



高等学校土木工程专业“十二五”系列规划教材·应用型

混凝土结构基本原理

● 主编 李章政 郝献华 主审 贾正甫



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高等学校土木工程专业“十二五”系列规划教材·应用型

混凝土结构基本原理

主 编 李章政 郝献华
副主编 刘松岸 方冬慧 陈吉娜
主 审 贾正甫



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP) 数据

混凝土结构基本原理/李章政,郝献华主编. —武汉:武汉大学出版社,2013.8
高等学校土木工程专业“十二五”系列规划教材·应用型
ISBN 978-7-307-11304-6

I. 混… II. ①李… ②郝… III. 混凝土结构—高等学校—教材 IV. TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 145050 号

责任编辑:余 梦

责任校对:希 文

装帧设计:吴 极

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:whu_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:荆州市鸿盛印务有限公司

开本:850×1168 1/16 印张:17.5 字数:477 千字

版次:2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-11304-6 定价:33.00 元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

高等学校土木工程专业“十二五”系列规划教材·应用型

编审委员会

顾 问 王世庆 刘 华 杨家仕 戴运良

主 任 委 员 康志华 张志国

副主任委员 罗特军 李平诗 张来仪 何志伟 邹 皓 杨乃忠

王君来 周家纪 袁自峰

委 员(按姓氏笔画排名)

王若志 王星捷 王小明 王涯茜 白立华 刘 琛

李 然 李忠定 李章政 吴浙文 张士彩 尚晓峰

郝献华 胡益平 段 旻 韩俊强 蒲小琼 蔡 巍

魏泳涛

总责任编辑 曲生伟

秘 书 长 王 睿

特别提示

教学实践表明,有效地利用数字化教学资源,对于学生学习能力以及问题意识的培养乃至怀疑精神的塑造具有重要意义。

通过对数字化教学资源的选取与利用,学生的学习从以教师主讲的单向指导的模式而成为一次建设性、发现性的学习,从被动学习而成为主动学习,由教师传播知识而到学生自己重新创造知识。这无疑是锻炼和提高学生的信息素养的大好机会,也是检验其学习能力、学习收获的最佳方式和途径之一。

本系列教材在相关编写人员的配合下,将逐步配备基本数字教学资源,其主要内容包括:

课程教学指导文件

- (1)课程教学大纲;
- (2)课程理论与实践教学学时;
- (3)课程教学日历:授课内容、授课时间、作业布置;
- (4)课程教学讲义、PowerPoint 电子教案。

课程教学延伸学习资源

- (1)课程教学参考案例集:计算例题、设计例题、工程实例等;
- (2)课程教学参考图片集:原理图、外观图、设计图等;
- (3)课程教学试题库:思考题、练习题、模拟试卷及参考解答;
- (4)课程实践教学(实习、实验、试验)指导文件;
- (5)课程设计(大作业)教学指导文件,以及典型设计范例;
- (6)专业培养方向毕业设计教学指导文件,以及典型设计范例;
- (7)相关参考文献:产业政策、技术标准、专利文献、学术论文、研究报告等。

基本数字教学资源网站链接:<http://www.stmpress.cn>

前 言

本书为“高等学校土木工程专业‘十二五’系列规划教材·应用型”之一。

“混凝土结构基本原理”课程是土木工程专业知识体系的重要组成部分,从属于结构基本原理和方法知识领域。本书依据《高等学校土木工程本科指导性专业规范》所提出的知识单元和知识点,并参考现行国家规范《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)和《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)编写而成。本书内容涉及混凝土结构设计的理论基础、建筑结构上的荷载、材料的性能及设计指标取值、钢筋混凝土构件的设计计算和构造要求、预应力混凝土构件设计、素混凝土构件设计等。本书可作为土木工程专业建筑工程方向以及工程管理、工程造价等相关专业的教材,同时,还可作为工程技术人员、设计人员准备注册考试和知识更新的参考书。

全书共分9章和2个附录。其中附录2是设计计算用表格,需要时可直接查用。本书的基础部分是第1章绪论、第2章混凝土结构设计基础和第3章混凝土结构材料的性能;重点在于钢筋混凝土构件设计,包括第4章钢筋混凝土受弯构件承载力、第5章钢筋混凝土受压构件承载力、第6章钢筋混凝土受拉构件承载力、第7章钢筋混凝土受扭构件承载力和第8章钢筋混凝土构件正常使用极限状态验算;第9章预应力混凝土构件,对于不同的学校和不同的专业层次,该章可以作为重点,也可以不作为重点;附录1素混凝土结构构件设计,仅供学生参考,不必讲授。完成全书的教学计划,大约需要60学时。为了巩固基本概念、熟悉构造要求、掌握计算方法,每章后面还配有思考题、选择题、习题(设计计算题)。

本书由四川大学李章政、中国矿业大学银川学院郝献华担任主编;成都理工大学工程技术学院刘松岸、四川大学锦城学院方冬慧、石家庄铁道大学四方学院陈吉娜担任副主编;成都理工大学工程技术学院王锋、四川大学锦江学院李倩担任参编。

具体编写分工为:

四川大学,李章政(前言、第1章、第2章、第3章、附录);

成都理工大学工程技术学院,刘松岸(第4章);

成都理工大学工程技术学院,王锋(第5章);

石家庄铁道大学四方学院,陈吉娜(第6章);

四川大学锦城学院,方冬慧(第7章);

四川大学锦江学院,李倩(第8章);

中国矿业大学银川学院,郝献华(第9章)。

四川大学贾正甫副教授担任本书主审,详细审阅了编写大纲和全部书稿,并提出了宝贵的修改意见,特此致谢。

在本书的编写过程中参考了有关书籍,并从中引用了部分例题和习题,在此表示感谢。

书中如有不妥之处,敬请读者提出指正。

编 者

2013年5月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 混凝土结构的概念	(1)
1.2 混凝土结构的应用	(3)
1.3 混凝土结构的构件体系	(7)
1.4 混凝土结构设计理论的发展	(8)
1.5 课程的特点和要求	(10)
本章小结	(11)
习题与思考题	(12)
参考文献	(13)
2 混凝土结构设计基础	(14)
2.1 混凝土设计的几个概念	(14)
2.2 建筑结构上的作用与荷载	(16)
2.3 结构的功能要求和极限状态	(21)
2.4 结构可靠度理论	(24)
2.5 结构极限状态设计方法	(28)
本章小结	(32)
习题与思考题	(33)
参考文献	(34)
3 混凝土结构材料的性能	(35)
3.1 混凝土的力学性能	(35)
3.2 钢筋的种类及其性能	(43)
3.3 材料强度取值	(49)
3.4 钢筋与混凝土的粘结	(52)
3.5 钢筋代换	(56)
本章小结	(57)
习题与思考题	(57)
参考文献	(59)
4 钢筋混凝土受弯构件承载力	(60)
4.1 钢筋混凝土受弯构件的一般构造规定	(60)
4.2 钢筋混凝土受弯构件正截面受力特点	(64)
4.3 钢筋混凝土受弯构件正截面承载力	(75)
4.4 钢筋混凝土受弯构件斜截面受剪承载力	(90)
4.5 钢筋混凝土受弯构件斜截面受弯承载力	(106)
本章小结	(113)
习题与思考题	(113)

参考文献	(115)
5 钢筋混凝土受压构件承载力	(116)
5.1 钢筋混凝土受压构件及其构造要求	(116)
5.2 钢筋混凝土轴心受压构件正截面承载力计算	(118)
5.3 偏心受压构件正截面受力特点	(123)
5.4 钢筋混凝土矩形截面偏心受压构件正截面承载力计算	(128)
5.5 钢筋混凝土 I 形截面偏心受压构件正截面承载力计算	(138)
5.6 钢筋混凝土偏心受压构件斜截面承载力计算	(143)
本章小结	(144)
习题与思考题	(144)
参考文献	(145)
6 钢筋混凝土受拉构件承载力	(146)
6.1 钢筋混凝土受拉构件分类及构造要求	(146)
6.2 钢筋混凝土轴心受拉构件承载力计算	(148)
6.3 钢筋混凝土偏心受拉构件正截面承载力计算	(149)
6.4 钢筋混凝土偏心受拉构件斜截面承载力计算	(153)
本章小结	(153)
习题与思考题	(154)
参考文献	(154)
7 钢筋混凝土受扭构件承载力	(155)
7.1 钢筋混凝土受扭构件的受力特点及构造要求	(155)
7.2 钢筋混凝土矩形截面纯扭构件承载力计算	(162)
7.3 钢筋混凝土矩形截面弯剪扭构件承载力计算	(166)
7.4 钢筋混凝土 T 形和 I 形截面受扭构件承载力计算	(172)
本章小结	(174)
习题与思考题	(174)
参考文献	(175)
8 钢筋混凝土构件正常使用极限状态验算	(176)
8.1 钢筋混凝土构件正常使用极限状态的要求	(176)
8.2 钢筋混凝土构件裂缝宽度验算	(177)
8.3 钢筋混凝土受弯构件挠度验算	(182)
8.4 钢筋混凝土构件耐久性设计	(185)
本章小结	(189)
习题与思考题	(189)
参考文献	(190)
9 预应力混凝土构件	(191)
9.1 预应力混凝土概述	(191)
9.2 施加预应力的设备	(197)
9.3 张拉控制应力和预应力损失	(207)
9.4 预应力混凝土轴心受拉构件设计	(213)

9.5 预应力混凝土受弯构件设计	(226)
9.6 无粘结预应力混凝土结构概述	(242)
9.7 预应力混凝土构件的构造措施	(248)
本章小结	(252)
习题与思考题	(253)
参考文献	(255)
附录 1 素混凝土结构构件设计	(256)
附录 2 计算用表格	(260)
参考文献	(266)

1 绪 论

【内容提要】

本章主要内容包括混凝土结构的概念和分类、混凝土结构在工程领域中的应用,基本构件及其受力特点,混凝土结构设计理论的发展过程,该课程的特点和学习要求。

【能力要求】

通过本章的学习,要求学生熟悉混凝土结构的概念和类型,了解工程领域中的各类混凝土结构,掌握钢筋混凝土构件的分类和受力特点,了解结构设计理论的发展历史,知道课程的性质和特点。

1.1 混凝土结构的概念

以水泥、骨料(碎石、砂等)为主要原料,也可加入外加剂和矿物掺和料等材料,经拌和、成型、养护等工艺制作的、硬化后具有较高强度的工程材料,称为水泥混凝土,简称混凝土。以混凝土为主要材料建造的结构,称为混凝土结构。所谓结构,就是能够承受作用并具有适当刚度的由各连接部件有机组合而成的系统。结构也就是建筑物或构筑物的受力骨架体系,以保证建筑物或构筑物的安全性、适用性和耐久性等功能要求。结构在物理上可以区分出的部件或结构的组成部件,称为结构构件。

混凝土结构在实际应用中,根据钢筋的配置情况,可分为素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构三大类。

1.1.1 素混凝土结构

无筋或不配置受力钢筋的混凝土,称为素混凝土。因为混凝土的抗压强度较高,抗拉强度很低,所以素混凝土结构或构件的应用范围十分有限。素混凝土通常用作以受压为主的构件,如柱、墩、基础等;也可用于卧置于地基上的受弯构件,如重力式挡土墙、重力式水坝等;素混凝土可以作为路面结构,承受汽车荷载作用,此时的路面称为普通混凝土路面。

1.1.2 钢筋混凝土结构

钢筋混凝土就是配置受力的普通钢筋、钢筋网或钢筋骨架的混凝土。由钢筋混凝土建造的结构或构件,称为钢筋混凝土结构或构件。在受拉区的钢筋承担拉应力,克服了混凝土抗拉能力弱的缺点;在受压区的钢筋协助混凝土受压,可减小构件截面尺寸,并可提高构件的延性。钢筋混凝土合理地利用了钢筋和混凝土这两种材料的性能,即充分利用混凝土的抗压性能和钢筋的抗拉、抗压性能,是一种比较好的组合形式。

钢筋和混凝土这两种性质不同的材料能够结合在一起长期有效地工作,主要原因在于以下三个方面。

① 钢筋与混凝土的接触面上存在良好的粘结强度,能够传递两者之间的相互作用力,使之共同受力。

② 钢筋与混凝土的温度线膨胀系数很接近,钢筋为 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,混凝土为 $(1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5})/^{\circ}\text{C}$ 。当温度发生变化时,钢筋和混凝土的变形基本相等,不会破坏两者之间的粘结,能够保证结构的整体性。

③ 钢筋包裹于混凝土之中,避免了与大气的接触,提高了防腐蚀的能力,从而保证了耐久性或长期工作的稳定性。

钢筋混凝土结构具有如下优点:

(1) 强度高

与传统的砖木结构相比,钢筋混凝土结构的强度高。在某些情况下,可替代钢结构,可节约钢材、降低造价。

(2) 耐久性好

混凝土将钢筋包裹起来,使其与大气隔绝,钢筋不易锈蚀。与钢结构相比,钢筋混凝土结构的维护成本很低。

(3) 耐火性好

混凝土是不良导热体,传热速度慢,只要有一定的保护层厚度,遭遇火灾时,钢筋在 $1 \sim 2 \text{ h}$ 内不会达到软化温度而导致结构失效。钢筋混凝土结构的耐火极限超过钢结构和木结构。

(4) 可模性好

可模性是指混凝土凝结硬化前可以浇筑成各种形状和尺寸的结构和构件。凝固前的拌和物具有良好的塑性,可形成模界限定的形状和尺寸,适用于复杂的结构,如空心楼板、曲线形梁和拱、薄壁空间结构等。

(5) 整体性好

现浇钢筋混凝土结构在空间浇筑成整体,没有连接部位,刚度较大,抗变形能力强,具有较好的抗震、抗爆炸性能。

(6) 易于就地取材

混凝土中所用的砂、石等天然集料分布广泛,可就地取材;有条件的地方还可以将工业废料或废弃的砖、混凝土等制成人工骨料加以利用。集料不需要长途运输,可降低造价。

钢筋混凝土结构的缺点主要体现在自重大、抗裂性差和施工周期长三个方面。钢筋混凝土结构的自重大,不利于修建大跨度、超高层等结构。钢筋混凝土结构受拉时容易开裂,限制了结构的适用范围。对于抗裂度要求高的结构(比如有防渗要求的结构)不适合采用钢筋混凝土结构,同时,裂缝也对耐久性产生不利影响。现浇钢筋混凝土结构施工工序多,现场湿作业多,需要模板,费工费料,养护期长,工期长,雨天和冬季施工困难。随着技术的进步,以上缺点正在逐渐被克服,比如采用轻质高强混凝土可以减轻结构自重,采用预应力技术可以改善抗裂性能,采用装配式构件可以加快施工进度等。另外,钢筋混凝土结构受损后,补强维修较困难。

1.1.3 预应力混凝土结构

由配置受力的预应力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,称为预应力混凝土结构。混凝土受到的预加应力为压应力,用以全部或部分抵消外力引起的拉应力,使结构或构件在工作时仍然承受压应力,或虽然承受拉应力,但拉应力很小。预应力混凝土可以保证在使用过程中结构或构件不出现裂缝或裂缝宽度很小,增加刚度,减小变形,满足使用要求。

预应力混凝土结构的主要优点在于提高了抗裂度和刚度,克服了钢筋混凝土结构易开裂这一主要缺点。

预应力混凝土结构的应用主要为达到以下两个目的:

(1) 抗裂的目的

使用上要求有较高密闭性或耐久性的结构,如水池、油罐、核反应堆以及受到侵蚀性水等介质作用的工业厂房、水利、海洋、港口工程等建筑物或构筑物,裂缝控制上要求较严,采用预应力混凝土能满足这种要求。

(2) 减小变形的目的

大跨度结构或荷载较大的结构,在外力作用下挠度通常较大,采用钢筋混凝土结构不能满足或很难满足要求。当采用预应力混凝土结构时,可提高刚度,减小变形;同时,在施加预应力(偏心压力)时产生的反拱值,还可以抵消一部分因荷载引起的挠度。因此,房屋结构中大跨度梁、大跨度预制板等通常采用预应力混凝土制作,桥梁结构中的梁式桥(T梁、箱梁)也通常采用预应力混凝土制作,一方面可减小挠度,另一方面也可提高抗裂度。

1.2 混凝土结构的应用

钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构是目前最常用的结构形式,广泛应用于建筑结构、桥梁结构、水工结构、岩土工程结构和特种结构中。据粗略统计,我国每年混凝土用量达40亿立方米,钢筋用量达1亿吨。混凝土和钢筋是重要的工程材料,混凝土结构也渗透到各个领域。

1.2.1 建筑结构

建筑结构就是房屋的骨架系统,如图1-1所示。它除了承担房屋自身重力以外,还要承受楼面(屋面)的使用活荷载,抵御风荷载、抵抗地震作用等。混凝土建筑结构的结构形式有排架结构、框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构和筒体结构等。



(a)



(b)

图 1-1 混凝土建筑结构

1.2.1.1 排架结构

混凝土排架结构多用于单层工业厂房,结构体系由排架柱、屋架或屋面大梁、基础、各种支撑等

组成。其中排架柱为预制钢筋混凝土构件；屋架或屋面大梁通常为预制预应力混凝土构件；大型屋面板也为预制预应力混凝土板；基础为现浇杯形基础。

排架柱和屋面横梁或屋架构成平面排架，其中屋面横梁或屋架在柱顶处铰接，柱脚与基础顶面固接。排架结构承受竖向荷载和水平风荷载、水平地震作用等。各榀排架由屋盖支撑和柱间支撑连接形成空间结构，保证结构构件在安装和使用阶段的稳定性和安全性。

1.2.1.2 框架结构

框架结构为水平构件（梁）和竖向构件（柱）通过刚性连接组成的刚架，柱脚与基础固接，如图 1-1(a)所示为施工中的钢筋混凝土框架结构。框架结构要承受楼盖（屋盖）传来的竖向荷载，也要承受水平风荷载、水平地震作用。钢筋混凝土框架结构通常采用整体现浇的方法建造，整体性和刚度都较大。

框架结构建筑平面布置灵活，施工简便，可以形成较大的使用空间，适应性强，在多层和高层建筑中应用较广泛。但因其侧向刚度较小，在水平荷载或水平地震作用下，侧向变形较大，因此限制了其适用高度。非抗震设计，框架结构的最大适用高度为 70 m；抗震设计，设防烈度为 6 度、7 度、8 度和 9 度时，其最大适用高度分别为 60 m、50 m、40 m 和 24 m。

1.2.1.3 剪力墙结构

结构中布置的钢筋混凝土墙体具有较大的承受侧向力（水平剪力）的能力，这种墙体称为剪力墙。利用剪力墙承担竖向荷载、抵抗水平荷载和水平地震作用的结构称为剪力墙结构，如图 1-1(b)所示为施工过程中的剪力墙结构。剪力墙具有双重功能，既是承重构件，又是分隔、维护构件。剪力墙的空间整体性强，侧向刚度大，侧移小，有利于抗震，故又称为抗震墙。剪力墙结构的适用范围很大，常见于十几层到三十几层的高层建筑，更高的高层建筑也适用。非抗震设计时，可建造的高度为 130~150 m。

剪力墙的间距不大，平面布置不灵活，通常用于旅馆、办公楼、住宅等小开间建筑。另外，剪力墙结构自重较大，施工较麻烦，造价较高。

1.2.1.4 框架-剪力墙结构

在框架结构中增设部分剪力墙，形成的结构体系称为框架-剪力墙结构。它同时兼具框架和剪力墙的优点，既能形成较大的空间，又具有较好的抵抗水平荷载的能力，因而在实际工程中应用较为广泛。20 层左右的高层建筑通常采用框架-剪力墙结构。

1.2.1.5 筒体结构

筒体结构是一种空间筒状结构，整体性强、空间刚度大，适合于修建超高层建筑。筒体的形成有三种方式，即由剪力墙围成实腹筒、由密柱深梁围成框筒、由桁架围成桁架筒。框架和实腹筒组成框架-核心筒体系，实腹筒和框筒组成筒中筒体系，框筒和桁架筒组成束筒体系。

1.2.2 桥梁结构

桥梁是为了让公路或铁路能跨越江河、湖泊或其他障碍物而修建的跨越结构，根据受力方式和变形形式不同，桥梁结构可以分成梁式桥、拱桥、刚构桥、斜拉桥和悬索桥五种类型。

桥梁可以用砖石、木材、钢材和混凝土建造，但在现代桥梁结构中，混凝土桥是主流，如图 1-2

所示为钢筋混凝土拱桥和刚构桥。梁式桥通常采用钢筋混凝土、预应力混凝土建造；拱桥除传统的石拱桥之外，还有素混凝土拱桥，钢管混凝土拱桥，更多的则是钢筋混凝土拱桥；刚构桥多为钢筋混凝土或预应力混凝土结构；斜拉桥和悬索桥的桥塔（索塔）也大多采用钢筋混凝土修建，加劲梁可以采用预应力混凝土箱梁，也可以采用钢箱梁与钢筋混凝土面板组合。

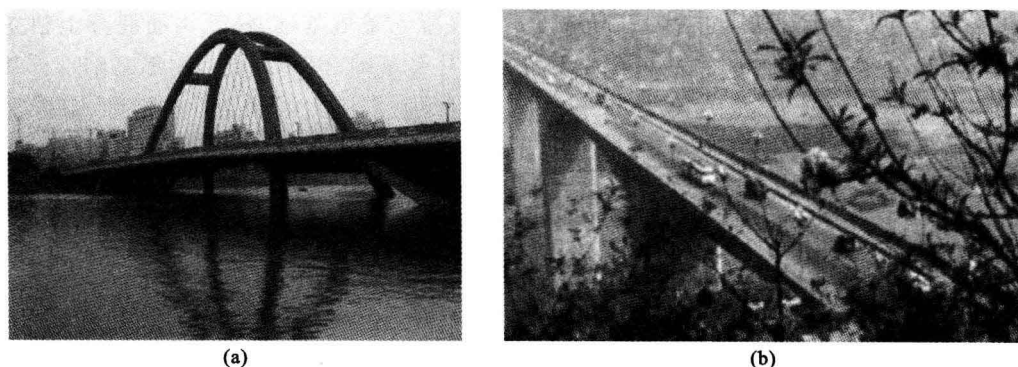


图 1-2 混凝土桥梁结构

1.2.3 水利工程结构

水利工程结构简称水工结构，包括水坝和河堤，其作用是阻挡或拦束水流，壅高或调节上游水位。

水坝主要承受上游水压力作用，除了满足强度以外，还要有较好的抗渗性和自身的稳定性，因此相当多的水坝采用混凝土或钢筋混凝土建造。重力坝通常采用圬工材料修建，有土坝、石坝、混凝土坝等类型；拱坝通常采用钢筋混凝土修建。图 1-3(a)为钢筋混凝土拱坝，图 1-3(b)为混凝土重力坝。

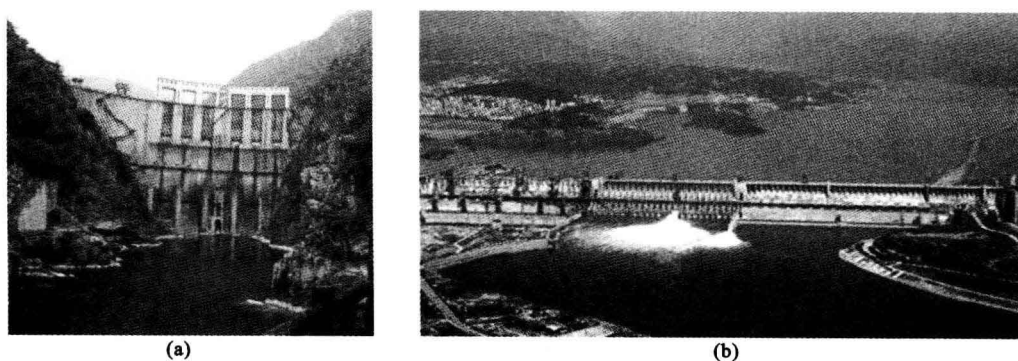


图 1-3 大型水坝

通航河流的船闸，通常也采用钢筋混凝土建造。

1.2.4 岩土工程结构

岩土工程结构是指与岩土体相接触的结构物，它除了承受一般结构的荷载作用以外，还要承受土体的作用（土压力）。岩土工程结构包括岩土工程、地下工程、隧道工程中的结构物，通常分为结构基础和衬砌结构（挡土结构）两大类。

1.2.4.1 结构基础

所谓基础,就是将结构所承受的各种作用传递到地基上的结构组成部分。由于基础位于地面以下,故又称为下部结构。

现代结构的基础除少量为砖石基础和素混凝土基础以外,大部分的基础为钢筋混凝土基础。钢筋混凝土基础包括天然地基上的浅基础(墙下钢筋混凝土条形基础、柱下钢筋混凝土独立基础、柱下钢筋混凝土条形基础、柱下交叉基础、钢筋混凝土筏板基础、钢筋混凝土箱形基础),桩基础(预制钢筋混凝土桩基础、灌注桩基础)等。除此之外,还有预制预应力混凝土管桩基础、方桩基础等。如图 1-4 所示为钢筋混凝土柱下独立基础(单独基础)和灌注桩基础。

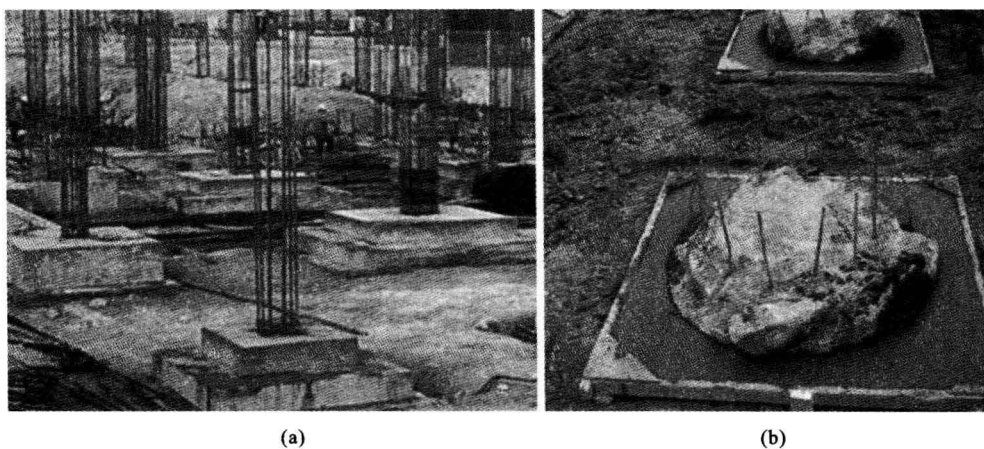


图 1-4 钢筋混凝土基础

1.2.4.2 衬砌结构

在地下工程、隧道工程结构中,与岩土接触处必须要有衬砌结构,其作用是承受岩土层和爆炸等静力和动力作用,并防止地下水和潮气进入隧道。衬砌结构除砖石等圬工材料以外,一般采用钢筋混凝土,如图 1-5 所示为某地下铁路隧道中采用的钢筋混凝土衬砌结构。

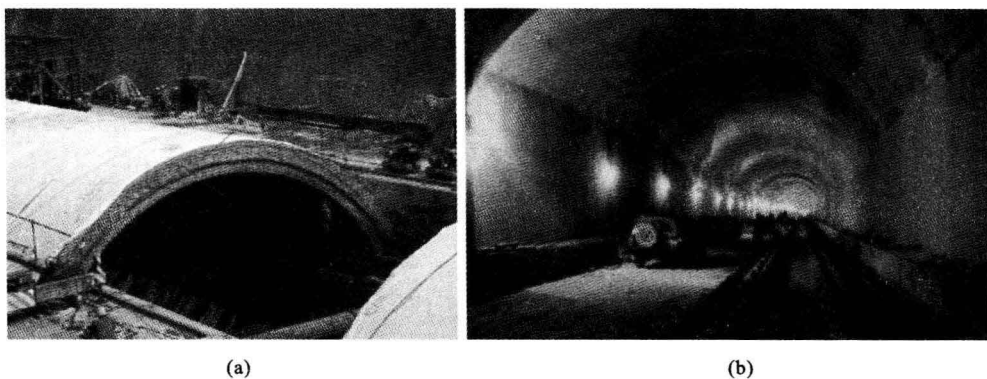


图 1-5 钢筋混凝土衬砌隧道

1.2.5 特种结构

特种结构是指除上述结构以外的具有特殊用途的工程结构,如图 1-6 所示,它们大都由钢筋混凝土建造。如自来水水塔有锥壳式、足球式等类型;火力发电厂的双曲冷却塔是钢筋混凝土薄壁结构;电视塔为空间筒体悬臂结构,通常由塔基、塔座、塔身、塔楼及桅杆组成。

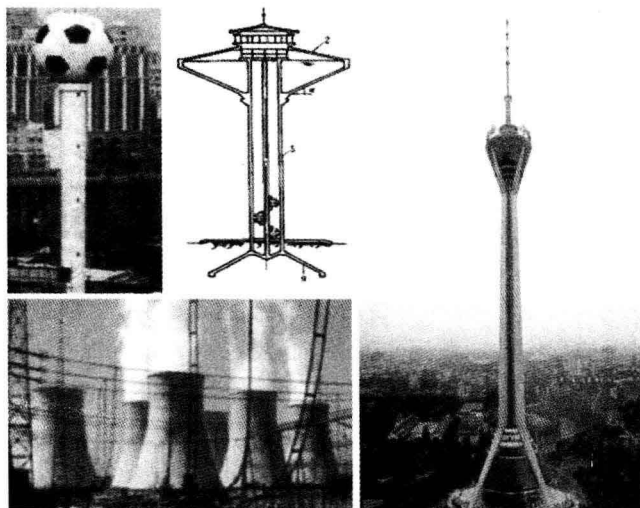


图 1-6 钢筋混凝土特种结构

1.3 混凝土结构的构件体系

建筑结构的基本构件按位置和作用可分为水平构件、竖向构件和基础三类。水平构件包括梁、楼板等构件,用钢或钢筋混凝土制作。水平构件的作用是承受竖向荷载,如构件自重、楼面(屋面)荷载。竖向构件包括墙、柱等构件,由钢、钢筋混凝土制作,也可由砌体充任。竖向构件的作用,一是支承水平构件(承担其力);二是承受水平力作用,如风荷载、水平地震作用等。基础位于结构的最下部,其作用是承受上部结构传来的荷载,并经扩散后传给地基。

根据上述基本构件受力状态的不同,可将混凝土构件分为混凝土受弯构件、混凝土受压构件、混凝土受拉构件和混凝土受扭构件四类。

1.3.1 混凝土受弯构件

混凝土受弯构件包括楼板,主、次梁,楼梯的梯段梁、梯段板、平台梁和平台板,扩展式钢筋混凝土基础底板等构件。这类构件在外荷载作用下,产生弯曲变形、轴线挠曲、截面转动。梁截面内力有弯矩 M 和剪力 V ,板内剪力较小,以承担弯矩为主。设计时需要考虑抗弯承载力(或正应力强度)和抗剪承载力(或剪应力强度)两个方面的条件。

1.3.2 混凝土受压构件

混凝土受压构件包括墙(剪力墙)、柱、屋架上弦杆和受压腹杆等构件。受压构件分轴心受压构件和偏心受压构件两种。

轴心受压构件截面上仅存在轴心压力 N , 引起沿轴线方向的压缩变形。截面上压应力分布均匀, 构件较短时属于强度问题; 构件较长时需要考虑压杆稳定问题, 还要考虑纵向弯曲对承载力的影响。

偏心受压构件又称为压弯构件。截面上承受轴心压力 N 和弯矩 M 的作用, 构件产生沿轴线方向的压缩和弯曲两种变形。偏心受压构件可能全截面受压, 也可能部分截面受压, 部分截面受拉。截面上应力分布不均匀, 偏心方向一侧的压应力大, 边缘达到最大值, 另一侧的压应力(或拉应力)小。偏心受压构件截面上还可能存在剪力 V , 它和轴心压力 N 、弯矩 M 一起使构件处于复杂应力状态, 可引起斜截面开裂。

1.3.3 混凝土受拉构件

混凝土受拉构件包括屋架中的受拉腹杆、下弦杆件以及其他结构中设置的拉杆、墙梁中的钢筋混凝土托梁等构件。受拉构件分轴心受拉构件和偏心受拉构件两种。

轴心受拉构件横截面上只存在轴心拉力 N , 仅产生沿轴线方向的伸长变形。混凝土开裂前, 截面上混凝土和钢筋各自均匀受力; 受拉开裂后, 混凝土退出工作, 全部拉力将由钢筋承担。

偏心受拉构件又称为拉弯构件。截面上承担轴心拉力 N 和弯矩 M 的作用, 构件产生沿轴线方向的伸长和弯曲两种变形。偏心受拉构件可能全截面受拉, 也可能部分截面受拉, 部分截面受压。截面上应力分布不均匀, 偏心方向一侧的拉应力大、边缘达到最大值, 另一侧的拉应力(或压应力)小。同样的, 偏心受拉构件截面上也可能存在剪力 V , 它将导致构件沿斜截面开裂或发生破坏。

1.3.4 混凝土受扭构件

构件横截面存在扭矩 T 的构件, 称为受扭构件。混凝土受扭构件包括雨篷梁(挑檐梁)、框架结构的边梁等构件。纯扭构件在工程上很少见, 往往是以弯扭、剪扭、弯剪扭的受力方式出现, 构件产生组合变形。构件横截面上同时存在正应力和剪应力, 精确分析比较复杂, 钢筋混凝土受扭构件采取各内力单独作用下分别计算钢筋、相应部位钢筋叠加的方法来设计。

1.4 混凝土结构设计理论的发展

工程建设已有数千年的历史, 留下了很多逾千年的古代建筑。古代结构的设计和建造都是工匠凭经验而为之, 没有科学理论指导。先秦《考工记》、宋代《营造法式》、清代《工部工程做法则例》和流传于民间的《鲁班经》等古代典籍, 都是工程经验的总结。依据经验建造的结构, 虽然坚固耐用, 但往往导致构件截面大、材料利用率低、使用空间狭窄等缺陷。

最早的结构设计理论是容许应力法(也称允许应力法、许用应力法), 应用了一百余年; 其后发展了破损阶段设计法, 仅有短暂几年的工程应用; 20 世纪 50 年代提出的极限状态设计法, 以数学上的概率理论和数理统计为工具, 经过不断完善和改进, 已成为现代建筑结构和其他工程结构所采用的设计理论。

1.4.1 容许应力法

法国人纳维 1826 年出版《材料力学》一书, 提出了容许应力法。它是以弹性理论为基础, 确定结构(构件)特定部位的应力, 使其不超过容许应力, 便能保证结构的安全和可靠。其计算公式为: