



普通高等教育土建学科专业“十二五”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

何若全 主编

李国强 主审

中国建筑工业出版社

普通高等教育土建学科专业“十二五”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

		何若全	主 编
		李启才	副主编
何若全	李启才	方 恬	编 写
崔 佳	吴 冲	姚江峰	编 写
		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. —北京:中国建筑工业出版社, 2011.11
普通高等教育土建学科专业“十二五”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 978-7-112-13323-9

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(2011)第 235796 号

本书按照高等学校土木工程学科专业指导委员最新编制的《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作到了完全覆盖。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。

本书可作为土木工程专业的本(专)科教材,亦可供从事钢结构设计与施工的工程技术人员参考使用。

为更好地支持本课程教学,本书作者制作了精美的教学课件,有需要的读者可以发送邮件至:jiangongkejian@163.com 免费索取。

责任编辑:王跃 吉万旺

责任设计:陈旭

责任校对:王誉欣 王雪竹

普通高等教育土建学科专业“十二五”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

何若全 主编

李启才 副主编

何若全 李启才 方恬 编写

崔佳 吴冲 姚江峰 编写

李国强 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

北京天成排版公司制版

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:19¼ 字数:415千字

2011年12月第一版 2011年12月第一次印刷

定价:40.00元(赠送课件)

ISBN 978-7-112-13323-9

(20828)

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

从 2007 年开始高校土木工程学科专业教学指导委员会对全国土木工程专业的教学现状的调研结果显示, 2000 年至今, 全国的土木工程教育情况发生了很大变化, 主要表现在: 一是教学规模不断扩大, 据统计, 目前我国有超过 300 余所院校开设了土木工程专业, 但是约有一半是 2000 年以后才开设此专业的, 大众化教育面临许多新的形势和任务; 二是学生的就业岗位发生了很大变化, 土木工程专业本科毕业生中 90% 以上在施工、监理、管理等部门就业, 在高等院校、研究设计单位工作的大学生越来越少; 三是由于用人单位性质不同、规模不同、毕业生岗位不同, 多样化人才的需求愈加明显。《高等学校土木工程本科指导性专业规范》(以下简称《规范》)就是在这种背景下开展研究制定的。

《规范》按照规范性与多样性相结合的原则、拓宽专业口径的原则、规范内容最小化的原则和核心内容最低标准的原则, 对专业基础课提出了明确要求。2009 年 12 月高校土木工程学科专业教学指导委员会和中国建筑工业出版社在厦门召开了《规范》研究及配套教材规划会议, 会上成立了以参与《规范》编制的专家为主要成员的系列教材编审委员会。此后, 通过在全国范围内开展的主编征集工作, 确定了 20 门专业基础课教材的主编, 主编均参与了《规范》的研制, 他们都是各自学校的学科带头人和教学负责人, 都具有丰富的教学经验和教材编写经历。2010 年 4 月又在烟台召开了系列规划教材编写工作会议, 进一步明确了本系列规划教材的定位和编写原则: 规划教材的内容满足建筑工程、道路桥梁工程、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 90 后学生的思维习惯、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等编写原则。为保证教材质量, 系列教材编审委员会还邀请了本领域知名教授对每本教材进行审稿, 对教材是否符合《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。

本系列规划教材是贯彻《规范》精神、延续教学改革成果的最好实践, 具有很好的社会效益和影响, 住房和城乡建设部已经确定本系列规划教材为《普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材》。在本系列规划教材的编写过程中得到了住房和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提出宝贵意见和建议, 以便我们在重印再版及规划和出版专业课教材时得以改进和完善。

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
2011 年 6 月

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

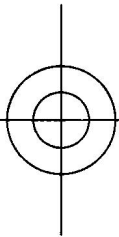
目 录

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	22
1.1 钢结构的特点	1	2.6.1 化学成分的影响	22
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	23
1.3 钢结构构件的分类	3	2.6.3 钢材硬化的影响	23
1.4 钢结构设计的基本方法	5	2.6.4 温度的影响	24
1.4.1 钢结构的极限状态	6	2.6.5 应力集中的影响	24
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	25
小结及学习指导	8	2.7.1 钢材的种类	25
第 2 章 钢结构的材料	10	2.7.2 钢材的选择	26
本章知识点	10	2.7.3 钢材的规格	28
2.1 钢材在单向均匀受拉时的应力— 应变关系	10	小结及学习指导	30
2.2 钢结构用钢的几项重要性能 指标	12	思考题	31
2.2.1 钢材的强度和变形指标	12	第 3 章 钢结构的可能破坏形式	32
2.2.2 钢材的塑性性能指标	12	本章知识点	32
2.2.3 钢材物理性能指标	13	3.1 概述	32
2.2.4 钢材的韧性	13	3.2 钢结构的强度破坏	33
2.2.5 钢材的冷弯性能	14	3.2.1 受拉钢构件的强度破坏	33
2.2.6 钢材的可焊性	14	3.2.2 受弯钢构件的强度破坏	33
2.2.7 钢材沿厚度方向的性能	14	3.2.3 钢结构的整体结构极限承载力 破坏	34
2.3 钢材在单轴反复应力作用下的 工作性能	15	3.3 钢结构的整体失稳破坏	34
2.4 钢材在复杂应力作用下的工作 性能	16	3.3.1 钢结构的整体失稳	34
2.5 疲劳破坏	16	3.3.2 钢构件的整体失稳	35
2.5.1 基本概念	17	3.4 钢结构的局部失稳破坏	36
2.5.2 钢材的疲劳破坏	18	3.4.1 结构的局部失稳	36
2.5.3 钢结构的疲劳破坏及影响 因素	19	3.4.2 构件的局部失稳	36
		* 3.4.3 按板件宽厚比大小确定的 构件截面分类	37
		3.5 钢结构的疲劳破坏	38
		3.6 钢结构变形破坏	38
		3.6.1 构件的变形破坏	38

3.6.2 结构的变形破坏	39	小结及学习指导	94
3.7 钢结构的脆性断裂破坏	40	思考题	95
3.7.1 结构脆性断裂破坏的实例	40	习题	96
3.7.2 引起脆性断裂的主要原因	40	第5章 轴心受力构件	99
3.7.3 防止脆性断裂的措施	41	本章知识点	99
小结及学习指导	42	5.1 轴心受力构件的强度和	
思考题	42	刚度	101
第4章 钢结构的连接	44	5.1.1 轴心受力构件的强度计算	101
本章知识点	44	5.1.2 刚度计算	103
4.1 概述	44	5.2 轴心受压构件的整体稳定	104
4.2 焊接连接的方法及特性	46	5.2.1 理想轴心受压构件的屈曲	104
4.2.1 焊接连接的方法及焊缝的		5.2.2 理想轴心受压构件的弹性弯曲	
形式	46	屈曲	105
4.2.2 焊缝的缺陷及质量检查标准	48	5.2.3 理想轴心受压构件的弹塑性弯曲	
4.2.3 焊接残余应力和焊接残余		屈曲	107
变形	49	5.2.4 初始缺陷对轴心受压杆件稳定	
4.2.4 常用焊接连接的表示符号	54	承载力的影响	108
4.3 对接焊缝连接的构造和		5.2.5 实际轴心受压构件的整体稳定	
计算	55	承载力和多柱子曲线	115
4.3.1 对接焊缝连接的构造	55	5.3 轴心受压构件的局部稳定	124
4.3.2 对接焊缝连接的计算(焊透的		5.3.1 板件的局部稳定性	124
对接焊缝)	56	5.3.2 轴心受压矩形薄板的临	
4.4 角焊缝连接的构造和计算	60	界力	125
4.4.1 角焊缝连接的构造和受力		5.3.3 轴心受压构件组成板件的容许	
性能	60	宽厚比	127
4.4.2 直角角焊缝计算的基本公式	63	5.3.4 腹板屈曲后强度的利用	128
4.4.3 常用连接方式的直角角焊缝		5.3.5 《公路钢结构桥梁设计规范》中局部	
的计算	64	稳定的计算方法	129
*4.4.4 斜角角焊缝及部分焊透的对接		5.4 实腹式轴心受压柱的设计	131
焊缝的计算	74	5.4.1 实腹式轴心受压柱的截面	
4.5 螺栓连接的形式和构造要求	76	形式	131
4.5.1 螺栓连接的形式及特点	76	5.4.2 实腹式轴心受压柱的截面	
4.5.2 螺栓的排列和构造要求	77	设计	132
4.6 螺栓连接的计算	79	5.5 格构式轴心受压柱的设计	135
4.6.1 普通螺栓连接的计算	79	5.5.1 格构式轴心受压构件的组成及	
4.6.2 高强度螺栓摩擦型连接的		应用	135
计算	89	5.5.2 格构式轴心受压柱的横向	
4.6.3 高强螺栓承压型连接的计算	94	剪力	136

5.5.3 格构式轴心受压构件的整体稳定性	137	6.4.3 以工程实例为依据的钢梁设计综合例题	221
5.5.4 格构式轴心受压柱分肢的稳定性	139	6.5 梁的拼接、连接和支座	227
5.5.5 格构式轴心受压柱的截面设计	140	6.5.1 梁的拼接	227
5.5.6 柱的横隔	141	6.5.2 次梁与主梁的连接	230
5.6 柱头和柱脚	145	6.5.3 梁的支座	232
5.6.1 梁与柱的连接	145	小结及学习指导	233
5.6.2 柱脚	146	思考题	234
5.7 以工程实例为依据的钢柱设计综合例题	152	习题	236
5.7.1 [工程实例一] 普通工业操作平台柱设计	152	第7章 拉弯和压弯构件	238
5.7.2 [工程实例二] 某桥梁焊接箱形轴心受压柱设计	154	本章知识点	238
小结及学习指导	156	7.1 拉弯和压弯构件的强度和刚度	240
思考题	157	7.1.1 拉弯和压弯构件的强度计算	240
习题	158	7.1.2 拉弯和压弯构件的刚度验算	242
第6章 受弯构件	160	7.2 实腹式压弯构件的整体稳定	242
本章知识点	160	7.2.1 实腹式压弯构件的平面内稳定	243
6.1 梁的强度和刚度	163	7.2.2 实腹式压弯构件的平面外稳定	249
6.1.1 梁的强度	163	*7.2.3 双向受弯的实腹式压弯构件稳定	250
6.1.2 梁的刚度	172	7.3 实腹式压弯构件的局部稳定	251
6.2 梁的整体稳定	174	7.3.1 压弯构件的翼缘稳定	251
6.2.1 梁的扭转	174	7.3.2 压弯构件的腹板稳定	251
6.2.2 梁的整体稳定	177	7.4 格构式压弯构件的稳定	255
6.3 梁的局部稳定	189	7.4.1 弯矩绕虚轴作用的格构式压弯构件	255
6.3.1 几个概念	189	7.4.2 弯矩绕实轴作用的格构式压弯构件	256
6.3.2 梁受压翼缘的局部稳定	191	7.5 压弯构件的柱脚设计	258
6.3.3 梁腹板的局部稳定	192	小结及学习指导	263
6.3.4 梁腹板加劲肋的构造与计算	201	思考题	264
*6.3.5 组合梁考虑腹板屈曲后强度的设计	210	习题	264
6.4 钢梁的设计及工程实例	210		
6.4.1 型钢梁的设计	210		
6.4.2 焊接组合梁的设计	213		

附录	266	系数 φ	295
附录 1 钢材的化学成分和机械性能	266	附录 6 工字形截面简支梁的等效弯矩系数 β_b	298
附录 2 钢结构所用材料的强度设计值和物理性能指标	271	附录 7 轧制普通工字钢简支梁的 φ_b	299
附录 3 型钢截面参数表	274	附录 8 螺栓和锚栓的规格	300
附录 4 常用截面回转半径的近似值	295	附录 9 疲劳计算的构件和连接分类	301
附录 5 轴心受压构件的稳定		参考文献	304



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，2010年粗钢产量达到7亿吨，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。

2 (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) 材料价格较贵, 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。我国 1998 年建成的长春体育馆采用错边蚌形网壳结构，平面尺寸为 $120\text{m} \times 160\text{m}$ ；江阴长江大桥，主跨采用悬索结构，跨度达 1385m。

(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 610 米的广州新电视塔是目前世界第一高的电视塔，正在建造中的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。钢结构杆件和杆件之间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

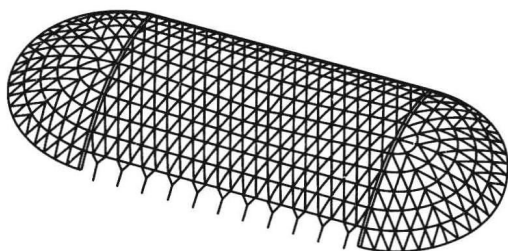


图 1-1 网壳结构

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。

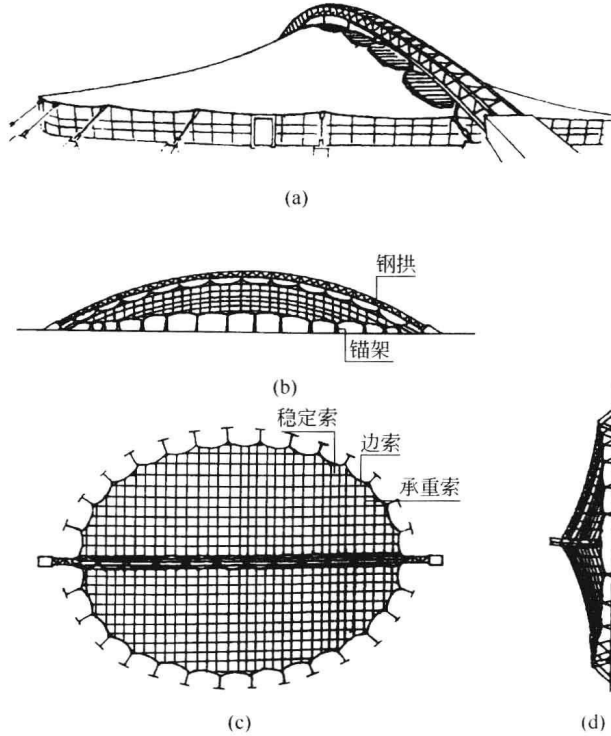


图 1-2 索膜结构

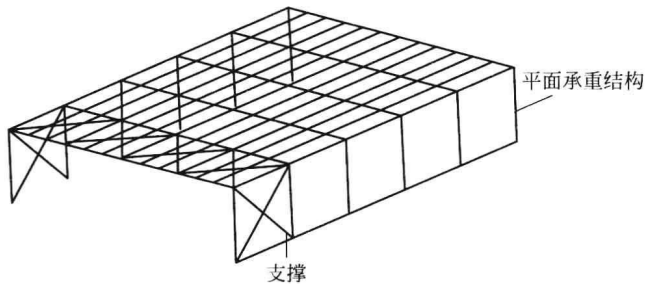


图 1-3 厂房结构

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。

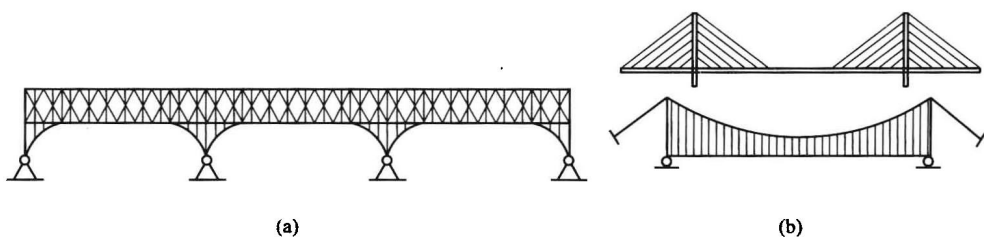


图 1-4 钢桥
(a)钢桁架桥；(b)钢斜拉桥

(2) 钢结构板件是一种平面构件，一般在板件平面内拉应力、压应力和剪应力共同作用，工作状态比较复杂。在实际应用中，按照边界支承状况不同，板件可以分为四边简支板、三边简支一边自由板、带加劲肋的三边简支板等。带加劲肋的三边简支板仅在大型钢桥中出现。

图 1-5 是跨江大桥，截面由箱形截面钢梁组成。由钢板焊接成型的储油罐可以承受内部压力(图 1-6)，钢板处于三面受拉状态，对应力集中和缺陷非常敏感。钢板剪力墙(图 1-7)施工简便，抗震能力强，近些年得到越来越多的关注。



图 1-5 实腹板梁

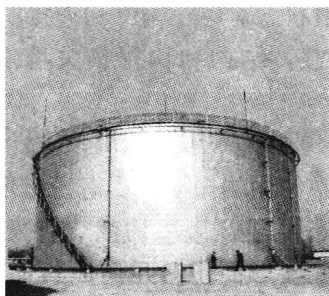


图 1-6 储油罐

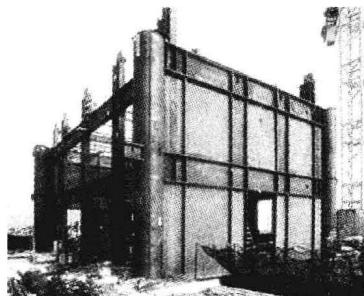


图 1-7 钢板剪力墙

实际工程中的大多数钢结构杆件是由板件组合而成的(如 H 形、箱形构件)，在这种情况下，板件构件可视作杆件构件的子构件。所以，杆件与板件可视为钢结构同一层次的构件，也可作为钢结构杆件下一层次的构件。

钢构件有时还和混凝土组合在一起，形成组合构件；拱、刚架既是钢构件，也可以独立组成结构。本教材不涉及组合结构、拱和刚架，这些内容分别在后续的《房屋钢结构设计》和《桥梁钢结构设计》等教材中详细介绍。

1.4 钢结构设计的基本方法

钢结构设计方法的理论基础是结构的可靠度分析，在本系列教材的《工程荷载和可靠度设计原理》中有专门介绍。

无论对建筑结构还是桥梁结构，结构可靠度设计统一标准要求对不同结构取得相同的可靠度，从理论上制定出结构设计统一的目标可靠指标。目标

可靠指标应该根据各种结构构件的重要性、破坏性质和失效产生的后果来确定。例如, 钢结构的强度破坏和大多数失稳破坏都具有延性破坏性质, 所以钢结构构件设计的目标可靠指标按照《建筑结构可靠度设计统一标准》规定一般为 3.2。但是, 某些壳体结构和受压圆管失稳时具有脆性破坏的特征, 其可靠指标应该取 3.7。钢结构连接的承载能力极限状态经常是强度破坏而不是屈服, 其可靠指标应该比构件的高, 推荐取 4.5。采用这些不同的目标可靠指标就是为了使不同的结构或者构件在设计时达到相同的可靠度水准。由于疲劳破坏的不确定性更大, 研究方法也不很成熟, 我国现行设计规范仍然采用容许应力法, 而不采用概率极限状态设计的方法。

在结构构件设计时, 涉及可靠度指标的参数隐含在计算公式里。结构工程师需要掌握的是钢结构极限状态法的基本原理, 正确理解概率极限状态的概念和含义, 以便正确处理设计、施工、工程事故分析、工程加固中出现的各种复杂问题。

1.4.1 钢结构的极限状态

和其他土木工程结构一样, 钢结构的极限状态分为承载力极限状态和正常使用极限状态两类。

(1) 承载力极限状态对应于构件和连接的强度破坏、疲劳破坏和因过度变形而不适于继续承载, 结构和构件丧失稳定, 结构转变为机动体系和结构倾覆。

(2) 正常使用极限状态对应于影响结构、构件和非结构构件正常使用或外观的变形, 影响正常使用的振动, 影响正常使用或耐久性能的局部损坏。

承载力极限状态可理解为结构或构件发挥允许的最大承载功能的状态。结构或构件由于塑性变形而使其几何形状发生显著改变, 虽未达到最大承载力, 但已彻底不能使用, 也属于达到这种状态。承载力极限状态虽然涉及变形, 但其立足点是以不能继续承受荷载为前提。通常情况下承载力极限状态是不可逆的, 一旦发生, 结构就会失效, 因此必须给予足够的重视。

强度破坏是构件破坏的基本形式。强度破坏是指构件的某一截面或连接所承受的应力超过材料的强度而导致的破坏。构件截面削弱处经常是强度破坏的控制截面。在钢结构实际工程中, 真正的强度破坏并不多见, 这往往是因为材料达到抗拉强度 f_u 之前已经发生了比较大的塑性变形而不能继续承担荷载。钢材具有良好的塑性变形能力, 并且在屈服之后还会强化, 抗拉强度高于屈服强度, 在设计钢结构时可以考虑适当利用材料的塑性。但是, 伴随钢材塑性的增加, 变形也随之变大, 如果最终导致结构产生过大的变形而不适于继续承载, 也达到了承载力极限状态。例如, 桁架的受拉弦杆如果以抗拉强度而不是以屈服强度作为极限承载力, 受拉弦杆就会产生大变形, 桁架就不能继续承载。所以, 钢构件抗拉设计的标准值取自屈服强度而不是抗拉强度。

和强度破坏相反, 失稳在钢结构中具有普遍的可能性。钢结构的受弯、

受压、受压兼受弯的构件截面中都存在不同程度的压应力。只要有压应力存在，稳定问题就不可避免。钢构件的截面小，组成构件的板件比较薄，失稳可能性现象比钢筋混凝土结构严重得多。构件和结构一旦失稳，一定是突然发生的，其后果不堪设想。导致构件丧失稳定的因素很多，也比较复杂，不仅涉及构件的尺寸和材料的性能，还涉及结构的整体状况。所以保证结构和构件的稳定是钢结构十分突出的重要问题。

正常使用极限状态可理解为结构或构件达到使用功能上允许的某个限值的状态。例如，某些结构必须控制变形才能满足使用要求，因为过大的变形会造成桥梁上的轨道严重变形，影响铁道行走，更大的变形易导致桥面损坏。钢屋架的大变形会导致屋面材料出现裂缝或者屋面积水等后果，过大的变形还会使人们在心理上产生不安全的感觉得。正常使用极限状态所指的局部损坏是以结构或构件无法继续使用为前提。正常使用极限状态中的变形和振动限制，通常都在弹性范围内，可以通过改变结构或者构件的服役状态以减小变形和振动。正常使用极限状态是一种可逆的极限，可靠度的要求可以放宽些。桁架的下弦杆一般由强度控制，杆件也比较长，截面可以做得较小。但是太柔的杆件在运输、安装过程中都易于变形，在动荷载环境下还会产生振动，必须满足最大长细比的要求，往往不由它所承担内力的大小所控制。

1.4.2 钢结构的设计表达式

(1) 对于承载力极限状态，钢结构采用基本变量标准值和分项系数形式的概率极限状态设计表达式：

$$\gamma_G S_{Gk} + \gamma_Q S_{Qk} \leq \frac{R_k}{\gamma_0 \gamma_R} \quad (1-1)$$

式中 γ_G 、 γ_Q ——永久荷载分项系数和可变荷载分项系数，一般情况下 γ_G 取 1.2， γ_Q 取 1.4；在 S_{Gk} 和 S_{Qk} 异号的情况下 γ_G 取 1.0， γ_Q 仍然取 1.4；

γ_0 ——结构重要性系数，根据结构破坏后果的严重性按照规范的有关规定采用；

γ_R ——结构抗力分项系数，Q235 钢构件取 1.087，Q345、Q390 和 Q420 钢构件取 1.111；

S_{Gk} 、 S_{Qk} ——永久荷载效应和可变荷载效应；

R_k ——按标准材料性能、几何参数和抗力计算公式求得的构件抗力值。

通常施加在结构上的可变荷载往往不止一种，这些荷载不可能同时达到各自的最大值，因此，还要考虑荷载的组合效应。除永久荷载和第一个可变荷载外，其他可变荷载的效应都乘以不大于 1 的系数，即：

$$\gamma_G (\gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \sum_i^n \varphi_{ci} \gamma_{Qi} S_{Qi k}) \leq R \quad (1-2)$$