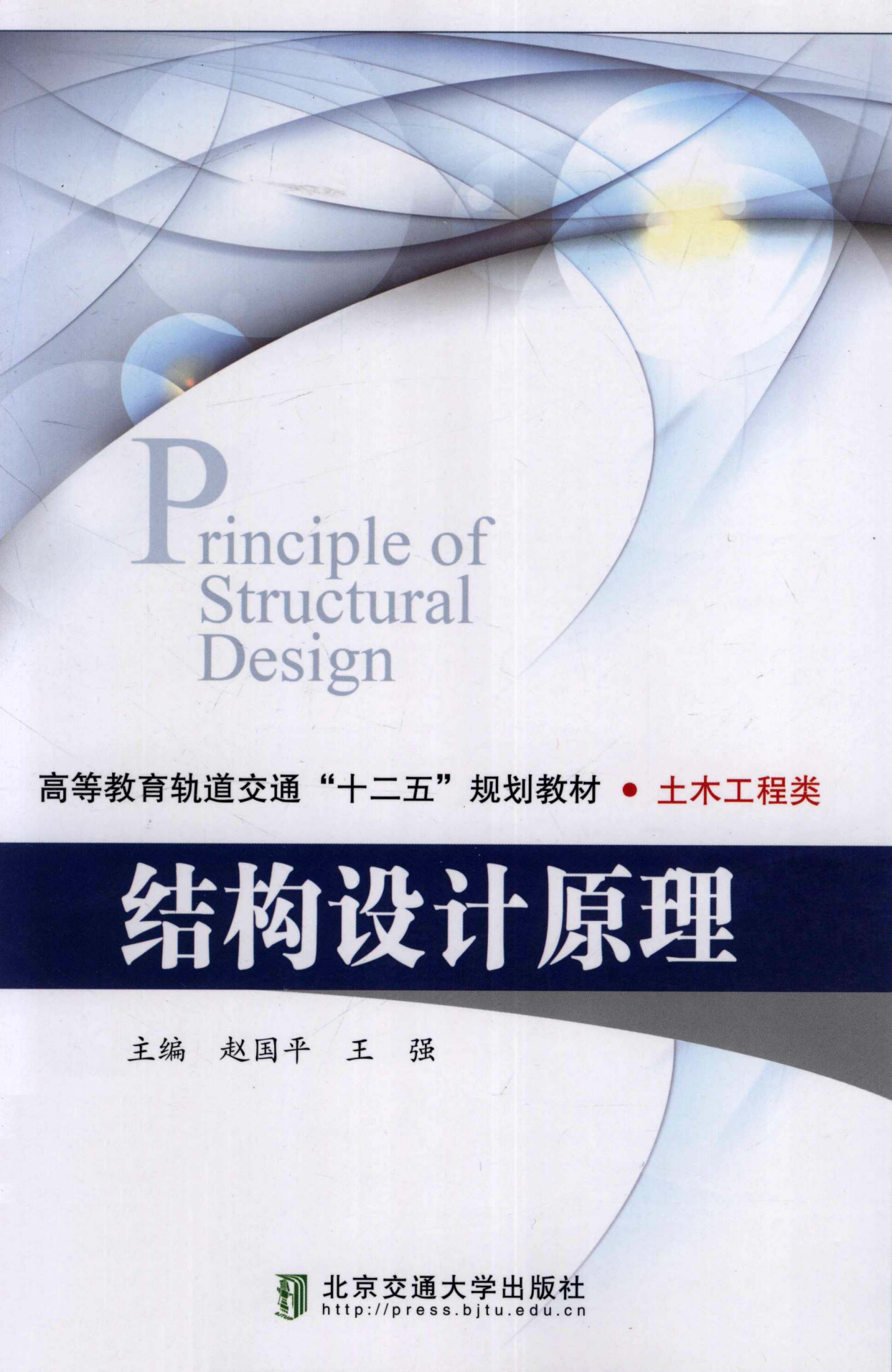




P rinciple of Structural Design

高等教育轨道交通“十二五”规划教材 • 土木工程类

结构设计原理

主编 赵国平 王 强



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

高等教育轨道交通“十二五”规划教材·土木工程类

结构设计原理

赵国平 王 强 主编



北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书主要介绍混凝土结构和钢结构的基本概念、设计原理、方法及构造。在混凝土结构部分讲述了钢筋混凝土结构、受弯构件、受压构件、极限状态设计法、预应力混凝土结构、混凝土与石结构；在钢结构部分讲述了钢结构等基本构件、钢结构的连接、轴心受压构件、受弯构件及偏心受力构件的设计计算原理、方法以及构造等内容。

本书除作为土木工程专业本科的教学用书外，还可以作为高职及相关专业的职工培训和工程技术人员学习参考。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

结构设计原理 / 赵国平, 王强主编. —北京: 北京交通大学出版社, 2012. 12
(高等教育轨道交通“十二五”规划教材)

ISBN 978 - 7 - 5121 - 1312 - 1

I. ① 结… II. ① 赵… ② 王… III. ① 建筑结构 - 结构设计 - 高等学校 - 教材
IV. ① TU318

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 298905 号

责任编辑: 郭碧云

出版发行: 北京交通大学出版社

电话: 010 - 51686414

地 址: 北京市海淀区高粱桥斜街 44 号 邮编: 100044

印 刷 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185 × 260 印张: 19.75 字数: 493 千字

版 次: 2013 年 1 月第 1 版 2013 年 1 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978 - 7 - 5121 - 1312 - 1/TU · 105

印 数: 1 ~ 3 000 册 定价: 42.00 元

本书如有质量问题, 请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评, 我们表示欢迎和感谢。

投诉电话: 010 - 51686043, 51686008; 传真: 010 - 62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

编 委 会

顾 问：施仲衡

主 任：司银涛

副 主 任：张顶立 陈 庚

委 员：（按姓氏笔画排序）

王连俊 毛 军 白 雁

李清立 杨维国 张鸿儒

陈 岚 朋改非 赵国平

贾 影 夏 禾 黄海明

编委会办公室

主 任：赵晓波

副 主 任：贾慧娟

成 员：（按姓氏笔画排序）

吴嫦娥 郝建英 徐 琤

总 序

我国是一个内陆深广、人口众多的国家。随着改革开放的进一步深化和经济产业结构的调整,大规模的人口流动和货物流通使交通行业承载着越来越大的压力,同时也给交通运输带来了巨大的发展机遇。作为运输行业历史最悠久、规模最大的龙头企业,铁路已成为国民经济的大动脉。铁路运输有成本低、运能高、节省能源、安全性好等优势,是最快捷、最可靠的运输方式,是发展国民经济不可或缺的运输工具。改革开放以来,中国铁路积极适应社会的改革和发展,狠抓制度改革,着力技术创新,抓住了历史发展机遇,铁路改革和发展取得了跨越式的发展。

国家对铁路的发展始终予以高度重视,根据国家《中长期铁路网规划》(2005—2020年):到2020年,中国铁路网规模达到12万千米以上。其中,时速200千米及以上的客运专线将达到1.8万千米。加上既有线提速,中国铁路快速客运网将达到5万千米以上,运输能力满足国民经济和社会发展的需要,主要技术装备达到或接近国际先进水平。铁路是个远程重轨运输工具,但随着城市建设和经济的繁荣,城市人口大幅增加,近年来城市轨道交通也正处于高速发展时期。

城市的繁荣相应带来了交通拥挤、事故频发、大气污染等一系列问题。在一些大城市和一些经济发达的中等城市,仅仅靠路面车辆运输远远不能满足客运交通的需要。城市轨道交通节约空间、耗能低、污染小、便捷可靠,是解决城市交通的最好方式。未来我国城市将形成地铁、轻轨、市域铁路构成的城市轨道交通网络,轨道交通将在我国城市建设中起着举足轻重的作用。

但是,在我国轨道交通进入快速发展的同时,解决各种管理和技术人才匮乏的问题已迫在眉睫。随着高速铁路和城市轨道新线路的不断增加以及新技术的开发与引进,管理和技术人员的队伍需要不断壮大。企业不仅要对新员工进行培训,对原有的职工也要进行知识更新。企业急需培养出一支能符合企业要求、业务精通、综合素质高的队伍。

北京交通大学是一所以运输管理为特色的学校,拥有该学科一流的师资和科研队伍,为我国的铁路运输和高速铁路的建设作出了重大贡献。近年来,学校非常重视轨道交通的研究和发展,建有“轨道交通控制与安全”国家重点实验室、“城市交通复杂系统理论与技术”教育部重点实验室,“基于通信的列车运行控制系统(CBTC)”取得了关键技术研究的突破,并用于亦庄城轨线。为解决轨道交通发展中人才需求问题,北京交通大学组织了学校有关体系的专家和教授编写了这套“高等教育轨道交通‘十二五’规划教材”,以供高等学校学生教学和企业技术与管理人员培训使用。

本套教材分为交通运输、机车车辆、电气牵引和土木工程四个系列,涵盖了交通规划、运营管理、信号与控制、机车与车辆制造、土木工程等领域。每本教材都是由该领域的专家

执笔，教材覆盖面广，内容丰富实用。在教材的组织过程中，我们进行了充分调研，精心策划和大量论证，并听取了教学一线的教师和学科专家们的意见，经过作者们的辛勤耕耘以及编辑人员的辛勤努力，这套丛书得以成功出版。在此，向他们表示衷心的感谢。

希望这套系列教材的出版能为我国轨道交通人才的培养贡献绵薄之力。由于轨道交通是一个快速发展的领域，知识和技术更新很快，教材中难免会有不足和欠缺之处，在此诚请各位同仁、专家予以不吝批评指正，同时也方便以后教材的修订工作。

编委会
2012 年 11 月

出版说明

为促进高等轨道交通专业交通土建工程类教材体系的建设,满足目前轨道交通类专业人才培养的需要,北京交通大学土木建筑工程学院、远程与继续教育学院和北京交通大学出版社组织以北京交通大学从事轨道交通研究教学的一线教师为主体、联合其他交通院校教师,并在有关单位领导和专家的大力支持下,编写了本套“高等教育轨道交通‘十二五’规划教材·土木工程类”。

本套教材的编写突出实用性。本着“理论部分通俗易懂,实操部分图文并茂”的原则,侧重实际工作岗位操作技能的培养。为方便读者,本系列教材采用“立体化”教学资源建设方式,配套有教学课件、习题库、自学指导书,并将陆续配备教学光盘。本系列教材可供相关专业的全日制或在职学习的本专科学生使用,也可供从事相关工作的工程技术人员参考。

本系列教材得到从事轨道交通研究的众多专家、学者的帮助和具体指导,在此表示深深的敬意和感谢。

本系列教材从2012年1月起陆续推出,首批包括:《材料力学》、《结构力学》、《土木工程材料》、《水力学》、《工程经济学》、《工程地质》、《隧道工程》、《房屋建筑学》、《建设项目管理》、《混凝土结构设计原理》、《钢结构设计原理》、《建筑施工技术》、《施工组织及概预算》、《工程招投标与合同管理》、《建设工程监理》、《铁路选线》、《土力学与路基》、《桥梁工程》、《地基基础》、《结构设计原理》。

希望本套教材的出版对轨道交通的发展、轨道交通专业人才的培养,特别是轨道交通土木工程专业课程的课堂教学有所贡献。

编委会

2012年11月

前 言

本教材是根据北京交通大学教学改革和建设项目《结构设计原理》网络课程建设的要求，按照《结构设计原理》课程教学大纲编写的。

本教材分混凝土结构设计原理和钢结构设计原理两部分，主要介绍钢筋混凝土结构、受弯构件、受压构件、极限状态设计法、预应力混凝土结构、混凝土与石结构、钢结构等基本构件、钢结构的连接、轴心受压构件、受弯构件及偏心受力构件的设计计算原理、方法及构造。其中，混凝土结构部分重点包括钢筋与混凝土协同工作的原理、双筋矩形截面强度的计算方法、轴心受压构件的强度计算方法、材料的强度设计值及荷载效应组合的应用、预应力损失的分类和有效预应力的计算以及砌体受压构件承载力计算原则；钢结构部分重点包括钢结构的计算基本原则、常用连接的构造与计算方法、常用轴心受力构件的强度和刚度计算方法、偏心受力构件的整体稳定。全书共 10 章，书中每章前有内容概要、学习重点和学习难点，扼要介绍本章的主要内容和学习重点、难点，章末附有复习思考题和习题，以启发学生复习思考和掌握重点。

本书由赵国平和王强主编，其中赵国平负责混凝土结构部分，王强负责钢结构部分。参加编写工作的有赵国平（第一、第三、第四、第五章）、周庆东（第二、第六章）、王强（第八、第九章）、王虎妹（第七、第十章）。

本书在编写过程中得到了铁道第三勘测设计院总工李立新和李秉涛的支持和帮助，在此一并表示感谢。

由于编者水平所限，书中难免存在缺点和疏漏之处，敬请读者批评指正。

编 者

2012 年 11 月

目 录

第1章 概述	1	思考题	160
1.1 钢筋混凝土结构的基本概念	1	习题	161
1.2 发展历史及现状	3	第6章 混凝土与石结构	163
1.3 钢筋混凝土结构的特点及应用	5	6.1 概述	163
1.4 材料的力学性能	7	6.2 砌体的强度与变形	168
思考题	17	6.3 圬工结构的承载力计算	174
第2章 受弯构件强度和变形计算	18	思考题	179
2.1 抗弯强度计算	18	第7章 钢结构概述	180
2.2 抗剪强度计算	51	7.1 钢结构的特点及应用	180
2.3 裂缝宽度及挠度的计算	64	7.2 钢材的工作性能	182
思考题	77	7.3 钢材的破坏形式	183
第3章 受压构件的计算	78	7.4 钢材的种类和选用	184
3.1 轴心受压构件的计算	79	7.5 钢材的设计强度和容许应力	190
3.2 偏心受压构件的计算	89	思考题	194
思考题	116	第8章 钢结构的连接	195
第4章 极限状态设计法	117	8.1 钢结构的连接方法	195
4.1 结构的功能要求和极限状态	117	8.2 焊缝连接	197
4.2 概率极限状态设计方法	121	8.3 螺栓连接	215
4.3 荷载的代表值	123	8.4 高强螺栓的构造与计算	228
4.4 材料强度的标准值和设计值	124	思考题	237
4.5 概率极限状态实用设计 表达式	125	习题	237
思考题	129	第9章 轴心受压构件	240
习题	130	9.1 轴心受力构件的应用和截面 形式	240
第5章 预应力混凝土结构	131	9.2 轴心受力构件的强度和刚度	241
5.1 预应力混凝土结构的基本概念 及其材料	131	9.3 实腹式轴心受压构件的总体 稳定	242
5.2 预应力混凝土受弯构件的设计 与计算	147	9.4 实腹式轴心受压构件的局部 稳定	256
5.3 预应力混凝土的构造要求	158	9.5 轴心受压实腹柱的计算	261

9.6 格构式轴心压杆.....	264	10.4 偏心受力构件	296
9.7 轴心受压柱与梁的连接构造.....	269	思考题	298
思考题	271	习题	299
习题	271	附录 A 模拟试题	300
第 10 章 受弯构件及偏心受力构件.....	273	A1 模拟试题一	300
10.1 钢梁概述	273	A2 模拟试题二	302
10.2 钢梁的截面形式与强度验算 ...	274	参考文献	305
10.3 钢梁的稳定	282		

第1章

概 述

【本章内容概要】

本章首先介绍钢筋混凝土结构的基本概念，然后结合其发展历史及现状介绍了钢筋混凝土结构的特点及应用，最后重点介绍材料的力学性能（包括强度和变形性能）以及材料的品种和级别。

【本章学习重点与难点】

学习重点：钢筋与混凝土协同工作的原理，钢筋与混凝土材料的力学性能。

学习难点：钢筋的强度与变形，混凝土徐变与收缩，钢筋与混凝土协同工作的原理及构造要求。

1.1 钢筋混凝土结构的基本概念

1.1.1 钢筋混凝土结构的概念

钢筋混凝土是由钢筋和混凝土这两种力学性能不同的材料结合成整体，共同承受作用的一种建筑材料。

混凝土是一种人造石料，其抗压强度很高，而抗拉强度很低（约为抗压强度的 $1/18 \sim 1/8$ ）。采用素混凝土做成的构件，例如素混凝土梁，当它承受竖向作用时，在梁的垂直截面（正截面）上将产生弯矩，中性轴以上部分受压，中性轴以下部分受拉。当作用达到某一数值 P 时，梁的受拉区边缘混凝土的拉应变达到极限拉应变，即出现竖向弯曲裂缝，这时，裂缝截面处的受拉区混凝土退出工作，该截面处的受压区高度减小，即使作用不增加，竖向弯曲裂缝也会急速向上发展，导致梁骤然断裂。这种破坏是很突然的，也就是说，当作用达到 P 的瞬间，梁立即发生破坏。 P 为素混凝土梁受拉区出现裂缝时的作用（荷载），一般称为素混凝土梁的抗裂荷载，也是素混凝土梁的破坏荷载。由此可见，素混凝土梁的承载能力是由混凝土的抗拉强度控制的，而受压区混凝土的抗压强度远未被充分利用。在制造混凝土梁时，倘若在梁的受拉区配置适量抗拉强度高的纵向钢筋，就构成了钢筋混凝土梁。试验表明，和素混凝土梁有相同截面尺寸的钢筋混凝土梁承受竖向作用时，作用略大于 P 时梁的受拉区仍会出现裂缝。在出现裂缝的截面处，受拉区混凝土虽退出工作，但配置在受拉区的钢筋承担了全部的拉力。这时，钢筋混凝土梁不会像素混凝土梁那样立即断裂，仍能继续工作，直至受拉钢筋的应力达到屈服强度，继而受压区的混凝土也被压碎，梁才被破坏。因此，钢筋混凝土梁中混凝土的抗压强度和钢筋的抗拉强度都能得到充分的利用，承载能力可较素混凝土梁提高很多。

混凝土的抗压强度高，常用于受压构件。在构件中配置抗压强度高的钢筋来构成钢筋混

凝土受压构件, 试验表明, 和素混凝土受压构件截面尺寸及长细比相同的钢筋混凝土受压构件, 不仅承载能力大为提高, 而且受力性能得到改善。在这种情况下, 钢筋主要是协助混凝土来共同承受压力。

综上所述, 根据构件受力状况配置钢筋构成钢筋混凝土构件后, 可以充分发挥钢筋和混凝土各自的材料力学特性, 把它们有机地结合在一起共同工作, 提高了构件的承载能力, 改善了构件的受力性能。钢筋用来代替混凝土受拉 (受拉区混凝土出现裂缝后) 或协助混凝土受压。

1.1.2 钢筋混凝土共同工作机理

钢筋和混凝土这两种受力的力学性能不同的材料之所以能有效地结合在一起共同工作, 其主要机理是:

① 混凝土和钢筋之间有良好的黏结力, 使两者能可靠地结合成一个整体, 在荷载作用下能够很好地共同变形, 完成其结构功能;

② 钢筋和混凝土的温度线膨胀系数也较为接近 (钢筋为 $1.2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, 混凝土为 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$), 因此, 当温度变化时, 不致产生较大的温度应力而破坏两者之间的黏结;

③ 混凝土包裹在钢筋的外围, 可以防止钢筋锈蚀, 保证了钢筋与混凝土共同工作。

1.1.3 钢筋混凝土的优缺点

钢筋混凝土具有下述优点。

(1) 耐久性

混凝土的强度是随龄期增长的, 钢筋被混凝土保护着锈蚀较小, 所以只要保护层厚度适当, 则混凝土结构的耐久性就比较好。若处于侵蚀性的环境, 可以适当选用水泥品种及外加剂, 增大保护层厚度, 以满足工程要求。

(2) 耐火性

比起容易燃烧的木结构和导热快且抗高温性能较差的钢结构来说, 混凝土结构的耐火性较好。因为混凝土是不良热导体, 遭受火灾时, 混凝土起隔热作用, 使钢筋不致达到或不致很快达到其强度降低的温度。经验表明, 经受较长时间燃烧的混凝土, 常常只是其表面损伤。对承受高温作用的结构, 还可应用耐热混凝土。

(3) 就地取材

在混凝土结构的组成材料中, 用量较大的石子和砂往往容易就地取材, 有条件的地方还可以将工业废料制成人工骨料应用, 这对材料的供应、运输和土木工程结构的造价都提供了有利的条件。

(4) 保养费节省

混凝土结构的维修较少, 不像钢结构和木结构需要经常保养。

(5) 节约钢材

混凝土结构合理地应用了材料的性能, 在一般情况下可以代替钢结构, 从而能节约钢材、降低造价。

(6) 可模性

因为新拌和未凝固的混凝土是可塑的,故可以按照不同模板的尺寸和式样浇筑成建筑师设计所需要的构件。

(7) 刚度大、整体性好

混凝土结构刚度较大,对现浇混凝土结构而言,其整体性尤其好,宜用于变形要求小的建筑,也适用于抗震、抗爆结构。

当然,钢筋混凝土结构也存在一些缺点,如:钢筋混凝土结构的截面尺寸一般较相应的钢结构大,因而自重较大,这对于大跨度结构是不利的;抗裂性能较差,在正常使用时往往是带裂缝工作的;施工受气候条件影响较大,并且施工中需耗用较多的木材;修补或拆除较困难等。

钢筋混凝土结构虽有缺点,但毕竟有其独特的优点,所以广泛应用于桥梁工程、隧道工程、房屋建筑、铁路工程以及水工结构工程、海洋结构工程等。随着钢筋混凝土结构的不断发展,上述缺点已经或正在逐步加以改善。

1.2 发展历史及现状

1.2.1 国际钢筋混凝土历史及现状

钢筋混凝土出现至今约有 150 年的历史。与砖石、木结构相比,它是一种较年轻的结构。19 世纪中叶,钢筋混凝土结构开始出现,但那时并没有专门的计算理论和方法。直到 19 世纪末期,才有人提出配筋原则和钢筋混凝土的计算方法,使钢筋混凝土结构逐渐得到推广。

20 世纪初,不少国家通过试验逐渐制定了以容许应力法为基础的钢筋混凝土结构设计规范。到 20 世纪 30 年代以后,钢筋混凝土结构得到迅速发展。苏联在 1938 年首先采用破坏阶段法计算钢筋混凝土结构,到 20 世纪 30 年代改用更先进合理的极限状态法。近 20 多年来,包括我国在内的许多国家都开始采用以概率论为基础,以可靠度指标度量构件可靠性的分析方法,使极限状态法更趋完善、合理。

在材料方面,目前常用的混凝土强度等级为 C20 ~ C50 (立方体抗压强度 20 ~ 50 MPa)。近年来各国都在大力发展高强、轻质、高性能混凝土,现行的设计规范也都把推荐使用的混凝土材料最高强度等级提高到了 C80。现已有强度高达 100 MPa 的混凝土。在轻质方面,现已有加气混凝土、陶粒混凝土等,其容重一般为 14 ~ 18 kN/m³ (普通混凝土容重为 23 ~ 24 kN/m³),强度可达 50 MPa。为提高混凝土的耐磨性和抗裂性,还可在混凝土中加入金属纤维,如钢纤维、碳纤维等,形成纤维混凝土。

随着对混凝土结构性能的深入研究,现代测试技术的发展以及计算机和有限元法的广泛应用,对钢筋混凝土构件的计算分析已逐步向全过程、非线性、三维化方向发展,设计规范也不断修订和增订,使得钢筋混凝土结构设计日趋合理、经济、安全、可靠。

1.2.2 我国钢筋混凝土历史及现状

我国从 20 世纪 70 年代起,在一般民用建设中已较广泛地采用定型化、标准化的装配式

钢筋混凝土构件,并随着建筑工业化的发展以及墙体改革的推行,发展了装配式大板居住建筑,在高层建筑中还广泛采用大模剪力墙承重结构外加挂板或外砌砖墙结构体系。各地还研究了框架轻板体系,最轻的每平方米仅为 $3 \sim 5 \text{ kN}$ 。由于这种结构体系的自重大大减轻,不仅节约材料消耗,而且在结构抗震方面具有显著的优越性。

改革开放后,混凝土高层建筑在我国有了较大的发展。继20世纪70年代北京饭店、广州白云宾馆和一批高层住宅(如北京前三门大街、上海漕溪路住宅建筑群)兴建以后,80年代,高层建筑的发展加快了步伐,结构体系更为多样化,层数增多,高度加大,已逐步在世界占据领先地位;目前内地最高的混凝土结构建筑是广州的中天广场,80层322 m高,为框架—筒体结构;香港的中环广场达78层374 m,三角形平面筒中筒结构,是世界上最高的混凝土建筑;广州国际大厦63层199 m,是80年代世界上最高的部分预应力混凝土建筑。随着高层建筑的发展,高层建筑结构分析方法和试验研究工作在我国得到了极为迅速的发展,许多方面已达到或接近国际先进水平。

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。在工业建设中广泛采用装配式钢筋混凝土及预应力混凝土。为了节约用地,在工业建筑中多层工业厂房所占比重有逐渐增多的趋势,在多层工业厂房中除现浇框架结构体系以外,装配整体式多层框架结构体系已被普遍采用,并发展了整体预应力装配式板柱体系,由于其构件类型少,装配化程度高、整体性好、平面布置灵活,是一种有发展前途的结构体系。同时升板结构、滑模结构也有所发展。此外,电视塔、水塔、水池、冷却塔、烟囱、储罐、筒仓等特殊构筑物也普遍采用了钢筋混凝土和预应力混凝土,如9级抗震设防、高380 m的北京中央电视塔、高405 m的天津电视塔、高490 m的上海东方明珠电视塔等。

混凝土结构在水利工程、桥隧工程、地下结构工程中的应用也极为广泛。用钢筋混凝土建造的水闸、水电站、船坞和码头在我国已是星罗棋布,如黄河上的刘家峡、龙羊峡及小浪底水电站,长江上的葛洲坝水利枢纽工程及三峡工程等。

钢筋混凝土和预应力混凝土桥梁也有很大的发展,例如:著名的武汉长江大桥引桥;福建乌龙江大桥,最大跨度达144 m,全长548 m;四川泸州大桥,采用了预应力混凝土T形结构,三个主跨为170 m,主桥全长1 255.6 m,引道长达7 000 m,是目前我国最长的公路大桥。为改善城市交通拥挤,城市道路立交桥正在迅速发展。

随着混凝土结构在工程建设中的大量使用,我国在混凝土结构方面的科学研究工作已取得较大的发展。在混凝土结构基本理论与设计方法、可靠度与荷载分析、单层与多层厂房结构、大板与升板结构、高层、大跨、特种结构、工业化建筑体系、结构抗震及现代化测试技术等方面的研究工作都取得了许多新的成果,基本理论和设计工作的水平有了很大提高,已达到或接近国际水平。

作为反映我国混凝土结构学科水平的混凝土结构设计规范也随着工程建设经验的积累、科研工作的成果和世界范围技术的进步而不断改进。1952年东北地区首先颁布了《建筑物结构设计暂行标准》;1955年制定的《钢筋混凝土结构设计暂行规范》(结规6—55)采用了前苏联规范中的按破坏阶段设计法;1966年我国颁布了第一本《钢筋混凝土结构设计规范》(BJG 21—1966),采用了当时较为先进的以多系数表达的极限状态设计法;1974年编制了采用单一安全系数表达的极限状态设计法的《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ 10—1974),以及一些有关的专门规程和规定。规范BJG 21—1966和TJ 10—1974的颁布标志着

我国钢筋混凝土结构设计规范步入了从无到有、由低向高发展的阶段。为了解决各类材料的建筑结构可靠度设计方法的合理和统一问题,1984年颁布的《建筑结构设计统一标准》(GBJ 68—1984)规定我国各种建筑结构设计规范均统一采用以概率理论为基础的极限状态设计方法,其特点是以结构功能的失效概率作为结构可靠度的量度,由定值的极限状态概念转变到非定值的极限状态概念上,从而把我国结构可靠度设计方法提高到当时的国际水平,对提高结构设计的合理性具有深刻意义。为配合《建筑结构设计统一标准》(GBJ 68—1984)的执行,1989年颁布了《混凝土结构设计规范》(GBJ 10—1989),使我国混凝土结构设计规范提高到了一个新的水平。

经过近十几年我国工程建设的快速发展以及进入WTO的需要,自1997年起,我国对工程建设标准进行了全面修订,并于2001年和2002年先后颁布了《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)及《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)等,并于2010年对标准《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)进行修订,得到现行标准《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)。新标准的颁布,推动了新材料、新工艺、新结构的应用,使混凝土结构不断发展,不停地演进,达到新的水平。

1.3 钢筋混凝土结构的特点及应用

1.3.1 各种材料结构的特点及使用范围

目前国内外混凝土结构的发展总趋势是轻型化、标准化和机械化。因而,对于基本构件的设计也应符合上述要求。

1. 各种材料结构的特点

1) 结构质量

为了达到增大结构跨径的目的,应力求将构件做成薄壁、轻型和高强的。钢材的单位体积质量(重度)虽大,但其强度却很高;木材的强度虽很低,但其重度却很小。如果以材料重度 γ 与容许应力 $[\sigma]$ 之比($\gamma/[\sigma]$)作为比较标准,且以钢结构质量作为1.0,则其他结构的相对质量 $\gamma/[\sigma]$ 大致为:受压构件 木——1.5~2.4,钢筋混凝土——3.8~11,砖石——9.2~28;受弯构件 木——1.5~2.4,钢筋混凝土——3~10,预应力混凝土——2~3。从以上比较可以看出,在跨径较大的永久性桥梁结构中,采用预应力混凝土结构是十分合理和经济的。

2) 使用性能

从结构抗变形的能力(即刚度)、结构的延性、耐久性和耐火性等方面来说,则以钢筋混凝土结构和圬工结构较好,钢结构和木结构则都需采取适当的防护措施和定期进行保养维修。预应力混凝土结构的耐久性比钢筋混凝土结构更好,但其延性不如钢筋混凝土结构好。

3) 建筑速度

石材及混凝土结构和钢筋混凝土结构较易就地取材;钢结构、木结构则易于快速施工。由于混凝土工程需要有一段时间的结硬过程,因而施工工期一般较长。尽管装配式钢筋混凝土结构可以在预制工场进行工业化成批生产,但建筑工期要比钢结构稍长。

2. 各种结构的使用范围

1) 钢筋混凝土结构

钢筋混凝土是由钢筋和混凝土两种材料组成的, 具有易于就地取材、耐久性好、刚度大、可模性(即可以根据工程需要浇筑成各种几何形状)好等优点。钢筋混凝土结构的应用范围非常广泛, 如各种桥梁、涵洞、挡土墙、路面、水工结构和房屋建筑等。采用标准化、装配化的预制构件, 更能保证工程质量和加快施工进度。相对于预应力混凝土结构而言, 钢筋混凝土结构具有较好的延性, 对抗震更为有利。但是, 钢筋混凝土结构也有自重较大、抗裂性能差、修补困难等缺点。

2) 预应力混凝土结构

构件在承受作用之前预先对混凝土受拉区施以适当压应力的结构称为预应力混凝土结构。因而在正常使用条件下, 可以人为地控制截面上只出现很小的拉应力或不出现拉应力, 从而延缓裂缝的发生和发展, 且可使高强度钢材和高等级混凝土的“高强”在结构中得到充分利用, 降低了结构的自重, 增大了跨越能力。目前, 预应力混凝土结构在国内外得到了迅速发展, 是现今桥梁工程中应用较广泛的一种结构。近年来, 部分预应力混凝土结构也正在快速发展, 它是介于普通钢筋混凝土结构与全预应力混凝土结构之间的一种中间状态的混凝土结构, 可以人为地根据结构的使用要求, 控制混凝土裂缝的开裂程度和拉应力大小。

3) 石材混凝土结构(圬工结构)

用胶结材料将天然石料、混凝土预制块等块材按一定规则砌筑而成的整体结构即为圬工结构。石材及混凝土结构在我国使用甚广, 常用于拱圈、墩台、基础和挡土墙等结构中。

1.3.2 工程结构设计的基本要求

对混凝土构件, 应根据所在结构的使用任务、性质和将来的发展需要, 按照适用、经济、安全和美观的原则进行设计, 也要遵循因地制宜、就地取材、便于施工和养护的原则, 合理地选用适当结构形式, 同时, 应尽可能地节省木材、钢材和水泥的用量, 其中尤应注意节省木材。

在设计结构物时, 应全面综合考虑, 严格遵照有关技术标准和设计规范(包括各种技术标准和技术规范的附录条文)。但对于一些特殊结构或创新结构, 则可参照国家批准的专门规范或有关先进技术资料进行设计, 同时, 还应进行必要的科学实验。

混凝土结构在设计基准期内应有一定的可靠度, 这就要求桥涵结构的整体及其各个组成部分的构件在使用荷载作用下具有足够的承载力、稳定性、刚度和耐久性。承载力要求是指桥涵结构物在设计基准期内, 它的各个部件及其联结的各个细部都符合规定的要求或具有足够的安全储备。稳定性要求是指整个结构物及其各个部件在计算荷载作用下都处于稳定的平衡状态。结构物的刚度要求是指在计算荷载作用下, 结构物的变形必须控制在容许范围以内。结构物的耐久性要求是指结构物在设计基准期内不得过早地发生破坏而影响正常使用。值得注意的是, 不可片面地强调结构的经济指标而降低对结构物耐久性的要求, 从而缩短结构物的使用寿命或过多地增加结构物的维修、养护加固的费用。

因此, 对混凝土结构物的所有构件和联结细部都必须进行设计和验算。同时, 每个工程技术人员都必须清楚, 正确处理好结构构造问题是十分重要的, 这与处理好计算问题同等重要。因而, 在进行结构设计时, 首先应根据材料的性质、受力特点、使用条件和施工要求等

情况,慎重地进行综合分析,然后采取合理的构造措施,确定构件的几何形状和各部分尺寸,并进行验算和修正。

另外,每个结构构件除应满足使用期间的承载力、刚度和稳定性要求外,还应满足制造、运输和安装过程中的承载力刚度和稳定性要求。混凝土结构物的结构形式必须受力明确、构造简单、施工方便和易于养护,设计时必须充分考虑当时当地的施工条件和施工可能性,并充分注意我国的国情,尽可能地采用适合当时当地情况的新材料、新工艺和新技术。

1.4 材料的力学性能

1.4.1 钢筋

1. 钢筋的强度与变形

钢筋的力学性能包括强度、变形(包括弹性变形和塑性变形)等。单向拉伸试验是确定钢筋力学性能的主要手段。经过钢筋的拉伸试验可以看到,钢筋的拉伸应力—应变关系曲线可分为两类:有明显流幅的(图1-1)和没有明显流幅的(图1-2)。

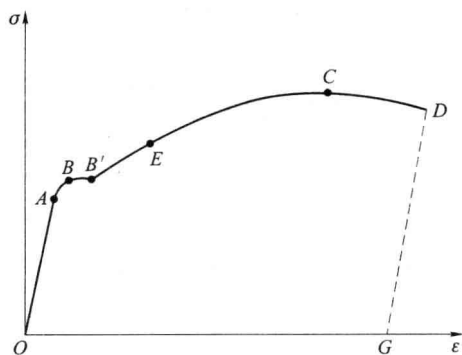


图 1-1 有明显流幅的钢筋应力—应变曲线

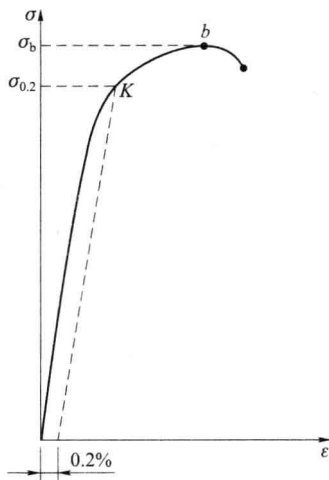


图 1-2 没明显流幅的钢筋的应力—应变曲线

图1-1表示了一条有明显流幅的典型的应力—应变曲线。在图1-1中,OA为一段斜直线,其应力与应变之比为常数,应变在卸荷后能完全消失,称为弹性阶段,A点对应的应力称为比例极限(或弹性极限)。应力超过A点之后,钢筋中的晶粒开始产生滑移错位,应变较应力增长得稍快,除弹性应变外,还有卸荷后不能消失的塑性变形。到达B点后,钢筋开始屈服,即使荷载不增加,应变也会继续发展,出现水平段BB',BB'称为流幅或屈服台阶;B点则称为屈服点,与B点相应的应力称为屈服应力或屈服强度。经过屈服阶段之后,钢筋内部的晶粒经调整重新排列,抵抗外荷载的能力又有所提高,B'C段称为强化阶段,C点对应的应力叫作钢筋的抗拉强度或极限强度,而与C点应力相应的荷载是试件所能承受的最大荷载,称为极限荷载。过C点之后,在试件的最薄弱截面出现横向收缩,截面