



高等院校土建类专业“互联网+”创新规划教材

工程结构

金恩平 编 著

提供电子课件



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

高等院校土建类专业“互联网+”创新规划教材

工 程 结 构

金恩平 编 著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书依据最新颁布的各种工程结构设计规范和《高等学校工程管理/工程造价本科指导性专业规范》(2015年版)编著而成。

全书共分9章,主要内容包括:导论、结构作用与荷载计算、工程结构设计的基本原理、钢筋混凝土结构构件设计、钢筋混凝土结构单元设计、高层钢筋混凝土结构设计、砌体结构设计、钢结构设计、地基与基础设计。

本书可作为高等学校工程管理、工程造价、房地产开发与管理、物业管理、建筑学及土木工程等专业的教材,也可供从事工程结构设计、工程施工、工程管理、工程监理及工程咨询等的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

工程结构/金恩平编著. —北京:北京大学出版社, 2017. 1

(高等院校土建类专业“互联网+”创新规划教材)

ISBN 978-7-301-27470-5

I. ①工… II. ①金… III. ①工程结构—高等学校—教材 IV. TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 212682 号

书 名 工程结构

GONGCHENG JIEGOU

著作责任者 金恩平 编著

策 划 编 辑 杨星璐

责 任 编 辑 伍大维

数 字 编 辑 孟 雅

标 准 书 号 ISBN 978-7-301-27470-5

出 版 发 行 北京大学出版社

地 址 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址 <http://www.pup.cn> 新浪微博: @北京大学出版社

电 子 信 箱 pup_6@163.com

电 话 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667

印 刷 者 北京富生印刷厂

经 销 者 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 21.25 印张 500 千字

2017 年 1 月第 1 版 2017 年 1 月第 1 次印刷

定 价 49.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题, 请与出版部联系, 电话: 010-62756370

“巧课力” APP 安装说明

01 使用微信扫描二维码
扫码前请务必仔细阅读
“一书一码说明”，暂不支
持其他扫码工具。



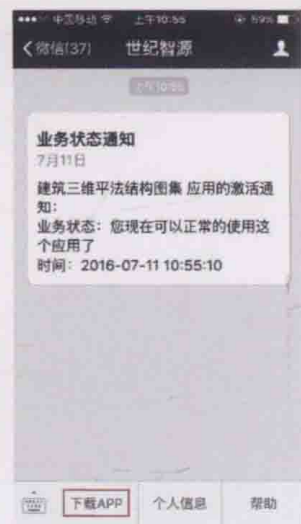
02 在弹出的新页面上长
按二维码进行识别。



03 关注“世纪智源”微
信公众号。



04 在微信公众号中点击
“下载 APP” 按钮。



一书一码说明：

重要信息，请务必在扫描前阅读。

此二维码是“巧课力”应用的唯一正版验证码；
此码将与第一个扫描的微信账号进行绑定，
他账号将无法再次扫描；

请务必确认扫码的微信账号是您最终使用的
信账号。



05 下载并安装“巧课力”，
第一次安装前会提示您输
入个人信息，请如实填写，
这些信息将有助于我们为
您定制专属服务。



06 打开“巧课力”应用，
扫描带有标识的页面，展
开自己的 3D 学习之旅。



前 言

近年来,随着高等学校管理科学与工程专业、建筑学专业与城乡规划专业建设的发展与成熟,依据专业培养目标和高等学校专业指导委员会拟定的专业课程体系要求,构建各门课程的教学内容,编写适宜专业的“适度、够用”的教材,这是当下值得关注且亟待完善的问题。

“工程结构”是一门重要的专业技术课程,其内容多、公式多、构造规定多,具有较强的理论性与实践性。在专业教学过程中,限于课时相对较少,需要解决以下三个基本问题:第一是要处理好本课程与其他课程(如工程力学、工程材料、建筑学、专业软件、工程规范等)的贯通与衔接关系;第二是本课程涉及研究对象的取舍,如结构设计基本原理与工程制图方法和手段,一般结构与抗震设计,地上工程与地下工程,房屋建筑与道路桥梁,钢筋混凝土结构、钢结构与砌体结构,等等;第三就是本课程认知与把握的深度,是基于现行规程、规范的技术运用,抑或是理论研究与技术运用并进。良好的教学效果的获得与以上问题的解决,关系很密切。近年来,国内同仁们在这些问题上经过了认真的探讨,也取得了可喜的成绩,但从专业教学的实践层面上来看,提升的空间还很大。

作者基于从事大专、本科、研究生不同层次的“工程结构”课程的二十余年的教学经验,结合工程实践,以现行设计规范为依据,同时参考高质量的相关教材及文献,编写了本教材。希望本教材的出版能对上述基本问题的解决添砖加瓦。

在本教材的编写过程中,致力于强调如下特色。

(1) 教学的渐进性与理论知识的系统性相结合,按照从结构设计基本原理,到结构设计方法,再到结构施工图的表达方法与结构设计软件的应用的思路来编写。

(2) 专业教学内容与工作岗位需求相结合,强调“适度、够用”。

(3) 规范性的理解与运用相结合。这也是当前“工程结构”课程教学中普遍较为缺乏的地方。

本书以“互联网+”教材的模式,在书中通过二维码的形式链接了拓展学习资料、相关法律法规和习题答案等内容,读者通过扫描书中的二维码,即可进行相应知识点的拓展学习。此外,本书还开发了配套的 APP 客户端,读者可以通过扫描封二左下角的二维码进行下载。读者打开 APP 客户端之后,将摄像头对准“切口”带有色块和“互联网+” logo 的页面,即可在手机上多角度、任意大小、交互式查看页面结构图所对应的三维模型。

由于笔者水平有限,教材中的不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正(可将建议发至邮箱 1063890982@qq.com)。最后,对所有参考教材与文献的作者们表示感谢,对河南财经政法大学工程管理与造价系参与校稿的在校大学生们表示感谢,也对所有给予帮助的人们表示由衷的谢意。

编著者

2016 年 4 月

北京大学出版社土木建筑系列教材(已出版)

序号	书名	主编	定价	序号	书名	主编	定价
1	工程项目管理	董良峰 张瑞敏	43.00	50	工程财务管理	张学英	38.00
2	建筑设备(第2版)	刘源全 张国军	46.00	51	土木工程施工	石海均 马 哲	40.00
3	土木工程测量(第2版)	陈久强 刘文生	40.00	52	土木工程制图(第2版)	张会平	45.00
4	土木工程材料(第2版)	柯国军	45.00	53	土木工程制图习题集(第2版)	张会平	28.00
5	土木工程计算机绘图	袁 果 张渝生	28.00	54	土木工程材料(第2版)	王春阳	50.00
6	工程地质(第2版)	何培玲 张 婷	26.00	55	结构抗震设计(第2版)	祝英杰	37.00
7	建设工程监理概论(第3版)	巩天真 张泽平	40.00	56	土木工程专业英语	霍俊芳 姜丽云	35.00
8	工程经济学(第2版)	冯为民 付晓灵	42.00	57	混凝土结构设计原理(第2版)	邵永健	52.00
9	工程项目管理(第2版)	仲景冰 王红兵	45.00	58	土木工程计量与计价	王翠琴 李春燕	35.00
10	工程造价管理	车春鹂 杜春艳	24.00	59	房地产开发与管理	刘 薇	38.00
11	工程招标投标管理(第2版)	刘昌明	30.00	60	土力学	高向阳	32.00
12	工程合同管理	方 俊 胡向真	23.00	61	建筑表现技法	冯 柯	42.00
13	建筑工程施工组织与管理(第2版)	余群舟 宋会莲	31.00	62	工程招投标与合同管理(第2版)	吴 芳 冯 宁	43.00
14	建设法规(第2版)	肖 铭 潘安平	32.00	63	工程施工组织	周国恩	28.00
15	建设项目评估	王 华	35.00	64	建筑力学	邹建奇	34.00
16	工程量清单的编制与投标报价	刘富勤 陈德方	25.00	65	土力学学习指导与考题精解	高向阳	26.00
17	土木工程概预算与投标报价(第2版)	刘 薇 叶 良	37.00	66	建筑概论	钱 坤	28.00
18	室内装饰工程预算	陈祖建	30.00	67	岩石力学	高 玮	35.00
19	力学与结构	徐吉恩 唐小弟	42.00	68	交通工程学	李 杰 王 富	39.00
20	理论力学(第2版)	张俊彦 赵荣国	40.00	69	房地产策划	王直民	42.00
21	材料力学	金康宁 谢群丹	27.00	70	中国传统建筑构造	李合群	35.00
22	结构力学简明教程	张系斌	20.00	71	房地产开发	石海均 王 宏	34.00
23	流体力学(第2版)	章宝华	25.00	72	室内设计原理	冯 柯	28.00
24	弹性力学	薛 强	22.00	73	建筑结构优化及应用	朱杰江	30.00
25	工程力学(第2版)	罗迎社 喻小明	39.00	74	高层与大跨建筑结构施工	王绍君	45.00
26	土力学(第2版)	肖仁成 俞 晓	25.00	75	工程造价管理	周国恩	42.00
27	基础工程	王协群 章宝华	32.00	76	土建工程制图(第2版)	张黎骅	38.00
28	有限单元法(第2版)	丁 科 殷水平	30.00	77	土建工程制图习题集(第2版)	张黎骅	34.00
29	土木工程施工	邓寿昌 李晓目	42.00	78	材料力学	章宝华	36.00
30	房屋建筑学(第3版)	聂洪达	56.00	79	土力学教程(第2版)	孟祥波	34.00
31	混凝土结构设计原理	许成祥 何培玲	28.00	80	土力学	曹卫平	34.00
32	混凝土结构设计	彭 刚 蔡江勇	28.00	81	土木工程项目管理	郑文新	41.00
33	钢结构设计原理	石建军 姜 袁	32.00	82	工程力学	王明斌 庞永平	37.00
34	结构抗震设计	马成松 苏 原	25.00	83	建筑工程造价	郑文新	39.00
35	高层建筑施工	张厚先 陈德方	32.00	84	土力学(中英双语)	郎煜华	38.00
36	高层建筑结构设计	张仲先 王海波	23.00	85	土木建筑 CAD 实用教程	王文达	30.00
37	工程事故分析与工程安全(第2版)	谢征勋 罗 章	38.00	86	工程管理概论	郑文新 李献涛	26.00
38	砌体结构(第2版)	何培玲 尹维新	26.00	87	景观设计	陈玲玲	49.00
39	荷载与结构设计方法(第2版)	许成祥 何培玲	30.00	88	色彩景观基础教程	阮正仪	42.00
40	工程结构检测	周 详 刘益虹	20.00	89	工程力学	杨云芳	42.00
41	土木工程课程设计指南	许 明 孟苗超	25.00	90	工程设计软件应用	孙香红	39.00
42	桥梁工程(第2版)	周先雁 王解军	37.00	91	城市轨道交通工程建设风险与保险	吴宏建 刘宽亮	75.00
43	房屋建筑学(上:民用建筑)(第2版)	钱 坤 王若竹 吴 歌	40.00	92	混凝土结构设计原理	熊丹安	32.00
44	房屋建筑学(下:工业建筑)(第2版)	钱 坤 吴 歌	36.00	93	城市详细规划原理与设计方法	姜 云	36.00
45	工程管理专业英语	王竹芳	24.00	94	工程经济学	都沁军	42.00
46	建筑结构 CAD 教程	崔钦淑	36.00	95	结构力学	边亚东	42.00
47	建设工程招投标与合同管理实务(第2版)	崔东红	49.00	96	房地产估价	沈良峰	45.00
48	工程地质(第2版)	倪宏革 周建波	30.00	97	土木工程结构试验	叶成杰	39.00
49	工程经济学	张厚钧	36.00	98	土木工程概论	邓友生	34.00

序号	书名	主编	定价	序号	书名	主编	定价
99	工程项目管理	邓铁军 杨亚频	48.00	137	建筑工程施工	叶 良	55.00
100	误差理论与测量平差基础	胡圣武 肖本林	37.00	138	建筑学导论	裘 鞠 常 悦	32.00
101	房地产估价理论与实务	李 龙	36.00	139	工程项目管理	王 华	42.00
102	混凝土结构设计	熊丹安	37.00	140	园林工程计量与计价	温日琨 舒美英	45.00
103	钢结构设计原理	胡习兵	30.00	141	城市与区域规划实用模型	郭志恭	45.00
104	钢结构设计	胡习兵 张再华	42.00	142	特殊土地基处理	刘起霞	50.00
105	土木工程材料	赵志曼	39.00	143	建筑节能概论	余晓平	34.00
106	工程项目投资控制	曲 娜 陈顺良	32.00	144	中国文物建筑保护及修复工程学	郭志恭	45.00
107	建设项目评估	黄明知 尚华艳	38.00	145	建筑电气	李 云	45.00
108	结构力学实用教程	常伏德	47.00	146	建筑美学	邓友生	36.00
109	道路勘测设计	刘文生	43.00	147	空调工程	战乃岩 王建辉	45.00
110	大跨桥梁	王解军 周先雁	30.00	148	建筑构造	宿晓萍 隋艳娥	36.00
111	工程爆破	段宝福	42.00	149	城市与区域认知实习教程	邹 君	30.00
112	地基处理	刘起霞	45.00	150	幼儿园建筑设计	龚兆先	37.00
113	水分析化学	宋吉娜	42.00	151	房屋建筑学	董海荣	47.00
114	基础工程	曹 云	43.00	152	园林与环境景观设计	董 智 曾 伟	46.00
115	建筑结构抗震分析与设计	裴星洙	35.00	153	中外建筑史	吴 薇	36.00
116	建筑工程安全管理与技术	高向阳	40.00	154	建筑构造原理与设计(下册)	梁晓慧 陈玲玲	38.00
117	土木工程施工与管理	李华锋 徐 芸	65.00	155	建筑结构	苏明会 赵 亮	50.00
118	土木工程试验	王吉民	34.00	156	工程经济与项目管理	都沁军	45.00
119	土质学与土力学	刘红军	36.00	157	土力学试验	孟云梅	32.00
120	建筑工程施工组织与概预算	钟吉湘	52.00	158	土力学	杨雪强	40.00
121	房地产测量	魏德宏	28.00	159	建筑美术教程	陈希平	45.00
122	土力学	贾彩虹	38.00	160	市政工程计量与计价	赵志曼 张建平	38.00
123	交通工程基础	王富	24.00	161	建设工程合同管理	余群舟	36.00
124	房屋建筑学	宿晓萍 隋艳娥	43.00	162	土木工程基础英语教程	陈平 王凤池	32.00
125	建筑工程计量与计价	张叶田	50.00	163	土木工程专业毕业设计指导	高向阳	40.00
126	工程力学	杨民献	50.00	164	土木工程 CAD	王玉岚	42.00
127	建筑工程管理专业英语	杨云会	36.00	165	外国建筑简史	吴 薇	38.00
128	土木工程地质	陈文昭	32.00	166	工程量清单的编制与投标报价(第2版)	刘富勤 陈友华 宋会莲	34.00
129	暖通空调节能运行	余晓平	30.00	167	土木工程施工	陈泽世 凌平平	58.00
130	土工试验原理与操作	高向阳	25.00	168	特种结构	孙 克	30.00
131	理论力学	欧阳辉	48.00	169	结构力学	何春保	45.00
132	土木工程材料习题与学习指导	鄯朝勇	35.00	170	建筑抗震与高层结构设计	周锡武 朴福顺	36.00
133	建筑构造原理与设计(上册)	陈玲玲	34.00	171	建设法规	刘红霞 柳立生	36.00
134	城市生态与城市环境保护	梁彦兰 阎 利	36.00	172	道路勘测与设计	凌平平 余婵娟	42.00
135	房地产法规	潘安平		173	工程结构	金恩平	49.00
136	水泵与水泵站	张 伟 周书葵	35.00				

如果您需要更多教学资源如电子课件、电子样章、习题答案等，请登录北京大学出版社第六事业部官网 www.pup6.cn 搜索下载。

如果您需要浏览更多专业教材，请扫下面的二维码，关注北京大学出版社第六事业部官方微信（微信号：pup6book），随时查询专业教材、浏览教材目录、内容简介等信息，并可在线申请纸质样书用于教学。



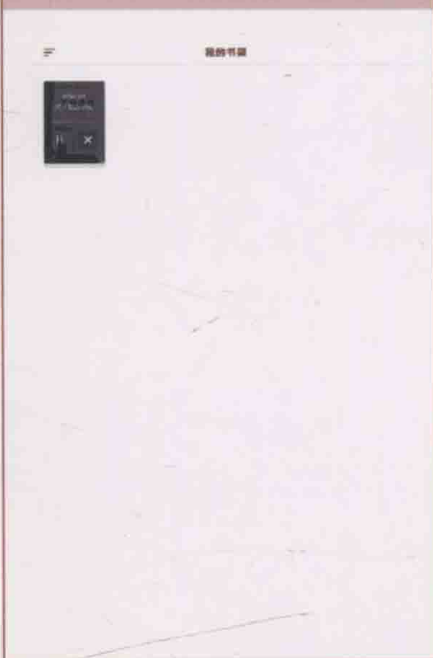
感谢您使用我们的教材，欢迎您随时与我们联系，我们将及时做好全方位的服务。联系方式：010-62750667, donglu2004@163.com, pup_6@163.com, lihu80@163.com, 欢迎来电来信。客户服务 QQ 号：1292552107，欢迎随时咨询。

“巧课力” APP使用说明

01 点击“巧课力”图标进入应用，并采用“微信登录”方式登录。



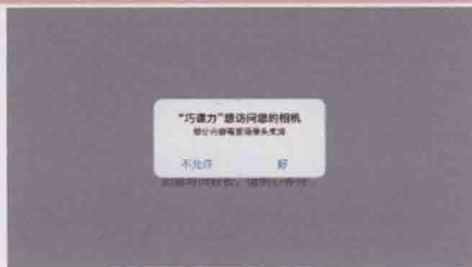
02 点击“工程结构”。



03 下载完毕后，再次点击“工程结构”图标进入子应用。



04 “巧课力” APP 需要使用相机进行 AR 识别，系统会弹出提示框确认您是否允许调用摄像头，请务必选择“允许”。



05 扫描带有色块或 logo 的页面，查看 3D 模型。

操作步骤如下：
(1) 将手机摄像头对准带有色块或 logo 的页面，系统会自动识别并加载 3D 模型。
(2) 扫描成功后，系统会自动加载 3D 模型，用户可以在 3D 模型上进行交互操作。

4. 操作步骤

1. 扫描页面：将手机摄像头对准带有色块或 logo 的页面，系统会自动识别并加载 3D 模型。
2. 扫描成功：扫描成功后，系统会自动加载 3D 模型，用户可以在 3D 模型上进行交互操作。

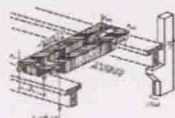


图 4-1 扫描流程

1) 将手机摄像头对准带有色块或 logo 的页面，系统会自动识别并加载 3D 模型。
2) 扫描成功后，系统会自动加载 3D 模型，用户可以在 3D 模型上进行交互操作。

06 如果您想要脱离教材使用 APP，请点击屏幕右上角的图标“≡”，调出模型目录页，从目录中选择想要学习的 3D 模型。



售后服务 在安装和使用过程中，遇到任何问题您都可以在“世纪智源”官方公众账号内点击“帮助”按钮获得我们的技术支持。



目 录



【资源索引】

第 1 章 绪论	1	习题	66
1.1 基本概念	2	第 4 章 钢筋混凝土结构构件设计	67
1.2 工程结构的类别、特点及应用	5	4.1 结构用材	68
1.3 工程结构设计的原则与方法	7	4.1.1 混凝土的基本性能指标及 结构要求	68
1.4 与《工程结构》相关的几个 问题	10	4.1.2 钢筋的基本性能指标及 结构要求	74
习题	11	4.2 受弯构件	81
第 2 章 结构作用与荷载计算	12	4.2.1 受弯构件试验研究	81
2.1 结构作用与荷载的概念	13	4.2.2 受弯构件的一般构造 要求	85
2.2 荷载的分类	13	4.2.3 受弯构件的承载力计算	88
2.3 荷载标准值的计算及规定	15	4.3 受扭构件	107
2.4 荷载代表值	30	4.3.1 构造要求	108
2.5 荷载组合	31	4.3.2 受扭构件试验研究	108
习题	31	4.3.3 受扭构件扭曲面的承载力 计算	110
第 3 章 工程结构设计的基本原理	33	4.3.4 受扭构件计算公式的适用 条件	113
3.1 作用效应与结构抗力	34	4.4 轴向受力构件	115
3.2 结构的功能函数及其极限状态	37	4.4.1 受压构件	115
3.3 结构的极限状态方程及其实用 表达式	39	4.4.2 受拉构件	134
3.4 工程结构的耐久性设计	44	4.5 钢筋混凝土构件正常使用状态 验算	138
3.4.1 结构耐久性的设计方法	44	4.5.1 正常使用状态验算的基本 要求	138
3.4.2 混凝土结构耐久性设计	45	4.5.2 混凝土构件裂缝宽度的 计算	140
3.4.3 砌体结构耐久性设计	48	4.5.3 混凝土构件的挠度 计算	144
3.5 工程结构抗震设计	50	4.6 预应力混凝土构件	147
3.5.1 地震设计的主要概念	50	4.6.1 预应力混凝土的基本 知识	147
3.5.2 地震设计的基本要求	52		
3.5.3 结构抗震概念设计	53		
3.5.4 地震作用计算	57		
3.5.5 结构抗震验算	62		

4.6.2	预应力混凝土构件设计的基本要求	152	7.1.1	砌体用材	236
4.6.3	预应力混凝土构件的计算	154	7.1.2	砌体种类	239
习题		155	7.1.3	砌体的受力性能	240
第5章	钢筋混凝土结构单元设计	159	7.2	砌体结构设计	243
5.1	现浇式板肋梁楼盖	162	7.2.1	结构平面布置方案	243
5.1.1	一般要求	162	7.2.2	楼盖的设计与构造	246
5.1.2	板肋梁楼盖设计的计算方法	165	7.2.3	砌体结构的内力分析	248
5.2	楼梯	189	习题		269
5.2.1	钢筋混凝土板式楼梯	189	第8章	钢结构设计	270
5.2.2	钢筋混凝土梁式楼梯	192	8.1	钢结构用材	271
5.3	悬挑构件	195	8.2	钢结构的设计与计算	275
习题		197	8.3	钢结构的连接	287
第6章	高层钢筋混凝土结构设计	199	8.3.1	焊缝连接	288
6.1	高层建筑的结构类型及受力特点	200	8.3.2	螺栓连接	294
6.2	高层建筑结构设计的基本要求	202	8.3.3	钢结构构件的连接构造	298
6.3	框架结构设计	207	8.4	钢结构的防腐与防火	302
6.3.1	框架结构的平面布置	208	习题		303
6.3.2	框架结构的内力与位移的近似算法	209	第9章	地基与基础设计	304
6.3.3	框架结构的构件设计	215	9.1	地基基础设计的基本规定	305
6.3.4	框架结构的构造要求	217	9.2	地基基础设计的计算方法	308
6.4	剪力墙结构设计	226	9.3	无筋扩展基础设计	314
6.5	框架-剪力墙设计	231	9.4	钢筋混凝土扩展基础的设计	318
习题		234	习题		324
第7章	砌体结构设计	235	附表	等截面等跨连续梁在常用荷载作用下的内力系数	326
7.1	砌体用材及受力性能分析	236	参考文献		332

第1章

绪论

教学目标

本章主要讲述工程结构的基本概念、主要结构类别和特点，以及工程结构设计的原则与基本方法。通过本章的学习，应达到以下目标：

- (1) 掌握工程结构的定义；
- (2) 熟悉工程结构的基本类别及其特点；
- (3) 了解工程结构设计的基本原则和结构设计方法的发展演变。

教学要求

知识要点	能力要求	相关知识
工程结构的基本概念	(1) 掌握工程与工程结构、建筑与建筑结构、结构构件、结构单元和结构体系的概念 (2) 掌握结构设计使用年限、结构设计规范的定义	(1) 工程结构中的力学知识 (2) 工程结构与工程实体的基本关系
工程结构的基本类别、特点	熟悉混凝土结构、钢结构、砌体结构的类别与特点	(1) 工程结构的发展史 (2) 各类工程结构的应用及特点
工程结构设计的基本原则与方法	(1) 了解工程结构设计的基本原则 (2) 了解工程结构设计方法的发展演变	工程结构与物理学、天文学、地质学、高等数学等的关系



引例

魁北克大桥的坍塌之谜——设计？事故？诅咒？

19世纪末，加拿大人准备在圣劳伦斯河上建造一座大桥，选定桥址后却发现桥址两岸恰好是印第安人的坟墓，一共86座。为了建桥，加拿大人迁走了这些坟墓。印第安人满怀怨愤，公开诅咒这座桥要断三次。

1903年，魁北克铁路桥梁公司请了当时最有名的桥梁建筑师——美国的特奥多罗·库帕（Theodore Cooper）来设计建造。该桥采用了当时比较新颖且非常流行的悬臂构造，库帕也自称他的设计是“最佳、最省的”。库帕自我陶醉于他的设计，把大桥的长度由原来的500m加长到600m，以使之成为世界上最长的桥。桥的建设速度很快，施工也很完善。在接近完工时，有个叫 Mclure 的工程师发现大桥存在设计问题，即自重过大而桥身无法承担。针对这个问题，Mclure 一再提醒在纽约的 Cooper，最终 Cooper 认

识到了事情的严重性，约 Mclure 到纽约面谈，同时给魁北克建筑工地发了封电报，禁止往桥上增加任何负荷，等他们谈完后再复工。但是，在工地上收到电报前，正当投资修建这座大桥的人士开始考虑如何为大桥剪彩时，人们忽然听到一阵震耳欲聋的巨响——大桥的整个金属结构垮了，掉进了圣劳伦斯河中，19000t 钢材和 86 名建桥工人落入水中，只有 11 人生还。

大桥第一次倒塌后，加拿大人不信邪，经过事故调查，另外请人设计并继续建造魁北克大桥。这次桥的规模扩大了。1916 年 9 月 11 日，在吊装预制的桥梁中央段时，大桥再次倒塌，这次事故中死了 11 人。由于这次事故属于施工事故，所以原设计没有变更。后来，新的桥梁中央段终于被成功地吊装到了两边的悬臂上。1919 年 8 月，耗时近 20 年的魁北克大桥终于完工通车，这座桥是当时全世界最长的悬臂桥，主跨度为 549m。

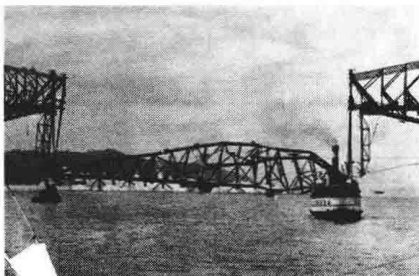
至此，魁北克大桥已经先后断了两次，共死了 86 人，正好与迁走的印第安人的坟墓数相等。人们都感叹印第安人的诅咒竟然如此灵验，但印第安人诅咒的三次断桥已经发生了两次，还会有第三次么？

1966—1970 年，加拿大人在魁北克大桥旁边又造了一座新的斜拉桥，用来分担魁北克大桥的交通负荷。初始称该斜拉桥为新魁北克大桥，后改名为 Pierre-Laporte Bridge，这座桥主跨度为 667.5m，超过了魁北克大桥。

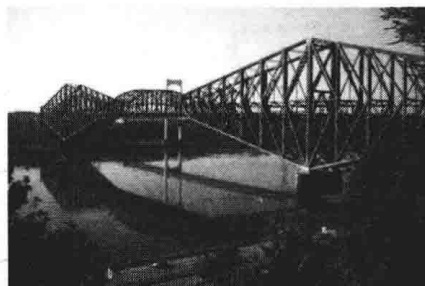
鉴于魁北克大桥不寻常的故事，1996 年 1 月 24 日，加拿大政府宣布其为国家历史遗址。



魁北克大桥第一次断桥(1907年)



魁北克大桥第二次断桥(1916年)



魁北克大桥现在的样子

1.1 基本概念

1. 工程与工程结构

在现代社会中，工程可以泛指由若干人为达到某种目的，在一段较长时间内进行协作活动的过程，如南水北调工程、教育工程、扶贫工程等，然而，工程的有些意义多是在其本意上的拓展。工程的本意原是指土木构筑及社会生产、制造部门用比较大而复杂的设备进行的活动，如土木、机械、化工、水利等类的工作，其成果多指实体产品。总体上讲，工程可定义为人们经营的一项活动及其产品。

土木工程，是工程的一部分，是人们为了满足生产、生活、学习等活动的需要，利用工程材料及技术手段而营造的空间场所，即土木类的活动与产品。

土木工程的英文是 Civil Engineering，可直译为民用工程，多指建筑物、构筑物及其

建造活动。随着社会的发展,土木工程的活动范围越来越广,经营不同使用功能要求的对象也愈来愈多,如住宅、厂房、道路、堤坝等。在这些营造物中,由某些工程材料筑成并能承受外在影响而起骨架作用的构架,称为土木工程结构,也可简称为工程结构。

2. 建筑与建筑结构

“建筑”两字的含义较广。《工程结构设计基本术语标准》(GB/T 50083—2014)对“建筑”的定义是:建筑是建筑师专业所指的房屋工程(Architecture),也指房屋工程以外的土木工程,如水工建筑、地下建筑、塔桅建筑等。《现代汉语词典》上解释:建筑的名词含义是建筑物,即人工建造的满足生产、生活、学习等活动需要的房屋或场所,如住宅、教学楼、车站等。有些文献认为建筑是建筑物与构筑物的统称,建筑物是人工建造的供人们进行活动的房屋或场所,构筑物是服务于人们活动的土木工程设施,如水塔、烟囱、纪念碑、电视塔等。总体上看,建筑是土木工程的一部分,其名词含义通常是指房屋建筑物与构筑物。建筑可以根据不同标准进行分类,如按照使用的功能可以分为民用建筑、工业建筑、农业建筑等。



【参考图文】

在建筑中起骨架作用的构架也就是建筑物或构筑物的结构,即建筑结构。建筑结构是建筑物赖以存在的物质基础,为建筑的持久作用与美观服务,并为人的生命及财产提供安全保障。

3. 结构构件、结构单元和结构体系

本书以房屋建筑物为例,解释结构构件、结构单元和结构体系的内涵及其关系。

房屋建筑物是由诸多构件组成的有机集合体,包括结构构件与非结构构件。对于结构构件,不同文献上的解释存在差异,或认为是组成建筑物某一结构的单元,或认为是在物理上可以区分出的部件。其所言对象一致,只是言辞表达上有所区别。

本书对结构构件、结构单元和结构体系的界定为:结构构件是组成建筑物某一结构的基本部件,如梁、板、柱、墙、杆、拱、壳、索、膜等;结构单元是由两个及其以上基本部件组成的集合,如板-梁结构单元、梁-柱结构单元等;结构体系可以解释为由诸多结构构件有机组合而成的传力系统,也可以解释为由多个结构构件与结构单元有机组合而成的传力系统。如图1-1所示为钢筋混凝土框架结构,其基本部件有楼板、框架梁、框架柱、柱下独立基础,若楼板与框架梁整体现浇,就构成了板-梁结构单元。

实际工程中,建筑结构的复杂程度不一,结构体系也有繁简之别。一个建筑构件或一个结构单元可以构成一个结构体系,一般情况下,房屋建筑物的结构体系包括多个结构构件或多个结构单元。

根据结构构件或结构单元的主导作用,房屋建筑物的结构体系可划分为三部分,即水平分体系、竖向分体系和基础分体系。



【参考图文】

4. 结构设计使用年限

结构设计使用年限是指,在正常设计、正常施工、正常使用与维护下,结构或结构构件不需要进行大修即可实现预定目标的使用时间。这里所说的“正常”,是指在结构设计预定条件内的外在作用发生,否则均为“非正常”,非正常现象的发生是不受结构设计使用年限限制的。

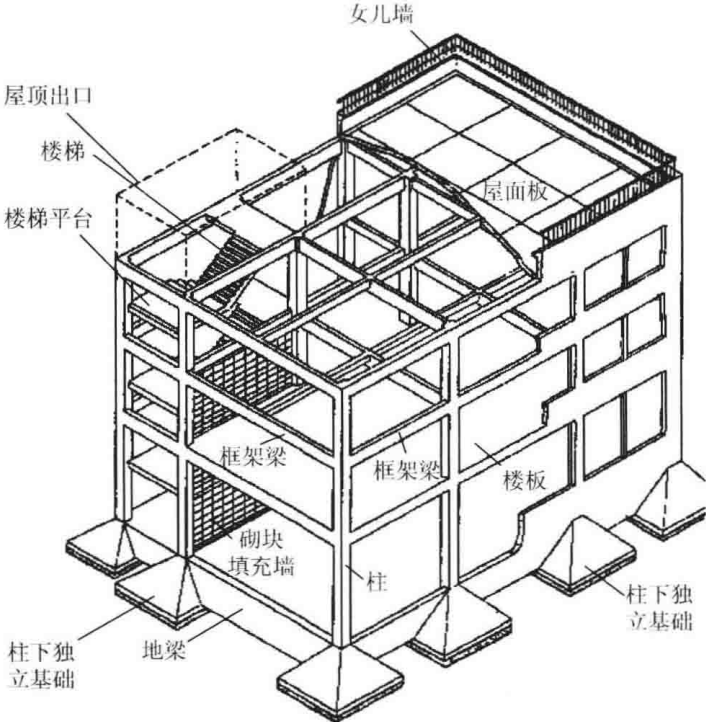


图 1-1 钢筋混凝土框架结构

正常情况下，各类工程结构的设计使用年限是不统一的，如桥梁结构的设计使用年限就比房屋结构的设计使用年限长。《建筑结构可靠度设计统一标准》（GB 50068—2001）中，将建筑结构的设计使用年限分为四个类别，其具体规定见表 1-1。

表 1-1 建筑结构设计使用年限分类

类 别	示 例	结构的设计使用年限/年
1	临时性结构	5
2	易于替换的结构构件	25
3	普通房屋与构筑物	50
4	纪念性建筑与特别重要建筑	100

需要注意的是，结构设计使用年限与结构使用年限是不完全相同的。例如，当结构的使用年限超过设计使用年限（如 50 年）时，一般情况下，其失效概率将会逐年增大，但结构尚未报废，经过适当维修后，仍可能正常使用，不过其继续使用的年限必须经鉴定确定。

5. 结构设计规范

工程设计规范是国家、行业部门及地方政府颁布的对工程设计工作要求的基本规则，是具有约束性的法规性条文，其一般包括总体目标的技术描述、功能的技术描述、技术指标的技术描述，以及限制条件的技术描述等。

结构设计规范是工程设计规范的主要组成部分，是关于结构设计技术与构造要求的技

术规定与标准。其也为工程结构设计、校核、审批工程设计等工作提供了标准与依据。

目前,现行的结构设计规范很多。本书所涉及的现行结构设计规范主要有:《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)、《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011)、《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)、《建筑结构设计荷载规范》(GB 50009—2012)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)、《建筑地基基础设计规范》(GB 50010—2010)、《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)。

1.2 工程结构的类别、特点及应用

工程结构的分类方法很多。按照结构受力与构造特点的不同,工程结构可分为混合结构、排架结构、框架结构、剪力墙结构、其他形式结构;按照结构受力分析与空间构成的不同,工程结构可分为平面结构与空间结构;按照结构所用材料的不同,工程结构可分为混凝土结构、砌体结构、钢结构、木结构等。下面主要介绍常用的混凝土结构、砌体结构和钢结构。

1. 混凝土结构

混凝土结构是以混凝土、钢材为基本材料制成的,是工程结构中使用最为普遍的一种结构形式。混凝土结构具有刚度大,可模性、整体性、耐久性、耐火性好等优点,但也存在自重大、抗裂性能差、施工复杂、隔热与隔声性能较差等缺点。常见的混凝土结构形式有素混凝土结构、钢筋混凝土结构、劲性混凝土结构、预应力混凝土结构与钢管混凝土结构(图1-2)。

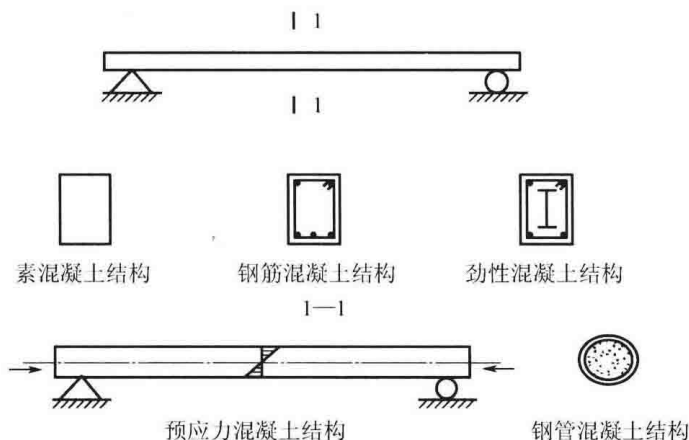


图 1-2 混凝土结构的基本类型

目前,随着工程实践、理论研究、新材料与新工艺的较快发展,混凝土结构在其所用材料与配筋方式上有了许多新进展,也形成了一些新的结构形式,如高性能混凝土结构、纤维增强混凝土结构和钢-钢筋混凝土组合结构等。

2. 砌体结构

砌体结构是一种古老的工程结构形式，其是以砖、石、砌块为块体，用砂浆砌筑而成的墙、柱，并以其作为建筑物主要受力构件的结构，也称为砖石结构。根据块体材料的不同，砌体结构可分为砖砌体结构、砌块砌体结构、石砌体结构。砌体结构取材方便，具有良好的保温、隔热、隔声等性能，造价低且施工简单，但其强度较低，整体性较差。为了提高砌体结构的抗压、抗剪与抗弯能力，可以在砌体中配置一定量的钢筋或钢筋混凝土，因而砌体结构又有无筋砌体结构与配筋砌体结构之分。目前，工程实践中的砌体结构多是指由混凝土构件与砂浆砌筑而成的墙、柱构件组合而成的砖混结构。

当前，砌体结构的发展主要表现在以下几个方面。

(1) 开发新材料。研究轻质高强低能耗的砖、砌块，积极开发研究节能环保的新型材料，如蒸压灰砂废渣制品、页岩制多孔砖、废渣轻型混凝土墙板等。

(2) 使用机具的研制与定制生产。砌体施工中，合理使用机具（如铺砂浆器、小直径振捣棒、小型灌孔混凝土浇筑泵、小型钢筋焊机、灌孔混凝土检测仪等）对保证配筋砌体结构的质量十分重要。

(3) 在砌体结构理论方面，对砌体结构破坏机理与受力性能的进一步研究。通过数学与力学模式，建立与完善精确的砌体结构理论；用适合于砌体结构特点的模型与手段，研究砌体结构的本构关系和基本工作原理，砌体结构的各种力学行为，结构整体工作性能，以及砌体结构的评估、修复和加固。

3. 钢结构

钢结构主要是指用钢板、热轧型钢、冷加工成型的薄壁型钢与钢管等构件经焊接、铆接或螺栓连接组合而成的，以及以钢索为主材建造的结构。从建筑结构的力学模型角度看，钢结构可以分为大跨度屋盖结构、多高层钢结构建筑、单层厂房的横向平面框架结构及门式刚架三种常见结构体系。

钢结构的优点是材质均匀、物理力学性能可靠，塑性与韧性好，强度高，质量轻，密封性好，加工制作方便，工业化程度高，工期短，尤其抗震性能较好。在国内外历次地震的案例比较分析中，发现钢结构的损坏最轻，钢结构已被公认为是抗震设防地区尤其是强震区的最佳结构形式。

但是，钢结构也存在很明显的缺点。钢结构耐火性较差，当钢材表面温度在 150°C 以内时，其强度变化不大，但当温度达到 600°C 时，其强度几乎降至为零。裸露的钢结构在火灾高温下，15min 后即完全丧失承载能力。再者，钢结构的耐腐蚀性差，易锈蚀，在潮湿、有腐蚀性气体的环境中，钢材的腐蚀速度会快速升高，从而减少结构的工程寿命。此外，钢结构在低温条件下还可能发生脆性断裂。

由于钢结构具有高强度、高性能、高绿色环保的优异特征及良好的抗震性能，目前，钢结构在建筑方面的应用范围迅速扩展，主要体现在大跨度建筑的屋盖结构、工业厂房的承重骨架与吊车梁、轻型房屋钢结构、塔桅结构、容器与管道等壳体结构和高层与超高层建筑等方面。

1.3 工程结构设计的原则与方法

建筑物的产生与发展大致可分为三个阶段，即决策阶段、实施阶段与使用阶段（或运营阶段）。在统一活动过程中，各阶段所涉及的工作内容各有所侧重，但彼此需要协调配合。

实施阶段的主要任务是建筑物的设计与施工。建筑物的设计主要包括设计前准备与施工图设计两部分。对小型与技术简单的建筑物，施工图设计可细分为方案设计与施工图设计两个阶段；对一些重大工程建设项目，施工图设计可细分为方案设计、初步设计、技术设计与施工图设计四个阶段。总体上讲，实施阶段设计过程的最终结果是施工图及设计文件，其内容主要包括建筑施工图、结构施工图与设备安装施工图（如给排水、采暖通风、建筑电气、燃气等）。



【参考图文】

1. 结构设计的基本功能

可靠性、经济性与美观是建筑物所应体现出的基本功能。确保建筑物存在的可靠性是结构设计的基本任务，也是其他功能赖以存在的前提。

结构的可靠性是指结构在规定的时间内，在规定的条件下，完成预定功能的能力，主要包括安全性、适用性和耐久性三个方面。这里所说的规定时间是指结构的设计使用年限。

1) 安全性

安全性是建筑结构应能承受在正常设计、正常施工与正常使用过程中可能出现的各种作用（如荷载、外加变形、温度、收缩等），以及在偶然事件（如地震、爆炸等）发生时或发生后仍能保持必要的整体稳定性，不致发生倒塌。

2) 适用性

适用性是指建筑结构在正常使用过程中，结构及其构件所应具有的良好工作性能。由于外在作用的随机性、结构及其构件自身抗力的变化、施工与使用过程中的人为性或非人为性等因素的影响，结构及其构件会产生一定程度内的变形、裂缝或振动，这是正常的也是不可避免的，但这些现象的出现不会影响正常使用。

3) 耐久性

耐久性是指建筑结构在正常使用、正常维护的条件下，结构及其构件具有足够的安全性、适用性能力，并保持建筑的各项功能直至达到设计使用年限。例如，工程使用材料的锈蚀、腐蚀、风化，构件保护层过薄及出现过宽裂缝等，这些都是影响结构及其构件耐久性的因素，由于它们大多是很难进行确切的定量计算的，通常需要采用相应的构造与预防措施提供保障。



【参考图文】

2. 结构设计的原则

结构设计任务是结构工程师工作的基本内容。在结构设计时，一般应遵循工程设计的基本原则，依据建筑物的重要性等级，保证结构体系与结构基本构件能在预定的时间内与