

高校土木工程专业规划教材

结构设计原理

熊 峰 李章政 李碧雄 钟 声 编著

JIEGOU SHEJI YUANLI

中国建筑工业出版社

013031625

TU318-43
23

高校土木工程专业规划教材

结构设计原理

熊 峰 李章政 李碧雄 钟 声 编著



TU318-43
23

中国建筑工业出版社



北航

C1636541

013031852

图书在版编目 (CIP) 数据

结构设计原理/熊峰等编著. —北京: 中国建筑工程
出版社, 2013. 2

(高校土木工程专业规划教材)

ISBN 978-7-112-15163-9

I. ①结… II. ①熊… III. ①建筑结构-结构设计-高
等学校-教材 IV. ①TU318

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 034682 号

全书分为三篇, 共 15 章。第一篇为结构设计原理基础, 包括绪论、结构上的荷载及其取值、结构设计方法; 第二篇为混凝土结构, 介绍了混凝土材料的性能, 混凝土结构受弯构件、受压构件、受拉构件、受扭构件的受力特点、设计方法和构造要求以及预应力混凝土和桥涵混凝土; 第三篇为钢结构, 内容包括建筑钢材性能和钢结构连接, 以及钢结构受弯构件、轴心受力构件、拉弯和压弯构件的设计方法。

本书可作为高等院校土木工程专业师生的教材, 也可供相关领域工程技术人员参阅。

* * *

责任编辑: 牛 松 王 跃 田立平

责任设计: 李志立

责任校对: 刘梦然 赵 颖

高校土木工程专业规划教材

结构设计原理

熊 峰 李章政 李碧雄 钟 声 编著

*

中国建筑工程出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京同文印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 33¼ 字数: 810 千字

2013 年 3 月第一版 2013 年 3 月第一次印刷

定价: 63.00 元

ISBN 978-7-112-15163-9

(23205)

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)

前 言

国内基本建设快速发展,人才需求持续旺盛,使高校土木工程专业充满活力。随着科技进步以及人才培养目标的变化,土木工程课程体系和教学内容不断与时俱进。《结构设计原理》是土木工程专业最重要的课程之一,它研究工程结构的构成规律和承载能力,讲述不同材料构件的设计方法和构造要求。长久以来它被分为三门课程:《混凝土结构》、《钢结构》和《砌体结构》,其中不乏重复和交叉的内容,课时要求特别长。随着改革的不断深入,多数院校的土木工程专业都在向强基础、宽专业方向发展,压缩课时已是一种趋势;同时由于土木工程专业下设多个专业方向,使得结构设计原理课程成为各方向的共同基础课,需要改变过去以建筑结构设计为主的格局。因此从2000年开始,本书编者致力于结构类课程体系和内容的改革,将三门结构课程的构件设计部分合并,形成《结构设计原理》;将结构设计部分分离作为后续课程《建筑结构设计》。通过近10年的教学实践,慢慢完善了《结构设计原理》课程体系。

本书正是在这样的背景下编写而成,具有如下特点:

(1) 融会贯通的编排体系。全书分为三篇:第一篇为结构设计原理基础,讲述结构概述、结构上的荷载和结构设计统一方法;第二篇为混凝土结构,首先为混凝土材料性能,接下来叙述各类混凝土构件及预应力混凝土和桥涵混凝土;第三篇为钢结构,首先介绍建筑钢材性能和钢结构连接,然后为钢结构各类构件。全书体系既互相呼应以加强结构设计统一方法的贯通,又突出不同材料的特点,讲述各种构件。由于砌体结构设计原理内容较少,同时非建筑工程方向应用不多,为了减少学时,本书没有包括砌体结构设计原理,而将其合并至后续的《建筑结构设计课程》中的砌体结构章节。

(2) 基础理论与规范应用结合。《结构设计原理》在土木工程专业知识体系中是一门承上启下的课程,相对数学、力学等基础课程,它有强烈的专业背景,而对后续的专业课程它又承担着理论基础的角色。因此本书既强调基础性,从基础理论出发讲述设计方法;又强调专业性,结合规范要求讲述实用公式和构造要求。

(3) 更新和拓宽的课程内容。本书混凝土结构部分结合2010年出版的新规范《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010进行了更新,反映了最新设计理论的变化。为适应行业特点,同时考虑到桥梁工程专业方向的后续课程,本书增加了“公路桥涵混凝土结构”一章,系统讲述桥涵混凝土设计方法,也使读者了解设计理论在不同结构类型中的变化。

编者长期从事土木工程专业的教学、科研和工程项目咨询,对传授结构设计原理知识有一定的体会,集多年的思考编写了此教材。作为课程体系改革的一种探索,本书不可避免地存在着缺点和不足,恳请读者提出宝贵意见,在此致以衷心的感谢!

编 者

2012年8月于四川大学

目 录

第1篇 结构设计原理基础

第1章 绪论	1
1.1 工程结构及其发展	1
1.2 工程结构的类型和特点	2
1.3 结构计算简图	7
1.4 结构设计理论的发展过程	10
1.5 课程的性质和本书特点	11
第2章 结构上的荷载及其取值	14
2.1 作用与荷载的概念	14
2.2 建筑结构上的荷载	15
2.3 公路桥涵结构上的作用	23
第3章 结构设计方法	31
3.1 结构的功能要求和极限状态	31
3.2 结构可靠度的基本概念和设计方法	36
3.3 极限状态实用设计表达式	40
3.4 作用组合	42
3.5 结构的耐久性设计	48

第2篇 混凝土结构

第4章 混凝土结构材料的性能	52
4.1 混凝土的力学性能	52
4.2 混凝土的性能指标取值	61
4.3 钢筋的种类及其性能	64
4.4 钢筋与混凝土的黏结	71
4.5 混凝土结构对材料的要求	75
第5章 混凝土结构受弯构件	77
5.1 受弯构件截面及配筋形式	77
5.2 受弯构件的正截面受力特点	78
5.3 受弯构件正截面承载力计算方法	81
5.4 受弯构件斜截面承载力计算	106
5.5 受弯构件裂缝宽度验算	122
5.6 受弯构件挠度验算	127

第 6 章 混凝土结构受压构件	134
6.1 混凝土结构受压构件一般构造要求	134
6.2 轴心受压构件正截面承载力计算	137
6.3 单向偏心受压构件正截面承载力计算	144
6.4 双向偏心受压构件正截面承载力计算	166
6.5 偏心受压构件的斜截面承载力计算	167
6.6 偏心受压构件裂缝宽度验算	169
第 7 章 混凝土结构受拉构件	173
7.1 轴心受拉构件正截面承载力计算	173
7.2 偏心受拉构件正截面承载力计算	173
7.3 偏心受拉构件斜截面承载力计算	175
7.4 受拉构件裂缝宽度验算	177
第 8 章 混凝土结构受扭构件	179
8.1 概述	179
8.2 矩形截面纯扭构件承载力计算	181
8.3 矩形截面弯剪扭构件承载力计算	186
8.4 T 形和 I 形截面受扭构件承载力计算	190
8.5 受扭构件计算公式的适用条件及构造要求	192
第 9 章 预应力混凝土构件	200
9.1 预应力混凝土概述	200
9.2 预应力施工工艺	207
9.3 张拉控制应力与预应力损失	215
9.4 预应力混凝土轴心受拉构件计算	223
9.5 预应力混凝土受弯构件计算	234
第 10 章 公路钢筋混凝土桥涵结构	255
10.1 公路钢筋混凝土桥涵结构设计基础	255
10.2 公路钢筋混凝土桥涵受弯构件	262
10.3 公路钢筋混凝土桥涵受压构件	287
10.4 正常使用极限状态验算	299

第 3 篇 钢 结 构

第 11 章 建筑钢材的性能	304
11.1 建筑结构钢的品种和规格	304
11.2 建筑钢材的主要性能	308
11.3 影响钢材性能的主要因素	312
11.4 钢材的疲劳	320
11.5 钢结构选材要求	324
11.6 钢材及其连接的强度取值	325

第 12 章 钢结构的连接	330
12.1 钢结构的连接方法	330
12.2 焊缝连接的特性	334
12.3 对接焊缝构造与计算	338
12.4 角焊缝构造与计算	342
12.5 螺栓连接构造	356
12.6 普通螺栓连接	358
12.7 高强度螺栓连接	368
12.8 轻钢结构紧固件连接	376
第 13 章 钢结构受弯构件	382
13.1 钢结构受弯构件的形式	382
13.2 钢梁的强度和刚度	385
13.3 钢梁的整体稳定和局部稳定	390
13.4 考虑腹板局部屈曲后强度的计算	400
13.5 钢梁的截面设计	404
13.6 钢梁的拼接和连接	412
第 14 章 钢结构轴心受力构件	421
14.1 轴心受力构件的工程应用	421
14.2 轴心受力构件的强度和刚度	422
14.3 轴心受压构件的整体稳定	426
14.4 实腹式轴心受压构件的局部稳定	441
14.5 轴心受压柱设计	445
14.6 轴心受压柱的柱头和柱脚设计	457
第 15 章 钢结构拉弯和压弯构件	464
15.1 拉弯和压弯构件概述	464
15.2 拉弯和压弯构件的强度和刚度	465
15.3 压弯构件的稳定性	469
15.4 框架柱(压弯构件)的设计	480
15.5 框架柱的连接和柱脚设计	488
附录 设计计算用表	494
参考文献	526

第 1 篇 结构设计原理基础

第 1 章 绪 论

1.1 工程结构及其发展

1.1.1 工程结构概念

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。它承受各种荷载，保证建筑物、构筑物的安全，同时也影响其使用功能。无论房屋建筑、桥梁体系还是其他人类修建的构筑空间，都需要结构支撑体系，否则不能正常工作。

结构设计原理是利用力学、材料学等基本知识，研究保证各种结构安全可靠的理论和设计方法的学科。尽管结构类型众多，材料也不尽相同，但是组成结构的基本构件的受力性能是相同的，设计方法也有共同的规律。因此结构设计原理课程主要研究结构的构成规律、不同材料构件的承载能力和设计方法，是各类工程结构设计的基础知识。

1.1.2 工程结构发展

人类的工程建造有着悠久的历史，工程结构大致经历了古代、近代和现代三个时期的发展。

古代工程结构跨越了漫长的历史，从公元前 5000 年～17 世纪，绵延数千年。我国黄河流域的仰韶文化遗址就发现了公元前 5000 年～公元前 3000 年的房屋结构痕迹。古埃及金字塔建于公元前 2700 年～公元前 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木、砖、石等自然材料。随着冶炼术的进步，铁、青铜也逐步用于结构中。我国古代房屋结构多采用木框架、木楼盖及砖砌墙壁，形式类似现代建筑结构。例如山西应县木塔，为我国现存最高木结构之一，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。比较有代表性的是建于 532 年～537 年间的伊斯坦布尔的索菲亚大教堂，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，为典型的砖结构房屋。古代桥梁结构最早形式是石拱桥。590 年～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。古代结构工程没有理论指导，主要凭经验建造，靠大截面构件堆砌，因此材料利用率低，使用空间狭窄。

近代工程结构从 17 世纪开始至 20 世纪中叶跨越了约 300 年。这一时期，随着科技的进步，新材料不断出现，结构设计理论逐步形成，结构发展突飞猛进。19 世纪中期水泥的产生，使混凝土开始应用；转炉炼钢术的发明，使钢产量大幅增加，为钢筋混凝土结构打下了基础。1886 年发明了预应力技术，解决了混凝土开裂等问题，出现了大跨度结构、高层建筑结构。至 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中。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，采用铸铁框架承重，外墙起维护作用，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，102 层，381m 高，保持世界最高建筑长达 40 年之久。桥梁结构也在快速发展，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，使房屋高度不断增大。1891 年美国建造了 16 层的砌体结构大楼，尽管下部楼层的墙厚达到 1.8m。

现代工程结构始于 20 世纪中叶。第二次世界大战以后，各国经济复苏，土木工程快速发展。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。随着结构理论提高和施工技术的进步，工程结构自重明显减轻，材料耗费不断下降，经济效益显著提高。

钢筋混凝土结构的发展依赖于材料的轻质高强度。目前高强混凝土的强度可达 $80 \sim 100 \text{N/mm}^2$ ，我国已广泛应用 60N/mm^2 的混凝土。同时轻质混凝土（密度一般不大于 18kg/mm^3 ），如陶粒混凝土、浮石混凝土、火山渣混凝土、膨胀混凝土等不断出现，使混凝土结构的高度、跨度都在不断增大，钢筋混凝土已成为应用最广泛的建筑材料。

钢结构的发展主要是由于生产技术的提高，钢产量的不断增加，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，改革开放以后逐渐应用到高层建筑、大跨度的桥梁等。同时钢网架结构的兴起，使大跨度屋盖结构也被钢结构占领。

现代砌体结构发展主要表现在两方面，一是砌体结构大量使用。新中国成立后多层房屋，特别是住宅建筑，几乎都采用了混合结构形式，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。二是砌体结构体系的改进和配筋砌体的应用。由于抗震要求，砌体结构中增设构造柱、圈梁，大大提高了房屋的抗震能力，同时配筋砌体不仅提高了砌体的承载能力，还改善了砌体的延性性能，使砌体结构能在地震区广泛应用。

1.2 工程结构的类型和特点

1.2.1 工程结构按功能分类

土木工程结构按其使用功能可分为：建筑结构、桥梁结构、岩土工程结构、水利工程结构、特种结构等。根据不同使用功能和载荷特点，各种结构具有不同的体系。

1. 建筑结构

建筑结构是房屋建筑的骨架系统，它除承担房屋自身的重量外，还需承受楼面使用活载以及抵御环境荷载（风、地震作用等）。根据建筑的高度、空间跨度等要求，建筑结构可有如下形式：

（1）混合结构。混合结构一般用于多层房屋，它的墙、柱、基础等竖向构件由砌体材料砌筑，承担楼屋盖传来的竖向荷载；楼、屋盖水平体系则由钢筋混凝土材料修建。

（2）排架结构。排架结构多用于单层工业厂房，由排架柱、屋盖系统以及各种支撑组成。排架柱和屋架构成平面排架，承受结构竖向荷载和水平荷载。各榀排架由屋盖支撑和柱间支撑连接形成空间结构，保证结构构件在安装和使用阶段的稳定和安全。

（3）框架结构。框架结构由梁柱杆系构件组成，既承受楼盖传来的竖向荷载，也抵御风、地震等水平作用。框架结构可以形成大空间，建筑平面布置灵活、适应性强、用途广泛。但是框架结构侧向刚度小，在水平荷载作用下，容易产生较大的侧向变形，因此限制了框架结构的使用高度，通常用于 10 层左右的建筑体系。

（4）剪力墙结构。利用建筑物的墙体作为承担垂直荷载和抵抗水平荷载的结构称为剪力墙结构。剪力墙既是承重构件又是维护和分隔构件。剪力墙结构的整体性强，侧向刚度大，在水平荷载作用下产生的变形小，有利于结构抗震，适合于建造更高层的建筑。但剪力墙间距不能太大，使得建筑平面布置不够灵活，通常用于旅馆、办公室等小开间建筑，另外，剪力墙结构的自重也比较大。

（5）框架—剪力墙结构。在框架结构中增设部分剪力墙形成的体系称为框架—剪力墙结构。框架—剪力墙结构将框架与剪力墙结构结合起来，取长补短，既保留了框架结构大空间的优点，又发挥了剪力墙结构侧向刚度好的特长，因而应用十分广泛，目前常用于 20 层左右的高层建筑。

（6）筒体结构。筒体结构是一种空间盒状体系，整体性强、空间刚度大，适合于修建超高层建筑。筒体有三种基本形式：由剪力墙围成的实腹筒、由密柱深梁框架围成的框筒以及四周由桁架围成的桁架筒，并且可以互相组合成筒中筒体系和成束筒体系。筒中筒体系由实腹筒作为内核芯筒，框筒或者桁架筒作为外筒，两者共同抵抗外力。成束筒则将框筒组合起来，形成更强劲的空间体系。

2. 桥梁结构

桥梁按其使用功能可分为铁路桥、公路桥、铁路公路两用桥、城市道路桥（含立交桥）、农村道路桥、人行桥、管线桥和渡槽桥等；按桥身材料可分为木桥、圬工桥（砖、石和钢筋混凝土砌块）、钢筋混凝土桥、预应力混凝土桥、钢桥等；按桥跨结构可分为梁式桥、桁架桥、拱桥、刚架桥、悬索桥、斜拉桥等。桥梁结构所受荷载除了有结构自重，人流活载外，还要考虑车辆活载，并且需要计算由车辆活载带来的动力效应。桥梁结构由四部分组成：桥跨结构（上部结构）、桥墩、桥台结构（下部结构）和墩台基础。

（1）梁式桥。梁式桥以墩台为支承形成一连续梁结构，它在竖向荷载作用下不产生水平反力。梁式桥结构简单，但跨越能力有限，普通钢筋混凝土每跨跨度一般为 5~25m，预应力混凝土可达 10~50m。梁截面形式有实心板式、空心板式，当跨度较大时梁截面可作成 T 形或箱形以增加结构的抗弯能力，减轻自重。

（2）拱桥。拱桥是最古老的桥梁结构形式，它的主要受力结构是拱圈，承受竖向荷载

作用。拱以受压为主，两端支承处有水平反力产生，使得拱圈内的弯矩大大减少，适合于抗拉性能差而抗压性能好的圬工材料。拱桥的跨越能力通常比普通的钢筋混凝土梁桥大得多，加上拱桥造型丰富、曲线优美，在桥梁工程中得到了广泛的应用。

(3) 刚架桥。刚架桥是将桥面梁与支承柱整体连接在一起的桥梁结构。它在竖向荷载作用下，梁主要受弯，柱脚有推力产生，受力状态介于拱桥与梁桥之间。刚架桥有 T 形刚架桥（刚构桥）、斜腿刚架桥和连续刚架桥。T 形刚构便于施加预应力，在两个伸臂端上挂梁后，能形成很大跨度的刚架，通常在大跨度桥梁中应用；斜腿刚架桥造型美观，经常用在跨越陡峭河岸和深邃峡谷的桥梁中；连续刚架桥整体性强，具有很好的抗震性能。

(4) 悬索桥。悬索桥是一种古老的悬吊体系，它通过两个主塔将缆索架起，缆索上固定一定数量的吊杆承受桥面系荷载，桥面上的竖向荷载通过吊杆、缆索传给主塔，缆索由两岸桥台后的巨大的锚碇平衡。悬索桥中的吊杆、缆索受拉，主塔受压，这样可以充分利用不同性能的材料建造，如缆索利用高强钢丝编织而成，主塔则可用钢筋混凝土建造，因此整个结构轻巧，可以跨越很大的跨度，同时施工时可用无支架悬吊拼装，适合在大江、湖海或深沟、深谷时采用。

(5) 斜拉桥。斜拉桥是一种多次超静定结构，利用索塔用若干斜向拉索将桥面梁吊起。由于梁跨内增加了弹性支点，从而减少了梁内弯矩，使梁的截面尺寸减小，跨越能力增大。斜拉桥的抗风稳定性比悬索桥好，并且不需要设集中锚碇，还可用无支架施工，因此目前应用广泛。斜拉桥的拉索可布置成辐射式、平行式、扇式和星式；主梁可分为连续梁、单悬臂梁、T 形刚架和连续刚架；索塔有单柱式、A 形和倒 Y 形。

3. 岩土工程结构

岩土工程结构是指与岩土体相接触的结构物，由于岩土介质的复杂性，使得岩土工程结构不同于一般建筑结构，它除了承受一般结构的荷载如自重、使用活载等外，还受有土体的作用。有时还要考虑土体与结构的共同作用。岩土工程结构包括岩土工程、地下工程、隧道工程中的结构物，通常分为两大类：工程结构基础和砌衬结构（挡土结构）。

(1) 基础。工程结构的荷载最终将通过基础传给地基，根据上部结构的形式，基础的类型可分为两大类：天然浅基础和桩基础。天然浅基础包括墙下条形基础、柱下单独基础、柱下条形基础、柱下交梁基础、片筏基础、箱形基础等；桩基础由承台和桩构成，桩按材料分有钢桩和钢筋混凝土桩；按施工工艺分有预制桩和灌注桩，按受力状态分有挤土桩、部分挤土桩和非挤土桩。

(2) 砌衬结构。在地下工程、隧道工程结构中岩土层接触处必须要有砌衬结构，其作用是承受岩土层和爆炸等静力和动力荷载，并防止地下水和潮气的渗入。砌衬结构的材料一般为钢筋混凝土和砖、石等圬工材料。为充分利用材料的抗压性能，砌衬结构的断面形式一般为圆形、拱形、矩形等。

4. 水利工程结构

水利工程结构主要是挡水建筑物，包括水坝和河堤，其作用是阻挡或拦束水流，壅高或调节上游水位。水坝主要承受上游水作用，除了有足够强度外，还要有较好的抗渗性能。水坝的材料主要是圬工材料，类型有土坝、石坝、混凝土重力坝、混凝土拱坝及溢洪坝等。

5. 特种结构

特种结构是指上述结构以外的具有特殊用途的工程结构,如电视塔、水池和水塔、烟囱和筒仓等。电视塔一般为空间筒体悬臂结构或空间框架结构,由塔基、塔座、塔身、塔楼及桅杆组成,材料通常用钢筋混凝土或钢结构;水池、水塔是给排水工程的构筑物,用于储存液体,主要用钢筋混凝土材料修建;烟囱是工业常用构筑物,可用砖、钢筋混凝土或型钢制造,由筒身、内衬、隔热层、基础组成。其形式有单筒、多筒和筒中筒;筒仓是储存粒状和粉状松散物体(如粮食、水泥等)的立式容器,材料多为钢筋混凝土或钢结构,平面形状可为圆形、矩形、多边形等。

1.2.2 工程结构按材料分类

工程结构按使用的材料可分为四类:钢筋混凝土结构、砌体结构、钢结构和组合结构。

1. 钢筋混凝土结构

钢筋混凝土结构是我国目前最常用的结构形式,它广泛地应用在建筑结构、桥梁结构、地下工程结构、水利工程结构和各式各样的特种结构中。据不完全统计,仅我国每年混凝土用量就达40亿 m^3 ,钢筋用量1亿t,可以预见混凝土将是今后相当长时期内的一种重要的工程材料。

混凝土结构有如下优点:

(1) 强度高。与砖木结构相比,强度较高。在某些情况下,可替代钢结构,因而能节约钢材。

(2) 耐久性好。混凝土包裹着钢筋,钢筋不易锈蚀,与钢结构相比,钢筋混凝土结构几乎不用保养和维修。

(3) 耐火性好。混凝土是不良导体,传热慢,只要混凝土有足够的厚度,遭受火灾时,钢筋在1~2h内不会达到软化的温度而导致结构破坏。

(4) 可模性好。可根据设计需要浇成各种形状的构件和结构,适合作复杂的结构,如空心楼板、空间薄壳等。

(5) 整体性好。现浇钢筋混凝土结构在空间浇筑成整体,没有连接部位,具有较好的抗震、抗爆性能。

(6) 易于就地取材。混凝土中的砂、石等材料分布广泛,能就地取材,不需要长途运输,因而造价低。

混凝土结构也有以下缺点:

(1) 自重较大。结构比较笨重,不利于修建大跨度、超高层等结构。

(2) 抗裂性差。钢筋混凝土结构受拉时容易开裂,不适合于抗裂要求高的结构。

(3) 施工周期长。钢筋混凝土结构施工工序多,工期长,雨天、冬季施工困难。

随着技术的进步,以上的缺点正在逐渐被克服,如采用轻质高强混凝土以减轻结构自重,采用预应力技术以改善抗裂性能,采用装配式构件以加快施工速度。

2. 砌体结构

砌体结构在我国目前大量地用于多层住宅结构中,桥梁方面,仍有少量的石拱桥存在。砌体结构有着如下优点:

(1) 材料易于就地取材,造价低。砌体结构中的材料几乎都是天然材料,到处都有,

来源方便，比较经济。

(2) 砌体结构有很好的耐火性，以及较好的化学稳定性和空气稳定性。

(3) 保温隔热性好，适宜作墙体材料。

砌体结构的主要缺点是：

(1) 强度低。砂浆和砖石之间的黏结力较弱，因此无筋砌体的抗拉、抗弯和抗剪性能都较差。

(2) 自重大。由于砌体结构强度低，必须采用大截面的构件，因此结构的体积大、自重大。

(3) 砌体结构砌筑量大，施工进度缓慢。

3. 钢结构

随着我国钢产量的增加，钢结构在我国的应用日趋普遍。除了用于重型工业厂房、大跨度屋盖体系、桥梁体系等中，高层、高耸结构也开始应用全钢结构，同时小型的轻钢住宅和多层房屋也在少数地区开始实践。与其他材料的结构相比，钢结构有如下特点：

(1) 重量轻、强度高。钢材虽然自身密度很大，但由于钢材强度高，在相同的承重条件下，钢结构构件截面小，因而比其他结构轻得多。

(2) 钢材的塑性和韧性好。有利于结构承受动力荷载，避免结构发生脆性破坏。

(3) 材性均匀，可靠性好。钢材的内部组织均匀，非常接近匀质体，与力学计算中的一些基本假定相符合，计算结果精确。

(4) 制造与施工方便。钢结构在工厂里加工，制作简便、精度高。构件在现场拼装，施工方便，工期短。

(5) 耐热性好，耐火性差。钢材在温度超过 150°C 时就需采取防护措施，在 500°C 以上时，结构就会丧失承载能力。

(6) 钢材易于锈蚀，维修费用高。

4. 组合结构

组合结构是指混凝土与钢的组合物。区别于普通的钢筋混凝土结构，组合结构的含钢率大，加劲钢通常为型钢或管材。常见的组合方式有外包混凝土型，如工字钢、槽钢混凝土柱与梁（也称劲性混凝土）；内填混凝土型，如圆钢管混凝土、方钢管混凝土；叠合型，如压型钢板楼盖、型钢—混凝土组合梁等。组合结构由于兼有钢结构和混凝土结构的优点，在超高层建筑、大跨度桥梁等大型结构中应用广泛，如我国著名的高层建筑上海浦东的金茂大厦（421m，88层）就是混凝土与钢材的组合结构，世界上跨度最大的拱桥万县长江大桥（单跨跨度 420m）也是劲性混凝土组合结构。

组合结构有如下主要特点：

(1) 强度高。由于用型钢代替钢筋混凝土中的钢筋，使得组合结构构件的强度大幅度提高。另外钢管混凝土一类的组合结构，还由于外钢管的套箍效应，使得强度增值，即组合后的钢管混凝土的强度高于混凝土与钢管的强度之和。

(2) 施工快。组合结构比钢筋混凝土结构施工快捷。特别是钢管混凝土、压型钢板楼盖等组合结构由于省掉了模板，施工更为迅速。

(3) 耐火性好。组合结构由于外包混凝土，耐火性能明显优于钢结构。即使是钢结构外露的组合结构如钢管混凝土结构，也由于里面混凝土能够吸收一定的热量，使其耐火时

间延长,耐火性能增强。

1.2.3 组成结构的基本元素——构件

工程结构无论复杂与否,都是由一系列的构件组成。框架结构由梁柱构成,上承式拱桥可分解为受压拱圈、立柱和桥面梁板。结构的基本构件根据受力性能可分为以下几类:

(1) 受弯构件。也称为梁,为水平跨越构件,主要承受横向荷载,内力形式为弯矩、剪力。利用不同的材料可建造钢筋混凝土梁、钢梁以及钢与混凝土组合梁。梁设计主要考虑弯矩引起的正截面破坏、剪力引起的斜截面的破坏,钢梁还须考虑整体稳定和局部稳定问题,除此之外梁还要验算刚度,以保证梁在正常使用时不会变形过大,对于钢筋混凝土梁还必须限制裂缝宽度。

(2) 受压构件。分为轴心受压构件和偏心受压构件,主要承受竖向荷载,内力形式有轴向压力、弯矩以及剪力。除了建筑中的柱属于受压构件外,房屋中的墙体、桥梁中的桥墩、索塔、拱肋(圈)、岩土工程中的挡土墙、砌衬结构等都属于受压构件。受压构件通常利用受压性能好的材料如砖石、混凝土修建,钢结构中也有钢柱。受压构件设计除考虑由于材料强度不足引起的受压破坏外,还要考虑稳定问题,构件必须要有足够的长细比或高厚比,以避免发生失稳破坏。

(3) 受拉构件。受拉构件也可分为轴心受拉构件和偏心受拉构件,主要承受轴向拉力、弯矩及剪力。屋架中的下弦杆、受拉腹杆;圆形水池的环向池壁;桥梁中的拉索等都属于受拉构件。受拉构件常用的材料为钢,也可用钢筋混凝土。受拉构件设计需要考虑正截面承载能力、斜截面承载能力,对于钢筋混凝土受拉构件还须根据使用要求,作抗裂度或裂缝宽度验算。

(4) 受扭构件。受扭构件可分为纯受扭构件和弯剪扭构件,前者仅受扭矩作用,后者除扭矩外,还受有弯矩和剪力作用。扭矩在构件截面上主要产生剪应力,因此构件设计要验算斜截面的抗扭承载能力,对于钢结构受扭构件,还要验算整体稳定性。

1.3 结构计算简图

结构计算简图是进行结构计算时用以代替实际结构的简化模型。结构设计首先要根据力学原理对结构进行受力分析,得出各类构件的内力,因此需要将实际结构抽象成力学模型即结构计算简图。计算简图首先要反映实际结构的工作性能,否则会导致错误的结果;同时也要作必要的简化,便于计算。

实际结构是一个复杂的系统,要将其简化成计算简图,包括体系本身的简化和支承、节点等的简化。简化的程度受计算手段、结构的重要性和计算内容等因素的制约。如计算手段越先进,结构越重要,计算简图则可越精确,计算内容如为静力计算,计算简图可精确些,反之如为稳定计算、动力计算,则简图可相应粗略些。计算简图一经确定,则在构造上要采取措施保证实际结构与计算简图相符,以免产生过大的误差。

1.3.1 支座、节点的简化

1. 支座的简化

结构计算简图中通常有固定支座、铰支座和滚动铰支座三种支座情况,有时还有弹性支座,实际结构根据支承情况,可简化成上述中的一种。

(1) 固定支座，能够约束结构的转动和移动，承受弯矩、水平力和垂直力作用。实际结构中整浇的柱与基础或墙与基础可简化为固定支座，如图 1-1 (a) 所示。

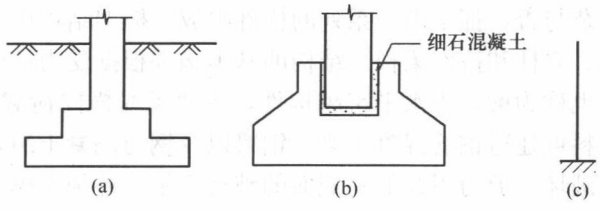


图 1-1 固定支座

(2) 铰支座。不能约束结构的转动，但能约束结构的移动，可以承受水平与垂直力，但不能承受弯矩。理论上的铰支座可以自由转动，但实际结构的转动是有限的，因此当支座处不能上下左右移动，但有微小的转动或松动时可简化成铰支座。如预制钢筋混凝土柱杯形基础，若杯口周围用细石混凝土填实时，可简化为固定基础，如图 1-1 (b) 所示；若杯口四周填入沥青麻丝时则简化为铰支座，如图 1-2 (a) 所示。又如支承在砖墙上的钢筋混凝土梁，由于梁端伸入墙内不多，且砖墙刚度小，约束力有限，因此一般简化为铰支座。

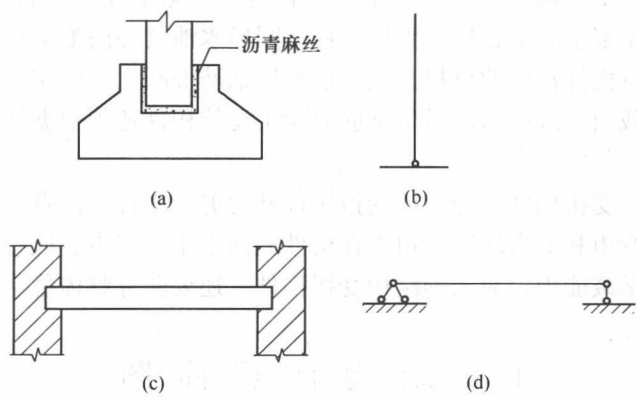


图 1-2 铰支座与滚动铰支座

(3) 滚动铰支座。只能约束结构竖向移动。滚动铰支座只承受竖向的力，不能承受水平力和弯矩。支承在砖墙上的钢筋混凝土梁，梁端不仅存在微小的转动，在水平方向上梁可以有少许的滑动，因此该梁简化成一端为铰支座，另一端为滚动铰支座，如图 1-2 (d) 所示。

(4) 弹性支座。当实际结构的支承情况介于铰支座和固定支座之间时，可简化为弹性支座。在基础中当地基土较软，不足以提供较强的嵌固力，使基础在弯矩作用下能产生转动时，柱支座就可看成弹性支座，弹性支座的反力与其位移的大小有关，计算时仅利用平衡方程无法求出，因此结构计算复杂，只有在一些特定的场合下才考虑。

2. 节点的简化

结构中两个或两个以上的杆件连接处称为节点。实际节点的构造方式很多，计算时通常简化成三类：刚节点、铰节点和刚域。

(1) 刚节点。杆件在节点处不产生相对移动和转动，在结构受力过程中刚节点能传递

力与弯矩。现浇的钢筋混凝土梁柱节点、按刚性连接设计的钢结构梁柱节点等都属于刚节点，如图 1-3 (a) 所示。

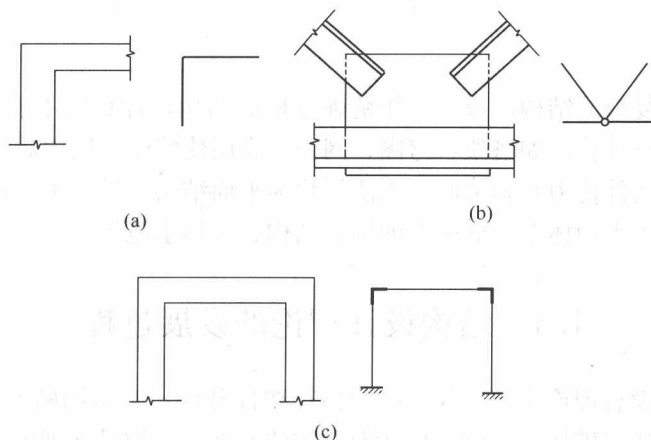


图 1-3 节点的简化

(a) 刚节点；(b) 铰节点；(c) 刚域

(2) 铰节点。杆件在节点处能够自由转动，铰节点在结构受力时仅能传递轴力和剪力，不能传递弯矩。排架体系中，屋架和柱之间经常用焊接方式连接，该节点就可简化为铰节点。钢桁架中，各方向上的杆件通过节点板焊接在一起形成的节点通常也简化为铰节点，如图 1-3 (b) 所示。

(3) 刚域。在高层建筑、水利工程结构和地下结构中，常常遇到厚度或宽度较大（超过杆长的 $1/5$ ）的杆件形成的刚架，称之为壁式刚架或厚壁刚架。这种刚架的节点区范围大、刚度大，相当于一个刚性区域，因此把这种特殊节点称为刚域。计算结构时，刚域内的杆件视为刚性杆 ($I=\infty$)，刚域外的杆件仍然看成弹性杆，如图 1-3 (c) 所示。

1.3.2 结构体系简化

实际中的结构都是空间体系，如都按空间结构进行计算则比较复杂。事实上许多形状规则的结构，当荷载作用在杆轴平面内时，可略去其他平面杆件的影响，将其简化为平面结构，以简化计算。因此结构体系计算简图可分为两大类：平面体系和空间体系。

1. 平面体系

平面结构是指结构各杆件的轴线位于同一平面内，当作用的荷载也为平面荷载时，结构的变形应位于杆轴平面内的一类结构。实际结构虽为空间体系，但可通过取计算单元简化为平面结构来进行计算。

对地下工程的砌衬结构、挡土墙、条形基础等条状结构，可截取一个单位宽度的计算单元，这样计算简图就简化成了平面体系。

桥梁结构中的梁桥、刚架桥本身就是平面结构，拱桥中的肋拱桥，也可取单榀拱肋进行计算。

单层工业厂房承重体系主要是横向平面内由柱与屋架组成的排架，计算时选取横向的一榀排架，将屋架以实体的横梁代替，形成了平面排架计算简图。

框架结构房屋实际上是一个空间刚架体系，计算时一般沿横、纵向取出一榀一榀的框

架按平面结构进行受力分析。

高层建筑中的剪力墙结构，只要体型规整，也可取出单榀的剪力墙按平面结构进行计算。

2. 空间体系

另外一些相对复杂的结构，或需要作精确分析的结构，计算时不能简化成平面体系，必须按空间体系进行计算。如塔架、穹窿、网壳、高层建筑中的筒中筒结构等，由于结构复杂，不同平面的构件传力互相关联，无法简化为平面结构；另一类结构虽简单，但体型复杂，也不宜简化为平面体系，如弧形的框架结构、圆形水池等。

1.4 结构设计理论的发展过程

古代结构设计没有理论指导，仅凭经验估算构件截面，常常因断面过大而浪费材料，有时又因估计不足造成破坏。直到近代随着科学的发展，结构设计理论才逐渐建立，成为指导工程结构设计的基础。

最早的设计理论称为容许应力法，始于 19 世纪，应用了上百年。随后在 20 世纪 40 年代发展了极限状态设计方法，一直应用至今。

1.4.1 容许应力法

17 世纪意大利学者伽利略出版了专著《关于两门新科学的谈话和数学证明》，首次论述了建筑材料的力学性质和梁的强度。不久牛顿又总结了力学的三大定律，为土木工程设计奠定了基础。1744 年欧拉建立了柱的压屈理论，解决了工程结构的稳定问题。正是由于数学、力学的不断发展，结构设计理论逐渐从无到有，从粗略到精确，形成了一门完善的学科。

1826 年法国人纳维出版了《材料力学》，提出了容许应力法，创立了早期结构设计方法。容许应力法以弹性理论为基础，确定结构特定部位的应力，使其不超过材料的极限应力，其表达式为

$$\sigma \leq [\sigma] = \frac{\sigma^0}{K}$$

K 为安全系数，主要以经验而定。 σ^0 是通过实验确定的材料极限应力。

容许应力法计算简单，概念清楚，至今仍在材料力学中使用，作为材性均匀的构件的设计方法。但该方法的量值都是确定值，无法定量估算结构的安全可靠度。并且仅用单一的安全系数 K ，不能反映结构的各种变异，同时安全系数的制定缺乏依据，往往由经验或者实验确定。对于混凝土、砖等非线性材料，由于材性离散，需要高安全系数保证，造成设计不经济，材料利用不充分。

1.4.2 极限状态设计方法

20 世纪 40 年代，为满足非线性材料的设计，学者们开始研究按破损阶段计算的设计方法，即极限状态设计方法。极限状态设计方法考虑了结构的塑性发展，以结构满足功能要求的特定状态为计算依据，将概率分析引入结构设计中，用结构的失效概率衡量结构的可靠性，这样不仅充分利用了材料，更重要的是对结构可靠度有了较精确的描述，使结构设计更加安全合理。