

土木工程专业课程设计指南系列丛书

Tumu Gongcheng Zhuanye Kecheng Sheji Zhinan Xilie Congshu

钢结构

课程设计指南

丛书主编 周绪红 朱彦鹏
本书主编 王秀丽

中国建筑工业出版社

土木工程专业课程设计指南系列丛书

钢结构课程设计指南

丛书主编 周绪红、朱彦鹏

本书主编 王秀丽

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

钢结构课程设计指南/王秀丽本书主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2010.9

(土木工程专业课程设计指南系列丛书)

ISBN 978-7-112-12419-0

I. ①钢… II. ①王… III. ①钢结构-课程设计-高等学校-教学参考资料 IV. ①TU391-41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 169445 号

本书是高等院校“土木工程专业课程设计指南系列丛书”之一。全书按照高等学校土建类专业《钢结构》系列课程的教学大纲要求进行编写, 结合教学内容的重点部分, 着重从概念设计的角度出发, 全面系统地总结课程设计的程序过程, 结合重要的知识点加以贯穿, 力求通过基本知识以及设计实例使得学生加强钢结构基本理论的掌握与运用, 同时设计过程中加强构造设计, 便于初学的学生尽快掌握钢结构设计的基本要点, 对具体的相关知识运用以及构造问题进行总结, 加强对钢结构理论与设计知识的理解, 为今后的实际运用打下坚实的基础。编写过程中, 力求体现系统性、完整性和实用性, 在叙述上尽可能简洁, 便于阅读, 并考虑课程设计特点, 分章节可独立使用。

本书可供高等院校土木工程专业师生作为课程设计的教学辅导与参考书。

责任编辑: 咸大庆 李天虹

责任设计: 张 虹

责任校对: 马 赛 赵 颖

土木工程专业课程设计指南系列丛书

钢结构课程设计指南

丛书主编 周绪红 朱彦鹏

本书主编 王秀丽

*

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

北京市安泰印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 13 $\frac{3}{4}$ 字数: 335 千字

2010 年 10 月第一版 2010 年 10 月第一次印刷

定价: 30.00 元

ISBN 978-7-112-12419-0

(19686)

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)

土木工程专业课程设计指南系列丛书

编 委 会

主 任：周绪红

副主任：朱彦鹏 王秀丽

委 员(以姓氏笔画为序)：

马天忠	马珂	王钢	王文达	王亚军
王秀丽	王春青	朱彦鹏	孙路倩	乔雄
刘汉青	刘占科	毕晓莉	李天虹	李振泉
李强年	李辉山	李萍	李喜梅	杨林峰
来春景	陈伟东	陈谦	张兆宁	张顺尧
张贵文	张敬书	张豫川	郑海晨	周勇
周绪红	金少蓉	洪光	咸大庆	郝虎
郭永强	徐亮	秦爽	贾亮	崔宏
焦贵德	焦保平	董建华		

丛 书 前 言

土木工程专业是实践性很强的技术类专业，要办好土木工程专业必须加强专业的实践性环节教育。土木工程专业的实践性环节一般包括课程设计、毕业设计、实验和实习，而课程设计所占实践环节的比重较大，直接影响学生毕业后的专业工作能力。因此，搞好课程设计是培养土木工程专业学生最重要的环节之一。但是，由于辅导环节很难跟上大规模的土木工程专业学生的需求，加之辅导老师的教学水平参差不齐，使课程设计很难达到教学计划提出的要求，为此，我们编写了这套“土木工程专业课程设计指南系列丛书”，希望为辅导老师的教学工作提供方便，从而进一步提高课程设计的辅导效率和质量。

根据土木工程专业建筑工程和交通土建知识模块中涉及的课程设计内容，“土木工程专业课程设计指南系列丛书”分为《房屋建筑学课程设计指南》、《钢筋混凝土结构课程设计指南》、《钢结构课程设计指南》、《交通土建课程设计指南》和《土木工程施工组织与概预算课程设计指南》五本书，对各课程设计中遇到的知识点、计算条件、设计计算步骤针对性地进行论述，并给出了设计计算实例，可供学生做课程设计时参考。另外，还按照组合法，给出了35人左右的设计题目，可做到一人一题，解决了老师命题难的问题。

“土木工程专业课程设计指南系列丛书”按照我国现行规范编写，并尽量介绍最新理论和技术，设计计算知识点论述完整，设计实例计算步骤翔实，便于学生自学，也方便辅导老师使用。

“土木工程专业课程设计指南系列丛书”除了能满足教学要求外，还可作为土木工程专业工程技术人员的工具书，在设计、施工和注册考试中使用。

由于编写时间仓促，加之编者水平有限，疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

土木工程专业课程设计指南系列丛书 编委会

2010年2月22日

本书前言

近年来,钢结构以轻质、高强、施工周期短、力学性能与抗震性能优越等优点,越来越广泛地得到采用。同时在实际工程中急需钢结构方面的人才,因此土木工程专业的学生猛增。而以往的钢结构课程设计题目过于单调,无法满足大量学生的实际需求,因此各大专院校都在积极进行钢结构课程建设与人才培养方面努力,探索培养各类钢结构技术人才的途径。

课程设计是土木工程专业极其重要的实践环节,其主要作用是指导学生将刚学完的单门课程进行一次实践的过程,综合运用所学过的钢结构基本理论和结构设计的专业知识,提高分析和解决工程实际问题的能力,熟悉工程设计。通过课程设计,使得学生对本门课程所学知识点进行巩固与加深理解,并且加以运用。课程设计直接影响到基本理论知识的强化与理解,为后续毕业设计进行较大规模的训练做基本准备。实践证明,钢结构课程设置在人才培养方面起到至关重要的作用,只有通过设计实践环节的训练,加强对相关理论知识的理解和掌握,才能达到熟练应用的目的。

本书着重结合钢结构基本原理与基本概念,着重介绍钢结构典型的独立设计单元的内容,既能巩固基本知识,又能作为基本结构设计的训练,每章节包括相关内容的知识模块,便于对照学习,同时强调相应结构设计的主要分析理论与设计方法,并强调结构设计中的构造设计。同时为了初学者进行设计,相应部分给出设计实例,便于读者自学。编写过程中,力求体现系统性、完整性和实用性,在叙述上尽可能简洁,便于阅读。考虑教学大纲的特点与要求,各章节可独立使用。本书可作为高等学校土木类相关专业教学指导书或参考书,也可供工程设计、科研、施工和管理人员参考。

全书共分为7章,第1章为概述,重点介绍钢结构课程设计的主导思想与基本理论之间的关系,明确课程设计的基本过程与通用性,强调基本理论知识模块与设计的相关性,使读者对钢结构课程设计的总体建立直观的概念,对后续各章节的参考使用进行合理选用。此外结合实际工程实例说明各课程设计的重要性,并对材料选用及相关内容进行了介绍,便于读者全面了解本书的特色。第2章至第7章分别以钢屋架、钢平台、门式刚架主刚架、吊车梁、钢楼梯、轻钢维护结构为单元进行课程设计,以满足钢结构课程基本训练的要求;对于多层钢结构体系以及复杂的工业厂房,则放在毕业设计环节进行,这样也使得本书的内容更具阶段性的实用性。

本书由周绪红教授总主编,王秀丽教授主编,具体负责全书编写要点与编写大纲,同时编写第1章、第6章及各章节的设计实例,吴长编写第2章2.1~2.3节,梁亚雄编写第3章3.1~3.3节和第7章的7.1~7.3节,殷占忠编写第4章4.1~4.3节和第5章的5.1~5.3节,李庆福负责编写第6章6.3节。本书内容大量参考了国内外空间结构著名专家学者的专著与学术论文以及工程实例,在此对相关的作者表示衷心的感谢。编写过程中,江磊、白生学、栾蔚、阎兵、高超、朱军等分别参加了相关的编写和文字处理工作,在此一并表示诚挚的感谢。

由于时间仓促,加之作者水平有限,书中难免有大量的不足和疏漏,恳请读者批评指正。

目 录

第 1 章 概 述

1.1 钢结构的特点及应用领域综述	1
1.1.1 钢结构的特点	1
1.1.2 钢结构的常用领域	2
1.2 建筑钢结构基本材料选用要点	3
1.2.1 钢材的主要性能	3
1.2.2 钢材的选择要点	3
1.3 钢结构设计方法要点	5
1.3.1 钢结构设计方法概述	5
1.3.2 荷载、作用的计算要点	6
1.3.3 作用效应组合	7
1.4 一般结构设计的基本思路与设计流程框图	8

第 2 章 钢屋架结构设计

2.1 钢屋架设计基本知识	10
2.1.1 屋盖结构体系	10
2.1.2 屋盖支撑	10
2.1.3 屋架的主要形式和主要尺寸	11
2.1.4 屋架荷载计算与荷载效应组合	14
2.1.5 屋架杆件内力计算	15
2.1.6 屋架杆件设计	16
2.1.7 屋架节点设计	18
2.2 设计方法及注意事项	24
2.3 计算书和施工图要求	25
2.4 梯形钢屋架结构设计实例	26
2.4.1 设计资料	26
2.4.2 荷载计算	28
2.4.3 荷载组合	28
2.4.4 内力计算	28
2.4.5 杆件的截面尺寸选择	32
2.4.6 节点设计	34
2.5 轻型钢管桁架屋面体系(梯形钢管屋面)	39
2.5.1 说明	39

2.5.2 杆件截面选择	44
2.5.3 节点构造	45

第3章 钢结构平台设计

3.1 钢结构平台设计基本知识	54
3.1.1 平台铺板的设计	55
3.1.2 平台梁设计	56
3.1.3 平台柱和柱间支撑设计	58
3.2 设计方法及注意事项	59
3.2.1 设计方法	59
3.2.2 注意事项	60
3.3 计算书及施工图要求	60
3.3.1 计算书内容	60
3.3.2 施工图内容	60
3.3.3 施工图要求	61
3.4 钢结构平台设计实例	61
3.4.1 设计题目	61
3.4.2 设计目的	61
3.4.3 设计资料	61
3.4.4 设计内容	62

第4章 门式刚架设计

4.1 结构布置和材料选用	69
4.1.1 结构组成及形式	69
4.1.2 门式刚架尺寸	70
4.1.3 结构布置	70
4.2 结构设计原则	72
4.2.1 承载能力极限状态	72
4.2.2 正常使用极限状态	72
4.2.3 荷载及其组合	73
4.3 主刚架的设计和构造	74
4.3.1 计算模型	74
4.3.2 蒙皮效应	74
4.3.3 一阶弹性理论和二阶弹性理论	76
4.3.4 整体稳定设计	77
4.3.5 轻型钢结构整体稳定设计的基本理论	79
4.3.6 局部稳定设计	81
4.4 主刚架的承载力设计	83
4.4.1 构件截面的强度设计	83

4.4.2 构件的稳定设计	86
4.5 主刚架的刚度计算	88
4.6 主刚架的节点设计	89
4.7 计算书及施工图要求	93
4.7.1 设计计算内容	93
4.7.2 施工图的绘制要求	93
4.8 门式刚架设计实例	94
4.8.1 单层等截面门式刚架设计(实例一)	94
4.8.2 变截面双跨单层轻钢厂房设计(实例二)	109

第5章 轻钢结构维护体系设计

5.1 轻钢结构维护体系设计基本知识	139
5.1.1 檩条的设计	139
5.1.2 屋盖支撑的设计	145
5.2 设计方法和注意事项	153
5.2.1 檩条的设计方法和注意事项	153
5.2.2 支撑的设计方法和注意事项	155
5.3 计算书和施工图要求	156
5.3.1 计算书	156
5.3.2 施工图	157
5.4 轻钢维护构件设计实例	157
5.4.1 C形檩条的强度及刚度验算	157
5.4.2 实腹式檩条设计	158
5.4.3 维护构件设计	164

第6章 吊车梁

6.1 吊车梁设计基本知识	170
6.1.1 吊车梁的荷载及工作性能	170
6.1.2 吊车梁的截面组成	171
6.1.3 吊车梁的连接	172
6.1.4 吊车梁的截面验算	173
6.2 吊车梁的设计方法和注意事项	176
6.2.1 设计方法	176
6.2.2 注意事项	177
6.3 吊车梁设计的计算书和施工图要求	177
6.3.1 计算书	177
6.3.2 施工图	178
6.4 焊接工字形吊车梁设计实例	178
6.4.1 设计资料	178

6.4.2	材料与焊接方法的选用	178
6.4.3	荷载与内力计算	178
6.4.4	截面选择	180
6.4.5	截面特性	181
6.4.6	截面验算	181
6.4.7	吊车梁布置简图	185
6.4.8	车挡	186

第7章 钢 楼 梯 设 计

7.1	楼梯基本知识	187
7.1.1	楼梯的组成与形式	187
7.1.2	楼梯的坡度	188
7.1.3	楼梯的结构形式及构造	188
7.2	设计过程和注意事项	193
7.2.1	设计过程	193
7.2.2	楼梯设计有关规定	193
7.3	钢楼梯设计的计算书和施工图要求	194
7.3.1	计算书	194
7.3.2	施工图	194
7.4	钢楼梯设计实例	194
7.4.1	课程设计任务书	194
7.4.2	设计内容及过程	195
参考文献		208

第 1 章 概 述

钢结构的发展与应用与冶金材料生产密切相关,19 世纪 50 年代前为铸铁结构,后出现钢结构。以艾菲尔铁塔(图 1-1)为标志,钢结构应用有 100 多年的历史。中国钢结构应用的初盛时期是 20 世纪 50 年代,60~70 年代为限制使用时期,主要用于国防和机械工业,国家政策限制使用建筑用钢。改革开放以来,特别是 20 世纪 90 年代以后,随着国民经济的发展和钢铁工业的跨越式发展,钢产量逐年增长。在政府从“限制和合理使用钢结构到发展钢结构”的政策指导和支持下,从重大工程、标志性建筑使用钢结构到钢结构的普遍使用,呈现出了从未有过的兴旺景象。钢结构建筑体系是近几年越来越受关注的建筑体系,钢结构在中国正处于建国以来最好的一个发展时期。钢结构建筑由于其取材对环境破坏小,造型美观,施工周期短,抗震性能好,适合于不同气候条件和大气环境等优点,已经越来越受到建筑师的青睐。



图 1-1 埃菲尔铁塔

为了适应国家建设与发展的需要,根据教育部土木工程专业人才培养模式的要求,各高等院校都开设《钢结构》系列课程设计。课程设计是土木工程专业极其重要的实践环节,其主要作用是指导学生将刚学完的单门课程进行一次实践的过程,综合运用所学过的钢结构基本理论和结构设计的专业知识,提高分析和解决工程实际问题的能力,熟悉工程设计。通过课程设计,使得学生对钢结构课程所学知识点进行巩固与运用,课程设计直接影响到基本理论知识的强化与理解,为后续毕业设计进行较大规模的训练做基本准备。实践证明,钢结构课程设在人才培养方面起到至关重要的作用,只有通过设计实践环节的训练,加强对相关理论知识的理解和掌握,才能达到熟练应用的目的。本书着重总结钢结构基本原理与基本概念,分模块介绍典型的独立钢结构设计单元的内容,便于对照学习与总结,同时强调相应结构设计的主要分析理论与设计方法,对应结构设计中的构造设计,给出设计实例,便于读者参考。本章简单总结钢结构的特点、应用领域、材料基本性能以及结构设计基本方法,按照这个原则,给出设计框图,供设计参考。

1.1 钢结构的特点及应用领域综述

1.1.1 钢结构的特点

- (1) 材料的强度高,塑性和韧性好。
- (2) 材质均匀,和力学计算的假定比较符合。
- (3) 钢结构制造简便,施工周期短。

- (4) 钢结构的质量轻。
- (5) 钢材耐腐蚀性差。
- (6) 钢材耐热但不耐火。

1.1.2 钢结构的常用领域

钢结构应用领域非常多，相关内容将在课程中进行全面系统的介绍，实际工程中应用最多的主要是在超高层建筑、大跨度空间结构和轻钢结构三个方面。高层钢结构则是很多具有代表意义的工程，如上海金茂大厦、深圳地王大厦等，参见图 1-2；大跨度结构则包括平面结构(如桁架体系等)和空间结构体系(如网架网壳等)，典型工程如 2008 年奥运会国家体育场、国家游泳馆等，参见图 1-3。轻钢结构以构造简单、造价合理及施工快捷得到广泛应用，其内部构件包括主刚架、屋面及墙面维护体系、吊车梁等，参见图 1-4。

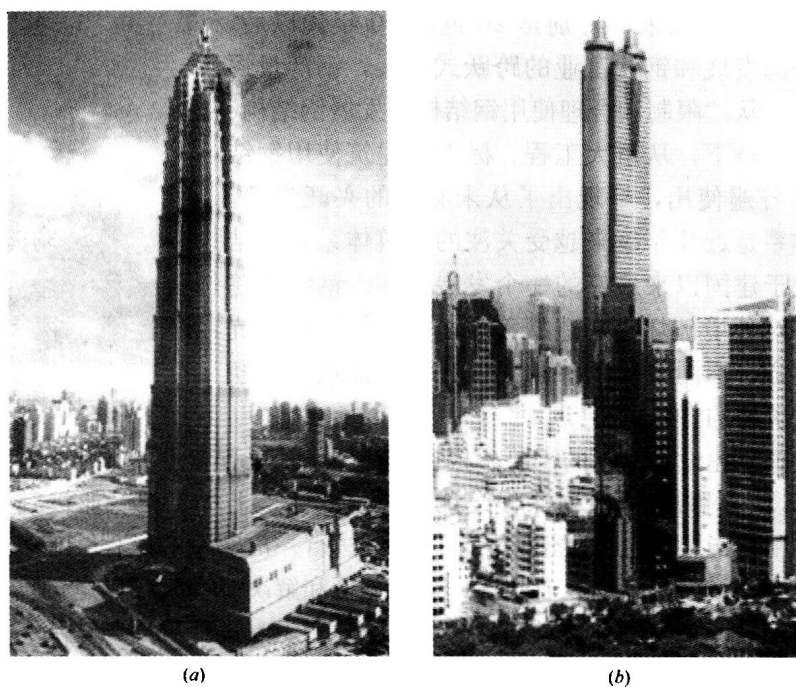


图 1-2 高层建筑钢结构工程实例
(a)上海金茂大厦；(b)深圳地王大厦

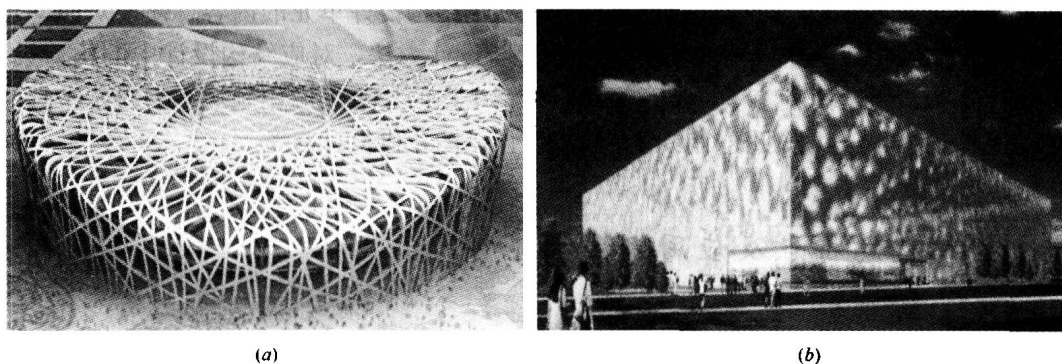


图 1-3 大跨度空间结构工程实例
(a)国家体育场；(b)国家游泳馆

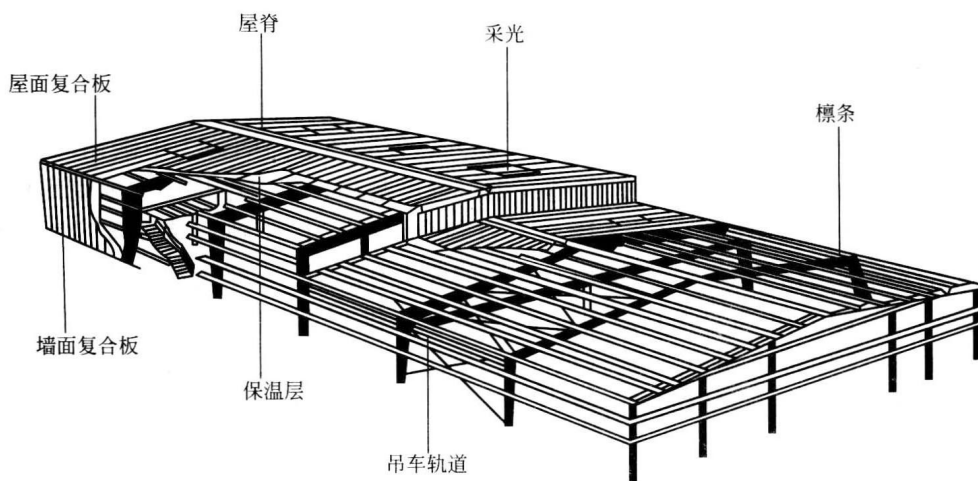


图 1-4 单层轻钢结构体系示意

限于课程设计的基本要求，重点在于基本知识的运用，同时考虑适合手算的独立的单元结构。因此根据工程结构特点，对于单层工业厂房选择了主要的刚架、檩条、墙梁、吊车梁等进行；对于大跨度结构部分，保留了传统的角钢钢屋架体系的设计，同时增加了近年来发展较快的平面钢管桁架体系；此外，对钢结构楼梯、钢平台等基本结构进行设计。对于多高层钢结构，大跨度的空间结构以及复杂的重型钢结构厂房，由于内容丰富、计算量大，有时尚需借助计算机进行，相关内容在毕业设计环节进行。

1.2 建筑钢结构基本材料选用要点

1.2.1 钢材的主要性能

钢材的主要性能主要包括钢材的三个重要力学性能指标，即屈服点、抗拉强度和伸长率，同时还应包括冷弯性能和冲击韧性。此外，钢材的工艺性能和化学成分也是反映钢材性能的重要内容。用作钢结构的钢材必须具有下列性能：

1. 较高的强度，即抗拉强度 f_u 和屈服点 f_y 比较高。
2. 足够的变形能力，即塑性和韧性性能好。塑性好则结构破坏前变形比较明显从而可减少脆性破坏的危险性；韧性好表示在动荷载作用下破坏时要吸收比较多的能量，同样也降低脆性破坏的危险程度。
3. 良好的加工性能，既适合冷、热加工，同时又具有良好的可焊性，不因这些加工而对强度、塑性及韧性带来较大的有害影响。

1.2.2 钢材的选择要点

选择钢材要做到结构安全可靠、经济合理，为此在选择钢材时应考虑下列因素：

- (1) 结构或构件的重要性；
- (2) 荷载性质(静载或动载)；
- (3) 连接方法(焊接、铆接或螺栓连接)；
- (4) 工作条件(温度及腐蚀介质)。

钢结构常用钢材类型有：碳素结构钢、低合金结构钢、高强度钢、耐火耐候钢等。其中，轻型钢结构一般采用碳素结构钢和低合金结构钢。

(1) 碳素结构钢

按含碳量的多少，碳素结构钢可分为低碳钢、中碳钢和高碳钢。一般而言，含碳量为 0.03%~0.25% 的称为低碳钢；含碳量在 0.26%~0.60% 之间的称为中碳钢；含碳量在 0.60%~2.00% 的称为高碳钢。含碳量越高钢材强度越高，建筑结构中主要使用低碳钢。按钢材质量，碳素结构钢可分为 A、B、C、D 四个等级，由 A 到 D 表示质量由低到高。不同质量等级对冲击韧性(夏比 V 形缺口试验)的要求有区别。A 级无冲击功的规定；B 级要求提供 20℃ 时冲击功 $A_k \geq 27\text{J}$ (纵向)；C 级要求提供 0℃ 时冲击功 $A_k \geq 27\text{J}$ (纵向)；D 级要求提供 -20℃ 时冲击功 $A_k \geq 27\text{J}$ (纵向)。按冶炼中的脱氧方法，钢材可分为沸腾钢(F)、镇静钢(Z)和特殊镇静钢(TZ)三类。

(2) 低合金结构钢

低合金钢是在碳素结构钢中添加一种或几种少量的合金元素(钢内各合金元素的总含量小于 5%)，从而提高其强度、耐腐蚀性、耐磨性或低温冲击韧性。低合金结构钢的含碳量一般较低(小于 0.20%)，以便于钢材的加工和焊接。低合金结构钢质量等级分为 A、B、C、D、E 五级，由 A 到 E 表示质量由低到高。不同质量等级对冲击韧性(夏比 V 形缺口试验)的要求有区别。A 级无冲击功要求；B 级要求提供 20℃ 时冲击功 $A_k \geq 34\text{J}$ (纵向)；C 级要求提供 0℃ 时冲击功 $A_k \geq 34\text{J}$ (纵向)；D 级要求提供 -20℃ 时冲击功 $A_k \geq 34\text{J}$ (纵向)；E 级要求提供 -40℃ 时冲击功 $A_k \geq 34\text{J}$ (纵向)。不同质量等级对碳、硫、磷、铝的含量的要求也有区别。低合金钢的脱氧方法为镇静钢(Z)或特殊镇静钢(TZ)。

通常，Q235A 钢只宜用于不直接承受动力作用的结构中。当用于焊接结构时，其质量证明书中应注明碳含量不超过 0.2%。对于需要验算疲劳的焊接结构，应采用具有常温冲击韧性合格保证的 B 级钢。当这类结构冬季处于温度较低的环境，若工作温度在 0~-20℃ 之间，Q235 和 Q345 应选用 C 级钢，Q390 和 Q420 则应选用 -20℃ 冲击韧性合格的 D 级钢。若工作温度 $\leq -20^\circ\text{C}$ ，则钢材的质量级别还要提高一级，Q235 和 Q345 选用 D 级钢而 Q390 和 Q420 选用 E 级钢。非焊接的构件发生脆性断裂的危险性比焊接结构小些，对材质的要求可比焊接结构适当放宽，但需要验算疲劳的构件仍应选用有常温冲击韧性保证的 B 级钢。当工作温度 $\leq -20^\circ\text{C}$ 时，Q235 和 Q345 应选用 C 级钢，Q390 和 Q420 则应选用 D 级钢。

钢结构所用的钢材主要为热轧成型的钢板和型钢、冷弯成型的薄壁型钢等。

(1) 钢板

钢板主要有厚钢板、薄钢板和扁钢(带钢)。

厚钢板：厚度 4.5~60mm，宽度 600~3000mm，长度 4~12m；

薄钢板：厚度 1~4mm，宽度 500~1500mm，长度 0.5~4m；

扁钢：厚度 3~60mm，宽度 10~200mm，长度 3~9m。

厚钢板主要用于焊接梁柱构件的腹板和翼缘及节点板，薄钢板主要用于制造冷弯薄壁型钢，扁钢可作为节点板和连接板等。

(2) 热轧型钢

钢结构常用热轧型钢为角钢、槽钢、圆管、工字钢和宽翼缘工字形截面型钢等。宽翼

缘工字钢可用于轻型钢结构中的受压和压弯构件，其他型钢截面在轻型钢结构中一般用于辅助结构或支撑结构构件。

(3) 薄壁型钢

薄壁型钢的截面尺寸可按合理方案设计，能充分发挥和利用钢材的强度、节约钢材。薄壁型钢的壁厚一般为 1.5~5mm，但承重构件的壁厚不宜小于 2mm。常用薄壁型钢截面有槽形、卷边槽形(C 形)、Z 形等。轻型钢结构中的次结构构件如檩条等一般采用薄壁型钢。

1.3 钢结构设计方法要点

1.3.1 钢结构设计方法概述

钢结构设计的基本原则是要做到技术先进、经济合理、安全适用和确保质量。结构设计方法是以概率理论为基础的极限状态设计方法，简称概率极限状态设计法。按照概率极限状态设计方法，结构的可靠度定义为：“结构在规定的时间内，在规定的条件下，完成预定功能的概率。”通常以 R 代表结构的抗力， S 代表荷载对结构的综合效应，则结构的功能函数为 Z ：

$$Z=R-S \quad (1-1)$$

$$Z=R-S \begin{cases} >0 & \text{结构处于可靠状态} \\ =0 & \text{结构达到极限状态} \\ <0 & \text{结构处于失效状态} \end{cases} \quad \begin{matrix} (1-1a) \\ (1-1b) \\ (1-1c) \end{matrix}$$

为了应用简便并符合人们的习惯，规范把结构构件极限状态设计式表达为如下的形式

$$\frac{R}{\gamma_0} = \frac{R_k}{\gamma_0 \gamma_R} \geq \gamma_G S_{Gk} + \gamma_Q S_{Qk} \quad (1-2)$$

式中 S_{Gk} 和 S_{Qk} ——按规范规定的标准值算得的永久荷载效应和可变荷载效应；

γ_R ——构件抗力分项系数；

γ_G 和 γ_Q ——永久荷载分项系数和可变荷载分项系数；

γ_0 ——结构重要性系数，应按结构构件的安全等级、设计工作寿命并考虑工程经验确定。

考虑到施加在结构上的可变荷载不止一种，且这些荷载不可能同时达到最大值。因此，根据组合荷载效应的概率分布来确定荷载的组合系数，加到式(1-2)中。即：

$$\gamma_0 (\gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} \gamma_{Qi} S_{Qi k}) \leq R \quad (1-3)$$

式中 $R=R_k/\gamma_R$ ；

S_{Qik} 和 S_{Q1k} ——第 i 个和第一个可变荷载的效应，设计时应把效应最大的可变荷载取为第一个；如果荷载效应最大并不明确，则须把不同的可变荷载作为第一个来进行比较，找出最不利组合；

γ_0 ——结构重要性系数，建筑结构根据其破坏后果的严重性，亦即危及人的生命、造成经济损失和产生社会影响的严重程度，分为三个安全等级：一般工业与民用建筑列为二级，取 $\gamma_0=1$ ；影剧院、体育馆和

高层建筑等宜按重要性为一级考虑,取 $\gamma_0=1.1$;次要和临时建筑物为三级,取 $\gamma_0=0.9$;

ψ_{ci} ——第 i 个可变荷载的组合值系数,应分别按《建筑结构荷载规范》(GB 50009)各章的规定采用。

1.3.2 荷载、作用的计算要点

建筑结构设计中的作用包括直接作用(荷载)和间接作用(如地基变形、焊接变形、温度变化或地震等引起的作用)。各类荷载和作用的取值与规定可参照现行《建筑结构荷载规范》(GB 50009)(以下简称《荷载规范》)和《建筑抗震设计规范》(GB 50011)执行。

1. 永久荷载

(1) 建筑物自重

可按结构构件的设计尺寸与材料单位体积的自重计算确定。

(2) 楼(屋)盖上工艺设备荷载

包括永久性设备荷载及管线等,应按工艺提供的数值取值。

永久荷载分项系数根据不同效应组合,按《荷载规范》规定取不同值。

2. 可变荷载

(1) 楼面均布活荷载

民用建筑和工业建筑楼面均布活荷载标准值可按《荷载规范》规定取值。其分项系数一般取 1.4,但对标准值大于 4kN/m^2 的工业房屋楼面结构的活荷载应取 1.3。

(2) 屋面活荷载

对不同类别屋面,其水平投影面上的均布活荷载标准值《荷载规范》有明确规定,且不应与雪荷载同时考虑。

(3) 积灰荷载

对于生产中有大量排灰的厂房及邻近建筑,当具有一定除尘设施和保证清灰制度的各类厂房屋面,其水平投影面上的屋面积灰荷载,可按《荷载规范》规定取值。

(4) 雪荷载

屋面水平投影面积上的雪荷载标准值,应按下式计算:

$$S_k = \mu_r S_0 \quad (1-4)$$

式中 S_k ——雪荷载标准值(kN/m^2);

μ_r ——屋面积雪分布系数,根据不同类别的屋面形式,按规范表格查取;

S_0 ——基本雪压(kN/m^2),按规范给出的 50 年一遇的雪压采用。

(5) 风荷载

作用在围护墙面上的风荷载标准值 w_k 可按下式计算,其分项系数取为 1.4。

$$w_k = \beta_z \mu_s \mu_z w_0 \quad (1-5)$$

式中基本风压 w_0 、风压高度变化系数 μ_z 、风荷载体型系数 μ_s 等均按《荷载规范》取值;风振系数 β_z 当建筑高度超过 30m,且高宽比大于 1.5 时可按规范取值,否则 $\beta_z=1.0$ 。

3. 地震作用

发生地震时,由于楼(屋)盖及构件等本身的质量而对结构产生的效应,地震作用分为水平地震作用与竖向地震作用,对于建筑物水平地震作用均须考虑,对于大跨度或大悬臂构件竖向地震作用不能忽略。地震作用计算要点如下:

(1) 水平地震作用

根据《建筑抗震设计规范》，高度不超过 40m、以剪切变形为主且质量和刚度沿高度分布均匀的结构，可采用底部剪力法计算地震作用。底部剪力法公式简单，适宜手算。一般设计软件中多采用振型分解反应谱法计算水平地震作用。采用底部剪力法时，各楼层可仅取一个自由度。结构的水平地震作用标准值，应按下列公式确定：

$$F_{Ek} = \alpha_1 G_{eq} \quad (1-6)$$

$$F_i = \frac{G_i H_i}{\sum_{j=1}^n G_j H_j} F_{Ek} (1 - \delta_n) \quad (i = 1, 2 \dots n) \quad (1-7)$$

$$\Delta F_n = \delta_n F_{Ek} \quad (1-8)$$

式中 F_{Ek} ——结构总水平地震作用标准值；

F_i ——质点 i 的水平地震作用标准值；

α_1 ——相应于结构基本自振周期的水平地震影响系数值，按规范公式计算取值；

G_{eq} ——结构等效总重力荷载，单质点应取总重力荷载代表值，多质点可取总重力荷载代表值的 85%；

G_i, G_j ——分别为集中于质点 i, j 的重力荷载代表值，应取结构和构配件自重标准值和可变荷载组合值之和，各可变荷载的组合值系数按规范中有关表格采用；

H_i, H_j ——分别为质点 i, j 的计算高度；

δ_n ——顶部附加地震作用系数，按规范中有关规定选用；

ΔF_n ——顶部附加水平地震作用。

(2) 竖向地震作用

当结构中有大跨度 ($l > 24m$) 的桁架、长悬臂以及托柱梁等结构时，其竖向地震作用可采用其重力荷载代表值与竖向地震作用系数 α_v 的乘积来计算：

$$F_{Evk} = \alpha_v G_E \quad (1-9)$$

式中 F_{Evk} ——大跨或悬臂构件的竖向地震作用标准值；

α_v ——竖向地震作用系数，根据不同烈度和场地类别，按规范规定取不同值；

G_E ——8 度和 9 度设防烈度时，分别取大跨或悬臂构件重力荷载代表值的 10% 和 20%。

各类作用的统计与计算：针对不同的计算模型，荷载统计的方法也有所不同。对于平面结构计算模型，各类作用的统计计算均以一榀框架来考虑。一般取该榀框架与相邻框架中心线间的范围作为荷载统计范围，这一范围内的所有荷载将由该榀框架承担。对于建筑平面和立面布置相同的结构，所受各种作用完全相同或基本相同，可只取一榀中间框架和一榀边框架进行计算；而对于平面布置变化较大的结构，要取不同的平面框架单元分别进行作用统计和计算。

1.3.3 作用效应组合

结构设计时，按荷载类别分别计算其所产生的荷载效应，即结构构件的内力（如弯矩、轴力和剪力）和位移，然后进行组合，求得其最不利效应，依次进行设计。

1. 荷载效应和地震作用效应组合

(1) 无地震作用时，应按下列组合值中取最不利值确定：