



北京市高等教育精品教材立项项目

黄达海 郭全全 著

概念结构力学



北京航空航天大学出版社



北京市高等教育精品教材立项项目

内容简介

概念结构力学

黄达海 郭全全 著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书以简单结构位移判断与位移计算为基础,导出常用“基本超静定结构”的特征位移值与反力值,利用上述特征值,并通过从整体上“强化结构受力”与“弱化结构受力”等方式,介绍判断复杂结构受力与变形的几种方法。这些方法可以帮助读者在单一荷载下得到结构关键部位受力与变形的近似值;利用叠加原理,也可近似得到复杂结构在水平荷载体系与垂直荷载体系,以及位移荷载和温度荷载下的受力判断。

本书可作为高等院校建筑、土木、水利等专业本科生与研究生的教材,也可供建筑设计 with 结构分析类工程技术人员参考。

学 术 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

概念结构力学 / 黄达海, 郭全全著. — 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010.9

ISBN 978-7-5124-0116-7

I. ①概… II. ①黄… ②郭… III. ①结构力学
IV. ①O342

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 109510 号

版权所有,侵权必究。

概念结构力学

黄达海 郭全全 著

责任编辑 宋淑娟

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: bhpress@263.net 邮购电话:(010)82316936

北京市媛明印刷厂印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:16.75 字数:375千字

2010年9月第1版 2010年9月第1次印刷 印数:2500册

ISBN 978-7-5124-0116-7 定价:39.00元

序 言

产生撰写拙著的冲动,源于2003年春季的一次研究生复试。笔试部分有这样一道题:一根简支的三跨连续梁,在其中一跨中点受集中荷载作用,要求画出结构弯矩图与变形趋势图。判卷的时候,我惊讶地发现,这些杀出考研重围的优秀年轻人,没有一个能完整、准确地回答此题。有的弯矩图形状正确,但变形趋势图错误;有的变形趋势正确,但与弯矩图脱节;还有的留下一堆没有系数的公式,更多的则是大片空白。如果时光倒退20年,要我参加这样的考试,遇到这样“另类的题目”,其结果肯定也一样。当时只是感觉高校的结构力学课程的教学有些不对劲,但不知问题出在哪里。

2004年春天,我偶然接触到林同炎先生的《结构概念与体系》一书,如醍醐灌顶,恍然大悟:原来,结构力学的教学与结构力学的应用之间存在空白!建筑师与结构师之间,工程结构教学与工程结构设计之间,计算结构力学与经典结构力学之间,存在很大的空白,需要有人在结合部位做工作。泛言之,教育的空白也无处不在。自那以后,本人发扬“无知者无畏”的精神,在学生们鼓励下,开始了“概念结构力学”的教学与写作,以期为缩小结构力学的“经典理论”与“数值计算”之间的距离尽绵薄之力。

但是,结构力学是何等成熟的科学!纯力学专业人士也未必能窥其全豹,更何况是2002年才开始接触它的人呢?对我来说,写作《概念结构力学》等于是执行一项无法完成的使命。好在本人有幸在1996年听过我国力学专家钱令希先生的一次演讲。钱老一语道破天机——结构力学所有的策略都是“先修改,后复原”!力法的修改是局部削弱,然后复原。比如,先去掉一个约束,使局部削弱,让结构便于计算,然后再以局部位移为零来复原。位移法的修改是局部加强,然后复原。比如,用刚臂加强一个节点,限制其转动,把结构“修改成”有解析解的情况,然后通过“强迫刚臂上附加弯矩为零”的办法来恢复。最小势能原理的“修改”是:放弃平衡条件的约束,将应力以应变方式表达,从而建立一个势能函数;恢复的过程就是迫使势能取极值来间接满足力的平衡条件。最小余能原理则与之对称:放弃变



形协调的约束,将应变以应力方式表达,建立一个余能函数;复原的过程就是迫使系统总余能取极值来间接满足结构变形协调的约束,等等。在钱先生看来,上述策略是通向“经典结构力学”的不二法门。钱先生上述精彩的思想,在10年之后,给了我诸多启示。

在《概念结构力学》中,拙著沿用了钱先生的思想。面对一个复杂结构,第一步就是“修改”。与钱先生思想的不同之处在于:这里不只是修改一次,而是修改两次。第一次以最严格的方式修改;第二次以最宽松的方式修改。而结构的真实状态,则很可能介于这两次修改后的状态之间。还有一点与钱先生的思想不同,即这里不做“复原”工作,而是只取两次修改后的中间值来预测结构的真实值。所以,如果说“经典结构力学”的精华在于“先修改,后复原”,那么,“概念结构力学”的唯一卖点(如果这个可以“卖”)在于:修改,修改,不恢复!

在近8年的结构力学教学实践中,本人都以这种“修改”策略面对每一个结构。试验结果表明,这种“修改—修改—不恢复”的方法确实有效,而且常常能很快给出结构特征点反力与弯矩的预测值,有时甚至能使预测值与精确值丝毫不差。没有时间阅读本书的读者,不妨只参阅附录C,那里有“修改,修改,不恢复”的典型案例。拙著就是按照那样的法则编写出来的。

但是,常有令人沮丧的时候——那就是判断错误。或者说,判断值与精确解差别太大。判断错误有些是方法本身的问题,更多的则是准备不足。令我感动的是,学生说:“黄老师,我们喜欢看你在讲台上出洋相。这至少说明我们水平差不多,这让我们觉得自己大有希望。”这种安慰真是太伟大了!正是有了学生的宽容与谅解,才有了本书中一些“出过洋相但得到了纠正”的例子。

确实,恰当地“修改”一个复杂结构,以便“逼近”其真实受力状态,需要独到的眼光和以结构概念作指导。为了训练这种结构概念,本书共分8个章节。其中,第1章阐述概念结构力学的宗旨与学习方法;第2章是结构位移计算的基本理论;第3章是简单结构位移计算;第4章是基本超静定结构的解答,包括特征点反力弯矩剪力与位移,也就是希望在这一章奠定概念结构力学的全部基础;第5章是简单结构的定性判断;第6章是移动荷载下结构最不利位置的判断;第7章是复杂结构受力状态与变形趋势的判断;第8章是结构概念在结构分析与结构设计中的应用。

当然,在形成结构概念之前,需要不断开发与发挥人的直觉。假如一个学法律或外语专业的学生,仅凭直觉能说出简支梁在均布荷载作用下“梁下沿受拉、上



沿受压”的结论,那么,对于工科学生,有什么理由不重视、不开发、不培养这种直觉呢?在课堂上对学生直觉的保护,慢慢演变成了本书的风格。为了纠正人的直觉产生的错误,本书中还大量引用了有限元计算结果。对比主观判断结果与软件计算结果,讲解二者之间差别产生的原因,成为课堂上的重要话题,也是本书的另外一件趣事。

本书难以弥补的缺憾是:还未找到一种能把经典力学原理讲解清楚的简便方法。重要性绝对一流的“力法”与“位移法”,在这里成为配角——仅在附录中给出。区区几页纸,浓缩了经典结构力学中的精华,一时难以消化的读者可以参阅其他《结构力学》教材。

8年耕耘,一遭收获。在拙著即将付梓之际,衷心感谢先后为我担任结构力学课程助教的黄伟、刘小萍、谭力、代婧、孙淑美、彭琨、刘金虎等研究生;感谢参加计算、校核、画图、编辑的喻田、冯辰、张驰宇等本科生。他们的无私付出每每让我不知所措。这份师生情谊让我觉得非常温暖。

感谢江欢成院士对本书【例8-2】和【例8-3】的结构优化的指导。

感谢北京市精品教材出版基金的资助!感谢北京航空航天大学出版社编辑的鼓励与帮助!

另外,特别感谢我的合著者郭全全副教授。他的加盟,使结构概念的形成与应用找到了恰当的用户。拙著所有荣誉愿与他共享,而对本书的批评与责难应由本人独自承担。

最后,关于《概念结构力学》,有异议者,请通过以下联系方式进行交流、探讨,本人期待您的来访。

黄达海

huangdh@tsinghua.edu.cn

2010年5月

目 录

第 1 章 概念结构力学导论	1
1.1 概念结构力学的兴起	1
1.2 结构力学三大分支的关系	2
1.3 概念结构力学的任务	3
1.4 概念结构力学的学习方法	4
第 2 章 结构位移计算基本理论	12
2.1 变形体虚功原理	12
2.1.1 变形体虚功原理的概念	12
2.1.2 变形体位移计算	16
2.1.3 互等定理	17
2.2 结构位移计算的单位荷载法	20
2.3 结构位移计算的图乘法	24
2.4 温度变化下的刚架位移	28
2.5 基于图乘法的结构位移趋势判断	29
第 3 章 简单结构内力与变形	33
3.1 静定梁内力与变形	33
3.1.1 梁的内力与变形的关系	33
3.1.2 梁的位移计算	35
3.1.3 梁位移公式的应用	38
3.2 静定框架内力与变形	40
3.3 桁架内力与变形	47
3.3.1 桁架的构成与刚度	48
3.3.2 桁架位移来源的分析	57
3.3.3 桁架零杆的识别方法	59
3.4 三铰拱支座反力与拱结构变形趋势	61
3.4.1 拱支座反力与内力	61



3.4.2 三铰拱的变形	64
第4章 基本超静定结构的内力与变形	68
4.1 基本超静定结构	68
4.1.1 一次超静定结构	68
4.1.2 二次超静定结构	79
4.2 工程实际中的基本超静定结构	82
4.2.1 温度荷载	82
4.2.2 弹性支撑	85
4.2.3 支座移动	87
4.2.4 支座转动	89
4.2.5 结构转动	93
4.3 标准转角位移公式集成	95
第5章 一般荷载下结构受力判断	100
5.1 平面刚架	100
5.1.1 一般荷载下的平面刚架	100
5.1.2 位移荷载下平面刚架的受力分析	108
5.1.3 温度荷载的作用	115
5.2 平面桁架	120
5.2.1 平面桁架基本超静定结构	120
5.2.2 复杂超静定桁架受力规律判断	125
5.2.3 支座位移下超静定平面桁架	127
5.3 超静定梁	129
5.3.1 一般荷载作用	129
5.3.2 位移荷载作用	134
5.4 单跨拱结构	142
5.4.1 两铰拱承受单一集中荷载	142
5.4.2 两铰拱承受单一均布荷载	143
5.4.3 两端固支拱承受单一集中荷载	145
5.4.4 支座位移荷载下两端固支拱的受力分析	146
5.4.5 温度荷载下两端固支拱的受力分析	151



第 6 章 移动荷载下结构受力规律判断	155
6.1 静定结构影响线	155
6.2 超静定结构影响线	156
6.3 位移反力互等定理的应用	158
6.3.1 基本超静定结构影响线	158
6.3.2 连续梁反力与内力影响线	159
6.3.3 刚架内力与反力影响线	162
6.3.4 结构位移影响线	164
第 7 章 复杂结构的近似计算方法	167
7.1 规则框架近似计算	167
7.1.1 垂直荷载作用	167
7.1.2 水平荷载作用	172
7.1.3 位移荷载下复杂刚架的受力判断	182
7.2 刚桁架的受力与变形判断	188
7.2.1 结构最大内力估算	189
7.2.2 刚桁架垂直刚度加固方法	193
7.3 具有拉杆拱的近似计算	197
7.3.1 拉杆在拱下部	197
7.3.2 拉杆在拱中部	200
第 8 章 结构概念的形成与应用	205
8.1 高层建筑的整体概念	205
8.2 大跨建筑的整体概念	213
附录 A 力 法	222
附录 B 位移法	225
附录 C 定性判断法	227
附录 D 北京航空航天大学土木系近年《结构力学》(上册)考试试题	229
2003 年试卷	229



2005 年试卷	231
2007 年试卷	233
2009 年试卷	236
附录 E 考试试题参考答案	240
2003 年试卷答案	240
2005 年试卷答案	244
2007 年试卷答案	247
2009 年试卷答案	249
参考文献	255
1.1	1.1
1.2	1.2
1.3	1.3
1.4	1.4
1.5	1.5
1.6	1.6
1.7	1.7
1.8	1.8
1.9	1.9
1.10	1.10
1.11	1.11
1.12	1.12
1.13	1.13
1.14	1.14
1.15	1.15
1.16	1.16
1.17	1.17
1.18	1.18
1.19	1.19
1.20	1.20
1.21	1.21
1.22	1.22
1.23	1.23
1.24	1.24
1.25	1.25
1.26	1.26
1.27	1.27
1.28	1.28
1.29	1.29
1.30	1.30
1.31	1.31
1.32	1.32
1.33	1.33
1.34	1.34
1.35	1.35
1.36	1.36
1.37	1.37
1.38	1.38
1.39	1.39
1.40	1.40
1.41	1.41
1.42	1.42
1.43	1.43
1.44	1.44
1.45	1.45
1.46	1.46
1.47	1.47
1.48	1.48
1.49	1.49
1.50	1.50
1.51	1.51
1.52	1.52
1.53	1.53
1.54	1.54
1.55	1.55
1.56	1.56
1.57	1.57
1.58	1.58
1.59	1.59
1.60	1.60
1.61	1.61
1.62	1.62
1.63	1.63
1.64	1.64
1.65	1.65
1.66	1.66
1.67	1.67
1.68	1.68
1.69	1.69
1.70	1.70
1.71	1.71
1.72	1.72
1.73	1.73
1.74	1.74
1.75	1.75
1.76	1.76
1.77	1.77
1.78	1.78
1.79	1.79
1.80	1.80
1.81	1.81
1.82	1.82
1.83	1.83
1.84	1.84
1.85	1.85
1.86	1.86
1.87	1.87
1.88	1.88
1.89	1.89
1.90	1.90
1.91	1.91
1.92	1.92
1.93	1.93
1.94	1.94
1.95	1.95
1.96	1.96
1.97	1.97
1.98	1.98
1.99	1.99
2.00	2.00
2.01	2.01
2.02	2.02
2.03	2.03
2.04	2.04
2.05	2.05
2.06	2.06
2.07	2.07
2.08	2.08
2.09	2.09
2.10	2.10
2.11	2.11
2.12	2.12
2.13	2.13
2.14	2.14
2.15	2.15
2.16	2.16
2.17	2.17
2.18	2.18
2.19	2.19
2.20	2.20
2.21	2.21
2.22	2.22
2.23	2.23
2.24	2.24
2.25	2.25
2.26	2.26
2.27	2.27
2.28	2.28
2.29	2.29
2.30	2.30
2.31	2.31
2.32	2.32
2.33	2.33
2.34	2.34
2.35	2.35
2.36	2.36
2.37	2.37
2.38	2.38
2.39	2.39
2.40	2.40
2.41	2.41
2.42	2.42
2.43	2.43
2.44	2.44
2.45	2.45
2.46	2.46
2.47	2.47
2.48	2.48
2.49	2.49
2.50	2.50
2.51	2.51
2.52	2.52
2.53	2.53
2.54	2.54
2.55	2.55
2.56	2.56
2.57	2.57
2.58	2.58
2.59	2.59
2.60	2.60
2.61	2.61
2.62	2.62
2.63	2.63
2.64	2.64
2.65	2.65
2.66	2.66
2.67	2.67
2.68	2.68
2.69	2.69
2.70	2.70
2.71	2.71
2.72	2.72
2.73	2.73
2.74	2.74
2.75	2.75
2.76	2.76
2.77	2.77
2.78	2.78
2.79	2.79
2.80	2.80
2.81	2.81
2.82	2.82
2.83	2.83
2.84	2.84
2.85	2.85
2.86	2.86
2.87	2.87
2.88	2.88
2.89	2.89
2.90	2.90
2.91	2.91
2.92	2.92
2.93	2.93
2.94	2.94
2.95	2.95
2.96	2.96
2.97	2.97
2.98	2.98
2.99	2.99
3.00	3.00

第1章 概念结构力学导论

概念“概念结构力学”也称“定性结构力学”。提出这个名称的学者与专家,可能感受到了建筑师与结构师之间业已存在的某些合作障碍。产生合作障碍的缘由,一方面可能在于结构工程师介入建筑设计的时间太迟,另一方面也可能在于结构工程师“精于计算疏于判断”,不能迅速对建筑师的设想进行评价与批判。长期以“定量结构力学”教育培养的结构工程师,一般要等到初步设计阶段才能真正介入建筑设计,开展结构研究与设计;才不得不面对很多实际问题,如柱网间距调整,楼板厚度压缩,墙板梁上开孔,基础形式改变,等等。以上现象致使设计效率下降,建筑功能也受到影响。因此,为了便于建筑师与结构师在建筑方案阶段就能达成共识,从21世纪初的我国“结构力学教学研讨会”开始,每次都有“定性结构力学”方面的讨论内容,关注该问题的专家和教师也越来越多。

本章从现代工程结构设计要求出发,说明概念结构力学的缘起;论述概念结构力学与经典结构力学、计算结构力学三者之间的关系;介绍概念结构力学应该表达的主要目标、内容和要求等;最后以若干例题,简要叙述概念结构力学的学习方法。

1.1 概念结构力学的兴起

在土木、水利、交通类专业的专业基础课教学中,结构力学占有特别重要的位置。各个学校的培养计划虽然不同,但在比较正规的大学里,结构力学的学时数均在100学时左右。结构力学是走向专业教学前的一门核心课程。它以高等数学、理论力学、材料力学为基础,以“力法”、“位移法”为主要方法,系统阐述结构或结构体系在外力、支座变形、温度变化等情况下,结构的内力分布与构件的变形情况;在有动力荷载作用与轴压荷载时,还要计算结构的动力响应与杆件的稳定性。我国的《结构力学》(杆件体系)教材,大多具有内容全面、方法众多、体系完善、层次分明、叙述严谨等优点,版本之多、交叉之深、运用之广,非一般专业可比。因此,经典结构力学的学习,为各专业工作者的研究与设计奠定了良好的基础。

但是,一方面,随着商业软件的广泛应用,结构力学中产生的一些方法,如力矩分配法、斜刚架计算方法、变截面杆件计算方法、弹性荷载法、初始参数法、三弯矩五弯矩方程,等等,已经失去了原来的重要性,大有逐步离开经典范畴的趋势。另一方面,当今的教育理念与往日的大不相同。现在的教学大纲对学生应用知识解决问题的能力,比过去更加重视;建筑界与工业界对结构力学的教学,也提出了向工程应用与实践环节倾斜的新标准。当然,这种变革最大的推动力还是来自用人单位。不少设计公司要求本科毕业生具有熟练使用计算软件的能力。比



如,本科生从低年级开始,到毕业设计结束,至少应该掌握一种结构计算软件。于是,《结构力学求解器》、SAP2000、ANSYS、PKPM、NASTRAN、ADINA、《火箭软件》、《结构计算大师》、《桥梁博士》、《预算大师》等软件纷纷来到课堂,成为学生参加“建筑结构设计联赛”、“结构设计大赛”、课程设计、毕业设计的主要帮手。市场的需求直接推动了结构力学的一个新方向——计算结构力学的快速发展。短短 20 年,随着设计手段的革命,随着软件工业的兴起与壮大,计算结构力学如日中天。虽然专门的教材不多,但计算软件课程逐步成为高校土木类专业选课率非常高的课程。

在计算结构力学中,“矩阵位移法”是其主要内容。这里涉及有限元知识与结构力学知识的嫁接,一方面要求学生经典结构力学中“位移法”具有透彻的理解,另一方面要求学生具备一定的编程能力。对土木、水利、交通等专业的本科生而言,过去只在研究生阶段才学习的“计算机语言”、“程序设计”、“最优化方法”、“弹性力学”等课程,现在已不断成为他们的必修课或选修课。至于商业软件的学习,主要是靠学生自学完成。商业软件强大的功能,一方面满足了学生计算复杂结构的雄心,另一方面却给他们带来困惑:① 如何判断计算结果的好坏;② 如何比较多个模型的计算结果;③ 如何从海量的数据中提炼出有价值的结构概念。上述三个方面的问题,进一步催生了结构力学的另外一个分支——概念结构力学的诞生。

概念结构力学这个分支,从哲学上讲,是对经典结构力学的回归,是对计算结构力学过分膨胀后的修正,其原动力同样来自市场的需求,不以人的意志为转移。作为高校教师对市场需求的回应,清华大学一些学者积极倡导开展“概念结构力学”(最早称“定性结构力学”、“结构概念与体系”等)课程方面的实践与研究,教师们分章节、分专题,不断补充结构定性判断方面的内容。我国同济大学从 2006 年开始,在研究生阶段开设了概念结构力学的选修课。北京航空航天大学土木系从 2003 年春季开始,直接删掉了经典结构力学中的部分内容,大大扩充了结构近似计算内容,成为我国最早开始“结构力学”课程内容改革与“概念结构力学”课程教学的实践单位之一。

1.2 结构力学三大分支的关系

以三角形静定桁架计算为起点,结构力学经过一百多年的发展,如今已经形成三大分支:经典结构力学、计算结构力学与概念结构力学。经典结构力学的根本任务是:根据力学原理,研究在外力或其他外界因素作用下,杆件结构的内力与变形、强度与刚度、稳定性与动力响应特征等问题。经典结构力学必须提供坚实的理论与可靠的方法。目前,大学课堂中提供的理论主要是结构内力与位移计算理论,方法主要为“力法”与“位移法”。当计算结构力学与概念结构力学的任何结果与经典结构力学的计算结果出现偏差时,应该首先承认经典结构力学计算结果的正确性。

计算结构力学和概念结构力学的根本任务与经典结构力学的任务并没有区别,只是从手段



和观念上发生了变化。计算结构力学侧重结构力学原理的计算机应用,侧重“力法”、“位移法”等方法向复杂结构的延伸。目前,计算结构力学不仅传授计算力学原理,还传授相应的软件操作,等等。即使对简单结构,计算结构力学也为经典结构力学的习题求解提供了另外一条路径。

概念结构力学强调结构受力规律与变形趋势的判断,强调为构造一个协调工作能力强的结构体系提供服务。简单地说,概念结构力学的主要任务是为“创造一个好的结构”服务,而计算结构力学和经典结构力学则偏向“很好地计算一个结构”。当然,上述三大分支并不能各自为政。计算结构力学和概念结构力学必须建立在经典结构力学的基础之上;概念结构力学需要计算结构力学的成果来帮助纠正、检验人的判断;计算结构力学成果的可信度需要结构概念知识予以检验与承认,三者均不能独立发展。三大结构力学的近似关系如图 1-1 所示。

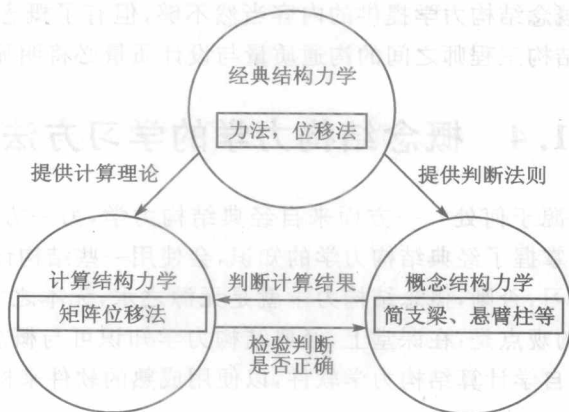


图 1-1 三大结构力学的关系

目前,经典结构力学已经成熟,计算结构力学日趋完善,概念结构力学才刚刚起步。

1.3 概念结构力学的任务

概念结构力学有两大任务:① 对结构受力规律与变形趋势进行判断;② 为构造协同工作能力强的结构提供概念服务。无论是静定结构,还是超静定结构,在荷载或其他外因作用下,其受力规律与变形趋势都是唯一的。经典结构力学提供了一系列方法来计算结构的受力与变形;但由于其着重点是介绍(解释)方法的科学性与有效性,所以对结构的组成与形式,以及对结构的计算结果,并没有专门环节进行检验、校对与分析。

简单地说,经典结构力学坚信,只要原理正确,方法正确,结论必然正确,因为系统是确定的,不存在多解的可能性。因此,也就没有动力对结果是否正确进行校核。但是,对于学习者,绝不会止于掌握结构力学的原理与方法,更关键的是要利用原理与方法,设计一个满足需要的结构,或者验算一个已经存在的结构。由于实际结构的复杂性,也由于可供选择方法的多样性,



设计者常常只能借助计算机来完成计算。这个计算过程涉及很多因素,除了原理、方法、软件、结构和荷载外,还有设计者自己的某些主观因素,难免导致计算结果的错误。检验这些错误的工具,不能是原理与方法(经典结构力学),也不能是计算机(计算结构力学),只能是工程师自己。所以,概念判断(概念结构力学)能力的提升,便成为一名合格土木工程师的必要训练环节。

而在判断结构受力规律与变形趋势的能力不断提高的前提下,设计者不仅可以方便地评价一个结构体系的优劣,而且还可让概念设计理念深入到方案设计中。在方案形成初期,就能识别结构的水平承力体系与垂直承力体系的有效性,能够有目的地关注这两个分体系之间的连接关系,既不至于让构件性质等细节内容干扰设计者从大局上把握结构的整体性与协调性,也不至于必须依赖计算才能清除结构体系中多余的东西,从而使建筑结构的设计周期大为缩短。要达到这个目标,仅靠概念结构力学提供的内容当然不够;但有了概念结构力学的学习之后,在建筑方案制订阶段,结构工程师之间的沟通质量与设计质量必将明显提高。

1.4 概念结构力学的学习方法

概念判断的能力来源于何处?一方面来自经典结构力学,另一方面来自计算结构力学。因此,不少人认为,只有掌握了经典结构力学的知识,会使用一些结构计算软件之后,才能谈得上对概念结构力学的学习;否则,概念结构力学就是无源之水,无本之木。这种说法有一些道理,但并不全面。笔者的观点是:在课堂上,经典结构力学知识可与概念结构力学知识同步学习;在课堂外,学生可以自学计算结构力学软件,以使用成熟的软件来检验初学者幼稚的判断。理由如下:

① 同样是一本《经典结构力学》教材,有的不到 200 页,有的厚达 1 000 页;有的只学 36 学时,有的要学 108 学时。所以,经典结构力学的内容是有弹性的,完全可以压缩。如果站在实际应用的角度,只学习经典中的经典,那么,就给概念结构力学的学习省下了时间。

② 在学习经典结构力学时,不仅关注其中最重要的原理与方法,还要关注结构与条件的变化,尤其是条件变化之后计算结果的变化方向,这样才能逐步形成概念判断的习惯,达到应用结构力学知识的目的。

③ 从概念结构力学的要求出发,改变经典结构力学处理问题的方法,可以大大缩短从原理到应用的距离,有助于结构概念的形成。如对于超静定结构计算,在常规方法中,位移反力的方向可以任意假定,如果最后计算的结果为“负”,表明位移反力的真实方向与假设方向相反。这在只重原理、不重结果分析的经典结构力学中当然是可以的,但在概念结构力学的学习中,这种方法就应该尽量避免。概念结构力学要求:如果假设,就要争取按未知反力可能的方向假设,不要没有判断就任意假设。

从以上这些角度来看,在经典结构力学中,应该剔除一些不适合概念结构力学学习的内容与方法。



除了从观念上需要更新经典结构力学学习的方法之外,从技术操作层面上也有提炼总结的必要。经典结构力学对结果的分析虽然不多,但要求很高,受力与变形必须量化。但是,在概念结构力学的学习中强调趋势的判断,对具体数值的要求相对较低,因此可以大量采用近似简化等计算方法,使得教学与练习朝着“训练人的判断力”的方向发展,这样可使学生摆脱复杂的运算,将精力更加集中在事物的因果关系上,而不是消耗在操作与运算过程之中。

学习概念结构力学与学习经典结构力学的方法大有差别:

① 前者偏向于对结构的直观感觉,偏好在计算开始之前,从整体上把握结构的类型与特征;后者注重理性思维,更多地强调约束与反力的等效关系,常常从节点内力平衡入手解决问题。

如图 1-2 所示,静定三铰刚架因荷载作用的特殊性,产生一个二力杆 AC,所以,按照 B 点弯矩平衡条件,只要一步,就能确定杆件 AC 的内力。

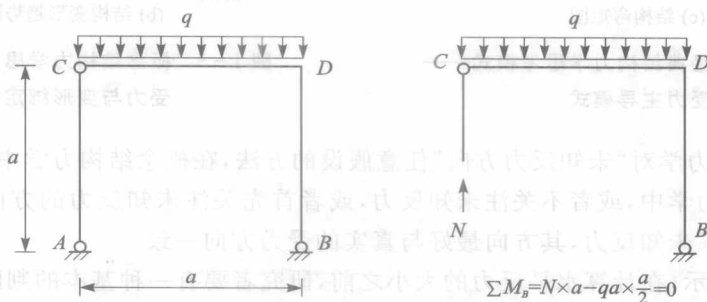


图 1-2 概念结构力学思考模式——结构特征视角

而传统的结构力学方法,更多的是将约束等效为未知反力,因此,第一步就假设了 4 个未知反力 H_A, H_B, V_A, V_B ,如图 1-3 所示。

② 经典结构力学的教学,常把结构受力与结构变形分离开来。讲受力计算时,集中精力说受力;讲位移计算时,集中精力说位移。而概念结构力学则注重培养学生对受力规律的感受能力,这种感受能力常常通过首先确定结构位移趋势来培养。

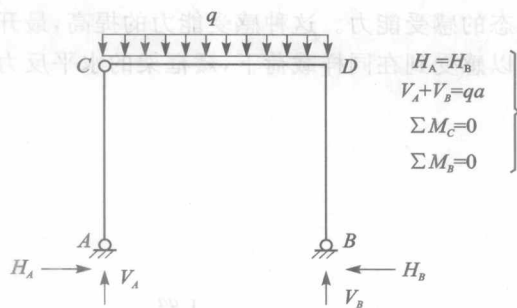


图 1-3 经典结构力学思考模式——节点内力平衡视角

相对而言,在经典结构力学中,结构位移计算的分量比较轻,经典结构力学强调内力计算,如图 1-4 所示;而概念结构力学几乎与结构变形趋势图如影相随,成为概念结构力学的核心内容。对变形趋势的判断,是养成结构受力分析判断的前导,更是形成结构概念的不二法门,其他计算方法均处于次要地位。例如,对图 1-5 所示结构,何谓弹性变形,何谓刚体变形,何处弯矩为 0,哪里有拐点,在概念结构力学中必须有完整的交代。

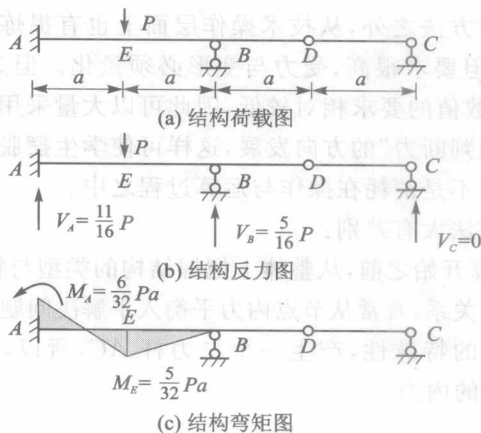


图 1-4 经典结构力学思考模式——
受力主导模式

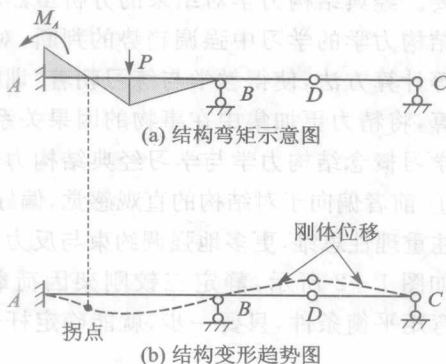


图 1-5 概念结构力学思考模式——
受力与变形绑定模式

③ 经典结构力学对“未知反力方向”任意假设的方法，在概念结构力学中应当尽量避免。

在概念结构力学中，或者不关注未知反力，或者首先关注未知反力的方向，然后再关注其大小。如果假定了未知反力，其方向最好与真实的受力方向一致。

如图 1-6 所示，在计算水平反力的大小之前，研究者要有一种基本的判断：支座必须对结构形成向内挤压的反力才能维持结构的稳定。不仅如此，当刚架越低时，水平挤压效应就越剧烈，如图 1-7 所示。学习概念结构力学时，最好形成人与结构的互动关系，提高人对结构受力状态的感受能力。这种感受能力的提高，最开始主要源于比较。如图 1-6 与图 1-7 的比较，可以感受到在同样载荷下，矮框架的水平反力在增大。

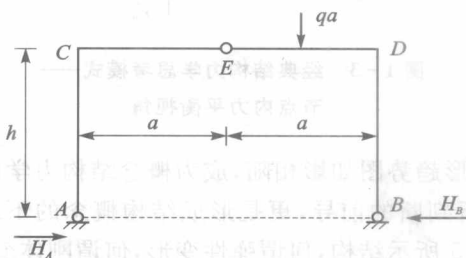


图 1-6 未知反力方向的假定

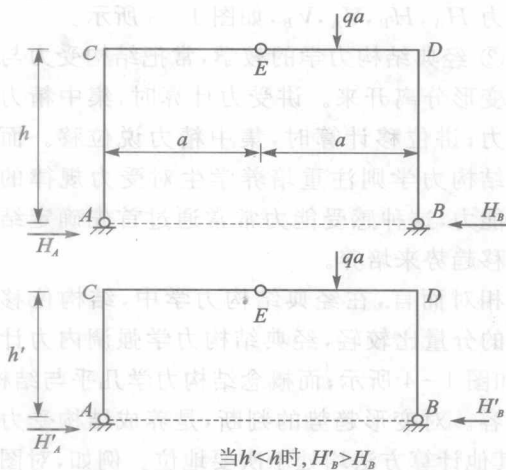


图 1-7 概念结构力学强调人与结构互动



④ 概念结构力学的学习,目标在于使学习者与研究者形成结构概念。能利用结构的约束强弱关系、荷载远近关系、结构主次关系、静定与超静定关系、位移内力关系等,掌握荷载的主要传播途径,以及荷载的分配机制,如图1-8~图1-12所示。这些关系的灵活应用,必然有助于研究者今后主动设计一个协调工作能力强的稳定结构。

在图1-8中,对梁AB上任意点,结构与荷载完全一致,仅支座约束在端点不同:A点能够限制构件转动,B点不能。正是这点差别,导致结构在B点约束全部缺失的情况下,仅靠A点约束仍然能承载;而相反则不行。所以,垂直荷载自然更多地由A点约束承担。不仅如此,因为 V_A, V_B 是被动受力,对不涉及“杠杆原理”的所有结构^①,它们中的任何一个均不可能超过 qL ,所以必然有: $V_A + V_B = qL$ 。虽然没有计算出真实值,但图1-8中反力的方向无疑是正确的。

在图1-9中,荷载更多地靠近支座A,所以,在其他条件完全相同的情况下,A点将承担更多的垂直荷载。不过,其受力大小关系并非恰好是距离的反比例关系(静定结构是反比例关系)——靠近支座A部位的受力不均匀程度 V_A/V_B 比距离的不均匀程度 b/a 更高,即当 $a < b$ 时, $V_A/V_B > b/a$,如图1-10中的“静定结构反力分配线”所示。

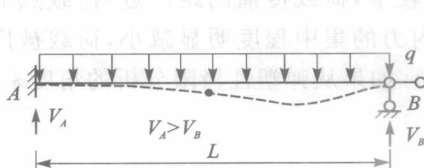


图1-8 支座约束强弱决定垂直荷载的分配

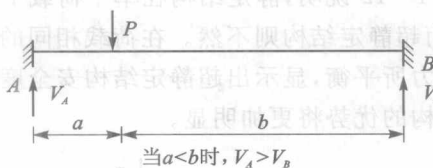


图1-9 荷载与支座位置决定垂直荷载分配方式

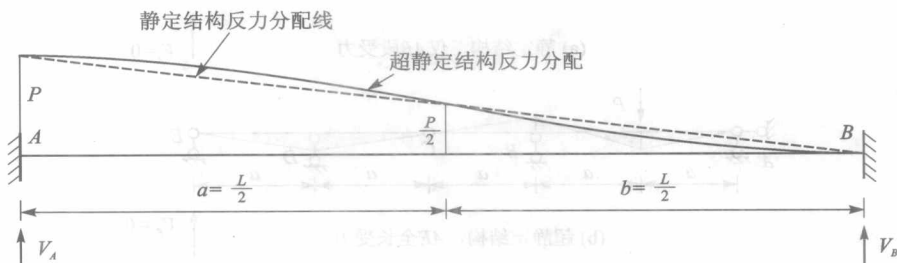


图1-10 结构约束不同,荷载分配方法不同

图1-11中有三个荷载,如果不考虑结构特性与荷载作用位置,利用标准力法当然能够解题。但是,那种解题的功能仅止于了解力法本身,而对力法计算结果的合理性,对认识结构上

① 这里特指某一端有悬臂的结构。