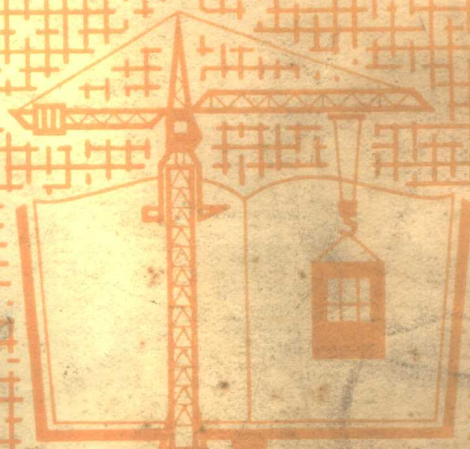


752895

551
61318, 1

建筑结构

哈尔滨建筑工程学院
华南工学院 编



基本图书

高等学校试用教材

中国建筑工业出版社

高等学校试用教材

建 筑 结 构

哈尔滨建筑工程学院
华南工学院 编

中国建筑工业出版社

本书为高等学校建筑学专业的建筑结构试用教材,包括三个组成部分:
钢筋混凝土基本构件、房屋结构及屋盖结构。其中以钢筋混凝土结构为主,
对钢结构、砖石结构及木结构也作了应有的介绍。

本书亦可供土建工程技术人员参考。

高等学校试用教材

建筑结构

哈尔滨建筑工程学院 编
华南工学院

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 29 插页: 1 字数: 704千字

1980年5月第一版 1985年7月第四次印刷

印数: 72,051—120,150册 定价: 3.65元

统一书号: 15040·3791

前 言

本书系根据全国高等院校工业与民用建筑专业教材座谈会及建筑学专业教材座谈会的精神编写的，作为高等学校建筑专业的结构试用教材，内容包括钢筋混凝土结构、钢结构、砖石结构及木结构。通过讲授，使学生能掌握一般建筑结构的基本原理和混合结构的计算方法，并具有参加功能复杂、技术先进、艺术要求较高的大型建筑结构设计的基础。

本教材中砖石结构部分将结合砖石房屋讲授，钢、木结构将结合屋架讲授。这样既保持了各门结构的特色，也各有侧重，满足了专业的要求。

参加本书编写的人员有华南工学院的谢兆鉴、罗征桂同志（第一、五、七章），哈尔滨建筑工程学院的罗维前、王仲秋、徐凯怡、廉晓飞、张耀春、徐崇宝、王振家、朱聘儒、钟善桐等同志（其余各章）。

主编人为哈尔滨建筑工程学院的朱聘儒同志。主审人为同济大学的董振祥同志（第一至九章，第十二至十三章），沈祖炎同志（第十章），潘世勍同志（第十一章）。

由于水平所限，时间仓促，错误或不当之处一定不少，望读者批评指正。

编 者

1979年4月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 建筑结构与建筑的关系	1
第二节 建筑结构的分类与应用概况	1
第三节 建筑结构课程的任务	5
第二章 钢筋混凝土材料的主要物理力学性能及结构的安全系数	7
第一节 钢筋混凝土的一般概念	7
第二节 钢筋的种类	7
第三节 钢筋的力学性能	8
第四节 钢筋的冷加工	10
第五节 混凝土的强度	11
第六节 混凝土的变形	12
第七节 钢筋与混凝土之间的粘结力	15
第八节 钢筋的弯钩与接头	15
第九节 结构的极限状态	17
第十节 建筑结构的荷载及钢筋混凝土材料的设计强度	17
第十一节 钢筋混凝土结构构件强度设计安全系数	19
附表 2-1 钢筋的计算截面面积及理论重量	20
附表 2-2 各种钢筋间距时板每米宽的钢筋截面面积	21
附表 2-3 民用建筑楼面均布荷载	21
附表 2-4 屋面均布活荷载	22
第三章 钢筋混凝土受弯构件	23
第一节 板和梁的一般构造	23
第二节 受弯构件正截面的破坏过程	26
第三节 单筋矩形截面的强度计算	29
第四节 双筋矩形截面的强度计算	34
第五节 T形截面的强度计算	38
第六节 受弯构件斜截面上的剪弯作用及配箍系数	46
第七节 受弯构件斜截面的破坏过程	47
第八节 斜截面的抗剪强度计算	48
第九节 保证斜截面抗弯强度的构造措施	54
第十节 外伸梁设计例题	57
第十一节 钢筋混凝土受弯构件刚度及裂缝的概念	61
附表 3-1 钢筋混凝土矩形和T形截面受弯构件强度计算表	64
第四章 钢筋混凝土受压构件	65
第一节 受压构件的分类	65
第二节 受压构件的构造	66
第三节 配有纵向钢筋和一般箍筋的轴心受压构件的强度计算	68
第四节 矩形截面偏心受压构件的强度计算	71
第五章 预应力混凝土结构的基本知识	77
第一节 预应力混凝土的概念	77

第二节	预应力混凝土结构的优缺点及应用情况	79
第三节	施加预应力的方法	80
第四节	预应力混凝土结构计算基本原理	82
第五节	预应力混凝土的材料及预应力混凝土构件的截面形状和尺寸	84
第六章	钢筋混凝土平面楼盖	87
第一节	整体式单向板交梁楼盖的组成及结构布置	87
第二节	整体式单向板交梁楼盖的计算与构造	89
第三节	整体式双向板交梁楼盖的计算与构造	113
第四节	整体式无梁楼盖的受力与构造特点	121
第五节	装配铺板式楼盖	122
第六节	楼梯的种类及其计算与构造要点	131
附表 6-1	等跨连续梁在均布荷载和集中荷载作用下的弯矩和剪力	136
附表 6-2	均布荷载作用下四边支承板计算系数表	144
第七章	砖石房屋结构	145
第一节	砌体的种类、强度及安全系数	145
第二节	砖石房屋结构的静力计算方案	148
第三节	墙、柱的高厚比和构造要求	151
第四节	砖石砌体受压构件的强度计算	157
第五节	刚性方案房屋的墙体验算	161
第六节	过梁	176
第七节	砖墙基础	181
第八章	钢筋混凝土单层厂房结构	186
第一节	概述	186
第二节	单层厂房的组成及受力特点	186
第三节	单层厂房平面尺寸确定	188
第四节	单层厂房的支撑布置	192
第五节	单层厂房主要构件的类型和选用	196
第六节	单层厂房的墙体结构和山墙抗风柱	205
第七节	单层厂房柱与相邻构件之间的连接	206
第八节	单层厂房排架的静力分析	207
第九节	单层厂房钢筋混凝土柱设计中的一些问题	215
第十节	柱下钢筋混凝土单独基础	219
第十一节	单层厂房钢筋混凝土柱及基础设计例题	226
附表 8-1	单阶柱的柱顶反力及柱顶位移计算公式表	241
第九章	多层与高层房屋结构	243
第一节	概述	243
第二节	多层与高层房屋结构方案的选择与结构布置原则	243
第三节	多层框架结构	256
第四节	剪力墙结构	270
第五节	框架-剪力墙结构	279
第六节	多层与高层房屋地下室的设置和基础类型	283
第十章	钢屋架	289
第一节	概述	289
第二节	建筑用钢	291
第三节	钢结构的设计方法与基本构件计算	296

第四节 钢结构的连接	306
第五节 钢屋架设计	315
第六节 轻钢屋架和薄壁型钢屋架	333
第七节 钢屋架设计例题	335
附表 10-1 热轧等边角钢规格表	344
附表 10-2 热轧不等边角钢规格表	348
附表 10-3 角钢上螺栓或铆钉线距表	352
第十一章 木屋架	353
第一节 概述	353
第二节 木材的力学性能和基本构件计算	357
第三节 木屋架的联结	263
第四节 木屋架设计举例	367
第五节 钢木屋架设计要点	380
第六节 木屋盖的支撑布置	384
附表 11-1 承重木结构方木选材标准	385
附表 11-2 承重木结构原木选材标准	386
附表 11-3 承重木结构板材选材标准	386
附表 11-4 四节间三角形豪式屋架杆力表	387
附表 11-5 六节间三角形豪式屋架杆力表	387
附表 11-6 板方材规格 (GB153-59)	388
附表 11-7 原木单齿联结承压面积 A_c 计算公式表	389
附表 11-8 螺栓和圆钢拉杆规格	390
第十二章 特种屋盖结构	391
第一节 引言	391
第二节 连续梁和悬挑结构	395
第三节 单层刚架	399
第四节 拱	401
第五节 曲面结构的一些基本知识	407
第六节 圆顶	413
第七节 柱面薄壳	417
第八节 折板结构的构造及计算要点	423
第九节 双曲扁壳	425
第十节 扭壳	428
第十一节 悬索结构	430
第十二节 网架结构	438
第十三章 房屋抗震设计的基本知识	145
第一节 房屋抗震设防	145
第二节 抗震设计的基本原则	146
第三节 地震荷载	149
第四节 多层砖房的一些抗震构造措施	451
附表 13-1 地震烈度表	455

第一章 绪 论

第一节 建筑结构与建筑的关系

凡是建筑物，无论宿舍、办公楼或厂房、体育馆，都是由屋盖、楼板、墙、柱、基础等结构构件所组成。这些构件在房屋中互相支承、互相扶持，直接地或间接地、单独地或协同地承受各种荷载作用，构成了一个结构整体——建筑结构。建筑结构是房屋的骨架，是建筑物赖以存在的物质基础，它的质量好坏，对于建筑物的坚固和寿命具有决定性作用，对于生产和使用影响重大。

建筑结构与建筑有着密切的关系，在房屋设计一开始，在决定建筑设计的平面、立面和剖面的时候，就应该考虑结构方案，既要保证建筑使用的要求，又要照顾到材料的选择，结构的可能和施工的难易。因为不同类型的建筑，它们的结构具有不同的受力特点和构造特点，大至结构体系的构成及选型，小至构件尺寸的大小，建筑设计工作者都应具有比较清晰的概念。

一个成功的设计必然是以选择一个经济合理的结构方案为基础，就是要选择一个切实可行的结构形式和结构体系；同时在各种可行的结构形式和结构体系的比较中，又要能在特定的物质与技术条件下，具有尽可能好的结构性能、经济效果和建造速度。一般，都是针对某一具体建筑相对的突出某一方面或两方面来判别其合理性，例如特别重要的建筑物（如人民大会堂一类的建筑），结构性能的安全可靠则是十分重要和突出的；而对于大量性的居住建筑，则要求具有尽可能好的经济效果和建造速度，当然其它方面也是需要认真对待的。结构方案的选择还必须有可靠的施工方法来保证，如果没有一个适宜的施工方法加以保证，则结构方案的合理性和经济性均无从谈起，方案本身也难以成立。当然，与建筑设计密切配合无疑是结构方案选择的根本出发点，但反过来又必然对建筑设计提出要求和限制，设计者如对结构知识有较深刻的了解，将可使两者的矛盾最大限度的减小。所以，建筑与结构之间的关系处理得好，就能相得益彰，就能做到适用经济，还可以达到美观的效果，相反的，两者关系处理不好，不是结构妨碍建筑，就是建筑给结构带来困难，两者互相制约。

一个较复杂的建筑工程，往往需要各专业工种互相配合完成，而建筑又是其中的中枢，它既是建筑功能、工程技术和建筑艺术的综合，又是建筑、结构、设备、施工等各专业工种的综合。所以，一个建筑设计工作者，除了在建筑方面应有较深的造诣之外，还应应对结构给予足够的重视。

第二节 建筑结构的分类与应用概说

建筑结构的分类与应用问题，可从结构所用材料的不同和结构受力构造的不同两个方面来讨论。

建筑结构按所用材料的不同来说，可分钢结构、木结构、砖石结构和钢筋混凝土结构。

钢结构是主要的建筑结构之一，它的特点是：（1）钢材强度高，做成的构件截面小、重量轻、运输架设方便；（2）钢材是接近各向同性的材料，质地均匀，可靠性高；（3）钢材具有可焊性，制造工艺比较简单；（4）钢容易锈蚀，经常性的维修费用高；（5）钢材耐火性远较钢筋混凝土和砖石差。我们还要看到，社会主义建设中需要用钢的地方很多，故在房屋建筑中，应本着节约用钢的原则考虑上列特点合理选用。目前，钢结构一般多用于跨度很大的建筑屋盖，跨度很大或吊车吨位很大的工业厂房骨架及吊车梁。

木结构在房屋建筑中用得很多，由于建筑事业的不断发展，木材用量日增，而其产量却受到自然条件的限制，因此，在基本建设中大力节约木材具有十分重要的意义。采用木结构时应本着节约木材的精神，注意量材使用。但因木材具有就地取材、制作简单、自重轻、容易施工等优点，故在某些地方，特别是山区、林区和农村，还普遍应用。不过，木材本身也存在一些天然缺点，如木材本身的疵病、易燃、易腐、易虫蛀等，所以在重要的建筑物中采用不多。

砖石结构在房屋建筑中的应用历史悠久，砖石材料具有许多优点，如就地取材、成本低廉、耐久性和化学稳定性好等，所以目前应用还比较普遍。但可惜砖石结构的施工砌块进度缓慢，现场作业量大、结构自重大，不能适应建筑工业化发展的要求。为了改变“秦砖汉瓦”的落后面貌，实现建筑工业化，近年来国内正在大力推广大型板材建筑和砌块建筑。

钢筋混凝土结构在房屋建筑中是最主要的建筑结构，它的应用范围非常广泛，几乎任何建筑工程都可用它，除了一般工业与民用建筑构件广泛采用钢筋混凝土结构外，其他如特种结构的高烟囱、水池、水塔等；公共建筑的高层楼房、大跨度会堂、剧院、展览馆等，也都可用钢筋混凝土结构建造。钢筋混凝土作为建筑材料具有许多优点，如强度大、耐久性好、抗震性好、并具有可塑性等，所以它是一种主要的房屋结构材料。但是，钢筋混凝土也有一些缺点，如自重大、费工费木料等。这些缺点，由于技术方面的革新以及材料、工艺和施工方面的改进，已经得到克服或改善。自从装配式和预应力的混凝土结构出现以后，钢筋混凝土结构的应用范围又得到扩大。预应力混凝土结构是钢筋混凝土结构的一个重大革命和飞跃发展，由于预应力混凝土结构克服了普通钢筋混凝土结构的缺点，因而在跨度和载重方面大大地超越了普通的钢筋混凝土结构。现在，跨度达60m的屋架和吨位达200t的吊车梁，都可采用预应力混凝土结构。

建筑结构按受力和构造特点的不同来说，可分承重墙结构、排架结构、框架结构或其它形式的结构。

承重墙结构的传力途径是：屋盖的重量由屋架承担，屋架支承在承重墙上；楼层的重量由楼盖承担，楼板和梁支承在承重墙上。因此，屋盖荷载（如屋盖自重、雪荷载等）以及楼层荷载（如楼盖自重、楼面荷载等）均由承重墙承担，墙下有基础，基础下为地基，全部荷载通过墙、基础传到地基上。这种具有承重墙的房屋叫做承重墙结构。这种房屋的屋盖或楼盖一般用钢筋混凝土制造，承重墙一般用砖石砌筑，因为它是由两种不同的结构材料混合组成的房屋承重结构体系，故承重墙结构通常也可称为混合结构。一般层数不多的民用建筑如宿舍、住宅、教学楼、办公楼等多用混合结构。

排架结构的主要承重体系由屋架（或梁）和柱组成。屋架与柱的顶端为铰接连接，而柱的下端嵌固于基础内。这种具有铰接受力特点的房屋结构叫做排架结构。一般单层工业厂房结构大多属于排架结构。

框架结构的主要承重体系由横梁及柱组成，但横梁与柱为刚接连接，从而构成了一个整体“刚架”（或称框架）。这种具有刚接受力特点的房屋结构叫框架结构。一般多层工业厂房或大型高层民用房屋结构大多属于框架结构。

以上是一般建筑中常用和常见的房屋结构。但是，随着社会主义建设的日益发展，为了节约建设用地，要求在大中城市中建造一些高层建筑。我国在五十年代初期引进了剪力墙结构体系，它被很快地用于高达三十层的公共建筑。现在，高层建筑已经广泛采用“框架与剪力墙结构混合体系”和“全剪力墙结构体系”。近年来在我国建造起来的高层建筑，如广州市的二十七层广州宾馆和三十三层白云宾馆，都是采用全剪力墙结构体系。

在解决房屋跨度问题上，最初采用的屋盖结构形式如梁、桁架、拱、门式刚架等，在力学范畴中都属于“平面结构体系”，但随着跨度尺寸的增加，以及工程技术的发展，后来逐渐出现一种新的结构体系，即“空间结构”。它比平面结构的适用跨度要大得多，由于空间结构受力好、刚度大、本身重量轻，能解决平面结构所不能解决的问题，因此，空间结构是解决大跨度建筑的更好形式。现代常用的空间结构有壳体结构、网架结构和悬索结构。

壳体结构的形式有球壳、柱面壳（筒壳）和双曲扁壳等。球壳是最早用在屋盖上的壳体形式。古代罗马万神庙的圆顶就是球壳的雏形，内径43.5m，用石料建成。由于当时对壳体受力规律还没有足够认识，所以屋顶做得很厚，每 1 m^2 竟达9t重。工程实践发展到了近代，人们已经掌握壳体的力学计算方法，加以钢筋混凝土等新材料的出现，今天我们采用钢筋混凝土建造直径40m左右的球壳，每 1 m^2 重量不大于200kg，而壳的厚度只有几厘米就可以了。例如我国解放后建成的第一座天文馆，屋顶球壳直径25m，壳顶厚度只有6cm。由于建筑造型的需要，陆续出现了柱面壳（筒壳）和双曲扁壳等薄壳形式。我国首都北京火车站就是采用双曲扁壳屋顶（图1-1）。北京网球馆也是采用双曲扁壳屋顶，跨度为 $42\times 42\text{ m}$ ，壳顶厚度仅9cm。



图 1-1 北京火车站

网架结构早在五十年代就已处于萌芽状态,但由于当时计算工具不发达,对它的力学分析很难进行精确计算,因此,当时世界各国建筑仍很少采用。近十多年来,由于电子计算机的发展,使网架的力学分析从繁重的计算中解放出来,它才逐渐得到发展和广泛的应用。我国首先采用的是北京首都体育馆,它的比赛大厅屋盖宽度 99 m,长达 112.2m,用钢量仅为 $65\text{kg}/\text{m}^2$ 。近年来我国其他地方均已应用这一先进技术,如上海市体育馆(图1-2)、南京市体育馆、福州市体育馆等。目前世界各国已广泛应用网架结构作体育馆、展览馆、影剧院、飞机库等的建筑屋盖。

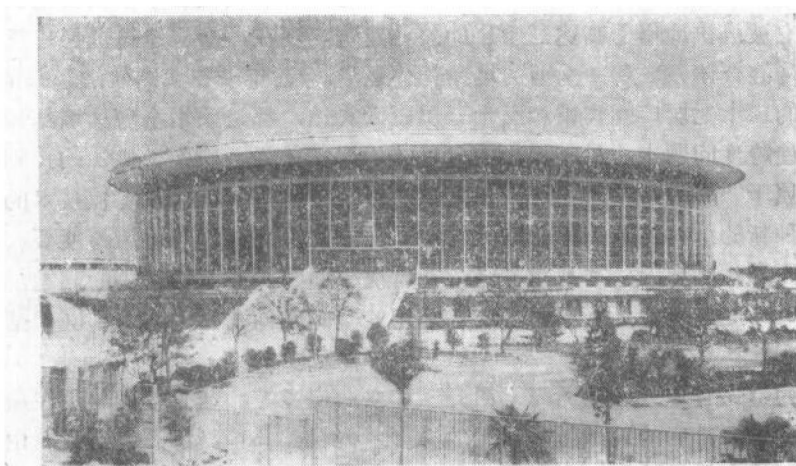


图 1-2 上海体育馆

悬索结构很早就出现在桥梁工程上(如绳索桥、铁索桥)。悬索应用于房屋建筑上也很早,如古代游牧民族的帐篷,就是悬索结构的雏形。大跨度悬索屋盖结构在十九世纪末开始发展起来。现代房屋上的悬索结构形式有圆形悬索结构和马鞍形悬索结构等。我国1961年建成的北京工人体育馆是一座圆柱形的大厦,其直径94m的比赛大厅屋顶,采用的就是圆形悬索结构,整个屋顶的悬索构造与自行车的车轮子相似。1967年建成的浙江体育馆(图1-3),平面形状为椭圆形(长轴为80m,短轴为60m),屋顶呈双曲抛物面,采用的就是马鞍形悬索结构(由两组交叉的和纵横相反弯曲的悬索相互绷紧构成马鞍形),用钢量仅 $17.3\text{kg}/\text{m}^2$ 。由于悬索结构是一种利用钢索抗拉的有利形式,所以经济效果显著;同时由于钢索抗拉能力强而重量轻,使结构自重大大减轻,这也是一个有利的因素。在大跨度屋顶结构所承受的荷载中,自重占极大的比例,由于悬索结构的自重显著减轻,所以它能跨越的空间就很大,故悬索结构是大跨度建筑中一种优越的结构形式。

建筑结构的施工工艺近年来也有很大的发展,单层厂房及多层住宅最近正在向工业化体系方面发展。随着建筑装配化及墙体改革的推行,我国已较广泛地采用了装配式大板居住建筑,在我国北京、南宁等地已经成片地大批兴建。这是一种比较新的建筑结构体系,它的施工速度快、机械化程度高、能工厂化生产。高层建筑在现浇施工方法上也有革新,大模板、滑升模板等施工方法已在推广应用,如上海的二十层大名饭店就是采用大模板方法施工的,上海市徐汇区的高层住宅(图1-4)就是用滑升模板法建造的。

总之,各种建筑结构形式的出现及其发展是人类长期社会实践的结果。前面所介绍的

几种结构形式都有着它广阔的发展前途，而且可以肯定，随着我国社会主义现代化建设的迅速发展，还将有新的结构形式涌现出来。为了实现四个现代化，在党中央提出的尽快把我国科学技术搞上去，努力赶超世界先进水平的伟大号召下，各种新的建筑材料、新型的建筑结构及先进的建筑技术，必将在建筑领域中更加蓬勃发展并不断取得新的成就。

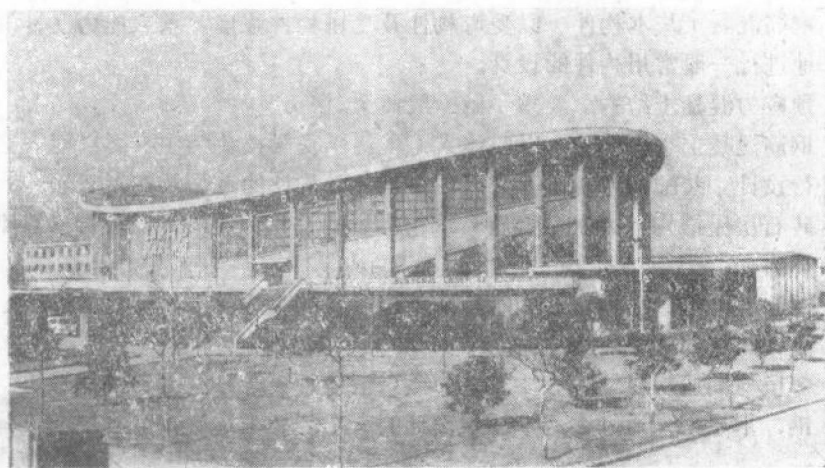


图 1-3 浙江体育馆



图 1-4 上海市徐汇区高层住宅

第三节 建筑结构课程的任务

建筑结构与建筑在设计过程中关系十分密切，本课程就是力图使建筑专业学生在建筑设计的过程中能具有结构总体知识，对所设计建筑的结构体系、结构布置及结构形式有所了解，并在建筑设计的基础上能对常用的和比较简单的结构进行计算。正如建筑专业培养

目标对本课程所提出的要求那样,要使学生能掌握一般建筑结构的基本原理,具备能进行一般混合结构的计算能力;另外,对于功能复杂、技术先进的大型建筑设计也略具初步的结构知识。

本课程共包括三个组成部分,即钢筋混凝土基本构件、房屋结构及屋盖结构。此外,尚有房屋抗震基本知识一章。具体内容及要求如下:

(1) 钢筋混凝土基本构件 以受弯构件及受压构件强度(承载能力)计算为主,要求能较熟练地进行一般常用构件的设计。

(2) 预应力混凝土结构 要求了解一般概念。

(3) 钢筋混凝土平面楼盖 以整体式(现浇)交梁楼盖为主,要求对一般现浇楼盖能粗浅地进行设计。装配式(预制)楼盖主要是熟悉构件的选型及布置要领。

(4) 砖石房屋结构 要求懂得砖石结构房屋的整体工作,并能进行一般刚性方案房屋的墙体核算。

(5) 钢筋混凝土单层厂房结构 了解单层厂房的组成及受力特点,着重于结构选型,以便于能较熟练地确定厂房结构的平剖面。

(6) 多层与高层房屋结构 要求受力概念清楚,便于结构方案的选择。

(7) 钢、木屋架 通过钢、木屋架设计的介绍,要求掌握钢、木屋架设计的基本要领。

(8) 特种屋盖结构 包括连续梁、悬挑结构、拱、单层刚架、薄壳、悬索及网架。要求对结构体系有形象化的了解,受力概念清楚,以利于结构方案的构思。

(9) 房屋抗震设计基本知识 了解房屋在地震荷载作用下的工作状态和多层砖房的一些主要抗震构造措施。

本课内容和建筑工程实践联系密切,因此,在学习过程中必须注意理论联系实际的原则,既要重视和加强基础理论的学习,又要注意建筑专业的特点和实际。还可以根据各地实际情况有所侧重,有所取舍。学习时要触类旁通,相互对比,不断提高综合分析问题和解决问题的能力。

第二章 钢筋混凝土材料的主要物理力学性能及结构的安全系数

第一节 钢筋混凝土的一般概念

混凝土是人造石材，它与天然石材一样，抗压强度较高而抗拉强度很低，混凝土的抗压强度约为抗拉强度的10倍左右。如图2-1的简支梁，在荷载作用下，由材料力学得知，梁中性层以上部分为受压区，中性层以下部分为受拉区。由于混凝土抗拉强度很低，在不大的荷载作用下，纯混凝土梁就会在受拉区开裂而破坏（图2-1a），而受压区的抗压强度却没有充分被利用。钢材是抗拉和抗压强度均很高的材料，如果在梁受拉区下边缘配置适量的钢筋，利用钢筋代替混凝土受拉，使得受压区混凝土的抗压性能充分发挥作用，这样就可以大大提高梁的承载能力（图2-1b）。这样的梁就称为钢筋混凝土梁。

钢筋混凝土是由两种性质不同的材料组成的一种组合体。这两种性质不同的材料之所以能共同工作是因为钢筋与混凝土之间有着很好的粘结力，使二者能牢靠地粘结在一起，在荷载作用下，它们之间不产生相对的滑动而能整体工作；再者是二者的温度线膨胀系数几乎相等，钢材的线膨胀系数为0.000012，混凝土为0.000010~0.000014，在温度发生变化时不致因线性胀缩不同而破坏二者的整体性；同时混凝土还能很好地保护钢筋免于锈蚀，增加了结构的耐久性，使结构始终保持整体工作。

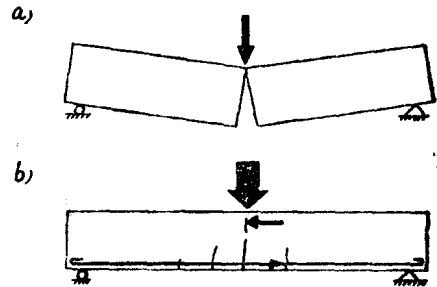


图 2-1 混凝土梁及钢筋混凝土梁
a) 混凝土梁；b) 钢筋混凝土梁

第二节 钢筋的种类

钢筋按其生产工艺和加工条件不同可分为热轧钢筋、冷拉钢筋和钢丝三大类。

钢筋由于化学成分的不同可分为热轧碳素钢和普通低合金钢两类。碳素钢中含碳量低于0.25%的称为低碳钢，含碳量在0.25~0.60%的为中碳钢，含碳量高于0.60%的为高碳钢。低碳钢及中碳钢均属普通碳素钢，普通碳素钢塑性好、质地软，但强度较低。在普通碳素钢成分中加入某些合金元素（如锰、钛、钒等）所得的钢，称为普通低合金钢。普通低合金钢中所含合金元素虽然不多，但却能显著地提高钢材的强度，同时还能改善钢材的其它性能，如锰可以提高钢材的强度和硬度并可改善钢材的焊接性能，钛可改善钢材的塑性、韧性和可焊性，钒可改善钢材的塑性和可焊性等。

磷与硫是钢材中的有害元素。磷使钢材塑性降低，并使钢在低温下易于脆断，磷的危害性随含碳量增多而增加，但在低碳钢中磷的影响较小。硫使钢材的可焊性降低，同时在

高温下使钢材产生热脆。这两种元素在钢材中的含量均有限制,不得超过0.045~0.05%。

第三节 钢筋的力学性能

一、钢筋的应力-应变曲线

钢材是较均质的材料,其受拉和受压的力学性能几乎相同,通常只作拉伸试验。

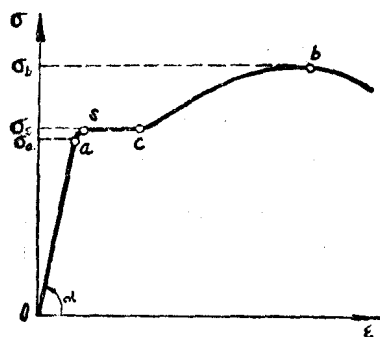


图 2-2 软钢拉伸时的应力-应变曲线

软钢的拉伸的应力-应变曲线如图2-2,图中横座标及纵座标分别为钢材拉伸时的应变值及应力值。从试验得知,软钢从加荷开始将经过以下几个阶段。

(1) 弹性阶段 在此阶段内(图中0a段),应力 σ 与应变 ε 按正比增加,如果卸荷则试件的变形可全部恢复。对应弹性阶段终点a的应力 σ_s 称为弹性极限。弹性阶段应力与应变的比值称为弹性模量 E ,它相当于线段0a倾角的正切,即:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \tan \alpha \quad (2-1)$$

由于钢筋种类的不同,弹性模量也稍有变化,但变化不大。各种钢筋的弹性模量见表2-1。

钢筋弹性模量 (kg/cm^2)

表 2-1

项 次	钢 筋 种 类	弹性模量 E_s
1	I级钢筋、冷拉I级钢筋	2.1×10^6
2	II级钢筋、III级钢筋、IV级钢筋、V级钢筋(热处理)、5号钢筋	2.0×10^6
3	冷拉II级钢筋、冷拉III级钢筋、冷拉IV级钢筋、冷拉5号钢筋、冷拔低碳钢丝、碳素钢丝、刻痕钢丝、钢绞线	1.8×10^6

注:表中项次3的冷拉钢筋,经时效后的弹性模量 E_s 均取 $2.0 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 。

(2) 屈服阶段 当应力超过比例极限 σ_s 后,应力与应变已不再成比例增加,应变增加较应力快(图中as段),钢材进入弹塑性阶段,这个阶段终点s点称为钢材的屈服点,对应于该点的应力称为屈服强度 σ_s ,钢材弹性阶段终点的应力 σ_s 与屈服点的应力 σ_s 是很相近的。应力达到屈服点 σ_s 后,应力不增加而变形却继续增长(图中sc段),这就好象钢材对外力屈服了一样,所以这一阶段称为屈服阶段。在屈服阶段,钢材由弹性体转化为塑性体,如果卸荷则试件的变形不能全部恢复,不能恢复的变形称为塑性变形。sc段称为钢材的屈服阶段,钢材不同,屈服阶段长短也不同,屈服阶段长者,钢材的塑性好。除高碳钢外,低碳钢、中碳钢及普通低合金钢均有明显的屈服阶段。凡有屈服阶段的钢材称为软钢。

(3) 强化阶段 当钢材屈服到一定程度后,内部组织起了变化,抵抗外力作用的能力又有所提高,继续增加外力,应力和应变又随之增加而形成了cb段的上升曲线。这一阶段称之为强化阶段。对应于最高点b处的应力称为抗拉强度,以 σ_b 表示。

对于硬钢,试验表明,它没有明显的屈服阶段,塑性很小,如图2-3所示。材料检验

只能以抗拉强度 σ_b 为准。通常用相当于残余应变为0.2%的应力值作为条件屈服点,以 $\sigma_{0.2}$ 表示。 $\sigma_{0.2}$ 一般相当于抗拉强度 σ_b 的0.7~0.85。

钢材的屈服强度是软钢的主要强度指标。当钢筋的应力达到屈服点之后,应变不断增加,致使钢筋混凝土裂缝扩大,变形也过大,故在设计中软钢以屈服点作为强度指标。硬钢规定以条件屈服点作为强度指标。

热轧钢筋按其强度大小可分为五级,其中I~IV级钢为软钢, V级钢为硬钢。

- | | |
|------|---|
| I级 | 24/38 kg/mm ² |
| II级 | 34/52 kg/mm ² |
| III级 | 40/60 kg/mm ² , 包括38/58 kg/mm ² |
| IV级 | 60/90 kg/mm ² , 包括55/85 kg/mm ² |
| V级 | 145/160 kg/mm ² , 包括135/150 kg/mm ² |

在上列数字中,分子为冶金工业部部颁标准(冶标)规定的屈服强度,分母为抗拉强度。III、IV、V级钢筋的较低强度级是“冶标”附注中允许交货指标。

二、钢筋的塑性

用于钢筋混凝土结构的钢筋,不仅希望强度较高,同时还要求有较好的塑性。塑性好的钢筋有利于结构工作,同时还有利于加工。通常以钢筋试件的伸长率和冷弯性能来检验钢筋的塑性。

把拉伸试件拉断后的两段拼接起来,量得拉断后的标距长度 l_1 ,减去标距原长 l ,其差就是塑性变形值(图2-4),此值与原长的比率就是伸长率 δ ,即

$$\delta = \frac{l_1 - l}{l} \quad (2-2)$$

伸长率是钢材塑性的一个指标, δ 值大表示钢材的塑性好。为了保证钢材具有一定的塑性,对不同品种的钢筋规格规定了伸长率的最小值。用 δ_5 和 δ_{10} 分别表示标距为 $l=5d$ 和 $l=10d$ 时的伸长率,例如I级钢要求伸长率 δ_5 不小于25%,II级钢不小于16%,其余可以参考《钢筋混凝土工程施工及验收规范》GBJ10-65(修订本)。

冷弯试验是检验钢筋在加工中承受变形的能力。它是将直径为 d 的钢筋试件,绕直径为 D 的弯心弯曲90度或180度(图2-5),然后检验钢筋有无裂缝、鳞落或断裂现象。对不同品种的钢筋有不同弯心直径及弯曲角度的要求,例如I级钢,要求弯心直径 $D=1d$,转

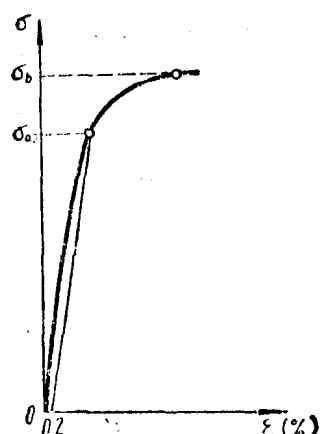


图 2-3 硬钢拉伸时的应力-应变曲线

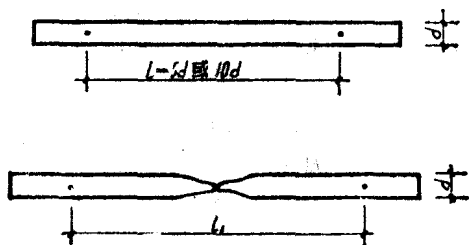


图 2-4 钢筋伸长率的测量

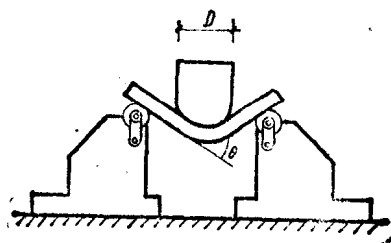


图 2-5 钢筋的冷弯试验

曲角度为180度，其余可参考《钢筋混凝土工程施工及验收规范》GBJ10-65（修订本）。

第四节 钢筋的冷加工

一、钢筋的冷拉

冷拉是将钢筋的应力拉到超过屈服点而进入强化阶段（如图2-6中的 k 点），然后放松钢筋，放松后变形将沿着平行于 oa 的直线 $k'o'$ 回到 o' 点，钢筋产生残余变形 oo' ，此时如果立即再张拉，应力-应变的图形将沿 $o'kd$ 变化，图形的转折点 k 高于冷拉前的屈服点，但屈服台阶不明显。

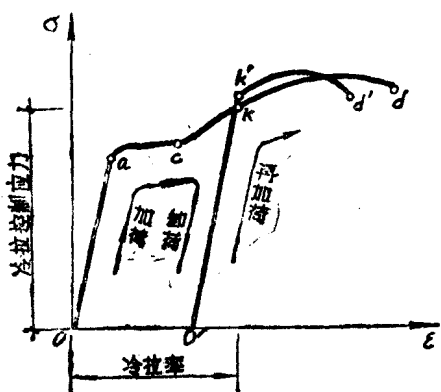


图 2-6 钢筋的冷拉

如果将钢筋放松以后，停留相当时间或者受高温作用后，然后再张拉，则应力-应变的图形将沿 $o'kk'd'$ 变化，曲线的转折点提高到 k' 点，此时钢筋获得了新的弹性阶段和屈服点。新的屈服点应力 σ'_s 高于冷拉前的屈服点应力 σ_s ，但屈服台阶及伸长率均有所缩短。这种现象称为“时效硬化”。

在工程上我们就利用这个规律将钢筋冷拉，以提高钢筋屈服点而达到节约钢材的目的。为了使冷拉后的钢筋既具有较高的强度，又有一定的塑性，必须选择合理的冷拉控制点 k 。由图2-6可知， k 点的位置可以由冷拉控制应力决定，也可以由冷拉率决定。从施工角度来看，以控制冷拉率较为方便，即所谓单项控制，通常简称“单控”。钢筋冷拉率应由该批钢筋抽样试验决定，但不应超过表2-2中的规定。

钢筋冷拉参数

表 2-2

项 次	钢 筋 种 类	双 控		单 控
		控制应力(kg/cm ²)	冷拉率(%)不大于	冷 拉 率 (%)
1	I 级钢筋	—	—	不大于10.0
2	5 号钢筋	4500	6.0	4.0~6.0
3	II 级钢筋	4500	5.5	3.5~5.5
4	III 级钢筋	5300	5.0	3.5~5.0
5	IV 级钢筋	7500	4.0	2.5~4.0

注：1. 用单控方法冷拉钢筋时，其控制冷拉率应由试验确定。当试验冷拉率小于表中下限数值时，控制冷拉率应按下限数值采用；同时控制冷拉率也不应大于表中规定的上限数值。

2. 冷拉钢筋如由多根钢筋串联组成时，除按总长控制的冷拉率应符合表中及注1的规定外，还宜分别测定各根钢筋的冷拉率；当采用单控冷拉方法时，不得超过表中规定的上限数值，而允许低于下限数值；当采用双控冷拉方法时，不应超过表中规定的限值。

但是，冷拉钢筋的原材料不可能完全相同，按既定的冷拉率进行单控冷拉后，并不一定能达到预期的屈服强度，这就是单控冷拉不完善之处。因此对于一些重要的结构，如预应力混凝土结构，其冷拉钢筋应该用双项控制进行冷拉，简称“双控”，即既控制冷拉率，同时还控制冷拉应力。对于不同种类的钢筋按表2-2所规定的控制应力进行冷拉，同时冷拉率也不得超过该表中的规定。这样，对于那些不合标准的钢筋，即按既定冷拉控制