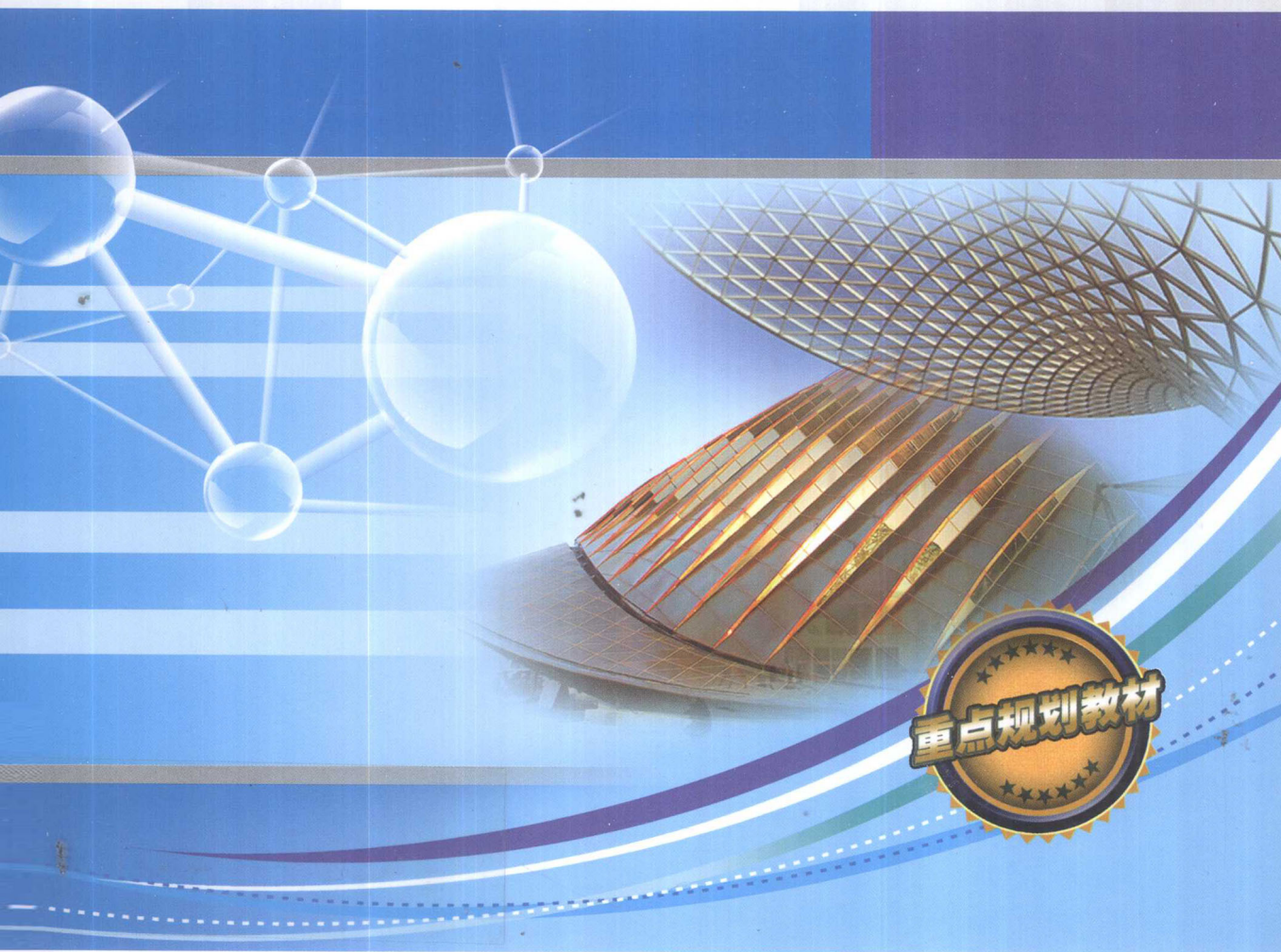


混凝土结构基本原理

主 编/吴 庆



HEUP 哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

混凝土结构基本原理

主 编 吴 庆

副主编 裴星洙 米旭峰 董作超



哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书是按照高等学校土木工程专业指导委员会编制的《混凝土结构》课程教学大纲,并结合新《混凝土结构设计规范》(GB50010—2002)要求编写。

全书共分十章,主要内容有:绪论,混凝土结构材料的物理力学性能,结构设计方法,受弯构件正截面承载力计算,受弯构件斜截面承载力计算,钢筋混凝土轴心受力构件正截面承载力,钢筋混凝土偏心受力构件承载力计算,受扭构件的扭曲截面承载力,钢筋混凝土构件的变形和裂缝验算,预应力混凝土构件设计。为了便于教学,方便学生自学、自检和自测,各章设有本章提要、小结、思考题和练习题。

本书可作为土木工程专业的课程教材,也可供相关专业工程技术和科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构基本原理 / 吴庆主编. —哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2010. 12
ISBN 978 - 7 - 81133 - 986 - 4

I. ①混… II. ①吴… III. ①混凝土结构 IV.
①T37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 252644 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451 - 82519328
传 真 0451 - 82519699
经 销 新华书店
印 刷 黑龙江省教育厅印刷厂
开 本 787mm × 1092mm 1/16
印 张 17.25
字 数 413 千字
版 次 2010 年 12 月第 1 版
印 次 2010 年 12 月第 1 次印刷
定 价 33.00 元
<http://press.hrbeu.edu.cn>
E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前言

PREFACE

随着科学技术的进步、高等教育事业的发展,要求教材应有明确的目标、合适的体系、创新的内容和言简意赅的表达方式,这正是本书编写的目标。

本书是根据全国土木工程学科专业指导委员会制定的教学大纲,并结合最新《混凝土结构设计规范》(GB50010—2002)编写的宽口径专业基础课教材。设置该课程的目的是使学生通过学习,掌握由钢筋及混凝土两种材料所组成的结构构件的基本力学性能和计算分析方法,了解该课程与力学课程的区别和联系,初步获得解决实际问题的能力,为后续专业设计课程的学习打下良好的理论基础。

本教材共有10章,内容包括钢筋混凝土构件和预应力混凝土构件的基本概念、设计计算原则和方法等。教材编写过程中注意吸收同类教材的长处,突出重点,物理力学概念、计算原理和计算方法论述清楚,并结合工程实际,反映了国内外土木工程的先进科学技术。

本教材的编写人员有丰富的教学经验,教材内容融入了长期积累的教学实践,是编者通力合作、辛勤劳动的结果。其中,吴庆副教授负责第2章、第4章和第5章的编写;米旭峰老师负责第6章、第7章和第8章的编写;裴星洙教授负责第9章和第10章的编写;董作超老师负责第1章、第3章及附录的编写。最后,由吴庆副教授统一审定成稿。

本书可作为土木工程专业的教材,也可作为设计和施工技术人员掌握新《混凝土结构设计规范》,进行混凝土构件设计提供参考。

本书编写过程中参考了国内同行的论文资料、著作和教材,在此谨致谢忱。由于编者水平有限,本教材中不妥甚至错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2010年9月

第1章 绪论	1
1.1 钢筋混凝土结构的基本概念	1
1.2 预应力混凝土结构的基本概念	3
1.3 钢筋混凝土结构的发展简史	4
1.4 本章小结	6
思考题与练习题	7
第2章 钢筋混凝土结构材料的物理力学性能	8
2.1 钢筋	8
2.2 混凝土	13
2.3 钢筋与混凝土之间的黏结	29
2.4 本章小结	32
思考题与练习题	33
第3章 结构设计方法	34
3.1 结构设计的要求	34
3.2 结构上的作用与结构抗力	35
3.3 概率极限状态法的基本概念	38
3.4 概率极限状态法的设计表达式	41
3.5 荷载效应组合	44
3.6 本章小结	45
思考题与练习题	46
第4章 受弯构件正截面承载力计算	47
4.1 概述	47
4.2 受弯构件正截面的各应力阶段及破坏形态	48
4.3 单筋矩形截面梁正截面承载力计算	53
4.4 双筋矩形截面梁正截面承载力计算	58
4.5 T形截面梁的正截面承载力计算	63
4.6 本章小结	70
思考题与练习题	71
第5章 受弯构件斜截面承载力计算	73
5.1 概述	73
5.2 无腹筋梁斜截面受力特点和破坏形态	74
5.3 有腹筋梁斜截面受力特点和破坏形态	79
5.4 受弯构件斜截面承载力计算公式	81
5.5 受弯构件斜截面承载力计算方法	86
5.6 梁中箍筋及弯起筋的构造	90
5.7 本章小结	98

思考题与练习题	99
第6章 钢筋混凝土轴心受力构件正截面承载力	101
6.1 概述	101
6.2 钢筋混凝土轴心受拉构件正截面承载力计算	102
6.3 钢筋混凝土轴心受压构件正截面承载力计算	104
6.4 本章小结	112
思考题与练习题	112
第7章 钢筋混凝土偏心受力构件承载力计算	114
7.1 概述	114
7.2 偏心受力构件的构造要求	116
7.3 偏心受压构件正截面的受力特点和破坏形态	118
7.4 矩形截面偏心受压构件正截面受压承载力的基本计算方法	123
7.5 矩形截面不对称配筋偏心受压构件的计算方法	125
7.6 矩形截面对称配筋偏心受压构件的计算方法	136
7.7 I形截面偏心受压构件正截面承载力计算	140
7.8 双向偏心受压构件计算	145
7.9 偏心受拉构件正截面承载力计算	147
7.10 偏心受力构件斜截面受剪承载力计算	152
7.11 本章小结	154
思考题与练习题	155
第8章 受扭构件的扭曲截面承载力	157
8.1 概述	157
8.2 纯扭构件的试验研究	158
8.3 纯扭构件的扭曲截面承载力计算	160
8.4 压弯剪扭构件的扭曲截面承载力计算	165
8.5 本章小结	173
思考题与练习题	173
第9章 钢筋混凝土构件的变形和裂缝验算	175
9.1 概述	175
9.2 钢筋混凝土受弯构件的挠度验算	175
9.3 钢筋混凝土裂缝宽度验算	185
9.4 本章小结	192
思考题与练习题	193
第10章 预应力混凝土构件设计	194
10.1 概述	194
10.2 张拉控制应力与预应力损失	200
10.3 先张法构件预应力钢筋的传递长度	206
10.4 后张法构件端部锚固区的局部承压验算	207

10.5 预应力混凝土轴心受拉构件的计算	211
10.6 预应力混凝土受弯构件的计算	224
10.7 预应力混凝土构件的构造要求	240
10.8 部分预应力混凝土及无黏结预应力混凝土结构简述	242
10.9 本章小结	249
思考题与练习题	249
附 录	252
参考文献	265

第1章 绪论

本章提要

以混凝土为主要材料制作的结构称为混凝土结构。它包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构、型钢混凝土结构、钢管混凝土结构和预应力混凝土结构等。本课程主要是对房屋建筑、公路桥涵等土木工程中混凝土结构构件的受力性能、计算方法和构造要求等问题进行讨论。本章要求学生在了解混凝土结构一般概念的基础上,深刻理解与掌握钢筋和混凝土共同工作的条件,充分认识钢筋与混凝土的优缺点及钢筋混凝土结构的类型,了解钢筋混凝土结构在土木工程中的应用及发展前景,做好学习本课程的准备。

1.1 钢筋混凝土结构的基本概念

钢筋混凝土是由钢筋和混凝土两种物理-力学性能完全不同的材料所组成。混凝土的抗压能力较强而抗拉能力却很弱,钢材的抗拉和抗压能力都很强。为了充分利用材料的性能,把混凝土和钢筋这两种材料结合在一起共同工作,使混凝土主要承受压力,钢筋主要承受拉力以满足工程结构的使用要求。

例如两根截面尺寸、跨度和混凝土强度等级(C20)完全相同的简支梁,其中一根为素混凝土梁,由实验可知,当加荷 $F = 12.5 \text{ kN}$ 时,素混凝土梁便由于受拉区混凝土被拉裂而突然折断(图1-1(a))。但如在梁的受拉区配置一定数量的钢筋,如在上述这根梁的底部配置2根直径为20 mm的HRB335级钢筋,做成钢筋混凝土梁(图1-1(b)),虽然当荷载大于一定程度时,受拉区混凝土仍然开裂,但钢筋可以代替开裂的混凝土承受拉力,直到钢筋达到其屈服强度,裂缝迅速向上延伸,受压面积减小,导致混凝土压应力达到抗压强度而被压碎破坏。此时,梁的破坏荷载 $F = 76 \text{ kN}$ 。在钢筋混凝土受弯构件中,通常是混凝土承受压力,钢筋承受拉力,钢筋与混凝土两种材料的强度均得到充分利用,大大提高了构件的承载力。此外,在受压混凝土构件中,配置抗压强度较高的钢筋,也可协助混凝土承受压力,从而减小构件截面尺寸,改善受压构件的脆性性质。

钢筋和混凝土这两种性质不同的材料之所以能有效地结合在一起共同工作,主要是由于混凝土硬化后钢筋与混凝土之间产生了良好的黏结力,使两者可靠地结合在一起,从而保证在外荷载的作用下,钢筋与相邻混凝土能够共同变形。其次,钢筋与混凝土两种材料的温度线膨胀系数的数值颇为接近(钢为 1.2×10^{-5} ;混凝土为 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5}$),当温度变化不大时,不致产生较大的温度应力而破坏两者之间的黏结。

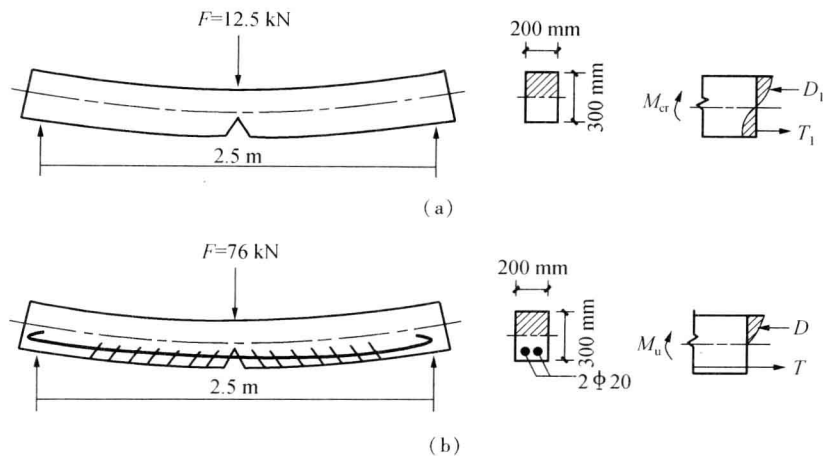


图 1-1 钢筋混凝土梁与素混凝土梁的比较

钢筋混凝土除了能合理利用钢筋和混凝土两种材料的力学性能外,尚有下列优点:

(1) 耐久性很好

在钢筋混凝土结构中,混凝土的强度随时间的增加而增长,且钢筋受混凝土的保护而不易锈蚀,所以钢筋混凝土的耐久性是很好的,不像钢结构那样需要经常的保养和维护。处于侵蚀性气体中或受海水浸泡的钢筋混凝土结构,经过合理的设计及采取特殊的措施,一般也可满足工程需要。

(2) 耐火性较好

混凝土包裹在钢筋之外,起着保护作用。若有足够的保护层厚度,就不致因受火灾使钢材很快达到软化的危险温度而造成结构整体破坏,与钢结构相比,钢筋混凝土结构耐火性较好。

(3) 整体性较好

钢筋混凝土结构特别是现浇的钢筋混凝土结构,由于整体性好,对于抵抗地震力(或强烈爆炸时冲击波的作用)具有较好的性能。

(4) 可模性好

钢筋混凝土可以根据需要浇制成各种形状和尺寸的结构。

(5) 就地取材容易

钢筋混凝土所用的原材料砂和石,一般均较易于就地取材。在工业废料(例如矿渣、粉煤灰等)比较多的地方,还可以将工业废料制成人造骨料用于钢筋混凝土结构中。

(6) 节约钢材,降低造价

钢筋混凝土结构合理地发挥了材料的性能,在某些情况下可以代替钢结构,从而能节约钢材并降低造价。

由于钢筋混凝土结构具有上述一系列优点,所以在国内外的工程建设中均得到广泛地应用。

但是钢筋混凝土结构也存在一些缺点:普通钢筋混凝土结构本身自重比钢结构要大,自重太大对于大跨度结构、高层建筑以及结构的抗震都是不利的;钢筋混凝土结构的抗裂性较差,在正常使用时往往带裂缝工作;建造较为费工,现浇结构模板需耗费较多的木材,施工受到季节气候条件的限制,补强修复较困难;隔热隔声性能较差,等等。这些缺点在一定条件下限制了钢筋混凝土结构的应用范围。不过,随着人们对于钢筋混凝土这门学科认识的不断提高,对上述一些缺点已经或正在逐步加以改善。

1.2 预应力混凝土结构的基本概念

一般的钢筋混凝土构件在正常使用条件下受拉区要开裂,构件的刚度降低、挠度增大。为了限制构件的裂缝和变形,可以增加构件截面的用钢量,但这不经济,特别当荷载及跨度很大时不仅不经济且构件很笨重。另一种方法是采用高标号混凝土和高强度钢筋。但是提高混凝土的标号,其抗拉强度提高得很少,对提高构件抗裂度和刚度的效果也很小。如果提高钢筋的强度,则钢筋达到屈服强度时的拉应变很大,约在 2×10^{-3} 以上,而混凝土的极限拉应变仅为 $0.1 \times 10^{-3} \sim 0.15 \times 10^{-3}$,两者相差悬殊。所以,使用时不允许开裂的构件,受拉钢筋的应力仅为 $2 \sim 3 \text{ kN/cm}^2$ 。对于允许开裂的构件,当裂缝宽度限制在 $0.2 \sim 0.3 \text{ mm}$ 时,钢筋的应力也只能用到 $15 \sim 25 \text{ kN/cm}^2$ 左右。可见,在普通钢筋混凝土结构中高强度钢筋是不能充分发挥作用的。

为了充分利用高强度材料,可以在混凝土构件的受拉区预先施加压力,产生预压应力,造成一种人为的应力状态。当构件在荷载作用下产生拉应力时,首先要抵消混凝土的预压应力,然后随着荷载的增加,混凝土才受拉并出现裂缝,因而可以推迟裂缝的出现,减小裂缝的宽度,满足使用要求。这种在构件受荷以前预先对混凝土受拉区施加压应力的结构称为“预应力混凝土结构”。

预应力混凝土技术经过半个世纪的发展,是目前世界各国范围内普遍应用的一项新技术。预应力技术使用的范围和数量,已成为衡量一个国家建筑技术水平的重要标志之一。它已经由以往的单层、多层房屋、公路及铁路桥梁、轨枕、电杆、压力水管、储罐、水塔等的应用扩大到高层建筑、地下建筑、高耸结构、水木结构、海洋结构、机场跑道、核电站压力容器及大吨位船舶等方面,可显著地提高构件的抗裂性和截面刚度。同时,也使得高强度钢筋及高强度混凝土得以应用,极大地提高了构件的承载能力。

预应力用张拉高强度钢筋或钢丝的方法产生。张拉方法有两种:

(1) 先张法

先在台座上张拉钢筋,并作临时固定,然后浇灌混凝土,等混凝土达到规定强度时(约为设计强度的70%以上),放松钢筋,钢筋在回缩时要挤压混凝土,使混凝土获得预压力。所以预应力是靠钢筋与混凝土之间的黏结力来传递的。

制作先张法预应力构件一般都需要台座、千斤顶、传力架和锚具等设备。台座承受张拉力的反力,形式有多种,长度往往很长,设计时应保证它具有足够的强度和刚度,且无滑移,不倾覆。有时构件尺寸不大,也可不用台座,而在钢模上进行张拉。千斤顶和传力架随构件的形式和尺寸、张拉力大小的不同而有不同的类型。

(2) 后张法

先浇筑混凝土构件,在构件中预留孔道,待混凝土达到规定的强度后,再张拉穿过混凝土内预留孔道中的钢筋,利用构件本身作为加力台座,张拉时,混凝土同时受到挤压。张拉完毕,在张拉端用锚具锚住钢筋,并在孔道内压力灌浆。所以,后张法是靠锚具来保持预应力的。

采用后张法,不需要台座,张拉钢筋用千斤顶,有时也用电热法,即对钢筋通以电流,钢筋因受热而伸长,切断电源、锚固钢筋后钢筋回缩,即产生预应力。

先张法的生产工序少、工艺简单,质量较易保证。先张法不用工作锚具,生产成本较低,台座越长,一次生产的构件数量就越多,所以适合于工厂化成批生产中、小型预应力构件。但台座及张拉设备的第一次投资费用较大,且只能固定在一处,不能移动。

后张法不需要台座,比较灵活,构件可现场施工,也可在工厂预制,由于构件预应力的建立是一个个地进行,故操作较烦琐;同时锚具的耗钢量较大,又不能重复使用,成本较高,所以后张法适用于运输不便的大型预应力混凝土构件。

1.3 钢筋混凝土结构的发展简史

钢筋混凝土从 19 世纪中叶开始采用以来,至今仅有一百多年的历史,其发展极为迅速。1850 年法国人朗波(Lambot)制造了第一只钢筋混凝土小船。1854 年英国人威尔金生(W. B. Wilkinson)获得真正的一种钢筋混凝土楼板的专利权。但是通常认为钢筋混凝土是 1861 年法国巴黎花匠蒙列(Joseph Monier)发明的。从 1861 年蒙列用水泥制作花盆,内中配置钢筋网以提高其强度,1867 年蒙氏获得制作这种花盆的专利权,而后又获得制作其他钢筋混凝土构件梁、板及管等的专利权,至 19 世纪末、20 世纪初,仅 50 多年时间,由于工业的发展,促使水泥和钢材的质量不断改进,为钢筋混凝土结构应用范围的逐渐扩大创造了条件。如 1872 年,美国的沃得(W. E. Ward)在纽约创造了第一所钢筋混凝土房屋。1877 年哈特(T. Haytt)发表了各种钢筋混凝土梁的实验结果。1906 年特奈(C. A. P. Turner)发明了无梁楼板。在俄国,1886 年就采用了钢筋混凝土结构。1925 年,德国用钢筋混凝土建造了薄壳结构。1928 年法国工程师弗列西涅利用高强钢丝和混凝土制成了预应力混凝土构件,开创了预应力混凝土的应用时代。随着材料强度的不断提高和混凝土性能的改善,钢筋混凝土和预应力混凝土的应用范围也不断拓宽,并向大跨度和高层建筑等领域发展。德国法兰克福市用预应力轻骨料混凝土建造的飞机库屋盖结构跨度达 90 m。用钢筋混凝土建造的层数最多的高层建筑是朝鲜平壤的柳京饭店,105 层,如图 1-2 所示。目前世界上最高的钢筋混凝土高层建筑当属马来西亚吉隆坡的双塔大厦,450 m 高,如图 1-3 所示。加拿大采用预应力混凝土建造的电视塔,高达 549 m。此外,在桥梁、高压容器(如核电站安全壳等)、海上采油平台及地下储油罐等方面,预应力混凝土也得到了广泛应用。

1876 年,我国开始生产水泥,逐渐有了钢筋混凝土建筑物。目前,我国最高的钢筋混凝土高层建筑是上海金茂大厦,88 层,高 382 m。采用预应力混凝土结构的上海电视塔,高度为 415 m,被称为亚洲第一塔。外形美观的上海杨浦大桥,是我国已建成的最大的预应力混凝土组合斜拉桥,全长 3 430 m,主跨度为 602 m。



图 1-2 朝鲜平壤的柳京饭店

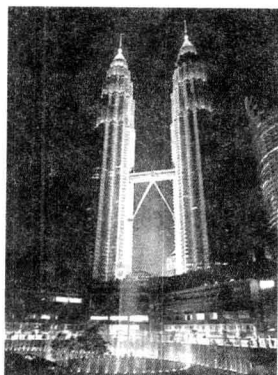


图 1-3 马来西亚吉隆坡的双塔大厦

提高材料强度,是发展钢筋混凝土结构的重要途径。我国建筑工程上用的钢筋平均强度等级和混凝土平均强度等级,就全国而言,均低于欧、美等发达国家。我国建筑结构安全度总体上比国际低,但材料用量并没有相应降低,其原因在于国际上较高的安全度是建立在较高强度材料的基础上,而我国较低的安全度是建立在较低的强度材料基础上。为此,新混凝土结构设计规范将混凝土强度等级由 C60 提高到 C80,对普通钢筋混凝土结构优先推广 HRB400 级钢筋,对预应力混凝土结构优先推广高强钢丝和钢绞线。

在材料研究方面,今后应主要向高强、高流动性、自密实、轻质、耐久及具备特异性能方向的混凝土发展。目前强度为 $100 \sim 200 \text{ N/mm}^2$ 的高强混凝土已在工程上应用。各种轻质混凝土、绿色混凝土、纤维混凝土、聚合物混凝土、耐腐蚀混凝土、微膨胀混凝土、水下不分散混凝土以及品种繁多的外加剂在工程上的应用和发展,已使大跨度结构、高层建筑、高耸结构和具备某种特殊性能的钢筋混凝土结构的建造成为现实。近年来,轻骨料混凝土其自重可仅为 $14 \sim 18 \text{ kN/m}^3$,强度可达 C50。用轻骨料混凝土建造的房屋比普通混凝土建造的自重减轻约 $20\% \sim 30\%$,同时,也降低了基础工程的费用,具有显著的经济效益。另外,美国专家预计,到 21 世纪末,应用纤维混凝土可将混凝土的抗拉与抗压强度比由目前的约 $1/10$ 提高到 $1/2$,并具有早强、体积稳定(收缩、徐变小)等特点,这将使混凝土的性能得到极大的改善。

在计算理论方面,钢筋混凝土结构经历了把材料作为弹性体的容许应力设计方法,考虑材料塑性的破损阶段设计方法,极限状态设计方法,并迅速发展成以概率理论为基础的极限状态设计方法,它以可靠指标度量结构构件的可靠度,采用分项系数的设计表达式进行设计。使极限状态计算体系向更完善、更科学的方向发展。工程结构可靠度、混凝土的损伤和断裂、混凝土的强度理论、混凝土非线性有线元和极限分析的计算理论等方面也有很大进展。电子计算机、有限元方法和现代测试技术的应用,使得钢筋混凝土结构的计算理论和设计方法正在向更高的阶段发展。

在结构和施工方面,随着预拌混凝土(或称商品混凝土)、泵送混凝土及滑模施工性能技术的应用,已显示出在保证混凝土质量、节约原材料和能源、实现文明施工等方面的优越性,所以我国目前工业与民用建筑中广泛采用现浇整体式结构。在水工钢筋混凝土

结构中也因整体性要求而采用现浇混凝土施工。尤其是大型水利工程的工地建有拌和楼(站)集中搅拌混凝土,并可将混凝土运至浇筑地点,这给机械化现浇混凝土带来很大方便。采用预先在模板内填实粗骨料,再将水泥浆用压力灌入粗骨料空隙中形成的压浆混凝土,以及用于大体积混凝土结构(如人工大坝、大型基础)、公路路面与厂房地面的碾压混凝土,他们的浇筑过程都采用机械化施工,浇筑工期可大为缩短,并能节约大量材料,从而获得经济效益。值得注意的是,近年来由钢与混凝土组成的组合结构、外包钢混凝土结构及钢管混凝土结构已在工程中逐步推广应用。这些组合结构具有充分利用材料强度、较好地适应变形能力(延性)、施工较简单等特点。在预应力混凝土结构中,近年来采用横向张拉技术,既不需要锚具,也不需要灌浆,是一种值得推广的施工方法。另外,缓黏结预应力的应用也是今后的发展方向,因为后张法预应力混凝土结构灌浆不密实问题很难克服,而缓黏结预应力混凝土不需要后续灌浆,可保证质量。日本 2001 年生产的缓黏结大直径钢绞线 5 000 t,主要用于桥梁横向预应力束,并已开始用于桥梁的纵向预应力束。

1.4 本章小结

钢筋混凝土结构是一门既具有很强实践性,又具有较强综合性的应用学科,它是建立在科学试验和水利水电工程实践基础上,综合运用数学、力学、材料及施工技术 etc 知识,具有广阔发展前景的学科。

学习本课程的主要目的是:掌握混凝土结构的基本概念、基本理论及构造要求,能进行一般工业与民用建筑结构的设计,并具有绘制和识读结构施工图的能力,为将来从事设计工作、施工及管理岗位的技术工作打下牢固的基础。

要搞好工程结构设计,不仅要有扎实的基础理论,还需综合考虑结构方案、构件选型、截面尺寸、材料选择、构造要求、经济合理性和施工可行性等,这是一个综合性的问题,同一个问题,往往有多种可能的解决办法。因此,学习本课程时还要逐步掌握对各种错综复杂因素的综合分析能力。

在学习钢筋混凝土结构时,应注意以下几点。

(1) 钢筋混凝土结构通常是由钢筋与混凝土结合而成的一种结构。钢筋混凝土材料与理论力学中的刚性材料以及材料力学、结构力学中的理想弹性或理想塑性材料有很大的区别。为了对混凝土结构的受力性能与破坏特征有较好的了解,首先要求对钢筋和混凝土的力学性能有较好地掌握。

(2) 钢筋混凝土结构在裂缝出现以前的抗力行为,与理想弹性结构的相近。但是,在裂缝出现以后,特别是临近破坏之前,其受力和变形状态与理想材料有显著不同。钢筋混凝土结构的受力性能还与结构的受力状态、配筋方式和配筋数量等多种因素有关,暂时还难以用一种简单的数学模型和力学模型来描述。因此,目前主要以钢筋混凝土结构和构件的试验和工程实践经验为基础进行分析。许多计算公式都带有经验性质。在学习本课程时,应该注意各计算公式与力学公式的联系与区别。

(3) 我国的《建筑结构荷载规范》(GB50009—2001)是在进行大量的试验、调查与统

计的基础上,对建筑结构可能承受的各种荷载大小有着明确的规定。我国的《混凝土结构设计规范》(GB50010—2002)也给出了各种常用钢筋和混凝土的强度、弹性模量等指标。鉴于实际情况的复杂性,建筑结构上的实际荷载和实际材料指标与规范规定的大小会有有一定的出入。它们可能高于规范规定的数值,也可能低于规范规定的数值。此外,不同结构重要性也不一样。它们对于结构的安全、适用和耐久的要求各不相同。为了使混凝土结构设计技术先进、经济合理、安全适用、确保质量的要求,将混凝土结构各种分析公式用于设计时,应考虑上述各种因素的影响。学习本课程时,应该注意分析公式与设计公式之间的联系与区别,了解和掌握我国有关钢筋混凝土结构设计的技术和经济政策。

(4) 进行钢筋混凝土结构设计时离不开计算。但是,现行的实用计算方法一般只考虑了荷载效应。其他影响因素,如混凝土收缩、温度影响以及地基不均匀沉陷等,难于用计算公式来表达。《混凝土结构设计规范》根据长期的工程实践经验,总结出一些构造措施来考虑这些因素和影响。因此在学习时,除了要对各种计算公式了解掌握以外,对于各种构造措施也必须给予足够的重视。在设计混凝土结构时,除了进行各种计算以外,还必须检查各项构造要求是否得到满足。

(5) 为了指导钢筋混凝土结构的设计工作,各国都制定有专门的技术标准和设计规范。它们是各国在一定时期内理论研究成果和实际工程经验的总结。在学习混凝土结构时,应该很好地熟悉、掌握和运用它们。但是也要了解,混凝土结构是一门比较年轻和迅速发展着的学科,许多计算方法和构造措施还不一定尽善尽美。也正因为如此,各国每隔一定时间都要将自己的结构设计标准或规范修订一次,使之更加完善合理。因此,我们在很好地学习和运用规范的过程中,也要善于发现问题,灵活运用,并且不断地进行探索与创新。

思考题与练习题

1. 什么是混凝土结构?
2. 钢筋混凝土梁破坏时有哪些特点? 钢筋和混凝土是如何共同工作的?
3. 钢筋混凝土结构有哪些优点和缺点?
4. 本课程主要包括哪些内容? 学习本课程要注意哪些问题?

第2章 钢筋混凝土结构材料的物理力学性能

本章提要

钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构由钢筋和混凝土这两种迥然不同的材料所组成,它们是一个整体,在工作中共同发挥作用。为了合理地进行结构设计,需要深入了解混凝土结构及其构件的受力性能;而掌握结构构件的性能、分析方法和设计基础,可进一步了解钢筋和混凝土两种材料的力学性能及其相互作用。总之,混凝土结构的计算、构造和设计方法,归根结底源于两种材料性能上的特点。

2.1 钢 筋

2.1.1 钢筋的型式

钢筋的型式分为柔性钢筋和劲性钢筋两类。

(1) 柔性钢筋是混凝土结构中采用的最为广泛的加劲材料,常为圆棒状,简称为钢筋。柔性钢筋按直径大小可分为钢筋与钢丝。

① 钢筋,可分为光圆钢筋和带肋(变形)钢筋,带肋钢筋有螺纹形、人字纹形和月牙形等,如图2-1(a)所示。光圆钢筋直径为6~20 mm,变形钢筋的公称直径为6~50 mm(公称直径:相当于横截面面积相等的光圆钢筋的直径),当钢筋直径在6~12 mm时,可采用变形钢筋,也可采用光圆钢筋。当钢筋直径在12 mm以上时,通常采用变形钢筋。柔性钢筋通常经铁丝绑扎或焊接成钢筋网(主要用于板壳结构)或做成空间骨架(主要用于梁、柱结构),如图2-2所示。

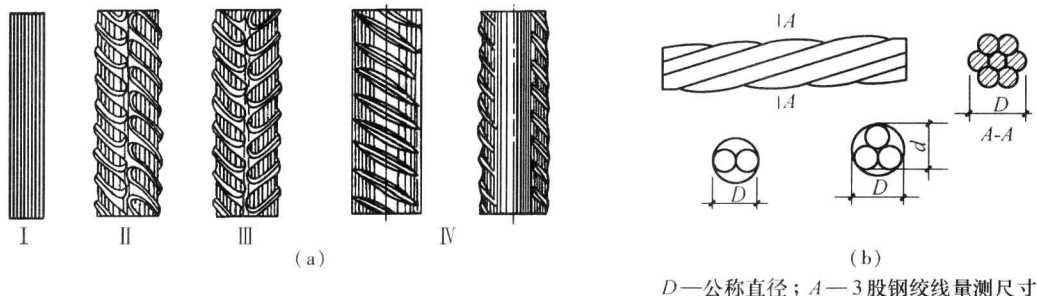


图2-1 钢筋的类型

(a) 钢筋; (b) 钢绞线

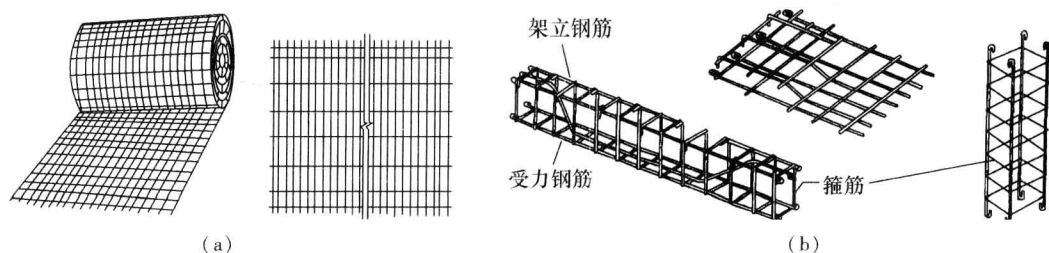


图 2-2 钢筋网和钢筋骨架

② 钢丝,在柔性钢筋中习惯称直径小于 5 mm 的为钢丝,钢丝外形多为光圆,但因强度很高,故也有在表面上刻痕以便加强钢丝与混凝土的黏结作用。可以单根,也可以编成钢绞线和钢丝束,如图 2-1(b)所示。

(2) 劲性钢筋,是指用于混凝土中的型钢,包括角钢、槽钢、工字钢等。

2.1.2 钢筋的成分、品种和级别

我国建筑工程中采用的钢筋,按化学成分可分为碳素钢和普通低合金钢两大类。

碳素钢,是指除含铁元素外还含有少量的碳、硅、锰、硫、磷等元素。根据含碳量的多少,碳素钢又可分为低碳钢、中碳钢、高碳钢。含碳量越高强度越高,但塑性和可焊性降低,反之,则强度降低而塑性和可焊性提高。

普通低合金钢,是指除碳素钢中已有的元素外,再加入少量的合金元素,如硅、锰、钛、钒、铬等就成为普通低合金钢。

用于钢筋混凝土和预应力混凝土结构的钢筋和钢丝主要有以下几种:

(1) 钢筋

① 热轧钢筋是由低碳钢或普通低合金钢在高温下轧制而成的。热轧钢筋为软钢,根据力学指标的高低,分为 HPB235 级(Ⅰ级,符号 ϕ), HRB335 级(Ⅱ级,符号 Φ), HRB400 级(Ⅲ级,符号 Φ), RRB400 级(Ⅳ级,符号 ΦR)四个种类。钢筋混凝土结构中的纵向受力钢筋宜优先采用 HRB400 级钢筋。

② 热处理钢筋是将热轧钢筋通过加热淬火和回火等调制工艺处理制成的。热处理后的钢筋强度能得到较大幅度的提高,而塑性降低并不多。热处理钢筋有 40Si2Mn, 48Si2Mn 和 45Si2Cr 三种。

(2) 钢丝指直径小于 5 mm 的柔性钢筋。按照制作工艺不同,钢丝分为冷拉钢丝和消除应力钢丝;按照表面形状不同,可分为光面钢丝和刻痕钢丝。

(3) 钢绞线是由多根高强钢丝在绞丝机上绞合,再经过低温回火制成。按照其股数可分为三股和七股两种。

2.1.3 钢筋的强度与变形

钢筋的强度和变形(包括弹性和塑性变形)性能可通过单向拉伸试验的应力-应变曲线来说明。试验表明,钢筋的应力-应变曲线可分为两类:一类是有明显流幅的,如图

2-3;另一类是没有明显流幅的,如图2-4。

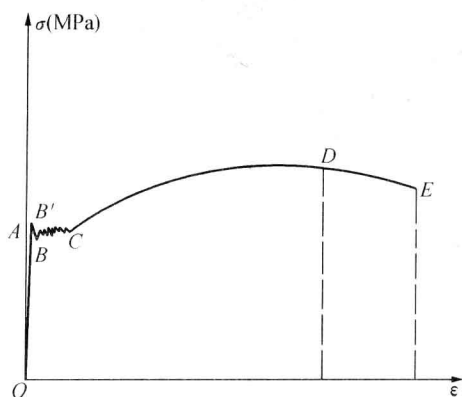


图 2-3 有明显流幅的钢筋应力-应变曲线

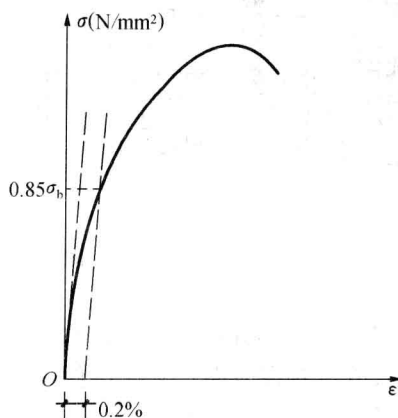


图 2-4 无明显流幅的钢筋应力-应变曲线

(1) 有明显屈服点的钢筋

热轧钢筋是有明显屈服点和流幅的钢筋,轴向拉伸时的应力-应变曲线如图2-3所示。

① 自开始到应力值达到A点之前,应力与应变成正比,与A点对应的应力称为比例极限。

② 过A点之后应力比应变增长快,到达B'点之后,钢筋开始塑流,B'称为屈服上限,通常B'是不稳定的,它与加载速度、截面形式和试件表面光洁度等因素有关。待B'点降至屈服下限B点,即使荷载不增加,应变却继续发展,增加很多,一直延伸至C点,BC即称之为流幅或屈服台阶;与B点相应的应力称为屈服应力或屈服强度。对于有明显流幅的钢筋,一般取屈服点B作为钢筋设计强度的依据。

③ 经过C点之后,钢筋内部晶粒经调整重新排列,抵抗外荷载的能力又有所提高。随着曲线上升到达最高点D,与D点应力相应的荷载是试件所能承受的最大荷载,称为极限荷载,CD段即称为强化阶段。

④ 过D点之后,在试件的最薄弱截面出现横向收缩,截面逐渐缩小,塑性变形迅速增大,出现所谓“颈缩”现象,此时应力随之降低,直至E点试件断裂。

(2) 没有明显屈服点的钢筋

预应力所用的钢丝、钢绞线和热处理钢筋都为没有明显屈服点的钢筋。此类钢筋的比例极限大约相当于其抗拉强度的65%。一般取抗拉强度的80%,即残余应变为0.2%时的应力 $\sigma_{0.2}$ 作为条件屈服点。图2-4为无明显屈服点的应力-应变曲线。

计算钢筋混凝土结构时,对于有明显流幅的钢筋,一般取屈服点作为钢筋设计强度的依据。这是因为构件中钢筋的应力达到屈服强度后,将产生很大的塑性变形,这时,混凝土构件将出现很大的变形和一些裂缝,以致不能使用。对于没有明显流幅的钢筋,在《混凝土结构设计规范》中规定取残余应变为0.2%时的应力作为假定的屈服点,即条件屈服点。

2.1.4 钢筋应力-应变曲线的数学模型

在钢筋混凝土结构的设计和理论分析中,为简化起见常常需要将钢筋的应力-应变曲线