

全国高校土木工程专业应用型本科规划推荐教材

# 工程结构设计原理

吴珊瑚 陈麟 主编  
周云 黄贵良 主审

中国建筑工业出版社

全国高校土木工程专业应用型本科规划推荐教材

# 工程结构设计原理

吴珊瑚 陈 麟 主编  
周 云 黄贵良 主审

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

工程结构设计原理/吴珊瑚等主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2013. 3

全国高校土木工程专业应用型本科规划推荐教材  
ISBN 978-7-112-15395-4

I. ①工… II. ①吴… III. ①工程结构-结构设计 IV. ①TU318

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 084699 号

本书根据工程结构基本构件的受力特点, 将混凝土、钢、钢-混凝土组合结构等不同材料的工程结构构件的设计原理和方法有机地结合在一起。

全书共 7 章, 包括绪论、工程结构材料、工程结构的设计原则、轴心受力构件、受弯构件、拉弯和压弯构件、预应力混凝土构件等内容。每章后附有思考题和习题。

本书是根据《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153—2008、《建筑结构荷载规范》GB 50009—2012、《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010、《钢结构设计规范》GB 50017—2003 和《钢-混凝土组合结构设计规程》DL/T 5085—1999、《钢管混凝土结构设计及施工规程》CECS28: 2012 等我国现行的有关规范和规程编写。

本书可作为高等学校全日制本科生、成人教育、自学考试等相关土建类专业的教材, 并可供从事结构设计和施工等工程技术人员参考。

\* \* \*

责任编辑: 王 跃 吉万旺

责任设计: 张 虹

责任校对: 张 颖 关 健

全国高校土木工程专业应用型本科规划推荐教材

### 工程结构设计原理

吴珊瑚 陈 麟 主编

周 云 黄贵良 主审

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 24 $\frac{3}{4}$  字数: 600 千字

2013 年 9 月第一版 2013 年 9 月第一次印刷

定价: 48.00 元

ISBN 978-7-112-15395-4

(23430)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

# 序

自 1952 年院系调整之后，我国的高等工科教育基本因袭了苏联的体制，即按行业设置院校和专业。工科高校调整成土建、水利、化工、矿冶、航空、地质、交通等专科学校，直接培养各行业需要的工程技术人才；同样的，教材也大都使用从苏联翻译过来的实用性教材，即训练学生按照行业规范进行工程设计，行业分工几乎直接“映射”到高等工程教育之中。应该说，这种过于僵化的模式，割裂了学科之间的渗透与交叉，并不利于高等工程教育的发展，也制约了创新性人才的培养。

作为传统工科专业之一的土木工程，在我国分散在房建、公路、铁路、港工、水工等行业，这些行业规范差异较大、强制性较强。受此影响，在教学过程中，普遍存在对行业规范依赖性过强、专业方向划分过细、交融不够等问题。1998 年教育部颁布新专业目录，按照“大土木”组织教学后，这种情况有所改观，但行业影响力依旧存在。相对而言，土木工程专业的基础课如建材、力学，专业课程如建筑结构设计、桥梁工程、道路工程、地下工程的问题要少一些，而介于二者之间的一些课程如结构设计原理、结构分析计算、施工技术等问题要突出一些。为此，根据全国高等学校土木工程学科专业指导委员会的有关精神，配合我校打通建筑工程、道桥工程、地下工程三个专业方向的教学改革，我校部分教师以突出工程性与应用性、扩大专业面、弱化行业规范为切入点，将重点放在基本概念、基本原理、基本方法的应用上，将理论知识与工程实例有机结合起来，汲取较为先进成熟的技术成果和典型工程实例，编写了《工程结构设计原理》、《基础工程》、《土木工程结构电算》、《工程结构抗震设计》、《土木工程试验与检测技术》、《土木工程施工》六本教材，使学生更好地适应“大土木”专业课程的学习。

希望这一尝试能够为跨越土建行业鸿沟、促进土木工程专业课程教学提供有益的帮助与探索。

是为序。

中国工程院院士

2012 年 7 月于广州大学

# 前 言

本教材的编写原则是：根据我国高等学校土木工程学科专业指导委员会的有关精神，配合打通建筑工程、道桥工程、地下工程三个专业方向的教学改革，以突出工程性与应用性、扩大专业面、弱化行业规范为切入点，将重点放在基本概念、基本原理、基本方法的应用上，将理论知识与工程实例有机结合起来，汲取较为先进成熟的技术成果和典型工程实例。

为了强化学生的结构概念，本书在编写过程中，根据工程结构基本构件的受力特点，将混凝土、钢、钢-混凝土组合结构等不同材料的工程结构构件的设计原理和方法进行有机结合。

同时，本书力求少而精，突出重点，讲明难点。全书共7章，主要内容有绪论、工程结构材料、工程结构的设计原则、轴心受力构件、受弯构件、拉弯和压弯构件的设计原理、预应力混凝土构件设计原理等内容。每章后附有思考题和习题。

本书是根据《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153—2008、《建筑结构荷载规范》GB 50009—2012、《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010、《钢结构设计规范》GB 50017—2003和《钢-混凝土组合结构设计规程》DL/T 5085—1999、《钢管混凝土结构设计与施工规程》CECS28：2012等我国现行的有关规范和规程编写。

本书由广州大学吴珊瑚、陈麟制定编写大纲和统稿。全书共7章，其中第1章由广州大学邓雪松撰写，第2章、第3章由广州大学许勇撰写，第4章由广州大学吴珊瑚、陈麟撰写，第5章由广州大学吴珊瑚、陈麟、张春梅撰写，第6章由广州大学吴珊瑚、陈麟撰写，第7章由广州大学张春梅撰写。

在编写本书时，参考和引用了公开发表的一些文献和资料，谨向这些作者表示感谢。

由于水平有限，书中难免有缺点和错误，热切希望读者批评指正。

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 工程结构的定义及作用 .....	1
1.2 工程结构的基本构件类型及其组合的结构 .....	2
1.2.1 基本构件 .....	2
1.2.2 结构形式 .....	4
1.3 工程结构的分类 .....	6
1.3.1 混凝土结构 .....	6
1.3.2 钢结构 .....	8
1.3.3 钢—混凝土组合结构 .....	9
1.3.4 砌体结构 .....	12
1.3.5 木结构 .....	13
1.4 工程结构设计的技术标准和规范 .....	13
思考题与习题 .....	13
<b>第 2 章 工程结构材料</b> .....	14
2.1 钢材 .....	14
2.1.1 单向受力时钢材的力学性能 .....	14
2.1.2 复杂应力作用下钢材的力学性能 .....	17
2.1.3 钢材的冲击韧性 .....	18
2.1.4 钢材的冷弯性能 .....	19
2.1.5 钢材的疲劳性能 .....	20
2.1.6 影响钢材性能的主要因素 .....	21
2.1.7 钢材的种类和规格 .....	24
2.1.8 钢材的选用原则 .....	29
2.2 混凝土 .....	30
2.2.1 单向受力时混凝土的力学性能 .....	30
2.2.2 复杂应力作用下混凝土的力学性能 .....	37
2.2.3 混凝土的疲劳性能 .....	40
2.2.4 混凝土的徐变 .....	41
2.2.5 混凝土的非受力变形 .....	43
2.2.6 混凝土的选用原则 .....	45
2.3 钢材与混凝土之间的粘结 .....	45

2.3.1	钢材与混凝土的粘结作用	45
2.3.2	粘结作用的组成	47
2.3.3	影响粘结强度的因素	49
2.3.4	保证可靠粘结的构造措施	50
	思考题与习题	52
<b>第3章</b>	<b>工程结构的设计原则</b>	<b>54</b>
3.1	结构上的作用	54
3.1.1	作用的分类	54
3.1.2	作用的代表值	56
3.1.3	作用效应	57
3.2	结构的抗力	58
3.2.1	影响结构抗力的主要因素	58
3.2.2	材料强度的代表值	58
3.3	结构的极限状态	60
3.3.1	结构的功能要求	60
3.3.2	结构功能的极限状态	61
3.3.3	结构的功能函数和极限状态方程	62
3.3.4	结构可靠度的计算	62
3.4	结构的设计方法	65
3.4.1	结构设计的基本要求	65
3.4.2	结构的设计方法	65
3.5	结构概率极限状态设计的表达式	67
3.5.1	结构的设计状况	68
3.5.2	承载能力极限状态设计表达式	68
3.5.3	正常使用极限状态设计表达式	71
	思考题与习题	74
<b>第4章</b>	<b>轴心受力构件</b>	<b>75</b>
4.1	轴心受力构件的破坏形式	75
4.1.1	钢轴心受力构件的破坏形式	75
4.1.2	混凝土轴心受力构件的破坏形式	76
4.1.3	钢管混凝土柱的破坏形式	77
4.2	钢轴心受力构件	77
4.2.1	钢轴心受力构件的强度和刚度	78
4.2.2	钢轴心受压构件的稳定	80
4.2.3	钢轴心受压实腹柱设计	89
4.2.4	钢轴心受压格构柱设计	92
4.3	混凝土轴心受力构件	102

4.3.1	混凝土轴心受力构件构造要求	102
4.3.2	混凝土轴心受拉构件承载力计算	103
4.3.3	混凝土轴心受压构件承载力计算	106
4.3.4	混凝土轴心受拉构件裂缝宽度验算	114
4.4	钢管混凝土柱	118
4.4.1	轴心受压钢管混凝土柱承载力计算	119
4.4.2	偏心受压钢管混凝土柱承载力计算	120
	思考题与习题	122
<b>第5章</b>	<b>受弯构件</b>	<b>124</b>
5.1	受弯构件的破坏形式	124
5.1.1	钢受弯构件的破坏形式	124
5.1.2	混凝土受弯构件的破坏形式	126
5.1.3	钢-混凝土组合梁的破坏形式	127
5.2	钢受弯构件	128
5.2.1	钢梁的强度和刚度	129
5.2.2	钢梁的整体稳定	134
5.2.3	钢梁的局部稳定和腹板加劲肋设计	137
5.2.4	考虑腹板屈曲后强度的梁设计	145
5.2.5	钢梁截面设计	148
5.3	混凝土受弯构件	157
5.3.1	混凝土梁的构造要求	157
5.3.2	混凝土梁的正截面承载力计算	159
5.3.3	混凝土梁的斜截面承载力计算	179
5.3.4	混凝土梁的受扭承载力计算	194
5.3.5	混凝土梁的裂缝和挠度验算	211
5.4	钢-混凝土组合梁	217
5.4.1	钢-混凝土组合梁的承载力计算	217
5.4.2	钢-混凝土组合梁的抗剪连接件设计	222
5.4.3	钢-混凝土组合梁的挠度计算	224
	思考题与习题	228
<b>第6章</b>	<b>拉弯和压弯构件</b>	<b>235</b>
6.1	拉弯和压弯构件的破坏形式	235
6.1.1	钢压弯构件的破坏形式	235
6.1.2	混凝土偏心受力构件的破坏形式	237
6.2	钢拉弯和压弯构件	237
6.2.1	钢拉弯和压弯构件的强度	237
6.2.2	钢压弯构件的稳定	239



6.2.3 钢压弯构件的设计 .....	245
6.3 混凝土偏心受力构件 .....	254
6.3.1 混凝土偏心受力构件的构造要求 .....	254
6.3.2 混凝土偏心受压构件的正截面承载力计算 .....	255
6.3.3 混凝土偏心受压构件的斜截面承载力计算 .....	283
6.3.4 混凝土偏心受拉构件的正截面承载力计算 .....	285
6.3.5 混凝土偏心受拉构件的斜截面承载力计算 .....	289
6.3.6 混凝土偏心受力构件的裂缝宽度验算 .....	291
思考题与习题 .....	292
<b>第7章 预应力混凝土构件 .....</b>	<b>296</b>
7.1 概述 .....	296
7.1.1 预应力混凝土的基本概念 .....	296
7.1.2 预应力混凝土的分类 .....	297
7.1.3 施加预应力的方法 .....	299
7.1.4 锚具 .....	300
7.1.5 预应力混凝土的材料 .....	301
7.2 预应力混凝土构件设计的一般规定 .....	302
7.2.1 张拉控制应力 .....	302
7.2.2 预应力损失 .....	302
7.2.3 先张法构件预应力钢筋的预应力传递长度 .....	308
7.2.4 无粘结预应力混凝土结构 .....	309
7.2.5 后张法构件端部锚固区局部受压验算 .....	309
7.3 预应力混凝土轴心受拉构件 .....	311
7.3.1 轴心受拉构件各阶段应力分析 .....	311
7.3.2 预应力混凝土轴心受拉构件的计算 .....	318
7.4 预应力混凝土受弯构件 .....	325
7.4.1 受弯构件各阶段应力分析 .....	325
7.4.2 受弯构件计算 .....	331
思考题与习题 .....	340
<b>附录 A 钢结构材料规格、性能、截面特性及《钢结构设计规范》的 有关规定 .....</b>	<b>342</b>
<b>附录 B 钢梁的整体稳定系数计算 .....</b>	<b>377</b>
<b>附录 C 《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010 规定的材料指标及 有关规定 .....</b>	<b>381</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>388</b>

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 工程结构的定义及作用

在房屋、桥梁、公路、地铁、隧道等工程中，支承它们的骨架被称之为工程结构。工程结构的作用（以图 1-1~图 1-4 所示的工程为例）主要有以下三点：

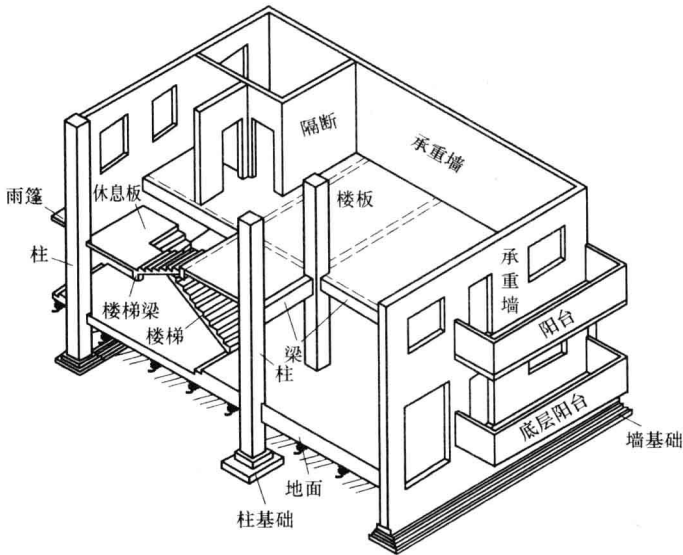


图 1-1 房屋建筑物中的结构构件和其他构件

(1) 它首先要组成人类活动需要的多种空间，如各类房间、厅室、过道、楼梯；还要形成为人类服务的各种构筑物，如桥梁、地下建筑、贮罐、烟囱；同时还要表现人类的精神需求，如它的文化内涵、新颖和高雅的外形。这是工程结构存在的根本目的。

(2) 它必须抵御自然界和人为的各种作用力，前者如地球引力、风力、热胀冷缩产生的隐形荷载（作用）和地震作用等，后者如振动、爆炸等，确保建筑物在这些荷载作用下不破坏、不倒塌，还要持续地保持良好的使用状态。这是工程结构存在的根本原因。



图 1-2 上海西藏南路地铁站

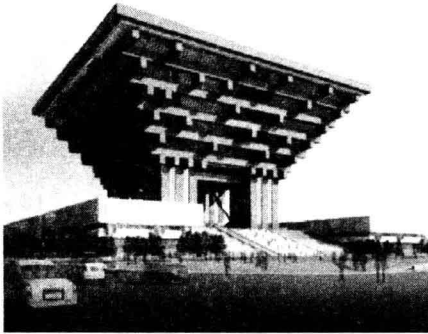


图 1-3 世博会中国国家馆

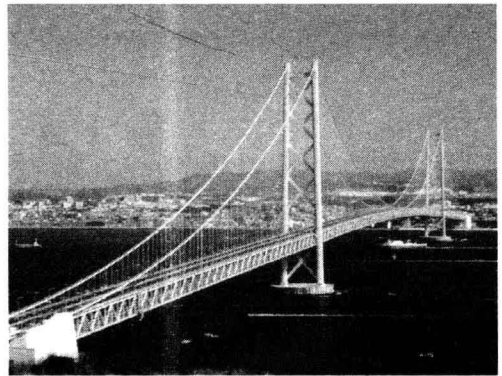


图 1-4 日本明石海峡大桥

(3) 它必须要充分发挥所采用的材料的效能。工程结构是由各种材料（如用砖、石、混凝土、钢材、木材等）在土层或岩层上建造而成的，材料是建造工程结构的物质基础。

因此可知，所谓的工程结构，即是用一定的材料建造的，具备抵抗各种荷载（作用）和变形的能力，由不同构件集合而成的空间结构。

## 1.2 工程结构的基本构件类型及其组合的结构

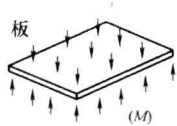
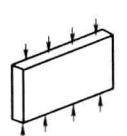
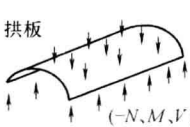
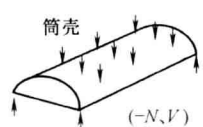
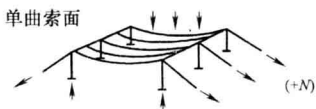
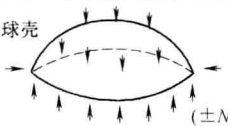
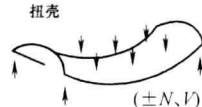
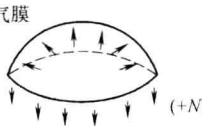
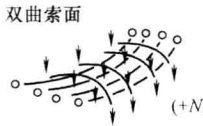
### 1.2.1 基本构件

工程结构——建筑物（构筑物）的基本受力骨架，是由基本构件集合而成的空间有机体。工程结构常用的构件大体有下列九种，见表 1-1。

工程结构的常用的基本构件

表 1-1

类 型		基本构件		
线形构件	直线形			刚性
		拉索	$(+N)$	柔性
曲线形	曲线形			刚性
		悬索	$(+N)$	柔性

类型	基本构件		
面形构件	平面	 	刚性
	单曲面	 	刚性
		单曲索面	
	双曲面	 	刚性
		双曲面	 

(1) 梁——指承受垂直于其纵轴方向荷载的直线形构件，其截面尺寸小于其长向跨度。如果荷载重心作用在梁的纵轴平面内，该梁只承受弯矩和剪力，否则还受扭矩。常采用钢筋混凝土、钢材、钢-混凝土组合材料和木材等材料制作。

(2) 柱——指承受平行于其纵轴方向荷载的直线形构件，其截面尺寸小于其高度，以受压、受弯为主。常采用钢筋混凝土、钢材、钢-混凝土组合材料、砌体和木材等材料制作。

(3) 杆——指截面尺寸小于其长度的直线形杆件，承受与其长度方向一致的轴力（受拉或受压），多用于组成桁架或网架。常采用钢结构拉压杆或混凝土压杆。

(4) 索——指一种以柔性受拉钢索组成的构件，具有直线形或曲线形。

(5) 板——指覆盖一个具有较大平面尺寸但却有较小厚度的平面形构件，通常在水平方向设置，承受垂直于板面方向的荷载，以承受弯矩、剪力、扭矩为主，一般的板较薄，剪力和扭矩可以忽略。可以采用钢筋混凝土、钢材、钢-混凝土组合材料和木材等材料制作。

(6) 墙——指承受平行于及垂直于墙面方向荷载的竖向平面构件，其厚度小于墙面尺寸，以承受压力为主，有时也受弯、受剪。常采用钢筋混凝土、钢材、钢-混凝土组合材料、砌体和木材等材料制作。

(7) 拱——指承受沿其纵轴平面内荷载的曲线形构件，其截面尺寸小于其弧长，以承受压力为主，有时也承受弯矩和剪力。常采用砌体、钢筋混凝土、钢—混凝土组合材料制作。

(8) 壳——指一种曲面形且具有很好空间传力性能的构件，能以极小厚度覆盖大跨度空间，以双向受压为主。常采用钢筋混凝土材料制作。

(9) 膜——指一种用薄膜材料（如玻璃纤维布、塑料薄膜等）制成的构件，只能承受拉力。

上述基本构件按构件的刚性特征可分为刚性构件和柔性构件。刚性构件是指在荷载作用下除有一定的挠度和位移外无其他显著现状改变的构件，如板、梁、墙、杆、柱、拱和壳；柔性构件是指在一定荷载作用下只有一个形状，一旦荷载性质有变（如集中荷载改为均布荷载），它的形状也会突然变化的构件，如索和膜。

拉伸（+N）、压缩（-N）、弯曲（M）、剪切（V）、扭转（T）是上述基本构件的五种基本受力状态（如图 1-5 所示），我国钢结构、混凝土结构、砌体、木结构设计规范，都是以受拉、受压、受弯、受剪、受扭或其组合进行分类，即把基本构件分为轴心受力构件、受弯构件、拉弯和压弯构件、受扭构件。轴心受力构件主要承受轴心压力或轴心拉力，如桁架和网架结构中的拉压杆，索结构的拉索；受弯构件主要承受弯矩与剪力，其典型构件是梁和板；拉弯和压弯构件主要承受压力、弯矩和剪力或拉力、弯矩和剪力，如柱、墙、拱；受扭构件主要承受扭矩或弯矩、弯矩和剪力，如曲梁、楼盖中的边梁。

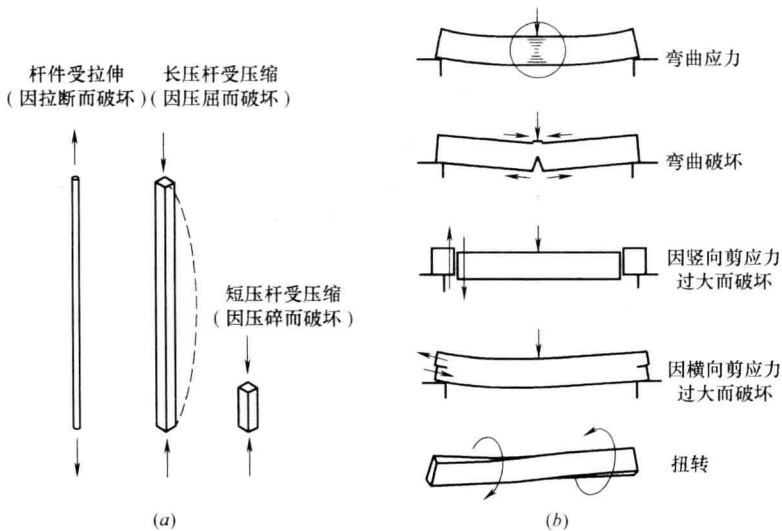
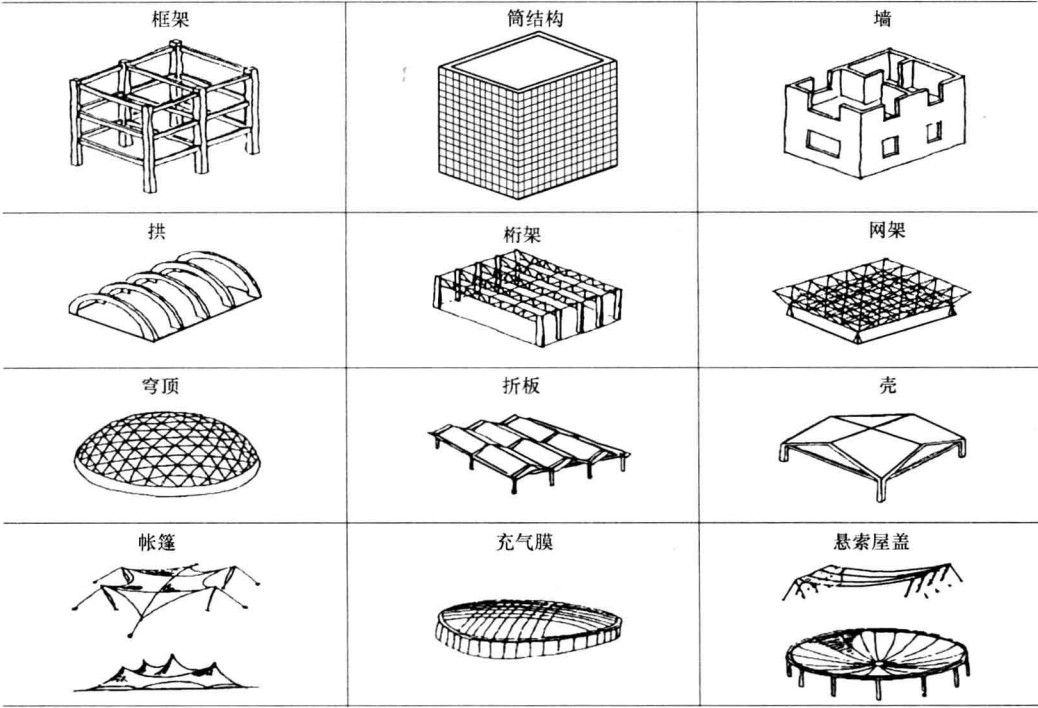


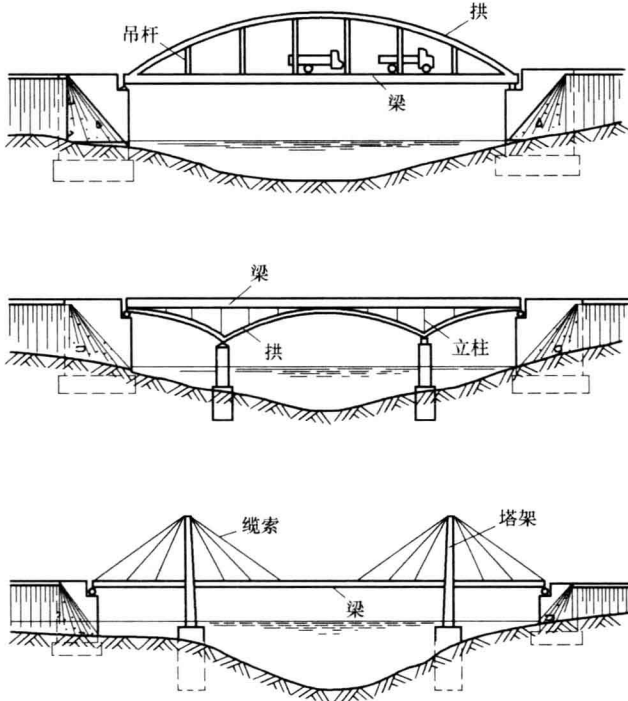
图 1-5 构件承受拉力、压力、弯矩、剪力、扭矩变形破坏示意图  
(a) 轴向受荷载；(b) 横向受荷载

### 1.2.2 结构形式

基本构件的不同组合可以形成各种不同的结构，如以梁和柱为主要受力构件的框架结构，以墙为主要竖向受力构件的剪力墙结构等，如图 1-6 给出部分结构形式的示意图。



(a)



(b)

图 1-6 部分工程结构示意图

(a) 房屋建筑结构示意图; (b) 桥梁结构示意图

## 1.3 工程结构的分类

工程结构按承重构件采用的材料不同,分为混凝土结构、钢结构、钢-混凝土组合结构、砌体结构、木结构等。

### 1.3.1 混凝土结构

以混凝土为主要材料制作的结构称为混凝土结构。它主要包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构。素混凝土结构即是不配任何钢材的混凝土结构;由钢筋和混凝土两种性质不同的材料所组成的普通混凝土结构称为钢筋混凝土结构;在钢筋混凝土结构和构件制作时,在一些部位预先施加预应力的混凝土结构称为预应力钢筋混凝土结构。本教材除第7章外,其余各章所介绍的混凝土结构均为钢筋混凝土结构。

混凝土的抗压强度高而抗拉强度低,一般其抗拉强度只有抗压强度的  $1/20 \sim 1/8$ ,且混凝土的破坏是无预兆的脆性破坏;而钢筋的抗拉抗压强度都很高,且变形性能良好,但钢筋的价格也高。因此,混凝土结构一般用混凝土受压,钢筋受拉。下面用一个在跨中承受集中荷载  $P$  的简支梁(见图 1-7)为例讲述混凝土结构受力原理。

由材料力学可知,梁受弯后截面的中和轴以上部分受压,中和轴以下部分受拉。当梁由素混凝土构成时(见图 1-7a),由于混凝土的抗拉强度很小,因此在较小的荷载作用下,梁跨中截面底部受拉边缘的拉应力就达到了混凝土的抗拉强度  $f_t$ ,梁下部随即开裂,在荷载持续作用下,裂缝急速上升,导致梁骤然脆断(见图 1-7a),此时梁上部混凝土的抗压强度还未充分利用,梁承受的最大荷载  $P_u$  等于梁开裂时的荷载,即  $P_u = P_{cr} = 9.7 \text{ kN}$ 。

倘若在构件浇筑时,在梁的下部受拉区配置适量的钢筋(见图 1-7b)做成钢筋混凝土梁,当荷载  $P$  达到约为  $9.7 \text{ kN}$  时,受拉区混凝土开裂,即  $P_{cr} = 9.7 \text{ kN}$ 。开裂后梁中和轴以下受拉区的拉力主要由钢筋来承受,中和轴以上受压区的压应力仍由混凝土承受,与素混凝土梁不同,此时荷载仍可以继续增加,当荷载  $P$  增加到  $50 \text{ kN}$  时,受拉钢筋应力达到屈服强度,随着荷载的进一步增加,当荷载  $P$  达到  $52.5 \text{ kN}$  时,上部受压区的混凝土也被压碎,梁才破坏(见图 1-7b)。梁破坏时,混凝土的抗压能力和钢筋的抗拉能力都得到充分的利用,因此较大幅度地提高了梁的承载能力,最大荷载  $P_u = 52.5 \text{ kN}$ 。

钢筋混凝土梁虽然能较大幅度地提高承载力,但梁在荷载较小时就已经开裂( $P_{cr} = 9.7 \text{ kN}$ ),在荷载继续增加( $P_{cr}$  增加至  $P_u$ )的过程都是带裂缝工作的。如果不允许梁开裂,则可以在梁承受荷载  $P$  之前,预先对梁的受拉区施加压应力(见图 1-7c),即做成预应力混凝土梁。在  $N$  的作用下,梁全截面受压,压应力为  $\sigma_1$ ;而在荷载  $P$  作用下,梁底部受拉边缘的拉应力为  $\sigma_2$ ;在  $N$ 、 $P$  的共同作用下,梁底边缘的应力为  $\sigma_c = \sigma_1 - \sigma_2$ 。可以通过调整  $N$  的大小,使  $\sigma_c > 0$ ,即为压应力,梁将不会开裂。实际结构中,梁一般是允许带裂缝工作的,但是当梁的跨度较大时,梁会由于裂缝过宽而影响正常工作,此时就可以采用施加预应力的方法来减小裂缝宽度。

由此可见,素混凝土结构一般用于以受压为主的构件,如基础、桥墩等;预应力混凝土结构常用于大跨度、重荷载或对裂缝控制有严格要求的结构和构件,如大跨度的梁、板,屋架下弦、混凝土梁桥等;钢筋混凝土结构广泛适用于一般的受弯、受剪、受压及受

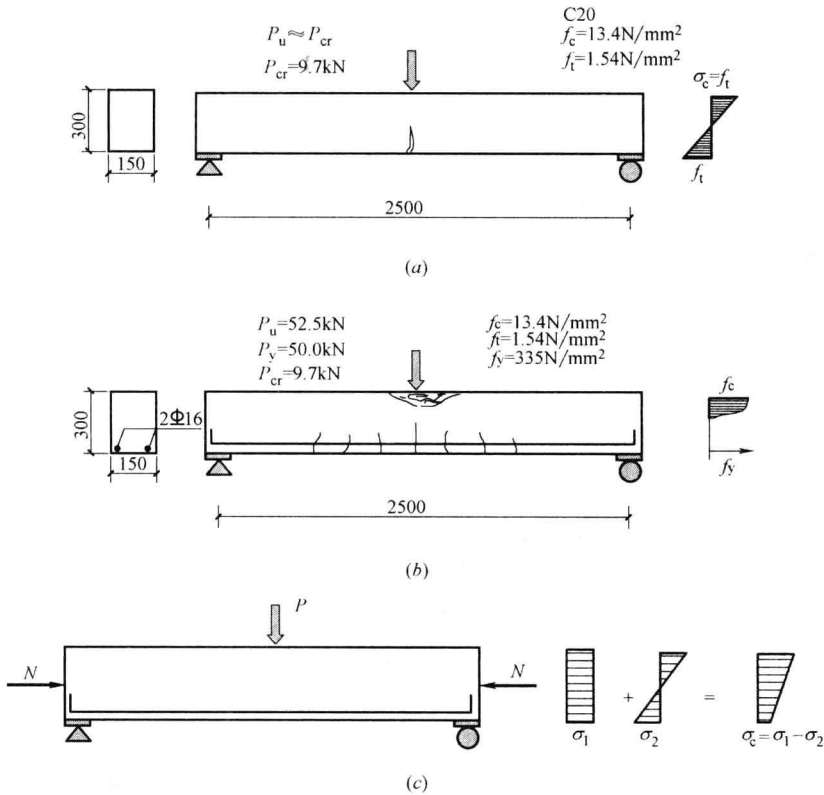


图 1-7 混凝土筒支梁

(a) 素混凝土筒支梁；(b) 钢筋混凝土筒支梁；(c) 预应力混凝土筒支梁

扭构件。

除素混凝土结构外，混凝土结构都是由钢筋和混凝土两种物理、力学性质很不相同的材料浇捣在一起构成的，它们之所以能够共同工作，其主要原因是：

(1) 钢筋与混凝土之间存在良好的粘结力，能牢固地形成整体，保证在荷载作用下钢筋和外围混凝土能够协调变形、共同受力。

(2) 钢筋和混凝土这两种材料的温度线膨胀系数接近。钢材为  $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ，混凝土为  $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ，因此，当温度变化时，二者之间不会产生过大的相对变形而导致它们之间的粘结力破坏。

(3) 混凝土还可以包裹钢筋，防止钢筋锈蚀。

混凝土结构与其他结构相比，有以下优点：

(1) 就地取材。混凝土结构中，砂和石料所占比例很大，水泥和钢筋所占的比例很小，砂和石料一般可以由建筑工地附近供应。

(2) 节约钢材。混凝土结构的承载力较高，大多数情况下可用来代替钢结构，因此节约钢材。

(3) 耐久、耐火。钢筋埋放在混凝土中，受混凝土保护不易发生锈蚀，因此提高了混凝土的耐久性。当发生火灾时，钢筋混凝土结构不会像木结构那样燃烧，也不会像钢结构



那样很快软化而破坏。

(4) 可模性好。钢筋混凝土结构可以根据需要浇捣成任何形状。

(5) 现浇式或装配式钢筋混凝土结构的整体性好，刚度大。

混凝土结构也存在一些缺点，主要有：

(1) 自重重大。钢筋混凝土的重力密度为  $25\text{kN/m}^3$ ，比砌体和木材的重度大。尽管比钢材的小，但结构的截面尺寸较大，因此其自重远远超过相同宽度和相同高度的钢结构，这对于建造大跨度结构和高层建筑结构是不利的。

(2) 抗裂性差。由于混凝土的抗拉强度较低，在正常使用时钢筋混凝土结构往往是带裂缝工作的，裂缝存在会降低抗渗和抗冻能力而影响使用功能。在工作条件较差的环境下，会导致钢筋的锈蚀而影响结构物的耐久性。

(3) 施工比较复杂，工序多。需要支模、绑钢筋、浇筑、养护、拆模，因此工期长，施工受季节、天气的影响较大。现浇钢筋混凝土使用模板多，模板材料耗费用量大。

(4) 新老混凝土不易形成整体。混凝土结构一旦破坏，修补和加固比较困难。

综上所述，混凝土结构能够将钢筋和混凝土这两种材料按照合理的方式有机地结合在一起共同工作，可以取长补短，使钢筋主要承受拉力、混凝土主要承受压力，充分发挥它们的材料特性，并使得结构具有良好的变形能力和较高的承载力。因此，在房屋建筑、地下建筑、桥梁、铁路、隧道、水利、港口等得到广泛的应用，图 1-8 为混凝土结构工程实例。

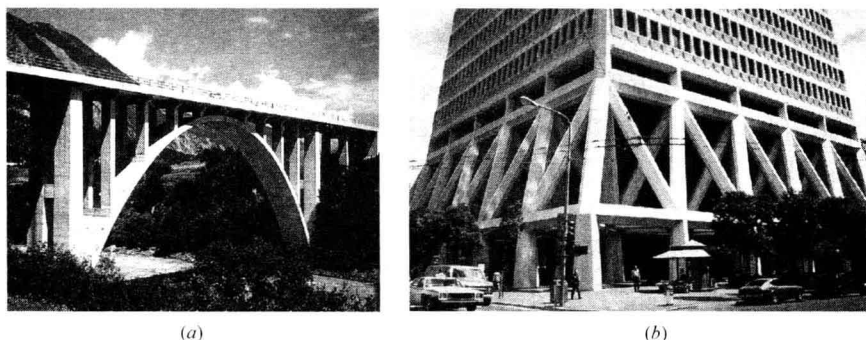


图 1-8 混凝土结构工程实例  
(a) 混凝土桥梁；(b) 混凝土高层建筑

### 1.3.2 钢结构

钢结构主要是指由钢板、热轧型钢、薄壁型钢和钢管等构件组合而成的结构，它是土木工程的主要结构形式之一。钢结构与其他材料的结构相比，具有以下优点：

(1) 建筑钢材强度高，塑性韧性好。由于强度高，所以在同样受力的情况下，钢结构与钢筋混凝土结构和木结构相比，构件较小，质量较轻，适用于建造跨度大、高度高和承载重的结构。而塑性好，使得钢结构在一般条件下不会因超载而突然断裂，只会增大变形，故容易被发现，此外，还能将局部高峰应力重分配，使应力变化趋于平缓。韧性好，适宜在动力荷载下工作，因此在地震区采用钢结构较为有利。