

196

混凝土结构

(上册)

叶列平 编著

本书附盘可从本馆主页 <http://lib.szu.edu.cn/>
上由“馆藏检索”该书详细信息后下载,
也可到视听部复制



A0968722

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 提 要

本书是清华大学土木工程系专业技术基础课教材,分为上、下两册。上册内容包括:钢筋和混凝土的材料性能;钢筋混凝土构件的基本受力性能;结构设计方法;受弯构件正截面和斜截面承载力的计算、钢筋的锚固与布置;受压、受拉和受扭构件的承载力计算;正常使用阶段变形和裂缝的验算;预应力混凝土的原理及计算规定;受力性能分析和受弯构件的设计。有关设计计算部分按国家标准《混凝土结构设计规范 GB50010》编写。

本书可作为大专院校土木工程专业的教学参考书,也可作为广大土建工程设计人员和施工技术人员学习《混凝土结构设计规范 GB50010》的参考资料。

书 名: 混凝土结构(上册)

作 者: 叶列平 编著

出版者: 清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

印刷者: 清华大学印刷厂

发行者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 787×1092 1/16 **印张:** 20 **字数:** 457 千字

版 次: 2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-900637-71-0

印 数: 0001~5000

定 价: 33.00 元

前 言

本书是根据教育部土木工程专业的培养要求,并按清华大学土木工程系的教学计划和教学大纲,结合作者多年来的教学实践经验编写的,可作为大专院校土木工程专业的教材,也可供从事土木工程的技术人员学习参考。

全书分为上、下两册。上册为钢筋混凝土和预应力混凝土的基本构件、原理和计算;下册为混凝土结构的设计计算。

本书为上册,共14章,除绪论外,包括钢筋和混凝土的材料性能,钢筋混凝土构件的基本受力性能,结构设计方法,受弯构件正截面和斜截面承载力计算,钢筋的锚固与布置,受压、受拉和受扭构件的承载力计算,正常使用阶段变形和裂缝的验算,预应力混凝土的原理及计算规定、受力性能分析和受弯构件的设计。此外,为满足不同层次读者的需要,书中还编入了一些难度较大的内容(用*标出)。根据作者多年的教学经验,编写时不仅注意教学和学习规律,使教学内容的安排尽可能符合认识规律,同时及时反映了一些学科的最新发展和作者的科研及参加规范工作的成果。如高强混凝土结构构件、受剪桁架模型、裂缝的原因、结构耐久性等。考虑到土木工程结构类型多、设计计算方法不统一的情况,编写中注重基本概念和基本原理的讲述,使学生能正确理解和学习各种混凝土结构的设计计算方法。由于混凝土结构是一门理论性强,同时又注重工程实践的学科,为避免初学者混淆不同工程结构设计规范的方法,在设计计算部分主要按《混凝土结构设计规范 GB50010》(送审稿)编写。需要注意的是,最终颁布的《混凝土结构设计规范 GB50010》与送审稿之间可能存在一些差别。在实际工程应用中,应以最终颁布的规范为准。在学习中应重点掌握钢筋混凝土的基本原理和计算方法,以便今后灵活使用和掌握各种混凝土结构类型的计算、甚至国外的混凝土结构规范。

为便于读者自学和较好地掌握本课程内容,编写时力求语言通俗易懂、深入浅出,每章均有各种类型的例题,每章末有一定数量的习题和思考题。本书上册还附有电子教案光盘,分为学生版和教师版,可供教师教学和学生课后学习参考。

本书下册包括:钢筋混凝土楼盖、框架结构、单层工业厂房、桥梁结构、地下结构、钢—混凝土组合结构六部分。

本书上册由叶列平编著,下册由江见鲸、聂建国、叶列平编著。庄崖屏教授对本书上册进行了细致的审阅,提出了许多宝贵意见,在此表示感谢。由于编者的经验和水平限制,本书一定还存在不少缺点甚至错误,敬请读者提出批评和指正,以便及时改进。

编 者

2000年10月于清华园

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 混凝土结构的一般概念和特点	1
1.2 混凝土结构的发展简况及其应用	4
1.3 学习中应注意的问题	5
第 2 章 钢筋和混凝土的材料性能	8
2.1 钢筋	8
2.2 混凝土	12
思考题	30
第 3 章 钢筋混凝土构件的基本受力性能	32
3.1 轴心受拉构件的受力性能	32
3.2 轴心受压构件的受力性能	35
3.3 收缩和徐变的影响	37
3.4 梁的受弯性能	40
3.5 承载力和延性	48
思考题	49
习题	50
第 4 章 结构设计方法	51
4.1 结构的功能	51
4.2 极限状态	52
4.3 作用效应和结构抗力	53
4.4 结构设计中的不确定性	54
4.5 结构设计方法	54
4.6 结构上的作用及其代表值、作用效应组合	57
4.7 结构抗力和材料强度代表值	58
4.8 实用设计表达式	58
思考题	61
第 5 章 受弯构件正截面承载力计算	62
5.1 受弯构件的形式及基本要求	62
5.2 正截面承载力计算的基本规定	64

5.3 单筋矩形截面	68
5.4 双筋矩形截面	72
5.5 T形截面	78
思考题	83
习题	84
第6章 受弯构件斜截面承载力计算	86
6.1 斜裂缝的形成	86
6.2 无腹筋梁的斜截面受剪性能	87
6.3 有腹筋梁的斜截面受剪性能	94
6.4 斜截面受剪承载力计算	100
思考题	104
习题	105
第7章 粘结、锚固及钢筋布置	107
7.1 概述	107
7.2 钢筋与混凝土的粘结	108
7.3 钢筋的锚固和搭接	116
7.4 受弯构件的钢筋布置	121
7.5 设计例题	127
思考题	132
习题	133
第8章 受压构件	135
8.1 轴心受压构件的承载力计算	135
8.2 压力和弯矩共同作用下的正截面受力性能	139
8.3 附加偏心距和偏心距增大系数	145
8.4 矩形截面	149
8.5 T形和工形截面	161
8.6 双向偏心受压构件	164
8.7 受压构件的斜截面受剪承载力	169
8.8 受压构件的延性	171
8.9 受压构件的配筋构造要求	174
思考题	175
习题	177
第9章 受拉构件	179
9.1 轴心受拉构件	179

9.2 偏心受拉构件	179
9.3 N_u - M_u 相关关系	182
9.4 偏心受拉构件的斜截面受剪承载力	184
思考题	185
习题	185
第 10 章 受扭构件	186
10.1 概述	186
10.2 开裂扭矩	187
10.3 纯扭构件的承载力计算	189
10.4 弯-剪-扭构件的承载力计算	196
10.5 压-弯-剪-扭构件的承载力计算	205
思考题	206
习题	206
第 11 章 正常使用阶段的验算	207
11.1 概述	207
11.2 受弯构件的变形验算	208
11.3 荷载引起的裂缝宽度计算	215
11.4 产生裂缝的其他原因及其控制措施	223
11.5 混凝土结构的耐久性	232
思考题	239
习题	239
第 12 章 预应力混凝土的原理及计算规定	241
12.1 预应力混凝土的概念	241
12.2 施加预应力的方法	244
12.3 开裂前预应力混凝土截面的基本分析	246
12.4 预应力混凝土的材料及锚夹具	249
12.5 张拉控制应力和预应力损失	254
思考题	265
习题	266
第 13 章 预应力混凝土构件的受力性能分析	267
13.1 预应力混凝土轴心受拉构件的分析	267
13.2 预应力混凝土受弯构件的分析	273
13.3 一般受弯构件预压应力的计算	278
思考题	280

习题.....	280
第 14 章 预应力混凝土受弯构件的设计	281
14.1 预应力混凝土的分类.....	281
14.2 截面形状与跨高比.....	283
14.3 预应力钢筋数量的确定.....	284
14.4 承载力计算.....	284
14.5 正常使用阶段验算.....	286
14.6 施工阶段验算.....	289
14.7 预应力混凝土构件的构造要求.....	292
思考题.....	300
习题.....	300
附表.....	302
参考文献.....	309

第1章 绪 论

1.1 混凝土结构的一般概念和特点

以混凝土材料为主,并根据需要配置钢筋、预应力钢筋、钢筋、钢管等,作为主要承重材料的结构,均可称为**混凝土结构**(concrete structure),如素混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、钢筋混凝土结构、钢管混凝土结构和纤维混凝土结构等(见图1-1),其中以钢筋混凝土和预应力混凝土结构在工程中应用最多。

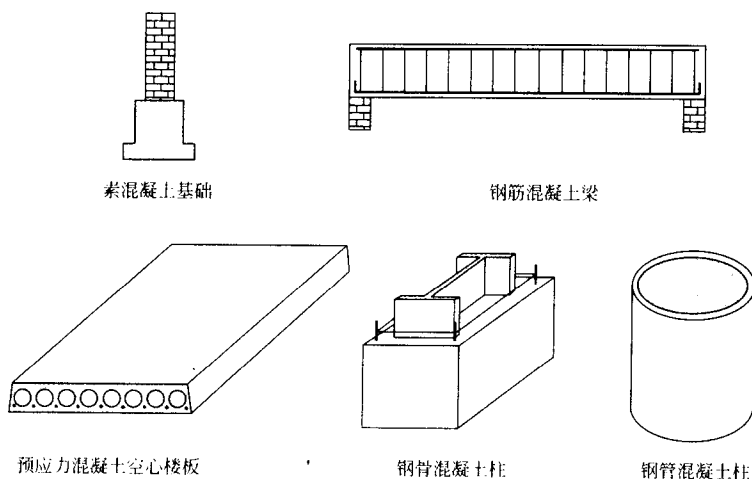


图 1-1 常见混凝土结构构件形式

混凝土结构中的主要材料——混凝土,其抗压强度高,而抗拉强度却很低,一般只有抗压强度的 $1/20 \sim 1/8$,同时混凝土破坏时具有明显的脆性性质。因此,素混凝土构件在实际工程中的应用很有限,主要用于以受压为主的基础、柱墩和一些非承重结构。

钢材的抗拉和抗压强度都很高,且钢材一般均具有屈服现象,破坏时表现出较好的延性。但细长的钢筋受压时极易失稳,仅能作为受拉构件,而其他纯钢构件的承载力也往往取决于钢材的稳定承载力,强度一般得不到充分发挥。

将混凝土和钢材这两种材料有机地结合在一起,可以取长补短,充分利用两种材料的性能。下面通过对比实验来说明。

图1-2(a)所示为一根素混凝土简支梁,在跨中集中荷载 P 作用下,梁跨中截面受拉边缘产生的拉应力一旦达到混凝土的抗拉强度,便很快被拉断而破坏。因此梁的**开裂荷载**即为其破坏荷载 $P_{cr} = P_u = 9.7 \text{ kN}$,承载力很低。而破坏时跨中截面受压边缘的压应力与抗拉强度相近,远未达到混凝土的抗压强度,破坏时呈脆性断裂,无明显预兆。

图1-2(b)为另一根截面尺寸、跨度、混凝土材料与(a)完全相同的钢筋混凝土简支

梁,在梁的受拉区配置了适量的钢筋。虽然当荷载达到约 $P_{cr}=9.7\text{kN}$ 时,梁的受拉区还会开裂,但开裂后,拉力可转由钢筋承担,因此荷载可以继续增加,直至钢筋达到受拉屈服强度,此时荷载为 $P_y=50\text{kN}$ 。由于钢筋屈服后有较长的屈服台阶,梁在屈服荷载后还可以继续一段较长的变形过程,荷载也略有增加,最后因受压区混凝土受压破坏而达到极限荷载 $P_u=52.5\text{kN}$,破坏时受压区混凝土达到受压强度。可见,配置钢筋后,钢筋混凝土梁的承载力比素混凝土梁大大提高,钢筋的抗拉强度和混凝土的抗压强度均得到充分利用,且破坏过程有明显预兆。但钢筋混凝土梁从开裂荷载 $P_{cr}=9.7\text{kN}$ 到屈服荷载 $P_y=50\text{kN}$,在很大的荷载增长过程中是带裂缝工作的,通常情况裂缝宽度很小,不致影响正常使用。但裂缝问题以及开裂后导致梁刚度的显著降低等不利影响,使得钢筋混凝土梁不能应用于大跨度结构。解决这一问题可采用预加应力的方法,这将在第 12 章中介绍。

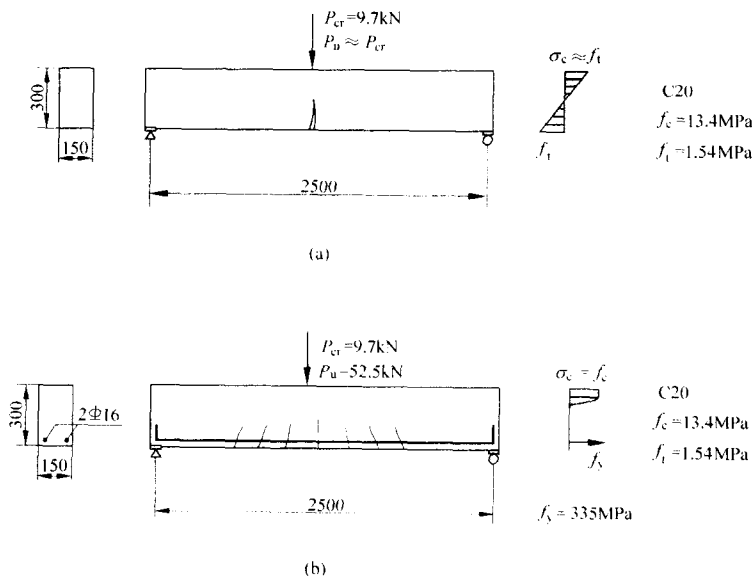


图 1-2 混凝土简支梁的破坏
(a) 素混凝土简支梁; (b) 钢筋混凝土简支梁

钢筋混凝土的英文为 reinforced concrete,直译为“被加强的混凝土”。实际工程中,除在构件的受拉区配置钢筋外,还有许多其他配筋方式(见图 1-3),如可以在构件的受压区配置钢筋协助混凝土承受压力;而在复杂应力区域(如梁在受剪区段、受扭区段、节点区、剪力墙等),可以配置箍筋或纵横交错的钢筋;当构件受力很大时,可以直接配置钢骨(型钢或由钢板焊接拼制而成);此外,还可以利用箍筋约束混凝土来提高混凝土的抗压强度,甚至直接采用钢管;采用纤维(钢纤维、聚丙烯纤维等)与混凝土一起搅拌形成的纤维混凝土,可增强混凝土的抗拉强度。因此,两种(或两种以上)材料的有机组合,充分发挥各自的长处,可以创造出多种形式的复合材料,适应各种不同受力的要求,取得很好的综合经济效益。实际工程中,以钢筋混凝土和预应力结构应用最多,本书上册主要介绍钢筋混凝土和预应力混凝土基本构件及其有关设计计算理论,为今后学习其他有关课程打下

基础。

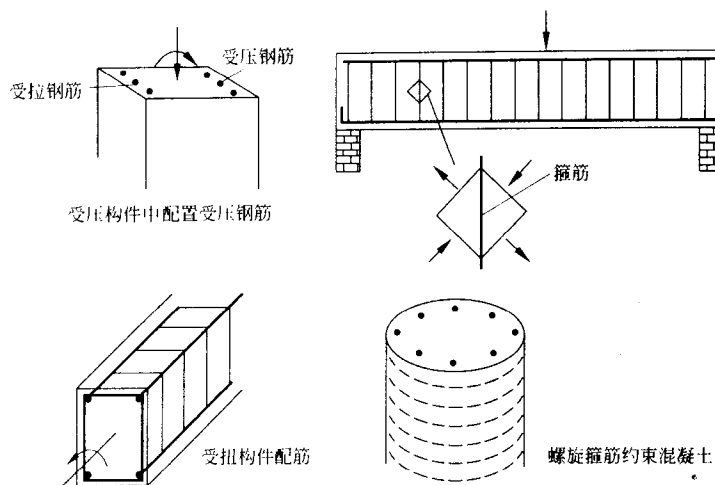


图 1-3 常见配筋方式

钢筋和混凝土两种材料的物理力学性能很不相同,它们之所以能够结合在一起共同工作,是因为:① 钢筋和混凝土之间有良好的粘结力,在荷载作用下,可以保证两种材料协调变形,共同受力;② 钢材与混凝土具有基本相同的温度线膨胀系数(钢材为 1.2×10^{-5} ,混凝土为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}$),因此当温度变化时,两种材料不会因产生过大的变形差而导致两者间的粘结力破坏。

混凝土结构在土建工程中的应用十分广泛,主要是因为有以下优点:

(1) 材料利用合理。钢筋和混凝土的材料强度可以得到充分发挥,结构的承载力与其刚度比例合适,基本无局部稳定问题,单位应力造价低,对于一般工程结构,经济指标优于钢结构。

(2) 可模性好。混凝土可根据设计需要浇筑成各种形状和尺寸的结构,适用于各种形状复杂的结构,如空间薄壳、箱形结构等。

(3) 耐久性和耐火性较好,维护费用低。钢筋有混凝土的保护,不易产生锈蚀,而混凝土的强度随时间的增加而增长;混凝土是不良导热体,一般 30mm 厚的混凝土保护层,可耐火 2 小时,使钢筋不致因升温过快而丧失强度。

(4) 现浇混凝土结构的整体性好,且通过合适的配筋,可获得较好的延性,适用于抗震、抗爆结构;同时防振性和防辐射性能较好,适用于防护结构。

(5) 刚度大、阻尼大,有利于结构的变形控制。

(6) 易于就地取材。混凝土所用的大量砂、石,易于就地取材。近年来,利用工业废料来制造人工骨料,或作为水泥的外加成分,以改善混凝土性能的研究和应用得到了很大发展。

但是,混凝土结构也有一些缺点,主要有:

(1) 自重大。不适用于建造大跨、高层结构。但对重力坝,自重大是优点。因此需发

展和研究轻质混凝土、高强混凝土和预应力混凝土。

(2) 抗裂性差。普通钢筋混凝土结构,在正常使用阶段往往是带裂缝工作的,在工作条件较差的环境,如露天、沿海、化学侵蚀,会影响结构的耐久性;对防渗、防漏要求较高的结构也不适用。同时由于开裂,限制了普通钢筋混凝土用于大跨结构,也影响到高强钢筋的应用。采用预应力混凝土可较好地解决开裂问题。利用树脂涂层钢筋可防止在恶劣工作环境下因开裂而导致钢筋的锈蚀。

(3) 承载力有限。与钢材相比,混凝土的强度还是很低的,因此普通钢筋混凝土构件的承载力有限,用作承受重载结构和高层建筑底部结构时,往往会导致构件尺寸太大,使用空间减小。发展高强混凝土、钢管混凝土、钢管混凝土可较好地解决这一问题。

(4) 施工复杂,工序多(支模、绑钢筋、浇筑、养护、拆模),工期长,施工受季节、天气的影响较大。利用钢模、飞模、滑模等先进施工技术,采用泵送混凝土、早强混凝土、商品混凝土、高性能混凝土、免振自密实混凝土等,可大大提高施工效率。

(5) 混凝土结构一旦破坏,其修复、加固、补强比较困难。但新型混凝土结构的加固技术不断得到发展,如最近研究开发的采用粘贴碳纤维布加固混凝土结构的技术,不仅快速简便,而且不增加原结构重量,施工时对使用影响小。

1.2 混凝土结构的发展简况及其应用

1824 年英国人阿斯普丁(J. Aspdin)发明硅酸盐水泥距今仅 170 多年。1850 年法国人朗波(L. Lambot)制造了第一只钢筋混凝土小船,到 1872 年在纽约建造第一所钢筋混凝土房屋,混凝土结构的开始应用距今也仅 150 年。与砖石结构、木结构和钢结构相比,混凝土结构的历史并不长,但发展非常迅速。目前混凝土已成为大量土木工程结构中最主要的结构材料,而且高性能混凝土和新型混凝土结构形式还在不断发展。

混凝土结构的发展大体可分为三个阶段:

第一阶段是从钢筋混凝土的发明至 20 世纪初。所采用的钢筋和混凝土的强度比较低,主要用于建造中小型楼板、梁、柱、拱和基础等构件。结构内力和构件截面计算均套用弹性理论,采用容许应力设计方法。

第二阶段是从 20 世纪 20 年代到第二次世界大战前后。随着混凝土和钢筋强度的不断提高,1928 年法国杰出的土木工程师弗雷西奈(E. Freyssnet)的贡献使预应力混凝土进入了实用阶段,使得混凝土结构可以用来建造大跨度结构。在计算理论上,前苏联著名的混凝土结构专家格沃兹捷夫(А. А. Гвоздев),提出了考虑混凝土塑性性能的破损阶段设计法,50 年代又提出了更为合理的极限状态设计法,奠定了现代钢筋混凝土结构的基本计算理论。

第三阶段是二战后到现在。随着建设速度的加快,对材料性能和施工技术提出了更高的要求,出现了装配式钢筋混凝土、泵送商品混凝土等工业化生产的混凝土结构。高强混凝土和高强钢筋的发展,计算机技术的采用和先进施工机械设备的发明,建造了一大批超高层建筑、大跨度桥梁、特长跨海隧道、高耸结构等大型结构工程,成为现代土木工程的

标志。在设计计算理论方面,已发展到以概率理论为基础的极限状态设计法、三维混凝土结构非线性分析,钢筋混凝土结构的基础理论研究得到了很大的发展。而新型混凝土材料及复合结构形式的出现,又不断提出新的课题,并不断促进混凝土结构的发展。

以下列举一些现代混凝土结构中有代表性的土木工程项目:

世界最高的混凝土建筑,也是世界最高的建筑,是马来西亚吉隆坡 City Center 的双塔大厦,高 450m,为钢筋混凝土结构。我国目前最高的建筑是上海的金茂大厦,其主体为钢筋混凝土结构,其中部分柱配置了一些钢骨,88 层,高 382m;最高的钢筋混凝土建筑是广州的中天广场,80 层,高度 322m。

全部为轻混凝土结构的最高建筑是美国的休斯敦贝壳广场大厦,52 层,高 215m。

跨度最大的建筑为意大利都灵展览馆,其拱顶由装配式构件组成,跨度达 95m。

跨度最大的薄壳结构是美国西雅图金群体体育馆,采用圆球壳,跨度达 202m。

最高的电视塔是加拿大多伦多电视塔,高 549m(混凝土结构部分),采用预应力混凝土。中国最高的电视塔为上海电视塔,高 415.2m,主体为混凝土结构。

世界上跨度最大的混凝土拱桥是克罗地亚的克尔克 II 号桥,形式为敞肩拱桥,跨度达 390m,拱圈厚 6.5m。我国跨度最大的拱桥是四川涪陵乌江桥,全长 351.83m,主跨 200m。我国最大的铁路拱桥为丰沙线上的永定河七号桥,跨度达 150m。

我国最大的预应力连续刚架桥是南昆铁路线上的清水河大桥,主桥三跨为 72m+128m+72m。

上海杨浦大桥为斜拉桥,主跨 602m,其桥塔和桥面均为混凝土结构。

世界上最高的重力坝是瑞士狄克桑斯大坝,坝高 285m,坝顶宽 15m,坝底宽 225m,坝长 695m。我国最高的重力坝为龙羊峡水电站的拦河大坝,坝高 178m,坝顶长 393.4m,坝顶宽 15m,坝底宽 80m。

1.3 学习中应注意的问题

混凝土结构课程包括:基本构件和基本理论(上册)以及混凝土结构设计(下册)两大部分。

基本构件是工程结构的基本单元,图 1-4 为典型建筑结构中的一些基本构件。钢筋混凝土基本构件有受弯构件、受压构件、受扭构件、受拉构件。预应力混凝土基本构件主要为受拉构件和受弯构件。

截面的基本受力形态有:正截面受力(压、弯、拉、压弯和拉弯)、斜截面受力(受剪和受弯)、扭曲截面受扭。而基本构件的受力往往是这些基本受力形态的复合,如表 1-1 所示。

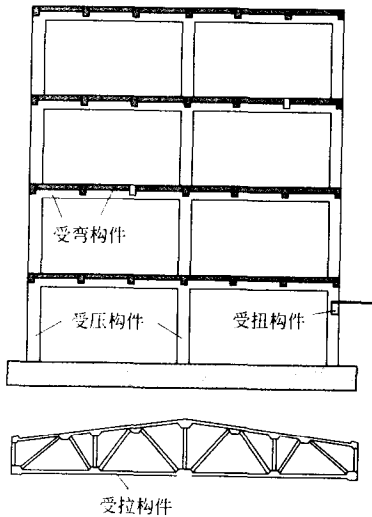


图 1-4 典型建筑结构中的基本构件

表 1-1 基本构件及其受力形态

基本构件	受力形态
受弯构件——梁、板	受弯、受剪
受压构件——柱、墙、受压弦杆	受压、弯、受压、剪、双向受压弯
受扭构件——雨篷梁、柱	受扭、受弯、剪、扭、受压、弯、剪、扭
受拉构件——受拉弦杆	受拉、弯
梁柱节点	受剪、受压、剪

混凝土结构课程的学习过程如图 1-5 所示。首先需要学习和掌握基本构件的受力性能,然后根据一定理论对各种受力性能进行分析,建立有关计算方法,进而过渡到基本构件的设计,最后对由基本构件组合成的结构体系进行设计。受力性能和理论分析构成了本学科的基本理论,是混凝土结构的基础知识,而构件设计直至结构设计是将基本理论应用于解决实际工程问题,两者既有密切的联系,又有层次上的不同。

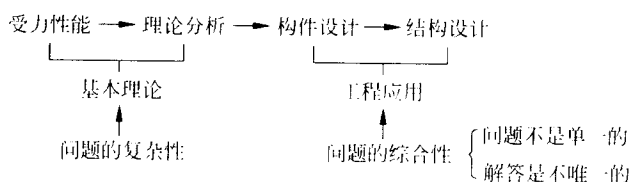


图 1-5 混凝土结构的学习过程及问题

在基本理论的学习过程中应注意所研究问题的复杂性,主要有以下几点:

(1) 混凝土结构的基本理论主要是研究由钢材和混凝土组成的复合结构构件的特殊材料力学。由于材料力学性能(尤其是混凝土材料)的复杂性,不仅使构件的受力性能变得复杂,也使材料力学的许多公式不能直接应用。但材料力学分析问题的基本思路,即由材料的物理关系、变形的几何关系和受力的平衡关系建立的理论分析方法,同样适用于混凝土材料。

(2) 结构构件的基本受力性能主要取决于钢材和混凝土两种材料的力学性能及两种材料间的相互作用。因此,掌握这两种材料的力学性能和它们的相互作用尤其重要。同时,两种材料的配比关系(数量上和强度上)会引起受力性能的改变,当两者的配比关系超过一定界限时,受力性能会有显著差别,这是在单一材料构件中所没有的。几乎所有基本受力形态都存在配比界限,这在学习中应给予重视。

(3) 混凝土构件中,钢材与混凝土的共同工作是建立在两者有可靠粘结力的基础上的。一旦两者的粘结力失效,按两种材料共同工作条件建立的力学分析方法就不适用,因此必须充分注意两种材料共同工作的条件是否得到满足。而这通常由构造措施来保证,必须与计算理论同等重视。

(4) 由于混凝土材料物理力学性能的复杂性,不仅使得构件在许多情况下的受力分

析十分复杂,甚至无法建立理论分析方法。因此,在许多情况下需要依赖试验分析来帮助确定理论分析中难以确定的参数或直接依赖试验结果建立计算经验公式。同时,对于直接在工程中应用的计算理论和公式,也都必须经过试验验证,保证安全可靠。所以,在学习中应重视试验研究方法,了解反映试验中规律性现象的受力性能,以及掌握按试验规律建立计算理论和公式的条件及适用范围。

本课程具有很强的工程背景,学习基本理论的目的是为了更好地进行混凝土结构设计,所学的知识也是要直接应用于工程实际。在构件和结构设计的学习过程中应注意以下几点:

(1) 混凝土构件和结构设计是一个综合性问题。设计过程包括结构方案、构件选型、材料选择、配筋构造、施工方案等,同时还需要考虑安全适用和经济合理。设计中许多数据可能有多种选择方案,因此设计结果不是唯一的。最终设计结果应经过各种方案的比较,综合考虑使用、材料、造价、施工等各项指标的可行性才能确定。

(2) 工程项目的建设是国家的重要工作,必须依照国家颁布的法规进行。对于结构设计来说,必须按各种结构类型的设计规范或规程进行。各种设计规范或规程是具有约束性和立法性的文件,其目的是使工程结构的设计在符合国家经济政策的条件下,保证设计的质量和工程项目的安全可靠。因此,设计规范或规程是设计人员进行设计时必须遵守的规定。注意在本课程的学习中,有关基本理论的应用最终都要落实到规范的具体规定中。由于土木建筑工程结构类型很多,不同的结构类型有不同的设计规范或规程,但混凝土结构的基本理论是一致的,因此应重点学好基本理论。本书上册以基本理论为主,并结合主要用于建筑结构工程的《混凝土结构设计规范 GB50010》(以下简称《规范》)学习。本书下册将结合各种类型的混凝土结构,介绍有关的设计方法和设计规范。

(3) 设计工作是一项创造性工作。一方面在设计工作中必须按照规范进行,另一方面只有深刻理解规范的理论依据,才能更好地应用规范,充分发挥设计者的主动性和创造性。本学科还在不断的发展和更新,因此设计工作也不应被规范束缚,在经过各方面的可靠性论证后,应积极采用先进的理论和技术。规范一般 10 年左右修订一次,就是为了反映学科最新发展的成果。

此外,本课程有较强的实践性,在学习中应注意到现场参观,了解实际工程的结构布置、配筋构造、施工技术,并应进行必要的结构构件试验,以积累感性知识,增加工程经验,加强对基础理论知识的理解。

第 2 章 钢筋和混凝土的材料性能

2.1 钢筋

2.1.1 钢筋的品种

我国常用的钢筋品种有热轧钢筋、中高强钢丝和钢绞线、热处理钢筋和冷加工钢筋(见图 2-1)。

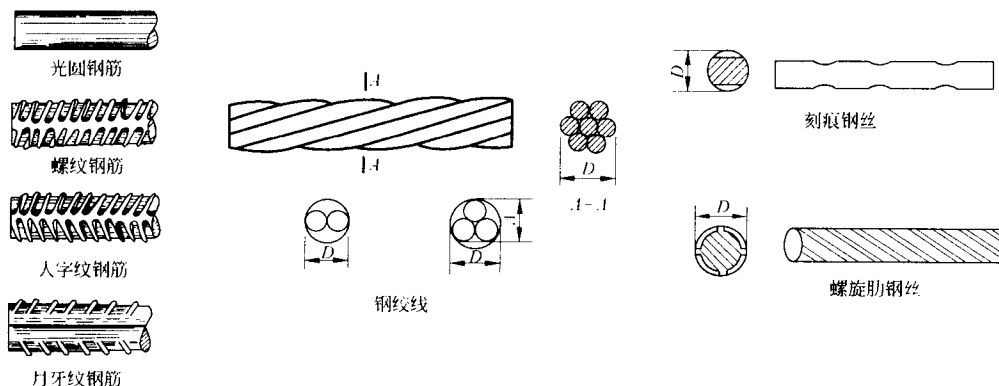


图 2-1 常用钢筋形式

D ——公称直径; A ——3 股钢绞线测量尺寸

目前我国在钢筋混凝土结构中采用的热轧钢筋分为 HPB235, HRB335, HRB400 和 RRB400 三个等级(即通常所说的 I, II, III 级钢筋, 标注符号分别为 Φ , Φ , Φ), 屈服强度标准值分别为 235, 335, 400MPa, 直径为 6mm~40mm。我国常用钢筋直径及钢筋面积见附表 12~附表 15。HPB235 级钢筋为光面钢筋, HRB335, HRB400 和 RRB400 级钢筋强度较高, 为增强与混凝土的粘结, 外形一般轧制成月牙肋或等高肋, 称为带肋钢筋, 也称变形钢筋。HPB235 级钢筋多作为现浇楼板的受力钢筋和箍筋; HRB335, HRB400 和 RRB400 级钢筋多作为钢筋混凝土构件的受力钢筋, 尺寸较大的构件也有用 HRB335 级钢筋作箍筋的。

预应力钢筋常采用钢绞线和钢丝, 也可采用热处理钢筋。高强钢丝和钢绞线的抗拉强度可达 1470MPa~1860MPa, 钢丝直径 4mm~9mm, 外形有光面、刻痕和螺旋肋三种, 另有三股和七股钢绞线, 外接圆直径 8.5mm~15.2mm。中高强钢丝和钢绞线均用于预应力混凝土结构。

冷加工钢筋是由热轧钢筋或盘条经冷拉、冷拔、冷轧、冷轧扭加工后而成。对钢筋进

行冷加工是为了提高强度、节约钢材。但钢筋经冷加工后,其延伸率降低,尤其是用于预应力构件时,易造成脆性断裂。由于近年来我国强度高、性能好的钢筋(钢丝、钢绞线)已可充分供应市场,故《规范》未列入冷加工钢筋,使用时应遵照专门规程。

热处理钢筋是将Ⅳ级钢筋通过加热、淬火和回火等调质工艺处理,使强度得到较大幅度的提高,而延伸率降低不多。热处理钢筋用于预应力混凝土结构。

2.1.2 钢筋的强度和变形

根据钢筋单调受拉时的应力-应变关系特点的不同,可分为有**明显屈服点钢筋**(如热轧钢筋)和**无明显屈服点钢筋**(如高强钢丝)。

1. 有明显屈服点钢筋

有明显屈服点钢筋拉伸时的典型应力-应变曲线见图 2-2。 a' 点以前,应力 σ 与应变 ϵ 成比例关系,即 $\sigma = E_s \epsilon$, E_s 为钢筋**弹性模量**, a' 点应力称为**比例极限**;过 a' 点后,应力 σ 与应变 ϵ 虽不再成比例关系,但仍然为弹性变形,即当应力降低时,应变可沿原应力-应变关系曲线卸载, a 点以后为非弹性, a 点称为**弹性极限**;应力达到 b 点,应变出现塑性流动现象, b 点称为**屈服上限**,它与加载速度、断面形式、试件表面光洁度等因素有关,故 b 点是不稳定的;待应力降至**屈服下限** c 点,这时应力不增加而应变急剧增加,应力-应变关系接近水平直线,直至 d 点, cd 段称为**屈服台阶**; d 点以后,随应变的增加,应力又继续增加,至 e 点应力达到最大值, e 点的应力称为钢筋的**极限强度**, de 段称为**强化段**; e 点以后,在试件的薄弱位置产生**颈缩**现象,变形迅速增加,断面缩小,应力降低,直至 f 点拉断。

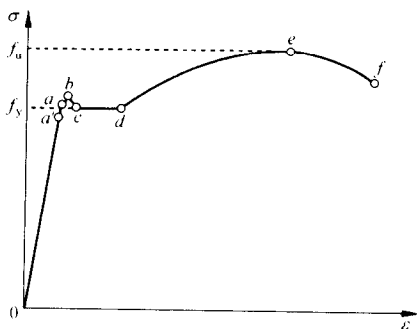


图 2-2 有物理屈服点钢筋的应力-应变关系

反映钢筋力学性能的基本指标主要有**屈服强度**、**延伸率**和**强屈比**。

屈服强度是钢筋强度的设计依据,因为钢筋屈服后将产生很大的塑性变形,且卸载后塑性变形不可恢复,这会使钢筋混凝土构件产生很大的变形和不可闭合的裂缝。由于屈服上限不稳定,一般取屈服下限作为屈服强度 f_y (注:本小节 f_y 指实际屈服强度)。

钢筋拉断时(f 点)的应变称为**延伸率**,按下式确定:

$$\delta_{5或10} = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (2-1)$$

式中： l_0 为试件拉伸前量测标距的长度，一般取 $5d$ 或 $10d$ ， d 为钢筋直径； l 为拉断时量测标距的长度。量测标距包括颈缩区。延伸率是反映钢筋塑性性能的指标。热轧钢筋的延伸率较大，在拉断前有足够预兆，延性较好。HPB235、HRB335、HRB400 和 RRB400 级热轧钢筋的延伸率分别要求不小于 $\delta_5 = (25\%, 18\%, 14\%)$ 。另一个反映钢筋塑性性能的指标是冷弯性能，它是用钢筋绕一定直径 D 的钢辊弯折一定的角度 α 时，不能有裂纹或断裂来反映钢筋塑性性能的。钢辊直径 D 越小，弯折角度 α 越大，则塑性性能就越好。

由于延伸率中包含了颈缩断口区域的残余变形，一方面使得不同量测标距长度得到的结果不一致，另一方面也不能全面正确地反映钢筋的变形能力，甚至带来概念上的混乱和错误。为此，近年来国际上开始采用最大力作用下的总伸长率——**均匀延伸率**来反映钢筋的变形能力。均匀延伸率按下式确定（见图 2-3(a)，以百分率计）：

$$\delta_{gt}(\%) = \left(\frac{L - L_0}{L} + \frac{\sigma_b}{E_s} \right) \quad (2-2)$$

式中： L_0 为不包含颈缩区拉伸前的量测标距长度； L 为拉伸断裂后不包含颈缩区的量测标距长度； σ_b 为最大拉伸应力； E_s 为钢筋的弹性模量。

由上式可见，**均匀延伸率**包括残余应变和弹性应变（见图 2-3(b)），它反映了钢筋的真实变形能力。我国 HRB335 级钢筋的 δ_{gt} 为 16.89%，HRB400 级钢筋的 δ_{gt} 为 16.51%。

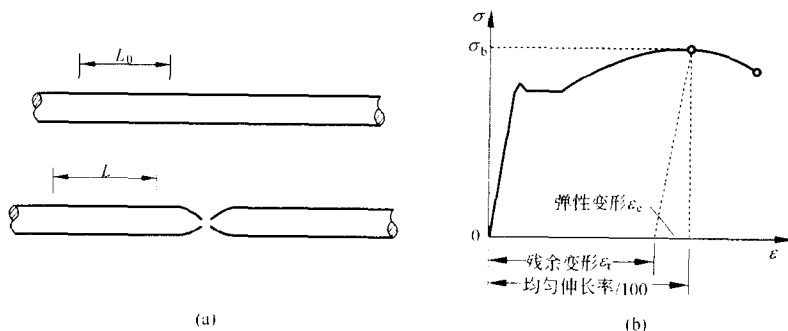


图 2-3 均匀延伸率
(a) 量测标距；(b) 应力-应变关系

强屈比为钢筋极限强度与屈服强度的比值，反映了钢筋的强度储备。如对按一、二级抗震等级设计的框架结构，纵向受力钢筋的强屈比不应小于 1.25。通常热轧钢筋的强屈比为 1.4~1.6。

反映钢筋全部受力性能的是其**应力-应变关系**。由于屈服后钢筋的应变急剧增大，因此在实际计算分析中，对于有明显屈服点钢筋的应力-应变关系，一般可采用双线性的**理想弹塑性关系**（见图 2-4），即

$$\begin{cases} \sigma = E_s \epsilon & \epsilon \leq \epsilon_y \\ \sigma = f_y & \epsilon > \epsilon_y \end{cases} \quad (2-3)$$

钢筋的屈服应变 $\epsilon_y = f_y / E_s$ 。

此外，钢筋受压应力-应变曲线在屈服台阶以前与受拉基本一致。