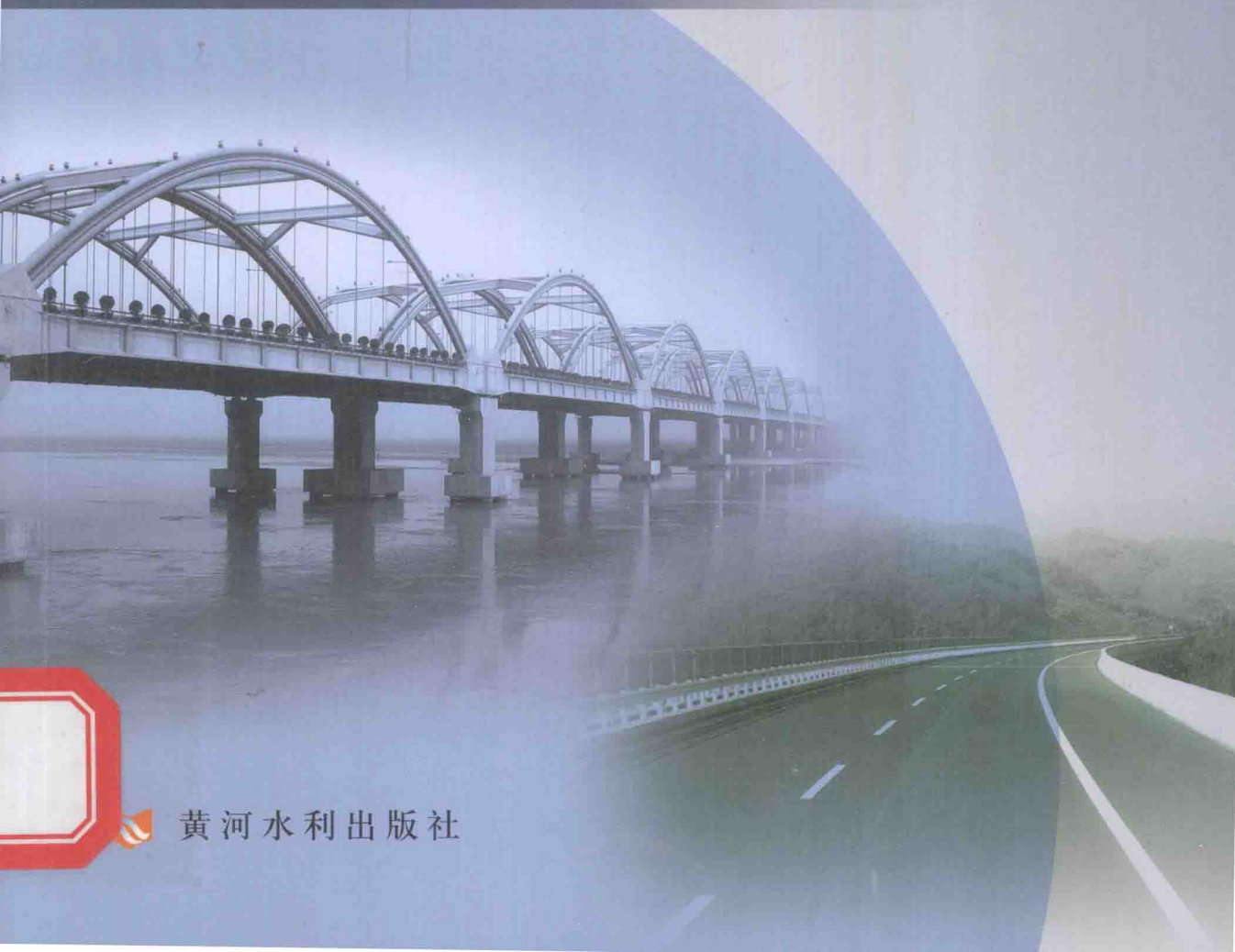


全国高职高专道桥与市政工程专业规划教材

工程力学与结构

施 荣 李建民 主编
赵毅力 主审



黄河水利出版社

全国高职高专道桥与市政工程专业规划教材

工程力学与结构

主 编	施 荣	李建民
副主编	郑慧玲	耿亚杰
	韩永胜	管 欣
主 审	赵毅力	

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书是全国高职高专道桥与市政工程专业规划教材,是根据教育部对高职高专教育的教学基本要求及全国水利水电高职教研会制定的工程力学与结构课程标准编写完成的。全书包括工程力学与结构两大模块,共九个学习情境。前四个学习情境是工程力学部分,主要内容包括工程力学与结构概论、工程力学基本知识及结构计算简图、结构构件上的荷载及支座反力、构件的内力计算;后五个学习情境是建筑结构部分,主要内容包括钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、圬工结构、钢结构、钢-混凝土组合结构等结构的构造连接、设计、结构性能和适用范围,以及识读结构施工图的相关知识。每个学习情境都包含了典型例题、知识小结和能力训练等环节。

本书可作为高职高专市政、道桥类专业的技术基础课,亦可供工程技术管理人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学与结构/施荣,李建民主编. —郑州:黄河水利出版社,2013.2
全国高职高专道桥与市政工程专业规划教材
ISBN 978-7-5509-0427-9

I. ①工… II. ①施… ②李… III. ①工程力学-高等职业教育-教材②工程结构-高等职业教育-教材
IV. ①TB12②TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 027949 号

组稿编辑:王路平 电话:0371-66022212 E-mail:hhsllwlp@163.com
路夷坦 66026749 hhslltyt@126.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼14层

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940,66020550,66028024,66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:郑州海华印务有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:17

字数:390千字

印数:1—4 100

版次:2013年2月第1版

印次:2013年2月第1次印刷

定价:34.00元

前 言

本书是根据《教育部关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)、《教育部关于推进高等职业教育改革创新引领职业教育科学发展的若干意见》(教职成[2011]12号)等文件精神,由全国水利水电高职教研会拟定的教材编写规划,在中国水利教育协会指导下,由全国水利水电高职教研会组织编写的道桥与市政工程专业规划教材。该套规划教材是在近年来我国高职高专院校专业建设和课程建设不断深化改革和探索的基础上组织编写的,内容上力求体现高职教育理念,注重对学生应用能力和实践能力的培养;形式上力求做到基于工作任务和工作过程编写,便于“教、学、练、做”一体化。该套规划教材是一套理论联系实际、教学面向生产的高职高专教育精品规划教材。本书编写坚持以培养学生从事施工技术和结构设计能力为主线,以工程力学和建筑结构知识体系及实践技能提升为依据,划分学习情境,确定学习任务,从调研、论证、立项、编写、审核等各个环节都邀请企业专家参与指导。教材内容充分融合了工学结合、任务驱动的高职教学的理念与要求,每个学习情境都通过典型例题、知识小结和能力训练等环节提高学生岗位能力,体现了职业性、实用性和创新性。

教材编写中,紧紧围绕高等职业技术教育的教学要求及人才培养目标,借鉴国内高职院校《建筑力学与结构》的课程体系,坚持“必需、够用”原则,在原《建筑力学》、《圬工结构》、《钢结构》、《钢筋混凝土结构》等课程的基础上,重构课程体系,优化课程内容,将教材内容划分为工程力学与结构两大模块,共九个学习情境。分别讲述工程力学与结构基本知识、结构构件上的荷载及支座反力、构件的内力计算、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、圬工结构、钢结构、钢-混凝土组合构件等相关内容,形成力学与结构相互贯通、互为一体的知识体系。各专业可根据自身的教学目标及教学课时,对教材内容进行取舍。

本书编写人员及编写分工如下:酒泉职业技术学院施荣(前言、学习情境五),山西水利职业技术学院李建民(学习情境一、四),内蒙古机电职业技术学院郑慧玲(学习情境七、八),黄河水利职业技术学院耿亚杰(学习情境三、九)和管欣(学习情境二),山东水利职业技术学院韩永胜(学习情境六)。本书由施荣、李建民担任主编,施荣负责全书统稿;由郑慧玲、耿亚杰、韩永胜、管欣担任副主编;杨凌职业技术学院赵毅力担任主审。

教材在编写过程中,得到了酒泉职业技术学院土木工程系郭志勇、程小兵等老师的大力支持,中铁十九局兰新铁路项目部杨慧国工程师还为本教材编写提供了宝贵的意见和部分数据资料,谨此致以衷心的感谢。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中尚存在不足之处,敬请同行和广大读者予以批评指正。

编 者

2012 年 12 月

目 录

前 言

模块一 工程力学

学习情境一 工程力学与结构概论	(3)
学习任务一 工程力学概论	(3)
学习任务二 建筑结构概论	(6)
学习任务三 工程力学与结构的内容和学习方法	(11)
小 结	(12)
能力训练	(12)
学习情境二 工程力学基本知识及结构计算简图	(13)
学习任务一 静力学基本知识	(13)
学习任务二 结构的计算简图	(24)
学习任务三 杆件的受力分析与受力图	(32)
小 结	(35)
能力训练	(35)
学习情境三 结构构件上的荷载及支座反力	(38)
学习任务一 结构上的荷载	(38)
学习任务二 平面力系的平衡	(40)
小 结	(49)
能力训练	(50)
学习情境四 构件的内力计算	(53)
学习任务一 内力的基本概念	(54)
学习任务二 静定结构的内力计算	(55)
学习任务三 结构的强度计算	(74)
学习任务四 静定结构的位移计算	(82)
学习任务五 超静定结构的内力计算	(93)
小 结	(108)
能力训练	(109)

模块二 建筑结构

学习情境五 钢筋混凝土结构	(117)
学习任务一 钢筋混凝土结构材料的力学性能	(118)
学习任务二 结构按极限状态法设计的计算原则	(124)

学习任务三 钢筋混凝土受弯构件	(132)
学习任务四 钢筋混凝土受压构件	(159)
小 结	(176)
能力训练	(177)
学习情境六 预应力混凝土结构	(179)
学习任务一 预应力混凝土结构的基本概念及材料	(179)
学习任务二 预应力混凝土构件的构造要求	(189)
小 结	(195)
能力训练	(195)
学习情境七 圬工结构	(196)
学习任务一 圬工结构的基本概念及材料	(196)
学习任务二 砌体的强度与变形	(203)
小 结	(211)
能力训练	(211)
学习情境八 钢结构	(212)
学习任务一 钢结构的基本概念	(213)
学习任务二 钢结构的材料	(214)
学习任务三 钢结构的连接	(226)
学习任务四 钢桁架	(243)
小 结	(256)
能力训练	(256)
学习情境九 钢 - 混凝土组合结构	(258)
小 结	(264)
能力训练	(264)
参考文献	(265)

模块一 工程力学

学习情境一 工程力学与结构概论

【学习目标】

明确工程力学的研究对象,熟悉工程力学的学习任务;能准确区分建筑物及各种建筑结构的类型、特点和适用范围,掌握建筑结构的结构功能要求;了解教材的整体内容。

工作任务表

能力目标	主讲内容	学生完成任务	评价标准	
能明确工程力学的研究对象、熟悉工程力学的学习任务,了解杆件变形的基本形式和变形体基本假设	工程力学概论	明确工程力学的研究对象,熟悉工程力学的学习任务	优秀	明确工程力学的研究对象,熟悉工程力学的学习任务
			良好	明确工程力学的研究对象,比较熟悉工程力学的学习任务
			合格	明确工程力学的研究对象,了解工程力学的学习任务
能熟练掌握建筑物及建筑结构的类型和特点,理解建筑结构的结构功能要求	建筑结构概论	准确区分建筑物及各种建筑结构类型和特点,理解建筑结构的结构功能要求	优秀	能准确区分建筑物及各种建筑结构类型、特点和适用范围,掌握建筑结构的结构功能要求
			良好	能基本区分建筑物及各种建筑结构类型、特点和适用范围,掌握建筑结构的结构功能要求
			合格	了解建筑物及各种建筑结构的类型、特点和适用范围,基本理解建筑结构的结构功能要求
明确工程力学与结构的内容及学习方法	工程力学与结构的内容和学习方法	熟悉教材整体内容	优秀	能掌握工程力学与结构的学习方法,并在今后的学习中应用其中
			良好	能基本掌握工程力学与结构的学习方法,并在今后的学习中能够进行一定的应用
			合格	能基本掌握工程力学与结构的学习方法,并在后续学习中进行应用

学习任务一 工程力学概论

一、工程力学的研究对象

在生产、生活中,人们为了满足不同的使用要求,建造各种类型的建筑物。在建筑物中,承受荷载并传递荷载起骨架作用的部分称为结构,组成结构的单个物体称为构件(见

图 1-1)。

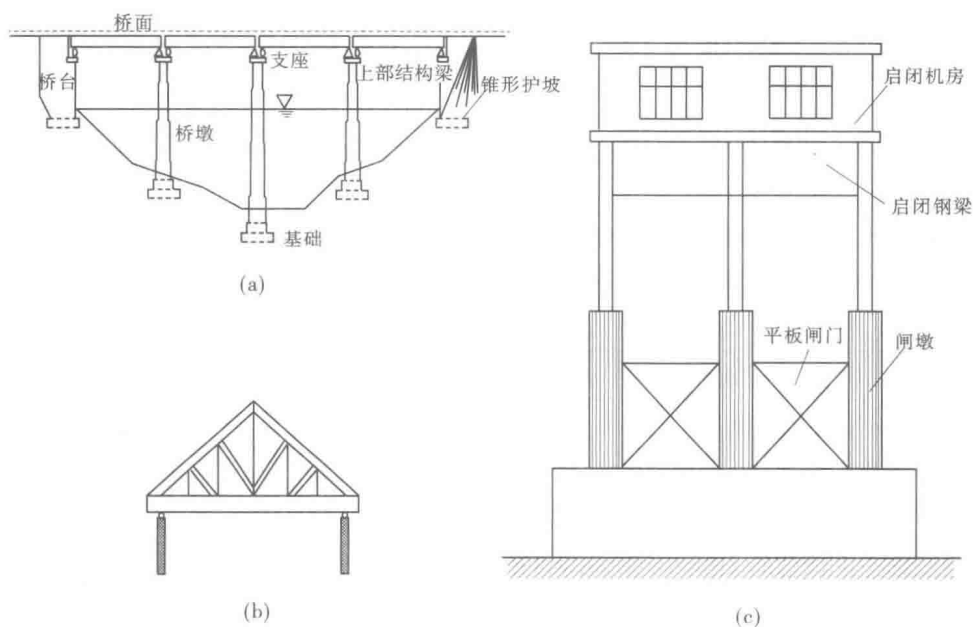


图 1-1

工程力学的研究对象是工程结构。工程力学是讨论工程结构的受力分析、承载能力的一门学科。它既是土建、交通运输类专业学生必修的一门专业基础课,也是从事市政、桥梁等土建工程设计、施工、管理人员所必须具备的理论基础。

二、杆的基本变形形式

(1) 轴向拉伸或压缩: 杆件受到与杆轴线重合的一对大小相等、方向相反、作用在同一直线上的外力作用而引起的变形, 如图 1-2(a) 所示。

(2) 剪切: 杆件受到一对大小相等、方向相反、作用线相距很近且与轴线垂直的平行外力作用而引起的变形, 如图 1-2(b) 所示。

(3) 扭转: 杆件受到一对大小相等、方向相反、作用面与轴线垂直的外力偶作用而引起的变形, 如图 1-2(c) 所示。

(4) 弯曲: 杆件受到一对大小相等、方向相反、作用在杆纵向对称面内的力偶作用而引起的变形, 如图 1-2(d) 所示。

三、工程力学的任务

建筑工程结构的主要任务是承受和传递荷载。在进行结构设计时, 无论是工业厂房还是民用建筑、公共建筑, 它们的结构及组成结构的各构件都相对于地面保持着静止状态, 这种状态在工程上称为平衡状态。当结构承受和传递荷载时, 各构件都必须能够正常工作, 这样才能保证整个结构的正常使用。为此, 首先要求构件在受到荷载作用时不发生破坏; 其次是把各种构件按一定的规律组合, 确保在外部因素影响下结构的几何形状和尺

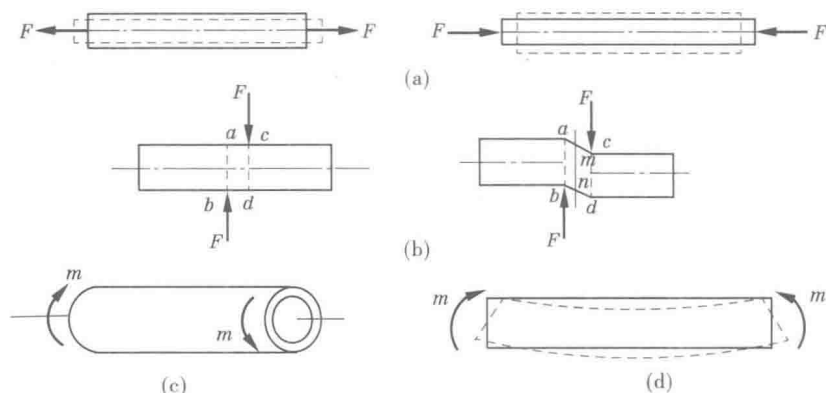


图 1-2

尺寸不会发生改变,这个建筑物才可以安全、正常地使用。所以,工程力学的主要任务是讨论和研究建筑结构及构件在荷载或其他因素(如支座移动、温度变化等)作用下的工作状态,它可归纳为以下几个方面的内容:

(1)力系的简化和平衡问题:研究和分析此问题时,应将研究对象视为刚体。所谓刚体,是指在任何外力作用下,其形状都不会改变的物体,即物体内部任意两点间的距离都不会改变的物体。

(2)强度问题:研究材料、构件和结构抵抗破坏的能力。一个结构(或构件)满足了强度要求,在正常使用中就不会发生破坏;反之,强度不足就会破坏,使人民的生命和财产受到威胁。

(3)刚度问题:研究构件和结构抵抗变形的能力。任何结构(或构件)在荷载作用下都会发生变形,如果变形过大,就会影响结构或构件的正常使用。所以,工程上要求结构(或构件)必须具有足够的刚度,使结构在正常工作时产生的变形限制在工程所容许的范围内。

(4)稳定性问题:研究的构件和结构在外力作用下保持其原有平衡状态的能力。建筑物中的构件如果丧失了平衡能力,其后果非常严重,会导致整个建筑物坍塌,酿成事故。因此,结构或构件必须满足稳定性要求。

(5)结构体系的几何组成规则问题:目的在于保证结构各部分不致发生相对运动。

一个结构(或构件)要满足强度、刚度和稳定性要求并不难,只要选择较好的材料和较大截面就能满足。但是,这样做势必造成优材劣用,大材小用,导致材料的浪费。于是,在建筑物设计中,安全可靠与经济合理就形成了一对矛盾。工程力学就是力求解决这个矛盾,在保证安全的前提条件下,合理、经济地进行工程设计,提高经济效益。

四、变形固体的基本假设

变形固体是指在外力作用下会产生变形的物体。变形固体的实际组成和结构是很复杂的,为了分析和简化计算,将其抽象为理想模型,提出以下基本假设:

(1)完全弹性假设:变形固体在外力作用下发生变形,当外力撤去后,构件的变形可完全消失,这种变形称为弹性变形;外力撤去后,不能恢复的变形称为塑性变形或残余变

形。在工程力学中,要求结构只发生弹性变形。

(2)均匀连续性假设:认为组成变形固体的物质均匀、连续、无空隙地充满了整个体积,而且各点处的性质完全相同。

(3)各向同性假设:认为变形固体在各个不同的方向具有相同的力学性能。

采用以上假设建立力学模型,大大方便了理论研究和计算方法的推导。尽管所得结果只具有近似的准确性,但精确度可满足一般的工程要求。

学习任务二 建筑结构概论

一、建筑物的结构类型

在实际工程中,建筑物的结构形式是多种多样的,按其几何特征可分为三种类型:

(1)杆系结构:是指由若干杆件通过适当方式相互连接组成的结构体系。杆件的几何特征是其长度方向的尺寸远大于横截面上两个方向的尺寸。轴线为直线的杆称为直杆,轴线为曲线的杆称为曲杆,如图 1-3(a)、(b)所示。如刚架、桁架等。

(2)薄壁结构:也称为板壳结构,是指厚度远小于其他两个方向尺寸的结构。其中,表面为平面形状者为板,表面为曲面形状者为壳,如图 1-3(c)、(d)所示。例如,一般的钢筋混凝土楼面均为平板结构,一些特殊形式的建筑,如悉尼歌剧院的屋面以及一些穹形屋顶就为壳体结构。

(3)实体结构:也称为块体结构,是指长、宽、高三个方向尺寸相仿的结构,如图 1-3(e)所示。如重力式挡土墙、水坝、建筑物基础等。

工程力学的研究对象主要是杆系结构。

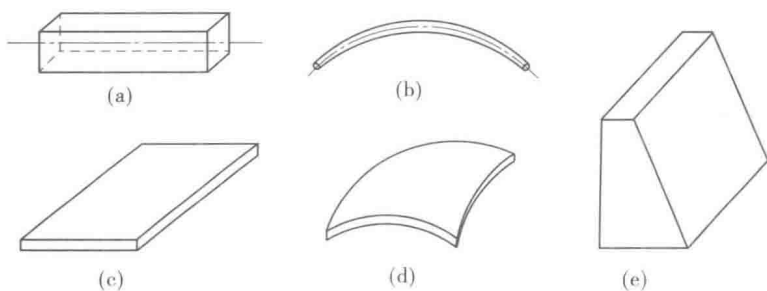


图 1-3

二、建筑结构的分类

在建筑物中承受和传递荷载而起骨架作用的部分称为结构。组成结构的各个部件称为构件。在工业与民用建筑中,由屋架、梁、板、柱、墙体和基础等构件组成并能满足预定功能要求的承力体系,称为建筑结构。

(一) 建筑结构按所用材料分类

建筑结构按所用材料可分为圬工结构、混凝土结构、钢结构和钢-混凝土组合结

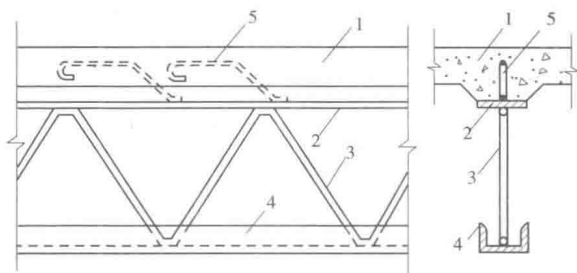
构等。

(1) 圬工结构是以砌体材料为主,并根据需要配置适量钢筋而组成的结构,是公路桥涵常采用的结构。它的特点及发展将在后续章节中叙述。代表性建筑有万里长城、河北赵州桥等。

(2) 混凝土结构是以混凝土为主要材料,并需要在其内部配置钢材而制成的结构。混凝土结构包括:不配置钢材或不考虑钢筋受力的素混凝土结构;配有受力的普通钢筋、钢筋网或钢筋骨架的钢筋混凝土结构;配有受力的预应力钢筋,通过张拉预应力钢筋或其他方法建立预加应力的预应力混凝土结构;将由型钢或钢板焊成的钢骨架作为配筋的钢骨架混凝土结构;由钢管和混凝土组成的钢管混凝土结构。

(3) 钢结构是指以钢材为主要材料制成的结构。代表性的建筑如国家体育馆——鸟巢、上海卢浦大桥、中央电视台新台址 CCTV 主楼钢结构等。

(4) 钢-混凝土组合结构是将钢部件和混凝土或钢筋混凝土部件组合成为整体而共同工作的一种结构,兼具钢结构和钢筋混凝土结构的一些特性。可用于多层和高层建筑中的楼面梁、桁架、板、柱;屋盖结构中的屋面板、梁、桁架;厂房中的柱及工作平台梁、板以及桥梁;在我国还用于厂房中的吊车梁。图 1-4 为钢-混凝土组合桁架示意图。



1—钢筋混凝土板;2—钢板;3—钢筋;4—槽钢;5—钢筋制作的连接件

图 1-4 钢-混凝土组合桁架示意图

(二) 建筑结构按受力和构造特点分类

建筑结构按受力和构造特点不同可分为混合结构、框架结构、框架-剪力墙结构、剪力墙结构、筒体结构、大跨结构等。其中,大跨结构常采用悬索结构、薄壳结构、网架结构及膜结构等。

1. 混合结构

混合结构体系的墙体、基础等竖向构件采用砌体结构;楼盖、屋盖等水平构件采用钢筋混凝土梁板结构。混合结构房屋有较大的刚度、较好的经济指标。但砌体强度相对较低,抗震性能差,砌筑工程繁重。一般 6 层或 6 层以下的楼房,如住宅、宿舍、办公室、学校、医院等民用建筑以及中小型工业建筑都适宜采用混合结构。

2. 框架结构

框架结构由横梁、立柱以及基础组成主要承重体系,如图 1-5(a)所示。框架结构房屋建筑平面布置灵活,可获得较大的使用空间,但其刚度小、水平位移大等缺点限制了房屋高度的增加,一般仅用于 6~15 层的多层和高层房屋中。

3. 框架-剪力墙结构

随着建筑物高度的增加,水平荷载将起主要作用,房屋需要很大的抗侧移能力。剪力墙就是以承受水平荷载为主要目的(同时也承受相应范围内的竖向荷载)而在房屋结构中设置的成片钢筋混凝土墙体。图 1-5(b)所示即为框架-剪力墙结构。在框架-剪力墙结构中,剪力墙承受绝大部分水平荷载,框架以承受竖向荷载为主。剪力墙在一定程度上限制了建筑平面的灵活性。这种体系一般用于办公楼、旅馆、住宅及一些工业厂房中,层数宜在 16~25 层。

4. 剪力墙结构

当建筑物高度更高时,横向水平荷载已对结构设计起控制作用,为了提高结构的抗侧移刚度,剪力墙的数量与厚度均需增加,这时宜采用全剪力墙结构,如图 1-5(c)所示。剪力墙结构由纵横向钢筋混凝土墙体组成承重体系,一般用于 21~30 层以上的房屋。由于剪力墙结构的房屋平面布置极不灵活,所以一般常用于住宅、旅馆等建筑。

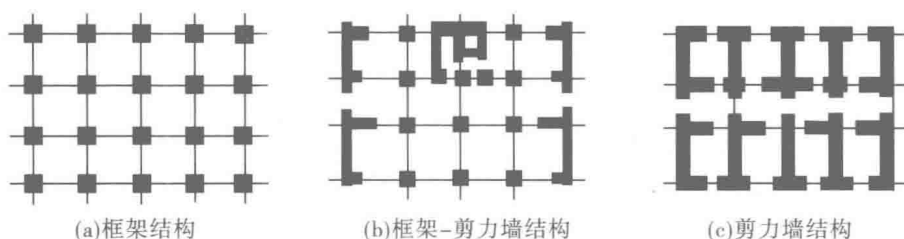


图 1-5

5. 筒体结构

将房屋的剪力墙集中到房屋的外部或内部组成一个竖向、悬臂的封闭箱体时,可以大大提高房屋的整体空间受力性能和抗侧移能力,这种封闭的箱体称为筒体。筒体和框架结合形成框筒结构,如图 1-6(a)所示。内筒和外筒结合(两者之间用很强的连系梁连接)形成筒中筒结构,如图 1-6(b)所示。筒体结构一般用于 30 层以上的超高层房屋。

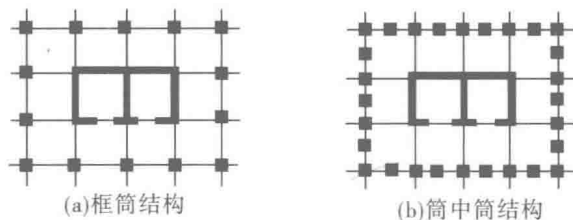


图 1-6

6. 大跨结构

大跨结构通常是指跨度在 30 m 以上的结构,主要用于民用建筑的影剧院、体育馆、展览馆、大会堂、航空港以及其他大型公共建筑。在工业建筑中则主要用于飞机装配车间、飞机库和其他大跨度厂房。

1) 排架结构

排架结构是一般钢筋混凝土单层厂房的常用结构形式,如图 1-7(a)所示,其屋架(或

屋面梁)与柱顶铰接,柱下端嵌固于基础顶面(即刚接)。

2) 刚架结构

刚架是一种梁柱合一的结构构件,其横梁和立柱整体现浇在一起(即刚接),交接处形成刚结点。钢筋混凝土刚架结构常用作中小型厂房的主体结构。它可以有三铰、两铰及无铰等形式,可以做成单跨或多跨结构,如图 1-7(b)所示。



(a) 排架结构



(b) 刚架结构

图 1-7

3) 拱结构

拱是以承受轴压力为主的结构。由于拱的各截面上的内力大致相等,因而拱结构是一种有效的大跨度结构,在桥梁和房屋中都有广泛的应用。拱同样可分为三铰、两铰及无铰等形式,如图 1-8 所示。



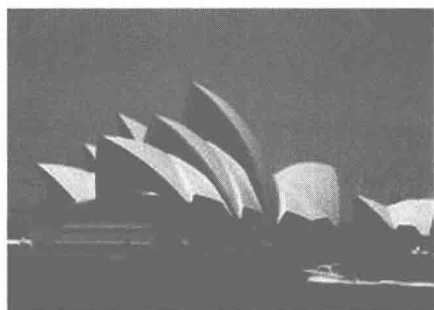
图 1-8

4) 薄壳结构

薄壳结构是一种以受压为主的空间受力曲面结构,其曲面很薄(壁厚往往小于曲面主曲率的 $1/20$),不至于产生明显的弯曲应力,但可以承受曲面内的轴力和剪力。薄壳的形式很多,如扁壳、球壳、筒壳和扭壳等(见图 1-9),都是由曲面变化而来的形式。

5) 网架结构

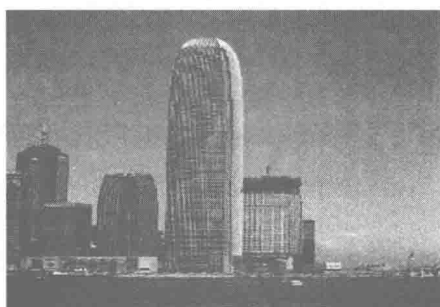
网架是由平面桁架发展起来的一种空间受力结构。在节点荷载作用下,网架杆件主要承受轴力。网架结构的杆件多用钢管或角钢制作,其节点为空心球节点或钢板焊接节点。网架结构按外形可划分为平板网架和曲面网架,如图 1-10 所示。



(a) 扁壳



(b) 球壳

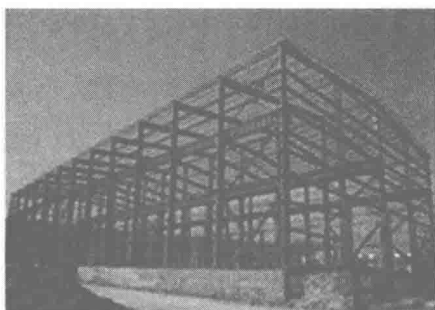


(c) 筒壳



(d) 扭壳

图 1-9



(a) 平板网架结构



(b) 曲面网架结构

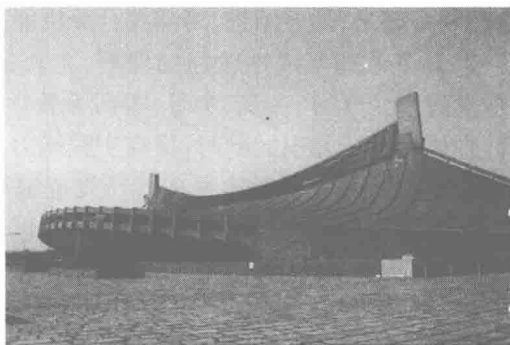
图 1-10

6) 悬索结构

悬索结构广泛应用于桥梁结构,或者用于大跨度建筑物,如体育建筑(体育馆、游泳馆、大运动场等)、工业车间、文化生活建筑(陈列馆、市场等)以及特殊构筑物。悬索结构包括索网、侧边构件及下部支承结构。这种结构往往造型轻盈、美观,例如,日本代代木体育馆(见图 1-11(b))采用高张力缆索为主体的“海螺”式悬索屋顶结构,用数根自然下垂的钢索牵引主体结构的各个部位,创造出带有紧张感、力动感的大型内部空间,特异的外部造型给人很强的视觉冲击。



(a) 南京长江三桥



(b) 日本代代木体育馆

图 1-11

三、建筑结构的功功能要求

对于一个建筑物而言,无论采用什么材料或采用什么结构类型,都是为了满足某些预定功能而设计建造的。建筑结构在规定的的设计使用年限内,应满足下列功能要求:

(1)安全性。结构在正常施工和正常使用时应承受可能出现的各种作用,在设计规定的偶然事件(如地震、爆炸等)发生时和发生后,仍能保持必需的整体稳定。

(2)适用性。结构在正常使用条件下具有良好的工作性能。例如,不发生过大的变形或振幅,以及不出现过宽的裂缝。

(3)耐久性。结构在正常维护下具有足够的耐久性能,完好使用到设计规定的年限,即设计使用年限。

学习任务三 工程力学与结构的内容和学习方法

本教材的教学内容坚持“必需、够用”的原则,以学生能力培养为主线,理论与实践紧密结合,突出教学的针对性和实用性,将教材内容划分九个学习情境,前四个学习情境主要是工程力学部分,后五个学习情境主要是建筑结构部分。

工程力学部分的主要内容有工程力学基础知识和杆件的承载能力计算两部分。工程力学基础知识主要包括物体受力分析、力系的简化、合成与平衡等刚体静力学基础理论。杆件的承载能力计算主要包括基本变形杆件的内力分析、强度和刚度计算、静定结构的内力和位移计算、超静定结构的内力和位移计算。

建筑结构部分主要包括圬工结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、钢结构、钢-混凝土组合结构等结构的构造连接、设计、结构性能和适用范围,以及识读结构施工图的相关知识。

本教材为高职高专市政、道桥类专业的技术基础课,在学习过程中应注意以下四个方面:

(1)课程涉及数学、物理、工程制图和建筑材料等相关课程的内容,在学习过程中,应