

建筑结构(上)

(第2版)

主 编 姚荣 朱平华



北京理工大学出版社



高等职业教育“十三五”规划教材

建 筑 结 构(上)

(第 2 版)

主 编 姚 荣 朱平华
副主编 鞠琳波 崔海军
参 编 王新杰 何 霞 雍玉鲤
主 审 金伟良

内 容 提 要

本书以最新建筑结构系列国家标准规范为依据进行编写,以房屋建筑中的钢筋混凝土结构构件作为主要内容。全书共分7章,主要内容包括绪论、钢筋与混凝土材料的物理力学性能、混凝土结构的设计方法、钢筋混凝土受弯构件、钢筋混凝土纵向受力构件、钢筋混凝土受扭构件、预应力混凝土构件等。

本书内容系统、新颖、实用,可作为高职高专院校建筑工程技术等相关专业的教材,也可供相关技术和管理人员自学和参考使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构. 上/姚荣,朱平华主编. —2版. —北京:北京理工大学出版社,2018.6
(2018.7重印)

ISBN 978—7—5682—5704—6

I. ①建… II. ①姚… ②朱… III. ①建筑结构—高等学校—教材 IV. ①TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 116708 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(总编室)

(010)82562903(教材售后服务热线)

(010)68948351(其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京紫瑞利印刷有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 15.5

字 数 / 376 千字

版 次 / 2018 年 6 月第 2 版 2018 年 7 月第 2 次印刷

定 价 / 42.00 元

责任编辑 / 钟 博

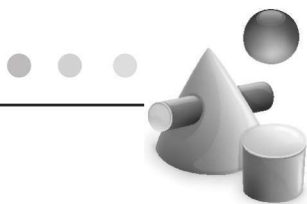
文案编辑 / 钟 博

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题,本社负责调换

第2版前言



建筑工程技术专业教学改革的深入进行及教学标准的发布实施,部分国家规范、行业标准的修订更新,对高职高专院校“建筑结构”课程提出了新的教学要求。为更好地贯彻实施标准,适应教学改革、建筑结构发展的需要,保持教材内容的先进性,培养服务于建筑行业的生产和管理第一线的高素质、高技能工程应用型人才,作者在原书的基础上广泛征求意见,并作了调研分析,根据高职教育理论与实践并重,本着“必需、够用”的原则对原版教材进行修订。

本书主要的修订内容如下:

- (1) 精简了钢筋混凝土单层厂房排架结构和框架结构部分内容。
- (2) 修改了混凝土结构所属的章节中与现行规范不一致和疏漏、错误的内容。
- (3) 修改了单向板楼盖设计实例,同时考虑施工方便,将板的配筋改为更便于工程应用的分离式配筋。
- (4) 砌体结构计算部分中,砌体强度设计值调整系数采用新规范,淘汰了一些低强度等级的块材,按现行规范修改了若干表格规定。
- (5) 修改了少数课后习题中计算题的数值,使计算结果更符合工程实际。

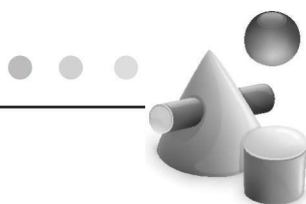
本书按照最新颁布实施的建筑结构标准规范编写,在编写过程中,力求阐述清晰,便于自学。书中每章末尾均有小结,包含简答题、填空题、判断选择题与计算题共4种类型的思考题与习题,中间辅以若干例题。

本书由扬州市职业大学姚荣、常州大学朱平华担任主编,由无锡城市职业技术学院鞠琳波、扬州工业职业技术学院崔海军担任副主编,常州大学王新杰、扬州市职业大学何霞、雍玉鲤参与了本书部分章节的编写工作。具体编写分工为:姚荣编写第2、7、10章及4.1节,何霞编写第6章,雍玉鲤参与修订第8章和第10章,朱平华编写第1、3、8章及9.2~9.5节,王新杰编写第11章,鞠琳波编写5.4、9.1节,崔海军编写4.2~4.3节、5.1~5.3节,姚荣负责全书的修订工作。全书由浙江大学金伟良主审,并提出了宝贵建议,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,错误之处在所难免,欢迎广大读者批评指正。

编 者

第 1 版前言



本书是为土木工程专业选修建筑工程课程群的本科生与专科生编写的教材，按 2010 年新规范编写，内容包括：绪论、钢筋与混凝土材料的物理力学性能、混凝土结构的设计方法、钢筋混凝土受弯构件、钢筋混凝土纵向受力构件、钢筋混凝土受扭构件、预应力混凝土构件、钢筋混凝土楼盖结构、钢筋混凝土单层工业厂房及多高层房屋、砌体结构和钢结构。

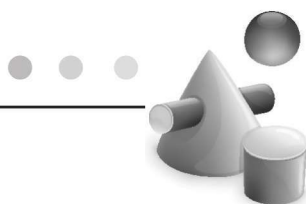
本书按照我国最新版《混凝土结构设计规范》（GB 50010—2010）编写。在编写过程中，力求阐述清晰，便于自学。书中每章末尾均有小结，包含简答题、填空题、判断选择题与计算题共 4 种类型的思考题与习题，中间辅以若干例题。

本书由常州大学朱平华（第 1、3、8 章，9.2～9.5 节）、王新杰（第 11 章），扬州市职业大学姚荣（第 2、7、10 章，4.1 节）、何霞（第 6 章），无锡城市职业技术学院鞠琳波（5.4、9.1 节），扬州工业职业技术学院崔海军（4.2～4.3 节、5.1～5.3 节）编写；本书由朱平华、姚荣主编，由朱平华统稿。浙江大学金伟良教授审阅了全部书稿，并提出了宝贵建议，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，错误之处在所难免，欢迎批评指正。

编 者

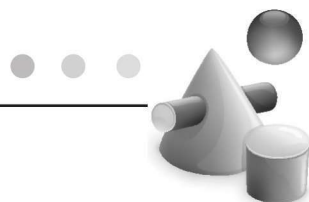
目 录



第 1 章 绪论	1	2.3 钢筋与混凝土的黏结性能	20
1.1 混凝土结构的一般概念	1	2.3.1 钢筋与混凝土之间的黏结 机理	20
1.2 混凝土结构的发展概况	3	2.3.2 保证钢筋和混凝土之间黏结力 的措施	22
1.2.1 发展阶段	3	本章小结	23
1.2.2 应用	3	思考题与习题	23
1.2.3 拓展	4		
1.3 结构的分类	5	第 3 章 混凝土结构的设计方法	25
1.4 结构选型、布置原则与分析 方法	6	3.1 概念设计和数值设计	25
1.4.1 结构选型原则	6	3.2 结构设计的基本原则	27
1.4.2 结构布置原则	6	3.2.1 结构的功能要求	27
1.4.3 混凝土结构的分析方法	7	3.2.2 结构的极限状态	28
1.5 主要内容与学习重点	7	3.2.3 建筑结构设计状况	30
1.5.1 主要内容	7	3.2.4 结构设计原则和方法	30
1.5.2 学习重点	8	3.3 实用设计表达式	33
思考题与习题	8	3.4 建筑结构设计过程	36
		思考题与习题	38
第 2 章 钢筋与混凝土材料的物理力学 性能	9	第 4 章 钢筋混凝土受弯构件	41
2.1 钢筋	9	4.1 受弯构件正截面受弯承载力 计算	41
2.1.1 钢筋的品种及级别	9	4.1.1 一般构造要求	41
2.1.2 钢筋的强度和变形	10	4.1.2 受弯构件正截面试验 研究	45
2.1.3 钢筋的选用原则	12	4.1.3 受弯构件正截面承载力计算 原则	49
2.2 混凝土	13		
2.2.1 混凝土的强度	13		
2.2.2 混凝土的变形	16		
2.2.3 混凝土的选用原则	20		

4.1.4	界限相对受压区高度与最小配筋率	50	5.3	偏心受压构件的正截面承载力分析	122
4.1.5	单筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	51	5.3.1	偏心受压构件的破坏形态及其特征	123
4.1.6	双筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	57	5.3.2	大、小偏心受压的分界	124
4.1.7	T形截面受弯构件正截面承载力计算	62	5.3.3	纵向弯曲对其承载力的影响	124
4.2	受弯构件斜截面受剪承载力计算	69	5.3.4	矩形截面偏心受压构件的正截面承载力计算	126
4.2.1	无腹筋梁的斜截面受剪承载力	69	5.4	受拉构件	138
4.2.2	有腹筋梁的斜截面受剪承载力	72	5.4.1	轴心受拉构件的正截面承载力计算	138
4.2.3	斜截面受弯承载力构造要求	80	5.4.2	偏心受拉构件的正截面承载力计算	139
4.3	钢筋混凝土构件正常使用极限状态验算	89	5.4.3	偏心受拉构件的斜截面受剪承载力	142
4.3.1	抗裂验算	89	本章小结	143	
4.3.2	裂缝宽度验算	92	思考题与习题	143	
4.3.3	变形验算	98			
本章小结	103				
思考题与习题	104				
第5章 钢筋混凝土纵向受力构件	110	第6章 钢筋混凝土受扭构件	147		
5.1	受压构件的基本构造要求	110	6.1	受扭构件的分类	147
5.1.1	受压构件的分类	110	6.2	纯扭构件的承载力	148
5.1.2	截面形式及尺寸	110	6.2.1	矩形截面纯扭构件的破坏形态	148
5.1.3	材料强度等级	111	6.2.2	矩形截面纯扭构件的承载力计算	149
5.1.4	纵向钢筋	111	6.3	弯剪扭共同作用下的构件承载力	153
5.1.5	箍筋	112	6.3.1	矩形截面剪扭构件的承载力计算	154
5.2	轴心受压构件的正截面承载力	114	6.3.2	矩形截面弯扭构件的承载力计算	156
5.2.1	普通箍筋轴心受压柱的受力性能与承载力计算	114	6.3.3	矩形截面弯剪扭构件的承载力计算	157
5.2.2	间接钢筋轴心受压柱的受力性能与承载力计算	120	6.4	构造要求	158
			本章小结	161	
			思考题与习题	161	

第 7 章 预应力混凝土构件	163	7.4 预应力混凝土轴心受拉构件的 计算和验算	182
7.1 概述	163	7.4.1 正截面受拉承载力	182
7.2 张拉控制应力和预应力 损失	168	7.4.2 裂缝控制验算	182
7.2.1 张拉控制应力	168	7.4.3 施工阶段验算	183
7.2.2 预应力损失及减小预应力 损失的措施	169	7.5 预应力混凝土构件的构造 要求	190
7.2.3 预应力损失值的组合	174	7.5.1 先张法构件	190
7.3 预应力混凝土轴心受拉构件的 应力分析	174	7.5.2 后张法构件	191
7.3.1 先张法构件	175	本章小结	192
7.3.2 后张法构件	178	思考题与习题	192
7.3.3 先张法和后张法的 比较	181	附表	195
		参考文献	240



1.1 混凝土结构的一般概念

混凝土结构是以混凝土为主要建筑材料制成的结构,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。这种结构广泛应用于建筑、桥梁、隧道、矿井以及水利、港口等工程。我国年均混凝土用量为 $15 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中房屋建筑用量为 $9 \times 10^8 \text{ m}^3$, 钢筋用量为 $2\,000 \times 10^4 \text{ t}$, 用于混凝土结构的资金达 2 000 亿元以上。

混凝土材料的抗压强度较高,而抗拉强度却很低。因此,素混凝土结构的应用受到很大限制。例如,图 1.1(a)所示的素混凝土梁,随着荷载的逐渐增大,梁中拉应力及压应力也不断增大。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,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破坏。这种梁的破坏很突然,其受压区混凝土的抗压强度未被充分利用,并且由于混凝土的抗拉强度很低,故其极限承载力也很低。所以,对于在外荷载作用下或由于其他原因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,混凝土主要承受压力,而钢筋则主要承受拉力,这就成为钢筋混凝土结构。例如,图 1.1(b)所示作用集中荷载的钢筋混凝土梁,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。因为钢筋与混凝土牢固地黏结在一起,故在裂缝截面原由混凝土承受的拉力现转由钢筋承受;由于钢筋的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开展,使其不会无限制地向上延伸而使梁发生断裂破坏。如此一来,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,且这种梁的极限承载力大大超过同样条件的素混凝土梁。

钢筋的抗压强度也很高,所以,在轴心受压柱[图 1.1(c)]中也配置纵向受压钢筋与混凝土共

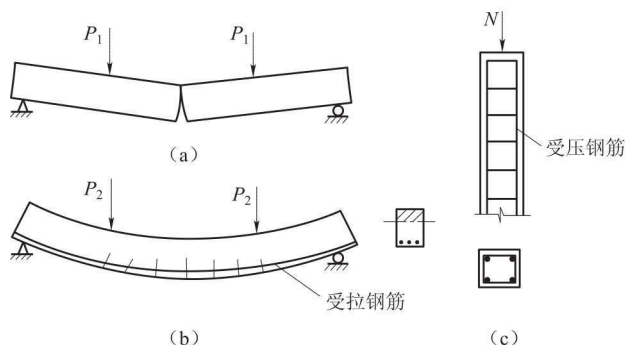


图 1.1 素混凝土梁及钢筋混凝土梁、柱

同承受压力,以提高柱的承载能力和变形能力,减小柱截面的尺寸,其还可负担某种原因所引起的弯矩和拉应力。

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产生的拉应力,这就是预应力混凝土结构;也可在混凝土中加入各种纤维筋(如钢纤维、碳纤维筋等),形成纤维加强混凝土结构。

钢筋与混凝土是两种力学性能完全不同的材料,它们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黏结力,使两者能结合在一起。在外荷载的作用下,结构中的钢筋与混凝土协调变形,共同工作。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)钢筋与混凝土两种材料的温度线膨胀系数很接近,钢材为 1.2×10^{-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,使黏结力遭到破坏。

(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,而且使其受压时不致失稳,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,这是保持两者共同作用的必要措施。

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(例如矿渣、粉煤灰等)比较多的地方,可利用工业废料制成人造集料,用于混凝土结构。

(2)耐久性好。处于正常条件下的混凝土耐久性好,高性能混凝土的耐久性更好。在混凝土结构中,钢筋受到保护而不易锈蚀。处于侵蚀性环境下的混凝土结构,经过合理设计及采取有效措施后,一般可满足工程需要。

(3)耐火性好。混凝土为不良导热体,埋置在混凝土中的钢筋,受到高温的影响远小于暴露在空气中的钢筋。只要钢筋表面的混凝土保护层具有一定厚度,在发生火灾时钢筋不会很快软化,即可避免结构倒塌。

(4)整体性良好。现浇或装配整体式混凝土结构具有良好的整体性,从而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。

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

(6)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,它能节约钢材并降低造价。

混凝土结构的主要缺点如下:

(1)自重大。混凝土结构自身重力较大,这样它所能负担的有效荷载相对较小。这对大跨度结构、高层建筑结构都不利。另外,自重大会使结构地震作用加大,故对结构抗震也不利。

(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)需要模板。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。

另外,混凝土结构施工工序复杂,周期较长,而且易受季节气候影响;对于现役混凝土结构,如遇损坏则修复困难;其隔热、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有所改进。如采用轻质、高强度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,使其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。

结构在其使用年限内,要承受各种永久荷载和可变荷载,有些结构可能还要承受偶然荷载。除此之外,结构在其使用年限内,还将受到温度、收缩、徐变、地基不均匀沉降等的影响。在地震区,结构还可能承受地震的作用。在上述各种因素的作用下,结构应具有足够的承载能力,不发生整体或局部的破坏或失稳。结构还应具有足够的刚度,不产生过大的挠度或侧移。对于混凝土结构而言,其还应具有足够的抗裂性,满足裂缝控制要求。此外,混凝土结构要有足够的耐久性。在规定的使用年限内,钢材不出现严重腐蚀,混凝土等材料不发生严重劈裂、腐蚀、风化及剥落等现象。

1.2 混凝土结构的发展概况

1.2.1 发展阶段

混凝土结构的应用约有 150 年的历史,可大致划分为四个阶段。1850 年到 1920 年为第一阶段,这时由于钢筋和混凝土的强度都很低,其仅能用于建造一些小型的梁、板、柱、基础等构件,钢筋混凝土本身的计算理论尚未建立,需按弹性理论进行结构设计;1920 年到 1950 年为第二阶段,这时人们已用混凝土建成各种空间结构,发明了预应力混凝土并将之应用于实际工程,开始按破损阶段进行构件截面设计;1950 年到 1980 年为第三阶段,由于材料强度的提高,混凝土单层房屋和桥梁结构的跨度不断增大,混凝土高层建筑的高度已达 262 m,混凝土的应用范围进一步扩大,各种现代化施工方法普遍采用,同时人们广泛采用预制构件,结构构件设计已过渡到按极限状态的设计方法。

从 1980 年起,混凝土结构的发展进入第四阶段。尤其是近十余年来,大模板现浇和大板等工业化体系进一步发展,高层建筑新结构体系(如框桁架体系和外伸结构等)有较多的应用。振动台试验、拟动力试验和风洞试验较普遍地开展。计算机辅助设计和绘图的程序化,改进了设计方法并提高了设计质量,也减轻了设计工作量。非线性有限元分析方法的广泛应用,推动了混凝土强度理论和本构关系的深入研究,并形成了“近代混凝土力学”这一分支学科。结构构件的设计已采用以概论理论为基础的极限状态设计方法。

1.2.2 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。

混凝土强度随着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 ℃ 的高温;钢纤维混凝土和聚合物混凝土,防射线、耐磨、耐腐蚀、防渗透、保温等有特殊性能的混凝土也应用于实际工程之中。

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。需特别指出的有:1996年建成的广州中信广场(80层,高391 m)是当时世界上最高的钢筋混凝土结构高楼;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),这两幢房屋均采用钢-混凝土建筑结构;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,其中,横穿混凝土核心筒的三道8 m高的多方位外伸钢桁架,为世界高层建筑所罕见;上海浦东环球金融中心大厦(地上101层,高492 m),内筒为钢筋混凝土结构,塔楼核心筒和巨型柱施工水平世界先进;世界上已知建造高度在800 m以上的塔楼,有日本东京的千禧年塔楼(Millennium Tower,高840 m),以及迪拜的哈利法塔(高828 m)。

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,也有相当多的大跨度桥梁采用混凝土结构建造。如1991年建成的挪威Skarnsundet预应力斜拉桥,跨度达530 m;重庆长江二桥为预应力混凝土斜拉桥,跨度达444 m;虎门大桥中的辅航道桥为预应力混凝土刚架公路桥,跨度达270 m;攀枝花预应力混凝土铁路刚架桥,跨度达168 m。公路混凝土拱桥应用也较多,其中突出的如1997年建成的四川万县长江大桥,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,跨长为420 m;330 m的贵州江界河桁架式组合拱桥、312 m的广西邕宁江中承式拱桥等均为混凝土桥。

隧道及地下工程多采用混凝土结构建造。我国修建了大量的铁路隧道,许多城市建有地铁、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。如瑞士的大狄仁桑坝,高285 m;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190 m,设计装机容量为 $1\,820\times 10^4$ kW。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;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;瑞典建成容积为 $10\,000\text{ m}^3$ 的预应力混凝土水塔,我国山西云冈建成两座容量为 $6\times 10^4\text{ t}$ 的预应力混凝土煤仓。

1.2.3 拓展

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很多新进展,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(2015年版)》(GB 50010—2010)将强度等级大于C50的混凝土划分为高强度混凝土。高强度混凝土的强度高、变形小、耐久性好,适应现代工程结构向大跨、重载、高耸发展的趋势和承受恶劣环境条件的需要。配



高性能混凝土研究
现状及发展方向

置高强度混凝土必须采用很低的水胶比，并应掺入粉煤灰、矿渣、沸石灰、硅粉等混合料。在混凝土中加入高效减水剂，可有效降低水胶比；掺入粉煤灰、矿渣、沸石灰，则能有效改善混凝土拌合料的工作度，提高硬化后混凝土的力学性能和耐久性；硅粉对提高混凝土的强度最为有效，并使混凝土具有耐磨和耐冲刷的特性。

高强度混凝土在受压时，表现出较小的塑性和较大的脆性，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。在某些结构上混凝土的应用受到限制，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，其抗拉、抗剪、抗折强度和抗裂、抗冲击、抗疲劳、抗震和抗爆等性能均有较大提高，因而获得较大的发展和应用。

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，有无钢筋纤维混凝土结构和钢纤维钢筋混凝土结构。钢纤维混凝土结构的应用很广，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。



纤维的分类

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，能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，主要用于提高水泥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. 钢与混凝土组合结构

用型钢或钢板焊(或冷压)成钢截面，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，这种结构称为钢与混凝土组合结构。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上海浦东世界环球金融中心大厦的外框筒柱，采用了型钢混凝土柱。我国在电厂建筑中，推广使用了外包钢混凝土结构。

1.3 结构的分类

结构有多种分类方法。在此，将其分成如下三类：

- (1)水平承重结构：如房屋中的楼盖结构和屋盖结构；
- (2)竖向承重结构：如房屋中的框架、排架、钢架、剪力墙、筒体等结构；

(3)底部承重结构：如房屋中的地基和基础。

这三类承重结构的荷载传递关系如图 1.2 所示，即水平承重结构将作用在楼盖、屋盖上的荷载传递给竖向承重结构，竖向承重结构将自身承受的荷载以及水平承重结构传来的荷载传递给基础和地基。

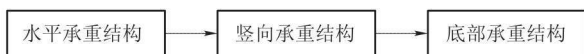


图 1.2 结构的荷载传递关系

将结构作以上分类，不但可以清楚地了解结构中荷载的传递关系，而且可以更为深入地研究各类结构。但应当指出的是，三类承重结构是一个整体，它们相互作用、相互影响。水平承重结构将荷载传递给竖向承重结构，水平承重结构有可能是竖向承重结构的组成部分，如楼盖结构中的主梁可能是框架结构中的横梁；竖向承重结构将荷载传递给底部承重结构，底部承重结构的变形也可能使上部结构的内力和变形发生变化。

1.4 结构选型、布置原则与分析方法

1.4.1 结构选型原则

水平承重结构有梁板体系和无梁体系，屋盖结构还有有檩的屋架或屋面大梁体系和无檩的屋架或屋面大梁体系；竖向承重结构有框架、排架、钢架、剪力墙、框架-剪力墙、筒体等多种体系；底部承重结构有独立基础、条形基础、筏形基础、箱形基础、桩基础等许多基础形式；地基有天然地基和人工地基之分。

进行结构设计时，首先要选择结构形式。结构选型是否合理，不但关系到是否满足使用要求和结构受力是否可靠，而且也关系到是否经济和方便施工等问题。结构选型的基本原则是：满足使用要求；受力性能好；施工简便；经济合理。

1.4.2 结构布置原则

所谓结构布置，就是要确定哪里设梁、哪里设柱、哪里设墙等问题。结构布置应遵循以下原则：

- (1)在满足使用要求的前提下，沿结构的平面和竖向应尽可能简单、规则、均匀、对称，避免发生突变；
- (2)荷载传递路线明确，结构计算简图简单并易于确定；
- (3)结构的整体性好，受力可靠；
- (4)施工简便；
- (5)经济合理。

此外，在平面尺寸较大的建筑中，要考虑是否设置温度伸缩缝的问题。在地基不均匀或不同部位的高度、荷载相差较大的房屋中，要考虑沉降缝的设置问题。在地震区，当房屋相距很近或房屋中设有温度伸缩缝(或沉降缝)时，为了防止地震时房屋与房屋之间或同一房屋中不同结构单元之间相互碰撞造成房屋毁坏，应考虑设置防震缝。温度伸缩缝、沉

降缝和防震缝统称为变形缝。当房屋中需要同时设置以上三种变形缝时，应尽可能将它们设置在同一位置处。

1.4.3 混凝土结构的分析方法

混凝土结构分析应符合下列要求：①满足力学平衡条件；②在不同程度上符合变形协调条件，包括节点和边界的约束条件；③采用合理的材料或构件单元的本构关系。

混凝土结构分析的常用方法包括：①线弹性分析方法；②考虑塑性内力重分布的分析方法；③塑性极限分析方法；④非线性分析方法；⑤试验分析方法。

1.5 主要内容与学习重点

1.5.1 主要内容

混凝土结构按其构成的形式，可分为实体结构和组合结构两大类。大坝、桥墩、基础等通常为实体，称为实体结构；建筑、桥梁、地下等工程中的混凝土结构通常由杆和板组成，称为组合结构。其中，杆包括直杆(梁、柱等)和曲杆(拱、曲梁等)，板包括平板(楼板等)和竖板(墙)。如按结构构件的主要受力特点来区分，上述结构构件可分为以下几类：

(1)受弯构件，如梁、板等。这类构件的截面上有弯矩作用，故称为受弯构件。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，还需考虑剪力的作用。

(2)受压构件，如柱、墙等。这类构件都有压力作用。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，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，在竖向荷载和水平力的共同作用下，有的柱截面上除产生剪力和弯矩外，还可能出现拉力，这种构件则为偏心受拉构件。

(4)受扭构件，如曲梁、框架结构的边梁等。这类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。

在混凝土结构设计中，首先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。

本书重点介绍了三类承重结构：

(1)混凝土梁板结构。其重点介绍了整体式单向板梁板结构、整体式双向板梁板结构、整体式楼梯和雨篷的设计计算方法。

(2)单层厂房结构。其重点介绍了单层厂房的结构类型和结构体系、结构组成和荷载传递、结构布置、构件选型与截面尺寸确定、排架结构内力分析、柱的设计、牛腿的设

计等内容。

(3)多层与高层框架结构。其重点介绍了结构布置方法、截面尺寸估算、计算简图的确定、荷载计算、内力计算与组合、配筋计算及抗震构造要求等内容。

1.5.2 学习重点

如上所述,本课程主要讲述混凝土结构及构件的基本理论,因为钢筋混凝土是由非线性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,因而本课程的内容更为丰富,有不同于一般材料力学的一些特点,学习时应予以注意。本书的学习重点如下:

- (1)掌握土木工程对钢筋、混凝土的性能要求与选用原则;
- (2)掌握荷载与材料强度的取值方法,掌握极限状态实用设计表达式的基本概念及应用;
- (3)掌握受弯构件、受压构件、受拉构件的计算方法,了解受扭构件的计算方法;
- (4)掌握结构计算简图的确定方法及各构件截面尺寸的估算方法;
- (5)掌握结构在各种荷载下的内力计算与内力组合方法;
- (6)掌握结构的配筋计算及构造要求。



思考题与习题

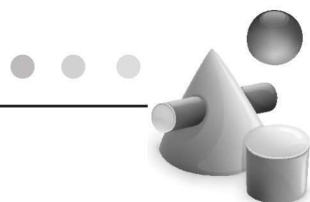
一、思考题

- 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?如何克服存在的缺点?
- 1.4 结构选型与结构布置应遵循哪些原则?
- 1.5 本课程主要包括哪些内容?学习时应注意哪些问题?

二、填空题

- 1.6 混凝土结构是_____、_____和_____的总称。
- 1.7 钢筋和混凝土的物理、力学性能不同,它们能够结合在一起共同工作的主要原因在于_____、_____和_____。
- 1.8 结构布置时,在满足使用要求的前提下,沿结构的平面和竖向应尽可能简单、_____,均匀、_____,避免发生突变。
- 1.9 结构选型的基本原则是:满足使用要求、_____,_____与经济合理。

第 2 章 钢筋与混凝土材料的 物理学性能



2.1 钢 筋

钢筋在混凝土结构中起到提高其承载能力、改善其工作性能的作用。了解钢筋的品种及其力学性能是合理选用钢筋的基础,而合理选用钢筋是混凝土结构设计的前提。混凝土结构中使用的钢材不仅要求有较高的强度、良好的变形性能(塑性)和可焊性,而且与混凝土之间应有良好的黏结性能,以保证钢筋与混凝土能很好地共同工作。

2.1.1 钢筋的品种及级别

混凝土结构中使用的钢筋,按化学成分,可分为碳素钢和普通低合金钢两大类;按生产工艺和强度,可分为热轧钢筋、中高强度钢丝、钢绞线和冷加工钢筋;按表面形状可分为光圆钢筋和带肋钢筋等。在一些大型的、重要的混凝土结构或构件中,也可以将型钢置入混凝土中形成劲性钢筋。碳素钢除含有铁元素外,还含有少量的碳、锰、硅、磷、硫等元素。含碳量越高,钢材的强度越高,但变形性能和可焊性越差。钢材通常可分为低碳钢(含碳量小于 0.25%)和高碳钢(含碳量为 0.6%~1.4%)。碳素钢中加入少量的合金元素,如锰、硅、镍、钛、钒等,生成普通低合金钢,如 20MnSi、20MnSiV、20MnSiNb、20MnTi 等。

《混凝土结构设计规范(2015 年版)》(GB 50010—2010)(以下简称《结构规范》)规定混凝土结构中使用的钢筋主要有热轧钢筋、热处理钢筋和钢丝、钢绞线等。

1. 热轧钢筋

热轧钢筋主要用于钢筋混凝土结构中,也用于预应力混凝土结构中作为非预应力钢筋使用。常用热轧钢筋按其强度由低到高,分为 HPB300、HRB335、HRB400、HRBF400 和 RRB400、HRB500、HRBF500 七种,其符号和强度标准值范围见附表 1。HPB300 钢筋为低碳钢,其余均为普通低合金钢。RRB400 钢筋为余热处理钢筋,其屈服强度与 HRB400 级钢筋相同,但热稳定性能不如 HRB400 级钢筋,焊接时在热影响区强度有所降低。HRBF 系列的钢筋指细晶粒热轧带肋钢筋。

除 HPB300 钢筋为光圆钢筋外,其余强度较高的钢筋均为表面带肋钢筋,带肋钢筋的表面肋形主要有月牙纹和等高肋(螺纹、“人”字纹)。

等高肋钢筋中,螺纹钢筋和“人”字纹钢筋的纵肋和横肋都相交,差别在于螺纹钢筋表面的肋形方向一致,而“人”字纹钢筋表面的肋形方向不一致,形成“人”字。月牙纹钢筋表面无纵肋,横肋在钢筋横截面上的投影呈月牙状。月牙纹钢筋与混凝土的黏结性能略低于