

普通高等院校土木专业『十三五』规划教材

混凝土结构 设计原理

主 编 / 伍川生

HUNNINGTU JIEGOU
SHEJIYUANLI

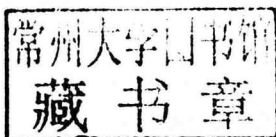


天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

普通高等院校土木专业“十三五”规划教材

混凝土结构设计原理

主 编 伍川生



内 容 提 要

本书根据全国高等院校土木工程专业指导委员会对土木工程专业学生的基本要求和审定的教学大纲并参照《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)编写而成。全书分为10章,内容包括:绪论,混凝土结构材料的物理和力学性能,混凝土结构设计基本原则,受弯构件、受压构件、受拉构件、受扭构件和预应力混凝土构件的受力性能、承载力计算方法及构造措施。每章有学习要求、本章小结、思考题和习题等内容,全书文字通俗易懂,论述由浅入深,循序渐进,便于自学理解。

本书可作为高等院校土木工程专业的教材,也可供相关专业的结构设计、施工和科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构设计原理 / 伍川生主编. — 天津: 天津大学出版社, 2018.6

普通高等院校土木专业“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5618-6156-1

I. ①混… II. ①伍… III. ①混凝土结构—结构设计—高等学校—教材 IV. ①TU370.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 134775 号

出版发行 天津大学出版社

地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)

电 话 发行部:022-27403647

网 址 publish.tju.edu.cn

印 刷 北京虎彩文化传播有限公司

经 销 全国各地新华书店

开 本 185mm × 260mm

印 张 18

字 数 449 千

版 次 2018 年 6 月第 1 版

印 次 2018 年 6 月第 1 次

定 价 43.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

为了适应 21 世纪国家建设对建筑类专业人才的需求,满足高等学校土木工程专业教学改革对教材建设的需要,根据全国高等学校土木工程学科专业指导委员会审定通过的教学大纲编写了本教材。

《混凝土结构设计原理》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,是土木工程专业重要的专业基础课。本教材内容主要包括混凝土结构材料的物理力学性能、混凝土结构设计方法以及基本构件(受弯构件、受压构件、受扭构件、受拉构件)的受力性能分析、设计计算和构造措施,正常使用阶段变形和裂缝的验算,预应力混凝土构件的原理与设计。通过本课程的学习,可使学生掌握混凝土结构的基本理论和基本设计方法,为学习后续专业课程、毕业设计以及毕业后从事土木工程领域相关工作打下坚实的基础。

同学们从力学课程转到混凝土结构课程的学习,开始会感到“内容多、概念多、公式多、符号多、构造条文多”,部分同学还会出现概念不清、公式理解不透、计算步骤掌握不到位的情况。因此,本教材在叙述方法上,由浅入深,循序渐进,力求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;突出应用,有明确的计算方法和实用设计步骤。教材中有很多计算例题,有助于学生理解和掌握设计原理。为了便于自学,每章均有学习要求、本章小结、思考题和习题等内容。

本书由长期担任“混凝土结构设计原理”课程教学工作的教师共同编写。参加编写的人员有:重庆交通大学伍川生(第 1 章、第 3 章、第 6 章、第 7 章)、安康学院牛洪涛(第 4 章、第 5 章、第 8 章)、东南大学吴京(第 10 章)、大连大学纪晓东(第 9 章)、石家庄经济学院曹秀玲(第 2 章)。全书由伍川生任主编,牛洪涛任副主编。

鉴于编者水平有限,书中难免有错误及不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2018 年 7 月

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 概念	(1)
1.2 特点	(2)
1.3 发展概况与工程应用	(3)
1.4 本课程的主要内容及学习方法	(4)
【本章小结】	(6)
【思考题】	(7)
第2章 混凝土结构材料的物理和力学性能	(8)
【学习要求】	(8)
2.1 钢筋	(8)
2.2 混凝土	(14)
2.3 混凝土与钢筋的黏结	(24)
【本章小结】	(29)
【思考题】	(30)
【习题】	(30)
第3章 混凝土结构设计基本原则	(31)
【学习要求】	(31)
3.1 结构的功能要求及可靠度	(31)
3.2 荷载代表值、荷载标准值	(35)
3.3 材料强度标准值	(37)
3.4 概率极限状态设计方法	(38)
3.5 极限状态设计表达式	(43)
【本章小结】	(48)
【思考题】	(49)
第4章 受弯构件正截面承载力计算	(50)
【学习要求】	(50)
4.1 概述	(50)
4.2 受弯构件的构造要求	(51)
4.3 正截面受弯性能试验研究	(55)
4.4 正截面受弯承载力分析	(58)
4.5 单筋矩形截面受弯承载力计算	(63)
4.6 双筋矩形截面受弯承载力计算	(68)

4.7 T形截面受弯承载力计算	(73)
【本章小结】	(81)
【思考题】	(82)
【习题】	(83)
第5章 受弯构件斜截面承载力计算	(85)
【学习要求】	(85)
5.1 概述	(85)
5.2 受弯构件受剪性能的试验研究	(86)
5.3 斜截面受剪承载力计算	(91)
5.4 斜截面受剪承载力的设计计算方法	(95)
5.5 斜截面受弯承载力和构造措施	(103)
5.6 钢筋的构造要求	(108)
【本章小结】	(111)
【思考题】	(111)
【习题】	(112)
第6章 受压构件截面承载力计算	(114)
【学习要求】	(114)
6.1 概述	(114)
6.2 轴心受压构件承载力计算	(114)
6.3 偏心受压构件正截面破坏形态	(123)
6.4 偏心受压构件的二阶效应	(125)
6.5 矩形截面非对称配筋偏心受压构件正截面承载力计算	(128)
6.6 矩形截面对称配筋偏心受压构件正截面承载力计算	(143)
6.7 矩形截面对称配筋偏心受压构件正截面承载力 $N-M$ 相关曲线	(149)
6.8 I形截面对称配筋偏心受压构件正截面承载力计算	(152)
6.9 均匀配筋偏心受压构件承载力计算	(159)
6.10 双向偏心受压构件承载力计算	(160)
6.11 偏心受压构件的斜截面承载力计算	(161)
6.12 受压构件的基本构造要求	(162)
【本章小结】	(164)
【思考题】	(166)
【习题】	(167)
第7章 受拉构件截面承载力计算	(169)
【学习要求】	(169)
7.1 轴心受拉构件正截面承载力计算	(169)
7.2 偏心受拉构件正截面承载力计算	(171)
7.3 偏心受拉构件斜截面承载力计算	(177)

【本章小结】	(178)
【思考题】	(178)
【习题】	(179)
第8章 受扭构件截面承载力计算	(180)
【学习要求】	(180)
8.1 概述	(180)
8.2 纯扭构件扭曲截面承载力计算	(181)
8.3 剪扭构件承载力计算	(185)
8.4 弯扭构件承载力计算	(188)
8.5 弯剪扭构件承载力计算	(189)
8.6 压弯剪扭构件承载力计算	(192)
8.7 受扭构件的构造要求	(193)
【本章小结】	(194)
【思考题】	(194)
【习题】	(195)
第9章 正常使用阶段的验算及结构的耐久性	(196)
【学习要求】	(196)
9.1 钢筋混凝土构件裂缝宽度验算	(196)
9.2 钢筋混凝土构件变形验算	(204)
9.3 混凝土结构的耐久性	(212)
【本章小结】	(217)
【思考题】	(218)
【习题】	(218)
第10章 预应力混凝土构件	(220)
【学习要求】	(220)
10.1 预应力混凝土的基本知识	(220)
10.2 预应力混凝土构件设计的一般规定	(226)
10.3 预应力混凝土轴心受拉构件的应力分析	(235)
10.4 预应力混凝土轴心受拉构件的计算和验算	(241)
10.5 预应力混凝土受弯构件的设计与计算	(248)
10.6 预应力混凝土构件的构造要求	(263)
【本章小结】	(266)
【思考题】	(266)
【习题】	(267)
附录	(268)
参考文献	(277)

第1章 绪 论

1.1 概念

混凝土结构是指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、型钢混凝土结构、钢管混凝土结构和纤维混凝土结构等。混凝土结构广泛应用于建筑、桥梁、隧道、矿井以及水利、港口等工程中,其中钢筋混凝土和预应力混凝土结构在工程中应用最多。

素混凝土结构是指不配置任何钢材的混凝土结构。混凝土材料的抗压强度较高,但抗拉强度却很低。因此,素混凝土结构的应用受到很大限制。素混凝土结构常用于路面和一些非承重结构。钢筋混凝土结构是由配置普通钢筋、钢筋网或钢筋骨架的混凝土制成的结构。钢筋主要配置于混凝土结构的受拉区,用于承受拉应力;混凝土则主要用来承受压应力。这样,可以很好地解决混凝土抗拉强度低的问题。与素混凝土结构相比,钢筋混凝土结构不仅可以大大提高承载力,还可以有效地改善混凝土的工作性能。型钢混凝土结构是指以型钢作为钢骨架的混凝土结构。钢管混凝土结构是指在钢管内浇筑混凝土的结构。预应力混凝土结构是指在制作结构或构件时,在某些部位预先施加应力的混凝土结构。预应力混凝土结构有效地改善了钢筋混凝土结构的抗裂性能,并且可以充分利用高强度材料。

钢筋和混凝土是两种物理和力学性质完全不同的材料,钢筋的抗拉和抗压强度都很高,但混凝土的抗压强度较高而抗拉强度却很低。为了充分利用这两种材料的性能,把钢筋和混凝土按照合理的方式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。

图 1-1 所示为两根截面尺寸、跨度、混凝土强度等级完全相同的简支梁,图 1-1(a)为素混凝土梁,图 1-1(b)中的梁在受拉区配有适当数量的钢筋。素混凝土梁由于混凝土抗拉强度很低,当荷载很小时,梁下部受拉区边缘的混凝土就会出现裂缝,而受拉区混凝土一旦开裂,梁在瞬间就会脆断而破坏,所以素混凝土梁的承载力很低。对于受拉区配置适量钢筋的梁,当受拉区混凝土开裂后,受拉区的拉应力主要由钢筋承受,中和轴以上受压区的压应力仍由混凝土承受。此时,荷载还可以继续增加,直到受拉区的钢筋达到屈服强度,随后荷载

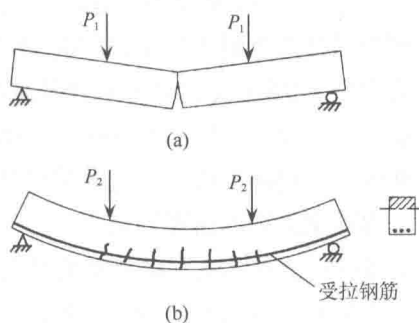


图 1-1 素混凝土梁和钢筋混凝土梁
(a)素混凝土梁 (b)钢筋混凝土梁

略有上升,受压区混凝土被压碎,梁即告破坏。试验表明,钢筋混凝土梁比素混凝土梁的承载力提高很多。由此可见,混凝土的抗压能力和钢筋的抗拉能力都得到了充分利用,而且在梁破坏前,有明显的破坏预兆,结构的受力特性得到显著改善。

钢筋和混凝土这两种物理和力学性能差别很大的材料,之所以能够有机地结合在一起共同工作,主要基于以下三个条件。

① 钢筋和混凝土之间有黏结力:混凝土硬化后与钢筋之间产生了良好的黏结力,使两者可靠地结合在一起,从而保证在外荷载的作用下,钢筋与混凝土能够协调变形。黏结力是使这两种不同性质的材料结合在一起共同工作的基础。

② 相近的温度线膨胀系数:混凝土的温度线膨胀系数为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}$,钢筋为 1.2×10^{-5} 。因此,当温度变化时,不会产生较大的相对变形而破坏两者的黏结力。

③ 混凝土对钢筋的保护作用:暴露在空气介质中的钢材,很容易锈蚀,而混凝土呈弱碱性,能够起到保护钢筋免遭锈蚀的作用,从而保证结构具有良好的耐久性,使钢筋和混凝土长期可靠地共同工作。

1.2 特点

1. 混凝土结构的主要优点

① 就地取材:混凝土结构中的主要材料,如砂和石均可就地取材。在工业废料(例如矿渣、粉煤灰等)比较多的地方,可以利用工业废料作为人造骨料。

② 节约钢材:以钢筋混凝土为例,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,与钢结构相比节约钢材并降低造价。

③ 整体性好:现浇或装配整体式混凝土结构具有良好的整体性。由于刚度大、整体性好,能较好地抗击地震作用或强烈爆炸时冲击波的作用。

④ 可模性好:混凝土结构可以根据需要制成任意形状和尺寸的结构,有利于建筑造型,便于工程开孔、留洞。

⑤ 耐久性好:以钢筋混凝土为例,钢筋埋放在混凝土中,受混凝土保护不易发生锈蚀,所以钢筋混凝土的耐久性是很好的,不像钢结构那样需要经常保养和维修。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,也可以满足工程需要。

⑥ 耐火性好:混凝土为不良导热体,当火灾发生时,混凝土不会像木结构那样易燃烧,也不会像钢结构那样很快软化而致破坏。与钢、木结构相比,混凝土结构的耐火性能更好。

2. 混凝土结构的主要缺点

① 自重大:在承受同样荷重的情况下,混凝土构件的自重比钢结构构件大很多,这样它所能负担的有效荷载相对较小。这对大跨度结构、高层建筑结构十分不利。另外,自重大会使结构地震力加大,故对结构抗震也不利。

② 抗裂性差:由于混凝土的抗拉强度非常低,所以普通钢筋混凝土结构经常带裂缝工作。如果裂缝过宽,则会影响结构的耐久性和应用范围,还会使使用者产生不安全感。

③ 模板用量大:混凝土结构的制作需要大量模板。如果采用木模板,会增加工程造价。

此外,混凝土结构施工工序复杂,工期较长,且受气候和季节的影响大。新旧混凝土不易连接,增加了补强、修复的困难。混凝土的隔热、隔声性能也比较差。

综上所述不难看出,混凝土结构的优点远多于其缺点。因此,它已经在工程中得到广泛应用。而且,随着科学技术的不断发展,人们已经研究出许多克服其缺点的有效措施。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;采用装配式预制构件,改用可重复使用的钢模板或工具式模板;采用顶升或提升等施工技术,可以改善混凝土结构的制作条件,并能提高工程质量及加快施工进度等。

1.3 发展概况与工程应用

混凝土结构应用于土木工程已有 150 多年的历史。与砖石结构、钢木结构相比,混凝土结构的历史并不长,但由于钢筋和混凝土作为建筑材料具有诸多突出的优点,混凝土结构在建筑、桥梁、水利、港口、隧道等各个领域得到了广泛的应用,已成为土木工程结构中最主要的结构类型。混凝土结构的应用和发展大致可以分为四个阶段。

第一阶段:从钢筋混凝土的发明至 20 世纪初。这一时期由于钢筋和混凝土的强度都很低,仅能建造一些小型的梁、板、柱、拱和基础等构件,在设计计算方面,尚未建立钢筋混凝土结构本身的计算理论,结构内力计算和构件的截面计算采用容许应力设计方法。混凝土结构在建筑工程中的应用发展较慢。

第二阶段:从 20 世纪 20 年代到第二次世界大战前后。这一时期钢筋和混凝土的强度有所提高,已建成各种空间结构。1928 年法国土木工程师 E. Freyssinet 成功发明了预应力混凝土,为钢筋混凝土结构向大跨度、高层发展提供了可能。在计算理论上已开始按破坏阶段计算构件截面强度,对某些结构也开始考虑塑性变形引起的内力重分布。第二次世界大战后,由于钢材短缺,混凝土结构得到大规模的应用。

第三阶段:第二次世界大战后到 20 世纪 70 年代末。由于材料强度的提高,加上工业化施工方法的较快发展,混凝土结构的应用范围进一步扩大。世界上相继建造了一大批超高层建筑、大跨度桥梁、特长跨海隧道、高耸结构等大型工程,混凝土高层建筑的高度已达 262 m。在设计计算理论方面,发展了以概率理论为基础的极限状态设计法,并被普遍采用。

第四阶段:从 20 世纪 80 年代到现在。钢筋混凝土结构工业化体系在世界范围内获得发展。计算机辅助设计和绘图的程序化,提高了设计质量和设计速度,大大减轻了设计工作量。半概率极限状态设计法已经逐步被近似概率设计法所取代,非线性有限元分析方法的广泛应用,推动了对混凝土强度理论和本构关系的深入研究。混凝土材料的制作技术已进入高科技时代,高性能混凝土在国外已得到较快发展,并在工程中应用,使混凝土结构更适于向大跨度、超高层发展。各种特殊用途的混凝土不断研制成功并获得应用,如钢纤维混凝土和聚合物混凝土,防射线、耐热、耐火、耐磨、耐腐蚀、防渗透、保温等有特殊要求的混凝土。钢材的发展以提高其屈服强度和综合性能为主,使钢筋具有更高的强度、更好的耐腐蚀性、较高的延性和较好的防火性能。这些都极大地推进了混凝土结构的应用。

从目前世界各国的情况来看,钢筋混凝土结构已经发展成为建筑结构中最主要的结构

体系,广泛应用于工业建筑、民用建筑、城建及交通、水利水电、国防工程、海洋工程等各个方面,几乎在所有的基本建设工程领域中,都可以应用到它。

在工业建筑中,特别是中小型厂房的屋架、屋面梁、屋面板、吊车梁、柱、基础等,特种结构的烟囱、水池、水塔、冷却塔、筒仓、栈桥、贮罐、电视塔以及原子能发电站的压力容器等,普遍采用钢筋混凝土结构或预应力混凝土结构。在大跨度的公共建筑和工业建筑中,常采用钢筋混凝土桁架、门式刚架、拱、薄壳等结构形式。

在民用建筑中,不论单层、多层、高层民用房屋结构,还是特种民用建筑(如火车站候车厅,运动场看台,大跨度会堂、影剧院等)都广泛采用了钢筋混凝土结构。

混凝土结构在城建交通工程中的应用也极为广泛。用钢筋混凝土建造的港口、码头、船坞、道路、桥梁、电杆、输电线塔、给排水管网、隧道、涵洞、轨枕等星罗棋布。在桥梁工程中,中小跨度的桥梁绝大部分采用钢筋混凝土结构建造,相当多的大跨度桥梁也采用混凝土结构建造。如1991年建成的挪威斯堪桑德预应力斜拉桥,主孔跨度达530 m,是当时跨径最大的混凝土斜拉桥。1995年我国建成的重庆长江二桥为双塔双索面预应力混凝土斜拉桥,其主孔跨度达到444 m。1997年建成的四川万县长江大桥全长856.12 m,主拱圈为钢管混凝土劲性骨架箱形混凝土结构,主跨420 m,桥面宽24 m,为双向四车道,是当时世界最大跨径的混凝土拱桥。1995年建成的汕头海湾大桥,全长2500 m,主跨452 m,是当时我国第一座大型预应力混凝土悬索桥……

水利水电工程中的水电站、挡水坝、引水渡槽、污水排灌管等也都采用钢筋混凝土结构。我国的龙滩电站是一个碾压混凝土重力坝,最大坝高216.5 m,坝顶长849.44 m,坝体混凝土660万立方米;我国黄河小浪底水利枢纽中小浪底大坝最大坝高160 m,其主体工程混凝土用量达269万立方米;我国的三峡水利枢纽中的西陵峡水电站主坝,坝高185 m,设计装机容量1820万千瓦,是世界最大的水电站。

国防工程中的防御工事、防空设施、防放射线结构物、卫星火箭发射场等大都采用混凝土结构。海洋工程中的海上近海采油平台、水下贮油罐等工程也多用钢筋混凝土结构建造,如1989年建成的挪威北海混凝土近海采油平台。

1.4 本课程的主要内容及学习方法

1.4.1 课程主要内容

混凝土结构课程包括混凝土结构设计原理和混凝土结构设计两大部分。

混凝土结构设计原理是一门理论与应用并重的专业基础课,是土木工程和土木类专业的必修课,也是学习混凝土结构设计的基础。混凝土结构设计原理主要介绍混凝土和钢筋的力学性能,结构设计的基本方法,各类基本构件的受力性能、计算理论、计算方法、配筋构造以及预应力混凝土的基本原理和构件计算。

混凝土结构是由各种基本构件组成的。构件按其在结构中的受力形态可分为梁、板、柱、墙等;按其受力特点分为受弯构件、受压构件、受拉构件、受扭构件等几类基本构件。构

件截面的基本受力形态有正截面受弯、受压、受拉,斜截面受剪和受弯,扭曲截面受扭,而基本构件的受力往往是这些基本受力形态的组合。以下是按受力特点划分的几种基本构件。

① 受弯构件,如梁、板、雨篷、阳台和楼梯等。截面内力以弯矩为主,故称为受弯构件,同时构件截面上也有剪力存在。

② 受压构件,如柱、墙、桁架的受压腹杆等。截面内力以压力为主,当压力沿构件纵轴作用在构件截面形心上时,则为轴心受压构件;如果在截面上同时有压力和弯矩作用,则为偏心受压构件。受压构件中通常还有剪力同时作用,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。当忽略自重时,通常按轴心受拉构件考虑;另外,圆形水池的池壁也可以按轴心受拉构件计算。如果截面上同时有拉力和弯矩作用,则为偏心受拉构件。受拉构件中也会有剪力作用。

④ 受扭构件,如框架结构的边梁、雨篷梁及厂房中的吊车梁等。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作用的影响。

1.4.2 课程特点及学习方法

在学习混凝土结构设计原理课程时,应该注意以下几点。

1. 注意与材料力学的联系和区别

钢筋混凝土结构基本原理和材料力学一样,都是研究构件受力时强度和变形规律的学科,但材料力学研究的对象是由单一、匀质、连续、弹性材料组成的构件,而钢筋混凝土构件是由两种材料组成的,且混凝土是非匀质、非连续、非弹性的材料。由于材料本身力学性能的复杂性,导致构件受力性能的差异和复杂,因此材料力学的公式一般不能直接用来计算钢筋混凝土构件的承载力和变形,但材料力学分析问题的基本思路,即由材料的物理关系、变形的几何关系和受力的平衡关系建立的理论分析方法,同样适用于混凝土构件,只是在具体应用时应考虑钢筋混凝土本身的特性。学习本课程时应注意与材料力学对比学习,找出它们之间的差异和共同点。

2. 两种材料应合理搭配

钢筋混凝土构件由两种材料组成,因此这两种材料在数量和强度上存在一个合理搭配的问题。钢筋与混凝土数量和强度的配合比值的大小不仅影响构件截面的承载能力,还影响构件的受力性能和破坏形态,这也直接导致构件截面承载力计算方法的不同。几乎所有钢筋混凝土构件的基本受力形态都存在配比界限,这些在学习中应给予重视。

3. 重视试验研究

由于材料的复杂性,在研究钢筋混凝土构件破坏机理和受力性能,建立其计算理论和计算方法时都离不开大量的试验和对试验结果的分析。结构构件计算的很多公式都是在理论分析的基础上结合试验研究结果提出的。因此,所建立的计算公式会有一定的限制条件和适用范围。学习时一定要重视试验研究,深刻理解构件的破坏机理和受力性能,应用公式时应特别注意其适用条件。由于在计算方法中包含了很多试验研究的内容,并且为了简化计算公式的表达形式以及反映多种物理概念,混凝土结构计算中还有很多经验系数,这些也都是与数学和力学类课程很不相同的地方,学习中应通过理解其物理含义来加以记忆。

4. 重视构造措施

进行混凝土结构设计时离不开计算,但是现行规范的计算方法一般只考虑荷载效应,工程中一些难以计算但影响不大,或者数值较小但计算复杂的问题往往通过经验和构造措施来解决,如混凝土收缩、温度影响以及地基不均匀沉降等,都难以用计算公式来表达。构造措施是长期工程实践经验的积累,是试验研究与理论分析的成果。在本课程中,有很多内容是介绍规范规定的构造要求的。学习时,对于各种构造措施必须给予足够的重视,要避免重计算、轻构造的倾向。

5. 了解结构设计的综合性

混凝土结构设计包括确定方案、选择材料,确定构件的截面形式、配筋计算以及构造措施保证等多个方面。在此之前的基础课学习中,同学们习惯于在一定的已知条件下只能得到唯一的解答,而钢筋混凝土结构构件设计问题的解答却往往是多样的。对同一问题可以有多种解决办法,应结合具体情况确定最佳方案,以获得良好的技术经济效益。所以在学习过程中,应学会考虑多因素综合分析的合理设计方法。

6. 熟悉、理解和学习运用设计规范

本课程的内容主要与《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)和《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)等有关。规范是国家颁布的具有法律约束力的文件,是进行结构设计的技术规定和标准。应用规范的目的是贯彻国家的技术经济政策,保证设计质量,达到设计方法的统一性。在结构设计中,一方面必须遵循规范的规定;另一方面只有深刻理解规范的理论依据,才能更好地应用规范标准,充分发挥设计者的主动性和创造性。由于科学技术水平和生产实践经验不断发展,所以规范也需要不断地修订和补充,以吸收最新科学技术成果,不断完善和提高规范的内容和质量。

【本章小结】

① 以混凝土材料为主,在其中配置钢筋、预应力钢筋、型钢、钢管等,作为主要承重材料的结构,称为混凝土结构。如素混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、型钢混凝土结构、钢管混凝土结构和纤维混凝土结构等,其中以钢筋混凝土和预应力混凝土结构在工程中应用最多。

② 钢筋和混凝土是两种物理和力学性质完全不同的材料,将其按照合理的方式结合在一起,使钢筋主要承受拉力,混凝土主要承受压力,充分利用了两种材料的性能。配置钢筋后,不仅使构件的承载力大大提高,而且构件的受力性能也得到显著改善。二者共同工作主要基于三个条件:钢筋和混凝土之间存在黏结力、钢筋和混凝土的温度线膨胀系数相近、混凝土对钢筋具有保护作用。

③ 混凝土结构具有就地取材、节约钢材、整体性好、可模性好、耐久性和耐火性好等很多优点,因此广泛应用于建筑、桥梁、隧道、矿井及水利、港口等工程中。但是也存在一些问题,自重和抗裂性差是其突出的缺点。不过,随着科学技术的不断发展,人们已经研究出

许多克服其缺点的有效措施。

④ 本课程主要介绍混凝土和钢筋的力学性能,结构设计的基本方法,各类基本构件(受弯构件、受压构件、受拉构件、受扭构件)的受力性能、计算理论、计算方法、配筋构造以及预应力混凝土的基本原理和构件计算。

⑤ 学习本课程时,应注意与材料力学的联系和区别,注意两种材料的配比界限,对于试验研究和有关构造措施应给予足够的重视,认识到综合性和创造性,在学习基本原理的同时,逐渐熟悉、理解和学习运用设计规范。

【思考题】

- 1-1 简要说明什么是混凝土结构,什么是素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构。
- 1-2 在受拉区配置钢筋的梁与素混凝土梁在承载力和受力性能方面有什么不同?
- 1-3 钢筋混凝土结构中配置一定形式和数量的钢筋有什么作用?
- 1-4 钢筋和混凝土是两种物理和力学性能很不相同的材料,它们为什么能结合在一起共同工作?
- 1-5 混凝土结构有哪些优点和缺点?其缺点可以用什么办法加以克服?
- 1-6 学习本课程应注意哪些问题?

第2章 混凝土结构材料的物理和力学性能

【学习要求】

① 熟悉钢筋的种类、级别、形式及其性能,掌握有明显屈服点钢筋和无明显屈服点钢筋的应力-应变曲线的特点和设计时强度的取值标准,熟悉土木工程对钢筋性能的要求及钢筋的选用原则。

② 掌握混凝土在各种受力状态下的强度与变形性能,了解影响混凝土强度与变形的因素,熟悉混凝土的选用原则。

③ 了解钢筋与混凝土共同工作的原理及钢筋与混凝土之间产生黏结力的原因与影响因素,熟悉保证钢筋和混凝土共同工作的构造要求。

2.1 钢筋

2.1.1 钢材成分

混凝土结构中使用的钢筋,按化学成分可以分为碳素钢及普通低合金钢两大类。碳素钢除含有铁元素外,还含有少量的碳、硅、锰、硫、磷等元素。根据含碳量的多少,碳素钢又可以分为低碳钢(含碳量少于0.25%)、中碳钢(含碳量为0.25%~0.6%)和高碳钢(含碳量为0.6%~1.4%),含碳量越高强度越高,但是塑性和可焊性会降低。

普通低合金钢除碳素钢中已有的成分外,还有少量的硅、锰、钛、钒、铬等合金元素,可以有效地提高钢材的强度和改善钢材的其他性能。目前,我国普通低合金钢按加入的元素种类分为以下几种体系:锰系(如20MnSi、25MnSi)、硅钒系(如40Si2MnV、45SiMnV)、硅钛系(如45Si2MnTi)、硅锰系(如40Si2Mn、48Si2Mn)、硅铬系(如45Si2Cr)等。

2.1.2 钢筋的品种和级别

建筑所用钢筋分为热轧钢筋、消除应力钢丝(包括光面钢丝、螺旋肋钢丝和刻痕钢丝)、钢绞线、热处理钢筋等四种。

1. 热轧钢筋

热轧钢筋是用普通低碳钢、普通低合金钢在高温状态下轧制而成的。热轧钢筋的强度由低到高分为HPB300、HRB335、HRB400和HRB500四个级别,各等级钢筋所采用钢种、符号及直径范围见表2-1。其中,HPB300是光面钢筋,HRB335、HRB400和HRB500钢筋是变

形钢筋。通常变形钢筋的直径不小于 10 mm,光面钢筋的直径不小于 8 mm。设计时应在表 2-1 给出的直径范围内选择钢厂能提供的钢筋。直径大于 40 mm 的钢筋主要用于大体积混凝土结构中。

在实际工程设计计算书和施工图纸上,各种强度等级的热轧钢筋均以表 2-1 中的符号代表。

表 2-1 常用热轧钢筋的种类、代表符号和直径范围

种类	钢种	符号	直径
HPB300	Q300	Φ	6 ~ 14 mm
HRB335	20MnSi	⦶	6 ~ 14 mm
HRB400	20MnSiV、20MnSiNb、20MnTi	⦶	6 ~ 50 mm
HRB500	K20MnSi	⦶ ^R	6 ~ 50 mm

2. 消除应力钢丝

消除应力钢丝一般指经过冷拔的钢丝。在拉拔过程中,在其内部会产生很大的内应力且有一部分会残留下来,这种应力称为残余应力。残余应力对钢丝的使用性能有较大的影响,一般要经过回火来消除,经过回火消除冷拔残余应力的钢丝称为消除应力钢丝。消除应力钢丝按生产工艺及外形不同又分为光面钢丝、螺旋肋钢丝和刻痕钢丝。

光面钢丝是指将钢筋拉拔后校直,经中温回火消除应力并进行稳定处理的钢丝。螺旋肋钢丝是以普通低碳钢或低合金钢热轧的圆盘条为母材,经冷轧减径后在其表面冷轧成两面或三面有月牙肋的钢丝。光面钢丝和螺旋肋钢丝直径为 4 ~ 9 mm。刻痕钢丝是在光面钢丝的表面进行机械刻痕处理,以增加其与混凝土的黏结力,直径为 5 mm 和 9 mm 两种。

3. 钢绞线

钢绞线是由多根高强光面钢丝捻制在一起并经过低温回火处理,清除内应力后制成的。常用的钢绞线有 3 股和 7 股两种,外接圆直径为 8.6 ~ 15.2 mm,均可盘成卷状。

4. 热处理钢筋

热处理钢筋是将特定强度的热轧钢筋通过加热、淬火和回火等调质工艺处理后加工而成的。热处理后钢筋强度能得到较大幅度的提高,而塑性降低并不多。热处理钢筋有 40Si2Mn、48Si2Mn 和 45Si2Cr 三种。

常用钢筋如光圆钢筋、螺纹钢筋、人字纹钢筋、月牙纹钢筋、刻痕钢丝、钢绞线等的表面形状如图 2-1 所示。

为了节约钢材和扩大钢筋的应用范围,常常对热轧钢筋进行冷拉、冷拔等机械加工。但钢筋经冷加工后,其延伸率降低,尤其是用于预应力混凝土时,易造成脆性断裂。由于近年来我国强度高、性能好的钢筋(钢丝、钢绞线)已能充分供应市场,故《混凝土结构设计规范》未列入冷加工钢筋,使用时应遵照专门的规程。

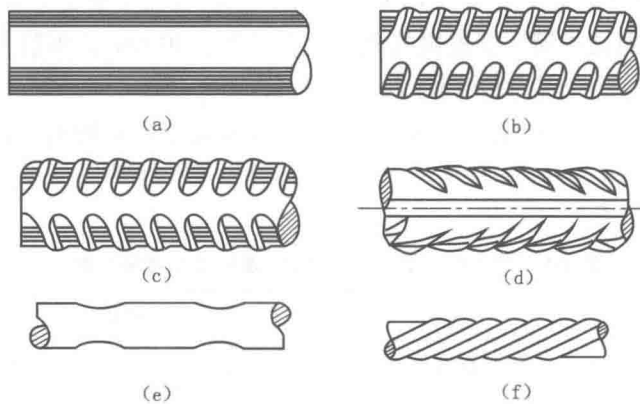


图2-1 常用钢筋表面形式

(a)光圆钢筋 (b)螺纹钢筋 (c)人字纹钢筋 (d)月牙纹钢筋 (e)刻痕钢筋 (f)钢绞线

2.1.3 钢筋的强度与变形性能

1. 钢筋的强度

钢筋的强度可以用拉伸试验得到的应力-应变关系曲线来说明。根据钢筋单调受拉时的应力-应变关系曲线特点的不同,可分为有明显屈服点钢筋(如热轧钢筋)和无明显屈服点钢筋(如热处理钢筋)。

(1) 有明显屈服点钢筋的强度

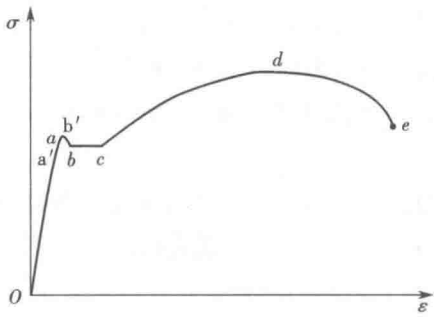


图 2-2 有明显屈服点钢筋的应力-应变关系曲线

有明显屈服点钢筋拉伸试验得到的典型应力-应变关系曲线曲线见图 2-2。从图中可以看到,在 a' 点以前,应力与应变成线性变化,即 $\sigma = E_s \varepsilon$, E_s 为钢筋的弹性模量,与 a' 点对应的应力称为比例极限;过 a' 点后,应变较应力增长快,不再与应力成比例关系,但仍为弹性变形, a 点后为非弹性变形, a 点对应的应力称为弹性极限。到达 b' 点后,钢筋应力开始出现塑性流动现象, b' 点对应的应力称为屈服上限,它与加载速度、截面形式、试件表面光洁度等因素有关,通常 b' 点是不稳定的。待应力降至屈服下限 b 点,这时应力基本不增加而应变急剧增长,应力-应变关系接近水平线,直至 c 点, b 点到 c 点的水平距离的大小称为流幅或屈服台阶。 c 点以后,随应变的增加,应力又继续上升,至 d 点应力达到最大值,该应力称为钢筋的极限强度, cd 段称为钢筋的强化阶段; d 点以后,试件薄弱处将会发生颈缩现象,截面突然缩小,变形迅速增加,应力随之下降,达到 e 点时试件被拉断。

有明显屈服点钢筋强度的基本指标有两个,即屈服强度和极限强度。屈服强度是有明显屈服点钢筋强度的设计取值依据。由于构件中钢筋的应力到达屈服点后,会产生很大的