工程机械结构力学

中国……版社

● 高等学校试用教材

● 高等学校试用教材

● 西南交通大学 王园园 董谓钊 合编

工程机械结构力学

高 等 学 校 试 用 教 材

工 程 机 械 结 构 力 学

西南交通大学 王园园 董谓钊 合编
西南交通大学 唐昌荣 主审

中 国 铁 道 出 版 社
1 9 8 8 年·北京

内 容 简 介

全书共分七章，内容包括：平面结构的组成分析；静定结构的受力分析；影响线及其应用；结构位移计算；力法；位移法和直接刚度法等。为了加强电算部分，在附录一中有平面刚架内力计算的程序和算例。每章附有习题，附录二中附有习题部分答案供参考。

本书除作为高等学校工程机械、起重运输机械和铁道车辆等专业的少学时“工程机械结构力学”教材外，也可供有关专业和工程技术人员参考。

高等学校试用教材

工程机械结构力学

西南交通大学　王园园　藏调钊　合编

中国铁道出版社出版、发行

责任编辑　吴桂萍　封面设计　王毓平

各 地 新 华 书 店 经 售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092毫米 $\frac{1}{16}$ 印张：12.5 字数：301 千

1 9 8 8年11月　第1版　第1次印刷

印数：0001—3,000册　定价：2.50元

前 言

本书根据铁道部起重运输及工程机械专业教学指导委员会编写教材的规划，参照全国铁路高等学校机械类结构力学教材大纲编写的。

本书总结了我们多年来对工程机械类结构力学教学的经验，并在吸取众多结构力学教材优点的基础上编写而成的。在保留了结构力学教材中基本理论的前提下，力求内容精简，由浅入深，重点突出，结合实际，以适应于机械类专业少学时的结构力学教材。每章附有一定数量的习题，便于选作。为了加强电算方面的练习，书中附有平面刚架内力计算的计算机程序和上机算例。

本书由王园园、董谓钊合编。第一、二、四、七章由王园园执笔，第三、五、六章由董谓钊执笔。由西南交通大学唐昌荣主审。

在编写过程中，北方交通大学韩振宇、长沙铁道学院缪加玉、上海铁道学院周奇才等同志参加了审稿会，并对原稿作详细审阅，提出了很多宝贵的意见，在此深表谢意。

由于编者水平有限，恳望读者对书中缺点和错误予以批评指正。

编　者

1986.12

目　　录

绪　　论

第一章　平面结构的组成分析……4

第一节　结构的几何不变性……4

第二节　平面结构组成的基本规则……5

第三节　平面几何不变体系的判别示例……8

第四节　静定结构和超静定结构……10

习　　题……10

第二章　静定结构的受力分析……13

第一节　静定结构的概念……13

第二节　单跨静定梁和静定平面刚架……13

第三节　静定平面桁架……22

第四节　静定空间桁架……29

第五节　静定空间刚架……34

习　　题……35

第三章　影响线及其应用……41

第一节　影响线的概念……41

第二节　用静力法绘制单跨静定梁的影响线……42

第三节　间接荷载作用下的影响线……46

第四节　桁架的影响线……47

第五节　影响线的应用……51

第六节　简支梁的最大内力分布图（内力包络图）……57

习　　题……61

第四章　结构位移计算……64

第一节　结构位移的概念……64

第二节　变形体系的虚功原理……64

第三节　结构在荷载作用下的位移计算……67

第四节　图乘法……72

第五节　静定结构温度变化时的位移计算……77

第六节　静定结构支座移动时的位移计算……80

第七节　弹性体系的互等定理……81

第八节　空间刚架的位移计算……83

习　　题……84

第五章　力　　法……88

第一节　超静定结构的概念……88

第二节 超静定次数的确定……89
第三节 力法的基本原理……91
第四节 力法的典型方程及其矩阵形式……93
第五节 力法的计算步骤和示例……95
第六节 超静定结构的位移计算……98
第七节 最后内力图的校核……100
第八节 对称性的利用……102
第九节 超静定空间刚架的计算……107
第十节 支座移动时超静定结构的计算……110
第十一节 超静定结构的特性……113
习 题……114
第六章 位 移 法……118
第一节 位移法的概念……118
第二节 等截面直杆的转角位移方程……119
第三节 位移法的基本未知数和基本结构……122
第四节 位移法的典型方程及其矩阵形式……124
第五节 位移法的计算步骤和示例……125
第六节 对称性的利用……130
第七节 力矩分配法简介……135
习 题……141
第七章 直接刚度法……145
第一节 直接刚度法的概念……145
第二节 局部坐标系下的单元刚度矩阵……145
第三节 结构坐标系下的单元刚度矩阵……148
第四节 组集结构整体刚度矩阵……152
第五节 结点位移、支座反力及杆端内力的求解……160
第六节 关于非结点荷载的处理……163
第七节 用直接刚度法计算连续梁……164
第八节 用直接刚度法计算平面桁架……166
第九节 直接刚度法计算的几点补充说明……171
习 题……174
附录一 平面刚架在静荷载作用下的计算机程序……176
一、程序使用说明……176
二、本程序设计的粗框图……178
三、平面刚架内力计算的源程序……178
附录二 习题部分答案……188
参考文献……194

绪　论

一、结构力学的任务

工程上凡能承受荷载并起骨架作用的部分，都称为结构。最简单的结构是一根梁或一根柱；一般结构则是由若干杆件或其他非杆元件（如板、壳等）联结而成。例如桥式起重机的桥架，龙门起重机的门架，塔式起重机的塔架、臂架以及铁路车辆上的车体底架和转向架构架等都是工程机械中的结构的例子。

通常结构按其组成元件的几何特征可分为杆件结构、薄壁结构和实体结构三类。杆件的几何特征是它的长度远大于横截面尺寸（高和宽）。杆件结构是由杆件所组成的。薄壁结构是厚度远小于其他两个方向尺寸的结构（如薄板、薄壳等）。实体结构是指三个方向尺寸为同一量级的结构（如建筑物或设备的基础）。

结构力学的任务就是以杆件结构为主要对象，研究其组成规则以及在外因作用下的强度、刚度和稳定性问题。

本书的主要内容是讨论杆件结构在静荷载作用下，结构的内力、位移的计算原理及方法，为结构设计和强度分析提供必要的基础知识。

二、结构的计算简图

为了能对实际结构物进行力学分析，都必须将其作合理的简化，使之成为既能反映实际受力特点，又能便于计算的几何图形。这种简化了的便于力学分析的结构几何图形称为结构的计算简图。

对于一个结构尤其是复杂结构的计算简图的确定，需要具有丰富的实践经验和对实际结构物的全面了解。这方面本书不作详细讨论，以下仅介绍结构力学平面杆件结构中常用的杆件、支座和结点的简化形式。

1. 杆件

在结构计算简图中，杆件一般用其横截面形心连线所形成的轴线来表示。对微弯或微折的杆件，可以直杆代替。

2. 支座

把结构与基础相联结的装置称为支座。根据支座对结构的不同约束作用，通常将平面结构的支座分为滚轴支座、铰支座、固定支座和定向支座等类型。它们各自的计算简图形式和对结构能产生的约束反力分别示于图 0－1(a)、(b)、(c)和(d)中。

3. 结点

结点是杆件互相联结的地方。根据结点处各杆件能否作相对转动的特点，可将结点分为铰结点、刚结点和组合结点三种。

当汇交于同一结点的各杆端之间被认为可有相对转动时，该结点可视作铰结点。例如金

属结构中常见到的焊接结点，由于结点板刚度较小，所联杆件的抗弯刚度不大时，该结点就按铰结点考虑。其计算简图如图 0－2（a)所示。

若同一结点的各杆端之间被认为刚性地联成一个整体，不能有相对转动时，则该结点视为刚结点。如铸造件和钢筋混凝土结构中的结点就是刚结点的例子。图 0－2（b)为刚结点的计算简图。

有时会遇到铰结点和刚结点组合在一起的结点，这类结点称为组合结点，如图 0－2（c)所示为组合结点的计算简图。

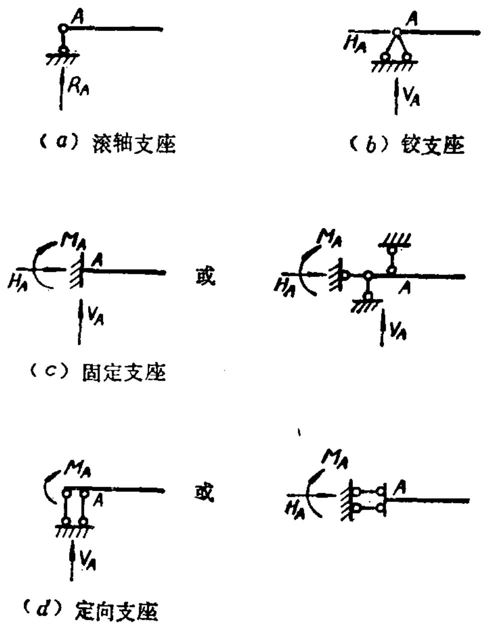


图 0－1

图 0－2

三、杆件结构的分类

以下我们讨论的结构都是指结构的计算简图。

杆件结构按其受力特性的不同可分为下列几种：

1. 梁——是一种受弯为主的简单结构，其轴线常为直线。如图 0－3（a)所示为三跨连续梁。

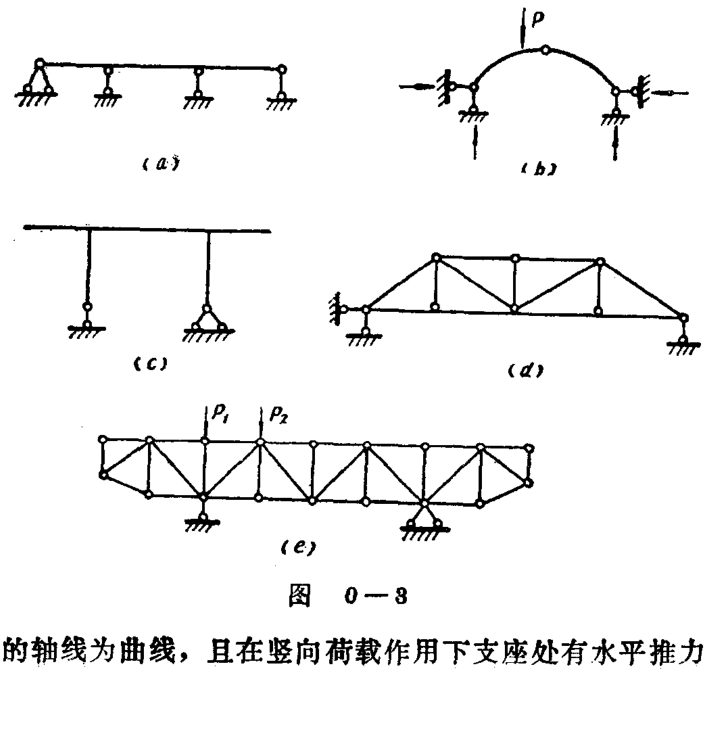


图 0－3

2. 拱——拱的轴线为曲线，且在竖向荷载作用下支座处有水平推力产生。如图 0－3

（ b）所示为三铰拱。考虑专业特点，本书不讨论拱的计算。

3. 刚架——由直杆组成并具有刚结点的结构，如图 0 — 3 (c)所示为简支刚架。

4. 桁架——由直杆组成，但全部结点均为铰结点，荷载只作用于结点上，如图 0 — 3 (e)为简支桁架。

5. 组合结构——这是由两类杆件组合而成的结构。一类是只承受轴力的链杆；另一类是以受弯为主的梁式杆。图 0 — 3 (d)所示为组合结构的例子。

按照杆轴线和外力的空间位置，结构可分为平面结构和空间结构。如果结构的各杆轴线及外力（包括荷载和反力）均在同一平面内，则称为平面结构，否则便是空间结构。严格说来，实际的结构都是空间结构，只是在很多情况下按照实用上许可．简化为平面结构或近似地分解为几个平面结构来计算。但有些则必须按空间结构来计算，如轮式起重机的底架（图 0 — 4），即属于多框空间刚架。

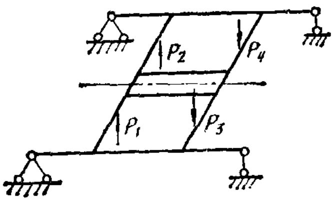


图 0—4

第一章　平面结构的组成分析

第一节　结构的几何不变性

杆件结构是由若干杆件互相联结所组成的体系，用来承受和传递荷载的作用。当不考虑各杆件本身的变形，则各杆件之间以及体系与地面（或基础）之间不应发生任何相对的刚体运动，以保持其原来的几何形状和位置。结构的这种特性称为结构的几何不变性。但不是所有的体系都能作为工程结构使用的。体系在受到任意荷载作用下，如果不考虑由于材料的应变所产生的变形时，体系按其几何形状的可变性，一般可分为两类：

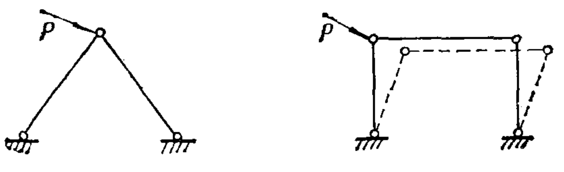
1. 几何不变体系〔图1—1(*a*)〕——在不考虑材料应变的条件下，体系的几何形状和位置均不发生改变的。

2. 几何可变体系〔图1—1(*b*)〕——在不考虑材料应变的条件下，体系的几何形状或位置要发生改变的。

显然，一般结构都必须是几何不变体系，而不能采用几何可变体系。确定体系能否作为结构，需要对体系进行几何构造的分析，即从刚体运动的角度来研究其几何可变性。

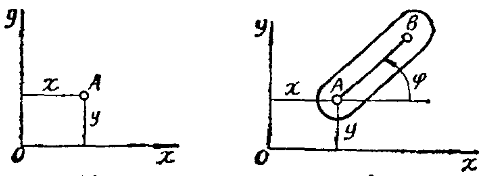
为了便于研究体系的几何可变性，应先了解体系的“自由度”和“约束”的概念。

体系的自由度是指体系在运动时，用来确定其位置所需要的独立坐标的数目。例如一个质点在平面坐标系中的自由度等于2，因为确定其在平面内的位置需要两个独立坐标x和y〔图1—2(*a*)〕。又如平面坐标系中的一个刚片（即平面刚体），它在平面内的位置可由其上点A的坐标x、y和任一直线AB与水平线的倾角φ来确定〔图1—2(*b*)〕，因此一个刚片在平面内的自由度等于3。



(*a*)　(*b*)

图　1—1



(*a*)　(*b*)

图　1—2

约束是指减少体系自由度的装置。能使体系减少几个自由度的装置，我们就认为它具有几个约束。例如用一根链杆将一个刚片与基础相联〔图1—3(*a*)〕，则刚片不能沿链杆方向移动，因此使其在平面内的自由度由3减为2，故一根链杆为一个约束。又如在平面内用一铰A把两个孤立的刚片Ⅰ和Ⅱ相联结〔图1—3(*b*)〕，体系的自由度由原来的6减为4。因为当刚片Ⅰ的位置由A点的坐标x、y和倾角φ_1确定后，刚片Ⅱ只能绕A铰转动，其位置只需一个倾角φ_2就可确定。由此可见，一个只联结两刚片的单铰为两个约束，相当于两根链杆的作用。有时一个铰同时联结两个以上的刚片，这种铰称为复铰〔图1—3(*c*)〕。可以推知，平面体系中联结n个刚片的复铰相当于$(n-1)$个单铰的作用。

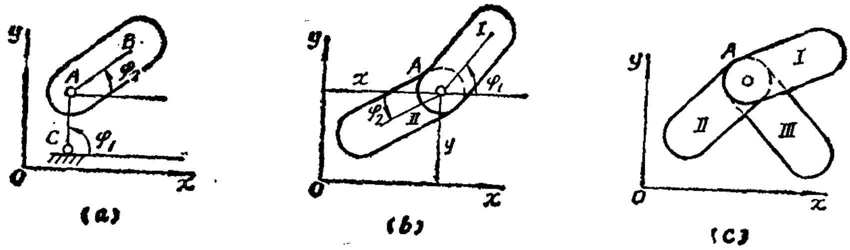


图 1—3

一个平面体系，通常都是由若干刚片加入某些约束所组成的。加入约束的目的是为了减少体系的自由度。如果在组成体系的各刚片之间恰当地加入足够的约束，就能使体系成为几何不变体系。因此，凡体系的自由度大于零的都是几何可变体系，如普通机械中使用的机构，因为它们都有发生刚体运动的可能。而被用于工程结构的几何不变体系，其自由度必为零或小于零。这是结构形成的必要条件，但不是充分条件。事实上，后面我们将会看到，尽管体系的约束数目足够，甚至还有多余，若布置不当，该体系仍然可能是几何可变的。因此，我们将主要从几何构造上找出结构的组成规则，以确保结构的几何不变性。

第二节 平面结构组成的基本规则

本节介绍组成平面结构的几个基本规则，即对平面几何体系找出形成不变体系的基本规则。

一、二元体规则

由两根不在一直线上的链杆联结一个新结点的构造称为二元体。二元体规则是指在一个刚片上增加一个二元体，所形成的体系为几何不变体系。

图1—4所示体系，是从刚片I的B、C两铰出发增加二元体A所形成。假定刚片I不动（或把I看成地基），则链杆AB只能绕B转动，其上的A点只能在以B为圆心以AB为半径的圆弧上运动；链杆AC只能绕C转动，其上的A点只能在以C为圆心以AC为半径的圆弧上运动。但是链杆AB和AC又用铰A相联，铰A不可能同时沿两个方向不同的圆弧运动，所以它只能在两个圆弧的交点处固定不动。因此，这样组成的体系是几何不变的。

如果刚片I（或地基）用两根共线的链杆与新结点A联结（图1—5），则该体系情况

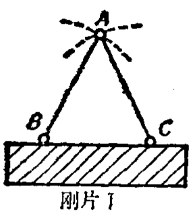


图 1—4

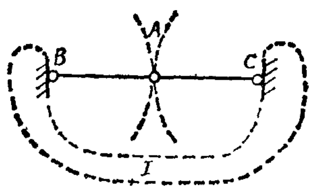


图 1—5

将大为不同。此时，由于链杆AB和AC分别绕B、C铰转动的两圆弧，在A点处有一公切线，故该铰A可沿公切线方向有微小运动的可能。从约束的布置来看，也是不合理的：由于两链杆共线，对于限制铰A沿BC连线方向的位移而言是具有多余约束，而在限制其沿BC连线

的垂直方向上位移则缺少约束，所以此时A点仍可沿BC的垂直方向上移动。不过一旦发生微小移动后，两链杆就不再位于同一直线上，位移也就不再继续发展。这种在某一瞬时可以发生微小运动的体系称为瞬变体系。

瞬变体系仍属于几何可变体系，其在开始受载的瞬时，不仅会发生几何形状的变化，而且内力为无限大。因此，同样不能应用于工程结构。为说明此问题，试分析图 1－6（a)所示体系中AB、AC两杆的内力。取结点A为隔离体〔图 1－6（b)〕，由

$$\Sigma X = 0, \qquad N_1 = N_2 = N$$

$$\Sigma Y = 0, \qquad 2N\sin\theta - P = 0$$

得

$$N = \frac{P}{2\sin\theta}$$

当$\theta = 0$时，便是瞬变体系。此时，若$P = 0$（称为零荷载），则N为不定值；若$P \neq 0$，则N为∞。这表明，瞬变体系即使在很小荷载作用下，也会产生很大的内力，从而导致体系的破坏。因此工程结构中不能采用瞬变体系，而且对于接近瞬变的体系也应避免。

现在让我们用二元体规则分析图 1－7 所示桁架，先任选一基本三角形123为刚片，在此基础上增加一个二元体得结点 4，从而得到几何不变体系1234；又以此为基础，逐次增加二元体得结点 5、6 ……直到结点10，最后形成该桁架。故知其是几何不变体系。

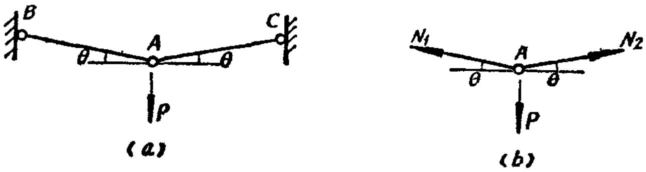


图 1－6

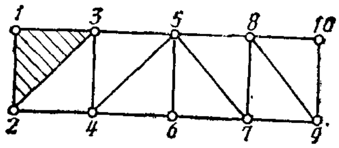


图 1－7

此外，也可反过来用拆除二元体的方法进行分析。因为从一个体系拆除一个二元体后，所剩下的部分若是几何不变的，则原来的体系必为几何不变。现从结点10开始拆除二元体，然后依次拆除结点 9、8、7 ……，最后剩下三角形123，它是几何不变的，故知原体系亦为几何不变的。

如果去掉二元体后所剩下的部分是几何可变的，则原体系显然不能满足二元体的组成规则，故是几何可变的。

由此可得结论：在一个体系上增加或拆除二元体，不会改变原有体系的几何组成性质。

二、两刚片规则

两个刚片用一个铰和一根不通过此铰的链杆相联（或用三根不全平行也不交于同一点的链杆相联），为几何不变体系。

图 1－8（a)所示的体系，它和图 1－4 中将链杆AB看作刚片Ⅱ的情况完全相同，所以这是几何不变体系。

若两刚片Ⅰ和Ⅱ间只用两根链杆相联〔图 1－8（b)〕，情况将会怎样呢？

设刚片Ⅰ不动，则刚片Ⅱ运动时链杆AB将绕A点转动，因而B点将沿与AB杆垂直的方向运动；同理，D点将沿与CD杆垂直的方向运动。因此，刚片Ⅱ将绕AB和CD延长线的

交点O转动。O点称为刚片Ⅰ和Ⅱ的相对转动瞬心。这样，刚片Ⅰ和Ⅱ相当于在O点用一个铰相联一样，两者之间能有相对的转动。由此表明联结两个刚片的两根链杆的作用相当于在其交点处的一个单铰。不过这个铰的位置随着链杆的转动而改变的铰称为虚铰。

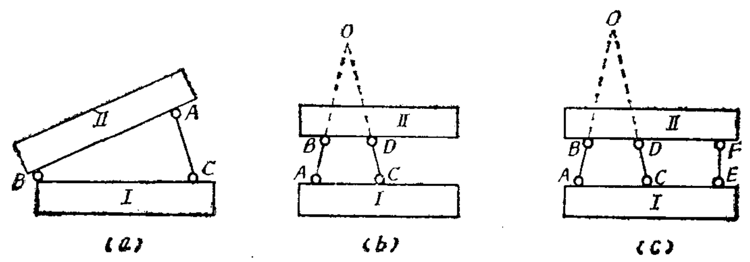


图 1—8

若在图1—8(*b*)中两刚片之间再加一根不通过O点的链杆EF，如图1—8(*c*)所示，它就阻止了刚片Ⅰ和Ⅱ之间的相对转动。因此，用三根不全平行也不交于同一点的链杆相联的两刚片，所组成的体系是几何不变的。

当联结两刚片的三根链杆，其延长线交于同一点时〔图1—9(*a*)〕，则两刚片可绕交点O作相对转动，但发生微小转动后三杆便不交于同一点，故此情况属瞬变体系。当三根链杆全平行时，可以认为它们相交于无穷远一点，故亦属"同交于一点"。如图1—9(*b*)所示体系是几何可变的，图(*c*)所示体系是瞬变的（因稍动后三杆不再平行）。因此，两刚片用三链杆相联，这三杆必须是不全平行也不交于同一点时，其组成才符合两刚片规则，为几何不变体系。

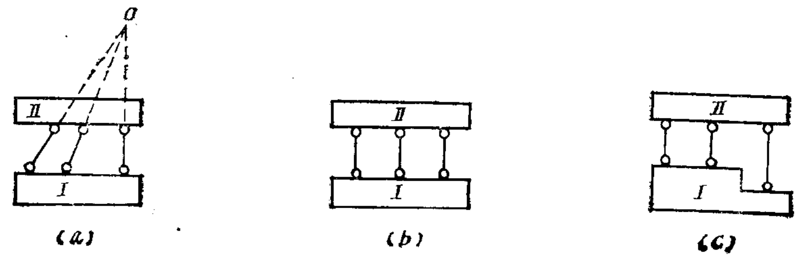


图 1—9

三、三刚片规则

三个刚片用不在同一直线上的三个单铰两两相联，组成的体系是几何不变的。

图1—10(*a*)所示为一铰结三角形，它既可看作是两刚片相联结而成，又可看作三刚片相联结的体系，显然是几何不变的。实际上，上述三个规则均可用这一铰结三角形说明之，它是最简单的平面杆系结构。但是，在对平面体系进行构造分析时，可根据具体情况使用以上三个规则中较为方便的一个。

图 1—10

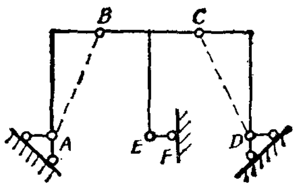
由于一个单铰相当于两个链杆的作用，所以如图1—10(b)所示，三刚片之间用六根链杆两两相联构成三个虚铰O_1、O_2、O_3，只要这三个虚铰不在同一直线上，则体系仍符合三刚片规则，为几何不变体系。

应用上述基本规则即可对任一体系进行几何构造分析，以判别该体系是否几何不变。下一节将举例说明分析的步骤。

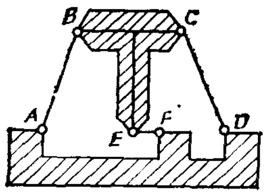
第三节　平面几何不变体系的判别示例

对平面体系进行几何构造分析的依据是上节所述的三个基本组成规则。通常先把给定体系中能直接观察出的几何不变部分当作刚片，或拆除二元体使体系的组成简化，这样并不影响原体系的几何构造性质，然后再应用基本组成规则去分析它们。当体系与地基用三根既不全平行又不相交于一点的链杆相联时，可以只分析体系内部。以下请看示例。

【例1—1】试分析图1—11(a)所示体系的几何构造。



(a)

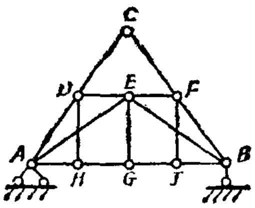


(b)

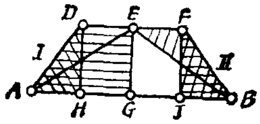
图　1—11

【解】把地基看作为一刚片。T形构件BCE亦为一刚片。折轴杆AB，由于它只用两个铰A和B与其他部分相联，因此它的作用相当于A、B两铰连线上的一根链杆（图中虚线所示）。同理，折轴杆CD也相当于C、D两铰连线上的链杆。这样，此体系便是由两个刚片用AB、CD和EF三根链杆相联而成，三链杆之间不全平行也不交于一点〔图1—11(b)〕，符合两刚片规则，故该体系是几何不变的，并且无多余约束。

【例1—2】试分析图〔1—12(a)〕所示体系的几何构造。



(a)



(b)

图　1—12

【解】由于体系是用三根不全平行也不相交于一点的支座链杆与地基相联，因此可去掉三根支座链杆，仅分析体系内部的构造。

从体系ABC部分上拆除二元体C，剩下$ADFB$〔图1—12(b)〕，此时再无二元体可拆。从留下的部分中找出几何不变的铰接三角形ADH看作刚片Ⅰ，以此为基础增加二元体E、G，形成了几何不变部分$ADEG$为刚片Ⅰ的扩体。同时，按相同的形式找出$BFEJ$为刚片Ⅱ。然后将上述两个刚片Ⅰ和Ⅱ看作是用铰E和一根不通过此铰的链杆GJ相联结，符合两

刚片规则，故体系ABC部分是几何不变的。从而可知，整个体系是几何不变的，并且没有多余约束。

【例1—3】试对图1—13(a)所示体系进行几何构造分析。

【解】由于体系有四根支座链杆与地基相联，故必须将地基看作为一个刚片后一起分析。

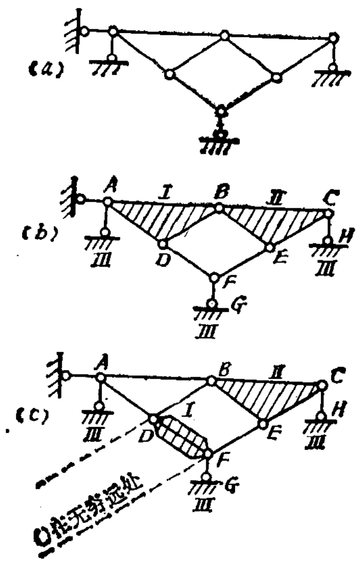


图 1—13

此体系无二元体可去。若除去支座链杆后，看体系内部的构造，显然是几何可变的，因而整个体系不能按两刚片规则分析，可以考虑用三刚片规则来分析。

按三刚片规则考虑，首先需适当选取三个刚片。地基为一刚片，用Ⅲ表示。此外，我们自然地会把三角形ABD和BCE当作刚片Ⅰ和Ⅱ〔图1—13(b)〕。但是这样分析后发现：刚片Ⅰ、Ⅲ用铰A相联，刚片Ⅰ、Ⅱ用铰B相联，而刚片Ⅱ、Ⅲ之间呢？只有链杆CH直接相联，链杆FG并不联在刚片Ⅱ上，此外还有杆件DF、EF没有用上。显然分析无法进行下去。

按"两两相联"的规则另选刚片。地基仍作为一刚片。铰A处的两根支座链杆可看作是地基上增加的二元体，因而同属于地基的刚片Ⅲ。于是，从刚片Ⅲ上将四根链杆AB、AD、FG和CH联出，它们应该两两分别联到另外两个刚片上。这样就可找出杆件DF和三角形BCE分别作为刚片Ⅰ和Ⅱ〔图1—13(c)〕。此时刚片Ⅰ、Ⅱ之间也恰有两根链杆相联。这样所有的杆件都用上了，而且符合"两两相联"之关系。现分析各铰的位置：

刚片Ⅰ、Ⅲ——用链杆AD、FG相联，虚铰在F点；

刚片Ⅲ、Ⅱ——用链杆AB、CH相联，虚铰在C点；

刚片Ⅰ、Ⅱ——用链杆BD、EF相联，因为此两杆平行，故虚铰O在此两杆延长线上的无穷远处。

由于虚铰O在EF的延长线上，故C、F、O三铰位于同一直线上，因此该体系是一个瞬变体系。

【例1—4】试对图1—14所示体系进行几何构造分析。

【解】分析图(a)所示体系：

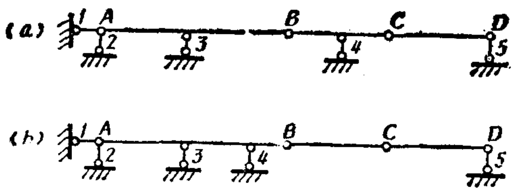


图 1—14

首先把AB看作刚片，它用三根不全平行又不交于一点的支座链杆1、2、3与基础相联，因此该部分已被固定于基础，且无多余约束。然后，把BC看作刚片，它由铰B和链杆4与扩大了的基础相联形成了几何不变体。再通过链杆5和铰C将上述体系扩大到CD部分。因此该体系$ABCD$与基础一起构成了几何不变体系，并且无多余约束。

分析图(b)所示体系：

首先仍把AB看作刚片，它与基础之间有四根支座链杆相联，由上述分析可知，为几何不变．但有一个多余约束。其次，把CD看作刚片，它与扩大了的基础之间只有链杆BC和链杆5相联，故体系是几何可变的。

比较图1—14（a）和（b）中两个体系，只是链杆4的安放位置不同。图（a）中体系是几何不变的，而图（b）中体系既是几何可变的，又有多余约束。它表明几何不变体系的组成既要注意约束的数目，还要注意约束的布置情况。

【例1—5】试对图1—15所示体系进行几何构造分析。

【解】因为体系用三根不全平行也不交于一点的支座链杆与地基相联，故只要分析体系内部即可。

把AB看作一个刚片，在其上增加二元体AEC、BFD后，体系是几何不变的，EF为多余的一根链杆。因此，整个体系是具有一个多余约束的几何不变体系。

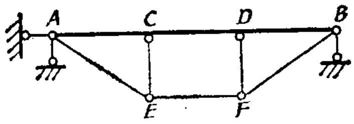


图 1—15

最后需要指出，我们所遇到的多数工程结构或体系简图，其几何构造上性质按第三节所述基本组成规则即可进行分析。但也有一些体系，用基本组成规则尚无法进行分析，此时需用其他方法例如零载法〔参阅文献(1)〕等进行分析。

第四节　静定结构和超静定结构

由上述可知，用来作为结构的杆件体系，应选用几何不变体系，而几何不变体系又可分为无多余约束的（例1—1、例1—2）和具有多余约束的（例1—5）。后者的约束数目除满足几何不变性要求外，尚有多余的。因此，结构可分为无多余约束的和具有多余约束的两类。

例如图1—16(a)所示的连续梁，如果将C、D两支座链杆都去掉（图1—16(b)）仍能保持其几何不变性，并且此时无多余约束，所以原连续梁是有两个多余约束的结构。

对于无多余约束的结构，例如图1—17(b)所示简支梁，由材料力学可知，它的全部约束反力和内力都可由静力平衡条件（$\Sigma X=0$，$\Sigma Y=0$，$\Sigma M=0$）求得，且为确定值，这类结构称为**静定结构**。

对于具有多余约束的结构，例如图1—17(a)所示的连续梁，其支座反力共有五个，而静力平衡条件只有三个，因而不能由静力平衡条件求得其全部反力和内力的确定值，这类结构称为**超静定结构**。

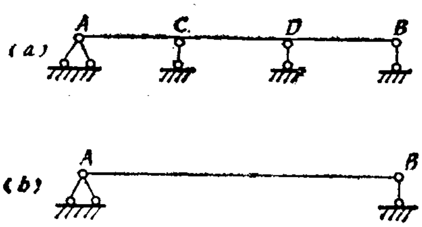


图 1—16

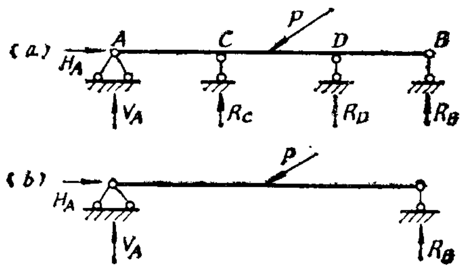
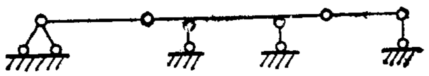


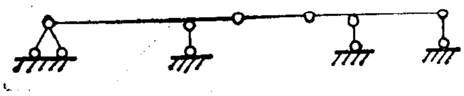
图 1—17

习　　题

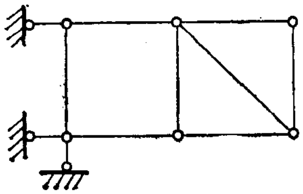
1—1～21　试对图示体系作几何构造的分析。



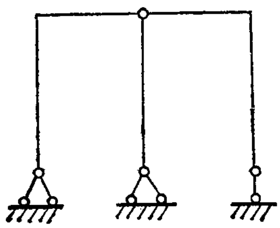
题 1—1



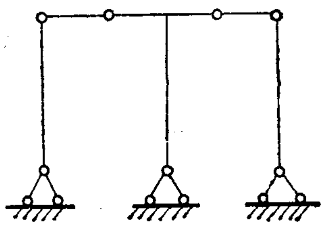
题 1—2



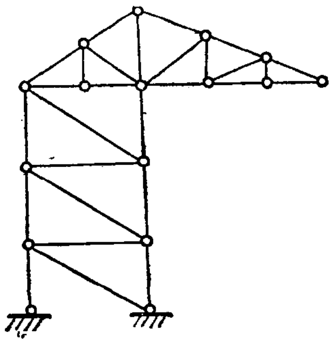
题 1—3



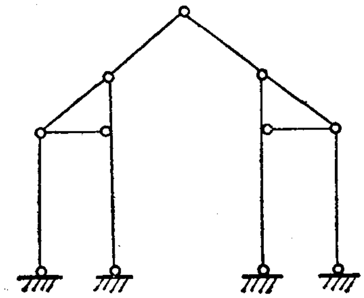
题 1—4



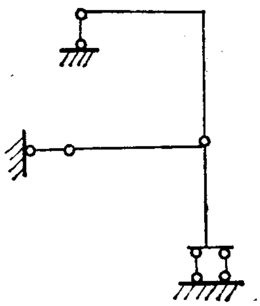
题 1—5



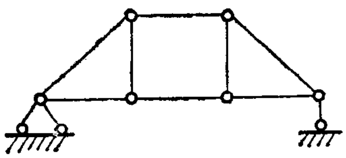
题 1—6



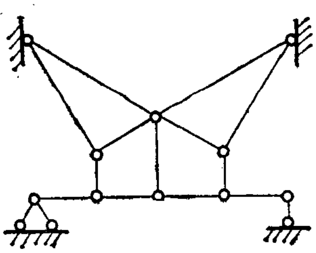
题 1—7



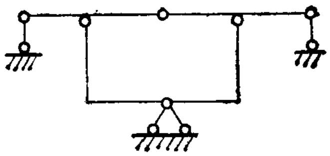
题 1—8



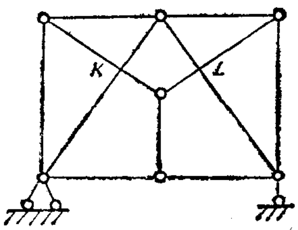
题 1—9



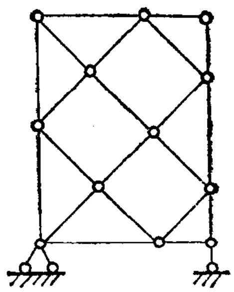
题 1—10



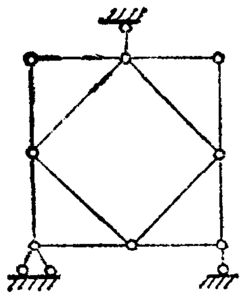
题 1—11



题 1—12 （K、L 非结点）



题 1—13



题 1—14