



高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材

总主编 何若全

# 混凝土结构基本原理

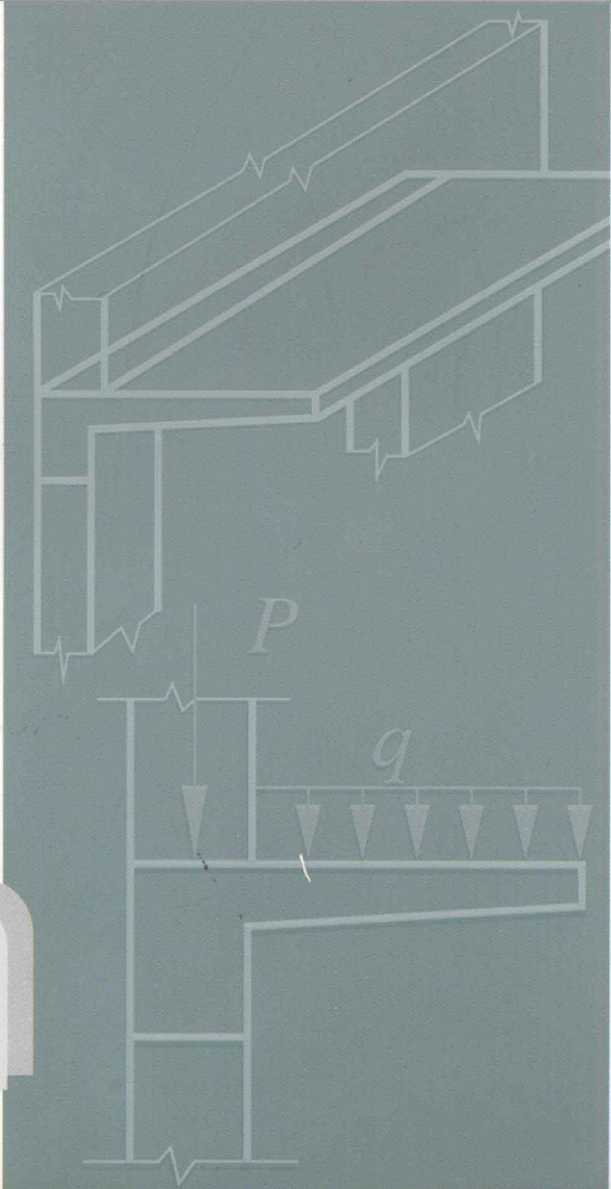
HUNNINGTU  
JIEGOU  
JIBEN YUANLI

主 编 梁兴文  
副主编 邓明科  
主 审 童岳生



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

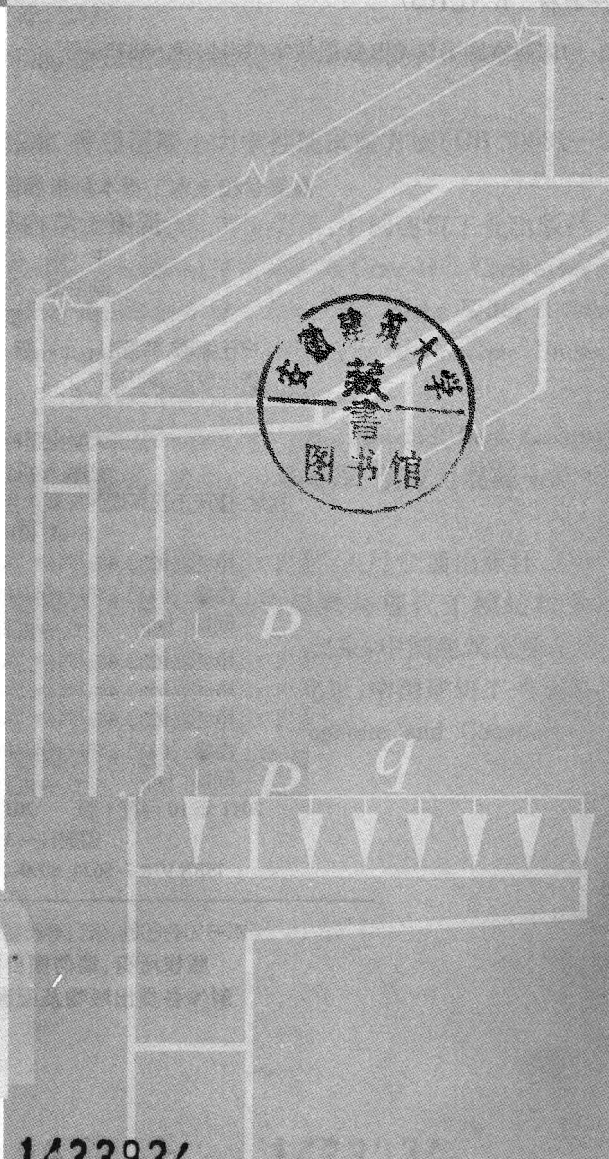


# 混凝土结构基本原理

HUNNINGTU  
JIEGOU  
JIBEN YUANLI

主 编 梁兴文  
副主编 邓明科  
主 审 童岳生

重庆大学出版社



## 内 容 简 介

本书为土木工程专业的学科基础课教材,主要讲述混凝土结构基本构件的受力性能和设计计算方法,内容包括概论、材料的基本性能、结构构件以概率理论为基础的极限状态设计方法的基本原理,以及受弯、受压、受拉、受扭构件和预应力混凝土构件的性能分析、设计计算和构造措施。

本书是根据新修订的相关的国家标准而编写的,对混凝土结构构件的性能及分析有充分的论述,有相当数量的计算例题并给出了明确的计算方法和详细的设计步骤,每章有小结、思考题和习题等内容。

本书可作为土木工程专业的教材,也可供有关的设计、施工和科研人员使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构基本原理/梁兴文主编. —重庆:重庆大学出版社,2011.10  
高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材  
ISBN 978-7-5624-6099-2

I. ①混… II. ①梁… III. ①混凝土结构—高等学校—教材 IV. ①TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 058734 号

高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材

### 混凝土结构基本原理

主 编 梁兴文

副主编 邓明科

主 审 童岳生

责任编辑:林青山 王 婷 版式设计:莫 西

责任校对:秦巴达 责任印制:赵 晟

\*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝区虎溪大学城重庆大学(虎溪校区)

邮编:401331

电话:(023) 88617183 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址: <http://www.cqup.com.cn>

邮箱: [fxk@cqup.com.cn](mailto:fxk@cqup.com.cn) (营销中心)

全国新华书店经销

重庆现代彩色书报印务有限公司印刷

\*

开本:787×1092 1/16 印张:21 字数:524千

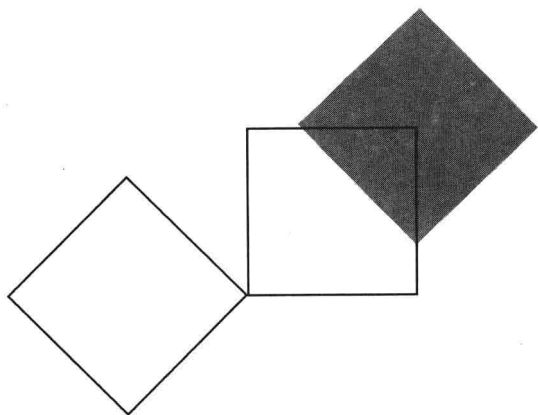
2011年10月第1版 2011年10月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-6099-2 定价:35.00元

---

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换  
版权所有,请勿擅自翻印和用本书  
制作各类出版物及配套用书,违者必究



# 编委会名单

总主编：何若全

副总主编：杜彦良 邹超英 桂国庆 张永兴

编委（按姓氏笔画为序）：

卜建清	王广俊	王连俊	王社良
王建廷	王雪松	王慧东	仇文革
文国治	龙天渝	代国忠	华建民
向中富	刘凡	刘建	刘东燕
刘尧军	刘俊卿	刘新荣	刘曙光
许金良	孙俊	苏小卒	李宇峙
李建林	汪仁和	宋宗宇	张川
张忠苗	范存新	易思蓉	罗强
周志祥	郑廷银	孟丽军	柳炳康
段树金	施惠生	姜玉松	姚刚
袁建新	高亮	黄林青	崔艳梅
梁波	梁兴文	董军	覃辉
樊江	魏庆朝		

# 总 序

进入 21 世纪的第二个十年,土木工程专业教育的背景发生了很大的变化。“国家中长期教育改革和发展规划纲要”正式启动,中国工程院和国家教育部倡导的“卓越工程师教育培养计划”开始实施,这些都为高等工程教育的改革指明了方向。截至 2010 年底,我国已有 300 多所大学开设土木工程专业,在校生达 30 多万人,这无疑是世界上该专业在校大学生最多的国家。如何培养面向产业、面向世界、面向未来的合格工程师,是土木工程界一直在思考的问题。

由住房和城乡建设部土建学科教学指导委员会下达的重点课题“高等学校土木工程本科指导性专业规范”的研制,是落实国家工程教育改革战略的一次尝试。“专业规范”为土木工程本科教育提供了一个重要的指导性文件。

由“高等学校土木工程本科指导性专业规范”研制项目负责人何若全教授担任总主编,重庆大学出版社出版的《高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材》力求体现“专业规范”的原则和主要精神,按照土木工程专业本科期间有关知识、能力、素质的要求设计了各教材的内容,同时对大学生增强工程意识、提高实践能力和培养创新精神做了许多有意义的尝试。这套教材的主要特色体现在以下方面:

(1)系列教材的内容覆盖了“专业规范”要求的所有核心知识点,并且教材之间尽量避免了知识的重复;

(2)系列教材更加贴近工程实际,满足培养应用型人才对知识和动手能力的要求,符合工程教育改革的方向;

(3)教材主编们大多具有较为丰富的工程实践能力,他们力图通过教材这个重要手段实现“基于问题、基于项目、基于案例”的研究型学习方式。

据悉,本系列教材编委会的部分成员参加了“专业规范”的研究工作,而大部分成员曾为“专业规范”的研制提供了丰富的背景资料。我相信,这套教材的出版将为“专业规范”的推广实施,为土木工程教育事业的健康发展起到积极的作用!

中国工程院院士 哈尔滨工业大学教授

沈世钊

# 前 言

“混凝土结构基本原理”是土木工程专业重要的学科基础课之一,其原理适用于土木工程领域内所有混凝土结构构件的设计,如房屋建筑工程、交通土建工程、矿井建设、水利工程、港口工程等的混凝土结构构件;其内容是土木工程专业学生应当掌握的基本理论,为进一步学习混凝土结构设计等专业课打下基础。

混凝土结构由一些基本构件组成,例如,受弯构件、受压构件、受拉构件、受扭构件、预应力混凝土构件等。本书主要讲述混凝土结构基本构件的受力性能和设计计算方法,包括钢筋和混凝土材料的基本力学性能、混凝土结构构件以概率理论为基础的极限状态设计方法的基本原理,以及基本构件的性能分析、设计计算和构造措施等。

鉴于目前我国土木工程各领域的混凝土结构设计规范尚未统一,为了节省篇幅,本书突出讲解了混凝土结构构件的受力性能分析,主要介绍房屋建筑工程的有关规范内容。读者在掌握了基本构件的受力性能以及房屋建筑工程的混凝土结构构件的设计原理之后,通过自学不难掌握其他工程的混凝土结构设计原理。

本书按混凝土结构构件的受力性能和特点划分章节,各章相对独立,以便根据不同的教学要求对内容进行取舍。在叙述方法上,注意到学生从数学、力学等基础课到学习专业的学科基础课的认识规律,力求做到由浅入深、循序渐进地对基本概念论述清楚,使读者能较容易地掌握结构构件的力学性能及理论分析方法;书中有相当数量的计算例题,有明确的计算方法和实用设计步骤,力求做到有利于学生理解和掌握设计原理,能具体指导学生应用于工程实践。为了便于自学,每章还有小结、思考题和习题等内容,读者还可以登陆重庆大学出版社教育资源网(<http://www.cqup.net/edusrc>)免费下载教学 PPT 和课后习题答案。

本书由西安建筑科技大学梁兴文(第 1、3、9 章)、马乐为(第 4 章)、邓明科(第 5、6 章),长安大学叶艳霞(第 2、8 章),温州大学杨克家(第 7 章),河南理工大学李艳、蔺新艳(第 10 章)编写,由梁兴文修改定稿。

本书由资深教授童岳生先生审阅,并提出了许多宝贵的意见。研究生李响为本书绘制了部分插图。在此对他们表示诚挚的谢意。

希望本书能为读者的学习和工作提供帮助。鉴于作者水平有限,书中难免有错误及不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者  
2011 年 4 月

# 目 录

1	概 论 .....	1
1.1	混凝土结构的基本概念和特点 .....	1
1.2	混凝土结构的应用及发展 .....	4
1.3	课程内容及特点 .....	6
	本章小结 .....	8
	思考题 .....	8
2	钢筋和混凝土材料的基本性能 .....	9
2.1	钢筋的基本性能 .....	9
2.2	混凝土的基本性能 .....	15
2.3	钢筋与混凝土的粘结 .....	29
	本章小结 .....	37
	思考题 .....	37
3	结构设计基本原理 .....	39
3.1	结构可靠度及设计方法 .....	39
3.2	荷载和材料强度的取值 .....	42
3.3	概率极限状态设计法 .....	46
3.4	结构极限状态设计表达式 .....	50
	本章小结 .....	56
	思考题 .....	57
4	受弯构件正截面的性能与设计 .....	58
4.1	工程应用实例 .....	58
4.2	受弯构件的一般构造要求 .....	59
4.3	正截面受弯性能的试验研究 .....	62
4.4	正截面受弯承载力分析 .....	67

4.5	单筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	74
4.6	双筋矩形截面受弯承载力计算	81
4.7	T形截面受弯承载力计算	87
	本章小结	97
	思考题	97
	习题	98
<b>5</b>	<b>受压构件正截面的性能与设计</b>	<b>100</b>
5.1	工程应用实例	100
5.2	轴心受压构件正截面承载力计算	101
5.3	偏心受压构件正截面受力性能分析	109
5.4	矩形截面非对称配筋偏心受压构件正截面受压承载力计算	119
5.5	矩形截面对称配筋偏心受压构件正截面受压承载力计算	133
5.6	I形截面对称配筋偏心受压构件正截面承载力计算	143
5.7	受压构件的一般构造	151
	本章小结	153
	思考题	154
	习题	154
<b>6</b>	<b>受拉构件正截面的性能与设计</b>	<b>156</b>
6.1	工程应用实例	156
6.2	轴心受拉构件正截面承载力计算	157
6.3	矩形截面偏心受拉构件正截面承载力计算	158
	本章小结	164
	思考题	165
	习题	165
<b>7</b>	<b>构件斜截面受剪性能与设计</b>	<b>166</b>
7.1	工程应用实例	166
7.2	受弯构件受剪性能的试验研究	167
7.3	受弯构件斜截面受剪承载力计算	173
7.4	受弯构件斜截面受剪承载力设计方法	180
7.5	钢筋的构造要求	187
7.6	偏心受力构件的斜截面受剪承载力	196



*7.7 构件的受冲切性能 .....	199
本章小结 .....	202
思考题 .....	203
习题 .....	203
<b>8 受扭构件扭曲截面性能与设计 .....</b>	<b>206</b>
8.1 工程应用实例 .....	206
8.2 纯扭构件扭曲截面承载力计算 .....	207
8.3 复合受扭构件承载力计算 .....	214
本章小结 .....	226
思考题 .....	227
习 题 .....	227
<b>9 正常使用极限状态验算及耐久性设计 .....</b>	<b>228</b>
9.1 裂缝及变形控制 .....	228
9.2 混凝土构件裂缝宽度计算 .....	230
9.3 受弯构件挠度计算 .....	242
9.4 混凝土结构的耐久性 .....	249
本章小结 .....	251
思考题 .....	252
习 题 .....	253
<b>10 预应力混凝土构件的性能与设计 .....</b>	<b>254</b>
10.1 工程应用实例及预应力混凝土的基本概念 .....	254
10.2 预应力混凝土构件设计的一般规定 .....	264
10.3 预应力混凝土轴心受拉构件的应力分析 .....	272
10.4 预应力混凝土轴心受拉构件的计算与设计 .....	279
10.5 预应力混凝土受弯构件的设计与计算 .....	285
10.6 预应力混凝土构件的构造要求 .....	306
本章小结 .....	310
思考题 .....	311
习题 .....	312
<b>附录</b>	
《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)附表 .....	313
<b>参考文献 .....</b>	<b>323</b>



# 概 论

## 本章导读：

理解混凝土结构的形成机理,钢筋与混凝土共同工作的三个条件;了解混凝土结构的特点、发展和应用;了解本课程的特点及学习方法。

## 1.1 混凝土结构的基本概念和特点

### 1.1.1 混凝土结构的基本概念

混凝土是由水泥、砂、碎石等加水拌和,经水化结硬的人工组合材料,其抗压强度高,而抗拉强度却很低。混凝土结构是以混凝土为主要材料制成的结构,包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构及配置各种纤维筋的混凝土结构。混凝土结构广泛应用于房屋建筑、桥梁、隧道、矿井以及水利、港口等工程中。

由于混凝土材料的抗拉强度很低,所以素混凝土结构的应用受到很大限制。如图1.1(a)所示承受集中荷载的素混凝土梁,随着荷载的逐渐增大,梁中拉应力及压应力不断增大。当荷载达到一定值时,弯矩最大截面受拉边缘的混凝土首先被拉裂,而后由于该截面高度减小致使开裂截面受拉区的拉应力进一步增大,于是裂缝迅速向上伸展并立即引起梁的断裂破坏。这种梁的破坏很突然,其受压区混凝土的抗压强度未充分利用,且由于混凝土抗拉强度很低,故其极限承载力也很低。所以,对于在外荷载作用或其他原因下会在截面中产生拉应力的结构,不应采用素混凝土结构。

与混凝土材料相比,钢筋的抗拉强度很高。如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,这就形成钢筋混凝土结构。如图1.1(b)所示条件

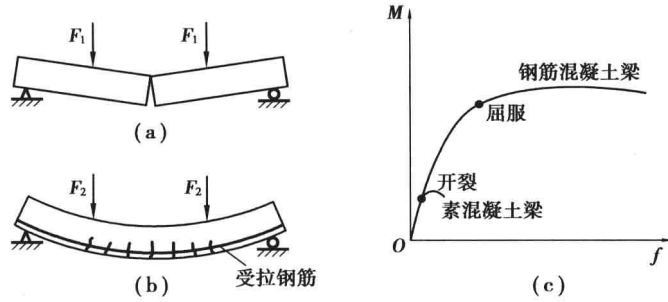


图 1.1 素混凝土及钢筋混凝土梁

相同的钢筋混凝土梁,在截面受拉区配有适量的钢筋。当荷载达到一定值时,梁受拉区仍然开裂,但开裂截面的变形性能与素混凝土梁大不相同。因为钢筋与混凝土牢固地粘结在一起,故在裂缝截面原由混凝土承受的拉力现转由钢筋承受;由于钢筋强度和弹性模量均很高,所以此时裂缝截面的钢筋拉应力和受拉变形均很小,有效地约束了裂缝的扩展,使其不至于无限制地向上延伸而使梁产生断裂破坏。这样钢筋混凝土梁上的荷载可继续加大,直至其受拉钢筋应力达到屈服强度,随后截面受压区混凝土被压坏,这时梁才达到破坏状态。由此可见,在钢筋混凝土梁中,钢筋与混凝土两种材料的强度都得到了较为充分的利用,破坏过程较为缓和,从而使这种梁的极限承载力和变形能力大大超过同样条件的素混凝土梁(图1.1(c))。

混凝土的抗压强度高,常用于受压构件(图 1.2(a))。钢筋的抗压强度也很高,所以在轴心受压构件中(图 1.2(b))配置纵向受压钢筋与混凝土共同承受压力,以提高构件的承载能力和变形能力(图 1.2(c)),从而可以减小柱截面的尺寸,还可负担由于某种原因而引起的弯矩和拉应力。

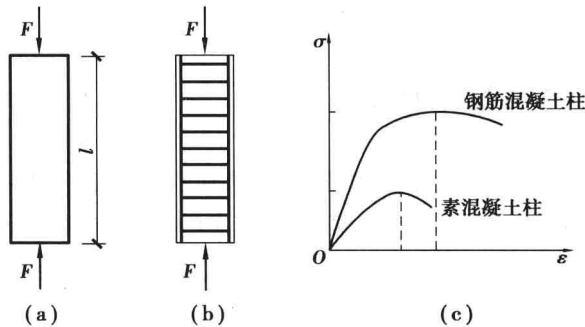


图 1.2 素混凝土与钢筋混凝土轴心受压构件

由上述可见,根据构件受力状态配置受力钢筋形成钢筋混凝土构件,可以充分利用钢筋和混凝土各自的材料特点,把二者有机地结合在一起共同工作,从而提高构件的承载能力并改善其受力性能。在钢筋混凝土构件中,钢筋的作用是代替混凝土受拉(受拉区出现裂缝后)或协助混凝土受压。

为了提高混凝土结构的抗裂性和耐久性,可在加载前用张拉钢筋的方法使混凝土截面内产生预压应力,以全部或部分抵消荷载作用下的拉应力,这即为预应力混凝土结构;也可在混凝土中加入各种纤维筋(如钢纤维筋、碳纤维筋等),形成纤维加强混凝土。

钢筋与混凝土两种材料能够有效地结合在一起而共同工作,主要基于下述三个条件:

①钢筋与混凝土之间存在着粘结力,使两者能结合在一起。在外荷载作用下,结构中的钢筋与混凝土协调变形、共同工作。因此,粘结力是这两种不同性质的材料能够共同工作的基础。

②钢筋与混凝土两种材料的温度线膨胀系数很接近,钢材料为  $1.2 \times 10^{-5}$ ,混凝土为  $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}$ 。所以,钢筋与混凝土之间不致因温度变化产生较大的相对变形而使粘结力遭到破坏。

③钢筋埋置于混凝土中,混凝土对钢筋起到了保护和固定作用,使钢筋不容易发生锈蚀,且使其受压时不易失稳,在遭受火灾时不致因钢筋很快软化而导致结构整体破坏。因此,在混凝土结构中,钢筋表面必须留有一定厚度的混凝土作保护层,这是保持二者共同工作的必要措施。

### 1.1.2 混凝土结构的特点

与其他材料的结构相比,混凝土结构的主要优点如下:

①就地取材。砂、石是混凝土的主要成分,均可就地取材。在工业废料比较多的地方,可利用工业废料制成人造骨料用于混凝土结构中;也可采用建筑垃圾制作骨料,配置再生混凝土。

②耐久性和耐火性好。在混凝土结构中,钢筋因受到保护不易锈蚀,所以混凝土结构具有良好的耐久性。混凝土为不良导热体,埋置在混凝土中的钢筋受高温影响远较暴露的钢结构小。只要钢筋表面的混凝土保护层具有一定厚度,当发生火灾时钢筋不会很快软化,可避免结构倒塌。

③整体性好。现浇或装配整体式的混凝土结构具有良好的整体性,从而使结构的刚度及稳定性都比较好。这有利于抗震、抵抗振动和爆炸冲击波。

④具有可模性。新拌和的混凝土为可塑的,可根据需要制成任意形状和尺寸的结构,有利于建筑造型。

⑤节约钢材。钢筋混凝土结构合理地利用了材料的性能,发挥了钢筋与混凝土各自的优势,与钢结构相比能节约钢材、降低造价。

混凝土结构也具有下列缺点:

①自重大。与钢结构相比,混凝土结构自身重力较大,故它所能负担的有效荷载相对较小。这对大跨度结构、高层建筑结构都是不利的。

②抗裂性差。钢筋混凝土结构在正常使用情况下,构件截面受拉区通常存在裂缝,如果裂缝过宽,则会影响结构的耐久性和应用范围。

③需用模板。混凝土结构的制作,需要模板予以成型。如采用木模板,则可重复使用的次数少,会增加工程造价。

此外,混凝土结构施工工序复杂,周期较长,且受季节气候影响;对于现役混凝土结构,如遇损伤则修复困难;隔热、隔声性能也比较差。

随着科学技术的不断发展,混凝土结构的缺点正在被逐渐克服或其性能有所改进。如采用轻质、高强混凝土及预应力混凝土,可减小结构自身重力并提高其抗裂性;采用可重复使用的钢模板会降低工程造价;采用预制装配式结构,可以改善混凝土结构的制作条件,少受或不受气候条件的影响,并能提高工程质量及加快施工进度等。

## 1.2 混凝土结构的应用及发展

### 1.2.1 应用

混凝土结构广泛应用于土木工程的各个领域,下面简要介绍其主要应用情况。

混凝土强度随生产的发展而不断提高,目前 C50 ~ C80 级混凝土甚至更高强度混凝土的应用已较普遍。各种特殊用途的混凝土不断研制成功并获得应用,例如超耐久性混凝土的耐久年限可达 500 年;耐热混凝土可耐达 1 800 °C 的高温;钢纤维混凝土和聚合物混凝土以及防射线、耐磨、耐腐蚀、防渗透、保温等有特殊要求的混凝土也应用于实际工程中。

房屋建筑中的住宅和公共建筑,广泛采用钢筋混凝土楼盖和屋盖。单层厂房很多采用钢筋混凝土柱、基础,钢筋混凝土或预应力混凝土屋架及薄腹梁等。高层建筑混凝土结构体系的应用甚为广泛,其中:1996 年建成的广州中信广场(80 层,高 391 m)是世界上最高的钢筋混凝土建筑结构;1998 年建成的马来西亚石油双塔楼(88 层,高 452 m)以及 2003 年建成的中国台北国际金融中心(101 层,高 455 m),这两栋房屋均采用钢-混凝土混合结构,其高度已超过世界上最高的钢结构房屋——美国芝加哥 Sears 大厦;我国上海金茂大厦(88 层,高 420.5 m),为钢筋混凝土和钢构架混合结构。另外,已建成的上海浦东环球金融中心大厦(95 层,高 492 m),正在建设的塔顶高度达 632 m 的上海中心以及高 648 m 的深圳平安金融中心,它们的内筒均为钢筋混凝土结构。

桥梁工程中的中、小跨度桥梁绝大部分采用混凝土结构建造,大跨度桥梁也有相当多的是采用混凝土结构建造。如 1991 年建成的挪威思可姆山大预应力斜拉桥,跨度达 530 m,居世界第一位;重庆长江二桥为预应力混凝土斜拉桥,跨度达 444 m,居世界第二位。公路混凝土拱桥应用也较多,其中突出的如 1997 年建成的万县(现名万州)长江大桥,为上承式拱桥,采用钢管混凝土和型钢骨架组成三室箱形截面,跨长 420 m,居世界第一位。

隧道及地下工程多采用混凝土结构建造。1949 年后我国修建了长约 2 500 km 的铁道隧道;修建的公路隧道约 400 座,总长约 80 km。日本 1994 年建成的青函海底隧道全长 53.8 km,而我国仅上海就修建了 4 条过江隧道。我国除北京、上海、天津、广州、南京、西安等城市已有地铁外,许多城市正在建造地铁。许多城市建有地下商业街、地下停车场、地下仓库、地下工厂、地下旅店等。

水利工程中的水电站、拦洪坝、引水渡槽、污水排灌管等均采用钢筋混凝土结构。目前世界上最高的重力坝为瑞士的大狄桑坝,高 285 m,其次为俄罗斯的萨杨苏申克坝,高 245 m。我国于 1989 年建成的青海龙羊峡大坝,高 178 m;四川二滩水电站拱坝高 242 m;贵州乌江渡拱形重力坝高 165 m;黄河小浪底水利枢纽,主坝高 154 m。我国的三峡水利枢纽,水电站主坝高 185 m,设计装机容量 1 820 万 kW,该枢纽发电量居世界第一。另外,举世瞩目的南水北调大型水利工程,沿线将建造很多预应力混凝土渡槽。

特种结构中的烟囱、水塔、筒仓、储水池、电视塔、核电站反应堆安全壳、近海采油平台等也有很多采用混凝土结构建造。如 1989 年建成的挪威北海混凝土近海采油平台,水深 216 m;目前世界上最高的电视塔是加拿大多伦多电视塔,塔高 553.3 m,为预应力混凝土结构;上海东方

明珠电视塔由三个钢筋混凝土筒体组成,高 456 m,居世界第三位。瑞典建成容积为 10 000 m<sup>3</sup> 的预应力混凝土水塔,我国山西云岗建成两座容量为 6 000 t 的预应力混凝土煤仓等。

## 1.2.2 发展

随着技术的发展,混凝土结构在其所用材料和配筋方式上有了许多新进展,形成了一些新的混凝土结构形式,如高性能混凝土、纤维增强混凝土及钢与混凝土组合结构等。

### (1) 高性能混凝土结构

高性能混凝土具有高强度、高耐久性、高流动性及高抗渗透性等优点,是今后混凝土材料发展的重要方向。我国《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)将混凝土强度等级大于 C50 的混凝土划为高强混凝土。高强混凝土的强度高、变形小、耐久性好,适应现代工程结构向大跨、重载、高耸发展和承受恶劣环境条件的需要。

但由于高强混凝土在受压时表现出较少的塑性和更大的脆性,因而在结构构件计算方法和构造措施上与普通强度混凝土有一定差别,在某些结构上的应用受到限制,如有抗震设防要求的混凝土结构,混凝土强度等级不宜超过 C60(设防烈度为 9 度时)和 C70(设防烈度为 8 度时)。

### (2) 纤维增强混凝土结构

在普通混凝土中掺入适当的各种纤维材料而形成纤维增强混凝土(fibre reinforced concrete),其抗拉、抗剪、抗折强度和抗裂、抗冲击、抗疲劳、抗震、抗爆等性能均有较大提高,因而获得较大发展和应用。

目前应用较多的纤维材料有钢纤维、合成纤维、玻璃纤维和碳纤维等。钢纤维混凝土是将短的、不连续的钢纤维均匀乱向地掺入普通混凝土而制成。钢纤维混凝土结构有无筋钢纤维混凝土结构和钢纤维钢筋混凝土结构,应用很广,如机场的飞机跑道、地下人防工程、地下泵房、水工结构、桥梁与隧道工程等。

合成纤维(尼龙基纤维、聚丙烯纤维等)可以作为主要加筋材料,提高混凝土的抗拉性、韧性等结构性能,用于各种水泥基板材;也可以作为一种次要加筋材料,主要用于提高混凝土材料的抗裂性。

碳纤维具有轻质、高强、耐腐蚀、施工便捷等优点,已广泛用于建筑、桥梁结构的加固补强以及机场飞机跑道工程等。

### (3) 活性粉末混凝土

活性粉末混凝土(Reactive Powder Concrete,简称 RPC)是由骨料(级配良好的石英砂)、水泥、硅粉、高效减水剂以及一定量的纤维(如钢纤维等)等组成,因除去了大颗粒骨料,并增加了组分的细度和活性而得名,是一种超高强度、超高韧性和高耐久性的超高性能混凝土。RPC 的密度大,空隙率低,抗渗能力强,耐久性高,流动性好,还具有较高的韧性和良好的变形性能,比普通混凝土和现有的高性能混凝土有了质的飞跃。

RPC 梁的抗弯强度与自重之比已接近钢梁,若与高强钢绞线结合,以其良好的耐火性和耐腐蚀性,其综合结构性能可超过钢结构。

### (4) 工程纤维增强水泥基复合材料

由于粗骨料与水泥砂浆界面是混凝土中最薄弱的环节,因此近年来美国 Michigan 大学采用

高性能纤维增强水泥砂浆,研制出一种工程纤维增强水泥基复合材料(Engineered Cementitious Composites,简称 ECC)。其生产工艺类似于纤维混凝土,但不使用粗骨料,纤维的体积分数一般不超过 2%。ECC 具有类似于金属材料的拉伸强化现象,其极限拉应变可达到 5%~6%,与钢材的塑性变形能力相近,是具有像金属一样变形能力的混凝土材料。ECC 的抗压强度类似于混凝土,抗压弹性模量较低,但受压变形能力比普通混凝土大很多;其耐火性和耐久性也超过普通混凝土。

### (5) 钢与混凝土组合结构

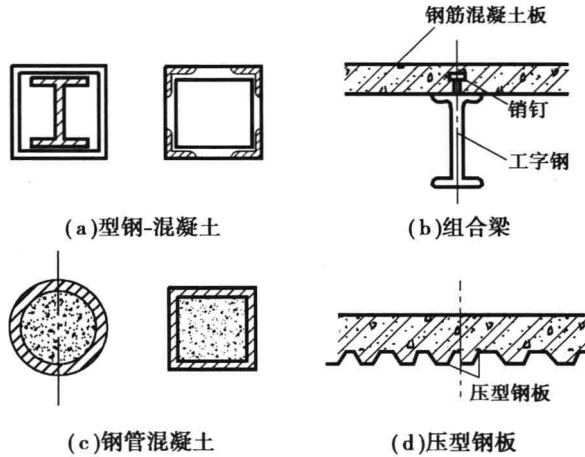


图 1.3 钢与混凝土组合截面示意图

用型钢或钢板焊(或冷压)成钢截面(图 1.3),再将其埋置于混凝土中,使混凝土与型钢形成整体,共同受力,称为钢与混凝土组合结构,简称 SRC(Steel Reinforced Concrete)。国内外常用的组合结构有:压型钢板与混凝土组合楼板、钢与混凝土组合梁、型钢混凝土结构、钢管混凝土结构和外包钢混凝土结构等五大类。

钢与混凝土组合结构除具有钢筋混凝土结构的优点外,还有抗震性能好、施工方便、能充分发挥材料的性能等优点,因而得到了广泛应用。各种结构体系,如框架、框架-剪力墙、剪力墙、框架-核心筒等结构体系中的梁、柱、墙均可采用组合结构。例如,美国近年建成的太平洋第一中心大厦(44 层)和双联广场大厦(58 层)的核心筒大直径柱子,以及北京环线地铁车站柱,都采用了钢管混凝土结构;上海金茂大厦外围柱以及浦东环球金融中心大厦(95 层)的外框筒柱,采用了型钢混凝土柱。

## 1.3 课程内容及特点

### 1.3.1 主要内容

在混凝土结构设计中,首先应根据结构使用功能要求并考虑经济、施工等条件,选择合适的结构方案,进行结构布置以及确定构件类型等;然后根据结构上所作用的荷载及其他作用,对结构进行内力分析,求出构件截面内力(包括弯矩、剪力、轴力、扭矩等)。在此基础上,对组成结构的各类构件分别进行构件截面设计,即确定构件截面所需的钢筋数量、配筋方式并采取必要



的构造措施。关于确定结构方案、进行结构内力分析等内容,将在“混凝土结构设计”、“桥梁工程”、“地下工程”等专业课中讲述。本课程讲述的主要内容是混凝土结构基本构件的受力性能、承载力和变形计算以及配筋构造等。这些内容是土木工程混凝土结构中的共性问题,即混凝土结构的基本理论,故本课程为土木工程专业的学科基础课。

混凝土结构构件可分为以下几类:

#### (1) 受弯构件

受弯构件,如梁、板等,因构件的截面上有弯矩作用,故称为受弯构件。但与此同时,构件截面上也有剪力存在。对于板,剪力对设计计算一般不起控制作用。而在梁中,除应考虑弯矩外尚需考虑剪力的作用。

#### (2) 受压构件

受压构件,如柱、墙等,主要受到压力作用。当压力沿构件纵轴作用在构件截面上时,则为轴心受压构件;如果压力在截面上不是沿纵轴作用或截面上同时有压力和弯矩作用时,则为偏心受压构件。柱、墙、拱等构件一般为偏心受压且还有剪力作用。所以,受压构件中通常有弯矩、轴力和剪力同时作用,当剪力较大时在计算中应考虑其影响。

#### (3) 受拉构件

受拉构件,如屋架下弦杆、拉杆拱中的拉杆等,通常按轴心受拉构件(忽略构件自身重力)考虑。又如层数较多的框架结构,在竖向荷载和水平荷载共同作用下,有的柱截面上除产生剪力和弯矩外,还可能出现拉力,则为偏心受拉构件。

#### (4) 受扭构件

受扭构件,如曲梁、框架结构的边梁等,构件的截面上除产生弯矩和剪力外,还会产生扭矩。因此,对这类结构构件应考虑扭矩的作用。

### 1.3.2 课程特点与学习方法

如上所述,本课程主要讲述混凝土结构构件的基本理论,其内容相当于匀质线弹性材料材料力学。但是,钢筋混凝土是由非线性的、且拉压强度相差悬殊的混凝土和钢筋组合而成,受力性能复杂,因而本课程有不同于一材料力学的一些特点,学习时应予以注意。

①钢筋混凝土构件是由钢筋和混凝土两种材料组成的构件,且混凝土是非均匀、非连续和非弹性材料。因此,一般不能直接用材料力学的公式来计算钢筋混凝土构件的承载力和变形;材料力学解决问题的基本方法,即通过平衡条件、物理条件和几何条件建立基本方程的手段,对于钢筋混凝土构件也是适用的,但在具体应用时应注意钢筋混凝土性能上的特点。

②钢筋混凝土构件中的两种材料,在强度和数量上存在一个合理的配比范围。如果钢筋和混凝土在面积上的比例及材料强度的搭配超过了这个范围,就会引起构件受力性能的改变,从而引起构件截面设计方法的改变,这是学习时必须注意的。

③钢筋混凝土构件的计算方法是建立在试验研究基础上的。钢筋和混凝土材料的力学性能指标通过试验确定:根据一定数量的构件受力性能试验,研究其破坏机理和受力性能,建立物理和数学模型,并根据试验数据拟合出半理论半经验公式。因此,学习时一定要深刻理解构件的破坏机理和受力性能,特别要注意构件计算方法的适用条件和应用范围。

④本课程所要解决的不仅是构件的承载力和变形计算等问题,还包括构件的截面形式、材



料选用及配筋构造等。结构构件设计是一个综合性的问题,需要考虑各方面的因素。因此,学习本课程时,要注意学会对多种因素进行综合分析,培养综合分析判断能力。

⑤本课程的实践性很强,其基本原理和设计方法必须通过构件设计来掌握,并在设计过程中逐步熟悉和正确运用我国有关的设计规范和标准。本课程的内容主要与《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50153—2008)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)和《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)等有关。设计规范是国家颁布的,有关结构设计的技术规定和标准;规范条文(尤其是强制性条文),是设计中必须遵守的带法律性的技术文件。只有正确理解规范条文的概念和实质,才能正确地应用规范条文及其相应公式,充分发挥设计者的主动性以及分析和解决问题的能力。

## 本章小结

1. 混凝土结构是以混凝土为主要材料制成的结构。
2. 钢筋混凝土结构充分发挥了钢筋和混凝土两种材料各自的优点。在混凝土中配置适量的钢筋后,可使构件的承载力大大提高,构件的受力性能也得到显著改善。
3. 钢筋和混凝土两种材料能够有效地结合在一起共同工作,主要基于三个条件:钢筋与混凝土之间存在粘结力;两种材料的温度线膨胀系数很接近;混凝土对钢筋起保护作用。这是钢筋混凝土结构得以实现并获得广泛应用的根本原因。
4. 混凝土结构有很多优点,也存在一些缺点。应通过合理设计,发挥其优点,克服其缺点。
5. 本课程主要讲述混凝土结构构件设计原理,与材料力学既有联系又有区别,学习时应予注意。

## 思考题

- 1.1 试分析素混凝土梁与钢筋混凝土梁在承载力和受力性能方面的差异。
- 1.2 钢筋与混凝土共同工作的基础是什么?
- 1.3 混凝土结构有哪些优点和缺点?如何克服这些缺点?
- 1.4 本课程主要包括哪些内容?学习时应注意哪些问题?