



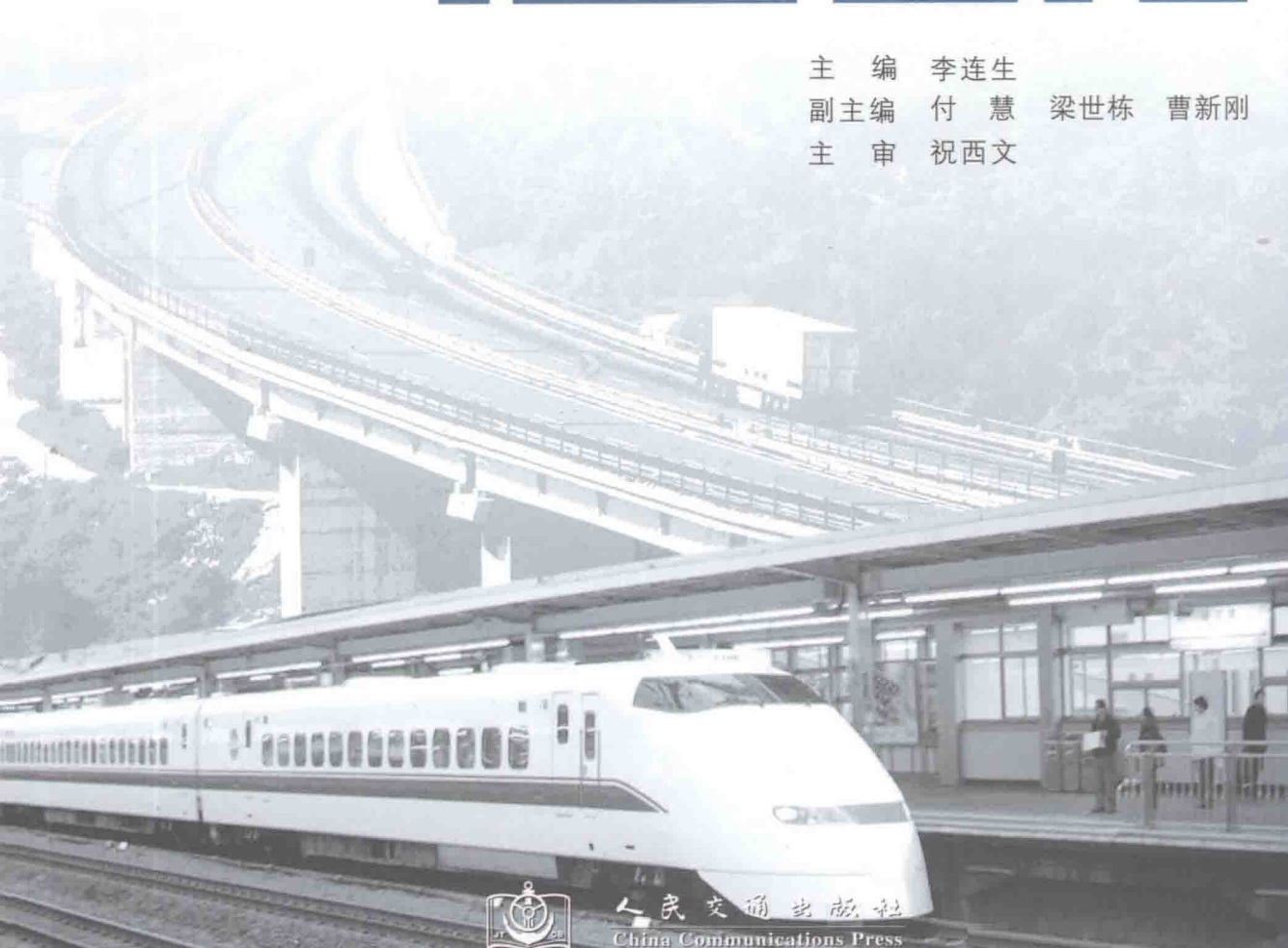
高职交通运输与土建类专业规划教材

混凝土结构

HUN NING TU JIE GOU



主 编 李连生
副主编 付 慧 梁世栋 曹新刚
主 审 祝西文



人民交通出版社
China Communications Press



高职交通运输与土建类专业规划教材

混凝土结构

HUN NING TU JIE GOU



主 编 李连生
副主编 付 慧 梁世栋 曹新刚
主 审 祝西文



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书为高职交通运输与土建类专业规划教材,主要以《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)作为编写依据,同时结合《铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范》(TB 10002.3—2005)和《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)的部分内容编写。

本书共13章,主要内容有:混凝土结构材料及设计方法、钢筋混凝土受弯构件的正截面承载力和斜截面承载力、钢筋混凝土受压构件的承载力、钢筋混凝土受弯构件的变形与裂缝、预应力混凝土结构、砌体结构、钢结构、钢管混凝土及钢—混凝土组合梁和预应力混凝土连续梁桥设计实例。

本书可作为高职高专院校铁道工程技术专业、道路桥梁工程技术专业、市政工程技术及其他相关专业教材,也可用于在职培训或有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构/李连生主编. —北京:人民交通出版社,
2008.9

ISBN 978-7-114-07175-1

I. 混… II. 李… III. 混凝土结构 IV. TU37

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第138629号

书 名:混凝土结构

著 作 者:李连生

责任编辑:杜 琛

出版发行:人民交通出版社

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) 59757969, 59757973

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:北京交通印务实业公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:17.75

字 数:436千

版 次:2008年9月第1版

印 次:2008年9月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-07175-1

印 数:0001—5000册

定 价:35.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

主任委员

邹德奎

副主任委员

车绪武 徐 冬 田和平 韩 敏

委员 (以姓氏笔画为序)

于景臣 刘会庭 李林军 孙立功

张修身 陈志敏 韩建芬 周安福

郑宏伟 赵景民 荣佑范 费学军

总顾问

毛保华

顾问

岳祖润 王新敏 王恩茂 关宝树

秘书

杜 琛

前言

Preface

本书是高职交通运输与土建类专业规划教材,它根据高职高专铁道工程技术专业、道路桥梁工程技术专业教学的基本要求并结合目前教学改革发展的需要编写而成。

结合高职高专教育的特点,本教材力求体现高职铁路院校的教学培养特色,并邀请铁路企业单位技术人员参与编写。在编写过程中,注重介绍结构的基本概念与构造要求,避免有关公式的繁琐推导,努力贯彻能力本位的思想;选择教材内容时,坚持必需够用的原则,注重实用性和针对性,努力做到理论联系实际。为适应教学实际,特别加入钢结构的内容,教师和学生在学习实际中可以根据专业、学时等具体情况对本书的内容进行取舍。

编写中采用的主要规范有:《铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范》(TB 10002.3—2005)、《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)、《铁路混凝土与砌体工程施工规范》(TB 10210—2001/J118—2001)、《砌体结构设计规范》(GB 50003—2001)。

本书由陕西铁路工程职业技术学院李连生担任主编,哈尔滨铁道职业技术学院付慧、梁世栋与中铁一局物贸公司曹新刚担任副主编,全书由中铁一局第一工程有限公司教授级高级工程师祝西文主审。参与编写的人员还有陕西铁路工程职业技术学院舒彬、丁广炜、张健,哈尔滨铁道职业技术学院马平,同济大学瞿海雁(博士),中铁六局王朝义。

教材编写分工如下:第一、二、三、十、十一、十二章及附录由李连生执笔,第四、五章由付慧执笔,第六、八章由梁世栋执笔,第七章由马平、王朝义执笔,第九章由舒彬、丁广炜、曹新刚执笔,第十三章由瞿海雁、张健执笔,全书由李连生统稿。

限于编者的理论水平和实践经验,书中疏漏及不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2008年5月

目录 | Content

第一章 绪论	1
第一节 结构的概念与分类	1
第二节 混凝土结构的发展概况	3
第三节 本课程的主要内容和学习方法	5
第二章 结构材料	7
第一节 钢筋的物理力学性能	7
第二节 混凝土的物理力学性能	16
第三节 钢筋与混凝土之间的黏结	24
综合练习题	28
第三章 结构设计方法	30
第一节 结构设计的要求	30
第二节 概率极限状态法的基本概念	32
第三节 概率极限状态法的设计表达式	34
综合练习题	38
第四章 钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算	39
第一节 概述	39
第二节 一般构造要求	40
第三节 受弯构件正截面受力全过程和破坏特点	44
第四节 单筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算的基本假定	46
第五节 单筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	49
第六节 双筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	55
第七节 T形截面受弯构件正截面承载力计算	61
综合练习题	67

第五章 钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算	69
第一节 概述	69
第二节 影响抗剪承载力的主要因素	70
第三节 斜截面破坏形态	71
第四节 斜截面受剪承载力计算公式	73
第五节 斜截面受剪承载力计算	76
第六节 构造要求	82
综合练习题	92
第六章 钢筋混凝土受压构件的承载力	94
第一节 受压构件的分类及构造要求	94
第二节 轴心受压构件	97
第三节 矩形截面偏心受压构件正截面承载力计算	103
第四节 工字形截面偏心受压构件正截面承载力计算	116
综合练习题	121
第七章 钢筋混凝土受弯构件的变形与裂缝	123
第一节 概述	123
第二节 受弯构件的挠度验算	123
第三节 受弯构件的裂缝宽度验算	130
综合练习题	135
第八章 容许应力法简介	137
第一节 容许应力法的基本概念	137
第二节 受弯构件抗弯强度计算	138
第三节 受弯构件抗剪强度计算	149
第四节 偏心受压构件计算	155
第五节 轴向受压构件计算	160
综合练习题	163
第九章 预应力混凝土结构	166
第一节 预应力混凝土的基本概念	166
第二节 施加预应力的方法及设备	170

第三节	预应力损失及减少损失的措施·····	174
第四节	预应力混凝土构件的构造要求·····	179
第五节	青藏铁路 24m 先张折线梁施工技术 ·····	184
第六节	客运专线箱梁预制施工技术·····	188
综合练习题	·····	194
第十章	砌体结构 ·····	195
第一节	砌体结构的应用与发展·····	195
第二节	砌体材料及砌体的力学性能·····	196
第三节	砌体结构构件的承载力计算·····	206
综合练习题	·····	210
第十一章	钢结构 ·····	211
第一节	钢结构的连接方式 ·····	211
第二节	轴向受力构件 ·····	228
第三节	钢板梁和钢桁梁 ·····	232
综合练习题	·····	237
第十二章	钢管混凝土及钢—混凝土组合梁 ·····	239
第一节	钢管混凝土 ·····	239
第二节	钢—混凝土组合梁 ·····	243
综合练习题	·····	250
第十三章	预应力混凝土连续梁桥设计实例 ·····	251
第一节	预应力混凝土连续梁桥概述·····	251
第二节	实例具体设计步骤和过程·····	252
附录	·····	271
参考文献	·····	273

第一章 绪 论

第一节 结构的概念与分类

在建筑物中,承受和传递作用的各个部件的总和称为结构,它是由若干构件按照一定的连接方式组成的承重骨架体系。例如各种桥梁结构都是由桥面板、主梁、横梁、墩台、拱、索等构件所组成,其中梁、板、拱、索等称为基本构件。按承重结构所用材料不同,桥涵结构可分为混凝土结构、砖石及混凝土结构、钢结构、木结构等。

混凝土结构是指以混凝土材料为主,并根据需要配置钢筋、预应力钢筋、钢骨、钢管等共同受力的结构。它包括有素混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、钢管混凝土结构、钢骨混凝土结构、FRP 筋混凝土结构、纤维混凝土结构等。

素混凝土结构是指由无筋或不配置受力钢筋的混凝土制成的结构,主要用于承受压力而不承受拉力的结构,如重力堤坝、支墩、基础、挡土墙、地坪、水泥混凝土路面、飞机场跑道及砌块等。

钢筋混凝土结构是指配置受力的普通钢筋、钢筋网或钢筋骨架的混凝土结构。钢筋混凝土结构由钢筋和混凝土两种力学性质不同的材料组成,具有可就地取材,耐久性好,刚度大,可模性好等优点,相对于预应力混凝土结构而言,还具有较好的延展性和抗震性能。其缺点在于混凝土抗拉强度太低,构件容易开裂,跨越能力不大,且构件尺寸大,自重大等。钢筋混凝土结构广泛应用于各种桥梁、涵洞、挡土墙、路面、水工结构和房屋结构等。

预应力混凝土结构是由配置受力的预应力钢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。预应力混凝土结构由于在构件承受作用之前预先对混凝土受拉区施加适当的压应力,因而在正常使用条件下,可以人为地控制截面上的应力,从而延缓裂缝的产生和发展。或者说可将裂缝宽度控制在一定的范围之内,且可采用高强混凝土及高强钢材,从而降低自重,增大跨越能力。但高强材料单价高,预应力混凝土结构施工难度大、工序多,对技术要求也较高。

钢管混凝土结构是指在钢管内浇捣混凝土做成的一种新型组合结构。由于钢管混凝土结构能够更有效地发挥钢材和混凝土两种材料各自的优点,同时克服了钢管结构容易发生局部屈曲的缺点,近年来,随着理论研究的深入和新施工工艺的产生,工程应用日益广泛。钢管混凝土结构按照截面形式的不同可以分为矩形钢管混凝土结构、圆钢管混凝土结构和多边形钢管混凝土结构等,其中矩形钢管混凝土结构和圆钢管混凝土结构应用较广。

钢骨混凝土结构又称为型钢混凝土结构,是指用混凝土包裹型钢或用钢板焊成的钢骨架的混凝土结构。它充分发挥了钢与混凝土两种材料的特点,具有承载力高,抗震性能良好,施工安装方便的优点。钢骨混凝土结构在我国高层建筑以及大跨度建筑中有着广阔的应用前景。

FRP 钢筋混凝土结构是指用 FRP(纤维增强复合材料, Fiber Reinforced Polymer/Plastic) 替代钢筋作为筋材的混凝土结构。FRP 是近年来在土木工程中应用日益广泛的一种新型的结构材料, 具有高强、轻质、耐腐蚀等显著优点。FRP 在土木工程中的应用分为两大类, 一类是用 FRP 筋代替钢筋用于新建结构, 另一类是将 FRP 筋用于旧结构物的加固补强、围护防腐。

纤维混凝土结构(Fiber Reinforced Concrete, 简称 FRC), 是纤维增强混凝土结构的简称, 通常是以水泥净浆、砂浆或者混凝土为基体, 将短而细的分散性纤维掺入其中而形成的一种新型建筑材料。纤维有两类: 一类是高弹性模量纤维, 包括钢纤维、玻璃纤维、石棉纤维及碳纤维等, 掺入混凝土后, 可使混凝土获得较高的韧性, 并提高抗拉强度、刚度和承受动荷载的能力; 另一类是低弹性模量纤维, 如聚丙烯纤维、聚乙烯纤维及尼龙纤维等, 掺入混凝土中只能增加韧性, 不能提高强度。此外, 纤维混凝土还具有抗疲劳性, 在耐久性、耐磨性、耐腐蚀性、耐冲刷性、抗冻融和抗渗性方面都有不同程度的提高。

砖石及混凝土结构俗称圬工结构, 又称砌体结构, 是用胶结材料与砖、石、混凝土等块材按一定规则砌筑而成的整体结构。这种结构易于就地取材, 且有良好的耐久性, 但自重重大, 施工机械化程度低, 多用于中小跨度的拱桥、墩台、基础、挡土墙及防护工程中。

钢结构是指由型钢或钢板通过一定的连接方式所构成。钢结构的可靠性高, 其基本构件可在工厂预制, 故施工效率高, 周期短。但相对于混凝土结构而言, 造价较高, 而且养护费用也高。

木结构指单纯由木材或主要由木材承受荷载的结构。木材易于取材、加工方便、质轻且强, 缺点是各向异性, 有木节、裂纹等天然缺陷, 易腐、易蛀、易燃、易裂和翘曲。我国木材资源严重不足, 因此, 木结构应用于抢险急修的临时性工程以及施工过程中的辅助性工程(支架模板、工棚)。

混凝土结构中最常用的是由钢筋和混凝土两种材料组成共同受力的钢筋混凝土结构。由建筑材料知识可知, 混凝土的抗压强度较高而抗拉强度很低, 其抗拉强度大约只有抗压强度的 $1/18 \sim 1/9$, 因此采用钢筋主要承受拉力, 混凝土主要承受压力, 二者共同工作, 以满足工程结构的使用要求。

图 1-1 所示为两根混凝土梁的对比试验情况。一根截面为 $200\text{mm} \times 300\text{mm}$, 跨长为 4m , 混凝土强度为 C20 的素混凝土简支梁, 当跨中承受的集中力 F 为 8kN 左右时, 梁的跨中附近截面底部边缘的混凝土受拉开裂, 从而导致整个梁的突然断裂破坏, 如图 1-1a) 所示。但如果在这根梁的受拉区配置 3 根直径为 16mm 的 HPB235 级钢筋(受压区布置 2 根直径为 10mm 的架立钢筋和适量的箍筋), 用钢筋代替开裂后的混凝土承受拉力, 则可以继续加载, 直到钢筋达到屈服强度以后, 受压区混凝土被压碎, 梁才破坏, 如图 1-1b) 所示。虽然试件中纵向受力钢筋的截面面积只占整个梁截面面积的 1% 左右, 但破坏荷载 F 却可以提高到 36kN 左右。

因此可见, 在混凝土结构中适当的位置配置适量的钢筋, 两种材料有机结合、协同工作, 就能使结构的承载能力和变形能力有很大的提高, 同时钢筋与混凝土两种材料的强度也都能得到较充分的利用并节约材料。

钢筋混凝土结构在土建工程中应用最为广泛, 其主要原因在于它具有下述一系列优点。

(1) 用材合理: 钢筋混凝土结构充分、合理地发挥了钢筋和混凝土两种材料的性能特点, 具有较大的强度和刚度; 与钢结构相比, 可以降低造价。

(2) 取材容易: 混凝土所用的砂、石一般易于就地取材。另外, 还可有效利用矿渣、粉煤灰等工业废料。

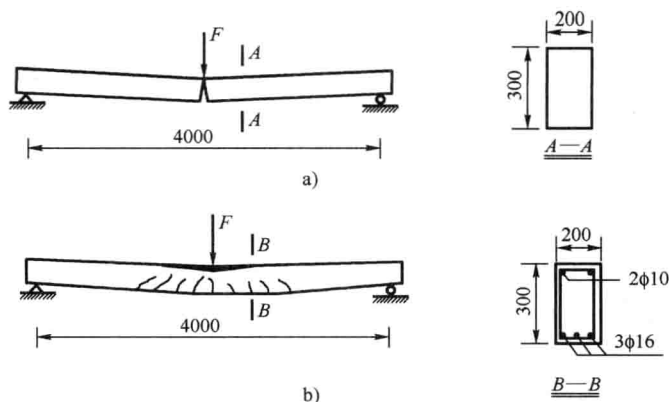


图 1-1 梁的破坏性试验(尺寸单位:mm)

a) 素混凝土简支梁;b) 钢筋混凝土简支梁

(3)可模性好:根据设计需要,可浇制成各种形状和尺寸的结构,特别适宜于建造外形复杂的大体积结构、曲线形的梁和拱以及空间薄壁结构。

(4)耐火性好:钢筋被包裹在混凝土内,混凝土又是热的不良导体,所以在遭受火灾时,钢筋不会很快因升温而软化。

(5)耐久性好:钢筋由于受到混凝土的保护而不易锈蚀,且混凝土的强度是随时间不断增加的,所以钢筋混凝土结构的耐久性是很好的,几乎不用保养和维修。混凝土结构还可用于防辐射的工作环境,如用于建造原子反应堆安全壳等。

(6)抗震性能好:现浇整体式钢筋混凝土结构,整体性好,且通过合适的配筋,可获得较好的延性,有利于抗震及防爆,因而在地震区建造的高耸建筑物,宜采用钢筋混凝土结构。

钢筋混凝土结构主要存在以下一些缺点。

(1)自重较大:比砌体和木材的重度都大,尽管比钢材的重度小,但结构的截面尺寸比钢结构的大,因而其自重远远超过相同跨度或高度的钢结构,不利于建造大跨度结构及高层建筑。

(2)施工复杂:施工工序多(支模、绑钢筋、浇筑、养护等),工期长;施工受季节、天气的影响较大。

(3)抗裂性差:普通钢筋混凝土结构在正常使用时往往出现裂缝,虽不影响承载力,但它影响结构的耐久性和美观。当裂缝数量较多和开展较宽时,还将给人造成不安全感。对一些不允许出现裂缝或对裂缝宽度有严格限制的结构很不利,要满足这些要求就需要提高工程造价。

(4)修复、加固、补强比较困难。随着钢筋混凝土结构的发展,混凝土结构加固技术也在不断得到发展,如采用碳纤维布加固混凝土结构技术。

第二节 混凝土结构的发展概况

19 世纪中叶,混凝土结构开始使用。与砖石结构、钢木结构相比,混凝土结构的历史并不长,是一种较新的结构,其发展大体可分为以下三个阶段:

第一阶段是从 19 世纪 50 年代到 20 世纪 20 年代,这个期间出现了钢筋混凝土,并主要用于建造中小型楼板、梁、柱、拱和基础等构件,所采用的混凝土和钢筋强度都比较低,钢筋混

土的结构内力和构件截面计算均套用弹性理论,采用材料力学中的容许应力设计方法。

第二阶段是从 20 世纪 20 年代到 40 年代前后,随着混凝土和钢筋强度的不断提高,1928 年法国杰出的土木工程师 E. Freyssnet 发明了预应力混凝土,使得混凝土可以用来建造大跨度结构。计算理论已开始考虑材料的塑性性能,按破坏阶段法计算构件的破坏承载力。

第三阶段是 20 世纪 40 年代到现在。随着高强混凝土和高强钢筋的发展,装配式钢筋混凝土结构、泵送商品混凝土等工业化生产方式的采用,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,成为现代土木工程的标志。计算理论发展了以概率理论为基础的极限状态设计法,新型混凝土材料及其复合结构形式的出现又不断提出新的课题,并不断促进混凝土结构的发展。近几十年来,混凝土结构的应用范围也日益扩大,已经成为我国土木工程各领域应用最广泛的结构:在工业及民用建筑方面,用于单层工业厂房、多层厂房和小高层房屋、多层住宅和办公楼、高层建筑;在桥梁工程方面,多用于中小跨度桥梁;在隧道工程方面,用于铁路隧道、公路隧道、地下铁道;在水利水电建筑方面,用于水坝、水闸、船闸、水电厂房、机墩、蜗壳;还有一些结构,如核电站反应堆安全壳、近海采油平台等也多用混凝土结构建造。

我国混凝土结构的近期发展情况如下所述。

1. 混凝土结构材料方面

20 世纪 80 年代末美国和日本相继提出高性能混凝土的概念。高性能混凝土的概念相对于高强度混凝土意义更加深远,我国《高强混凝土结构设计与施工指南》将等级在 C50 以上(含 C50)的混凝土划为高强度混凝土,目前我国普遍使用的混凝土等级是 C20 ~ C40,在一些高层建筑中也采用等级为 C50 ~ C80 的混凝土。高性能混凝土要求混凝土具有高耐久性、高工作性、高强度、高抗渗、抗冲击、高体积稳定性和经济合理性等,即概括为高强度、高耐久性和高工作性。

绿色高性能混凝土的发展方向是混凝土的未来,因为它充分利用各种工业废弃物,节约更多的资源与能源,对环境的破坏减少到最小,这不仅使混凝土工程走可持续发展之路,也是人类生存发展的需要。

我国 20 世纪 50、60 年代使用低碳钢筋(HPB235);70 年代通过低合金化(20MnSi)使强度提高 40%(HRB335);80 年代进一步微合金化(20MnSiV)强度又提高 20%(HRB400)。目前,强度再提高 25%的 HRB500 级钢筋已具备生产能力。20 世纪 90 年代,我国采用国际标准开始生产高强钢丝和钢绞线,强度达到 1570 ~ 1860MPa,2000MPa 以上的预应力钢筋也已试制成功。这些高效预应力筋(如三股钢绞线、螺旋肋钢丝等)不仅高强,而且有相当好的延性和锚固性能。其最明显的优势是高强度和高效率,强度价格比提高 40%以上,且不会发生脆性断裂破坏。此外,粗直径钢筋的连接技术发展较快,钢筋的连接将逐渐由搭接过渡到电渣压力焊、套筒挤压、锥螺纹连接、直螺纹连接等可靠而节约的连接方式。

2. 混凝土结构形式方面

建筑史上传统的结构形式主要有木结构、砌体结构、混凝土结构和钢结构四类。随着建筑科学技术的发展,近 20 年来又推出了第五种结构类型,即钢—混凝土组合结构。该种新型建筑结构是钢材和混凝土两种材料的组合,充分发挥了钢材的抗拉性能和混凝土的抗压性能,而克服了彼此的缺点,因而是经济合理的结构,备受工程界的重视。

在钢—混凝土组合结构领域内,无论是理论研究或是工程应用,我国都已取得丰硕的成

果。特别是在高层建筑和大跨径桥梁方面的应用,发展十分迅速,已分别建成世界上采用钢—混凝土组合结构的最高的超高层建筑和跨度最大的大跨径桥梁。

我国钢管混凝土结构技术的开发和应用已有 40 多年的历史,将钢管混凝土结构应用到高层、超高层建筑中可节约建筑材料,增加使用空间。在我国,钢管混凝土已经被广泛的应用于拱桥结构中。自 1990 年在四川省苍旺县建成跨度为 115m 的我国第一座钢管混凝土拱桥以来,在 10 年来的时间里,我国已经建成了 100 多座钢管混凝土拱桥,其中重庆市万县长江公路大桥,跨度达到 420m,一跨过江。经过多年的实践,我国在钢管混凝土拱桥建设上已经积累了丰富的经验,形成了一套较为完整的拱桥建造技术。近年来,在斜拉桥和梁式桥中也开始采用钢管混凝土结构,同样取得了良好的经济效益。例如,广东南海市紫洞大桥、湖北秭归县向家坝大桥和四川万县万州大桥都采用了钢管混凝土空间桁架组合梁式结构,减轻了结构恒载,提高了结构承载力利用系数。钢管混凝土空间桁架组合梁式结构适用于多种桥型,如系杆拱桥结构、特大跨径斜拉桥结构、特大跨径悬索桥结构等,推广其应用必将带来显著的经济效益和社会效益。

为了提高结构的抗裂度,预应力混凝土结构得到了越来越多的应用。预应力技术的最新进展是在无黏结预应力技术的基础上发展起来的缓黏结技术、体外预应力筋以及横向张拉预应力筋技术。

3. 混凝土结构施工技术方面

中小型预制桥梁的整个吊装、大型桥梁及大跨度房屋盖结构的整体吊装、高层建筑中的升板结构和泵送混凝土等技术得到广泛应用。

一般的工业与民用建筑广泛采用定型化、标准化的装配式结构。目前趋向于只用少数几种类型的构件就能够建造各类房屋,即从一般的标准设计发展到工业化建筑体系。

模板工程向非木材化、高品质、多功能方向发展,开始提出模板的结构化,即施工中的模板作为结构的一部分参与受力,不再拆除,也可以减少装修中的部分工序。

在现场养护条件下,提出用电热钢模板的方法来加速混凝土养护过程。在工厂生产的条件下,已开始尝试采用远红外辐射养护技术。

第三节 本课程的主要内容和学习方法

本课程主要讨论混凝土基本构件的受力性能、计算方法及构造要求,包括钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、砌体结构、钢结构基本构件。通过学习,应懂得结构计算的基本原理,掌握钢筋混凝土结构基本构件计算和钢结构连接计算的方法,了解预应力混凝土结构、砌体结构基本构件的计算方法,理解各种结构构件的构造要求,为将来从事桥涵结构的施工、设计奠定基础。

为了学好本课程,应注意以下几个方面:

(1) 本课程是铁道工程技术专业、道路桥梁工程技术专业一门重要的专业基础课,是基础课和专业课之间的桥梁和纽带。本课程的先修课程主要为材料力学、建筑材料等。

(2) 注意同力学知识的联系和区别,本课程讨论的是钢筋和混凝土两种材料组成的构件,构件不符合匀质、连续、各向同性、弹性的条件,因此在应用力学原理和方法时,必须考虑上述特点,不可照搬照抄。

(3) 因为混凝土材料本身的物理力学特性十分复杂,不少公式非单纯由理论推导而来,而

是以经验、试验为基础得到的半理论半经验公式,学习过程中要了解试验中的规律性现象,在学习和运用这些方法和公式时,要注意它们的适用范围和限制条件。

(4)本课程的内容多、计算公式及符号多、构造规定也多,要遵循教学大纲的要求,贯彻“少而精”的原则,突出重点,并注意难点的学习。

(5)注意构件设计的多方案性。构件设计是一个综合性问题,包括选型、材料、配筋、造价、施工等多方面因素。设计过程是一个多次反复的过程,对同一问题,往往有多种可能的解决方案,要考虑诸多方案的合理性,从中选出最优的方案。注意培养对多种因素进行综合分析的能力,不能以数学、力学的思维模式和方法来学习本课程。

(6)熟悉并学会应用有关规范是学习本课程的重要任务之一。从某种意义上说,本课程的学习就是规范的学习。规范是国家颁布的关于结构计算和构造要求的技术规定和标准,具有一定的约束性和法规性,学生应注重规范的学习。《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)是本教材使用的基本规范。

(7)构造措施是在施工方便、经济合理前提下,对结构计算中未能详细考虑或难以定量计算的因素所采取的技术措施。构造措施是长期科学实验和工程实践经验的总结,与结构计算是相辅相成的两个方面,是对计算必不可少的补充,两者是同样重要的。因此,学生要充分重视对构造措施的学习,并着眼于理解其中的道理。

(8)本课程的实践性很强,在学习过程中要有计划地到施工现场参观,细心观察结构构件的构造细节和受力情况,积累感性认识,对于学好本课程将有较大的帮助。



小知识

素混凝土与贫混凝土有什么区别?

最早的混凝土里面是没有钢筋的,这种混凝土称作素混凝土(Plain Concrete,简称PC)。但是素混凝土是很脆的,因此只能用于房屋的基础、柱子等主要承受压力的结构,而不能用于房屋的大梁、楼板等主要承受拉力的结构。

贫混凝土(Lean Concrete,简称LC)是由粗、细级配集料与一定水泥和水拌和而成的一种混凝土。这种混凝土的水泥用量较普通混凝土低,一般每立方混凝土为100~200kg,有时也称经济混凝土(Econcrete),与水泥稳定碎石、二灰碎石等常用半刚性材料相比,具有较高的强度、刚度和整体性,抗冲刷、抗冻性以及抗疲劳性能良好。贫混凝土有湿贫混凝土、干贫混凝土和多孔贫混凝土三类,都具有良好的抗冲刷性能。贫混凝土通常用于道路基层,和面层一起承受车辆荷载和温度荷载的反复作用,结构设计时需考虑其疲劳性能。

第二章 结 构 材 料

[学习要求]

学完本章,你应:

掌握钢筋与混凝土的物理力学性能、钢筋与混凝土之间的黏结等系统的专业应用知识。

[教学重点与难点]

1. 钢筋的品种与主要力学性能;
2. 钢筋的弯钩、弯起与接头;
3. 混凝土的强度与变形;
4. 钢筋与混凝土的黏结力;
5. 保证黏结强度的措施。

第一节 钢筋的物理力学性能

一 钢筋的品种

(一) 按外形分类

1. 光圆钢筋

钢筋的表面是光圆的,与混凝土的黏结强度较低,如图 2-1a) 所示。

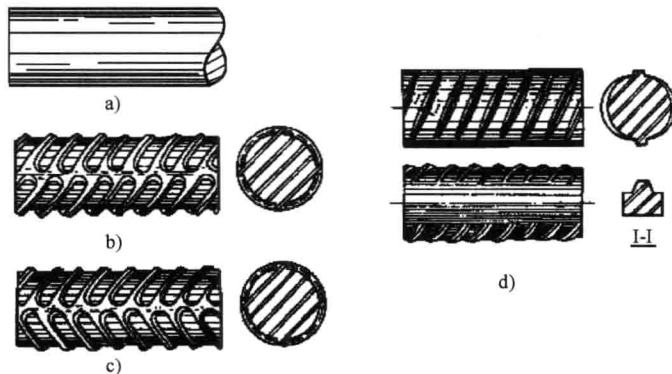


图 2-1 钢筋的外形

a) 光圆钢筋; b) 螺旋纹钢筋; c) 人字纹钢筋; d) 月牙纹钢筋

2. 变形钢筋

钢筋的外形有螺旋纹、人字纹、月牙纹等。在现行的钢筋标准中,螺旋纹和人字纹钢筋统

称等带肋钢筋,如图 2-1b)、c)所示;月牙纹钢筋称为月牙肋钢筋,如图 2-1d)所示。

变形钢筋的表面形状,我国以往长期采用螺旋纹和人字纹两种,表面花纹由两条纵肋和螺旋形横肋或人字形横肋组成。这种形式的横肋较密,消耗于肋纹的钢材较多,纵肋和横肋相交,容易造成应力集中,对钢筋的动力性能不利。我国目前已将变形钢筋的肋纹改为月牙纹,其特点是横肋呈月牙形,与纵肋不相交,且横肋的间距比老式变形钢筋大,故可克服老式钢筋的缺点,而且黏结强度降低不多。

(二) 按化学成分分类

1. 碳素钢

碳素钢为铁碳合金,化学成分以铁为主,还含少量的碳、硅、锰、硫、磷等元素。钢筋强度随含碳量的增加而提高,但是塑性、韧性降低,脆性增加、可焊接性下降。碳素钢按其含碳量的多少可分为低碳钢(含碳量小于 0.25%)、中碳钢(含碳量 0.25% ~ 0.6%)和高碳钢(含碳量 0.6% ~ 1.4%)。低碳钢俗称软钢,中碳钢、高碳钢俗称硬钢。

2. 普通低合金钢

普通低合金钢是在碳素钢中再加入少量合金元素,如锰、硅、钒、钛、铬等,可有效提高钢材的强度、塑性等综合性能。磷、硫是有害杂质,其量超过一定限度时会使钢材变脆、塑性显著降低,不利于焊接。普通低合金钢具有强度高、塑性及可焊性好的特点,因而应用广泛。

(三) 按生产加工工艺分类

1. 热轧钢筋

热轧钢筋是由低碳钢、普通低合金钢在高温下轧制而成的,用于钢筋混凝土结构中的钢筋和预应力混凝土结构中的非预应力钢筋主要是热轧钢筋。热轧钢筋的牌号有 HPB235 (Q235)、HRB335、HRB400 和 RRB400。

HPB235 钢筋强度低,其表面为光面的,其余级别钢筋强度较高,表面做成带肋形式。在公路桥涵工程中,热轧光面钢筋用 R235 表示。

热轧钢筋的牌号由英文单词首位字母和钢筋的屈服强度标准值 f_{yk} 构成,如 HPB、HRB、RRB 分别表示 Hot rolled-Plain-Bar、Hot rolled-Rolled-Bar、Remained heat treatment-Ribbed-Bar 之意;235、335、400 分别表示 $f_{yk} = 235 \text{ N/mm}^2$ 、 $f_{yk} = 335 \text{ N/mm}^2$ 、 $f_{yk} = 400 \text{ N/mm}^2$ 之意。

2. 冷加工钢筋

冷加工钢筋是指在常温下采用某种工艺对热轧钢筋进行加工得到的钢筋。常用的冷加工工艺有冷拉、冷拔、冷轧和冷轧扭 4 种,其目的均为提高钢筋的强度,以节约钢材。但是,经冷加工后的钢筋在强度提高的同时,延伸率显著降低,用于预应力构件时易造成脆性断裂。除冷拉钢筋仍具有明显的屈服点外,其余冷加工钢筋均无明显屈服点和屈服台阶。

冷轧带肋钢筋是以低碳钢筋或低合金钢筋为原材料,在常温下进行轧制而成的表面带有纵肋和月牙纹横肋的钢筋。它的极限强度与冷拔低碳钢丝相近,但伸长率比冷拔低碳钢丝有明显提高。用这种钢筋逐步取代普通低碳钢筋和冷拔低碳钢丝,可以改善构件在正常使用阶段的受力性能和节省钢材。

冷轧扭钢筋是以热轧光面钢筋 HPB235 为原材料,按规定的工艺参数,经钢筋冷轧扭机一次加工轧扁扭曲呈连续螺旋状的冷强化钢筋。

3. 热处理钢筋

热处理钢筋是利用热轧钢筋的余热进行淬火,然后利用芯部余热自身完成回火处理所得的成品钢筋。此种钢筋为带肋钢筋。热处理后,钢筋强度得到较大幅度的提高,而塑性降低不多。热处理钢筋因其强度已很高,不必再进行冷拉,可直接用作预应力钢筋。

RRB400 是余热处理钢筋,在公路桥涵工程中,余热处理钢筋用 KL400 表示。

4. 钢丝

钢丝包括光面钢丝、刻痕钢丝、钢绞线和冷拔低碳钢丝等。它们属于硬钢类,作为预应力钢筋使用,钢丝的直径越细,其强度越高。钢丝的外形有光圆、螺旋肋、刻痕三种,如图 2-2 a)、b)所示。

钢丝按加工情况有冷拉钢丝和消除应力钢丝两类:冷拉钢丝指用盘条通过拔丝模或轧辊经冷加工而成产品,以盘卷供货的钢丝;消除应力钢丝指按下述一次性连续处理方法之一生产的钢丝,消除应力钢丝根据松弛性能又分为低松弛级钢丝和普通松弛级钢丝。

(1) 钢丝在塑性变形下(轴应变)进行的短时热处理,得到的应是低松弛钢丝。

(2) 钢丝通过矫直工序后在适当温度下进行的短时热处理,得到的应是普通松弛钢丝。

钢绞线为绳状,由 2 股、3 股或 7 股钢丝捻制而成,均可盘成卷状,如图 2-2c)所示。

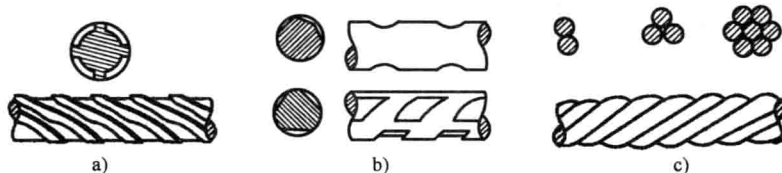


图 2-2 钢丝的外形

a) 螺旋肋钢丝; b) 刻痕钢丝; c) 钢绞线

二 钢筋的主要力学性能

(一) 钢筋的应力—应变曲线

钢筋的强度和变形性能可以通过拉伸试验的应力—应变曲线来讨论,一类具有明显流幅(或有明显屈服点),如热轧钢筋和冷拉钢筋,其力学性质相对较软,常称之为软钢,如图 2-3a)所示;另一类无明显流幅(或无明显屈服点),如热处理钢筋、预应力钢丝和钢绞线,其力学性质相对较硬,常称为硬钢,如图 2-3b)所示。

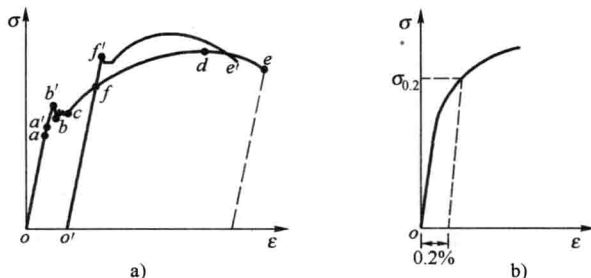


图 2-3 钢筋的应力—应变曲线

a) 有明显流幅的钢筋; b) 无明显流幅的钢筋