

高等教育规划教材——学习指导与考研系列

结构力学 辅导与习题解

(中、少学时)

◎ 王长连 主编

JIEGOU LIXUE FUDAO YU XITIJIE

- ★ 内容提要
- ★ 基本要求与重点难点
- ★ 解体方法与典型例题分析
- ★ 习题解答
- ★ 自我测验题



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪高等教育规划教材——学习指导与考研系列

结构力学辅导 与习题解

(中、少学时)

主 编 王长连
副主编 沈丽虹 刘晓敏
参 编 于 杰 谢桂真

机械工业出版社

本书是与机械工业出版社同步出版的《结构力学简明教程》(王长连主编)配套使用的辅导教材。内容涵盖了结构力学的基本知识要点,在对原教材进行综合、提炼、补充、完善的基础上,每章分为内容提要、基本要求与重点难点、解题方法及典型例题分析、习题解答、自我测验题等五部分。针对高等教育教学特点,本书在内容安排上注重与工程实际相结合,强调了对基本概念、基本原理、基本方法的掌握程度及分析问题、解决问题能力的培养,是大学生自学和力学教师备课的好助手。

本书可作为中、少学时本科院校,多学时高职高专院校和成人教育高等院校建筑工程、水利工程、道路桥梁工程、机械与近机类等专业的师生用书,亦可作为中等专业学校相应专业的师生参考书。

图书在版编目(CIP)数据

结构力学辅导与习题解/王长连主编. —北京:
机械工业出版社, 2012. 8
21 世纪高等教育规划教材·学习指导与考研系列
ISBN 978-7-111-39135-7

I. ①结… II. ①王… III. ①结构力学-高等学校-
教材 IV. ①0342

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 157810 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 张金奎 责任编辑: 张金奎

版式设计: 霍永明 责任校对: 李锦莉

封面设计: 张 静 责任印制: 杨 曦

北京京丰印刷厂印刷

2012 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

140mm×203mm·6.875 印张·256 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-39135-7

定价: 16.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

社服务中心: (010)88361066

销售一部: (010)68326294

销售二部: (010)88379649

读者购书热线: (010)88379203

网络服务

教材网: <http://www.cmpedu.com>

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

机工微博: <http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是与机械工业出版社同步出版的《结构力学简明教程》(王长连主编)配套使用的辅导教材。内容涵盖了结构力学的基本知识要点,在对原教材进行综合、提炼、补充、完善的基础上,每章分为内容提要、基本要求与重点难点、解题方法及典型例题分析、习题解答、自我测验题等五部分。针对高等教育教学的特点,本书在内容安排上注重与工程实际相结合,强调了对基本概念、基本原理、基本方法的掌握程度及分析问题、解决问题能力的培养,它是学生自学和教师备课的好助手。具体说,本书有以下特点:

1. 全书共分九章,顺序与王长连主编《结构力学简明教程》完全相同,每章内容都是在对原教材进行了概括总结、加工提炼、补充完善的基础上形成的。

2. 本书中,每章都有明确的教学目的和要求,而且强调了学生对基本概念、基本原理、基本方法的掌握程度,并注重了学生分析问题、解决问题能力的培养。

3. 为了帮助初学本课程的学生,能够深入地掌握原教材中的知识,补充了解题方法及典型例题分析,还对习题进行了详解。这对学生做题和复习都是有益的。

4. 为了使学生了解自己对知识的掌握程度,每章最后都设计了自我测验。每学完了一章,学生自我测验一下,这样就能知道自己学得怎么样。学得好的继续努力,学得差的找出原因,迎头赶上。也就是说,本辅导教材写得比较人性化,便于学生自学与自测。

参加本书编写的有王长连(第一、四、五、六、七、八、九章及附录),沈丽虹(辅助主编统稿),刘晓敏(第二、三章),于杰(部分习题解答),谢桂真(部分插图和表格的设计绘制)。四川建院王长连教授任主编,负责本书的策划、统稿与定稿工作。

本书由青岛科技大学孟庆东教授主审。他认真审阅了全书,并提出不少修改意见,在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中借鉴、引用了一些同类教材中的资料、图表或题例，谨此一并表示衷心感谢。

本书可作为中、少学时本科院校，多学时（去掉★内容）高职高专院校和成人教育高等院校建筑工程、水利工程、道路桥梁工程、机械与近机类等专业的师生用书，亦可作为中等专业相应专业师生的学习参考书。

鉴于作者水平有限，书中难免存在一些疏漏与不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 绪论	1
一、内容提要	1
二、基本要求与重点难点	2
三、结构力学学习建议	3
四、自我测验题	5
第二章 平面体系的几何组成分析	7
一、内容提要	7
二、基本要求与重点难点	9
三、解题方法及典型例题分析	9
四、习题解答	12
五、自我测验题	12
第三章 静定结构的内力分析	15
一、内容提要	15
二、基本要求与重点难点	16
三、解题方法及典型例题分析	17
四、习题解答	27
五、自我测验题	40
第四章 静定结构的位移计算	42
一、内容提要	42
二、基本要求与重点难点	45
三、解题方法及典型例题分析	45
四、习题解答	52
五、自我测验题	61
第五章 力法	65
一、内容提要	65
二、基本要求与重点难点	70
三、解题方法及典型例题分析	70
四、习题解答	83

五、自我测验题	97
第六章 位移法	100
一、内容提要	100
二、基本要求与重点难点	106
三、解题方法及典型例题分析	106
四、习题解答	117
五、自我测验题	129
第七章 渐近法	132
一、内容提要	132
二、基本要求与重点难点	141
三、解题方法及典型例题分析	141
四、习题解答	147
五、自我测验题	161
第八章 影响线	163
一、内容提要	163
二、基本要求与重点难点	166
三、解题方法及典型例题分析	166
四、习题解答	173
五、自我测验题	180
第九章 梁和刚架的塑性分析	182
一、内容提要	182
二、基本要求与重点难点	184
三、解题方法及典型例题分析	185
四、习题解答	192
五、自我测验题	198
附录 《结构力学》 期末考试卷选登	200
卷 I	200
卷 II	203
卷 III	207
参考文献	211

第一章 绪 论

一、内 容 提 要

所谓绪论，是指简略地叙述全书的编写思路、研究对象、研究任务、学习方法及一些重要名词、概念等，为全书的逐步展开描绘出一个大致的轮廓，为下面分章学习奠定必要的学习情境。本绪论主要介绍建筑力学的研究对象、任务和学习方法等。

结构力学的研究对象为杆件结构。杆件结构的最小组成单元为杆件，杆件的几何特征是它的长度 l 远大于其横截面的宽度 b 和高度 h 。横截面和轴线是杆件的两个主要几何因素，前者指的是垂直于杆件长度方向的截面，后者则为所有横截面形心的连线。如果杆件的轴线为直线，则称为直杆，如图 1-1a 示；若杆件的轴线为曲线，则称为曲杆，如图 1-1b 示。

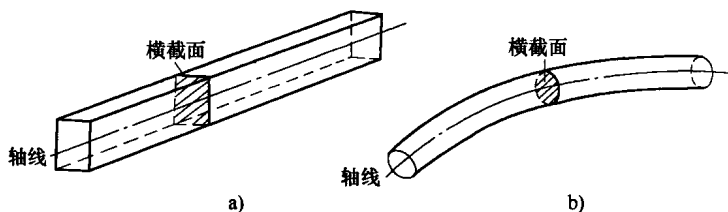


图 1-1

杆件结构是由若干杆件组成的，如图 1-2a 所示房屋框架、图 1-2b 所示楼盖中主次梁、图 1-2c 所示桥梁和图 1-2d 所示钢筋混凝土屋架等，都是杆件结构。

这里讲的杆件结构实际上是指实际结构的计算简图。实际结构是很复杂的，是无法计算的，工程中都是先将实际结构简化成结构计算简图，然后再进行分析、计算。结构计算简图的简化原则是：

- (1) 从实际出发——计算简图要反映实际结构的主要受力性能。
- (2) 分清主次，略去细节——计算简图要便于分析计算。

计算简图的选择是力学计算的基础，极为重要。在下面几章讨论各种结构时，将说明从实际结构到计算简图的简化过程。选取计算简图时，需要在多方面进行简化，其主要简化内容为：

- 1) 结构体系的简化；2) 杆件的简化；3) 杆件间连接的简化；4) 结构

与基础间连接的简化；5）材料性质的简化；6）荷载的简化。

结构计算简图必须是几何不变的，所以对平面体系进行几何组成分析。按照结构的组成又分为若干种，除上述杆件结构外，还有薄壳结构和实体结构。杆件结构又分梁、刚架、桁架、拱和组合结构等。结构的主要作用是传递和承受荷载。

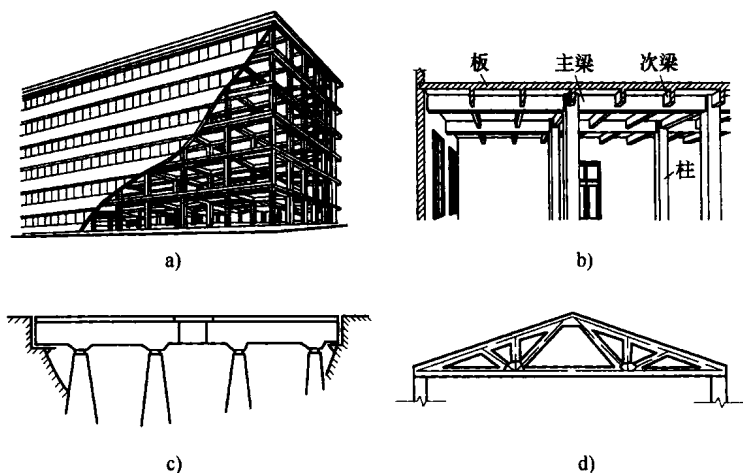


图 1-2

综上所述，结构力学的主要任务是，选取结构计算简图，对结构计算简图进行几何组成分析，在静力和动力作用下计算各种杆件结构的内力和位移，为结构的受力分析、计算和设计奠定必要的力学基础。

二、基本要求与重点难点

基本要求：

1. 了解常见建筑物或构筑物结构计算简图的画法。
2. 会对平面体系进行几何组成分析，会判定结构计算简图是几何不变体系或是几何可变体系，并明确只有几何不变体系才能用于结构。
3. 会用截面法计算静定结构的内力，会用单位荷载法计算静定结构的位移。
4. 会用力法、位移法、渐近法计算超静定结构的内力。
5. 了解塑性分析的概念，会计算梁和门式刚架的极限荷载。

重点难点：

本书重点内容对于不同的专业有所不同，对于一般土建专业和机械专业来

讲，其重点内容为：常见简单建筑物和构筑物结构计算简图的选取，平面体系的几何组成分析、静定结构和超静定结构在静力荷载作用下的内力计算和位移计算等。其难点是：超静定结构的内力和位移计算和塑性分析等。

三、结构力学学习建议

结构力学是一门重要的技术基础课，学习它要有一定的数学、力学基础，即只有先学了高等数学、理论力学、材料力学等课程之后才能学习它。又说回来了，即使学了上述课程，学好它也有一定的难度。那么，怎样学好结构力学呢？下面提4点学习建议，仅供参考。

1. 认真理解、掌握每一个重要概念

结构力学课程内容有很强的连续性，前面学习的内容就是后面内容的学习基础，前面学不会，后面很难学，比如，静定结构的内力分析是静定结构位移计算的基础，也是用力法、位移法、渐近法计算超静定结构的基础，如果静定结构的内力分析没有学习好，那么后面的内容就很难学了。也可以这样说，只有前面的重点知识学好了，那么后面的知识也就好学了。因此，学习每部分知识时，都要扎扎实实，循序渐进，弄懂每一个重要概念和定理，并且学到后面的内容时，根据需要随时复习前面的相关知识。

再者，要学会抓重点。本书对于既是重点又是难点的章节，一般讲写得都较详尽，如第3章静定结构的内力分析、第4章静定结构的位移计算、第5章用力法计算超静定结构等都是重点章节，要重点看、详细看，若弄不懂这些章节的重点内容，那么就很难继续学下去了。

2. 认真做一定数量的习题

结构力学还有一个特点，那就是各种各样的计算。所以学习结构力学时，理论学了后一定要独立做一定数量的习题，如果学懂了理论不会解题，或者一解题就错，那是没有意义的，甚至将来在实际工程中可能会出事故，只有会动手解题，才能更好地掌握理论。尽管结构形式是多种多样的，受力情况也是千变万化的，但计算原理是相同的，只要多看、多做练习题，就会对常见形式的题目进行计算，至于其他形式的题目也就能举一反三，触类旁通了。

建议读者每章都要认真做3~5道题目，弄懂题目中所涉及的理论、概念，这样全书的基本概念、基本理论也就自然掌握了。这一法宝已被广大力学工作者所证明，望同学们认真遵循这一规则。也就是说，要学好结构力学，不认真做一定数量的习题是永远学不好的。

关于做习题的事再多说几句。上面说了，做题练习，是学习工程计算学科的重要环节。不做一定数量的习题，就很难对基本概念和方法有深入的理解，也很难培养较好的计算能力。但是做题也要避免各种盲目性。例如：

(1) 不看书，不复习，埋头做题，这是一种盲目性。应当在理解的基础上做题，通过做题来巩固和加深理解。

(2) 贪多求快，不求甚解，这是另一种盲目性。有的习题要精做，一道题用几种方法做，往往比用一种方法做几道题更有收获。

(3) 只会对答数，不会自己校核和判断，这也是一种盲目性。要养成校核习惯，学会自行校核的本领。在实际工作中，计算人员要对自己交出来的计算结果负责。这种负责精神应当及早培养。

(4) 做错了题不改正，不会从中吸取教训，这又是一种盲目性。做错了题不改正，就是轻率地扔掉了一个好的学习机会。特别不要放过一个似是而非的模糊概念，因为认识真理的主要障碍不是明显的谬误，而是似是而非的“真理”。错了，也要错个明白。

3. 在学习中要善问

(1) 多问出智慧 学习中要多问，多打几个问号“？”，问号“？”像一把钥匙，一把开启心扉和科学迷宫的钥匙。

学习中提不出问题是学习中最大的问题。从学生提出的问题可以了解他学习的深浅。发现了问题是好事，抓住了隐藏的问题是学习深化的表现。知惑才能解惑。学习和研究就是困惑和解惑的过程。正确敏锐地提出科学问题，是创新的开端。

(2) 追问与问自己 重要的问题要抓住不放，要层层剥笋，穷追紧逼，把深藏的核心问题解决了，才能达到“柳暗花明”的境界。溯河到源，剥笋至心。追到核心处，豁然得贯通。

问老师、问别人，更要问自己。

好老师注意启发性，引导思考，为学生留出思考的空间。学习时更要勤于思考，善于思考，为自己开辟思考的空间。

(3) 学问与学答 应试型教育，只强调“学答”（对已有答案的问题，背诵并重述其答案）。创新型教育，要学更要问（包括尚无答案的问题）。

“做学问，需学、问。只学答，非学问”（李政道）。

4. 要学会校核

计算的结果要经过校核。“校核”是“计算”中应有之义，没有校核过的计算结果是未完成的计算结果。

出错是难免的，重要的是要会判断、抓错和改错。判断是对计算结果的真伪性和合理性做出鉴定。抓错是分析错误根源，指明错在何处，“鬼”在哪里，把“鬼”抓出来。改错是提出改正对策，得出正确结果。改错不易，判断、抓错更难。

关于判断和校核，还可分为三个层次：细校、粗算和定性。

另法细校：细校是指详细的定量的校核。细校不是重算一遍，而是提倡用另外的方法来核算。这就要求校核者了解多种方法，掌握十八般武器，并能灵活地运用，选用最优的方法。

毛估粗算：粗算是指采用简略的算法对计算结果进行毛估，确定其合理范围。这就要求粗算者能分清主次，抓大放小，对大事不糊涂。毛估粗算有多种做法：选取简化计算模型，在公式中忽略次要的项，检查典型特例，考虑问题的极限情况等。

定性判断：定性判断是根据基本概念来判断结果的合理性，而不进行定量计算。试举力学中常用的几个例子：

- (1) 采用量纲分析，判断所列方程是否有误。
- (2) 根据物理概念，看答案的数量级和正负号是否正确。
- (3) 根据误差理论，估计误差的范围。
- (4) 根据互等定理，看计算结果是否合理。
- (5) 在力矩分配法中，判断结果是否收敛。
- (6) 在对称结构中，检查结果的对称性。

不细算而能断是非，断案如神，既快又准，这是工程师应具备的看家本领，也是每个工程师和有心人应及早学会的本领。这个“神”不是来自天上，而是来源于扎实的理论和积累的经验。

计算机引入力学后，增强了进行大型计算，分析大型结构的能力。在大型计算中，如果不会定性判断，不会抓错、改错，那是很危险的。计算机并不排斥力学理论，而是要求我们更深更活地掌握力学理论。

总之，要学好结构力学，必须认真理解每一个重要概念，认真做一定数量的习题，还要善问、会校核、注意创新。做学问，要既学又问，问是学习的一把钥匙。学和用要结合，在学中用，在用中学，用是学的继续、检验和深化。在学习中要有创新意识，有所创新。对于核心内容要熟练掌握，对于重要难点要打攻坚战，非拿下不可，对于次要内容只作一般了解就是了，千万不要眉毛胡子一把抓。

四、自我测验题

在考核时，绪论很少出测验题，即使出也皆为客观题，测试一些以后反复出现的重要术语的掌握程度，举例如下：

1. 问答题

何谓结构？何谓结构计算简图？

2. 填空题（将答案写在_____上面）

(1) 结构力学研究的主要任务是，结构计算简图的选取，_____

和在静力和动力作用下杆件结构的_____和_____计算。

(2) 结构计算简图的简化原则是：①_____，
②_____；主要简化内容为：_____、
_____、_____、_____和
_____。

3. 选择题 (将对的序号写在括号内)

(1) 结构力学研究的对象为 ()。

A. 物体 B. 杆件结构 C. 刚体

D. 变形体 E. 杆件

(2) 结构力学研究的任务是 ()。

A. 选取结构计算简图 B. 几何组成分析

C. 结构设计 D. 内力和位移计算

4. 判断题 (在括号内，对的画√，错的打×)

(1) 如果一个物体或物系处于平衡状态，那么它所剖分的任一部分皆处于平衡状态。()

(2) 有的人说，要学好结构力学，不认真做一定数量的习题是永远学不好的。()

附参考答案：

1. 在建筑物和构筑物中，能承受荷载、传递荷载并起骨架作用的整体或部分，称为结构；为了便于分析、计算，实际结构的简化图形称为结构计算简图。

2. (1) 平面体系的几何组成分析；内力；位移。

(2) ①计算简图要反映实际结构的主要受力性能；②计算简图要便于分析计算；结构体系的简化、杆件的简化、杆件间连接的简化、结构与基础间连接的简化、组成材料的简化、荷载的简化。

3. (1) B (2) A, B, D

4. (1) √ (2) √

第二章 平面体系的几何组成分析

一、内 容 提 要

1. 几何组成分析规则

(1) 两两相交原则 在划分刚片进行几何组成分析时,要使刚片与刚片之间的连接为两个联系,少了几何可变,多了可能为超静定,两个可能几何不变且为静定。之所以这样做,是为了便于应用两刚片规则和三刚片规则,判定体系的几何不变性。

(2) 两刚片规则 两刚片由不交于同一点、也不互相平行的三根链杆相连,组成几何不变体系,且无多余约束,如图 2-1a 所示。

本规则也可表示为:两刚片用一个铰与一根不通过此铰的链杆相连接,组成几何不变体系,且无多余约束,如图 2-1b 所示。

(3) 三刚片规则 三刚片由不位于同一直线上的三个铰两两相连,组成几何不变体系,且无多余约束,如图 2-1d 所示。这里指的铰可以是虚铰,也可以是实铰,在三刚片规则中,实铰与虚铰的作用一样。两两相连,指刚片间的连接由两根链杆或一个单铰相连接。这样便于用三刚片规则,判定体系的几何不变性。

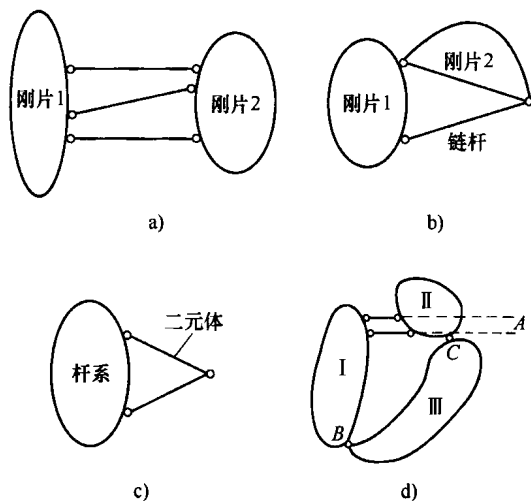


图 2-1

图 2-1c 所示一个杆系，用不位于同一直线上的两根链杆连接成一个新结点，将这两根链杆组成的这一新结点，叫做**二元体**。从三刚片规则可以很容易导出如下的二元体规则。

(4) 二元体规则 在一个杆系上增加或者减少一个二元体，体系的自由度不发生变化。也就是说，原有体系的自由度是多少，增加或者减少一个二元体后体系的自由度仍是多少。原有体系是几何可变体系，增加或者减少一个二元体后体系仍是几何可变体系。二元体规则实际上是三刚片规则的另一种表述形式。

对于几何组成分析题，开始做题时不少学生无从下手，其主要原因有两个：一对几何不变体系的三个组成规则不甚理解，不知怎样用它进行几何组成分析；二在画刚片时不知怎样画，画出来的刚片不能用几何组成规则判断其几何不变或几何可变。

其几何组成分析的正确思路是：一要正确掌握几何不变体系的三个组成规则；二在画刚片时不要盲目地乱画，而是在画时就要考虑用什么样的几何组成规则去判定，这个不行换那个，那个不行换这个，这样画出来的刚片体系，就可方便地用几何不变体系组成规则判断其几何不变，或几何可变了。也就是说，几何体系的几何组成分析的实质是刚片组成分析，所以说只要掌握了刚片的画法，几何组成分析就不难了，所以说几何组成分析的关键在于正确地画刚片。所以，只要牢记这一观念，那么，再做几何组成分析题时就不那么难了。

2. 几何组成分析方法

几何组成分析都是应用几何组成分析规则进行判断。几何组成分析的主要规则是两刚片规则和三刚片规则，应用这两个规则可对绝大部分杆系进行几何组成分析。通常要两刚片规则和三刚片规则联合应用来进行分析。因此也可以说，体系的几何组成分析，也就是刚片与刚片间的连接分析，所以划分刚片时要特别注意两两相交原则。应用两刚片规则时，要分清哪些是刚片，哪些是连接刚片的链杆。应用三刚片规则时，要分清哪些是刚片，哪些是连接刚片的铰，要特别注意这里的铰可以由两根链杆组成的虚铰。应用二元体规则时，一般是先去掉二元体，再进行分析。

应用规则进行几何组成分析时，一般是从一个初始几何不变部分出发，逐步应用规则将这个几何不变部分扩大。初始几何不变部分通常取：1) 地基；2) 常见的静定结构；3) 三根链杆由三个铰两两相连的铰接三角形。另外，当杆件比较多，又不能应用两刚片规则时，要考虑应用三刚片规则，因为三刚片规则的三个铰可以是 6 根杆件，再加上三个刚片，则应用一次三刚片规则最多可用到 9 根杆件。

3. 几何组成与静力特性的关系

无多余约束的几何不变体系是静定结构，可由静力平衡方程求解结构全部的反力和内力。有多余约束的几何不变体系为超静定结构，由于静力平衡方程不能求解结构全部的反力和内力，必须列变形连续条件的补充方程，多余约束的个数就是超静定的次数。

在对杆件体系进行内力计算之前，应首先进行几何组成分析，排除几何可变体系，确定杆件的组成顺序，并分清静定结构与超静定结构，然后再选择计算方法进行计算。对于超静定结构，要找出多余约束。

二、基本要求与重点难点

基本要求：

1. 了解几何不变体系和几何可变体系的概念。
2. 理解几何不变体系的基本组成规则。
3. 能对一般的杆件体系进行几何组成分析。
4. 了解静定结构和超静定结构的组成。

重点难点：

本章的重点内容是几何组成分析的名词概念，三个几何不变体系的组成规则和两两相交原则，几何组成分析的方法等。难点是刚片和约束的确定，及灵活运用判定几何不变的三规则。

三、解题方法及典型例题分析

1. 几何组成分析注意事项

- (1) 有二元体时先拆除二元体。
- (2) 划分刚片时，要注意两两相交原则，以便应用两刚片规则或三刚片规则进行判断体系的几何不变性。
- (3) 如体系本身与大地之间为三个支杆稳固连接，可以去掉三个支杆，只分析内部体系。如与大地的联系多于三个支杆，则不能去掉任一支杆，只能与大地一起分析。
- (4) 观察结构是否存在基本部分和附属部分，若存在，先分析基本部分再分析附属部分。
- (5) 遇到虚铰在无穷远处的情况时，可利用射影几何学中的“平面不同方向的所有无穷远交点，均位于同一条直线上，而一切有限远点均不在此直线上”的结论进行分析。

2. 几何组成分析易出错的地方

- (1) 不能正确地理解二元体的定义；

- (2) 不能随分析进程逐步改变刚片的范围；
 - (3) 不能深刻理解刚片没有一定的形状，只要保持几何不变可以任意用另一形式代替；
 - (4) 不满足规则条件的可变性结论不熟悉；
 - (5) 不能正确地运用两两相交原则；
 - (6) 组成顺序，没有保证每一步都是有规则可依的几何不变体。
- 【例 2-1】 试对图 2-2 所示多跨静定连续梁进行几何组成分析。

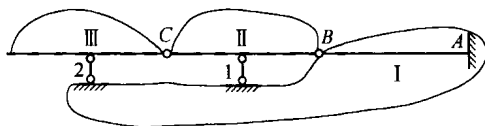


图 2-2

【解】 解题思路 根据两两相交原则先划分刚片，再根据几何组成规则，判定此体系为几何不变体系或为几何可变体系。

将 AB 与地基看做刚片 I，与刚片 II 用铰 B 、链杆 1 相连，按两刚片规则，几何不变，可视为一大刚片；再用铰 C 、链杆 2 与刚片 III 相连，按两刚片规则知，此体系为几何不变，且无多余约束。

【例 2-2】 试对图 2-3 所示桁架进行几何组成分析。

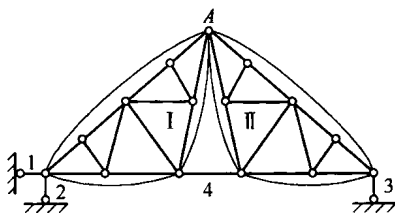


图 2-3

【解】 解题思路 当遇到体系与地基为简支体系时，可只分析体系内部。内部不变，与地基相连后，整体也几何不变；内部可变，则整体也可变。

左边内部分析从小三角形出发，不断增加二元体得刚片 I，右边同理得刚片 II，刚片 I、II 由铰 A 和链杆 4 相连，按两刚片规则知，为几何不变体系。与地基用 1、2、3 三根链杆相连，则整个体系几何不变，且无多余约束。

【例 2-3】 试对图 2-4 所示组合结构进行几何组成分析。