

TU318

31

高等院校选用教材

结构设计原理

熊 峰 李章政 编著
贾正甫 李碧雄

科学出版社

2002

内 容 简 介

本书是根据土木工程专业新的课程设置要求,整合原有的三大结构课程内容而编写的。全书共分八章,内容包括土木工程材料性能,受弯、受压、受拉、受扭构件的设计方法,以及预应力混凝土构件的设计方法。

本书可作为高等院校土木工程、水利工程等专业的本科教材和参考书,也可作为土建类其他专业如建筑学、给水排水工程、工程管理等有关课程的教材,同时也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

结构设计原理/熊峰等编著. —北京:科学出版社,2002

(高等院校选用教材)

ISBN 7-03-009373-9

I. 结… II. 熊… III. 结构设计-高等学校-教材 IV. TU318

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 26449 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2002年1月第一版 开本:720×1000 1/16

2002年1月第一次印刷 印张:38

印数:1—3 000 字数:752 000

定价:49.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

20 世纪末中国高等教育进行了一场深刻的变革——院校合并、专业调整,其实质在于打破原有过细的条块分割,培养适应社会主义市场经济的人才。土木工程专业归并了原有的多个专业,变得更加通用、面广。在这种背景下,要求课程体系必须改革,提倡“强基础、宽口径”,在有限的教学时间内,提高教学效率,达到宽专业的要求。“结构设计原理”便是按照这一思路,通过整合原来的“钢筋混凝土结构”、“砌体结构”和“钢结构”课程而设置的,它将上述三大结构课中的基础知识分离出来,予以加强,并根据大土木的要求,拓宽了适应面。

以前的三大结构课按材料分类,其中不乏重复的内容,并且同类构件设计知识缺乏联系。本书在深入研究各种材料构件内在关系的基础上,重新以构件受力类型为主线,按材料、受弯、受压、受扭构件的顺序编排。对于共性的内容集中叙述,避免重复,同时又反映出各种材料构件的受力特性,便于比较设计方法上的异同。本书还注重内容上的精简,大多数章节重点在于叙述原理、概念,对于实验过程、经验公式的来源给予适当的简化,以解决学时上的矛盾。

“结构设计原理”定位于土木工程专业的技术基础课。各专业工程结构(建筑结构、桥梁结构、岩土工程结构、特种结构等)的设计知识则作为后续的专业课。目前我国由于行业管理,各种结构设计规范水平并不统一。因此本书力求抓住基本概念,以《建筑结构设计统一标准》(GB50068)、《混凝土结构设计规范》(GB50010)、《砌体结构设计规范》(GB50003)、《钢结构设计规范》(GB50017)(修订版)为基础,叙述工程结构设计的基本原理、方法,以不变应万变,适应不同的专业规范。为加强衔接,本书在附录中增加了桥梁结构设计规范的内容。

本书第一章、第六章由熊峰编写,第三章、第四章和附录由李章政编写,第二章、第五章由李碧雄编写,第七章、第八章由贾正甫编写。本书的编写得到了四川大学“重点课程建设”、“重点教材建设”项目经费的支持。

教学改革是一项复杂的系统工程,本书仅在课程体系上作了初步的尝试,难免存在错误与不足之处,敬请专家学者和读者指正,不胜感激!

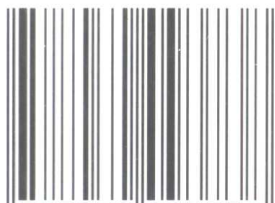
编 者

2000 年 10 月于四川大学

(O-1364.0101)

责任编辑: 巴建芬 林 鹏 封面设计: 王 浩

ISBN 7-03-009373-9



9 787030 093738 >

ISBN 7-03-009373-9/O · 1364

定价: 49.00 元

目 录

前 言

第一章 绪论	(1)
1.1 结构的发展	(1)
1.1.1 工程结构发展简况	(1)
1.1.2 理论研究与设计方法的变迁	(3)
1.1.3 今后的发展趋势	(4)
1.2 各类结构的特点	(7)
1.2.1 工程结构分类及基本结构形式	(7)
1.2.2 按材料分类的各类结构的特点	(18)
1.2.3 组成结构的基本元素——构件的特点	(20)
1.3 结构计算简图	(21)
1.3.1 支座、节点的简化	(21)
1.3.2 结构体系计算简图	(24)
1.4 工程结构荷载	(24)
1.4.1 荷载的分类	(25)
1.4.2 荷载代表值	(25)
第二章 结构设计方法	(28)
2.1 结构的功能要求和极限状态	(28)
2.1.1 结构的功能要求	(28)
2.1.2 结构的安全等级	(29)
2.1.3 极限状态	(29)
2.1.4 设计状况	(30)
2.2 概率极限状态设计法	(31)
2.2.1 随机变量的统计特征值	(31)
2.2.2 荷载组合、结构抗力及可靠性和可靠度	(31)
2.2.3 实用设计表达式	(35)
2.3 混凝土结构的耐久性设计	(39)
第三章 结构材料	(42)
3.1 结构材料性质及强度取值	(42)
3.1.1 工程结构对材料力学性能的要求	(42)
3.1.2 材料强度取值方法	(46)
3.1.3 材料强度标准值	(48)
3.1.4 材料强度设计值	(48)

3.2	钢材	(48)
3.2.1	钢材的分类和规格	(49)
3.2.2	钢材的强度设计值	(54)
3.2.3	钢材的本构模型	(57)
3.3	混凝土	(59)
3.3.1	混凝土受压破坏机理	(60)
3.3.2	混凝土的强度	(61)
3.3.3	混凝土的变形性能	(62)
3.3.4	混凝土的本构模型	(67)
3.4	砌体结构材料	(69)
3.4.1	块体的种类及强度等级	(70)
3.4.2	砂浆的种类及强度等级	(72)
3.4.3	砌体的种类及强度取值	(72)
3.4.4	砌体的变形	(77)
3.5	钢材连接	(78)
3.5.1	焊接连接	(79)
3.5.2	螺栓连接	(89)
第四章	受弯构件	(95)
4.1	受弯构件的受力特点	(95)
4.1.1	弹性状态下受弯构件的应力分布与应变特征	(96)
4.1.2	塑性的发展对受弯构件的影响	(97)
4.2	钢筋混凝土受弯构件	(104)
4.2.1	钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算	(105)
4.2.2	钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算	(123)
4.2.3	钢筋混凝土受弯构件的构造要求	(135)
4.3	砌体结构受弯构件	(146)
4.3.1	无筋砌体结构受弯构件的抗弯强度计算	(147)
4.3.2	无筋砌体结构受剪构件的抗剪强度计算	(148)
4.4	钢结构受弯构件	(150)
4.4.1	钢结构受弯构件的强度计算	(150)
4.4.2	钢结构受弯构件的稳定性验算	(153)
4.4.3	钢结构受弯构件的构造要求	(159)
第五章	轴向受力构件	(161)
5.1	实际工程中的轴向受力构件	(161)
5.1.1	混凝土轴向受力构件	(161)
5.1.2	砌体轴向受力构件	(161)
5.1.3	钢结构轴向受力构件	(161)
5.2	混凝土轴向受力构件	(163)

5.2.1	轴心受压构件正截面承载力计算	(163)
5.2.2	轴心受拉构件正截面承载力计算	(171)
5.2.3	偏心受压构件正截面承载力计算	(171)
5.2.4	偏心受拉构件正截面承载力计算	(200)
5.2.5	偏心受力构件斜截面承载力计算	(203)
5.3	砌体结构轴向受力构件	(205)
5.3.1	无筋砌体构件受压承载力计算	(205)
5.3.2	无筋砌体局部受压承载力计算	(212)
5.3.3	无筋砌体轴心受拉构件的承载力计算	(218)
5.3.4	配筋砌体构件	(218)
5.4	钢结构轴向受力构件	(229)
5.4.1	轴心受力构件的强度和刚度	(229)
5.4.2	轴心受压构件的整体稳定	(234)
5.4.3	实腹式轴心受压构件的局部稳定	(254)
5.4.4	实腹式轴心受压构件的设计	(259)
5.4.5	格构式轴心受压构件的设计	(262)
5.4.6	轴心受压柱的柱头和柱脚	(275)
5.4.7	拉弯构件和压弯构件的一般性能	(282)
5.4.8	拉弯构件和压弯构件的强度计算	(282)
5.4.9	实腹式压弯构件的整体稳定	(287)
5.4.10	实腹式压弯构件的局部稳定	(295)
5.4.11	压弯构件的计算长度	(298)
5.4.12	实腹式压弯构件的截面设计	(303)
5.4.13	格构式压弯构件的计算	(307)
5.4.14	框架梁柱的连接、柱的拼接及刚接柱脚	(310)
第六章	受扭构件	(315)
6.1	受扭构件的受力特点	(315)
6.1.1	实际工程中的受扭构件	(315)
6.1.2	受扭构件的受力特点	(316)
6.2	钢筋混凝土受扭构件	(318)
6.2.1	钢筋混凝土纯扭构件承载力计算	(318)
6.2.2	钢筋混凝土弯剪扭构件承载力计算	(327)
第七章	正常使用极限状态验算	(337)
7.1	正常使用极限状态的限值规定	(337)
7.1.1	挠度控制理由和限值规定	(337)
7.1.2	关于裂缝宽度的限值	(338)
7.1.3	混凝土保护层最小厚度	(338)
7.1.4	结构构件的耐久性能	(339)

7.2	混凝土构件裂缝宽度验算	(340)
7.2.1	产生裂缝的原因	(340)
7.2.2	裂缝控制等级	(340)
7.2.3	裂缝宽度验算	(341)
7.3	钢筋混凝土受弯构件变形验算	(357)
7.3.1	钢筋混凝土梁的截面刚度特点	(357)
7.3.2	荷载标准组合作用下的短期刚度 B_s	(358)
7.3.3	按荷载标准组合作用并考虑荷载长期作用影响的刚度 B	(363)
7.3.4	受弯构件的挠度验算	(364)
7.4	受弯钢梁的挠度验算	(368)
7.5	混凝土构件的延性	(372)
7.5.1	延性的基本概念	(372)
7.5.2	混凝土构件的截面曲率延性	(373)
第八章	预应力混凝土构件	(378)
8.1	概述	(378)
8.1.1	预应力混凝土的基本概念	(378)
8.1.2	预应力混凝土的分类	(381)
8.1.3	预应力混凝土结构的应用及发展	(382)
8.2	预应力混凝土的材料	(384)
8.2.1	混凝土材料	(384)
8.2.2	预应力钢材	(384)
8.3	施加预应力的方法	(389)
8.3.1	先张法	(390)
8.3.2	后张法	(391)
8.3.3	电热张拉法	(392)
8.3.4	锚具和夹具	(392)
8.4	预应力损失计算	(399)
8.4.1	张拉控制应力	(399)
8.4.2	预应力损失计算	(401)
8.4.3	预应力损失值组合	(410)
8.4.4	预应力总损失值的估算	(411)
8.5	预应力混凝土轴心受拉构件设计	(418)
8.5.1	轴心受拉构件各阶段应力分析	(418)
8.5.2	轴心受拉构件设计	(426)
8.6	预应力混凝土受弯构件设计	(440)
8.6.1	受弯构件的应力分析	(440)
8.6.2	受弯构件正截面承载力计算	(450)
8.6.3	受弯构件斜截面承载力计算	(457)

8.6.4	受弯构件抗裂度及裂缝宽度验算	(461)
8.6.5	施工阶段验算	(467)
8.6.6	受弯构件变形验算	(469)
8.6.7	预应力混凝土构件的构造规定	(471)
8.7	超静定预应力混凝土结构设计	(496)
8.7.1	概述	(496)
8.7.2	等效荷载与平衡荷载法	(497)
8.7.3	综合弯矩、主弯矩、次弯矩	(504)
8.7.4	线性变换、吻合索、预应力度	(507)
8.7.5	预应力钢筋估算	(509)
8.7.6	预应力混凝土连续梁设计	(512)
参考文献		(524)
附录 公路桥梁结构的混凝土构件承载力		(526)
附表		(556)

第一章 绪 论

1.1 结构的发展

1.1.1 工程结构发展简况

工程结构是指用各种材料(砖、石、钢筋混凝土、钢材及木材等)建造的建筑物和构筑物的受力骨架体系。它决定了建筑物、构筑物的安全性能,同时又影响其使用功能。

结构设计原理是利用力学、材料学等基本知识,研究保证结构安全可靠的理论和设计方法的科学。

工程结构有着悠久的历史,它大致经历了古代、近代和现代三个时期的发展。

古代工程结构跨越了较长的历史跨度,从公元前 5000 年至 17 世纪,延绵数千年。我国黄河流域的仰韶文化遗址就发现了公元前 5000~前 3000 年的房屋结构痕迹。古埃及金字塔建于公元前 2700~前 2600 年,也是人类早期历史上最辉煌的结构物。这一时期工程结构的主要材料为砖、石等材料。随着冶炼术的进步,铁、青铜也逐步用于结构中。我国古代房屋结构形式多采用木框架承重、木楼盖及砖砌墙壁,类似现代建筑结构形式。山西应县木塔,为我国现存的最高木结构之一,它建于 1056 年,塔高 67.3m,呈八角形,共 9 层。用木柱支顶,形成内外环状柱网,为双层套筒式结构。它经历了多次大地震,至今保持完好。同期国外建筑则多采用砖柱承重,砖砌拱券(穹顶)屋盖。比较有代表性的建筑是建于公元 532~537 年间的君士坦丁堡的索菲亚大教堂,该教堂的砖砌穹顶直径达 30 余米,支承在巨型砖柱上(截面约为 $7\text{m}\times 10\text{m}$),柱间采用大跨度的砖拱替代梁,为典型的砖结构房屋。我国南京的灵谷寺无梁殿(明代)也采用了砖砌穹窿的形式。

古代桥梁结构最早的形式是石拱桥。公元 590~608 年建造的河北赵县安济桥(赵州桥)净跨达 37.02m,桥宽约 10m,采用 28 条并列的石条砌成拱券承重,为世界上最早的敞肩式拱桥。它外形美观、受力合理,显示了我国古代建桥史上的辉煌成就。除此之外,由于我国冶炼技术发展较早,早在公元六七十年间,就成功地将熟铁用于结构中,建造了铁链桥、铁塔等。

古代工程结构由于缺乏理论指导,主要凭经验建造,因此构件断面大,材料利用率低,使用空间狭窄。

近代工程结构从 17 世纪至 20 世纪中叶跨越了约 300 年。这一时期,结构设计理论基础逐步完善,新材料不断出现,使结构发展突飞猛进。19 世纪中期水泥

的发明,使混凝土得到了应用,同时转炉炼钢术的发明,使钢产量大幅增加,又为钢筋混凝土结构打下了基础。1886年发明了预应力技术,解决了混凝土开裂等问题,使大跨度结构、高层建筑结构开始出现。

钢筋混凝土结构早期主要用于建造小型楼板、梁、拱等构件,随着预应力技术的进步,开始用钢筋混凝土建造大空间结构,逐步使钢筋混凝土应用于各领域,至20世纪初,钢筋混凝土已广泛地用在房屋结构、桥梁结构、地下工程及水工结构等,使工程结构不断大型化。

钢结构在这一时期也得到了长足的发展。1883年美国芝加哥建造了11层的保险公司大楼,它采用铸铁框架承重,外墙为自承重墙,标志着现代高层建筑结构的诞生。1889年法国巴黎建成了300m高的埃菲尔铁塔。1931年美国建造了著名的帝国大厦,102层,381m高,全钢结构,它保持世界最高建筑纪录长达40年之久。这一时期大型工程几乎都采用了钢结构。

桥梁结构不仅跨度增大,结构体系也发生了变化,出现了钢(铁)拱桥、悬索桥和预应力钢筋混凝土梁桥,形成了现代桥梁结构的三种基本形式。

这一时期砌体结构由于水泥砂浆的出现,提高了砌体墙的承载能力,逐步形成了砖墙承重、钢筋混凝土楼盖的混合结构体系,使砌体结构房屋高度不断增大。1891年美国建造了砌体结构的16层大楼,但下部几层的墙厚竟达1.8m。

现代工程结构始于20世纪中叶,第二次世界大战以后,随着结构理论和施工技术的发展,工程越来越大型化,并且自重明显减轻,材料耗费不断下降,经济效益显著提高。世界各地兴建了许多超高层建筑、大跨度桥梁、特长的跨海隧道、高耸结构等大型工程。

钢筋混凝土结构的发展起源于材料的轻质高强度。目前高强混凝土的强度可达 $80\sim 100\text{N/mm}^2$,我国已广泛应用 60N/mm^2 的混凝土。同时为减轻混凝土的自重,世界各国研究了各种轻质混凝土(容重一般不大于 18kN/m^3),如陶粒混凝土、浮石混凝土、火山渣混凝土、膨胀混凝土等,利用这些轻质混凝土可制成大跨度的屋面板、壁板、折板等,其自重比普通混凝土减少 $20\%\sim 30\%$ 。由于轻质高强混凝土的发展,使混凝土结构的高度、跨度都在不断增大,大量的建筑结构都由钢筋混凝土建造。目前世界上最高的钢筋混凝土大厦是朝鲜平壤的柳京饭店,105层,319.8m。预应力轻骨料建造的飞机库(西德)的屋盖结构跨度达90m。钢筋混凝土拱桥的跨度也超过了400m。钢筋混凝土结构发展的另一个标志是应用更加广泛,除传统的房屋结构、桥梁结构外,在地下工程、海洋结构、压力容器、飞机跑道等方面也建造了许多大型工程,为满足这些特殊的功能要求,特种混凝土逐渐发展起来,如防射线混凝土、自应力混凝土、聚合物混凝土、纤维混凝土等。

钢结构的发展主要是由于生产的高度发展、钢产量的不断增加,使得钢结构在结构工程中的比例越来越大。美国在近年来的工业建筑中,钢结构占到 $60\%\sim$

70%，我国过去钢结构主要应用于大型重工业建筑及大跨度的房屋，目前也发展到钢结构的高层建筑、大跨度的桥梁等。同时钢网架结构的兴起，使大量的大跨度屋盖结构更多地应用了钢结构体系。

现代砌体结构发展主要表现在两方面，一是砌体结构在原有的基础上不断地加大、加高，应用更加广泛。我国解放后多层房屋，特别是住宅建筑，几乎都采用混合结构形式，即砖墙承重、楼屋盖采用钢筋混凝土预制（现浇）体系。这种体系施工方便，造价低，适合我国国情。少数地区甚至发展了砌体高层建筑，如重庆在 20 世纪 70 年代修建了 10~12 层的砖墙承重的住宅。国外有建成 20 层以上的砌体房屋。在桥梁方面，石拱桥的跨度也在不断增大，目前超过 100m 的石拱桥已有多座。1991 年湖南建成了鸟巢河双肋石拱桥，净跨度达 120m，这也是世界上跨度最大的石拱桥。砌体结构还用于小型水池、烟囱、料斗、粮仓等，水利工程中的土石坝、隧道的砌衬结构以及挡土墙也常用砖石砌筑。除此之外，砌体结构的发展还表现在新材料的应用上，配筋砌体不仅提高了砌体的承载能力，还改善了砌体的抗震性能，同时在多层砌体中增设构造柱、圈梁也可提高房屋的抗震能力，使砌体结构能在地震区应用。砌体材料的改进也加速了砌体的发展。各种砌块（硅酸盐、粉煤灰、混凝土等）、空心砖及大型墙板的应用，减轻了结构的自重，加快了施工速度，还可利用工业废料，少占农田，利于环保。目前非承重隔墙基本上全部采用了上述新材料，承重墙正在逐步用新材料替代传统的黏土砖。

1.1.2 理论研究与设计方法的变迁

古代结构设计没有理论指导，仅凭经验估算构件截面，常常因断面过大而浪费材料，有时又因估计不足造成破坏。直到近代，结构设计理论才逐渐建立，成为工程结构的设计基础。

结构设计的理论与数学、力学的发展密切相关。17 世纪意大利学者伽利略出版了专著《关于两门新科学的谈话和数学证明》，首次论述了建筑材料的力学性质和梁的强度。不久牛顿又总结了力学的三大定律，为土木工程设计奠定了基础。1744 年欧拉建立了柱的压屈理论，解决了工程结构的稳定问题。正是由于数学、力学的不断发展，结构设计理论才逐渐从无到有，从粗略到精确，形成了一门完善的学科。

1825 年纳维建立了结构设计的容许应力法，创立了早期的结构设计方法。容许应力法以弹性理论为基础，确定结构特定部位的应力，使其不超过材料的极限应力，其表达式为

$$k\sigma \leq [\sigma]$$

式中 k ——安全系数，主要以经验而定；

[σ]——通过实验确定的材料的容许应力。

随着结构的发展,人们逐渐认识到,对混凝土、砖等非线性材料,采用容许应力法设计,实际上只利用了材料潜力的很小一部分,不经济。于是从 20 世纪 40 年代,学者们开始研究按破损阶段计算的设计方法,即极限状态设计方法。极限状态设计方法考虑了结构的塑性发展,以结构满足功能要求的特定状态为计算依据,将概率分析引入结构设计中,用结构的失效概率衡量结构的可靠性,这样不仅充分利用了材料,更重要的是对结构可靠度有了较精确的描述,使结构设计更加安全合理。

极限状态法发展至今经历了三个阶段:多系数的极限状态计算方法、单一系数的极限状态设计方法以及分项系数的极限状态法。早期的设计方法采用多系数制,如我国 1966 年颁布的《钢筋混凝土结构设计暂行规范》(GBJ21-66)就属于此类方法。由于缺乏统计资料,只有少量设计参数如钢材的设计强度、风雪荷载等,采用了概率分析确定取值,大多数参数则采用经验值,同时未进行结构构件的可靠度综合分析,不能使各种构件得到相同的安全度。20 世纪 70 年代,随着可靠度设计理论的建立,更多的概率分析应用到影响结构可靠度的各种因素的确定中。但即使是目前,将所有的影响因素视为随机变量进行统计分析也是困难的,因此 70 年代便逐渐过渡到多系数分析、单系数表达的设计方法,其安全系数依半统计、半经验的方法确定。在设计资料不全的情况下,依统计与经验确定安全系数有其合理性,同时计算也简便。1974 年颁布的《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ10-74)便体现了上述原则。80 年代,我国颁布了《建筑结构设计统一标准》(GBJ68-84),采用了分项系数形式的以近似概率为基础的极限状态设计方法,其特点是以结构功能的失效概率作为结构可靠度的度量,由定值的极限状态概念转变到非定值的极限状态概念上。荷载、抗力分项系数采用校准法确定,根据不同的可靠度要求,调整分项系数,使各种情况下的结构设计达到同样的可靠度要求,这样对提高结构设计的理论水平具有深刻的意义。随着研究的进一步深入,结构设计将达到全概率极限状态设计方法的水准。

目前我国各领域结构设计标准并没有完全统一,由于过去行业管理,使得不同的结构采用的设计方法不完全相同,如桥梁结构设计规范、给水排水工程结构设计规范还处于第二代水准,即单一系数极限状态法,建筑结构则采用分项系数的极限状态法,这样给结构设计理论发展带来了一定的障碍,但这种局面随着结构设计统一标准的制定、实施将会得到改观。

1.1.3 今后的发展趋势

工程结构虽是一门古老的学科,但至今仍生机勃勃,呈现发展的态势。无论是结构理论、材料科学,还是工程实践都在不断地取得进步,向更深层次开拓。特别

是目前我国正处于经济快速发展时期,各地基本建设的规模越来越大,给工程结构研究提出了许多新问题,促使从事工程结构研究的学者们不断探索,以适应新的形势。

1. 理论方面

结构设计方法经历了单一系数极限状态法、多系数极限状态法至现在采用以概率为基础的分项系数方法,但仍存在不足之处。随着研究的不断深入、统计资料的不断积累,将会发展至全概率极限状态设计方法。衡量结构安全的可靠度理论也在逐渐发展。工程结构的安全不仅与设计有关,与施工、使用也有密切的关系。因此目前有学者提出全过程可靠度理论,将可靠度理论应用到工程结构设计、施工与使用的全过程中,以保证结构的安全可靠。另外随着模糊数学的发展,人们也认识到结构安全方面的许多模糊概念,实际上结构的安全与不安全并没有一个明确的界限,许多限值是人为设置的以作为计算条件。目前模糊可靠度的概念正在建立。

随着计算机的发展,工程结构计算正向精确化方向发展,特别是钢筋混凝土与砌体结构,由于材料本身的特性,应用弹性理论分析内力所得的结果与实际结果误差较大,而且截面设计采用的是考虑塑性发展的极限状态法,二者间显然存在不协调之处。因此目前工程结构的非线性分析是发展趋势。欧洲 90 混凝土模式规范(CEB-FIP)已将混凝土结构的非线性分析模型纳入其中。我国将要颁布的新的混凝土结构设计规范也提到混凝土结构的非线性分析。非线性分析的主要方法是有限元法。对混凝土等材料进行非线性有限元分析目前还不太成熟。学者们正在对材料破坏准则、材料本构关系、钢筋与混凝土间的相互作用以及裂缝模型等问题进行深入研究。

相对而言构件计算理论比较完善,在荷载作用下的强度问题已成体系。但在其他方面仍存在不少问题,如钢筋混凝土构件的有关变形、裂缝的计算,研究还不深入,经验公式的成分很重。对钢结构构件,稳定计算如各种压弯构件的弯扭屈曲、薄板屈曲等还需要进行深入研究。另外各种构件在复杂受力及反复荷载作用下的强度理论也需进一步完善。

2. 材料方面

混凝土材料的发展趋势是轻质高强,要大力开发高强混凝土。目前我国已开始应用 60N/mm^2 的混凝土,特殊工程可达 $80\sim 100\text{N/mm}^2$ 。估计不久混凝土强度将普遍达到 100N/mm^2 ,特殊工程可达 400N/mm^2 。目前高强混凝土的塑性性能不如普通混凝土,研制塑性好的高强混凝土是今后的发展方向。另一方面,轻质混凝土的应用也具有较大的意义。轻质混凝土主要是采用轻质骨料,轻质骨料主要有轻集料(如浮石、凝灰石等)、人造轻骨料(页岩陶粒、黏土陶粒、膨胀珍珠岩等)、工业废料(炉渣、矿渣粉煤灰陶粒等)。轻质混凝土的强度目前还不高,一般为

15~20 N/mm²,今后要开发高强度的轻质混凝土。为改善混凝土的抗拉性能差、延性差的缺点,在混凝土中掺入纤维是有效的途径,纤维混凝土的研究目前发展得很迅速,掺入的纤维有钢纤维、耐碱玻璃纤维、聚丙烯纤维或尼龙合成纤维等。碾压混凝土也是近年来发展较快的新型混凝土,它可用于大体积混凝土结构(如水工大坝、大型基础等)、公路路面及机场道面,其特点是施工机械化程度高、效率高、劳动条件好,与普通混凝土相比浇注工期可缩短 1/3~1/2,用水量可减少 30%~60%。除此之外,许多特种混凝土如膨胀混凝土、聚合物混凝土、浸渍混凝土等也在研制、应用之中。

高强钢筋目前也发展较快。现在强度达 400~600N/mm² 的高强钢筋已开始应用,今后强度超过 1000N/mm² 的钢筋也会出现。目前高强钢筋主要是冷轧钢筋,为增加黏结性,冷轧时刻上肋痕或扭转成型,称为冷轧带肋钢筋、冷轧扭钢筋。另外为减少裂缝宽度,焊成梯格形的双钢筋也在开始应用。钢筋锈蚀是影响混凝土耐久性的重要原因,在特殊环境中使用防锈钢筋意义重大。为防止钢筋锈蚀,用不锈钢制造钢筋是一个途径,但价格昂贵,另一个途径是用环氧树脂涂敷钢筋表面,形成防锈涂层。

砌体结构材料也是向轻质高强方向发展。目前墙体改革正大力发展轻质高强块体,一般有两种途径,一是改实心砖为空心砖,过去我国空心砖大都为非承重砖。目前正在研制高孔洞率、高强度的大块承重空心砖。现在应用的一般孔洞率为 30%,抗压强度在 10N/mm² 以内,国外空心砖的抗压强度已普遍达 30~60 N/mm²,有的甚至高达 100 N/mm² 以上,孔洞率也达 40%以上。另一途径是在黏土内掺入可燃性植物纤维或塑料珠,煅烧后形成气泡空心砖,它不仅自重轻,而且隔声、隔热性能好。砌体结构材料另一个发展趋势是高强砂浆。砌体的抗拉、抗弯、抗剪强度主要取决于胶结材料,所以发展高强度,特别是高黏结度的砂浆对砌体性能有直接影响,如在砂浆中掺入有机化合物,形成高黏结砂浆,能使砌体抗压强度提高 37%,抗弯强度提高两倍。除此之外,砌体材料还应尽量利用工业废料,少占农田,以利于环境保护。

钢结构材料主要是向高效能方向发展。除提高材料强度外,还应大力发展型钢。我国目前型钢规格不多,应用时不太方便。如 H 型钢可直接作梁和柱,采用高强螺栓连接,施工非常方便。压型钢板也是一种新产品,它能直接作屋盖,也可在上面浇上一层混凝土作楼盖,作楼盖时压型钢板既是楼板的抗拉钢筋,又是模板,大大加快了施工速度,现在我国已开始应用。钢材的耐腐蚀性差,因此研究耐腐蚀钢对钢结构意义重大,国外已在一些沿海工程中应用。

3. 结构方面

随着经济的发展,许多跨世纪的巨型工程不断出现,这不仅得益于材料和计算理论的发展,结构形式也起了重要作用。空间体系代替平面体系能节约材料、增大

跨度。空间钢网架目前发展十分迅速,最大跨度已逾百米。除此之外悬索结构、薄壳结构也属于空间体系,也是大跨度结构发展的方向。

高层建筑也出现了许多新的结构形式,如巨型框架、悬挂结构等,使结构自重减轻,使用空间更加灵活。高层砌体结构也开始应用,如果采用传统体系的砌体结构将是十分困难的。目前一个途径是使墙体只受垂直荷载,将所有的水平荷载由钢筋混凝土内核芯筒承受,形成砖墙-筒体体系。另一个途径就是对墙体施加预应力,形成预应力砖墙,如目前尚在研究的通过构造柱中的预应力钢筋施加预应力,然后由与之相连的圈梁传递给砖墙,这样可大大提高砖墙的延性,使承受水平作用的能力增强。

组合结构也是结构发展的方向,它不仅能提高构件的承载能力,还可改善结构的塑性性能,增强结构的抗震能力。目前型钢混凝土、钢管混凝土、压型钢板叠合梁等已广泛应用。另外在超高层建筑结构中还采用钢框架与内核芯筒共同受力的组合体系,能充分利用材料优势,以利于经济设计。今后还应研究更加合理的组合结构形式。

预应力混凝土结构近年发展迅速,其中引人重视的是无黏结部分预应力混凝土结构,它施工简便,节约造价,跨越能力强,可得到综合经济效益。我国从 20 世纪 70 年代起开始将这种结构应用于房屋建筑,目前已推广至桥梁结构中。

1.2 各类结构的特点

1.2.1 工程结构分类及基本结构形式

工程结构有不同的分类方法,可以按结构的功能(体系)分,也可以按材料来分。

土木工程结构按其使用功能可分为:建筑结构、桥梁结构、岩土工程结构、水工结构、特种结构等。根据不同的使用功能和环境特点,上述结构有着不同的结构形式和特点,下面分别进行叙述。

1. 建筑结构

建筑结构是房屋建筑的骨架系统,它除承担房屋自身的重量外,还需承受楼面使用荷载以及抵御环境荷载(风、地震作用等)。建筑按其功能可分为:公用建筑、民用建筑和工业建筑;从高度上可划分为单层建筑、多层建筑和高层建筑;按材料形式可分为钢筋混凝土结构、钢结构、砌体结构和木结构,相应的结构形式也有所区别。通常建筑结构按水平与竖向可分为两大体系:承重体系和楼(屋)面体系。

(1) 承重体系

承重体系又叫承重结构,它主要承受楼板、屋面传来的荷载,有如下几种形式:

① 混合结构。混合结构一般用于多层房屋,它的墙、柱、基础由砌体材料组

成,承担楼屋盖传来的竖向荷载,楼屋盖体系则由钢筋混凝土或木材、钢材组成。根据楼盖的布置方式,可分为横墙承重、纵墙承重、混合承重及内框架承重体系,见图1-1。混合结构最大的优点是造价低廉,但自重重大,空间整体性差。

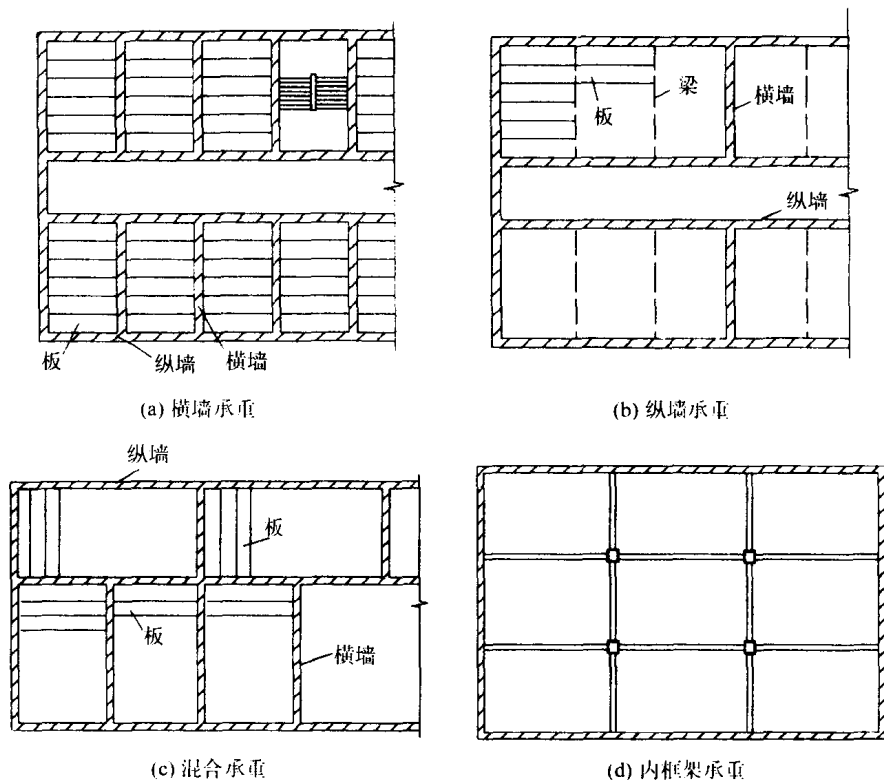


图 1-1 混合结构体系

② 框架结构。框架结构由梁柱组成,承受楼盖传来的竖向荷载以及风、地震等水平荷载。框架结构可以形成大空间,建筑平面布置灵活,适应性强,用途广泛。但是框架结构侧向刚度小,在水平荷载作用下,容易产生较大的侧向变形,因此限制了框架结构的使用高度。根据楼盖的结构布置,框架结构的承重方式可以分为横向承重、纵向承重和混合承重,见图 1-2。

③ 剪力墙结构。利用建筑物的墙体作为抵抗垂直荷载和水平荷载的结构称为剪力墙结构,见图 1-3。剪力墙既是承重构件又是维护和分隔构件。剪力墙结构的优点是空间整体性强,侧向刚度大,在水平荷载作用下产生的变形小,有利于结构抗震,适合于建更高层的建筑。但剪力墙结构也有局限性,主要是剪力墙的间距不能太大,建筑平面不灵活,一般只适合旅馆等小开间建筑,另外,剪力墙结构的自重也比较大。