



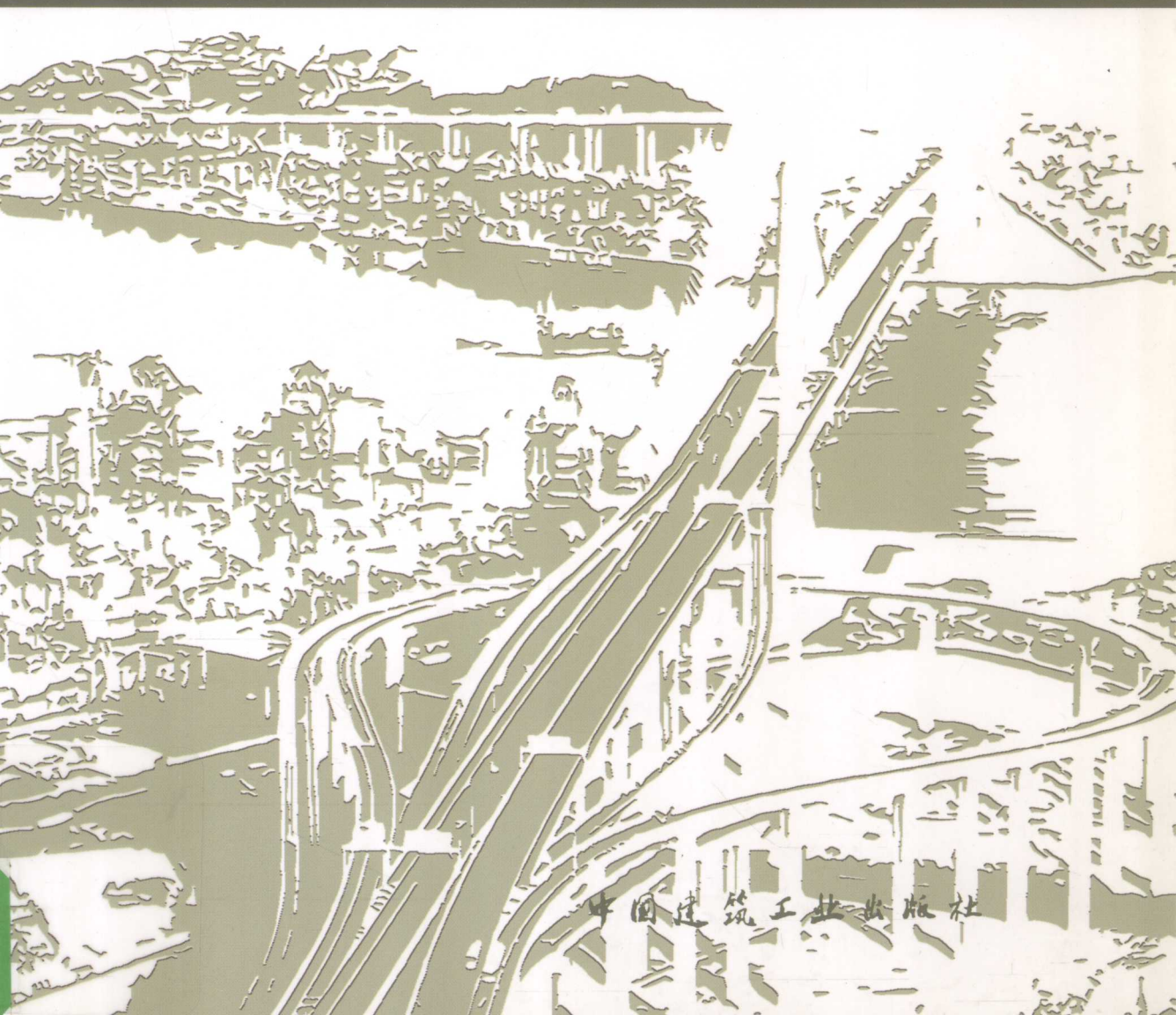
普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材  
全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材

SHIZHENG  
GONGCHENG  
LIXUE YU  
JIEGOU

# 市政工程力学与结构 (第二版)

(市政工程技术专业适用)

本教材编审委员会组织编写  
李 辉 主编



中国建筑工业出版社

普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材  
全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材

# 市政工程力学与结构

(第二版)

(市政工程技术专业适用)

本教材编审委员会组织编写

李 辉 主编

罗向荣 主审

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

市政工程力学与结构/李辉主编. —2版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2012. 8

(普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材, 全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材, 市政工程技术专业适用)

ISBN 978-7-112-14594-2

I. ①市… II. ①李… III. ①市政工程—工程力学—高等学校—教材②市政工程—工程结构—高等学校—教材 IV. TU99

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 189668 号

普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材  
全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材

市政工程力学与结构

(第二版)

(市政工程技术专业适用)

本教材编审委员会组织编写

李 辉 主编

罗向荣 主审

\*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京天成排版公司制版

北京建筑工业印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 23 字数: 574 千字

2013 年 1 月第二版 2013 年 1 月第五次印刷

定价: 45.00 元(赠送课件)

ISBN 978-7-112-14594-2

(22632)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本书根据本课程的教学大纲编写,共分十四章,主要包括:绪论,静力学基本知识,轴向拉伸与压缩,梁的弯曲,压杆稳定,静定平面杆系结构的内力分析,力矩分配法计算连续梁的内力,影响线,钢筋混凝土基本知识,钢筋混凝土受弯构件正截面受弯承载力计算,钢筋混凝土受弯构件斜截面受剪承载力计算,钢筋混凝土受压构件受压承载力计算,预应力混凝土结构基本知识,圬工结构等。

本书即可作为高等职业教育市政工程技术专业教材,也可供从事市政工程类及相关专业技术人员学习、参考之用。

为便于教师教学和学生学习,作者特制作了电子课件,如有需求,请发邮件至 [cabpbeijing@126.com](mailto:cabpbeijing@126.com) 索取。

\* \* \*

责任编辑:朱首明 王美玲

责任设计:张虹

责任校对:党蕾 刘钰

## 本套教材第二版编审委员会名单

主任委员：贺俊杰

副主任委员：张朝晖 范柳先

委员：（按姓氏笔画为序）

|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 马精凭 | 王 芳 | 王云江 | 王陵茜 | 邓爱华 |
| 白建国 | 边喜龙 | 匡希龙 | 刘映肿 | 米彦蓉 |
| 李 峰 | 李 辉 | 李伙穆 | 李爱华 | 杨玉衡 |
| 杨时秀 | 邱琴忠 | 张 力 | 张宝军 | 张银会 |
| 林文剑 | 罗向荣 | 罗明远 | 周美新 | 相会强 |
| 姜远文 | 姚昱晨 | 袁建新 | 郭良娟 | 韩培江 |
| 谭翠萍 |     |     |     |     |

## 本套教材第一版编审委员会名单

主任委员：李 辉

副主任委员：陈思平 戴安全

委 员：(按姓氏笔画为序)

王 芳 王云江 王陵茜 白建国 边喜龙

刘映肿 米彦蓉 李爱华 杨玉衡 杨时秀

谷 峡 张 力 张宝军 陈思仿 陈静芳

范柳先 林文剑 罗向荣 周美新 姜远文

姚昱晨 袁 萍 袁建新 郭卫琳

## 第二版序言

2010年4月住房和城乡建设部受教育部(教高厅函〔2004〕5号)委托,住房和城乡建设部(建人函〔2010〕70号)组建了新一届全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会市政工程类专业分指导委员会,它是住房和城乡建设部聘任和管理的专家机构。其主要职责是在住房和城乡建设部、教育部、全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会的领导下,研究高职高专市政工程类专业的教学和人才培养方案,按照以能力为本位的教学指导思想,围绕市政工程类专业的就业领域、就业岗位群组织制定并及时修订各专业培养目标、专业教育标准、专业培养方案、专业教学基本要求、实训基地建设标准等重要教学文件,以指导全国高职高专院校规范市政工程类专业办学,达到专业基本标准要求;研究市政工程类专业建设、教材建设,组织教材编审工作;组织开展教育教学改革研究,构建理论与实践紧密结合的教学体系,构筑校企合作、工学结合的人才培养模式,进一步促进高职高专院校市政工程类专业办出特色,全面提高高等职业教育质量,提升服务建设行业的能力。

市政工程类专业分指导委员会成立以来,在住房和城乡建设部人事司和全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会的领导下,在专业建设上取得了多项成果;市政工程类专业分指导委员会在对“市政工程技术专业”、“给水排水工程专业技术专业”职业岗位(群)调研的基础上,制定了“市政工程技术专业”专业教学基本要求和“给水排水工程专业技术专业”专业教学基本要求;其次制定了“市政工程技术专业”和“给水排水工程专业技术专业”两个专业校内实训及校内实训基地建设导则;并根据“市政工程技术专业”、“给水排水工程专业技术专业”两个专业的专业教学基本要求,校内实训及校内实训基地建设导则,组织了“市政工程技术专业”、“给水排水工程专业技术专业”理论教材和实训教材编审工作。

在教材编审过程中,坚持了以就业为导向,走产学研结合发展道路的办学方针,以提高质量为核心,以增强专业特色为重点,创新教材体系,深化教育教学改革,围绕国家行业建设规划,系统培养高端技能型人才,为我国建设行业发展提供人才支撑和智力支持。

本套教材的编写坚持贯彻以素质为基础,以能力为本位,以实用为主导的指导思路,毕业的学生具备本专业必需的文化基础、专业理论知识和专业技能,能胜任市政工程类专业设计、施工、监理、运行及物业设施管理的高端技能型人才,全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会市政工程类专业分指导委员会在总结近几年教育教学改革与实践的基础上,通过开发新课程,更新课程内容,增加实训教材,构建了新的课程体系。充分体现了其先进性、创新性、适用性,反映了国内外最新技术和研究成果,突出高等职业教育的特点。

全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会  
市政工程类专业分指导委员会

## 第一版序言

近年来,随着国家经济建设的迅速发展,市政工程建设已进入专业化的时代,而且市政工程建设发展规模不断扩大,建设速度不断加快,复杂性增加,因此,需要大批市政工程建设管理和技术人才。针对这一现状,近年来,不少高职院校开办市政工程技术专业,但适用的专业教材的匮乏,制约了市政工程技术专业的发展。

高职高专市政工程技术专业是以培养适应社会主义现代化建设需要,德、智、体、美全面发展,掌握本专业必备的基础理论知识,具备市政工程施工、管理、服务等岗位能力要求的高等技术应用性人才为目标,构建学生的知识、能力、素质结构和专业核心课程体系。全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会是建设部受教育部委托聘任和管理的专家机构,该机构下设建筑类、土建施工类、建筑设备类、工程管理类、市政工程类五个专业指导分委员会,旨在为高等职业教育的各门学科的建设发展、专业人才的培养模式提供智力支持,因此,市政工程技术专业人才培养目标的定位、培养方案的确定、课程体系的设置、教学大纲的制订均是在市政工程类专业指导分委员会的各成员单位及相关院校的专家经广州会议、贵阳会议、成都会议反复研究制定的,具有科学性、权威性、针对性。为了满足该专业教学需要,市政工程类专业指导分委员会在全国范围内组织有关专业院校骨干教师编写了该专业与教学大纲配套的10门核心课程教材,包括:《市政工程识图与构造》、《市政工程材料》、《土力学与地基基础》、《市政工程力学与结构》、《市政工程测量》、《市政桥梁工程》、《市政道路工程》、《市政管道工程施工》、《市政工程计量与计价》、《市政工程施工项目管理》。这套教材体系相互衔接,整体性强;教材内容突出理论知识的应用和实践能力的培养,具有先进性、针对性、实用性。

本次推出的市政工程技术专业10门核心课程教材,必将对市政工程技术专业的教学建设、改革与发展产生深远的影响。但是加强内涵建设、提高教学质量是一个永恒主题,教学改革是一个与时俱进的过程,教材建设也是一个吐故纳新的过程,所以希望各用书学校及时反馈教材使用信息,并对教材建设提出宝贵意见;也希望全体编写人员及时总结各院校教学建设和改革的新经验,不断积累和吸收市政工程建设的新技术、新材料、新工艺、新方法,为本套教材的长远建设、修订完善做好充分准备。

全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会

市政工程类专业分指导委员会

2007年2月

## 第二版前言

市政工程力学与结构课程是市政工程专业主干基础课程之一。

《市政工程力学与结构》(第二版)是根据第二届全国高职高专土建类专业教学指导委员会市政工程类专业指导委员会 2011 年 12 月杨凌会议精神,依据市政工程技术专业指导性教学文件要求,广泛收集第一版教材使用 5 年过程中各兄弟院校师生的反馈意见,在第一版基础上进行修订的。

本次对力学部分的修订,将原第二章、第三章进行合并作为第二版第二章“静力学基本知识”;原第四章调整为第三章;将原第五章、第六章进行合并作为第二版第四章“梁的弯曲”,增加第三节“平面图形的几何性质”;原第七章调整为第五章;原第八章调整为第六章,增加第六节“静定平面拱的内力分析”;原第九、十章分别调整为第七、八章。对第一至第八章各种支座的画法进行统一,集中荷载统一用 Force 首字母“F”进行统一,同时调整、增加了例题和习题。

本次对结构部分的修订,原第十一、十二、十三、十四、十五、十六章分别调整为第九、十、十一、十二、十三、十四章。按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62—2004 对专业术语、符号、参数取值进行了规范,补充了结构计算例题和习题,第十三章增加第四节“预应力混凝土结构的基本原理与计算原则”,并补充了相关附录。

本次修订主要由四川建筑职业技术学院牵头,李辉提出修订要求,杨转运组织实施,肖盛莲主要负责对力学部分内容的修订和补充,高建峰主要负责对结构部分的内容修订和补充,由李辉教授统稿。

本次修订得到兄弟院校师生的大力支持,在此向他们表示衷心感谢。俗话说“没有最好、只有更好”,但由于时间仓促、收集信息有限、参与修订的同志水平有限,书中难免存在不足,我们热忱希望广大读者、特别是兄弟院校的老师、同学随时提出宝贵意见,以便不断提高教材质量,满足广大读者需要。

在本教材修订过程中,市政工程类专业教学指导委员会、中国建筑工业出版社给予了大力支持,在此表示衷心感谢。

建议本课程教学时数为 140~160 学时。

# 第一版前言

近年来,随着国家经济建设的迅速发展,城市市政建设已进入专业化的时代,迫切需要这方面的工程建设管理和技术人才。同时建设工程的复杂性,规模大,建设速度快,结构的多样性。在此背景下,全国高职高专市政工程技术委员会于2006年4月在成都主持召开了编写本教材的研讨会。

本教材为“十一五”部级规划教材,是根据在成都召开的教材研讨会审定的编写大纲要求及现行新规范进行编写。主要适用于高职高专类市政、道桥等专业。在编写过程中,遵循“少而精,够用为度”的精神,力求做到说理清楚,理论联系实际,突出重点;选材尽量符合本专业要求的特点。

本教材由李辉主编,于英、周耀军副主编,编写分工如下:四川建筑职业技术学院李辉编写了第一章和第十四章,黑龙江建筑职业技术学院郭玉敏编写了二~四章和力学试验,新疆建设职业技术学院李晓峰编写了五~七章,黑龙江建筑职业技术学院于英编写了八~十章,四川建筑职业技术学院周耀军编写了十一~十三章,四川建筑职业技术学院陈文元编写了十五、十六章。本教材承黑龙江建筑职业技术学院罗向荣教授主审。

由于我们经验较缺乏,成书时间又较短促,书中难免存在许多不足,为了贯彻“长期着眼,逐步提高”的原则,在以后的修订过程中将不断地进行修正,以便不断地提高本教材的质量。因此,我们热忱地希望广大读者,特别是兄弟院校的教师和同学们,随时提出你们宝贵意见。

在编写本教材过程中,得到中国建筑工业出版社相关人员的大力支持,在此表示衷心感谢!

# 目 录

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第一章 绪论 .....              | 1   |
| 第二章 静力学基本知识 .....         | 7   |
| 第一节 力的概念 .....            | 7   |
| 第二节 力矩与力偶 .....           | 14  |
| 第三节 约束与约束反力 .....         | 17  |
| 第四节 受力图 .....             | 22  |
| 第五节 平面汇交力系合成与平衡 .....     | 27  |
| 第六节 平面力偶系 .....           | 33  |
| 第七节 平面一般力系 .....          | 35  |
| 思考题 .....                 | 48  |
| 习题 .....                  | 50  |
| 第三章 轴向拉伸与压缩 .....         | 56  |
| 第一节 轴向拉(压)杆的内力 .....      | 56  |
| 第二节 轴向拉(压)杆的应力 .....      | 60  |
| 第三节 轴向拉(压)杆的变形 .....      | 63  |
| 第四节 材料在拉伸(压缩)时的力学性能 ..... | 65  |
| 第五节 轴向拉(压)杆的强度计算 .....    | 70  |
| 思考题 .....                 | 73  |
| 习题 .....                  | 74  |
| 第四章 梁的弯曲 .....            | 78  |
| 第一节 平面弯曲的概念 .....         | 78  |
| 第二节 平面弯曲梁的内力 .....        | 79  |
| 第三节 截面图形的几何性质 .....       | 93  |
| 第四节 平面弯曲梁的应力与强度计算 .....   | 97  |
| 第五节 杆件的变形 .....           | 115 |
| 第六节 梁的刚度校核 .....          | 125 |
| 思考题 .....                 | 126 |
| 习题 .....                  | 126 |
| 第五章 压杆稳定 .....            | 132 |
| 第一节 压杆稳定的概念 .....         | 132 |
| 第二节 压杆的临界力与临界应力 .....     | 133 |
| 第三节 压杆的稳定计算 .....         | 137 |
| 思考题 .....                 | 141 |

|                                       |            |
|---------------------------------------|------------|
| 习题 .....                              | 141        |
| <b>第六章 静定平面杆系结构的内力分析 .....</b>        | <b>143</b> |
| 第一节 结构计算简图 .....                      | 143        |
| 第二节 平面体系的几何组成分析 .....                 | 146        |
| 第三节 静定多跨梁的内力分析 .....                  | 151        |
| 第四节 静定平面刚架的内力分析 .....                 | 154        |
| 第五节 静定平面桁架的内力分析 .....                 | 158        |
| 第六节 静定平衡拱的内力分析 .....                  | 164        |
| 思考题 .....                             | 170        |
| 习题 .....                              | 170        |
| <b>第七章 力矩分配法计算连续梁的内力 .....</b>        | <b>173</b> |
| 第一节 力矩分配法的预备知识 .....                  | 173        |
| 第二节 力矩分配法的基本原理 .....                  | 176        |
| 第三节 力矩分配法计算单节点连续梁 .....               | 179        |
| 第四节 力矩分配法计算多节点连续梁 .....               | 182        |
| 思考题 .....                             | 185        |
| 习题 .....                              | 185        |
| <b>第八章 影响线 .....</b>                  | <b>187</b> |
| 第一节 单跨静定梁的影响线及其应用 .....               | 187        |
| 第二节 连续梁的影响线及内力包络图 .....               | 194        |
| 思考题 .....                             | 199        |
| 习题 .....                              | 199        |
| <b>第九章 钢筋混凝土基本知识 .....</b>            | <b>200</b> |
| 第一节 混凝土 .....                         | 200        |
| 第二节 钢材 .....                          | 206        |
| 第三节 钢筋与混凝土共同工作 .....                  | 212        |
| 第四节 钢筋混凝土结构的基本计算原则 .....              | 213        |
| 思考题 .....                             | 218        |
| <b>第十章 钢筋混凝土受弯构件正截面受弯承载力计算 .....</b>  | <b>220</b> |
| 第一节 钢筋混凝土受弯构件的计算规定和一般构造 .....         | 220        |
| 第二节 钢筋混凝土受弯构件正截面破坏特征及其基本公式 .....      | 225        |
| 第三节 钢筋混凝土受弯构件正截面受弯承载力计算 .....         | 229        |
| 思考题 .....                             | 240        |
| 习题 .....                              | 240        |
| <b>第十一章 钢筋混凝土受弯构件斜截面受剪承载力计算 .....</b> | <b>242</b> |
| 第一节 钢筋混凝土受弯构件斜截面破坏形态及其影响因素 .....      | 242        |
| 第二节 钢筋混凝土梁斜截面受剪承载力计算 .....            | 247        |
| 第三节 钢筋混凝土梁斜截面受弯承载力及其构造要求 .....        | 256        |
| 思考题 .....                             | 261        |

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| 习题 .....                           | 261        |
| <b>第十二章 钢筋混凝土受压构件受压承载力计算 .....</b> | <b>262</b> |
| 第一节 轴心受压构件 .....                   | 262        |
| 第二节 偏心受压构件 .....                   | 269        |
| 思考题 .....                          | 277        |
| 习题 .....                           | 277        |
| <b>第十三章 预应力混凝土结构基本知识 .....</b>     | <b>278</b> |
| 第一节 预应力混凝土结构概述 .....               | 278        |
| 第二节 预加应力的方法与锚具 .....               | 280        |
| 第三节 预应力结构的材料 .....                 | 289        |
| 第四节 预应力混凝土结构的基本原理与计算原则 .....       | 291        |
| 第五节 张拉控制应力和预应力损失 .....             | 296        |
| 第六节 预应力混凝土构件的构造 .....              | 308        |
| 思考题 .....                          | 313        |
| <b>第十四章 圬工结构 .....</b>             | <b>314</b> |
| 第一节 圬工材料的力学性能 .....                | 314        |
| 第二节 圬工构件承载力计算 .....                | 320        |
| 思考题 .....                          | 323        |
| <b>附录 A .....</b>                  | <b>324</b> |
| <b>附录 B .....</b>                  | <b>329</b> |
| <b>附录 C .....</b>                  | <b>339</b> |
| <b>附录 D .....</b>                  | <b>345</b> |
| <b>附录 E .....</b>                  | <b>350</b> |
| <b>主要参考文献 .....</b>                | <b>354</b> |

# 第一章 绪 论

## 一、市政力学与结构的研究对象

城市是一定区域的政治、经济和文化中心。随着现代城市的发展,市政工程项目越来越多,规模越来越大,而且技术要求高,施工难度大,这就要求从事市政工程施工的从业人员,必须掌握与之相关的科学技术知识。《市政工程施工力学与结构》是其中之一,它包括理论力学、材料力学、结构力学和市政结构四大部分。

### (一) 刚体、变形体的概念

理论力学主要研究物体在外力作用下的平衡与运动问题,故可假设物体变形对它无关,而将物体看作绝对刚性。在自然界中,真正绝对刚性的固体是不存在的,又为什么在理论力学中可以作为绝对刚性来研究呢?这是因为真实固体的性质非常复杂,每一门学科只能从某一角度来研究,即只研究其性质的某一方面;为了研究的方便,我们必须将与研究问题无关或影响不大的因素忽略,保留与研究问题有关的主要因素。在实际工程中,各种结构或构件当在外力作用下变形微小,可以抽象化为刚体,不仅合理、而且是必要的。所以我们将在外力或外在因素的影响下,其形状和尺寸绝对不变的物体称为刚体。

在材料力学中,它研究的主要问题是构件在外力作用下的承载力、刚度和稳定性问题,固体的变形就成为它的主要基本性质之一,必须重视。如房屋建筑中的梁、板,桥梁工程中的构件,水利工程中的闸门等,这些构件的变形会影响整体结构的安全和使用。所以在材料力学中,将组成构件的各种固体看成变形固体。

固体之所以发生变形,是由于在外力作用下,组成固体的各种微粒的相对位置会发生改变的缘故。变形固体在外力作用下发生变形,但在外力除去后又能立即恢复其原有形状和尺寸的性质,称为弹性;把具有弹性性质的变形固体称为完全弹性体。若变形固体的变形在外力除去后只能恢复其一部分,这样的固体称为部分弹性体。部分弹性体的变形可分为两部分,一部分是随着外力除去而消失的变形称为弹性变形,另一部分是在外力除去后仍不能消失的变形称为塑性变形(或残余变形或永久变形)。

### (二) 结构、构件的概念

人们在长期的生产、生活活动中,根据发展的需要,要建造各式各样的建筑物、构筑物、道路、桥梁等,这些供人们生产、生活需要的建筑物,都是由若干构件按照一定的规律组合成能承担“作用”的体系,称为结构。构件是组成结构的基本单元体。组成结构物的构件虽然形式各异,但按其主要几何特征,可归纳为以下四类。

1. 杆

如图 1-1(a)所示，它们的几何特征是长度远大于另外两个横向尺寸，即  $l \gg h, l \gg b$ 。

2. 板、壳

如图 1-1(b)所示，它们的几何特征是长度和宽度都远大于厚度，即  $a \gg h, b \gg h$ ；其中呈平面形状的称为板，呈曲面形状的称为壳。

3. 块体

如图 1-1(c)所示，它们的几何特征是三个方向的尺寸都属于同一数量级。

4. 薄壁杆

如图 1-1(d)所示，它们的几何特征是三个方向的尺寸相差很大，即  $l \gg b \gg h$ 。

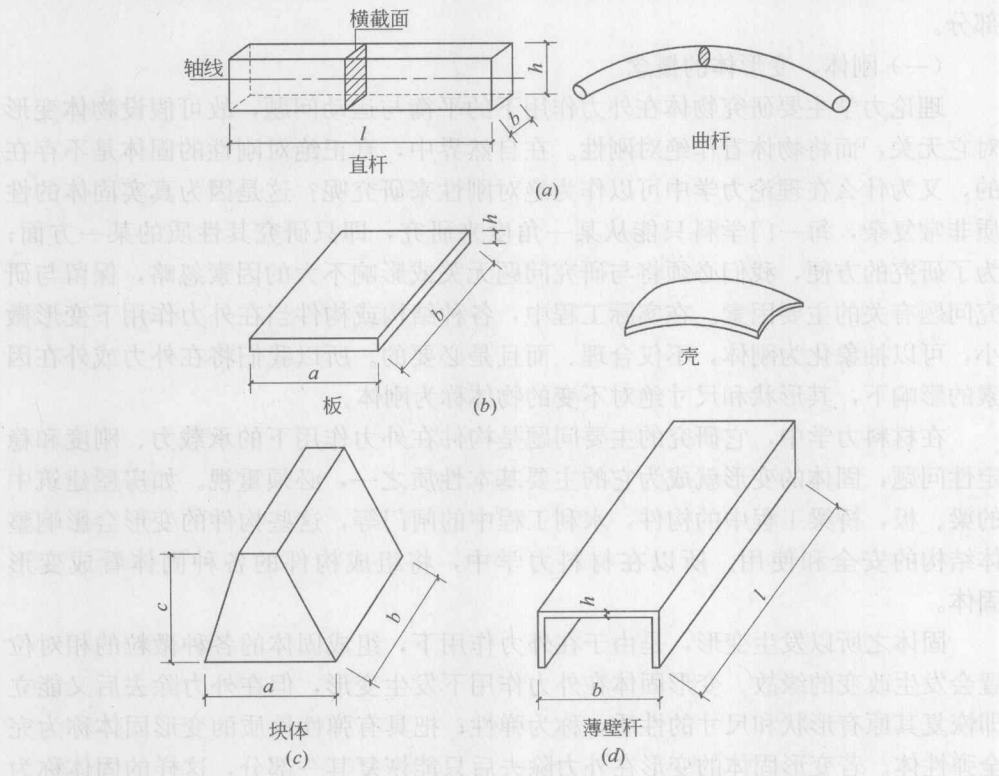


图 1-1 杆件

若要保证结构能正常地工作，首先必须保证组成这些结构物的各构件和构件之间的连接节点能正常地工作，也就是在各种外力作用下能满足：构件及其连接节点有足够的承载力和刚度；应具有足够的稳定性。要合理地设计各种结构物，除要有合理的理论和计算方法外，还必须掌握所用材料的力学性能，通过力学试验测定所用材料的力学性质，所以力学试验在本课程中占有十分重要的地位。

(三) 变形固体的基本假设

在理论分析和研究中,往往需要忽略次要因素,有必要对变形固体材料进行假设,在实际工程中,不会因为这些假设而影响工程的正常使用和安全。

### 1. 连续均匀假设

按近代物理学的理论,组成固体的各种微粒之间存在空隙,且其结构和性质也不是各处均匀一致。如金属是结晶物质,具有晶体结构;混凝土是由水泥、石子和砂组成,这些组成物质之间存在空隙。但在力学中研究的物体比这些微粒大得多,考虑各微粒之间的空隙是没有实际意义的,故可以认为,材料毫无空隙地充满在物体的整个几何容积内,且物体的性质都均匀一致。

根据这一假设,可以将从小尺寸试验研究中得到的性质应用于大尺寸构件中去。

### 2. 各向同性假设

在结晶体物质中,每个晶粒在不同的方向有不同的性质,故单晶体的性质是有方向性的。但一般物体的体积远大于单个晶粒的体积,无数晶粒在物体内错综复杂地排列着,材料在各个方向的性质必然一致。故可将金属一类材料认为是各向同性材料。

非晶体材料,一般都是各向同性的,可以认为如塑胶、玻璃和浇筑密实的混凝土都是各向同性材料。

有的材料仅在某一方向上有相同的性质,称为单向同性,如各种轧制的钢板、冷拉钢丝和纤维整齐的木材等;也有各向异性的材料,如纤维纠结、杂乱无章的木材、冷扭的钢丝、胶合板和纺织品等等。

### (四) 杆件变形的的基本形式

杆是长度远大于横向尺寸的构件,它是材料力学研究的主要对象。本教材主要研究的是等截面杆。在实际工程中,杆可能受到各种各样的外力,其变形是很复杂的,但就其基本形式可归纳为以下四种:

(1) 拉伸与压缩变形。这种变形是外力作用线与杆的纵轴线重合所致。

(2) 剪切变形。剪切变形是由一对相距很近、方向相反的横向外力引起。

(3) 扭转变形。扭转变形是由一对转向相反、作用在垂直于杆纵轴上的两平面内的力偶引起。

(4) 弯曲变形。弯曲变形是由一对方向相反、作用在杆的纵向对称平面内的力偶引起。

在工程实际中,杆件的变形往往是以上一种或几种的组合,应分析清楚。

### (五) 结构及其分类

市政工程中的结构是道路跨越障碍物的人工构筑物。如桥梁工程、涵洞、人行天桥、立体交叉桥等。桥梁工程包括上部结构、下部结构和附属结构;上部结构主要承担车辆、行人等荷载,下部结构主要作用是支承上部结构,并将结构自重及上面的荷载传给地基。附属结构的作用主要是抵御水流的冲刷、防止路堤填土坍塌。

#### 桥梁结构分类

##### (1) 按结构受力体系分