

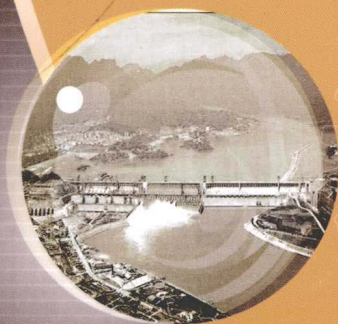


高等学校机械设计制造及其
自动化国家特色专业规划教材

金属结构设计

燕怒 孙宜华 编

JINSHU JIEGOU SHEJI



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

高等学校机械设计制造及其自动化国家特色专业规划教材



金属结构设计

JINSHU JIEGOU SHEJI

燕怒 孙宜华 编



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 简 介

本书是高等学校机械设计制造及其自动化国家特色专业规划教材。在编写指导思想上,本书以国家特色专业建设计划中“高素质、强能力、应用型”的培养目标为依据,在保证结构体系完整的前提下,突出实用性及适用性,不追求理论的深度和广度。全书共有七章:第1章为绪论;第2章为金属结构的材料;第3章为金属结构的连接,主要介绍了金属结构的连接形式及方法;第4、5、6章分别介绍轴心受力构件、受弯构件、拉弯和压弯构件,主要介绍了这些构件的工作性能和基本设计方法;第7章简单介绍了平面钢闸门门体结构设计。

本书可作为机械类专业、材料成形专业、金属材料专业及相关专业的本科教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属结构设计/燕 怒 孙宜华 编. —武汉: 华中科技大学出版社, 2012. 9
ISBN 978-7-5609-8067-6

I. 金… II. ①燕… ②孙… III. 金属结构-结构设计-高等学校-教材 IV. TU390.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 112203 号

金属结构设计

燕 怒 孙宜华 编

策划编辑: 徐正达

责任编辑: 王亚明

封面设计: 潘 群

责任校对: 张 琳

责任监印: 张正林

出版发行: 华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编: 430074 电话: (027)81321915

录 排: 武汉佳年华科技有限公司

印 刷: 湖北新华印务有限公司

开 本: 710mm×1000mm 1/16

印 张: 18 插页: 2

字 数: 360 千字

版 次: 2012 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 29.80 元



华中科大
出版社

本书若有印装质量问题, 请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线: 400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究



作者简介

燕怒，男，湖北沙市人，工学博士，硕士生导师，2011年起任三峡大学机械与材料学院教授。主要从事机械零件与结构的失效与安全服役方面的研究。目前主要研究内容为高强度金属材料和MEMS的超长寿命服役性能、零件与结构的失效评价与寿命预测、表面改性等。现主持国家自然科学基金面上项目，教育部留学回国人员科研基金项目、湖北省教育厅科学技术研究重点项目等项目。近年来共发表学术论文40余篇，其中被SCI收录的5篇，EI收录17篇，被国际同行引用60多次。

序 言

当前,我国机械专业人才培养面临社会需求旺盛的良好机遇和办学质量亟待提高的重大挑战。抓住机遇,迎接挑战,不断提高办学水平,形成鲜明的办学特色,获得社会认同,这是我们义不容辞的责任。

三峡大学机械设计制造及其自动化专业作为国家特色专业建设点,以培养高素质、强能力、应用型的高级工程技术人才为目标,经过长期建设和探索,已形成了具有水电特色、服务行业和地方经济的办学模式。在前期课程体系和教学内容改革的基础上,推进教材建设,编写出一套适合于该专业的系列特色教材,是非常及时的,也是完全必要的。

系列教材注重教学内容的科学性与工程性结合,在选材上融入了大量工程应用实例,充分体现与专业相关产业和领域的新发展和新技术,促进高等学校人才培养工作与社会需求的紧密联系。系列教材形成的主要特点,可用“三性”来表达。一是“特殊性”,这个“特殊性”与其他系列教材的不同在于其突出了水电行业特色,其不仅涉及测试技术、控制工程、制造技术基础、机械创新设计等通用基础课程教材,还结合水电行业需求设置了起重机械、金属结构设计、专业英语等专业特色课程教材,为面向行业经济和地方经济培养人才奠定了基础。二是“科学性”,体现在两个方面:其一体现在课程体系层次,适应削减课内学时的教学改革要求,简化推导精练内容;其二体现在学科内容层次,重视学术研究向教育教学的转化,教材的应用部分多选自近十年来的科研成果。三是“工程性”,凸显工程人才培养的功能,一些课程结合专业增加了实验、实践内容,以强化学生实践动手能力的培养;还根据现代工程技术发展现状,突出了计算机和信息技术与本专业的结合。

我相信,通过该系列教材的教学实践,可使本专业的学生较为充分地掌握专业基础理论和专业知识,掌握机械工程领域的新技术并了解其发展趋势,在工程应用和计算机应用能力培养方面形成优势,有利于培养学生的综合素质和创新能力。

当然,任何事情不能一蹴而就。该系列教材也有待于在教学实践中不断锤炼和修改。良好的开端等于成功的一半。我祝愿在作者与读者的共同努力下,该系列教材在特色专业建设工程中能体现专业教学改革的进展,从而得到不断的完善和提高,对机械专业人才培养质量的提高起到积极的促进作用。

谨此为序。

教育部高等学校机械学科教学指导委员会委员、
机械基础教学指导分委员会副主任
全国工程认证专家委员会机械类专业认证分委员会副秘书长
第二届国家级教学名师奖获得者
华中科技大学机械学院教授,博士生导师

前 言

金属结构由于具有强度高、质量轻、塑性和韧性好、工业化程度高、施工周期短等优点,在土木工程、水利水电工程以及桥梁工程等领域得到了广泛的应用。我国是世界上最早使用金属材料建造土木工程的国家之一。远在秦始皇时代(公元前两百多年),就有了用铁建造的桥墩,以后又建造了铁链悬桥、铁塔等。近几十年来,国内金属结构的设计、安装以及制造水平都有了很大的提高,建成了大量金属结构工程,有些在规模和技术上已达到世界先进水平,如采用大跨度网架结构的首都体育馆和上海体育馆、2008年北京奥运会主场馆——国家体育场(“鸟巢”)、举世瞩目的三峡工程五级船闸等。随着国家经济建设的快速发展和钢产量的提高,金属结构将会发挥日益重要的作用,具有更加广阔的应用发展前景。

在编写指导思想上,本书以国家特色专业规划中“高素质、强能力、应用型”的培养目标为依据,在保证结构体系完整的前提下,突出实用性及适用性,不追求理论的深度和广度;体系上保持金属结构的基本知识体系完整,学生通过学习能够掌握金属结构设计的基本原理和基本方法,同时为进一步提高奠定基础。本书注重基本原理与设计相结合。土木专业一般是原理和设计分别讲述,本教材考虑了学习对象的专业特点,在三大基本构件部分讲解完基本原理和基本方法后分别简要介绍了有关设计方面的内容,有助于学生将来应用所学理论解决实际工程问题。在内容上本书强调对基本原理、基本概念的表达,注重基本概念的简明、清晰和准确,基本原理重点突出、叙述简洁。每章开始部分设置了学习要点,在章末还给出了较多的思考题和习题。

本书由燕怒、孙宜华编写,第1、2、3章和第7章部分内容及附录由燕怒编写,第4、5、6章和第7章部分内容孙宜华编写。编写过程中,三峡大学付建科老师、顾华老师提出了许多有益的建议和意见,硕士研究生林攀、徐其彬参与了部分文字及图表处理工作,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,欢迎读者给予批评指正。

编 者

2011年9月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 金属结构的特点和应用范围	(1)
1.2 我国金属结构的发展与现状	(3)
1.3 金属结构设计的目的和方法	(4)
思考题.....	(9)
第 2 章 金属结构的材料	(11)
2.1 金属结构对材料性能的要求.....	(11)
2.2 金属结构材料的主要性能.....	(11)
2.3 影响钢材性能的主要因素.....	(15)
2.4 钢材的疲劳.....	(19)
2.4.1 钢材的断裂破坏形式	(19)
2.4.2 疲劳破坏的概念	(19)
2.4.3 影响疲劳破坏的主要因素	(20)
2.4.4 常幅疲劳计算和变幅疲劳计算	(21)
2.5 钢材的种类、规格及选用	(22)
2.5.1 钢材的种类	(22)
2.5.2 钢材的规格	(24)
2.5.3 钢材的选用	(25)
思考题	(26)
第 3 章 金属结构的连接	(28)
3.1 金属结构的连接方法.....	(28)
3.2 焊缝连接.....	(29)
3.2.1 常用焊缝连接方法	(29)
3.2.2 焊缝连接形式及焊缝形式	(31)
3.2.3 焊缝缺陷及质量检验	(33)
3.2.4 焊缝表示方法	(34)
3.3 角焊缝的截面形式、构造要求及计算	(36)
3.3.1 角焊缝的截面形式	(36)

3.3.2	角焊缝的构造要求	(37)
3.3.3	角焊缝计算的基本公式	(39)
3.3.4	各种受力状态下角焊缝的计算	(40)
3.4	对接焊缝的形式、构造及计算	(49)
3.4.1	对接焊缝的形式和构造	(49)
3.4.2	对接焊缝的计算	(50)
3.4.3	部分焊缝的对接焊缝	(53)
3.5	焊接残余应力和残余变形	(54)
3.5.1	焊接残余应力产生的原因	(54)
3.5.2	焊接残余变形	(55)
3.5.3	焊接残余应力和焊接残余变形的影响	(56)
3.5.4	减小焊接残余应力和焊接残余变形的办法	(57)
3.6	普通螺栓的构造和计算	(58)
3.6.1	螺栓的排列和构造要求	(59)
3.6.2	普通螺栓连接的工作性能	(60)
3.6.3	螺栓群的计算	(63)
3.7	高强度螺栓连接的计算	(70)
3.7.1	高强度螺栓连接的性能	(70)
3.7.2	高强度螺栓及螺栓群的抗剪承载力	(73)
3.7.3	高强度螺栓的抗拉连接	(75)
3.7.4	承压型高强度螺栓的计算	(77)
思考题		(81)
习题		(81)
第4章	轴心受力构件	(83)
4.1	轴心受力构件的应用和截面形式	(83)
4.2	轴心受力构件的强度和刚度	(86)
4.2.1	轴心受力构件的强度计算	(86)
4.2.2	轴心受力构件的刚度计算	(89)
4.3	轴心受压构件的整体稳定	(90)
4.3.1	轴心受压构件整体稳定的基本概念	(90)
4.3.2	理想轴心受压构件的整体稳定性能	(93)
4.3.3	各种缺陷对轴心受压构件整体稳定性能的影响	(97)
4.3.4	轴心受压构件的整体稳定计算	(103)

4.4	轴心受力构件的局部稳定性	(114)
4.5	轴心受力构件设计	(118)
4.5.1	实腹式轴心受压构件的设计	(118)
4.5.2	格构式轴心受压构件的设计	(124)
	思考题	(140)
	习题	(140)
第5章	受弯构件	(142)
5.1	受弯构件的类型和应用	(142)
5.2	梁的强度和刚度	(143)
5.2.1	梁的强度	(144)
5.2.2	梁的刚度	(152)
5.3	梁的整体稳定	(152)
5.3.1	梁的整体稳定现象	(152)
5.3.2	梁的临界弯矩	(153)
5.3.3	梁的整体稳定系数	(154)
5.4	受弯构件的局部稳定和腹板加劲肋的设计	(158)
5.4.1	梁受压翼缘板的局部稳定	(158)
5.4.2	梁腹板的局部稳定	(159)
5.4.3	腹板加劲肋的设置和构造要求	(168)
5.5	钢梁的设计	(175)
5.5.1	型钢梁的设计	(176)
5.5.2	焊接组合梁的设计	(178)
5.6	梁的连接与构造	(189)
5.6.1	梁的拼接	(189)
5.6.2	次梁与主梁的连接	(191)
	思考题	(193)
	习题	(194)
第6章	拉弯和压弯构件	(196)
6.1	拉弯和压弯构件的应用和截面形式	(196)
6.2	拉弯和压弯构件的强度和刚度计算	(198)
6.2.1	拉弯和压弯构件的强度计算	(198)
6.2.2	拉弯和压弯构件的刚度计算	(201)
6.3	压弯构件的整体稳定	(202)

6.3.1 实腹式压弯构件的整体稳定	(202)
6.3.2 格构式压弯构件的计算	(211)
6.3.3 压弯构件的计算长度	(214)
6.4 实腹式压弯构件的局部稳定	(214)
6.4.1 受压翼缘板的宽厚比限值	(215)
6.4.2 腹板的高厚比限值	(215)
6.5 压弯构件的设计	(220)
6.5.1 实腹式压弯构件的截面设计	(220)
6.5.2 格构式压弯构件的设计	(227)
思考题	(231)
习题	(232)
第7章 平面钢闸门门体结构设计	(234)
7.1 平面钢闸门的组成和结构布置	(235)
7.1.1 平面钢闸门的组成	(235)
7.1.2 平面钢闸门的结构布置	(237)
7.2 面板和次梁的设计	(242)
7.2.1 面板的设计	(242)
7.2.2 次梁的设计	(243)
7.3 主梁设计	(247)
7.3.1 主梁的形式	(247)
7.3.2 主梁的荷载	(247)
7.3.3 主梁设计特点	(248)
7.4 横向联结系和纵向联结系的设计	(249)
7.4.1 横向联结系的设计	(249)
7.4.2 纵向联结系的设计	(250)
7.5 边梁的设计	(251)
7.6 设计实例——露顶式平面钢闸门门体结构设计	(252)
7.6.1 设计资料	(252)
7.6.2 门体部分设计	(252)
思考题	(266)
参考文献	(267)
附录	(268)
附录 A 钢材的化学成分	(268)

附录 B	钢材的力学性能	(268)
附录 C	常用结构钢的强度设计值	(269)
附录 D	焊缝的强度设计值	(270)
附录 E	螺栓的强度设计值	(271)
附录 F	螺栓的有效面积	(271)
附录 G	螺栓的最大、最小容许距离及螺栓线距	(272)
附录 H	轴心受压构件截面回转半径的近似值	(273)
附录 I	工字形截面简支梁等效弯矩系数	(274)
附录 J	轧制普通工字钢简支梁的稳定系数	(275)
附录 K	轴心受压构件的稳定系数	(276)
附录 L	矩形弹性薄板承受均载的弯曲应力系数	(279)

第1章 绪 论

【学习要点】 本章主要介绍金属结构的特点和应用范围、我国金属结构的发展与现状、金属结构设计的目的和方法。

1.1 金属结构的特点和应用范围

1. 金属结构的特点

金属结构是以钢材为主要材料的工程结构,与钢筋混凝土结构等相比,它具有如下特点。

(1) 强度高,自重轻 钢材与混凝土、木材、砖石等材料相比,虽然重力密度大,但其强重比(强度与重量之比)要高得多。载荷和其他条件相同的情况下,金属结构比其他结构的构件截面尺寸小,结构的重量较轻,便于运输、安装,特别适用于跨度大、载荷大、安装高度较高的结构。例如,在跨度和载荷相同的条件下,钢屋架的重量仅为钢筋混凝土屋架的 $1/4 \sim 1/3$ 。

(2) 塑性和韧性好 钢材的塑性好,钢结构超载时,在一定条件下,将产生较大变形,不易发生突然断裂破坏,且破坏前一般会产生明显的变形,易于被发现,从而避免了重大事故的发生。钢材的韧性好,对动力载荷的适应性较强,具有良好的吸能能力,抗振性能优越。

(3) 可靠性高 钢材材质均匀,在冶炼、轧制过程中可以严格控制其质量,材质波动的幅度较其他材料小,其内部组织均匀程度比混凝土好,各向同性比木材好。钢材弹性模量较高,变形较小,力学特性与工程力学对材料性能的基本假定比较接近。金属结构的实际工作性能比较符合目前采用的计算理论,计算结果可靠。

(4) 工业化程度高,施工周期短 金属结构构件一般是在金属结构厂制作,所有材料为轧制成的各种型材,制作简便,成品精度高。金属结构较轻,运输安装方便,施工周期短。

(5) 密闭性好 金属结构采用焊接连接后可以做到安全密封,能够满足高压容器、油罐以及高压管道等对气密性和水密性的高要求。

(6) 耐蚀性差 钢材在潮湿环境中特别是在有腐蚀性介质的环境中时容易生锈,从而会影响结构的使用寿命。为此,金属结构需要定期维护,维护费用比其他结构的维护费用高。

(7) 耐热不耐火 钢材耐热,但不耐火。当温度在 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内时,钢材具有较好的耐热性能,但是随着温度的升高,材料性能变化较大,强度随温度的升高而下降:当

温度达到 600℃ 时,其屈服强度不足常温下的 1/3;温度继续升高时,钢材的承载力几乎完全丧失。因此,当钢结构周围环境的辐射热温度超过 150℃ 时,需要采取遮挡措施;一旦发生火灾,钢结构的耐火时间不长,需要根据防火要求采取防火措施,如采用混凝土或砖将钢构件包裹起来,或在钢构件上喷涂防火涂料来满足钢结构不同耐火极限的要求。

2. 金属结构的应用范围

由于以上特点,金属结构在土木工程、水利水电工程以及桥梁工程等领域得到了广泛的应用,其主要应用在以下几方面。

(1) 厂房结构 在厂房跨距和柱距都比较大、厂房中设有重级工作制吊车或大吨位吊车、厂房中具有多层吊车(2~3 层)或设有较大锻锤时,以及某些高温车间中,可采用金属结构厂房或采用钢吊车梁、钢屋架、钢柱等部分钢构件。

(2) 大跨度结构 结构跨度越大,自重在全荷载中所占的比例也就越大,减轻自重可获得明显的经济效果。钢材强度高,可跨越较大的跨度,因此大跨度结构可采用金属结构,如飞机库、火车站、大会堂、体育馆、展览馆、影剧院等。大跨度金属结构的体系有框架结构、拱式结构、网架结构、悬索结构和预应力结构等。

(3) 高层建筑钢结构 钢筋混凝土结构房屋在地震区的最大高度会受到一定的限制,若再增加高度,就需要改用钢结构或钢-混凝土组合结构。钢结构构件的截面尺寸比钢筋混凝土构件少占用建筑面积约 30%。以建筑面积为 57000 m² 的上海锦江饭店分馆为例,采用钢结构可少占用有效面积约 1700 m²,相当于增加了几十间客房。钢结构自重轻,基础所承受的竖向荷载较钢筋混凝土的小,便于地基基础的处理,并降低了基础的造价。

(4) 高耸构筑物 高度远远超过横截面尺寸的构筑物称为高耸构筑物。刚性嵌固于基础上的称之为塔架,依靠纤绳保证稳定的称之为桅杆。风荷载是塔桅结构的主要荷载,风荷载与结构高度、横截面尺寸、构件形式等有关。金属结构的构件形式和横截面尺寸有利于减小风荷载的影响,可取得较大的经济效果,同时金属结构自重轻,便于组装。

(5) 板结构 板结构是各种形状的薄壁壳体,不仅要求坚固,而且要求不渗透,通常在低温或高温下使用。金属结构能很好地满足这些要求,在冶金、石油、化工企业中采用的板结构有高炉、热风炉、油罐、煤气罐等。

(6) 活动式结构 活动式结构如水工钢闸门、升船机等,应用金属结构可充分发挥其重量轻的特点,降低启闭设备的造价和运转所耗费的费用。

(7) 可拆装的结构和轻型金属结构 需要拆装的结构,如活动房屋等,采用金属结构最合适。其重量轻,且为螺栓连接,便于装配和拆卸。荷载较小的小跨度或高度不大的结构,也常采用金属结构。其用钢量与钢筋混凝土结构的用钢量相近,但是结构自重减轻了。

(8) 其他构筑物 这些构筑物主要有运输通廊、栈桥、各种管道支架以及高炉和锅炉的构架等。此外,一些特种纪念性建筑(如北京中华世纪坛)、大型城市雕塑、水塔等也通常采用金属结构。

1.2 我国金属结构的发展与现状

我国是世界上最早使用金属材料建造土木工程的国家之一。远在秦始皇时代(公元前两百多年),就有了用铁建造的桥墩,以后又建造了铁链悬桥、铁塔等,这表明我国古代建筑和冶金技术方面具有较高水平。在近代,我国于1931年建成了广州中山纪念堂钢结构圆屋顶,1937年修建了钱塘江大铁桥。中华人民共和国成立后,金属结构应用范围日益扩大。20世纪50年代后,我国金属结构的设计、安装、制造水平有了很大提高,建成了大量金属结构工程,在规模和技术上有些已达到世界先进水平,如采用大跨度网架结构的首都体育馆、上海体育馆,采用大跨度三角拱形式的西安秦始皇兵马俑博物馆,采用悬索结构的北京工人体育馆,采用高耸结构的广州广播电视塔、上海广播电视塔等。

20世纪80年代以后,我国在北京、上海、深圳等地陆续兴建了一批高层金属结构建筑,如北京的京广中心大厦(高208 m)、京城大厦(高182 m),深圳的帝王大厦(高325 m),上海的金茂大厦(高365 m)、环球金融中心(高365 m)(图1-1)等。另外,我国还建成了一些大跨度空间结构,如2008年北京奥运会主场馆国家体育场(“鸟巢”)(图1-2),其外形结构主要由巨大的门式刚架组成,共有24根桁架柱。国家体育场建筑顶面呈鞍形,长轴为332.3 m,短轴为296.4 m,最高点高度为68.5 m,最低点高度为42.8 m。

在轻型金属结构方面,彩涂钢板的屋面板和墙面板的建筑面积已达到1000万 m^2 以上,彩板拱形波纹屋面年建筑面积也已达到了100万 m^2 以上;轻金属结构多层房屋的发展空间也很大,我国每年有千万平方米的住宅投入使用。在桥梁结构方面,我国新建了特大跨度的西陵长江大桥(主跨跨度900 m),2008年建成通车的杭州湾跨海大桥是目前世界上最长的跨海大桥,全长36 km,主跨跨度318 m(图1-3)。

长江三峡水利枢纽工程的永久船闸设计采用的是双线五级连续梯级船闸(图1-4),闸门孔口净宽34 m,门高近四十米,共采用24扇门,每扇门重达820 t以上。

金属结构是各种工程中广泛使用的一种重要的结构形式。过去由于中国钢产量不能满足国民经济建设的需要,金属结构的使用受到了一定的限制。随着国家经济

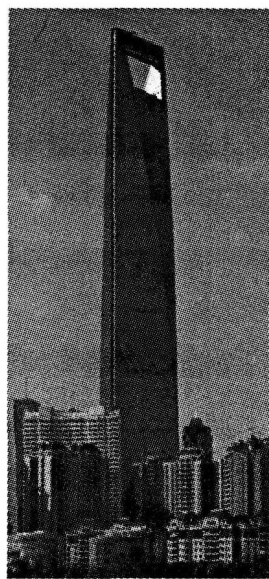


图1-1 环球金融中心

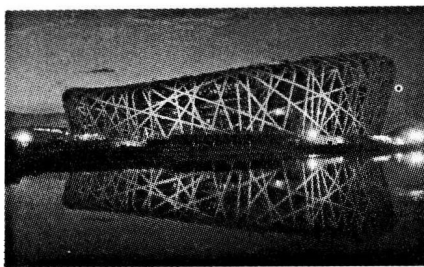


图 1-2 国家体育场(“鸟巢”)

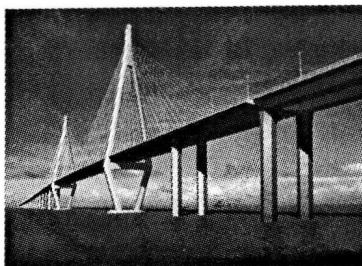


图 1-3 杭州湾跨海大桥

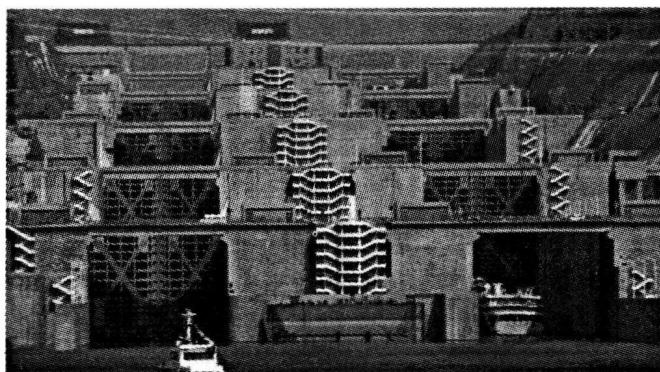


图 1-4 长江三峡水利枢纽工程双线五级连续梯形船闸

建设的发展和钢产量的提高,金属结构将会发挥日益重要的作用,具有广阔的应用发展前景。

1.3 金属结构设计的目的和方法

1. 金属结构设计的目的

设计金属结构时,应保证结构或构件在充分满足功能要求的基础上安全可靠地工作,同时尽量节省钢材,因此必须认真贯彻执行国家的技术经济政策,做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量。工程结构必须具备下列功能。

(1) 安全性 结构能承受在正常施工和正常使用时可能出现的各种荷载及其他作用(如温度变化、基础不均沉降等);在偶然事件(如地震)发生时及发生后仍能保持必需的整体稳定性,不致倒塌。

(2) 适用性 结构在正常使用时应具有良好的工作性能,满足预定的使用要求,例如不产生影响正常使用的过大变形等。

(3) 耐久性 结构在正常的维护下,随时间的变化应仍能满足预定的功能要求,例如不发生严重侵蚀而影响结构的使用寿命等。

2. 金属结构设计的方法

结构的安全性、适用性与耐久性统称为结构的可靠性。可靠性和经济性常常是相互矛盾的,结构设计要解决的根本问题是在结构的可靠性和经济性之间达到一种最佳的平衡,力求以最经济的途径与适当的可靠度满足各种预定的功能要求,也正是这一对矛盾推动着金属结构设计方法不断向前发展。

1975年起,我国试行《钢结构设计规范》(TJ 17—74),规范中采用对承载力极限状态进行多系数分析,而后用单一安全系数表达的容许应力法。其表达式和传统容许应力法基本相同,但安全系数的确定是对影响结构安全的诸因素采用概率统计的方法,并结合我国工程实践的经验进行多系数分析后综合求出的单一安全系数,实质上是半概率半经验的极限状态设计法。其承载力极限状态计算的表达式为

$$\sigma = \frac{N_K}{a} \leq \frac{f_y}{K_1 K_2 K_3} = \frac{f_y}{K} = [\sigma] \quad (1-1)$$

式中 N_K ——荷载标准值产生的内力;

a ——构件截面的几何参数;

f_y ——钢材的屈服应力;

K_1 ——荷载系数,考虑荷载的可能变动,取 $K_1=1.23$;

K_2 ——强度系数,考虑材料性能的变异,对于 Q235 钢, $K_2=1.143$;

K_3 ——工作条件系数,考虑结构或连接的特点以及设计假定与实际不符等因素的影响,一般取 $K_3=1$,对于特殊不利情况取 $K_3=1.05\sim 1.4$ 。

式(1-1)比容许应力法要合理些,它把有变异性设计参数采用概率分析引入结构设计中,但是只有少量的设计参数采用概率统计方法确定了其设计采用值,如钢材强度、风荷载、雪荷载等,而大多数荷载及其他不确定性参数因缺乏统计资料仍采用经验值,因此这种计算方法也称为半概率半经验的极限状态设计法。同时,钢结构和构件的承载力和荷载作用效应之间未进行综合的概率分析,因而仍然不能使所设计的各种构件得到相同的安全度。

我国于 1988 年和 2003 年颁布的《钢结构设计规范》(GBJ17—1988、GB 50017—2003)中规定:除了疲劳计算外,采用以概率理论为基础的极限状态设计法。概率极限状态设计法是将影响结构功能的诸因素(荷载效应、材料抗力等)作为随机变量,运用概率分析法并考虑其变异性来确定设计值。这样对所设计的结构的功能只做出一定的概率保证,即认为任何设计都不能保证绝对安全,而是存在一定风险,只要其失效概率小到人们可以接受的程度,便可认为所设计的结构是安全可靠的。

设在结构设计规定的时间内、规定的条件下,各种荷载所引起的内力(称为荷载)对结构的综合效应为 S ,结构的承载能力和抵抗变形的能力(称为结构抗力)为 R 。 R 和 S 因受到许多随机性因素的影响而具有不确定性,是独立的随机变量,应该使用概率理论来进行分析。结构或构件的极限状态方程可表达为