

21 世纪土木工程实用技术丛书

重温经典

大师著作

推陈出新



钢筋混凝土结构

Angjin Hunningtu Jiegou

第2版

宋玉普 王立成 车轶 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

TU375
19-2

21 世纪土木工程实用技术丛书

钢筋混凝土结构

第 2 版

宋玉普 王立成 车 轶 编著



机械工业出版社

本书紧密结合作者几十年的教学、科研和工程实践经验,同时在第一版社会反响良好的基础上,应读者的要求,根据新版的《混凝土结构设计规范》GB50010—2010 修订而成。书中脉络清晰地阐明了混凝土结构设计的原理和基本方法,高屋建瓴地对混凝土结构这一门科学进行了归纳、分析和总结。具体内容包括,钢筋混凝土结构的材料、钢筋混凝土结构的设计方法、钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算、钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算、钢筋混凝土受压构件承载力计算、钢筋混凝土受拉构件承载力计算、钢筋混凝土受扭构件承载力计算、钢筋混凝土构件的裂缝宽度与挠度的计算、钢筋混凝土梁板结构及刚架和柱下基础、预应力混凝土结构及钢筋混凝土结构的抗震设计。

本书可供广大土木工程设计和施工人员及科研人员使用,对于高校相关专业的师生,更是一本难得的专业参考辅导用书。

图书在版编目(CIP)数据

钢筋混凝土结构/宋玉普,王立成,车轶编著. —2版. —北京:机械工业出版社,2013.8

(21世纪土木工程实用技术丛书)

ISBN 978-7-111-42850-3

I. ①钢… II. ①宋…②王…③车… III. ①钢筋混凝土结构
IV. ①TU375

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 126045 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:薛俊高 责任编辑:薛俊高

责任校对:申春香 封面设计:张静

责任印制:李洋

北京瑞德印刷有限公司印刷(三河市胜利装订厂装订)

2013 年 8 月第 2 版第 1 次印刷

148mm×210mm·18.375 印张·543 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-42850-3

定价:49.80 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面防伪标均为盗版

《21 世纪土木工程实用技术丛书》

编 委 会

主任委员

赵国藩 大连理工大学 中国工程院院士

编 委 (依姓氏笔画排序)

方鄂华 清华大学 教授

王永维 四川建筑科学研究院 教授

王清湘 大连理工大学 教授

冯乃谦 清华大学 教授

石永久 清华大学 教授

江见鲸 清华大学 教授

朱伯龙 同济大学 教授

李 奇 机械工业出版社 副社长

李 珠 太原理工大学 教授

宋玉普 大连理工大学 教授

杜荣军 北京建筑科学技术研究院 高工

沈祖炎 同济大学 教授

金伟良 浙江大学 教授

郝亚民 清华大学 教授

顾安邦 重庆交通学院 教授

陶学康 中国建筑科学研究院 教授

唐岱新 哈尔滨工业大学 教授

聂建国 清华大学 教授

黄承逵 大连理工大学 教授

蒋树屏 重庆交通科技研究院 教授

蔡中民 太原理工大学 教授

序

钢筋混凝土结构是土木工程中应用最广泛的一门学科。随着我国土木工程的迅速发展和加入了 WTO，迫切要求这门学科能适应工程建设的需要，解决工程中出现的新问题，并能与国际接轨。本书就是在这种情况下，根据新混凝土结构设计规范（GB50010—2002）编写的。

本书的作者多年来一直从事钢筋混凝土结构的教学与科研任务，有丰富的科研、教学和工程实践经验，对钢筋混凝土结构有深刻的理解，曾分别参加了“混凝土结构设计规范”和“港口工程混凝土结构设计规范”的编写任务。

本书的特点是：以新规范为基础，反映了近年来我国钢筋混凝土结构在材料、结构和计算理论方面的新发展；给出了很多例题，便于工程技术人员和学员理解计算理论和实际应用。

本书可供广大土木、水利工程设计和施工人员应用，也可作为土木、水利专业本科教学参考书。

大连理工大学：赵国藩院士谨识

2004 年 2 月 8 日

前 言

钢筋混凝土结构是工程设计、施工、监理人员的重要参考书，也是大专院校土木工程、水利工程、交通工程等专业的关键技术基础教材。

为适应广大工程技术人员和大专院校师生学习和应用钢筋混凝土结构，掌握新修订的《混凝土结构设计规范》(GB50010—2010)，本书在编写中，以新规范为依据，以试验研究和力学原理为基础，建立基本理论和公式，并对规范的构造规定进行了重点介绍。各主要章节都附有典型例题，以便在设计和学习中参考。

参加本书编写工作的有：大连理工大学宋玉普：第1章至第9章；大连理工大学王立成：第10章、第11章；大连理工大学车轶：第12章。

由于编者水平有限，书中难免有缺点乃至错误，敬请读者批评指正。

编著者

2013年6月于大连理工大学

目 录

序

前言

第1章 绪论	1
1.1 钢筋混凝土结构的特点及分类	1
1.2 钢筋混凝土结构的发展简史	4
第2章 钢筋混凝土结构的材料	8
2.1 钢筋的品种和力学性能	8
2.2 混凝土的物理力学性能	15
2.3 钢筋与混凝土的粘结	49
第3章 钢筋混凝土结构的设计方法	62
3.1 结构设计方法的发展	62
3.2 极限状态设计法的基本概念	64
3.3 结构上的作用、作用效应和结构抗力	66
3.4 结构按概率极限状态设计的基本概念	77
3.5 极限状态设计的实用表达式	84
第4章 钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算	93
4.1 受弯构件的截面形式和构造	93
4.2 受弯构件正截面的试验研究	97
4.3 受弯构件正截面承载力计算的基本假定	100
4.4 单筋矩形截面正截面受弯承载力计算	104
4.5 双筋矩形截面正截面受弯承载力计算	109
4.6 T形截面正截面受弯承载力计算	113

第5章 钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算	121
5.1 概述	121
5.2 无腹筋梁的受剪性能	122
5.3 有腹筋梁的受剪性能	126
5.4 影响斜截面抗剪承载力的主要因素	128
5.5 受弯构件斜截面受剪承载力计算	133
5.6 斜截面抗弯的基本概念及保证斜截面受弯 承载力的构造措施	146
第6章 钢筋混凝土受扭构件承载力计算	155
6.1 概述	155
6.2 钢筋混凝土纯受扭构件的力学性能	156
6.3 钢筋混凝土纯受扭构件的承载力计算	161
6.4 钢筋混凝土构件在弯剪扭共同作用下的 承载力计算	169
6.5 轴向压力或轴向拉力、弯矩、剪力和扭矩共同作用下 的钢筋混凝土矩形截面框架柱的承载力计算	180
第7章 钢筋混凝土受压构件承载力计算	192
7.1 概述	192
7.2 受压构件的构造要求	194
7.3 轴心受压构件正截面承载力计算	197
7.4 偏心受压构件正截面承载力计算	206
7.5 偏心受压构件斜截面受剪承载力计算	263
7.6 双向偏心受压构件正截面承载力计算	266
第8章 钢筋混凝土受拉构件承载力计算	270
8.1 概述	270
8.2 轴心受拉构件承载力计算	271
8.3 大偏心受拉构件正截面承载力计算	271
8.4 小偏心受拉构件正截面承载力计算	273
8.5 偏心受拉构件斜截面受剪承载力计算	276
第9章 钢筋混凝土构件的裂缝宽度与挠度的计算	279

9.1 概述	279
9.2 裂缝开展宽度的计算	282
9.3 受弯构件的挠度计算	295
第10章 钢筋混凝土梁板结构及刚架和柱下基础	306
10.1 概述	306
10.2 钢筋混凝土楼盖结构类型	307
10.3 钢筋混凝土肋梁楼盖的受力体系	309
10.4 整体式单向板肋梁楼盖的结构布置和计算简图	312
10.5 钢筋混凝土连续梁、板的内力计算方法	318
10.6 整体式单向板肋梁结构的截面计算和构造要求	332
10.7 整体式双向板肋梁楼盖	357
10.8 无梁板结构	376
10.9 钢筋混凝土刚架结构	387
10.10 钢筋混凝土牛腿设计	392
10.11 钢筋混凝土柱下基础	396
第11章 预应力混凝土结构	406
11.1 预应力混凝土的基本概念	406
11.2 施加预应力的方法、预应力混凝土的 材料与张拉机具	409
11.3 预应力筋张拉控制应力及预应力损失	421
11.4 预应力混凝土轴心受拉构件的应力分析	436
11.5 预应力混凝土轴心受拉构件的计算	447
11.6 预应力混凝土受弯构件的应力分析	456
11.7 预应力混凝土受弯构件的承载力计算	465
11.8 预应力混凝土受弯构件的抗裂度、裂缝 宽度及挠度验算	473
11.9 预应力混凝土受弯构件的施工阶段验算	479
11.10 预应力混凝土构件的一般构造	481
第12章 钢筋混凝土结构的抗震设计	500
12.1 地震作用和结构抗震设计的一般概念	500
12.2 抗震的概念设计	508

12.3	地震作用效应的计算和结构抗震验算.....	510
12.4	钢筋混凝土框架结构的抗震设计与延性保证.....	526
12.5	剪力墙抗震设计与延性保证.....	543
附录		553
参考文献		575

第 1 章 绪 论

1.1 钢筋混凝土结构的特点及分类

钢筋混凝土结构是由钢筋和混凝土两种材料组成，共同受力的结构。

混凝土是一种抗压能力较强而抗拉能力很弱的建筑材料，这就使得素混凝土结构的应用受到很大限制。例如，一根截面为 $200\text{mm} \times 300\text{mm}$ ，跨长为 2.5m ，混凝土立方体抗压强度为 22.5N/mm^2 的素混凝土简支梁，跨中承受约 13.5kN 集中力，就会因混凝土受拉而断裂，如图 1-1a。但是，如果在这根梁的受拉区配置 2 根直径 20mm 、屈服强度为 318.2N/mm^2 的钢筋，如图 1-1b，用钢筋来代替开裂的混凝土承受拉力，则梁能承受的集中力可增加到 72.3kN 。由此说明，同样截面形状、尺寸及混凝土强度的钢筋混凝土梁比素混凝土梁可承受大得多的外荷载。

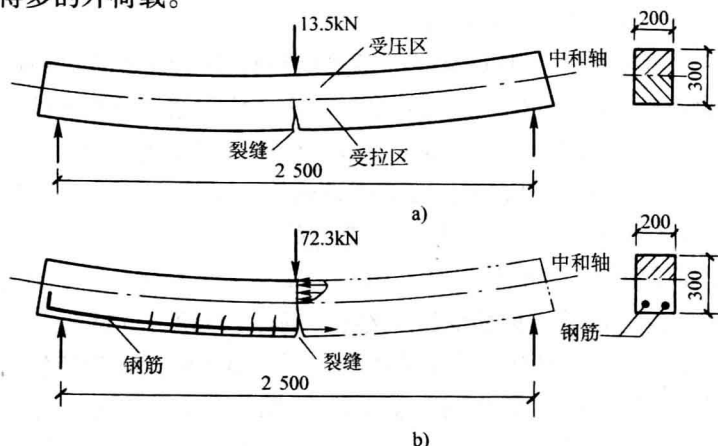


图 1-1 混凝土及钢筋混凝土简支梁的承载力

一般来说,在钢筋混凝土结构中,混凝土主要承担压力,钢筋主要承担拉力,必要时也可承担压力。因此,在钢筋混凝土结构中,两种材料的力学性能都能得到充分的利用。

钢筋和混凝土这两种材料的物理力学性能很不相同,但能结合在一起共同工作,其主要原因是:①由于钢筋和混凝土之间有良好的粘结力,能牢固地粘结成整体。当构件承受外荷载时,钢筋和相邻混凝土能协调变形而共同工作,两者不致产生相对滑动。②钢筋与混凝土的线膨胀系数接近相等,钢为 $1.2 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$,混凝土为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$,当温度变化时,这两种材料不致产生相对的温度变形而破坏它们之间的结合。

钢筋混凝土除了较合理地利用钢筋和混凝土两种材料的力学性能外,还有下列优点:

(1) 耐久性好 在钢筋混凝土结构中,钢筋因受到混凝土保护而不易锈蚀,且混凝土的强度随时间有所增长,因此,钢筋混凝土结构在一般环境下是经久耐用的,不像钢、木结构那样需要经常的保养和维修。

(2) 强度较高 和砖、木结构相比,其强度较高,特别是高强混凝土的应用,在某些情况下可以代替钢结构,因而能节约钢材。

(3) 整体性好 目前广泛采用的现浇整体式钢筋混凝土结构,整体性好,有利于抗震及抗爆。

(4) 可模性好 钢筋混凝土可根据设计需要浇制成各种形状和尺寸的结构,尤其适合于建造外形复杂的大体积结构及空间薄壁结构和空心楼板等。这一特点是砖石、木等结构所不能代替的。

(5) 耐火性好 混凝土是不良导热体,遭火灾时,由传热性较差的混凝土作为钢筋的保护层,在普通的火灾下不致使钢筋达到变态点温度而导致结构的整体破坏。因此,其耐火性比钢、木结构好。

(6) 就地取材 钢筋混凝土结构中所用的砂、石材料一般可就地或就近取材,因而材料运输费用少,可以显著降低工程造价。

(7) 节约钢材 钢筋混凝土结构合理地发挥了材料的各自优良性能,在一定范围内可以代替钢结构,从而可节约大量钢材并降低造价。

但是，事物总是一分为二的，钢筋混凝土结构也存在一些缺点，主要有：

(1) 自重重大 这对于建造大跨度结构及高层抗震结构是不利的，但随着轻质、高强混凝土、预应力混凝土和钢-混凝土组合结构的应用，这一矛盾得到缓解。

(2) 施工比较复杂，工序多，施工时间较长 但随着泵送混凝土和大模板的应用，施工时间已大大缩短。冬期和雨天施工比较困难，必须采用相应的施工措施才能保证质量。但当采用预制装配式构件时可加快施工进度，施工不受季节气候的影响，从而缓解了这一矛盾。

(3) 耗费木料较多 浇筑混凝土要用模板，木材耗费量较大，但随着钢模板的应用，木材的耗费量已大大减少。另外，采用预制装配式构件也可节约模板。

(4) 抗裂性差 普通钢筋混凝土结构在正常使用时往往带裂缝工作，这对要求不出现裂缝的结构很不利，如水池、贮油罐等。因为裂缝的存在会降低抗渗和抗冻能力，并会导致钢筋锈蚀，影响结构的耐久性。采用预应力混凝土结构可控制裂缝，从而克服或改善裂缝状况。

(5) 修补和加固工作比较困难 但随着碳纤维加固、钢板加固等技术的发展和环氧树脂堵缝剂的应用，这一困难已减少。

由于钢筋混凝土结构具有很多优点，因而在房屋建筑、地下结构、水工、港口、海工、桥梁、道路和特种结构等工程中得到了广泛的应用。

钢筋混凝土结构可按如下分类：

(1) 按结构的构造外形可分为：杆件系统和非杆件系统。杆件系统如梁、板、柱、墙等，非杆件系统如空间薄壁结构、厚基础和大体积混凝土结构等。

(2) 按结构的受力状态可分为：受弯构件、受压构件、受拉构件、受扭构件等。

(3) 按结构的制造方法可分为：整体式、装配式以及装配整体式三种。整体式结构是在现场先架立模板、绑扎钢筋，然后浇捣混凝土而成的结构。它的整体性好，刚度也较大，目前应用较多，但它受

天气的影响，如冬期施工造价将提高。装配式结构则是在工厂（或预制工场）预先制成各种构件（图 1-2），然后运往工地装配而成。采用装配式结构有利于实现建筑工业化（设计标准化、制造工业化、安装机械化）；制造不受季节限制，能加速施工进度；并可利用工厂较好条件，提高构件质量；有利于模板重复使用，还可免去脚手架，节约木料或钢材。但装配式结构的接头构造较为复杂，整体性较差，对抗渗及抗震不利，装配时还必须有一定的起重安装设备，所以目前应用有所减少。装配整体式结构是在结构内有一部分为预制的装配式构件，另一部分为现浇的混凝土。预制装配式部分常可作为现浇部分的模板和支架。它比整体式结构有较高的工业化程度，相比装配式结构，又有较好的整体性。

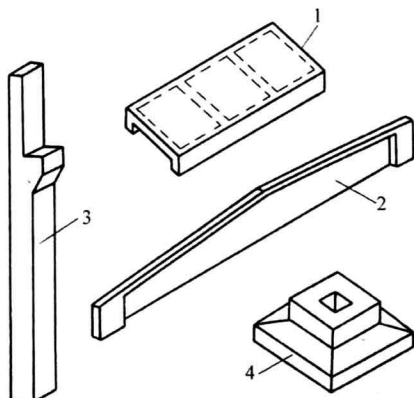


图 1-2 装配式构件
1—屋面板 2—梁 3—柱 4—基础

震不利，装配时还必须有一定的起重安装设备，所以目前应用有所减少。装配整体式结构是在结构内有一部分为预制的装配式构件，另一部分为现浇的混凝土。预制装配式部分常可作为现浇部分的模板和支架。它比整体式结构有较高的工业化程度，相比装配式结构，又有较好的整体性。

（4）按结构的初始应力状态可分为：普通钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构。预应力混凝土结构是在结构承受荷载以前，预先对混凝土施加压力，造成人为的压应力状态，使产生的压应力可全部或部分地抵消荷载引起的拉应力。预应力混凝土结构的主要优点是控制裂缝性能好，能充分利用高强度材料，可以用来建造大跨度的承重结构。但施工较复杂，对于后张法有粘结预应力，当灌浆不密实时，易引起钢筋锈蚀，这是应十分注意的。目前正在研究和开发的横向张拉预应力混凝土结构和缓凝预应力混凝土结构可克服这一缺点。

1.2 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, 美国的沃德 (W. E. Ward) 在纽约建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试验结果。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在不断拓宽, 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90m。除迪拜大厦外, 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, 高330m。目前世界上较高的钢筋混凝土高层建筑当数台北101, 高509m, 101层; 马来西亚吉隆坡的双塔大厦, 88层, 452m高。最高的为迪拜大厦, 162层, 高828m。加拿大采用预应力混凝土建造的电视塔, 高达549m。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贮油罐等方面, 预应力混凝土也得到了广泛的应用。

1876年我国开始生产水泥, 逐渐有了钢筋混凝土建筑物。目前, 我国混凝土的年产量据2012年统计约为21.84亿t, 建筑用钢材达3亿t, 用于工业与民用建筑、水利、交通等行业。我国最高的钢筋混凝土高层建筑是上海金茂大厦, 88层, 高382m。采用预应力混凝土结构的上海电视塔, 高度为415m, 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3430m, 主跨度为602m。

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的基础上。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 级及 HRB500 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中的应用和发展,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,到考虑材料塑性的破损阶段设计方法,后来又提出了极限状态设计方法,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、混凝土非线性有限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、有限元方法和现代的测试技术的应用,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