

高等学校教学参考书

结 构 力 学

金宝桢 杨式德 朱宝华合编

金 宝 桢 主 编

人 民 教 育 出 版 社

高等学校教学参考书

结 构 力 学

金宝桢 杨式德 朱宝华合编

金 宝 桢 主 编

人 民 教 育 出 版 社

本书是编者在1964年按照1962年5月审订的高等工业学校工业与民用建筑专业用结构力学教学大纲(试行草案)修订的。修订时也照顾了河川枢纽及水电站建筑专业的结构力学教学大纲的需要。在修订过程中本着“少而精”的原则,加强了基本概念和基本理论的阐述,增加了一些新的例题,删去了很多次要的和多余的内容。

在静定结构部分,先讲述各种静定结构的反力和内力的计算,然后集中在一章中讨论影响线的作法及应用。对虚位移原理增加了详细的阐述。在位移计算一章中也附带讨论了能量原理。

在超静定结构部分按计算方法分章,先讲力法,再讲位移法、渐近法及近似法。在位移法一章中,应用初参数法建立了转角位移方程,增加了应用结点及截面平衡方程计算刚架的方法。在渐近法一章中增加了空间刚架的分析,对迭代法作了适当的精简。

在极限荷载一章中删去了桁架部分,增加了弹塑性位移的计算。在稳定计算一章中,利用初参数法系统地讨论了等截面压杆的稳定。动力计算一章全部改写了,增加了动力荷载的分类;在一自由度受迫振动中讨论了多种荷载的影响;在多自由度体系的振动中,讨论了主振型的正交性及荷载按主振型分解的问题;删去了有关机器基础的振动和结构的抗地震计算的内容。

本书对目前结构力学课程教学仍有一定的参考价值,根据读者要求,特予重印,以供参考。

结 构 力 学

金宝桢 杨式德 朱宝华合编

人民教育出版社出版(北京沙滩后街)

人民教育出版社印刷厂印装

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

统一书号 15012·0127 开本 787×1092 1/16 印张 25 1/8

字数 604,300 印数 14,501—94,500 定价(7)¥2.40

1958年9月上册第1版 1960年7月下册第1版

1964年8月合订本第1版 1979年3月北京第4次印刷

目 录

第一章 緒論1	§ 7-8. 拱式桁架及索式桁架的概念.....78
§ 1-1. 结构力学的任务.....1	第八章 靜定空間桁架82
§ 1-2. 结构力学与其他課程的关系.....1	§ 8-1. 概述.....82
§ 1-3. 结构力学的研究方法.....1	§ 8-2. 固定空間一結点和一剛体的方法.....85
§ 1-4. 结构力学的发展簡史.....2	§ 8-3. 空間桁架的机动分析.....87
第二章 基本概念6	§ 8-4. 結点法.....90
§ 2-1. 结构的計算簡图.....6	§ 8-5. 截面法.....93
§ 2-2. 结构的結点.....7	§ 8-6. 分解成平面桁架法.....94
§ 2-3. 结构的支座.....8	第九章 靜定結構的影响綫97
§ 2-4. 杆件结构的分类.....11	§ 9-1. 前言.....97
§ 2-5. 荷载的分类.....12	§ 9-2. 影响綫的概念.....97
第三章 体系的机动分析14	§ 9-3. 用靜力法作簡支梁的影响綫.....98
§ 3-1. 机动分析的目的.....14	§ 9-4. 伸臂梁及多跨靜定梁的影响綫.....100
§ 3-2. 平面体系的自由度.....14	§ 9-5. 結点荷载作用下的影响綫.....103
§ 3-3. 几何組成的分析.....17	§ 9-6. 用机动法作靜定梁的影响綫.....104
§ 3-4. 机动分析总结.....20	§ 9-7. 实体三鉸拱的影响綫.....107
第四章 靜定結構的一般概念23	§ 9-8. 梁式桁架的影响綫.....108
§ 4-1. 靜力平衡方程和虛位移原理.....23	§ 9-9. 拱式桁架的影响綫.....113
§ 4-2. 靜定结构的定义和基本特征.....26	§ 9-10. 集中力系及分布荷载作用下影响量的計算.....115
§ 4-3. 靜定结构的特性.....29	§ 9-11. 集中力系最不利位置的确定.....117
§ 4-4. 叠加原理对靜定结构的应用.....31	§ 9-12. 均布荷载最不利位置的确定.....120
第五章 多跨靜定梁及靜定剛架33	§ 9-13. 簡支梁的内力包絡图及其絕對最大弯矩.....122
§ 5-1. 多跨靜定梁的組成.....33	第十章 彈性体系的基本定理及結構位
§ 5-2. 关于梁的内力的几点說明.....35	移的計算126
§ 5-3. 多跨靜定梁的数解法.....37	§ 10-1. 总结.....126
§ 5-4. 多跨靜定梁的特点.....39	§ 10-2. 基本概念.....127
§ 5-5. 靜定平面剛架内力图的繪制.....40	§ 10-3. 綫性变形体系的实功.....130
第六章 实体三鉸拱45	§ 10-4. 綫性变形体系的互等定理.....135
§ 6-1. 实体三鉸拱的形式及其应用.....45	§ 10-5. 平面結構的虛功方程.....138
§ 6-2. 反力及内力的数解法.....47	§ 10-6. 計算位移的一般公式.....140
§ 6-3. 反力及内力的图解法; 压力綫的繪制及其应用.....52	§ 10-7. 靜定结构由于荷载所产生的位移.....143
§ 6-4. 合理拱軸的概念.....54	§ 10-8. 靜定结构由于温度改变及支座移动所产生
第七章 靜定平面桁架60	的位移148
§ 7-1. 桁架的特点及其应用.....60	§ 10-9. 势能原理及余能原理.....149
§ 7-2. 平面桁架的組成及其分类.....62	第十一章 超靜定結構的一般概念155
§ 7-3. 用結点法及截面法計算桁架的内力.....65	§ 11-1. 超靜定结构的类型及其应用.....155
§ 7-4. 結点法和截面法的联合应用.....68	§ 11-2. 超靜定次數及其确定.....159
§ 7-5. 桁架内力图的作法.....71	§ 11-3. 超靜定结构的特性.....160
§ 7-6. 再分式桁架的計算.....73	§ 11-4. 超靜定結構計算方法的分类.....162
§ 7-7. 用零載法檢查平面桁架的可变性.....77	第十二章 用力法計算超靜定結構164
	§ 12-1. 力法的基本概念.....164

§ 12-2. 超靜定平面剛架在荷載作用下的計算.....167	§ 15-5. 超靜定結構各種計算方法的比較.....290
§ 12-3. 超靜定平面剛架在溫度改變及支座移動作用下的計算.....171	第十六章 結構的極限荷載.....293
§ 12-4. 超靜定結構的位移.....175	§ 16-1. 一般概念.....293
§ 12-5. 超靜定平面剛架計算的枝核.....177	§ 16-2. 極限彎矩.....294
§ 12-6. 超靜定平面剛架計算的簡化.....180	§ 16-3. 靜定梁的極限荷載及彈塑性形變.....296
§ 12-7. 用力法計算超靜定桁架.....188	§ 16-4. 一次加載時超靜定梁的極限荷載.....299
§ 12-8. 超靜定混合體系.....193	§ 16-5. 比例加載的一般定理.....303
§ 12-9. 二鉸拱的計算方法.....195	§ 16-6. 剛架的極限荷載.....305
§ 12-10. 拋物綫二鉸拱.....198	第十七章 結構的穩定計算.....312
§ 12-11. 無鉸拱在荷載作用下的計算.....201	§ 17-1. 穩定計算的意義.....312
§ 12-12. 無鉸拱的其他計算問題.....207	§ 17-2. 求臨界荷載的靜力法.....313
第十三章 用位移法計算超靜定結構.....212	§ 17-3. 求歐拉臨界荷載的能量法.....316
§ 13-1. 位移法的基本概念.....212	§ 17-4. 等截面壓杆的穩定.....319
§ 13-2. 剛架結點位移數目的確定.....213	§ 17-5. 變截面壓杆的穩定.....322
§ 13-3. 等截面杆件的轉角位移方程.....214	§ 17-6. 剪力對臨界荷載的影響.....326
§ 13-4. 應用基本體系及典型方程計算超靜定結構.....217	§ 17-7. 綫條式及綫板式組合壓杆的穩定.....327
§ 13-5. 應用結點及截面平衡方程計算超靜定結構.....225	§ 17-8. 圓環及圓弧拱的穩定.....329
§ 13-6. 對稱性的利用.....230	§ 17-9. 用位移法求剛架的臨界荷載.....335
§ 13-7. 溫度影響的計算.....233	§ 17-10. 窄條梁的穩定.....340
§ 13-8. 變截面杆件的轉角位移方程和彎曲常數.....236	第十八章 結構的动力計算.....346
§ 13-9. 用混合法計算剛架.....240	§ 18-1. 动力計算的意義.....346
第十四章 用漸近法計算超靜定結構.....245	§ 18-2. 动力荷載的分類.....346
§ 14-1. 力矩分配法的基本概念、分配系數及傳遞系數.....245	§ 18-3. 彈性體系的自由度.....347
§ 14-2. 用力矩分配法計算連續梁.....249	§ 18-4. 單自由度體系的自由振動.....349
§ 14-3. 力矩分配法的核驗.....252	§ 18-5. 單自由度體系的受迫振動.....353
§ 14-4. 用機動法作連續梁的影響綫.....253	§ 18-6. 多自由度體系的自由振動.....361
§ 14-5. 連續梁的內力包絡圖.....258	§ 18-7. 多自由度體系的受迫振動.....367
§ 14-6. 用力矩分配法計算無綫位移的剛架.....259	§ 18-8. 梁及剛架的动力計算.....373
§ 14-7. 用力矩分配法計算有綫位移的剛架.....260	§ 18-9. 無限自由度體系的振動.....377
§ 14-8. 用力矩分配法計算超靜定空間剛架.....266	§ 18-10. 用能量法計算體系的自振頻率.....382
§ 14-9. 迭代法的基本原理.....268	第十九章 結構力學的应用及發展.....388
§ 14-10. 用迭代法計算有綫位移的多層剛架.....270	§ 19-1. 結構力學在結構設計中的作用.....388
第十五章 用近似法計算超靜定結構.....282	§ 19-2. 結構型式的選擇.....388
§ 15-1. 近似法的概念.....282	§ 19-3. 計算簡圖的選擇.....391
§ 15-2. 多跨多層剛架在豎向荷載作用下的近似計算法.....282	§ 19-4. 計算方法的選擇.....392
§ 15-3. 多跨多層剛架在水平荷載作用下的近似計算法.....284	§ 19-5. 結構力學的發展.....394
§ 15-4. 超靜定桁架的近似計算法.....288	附錄 I395
	附錄 II398
	附錄 III402

第一章 緒 論

§ 1-1. 結構力学的任务

在工程的范疇內，凡由建筑材料按照合理方式組成并能承担預定任务和符合經濟原則的物体或体系，都可以称为結構。在土木或水利工程中通常所說的結構，是指直接或間接与地基联結的支承荷载的物体或体系，如房屋、桥梁、閘、壩等。

結構力学这門学科的任务是：研究結構在荷载、溫度变化等因素作用下的强度、剛度和稳定性的原理与計算方法，以及結構的組成規律和結構的力学性能。計算强度和稳定性的目的，是使結構滿足經濟与安全的双重要求；計算剛度的目的，是保证結構不致发生过大的形变。結構的强度、剛度和稳定性，不仅在設計新結構时需要進行計算，而且当已建結構需要承受过去設計时未曾考虑的荷载时，也需要進行核算，从而确定是否需要加固和如何加固。

在土木建筑工程类专业的教學計劃中設有結構力学課程，本課程应起以下的作用：第一，使学生能够比較熟练地进行一般杆件結構的計算，为一些有关的专业課程和毕业設計提供必要的力学基本知識和計算能力。第二，为学生进一步钻研結構理論問題奠定一定的理論基础。

§ 1-2. 結構力学与其他課程的关系

理論力学和材料力学都是学生学习結構力学的先修課程。理論力学为結構力学提供基本的力学原理，如平衡方程、力多边形及索多边形、虚位移原理、达郎伯原理等；結構力学則将这些基本原理应用于結構的計算。材料力学和結構力学都利用簡化假設計論变形体系的强度、剛度和稳定性；但材料力学主要是讲述单个杆件的計算，結構力学則讲述杆件体系（如桁架、剛架、拱等）的計算。以上簡單說明結構力学与其先修課程的关系。就其后續課程來說，結構力学的知識在鋼結構、木結構、鋼筋混凝土結構等专业課程中得到应用。結構力学主要是讲述結構計算的原理及方法；而某一专业課程則应用这些原理和方法，并結合相应的設計規範計算結構的內力、選擇杆件的截面以及进一步驗算結構的应力。

§ 1-3. 結構力学的研究方法

結構力学的理論和計算方法都是由实践到認識，再由認識到实践，通过总结、研究、提高而得到的。經驗证明，所有这些理論和方法都随着人們在实践中对自然規律認識的深入而加以修改或发展，使之更符合于客观的实际情况。正如毛主席所說：“实践、認識、再实践、再認識，这种形式，循环往复以至无穷，而实践和認識之每一循环的內容，都比較地進到了高一級的程度”^①。

^① “毛澤东选集”第一卷，人民出版社 1951 年版，第 295 頁。

我們不能把結構力學看成是一種純粹計算的課程，實驗對結構力學的發展有着重要的意義。因為結構力學既然是研究由某種建築材料做成的實際結構的內力和形變，所以它的結論就應該以材料的實際性質為依據。因此，結構力學必須充分利用已有的實驗結果。其次，我們常會遇到一些新型或複雜的結構，在此情況下某些通常可以忽略的因素就可能成為影響較大而需要考慮的因素。因此，結構力學還需要通過實驗來分清主要因素和次要因素，然後再作出比較切合實際的假定，以便建立合理的計算方法。此外，為了全面而徹底地校核結構的計算理論以及了解實際結構的工作性能，有時還需要對實際的工程結構進行現場的實驗或觀測。

§ 1-4. 結構力學的發展簡史

恩格斯在談到科學的發展時指出，“科學的發生和發展從開始便是由生產決定的”^①。結構力學的發展正是說明這個真理的一個例證。人類的建築實踐在結構力學萌芽以前，已有了悠久的歷史。建築實踐為結構力學奠定了必要的基礎。

中國古代的勞動人民對建築實踐有極為輝煌的成就。

中國科學院考古研究所 1954 年在西安郊區半坡村發現的新石器時代仰韶文化的居住遺址，證明我國木架建築在新石器時代晚期已具有初步規模^②。這種木架結構後來應用日廣，成為我國居住建築的基本法則。利用這種結構方式，我國勞動人民建造了許多偉大的建築物。

在橋梁方面，早在隋朝（公元 581—618 年）就有匠師李春在河北省趙縣建造了形式優美的安濟橋^③（圖 1-1）。此橋是一單跨石拱橋，跨度達 37 米多。根據水經注卷 16 谷水條的記載，拱在



圖 1-1. 河北趙縣安濟橋（建於隋朝：公元 581—618 年）

橋梁上的應用在晉朝（公元 317—420 年）已經開始，可能還要早些^④。其次如飛橋，在南北朝時代（公元 420—580 年）即已流行於西北。這是一種伸臂式的結構，多用木材筑成，橋兩端各筑伸臂梁，用以支承中間的簡支梁。飛橋是利用短梁跨越寬河的卓越方式。索橋的建築也以我國為最早。四川瀘定大渡河上的鐵索橋^⑤，跨長達 104 米，建於清康熙 45 年（公元 1696 年），在 45 年之後才在英國出現了一座跨度只有 70 英尺的鐵索橋。

- ① 見恩格斯：“自然辯證法”，人民出版社 1955 年版，第 149 頁。
- ② 劉敦楨：“中國住宅概論”，1957 年版，第 15 頁。
- ③ 梁思成：“趙州橋”，刊在“中國的世界第一”第二冊，第 11 頁。
- ④ 劉敦楨：“石軸柱橋”，刊在中國營造學社匯刊第五卷，第一期。
- ⑤ 陳孔步：“瀘定鐵索橋”，刊在“中國的世界第一”第三冊，第 61 頁。

此外較著名的是四川灌县^①，跨过寬达 320 米的岷江江面，充分表現了我国劳动人民就地取材的智慧和。

在中国古代的水工結構中，最突出的是四川灌县的都江堰，这是秦朝（公元前 221—202 年）蜀郡太守李冰率子二郎和当地的劳动人民建造的。用直径为 1 米、长约 33 米的竹籠，中間填满卵石，堆集成堤，把岷江分成内外两江，内江灌溉，外江排洪。这座构造简单而規模宏偉的結構，已經利用了两千多年，至今仍然完好，为中外水工結構专家所称道。

古代的工程結構主要是人們根据建筑实践累积的經驗和粗略的估計来建造的。在那些时候，根本还没有关于結構計算的系統理論。实际上，結構力学一直到十九世紀中叶才从力学划分出来而成为一門独立的学科。社会生产的发展促进了結構力学这门科学的成长。

十五和十六世紀，由于手工业和商业的发展，力学在欧洲有了萌芽。十七世紀，因为航海要求解决船只建造問題，人們开始研究材料的强度。十八世紀在英国开始的工业革命使生产技术迅速发展，工业建筑及机器生产的发展，促进了应力和变形的研究。总的說来，十八世紀的研究仍偏重于单个杆件的强度和稳定問題。

十九世紀前半期，資本主义經濟繼續发展。厂房、船舶、堤壩和桥梁的建筑提出了更为复杂的計算問題。随着蒸汽机的使用，铁路建筑自十九世紀三十年代开始兴起。由于铁路桥梁的載重和跨度增加，需要使用桁架和連續梁等更为經濟的結構形式。这样，桁架和連續梁的計算理論便誕生了。这些理論形成了結構力学的初步基础。

俄国工程师茹拉夫斯基(Журавский)提出了計算桁架的正确方法。同时，美国工程师費伯尔(Whipple)在 1847 年也提出了桁架的計算理論。不同学者提出同一研究成果这个事实說明科学理論是社会生产发展至一定阶段的产物。科学工作者在建立科学理論的工作中当然有一定的作用，但是归根結底，科学是在人民群众生产劳动的基础上建立起来的。

十九世紀后半期，鋼結構被广泛应用。結構計算成为結構設計的必要步驟，結構計算的理論得到很大的进展。結構变形和超靜定結構的一般理論建立起来了。英国学者麦克斯韦(Maxwell)在 1864 年的論文中发表了超靜定結構的力法方程。意大利学者卡斯蒂里亚諾(Castigliano)在 1879 年的著作中論述了利用变形势能求結構位移和計算超靜定結構的理論。約在同期，德国学者莫尔(Mohr)发展了利用虛位移原理求位移的一般理論。

二十世紀初，鋼筋混凝土結構开始被广泛应用。这种材料要求新的結構型式。在此形势下，剛架的計算理論就发展起来了。至本世紀二十年代，計算剛架的位移法已經确立；至三十年代，漸近法已經有了丰富的內容。近年来迅速发展的是考虑塑性的結構計算理論、結構稳定和結構动力学的計算理論。

中国人民革命的胜利解放了中国社会的生产力，为我国社会主义建設的蓬勃发展开辟了广闊的道路。建国十余年来，我国劳动人民在党的社会主义建設总路綫的光輝照耀下建成了很多規模宏偉的建筑物，像武汉长江大桥(图 1-2)便是其中的一个突出的例子。这是解放了的中国

① 梁思成：“索桥”，刊在“中国的世界第一”第三册，第 7 頁。

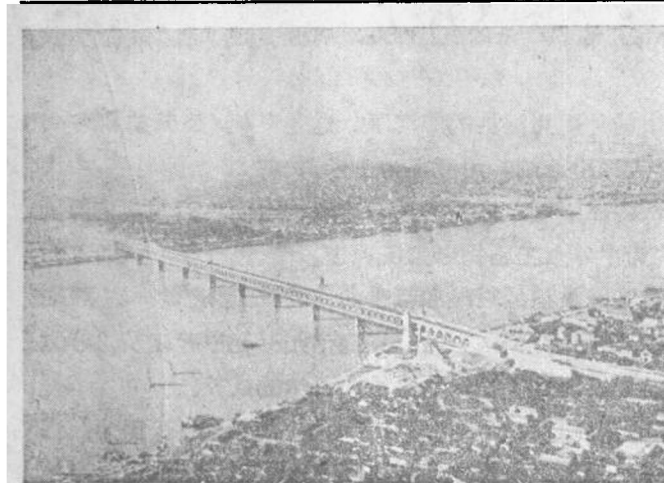


图 1-2. 武汉长江大桥鳥瞰

人 学知識水平和技术力量方面获得提高的具体表现。所有这些工程建設都給結構力学提出了很多新的和技术复杂的问题，因而也推动了这门学科的发展。

我国結構力学的科学研究工作在解放后的短短時間內已取得了可喜的进展和成就。这些成就主要表现在剛架靜力学、結構动力学、薄壳結構以及結構的荷載、安全度和极限設計等方面^①。对此我們只能在下面作一极概括的介紹。

在剛架靜力学方面，我們主要对属于联立方程的方法、属于反复修正的漸近法以及属于傳播不平衡因素的精确法和漸近法进行了較广泛的研究。我們不仅改进了剛架靜力計算的一些經典方法，还提出了一些新的方法。此外，还值得提出的是：編制了較前更完整的变截面梁常数表和更符合于設計部門需要的剛架內力分析图表。

在結構动力学方面，我們曾对地震荷載的分析、房屋的抗地震問題、壩的抗地震問題、地震区建筑规范的編制、各种結構自由振动与受迫振动的計算以及有关結構力学若干一般理論与方法等进行了研究。应当指出，結構动力学的研究在旧中国是一个空白点；解放后，随着大規模基本建設的开展，特别是在工业厂房、水工結構、桥梁、机器基础等設計中往往要求进行动力計算，結構动力学的研究才应运而生。

建国十余年来，我国在結構力学的科学研究工作方面已取得了不少成就，这是应当肯定的。但应指出，这些成就还不能很好适应我国社会主义建設飞跃发展对結構力学的要求。为使結構力学能够更好地为社会主义建設服务，我們今后必須既要巩固和提高已有的研究成果，又要加强某些薄弱环节的研究工作。

党的社会主义建設总路綫和对文化教育的方針給結構力学的发展开辟了光明的道路。結構力学首先将是在辯证唯物主义思想的指导下向前发展。結構力学科学研究的方向是密切联系生产实践，为社会主义建設服务。在科学研究工作中的态度應該是敢想敢做的革命精神与实事求是的科学作风相結合。

在我国偉大的社会主义建設中，基本建設的規模和投資总额是巨大的。党的社会主义建設总路綫給結構力学提出了光荣的任务和要求。一切工程結構的設計必須貫徹多、快、好、省的方針，大力提高設計质量。因此，在設計中既要确保結構的安全可靠，又要从各方面考虑滿足經濟的要求，以節約鋼材、木材和水泥等建筑材料以及制造和架設結構的劳动量。此外，利用先进的

① 十年来中国科学成就丛书，“結構工程与結構力学”，1959年。

計算方法和計算工具以加快設計速度并在設計方案中考虑快速施工的要求，也是一个重要的方面。不仅这样，我們还要利用新材料和創造新結構，以及改进設計理論和設計規範。由此可見，如何充分运用結構力学的知識以實現党在建筑科学技术方面的方針政策，是結構設計者和結構力学工作者們的光荣而又艰巨的任务。

第二章 基本概念

§ 2-1. 结构的计算简图

作结构的内力计算时, 我们常用一种简化图形来代替实际结构。这种简化图形称为结构的计算简图。从目前的科学水平来说, 要想严格地按照实际结构(特别是较为复杂的结构)所有各部分的相互作用进行十分精确的分析, 几乎是不可能的。即使有这种可能, 其分析方法也是十分复杂的, 没有实用价值。

因此, 结构计算简图的选定是结构分析中一个非常重要而必须首先解决的问题。建立结构计算简图应该满足两个基本的要求: 第一, 从结构本身的工作情况来说, 在忽略了一些次要因素以后, 计算简图应该基本上正确地反映结构的主要受力状态。第二, 从计算工作量来说, 计算简图又应该使结构的内力计算得到最大可能的简化。为了适应具体情况, 计算同一结构时可在不同设计阶段采用不同的计算简图。这就是说, 当初步选定杆件截面时, 可用一种较为简单的计算简图; 当最后计算时, 再用一种较为复杂的计算简图。

为了说明实际结构的简化过程, 先举一个桥梁结构的例子。图 2-1, *a* 示一短跨梁桥。直接作用于桥面板的荷载先通过各横梁传到主梁, 再由主梁传到桥台。实际上, 由横梁支承的桥面板是连续的; 每一横梁与桥面板、横梁与主梁以及主梁与支承垫块之间, 都有一定的接触面积, 而且每一接触面积上的压力分布也是不均匀的。但是为了便于计算主梁内由于已知荷载所产生的弯矩和剪力, 我们可以作出以下的假定: 第一, 桥面板简支在横梁上, 这样即可求出每一横梁上由于已知荷载作用所产生的总压力。第二, 所有接触面积上的压力分布都是均匀的, 这样从每一横梁传到主梁, 以及从主梁传到支承垫块的合压力都通过相应接触面积的中心。第三, 主梁可用其轴线代表。第四, 每一桥台可用一适当的铰支座代表。在这些假定下, 可以得出主梁的计算简图及其所受外力, 如图 2-1, *b* 所示。这个计算简图不仅为计算主梁的反力和内力提供了简便的方法, 而且也基本上正确地反映了主梁的工作情况。

其次, 举一个现浇式钢筋混凝土厂房屋架(图 2-2, *a*)的例子。基础部分最先浇筑, 接着浇筑柱和梁, 使全部屋架成为一个整体。这样, 梁和柱可各用其轴线代替; 梁和柱的联结处形成刚结点; 柱和基础的联结处形成固定支座。图 2-2, *b* 示此屋架的计算简图。

最后举一个水工结构的例子。在图 2-3 中, 图 *a* 示弧形闸门支架; 图 *b* 示此支架的计算简图。桁架的杆件用其轴线代替; 桁架的铆接结点都当作铰结点看待; 桁架左端和右端的支座各用可动

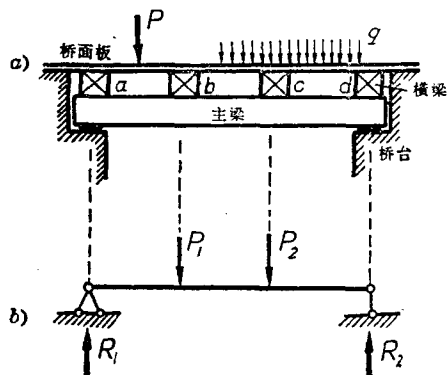


图 2-1

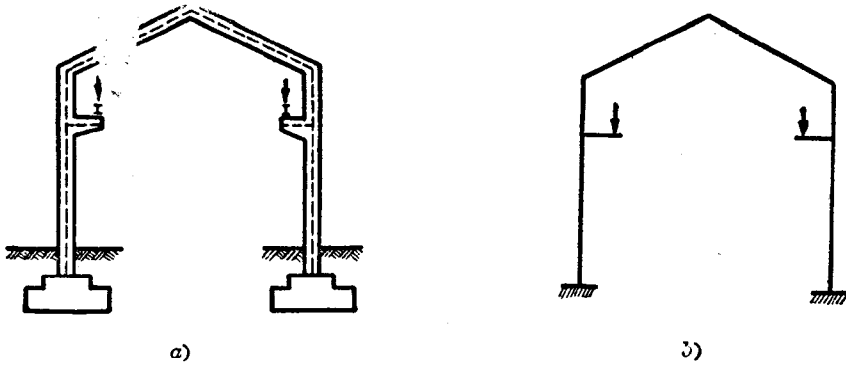


图 2-2

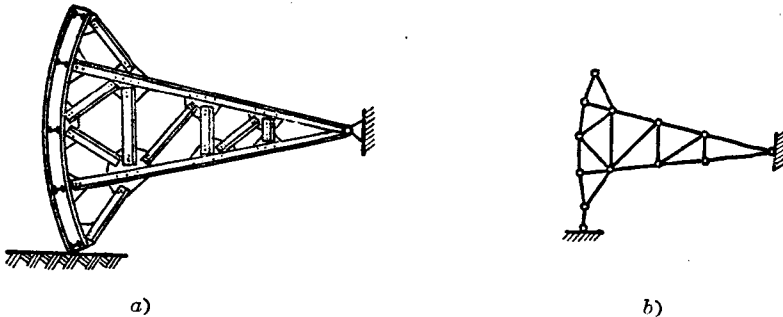


图 2-3

铰支座和固定铰支座表示。这样,桁架的内力计算将大为简化,而且也体现了桁架中主要只引起轴力的特性。

§ 2-2. 结构的结点

在杆件体系中,两个或多个杆件的共同联结处称为结点。钢木结构和钢筋混凝土结构的结点具有各种不同的构造方案。但是从计算的特点来说,它们可分为铰结点和刚结点两种。这两种结点的基本区别是:联结铰结点的各杆可以绕着结点自由转动;而联结刚结点的各杆则在结点转动时保持相同的转角,即各杆之间的原有夹角保持不变(参看图 2-8)。兹将平面结构和空间结构的结点分述如下:

(1) 平面结构的结点 从几何观点来看,杆件结构可分为平面结构和空间结构;前者各杆的轴线都在一平面内,后者各杆的轴线则不都在同一平面内。实际上,所有杆件结构都是空间结构,但为了简化计算工作,某些空间结构可分解为平面结构来计算。平面结构的结点构造因拼接方法和结构材料而不同。图 2-4 示一钢桁架的铆接结点构造;图 2-5 示一木桁架的结点构造。由于这两种结点的刚度都比较小,在计算时我们常把它们当作铰结点来看待。图 2-6 及图 2-7 各表示图 2-4 及图 2-5 所示结点的计算简图。所谓结点的计算简图是结构的实际结点在计算杆内力时所采取的简化图形,其中联结结点的各杆则各以其轴线代替。图 2-8 示一平面刚架的计

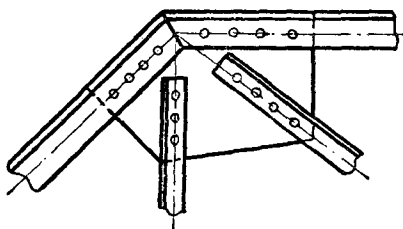


图 2-4

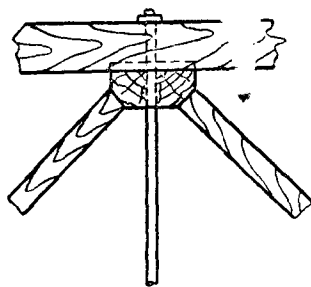


图 2-5



图 2-6

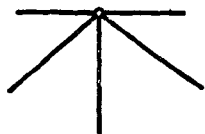


图 2-7

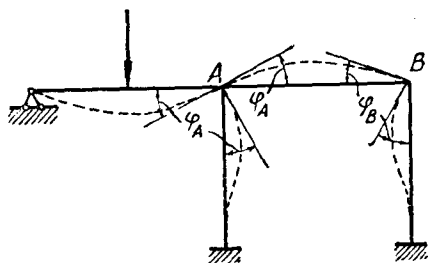


图 2-8

算简图, 其中结点 A 及 B 都是刚结点。该图清楚地表明, 当刚架发生变形时联结刚结点的各杆都转动同一角度。

(2) 空间结构的结点 虽然有不少的空间结构可以分解为平面结构来计算, 但还有一些具有明显特征的结构则不能分解为平面结构来考虑。空间结构的结点也分为铰结点和刚结点两种。空间桁架的结点一般都当作铰结点看待。但空间结构的铰结点不同于平面结构的铰结点; 后者是一种光滑的圆柱铰, 而前者则为光滑的圆球铰。联结圆柱铰的各杆可以绕着通过铰中心而垂直于结构平面的轴线自由转动; 而联结圆球铰的各杆则可绕着通过铰中心的任意三个垂直方向自由转动。图 2-9 示一空间桁架的计算简图, 其中结点 A 、 B 、 C 、 D 都是铰结点。空间刚架的结点一般都是刚结点。图 2-10 示一空间刚架的计算简图, 其中结点 A 及 B 都是刚结点。

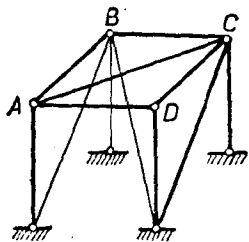


图 2-9

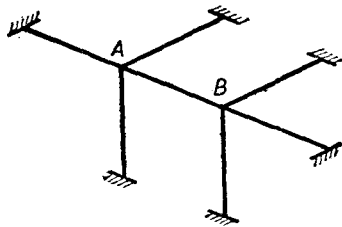


图 2-10

§ 2-3. 结构的支座

我们在讲结构的计算简图时已初步提到结构的支座, 本节再作较详细的介绍。结构的支座

是联系结构到地面或其他结构的一种装置，使结构在其支座处容许或避免某些方向的移动或转动。兹将平面结构和空间结构的支座分述如下：

(1) 平面结构的支座 在平面结构中，各杆的轴线和作用于结构上的荷载及支座的反力都在同一平面内。平面结构的支座具有以下四种基本类型：

(a) 可动铰支座 这种支座的构造如图 2-11, a 所示，其中上均衡座装在上部结构与铰之间，下均衡座装在铰与辊轴之间，辊轴的下面为垫块及基础。从机动观点来看，可动铰支座既容许结构绕着铰轴转动，又容许结构沿着垫块平面左右移动。如果略去摩擦阻力的影响，则支座反力 R_y 的作用线将通过铰心并支与支座平面垂直。这种支座上的反力只有一个未知量，即 R_y 的量值。在图 2-11, b 所示的计算简图中，可动铰支座只用一根支杆 AB 来表示。由此简图可知，结构可绕圆柱铰 A 转动，并可沿着以 B 点为圆心及 BA 为半径所作的圆弧的方向移动。如此移动很小，则其方向可以视为是水平的。

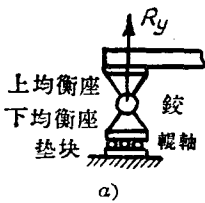


图 2-11

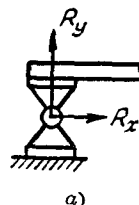
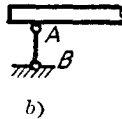
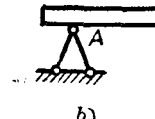


图 2-12



(b) 固定铰支座 这种支座的构造如图 2-12, a 所示。因下均衡座固定在基础上，所以结构只能绕着铰轴转动。由图可知，固定铰支座的反力共有两个未知量：即反力的量值及其方向，或水平分反力 R_x 与竖向分反力 R_y 的量值。图 2-12, b 示此种支座的计算简图，两根支杆以 A 点为共共同铰。

(c) 定向支座 图 2-13, a 示这种支座的构造。定向支座只容许在平行于支座平面方向移动，而不容许发生任何转动。因此，支座反力的方向显然垂直于支座平面。反力的未知量有两个：竖向分反力 R_y 和支座力矩 M 的量值。这种支座的计算简图如图 2-13, b 所示，包括两根与 R_y 平行的支杆。

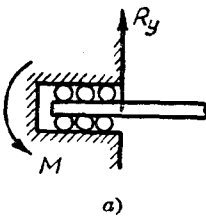


图 2-13

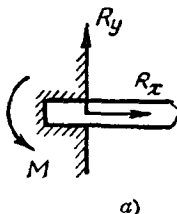
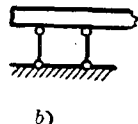
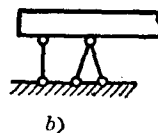


图 2-14



(d) 固定支座 图 2-14, a 示一最简单的固定支座。这种支座既不容许结构发生转动，也不容许发生移动，故其反力共有三个未知量：即水平分反力 R_x 、竖向分反力 R_y 和支座力矩 M 的量值；前两个分反力的量值也可以用其合力的量值及其方向来代替。图 2-14, b 示固定支座的计算简图，三根支杆不全平行，亦不同交于一点。

由以上的論述可得結論如下：任意一种支座計算簡图中所用的支杆数应等于这种支座反力的未知量数。

(2) 空間結構的支座 空間結構的支座有下列三种:

(a) 可动圓球支座 这种支座的构造如图 2-15, a 所示。圓球可在上下两平板之間自由滚动。被支承的結構可繞通过球心的三根軸綫轉动, 并可沿着 x, z 两軸方向移动。反力須通过球心, 沿着 y 軸方向作用。这种支座的計算簡图可用一根支杆来表示(图 2-15, b)。因这种支座能使結構沿一平面移动, 故亦称为面支座。

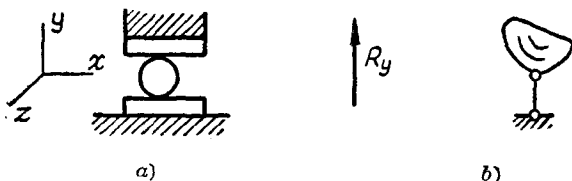


图 2-15

(b) 可动圓柱支座 这种支座的构造如图 2-16, a 所示。在上下均衡座之間的凹穴內嵌一圓球。下均衡座支于一組圓柱上, 圓柱可在支承墊塊上滚动。結構可繞通过球心的三根軸綫轉动, 并可沿支承墊塊在垂直于圓柱軸綫方向移动。因反力須通过球心并在与移动方向垂直的平面內, 故可分解为 R_y 与 R_z 两个分力。这种支座的計算簡图可用 yz 平面內的两根共点支杆来表示(图 2-16, b)。由于这种支座能使結構沿一直綫移动, 故亦称为綫支座。

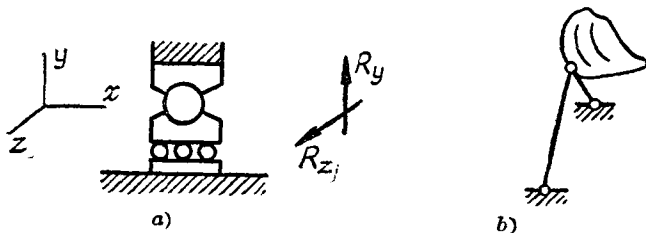


图 2-16

(c) 固定圓球支座 这种支座的构造如图 2-17, a 所示。在上下均衡座之間的凹穴內嵌一圓球, 下均衡座固定于基础。結構可繞通过球心的三根軸綫轉动, 但不能沿任何方向发生移动。反力必須通过球心, 但方向不定, 故可分解为三个分反力 R_x, R_y, R_z 。这种支座的計算簡图可用三根不共面而共点的支杆来表示(图 2-17, b)。由于这种支座只能使結構繞着一点发生轉动, 故亦称为点支座。

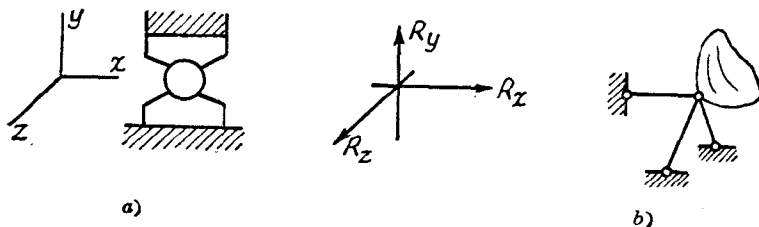


图 2-17

§ 2-4. 杆件结构的分类

在结构力学中,我們总是用計算簡图代替实际结构。

杆件结构是结构的一个重要类型,是结构力学的主要研究对象。我們可从不同的观点对杆件结构作不同的分类。首先,从杆件相互联结的特性来看,杆件结构可分为桁架、刚架和混合结构三种。桁架是由許多鏈杆(两端为鉸結的杆件)組成的体系(图 2-18, a); 刚架是由許多杆件主要用剛結点联结起来的体系(图 2-18, b); 混合结构是由梁件和鏈杆組成的体系(图 2-18, c), 其中有些結点是鉸結合,有些結点是剛性結合。

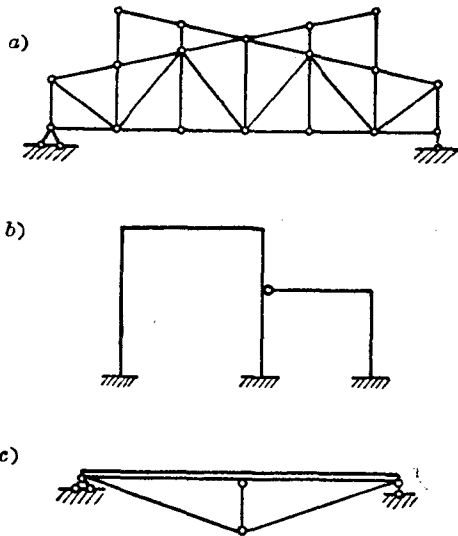


图 2-18

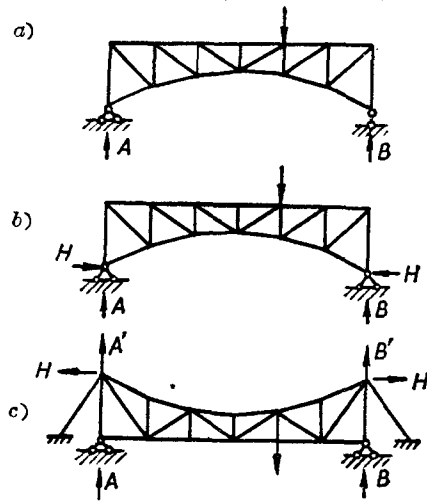


图 2-19

其次,从支座反力的作用情况来看,杆件结构可以分为梁式结构、拱式结构和悬式结构三种。梁式结构的特点是,在豎向荷載作用下只会产生豎向支座反力(图 2-19, a)。拱式结构的特点是,在豎向荷載作用下除产生豎向支座反力外,还产生向内作用的水平反力(图 2-19, b)。悬式结构亦可称为索式结构,它的特点是,在豎向荷載作用下除产生豎向支座反力外,还产生向外作用的水平反力(图 2-19, c)。

复次,从計算的特点來說,杆件结构又可分为靜定结构与超靜定结构两种。前者是指在一定的假設下所有反力和內力只用靜力平衡方程即可决定的结构;后者是指在一定的假設下所有或部分反力和內力除应用靜力平衡方程外,还必须考虑结构的形变条件才能决定的结构。这里所說的一定的假設是,在計算结构的反力和內力时可以略去由于荷載所产生的形变对于杆件长度及其位置的影响;換句話說,在荷載作用下结构发生形变以后,我們計算反力及內力时所用的杆件长度及其位置可以假定和它們在结构发生形变以前时相同^①。在图 2-18 中,图 a 为靜定結

① 參看 В. А. Киселев, "Строительная механика", 第 21 頁, 1960 年。

构;图 b 及图 c 都是超靜定結構。

§ 2-5. 荷載的分类

荷載有狭义和广义两种意义。狭义荷載是主动作用于結構上的外力; 广义荷載是使結構发生內力与形变的任何外部作用因素, 如温度变化、基础沉陷、装配誤差、材料收縮等。我們通常讲的荷載是指狭义荷載而言。

在进行結構計算之前, 須对結構应当承受的各项荷載作出合理的确定。有些荷載比較肯定, 其确定并不困难; 但在很多情况下荷載的合理确定却需要丰富的經驗和深入的考察研究。例如, 結構上風荷載和雪荷載的确定常牵涉到很多因素, 需要对当地长期的气象记录和水文資料进行詳細的統計分析。在确定荷載时, 常使用或参考有关的“荷載規範”。总之, 荷載的合理确定是进行合理設計和結構計算的前提。設計荷載的估計不宜过高或过低; 过高将造成浪費, 过低将使結構遭致危害。对于某些荷載, 例如作用于公路桥梁或铁路桥梁上的行动荷載, 更需要慎重确定; 因不仅要考虑当前的需要, 还要考虑到行动荷載将来可能的增长。由此可見, 荷載的合理确定对結構的設計和使用都有很大的关系。

根据不同的观点, 荷載主要有以下的分类:

(1) 分布荷載与集中荷載 根据荷載作用的范围, 荷載可分为分布荷載与集中荷載。均布荷載是分布荷載的一个特殊情况。实际上, 真正的集中荷載是不存在的, 但在計算时常将作用于較小长度上的荷載当作集中荷載看待。

(2) 永久荷載与临时荷載 根据荷載作用时间的久暫, 荷載可分为永久荷載与临时荷載。永久荷載是永恒作用的荷載, 如結構的自重及其附屬部分的重量。临时荷載是暂时作用的荷載, 如屋面上的雪荷載和風荷載以及公路桥梁上的行人、車輛等。

(3) 固定荷載与移动荷載 按照荷載位置的是否变化, 荷載可分为固定荷載与移动荷載。永久荷載总是固定荷載; 临时荷載总是移动荷載。移动荷載又可分为行动荷載与可移荷載, 前者如桥梁上的車輛荷載, 后者如屋面上的雪荷載。

(4) 靜力荷載与动力荷載 根据荷載作用的特性, 荷載可分为靜力荷載与动力荷載。靜力荷載是緩慢地加到結構上的荷載, 其大小与位置的变化极为緩慢而可略去慣性力的影响。与此相反, 动力荷載的大小与位置都随时间迅速变化着, 因而必須考虑慣性力的影响。

(5) 主要荷載、附加荷載与特殊荷載 設計工业与民用建筑时, 按照設計規範的規定^①, 荷載可分为主要荷載、附加荷載与特殊荷載。主要荷載是結構在正常使用条件下經常作用着的荷載, 如結構的自重、雪荷載、行动荷載、土压力、水压力等。附加荷載是临时作用的荷載, 如風荷載、不可能长期积雪地区的雪荷載、不正常的动力荷載、安装用吊車的行动荷載等。特殊荷載是在偶然特殊情况下作用的荷載, 如地震力、因水灾引起的水压力等。对結構进行核算时, 可采用以下的

① 参看中华人民共和国建筑工程部頒布的“荷載暫行規範(規結-1-58)”, 1958 年。