

高等学校教材

港工钢筋混凝土 结构学

王立成 主编

高等教育出版社

高等学校教材

港工钢筋混凝土 结构学

王立成 主编

高等教育出版社·北京

内容提要

本书紧扣《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151—2011)、《港口工程荷载规范》(JTS 144-1—2010)、《港口工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50158—2010)和《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275—2000),并参考了现行《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)和水利系统《水工混凝土结构设计规范》(SL 191—2009;DL/T 5057—2009),反映了我国混凝土结构在港口和水运工程领域的新发展,以及国家对工程建设领域可持续发展和科学发展的新要求。

全书共 11 章,包括绪论,钢筋混凝土材料的物理力学性能,钢筋混凝土结构的设计理论与方法,钢筋混凝土受弯构件正截面、斜截面承载力计算,钢筋混凝土受压、受拉、受扭构件承载力计算,钢筋混凝土构件正常使用极限状态验算,预应力混凝土结构、钢筋混凝土肋形梁板结构设计。每章之后配有一定数量的思考题,部分章节还配有一些习题,涉及计算内容的章节精选了典型例题。

本书可作为港口航道与海岸工程、港口水工建筑物、海洋资源开发技术等专业的钢筋混凝土课程的教材,也可作为相关专业工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

港工钢筋混凝土结构学 / 王立成主编. --北京:
高等教育出版社,2018.2

ISBN 978-7-04-049137-1

I. ①港… II. ①王… III. ①港口工程-水工结构-
钢筋混凝土结构-教材 IV. ①TV332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 314256 号

策划编辑 葛心	责任编辑 赵向东	特约编辑 郝桂荣	封面设计 李小璐
版式设计 马敬茹	插图绘制 杜晓丹	责任校对 张薇	责任印制 韩刚

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印刷 河北省财政厅票证文印中心

开本 787mm×1092mm 1/16
印张 20.25
字数 490 千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.com>
<http://www.hepmall.cn>
版次 2018 年 2 月第 1 版
印次 2018 年 2 月第 1 次印刷
定价 38.90 元

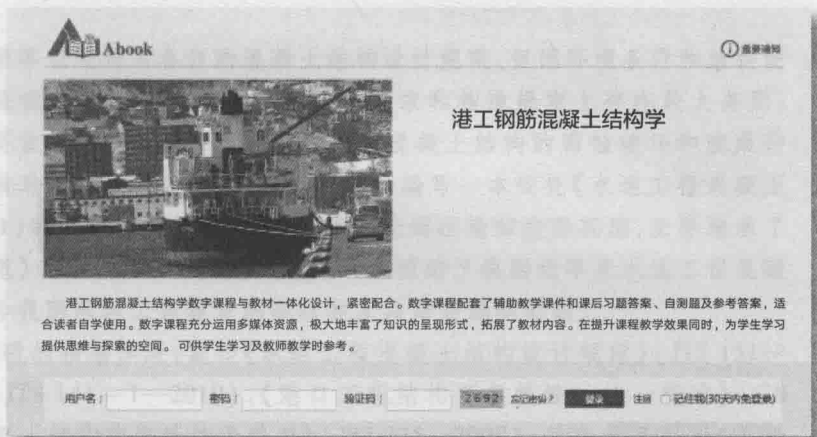
本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物料号 49137-00

港工 钢筋混凝土 结构学

- 1 计算机访问<http://abook.hep.com.cn/1253171>，或手机扫描二维码、下载并安装 Abook 应用。
- 2 注册并登录，进入“我的课程”。
- 3 输入封底数字课程账号（20 位密码，刮开涂层可见），或通过 Abook 应用扫描封底数字课程账号二维码，完成课程绑定。
- 4 单击“进入课程”按钮，开始本数字课程的学习。



课程绑定后一年为数字课程使用有效期。受硬件限制，部分内容无法在手机端显示，请按提示通过计算机访问学习。

如有使用问题，请发邮件至 abook@hep.com.cn。

扫描二维码
下载 Abook 应用

<http://abook.hep.com.cn/1253171>

前 言

钢筋混凝土结构是港口航道与海岸工程(以下简称港工)、港口水工建筑物、海洋资源开发技术等专业的核心专业基础课,也是开展毕业设计等实践性教学的基础。本课程旨在使学生掌握港工混凝土结构设计的基本方法和基本原理,从而为继续学习专业课程奠定扎实的基础,以达到培养目标的要求。

我国土木、水利、港口、桥梁等领域均有各自的混凝土结构设计规范,但因环境条件和结构使用功能上的差异,不同工程领域在对钢筋混凝土结构的设计要求和构造规定上存在较大差别。比如海港混凝土结构设计,需要重点关注的是海洋环境对钢筋混凝土结构的腐蚀破坏和波浪荷载的循环往复作用。因此,为满足港工等专业的学习要求,急需编写一本依托《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151—2011)的教材。该规范于2011年由交通运输部发布实施,主要继承了《港口工程混凝土结构设计规范》(JTJ 267—98)的内容,总结和吸纳了我国近年来水运工程混凝土结构设计的实践经验,并结合我国水运工程建设的现状和发展需要编制而成。

本书突出了规范对工程实践的指导作用,紧扣《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151—2011)、《港口工程荷载规范》(JTS 144—1—2010)、《港口工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50158—2010)和《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275—2000),并参考了现行《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)和水利、电力系统《水工混凝土结构设计规范》(SL 191—2008;DL/T 5057—2009),反映了我国混凝土结构在港口和水运工程领域的新发展,以及国家对工程建设领域可持续发展和科学发展的新要求。

本书主要包括混凝土结构材料的基本物理力学性能,以概率理论为基础的极限状态设计方法的基本原理,受弯、受剪、受压、受拉和受扭构件承载力的计算方法,混凝土构件裂缝宽度、变形验算和耐久性设计要求,预应力混凝土结构构件的性能分析、设计计算方法和构造措施等。每章之后配有一定数量的思考题,部分章节还配有一些习题,涉及计算内容的章节精选了典型例题,给出了明确的计算方法和详细的设计步骤。本书通俗易懂,论述由浅入深,循序渐进,便于学习理解。

本书共11章,王立成编写了第1、2、3、10、11章,张秀芳编写了第4、5章,董伟编写了第6、9章,何化南编写了第7、8章。全书由王立成担任主编。

本书承蒙天津大学王元战教授审阅。王元战教授提出了许多宝贵意见,编者谨致深切的感谢。本书在编写过程中得到大连理工大学及兄弟院校、高等教育出版社的大力支持,在此一并表示谢意。

由于编者水平有限,书中不妥之处请读者指正。

编 者

2017年10月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 钢筋混凝土结构的分类及特点	1
1.2 钢筋混凝土结构的应用及发展	4
1.3 本课程的特点	6
思考题	8
第 2 章 钢筋混凝土材料的物理力学性能	9
2.1 钢筋的品种和力学性能	9
2.2 混凝土的物理力学性能	14
2.3 钢筋与混凝土的黏结	25
思考题	30
第 3 章 钢筋混凝土结构的设计理论与方法	32
3.1 钢筋混凝土结构设计理论与方法的发展	32
3.2 结构的功能与可靠性	33
3.3 极限状态设计法的基本概念	34
3.4 结构上的作用、作用效应和荷载代表值	35
3.5 材料强度的标准值与结构抗力	38
3.6 港口混凝土结构概率极限状态设计法	39
思考题	46
第 4 章 钢筋混凝土受弯构件的正截面承载力	47
4.1 概述	47
4.2 受弯构件的截面形式和构造要求	47
4.3 受弯构件正截面受弯的受力全过程及破坏形态	51
4.4 受弯构件正截面承载力计算原则	55
4.5 单筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	57
4.5.1 单筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	57
4.5.2 双筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	66
4.5.3 T形截面受弯构件正截面承载力计算	71
4.5.4 受弯构件的延性	79
思考题	81
习题	82
第 5 章 钢筋混凝土受弯构件的斜截面承载力	83
5.1 概述	83
5.2 无腹筋梁的斜截面受剪性能	83
5.3 有腹筋梁的斜截面受剪性能	91
5.4 斜截面受剪承载力的设计计算	96
5.5 纵向钢筋弯起、截断和锚固的构造措施	103
5.6 箍筋的构造措施	110
5.7 钢筋混凝土结构构件施工图	111
思考题	113
习题	114
第 6 章 钢筋混凝土受压构件承载力计算	116
6.1 概述	116
6.2 受压构件的构造要求	117
6.3 轴心受压构件正截面承载力计算	119
6.4 偏心受压构件的破坏形态和正截面承载力计算原理	126
6.5 矩形截面偏心受压构件正截面承载力计算	133
6.6 偏心受压构件截面承载力 N_u 与 M_u 的关系	144

II 目录

6.7 偏心受压构件斜截面受剪承载力计算	146	10.3 张拉控制应力和预应力损失	213
6.8 双向偏心受压构件正截面承载力计算	147	10.4 预应力混凝土轴心受拉构件的应力分析和设计计算	223
思考题	147	10.5 预应力混凝土受弯构件的应力分析	235
习题	148	10.6 预应力混凝土受弯构件设计计算	240
第7章 钢筋混凝土受拉构件承载力计算	149	10.7 预应力混凝土构造措施	249
7.1 概述	149	思考题	251
7.2 轴心受拉构件正截面承载力计算 ..	149	习题	251
7.3 偏心受拉构件正截面承载力计算 ..	150	第11章 钢筋混凝土肋形梁板结构设计	253
7.4 偏心受拉构件斜截面受剪承载力计算	154	11.1 钢筋混凝土肋形梁板结构体系与分类	253
思考题	155	11.2 钢筋混凝土肋梁楼盖的受力体系	255
习题	155	11.3 单向板肋形结构的结构布置和计算简图	257
第8章 钢筋混凝土受扭构件承载力计算	156	11.4 钢筋混凝土连续梁、板的内力计算方法	263
8.1 概述	156	11.5 整体式单向板肋形梁板结构的截面设计和构造要求	271
8.2 钢筋混凝土纯扭构件的破坏形态及开裂扭矩	157	11.6 钢筋混凝土整体式单向板肋梁楼盖设计实例	280
8.3 钢筋混凝土纯扭构件的承载力计算	161	11.7 双向板肋形结构	292
8.4 钢筋混凝土构件在弯剪扭共同作用下的承载力计算	165	思考题	298
思考题	173	附录1 水运工程中混凝土部位的划分	299
习题	174	附录2 材料强度的标准值、设计值及材料弹性模量	300
第9章 钢筋混凝土构件正常使用极限状态验算	175	附录3 钢筋的计算截面面积表	304
9.1 正常使用极限状态验算规定	175	附录4 一般构造规定	307
9.2 混凝土构件裂缝宽度验算	177	附录5 正常使用极限状态的有关限值及系数值	308
9.3 钢筋混凝土受弯构件挠度验算	191	附录6 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	310
9.4 港工混凝土结构的耐久性要求	196	附录7 端弯矩作用下等跨连续板梁各	
思考题	201		
习题	202		
第10章 预应力混凝土结构	203		
10.1 预应力混凝土的基本概念	203		
10.2 施加预应力的方法、预应力混凝土的材料与锚具	205		

截面的弯矩及剪力计算 系数表	310	附录 10	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	310
附录 8	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	310	附录 11	各种荷载化成具有相同支座 弯矩的等效均布荷载表
附录 9	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	310	参考文献 311

1.1 钢筋混凝土结构的分类及特点

1.1.1 混凝土结构的定义与分类

以混凝土材料为主,并设置有关位置钢筋等,按受力性质、构件或结构等形成的主要承重结构,均可称为混凝土结构。混凝土结构可分为素混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构等。素混凝土组合结构等。当混凝土中无钢筋或配置的钢筋不起作用时,这种钢筋混凝土结构称作素混凝土结构。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,由混凝土的抗压力和钢筋的拉力或其他方法建立预加应力的混凝土结构均统称为预应力混凝土结构。

钢筋混凝土结构还可按如下方式进行分类:

(1) 按结构的构造体系可分为:柱、梁体系和非杆件体系,杆件体系如梁、板、柱、墙等,非杆件体系如空间薄壁结构、厚壳结构和大体形混凝土结构等。在杆件体系内,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。

(2) 按结构的制造方法可分为:整体式、装配式及装配整体式三种。整体式结构是指在施工现场支模、绑扎钢筋,然后浇筑混凝土而形成的结构。该类结构的整体性好,刚度也较大,目前应用较多。但整体浇筑结构受天气影响较大,且冬季施工会受到一些限制,造价也将提高。装配式结构是在工厂(或预制厂)预先制成各种构件(图 1.1),然后运往工地装配而成。采用装配式结构有利于实现混凝土生产(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,也可利用工厂较好的施工条件,提高构件施工质量,有利于模板重复使用,还可免去脚手架的支搭,节约木材消耗量。但装配式结构的投入建设费用较为复杂,整体性较差,且抗风和抗震不利,装配时还必须有一定的起重运输设备;若同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,这种装配式构件可作为现浇部分的内核和支模,它比整体式结构有较高的工业化程度,克服了整体式结构的种种不利因素,另外比完全装配式结构有较好的整体性。

1.1.2 混凝土中钢筋的作用

混凝土是一种抗压强度较高而抗拉强度很低的建筑材料,通常抗压强度与抗拉强度为 1/20~1/8。另外,混凝土在破坏时具有明显的脆性性质。这使得钢筋混凝土结构的应用受到很大限制。

第 1 章 绪 论

1.1 钢筋混凝土结构的分类及特点

1.1.1 混凝土结构的定义与分类

以混凝土材料为主,并根据需要配置普通钢筋、预应力钢筋、钢管或钢管等形成的主要承重结构,均可称为混凝土结构。混凝土结构可分为素混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构和钢-混凝土组合结构等。当混凝土中无钢筋或配置的钢筋不受力时,这样的混凝土结构称作素混凝土结构。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。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构成的结构称为预应力混凝土结构。

钢筋混凝土结构还可按如下方式进行分类:

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

(2) 按结构的制造方法可分为:整体式、装配式及装配整体式三种。整体式结构是指在现场先架立模板、绑扎钢筋,然后浇筑混凝土而形成的结构。该类结构的整体性好,刚度也较大,目前应用较多。但现场浇筑整体式结构受天气影响较大,如冬季施工会受到一些限制,造价也将提高。装配式结构则是在工厂(或预制工场)预先制成各种构件(图 1.1),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;并可利用工厂较好的施工条件,提高构件施工质量;有利于模板重复使用,还可免去脚手架的使用,节约木料或钢材。但装配式结构的接头连接构造较为复杂,整体性较差,对抗渗和抗震不利,装配时还必须有一定的起重安装设备。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,克服了现场浇筑的种种不利因素,另外比完全装配式结构有较好的整体性。

1.1.2 混凝土中钢筋的作用

混凝土是一种抗压强度较高而抗拉强度很低的建筑材料,通常抗拉强度为抗压强度的 $1/20 \sim 1/8$ 。另外,混凝土在破坏时具有明显的脆性性质。这使得素混凝土结构的应用受到很大限制。

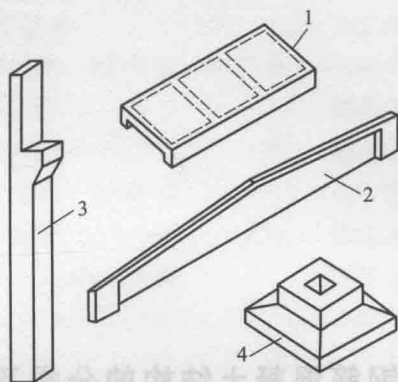


图 1.1 装配式构件

1—屋面板;2—梁;3—柱;4—基础

例如,一根截面尺寸为 $200\text{ mm} \times 300\text{ mm}$ 、跨长为 2.5 m 、混凝土立方体抗压强度为 22.5 N/mm^2 的素混凝土简支梁,当跨中承受约 13.5 kN 的集中力时,就会因混凝土受拉而断裂,如图 1.2a 所示。

与混凝土相比,钢筋的抗拉、抗压强度均很高,并且普通钢筋具有屈服现象,破坏时表现出较好的延性。但是,细长钢筋在受压时极易屈曲。因此将混凝土和钢筋这两种材料结合在一起,使混凝土主要承受压力,而钢筋主要承受拉力,则可以取长补短,发挥二者各自的优势,这种结构就是钢筋混凝土结构。例如,如果在图 1.2a 所示这根梁的受拉区配置 2 根直径 20 mm 、屈服强度为 318 N/mm^2 的钢筋,如图 1.2b 所示,用钢筋来代替开裂的混凝土承受拉力,则该简支梁跨中能够承受的集中力可增加到 72.3 kN 。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。特别是钢筋混凝土梁在破坏前发生了较大的变形,具有明显的预兆,破坏不再是脆性的,而属于延性破坏类型,这是工程中所特别希望和要求的。

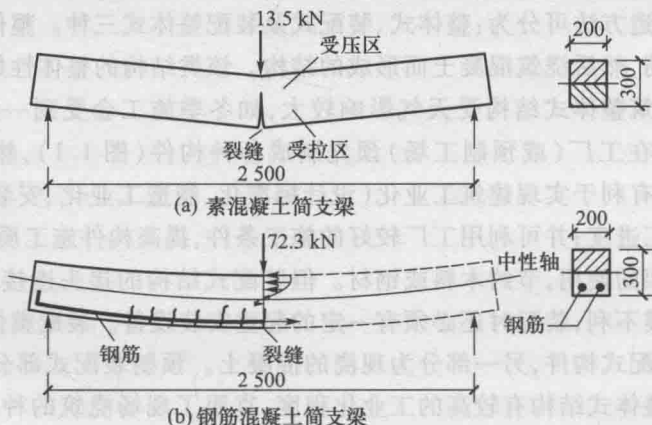


图 1.2 素混凝土和钢筋混凝土简支梁的承载力和破坏形态

1.1.3 钢筋混凝土结构的特点

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,且混凝土的强度随着时间的增长还会有所增长,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保养和维修。

(2) 强度较高。与砖、木结构相比,其强度较高,特别是高强混凝土的应用,如在某些钢管混凝土结构中,混凝土强度等级达到 C100。

(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,对结构抗震、抗爆有利。

(4) 可模性好。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、木等结构所不具备的。

(5) 耐火性好。混凝土是不良导热体,遭遇火灾时,钢筋因为有传热性较差的混凝土作为保护层,在普通的火灾下不会很快升温达到软化温度而失去承载力,进而导致结构整体破坏。显然,与裸露的木结构、钢结构相比耐火性要好。

(6) 取材容易。混凝土所用的砂、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。另外,还可有效利用矿渣、粉煤灰等工业废料。

(7) 节约钢材。钢筋混凝土结构合理地发挥了钢筋和混凝土两种材料各自优良的性能,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,与钢结构、木结构等相比,钢筋混凝土结构也存在一些缺点,主要有:

(1) 自重大。这对于建造大跨度结构及对高层建筑结构的抗震是不利的,也给运输和施工吊装带来困难。但随着轻质、高强混凝土,预应力混凝土和钢-混凝土组合结构的推广应用,这一矛盾得到了一定的缓解。

(2) 施工复杂,工序多,施工时间长,受季节、气候条件影响大。但随着泵送混凝土和新型模板技术的应用,如大模板、滑模等,施工时间已大大缩短。冬季和雨天施工比较困难,必须采取相应的施工措施才能保证质量。采用预制装配式结构可加快施工进度,施工不受季节、气候的影响,从而可以大大缓解这一矛盾。

(3) 抗裂性差。钢筋混凝土结构开裂过早,普通钢筋混凝土结构在正常使用荷载作用下往往带裂缝工作,这对使用中要求不出现裂缝的结构很不利,如渡槽、水池、贮油罐等。因为裂缝的存在会降低混凝土的抗渗和抗冻能力,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,克服或改善裂缝状况。

(4) 维修和加固困难。混凝土一旦局部破坏,补强修复工作比较困难。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,这一困难已在一定程度上得到克服。

钢筋和混凝土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 钢筋和混凝土之间有良好的黏结力,能牢固地粘结成整体。在外荷载作用下,结构中的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。因此,黏结力是这两种不同性质的材料能够共同工作的基础;② 钢筋与混凝土的温度线膨胀系数很接近,钢材约为 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,混凝土为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 。因此,钢筋与混凝土之间不致因温度变化产生过大的相对变形而使两者间的黏结作用遭到破坏。

1.2 钢筋混凝土结构的应用及发展

1.2.1 发展阶段

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)制造了第一艘钢筋混凝土小船。1854年英国人威尔金森(W. B. Wilkinson)获得了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年由法国巴黎的花匠蒙列(Joseph Monier)发明的。蒙列用水泥制作花盆,盆中配置钢筋网以提高其强度。1867年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。

钢筋混凝土结构的发展应用,可大致分为三个阶段。从19世纪中叶到第一次世界大战前为第一阶段,这时由于钢筋和混凝土的强度都很低,仅能建造一些小型的梁、板、柱和基础等构件。第二阶段为20世纪20年代到第二次世界大战前后,这一阶段已建成各种空间结构,特别是1928年法国杰出的土木工程师弗列西涅(E. Freyssnet)发明了预应力混凝土,开创了预应力混凝土的应用时代,使得混凝土结构可以用来建造大跨度结构。第二次世界大战以后到现在可以称为第三阶段。由于高强混凝土和高强钢筋的发展、计算机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、大坝、高耸结构、港口码头等大型工程,成为现代土木、水利和港口工程的标志。另外,随着建设速度加快,出现了装配式钢筋混凝土结构、泵送商品混凝土等工业化生产技术。

1.2.2 应用概况

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。目前世界上最高的混凝土高层建筑为阿联酋迪拜市的哈利法塔,高828m,共160层,其中600m以下为钢筋混凝土结构,600m以上为钢结构。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应用。

我国在1876年开始生产水泥,逐渐有了钢筋混凝土建筑物。目前,中国是世界上采用混凝土结构最多的国家。在大跨度公共建筑、工业建筑、电视塔、水塔、蓄水池、核电站反应堆安全壳、冷却塔、电厂烟囱、贮油(气)罐、筒仓等建(构)筑物中也普遍采用了钢筋混凝土和预应力混凝土结构。例如,1996年建成的广州中信广场大厦,80层,高391m,是当时世界上最高的钢筋混凝土建筑结构;2008年建成的上海环球金融中心,地上101层,地下3层,高492m,为筒中筒结构体系,其中内筒为钢筋混凝土结构,外筒为型钢混凝土框架。另外,上海中心大厦高632m,深圳平安国际金融中心高600m,均为钢-混凝土混合结构。

铁路、公路桥梁及城市立交桥、高架桥等工程中的中小跨度桥梁、隧道和地下工程等绝大多数采用钢筋混凝土或预应力混凝土结构建造,大跨度桥梁也有相当多的采用混凝土结构建造。

例如 2008 年通车的杭州湾跨海大桥,全长 36 km,除南、北航道桥外其余引桥采用预应力混凝土连续箱梁结构,全桥总计混凝土用量 245 万 m^3 。

水利工程、港口与海洋工程中的水电站、水闸、大坝、引水渡槽、船坞、沉箱、码头等均大量采用钢筋混凝土结构。三峡升船机上闸首结构全长 125 m,墩墙高 44 m,航槽宽 18 m,设计水头 34 m,校核水头 39.4 m,是目前世界上最大的预应力混凝土坞式结构。港口航道与海岸工程建设更是离不开混凝土结构,从港口前沿的防波堤、码头、栈桥到后方堆场、仓库等都大量采用混凝土结构。例如上海洋山深水港一期工程码头主体结构采用高桩混凝土梁板结构,接岸结构采用板桩承台结构,上部结构的现浇桩帽和上下横梁、预制纵梁及轨道梁和面板,为提高钢筋混凝土结构的耐久性,延长结构使用寿命,研制并采用了高性能混凝土。

1.2.3 发展方向

提高材料强度,是发展钢筋混凝土结构的重要途径。我国的钢筋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。为此,2002 年颁布的国家标准《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)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。现行的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)又将钢筋的最高强度提高到 HRB500 级,要求梁、柱纵向受力钢筋应采用 HRB400 以上等级的钢筋,并淘汰了低强度钢筋。《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151—2011)中混凝土的最高强度等级为 C80,普通钢筋最高强度也提高到 HRB500 级,并规定普通钢筋混凝土结构宜采用 HRB400 级、HRB500 级钢筋。

因此,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(如防射线、耐磨、耐腐蚀等)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、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、高耸结构和满足某种特殊性能要求的钢筋混凝土结构的建造成为现实。近年来,轻骨料混凝土自重可仅为 $14 \sim 18 \text{ kN/m}^3$ (普通混凝土为 $20 \sim 25 \text{ kN/m}^3$ 以上),强度可达 50 N/mm^2 。纤维混凝土因为改善了混凝土的抗裂性、耐磨性和延性,在一些有特殊要求的工程中(如地下、水工、核电站、隧道等)已经开始推广应用。目前研究较多的主要是钢纤维、耐碱玻璃纤维、碳纤维、芳纶纤维、聚丙烯纤维或尼龙合成纤维混凝土等。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,使混凝土的性能得到极大改善。

对于钢材,主要是向高强、抗腐蚀方向发展。目前普通钢筋的强度已达 500 N/mm^2 ,在预应力混凝土中的高强钢丝强度已达 1800 N/mm^2 ,今后钢筋及钢丝的强度可望有进一步提高。为了增强结构的耐久性,钢筋的防锈、防腐问题日益得到重视,研制出低成本、高抗腐蚀性能的钢筋是主要研究课题。

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。以概率理论为基础的极限状态设计方法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。

混凝土的损伤和断裂、混凝土的强度理论、混凝土非线性有限单元法和极限分析的计算理论等方面也有了很大进展。有限单元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、水下不分散混凝土及滑模施工新技术的应用,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。例如,水下不分散混凝土技术填补了普通混凝土水下施工的不足和缺陷,由于絮凝剂或聚合剂的减水增塑作用,加入抗分散剂使新拌混凝土具有极好的流动性而不需振捣,遇水抗分散性强,使骨料悬浮于浆体中,不离析、不泌水,在自重作用下逾过钢筋,自由流淌,充满仓面,自行密实,从根本上解决了新拌混凝土遇水分离问题。水下不分散混凝土自20世纪80年代传入我国后,在油田建设、水利水电、抗洪抢险、污水处理、桥梁、港口码头及城建工程中得到了较为广泛的应用,创造了许多优质水下工程,使一些水电和港口海洋工程新结构、新设计、新施工得以实现。

在钢筋绑扎和成型中,工程实践中发明了各种钢筋成型机械和绑扎机具,以减少大量的手工操作。钢筋接头,已有绑扎搭接、焊接、螺栓及机械挤压套筒连接等多种方式,随着化工胶结剂的发展,将来黏结技术还会有更大的发展。

近年来,钢-混凝土组合结构、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、较好的适应变形能力(延性)、施工方法较简单等特点。在预应力混凝土结构中,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。

1.3 本课程的特点

1.3.1 课程内容

钢筋混凝土结构课程按内容的性质通常分为“钢筋混凝土结构设计原理”和“混凝土结构设计”两部分。前者主要讲述各种钢筋混凝土基本构件的受力性能、截面计算方法和构造措施等基本概念和基本理论,属于专业基础课内容。这些基本构件主要包括钢筋混凝土梁、板、柱、墙等,这些结构构件按主要受力特点可分为弯、压(拉)、剪、扭等受力状态。后者根据专业类型的不同,讲授内容有很大的区别,对于港工类专业,主要包括混凝土重力式码头、板桩码头、高桩码头、修造船水工建筑物等,包含在港口水工建筑物理课程中,属于专业课内容。在“钢筋混凝土结构设计原理”课程中,主要讲述以下内容:

(1) 受弯构件,如梁、板等。这类构件的截面上主要受弯矩作用,因此称为受弯构件。当然,梁、板等构件也通常同时承受剪力的作用。本教程中第4章讲述受弯构件的正截面受弯承载力计算方法,第5章将讲授受弯构件斜截面受剪承载力计算方法。

(2) 受压构件,如柱、墙等。这类构件主要承受压力作用。当压力作用在构件截面形心位置时,称作轴心受压构件,否则称为偏心受压构件。偏心受压构件也包括截面同时承受轴心压力和

弯矩作用的情况。受压构件承载力计算方法将在第6章介绍。

(3) 受拉构件,如屋架下弦杆、拉杆拱中的拉杆等。跟受压构件类似,受拉构件也可分为轴心受拉构件和偏心受拉构件。第7章将讲述受拉构件承载力计算方法。

(4) 受扭构件,如曲梁、框架结构的边梁等。这类构件截面上往往除了作用有弯矩和剪力外,还会承受扭矩的作用。因此,需考虑扭矩的作用进行设计计算。这部分内容将在第8章进行介绍。

(5) 钢筋混凝土构件的变形、裂缝宽度计算方法。钢筋混凝土结构构件除了要满足承载力的要求外,还要进行正常使用阶段的变形和裂缝宽度验算,以满足结构适用性和耐久性的要求。第9章将介绍这部分内容。

(6) 预应力混凝土结构设计原理与方法。预应力混凝土结构构件在设计、施工流程上与普通钢筋混凝土结构有很大的不同,结构中的混凝土在遭受外荷载作用之前已经承受由施工阶段人为施加的预加应力,因此学习预应力的施加方法、预应力产生的过程和原理是第10章要重点介绍的内容。

1.3.2 课程特点

本课程主要讲述钢筋混凝土结构构件的基本原理和设计方法,从某种意义上来说,其内容相当于研究钢筋混凝土的材料力学。但材料力学研究的是均质线弹性体构件,而钢筋混凝土结构是研究钢筋和混凝土两种材料组成的构件。由于混凝土为非弹性材料,其拉压强度相差悬殊,受到很小的拉应力就会开裂,造成材料力学的公式和方法往往不能直接应用于钢筋混凝土构件。但材料力学中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平衡关系建立计算公式的分析方法,同样适用于钢筋混凝土构件。

海港工程混凝土经常与海水接触并处于潮湿环境中,氯离子渗入引起钢筋锈蚀往往导致混凝土结构10~20年就发生破坏,使用寿命受到严重威胁。因此,相比陆上常见的钢筋混凝土结构而言,港工钢筋混凝土结构的耐久性问题显得尤为重要,需要特别引起工程技术人员的重视。目前我国《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151—2011)规定水运工程预应力混凝土构件的裂缝控制等级按一级和二级考虑,即不允许出现裂缝,就是基于水运工程所处的强腐蚀环境做出的规定,要比建筑工程、水利水电工程等行业要求的更为严格。

从以上分析可见,本课程的内容更为丰富和复杂,学习时应处理好以下几个关系:

(1) 计算与试验的关系。钢筋混凝土结构计算公式是在大量试验基础上经理论分析建立起来的,学习时要重视试验在建立计算公式中的地位与作用,注意每个计算公式的适用范围和条件,在实际工程设计中应正确运用这些公式,不要盲目生搬硬套。

(2) 计算与基本假定的关系。由于钢筋混凝土结构的复杂性,计算中必须首先建立各种计算的基本假定,抓住主要矛盾而忽略次要矛盾,然后建立相应的计算公式。

(3) 计算与构造的关系。由于在试验基础上建立的计算公式,还不能全面地保证结构的安全,还需要利用在长期的科学试验和工程经验中总结出的构造规定,特别是配筋构造规定。构造与计算是同等重要的,应注意掌握构造规定的目的和原理。

(4) 计算与设计的关系。本课程是一门很强的实践性课程。计算仅是运用基础理论计算出配筋量,而这些配筋量是否合适、如何配置等还需综合考虑材料、施工、经济、构造等各方面的因

素,按相应的设计规范执行。此外,设计能力还包括计算机的应用、设计书的编写、施工图的绘制等基本技能。所以计算不是设计,而要做好设计必须综合运用所学的知识,从计算、构造等各方面全面考虑。

(5) 计算方法与规范的关系。本课程的内容主要与交通运输部发布的行业标准《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151—2011)、《港口工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50158—2010)和《港口工程荷载规范》(JTS 144—1—2010)等有关,并参考现行国家标准《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)和水利、电力系统标准《水工混凝土结构设计规范》(SL 191—2008; DL/T 5057—2009)。设计规范是国家和行业主管部门颁布的有关结构设计的技术规定和标准,规范条文特别是强制性条文是设计中必须要遵守的带有法律性质的技术问题。因此,一方面要掌握课程中介绍的计算方法,还要正确理解规范中相关内容的概念和规定,只有将基本原理与设计规范相结合,才能发挥设计者的主动性,从而提高分析问题和解决问题的能力。

因本教材以《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151—2011)为主线 and 依托进行编写,为简化起见,在以后各章节中,该规范通常简称为《规范》(JTS 151—2011)。

【思考题】

- 1.1 试分析说明素混凝土构件(如梁)与钢筋混凝土构件在承载力和受力变形性能方面的主要差异。
- 1.2 钢筋和混凝土两种材料能够结合在一起共同工作的基础是什么?
- 1.3 钢筋混凝土结构的主要优缺点各有哪些?如何克服其缺点?
- 1.4 本课程主要学习哪些内容?本课程的特点有哪些?



第1章思考题答案

第2章

钢筋混凝土材料的物理力学性能

2.1 钢筋的品种和力学性能

2.1.1 钢筋的品种和级别

在我国,混凝土结构中所采用的钢筋有热轧钢筋、余热处理钢筋、钢丝、钢绞线及螺纹钢筋等。按其在结构中所起作用的不同,钢筋可分为普通钢筋和预应力钢筋两大类。普通钢筋是指用于钢筋混凝土结构中的钢筋以及用于预应力混凝土结构中的非预应力钢筋;预应力钢筋是指用于预应力混凝土结构中预先施加预应力的钢筋。热轧钢筋和余热处理钢筋主要用作普通钢筋,而钢丝、钢绞线及螺纹钢筋主要用作预应力钢筋。

钢筋的物理力学性能主要取决于其化学成分,其中铁元素是主要成分,此外还含有少量的碳、锰、硅、硫、磷等元素。混凝土结构中使用的钢材,按化学成分的不同,可分为碳素钢和普通低合金钢两大类。碳素钢的力学性能与含碳量的多少有关。含碳量增加,能使钢材强度提高,性质变硬,但也会使钢材的塑性和韧性降低,焊接性能也会变差。根据钢材中含量碳的高低,碳素钢通常可分为低碳钢(含碳量少于0.25%)、中碳钢(含碳量为0.25%~0.60%)和高碳钢(含碳量为0.60%~1.4%)。用作钢筋的碳素钢主要是低碳钢和中碳钢。

炼钢时在钢材中加入少量(一般不超过3.5%)合金元素(如锰、硅、钒、钛、铬等),即可制成普通低合金钢。合金元素可使钢材的强度、塑性等综合性能得到提高。磷、硫则是有害杂质,其含量超过约0.045%后会使钢材变脆,塑性显著降低,不利于焊接。普通低合金钢钢筋具有强度高、塑性及可焊性好的特点,因而应用较为广泛。为了节约合金资源,冶金行业近年来研制开发出细晶粒钢筋,这种钢筋不需要添加或只需添加很少的合金元素,通过控制轧制钢的温度形成细晶粒的金相组织,达到与添加合金元素相同的效果,其强度和延性完全满足混凝土结构对钢筋性能的要求。

热轧钢筋是由低碳钢、普通低合金钢或细晶粒钢在高温状态下轧制而成的,按其外形分为热轧光圆钢筋和热轧带肋钢筋两类。光圆钢筋的表面是光面的(图2.1a);带肋钢筋亦称为变形钢筋,有螺旋纹(图2.1b)、人字纹(图2.1c)和月牙肋(图2.1d)三种。

目前,我国普通钢筋按其屈服强度标准值的高低,分为4个强度等级:300 MPa、335 MPa、400 MPa和500 MPa。国产普通钢筋现有8个牌号。HPB300是热轧光圆钢筋,工程符号为 Φ ,HPB是其英文名称 Hot Rolled Plain Steel Bar 的缩写,300是其屈服强度标准值的标志。HRB335是热轧带肋钢筋(Hot Rolled Ribbed Steel Bar),屈服强度标准值为335 MPa,符号为 Φ 。同理可