



高职高专道路与桥梁专业系列规划教材

GAOZHIGAOZHUAN

道路工程力学(上册)

戴景军 刘凌 主编

王素华 梁秋生 刘秋生 副主编



科学出版社

www.sciencep.com

高职高专道路与桥梁专业系列规划教材

道路工程力学

(上册)

戴景军 刘 凌 主 编

王素华 梁秋生 刘秋生 副主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书根据高职高专道路与桥梁专业的教学目标和要求而编写。全书分上、下两册。上册共十章,主要包括工程力学基本知识、平面力系、空间力系、杆件的内力与变形、杆件的应力与强度、应力状态与强度理论、组合变形分析和压杆的稳定等;下册共九章,主要包括体系的几何组成分析、静定结构内力计算、影响线及其应用、结构位移计算、力法、超静定拱、位移法、力矩分配法、矩阵位移法等。

本书可作为高职高专道路与桥梁专业,以及水利工程专业、土木工程专业的教学用书,亦可供其他相关专业的师生和技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

道路工程力学(上册)/戴景军,刘凌主编. —北京:科学出版社,2005
(高职高专道路与桥梁专业系列规划教材)

ISBN 7-03-014862-2

I. 道… II. ①戴…②刘… III. 工程力学—高等学校:技术学校—教材 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 001818 号

责任编辑:童安齐 沈 建 / 责任校对:柏连海
责任印制:吕春珉 / 封面设计:东方上林工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双 青 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年3月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2005年3月第一次印刷 印张:21 1/4

印数:1 4 000 字数:367 000

定价:46.00元(上、下册)

(如有印装质量问题,我社负责调换<双青>)

《高职高专道路与桥梁专业系列规划教材》

编委会

主 任 李继业

副主任 沈养中 邓爱华 周志坚 童安齐

委 员 (以姓氏笔画为序)

王育军 叶加冕 刘 凌 刘宝莉

刘福臣 许能生 沈 建 陈 刚

吴明军 吴清海 李西亚 邱琴忠

赵全振 俞素平 施晓春 高 杰

徐宇飞 徐梓忻 秦植海 郭玉起

符明娟 翟爱良 戴景军

前 言

本教材根据高职高专道路与桥梁工程(技术)专业培养目标及其工程力学教学大纲及教学要求而编写。本教材适应高职高专教育淡化学科、重视专业和强调应用的特点,强化工程力学知识应用的教学,注重例题、习题的选配,突出动手能力的培养,是编者多年教学实践经验的积累和总结。

由于考虑到不同学校在学制上有差异,对工程力学课学分或学时的设置也不尽相同,因此,本教材在内容取舍上照顾了知识面上的要求。各学校在教学时,具体教学内容可由教研室或任课教师在该课程授课计划中确定。

本教材尽管主要是针对高职高专道路与桥梁专业而编写的,但由于土建类专业对工程力学知识的要求具有一定的相通性,因此本教材也可适用于高职高专土建类其他专业,如建筑施工专业、给排水专业、环境工程专业、水工建筑专业等,也可作为其他相关专业的参考书。同时,下册还可单独作为“结构力学”教材使用。

参加本教材编写的有:山东农业大学王素华(第一、二、五章)、戴景军(第三、四章),昆明冶金高等专科学校刘凌(第六、九章),山东水利职业学院梁秋生(第七、十章)、刘秋生(第八章),四川建筑职业技术学院吴明军(第十一、十二章),福建交通职业技术学院陈刚(第十三、十六章),昆明冶金高等专科学校裴利剑(第十四、十九章),四川建筑职业技术学院肖盛莲(第十五章),广西建筑职业技术学院邓小峰(第十七、十八章)。

本教材上册由山东农业大学土木工程学院刘福胜主审,下册由四川交通职业技术学院黄万才主审,并提出了许多宝贵的建设性意见,在此表示衷心地感谢。

由于作者水平所限及时间仓促,书中难免存在不足之处,恳请广大读者批评指正。

目 录

前言

第一章 绪论	1
1.1 工程力学的发展概况	1
1.2 工程力学研究对象	4
1.3 工程力学的基本任务	6
1.4 工程力学与生产实践的关系	6
第二章 力学基本知识	8
2.1 基本概念	8
2.1.1 平衡	8
2.1.2 刚体	8
2.1.3 力与力系	8
2.2 静力学基本定律.....	10
2.2.1 二力平衡定律	10
2.2.2 加减平衡力系定律	10
2.2.3 力的平行四边形定律	11
2.2.4 作用和反作用定律	13
2.3 约束和约束反力.....	13
2.3.1 柔索约束.....	13
2.3.2 光滑面约束	14
2.3.3 铰链支座(固定铰支座)	14
2.3.4 铰链约束(铰接)	15
2.3.5 辊轴支座(活动铰支座)	15
2.3.6 连杆	16
2.3.7 固定端支座	16
2.4 物体的受力分析和受力图.....	16
2.4.1 概念和方法	17
2.4.2 受力图示例	17
2.4.3 受力图画法要点	21
小结	21
思考题	22

习题	23
第三章 平面一般力系	25
3.1 平面力系的简化	26
3.1.1 力的平移定理	26
3.1.2 平面一般力系向一点简化	27
3.1.3 平行分布荷载的抽象与简化	31
3.2 平面一般力系的平衡	33
3.2.1 平面一般力系的平衡	33
3.2.2 平面平行力系的平衡方程	36
3.3 物体系统的平衡	38
3.3.1 静定、静不定的概念	38
3.3.2 物体系统的平衡问题	40
3.3.3 静定平面桁架	45
3.4 摩擦	50
3.4.1 摩擦现象	50
3.4.2 滑动摩擦	51
3.4.3 摩擦角与自锁现象	52
3.4.4 考虑摩擦时的物体的平衡	55
3.4.5 滚动摩擦的概念	58
小结	60
思考题	60
习题	61
第四章 空间力系	71
4.1 力对轴之矩	71
4.1.1 力对轴之矩的概念	71
4.1.2 合力矩定理	72
4.2 空间力系的简化结果及讨论	74
4.2.1 空间一般力系向一点的简化	74
4.2.2 简空间一般力系化结果的讨论	75
4.3 空间力系的平衡方程及其应用	78
4.4 重心	80
4.4.1 重心的概念	81
4.4.2 重心坐标公式	81
4.4.3 重心位置的求法	82
小结	84

思考题	85
习题	85
第五章 截面的几何性质	88
5.1 截面的静矩和形心	88
5.1.1 静矩	88
5.1.2 形心	88
5.2 截面的惯性矩、惯性积及极惯性矩	90
5.2.1 惯性矩	90
5.2.2 惯性积	91
5.2.3 极惯性矩	91
5.3 平行移轴公式及组合截面的惯性矩和惯性积	94
5.3.1 平行移轴公式	94
5.3.2 组合截面的惯性矩和惯性积	95
小结	96
思考题	97
习题	97
第六章 杆件的内力与变形	100
6.1 基本概念	100
6.1.1 变形固体的基本假设	100
6.1.2 杆件及其变形的的基本形式	103
6.1.3 内力的概念、截面法	104
6.2 轴向拉压杆的轴力和变形	107
6.2.1 轴力、轴力图	107
6.2.2 轴向拉压杆的变形(含纵向变形、线变形、横向变形)	112
6.2.3 泊松比、胡克定律	113
6.3 扭矩和变形	114
6.3.1 扭力矩	114
6.3.2 扭矩、扭矩图、圆轴扭转变形(含相对扭转角、扭剪应变及其概念)	116
6.3.3 圆轴的刚度条件	120
6.4 梁的剪力和弯矩	121
6.4.1 弯曲变形	121
6.4.2 梁的内力——剪力和弯矩	122
6.4.3 梁的内力图——剪力图和弯矩图	129
6.5 荷载集度、剪力和弯矩的微积分关系	134
6.5.1 微积分关系	134

6.5.2	利用荷载集度、剪力和弯矩的微积分关系作梁的剪力图和弯矩图——微分关系的运用	135
6.6	叠加法作梁的剪力图和弯矩图	140
6.7	梁的变形	142
6.7.1	基本概念	142
6.7.2	梁的挠曲线近似微分方程、积分法求梁的变形	145
6.7.3	叠加法求梁的变形	151
6.7.4	梁的刚度计算	156
6.8	简单超静定问题	159
6.8.1	简单拉压超静定	159
6.8.2	简单超静定梁	162
	小结	166
	思考题	167
	习题	168
第七章	杆件的应力和强度	179
7.1	轴向拉压杆的应力和强度	179
7.1.1	应力的概念	179
7.1.2	轴向拉压杆横截面和斜截面上的应力计算	180
7.1.3	拉压杆的强度计算	184
7.2	材料的力学性质	187
7.2.1	低碳钢拉伸试验及其力学性质	187
7.2.2	其他材料拉伸时的力学性质	190
7.2.3	材料压缩时的力学性质	191
7.2.4	影响材料力学性质的因素以及塑性材料和脆性材料的主要区别	193
7.2.5	许用应力、安全系数	194
7.2.6	应力集中的概念	195
7.3	剪切和挤压的实用计算	196
7.3.1	剪切的实用计算及强度条件	197
7.3.2	挤压的实用计算条件	198
7.4	圆轴扭转时的应力与强度	202
7.4.1	胡克定律和剪切互等定理	202
7.4.2	圆轴扭转的应力和强度计算	203
7.5	梁的应力与强度	209
7.5.1	梁横截面上的正应力	209
7.5.2	梁横截面上的切应力	219

7.5.3 梁的强度计算	224
7.5.4 提高梁弯曲强度的措施	226
小结	228
思考题	229
习题	231
第八章 应力状态与强度理论	240
8.1 应力状态的概念	240
8.1.1 应力状态	240
8.1.2 单元体	240
8.1.3 应力状态分类	241
8.2 平面应力状态分析	242
8.2.1 平面应力状态分析方法(解析法、应力圆法)	242
8.2.2 平面应力状态下的主应力和最大切应力	246
8.2.3 梁的主应力迹线	252
8.3 空间应力状态简介	254
8.3.1 空间应力状态的最大应力	255
8.3.2 广义胡克定律	256
8.3.3 体积应变	257
8.4 强度理论	257
8.4.1 四个强度理论	258
8.4.2 莫尔强度理论	259
思考题	263
习题	264
第九章 组合变形与分析	266
9.1 组合变形的概念及其分析方法	266
9.2 斜弯曲	267
9.2.1 正应力计算	267
9.2.2 正应力强度条件	269
9.3 弯曲与拉伸和压缩的组合	271
9.4 偏心压缩	272
9.4.1 偏心压缩时力的简化和截面内力	272
9.4.2 偏心压缩时截面上的应力及强度条件	272
9.5 弯扭组合变形	274
小结	275
思考题	277

习题	277
第十章 压杆稳定	280
10.1 压杆稳定的概念	280
10.2 理想拉杆的临界压力	282
10.2.1 两端铰支细长压杆的临界压力	282
10.2.2 杆端为其他支承形式的临界压力	284
10.3 压杆的临界应力	285
10.3.1 临界应力	285
10.3.2 欧拉公式的适用范围	286
10.3.3 非弹性范围压杆的临界应力及临界应力总图	287
10.4 压杆的稳定计算	289
10.4.1 压杆的稳定条件	289
10.4.2 折减因数和稳定条件	290
10.4.3 压杆稳定计算	291
10.5 提高压杆稳定性的措施	295
10.5.1 柔度方面	295
10.5.2 材料方面	296
小结	296
思考题	297
习题	299
附录	303
部分习题参考答案	319
参考文献	325

第一章 绪 论

1.1 工程力学的发展概况

一切知识都来源于实践。力学就是在人类的劳动和生产实践中逐渐产生和发展起来的。远古时代,人们为了生存,必须同大自然作斗争,在制造工具、建造住所等生产活动中逐渐积累了许多实用的力学知识。随着社会生产力的发展,积累的知识越来越多,一些原属直观的经验性的力学知识不断地被加以概括、综合、提高,构成了一些基本理论和定律,进而形成了独立的力学学科。可见,力学的产生和发展与其他科学一样,一开始就是由生产实践决定的。劳动人民的生产活动是推动社会生产和文化发展的动力,也是推动科学发展的动力,所以劳动人民是科学的主人。

我国是世界四大文明古国之一。几千年来,勤劳勇敢的中国人民不断地推动着历史前进,创造了灿烂的古代文化。在中华民族繁荣发展的历史进程中,我国劳动人民进行了艰苦卓绝的斗争,在房屋建筑和桥梁工程等方面都取得了许多辉煌的成就,对力学的发展也做出了卓越的贡献。例如我国建筑技术中的木梁架结构的基本原理,在公元前 12 世纪就已经形成。这种木梁架很符合力学原则,大大减少了每层梁的弯曲应力,同时梁中的剪应力也仅仅发生在梁两端很小的范围内。早在两千多年前,我国古代匠师,为了解决横梁与立柱衔接处承受过大集中力问题,在木结构中创造性地采用了斗拱结构,它一方面起着将上部荷载逐渐传递到立柱上的作用,另一方面又起着使屋檐加宽的作用,科学地应用了工程力学的规律。又如隋代(距今近一千四百年)工匠李春主持修建的赵州桥(即今河北赵县波河上的安济桥,如图 1.1 所示),跨度达 37m,桥面宽 9m,为较平坦的空腹式拱桥。他充分利用了石



图 1.1 赵州桥

料的抗压性能,并考虑到宣泄洪水,减轻桥身自重,降低桥高,方便交通等方面的要求,就地取材、造型美观、结构合理。这比世界上相同类型的石拱桥要早一千二百多年。再如远在汉代,人们就利用竹材抗拉能力强的特性,在四川灌县建造了跨越眠江长达 320m 的竹索桥,以及 1368 年建成的瀘陵桥是一座古典纯木结构伸臂曲拱型廊桥,号称“渭水长虹”、“渭水第一桥”(如图 1.2 所示),万县长江大桥是世界上跨度最大的混凝土拱桥(如图 1.3 所示)。至于历代建成的宏伟建筑物更是不胜枚举,而且不少建筑物至今保持完整并在继续使用。上述都充分体现了我国劳动人民的聪明才智。

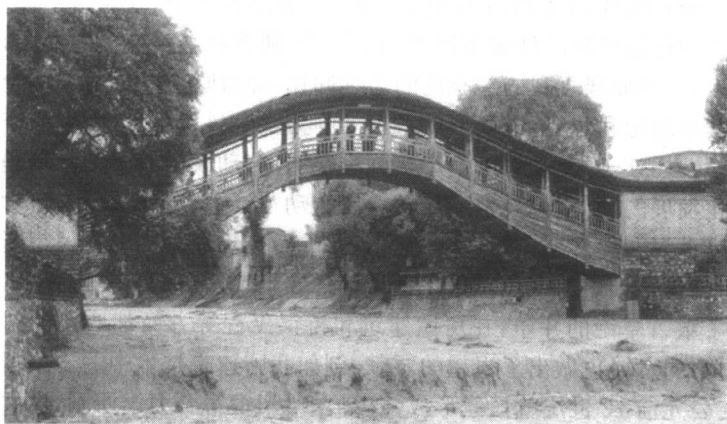


图 1.2 瀘陵桥

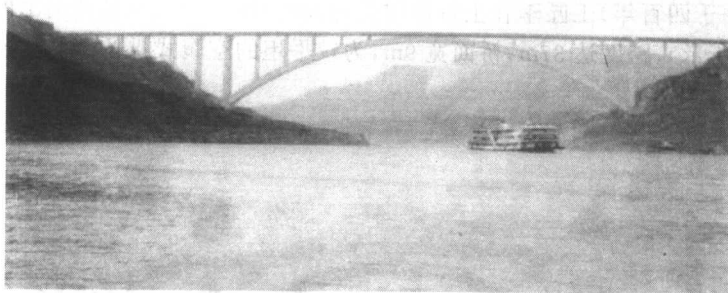


图 1.3 万县长江大桥

我国古代劳动人民还在生产实践的基础上,积累了大量的力学知识,并经过总结提高,编写了不少有价值的科学技术文献,对工程力学的发展做出了巨大贡献。例如春秋战国时期,墨翟(公元前 468~公元前 376)所著的《墨经》,记载了那个时期丰富的光学、力学和几何学等自然科学知识。它最早阐述了力的定义。“力,形之

所以奋也”，意思是“使物体运动的就是力”。《墨经》中还阐明了杠杆平衡、二力平衡、绳索平衡和运动的概念，是一部最早系统记载力学资料的著作，在世界力学史上占有光辉灿烂的一页。北宋时期李诫著的《营造法式》，给出了一些确定房屋各部分尺寸和构件合理截面形式的经验公式，这与现代建筑力学的理论相符合。又如周礼的《考工记》篇，宋代喻浩所著的《木经》等，都是我国关于建筑方面的伟大著作，为我国力学学科的发展奠定了基础。

自 15 世纪以后到新中国成立前，由于封建制度在我国长期延续和剥削阶级的反动统治，尤其是近百年来帝国主义的侵略，对我国的经济和文化进行了极大的摧残，致使我国的生产力停滞不前，严重地阻碍了科学技术的发展，同时也使我国工程力学的研究和发展受到了极大影响。

在同一时期内，欧洲的封建社会解体，资本主义兴起，社会的发展促进了该地区生产和科学技术的进步。尤其在 17 世纪文艺复兴时期，欧洲的科技迅速发展，从生产建设中提出了一系列新的力学问题。1638 年意大利科学家伽利略(G. Galileo, 1564~1642)经过实验研究和理论分析，发表了他的力学名著《两种新科学的对话》，谈及了建筑材料的力学性质、梁的强度以及有关构件尺寸与承载力之间的关系问题。因此后人一般认为，力学作为一门系统的学科始于伽利略。18 世纪，蒸汽机和其他机器的出现，提出了传动轴的扭转和弯曲问题。19 世纪，由于大型钢梁和大跨度钢桁架的出现，以及大型建筑(如厂房、桥梁、船舶、起重机等)的建造，提出了有关梁的强度和刚度、压杆稳定、超静定梁、冲击荷载、振动、疲劳等方面的计算理论与实验技术问题。20 世纪初，在工程结构中采用了钢筋混凝土材料，刚架结构也得到推广，使超静定刚架分析理论得到了发展。本世纪以来，由于建筑工程规模的日益扩大，特别是航空工业和宇宙航行事业的发展，提出了一系列与工程力学有关的新技术与新理论，促进了抗震计算理论，结构动力学，结构稳定理论，薄壁结构理论，高温、高压、高速情况下的结构计算以及新型材料的力学性质等方面的研究与发展。我们相信，随着生产和科学技术的进步，工程力学在将来必定会得到更加突飞猛进的发展。

新中国成立后，我国在水电、道路、桥梁和房屋建筑等各方面都取得了巨大成就，如人民大会堂、首都体育馆、长江大桥、新安江水电站、广州白云宾馆以及亚运村的大型群体建筑等，都是典型的实例。随着我国社会主义建设的深入发展，建筑力学的理论研究和应用水平也获得了迅速的提高。在刚架和厂房排架的计算理论研究，薄壳、轻型结构和空间结构的计算理论，以及结构力学抗震计算等方面，取得了许多出色的成果。特别是近年来，电子计算机的应用日趋普遍，使矩阵分析、有限元法等新的计算方法在结构计算中得到广泛应用，促进了工程力学的进一步迅速发展。

1.2 工程力学研究对象

对于土木工程类专业,工程力学主要研究对象是组成建筑物的构件和构件系统。

图 1.4 所示为某公路桥梁示意图,图 1.5 所示为该桥梁桥面结构示意图,图 1-6 所示为该桥梁立柱和缆索示意图。由图可以看出,构成桥梁的主要部分是桥面板、梁、柱和基础等。桥梁受到各种力(如风力、桥面板自重、人和各部分的自重等)的作用。这些主动作用于建筑物上的力在工程中叫做荷载。建筑物中承受和传递荷载作用的部分叫做结构。结构又是由若干构件或构件系统组成的。其中桥面板、梁、柱、基础等都是构件,由这些构件组成了整体结构。

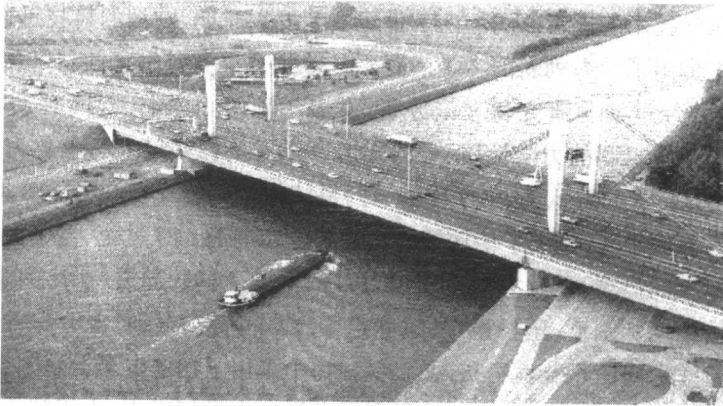


图 1.4 公路桥梁示意图

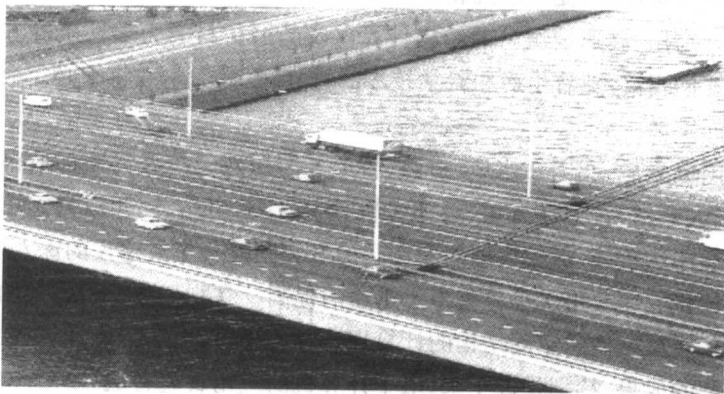


图 1.5 桥面结构示意图

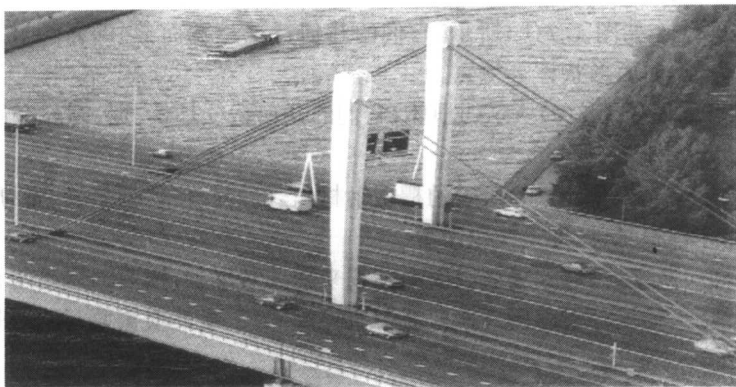


图 1.6 缆索和立柱示意图

进行桥梁结构设计时,一般是:首先对桥梁进行整体结构布置,再把整体结构分解成一些基本构件(板、梁、柱),再逐个对这些构件进行设计,即把一个复杂的桥梁结构,转化为一些比较简单的构件设计。设计时要考虑各构件在整体结构中的地位以及彼此间的联系。然后通过构造处理将各个构件联系起来,就构成了整体的结构设计。但需注意,由于设计方案和计算方法的不同,简化后的计算单元可以是一些简单的构件,也可以是由一些构件组成的构件系统。

在工程实际中,我们可以根据它们的主要共同点对结构讲行抽象、概括。归纳为如下四类:

1. 杆。如图 1.7(a)所示,它们的几何特征是细而长,即 $l \gg h, l \gg b$ 。杆又分为

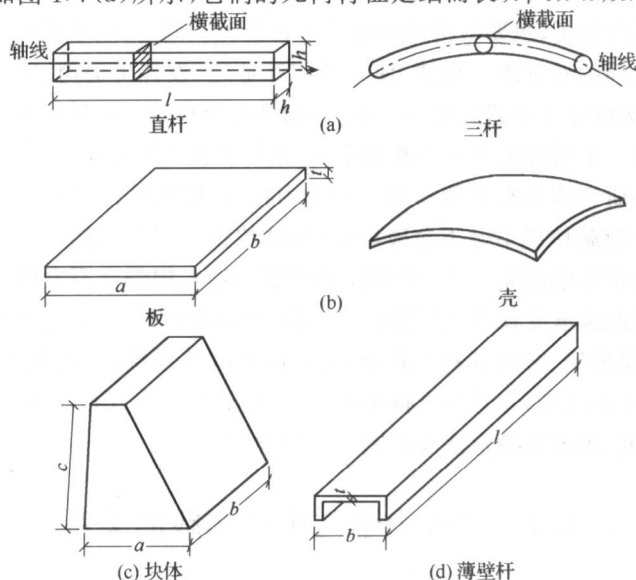


图 1.7

直杆和曲杆,用杆可以组成杆件系统。

2. 板和壳。如图 1.7(b)所示,它们的几何特征是宽而薄,即 $a \gg t, b \gg t$, 平面形状称之为板,曲面形状称之为壳。

3. 块体。如图 1.7(c)所示的坝体,它们的几何特征是长、宽、厚三个尺寸 a, b, c 都是同量级大小的。

4. 薄壁杆。如图 1.7(d)所示的槽型钢材,它们的几何特征是长、宽、厚三个尺寸 l, b, t 相差都很悬殊,即 $l \gg b, b \gg t$ 。

对于杆和薄壁杆,通常用横截面和轴线来描述其形状。横截面是指与杆长度方向垂直的截面,轴线是指由所有横截面形心连成的线。显然横截面与轴线是互相垂直的。

综上所述,我们可以说,工程力学主要研究对象是上述的四种基本构件以及由它们所组成的构件系统。

1.3 工程力学的基本任务

在工程结构中,构件的主要作用是承受和传递荷载。由于荷载作用,构件会发生破坏或因变形过大而影响正常使用。但是构件本身具有一定的抵抗破坏和变形的能力,即有一定的承载力,其大小与构件的材料性质、几何形状和尺寸、受力特性、工作条件以及构造情况等有关。在结构设计中,当构件所受荷载大于构件的承载力时,则构件或因强度不够而破坏,或因变形过大而影响正常工作。当构件的承载力过分大于构件的所受荷载时则势必多用材料,造成浪费。可见,在结构设计中,既要对荷载进行分析,也要对构件承载力进行研究。同时,还要正确认识和运用荷载与承载力之间的对立统一规律,使二者相互适应,设计出适用、安全和经济的结构。总之,结构设计中会遇到很多矛盾,但构件所受荷载与构件的承载力之间的矛盾是基本矛盾。正确解决好这个基本矛盾,正是工程力学的基本任务。

本书中将研究构件在荷载作用下的受力特性(即构件的平衡和内力分布规律问题),构件在荷载作用下会不会破坏(即构件的强度问题),构件在荷载作用下变形会不会过大而影响正常工作(即构件的刚度问题),构件会不会因丧失原来的几何形状而不能继续承受荷载,引起整个建筑物的倒塌(即构件的稳定性问题)等。因此,工程力学是研究、分析各种工程结构构件(或构件系统)在荷载或其他因素(如支座沉陷、温度变化等)作用下维持平衡所需的条件、内力分布规律以及构件(或构件系统)的强度、刚度和稳定性等问题的—门学科。

1.4 工程力学与生产实践的关系

工程力学是一门技术科学,是基础科学与工程技术的综合。它一方面吸收基础