



卓越工程师系列教材

混凝土结构（上）

——混凝土结构设计原理

HUNNINGTU JIEGOU (SHANG)

HUNNINGTU JIEGOU SHEJI YUANLI

主 编 张克跃

副主编 陈庚生 康 锐 何世龙



科学出版社

卓越工程师系列教材

混凝土结构(上)

——混凝土结构设计原理

主 编 张克跃

副主编 陈庚生 康 锐 何世龙

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

《混凝土结构设计原理》是高等院校土木工程专业重要的专业基础课程之一。本书是根据最新修订的国家标准《混凝土结构设计规范》(GB50010—2010)、《工程结构可靠性设计统一标准》(GB50153—2008)等编写的。其主要内容包括绪论、混凝土结构材料的基本性能、以概率理论为基础极限状态设计方法的基本原理、各种受力构件(如受弯、受剪、受压、受拉、受扭等)的受力性能、设计计算方法和构造要求以及预应力混凝土构件的性能和设计计算。

本书可作为普通高等院校土木工程专业教材使用,也可作为工程设计、工程施工技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构:混凝土结构设计原理.上/张克跃主编.
—北京:科学出版社,2015.2

卓越工程师系列教材

ISBN 978-7-03-043512-1

I. ①混… II. ①张… III. ①混凝土结构-结构设计-教材 IV. ①TU370.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 026615 号

责任编辑:杨 岭 于 楠 / 封面设计:墨创文化

责任校对:贺江艳 / 责任印制:余少力

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

成都创新包装印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年2月第一版 开本:787×1092 1/16

2015年2月第一次印刷 印张:20 1/2

字数:510千字

定价:58.00元

“卓越工程师系列教材”编委会

主 编	蒋葛夫	翟婉明		
副 主 编	阎开印			
编 委	张卫华	高 波	高仕斌	
	彭其渊	董大伟	潘 炜	
	郭 进	易思蓉	张 锦	
	金炜东			

本册编委会

主 编	张克跃			
副 主 编	陈庚生	康 锐	何世龙	
编 委	谢明志	严传坤	邢 帆	
	李燕强	杨 雷	陈志伟	
	李兰平	黄艳霞	张 明	
	李 倩			

前 言

《混凝土结构(上)——混凝土结构设计原理》是高等院校土木工程专业的一门重要的学科基础课,其主要内容涉及土木工程领域所有混凝土结构的设计,如房屋建筑工程、桥梁工程、地下工程、水利工程、港口工程等。由于混凝土结构是一门理论性强且注重工程实践的学科,掌握本课程的基础理论、基本设计原理与方法,是进一步学习各种混凝土结构设计专业课的基础。

本书是根据教育部土木工程专业的培养要求,结合作者多年来的教学实践经验,并按《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—2012)等最新修订的国家标准而编写,是西南交通大学“卓越工程师”系列教材之一。

本书共10章,包括绪论、混凝土结构材料的物理和力学性能、混凝土结构设计的基本原理、钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算、钢筋混凝土受压构件正截面承载力计算、钢筋混凝土受拉构件正截面承载力计算、钢筋混凝土构件斜截面承载力计算、钢筋混凝土受扭构件承载力计算、正常使用极限状态验算及耐久性设计,以及预应力混凝土构件设计等内容。各章节的编排顺序符合认知规律和教学特点,内容由浅入深,注重混凝土结构构件的受力性能分析和基本公式的理论推导,突出对基本概念的理解和对基本理论知识的应用。为便于读者自学和较好地掌握本课程内容,编写时力求语言通俗易懂,图文并茂,每章均有内容提要、小结以及各种类型的例题,并在每章末附有一定数量的思考题和练习题。

本书由具有丰富教学经验和实践经验的人员共同编写,在编写过程中参考了大量国内外参考文献,引用了一些学者的资料,并在本书末的参考文献中已予以列出。全书由张克跃担任主编,参加编写的人员有:陈庚生(第1章)、何世龙(第2、3章)、张克跃(第4、10章的部分内容)、谢明志(第4章的部分内容)、严传坤(第5章)、邢帆(第6、8章)、李燕强(第7章)、杨雷(第9章)、康锐(第10章),附录由陈志伟、陈庚生整理,李兰平、黄艳霞、张明、李倩编写了部分章节以及计算例题。

鉴于编者的水平有限,书中难免有错误或疏漏之处,敬请读者批评指正。

编 者

2014年12月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 混凝土结构的一般概念及其特点	1
1.1.1 混凝土结构的一般概念	1
1.1.2 混凝土结构的特点	3
1.2 混凝土结构的发展简况及其应用	4
1.2.1 混凝土结构的发展简况	4
1.2.2 混凝土结构的应用与发展	5
1.3 本课程的主要内容与特点	9
1.3.1 本课程的主要内容	9
1.3.2 本课程的特点与学习方法	9
1.4 本章小结	10
思考题	11
第 2 章 混凝土结构材料的物理和力学性能	12
2.1 混凝土	12
2.1.1 混凝土的强度	12
2.1.2 混凝土的变形	15
2.1.3 混凝土的选用	22
2.2 钢筋	22
2.2.1 钢筋的种类	22
2.2.2 钢筋的力学性能	23
2.2.3 钢筋的冷加工及塑性性能	24
2.2.4 钢筋的疲劳特性	26
2.2.5 混凝土结构对钢筋性能的要求	26
2.2.6 钢筋的选用	27
2.3 钢筋与混凝土之间的黏结	27
2.3.1 黏结力	27
2.3.2 黏结机理	28
2.3.3 影响黏结性能的因素	29
2.4 钢筋锚固与接头构造	30
2.4.1 钢筋锚固与搭接的意义	30

2.4.2	钢筋锚固的长度	30
2.4.3	钢筋的连接	31
2.5	本章小结	33
	思考题	34
第3章	混凝土结构设计的基本原理	35
3.1	结构的功能要求和极限状态	35
3.1.1	结构上的作用、作用效应及结构抗力	35
3.1.2	结构的功能要求	36
3.1.3	设计使用年限与设计基准期	36
3.1.4	结构的极限状态	37
3.1.5	结构的设计状况	38
3.1.6	极限状态方程	38
3.2	概率极限状态设计方法	39
3.2.1	结构可靠度	39
3.2.2	失效概率与可靠指标	39
3.2.3	结构的安全等级	40
3.2.4	目标可靠指标	40
3.3	荷载和材料强度取值	41
3.3.1	荷载代表值	41
3.3.2	材料强度标准值的确定	42
3.4	概率极限状态实用设计表达式	43
3.4.1	承载能力极限状态实用设计表达式	43
3.4.2	正常使用极限状态实用设计表达式	45
3.5	本章小结	46
	思考题	46
	习题	47
第4章	钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算	48
4.1	概述	48
4.2	受弯构件的基本构造要求	50
4.2.1	梁的构造要求	50
4.2.2	板的构造要求	53
4.3	受弯构件的正截面受力性能试验分析	54
4.3.1	正截面工作的三个阶段	55
4.3.2	适筋梁截面应力分布	58
4.3.3	正截面的破坏形态	60
4.4	正截面承载力计算原则	62

4.4.1	基本假定	62
4.4.2	正截面承载能力计算图示及基本方程	64
4.4.3	界限受压区高度及配筋率	66
4.5	单筋矩形截面受弯承载力计算	68
4.5.1	基本公式及适用条件	68
4.5.2	截面计算	69
4.5.3	计算表格编制及其应用	71
4.6	双筋矩形截面受弯承载力计算	76
4.6.1	基本公式及适用条件	78
4.6.2	截面计算	79
4.7	T形截面受弯承载力计算	84
4.7.1	概述	84
4.7.2	计算公式及适用条件	86
4.7.3	计算方法	89
4.8	本章小结	94
	思考题	94
	习题	95

第5章	钢筋混凝土受压构件正截面承载力计算	97
5.1	概述	97
5.2	轴心受压构件的正截面承载力计算	98
5.2.1	普通箍筋柱正截面承载力计算	99
5.2.2	螺旋箍筋柱正截面承载力计算	106
5.3	偏心受压构件的正截面受力性能分析	110
5.3.1	受力过程与破坏特征	111
5.3.2	两类偏心受压破坏的界限	113
5.3.3	附加偏心距 e_a 和初始偏心距 e_i	114
5.3.4	纵向弯曲(挠曲)的影响	114
5.3.5	偏心受压长柱的二阶弯矩	115
5.4	矩形截面非对称配筋偏心受压构件正截面承载力计算	118
5.4.1	基本公式及适用条件	118
5.4.2	基本公式的应用	121
5.5	矩形截面对称配筋偏心受压构件正截面承载力计算	130
5.5.1	基本公式及适用条件	130
5.5.2	基本公式的应用	131
5.5.3	矩形截面对称配筋偏心受压构件的计算曲线	134
5.6	I形截面对称配筋偏心受压构件正截面承载力计算	136
5.6.1	基本公式及适用条件	136

5.6.2 基本公式的应用	138
5.7 偏心受压构件的构造要求	142
5.8 本章小结	143
思考题	145
习题	145
第6章 钢筋混凝土受拉构件正截面承载力计算	147
6.1 概述	147
6.2 轴心受拉构件承载力计算	147
6.2.1 轴心受拉构件受力特点	148
6.2.2 轴心受拉构件承载力计算公式	148
6.2.3 构造要求	149
6.3 矩形截面偏心受拉构件承载力计算	149
6.3.1 小偏心受拉破坏承载力计算	151
6.3.2 大偏心受拉破坏承载力计算	151
6.3.3 截面设计	152
6.3.4 截面复核	153
6.4 本章小结	155
思考题	155
习题	156
第7章 钢筋混凝土构件斜截面承载力计算	157
7.1 受弯构件斜截面开裂的受力分析	157
7.2 无腹筋梁的斜截面受剪承载力	158
7.2.1 斜截面受剪分析	159
7.2.2 无腹筋梁的受剪破坏形态	160
7.2.3 影响无腹筋梁斜截面受剪承载力的主要因素	161
7.2.4 无腹筋梁斜截面受剪承载力的计算	162
7.2.5 板类构件的斜截面受剪承载力的计算	162
7.3 有腹筋梁的斜截面受剪承载力	163
7.3.1 腹筋的作用	163
7.3.2 有腹筋梁的斜截面破坏形态	163
7.3.3 有腹筋梁斜截面承载力计算公式	164
7.3.4 斜截面受剪承载力计算公式的适用条件	166
7.3.5 斜截面受剪计算步骤	167
7.4 受弯构件的斜截面受弯承载力	171
7.4.1 纵向钢筋的弯起	172
7.4.2 纵向钢筋的截断	173

7.4.3	钢筋的锚固	174
7.4.4	箍筋的构造要求	176
7.5	偏心受力构件的斜截面受剪承载力	177
7.5.1	偏心受压构件斜截面受剪承载力计算	177
7.5.2	偏心受拉构件斜截面受剪承载力计算	179
7.5.3	矩形框架柱双向受剪承载力计算	180
7.5.4	剪力墙的斜截面受剪承载力计算	181
7.6	本章小结	182
	思考题	182
	习题	183
第 8 章	钢筋混凝土受扭构件承载力计算	185
8.1	概述	185
8.2	纯扭构件的受力性能及计算方法	186
8.2.1	素混凝土纯扭构件的受力性能	186
8.2.2	钢筋混凝土纯扭构件的受力性能	187
8.2.3	截面受扭塑性抵抗矩	188
8.2.4	纯扭构件的受扭承载力	190
8.3	复合受扭构件承载力计算	193
8.3.1	剪扭构件承载力计算	194
8.3.2	压(拉)扭构件承载力计算	196
8.3.3	弯扭构件承载力计算	197
8.3.4	弯剪扭构件承载力的计算	197
8.4	受扭承载力公式限制条件与构造配筋	198
8.4.1	截面限制条件	198
8.4.2	构造配筋条件	199
8.4.3	最小配筋率	199
8.4.4	判别配筋计算是否可忽略剪力 V 或者扭矩 T	199
8.4.5	钢筋的构造要求	200
8.5	本章小结	204
	思考题	205
	习题	205
第 9 章	正常使用极限状态验算及耐久性设计	206
9.1	概述	206
9.2	裂缝成因及裂缝控制	207
9.2.1	裂缝的成因	207
9.2.2	裂缝控制目的及要求	210

9.2.3	裂缝控制等级	210
9.3	裂缝宽度验算	211
9.3.1	裂缝宽度的计算方法	211
9.3.2	裂缝截面钢筋应力	216
9.4	受弯构件的挠度计算	218
9.4.1	变形控制的目的和要求	219
9.4.2	截面抗弯刚度的主要特点	219
9.4.3	短期刚度计算公式的建立	221
9.4.4	长期刚度	224
9.4.5	受弯构件的变形验算	225
9.5	混凝土结构的耐久性设计	227
9.5.1	混凝土结构耐久性的概念	227
9.5.2	混凝土结构的耐久性要求	228
9.5.3	混凝土结构耐久性设计的基本要求与设计内容	232
9.6	本章小结	233
	思考题	234
	习题	235
第 10 章	预应力混凝土构件设计	236
10.1	预应力混凝土的原理	236
10.1.1	预应力混凝土的基本原理	236
10.1.2	预应力混凝土结构的主要优缺点	238
10.1.3	预应力度	239
10.1.4	预应力混凝土构件的一般原理	239
10.2	预应力的施加方法	241
10.2.1	先张法	241
10.2.2	后张法	242
10.3	预应力锚具与孔道成型材料	243
10.3.1	锚具	243
10.3.2	孔道成型与灌浆材料	246
10.4	预应力钢筋的张拉控制应力及预应力损失	247
10.4.1	预应力钢筋的张拉控制应力 σ_{con}	247
10.4.2	预应力损失	248
10.4.3	预应力损失值的组合	254
10.5	预应力混凝土轴心受拉构件的设计	255
10.5.1	预应力张拉施工阶段应力分析	255
10.5.2	正常使用阶段应力分析	259
10.5.3	正常使用极限状态验算	260

10.5.4	正截面承载力分析与计算	262
10.5.5	施工阶段局部承压验算	263
10.6	预应力混凝土受弯构件的设计	269
10.6.1	预应力张拉施工阶段应力分析	269
10.6.2	正常使用阶段应力分析	272
10.6.3	施工阶段混凝土应力控制验算	273
10.6.4	正常使用极限状态验算	275
10.6.5	正截面承载力计算	278
10.6.6	斜截面承载力计算	280
10.6.7	先张法预应力的传递长度	281
10.7	预应力混凝土结构构件的构造要求	294
10.7.1	截面形式和尺寸	294
10.7.2	纵向非预应力钢筋	294
10.7.3	先张法构件的要求	295
10.7.4	后张法构件的要求	296
10.8	本章小结	298
	思考题	298
	习题	299
附录		302
主要参考文献		311

第 1 章 绪 论

本章主要讲述混凝土结构的一般概念及其特点, 简要介绍混凝土结构在实际工程中的应用与发展情况, 并对混凝土结构课程的特点以及在学习过程中应注意的问题进行了讨论。重点阐述了钢筋和混凝土两种性质不同的材料结合在一起共同工作的基础以及混凝土结构的特点。

1.1 混凝土结构的一般概念及其特点

1.1.1 混凝土结构的一般概念

混凝土(concrete)是由胶凝材料(水泥), 粗、细骨料(石子、砂子)和水为原材料, 按一定配合比经搅拌、成型、养护硬化等过程而形成的人工石材。它是一种各组份具有不同性质的多相复合材料, 具有非匀质、非连续和非弹性等性质。

混凝土结构是指以混凝土为主要材料建成的结构, 包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、钢骨混凝土结构和钢管混凝土结构等。

素混凝土结构(plain concrete structure)是由无筋或不配置受力钢筋的混凝土建成的结构, 主要用于设备基础、道路路面和某些非承重结构等, 如图 1-1(a)所示。

钢筋混凝土结构(reinforced concrete structure)是由配置受力的普通钢筋、钢筋网或钢筋骨架的混凝土建成的结构。一般的混凝土结构通常都是由钢筋和混凝土组成的, 如图 1-1(b)所示。

预应力混凝土结构(prestressed concrete structure)是指在混凝土结构构件承受外荷载之前, 在构件制作过程中对其受拉区预先施加压应力的混凝土结构。主要用于大跨度结构构件或对裂缝控制要求较高的构件, 如图 1-1(c)所示。

钢骨混凝土结构(steel-reinforced concrete structure)是指用型钢或钢板焊成的钢骨架作为主要配筋的混凝土结构, 又称为型钢混凝土结构, 如图 1-1(d)所示。

钢管混凝土结构(concrete filled steel tube structure)是指在钢管内浇捣混凝土形成的一种组合结构, 如图 1-1(e)所示。

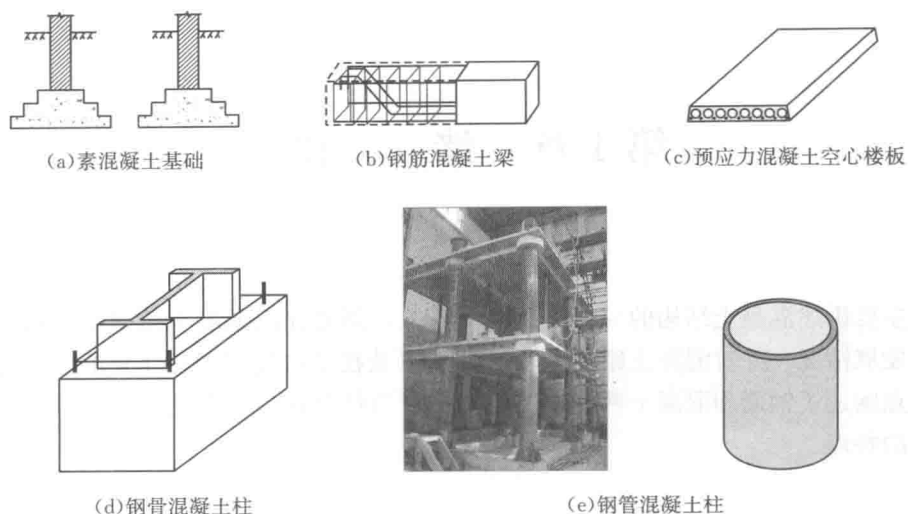


图 1-1 常见混凝土结构构件示意图

随着科学技术的发展,混凝土结构在其所用材料和配筋方式上有了许多新进展,形成了一些新型混凝土及结构形式,如高性能混凝土、纤维增强混凝土等。

本书重点讲述钢筋混凝土结构的材料性能、设计原理、计算方法和构造措施。对于预应力混凝土结构和钢与混凝土组合结构的介绍将分别在本书的第 10 章和《混凝土结构(下)》中给出。

钢筋和混凝土都是土木工程中重要的建筑材料。其中,钢筋的抗拉和抗压强度都很高;而混凝土的抗压强度较高,其抗拉强度却很低。为了充分发挥这两种材料性能的优势,把钢筋和混凝土按照合理的组合方式有机地结合在一起共同工作,使钢筋主要承受拉力,混凝土主要承受压力,以满足工程结构的使用要求,同时充分利用材料性能。

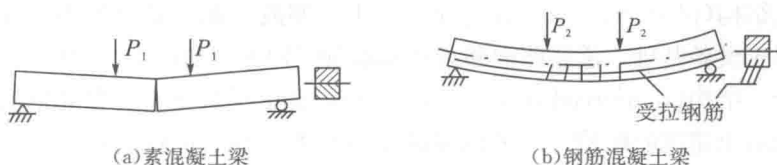


图 1-2 素混凝土梁与钢筋混凝土梁

例如,图 1-2(a)所示素混凝土梁,在集中力 P_1 作用下,梁会产生弯曲变形,上部为受压区,下部为受拉区。随着荷载的逐渐增大,当截面受拉区边缘纤维拉应变达到混凝土极限拉应变时,该处混凝土首先被拉裂,而后裂缝沿截面高度迅速向上延伸,梁随即发生断裂破坏。此时,其受压区混凝土的压应力还很低,混凝土的抗压强度没有得到充分发挥。同时,由于混凝土抗拉强度很低,梁的破坏荷载(或极限承载力)也很低,而且梁的破坏很突然。图 1-2(b)所示是在截面受拉区配有适量钢筋的钢筋混凝土梁,在其他条件完全相同的情况下,进行同样的荷载试验,可以看到,当集中力 P_2 达到一定值时,梁的受拉区仍然开裂,但开裂截面的变形性能与素混凝土梁大不相同。混凝土开裂后,裂缝不会沿截面的高度迅速开展,梁也不会随即发生断裂破坏。裂缝截面的混凝土拉应

力由纵向受拉钢筋来承受,故荷载还可进一步增加。此时,变形将相应发展,裂缝的数量和宽度也将增大,直到受拉钢筋抗拉强度和受压区混凝土抗压强度被充分利用时,梁才发生破坏。梁破坏前,变形和裂缝都发展得很充分,呈现明显的破坏预兆,且梁的破坏荷载(或极限承载力)和变形能力大大超过同样条件的素混凝土梁。

从上述对比试验可以得到,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(如受压构件—柱子)。

钢筋和混凝土这两种物理和力学性能不同的材料能够有效地结合在一起而共同工作,主要是基于以下原因。

(1)混凝土结硬后与钢筋之间存在着良好的黏结,二者成为一个整体,在荷载作用下,可以保证两种材料协调变形,共同受力。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)钢筋和混凝土的温度线膨胀系数很接近,钢筋约为 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 、混凝土为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,故当温度变化时,两者间不致产生较大的相对变形而使黏结遭受破坏。

(3)钢筋至构件边缘之间的混凝土保护层,起防止钢筋锈蚀的作用。同时,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,钢筋表面留有一定厚度的混凝土保护层,保证结构具有良好的耐久性,是使钢筋和混凝土能够长期可靠地共同工作的必要措施。

1.1.2 混凝土结构的特点

1. 混凝土结构的优点

混凝土结构在房屋建筑、地下结构、桥梁、隧道、水工、海港、公路、铁路、核电站等土建工程中,具有十分重要的地位,主要因为这种结构具有以下几个方面的优点:

(1)便于就地取材。钢筋混凝土结构中,混凝土所用的原材料是砂和石,一般较易于就地取材。在工业废料(如矿渣、粉煤灰等)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。

(2)节约钢材。钢筋混凝土结构合理地利用了钢筋和混凝土这两种材料的性能,充分发挥它们各自的特点,与钢结构相比,能节约钢材并降低造价。

(3)混凝土结构,尤其是现浇结构具有很好的整体性,其抵抗地震、振动以及爆炸冲击波的性能都比较好,相对钢与混凝土组合结构和钢结构来说则稍差。

(4)耐久性和耐火性好。在混凝土结构中,钢筋表面具有一定的混凝土保护层厚度,不易产生锈蚀,所以混凝土结构具有良好的耐久性;同时,由于混凝土是不良导热体,火灾发生时不致因钢筋很快达到软化温度而导致结构破坏。混凝土结构与钢结构相比还可省去经常性的维修费用。

(5)可模性好。钢筋混凝土可以根据设计需要浇制成各种形状和尺寸的结构构件,适

用于各种形状复杂的结构,如空间薄壳、箱形结构等。

2. 混凝土结构的缺点

混凝土结构也存在一些缺点,主要有以下几个方面。

(1)自重大。在承受同样荷载的情况下,混凝土构件的自重往往比钢结构构件大很多,对建造大跨度结构、高层建筑结构不利。同时,地震发生时,自重大会使结构地震力增大,对结构抗震不利。

(2)抗裂性差。由于混凝土抗拉强度很低,在正常使用情况下,一般的钢筋混凝土结构构件是带裂缝工作的。结构出现裂缝后,刚度会降低从而变形加大。如果裂缝过多过宽,则会影响钢筋混凝土结构的耐久性和应用范围。

(3)耗费大量的模板。混凝土结构构件的制作,需要模板予以成型,从而耗费大量模板和支撑,工程造价会有所增加。

(4)混凝土结构施工工序多、工期长,且受季节气候条件的限制。

(5)混凝土结构一旦发生破坏,其修复、加固、补强比较困难。

上述这些缺点,使混凝土结构的应用范围受到了一定的限制。但是随着科学技术的不断发展,一些问题已逐步得到解决或有所改进。例如,采用轻质、高强混凝土可以减轻结构自重;采用预应力混凝土可以有效地提高构件的抗裂性,还可提高结构刚度从而减小变形。因此预应力混凝土结构特别适用于大跨度结构以及对防渗、防漏要求较高的结构等;利用先进施工技术(如滑模施工),采用泵送混凝土、高性能混凝土、自密实混凝土以及预制装配式结构等,可大大提高施工效率。

1.2 混凝土结构的发展简况及其应用

1.2.1 混凝土结构的发展简况

人类采用土、木、石和砖瓦作为结构材料经历了漫长的岁月。虽然英国阿斯普丁(Aspdin)于1824年已发明了波特兰水泥,但直到19世纪50年代,随着水泥和钢材等现代工业的兴起,混凝土才开始出现并被当作结构材料。其中,法国兰波特(Lambot)于1850年制造了第一只钢筋混凝土小船。从那时至今不过一百六十多年的历史,与砖石结构、木结构相比,混凝土结构的历史并不长,但发展非常迅速。目前,混凝土已成为土木工程结构中最主要的结构材料,而且高性能混凝土和新型混凝土结构形式还在不断地发展。

混凝土结构的发展大致可以分为三个阶段。

第一阶段:从混凝土结构开始出现至20世纪20年代,是混凝土结构发展的初期阶段。在此期间出现了钢筋混凝土梁、板、柱、拱和基础等一系列结构构件,但由于当时混凝土和钢筋的强度都比较低,人们对混凝土的性能也缺乏认识,简单地将混凝土视为

弹性材料。对结构内力和构件截面的计算均采用弹性理论,沿用容许应力设计方法。

第二阶段:从20世纪20年代到第二次世界大战前后。随着工业生产的发展、试验和理论研究的逐渐深入、钢筋和混凝土强度的不断提高,混凝土结构进入了第二个发展阶段并逐步得到了广泛的应用。1928年,法国杰出工程师弗列西涅(Freyssient)成功发明了预应力混凝土。预应力混凝土结构的出现,不仅改善了混凝土结构的性能,克服了抗裂性能差的缺点,而且极大地拓宽了混凝土结构的应用领域,使混凝土结构可以用于建造大跨度结构、压力储罐等。在计算理论上,1938年前苏联学者格沃兹捷夫提出了破损阶段设计理论,并在此基础上制定了钢筋混凝土结构的设计标准及技术规范。破损阶段设计法与容许应力法的主要区别是前者考虑了混凝土材料的塑性性能。在此基础上,按破损阶段设计法计算构件截面的承载能力,要求构件截面的承载能力(如弯矩、轴力和剪力等)不小于由外荷载产生的内力乘以安全系数。后来,对荷载和材料强度变异性进行进一步研究,20世纪50年代又提出了更为合理的极限状态设计法,奠定了现代钢筋混凝土结构的基本计算理论。

第三阶段:从第二次世界大战后至今。随着各国城市战后的恢复和重建,混凝土结构有了更快的发展,进入了第三个发展时期。随着高强混凝土和高强钢筋的出现,预制装配式混凝土结构、高效预应力混凝土结构、泵送商品混凝土以及各种新的施工技术 etc 广泛地应用于各类土木工程,如超高层建筑、大跨度桥梁、跨海隧道、高耸结构等大型结构工程,成为现代土木工程的标志。在设计计算理论方面,对荷载和材料强度的研究引进概率方法和统计分析,结构可靠度理论的研究也有了很大进展,计算理论已发展到以概率理论为基础的极限状态设计法、三维混凝土结构非线性分析,钢筋混凝土结构的理论研究得到了很大的发展。

19世纪末20世纪初,我国也开始有了混凝土结构,但工程规模很小,发展十分缓慢。1908年建造的上海电话公司大楼是我国最早的钢筋混凝土框架结构。1949年新中国成立后,随着大规模社会主义建设事业的蓬勃发展,混凝土结构才逐步在建筑和土木工程中得到迅速的发展和广泛的应用。

1.2.2 混凝土结构的应用与发展

1. 混凝土结构的应用

伴随混凝土结构的发展,混凝土结构在土木工程各领域中得到了极其广泛的应用。以下列举部分现代混凝土结构项目。

1996年建成的广州中信广场,80层,高391m,是世界上最高的钢筋混凝土建筑结构。

1998年建成的马来西亚吉隆坡 City Center 的双塔大厦,88层,高452m,采用的是钢骨混凝土结构。

2008年建成的上海环球金融中心,地上101层,地下3层,高492m,采用的是筒中筒结构体系,其中内筒为钢筋混凝土结构,外筒为型钢混凝土框架,目前是世界第四高楼。