

高等学校教材

结构力学与钢结构

葛洲坝水电工程学院 宋君亮 主编

水利电力出版社

前 言

按照1982年高等学校水利水电类专业教材编审委员会提出的1983~1987年教材出版规划, 委托武汉水利电力学院、华北水利电力学院、葛洲坝水电工程学院三院负责为工程机械专业编写《结构力学与钢结构》教材。

本教材共68学时, 将结构力学与钢结构分成两篇编写。根据少而精的原则, 本教材着重介绍工程机械专业所必须掌握的杆件结构的计算理论与设计方法、钢材的基本性能、钢结构的连接方法和钢结构基本构件(梁、柱和桁架)的设计原理与设计方法。

迄今, 我国还没有供工程机械钢结构的设计规范, 在编写本教材时, 主要参考工业与民用建筑《钢结构设计规范》TJ17-74、新编《起重机设计规范》GB3811-83、起重机设计手册、钢结构设计手册和国外起重机钢结构设计规范等。对于上述规范与设计手册中所提出的钢结构的计算理论与设计方法, 本教材按兼容并蓄的原则, 吸收其合理与适用的部分, 以满足教学大纲的需要。

本书由葛洲坝水电工程学院宋君亮主编。参加编写的人员有武汉水利电力学院方山峰(第八章), 华北水利电力学院王素云(第二、五、十二章), 葛洲坝水电学院施骏帮(第三、四章部分内容), 宋君亮(绪论、第一、三、四、六、七、九、十、十一章)等同志。

全书由武汉水利电力学院刘孟穆主审。

由于编者水平所限, 对工程机械专业的结构力学与钢结构课程的教学经验不足, 书中难免存在缺点或错误, 请读者批评指正。

本书在编写过程中, 得到哈尔滨建筑工程学院顾迪民同志的帮助, 在此表示感谢。

编 者

1984年9月

内 容 提 要

全书分两部分十二章。结构力学部分的内容有：结构的几何分析、在移动荷载作用下结构的内力计算、静定结构与超静定结构的计算原理与计算方法；钢结构部分的内容有：钢材的力学性能、焊接连接与螺栓连接、钢梁、柱与钢桁架的设计理论与计算方法，书中还介绍了新编起重机设计规范中有关钢结构的新的计算理论。

该书体现了少而精的原则，着重概念的阐述，避免了繁琐的数学推导，文字简练，内容新颖，深入浅出。书中引用不少工程设计实例，富有启发性。

本书主要供高等学校工程机械专业教学用书，亦可供起重运输、建筑工程、国防工程等部门从事设计、施工及制造的工程技术人员参考，还可作为职工大学有关专业的教学参考书。

目 录

前言	
绪论	1
第一部分 结构力学	6
第一章 平面体系的几何组成分析及结构的计算简图	6
第一节 平面体系的类别及自由度	6
第二节 几何不变体系的组成规律	7
第三节 结构的节点、支座及计算简图	11
第四节 静定结构与超静定结构	15
第二章 静定平面结构的内力计算	18
第一节 静定平面结构的分类	18
第二节 静定平面桁架	19
第三节 静定平面刚架	28
第四节 结构在移动荷载作用下的计算	33
第三章 静定结构的位移计算	48
第一节 概述	48
第二节 变形杆系的虚功原理	48
第三节 静定结构位移计算的一般公式	54
第四节 图乘法	60
第五节 弹性结构的几个互等定理	64
第四章 方法	69
第一节 结构的超静定次数	69
第二节 力法原理及力法方程	70
第三节 其它因素作用下超静定结构的计算	78
第四节 超静定结构计算的简化	81
第五节 超静定结构位移的计算和力法计算的校核	86
第五章 弯矩分配法	91
第一节 弯矩分配法的基本概念	91
第二节 弯矩分配法的计算	99
第三节 弯矩分配法的简化	110
第二部分 钢结构	116
第六章 钢结构概述	116
第一节 钢材的主要性能	116
第二节 钢材的类别及其选择	122
第三节 作用在钢结构上的荷载及其组合	125
第四节 计算方法	127

第七章	连接	131
第一节	连接的类型	131
第二节	焊接连接	131
第三节	高强度螺栓连接	149
第八章	梁	157
第一节	概述	157
第二节	梁的强度	157
第三节	梁的整体稳定	159
第四节	梁的局部稳定	167
第五节	梁的设计	179
第九章	钢压杆的稳定计算	198
第一节	概述	198
第二节	实腹式轴心压杆的稳定计算	200
第三节	格构式轴心压杆的稳定计算	203
第四节	变截面轴心压杆的稳定计算	208
第五节	偏心压杆的稳定计算	211
第十章	轴心受力构件的设计	227
第一节	轴心受拉构件的设计	227
第二节	实腹式轴心受压构件的设计	229
第三节	格构式轴心受压构件的设计	235
第十一章	偏心受力构件的设计	244
第一节	实腹式偏心受力构件的设计	244
第二节	格构式偏心受压构件的设计	250
第十二章	桁架的设计	265
第一节	桁架的应用和基本参数	265
第二节	桁架杆件的计算长度和容许长细比	268
第三节	桁架杆件的截面选择	271
第四节	桁架节点设计	276
第五节	桁架计算实例	283
附录	型钢截面特性表	294

绪 论

一、结构力学与钢结构的研究对象

由若干构件按一定规则组成，并用来支承荷载、传递荷载起着骨架作用的部分或整体，称为结构。

工程机械中用来支承机器设备和电气设备的骨架，主要由钢材制做。图 0-1 所示的塔式起重机的塔身，是用钢板卷制焊接而成。塔身支承着上部的回转机构、起升机构和臂架等部件。水电工程中广泛使用的推土机机械装置，如推土刀和起落架全部由钢材制做（推土刀与起落架构成几何不变的骨架体系），执行推土的工作任务。又如挖掘机的动臂、斗柄等机构，在挖掘土石方的过程中，受到土壤的阻力很大，因此必须用钢材来制做。

塔式起重机的塔身与臂架，推土机及挖掘机的机械装置，龙门起重机的门架等，都属于钢结构。

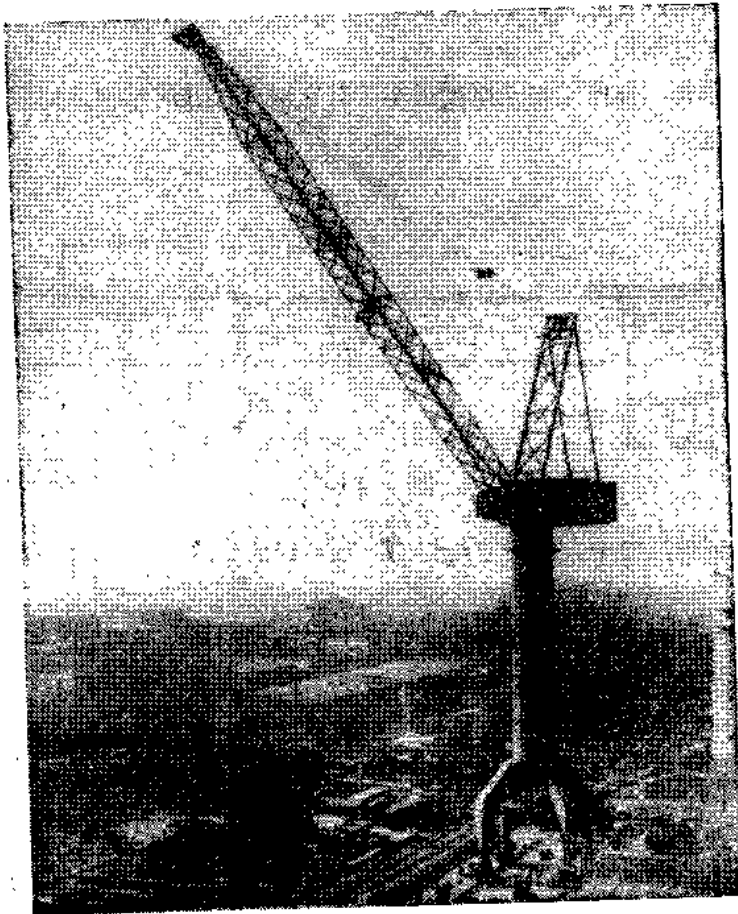


图 0-1

“钢结构”还是一门学科的名称，即工程结构中按材料划分出来的一门学科。它是建立在建筑材料、材料力学、结构力学及弹性理论等有关基础知识上。在谈到结构力学与钢结构的研究对象这一问题时，把“钢结构”这一词汇作为学科的名称对待。

结构力学研究的内容侧重于结构整体的力学分析计算，它主要包括以下两方面的内容：

- 1) 结构的组成规律及其力学性能；
- 2) 研究结构在荷载、温度变化等因素作用下的强度、刚度和稳定性原理与计算方法。

钢结构研究的内容侧重于组成结构构件的力学分析与计算，研究构件的受力性能和现实中的构件应该如何设计与制造，以及怎样合理地连接成为结构物。钢结构计算中的一些公式除了理论推导外，还要通过大量的实验才能得到。因此，这门学科十分重视科学实验和生产实践的经验。

二、结构的分类

按照构件几何尺寸关系，结构可以分为三类：

(1) 杆件结构：杆件的基本特征是它的长度远大于它的宽度和厚度。杆件按照一定的规律组成几何不变结构，称为杆件结构。

(2) 薄壁结构：薄壁结构是厚度远小于其它两个尺寸的结构，如盛液体的金属容器等就属于薄壁结构。

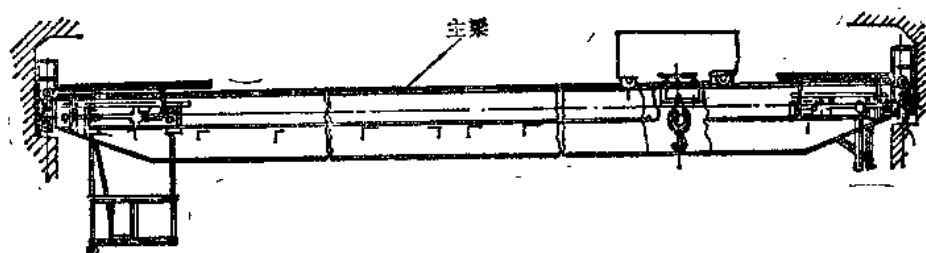


图 0-2

(3) 实体结构：三个方向尺寸约为同一数量级的结构，如水坝、基础等均属于实体结构。

按照杆件在空间的关系，杆件结构又可分为平面结构和空间结构。杆件的轴线和所受外力都在同一平面内的结构称为平面结构；反之，杆件轴线或外力若不在同一平面内，则属空间结构。平面结构在实际中很少见到，机械钢结构严格地说都是空间结构。在计算时常可根据结构的具体构造、受力特征和几何特性等因素将空间结构简化为平面结构，以使计算简化。不过，并非所有的空间结构都可简化为平面结构，有些是必须按空间结构来计算的。

根据外力对结构所产生的内力与位移的关系，结构还可分为线性弹性结构与非线性结构。如果材料符合虎克定律，结构的位移与荷载之间为线性关系，则该结构为线性弹性结

构。否则，结构为非线性结构。

按照计算方法的特点，结构又分为静定结构与超静定结构。这两类结构的定义，以后我们还要做详细的介绍。

本书只研究线性弹性平面杆件结构。

平面杆件结构主要有以下几种：

(1) 梁：梁是一种受弯杆件，可以是单跨或多跨梁。图 0-2 所示的桥式起重机的主梁，承受小车轮传给它的荷载。

(2) 柱：柱是一种轴心受压或偏心受压杆件。图 0-1 所示的塔式起重机的塔身就是偏心受压柱。

(3) 刚架：刚架一般由杆件组成，其连接点多为刚节点，各杆承受弯矩、轴向力或剪力。图 0-3 为单梁起重机的门架，它是由杆件（即横梁与立柱）组成

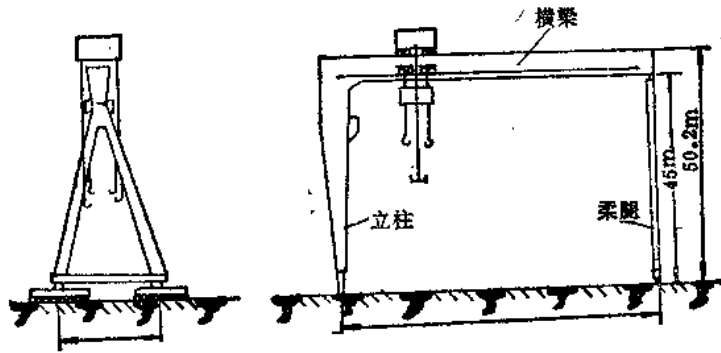
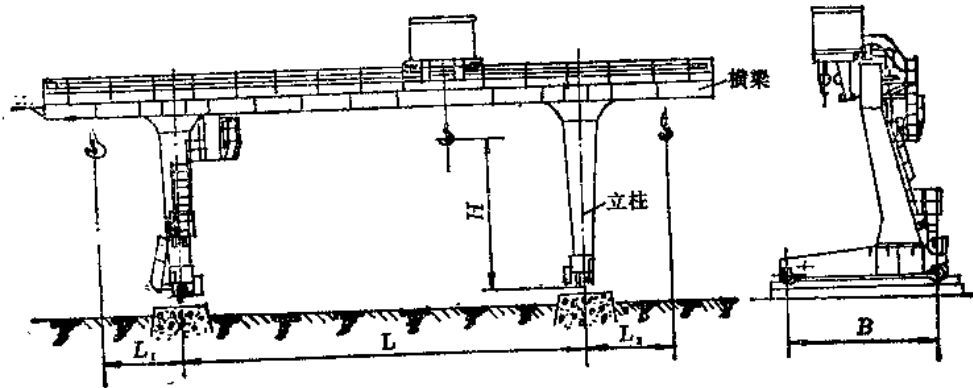


图 0-3

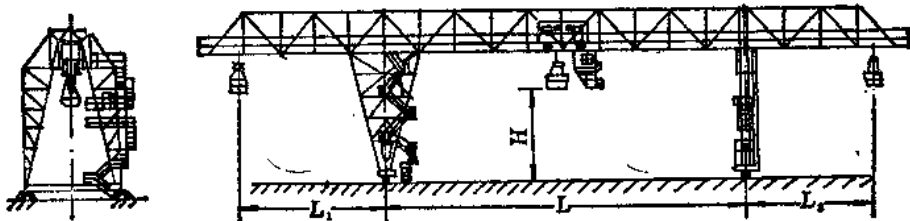


图 0-4

(4) 桁架：桁架由直杆按照一定的几何规律组成，各节点视为铰节点，各杆承受轴向力，如图0-4所示为桁架式装卸桥。

(5) 组合结构：组合结构是由桁架、梁或刚架组合在一起所形成的结构，如图0-5所示。

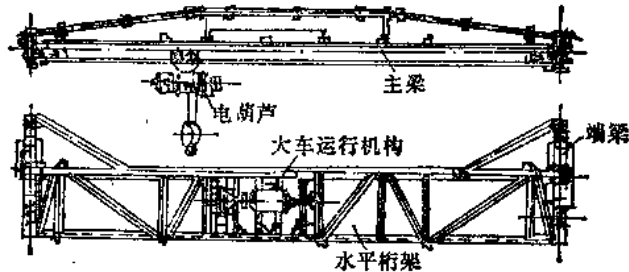


图 0-5

三、钢结构的优点

(1) 钢材的强度高、机械性能好，故钢构件所需截面较小，自重轻，便于运输和安装。

(2) 钢材是一种理想的弹塑性材料，可靠性较高。其内部组织接近于匀质和各向同性体，故钢材性能比较符合一般变形体固体力学对材料性能所做的假定，根据理论计算求得的应力与实际测量的应力十分接近。

(3) 钢材有良好的塑性。一般情况下，因强度不足，而破坏时会发生较大的塑性变形。因此，在结构超载时会出现破坏的前兆。从而人们可根据结构过大的变形，迅速采取补救措施，避免出现重大事故。

(4) 钢结构构件大多为轧制型材，如工字钢、槽钢、角钢及钢管等，可直接用来加工成结构物，如起重机桁架、塔式起重机臂架等。钢材有良好的塑性和韧性，便于加工制作。在现代化的金属结构厂内，利用机械加工钢结构，能够提高生产效率、减轻人们的劳动强度。

(5) 钢结构安装比较方便、迅速，可将工厂加工好的构件运到施工场地，在工地拼装。安装时可采用焊接、螺栓连接或铆接等方法将构件拼为整体。使用螺栓连接的钢结构还便于拆迁。

钢结构也存在一些缺点：钢材易于锈蚀，尤其在潮湿和高温条件下，需要注意维护，钢材耐火性比较差，重要的结构必须采取防火措施。

四、结构力学与钢结构的发展

结构力学的发展，是从艺术到科学的过程。这个过程可以追溯到我国古代，万里长城、宫殿、都江堰水工建筑都可称为艺术创造，在它们的艺术之中蕴藏着很多科学原理，所以成为宏伟的建筑物。但是那个时代建筑物都是依靠人们的经验建造的。建筑这些宏伟的建

筑物时，所使用的起重运输工具虽然比较简陋，但它采用的杠杆和滑轮等机构的原理，仍然为当代的起重机所采用。它支承起重工具的木结构孕育了现代工程起重机的钢结构。

来自生产建设方面的需要使杆系结构力学得到发展。一百多年以前（1850~1875年），初次出现了结构分析理论，那时研究对象主要是桁架结构，用的是力法，计算工作相当繁重。1920年左右，产生了变位法，到了1930年左右，出现弯矩分配法和各种派生的近似算法，使手算工作量有了减少。到了五十年代中期，由于电子计算机的出现，大大推动了结构力学的发展，结构分析广泛地采用了矩阵数学和有限元方法，从计算杆系力学演化到连续体的有限元方法，使原来用古典力学理论难以求解或无法计算的问题，得到比较满意的解决。在电子计算机上使用矩阵位移法求解杆系结构、壳体结构及实体结构内力的计算机程序已经广泛地用于生产实践。这种程序能够计算线性结构的静力和动力问题，能够计算几何形状十分复杂的结构，可用于机械、动力、土建、水利、矿山、宇航等工程结构的设计，使得在过去用手算需要数百人算上几十年，甚至上百年的计算工作，在几小时乃至几分钟内就完成了。

目前，结构力学已经在结构优化设计的领域内得到发展，因为人们希望耗用最小的材料获得最大的经济效益。1978年在全国科学规划中把结构优化设计列为计算力学研究中的重要项目，学术界对优化的研究十分活跃，已经取得了一批重要的成果，如钢结构方面，有空间网架屋盖、框架、预应力桁架的优化设计等。在我国以及国外如西德、美国等国家陆续编制了桥式起重机主梁的优化设计程序，起重机吊臂的优化设计程序在国外某厂的生产实践中取得了很好的效果，不仅增加了额定起重量，而且节约了10%以上的钢材。

随着农业、工业、国防和科学技术现代化的进展，我国钢的产量不断提高，钢材品种日益增加，钢结构的应用愈益广泛，通过生产实践与科学实验，人们积累了丰富的经验，加之力学的发展，都为钢结构理论的发展提供了坚实的基础。近几年来，我国科学工作者对钢结构进行了大量的研究和实验，在此基础上，全国钢结构标准技术委员会着手编制新的钢结构设计规范。新规范的颁布，将使我国钢结构设计水平得到进一步提高。另外，我国目前已经制订了起重机设计规范，它反映了我国钢结构研究的新成果，为起重机钢结构设计提供了新的理论和计算方法。

在钢结构的领域内应进一步研究的内容有：

- 1) 改革结构形式，使新型结构能更好地发挥钢材的性能；
- 2) 加强对现有钢材和新材料性能的研究，提高钢材的疲劳强度和抗脆断的能力；
- 3) 研究新的设计方法，如钢结构的预应力设计、极限状态设计、优化设计等；
- 4) 研究机器结构的标准化与系列化，以加快设计进度，提高机械结构的生产效率；
- 5) 研究构件的连接方式和连接方法，如焊接连接和高强度螺栓连接的工艺，以及提高这些连接质量的措施。

本书仅介绍平面杆系结构的基本理论与计算方法，研究钢材的基本性能、基本构件的设计方法及其连接方式。掌握这些基本内容为从事钢结构的设计工作打下初步的基础，对于今后进一步学习和研究新的理论与计算方法也是十分必要的。

第一部分 结 构 力 学

第一章 平面体系的几何组成分析及结构的计算简图

第一节 平面体系的类别及自由度

在水电工程或其它建筑工程中使用的挖掘机、铲土运输机、推土机、装载机以及起重机等工程机械，它们的动力装置和运行操作机构都是安装在起骨架作用的钢结构上，这就要求结构能够承受机器的自重和机器工作时传给它的各种荷载。因此，结构必须坚固，并能保持其几何形状不发生明显的变化。而要做到这一点，就需要对结构的几何组成进行分析，了解结构保持几何不变的组成规律，以便安全、合理地进行机械钢结构的设计。我们仅研究平面结构的几何组成关系，为了研究上的方便，将具体的结构抽象为平面几何体系。

一、平面体系的类别

体系受到任意荷载作用后，材料产生应变，体系随之发生变形。由于实际上使用的结构，为了安全地工作，不允许材料发生明显的变形，例如对于直接承受动力荷载的钢结构，则限制其材料的变形在钢材的弹性变形范围内。因此，在研究体系的几何可变性时，我们忽略体系因材料应变而产生的微小变形。于是可将平面体系分为两类：

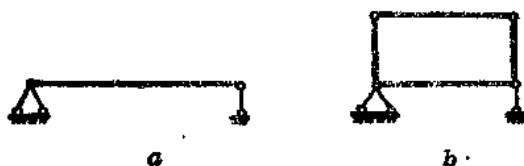


图 1-1

(1) 几何不变体系：当忽略材料应变引起的体系变形时，体系的形状和位置没有发生变化。

(2) 几何可变体系：当忽略材料应变引起的体系变形时，体系的形状和位置是可以改变的。

图1-1a中的简支梁为几何不变体系；图1-1b中的四连杆机构为几何可变体系。显然，几何可变体系是不能作为结构来承受荷载的。

二、平面体系的自由度

体系的自由度是指体系可以自由变位的独立变量数。平面内的一个动点，有两种独立运动方式，因此它有两个自由度。平面内的一个刚片，它有3种独立运动方式，因此它有3个自由度。如图1-2a所示，刚片可在水平方向产生位移 u ，在竖直方向产生位移 v ，还有可能转动一个 θ 角。

平面内的两个刚片，共有6种独立运动方式，因此它们共有6个自由度。如果用一个

铰将它们铰接在一起，如图1-2 b 所示，这两个连在一起的刚片只剩下4个自由度： u 、 v 、 θ_1 、 θ_2 。

若将3个刚片用一个铰连在一起（图1-2 c），则原来的9个自由度只剩下5个： u 、 v 、 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 。

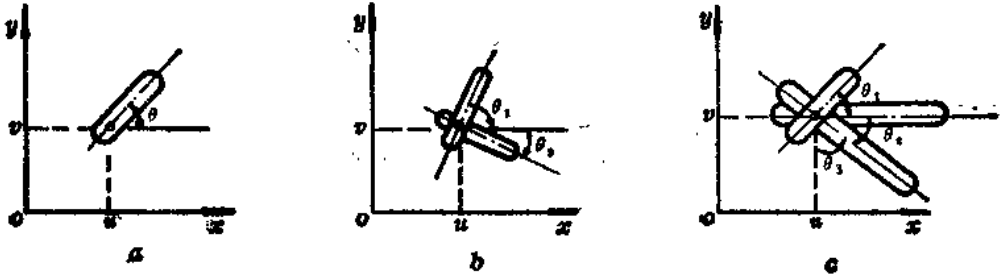


图 1-2

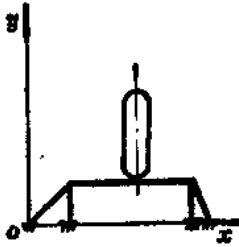


图 1-3

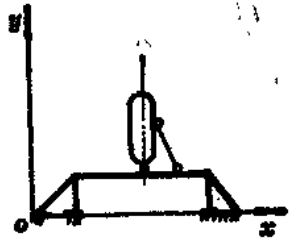


图 1-4

若将一个刚片刚性地固接在机架上（图 1-3），则刚片的自由度为零。若用 1 个铰和 1 根连杆将刚片连接在机架上（图 1-4），刚片的自由度仍然为零。

从上面讨论可知，欲使体系成为几何不变体系，就得限制体系的运动，可通过施加链杆、铰、刚性连接等约束限制体系的运动，在结构力学中又将约束称为联系。

1 根链杆相当于 1 个约束或 1 个联系，能够减少体系的 1 个自由度；

1 个连接两个刚片的铰称为单铰（图 1-2 b），它相当于 2 个约束或 2 个联系，能够减少体系的两个自由度；

1 个连接 3 个或 3 个以上刚片的铰称为复铰（图 1-2 c），1 个连接 n 个刚片的复铰，相当 $(n-1)$ 个单铰的作用，能够减少体系 $2(n-1)$ 个自由度；

1 个刚性联系相当于 3 个约束（图 1-3），它能减少体系的 3 个自由度。

如果取消这些联系，体系的自由度有可能得到恢复。

第二节 几何不变体系的组成规律

由上节讨论可知，欲使体系成为几何不变体系，需要在体系上施加联系。适当的布置联系，可使每一个联系起到减少体系自由度的效果。如果不适当的布置联系，有可能使得

某些联系失去约束的作用，不能减少体系的自由度，对于这种联系称为多余联系。下面介绍的3个几何组成规律，能够使得每一个联系都能起到与该联系性质相应的作用，使体系减少自由度的数目与该联系的约束数目相同；因而按下述的3个几何组成规律组成的体系，属于无多余联系的体系。

规律1：两个刚片用不交于一点也不全平行的3根链杆连接的体系是几何不变体系。

图1-5a中的刚片1和2用两根互不平行的链杆 ab 、 cd 连接。假若刚片1不动，使刚片2移动，则刚片2上的 b 点及 c 点可发生位移，位移分别垂直 ab 和 cd 。故刚片2可绕着 ab 、 cd 两链杆延长线的交点 o 发生转动。若刚片2不动，刚片1也同样会绕着 o 点转动。 o 点称为相对转动瞬心。两个刚片绕 o 点转动，就好像在 o 点有一个铰将刚片铰接在一起，这种想像中的铰称为虚铰。为了使两刚片组成几何不变体系，只需再增加一根不通过 o 点的链杆 ef （图1-5b）。这3根链杆都起到了减少体系自由度的作用，故该几何不变体系没有多余联系。

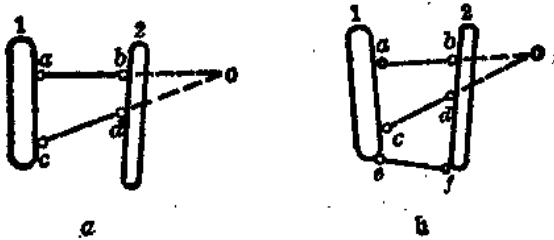


图 1-5

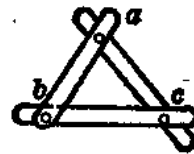


图 1-6

规律2：3个刚片用不在同一直线上的3个铰两两相连，该体系为几何不变体系。

图1-6所示的3个铰 a 、 b 、 c 不在一条直线上，3个铰的连线 ab 、 bc 、 ca 构成一个三角形，因为三角形的三个边长已经确定，所以组成的三角形是唯一的，3个刚片相对位置也就固定不变了。

由于一个单铰相当于相交的两个链杆，都能减少体系的两个自由度，因此图1-6中的3个铰用两两相交的链杆代替，所组成的体系仍属无多余联系的几何不变体系（图1-7）。

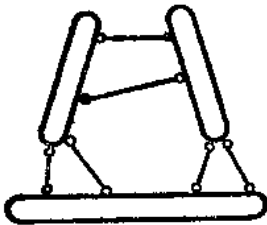


图 1-7

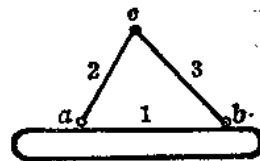


图 1-8

规律3：用不在一直线上的两链杆将一节点与一刚片连接，该体系为几何不变体系。

图1-8所示刚片1用链杆2及3将节点 c 连接，因为 a 、 b 、 c 3个铰不在一条直线

上，所以体系为几何不变体系。如果用 3 根链杆将节点 c 连接在刚片 1 上，则整个体系就有一个多余联系。

如果不严格按上述 3 个规律布置联系，有可能产生瞬变体系或几何可变体系。

例如将 3 根互相平行的不等长的链杆连接两个刚片（图 1-9），两个刚片便可沿着与链杆垂直的方向平移，移动微小的距离之后，这 3 根链杆不再平行，移动因而停止，体系成为几何不变体系。若两刚片用 3 根相交于一点的链杆连接，体系可绕交点 O 转动微小的角度（图 1-10），这时 3 根链杆不再交于一点，体系停止转动，成为几何不变体系。这种经过微小的几何变形而达到几何不变的体系称为瞬变体系。瞬变体系不能作为结构承受荷载。

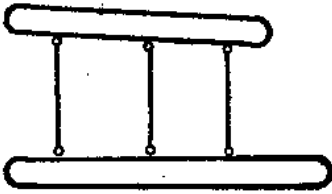


图 1-9

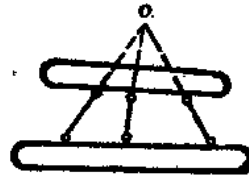


图 1-10

图 1-11 所示的 3 个刚片用位于一条直线上的铰相连，铰 c 位于刚片 ac 、 bc 为半径的两个圆弧的公切线上， c 点可沿切线作微小移动，这种体系属于瞬变体系。设外力 P 作用在铰 c 处，铰 c 移至 c' ，由静力平衡条件可得杆端作用力 N 为：

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

当 θ 为无穷小量，杆端作用力将趋于无穷大，使杆件的变形增加，导致 c 点向下移到新的几何位置。若杆的应力未超过材料的极限值，体系在新的位置下处于平衡；若杆的应力超过材料的极限值，体系便遭破坏，由此可知瞬变体系不能作为工程结构的原因了。

由以上讨论可知，由构件组成工程结构，必须对结构体系进行几何组成分析。现实中的结构虽然千差万别，进行几何组成分析时所用到的基本规律只有三个，下面通过例题介绍具体的分析方法。

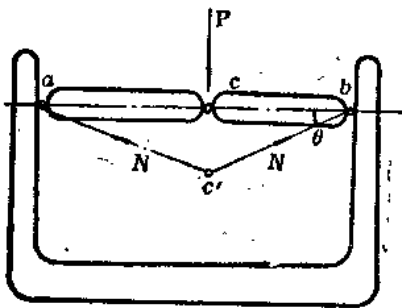


图 1-11

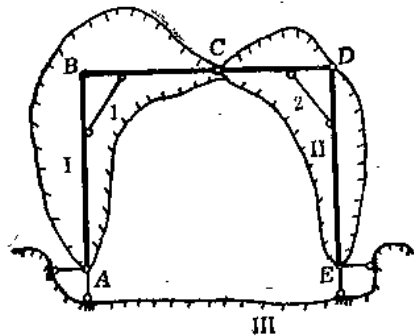


图 1-12

【例题 1-1】 试对图 1-12 所示体系作几何组成分析。

解 按规律 2 将 AB 、 BC 及杆 1 作为一个几何不变体系，视该体系为刚片 I。同理将 CD 、 DE 及杆 2

作为刚片II，基础作为刚片III，这3个刚片相互以不在一条直线上的铰A、C、E两两相连，因此是一个无多余联系的几何不变体系。

【例题 1-2】 试对图1-13所示体系作几何组成分析。

解 杆1、2及杆3用不在一条直线上的铰A、B及C连接成刚片I，节点D看作由杆6及杆7连接在基础上的节点，故可将它与基础视为刚片II。刚片I及刚片II之间只有两根链杆4、5相连，故整个体系为几何可变体系。

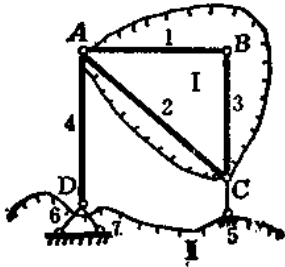


图 1-13

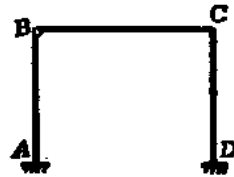


图 1-14

【例题 1-3】 试对图1-14所示体系作几何组成分析。

解 BA与BCD均与基础刚性相连，构成几何不变体系。就构成几何不变体系而言，铰B已属多余。试想去掉铰B，整个体系仍属几何不变体系。故图1-14所示体系为具有两个多余联系的几何不变体系。

【例题 1-4】 试对图1-15所示桁架作几何组成分析。

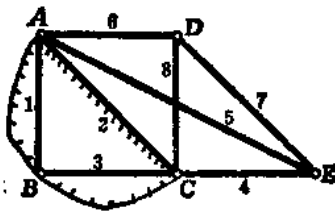


图 1-15

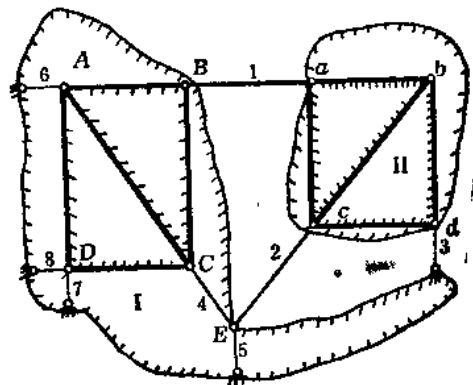


图 1-16

解 杆1、2及杆3构成几何不变的基本三角形，按规律3，可将节点E看作由杆4及杆5连接于刚片ABC上。而节点D却用3根链杆（6、7、8）连接在刚片ABE上，故体系为具有一个多余联系的几何不变体系。

【例题 1-5】 试对图1-16所示体系作几何组成分析。

解 两个互相连接的三角形ABC与ACD构成几何不变体系，该体系与基础之间用不交于一点也不两两平行的3根链杆6、7、8相连。节点E用杆4及杆5连接在ABCD及基础构成的几何不变体系上，将这个体系视为刚片I。另将三角形abc与bcd视为刚片II。刚片I及刚片II之间用3根相交于一点的杆1、2及杆3连接，故整个体系为瞬变体系。

第三节 结构的节点、支座及计算简图

杆系结构是由杆件、连接杆件的节点及支座组成。支座的作用是将机器与机架连接在一起，或将机架连接在基础上。

一、节点的种类

钢结构各杆之间的节点，实际上是以焊接、铰接、铆接或螺栓连接等方式形成的。图 1-17 表示这几种连接的具体构造。这些连接方式中，除了铰接节点能够易于转动外，其它几种都不能使连接在节点处的各杆件自由转动。

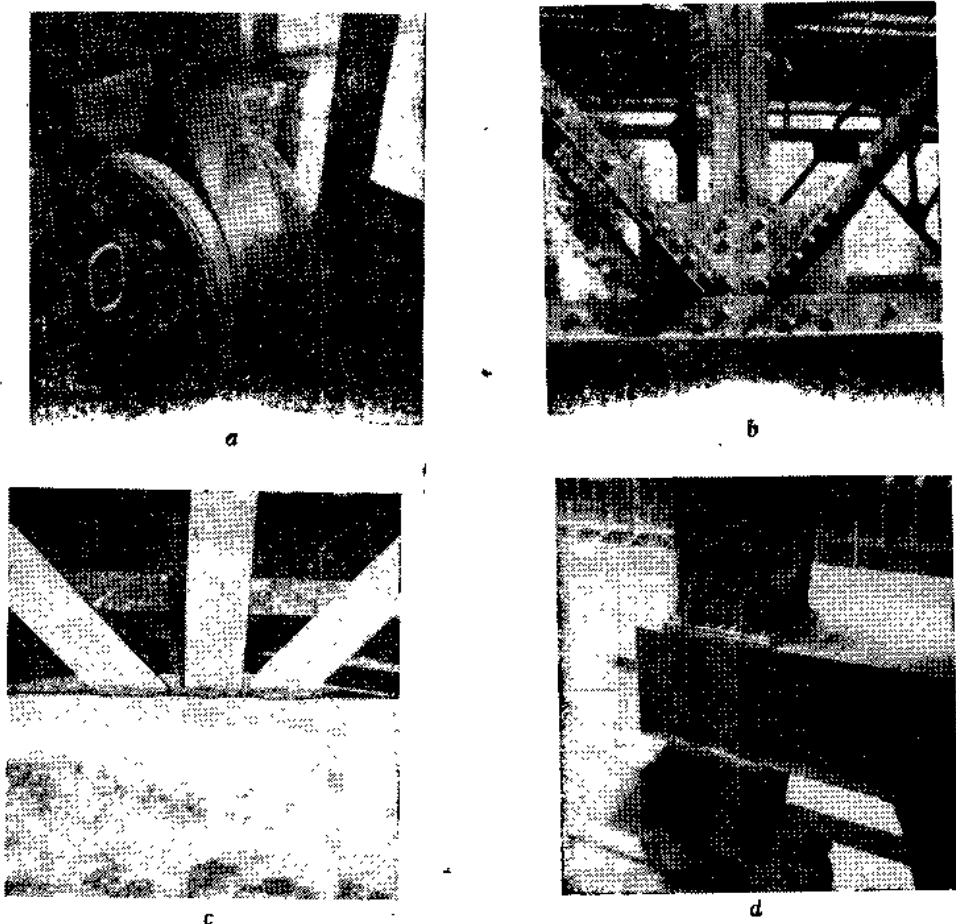


图 1-17

a—铰接，b—铆接，c—焊接，d—螺栓连接

在结构力学中，为了便于分析各杆的应力，将现实中的节点理想化，即将节点分为铰节点与刚节点两类。铰节点不传递弯矩，用铰节点相连的杆件，杆端只有轴向变形及剪切变形。也就是说杆端只有轴向力和剪力。刚节点既传递轴向力、剪力，还传递弯矩。以刚节点连接的杆件，杆端可能受到轴向力、剪力和弯矩的作用。连接于刚节点的各杆端切线

的夹角在构件变形时保持不变。将实际上的节点抽象为铰节点或刚节点，视具体情况而定，主要考虑以下几种因素：

1. 必须保持结构的几何不变性

图1-18a所示的结构为带有挠性支腿的门式起重机的门架计算简图， AB 为挠性支腿， C 为刚节点， B 为铰节点。该结构为几何不变体系。若将 C 节点简化为铰节点，该结构成为几何可变体系（图1-18b），因而也不能承受任何荷载了。

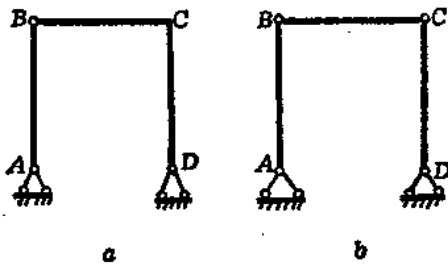


图 1-18

2. 比较真实地反映节点的工作状态

现实结构中的节点，因为形成节点的材料具有弹性变形的能力，绝对刚性的节点是不存在的；又因为现实中的铰节点，在轴承内的柱销与轴承的表面之间存在着摩擦力，绝对自由转动的铰是不存在的。真实的节点介于绝对刚性连接与理想铰接之间，我们主要依据连接比较接近刚性或比较接近铰接而有条件地将节点简化为刚性节点或铰节点。

如图1-19a所示的梁，以其两端下部异缘与刚度较大的柱焊接。在荷载作用下，实测资料表明，梁的两端会有明显的转动，故可将节点视为铰节点（图1-19b）；同样的梁与柱，若将整个梁的端面与柱焊接，再用肋板加强（图1-20a），实测资料表明，在荷载作用下，梁与柱之间的夹角变化很微小，故可作为刚节点（图1-20b）。梁与柱连接的约束情况还与两者的刚度比有关，若柱的刚度远大于梁的刚度，可将连接作为铰节点处理。

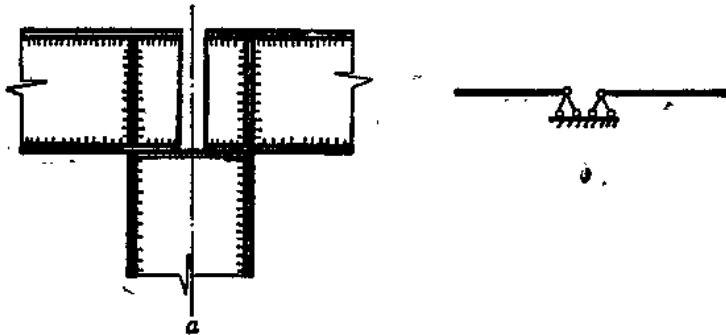


图 1-19

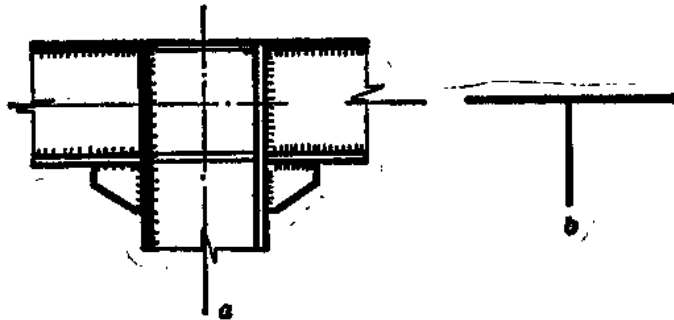


图 1-20