

高等学校教材

专科适用

结构力学

华北水利水电学院 雷克昌 主编



高等学校教材

————— 专 科 适 用 —————

结 构 力 学

华北水利水电学院 雷克昌 主编

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国水利水电出版社

内 容 提 要

全书分三篇，共十章。内容包括：结构几何组成分析和静定结构的内力计算、静定结构的位移计算、力法、位移法、渐近法、矩阵位移法、影响线、能量原理、弹性地基梁的计算和高层建筑结构计算。

本书可作为土建、水利类专业的专科教材作为水保、工程地质、工程管理等本科专业少学时选用教材（第一篇），也可供有关工程技术人员参考。

高等学校教材

专 科 课 程 用 书

结 构 力 学

华北水利水电学院 雷克昌 主编

中国水利水电出版社 出版
(原水利电力出版社)

(北京市三里河路6号 100044)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京市朝阳区小红门印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 21印张 477千字

1995年10月第一版 1998年10月北京第二次印刷

印数 2461—5460册

ISBN 7-80124-638-1/TV·352

(原 ISBN 7-120-02222-9/TV·882)

定价 20.50元

前言

本书是根据1989年11月水利部委托召开的高等学校水利水电工程类专业专科教材会议所讨论通过的《结构力学》编写大纲编写的。

长期以来,在专科教学中借用本科模式,沿用本科教材,专科教育办成了本科“压缩型”。为了改变这一状况。本书在编写时,围绕专科教育的培养目标,遵循基础理论知识“以应用为目的、以必须够用为度”的原则,力求反映出专科特色,基本思想是保持知识的连贯性、概念清楚、重点突出、削枝强干、加强理论知识的应用。为了适应专科培养应用型人才的目的,对于在实际工作中应用较少的内容作了适当删减;同时对有关纯理论性的论述和推导加以简化;还有些内容结合例题讲述,易于接受,即书中黑体字部分。加强应用主要有两个方面:一方面是相对地增加理论知识应用的篇幅,尽可能地列举各种类型的例题;另一方面加强实践环节,培养学生解决问题的能力。每章(节)后均安排了不同层次的四种练习:复习与思考、分析与比较、习题和研讨题,复习与思考题帮助学生理解概念;分析与比较题能扩大学生视野;习题帮助学生巩固知识,培养解决问题的能力;研讨题为学有余力的学生提供条件,也可结合课堂教学,有选择地讲解部分题目。

根据各章内容之间的联系,本书分为三篇编写。

第一篇结构力学基础,内容包括:结构几何组成分析、静定结构的内力计算、静定结构的位移计算和力法,并将静定拱和超静定拱安排在同一节。以结构几何组成分析和自由度为主线,将这些内容紧密联系起来,完成从静定计算到超静定计算的过渡,主要讲述结构力学的基本概念及有关基础知识。

第二篇计算结构力学,内容包括:位移法、渐近法和矩阵位移法。该篇汇集了位移法和以位移法为基础的几种常用计算方法,主线索是位移法。鉴于专科毕业生多在基层工作,在目前情况下,将渐近法与矩阵位移法并重更符合实际情况,这篇内容主要培养学生的实际工程计算能力。

第三篇结构力学专题,内容包括:影响线、能量原理、弹性地基梁的计算和高层建筑结构计算。主要讲述这些专题中的结构力学方法,各章内容基本上是独立的,可以根据不同专业的需要全部讲授或选讲。

按上述分篇编写,教材结构的轮廓清晰,第一篇为基础知识篇,第二篇为应用篇,第三篇为选学篇。多年专科教学实践表明,以上基本思想和教学体系适合专科教学的特点教师讲授筛选自如,能达到专科教育培养目标的要求,教学效果良好。

本书第一至第六章、附录由华北水利水电学院雷克昌、郑恒祥,南昌水利水电高等专科学校傅赣清编写,第七至第十章由雷克昌、郑恒祥、南昌水利水电高等专科学校欧阳明贵编写,全书由雷克昌担任主编。王志锋同志提供了附录的资料和平面刚架计算程序。

本书承蒙黑龙江水利专科学校汤瑞瑾副教授审阅,提出了许多宝贵意见,使本书增色

不少，编者表示衷心感谢。

目前专科教材建设还刚刚起步，如何写出具有专科特色的教材是大家所关心的，本书的体系和内容安排作了一些新的尝试，由于编者水平和经验有限，虽从事多年专科教学实践，但对专科特色的理解还很肤浅，书中存在的缺点乃至错误，热情欢迎广大同行和读者批评指正。

编者

1991.10.20

目 录

前 言

第一篇 结构力学基础

第一章 静定结构的内力计算	1
第一节 结构及其组成法则	1
练 习	10
第二节 静定结构的内力计算	12
练 习	25
第二章 静定结构的位移计算	31
第一节 虚功原理	31
练 习	36
第二节 图乘法	40
练 习	46
第三章 力法	50
第一节 超静定次数与力法原理	50
练 习	65
第二节 力法计算简化	69
练 习	81
第三节 拱的内力计算	85
练 习	97

第二篇 计算结构力学

第四章 位移法	101
第一节 基本概念与转角位移方程	101
练 习	110
第二节 位移法解超静定刚架	113
练 习	123
第三节 位移法的进一步讨论	127
练 习	138
第五章 渐近法	142
第一节 力矩分配法	142
练 习	152
第二节 无剪力分配法	157
练 习	164
第三节 迭代法	167

练习	178
第六章 矩阵位移法	181
第一节 矩阵位移法的基本原理	181
练习	189
第二节 直接刚度法计算平面刚架和桁架	191
练习	218

第三篇 结构力学专题

第七章 影响线	221
第一节 基本概念	221
第二节 静力作影响线	222
第三节 影响线的应用	230
第四节 机动法作影响线	236
练习	240
第八章 能量原理	244
第一节 应变能和应变余能	244
第二节 最小势能原理和卡氏第一定理	246
第三节 瑞雷—里兹法(Rayleigh—Ritz)	252
第四节 最小余能原理和卡氏第二定理	258
练习	263
第九章 弹性地基梁的计算	267
第一节 地基反力假定	267
第二节 弹性地基梁的基本微分方程	269
第三节 文克尔地基梁的内力计算	271
第四节 半无限弹性体地基梁的计算	288
练习	298
第十章 高层建筑结构计算	300
第一节 引言	300
第二节 框剪结构的内力和位移计算	301
第三节 高层建筑结构分析的计算机方法	314
练习	320
附录 平面刚架计算源程序和说明	322
主要参考文献	330

第一篇 结构力学基础

第一章 静定结构的内力计算

第一节 结构及其组成法则

建筑物中,为了承受预定荷载而起骨架作用的几何不变部分称为结构。结构的各个组成部分称为构件。在日常生活中的所见结构,可以说是举目皆是,如房屋、桥梁、挡水坝、隧洞等都是结构。本书讲述土木工程结构。

一、结构力学的研究对象和任务

结构是由构件(或称为元件等)组成的。根据三维空间的三个几何尺度:长(l)、宽(b)、高(h)的相互关系,结构构件可分为以下四类:

1) 当长度比宽度、高度大很多时称为杆(随用途不同又可分为柱、梁、轴等)。若杆轴线为直线则称为直杆,轴线为曲线时称为曲杆,图1-1所示。

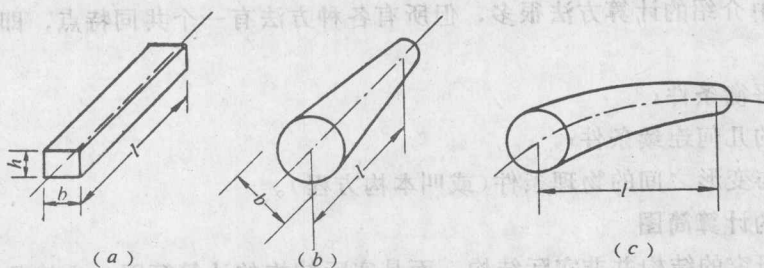


图 1-1

(a) 直杆; (b) 直杆; (c) 曲杆

2) 长度、宽度比高度(或厚度)大得多的构件,图1-2所示,其中面(与上下表面等距的点集合形成的面)为平面者称为板,为曲面者称为壳。

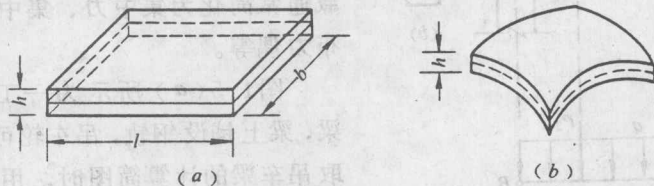


图 1-2

(a) 板; (b) 壳

3) 长、宽、高三尺度都比较接近时称为实体,图1-3所示。

4) 长度比宽度大得多,宽度比厚度大很多,此类构件称为薄壁构件,如常见的各类型钢:工字钢、槽钢、薄壁圆管等,图1-4所示。

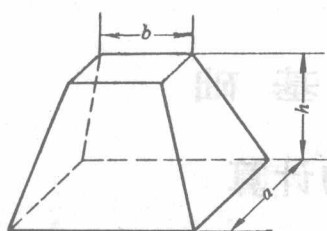


图 1-3

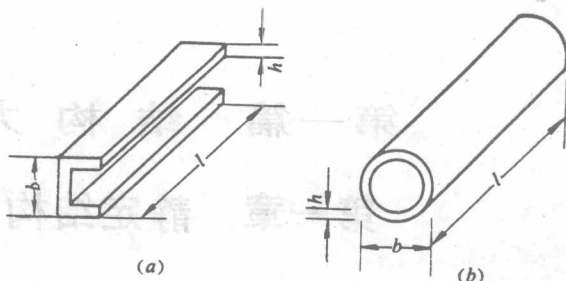


图 1-4
(a) 槽钢; (b) 薄壁圆管

以上介绍了构件的四种基本型式。除此之外，还可以由这些基本构件组合成新的构件，如变截面杆、折板等。

本结构力学主要研究由第一类构件(即杆件)所形成的平面结构。因为这类结构是由若干根杆件在平面上组成的结构，故称之为平面杆系结构。至于由其它构件组成的结构，则属于弹性力学或其它课程的研究范畴。

材料力学着重讨论单个杆件的强度、刚度和稳定^①问题。结构力学的任务是研究杆系结构的组成规律和强度、刚度、稳定问题。总的来说，研究这些问题的目的是使设计的结构满足安全、经济、适用的要求。

结构力学中介绍的计算方法很多，但所有各种方法有一个共同特点，即都要考虑以下三方面的条件：

- 1) 静力平衡条件；
- 2) 变形的几何连续条件；
- 3) 应力与变形之间的物理条件(或叫本构方程)。

二、结构的计算简图

本课程所研究的结构并非实际结构，而是实际结构的计算简图，也就是计算中代替实际结构的简化图形。计算简图中，结构的外形一般是用实际结构中杆件轴线表示；约束支

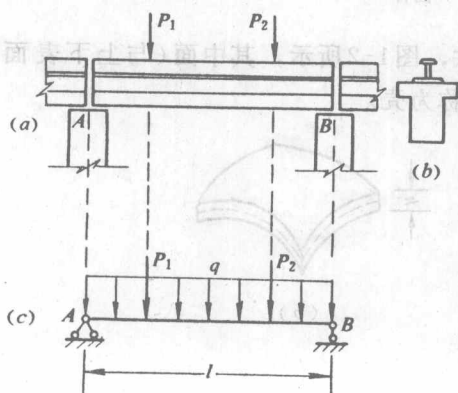


图 1-5

承通常简化为连杆、铰、固定端等规范化了的支承形式，这些约束，材料力学中已讲述；构件与构件的连接处简化为刚结点或铰结点；荷载通常简化为集中力、集中力偶、分布力和分布力偶等。

图1-5(a)所示为一工业厂房中的吊车梁，梁上铺设钢轨，吊车轮可以在轨道上移动。取吊车梁的计算简图时，用梁的纵轴线代替实际的吊车梁，取梁两端与柱子接触中心间的距离为梁的计算跨度 l ；梁的两端既不能上下移动，也不能水平移动，但受载微弯时，梁的

^① 根据专科的教学要求，本教材没有编写这部分内容。

两端可以作微小的自由转动，因此可取梁的一端为可动铰支座，另一端为固定铰支座，这样基本上能反映柱子对梁端的约束作用；梁受有两种荷载，其一是梁和钢轨的自重，它们沿梁长是均匀分布的，另一个是移动荷载（即轮压力 P_1 和 P_2 ，亦称活荷载），由于轮与钢轨的接触面很小，可以看成集中荷载。综上所述，此吊车梁的计算简图为图1-5(c)所示。

图1-6(a)所示为一工厂厂房排架，在左右两边的牛腿上受到轮压 P_1 和 P_2 的作用，它们为集中力；排架的柱子浇筑在地下的基础上，可看成固定端，排架在C处用铰相互连接，受载后，C处两端面可发生相对转动。因此，C处为铰连接，计算简图为如图1-6(b)所示。

图1-7(a)所示一屋架，各杆端都相互紧密联结。所有直杆都用其轴线代替，并认为这轴线都在同一平面内；全部结点均看成为理想铰连接；两端支承分别抽象为固定铰支座和可动铰支座；屋面传来的荷载都认为作用在结点上。由此得到图1-7(b)所示的计算简图。

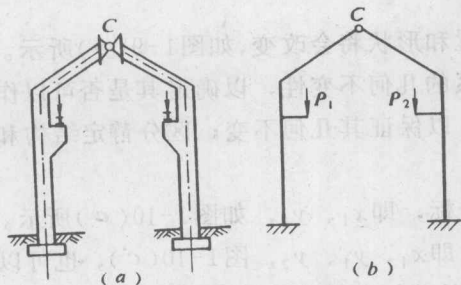


图 1-6

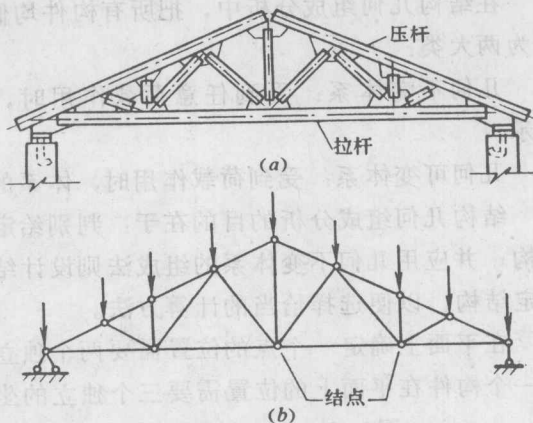


图 1-7

需要指出的是，上述关于理想铰连接的简化，与实际情况是有差别的。但是力学分析与试验结果表明，只在结点上受外载时，细长直杆所组成的桁架各杆的内力主要是轴力，而弯矩和剪力都很小，因而把实际结点简化为理想铰结点是可行的。当然这是一种近似。

图1-8(a)为一连续式的梁板桥（乡镇公路上常采用这种形式的梁板桥），整个桥分为三段架设在桥墩和两岸基础上。点D、E处，两相邻截面可发生微小相对转角，故抽象为铰；桥墩B、C、F、G处只能阻止竖向位移，简化为可动铰支座；两岸支承，一端看成固定铰支座，另一端为可动铰支座；

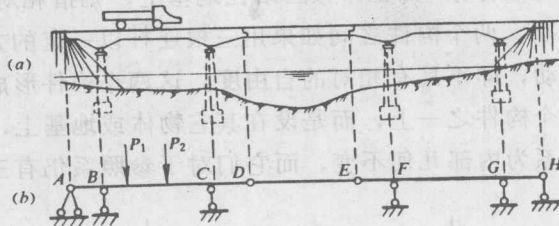


图 1-8

各跨计算长度取为两端接触面中心之间的距离；汽车行驶到图1-8(a)所示位置，前后轮与桥面接触，相当于两个集中力作用在桥面上。计算简图如图1-8(b)所示。

由于实际结构的复杂性，对实际结构选取其计算简图是一个理论与实际、经验与水平相结合的问题，是对实际结构建立一个合理的计算模型的问题。这方面涉及的问题和因素较多，对这种技能的培养，每个工程技术人员都将作为毕生所不断努力实践和积极探索的

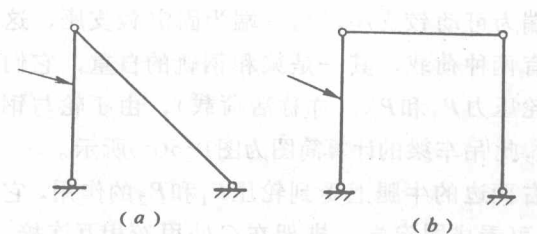


图 1-9

内容之一。本课程只在已给定的计算简图上探讨计算方法。

三、结构几何组成法则

如前所述，结构是由构件相连接而形成的，用以承受预定荷载。但是需要指出，只有当构件按照一定规则连接起来，形成几何不变体系，该体系才能成为结构。如图1-9(a)、

(b)所示的杆件体系，前者能承受预定荷载，是结构；后者受载后将倾倒，即不能承受预定荷载，因而不是结构。

在结构几何组成分析中，把所有构件均假想地看成不变形的刚体。这样，杆件体系可分为两大类：

几何不变体系：受到任意荷载作用时，体系的位置和形状不会改变，如图1-9(a)所示。

几何可变体系：受到荷载作用时，体系的位置和形状将会改变，如图1-9(b)所示。

结构几何组成分析的目的在于：判别给定体系的几何不变性，以确定其是否可以作为结构；并应用几何不变体系的组成法则设计结构，以保证其几何不变；区分静定结构和超静定结构，以便选择恰当的计算方法。

在平面上确定一个点的位置需要两个独立的坐标，即 x_1 、 y_1 ，如图1-10(a)所示。确定一个构件在平面上的位置需要三个独立的坐标，即 x_1 、 y_1 、 y_2 ，图1-10(c)，也可以是 x_1 、 y_1 、 a ，图1-10(b)。把确定构件所需的独立的坐标个数称为该构件的自由度。也就是说，一个构件在平面上相对于指定坐标系而言有三个自由度；一个点在平面上相对于指定坐标系而言有两个自由度。构件的自由度为构件运动可能具有的独立运动方式数，如果沿 x_1 、 y_1 、 y_2 分别设置刚性连杆，如图1-10(c)所示，即加上约束，阻止其运动，每增加一根连杆，构件就减少一个自由度。现对这个构件加上如图1-10(c)所示三根连杆，构件对坐标系（如坐标系固结在地基上，则指相对地基）就不具有自由度而形成几何不变体系了。两个构件之间如果用三根连杆以一定的方式相连接，则它们之间就不可能产生相对运动，即不具有相对的自由度，这两个构件形成了一个几何不变体系。如果参照系不设在两个构件之一上，而是设在其它物体或地基上，那么对于参照系而言，这两个构件组成的体系为内部几何不变，而它们对于参照系仍有三个自由度。内部几何不变体系，可以将

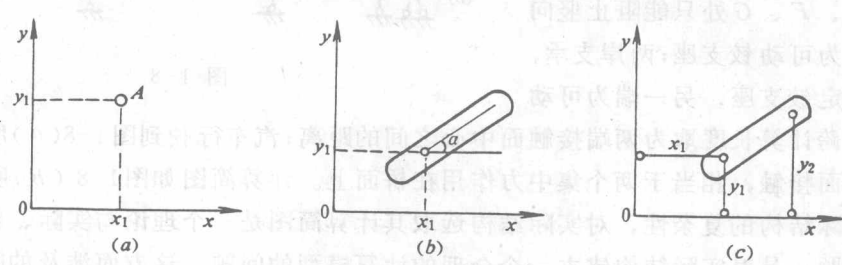


图 1-10

其看成为一个新的构件。

综上所述,两个构件形成一个几何不变体系时,它们之间必须用三根连杆以一定的方式相连接,形成几何不变体系有两方面条件:一是连杆数不得少于三根;二是必须遵循一定的组成法则。

法则一 两构件组成几何不变体系的充要条件是:用三根连杆连接,且三连杆不平行,也不相交于一点,此法则简称为两构件三连杆法则。

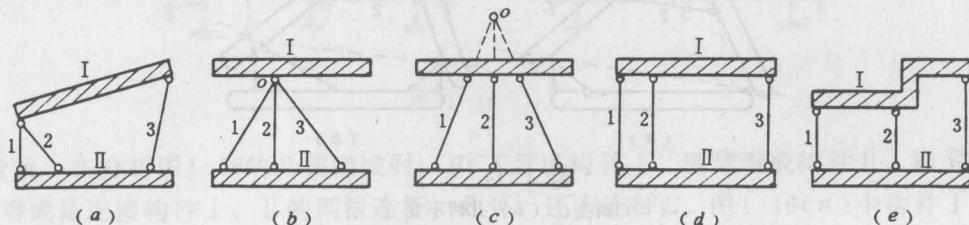


图 1-11

1、2、3—连杆

图1-11(a)中构件 I、II 的组成符合法则一的条件,组成一个几何不变体系。如果三连杆交于一点,图1-11(b),或三连杆的延长线交于一点,图1-11(c),或三连杆平行且等长,图1-11(d),则构件 I、II 组成一可变体系。如果三连杆平行但不等长,图1-11(e),其组成不符合法则一的条件,是几何可变体系。但是该体系发生微小变形后,其组成就符合法则一的条件,又成为几何不变体系,这种体系称之为瞬变体系。瞬变体系归属可变体系范畴,其余的可变体系通常称为常变体系。图1-11(c)所示,连接两构件的三连杆延长线交于一点,亦组成一瞬变体系。

在几何组成分析中,把连杆或构件的真实交点称为实铰,如图1-11(b)中的交点 o ;而连杆或构件的延长线之交点称为虚铰,如图1-11(c)中的交点 o 。在分析结构的几何组成时,为了应用方便,有时可将两根相交的连杆看成一个铰,有时又可将一个单铰(定义见后面)看成两根相交于铰的连杆。

三构件组成几何不变体系的充要条件,由法则二来表述。

法则二 三构件组成几何不变体系的充要条件是:每两个构件之间用两根连杆相连接,即两两相连,且三构件用六连杆两两相连所形成的三个铰(实铰或虚铰)不在同一直线上,该法则简称为三构件六连杆法则,也就是通常所说的三角形法则。

根据法则二可知,图1-12(a)、(b)所示的体系都为几何不变体系。如果三构件六连杆形成的三个铰(实铰或虚铰)在同一直线上,则它们组成一瞬变体系,图1-12(c)、(d)。

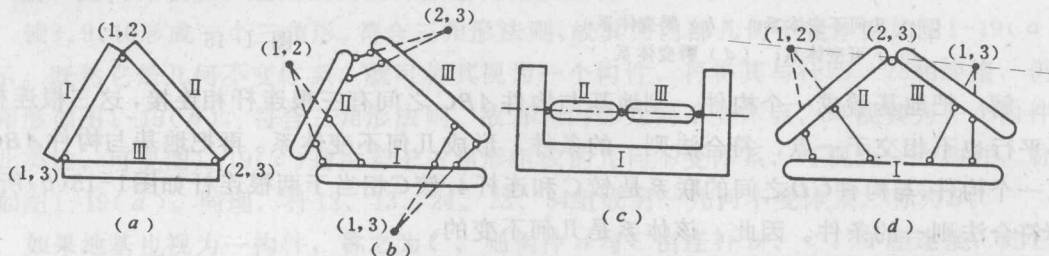


图 1-12

如果连接两构件的二连杆互相平行形成无穷远铰，也称虚铰。三构件形成的体系中出现无穷远铰的情况比较复杂，这里只简要提示一下。

一 两实铰和一个无穷远铰的情况是：若两实铰的连线与杆 1、2 平行则为瞬变体系。不平行则为几何不变体系，如图 1-13(a)、(b) 所示。在特殊情况下可为几何可变体系。

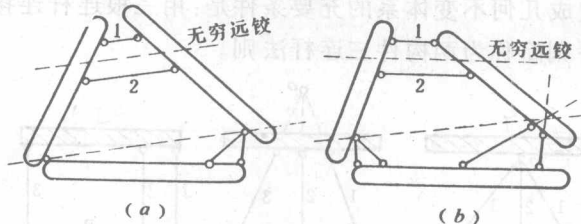


图 1-13

(a) 瞬变；(b) 几何不变

一个实铰和两对平行连杆，即两个无穷远铰的情况是：若组成二无穷远虚铰的两对平行连杆互不平行，则体系为几何不变的，如图 1-14(b)；若这四根连杆互相平行则为瞬变体系，如图 1-14(a)；若四根连杆平行且等长，则体系为几何可变的，图 1-14(c)。

三个无穷远铰组成的体系为瞬变体系，如图 1-14(d) 所示。

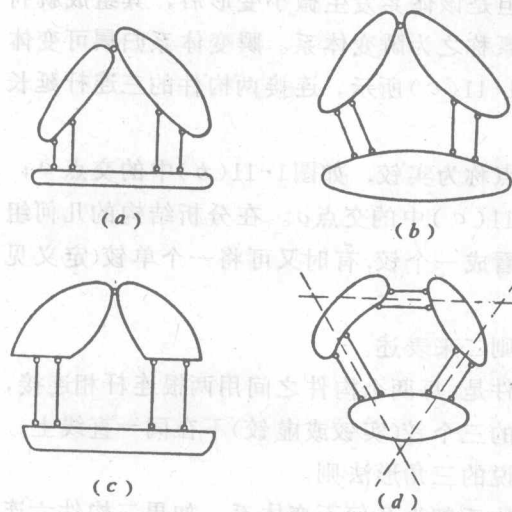


图 1-14

(a) 几何不变体系；(b) 瞬变体系；

(c) 可变体系；(d) 瞬变体系

应用法则一、二分析体系的几何不变性时，要区分实铰、虚铰和无穷远铰，判别体系是几何不变、几何可变或瞬变。注意分析的灵活性。

【例 1-1】试分析图 1-15(a) 所示平面体系的几何组成。

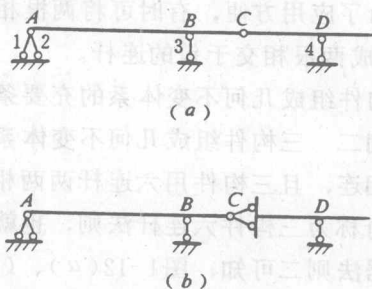


图 1-15

解 把地基看成一个构件，则地基与构件 ABC 之间有三根连杆相连接，这三根连杆既不平行也不相交于一点，符合法则一的条件，形成几何不变体系。再把地基与构件 ABC 看成一个构件，与构件 CD 之间的联系是铰 C 和连杆 4，铰 C 相当于两根连杆如图 1-15(b) 所示，亦符合法则一的条件。因此，该体系是几何不变的。

【例 1-2】试对图 1-16 所示平面体系进行几何组成分析。

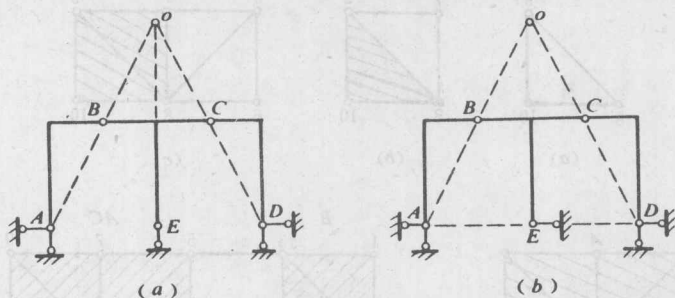


图 1-16

分析 在分析图1-16的几何组成时, BCE 看成构件 I, 地球看成构件 II; 构件 AB 、 CD 可看成是连接构件 I、II 的两根连杆, 此外, 还有连杆 E 。图1-16(a)中构件 I、II 之间的三根连杆, 其延长线交于同一点 o , 该体系为瞬变体系; 图1-16(b)中构件 I、II 之间的三根连杆, 其交点分别是 A 、 D 、 o , 且三连杆不平行, 符合法则一的条件, 故为几何不变体系。

【例 1-3】 试对图1-17(a)所示平面体系进行机动分析。

解 设杆 12、36、45 为构件, 则构件 12 与构件 36 由杆 16、23 相连形成虚铰 a , 构件 36 与 45 由杆 65、34 相连形成虚铰 c , 构件 45 与 12 由杆 14、25 相连形成虚铰 b , 故符合三构件六连杆且两两相连的条件。现在需要检验这三个铰 a 、 b 、 c 是否在同一直线上, 由图 1-17(b) 中可见, 铰 a 、 b 、 c 在同一直线上, 因而该体系为瞬变体系。假如铰 a 、 b 、 c 不在同一直线上, 则为几何不变体系。

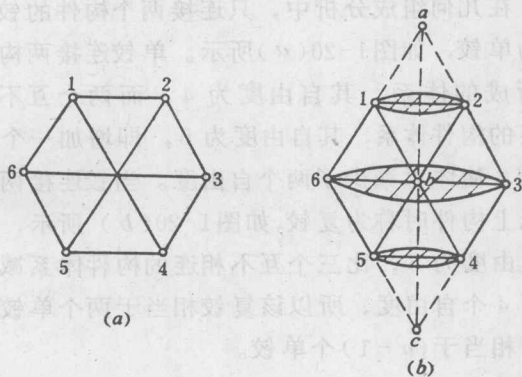


图 1-17

【例 1-4】 分析图1-18体系的几何不变性。

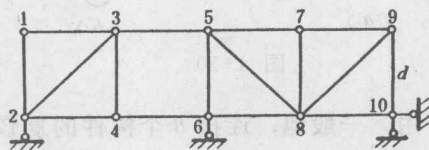


图 1-18

解 因构件较多, 应用绘图的方法进行分步分析。

铰 8、9、10 形成一个三角形, 符合三角形法则, 故其为内部几何不变体系如图 1-19(a) 所示。既然它是几何不变体系, 就可将其视为一个构件, 再将其与杆 79、78 相连接, 仍为三角形如图 1-19(b), 符合三角形法则, 故亦为内部几何不变体系, 可视其为一个构件。依此类推, 可见图 1-19(c) 是由若干三角形组成的几何不变体系, 可视其为一个构件, 称为 A 如图 1-19(d)。同理, 杆 12、13、24、23、34 组成另一几何不变体系, 称为 B 。

如果地基也视为一构件, 称之为 C , 则构件 A 与 C 由连杆 b 、 c 、 d 相连接, 此三杆不平行也不相交于一点, 符合两构件三连杆法则, 为几何不变体系, 并将 AC 视为一构件

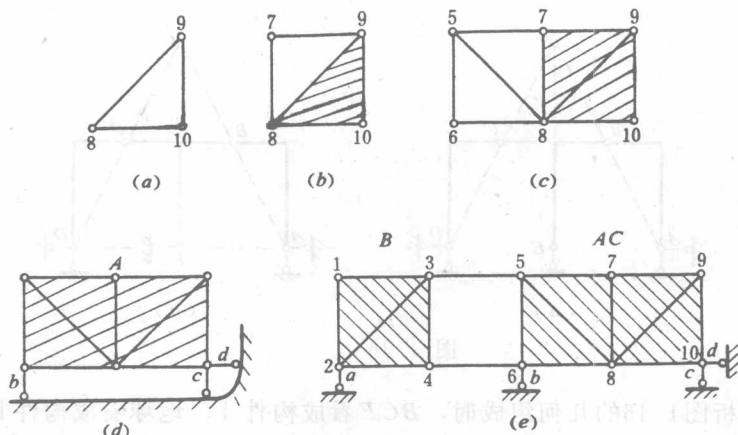


图 1-19

如图 1-19(d)。

构件 AC 与构件 B 通过连杆 a 和杆 35、46 相连, 此三杆不平行也不交于一点, 符合两构件三连杆法则如图 1-19(e)。

综上所述, 该体系的组成符合法则一、二, 故为几何不变体系。

以上两法则是充要条件, 用它们来分析判别结构的几何不变性业已够用。为了进一步对结构组成有所了解, 下面再介绍计算结构自由度的两个公式。

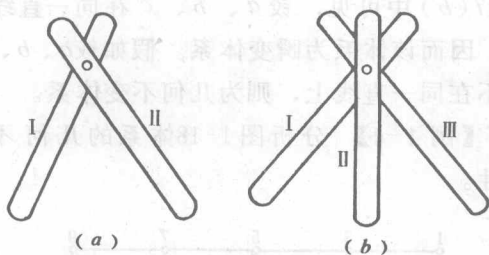


图 1-20

在几何组成分析中, 只连接两个构件的铰称为单铰, 如图 1-20(a) 所示。单铰连接两构件所成的体系, 其自由度为 4, 而两个互不相连的构件体系, 其自由度为 6, 即增加一个单铰, 使体系减少了两个自由度。当铰连接两个以上构件时称为复铰, 如图 1-20(b) 所示, 其自由度为 5, 比三个互不相连的构件体系减少了 4 个自由度, 所以该复铰相当于两个单铰

的作用。一般地, 连接 n 个构件的复铰, 其作用相当于 $(n-1)$ 个单铰。

公式 I

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

式中 W ——结构自由度数;

m ——构件数 (一个构件具有三个自由度);

g ——固定端数 (一个固定端相当于三根连杆, 即减少三个自由度);

h ——单铰数 (一个单铰相当于两根连杆, 即减少二个自由度);

b ——连杆数 (一个连杆减少一个自由度)。

公式 II

$$W = 2j - b$$

式中 j ——自由结点数 (一个结点具有两个自由度);

b ——连杆数 (一个连杆减少一个自由度)。

公式 I 适用于刚架结构, 公式 II 适用于桁架结构。

当 $W > 0$ ，则体系肯定是几何可变的，这种具有自由度的体系称为机构。如图1-21所示。具有一个自由度称为曲柄滑块机构。机构属机械原理研究范畴。

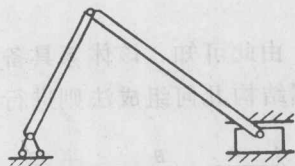


图 1-21 曲柄滑块机构

当 $W \leq 0$ ，则只说明维持体系几何不变所需的连杆数足够或有多余，但由于连杆连接构件的方式多种多样，因此，不能确定体系的几何不变性。在 $W \leq 0$ 的情况下，体系可能是几何不变的、几何可变的或者是瞬变的，即体系形成几何不变的必要条件，而非充分条件。尽管如此，通过体系自由度计算，对于建立必要的概念，理解构件与约束间相互关系是有一定意义的。

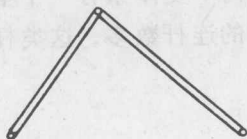


图 1-22 二元体

这里还应该提到一种称之为“二元体”的构造，即两个构件用一个铰连接。各构件的另一端也设一个铰，且三铰不在同一直线上(即两构件不共线)，用以和其它体系相连接，如图1-22所示。

这种构造在一个体系中将不改变原体系的几何性质(由自由度公式计算得 $W = 0$ ，即两构件用三个铰相连，从自由度分析出发，它相当于一个零结构)，故从原体系上拆除一个“二元体”或加上一个“二元体”，都不影响结构原来的几何特性。用这个概念去分析结构的几何组成往往带来很多方便。如图1-23(a)所示，可将二元体1拆除，那么2和3也成为二元体，亦可拆除。依此类推，最后成为图1-23(c)所示体系，可见该体系是几何可变体系。

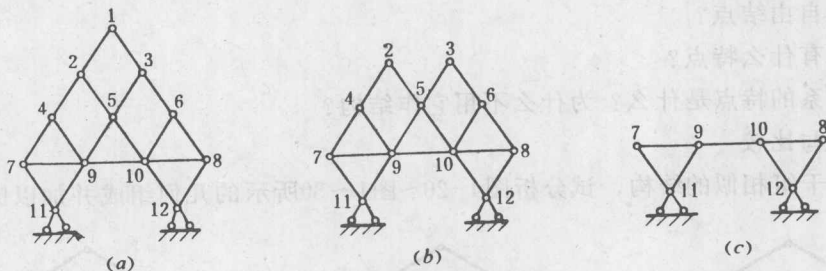


图 1-23

下面用公式计算它的自由度，因为是桁架，故用公式Ⅱ：

自由结点数	$j = 12$
连 杆 数	$b = 19 + 4 = 23$
则	$W = 2 \times 12 - 23 = 1 > 0$

结论：该体系是可变体系。

【例 1-5】 计算图1-24所示结构的自由度。

解 应用公式Ⅰ，将 ab 、 bc 、 ce 、 cd 、 df 视为构件，则
 $m = 5$ ， f 为固定端，则 $g = 1$ ， b 、 d 为单铰， c 为复铰(相当于两个单铰，即 $3 - 1 = 2$)，故
 $h = 4$ ，支承处 a 、 e 各有二个连杆， $b = 4$ 。 a 、 e 不是铰，因它不是连接两构件，而是构件与支承连杆相连接。将各量代入公式Ⅰ，得

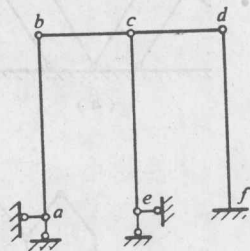


图 1-24

$$W = 3 \times 5 - (3 \times 1 + 2 \times 4 + 4) = 0$$

由此可知,该体系具备形成几何不变的必要条件。至于该体系是否为几何不变,还需根据结构几何组成法则进行具体分析,然后得出结论,请读者自行分析。

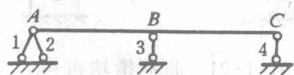


图 1-25

以上应用法则一、二,分析了一些杆件体系的几何不变性,对结构的几何组成规律有了初步了解。下面再来分析如图1-25所示的杆件体系,ABC可看成为构件I,地基看成构件II,根据法则一知,构件I和II之间只需用连杆1、2、3连接即组成几何不变体系,连杆4则可看成在构件ABC与地基组成几何不变体系后所加上的,因此,原体系仍是几何不变的。但是它与前面分析过的几何不变体系有一个本质区别:图1-25所示的杆件体系,其连杆数比组成几何不变体系所需的连杆数多,这类杆件体系的几何组成分析,将在第三章中详细介绍。

练习

一、复习与思考

本节要求掌握结构组成的两个基本法则,即两构件三连杆法则和三构件六连杆法则,并正确领会和应用以下概念,用以分析问题。

- 1.什么是实铰、虚铰、无穷远铰?
- 2.什么是复铰?如何将复铰化为单铰数,为什么?
- 3.何谓构件,何谓连杆?
- 4.什么是自由结点?
- 5.二元体有什么特点?
- 6.瞬变体系的特点是什么?为什么不用它作结构?

二、分析与比较

下面有若干组相似的结构,试分析图1-26~图1-30所示的几何组成并加以比较。

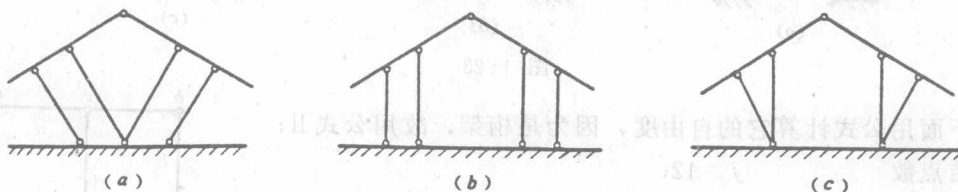


图 1-26

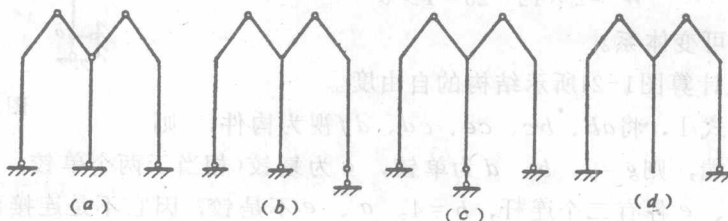


图 1-27