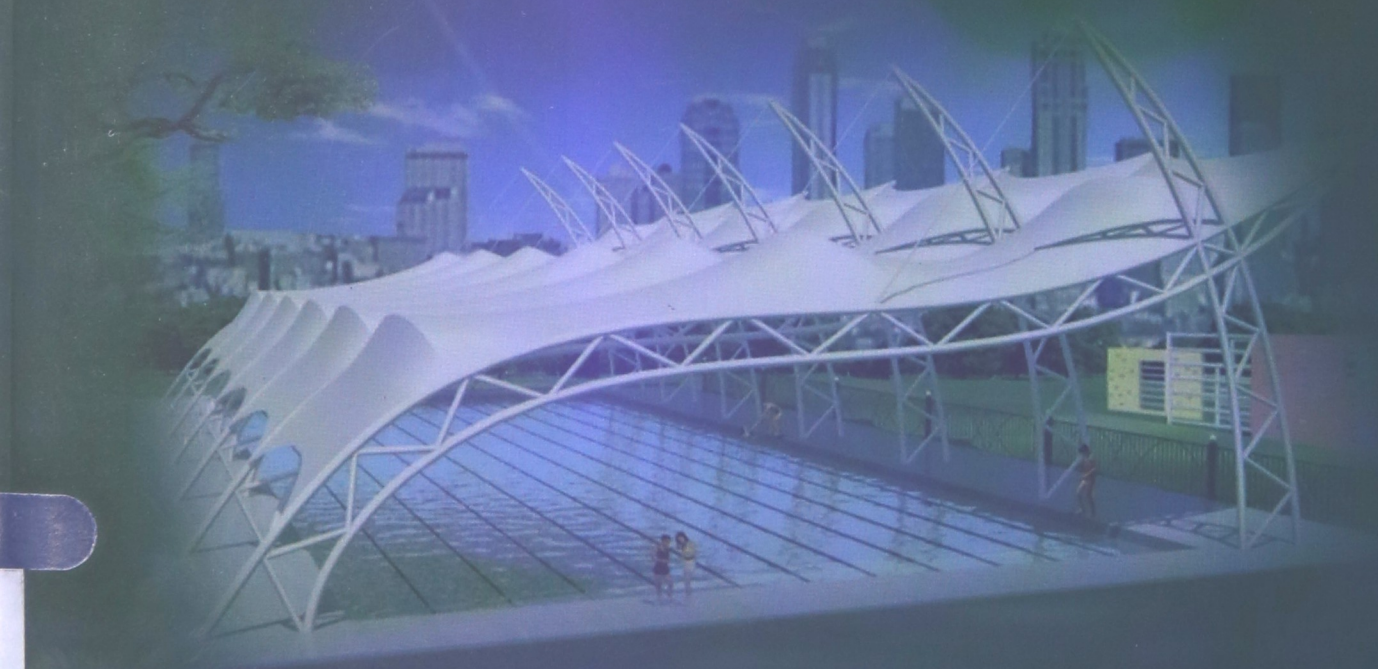


钢筋混凝土与水工程结构

张 韬 主编



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

014037270

TV332-43
03

钢筋混凝土与水工程结构

张 韬 主编



TV332-43
03



北航

C1725500



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

土建结构是给排水科学与工程必须涉及的重要内容。本书以《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)等一系列规范为准则,介绍以水工程为主要对象的钢筋混凝土结构设计原理和水池结构设计的基础知识。内容包括结构材料的力学性能,混凝土结构设计的基本规定,水池等构筑物结构设计的特殊性,荷载组合的计算和应用,各类结构构件的截面设计原理,肋梁顶盖(楼盖)结构设计,地基的概念和柱下独立基础结构设计,圆形水池、矩形水池结构内力的计算方法,钢筋混凝土结构构件截面设计的构造要求,等等。本书重视环境类别对钢筋混凝土结构设计的影响,突出理论与工程实际相结合,体现结构计算的严谨和结构设计方法的灵活应用。

本书主要作为工科高校给排水科学与工程专业(本科)“给水排水工程结构”课程(少学时)的试用教材,很多内容还可用于房屋建筑结构,可供土木工程专业“混凝土结构”、“特种结构”等课程的师生参考,也可作为从事一般土建工程结构设计、施工、管理等工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

钢筋混凝土与水工程结构/张韬主编. --上海:同济大学出版社,2014.3

安徽省高等学校省级规划教材

ISBN 978-7-5608-5441-0

I. ①钢… II. ①张… III. ①水工结构—钢筋混凝土结构—高等学校 IV. TV332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 041691 号

安徽省高等学校省级规划教材

钢筋混凝土与水工程结构

主 编 张 韬

责任编辑 马继兰 责任校对 徐春莲 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 江苏句容排印厂

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 20

印 数 1—3100

字 数 499000

版 次 2014 年 3 月第 1 版 2014 年 3 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-5441-0

定 价 42.00 元

作者简介

C1725500

前言

《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》指出:要适应国家和区域经济社会发展需要,不断优化高等教育结构,重点扩大应用型、复合型、技能型人才培养规模。本教科书以《工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50513—2008)、《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《给水排水工程构筑物结构设计规范》(GB 50069—2002)、《给水排水工程钢筋混凝土水池结构设计规程》(CECS 138:2002)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)、《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)、《室外给水排水和燃气热力工程抗震设计规范》(GB 50032—2003)等为准则,根据教育部关于提高本科教育教学质量、建设部关于高校给排水科学与工程专业的培养要求而编写。

本书阐述了钢筋混凝土结构设计原理和水池结构设计的基础知识,在学习和理解国家标准和钢筋混凝土结构设计原理的基础上,突出结构所处环境类别对结构设计的影响,重视结构耐久性设计环节。在遵守结构设计基本规定、结构设计计算方法和有关构造措施方面,表现出水工程结构设计的特殊性。尤其强调理论知识与工程实践相结合,很多内容体现钢筋混凝土结构知识的应用。本书着重体现现行规范指导思想,系统地讲解了常见的钢筋混凝土结构构件截面配筋的设计方法,同时对作为特种结构的水池结构设计方法做了简明扼要的阐述。书中还展现了水池的工艺设计图样,可使学生在学习结构知识的同时,了解水工艺与构筑物的轮廓。

作者的初衷是以学生为本,注重学思结合、学用结合,借鉴优秀教材的写作思路,在讲解结构设计的工程技术中同时体现人文素质和科学精神的渗透,让学生在理论学习和实践训练中体验土建结构设计的基本原理以及从事钢筋混凝土结构设计的工作过程,更重要的是使学生在过程中感受到土建结构设计工作的艰巨性和复杂性。学习本课程有利于培养学生的工程意识,有利于增强他们将来从事工程建设事业的社会责任感并在较宽广的知识领域中适应市场经济条件下的社会需求。

本书成书前得到东南大学蓝宗建教授(博士生导师)和南京工业大学叶燕华教授的指导,两位教授审阅了本书稿,蓝宗建教授为主审。在本书成稿过程中,还得到北京市市政工程设计研究总院沈世杰和刘雨生等专家的帮助,参考了已经出版的一些书籍和文献,研究生蒋春迪绘制了部分插图,在此向上述教授专家以及本书所参考的书籍和文献的作者等表示衷心的感谢!

本书于2013年12月被评为安徽省高等学校省级规划教材,本书可作为给排水科学与工程专业“给水排水工程结构”课程(少学时)的试用教材,也可供土木工程专业混凝土结构、特种结构等课程的师生学习参考。

因作者水平有限,书中内容难免有不妥之处,敬请读者批评指正,请发E-mail到zzone@ahut.edu.cn与作者联系。

张 韬

2014年2月

目 录

前 言

绪论	(1)
1 钢筋、混凝土的力学性能	(7)
1.1 钢筋	(7)
1.2 混凝土	(10)
1.3 钢筋的锚固、连接构造要求	(18)
1.4 钢筋混凝土疲劳性能的概念	(22)
1.5 材料强度的取值	(23)
2 结构设计的基本规定	(26)
2.1 结构的功能和极限状态	(26)
2.2 荷载代表值	(28)
2.3 极限状态设计表达式及荷载组合	(29)
3 水池等构筑物结构设计的特殊规定	(34)
3.1 混凝土结构的耐久性设计规定	(34)
3.2 水池等构筑物结构的特殊性和结构上的作用	(37)
3.3 具有特殊性的荷载组合规定	(41)
3.4 水池等构筑物的基本构造要求	(43)
3.5 水池的抗倾覆稳定、抗滑移稳定、抗浮稳定验算规定	(44)
4 受弯构件正截面承载力计算	(46)
4.1 受弯构件的截面形式和一般构造要求	(46)
4.2 单筋矩形截面受弯构件正截面受弯承载力计算	(49)
4.3 双筋矩形截面梁正截面受弯承载力计算	(60)
4.4 T形截面梁正截面受弯承载力计算	(64)
5 受弯构件斜截面承载力计算	(74)
5.1 受弯构件斜截面受力和破坏特点	(74)
5.2 受弯构件斜截面受剪承载力计算	(77)
5.3 受弯构件斜截面受弯承载力设计	(82)
5.4 箍筋和弯起钢筋的一般构造要求	(86)

6 受扭构件承载力计算	(95)
6.1 纯扭构件的破坏特征与承载力计算	(95)
6.2 在弯、剪、扭共同作用下矩形截面构件承载力计算	(99)
6.3 T形和工形截面弯剪扭构件承载力计算	(105)
6.4 轴向压力、弯矩、剪力和扭矩共同作用下矩形截面承载力计算	(106)
6.5 轴向拉力、弯矩、剪力和扭矩共同作用下矩形截面承载力计算	(106)
7 受压构件承载力计算	(108)
7.1 轴心受压构件承载力计算	(108)
7.2 偏心受压构件的概念	(115)
7.3 矩形截面大偏心受压构件非对称配筋正截面承载力计算	(118)
7.4 矩形截面小偏心受压构件非对称配筋正截面承载力计算	(125)
7.5 矩形截面偏心受压构件对称配筋正截面承载力计算	(131)
7.6 偏心受压构件斜截面受剪承载力计算	(136)
7.7 受压构件的一般构造要求	(137)
8 地基的概念及柱下独立基础设计	(140)
8.1 地基、基础的概念	(140)
8.2 基础设计的荷载组合规定	(144)
8.3 独立基础设计	(145)
9 受拉构件承载力计算及抗裂验算	(154)
9.1 轴心受拉构件承载力计算及抗裂验算	(154)
9.2 偏心受拉构件承载力计算	(155)
9.3 小偏心受拉构件抗裂验算	(160)
10 构件裂缝宽度及挠度验算	(163)
10.1 裂缝和挠度控制的规定	(163)
10.2 裂缝宽度验算方法	(165)
10.3 受弯构件挠度验算方法	(173)
10.4 预应力混凝土结构简介	(178)
11 钢筋混凝土梁板结构设计	(181)
11.1 钢筋混凝土顶盖(楼盖)的结构形式	(181)
11.2 单向板肋梁顶盖(楼盖)结构设计	(184)
11.3 单向板肋形梁板顶盖设计实例	(196)
11.4 双向板肋梁顶盖(楼盖)结构设计	(223)
12 圆形水池结构设计	(233)
12.1 水池的荷载及荷载组合	(234)

12.2	圆形水池顶盖结构设计	(240)
12.3	圆形水池池壁结构设计	(250)
12.4	圆形水池底板结构设计	(261)
13	矩形水池结构设计	(263)
13.1	矩形水池的结构布置和池壁的计算简图	(264)
13.2	挡土(水)墙式水池的稳定性验算和池壁内力计算	(266)
13.3	双向板式水池池壁的内力计算	(273)
13.4	矩形水池的构造特点	(277)
附录 A 连续梁和双向板弯矩系数表与剪力系数表		(280)
附录 B 圆形水池池壁内力系数表		(293)
附录 C 矩形板(双向板)在三角形荷载作用下弯矩系数表		(303)
主要参考文献		(310)

绪 论

混凝土结构与钢筋混凝土结构的概念

混凝土结构(concrete structure)是以混凝土为主制成的结构,它主要指素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构。除此之外,还有钢骨混凝土结构、钢管混凝土结构等。

素混凝土结构(plain concrete structure)是无筋或不配置受力钢筋的混凝土结构。

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制成的结构。预应力混凝土结构(prestressed concrete structure)是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。

钢筋混凝土结构是配置受力普通钢筋的混凝土结构,是由各钢筋混凝土构件组成的体系,钢筋混凝土构件所用的材料是普通钢筋和混凝土。在建筑工程中,一般所说的混凝土是指用水泥做胶凝材料制成的普通水泥混凝土(或称普通混凝土,简称混凝土)。普通钢筋(简称钢筋)在国内大多数采用热轧钢筋,它们是轧钢厂轧制出来的现成产品。钢筋的抗拉强度和抗压强度都很高,而混凝土类似于天然石材,是一种抗压强度较高而抗拉强度很低的建筑材料。钢筋混凝土结构就是将两种材料结合在一起,在构件中,钢筋主要用来承担拉力,混凝土主要承担压力,钢筋也可以用来协助混凝土受压承担压力,改善混凝土的受压破坏脆性性能和尽可能减小截面尺寸。通过结构设计,使两种材料的力学性能都能得到充分利用。与素混凝土结构相比,钢筋混凝土结构的承载力大大提高,如果合理地进行设计,当荷载增大到一定的数值时,结构破坏呈延性特征,有明显的裂缝和变形发展过程。结构设计是满足国家标准规定的两种极限状态的设计要求,追求对结构混凝土强度等级的合适选择,对混凝土截面尺寸的合适选择,对所配钢筋强度等级的合适选择,对所配钢筋截面面积的合适选择以及对钢筋和混凝土符合规范要求的各种构造要求的合适选择,等等。对于一般工程结构,钢筋混凝土结构的经济指标优于钢结构,技术经济效益显著。

钢筋和混凝土这两种材料的物理力学性能很不相同,当构件承受外荷载时,钢筋与混凝土能变形协调而共同工作,二者不致产生相对滑动,其主要原因如下:

(1) 混凝土在凝结、硬化过程中与钢筋之间产生了较强的黏结力,或者说混凝土对钢筋产生较强的握裹力,如选用带肋钢筋或光面钢筋加弯钩,当钢筋的锚固长度和混凝土保护层厚度等构造满足要求时,钢筋与混凝土之间的黏结强度足以抵抗作用在它们之间界面上的剪应力。

(2) 钢筋与混凝土的线膨胀系数接近,钢筋为 1.2×10^{-5} ,混凝土为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}$,当温度变化时,两种材料不至于产生较大的温度变形差而破坏它们之间的黏结力。

(3) 钢筋至构件边缘的混凝土有一定的厚度(保护层),在构件内部钢筋与钢筋之间也有足够的混凝土厚度,混凝土能够保护钢筋较好地防止钢筋锈蚀,二者都具有很好的耐久性。

混凝土结构的优、缺点

混凝土结构广泛应用在房屋结构、桥梁结构、给水排水构筑物结构、地下结构中,不仅因为它能合理地利用钢筋和混凝土两种材料的力学性能,还在于它有以下优点:

(1) 耐久性好。在钢筋混凝土结构中,钢筋因受到混凝土包裹得到保护而不易锈蚀,而且混凝土的强度随时间有所增长,因此,与钢结构相比,钢筋混凝土结构在一般环境下维修费用极少,因而是经久耐用的。尤其用于水工程结构和地下结构(环境类别 $\geq$ 二类),钢筋混凝土结构的耐久性显示出得天独厚的优越性。

(2) 整体性好。目前广泛采用的现浇整体式钢筋混凝土结构,有利于抵抗地震、振动及爆炸产生的冲击波。

(3) 可模性好。钢筋混凝土可根据设计需要浇筑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、特种结构和空间薄壳结构等。

(4) 刚度大。一般来说,钢筋混凝土结构构件的截面尺寸较大(与钢结构相比),因而整个结构的刚度大,在使用荷载作用下,有利于抵抗变形和位移。

(5) 耐火性较好。混凝土是不良导热体,当遭遇火灾时,传热性较差的混凝土对钢筋起着一定的保护作用,在较小的火灾下,不至于导致结构的整体破坏。

(6) 取材较方便。钢筋混凝土结构中所用的砂、石材料一般可就地或就近取材,因而材料成本相对较低。还可利用工业废料(如矿渣、粉煤灰等)制成人造骨料(如陶粒、矿渣珠)生产轻骨料混凝土,不仅可以降低工程造价、减轻结构自重,而且还有利于保护环境。

对于建造房屋建筑来说,与地上的钢结构相比,钢筋混凝土结构也存在一些缺点,这些缺点主要如下:

(1) 自重大。这对于建造大跨度结构、高层结构以及工程抗震是不利的,但随着轻质、高强混凝土、预应力混凝土和钢-混凝土组合结构的应用,这一矛盾得到一定的缓解。自重大,对于水利工程、给水排水工程、抗冲击波工程来说,反而是优点。

(2) 施工比较复杂。钢筋混凝土结构施工工序多,施工周期较长。但随着泵送混凝土、大模板、各种先进施工技术的应用和施工组织的优化,混凝土工程的工期已明显缩短。冬期、高温期和雨天施工比较困难,必须采用相应的技术措施,才能保证工程施工质量。

(3) 抗裂性较差。钢筋混凝土结构在正常使用环境下,往往带裂缝工作。但对水池、贮油罐等构筑物结构,裂缝的存在会降低抗渗和抗冻能力,并会导致钢筋锈蚀,影响结构的耐久性。结构设计时,必须合理地选择材料,严格地进行结构计算和采取适当的构造措施,或采用预应力混凝土结构等,可以有效地控制裂缝。

(4) 修补和加固较难。钢筋混凝土结构一旦损坏,修补和加固工作较为困难,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,这一问题的难度有所减轻。

混凝土结构的施工方式

混凝土结构的施工方式有以下三种:

现浇混凝土结构 (cast-in-situ concrete structure)。在现场原位支模、绑扎(安装)钢筋并整体浇筑而成的混凝土结构,也叫现浇整体式混凝土结构,是目前房屋建筑和水工程构筑物最

常见的结构形式。图 0-1、图 0-2 所示分别是现浇整体式钢筋混凝土楼盖和水池。



图 0-1 现浇混凝土楼盖



图 0-2 现浇混凝土水池

装配式混凝土结构 (precast concrete structure)。由预制混凝土构件或部件通过焊接、螺栓连接等方式装配而成的混凝土结构。

装配整体式混凝土结构 (assembled monolithic concrete structure)。由预制混凝土构件或部件通过钢筋、连接件或施加预应力加以连接并在连接部位浇筑混凝土而形成整体受力的混凝土结构。

混凝土结构的新进展

钢筋混凝土在 19 世纪中叶开始得到应用,最初材料本身的强度和结构构件的计算理论尚不完善、不成熟。20 世纪 20 年代以后,开始出现装配式钢筋混凝土结构和壳体空间结构,同时,构件强度开始按破坏阶段计算。第二次世界大战以后,钢筋混凝土结构有了较快的发展,钢筋强度和混凝土强度不断提高,钢筋混凝土结构的应用范围不断扩大,预应力混凝土结构也开始应用,结构计算的极限状态设计方法不断地发展且得到越来越广泛的应用。20 世纪 70 年代以来,以统计数学为基础的结构可靠度理论已逐步进入工程实用阶段,同时考虑混凝土非线性变形的计算理论有了较大的发展,结构有限元的应用、混凝土的本构方程(应力-应变关系式)以及黏结条件的模式化等借助于电脑,使极限状态设计方法向着更完善、更科学的方向发展。

在结构计算理论方面,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坏阶段设计方法,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是目前混凝土结构构件计算的理论基础。随着对混凝土应力-应变等本构关系和弹塑性变形性质的深入研究,借助于电子计算机、有限元计算方法和现代测试技术的应用,使得混凝土结构向着弹塑性计算方法的方向发展。新中国成立以来,许多混凝土结构专家在研究、制定我国的混凝土结构设计规范方面做了不懈的努力,尤其最近几年,在总结了汶川地震造成的震害原因的基础上,从 2009 年以来,先后颁布了《工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50513—2008)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)、《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)和《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011),并首次提出了工程建设标准是最低要

求的概念。今后,以概率理论为基础的极限状态设计方法将更加完善,混凝土结构包括水工程结构方面的设计理论和设计方法将不断地迈向成熟,同时满足各种结构计算需要的计算机程序将会越来越多而且越来越便于应用。

在结构形式方面,各种类型空间结构以及大跨度的建筑物和构筑物会层出不穷,将更多更好地应用在社会 的各方面,以满足人们工作、学习、生活、娱乐等方面的要求。预应力混凝土结构和一些高性能新型组合结构因具有抗裂性好、充分利用材料强度、较好的适应变形能力(延性)、施工较简单等特点,也将得到进一步发展。

在材料方面,混凝土将主要朝着高性能方向发展,即向着高强度、高流动性、自密实、质量轻、耐久性好以及具备特异性性能的方向的发展,同时,尽可能节约水泥,节约天然砂石骨料是发展中的课题之一。钢筋将主要向着高强、防腐、更好的延性、良好的黏结锚固性能和优良的机械连接性能方向发展。《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)增加了 500MPa 级带肋钢筋,以 300MPa 级钢筋取代了 235MPa 级钢筋,还增补了细晶粒热轧带肋钢筋。

在施工技术方面,目前我国大多数房屋建筑,水池、筒仓、电视塔等特种结构的建造广泛采用现浇整体式结构,随着预拌混凝土(或称商品混凝土)、泵送混凝土及滑模施工新技术的广泛应用,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。值得注意的是,近年来由钢与混凝土组成的组合结构、钢骨混凝土结构及钢管混凝土结构已在工程中逐步推广应用。钢筋的机械连接施工工艺已有多种,但在全国范围内并不太普及。比如图 0-3 所示带肋钢筋套筒冷挤压连接技术,它是通过专用挤压机侧向挤压连接套筒,使钢套筒与钢筋产生塑性变形,使之与钢筋紧密咬合,从而连接钢筋。如图 0-4 所示是钢筋的剥肋滚轧直螺纹连接技术。随着有关标准、规范的制定和在工程实践中总结经验,钢筋的机械连接技术会得到更好的发展。

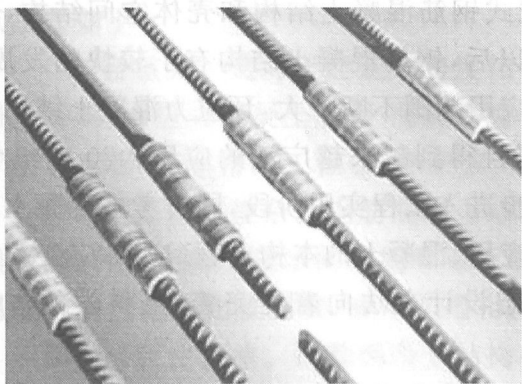


图 0-3 钢筋的套筒冷挤压连接

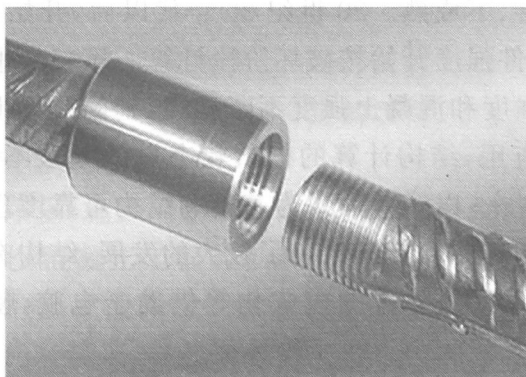


图 0-4 钢筋的剥肋滚轧直螺纹连接

水工程结构的主要构筑物是水池,无论是地上式水池还是地下式水池,无论是水处理工艺生产用的水池还是城镇居民生活用的饮用水的水池,大多数都是采用钢筋混凝土结构。在水池设计、施工的工程实践中采用新技术、新工艺,可能会使传统的结构方案、结构形式发生改变。例如大连某供水工程 20 000 m³ 清水池结构的设计,与美国 JHCE 结构设计公司合作采用了无黏结预应力混凝土技术,取消了原来 6 个块体结构的设计方案,将 20 000 m³ 清水池设计为一个整体结构,没有任何伸缩缝,同时采取了在底板与垫层之间设置了 3 层 0.3mm 厚的塑料板滑动层的技术措施。该水池还将矩形清水池四角设计成圆角,突出了矩形水池占地少、布置灵活的特点,又发挥了圆形水池受力好的优点。在水池结构的施工中合理地设置混凝土后浇带或加强带,充分认识混凝土膨胀剂的性质,合理地使用外加剂等,使水池结构运用新技术

的设计与施工的和谐统一得以实现。实践表明,采用新技术、新工艺,不仅节省了很多工程投资,而且在技术方面对于常规的设计思想有所突破。以科学理论为基础,以先进技术为手段,在结构工程勇于创新的精神是可贵的。但是应该认识到,规范是试验研究的理论总结和工程实践成熟经验的总结,同时又是经济技术的体现,规范中的规定是最低要求,不是最高要求。对于一般的工程结构设计、施工,还是应该遵循现行规范的规定。

钢筋混凝土结构是土木工程领域应用最广泛的一门学科,随着结构设计理论的不断完善和设计手段的不断提高,随着高性能混凝土和普通钢筋的不断发展以及工程施工技术的不断提高,钢筋混凝土结构将以更好的耐久性、较为经济的工程造价,更广泛地用于工业与民用建筑、特种结构、水利工程、交通工程等领域。

水工程结构的特点和学习方法

水是人类赖以生存的基本物质条件,本书所指水工程结构是给水排水工程结构的简称,完整的含义应该包括所有给水排水构筑物、建筑物结构,诸如各种水池、水塔、取水井、地下(地上)式管道、阀门井、检查井、窨井、各种地(明)沟、水泵房以及其他各种生产、生活所用建(构)筑物结构等。水池是水工程中最主要的构筑物,在长期的生产、生活实践中,无论是水工艺(给水排水)设计还是水处理构筑物或其他环境工程构筑物的设计,人们首选的结构材料是钢筋混凝土,因而,钢筋混凝土结构设计原理和结构设计的基本方法是水工程中的重要内容,任何水工程或环境工程的实施,都离不开钢筋混凝土结构。水池结构属于特种结构中的主要部分,因为有水,或因为水质有各种情况,又因为钢筋混凝土中钢筋不宜与水接触,这一对矛盾自然反映出水工程结构的特点,或者说水工程结构所处的环境类别决定了水工程结构不同于一般工业民用建筑结构,水工程结构具有鲜明的特殊性。关于钢筋混凝土水池等构筑物结构设计的特殊性,将在本书有关章节详述。在学习这门课的时候,应对以下几点有所认识:

(1) 钢筋混凝土结构是由钢筋和混凝土结合而成的结构,钢筋与混凝土是力学性能完全不同的两种材料,钢筋混凝土的性能不仅与两种材料本身的性质有关,而且在很大程度上取决于二者的共同工作和相互配合的关系。

(2) 由于混凝土材料力学性能的复杂性和离散性,至今尚缺乏完整系统的强度和变形理论,有关混凝土强度和变形规律,很大程度上仍依赖于实验研究得出的经验公式。因为混凝土是非均匀弹性材料,在学习的时候,要特别重视构件的实验研究过程中的试验现象、构件的计算假定、构件的计算模型,通过试验现象观察构件的受力性能以及受力分析时所采用的基本假定和试验结论的依据,运用公式时,要特别注意其适用范围。

(3) 要深刻理解两种极限状态设计表达式的含义,对各类构件的计算理论所处的试验研究阶段和不同状态结构设计时的荷载代表值要给予高度重视。

(4) 本课程是以力学课程为基础,但与力学课程有所不同。材料力学、结构力学都是将材料看成均匀弹性体,侧重于计算构件的应力和应变、结构的内力和位移,它们的答案往往是唯一的。而混凝土结构是非匀质、非弹性的材料,其结构构件受力后产生的效应是由两种材料结合产生的效果。但是,材料力学和结构力学解决问题的观点和方法是混凝土结构设计计算的有力工具,因而它们是结构设计计算工作的基础理论。本课程所解决的问题不仅是理论上的强度、刚度和稳定性问题,它要全面对结构构件进行设计,既要考虑钢筋的弹性性能,又要考虑混凝土的非弹性性能。结构设计工作包括:结构方案(结构选型、构件布置及传力途径)、截面

选择、结构计算(验算)、构造和连接措施、耐久性及施工要求等。也就是说,本课程要解决的问题不仅仅是结构的计算问题,还要解决结构的设计问题,一般来说,钢筋混凝土结构(构件)设计的每一个问题,答案不是唯一的。

(5) 本课程的内容贯穿国家标准和相关规范、规程的指导思想,这些指导思想反映了五十多年来我国结构工程领域有关结构设计的经验和科研成果,尤其近三十多年以来,混凝土结构设计规范的修订基于大量的科研成果和工程实践中的成熟经验,对引导混凝土结构学科发展和完善结构设计理论起到了积极作用。规范是贯彻执行国家技术经济政策、保证设计质量的重要依据,其中有很多强制性条文,必须严格执行。很多关于计算和构造方面的规定需要在学习过程中不断地钻研和体验,理论结合实际,才能加深理解。顺便说一下,当前土木工程领域关于混凝土结构设计规范有建筑工程、给水排水工程、水利工程、道路桥梁(交通土建)工程、铁路运输工程等多个方面的版本,在不同的行业,需要在工程实践中根据实际情况,因地制宜,灵活运用。

(6) 本书各章节凡是用“现行规范”一词,并非单指某一本规范,而是指书后主要参考文献中列出的与本章节内容对应的规范。

1 钢筋、混凝土的力学性能

1.1 钢筋

1.1.1 钢筋的品种和级别

钢筋按生产工艺划分,有热轧钢筋、热处理钢筋、钢丝和钢绞线等。我国近年来高强钢筋正在向着充分供应的方向发展,我国已经可以生产细直径的变形钢筋(带肋钢筋也称变形钢筋)。过去还有冷加工钢筋、冷轧带肋钢筋等。

普通钢筋是用于混凝土结构构件中的各种非预应力筋的总称。热轧钢筋是将钢材在高温状态下轧制而成,主要用作普通钢筋。根据其屈服强度标准值的高低和品种的不同,热轧钢筋分为 HPB300, HRB335, HRBF335, HRB400, HRBF400, RRB400, HRB500, HRBF500 等级别,其中第 1 个字母表示生产工艺,如 H 表示热轧(Hot-rolled),R 表示余热处理(Remained heat treatment ribbed);第 2 个字母表示钢筋表面形状,如 P 表示光面或光圆(Plain round),R 表示带肋(Ribbed);第 3 个字母 B(Bar)表示钢筋。HPB 表示热轧光圆钢筋,HRB 表示普通热轧带肋钢筋,在 HRB 后面加 F(Fine)的,表示细晶粒热轧带肋钢筋,RRB 表示余热处理带肋钢筋。英文后面的数字表示钢筋屈服强度标准值。比如 HRB400 表示屈服强度标准值为 400N/mm^2 的普通热轧带肋钢筋。预应力混凝土结构中所用的钢筋(简称预应力筋)主要有中强度预应力钢丝、消除应力钢丝、钢绞线和预应力螺纹钢筋等。

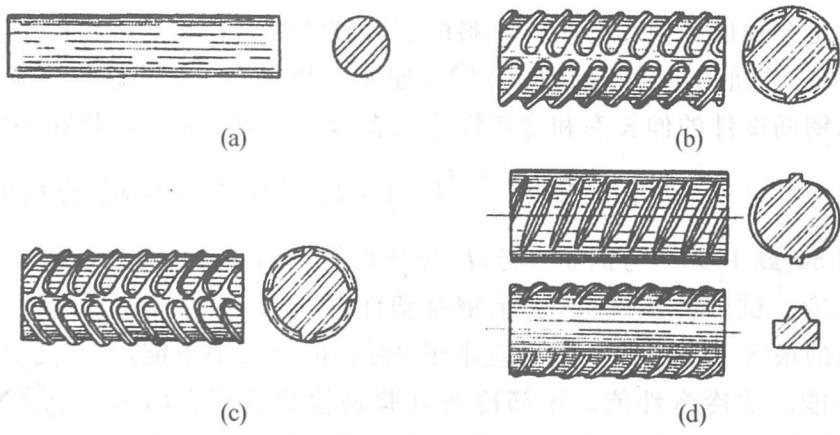


图 1-1 钢筋表面及截面形状

常用的热轧钢筋按其外形分为光面(光圆)钢筋和带肋(变形)钢筋两类。光面钢筋的表面是光圆的,如图 1-1(a)所示。带肋钢筋外表有两条纵向凸缘(纵肋),在纵向凸缘两侧有许多等距离和等高度的斜向凸缘(斜肋),凸缘斜向相同的表面形成螺旋纹,如图 1-1(b)所示。凸缘斜向不同的表面形成人字纹,如图 1-1(c)所示。斜向凸缘和纵向凸缘不相交,剖面几何形状呈月牙形的钢筋称为月牙肋钢筋,如图 1-1(d)所示。

1.1.2 钢筋的力学性能

钢筋混凝土结构所用钢筋,分为有明显屈服点的钢筋(热轧钢筋)和没有明显屈服点的钢筋(钢丝、钢绞线等)。

1. 有屈服点的钢筋

(1) 应力-应变($\sigma-\epsilon$)曲线。有明显屈服点的钢筋,俗称软钢,其拉伸试验的典型 $\sigma-\epsilon$ 曲线的简化图形如图 1-2 所示。该曲线可分为 4 个阶段:弹性阶段 ob (其中 oa 为线性弹性);屈服阶段 bf ;强化阶段 fd ;破坏(颈缩)阶段 de 。 a 点称为比例极限, b 点为屈服上限, c 点为屈服下限,与 c 点对应的钢筋应力称为屈服强度 f_y , cf 段称为屈服台阶或流幅, f 点为强化段起点, d 点对应的应力称为抗拉极限强度。应力达到 e 点时钢筋被拉断。

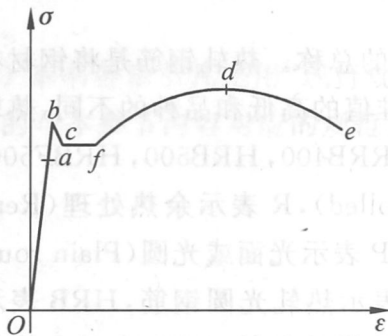


图 1-2 有明显屈服点钢筋的 $\sigma-\epsilon$ 曲线

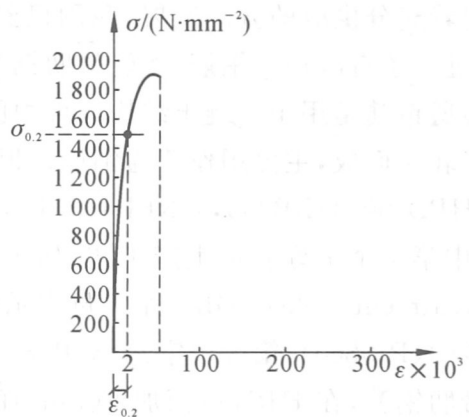


图 1-3 无明显屈服点钢筋的 $\sigma-\epsilon$ 曲线

(2) 强度指标。一是屈服强度(c 点对应的应力),它是混凝土结构构件中钢筋强度的设计依据,此时将产生很大的塑性变形,使构件变形和裂缝过大且不可恢复。二是极限强度(d 点对应的应力),这个强度一般作为钢筋材料的实际破坏强度。

(3) 塑性指标。钢筋的塑性是指应力超过屈服点以后,应力不增加而应变增大的性能。塑性变形通常以钢筋试件的伸长率和冷弯性能来表示。①伸长率。是指在一定标距条件下的

单位伸长量。伸长率可表示为 $\text{伸长率} = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$, 式中 l_0 为标距,应根据有关标准按不同钢筋种类采用 $5d$ 或 $10d$, d 为钢筋直径; l_1 为试件拉断后,断裂试件拼合后的标距长度。

试件伸长率大,表示钢材塑性好,能显示明显的破坏预兆。钢筋的最大力下总伸长率不应小于 9%。但伸长率不能反应钢筋的脆性性能。②冷弯性能。钢筋冷弯试验是检验钢筋在弯折加工或使用时的脆性性能的一种试验方法,是在常温下将钢筋绕标准规定的弯芯直径为 D 的钢辊弯转 α 角度,检查弯曲部位表面有无裂纹、断裂及起层等现象,若没有这些现象则认为冷弯性能合格,见图 1-4。

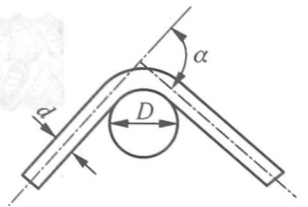


图 1-4 钢筋的冷弯

冷弯试验较受力均匀的拉伸试验更有效地揭示材质是否有缺陷,是衡量钢筋力学性能的重要指标。普通钢筋的力学性能指标见表 1-1。国家标准《钢筋混凝土用钢 第 1 部分 热轧光圆钢筋、第 2 部分 热轧带肋钢筋》GB 1499 规定:最大力下总伸长率是指钢筋抗拉强度试验没有产生颈缩处(距离断裂点 $\geq 50\text{mm}$ 或 $\geq 2d$,测量距离在拉伸试验之前至少 100mm ,测量范围边缘距夹持区边缘至少 20mm 或钢筋直径)的伸长率,计算时,应考虑钢筋抗拉强度实测值与其弹性模量的比值。

表 1-1 普通钢筋的力学性能指标

牌号	公称直径 范围/mm	屈服强度(f_{yk}) 不小于/($N \cdot mm^{-2}$)	抗拉强度(f_{stk}) 不小于/($N \cdot mm^{-2}$)	断后伸长率(A) 不小于	最大力下总伸长率 (A_{gt})不小于
HPB300	6~22	300	420	25.0%	10.0%
HRB335, HRBF335	6~50	335	455	17.0%	7.5%
HRB400, HRBF400	6~50	400	540	16.0%	7.5%
HRB500, HRBF500	6~50	500	530	15.0%	7.5%
RRB400	8~40	400	600	14.0%	5.0%

2. 无屈服点的钢筋

无明显屈服点的钢筋,俗称硬钢。如冷轧带肋钢筋、预应力用钢丝、钢绞线和热处理钢筋等。这类钢筋没有明显的屈服台阶,其强度很高,伸长率小,塑性较差,破坏呈脆性,如图 1-3 所示,通常取残余塑性应变为 0.2%(变形为原标距长度 l_0 的 0.2%)时所对应的应力作为假想屈服点,用 $\sigma_{0.2}$ 表示。由试验得知, $\sigma_{0.2}$ 大致相当于此种钢筋极限强度的 85%。

3. 钢筋应具有适当的强屈比

按照现行规范的规定,钢筋混凝土结构中的受力钢筋应具有适当的强屈比,具体地说,就是:钢筋的抗拉强度实测值与屈服强度实测值的比值不应小于 1.25;钢筋的屈服强度实测值与强度标准值的比值不应大于 1.3。国家标准《钢筋混凝土用钢第 1 部分:热轧光圆钢筋》(GB 1499.1—2008)、《钢筋混凝土用钢第 2 部分:热轧带肋钢筋》(GB 1499.2—2007)对有屈服点钢筋的屈服点、抗拉强度、伸长率和冷弯性能等做出了明确规定,它们是作为检验钢筋的标准。

1.1.3 钢筋的冷拉

对有明显屈服点的钢筋进行机械冷加工,可以使钢材内部组织结构发生变化,从而提高钢筋的强度,机械冷加工有冷拉、冷拔和冷轧。钢筋的冷拉是施工单位常用的机械冷加工方法之一。

冷拉是在常温下对钢筋进行拉伸的一种加工方法。是利用有明显屈服强度的热轧钢筋“屈服强度/极限强度”比值(称屈强比)低的特性,在常温条件下,把钢筋应力拉伸到超过屈服强度以后的某一点,然后完全放松。放一段时间,再次将钢筋拉伸,则被拉伸钢筋能获得比原来高的屈服强度。

如图 1-5 所示,若将钢筋应力拉到超过原有屈服点 c 达到 k 点,然后卸荷。由于钢筋已经产生塑性变形,此时,钢筋应力应变图将沿着平行于 cO 的直线回到应力为零的 O_1 点,钢筋发生了残余变形。此时,如果立即再次张拉,则钢筋的应力-应变曲线将沿图 1-5 中的 O_1kde 发展,并在高于 k 点附近出现新的屈服点,该屈服点明显高于冷拉前的屈服点 c 。钢筋在第二次受拉时能够获得比原来更高的屈服强度,这种特性称为钢筋的“冷拉强化”。如果将钢筋经冷拉卸荷后,在常温下放置 15~20d(自然时效)再进行张拉,则应力-应变曲线将沿图中的 $O_1k'c'd'e'$ 线发展,屈服点提高到 c' 点,此时,钢筋获得了新的弹性阶段和屈服强度,其屈服台阶也较冷拉前有所缩短,伸长率也有所减小,这种特性称为“时效硬化”。钢筋冷拉时,合理选择 k 点,可使钢筋屈服强度有所提高,同时又保持一定的塑性。这

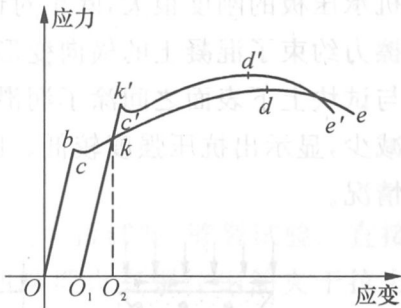


图 1-5 钢筋冷拉应力-应变曲线