

建筑 钢结构设计

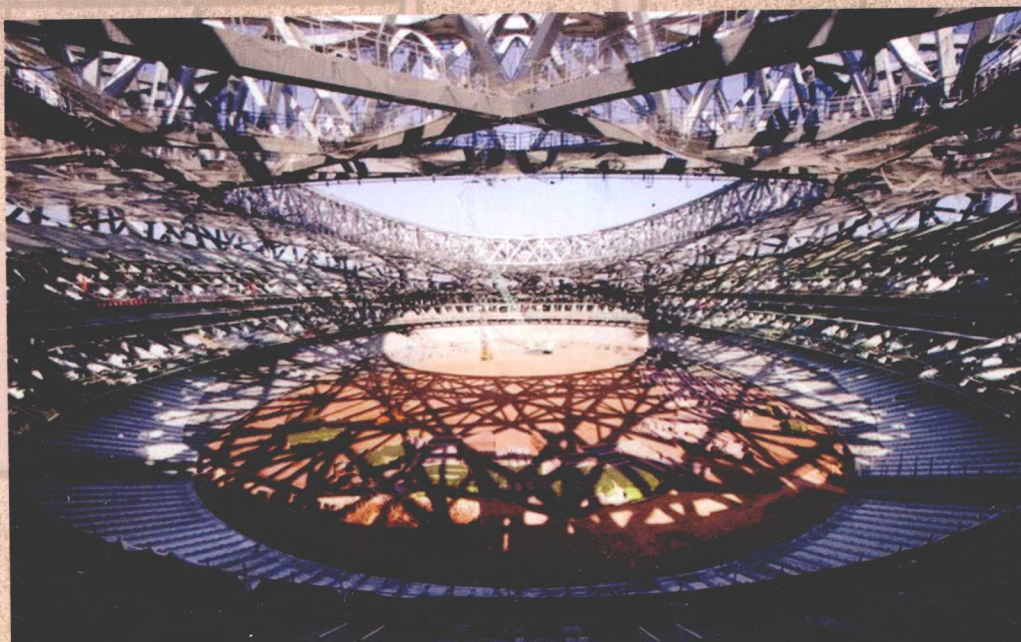
(第二版)

马人乐 罗烈 邓洪洲
何敏娟 沈之容 陈俊岭

编著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS



工
木
工

程

系

列

从

书

土木工程系列丛书

TU391.04/1=2

2008

建筑钢结构设计

(第二版)

马人乐 罗烈 邓洪洲 编著
何敏娟 沈之容 陈俊岭



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书从结构体系的概念设计入手,主要介绍了房屋建筑工程中常用的钢结构体系的形式、构造、分析计算理论及设计方法,主要包括:平台钢结构设计、轻型门式刚架设计、多层框架钢结构设计和普通钢屋架单层厂房设计以及钢结构的制作、安装、验收及防腐蚀方法。本书着眼于工程应用,对不同结构体系的平面布置、支撑布置、设计荷载取值、计算方法、节点设计等均进行了系统介绍,主要章节配有计算实例,直观地说明实际设计方法。

本书可作为土木工程专业本科生和函授生的教材,对于从事钢结构工程设计的工程技术人员以及从事钢结构制作、安装的工程人员也具有很好的指导和参考作用。

图书在版编目(CIP)数据

建筑钢结构设计/马人乐等编著. —2版. —上海:同济大学出版社,2008.9

(土木工程系列丛书)

ISBN 978-7-5608-3833-5

I. 建… II. 马… III. 建筑结构:钢结构—结构设计—高等学校—教材 IV. TU391.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 139334 号

土木工程系列丛书

建筑钢结构设计(第二版)

马人乐 罗烈 邓洪洲 何敏娟 沈之容 陈俊岭 编著

责任编辑 马继兰 责任校对 杨江淮 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 同济大学印刷厂

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 21

印 数 1—4100

字 数 524000

版 次 2008 年 9 月第 2 版 2008 年 9 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-3833-5/TU·787

定 价 40.00 元

再版前言

《建筑钢结构设计》是土木工程专业的学生在学习了《钢结构基本原理》之后,针对典型的建筑钢结构进行深入学习的课程。在《钢结构基本原理》中,学习的主要是材料、基本构件、基本连接形式的受力原理和计算方法。在《建筑钢结构设计》中,要将这些不同的构件组合成一个完整的结构体系,并要保证设计中采用的连接方式能够准确地满足整体结构承载和刚度的要求。所以,《建筑钢结构设计》的宗旨是在《钢结构基本原理》的基础上,进一步阐明建筑钢结构体系和构造形式。当然,其中必然包含对现行《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)的学习和应用。

本书是在同济大学出版社2001年版《建筑钢结构设计》(王肇民主编)的基础上修改而成的。

在这次修订编写中,根据近年来门式刚架轻钢结构发展迅速、占有率很高的特点,专门列出了“轻型门式刚架设计”一章,取消了原“屋盖钢结构设计”一章,并把这一章必要的内容加入到“普通钢屋架单层厂房设计”中。这样,既避免了老教材对钢屋架的重复描述,也可以明确轻钢厂房与普钢(或重钢)厂房结构体系的区别。对于工程设计的借鉴作用更强,并可配合“钢结构课程设计”的教学。

这次编写中,特别突出了“概念设计”。关于“概念设计”,大家都认为很重要。但目前还没有形成明确的教学内容和方法。本书以基本理论为基础,并将辩证的分析方法和编者的设计经验融入“概念设计”之中,试图对“概念设计”作较好的表述,对学生学习《建筑钢结构设计》起到提纲挈领的作用。但由于这部分的写作没有现成的教学经验可作为参考,其效果还要在教学实践中经受检验。

修订在实用、简洁方面做了较大改进。删除了原有教材中不实用的某些内容,并按设计的实际情况简化了某些例题,使篇幅不致太大。至于许多深化或开拓性的知识点,在学生学好了基本理论和方法之后,应该很容易学习掌握,本书就不过多列举。对于钢结构工程建设和成就,《土木工程概论》及《钢结构基本原理》等书中已有较多描述,本书也不再列举。

本书由马人乐教授主编,各章编写人员为:第一章,马人乐教授;第二章,邓洪洲教授;第三章,陈俊岭讲师;第四章,罗烈副教授、马人乐教授;第五章,何敏娟教授、马人乐教授、沈之容副教授;第六章,马人乐教授。全书由主编规划并定稿。

在编写过程中,引用了有关单位的资料,谨致谢意。

书中难免会有不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2008年6月于同济大学

前 言

1998年,教育部颁布了新的普通高等学校本科专业目录,将原建筑工程、交通工程等8个专业合并为土木工程专业,其专业范围覆盖房屋建筑、地下建筑、隧道、道路、桥梁、矿井等工程领域。由于土木工程专业覆盖面广,在课程设置上,土木工程专业指导委员会采纳了教育部“面向21世纪土建专业人才培养方案及教学内容体系改革的研究与实践”课程组的建议,将原来的钢结构课程分为原理和设计两大部分,原理部分作为专业基础教学内容,设计部分作为专业教学内容。本教材即为房屋建筑钢结构工程设计部分教学内容。

本教材的编写宗旨是在学生学完“钢结构基本理论”、已建立钢结构基本概念、掌握钢结构基本理论的基础上,能够在钢结构设计专业课的学习中,主动深入地掌握房屋建筑钢结构设计规范的设计原理和方法。因此,本教材的内容依据钢结构设计规范的各种具体规定,讲述房屋建筑工程中经常遇到的平台钢结构、屋盖钢结构、框架钢结构、厂房钢结构和钢结构施工和防腐等结构体系、形式、构造及其分析计算等设计原理,各章节还附有例题、思考题和习题供读者参考。

本教材还介绍了一些在最近新落成的钢结构工程和参考了国内外有关文献资料,增加了不少新的设计内容,使学生能由此掌握更多的信息和知识。本书可作为土木工程专业本科生和函授生的教材,也可作为从事钢结构设计、制作、安装的工程技术人员学习的参考书。

本书由王肇民教授主编,各章编写人员为:第一章王肇民教授,第二章邓洪洲副教授,第三章沈之容讲师,第四章罗烈副教授,第五章何敏娟副教授,第六章马人乐教授。全书由主编修改定稿。在编写过程中,引用了有关单位的资料,谨致谢意。书中难免有不足之处,敬请读者批评指正。

编者

2000年10月

目 录

再版前言	1
前言	1
1 概念设计	1
1.1 钢结构的适用范围	1
1.1.1 钢结构的特点	1
1.1.2 钢结构的适用性	1
1.2 钢材的选用	1
1.2.1 钢材强度的选择	1
1.2.2 钢材冲击韧性指标的选择	2
1.3 建筑钢结构荷载与作用的特点	2
1.3.1 风荷载	2
1.3.2 冰雪荷载	3
1.3.3 温度作用	3
1.3.4 地震作用	4
1.3.5 荷载与结构的变异	4
1.4 钢结构的计算	4
1.5 结构体系	6
1.5.1 结构体系与使用要求	6
1.5.2 主体钢结构的优化设计方向	7
1.5.3 辅助结构与主体结构的关系	7
1.6 节点设计	7
1.6.1 单元的划分与结合	7
1.6.2 节点分类	8
1.6.3 焊接和螺栓连接	9
习题	10
2 平台钢结构设计	11
2.1 平台钢结构布置	11
2.1.1 平台钢结构组成	11
2.1.2 梁格布置形式	11
2.2 平台铺板设计	12
2.2.1 平台铺板构造	12
2.2.2 平台铺板计算	13
2.3 平台梁设计	14
2.3.1 型钢梁设计	14

2.3.2 组合梁设计	16
2.3.3 梁的拼接	26
2.3.4 次梁与主梁的连接	27
2.3.5 梁的支座	28
2.4 平台柱和柱间支撑设计	37
2.4.1 平台柱的柱网布置	37
2.4.2 平台柱的柱间支撑	37
2.4.3 实腹柱设计	38
2.4.4 格构柱设计	40
2.4.5 柱头与柱脚	45
2.4.6 楼梯与栏杆	48
习题	55
3 轻型门式刚架设计	57
3.1 结构形式和布置	57
3.1.1 门式刚架特点及适用范围	57
3.1.2 结构形式与支撑体系	58
3.2 檩条设计	61
3.2.1 截面形式	61
3.2.2 布置和连接	62
3.2.3 拉条与撑杆	63
3.2.4 荷载	64
3.2.5 计算	64
3.3 刚架设计	66
3.3.1 荷载及荷载组合	66
3.3.2 构件截面设计	67
3.3.3 节点设计	69
3.3.4 设计实例	71
3.4 围护结构	79
3.4.1 屋面和墙面板	79
3.4.2 轻钢墙面布置和连接	82
习题	83
4 多层框架钢结构设计	85
4.1 多层框架钢结构体系	85
4.1.1 结构体系和选型	85
4.1.2 建筑和结构布置	87
4.1.3 钢框架的计算分析方法	89
4.1.4 钢框架的设计内容和设计步骤	91
4.2 多层框架钢结构上的荷载与作用	92
4.2.1 荷载与作用	92
4.2.2 荷载效应组合	92

4.3 钢构件设计	94
4.3.1 梁	94
4.3.2 柱	94
4.3.3 中心支撑	99
4.4 楼盖设计	100
4.4.1 楼盖的构成	100
4.4.2 组合梁设计	101
4.4.3 压型钢板混凝土组合楼板设计	108
4.5 节点设计	112
4.5.1 梁与梁的连接	113
4.5.2 柱与柱的连接	114
4.5.3 梁与柱的连接	116
4.5.4 支撑与框架的连接	118
4.5.5 柱脚	119
4.6 抗震设计	127
4.6.1 抗震设防要求	127
4.6.2 抗震计算要求	128
4.6.3 抗震概念设计	129
4.6.4 抗震构造要求	131
4.7 多层钢框架设计实例	132
习题	143
5 普通钢屋架单层厂房设计	146
5.1 结构体系及其特点和应用范围	146
5.1.1 结构形式的区分及适用范围	146
5.1.2 普通钢屋架单层厂房钢结构体系	146
5.2 柱网布置	149
5.2.1 柱网布置的要求	149
5.2.2 温度缝、沉降缝、抗震缝	150
5.3 横向框架结构与钢柱设计	151
5.3.1 框架的类型	151
5.3.2 横向框架的主要尺寸	151
5.3.3 桁架式横梁及其应用范围	152
5.3.4 厂房横向框架柱的形式及其应用范围	153
5.3.5 单层厂房横向框架柱的计算	154
5.4 支撑体系	155
5.4.1 支撑体系的作用	155
5.4.2 屋盖支撑	155
5.4.3 屋盖支撑的形式、计算和构造	157
5.4.4 柱间支撑	158
5.5 普通钢屋架设计	160

5.5.1	屋架形式的选择	160
5.5.2	腹杆体系	161
5.5.3	屋架主要尺寸确定	162
5.5.4	杆件计算长度与长细比	162
5.5.5	杆件截面形式	164
5.5.6	杆件截面选择	165
5.5.7	屋架节点设计	167
5.5.8	普通钢屋架设计实例	174
5.6	吊车梁	181
5.6.1	吊车梁的类型及其应用范围	181
5.6.2	荷载计算和内力分析	182
5.6.3	焊接实腹吊车梁的截面选择	186
5.6.4	焊接实腹吊车梁的截面验算	188
5.6.5	吊车梁的制动结构、支撑和梁柱连接	190
	习题	192
6	钢结构施工及防腐蚀	194
6.1	钢结构的制作	194
6.1.1	钢结构制作的特点及流程	194
6.1.2	钢材的准备	195
6.1.3	钢结构的制作	196
6.2	钢结构的防腐蚀	199
6.2.1	长效防腐蚀方法	199
6.2.2	涂层法	200
6.3	钢结构的安装	200
6.3.1	钢结构安装的准备	200
6.3.2	钢结构安装中的稳定问题	201
6.3.3	钢结构安装连接问题	201
6.4	钢结构的验收	202
6.4.1	钢结构验收的层次	202
6.4.2	各验收层次的合格质量标准	202
	习题	203
	附录	205
	附录 A 钢结构材料	205
	附 A-1 钢材的强度设计值	205
	附 A-2 钢铸件的强度设计值	205
	附 A-3 焊缝的强度设计值	206
	附 A-4 螺栓连接的强度设计值	206
	附 A-5 铆钉连接的强度设计值	207
	附 A-6 圆柱头焊钉规格及性能	207
	附 A-7 疲劳计算的构件和连接分类	209

附录 B 钢结构连接计算	212
附 B-1 焊缝连接和螺栓连接计算	212
附 B-2 螺栓连接的构造要求	220
附 B-3 螺栓的有效面积	221
附 B-4 普通螺栓承载力设计值	222
附 B-5 摩擦型高强螺栓承载力设计值	226
附 B-6 承压型高强螺栓承载力设计值	228
附 B-7 Q235 钢、Q345 钢锚栓选用表	230
附录 C 钢结构基本构件计算	233
附 C-1 受弯构件计算	233
附 C-2 轴心受力构件计算	235
附 C-3 压弯构件计算	236
附录 D 板材、型钢、管材规格及截面特性	240
附 D-1 钢板的规格及尺寸	240
附 D-2 热轧扁钢的规格及重量	241
附 D-3 热轧圆钢、方钢的规格及截面特性	243
附 D-4 热轧无缝钢管的规格及截面特性	245
附 D-5 电焊钢管的规格及截面特性	249
附 D-6 热轧等边角钢的规格及截面特性	252
附 D-7 热轧不等边角钢的规格及截面特性	255
附 D-8 热轧普通工字钢的规格及截面特性	258
附 D-9 热轧轻型工字钢的规格及截面特性	259
附 D-10 热轧普通槽钢的规格及截面特性	260
附 D-11 热轧轻型槽钢的规格及截面特性	262
附 D-12 冷弯薄壁型钢的规格、尺寸及截面特性	263
附 D-13 建筑用压型钢板型号及截面特性	280
附 D-14 热轧 H 型钢的规格及截面特性	286
附 D-15 部分 T 型钢截面尺寸面积及截面特性	289
附 D-16 结构用普通高频焊接薄壁 H 型钢的规格及截面特性	291
附 D-17 热轧等边角钢的组合截面特性	293
附 D-18 热轧不等边角钢的组合截面特性	296
附 D-19 轻轨、重轨、起重机钢轨的规格及截面特性	301
附录 E 构件强度、刚度及稳定计算的相关参数或规范要求	302
附 E-1 截面塑性发展系数	302
附 E-2 梁的整体稳定系数	303
附 E-3 受拉构件的容许长细比	306
附 E-4 受压构件的容许长细比	306
附 E-5 柱的计算长度系数	307
附 E-6 单层厂房阶形柱计算长度系数及其折减系数	309
附 E-7 格构式压杆的换算长细比	315

附 E-8 轴心受压构件的截面分类	316
附 E-9 轴心受压构件的稳定系数	317
附 E-10 各种截面回转半径的近似值	320
附录 F 构件及结构变形	323
附 F-1 受弯构件的挠度容许值	323
附 F-2 框架结构的水平位移容许值	323
参考文献	325

1 概念设计

1.1 钢结构的适用范围

1.1.1 钢结构的特点

钢结构的主要特点有:轻质高强;材质均匀、稳定;生产工业化程度高,施工工期短;韧性好;密封性好;耐腐蚀性较差;耐火性差;单价较高。

1.1.2 钢结构的适用性

建筑结构设计选用材料时,主要是从技术性能及经济性出发。

钢结构轻质高强,但单价相对较高。所以当其他传统结构的自重荷载与总荷载之比较大(约70%以上)时,把传统结构改成钢结构就可以使结构自重大幅减轻,总荷载也大幅减小,带来可观的整体效果。反之,结构减轻带来的效益还不如单价提高的负效应,采用钢结构就不经济。大量的轻钢厂房代替传统的混凝土结构单层工业厂房,其主要原因就是混凝土屋面的结构自重占总荷载之比达80%以上,轻钢厂房屋面重 $20\sim 30\text{ kg/m}^2$ 代替了 250 kg/m^2 以上的钢筋混凝土屋面(包括整浇层和防水层),其整体效应相当可观。而多层钢结构楼面之所以目前还不能大面积推广,问题也在其活荷载比例较高,减轻结构自重对总荷载的影响不够显著。

钢结构轻质高强,所以在地震时,受地震作用小。钢结构韧性、延性好,对变形的耐受性好,便于极限状态下结构内力重分布,还可通过塑性变形及维护材料的破损吸收地震能量(但阻尼不如传统结构)。所以在强地震区,采用钢结构有其内在优势。当然,主体结构采用钢结构后,楼面、屋顶及墙板也要向轻质化发展。

钢结构生产工业化程度高、现场用工少、工期短,这对于劳动力价格不断上升、社会发展节奏显著加快的今天无疑是一种竞争的优势。在我国沿海地区,这一优势更加明显。沿海地区软土地基分布较广,钢结构的使用可减少基础费用,也是不可忽视的优点,所以在沿海地区,钢结构的使用比内地更为广泛。

对于大跨度结构、超高层建筑及高耸结构这类结构,结构效应函数显著增大,或者是因结构本身的增大会产生二次循环效应的结构,采用钢结构较为合理,而传统的结构到了一定尺度就不能胜任了。

总之,钢结构的推广有其内在的技术、经济原因。钢结构的发展与社会的发展息息相关,设计者应充分研究钢结构的特点、所设计建筑物的特点、自然和社会环境的特点及其相关性,在适当的时机选用钢结构,才能符合安全、实用、经济及美观的设计原则。

1.2 钢材的选用

1.2.1 钢材强度的选择

钢材强度的选择主要有如下原则:

(1) 变形控制的钢结构主体结构材料强度选较低等级,因为所有钢材的弹性模量相同,而低等级材料的单价低,加工方便,延性更好。

(2) 强度控制的钢结构主体结构材料强度选较高等级,可以节约钢材、造价和资源。

(3) 对由长细比控制或应力水平较低的辅助性构件(如支撑等),材料强度可选较低等级。

(4) 当施工条件较差,或施工单位经验不足时,不宜选用超过 Q345 的高强度材料。

1.2.2 钢材冲击韧性指标的选择

钢材质量等级按冲击韧性指标分为 A, B, C, D, E 五等(Q235 无 E, Q345 无 A),分别代表钢材无冲击韧性要求及在常温, 0℃, -20℃, -40℃时的冲击韧性达到规定标准。

这一指标的选择合理与否涉及结构的可靠性及造价或采购材料的便利性,所以也会牵涉到工期。在选择这一指标时,应该考虑到表 1-1 中四个影响因素,根据类别分别给与选择因子 μ_1 , μ_2 , μ_3 , μ_4 数值。

表 1-1 选择钢材冲击韧性指标的影响因素选择因子

影响因素	结构重要性 μ_1	荷载状况 μ_2	连接状况 μ_3	使用温度 μ_4	选择因子数值
类 别	三级	静 力	全螺栓、无焊接	不低于 0℃	1
	二级	一般动力	大部分工厂焊、工地螺栓	不低于 -20℃	2
	一级	疲劳动力	大部分现场、高空焊	不低于 -40℃	3

将表 1-1 所得的四个选择因子相乘,得 $\mu = \mu_1\mu_2\mu_3\mu_4$, μ 与材料冲击韧性指标的关系见表 1-2。

表 1-2 选择因子之积 μ 与质量等级关系表

选择因子之积 μ	2	2~18	18~24	24~54	>54
质量等级	A	B	C	D	E

按这一方法可以综合考虑各种因素对材质的影响,并定量地确定材料冲击韧性指标。按这一方法确定的钢材冲击韧性指标符合现行《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)的有关规定。对于 Q235,满足 D 的要求即满足 E 的要求,故按表查得用 E 者,用 Q235D 即可。

1.3 建筑钢结构荷载与作用的特点

钢结构所受的荷载与作用不同于混凝土结构或混合结构,不同类型的钢结构受力特点也不同,要求设计者对具体问题做具体分析。

1.3.1 风荷载

由于钢结构自重很轻,所以风荷载往往成为控制性荷载。

(1) 风对墙体的侧压力总是大于风吸力,故要验算其迎风面的侧压力,并考虑墙板、墙梁以至其后支撑体系全途径的强度。当风压和风吸同时作用在建筑物的迎风面和背风面上时,横向钢框架的侧向位移往往是结构验算的控制性因素之一。根据现行《建筑结构荷载规范》(GB 50009),在计算墙板和墙梁时,风荷载标准值中用阵风系数 β_{gz} ,在计算框架结构时,用风振系数 β_z 。

(2) 风对屋顶的体型系数 μ_s 可在《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)上查找。若找不到相应的 μ_s ,可做风洞试验确定。没有条件做风洞试验或来不及做可以按基本原理判断。根据伯努利原理,一个容器壁两侧流体相同,当速度不同时,流速慢的流体对容器壁的压力大于流速

快的一侧的压力。由此推论,对一般坡度较小(小于 15°)、周边封闭钢结构屋面,所受均为吸力。因为室内空气不流动,室外风在吹。吸力对屋面的作用并不体现在钢结构主体结构计算上。因为风吸与结构自重正好反向。风吸去除结构自重后,一般其结构效应的绝对值小于结构自重加检修荷载引起的效应绝对值。当然,方向可能是相反的。所以,一般强度不成问题,稳定要做判断。当风吸不如自重加检修荷载大时,就不必考虑风吸对主体结构的作用了,但仍然要考虑风吸对屋面板及檩条的作用,因为屋面板有时只有十几千克,很轻。特别是屋面板与檩条之间的连接,处于建筑和结构的分界线上,若两个工种的设计人员都不注意,就会引起屋面板被风吸掀翻的事故。而且一旦屋面板被掀起,往往会连带拉起檩条。檩条又起着刚性系杆的作用,当刚性系杆破坏时,屋面的水平支撑体系就失效了,导致有的轻钢厂房结构在强烈风吸作用下整体失效。所以,对屋面板与檩条之间连接的要求,结构设计一定要说明,不要以为是小事而不为之。

对于开口屋顶,外挑雨篷,风的作用就复杂些。但只要四周有阻挡,屋面上拱,风速仍然是上快下慢,所以仍然以风吸为主,如大多数体育场。若在某一方向风没有阻挡,顺这一方向屋面下凹,则相当于飞机翅膀倒置,会产生向下风压,由于风压和重力叠加,忽略了就很危险。对于水平悬挑板而无阻挡,规范认为是“对风敏感性结构”,有正负双向风压。当然,这时起控制作用的就是向下的风压了。

1.3.2 冰雪荷载

在雪荷载大于检修荷载的地区,钢结构屋面荷载的取值应以(自重+雪荷载)为主,检修荷载不考虑。有积灰荷载和风压作用时也要计入。但现在由于重视环保,积灰荷载要按实际情况重新评估。

在湿度大、温度偏低($-5^\circ\text{C}\sim 0^\circ\text{C}$)、风速低的覆冰区,会发生覆冰荷载。2008年冬春之交,就有一批轻钢厂房因此遭到破坏。为此,可以参考现行《高耸结构设计规范》(GB 50135—2006)的规定进行计算。计算是必要的,但不是充分的。在钢结构屋面设计中,应该充分考虑采用适当的体形以迅速排除积水,并注意不要让水流汇聚到结构受力的薄弱环节。我们祖先设计的“大屋顶”是一个出色的范例:大屋顶近屋脊处坡度大,到两侧坡度变小,这条优美的曲线还是一条“最速降线”。雨水在上部得到陡坡较大的重力加速,达到一定流速后又沿缓坡(相对短的途径)迅速排到屋面边缘,而汇聚水流的屋面边缘又有墙体支撑着。这种设计达到了“天人合一”的境界。而设计有时显得很幼稚,有一些著名的体育场的屋面排水方向竟然指向观众席前,把水流汇聚到结构最薄弱的悬壁端,然后再构筑大口径天沟,将几十米宽范围的雨水经过一两百米长的距离排到看台两侧。当然,这是要付出巨大代价的。特别是当白天雪水缓慢融化、流淌而到夜间又冻成冰时,屋面悬壁端的冰可能会越积越厚。所以,在钢结构设计中,计算不是全部,还要有正确的概念设计。

1.3.3 温度作用

钢结构对变形的耐受性好,钢结构维护材料对变形的容忍度也高。所以钢结构与混凝土结构相比对温度效应相对不敏感。温度分区也可以很大。但这并不是说钢结构不要考虑温度作用与效应。

当结构累计尺度较大时要考虑温度效应,这一累计长度还要考虑其约束点或平衡点在哪里,是在长度的中间,还是在其一端,亦或是在其两端。当然这还与结构对于变形的反应有关,铰接影响小,刚接影响大。

当结构不同的部分处于不同的温度场中(如部分室外、部分室内、寒冷地区)时,则在两部分

交界处的温度效应及两部分各自累计变形产生的温度效应都要给予足够的重视。除了验算,有时还要分解,将温度效应消除在巧妙的结构布置中。

索结构要注意温度作用。温度的变化会使索的内力发生很大的变化,这对索结构的刚度、强度和结构体系的稳定均会产生较大影响。

钢结构的安装和测量要考虑温度作用,诸如:在什么温度下合龙钢结构“终生”所受温度作用最小?在什么时段测量不受向阳面和背阴面温差的影响?都是钢结构施工的重要问题。

关于温度作用的具体取值,可参照现行《高耸结构设计规范》(GB 50135—2006)。

1.3.4 地震作用

钢结构地震作用的计算可参照现行《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001),规范中还有关于钢材、结构布置和构造的一系列要求。下述原则也应贯彻到钢结构抗震概念设计中:

(1) 对钢框架,应尽可能采用轻质维护材料的板材。目前对墙体和屋面都有相应的轻质材料配套。但楼板还大量使用压型钢板钢-混凝土复合楼板。这种楼板尽管强度、刚度好,但用钢量大,自重不轻,还有较多湿作业,有待改进。

(2) 提高钢结构的延性变形能力。钢材本身的延性变形能力很好。而结构的某些节点(如一般的梁柱焊接节点)的延性变形能力不足,易造成地震中节点脆性破坏,这是需要避免的。节点的延性变形可以使得结构内力重分布,避免节点破坏而导致结构坍塌。

(3) 提高结构和附属体整体抗震阻尼比。钢结构的塑性变形区域较小,耗能也较小,与钢结构连接的墙板等附属体强度较低,破坏时耗能也不多。所以钢结构的阻尼比比混凝土结构或混合结构小,这是事实(常遇地震时阻尼比为 0.02,罕遇地震时阻尼比可取 0.04)。但设计中可以利用承压型高强螺栓的滑移以便耗能,或加强附属体与主体结构的连接,使附属体裂而不倒,在结构变形中继续耗能。

1.3.5 荷载与结构的变异

在钢结构的建造过程中,结构的状态在不断变化,荷载与作用也在不断变化。如钢屋架在安装之初其侧向支撑体系未形成,要通过临时支撑才能脱钩。又如压型钢板钢-混凝土复合楼板施工时,压型钢板的强度计算要考虑钢板、混凝土、施工荷载的设计值;压型钢板的变形计算只要考虑钢板、混凝土荷载的标准值(在混凝土凝固过程中,不允许其上表面加施工荷载);使用阶段计算复合楼板已形成整体,荷载也变成了使用时的荷载设计值;火灾等偶然荷载作用下,自重为标准值,活载可取频遇值,结构则不能计入压型板底部钢板受拉,因为钢板过火将失去强度。

所以要对施工过程做具体分析,抓住控制性工况,保证钢结构施工、使用全过程的安全。

1.4 钢结构的计算

1. 钢结构的计算

分为两种方法:一般承重结构的强度、稳定和变形计算采用以概率论为基础的极限状态设计法,用分项系数表达式计算;疲劳验算和对变形敏感的网壳稳定验算采用许用应力法(安全系数法)。这是因为后者极限状态的概念或概率统计还不完善。

2. 承重结构的验算

一般承重结构应按承载能力极限状态验算强度、稳定,按正常使用极限状态验算变形,其关系如图 1-1 所示。

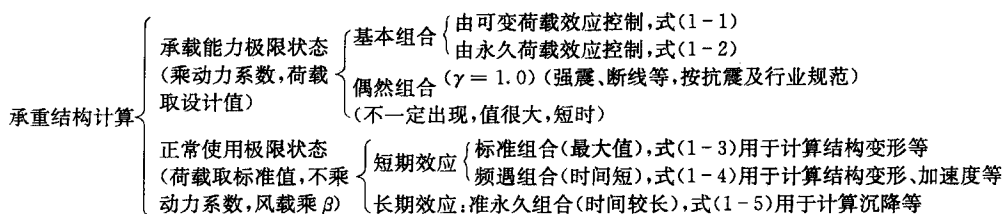


图 1-1 钢结构极限状态验算关系图

图 1-1 所对应的公式如图 1-2 所示。

$$\begin{aligned}
 (1-1) \quad & \gamma_0 (\gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} S_{Qik}) \leq R(\gamma_R, f_k, \alpha_k, \dots) \quad \text{可变荷载效应控制} \\
 (1-2) \quad & \gamma_0 (\gamma_G S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} S_{Qik}) \leq R(\gamma_R, f_k, \alpha_k, \dots) \quad \text{永久荷载效应控制} \\
 (1-3) \quad & S_{Gk} + S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} S_{Qik} \leq C \quad \text{标准组合} \\
 (1-4) \quad & S_{Gk} + \psi_{f1} S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{Qi} S_{Qik} \leq C \quad \text{频遇组合} \\
 (1-5) \quad & S_{Gk} + \sum_{i=2}^n \psi_{Qi} S_{Qik} \leq C \quad \text{准永久组合}
 \end{aligned}$$

(罕遇地震验算)偶然组合 $\gamma = 1.0$

基本组合 } 承载能力极限状态

短期效应 } 正常使用极限状态

长期效应 }

图 1-2 极限状态验算公式关系图

图 1-2 公式中 γ_0 ——结构重要性系数，按结构重要性为一、二、三级分别取 1.1, 1.0, 0.9，在抗震计算时为 1.0；

γ_G ——永久荷载分项系数，按表 1-3 选用；

γ_{Q1}, γ_{Qi} ——第 1 个、第 i 个可变荷载分项系数；

S_{Gk} ——按永久荷载标准值计算的结构效应函数；

ψ_{ci} ——可变荷载 Q_i 的组合值系数；

S_{Qik} ——按可变荷载标准值 Q_{ik} 计算的结构效应函数；

ψ_{Qi} ——准永久值系数；

R ——结构抗力函数；

f_k ——材料性能标准值；

α_k ——几何参数的标准值；

γ_R ——结构抗力分项系数；

C ——设计对变形、裂缝等规定的相应限值。

以上未加说明的参数可按现行《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)取值。

3. 结构效应

上述图 1-1 中公式左边为结构效应，较抽象、繁复。但实际上每一种具体的钢结构设计都有其控制性极限状态效应。如一般钢结构都不会由永久荷载效应控制，故式(1-2)在一般情况下可不计算。罕遇地震验算也是有一定范围限制的。正常使用极限状态的准永久组合及频遇组合效应对大多数工程也无需验算。所以在设计中首先需要关注的是式(1-1)和式(1-3)。而式(1-

表 1-3 永久荷载分项系数

荷载效应对结构有利与否	计算内容	γ_G
不利	由可变荷载控制	1.2
	由永久荷载控制	1.35
有利	一般结构计算	1
	倾覆，滑移	0.9

1)如 1.3 节所述有其丰富的变化,关键是不要缺漏控制性荷载与作用验算。而且对于结构的不同部分、不同内容,控制性荷载与作用也是不同的,这就需要在钢结构设计中有认真的态度和敏锐的判断力。

在按图 1-2 中公式左边计算结构效应时,还需要注意以下问题。

(1)常遇地震作用计算时 γ_0 恒为 1.0。水平地震作用、竖向地震作用以及活荷载作为等效质量的代表值均要按现行《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)确定。此时风的组合值系数为 0.2。

(2)罕遇地震计算属偶然作用,所有的荷载分项系数均为 1.0。

(3)正常使用极限状态的变形实为广义变形,可以是线位移(层顶水平位移)、角位移(层间位移角)、加速度(舒适度)、沉降(沉降差、绝对沉降)、甚至可以是构件的长细比(反映了刚度),等等。根据建筑结构的使用条件确定,并有不同的荷载代表值(标准值、频遇值、准永久值)与之对应。

4. 结构抗力及正常使用限值

图 1-2 中公式的右侧为结构抗力 R 或正常使用规定的限值 C ,需注意如下变化。

(1)钢结构的抗力尽管大多以强度形式出现,但实际上其内涵可以是强度,也可以是稳定。钢结构以强度出现的抗力,主要有以下几种特殊变化。

- ① 随钢材尺寸(厚度、直径)的不同,强度变化。
- ② 单角钢受力(存在偏心),整体按轴压稳定计算时,强度修正。
- ③ 单角钢单肢螺栓连接时,连接强度修正。
- ④ 地震作用时,强度的修正(考虑概率较小,强度提高)。

(2)正常使用极限状态下广义变形的限值可在现行《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)或其他相应规范中查找(常用规定在后续各章中叙述),但钢结构设计中有些特殊问题说明如下:

① 预拱问题:钢结构可以用预拱来抵消某些荷载(主要是恒载)引起的变形。但预拱的选择建议按以下方法区别对待:

- 楼面钢梁的预拱为恒载标准值引起的变形加 1/2 活载频遇值引起的变形。
- 屋面钢梁的预拱为恒载标准值引起的变形。
- 曲线形屋面钢梁,当结构对变形不敏感时(桁架、矢高与跨度之比较大的拱)不必预起拱。当结构对变形较为敏感时(矢高与跨度之比较小的拱),应该预起拱。
- 悬臂结构凡涉及使用或排水的均应予以起拱。曲线型悬臂结构屋面、雨篷按上一条处理。

② 当某些变形值限定之后,结构设计应将这些规定通报其他工种的设计人员,以期取得协调。比如:层间位移限值确定后,就应按此标准选择幕墙平面内变形的等级;建筑物两部分变形之差确定后,管道系统在通过这一变形缝时就应该有相应的措施;当屋面坡度很小时,板的弯曲变形不应造成局部积水。

1.5 结构体系

1.5.1 结构体系与使用要求

建筑的使用有多种空间要求,结构形式首先要满足建筑空间要求。如住宅建筑要求相对小跨度、小分隔、小高度多层重合空间,一般用梁柱组合而成的框架结构;办公建筑与住宅相仿,仅