



普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材
全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材

Jinshu
Jiegou

金属结构

(工业设备安装工程技术专业适用)

高文安 主编



中国建筑工业出版社
CHINA ARCHITECTURE & BUILDING PRESS

九江学院图书馆



1826363

1540712

普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材
全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材

金 属 结 构

(工业设备安装工程技术专业适用)

高文安 主编

不外借

7U39/12501

九江学院图书馆
藏书章

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

金属结构/高文安主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2011. 10

普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材. 全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材. 工业设备安装工程技术专业适用

ISBN 978-7-112-13682-7

I. ①金… II. ①高… III. ①金属结构-高等学校-教材 IV. ①TU39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 207994 号

本教材是根据全国高职高专土建类专业教学指导委员会建筑设备类分委员会制定的高等职业教育工业设备安装工程技术专业教育标准、人才培养方案和《金属结构课程教学大纲》编写的。本教材重点突出职业实践能力的培养和职业素质的提高。

全书共分 12 个单元, 其中前 3 单元分别为绪论、钢结构的材料和钢结构的连接, 第 4 单元到第 6 单元为基本构件, 即: 梁、轴心受力构件和拉弯、压弯构件, 第 7 单元、第 8 单元、第 9 单元为轻型刚架结构、网架结构和屋盖结构, 第 10 单元、第 11 单元为起重臂架和起重桅杆, 第 12 单元为钢结构的制作、安装、防腐与防火。

本教材主要作为高职高专土建类工业设备安装工程技术专业的教学用书, 也可作为岗位培训教材或安装工程技术人员的参考书。

* * *

责任编辑: 朱首明 田立平

责任设计: 叶延春

责任校对: 王雪竹 刘 钰

普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材
全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材
金属结构

(工业设备安装工程技术专业适用)

高文安 主编

*

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

北京红光制版公司制版

北京建筑工业出版社印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 22½ 插页: 1 字数: 546 千字

2011 年 12 月第一版 2011 年 12 月第一次印刷

定价: 43.00 元

ISBN 978-7-112-13682-7

(21436)

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)

前 言

本书是根据全国高等职业教育工业设备安装工程技术专业人才培养方案对本课程的基本教学要求编写的。本教材注重了职业实践能力的培养和职业素质的提高,符合高等职业教育人才培养要求。

工业设备安装工程技术专业,主要从事工业厂房的建设、工业设备的制作和安装工程的施工管理,涉及建筑钢结构和起重机械金属结构两个方面的内容。两者有共性,又有独立性。如:荷载计算不同、设计强度或许可应力确定方法不同、材料也各有侧重等。对建筑钢结构中的连接、梁和柱的承载力、刚度和稳定性以《钢结构设计规范》GB 50017—2003为主,在起重臂架和桅杆中以《起重机设计规范》GB 3811—2007为主。所有内容均采用新的标准、规范和规程。

本书系统地介绍了钢结构的特点、应用和设计方法;钢结构的材料、连接和基本构件的设计;钢结构在土木工程中常用的三种形式,即轻型刚架结构、网架和屋盖结构;钢结构在安装工程中常见的起重臂架和起重桅杆。为增加学生的实践能力介绍了钢结构的制作安装。为保证钢结构的正常使用介绍了钢结构的防腐与防火。除了单元设置上反映专业特色外,还加设了大型例题,为学者和工程技术人员参考。

全书共有12个单元,其中第1单元、第2单元、第3单元、第11单元由山西建筑职业技术学院高文安编写,第6单元、第7单元、第8单元由五邑大学史天录编写,第9单元、第12单元由五邑大学苏俊华编写,第4单元由山西建筑职业技术学院陈建军编写,第5单元由山西建筑职业技术学院张晓琴编写,山西建筑职业技术学院梁桐兵编写了第10单元并画了部分插图。本书由高文安主编,由山西建筑职业技术学院刘桂征担任主审,提出了很多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

限于时间和作者水平,书中不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

目 录

第 1 单元 绪论	1
项目 1 金属结构的发展概况	1
项目 2 金属结构的特点和应用范围	3
项目 3 钢结构的设计方法	5
思考题与习题	8
第 2 单元 钢结构的材料	9
项目 1 钢材的主要性能	9
项目 2 影响钢材性能的主要因素	14
项目 3 钢材的种类、规格及选择	16
思考题与习题	22
第 3 单元 钢结构的连接	23
项目 1 连接的种类和特点	23
项目 2 焊接连接	24
项目 3 对接焊缝的构造和计算	28
项目 4 角焊缝的构造和计算	32
项目 5 焊接残余应力和焊接变形	44
项目 6 普通螺栓连接	46
项目 7 高强度螺栓连接	56
思考题与习题	60
第 4 单元 梁	63
项目 1 梁的类型和应用	63
项目 2 梁的强度、刚度和稳定性	64
项目 3 梁的截面设计	77
项目 4 梁的拼接、支座和连接	84
思考题与习题	89
第 5 单元 轴心受力构件	90
项目 1 轴心受力构件的截面形式	91
项目 2 轴心受力构件的强度和刚度	92
项目 3 实腹式轴心受压构件的整体稳定	93
项目 4 实腹式轴心受压构件的局部稳定	97
项目 5 实腹式轴心受压构件的截面设计	99
项目 6 格构式轴心受压构件的设计	104
项目 7 变截面轴心受压构件	113

项目 8 柱头和柱脚	115
思考题与习题	123
第 6 单元 拉弯和压弯构件	124
项目 1 拉弯和压弯构件的特点	124
项目 2 拉弯和压弯构件的强度及刚度计算	126
项目 3 实腹式压弯构件的稳定计算	128
项目 4 格构式压弯构件的稳定计算	139
项目 5 压弯构件的柱头和柱脚设计	142
思考题与习题	146
第 7 单元 轻型门式刚架结构	148
项目 1 结构的组成与布置	148
项目 2 荷载计算和内力组合	151
项目 3 刚架柱、梁设计	153
项目 4 檩条和墙梁设计	156
项目 5 焊接和节点设计	158
思考题与习题	160
第 8 单元 网架结构	161
项目 1 空间结构的特点和分类	161
项目 2 网架结构的形式与选择	164
项目 3 网架结构的内力计算	171
项目 4 网架结构的杆件设计	172
项目 5 网架结构的节点设计	174
项目 6 网架结构的制作与安装	176
思考题与习题	179
第 9 单元 屋盖结构	180
项目 1 屋盖结构的组成与形式	180
项目 2 屋盖结构的支撑体系	183
项目 3 屋架的杆件设计	187
项目 4 屋架的节点设计	197
项目 5 钢屋架施工图	204
项目 6 普通钢屋架设计实例	205
思考题与习题	218
课程设计作业	218
第 10 单元 起重臂架	219
项目 1 起重臂架的形式	219
项目 2 起重臂架的荷载及其组合	220
项目 3 平面臂架	229
项目 4 空间臂架	232
项目 5 臂架的构造要求	237

项目 6 设计计算实例	239
思考题与习题	269
第 11 单元 起重桅杆	270
项目 1 桅杆的类型	270
项目 2 桅杆的设计计算	275
项目 3 桅杆附件设计计算	278
项目 4 设计计算实例	289
思考题与习题	304
第 12 单元 钢结构的制作、安装、防腐与防火	305
项目 1 钢结构的制作、运输和安装	305
项目 2 钢结构的大气腐蚀与防腐	313
项目 3 钢结构的防火	321
思考题与习题	324
附录	325
附录 1 疲劳计算的构件和连接分类	325
附录 2 轴心受压构件的截面分类	327
附录 3 轴心受压构件的稳定系数	329
附录 4 型钢表	333
附录 5 螺栓和锚栓规格	351
附录 6 框架柱的计算长度系数	352
参考文献	353

第1单元 绪 论

[知识点] 我国钢结构的发展历史和发展趋势；钢结构的特点、应用范围 and 基本要求；容许应力计算法的设计表达式；采用以基本变量标准值和分项系数形式表达的极限状态设计公式；承载能力极限状态设计表达式；正常使用极限状态设计表达式；结构可靠性；结构满足的四项基本功能。

[教学目标] 了解金属结构的发展状况；掌握钢结构的特点和应用范围；熟悉钢结构的基本要求；掌握钢结构的设计方法；熟悉现行《钢结构设计规范》的极限状态、设计表达式。

由金属材料轧制的型材和板材作为基本构件，采用焊接、铆接或螺栓连接等方法，按照一定的结构组成规则连接起来，能承受荷载的结构物叫做金属结构。所用的金属材料目前主要是钢材。例如：钢屋架、钢桥、钢梁、钢柱、钢桁架、钢网架、起重机臂架、桅杆和容器等。在冶炼技术不发达时期有铸铜和铸铁，例如：寺庙里的铁塔、金属佛像等；随着工业发展的需要，铝、铜及其合金的工业结构也不断涌现，例如：铝、铜及其合金制作的槽罐类设备。只用钢材制作的结构又称钢结构。本书以介绍钢结构为主，但解决问题的方法具有普遍性。

项目1 金属结构的发展概况

1.1 概述

在金属结构的应用和发展方面，我们的祖先具有光辉的历史。世界上建造的最早的一座铁链桥是我国的兰津桥。它建于公元58~75年，比欧洲最早的铁链桥要早70多年。云南的源江桥（建于400多年以前）、贵州的盘江桥（建于300多年前）以及四川的大渡河桥等，无论在建设规模上还是在建造技术上，在当时都处于世界领先地位。

18世纪欧洲工业革命兴起以后，由于钢铁冶炼技术的发展，钢结构在欧美的应用增长很快，不断出现了采用钢结构的工业和民用建筑物。

新中国成立后，我国很快有了自己的冶金工业、重型机器制造业、汽车制造业以及动力设备制造业等。在社会主义建设事业中，钢结构的采用起到了很大作用。在短短的五、六年内我国就建造了大批钢结构厂房，其中有：鞍山钢铁公司、武汉钢铁公司、大连造船厂、太原重型机器制造厂、富拉尔基重型机器制造厂、长春第一汽车制造厂、洛阳拖拉机厂以及一些飞机制造厂等。这一时期是我国钢结构迅速发展的时期。但钢产量还不高，远不能满足大规模建设的需要。只有在必须采用钢结构的重要建筑物中才能得到应用。例如：1959年在北京建成的人民大会堂，采用了跨度60.9m、高7m的钢屋架和分别挑出15.5m和16.4m的看台钢梁。1961年建成的北京工人体育馆采用了直径为94m的车辐式

悬索屋盖结构。1967年建成的首都体育馆,屋盖采用了平板网架结构,跨度达99m。1973年建成的上海体育馆,屋盖采用了圆形平板网架结构,直径达110m。1968年建成的南京长江大桥,桥孔跨度为160m。1991年建成的天津广播电视塔,高度415m。1992年建成的上海国贸中心大厦,高度146m。1994年竣工的上海东方明珠塔高467.9m。1999年建成的江阴长江大桥,主跨采用悬索桥,跨长1385m。2010年建成的“世界第一高塔”——广州新电视塔,其核心筒结构的主塔体高度454m,天线桅杆高度156m,总高度达到610m,也都采用了钢结构。

发达国家,例如美国和日本,在20世纪80年代修建的工业建筑物中,采用钢结构的占70%左右。随着我国四化建设的迅速发展,我国的钢产量也迅速增长,钢结构在我国的应用已日渐广泛,并在应用过程中进入新的更高的发展阶段。

1.2 钢结构的发展趋势

近年来,国内外对钢结构进行了大量的研究,出现了许多新的结构形式,使用了新的设计方法,创造了先进的制造工艺。使钢结构的设计和制造取得很大成就。但是,钢结构的设计和制造仍有不完善之处,应做进一步研究,其研究的重点及发展方向是:

1. 研究并广泛运用、推广新的设计理论和设计方法

以前,我国在钢结构中一直使用许用应力法。随着生产发展的要求,试验研究工作的开展,国内外出现许多新的设计理论和计算方法。主要的有:钢结构的优化设计法、钢结构极限状态设计法、钢结构预应力设计法、钢结构有限元计算法等。

上述设计方法有的已被采用,如《钢结构设计规范》GB 50017—2003规定:“除疲劳计算外,工业与民用房屋和一般构筑物的钢结构设计,用极限状态设计法。”有的尚未应用。极限状态法正确地考虑了荷载作用的性质、钢材性能及结构工作特点等因素,使计算准确,能够充分地利用材料,有待于在其他领域中推广。若用预应力法设计起重机,钢结构部分可节省材料30%。若用结构优化设计,能确保结构具有最优的形式和尺寸。若采用有限元法,能计算复杂的结构,且可使计算达到所需的精度,简化了设计过程,缩短了设计时间。

2. 部件标准化、统一化和结构定型系列化

钢结构零部件标准化、统一化是结构定型系列化的基础。采用一定规格尺寸的标准零部件组装成定型系列产品,首先能减少结构的方案数和设计计算量,大大减轻了设计工作量。结构定型系列化能促进标准零部件的大批生产,零件生产工艺过程也易于程序化,便于使用定型设备组织流水生产,提高生产率,降低成本。其次能改进安装方法,提高安装速度,保证安装质量。在我国,有些结构部分已经定型系列化,如轻型钢结构厂房、起重机、桁架、网架、塔架等均有系列产品。

3. 改进钢结构的结构形式

改进钢结构的结构形式是生产发展的需要,也是有效地减轻钢结构自重的方法之一。创造新的结构形式,不仅能节省钢材、降低成本,更主要的是改善性能,满足工作要求。结构合理选型是设计中十分重要的问题。

4. 研究使用新型材料

继续使用和研究具有较高经济指标的合金钢、轻金属,采用和生产各种新型热轧薄壁型钢和冷弯模压型材以及其他新型材料。特别是高强度钢材的应用。如采用高强度低合金

结构钢或轻金属铝合金，既能保证性能，又能节省材料减轻自重。国外已制造铝合金结构的桥式起重机和龙门起重机的桥架，使自重减轻 30%~60%。德国制造的铝合金箱形单梁桥式起重机桥架的自重比双梁桥架减轻 70% 左右，从而减轻了厂房结构和基础的荷载，降低了投资。我国生产的低合金结构钢 Q345、Q390 和 Q420 在金属结构中早已采用。由于其材质好，强度高，产品坚固耐用，约可减轻重量达 20% 左右。另外，热轧薄壁型材、冷弯压型钢材是很有发展前途的材料。它可设计成任意截面形状，以满足受力要求。此外，钢和混凝土组合构件的应用也可以看成是材料引起的结构革新。

5. 广泛使用焊接结构，研究新的连接方法

焊接连接构造简单、加工方便，易于采用自动化操作。对简化结构型式、减少制造劳动量等方面具有独特的优点。焊接结构的应用越来越广泛。高强度螺栓连接是近年来应用较多的一种连接方法，这种连接是由于螺栓有很大初拉力，使钢板之间产生很高的摩擦力来传递外力的。由于螺栓强度高（经热处理后的抗拉强度不小于 800MPa），连接牢固，工作性能好，安装迅速，施工方便，所以是一种很有发展前途的连接方法。另外，胶合连接是构件连接的新动向。英国曾以工程塑料为原料，用胶合方法制造出起重机结构，它大大简化了制造工艺，减轻了自重。

6. 钢结构大型化

随着国民经济的发展，机械设备逐渐向大型化、专业化、高效率的方向发展。各种工业与民用大跨度建筑物以及一些高层建筑的需求正在不断增长，网架结构和大跨度悬索结构深受欢迎。由于结构尺寸的增大，给设计和制造工作提出了许多新的研究课题。例如，怎样保证结构的刚度、稳定性和局部稳定性；高大的空间结构在外荷载作用下进行精确内力分析和动力性能研究；怎样保证结构焊接、组装质量以及探讨科学运输方案和快速安装方法等均需在今后的研究和生产实践中进一步解决。

项目 2 金属结构的特点和应用范围

2.1 金属结构的特点

(1) 金属结构自重轻、强度高、塑性和韧性好、抗震性好。金属材料和其他建筑材料相比强度高得多，机械性能稳定。构件截面小，自重轻，运输和架设也较方便。金属结构一般不会因超载而突然断裂，适宜在动力荷载下工作。

(2) 金属结构计算准确，安全可靠。钢材更接近于均质等向体。弹性模量大，质地优良，结构计算与实际较符合，计算结果精确，保证了结构的安全。

(3) 金属结构制造简单，施工方便，具有良好的装配性。由于金属结构的制造是在设备完善、生产率高的专门车间进行，具备成批生产和精度高的特点，提高了工业化的程度。采用金属结构，施工工期短，可提前竣工投产。金属结构是由一些独立部件、梁、柱等组成。这些构件在安装现场可直接用焊接或螺栓连接起来，安装迅速，更换、修配也很方便。

(4) 金属结构的密闭性好，便于做成密闭容器。钢材本身组织非常致密，采用焊接连接容易做到紧密不渗漏，可制作压力容器。

(5) 金属结构建筑在使用过程中易于改造。如加固、接高、扩大楼面、内部分割、外

部装饰比较容易灵活。钢结构建筑还是环保型建筑，可以重复利用，减少垃圾、减少矿产资源的开采。

(6) 金属结构可以作成大跨度、大空间的建筑。管线布置方便，维修方便。

(7) 金属结构耐锈蚀性差。钢材容易腐蚀，隔一定时间需重新刷涂料，保养维修费用较高。

(8) 金属结构的材料较贵重，造价较高，耐热性好，耐火性差。在火灾中，未加防护的钢结构一般只能维持 20min。因此需要防火时，应采取防护措施。在金属结构的表面包混凝土或其他防火材料，或在表面喷涂防火涂料。

2.2 金属结构的应用范围

选用金属结构时要根据上述特点，综合考虑结构物的使用要求、结构安全、节省材料和使用寿命等因素，目前金属结构中钢结构应用较多，应用范围大致如下：

(1) 厂房结构。一般工业厂房中用作车间的承重骨架，例如平炉车间、转炉车间、轧钢车间、铸钢车间、锻压车间、机加工车间等厂房结构。

(2) 大跨度结构。例如飞机库、火车站、剧场、体育馆和大会堂等。

(3) 多层框架结构。例如高层或超高层建筑物的骨架，炼油设备构架等。

(4) 机器的骨架。例如桥式起重机的桥架部分，塔式起重机的金属塔架，石油钻机的井架等结构。

(5) 板壳结构。例如高炉、大型储油库、油罐、烟囱、水塔和煤气柜等。

(6) 塔桅结构。例如输电塔、电视塔、排气筒和起重桅杆等结构。

(7) 桥梁。例如南京长江大桥、上海长江大桥等。

(8) 水工建筑物和其他构筑物。如挡水闸门、大直径管道、栈桥、管道支架、井架和海上采油平台等。

(9) 钢与混凝土组合结构。如钢与混凝土组合梁、钢管混凝土组合柱等。

(10) 可拆卸或移动结构。商业、旅游业和建筑业用活动房屋，多采用轻型钢结构。

综上所述，金属结构特别是钢结构应用很广，结构形式多种多样，在国家经济建设中起着重要的作用。

2.3 钢结构的基本要求

钢结构承受的荷载大，有时承受频繁的交变荷载。为保证其正常使用，对钢结构提出如下要求：

(1) 坚固耐用。钢结构必须保证有足够的承载能力，也就是应保证有足够的材料强度（静强度、疲劳强度）、刚度（静刚度、动态刚度）和稳定性（整体稳定、局部稳定）的要求。

(2) 工作性能好，使用方便，满足工作要求。

(3) 结构自重小，省材料。

(4) 制造工艺性好，成本低，经济性好。

(5) 安装迅速，便于运输，维修简便。

(6) 结构合理，外形美观。

上述要求既互相联系又互相制约，在设计时应辩证地处理这些要求。

项目 3 钢结构的设计方法

3.1 概述

结构计算是根据所拟定的结构方案和构造措施,按照所承受的荷载进行内力计算,确定出各杆件的内力,再根据所用材料的特性,对整个结构和构件及其连接进行核算,看它是否符合经济、可靠、适用等方面的要求。

结构计算中所采用的标准荷载与实际荷载之间,计算所得应力值和实际应力值之间,钢材的力学性能取值和材料性能的实际数值之间,计算截面和钢材实际尺寸之间,都存在着一定的差异。也就是说,在结构计算中所采用的荷载、材料性能、截面特性、施工质量等都不是固定不变的定值。在设计时如何恰当地考虑这些因素的变动规律,人们曾进行过多方面的探讨,形成结构设计方法的几个阶段。

建国初期,用一个总的安全系数来考虑上述因素的变动规律,即把钢材可以使用的最大强度,除以安全系数作为结构计算时构件容许达到的最大应力即容许应力。这种方法称为容许应力算法。其设计表达式为:

$$\sigma \leq [\sigma] \quad (1-1)$$

式中 σ ——由标准荷载与构件截面公称尺寸所计算的应力;

$[\sigma]$ ——容许应力, $[\sigma] = f_k/K$ 。其中, f_k ——材料的标准强度,对钢材为屈服点;

K ——大于 1 的安全系数。

容许应力法计算简单,但不能从定量上度量结构的可靠度。它的缺点是笼统地采用一个定值安全系数(常数),使各构件的可靠度各不相同,而整个结构的可靠度一般取决于可靠度最小的构件。

《钢结构设计规范》TJ 17—74 采用了容许应力的计算表达式,但在确定可靠度方面与建国初期的容许应力算法有所不同。它是以结构的极限状态为依据,对影响结构可靠度的各种因素用数理统计的方法进行多系数分析,求出单一的设计安全系数,以简单的容许应力形式表达。是半概率、半经验的极限状态算法。它的承载能力的一般表达式为:

$$\sigma = \frac{N_k}{S} \leq \frac{f_k}{K_1 K_2 K_3} = \frac{f_y}{K} = [\sigma] \quad (1-2)$$

式中 N_k ——根据标准荷载求得的内力;

f_y ——国标(GB)规定的钢材的屈服强度;

$[\sigma]$ ——钢材的容许应力;

S ——构件的几何特性;

K_1 ——荷载系数;

K_2 ——材料系数;

K_3 ——调整系数;

K ——定值的安全系数, $K = K_1 K_2 K_3$ 。

上式中没有考虑到荷载和材料性能的随机变异性而视为固定不变的定值,故称为“定值法”。这种方法常易使人误认为只要设计中采用了某一给定的安全系数,结构就百分之百的可靠,误认为安全系数就相当于结构的可靠度。实际上,定值安全系数不能真正从定

量上度量结构的可靠度。因此,定值理论对结构可靠度的研究是处于以经验为基础的定性分析阶段。

实际上,各种荷载所引起的结构内力(称为荷载效应 S)与结构的承载力和抵抗变形能力(称为结构抗力 R),均受各种偶然因素的影响,都是随时间和空间变动的随机变量。从概率论的观点出发,在结构设计中应考虑上述变量的随机性。首先,在建筑结构的使用荷载中不仅可变荷载具有随机性,就是构件的自重等永久荷载也具有随机性。此外,结构材料的力学性能和构件的几何形状和尺寸等也具有随机性。进一步采用以时间、空间有关的随机过程来描述这些基本变量,这就是概率设计理论。它建立了明确的、科学的“结构可靠度”概念,把结构可靠度的研究由以经验为基础的定性分析阶段推进到以概率论、数理统计为基础的定量分析阶段。

《钢结构设计规范》GBJ 17—88 采用以概率论为基础的一次二阶矩极限状态设计法,虽然是一种概率设计法,但由于在分析中忽略或简化了基本变量随时间变化的关系,确定基本变量分布时有相当程度的近似性,且为了简化计算而将一些复杂关系进行了线性化,所以还只能算是一种近似的概率法。完全的、真正的概率设计法,有待今后继续深入和完善。

在结构设计中,常用到安全系数和安全度的术语,但其含义不够确切。长期以来所说的结构安全性(以安全度为度量)是指结构对使用结构的人来说是否安全。目前国际上已普遍采用“结构可靠性”这一术语,而结构可靠度则为结构可靠性的概率度量。结构可靠性是指结构安全性、适用性和耐久性的统称。即满足四项基本功能的要求:①能承受在正常使用和施工时可能出现的各种作用;②在正常使用时具有良好的工作性能;③具有足够的耐久性;④在偶然事件发生时及发生后仍能保持必需的整体稳定性。第①、④两项是结构安全性的要求,第②项是结构适用性的要求,第③项是结构耐久性的要求。

在结构设计中采用概率设计法时,从结构构件的整体性出发,运用概率论的观点,对结构可靠度提出了明确的、科学的定义。即结构在规定时间内,在规定条件下,完成预定功能的概率,称为结构可靠度。常用可靠指标 β 和失效概率 P_f 表示。

因可靠指标 β 是由极限状态函数的一阶原点矩和二阶中心矩确定的,故将此法称为一次二阶矩概率法。

3.2 设计表达式

现行《钢结构设计规范》GB 50017—2003 的设计表达式仍采用《钢结构设计规范》GBJ 17—88 的形式,考虑传统习惯和使用上的方便,结构设计时不直接使用可靠指标,而是根据极限状态的设计要求,采用以基本变量标准值和分项系数形式表达的极限状态设计公式:

$$\gamma_G S_{GK} + \gamma_Q S_{QK} \leq \frac{R_K}{\gamma_R} \quad (1-3)$$

式中 S_{GK} 、 S_{QK} ——按荷载标准值计算的永久荷载效应和可变荷载效应;

γ_G 、 γ_Q 、 γ_R ——永久荷载分项系数、可变荷载分项系数和抗力分项系数。分项系数

γ_G 、 γ_Q 和 γ_R 与可靠指标 β 有关。

钢结构设计公式一般采用应力形式表达,如受弯构件的弯曲应力为:

$$\gamma_0 (\gamma_G M_{GK} + \gamma_Q M_{QK}) / W_n \leq f_y / \gamma_R = f \quad (1-4)$$

式中 M_{GK} ——永久荷载标准值作用在受弯构件上产生的永久荷载的弯矩标准值；
 M_{QK} ——可变荷载标准值作用在受弯构件上产生的可变荷载的弯矩标准值；
 γ_0 ——结构重要性系数；
 W_n ——构件净截面抵抗矩；
 f_y ——钢材的屈服强度；
 f ——钢材的强度设计值。

各种承重结构均应按承载能力极限状态和正常使用极限状态设计。

承载能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，虽未达到最大承载能力，但已彻底不能使用，也属于达到这种极限状态。

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、裂缝才能满足使用要求。因为过大的变形会造成房屋内部粉刷层剥落，填充墙和隔断墙开裂，以及屋面积水等后果，过大的裂缝会影响结构的耐久性，同时过大的变形或裂缝也会使人们在心理上产生不安全感。

对于承载能力极限状态，按荷载效应基本组合进行强度和稳定性设计时，采用如下极限状态设计表达式：

可变荷载效应控制的组合

$$\gamma_0(\gamma_G \sigma_{G_k} + \gamma_{Q_1} \sigma_{Q_{1k}} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Q_i} \psi_{c_i} \sigma_{Q_{ik}}) \leq f \quad (1-5)$$

永久荷载效应控制的组合

$$\gamma_0(\gamma_G \sigma_{G_k} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Q_i} \psi_{c_i} \sigma_{Q_{ik}}) \leq f \quad (1-6)$$

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

σ_{G_k} ——永久荷载标准值在结构构件截面或连接中产生的应力；

$\sigma_{Q_{1k}}$ ——第一个可变荷载（所有可变荷载中最大的一个）标准值在结构构件截面或连接中产生的应力；

$\sigma_{Q_{ik}}$ ——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_G 、 γ_{Q_1} 和 γ_{Q_i} ——永久荷载分项系数、第一个可变荷载分项系数和第 i 个可变荷载分项系数，当永久荷载效应对结构构件的承载力不利时 γ_G 取 1.2，当永久荷载效应对结构构件的承载力有利时取 1.0，验算结构倾覆、滑移或漂浮时取 0.9。当可变荷载效应对结构构件的承载力不利时 γ_{Q_i} 取 1.4，有利时取 1.0；

ψ_{c_i} ——可变荷载组合系数，其值不大于 1；

f ——强度设计值，是钢材屈服点 f_y 除以抗力分项系数 γ_R 的商。对 Q235 钢取 $\gamma_R=1.087$ ，对 Q345、Q390 和 Q420 钢取 $\gamma_R=1.111$ 。

对于一般排架、框架结构可采用简化式计算：

$$\gamma_0(\gamma_G\sigma_{G_k} + \psi\sum_{i=1}^n\gamma_{Q_i}\sigma_{Q_{ik}}) \leq f \quad (1-7)$$

式中 ψ ——可变荷载组合系数，一般情况下取 0.9；当只有一个可变荷载时取 1.0。

对于正常使用极限状态，结构或构件应按荷载的标准组合，用下式进行计算：

$$v_{G_k} + v_{Q_{1k}} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} v_{Q_{ik}} \leq [v] \quad (1-8)$$

式中 $[v]$ ——结构或构件的容许变形值；

v_{G_k} 、 $v_{Q_{1k}}$ 和 $v_{Q_{ik}}$ ——永久荷载、第 1 个可变荷载和其他第 i 个可变荷载的标准值在结构或构件中产生的变形值；

ψ_{ci} ——可变荷载组合系数。

在本教材中，为简化计算采用荷载设计值。荷载设计值等于荷载标准值乘以荷载分项系数。

思考题与习题

1. 什么叫金属结构？
2. 金属结构有什么特点？
3. 钢结构主要应用在哪些方面？
4. 对钢结构有哪些基本要求？
5. 钢结构的发展方向是什么？
6. 结构应满足哪些功能要求？什么是结构可靠度？
7. 什么是承载力极限状态？什么是正常使用极限状态？

第2单元 钢结构的材料

[知识点] 钢材在单轴应力作用下的性能；冲击韧性和冷弯性能；脆性破坏和塑性破坏；钢材的疲劳；化学成分对钢材性能的影响；其他因素对钢材性能的影响；钢材的种类与牌号；钢材的规格与表示方法；钢材的选择。

[教学目标] 了解钢材的破坏形式及其特征，熟悉钢材脆性破坏发生的原因及其防止措施；掌握钢材的主要性能指标，熟悉影响钢材性能的各种因素；了解钢材疲劳破坏的特征；熟悉钢材的种类，能正确合理地选择钢材；了解结构钢材的规格，掌握其表达方法。

项目1 钢材的主要性能

1.1 钢材在单轴应力作用下的性能

钢材在单轴应力作用下的性能可由拉伸试验来确定。图 2-1 表示低碳钢和普通低合金钢的拉伸试验曲线。在图上可看出，从 0 到 f_p 为直线，应力与应变成正比，直线部分最大值 f_p 称为比例极限。在 f_p 之前，钢材的工作是弹性的， f_p 之后，出现少量的塑性变形，此时钢材的工作是弹塑性的。当应力达到 f_y 后，应力保持不变而应变仍持续发展，出现塑性变形，形成屈服平台，这是钢材的塑性工作阶段，应力 f_y 称屈服点。 f_y 之后，钢材的强度又有些提高，出现强化阶段。当应力达到 f_u 时，试件出现局部“颈缩”，随后断裂， f_u 称为抗拉强度。

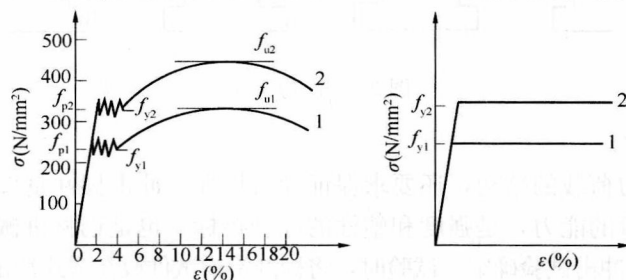


图 2-1 钢材一次拉伸的应力-应变曲线

1—低碳钢；2—普通低合金钢

从图 2-1 的应力应变曲线可以看出：

(1) 应力达到 f_y 时钢材将产生很大的塑性变形，使结构失去使用能力，因此结构设计是以 f_y 作为静力强度的承载能力极限，并以此确定钢材的设计强度。

(2) f_y 以前钢材的应变很小 ($\epsilon=0.15\%$)， f_y 与 f_p 也较接近。 f_y 之后的流幅范围相当长 ($\epsilon=0.15\%\sim 2.5\%$)。因此，可以认为钢材是理想的弹塑性体，即 f_y 之前是弹性的， f_y 之后是塑性的。

(3) 强化阶段在计算中是不利用的，这就增加了结构的强度储备，且钢材达到强度破

坏时的塑性变形比弹性变形大得多（约 200 倍）。因此钢结构在发生塑性破坏前就会由于变形过大而失去使用要求，也就是说钢结构实际上不大可能发生强度破坏。

通过标准试件的拉伸试验，可以得到结构用钢的三个机械性能指标：抗拉强度 f_u 、屈服点 f_y 及伸长率 δ 。 f_u 和 f_y 都表示钢材的强度， δ 则表示钢材在静荷载作用下的塑性变形能力。 δ 值按下式计算：

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

式中 l_0 ——试件原标距长度；

l_1 ——拉断后原标距间的长度。

1.2 冷弯性能

对一些重要的构件和需要冷加工的构件，除要求伸长率符合要求外，还要求冷弯试验合格。180°冷弯试验是鉴定钢材塑性变形能力和冶金质量的一个综合指标，如图 2-2 所示。冷弯试验是用规定直径的弯心将试件弯曲 180°，然后检验试件表面，若不出现裂纹和分层现象为合格。因此冷弯试验能暴露钢材内部的冶金和轧制缺陷，是鉴定钢材质量的一种好方法。冷弯性能是钢材机械性能之一。

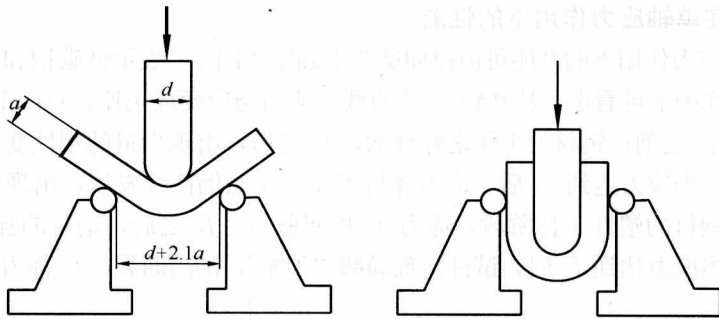


图 2-2 冷弯实验

1.3 冲击韧性

对承受较大动力荷载的结构，还要求保证冲击韧性。冲击韧性是反映钢材塑性变形和断裂过程中吸收能量的能力，是强度和塑性的综合指标，也是钢材机械性能之一。

冲击韧性值通过冲击试验确定。试验时，将标准带槽试件放在摆式冲击试验机上（如图 2-3 所示），通过摆锤的冲击，使两端支在支座上的试件断裂，试件刻槽处单位面积所消耗的功，

就是冲击韧性值 a_k (J/cm^2)。冲击韧性是个比较严格的指标。只有经常承受较大动力荷载的结构，特别是焊接结构，才需要有冲击韧性的保证。低温对钢材的脆性破坏有显著的影响，在寒冷地区建造的结构，根据结构所处温度的不同，还要求具有常温（20℃）冲击韧性和负温（0℃、-20℃或-40℃）冲击韧性指标，以保证结构具有足够的抗脆性破坏能力。

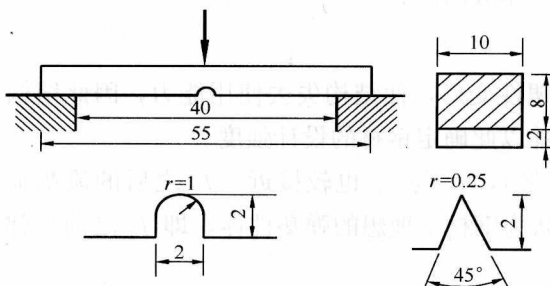


图 2-3 冲击实验