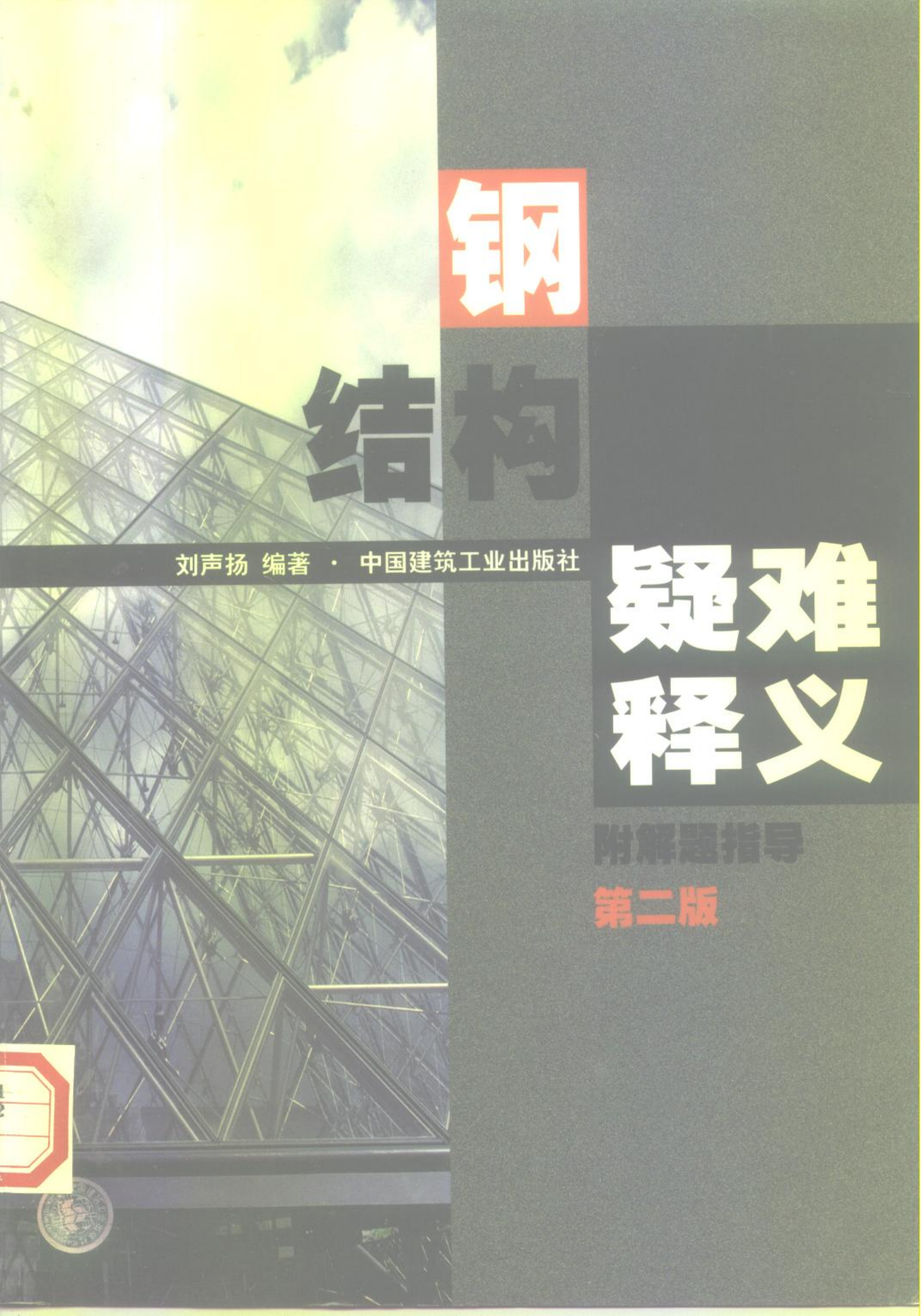




钢

结构

刘声扬 编著 · 中国建筑工业出版社

疑难 释义

附解题指导

第二版

钢结构疑难释义

附 解 题 指 导

(第二版)

刘声扬 编著

中国建筑工程工业出版社

(京) 新登字 035 号

图书在版编目 (CIP) 数据

钢结构疑难释义: 附解题指导/刘声扬编著. -2 版.
-北京: 中国建筑工业出版社, 1997
ISBN 7-112-03276-8

I. 钢… II. 刘… III. 钢结构-解题 N.TU391-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 08021 号

本书系配合钢结构教学及掌握应用规范、标准和处理工程技术问题的一本著作。全书以“疑难释义”为主线,并以“解题指导”为补充实例。“疑难释义”按实用原则,对钢结构性能中的重点、难点选有近百个问题,结合我国现行规范、标准,从基本理论和基本概念上进行释义。“解题指导”则精选各种类型有代表性的计算题,采取边解边议形式,指导其解题思路、解题技巧等。

本书内容丰富,释义深浅适中,解题指出要点,学以致用,可作为大中专院校师生教学用书和从事钢结构的工程技术人员的工作用书。本书还可作为注册结构工程师专业考试的复习参考书。

* * *

责任编辑 郭栋

钢结构疑难释义

附 解 题 指 导

(第 二 版)

刘声扬 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京云浩印制厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 16 字数: 385 千字

1998 年 9 月第二版 1998 年 9 月第一次印刷

印数: 1—2500 册 定价: 21.00 元

ISBN 7-112-03276-8

TU·2518 (8419)

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)

第 二 版 序

随着我国国民经济的快速发展、改革开放的深入和钢产量逐年大幅度的增长，钢结构的应用亦日益广泛，数量日渐增多。加之近年来国内外在钢结构的理论和实践上均有长足的进步，其速度之快、涉及范围之广均为钢结构发展史上所罕见。其中诸如设计方法的演变改进、我国钢结构设计和施工规范经较大修订后的颁行、材料标准（钢材、焊条、高强度螺栓等）的不断更新、高效钢材的开发应用、施工技术的革新提高，凡此等等，都给钢结构注入了新的活力，其面貌亦随之发生了较大变化。与此同时，它也给从事钢结构的设计、施工、教学和科研人员带来了熟悉掌握现行规范、标准和应用新技术的问题。

鉴于上述情况，作者抱着尝试心情主编了《钢结构》一书（武汉工业大学出版社 1988 年 7 月初版、1992 年 8 月第二版，中国建筑工业出版社 1997 年 6 月第三版），以求对我国钢结构的教育事业略尽绵薄之力。该书出版后，至今已连续印刷 15 次，总量已届 20 万册，这无疑是对作者的一种无声的鼓励和鞭策。与此相应，许多热心读者在关怀爱护的同时，也提出希望能有配合学习教材、使用现行规范、掌握新标准和处理实际工程中技术问题的参考辅助书籍，以达到释疑解惑之功用。

纵观我国有关钢结构的书籍，在教材方面几位知名教授皆有精品，在高层次论著方面亦不乏佳作，但比较起来仍觉数量稀少，尤其是结合教学和工程实践的中、低层次参考书籍更是阙如。作者深感于斯，乃于 1990 年再次尝试，编著这本《疑难释义》交由武汉工业大学出版社出版，以飨读者。出书 7 年来，钢结构的技术又有了许多更新，有关的规范和标准有的又作了修订，为此，特再版此书，并由中国建筑工业出版社出版。

本书内容以“疑难释义”为主线，“解题指导”则是前者的附属，是前者部分内容的补充实例。

疑难的选题以实用为原则，即针对钢结构性能中的重点、难点，结合当前工程界和学校在钢结构的应用和教学中存在的实际问题和易疏忽处进行挑选。在选题时不强求系统性和完整性。但是，对各种基本构件和连接如何合理地进行设计和应用计算公式则列有专题，以使对这些关键性问题能较好掌握，不致出现疏漏。

疑难的释义系结合现行规范、标准，立足于基本理论和基本概念，根据学以致用、指出要点的原则，以适应不同层次读者。

解题指导不同于一般的例题或习题解答，它是选择工程设计和教材中有代表性的实例，将解题思路、解题技巧、解题步骤和需注意问题采用边解边议形式加以指导，以达到举一反三的效果。

由于衡量“疑难”之尺度，确定“释义”之深度、广度均不易掌握，且随着事物的发展和技术的不断更新，可能有的疑难选题还值得商榷。另外限于作者水平，难免会有片面之处。但是，作者真诚地将此书作为一块引玉之砖，希望读者和专家共同给予雕琢，使其臻于完善。因此，敬请广大读者提出宝贵意见，以便今后在修订时加以改进和提高。

为节省篇幅，本书部分引用图表以参见拙编《钢结构》方式处理，但读者亦可参阅其他类似书籍。

本书“疑难释义”部分由刘声扬编写，“解题指导”部分由徐德新编写，插图由刘红绘制。全书由刘声扬统稿。“疑难释义”部分承蒙武汉水利电力大学方山峰教授审阅并提出改进意见，谨致谢忱。

目 录

第一部分 疑难释义	1
1 绪论	2
1.1 钢结构的应用状况和发展前途如何?	2
1.2 怎样识别和应用钢结构图书中的符号、计量单位和术语?	6
1.3 《规范》修订的主要内容有哪些?	12
1.4 《钢结构》有哪些主要内容? 有哪些特点? 学习时应注意什么问题?	14
2 钢结构的设计方法	18
2.1 综述	18
2.2 我国钢结构设计方法的发展演变分哪几个阶段?	18
2.3 “结构上的作用”指的是什么? 它可按哪些原则分类?	21
2.4 建筑结构设计须满足哪些功能要求? 它们分别属于结构哪些方面的性能要求?	22
2.5 结构的极限状态指的是什么状态? 它怎样分类? 各类都有哪些规定?	22
2.6 荷载设计值、荷载标准值、荷载组合值、荷载准永久值各表示什么意义? 它们应怎样确定和使用?	23
2.7 什么是结构可靠度? 应采用什么方式对它进行度量?	25
2.8 概率极限状态设计法的设计表达式是怎样的? 为什么它又称为一次二阶 矩极限状态设计法?	29
2.9 用分项系数的设计表达式中的分项系数是怎样取值的? 设计时应如何 应用表达式? 须注意什么问题?	30
3 钢材	33
3.1 综述	33
3.2 GB700—88 标准为什么要将原牌号 3 号钢取消, 并用新牌号 Q235 钢代替? 《规范》对原 3 号钢的规定对 Q235 钢应如何转换?	34
3.3 为什么《规范》推荐钢材的钢号仅有原 3 号钢 (Q235 钢)、16Mn 钢、16Mnq 钢、 15MnV 钢和 15MnVq 钢?	37
3.4 平炉钢和氧气转炉钢哪一种质量好?	38
3.5 沸腾钢、半镇静钢和镇静钢有哪些区别? 为什么在采用 Q235 钢时常以 沸腾钢为主?	40
3.6 低合金结构钢为何不分沸腾钢、半镇静钢和镇静钢?	42
3.7 钢材的机械性能标准为什么要按厚度或直径进行分段?	42
3.8 工字钢和槽钢根据其腹板厚度分组是否有代表性?	43
3.9 为什么钢材机械性能试样的取样方向, 钢板应横着轧制方向, 而型钢可顺着轧 制方向?	43
3.10 为什么同一种钢材的伸长率指标 δ_5 大于 δ_{10} ? 在 GB700—88 标准中为什么 只规定 δ_5 ?	44

3.11	钢材能否在沿厚度方向（垂直于板面方向）受拉？	44
3.12	钢材的选用应考虑哪些问题？应如何选择才能做到经济合理、安全适用？	45
4	焊缝连接	51
4.1	综述	51
4.2	焊接设计应怎样结合焊接方法进行考虑？	52
4.3	对接焊缝和角焊缝分别适用于哪些连接部位？	53
4.4	对接焊缝在哪种情况下才须进行强度验算？	53
4.5	怎样应用角焊缝的基本计算公式？	54
4.6	如何判别连接中的角焊缝是受弯还是受扭？	57
4.7	角焊缝的焊脚尺寸是否选用大的比小的好？	57
4.8	斜角角焊缝应用时应注意哪些问题？	58
4.9	哪些情况可采用不焊透的对接焊缝？应注意什么问题？	59
4.10	焊接的构造要求应注意哪些主要问题？	61
4.11	减少焊接残余应力和残余变形应设计怎样的连接构造形式？	66
4.12	焊缝的质量等级如何划分？设计时怎样选用？	68
4.13	手工焊采用的焊条型号应如何选择？	70
4.14	焊接的设计步骤和须注意哪些问题？	75
5	普通螺栓连接	77
5.1	综述	77
5.2	普通螺栓应用于哪些类型的连接合理？	78
5.3	螺栓应怎样排列合理？	79
5.4	螺栓直径采用什么样的规格合理？	83
5.5	计算螺栓的抗拉承载力设计值时，为什么不取螺纹的内径来计算净截面面积？	84
5.6	拉剪螺栓连接的应用须注意哪些问题？	85
5.7	怎样应用普通螺栓连接的计算公式？	85
5.8	普通螺栓连接的设计步骤和须注意哪些问题？	88
6	高强度螺栓连接	90
6.1	综述	90
6.2	高强度螺栓的钢号和直径应如何选择才合理？为什么扭剪型只有 10.9S 级和 20MnTiB 钢一种钢号？	91
6.3	高强度螺栓采用哪一种类型较好？怎样选择其紧固方法？	92
6.4	为什么要控制高强度螺栓的预拉力？其设计值是怎样确定的？	94
6.5	高强度螺栓连接摩擦面的处理方法采用哪一种较好？	95
6.6	高强度螺栓为什么还能用于沿其杆轴方向受拉的连接？	96
6.7	能否采用高强度螺栓和焊缝混合连接？	97
6.8	在受剪连接验算开孔对构件截面的削弱影响时，为什么摩擦型高强度螺栓的较普通螺栓的小？	99
6.9	怎样应用高强度螺栓连接的计算公式？	100
6.10	高强度螺栓连接施工应注意哪些主要问题？	102
6.11	高强度螺栓连接的设计步骤和须注意哪些问题？	104
7	轴心受拉构件	105
7.1	综述	105

7.2	轴心受拉构件采用什么样的截面形式合理?	105
7.3	轴心受拉构件应怎样根据承载能力的极限状态确定强度计算方法?	105
7.4	《规范》对受拉构件的容许长细比数值为什么改动较大?	107
7.5	单面连接的单角钢拉杆在按轴心受力计算强度时,为什么其强度设计值要乘以折减系数 0.85?	107
7.6	怎样应用轴心受拉构件的计算公式?	108
7.7	轴心受拉构件的设计步骤和须注意哪些问题?	109
8	轴心受压构件	111
8.1	综述	111
8.2	如何判定轴心受压构件将产生哪一种形式屈曲?	111
8.3	轴心受压构件的稳定承载能力与哪些因素有关?	114
8.4	轴心受压构件采用什么样的截面形式合理?	116
8.5	决定轴心受压构件稳定系数 φ 的柱子曲线,为什么要由原《规范》的一条改为三条?在应用时截面的分类有哪些基本规律?	117
8.6	工字形截面轴心受压构件翼缘和腹板的局部稳定性计算公式中, λ 为什么应取构件两方向长细比的较大值?	121
8.7	怎样快速合理地确定工字形截面轴心受压柱的截面尺寸?	122
8.8	为什么取格构式轴心受压构件的剪力 $V = \frac{Af}{85} \sqrt{\frac{f_y}{235}}$?	123
8.9	为什么双肢缀板柱构造要求:同一截面处缀板(或型钢横杆)的线刚度之和不得小于单个分肢线刚度的 6 倍?	125
8.10	怎样应用轴心受压构件的计算公式?	126
8.11	轴心受压构件的设计步骤和须注意哪些问题?	129
9	受弯构件	131
9.1	综述	131
9.2	受弯构件采用什么样的截面形式合理?	132
9.3	实腹梁的抗弯强度计算为什么改为按截面部分发展塑性变形考虑?截面塑性发展系数是怎样确定的?	133
9.4	梁的整体稳定性系数计算公式是经过怎样简化的?在采用时须注意哪些问题?	135
9.5	为什么在 $\varphi_b > 0.6$ 时要用 φ'_b 代替 φ_b 对梁的整体稳定性进行计算?	140
9.6	梁的整体稳定性受哪些因素的影响?应如何针对这些因素来提高梁的承载能力?	141
9.7	工字形截面简支梁不须计算整体稳定性的最大 l_1/b 值是怎样得来的?	143
9.8	梁整体稳定系数 φ_b 的近似公式是怎样得来的?为什么它主要用于压弯构件弯矩作用平面外稳定性的计算?	145
9.9	怎样应用受弯构件的计算公式?	146
9.10	受弯构件的设计步骤和须注意哪些问题?	151
10	拉弯构件和压弯构件	153
10.1	综述	153
10.2	拉弯构件和压弯构件采用什么样的截面形式合理?	154
10.3	怎样计算实腹式压弯构件在弯矩作用平面内的稳定性?	154
10.4	为什么要采用等效弯矩系数?其值是怎样确定的?	157
10.5	怎样计算实腹式压弯构件在弯矩作用平面外的稳定性?	158
10.6	怎样应用拉弯构件和压弯构件的计算公式?	160

10.7 拉弯构件和压弯构件的设计步骤及须注意哪些问题?	165
11 疲劳	167
11.1 综述	167
11.2 疲劳破坏与哪些主要因素有关?	168
11.3 什么是疲劳计算的应力幅准则和应力比准则?《规范》采用哪种准则进行计算?	171
11.4 容许应力幅应怎样进行计算?	173
11.5 变幅疲劳的等效应力幅和欠载效应的等效系数应怎样进行计算?	175
11.6 怎样应用疲劳计算公式?疲劳计算应注意哪些问题?	176
11.7 疲劳设计应注意哪些细部构造?在制造工艺上应采取哪些措施?	177
第二部分 解题指导	179
1 钢结构的连接	180
2 受弯构件	204
3 轴心受力构件和拉弯、压弯构件	221
参考文献	245

第 一 部 分

疑 难 释 义

1 绪 论

1.1 钢结构的应用状况和发展前途如何?

钢结构由于具有强度高、自重轻、施工速度快等优点,故一直是人们喜爱采用的一种结构,近百年来得到了快速的发展。尤其是在 20 世纪下半叶,随着世界钢产量的大幅度增加,钢结构也相应更加扩展了应用领域。

有钢结构应用传统的工业建筑,虽然现在有一部分可用混凝土结构代替,但是随着生产水平的高速发展、生产工艺的不断革新、厂房更加大型化,柱距、跨度、高度和起重能力都日趋扩大,同时对建厂投产工期却要求尽可能缩短,这些都促使钢结构发挥其特点,继续保持并扩大其应用领域。

在构筑物方面,除传统的冶金炉体、石油化学工业的塔架罐体、电厂锅炉刚架、输电铁塔、水工闸门、栈桥通廊、贮仓漏斗、起重机架、输油管道等仍为钢结构应用领域外,在新开发的构筑物中,如近海石油平台、无线电塔桅、卫星和导弹发射架等,现在也都是钢结构应用的专属领域。

在桥梁方面,虽然公路桥可用混凝土结构,但大型铁路桥梁仍是钢结构的专属领域。

在公共和民用建筑方面,随着城市经济和人民物质文化水平的提高,各种大跨度的体育和展览馆建筑,以及高层和超高层的商业和旅游业建筑的大量涌现,也促使钢结构开拓其应用领域。

上述的钢结构应用领域主要还是在“大(跨度)、高(耸)、重(型)、动(力荷载)”结构范围。但是,随着轻型钢结构的发展(冷弯型钢、压型钢板等),钢结构的应用范围已扩大到小型民用房屋,如餐厅、旅游、科学考察和建筑工地活动房等装配式房屋。

另外,钢结构应用的一个新领域——钢货架结构——近年来也已在国内外悄然兴起。它是一种立体结构,可提高仓储密度,节约建筑面积,实现自动化管理,降低仓储费用,提高效率,加快货物及资金的周转,经济效益显著。我国已在第二汽车制造厂等处建造了几十个,《钢货架结构设计规范》业已颁行。

世界各发达国家钢结构的应用已达到很高水平,如 1985 年前苏联已达到年产 572 万 t,美国 470 万 t,日本 700 万 t,德国 285 万 t。冷弯型钢的产量也达到了较高水平,如美国年产已超过 300 万 t (占钢材总产量 4%),前苏联和日本亦超过 200 万 t。国外钢结构除在一般的工业与民用房屋和构筑物仍有大量的应用外,由于大量生产高效钢材(详见后述),所以新型、轻型钢结构的发展速度也很快。如美国、日本每年建造的轻型钢结构房屋(大量用于轻工业厂房、仓库等。结构形式为门式或拱式刚架,檩条和围护结构则为冷弯型钢和彩色压型钢板。我国在深圳有大量引进)均在 1000 万 m^2 以上,前苏联亦达 1600 万 m^2 。另外,国外对大跨悬索屋顶结构的应用也日益广泛,呈现出方兴未艾之势。在无线电塔桅钢结构的应用上,由于高强度钢材和钢丝绳的采用,数以百计的电视桅杆正拔地而起(仅美

国 300m 以上的就近 400 个, 最高达 630m)。

我国在改革开放政策的指引下, 国民经济取得了辉煌成就。在 20 世纪 80 年代, 我国钢产量结束了十年徘徊局面, 并逐年稳步地以 200~300 万 t 的增长速度提高, 且在 1996 年突破 1 亿 t, 跃居世界首位, 迈上了一个新的台阶。

随着国民经济和钢产量的增长, 近年来我国钢结构也得到了前所未有的发展。钢结构的制造能力已超过每年 30 万 t, 冷弯型钢产量也达年产 30 万 t。在新的大型钢铁基地——上海宝山钢铁总厂——一、二期工程的建设中, 近百万 m² 的全钢结构厂房已竣工投产 (钢结构量约 30 万 t), 其他各个钢铁公司在扩建时亦大量采用了钢结构。除冶金工业外, 钢结构在石油、化工、机械、电力、煤炭、轻工、造船等工业上的应用更是不胜枚举。在桥梁建筑上, 位于京九铁路线上的特大型钢结构铁路、公路两用桥——九江长江大桥 (11 孔, 全长 12135m, 杆拱栓焊结构, 最大跨度 216m)——已建成通车, 更大的芜湖长江大桥 (中跨跨度 312m) 也已动工兴建。在高耸钢结构方面, 高达 260m 的大庆电视塔已建成。另外, 数座全钢结构的大型石油平台已相继在近海投入工作。在钢结构超高层建筑方面, 继 1988 年建成首座深圳发展中心大厦 (地面 39 层, 地下 1 层) 之后, 又有十余幢相继在北京、上海、深圳拔地而起 (总面积约 100 万 m², 钢结构量 10 多万 t)。其中深圳地王商业中心 (地面 78 层, 地下 3 层, 总高 383.95m, 参见《钢结构》^① 图 1-4) 最高 (亚洲第一、世界第四), 北京京广中心 (地面 53 层, 地下 3 层, 总高 208m)、京城大厦 (地面 50 层, 地下 4 层, 总高 182m) 次之。另外, 近年来我国还相继颁行了三本新修订的钢结构国家标准: 《钢结构设计规范》(GBJ17—88)^②、《薄壁型钢结构设计规范》(GBJ18—87)、《钢结构工程施工及验收规范》(GB50205—95)^③。新修订的三本规范均立足于国内的工程实践、科学试验和技术理论, 并广泛地吸收了世界各主要工业国家制定钢结构规范的经验, 因此使现行规范达到了新的水平, 与国际标准比较接近, 并扩大了应用范围。综上所述可见, 我国钢结构不论在规范的制定、工程上的应用规模和设计、制造、安装等方面, 现在都已具备较高水平, 并步入了一个新的历史时期。

诚然, 钢结构在我国因一些条件的限制, 在应用上还有一定的局限。但是, 在国家重点发展的电力、煤炭、石油、化工等工业和交通运输方面, 钢结构仍会有大量的应用。尤其是我国现已位居产钢大国首位, 这必定会给钢结构带来更加美好的发展前途。现根据冶金工业和工程界的意向, 对钢结构的发展趋势从下列几个方面加以介绍:

一、高效钢材

钢结构离不开钢材, 要改变钢结构的面貌, 给其注入新的活力, 不仅要在钢材的数量上, 而且还应在钢材的质量和品种上加以提高和扩充, 这就需要发展高效钢材。

高效钢材是相对于普通钢材的统称, 它包含的品种为低合金钢材, 热强化钢材, 经济截面钢材, 镀层、涂层、复合等表面处理钢材, 冷加工钢材, 金属制品, 粉末冶金等 7 类。其中前 6 类和钢结构均有密切关系, 直接影响钢结构的应用和发展。

近年来, 世界各产钢国竞相发展高效钢材, 品种繁多, 给钢铁工业带来了新的面貌, 经

① 《钢结构》(第三版), 刘声扬主编, 中国建筑工业出版社 (1997)。本书以下简称《钢结构》。

② 本书以下对《钢结构设计规范》(GBJ17—88) 简称《规范》。

③ 本书以下对《钢结构工程施工及验收规范》(GB50205—95) 简称《施工规范》。

济效果显著。我国也在这方面迎头赶上，并取得了一定成绩。

（一）低合金钢材

用低合金钢代替普通碳素钢，利用添加少量合金元素提高钢材的强度和改善其他一些性能，从而达到降低钢材用量和延长钢材使用寿命等目的，以取得良好的经济效益。各产钢国一般都结合其富有的合金资源大力开发，我国亦是将开发低合金钢列为发展高效钢材中的重点，并形成以锰、钒、钛、铌和稀土元素的低合金钢系列。且近几年发展速度较快，产量已接近 1000 万 t，但用于钢结构的仅几万 t，还远不能满足要求（前苏联、日本约 200 万 t）。故还须努力提高其在钢材总产量中的比重，并在钢结构中合理地扩大其使用面，以有效地节约钢材（详见节 3.3、节 3.12）。

耐候钢（耐大气腐蚀钢）亦是低合金钢中须大力发展的钢种。由于耐候钢暴露在大气条件下时，表面可逐渐形成一层非常致密且附着力很强的稳定锈层，从而阻止外界腐蚀介质的侵入，减缓金属继续腐蚀的速度。因此，耐候钢可大量节约涂漆和维护费用。近年来，一些国家的铁路车辆、桥梁和房屋建筑已较普遍地采用低合金耐候钢，经济效果显著。我国对开发耐候钢亦作了大量工作，并取得了可喜成果，如武汉钢铁公司生产的含铜钢 09CuPRE（09 铜磷稀土）和 CortenA 等耐候钢，已大量用于铁路车辆（可使车辆大修期由 5 年延至 10~12 年），但房屋和桥梁等钢结构使用甚少，还有待开发（冷弯薄壁型钢和压型钢板建筑、高耸塔桅结构、输电铁塔等亦有待于采用耐候钢）。

（二）热强化钢材

热强化钢材系指经控制轧制（控制终轧温度及压下率，加大轧制压力）、控制冷却（包括轧后余热直接淬火）和热处理（淬火、淬火加回火、正火等）的各类钢材。由于经热强化后，钢材的内部组织经过调整，其强度、韧性等均有显著提高，如钢轨经热强化后，寿命可较一般钢延长 1~2 倍。再如九江长江大桥采用的 15MnVNq 钢和高强度螺栓用钢均属热处理钢材，前者屈服强度达 $f_y = 411.6 \text{ N/mm}^2$ （详见节 3.3）。但我国热强化钢材的品种及数量还有限，还需进一步研制和发展。国外发展热强化钢材已达到较高水平，如美国 T-1 含硼高强度钢，经热处理后 $f_y = 700 \text{ N/mm}^2$ 。控制轧制法的利用目前也较普遍，通过控轧控冷，钢材强度约可提高一个等级，韧性也有所改善，能显著地节约钢材。

（三）经济截面钢材

经济截面钢材包括 H 型钢、T 型钢、异形型钢、钢管及冷弯型钢、压型钢板等。由于截面形状合理，故在用钢量相等的情况下，其截面惯性矩可比一般截面型材的大，且使用方便，能高效地发挥钢材的作用，节约金属和降低钢结构制造费用（详见节 3.12）。

（四）镀层、涂层、复合等表面处理钢材

镀层、涂层、复合等表面处理钢材包括镀保护金属（锌、铝或锌铝合金）的镀层钢材（如镀锌钢板等）、涂有机物（油漆和塑料）的涂层钢材（如彩色涂层钢板等）、表面（单面或双面）复合不同钢种的复合钢材（如不锈钢复合钢板等），它们亦可统称为覆层钢材。由于钢材表面覆层后，防腐蚀性能改善，可使钢材使用寿命延长 2~5 倍，是节约用钢的有效途径。用覆层钢板制造冷弯型钢和压型钢板等经济截面，配套用于轻型钢结构或作围护结构用材，可减少维护费用，经济效果更为显著（详见节 3.12）。

（五）冷加工钢材

冷加工钢材系指经冷轧、冷拔和冷挤压的钢材。由于产生冷加工硬化，故其强度大为

提高，且表面光洁，尺寸精确，不仅可用于特殊用途，也可代替热轧钢材。如用得最多的冷轧薄板，由于强度较高，使用厚度相对较薄，一般可节约钢材约为30%，而生产费用仅增加约10%，故主要产钢国家都在努力发展。

（六）金属制品

金属制品一般系指钢丝、钢绞线、钢丝绳等。由于经冷拔的钢丝及其制品钢绞线、钢丝绳等有极高的抗拉强度，可比普通线材极大地节约钢材。钢丝、钢绞线除用于预应力混凝土结构外，钢绞线亦是钢结构中的悬索屋顶结构和悬索桥梁的主要用材。悬索结构是能最充分有效地发挥钢材性能特点的新型钢结构，是节约钢材的有效途径（详见后述）。我国高强度钢绞线的产品还很少，钢丝直径也较细（最大5mm），且松弛值较大，和国外差距较突出，还远不能满足发展要求，故今后需大力开发高强度低松弛钢丝（ $0.7f_u$ 应力下1000小时松弛率低于4%）和面接触7股钢绞线，以填补我国空白，发展悬索结构。

二、新型结构

（一）轻型钢结构

发展轻型钢结构，降低耗钢指标，这在我国当前钢材还比较紧缺的情况下，有着更重大的意义。轻型钢结构能使同样数量的钢材发挥更大作用，减轻结构自重，降低工程造价。

轻型钢结构除原有的圆钢、小角钢组成的形式外，应大力生产冷弯型钢和压型钢板等高效经济截面钢材，并将其推广使用于轻型钢结构（详见3.12）。

（二）空间结构

大跨空间结构在我国已有较大发展，尤其是近年来，各地兴建了数以百计的各种类型的钢网架结构，每年约100万 m^2 ，它标志着我国房屋建筑由传统的平面结构体系向空间结构体系迈进了一大步，节约了大量钢材。今后除了配合开发高效钢材，挖掘潜力，改进平板网架的设计外，还应开发更加省钢的悬索结构。

悬索结构是一种造型美观、对建筑平面图形适应性强的结构形式。由于主要承重构件受拉，因此可最大限度地发挥材料性能的特点，用钢量很低（按国外资料约10kg/ m^2 以下，比平板网架结构降低60%~70%）。国外对悬索结构的应用已相当普遍，但我国应用还很少，其主要原因是受钢丝束、钢绞线和钢丝绳等原材料的限制，故今后还应大力研制开发。

悬索结构在人们印象中，一般均认为应该用在大跨度桥梁或大跨度公用建筑的屋顶，以为这才是最经济的选择。然而，国外有相当多的资料表明，对较小跨度的结构，与框架体系比较，它亦不失为是一种节约用钢的较佳选择。所以，在今后原材料能得到充足供应且价格降低的条件下，它可能也是值得推广应用的。

（三）预应力钢结构

预应力钢结构通常是在结构体系中，采用增加少量高强度钢材（钢丝束、钢绞线、钢丝绳或圆钢）的构件，并对其施加适当的预应力，从而增加结构的承载能力，达到节约用钢的目的。我国近年来，在以往经验的基础上又有了少量应用。如宁夏大武口电站跨度60m的输煤栈桥，采用的钢桁架下弦增设撑杆和拉索（7 ϕ 4钢绞线）施加预应力，承载能力大幅度增加，经济效果显著。另外，在四川攀枝花市体育馆大跨度钢网壳（跨度64m，参见《钢结构》图1-3）屋盖空间结构中，采用了在网壳边缘下加撑杆，配置4 $\times$ 7 ϕ 12.7，强度1860N/ mm^2 的钢绞线锚于球节点上加预应力的新颖结构形式，不仅造形美观，且耗钢量仅35kg/ m^2 （较原非预应力平板网架约省一半）。然而，比较国外的应用情况，还存在较大差

距。现在国外的发展趋势是不论平面结构还是空间结构（网架、悬索结构等）或塔桅结构，均广泛施加预应力，以达到减轻结构自重、节约钢材，同时对结构的刚度加以改善。

（四）组合结构

将钢和混凝土组合起来共同受力，并充分发挥各自的长处，可有效地节约钢材和模板，降低造价。如压型镀锌钢板与混凝土组成的组合楼盖（参见《钢结构》图 1-6d）、钢梁与混凝土组成的组合梁以及钢管内灌混凝土的钢管混凝土柱（参见《钢结构》图 1-7）等，都是比较成熟的组合结构形式，在国内外的**层钢结构和工业厂房中已得到广泛采用，并有着很大的发展前途。其中钢与混凝土组合梁已经列入《规范》。

组合结构中**性钢筋混凝土柱亦是具有开发价值的一种结构形式。它是用钢构件作骨架再在外面包上钢筋混凝土，故亦称 SRC 组合结构。SRC 柱在高层房屋建筑中使用时可有效地节约用钢，其强度、稳定性和抗震性能均较好。它可弥补全钢结构用钢量过多和全混凝土结构截面过大的缺点。同时，其钢骨架在施工时可先作为承重骨架，有利于开展工作面，加快施工进度。SRC 柱可视荷载情况在高层建筑中的某些区段使用，如地下和地面的底下几层和局部区域，这样可从上部全钢结构逐步过渡到钢筋混凝土的地下室和基础。SRC 组合结构可有效地节约用钢，即使在国外现在应用亦相当普遍。在我国当前的国情下，应用一部分 SRC 组合结构更有着重要的意义，它也是发展钢结构的一个辅助部分。我国新建的一批钢结构高层建筑中，有 8 幢就全部或部分地采用了这种结构形式。如北京香格里拉饭店全部工字形柱均外包钢筋混凝土。其它如北京长富宫饭店、中国国际贸易中心、京广中心和上海瑞金饭店等的地下和地上的底下几层全为 SRC 组合结构。

以上所述的组合结构（柱、梁、板）虽然是由钢和混凝土组合而成，但它的骨架均以钢为主，特性偏于钢的方面，故应属于钢结构范畴。

1.2 怎样识别和应用钢结构图书中的符号、计量单位和术语？

钢结构图书和《规范》中使用的术语和符号繁多，除了一般的术语和数学符号外，还有表示各种物理量（力、应力、变形、材性、几何特性等）和各种系数（参数）的术语和符号。与此相应，在各种物理量的计量上，也有许多表示计量单位和单位的倍数及分数的词头。所有上述术语、符号、计量单位在使用时若稍一不慎，很容易造成混淆和错误。如对术语，若对其涵义模糊，则可能杜撰编造，用词不当，随意定义，任意发挥。对计量单位，若对其含混不清，则可能将各种计量制度互相串用，造成差错事故。对符号，则可能拉丁、希腊、俄文等字母混同使用，且不论大、小写，正、斜体，一视同仁，前后矛盾，使人们难以理解，甚至产生误解。这些混乱情况在过去的一些出版物中已屡见不鲜，它不但给阅读和应用带来诸多不便，也可能造成一些不可低估的损失，同时还不利于科学技术和国民经济的发展。

鉴于上述情况，同时为了使术语、符号和计量单位的应用标准化、规范化，我国先后对建筑结构和工程结构设计制定了有关的国家标准：《建筑结构设计术语和符号标准》（GB/T50083—97）和《工程结构设计基本术语和通用符号》（GBJ132—90）。两种标准涉及建筑结构方面的内容除个别条文有点区别外，其他大体相同。两种标准对通用符号均采用了国家标准《有关量、单位和符号的一般原则》（GB3101—82）的规定，并参照采用了国际标准

《结构设计依据——标志方法——通用符号》(ISO3898) 1982 年和 1987 年版的规定 (ISO 为国际标准化组织简称, 其全称为 International Organization for Standardization, 我国为该组织正式成员国)。计量单位则是以国务院 1984 年 2 月 27 日颁布的《中华人民共和国法定计量单位》为依据, 并采用了国家计量局 1984 年 6 月 9 日颁发的《中华人民共和国计量单位使用方法》的规定; 基本术语的涵义则尽量采用了现代化的概念进行解释, 说明术语所含的主要意义。

下面对上述国标中关于通用符号、计量单位和基本术语的一些主要规定和使用方法, 结合钢结构的应用加以简述, 以便于读者在对其阅读和应用时正确识别, 并使其逐步推广过渡到标准化、规范化的道路。

一、通用符号

工程结构 (建筑结构) 设计的通用符号应由主体符号或主体符号带上、下标构成。另外还有一部分常用数学符号和专用符号。

(一) 主体符号

主体符号一般代表物理量, 一般应以一个字母表示, 并用斜体书写和印刷。根据不同的量纲, 采用的字母类别分为大写拉丁字母、小写拉丁字母和小写希腊字母 (斜体大写希腊字母用于除力学和几何量以外的物理量, 本书从略)。其用途分别为:

1. 大写拉丁字母 (斜体)

大写拉丁字母 (斜体) 一般用于有量纲的符号, 且符号采用的字母通常按英语词义的前一个字母, 并按英语读音。如力矩 M (moment of force)、截面面积 A (area of section)、弹性模量 E (modulus of elasticity) 等。但也有少数符号未按此方法而按习惯采用字母, 如荷载 Q (load)、剪力 V (shear force)、剪变模量 G (shear modulus) 等。根据其用途, 大写拉丁字母 (斜体) 的使用可归纳为下列几种:

(1) 表示作用或荷载 (一般指集中力): F (作用、力); G (永久作用、恒荷载、重力、自重); H (水平分力); L (楼面活荷载); M (力矩); P (预加力); Q (可变作用、活荷载、荷载); R (抗力、合力、反力); S (雪荷载); V (竖向分力、剪力); W (风荷载); X 、 Y 、 Z (平行于 x 、 y 、 z 轴的力) 等。

(2) 表示作用或荷载效应: S (作用效应)、 M (弯矩)、 N (轴向力)、 T (扭矩)、 V (剪力) 等。

(3) 表示不为 0 和 1 的长度: A (截面面积)、 I (截面惯性矩)、 S (截面面积矩)、 W (截面抵抗矩) 等。

(4) 表示结构的总体尺寸: B (总宽度)、 H (总高度)、 L (总长度)。

(5) 表示材料的模量: E (弹性模量)、 G (剪变模量)。

2. 小写拉丁字母 (斜体)

小写拉丁字母 (斜体) 一般也是用于有量纲的符号, 符号采用的字母通常也是按英语词义的前一个字母, 但也有少数符号按习惯采用字母。

(1) 表示作用或荷载 (一般指分布力): g (分布永久荷载、分布恒荷载)、 p (压强)、 q (分布可变作用、分布活荷载)、 s (分布雪荷载)、 w (分布风荷载) 等。

(2) 表示作用或荷载效应: m 、 n 、 v (单位长度或宽度上的弯矩、轴向力、剪力)。

(3) 线性几何量: a (距离); b (宽度); d (直径、厚度); e (偏心距); f (矢高); h

(高度); i (回转半径); l (长度、跨度); r (半径); s (间距); t (薄构件的截面厚度); u 、 v 、 w (平行于 x 、 y 、 z 轴的位移) 等。

(4) 其他: f (材料强度)、 m (质量)、 t (时间)、 k (有量纲系数) 等。

3. 小写希腊字母 (斜体)

小写希腊字母 (斜体) 一般用于无量纲的符号, 但其中也有少数属量纲例外, 如应力、密度等的符号。

(1) 系数和量的无量纲组合: α 、 β 、 ξ 、 η 、 ζ (系数); β (可靠指标); γ (分项系数); ϵ (偏心率); λ (长细比); μ (摩擦系数、摩擦面的抗滑移系数); ν (泊松比); φ (稳定系数); ψ (折减系数) 等。

(2) 应力、应变: σ (正应力)、 τ (剪应力)、 γ (剪应变)、 ϵ (线应变)。

(3) 角度: α 、 β 、 θ 、 φ (角度)。

(4) 密度: γ (重力密度)、 ρ (质量密度)。

(二) 上、下标

上、下标代表物理量或物理量以外的术语、说明语, 用以进一步阐明主体符号的涵义。当主体符号不致发生混淆时, 宜少用或不用上、下标。

上、下标应采用正体字母。作为下标的数字应采用正体, 代表序数的拉丁字母符号 (如 i 、 j 、 n 等) 应采用斜体字母。

现结合上、下标字母或数字表示的意义进一步阐述如下:

1. 上标

上标可采用一个字母、缩写词、数字或其它标记表示, 但通常多采用以一个小写拉丁字母 (正体) 表示 (通常也是取英语词义的前一个字母)。

一般上标根据其意义, 有一些会成对存在。如:

c (计算的)	o (实测的)
s (静态的)	d (动态的)
l (左面的)	r (右面的)
t (顶部的)	b (底部的)

2. 下标

下标可采用一个或多个字母、缩写词、数字或其它标记表示。当采用一个以上的字母时, 根据材料种类、受力状态、部位、方向、原因、性质的次序排列 (在同一本书籍或规范中, 表示材料种类的下标可省略)。当各下标连续书写其涵义可能混淆时, 各下标之间应加逗号。

下标可分为一般下标, 表示作用、作用效应和抗力的下标, 以及由缩写词形成的下标。

(1) 一般下标: 一般下标用小写拉丁字母 (正体) 或数字表示。字母通常也是按英语词义的前一个字母。如: a (型钢、钢材); b (梁、螺栓); c (柱、受压的、混凝土); d (设计的); e (弹性的、有效的); f (失效的、摩擦的、基础、翼缘); h (水平的); j (节点); k (标准的); m (受弯的、平均的、材料的); n (净的); o (坐标原点的、形心的、孔洞的); p (主要的、极轴的、塑性的); r (铆钉); s (可靠的); t (受拉的、温度的、时间的); u (极限的); v (受剪的、竖向的); w (焊接的、腹板); y (屈服的); x、y、z (x 、 y 、 z 轴方向的); 0 (计算取用的、换算的) 等。