

钢筋混凝土与砌体结构

Gangjin Hunningtu yu Qiti Jiegou

主 编 / 李丛巧

主 审 / 马 丽



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

钢筋混凝土与砌体结构

Gangjin Hunningtu yu Qiti Jiegou

主 编 / 李丛巧

主 审 / 马 丽



人民交通出版社股份有限公司

China Communications Press Co., Ltd.

北 京

内 容 提 要

本课程是中等职业学校建筑工程施工专业的必修课之一。本书共分 10 个模块,内容包括:钢筋混凝土结构概述,钢筋混凝土受弯构件承载力计算,钢筋混凝土受压构件承载力计算,钢筋混凝土梁板结构,钢筋混凝土楼梯,预应力混凝土构件的基本知识,砌体结构概述,砌体结构构件的承载力计算,混合结构房屋墙、柱设计和砌体结构构造措施。

本书可作为中等职业学校建筑工程施工专业的教材,也可供相关从业人员参考,亦可作为相关岗位的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

钢筋混凝土与砌体结构 / 李丛巧主编. —北京:
人民交通出版社股份有限公司, 2014. 12
ISBN 978-7-114-11927-9

I. ①钢… II. ①李… III. ①钢筋混凝土结构 ②砌块
结构 IV. ①TU375 ②TU36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 002452 号

书 名: 钢筋混凝土与砌体结构

著 作 者: 李丛巧

责任编辑: 吴燕伶 李 坤

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 10.75

字 数: 213 千

版 次: 2014 年 12 月 第 1 版

印 次: 2014 年 12 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-11927-9

定 价: 28.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前 言

本书是为了满足中等职业学校建筑工程施工专业教学改革的需要,根据相关《建筑工程施工专业人才培养方案》和《钢筋混凝土与砌体结构教学大纲和课程标准》编写而成。

本书的内容编排注重培养学生识读结构施工图的能力,并依据专业职业岗位需要及实用性原则选定。根据专业培养中等应用型人才的目标,教材内容以必需和够用为度,以讲清概念、强化应用为重点,注重与现场实际工作内容相结合,培养学生分析问题、解决问题的能力。内容由易到难,循序渐进,不追求内容涵盖面面俱到,而探求理论知识所学为用。

本书共有10个模块,分别是:钢筋混凝土结构概述,钢筋混凝土受弯构件承载力计算,钢筋混凝土受压构件承载力计算,钢筋混凝土梁板结构,钢筋混凝土楼梯,预应力混凝土构件的基本知识,砌体结构概述,砌体结构构件的承载力计算,混合结构房屋墙、柱设计,砌体结构构造措施。

本书由齐齐哈尔铁路工程学校李丛巧担任主编,编写分工如下:齐齐哈尔铁路工程学校李丛巧编写模块1、模块2、模块3、模块6,逢立波编写模块4、模块5;黑龙江农垦工业学校董宏波编写模块7、模块8、模块9、模块10。全书由齐齐哈尔铁路工程学校马丽主审。本书编写过程中,哈尔滨铁路局齐齐哈尔勘测设计所所长、高级工程师李光玉给予了大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏之处,恳请读者给予批评指正。

编 者

2014年10月

目 录

模块1 钢筋混凝土结构概述	1
1.1 建筑结构的概念、分类及发展趋势	1
1.2 混凝土结构材料的力学性能	6
1.3 建筑结构的计算原则	19
本模块回顾	29
想一想	30
模块2 钢筋混凝土受弯构件承载力计算	31
2.1 梁、板的构造要求	31
2.2 单筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	37
2.3 单筋T形截面受弯构件正截面承载力计算	46
2.4 受弯构件斜截面承载力计算	52
本模块回顾	58
想一想	59
模块3 钢筋混凝土受压构件承载力计算	61
3.1 构造要求	62
3.2 轴心受压构件的承载力计算	64
3.3 偏心受压构件的承载力计算	67
本模块回顾	73
想一想	73
模块4 钢筋混凝土梁板结构	75
4.1 钢筋混凝土楼(屋)盖	75
4.2 现浇楼(屋)盖	75
4.3 装配式楼(屋)盖	79
4.4 钢筋混凝土房屋结构施工图	84
本模块回顾	95
想一想	95
模块5 钢筋混凝土楼梯	96
5.1 钢筋混凝土楼梯的类型	96
5.2 现浇楼梯的构造	98

5.3 楼梯结构详图	100
本模块回顾	100
想一想	101
模块 6 预应力混凝土构件的基本知识	102
6.1 预应力混凝土的基本概念	102
6.2 张拉控制应力与预应力损失	105
6.3 预应力混凝土构件的材料及构造要求	108
本模块回顾	110
想一想	110
模块 7 砌体结构概述	111
7.1 砌体结构的演变及特点	111
7.2 砌体的材料、强度等级及选用	115
7.3 砌体的种类及其力学性能	118
本模块回顾	123
想一想	123
模块 8 砌体结构构件的承载力计算	124
8.1 砌体结构构件的设计方法	124
8.2 无筋砌体构件承载力	124
8.3 配筋砌体构件	137
本模块回顾	142
想一想	142
模块 9 混合结构房屋墙、柱设计	144
9.1 房屋的结构布置方案	144
9.2 房屋的静力计算方案	146
9.3 墙、柱高厚比验算及构造要求	148
本模块回顾	152
想一想	153
模块 10 砌体结构构造措施	154
10.1 圈梁的设置及构造要求	154
10.2 过梁的构造、荷载及计算	155
10.3 防止或减轻墙体开裂的主要措施	157
10.4 砌体结构墙体其他构造要求	160
本模块回顾	162
想一想	163
参考文献	164

模块 1 钢筋混凝土结构概述

学习目标

1. 掌握建筑结构的作用及分类,混凝土结构的特点。
2. 掌握钢筋、混凝土的力学性能及钢筋与混凝土的相互作用。
3. 掌握建筑结构荷载的类型和计算方法,了解建筑结构概率极限状态设计方法。
4. 了解混凝土耐久性的规定。

1.1 建筑结构的概念、分类及发展趋势

建筑是供人们生产、生活和进行其他活动的房屋或场所。各类建筑都离不开梁、板、墙、柱、基础等构件,它们相互连接形成建筑的骨架。建筑中由若干构件连接而成的能承受各种作用的受力体系称为建筑结构。这里所说的“作用”,是指能使结构或构件产生效应(内力、应力、位移、应变、裂缝等)的各种原因的总称。作用可分为直接作用和间接作用。直接作用是指直接作用在结构上的力集(包括集中力、分布力等),通常称为荷载,如永久荷载、可变荷载、雪荷载、吊车荷载和风荷载等,它们能直接使结构产生内力和变形;间接作用是指不直接以力集的形式出现,如温度变化、材料收缩和徐变、地基变形、地震等引起结构外加变形或约束变形,从而使结构产生内力效应。

1.1.1 建筑结构的分类

按照结构所用材料不同,建筑结构可分为以下几种类型。

1) 混凝土结构

混凝土结构是以混凝土为主建造的结构,它包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构等,其中钢筋混凝土结构应用最为广泛。图 1-1 为正在施工中的钢筋混凝土结构。

钢筋混凝土结构具有以下优点:

(1) 易于就地取材。钢筋混凝土的主要材料是砂、石,这两种材料几乎到处都有。水泥和钢材的产地在我国分布也比较广。这都有利于降低工程造价。

(2) 耐久性好。钢筋混凝土结构中,钢筋被混凝土紧紧包裹而不易被锈蚀。混凝土的强度还能

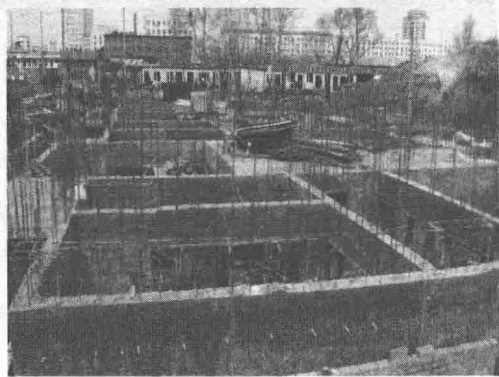


图 1-1 正在施工中的钢筋混凝土结构

随龄期而不断提高。因此它具有很好的耐久性,几乎不用维修。

(3) 抗震性能好。钢筋混凝土结构特别是现浇结构具有很好的整体性,能抵御地震作用。这对于地震区的建筑物有重要意义。

(4) 可塑性好。混凝土拌和物是可塑的,可根据工程需要制成各种形状的构件。这便于合理选择结构形式及构件断面。

(5) 耐火性好。钢筋混凝土结构中,因混凝土的导热性很差,在发生火灾时,钢筋不会很快达到软化温度而造成结构破坏。

由于上述优点,钢筋混凝土结构不但被广泛应用于多层与高层住宅、宾馆、写字楼以及单层与多层工业厂房等工业与民用建筑中,而且还应用于水塔、烟囱、核反应堆等特种结构。

当然,钢筋混凝土也有一些缺点,如自重大、抗裂性能差、现浇结构模板用量大与工期长等。随着科学技术的不断发展,这些缺点可以逐渐克服,例如:采用轻集料混凝土可以减轻结构自重,采用预应力混凝土可以提高构件的抗裂性能,采用预制构件可以减少模板用量,从而缩短工期。

2) 砌体结构

由块体(砖、石材、砌块)和砂浆砌筑而成的墙、柱作为建筑物主要受力构件的结构称为砌体结构。它可分为砖砌体结构、石砌体结构和砌块砌体结构三类。图 1-2 为正在施工中的砌体结构。

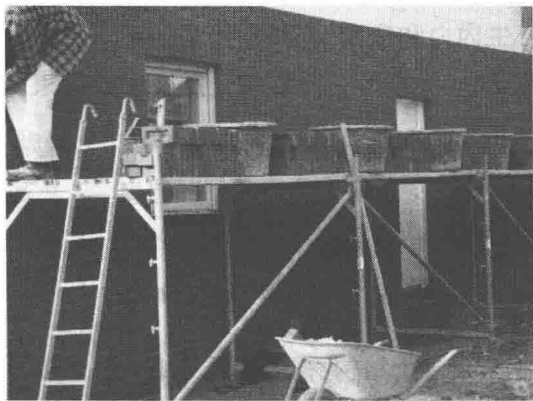


图 1-2 正在施工中的砌体结构

砌体结构主要有以下优点:

(1) 容易就地取材。砌体结构所用的原材料,如黏土、砂子、天然石材等,几乎到处都有,因而比钢筋混凝土结构更为经济,并能节约水泥、钢材和木材。

(2) 具有良好的耐火性及耐久性。

(3) 具有良好的保温、隔热、隔声性能。

(4) 施工简单,技术容易掌握和普及,也不需要特殊的设备。

砌体结构的主要缺点是自重大、强度尤其是

抗拉强度低、整体性差。

砌体结构在我国房屋建筑中占有很大的比例。在实际工程中,砌体结构主要用作房屋结构中的竖向承重构件(如墙、柱等),而水平承重构件(如梁、板等)多为钢筋混凝土结构。这种由两种及两种以上材料作为主要承重结构的房屋,称为混合结构。

3) 钢结构

钢结构是指以钢材为主建造的结构。

钢结构具有以下优点:

(1) 材料强度高、自重轻、塑性和韧性好及材质均匀。

(2) 便于工厂生产和机械化施工与拆卸。

(3) 具有优越的抗震性能。

(4) 无污染、可再生、节能、安全,符合建筑可持续发展的原则,可以说钢结构的发展是 21 世纪建筑文明的体现。

钢结构的缺点是易腐蚀、耐火性差、工程造价和维护费用较高。钢结构的应用正日益增多,尤其是在高层建筑及大跨度结构(如屋架、网架、悬索等结构)中。图 1-3 所示为钢结构厂房。

4) 木结构

木结构是指全部或大部分用木材建造的结构。这种结构易于就地取材,建造简单,但易燃、易腐蚀、变形大。另外,木材使用受到国家严格限制,因此木结构已很少采用。

1.1.2 混凝土结构的应用及发展趋势

现代混凝土结构是随着水泥和钢铁工业的发展而发展起来的,至今已有 150 年的历史。生铁和熟铁分别在 17 世纪和 19 世纪被用于建造桥梁和房屋。1824 年,英国约瑟夫·阿斯匹丁(Joseph Aspdin)获得了波特兰水泥专利,标志着混凝土问世,随后出现了钢筋混凝土结构。20 世纪 30 年代预应力混凝土结构的出现,使混凝土结构的应用范围更为广泛。

从 1850 年到 20 世纪 20 年代,是钢筋混凝土发展的初步阶段。从 20 世纪 30 年代开始,人们从材料性能的改善、结构形式的多样化、施工方法的革新、计算理论和设计方法的完善等多方面开展了大量的研究工作,工程应用十分普遍,使钢筋混凝土结构进入了现代化的阶段。例如上海环球金融中心(见图 1-4),地上 101 层、地下 3 层,建筑高度 492.5m;台北 101 大厦(见图 1-5),地上 101 层,地下 3 层,建筑高度 508m;迪拜塔(见图 1-6),地上 160 层,建筑高度 828m。



图 1-3 钢结构厂房



图 1-4 上海环球金融中心

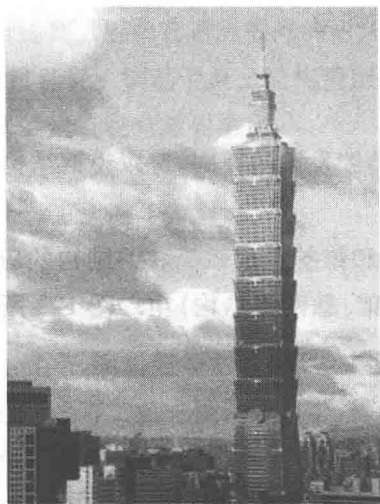


图 1-5 台北 101 大厦



图 1-6 迪拜塔

虽然建筑结构经历了漫长的发展过程,但至今仍生机勃勃、不断发展。概括起来,建筑结构主要有以下发展趋势。

(1) 理论方面

①随着研究的不断深入、统计资料的不断积累,结构设计方法将会发展至全概率极限状态设计方法。

②衡量结构安全的可靠度理论也在逐渐发展,目前有学者提出全过程可靠度理论,将可靠度理论应用到工程结构设计、施工与使用的全过程中,以保证结构的安全可靠。

③随着模糊数学的发展,模糊可靠度的概念正在建立。

④随着计算机的发展,工程结构计算正向精确化方向发展,结构的非线性分析是发展趋势。

(2) 材料方面

①混凝土将向轻质高强方向发展。目前我国混凝土强度可达 $80 \sim 100\text{N/mm}^2$, 估计不久将普遍达到 100N/mm^2 , 特殊工程可达 400N/mm^2 。但高强混凝土的塑性性能不如普通混凝土, 研制塑性好的高强混凝土是今后的发展方向。轻质混凝土主要是采用轻质集料。轻质集料主要有轻集料(如浮石、凝灰石等)、人造轻集料(页岩陶粒、黏土陶粒、膨胀珍珠岩等)和工业废料(炉渣、矿渣粉煤灰陶粒等)。轻质混凝土的强度目前还不高,一般为 $5 \sim 20\text{N/mm}^2$, 今后要开发高强度的轻质混凝土。为改善混凝土抗拉性能差、延性差的缺点,在混凝土中掺入纤维是有效的途径,纤维混凝土的研究目前发展迅速,掺入的纤维有钢纤维、耐碱玻璃纤维、聚丙烯纤维或尼龙合成纤维等。碾压混凝土也是近年来发展较快的新型混凝土,它可用于大体积混凝土结构、公路路面及机场道面,其特点是施工机械化程度高、效率高、劳动条件好、工期短。除此之外,许多特种混凝土如膨胀混凝土、聚合物混凝土、浸渍混凝土等也在研制试用之中。

②高强钢筋目前也发展较快。现在强度达 $400 \sim 600\text{N/mm}^2$ 的高强度普通钢筋已开始应

用,今后将超过 1000N/mm^2 。目前高强钢筋主要是冷轧钢筋,包括冷轧带肋钢筋和冷轧扭钢筋。为减小裂缝宽度,焊成梯格形的双钢筋也在开始应用。

③砌体结构材料也在向轻质高强方向发展。途径之一是发展空心砖。国外空心砖的抗压强度已普遍达 $30 \sim 60\text{N/mm}^2$,甚至高达 100N/mm^2 以上,孔洞率也达 40% 以上。另一途径是在黏土内掺入可燃性植物纤维或塑料珠,煅烧后形成气泡空心砖,它不仅自重轻,而且隔声、隔热性能好。砌体结构材料另一个发展趋势是高强砂浆。

④钢结构材料主要是向高效能方向发展。除提高材料强度外,还大力发展型钢,如 H 型钢可直接做梁和柱,采用高强度螺栓连接,施工非常方便。压型钢板也是一种新产品,它能直接做屋盖,也可在上面浇上一层混凝土做楼盖,做楼盖时压型钢板既是楼板的受拉钢筋,又是模板。

(3) 结构方面

空间钢网架发展十分迅速,最大跨度已逾百米。悬索结构、薄壳结构也是大跨度结构发展的方向。高层砌体结构也开始应用。为克服传统体系砌体结构水平承载力低的缺点,一个途径是使墙体只受竖向荷载,将所有的水平荷载由钢筋混凝土内核心筒承受,形成砖墙—筒体体系;另一个途径就是对墙体施加预应力,形成预应力砖墙。组合结构也是结构发展的方向。目前型钢混凝土、钢管混凝土、压型钢板叠合梁等已广泛应用。另外在超高层建筑结构中还采用钢框架与内核心筒共同受力的组合体系,能充分利用材料优势。

1.1.3 本课程的任务和学习方法

本课程包括钢筋混凝土结构和砌体结构两部分内容。通过本课程的学习,学生应能了解建筑结构计算的基本原则,掌握钢筋混凝土结构和砌体结构常见基本构件的计算方法,理解结构构件的构造要求,能正确识读结构施工图,并能理解建筑施工中的一般结构问题。

本课程是建筑工程施工专业的主干专业课。要学好本课程,除应像学习其他课程那样,做到勤看、勤思、勤记、勤练、勤问“五勤”之外,还应注意以下几点:

(1) 本课程的内容涉及数学、力学、建筑识图与构造、建筑材料等先修课,同时又是学习建筑施工技术、建筑工程计量与计价等课程的基础。因此,学习本课程时,应与相关知识相联系,必要时还要旧课重温。只有这样,新知识植根于旧知识,才能培养学生的综合分析能力和归纳能力,使新知识得到巩固和提高。

(2) 本课程是一门实践性很强的课程,其理论本身就来源于生产实践,它是前人通过大量工程实践的经验总结。因此,学习本课程时,不能仅满足于学好书本知识,还应通过实习、参观等各种渠道向工程实践学习,真正做到理论联系实际。只有这样,书本知识才能得到升华。

(3) 本课程同力学课既有联系又有区别。本课程所研究的对象,都不符合均质弹性材料的条件,因此力学公式多数不能直接应用,但从通过几何、物理和平衡关系来建立基本方程来说,二者是相同的。所以,在应用力学原理和方法时,必须考虑材料性能上的特点。

(4) 识图能力是中职建筑工程施工专业学生必备的核心能力之一,而正确识读结构施工图正是本课程的落脚点。为了达到这一目的,一方面要注意掌握基本的结构概念,另一方面应理解和熟悉有关结构构造要求,这是识图的基础。当然,实际的识图训练是必不可少的。读者最好能识读几套不同结构类型的施工图,包括相关的通用图(标准图),因为它们是结构施工图的组成部分。

(5) 本课程与结构设计规范密切相关。结构设计规范是国家颁布的关于结构设计计算和构造要求的技术规定和标准,设计、施工等工程技术人员都必须遵循。因此在学习中应熟悉并学会应用有关规范。

1.2 混凝土结构材料的力学性能

材料的力学性能主要是指材料的强度和变形性能。混凝土结构主要用钢筋和混凝土材料建造而成,这两种材料有着不同的力学性能。要了解两种力学性能完全不同的材料如何能共同工作,就要深入了解钢筋和混凝土的力学性能、相互作用和共同工作的原理,这是掌握混凝土结构构件性能并对其进行分析与设计的基础。

1.2.1 混凝土

混凝土是用胶凝材料(如水泥)、细骨料(如砂子)、粗骨料(如碎石、卵石)及水等材料按一定比例搅拌后入模浇注成型,并经过养护硬化后制成的一种坚硬的人造石材。

1) 混凝土的强度

在实际工程中,单向受力构件是极少见的,一般混凝土均处于复合应力状态。研究复合应力作用下混凝土的强度必须以单向应力作用下混凝土的强度为依据,因此单向受力状态下混凝土的强度指标就很重要,它是结构构件分析和建立强度理论公式的重要依据。混凝土的强度与水泥强度、水灰比、骨料品种、混凝土配合比、硬化条件和龄期等有很大关系。此外,试件的尺寸、形状、试验方法和加载时间的不同,所测得的强度也不同。

(1) 抗压强度。混凝土的抗压强度是混凝土力学性能中最主要的指标。

①立方体抗压强度 $f_{cu,k}$ 。我国现行《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)(以下简称《混凝土结构设计规范》)规定以立方体抗压强度标准值作为衡量混凝土强度等级的指标,用符号 $f_{cu,k}$ 表示。按照标准方法制作边长为150mm的立方体试件,在温度为17~23℃,相对湿度在90%以上的潮湿空气中养护28d,按照标准试验方法加压到破坏(见图1-7),所测得的具有95%保证率的抗压极限强度值,即为立方体抗压强度标准值。根据立方体抗压强度标准值的大小,混凝土强度等级分为C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60、C65、C70、C75和C80,共14级,其中符号C表示混凝土,后面的数字表示混凝土立方体抗压强度标准值,单位N/mm²。设计时,应根据不同的结构选择合适的强度等级。

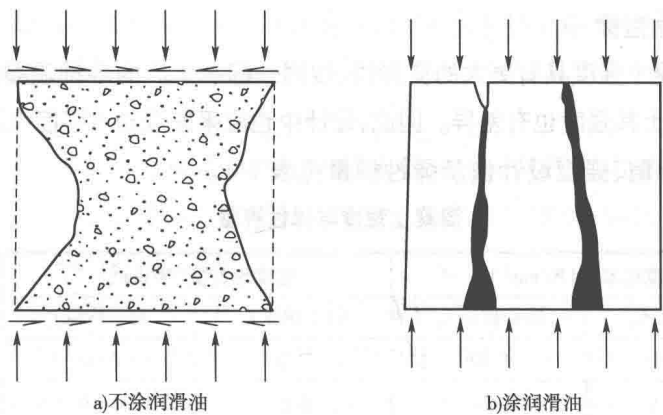


图 1-7 混凝土立方体的破坏情形

《混凝土结构设计规范》规定,素混凝土结构的混凝土强度等级不应低于 C15;钢筋混凝土结构的混凝土强度等级不应低于 C20;当采用强度等级 400N/mm^2 及以上的钢筋时,混凝土强度等级不宜低于 C25;预应力混凝土结构的混凝土强度等级不宜低于 C40,且不应低于 C30;承受重复荷载的钢筋混凝土构件,混凝土强度等级不应低于 C30。

②轴心抗压强度 f_{ck} (棱柱体抗压强度)。混凝土轴心抗压强度的大小与试块的高度 h 和截面宽度 b 之比 h/b 有关。 h/b 越大,其承载力降低得越多。当 $h/b=2\sim3$ 时,强度趋于稳定。我国采用 $150\text{mm}\times150\text{mm}\times300\text{mm}$ 棱柱体作为轴心抗压强度的标准试件,试验(见图 1-8)所得到的抗压强度极限值,即为混凝土的轴心抗压强度,设计时称为混凝土抗压强度标准值。在工程中,实际构件多以棱柱体为主,它比立方体能更好地反映混凝土构件的实际抗压能力,所以在构件设计时,混凝土强度多采用轴心抗压强度。

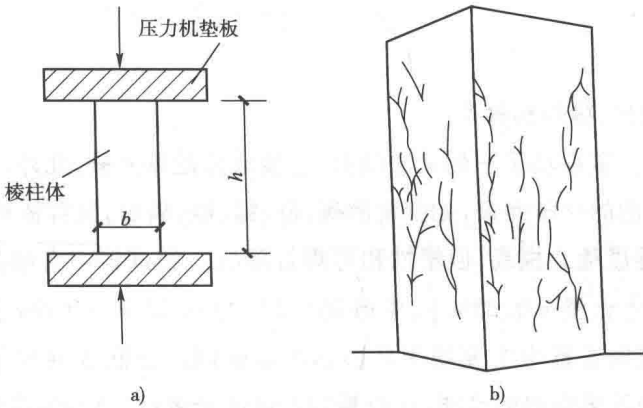


图 1-8 混凝土棱柱体抗压试验

(2) 抗拉强度 f_{tk} 。混凝土的抗拉强度很低,一般只有抗压强度的 $1/17\sim1/8$ 。在钢筋混凝土构件的破坏阶段,处于受拉工作状态的混凝土一般早已开裂,故在构件的承载力计算时不考虑受拉混凝土的工作,但混凝土的抗拉强度对钢筋混凝土构件多方面的工作性能是有重要影响的,因此,也是一项必须确定的重要指标。

2) 混凝土的设计指标

同钢筋相比,混凝土强度具有更大的变异性,按同一标准生产的各批混凝土强度会有不同,即便同一次搅拌的混凝土其强度也有差异。因此,设计中也应采取混凝土强度设计值来进行计算。

混凝土强度标准值、强度设计值及弹性模量见表 1-1。

混凝土强度与弹性模量 表 1-1

混凝土 强度等级	强度标准值 (N/mm ²)		强度设计值 (N/mm ²)		模量 (×10 ⁴ N/mm ²)
	轴心抗压 f_{ck}	轴心抗拉 f_{tk}	轴心抗压 f_c	轴心抗拉 f_t	弹性模量 E_c
C15	10.0	1.27	7.2	0.91	2.20
C20	13.4	1.54	9.6	1.10	2.55
C25	16.7	1.78	11.9	1.27	2.80
C30	20.1	2.01	14.3	1.43	3.00
C35	23.4	2.20	16.7	1.57	3.15
C40	26.8	2.39	19.1	1.71	3.25
C45	29.6	2.51	21.1	1.80	3.35
C50	32.4	2.64	23.1	1.89	3.45
C55	35.5	2.74	25.3	1.96	3.55
C60	38.5	2.85	27.5	2.04	3.60
C65	41.5	2.93	29.7	2.09	3.65
C70	44.5	2.99	31.8	2.14	3.70
C75	47.4	3.05	33.8	2.18	3.75
C80	50.2	3.11	35.9	2.22	3.80

1.2.2 钢筋

1) 钢筋的化学成分、级别和种类

钢筋的力学性能主要取决于它的化学成分,主要成分是铁元素,此外,在炼制过程中,不可避免地包含了一些其他的化学元素,如少量的碳、硅、锰、硫、磷等,这种钢称为普通碳素钢。钢筋中碳的含量增加,强度随之提高,但塑性和可焊性降低。根据钢中含碳量的多少,又可将碳素钢划分为低碳钢(含碳量<0.25%)、中碳钢(含碳量0.25%~0.6%)和高碳钢(含碳量0.6%~1.4%)。在建筑工程中主要使用低碳钢和中碳钢。在低碳钢的基础上,加入少量的合金元素,可以有效地改善钢筋的性能,即所谓的普通低合金钢。比如:在钢中加入少量的硅、锰元素,可以提高钢的强度,并能保持一定的塑性;在钢中加入少量的钛、钒,可显著提高钢的强度,并可提高其塑性和韧性,改善焊接性能。在钢的冶炼过程中,会出现清除不掉的有害元素,例如硫和磷。它们的含量过多会使钢的塑性变差,易脆断,并影响焊接质量。所以,合格的钢筋产品必须按相关标准限制这两种元素的含量。通常钢筋的硫和磷含量均不大于0.045%。

用于混凝土结构的钢筋,应具有较高的强度和良好的塑性,便于加工和焊接,应与混凝

土之间具有足够的黏结力。《混凝土结构设计规范》对钢筋混凝土结构(包括预应力混凝土结构)中所用钢筋做了具体规定。

(1) 钢筋的分类

按加工方法不同,我国用于混凝土结构的钢筋主要有热轧钢筋、冷拉钢筋、热处理钢筋、冷轧钢筋(冷轧带肋钢筋、冷轧扭钢筋)、冷拔低碳钢丝、消除应力钢丝、钢绞线等几类。钢筋混凝土结构主要使用热轧钢筋和冷轧钢筋。

热轧钢筋由低碳钢或低合金钢热轧而成。按屈服强度标准值的大小,用于钢筋混凝土结构的热轧钢筋分为 HPB300、HRB335、HRBF335、HRB400、HRBF400、RRB400、HRB500、HRBF500 四个级别。HPB300 指强度为 300N/mm^2 的热轧光圆钢筋;HRB400 指强度为 400N/mm^2 的普通热轧带肋钢筋;HRBF400 指强度为 400N/mm^2 的细晶粒热轧带肋钢筋;RRB400 指强度为 400N/mm^2 的余热处理带肋钢筋。

(2) 钢筋的选用

《混凝土结构设计规范》规定,纵向受力普通钢筋宜采用 HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500 钢筋,也可采用 HPB300、HRB335、HRBF335、RRB400 级钢筋。

实际工程中,梁、柱纵向受力普通钢筋应采用 HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500 钢筋;箍筋宜采用 HRB400、HRBF400、HPB300、HRB500、HRBF500 钢筋,也可采用 HRB335、HRBF335 钢筋。

各种直径的钢筋计算截面面积和公称质量见表 1-2,各种钢筋间距时每米板宽内的钢筋截面面积见表 1-3。

钢筋的截面面积及公称质量

表 1-2

直径 (mm)	不同根数钢筋的计算截面面积(mm^2)									单根钢筋公称质量 (kg/m)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
6	28.3	57	85	113	142	170	198	226	255	0.222
8	50.3	101	151	201	252	302	352	402	453	0.395
10	78.5	157	236	314	393	471	550	628	707	0.617
12	113.1	226	339	452	565	678	791	904	1017	0.888
14	153.9	308	461	615	769	923	1077	1231	1385	1.21
16	201.1	402	603	804	1005	1206	1407	1608	1809	1.58
18	254.5	509	763	1017	1272	1527	1781	2036	2290	2.00
20	314.2	628	942	1256	1570	1884	2199	2513	2827	2.47
22	380.1	760	1140	1520	1900	2281	2661	3041	3421	2.98
25	490.9	982	1473	1964	2454	2945	3436	3927	4418	3.85
28	615.8	1232	1847	2463	3079	3695	4310	4926	5542	4.83
32	804.2	1609	2413	3217	4021	4826	5630	6434	7238	6.31
36	1017.9	2036	3054	4072	5089	6107	7125	8143	9161	7.99
40	1256.6	2513	3770	5027	6283	7540	8796	10053	11310	9.87
50	1963.5	3928	5892	7856	9820	11784	13748	15752	17676	15.42

各种钢筋间距时每米板宽内的钢筋截面面积

表 1-3

钢筋间距 (mm)	当钢筋直径(mm)为下列数值时的钢筋截面面积(mm ²)													
	3	4	5	6	6/8	8	8/10	10	10/12	12	12/14	14	14/16	16
70	101.0	179	281	404	561	719	920	1121	1369	1616	1908	2199	2536	2872
75	94.3	167	262	377	524	671	859	1047	1277	1508	1780	2053	2367	2681
80	88.4	157	245	354	491	629	805	981	1198	1414	1669	1924	2218	2513
85	83.2	148	231	333	462	592	758	924	1127	1331	1571	1811	2088	2365
90	78.5	140	218	314	437	559	716	872	1064	1257	1484	1710	1992	2234
95	74.5	132	207	298	414	529	678	826	1008	1190	1405	1620	1868	2116
100	70.6	126	196	283	393	503	644	785	958	1131	1335	1539	1775	2011
110	64.2	114.0	178	257	357	457	585	714	871	1028	1214	1399	1614	1828
120	58.9	105.0	163	236	327	419	537	654	798	942	1112	1283	1480	1676
125	56.5	100.6	157	226	314	402	515	628	766	905	1068	1232	1420	1608
130	54.4	96.6	151	218	302	387	495	604	737	870	1027	1184	1366	1547
140	50.5	89.7	140	202	281	359	460	561	684	808	954	1100	1268	1436
150	47.1	83.8	131	189	262	335	429	523	639	754	890	1026	1183	1340
160	44.1	78.5	123	177	246	314	403	491	599	707	834	962	1110	1257
170	41.5	73.9	115	166	231	296	379	462	564	665	786	906	1044	1183
180	39.2	69.8	109	157	218	279	358	436	532	628	742	855	985	1117
190	37.2	66.1	103	149	207	265	339	413	504	595	702	810	934	1058
200	35.3	62.8	98.2	141	196	251	322	393	479	565	668	770	888	1005
220	32.1	57.1	89.3	129	178	228	292	357	436	514	607	700	807	914
240	29.4	524	81.9	118	164	209	258	327	399	471	556	641	740	838
250	28.3	50.2	78.5	113	157	201	258	314	383	452	534	616	710	804
260	27.2	48.3	75.5	109	151	193	248	302	368	435	514	592	682	773
280	25.2	44.9	70.1	101	140	180	230	281	342	404	477	550	634	718
300	23.6	41.9	65.5	94	131	168	215	262	320	377	445	513	592	670
320	22.1	39.2	61.4	88	123	157	201	245	299	353	417	481	554	628

2) 钢筋的力学性能

混凝土结构所用的钢筋分为有屈服点的钢筋和无屈服点的钢筋两类。前者如热轧钢筋、冷拉钢筋等;后者如冷轧钢筋、钢丝、钢绞线、热处理钢筋等。钢筋混凝土结构主要采用有屈服点的钢筋,无屈服点的钢筋主要用作预应力混凝土结构中的预应力钢筋。

对有屈服点的钢筋,取标准长度为 L_0 的试件在万能试验机上进行张拉试验,如图 1-9 所示,破坏后得到钢筋的 $\sigma - \varepsilon$ 曲线,如图 1-10 所示。可以看出,自开始加载至应力达到 a 点之前,应力和应变成正比, a 点对应的应力称为比例极限, oa 段属于弹性工作阶段;过了 a 点之后,应变比应力增长得快,应力到达 b' 点后钢筋开始屈服, b' 点称为屈服上限。由于 b' 点应力

不稳定,故一般以屈服下限 b 点作为钢筋的屈服强度或屈服点。 b 点以后的 $\sigma - \varepsilon$ 曲线接近水平线,直到 c 点, b 点到 c 点的水平部分称为屈服台阶,其大小称为流幅。过 c 点后, $\sigma - \varepsilon$ 曲线又表现为上升曲线,直到 d 点。 d 点对应的应力称为极限强度, cd 段称为强化阶段。过 d 点以后,应变迅速增加,应力随之下降,测试试件薄弱处的截面突然显著减小,发生局部颈缩现象,到 e 点时钢筋被拉断, de 段称为破坏阶段。

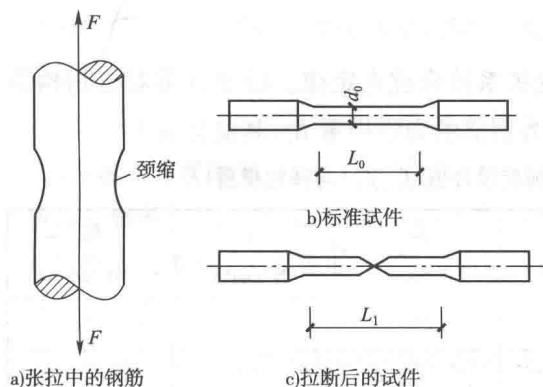
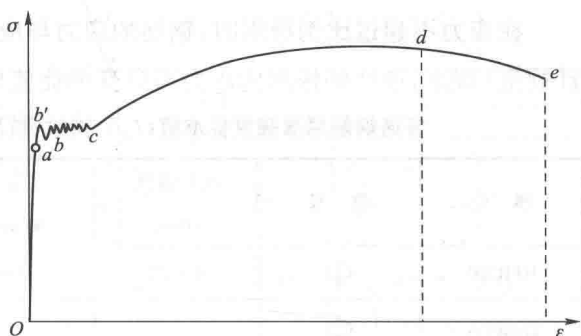


图 1-9 钢筋标准试件的破坏形态

图 1-10 有屈服点钢筋的 $\sigma - \varepsilon$ 曲线

钢筋的强度标准值应具有不小于 95% 的保证率。计算钢筋混凝土结构时,对于有屈服点钢筋的强度标准值是根据屈服强度确定的,用 f_{yk} 表示,这是因为构件中钢筋的应力达到屈服强度后,将产生很大的塑性变形,钢筋混凝土构件将出现很大的不可闭合的裂缝,以致不能使用。对于无屈服点钢筋的强度标准值一般取极限残余应变为 0.2% 所对应的应力 $\sigma_{0.2}$ 作为钢筋的强度取值,其值大致相当于极限强度的 80%。

钢筋除要有足够的强度外,还应有一定的塑性变形能力,伸长率和冷弯性能是衡量钢筋塑性的两个指标。钢筋拉断后的伸长值与原来 L_0 的比值称为伸长率 δ ,伸长率越大,钢筋塑性越好。即

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-1)$$

冷弯,指将一定直径的钢筋绕直径为 D 的钢辊弯成一定的角度(不允许发生裂缝、鳞落或断裂现象)。直径 D 越小,弯转角越大,则钢筋的塑性越好,如图 1-11 所示。

屈服点、极限强度、伸长率和冷弯性能是有屈服点钢筋进行质量检验的四项主要指标,而后三项是无屈服点钢筋的指标。

3) 钢筋的设计指标

(1) 钢筋的强度标准值与强度设计值

钢筋的强度具有变异性。按同一标准生产的钢材,不同时间生产的各批钢筋之间的强度不会完全相同;即使同一炉钢轧制的钢筋,其强度也会有差异。因此,在结构设计中采用其强度标准值作为基本代表值。所谓强度标准值,是指正常情况下可能出现的最小材料强度值。《工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50153—2008)规定,材料强度标准值应具有不小于 95% 的保证率。对于钢材,国家标准中已

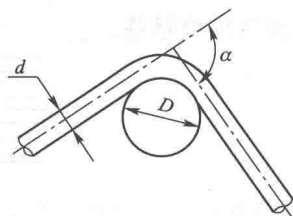


图 1-11 钢筋冷弯