分析的对象；②将第二篇各章的作业尽量由“抄书答题”改为解剖分析产品实物，使学生在实践中学得活、掌握得牢固。附录A为机械设计基础综合作业，内有三种类型60多个大作业题，涉及几十种日用产品，学生可任选一个题目，通过自我钻研来巩固和加深对课程的学习掌握。附录B为产品结构的图例与剖析（学生自学阅读材料）。

本书主要适用于设计类专业本科的工程力学和机械设计基础两门课程，也可供其他非机类专业选用。为方便教学，本书配有电子课件，其中含有供教师参考使用的习题解答。

图书在版编目（CIP）数据

工业设计机械基础/阮宝湘主编. —3版. —北京：机械工业出版社，2016.6

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-111-54153-0

I. ①工… II. ①阮… III. ①工业设计-高等学校-教材②机械设计-高等学校-教材 IV. ①TB47②TH122

中国版本图书馆CIP数据核字（2016）第149268号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）

策划编辑：冯春生 责任编辑：冯春生 程足芬 责任校对：肖琳

封面设计：张静 责任印制：乔宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2016年8月第3版第1次印刷

210mm×285mm·18.25印张·491千字

标准书号：ISBN 978-7-111-54153-0

定价：42.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线：010-88379833

读者购书热线：010-88379649

网络服务

机工官网：www.cmpbook.com

机工官博：weibo.com/cmp1952

教育服务网：www.cmpedu.com

金书网：www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

第3版 前言

本书第2版于2008年9月第1次印刷,至2015年11月印刷8次,大体每年重印一次。7年间陆续收到出版社转来的读者来信,有赞扬鼓励的、有指出差错的、有提出修订意见的。每一封读者来信都体现了读者对本书、对编者工作的关心,在此致以诚挚的谢意!读者的宝贵建议在第3版中多有采纳。

第3版的修订要点如下:

- 1) 对深度广度不适当的部分做了删减,如力学部分压杆稳定计算的折减系数法、持久极限与疲劳强度、机械部分的齿轮失效和齿轮精度问题简介等。
- 2) 为贴合工业设计专业教学的需要,改写充实了零件结构工艺性一节,扩展了四杆机构的内容等。对第五章至第八章做了相当多的段落调整、表述修改和插图更替。
- 3) 排查发现第2版中的各种差错或失当20余处,并一一加以订正。
- 4) 教材总篇幅有所减少。第2版中的“第九章 产品结构的图例与剖析”,因近乎是资料性的内容,删减至原来的40%左右,改放在附录B里。
- 5) 对某些章节段落的行文进行剪枝削蔓,以求简洁明晰。

此次修订工作由北京理工大学阮宝湘与河北工程大学周殿春合作完成。具体分工是:第一章至第四章、附录A、附录B的修订由阮宝湘承担,第五章至第八章的修订由周殿春、阮宝湘共同承担,全书由阮宝湘统稿定稿,课件由周殿春加工制作,全书由北京理工大学吴永健教授主审。合作者分居两城,在将近一年的时间里,讨论、辩正、沟通的电子邮件往来一百多次。

国内开设工业设计专业的高校有数百所,工程技术课程在专业教学中的比重各校互有差异。如何把握好教材的广度、深度才能使本书的适应面广些(包括其他非机专业)?各章各节的内容怎样才算繁简适宜、增删得当?这是修订中颇感难以拿捏决断之处。编者衷心期待多多得到这方面的指教,也希望读者对本书第3版继续关注,并提出更多的批评指正和改进建议。

编者

第2版 前言

本书于2002年7月发行第1版,至2007年8月第4次印刷,累计印刷14000册。由于当时交稿的时限较为紧迫,第1版在不少方面未能达到既定的编写要求,这一直是编者的一个心结。2006年本书入选为教育部“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”,这才得到机会进行期待已久的修订。本次修订继续秉承“适专业、宽而浅、重实例、重应用”的原则,但改写的篇幅较多,对比第1版,主要有以下方面的改进:

1) 尽量采用日用工业品作为讲解的示例和作业分析的对象。因为日用品比机械生产设备更贴近学生生活,看得见、摸得着、容易懂,也更符合设计专业及其他非机类专业的工作实际。

2) 加大了第二篇各章中实践性作业的比例,通过作业引导学生去观察实物、分析实物、动手拆装产品实物,摆脱“抄书答题”的桎梏,使学生在结合实际中学得更加灵活、牢靠和有趣。附录机械设计基础综合作业是本书的特色所在,内有三种类型近80个大作业题,涉及百种以上的日用产品,学生可任选一个题目,通过自我钻研来有效地巩固和加深对课程的学习和掌握。

3) 改正了第1版中的一些差错,削减了部分较深的内容和较难的作业题。

4) 制作配套的电子课件,以便利任课教师的课堂教学。课件中还附有习题解答,给出了书中所有计算题的解题步骤和答案,这也是为减轻教师的工作负担而提供的。

参与编写本书第1版的老师,有的工作已有所变动,有的正忙于其他任务而无法分心,因此,此次修订工作由阮宝湘、邵祥华承担。但第2版的编者署名仍维持第1版的原样不变。第2版由北京理工大学简召全、吴永健两位教授主审,编者对他们认真细致的工作和所提的宝贵意见深表感谢。

曾经来信给本书第1版提出意见和建议的,有讲授这门课程的教师,也有学习这门课程的在校学生,他们的意见不仅有价值,而且还让编者感受到了社会的关心和帮助。编者由衷地期待本书第2版能得到更多的批评指正和改进建议。

编者
于北京

第1版

前言

工业设计是一个相对年轻的专业，我国多数高校建立这个专业（系）的时间还不是很长，所以本专业的工程基础课程一般聘请外系的教师来主讲。全国高等学校工业设计专业第二届教学指导组在讨论到这种现状时，指出存在以下两个值得关注的现象：第一，外系教师不易在短时间内熟悉本专业的需要，使得适当地把握课程的深广度和使课程内容结合专业实际都有一定难度；第二，工程基础各门课程由不同系的教师来讲授，教材也由他们分别选用，那么各课程之间的互相贯通衔接也难免出现问题。在这些工程基础课程中，当然包括“工程力学”和“机械设计基础”这两门课程。鉴于此，教学指导组讨论通过了编写本专业规划教材《工业设计机械基础》的建议，并审议通过了该教材的编写大纲，目的在于对解决上述问题进行初步的实践和探索。这就是本教材产生的背景。

非机类专业教材把《工程力学》和《机械设计基础》合成一册《机械基础》，已经不乏先例。本教材沿用这种做法，主要着眼于两者的贯通衔接。这既不妨碍在教学计划中仍把它们分列为两门课，也不影响分别聘请两位教师来授课。由于一般不会有哪个学校只开其中一门课而不开另一门，相信合册比分册能给教学双方都带来一些方便。

本教材在编写中力求遵循“适专业、宽而浅、重实例、重应用”的要求。专业的培养目标是工业设计师，需要一定宽度的力学和机械知识，但不可能也没必要达到机械专业的深度。在工程力学部分中，教材突出了静力学和材料力学的基本概念和结论；提供基本计算方法的目的，是让学生掌握的知识能从定性向定量的层面有初步的延伸，这对本科层次的人才培养是需要的。但计算公式的推导一般都加以精简了。机械设计部分中，常用机构、连接、各种传动、轴系零部件等基本内容，都从实用出发，着重于阐明特性对比和适用场合。一般机械基础教材的例题和习题常限于生产机械的范围，本教材补充了一些生活日用品的例子，以期贴近专业。工业设计的核心是创新，而结构创新往往就是功能创新的基础，这应该是本专业学生学习本课程的重点之一，对此本教材也在例题和习题中尽量加以体现。在第三篇“产品机构与结构图例”中，还提供了三大类、近40种产品的立体透视图，作为学生的参考阅读材料。希望它们既能给学生提供创新设计的借鉴，又能激发学生创新设计的热情。本书的附录为课程的“大作业指南”，阐明了“课程论文”和“课程设计”两类大作业的目的、要求和方法，还给出了几十个适合于工业设计专业特点的题目。编者的初步教学实践表明，学生对这样的大作业是欢迎和有兴趣的，能提高本课程的教学效果。希望使用本教材的老师和学生，通过实践，把改进大作业的意见和好的作业题目反馈给本书编者，让更多的学校能分享你们的宝贵经验。

在各个学校的教学计划中，“工程力学”和“机械设计基础”这两门课程的课时数颇有差异，加之本专业有从理工类招生的，也有从艺术类招生的，因此，各校对这两门课在要求上存在多样性是客观现实。这种多样性对我国设计教育整体而言，是好事；不可能也不应该强求一致。当然，既然如此，就不可能有任何一本教材能适用于所有的学校。本教材的基本对象为理工类招生的工业设计专业本科生。但本教材对较深的理论均已删削，例

如，书中公式基本上都以初等数学的形式给出（只在个别地方出现微积分符号，可以跳过去，不影响对主要内容的理解），因此也可供艺术类招生的工业设计专业本科生、理工类招生的工业设计专业大专生参考。

本书由北京理工大学阮宝湘主编。参加编写的有北京理工大学阮宝湘、邵祥华（第一、二、三、四章，附录），北京机械工业学院高炳学（第五、六章，第十章的第一、二节），北京工商大学张宝刚（第七、八、九章），湖南大学钟家珍、胡锦（第十一、十二、十三章，第十章的第三节）。全书由北京理工大学吴永健教授主审。

由于作者水平所限，书中难免存在种种缺点与不当，恳切期待读者给予批评指正。

编者
于北京

目 录

- 第 3 版前言
- 第 2 版前言
- 第 1 版前言

第一篇 工程力学基础

- 第一章 工程力学的基本概念 / 2
 - 第一节 工程力学与工业设计 / 2
 - 第二节 工程力学的研究对象与基本内容 / 8
 - 第三节 刚体与变形固体 力与力系 / 8
 - 第四节 静力学公理 / 10
 - 第五节 约束与约束反力 / 12
 - 第六节 分离体与受力图 / 15
 - 习题与作业 / 19
- 第二章 构件与产品的静力分析 / 22
 - 第一节 平面力系的简化与合成 / 22
 - 第二节 平面力系平衡问题的求解 / 30
 - 第三节 空间力系简介 超静定的概念 / 40
 - 第四节 物体的重心和平面图形的形心 / 43
 - 第五节 摩擦与摩擦力 / 48
 - 第六节 功与功率 / 56
 - 习题与作业 / 60
- 第三章 构件与产品的强度分析 / 65
 - 第一节 材料力学的研究目的 杆件的基本变形形式 / 65
 - 第二节 内力、应力与应变 / 67
 - 第三节 材料在拉伸和压缩时的力学性能[⊙] / 72
 - 第四节 拉压杆的强度 / 76
 - 第五节 剪切和挤压强度 / 79
 - 第六节 圆轴抗扭强度 / 84
 - 第七节 梁的抗弯强度 (一) / 91
 - 第八节 梁的抗弯强度 (二) / 98
 - 第九节 组合变形强度问题简介 / 105
 - 习题与作业 / 108
- 第四章 构件的刚度、压杆稳定和动载荷问题 / 113
 - 第一节 构件的变形与刚度 / 113
 - 第二节 压杆的稳定性 / 119
 - 第三节 动载荷与动应力 / 122
 - 第四节 应力集中现象和裂纹问题 / 125
 - 第五节 交变应力与疲劳强度简介 / 128
 - 习题与作业 / 130
- 第一篇《工程力学基础》篇后语 设计专业的学生怎样解读力学公式——从张飞的虎须谈起 / 132

第二篇 机械设计基础

- 第五章 机械设计概述 / 136
 - 第一节 机械结构在设计中的地位 / 136
 - 第二节 机械设计的基本要求和一般程序 / 139
 - 第三节 机械结构的常用材料及其选用原则 / 144
 - 第四节 零件的结构工艺性和造型因素 / 151
 - 习题与作业 / 157
- 第六章 机械零件基础 / 160
 - 第一节 连接 / 160
 - 第二节 轴与联轴器 / 170
 - 第三节 轴承 / 179

第四节 弹簧 / 187	附录 / 258
习题与作业 / 195	附录 A 机械设计基础综合作业 / 258
第七章 常用机构 / 198	附录 A.1 第一类综合作业 撰写产品结构 的分析报告 / 258
第一节 运动副、机构与机构运动简图 / 198	附录 A.2 第二类综合作业 绘制产品结构 图 / 263
第二节 平面连杆机构 / 202	附录 A.3 第三类综合作业 制作产品机构 的可动模型 / 264
第三节 凸轮机构和螺旋机构 / 209	附录 B 产品结构的图例与剖析 (学生自学阅 读材料) / 265
第四节 间歇运动机构 / 216	附录 B.1 日用小产品 / 266
第五节 机构的扩展与组合 / 220	附录 B.2 灵巧、便捷机构 / 269
习题与作业 / 221	附录 B.3 几种专用机构 / 271
第八章 机械传动基础 / 224	附录 B.4 电烤炉和台式电扇 / 274
第一节 带传动 / 224	附录 B.5 机箱机壳 / 277
第二节 链传动 / 230	参考文献 / 282
第三节 齿轮传动 / 234	
第四节 轮系与减速器 / 248	
第五节 液压传动简介 / 253	
参考资料 常用机械传动形式的性能对比 / 255	
习题与作业 / 256	

第一篇

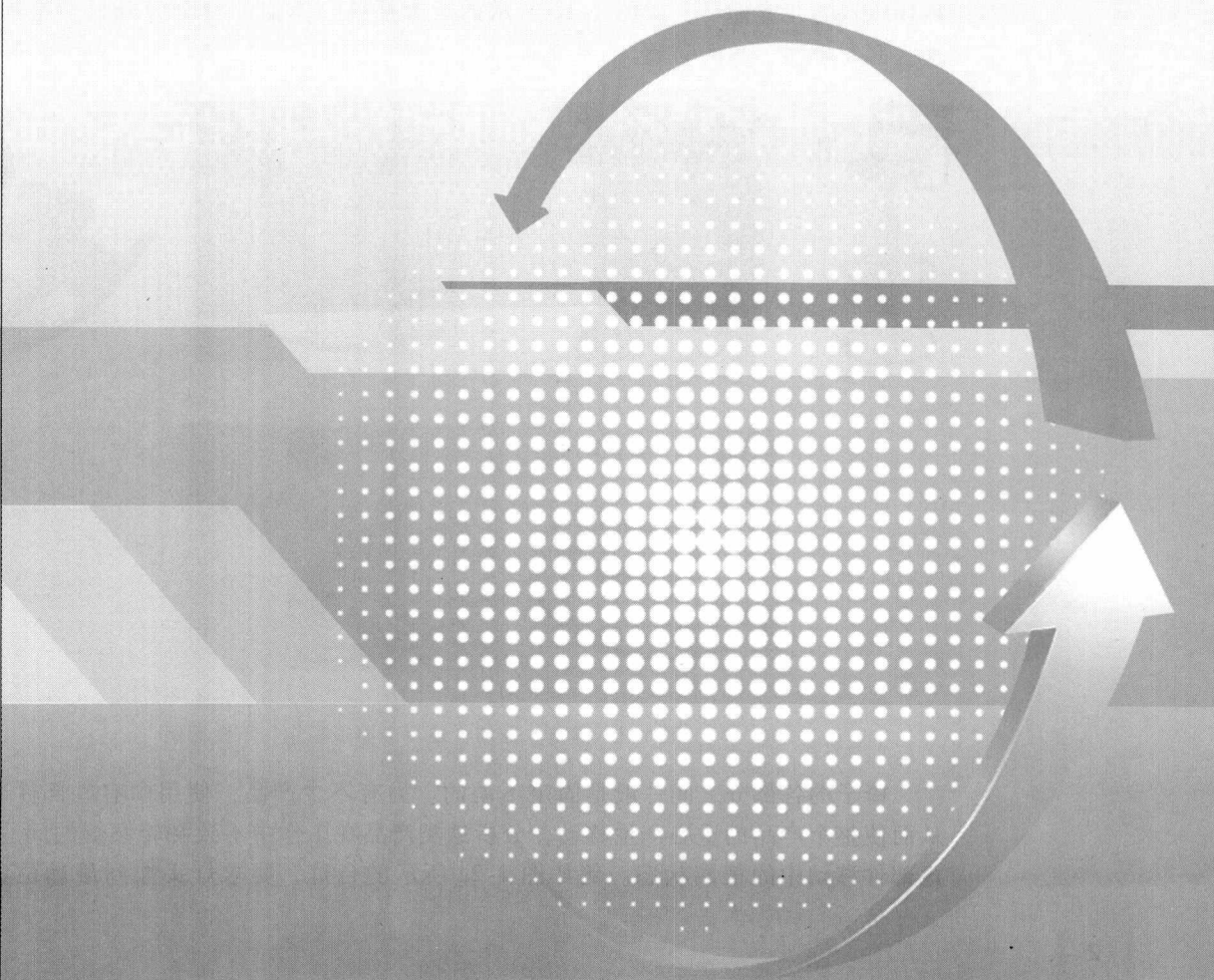
工程力学基础

第一章 工程力学的基本概念

第二章 构件与产品的静力分析

第三章 构件与产品的强度分析

第四章 构件的刚度、压杆稳定和动载荷问题



第一章

工程力学的基本概念

第一节 工程力学与工业设计

一、工程力学在产品中的作用

工程力学对产品设计有什么用？这是工业设计专业学生学习本课程时首先想了解的问题。简要的回答是：第一，任何产品都必须稳定或能按预定要求运动；第二，任何产品都应该牢固，正常使用中不会损坏。要正确处理这两方面的问题，都离不开工程力学知识。

上述两个方面中，前者属于静力学或动力学的范围，后者属于材料力学的范围。下面通过一些贴近工业设计的产品实例，来初步说明上面的论点。

1. 产品设计与静力学、动力学

图 1-1a 是酒吧里的吧椅和婴儿高椅，椅子高，人坐在椅子上难免左摇右摆、前倾后仰，为了安全，确保坐着不倾倒，地面上支撑的纵横尺寸该有多大，必须计算。对于图 1-1b 所示的儿童摇马，或图 1-1c 所示的成人摇椅，类似的安全问题显然更加突出。——这些都属于静力学的问题。

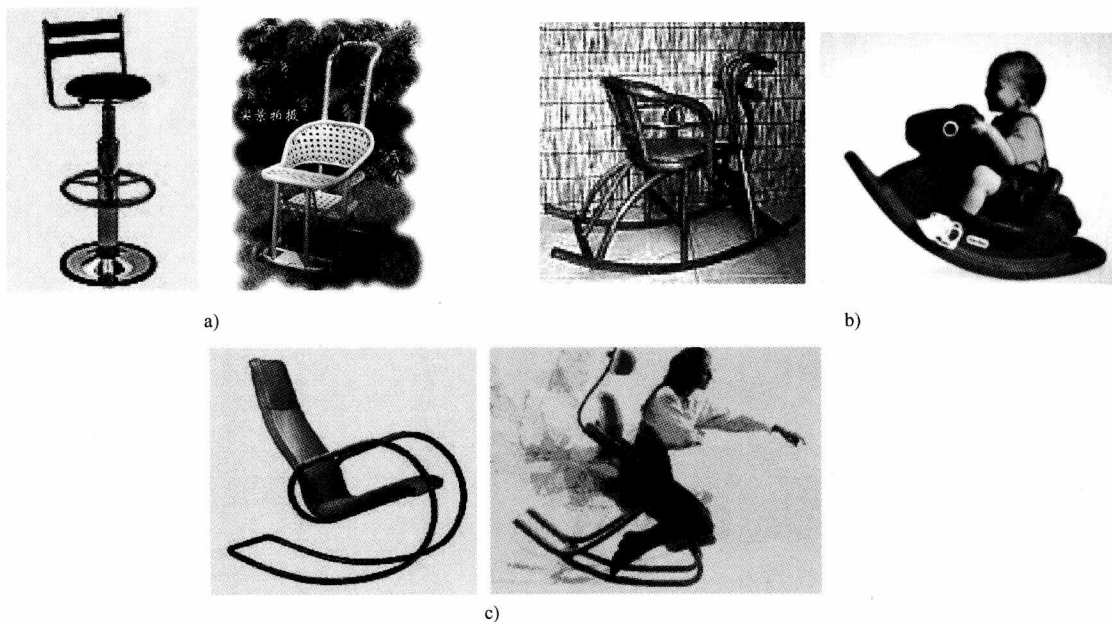


图 1-1 高椅、摇椅，使用中必须稳定，不会倾倒

椅子的各部分之间一般是固定不动的。另有不少产品，使用中有些部件会发生运动，从而使整个产品的重心产生移动，分析这类产品在工作中不致翻转倾倒的问题，还需要考虑部件移动中的极端状态。例如图 1-2a 所示的台灯，要求灯头探到最远位置而不倾倒，

那么台灯的底座需要多大、多重呢？图 1-2b 所示的小型吊车，当达到预设的最大起重量且重物距离达到最远时，吊车的底盘尺寸和配重应该满足怎样的条件？本书第二章的例 2-12 和例 2-17，将分别求解这样两个具体的问题。

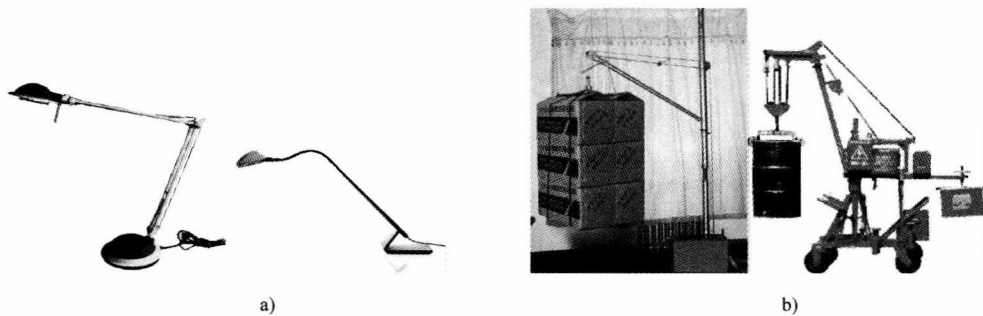


图 1-2 部件运动会引起整体重心移动的产品

室外的广告牌（图 1-3a）能经受多大的风力吹拂不倾倒？室外的公告栏顶棚（图 1-3b）能承受多厚的积雪不被压塌？设计这些公共设施也需要进行力学计算。

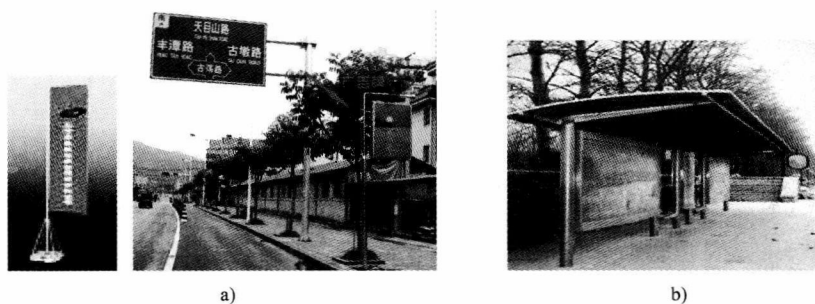


图 1-3 设计公共设施也需要进行力学计算

案桌上迷你风扇（图 1-4a）的每秒送风量与电动机功率的关系如何？图 1-4b 所示为儿童乐园里的电动摇马，怎样估算它所需的驱动功率？如今满路跑着的电动自行车（图 1-4c），其功率与自重载重、爬坡能力、行驶速度等因素有怎样的定量关系？这些也属于工程力学解答的问题。第二章习题 2-32 就是关于电动自行车功率计算的题目。

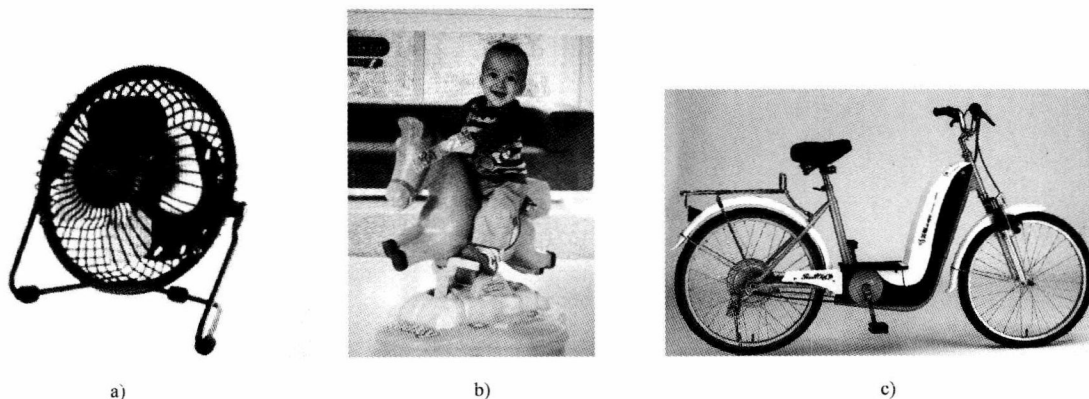


图 1-4 产品中的功率计算问题举例

产品设计中涉及静力学或动力学问题的例子举不胜举。

2. 产品设计与材料力学

图 1-5 是 20 世纪 20 年代包豪斯学校教师布劳耶（Marcel Breuer）设计的钢管椅，它

开启了采用钢管制作家具的新潮流，闻名于世界工业设计史的史籍。

1) 钢管椅应该尽量轻巧，但前提是必须牢固，能保证长期正常使用而不致折断破坏。如何做到这一点？——这是材料力学中的强度问题。

此问题涉及的力学因素比较多，例如：

① 人的体重如何作用于钢管椅？最容易折断破坏的是钢管椅的哪个或哪几个部位？

② 钢管架子的尺寸（如纵、深跨度）、形状（如钢管弯转的圆弧度）与钢管的承载能力有什么关系？

③ 人猛然往椅面上坐下去产生的冲击力（动载荷）有多大影响？人在椅子上长期晃动造成的反复作用（引起交变应力）又有什么影响？

④ 弄清了上述问题，才能合理确定钢管的直径和壁厚这两个尺寸。而这两个尺寸是相关的，可选择直径较粗但较薄的钢管，也可选择直径较细而较厚的钢管，需要综合考虑

酌情选定；另外还与钢材的质量有关，若选用优质钢材，椅子能更轻巧，但成本也会提高。

几乎所有的产品都像钢管椅这样，设计时需要考虑强度问题。图 1-6a 是常见的轻型家用物架，希望轻巧，也要求能多承载一点重量不被压坏。图 1-6b 是几款座椅等家具，造型还算新颖，但支撑部位的强度问题看来需要重视分析。市场上有些电脑桌，如图 1-6c 所示，设计并无问题，但因采用廉价劣质材料制作，用不多久就散了架，原因就在于强度不够。

公园游乐园里有些游乐设施是载人或挂着人玩的，如图 1-6d 所示，其构件的强度更直接关系到游人的的人身安全。可折叠自行车，如图 1-6e 所示，当然越轻越好，叠起来能轻松地随身携带，而强度正是轻巧的主要制约因素。以上例证表明，几乎所有的产品都存在强度问题。

2) 富于弹性是钢管椅的关键特征，适宜的弹性能使人享受钢管椅的舒适和乐趣，因而人的体重使钢管椅产生多大的变形量是设计中的要点。——这是材料力学中的刚度问题。

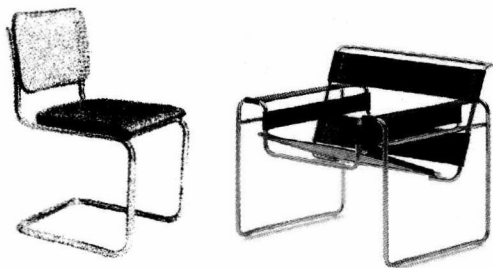


图 1-5 布劳耶钢管椅



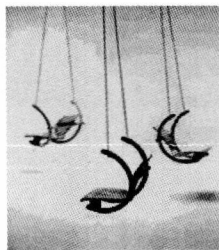
a)



b)



c)



d)



e)



图 1-6 几乎所有的产品都存在强度问题

再来看图 1-7 所示的儿童乐园里的弹性摇马，其底座是一个大弹簧。儿童坐在上面玩，颠簸中重力加大；摇晃间重心移动。既要长年使用，并确保儿童安全，是强度问题；又要能让儿童产生弹摇适度的乐趣，是刚度问题。那么，设计中该怎样选择和调整弹簧直径、钢条（或钢管）的粗细、弹簧圈数等参数呢？材料力学中强度、刚度两类知识都要涉及。

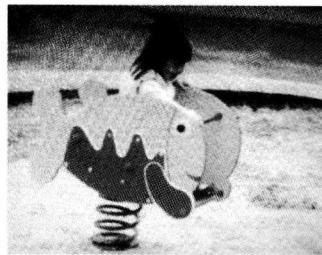


图 1-7 儿童乐园里的弹性摇马

有的产品必须有足够的刚度，即产品受力引起的变形量需要限制。例如抽屉，如果底板太薄，被抽屉里的东西压得鼓起了包，抽屉就抽动不灵了。过于单薄的电脑桌在散架以前，常可能由于支架歪扭变形而不能正常使用。在另一些产品中，其使用功能却正需要依靠适宜的刚度（或者说弹性）才能达到。钢管椅是如此，很多电器插拔开关和电脑主机里的插板是如此，手机、相机的电池盖板是如此，就连一支圆珠笔上也有几处利用弹性的结构。

刚度的分析计算也是材料力学的一个部分。刚度与强度一样，影响因素较多，包括产品的结构、尺寸、形态、材料性能等，而且两者是相关的，提高构件刚度的同时一般也有利于提高其强度。图 1-8 是一些常见塑料日用品，每一件产品结构形态的优劣都与力学密切相关。消耗同样多的材料制成的一件产品，力学上合理，就能提高其使用功能，例如承重更大、装放更多、更加耐用等。或者是在同等使用功能下，产品能耗材更省、更轻巧。应该特别指出的是，这些日用品所谓的“结构形态”，当然直接联系着产品的外观造型。

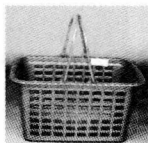


图 1-8 塑料日用品：力学上是否合理，关系使用功能，也关系造型美观

工业设计的主体是产品设计，通过上面的介绍可知，掌握一定的工程力学基础知识，是产品设计师所必须具备的素质，因此设计专业的学生应该认真学习这门课程。

还有必要对读者强调指出，与本专业中某些重感受、重形象、重技艺的课程很不相同，力学的系统性强，较抽象，很严谨，其知识是通过一步步推理演绎向前延伸的，前面弄懂了，后面才能学得懂。本书虽然力求多引入一些贴近生活、贴近专业的实例，这只能起一点提高学习兴趣的作用。从本质上说，力学是难以通过一个个的例子（哪怕是典型的生动的例子）来完成其学习的；反过来，循序渐进地学懂到一定程度，那么相关范围里各种具体问题也就都可以处理解决了。

二、工程力学与产品的形态美

美的本质与审美意识是基本哲学问题之一，有各种不同的理论与观点。尽管如此，关于美的感受与审美标准，已有相当多的论点获得了多数研究者的认同。例如，和谐与秩序是美的本质之一，而和谐与秩序意味着一种数理逻辑关系；黄金分割之美中蕴藏着理性与和谐的深刻内涵等。与此相应，在产品的形态美和工程力学之间，也有以下广为认同的论点。

1. 均衡与稳定是造型美的形式法则之一，它们来源于力学中的概念

均衡与稳定的造型法则来源于人们对事物安稳、可靠的心理要求，它是由实际物体在重力作用下的平衡状态所直接引申而来。

我国古代的文物“飞马踏燕”的造型令人惊叹（图 1-9）：飞奔着的马一蹄着地，动态中还维持着瞬时的平衡与稳定。

对于工业产品，物理意义上的稳定自然是必要的，碰碰就要倒塌的产品无法使用。而就造型而言，视觉感受上的稳定同样是取得美感的条件。视觉稳定与“视觉量感”有关：体积大、颜色深的物体，不论实际重量如何，总是让人产生很重的心理感受，这就是视觉量感。

图 1-10 是夏普公司的 BH-351 型半导体收音机，适应当时（20 世纪 60 年代）的“太空热”而设计成飞行器的式样，前后方向的造型是不对称的。该产品前部（图上为右部）体积虽小而颜色深浓，后部（图上为左部）体积虽大而颜色浅淡。该产品在视觉上获得均衡稳定的要求是：①假如前后两部分的视觉量感相近，应该使两部分量感重心到底面中心点 O 的距离 q 与 h 也相近；②假如前部量感 H 略大于后部量感 Q ，则应使两部分量感重心到底面中心的距离大体成反比例关系，即 $Qq \approx Hh$ 。经过这样的造型处理，产品前后方向上符合形式美学的均衡法则，给人安稳、可靠、端庄的良好感觉。倘若处理不当，看上去就使人觉得前后失衡，似乎不小心一碰就倒，将很难给人以美感。



图 1-9 飞马踏燕

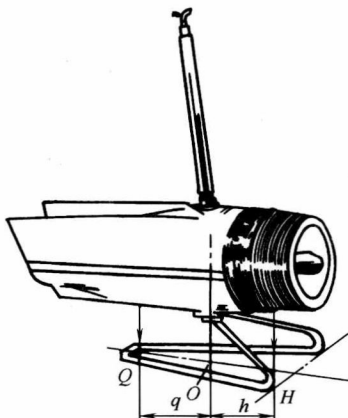


图 1-10 夏普 BH-351 型半导体收音机

产品，尤其是大型产品设计时，一般都采用上部浅淡、下部深浓的色彩方案以保持良好的视觉感受，其根源就因为上轻下重的物体在力学上才是稳定的。

2. 形态的视觉心理感受，与它强度、刚度上的合理性有深刻的潜在联系

我国隋代工匠大师李春设计的赵州桥（图 1-11），是世界上最古老、最著名的石拱桥之一，建造至今已经历约 1400 年的悠久历史。由楔形石块拼成向上弯曲的石拱，能充分发挥石材耐压的性能，使这一桥梁跨度既大，承受负荷的能力又高，而一大四小拱形桥洞的优美曲线形态、端庄稳定的雄姿，也永远成为文明史中的佳话。

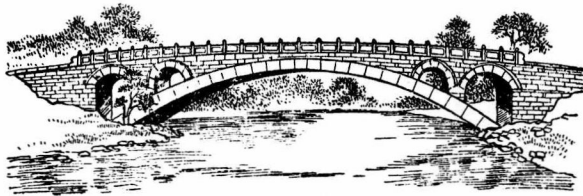


图 1-11 中国古老的石拱桥——赵州桥

图 1-12a 所示的结构，常用作城市中公共汽车站或铁路沿线小站的遮阳防雨棚架。从立柱顶部向两侧伸展出去的挑梁支撑着棚顶的重量。试看这段挑梁截面尺寸和形状的变化情况：与立柱相连及邻近部分梁截面的高度尺寸较大，而逐渐趋向挑梁的远端，高度尺寸也逐渐越来越小。人们会觉得挑梁的这种截面曲线挺美。事实上，由于挑梁上越接近根部

受力越大，所以挑梁截面的高度尺寸沿着趋近根部而逐渐加大，从结构强度来分析才是合理的。如果相反，挑梁根部很薄，越延伸向外反倒越厚，如图 1-12b 所示，挑梁的截面仍然是一条曲线，但人们看上去会自然地觉得不顺眼，很别扭，因而同样是曲线，却缺乏了美感。原来这样的挑梁将很容易在根部折断，从结构强度来看是不合理的。图 1-12c 是一款新式货架，每一块搁板都能方便地调整其上下位置，搁板的截面也是根部较厚，向外沿逐渐减薄，在力学上合理，视觉上也使人顺眼、舒服。

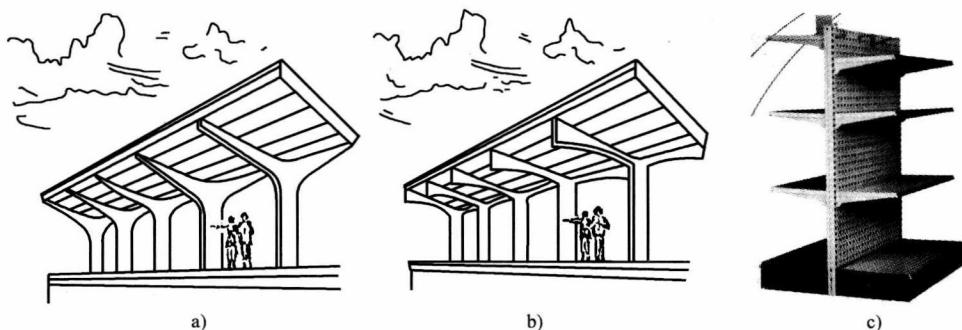


图 1-12 棚架的立柱、挑梁与货架

a) 力学上合理，富有美感 b) 不利于承载，视觉不佳 c) 造型合理的货架

洗衣机等一些机壳的正面、侧面均采用压肋加固结构，如图 1-13a 所示。这是因为大面积薄平板的强度和刚度都很差，经过凹凸压肋，可大幅度提高薄板构件的强度和刚度，在力学上更为合理。与此相关，在视觉效果方面，当箱壳是一大块完全平的表面时，看上去单调、平淡、无生气、疲软，有了凹凸压肋，增加了立体感与层次，于是显得挺拔、丰富、生动。塑料垃圾箱（图 1-13b）、防盗门（图 1-13c）面板上的压肋，也是既加强了强度刚度，也增加了美观。即使不懂力学，讲不出上面这番道理，但凭直觉也会有同样的感受。由此可见，造型美与合理的力学构形有深刻内在联系的论点是毋庸置疑的。

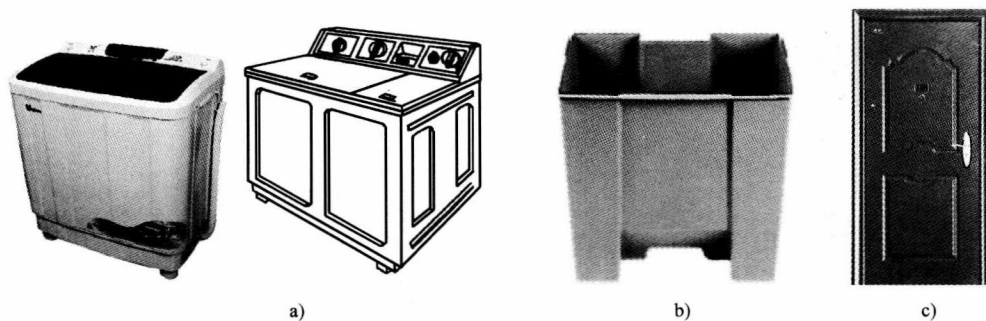


图 1-13 合理的力学结构与造型美

猛禽翱翔于高空，凶兽奔跑在山崖。猛禽的翅膀、凶兽的肢体都以它们超凡的形态美为千百年来的艺术家所倾倒。研究表明，由于亿万年进化的结果，飞禽走兽的翅膀肢体、形态结构都具有极佳的力学性能。

科学和艺术是人类文明的两大分支，它们在高层次上却有同一性。力学上的合理与造型美之间的关系，属于这种同一性的一个部分，是值得进一步深入研究的问题。

第二节 工程力学的研究对象与基本内容

工程力学一般包括理论力学和材料力学两个分支。

一、理论力学的基本内容

理论力学研究物体由于受力引起的机械运动的规律。物体的机械运动，是指物体的空间位置随时间而变化的过程与结果。

理论力学一般包含静力学、运动学和动力学三部分内容。

结合工业设计专业本科教学的实际需要，本书主要讲述其中的静力学部分。另外，仅对动力学中功与功率的概念略做简介。

静力学研究物体受力分析的方法和物体在外力作用下处于平衡状态的条件。

二、材料力学的基本内容

材料力学研究构件由于受力引起的变形和发生破坏的规律。

材料力学研究构件的强度、刚度和稳定性三类问题。

构件的强度，指构件受力中抵抗破坏的能力。

构件的刚度，指构件受力中抵抗变形的能力。

构件的稳定性，指构件受力中保持其原有平衡形式的的能力。

结合工业设计专业本科教学的实际需要，本书对于强度、刚度问题的讲述，着重在基本概念和工业设计中可能涉及的应用方法，而删削理论分析和公式的推导过程（这部分在某些专业的材料力学教材中占有较大篇幅）。要能在工业设计中处理强度和刚度较简单较常见的一般性问题，除了定性了解其概念以外，学生还应初步掌握相关的常用计算公式。

图 1-14 中有四种产品或设施，读者试初步分析一下：它们的设计中分别存在哪些工程力学方面的问题？（建议：可以就此安排一次简短的课堂讨论）

图 1-14a 是书架，图 1-14b 是体能肢力训练器，图 1-14c 是缆车客罐，图 1-14d 是楼梯和防护栏杆。

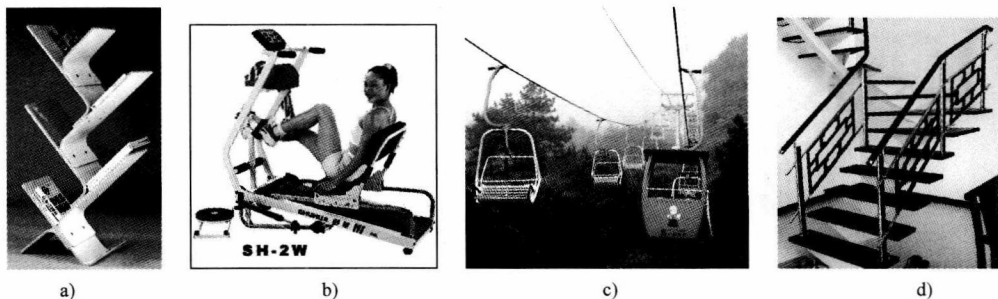


图 1-14 这些产品或设施的设计中存在哪些工程力学问题？

第三节 刚体与变形固体 力与力系

一、刚体与变形固体

任何材料制作的构件及产品，在外力作用下都会产生一定量的变形。但分析构件受力