

高等工业专科学校交流讲义

结 构 力 学

(土建类专业用)

南京交通专科学校编

江苏人民出版社

高等工业专科学校交流讲义

结 构 力 学

（土建类专业用）

南京交通专科学校編

江苏人民出版社

內 容 提 要

本书内容包括靜定結構学、彈性結構的变位和超靜定結構学等部分。靜定結構学部分介紹多跨靜定梁、三鉸拱、靜定剛架和靜定桁架的計算原理，并将影响綫的基本原理和靜定結構各种影响綫的繪制专立一章。彈性結構的变位主要介紹以功能原理为基础的計算变位的一般性公式，超靜定結構学部分介紹了力法、变位法、弯矩分配法和近似計算法，分析对象包括剛架、桁架、混合結構、連續梁和拱等。

本书可作为高等工业专科学校土建类专业的通用教材，教学时数为100左右。

高等工业专科学校交流讲义

結 构 力 学

(土建类专业用)

南京交通专科学校編

*

江苏省书刊出版营业許可証出〇〇一〇号

江 苏 人 民 出 版 社 出 版

南 京 湖 南 路 十 三 号

江苏省新华书店发行 江苏新华印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印張 23 1/2 字数 532,000

一九六一年八月第一版

一九六一年八月南京第一次印刷

印数 1—2,500

序 言

一九六〇年十一月，扬州工专、淮阴工专和南京交专等三校在华东水利学院的指导下，为江苏省工业性质专科学校拟订了结构力学教学大纲。本教材就是根据这份大纲编写的。

编写本教材时，在要求适当提高质量的基础上，对目前新建专科学校的具体条件给予了较多的考虑。无论取材、撰述、论证和举例，均力求深入浅出，简明易懂；而且尽可能做到理论联系实际。在不影响教材的系统性和完整性的原则下，对于那些过于繁冗而又缺少实用价值的内容，均未予以编入。另外，结构的稳定计算和动力计算等两部分暂未列入。

本书可作为二三年制专科学校土建类专业的通用教材。教完全书所需学时数为100左右。书中注有★号的章节可根据专业性质和学时多寡酌情删减。

本教材系由我校李世昌同志执笔。初稿完成后，曾经由南京交专主持，华东水院指导，扬州工专、淮阴工专等校教师参加讨论，提供了增删修改意见。

限于编者的水平和编写时间的仓促，谬误之处难免，敬请各兄弟院校指正。

南京交通专科学校1961.4.

目 录

序言	1
第一章 緒論	1
§ 1-1 結構力学的任务	1
§ 1-2 結構力学发展簡史	1
§ 1-3 結構計算簡图	3
§ 1-4 结构的分类	4
§ 1-5 荷载的分类	6
第二章 結構的机动分析	8
§ 2-1 一般概念	8
§ 2-2 结构的自由度	9
§ 2-3 结构的几何組成分析	12
§ 2-4 瞬变結構	14
§ 2-5 零荷载法★	16
§ 2-6 习题	17
第三章 多跨靜定梁	19
§ 3-1 一般概念	19
§ 3-2 多跨靜定梁的数解法	20
§ 3-3 多跨靜定梁的性能	24
§ 3-4 习题	26
第四章 三鉸拱	27
§ 4-1 拱的一般概念	27
§ 4-2 三鉸拱的数解法	29
§ 4-3 三鉸拱的图解法·压力綫	36
§ 4-4 三鉸拱的合理拱軸	41
§ 4-5 习题	44
第五章 靜定剛架	46
§ 5-1 剛架的一般概念	46

§ 5-2 靜定剛架的計算	48
§ 5-3 习题	55
第六章 靜定桁架	57
§ 6-1 桁架的一般概念	57
§ 6-2 桁架的分类	61
§ 6-3 桁架的机动分析	64
§ 6-4 节点法	66
§ 6-5 节点法的图解	70
§ 6-6 截面法	74
§ 6-7 截面法的重复使用	78
§ 6-8 通路法★	80
§ 6-9 代替法★	82
§ 6-10 各类梁式桁架的比較	85
§ 6-11 习题	87
第七章 影响綫的一般理論和靜定結構的影响綫	91
§ 7-1 影响綫的一般概念	91
§ 7-2 繪制影响綫的基本原理	91
§ 7-3 影响綫的性质	101
§ 7-4 多跨靜定梁的影响綫	104
§ 7-5 三鉸拱的影响綫★	107
§ 7-6 靜定桁架的影响綫	110
§ 7-7 利用影响綫决定动荷載的最不利位置	120
§ 7-8 标准荷載制和等代荷載★	126
§ 7-9 簡支梁的絕對最大弯矩	132
§ 7-10 习题	133
第八章 彈性結構的变位	137
§ 8-1 一般概念	137
§ 8-2 实功与位能	138
§ 8-3 虛功	144
§ 8-4 互等定理	146
§ 8-5 計算結構变位的一般性公式	151
§ 8-6 荷載引起的变位的計算	152
§ 8-7 溫度变化引起的变位的計算	164
§ 8-8 支座移动引起的变位的計算	166

§ 8-9 用弹性荷载法计算变位★	167
§ 8-10 习题	175
第九章 超静定结构的一般概念	179
§ 9-1 概述	179
§ 9-2 超静定次数的决定	179
§ 9-3 超静定结构的特性	181
§ 9-4 超静定结构计算方法分类	183
§ 9-5 习题	183
第十章 力法	185
§ 10-1 力法的基本原理	185
§ 10-2 力法的计算示例	188
§ 10-3 温度变化的影响	192
§ 10-4 支座移动的影响	195
§ 10-5 习题	199
第十一章 超静定刚架	202
§ 11-1 一般概念	202
§ 11-2 力法计算简单刚架示例	203
§ 11-3 计算的简化	208
§ 11-4 计算的校核	220
§ 11-5 力法计算复杂刚架示例	222
§ 11-6 习题	228
第十二章 超静定桁架和混合结构	231
§ 12-1 一般概念	231
§ 12-2 超静定桁架的计算	232
§ 12-3 混合结构的计算	237
§ 12-4 习题	242
第十三章 连续梁	243
§ 13-1 一般概念	243
§ 13-2 用三弯矩方程解连续梁	244
§ 13-3 支座下沉和温度变化的影响	252
§ 13-4 用定点法解连续梁	254
§ 13-5 连续梁的影响线	260

§ 13-6 弯矩和剪力的包络图.....	269
§ 13-7 弹性支座上的连续梁★.....	276
§ 13-8 习题.....	277
第十四章 超静定拱.....	279
§ 14-1 一般概念.....	279
§ 14-2 二铰拱的计算原理.....	280
§ 14-3 二铰拱的影响线.....	285
§ 14-4 无铰拱的计算原理.....	287
§ 14-5 无铰拱的影响线★.....	298
§ 14-6 温度变化、混凝土收缩和支座移动对无铰拱的影响★.....	301
§ 14-7 习题.....	303
第十五章 变位法.....	305
§ 15-1 变位法的基本概念以及基本未知量个数的确定.....	305
§ 15-2 变位法的基本结构和典型方程.....	307
§ 15-3 系数和自由项的决定.....	309
§ 15-4 用变位法计算超静定刚架举例.....	312
§ 15-5 用变位法计算温度变化和支座移动的影响★.....	317
§ 15-6 用联合法解对称刚架的概念.....	319
§ 15-7 用混合法计算刚架.....	320
§ 15-8 习题.....	323
第十六章 弯矩分配法.....	325
§ 16-1 弯矩分配法的基本原理.....	325
§ 16-2 弯矩分配法的物理意义.....	327
§ 16-3 用弯矩分配法解无侧移的刚架.....	332
§ 16-4 用弯矩分配法解有侧移的刚架.....	335
§ 16-5 用弯矩分配法解变截面刚架★.....	345
§ 16-6 习题.....	354
第十七章 刚架的近似算法★.....	356
§ 17-1 一般概念.....	356
§ 17-2 竖向荷载作用下的近似算法.....	356
§ 17-3 水平荷载作用下的近似算法.....	360
§ 17-4 习题.....	365
附录 按高斯法解典型方程组.....	367

第一章 緒 論

§ 1-1 結構力学的任务

凡是用建筑材料造成的,并能承受一定外力的物体都可叫做結構。本課程所討論的結構是指可以应用在工程建筑上的,例如梁、拱、桁架等。

任何結構都应滿足經濟与安全的基本要求;即既要材料最省,又要足够的坚固,以保証結構的正常工作和使用。这里所謂坚固,不仅指結構的强度,也包括結構的刚度和稳定性。結構的坚固与材料的优劣多寡是一个矛盾;結構力学的目的在于求得这个矛盾的統一。

結構力学的任务是:

- (一)計算外力和其他原因引起的結構各部分內力(强度計算);
- (二)分析外力和其他原因引起的結構变位(刚度計算);
- (三)研究結構的稳定性(稳定計算);
- (四)探討結構的几何組成法則和性能。

由此可见,結構力学是一門研究各种結構的强度、刚度和稳定性的一般原理和計算方法的技术科学。它与材料力学的区别仅在于后者研究的是个别构件的强度、刚度和稳定性,而前者則是整个結構。因此結構力学可以看作是材料力学的继续;它們为学习一切涉及結構設計和計算的专业課程提供基础,同时也直接服务于各項工程的基本建設。

§ 1-2 結構力学发展簡史

世界上的一切科学都是随生产的发展而发展起来的。結構力学作为一門技术科学当然也不例外。十九世紀以前,人类只有一些簡單結構的計算理論,工程結構多凭經驗建造,因此不得不多費一些材料来求得結構的安全。那时候結構力学并没有成为独立的科学。直到十九世紀前半期,由于資本主义的发展,需要建造各种复杂的、规模巨大的桥梁、厂房、大厦、閘坝等等,因此促使結構計算理論的迅速发展。于是結構力学从一般的力学中脫胎而出,自成一門科学。

鉄路的兴建对結構力学的誕生和发展有着极其重大的意义。为了鉄路要跨越河床寬闊、水深流急的河道,就产生了如何設計和建造长跨桥梁的問題。簡支梁显然已不能敷用,于是迫使人們对桁架和連續梁等結構的計算理論进行研究。第一个建立桥梁桁架計算理論的是著名的俄国工程师 Л. И. 茹拉夫斯基 (1821—1891)。对連續梁的理論,法国工程师克拉裴龙 (1799—1864) 有过重大貢獻——他提出了有名的三弯矩方程。

十九世紀后半期,由于建筑技术的不断改进,結構力学发展很快。考虑到风力和車輛制

动力对长跨桥梁的作用，就必须为空间桁架的分析建立理论。铆接钢结构在厂房建筑中的大量采用，要求为节点的刚性对杆件应力的影响作出估价，于是推动了超静定结构计算理论的发展。鉴于某些铁路桥梁因压杆丧失稳定而破坏的事故，杆件弹性稳定的问题被加以深入的研究。在这个时期中，对结构力学的发展比较有贡献的有：研究桁架计算理论的高劳文（1844—1904）、波洛斯基辽夫（1858—1926）、李特尔，研究杆件弹性稳定的雅兴斯基（1856—1899）、泰脱麦耳，创建弹性结构功能原理的卡斯奇里亚诺（1847—1884）、贝聿（1823—1892），对图解静力学有卓著成就的卡尔曼（1821—1881）、马克斯威尔（1831—1879）以及研究超静定结构一般理论的莫尔（1835—1918）和穆勒—布列斯劳（1851—1925）等人。

十九世纪末出现的新型建筑材料——钢筋混凝土，在本世纪逐渐被广泛地应用于各种工程建筑中。新的建筑材料要求新的结构型式，新的结构型式要求新的结构理论，于是刚架和薄壁结构的计算理论应运而生。研究刚架理论取得辉煌成绩的有苏联学者加辽尔金院士（1871—1945）和拉皮诺维奇教授等。我国蔡方蔭教授在改进刚架的计算方法方面也取得了一定的成绩。对薄壁结构的研究有卓著成就的首推斯大林奖金两次获得者符拉索夫教授。我国著名的学者钱学森在这方面也有所建树。

近年来，结构的动力计算、薄壁结构的稳定问题、结构的弹塑性理论等正作为结构力学中的特殊部分被广泛地研究着。它们标志着二十世纪结构力学的发展方向。这方面的成就，苏联已远远超过资本主义国家，充分反映了社会主义制度无比的优越性。

我们勤劳智慧的祖先对各种工程建筑的实践有着辉煌的成就。无数为子孙造福不浅的、规模宏大的结构物，留传至今，仍然完好无恙。例如举国闻名的河北赵县安济桥，它修建于一千三百多年前的隋朝，系跨长 37.5 公尺的石砌拱桥。此桥拱圈上筑有四座小拱，有利于洪水的渲泄和自重的减轻。这座桥梁可以和十八世纪的英国桥梁媲美。跨越大渡河的西康泸定铁索桥，长达 104 公尺，建于清朝康熙年间。几乎要在半个世纪后，英国才有 15 公尺长的类似的铁索桥。

在水利工程方面，首推四川灌县的都江堰。该堰修建于秦朝，系由竹笼填石筑成。它把岷江分为内外两江，内江灌溉，外江排洪，二千多年来一直发挥着很好的效用。其结构型式至今仍为中外人士所赞赏。其他如纵贯我国南北的运河，长达 1782 公里，贯通了海河、黄河、淮河、长江、钱塘江等五大河流，其规模之宏伟，世上无双。

至于房屋建筑方面，三千多年前我们祖先创造的一种所谓架成结构的建筑体系，别具一格，为欧西各国所不及。多少巍峨壮丽的宫殿塔庙，多少精巧玲瓏的楼台亭榭，在在反映我们祖先的丰硕成就。关于房屋建筑的撰述，也以我国最早。例如二千多年前的周礼“考工记”，宋朝李仲明的“营造法式”等都是有名的著作。特别是后者，它不但是我国关于房屋建筑的经典名著，也是世界上最早而最完备的建筑典籍。

但是，在封建帝王的统治下，劳动人民的智慧并没有得到应有的重视和发挥。社会生产力没有很好的提高，科学也就停滞不前。解放后，在共产党的英明领导下，建设事业突飞猛进，到处欣欣向荣，气象万千。武汉长江大桥长达 1156 公尺，是我国自行设计、制造和安装

的第一座大桥；工程的艰巨为世上少有。該桥的基础工程采用了世界上最先进的管柱钻孔施工法，使整个工程提前两年完成，继武汉长江大桥之后，重庆长江大桥又落成通车，南京长江大桥也开始钻探設計。所謂长江天塹，从此成通途矣！水利建設遍布全国各地，规模宏大的荆江分洪工程的建成，对調节长江水量起了重要作用。在毛主席“一定要把淮河修好”的号召下，淮河上游修起了无数的大小水庫，中下游建造了不少閘坝。著名的有梅山水庫、佛子岭水庫、洪泽湖口的三河閘、运东分水閘等。它們使淮河流域根本改变了“十年倒有九年荒”的面貌。在港口建筑方面，继北方的塘沽新港建成后，南方的湛江港又告完工。其他如上海港等也正在迅速发展中。至于工业与民用建筑的发展更是一日千里。在第一个五年計劃以及第二个五年計劃期間已經兴建起来的工厂、企业、学校、医院、剧场、展覽館等，其中有很多的建筑，都具有规模宏伟、結構新型、材料节省以及施工神速的特点，这里特別值得一提的是首都北京的号称一九五九年十大建筑^①的建設工程，都是型式优美、造价低廉、施工神速、具有独特民族风格的房屋建筑，是值得我們引以自豪的。

§1-3 結構計算簡圖

在进行結構計算的时候，我們总是采用簡化了的图形来代替实际的結構。这种簡化后的图形叫做結構計算簡圖。采用結構計算簡圖的目的，是为了使計算变得简单些。要按結構的真实状况加以精确的計算是很冗繁的，有时甚至是不可能的；而且一般說来，这种过于冗繁的計算常常不一定有实用的价值。

根据結構計算簡圖算得的結果，和結構实际工作状况之間有着一定的差异。为了不使这个差异过大，在拟定結構計算簡圖时應該同时顧到两个方面：

- (一)簡圖必須能反映实际結構的本质，俾使計算結果具有实用的价值。
- (二)簡圖应使計算的工作量得到最大限度的縮減。

有时候，为了适应不同的具体情况，同一結構可以采用几个不同的結構計算簡圖。例如結構在进行初步設計时，可选择較简单的結構計算簡圖；而在最后的定型設計中，則可采用比較复杂的、更符合实际情况的結構計算簡圖。

下面举几个例子來說明如何拟定結構計算簡圖。

图1-1，a示一座公路梁式木桥。桥面板上通过的汽車荷载由横梁传给大梁，再由大梁传给两端的垫梁而达桥台。在实际情况中，由横梁支承的桥面板大多是連續

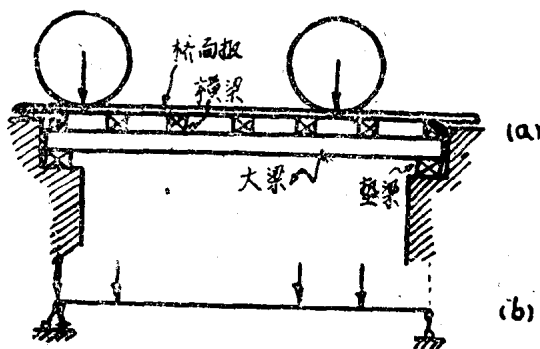
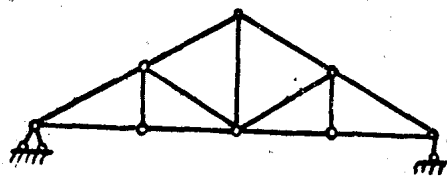
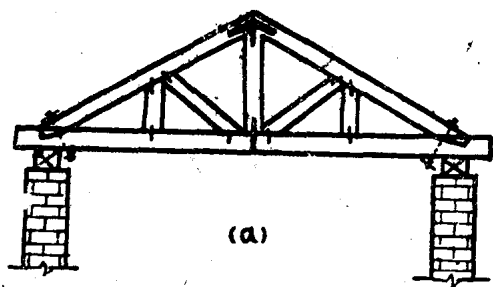


图 1-1

注①十大建筑是：人民大会堂、农业展覽館、中国人民革命軍事博物館、北京車站、民族飯店、华侨大厦、工人体育场、民族文化宮、中国革命博物館和中国历史博物館。

的;大梁与横梁間以及大梁与垫梁間有着一定大小的接触面积,接触面上的压力分布也往往是不十分均匀的。但是为了便于計算大梁的弯矩和剪力,通常作以下的假定:

- (一)桥面板当作簡支于横梁;
- (二)横梁传给大梁的压力当作通过接触面中心的集中力;
- (三)大梁用它的軸綫表示;
- (四)大梁两端的垫梁作为适当的鉸支座。



(b)
图 1-2

根据以上几个假定,可画出大梁的結構計算簡图如图 1-1, *b* 所示。此簡图不但使大梁的計算变得大为方便,而且基本上正确地反映了大梁真实的工作情况。

图 1-2, *a* 是一品简单的桁架(屋架),它的結構計算簡图示于图 1-2, *b*。在这个簡图中,我們作了以下几个簡化:

- (一)軸綫代替桁架的杆件;
- (二)理想的鉸鏈代替杆件的榫槽結合;
- (三)鉸支座代替桁架两端的垫块。

图 1-3, *a* 示一鋼閘門桁架,图 1-3, *b* 就是它的結構計算簡图。

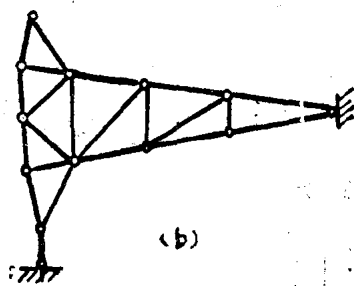
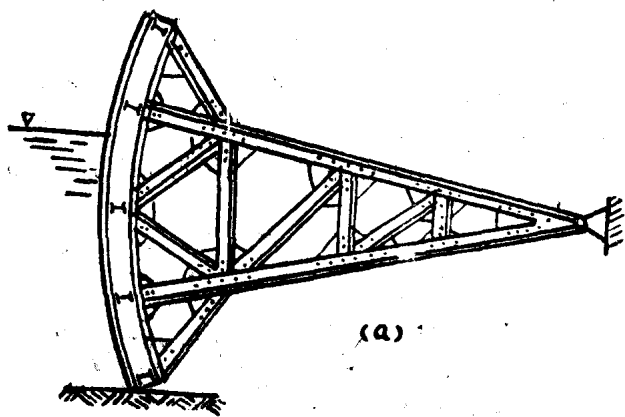


图 1-3

§1-4 结构的分类

根据不同的要求,結構可以有各种不同的分类标准。例如,結構按照用途可分为桥梁結構、房屋結構、水工結構……等;按照建筑材料可分为木結構、鋼結構、鋼筋混凝土結構、砖石結構……等。由于結構力学所討論的是一般性的結構計算原理,往往不受限于結構的用途

和建筑材料,因此,结构的分类总是着眼于与结构计算有密切关系的观点。今分述如下:

(一)根据结构是否能用静力平衡条件求得完满的解答,可分为静定结构和超静定结构两大类。只要用静力平衡方程就可以求出全部反力和内力的叫做静定结构,而超静定结构则必须附加以反映结构变形的补充方程,才能得到完满的解答。

(二)根据几何的观点,结构可分为杆件结构、薄壁结构和实体结构等三类。

杆件结构系由长度远大于截面尺寸的杆件组成。杆件与杆件之间有铰接的,也有刚性联结的。铰接的节点允许杆件作自由的转动,刚性节点则阻止杆件在该点有任何的相对转动。铰接的杆件结构叫做桁架(图1-4, a),刚性联结的杆件结构叫做刚架(图1-4, b 和 c),假若节点既有铰接,又有刚性联结,则这种杆件结构叫做混合结构(图1-4, d 和 e)。

由长度和宽度远大于其厚度的构件组成的结构,叫做薄壁结构。薄壁结构又可以分为平板结构(图1-5, a)、褶皱板结构(图1-5, b)和薄壳结构(图1-5, c)等三种。

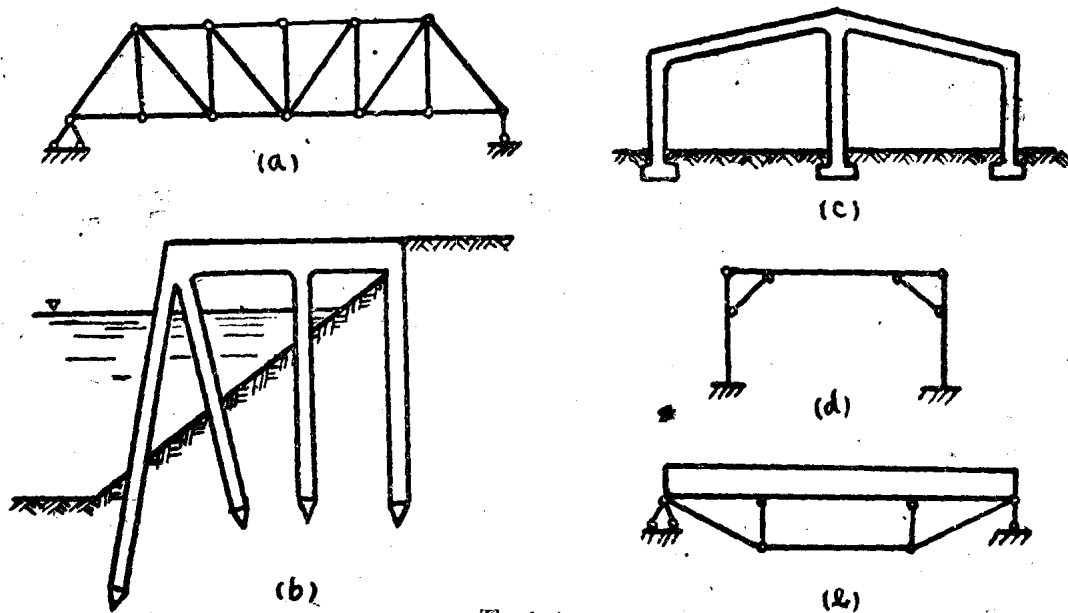


图 1-4

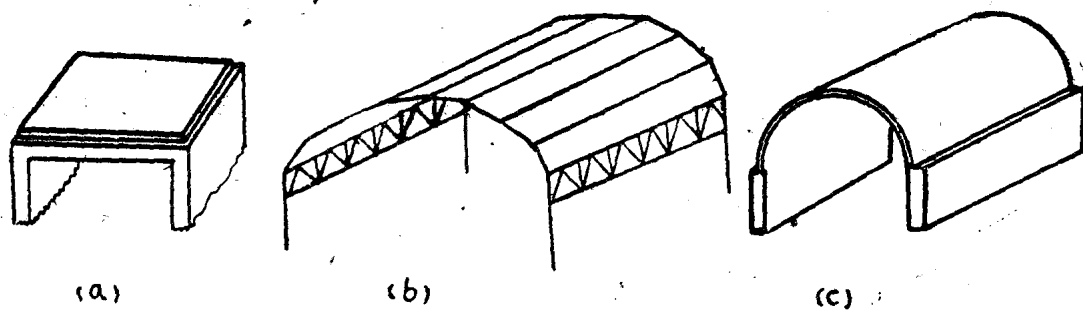


图 1-5

实体結構系由长、宽、厚三个方向的尺度大致属于同一級量的构件組成。例如图 1-6, *a* 所示的挡土牆, 图 1-6, *b* 所示的桥梁墩台和图 1-6, *c* 所示的水坝等都是实体結構。

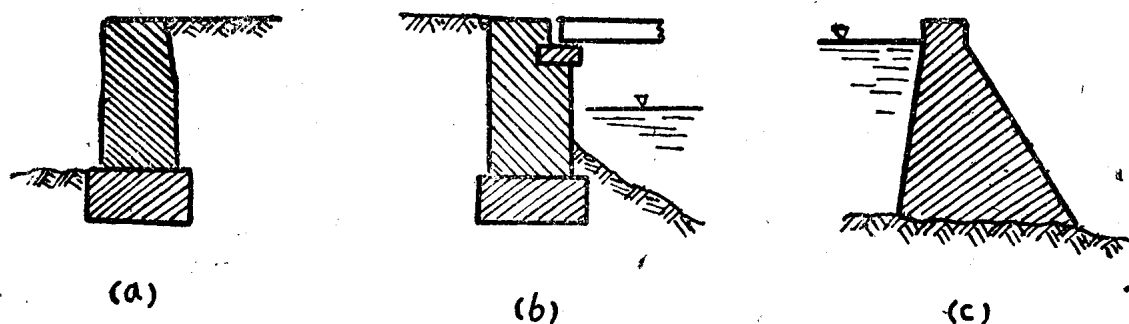


图 1-6

(三) 結構也可以按支座反力的方向来分类。凡是在竖向荷载作用下只有竖向反力发生的叫做无推力結構; 反之, 在竖向荷载下不但有竖向反力, 而且有水平反力发生的叫做推力結構。图 1-7, *a* 所示的簡支梁属于前者; 图 1-7, *b* 所示的三铰拱属于后者。

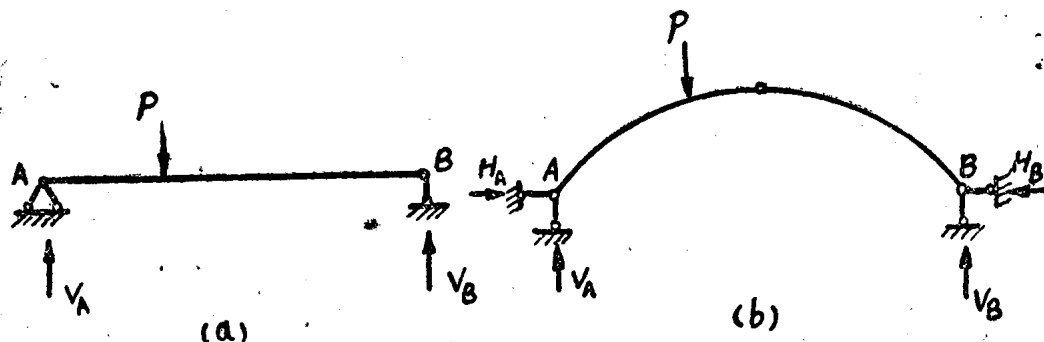


图 1-7

(四) 按构件的軸綫和荷载的作用綫是否在同一平面內, 可分为平面結構和空間結構两类。平面結構的构件軸綫与荷载作用綫系处于同一平面內; 空間結構則否。实际結構的軸綫是不可能全部在同一平面內的, 它們总是形成空間体系。但在很多情况下, 这种空間体系可以拆散成若干个平面体系, 也就是可以当作几个平面結構来分析。但也有結構必須作为空間結構来分析的, 如圓屋頂等。

本书主要討論平面体系中的杆件結構, 包括靜定的和超靜定的, 有推力的和无推力的。

§ 1-5 荷载的分类

結構所受的外力包括施予結構的作用力以及由此而引起的支座反力。所謂荷载就是指施予結構的一切作用力而言。結構上的荷载类型是多种多样的, 可以按不同的情况来分类。

(一) 根据荷载作用面积的大小可以分为集中荷载和分布荷载。可以当作作用于一点的

荷载叫做集中荷载;荷载分布于某一范围内的叫做分布荷载。均布荷载是我们熟悉的分布荷载中一种特殊型式。必须认识到,同一实际荷载,有时可作为集中荷载,有时则须作为分布荷载。例如在计算图 1-1 所示梁式木桥的大梁时,不妨把汽车荷载当作集中力求得通过横梁加于大梁的压力;但在计算桥面板时,由于车轮与桥面板之间的相当大的(相对于桥面板的尺寸而言)接触面积,应当当作分布荷载看待。

(二)根据荷载在结构上作用时间的长短可分为临时荷载和永久荷载。前者如桥梁上通过的车辆、人群,码头上堆置的货物,刮风时屋面上的风压力等,它们的作用是暂时的;后者系指永久加在结构上的荷载,例如结构本身的重量、厂房内的固定设备等。

(三)按照荷载的是否能够移动可分为动荷载和静荷载。

(四)按照荷载作用的特性还可分为静力荷载和动力荷载两类。所谓静力荷载是指缓慢地、毫无振动地、由小到大地加到结构上的荷载;它的量值和位置被看作与时间无关。本书中结构所受的作用力主要是这种静力荷载。动力荷载与静力荷载相反,它的量值和位置随时间迅速变化,因而在计算中必须考虑惯性力的影响。动力荷载又可分为冲击荷载、瞬加荷载和往复周期荷载等三种。

(五)在计算结构的强度、刚度和稳定性时,还可将荷载分为主要荷载,附加荷载和特殊荷载等三种。

主要荷载是指常常加在结构上的,对结构的影响起着主要作用的荷载。例如结构的自重、人群、车辆、货物、设备、水压力、土压力和雪荷载等等。附加荷载系不经常作用于结构的或不规则发生的荷载,例如风压力、气温变化的影响等。特殊荷载是指因事故而偶然发生的荷载,例如地震力、特大洪水压力、因部分结构破坏而引起的荷载等。

根据建筑物的重要性以及使用年限,在计算时,应考虑荷载的组合作用:一般应考虑主要荷载与附加荷载的组合;对于特别重要的、使用年限很长的建筑物,应考虑主要荷载、附加荷载与特殊荷载(每次只考虑一种特殊荷载)的组合;只有不重要的临时性建筑物,其结构计算才容许只考虑主要荷载而忽略附加荷载和特殊荷载。

第二章 结构的机动分析

§2-1 一般概念

结构承受荷载后，必因材料的应变而发生变形。例如简支梁在荷载 p 作用下，上层纤维压缩，下层纤维伸长，于是梁弯曲成弧形（图 2-1, a ）；桁架在荷载 p 作用下，压杆缩短了

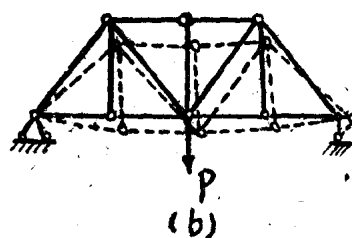
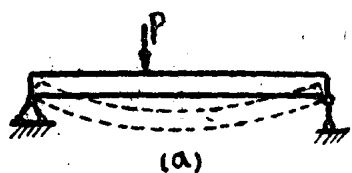
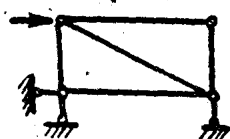
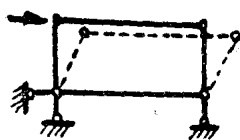


图 2-1

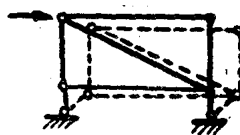
些，拉杆伸长了些，于是使得桁架的外形有了改变（图 2-1, b ）。在一般情况下，这种因材料应变而引起的结构变形是非常微小的。假若不计这种变形，而结构的几何形状和位置在任何情况下都不能改变的话，则此种结构叫做几何不变结构（或几何稳定结构）。换句话说，倘若我们假定结构的材料是完全刚性的，那末，几何不变结构的形状和位置是不能改变的。但也有这样的结构，即使在极微小的荷载作用下，它的构件尺寸并没有什么改变，而结构的形状已大大改变，或者结构的位置已发生了变动。这种结构叫做几何可变结构（或几何不稳定结构）。图 2-2, a 所示桁架系几何不变结构。若把其中的斜杆除去（图 2-2, b ），或把水平支座链杆拆除（图 2-2, c ），那么它就成为几何可变结构了。



(a)



(b)



(c)

图 2-2

应用于工程建筑上的结构必须是几何不变的，否则它将不能承受荷载。机械结构恰恰相反，它的可动部分总是由几何可变结构（通常称为机构）组成的。机动分析的目的就在于判定结构是否可变，以及了解几何不变结构的组成规律。

为了便于对结构进行机动分析，需要首先弄清楚两个概念：链杆和盘体。所谓链杆就是在其两端用铰链与其他构件联结的杆件。桁架的每一根杆件都是链杆，所以桁架属链杆结构的范畴。盘体是指结构中已肯定为几何形状不可改变的一部分或全部。一根梁，一根链杆，它们的几何形状都是不可改变的（除非是由于材料发生应变），因此都可以当作盘体。

看待。反过来,一个盘体若用两个铰链与其他部分相联结,则可以当作一根链杆看待。另外:在进行结构的机动分析时,也可以把稳定的基础当作盘体。

§ 2-2 结构的自由度

由上节可知,几何可变结构的所以能改变形状和位置,是由于它缺少了某些必要的联系。为了使它们成为几何不变,就必须加上这些必要的联系。所谓几何可变结构的自由度,就是指使它成为几何不变所必须增加的联系的个数。广义地说,一个物体或物体系的自由度,就是它运动时能独立改变的几何参变数的个数,也就是表明一个物体或物体系的位置所必需的独立坐标数。例如平面 xoy 内的一点 A (图2-3),它有两个可以独立改变的几何参变数 x 、 y ; 也就是说,为表明 A 点的位置,必须 x 、 y 两个独立的坐标。因此,点 A 在 xoy 平面内的自由度为2。一个盘体在平面内的自由度为3,因为它有3个可以独立改变的几何参变数 x 、 y 和 θ (图2-4)。

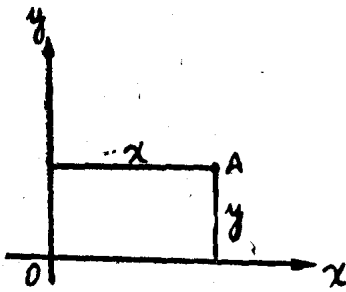


图 2-3

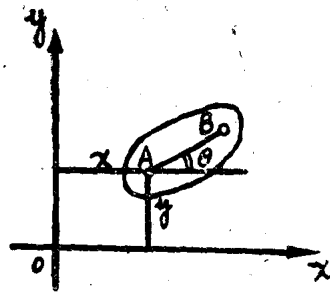


图 2-4

当两个盘体用一铰链相联结时,它们的总自由度并不等于6,而等于4。因为,假如第一个盘体的自由度是3的话,第二个盘体却只剩下围绕铰链 B 转动的一个自由度 (图2-5)。所以,联结两个盘体的铰链 (我们称为单铰) 使自由度减少2。联结两个以上的盘体的铰链叫做复铰。联结 n 个盘体的复铰使总的自由度减少 $2(n-1)$ 。这是因为除了其中一个盘体的自由度保留3以外,其他 $n-1$ 个盘体都因复铰而分别减少2个自由度的缘故 (图2-6)。由此可知,联结 n 个盘体的复铰与 $n-1$ 个单铰相当。

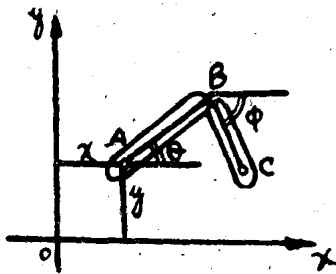


图 2-5

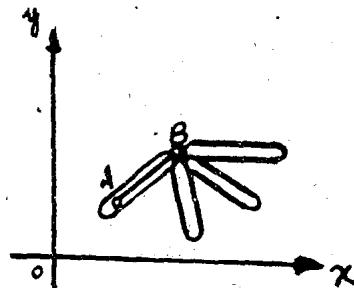


图 2-6