



普通高等教育“十一五”规划教材

水工钢结构 (第四版)

武汉大学 范崇仁 主编

Higher Education



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十一五”规划教材

水工钢结构

(第四版)

武汉大学 范崇仁 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书为高等学校水利水电工程建筑专业及相关专业教材。全书共分七章及十二个附录。主要内容有：绪论，钢结构的材料和计算方法，钢结构的连接，钢梁，钢柱与钢压杆，钢桁架，平面钢闸门。章后附有思考题和习题。本次修订主要是根据国家标准 GB 50017—2003《钢结构设计规范》和行业标准《水电水利工程钢闸门设计规范》2006年送审稿进行的。

本书除作为教材外，尚可供水利工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

水工钢结构/范崇仁主编. —4版. 北京: 中国水利水电出版社, 2008

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5084-5260-9

I. 水… II. 范… III. 水工结构: 钢结构—高等学校—教材 IV. TV34

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 007062 号

书 名	普通高等教育“十一五”规划教材 水工钢结构 (第四版)
作 者	武汉大学 范崇仁 主编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 17.5 印张 415 千字
版 次	1980 年 6 月第 1 版 1988 年 6 月第 2 版 1995 年 6 月第 3 版 2008 年 5 月第 4 版 2008 年 5 月第 18 次印刷
印 数	119521—124520 册
定 价	28.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

第四版前言

本教材是根据新的国家标准 GB 50017—2003《钢结构设计规范》和行业标准《水电水利工程钢闸门设计规范》2006年送审稿而修订的第四版本。

本书长期作为我国高等院校水电工程建筑专业以及其他的相关专业教材。本书共分七章及十二个附录，内容分两大部分：基本部分为钢结构设计的基本知识和基本理论，基本构件和连接的设计与计算；专业结构物设计部分为平面钢闸门设计。全书各章附有思考题和习题。在二十余年的教学实践中，通过4次修订，保留了本书少精得体，善教易学以及“水、土”兼容体系的特色，同时也不断反映国内外这些年来在本领域内的研究成果。

本书第三版由武汉大学、大连理工大学和河海大学三校合编，原参编者和主审都为本书倾注了大量劳动和心血，使得该书曾两次获得全国优秀教材部级二等奖。目前由于他们年事日高，这次修订仅由武汉大学承担：范崇仁教授修订第一、二、三、六、七各章及附录，陈思作教授修订第四、五两章。本书由范崇仁主编。

原书从1980年出版以来，这是第3次修订，共进行了17次印刷，印数11万余册。这些均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。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，编者不胜感激。

编者

2007年11月

第一版前言

本教材是根据水电部 1978~1981 年教材出版规划组织编写的。主要适用于水利水电工程建筑专业、农田水利工程专业以及港口与航道工程专业，同时兼顾水利水电工程施工等水利类其他专业和海洋石油建筑工程专业的使用。本书内容在讲授时可根据各专业的教学大纲及教学实际情况予以取舍。

本书共分九章和十二个附录，主要分为两大部分：基本部分为钢结构设计的基本知识、设计基本理论、基本构件和连接的计算与构造设计；专业结构物设计部分包括有平面钢闸门、弧形钢闸门、人字钢闸门以及钢引桥的结构设计。为了加深对设计原理、计算方法和构造处理的理解及应用，书中编写了适量的设计例题，并附有施工图，可供课程设计参考。此外，针对海洋石油建筑专业的教学需要，在第五章的第六节还编入了“管节点设计”。

本教材中采用的基本符号、计算的基本规定、各种构件和连接的计算与构造要求等，主要依据全国通用设计规范《钢结构设计规范 TJ 17—74（试行）》以及水电部的《水利水电工程钢闸门设计规范 SDJ 13—78（试行）》，并参考了我国其他有关规范。

本书插图中的长度单位若未加说明，则均为毫米。

本书由武汉水利电力学院、大连工院和华东水利学校三校合编。参加编写的有：武汉水利电力学院范崇仁（绪论、第六章）、周世植（第四章、第七章）；大连工学院陈继祖（第二章、第五章）、陆文发（第九章）；华东水利学院俞良正（第一章、第三章）、陶碧霞（第一章、第八章）。本书由范崇仁担任主编，由天津大学王象箴担任主审。

在编写本书过程中得到各兄弟院校和工程单位的大力协助和热情支持。插图承各校的同志积极协助描绘，顺此一并致谢。对于书中存在的错误和缺点，希望读者批评指正。

编者

1979 年 7 月

第二版前言

本教材是根据水利电力部水利类教材编审委员会的决定对原出版的《水工钢结构》教材的修订本。本书主要适用于高等院校水利水电工程建筑专业、农业水利工程专业以及水利水电工程施工专业等水利类其他专业的使用。尚可供有关的工程技术人员参考使用。

本书共分六章和绪言以及十二个附录，内容分两大部分：基本部分为钢结构设计的基本知识和基本理论，基本构件和连接的计算与构造设计；专业结构物设计部分为平面钢闸门。为了加深对设计原理、计算方法和构造处理的理解和应用，书中编写了设计例题，可供作课程设计时参考。

本教材主要根据原书几年来教学实践经验，从教学实际需要出发，着重反映了国内外近年来有关的研究成果。全书中采用的基本符号、基本术语、计量单位、计算的基本规定、各种构件和连接的计算与构造等，主要根据国家标准《钢结构设计规范 GBJ 17—86》送审稿以及水电部的《水利水电工程钢闸门设计规范 SDJ 13—78》（试行）。

本书由武汉水利电力学院、大连工学院和河海大学三校合编。参加编写的有：武汉水利电力学院范崇仁（绪论、第六章）、周世植（第四章）；大连工学院陈继祖（第二章、第五章）；河海大学俞良正（第三章）、陶碧霞（第一章）。本书由范崇仁担任主编、由天津大学王象箴、清华大学赵文蔚担任主审。

原书从1980年出版以来，曾经3次印刷，得到各兄弟院校和有关工程单位的大力支持，提出不少宝贵意见，对修订本教材，提高教材质量起到了积极作用，在此一并致谢。对本书中存在的错误和缺点，希望继续提出指正。

编者

1986年12月

第三版前言

本教材是根据水利部 1990~1995 年高等学校水利水电类专业教材编审出版规划对原出版的第二版《水工钢结构》教材修订的第三版本。本书主要作为高等院校水利水电工程建筑专业、农田水利工程专业以及水利水电工程施工专业等水利类其他专业教材。还可供有关工程技术人员参考。

本书共分六章和绪论及十二个附录。内容分两大部分：基本部分为钢结构设计的基本知识和基本理论，基本构件和连接的计算与构造设计；专业结构物设计部分为平面钢闸门。为了加深对设计原理、计算方法和构造处理的理解和应用，书中编写了设计例题、思考题和习题，可供在学习时及课程设

计参考。

本版主要根据原版本十余年来教学实践，从教学实际需要出发，增加了反映国内外近年来有关的研究成果。全书中采用的基本符号、基本术语、计量单位、计算的基本规定、各种构件和连接的计算与构造等，主要依据是国家标准《钢结构设计规范》(GBJ 17—88) 以及原水利电力部的《水利水电工程钢闸门设计规范》(SDJ 13—78)。

本书由武汉大学、大连理工大学和河海大学三校合编。参加编写的有：武汉大学范崇仁（绪论、第二章、第五章、第六章）、周世植（第四章）；大连理工大学陈继祖（第二章、第五章）；河海大学俞良正（第三章）、陶碧霞（第一章）。本书由范崇仁教授主编，由天津大学王象箴教授主审。

原书从 1980 年出版以来，曾经修订一次，共 5 次印刷，均得到各兄弟院校和有关工程单位的大力支持，提出不少宝贵意见，对修订本教材，提高教材质量起到了积极作用，在此一并致谢。对于本书中存在的错误和缺点，希望继续提出指正。

编者

1993 年 1 月

目 录

第四版前言	
第一版前言	
第二版前言	
第三版前言	
第一章 绪论	1
第一节 水工钢结构课程的性质和任务	1
第二节 钢结构的特点	1
第三节 钢结构的应用	2
第四节 钢结构设计的要求	5
第五节 水工钢结构的发展	5
思考题	7
第二章 钢结构的材料和计算方法	8
第一节 钢材的主要性能	8
第二节 影响钢材机械性能的主要因素	12
第三节 钢材的疲劳	17
第四节 建筑钢的种类、牌号及选用	22
第五节 轧成钢材的规格及用途	25
第六节 钢结构的计算方法	27
思考题	35
第三章 钢结构的连接	36
第一节 连接的类型	36
第二节 焊接方法和焊缝强度	37
第三节 对接焊缝连接的构造和计算	42
第四节 角焊缝连接的构造和计算	46
第五节 焊接应力和焊接变形	58
第六节 螺栓连接	61
思考题	75
习题	76

第四章 钢梁	78
第一节 钢梁的形式及应用	78
第二节 钢梁的弯曲强度及其计算	79
第三节 钢梁的整体稳定性	82
第四节 轧成梁的设计	86
第五节 焊接组合梁的截面选择和截面改变	89
第六节 焊接组合梁的翼缘焊缝和梁的拼接	95
第七节 薄板的稳定性	98
第八节 组合梁的局部稳定与加劲肋设计	102
第九节 梁的支承	116
思考题	123
习题	124
第五章 钢柱与钢压杆	125
第一节 钢柱与钢压杆的应用和构造形式	125
第二节 轴心受压实腹式构件的整体稳定性	125
第三节 轴心受压实腹式构件的局部稳定性	132
第四节 轴心受压实腹柱设计	133
第五节 轴心受压格构式构件的稳定性	136
第六节 轴心受压格构柱设计	138
第七节 实腹式压弯构件的承载能力	144
第八节 偏心受压实腹柱设计	148
第九节 偏心受压格构柱设计	151
第十节 梁和柱的连接	153
第十一节 柱脚的设计	154
思考题	159
习题	159
第六章 钢桁架	161
第一节 概述	161
第二节 桁架的外形、尺寸和腹杆布置	162
第三节 桁架间的支撑和压杆的计算长度	164
第四节 桁架的杆件设计	169
第五节 普通桁架结点设计和桁架施工图绘制	174
第六节 设计例题——焊接钢屋架设计	181
思考题	192
习题	192

第七章 平面钢闸门	193
第一节 概述	193
第二节 平面钢闸门的组成和结构布置	194
第三节 面板和次梁的设计	200
第四节 主梁设计	206
第五节 横向连接系（横向支撑）和纵向连接系（纵向支撑）	208
第六节 边梁设计	209
第七节 行走支承	210
第八节 轨道及其他埋件	215
第九节 止水、启闭力和吊耳	217
第十节 设计例题——露顶式平面钢闸门设计	220
思考题	235
附录一 钢材的化学成分和机械性能	236
附录二 疲劳计算的构件和连接分类	238
附录三 型钢规格和截面特性	240
附录四 型钢的螺栓（铆钉）准线表	251
附录五 普通螺栓的标准直径及螺纹处的有效截面积	252
附录六 梁的整体稳定系数	253
附录七 轴心受压构件的稳定系数	257
附录八 组合截面回转半径近似值	261
附录九 矩形弹性薄板弯矩系数	262
附录十 轴套材料及混凝土承压容许应力	265
附录十一 钢闸门自重（ G ）估算公式	266
附录十二 材料的摩擦系数	267
主要参考书目	268

第一章 绪 论

第一节 水工钢结构课程的性质和任务

用型钢或钢板制成基本构件，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钢结构。钢结构在各项工程建设中的应用极为广泛，如钢桥、钢厂房、钢闸门、各种大型管道容器、高层建筑和塔桅结构等。由此可见，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、结构力学和其他有关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，在预定的使用期间，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，综合运用上述的力学知识，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。

由于本课程有时需要直接引用上述课程中有关的计算方法和计算公式，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，必须熟悉上述有关力学课程的内容。然而，必须指出，钢结构这门学科的特点，绝不仅仅是力学的分析和运算，因为要获得一个质优的结构，还必须熟悉结构的使用要求，了解结构的工作状况，需要掌握钢材在各种因素影响下的工作性能以及构造方面的要求。由于工程中的许多问题不是全部都能借助现有的公式就能解决的，往往还需要有丰富的工程实践知识，如进行全面规划，作出合理的总体结构布置和进行合理的结构选型等，然后才能设计构件，进行构造处理，并确定必要的制造工艺要求和安装方法等。

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、钢结构各类基本构件的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，应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、钢桁架等基本构件以及平面钢闸门进行设计，并为设计其他类型的钢结构打下基础。

第二节 钢结构的特点

钢结构与钢筋混凝土结构、木结构和砖石结构等相比，具有以下特点。

1. 钢结构自重较轻

虽然钢的密度 ρ 很大 ($\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$)，但其强度更高，故构件所需要的截面积较小。钢材容重与其设计强度的比值相对也较小，所以自重较轻，便于运输和安装。特别适用于大跨度和高耸结构，也更适用于活动结构，以减少驱动力，如水工中的各类钢闸门。



2. 钢结构工作的可靠性较高

由于钢的组织均匀,其物理力学特性各向接近同性,而且弹性模量大($E=206 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$),具有较大的抵抗变形的能力。它又是一种理想的弹塑性材料,最符合一般变形固体力学对材料性能所作的基本假定。因此,理论计算结果比较符合实际材料的工作状况,结构的安全度比较明确。

3. 钢材的抗振性、抗冲击性好

钢材不仅强度高,而且一般具有良好的塑性和韧性,故钢材本身的抗振性和抗冲击性较高,同时还由于钢结构自重轻,所以引起的振动惯性力也较小。

4. 钢结构制造的工业化程度较高

由于钢结构的制造必须采用机械和严格的工艺,从而具备成批生产和高精度的特点,是目前工业化程度最高的一种结构,具有生产效率高、速度快、质量高的特点。

5. 钢结构可以准确快速地装配

由于钢结构自重较轻,加工精度高,并可以在现场直接用焊接或螺栓将其连接起来,安装迅速,施工周期短,部件便于更换。

6. 容易做成密封结构

易于用钢板做成密封结构,如管道和各种容器。

7. 钢结构易腐蚀

尤其是水工钢结构,容易腐蚀的缺点比较突出。为了防止锈蚀,初建时需要除锈,采取油漆或镀锌等防锈措施,而且建成后需要定期维护。在水工钢闸门上也可以采用电化学效应的阴极保护法,同时还可以采用耐候钢。

8. 钢结构耐火性差

虽然钢材在 200°C 以内的强度和弹性模量变化很小,但当温度高于 300°C 时,钢的强度和弹性模量会显著下降。达到 $500 \sim 600^\circ\text{C}$ 以上时,钢材即失去承载能力。因而接近高温的结构,需要采取隔热措施,例如当温度达到 150°C 时,应在结构或其构件外面包以石棉、混凝土或含有蛭石的水泥浆层。

第三节 钢 结 构 的 应 用

一、钢结构在建筑工程中的应用

钢结构在建筑工程中得到非常广泛的应用,诸如下述。

1. 工业厂房结构

特别是重型工业厂房结构,如冶金工业、重型机械制造工业的各种厂房。随着轻型钢结构的发展,其他许多屋面轻或吊车负荷小的工业厂房也都采用钢结构。

2. 大跨度房屋的屋盖结构

如大型体育馆、展览馆、候车厅、影剧院、飞机库和飞机装配车间等。

3. 高层房屋钢结构

中国第一座超过 100m 的高层房屋钢结构是 1987 年深圳发展中心大厦,高 165m 。1996 年深圳地王大厦高 325m ,连同天线高 384m ,地上 81 层,地下 3 层;1999 年上海金



茂大厦高 420.5m，目前位居世界第三。

4. 塔桅结构

如无线电广播塔、电视塔、高压线路塔、环境气象塔以及高耸的烟囱等。采用钢结构可以减轻自重，不仅架设安装方便，同时对承受风荷载和地震作用有利。

二、钢结构在水工中的应用

钢结构在水利、水电、水运、海洋采油等工程中的合理应用范围大致如下。

1. 活动式结构

例如水工中大量采用的钢闸门、阀门、拦污栅、船闸闸门、升船机和钢引桥等。对于这一类需要移动或转动的结构来说，可以充分发挥钢结构自重较轻的特点，从而能降低启闭设备的造价和运转所耗费的动力。图 1-1 是正在拼装中的葛洲坝水利工程用的弧形钢闸门，其跨度为 12m，高度为 12m，水头为 27m，每扇闸门承受的总水压力达 42000kN（约 4200t）。图 1-2 是内蒙尼尔基水电站溢洪道表孔弧形钢闸门，其跨度为 12m，高度为 18m。当今我国乃至世界最大的弧形钢闸门是重庆彭水枢纽工程中的表孔门，孔口宽 14m，弧门高 24.5m，每扇门自重达 3800kN（约 380t）。图 1-3 是三峡水利枢纽中双线五级船闸正在通航的情况，图中所示的为南线第二级闸首的人字形钢闸门，船闸闸室宽 34m，每扇门宽 20.2m，门高 38.5m，闸门承受的最大水头（上下游水位差）为 36m，每扇门承受的总水压力为 130000kN（约 13000t），每扇门自重达 8300kN（约 830t）。其规模已超过目前世界上最大的船闸，如美国的新威尔逊船闸、罗马尼亚的铁门船闸等。



图 1-1 葛洲坝二江泄水闸弧形钢闸门

2. 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，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。

3. 板结构

例如压力管道、围斗、贮液罐、贮气罐等。用钢板制造的这类结构密封性好。三峡水利枢纽工程中的电厂进水压力钢管内径达 12.4m。

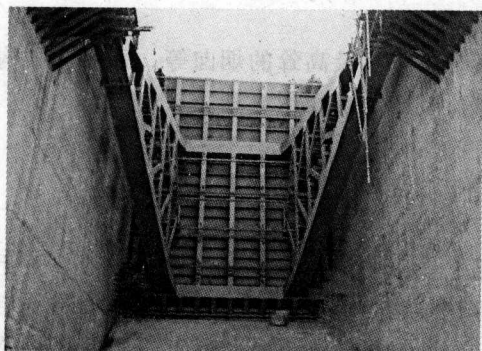


图 1-2 内蒙古尼尔基水电站溢洪道表孔弧形钢闸门

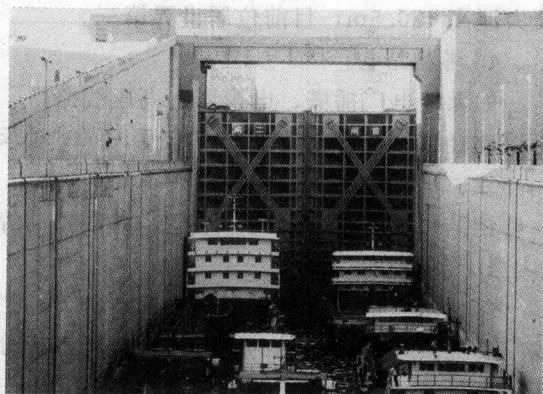


图 1-3 三峡水利枢纽船闸南线二级闸首人字形钢闸门

4. 高耸结构

如输电线路塔、微波塔、电视转播塔等。

5. 大跨度结构

如三峡水利枢纽升船机的承船厢，为钢质开口槽形结构。船厢有效长度为 120m，宽 18m，水深 3.5m，干舷高 0.8m，外形最大长度为 132m，宽 23m，高 10m。承船厢主体结构为梁格系统，可承载 30000kN（约 3000t）船舶过坝，为当今世界上最大的承船厢。图 1-4 是我国已建的大连新港油码头用的空腹桁架式钢栈桥，共 9 跨，每跨 100m。对于大跨度结构，更需要发挥钢结构自重轻的特点。



图 1-4 大连新港油码头钢栈桥

6. 海工钢结构

海洋工程中的钻井、采油平台结构，如图 1-5 所示为我国渤海湾某海上采油固定钢平台，它是由采油平台、生活平台和烽火台所组成，中间由轻便的栈桥相连接。生活平台上设有多层的生活楼、直升飞机场和通信微波塔。采油平台下面有大容量的原油贮罐等。这类结构要承受平台上各种装置及机械设备的荷载以及风、浪和冰等动力荷载作用，这就发挥了钢材强度高、抗振性能好以及便于海上安装等特点。

诸如上述，钢结构在水工中的应用是相当广泛的。



图 1-5 我国渤海湾海上采油固定钢平台

第四节 钢结构设计的要求

钢结构设计的要求，同其他结构设计一样，必须贯彻执行国家的技术经济政策，要求做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量。为此，设计工作者应该从工程实际出发，合理选用材料，进行结构选型和结构布置。采用先进的设计理论、计算方法以及构造措施，优先采用定型的和标准化的结构构件和结点，以减少设计和制作的工作量，缩短建设周期，提高经济效益。

在研究和创立完善的结构形式时，应该尽量做到结构型式简化和材料使用集中（即扩大构件），这样可以减少构件的数量。因为数量多而尺寸小的构件，特别是受压构件，一般不能充分发挥材料的强度，且增加制造和安装的工时，对防止腐蚀也不利。

第五节 水工钢结构的发展

随着我国经济建设的迅速发展和钢产量的不断提高，钢结构的应用也得到了更好的发展。为了更有效地使用钢材和节约钢材，水工钢结构的发展主要有以下几个方面。

1. 合理地使用材料

长期以来，钢结构传统地采用普通碳素结构钢，随着冶金工业的发展，冶炼时在碳素钢里加入少量的合金元素（合金元素总含量一般为 1%~2%，不超过 5%），就可以得到强度高、综合机械性能好的普通低合金钢。这类钢还具有某些特殊的性能，如抗蚀性、耐磨性及耐低温性等。如屈服点为 345N/mm^2 的 Q345 钢，就是在普通碳素钢——Q235 钢（曾称 3 号钢——A3）化学成分中添加 1.2%~1.6% 的锰元素而成（曾称 16 锰钢——16Mn）。此后相继推出 Q390 钢（15MnV）和 Q420 钢（15MnVN）。这些新的钢号在工程实践中已有多年的应用，也是 GB 50017—2003《钢结构设计规范》所推荐选用的，其经济效果比较 Q235 钢可节约 15%~25%。

采用高强度低合金钢可以大大节约钢材，提高结构使用寿命，同时由于构件截面尺寸减薄，还可以简化制造工艺，节约工时，有利于运输和安装，对于大跨度结构更显得有

利。如南京长江大桥、三峡与葛洲坝水利枢纽中的各类钢闸门均采用 Q345 钢所建造。1992 年建成的九江长江大桥采用的是 Q420 钢。当今国外高强度钢发展很快，如美国的 A514 钢，其屈服点达到 690N/mm^2 。我国把发展高强度低合金钢放在优先地位，这是关系到实现经济建设战略目标的一件大事。

为了合理利用材料，对于由稳定控制的构件，宜采用价格较低的普通碳素钢；对于由强度控制的构件，宜采用高强度低合金钢。同样，对受弯构件，翼缘可以采用高强度的低合金钢，而腹板可采用普通碳素钢，这种构件称为异种钢构件。

对于不直接承受动力荷载的简支梁或连续梁，还可以采用钢与混凝土联合工作的组合梁。这种梁由钢筋混凝土作上翼缘，再由连接件与下部的钢梁连接成整体而共同作用。

2. 研究和推广使用抗腐蚀的耐候钢

耐候钢是在冶炼过程中加入少量的铜 (Cu)、磷 (P)、铬 (Cr)、镍 (Ni) 等合金元素，当钢材在大气环境中遭受干湿交替时，其表面形成一层紧密的氧化膜来抑制钢材进一步腐蚀。这类钢称为耐候钢。

碳素钢的耐蚀性较差，钢中含碳量增加会降低耐蚀性，含有硫也会降低耐蚀性。

低合金钢 (如 Cu、Cr、Ni 等总含量不超过 5% 者) 或加入稀土 (RE) 元素也能提高耐蚀性。稀土与铝 (Al) 共存还可进一步提高耐蚀性。低合金钢一般比碳素钢耐大气腐蚀性高 1~1.5 倍。高的可达 2~6 倍。如美国生产的 A242 钢，在大气中抗蚀能力至少是碳素钢的 4 倍。A588 是主要的耐候钢，其耐候性能与 A242 相似。

3. 不断创新合理的结构形式

不断创新合理的结构形式是节约钢材的有效途径，例如采用钢管混凝土作受压构件 (即在钢管内填入密实的混凝土)，不仅混凝土受到钢管的约束而提高了抗压强度，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，它与钢柱相比，可节约钢材 30%~50%，造价也相应降低。

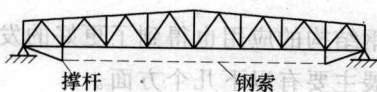


图 1-6 预应力钢桁架

预应力钢结构，也可以较大幅度地节约钢材 (一般可节约钢材 20%~40%)。如图 1-6 所示的预应力钢桁架，由于在结构中采用预应力，既可以调整结构的内力，又可采用高强度钢索 (图 1-6 中虚线所示)，从而可以充分发挥钢材应有的强度，并能增加结构的刚度。例如在葛洲坝工程和三峡工程中，船闸人字钢闸门上均采用了预应力的门背斜拉杆，可以有效地防止当门扇在水中旋转时产生过度的挠曲和扭转变形。美国曾于 1942 年在麦克阿瑟船闸中，在闸室宽度为 24.4m 的人字钢闸门上开始采用这种办法，使每扇高度为 17m、宽度为 13.7m 的人字钢闸门的厚度只有 1m。这样薄的闸门在任何情况下旋转都没有显著变形，甚至在冬季，还用它的旋转来扫除航道中的浮冰。我国从 20 世纪 50 年代开始对预应力钢结构进行研究，已经在某些工程中采用了预应力钢结构，并收到节约钢材和降低造价的效果，所以预应力钢结构具有一定的发展前途。

4. 更新设计理论和计算方法

水工钢结构一直沿用容许应力的设计方法。这种方法的优点是计算简便，可以满足正

常的使用要求。但必须指出,此法的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。例如恒载的估算要比活载的估算准确得多,若同一个结构所承受的恒载的比值很高,则其计算的可靠度就高,反之则低。因此,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。这一方法是 GB 50068—2001《建筑结构可靠度设计统一标准》颁布实施的方法。现行的 GB 50017—2003《钢结构设计规范》采用的也是这一方法。

水工钢闸门的结构计算,通常是将这样一个空间结构简化成若干个平面结构(如梁、柱、桁架、刚架等)来计算。这种计算方法没有考虑结构的整体性,其结果不能准确反映结构实际的工作性能。因此,也就不能充分合理地使用材料。我国从 20 世纪 50 年代以来,对钢闸门已经有按空间结构的计算方法。它是将整个闸门当作一个薄壁空间结构来考虑,这样可以计入面板和水平次梁在闸门整体弯曲中所起的弯曲作用,较真实地反映闸门的工作情况,而且还可以节约钢材。根据实践经验,对于大跨度的露顶闸门,按空间结构计算可省钢 10%~15%;然而,对于跨度较小的闸门,节约的效果没有大跨度的闸门显著,且计算过程比较繁琐,所以按空间结构计算并不普通。目前,计算机的发展已为钢闸门按空间结构计算提供了条件,同时还可以对结构进行优化设计。

5. 研究和推广钢结构的新型连接方法

如改进焊接工艺,提高焊接质量,采用二氧化碳气体保护焊、电渣焊,研究与高强度结构钢相匹配的高质量焊接材料,继续推广使用高强度螺栓的连接方法等。其中,使用高强度螺栓的连接是由于螺帽拧紧后,能使螺栓产生很大的预拉力,在被连接的板件之间产生很大的摩阻力来传递外力。这种连接具有较好的塑性和韧性,避免了焊接结构中存在的焊接应力和焊接变形等缺点。因此,它不仅安装迅速,而且承受动力荷载的性能也较好。

6. 研究和推行水工钢结构的标准化和系列化

推行水工钢结构的标准化和系列化,是缩短工期、降低成本、提高劳动生产率的有效措施。

思 考 题

1-1 钢结构与其他结构相比具有哪些优点?

1-2 钢材密度大,为什么钢结构自重与钢筋混凝土结构、砖石结构或木结构相比还较轻?为什么钢结构这一优点比较适合应用于大跨度结构和高耸结构?

1-3 钢管混凝土柱的优越性是什么?预应力钢结构的优越性是什么?