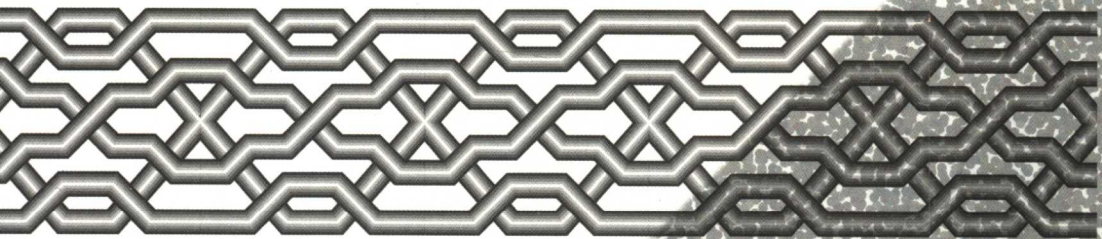




全国高等农业院校教材
全国高等农业院校教学指导委员会审定

水工钢筋混凝土结构

郑旭荣 主编



 中国农业出版社

全国高等农业院校教材
全国高等农业院校教学指导委员会审定

水工钢筋混凝土结构

郑旭荣 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

水工钢筋混凝土结构 / 郑旭荣主编. —北京: 中国农业出版社, 2006. 6

全国高等农业院校教材

ISBN 7 - 109 - 09832 - X

I. 水... II. 郑... III. 水工结构: 钢筋混凝土结构-结构设计-高等学校-教材 IV. TV332

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 049680 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

出版人: 傅玉祥

责任编辑 彭明喜

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月北京第 1 次印刷

开本: 720mm×960mm 1/16 印张: 22.75

字数: 408 千字

定价: 29.50 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

本书是按现行《水工钢筋混凝土结构设计规范》编写的。全书共分九章，主要介绍了钢筋混凝土结构构件设计的基本理论、构造措施和应用方法。包括：钢筋混凝土结构受弯、受压、受拉、受扭等基本构件的设计计算方法、适用条件和构造措施，以及在工程实践中的具体应用。

本教材是全国高等农业院校农业水利工程专业规划教材，也可作为农业水利工程和水利水电工程专业工程技术人员的参考书目。

水利、土木工程类专业教材 编审委员会

- 主任** 康绍忠 (中国农业大学)
- 副主任** 王福军 (中国农业大学)
蔡焕杰 (西北农林科技大学)
- 委员** (按姓氏笔画排序)
- 文俊 (云南农业大学)
- 田军仓 (宁夏大学)
- 成自勇 (甘肃农业大学)
- 刘福胜 (山东农业大学)
- 何俊仕 (沈阳农业大学)
- 张忠学 (东北农业大学)
- 侍克斌 (新疆农业大学)
- 郑旭荣 (石河子大学)
- 姬宝霖 (内蒙古农业大学)
- 郭宗楼 (浙江大学)
- 程吉林 (扬州大学)
- 韩会玲 (河北农业大学)
- 裴毅 (湖南农业大学)

编写人员名单

主 编 郑旭荣 (石河子大学)
副主编 刘丽霞 (甘肃农业大学)
参编人员 胡比武 (宁夏大学)
王亚红 (西北农林科技大学)
陈燕华 (石河子大学)
杜喜凯 (河北农业大学)
申冬建 (河北农业大学)

前 言

本教材是为了适应全国高等农业院校农业水利工程专业的教学需要，根据2003年全国高等农业院校教学指导委员会审定的《水工钢筋混凝土结构》教材编写大纲组织编写。

本教材是由五所高校农业院校长期从事水工钢筋混凝土结构课程教学的主讲教师共同编写。主要内容包括钢筋混凝土结构构件设计的基本理论、构造措施及其应用方法。内容安排上在力求传承经典的基础上又融入了成熟的理论体系，使之具有一定的理论性、针对性和实用性，为相关专业的学生从事钢筋结构设计奠定一定的基础。

本教材是按照1996年颁布的中华人民共和国行业标准《水工混凝土结构设计规范》(SL/T191-96)编写的，并适当地反映了《混凝土结构设计规范》以及其他有关规范的内容。在编写中注重内容的精练，注意了内容的编排和文字的表述，力求将编者多年的教学实践经验贯穿于教材内容之中。

本教材由石河子大学郑旭荣主编，参加编写的人有：郑旭荣（绪论、第二章）、刘丽霞（第一章、第三章、第八章）、胡比武（第九章、附录）、王亚红（第五章）、陈燕华（第四章）、杜喜凯（第七章）、申冬建（第六章）。全书由郑旭荣统稿。

本教材为全国高等农业院校“十五”规划教材，在编写过程中一直得到了全国农业院校教学指导委员会在悉心指导，中国农业出版社为本教材的出版做了大量精心的组织工作，本书在编写和出版

过程中还得到了西北农林科技大学、甘肃农业大学、宁夏大学、河北农业大学、云南农业大学、沈阳农业大学、中国农业出版社的关心和支持。在此谨向所有关心和支持并为本教材付出辛勤工作和热情帮助的单位 and 人士表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中不妥及疏漏之处，恳请读者批评指正。

编者

2006年4月

目 录

前言

绪论	1
第一节 混凝土结构的一般概念	1
第二节 混凝土结构的发展简况及其工程应用	3
第三节 混凝土结构的分类	6
第四节 本课程的特点与学习方法	7
第一章 钢筋混凝土材料的性能	9
第一节 钢筋的品种和力学性能	9
第二节 混凝土的物理力学性能	16
第三节 钢筋与混凝土的粘结	28
第四节 钢筋混凝土的一般构造规定	30
本章小结	31
思考题	32
第二章 钢筋混凝土结构设计计算原理	34
第一节 结构设计的极限状态	34
第二节 结构按概率极限状态设计的基本概念	37
第三节 荷载的标准值	41
第四节 材料强度的标准值	44
第五节 水工混凝土结构设计规范的实用设计表达式	46
本章小结	50
思考题	51
第三章 钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算	53
第一节 受弯构件的截面形式与构造	53
第二节 试验研究与分析	56
第三节 受弯构件正截面承载力计算方法	60
第四节 单筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	63

第五节	双筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	74
第六节	T形截面受弯构件正截面承载力计算	81
第七节	水工钢筋混凝土结构的最小配筋率	92
第八节	深受弯构件的计算与配筋	96
	本章小结	106
	思考题	107
	习题	107
第四章	钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算	110
第一节	概述	110
第二节	无腹筋梁斜截面的受力特点和破坏形态	111
第三节	有腹筋梁斜截面的受力特点和破坏形态	115
第四节	影响斜截面受剪承载力的主要因素	117
第五节	受弯构件斜截面承载力计算公式	119
第六节	钢筋混凝土梁的斜截面受弯承载力	130
第七节	钢筋的骨架构造	136
第八节	钢筋混凝土构件施工图	140
	本章小结	142
	思考题	143
	习题	144
第五章	钢筋混凝土受压构件承载力计算	149
第一节	概述	149
第二节	受压构件的基本构造要求	150
第三节	轴心受压构件正截面承载力计算	153
第四节	偏心受压构件正截面承载力计算	158
第五节	对称配筋矩形截面偏心受压构件正截面承载力计算	175
第六节	偏心受压构件截面承载力 $N-M$ 相关曲线	179
第七节	双向偏心受压构件正截面承载力计算	180
第八节	偏心受压构件斜截面受剪承载力计算	181
	本章小结	182
	思考题	183
	习题	184
第六章	钢筋混凝土受拉构件承载力计算	187
第一节	概述	187
第二节	两种受拉构件的界限	187

第三节	小偏心受拉构件正截面承载力计算	188
第四节	大偏心受拉构件正截面承载力计算	191
第五节	偏心受拉构件斜截面承载力计算	194
	本章小结	195
	思考题	195
	习题	195
第七章	钢筋混凝土受扭构件承载力计算	197
第一节	概述	197
第二节	受扭构件破坏形态及开裂扭矩	198
第三节	钢筋混凝土纯扭构件的承载力计算	202
第四节	钢筋混凝土构件在弯、剪、扭共同作用下的承载力计算	206
	本章小结	215
	思考题	216
	习题	217
第八章	钢筋混凝土构件正常使用极限状态验算	218
第一节	概述	218
第二节	抗裂验算	219
第三节	裂缝开展宽度验算	227
第四节	变形计算	238
	本章小结	245
	思考题	246
	习题	246
第九章	钢筋混凝土肋形结构及刚架结构	249
第一节	概述	249
第二节	单向板肋形结构的结构布置和计算简图	251
第三节	单向板肋形结构按弹性理论的计算	256
第四节	单向板肋形结构考虑塑性内力重分布的计算	261
第五节	单向板肋形结构的截面设计和构造要求	268
第六节	单向板肋形结构的设计例题	274
第七节	双向板肋形结构的设计	289
第八节	钢筋混凝土刚架结构	295
第九节	钢筋混凝土立柱独立牛腿设计	301
第十节	钢筋混凝土柱下基础	305
	本章小结	312

思考题	313
习题	314
附录	317
附录一 结构安全级别、结构环境条件类别、结构系数及 荷载分项系数	317
附录二 材料强度的标准值、设计值及材料的弹性模量	320
附录三 钢筋、钢绞线的计算截面面积及公称质量	324
附录四 一般构造规定	327
附录五 构件抗裂、裂缝宽度、挠度验算中的有关限值及系数值	329
附录六 均布荷载作用下等跨连续板梁的跨中弯矩、支座弯矩及支座 截面剪力的计算系数表	332
附录七 端弯矩作用下等跨连续板梁各截面的弯矩及剪力计算 系数表	336
附录八 移动的集中荷载作用下等跨连续梁各截面的弯矩系数及支座 截面剪力系数表	338
附录九 承受均布荷载的等跨连续梁各截面最大及最小弯矩（弯矩 包络图）的计算系数表	346
附录十 按弹性理论计算在均布荷载作用下矩形双向板的弯矩系数表 ..	348
附录十一 各种荷载化成具有相同支座弯矩的等效均布荷载表	352
主要参考文献	353

绪 论

第一节 混凝土结构的一般概念

以混凝土材料为主构成的结构称为混凝土结构，混凝土结构包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构。素混凝土结构是指由无筋或不配置受力钢筋的混凝土制成的结构；钢筋混凝土结构是指由配置受力钢筋的混凝土制成的结构；预应力混凝土结构是指由配置受力的预应力钢筋通过张拉或其他方法建立预加应力的混凝土制成的结构。其中，钢筋混凝土结构在工程中应用最为广泛。

钢筋混凝土结构是由钢筋和混凝土两种力学性能完全不同的材料组成的共同受力的结构。混凝土具有较高的抗压强度，但抗拉强度却很低，大致仅为抗压强度的 $1/8 \sim 1/12$ ，因此素混凝土结构一般只用于承受压力的构件。当结构构件中出现拉应力时，在构件的受拉区配置适量的受力钢筋，可以很好地改善构件的受力性能。

例如，图 0-1 所示简支梁，其跨度（2.5 m）、截面尺寸（ $b=200 \text{ mm}$ ， $h=300 \text{ mm}$ ）和混凝土强度等级（C20 级）均相同的两根梁，其中一根为素混凝土梁（图 0-1a）；另一根为配有 2 根直径为 20 mm 钢筋的混凝土梁（图 0-1b）。当梁上作用荷载时，中和轴以上为受压区，以下为受拉区。当荷载不大时，梁的受拉区边缘（即梁底部）混凝土的拉应力未达到其抗拉强度时，两根梁都不会开裂。随着荷载的增大（ $P=13.5 \text{ kN}$ 时），梁受拉区边缘混凝土的拉应力达到其抗拉强度时，将在梁受拉区最薄弱的截面出现一条垂直于梁纵轴的垂直裂缝。对素混凝土梁，一旦开裂，裂缝迅速向上发展，梁随即脆断而破坏（图 0-1a）。而对于钢筋混凝土梁，在受拉区由钢筋代替开裂的混凝土来承担拉力，直到荷载增大到 $P=72.3 \text{ kN}$ ，钢筋拉应力达到其屈服强度，裂缝延伸开展，梁上边缘混凝土被压碎、导致构件发生破坏。

素混凝土梁破坏时能承受的荷载很小，梁的受弯承载能力很低，因为对破坏起决定作用的是混凝土的抗拉强度，此时受压区混凝土的压应力还很小，其抗压强度远未得到充分利用。

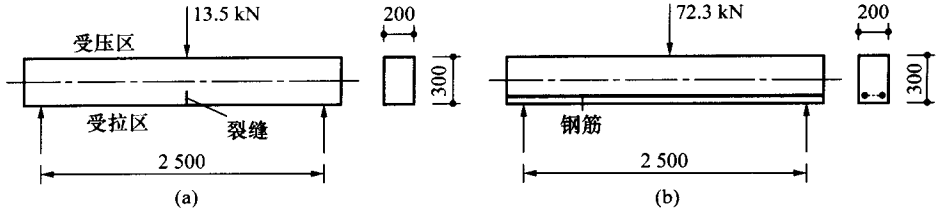


图 0-1 简支梁

当在梁的受拉区配置数量适当的纵向钢筋后，在荷载作用下当受拉区边缘混凝土的拉压力达到其抗拉强度时，钢筋混凝土梁和素混凝土梁一样亦将开裂，但开裂后的情况就发生了质的变化。裂缝截面的混凝土退出工作，不再参与受拉，全部拉力转由钢筋承受，此时构件的承载力与素混凝土结构相比有大幅度的提高，同时构件的力学性能也可得到极大的改善。

一般情况下，钢筋混凝土是以混凝土承受压力、而以钢筋承受拉力，利用了混凝土的高抗压性能和钢筋的高抗拉性能及良好的塑性，相对于素混凝土结构可以大大提高其承载力，技术经济效益显著。钢筋有时也可以用来协助混凝土受压，以便减少截面尺寸。混凝土和钢筋的有机搭配、协调工作还可以使构件的破坏性质也得到改善，破坏呈延性特征，有明显的裂缝和变形发展过程，即有明显的破坏预兆。

钢筋和混凝土这两种物理、力学性能完全不同的材料，能够结合在一起共同受力，其主要原因是钢筋与混凝土之间存在有良好的粘结力，能牢固地形成整体，保证在荷载作用下，钢筋和外围混凝土能够协调变形，相互传力，共同受力；同时钢筋和混凝土两种材料的温度线膨胀系数接近 [钢材为 1.2×10^{-5} ，混凝土为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}$]，当温度变化时，两者间不会产生很大的相对变形而破坏它们之间的结合。

钢筋混凝土结构与其他结构相比，主要有如下优点：

(1) 合理用材。能充分合理地利用钢筋（高抗拉性能）和混凝土（高抗压性能）两种材料的受力性能。对于一般工程结构，经济指标优于钢结构。

(2) 耐久性好。在一般环境下，钢筋受到混凝土保护而不易生锈，而混凝土的强度随着时间的增长还有所提高，所以其耐久性较好，不像钢结构那样需要经常的维修和保养。对于处于侵蚀性气体或受海水浸泡的钢筋混凝土结构，经过合理地设计及采取特殊的措施，一般也可以满足工程需要。

(3) 耐火性好。混凝土是不良导热体，遭火灾时，钢筋因有混凝土包裹而不致于很快升温到失去承载力的程度，这是钢、木结构所不能比拟的。

(4) 可模性好。混凝土可根据设计需要支模浇筑成各种形状和尺寸的结构,因而适用于建造形状复杂的结构及空间薄壁结构,这一特点是砌体、钢、木等结构所不具备的。

(5) 整体性好。整体浇筑的钢筋混凝土结构整体性好,再通过合适的配筋,可获得较好的延性,有利于抗震、防爆和防辐射,适用于防护结构。

(6) 易于就地取材。混凝土所用的原材料中占很大比例的石子和砂子,产地普遍,便于就地取材。另外,还可有效利用矿渣、粉煤灰等工业废料。

但是,钢筋混凝土结构也有如下缺点:

(1) 结构自重偏大。相对于钢结构来说,混凝土结构自重偏大,这对于建造大跨度结构和高层建筑是不利的。

(2) 抗裂性差。由于混凝土的抗拉强度较低,在正常使用时,钢筋混凝土结构往往带裂缝工作,裂缝存在会降低抗渗和抗冻能力,影响使用性能。并会导致钢筋锈蚀,影响结构物的耐久性,这对水工钢筋混凝土结构尤为不利。

(3) 施工比较复杂,工序多。需要支模、绑钢筋、浇筑、养护,工期长。现浇钢筋混凝土使用模板多,木材耗费量大。

(4) 施工受季节、天气的影响较大。冬季和雨天施工困难,为保证工程质量,需采取必要的措施。

(5) 新老混凝土不易形成整体。混凝土结构一旦破坏,修补和加固比较困难。

这些缺点使得混凝土结构的应用在一定范围内受到了限制,但随着科学技术的发展上述缺点已在一定程度上得到了克服与改善,如采用轻质高强混凝土可以减轻结构的自重,采用预应力混凝土可以提高结构或构件的抗裂性能。

由于混凝土结构所具有的上述优点很突出,因而从它的出现至今发展极为迅速,在土木工程、水利水电工程、交通工程等各个领域得到了广泛的应用。

第二节 混凝土结构的发展简况及其工程应用

一、混凝土结构发展的几个阶段

混凝土结构与砌体结构、钢结构、木结构相比,发展历史相对较短,但自19世纪中叶开始使用后,由于混凝土和钢筋材料性能的不断改进,结构理论、施工技术的进步使钢筋混凝土结构得到迅速发展,目前已广泛应用于工业和民用建筑、桥梁、隧道、矿井以及水利、海港等土木工程领域。建筑用混凝土的发展简史可以追溯到古希腊、罗马时代,甚至可能在更早的古代文明中就已经

使用了混凝土及其胶结材料，但直到 1824 年波特兰水泥的发明才为混凝土的大量使用开创了新纪元，至今仅有 160 多年的历史。它的发展大致经历了四个不同的阶段。

第一阶段为钢筋混凝土小构件的应用，设计计算依据弹性理论方法。1801 年考格涅特发表了有关建筑原理的论著，指出了混凝土这种材料抗拉性能较差，到 1850 年法国的兰博特首先建造了一艘小型水泥船，并于 1855 年在巴黎博览会上展出。接着法国的花匠莫尼尔在 1867 年制作了以金属骨架作配筋的混凝土花盆并以此获得专利。后来康纳于 1886 年发表了第一篇关于混凝土结构的理论与设计手稿。1872 年美国沃德建造了第一幢钢筋混凝土构件的房屋。1906 年特纳研制了第一个无梁平板。从此钢筋混凝土小构件已进入工程实用阶段。

第二阶段为钢筋混凝土结构与预应力混凝土结构的大量应用，设计计算依据材料的破损阶段方法。1922 年英国人狄森提出了受弯构件按破损阶段的计算方法。1928 年法国工程师弗来西奈发明了预应力混凝土。其后钢筋混凝土与预应力混凝土在分析、设计与施工等方面的工艺与科研迅速发展，出现了许多独特的建筑物，如美国波士顿市的 Kresge 大会堂、英国的 1951 节日穹顶、美国芝加哥市的 Marina 摩天大楼、湖滨大楼等建筑物。1950 年苏联根据极限平衡理论制定了“塑性内力重分布计算规程”。1955 年颁布了极限状态设计法，从而结束了按破损阶段的设计计算方法。

第三阶段为工业化生产构件与施工，结构体系应用范围扩大，设计计算按极限状态方法。由于二战后许多大城市百废待兴，重建任务繁重，工程中大量应用预制构件和机械化施工以加快建造速度。继苏联提出的极限状态设计法之后，1970 年英国、联邦德国、加拿大、波兰相继采用此方法。并在欧洲混凝土委员会与国际预应力混凝土协会（CEB - FIP）第六届国际会议上提出了混凝土结构设计与施工建议，形成了设计思想上的国际化统一准则。

第四阶段，由于近代钢筋混凝土力学这一新的学科的科学分支逐渐形成，以统计教学为基础的结构可靠性理论已逐渐进入工程实用阶段。电算的迅速发展使复杂的数学运算成为可能。设计计算依据概率极限状态设计法。概括为计算理论趋于完善，材料强度不断提高，施工机械化程度越来越高，建筑物向大跨高层发展。

我国的钢筋混凝土结构发展比较曲折，新中国成立前几乎是空白，20 世纪 60 年代边学习苏联的经验边完善提高，70 年代自己动手搞科研，编规范；80 年代规范的设计水准正力争赶上世界先进水平。近 30 年来，我国在钢筋混凝土基本理论与计算方法、可靠度与荷载分析、单层与多层厂房结构、高层建

筑结构、大板与升板结构、大跨度结构、结构抗震、工业化建筑体系、电子技术在钢筋混凝土结构中的应用和测试技术等方面取得了很多成果，为修订和制定有关规范和规程提供了大量的数据和科学依据。编制出了国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB/T50068)、《混凝土结构设计规范》(GB50010-2002)、《建筑结构荷载规范》(GB50009-2001)、《建筑抗震设计规范》(GB50011-2001)、《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ3-2002)及行业规范《水工混凝土结构设计规范》(SL/T191-96)等。这些规范和规程积累了我国半个世纪以来丰富的工程实践经验和最新的科研成果，把我国混凝土结构设计方法提高到了当前的国际水平，它将在工程设计中发挥指导作用，并将促进我国混凝土结构设计的进一步发展。

二、混凝土结构计算理论发展概况

随着混凝土结构制造技术的快速发展，它的设计理论也得以逐步完善。早期混凝土构件采用了古典的弹性理论及其允许应力法。其截面内力和应力均按照材料力学的方法进行计算。这种设计理论与混凝土实际的力学性能有很大出入，其安全可靠也无法准确揭示。20世纪40年代时，前苏联提出了一个新的计算方法，即破坏阶段法。这一方法考虑了材料的塑性性质，以及截面开裂后引起的应力重分布。截面破坏时的承载力由钢筋屈服强度的平均值和混凝土抗压强度的平均值来确定。使用荷载作用下的内力仍按材料力学和结构力学的方法计算。结构的安全由单一的安全系数 K 来保证。 K 的取值比较大，而且带有很大的经验性。

20世纪50年代，前苏联又提出了按极限状态法设计。这一方法明确提出了极限状态的概念，认为达到极限状态时，结构即失去抵抗外力的能力，并失去正常使用的功能。截面的内力虽然按弹性理论计算，但荷载包含了统计分析的内容，材料强度通过统计分析取分位值。结构的可靠性由几个计算系数来保证，而不是一个单一的安全系数。这一方法概念明确，考虑问题比较细，理论上也比较完善，到70年代已被各国普遍采用。

极限状态法从20世纪50年代至今已走过了几个不同的发展阶段，开始时是多系数表达的极限状态法，后来又有我国的多系数分析单一安全系数表达的极限状态设计法，这些方法虽然在一部分荷载和材料强度的取值方面应用了概率理论，考虑了它们的变异件，但是设计表达式中的设计参数或安全系数都是主要由经验确定的，并看成不变的定值，结构的可靠性以安全系数来衡量，属于“定值设计法”。而对于可靠性的度——可靠性的概率均未给出量值，这是