

土建类“十二五”规划教材

钢结构设计

Gangjiegou Sheji

主 编 张振宁 席安明 徐运明

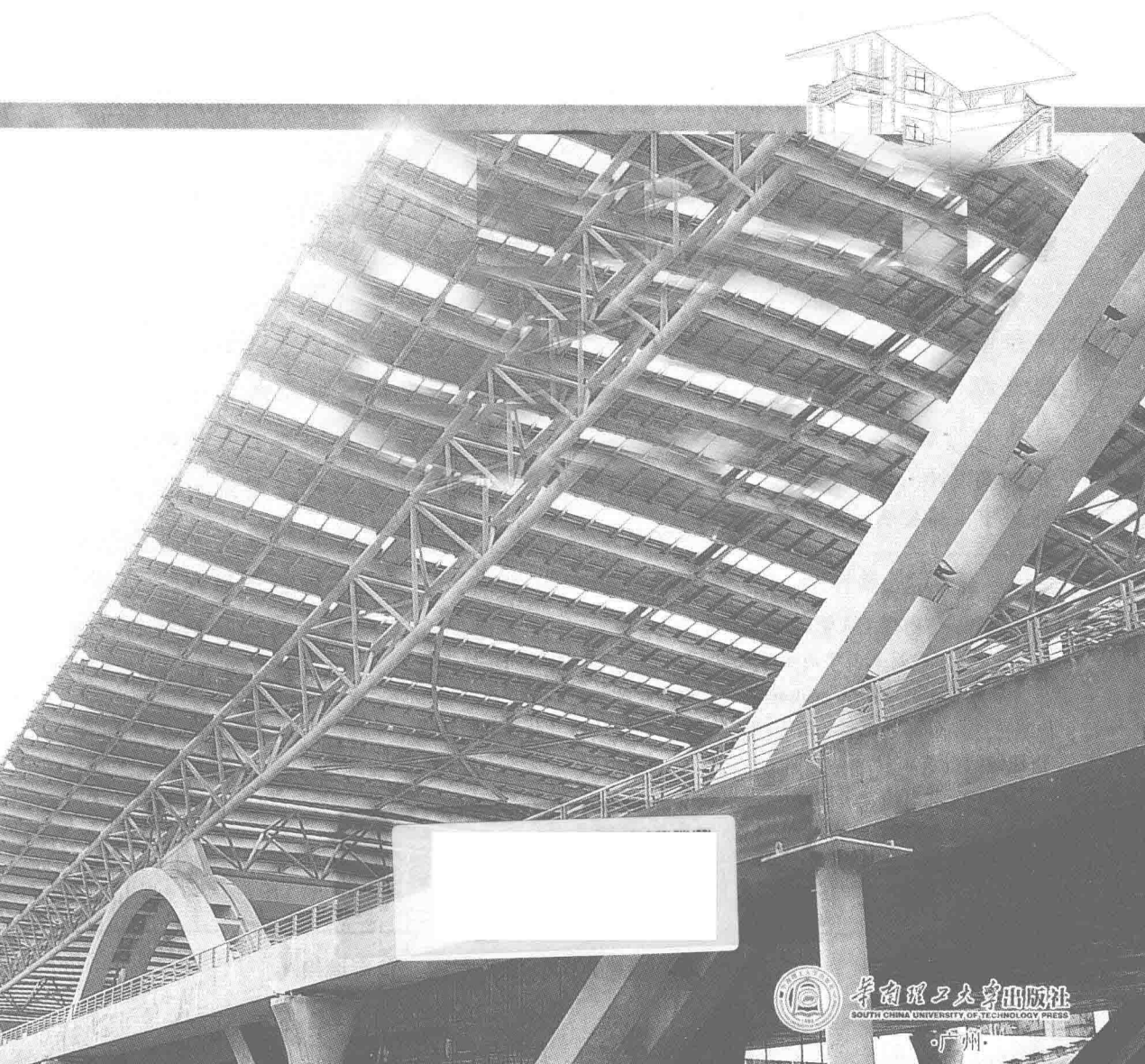


华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

土建类“十二五”规划教材

钢结构设计

主 编 张振宁 席安明 徐运明
副主编 李凤臣 李 平 滕尊莉 余海丰



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

广州

内容简介

本书是为适应土木工程及相关专业“钢结构设计”课程的教学,根据现行国家规范标准或新版规范标准的送审稿编写的。全书共分七章,内容依次为:单层房屋屋盖钢结构,单层工业厂房钢结构设计,门式刚架轻型房屋钢结构,平台钢结构,网架结构,多高层房屋钢结构设计,钢结构的设计、施工与验收。本书除了阐述各种类型钢结构建筑工程的结构设计方法、设计施工与验收要求之外,还精选了设计计算过程较为详细的典型工程设计实例作为例题,每章后面设计了一些思考题和练习题,供学生学习参考。

本书内容全面、实用性强,可作为高等院校土木工程本科专业及高等职业技术学院相关专业的专业课教材,也可作为注册结构工程师复习考试用书及钢结构技术工作者和土建施工人员的学习和参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

钢结构设计/张振宁,席安明,徐运明主编. —广州:华南理工大学出版社, 2015. 1
ISBN 978 - 7 - 5623 - 4419 - 3

I. ①钢… II. ①张… ②席… ③徐… III. ①钢结构 - 结构设计 - 高等学校 - 教材
IV. ①TU391. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 243388 号

钢结构设计

张振宁 席安明 徐运明 主编

出 版 人: 韩中伟

出版发行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

<http://www.scutpress.com.cn> E-mail: scutc13@scut.edu.cn

营销部电话: 020 - 87113487 87111048 (传真)

责任编辑: 黄冰莹

印 刷 者: 北京市龙展印刷厂

开 本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 20.5 插页: 2 字数: 531 千

版 次: 2015 年 1 月第 1 版 2015 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 45.00 元

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换

前 言

本书为普通高等教育土建类“十二五”规划教材之一，教材编写体系和内容主要依据现行国家规范、行业标准或新版国家规范、行业标准的送审稿内容编写。在本书的编写过程中，我们贯彻《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020）》的精神，针对应用型人才培养目标，同时根据国家注册结构工程师考试大纲的要求，结合编者丰富的工作实践经验，联袂编写了这本教材。

结构设计和施工人员应该熟悉和理解规范的相关规定，了解规范的变化，才能正确运用现行规范，才能提高业务素质，保证工程质量。作为钢结构设计教材，本书紧密联系相关的钢结构设计规范、规程，本书引用的规范和规程主要有 GB 50017—201X《钢结构设计规范》（送审稿）、GB 50011—2010《建筑抗震设计规范》、CECS 102：2002《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》（2012年版）等。学生在学习时，也应参照相关规范标准内容来进行学习，才能更好地掌握钢结构设计方法，才能保证学习效果。本教材深入浅出地阐述设计方法，增强条理和逻辑，并选用了较为丰富的图片和较多详尽的例题。

本书由陇东学院张振宁、湖南有色金属职业技术学院席安明和湖南城建职业技术学院徐运明任主编；东华理工大学李凤臣，陇东学院李平、滕尊莉和河北科技大学余海丰任副主编。编写分工如下：滕尊莉编写第1章，李平编写第2章，张振宁编写第3、第4、第7章，李凤臣编写第5、第6章。余海丰为本书提供大量的参考文件。全书由张振宁统稿。

本书在编写过程中，参考了一些优秀的著作和教材，特别是选用了一些插图和典型的例题，并得到了陇东学院著作基金的资助，在此表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，加之时间仓促，本书错误和不当之处在所难免，敬请读者批评指正！

编 者

2014年4月

目 录

第1章 单层房屋屋盖钢结构	1
1.1 屋盖结构布置和屋面材料	1
1.1.1 屋盖结构的组成	1
1.1.2 屋盖结构布置	1
1.1.3 屋面材料的种类和应用	2
1.2 檩条	3
1.2.1 檩条的截面形式	3
1.2.2 檩条荷载和内力分析	4
1.2.3 檩条的截面选择	5
1.2.4 檩条布置、连接与构造	8
1.3 屋盖支撑	10
1.3.1 屋盖支撑的种类和作用	10
1.3.2 布置要求	10
1.3.3 支撑的计算和构造	13
1.4 屋架	14
1.4.1 屋架的形式和主要尺寸	14
1.4.2 荷载计算	15
1.4.3 屋架内力计算	16
1.4.4 杆件的截面设计	18
1.4.5 节点设计	23
1.4.6 屋架施工图	46
思考题	47
习题	47
第2章 单层工业厂房钢结构设计	48
2.1 结构形式和布置	48
2.1.1 厂房的结构形式与组成	48
2.1.2 柱网布置和计算单元	49
2.2 横向框架形式及计算尺寸	51
2.2.1 横向框架形式	51
2.2.2 横向框架的计算尺寸	52
2.3 厂房横向框架的计算	52
2.3.1 计算简图	52

2.3.2	荷载	53
2.3.3	内力分析和内力组合	54
2.4	框架柱的类型及设计特点	55
2.4.1	框架柱的类型	55
2.4.2	框架柱的设计	56
2.5	柱间支撑	58
2.5.1	柱间支撑的作用	58
2.5.2	柱间支撑的布置	59
2.5.3	柱间支撑的形式	59
2.5.4	柱间支撑的设计计算	60
	思考题	65
第3章	门式刚架轻型房屋钢结构	66
3.1	概述	66
3.2	门式刚架轻型房屋钢结构的特点及适用范围	67
3.2.1	门式刚架轻型房屋钢结构的特点	67
3.2.2	适用范围	69
3.3	结构形式及结构布置	69
3.3.1	结构形式	69
3.3.2	建筑尺寸	70
3.3.3	结构布置	71
3.3.4	支撑和刚性系杆的布置	72
3.3.5	墙梁布置	73
3.4	门式刚架设计原则、荷载及作用效应计算	74
3.4.1	设计原则	74
3.4.2	门式刚架结构荷载	76
3.4.3	荷载效应组合	78
3.4.4	内力和侧移计算	79
3.5	构件截面设计	82
3.5.1	梁、柱板件的宽厚比限值和腹板屈曲后强度利用	82
3.5.2	刚架梁、柱构件的强度计算	84
3.5.3	梁腹板加劲肋的配置	85
3.5.4	变截面柱在刚架平面内的整体稳定计算	86
3.5.5	变截面柱在刚架平面内的计算长度	86
3.5.6	变截面柱在刚架平面外的整体稳定计算	91
3.5.7	斜梁和隅撑的设计	92
3.6	节点设计	93
3.6.1	斜梁与柱的连接及斜梁拼接	94
3.6.2	柱脚	96

3.6.3 牛腿	97
3.6.4 摇摆柱与斜梁的连接构造	97
3.7 压型钢板设计	98
3.7.1 压型钢板的材料和截面形式	98
3.7.2 压型钢板的截面几何特性	99
3.7.3 压型钢板的荷载和荷载组合	100
3.7.4 薄壁构件的板件有效宽度	101
3.7.5 压型钢板的强度和挠度计算	101
3.7.6 压型钢板的构造规定	102
3.8 檩条、墙梁及支撑设计	103
3.8.1 檩条设计	103
3.8.2 墙梁、支撑设计	104
3.9 门式刚架轻型钢结构工程设计实例	104
3.9.1 工程概况及设计资料	104
3.9.2 结构形式及布置	105
3.9.3 初选截面	107
3.9.4 荷载	107
3.9.5 荷载组合	109
3.9.6 内力分析及位移计算	109
3.9.7 构件验算	112
3.9.8 节点验算	118
3.9.9 吊车梁设计	125
思考题	129
习题	130
第4章 平台钢结构	132
4.1 概述	132
4.1.1 平台钢结构的应用范围及特点	132
4.1.2 平台钢结构布置的一般要求	132
4.1.3 平台钢结构的设计计算的主要内容	133
4.2 平台铺板设计	135
4.2.1 平台铺板的形式与一般要求	135
4.2.2 平台铺板的计算	137
4.3 平台梁设计	140
4.3.1 平台梁的类型与截面形式	140
4.3.2 平台梁的设计	141
4.4 平台柱设计	148
4.4.1 平台柱的柱网布置与一般要求	148
4.4.2 实腹式柱设计	150

4.4.3	格构式柱设计	153
4.4.4	柱脚设计	158
4.5	柱间支撑设计	170
4.5.1	平台柱间支撑布置与形式	170
4.5.2	平台柱间支撑的内力计算	172
4.5.3	平台柱间支撑杆件的截面设计	173
4.5.4	柱间支撑连接设计	174
4.6	钢梯和栏杆设计	175
4.6.1	钢梯的形式和构造	175
4.6.2	平台栏杆	177
4.7	平台结构连接节点	178
4.7.1	板与梁的连接	178
4.7.2	次梁与立梁的连接	178
4.7.3	梁与柱的连接	180
4.8	平台结构设计实例	183
4.8.1	设计资料	183
4.8.2	结构布置方案及结构布置形式	183
4.8.3	平台铺板设计	184
4.8.4	平台次梁设计	186
4.8.5	平台主梁设计	187
4.8.6	平台柱设计	194
	思考题	197
	习题	197
第5章	网架结构	199
5.1	网架结构概述	199
5.1.1	网架结构的定义及其特点	199
5.1.2	网架的形式与分类	199
5.1.3	网架结构的选型	206
5.1.4	网架结构的构造设计	209
5.2	网架结构的荷载和作用	209
5.2.1	荷载作用和类型	209
5.2.2	荷载效应组合	212
5.3	网架结构的设计和计算	212
5.3.1	网架的计算模型和分析方法	212
5.3.2	空间桁架位移法	213
5.4	网架结构的杆件设计和节点构造	221
5.4.1	网架结构的杆件设计	221
5.4.2	网架节点设计	222

思考题	237
习题	237
第6章 多、高层房屋钢结构设计	238
6.1 结构体系和布置	238
6.1.1 结构体系及选型	238
6.1.2 结构平面布置	246
6.1.3 结构竖向布置	248
6.1.4 楼盖布置原则和方案	250
6.2 荷载与作用	254
6.2.1 竖向荷载	254
6.2.2 风荷载	254
6.2.3 地震作用	255
6.3 作用效应计算	260
6.3.1 计算模型的建立	260
6.3.2 静力计算	261
6.3.3 地震作用效应验算	263
6.3.4 作用效应组合	265
6.3.5 构件验算	266
6.4 压型钢板组合楼盖设计	268
6.4.1 组合楼板构造要求	268
6.4.2 压型钢板组合楼板的设计	270
6.4.3 组合梁的设计	272
6.5 框架柱和节点设计	273
6.5.1 框架柱的设计	273
6.5.2 节点设计	275
6.6 支撑设计	277
6.6.1 中心支撑	277
6.6.2 偏心支撑	279
思考题	283
第7章 钢结构的设计、施工与验收	284
7.1 钢结构的设计	284
7.1.1 钢结构的设计依据	284
7.1.2 钢结构的设计阶段与成果	290
7.2 钢结构的施工	293
7.2.1 钢结构施工前准备工作	293
7.2.2 钢结构制作	294
7.2.3 钢结构的安装	308

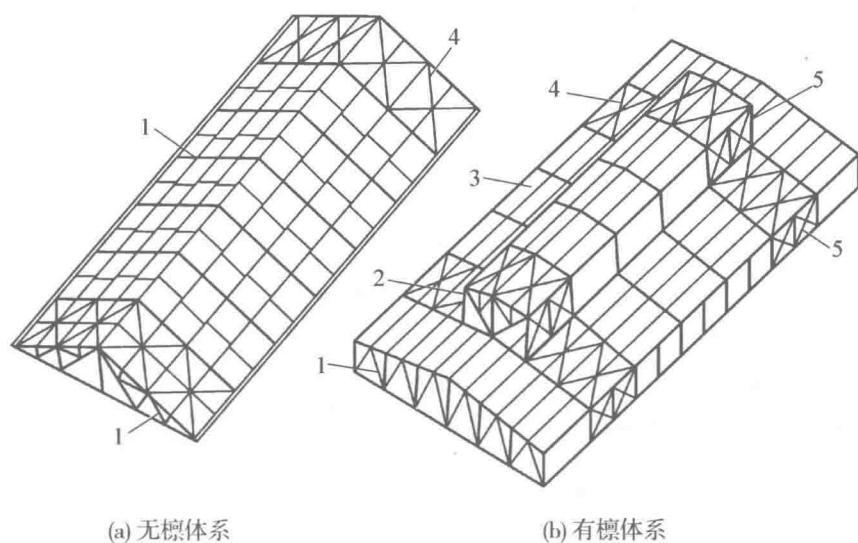
7.2.4 钢结构的防护	312
7.3 钢结构的验收	314
7.3.1 检验批的验收	314
7.3.2 分项工程的验收	315
7.3.3 分部（子分部）工程的竣工验收	315
思考题.....	316
参考文献.....	317

第1章 单层房屋屋盖钢结构

1.1 屋盖结构布置和屋面材料

1.1.1 屋盖结构的组成

钢屋盖结构通常由屋架、天窗架、托架、屋面板、檩条以及各种支撑构件等组成，如图 1.1.1 所示。



1—屋架；2—天窗架；3—檩条；4—屋面水平支撑；5—垂直支撑

图 1.1.1 钢屋盖结构

1.1.2 屋盖结构布置

(1) 屋盖结构。

在工业与民用房屋建筑中，当跨度较大时采用梁作屋盖的承重结构不经济，这时可采用桁架作为屋盖承重结构，即屋架。根据屋面材料和屋面结构布置情况的不同，可分为屋架—大型屋面板结构体系（图 1.1.1a），亦可采用钢屋架—檩条—轻型屋面板结构体系（图 1.1.1b）。

(2) 天窗架形式。

在工业厂房中，当屋架跨度较大时，为了满足采光和通风等要求，常需在屋盖上设置天窗。天窗的形式有纵向天窗、横向天窗和井式天窗三种。后两种天窗的构造较为复杂，较少采用。最常用的天窗架形式如图 1.1.2 所示，并沿房屋纵向如图 1.1.1b 所示在屋架上设置天窗架，此时屋面布置的檩条和屋面板应由屋架上弦平面移到天窗架上弦平面，且在天窗架侧柱部分设置采光窗。天窗架支承于屋架上，将荷载传递到屋架。

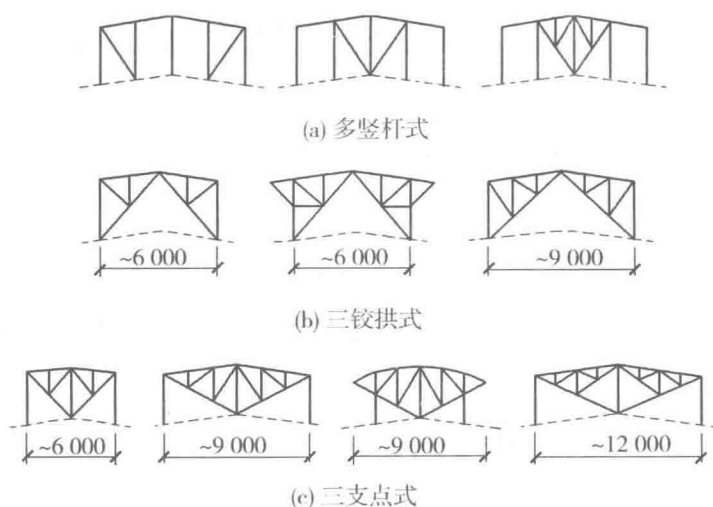


图 1.1.2 天窗架形式

(3) 托架形式。

在工业厂房设计中，由于工艺要求或其他原因，有时需要将柱距局部加大而需局部少放一根或几根柱。这时该处的屋架就需支承在专门设置的托架上(图 1.1.3)。托架两端支承于相邻的柱上，中间屋架的荷载通过托架传给柱，跨中承受中间屋架的反力。钢托架一般做成平行弦桁架，其跨度一般不大，但所受荷载较重。钢托架通常做在与屋架大致同高度的范围内，中间屋架从侧面连接于托架的竖杆，构造方便且屋架和托架的整体性、水平刚度和稳定性都好。

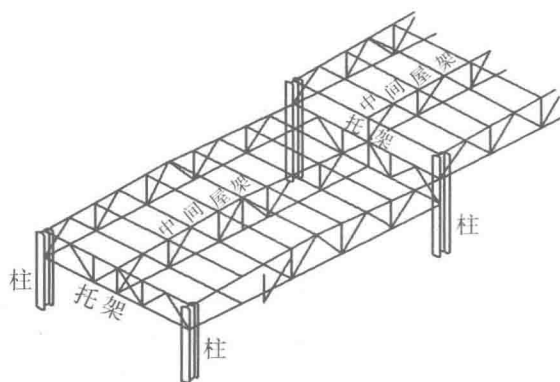


图 1.1.3 托架支承中间屋架

1.1.3 屋面材料的种类和应用

(1) 无檩屋盖结构体系。

无檩屋盖结构体系中，屋面板通常采用钢筋混凝土大型屋面板、钢筋加气混凝土板等。屋架的间距应与屋面板的长度配合一致，取 6 m。这种屋面板上一般采用卷材防水屋

面,适用于较小屋面坡度,常用坡度为 $1:8\sim 1:12$,因此常采用梯形屋架作为主要承重构件。

无檩体系屋盖屋面构件的种类和数量少,构造简单,安装方便,施工速度快,且屋盖刚度大,整体性能好。但屋面自重大,常要增大屋架杆件和下部结构的截面,对抗震也不利。

(2) 有檩屋盖结构体系。

有檩屋盖结构体系常用于轻型屋面材料的情况。如压型钢板、压型铝合金板、石棉瓦、瓦楞铁皮等。屋架间距通常为 6 m 。当柱距大于或等于 12 m 时,则用托架支承中间屋架,一般适用于较陡的屋面坡度以便排水,常用坡度为 $1:2\sim 1:3$,因此常采用三角形屋架作为主要承重构件。当采用较好的防水措施用压型钢板做屋面时,屋面坡度也可做到 $1:12$ 或更小,此时也可用H形钢梁作为主要承重构件。

有檩体系屋盖可供选用的屋面材料种类较多,屋架间距和屋面布置较灵活,自重轻,用料省,运输和安装较轻便。但构件的种类和数量多,构造较复杂。在选用屋盖结构体系时,应全面考虑房屋的使用要求、受力特点、材料供应情况以及施工和运输条件等,以确定最佳方案。

1.2 檩条

1.2.1 檩条的截面形式

檩条的截面形式可分为实腹式和格构式两大类。由于格构式檩条的构造和支座相对复杂,因此制造费工,且侧向刚度较低。当檩条跨度不超过 9 m 时,应优先选用实腹式檩条。

图1.2.1a、b为普通热轧槽钢或轻型热轧型钢截面,因板件较厚,用钢量较大,只适用于檩条跨度较大的场合工程中。H形钢截面的檩条与刚架斜梁的连接构造比较复杂。图1.2.1c、d、e是冷弯薄壁型钢截面,在工程中的应用都很普遍。卷边槽钢(亦称C形钢)檩条适用于屋面坡度 $i\leq \frac{1}{3}$ 的情况,直卷边和斜卷边Z形檩条适用于屋面坡度 $i>\frac{1}{3}$ 的情况。斜卷边Z形钢存放时可叠层堆放,占地少。做成连续梁檩条时,构造上也很简单。

格构式檩条的截面形式有下撑式、平面桁架式和空腹式等。当屋面荷载较大或檩条跨度大于 9 m 时,宜选用格构式檩条。

本节只介绍冷弯薄壁型钢实腹式檩条的设计内容,格构式檩条的设计内容可参见有关

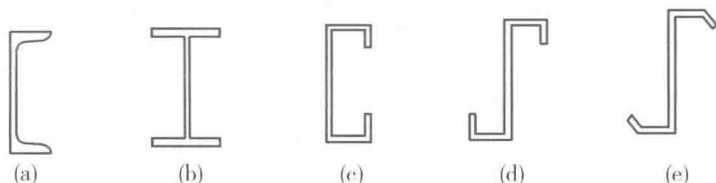


图1.2.1 实腹式檩条的截面形式

设计手册。

1.2.2 檩条荷载和内力分析

(1) 檩条的荷载。

① 永久荷载。

永久荷载包括屋面材料重量(包括压型钢板、防水、保温、隔热层等)、支撑和檩条、附加荷载(悬挂于檩条上附属构件)自重。

② 可变荷载。

可变荷载包括屋面均布活荷载、屋面雪荷载、积灰荷载和风荷载、施工及检修荷载,其中施工检修集中荷载标准值不应小于 1.0 kN。对轻型屋面,檩条设计的风荷载要考虑向上的吸力和向下的风压力两种情况。

(2) 檩条的荷载组合。

计算檩条的内力时,主要应考虑荷载组合有:

- ① $1.2 \times \text{永久荷载} + 1.4 \times \{ \max(\text{不上人屋面均布活荷载, 雪荷载}) + \text{积灰荷载} \}$;
- ② $1.2 \times \text{永久荷载} + 1.4 \times \text{施工检修集中荷载}$;
- ③ $1.0 \times \text{永久荷载} + 1.4 \times \text{风吸力荷载}$;
- ④ 当需要考虑地震作用时,风荷载不与地震作用同时考虑。

(3) 檩条的内力分析。

实腹式檩条由于腹板与屋面垂直放置,故在垂直于地面的屋面荷载 q 作用下将绕截面的两个主轴弯曲,而按双向受弯构件计算。在进行内力分析时,将均布荷载 q 分解为沿截面形心主轴方向的荷载分量 q_x 和 q_y ,如图 1.2.2 所示:

$$q_x = q \sin \alpha_0$$

$$q_y = q \cos \alpha_0$$

式中, α_0 为竖向均布荷载设计值 q 和形心主轴 y 轴的夹角。

由图可见,在屋面坡度不大的情况下,卷边 Z 形钢的 q_x 指向上方(屋脊),而卷边槽钢和 H 型钢的 q_x 总是指向下方(屋檐)。

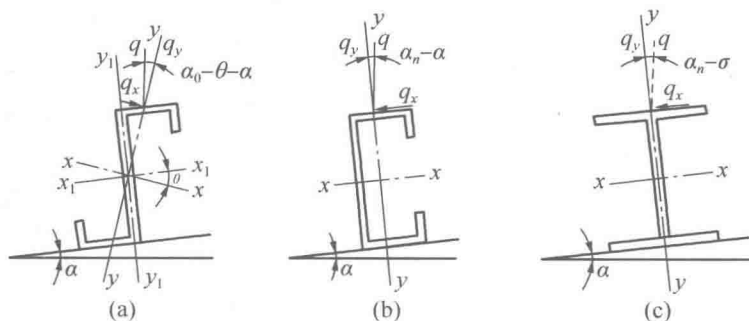


图 1.2.2 实腹式檩条截面的主轴和荷载

对设有拉条的简支檩条(和墙梁),由 q_x 、 q_y 分别引起的 M_x 和 M_y 按表 1.2.1 计算。

表 1.2.1 承受双向弯曲的檩条的计算弯矩

拉条设置情况	由 q_x 产生的内力		由 q_y 产生的内力	
	$M_{y\max}$	$V_{y\max}$	$M_{x\max}$	$V_{x\max}$
无拉条	$\frac{1}{8}q_x l^2$	$0.5q_x l$	$\frac{1}{8}q_y l^2$	$0.5q_y l$
跨中一道拉条	拉条处负弯矩 $\frac{1}{32}q_x l^2$ 拉条与支座间正弯矩 $\frac{1}{64}q_x l^2$	$0.625q_x l$	$\frac{1}{8}q_y l^2$	$0.5q_y l$
三分点处各有一道拉条	拉条处负弯矩 $\frac{1}{90}q_x l^2$ 拉条与支座间正弯矩 $\frac{1}{360}q_x l^2$	$0.367q_x l$	$\frac{1}{8}q_y l^2$	$0.5q_y l$

1.2.3 檩条的截面选择

(1) 强度。

屋面能起到阻止檩条侧向失稳和扭转作用的实腹式檩条，如檩条之间设有拉条，按下列公式计算强度确定其截面：

$$\frac{M_x}{W_{\text{enx}}} + \frac{M_y}{W_{\text{eny}}} \leq f \quad (1.2.1)$$

式中 M_x, M_y ——檩条刚度最大面(绕 x 轴)、刚度最小面(绕 y 轴)的弯矩；

$W_{\text{enx}}, W_{\text{eny}}$ ——檩条刚度最大面(绕 x 轴)、刚度最小面(绕 y 轴)的有效净截面抵抗矩；

f ——钢材的抗弯强度设计值。

(2) 整体稳定。

当檩条之间未设置拉条且屋面材料刚性较差(如石棉瓦和用挂钩螺栓固定的压型钢板等)，在构造上不能阻止檩条受压翼缘侧向位移时或虽有刚性较好的屋面，但屋面较轻，在风吸力下可能使下翼缘受压时，应按整体稳定性确定截面。

$$\sigma = \frac{M_x}{\varphi_{\text{bx}} W_{\text{ex}}} + \frac{M_y}{W_{\text{ey}}} \leq f \quad (1.2.2)$$

式中 $W_{\text{ex}}, W_{\text{ey}}$ ——檩条刚度最大面(绕 x 轴)、刚度最小面(绕 y 轴)的有效截面模量；

φ_{bx} ——受弯构件绕强轴的整体稳定性系数，按 GB 50018—2002《冷弯薄壁型钢结构技术规范》的规定确定。

$$\varphi_{\text{bx}} = \frac{4320Ah}{\lambda_y^2 W_x} \xi_1 (\sqrt{(\eta^2 + \xi)} + \eta) \left(\frac{235}{f_y} \right) \quad (1.2.3)$$

$$\eta = 2\xi_2 e_a / h \tag{1.2.4}$$

$$\xi = \frac{4I_w}{h^2 I_y} + \frac{0.156 I_t}{I_y} \left(\frac{l_0}{h} \right)^2 \tag{1.2.5}$$

式中 λ_y ——梁在弯矩作用平面外的长细比；
 A ——毛截面面积；
 h ——截面高度；
 l_0 ——梁的侧向计算长度， $l_0 = \mu_b l$ ；
 μ_b ——梁的侧向计算长度系数，按表 1.2.2 采用；
 l ——梁的跨度；
 ξ_1, ξ_2 ——系数，按表 1.2.2 采用；
 e_a ——横向荷载作用点到弯心的垂直距离：对于偏心压杆或当横向荷载作用在弯心时 $e_a = 0$ ；当荷载不作用在弯心且荷载方向指向弯心时， e_a 为负；离开弯心时 e_a 为正；
 W_x ——对 z 轴的受压边缘毛截面截面模量；
 I_w ——毛截面扇形惯性矩；
 I_y ——对 y 轴的毛截面惯性矩；
 I_t ——扭转惯性矩。

如按上列公式算得 φ_{bx} 大于 0.7，则应以 φ'_{bx} 值代替 φ_{bx} ， φ'_{bx} 值应按下式计算：

$$\varphi'_{bx} = 1.091 - \frac{0.274}{\varphi_{bx}}$$

表 1.2.2 简支檩条的 ξ_1 、 ξ_2 和 μ_b 系数

系 数	跨间无拉条	跨中一道拉条	三分点两道拉条
μ_b	1.0	0.5	0.33
ξ_1	1.13	1.35	1.37
ξ_2	0.46	0.14	0.06

式(1.2.1)和式(1.2.2)中截面模量都取有效截面，其值应按 GB50018—2002《冷弯薄壁型钢结构技术规范》规定计算。但檩条为双向受弯构件翼缘正应力非均匀分布，确定有效宽度的计算较复杂，对于和屋面板牢固连接并承受重力荷载的卷边 C 形钢、Z 形钢檩条，经分析得出翼缘全部有效的范围如下，当 $h/b \leq 3.0$ 时，

$$b/t \leq 31 \sqrt{205/f_y},$$

当 $3.0 < h/b \leq 3.3$ 时，

$$b/t \leq 28.5 \sqrt{205/f_y},$$

式中 h, b, t ——檩条截面高度、翼缘宽度和板件厚度。

(3)刚度。

设置拉条时，只须计算垂直于屋面方向的最大挠度。未设拉条时需计算总挠度。计算挠度时，荷载应取其标准值。

单跨简支檩条(当有拉条时)：

$$v = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_y l^4}{EI_x} \leq [v] \quad (1.2.6)$$

当不设拉条时,应分别计算沿两个主轴方向的分挠度 v_x, v_y , 然后验算总挠度,即

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \leq [v] \quad (1.2.7)$$

式中 I_x ——截面对垂直于腹板的主轴的惯性矩;

v_x, v_y ——由 q_x 和 q_y 引起的沿 x, y 两主轴方向的挠度;

$[v]$ ——容许挠度。

【例 1.2.1】某普通钢屋架单跨简支檩条,跨度为 6 m,檩条坡向间距为 0.798 m,跨中设一道拉条。屋面水平投影面上,屋面材料自重标准值和屋面可变荷载标准值分别为 0.5 kN/m^2 和 0.45 kN/m^2 ,屋面坡度 $i = 1/2.5$ 。钢材采用 Q235,檩条容许挠度 $[v] = l/150$,采用热轧普通槽钢檩条,试选用其截面。

解:参照已有资料,初选 10 热轧普通槽钢檩条,由槽钢规格及截面特性表可查得自重标准值 0.098 kN/m , $W_x = 39.7 \text{ cm}^3$, $W_y = 7.8 \text{ cm}^3$, $I_x = 198.3 \text{ cm}^4$ 。

① 荷载与内力计算。

$$\text{屋面倾角} \quad \alpha = \arctan\left(\frac{1}{2.5}\right) = 21.8^\circ$$

$$\text{屋面自重} \quad q_{\text{GK}} = 0.5 \times 0.798 \cos \alpha = 0.370 (\text{kN/m})$$

$$\text{可变荷载} \quad q_{\text{QK}} = 0.45 \times 0.798 \cos \alpha = 0.333 (\text{kN/m})$$

$$\text{屋面设计荷载} \quad q = 1.2(0.370 + 0.098) + 1.4 \times 0.333 = 1.03 (\text{kN/m})$$

$$q_x = q \sin \alpha = 1.03 \sin 21.8^\circ = 0.383 (\text{kN/m})$$

$$q_y = q \cos \alpha = 1.03 \cos 21.8^\circ = 0.956 (\text{kN/m})$$

由 q_y 和 q_x 引起的弯矩 M_x 和 M_y (图 1.2.3) 分别为:

$$M_x = \frac{1}{8} q_y l^2 = \frac{1}{8} \times 0.956 \times 6^2 = 4.30 (\text{kN} \cdot \text{m}) \text{ (正弯矩)}$$

$$M_y = \frac{1}{8} q_x l^2 = \frac{1}{32} q_x l^2 = \frac{1}{32} \times 0.383 \times 6^2 = 0.43 (\text{kN} \cdot \text{m}) \text{ (负弯矩)}$$

② 截面验算。

因设置拉条,可不计算整体稳定。

抗弯强度:

钢材采用 Q235, $f = 215 \text{ N/mm}^2$ 。

由于跨中截面 M_x, M_y 都最大,故该截面上的 a 点应力最大(图 1.2.3),为拉应力。

$$\sigma_a = \frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}} + \frac{M_y}{\gamma_y W_{ny}} = \frac{4.30 \times 10^6}{1.05 \times 39.7 \times 10^3} + \frac{0.43 \times 10^6}{1.20 \times 7.8 \times 10^3} = 149.1 (\text{N/mm}^2) < 215 \text{ N/mm}^2$$

③ 刚度验算。

屋面线荷载的标准值为 $q_k = 0.37 + 0.098 + 0.333 = 0.801 (\text{kN/m}) = 0.801 (\text{N/mm})$,檩条在垂直于屋面方向的最大挠度为:

$$\begin{aligned} v &= \frac{5}{384} \cdot \frac{q_k l^4}{EI_x} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_k \cos \alpha \cdot l^4}{EI_x} = \frac{5 \times 0.801 \cos 21.8^\circ \times (6 \times 10^3)^4}{384 \times 2.06 \times 10^5 \times 198.3 \times 10^4} \\ &= 30.7 \text{ mm} < [v] = \frac{l}{150} = \frac{6000}{150} = 40 (\text{mm}) \end{aligned}$$