



高等学校土木工程专业“十三五”规划教材
高校土木工程专业规划教材

结构力学复习纲要 及习题集

鲁彩凤 张营营 姬永生 范力 舒前进 吕恒林 主 编
卢丽敏 副主编

中国建筑工业出版社

高等学校土木工程专业“十三五”规划教材
高校土木工程专业规划教材

结构力学复习纲要及习题集

		吕恒林	主 编
鲁彩凤	张营营	姬永生	
范 力	舒前进	卢丽敏	副主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

结构力学复习纲要及习题集/吕恒林主编. —北京:
中国建筑工业出版社, 2019. 1

高等学校土木工程专业“十三五”规划教材. 高校
土木工程专业规划教材

ISBN 978-7-112-22907-9

I. ①结… II. ①吕… III. ①结构力学-高等学
校-习题集 IV. ①TU311-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 246625 号

本书是学习结构力学课程的辅导用书, 主要是配合吕恒林主编的《结构力学》(上册、下册) 的学习而编写。全书分 14 章, 每章包括学习要求、基本内容、本章习题及参考答案四部分内容。各章都明确了学习重点及难点, 归纳了基本概念、基本原理和分析计算方法。本书习题包括判断题、填空题、分析题及计算题, 并附有习题的参考答案。

本书可与主教材配套使用, 也可作为一本独立的学习辅导用书, 也可供相关专业的工程技术人员使用。

* * *

责任编辑: 聂 伟 王 跃

责任校对: 王 瑞

高等学校土木工程专业“十三五”规划教材

高校土木工程专业规划教材

结构力学复习纲要及习题集

吕恒林 主 编

鲁彩凤 张营营 姬永生 副主编

范 力 舒前进 卢丽敏

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 14 $\frac{3}{4}$ 字数: 351 千字

2019 年 1 月第一版 2019 年 1 月第一次印刷

定价: 32.00 元

ISBN 978-7-112-22907-9

(33022)

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)

前 言

本书是结构力学课程的辅导用书，是根据高等学校力学教学指导委员会力学基础课程教学指导分委员会制定的《高等学校理工科非力学专业力学基础课程教学基本要求》，在各位编者多年从事结构力学教学、科研以及工程实践的基础上编写而成，主要是配合吕恒林主编的《结构力学》（上册、下册）的学习而编写。

全书分 14 章，包括：绪论、平面杆件体系的几何组成分析、静定梁和静定刚架、静定拱和悬索结构、静定桁架和组合结构、结构位移的计算、力法、位移法、渐近法、影响线及其应用、矩阵位移法、结构的极限荷载、结构的弹性稳定及结构的动力计算。每章包括四部分内容：

- (1) 学习要求：明确了各章的学习重点及难点；
- (2) 基本内容：归纳了各章的基本概念、基本原理和分析方法；
- (3) 典型习题：主要包括判断题、填空题、分析题及计算题。各章习题力求典型性和多样化，在保证基本训练的基础上，加深了对知识点的理解。
- (4) 习题参考答案：给出了习题的参考答案。

本书由中国矿业大学力学与土木工程学院结构力学课程教学团队编写完成，其中吕恒林编写第 1、2、9 章，鲁彩凤编写第 3、6、7、10、14 章，张营营编写第 4、5 章，姬永生编写第 8 章，范力编写第 11 章，舒前进编写第 12 章，卢丽敏编写第 13 章。全书由吕恒林、鲁彩凤负责修改定稿。

本书可与主教材配套使用，也可作为一本独立的学习辅导用书，还可供相关专业的工程技术人员使用。

欢迎各位读者对本书中存在的错误或不妥之处批评指正。

编 者

目 录

第1章 绪论	1
1.1 学习要求	1
1.2 基本内容	1
第2章 平面杆件体系的几何组成分析	4
2.1 学习要求	4
2.2 基本内容	4
2.3 本章习题	9
2.4 习题参考答案	14
第3章 静定梁和静定刚架	16
3.1 学习要求	16
3.2 基本内容	16
3.3 本章习题	21
3.4 习题参考答案	32
第4章 静定拱和悬索结构	36
4.1 学习要求	36
4.2 基本内容	36
4.3 本章习题	40
4.4 习题参考答案	45
第5章 静定桁架和组合结构	47
5.1 学习要求	47
5.2 基本内容	47
5.3 本章习题	50
5.4 习题参考答案	57
第6章 结构位移的计算	60
6.1 学习要求	60
6.2 基本内容	60
6.3 本章习题	68
6.4 习题参考答案	78
第7章 力法	80
7.1 学习要求	80
7.2 基本内容	80
7.3 本章习题	89
7.4 习题参考答案	102

第 8 章 位移法..... 108

8.1 学习要求 108

8.2 基本内容 108

8.3 本章习题 113

8.4 习题参考答案 123

第 9 章 渐近法..... 126

9.1 学习要求 126

9.2 基本内容 126

9.3 本章习题 128

9.4 习题参考答案 134

第 10 章 影响线及其应用 138

10.1 学习要求..... 138

10.2 基本内容..... 138

10.3 本章习题..... 146

10.4 习题参考答案..... 158

第 11 章 矩阵位移法 162

11.1 学习要求..... 162

11.2 基本内容..... 162

11.3 本章习题..... 164

11.4 习题参考答案..... 173

第 12 章 结构的极限荷载 176

12.1 学习要求..... 176

12.2 基本内容..... 176

12.3 本章习题..... 180

12.4 习题参考答案..... 184

第 13 章 结构的弹性稳定 186

13.1 学习要求..... 186

13.2 基本内容..... 186

13.3 本章习题..... 194

13.4 习题参考答案..... 200

第 14 章 结构的动力计算 203

14.1 学习要求..... 203

14.2 基本内容..... 203

14.3 本章习题..... 215

14.4 习题参考答案..... 224

参考文献..... 227

第1章 绪 论

1.1 学 习 要 求

本章主要讨论了结构力学的研究对象和任务、荷载的分类、结构计算简图的确定方法以及杆件结构类型的划分等内容。

学习要求如下：

- (1) 掌握结构力学的研究对象及任务；
- (2) 了解结构上作用荷载的种类；
- (3) 掌握选择结构计算简图应遵循的原则，并熟悉结构计算简图的确定应进行哪些方面的简化，尤其要清楚结构计算简图中结点及支座的类型，以及其受力特点和变形特征；
- (4) 熟悉常见杆件结构（梁、刚架、拱、桁架、组合结构及悬索结构）的结构形式及受力特点。

由于结构计算简图是本课程后续章节计算的依据，因此其简化内容是本章学习重点。

1.2 基 本 内 容

1.2.1 结构力学的研究对象

由土木工程材料制成，在房屋建筑、道路、桥梁、铁路、水工、地下等工程对象中用来抵御人为和自然界施加的各种作用，以使工程对象安全使用的骨架部分，称为工程结构。工程结构中的各个组成部分称为结构构件。

工程结构按构件的几何特征可分为：杆件结构、板壳结构（薄壁结构）和实体结构。结构力学课程中的“结构”特指杆件结构。

1.2.2 结构力学的研究任务

理论力学着重讨论质点、质点系和刚体机械运动（包括平衡）的基本规律。

材料力学着重讨论单根杆件的强度、刚度和稳定性分析。

弹性力学主要研究板壳结构和实体结构在外界因素下，处于弹性阶段时所产生的应力、应变和位移。

塑性力学主要研究固体受力后处于塑性变形状态时，塑性变形与外力的关系，以及物体中的应力场、应变场的数值分析方法。

结构力学研究杆件结构的几何组成规则及在各种外因作用下的内力、变形、稳定性以及动力反应等，主要包括：

- (1) 研究平面杆件体系的几何组成规则；
- (2) 研究杆件结构在外界因素（包括荷载、温度改变、支座沉降及制造误差等）影响下，其反力、内力和位移的计算原理和方法；

(3) 研究杆件结构的稳定性、塑性设计下极限荷载的计算方法以及动荷载下的动力响应问题。

1.2.3 荷载的分类

荷载指主动作用在结构上的外力。将引起结构受力或变形的外因（包括外荷载、温度变化、支座沉降、制造误差、材料收缩以及松弛、徐变等）称为广义荷载（作用）。

根据荷载作用时间划分：永久荷载（恒载）、可变荷载（活载）。

按荷载作用位置划分：固定荷载、移动荷载。

按荷载对结构产生的动力效应划分：静力荷载、动力荷载。

按荷载接触方式划分：直接荷载、间接荷载。

1.2.4 结构的计算简图

将实际杆件结构简化得到其计算简图，一般包括以下 6 个方面的内容：

(1) 结构体系的简化：忽略空间约束后将空间结构简化成平面结构。

(2) 杆件的简化：杆件用其轴线代替，作用在杆件上的荷载也将相应地将作用点转移到轴线上。

(3) 结点的简化

结点是指结构中杆件汇集连接区。根据结点的构造和受力状态的不同，结点通常可以简化为铰结点、刚结点和组合结点，见表 1-1。

结点的类型 表 1-1

结点类型	计算简图	变形特征	受力特征
铰结点		被连接各杆件在连接处不能相对移动，但可绕结点中心产生相对转动	不能承受和传递力矩，但可以承受和传递力
刚结点		被连接各杆在连接处不能相对移动，也不可绕中心产生相对转动	不仅承受和传递力，也可以承受和传递力矩
组合结点		部分刚结、部分铰结	部分刚结、部分铰结

(4) 支座的简化

支座是指研究的结构与基础或其他支承物的连接区。支座按其构造特点及约束作用，一般可简化为：活动铰支座（滚轴支座）、固定铰支座、固定支座及定向支座，见表 1-2。

以上支座称为刚性支座。若在外力作用下支座本身也会产生变形，从而影响结构的内力和变形，称为弹性支座。弹性支座有抗移动的弹性支座（图 1-1a）及抗转动的弹性支座



图 1-1 弹性支座

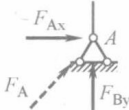
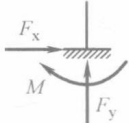
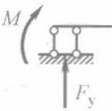
(图 1-1b)。

(5) 材料性质的简化：假设为连续的、均匀的、各向同性的、完全弹性或理想弹塑性的。

(6) 荷载的简化：不管是体积力还是表面力都可以简化为作用在杆件轴线上的荷载。

支座的类型

表 1-2

支座类型	计算简图	变形特征	受力特征
活动铰支座		被支承部分能沿支承面方向移动,且能绕铰心转动,但不能垂直于支承面方向移动	只能提供一个垂直于支承面方向的支座反力
固定铰支座		被支承部分在支承处不能发生任何移动,但可以产生转动	支座反力通过铰心,但方向和大小都未知(通常用两个确定方向的未知分量表示)
固定支座		被支承部分在支座处不能发生任何移动和转动	能提供反力,也能提供反力矩
定向支座		被支承部分在支承处不能发生转动和垂直于支承面方向的移动,但可沿支承面方向滑动	能提供垂直于支承面的反力及限制转动方向上的反力矩

1.2.5 杆件结构的分类

杆件结构按受力特性来划分,包括梁、刚架、拱、桁架、组合结构及悬索结构。

第 2 章 平面杆件体系的几何组成分析

2.1 学习要求

本章主要讨论了平面杆件体系的几何组成规则及几何组成分析方法，并说明体系的几何组成与静定性之间的关系。几何组成分析是结构力学计算的先导。

学习要求如下：

- (1) 重点掌握并理解平面体系几何组成分析中几个重要概念
包括几何不变体系、几何可变体系（含几何常变体系和几何瞬变体系）、刚片、自由度、约束（联系）、虚铰（瞬铰）及计算自由度。
- (2) 明确只有几何不变体系才能作为工程结构来使用。
- (3) 重点掌握几何不变杆件体系的三大几何组成规则，并能熟练地运用这些规则，分析一般平面杆件体系的几何组成情况，同时能准确地判断几何不变体系中多余约束的数目及位置。
- (4) 掌握杆件体系的几何组成与静定性之间的关系。

其中，虚铰（瞬铰）概念的理解，以及几何组成分析中当有铰位于无穷远处时的特殊情况是学习难点。

2.2 基本内容

2.2.1 几何组成分析的几个概念

(1) 几何不变体系与几何可变体系

几何不变体系是指受到任意荷载作用下，若不考虑材料的应变，其几何形状和位置均能保持不变的体系。

几何可变体系是指即使不考虑材料的应变，在微小的荷载作用下也会产生刚体位移，而不能保持原有的几何形状和位置。几何可变体系分为几何常变体系和几何瞬变体系。

几何可变体系在很小的荷载作用下会产生位移，经微小位移后仍能继续发生刚体运动，这样的几何可变体系称为几何常变体系。

若原为几何可变体系，经微小位移后即转化为几何不变体系，这类几何可变体系为几何瞬变体系。工程结构绝不能采用几何瞬变体系，而且也应避免采用接近于瞬变的体系。

(2) 自由度

指体系在所受限制的许可条件下独立的运动方式，即能确定体系几何位置的彼此独立的几何坐标数目。平面内一点的自由度为 2，一个刚片的自由度为 3。

(3) 约束（联系）

约束是指限制体系运动的各种装置。

约束包括外部约束（支座约束）和内部约束。

1) 外部约束

一个活动铰支座、固定铰支座和固定支座分别相当于 1、2、3 个约束。

2) 内部约束

一根单链杆相当于 1 个约束；连接 $m(m>2)$ 个结点的复链杆，相当于 $2m-3$ 个单链杆，即相当于 $2m-3$ 个约束；

一个单铰相当于 2 个约束；连接 $m(m>2)$ 个刚片的复铰，可折合成 $m-1$ 个单铰，即相当于 $2(m-1)$ 个约束作用；

一单刚结点相当于 3 个约束；连接 $m(m>2)$ 个刚片的刚结点称为复刚结点，可折合成 $m-1$ 个单刚结点，即相当于 $3(m-1)$ 个约束。

约束从能否减少体系的自由度方面来划分，可分为必要约束和多余约束。为保持体系几何不变所必须具有的约束称为必要约束，不能使体系的自由度数目的约束称为多余约束。

(4) 瞬铰（虚铰）

两个刚片间用两个不共线链杆相连，其约束作用相当于这两根链杆交点位置处的一个铰所起的约束作用，这个铰称为虚铰或瞬铰（图 2-1a）。在几何组成分析中，尤其要注意这样的特殊情况：两刚片间用两根相互平行的链杆相连，两根平行链杆所起的约束作用相当于无穷远处的瞬铰所起的约束作用，如图 2-1（b）所示。

2.2.2 计算自由度

计算自由度通常可采用两种方法来计算。

(1) 第一种计算方法

以杆件的自由度为主体，以结点和支座链杆为约束来减少自由度。该方法适用于一般任意杆件体系，计算自由度 W 计算式为：

$$W=3m-(2h+3g+r)$$

式中， m 为刚片数； h 为单铰结点数； g 为单刚结点数； r 为支座链杆数。

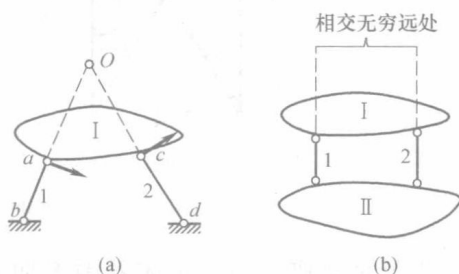


图 2-1 虚铰（瞬铰）

(a) 有限远处虚铰；(b) 无限远处虚铰

若体系中存在复铰结点或复刚结点，应将其分别折算成单铰结点或单刚结点来考虑，即连接 m 个刚片的复铰结点相当于 $m-1$ 个单铰结点，连接 m 个刚片的复刚结点相当于 $m-1$ 个单刚结点。

(2) 第二种计算方法

以铰结点的自由度为主体，以杆件和支座链杆为约束来减少自由度。该方法仅适用于铰结体系，计算自由度 W 计算式为：

$$W=2j-(b+r)$$

式中， j 为铰结点数； b 为链杆数目； r 为支座链杆数。

计算自由度 W 的计算结果说明：

1) 若 $W>0$ ，说明体系缺少必要的约束，体系必为几何常变体系；

2) 若 $W=0$ ，表明体系具有成为几何不变所需的最少约束数目。如果约束布置得当，没有多余联系，体系将是几何不变的。若约束布置不当，具有多余联系，体系仍是几何可

变的；

3) 若 $W < 0$ ，表明体系在约束数目上还有多余，体系具有多余约束。但是若约束布置不当，仍有可能是几何可变体系。

因此， $W \leq 0$ 是体系满足几何不变的必要条件，还不是充分条件。如若进一步判断体系是否几何不变，仍需继续进行几何组成分析。

有时在自由度计算时不考虑支座链杆，只检查上部体系本身（或体系内部）的几何构造。由于本身为几何不变的体系作为一个刚片在平面内尚有 3 个自由度，故体系本身为几何不变部分的必要条件应为 $W \leq 3$ 。

2.2.3 杆件体系的几何组成规则

(1) 二元体规则

在杆件体系几何组成分析中，把两根不共线的链杆连接一个结点的装置称为二元体。二元体的形式如图 2-2 所示。

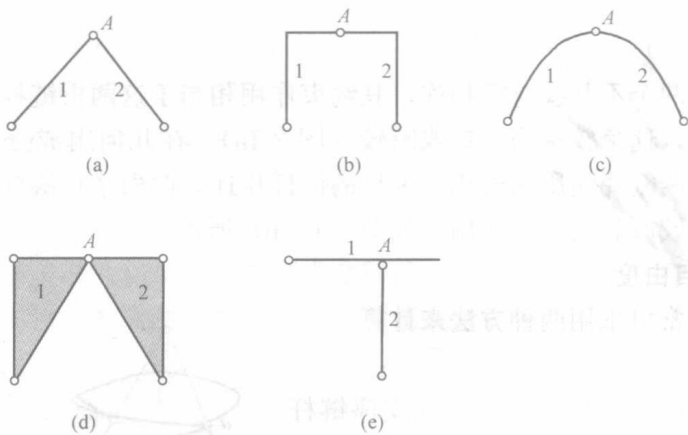


图 2-2 二元体的形式

二元体规则：在一个体系中增加或拆除一个二元体，不会改变原有体系的几何组成性质。

(2) 两刚片规则

第一种提法：两刚片（已经确定为无多余联系的几何不变部分）用一个单铰和一根不通过此铰的链杆相连，则组成几何不变体系，且无多余约束，如图 2-3 (a) 所示。

第二种提法：两刚片（已经确定为无多余联系的几何不变部分）用三根不全平行也不交于同一点的链杆相连，则形成几何不变部分，且无多余约束，如图 2-3 (b) 所示。

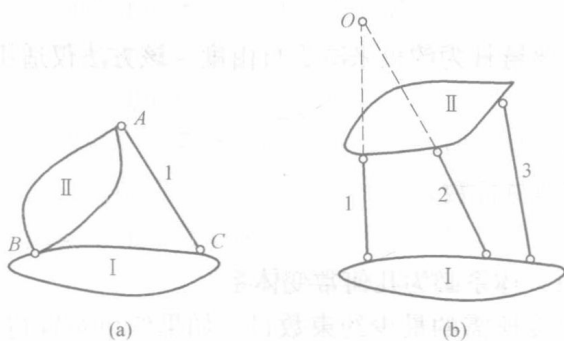


图 2-3 两刚片规则

两刚片间通过实际交于一点的三链杆相连形成的两刚片体系为几何常变体系（图 2-4a），两刚片间通过在延长线上交于一点的三链杆相连形成的体系为几何瞬变体系（图 2-4b），两刚片通过三根平行但不等长的链杆相连形成的体系为

几何瞬变体系（图 2-4c），两刚片间通过三根平行且等长的链杆相连形成的体系为几何常变体系（图 2-4d）。

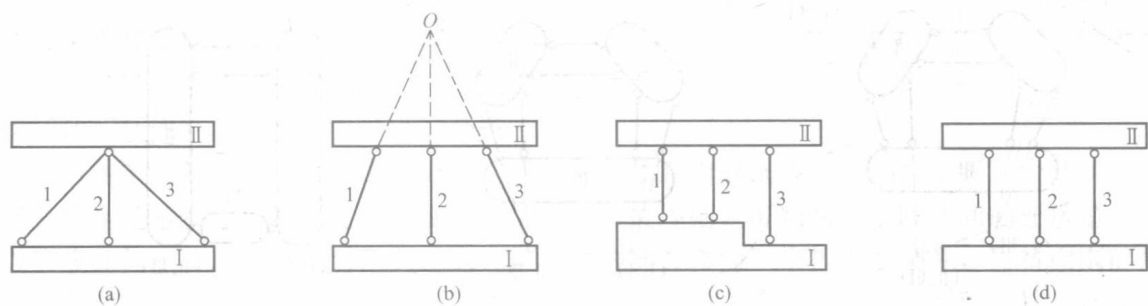


图 2-4 约束布置不当的两刚片体系

(3) 三刚片规则

第一种提法：三个刚片（已经确定为无多余联系的几何不变部分）用不在同一直线上的三个铰结点各自互相连接而形成的体系是几何不变的，而且没有多余约束，如图 2-5（a）所示。

第二种提法：三刚片用三对链杆两两相连，若三对链杆形成的三个瞬铰的转动中心不在同一直线上，则仍形成几何不变体系，如图 2-5（b）所示。

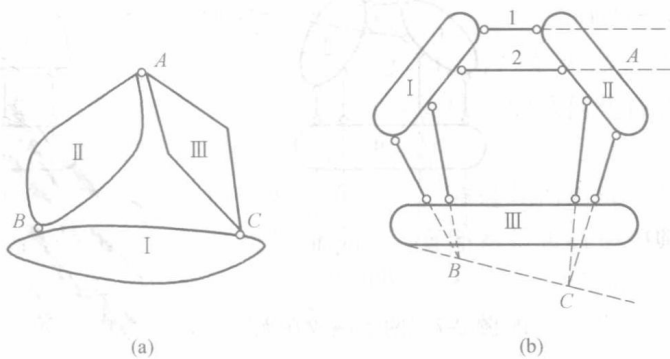


图 2-5 三刚片规则

三刚片间通过共线的三个实铰两两相连，形成的体系为几何瞬变体系。

2.2.4 三刚片规则中有虚铰在无穷远处的特殊情况

几何组成分析中应用无穷远处虚铰概念时，可以采用射影几何中关于无穷远点和无穷远线的相关结论：

- ① 每个方向上各平行线在无穷远处交于一点，这个点称为无穷远点；
- ② 不同方向有不同的无穷远点；
- ③ 所有无穷远点都在同一直线上，此直线称为无穷远线；
- ④ 所有有限远处点都不在无穷远线上。

(1) 一个虚铰在无穷远处

三个刚片用两个有限远处的铰（实铰或虚铰）与一个无限远处虚铰相连接，若形成虚铰的一对平行链杆与另两个有限远处铰的连线不平行，则为几何不变体系（图 2-6a）；若形成虚铰的一对平行链杆与另两个有限远处铰的连线平行，则为几何瞬变体系（图 2-6b）。

三个刚片用两个有限远处的铰（实铰）与一个无限远处虚铰相连接，若形成虚铰的一对平行链杆与另两个有限远处铰的连线平行且三者等长，则为几何常变体系（图 2-6c）。

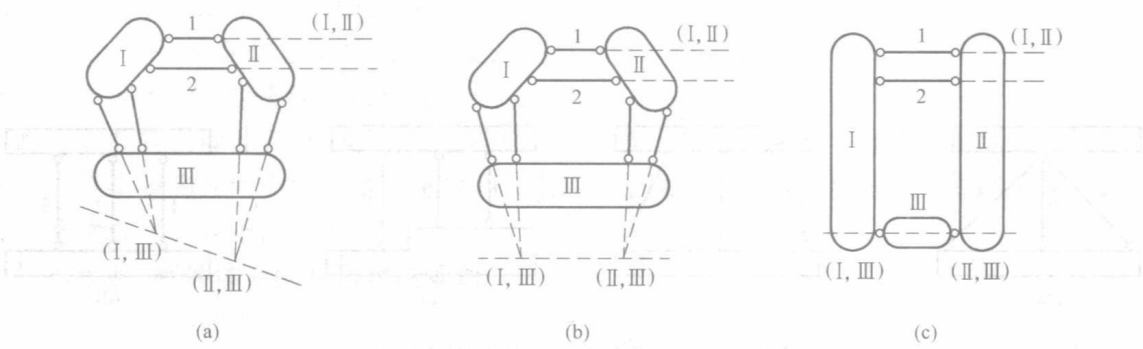


图 2-6 一个虚铰在无穷远处

(2) 两个虚铰在无穷远处

三个刚片用一个有限远处的铰（实铰或虚铰）与两个无限远处虚铰相连接，若形成两个虚铰的两对平行链杆互不平行时，则为几何不变体系（图 2-7a）；若形成两个虚铰的两对平行链杆互相平行时，则为几何瞬变体系（图 2-7b）；若形成两个虚铰的两对平行链杆互相平行且等长时，则为几何常变体系（图 2-7c）。

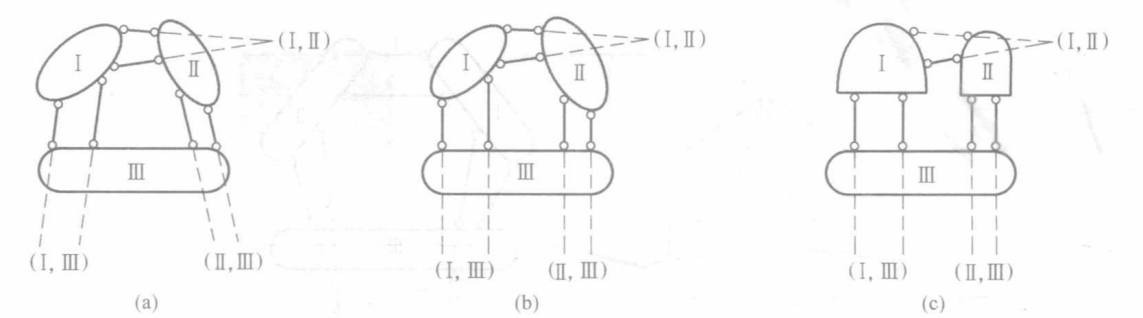


图 2-7 两个虚铰在无穷远处

(3) 三个虚铰在无穷远处

三个刚片用三铰相连接中的三个虚铰均在无限远处时，若用任意方向的三对平行链杆两两相连，均为瞬变体系（图 2-8a）；若三对平行链杆各自等长，均为常变体系（每对链杆都是从每一刚片的同侧方向连出的情况，图 2-8b）。

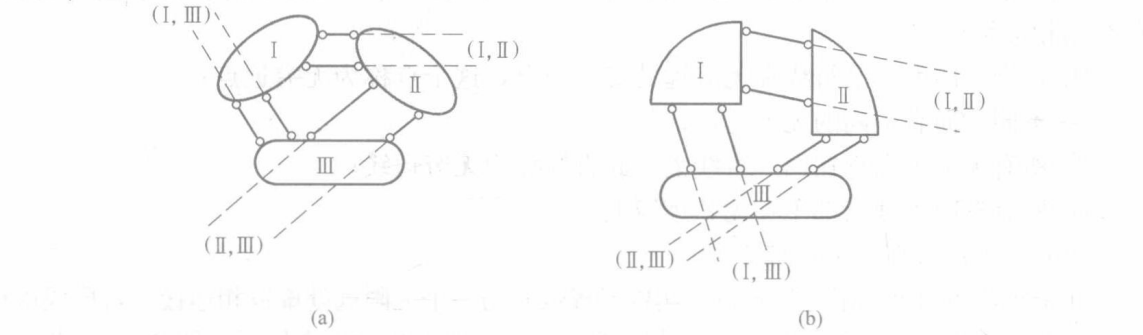


图 2-8 三个虚铰在无穷远处

2.2.5 几何组成分析方法及技巧

(1) 从基础出发进行分析

若上部体系与基础相连,通常可先考虑从基础出发进行分析,即以基础为基本刚片,依次将某个部件(如一个结点、一个刚片或两个刚片)按基本组成方式连接在基础刚片上,逐渐形成扩大的基本刚片,直至形成整个体系。

(2) 从体系内部刚片出发进行分析

从体系内部的刚片出发进行分析,即首先在体系内部选择一个、两个或三个几何不变部分作为基本刚片,根据几何不变体系的几何组成规则,可判断选定刚片间的连接是否可以形成几何不变部分;然后把判定为几何不变的部分作为一个扩大的刚片,再将周围的部件按基本组成方式进行连接,直到形成上部体系;最后,将上部体系与基础连接,从而形成整个体系。

在上部体系中选刚片时要注意,选择的刚片最好在体系中均匀分布,以保证刚片间有合理的连接,其次要保证刚片与基础之间的连接要合适。

(3) 几何组成分析中的几点技巧

1) 当体系上具有二元体时,可先依次去掉二元体,再对其余部分进行几何组成分析。

2) 当体系与基础用三根不互相平行也不交于一点的链杆相连时,可以去掉这些支承链杆,只对上部体系本身进行几何组成分析即可。

3) 当上部体系与基础用多于三根链杆相连时,一般情况下需将基础视为一个独立的刚片,以整个体系(包括基础)进行几何组成分析。

4) 一个体系内部无多余约束的几何不变部分,用另一个无多余约束几何不变部分替换并保持它与体系其余部分的连接不变,则不改变原体系的几何组成性质。如复杂形状的链杆(如曲链杆、折链杆)可看作通过较心的直链杆。

几何组成分析是结构力学学习的重要内容之一。通过几何组成分析判定只有几何不变体系才能作为工程结构使用,并能判断某一几何不变体系是否有多余约束,从而才能运用相应的计算方法来求解内力和位移。因此,在结构分析前,一般都应通过几何组成分析,并明确回答是否存在多余约束,以及多余约束的数量及位置。

2.2.6 几何组成与静定性的关系

体系的静定性是指体系在任意荷载作用下的全部支座反力和内力是否可以通过静力平衡条件确定。体系的几何组成与静定性之间有着必要的联系。

无多余约束的几何不变体系是静定结构,其支座反力和内力完全可以通过平衡条件来求解。

有多余约束的几何不变体系是超静定结构,其支座反力和内力不能完全通过平衡条件来求解,必须结合其他条件(如变形条件)才能求解。

几何常变体系和几何瞬变体系在任意荷载作用下不存在静力学解答,因此均不能作为工程结构使用。

2.3 本章习题

2.3.1 判断题

1. 有多余约束的体系一定是几何不变体系。

()

2. 几何可变体系在任何荷载作用下都不能平衡。 ()
3. 如果体系的计算自由度大于零, 那么体系一定是几何可变体系。 ()
4. 瞬变体系中一定存在多余约束, 即使在很小荷载作用下也会产生很大的内力。 ()

5. 在两刚片或三刚片组成几何不变体系的规则中, 不仅指明了必要约束数目, 而且指明了这些约束必须布置得当。 ()

6. 几何瞬变体系产生的运动非常微小且很快就能转变成几何不变体系, 因而可以当作工程结构来使用。 ()

7. 任意两根链杆的约束作用都相当于其交点处的一个虚铰, 如图 2-9 中链杆 1 和链杆 2 的交点 O 可视为虚铰。 ()

8. 在如图 2-10 (a) 所示体系中, 去掉二元体 EDF 后得到图 2-10 (b), 故原体系是几何可变体系。 ()

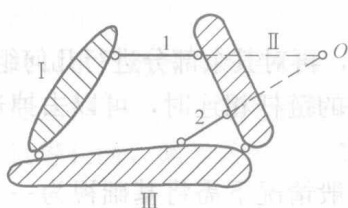


图 2-9

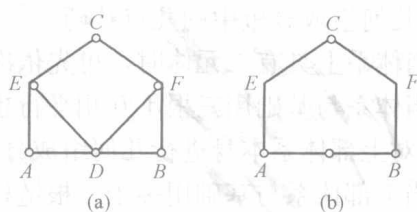


图 2-10

9. 如图 2-11 所示体系按三刚片规则分析, 因铰 A 、 B 、 C 共线, 故为几何瞬变体系。 ()
10. 如图 2-12 所示体系, 根据三刚片规则分析该结构为静定结构。 ()

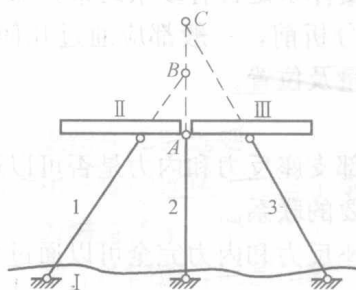


图 2-11

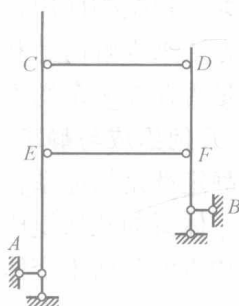


图 2-12

11. 二元体规则、两刚片规则和三刚片规则是相通的。 ()
12. 在一个体系上增加二元体, 不会改变原体系的计算自由度。 ()

2.3.2 填空题

1. 连接 4 个刚片的铰结点, 与之相当的约束数为_____个。
2. 已知某几何不变体系的计算自由度 $W = -4$, 则体系的多余约束数为_____。
3. 2 个刚片由 3 根链杆连接而成的体系是_____。
4. 将三刚片组成无多余约束的几何不变体系, 至少需要的约束数目是_____。

5. 如图 2-13 所示体系的几何组成分析结论为：_____。
6. 如图 2-14 所示体系的几何组成分析结论为：_____。

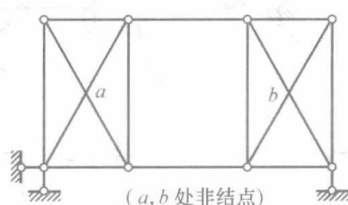


图 2-13

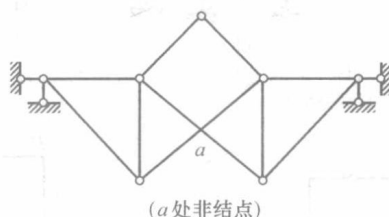


图 2-14

7. 如图 2-15 所示体系中多余约束数为_____个。
8. 欲使如图 2-16 所示体系成为无多余约束的几何不变体系，则需在 D 端加上_____约束。

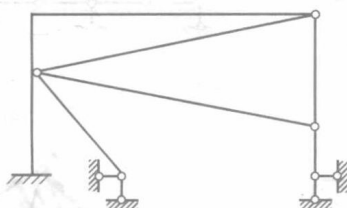


图 2-15

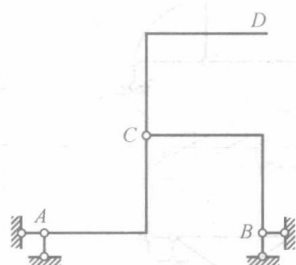


图 2-16

9. 如图 2-17 所示体系，铰结点 E 可在水平方向上移动以改变 DE 的长度，其他结点位置不变。当图中 a _____ 时，体系为几何不变体系。
10. 如图 2-18 所示体系，其几何组成为_____体系；若在 C 结点加上一根竖向支座链杆，则其几何组成为_____体系；若在 C 点加一固定铰支座后，则其几何组成为_____体系。

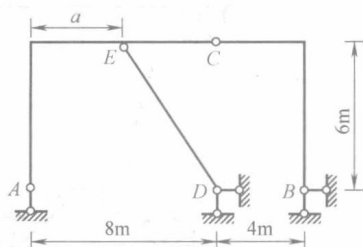


图 2-17

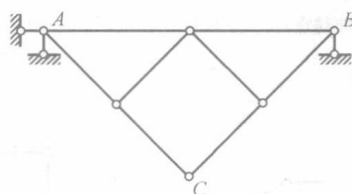


图 2-18

11. 静定结构的静力特性是_____，超静定结构的几何组成特点是_____。

2.3.3 分析题

分析如图 2-19 所示平面体系的几何组成。