

结 构 力 学

武汉水利电力学院建筑力学教研組

水 利 电 力 出 版 社

結 构 力 学

武汉水利电力学院建筑力学教研組

水利电力出版社

內 容 提 要

本书是为适应大专水利工程各专业教学的需要而编写的，以“水工建筑”专业教学大纲为主要依据。内容共分十六章，第一章至第六章为静定结构部分及结构变位的计算，第七章至十五章除超静定结构部分外，尚包括弹性地基上结构的计算、结构稳定及结构动力学等部分，第十六章为水工建筑物中较复杂的一些计算问题，如连拱坝、隧洞中的岔段等的计算。

本书除可供高等学校水利工程各专业作教材及参考书之外，尚可供高等学校土建类专业及有关工程技术人员参考。

结构力学

武汉水利电力学院建筑力学教研组

*

27418719

水利电力出版社出版（北京西郊科学院路二里沟）

北京市书刊出版业营业登记证出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印

新华书店科技发行所发行 各地新华书店经售

*

787×1092 $\frac{1}{4}$ 开本*33%印张*781千字*定价(第10类)4.60元

1960年3月北京第1版

1960年3月北京第1次印刷(0001—8,620册)

前 言

自1952年进行教学改革，大力学习苏联先进科学技术及教学經驗以来，本課程的教学內容一直是采用苏联教材，主要的如：И.М.拉宾諾維奇的杆件系統結構力学，И.И.普洛柯費也夫的結構理論，A.B.达尔科夫的建筑力学等书，在学习苏联先进經驗的基础上，同时也注意了結合我国社会主义建設实际，及教师与同学的具体条件。几年以来取得了一定的收获和体会，但由于我們对党的教育方針还理解不深，政治与业务水平也有一定的限制，所以始終未能自編出一本能够比較深透地貫徹理論联系实际并能結合水利专业需要的結構力学教材。

經過1958年的教育革命，认真学习了党的“教育为无产階級政治服务，教育与生产劳动相結合”的教育方針，更进一步認識到教学內容必須結合我国社会主义建設的实际，必須把基本理論与生产实际，专业实际以及同学的实际情况統一起来。因此編写一本能符合党的教育方針所要求的教材，就成为我們迫不及待的重要任务之一。这本教材就是在这种客观形势的要求下，在两年来貫徹执行党的教育方針的过程中，按照党領導下的师生相結合以及教学、科研、生产劳动三結合的原則，集中了教研組全体結構力学方面的教师及部分同学的力量，反复地編写，試用、討論、修改和补充而产生的。

本教材在編写及修改的过程中，根据党的教育方針的精神，特別注意了以下几点：

一、在密切联系实际联系专业的基础上重視了基本理論的充实与完整。在內容取材中，除按照教学大綱的需要并考虑到与其他基础技术課的分工外，对基本理論作了比較系統比較丰富的闡述。在結構靜力学部分增加了我国工程界常采用的力矩分配法及水工結構中常采用的彈性地基上的結構計算等两部分。結構动力計算，結構稳定計算等部分也都安排了一定的分量。

二、重視了結合实际結合专业。为了能密切結合水利工程生产实际和专业的需要，在編写及修改的过程中，曾有意識地将一些重要的水工建筑物的分析方法分別編入适当的章节內。如力法一章中編入了涵管及无压隧洞的应力分析；无鉸拱的計算一章中編入了拱坝的計算；結構稳定計算一章中編入了支墩坝支墩的稳定計算等。此外，还在最后专门設置了較复杂的水工建筑物如連拱坝、隧洞分岔段等的应力分析一章。

三、編写时以現有的河川樞紐及水电站建筑专业的教学大綱为主要依据，同时也照顾了其他各水利工程专业的需要。因此內容取材較多，以便于在教学时根据各专业的需要作不同的取舍，同时也便于同学在自学时作深入一步的研究和参考。

四、在內容編排、例題選擇、文字的敘述等方面力求符合認識發展的規律，循序漸進，深入淺出以便于讀者自学。

在編写本教材时，虽然經過我們主觀上的努力，但由于我們政治及业务水平的限制，加之教学任务較重，編写時間短促，在內容及編排方面都可能存在着不少的缺点和問題，希望讀者能不斷指正，以便再版时进一步改进和提高。

武汉水利电力学院建筑力学教研組

1959年12月

目 录

第一章 緒論	6
§1-1 結構力学的研究对象及任务	6
§1-2 結構力学发展簡史	6
§1-3 結構計算簡图的概念	7
§1-4 結構計算簡图的分类	9
§1-5 平面結構的支座及其分类	10
第二章 系統的机动分析	12
§2-1 机动分析的目的	12
§2-2 平面系統的自由度	13
§2-3 系統的几何組成分析	17
§2-4 瞬時变形系統	18
§2-5 机动分析的步驟与方法	20
第三章 靜定梁及梁型剛架	22
§3-1 靜定梁型結構一般介紹	22
§3-2 多跨靜定梁的計算	25
§3-3 折梁(靜定梁型剛架)的計算	27
§3-4 影响綫的概念	32
§3-5 用靜力法作簡單梁的影响綫	34
§3-6 节間梁的影响綫	37
§3-7 多跨靜定梁的影响綫	39
§3-8 用机动法作影响綫	40
§3-9 荷載位置一定时利用影响綫求內力	42
§3-10 最不利的荷載位置	44
§3-11 簡支梁的絕對最大剪力及絕對最大弯矩	51
第四章 靜定平面桁架	58
§4-1 概論	58
§4-2 桁架的主要应用及其分类	59
§4-3 用結点数解法求桁架內力	63
§4-4 用截面法求桁架內力	66
§4-5 用結点图解法求桁架內力	69
§4-6 用杆件代替法計算桁架內力	72
§4-7 桁架影响綫	75
第五章 三鉸拱及三鉸剛架	83
§5-1 一般介紹	83
§5-2 三鉸拱的数解法	84
§5-3 三鉸拱的图解法	91
§5-4 三鉸拱的合理軸綫	95

§5-5 三铰拱的影响綫	96
§5-6 零点法作影响綫	97
第六章 结构的变位	101
§6-1 一般介紹	101
§6-2 实功与位能	102
§6-3 虚功	109
§6-4 互等定理	112
§6-5 荷载作用产生的变位	116
§6-6 温度变化产生的变位	129
§6-7 支座沉陷产生的变位	133
第七章 超靜定结构的一般概念	137
§7-1 一般介紹	137
§7-2 超靜定结构的基本特征与超靜定次数的确定	138
§7-3 超靜定结构的性質	142
§7-4 超靜定结构計算方法的分类	143
第八章 力法計算超靜定结构	144
§8-1 一般介紹	144
§8-2 力法的原理, 基本结构及法方程式	144
§8-3 最简单的超靜定结构的計算	147
§8-4 温度变化及支座沉陷引起內力的計算	155
§8-5 切力图和軸向力图的作法, 內力图的校核	157
§8-6 力法計算的簡化方法	160
§8-7 基本结构的合理选择	160
§8-8 未知力分組	163
§8-9 荷载的分組	164
§8-10 未知力方向的选择	165
§8-11 剛臂的引用	166
§8-12 彈性中心法	167
§8-13 荷载作用下超靜定结构变位的計算	170
§8-14 圓形涵管計算示例	171
§8-15 山岩压力作用下圓形无压隧洞的計算	173
第九章 連續梁	182
§9-1 一般介紹	182
§9-2 荷载的作用	184
§9-3 温度变化的影响	192
§9-4 支座沉陷的影响	193
§9-5 彈性支座上的連續梁	194
§9-6 定点及定点比	196
§9-7 荷载跨度的支座弯矩	200
§9-8 靜力法作影响綫	203
§9-9 用机动法作影响綫	214
§9-10 在均布活荷载作用下的計算	218
§9-11 包絡图	219

§9-12	在集中活荷載作用下的計算	222
第十章	无鉸拱的計算	225
§10-1	一般介紹	225
§10-2	用彈性中心法計算无鉸拱	227
§10-3	用積分法計算未知力	228
§10-4	用總和法計算未知力	230
§10-5	拱的內力与压力綫	234
§10-6	溫度变化及混凝土收縮的影响	235
§10-7	拱損的計算方法	236
§10-8	用純拱法計算拱損	237
§10-9	用試載法計算拱損的原理	241
第十一章	变位法	248
§11-1	一般介紹	248
§11-2	結点角变位及結点綫变位	250
§11-3	各种基本杆件的形常数及載常数	253
§11-4	变位法的基本原理、基本結構、未知数及法方程式	257
§11-5	具体計算方法	259
§11-6	变位法計算溫度变化或支座沉陷产生的內力	266
§11-7	对称性的应用	269
§11-8	組合法与混合法	271
第十二章	力矩分配法	279
§12-1	一般介紹	279
§12-2	术语解釋	279
§12-3	力矩分配法原理及例題	282
§12-4	无功力分配法	289
§12-5	力矩一次分配法	291
§12-6	集体分配法	297
§12-7	有結点綫变位未知数时的計算——附加綫杆法	303
第十三章	彈性地基上結構的計算	308
§13-1	一般介紹	308
§13-2	用文克尔假定时彈性地基梁的一般解	312
§13-3	无限长梁的計算	313
§13-4	半无限长梁的計算	316
§13-5	有限长梁的計算	319
§13-6	軸对称荷載作用下薄壁圓筒的計算	324
§13-7	热莫契金法計算彈性地基梁的原理	327
§13-8	半无限平面体沉陷的計算	328
§13-9	半无限空間体沉陷的計算	329
§13-10	用热莫契金法計算半无限平面体上的梁	331
§13-11	用热莫契金法計算半无限空間体上的梁	337
§13-12	阶梯形变截面梁及边荷載影响下彈性地基梁的計算	337
§13-13	用热莫契金法計算彈性地基上的剛架	338
§13-14	用戈尔布洛夫-波沙多夫法計算彈性地基梁的原理	343

§13-15	用戈氏法計算半平面体上的梁	345
§13-16	用戈氏法計算半平面体上的短梁	345
§13-17	用戈氏法計算半平面体上的长梁	349
附录 I	函数 $-A_{\lambda x}$ 、 $B_{\lambda x}$ 、 $C_{\lambda x}$ 和 $D_{\lambda x}$ 的数值表	356
附录 II	作彈性基础上等截面梁計算用的院士阿·恩·克雷洛夫的函数表	358
附录 III	戈尔布洛夫-波沙多夫計算表	371
第十四章	彈性結構的穩定計算	403
§14-1	一般介紹	403
§14-2	穩定計算的一般方法	405
§14-3	直杆的穩定計算	409
§14-4	組合杆件的穩定計算	411
§14-5	空腹支墩的穩定計算	415
§14-6	剛架的穩定計算	417
§14-7	拱及圓环的穩定計算	425
附录	$\xi_1(u)$ 、 $\xi_2(u)$ 、 $\xi_3(u)$ 、 $\eta_1(u)$ 、 $\eta_2(u)$ 、 $\eta_3(u)$ 等函数表	432
第十五章	結構的动力計算	438
§15-1	一般介紹	438
§15-2	单自由度体系的无阻尼自由振动	439
§15-3	单自由度体系的有阻尼自由振动	441
§15-4	单自由度体系的无阻尼强迫振动	443
§15-5	单自由度体系的有阻尼强迫振动	446
§15-6	单自由度体系受突加荷載引起的振动	447
§15-7	单自由度体系振动的应用例題	449
§15-8	有限多自由度体系的振动	451
§15-9	无限多自由度梁的振动	461
§15-10	頻率的近似計算	468
§15-11	地震荷載概論	474
附录	A_{kx} 、 B_{kx} 、 C_{kx} 、 D_{kx} 等函数数值表	478
第十六章	水工結構中的几个結構計算問題	483
I	連拱框架的計算	483
II	連拱坝在橫向地震作用下的近似計算	495
III	彈性基础圓拱及彈性介質中水工結構的計算	500
IV	空腹剛架	518
V	超靜定剛架的影响綫	528

第一章 緒 論

§1-1 結構力学的研究对象及任务

工程上所謂的结构，范围是很广的。如桥梁、房屋、隧道、閘、坝、車輛、船舶、飞机……等都可包括在內。

本課程所研究的结构，主要是指直接或間接与地基联接，在力系作用下而維持平衡的一部或几部組合而成的建筑物而言。如房屋、桥梁、隧道、閘、坝……等。

结构力学的任务是从事研究、計算在各种外力或其他因素单独或共同作用下，结构的强度，稳定性及剛度。

計算强度及稳定性的目的，是使结构具有足够但又不过分的坚固性，使符合安全与經濟的双重原則。計算剛度的目的，是使结构不致发生超过允許范围的变形(如挠曲、沉陷及振动等)，虽然它們对结构的安全不一定有影响，但是过大的变形在实用上是不允許的。

不仅在設計新的结构时要进行这三方面的計算，而且对已建成的结构，当外来因素有所变更时，也必須对结构进行計算，以作将结构适当的加固或改变结构使用条件的依据。

上述结构力学系指广义的结构力学。所謂广义的结构力学包括：材料力学、彈性理論、塑性理論以及狭义的结构力学。狭义的结构力学又称結構理論，如簡便起見，以后仍称为结构力学，但只限于它的狭义。

材料力学，主要是研究个别杆件的計算理論，如梁、柱的拉、压、切、弯、扭及其組合情形。结构力学主要是研究由杆件組成的杆系的計算理論，如桁架、連續梁、剛架等的計算。彈性理論虽然也研究杆件，但它在理論上要求更高的严密性与精确度，因此不得不采用較复杂的数学工具，同时彈性理論也研究并非由杆件組成的结构，如板、壳及块体结构等。塑性理論是研究塑性物体或彈塑性物体的理論。这是这些課程間的一般区别，但在它們之間是沒有明显界限的，有些問題可以属于这个課程，也可以属于那个課程。

§1-2 結構力学发展簡史

结构力学和其它科学一样，是随着生产发展、新建筑材料的发现及其使用技术的发展而逐漸形成的。

在远古时代，首先使用石、木等天然材料，所以建成的建筑物必須适应这些材料的特点，如块体、拱型、梁型结构等。我国古代的劳动人民，在使用这些材料于建筑上有輝煌的成就。如对石料的使用方面，在秦代(公元前221~公元220年)建筑的万里长城，是充分利用了石料本身重量的特点而建成的重力式的建筑物。隋朝(公元581~618年)匠师李春利用石料的抗压性能及拱的特点，在河北汶水上建造了一座跨度約 37 米的赵州桥，这是世界上最早的一座石拱桥，無論在构造上及艺术上都有很高的价值。在水利工程方面，四川灌县的都江堰是最突出的建筑物，此項工程是在公元前 250 年由李冰父子

及川西广大劳动人民所建，工程完成后，担负了川西广大地区的防洪及灌溉的双重任务。上述这些工程直到现在仍完好地存在着。

在木料使用方面，我国在建筑上所独具风格的斗拱建筑，在春秋战国时代即已形成，保存到现在的古老建筑物，如山西五台山豆村镇的佛光寺大殿是在唐末(公元857年)建造的；河北藁县独乐寺的观音阁是公元984年建造的；山西省应县佛宫寺的木塔，共五层，高66米，是在辽代(公元1056年)建造的。这种结构不但形式优美，而且在构造方面充分发挥了木料的性能，可以造成一种高大的骨架结构，这比欧洲古代所采用的迭石建筑要高明得多。

这些古代的建筑，主要是根据劳动人民所积累的经验及建造者们的一些合乎逻辑的估算而决定结构各部尺寸的，当时还没有形成一套理论来加以分析计算。同时由于当时封建社会制度的长期束缚，这些宝贵的经验与创造始终没有提高到理论分析的阶段。

实际上在十九世纪以前，结构力学还只是力学中的一部分而没有单独成为一门科学，当时只有了一些关于梁及柱的计算理论。到了十九世纪初期，由于当时正在发展的资本主义经济，需要许多复杂的、大规模的建筑，如厂房、桥梁、堤坝、运河、起重机、船舶等；同时当时已采用钢材于建筑中，用钢不但可以制成梁而且可以制成由铰接杆件组成的大跨度桁架，在桁架的计算中不但要考虑死荷载的作用，而且要考虑机车等活荷载的作用，这样就迫切需要桁架的计算理论，当时俄国杰出的学者德·伊·茹拉夫斯基在桥梁桁架的计算中首先作出了贡献。

十九世纪末期到二十世纪初，在建筑材料中广泛采用了钢筋混凝土新型材料，由于此种材料的特性，必须改变铰接结构的计算理论而用刚接结构的计算理论，这样就促使刚构分析的理论得到了发展。当时著名的英国学者马克斯威尔、意大利学者卡斯提安诺、德国学者摩尔、美国学者克劳斯、苏联学者思·姆·别尔纳克齐、思·斯·斯特列列茨基、勃·恩·热莫奇金、阿·阿·葛屋士杰夫、伊·姆·拉宾诺维奇等人均有卓越的贡献。

本世纪内，由于机械工业的发展，固定的与行动的振动荷载日益加大，同时由于建筑工程的巨大，有必要考虑地震的作用及结构的稳定，因此使结构动力学及结构稳定的计算理论得以发展，苏联学者阿·恩·克雷洛夫；恩·伊·别祖霍夫；克·斯·扎夫利也夫；勃·格·加列尔金；阿·恩·季尼克等，都有很大的贡献。

解放前在反动政府统治下，我国的科学研究事业受到了阻挠与摧残，虽然也有少数学者作出了成绩，但都散见于国内外的期刊杂志上，没有系统的统计与整理。解放后随着祖国建设事业的飞跃发展，许多规模巨大的工程已经完成或正在建设或即将进行建设，如武汉长江大桥的建成，标志着我国解放后在桥梁建设方面的伟大成就，该桥为公路与铁路两用桥梁，规模巨大，结构轻便优美，是我国桥梁建筑上的一次伟大成就。在水利工程方面，已建成的有荆江分洪、佛子岭水库和梅山水库及其他一些著名工程，正在建设的三门峡水利枢纽，无论工程规模，设计及施工技术，都具有世界先进水平。这些伟大工程的兴建，不但加速了我国社会主义建设，同时也必将推动我国科学技术的发展，使能早日达到世界先进水平。

§1-3 结构计算简图的概念

在分析某一建筑物时，并不是将整个建筑物原封不动地进行分析，而是有意识地将

建筑物的某些次要因素忽略，加以简化而取其简化图形来计算，这种经过简化后的计算图形就叫结构的计算简图。在计算过程中用它来代替实际建筑物，今后我们所称的结构，都不是指的实际建筑物而是指它的简图。一个实际建筑物是很复杂的，如果要完全精确地加以分析，在目前的科学水平下几乎是不可能的，即使可能也是异常复杂，而从工程观点看来也是没有必要的。

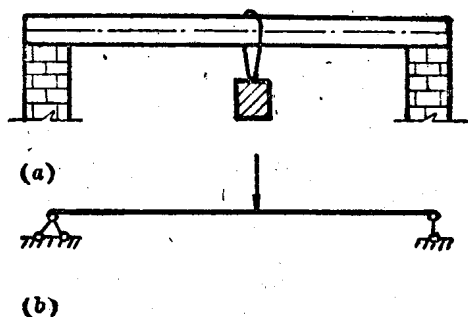


图 1-1

如图 1-1, a 所示的简单梁，两端搁置于墙上，中间悬挂一重物，如果要完全按实际情况分析将是很复杂的，首先需确定墙对梁的反力沿墙宽应作何规律分布，这是一个不容易解决的问题，现在假定它是沿墙宽均匀分布的，其合力必将通过墙宽的中点，同时以梁的轴线来代替梁本身，经过这样简化后就可取图 1-1, b 所示的计算简图，这样就很容易分析了。显然，如果墙的宽度比梁的长度小很多，同时梁的高度也比长度小很多时，作这样的简化在工程上是完全允许的。

又如图 1-2, a 所示的弧形闸门支架，每个结点都用螺栓栓紧是不能自由转动的，如果要按这样的接合方式进行计算将是很复杂的，现在假设各结点都是用理想铰联接的，同时以杆件的轴线来代替杆件的作用，就可取如图 1-2, b 所示的简图，这样计算起来就可简单得多。实践及计算证明，经过这样简化的计算结果在工程上是可以采用的。

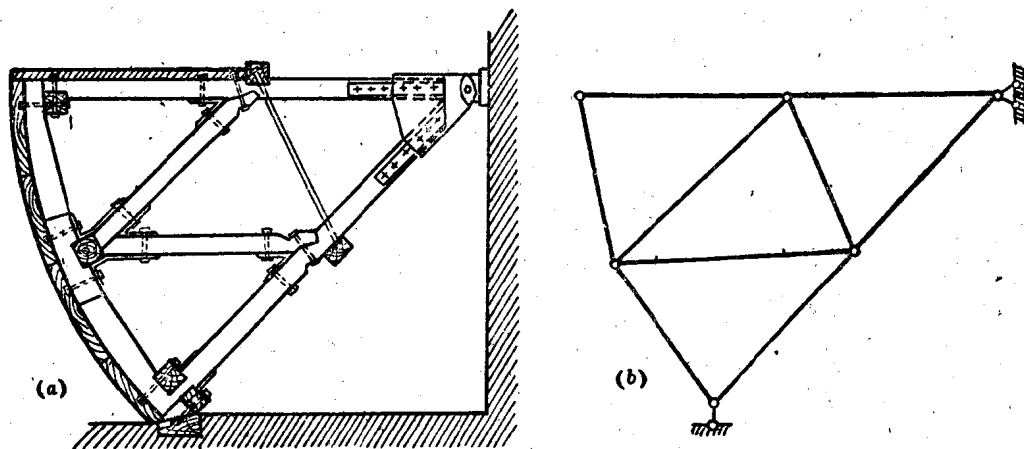


图 1-2

计算简图的选取，是分析结构时一项重要而必须首先解决的问题，在选取时必须符合下列两项原则：

- 一、必须使计算简图尽可能正确反映建筑物的实际情况。
- 二、必须使计算工作得到最大的简化。

要很好的符合这两项原则以选取合理的计算简图不是很容易的，一方面需要对工程有较多的实际经验，另一方面要善于分析主要与次要因素的相互关系及其相对性而决定其取舍。在同一工程的各个设计阶段，往往可以取不同的计算简图，如在初步设计中次

要因素可多忽略一些而取較簡單的計算簡圖，但在技術設計中對次要因素就可少忽略一些而取較精確的計算簡圖。

§1-4 結構計算簡圖的分類

結構的類型很多，可以根據不同的觀點加以分類：

一、按幾何特征分類可分為三種類型。

(1) 杆件結構：這種結構由杆件或杆系所組成，這些杆系的長度遠大於其截面尺寸，即一個方向的尺度遠大於其另外兩個方向的尺度。如圖1-1及圖1-2所示的梁及桁架都屬此種類型。

(2) 薄殼(壁或板)結構：這種結構的特點是二個方向的尺度(長及寬)遠大於另一方向的尺度(厚)。如圖1-3所示平板壩的擋水板及圖1-4所示連拱壩的拱圈部分都屬此種類型。

(3) 實體結構：這類結構三個方向的尺度有同級的大小。如圖1-5所示的重力壩及圖1-6所示的擋土牆即屬此種類型。本書主要研究第一種類型的結構。

二、按空間觀點分類可分為二種類型。

(1) 平面結構：所有組成結構構件的軸綫及荷載均在同一平面內的結構，稱為平面結構。

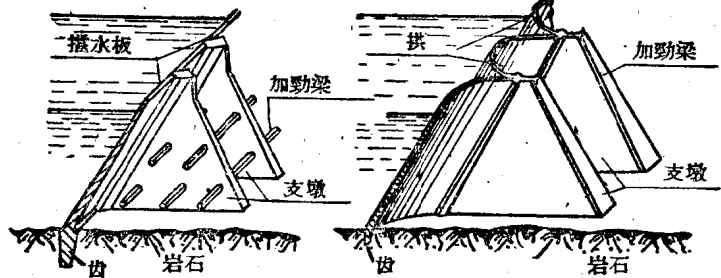


圖 1-3

圖 1-4

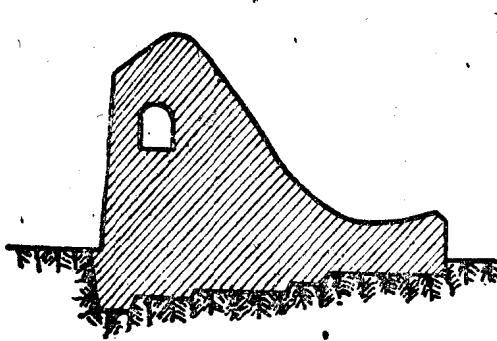


圖 1-5

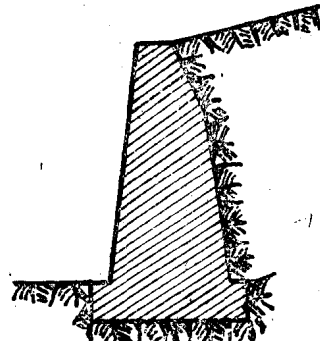


圖 1-6

(2) 空間結構：所有組成結構構件的軸綫或荷載不同時在同一平面內的結構，稱為空間結構。

當然，實際的建築物都是空間的，但在取計算簡圖時，大多數結構都可分成若干個平面結構計算。並不是所有建築物都可當平面結構計算，有些是必須當空間結構計算的。本教程主要研究平面結構。

三、按杆件接合的方式分類可分為三種類型。

(1) 鉸接結構：所有聯接杆件的結點都是用理想鉸聯接的，所聯接的各杆都可繞此

铰自由转动，铰接结构一般称为桁架，如图1-2, b所示的闸门支架及图1-7所示的桁架即属此种类型。

(2) 刚接结构：所有联接杆件的结点都是刚性联接的，所谓刚性联接，就是被联接的杆件都不能绕结点作相对的转动，如图1-8所示的刚架即属此种类型。

(3) 混合接结构：在同一结构上，有些结点是刚接的，有些结点是铰接的，如图1-9所示的桁架梁即属此种类型。

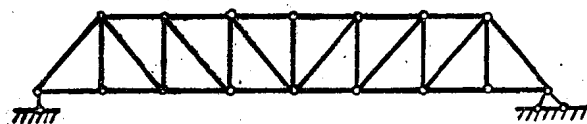


图 1-7

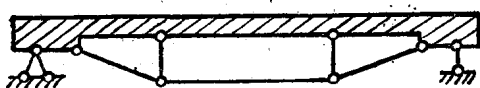


图 1-9

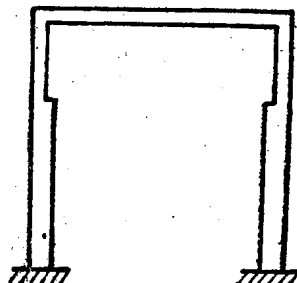


图 1-8

四、按计算方法的静定与否分类可分为二种类型。

(1) 静定结构：只需用静力平衡条件即可求得其全部反力及内力的结构称为静定结构。

(2) 超静定结构：只用静力平衡条件不能求得全部反力及内力的结构称为超静定结构。分析此种结构除需考虑静力平衡条件外尚需考虑变形条件。

§1-5 平面结构的支座及其分类

将结构与地面或与其他结构联接起来，使其不发生某些相对运动的装置叫支座。

平面结构的支座可分下列几种：

一、膨胀支座(活动铰支座)：此种支座可以允许结构绕支座的某一点转动，同时也可以在一个方向内平行移动，图1-10, a就是此种支座的结构示意图。结构可以绕支座的中间铰转动，也可以在辊轴上平行移动。我们假设它们之间没有摩擦力，这样，支座反力必定通过铰的中心，其方向应垂直于辊轴运动的方向。因此反力的作用点及方向是已知的，只是反力的大小是未知的，此种支座也可以用一根链杆来表示如图1-10, b所示。结构可以绕A点转动，同时也可以在以B点为圆心BA为半径的圆周上移动，因为移动

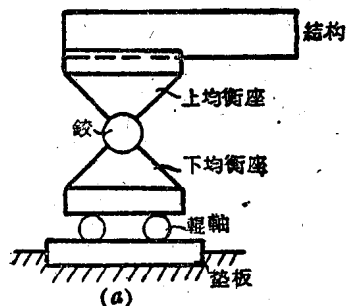
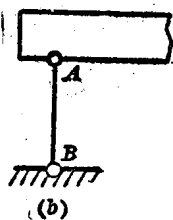


图 1-10



的距离很小可以认为是水平移动，这样，反力的作用点必定通过铰A，作用线将沿链杆的轴线方向，而链杆内力的大小即代表支座反力的大小，它的作用是和图1-10, a所示的示意图的作用相同的。

二、定位支座(固定铰支座)：此种支座只可以允许结构绕支座的某一点转动，图1-11, a就是这种支座的结构简图，结构只可绕中间铰转动而不能移动，这样，反

力必将通过中間铰的中心，但其方向及大小是未知的，也可认为此反力的二个已知方向的分力的大小未知，这种支座也可以用图1-11, *b*所示的两根相交链杆来表示，它的作用完全和图1-11, *a*所示的简图的作用相同。

三、定向支座：此种支座只可允許結構在某一方向移动，图1-12, *a*就是这种支座的結構示意图，結構只可以在軌軸上平行移动而不能轉动，因此反力的方向必須垂直于軌軸移动的方向，但其作用点及大小是未知的，也可认为此反力的一个集中分力及一个力矩分力的大小未知。这种支座也可用图1-12, *b*所示的二平行链杆来表示。

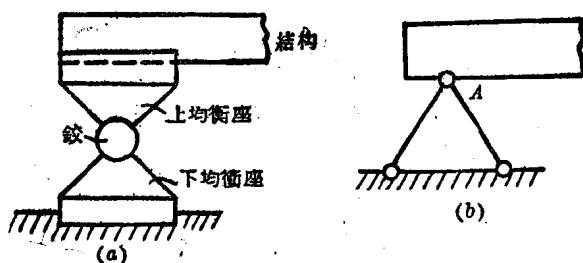


图 1-11

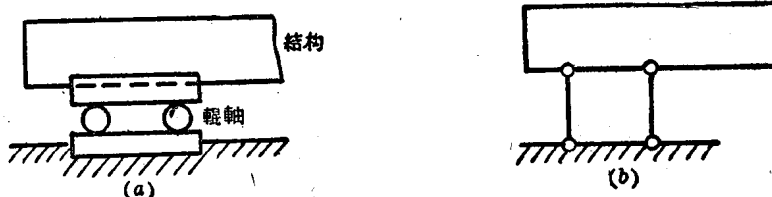


图 1-12

四、固定支座：此种支座不允許結構有任何方向的移动及轉动(图1-13, *a*)，因此反力的作用点、大小及方向均是未知的，也可认为此反力的二个已知作用点及方向的集中分力及一个力矩分力的大小未知，此种支座也可用图1-13, *b*所示的三根不互相平行也不同时交于一点的三根链杆来表示。

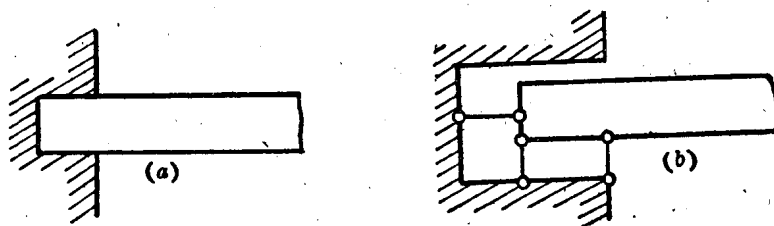


图 1-13

由上述四种支座的性質可以看出：反力未知数的数目就等于所取链杆简图中的链杆数目。

上述支座都是剛性支座，即在外力作用下支座本身是不发生彈性变形的。此外尚有所謂彈性支座，此种支座在外力作用下将产生彈性变形。彈性支座又分下列两种：第一种支座允許結構在支承点轉动及移动，其移动的距离随支承点压力的大小而定。如图1-14, *a*所示的梁，链杆 *BD* 作为梁的中間支座，在外力作用下链杆 *BD* 发生軸向变形，此变形的大小与 *BD* 杆的压力成正比，并引起梁 *AC* 在 *B* 点产生豎向变位，因为铰 *B* 的存在，在該点梁可以自由轉动。若已知其比例系数，則这种支座也可用图1-14, *b*所示的图形来表示。第二种支座只允許結構在支承点轉动而不能移动，其轉角的大小随該点弯矩

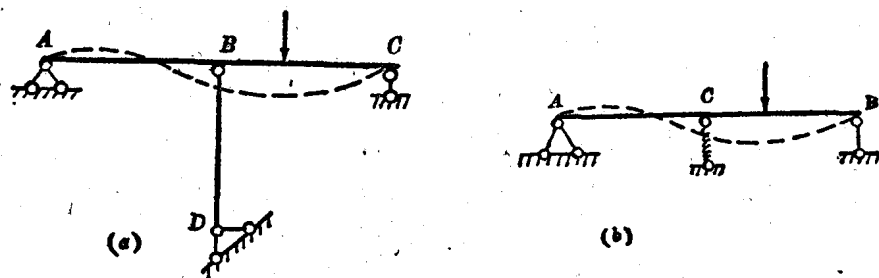


图 1-14

的大小而定，如图 1-15, *a* 所示的梁 *AB* 刚接于 *A* 点，受力后假设忽略 *AC* 及 *AD* 杆的轴向变形，则 *A* 点将只产生转角，其大小与 *AB* 杆 *A* 端的弯矩成正比，若已知其比例系数，则这种支座也可用图 1-15, *b* 所示的图形来表示。

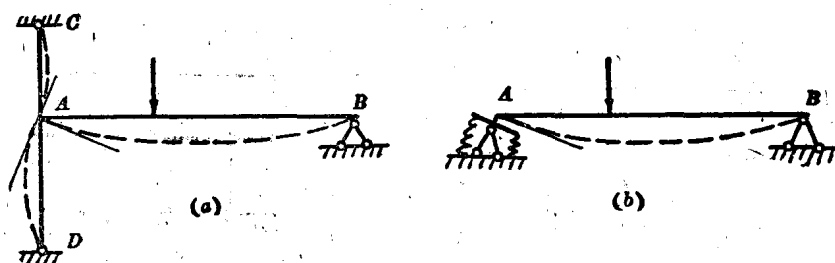


图 1-15

第二章 系统的机动分析

§2-1 机动分析的目的

将个别杆件或构件，用铰或其他方法联接在一起组成一个整体，则此整体称为系统。

从机动(机械运动)的观点分析，系统可分为：

- 一、几何可变系统；
- 二、几何不变系统。

在任意力系作用下，不能保持固定的几何形状而发生相对运动的系统，称为几何可变系统。

在任意力系作用下，不计弹性变形，能保持固定的几何形状而不发生相对运动的系统，称为几何不变系统。

如图 2-1 所示，它们都是用铰将杆件联接起来的，所以都称为系统。图 2-1, *a* 所示的系统是四根杆件用四个铰联接起来的矩形，显然，在微小的任意平衡力系作用下，此系统本身因缺少必要的联系将不能保持为矩形，而发生相对运动，故此系统为几何可变系统。如果再加上一根斜杆如图 *b* 所示，则在任意平衡力系作用下，若不考虑弹性变形，则此系统可以保持固定的几何形状，而不发生相对运动，故此系统为几何不变系统。如将图 2-1, *b* 系统用二支座链杆与基础相联，如图 2-1, *c* 所示，则在任意荷载作用下，此系统

本身虽能保持固定的几何形状，但它将与基础发生相对运动，因此连同基础一起考虑，此系统为几何可变系统。如果再加上一根支座链杆与基础相联如图 2-1, *d* 所示，若不考虑弹性变形，则此系统能保持固定的几何形状而不发生任何相对运动，因此整个系统为几何不变系统。

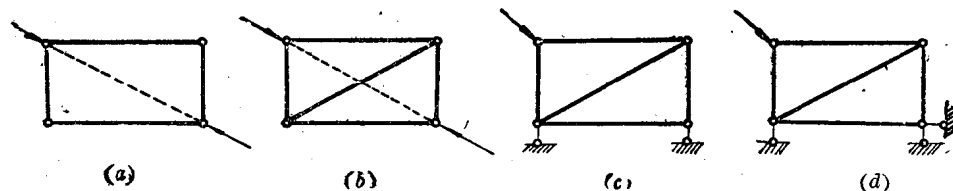


图 2-1

显然，几何可变系统不能取作建筑物的组成部分，而在建筑物中只能采用几何不变系统。

因此机动分析的目的主要有二：

- 一、审查某一系统是几何可变系统或是几何不变系统。
- 二、研究系统应如何组成才是几何不变系统。

§2-2 平面系统的自由度

为今后叙述方便起见常采用盘体及链杆这两个名词。

系统中的几何不变部分称为盘体。凡是仅用两铰与其他部分相联的杆件（直杆或曲杆）或盘体称为链杆。

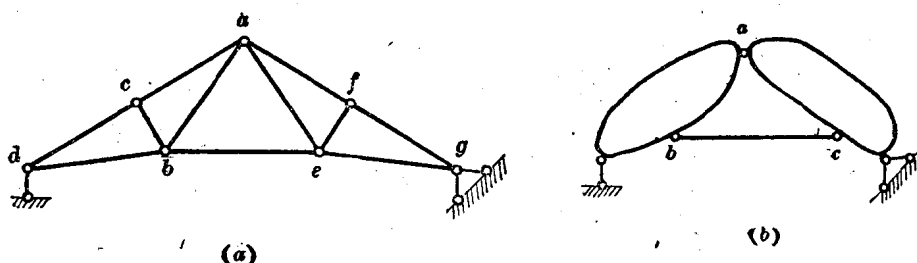


图 2-2

如图 2-2, *a* 所示的系统，所有杆件都是仅用二铰相联的杆件，故都是链杆。当然每根杆件都是几何不变部分，故也可当作一个盘体。另外，如果我们知道 *abc* 为一几何不变部分，则可将这一部分当作一个盘体，同时如果知道 *abcd* 也是一几何不变部分，则也可将整个这一部分当作一个盘体，同理 *ae fg* 也可当作一个盘体，这样图 2-2, *a* 所示系统就可用图 2-2, *b* 所示系统那样来表示，以后我们常用如图 2-2, *b* 所示以一整块刚片来代表一个盘体。

又如图 2-3 所示系统，*ab*、*cb*、*de*、*ef* 都是链杆，当然这些链杆也可当作盘体，值得注意的是：*gh* 及 *gi* 这两根杆件都不能当作链杆而只能当作盘体，因为它们不是仅用两铰相联

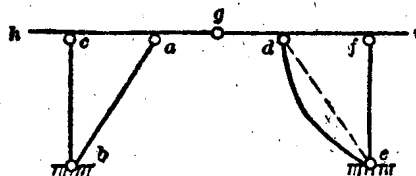


图 2-3

的杆件。由此可知：鏈杆可看成为一个盘体，但盘体却不一定都能看成为鏈杆。分清它們的异同，对理解以后的内容有很大的好处。

任何系統在运动时，用以确定此系統位置的独立几何参变数的数目称为此系統的自由度。这里只限于平面运动的研究。

一个点在平面中运动时要确定它的位置，須用二个独立变数 x, y 的坐标值(图2-4, a)，因此一个点在平面中运动时有二个自由度，或叫它有二度自由。

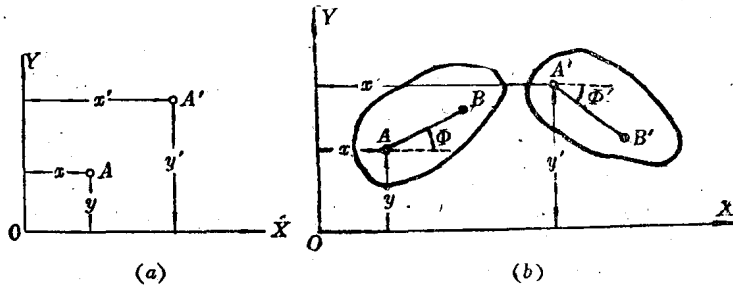


图 2-4

一个盘体在平面中运动时要确定它的位置，須用三个独立变数(图2-4, b)。如用盘体上任意一点 A 的坐标 x, y 及通过 A 点的任意直綫 AB 的傾角 ϕ 。因此一个盘体在 它自己的平面中运动时有三个自由度。

在盘体間可加入某些约束性的装置而减少其自由度。这种用以减少自由度数目的装置叫做控制。

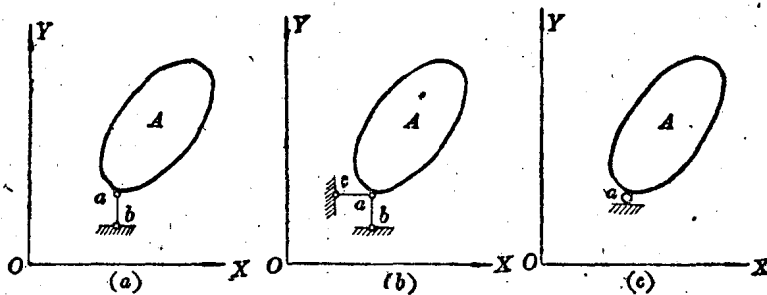


图 2-5

如图2-5, a所示，若将盘体 A 在 a 点加入一根鏈杆 ab 与基础相联，則此盘体将不能在 ab 方向运动，因此减少了一个自由度，若将基础当作一个盘体則可归納为：

在二盘体間加入一根鏈杆控制，将使系統减少一个自由度。

若在 a 点再加上一根鏈杆 ac 与基础相联(图2-5, b)，則盘体 A 将不能在 ab 及 ac 方向运动而只能繞 a 点轉动，因此将减少两个自由度。若将盘体 A 在 a 点加入一个鉸与基础相联(图2-5, c)，同样此盘体也将减少两个自由度而只能繞 a 点轉动。象这样联接二盘体的鉸称作单鉸或称一次鉸。若将基础当作一个盘体則可归納为：

在二盘体間加入一个单鉸控制，将使系統减少两个自由度。

由图 2-5, b 及 2-5, c 可以看出：一个单鉸的作用相当于两根鏈杆的作用，或反过来说：两根鏈杆的作用相当于一个单鉸的作用。