



普通高等教育土木工程专业“十一五”规划教材

Putong Gaodeng Jiaoyu



Tumu  
Gongcheng

Zhuanye “Shiyiwu” Guihua Jiaocai

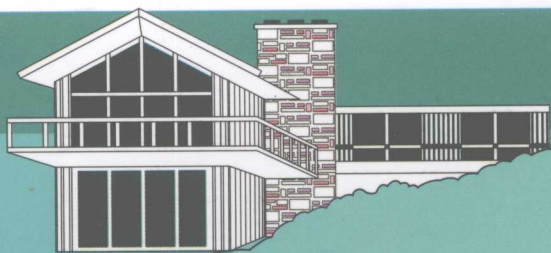
结

JIEGOU LIXUE

● 主编 曾宪桃  
樊友景

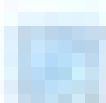
构力学

(上册)



郑州大学出版社

中国工程教育学会工程力学专业委员会



Tsinghua

University

Beijing 100084, P. R. China

结构力学

结构力学



清华大学出版社

普通高等教育土木工程专业“十一五”规划教材

TU311/87

:1

2008

Putong Gaodeng Jiaoyu



Tumu

Gongcheng

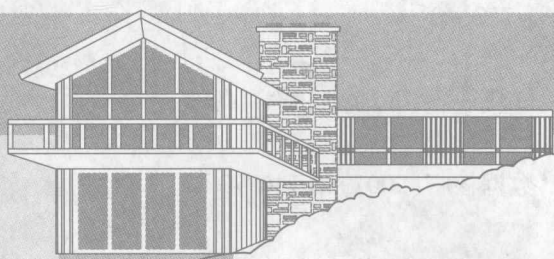
Zhuanye “Shiyiwu” Guihua Jiaocai

结

JIEGOU LIXUE

● 主编 曾宪桃  
樊友景

构力学 (上册)



郑州大学出版社

## 内容简介

本书是普通高等教育土木工程专业“十一五”规划教材之一,根据“高等学校土木工程专业本科教育培养目标和培养方案及课程教学大纲”和结构力学课程教学基本要求编写。全书分为上、下两册。上册(第1章至第8章)主要内容包括绪论、杆件体系的几何构造分析、静定结构受力分析、静定结构的影响线、静定结构位移计算、力法、位移法、渐近法及超静定力的影响线;下册(第9章至第12章)主要内容包括矩阵位移法、结构的动力计算、结构的稳定性计算、结构的极限荷载。

本书可作为高等院校土木、交通、水利与力学等专业的教材,也可作为工程技术人员参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

结构力学·上册/曾宪桃,樊友景主编. —郑州:郑州大学出版社,2008.3

普通高等教育土木工程专业“十一五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 81106 - 353 - 0

I. 结… II. ①曾…②樊… III. 结构力学 - 高等学校 - 教材 IV. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 146973 号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路 40 号

出版人:邓世平

全国新华书店经销

黄委会设计院印刷厂印制

开本:787 mm × 1 092 mm

总印张:31.75

总字数:777 千字

版次:2008 年 3 月第 1 版

邮政编码:450052

发行部电话:0371 - 66966070

1/16

印次:2008 年 3 月第 1 次印刷

---

书号:ISBN 978 - 7 - 81106 - 353 - 0

总定价:46.00 元(上、下册)

本书如有印装质量问题,由本社负责调换

# 编写指导委员会

The compilation directive committee

---

名誉主任 王光远 姚家曾 陈 主

主任 高丹盈 戴兆高 陈 主 编

委 员 (按姓氏笔画排序) 委 员

王留珠 申金山 司马玉州 刘立新 关 昱

王立翁 李晓峰 李继周 张 伟 张 玲

姚家曾 张本昀 张国强 陈 淮 郑永红

赵顺波 段印德 祝彦知 姚庆钊

原 方 钱文军 曾宪桃 鲍 鹏

秘 书 崔青峰

# 本书作者 Authors

会员委员会

主 编 曾宪桃 樊友景 王 升 王 誉 李

副 主 编 高洪波 陈 丽 徐红玉 主

编 委 (以姓氏笔画为序) 员 委

王 有 凯 宁 永 胜 杜 留 记

李 纪 周 陈 丽 徐 红 玉

高 洪 波 唐 克 东 曾 宪 桃

樊 友 景 王 升 王 誉 李

王 有 凯 宁 永 胜 杜 留 记

李 纪 周 陈 丽 徐 红 玉



# 序

## Preface

---

近年来,我国高等教育事业快速发展,取得了举世瞩目的成就。随着高等教育改革的不断深入,高等教育工作重心正在由规模发展向提高质量转移,教育部实施了高等学校教学质量与教学改革工程,进一步确立了人才培养是高等学校的根本任务,质量是高等学校的生命线,教学工作是高等学校各项工作的中心的指导思想,把深化教育教学改革,全面提高高等教育教学质量放在了更加突出的位置。

教材是体现教学内容和教学要求的知识载体,是进行教学的基本工具,是提高教学质量的重要保证。教材建设是教学质量与教学改革工程的重要组成部分。为加强教材建设,教育部提倡和鼓励学术水平高、教学经验丰富的教师,根据教学需要编写适应不同层次、不同类型院校,具有不同风格和特点的高质量教材。郑州大学出版社按照这样的要求和精神,组织土建学科专家,在全国范围内,对土木工程、建筑工程技术等专业的培养目标、规格标准、培养模式、课程体系、教学内容、教学大纲等,进行了广泛而深入的调研,在此基础上,分专业召开了教育教学研讨会、教材编写论证会、教学大纲审定会和主编人会议,确定了教材编写的指导思想、原则和要求。按照以培养目标和就业为导向,以素质教育和能力培养为根本的编写指导思想,科学性、先进性、系统性和适用性的编写原则,组织包括郑州大学在内的五十余所学校的学术水平高、教学经验丰富的一线教师,吸收了近年来土建教育教学经验和成果,编写了本、专科系列教材。

教育教学改革是一个不断深化的过程,教材建设是一个不断推陈出新、反复锤炼的过程,希望这些教材的出版对土建教育教学改革和提高教育教学质量起到积极的推动作用,也希望使用教材的师生多提意见和建议,以便及时修订、不断完善。

王发之

2006年7月

# 前言

## Preface

---

本书作为普通高等教育土木工程专业“十一五”规划教材之一,内容紧扣“高等学校土木工程专业本科教育培养目标和培养方案及课程教学大纲”,严格按照教育部结构力学教学指导委员会 2004 年年会通过的土木工程专业结构力学教学基本要求,本着实用创新、面向对象的原则,由学术水平高、教学经验丰富的一线教师编写。

本书具有以下特点:一、注重实用创新的基本原则,吸取了以往的教学经验及有关教材的长处,既保持结构力学基本理论的系统性,又在内容上满足土木工程专业中各个专业方向的教学要求,便于学生自学,深入浅出,反映作者在工程结构分析中的新成果;二、注重对学生知识转化为能力的培养,理论联系实际,教材内容方便课堂教学精讲精练,课后作业按难易程度逐步展开,循序渐进;三、关注现代结构和结构设计技术的发展,教材内容与相关课程和工程实际密切相联。

本书由曾宪桃、樊友景任主编,参加本书编写的有:河南理工大学曾宪桃(第1章),平顶山工学院杜留记(第2章),黄淮学院李纪周(第3章),河南工业大学陈丽(第4章、第8章部分内容),郑州大学宁永胜(第5章),河南科技大学徐红玉(第6章),华北水利水电学院唐克东(第7章、第8章部分内容),河南理工大学王有凯(第9章),信阳师范学院高洪波(第10章),郑州大学樊友景(第11、12章)。

本教材在编写出版过程中得到了兄弟院系领导、专家和郑州大学出版社的大力支持,在此深表谢意。另外,在编写过程中,还学习、参阅、引用了许多优秀的文献资料,在此,对相关文献资料的作者也一并表示由衷的感谢。

限于编者水平,书中难免有疏漏和不足之处,敬请专家、读者指正,提出建议,以便作进一步修订完善。

编者

2007年5月



## 本书主要符号意义

|                  |                             |                |                 |
|------------------|-----------------------------|----------------|-----------------|
| $A$              | 面积                          | $\bar{F}^{Fe}$ | 局部坐标系下单元固端力向量   |
| $a$              | 振幅                          | $F^{Fe}$       | 整体坐标系下单元固端力向量   |
| $A_e$            | 应变能密度                       | $G$            | 切变模量            |
| $B_\sigma$       | 应变余能密度                      | $i$            | 线刚度             |
| $c$              | 支座广义位移、粘滞阻尼系数               | $I$            | 惯性矩             |
| $C$              | 弯矩传递系数                      | $\mathbf{I}$   | 单位矩阵            |
| $c_{cr}$         | 临界阻尼系数                      | $k$            | 刚度系数、切应力分布不均匀系数 |
| $d$              | 结间距离                        | $\bar{k}^e$    | 局部坐标系下单元刚度矩阵    |
| $E$              | 弹性模量                        | $k^e$          | 整体坐标系下单元刚度矩阵    |
| $f$              | 矢高、工程频率                     | $\mathbf{K}$   | 结构刚度矩阵          |
| $F_P$            | 集中荷载                        | $m$            | 质量              |
| $\mathbf{F}_P$   | 荷载向量                        | $\mathbf{M}$   | 质量矩阵            |
| $F_H$            | 水平推力                        | $M$            | 力矩、力偶矩、弯矩       |
| $F_x, F_y$       | 水平( $x$ )、垂直( $y$ )方向的分力    | $M^F$          | 固端弯矩            |
| $F_N$            | 轴力                          | $M_u$          | 极限弯矩            |
| $F_{Nx}, F_{Ny}$ | 轴力在水平( $x$ )、垂直( $y$ )方向的分力 | $M_e$          | 弹性极限弯矩          |
| $F_Q$            | 剪力                          | $N$            | 形函数矩阵           |
| $F_Q^L, F_Q^R$   | 截面左、右的剪力                    | $p$            | 均布荷载集度          |
| $F_Q^F$          | 固端剪力                        | $P$            | 广义荷载、广义力        |
| $F_{Pe}$         | 欧拉临界荷载                      | $\mathbf{P}^e$ | 单元结点荷载向量        |
| $F_{Per}$        | 临界荷载                        | $\mathbf{P}$   | 结构结点荷载向量        |
| $F_{Pu}$         | 极限荷载                        | $q$            | 均布荷载集度          |
| $F_P^+$          | 可破坏荷载                       | $R$            | 半径              |
| $F_P^-$          | 可接受荷载                       | $r$            | 半径、反力影响系数       |
| $F_e$            | 弹性力                         | $S$            | 转动刚度            |
| $F_I$            | 惯性力                         | $t$            | 时间              |
| $F_c$            | 阻尼力                         | $T$            | 周期、动能           |
| $F_R$            | 广义反力、反力合力                   | $\mathbf{T}$   | 坐标转换矩阵          |
| $\bar{F}^e$      | 局部坐标系下单元杆端力向量               | $U$            | 应变能             |
| $F^e$            | 整体坐标系下单元杆端力向量               | $u$            | 水平位移            |

|            |                    |               |             |
|------------|--------------------|---------------|-------------|
| $v$        | 竖向位移、挠度、速度         | $\delta$      | 柔度系数、位移影响系数 |
| $V$        | 应变余能               | $\varepsilon$ | 线应变         |
| $W$        | 功、计算自由度、弯曲截面系数     | $\mu$         | 力矩分配系数      |
| $X$        | 广义未知力、广义多余未知力      | $\kappa$      | 曲率          |
| $Y$        | 位移幅值向量、主振型向量、主振型矩阵 | $\varphi$     | 弦转角         |
| $\gamma$   | 位移                 | $\gamma_0$    | 平均切应变       |
| $Z$        | 影响线量值              | $\theta$      | 截面的转角、干扰力频率 |
| $\alpha$   | 线膨胀系数、初相角          | $\xi$         | 阻尼比         |
| $\beta$    | 动力系数               | $\sigma_b$    | 强度极限        |
| $\Delta$   | 广义未知位移             | $\sigma_s$    | 屈服应力        |
| $\Delta$   | 位移向量               | $\sigma_u$    | 极限应力        |
| $\Delta^e$ | 单元杆端位移向量           | $\omega$      | 圆频率(角频率)    |

## 本书特定符号相关说明

根据国家技术监督局发布的国家标准《量和单位》(GB 3100 - 3102 - 93),按照既有利于国家标准的贯彻实施,并与现有惯例相衔接,又有利于教师使用习惯和学生学习上的方便,本书对传统的结构力学符号和单位作了局部调整,现作如下说明,请读者学习使用时注意。

1. 国家标准规范的物理量、名称和符号,按国家标准使用,注重量的物理属性。如剪应变(剪切角) $\gamma$ ,现改称切应变;各种力(包括荷载、反力和内力)都用  $F$  (Force) 作为主符号,而将其特性以下标或上标加以区别等。

2. 对于在结构力学中广泛使用的广义力(包括力与力偶矩、力矩)和广义位移(包括线位移与角位移),为了体现其广义性(有时还有其未知性),考虑到全书叙述的统一和表达的简洁、完整,本书仍沿用  $X$  (多余力未知力)、 $\Delta$  和  $\delta$  (位移)、 $c$  (支座位移)等广义物理量。至于它们在具体问题中对应的量和相应单位,则视具体问题而定。

3. 在结构力学力法和位移法、位移和影响线计算中普遍使用的单位力  $\bar{Z} = 1$  和  $F_p = 1$  以及单位位移  $\bar{Z} = 1$  和  $\Delta = 1$  等,均应理解为“广义量的系数”,是广义量自身相比的比值。单位力  $X = 1$  是指数值为 1 而其量纲指数都为零的特定广义力  $\bar{X} = 1$ ,这里,  $\bar{X}$  与  $X$  在数值上相等,但量纲不同,  $\bar{X}$  是一个量纲为 1 的量,即无量纲量。

# 目录

## CONTENTS



|                    |     |
|--------------------|-----|
| 第1章 绪论             | 1   |
| 1.1 结构力学的研究对象及研究内容 | 1   |
| 1.2 结构的计算简图        | 3   |
| 1.3 杆件结构的分类        | 9   |
| 1.4 荷载的分类          | 11  |
| 第2章 杆件体系的几何构造分析    | 13  |
| 2.1 几何构造分析的几个基本概念  | 13  |
| 2.2 平面几何不变体系的组成规律  | 18  |
| 2.3 平面杆件体系的计算自由度   | 22  |
| 2.4 空间杆件体系的几何构造分析  | 24  |
| 第3章 静定结构受力分析       | 31  |
| 3.1 梁的内力计算回顾       | 31  |
| 3.2 静定多跨梁          | 35  |
| 3.3 静定平面刚架         | 38  |
| 3.4 静定空间刚架         | 43  |
| 3.5 静定平面桁架         | 44  |
| 3.6 静定空间桁架         | 49  |
| 3.7 组合结构           | 53  |
| 3.8 三铰拱            | 55  |
| 3.9 零载法            | 60  |
| 3.10 刚体体系的虚功原理     | 63  |
| 3.11 静定结构的一般性质     | 67  |
| 3.12 各类杆系结构的受力特点   | 69  |
| 第4章 静定结构的影响线       | 77  |
| 4.1 移动荷载和影响线的概念    | 77  |
| 4.2 静力法作简支梁的影响线    | 79  |
| 4.3 结点荷载作用下梁的影响线   | 86  |
| 4.4 静力法作桁架的影响线     | 88  |
| 4.5 机动法作影响线        | 91  |
| 4.6 影响线的应用         | 96  |
| 4.7 简支梁的包络图和绝对最大弯矩 | 106 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 第5章 静定结构位移计算             | 116 |
| 5.1 结构位移计算概述             | 116 |
| 5.2 实功与虚功·广义力与广义位移       | 118 |
| 5.3 应用虚功原理求刚体体系的位移       | 120 |
| 5.4 变形体系虚功原理和结构位移计算的一般公式 | 121 |
| 5.5 静定结构在荷载作用下的位移计算      | 126 |
| 5.6 图乘法                  | 131 |
| 5.7 静定结构由于支座移动所引起的位移计算   | 140 |
| 5.8 静定结构由于温度改变所引起的位移计算   | 141 |
| 5.9 线性变形体系的互等定理          | 143 |
| 第6章 力法                   | 154 |
| 6.1 超静定结构的概念和超静定次数的确定    | 154 |
| 6.2 力法的基本思路、概念及典型方程      | 157 |
| 6.3 超静定梁、刚架和排架           | 164 |
| 6.4 超静定桁架和组合结构           | 175 |
| 6.5 对称性的利用               | 178 |
| 6.6 两铰拱                  | 188 |
| 6.7 无铰拱                  | 192 |
| *6.8 由卡氏定理推致力法方程         | 200 |
| 6.9 温度改变和支座移动时超静定结构的内力计算 | 205 |
| 6.10 超静定结构位移的计算          | 212 |
| 6.11 超静定结构计算的校核          | 215 |
| 6.12 超静定结构的特性            | 220 |
| 第7章 位移法                  | 234 |
| 7.1 位移法的基本概念             | 234 |
| 7.2 位移法基本未知量的确定          | 236 |
| 7.3 等截面直杆的转角位移方程         | 240 |
| 7.4 位移法两种求解方式综述          | 246 |
| 7.5 位移法计算连续梁和无侧移刚架       | 251 |
| 7.6 位移法计算有侧移刚架           | 256 |
| 7.7 位移法计算对称结构            | 260 |
| *7.8 支座位移和温度改变时的计算       | 265 |

# 目录

## CONTENTS

▶▶▶ 3

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 第8章 渐近法及超静定力的影响线      | 275 |
| 8.1 渐近法概述             | 275 |
| 8.2 力矩分配法的概念          | 275 |
| 8.3 单结点的力矩分配          | 280 |
| 8.4 多结点的力矩分配          | 284 |
| 8.5 无剪力分配法            | 289 |
| 8.6 力矩分配法与位移法的联合应用    | 295 |
| 8.7 超静定力的影响线          | 298 |
| 8.8 连续梁的最不利荷载分布及内力包络图 | 299 |
| 习题参考答案                | 309 |

注:带\*的为选学内容。



# 第1章 绪论

本章主要介绍结构力学的研究对象、研究内容、计算简图、结构和杆件结构的分类以及荷载分类等问题。其中,结构计算简图是重点,是后续章节的基础。

## 1.1 结构力学的研究对象及研究内容

### 1.1.1 结 构

广义的结构指物质“各组成部分的搭配和排列”。工程结构是指建筑物或工程设施中承受、传递荷载(作用)而起骨架作用的部分,通常简称结构(sturcture)。房屋建筑中的梁柱体系(图 1.1)、水工结构物中的闸门和大坝(图 1.2)、道路工程中的桥梁(图 1.3)和隧道等,都是工程结构的典型例子。



图 1.1

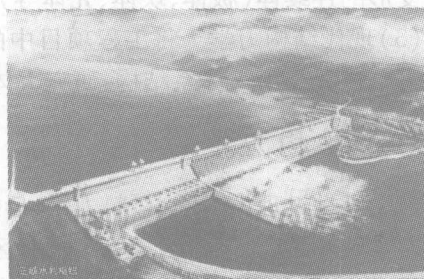


图 1.2



图 1.3





由于“各组成部分的搭配和排列”的情况不同,结构按构件的几何性质又可分为三大类:

(1)杆件结构 由杆件通过不同的连接和搭配组成的结构。杆件结构的几何特征是横截面尺寸要比长度小得多。梁、拱、桁架、刚架均可视为杆件结构。

(2)板壳结构 也称薄壁结构。它们的厚度比长度和宽度小得多。房屋建筑中的楼板和壳体屋盖、水工结构中的弧形拱坝均为板壳结构。图 1.4 所示为壳体屋盖。

(3)实体结构 此类结构在长、宽、高三个尺度上大小相当。水工结构中的重力坝(大坝)、建筑工程中的块体基础以及挡土墙等均属实体结构。



图 1.4

### 1.1.2 结构力学的研究对象

结构力学(structure mechanics)作为力学学科的一个分支,其研究对象涉及较广,根据所涉及的研究范围之不同,可将结构力学分为狭义结构力学、广义结构力学和现代结构力学。

(1)狭义结构力学 其研究对象为由杆件所组成的体系,即杆件结构,通常所说的结构力学就是指杆件结构力学,又称为经典结构力学。

(2)广义结构力学 其研究对象为可变形的结构,除可变形杆件组成的体系外,还包括可变形的连续体(板体、块体、壳体等)。

(3)现代结构力学 将工程项目中的各类结构从论证到设计、从施工到使用期内维护的整个过程作为大体系结构,研究大体系结构中的各种力学问题,其研究范围更广。

### 1.1.3 结构力学的研究内容

前面已学过理论力学、材料力学,后续课程还有弹塑性力学。结构力学与理论力学、材料力学、弹塑性力学密切相关又有所区别。理论力学着重讨论物体机械运动的基本规律,分为静力学和运动学。刚体是理论力学中的理想模型。静力学的研究对象为刚体,故静力学又称刚体静力学。运动学研究刚体(或质点)在空间的位置随时间而变化的几何性质。结构力学、材料力学、弹塑性力学着重讨论结构及其构件的强度、刚度、稳定性和动力反应等问题,其中材料力学以单个杆体为主要研究对象,有时还研究材料的塑性、蠕变、疲劳以及破坏等问题;结构力学以杆件结构为主要研究对象;弹塑性力学研究对象可以是各种固体,特别是各种结构,包括实体结构板、壳结构、建筑地基、洞室、围岩、堤坝、边坡等。

结构力学的任务是根据力学原理研究在外力和其他外界因素作用下结构的内力和变形,结构的强度、刚度、稳定性和动力反应,以及结构的组成规律。具体来说,有以下几个方面的内容:



- (1) 研究结构的组成规律和合理形式,以及实际结构计算简图的合理选择;
- (2) 研究结构内力和变形的计算方法,进行结构强度和刚度验算;
- (3) 研究结构的稳定性以及在动力荷载作用下的结构反应。

解决结构力学问题的手段包括理论分析、实验研究和数值计算三个方面,实验研究方面的内容在实验力学和结构检验课程中讨论,理论分析和数值计算方面的研究内容在结构力学中讨论。

在结构分析中,首先要把实际结构简化成规范化的结构计算模型,即结构计算简图,然后对计算简图进行分析计算。结构力学的计算问题分为两类:一类为静定性问题,只需根据下面三个基本条件的第一个条件——平衡条件,即可求解;另一类为超静定结构问题,必须全部满足以下三个基本条件方能求解。这三个基本条件是:

(1) 力系的平衡条件或运动条件,即平衡条件。在外界因素的作用下,结构的整体及其中任何一部分都应满足力系的平衡条件。

(2) 变形的几何连续条件,即几何条件。连续的结构发生变形后,仍是连续的,材料没有重叠或缝隙。同时,结构的变形和位移满足支座和节点的约束条件。

(3) 应力与变形间的物理条件,即物理条件。把结构的应力和变形联系起来的物理条件,即物理方程或本构方程。

以上三个基本条件,贯穿于结构力学课程的全部计算方法中,只是由于给定条件的不同,在应用上有不同的次序和方式而已。

## 1.2 结构的计算简图

实际结构复杂多变,完全按照结构的实际情况进行力学分析是不可能的,也是不必要的。因此,在进行力学分析时,总是要对实际结构做出一些简化和假设,略去某些次要因素,保留其主要的受力特征,把实际结构抽象和简化为既能反映实际受力情况又便于计算的图形。这种简化的图形就是计算时用来代替实际结构的力学模型,一般称之为结构计算简图,或结构计算模型。

结构计算简图是对结构进行力学分析的依据,同时结构计算简图的力学分析结果又是实际结构杆件截面设计的依据。如果结构计算简图不能准确地反映结构的实际受力情况或选择错误,就会使计算结果产生很大的偏差,有可能造成不必要的浪费,甚至造成工程事故。所以对结构计算简图的选择,必须持科学谨慎的态度。

结构计算简图的选择应遵循下列两条原则:

(1) 结构计算简图应能正确地反映实际结构的主要受力情况和变形性能,使计算结果接近实际情况;

(2) 保留主要因素,略去次要因素,使结构计算简图便于计算。

应当指出,结构计算简图的选择在上述原则指导下,要根据当时当地的具体要求和条件来选用,并不是一成不变的。对于同一结构,根据不同的情况可以取不同的计算简图。例如在结构初步设计阶段,可以采用较为粗略但比较简单的计算简图;而在技术设计阶段则应采用较为复杂但比较精确的计算简图;在进行动力计算或稳定性计算时,由于计算比



较复杂,可以采用较为粗略但比较简单的计算简图;在进行静力计算时,则应采用较为复杂但比较精确的计算简图。此外,由于使用的计算工具不同,所选取的计算简图也可不同。例如,手算时计算简图应力求简单,而用计算机计算时可采用较为精确的计算简图。

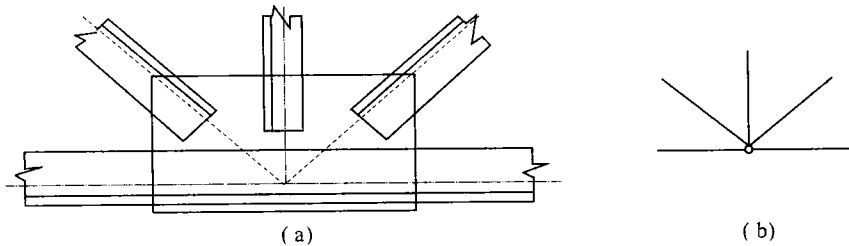
合理的结构计算简图,既要恰当地反映实际结构的受力情况,又要使计算简化。在选取计算简图时,对实际结构可从下列几个方面进行简化。

(1) 结构体系的简化 严格地说,一般结构实际上都是空间结构,各部分相互连接成为一个空间整体,以承受各个方向可能出现的荷载。但在多数情况下,常可以忽略一些次要的空间约束而将实际结构分解为平面结构,使计算得以简化。本书主要讨论平面结构的计算问题。当然也有一些结构具有明显的空间特征而不宜简化成平面结构,本书也将涉及这方面的内容。

(2) 杆件的简化 杆件的截面尺寸(宽度、厚度或直径)通常比杆件长度小得多,截面变形符合平截面假设,截面上的应力可根据截面的内力(弯矩、剪力、轴力)来确定,截面上的变形也可根据轴线上的应变分量来确定。因此,在结构计算简图中,杆件用其纵轴线表示。如梁、柱等构件的纵轴线为直线,就用相应的直线表示;又如曲杆、拱等构件的纵轴线为曲线,则用相应的曲线表示。对由单个杆件连接起来的结构,杆件之间的连接区用结点表示,杆长用结点间的距离表示,而荷载的作用点也转移到纵轴线上。但当截面尺寸增大时(如超过杆长的 $1/4$ 时),杆件用其轴线表示将引起较大的误差。

(3) 杆件间连接的简化 结构中杆件与杆件之间的相互连接处,简化为结点。钢结构、钢筋混凝土结构及组合结构中杆件与杆件之间相互连接的构造方式虽然很多,但其结点通常简化为以下两种理想情形:

1) 铰结点 被连接的杆件的连接处不能相对错动,但可相对转动,即在连接处可以承受和传递力,但不能承受和传递力矩。理想铰结点可用一个小圆圈表示。如图 1.5 所示,梯形钢桁架的结点是通过结点板把各杆件焊接在一起的,实际上各杆端是不能相对转动的,但在桁架中各杆主要是承受轴力,因此计算时仍可将这种结点简化为铰结点。



(a) 钢桁架结点做法; (b) 铰结点计算图

图 1.5

2) 刚结点 被连接的杆件在连接处不能相对移动,也不能相对转动,即在连接处不但能承受和传递力,而且能承受和传递力矩。图 1.6 所示是一钢筋混凝土框架边柱和梁的结点,由于梁和柱之间的钢筋布置,且混凝土将它们浇筑成整体,使梁和柱不能产生相对移动和转动,计算时简化为一刚结点。

(4) 支座的简化 结构与基础或支承部分相连接的装置称为支座。支座的作用是把