

# 工程结构设计原理

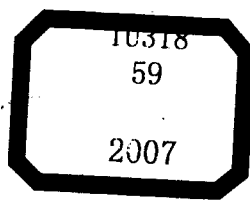
赵新铭 王 喆 毛利军 张丽芳 编著  
艾 军 主审

DESIGN THEORY OF  
ENGINEERING STRUCTURES



科学出版社

[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)



# 工程结构设计原理

赵新铭 王 喆 编 著  
毛利军 张丽芳 主 审  
艾 军



科学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书是在整合钢筋混凝土结构、钢结构和砌体结构三大结构课程内容的基础上编写的。教材立足基本概念,系统介绍了钢筋混凝土结构、钢结构和砌体结构基本构件受力性能、承载能力、使用性能的基本原理。主要内容包括:结构基本计算原则;工程结构材料的物理力学性能;构件的连接;梁、柱承载力计算原理;构件的正常使用和耐久性设计;预应力混凝土构件设计等。

本书可作为高等院校土木工程专业的本科教材和参考书,也可供同类专业学生以及从事土木工程结构设计与施工的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

---

工程结构设计原理/赵新铭等编著. —北京:科学出版社, 2007  
ISBN 978-7-03-018661-4

I. 工… II. 赵… III. 工程结构—结构设计—高等学校—教材  
IV. TU318

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第026776号

---

责任编辑:何舒民 任加林 / 责任校对:赵 燕  
责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号  
邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2007年3月第一版 开本:787×1092 1/16

2007年3月第一次印刷 印张:26 3/4

印数:1—3 000 字数:619 000

定价:36.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137154 (HA03)

## 前 言

本书是土木工程本科专业的基础课，是后续专业课的基础。为适应土木工程专业宽口径、厚基础的课程体系要求，本教材立足基本概念，突出受力基本性能，整合了钢筋混凝土结构、钢结构和砌体结构三大结构课程的内容；以基本构件为主线，结合不同材料结构的特点分类阐述，便于学生在学习的过程中对不同材料结构的分析方法进行比较。

土木工程专业涉及工程领域很广，工程结构类型很多，但其基本受力构件的受力特点和计算理论是相通的。本教材内容从材料性能、基本构件受力特征、承载力到变形的计算方法，形成完整体系。目前，我国各个行业结构设计规范尚不统一，因此本教材力求抓住基本概念，精选内容，突出受力性能分析，以《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB50068—2001)、《混凝土结构设计规范》(GB50010—2002)、《钢结构设计规范》(GB50017—2003)、《砌体结构设计规范》(GB50003—2001)为基础，介绍工程结构设计原理的基本原理、方法，为理解和掌握各种结构设计规范、继续学习建筑设计、桥梁工程等专业课程奠定扎实的基础。

本书在编写过程中，得到了南京航空航天大学教务处和土木工程系领导的大力支持，在此表示衷心感谢。

本书第1、2、6、8章由赵新铭编写，第4、5、7章由王喆编写，第3、9章由毛利军编写，第10章由毛利军、张丽芳编写，第11章由张丽芳编写。全书由赵新铭统稿。

本书参考了一些公开出版的文献，谨向文献作者表示衷心感谢。在本书编写过程中，研究生许荣华、王晓伟、唐咏、丁昱做了大量工作，在此一并致谢。

限于水平，书中难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

# 目 录

## 前 言

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 结构的基本知识 .....	1
1.1.1 结构的发展概况 .....	1
1.1.2 结构的组成 .....	3
1.1.3 结构的分类 .....	3
1.2 混凝土结构的特点 .....	4
1.3 钢结构的特点 .....	6
1.4 砌体结构的特点 .....	7
思考题 .....	8
<b>第 2 章 结构基本计算原则</b> .....	9
2.1 极限状态 .....	9
2.1.1 结构上的作用 .....	9
2.1.2 结构的功能要求 .....	10
2.1.3 结构功能的极限状态 .....	11
2.2 概率极限状态设计法 .....	11
2.2.1 随机变量的统计特征值 .....	11
2.2.2 荷载组合、结构抗力及可靠性和可靠度 .....	12
2.2.3 实用设计表达式 .....	15
思考题 .....	18
<b>第 3 章 工程结构材料的物理力学性能</b> .....	20
3.1 钢结构用材料 .....	20
3.1.1 钢材的物理力学性能 .....	20
3.1.2 各种因素对钢材性能的影响 .....	23
3.1.3 钢材的疲劳 .....	26
3.1.4 结构用钢材的种类、规格 .....	28
3.1.5 钢材的选用 .....	31
3.2 钢筋混凝土结构用材料 .....	32
3.2.1 钢筋的品种与性能 .....	32
3.2.2 混凝土结构对钢筋性能的要求 .....	36
3.2.3 钢筋的选用原则 .....	36

3.2.4	混凝土的强度 .....	37
3.2.5	混凝土的变形 .....	42
3.2.6	混凝土的选用原则 .....	45
3.2.7	钢筋与混凝土的黏结 .....	45
3.3	砌体结构用材料 .....	48
3.3.1	砌体的材料及种类 .....	48
3.3.2	砌体的力学性能 .....	51
3.3.3	块体和砂浆材料的选择 .....	55
	思考题 .....	56
<b>第4章</b>	<b>构件的连接</b> .....	<b>57</b>
4.1	钢结构的连接方法 .....	57
4.1.1	钢结构连接方法简介 .....	57
4.1.2	焊缝形式及焊接连接形式 .....	61
4.1.3	焊缝质量等级及焊缝符号 .....	65
4.1.4	焊接残余应力和残余变形 .....	67
4.2	钢结构连接的构造要求和计算 .....	70
4.2.1	对接焊缝的构造要求和计算 .....	70
4.2.2	角焊缝的构造要求和计算 .....	75
4.2.3	螺栓的排列和构造要求 .....	89
4.2.4	普通螺栓连接的受力性能和计算 .....	93
4.2.5	高强度螺栓连接的受力性能和计算 .....	102
	思考题 .....	107
	习题 .....	107
<b>第5章</b>	<b>钢梁计算原理</b> .....	<b>111</b>
5.1	概述 .....	111
5.2	钢梁的强度和刚度 .....	112
5.2.1	梁的强度 .....	112
5.2.2	梁的刚度 .....	115
5.3	钢梁的整体稳定 .....	116
5.3.1	一般概念 .....	116
5.3.2	梁的扭转 .....	117
5.3.3	梁整体稳定的基本理论 .....	119
5.3.4	梁整体稳定的计算 .....	124
5.4	钢梁的局部稳定和腹板加劲肋设计 .....	127
5.4.1	矩形薄板的屈曲 .....	128
5.4.2	受压翼缘的局部稳定 .....	129
5.4.3	腹板的局部稳定 .....	130

5.4.4	腹板加劲肋的设计 .....	135
5.5	钢梁截面设计 .....	139
5.5.1	型钢梁截面设计 .....	139
5.5.2	组合梁截面设计 .....	141
	思考题 .....	151
	习题 .....	151
<b>第6章</b>	<b>混凝土梁承载力计算原理 .....</b>	<b>154</b>
6.1	概述 .....	154
6.2	正截面受弯承载力 .....	154
6.2.1	材料的选择与一般构造 .....	154
6.2.2	梁正截面工作的三个阶段 .....	155
6.2.3	正截面受力分析 .....	157
6.2.4	受弯构件正截面承载力计算 .....	160
6.2.5	双筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算 .....	166
6.2.6	T形截面梁 .....	170
6.3	斜截面受剪承载力 .....	178
6.3.1	无腹筋梁的抗剪性能 .....	178
6.3.2	有腹筋梁的抗剪性能 .....	183
6.3.3	斜截面破坏的主要形态 .....	184
6.3.4	斜截面受剪承载力计算 .....	186
6.3.5	斜截面受弯承载力 .....	192
6.3.6	腹筋的构造要求 .....	198
6.4	受扭承载力 .....	199
6.4.1	概述 .....	199
6.4.2	受扭构件的破坏形态 .....	200
6.4.3	纯扭构件的开裂扭矩 .....	201
6.4.4	纯扭作用下的承载力计算 .....	203
6.4.5	弯剪扭共同作用下的承载力计算 .....	207
6.4.6	构造要求 .....	208
	思考题 .....	211
	习题 .....	212
<b>第7章</b>	<b>钢轴心受力及拉弯、压弯构件 .....</b>	<b>215</b>
7.1	轴心受力构件的强度和刚度 .....	215
7.1.1	轴心受力构件的强度计算 .....	215
7.1.2	轴心受力构件的刚度计算 .....	216
7.2	轴心受压构件的整体稳定 .....	217
7.2.1	概述 .....	217

7.2.2	理想轴心受压构件的弯曲屈曲 .....	218
7.2.3	构件缺陷对轴心受压构件整体稳定性的影响 .....	221
7.2.4	实际轴心受压构件的整体稳定计算 .....	226
7.3	轴心受压构件的局部稳定 .....	232
7.3.1	单向均匀受压板的屈曲 .....	232
7.3.2	轴心受压构件局部稳定的计算方法 .....	234
7.4	实腹式轴心受压构件的截面设计 .....	236
7.4.1	实腹式轴心受压构件的截面设计 .....	237
7.4.2	实腹式轴心受压构件的构造要求 .....	238
7.5	格构式轴心受压构件 .....	240
7.5.1	概述 .....	240
7.5.2	格构式轴心受压构件绕虚轴的整体稳定性及换算长细比 .....	241
7.5.3	格构式轴心受压构件中分肢的设计 .....	244
7.5.4	格构式轴心受压构件中缀件的设计 .....	245
7.5.5	格构式轴心受压构件的截面设计 .....	247
7.5.6	格构式轴心受压构件的构造要求 .....	248
7.6	拉弯构件和压弯构件 .....	253
7.6.1	概述 .....	253
7.6.2	拉弯构件和压弯构件的强度 .....	254
7.6.3	实腹式压弯构件的整体稳定 .....	255
7.6.4	实腹式压弯构件的局部稳定 .....	262
7.6.5	实腹式压弯构件的设计 .....	264
	思考题 .....	267
	习题 .....	267
<b>第8章</b>	<b>混凝土柱承载力计算原理 .....</b>	<b>272</b>
8.1	受压构件的一般构造要求 .....	272
8.1.1	截面形式及尺寸 .....	272
8.1.2	材料强度等级 .....	273
8.1.3	纵向受力钢筋 .....	273
8.1.4	箍筋 .....	274
8.2	轴心受压构件正截面受压承载力 .....	275
8.2.1	轴心受压普通箍筋柱的正截面受压承载力计算 .....	275
8.2.2	轴心受压螺旋式箍筋柱的正截面受压承载力计算 .....	279
8.3	偏心受压构件计算的基本原则 .....	282
8.4	矩形截面偏心受压构件正截面承载力计算 .....	285
8.4.1	基本计算公式 .....	285
8.4.2	不对称配筋构件正截面承载力计算方法 .....	288



8.4.3	对称配筋构件正截面承载力计算方法	294
8.4.4	正截面承载力 $N_u$ - $M_u$ 的相关曲线及其应用	298
8.5	工字形及 T 形截面偏心受压构件正截面承载力计算	300
8.5.1	基本计算公式	301
8.5.2	计算方法	303
8.6	受拉构件正截面承载力计算	304
8.6.1	轴心受拉构件正截面承载力计算	305
8.6.2	偏心受拉构件正截面承载力计算	305
8.7	斜截面受剪承载力计算	309
8.7.1	受压构件斜截面受剪承载力计算	309
8.7.2	受拉构件斜截面受剪承载力计算	310
	思考题	311
	习题	311
<b>第 9 章</b>	<b>砌体受压构件承载力计算原理</b>	<b>313</b>
9.1	墙、柱高厚比的概念	313
9.2	无筋砌体墙柱的受压承载力	314
9.3	配筋砌体墙柱的受压承载力	317
9.3.1	网状配筋砖砌体	317
9.3.2	组合砖砌体	318
9.4	砌体局部受压承载力	322
9.4.1	砌体截面局部均匀受压	322
9.4.2	梁端支承处砌体的局部受压	324
9.4.3	梁垫的设计	325
	思考题	328
	习题	328
<b>第 10 章</b>	<b>钢筋混凝土构件的裂缝、变形和耐久性</b>	<b>329</b>
10.1	概述	329
10.2	钢筋混凝土构件裂缝宽度验算	330
10.2.1	构件裂缝宽度验算公式	330
10.2.2	最大裂缝宽度的计算方法	331
10.3	混凝土构件的变形计算	335
10.3.1	截面弯曲刚度的概念及定义	335
10.3.2	混凝土受弯构件的短期刚度	336
10.3.3	混凝土受弯构件的刚度	339
10.3.4	混凝土受弯构件挠度计算中的最小刚度原则	340
10.3.5	相关问题讨论	340
10.4	混凝土结构的耐久性设计	344

10.4.1 结构工作环境分类 .....	344
10.4.2 结构耐久性等级 .....	345
10.4.3 结构耐久性对混凝土的基本要求 .....	345
思考题 .....	346
习题 .....	346
<b>第 11 章 预应力混凝土构件 .....</b>	<b>347</b>
11.1 概述 .....	347
11.1.1 预应力的发展史 .....	347
11.1.2 预应力结构应用实例 .....	348
11.1.3 预应力原理及特性 .....	349
11.1.4 预应力混凝土的分类 .....	351
11.1.5 预应力混凝土的材料 .....	353
11.1.6 张拉控制应力与预应力损失 .....	355
11.2 预应力混凝土轴心受拉构件 .....	370
11.3 预应力混凝土受弯构件的计算 .....	374
11.4 预应力混凝土构件的构造要求 .....	378
思考题 .....	379
习题 .....	379
<b>附录 1 材料规格、性能及截面特性 .....</b>	<b>381</b>
<b>附录 2 钢构件的强度、刚度与稳定 .....</b>	<b>412</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>418</b>

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 结构的基本知识

工程结构是指用各种材料（砖、石、钢筋混凝土、钢材及木材等）建造的建筑物和构筑物的受力骨架体系。它决定了建筑物和构筑物的安全性能，同时也影响其使用功能。

工程结构设计原理是利用力学、材料学等基本知识，研究保证结构安全可靠的理论和设计方法的科学。

### 1.1.1 结构的发展概况

工程结构有着悠久的历史，大致经历了古代、近代和现代三个发展时期。

古代工程结构跨越了较长的历史跨度，从公元前 5000 年至 17 世纪，延绵数千年。我国黄河流域的仰韶文化遗址就发现了公元前 5000~前 3000 年的房屋结构痕迹。古埃及金字塔建于公元前 2700~前 2600 年，也是人类早期历史上最辉煌的结构物。这一时期，工程结构的主要材料为砖、石等。随着冶炼术的进步，铁、青铜也逐步用于结构中。我国古代房屋结构形式多采用木框架、木楼盖及砖砌墙壁，类似现代建筑结构形式。山西应县木塔为我国现存的古代最高木结构之一，它建于 1056 年，塔高 67.3m，呈八角形，共 9 层。用木柱支顶，形成内外环状柱网，为双层套筒式结构。它经历了多次大地震，至今保持完好。同期国外建筑则多采用砖柱承重，砖砌拱券（穹顶）屋盖，比较有代表性的建筑是建于公元 532~537 年间的君士坦丁堡圣索菲亚大教堂，该教堂的砖砌穹顶直径达 30 余米，支承在巨型砖柱上（截面约为 7m×10m），柱间采用大跨度的砖拱替代梁，是典型的砖结构房屋。我国南京的灵谷寺无梁殿（明代）也采用了砖砌穹隆的形式。

古代桥梁结构最早的形式是石拱桥。我国公元 590~608 年建造的河北赵县安济桥（赵州桥）净跨达 37.02m，桥宽约 10m，采用 28 条并列的石条砌成拱券承重，为世界上最早的敞肩式拱桥。它外形美观、受力合理，显示了我国古代建桥史上的辉煌成就。除此之外，由于我国冶炼技术发展较早，早在公元六七十年间，就成功地将熟铁用于结构中，建造了铁链桥、铁塔等。

古代工程结构由于缺乏理论指导，主要凭经验建造，因此构件断面大，材料利用率低，使用空间狭窄。

近代工程结构从 17 世纪至 20 世纪中叶跨越了约 300 年。这一时期，结构设计理论基础逐步完善，新材料不断出现，使结构发展突飞猛进。19 世纪中期，水泥的发明使混凝土得到了应用。同时，转炉炼钢术的发明，使钢产量大幅增加，又为钢筋混凝土结构打下了基础。1886 年预应力技术的发明，解决了混凝土裂缝等问题，使大跨度结

构、高层建筑结构开始出现。

钢筋混凝土结构早期主要用于建造小型楼板、梁、拱等构件，随着预应力技术的进步，开始用钢筋混凝土建造大空间结构，逐步使钢筋混凝土应用于各领域。到 20 世纪初，钢筋混凝土已广泛地用在房屋结构、桥梁结构、地下工程及水工结构等，使工程结构不断大型化。

钢结构在这一时期也得到了长足的发展。1883 年美国芝加哥建造了 11 层的保险公司大楼，它采用铸铁框架承重，外墙为自承重墙，标志着现代高层建筑结构的诞生。1889 年法国巴黎建成了 300m 高的埃菲尔铁塔。1931 年美国建造了著名的帝国大厦，共 102 层，高 381m，全钢结构，它保持世界最高建筑纪录长达 40 年之久。这一时期大型工程几乎都采用了钢结构。

桥梁结构不仅跨度增大，结构体系也发生了变化，出现了钢(铁)拱桥、悬索桥和预应力钢筋混凝土梁桥，形成了现代桥梁结构的三种基本形式。

这一时期砌体结构由于水泥砂浆的出现，提高了砌体墙的承载能力，逐步形成了砖墙承重、钢筋混凝土楼盖的混合结构体系，使砌体结构房屋高度不断增大。1891 年美国建造了 16 层的砌体结构大楼，不过下部几层的墙厚竟达 1.8m。

现代工程结构始于 20 世纪中叶，第一次世界大战以后，随着结构理论和施工技术的发展，工程越来越大型化，并且自重明显减轻，材料耗费不断下降，经济效益显著提高。世界各地兴建了许多超高层建筑、大跨度桥梁、特长的跨海隧道、高耸结构等大型工程。

钢筋混凝土结构的发展起源于材料的轻质高强度。目前高强混凝土的强度可达  $80\sim 100\text{N/mm}^2$ ，强度为  $60\text{N/mm}^2$  的混凝土已在我国被广泛使用。同时为减轻混凝土的自重，世界各国研究出了各种轻质混凝土（容重一般不大于  $18\text{kN/m}^3$ ），如陶粒混凝土、浮石混凝土、火山渣混凝土、膨胀混凝土等，利用这些轻质混凝土可制成大跨度的屋面板、壁板、折板等，其自重比普通混凝土减少  $20\%\sim 30\%$ 。由于轻质高强混凝土的发展，混凝土结构的高度、跨度都在不断增大，大量的建筑结构都由钢筋混凝土建造。目前世界上最高的钢筋混凝土大厦是朝鲜平壤的柳京饭店，共 105 层，高 319.8m。预应力轻骨料建造的飞机库（德国）的屋盖结构跨度达 90m，钢筋混凝土拱桥的跨度也超过了 400m。钢筋混凝土结构发展的另一个标志是其应用更加广泛，除传统的房屋结构、桥梁结构外，还有地下工程、海洋结构、压力容器、飞机跑道等大型工程，为满足这些特殊的功能要求，特种混凝土，如防射线混凝土、自应力混凝土、聚合物混凝土、纤维混凝土等逐渐发展起来。

钢结构的发展使得钢结构在结构工程中的比例越来越大。美国在近年来的工业建筑中，钢结构占到  $60\%\sim 70\%$ 。我国过去钢结构主要应用于大型重工业建筑及大跨度的房屋，目前已发展到高层建筑、大跨度的桥梁等，同时钢网架结构的兴起，使大量的大跨度屋盖结构更多地应用于钢结构体系。

现代砌体结构发展主要表现在两个方面。一是砌体结构在原有的基础上不断地加大、加高，应用更加广泛。中华人民共和国成立后多层房屋，特别是住宅建筑，几乎都采用混合结构形式，即砖墙承重、楼屋盖采用钢筋混凝土预制（现浇）体系，这种体系施工方便，造价低，适合我国国情。少数地区甚至发展了砌体高层建筑，如重庆

在 20 世纪 70 年代修建了 10~12 层的砖墙承重的住宅。国外有建成 20 层以上的砌体房屋。桥梁方面，石拱桥的跨度也在不断增大，目前超过 100m 的石拱桥已有多座。1991 年湖南建成了鸟巢河双肋石拱桥，净跨度达 120m，这也是世界上跨度最大的石拱桥。砌体结构还用于小型水池、烟囱、料斗、粮仓等，水利工程中的土石坝，隧道的砌衬结构以及挡土墙也常用砖石砌筑。除此之外，砌体结构的发展还表现在新材料的应用上。配筋砌体不仅提高了砌体的承载能力，还改善了砌体的抗震性能。在多层砌体中增设构造柱、圈梁也可提高房屋的抗震能力，使砌体结构能在地震区应用。砌体材料的改进也加速了砌体的发展。各种砌块（硅酸盐、粉煤灰、混凝土等砌块）、空心砖及大型墙板的应用，减轻了结构的自重，加快了施工速度，还可利用工业废料，少占农田，利于环保。目前非承重隔墙基本上采用了这些新材料，承重墙正在逐步用新材料替代传统的黏土砖。

### 1.1.2 结构的组成

工程结构是由若干个单元按照一定的规则，通过正确的连接方式所组成的能够承受并传递荷载和其他间接作用的骨架。这些单元就是工程结构的基本构件。

工程结构的基本构件有板、梁、柱、墙、杆、拱、索、基础等。板为房屋建筑或桥梁等提供活动面，直接承受作用在其上的活动荷载和永久荷载，并将这些荷载传递到梁或墙等支撑构件上。板的主要内力是弯矩和剪力，是受弯构件。梁是板的支撑构件，承受板传来的荷载并将其传递到柱、墙或主梁上，它的主要内力是弯矩和剪力，有时也承担扭矩，属受弯构件。柱和墙的作用是支撑楼面体系（梁、板），其主要内力是轴向压力、弯矩和剪力等，是受压构件。拱是工程结构特别是地下结构的一种主要受力构件，是受压构件，它可以通过调整拱的形体来调整构件的内力。索是悬挂构件或结构体系的主要传力单元，一端固定在被悬挂的构件上，另一端固定在其他结构体系上，索主要承受拉力，是受拉构件。杆的用途很多，如组成屋架或其他空间构件的弦杆、结构的支撑等，其内力主要是轴向拉力和压力，是轴心受力构件。基础是将柱及墙等传来的上部结构荷载传递给地基的下部结构。

### 1.1.3 结构的分类

结构的种类很多，有多种分类方法。一般可以按照结构所用的材料、结构受力体系、使用功能、外形特点以及施工方法等进行分类。各种结构都有其一定的适用范围，应根据工程结构功能、材料性能、不同结构形式的特点和使用要求以及施工和环境条件等合理选用。

按照所采用的材料分类，工程结构的类型主要有混凝土结构、钢结构、砌体结构和木结构等。混凝土结构包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、纤维混凝土结构和其他各种形式的加筋混凝土结构。砌体结构包括砖石砌体结构、砌块砌体结构。这些结构材料可以在同一结构体系中混合使用，形成混合结构，如屋盖和楼盖采用混凝土结构，墙体采用砌体，基础采用砖石砌体或钢筋混凝土，就形成了砖混结构。这些结构材料也可以在同一构件中混合使用，形成组合构件，如屋架上弦采用钢筋混凝土，下弦采用钢拉杆，就形成了钢-混凝土组合屋架。又如在钢筋混凝土

柱中配置型钢则形成了钢-混凝土组合柱。

按照结构的受力体系，工程结构的类型主要有框架结构、剪力墙结构、筒体结构、塔式结构、桅式结构、悬索结构、壳体结构、网架结构、板柱结构、墙板结构、折板结构、充气结构、膜结构等。框架结构的主要竖向受力体系由梁和柱组成。剪力墙结构的主要竖向受力体系由钢筋混凝土墙组成。筒体结构是在高层建筑中，利用电梯井、楼梯间或管道井等四周封闭的墙形成内筒，也可以利用外墙或密排的柱作为外筒，或两者共同形成筒中筒结构，框架、剪力墙和筒体也可以组合形成框架剪力墙结构、框架筒体结构等结构体系。塔式结构是下端固定、上端自由的高耸构筑物。桅式结构是由一根下端为铰接或刚接的竖立细长杆身桅杆和若干层纤绳所组成的构筑物。悬索结构的承重结构由柔性受拉索及其边缘构件组成，索的材料可以采用钢丝束、钢丝绳、钢绞线、圆钢、纤维复合材料以及其他受拉性能良好的线材。楼面荷载通过吊索或吊杆传递到固定在筒体或柱子上的水平悬吊梁或桁架上，并通过筒体或柱子传递到基础的结构体系称为悬吊结构。壳体结构是由曲面形板与边缘构件（梁、拱或桁架等）组成的空间结构。网架结构是多根杆件按照一定的网格形式，通过节点连接而形成的空间结构。仅由楼板和柱组成承重体系的结构称为板柱结构。仅由楼板和墙组成承重体系的结构称为墙板结构。由多条条形平板组合而成的空间结构统称为折板结构。充气结构是由薄膜材料制成的构件充入气体后而形成的结构。若用柔性受拉索和薄膜材料及边缘构件组成的结构统称为膜结构。对不同受力体系的工程结构，采用何种结构材料十分重要，关键在于充分发挥材料的特性，既要有好的功能，又要有较好的经济效益。

按照建筑物、构筑物或结构的使用功能，工程结构可以分成建筑结构（如住宅、公共建筑、工业建筑等）、特种结构（如烟囱、水池、水塔、筒仓、贮藏罐、挡土墙等）、桥梁结构（如公路铁路桥、立交桥、人行天桥等）、地下结构（如隧道、涵洞、人防工事、地下建筑等）。

按照建筑物的外形特点，工程结构可以分成现浇结构、预制装配结构和预制与现浇相结合的装配整体式结构。另外，按照结构使用前是否预先施加应力，还有预应力结构和非预应力结构等。

## 1.2 混凝土结构的特点

钢筋混凝土是由两种力学性能不同的材料——钢筋和混凝土结合成整体，共同发挥作用的一种建筑材料。

混凝土是一种人造石材，其抗压强度很高，而抗拉强度则很低（约为抗压强度的 $1/18\sim 1/8$ ）。当用混凝土梁承受荷载时 [图 1.1 (a)]，在梁的正截面（垂直于梁的轴线的截面）上受到弯矩作用，中和轴以上受压，以下受拉。随着荷载的逐渐增大，混凝土梁中的压应力和拉应力将增大，其增大的幅度大致相同。当荷载较小时，梁的受拉区边缘的拉应力未达到其抗拉强度，梁尚能承担荷载。当荷载达到某一数值  $P_c$  时，梁的受拉区边缘混凝土的拉应力达到其抗拉强度，即出现裂缝。这时，裂缝截面处的混凝土脱离工作，该截面处的受力高度减小，即使荷载不增加，拉应力也将增大。因

而，裂缝继续向上发展，使梁很快裂断 [图 1.1 (b)]。这种破坏是很突然的，也就是说，当荷载达到  $P_c$  的瞬间，梁立即发生破坏，属于脆性破坏。 $P_c$  为混凝土梁受拉区出现裂缝的荷载，一般称为混凝土梁的抗裂荷载，也是混凝土梁的破坏荷载。由此可见，混凝土梁的承载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则远未被充分利用。如果要使梁承受更大的荷载，则必须将其截面加大很多，这是不经济的，有时甚至是不可能的。

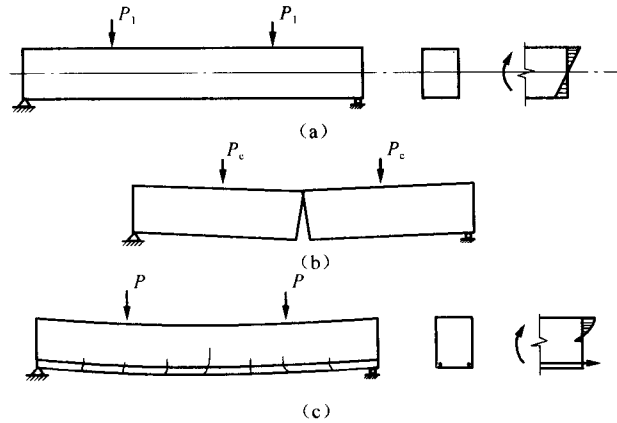


图 1.1 混凝土简支梁破坏示意

为了解决上述矛盾，可采用抗拉强度高的钢筋来加强混凝土梁的受拉区，也就是在混凝土梁的受拉边配置纵向钢筋，这就构成钢筋混凝土梁。试验表明，和混凝土梁有相同截面尺寸的钢筋混凝土梁承受荷载时，其抗裂荷载虽然比混凝土梁要大些，但增大的幅度不大。因此，当荷载略大于  $P_c$ ， $P_{cr}$  达到某一数值时，梁仍出现裂缝。在出现裂缝的截面处，受拉区混凝土脱离工作，配置在受拉区的钢筋将承担几乎全部的拉应力。这时，钢筋混凝土梁不会像混凝土梁那样立即裂断，而能继续承担荷载 [图 1.1 (c)]，直至受拉钢筋应力达到屈服强度，裂缝向上延伸，受压区混凝土达到其抗压强度而被压碎，梁才达到破坏。因此钢筋混凝土梁的承载力可较混凝土梁提高很多，其提高的幅度与配置的纵向钢筋数量和强度有关。

由上述可知，钢筋混凝土梁充分发挥了混凝土和钢筋的特性，用抗压强度高的混凝土承担压力，用抗拉强度高的钢筋承担拉力，合理地做到了物尽其用。必须指出，与混凝土梁相比，钢筋混凝土梁的承载力提高很多，但抵抗裂缝的能力提高并不多。因此，在使用荷载下，钢筋混凝土梁一般是带裂缝工作的。当然，其裂缝宽度应控制在允许限值内。

同样，如果在混凝土柱中配置受压钢筋和箍筋，协助混凝土承受压力，也同样可提高柱的承载力，改善柱的受力性能。

钢筋和混凝土这两种性质不同的材料之所以能有效地结合在一起共同工作，主要是由于混凝土和钢筋之间有着良好的黏结力，使两者能可靠地结合成一个整体，在荷载作用下能共同变形，完成其结构功能。其次，钢筋和混凝土的温度线膨胀系数也较为接近（钢筋为  $1.2 \times 10^{-5}$ ，混凝土为  $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5}$ ），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。

钢筋混凝土除了能合理地利用钢筋和混凝土两种材料的特性外，还有以下一些优点。

1) 在钢筋混凝土结构中，混凝土的强度是随时间而不断增长的，同时，钢筋被混凝土所包裹而不致锈蚀，所以钢筋混凝土结构的耐久性是很好的。此外，还可根据需要配制具有不同性能的混凝土，以满足不同的耐久性要求。因此，钢筋混凝土结构不象钢结构那样需要经常性的保养和维修，其维修费用极少，几乎与石材相同。

2) 在钢筋混凝土结构中，混凝土包裹着钢筋，由于混凝土的传热性能较差，在火灾中将对钢筋起着保护作用，使其不致很快达到软化温度而造成结构整体破坏。所以，与钢结构相比钢筋混凝土结构具有较好的耐火性能。

3) 钢筋混凝土结构，尤其是现浇钢筋混凝土结构的整体性较好，其抵抗地震、振动以及强烈爆炸时冲击波作用的性能较好。

4) 钢筋混凝土结构的刚性较大，在使用荷载下的变形较小，可有效地应用于对变形要求较严格的建筑物中。

5) 新拌和的混凝土是可塑的，因此可根据需要浇制成各种形状和尺寸的结构。

6) 在钢筋混凝土结构所用的原材料中，砂、石所占的分量较大，而砂、石又易于就地取材。在工业废料（如矿渣、粉煤灰等）比较多的地区，可将工业废料制成人造骨料（如陶粒）用于钢筋混凝土结构中。这不但可解决工业废料处理问题，还有利于环境保护，而且可减轻结构的自重。

由于钢筋混凝土结构具有上述一系列优点，所以在工程建筑中得到广泛的应用。

但是，钢筋混凝土结构也存在一些缺点。例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、高层建筑结构以及抗震都是不利的；抗裂性能较差，在正常使用时往往是带裂缝工作的；建造时耗工较大；施工受气候条件的限制；现浇钢筋混凝土要耗用大量木材；隔热、隔声性能较差；修补或拆除较困难等。这些缺点在一定条件下限制了钢筋混凝土结构的应用范围。但是，随着钢筋混凝土结构的不断发展，这些缺点已经或正在逐步得到克服。例如采用轻质高强混凝土以减轻结构自重；采用预应力混凝土以提高构件的抗裂性（同时也可减轻自重）；采用预制装配结构或工业化的现浇施工方法以节约模板和加快施工速度。

### 1.3 钢结构的特点

钢结构是用钢板、角钢、工字钢、槽钢、钢管和圆钢等钢材，通过焊接等有效的连接方式所形成的结构。

钢结构是土木工程的主要结构形式之一，它与其他材料相比，有以下一些优点：

1) 强度和强度质量比高。与混凝土、砖、石和木材等相比，虽然其密度较大，但是由于其强度要高得多，强度质量比仍然远高于这些材料。因此，在同等条件下，钢结构构件小，自重低，特别适用于大跨度和高层结构。

2) 材质均匀、性能好，结构可靠度高。钢材内部结构均匀，比较符合理想的各向同性弹塑性材料，按照一般的力学计算理论可以较好地反映钢结构的实际工作性能。



另外，钢材由工厂生产，便于严格的质量控制。因此钢结构的可靠性高。

3) 施工简便、工期短。钢结构材料均为专业化工厂成批生产的成品材料，精确度较高，材料可加工性能好，便于现场裁料和拼接，构件质量轻，便于现场吊装。因此钢结构具有较高的工业化生产程度，采用钢结构可以有效地缩短工期。

4) 延性好、抗震能力强。钢结构由于材料强度高，塑性和韧性好，结构自重轻，结构体系较柔软，在地震时，地震作用小，结构耗能能力强，损失小。因此，钢结构具有较强的抗震能力。

5) 易于改造和加固，钢材具有较好的可加工性能，连接措施简单，因此，与其他建筑材料相比，对已有钢结构进行改造和加固相对比较容易。

钢结构的主要缺点是：

1) 耐腐蚀性差。在使用环境下，钢材极易锈蚀，材料耐腐蚀能力较差。因此，对钢结构应注意结构防护。

2) 耐火性差。虽然当温度在 250℃ 以下时，钢材材料性质变化很小，具有较好的耐火性能，但当温度达到 300℃ 以上时，钢材强度明显下降，当温度达到 600℃ 时，钢材强度几乎降低至零。在火灾中，没有防护措施的钢结构耐火时间只有 20 分钟左右。因此，对钢结构必须采取可靠的防火措施。

3) 钢材价格相对较高。

## 1.4 砌体结构的特点

砌体结构是由砖、石或砌块，用砂浆等胶结材料砌筑而成的结构。

砌体结构在土木工程领域的应用非常广泛，在我国多层住宅建筑中，用砌体内外承重墙和钢筋混凝土楼板组成的混合结构房屋占主导地位，这是因为它具有以下几方面的优点：

1) 耐久性好。砖石等材料具有较好的化学稳定性和大气稳定性，抵抗风化、冻融和其他外部侵蚀因素影响的能力优于其他建筑材料。

2) 耐火性好。砖是经烧结而成，本身具有较好的抗高温能力。砖墙等的热传导性能较差，在火灾中，除本身具有较好的结构稳定性外，还能够起到防火墙的作用，阻止或延缓火灾的蔓延。

3) 就地取材。天然沙石料、制砖的黏土或工业废料等砌体结构的主要材料几乎到处都有，来源方便。

4) 施工技术要求低。

5) 造价低廉。由于主要材料可以就地取材，水泥用量也很少，施工技术要求低、难度小，不需要模板等辅助材料。因此，与其他结构相比，砌体结构造价最低。

砌体结构主要缺点是：

1) 强度低。砂浆与砖石之间的黏结力较弱，砌体强度不高，尤其是抗拉和抗剪强度很低。因此，结构抵抗地震等水平作用的能力相对较差，在温度变化、地基产生不均匀沉降等情况下，容易产生裂缝。

2) 自重大。