

高等专科“工业与民用建筑专业”系列教材

# 钢 结 构

(第二版)

刘声扬 主编



武汉工业大学出版社

高等专科“工业与民用建筑专业”系列教材

# 钢 结 构

(第二版)

刘声扬 主编

武汉工业大学出版社

1992. 8 武汉

# 鄂新登字 13 号

## 内 容 提 要

本书系根据高等专科“工业与民用建筑专业”《钢结构》课程要求编写的教材,按我国新颁行的《钢结构设计规范》(GBJ17-88)编写,系该专业系列教材之六。全书内容包括绪论,钢结构的材料,钢结构的连接,受弯构件(梁),轴心受力构件和拉弯、压弯构件以及屋盖结构。

本书第二版系根据我国有关钢结构的规范和标准的最新版本,在初版的基础上修订的,全书内容都有进一步的完善和提高。

本书除作为高等专科“工业与民用建筑专业”教材外,还可作为土建类非“工民建专业”的本科教材,以及土建工程技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

钢结构/刘声扬主编.—2版.—武汉:武汉工业大学出版社,1996.7重印  
ISBN 7-5629-0659-9

I. 钢… II. 刘… III. 钢结构 IV. TU391

武汉工业大学出版社出版发行  
新华书店湖北发行所发行 各地新华书店经销  
武汉工业大学出版社核工业中南三〇九印刷厂印刷

\*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:15.625 插页:1 字数:380千字

1992年8月第二版 1996年7月第14次印刷

印数:156001—171000

ISBN 7-5629-0659-9/TU·33

定价:14.00元

## 高等专科学校“工业与民用建筑专业”系列教材

### 初版出版说明

本系列教材的出版，是为了适应四化建设多层次培养人才，以及当前高等专科学校“工业与民用建筑专业”教材建设上的迫切需要而组织的。考虑到该专业（高等专科学校）国家还无统一的教学计划和课程教学大纲，故本系列教材编写前曾征集部分院校意见并进行归纳整理，制定了系列教材“编写总纲”，其主要编写要求是：

贯彻“少而精”的原则，加强基本理论、基本技能和基本知识的训练。各本教材字数按学时数控制在每学时 4000 字左右。编写时要做到内容精练，叙理清楚，体系完整，特色鲜明。文字力求通俗流畅，插图力求形神兼备。对涉及到国家标准和规范的内容，均以现行国标（部标）和规范为准。对即将颁行的新规范，则以新规范的报批稿为准。对教材中符号、计量单位和术语，则尽量采用《建设结构设计通用符号、计量单位和基本术语》GBJ（83-85）的规定。

本系列教材的编写人员主要是武汉工业大学、湖南大学、华中理工大学、武汉冶金建筑专科学校和湖南城市建设专科学校等有丰富教学经验的教师。主审人员为全国部分高等院校和科研院的教授和专家。

本系列教材的出版在我国还是初次，且由于组稿仓促，缺点和不当之处一定很多，希读者指正，不胜感谢。

高等专科学校“工业与民用建筑专业”系列教材

编审委员会

1988年3月

#### 编审委员会

顾问 袁润章 成文山 王龙甫

主任 沈大荣

副主任 沈蒲生

委员（以姓氏笔划序）

刘声扬 刘鉴屏 吴代华 沙钟瑞 胡逾 施楚贤

高琼英 黄仕诚 彭少民 彭图让 蔡伯钧 魏璋

秘书长（总责任编辑） 刘声扬

#### 高等专科学校“工业与民用建筑专业”系列教材书目

- |           |                |                 |
|-----------|----------------|-----------------|
| 1. 建筑材料   | 5. 结构力学        | 9. 土力学地基与基础     |
| 2. 建筑工程测量 | 6. 钢结构         | 10. 建筑施工        |
| 3. 理论力学   | 7. 混凝土结构（上）（下） | 11. 建筑工程经济与企业管理 |
| 4. 材料力学   | 8. 砌体结构        |                 |

## 第二版前言

本书系根据高等专科“工业与民用建筑专业”《钢结构》课程要求编写的。自1988年7月初版以来，承蒙各界读者的厚爱和鼎力支持，迄今虽只4年，但已8次重印，总印数达到7.6万册，这无疑是对作者的一种无声鼓励和鞭策。然而，本书初版当时是为了配合教学的急需，编写仓促，加之书中很多内容所根据的是修订中的钢结构设计规范的报批稿，故有不少不足和有待改进之处。

近年来，新修订的“钢结构设计规范”（GBJ-88）已正式颁行。其它一些有关钢结构的国家标准如钢材（碳素结构钢、低合金结构钢）、型钢（工字钢、槽钢、角钢、H型钢）、焊条、高强度螺栓、建筑结构制图、工程结构设计基本术语和通用符号等，也有不同程度的修订，并且都颁行了新标准。因此，本书亦有作相应修订的必要。

针对上述情况，现在对本书初版进行一次全面的修订和补充，印行第二版，使其更紧密地配合国家标准和规范，实用性更强，并且使体系更完整、条理更清晰、叙理更清楚、文字更流畅，这将是适时和必要的。

本书第二版广泛吸取了读者对初版的宝贵意见，并聆取了一些专家、教授的中肯建议。编写时，仍贯彻本书初版“少而精”的原则，立足于学以致用，但同时必要的理论基础、设计方法和核心内容却相对加强，以使读者通过对本书的学习，在使用新的国家规范、标准和今后的实际工作中能掌握要领，必中有底。

本书第二版内容仍包括绪论、钢结构的材料、钢结构的设计方法、钢结构的连接、受弯构件、轴心受力构件和拉弯、压弯构件及屋盖结构等，但各章内容均有不同程度的修改，对钢结构的材料和设计方法则大部分重新改写。如其中对原3号钢改为按新国家标准《碳素结构钢》（GB700-88）中的Q235，对普通螺栓受偏心力作用时的受拉螺栓改为按大、小偏心两种情况计算，对拉剪高强度螺栓增加按连接全部螺栓抗剪承载力的总和的计算方法等。另外，还增加了一些有代表性的例题（如梁的整体稳定计算）和部分习题的答案，以及课程设计任务书等。对术语和符号则改按《工程结构设计基本术语和通用符号》（GBJ132-90）。

本书编选的例题较多，且每章均附有思考题和习题，可用于组织课堂讨论和复习。书中编印的表格和附录，可满足一般设计和应用的需要。

为了更好地配合本书学习，对书中某些基本理论和设计方法加深理解，掌握新设计规范条文的背景和解题得心应手，读者宜参阅《钢结构疑难释义——附解题指导》（刘声扬编著）一书。该书对本书各章节的重点、难点、思考题和易忽略处及学习方法均结合教学、设计和施工作了进一步的阐述（本书在有关内容处作了页末注），对习题则采用边解边议形式指出解题思路和每一步骤须注意问题。另外，配合本书，该书还可作为本科补充教材。

参加本书编写的人员有：武汉工业大学刘声扬（第一、四、六、七章），武汉冶金建筑高等专科学校田野（第二章），刘鉴屏（第三、五章），第一、四、六、七章中的插图、例题和习题答案由刘红绘制和计算，全书由刘声扬主编。湖南大学王世纪教授担任本书主审，西安冶金建筑学院陈绍蕃教授对本书第二版提了大量建设性意见，谨此致谢。

编者

1992. 8.

# 目 录

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 第一章 绪论                   | 1   |
| 第一节 我国钢结构概况              | 1   |
| 第二节 钢结构的特点和应用范围          | 3   |
| 第三节 钢结构的发展               | 4   |
| 第四节 《钢结构》课程的主要内容、特点和学习方法 | 7   |
| 思考题                      | 7   |
| 第二章 钢结构的材料               | 8   |
| 第一节 钢材的塑性破坏和脆性破坏         | 8   |
| 第二节 钢材的机械性能              | 8   |
| 第三节 影响钢材机械性能的因素          | 11  |
| 第四节 钢材的种类及选用             | 15  |
| 思考题                      | 21  |
| 第三章 钢结构的设计方法             | 22  |
| 第一节 概述                   | 22  |
| 第二节 概率极限状态设计法            | 23  |
| 第三节 钢材的疲劳                | 26  |
| 思考题                      | 33  |
| 第四章 钢结构的连接               | 34  |
| 第一节 钢结构的连接方法及其应用         | 34  |
| 第二节 焊接方法、焊缝形式和质量级别       | 35  |
| 第三节 对接焊缝的构造和计算           | 40  |
| 第四节 角焊缝的构造和计算            | 44  |
| 第五节 焊接残余应力和残余变形          | 55  |
| 第六节 普通螺栓连接的构造和计算         | 58  |
| 第七节 高强度螺栓连接的构造与计算        | 70  |
| 思考题                      | 77  |
| 习题                       | 77  |
| 第五章 受弯构件(梁)              | 79  |
| 第一节 受弯构件(梁)的类型           | 79  |
| 第二节 梁的强度、刚度和整体稳定         | 79  |
| 第三节 型钢梁设计                | 90  |
| 第四节 组合梁设计                | 93  |
| 第五节 梁的局部稳定和腹板加劲肋设计       | 99  |
| 第六节 梁的拼接                 | 114 |
| 第七节 梁的支座和主次梁的连接          | 115 |
| 第八节 焊接实腹式吊车梁设计要点和例题      | 117 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 思考题 .....                     | 129 |
| 习题 .....                      | 130 |
| 第六章 轴心受力构件和拉弯、压弯构件.....       | 131 |
| 第一节 轴心受力构件和拉弯、压弯构件的类型.....    | 131 |
| 第二节 轴心受拉构件和轴心受压构件的强度和刚度 ..... | 133 |
| 第三节 轴心受压构件的整体稳定 .....         | 134 |
| 第四节 实腹式轴心受压构件的局部稳定 .....      | 146 |
| 第五节 实腹式轴心受压构件的截面设计 .....      | 147 |
| 第六节 格构式轴心受压构件的设计 .....        | 152 |
| 第七节 拉弯、压弯构件的强度和刚度 .....       | 159 |
| 第八节 实腹式压弯构件的整体稳定 .....        | 163 |
| 第九节 压弯构件的计算长度 .....           | 168 |
| 第十节 实腹式压弯构件的局部稳定 .....        | 172 |
| 第十一节 实腹式压弯构件的截面设计 .....       | 174 |
| 第十二节 格构式压弯构件的截面设计 .....       | 177 |
| 第十三节 梁与柱的连接 .....             | 180 |
| 第十四节 柱脚.....                  | 182 |
| 思考题 .....                     | 188 |
| 习题 .....                      | 189 |
| 第七章 屋盖结构.....                 | 191 |
| 第一节 屋盖结构的组成和形式.....           | 191 |
| 第二节 檩条、拉条和撑杆 .....            | 192 |
| 第三节 屋盖支撑 .....                | 195 |
| 第四节 屋架 .....                  | 199 |
| 第五节 普通钢屋架设计实例 .....           | 214 |
| 思考题 .....                     | 224 |
| 附录 附表 1 轴心受压构件的稳定系数 .....     | 226 |
| 附表 2 柱的计算长度系数 .....           | 231 |
| 附表 3 各种截面回转半径的近似值 .....       | 232 |
| 附表 4 热轧普通工字钢截面特性 .....        | 233 |
| 附表 5 热轧普通槽钢截面特性 .....         | 234 |
| 附表 6 热轧等边角钢截面特性 .....         | 235 |
| 附表 7 热轧不等边角钢截面特性 .....        | 237 |
| 附表 8 热轧宽翼缘 H 型钢截面特性 .....     | 239 |
| 附表 9 热轧窄翼缘 H 型钢截面特性 .....     | 241 |
| 附表 10 热轧 H 型钢桩截面特性 .....      | 241 |
| 附表 11 锚栓规格 .....              | 242 |
| 附表 12 螺栓的有效面积 .....           | 242 |
| 参考文献.....                     | 243 |

# 第一章 绪 论

## 第一节 我国钢结构概况

钢结构的应用在我国已有悠久的历史。据历史记载,远在汉明帝(公元60年前后)时,为了和西域通商和进行宗教、文化交流,在我国西南地区交通要道的深山峡谷上即建造了铁链桥。兰津桥是铁链桥中最早的一座,它约建于公元58~75年,比欧洲最早的铁链桥早70余年。其后以明代建造的云南沅江桥、清代建造的贵州盘江桥和四川泸定大渡河桥最著名。大渡河桥建于清康熙四十四年(1705年),全桥由9根桥面铁链(上铺木板)和4根扶手铁链组成,净长100m,宽2.8m,可通行两辆马车。铁链锚固在直径20cm、长4m的铸铁锚桩上。

铁塔是我国古代的一种宗教建筑。如现存的建于宋代的湖北荆州玉泉寺13层铁塔,以及山东济宁铁塔寺铁塔和江苏镇江甘露寺铁塔等,都以其建筑造型和冶金技术的高超水平,表明了我国古代在金属结构方面的卓越成就。

近百余年来,随着欧洲产业革命的兴起,钢结构在欧美各国的工业与民用建筑中得到广泛应用,其规模和数量已远超过人类数千年的历史记载。但我国却因受封建制度的束缚和帝国主义的侵略,发展很缓慢,其间虽也建造了为数不多的高层建筑(上海的国际饭店、永安公司、上海大厦等)以及铁路桥和公路桥,然而主要是由外商承包设计和施工。同一时期,我国钢结构工作者在艰难条件下也建造了一些建筑物,其中有代表性的如1931年建成的广州中山纪念堂、1934年建成的上海体育馆(三铰拱,跨度42.6m)和1937年建成的杭州钱塘江大桥等。

1949年建国以来,我国的冶金工业和钢结构的设计、制造和安装水平有了很大提高,发展十分迅速。

1957年建成的武汉长江大桥,正桥三联九孔,每孔跨度128m,全长1155.5m。同一时期我国还扩建了鞍山钢铁公司,新建了武汉钢铁公司和包头钢铁公司以及其它重工业厂房,如长春第一汽车制造厂、富拉尔基重型机器制造厂、洛阳拖拉机厂等,都大量应用了钢结构。在公用建筑中,有北京的人民大会堂钢屋架(跨度60.9m、高7m),工人体育馆的车厢式悬索屋顶结构(直径94m)等。所有这些,都标志着我国钢结构迈入到一个新的发展阶段。

进入本世纪60~70年代,由于我国工业发展受到很大障碍,钢产量也长期停滞徘徊,没有太多增长,在此客观条件下,钢结构的应用也受到了很大限制。

本世纪70年代后期以来,随着我国经济建设形势的好转,钢产量逐年稳步增长,钢结构也得到了广泛应用。在此期间先后建成的武汉钢铁公司一米七热轧薄板和冷轧薄板厂及上海宝山钢铁总厂第一、二期工程(图1-1所示为宝钢初轧厂,图1-2为1号高炉和上料通廊),其钢结构用量都以10万吨计。其它还有为数众多的铁路及公路桥梁(九江长江大桥最大跨度达



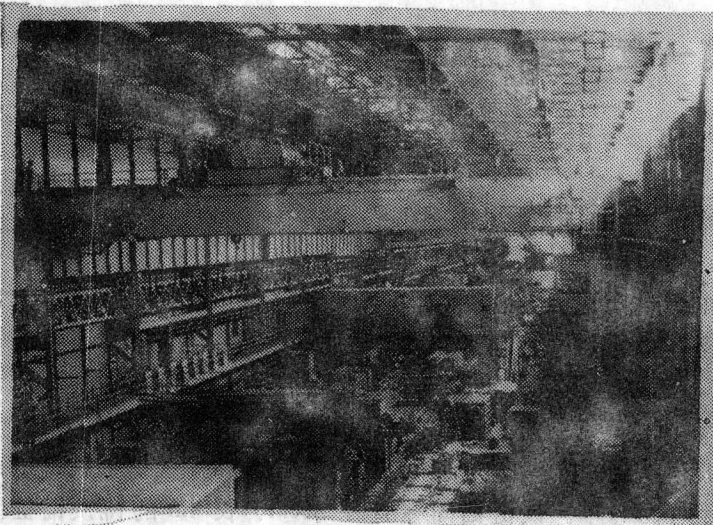


图 1-1 宝钢初轧厂



图 1-2 宝钢 1 号高炉和上料通廊

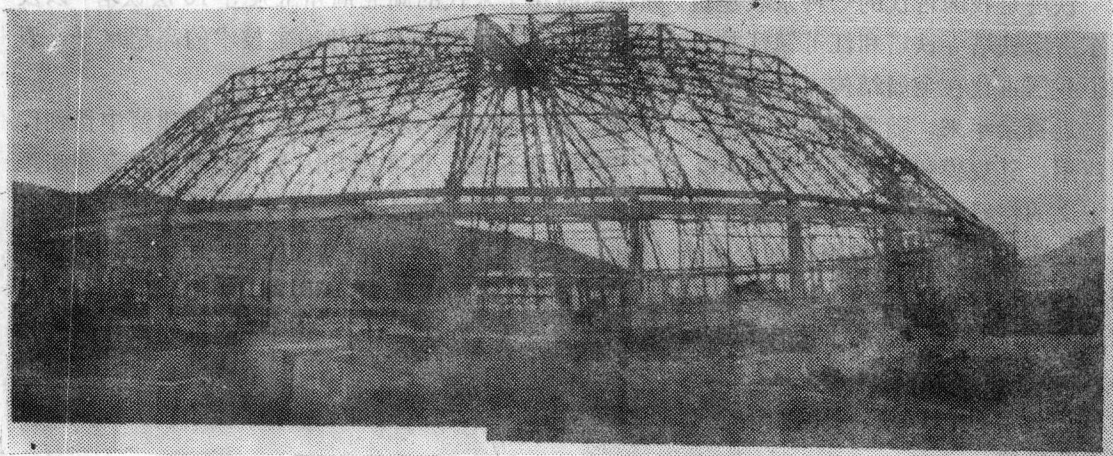


图 1-3 吉林双阳水泥厂石灰石预均化库

216m)、大型仓库(图 1-3 为吉林双阳水泥厂石灰石预均化库穹顶钢结构,跨度 85m)、石油化工厂、发电厂、造船厂和各种特种结构(图 1-4 为西昌卫星发射架),不胜枚举,都大量应用了钢结构。尤其在近几年,钢结构正进入我国高层和超高层建筑领域,北京、上海和深圳等地已有十余幢大厦陆续建造,其中北京京广中心(图 1-5,地上 53 层,地下 3 层,高 208m)是我国目前最高的钢结构超高层建筑。展望我国钢结构的发展前景,在钢产量已突破 7000 万吨(1991 年已达年产钢 7057 万吨、钢材 5547 万吨)的今天,随着我国实行改革开放,加快经济建设的形势下,钢结构必将进一步得到广泛应用。同时,我国钢结构的科学技术也必将达到世界先进水平\*。

\* 钢结构的应用状况和发展还可参阅《钢结构疑难释义——附解题指导》(刘声扬编著,武汉工业大学出版社出版)节 1。  
1. 本书以下对该书简称《疑难释义》。

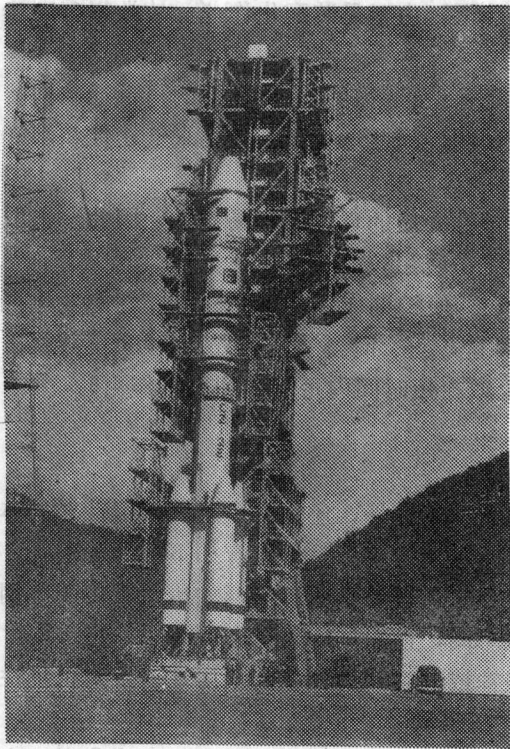


图 1-4 西昌卫星发射架

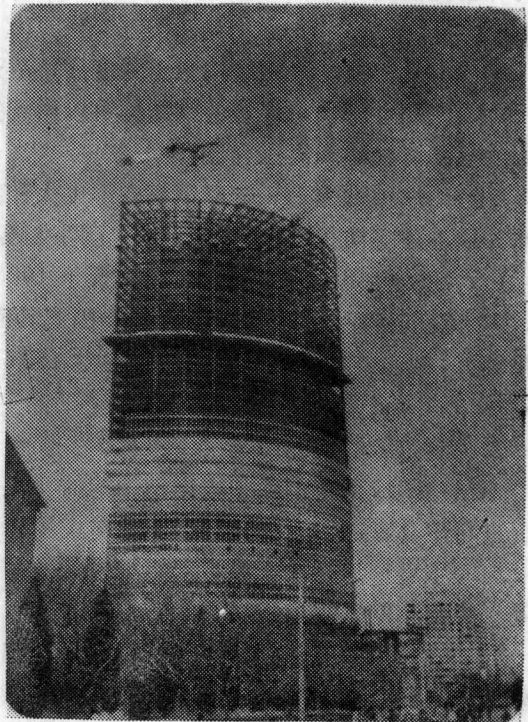


图 1-5 北京京广中心

## 第二节 钢结构的特点和应用范围

### 一、钢结构的特点

钢结构是以钢材(钢板和型钢等)为主制作的结构,和其它材料的结构相比,钢结构具有如下特点:

(一)强度高——钢比混凝土、砌体和木材的强度和弹性模量要高出很多倍,因此,钢结构的自重常较轻。例如在跨度和荷载都相同时,普通钢屋架的重量只有钢筋混凝土屋架的 $1/4\sim 1/3$ ,若采用薄壁型钢屋架,则轻得更多。由于自重小、刚度大,钢结构用于建造大跨度和超高、超重型的建筑物特别适宜。由于重量轻,钢结构也便于运输和吊装,且可减轻下部结构和基础的负担。

(二)材质均匀——钢材的内部组织均匀,非常接近于各向同性体,且在一定的应力范围内,属于理想弹性工作,符合工程力学所采用的基本假定。因此,钢结构的计算方法可根据力学原理,计算结果准确可靠。

(三)塑性、韧性好——钢材具有良好的塑性,钢结构在一般情况下,不会发生突发性破坏,而是在事先有较大变形作预兆。此外,钢材还具有良好的韧性,能很好地承受动力荷载。这些都为钢结构的安全应用提供了可靠保证。

(四)工业化程度高——钢结构是用各种型材(工字钢、槽钢、角钢)和钢板,经切割、焊

接等工序制造成钢构件，然后运至工地安装。一般钢构件都可在金属结构厂采用机械化程度高的专业化生产，故精确度高，制造周期短。在安装上，由于是装配化作业，故效率高，建造期短。

(五) 拆迁方便——钢结构由于强度高，故适宜于建造重量轻、连接简便的可拆迁结构。

(六) 密闭性好——焊接的钢结构可以做到完全密闭，因此适宜于建造要求气密性和水密性好的气罐、油罐和高压容器。

(七) 耐腐蚀性差——一般钢材在湿度大和有侵蚀性介质的环境中容易锈蚀，因此须采取除锈、刷油漆等防护措施，而且还须定期维修，故维护费用较高。

(八) 耐火性差——当辐射热温度低于  $100^{\circ}\text{C}$  时，即使长期作用，钢材的主要性能变化很小，其屈服点和弹性模量均降低不多，因此其耐热性能较好。但当温度超过  $250^{\circ}\text{C}$  时，其材质变化较大，故当结构表面长期受辐射热达  $150^{\circ}\text{C}$  以上或在短时间内可能受到火焰作用时，须采取隔热和防火措施。

## 二、钢结构的应用范围

钢结构的应用范围除须根据钢结构的特点作出合理选择外，还须结合我国国情针对具体情况综合考虑。目前我国在工业与民用建筑中钢结构的应用，大致有如下几个范围：

(一) 重型厂房结构：设有起重量较大的吊车或吊车运转繁重的车间，如冶金工厂的炼钢车间、轧钢车间，重型机械厂的铸钢车间、水压机车间，造船厂的船体车间等。

(二) 受动力荷载作用的厂房结构：设有较大锻锤或其它动力设备的厂房，以及对抗震性能要求较高的结构。

(三) 大跨结构：飞机制造厂的装配车间、飞机库、体育馆、大会堂、剧场、展览馆等，宜采用网架、拱架、悬索以及框架等结构体系。

(四) 多层、高层和超高层建筑：工业建筑中的多层框架和旅馆、饭店等高层或超高层建筑，宜采用框架结构体系、框架支撑体系、框架剪力墙体系。

(五) 高耸构筑物：电视塔、环境气象监测塔、无线电天线桅杆、输电线塔、钻井塔等，宜采用塔架和桅杆结构。

(六) 容器、贮罐、管道：大型油库、气罐、煤气柜、煤气管、输油管等，多采用板壳结构。

(七) 可拆卸、装配式房屋：商业、旅游业和建筑工地上用活动房屋，多采用轻型钢结构，并用螺栓或扣件连接。

(八) 其它构筑物：高炉、热风炉、锅炉骨架、起重架、起重桅杆、运输通廊、管道支架等。

## 第三节 钢结构的发展

随着我国经济建设的蓬勃发展，钢结构的应用必将相应地发展。就我国目前状况以及与国际钢结构水平比较，在今后一段时期须加强如下几方面工作：

### 一、研制高强度钢材

应用高强度钢材，对大(跨度)、高(耸)、重(型)的结构非常有利。我国目前普遍应用的钢材是碳素结构钢中的 Q235 钢和低合金结构钢中的 16Mn 钢，其屈服点分别为  $235\text{N}/\text{mm}^2$  和

345N/mm<sup>2</sup>。屈服点为 390N/mm<sup>2</sup> 的 15MnV 钢经过多年的工程实践已正式列入新颁行的《钢结构设计规范》(GBJ17-88)\*, 作为推荐钢材。但是, 和国外高强度钢材比较, 当前仍有较大差距。如美国和原苏联在 1969 年和 1975 年就先后采用屈服点为 700N/mm<sup>2</sup> 和 750N/mm<sup>2</sup> 的钢材。我国冶金工业现正努力研制和生产适合于结构用的新钢种, 如正在建设中的九江长江大桥就采用了屈服点为 411.6N/mm<sup>2</sup> 的高强度钢材 15MnVNq-C 钢 (15 锰钒氮桥 C 级钢)。

## 二、轧制新品种

### 型钢

(一)H 型钢、T 型钢: 我国钢结构在本世纪一贯采用的型钢品种是普通工字钢、槽钢和角钢。由于其截面形式和尺寸的限制, 故在应用时材料很难充分合理地发挥作用。国外自 70 年代以来, 大量采用

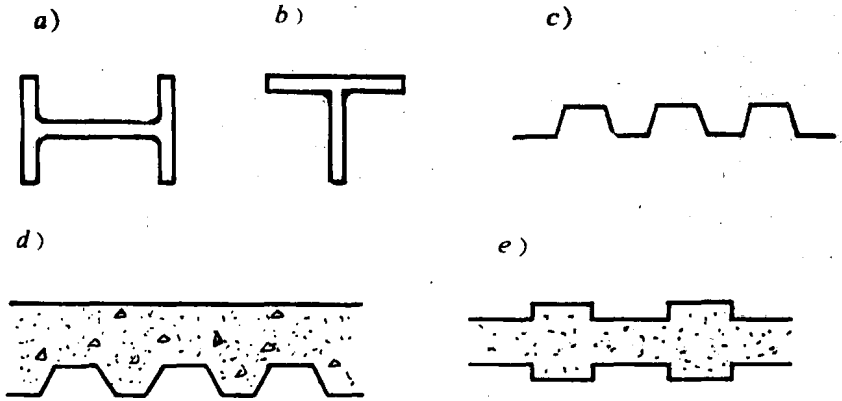


图 1-6 H 型钢、T 型钢和压型钢板

了 H 型钢 (又称宽翼缘工字钢) 和 T 形钢 (图 1-6a、b)。由于截面开展, 它们可直接用来做梁、柱或屋架杆件等, 使制造工作量大为减低, 工期缩短, 经济效果显著。我国近年来在引进的上海宝山钢铁总厂的部分厂房和深圳发展中心大厦高层建筑中, 就主要采用了这类型钢。现在, 我国马鞍山钢铁公司已开始生产小规格的 H 型钢, 大规格 H 型钢的轧制有关工厂亦在筹建中。在未生产前, 当前只能采用三块钢板焊制的焊接 H 型钢代替。

(二)压型钢板: 分彩色涂层压型钢板和镀锌压型钢板。它是用 0.4~1mm 彩色涂层钢板或 1~2mm 镀锌钢板经冷轧 (压) 成各种类型的波形板 (图 1-6c)。彩色涂层压型钢板可直接用做屋面板、墙板。由于它自重轻, 制造、安装简便, 且色彩鲜艳, 外形美观, 已在一些发达国家得到广泛应用。近年来, 我国在上海宝山钢铁总厂工程中也大量应用了彩色涂层压型钢板。另外, 镀锌压型钢板还可用于高层建筑的组合楼盖, 即在其上浇灌混凝土 (图 1-6d), 此时它既可以代替模板同时又可起抗拉筋作用承受拉力, 深圳发展中心大厦的组合楼盖采用的为美国专利的压型钢板。在两层压型钢板之间填充聚胺酯泡沫塑料的压型钢板复合保温板 (图 1-6e), 其自重仅 100N/m<sup>2</sup> 左右, 可有效地用做保温屋面板和墙板, 其外形美观, 施工方便。我国于 1987 年后在武汉钢铁公司和鞍山钢铁公司等冶金企业建成多处彩色涂层钢板生产线, 为在我国的应用推广奠定了良好基础。

(三)薄壁型钢: 系用 1.5~5mm 薄钢板经冷轧 (弯) 形成各种截面形式的型钢 (参见图 2-12)。由于壁薄, 故相对而言, 材料离心形轴较普通型钢远, 因此能有效地利用, 从而达到节约钢材的目的。我国在 60 年代曾有比较多的应用 (如在十堰第二汽车制造厂), 但近年来因材料供应不足, 品种规格不齐等原因, 使发展受到了限制。

\* 本书以下对《钢结构设计规范》(GBJ17-88)简称《规范》。

### 三、改进设计方法

经过我国钢结构工程技术人员多年来勤奋工作，新颁行的《规范》在原《钢结构设计规范》(TJ17-74)基础上作了较多的改进，如在设计方法上采用了当前国际上结构设计最先进的方 法——以概率理论为基础的极限状态设计方法；对轴心受压构件的稳定计算由原来的一条柱子曲线改为三条柱子曲线；对压弯构件的稳定计算式由原来的单项式改为从直观上能表达出轴心力和弯矩影响的双项式；对疲劳计算则由原来的用最大应力或应力比改为用应力幅。凡此种种，都表明我国已能较好地掌握运用现代科技的测试和计算技术，使钢结构的计算方法反映结构的实际工作情况，从而能更合理地使用材料。然而，在某些问题上仍有待于进一步的改进和提高，如对设计方法，虽然改变了过去长期凭经验或半概率法确定的定值安全系数法，使计算方法由定性分析前进到以概率论和数理统计为基础制定的按结构可靠度的定量分析方法，但在确定基本变量分布时，仍有相当程度的近似性，且对一些复杂关系进行了线性化，故还须进一步使其完善。对疲劳计算虽然改为用应力幅，但采用的是按容许应力幅，而未采用按极限状态计算，这亦有待于进一步研究。另外，对结构体系的性能研究采用概率方法，需要进行的研究工作则更多。

### 四、采用新型结构

(一)大跨度建筑：网架结构近年来在我国已得到广泛应用，它能有效地跨越较大空间，但其目前所用跨度仍多在 60m 以内，且在工业建筑中应用还不够普遍。悬索结构在大跨度建筑中是一种造型美观，对建筑平面图适应性强的结构形式，由于主要承重构件受拉，因此可最大限度地利用材料，用钢量很低(按国外资料约  $10\text{kg}/\text{m}^2$  以下，比网架结构降低 60~70%)。国外对悬索结构的应用已相当普遍，我国因高强度钢丝束、钢绞线等原材料的限制，应用还很少。预应力钢结构是在结构体系中增加少量高强度钢材(钢丝束、钢绞线、钢丝绳或圆钢)，并对其施加适当的预应力，从而增加结构的承载能力，故是大跨度结构节约钢材的一种有效方法。用其加强悬索结构，更具有明显的经济效果。但我国目前采用很少，还须作进一步的推广。

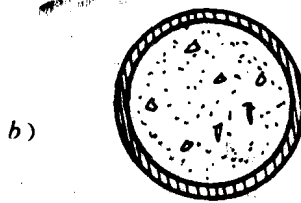
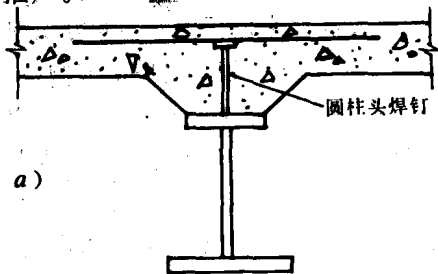


图 1-7 组合梁、钢管混凝土柱

(二)组合结构：将钢和混凝土组合起来共同受力并发挥各自的长处，可有效地节约材料。除前述的压型钢板组合楼盖外，目前推广应用的

还有组合梁(图 1-7a)和钢管混凝土柱(图 1-7b)等。组合梁是用圆柱头焊钉、槽钢或弯起钢筋作抗剪连接件将钢梁和混凝土板连成一体共同受力。由于组合梁一般均在混凝土板和钢梁的连接部位局部加厚做成板托，因而其塑性中和轴常可位于混凝土翼板内，这样将使钢梁只受拉而混凝土板只受压，以充分发挥各自的特性，从而达到节约材料的目的。钢管混凝土柱是在钢管内浇灌混凝土的组合柱，由于柱中混凝土被钢管约束，能很好地共同工作，故其整体强度可大幅度提高，且具有良好的塑性和韧性，经济效果显著。

### 五、应用优化原理

由于电子计算机的应用，已使确定优化的结构形式和优化的截面形式成为可能，从而取

得极大经济效果。例如用计算机解得吊车梁优化的截面尺寸可比过去的标准设计节省钢材 5~10%。但对整体结构的优化设计今后还须作进一步研究。

#### 六、构件的定型化、系列化、产品化

从设计着手,结合制造工艺,将一些易于定型化、标准化的产品,如网架、平行弦双坡屋架等,使其杆件规格统一,便于互换和大量制造成系列化产品,以达到批量生产,降低造价。

### 第四节 《钢结构》课程的主要内容、特点和学习方法

#### 一、《钢结构》课程的主要内容

《钢结构》课程的主要内容包括材料、连接(包括构件的连接)、基本构件(受弯构件、轴心受力构件和拉弯、压弯构件)和结构设计等部分。前面几部分内容是《钢结构》的基础,而结构设计部分则是它们的综合应用。

#### 二、《钢结构》的特点

《钢结构》是一门理论性较强的课程,但其理论密切联系实践,须结合实验和工程检验才能完善和发展。《钢结构》还是一门很有生命力的课程,随着各种高效钢材和新型结构的开发,计算技术和试验手段的现代化,钢结构技术也在随着更新和发展,各种有关标准和规范也在不断修订充实,而《钢结构》内容则在不断修订扩充。

#### 三、《钢结构》的学习方法

对《钢结构》的学习首先应将基本理论和基本概念放在重要位置,并要对材料、连接、基本构件和结构设计等内容,善于归纳、分析和比较,并不断加深理解。同时,还须联系工程实践,吸取感性知识。另外,在设计和做习题时,应条理清晰,步骤分明,计量单位采用得当,以避免计算中的遗漏和失误\*。

### 思 考 题

1. 根据你所知道的钢结构工程,试述其特点。
2. 钢结构有哪些特点?结合这些特点,你认为应怎样选择其合理应用范围?
3. 《钢结构》课程有哪些主要内容和特点?你准备怎样进行学习?

---

\* 《钢结构》的主要内容、特点和学习方法还可参阅《疑难释义》节 1.4。



## 第二章 钢结构的材料

钢结构的主要材料是钢材。钢材种类繁多，性能各异，价格不同。适于建筑钢结构使用的钢材须具有良好的机械性能(强度、塑性、韧性等)和加工工艺性能(冷加工、热加工、焊接等)，同时还须货源充足，价格较低。因此，能满足上述要求的仅是钢材品种中的很小一部分。

另外，钢材在受力破坏时，表现为塑性破坏和脆性破坏两种特征，其产生原因除涉及钢材自身的性质外，还与一些外在的使用条件有关。脆性破坏是钢结构应该严加防止的，因此，研究和掌握钢材在各种应力状态下的工作性能、产生脆性破坏的原因和影响钢材性能的因素，从而在实际工程中合理而经济地选择钢材和进行结构设计，是钢结构非常重要的内容。

### 第一节 钢材的塑性破坏和脆性破坏

取两种拉伸试件，一种是标准圆棒试件，另一种是比标准试件加粗但在中部车有小槽，其净截面面积仍与标准试件截面面积相同的试件。当两种试件分别在拉力试验机上均匀地加荷直至拉断时，其受力性能和破坏特征呈现出非常明显的区别。

标准的光滑试件拉断时有比较大的伸长和变细，加荷的延续时间长，断口呈纤维状，色发暗，有时还能看到滑移的痕迹，断口与作用力的方向约成  $45^\circ$ 。此种破坏的塑性特征明显，故称为塑性破坏。由于钢材的塑性破坏有很大变形，容易及时发现和采取措施进行补救，因而不致引起严重后果。另外，塑性变形后出现的内力重分布，会使结构中原来应力不均匀的部分趋于均匀，同时也可提高结构的承载能力。

带小槽的试件在拉断前塑性变形很小，且几乎无任何迹象而突然断裂，其断口平齐，呈有光泽的晶粒状，此种破坏形式称为脆性破坏。由于脆性破坏的突然性，故比塑性破坏危险得多。因此，钢结构的设计、制造和安装，均应采取适当措施以防止钢材发生脆性破坏。

### 第二节 钢材的机械性能

钢材的机械性能是钢材在各种作用(见第三章第二节)下反映的各种特性，它包括强度、塑性和韧性等方面，须由试验测定。

#### 一、强度

在静载、常温条件下，对钢材标准试件一次单向均匀拉伸试验是机械性能试验中最具有代表性的。它简单易行，可得到反映钢材强度和塑性的几项主要机械性能指标，且对其它受力状态(受压、受剪)也有代表性。图 2-1a 为低碳钢单向均匀拉伸试验的应力-应变曲线(图 2-1b 为曲线的局部放大)，从中可看出钢材受力的几个阶段和强度、塑性的几项指标。

曲线开始的斜直线所对应的最大应力为比例极限  $f_p$ 。当  $\sigma \leq f_p$  时，应力和应变成正比，符合虎克定律。其斜率  $E = \Delta\sigma / \Delta\varepsilon$ ，称为弹性模量，一般钢材可统一取  $E = 206 \times 10^3 \text{N/mm}^2$ 。当  $\sigma > f_p$  以后，曲线弯曲，应力-应变关系呈非线性，但钢材仍具有弹性性质，即此时若卸荷( $\sigma$  回

零), 则应变也降至零, 不出现残余变形, 这称为弹性阶段(图 2-1b 中区段 I) 终点对应的应力称为弹性极限  $f_e$ , 它常同  $f_p$  十分接近, 一般可不加区分。

当  $\sigma > f_e$  后, 进入弹塑性阶段(图 2-1b 中区段 II), 变形包括弹性变形和塑性变形两部分, 即后者在卸荷后不会消失而成为残余变形。其后, 曲线出现锯齿形波动, 直到某一数值, 即使应力保持不变, 应变仍持续增大, 这称为塑性流动阶段(图 2-1b 中区段 III), 也就是钢材对外力的屈服阶段, 相应的应力称为屈服点  $f_y$ 。屈服阶段后, 钢材内部组织经重新调整, 又恢复了承载能力, 曲线有所上升, 此称为强化阶段。在此阶段以塑性变形为主, 直至曲线最高点即抗拉强度  $f_u$ 。随后, 试件局部出现横向收缩——颈缩, 变形亦剧增, 荷载下降, 直至断裂。

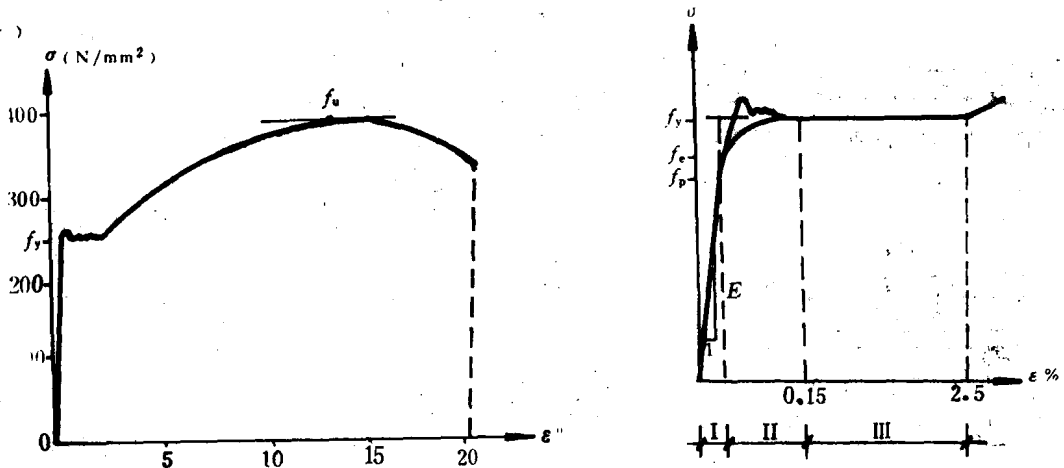


图 2-1 低碳钢单向均匀拉伸的应力-应变曲线

由上述可见, 有代表性的强度指标为比例极限  $f_p$ 、弹性极限  $f_e$ 、屈服点  $f_y$  和抗拉强度  $f_u$ 。但钢材常存在残余应力(见第三章第三节), 在其影响下,  $f_e$  和  $f_p$  很难区分, 且二者和  $f_y$  也很接近, 另外  $f_y$  之前应变又很小( $\epsilon \approx 0.15\%$ ),  $f_y$  之后应变却急剧增长(流幅  $\epsilon \approx 0.15 \sim 2.5\%$ ), 故通常可简化为  $f_y$  之前材料为完全弹性体,  $f_y$  之后则为完全塑性体(忽略应变硬化作用), 从而将钢材视为理想的弹-塑性材料(图 2-2)。因此, 钢结构设计时, 可以屈服点作为强度计算的限值, 即钢材强度的标准值( $f_k$ ), 并据以确定钢材的强度(抗拉、抗压和抗弯)设计值(见第三章第二节)。

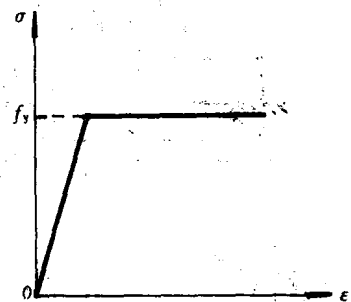


图 2-2 理想弹塑性体的应力-应变曲线

没有明显屈服点和塑性平台的钢材(如制造高强度螺栓的经热处理钢材), 可以卸荷后试件的残余应变  $\epsilon = 0.2\%$  所对应的应力为其屈服点, 称为名义屈服点或屈服强度  $f_{0.2}$ (图 2-3)。

抗拉强度  $f_u$  是钢材破坏前能够承受的最大应力, 但这时钢材产生了巨量塑性变形(约为弹性变形的 200 倍), 故实用意义不大。然而它可直接反映钢材内部组织的优劣, 同时还可作为钢材的强度储备, 即  $f_y/f_u$ (屈强比)愈小, 强度储备愈大。

综上所述可见, 屈服点  $f_y$  和抗拉强度  $f_u$  是钢材强度的两项重要指标。



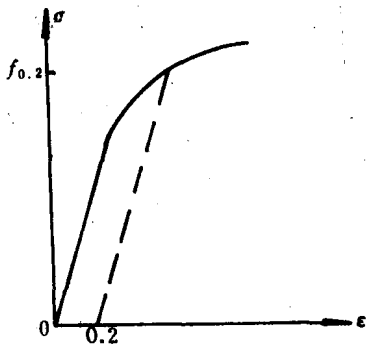


图 2-3 钢材的名义屈服点

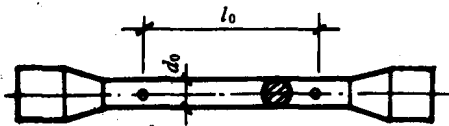
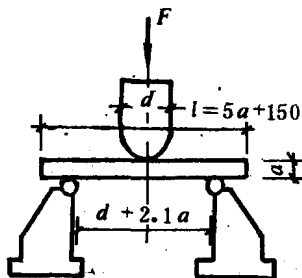
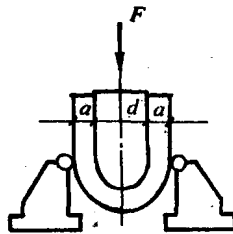


图 2-4 静力拉伸试验的标准试件



试验前



试验后

图 2-5 冷弯性能试验

试验严格的一种试验方法。它不仅表达钢材的冷加工性能，而且也能暴露钢材内部的缺陷（如非金属夹杂和分层等），因此是一项衡量钢材综合性能的指标。

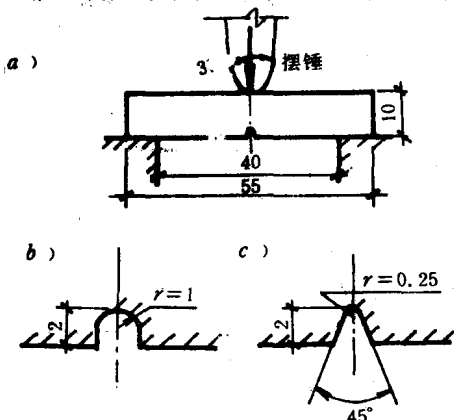


图 2-6 冲击韧性试验及试件缺口形式

- a) 试验示意图； b) 梅氏U形缺口；  
c) 夏比氏V形缺口

## 二、塑性

塑性是指钢材破坏前产生塑性变形的能力。可由静力拉伸试验得到的机械性能指标伸长率 $\delta$ 来衡量。

伸长率 $\delta$ 等于试件(图 2-4)拉断后的原标距的塑性变形(即伸长值)和原标距的比值,以百分数表示,即:

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (2-1)$$

式中  $l_0$ ——试件原标距长度;

$l_1$ ——试件拉断后的标距长度。

$\delta$ 随试件的标距长度与试件直径 $d_0$ 的比值 $l_0/d_0$ 增大而减小\*。标准试件一般取 $l_0=5d_0$ (短试件)或 $l_0=10d_0$ (长试件),所得伸长率用 $\delta_5$ 和 $\delta_{10}$ 表示。现钢材标准规定采用 $\delta_5$ ,以节约材料。

## 三、冷弯性能

冷弯性能可衡量钢材在常温下冷加工弯曲时产生塑性变形的能力。冷弯性能试验是用按试件厚度一定比例规定弯心直径 $d$ 的冲头对试件加压,使其弯曲 $180^\circ$ (图 2-5),然后检查试件表面,以不出现裂纹和分层为合格。

冷弯性能也是钢材机械性能的一项指标,但它是比单向拉伸

## 四、韧性

钢材的韧性用冲击试验确定,它是衡量钢材抵抗脆性破坏的机械性能指标。

钢材的脆断常从裂纹和缺口等应力集中和三向受拉应力处产生,故为了具有代表性,冲击试验一般采用截面 $10 \times 10\text{mm}$ 、长 $55\text{mm}$ 中间开有缺口的试件放在冲击试验机上击断(图 2-6a),以得出其吸收的冲击功 $A_k$ (单位J)。根据缺口形状,试件有梅氏(U形缺口)和夏比氏(V形缺口)的区分(图 2-6b、c)。前者的冲击韧性是用 $A_k$ 除以试件缺口处的净截面面积 $A_n$ 表示,即冲击值 $\alpha_k = A_k/A_n$ ,单位 $\text{J}/\text{mm}^2$ ,后者则直接用 $A_k$ 表示。 $\alpha_k$ 或 $A_k$ 值愈大,则钢材的韧

\*  $\delta$ 随 $l_0/d_0$ 增大而减小的原因可参阅《疑难释义》节 3.10。