



全国高等院校土木工程类系列教材

# 钢结构设计

王志骞 主编



科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

# 钢结构设计

王志骞 主编

北京人民教育出版社

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书是土木工程专业的专业课教材, 主要内容包括屋盖结构设计、单层工业厂房结构设计和多高层结构设计。本书编写以最新《钢结构设计规范》(GB50017—2003)、《冷弯薄壁型钢技术规范》(GB50018—2002)、《高层民用建筑钢结构技术规程》(JGJ99—98) 及其他相关规范、规程为依据, 理论联系实际, 便于初学者掌握和使用。

本书可作为高等院校土木工程专业教学用书, 也可供工程设计和施工人员参考。

### 图书在版编目(CIP) 数据

钢结构设计/ 王志骞主编. —北京: 科学出版社, 2009  
ISBN 978-7-03-024415-4

I. 钢… II. 王… III. 钢结构-结构设计 IV. TU391.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 057468 号

责任编辑: 童安齐 陈 迅 / 责任校对: 耿 耘  
责任印制: 吕春珉 / 封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号  
邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2009年5月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2009年5月第一次印刷 印张: 11 1/4

印数: 1—3000 字数: 260 000

定价: 18.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换<新蕾>)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137026 (BA08)

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

全国高等院校土木工程类系列教材  
编委会

主 任 白国良

副 主 任(以姓氏笔画为序)

马建勋 刘伯权 何明胜 邵生俊 陈宗平  
杨 勇 童安齐

秘 书 长 贾风云

副 秘 书 长 任加林 陈 迅

委 员(以姓氏笔画为序)

马 斌 马建勋 王士川 王志骞 王泽军  
史庆轩 白国良 冯志焱 任加林 刘伯权  
苏明周 杜高潮 李 进 李青宁 李建峰  
李惠民 余梁蜀 何明胜 何廷树 邵生俊  
张 荫 张 倩 张志政 陈 迅 陈宗平  
杨 勇 赵 平 赵树德 赵鸿铁 姚继涛  
贾风云 徐 雷 袁伟宁 郭成喜 梁兴文  
韩晓雷 童安齐 曾 珂 廖红建 熊仲明  
薛建阳

## 前 言

随着国民经济的发展,钢结构在土木工程中的应用越来越广泛,设计理论也得到很大的发展和提高。本书是《钢结构设计原理》的后续课程,是钢结构设计理论的应用和扩展。笔者在编写过程中按照土木工程专业教学大纲的要求,贯彻理论联系实际的原则,以最新《钢结构设计规范》(GB50017—2003)、《冷弯薄壁型钢技术规范》(GB50018—2002)、《建筑结构荷载规范》(GB50009—2001)、《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001)和《高层民用建筑钢结构技术规程》(JGJ99—98)为依据,以最新科研成果更新教材内容,满足人才培养和实际工程设计的需要。

本书第1章屋盖结构设计,内容包括屋盖结构的组成和布置原则,檩条、普通钢屋架、轻型钢屋架、钢管屋架、网架结构和网壳结构的设计方法。其中介绍的钢管屋架设计是近年来最新科研成果的总结。

本书第2章单层工业厂房结构设计,内容包括重型工业厂房设计和轻型刚架结构设计。轻型刚架结构是近年发展最快,应用最广的结构形式,也是新技术含量较高的结构形式。

本书第3章多高层钢结构设计,内容包括以框架结构为主介绍了结构体系和布置原则,压型钢板组合楼盖、框架柱、节点和支撑设计方法。其中包含了多高层结构抗震的概念和内容。

为方便初学者理解、掌握设计原理和方法,每章末都有一些设计例题和思考题以供学习参考。

全书由王志骞统稿,参加本书编写的人员有:李自超和屈讼昭完成了各章例题的计算和书中部分插图的绘制;宋竞梅、王丰协助整理了部分书稿,一并在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在不妥之处,敬请读者批评指正。

作者

2008年12月

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 屋盖结构设计</b> .....	1
1.1 平面屋盖结构布置 .....	1
1.1.1 平面屋盖结构组成和分类 .....	1
1.1.2 平面屋盖结构支撑体系 .....	2
1.2 檩条设计 .....	5
1.2.1 实腹式檩条 .....	5
1.2.2 桁架式檩条 .....	7
1.2.3 檩条的拉条设计 .....	9
1.3 普通钢屋架设计.....	10
1.3.1 屋架形式选择 .....	10
1.3.2 屋架杆件设计 .....	12
1.3.3 屋架节点设计 .....	16
1.3.4 普通钢屋架设计实例 .....	24
1.4 轻型钢屋架设计.....	36
1.4.1 轻型钢屋架形式 .....	36
1.4.2 轻型钢屋架的计算与构造.....	37
1.5 钢管屋架设计.....	40
1.5.1 钢管屋架形式与构造 .....	40
1.5.2 钢管节点强度计算 .....	42
1.6 网架结构.....	47
1.6.1 网架结构的几何不变性分析 .....	48
1.6.2 双层网架的常用形式选择.....	48
1.6.3 网架作用效应计算 .....	53
1.6.4 节点设计.....	55
1.7 网壳结构.....	67
1.7.1 壳结构形式 .....	67
1.7.2 网壳结构的构造 .....	68
1.7.3 网壳结构计算 .....	69
1.7.4 网壳结构杆件及节点设计.....	70
复习思考题 .....	71
<b>第 2 章 单层工业厂房结构设计</b> .....	72
2.1 结构形式和布置.....	72



2.1.1	厂房的结构形式	72
2.1.2	厂房的结构布置	72
2.2	荷载与作用效应计算	78
2.2.1	荷载计算	78
2.2.2	刚架内力计算	78
2.2.3	荷载效应组合原则	79
2.3	阶形柱设计	80
2.3.1	阶形柱的计算长度	80
2.3.2	阶形柱上下柱的连接	81
2.4	吊车梁设计	82
2.4.1	吊车梁承受的荷载	82
2.4.2	吊车梁的形式	83
2.4.3	吊车梁的计算	83
2.4.4	吊车梁的构造设计	85
2.5	刚架结构设计	94
2.5.1	刚架的特点及应用范围	94
2.5.2	刚架结构形式与布置	95
2.5.3	刚架计算	97
2.5.4	刚架的节点设计	101
复习思考题		104
<b>第3章</b>	<b>多高层结构设计</b>	<b>105</b>
3.1	结构体系和布置	105
3.1.1	结构体系及选型	105
3.1.2	结构平面布置	106
3.1.3	结构竖向布置	107
3.1.4	楼盖布置原则和方案	109
3.2	荷载与作用	110
3.2.1	竖向荷载	110
3.2.2	风荷载	111
3.2.3	地震作用	112
3.3	作用效应计算	116
3.3.1	计算模型的建立	116
3.3.2	静力计算	117
3.3.3	地震作用效应验算	119
3.3.4	作用效应组合	120
3.3.5	构件验算	121
3.4	压型钢板组合楼盖设计	123
3.4.1	组合楼板构造要求	124

---

3.4.2 压型钢板组合楼板的设计 .....	125
3.4.3 组合梁的设计 .....	128
3.5 框架柱和节点设计 .....	133
3.5.1 框架柱的设计 .....	133
3.5.2 节点设计 .....	135
3.6 支撑设计 .....	139
3.6.1 中心支撑 .....	139
3.6.2 偏心支撑 .....	141
复习思考题 .....	146
附录 A 截面特性 .....	147
附录 B 计算参数 .....	163
主要参考文献 .....	167



# 第 1 章 屋盖结构设计

钢结构屋盖根据几何形状、组成方式和受力特点可分为平面屋盖结构体系和空间屋盖结构体系。平面屋盖结构体系由屋面板、檩条、屋架、托架、天窗架和支撑等构件组成，主要用于冶金、机械等工业厂房建筑；空间屋盖结构体系包括网架结构、网壳结构和悬索结构等，常常用于大型公共建筑和体育建筑。

## 1.1 平面屋盖结构布置

### 1.1.1 平面屋盖结构组成和分类

在平面屋盖结构体系中，屋架支承于柱或托架，承受屋面板或檩条传来的荷载。当屋架跨度较大时，为了采光和通风需要，屋盖上常设置天窗。支撑系统用于增强屋架的侧向刚度，传递水平荷载和保证屋盖体系的整体稳定(图 1.1)。

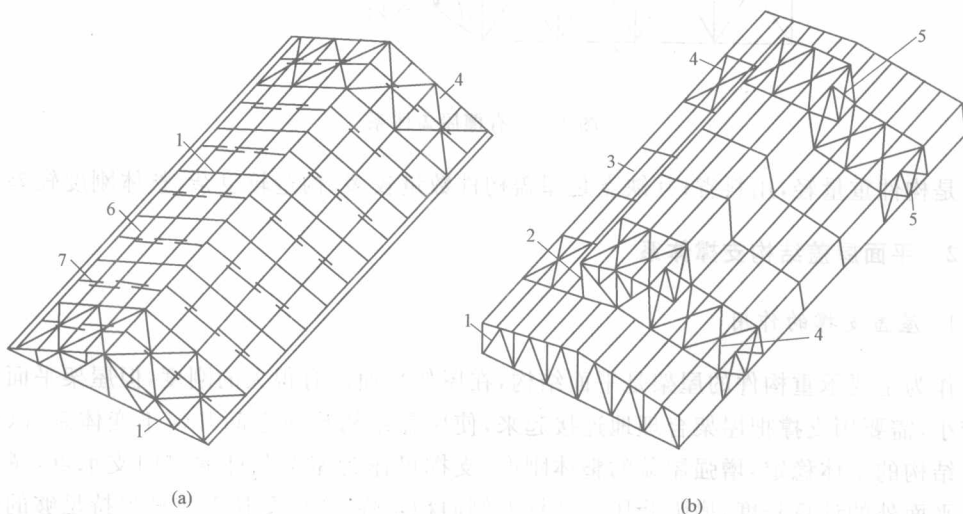


图 1.1 平面屋盖结构体系

1—屋架；2—天窗架；3—大型屋面板；4—上弦横向水平支撑；5—垂直支撑；6—檩条；7—拉条

平面屋盖结构根据屋面材料和屋面布置情况可分为无檩屋盖体系和有檩屋盖体系。

屋面采用大型屋面板时，屋面荷载可直接通过大型屋面板传递给屋架，这种屋盖体系称为无檩屋盖体系(图 1.2)。无檩屋盖体系的优点是屋盖横向刚度大，整体性好，构造简单，施工方便等；其缺点是屋盖自重大，不利于抗震，其多用于有桥式吊车的厂房屋盖中。

当屋面采用轻型材料如石棉瓦、瓦楞铁、压型钢板和铁丝网水泥槽板等时，屋面荷载要通过檩条再传递给屋架，这种屋盖体系称为有檩屋盖体系(图 1.3)。有檩屋盖体系的

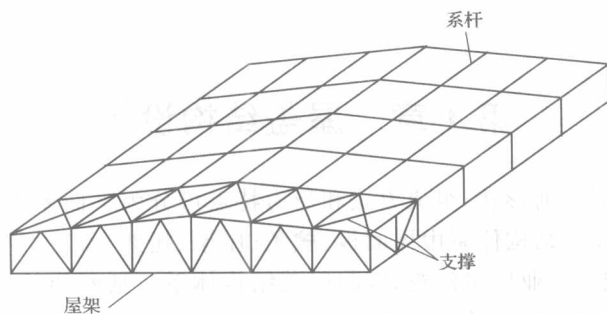


图 1.2 无檩屋盖体系

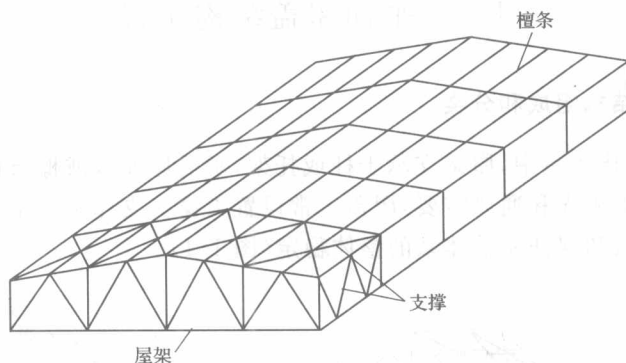


图 1.3 有檩屋盖体系

优点是构件重量轻,用料省;其缺点是屋盖构件数量较多,构造较复杂,整体刚度较差。

### 1.1.2 平面屋盖结构支撑体系

#### 1. 屋盖支撑的作用

作为主要承重构件的屋架是平面结构,在屋架平面内有很大的刚度,但屋架平面外刚度较小,需要用支撑把屋架合理地连接起来,使屋盖结构形成空间几何不变体系,以保证屋盖结构的整体稳定,增强屋盖的整体刚度;支撑可作为屋架弦杆的侧向支承点,减小弦杆在平面外的计算长度,增强受压上弦杆的侧向稳定性,并使受拉下弦杆保持足够的侧向刚度,减小其在动力荷载作用下的振动,从而增强屋架的侧向稳定;屋盖支撑还能承担并传递风荷载、吊车水平荷载及地震作用到房屋的下部支承结构。

#### 2. 屋盖支撑布置

屋盖支撑根据其位置可分为五种:上弦横向水平支撑、下弦横向水平支撑、下弦纵向水平支撑、垂直支撑和系杆。各种支撑布置如图 1.4 所示。

##### (1) 上弦横向水平支撑

在平面屋盖结构体系中,一般都应在同一开间设置屋架上弦和天窗架横向水平支撑。

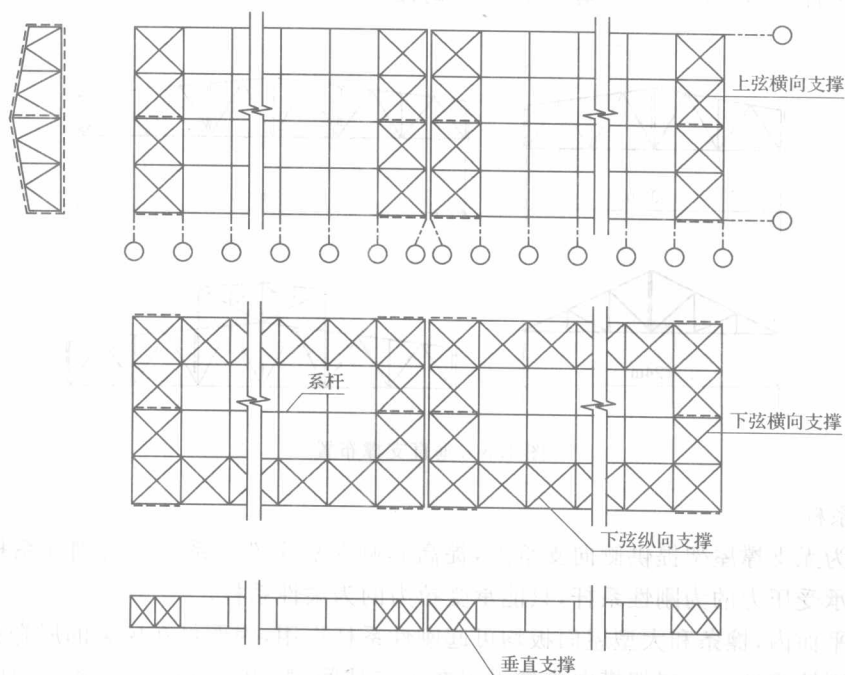


图 1.4 屋盖支撑布置

上弦横向水平支撑布置在温度缝区段两端的第一或第二柱间,间距不宜超过 60m,当房屋长度超过 60m 时,在房屋长度中间还应设置一道或几道支撑。

#### (2) 下弦横向水平支撑

屋架跨度大于 18m 或屋架跨度小于 18m 但屋架下弦设有悬挂吊车时;厂房内设有吨位较大的桥式吊车或其他振动设备时;山墙抗风柱支承于屋架下弦时,都应设置下弦横向水平支撑。

下弦横向水平支撑应与上弦横向水平支撑在同一柱间内,以便形成稳定的空间体系。

#### (3) 下弦纵向水平支撑

当房屋内设有重级工作制吊车或起重吨位较大的中、轻级工作制吊车时;房屋内设有锻锤等大型振动设备时;屋架下弦设有纵向或横向吊轨时;屋盖设有托架和中间屋架时;房屋较高,跨度较大,空间刚度要求高时,都应设置下弦纵向水平支撑。

下弦纵向水平支撑应设在屋架下弦端节间内,与下弦横向水平支撑组成封闭的支撑体系,提高屋盖的整体刚度。

#### (4) 垂直支撑

垂直支撑是平面屋架形成空间几何不变体系的有效构件,保证屋架在使用和安装时的侧向稳定。垂直支撑(图 1.5 中的虚线所示)应与上弦横向支撑设置在同一柱间内,对于梯形屋架,当跨度小于 30m 时,应在屋架跨中和两端的竖杆平面内布置垂直支撑;当跨度超过 30m 时,在无天窗时,应在屋架跨度 1/3 处和两端的竖杆平面内布置垂直支撑;有天窗时,垂直支撑应布置在天窗架侧柱的两侧。对于三角形屋架,当跨度不大于 24m 时,

应在跨中竖杆平面内设置一道垂直支撑；当跨度大于 24 m 时，应根据具体情况布置两道垂直支撑。

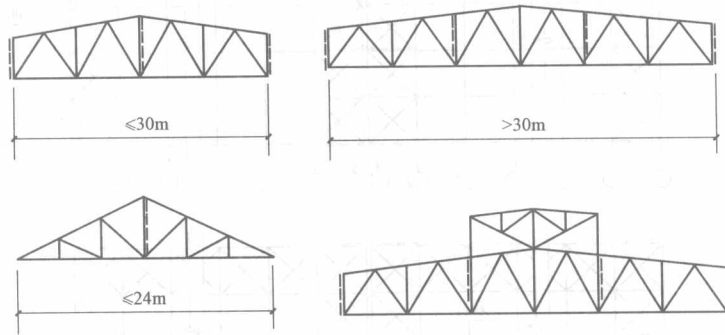


图 1.5 垂直支撑布置

(5) 系杆

系杆为无支撑屋架提供侧向支承点，提高其侧向稳定性。系杆分为刚性系杆和柔性系杆。能承受压力的为刚性系杆，只能承受拉力的为柔性系杆。

上弦平面内，檩条和大型屋面板均可起刚性系杆作用，因而可在屋架的屋脊和支座节点处设置刚性系杆。当屋架横向支撑设置在第二柱间时，第一柱间所有系杆均应为刚性系杆。

下弦平面内，可在屋架下弦的垂直支撑处设置柔性系杆。

当房屋处于地震区时，支撑应有所加强，具体应按抗震规范的规定设置。

3. 屋盖支撑的形式、计算和构造

屋盖上弦横向、下弦横向及下弦纵向水平支撑一般均为平行弦桁架形式(图 1.6)。支撑桁架的弦杆即屋架的弦杆，采用纵向杆件和交叉斜杆作为支撑桁架的腹杆。垂直支撑的腹杆形式可根据桁架的宽高比例确定，弦杆与斜杆间的交角不应小于  $30^\circ$ 。可用交叉斜杆[图 1.7(a)、(b)]；也可采用 V 式及 W 式斜杆[图 1.7(c)、(d)]。

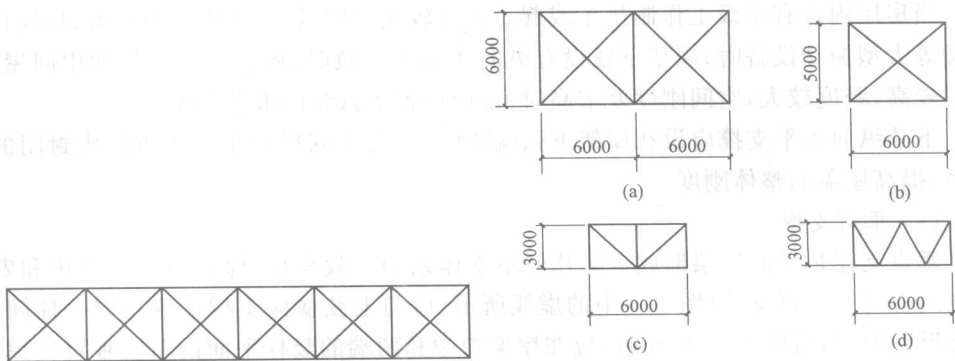


图 1.6 平行弦桁架

图 1.7 垂直支撑

屋盖支撑受力较小,杆件截面通常可按容许长细比来选择。交叉斜杆和柔性系杆可采用单角钢;非交叉斜杆、弦杆、竖杆以及刚性系杆按压杆设计,可采用双角钢组成十字形或T形截面。

当屋架跨度较大、房屋较高且基本风压也较大时,支撑杆件截面应按桁架体系计算出的内力确定。计算内力时,可假定在水平荷载作用下,交叉斜杆中的压杆退出工作,仅由拉杆受力。这样,使原来的超静定体系简化为静定体系(图1.8)。图中 $W$ 为水平节点荷载,由风荷载或吊车荷载引起。

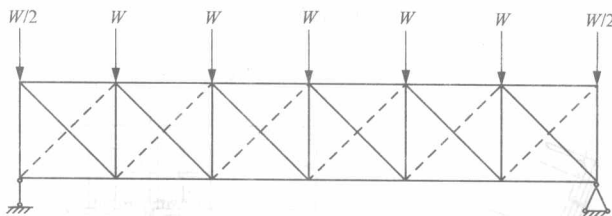


图 1.8 水平荷载作用下支撑内力计算简图

支撑与屋架的连接构造应尽量简单方便。角钢支撑与屋架一般用粗制螺栓连接;在有重级工作制吊车或有较大振动设备的厂房,除粗制螺栓外,还应加安装焊缝。当采用圆钢作支撑时,应用花篮螺栓预加拉力将圆钢拉紧。

## 1.2 檩条设计

钢檩条一般采用单跨简支,有实腹式和桁架式两大类。

### 1.2.1 实腹式檩条

实腹式檩条构造简单,制造及安装方便,常用于跨度为3~6m的情况。截面形式有普通工字钢、角钢、槽钢和Z形等薄壁型钢。檩条的截面高度根据跨度、檩距和荷载大小等因素而定,一般取檩条跨度的1/35~1/50。

实腹式檩条一般通过檩托与屋架上弦连接,檩托用短角钢做成,先焊在屋架上弦,待屋架吊装就位后用螺栓或焊缝与檩条连接(图1.9)。

檩条多垂直于屋架坡度放置。在竖向荷载作用下,檩条产生双向弯曲,在檩条的两个主轴方向分别受到 $q_x$ 和 $q_y$ 作用(图1.10)。按简支梁计算,两个方向弯矩

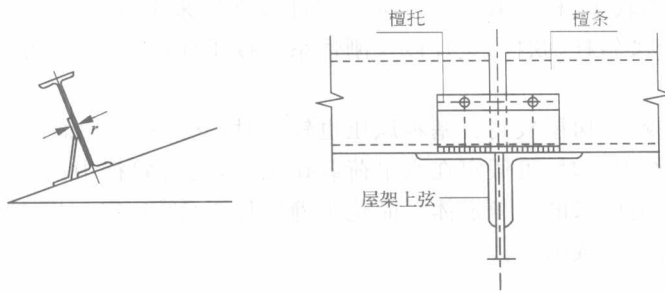
$$M_x = \frac{1}{8} q_y l_x^2 = \frac{1}{8} q l_x \cos \alpha \quad (1.1)$$

$$M_y = \frac{1}{8} q_x l_y^2 = \frac{1}{8} q l_y \sin \alpha \quad (1.2)$$

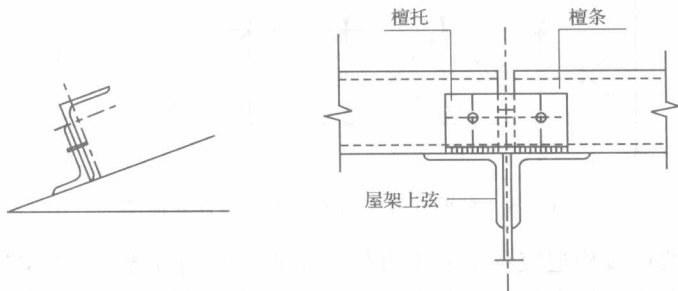
式中, $q$ ——檩条承受的屋面荷载(包括自重)设计值;

$l_x$ 、 $l_y$ ——檩条绕 $x$ 轴、 $y$ 轴弯曲的跨度;

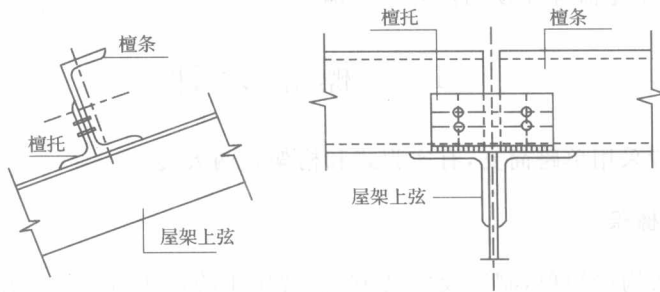
$\alpha$ ——屋面倾斜角度。



(a) 工字形檩条及其连接



(b) 角钢檩条及其连接



(c) 槽钢檩条及其连接

图 1.9 实腹式檩条与屋架上弦的连接

檩条受弯曲的强度验算公式:

$$\frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}} + \frac{M_y}{\gamma_y W_{ny}} \leq f \quad (1.3)$$

式中,  $W_{nx}$ 、 $W_{ny}$  —— 檩条对  $x-x$  轴和  $y-y$  轴的净截面模量;

$\gamma_x$ 、 $\gamma_y$  —— 截面塑性发展系数,按《钢结构设计规范》(GB50017)规定取用。

按弹性方法计算挠度,当有拉条时,可只计算垂直于屋面的挠度,计算公式为

$$w = \frac{5q'_y l_x^4}{384EI_x} \leq [w] \quad (1.4)$$

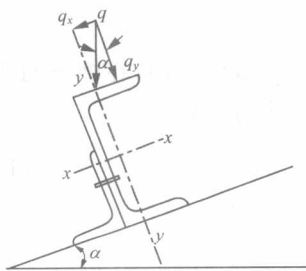


图 1.10 实腹式檩条计算简图

式中,  $I_x$  ——截面对  $x-x$  轴的惯性矩;

$[\omega]$  ——容许挠度,对无积灰的瓦楞铁、石棉瓦等屋面为跨度的  $1/150$ ;对压型钢板、积灰的瓦楞铁、石棉瓦等屋面为跨度的  $1/200$ ;对其他屋面为跨度的  $1/200$ ;

$q'_y$  ——檩条所承担的垂直于屋面荷载的标准值。

一般情况下,檩条截面的  $I_y$  比  $I_x$  小得多,因此要选择合理、经济的截面,沿屋面对檩条设置拉条以减少最小刚度平面内的计算跨度。另外,檩条的整体稳定由于与屋面的联系有足够的保证而不必验算。

### 1.2.2 桁架式檩条

#### 1. 桁架式檩条的构造

当檩条的跨度较大( $>6$  m)时,用实腹式檩条不太经济,应考虑桁架式檩条。桁架式檩条可分为平面桁架式、T形桁架式和空间桁架式三种(图 1.11)。

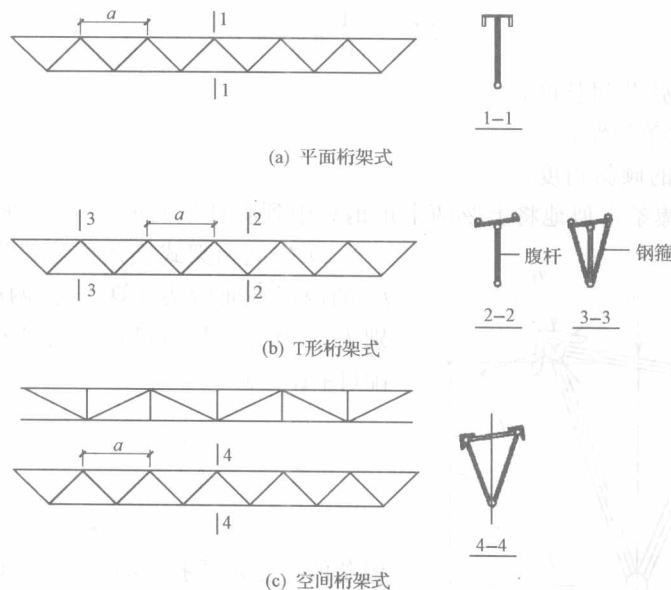


图 1.11 桁架式檩条的形式

#### (1) 平面桁架式檩条

平面桁架式檩条[图 1.11(a)]的上弦采用小角钢或槽钢,下弦用小角钢或圆钢,腹杆用圆钢组成。这种檩条受力明确,用料省,但侧向刚度较差,必须设置拉条。

#### (2) T形桁架式檩条

T形桁架式檩条[图 1.11(b)]由于上弦杆和腹杆不在同一平面,整体性较差,应沿跨度全长设置钢箍,跨度为  $3\sim 4$  m 时设 3 道,跨度为  $4\sim 6$  m 时设 4 道。钢箍可采用直径  $d > 10$  mm 的圆钢,以保证在受力时腹杆平面与上弦平面的相对位置。

#### (3) 空间桁架式檩条

空间桁架式檩条[图 1.11(c)]是由三个平面桁架组成的空间结构,檩条横截面为三



角形。这种檩条整体刚度好,承载力大,不必设置拉条,安装方便,但构造复杂,适用于跨度较大和荷载较大的情况。

桁架式檩条的节间划分可根据计算确定,一般取 40~80cm,檩条的高度一般为跨度的 1/12~1/20,T 形桁架式和空间桁架式檩条截面的宽高比一般取 1/1.5~1/2.0。

### 2. 桁架式檩条计算

1) 平面桁架式檩条可按静定的平面桁架计算,各节点均假定为铰接。计算时,将上弦的均布荷载换算成节点荷载,用结构力学的方法计算杆件内力,一般只需计算跨中上、下弦杆内力和支座处的腹杆内力。此外,上弦节间还应考虑由节间均布荷载引起的局部弯矩,在檩条平面内弯矩可近似按下式计算为

$$M_x = \frac{1}{10}q_y a^2 = \frac{1}{10}q a^2 \cos\alpha \quad (1.5)$$

在檩条平面外,当有拉条时,拉条处的弯矩为

$$M_y = \frac{1}{10}q l_y^2 \sin\alpha \quad (1.6)$$

式中, $a$ ——为上弦节间长度;

$l_y$ ——为拉条间距;

$\alpha$ ——屋面的倾斜角度。

T 形桁架式檩条近似地将上弦两个角钢集中到腹杆平面内后,按平面桁架计算内力。

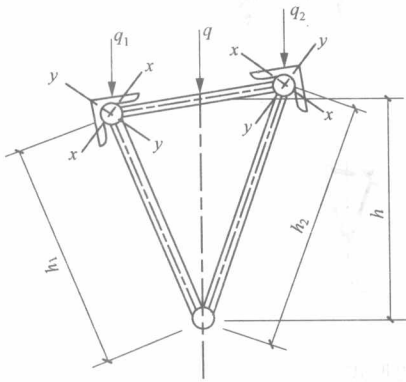


图 1.12 空间桁架式檩条计算简图

2) 空间桁架式檩条可分解为高度等于  $h_1$  和  $h_2$  的两榀平面桁架计算内力,两榀桁架的荷载分别为  $q_1$  和  $q_2$ ,其值可根据总荷载按刚度进行分配(图 1.12)

$$q_1 = q \frac{h_1^2}{h_1^2 + h_2^2} \quad (1.7)$$

$$q_2 = q \frac{h_2^2}{h_1^2 + h_2^2} \quad (1.8)$$

檩条的下弦承受拉力,内力等于两榀平面桁架算得的下弦内力之和。

檩条的上弦承受按平面桁架计算的压力和局部弯矩,按双向压弯构件验算其强度和整体稳定。

由  $q_1$  或  $q_2$  在上弦产生的局部弯矩按下式近似计算为

$$M_x = \frac{1}{10}q_y a^2 \quad (1.9)$$

$$M_y = \frac{1}{10}q_x a^2 \quad (1.10)$$

式中, $a$ ——上弦节间长度;

$q_y$ —— $q_1 \cos\alpha$  或  $q_2 \cos\alpha$ ,  $q_x = q_1 \sin\alpha$  或  $q_2 \sin\alpha$ ;

$\alpha$ ——屋面的倾斜角度。

### 1.2.3 檩条的拉条设计

为了给檩条提供侧向支承,减小檩条沿屋面坡度方向的跨度,除了侧向刚度较大的空间桁架式檩条和T形桁架式檩条外,在实腹式檩条和平面桁架式檩条之间需设置拉条。

檩条跨度为4~6 m时,至少在跨中布置一道拉条(图1.13);跨度大于6m时宜布置两道拉条(图1.14);当屋盖有天窗时,应在天窗两侧檩条之间设置斜拉条和直撑杆(图1.14)。

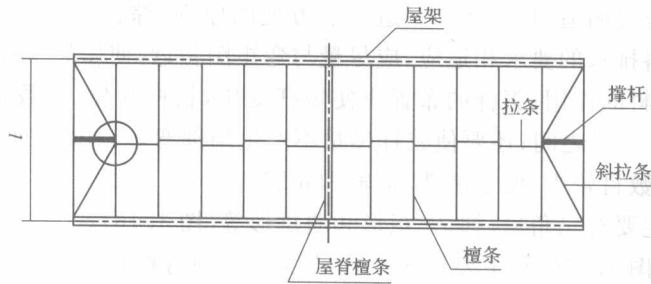


图 1.13 拉条的布置

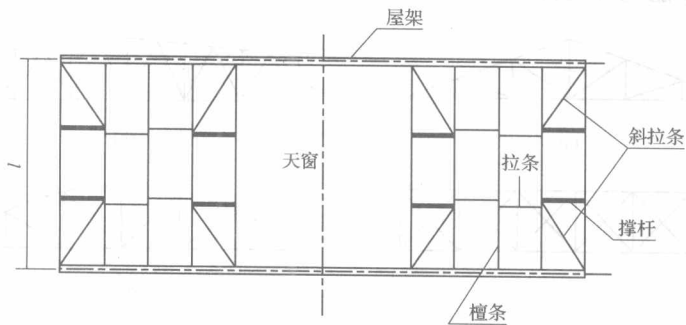


图 1.14 斜拉条和直撑杆的布置

拉条一般采用圆钢,其直径视荷载和檩距大小取8~12 mm。撑杆的作用是限制檐檩的侧向弯曲,撑杆可采用角钢和钢管,其长细比按压杆要求不能大于200。拉条和檩条、撑杆和檩条的连接构造如图1.15所示。

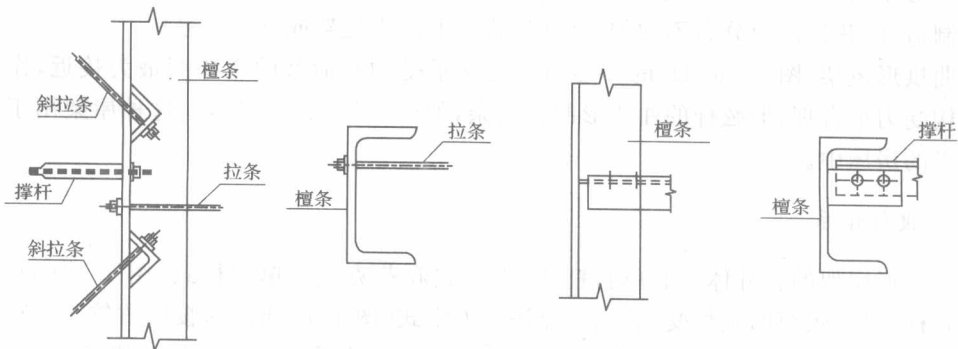


图 1.15 拉条和檩条、撑杆和檩条的连接构造