



“十一五”高等学校通用教材（土木建筑类）

钢结构设计

GANGJIEGOU SHEJI

● 陈勇 张春玉 主编



中国计量出版社
CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE



“十一五”高等学校通用教材（土木建筑类）

GANGJIEGOU SHEJI

钢结构设计

陈 勇 张春玉 主编



中国计量出版社

图书在版编目(CIP)数据

钢结构设计/陈勇,张春玉主编. —北京:中国计量出版社,2009.11

“十一五”高等学校通用教材(土木建筑类)

ISBN 978-7-5026-2952-6

I. 钢… II. ①陈…②张… III. 钢结构—结构设计—高等学校—教材 IV. TU391.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 209230 号

内 容 提 要

为适应高等院校土木工程专业人才培养方案的实施以及教学改革的需要,我们综合相关教材以及教学参考书的优点,结合作者多年的教学经验以及工程实践经验编写了此书。教材的主要内容包括:钢结构概况,屋盖钢结构,单层厂房钢结构,轻型门式刚架结构,大跨钢结构,多、高层房屋结构等。在编写过程中力求重点突出、概念清晰、方法明确,以满足高校培养应用型人才的需要。

本教材以培养应用型人才为目标,是高等学校土木工程专业及相关专业的本科教材,节选后亦可作为相关院校专科教材,同时可供从事土木工程施工、设计及科研技术的人员参考。

中国计量出版社 出版

地 址 北京和平里西街甲 2 号(邮编 100013)

电 话 (010)64275360

网 址 <http://www.zgjl.com.cn>

发 行 新华书店北京发行所发行

印 刷 北京密东印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 14.25

字 数 335 千字

版 次 2009 年 11 月第 1 版 2009 年 11 月第 1 次印刷

印 数 1—3 000

定 价 26.00 元

如有印装质量问题,请与本社联系调换
版权所有 侵权必究

教材编委会

主任 赵惠新 刘国普 刘宝兰

副主任 李保忠 景海河 丁琳 薛志成 杨国义

委员 (按姓氏笔画排序)

于秀娟	邓一兵	王福彤	付伟庆	左宏亮
左敬岩	孙林	刘汉青	吕名云	齐伟军
刘俊玲	乔雅敏	安静波	陈勇	李小勇
李国东	李绍峰	杜永峰	宋国利	张春玉
张俊杰	张智均	张新全	张燕坤	周莉
杨璐	郗伟	胡焜	赵文军	赵延林
姜连馥	高建岭	徐晓红	钱晓丽	程桢
程选生	董连成	潘睿	谭继亮	

策划 刘宝兰 李保忠

— 本 书 编 委 会 —

主 编 陈 勇

张春玉

副主编 田春竹

侯 威

编 委(按姓氏笔画排序)

田春竹

刘志胜

陈 勇

孟令涵

张春玉

侯 威

编写说明

近年来,建筑业的快速发展对整个社会经济起到了良好的推动作用,尤其是房地产业和各项基础设施建设的深入开展与逐步完善,使国民经济逐步走上了良性发展的道路。与此同时,建筑行业自身的结构性调整也在不断进行,这种调整使其对本行业的技术水平、知识结构和人才特点提出了更高的要求。为此,教育部对普通高校“土木建筑类”各专业的设置和教材也多次进行了相应的调整,使“建筑工程”和“交通土建工程”等相关专业逐步向“土木工程”转化,“十一五”期间,这种转化将进一步得到完善,这将使“土木工程”的内涵大大拓宽。所以,编写高等院校土木建筑类各专业所需的基础课和专业课教材势在必行。

针对这些变化与调整,由中国计量出版社牵头组织了“十一五”高等学校通用教材(土木建筑类)的编写与出版工作,该套教材主要适用于应用型人才培养院校的建筑工程、工程管理、交通土建以及水利工程等相关专业。该学科具有发展迅速、技术应用性强的特点,因此,我们有针对性地组织了黑龙江科技学院、黑龙江大学、兰州理工大学、北方工业大学、黑龙江工程学院、广东惠州学院、深圳大学、哈尔滨工程大学、东北林业大学、大庆石油学院、大连大学、哈尔滨学院以及黑龙江东方学院等45所相关高校中兼具丰富工程实践和教学经验的专家学者担当各教材的主编与主审,从而为我们成功推出该套框架好、内容新、适应面广的好教材提供了必要的保障,以此来满足土木建筑类各专业高等教育的不

断发展和当前全社会范围内建设工程项目安全体系建设的迫切需要;这也对培养素质全面、适应性强、有创新能力的高技术专门人才,进一步提高土木建筑类各专业教材的编写水平起到了积极的推动作用。

针对应用型人才培养院校土木建筑类各专业的实际教学需要,本次教材的编写尤其注重了理论体系的实用性与前沿性,不仅将建筑工程领域科技发展的新理论合理融入教材中,使读者通过教材的学习可以深入把握国际建筑业发展的全貌,而且使学生通过学习能将教材中的理论迅速应用于工程实践,这对我国新世纪应用型人才的培养大有裨益。相信该套教材的成功推出,必将会推动我国土木建筑类高校教材体系建设的逐步完善和不断发展,从而对国家的新世纪人才培养战略起到积极的促进作用。

教材编委会

2009年11月

前言

• FOREWORD •

钢材是一种高强度、高性能的绿色环保材料，具有很高的再循环使用价值。在各类建筑结构中，钢结构具有承载力高、自重轻、刚度大、抗震性能好、施工快捷等一系列优点。因此，钢结构在大跨建筑、高层建筑、超高屋建筑以及桥梁工程中得到了广泛的应用，并显示出良好的经济效益和社会效益。

在国外，早在 20 世纪二三十年代，钢结构就在各行各业中得到了广泛的应用，许多机场、桥梁和大型公共设施大都采用了钢结构。据相关资料介绍，美国大约有 70% 的非民居和两层以下的建筑均采用刚架体系。钢结构的广泛应用，加大了建筑业对钢材的需求。在欧美等发达国家，钢结构用钢量已占到钢材产量的 30% 以上，钢结构建筑面积占到了总建筑面积的 40% 以上。

1996 年，我国的钢材产量首次突破 1 亿吨；1998 年，我国的钢材产量已达到 11434 万吨，而且每年增产 300 万吨。据世界钢铁联盟发表的世界钢材产量统计，2003 年我国的钢材产量达 2.2 亿吨，为钢结构的发展提供了良好的平台。随着我国钢产量的连年增加，钢结构建筑的发展前景将不断拓宽并更加广阔。

目前，我国钢结构建筑的发展潜力巨大，新的世纪将是钢结构

快速发展的时期。长期以来,在建筑结构领域由混凝土结构和砌体结构一统天下的局面必将发生质的改变。钢结构建筑依据其自身的优越性,在我国的工程建设中所占的份额必将越来越大。因此,我们当前的首要任务是快速、全面地提高钢结构设计和应用水平,从而使这一建筑结构形式为我国建筑市场的进一步繁荣与发展做出更大贡献。

为适应高等院校土木工程专业人才培养方案的实施以及教学改革的需要,对于高校本科学生而言,在学好基础理论的前提下,进一步拓宽知识面,加强理论联系实际能力的培养是当务之急,也是培养新世纪土木工程专业人员的必要前提。基于此,我们综合相关教材以及教学参考书的优点,结合作者多年的教学经验以及工程实践经验编写了此书。教材的主要内容包括:钢结构概况,屋盖钢结构,单层厂房钢结构,轻型门式刚架结构,大跨钢结构,多、高层房屋结构等。在编写过程中力求重点突出、概念清晰、方法明确,以满足高校培养应用型人才的需要。

本教材第一章、第五章和附录由黑龙江科技学院陈勇编写,第二章和第四章由黑龙江科技学院张春玉编写,第三章和第六章由黑龙江工程学院田春竹编写;另外,内蒙古工业大学的侯威、北京中外建工程管理有限公司的刘志胜以及北京建工集团有限责任公司总承包二部的孟令涵也参与了部分章节的编写工作。

本教材的编写除参考了现行的相关规范和规程外,还参考了一些公开出版的教材和著作,在此向相关教材和著作的作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2009年10月

目 录

• CONTENTS •

第 1 章 绪 论	(1)
1.1 钢结构的应用范围及特点	(1)
1.2 钢结构的发展	(2)
1.3 钢结构的设计方法和设计要求	(3)
第 2 章 屋盖钢结构	(6)
2.1 概 述	(6)
2.2 平面桁架体系屋盖结构	(6)
2.3 空间桁架体系屋盖结构	(52)
2.4 拱形波纹钢屋盖结构	(55)
2.5 其他屋盖结构	(64)
第 3 章 单层厂房钢结构	(66)
3.1 单层厂房组成与布置	(66)
3.2 单层厂房的支撑体系和墙架体系	(68)
3.3 厂房横向框架计算	(73)
3.4 厂房柱的设计	(77)
3.5 吊车梁的设计	(82)

第4章 轻型门式刚架结构..... (98)

4.1 适用范围及特点..... (98)

4.2 结构形式和结构布置..... (99)

4.3 内力和侧移的计算..... (102)

4.4 构件设计..... (105)

4.5 连接及节点构造..... (116)

第5章 大跨钢结构..... (121)

5.1 网架结构..... (121)

5.2 悬索结构..... (142)

5.3 膜结构..... (145)

第6章 多、高层房屋结构..... (153)

6.1 多、高层钢结构的特点及布置要求..... (153)

6.2 多、高层钢结构的计算特点..... (160)

6.3 楼盖结构的布置和设计..... (169)

6.4 构件和连接的设计..... (178)

附录..... (191)

附表1 热轧H型钢规格与截面特性..... (191)

附表2 直缝电焊钢管的规格与截面特性..... (193)

附表3 无缝钢管的规格与截面特性..... (195)

附表4 螺旋焊钢管的规格与截面特性..... (199)

附表5 无侧移框架柱的计算长度系数 μ (202)

附表6 有侧移框架柱的计算长度系数 μ (202)

附表7 上端自由的单阶柱下柱段的计算长度系数..... (203)

附表 8	上端可移动但不能转动的单阶柱下柱段的计算长度系数·····	(205)
附表 9	上端自由的双阶柱下柱段计算长度系数·····	(207)
附表 10	上端可移动但不能转动的双阶柱下柱段计算长度系数·····	(211)
参考文献	·····	(215)

第 1 章 绪 论

1.1 钢结构的应用范围及特点

1.1.1 钢结构的应用范围

与砖石、钢筋混凝土和木结构等比较,钢结构的工作性能最受肯定,结构本身比较轻,生产和制作工业化程度高,安装快捷,因此钢结构在各类工程结构中应用非常广泛。由于使用功能和结构组成方式的不同,钢结构形式各异。在房屋建筑中,有钢结构厂房、大跨空间结构、高层钢结构等;在铁路及公路中有各种形式的钢桥;高耸钢结构则广泛用于通讯塔、输电线路塔等。应用范围大致有以下几类。

1) 单层厂房结构

很多重型车间的承重骨架全部都采用钢结构,例如,冶金工厂的平炉车间、初轧车间、混铁炉车间;重型机器厂的铸钢车间、锻压车间;造船厂的船台车间;飞机制造厂的装配车间;其他工厂的屋盖、吊车梁等。我国几个著名的钢铁生产基地——首钢、包钢、武钢等都有不同规模的钢结构厂房。

2) 轻型钢结构

包括冷弯薄壁钢结构、轻型门式刚架以及钢管结构。这些结构大多使用在荷载或跨度较小的建筑中。轻型钢结构具有自重轻、造价低、建设速度快等优点,同时建筑面积及空间利用率高,因此在建筑市场中极具竞争力。

3) 大跨度钢结构

大跨度钢结构由于充分发挥了材料的性能,因此在减轻结构自重方面具有明显的经济效益。其主要用于飞机库、火车站、会议厅、体育馆、展览馆等建筑,结构体系主要有框架结构、网架结构、网壳结构、悬索结构、张拉结构、膜结构、预应力钢结构等。大跨度钢结构主要有自重轻、跨度大、结构形式富于变化等优点,很多城市的标志性建筑和奥运会场馆都采用它。但是这种结构设计比较复杂,因此被称为“建筑领域的高科技”。

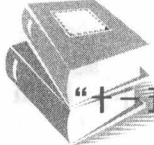
4) 多层及高层钢结构

多用于旅馆、饭店、办公楼等建筑,例如,上海锦江宾馆、深圳地王大厦等著名建筑。由于近年来我国钢产量的增加和结构设计技术的发展,钢结构住宅也进入了高速发展阶段。

5) 高耸钢结构

用于通讯塔、电视塔、输电线路塔、石油化工塔、大气监测塔、火箭发射塔、钻井塔、排气、水塔、烟囱等。

6) 桥梁钢结构



由于钢桥建造简便、迅速、易于修复,因此钢结构广泛用于中等跨度和大跨度桥梁。例如,我国自行设计的钱塘江大桥以及武汉长江大桥、南京长江大桥等,其规模和难度都是举世闻名的。

1.1.2 钢结构的特点

1) 钢结构的优点

(1) 钢材强度高,塑性和韧性好

强度高,适用于建造跨度大、高度大、承载重的结构。但是由于强度高,一般构件截面比较小,因此对于受压构件强度和稳定存在矛盾。

塑性好,结构在一般情况下不会突然发生断裂,而是出现较大的变形,故容易被发现而及时采取补救措施。

韧性好,适合在动荷载作用下工作,因此在地震多发地区采用钢结构较其他结构更为有利。

(2) 钢结构的重量轻

结构的轻质性是通过材料的质量密度与强度 f 的比值 α 进行衡量的, α 越小,结构相对越轻。建筑钢材的 α 值为 $1.7 \sim 3.7 \times 10^{-4}/\text{m}$;木材 α 值为 $5.4 \times 10^{-4}/\text{m}$;钢筋混凝土约为 α 值为 $18 \times 10^{-4}/\text{m}$ 。因此,在同等条件下钢结构要比其他材料建筑的重量要轻。

(3) 材质均匀与力学计算的假定比较符合

弹性力学和材料力学的基本假定是:物体材质是连续的、完全弹性的、均匀的、各向同性的,只有符合以上四个假定的物体,才可以看作是理想的弹性体。钢材由于在冶炼和轧制过程中的科学控制,其组织比较均匀,接近与理想的弹性体,因此钢结构实际受力情况与计算结果比较吻合,计算结果的可靠性比较高。

(4) 钢结构制造简便,施工周期短

钢结构构件一般是在工厂制作,施工机械化,准确度和精密度都较高。钢结构所有材料都是已经轧成的各种型材,加工简易而迅速。钢构件较轻,安装简便,施工周期短。

(5) 钢结构密闭性较好

由于钢材自身的一些弊端,也会影响钢结构建筑的发展。

2) 钢结构的缺点

(1) 钢材耐腐蚀性差

钢材在潮湿环境中特别是在腐蚀性介质的环境中被腐蚀,因此必须注意防护,可以采用除锈涂油漆、镀锌等方法进行保护。在设计中应避免结构受潮、漏雨,构造上应尽量避免难以检查、维修的死角。

(2) 钢材耐热不耐火

钢材在 100°C 以内强度变化不大。在 150°C 以上,由于钢材的耐火时间不长,因此采取必需的防火措施。当温度达到 600°C 以上时,钢材的强度急剧下降,可能会瞬时发生崩溃。因此,重要的结构必须采取防火措施。

(3) 钢结构在低温和其他条件下,有可能发生脆性破坏。

1.2 钢结构的发展

钢材是一种高强度、高性能的绿色环保材料,具有很高的再循环使用价值。1996年,我国



的钢材产量首次突破 1 亿吨;1998 年,我国的钢材产量已达到 11 434 万吨,而且每年增产 300 万吨。据世界钢铁联盟发表的世界钢材产量统计,2003 年我国的钢材产量达 2.2 亿吨,为钢结构的发展提供了良好的平台。

在国外,早在 20 世纪二三十年代,钢结构就在各行各业得到了广泛的应用,许多机场、桥梁和大型公共设施等大都采用了钢结构。据相关资料介绍,美国大约有 70% 的非民居和两层以下的建筑均采用刚架体系。钢结构的广泛应用,加大了建筑业对钢材的需求。在欧美等发达国家,钢结构用钢量已占到钢材产量的 30% 以上,钢结构建筑面积占到了总建筑面积的 40% 以上。

我国的钢结构起步较晚,随着国家经济实力的和社会发展的需要,近十余年来,钢结构取得了迅速的发展,初步形成了一批有实力的龙头企业鞍钢、宝钢等。制作钢结构所用的中厚板、型钢管以及涂镀层钢板等产品的质量也有了较大提高,耐火钢、超薄热轧 5 型钢等一批新型钢材研制成功,开始应用于各类工程中。比较重要的有:浦东国际机场、首都国际机场、上海金茂大厦、深圳赛格大厦、大连世贸中心、芜湖长江大桥、上海卢浦大桥、上海宝钢大型轧钢厂房、江南造船厂仓库、长江输电铁塔、青岛颐中体育场、义乌市体育场、长沙长途汽车站等,这些建筑成为了我国科技进步的某种象征,在国内外产生了一定的影响。近年来,钢结构正逐步应用于民用住宅中,并开始有所发展。与钢结构的发展相对应,我国成立了许多专业性的钢结构设计院和研究所,研究开发出了许多钢结构设计软件和新技术,并设计出了许多优秀的钢结构建筑。从计算机设计、制图、数控以及自动化加工制造到科学管理方面都有了一套独特的方法。其产品的范围也从传统的建筑工程结构、机械装备、非标准构件和成套设施延伸到商品房屋、集装箱产品和港口设施等直接到用户的终端产品。

目前,我国钢结构建筑的发展形势很好,21 世纪将是钢结构快速发展的时期。长期以来,由混凝土结构和砌体结构一统天下的局面必将发生变化,从事钢结构制作安装的施工企业前景广阔,各个建筑设计院也面临着新的机遇和挑战。由于钢结构建筑其自身的优越性,在我国的工程建设中所占的份额必将越来越大,应用范围也将越来越广。扩大内需政策的不断实施、北京申奥的成功、西部大开发战略的实施和城市化进程的加快,这些都将为国内的钢结构建筑提供广阔的市场空间和良好的发展机遇。只要加强领导,合理规划,积极组织,政府、行业和企业同努力,产、学、研紧密结合协作,全面提高行业素质和科技水平,我国钢结构建筑市场的发展前景将非常广阔。

1.3 钢结构的设计方法和设计要求

1.3.1 设计方法

我国的钢结构设计方法最早采用的是容许应力法。其设计准则是:由标准荷载按弹性方法求得构件应力 σ ,不得超过材料的容许应力 $[\sigma]$ 。这种方法形式简单,应用方便。但是对于不同的结构、不同荷载类型均采用一个按经验确定的安全系数 K 来考虑可能发生的不利因素,显然是不合理的。

随着工程技术的发展,结构可靠度理论得到了迅速地发展,建筑结构的设计方法也开始由定值法转向概率设计法,我国现行的钢结构设计规范就是采用以概率理论为基础、用分项表达

的概率极限状态设计法。

因此,对于承载能力极限状态荷载效应的基本组合按下列设计表达式中最不利值确定:
可变荷载效应控制的组合:

$$\gamma_0 (\gamma_G \sigma_{GK} + \gamma_{Q1} \sigma_{Q1K} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} \sigma_{QiK}) \leq f \quad (1-1)$$

可变荷载效应控制的组合:

$$\gamma_0 (\gamma_G \sigma_{GK} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} \sigma_{QiK}) \leq f \quad (1-2)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数,对安全等级为一级或设计使用年限为 100 年及以上的结构构件,不小于 1.1;对安全等级为二级或设计使用年限为 50 年的结构构件,不小于 1.0;对安全等级为三级或设计使用年限为 5 年的结构构件,不小于 0.9;

γ_G ——永久荷载分项系数,当永久荷载效应对结构构件的承载能力不利时取 1.2,但对式(1-2)则取 1.35。当永久荷载效应对结构构件的承载能力有利时,取为 1.0;验算结构倾覆、滑移或漂浮时取 0.9;

σ_{GK} ——永久荷载标准值在结构构件截面或连接中产生的应力;

σ_{Q1K} ——起控制作用的第一个可变荷载标准值在结构构件截面或连接中产生的应力;

σ_{QiK} ——其他第 i 个可变荷载标准值在结构构件截面或连接中产生的应力;

γ_{Q1}, γ_{Qi} ——第一个与第 i 个可变荷载分项系数,当可变荷载效应对结构构件的承载能力有利时,取 0;不利时,取 1.4(当楼面活荷载大于 4.0 kN/m^2 时,取 1.3);

ψ_{ci} ——第 i 个可变荷载的组合值系数,可按荷载规范的规定采用。

以上两式,除第一个可变荷载的组合值系数 $\psi_{ci} = 1.0$ 的楼盖或屋盖,必然由式(1-2)控制设计取 $\gamma_G = 1.35$ 外,其他只有大型混凝土屋面板的重型屋盖以及很特殊情况才有可能由式(1-2)控制设计。

对于一般排架、框架结构,可采用简化式计算。

可变荷载效应控制的组合:

$$\gamma_0 (\gamma_G \sigma_{GK} + \psi \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} \sigma_{QiK}) \leq f \quad (1-3)$$

永久荷载效应控制的组合,仍按式(1-2)进行计算。

式中, ψ 为简化式中采用的荷载组合值系数,一般情况下可采用 0.9;当只有 1 个可变荷载时,取为 1.0。

对于偶然组合,极限状态设计表达式宜按下列原则确定:偶然作用的代表值不乘分项系数;与偶然作用同时出现的可变荷载,应根据观测资料和工程经验采用适当的代表值,具体的设计表达式及各种系数,应符合专门规范的规定。

对于正常使用极限状态,按建筑结构可靠度设计统一标准的规定要求分别采用荷载的标准组合、频遇组合和准永久组合进行设计,并使变形等设计不超过相应的规定限值。

钢结构只考虑荷载的标准组合,其设计式为:

$$u_{GK} + u_{Q1K} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} u_{QiK} \leq [u] \quad (1-4)$$

式中 u_{GK} ——永久荷载的标准值在结构或结构构件中产生的变形值;



- u_{Q1K} ——起控制作用的第一个可变荷载的标准值在结构或结构构件中产生的变形值；
 u_{QiK} ——其他第 i 个可变荷载标准值在结构或结构构件中产生的变形值；
 $[u]$ ——结构或结构构件的容许变形值。

1.3.2 设计要求

钢结构设计应满足下列基本要求：

- (1) 应从工程实际出发,合理选用材料、结构方案和构造措施、采用的制造和安装技术；
- (2) 满足结构或构件在运输、安装和使用过程中的强度稳定和刚度要求；
- (3) 优先选用标准化的结构和构件；
- (4) 应符合防火和防腐要求。

钢结构节约钢材、降低造价的措施有：

- (1) 结构尺寸模数化、构件标准化、构造简洁化；
- (2) 采用高强度的钢材；
- (3) 运用新的计算理论和设计方法；
- (4) 采用新的结构体系。