



住房城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材

高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材

(按高等学校土木工程本科指导性专业规范编写)

钢结构基本原理

(第二版)

(按《钢结构设计标准》GB 50017—2017 编写)

何若全 主 编

李国强 主 审

中国建筑工业出版社

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材
(按高等学校土木工程本科指导性专业规范编写)

钢结构基本原理 (第二版)

(按《钢结构设计标准》GB 50017—2017 编写)

何若全	主 编
李启才	副主编
方 恬	编 写
崔 佳	编 写
姚江峰	编 写
吴 冲	主 审
高晓莹	主 审
李国强	主 审



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

钢结构基本原理/何若全主编. —2 版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2018. 4

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材 (按高等学校土木工程本科指导性专业规范编写)

ISBN 978-7-112-21835-6

I. ①钢… II. ①何… III. ①钢结构-高等学校-教材 IV. ①TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 032582 号

本教材是在第一版基础上, 根据新颁布的《钢结构设计标准》GB 50017—2017 和《公路钢结构桥梁设计规范》JTGD64—2015 等规范、规程以及教材使用中收集的意见和建议修订而成。

本教材按照《高等学校土木工程本科指导性专业规范》编写, 严格遵循专业规范编制的基本原则, 对专业规范提出的核心知识做到了完全覆盖。这些核心知识是土木工程专业包括建筑工程、道路与桥梁工程、地下工程和铁道工程几个方向必须掌握的核心内容。本教材只讲述钢结构的基本原理, 教材体系按照传统的以构件类型的顺序编排, 使学生感觉直观, 易于与工程最大程度的靠近。每个重要知识点之后, 都跟随着例题进行详细地解说, 可使学生在学习钢结构时尽可能增加工程知识。

为更好地支持本课程教学, 此次修订, 在教材中尝试插入二维码链接小视频和短文章, 使学生能更加高效地学习重要的概念, 便捷了解一些新知识和行业发展的新动态。此外, 本书作者制作了配套的教学课件, 有需要的读者可以发送邮件至: jiangongkejian@163.com 免费索取。

责任编辑: 吉万旺 王 跃

责任校对: 李美娜

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材
(按高等学校土木工程本科指导性专业规范编写)

钢结构基本原理 (第二版)

(按《钢结构设计标准》GB 50017—2017 编写)

何若全 主 编

李启才 副主编

方 恬 崔 佳 吴 冲 编 写

姚江峰 高晓莹

李国强 主 审

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

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

廊坊市海涛印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 21 字数: 441 千字

2018 年 9 月第二版 2018 年 9 月第九次印刷

定价: 45.00 元 (赠课件)

ISBN 978-7-112-21835-6

(31689)

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)

本系列教材编审委员会名单

主 任：李国强

常务副主任：何若全

副 主 任：沈元勤 高延伟

委 员：（按拼音排序）

白国良	房贞政	高延伟	顾祥林	何若全	黄 勇
李国强	李远富	刘 凡	刘伟庆	祁 皓	沈元勤
王 燕	王 跃	熊海贝	阎 石	张永兴	周新刚
朱彦鹏					

组 织 单 位：高等学校土木工程学科专业指导委员会
中 国 建 筑 工 业 出 版 社

出版说明

近年来,我国高等学校土木工程专业教学模式不断创新,学生就业岗位发生明显变化,多样化人才需求愈加明显。为发挥高等学校土木工程学科专业指导委员会“研究、指导、咨询、服务”的作用,高等学校土木工程学科专业指导委员会制定并颁布了《高等学校土木工程本科指导性专业规范》(以下简称《专业规范》)。为更好地宣传贯彻《专业规范》精神,规范各学校土木工程专业办学条件,提高我国高校土木工程专业人才培养质量,高等学校土木工程学科专业指导委员会和中国建筑工业出版社组织参与《专业规范》研制的专家编写了本系列教材。本系列教材均为专业基础课教材,共20本,已全部于2012年年底出版。此外,我们还依据《专业规范》策划出版了建筑工程、道路与桥梁工程、地下工程、铁道工程四个主要专业方向的专业课系列教材。

经过五年多的教学实践,本系列教材获得了国内众多高校土木工程专业师生的肯定,同时也收到了不少好的意见和建议。2016年,本系列教材整体入选《住房城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材》,为打造精品,也为了更好地与四个专业方向专业课教材衔接,使教材适应当前教育教学改革的需求,我们决定对本系列教材进行修订。本次修订,将继续坚持本系列规划教材的定位和编写原则,即:规划教材的内容满足建筑工程、道路与桥梁工程、地下工程和铁道工程四个主要方向的需要;满足应用型人才培养要求,注重工程背景和工程案例的引入;编写方式具有时代特征,以学生为主体,注意新时期大学生的思维习惯、学习方式和特点;注意系列教材之间尽量不出现不必要的重复;注重教学课件和数字资源与纸质教材的配套,满足学生不同学习习惯的需求等。为保证教材质量,系列教材编审委员会继续邀请本领域知名教授对每本教材进行审稿,对教材是否符合《专业规范》思想,定位是否准确,是否采用新规范、新技术、新材料,以及内容安排、文字叙述等是否合理进行全方位审读。

本系列规划教材是实施《专业规范》要求、推动教学内容和课程体系改革的最好实践,具有很好的社会效益和影响。在本系列规划教材的编写过程中得到了住房城乡建设部人事司及主编所在学校和学院的大力支持,在此一并表示感谢。希望使用本系列规划教材的广大读者继续提出宝贵意见和建议,以便我们在本系列规划教材的修订和再版中得以改进和完善,不断提高教材质量。

高等学校土木工程学科专业指导委员会
中国建筑工业出版社
2017年12月

第二版前言

2011年本书第一版出版发行以来,得到了许多高校教师和学生的热切关注,我们在教学中不断修正和优化,也收获了许多新的体会。另一方面,随着《钢结构设计标准》GB 50017—2017和《公路钢结构桥梁设计规范》JT-GD 64—2015的颁布,一些新的设计理念和设计原则也先后出台。为了紧跟时代的变化,本书在内容和形式上做了一些调整:

1. 随着新材料的推广和技术手段的成熟,规范中一些新的精神在教材里都有所体现,比如关于焊缝的构造要求、等边角钢轴心受压构件肢件宽厚比限值、不必计算梁整体稳定的构造要求等。教材同时介绍了我国新增钢种Q460和Q345GJ的应用情况。

2. 增加了截面板件宽厚比等级的概念,并因此对材料选择、板件局部稳定计算等进行了相应的调整。

3. 引入了疲劳破坏的新计算公式和构造分类办法;增加了防止钢结构脆断的要求。

4. 对原教材表述不合理或不清晰之处做了必要的调整,纠正了个别错误。优化了每章的“小结及学习指导”和“思考题”。

5. 本教材在适当章节插入二维码链接小视频和短文章,使学生更加高效地学习重要的概念,便捷了解一些新知识和行业发展的新动态。

参加本书修订工作的有:何若全(主编,第1、2章,苏州科技大学),李启才(副主编,第7章,苏州科技大学),方恬(第3、6章,苏州科技大学),崔佳(第5章,重庆大学),姚江峰(第4章,苏州科技大学),高晓莹(第2章疲劳部分、附录,苏州科技大学),吴冲(编写了全书有关钢桥的论述和例题,同济大学)。全书在集体讨论、相互校核的基础上由主编修改定稿。随书赠送的PPT课件由姚江峰、高晓莹编辑制作。书中插入的部分动画由华南理工大学王湛提供。同济大学李国强对全书进行了细致的审阅。

本书在内容取舍上完全符合《高等学校土木工程本科指导性专业规范》对核心知识点的要求,并体现了本身的优势和特色。本书可能存在一些不妥之处,敬请读者提出宝贵意见。

编者
2017年12月

第一版前言

2011年10月,住房和城乡建设部与全国高等学校土木工程学科专业指导委员会颁布了“高等学校土木工程本科指导性专业规范”,对土木工程本科专业教学内容进行了全面整合。“本科专业规范”按照教育部高教司的要求,规范了教学的基本内容,强调拓宽“大土木”的专业基础知识,把基本的教学内容设置在最小的范围。在这个原则精神的指导下,我们组织编写了《钢结构基本原理》,作为应用型人才培养的核心知识(专业基础课)教材。

本教材以阐述基本概念、基本理论为重点,这些基本概念和基本理论在学生面对各种钢结构工程项目时,不局限于对个别规范条文的简单套用,能够把这些概念和理论融于各类工程的设计、施工、管理中。同时,本教材覆盖了建筑工程、道桥工程、地下工程、铁道工程等专业方向钢结构工程的核心内容,为各专业方向知识拓展奠定了基础。这些核心内容既是宽口径土木工程专业所要求的,也是今后学生面临不同行业的钢结构工程所必须掌握的。

本教材具有以下特点:①对一些理论推导和论述做了适当简化,对一些难点问题采用楷体给予详细解释,内容安排上按照钢结构基本构件类型的顺序编排,适合于应用型人才培养的定位;②重要的知识点后面紧跟例题,使学生能够循序渐进地掌握知识;③本书在重点章节安排了建筑工程和桥梁工程“以工程实例为依据的钢柱和钢梁综合例题”,能够使学生加深对钢结构基本原理及工程应用的理解;④书后的附录按照最近颁布的国家、行业标准编制,反映了与钢结构相关的材料、规范等方面的最新变化;⑤教材每章都安排了“知识点、重点、难点”和“小结及学习指导”,并附有PPT课件,方便教师教学和学生自学;⑥一些比较重要的选读内容用*标注,供学生自学或教师选择。

参加本书编写工作的有:何若全(主编,第1、2章,苏州科技学院),李启才(副主编,第7章、附录,苏州科技学院),方恬(第3、6章,苏州科技学院),崔佳(第5章,重庆大学),姚江峰(第4章,苏州科技学院)。吴冲(同济大学)编写了全书有关桥梁的论述和例题。全书由主编修改定稿。随书赠送的PPT课件由姚江峰、高晓莹(苏州科技学院)编辑、绘制。苏州科技学院多位研究生对例题、习题、附表数据进行了计算和校对,有关老师在教材编写中给予了各方面的支持。同济大学李国强教授对全书进行了细致地审阅。

本教材是按照新颁布的“高等学校土木工程本科指导性专业规范”编写的,在内容取舍、前后衔接等方面难免存在不妥之处。由于水平限制,对于书中的错误和需要完善的地方,敬请读者提出宝贵意见!

编者

2011年10月

高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材
(按高等学校土木工程本科指导性专业规范编写)

征订号	书 名	作者	定价
V21081	高等学校土木工程本科指导性专业规范	土木工程专业 指导委员会	21. 00
V20707	土木工程概论(赠课件)	周新刚	23. 00
V22994	土木工程制图(含习题集、赠课件)	何培斌	68. 00
V20628	土木工程测量(赠课件)	王国辉	45. 00
V21517	土木工程材料(赠课件)	白宪臣	36. 00
V20689	土木工程试验(含光盘)	宋 彧	32. 00
V19954	理论力学(含光盘)	韦 林	45. 00
V23007	理论力学学习指导(赠课件素材)	温建明 韦 林	22. 00
V20630	材料力学(赠课件)	曲淑英	35. 00
V31273	结构力学(第二版)(赠课件)	祁皑	55. 00
V31667	结构力学学习指导	祁皑	44. 00
V20619	流体力学(赠课件)	张维佳	28. 00
V23002	土力学(赠课件)	王成华	39. 00
V22611	基础工程(赠课件)	张四平	45. 00
V22992	工程地质(赠课件)	王桂林	35. 00
V22183	工程荷载与可靠度设计原理(赠课件)	白国良	28. 00
V23001	混凝土结构基本原理(赠课件)	朱彦鹏	45. 00
V31689	钢结构基本原理(第二版)(赠课件) (按《钢结构设计标准》GB 50017—2017 编写)	何若全	40. 00
V20827	土木工程施工技术(赠课件)	李慧民	35. 00
V20666	土木工程施工组织(赠课件)	赵 平	25. 00
V20813	建设工程项目管理(赠课件)	臧秀平	36. 00
V32134	建设工程法规(第二版)(赠课件)	李永福	42. 00
V20814	建设工程经济(赠课件)	刘亚臣	30. 00
V26784	混凝土结构设计(建筑工程专业方向适用)	金伟良	25. 00
V26758	混凝土结构设计示例	金伟良	18. 00
V26977	建筑结构抗震设计(建筑工程专业方向适用)	李宏男	38. 00
V29079	建筑工程施工(建筑工程专业方向适用)(赠课件)	李建峰	58. 00
V29056	钢结构设计(建筑工程专业方向适用)(赠课件)	于安林	33. 00
V25577	砌体结构(建筑工程专业方向适用)(赠课件)	杨伟军	28. 00
V25635	建筑工程造价(建筑工程专业方向适用)(赠课件)	徐 蓉	38. 00

续表

征订号	书 名	作者	定价
V30554	高层建筑设计(建筑工程专业方向适用)(赠课件)	赵 鸣 李国强	32.00
V25734	地下结构设计(地下工程专业方向适用)(赠课件)	许 明	39.00
V27221	地下工程施工技术(地下工程专业方向适用)(赠课件)	许建聪	30.00
V27594	边坡工程(地下工程专业方向适用)(赠课件)	沈明荣	28.00
V25562	路基路面工程(道路与桥工程专业方向适用)(赠课件)	黄晓明	66.00
V28552	道路桥梁工程概预算(道路与桥工程专业方向适用)	刘伟军	20.00
V26097	铁路车站(铁道工程专业方向适用)	魏庆朝	48.00
V27950	线路设计(铁道工程专业方向适用)(赠课件)	易思蓉	42.00
V27593	路基工程(铁道工程专业方向适用)(赠课件)	刘建坤 岳祖润	38.00
V30798	隧道工程(铁道工程专业方向适用)(赠课件)	宋玉香 刘 勇	42.00

注：本套教材均被评为《住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材》。

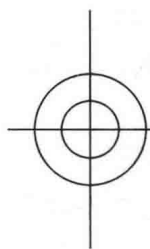
目 录

第1章 绪论	1	2.5.4 钢结构的疲劳验算	19
本章知识点	1	2.6 影响钢材性能的主要因素	25
1.1 钢结构的特点	1	2.6.1 化学成分的影响	25
1.2 钢结构的发展现状及合理应用范围	2	2.6.2 冶金缺陷	26
1.3 钢结构构件的分类	3	2.6.3 钢材硬化的影响	26
1.4 钢结构设计的基本方法	5	2.6.4 温度的影响	27
1.4.1 钢结构的极限状态	6	2.6.5 应力集中的影响	27
1.4.2 钢结构的设计表达式	7	2.7 钢结构用钢材的种类和规格	28
小结及学习指导	8	2.7.1 钢材的种类	28
思考题	9	2.7.2 钢材的选择	29
第2章 钢结构的材料	10	2.7.3 钢材的规格	32
本章知识点	10	小结及学习指导	34
2.1 钢材在单向均匀受拉时的应力-应变关系	10	思考题	34
2.2 钢结构用钢的几项重要性能指标	12	第3章 钢结构的可能破坏形式	35
2.2.1 钢材的强度和变形指标	12	本章知识点	35
2.2.2 钢材的塑性性能指标	12	3.1 概述	35
2.2.3 钢材物理性能指标	13	3.2 钢结构的强度破坏	36
2.2.4 钢材的韧性	13	3.2.1 受拉钢构件的强度破坏	36
2.2.5 钢材的冷弯性能	14	3.2.2 受弯钢构件的强度破坏	36
2.2.6 钢材的可焊性	14	3.3 钢结构的整体失稳破坏	37
2.2.7 钢材沿厚度方向的性能	14	3.3.1 钢结构的整体失稳	37
2.3 钢材在单轴反复应力作用下的工作性能	15	3.3.2 钢构件的整体失稳	37
2.4 钢材在复杂应力作用下的工作性能	16	3.4 钢结构的局部失稳破坏	38
2.5 疲劳破坏	16	3.4.1 结构的局部失稳	38
2.5.1 基本概念	17	3.4.2 构件的局部失稳	39
2.5.2 钢材的疲劳破坏	18	3.4.3 按板件宽厚比大小确定的构件截面等级(截面板件宽厚比等级)	39
2.5.3 钢结构的疲劳破坏及影响因素	19	3.5 钢结构的疲劳破坏	41
		3.6 钢结构变形破坏	41
		3.6.1 构件的变形破坏	42
		3.6.2 结构的变形破坏	42
		3.7 钢结构的脆性断裂破坏	43
		3.7.1 结构脆性断裂破坏的实例	43

3.7.2 引起脆性断裂的主要原因	43	5.1 轴心受力构件的强度和刚度 ...	105
3.7.3 防止脆性断裂的措施	44	5.1.1 轴心受力构件的强度计算	105
小结及学习指导	45	5.1.2 刚度计算	107
思考题	46	5.2 轴心受压构件的整体稳定	108
第4章 钢结构的连接	47	5.2.1 理想轴心受压构件的屈曲	109
本章知识点	47	5.2.2 理想轴心受压构件的弹性弯曲 屈曲	110
4.1 概述	47	5.2.3 理想轴心受压构件的弹塑性弯曲 屈曲	112
4.2 焊接连接的方法及特性	49	5.2.4 初始缺陷对轴心受压构件稳定 承载力的影响	112
4.2.1 焊接连接的方法及焊缝的 形式	49	5.2.5 实际轴心受压构件的整体稳定 承载力和多柱子曲线	120
4.2.2 焊缝的缺陷及质量检查标准 ...	51	5.3 轴心受压构件的局部稳定	130
4.2.3 焊接残余应力和焊接残余 变形	52	5.3.1 板件的局部稳定性	130
4.2.4 常用焊接连接的表示符号	57	5.3.2 轴心受压矩形薄板的 临界力	131
4.3 对接焊缝连接的构造和计算	58	5.3.3 轴心受压构件组成板件的容许 宽厚比	133
4.3.1 对接焊缝连接的构造	58	5.3.4 腹板屈曲后强度的利用	135
4.3.2 对接焊缝连接的计算(焊透的对 接焊缝)	59	5.3.5 《公路钢结构桥梁设计规范》 JTGD 64—2015 中有效截面的 计算方法	136
4.4 角焊缝连接的构造和计算	63	5.4 实腹式轴心受压构件的设计 ...	138
4.4.1 角焊缝连接的构造和受力 性能	63	5.4.1 实腹式轴心受压构件的截面 形式	138
4.4.2 直角角焊缝计算的基本公式 ...	66	5.4.2 实腹式轴心受压构件的截面 设计	139
4.4.3 常用连接方式的直角角焊缝的 计算	67	5.5 格构式轴心受压构件的设计 ...	142
*4.4.4 斜角角焊缝及部分焊透的对接 焊缝的计算	77	5.5.1 格构式轴心受压构件的组成及 应用	142
4.5 螺栓连接的形式和构造要求	79	5.5.2 格构式轴心受压构件的横向 剪力	143
4.5.1 螺栓连接的形式及特点	79	5.5.3 格构式轴心受压构件的整体 稳定性	144
4.5.2 螺栓的排列和构造要求	80	5.5.4 格构式轴心受压构件分肢的 稳定性	147
4.6 螺栓连接的计算	82	5.5.5 格构式轴心受压构件的截面 设计	147
4.6.1 普通螺栓连接的计算	82		
4.6.2 高强度螺栓摩擦型连接的 计算	92		
4.6.3 高强螺栓承压型连接的计算 ...	97		
小结及学习指导	97		
思考题	99		
习题	100		
第5章 轴心受力构件	103		
本章知识点	103		

5.5.6 柱的横隔	148	思考题	245
5.6 柱头和柱脚	152	习题	246
5.6.1 梁与柱的连接	153	第7章 接弯和压弯构件	249
5.6.2 柱脚	154	本章知识点	249
5.7 以工程实例为依据的钢柱设计		7.1 拉弯和压弯构件的强度和	
综合例题	160	刚度	251
5.7.1 [工程实例一] 普通工业操作		7.1.1 拉弯和压弯构件的强度	
平台柱设计	160	计算	251
5.7.2 [工程实例二] 某桥梁焊接箱形		7.1.2 拉弯和压弯构件的刚度	
轴心受压柱设计	162	验算	252
小结及学习指导	164	7.2 实腹式压弯构件的整体稳定	253
思考题	165	7.2.1 实腹式压弯构件的平面内	
习题	166	稳定	254
第6章 受弯构件	168	7.2.2 实腹式压弯构件的平面外	
本章知识点	168	稳定	260
6.1 梁的强度和刚度	171	*7.2.3 双向受弯的实腹式压弯	
6.1.1 梁的强度	171	构件稳定	262
6.1.2 梁的刚度	181	7.3 实腹式压弯构件的局部稳定	262
6.2 梁的整体稳定	184	7.3.1 压弯构件的翼缘稳定	262
6.2.1 梁的扭转	184	7.3.2 压弯构件的腹板稳定	263
6.2.2 梁的整体稳定	187	7.4 格构式压弯构件的稳定	266
6.3 梁的局部稳定	198	7.4.1 弯矩绕虚轴作用的格构式压弯	
6.3.1 几个概念	198	构件	266
6.3.2 梁受压翼缘的局部稳定	200	7.4.2 弯矩绕实轴作用的格构式压弯	
6.3.3 梁腹板的局部稳定	202	构件	267
6.3.4 梁腹板加劲肋的构造与		7.5 压弯构件的柱脚设计	269
计算	211	小结及学习指导	274
*6.3.5 组合梁考虑腹板屈曲后强度的		思考题	275
设计	220	习题	276
6.4 钢梁的设计及工程实例	220	附录	278
6.4.1 型钢梁的设计	221	附录1 钢材的化学成分和机械	
6.4.2 焊接组合梁的设计	223	性能	278
6.4.3 以工程实例为依据的钢梁设计		附录2 钢结构所用材料的强度设计值	
综合例题	231	和物理性能指标	284
6.5 梁的拼接、连接和支座	237	附录3 型钢截面参数表	288
6.5.1 梁的拼接	237	附录4 常用截面回转半径的	
6.5.2 次梁与主梁的连接	240	近似值	309
6.5.3 梁的支座	242	附录5 轴心受压构件的稳定	
小结及学习指导	244	系数	309

附录 6	H 型钢和等截面工字形简支梁的 系数 β_b	313	附录 8	螺栓和锚栓的规格	314
附录 7	轧制普通工字钢简支 梁的 φ_b	313	附录 9	疲劳计算的构件和连接 分类	315
			参考文献		321



第1章

绪 论

本章知识点

【知识点】 钢结构的发展简况，钢结构的优缺点及合理的应用范围；杆件和板件的区别，实际结构中杆件受力状态的概念，板件的概念；承载力极限状态和正常使用极限状态的基本方法；钢结构设计表达式的基本内容。

【重点】 根据其优缺点对钢结构进行合理的应用；设计钢结构的基本方法。

【难点】 钢结构两种极限状态的区分方法，承载力极限状态设计表达式的含义。

1.1 钢结构的特点

我国钢产量大且品种齐全，2016 年粗钢产量达到 8.08 亿 t，占世界第一位。其中，钢结构行业消耗将近 4%。钢结构在建筑工程、桥梁工程、地下工程、铁道工程中大量使用。由于钢材的性能优良，钢结构具有现代化、标准化的优势，又是一种可再生的材料，满足“低碳、节能、环保”可持续发展国策的基本要求，有着很好的发展前景与机遇。国内建成的北京奥运会场馆、广州亚运会建筑、横跨长江的多座大型桥梁、遍布全国的高速铁路基础设施等一批钢结构标志性工程，代表了世界的先进水平。钢结构在公共建筑、民用住宅等方面有巨大的发展潜力，今后必将占领更多的市场份额。

与其他材料组成的结构相比，钢结构具有以下明显的特点：

(1) 强度高、结构重量轻，但钢结构容易失稳。在承受同样荷载时，钢结构比钢筋混凝土和木材组成的结构重量减轻很多。正是因为强度高，钢结构的杆件就可以做得细长，组成杆件的板件也可能比较薄，这样，结构的整体稳定和板件的局部稳定就变得尤为突出，容易因为整体或局部失稳导致结构破坏。

(2) 在复杂情况下性能优越。钢材的弹性模量稳定，材质均匀性好，比较符合理想弹塑性体的力学假定，因而结构分析计算的结果与实际情况很接近；钢材具有良好的塑性、韧性、抗冲击和抗低温冷脆性能，在复杂受力情况下性能较好。

(3) 抗震性能好。钢结构可以建造得比较轻柔,受到的地震作用较小,而且其具有良好的能量耗散能力,在历次地震中损害的程度是最小的,钢材已经被工程界确定为最合适的抗震结构材料。

(4) 耐热性能好但抗火性能差。在温度不高于 250°C 的一般受热情况下,钢结构的弹性模量、强度、变形等主要的力学指标变化不大,是一种较好的耐热结构材料。但是钢结构的抗火能力很差,当温度达到 300°C 以上时,强度逐渐下降,在 600°C 时强度不足三分之二,模量几乎为零,所以在火灾下不加防护的钢结构很快就会倒塌,需要引起特别的注意。

(5) 密封性好但脆性状态下裂纹容易扩展。焊接钢结构不渗漏,密封性好,适用于制造船舶、气柜油罐、压力容器、高压管道等。但是,由于钢结构整体刚度大,当焊接结构设计不当或工艺不好时,在低温和复杂受力情况下,微小裂纹有可能扩展导致整体断裂,这是焊接钢结构的弱点。

(6) 钢材虽然比混凝土等材料的价格高,但钢结构工业化程度高,建设工期短。使用钢结构与使用钢筋混凝土结构相比,高层建筑的总投资大约增加不到 2%,低矮建筑就更少。由于钢构件的工厂化生产,以及施工过程中机械化程度高,工期缩短带来的效益更为明显,越来越多的业主选择钢结构作为主要的土木工程结构。

(7) 钢结构耐腐蚀性差。因为易于被腐蚀,隔一段时间业主不得不对结构表面重新喷刷涂料。在海边、腐蚀性气体浓度比较大的环境中,这笔维护费用更大。耐候钢的出现使钢结构在腐蚀环境中有了更大的使用空间。通常情况下钢结构耐腐蚀性差的缺点不足以对钢结构的使用产生明显的负面影响。

钢结构的上述特点大多数是优点和缺点同时存在,关键在于如何利用和把握。例如,由于强度高,钢结构体型一般比较轻柔。但是柔弱结构的位移较大,细小截面杆件的稳定问题突出,这些又都是不利的方面,所以必须对结构的高度和构件的长细比进行必要的限制。再比如,焊接钢结构的刚度大、变形小,有利于控制结构整体变形;但是刚度大的结构储存的能量也比较大,一旦焊缝附近发生微小裂缝,很容易导致裂纹扩展。所以钢结构在选材、设计、加工和使用中都要采取一些措施以防止这些情况的发生。学习钢结构基本原理,合理利用它的优势,避免其出现负面效应是极其重要的。

1.2 钢结构的发展现状及合理应用范围

新中国成立初期,国民经济处于起步阶段,钢结构仅在大型工业厂房中应用,鞍钢、武钢、包钢等钢铁厂的大型车间基本都采用了钢结构。20 世纪 50 年代末在外国专家的帮助下,南京长江大桥成为我国第一座自己建造的大型钢结构桥梁。改革开放以后我国钢产量大幅增加,使用钢材的政策由限制转变为推广使用,钢结构在高层和超高层建筑、多层房屋、轻钢建筑、大跨度体育场馆、各种会展中心、大型飞机安装检修库、大跨度公路铁路桥梁、海上采油平台、各种大中型仓库中都得到广泛应用。随着大型计算机的出现,

先进的结构分析手段不断更新,大型复杂钢结构项目成为可能,我国许多项目的设计建造水平居世界一流。

由于钢结构具有 1.1 节所述的特点,它的合理应用范围主要体现在以下方面:

(1) 大跨度结构。自重轻、强度高,可以使结构做得很轻巧,跨度更大。2018 年 10 月投入使用的苏州奥林匹克体育中心体育馆屋面采用鱼腹梁交叉钢桁架结构,最大跨度 134m;2019 年即将开通的武汉杨泗港长江大桥,采用双层钢桁架悬索结构,主跨 1700m,是目前国内第一、世界第二大跨度的桥梁。

(2) 重型厂房结构。重型工业厂房的吊车起重量大且工作频繁,厂房承受很大的振动荷载,钢材塑性、韧性很好,使用钢结构可以使重型工业厂房更加安全可靠。

(3) 可拆卸的结构。钢构件的运输便捷、连接处易于拆卸,便于反复使用。临时建筑、脚手架、起重设备等大多使用钢结构。

(4) 高耸结构和高层结构。钢结构电视塔、输电塔架、烟囱等自重轻,便于安装和施工;高层办公楼和高层住宅使用钢结构能最大限度地缩小底层柱子的截面尺寸,增加有效使用面积,其抗震性能也好于混凝土结构。高 634m 的日本东京晴空塔是目前世界第一高的电视塔,上海环球金融中心等高层建筑都是钢结构建筑。

(5) 密封和压力容器。钢材质地密实,抗拉强度高,做成容器后不渗油不透水,并且能承受较大的内部压力,广泛应用于轮船、各种油罐、气柜等。

(6) 轻型钢结构。钢结构的质量轻,不仅对大跨度结构有利,对于小跨径结构也有优越性。轻型钢结构多用于轻钢厂房和轻钢住宅,轻型门式钢架由于轻便和安装快捷,近年来如雨后春笋般地大量出现。

(7) 承受动力荷载的结构。钢材的韧性良好,装配动力设备的厂房往往用钢制成;对于抗震能力要求高的结构,用建筑钢材制作主要承重构件是非常适宜的。

1.3 钢结构构件的分类

钢结构构件可以分为两类:钢结构杆件和钢结构板件。

(1) 钢结构杆件按受力状态可以分为受拉杆件、受压杆件、受弯杆件、拉弯杆件、压弯杆件、受拉索等。这些杆件是组成钢结构各种形式的最基本单元。用钢结构杆件可以组合成合理的结构形式,充分利用钢材的各种优势,有效地承担各种作用和荷载,满足结构物各种功能要求并具有美观的造型。

图 1-1 是网壳结构,双层网壳中每根杆轴心受拉或者轴心受压,杆件内没有弯矩。图 1-2 是

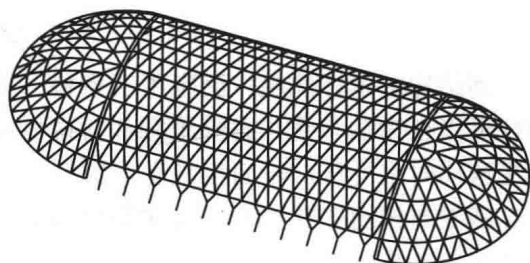


图 1-1 网壳结构

索膜结构, 承重索、稳定索和边索都受拉, 充分发挥了钢材强度高的优点, 与承重索垂直的钢拱主要承受压力。这种索膜结构自重轻、体型优美。在图 1-3 中, 梁与柱组合在一起可以形成典型的平面承重结构, 各平面结构之间用承受轴向力的支撑连接成为空间整体。平面承重结构的柱一般是压弯杆件, 梁是受弯杆件或压弯(拉弯)杆件。

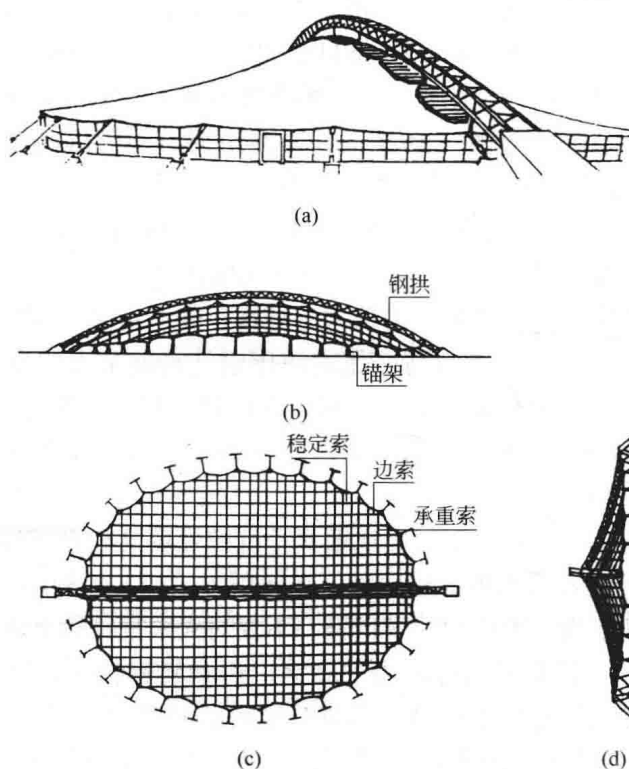


图 1-2 索膜结构

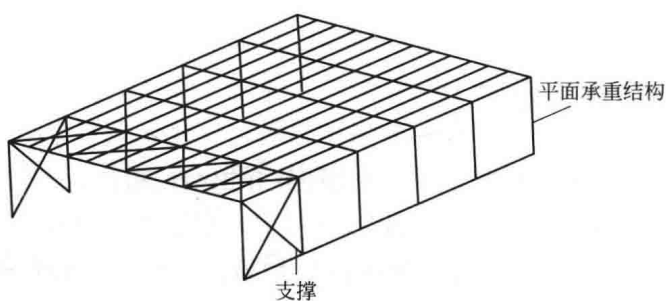


图 1-3 厂房结构

钢结构基本杆件也广泛应用于钢桥。如图 1-4(a) 所示的钢桁架桥, 每根腹杆可以视为轴心受拉或受压杆; 斜拉桥(图 1-4b)中的拉索仅承受拉力, 钢柱受弯同时也受压, 桥面板是受弯构件。

塔架与钢桁架桥一样, 大多数杆件是轴心受力构件。桅杆的索使结构能够有效地抵抗风荷载而全部承受拉力, 桅杆本身是一个典型的悬臂受弯杆件。塔架和桅杆广泛应用于电视塔、输电塔、气象塔等。