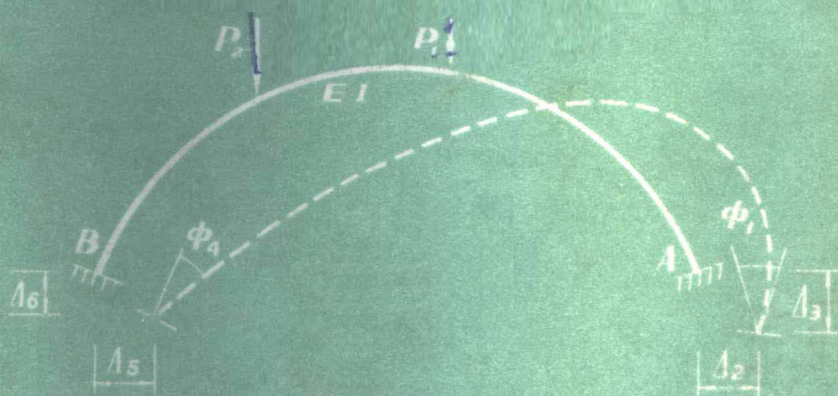


结构力学

上册

华东水利学院结构力学教研组编



水利出版社

结 构 力 学

上 册

华东水利学院结构力学教研组编

水 利 出 版 社

内 容 提 要

本书为高等工科院校力学专业教材，也可作工科土建、水利类专业多学时类型结构力学课程的试用教材或教学参考书，还可供工程技术人员参考。

全书分上、下两册，共十八章。上册包括：绪论、杆件体系的几何组成分析、静定结构的内力计算、虚功原理与结构的位移计算、超静定结构的一般概念、力法、位移法、力矩分配法、超静定拱、弹性支座连续梁、影响线及其应用、以及结构极限荷载的计算等十二章。

结 构 力 学

上 册

华东水利学院结构力学教研组编

水利出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 27 $\frac{1}{2}$ 印张 25千字

1981年12月第一版 1981年12月北京第一次印刷

印数 00001—15130册 定价 2.80元

书号 15047·4167

前 言

本书是根据1978年11月水电部委托华东水利学院召开的《结构力学》教材编写大纲讨论会所拟定的大纲编写的。

本书主要用作高等工科院校力学专业的结构力学教材，编写时在内容的取舍和安排上适当地照顾了工科土建、水利类有关专业的需要，因此，若将某些章节删略，则本书也可以作为这些专业多学时类型结构力学课程的试用教材或教学参考书。

全书分上下两册，上册包括绪论、杆件体系的几何组成分析、静定结构的内力计算、虚功原理与结构的位移计算、超静定结构的一般概念、力法、位移法、力矩分配法、超静定拱、弹性支座连续梁、影响线及其应用、结构极限荷载的计算等十二章。下册为专题部分，包括能量原理、矩阵位移法、基础梁、结构的动力计算、结构的稳定计算以及结构型式、计算简图和计算方法的讨论等六章。

本书加强了基本理论的阐述和讲解，注意了编写的深度和广度，同时重视基本技能的训练，书中并列有较多的例题。为了帮助学生复习和训练学生分析计算及解决问题的能力，在各章之末附有一定数量的复习题和难易程度不同的习题。其中，一部分习题的解答或提示在书末的附录中已给出，可供参考。

本书采用的字符和下标，尽量与结构力学前后课程以及有关规范和手册中所采用的一致。书中各种量的单位，按照教育部统一规定，一律采用国际单位制。

参加本书编写工作的有：赵光恒、杨仲侯、胡维俊、詹敏等。第1、12、16、17、18章由赵光恒执笔，第2、4、10、13、14章由杨仲侯执笔，第3、5、6、7、8、9、11、15章由胡维俊执笔，詹敏负责收集与汇编各章的复习题和习题，王炳华负责例题及部分习题解答的校核工作。本书上册由杨仲侯主编，下册由赵光恒主编。

本书承清华大学龙驭球同志、大连工学院杨国贤同志和西安冶金建筑学院钟明同志以及清华大学、大连工学院、西安冶金建筑学院、武汉水利电力学院、华北水利水电学院、浙江大学、合肥工业大学、太原工学院、郑州工学院等参加审稿会的同志提出了宝贵意见，特此表示衷心的感谢。

限于编者的水平，本书一定存在不少缺点和不当之处，恳切地希望读者批评指正。

编 者

一九八〇年六月

主要符号使用说明

N_f, N_v	体系的自由度, 体系的可变(动)度	Ω_{AB}	内力图或影响线在 AB 范围内的面积
F, P, P_k Δ, φ (或 θ), Δ_k	力, 荷载, 广义力 线位移, 角位移(角度), 广义位移	$i = \frac{EI}{l}$	线性刚度
f, f_{ij} k, k_{ij}	柔度、矢高, 柔度系数 劲度, 劲度系数	r_{ki} R_{kp}, R_{kt}, R_{kc}	单位位移引起的力 荷载、温度改变、支座移动引起的力
$\epsilon, \gamma_0, \frac{1}{\rho}, \frac{1}{\rho_l}$	正应变, 平均剪应变, 弯	$S_\alpha, \mu_{jk}, C_{jk}$	单元杆端抗弯劲度(形常数), 分配系数, 传递系数
σ, τ	正应力, 剪应力	$M_{jk}, M_{jk}^d, M_{jk}^s, M_{jk}^f$	单元杆端弯矩, 分配弯矩, 传递弯矩, 固端弯矩(载常数)
E, G, μ	材料的纵弹性模数, 剪弹性模数, 泊松比	H	拱的水平推力
A, I, J	杆件单元横截面面积, 惯矩, 极惯矩	y_s	弹性中心
λ, h, b	截面修正系数, 截面高度, 截面宽度	Z	影响量
l	杆件单元长度	$\{\bar{A}_K\}, [\bar{A}_K]$	单元在单位荷载作用下杆端力结合矩阵
N, Q, M, T	杆件单元横截面内的轴力, 剪力, 弯矩, 扭矩	$\{A_J\}, [A_J]$	单元在实际荷载作用下杆端力结合矩阵
\int, Σ, ∂	积分号, 总和号, 偏微分号	$[F_M]_i, [F_M]$	单元柔度矩阵及柔度结合矩阵
x, y, z	直角坐标系或坐标	$\{X\}$	多余约束力列阵
τ, η	活动平面直角坐标系	$\{\Delta_{XX}\}, [\Delta_P]$	结构柔度矩阵, 荷载位移矩阵
t_1, t_2, t, t'	截面内、外(上、下)纤维变温, 平均变温, 内、外(上、下)变温差	$\{A_M^i\}, \{A_M^K\}_i$	单元 J, K 两端杆端力列阵
r, ρ	半径、刚度, 曲率半径	$\{R_R\}$	支座反力列阵
N_f	体系的自由度	$[K_m]_i$	单元劲度矩阵
N_v	体系的可变度	$\{\delta\}$	结构独立结点位移列阵
S	路程或截面静矩	$[R_J]$	结点劲度矩阵
α	角度或线膨胀系数	$\{F_J\}$	等效结点荷载列阵
β	角度或截面系数	$\{F_m\}_i$	单元杆端力列阵
γ	角度或剪应变		
W_{ex}	外力的虚功		
U_{dex}	微段外力的虚功和		
X_1, \dots, X_n	多余约束力		
δ_{ki}	单位力引起的位移		
$\Delta_{kp}, \Delta_{kt}, \Delta_{kc}$	荷载、温度改变、支座移动引起的位移		

目 录

前 言

主要符号使用说明

第一章 绪 论

§ 1-1 结构力学的研究对象和任务	1
§ 1-2 结构力学与生产发展的关系	1
§ 1-3 荷载的分类与组合	4
§ 1-4 结构的计算简图及其分类	4
§ 1-5 结构分析的三个基本条件	11
§ 1-6 结构分析中的三个基本原理	13

第二章 杆件体系的几何组成分析

§ 2-1 几何组成分析的目的	17
§ 2-2 平面杆件体系的自由度	18
§ 2-3 平面杆件体系的组成法则	20
§ 2-4 平面杆件体系几何组成分析举例	22
§ 2-5 利用无级速度图检查平面杆件体系的瞬变性	25
§ 2-6 空间铰结体系的几何组成分析	29

第三章 静定结构的内力计算

§ 3-1 静定结构的一般概念	35
§ 3-2 静定平面刚架	43
§ 3-3 三铰拱	54
§ 3-4 静定组合结构	68
§ 3-5 静定桁架	73
§ 3-6 静定空间刚架	80
§ 3-7 静定结构的特性	84

第四章 虚功原理与结构位移的计算

§ 4-1 概述	98
§ 4-2 结构的外力虚功与各微段外力在变形位移上的虚功和	99
§ 4-3 虚功原理	105
§ 4-4 虚位移原理与单位位移法	108
§ 4-5 虚力原理与单位荷载法, 结构由于支座移动引起的位移计算公式	111
§ 4-6 杆件结构的位移公式及荷载作用下位移的计算	113
§ 4-7 用图乘法计算位移	121

§ 4 8	用矩阵法计算位移	128
§ 4 9	温度改变引起的位移	138
§ 1 10	线性变形体系的互等定理	141

第五章 超静定结构的一般概念

§ 5 1	工程中的超静定结构	149
§ 5 2	超静定结构的几何组成特征和解答唯一性定理	150
§ 5 3	超静定结构的型式	152
§ 5 4	超静定结构的特性	152
§ 5 5	超静定结构的计算方法	155

第六章 力 法

§ 6 1	力法的基本原理	157
§ 6 2	力法的基本未知值、基本系和典型方程及其解	159
§ 6 3	超静定刚架计算举例	163
§ 6 4	铰结排架	166
§ 6 5	超静定组合结构	169
§ 6 6	温度改变及支座移动下内力的计算	171
§ 6 7	超静定结构位移的计算及最后内力图的校核	175
§ 6 8	结构对称性的利用	181
§ 6 9	矩阵力法	182
§ 6 10	等截面直杆的转角位移方程	201

第七章 位 移 法

§ 7 1	位移法的基本原理	212
§ 7 2	位移法的基本假设、基本未知值、基本系和典型方程及其解	216
§ 7 3	刚架计算举例	221
§ 7 4	温度改变及支座移动影响的计算	231
§ 7 5	对称性利用	233
§ 7 6	转角挠度法	234
§ 7 7	剪切变形的影响	238
§ 7 8	矩阵位移法初步	240
§ 7 9	混合法	256

第八章 力矩分配法

§ 8 1	力矩分配法的基本原理	265
§ 8 2	连续梁和无侧移刚架计算举例	270
§ 8 3	有侧移刚架的计算	276
§ 8 4	温度改变及支座移动的影响	286
§ 8 5	变截面刚架的计算	288
§ 8 6	刚架结点宽度的影响	292

第九章 超静定拱

§ 9-1	概述	301
§ 9-2	两铰拱的计算	303
§ 9-3	无铰拱的计算	308
§ 9-4	总和法	321
§ 9-5	温度改变及混凝土收缩的影响	325
§ 9-6	支座移动的影响	328
§ 9-7	等截面曲杆的转角位移方程	331

第十章 弹性支座连续梁

§ 10-1	弹性支座连续梁的特点及其应用	338
§ 10-2	刚性支座连续梁的计算——三弯矩方程式	339
§ 10-3	弹性支座连续梁的计算——五弯矩方程式	346
§ 10-4	弹性支座刚性梁的计算	351

第十一章 影响线及其应用

§ 11-1	概述	360
§ 11-2	用静力法绘制简梁的影响线	361
§ 11-3	结点传递荷载下主梁的影响线	366
§ 11-4	静定桁架的影响线	367
§ 11-5	用机动法作静定梁的影响线	370
§ 11-6	连续梁的影响线	373
§ 11-7	影响量的计算	379
§ 11-8	最不利荷载位置的确定	381
§ 11-9	包络图	387
§ 11-10	简梁的最危险截面	389

第十二章 结构极限荷载的计算

§ 12-1	极限荷载的一般概念	396
§ 12-2	极限荷载的一般定理	399
§ 12-3	极限荷载的计算方法	400
§ 12-4	桁架的极限荷载	403
§ 12-5	极限弯矩和静定梁的极限荷载	405
§ 12-6	剪力对极限弯矩的影响	408
§ 12-7	超静定梁的极限荷载	410
§ 12-8	超静定刚架的极限荷载	413
§ 12-9	交变荷载的极限值	418
附录一	表 1 矩形截面对称式直线加深梁形常数、载常数表	423
	表 2 矩形截面完全直线式加深梁形常数、载常数表	424
附录二	各章部分习题答案	424

第一章 绪 论

§1-1 结构力学的研究对象和任务

就一般工程技术观点而言，凡是用工程材料按照合理方式组成的，能承受要求担负的任务的物体，象房屋、桥梁、船舶、飞机、车辆等等，都称为结构。在土建、水利工程中通常只把房屋、水闸、水坝、码头、渡槽等建筑物中支承荷载、传递力、起骨架作用的部分叫做结构。例如水电站厂房建筑一般是由屋架、梁、柱、基础等组成的体系，在传递力的过程中起骨架作用，这个体系就叫做厂房结构。

理论力学讨论质点与刚体体系的静力学、运动学和动力学的基本理论。材料力学着重讨论单个杆件的强度、刚度和稳定性问题。至于板、壳和实体结构，则属于弹性力学的研究范围。结构力学的研究对象是杆件组成的体系，或称杆系结构。结构力学的任务是研究杆系结构的组成规律和强度、刚度、稳定性问题。研究组成规律是为了使结构能够维持其原有形状和位置，具有能够承受荷载的几何图式。研究强度问题是为了使结构具有足够的但又非过分的坚固性而不致于破坏。研究刚度问题是为了使结构不致于发生过大变形，尽管这种变形对结构的安全不一定有影响，但在实用上往往是不能容许的。研究稳定性问题是为了使结构能维持其原有工作状态而不致于丧失弹性稳定。总的来说，研究这些问题的目的是使结构满足安全、经济、适用的要求。

根据具体结构的特性和它所受的荷载寻求结构各部分的内力和变形，这个过程通常称为结构的力学分析，或简称结构分析。结构分析和结构设计紧密联系，不可分割，而且往往是交替进行的。结构分析需要设计给定结构的有关参数，例如结构形状、杆件长度、断面尺寸、支承方式以及所用材料的物理性质等。经过结构分析计算得出结构各部分的内力和变形，就可以了解原先的设计是否安全和经济合理。一般情况下，不会一次获得满意的结果，这就需要凭经验来调整原设计，并重新进行结构分析。如此交替进行，直到取得满意的结果为止。高速电子计算机的出现，使结构分析的功能和效率大大地提高。加上数学规划论在工程上的推广应用，近二十年来，结构分析和结构设计两者已经逐渐综合在一起，使我们能够从许多可能的设计方案中寻求最优的方案。

§1-2 结构力学与生产发展的关系

在古代，由于生产水平很低，人们的祖先只能用天然的竹木、土石为建筑材料。限于这些材料的性质，造成的结构只能具有简单的型式，例如：金字塔、笨重的木梁等。从许多保留到现在的古代建筑物可以看出，当时的结构建造者只是凭估计和判断来办事。由于不会推算结构中的应力分布，就不得不多用材料，以保证结构的安全。

在古代，虽然也有过许多出色的结构或建筑物，但限于当时的生产水平，结构力学作为一门科学并没有形成。例如，在我国隋朝（公元581至618年）大业年间，卓越的匠师李春在河北赵县洨水上建造了一座跨径37米多的石拱桥，称为安济桥(图1-1)，该桥拱圈上两端各有两个小拱，使桥成为空腹式，既便于排泄洪水，又减轻了自重，这种优美的结构创造，在当时是举世无双的¹。又如由李冰父子组织兴建于秦朝（公元前221至公元前206年）的四川灌县的都江堰，以卵石竹笼堆砌成堤，分岷江为两道，内江灌溉农田266万亩，外江排洪，应用迄今已二千余年，仍然完好。我国古代关于结构的记载，如《周礼·考工记》和李仲明的《营造法式》等也是丰富多采的。可是，在封建社会生产力低的情况下，结构计算始终没有成为一门科学。这种现象，外国也是如此。

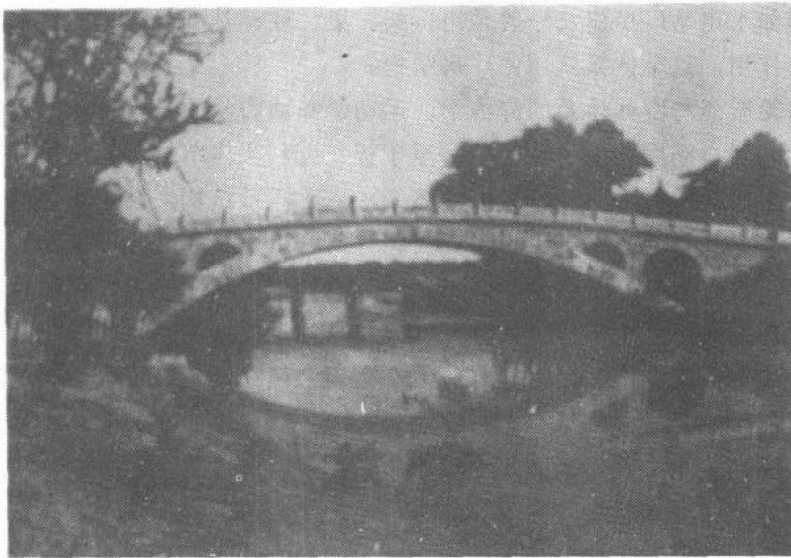


图 1-1

十九世纪的前半叶，西方资本主义社会处于发展阶段，结构力学才和其它各门工程科学一样地逐步形成并发展起来。例如，为了扩大工业产品的销售市场和增大运输量，铁路工程对结构力学提出了一系列要求。重型机车通过桥梁，荷载系统越来越复杂，除了静荷载的作用外，还要考虑动荷载的影响；桥梁跨度增大，就需要放弃笨重的梁式结构而寻求材料较省，构造较合理的轻型结构；为了使用长度较大的压杆，就要求研究结构的弹性稳定问题等等。十九世纪的后半叶，建筑技术的逐步革新，要求结构力学不断发展，以解决一些更复杂的问题。例如，对于长跨度的桥梁，由于风力的影响，就需要对空间桁架理论进行研究；由于铆接结构的广泛采用，结点刚度对杆件内力的影响就需要考虑。在这一时期中，计算平面和空间桁架的理论、求解超静定结构的方法、以及简单结构动力计算的方法等，都取得了大量研究成果，并逐步获得完善和提高。

¹ 唐寰澄：《中国古代桥梁》文物出版社1957。

在二十世纪里，新型建筑材料钢筋混凝土出现了，钢筋混凝土材料的特点是能够保证结构的整体性或连续性。钢筋混凝土结构的应用就促进了对超静定刚架的研究。于是，自从本世纪二十年代以来，许许多多的超静定刚架的计算方法被发表出来了。

生产的发展促进了科学的发展。反过来，科学的发展也对生产的进一步发展起着积极的作用。结构力学的研究，也对结构的革新和发展起着相辅相成的积极影响。例如，丰硕的超静定刚架计算方法的研究成果，就使得很复杂的钢筋混凝土结构得到更加广泛的应用。

在我国，解放前由于长期的封建统治，特别是近百年来的半封建半殖民地社会，使得生产处于停滞状态，结构力学也没有得到应有的发展。

中华人民共和国成立以后，生产力得到了解放，建设事业突飞猛进，在大规模社会主义建设中，完成了许多巨型结构的设计和建造，如水工建设方面的新安江水电站、刘家峡水电站、天津新港码头和桥梁建设方面的南京长江大桥、武汉长江大桥等。因此在结构力学学科上，早在五十年代后期，我们就取得了很大的成绩^①。例如：我们详细地研究了超静定结构静力计算和动力计算的各种理论和方法，并做出了不少改进和提高；在结构抗震设计方面，我们分析研究了各类结构的动力性能，地震荷载计算的各种理论和方法，并在总结国内外理论和实践的基础上，制订了我国自己的抗震设计规范；为了考虑材料非线性性能，研究并建立了符合结构实际工作状态的计算理论和方法；对按极限状态设计和使用破坏荷载设计的方法也订出了相应的规范；在结构的实验应力分析方面，我们进行过大量的室内模型实验和现场实测，总结研究了结构的各种相似理论和误差分析的方法。现代的电测、光测（X光、偏振光、激光）超声等技术已经普遍地得到应用等等。

应该着重指出的是自从电子计算机问世以来，结构力学这门学科发生了深刻的变化，出现了《计算结构力学》这个新的分支，借助电子计算机，原来手算不能解决的许多复杂的结构力学问题都有可能获得解决。目前，在计算结构力学中，有限单元法和结构优化设计这两个方面的研究和应用日益广泛，取得了不少可喜的成绩^②。这就使我们有可能设计、建造各种更为复杂的工程结构，并且能在满足一个(或多个)理想目标和一些约束条件下找出结构的最优方案。

综上所述可见，生产实践不断地向结构力学提出新的课题，从而促进了结构力学的发展，而结构力学的许多新成就，又反过来给工程建设以有力的指导和推动。

在实现我国四个现代化的新长征中，大规模的社会主义建设必然还会向结构力学提出许多更新更复杂的问题。例如长江三峡水利枢纽工程已经在着手研究：其中的坝体、水轮机蜗壳、基础、船闸、升船机、大跨度的地下厂房、隧洞等一系列复杂的结构力学问题。这些问题的解决要求我们创造性地运用已有的结构理论，学习并创造新的理论，这正是我们科技工作者的光荣而又艰巨的任务。为了能很好地献身于这样豪迈而光荣的水利事业，并为发展我国的科学技术作出贡献，就必须踏实地、深入地学习，牢固地掌握结构力学这门科学。

① 《十年来的中国科学》土木·建筑·水利，1949~1959 科学出版社 1965。

② 《教育部高等学校1978年计算结构力学学术交流会议论文集》第一、二、三集1978.11。

§1-3 荷载的分类与组合

作用于结构上的荷载和其他外来作用，广义地都可以称为结构的荷载。合理地确定荷载是正确地进行结构分析的前提。这是因为过高地估计荷载会带来浪费；相反，对荷载估计过低会带来结构的不安全。

广义的荷载按其作用的性质可分为静力荷载、动力荷载和其它外来作用等三类。

静力荷载的大小、方向不随时间而改变或改变得很缓慢，以致结构分析中可以略去其惯性力。静力荷载中又可分为固定荷载和活荷载两种，固定荷载是永久作用在结构上的荷载，如结构本身的自重以及固定设备等。活荷载是一种临时荷载，这类荷载的特点是位置可以移动，或者位置固定而时有时无，如桥梁上行驶火车，仓库中堆放的货物等。

动力荷载的大小、方向都可能随时间而改变。这种荷载使结构振动而产生加速度，在结构分析中必须考虑其惯性力。如机器运转、波浪压力和风对结构作用而引起的荷载等都是动力荷载。

其它外来作用如温度改变、材料收缩、支座沉陷和构造的不准确等都可能引起结构的变形，同时也可能产生相应的内力。

在结构设计中，需要按各种荷载出现的实际可能来加以组合。通常又把荷载分为主要荷载、附加荷载和特殊荷载三种。主要荷载是结构正常使用条件下经常作用的荷载，如自重、水压力和土压力等。附加荷载是不经常出现的临时荷载，如风荷载以及施工中吊车的移动荷载等。特殊荷载是在特殊情况下出现的荷载，如地震荷载、爆炸冲击波荷载等。结构设计中可采取如下的荷载组合：

- 1) 主要荷载
- 2) (主要荷载) + (附加荷载)
- 3) (主要荷载) + (附加荷载) + (特殊荷载)

设计结构时对上面三种荷载的组合应分别采用不同的安全系数。对于第一种组合，安全系数应高些；第二种组合安全系数可低些；第三种组合可以更低一些。

§1-4 结构的计算简图及其分类

一、结构的计算简图

结构的计算简图是将实际结构简化，使它成为既能反映原结构受力状态的主要特征，又便于结构分析的计算模型。在结构分析中，结构的计算简图就是实际结构的代表，一切计算都是按计算简图进行的。因此，计算简图的选取是十分重要的，它直接影响到结构分析的成果。

结构计算简图的选取必须满足两个基本要求：

1) 尽可能正确地反映结构的实际工作状态，使计算所得的结果与实际情况足够接近。

2) 尽可能使计算简化。

结构的实际工作状态取决于结构本身的构造和荷载的传递。一般说来，结构的构造所起的作用是基本的、主要的。因此，我们着重从结构的构造方面来讨论如何简化，即从组成结构的杆件、杆件与杆件之间的联系(称为结点)、基础与结构之间的联系(称为支座)、作用的荷载和结构材料的性质等几个方面来进行简化。下面以平面杆系结构为例，简要说明在结构静力计算中计算简图选取的方法。

1. 杆件的简化

杆系结构为细而长的杆件所组成，通常当杆件的长度大于其横截面高度或厚度的五倍以上时，可以用杆件的轴线来代替杆件，而将各杆轴线所形成的几何轮廓来代替原结构。图1-2 (a) 为水电站尾水管出水口段的剖面示意图，由各杆轴线所形成的结构的几何轮廓如图 (b) 所示，图1-2 (b) 即为图1-2 (a) 结构的计算简图。

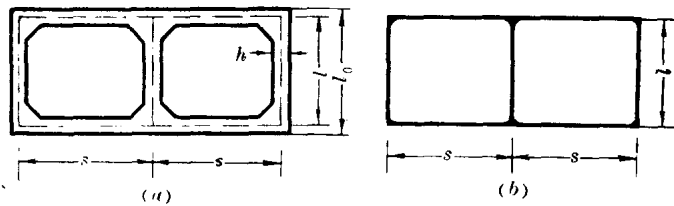


图 1-2

2. 结点的简化

杆件与杆件连接的地方称为结点(或节点)。根据杆件连接处构造的不同，结点可分为刚结点和铰结点两种。刚结点的特征是汇交于结点各杆件的杆端互相固结在一起，它们之间既不能相对移动，也不能相对转动。图1-3 (a) 为钢筋混凝土结构的结点构造图。图1-3 (b) 为它的计算简图。图1-3 (c) 表示当刚结点有转动时，各杆端截面都随结点一起沿同一方向转相同的角度。

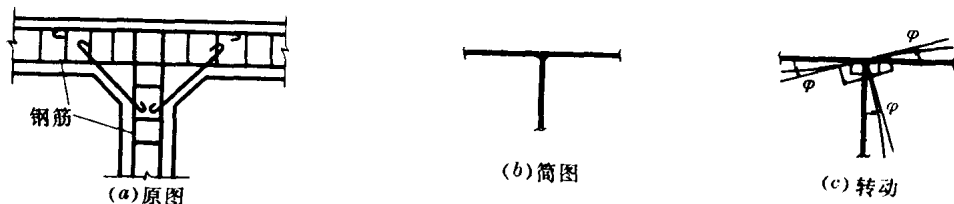


图 1-3

铰结点的特征是汇交于结点的各杆件的杆端不能有任何方向的相对移动，但可以自由地围绕结点作相对的转动。图1-4 (a) 是一种铰结点的实例(合页式铰)。图1-4 (b) 是铰结点的计算简图，图1-4 (c) 表示被连接的两杆可以有相对的转动。图1-5 (a)、(b)

分别为木结构和钢结构的结点构造图,它们通常也简化为铰结点。图1-5 (c)、(d) 是它们相应的计算简图,图1-5 (e)、(f) 表示交汇各杆可以有相对转角发生。需要说明的

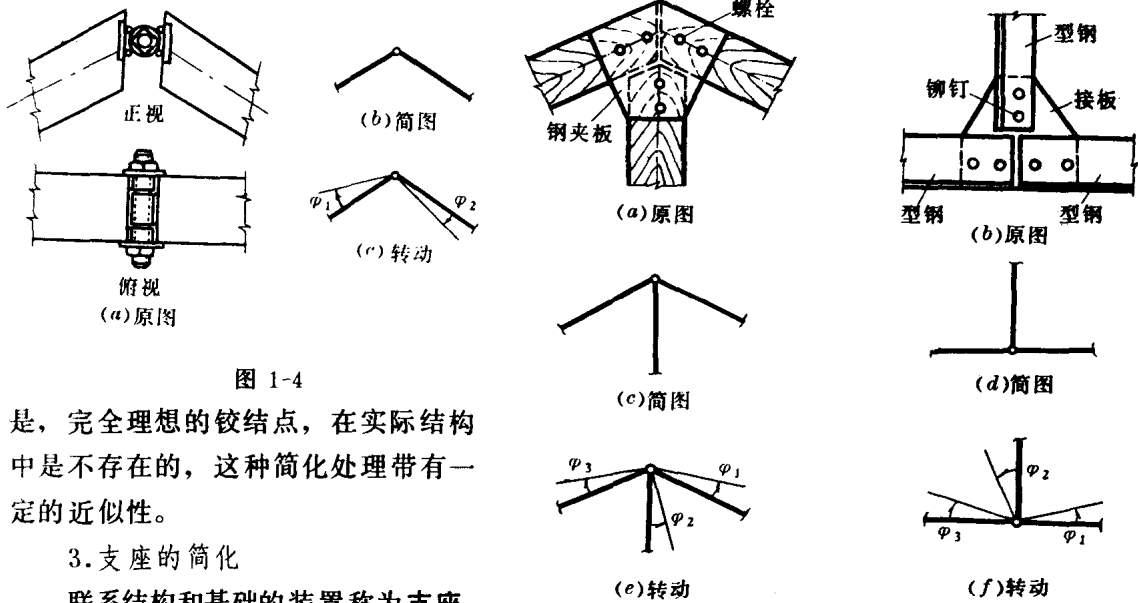


图 1-4

是,完全理想的铰结点,在实际结构中是不存在的,这种简化处理带有一定的近似性。

3. 支座的简化

联系结构和基础的装置称为**支座**,它起着支承结构的作用。根据支座的构造和所起作用的不同,一般可简化为**铰支座**、**辊轴支座**、**固定支座**、**滑动支座**和**弹性支座**五种。

图 1-5

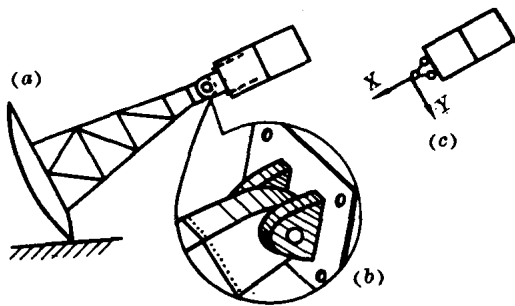


图 1-6

用铰将地面和结构连接起来的装置称为**铰支座**。图1-6 (a) 就是弧形闸门铰支座的示意图。图1-6 (b) 是铰支座局部放大图。铰支座限制水平和竖向相对移动,其支座反力可分解为通过铰中心的 X 和 Y 两个分量,图1-6 (c) 为铰支座的计算简图。

典型的**辊轴支座**是用几个辊轴承托一个铰装置,并用预埋件在四个角点与基础联系成的。图1-7 (a) 表示大型桥梁上经常用到的一种辊轴支座。辊轴支座只能约束垂直于支承面方向的相对移动,其支座反力通过铰的中心并垂直于支承面。图1-7 (b) 为辊轴支座的计算简图。工程结构上有一些支座并不象上述辊轴支座那样典型。如图1-7 (c) 所示桥梁与桥墩是通过分别固定在梁上和墩上的两块铁板相互接触的。虽然看起来和典型的辊轴支座不同,但从约束所能阻止相对运动的作用来看,两者具有相同的性质。图1-7 (d) 的支座当可以略去两铁板之间的摩擦阻力时,通常也视为辊轴支座。

固定支座的构件是深埋或牢固地嵌入基础内部的。这种支座约束构件与基础之间既不能作相对移动,也不能有相对转动。其约束反力可分解为水平分量 X 、竖直分量 Y 、和一个

力偶矩 M , 图1-8 (a)、(b) 为固定支座的示意图。图1-8 (c) 为固定支座的计算简图。

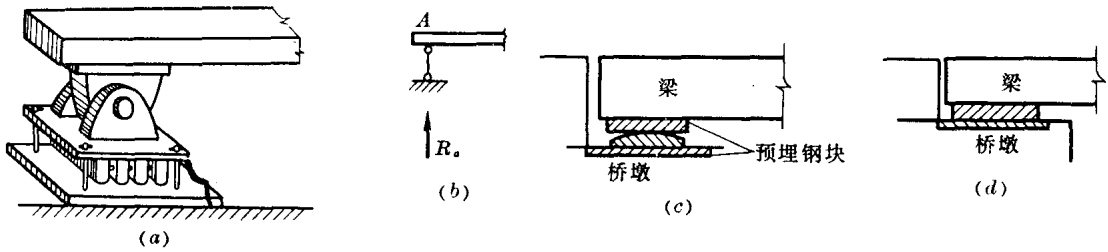


图 1 7

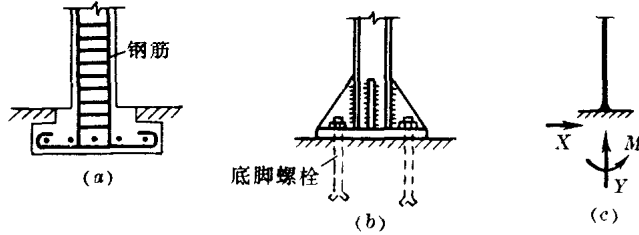


图 1 8

滑移支座只允许构件的约束端沿某一方向移动, 图 1-9 (a) 为这种支座的示意图。图示构件端部既不能有竖向移动, 也不能有转动, 只能有沿水平方向的移动。故此滑移支座的约束反力可分解为一个垂直于移动面的竖向力 Y 和一个力偶矩 M 。图 1-9 (b) 为滑移支座的计算简图。

前面四种支座都是在荷载作用下本身不发生变形的支座, 称为刚性支座。在荷载作用下, 产生弹性变形的支座则称为弹性支座。图1-10 (a) 的梁 ABC , 在中间有一个不能略去轴向变形的连杆支座 BD 。荷载作用在梁上时, BD 受力而产生轴向变形, 梁 AC 在 B 点有了竖向位移, 梁在 B 点的支座就可以简化为一个弹性支座, 其约束反力与 B 点的竖向位移 (即 BD 杆的纵向变形) 成正比。计算简图如图1-10 (b)。

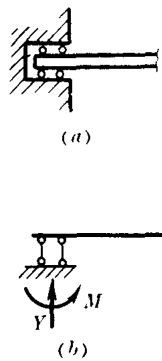


图 1 9

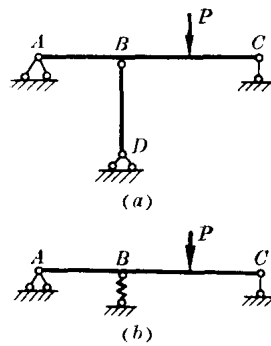


图 1 10

4. 荷载的简化

结构所承受的荷载可分为体力和面力两类。结构的自重或惯性力都是体力。面力是通过物体表面接触而传递的作用力, 如土压力和水压力或车辆的轮压力均属于面力。在杆系结构的计

算中, 杆件是用其轴线来代表的, 所以不论体力或面力都可以认为是作用在杆件的轴线上。

荷载按其分布情况可分为集中荷载和分布荷载。其实真正的集中荷载是不存在的, 因为任何荷载都必须分布在一定的面积上或一定的体积内。但是, 如果荷载分布的面积或体积很小, 为简化计算起见, 可以把它作为集中荷载来处理。

5. 材料性质的简化

土建、水利类结构通常所用的建筑材料有钢、铁、混凝土、砖、石、木料等。在结构分析中, 为了简化计算, 对于组成各构件的材料一般都假设是连续的、均匀的、各向同性的、完全弹性或弹塑性的。

所谓连续是指整个构件的体积都被组成该构件的材料所充满而没有空隙。均匀是指组成构件的同一种材料的分布是均匀的, 各部分具有相同的物理性质。各向同性是指同一种材料的物理性质沿各个方向都相同。完全弹性是指材料在外力作用下产生变形, 当外力全部除去后能完全恢复原来形状, 而没有残余变形。弹塑性是指材料受到超过弹性极限的外力作用后, 材料将进入塑性状态。这时, 即使将外力全部除去, 材料也不能恢复原来形状, 而出现残余变形。

上述假设对于金属材料在一定受力范围内是符合实际情况的。对于混凝土、钢筋混凝土、砖、石等材料则带有一定程度的近似性。至于木材, 其顺纹与横纹方向的物理性质不同, 应用这些假设时应予注意。

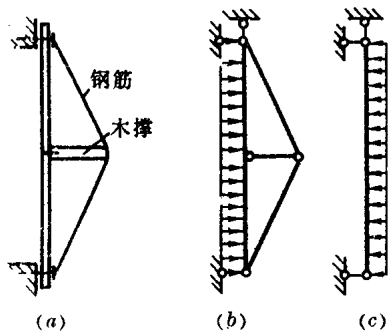


图 1-11

上面介绍的选取计算简图的原则和方法, 主要是从结构的构造所起的作用来分析的。一般说, 这样选取的计算简图能够反映结构各种可能的实际工作状态。需要注意的是, 有的约束具有单向性质, 这就使得同一结构在不同的荷载作用下, 可能要选取不同的计算简图。如图 1-11 (a) 的闸门横梁, 它是一个加劲梁, 当匀布水压力从左向右作用时应取图 1-11 (b) 的计算简图。当右边受水压力作用时, 考虑到加劲钢筋不能承受压力, 应取图 1-11 (c) 的计算简图。可见, 必须抓住结构的实际工作状态这一基本点, 对实际结构的受力状态进行具体分析, 才能选出既符合实际情况又能使计算得到一定程度简化的计算简图。事实上, 要正确、合理地选择实际结构的计算简图, 不仅需要扎实的力学知识, 而且还要有丰富的结构设计和施工经验。所以今后还必须在有关课程的学习中, 以及在结构设计和建造中, 紧密结合工程实践, 不断积累和总结经验, 才能逐步完善地解决这个问题。

二、计算简图举例

为了逐步加深对计算简图简化原则和方法的认识, 现在举一个实际的例子。图 1-12 (a) 为一支承木模用的八字撑排架。排架架设在柱脚基础上。各杆件的交点采用螺栓结合。排架上部有 7 根纵向圆木, 圆木上为木模底板, 底板上是现浇混凝土。

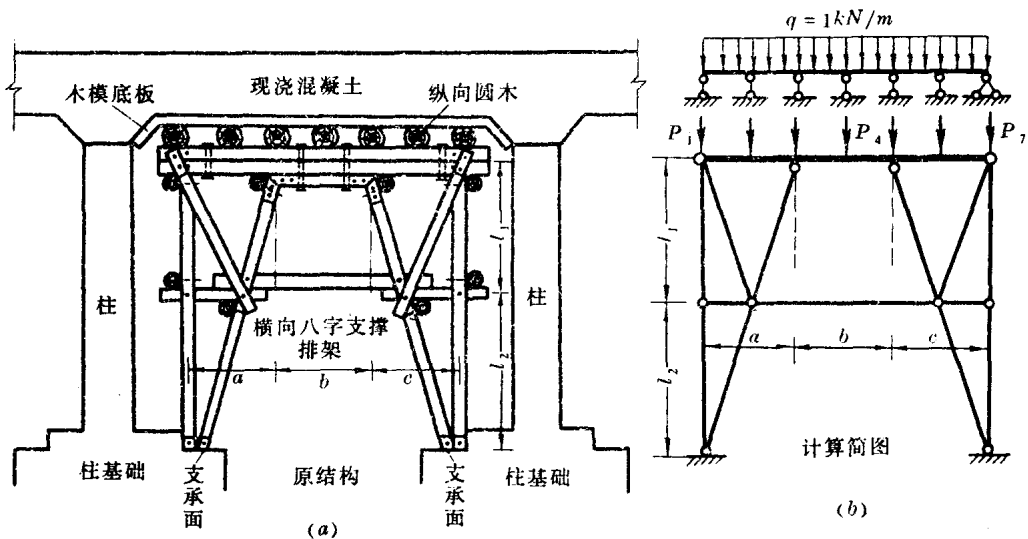


图 1 12

图1 12 (a) 除排架顶上有7根较大的纵向圆木之外, 还有8根较小的纵向圆木, 它们是用来联系、支撑各个横向排架的。在没有纵向荷载的情况下, 这8根纵向支撑基本上不受力, 因此, 各横向排架可以单独作为平面结构来考虑。

(1) 结构几何轮廓的简化 以各杆件的中心轴线代替原杆件, 将杆件连接点适当调整后, 取结点间的距离为各杆件计算长度。

(2) 结点的简化 各杆件在连接点用螺栓连接, 由于各杆件可以绕螺栓相对转动, 故各结点都作为铰结。两根竖杆和两根长的斜撑都是整根木料, 但它们主要承受轴力, 弯曲影响很小, 故中间结点处也作为铰结。至于横梁是由两根圆木拼成的组合梁, 承受由纵向圆木传来的荷载, 以受弯为主。横梁下面八字斜撑的顶点除了螺栓外, 还有一根短横托木顶着。因此, 假设铰是在横梁的下面。即认为横梁是连续的, 可以传递弯矩, 而横梁与斜撑之间为铰结, 不能传递弯矩。

(3) 支座的简化 在图示荷载作用下, 排架的两个底脚都不可能有向上和向内的移动, 只可能向下和向外滑动, 而柱基础处台阶抵住排架底脚使之不能向下和向外移动。因此, 两个底脚都可简化为铰支座。

(4) 荷载的简化 混凝土凝固之前的重量经木模底板传到7个纵向圆木, 再传到排架的横梁上来, 木模底板承受混凝土重量为匀布荷载, 见图1-12(b)。如果纵向圆木与上下接触的面积很小, 则其传递的力可视为集中力。如果结构的自重不能略去, 那就还要在相应部分考虑自重荷载。图1-12(b)下部是横向排架的计算简图, 上部是木模底板作为梁的计算简图。

三、杆系结构计算简图的分类

按照不同的观点可以将杆系结构进行不同的分类。

1) 按照受力性能的不同, 杆系结构可分为梁、拱、桁架、刚架、悬索和组合结构等。