

清华大学土木工程系组织编写
土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列教材
中国土木工程学会教育工作委员会推荐教材

钢结构

张艳霞 刘学春 吴宝瀛 编著

清华大学出版社

土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列教材

钢 结 构

张艳霞 刘学春 吴宝瀛 编著

清华大学出版社

内 容 简 介

本教材是由中国土木工程学会教育委员会推荐的土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列教材之一,是根据全国高校土木工程学科专业指导委员会审定通过的教学大纲和应用型土木工程专业培养日标编写的,尤其是全面参照最新的国家《钢结构设计规范》(GB 50017—2012 送审稿)对全书内容进行了梳理和充实,并保留了《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)的内容,方便读者对比学习,使本教材更具新颖性和实用性。

本教材内容包括:概述,钢结构的材料,钢结构的连接,轴心受力构件,梁,拉弯和压弯构件;为了强化实践环节,本教材增加了课程实训和求职面试可能遇到的典型问题应对两章内容。

本教材可作为高校土木工程专业专业基础课教材,也可供从事钢结构设计、制作、施工的工程技术人员参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

钢结构/张艳霞,刘学春,吴宝瀛编著.--北京:清华大学出版社,2014

土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列教材

ISBN 978-7-302-35387-4

I. ①钢… II. ①张… ②刘… ③吴… III. ①钢结构—高等学校—教材 IV. ①TU391

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第022951号

责任编辑:周莉桦

封面设计:陈国熙

责任校对:刘玉霞

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:三河市君旺印装厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:20.5 插 页:1 字 数:493千字

版 次:2014年5月第1版 印 次:2014年5月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:45.00元

产品编号:050809-01

编 委 会

名誉主编 袁 驹

主 编 崔京浩

副 主 编 石永久 陈培荣

编 委 (按姓氏拼音排序)

方东平 冯 鹏 韩林海 刘洪玉 陆新征

马智亮 聂建国 宋二祥 郑思齐 周 坚

丛书总序

《《 PREFACE

国务院学位委员会在学科简介中为土木工程所下的定义是：“土木工程(Civil Engineering)是建造各类工程设施的科学技术的统称。它既指工程建设的对象，即建造在地上、地下、水中的各种工程设施，也指所应用的材料、设备和所进行的勘测、设计、施工、保养、维修等专业技术”。土木工程是一个专业覆盖面极广的一级学科。

英语中“Civil”一词的意义是民间的和民用的。“Civil Engineering”一词最初是对应于军事工程(Military Engineering)而诞生的，它是指除了服务于战争设施以外的一切为了生活和生产所需要的民用工程设施的总称，后来这个界定就不那么明确了。按照学科划分，现代地下防护工程、航天发射塔井、海上采油平台、通信线路敷设、电网传输塔架等设施也都属于土木工程的范畴。

土木工程是国家的基础产业和支柱产业，是开发和吸纳我国劳动力资源的一个重要平台，由于它投入大、带动的行业多，对国民经济的消长具有举足轻重的作用。改革开放后，我国国民经济持续高涨，土建行业的贡献率达到 1/3；近年来，我国固定资产的投入接近甚至超过 GDP 总量的 50%，其中绝大多数都与土建行业有关。随着城市化的发展，这一趋势还将继续呈现增长的势头。

土木工程又是开发和吸纳我国劳动力资源的重要平台，我国农村有 2.5 亿富余劳动力，约一半在土木行业工作。这个平台迫切需要受过高等教育的工程技术人员指导施工，尤其近年来我国对外承包的土木工程项目越来越多，进一步强化了这种需求。这也是土木工程学科的毕业生比较容易就业的原因。

相对于机械工程等传统学科而言，土木工程诞生得更早，其发展及演变历史更为久远。同时，它又是一个生命力极强的学科，它强大的生命力源于人类生活乃至生存对它的依赖，甚至可以毫不夸张地说，只要有人类存在，土木工程就有着强大的社会需求和广阔的发展空间。

随着技术的进步和时代的发展，土木工程不断注入新鲜血液，呈现出勃勃生机。其中工程材料的变革和力学理论的发展起着最为重要的推动作用。现代土木工程早已不是传统意义上的砖瓦灰砂石，而是由新理论、新技术、新材料、新工艺、新方法武装起来的为众多领域和行业不可或缺的大型综合性学科，是一门古老而又年轻的学科。

综上所述，土木工程是一个历史悠久、生命力强、投入巨大、对国民经济具有拉动作用、专业覆盖面和行业涉及面极广的一级学科和大型综合性产业，为它编写一套集新颖性、实用

性、科学性和包容性为一体的“土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列教材”，既是社会的召唤和需求，也是我们的责任和义务。

改革开放三十多年来，我国高等教育走出了新中国成立初期那种以部属行业办学为主要方式的教育体系，教育模式开始走上综合性和实用性同步发展的轨道。而工程技术学科多以“卓越工程师”为其重要的培养目标，这一点对土木工程显得更为贴切和准确。

清华大学土木工程系是清华大学建校后成立最早的科系之一，历史悠久，实力也比较雄厚，有较强的社会影响和较广泛的社会联系，组织编写一套土木工程学科系列教材，既是应尽的责任也是一份贡献。面对土木工程这样一个覆盖面极广的一级学科，这套书的编委会实际发挥两个作用：其一是组织工作，组织广大兄弟院校具有丰富教学经验的学者们编写这套教材；其二是保证本套教材的质量，我们有一个较为完善的专家库，必要时请专家审阅、定稿。

这套系列教材的编写严格贯彻“新颖性、实用性、科学性和包容性”四大原则。

(1) 新颖性 充分反映有关新标准、新规程、新规范、新理论、新技术、新材料、新工艺、新方法，老的、过时的、已退出市场的一律不要，体现强劲的时代风貌。

(2) 实用性 在基础理论够用的前提下避免不必要的说教和冗长的论述，尽可能从实用的角度用简明的方式阐述概念、推导公式，力求深入浅出，让学生一学就懂，一懂就会用；并能在以后的工作中灵活运用。

(3) 科学性 编写内容均有出处，参考文献除国家标准、行业标准、地方标准必须列出以外，尚应包括引用的论文、专著、手册及教科书。

(4) 包容性 现代土木工程学科是一个专业覆盖面极宽、行业涉及面极广的一级学科，素有“大土木”之称，毕业生有着广泛的就业渠道，在工程技术学科类有较强的适应性，在教材的选编上努力体现这个原则和特点。

衷心期望这套书能对土木工程专业的教学做出贡献，并欢迎读者及时提出宝贵意见以便逐步提高。

崔京浩 于清华园

2013年1月

崔京浩，男，山东淄博人。清华大学结构力学研究生毕业，改革开放后赴挪威皇家科学技术委员会做博士后，从事围岩应力分析的研究。先后发表论文180多篇，出版8本著作（其中有与他人合著），参加并组织编写巨著《中国土木工程指南》，任副主编兼编辑办公室主任，并为该书撰写绪论；主持编写由清华大学土木工程系组编的“土木工程新技术丛书”和“简明土木工程系列专辑”，并任主编。先后任清华大学土木工程系副系主任、学术委员会副主任、消防协会常务理事、中国力学学会理事，《工程力学》学报主编，享受国务院特殊津贴。

前言

本教材是根据全国高校土木工程学科专业指导委员会审定通过的教学大纲和应用型土木工程专业的培养目标编写的,尤其是全面参照最新的国家《钢结构设计规范》(GB 50017—2012 送审稿)对全书内容进行了梳理和充实,并保留了《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)的内容,方便读者对比学习,使本教材更具新颖性和实用性。

本教材属专业基础课教材,主要讲述钢结构基本理论和基本构件的设计方法。本教材共分为8章,包括:概述,钢结构的材料,钢结构的连接,轴心受力构件,梁,拉弯和压弯构件;为了强化实践环节,增加了课程实训和本课程求职面试可能遇到的典型问题应对两章。其中,第2章至第6章是结合新修改的《钢结构设计规范》(GB 50017—2012 送审稿)编写的,第7、8章是为了强化实践环节而增设的,并可用于指导学生的钢结构课程设计,使得全书更好地适应土木工程专业应用型人才培养的需要。

本教材是在吴宝瀛老师主编的《钢结构》基础上改编修订而成的。其中第1~3章,第5~6章大部分内容,第7章第1~7节由张艳霞编写。第4~6章理论公式推导由吴宝瀛老师编写,第7章第8节高层框架抗震设计实例由北京工业大学刘学春编写,第8章由石家庄铁道学院张庆芳编写。

感谢研究生孙文龙、赵微、刘景波、李瑞为本书插图和例题所做的工作。在编写本书的过程中,得到了丛书主编崔京浩教授的指导,在此一并表示感谢。

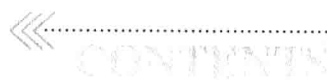
限于编者水平,书中肯定有错误和不足之处,希望读者给予批评指正。

张艳霞

于北京建筑大学

2014年2月

目录



第 1 章 概述	1
1.1 钢结构的特点和应用	1
1.1.1 钢结构的特点	1
1.1.2 钢结构的应用范围	2
1.2 钢结构的设计方法	3
1.2.1 承重结构的两种极限状态	3
1.2.2 可靠度结构设计	3
1.2.3 分项系数设计表达式	4
1.3 钢结构的发展	5
习题	6
第 2 章 钢结构的材料	7
2.1 钢结构用材的要求	7
2.2 钢材的力学性能	8
2.2.1 单向拉伸时的性能	8
2.2.2 冷弯性能	9
2.2.3 冲击韧性	10
2.3 影响钢材性能的因素	10
2.3.1 化学成分的影响	10
2.3.2 成材过程的影响	11
2.3.3 影响钢材性能的其他因素	12
2.3.4 钢材的脆性断裂	14
2.4 钢材的类别及选用	15
2.4.1 建筑钢材分类	15
2.4.2 型钢规格	16
2.4.3 钢材的选择	17
习题	18

第 3 章 钢结构的连接	20
3.1 概述	20
3.2 焊缝连接	21
3.2.1 焊缝的缺陷和级别	21
3.2.2 焊缝的代号	22
3.3 全熔透对接焊缝或对接角接组合焊缝的构造和计算	24
3.3.1 全熔透对接焊缝或对接角接组合焊缝的构造要求	24
3.3.2 全熔透对接焊缝或对接角接组合焊缝的计算	25
3.4 角焊缝的构造和计算	27
3.4.1 角焊缝计算的基本假设和基本公式	27
3.4.2 角焊缝的尺寸限制和构造要求	29
3.4.3 常用连接方式的角焊缝计算	31
3.5 普通螺栓连接的构造和计算	38
3.5.1 普通螺栓的排列和构造要求	38
3.5.2 普通螺栓连接的性能	41
3.5.3 普通螺栓群连接的计算	43
3.6 高强度螺栓连接的构造和计算	50
3.6.1 高强度螺栓连接的性能和构造	50
3.6.2 高强度螺栓连接的计算	52
习题	59
第 4 章 轴心受力构件	61
4.1 概述	61
4.1.1 应用和截面形式	61
4.1.2 设计要求	62
4.2 轴心受拉和轴心受压构件的强度和刚度	62
4.2.1 轴心受拉(压)构件的强度	62
4.2.2 轴心受拉(压)构件的刚度	63
4.3 实腹式轴心受压构件的整体稳定和局部稳定	64
4.3.1 轴心受压构件整体稳定的概念	64
4.3.2 实际轴心受压构件的整体稳定	66
4.3.3 单轴对称截面轴心受压柱的弯扭失稳	70
4.3.4 轴心受压构件的局部稳定	72
4.3.5 实腹式轴心受压柱算例	80
4.4 格构式轴心受压构件	89
4.4.1 格构式轴心受压构件的组成	89
4.4.2 格构式轴心受压构件绕虚轴方向的整体稳定	90
4.5 柱头和柱脚	93

4.5.1 柱头的构造和计算	93
4.5.2 柱脚的构造和计算	95
习题	102
第 5 章 梁	104
5.1 概述	104
5.1.1 梁的应用和截面形式	104
5.1.2 梁格	105
5.1.3 梁的设计要求	106
5.2 梁的强度	108
5.2.1 梁的抗弯强度	108
5.2.2 抗剪强度	111
5.2.3 局部抗压强度	112
5.2.4 折算应力	112
5.3 梁的整体稳定	116
5.3.1 梁整体失稳的现象	116
5.3.2 梁整体稳定性的保证	116
5.3.3 梁的临界荷载	117
5.3.4 梁的整体稳定计算公式	119
5.3.5 梁的整体稳定算例	124
5.4 梁的局部稳定	127
5.4.1 翼缘板的容许宽厚比	128
5.4.2 腹板加劲肋的设置	128
5.4.3 梁的局部稳定算例	133
5.5 焊接梁翼缘焊缝的计算	137
5.6 梁的截面设计	139
5.6.1 型钢梁的设计	139
5.6.2 组合梁截面设计	139
习题	141
第 6 章 拉弯和压弯构件	143
6.1 概述	143
6.1.1 应用和截面形式	143
6.1.2 拉弯、压弯构件的设计要求	144
6.2 拉弯和压弯构件的强度计算	145
6.3 实腹式压弯构件的整体稳定	147
6.3.1 弯矩作用平面内的稳定	148
6.3.2 弯矩作用平面外的稳定	152
6.3.3 例题	154

6.4	实腹式压弯构件的局部稳定	160
6.4.1	压弯构件腹板内的受力状态	160
6.4.2	压弯构件的局部稳定	161
6.4.3	算例	161
6.5	柱脚	163
	习题	165
第7章	课程实训	166
7.1	屋盖和柱间支撑体系	166
7.1.1	支撑体系的作用	166
7.1.2	支撑体系的布置	168
7.1.3	支撑和屋架连接构造及识图	169
7.2	钢屋架节点设计和识图	170
7.2.1	识图和构造要求	170
7.2.2	节点的构造和计算	172
7.2.3	节点的设计示例	176
7.3	梁与梁的连接	178
7.3.1	主次梁的连接	178
7.3.2	梁的拼接	181
7.4	实腹式檩条、拉条的设计	184
7.4.1	实腹式檩条的截面形式和放置	184
7.4.2	实腹式檩条和拉条的设计	185
7.5	平台设计	187
7.5.1	次梁热轧工字钢型号的选择	188
7.5.2	设计焊接工字形主梁截面	190
7.5.3	设计柱子	197
7.6	多层框架梁柱的连接	203
7.7	多层钢框架非抗震设计实例	204
7.7.1	设计资料	204
7.7.2	结构布置	206
7.7.3	截面尺寸选取	206
7.7.4	ETABS 分析计算	207
7.7.5	截面校核	216
7.7.6	节点设计	219
7.8	高层钢框架抗震设计实例	225
7.8.1	设计依据	226
7.8.2	结构方案	226
7.8.3	材料	229
7.8.4	设计荷载(标准值)	229

7.8.5 结构内力计算·····	230
7.8.6 结构构件设计·····	246
第 8 章 本门课程求职面试可能遇到的典型问题应对 ·····	265
8.1 常识性问题 ·····	265
8.2 概念性问题 ·····	267
8.3 识图 ·····	273
8.4 注册结构工程师考试 ·····	278
附录 ·····	282
附录 A 型钢规格表 ·····	282
附录 B 螺栓和锚栓规格 ·····	304
附录 C 钢材、焊缝和螺栓连接的强度设计值 ·····	305
附录 D 工字形截面简支梁等效弯矩系数和轧制工字钢梁的稳定系数·····	306
附录 E 轴心受压构件的稳定系数·····	307
附录 F 各种截面回转半径的近似值 ·····	310
参考文献 ·····	311

第 4 章

概 述

学习要点：钢结构特点和应用；钢结构设计方法。

1.1 钢结构的特点和应用

1.1.1 钢结构的特点

钢结构是由钢板、热轧型钢等组成的承重结构,和其他材料的结构相比,有如下特点。

(1) 强度高,质量轻。钢材的容重约是钢筋混凝土的 3 倍多,但其抗压强度却较钢筋混凝土大近 20 倍。因此,其强重比要远高于混凝土,在相同承载力下,钢构件截面积小、重量轻。例如,在跨度和荷载相同的情况下,钢屋架的重量约为钢筋混凝土屋架的 $1/4 \sim 1/3$ 。因此,钢结构特别适合于跨度大或荷载很大的构件和结构。

(2) 塑性和韧性好。钢材塑性好,结构在破坏之前有明显的变形,延性好;有良好的抗震性能;钢结构还具有良好的韧性,对动力荷载的适应性强。

(3) 材质均匀,接近各向同性。钢材内部组织比较接近于匀质和各向同性体,同力学计算的假定比较符合。而且在一定的应力幅度内几乎是完全弹性的。因此,钢材的实际受力情况和工程力学计算结果比较符合。

(4) 制作简便,施工工期短。钢结构一般都在专业工厂由机械化生产制造,后运至工地现场通过焊缝或螺栓安装,工业化生产程度高,质量容易保证,工期短,也便于改建、加固和拆迁。

(5) 密闭性好。钢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、管道等对气密性和水密性的要求。

(6) 绿色环保。钢结构工程施工现场占地面积少,现场湿作业少,环境污染少,材料可回收利用。

(7) 耐热但不耐火。钢结构耐热性能好,但耐火性能差。钢材表面温度在 200°C 以内时,钢材性质变化很小;当钢材表面温度达到 400°C 以上时,钢材强度下降较为明显;当温度达到 600°C 左右时,钢材几乎完全丧失承载能力。为了满足建筑物防火要求,必须采取防火措施。目前,工程上应用较多的是在钢结构表面喷薄型或厚型防火涂料,也可以在钢结构外面包混凝土或其他防火材料等,这不仅增加了造价,也影响外观和施工。采用耐火钢,可以大幅度减少防火涂料的使用,具有良好的综合经济效益,因此应增加对耐火钢方面的研究。

(8) 耐腐蚀性差。普通钢材容易锈蚀,必须采用防腐蚀涂料等表面防护措施,在使用期间需定期保养。近年来出现的高性能涂料和耐候钢具有较好的抗腐蚀性,已逐步得到推广和应用。

(9) 稳定问题较为突出。由于钢材强度大,构件截面小,厚度薄,因而在压力和弯矩等作用下会引起构件甚至整个结构的稳定问题。在设计中考虑如何防止结构或构件失稳,在钢结构设计和施工中必须给予足够重视。

1.1.2 钢结构的应用范围

目前钢结构应用范围大致如下。

1. 重型工业厂房

工业厂房吊车起重量较大或者其工作较繁重车间的主要承重骨架多采用钢结构。有强烈辐射热的车间,也经常采用钢结构。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。

2. 大跨度结构

大跨结构跨度越大,自重占在荷载中所占的比例就越大,因此减轻结构的自重会带来明显的经济效益。钢材强度高和结构重量轻的优势适合于大跨结构,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应用。所采用的结构形式有空间桁架、网架、网壳、悬索(包括斜拉体系)、张弦梁、实腹或格构式拱架和框架等。

3. 高层及超高层结构的骨架

钢结构或其组合结构作为高层和超高层结构的骨架,近年来得到了越来越广泛的应用。其结构形式主要有多层框架、框架-支撑结构、框筒、悬挂和巨型框架等。

4. 受动力荷载影响的结构

受动力荷载影响的结构,例如设有较大锻锤或产生动力作用的其他设备的厂房,由于钢材具有良好的韧性往往采用钢结构体系。对于抗震能力要求高的结构,采用钢结构也是比较适宜的。

5. 高耸结构

包括塔架和桅杆结构,如高压输电线路的塔架、广播、通信和电视发射用的塔架和桅杆、火箭(卫星)发射塔架等,也是钢结构的应用范围。

6. 密闭结构和其他构筑物

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、高炉和热风

炉等。此外,经常使用的还有皮带通廊栈桥、管道支架和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。

7. 可拆卸结构

钢结构不仅重量轻,还可以用螺栓或其他便于拆装的方法来连接,因此非常适用于需要搬迁的结构,如建筑工地、油田和需野外作业的生产和生活用房的骨架。

1.2 钢结构的设计方法

和其他结构一样,钢结构的设计采用以概率论为基础的极限状态设计法,并采用分项系数设计表达式进行计算。

钢结构是在钢筋混凝土结构课以后开课。因为可靠度理论是一门专门的学科,本章对一次二阶矩近似概率设计法的理论不作介绍了。本节仅就这种方法的几层意思作简要说明。

1.2.1 承重结构的两种极限状态

1. 承载能力极限状态

承载能力极限状态是指构件和连接的强度破坏、疲劳破坏和因过度变形而不适于继续承载,结构和构件丧失稳定,结构转变为机动体系和结构倾覆。这包含两种情况:其一是指某一截面或连接部位的某点的应力超过材料强度、构件整体丧失稳定或在特定条件下出现低应力状态的脆性断裂;其二是结构或构件虽未出现破坏但产生了不适于继续承载的变形。

2. 正常使用极限状态

正常使用极限状态是指影响结构、构件和非结构构件正常使用或外观的变形,影响正常使用的振动,影响正常使用或耐久性的局部损坏(包括混凝土裂缝)。正常使用极限状态中的变形、振动的限制通常是在弹性范围内。

思考题:

承载能力极限状态和正常使用极限状态对变形的限制有什么不同?

1.2.2 可靠度结构设计

按照概率极限状态设计法,结构的可靠度的定义是:结构在规定的时间内、规定的条件下,完成预定功能的概率。预定功能是指结构的安全性、适用性和耐久性,或统称为可靠性。完成预定功能,就是对规定的某种功能来说结构不失效。

结构的可靠度通常受荷载、材料性能、几何参数等具有随机性的因素的影响。可靠的结构设计是指失效概率小到可以接受的程度。

思考题:

1. 什么是可靠度?
2. 什么是可靠的结构设计?

1.2.3 分项系数设计表达式

1. 承载能力极限状态表达式

$$\gamma_0 \left(\gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} \gamma_{Qi} S_{Qi,k} \right) \leq R \quad (1-1a)$$

式中: $R = \frac{R_k}{\gamma_R}$ 为结构抗力的设计值, 其中 R_k 是抗力的标准值, 取自其概率分布的 0.05 下分位点, 有 95% 的保证度, γ_R 是抗力分项系数; S_{Gk}, S_{Q1k} 是恒荷载和可变荷载效应的标准值, 取自其概率分布 0.05 上分位点, 有 95% 的保证度, $i=1$ 是最大的可变荷载效应; γ_G, γ_{Qi} 分别是恒荷载分项系数、可变荷载分项系数; γ_0 为结构重要性系数, 分为三级: 对安全等级为一级或设计使用年限为 100 年以上的结构构件, 不应小于 1.1; 对安全等级为二级或设计使用年限为 50 年的结构构件, 不应小于 1.0; 对安全等级为三级或设计使用年限为 25 年的结构构件, 不应小于 0.95。一般工业与民用建筑钢结构的安全等级应取二级, 其他特殊建筑钢结构的安全等级应根据具体情况另行确定。 ψ_{ci} 为第 i 个可变荷载的组合系数, 其值不大于 1。

对于一般排架、框架结构, 可采用简化规则, 当只有一个可变荷载时, 式(1-1a)变为

$$\gamma_0 (\gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q1k}) \leq R \quad (1-1b)$$

当有多个可变荷载时, 式(1-1)变为

$$\gamma_0 \left(\gamma_G S_{Gk} + 0.9 \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} S_{Qi,k} \right) \leq R \quad (1-1c)$$

2. 分项系数 γ 的取值

《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)规定的目标可靠指标 β 值, 是通过对《建筑结构设计统一标准》(GBJ 68—1984)作反演算, 找出隐含在现有工程结构中的可靠指标 β 值。它从整体上继承了原有的可靠度水准。

一般钢结构(安全等级为二级)采用 $\beta=3.2$, 相应的失效概率是 $P_f=6.87 \times 10^{-4}$ 。目标可靠指标 β 值和相应失效概率如表 1-1 所示。

表 1-1 目标可靠指标 β 值和相应失效概率

破坏类型	安全等级		
	一级	二级	三级
延性破坏	3.7, 1.08×10^{-4}	3.2, 6.87×10^{-4}	2.7, 3.47×10^{-3}
脆性破坏	4.2, 1.34×10^{-5}	3.7, 1.08×10^{-4}	3.2, 6.87×10^{-4}

分项系数 γ 的取值和可靠指标 β 值有关,为计算简便,恒荷载和可变荷载的分项系数都取定值。一般情况下,恒荷载的分项系数 $\gamma_G=1.2$,可变荷载的分项系数 $\gamma_Q=1.4$;在 S_{Gk} 和 S_{Qk} 异号的情况下, $\gamma_G=1.0$, $\gamma_Q=1.4$ 。确定构件的 γ_R 值的原则是与目标可靠指标 β 值的偏离最小。对 Q235 钢构件, $\gamma_R=1.087$; 对 Q345, Q390, Q420 钢构件, $\gamma_R=1.111$ 。

3. 正常使用极限状态表达式

当验算变形是否超过规定限值时,不考虑荷载的分项系数,即用荷载的标准值计算。荷载效应的组合有短期组合(标准组合)和长期组合(准永久组合)。钢结构或构件只按短期组合,其表达式是

$$w = w_{Gk} + w_{Q_{1k}} + \sum_{i=2}^n \psi_{Qi} w_{Q_{ik}} \leq [w] \quad (1-2a)$$

式中: w 为结构或构件的变形值; w_{Gk} 为恒荷载标准值在结构或构件中产生的变形值; $w_{Q_{1k}}$ 为最大可变荷载标准值在结构或构件中产生的变形值; $w_{Q_{ik}}$ 为第 i 个可变荷载标准值在结构或构件中产生的变形值; ψ_{Qi} 为第 i 个可变荷载组合值系数,当有风荷载参与组合时取 0.6,无风荷载时取 1.0,一般框、排架,当有两个或两个以上荷载参与组合且有风荷载时取 0.85,其他情况取 1.0; $[w]$ 为规范规定的结构或构件的容许变形值。

当只有一个可变荷载时

$$w = w_{Gk} + w_{Q_{1k}} \leq [w] \quad (1-2b)$$

思考题:

承载能力极限状态和正常使用极限状态在计算时有什么区别?

1.3 钢结构的发展

钢结构的发展体现在以下几个方面。

1. 采用新的高性能钢材

高性能钢材的重要特性是强度高,并具有优良的塑性和韧性。例如,1988 年发布的《钢结构设计规范》中,强度最高的钢材是 15MnV,相当于 Q390,2002 年修订的规范增加了 Q420 级钢。还会采用更高强度的结构用钢。

2. 采用耐火耐候钢材

耐火耐候性能是指钢材的耐高温、耐恶劣天气、耐腐蚀强度。随着耐火耐候钢加工技术的不断成熟和完善,将在建筑行业中得到广泛应用。

3. 开发新的结构形式

推广高强度钢索的应用,如:大跨度的索膜结构和张拉整体结构,两种不同性能的材料取长补短、协同工作的钢和混凝土组合结构,索和拱配合使用的杂交结构等。

4. 提高钢结构的制造技术和工艺水平

钢结构的制造也无例外地向机电一体化发展,制造安装质量也要进一步提高。