



土木工程疑难释义丛书

钢结构疑难释义

附解题指导(第三版)

刘声扬 编著

3

中国建筑工业出版社

土木工程疑难释义丛书

钢结构疑难释义

附 解 题 指 导

(第三版)

刘声扬 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

钢结构疑难释义/刘声扬编著. —3 版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2004

(土木工程疑难释义丛书)

ISBN 7-112-06717-0

I. 钢... II. 刘... III. 钢结构-问答 IV. TU391-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 061236 号

本书根据《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB 50018—2002) 编写。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、难点选有百余个问题, 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。可作为大学和高职、高专等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

责任设计: 彭路路

责任校对: 李志瑛 王金珠

土木工程疑难释义丛书

钢结构疑难释义

附 解 题 指 导

(第三版)

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

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 20 字数: 480 千字

2004 年 9 月第三版 2004 年 9 月第五次印刷

印数: 10,001—14,000 册 定价: 28.00 元

ISBN 7-112-06717-0

TU·5865(12671)

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)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

第三版前言

进入新世纪以来,国内外在钢结构的理论和实践上又有了长足进步。尤其在我国,新的钢结构设计和施工规范经全面修订后的颁行,一些材料标准的更新,高强度钢材和高效钢材的开发应用,施工技术的革新提高等。为此,有必要将此书再次修订为第三版,以飨读者。

本书的宗旨是密切配合学习钢结构教材、使用现行规范、掌握新标准和处理实际问题。

本书内容以“疑难释义”为主线,并以“解题指导”为补充实例。

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。

本书引用的规范、标准均截至2003年底以前出版的最新版。为节省篇幅,本书部分内容和图表以参见《钢结构》(刘声扬主编,中国建筑工业出版社,2004)方式处理,故与其配合阅读,将相得益彰。

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。

本书“疑难释义”部分由刘声扬编写,“解题指导”部分由徐德新、睢杰编写,插图由刘红绘制。全书由刘声扬统稿。

本书承蒙武汉大学方山峰教授和中国建筑工业出版社黎钟编审精心审阅并提出改进意见,谨致谢忱。

刘声扬

2004.7.30 于武汉理工大学

目 录

第一部分 疑 难 释 义

1 绪论	2
1.1 钢结构的应用状况和发展前途如何?	2
1.2 《设计规范》修订的主要内容有哪些?	6
1.3 《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?	10
1.4 怎样识别和应用钢结构图书中的符号、计量单位和术语?	13
2 钢结构的设计方法	19
2.1 综述	19
2.2 我国钢结构设计方法的发展演变分哪几个阶段?	19
2.3 什么是结构的设计使用年限? 在规定的设计使用年限内, 结构须满足哪些功能要求? 设计基准期和设计使用年限有何不同?	22
2.4 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?	23
2.5 建筑结构设计时, 为什么要考虑设计状况——持久状况、短暂状况、偶然状况? 对应于三种设计状况应分别按哪类极限状态设计?	24
2.6 结构上的“作用”指的是什么? 它按哪些性质分类?	25
2.7 荷载的代表值、标准值、组合值、频遇值、准永久值和设计值各表示什么意义? 它们应怎样确定和使用?	26
2.8 什么是荷载组合? 为什么它又分为基本组合、偶然组合、标准组合、 频遇组合和准永久组合?	29
2.9 什么是结构可靠度? 应采用什么方式对它进行度量?	31
2.10 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?	35
2.11 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?	36
2.12 有关建筑钢结构的主要设计规范和规程有哪些?	40
3 钢材	42
3.1 综述	42
3.2 何谓碳素结构钢、低合金高强度结构钢? 为什么它们的牌号 现在均改为按其屈服点表示?	43
3.3 为什么《设计规范》只推荐 Q235、Q345、Q390、Q420 这几个牌号 作承重结构的钢材? Q235-A 钢应如何选用?	46
3.4 Q235 钢现在为何不再分冶炼炉种? 氧气转炉钢与以往 的平炉钢比较, 其性能如何?	51
3.5 Q235 钢为何要分为沸腾钢、半镇静钢、镇静钢和特殊镇静钢? 它们有哪些区别? 应如何选用?	53

3.6	低合金高强度结构钢为何全为镇静钢或特殊镇静钢?	55
3.7	钢材的力学性能标准为什么要按厚度或直径进行分段?	55
3.8	工字钢和槽钢根据其腹板厚度分组是否有代表性?	56
3.9	为什么钢材力学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?	56
3.10	为什么同一种钢材的伸长率指标 δ_5 大于 δ_{10} ? 在现行标准中为什么只规定 δ_5 ?	56
3.11	钢材能否在沿厚度方向(垂直于板面方向)受拉? 高层建筑钢结构用的钢板应具备哪些性能?	57
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?	60
3.13	有关建筑钢结构钢材的主要标准有哪些?	66
4	焊缝连接	68
4.1	综述	68
4.2	焊接设计应怎样结合焊接方法进行考虑?	70
4.3	对接焊缝、角焊缝和对接与角接组合焊缝分别适用于哪些连接部位?	71
4.4	对接焊缝和对接与角接组合焊缝在何种情况下才须进行强度验算?	71
4.5	怎样应用角焊缝的基本计算公式?	72
4.6	如何判别连接中的角焊缝是受弯还是受扭?	75
4.7	角焊缝的焊脚尺寸是否选用大的比小的好?	75
4.8	斜角角焊缝应用时应注意哪些问题? 怎样进行计算?	76
4.9	哪些情况可采用部分焊透的对接焊缝和对接与角接组合焊缝? 怎样计算和应注意什么问题?	78
4.10	焊缝的质量等级如何划分? 设计时应怎样选用?	80
4.11	焊接的构造要求应注意哪些主要问题?	82
4.12	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?	88
4.13	手工焊采用的焊条型号应如何选择?	90
4.14	焊接的设计步骤和须注意哪些问题?	94
4.15	有关建筑钢结构焊接的主要规范、规程、标准有哪些?	95
5	普通螺栓连接	97
5.1	综述	97
5.2	C级普通螺栓应用于哪些类型的连接合理?	98
5.3	螺栓应怎样排列合理?	99
5.4	螺栓直径采用什么样的规格合理?	104
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?	104
5.6	拉剪螺栓连接的应用须注意哪些问题?	105
5.7	怎样应用普通螺栓连接的计算公式?	106
5.8	普通螺栓连接的设计步骤和须注意哪些问题?	109
5.9	有关普通螺栓连接的主要规范、规程、标准有哪些?	110
6	高强度螺栓连接	111
6.1	综述	111
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?	112

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?	113
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? 为什么 8.8 级螺栓的预拉力较原《设计规范》有所提高?	115
6.5	高强度螺栓连接构件接触面的处理方法采用哪一种较好?	116
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?	118
6.7	能否采用高强度螺栓和焊缝混合连接?	119
6.8	在受剪连接验算开孔对构件截面的削弱影响时, 为什么高强度螺栓摩擦型连接的 较普通螺栓连接的小?	121
6.9	怎样应用高强度螺栓连接的计算公式?	121
6.10	高强度螺栓连接施工应注意哪些主要问题?	124
6.11	高强度螺栓连接的设计步骤和须注意哪些问题?	126
6.12	有关高强度螺栓连接的主要规范、规程、标准有哪些?	127
7	轴心受拉构件	128
7.1	综述	128
7.2	轴心受拉构件采用什么样的截面形式合理?	128
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?	128
7.4	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?	130
7.5	怎样应用轴心受拉构件的计算公式?	130
7.6	轴心受拉构件的设计步骤和须注意哪些问题?	131
8	轴心受压构件	133
8.1	综述	133
8.2	如何判定轴心受压构件的弯曲屈曲、扭转屈曲和弯扭屈曲? 扭转 屈曲和弯扭屈曲的换算长细比 λ_x 和 λ_y 计算公式是怎样得来的?	134
8.3	轴心受压构件的稳定承载能力与哪些因素有关?	137
8.4	轴心受压构件采用什么样的截面形式合理?	139
8.5	决定轴心受压构件稳定系数 φ 的柱子曲线, 为什么又增设 1 条成为 4 条? 截面是 怎样分类的? 为什么对单轴对称截面的弯扭屈曲要改用 λ_y 查 φ 值?	141
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?	145
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?	146
8.8	为什么取格构式轴心受压构件的剪力 $V = \frac{Af}{85} \sqrt{\frac{f_y}{235}}$?	148
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?	149
8.10	怎样应用轴心受压构件的计算公式?	150
8.11	轴心受压构件的设计步骤和须注意哪些问题?	155
9	受弯构件	157
9.1	综述	157
9.2	受弯构件采用什么样的截面形式合理?	158
9.3	实腹梁的抗弯强度计算为什么要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? 为什么直接承受动力荷载的梁 (除需要计算疲劳的梁) 也可考虑截 面部分发展塑性?	160

9.4	梁的整体稳定性系数 φ_b 计算公式是经过怎样简化的? 在采用时须注意哪些问题?	162
9.5	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?	166
9.6	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?	168
9.7	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?	170
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?	172
9.9	梁腹板局部稳定的计算为什么要改用相关公式? σ_{cr} 、 τ_{cr} 、 $\sigma_{cr,cr}$ 为什么分别采用三个公式计算? λ_b 、 λ_s 、 λ_c 的含义是什么?	173
9.10	哪些情况适合利用腹板屈曲后强度对梁进行设计? 设计须注意什么问题?	176
9.11	怎样应用受弯构件的计算公式?	179
9.12	受弯构件的设计步骤和须注意哪些问题?	187
10	拉弯构件和压弯构件	189
10.1	综述	189
10.2	拉弯构件和压弯构件采用什么样的截面形式合理?	190
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?	190
10.4	怎样计算实腹式压弯构件在弯矩作用平面外的稳定性?	193
10.5	为什么要采用等效弯矩系数 β_{mx} 、 β_{mx} ? 其值是怎样确定的?	194
10.6	怎样应用拉弯构件和压弯构件的计算公式?	198
10.7	拉弯构件和压弯构件的设计步骤及须注意哪些问题?	204
11	疲劳	206
11.1	综述	206
11.2	疲劳破坏与哪些主要因素有关?	207
11.3	什么是疲劳计算的应力幅准则和应力比准则? 《设计规范》采用哪种准则进行计算?	210
11.4	容许应力幅应怎样进行计算?	212
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?	214
11.6	怎样应用疲劳计算公式? 疲劳计算应注意哪些问题?	215
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?	217

第二部分 解 题 指 导

1	钢结构的连接	220
2	受弯构件	244
3	轴心受力构件和拉弯、压弯构件	277
	参考文献	309

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重工业建筑,近年来,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,虽然公路桥梁可用混凝土结构,但大型铁路桥梁和公路铁路两用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,如住宅、餐厅、旅游、科学考察和建筑工地活动房屋等房屋建筑中。

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和各地仓库、超市建造了一大批这样的钢货架。

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。进入 21 世纪后,又超过了 2 亿 t,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 500 万 t,冷弯型钢产量也达年产 100 万 t。在大型钢铁基地——上海宝山钢铁总厂一、二、三期的工程建设中,数以百万平方米计的全钢结构厂房相继竣工投产,其他各个钢铁公司——武钢、包钢、攀钢、…在扩建时亦大量采用了钢结构。除治

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, 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)和更大的芜湖长江大桥(中跨跨度312m)相继建成通车, 而超大跨度的公路、铁路两用桥——武汉天兴洲长江大桥(主跨480m, 双塔钢桁梁斜拉桥)也已于最近动工兴建。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500万 m^2 , 钢结构钢材用量50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, 1996年建成)、上海金茂大厦(88层, 高420.5m, 1999年建成), 都规模宏大; 在金茂大厦的附近将要矗立高达101层的上海环球金融中心(高492m, 参见《钢结构》●图1-4)也很快即将建成。在大跨度建筑方面近年来也取得了可喜的成绩, 钢网架的最大跨度已超过100m, 例如天津体育馆的网架跨度108m(挑檐13.5m); 长春体育馆的网架覆盖面积120m $\times$ 166m。在轻钢结构方面, 门式刚架配上彩涂钢板的屋面板和墙板, 其建造面积已达1000万 m^2 以上。另外, 近年来异军突起的彩板拱形波纹屋面(参见《钢结构》图1-5), 年建造面积也达100万 m^2 以上。它的特点是外形美观、施工简便, 不需屋架、檩条等承重构件。

另外, 近年来我国又相继修订了三本钢结构国家标准:《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)●、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB 50018—2002)、《钢结构工程施工质量验收规范》(GB 50205—2001)●。新修订的3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, 使我国现行的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, 以及设计、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。尤其值得高兴的是, 随着我国经济建设的蓬勃发展, 钢产量的大幅度增长, 国家已取消以前限制使用钢结构的政策, 转为鼓励使用, 并制定了《国家建筑钢结构产业“十五”计划和2015年发展规划纲要》, 其中的目标是钢结构的钢材用量要分别达到钢材总产量的3%和6%。

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, 今后除了在国家重点发展的钢铁、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外, 在公共建筑和民用建筑以及轻工业方面, 也大有用武之地。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

● 刘声扬主编. 钢结构(第四版). 北京: 中国建筑工业出版社, 2004. 本书以下简称《钢结构》。

● 本书以下对《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)简称《设计规范》。

● 本书以下对《钢结构工程施工质量验收规范》(GB 50205—2001)简称《施工规范》。

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,并已形成以锰、钒、钛、铌和稀土元素的低合金钢系列,且在近几年发展速度较快,产量已超过1000万t,并在钢结构中迅速扩大了使用面,有效地节约了钢材(详见节3.2、节3.3、节3.12)。

耐火、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,如武钢近年来研制生产的WGJ510C2高性能耐火耐候建筑用钢(见节3.11),目前已用于高层钢结构中。另外宝钢生产的“耐腐蚀的结构用热轧钢板及钢带”(企业标准号为Q/BQB 340—94),其耐候性为普通钢的2~8倍,也可将其用于冷弯薄壁型钢和压型钢板建筑、高耸塔桅结构、输电铁塔等。

(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 $f_y = 411.6\text{N/mm}^2$ (见节3.3)。但我国热强化钢材的品种及数量有限,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,在用钢量相等的情况下,经济截面钢材的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的制造费用(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、镀铝锌钢板等)、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(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,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 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,远不能满足发展要求,今后须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,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住宅(详见 3.12)。另外,彩板拱形波纹屋面由于其经济价值显著,也应大力发展(见节 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,已超过 1000 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,今后应大力研制开发。

在人们印象中,一般均认为悬索结构应用在大跨度桥梁或大跨度公用建筑的屋顶中才是最经济的选择。然而,国外有相当多的资料表明,将悬索结构用于较小跨度的结构时,与框架体系比较,亦不失为一种节约用钢的较佳选择。所以,在今后当悬索材料能得到充足供应且价格降低的条件下,悬索结构可能也是值得推广应用的。

(三) 膜结构

膜结构是用高强薄膜材料(PVC 或 Teflon)及加强构件(钢架、钢柱及钢索)组成。它可分为张拉膜结构和充气膜结构。前者是通过柱及钢架支承或钢索张拉成形。后者则是在室内不断充气产生一定的压力差,使屋盖膜布受到一定的上浮力而成形,可以实现较大

跨度,且造型优美灵活。一般钢结构屋顶,屋面材料不参加受力,而膜结构本身就承受活荷载,包括温度应力等。所以,膜既是覆盖物,又是结构的一部分。膜结构由于单位重量轻,在跨度为70~300m时,平均自重(包括所有构件)仅为15~25kg/m²。近年来它已在我国很多体育场所、广场和公园中得到应用;由于建造简单,形式多样,膜结构很受青睐,值得推广。

(四) 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,采用在钢桁架下弦增设撑杆和拉索(7 ϕ 4钢绞线)施加预应力,使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)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/mm²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/m²(较原非预应力平板网架约省一半)。然而,与国外的应用情况相比,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,以减轻结构自重、节约钢材,同时对结构的刚度加以改善。

(五) 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,在国内外的高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。

组合结构中劲性钢筋混凝土柱亦是具有开发价值的一种结构形式。它是内部采用钢骨架再在外面包上钢筋混凝土的结构,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,其承载力、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,如地下和地上的下部几层和局部区域,这样可从上部的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。我国新建的一批钢结构高层建筑中,有些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。其他如北京长富宫饭店、中国国际贸易中心、京广中心和上海瑞金饭店、武汉民生银行大厦等的地下和地上的下部几层全为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 《设计规范》修订的主要内容有哪些?

《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)经建设部于2003年4月25日批准为国家标准,

自2003年12月1日起施行,原《钢结构设计规范》(GBJ 17—88)●同时废止。

《设计规范》在修订过程中,总结了近年来我国钢结构的工程实践经验,并通过科学试验和理论研究,对比与借鉴国外工业发达国家钢结构设计规范的成功经验等,达到了新的水平,与国际标准比较接近。

《设计规范》较原《设计规范》有较大的变动,引用了新的设计概念,改换了一些设计方法,调整、充实和修改了许多章节,增添了新内容,扩大了应用范围。现将其修订的主要内容归纳简述如下:

一、设计原则

在《设计规范》第3.1节中,突出了设计原则的强制性条文,以强调其对设计的指导作用,改变以往设计规范以实践或经验为主的做法,这也是目前国际上设计规范的共同特点。

二、荷载和荷载效应计算

(一)在《设计规范》第3.2节增加了“荷载和荷载效应计算”,着重提出了无支撑纯框架宜采用考虑变形对内力影响的二阶弹性分析方法。原《设计规范》中对框架结构没有内力分析方法的规定。对无支撑的单层纯框架,由于侧移对内力的影响不大,可不考虑竖向荷载对侧移的二阶效应。但对多层纯框架则需要考虑,以提高计算精度。

(二)原《设计规范》用吊车横向水平荷载乘以增大系数来表达吊车运行中的卡轨力,不合理,故予取消。现改用吊车(大车)摆动引起的横向水平力(用吊车最大轮压的标准值乘以系数,见《解题指导》题2-9)进行计算。

三、钢材

原《设计规范》中推荐钢材的名称、牌号以及设计指标等均与现行钢材标准《碳素结构钢》(GB/T 700—1988)和《低合金高强度结构钢》(GB/T 1591—1994)不符,而且没有推荐高强度钢材和考虑抗脆性断裂等问题。故修订时按现行标准推荐Q235、Q345、Q390钢并增加了Q420钢。另外对各类钢结构应具有的材质保证提出了更加完整的要求。如为了提高结构和构件的抗脆断性能,增加了Q235钢保证0℃冲击韧性的适用条件;对承受静力荷载的受弯和受拉的重要承重结构和需要验算疲劳的结构,提出了对钢材冲击韧性的要求(见节3.12)等。对高层钢结构和在腐蚀性介质环境中的钢结构,则增加了采用Z向钢及耐候钢的原则规定(见节3.11)。

四、结构和构件变形的规定

原《设计规范》对一些工艺状况和使用经验考虑不够,在正文中对结构和构件变形的规定过细和缺少灵活性,修订时作了如下修改:

(一)在正文中只规定设计原则,对变形限值表则移至附录,且规定当有实践经验或有特殊要求时,可对变形限值根据不影响正常使用和观感的原则进行适当调整。

(二)对吊车梁的挠度改为按起重量最大的一台吊车轮压标准值计算(见第二部分解题指导中题2-9)。

(三)对吊车梁或吊车桁架的制动结构的水平挠度的验算,缩小为仅对设有工作级别为A7、A8级吊车的车间进行验算(见第二部分解题指导中题2-9)。

● 本书以下对《钢结构设计规范》(GBJ 17—88)简称“原《设计规范》”。

(四) 增加了框架结构在风荷载标准值作用下柱顶水平位移和层间相对位移的限值。

五、焊缝连接

(一) 增加了“焊缝质量等级”选用的条文, 以适应工程需要 (见节 4.10)

(二) 将原《设计规范》中的 T 形对接焊缝, 按《焊接术语》(GB/T 3375—1994) 改称“T 形接头对接与角接组合焊缝” (见图 4-10)。

(三) 未采用引弧板和引出板的焊缝计算长度, 原《设计规范》均按每条焊缝的实际长度减去 10mm。现改为角焊缝减去 $2h_f$, 对接焊缝减去 $2t$, 这样更切合实际情况。

(四) T 形接头的斜角角焊缝, 原《设计规范》没有限制两焊脚边的夹角范围, 且忽略了根部间隙的影响。现参照《美国钢结构焊接规范》(AWS—1998) 规定了计算公式和夹角范围 (见节 4.8)。

(五) 部分焊透的对接焊缝和对接与角接组合焊缝, 原《设计规范》对其计算厚度的规定较笼统, 现改为将单边 V 形和 K 形坡口从 V 形坡口中分离, 单独规定其坡口角度和计算方法 (见节 4.9)。

六、高强度螺栓连接

(一) 原《设计规范》基于螺栓的屈服强度确定的螺栓预拉力明显偏低, 有时甚至低于普通螺栓的抗剪承载力, 现参照国外一些规范, 改为按螺栓的抗拉强度确定 (见节 6.4)。

(二) 摩擦面的抗滑移系数, 原《设计规范》规定的喷砂 (丸) 或喷砂 (丸) 后生赤锈, 对 Q345、Q390 钢取 $\mu = 0.55$, 在实际工程中很难达到。现修改为 $\mu = 0.50$ (包括新增加的 Q420 钢的 μ 值。见节 6.5)。

七、受弯构件

(一) 取消了原《设计规范》整体稳定计算的 φ' 表, 改用简化公式计算 (见第 9.7)。

(二) 对承受静力荷载和间接承受动力荷载的组合梁, 推荐按考虑腹板屈曲后强度计算梁的抗剪和抗弯承载能力, 不再验算腹板的局部稳定。对直接承受动力荷载的吊车梁及类似结构或其他不考虑屈曲后强度的组合梁, 则按规定配置加劲肋, 并采用相关公式验算腹板的局部稳定性。公式中的 σ_{cr} 、 τ_{cr} 和 $\sigma_{c,cr}$ 均考虑非弹性变形和几何缺陷的影响进行修正, 并用三段计算式表达, 最大值不超过屈服点。因此, 原《设计规范》根据弹性板确定腹板加劲肋间距的简化公式相应取消 (见节 9.9)。

八、轴心受压构件和压弯构件

(一) 对单轴对称截面绕对称轴的弯扭屈曲, 原《设计规范》均采用按弯曲屈曲用 λ_y 查 φ 值计算, 将截面类型按其承载力大小归于 b 类或 c 类。这样处理虽然简单, 但因各种因素的影响, 有些情况误差较大, 甚至不安全。现改为按弯扭屈曲用换算长细比 λ_{yz} 的理论公式计算。对等边单角钢和双角钢 T 形截面可用 λ_{yz} 简化公式计算 (见节 8.10 和表 8-3)。

(二) 对板件厚度大于 40mm 的焊接实腹截面, 原《设计规范》将其归于 c 类截面。现经过研究, 由于其在板厚方向残余应力对稳定承载力的影响, 有些截面的 φ 值低于 c 类。因此, 现增补了组成板件厚度 $t \geq 40\text{mm}$ 的工字形和箱形截面的类别表, 且增加了 d 类截面 φ 值曲线 (见《钢结构》表 6-4b 和附表 1-4)。

(三) 对焊接十字形截面和箱形截面, 原《设计规范》均列在 b 类, 现对板件边缘为

轧制或剪切的十字形截面和板件宽厚比小于等于 20 的焊接箱形截面, 因其承载力较低, 故将其降至 c 类。

(四) 无任何对称轴的截面绕任意轴时, 原《设计规范》将其归于 c 类且按弯曲屈曲计算, 这不但没有根据, 且可能不安全, 故现规定其不宜用作轴心压杆。

(五) 对压弯构件的等效弯矩系数 β_{mx} , 由于对无支撑的纯框架建议用二阶弹性分析方法计算内力, 故对纯框架柱或有支撑框架柱现均规定可按两端支承构件对待, β_{mx} 采用相同数值。而对分析内力未考虑二阶效应的无支撑纯框架柱和弱支撑框架柱, β_{mx} 仍取 1.0。

对两端作用不等弯矩而无横向荷载作用时, 原《设计规范》规定 β_{mx} 、 β_{tx} 均不得小于 0.4, 现参考国外规范, 可予取消。

对无端弯矩但跨度中点有一个横向荷载作用时, 原《设计规范》规定 $\beta_{mx} = 1 - 0.2N/N_{Ex}$, 现为了简化计算, 改为不论荷载为一个或多个, 均取 $\beta_{mx} = 1.0$ (见节 10.5)。

(六) 压弯构件在弯矩作用平面外的稳定, 原《设计规范》将计算公式中的 φ_b 对箱形截面取为 1.4, φ_b 比 1.0 大显然是不合理的。现将其改为 1.0, 而将公式中第二项前面增加一影响系数 η , 对箱形 (闭口) 截面取 $\eta = 0.7$, 其他截面则取 $\eta = 1.0$ (见节 10.4)。

(七) T 形截面腹板的高厚比, 原《设计规范》规定其限值与工字形截面翼缘的相同, 有些保守。由于腹板的局部屈曲可受到翼缘的约束, 故较翼缘的情况有利, 尤其是对弯矩使腹板自由边受拉的压弯构件和轴心受压构件, 故对这两种构件腹板的宽厚比限值放宽, 但若弯矩使腹板自由边受压时则不改, 仍与工字形截面翼缘的相同 (见表 8-4 和表 10-5)。

(八) 重新规定了减小受压构件或受压翼缘自由长度的侧向支承的支撑力计算方法, 不再借用受压构件的偶然剪力。

(九) 对框架柱的计算长度及桁架交叉腹杆中的压杆在桁架平面外的计算长度均进行了修改。

九、疲劳计算

(一) 原《设计规范》规定对应力变化的循环次数 $n \geq 10^5$ 次时才需进行疲劳计算。现考虑有些情况可能不安全, 故参考国外规范降为 $n \geq 5 \times 10^4$ 次时, 即应进行疲劳计算 (见节 11.1)。

(二) 对构件和连接分类表中项次 5 “梁翼缘连接焊缝附近的主体金属” 的类别作了补充和调整。

十、连接计算

(一) 《设计规范》增加了第 7.4 节梁与柱的刚性连接。对刚性连接若柱不设置横向加劲肋时, 对柱翼缘和腹板应满足的厚度给出了计算公式。

(二) 《设计规范》增加了第 7.5 节连接节点处板件的计算。对节点处板件在拉剪作用下的强度计算, 以及桁架节点板的强度和稳定计算给出了公式和规定。

(三) 在《设计规范》第 7.6 节中除对常用的平板支座外, 还增补了近年来新开发的球形支座及橡胶支座的有关条文。

十一、构造要求

(一) 取消原《设计规范》对焊件厚度 (低碳钢小于 50mm、低合金钢小于 36mm) 的限值, 因为焊件厚度限值与多种因素有关, 不能统一为某个定值 (见节 4.11)。