



普通高等教育“十一五”力学精品教材

设计力学

Design Mechanics

杨 侠 马季红 吴艳阳 主编

■ 华中科技大学出版社

普通高等教育“十一五”力学精品课程教材

设计力学

杨 侠 马季红 吴艳阳

华中科技大学出版社

中国·武汉

内 容 简 介

本教材是根据最近各高等院校设置的工业设计、工业工程、艺术设计、工程管理、环境艺术设计等新专业的教学需求而编写的一门力学基础课教材,它综合了理论力学、材料力学、结构力学等基础力学知识,对经典内容加以精选,并与专业需求相结合,简练而富有新意。本教材以力学的基本概念和原理为主线,结合工业设计类专业特点,优化课程体系,重组教学内容,易于理解和接受。

全书共分7章,包括导论、力学基础知识、平面结构的静力平衡问题、平面结构的几何组成、构件的内力与内力图、构件的应力分析、构件的变形等内容。本教材注重基本概念的讲解,强调工程概念,强调基础,突出应用,引入了大量与工程设计力学相关的工程设计例题及习题。第1至6章是本课程的基本内容,第7章是选学内容,任课教师可根据教学任务安排进行选择。

本书特别适用于对力学知识要求不高的专业,可作为普通高等院校工业造型、艺术设计以及高职、夜大、电大、中专等对力学要求较低专业学生的教材,也可作为广大有关设计技术人员的自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

设计力学/杨侠 马季红 吴艳阳. —武汉:华中科技大学出版社,2009年4月

ISBN 978-7-5609-5239-0

I. 设… II. ①杨… ②马… ③吴… III. 工业产品-造型设计-力学-高等学校-教材
IV. TB472

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 042938 号

设计力学

杨侠 马季红 吴艳阳

策划编辑:徐正达

责任编辑:姚同梅

责任校对:张琳

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录排:武汉佳年华科技有限公司

印刷:湖北恒泰印务有限公司

开本:710mm×1000mm 1/16

印张:11

版次:2009年4月第1版

印次:2009年4月第1次印刷

ISBN 978-7-5609-5239-0/TB·113

封面设计:刘卉

责任监印:周治超

字数:210 000

定价:16.80 元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

前 言

近年来,越来越多的高等院校面向艺术类学生设立了工业设计、产品造型、环境艺术设计等专业,面向此类专业设置“工业设计基础”课程,对于提高学生的设计能力具有重要意义。“工业设计基础”课程教学主要包括两个方面的教学内容:机械设计基础与工程力学。目前普遍存在的一个教学难题是,如何面向艺术、设计、工程管理类专业学生传授机械设计基础、工程力学这两门工科性强的课程的知识。建设好面向艺术类专业的机械设计基础、工程力学等相关工科教材,对于提高艺术类学生的设计能力至关重要。目前,工程力学方面的教材主要以面向职业技术教育编写的教材为主,此类教材主要是在对工科学生使用的教材内容进行删减和简化的基础上得到的,在内容及体系结构上没有做过多的改动。我们在近几年教学中采用此类教材时,感觉其不适应教学要求。

鉴于上述原因,武汉工程大学力学教研室组织相关骨干教师,在仔细分析、调研的基础上,编写了这本面向艺术类、工程管理类等专业的《设计力学》教材。本教材与一般工程力学教材相比较,在内容及体系结构上作了较大调整,针对教学实际删除了组合变形、刚度分析等难度较大的内容;省略了公式推导过程,改由以表格形式直接给出公式应用形式;不拘泥于传统编排的结构体系,紧密结合专业需要,广泛采用设计过程中的力学实例由浅入深地进行讲解,理论与实践紧密结合,相信本教材专业性更强,特色也更鲜明。

全书共分7章,第1章以工业设计实例为对象,阐述设计力学重要性及研究的主要内容,希望能够使学生一开始就将专业内容与力学知识结合起来进行学习,明白学习本课程的必要性;第2章主要讲解力学基础知识,为后续章节的学习奠定基础;第3章主要通过工业实例讲解平面静力学基本问题及分析方法;第4章介绍平面结构几何组成的基本概念;第5、6、7章以大量工程实例来讲解力学面对的三个问题——强度、刚度、稳定性,其中又以求解强度为主,为产品设计中的安全性问题提供分析方法。

本教材由武汉工程大学力学教研室和张居敏共同提出创意,并拟订编写大纲,由杨侠、马季红、吴艳阳主编。具体参加编写的人员是:武汉工程大学杨侠(编写第1章)、罗燕(编写第2章)、郑贤中(编写第4章)、马季红(编写第5章)、魏化中(编写第6章)、吴艳阳(编写第7章),华中农业大学张居敏(编写第3章)。张居敏对全书编写给予了大力帮助与指导,研究生汪威、张捷、林纬、高九阳在书稿的整理、绘图等方面做了许多工作,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,在此教材编写探索过程中难免会出现不足,恳请同行专家及读者不吝赐教,给予批评指正。

编 者

2009年1月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 设计力学在工业设计中的作用	(1)
1.2 工程力学与产品的形态美	(2)
1.3 设计力学的研究内容	(5)
阅读材料一	(7)
第 2 章 力学基础知识	(9)
2.1 力的基本性质	(9)
2.1.1 力的概念	(9)
2.1.2 力的种类	(11)
2.2 力的合成与分解	(16)
2.2.1 合力与分力	(16)
2.2.2 力的合成与分解的基本法则	(16)
2.2.3 合力投影定律	(19)
2.3 力矩与力偶	(19)
2.3.1 力矩	(19)
2.3.2 力偶	(21)
2.3.3 力的平移定理	(22)
2.4 载荷的分类	(22)
2.4.1 按作用在结构上的时间分类	(23)
2.4.2 按作用在结构上的分布情况分类	(24)
2.5 平面结构分类	(26)
2.5.1 构件分类	(26)
2.5.2 平面杆系分类	(28)
2.6 约束与反力	(31)
2.6.1 活动铰支座(滚轴支座)	(32)
2.6.2 固定铰支座	(33)
2.6.3 固定支座	(33)
2.6.4 柔索约束	(33)
2.6.5 光滑面约束	(34)
2.7 平面结构计算简图及受力分析	(35)
2.7.1 杆件及杆与杆之间的连接构造的简化	(35)
2.7.2 支座的简化	(36)
2.7.3 载荷的简化	(36)

2.7.4 画计算简图实例	(36)
阅读材料二	(38)
习题	(40)
第3章 平面结构的静力平衡问题	(42)
3.1 基本力系	(42)
3.1.1 力系的定义	(42)
3.1.2 力系的分类	(42)
3.2 受力分析与受力图	(44)
3.2.1 受力分析与受力图定义	(44)
3.2.2 静力学基本公理	(44)
3.2.3 受力分析举例	(45)
3.3 静力平衡条件与平衡方程	(47)
3.3.1 静力平衡的概念	(47)
3.3.2 静力平衡方程	(47)
3.3.3 几种特殊平面力系的平衡条件	(49)
3.4 平面结构的静力分析	(50)
3.4.1 常见静力平衡问题的分类与求解步骤	(50)
3.4.2 构件的分析实例	(51)
阅读材料三	(60)
习题	(62)
第4章 平面结构的几何组成	(65)
4.1 构件体系的几何组成	(65)
4.2 几何体系判别准则	(66)
4.2.1 几个结构名词	(66)
4.2.2 两个基本判别准则	(67)
4.3 几何体系的分类	(68)
4.4 几何体系组成分析	(69)
阅读材料四	(71)
习题	(72)
第5章 构件的内力与内力图	(74)
5.1 变形体及内力与内力图	(74)
5.1.1 变形体基本假设	(74)
5.1.2 内力与内力图的研究意义	(75)
5.2 受力与变形	(75)
5.2.1 轴向拉伸(或压缩)	(75)
5.2.2 剪切	(76)
5.2.3 扭转	(76)
5.2.4 弯曲	(76)

5.2.5 组合受力与组合变形	(77)
5.3 内力	(77)
5.3.1 内力的概念	(77)
5.3.2 内力正负号的规定	(79)
5.3.3 截面法	(80)
5.4 内力图	(81)
5.4.1 轴力与轴力图	(82)
5.4.2 扭矩与扭矩图	(85)
5.4.3 剪力、弯矩与剪力图、弯矩图	(88)
5.4.4 其他构件的内力与内力图	(94)
阅读材料五	(95)
习题	(97)
第6章 构件的应力分析	(102)
6.1 应力与应变	(102)
6.1.1 应力的概念	(102)
6.1.2 正应变与切应变	(102)
6.1.3 弹性材料的物性关系	(103)
6.2 拉压变形	(104)
6.2.1 工程中的轴向拉伸、压缩问题	(104)
6.2.2 轴向拉、压应力分析	(105)
6.2.3 安全因素、许用应力与强度条件	(106)
6.2.4 应力集中	(108)
6.3 剪切与挤压	(109)
6.3.1 构件连接与剪切变形	(109)
6.3.2 剪切强度的实用计算	(110)
6.3.3 挤压应力实用计算	(111)
6.4 扭转应力分析	(114)
6.4.1 工程中的扭转问题	(114)
6.4.2 圆轴扭转时切应力在横截面的分布规律	(115)
6.4.3 圆轴扭转的强度条件及应用	(116)
6.4.4 应用举例	(117)
6.5 平面弯曲的应力分析	(118)
6.5.1 弯曲变形与平面弯曲变形	(118)
6.5.2 平面弯曲时横截面上的应力分布规律	(119)
6.5.3 梁的强度条件及其应用	(123)
6.5.4 提高梁承载能力的主要措施	(128)
阅读材料六	(130)
习题	(131)

第 7 章 构件的变形*	(136)
7.1 变形与应变	(136)
7.2 轴向拉伸与压缩变形	(137)
7.2.1 绝对变形	(137)
7.2.2 相对变形——线应变	(137)
7.2.3 胡克定律	(138)
7.3 扭转变形	(139)
7.3.1 圆轴扭转变形量计算公式	(139)
7.3.2 刚度条件	(140)
7.4 平面弯曲变形	(141)
7.4.1 梁的弯曲变形实例	(141)
7.4.2 度量弯曲变形的参量——挠度和转角	(142)
7.4.3 弯曲变形计算的查表法和叠加法	(143)
7.4.4 梁的刚度条件与刚度设计	(149)
7.4.5 影响结构刚度的因素	(150)
7.5 压杆的稳定性	(151)
7.5.1 压杆稳定性的概念	(151)
7.5.2 细长压杆临界压力	(153)
7.5.3 压杆临界应力	(155)
7.5.4 压杆的稳定性设计	(157)
7.5.5 提高压杆稳定性的措施	(158)
阅读材料七	(160)
习题	(161)
附录 型钢规格表	(166)
参考文献	(168)

第1章 绪 论

1.1 设计力学在工业设计中的作用

首先以一种简单的产品——椅子的设计为例,来阐述工业、艺术设计中产品的设计与力学的关系。早期的椅子主要采用木材制作,制作方法复杂且不耐用。从20世纪20年代开始,钢管材料被用于家具的制作,从而开辟了现代家具设计的新时代。图1.1所示是包豪斯学校教师布劳耶(Marcen Breuer,1902—1981)设计的“U”形钢管椅,其作为早期钢管家具代表作被载入了工业设计史籍中。



图 1.1

对从事工业、艺术设计的工作者而言,有创意的外观、较高的舒适度及功能化结构设计,是其作品设计构造的“灵魂”。同时,从形成创意到完成设计,每一个步骤都必须建立在对产品的安全性能、用料成本等问题进行全面分析的基础上。一般而言,设计产品的安全性能与制作成本是一对矛盾体,产品安全性能越好,成本越高;反之,成本越低,安全性能就可能越低。因此,产品的高性价比成为重要的设计目标,而这就不可避免地需要正确分析、处理一些与力学相关的问题。对于布劳耶设计的钢管椅,在设计过程中需要考虑以下几个力学问题。

(1) 人坐在椅子上、后仰倚背和前倾起立时,要使椅子保持稳定,不致倾倒,在地面上支撑整个椅子的那段“U”形钢管的横宽、纵深及宽深比各应该是多少。这个问题是设计者在设计之初就必须考虑的,但只有通过椅子进行详细的受力分析才能够解答,这属于静力学研究的范畴。

(2) 钢管椅要能充分承受一个成年人静坐时的体重(俗称“静载荷”)而不致被折断,钢管的直径和壁厚等尺寸又如何确定,如何在安全承受最大载荷情况下使材料最

精简,等等。对这些类似问题的解答将涉及材料力学中的强度分析等过程。

(3) 富有弹性是钢管椅的关键性创新特征,恰到好处的弹性能使人充分享受钢管椅带来的舒适感和乐趣,但是过大的挠度变形却会让使用者感到不安全。椅子弹性变形量的大小将成为设计中的重要依据,这涉及材料力学中的材料刚度等问题。

(4) 椅子在使用过程中最大受力位置在哪里,哪里最不安全,这属于材料内力图与内力分布规律的问题。

(5) 所用的材料不同、椅子的安全性能有何差别,哪种材料性价比更高,结构设计形式的改变会产生哪些力学性能变化及改变后是否安全,等等。

上述这些问题,在椅子的设计过程中或多或少地都会被考虑到,而对这些问题的分析均离不开相关的力学知识。虽然其中有些问题仅凭借经验或常识就可能基本解决,但较为深入、完美的产品设计,是离不开工程力学方面的专门知识的,如果不具备一定的设计力学基础知识,是不可能完成一款材料精简、结构合理、安全可靠的钢管椅的完美设计。

与造型活动的视觉传达设计不同,工业设计中的产品设计,最终要落实为具有使用功能的物化成果,因此,其形态、尺寸、结构、材料选择、宜人性(即人机关系)都是基本的设计要素和工作内容。在产品创意和初步方案构思的阶段,或许设计力学还不是重点问题,但是当进行深入设计、为所有元素设计定量化结果的时候,如果设计师只依靠感觉与经验来决断,那将是不科学也是不合理的,更不要说实现设计的完美性。掌握一定程度设计力学方面的科技知识是现代产品设计师所必须具备的基本素质。

无论是从复杂、大型工业产品的设计来看,还是从日常生活用品的设计来看,产

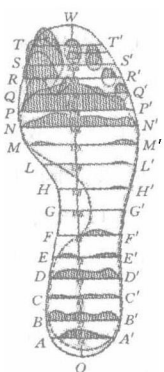


图 1.2

品的强度、刚度、结构形式、摩擦磨损、工作寿命、材料性能等都属于设计力学分析的范畴,占有重要的地位。比如鞋子,尤其是运动鞋,其鞋底前掌和后跟的形状、尺寸、位置的合理确定,依赖于穿鞋时脚底的着力情况,我国制鞋工业研究部门曾进行过“脚掌面压力分布实验及其应用”的专项研究,通过大量数据测试,最终得出如图 1.2 所示的鞋底力值分布曲线图,目前该曲线图已成为众多从事鞋产品设计工作者的重要依据。

综上所述可以看出,产品设计、工业设计、艺术设计、工程管理等均离不开基本力学知识,这些基本的力学知识及分析方法,正是《设计力学》教材的主要内容。

1.2 工程力学与产品的形态美

美的本质、审美意识与审美对象的关系是基本哲学问题之一,对这一问题的研究延续在整个人类文明史中,涉及广泛的学术领域,由此产生了各种不同的理论与不同

的观点。因此,对与此有关的问题,常常很难给出毫无争议的结论。尽管如此,关于美的感受与审美标准,还是有相当多的观点至少在表面上获得了多数研究者的认同。比如说,和谐与秩序是美的本质之一,而和谐与秩序也意味着一种数理逻辑关系;黄金分割比例之美,即蕴藏着理性与和谐的深刻内涵;等等。

关于产品的形态美和工程力学之间的关系问题,大体可以在这样一个层面上归纳出几点结论,以供读者参考和研究探讨。

(1) 均衡与稳定是造型美的形式法则之一,其来源于力学概念。

均衡与稳定的造型法则来源于人们对事物安全、稳定、可靠的心理要求,直接由实际物体在重力作用下的平衡状态引申而来。我国古代文物“马踏飞燕”的造型令人惊叹(见图 1.3):飞奔着的马一蹄着地,在动态中还维持着瞬时的平衡与稳定。自由翱翔于蓝天的老鹰(见图 1.4),可以在平衡中实现动作突变,其飞翔中的完美形态引发人们的无数赞叹。

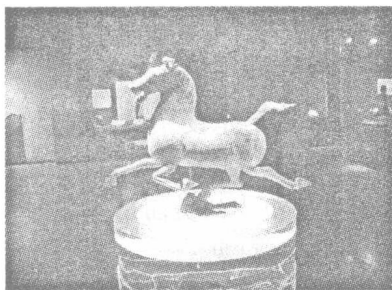


图 1.3

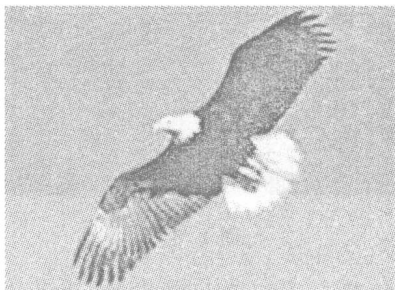


图 1.4

世界著名建筑意大利比萨斜塔(见图 1.5)和法国艾菲尔铁塔(见图 1.6)的造型令人惊叹:一个斜立而不倒,一个庄严而挺立,均稳定而协调,给人一种力量感。

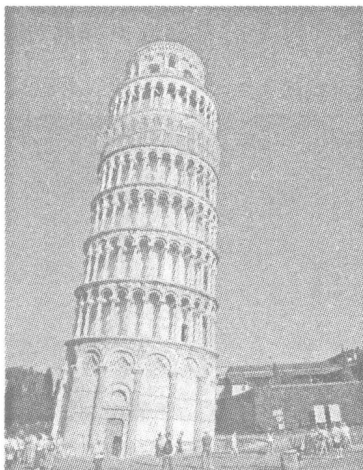


图 1.5



图 1.6

研究表明,无论是铿锵稳健的大型建筑物、设计精巧的工艺产品,还是富于流线美的动物形体,获得极佳的力学性能都是设计或者进化的重要目标。对于工业产品,物理意义上的安全、稳定是必要的,因为正常使用就被破坏或损坏的产品是无法被使用者所认同的;而就造型而言,视觉感受上的稳定同样是取得美感所应具备的条件。视觉稳定与“视觉量感”直接有关,体积大、颜色深的物体,不论其实际重量如何,总是让人产生很重的心理感受,此即属于视觉量感。进行产品尤其是大型产品的设计时,一般都采用上部浅淡、下部深浓的色彩方案,以实现视觉稳定,其设计思想的根源依然在于力学上的合理性。

(2) 形态的视觉心理感受与强度、刚度上的合理性有深刻的潜在联系。

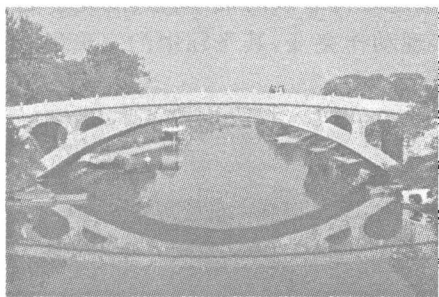
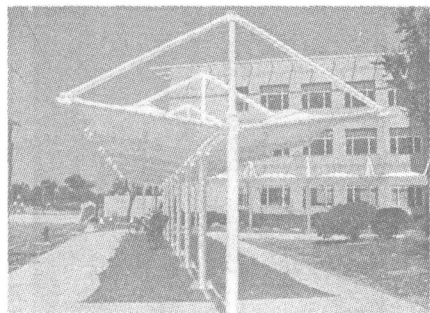


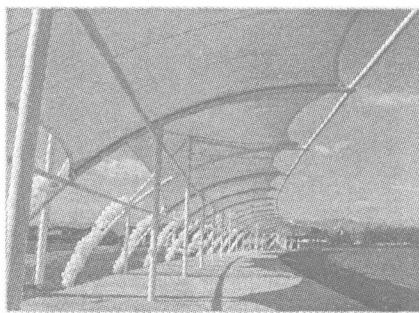
图 1.7

我国隋代工匠大师李春设计的赵州桥(见图 1.7),是世界上最古老、最著名的石拱桥之一,建造至今已经有约 1 400 年的历史。由楔形石块拼成的向上弯曲的石拱,能充分发挥石材耐压的性能,使桥梁既具有较大的跨度,又具有较高的承受负荷的能力,而拱桥大小拱形的优美曲线、端庄稳定的姿态,也永远成为文明史中的美丽影像。如今,石拱桥在生活中随处可见。

如图 1.8 所示为城市中公共汽车站和铁路沿线小站的遮阳防雨棚架,在此类雨阳棚中由立柱顶部向两侧伸展出去的挑梁支承棚顶的重量。这段挑梁截面尺寸和形状的变化情况为: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越来越小。挑梁的这种设计具有一种形态美。事实上,从结构强度来分析,挑梁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的方向逐渐加大才是合理的。



(a)



(b)

图 1.8

洗衣机等一些机器的机壳正面、侧面常采用压肋加固结构(见图 1.9),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,在力学结构上更为合理;而在视觉效果方面,当箱壳是一大块完全平的表面时,看上去较单调、平淡,有了凹凸压肋后,立体感与层次感增强了,箱壳外表于是显得丰富、生动起来,达到视觉美感和力学形态的和谐统一。由此可见,合理的力学构形与造型美存在着深刻的内在联系。

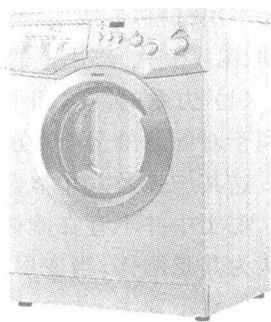


图 1.9

科学和艺术是人类文明的两大分支,它们在高层次上有同一性。力学上的合理性与造型美之间的关系,属于这种同一性的一个部分,是在产品设计过程中值得进一步深入研究的问题。

1.3 设计力学的研究内容

随着科学技术的不断发展,新的技术学科不断出现,其对力学的要求也不断提高。设计力学是在理论力学、结构力学、材料力学等力学学科基础上建立起来的学科分支,它不是创新性成果,更不是新的发现,而是针对相应的技术学科的发展需求,对三大基础力学理论进行综合与改革而得到的,以使力学在面向设计类、工程管理类、艺术类专业时更具有针对性和实用性。

设计力学包括经典理论力学与材料力学两方面最基本的内容。结合工业设计等专业教学的实际需要,在理论力学部分,本教材只讲述其中的静力学部分。静力学研究对物体进行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。在材料力学部分,本教材只讲述其中的强度与刚度分析两类问题,注重基本概念和实际应用中可能涉及的处理方法的讲解。在工业设计中要正确、熟练地处理好构件强度和刚度问题,只对强度、刚度问题有定性了解是不够的,还应该掌握与构件强度、刚度有关的基本量化关系式,为此,本教材结合实例列出了基本的强度、刚度计算公式。

在工业造型及艺术设计中,杆、构架等被用以承担预定任务和支承载荷。由建筑材料按合理方式组成的构筑物称为结构,而这些结构又往往是由若干构件按一定几何形式组成的,因此研究结构的几何组成规则也是必要的。

在载荷作用下,承受载荷和传递载荷的结构和构件会引起周围物体对它们的反作用。同时,构件会因受载荷作用而产生变形,并且存在着被破坏的可能性。但结构本身具有一定的抵抗变形和破坏的能力,即具有一定的承载能力,而构件承载能力的大小与构件的材料性质、截面的几何尺寸、受力性质、工作条件和构造情况等有关。在结构设计中,当其他条件一定时,如果构件的截面设计得过小,则结构不安全,会因变形过大而影响正常工作,或因强度不够而遭到破坏。当构件的承载能力大于构件所受的载荷时,

则要多用材料,造成浪费。因此,设计力学将讨论和研究构件在载荷或其他因素(支座移动、温度变化)作用下的主要任务,通常可归纳为如下几个方面的内容。

(1) 力系的简化和平衡问题。力系是指作用在物体上的一群力,对其进行简化有利于对问题的分析,在简化时,一般都视物体为刚体,其依据是刚化原理。

这其中涉及几个概念:变形体,即受力后变形的物体;刚体,即受力不变形的物体。现实中并不存在刚体,只是当物体形变量不大,不超出允许范围并可以忽略时,就认为其是刚体;当变形体在某力系作用下平衡时,如将此变形体视为刚体,其运动状态保持不变。

(2) 强度问题。强度是指材料、构件和结构抵抗破坏的能力。如图 1.10 所示,对杆件施加一个压力 F ,根据材料特性来分析、判断杆件是否会断裂,此即为强度分析。研究强度问题的目的是保证设计的材料、构件和结构在设计载荷范围内和正常工作情况下不会发生破坏。

(3) 刚度问题。刚度是指构件和结构抵抗变形的能力。如图 1.11 所示,同样施加压力 F ,杆件会因为受力而变形,如果这种变形超出设计的工作范围,则设计不可行。车床上的丝杠就对刚度有很高的要求,因为它直接影响到机床的加工精度。研究分析刚度问题的目的是保证设计的材料、构件和结构在设计载荷范围内变形不超出允许范围。

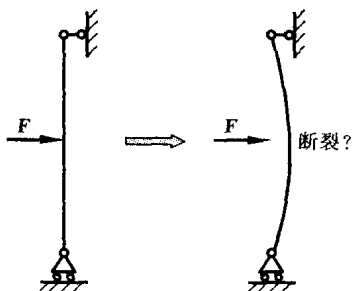


图 1.10

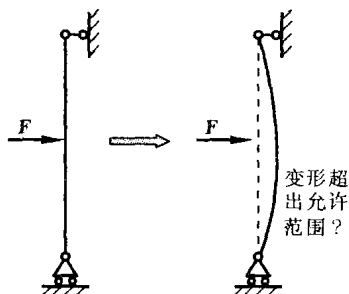


图 1.11

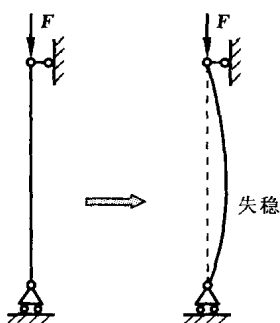


图 1.12

(4) 稳定性问题。稳定性是指构件和结构在外力作用下具有保持平衡而不会突然改变状态的能力。如图 1.12 所示,施加压力 F ,当 F 超过某一值时,杆件突然从原来的直线平衡状态变为曲线状态,这种现象称为失稳。研究分析稳定性问题的目的是保证设计的构件和结构在设计载荷范围内保持其平衡的稳定。

(5) 几何组成分析。进行几何组成分析的目的是保证所设计产品结构各部分不致于发生相对运动。在第 5 章中将对此进行详细讨论。

阅读材料一

力学与飞行

人们一直向往在天空中自由自在地飞行。但直到18世纪初,除了有一些人利用风筝或模拟翅膀,借助于风力做过尝试外,人类还没能真正飞起来过。

最先开始的是气球飞行。1783年6月,法国的蒙哥尔费兄弟(M. Joseph and M. Etienne)公开表演了布袋式热气球飞行。同年9月,他们又表演了载有生物(羊、鸡、鸭各一只)的气球飞行。12月,罗赛亚和阿兰迪乘蒙哥尔费兄弟的热气球飞到近千米的高空。后来,又开始了氢气球载人飞行,升空高度也不断增加,直到万米高空。但高空似乎并不欢迎这些陌生的游客,严寒和缺氧使得一些勇敢者失去了生命。在1875年的一次飞行中,有三人乘气球升到一万米高空,回来的幸存者仅有梯萨德(G. Tissandier)一人。

19世纪后,蒸汽机、电动机、内燃机等动力装置得到应用,出现了用动力装置获得辅助动力,靠充填氢、氦、热空气等产生升力的飞艇。为了能将沉重的机器带到空中,人们不得不将飞艇做得很大,但也实现了向周围任意方向的飞行,比用气球时前进了一步。无论是气球还是飞艇,升力都是由比空气轻的气体获得的,属于空气静力飞行。

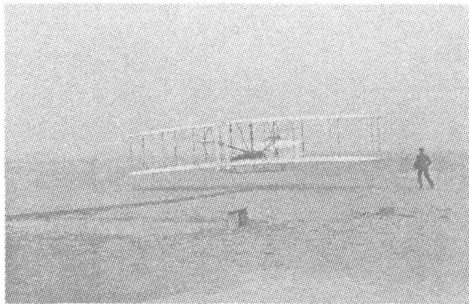
19世纪末,经典流体力学基础形成。到了20世纪,研究飞行器及其他物体在同空气作相对运动情况下的受力特性、气体流动规律的空气动力学从流体力学中发展出来,形成了一个新的学科分支。

航空要解决的主要问题是获得飞行器所需要的举力(升力),减小飞行器的阻力并提高飞行速度,这就需要从理论和实践两方面研究飞行器与空气相对运动时作用力的产生及其规律。从1894年—1910年,兰彻斯特(F. W. Lanchester, 英国)、库塔(M. W. Kutta, 德国)、儒科夫斯基(H. E. Жуковский, 俄国)和普朗特(L. Prandte, 德国)等,在无限翼展机翼举力理论、边界层理论、有限翼展机翼的举力线理论等方面的研究上取得了重大进展,人类由此进入了利用空气动力飞行的时代。1946年,琼斯(R. T. Jones, 美国)提出了小展弦比机翼理论,由此可足够精确地求出机翼上的压力分布和表面摩擦阻力。

1903年,美国的莱特兄弟用自己制作的木制机身、双层帆布机翼螺旋桨飞机进行了第一次飞行。不久,美、俄等国研制的飞机(主要是军用飞机)即达上千架。第一次世界大战后,开始出现单翼机。这个时期制造飞机的主要材料还是木材和帆布,飞机飞行的速度、高度、距离都还有限。



莱特兄弟



莱特兄弟制作的飞机

1939年,随着燃气轮机的应用,第一架喷气式飞机诞生了。1949年,英国成功研制出第一架喷气式客机“彗星”(Comet)号,其可载客80名,最大起飞重量达70 t,飞行的速度和距离得到了很大的提高。

当飞行速度接近声速时,飞机的气动性能会发生急剧变化,阻力突增,举力骤降,飞机的操纵性和稳定性也极度恶化,这就是“声障”现象。大推力发动机的出现使飞机“冲过了”声障,但并没有很好地解决复杂的跨声速流动问题。直到1946年,阿克莱特、李普曼、中国学者钱学森和郭永怀才通过分析流场中出现的边界层和冲击波的相互作用,成功地解决了跨声速飞行中的空气动力学问题。相关力学理论的建立和工程中后掠式机翼的采用,使跨声速飞行成为现实。力学理论对突破声障问题起到了关键作用。在不断提高飞机速度欲望的驱动下,高超声速(马赫数大于5)空气动力学研究此时也已经进行并处于继续发展中。20世纪50年代以后,在洲际导弹、航天技术、核爆炸技术等领域又产生了许多新的力学问题,促进着力学的发展。

要使飞机能够在空中自由自在地飞行,除了必须提供足够的升力外,还必须保证其结构的安全性。1952年,“彗星”号在试飞300多小时后投入使用。1954年元月,在检修后的第四天,飞机突然在飞行中爆炸,坠落于地中海。人们从海中打捞起飞机残骸并进行了仔细的研究后发现,事故是由压力舱的疲劳破坏引起的,疲劳裂纹起源于机身开口拐角处。这一经验教训进一步推动了疲劳研究的发展。20世纪60年代末,美国空军F-111飞机连续多次发生灾难性事故,研究认为是由含裂纹构件的脆性断裂引起的,断裂力学方法从此被引入飞机设计中。以疲劳和断裂理论为基础,形成了破损安全设计、损伤容限设计、耐久性设计等新的设计准则。

由此可见,力学与飞行是紧密结合的。力学的研究成果被不断地应用于飞行领域,促进了飞行技术的进步;反之,飞行技术的进步又不断地向力学工作者提出新的课题,在解决这些问题的同时,力学学科自身也不断地得到了丰富和发展。

第2章 力学基础知识

2.1 力的基本性质

2.1.1 力的概念

1. 力的定义

力是物体间的相互作用。若甲物体受到力的作用,则一定存在施加这种作用的乙物体,甲物体称为受力体,乙物体称为施力体。只要有力发生,就一定有受力体与施力体。有时为了方便,只说物体受到力,而不指明施力体,但施力体是一定存在的。力是看不见也不可直接度量的,可以直接观察到和用仪器度量的是力的作用效果。

2. 力的三要素

力是矢量,不仅有大小,还有方向。物体受到的重力是竖直向下的,物体在液体中受到的浮力是竖直向上的;同样大小的力,作用方向不同,力的作用效果也会不同。作用在物体上的力如果与物体的运动方向相同,将使物体运动加速;否则,将阻碍物体运动。由此可见,要把一个力完全描述出来,除了力的大小,还必须指明力的方向。

力对物体的作用效果,不仅仅取决于力的大小与方向,还取决于力的作用点。例如用方向与大小相同的力去转动门,如图 2.1 所示,作用点离门转动轴越近使门转动越难(见图(a)),作用点离门转动轴越远使门转动越容易(见图(b))。

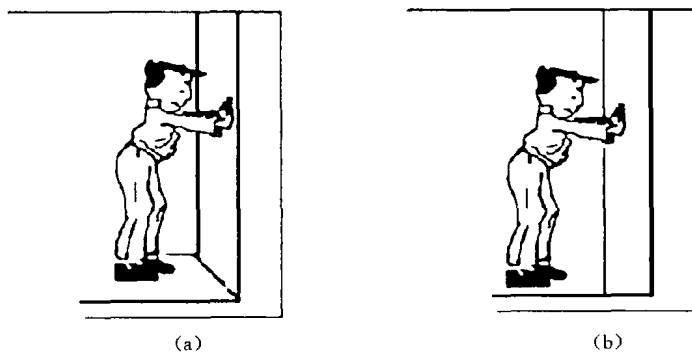


图 2.1

因此,力对物体的作用效果取决于三个因素:力的大小、方向和作用位置,统称为力的三要素。作用位置根据研究的问题可分为点、线、面、体。一般使用位置的尺寸可以忽略时,将其简化为作用点。要描述一个力,必须指明它的三要素。对刚体而