



全国高等院校水利水电类精品规划教材

SHUIGONG GANGJIEGOU

水工钢结构 (第2版)

主编 王正中 尹志刚



黄河水利出版社

全国高等院校水利水电类精品规划教材

水工钢结构

(第2版)

主 编	王正中	尹志刚
副主编	李平先	彭成山
	李会军	蔡艳红

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

全书共分六章,基本内容包括绪论、钢结构材料及设计方法、钢结构的连接、钢梁、钢柱与钢压杆、钢桁架、平面钢闸门。章节前有内容提要、中有例题、后有章节小结,并附有思考题和习题等。

本书为全国高等院校水利水电类精品规划教材,可供水利水电工程建筑、农业水利工程、工程管理专业及相关专业选用,亦可作为水利水电工程专业技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

水工钢结构/王正中,尹志刚主编. —郑州:黄河水利出版社,2014.5

全国高等院校水利水电类精品规划教材

ISBN 978 - 7 - 5509 - 0783 - 6

I. ①水… II. ①王…②尹… III. ①水工结构 - 钢结构 - 高等学校 - 教材 IV. ①TV34

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 088187 号

组稿编辑:李洪良 电话:0371-66026352 E-mail:hongliang0013@163.com

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:河南地质彩色印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:18.5

字数:427 千字

印数:1—2 100

版次:2010 年 3 月第 1 版

印次:2010 年 3 月第 1 次印刷

2014 年 7 月第 2 版

2014 年 7 月第 2 次印刷

定价:35.00 元

出版者的话

随着 2011 年中央 1 号文件《中共中央 国务院关于加快水利改革发展的决定》的发布和中央水利工作会议的召开,水利作为国家基础设施建设的优先领域迎来了前所未有的黄金期。到 2015 年全国水利投资总额达 1.8 万亿元,到 2020 年,水利投资达 4 万亿元。据《第一次全国水利普查公报》,截至 2011 年 12 月 31 日,全国堤防总长度为 413 679 公里(其中 5 级及以上在建堤防长度为 7 963 公里),共有水库 98 002 座(其中在建水库 756 座),共有水电站 46 758 座(其中在建水电站 1 324 座)。水利水电工程的大规模建设对设计、施工、运行管理等水利水电专业人才的需求也更为迫切,如何更好地培养适应现今水利水电事业发展的优秀人才,成为水利水电专业院校共同面临的课题。作为水利水电行业的专业性科技出版社,我社长期关注水利水电学科的建设与发展,并积极组织水利水电类专著与教材的出版。

在对水利水电类本科层次教材的深入了解中,我们发现,以应用型本科教学为主的众多水利水电类专业院校普遍缺乏一套完整构建在校本科生专业知识体系又兼顾实践工作能力的教材。在广泛调研与充分征求各课程主讲老师意见的基础上,按照高等学校水利学科专业教学指导委员会对教材建设的指导精神与要求,并结合教育部实施的多层次建设、打造精品教材的出版战略,我社组织编写了本系列“全国高等院校水利水电类精品规划教材”。

此次规划教材的特点是:

- (1) 以培养水利水电类应用型人才为目标,充分重视实践教学环节。
- (2) 在依据现有的专业规范和课程教学大纲的前提下,突出特色,力求创新。
- (3) 紧扣现行的行业规范与标准。
- (4) 基本理论与工程实例相结合,易于学生接受与理解。

本系列教材除了涵盖传统专业基础课及专业课外,还补充了多个新开课程的教材,以便于学生扩充知识与技能,填补课堂无合适教材可用的空缺。同时,部分教材由工程技术人员或有工程设计施工从业经历的老师参与编写,也是此次规划教材的创新。

本系列教材的编写与出版得到了全国 21 所高等院校的鼎力支持,特别是三峡大学原党委书记刘德富教授和华北水利水电大学副校长刘汉东教授对系列教材的编写与出版给予了精心指导,有效保证了教材出版的整体水平与质量。在此对推进此次规划教材编写与出版的各院校领导和参编老师致以最诚挚的谢意,是他们在编审过程中的无私奉献与辛勤工作,才使得教材能够按计划出版。

“十年树木,百年树人”,人才的培养需要教育者坚持不懈的努力,同样,好的教材也需要经过千锤百炼才能流传百世。本系列教材的出版只是我们打造精品专业教材的开始,希望各院校在对这些教材的使用过程中,提出改进意见与建议,以便日后再版时不断改正与完善。

黄河水利出版社

全国高等院校水利水电类精品规划教材

编 审 委 员 会

主 任：	三峡大学	刘德富	华北水利水电大学	刘汉东
副主任：	西安理工大学	黄 强	郑州大学	吴泽宁
	云南农业大学	文 俊	长春工程学院	左战军
委 员：	西安理工大学	姚李孝	西北农林科技大学	辛全才
	扬州大学	程吉林	三峡大学	田 斌
	华北水利水电大学	孙明权	长沙理工大学	樊鸣放
	重庆交通大学	许光祥	河北农业大学	杨路华
	沈阳农业大学	迟道才	河北工程大学	丁光彬
	山东农业大学	刘福胜	黑龙江大学	于雪峰
	新疆农业大学	侍克斌	内蒙古农业大学	刘廷玺
	三峡大学	张京穗	华北水利水电大学	张 丽
	沈阳农业大学	杨国范	南昌工程学院	陈春柏
	长春工程学院	尹志刚	昆明理工大学	王海军
	南昌大学	刘成林	西华大学	赖喜德

再版前言

本教材根据全国高等院校水利水电类精品规划教材出版规划,对第一版《水工钢结构》教材近五年使用中发现问题并结合相关规范条文的变化,进行了系统修订的第二版本。本书仍定位于培养应用型人才的目标,主要作为高等院校水利水电工程建筑、农业水利工程、工程管理专业及相关专业教材,亦可作为水利水电工程专业技术人员的参考用书。

全书共分六章,基本内容包括钢结构设计的基本知识及基本理论、钢结构的连接和基本构件的设计及计算、平面钢闸门设计。为了加深对钢结构的设计原理、计算方法和构造处理的理解及应用,各章前有内容提要、中有例题、后有小结,并附有思考题和习题等。为了方便广大授课教师与学生,本书配有编者精心设计的各章 PPT 课件。同时,为了培养强化实践能力和精简学时,单独编写了《水工钢闸门设计指导书》配套辅助教材。

本教材编写中注重概念、原理、方法、思路及适用条件的阐述,简化公式推演;注重与相关课程联系和区别的介绍,避免与相关课程的重复,适当兼顾知识的系统性;注重分析问题、解决问题能力的培养,适当兼顾规范、经验及构造的介绍。打破水利、土木专业局限,在钢结构计算方法中对比两种规范异同,本书中只介绍极限状态法,避免了重复和混淆。

本教材由西北农林科技大学、郑州大学、长春工程学院、华北水利水电大学、黑龙江大学、南昌工程学院等六所院校合编。参加编写的人员有:郑州大学李平先(绪论、第一章)、黑龙江大学田春竹(第二章)、华北水利水电大学彭成山(第三章)、长春工程学院尹志刚(第四章)、南昌工程学院郑克红(第五章)、西北农林科技大学王正中(第六章)。此次修订由西北农林科技大学王正中、李会军,绥化学院蔡艳红完成。全书由王正中、李会军负责统稿。

原书从 2010 年出版以来,得到各兄弟院校和有关工程单位的大力支持,提出过许多宝贵意见,对提高本教材质量起到积极作用。本书修订过程中得到了黄河水利出版社编辑的精心帮助,在此,一并致谢。

对于本书中的缺点和错误,希望继续提出指正,编者不甚感激。

编 者

2014 年 3 月

前 言

本教材根据全国高等院校水利水电类精品规划教材的出版规划,定位于培养应用型人才的目标,结合国家标准《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)和《水利水电工程钢闸门设计规范》编写。

本书可作为高等院校水利水电工程建筑、农业水利工程、工程管理专业及相关专业教材,亦可作为水利水电工程专业技术人员的参考用书。全书共分六章,基本内容包括钢结构设计的基本知识及基本理论、钢结构的连接和基本构件的设计及计算、平面钢闸门设计。为了便于学习和掌握重点,各章前有内容提要、中有例题、后有小结,并附有思考题和习题等;同时,为了培养强化实践能力和精简学时,单独编写了《水工钢闸门设计指导书》配套辅助教材。

本教材编写中注重概念、原理、方法、思路及适用条件的阐述,简化公式推演;注重与相关课程联系和区别的介绍,避免与相关课程的重复,适当兼顾知识的系统性;注重分析问题、解决问题能力的培养,适当兼顾规范、经验及构造的介绍。打破水利、土木专业局限,在钢结构计算方法中对比两种规范异同,本书中只介绍极限状态法,避免了重复和混淆。

本教材由西北农林科技大学、郑州大学、长春工程学院、华北水利水电学院、黑龙江大学、南昌工学院等六所院校合编。参加编写的人员有:郑州大学李平先(绪论、第一章)、黑龙江大学田春竹(第二章)、华北水利水电学院彭成山(第三章)、长春工程学院尹志刚(第四章)、南昌工学院郑克红(第五章)、西北农林科技大学王正中(第六章)。全书由王正中负责统稿。

本书编写过程中得到了各兄弟单位和工程单位的大力支持,特别是得到黄河水利出版社编辑的精心帮助,在此表示衷心的感谢!

书中的错误和缺点在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2009年9月

目 录

出版者的话

再版前言

前 言

绪 论	(1)
第一节 钢结构的特点和应用	(1)
第二节 钢结构的发展概况和发展方向	(4)
第三节 水工钢结构课程的主要内容、性质、任务和基本要求	(7)
小 结	(7)
思考题	(8)
第一章 钢结构的材料及设计方法	(9)
第一节 钢材的破坏形式	(9)
第二节 钢材的主要力学性能	(10)
第三节 影响钢材力学性能的主要因素	(14)
第四节 复杂应力下钢材的工作性能	(19)
第五节 钢材的疲劳	(21)
第六节 钢材的种类、规格及选用	(27)
第七节 钢结构的设计方法	(31)
小 结	(41)
思考题	(41)
第二章 钢结构的连接	(42)
第一节 钢结构的连接方法	(42)
第二节 焊接连接	(44)
第三节 对接焊缝连接	(49)
第四节 角焊缝的构造和计算	(54)
第五节 焊接残余应力和残余变形	(65)
第六节 普通螺栓连接	(68)
第七节 高强度螺栓连接	(80)
小 结	(86)
思考题	(87)
习 题	(87)
第三章 钢 梁	(89)
第一节 钢梁的形式及应用	(89)
第二节 钢梁的弯曲强度及其计算	(91)

第三节	钢梁的刚度计算	(96)
第四节	梁的整体稳定	(97)
第五节	型钢梁设计	(103)
第六节	组合梁设计	(108)
第七节	梁的局部稳定和腹板加劲肋设计	(114)
第八节	组合梁腹板考虑屈曲后强度的计算	(127)
第九节	梁的拼接与连接	(130)
小 结	.....	(134)
思考题	.....	(135)
习 题	.....	(136)
第四章	钢柱与钢压杆	(138)
第一节	柱的可能破坏形式	(139)
第二节	柱的截面强度与刚度	(140)
第三节	轴心受压实腹式构件的整体稳定	(142)
第四节	轴心受压格构式构件的整体稳定	(147)
第五节	轴心受压构件的局部稳定和单肢稳定	(150)
第六节	轴心受压柱设计	(154)
第七节	实腹式压弯构件的稳定	(161)
第八节	格构式压弯构件的稳定	(168)
第九节	偏心受压柱设计	(169)
第十节	梁柱连接	(176)
第十一节	柱脚的设计	(178)
小 结	.....	(186)
思考题	.....	(187)
习 题	.....	(187)
第五章	钢桁架	(189)
第一节	概 述	(189)
第二节	桁架的外形、尺寸和腹杆设计	(190)
第三节	桁架支撑设计	(193)
第四节	桁架的荷载和杆件内力计算	(197)
第五节	桁架杆件的截面选择	(199)
第六节	桁架节点设计	(209)
第七节	桁架的施工图绘制	(217)
小 结	.....	(218)
思考题	.....	(219)
习 题	.....	(219)
第六章	平面钢闸门	(220)
第一节	概 述	(220)

第二节	平面钢闸门的组成和结构布置	(221)
第三节	平面钢闸门的结构设计	(226)
第四节	平面钢闸门的零部件设计	(234)
第五节	止水、启闭力和吊耳	(242)
思考题	.....	(246)
附 录	.....	(247)
附录一	梁的整体稳定系数	(247)
附录二	型钢规格和截面特性	(250)
附录三	轴心受压构件的稳定系数	(271)
附录四	矩形弹性薄板弯矩系数	(275)
附录五	钢闸门的自重估算公式	(278)
附录六	材料的摩擦系数	(280)
参考文献	.....	(281)

绪 论

内容提要

钢结构的特点和应用, 钢结构的发展概况和发展方向。

第一节 钢结构的特点和应用

用型钢或钢板作为基本构件, 根据使用要求, 通过焊接或螺栓连接等方法, 按照一定规律组成的承载结构叫做钢结构。

一、钢结构的特点

与其他材料的结构相比, 钢结构具有以下特点。

(一) 强度高, 重量轻

钢与混凝土、砌体和木材相比, 虽然容重较大, 但强度高, 故其密度与强度的比值较小, 在同样受力条件下, 钢结构构件的截面面积小、用料少、重量轻。

(二) 材质均匀, 可靠性高

与混凝土和砌体材料相比, 钢材属单一材料, 内部组织比较均匀, 接近于均质各向同性体, 在一定应力条件下, 属于理想弹性材料, 最符合固体力学对材料性能所作的基本假定, 其计算结果与实际工作状态比较符合, 因此钢结构可靠性高。

(三) 塑性、韧性好

由于钢材的塑性好, 钢结构在一般情况下不会因偶然超载或局部超载而突然断裂破坏; 此外, 钢材还具有良好的韧性, 能很好地承受动力荷载。因此, 它比混凝土及砌体结构的抗震性好, 这些性能也为钢结构的安全可靠提供了充分的保证。

(四) 具有可焊性

由于钢材具有可焊性, 使钢结构的连接大为简化, 可适应制造各种复杂结构形状的需要。但焊接时产生很高的温度, 温度分布很不均匀, 结构各部位的冷却速度也不同, 因此不但在高温区(焊缝附近)的材料性质有变坏的可能, 而且还产生较高的焊接残余应力和残余变形, 使结构中的应力状态复杂化。

(五) 工业化程度高

钢材由各种型材组成, 都可采用机械加工, 在专业化的金属结构制造厂加工制造, 因而制作简便, 成品的精度高。制成的构件运至施工现场拼装, 制造周期短, 施工方便。

(六) 拆迁方便

由于钢材强度高, 故可建造出重量轻、连接简便的可拆迁结构。

(七) 密封性好

钢材本身组织非常致密, 当采用焊接连接的钢板结构时, 具有较好的水密性和气密

性,可用来制作压力容器、管道等。

(八) 具有可重复使用性

钢结构加工制造过程中产生的余料和碎屑,以及废弃和破坏了的结构或构件,均可回炉重新冶炼成钢材重复使用。因此,钢材被称为绿色建筑材料或可持续发展的材料。

(九) 耐腐蚀性差

钢材在潮湿环境中,特别是处在有腐蚀性介质的环境中容易锈蚀,因此必须对钢结构采取防护措施,如除锈、刷漆、镀锌等,而且使用期间还应定期维护。这就使钢结构的维护费用较砌体和钢筋混凝土结构高。

(十) 耐热但不耐高温

钢材耐热但不耐高温。随着温度的升高,钢材的强度降低。当温度小于 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,钢材的性能变化很小,具有较好的耐热性能;当温度达到 $450\sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,钢材的强度为零。因此,在有特殊防火要求的结构中,钢结构须采取隔热或防火措施。

二、钢结构的应用

根据钢结构的特点,结合我国国情,同时考虑建筑物的使用要求,钢结构在我国的应用范围大致如下。

(一) 大跨结构、空间钢结构(包括膜结构)

结构跨度越大,自重占在荷载中所占的比例就越大,减轻结构的自重会带来明显的经济效益。由于钢材轻质高强,因此钢结构在大跨空间结构和大跨桥梁结构中得到了广泛的应用。近年来,以网架和网壳为代表的空间结构迅速发展并且广泛应用于体育馆、候机楼、大剧院、博物馆等。如 2008 年北京奥运会体育场馆“鸟巢”(见图 0-1),主体结构形成整体的巨型空间马鞍形钢桁架编织式“鸟巢”结构,主体建筑呈空间马鞍椭圆形,南北长 333 m 、东西宽 294 m 、高 69 m ,总用钢量 4.2 万 t 。图 0-2 为 2008 年北京奥运会体育场馆“水立方”,地上部分的外形是长宽均为 177 m 、高为 31 m 的立方体,是由钢网架组成的新型多面体空间延性钢架结构。



图 0-1 2008 年北京奥运会体育场馆“鸟巢”

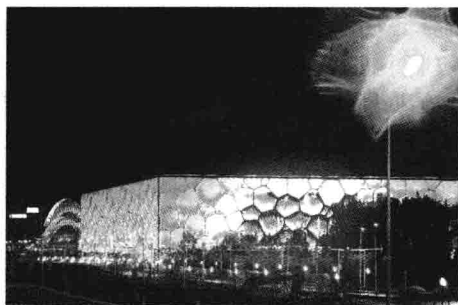


图 0-2 2008 年北京奥运会体育场馆“水立方”

(二) 工业厂房

重型工业厂房的主要承重骨架、有强烈辐射热的车间(见图 0-3)等,常采用钢结构。结构形式多为由钢屋架和阶形柱组成的门式刚架或排架,也有采用网架做屋盖的结构形式。

近年来,随着压型钢板等轻型屋面材料的采用,轻钢结构工业厂房得到了迅速发展。其结构形式主要为实腹式变截面门式刚架(见图 0-4)。

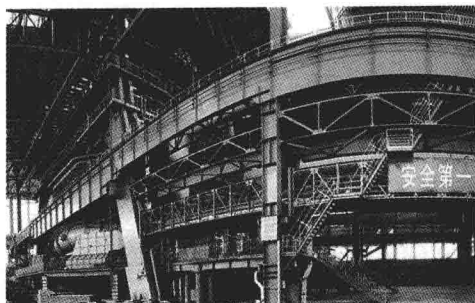


图 0-3 首钢曹妃甸钢铁厂



图 0-4 轻型工业厂房门式刚架

(三) 受动力荷载影响的结构

由于钢材具有良好的韧性,直接承受起重量较大或跨度较大的桥式吊车梁以及设有较大锻锤或产生动力作用的其他设备的厂房等,即使屋架跨度不大,也往往由钢制成。对于抗震能力要求高的结构,也多采用钢结构。

(四) 高耸结构和高层建筑

高耸结构包括高压输电线路的塔架、广播、通信和电视发射用的塔架及桅杆、火箭(卫星)发射塔架等(见图 0-5)。由于钢结构的综合效益指标优良,近年来在多层、高层民用建筑中也得到了广泛的应用(见图 0-6)。



图 0-5 上海的东方明珠电视塔



图 0-6 上海世界金融中心

(五) 活动式结构

钢结构广泛应用于水利工程中的钢闸门、阀门、拦污栅、船闸闸门、升船机和钢引桥等,图 0-7 为活动桥梁结构。图 0-8 为三峡工程永久船闸人字钢闸门,门高 38.5 m、宽 20.2 m、厚 3 m,每扇门重约 804 t,是目前世界上最大的船闸闸门。

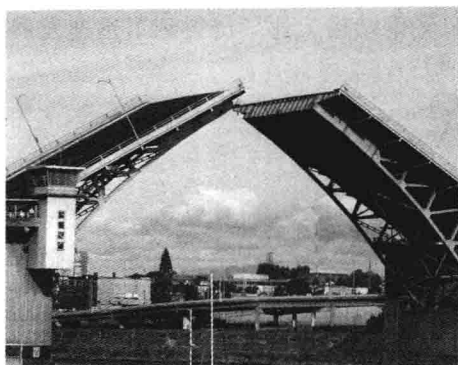


图 0-7 活动桥梁结构

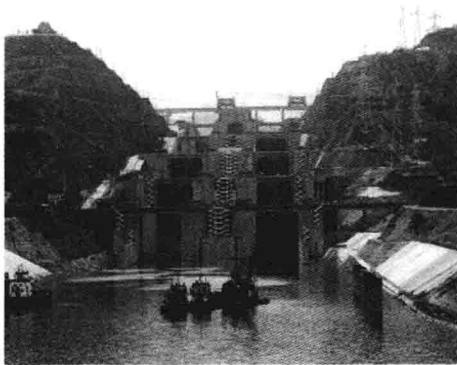


图 0-8 三峡工程永久船闸人字钢闸门

(六) 装拆式结构

在水利工程中经常会遇到需要搬迁和周转使用的结构。例如,施工用的钢栈桥,钢模板,装配式的混凝土搅拌楼和砂、石骨料的输送架等。这类结构充分发挥了钢结构自重较轻、便于运输和安装的特点。

(七) 钢-混凝土组合结构

钢-混凝土组合结构是充分发挥钢材和混凝土两种材料各自优点的合理组合,不但具有优良的静、动力工作性能,而且能大量节约钢材、降低工程造价和加快施工进度,同时对环境污染也较小,符合我国建筑结构发展的方向。

(八) 容器和其他构筑物

冶金、石油、化工企业中大量采用钢板做成的容器结构,包括油罐、煤气罐、高炉、热风炉等。此外,经常使用的还有皮带通廊栈桥、管道支架、锅炉支架等其他钢构筑物,海上采油平台也大都采用钢结构(见图 0-9 和图 0-10)。



图 0-9 管道工程



图 0-10 海上采油平台

第二节 钢结构的发展概况和发展方向

一、钢结构的发展概况

钢结构的应用在我国已有悠久的历史。据历史记载,早在东汉明帝(公元 60 年前

后)时,便在我国西南地区交通要道的高山峡谷上建造了铁链桥,其中兰津桥是最早的一座。其后,以明代建造的云南沅江桥、清代建造的四川泸定桥最为著名。泸定桥建于1706年,净跨100 m、宽2.7 m,由9根桥面铁链(上铺木板)和4根手扶铁链组成,每根铁链重约16 kN,铁链系于直径20 cm、长4 m的铸铁锚桩上。当时的条件下,在水流湍急的大渡河上架起这样的铁链桥,充分表明了我国劳动人民的聪明才智和创造力。

除铁链悬桥外,我国古代还建有许多铁塔,如公元1061年(宋代)在湖北荆州玉泉寺建成的13层铁塔(塔身高17.9 m,由生铁铸造,目前依然存在),还有山东济宁铁塔寺铁塔和江苏镇江甘露寺铁塔等。所有这些成果表明,中华民族对钢结构的应用曾经居于世界领先地位。

国外钢结构的应用比我国晚几个世纪,直到1779年,英国用生铁在塞文河上建造了第一座铸铁拱桥——科尔布鲁克代尔(Coalbrookdal)肋拱桥,跨长30.5 m。随着冶金技术的发展,出现了熟铁铆钉连接结构,铸铁结构逐渐被锻铁结构取代。1850年英国威尔士建成了麦奈海峡(Menaistraits)四跨箱型截面铁路桥,由锻铁型板和角铁经铆钉连接而成。随着1855年英国人发明贝氏转炉炼钢法和1865年法国人发明平炉炼钢法,以及1870年成功轧制出工字钢之后,形成了钢材生产的工业化及批量化,钢材开始在建筑领域逐渐取代锻铁材料,如1889年法国建成的巴黎埃菲尔铁塔(Eiffel)高324 m。20世纪初焊接技术的出现,以及1934年高强度螺栓连接的出现,极大地促进了钢结构的发展。如1931年美国建成了帝国大厦,高381 m,102层;1974年在芝加哥建造了西尔斯(Cears)大厦,高440 m,110层;1981年建成的英国亨伯(Humber)吊桥,主跨1 410 m等。此外,钢结构在苏联和日本等国家也获得了广泛的应用。

我国由于长期受封建制度的束缚,近代又遭受帝国主义的侵略,到新中国成立前钢结构在我国的发展比较缓慢。其间虽建有一些为数不多的钢结构桥梁和建筑物,但绝大多数是由外商承包设计和施工的。

新中国成立后,随着国家经济的飞速发展,在钢结构设计理论、结构制造安装水平等方面都有了较快的发展。在钢结构大跨度工业厂房、高耸结构和高层建筑、桥梁、水工钢闸门、采油平台等方面都有较多的应用。如2008年建成的体育场馆“鸟巢”和“水立方”,成为2008年北京奥运会标志性建筑。在钢结构桥梁方面,1957年建成了武汉长江大桥,1968年建成了南京长江大桥,1991年建成了上海黄浦大桥,1993年建成了九江长江大桥等。

随着科技的进步和国民经济的发展以及市场经济的不断完善,我国的钢结构技术政策也从“限制使用”改为积极合理地推广应用,应用范围日益扩大,特别是我国新的《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)(简称《规范》)、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB 50018—2002)和《水利水电工程钢闸门设计规范》(SL 74—95)的颁布实施,为钢结构在我国的快速发展创造了条件。

二、钢结构的发展方向

随着我国经济建设和国际贸易的迅速发展、钢产量的提高、钢材品种的逐渐增多,钢结构的应用也会得到进一步发展。为了迎接挑战,在钢结构的发展中应注重以下几个方面。

(一) 高效钢材的研制和应用

高效钢材包括低合金钢材、热强化钢材、经济截面钢材、表面处理钢材、冷加工钢材、金属制品和粉末冶金等。采用高强度钢材可以用较少的材料做成功效较高的结构,对于跨度大、荷载大的结构和移动式结构极为有利。我国结构用钢主要为普通低合金钢,《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)中规定的低合金结构钢有 Q345(16Mn)、Q390(15MnV 和 15MnTi)和 Q420(15MnVN),它们的屈服强度分别为 345 N/mm^2 、 390 N/mm^2 和 420 N/mm^2 。目前,屈服强度为 460 N/mm^2 、厚度为 110 mm 的 Q460 钢已成功应用于 2008 年北京奥运会体育场馆“鸟巢”结构。即使如此,我们与国外水平相比仍有较大差距,如美国早在 1969 年已采用屈服点为 700 N/mm^2 的钢材。

另外,我国冶金工业部门正在努力研制和生产适合于结构用的新钢种,如《高层建筑结构用钢板》(YB 4104—2000),有专门用于高层建筑和其他重要建(构)筑物厚板焊接截面构件的钢板,还有用于抗震耗能部件的低屈服点钢材以及耐候钢等。

(二) 新型结构的应用

新型结构包括轻型钢结构、空间结构、预应力钢结构、组合结构和膜结构等。

(1) 轻型钢结构。主要采用冷弯型钢和压型钢板等高效经济截面钢材,减轻结构自重,降低工程造价。

(2) 空间结构。近年来,大跨度空间结构在我国已有较大发展,如网架、网壳、悬索结构、弦支穹顶、张弦梁、索穹顶等。

(3) 预应力钢结构。一般是在结构体系中采用少量高强钢材,对其施加预应力,提高结构的承载力或刚度。如三峡工程中永久船闸人字钢闸门采用了预应力的门背斜拉杆,有效地减小了门扇在水中旋转时产生的挠曲变形和扭转变形。

(4) 组合结构。将钢与混凝土组合起来共同受力并发挥各自的优点,可有效节约材料。目前,推广应用的是钢与混凝土的组合梁和钢管混凝土结构。钢梁与钢筋混凝土板间用抗剪键相连而使整个结构整体工作。钢管混凝土结构不仅使混凝土受到钢管的约束而提高了其抗压强度,同时由于管内混凝土的填充也提高了钢管抗压的稳定性,因而构件的承载能力大为提高,且具有良好的塑性和韧性,经济效益显著。

(5) 膜结构。用高强膜材料和加强构件(如钢架、钢柱及钢索)组成。膜既是覆盖物,又是结构的一部分,重量轻,广泛应用于体育场馆、机场候机厅等。

(三) 更新设计理论

水工钢结构一直沿用容许应力设计法,这种方法的优点是计算简便,可以满足正常的使用要求,但缺点是所给定的容许应力不能保证各种结构具有比较一致的可靠度。因此,采用以概率理论为基础的极限状态设计法是其发展的必然趋势,水工钢结构应研究以一次二阶矩概率论为基础的极限状态设计法,我国《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)采用的就是这一方法。

(四) 创新设计方法

由于计算机的广泛应用,为水工钢结构的优化设计及空间结构有限元分析提供了可能。如将水工钢闸门按空间结构进行分析计算,考虑面板与水平次梁的整体作用,其结果较真实地反映了闸门的工作情况。根据实践经验及理论分析,对于大型闸门,按空间结构

计算可节省钢材 10% ~ 15%。

(五) 研究和推广钢结构新型连接方法

目前,钢构件的连接多采用焊接和螺栓连接,为提高焊接质量、改进焊接工艺,应研究与高强度结构钢相匹配的高质量焊接材料和焊接工艺,如采用二氧化碳气体保护焊、电渣焊等。摩擦型高强螺栓,由于其连接具有较好的塑性和韧性,避免了焊接中存在的焊接应力和焊接变形等缺点,因此在工程中应用较多。

第三节 水工钢结构课程的主要内容、性质、任务和基本要求

一、水工钢结构课程的主要内容

水工钢结构课程的主要内容包括材料、连接、基本构件(包括钢梁、钢柱等)和钢桁架、钢闸门等。

二、水工钢结构课程的性质

钢结构是结构工程中按材料划分出来的一门学科。这门学科主要是建立在建筑材料、材料力学、结构力学和其他工程力学及工程实践知识的基础上,按照结构物使用的目的,在预计的各种荷载作用下和预定的使用期间不致使结构失效。因此,在进行钢结构设计时必须考虑具体的材料性能及其连接,综合运用力学知识及结构理论,研究结构在使用环境和荷载作用下的工作状况,才能设计出既安全适用,又经济合理的结构。本课程有时需要直接引用力学课程中的有关计算公式,有时还要通过适当的假定,把某些复杂公式转化成实用方便的简化公式。所以,对于设计工作者,必须熟悉这些力学课程的有关内容。

需要指出的是,钢结构这门学科不仅仅是力学的简单分析和运算,一个优秀的设计师,除应具备钢结构的基本知识外,还必须熟悉结构的使用要求,了解结构的工作状况,同时还需要有丰富的工程实践经验。

三、水工钢结构课程的任务和基本要求

本课程的任务是阐述常用的结构钢的工作性能、钢结构的连接设计、钢结构各类基本设计原理以及结合水利工程专业的要求讲述平面钢闸门的设计原理和方法。通过对本课程的学习,要求能具备钢结构的基本知识,掌握正确的设计原理和方法,能够对钢梁、钢柱等基本构件以及钢桁架、平面钢闸门进行设计。

小 结

(1) 认识钢结构的特点,了解钢结构在我国的发展概况以及目前的应用情况,特别是在水利工程中的应用情况。