



普通高等院校基础力学系列教材

结构力学

学习辅导与解题指南 (第2版)

祁皑 编著

清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

普通高等院校基础力学系列教材

结构力学

学习辅导与解题指南 (第2版)

祁皑 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书主要介绍“结构力学”课程的理论、方法概要以及解题方法。一方面帮助读者应用结构力学的基本概念、基本理论以及基本方法分析和解决问题;另一方面通过解题过程加深对于相关概念、理论以及方法的认识和理解。全书分为9章:体系的几何组成分析,静定结构受力分析,静定结构位移计算,力法,位移法,影响线及其应用,矩阵位移法,结构动力计算,结构稳定及极限荷载计算的基本知识。

本书可作为高等院校土木、交通、水利等专业结构力学课程的教辅,也可作为专升本、本科自考和相关专业工程技术人员等的参考书。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

结构力学学习辅导与解题指南/祁皑编著. —2版. —北京:清华大学出版社, 2013.4
(普通高等院校基础力学系列教材)

ISBN 978-7-302-31128-7

I. ①结… II. ①祁… III. ①结构力学—高等学校—教学参考资料 IV. ①O342

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第319461号

责任编辑:佟丽霞

封面设计:常雪影

责任校对:刘玉霞

责任印制:宋 林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦A座 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175 邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者: 北京国马印刷厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 170mm×230mm 印 张: 13.5 字 数: 233千字

版 次: 2007年8月第1版 2013年4月第2版 印 次: 2013年4月第1次印刷

印 数: 1~3000

定 价: 22.00元

产品编号: 039640-01

PREFACE

普通高等院校基础力学系列教材

第1版序

普通高等院校基础力学系列教材包括“理论力学”、“材料力学”、“结构力学”、“工程力学(静力学+材料力学)”。这套教材是根据我国高等教育改革的形势和教学第一线的实际需求,由清华大学出版社组织编写的。

从2002年秋季学期开始,全国普通高等学校新一轮培养计划进入实施阶段。新一轮培养计划的特点是:加强素质教育、培养创新精神。根据新一轮培养计划,课程的教学总学时数大幅度减少,学生自主学习空间将进一步增大。相应地,课程的教学时数都要压缩,基础力学课程也不例外。

怎样在有限的教学时数内,使学生既能掌握力学的基本知识,又能了解一些力学的最新进展;既能培养和提高学生学习力学的能力,又能加强学生的工程概念?这是很多力学教育工作者所共同关心的问题。

现有的基础力学教材大部分都是根据在比较多的学时内进行教学而编写的,因而篇幅都比较大。教学第一线迫切需要适用于学时压缩后教学要求的小篇幅的教材。

根据“有所为、有所不为”的原则,这套教材更注重基本概念,尽量避免冗长的理论推导与繁琐的数学运算。这样做不仅可以满足一些专业对于力学基础知识的要求,而且可以切实保证教育部颁布的基础力学课程教学基本要求的教学质量。

为了让学生更快地掌握最基本的知识,本套教材一方面在叙述概念、原理时提出问题、分析问题和解决问题的角度作了比较详尽的论述与讨论;另一方面通过较多的例题分析,特别是新增加的关于一些重要概念的例题分析帮助读者加深对基本内容的了解和掌握。

此外,为了帮助学生学习和加深理解以及方便教师备课和授课,与每门课程主教材配套出版了学习指导、教师用书(习题详细解答)和供课堂教学使用的电子教案。

本套教材内容的选取以教育部颁布的相关课程的“教学基本要求”为依据,同时根据各院校的具体情况,作了灵活的安排,绝大部分为必修内容,少部分为选修内容。

范钦珊

2005年7月于清华大学

FOREWORD

前言

本书第1版自2007年出版以来,经过了6年多的使用,收到了良好的效果。其作用已经在一定程度上超出了《结构力学》配套用书,已成为许多学生考研的重要复习资料。

在本书的使用过程中,作者收到许多学生提出的反馈意见和建议。本次修订,就是在充分考虑和吸收这些建议和意见的基础上进行的。在此,向他们表示衷心的感谢。

本书的修订由福州大学祁能教授负责。由于专业的发展和作者的能力所限,恳请读者将你们发现的问题、改进的建议及时反馈给我们(qikai@fzu.edu.cn)。感谢你们。

作 者
2013年1月

FOREWORD

第1版前言

本套《结构力学》教材适应应用型多学时结构力学课程的需要,在保证教育部颁发的基本要求前提下,突出了应用型人才的培养需要。因此,尽量在注重基本概念、注重能力培养、注重一题多解上下工夫,希望能通过突出基本原理和分析方法的反复讲解,加深学生对基本概念的理解和解题方法的掌握。

本套教材包括主教材——《结构力学》,学生学习用书——《结构力学学习辅导与解题指南》,教师教学用书——《结构力学教师用书(电子书)》,以及供教师课堂使用的多媒体课件——《结构力学电子教案》。

本书是学生学习用书,全书共分9章(与主教材对应)。每章包括5个部分的内容。

(1) 学习目的。主要讲解本章内容在实践中的应用,与后续章节的联系及其蕴含的分析问题思路等。

(2) 基本内容总结和学习建议。归纳总结重要的知识要点,梳理本章的知识结构,明确学习的深度和广度,建议合适的学习方法等;这是本书有别于教材的部分,主要作用是帮助学生深入理解基本概念,构建较为完整的知识框架体系,将教学大纲要求与具体的学习方法有机地联系起来。这样的安排对自学或准备考研的读者特别有帮助。

(3) 附加例题。对主要题型增加例题,扩充适量的其他例题类型,对学生的起到举一反三、开阔视野、逐步提高的作用;这部分内容主要考虑教材篇幅的限制,无法容纳太多类型的例题。因此,这部分的内容对学习需要拔高的读者是非常有益的。

(4) 思考题及答案。强化和深化对基本概念、基本原理和基本方法的理解;多数读者对思考题的解答感到似懂非懂,主要原因是对教材内容理解的不到位。思考题的参考答案能为学生加深对基本概念的理解起到画龙点睛的作用。

(5) 自测题及答案。用于学生的自检、自测,为学生自我学习创造条件。

书中标有*号的部分供有兴趣的读者选读。本书的第1、2、3、4、6章由祁彪编写,第5、7、8、9章由张金生编写。本书部分例题和自测题由福州大学陈贞钜提供。

编 者
2007年6月

CONTENTS

目录

第 1 章 体系的几何组成分析	1
1.1 学习目的	1
1.2 基本内容总结和学习建议	1
1.2.1 主要概念	1
1.2.2 静定结构的组成规则	2
1.2.3 几何可变体系	2
1.2.4 体系几何组成分析常用方法	2
1.3 附加例题	3
1.4 思考题及答案	7
1.5 思考题及答案	9
第 2 章 静定结构受力分析	15
2.1 学习目的	15
2.2 基本内容总结和学习建议	15
2.2.1 一般方法	15
2.2.2 桁架结构的受力分析	16
2.2.3 三铰拱结构的受力分析	18
2.2.4 静定梁、静定刚架和组合结构的受力分析	18
2.2.5 静定结构性质	19
2.3 附加例题	19
2.4 思考题及答案	28
2.5 自测题及答案	30
第 3 章 静定结构位移计算	35
3.1 学习目的	35
3.2 基本内容总结和学习建议	35
3.2.1 虚功原理	35

3.2.2	应用虚功原理推导结构位移计算公式	36
3.2.3	荷载位移计算公式的简化	40
3.2.4	图乘法	40
3.2.5	互等定理	42
3.3	附加例题	42
3.4	思考题及答案	46
3.5	自测题及答案	50
第4章	力法	55
4.1	学习目的	55
4.2	基本内容总结和学习建议	55
4.2.1	力法求解超静定结构内力	56
4.2.2	超静定结构位移计算	61
4.2.3	内力图计算结果的校核	62
4.3	附加例题	62
4.4	思考题及答案	68
4.5	自测题及答案	71
第5章	位移法	79
5.1	学习目的	79
5.2	基本内容总结和学习建议	79
5.2.1	位移法求解超静定结构内力	80
5.2.2	无侧移结构的弯矩分配法	83
5.3	附加例题	84
5.4	思考题及答案	95
5.5	自测题及答案	98
第6章	影响线及其应用	105
6.1	学习目的	105
6.2	基本内容总结和学习建议	105
6.2.1	作影响线	106
6.2.2	影响线的应用	108
6.3	附加例题	110
6.4	思考题及答案	115
6.5	自测题及答案	117

第 7 章 矩阵位移法	123
7.1 学习目的	123
7.2 基本内容总结和学习建议	123
7.3 附加例题	129
7.4 思考题及答案	142
7.5 自测题及答案	143
第 8 章 结构动力计算	151
8.1 学习目的	151
8.2 基本内容总结和学习建议	151
8.2.1 动力自由度的确定	152
8.2.2 建立动力方程	152
8.2.3 单自由度体系自由振动分析	153
8.2.4 单自由度体系受迫振动分析	154
8.2.5 两个自由度体系的自由振动分析	156
8.2.6 简谐荷载下无阻尼两个自由度体系受迫振动分析	157
8.2.7 多自由度体系振动分析	157
8.2.8 频率和振型的实用计算方法	158
8.3 附加例题	158
8.4 思考题及答案	171
8.5 自测题及答案	176
第 9 章 结构稳定及极限荷载计算的基本知识	183
9.1 学习目的	183
9.2 基本内容总结和学习建议	183
9.2.1 结构稳定分析的基本知识	183
9.2.2 结构极限荷载的基本知识	185
9.3 附加例题	188
9.4 思考题及答案	196
9.5 自测题及答案	198

体系的几何组成分析

1.1 学习目的

本章的主要内容是利用几何不变体系的组成规律,分析杆件体系的几何组成。

学习这些内容的目的有如下几个方面:

(1) **正确地选择计算方法** 内力计算方法与结构的组成有关,静定结构只需平衡条件即可求解,超静定结构还需用到变形条件。另外,在确定使用力法还是位移法求解超静定结构时也需要这方面知识。

(2) **确定受力分析的次序** 由若干部分组成的静定结构,受力分析次序与几何组成次序有关。

(3) **学习力法的基础** 力法的基本思想是将超静定结构化成静定结构来求解,这需要本章所讲述的知识。

1.2 基本内容总结和学习建议

1.2.1 主要概念

(1) **刚片** 可以是一个杆,也可以是由杆件组成的几何不变体系。具体应用时,要特别注意刚片中是否有多余约束。

(2) **约束** 对体系自由度有影响的约束为**必要约束**;对体系自由度没有影响的约束为**多余约束**。这里的必要和多余的含义仅限于对自由度的影响。

这是本章最重要的两个概念,分析体系的几何组成就是依据体系中刚片和刚片间的约束情况确定体系的几何性质。分析中有时也将一些刚片看成约束,这使得分析过程可能不同,但体系多余约束的个数是唯一的。

1.2.2 静定结构的组成规则

(1) 三刚片规则 三个本身无多余约束的刚片用三个不共线的单铰两两相连,则组成的体系为静定结构,即无多余约束的几何不变体系。

(2) 两刚片规则(分两种情况)

① 两个本身无多余约束的刚片用一个单铰和一个不通过该铰的链杆相连,则组成的体系为静定结构,即无多余约束的几何不变体系。

② 两个本身无多余约束的刚片用三个既不相互平行、又不相交于一点的三根链杆相连,则组成的体系为静定结构,即无多余约束的几何不变体系。

(3) 二元体规则

在任意一个体系上加二元体或减二元体都不会改变体系的几何组成结论。

这部分是本章的核心内容,具体要求是:①深刻理解并熟记规则的内容。这一点比较容易做到。②熟练地应用规则去分析体系的几何组成。分析体系的几何组成,方法非常灵活,分析技巧很多。必须多做练习,并注意总结,才能达到熟练掌握的程度。

1.2.3 几何可变体系

(1) 常变体系 可能发生宏观位移的几何可变体系。

(2) 瞬变体系 发生微小位移以后变成几何不变体系的几何可变体系。

对这部分内容学习的要求是:①理解并能说明这两种体系不能作为结构的原因。②掌握体系为常变体系或瞬变体系的几种约束的情况。

1.2.4 体系几何组成分析常用方法

体系的几何组成分析主要有以下几个方法,分析时要灵活应用。

(1) 去掉二元体 分析一个体系时,有二元体一定要先去掉,使体系简化。分析时,一定要确认去掉的是否是二元体。

(2) 去掉基础(或刚片) 若基础(或刚片)与体系的其他部分用三个约束连接,且符合几何不变体系的组成规则,则可以将基础(或刚片)和三个约束一起去掉,只分析余下的部分。

(3) 刚片转换 ①若一个无多余约束的刚片仅用两个铰与其他部分相连,则可用一根链杆代替这个刚片。②若一个无多余约束的刚片仅用三个铰与其他部分相连,则可用铰结三角形代替这个刚片。

(4) 大刚片 若体系的杆件比较多,可以先将一些杆件组成大刚片。

(5) 三刚片规则 用三刚片规则时,有时会觉得找不准刚片。一般情况下,若体系有 9 根杆件,则可试着选 3 根杆件做刚片、其余 6 根杆件做约束;若有 11 根杆件,则可试着选 1 个三角形和 2 个杆件做刚片、其余 6 根杆件做约束。若有 13 根杆件,则可试着选两个三角形和一个杆件做刚片、其余 6 根杆件做约束。依此类推。选择刚片时,可以先指定一个刚片,则与这个刚片相连的杆件都是约束,不可能是刚片。这样另外两个刚片就容易确定了。

但是,对于图 1-1 所示体系,就不必硬套这种方法了。很明显,四个三角形组成一个大刚片,另外的两根杆是多余的约束。

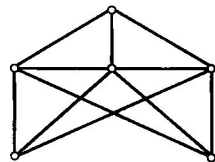


图 1-1

(6) 增加链杆 当无法直接用组成静定结构的规则分析时,可考虑增加约束,使其能够用三角形规则分析。若增加约束的体系是无多余约束的几何不变体系时,则可以得出原体系是几何可变体系的结构。若增加约束的体系是有多余约束的几何不变体系时,则结论不确定。

1.3 附加例题

附加例题 1.1 试分析图 1-2(a)所示体系的几何组成。

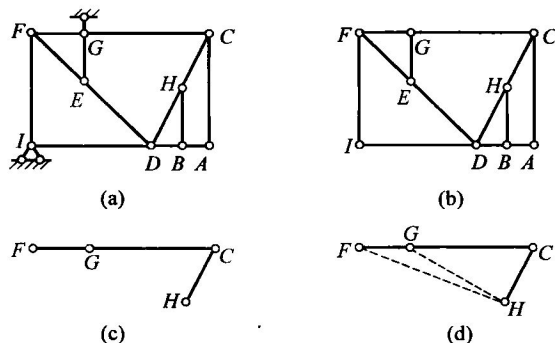


图 1-2 附加例题 1.1 图

解: 首先,将体系中与基础之间的约束连同基础一起去掉,得到图 1-2(b)后,依次按 A、B、I、D、E 的顺序去掉二元体,得到图 1-2(c)所示体系。很明显,若在该体系上增加两个链杆约束(图 1-2(d)),则体系就变成没有多余约束的几何不变体系。因此,本题的分析结论是几何可变体系,少了两个必要约束。若要使其成为几何不变体系需至少增加两个约束。

思考 (1) 是否可以按其他顺序去掉二元体?

(2) 是否可以在其他位置增加约束,使本题体系变成无多余约束的几何不变体系?

(3) 在图 1-2(c)中,若接着去掉 C 点的二元体,只剩下杆 FG 。一个杆件是无多余约束的几何不变体系。由此,可以得到本题的分析结论是无多余约束的几何不变体系。这与前面的分析结论不一样,试分析错在哪里?

附加例题 1.2 分析图 1.3(a)所示体系的几何组成。

解: 去掉图 1-3(a)所示体系右侧的两个二元体,并将阴影部分的三角形看成一个刚片,如图 1-3(b)所示;这个刚片与左侧部分用三根链杆(图 1-3(b)虚线所示)相连,这三根链杆既不相互平行也不交于一点。这时可以将三角形刚片连同这三个链杆一起去掉,只分析剩下部分(图 1-3(c))。

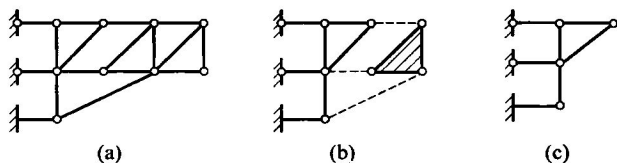


图 1-3 附加例题 1.2 图

很明显,剩下部分(用去掉二元体的方法或用从固定杆件增加二元体的方法分析)为无多余约束的几何不变体系。则原体系也为无多余约束的几何不变体系。

附加例题 1.3 分析图 1-4(a)所示体系的几何组成。

解: 首先,对体系进行简化。杆件 CA 可以简化成沿 CA 杆方向的支链杆;折杆 DB 简化成沿 DB 连线方向的支链杆。这样,原体系就可以简化成图 1-4(b)所示的情况。很明显,结论是无多余约束的几何不变体系。

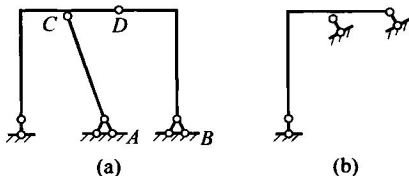


图 1-4 附加例题 1.3 图

附加例题 1.4 试分析图 1-5(a)所示体系的几何组成。

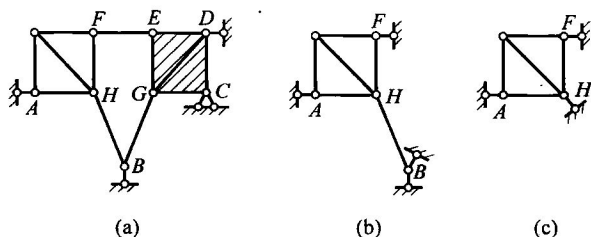


图 1-5 附加例题 1.4 图

解：还是先将体系进行简化。图 1-5(a)中阴影部分与基础组成了一个大刚片，这样杆件 FE 、 GB 就可以看成是与基础相连的支链杆。这时，体系可简化成图 1-5(b)所示情况。进一步，图 1-5(b)中的杆件 HB 也可看成是与基础相连的支链杆。这时，体系可进一步简化为图 1-5(c)所示情况。很明显，该体系为无多余约束的几何不变体系。则原体系也是无多余约束的几何不变体系。

附加例题 1.5 试分析图 1-6(a)所示体系的几何组成。

解：还是先对体系进行简化。

图 1-6(a)中杆件 AD 、 AE 可以看成是与基础相连的支链杆。这时，体系可简化成图 1-6(b)所示情况。

这个体系与基础之间有 4 个约束，可以考虑将基础看成一个刚片，用三刚片规则分析。因此，关键的问题是找另外两个刚片。

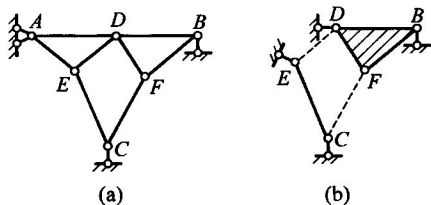


图 1-6 附加例题 1.5 图

数一数，图 1-6(b)体系中有基础、4 个支链杆再加上其余 6 个杆件总共有 11 个。因此，可以将基础、一个三角形和一根杆件看成 3 个刚片，其余 6 根杆件看成 3 对约束(相当于 3 个虚铰)。

基础和三角形(图 1-6(b)中阴影所示)刚片很容易找到，那么第 3 个刚片是哪一根杆件呢？许多读者在这个地方感到没有思路。既然找这个刚片困难，那么我们可以换个思路，试着找作为约束的杆件，剩下的杆件就是刚片了。因为在这个体系中任意两个刚片之间都是通过两根链杆相连的。按照这个思路，首先将与三角形相连的杆件找出来，它们一定是作为约束的杆件(图 1-6(b)中虚线所示)。这时，就只剩下一个杆件没有被画成虚线了，显然，这根杆件就是第三个刚片。分析的结论是体系为无多余约束的几何

不变体系。

附加例题 1.6 分析图 1-7(a)所示体系的几何组成。

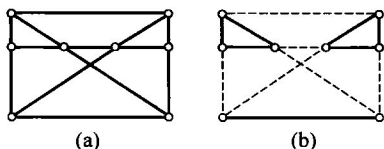


图 1-7 附加例题 1.6 图

解：图 1-7(a)所示体系杆件较多，可以考虑按三刚片规则分析。

体系中有 13 根杆件，所以，需要将两个三角形和 1 根杆件作为刚片（总共 7 根杆件），其余 6 根杆件作为约束。

两个三角形很容易找出来。然后，将与这两个三角形相连的杆件用虚线表示，很明显，最下面的水平杆就是第三个刚片了。分析的结论是体系为几何瞬变体系。

附加例题 1.7 分析图 1-8(a)所示体系的几何组成。

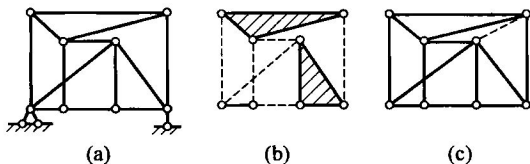


图 1-8 附加例题 1.7 图

解：首先去掉基础及相应的约束(图 1-8(b))，只分析内部可变性。图 1-8(b)杆件比较多，考虑采用三刚片规则分析。

图 1-8(b)所示体系中有 13 根杆件，需要将两个三角形和一个杆件看成刚片(总共 7 根杆件)、其余 6 根杆件看成约束(相当于 3 个虚铰)。

两个三角形刚片如图 1-8(b)中阴影所示。然后，将与两个三角形相连的杆件用虚线表示。这时，就只剩下左下角的水平杆了，这根杆件就是第三个刚片。分析的结论是原体系为无多余约束的几何不变体系。

思考 (1) 若将上部结构增加一根杆件(图 1-8(c)虚线所示)，从上面的三角形开始，依次增加二元体，则结论是有一个多余约束的几何不变体系。因此，原体系是无多余约束的几何不变体系。请问这个分析过程严密吗？

(2) 图 1-9(a)所示体系与地基之间有 4 个约束，考虑采用三刚片规则分析。将地基和阴影所示的两部分看成三刚片，则分析的结论是三铰共线、瞬变体系。

若在原体系上增加一根链杆，如图 1-9(b)所示，则阴影所示的两个刚片用一个铰和虚线链杆相连，组成一个无多余约束的刚片。此刚片与地基用四