



普通高等教育土建学科专业“十五”规划教材

高校土木工程
专业指导委员会规划推荐教材

钢结构

下册

房屋建筑钢结构设计

西安建筑科技大学 编

陈绍蕃 主编



中国建筑工业出版社

CHINA ARCHITECTURE & BUILDING PRESS

普通高等教育土建学科专业“十五”规划教材

高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材

钢 结 构

下册 房屋建筑钢结构设计

西安建筑科技大学 编
陈绍蕃 主编



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

钢结构. 下册, 房屋建筑钢结构设计/陈绍蕃主编.
北京: 中国建筑工业出版社, 2003
普通高等教育土建学科专业“十五”规划教材. 高校
土木工程专业指导委员会规划推荐教材
ISBN 7-112-05801-5

I. 钢... II. ①陈... III. 钢结构-高等学校-教材
IV. TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 043673 号

普通高等教育土建学科专业“十五”规划教材

高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材

钢 结 构

下册 房屋建筑钢结构设计

西安建筑科技大学 编

陈绍蕃 主编

*

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

世界知识印刷厂印刷

*

开本: 787 × 960 毫米 1/16 印张: 13¼ 插页: 1 字数: 266 千字

2003 年 7 月第一版 2003 年 7 月第一次印刷

印数: 1—5000 册 定价: 19.00 元

ISBN 7-112-05801-5

TU·5097 (11440)

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>

本书是高等学校土木工程专业的专业课教材，是上册《钢结构基础》的后续部分，讲述常用房屋钢结构的设计方法。具体内容包括轻型房屋门式刚架结构、重型厂房结构（含一般钢屋架）、大跨屋盖结构（以网架结构为主）和多层及高层房屋结构，并结合讲述钢结构设计的一般要求。

本书内容密切结合新世纪初修订的《钢结构设计规范》GB 50017—2003 和其他有关规范和规程，并尽可能对规范和规程有关条文做简明解释。除用作教材外，也可供工程设计人员在工作中参考。

* * *

责任编辑：王跃 朱首明

前 言

这本《房屋建筑钢结构设计》是上册《钢结构基础》的后续部分。它包括以下四部分内容。

1. 轻型门式刚架结构 这是近年来发展最快、应用最广的房屋建筑结构,也是新技术含量较高的结构,需要比较全面地论述它的组成和相关构件的设计。

2. 重型厂房结构 这是钢结构应用的传统领域。虽然今后重型厂房的建设未必很多,但在这一章中论述的屋架和吊车梁的设计原则和方法具有普遍性。屋架可用于各类房屋,吊车梁也不限于重型厂房。

3. 大跨屋盖结构 也是应用广泛的结构类型。由于学时限制,本书除简略介绍各类大跨屋盖结构的型式外,重点阐述平板网架的设计,包括网架结构的组成特点、空间杆系有限元法和节点设计。

4. 多层及高层房屋结构 在多层住宅建筑中采用钢结构,已经提到日程上来,高层钢结构在我国方兴未艾。多层和高层房屋结构和单层者相比有很多不同特点,抗震设计即是一向重要内容。

在已有钢结构基本知识的基础上,这本教材把读者引向应用阶段。学习本书除对钢结构的性能有进一步了解,并掌握几类典型建筑设计的方法外,还应从中领会结构设计的一般要求。学过之后能在遇到本书未涉及的结构时,知道根据结构承受的直接和间接作用及所处环境特点,正确考虑如何对待有关设计问题。为此,在第1章中提出结构整体性概念、材料集中使用原则和计算与构造一致性等重要设计概念。

作为结构设计教材,应该密切联系有关的设计规范、规程。本书引用的规范、规程,凡是在21世纪初修订的,都以修订后的新版本为依据,如钢结构设计规范 GB 50017—2003,建筑结构荷载规范 GB 50009—2001,建筑抗震设计规范 GB 50011—2001和门式刚架轻型房屋钢结构技术规程 CECS102:2002。然而,设计工作者不仅应该了解设计规范的有关规定,还需要对规定的依据有所通晓,才不致在应用规范时出现差错。为此,本书尽可能结合本科生的基础知识,用比较简明的方式介绍规范、规程规定的来龙去脉,如平板网架温度应力计算公式的简明推导。对涉及较深理论的问题,则尽量从原则上加以阐明,如带有摇摆柱的框架柱计算长度。

本书第3章空间杆系有限元法一节和结构力学有些重复,第4章有关地震作用和结构抗震验算的内容和钢筋混凝土结构也有重复。授课教师可以根据具体情况对内容做出取舍。四章内容有较大的相互独立性,授课教师也可以改变讲授的顺序。

本书大部分内容都是新编的。虽然在西安建筑科技大学用过一次后做了修改,难免还有不少不妥之处。希望读者发现后不吝指正。

目 录

第 1 章 轻型门式刚架结构	1
1.1 概述	1
1.2 结构形式和结构布置	3
1.3 刚架设计	6
1.4 压型钢板设计	30
1.5 檩条设计	36
1.6 墙梁、支撑设计和本章小结	44
习题	46
第 2 章 重型厂房结构设计	48
2.1 结构形式和结构布置	48
2.2 计算原理	63
2.3 钢屋架设计	67
2.4 吊车梁设计	85
习题	96
第 3 章 大跨屋盖结构	98
3.1 结构形式	98
3.2 网架的形式	99
3.3 网架的计算要点	107
3.4 空间杆系有限元法	111
3.5 网架杆件设计	119
3.6 节点设计	120
3.7 网壳	134
习题	138
第 4 章 多层及高层房屋结构	139
4.1 多、高层房屋结构的组成	139
4.2 楼盖的布置方案和设计	146
4.3 柱和支撑的设计	158
4.4 多、高层房屋结构的分析和设计计算	172
习题	201
附录	插页
参考文献	206

第 1 章 轻型门式刚架结构

1.1 概 述

1.1.1 单层门式刚架结构的组成

如图 1-1 所示,单层门式刚架结构是指以轻型焊接 H 形钢(等截面或变截面)、热轧 H 形钢(等截面)或冷弯薄壁型钢等构成的实腹式门式刚架或格构式门式刚架作为主要承重骨架,用冷弯薄壁型钢(槽形、卷边槽形、Z 形等)做檩条、墙梁;以压型金属板(压型钢板、压型铝板)做屋面、墙面;采用聚苯乙烯泡沫塑料、硬质聚氨酯泡沫塑料、岩棉、矿棉、玻璃棉等作为保温隔热材料并适当设置支撑的一种轻型房屋结构体系。

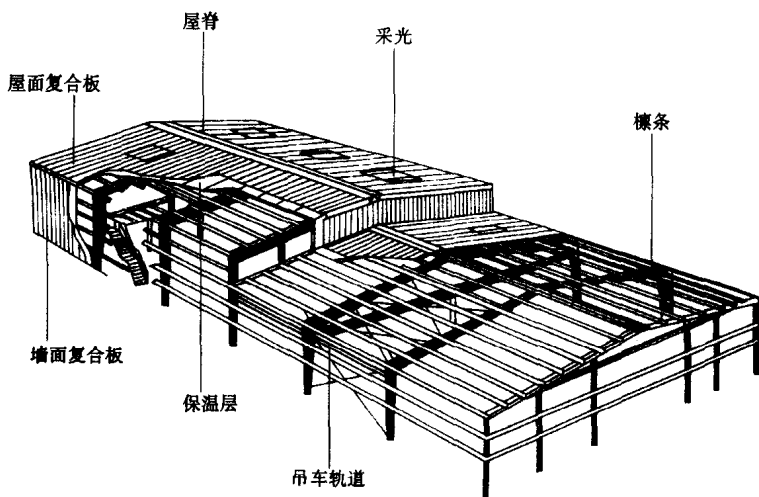


图 1-1 单层轻型钢结构房屋的组成

在目前的工程实践中,门式刚架的梁、柱构件多采用焊接变截面的 H 形截面,单跨刚架的梁-柱节点采用刚接,多跨者大多刚接和铰接并用。柱脚可与基础刚接或铰接。围护结构采用压型钢板的居多,玻璃棉则由于其具有自重轻、保温隔热性能好及安装方便等特点,用作保温隔热材料最为普遍。

1.1.2 单层门式刚架结构的特点

单层门式刚架结构和钢筋混凝土结构相比具有以下特点:

(1) 质量轻

围护结构由于采用压型金属板、玻璃棉及冷弯薄壁型钢等材料组成，屋面、墙面的质量都很轻，因而支承它们的门式刚架也很轻。根据国内的工程实例统计，单层门式刚架房屋承重结构的用钢量一般为 $10 \sim 30\text{kg}/\text{m}^2$ ；在相同的跨度和荷载条件情况下自重约仅为钢筋混凝土结构的 $1/20 \sim 1/30$ 。

由于单层门式刚架结构的质量轻，地基的处理费用相对较低，基础也可以做得比较小。同时在相同地震烈度下门式刚架结构的地震反应小，一般情况下，地震作用参与的内力组合对刚架梁、柱杆件的设计不起控制作用。但是风荷载对门式刚架结构构件的受力影响较大，风荷载产生的吸力可能会使屋面金属压型板、檩条的受力反向，当风荷载较大或房屋较高时，风荷载可能是刚架设计的控制荷载。

(2) 工业化程度高，施工周期短

门式刚架结构的主要构件和配件均为工厂制作，质量易于保证，工地安装方便。除基础施工外，基本没有湿作业，现场施工人员的需要量也很少。构件之间的连接多采用高强度螺栓连接，是安装迅速的一个重要方面，但必须注意设计为刚性连接的节点，应具有足够的转动刚度。

(3) 综合经济效益高

门式刚架结构由于材料价格的原因其造价虽然比钢筋混凝土结构等其他结构形式略高，但由于采用了计算机辅助设计，设计周期短；构件采用先进自动化设备制造；原材料的种类较少，易于筹措，便于运输；所以门式刚架结构的工程周期短，资金回报快，投资效益高。

(4) 柱网布置比较灵活

传统的结构形式由于受屋面板、墙板尺寸的限制，柱距多为 6m ，当采用 12m 柱距时，需设置托架及墙架柱。而门式刚架结构的围护体系采用金属压型板，所以柱网布置不受模数限制，柱距大小主要根据使用要求和用钢量最省的原则来确定。

门式刚架结构除上述特点外，还有一些特点需要了解：

门式刚架体系的整体性可以依靠檩条、墙梁及隅撑来保证，从而减少了屋盖支撑的数量，同时支撑多用张紧的圆钢做成，很轻便。

门式刚架的梁、柱多采用变截面杆，可以节省材料。图 1-2 所示刚架，柱为楔形构件，梁则由多段楔形杆组成。梁、柱腹板在设计时利用屈曲后强度，可使



图 1-2 变截面刚架

腹板宽厚比放大（腹板厚度较薄）。当然，由于变截面门式刚架达到极限承载力时，可能会在多个截面处形成塑性铰而使刚架瞬间形成机动体系，因此塑性设计不再适用。使门式刚架结构轻型化的措施还有：在多跨框架中把中柱

做成只承重力荷载的两端铰接柱，对平板式铰接柱脚考虑其实际存在的转动约束，利用屋面板的蒙皮效应和适当放宽柱顶侧移的限值等。设计中对轻型化带来的后果必须注意和正确处理。风力可使轻型屋面的荷载反向，就是一例。

组成构件的杆件较薄，对制作、涂装、运输、安装的要求高。在门式刚架结构中，焊接构件中板的最小厚度为 3.0mm；冷弯薄壁型钢构件中板的最小厚度为 1.5mm；压型钢板的厚度为 0.4mm。板件的宽厚比大，使得构件在外力撞击下容易发生局部变形。同时，锈蚀对构件截面削弱带来的后果更为严重。

构件的抗弯刚度、抗扭刚度比较小，结构的整体刚度也比较柔。因此，在运输和安装过程中要采取必要的措施，防止构件发生弯曲和扭转变形。同时，要重视支撑体系和隅撑的布置，重视屋面板、墙面板与构件的连接构造，使其能参与结构的整体工作（蒙皮效应）。

1.1.3 门式刚架结构的应用情况

门式刚架轻型房屋结构在我国的应用大约始于 20 世纪 80 年代初期。近十多年来特别是中国工程建设标准化协会编制的《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》（CECS102:98）（以下简称《规程》）颁布实行后，其应用得到了迅速的发展，主要用于轻型的厂房、仓库、建材等交易市场、大型超市、体育馆、展览厅及活动房屋、加层建筑等。目前，国内大约每年有上千万平方米的轻钢建筑竣工。国外也有大量钢结构制造商进入中国，加上国内几百家的轻钢结构专业公司和制造厂，市场竞争也日趋激烈。

1.2 结构形式和结构布置

1.2.1 门式刚架的结构形式

门式刚架又称山形门式刚架。其结构形式按跨度可分为单跨（图 1-3a、b）、双跨（图 1-3e、f、g、i）和多跨（图 1-3c、d），按屋面坡脊数可分为单脊单坡（图 1-2a）、单脊双坡（图 1-3b、c、d、g、h）、多脊多坡（图 1-3e、f、i）。

对于多跨刚架，在相同跨度条件下，多脊多坡与单脊双坡的刚架用钢量大致相当，常作成一个大屋脊的大双坡屋面。这是因为金属压型板屋面为长坡面排水创造了条件。而多脊多坡刚架的内天沟容易产生渗漏及堆雪现象。不等高刚架（图 1-3f）这一问题更为严重，在实际工程中应尽量避免这种刚架形式。

单脊双坡多跨刚架，用于无桥式吊车房屋时，当刚架柱不是特别高且风荷载也不很大时，中柱宜采用两端铰接的摇摆柱（图 1-3c、g），中间摇摆柱和梁的连接构造简单，而且制作和安装都省工。这些柱不参与抵抗侧力，截面也比较小。但是在设有桥式吊车的房屋时，中柱宜为两端刚接（图 1-3d），以增加刚架

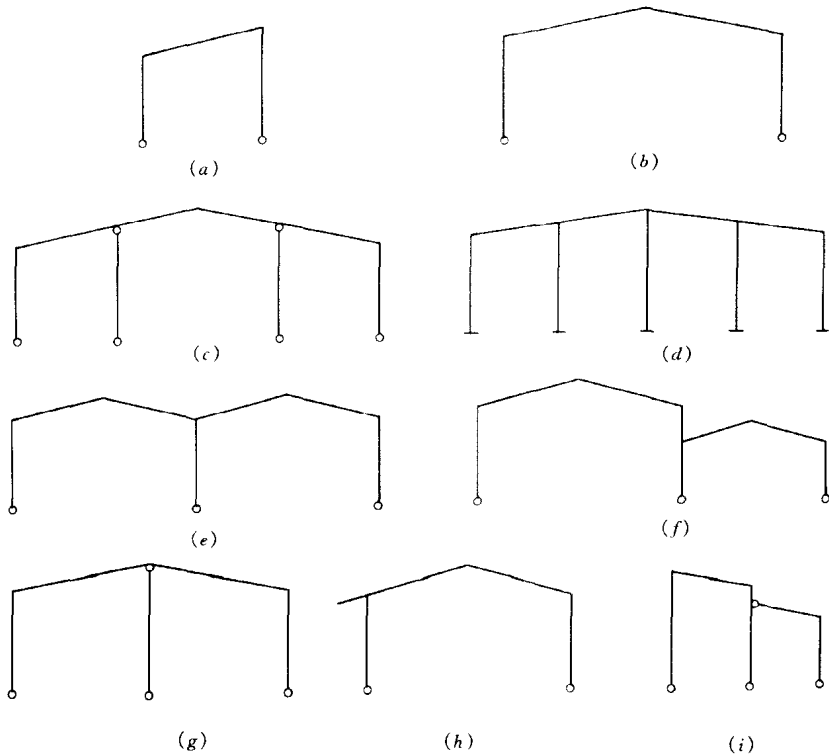


图 1-3 门式刚架的结构形式

的侧向刚度。中柱用摇摆柱的方案体现“材料集中使用”的原则。边柱和梁形成刚架，承担全部抗侧力的任务（包括传递水平荷载和防止门架侧移失稳）。由于边柱的高度相对比较小（亦即长细比比较小），材料能够比较充分地发挥作用。

根据跨度、高度及荷载不同，门式刚架的梁、柱可采用变截面或等截面实腹焊接工字形截面或轧制 H 形截面。设有桥式吊车时，柱宜采用等截面构件。变截面构件通常改变腹板的高度，作成楔形；必要时也可改变腹板厚度。结构构件在运输单元内一般不改变翼缘截面，当必要时可改变翼缘厚度。

门式刚架的柱脚多按铰接支承设计，通常为平板支座，设一对或两对地脚螺栓。当用于工业厂房且有桥式吊车时，宜将柱脚设计成刚接。

门式刚架轻型房屋屋面坡度宜取 $1/20 \sim 1/8$ ，在雨水较多的地区取其中的较大值。

门式刚架可由多个梁、柱单元构件组成，柱一般为单独单元构件，斜梁可根据运输条件划分为若干个单元。单元构件本身采用焊接，单元之间可通过端板用高强度螺栓连接。

门式刚架上可设置起重量不大于 3t 的悬挂起重机和起重量不大于 20t 的轻、中级工作制单梁或双梁桥式吊车。

1.2.2 结 构 布 置

1.2.2.1 刚架的建筑尺寸和布置

门式刚架的跨度取横向刚架柱间的距离，跨度宜为 9~36m，宜以 3m 为模数，但也可不受模数限制。当边柱宽度不等时，其外侧应对齐。门式刚架的高度应取地坪柱轴线与斜梁轴线交点的高度，宜取 4.5~9m，必要时可适当放大。门式刚架的高度应根据使用要求的室内净高确定，有吊车的厂房应根据轨顶标高和吊车净空的要求确定。柱的轴线可取柱下端（较小端）中心的竖向轴线，工业建筑边柱的定位轴线宜取柱外皮。斜梁的轴线可取通过变截面梁段最小端中心与斜梁上表面平行的轴线。

门式刚架的合理间距应综合考虑刚架跨度、荷载条件及使用要求等因素，一般宜取 6m、7.5m、或 9m。

挑檐长度可根据使用要求确定，宜为 0.5~1.2m，其上翼缘坡度取与刚架斜梁坡度相同。

门式刚架轻型房屋的构件和围护结构，通常刚度不大，温度应力相对较小。因此其温度分区与传统结构形式相比可以适当放宽，但应符合下列规定：

纵向温度区段 < 300m；

横向温度区段 < 150m；

当有计算依据时，温度区段可适当放大。

当房屋的平面尺寸超过上述规定时，需设置伸缩缝，伸缩缝可采用两种做法：(a) 设置双柱；(b) 在搭接檩条的螺栓处采用长圆孔，并使该处屋面板在构造上允许涨缩。

对有吊车的厂房，当设置双柱形式的纵向伸缩缝时，伸缩缝两侧刚架的横向定位轴线可加插入距（图 1-4）。在多跨刚架局部抽掉中柱或边柱处，可布置托架或托梁。

1.2.2.2 檩条和墙梁的布置

屋面檩条一般应等间距布置。但在屋脊处，应沿屋脊两侧各布置一道檩条，使得屋面板的外伸宽度不要太长（一般小于 < 200mm），在天沟附近应布置一道檩条，以便于天沟的固定。确定檩条间距时，应综合考虑天窗、通风屋脊、采光带、屋面材料、檩条规格等因素按计算确定。

侧墙墙梁的布置，应考虑设置门窗、挑檐、遮雨篷等构件和围护材料的要求。当采用压型钢板作围护面时，墙梁宜布置在刚架柱的外侧，其间距由墙板型号和规格确定，且不大于由计算确定的数值。

1.2.2.3 支撑和刚性系杆的布置

支撑和刚性系杆的布置应符合下列规定：

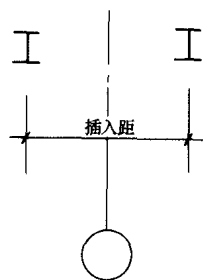


图 1-4 柱的插入距

(1) 在每个温度区段或分期建设的区段中,应分别设置能独立构成空间稳定结构的支撑体系。

(2) 在设置柱间支撑的开间,应同时设置屋盖横向支撑,以构成几何不变体系。

(3) 端部支撑宜设在温度区段端部的第一或第二个开间。柱间支撑的间距应根据房屋纵向受力情况及安装条件确定,一般取30~45m;有吊车时不宜大于60m。

(4) 当房屋高度较大时,柱间支撑应分层设置;当房屋宽度大于60m时,内柱列宜适当设置支撑。

(5) 当端部支撑设在端部第二个开间时,在第一个开间的相应位置应设置刚性系杆。

(6) 在刚架转折处(边柱柱顶、屋脊及多跨刚架的中柱柱顶)应沿房屋全长设置刚性系杆。

(7) 由支撑斜杆等组成的水平桁架,其直腹杆宜按刚性系杆考虑。

(8) 刚性系杆可由檩条兼任,此时檩条应满足压弯构件的承载力和刚度要求,当不满足时可在刚架斜梁间设置钢管、H形钢或其他截面形式的杆件。

门式刚架轻型房屋钢结构的支撑宜用十字交叉圆钢支撑,圆钢与相连构件的夹角宜接近 45° ,不超出 $30^\circ\sim 60^\circ$ 。圆钢应采用特制的连接件与梁、柱腹板连接,校正定位后张紧固定。张紧手段最好用花篮螺丝。在设有起重量大于15t桥式吊车的跨间,柱间支撑应参照第2章2.1.1.3节的要求设置。

当房屋内设有不小于5t的吊车时,柱间支撑宜用型钢支撑。当房屋中不允许设置柱间支撑时,应设置纵向刚架。

支撑虽然不是主要承重构件,在房屋结构中却是不可或缺的,柱间支撑和屋盖支撑的作用和形式在第2章的2.1.3节还有详尽的论述。

1.3 刚架设计

1.3.1 荷载及荷载组合

设计门式刚架结构所涉及的荷载,包括永久荷载和可变荷载,除现行《规程》(CECS102:2002)有专门规定者外,一律按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009—2002(以下简称《荷载规范》)采用。

1.3.1.1 永久荷载

永久荷载包括结构构件的自重和悬挂在结构上的非结构构件的重力荷载,如屋面、檩条、支撑、吊顶、墙面构件和刚架自身等。

1.3.1.2 可变荷载

(1) 屋面活荷载 当采用压型钢板轻型屋面时, 屋面竖向均布活荷载的标准值(按水平投影面积计算)应取 0.5kN/m^2 ; 对受荷水平投影面积超过 60m^2 的刚架结构, 计算时采用的竖向均布活荷载标准值可取 0.3kN/m^2 。设计屋面板和檩条时应考虑施工和检修集中荷载(人和小工具的重力), 其标准值为 1kN 。

(2) 屋面雪荷载和积灰荷载 屋面雪荷载和积灰荷载的标准值应按《荷载规范》的规定采用, 设计屋面板、檩条时应考虑在屋面天沟、阴角、天窗挡风板内和高低跨连接处等的荷载增大系数或不均匀分布系数。

(3) 吊车荷载 包括竖向荷载和纵向及横向水平荷载, 按照《荷载规范》的规定采用。

(4) 地震作用 按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011—2001 的规定计算。

(5) 风荷载: 按《规程》附录 A 的规定, 垂直于建筑物表面的风荷载可按下列公式计算:

$$w_k = 1.05\mu_s\mu_z w_0 \quad (1-1)$$

式中 w_k ——风荷载标准值 (kN/m^2);

w_0 ——基本风压, 按照《荷载规范》的规定采用;

μ_z ——风荷载高度变化系数, 按照《荷载规范》的规定采用, 当高度小于 10m 时, 应按 10m 高度处的数值采用;

μ_s ——风荷载体型系数。

刚架的风荷载体型系数 μ_s 按照表 1-1 及图 1-4 的规定采用。此表适用于双坡及单坡刚架, 其屋面坡度不大于 10° , 屋面平均高度不大于 18m , 檐口高度不大于屋面的最小水平尺寸者。

刚架的风荷载体型系数

表 1-1

建筑类型	分 区											
	端 区						中 间 区					
	1E	2E	3E	4E	5E	6E	1	2	3	4	5	6
封闭式	-0.50	-1.40	-0.80	-0.70	+0.90	-0.30	+0.25	-1.00	-0.65	-0.55	+0.65	-0.15
部分封闭式	-0.10	-1.80	-1.20	-1.10	+1.00	-0.20	-0.15	-1.40	-1.05	-0.95	+0.75	-0.05

- 注: (1) 表中正号(压力)表示风力由外朝向表面; 负号(吸力)表示风力自表面向外离开, 下同;
 (2) 屋面以上的周边伸出部位, 对 1 区和 5 区可取 $+1.3$, 对 4 区和 6 区可取 -1.3 , 这些系数包括了迎风面和背风面的影响;
 (3) 当端部柱距不小于端区宽度时, 端区风荷载超过中间区的部分, 宜直接由端刚架承受;
 (4) 单坡屋面的风荷载体型系数, 可按双坡屋面的两个半边处理(图 1-5)。

上述风荷载体型系数 μ_s 的取值方法主要是参考美国金属房屋制造商协会(MBMA)编制的《低层房屋系统手册》(1996)中的相关内容给出的。它包含了

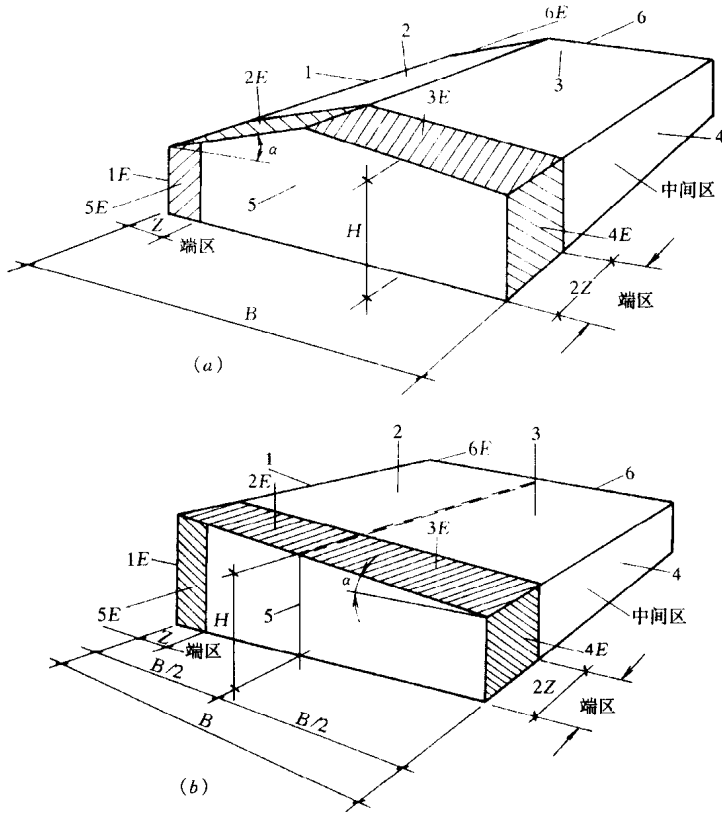


图 1-5 刚架的风荷载体型系数分区

(a) 双坡刚架; (b) 单坡刚架

注: α ——屋面与水平面的夹角; B ——建筑宽度; H ——屋顶至地面的平均高度,可近似取檐口高度; Z ——计算围护结构构件时的房屋边缘带宽度,取建筑最小水平尺寸的 10% 或 $0.4H$ 中之较小值,但不得小于建筑最小水平尺寸的 4% 或 1m; 计算刚架时的房屋端区宽度取 Z (横向) 和 $2Z$ (纵向)。

阵风的影响,同时考虑内外风压最大值的组合,较《荷载规范》的规定详细、合理。对多脊多坡屋面的风荷载体型系数,MBMA 手册中没有给出,《规程》规定仍按现行国家标准《荷载规范》的有关条文采用。

1.3.1.3 荷载组合效应

荷载效应的组合一般应顺从《荷载规范》的规定。针对门式刚架的特点,《规程》给出下列组合原则:

- (1) 屋面均布活荷载不与雪荷载同时考虑,应取两者中的较大值;
- (2) 积灰荷载应与雪荷载或屋面均布活荷载中的较大值同时考虑;

(3) 施工或检修集中荷载不与屋面材料或檩条自重以外的其他荷载同时考虑;

(4) 多台吊车的组合应符合《荷载规范》的规定;

(5) 当需要考虑地震作用时, 风荷载不与地震作用同时考虑。

在进行刚架内力分析时, 所需考虑的荷载效应组合主要有:

(1) $1.2 \times \text{永久荷载} + 0.9 \times 1.4 \times [\text{积灰荷载} + \max \{ \text{屋面均布活荷载、雪荷载} \}] + 0.9 \times 1.4 \times (\text{风荷载} + \text{吊车竖向及水平荷载});$

(2) $1.0 \times \text{永久荷载} + 1.4 \times \text{风荷载}$

组合(1)用于截面强度和构件稳定性计算。在进行效应叠加时, 起有利作用者不加, 但必须注意所加各项有可能同时发生。为此, 不能在计入吊车水平荷载效应的同时略去竖向荷载效应。组合(2)用于锚栓抗拉计算, 其永久荷载的抗力分项系数取1.0。当为多跨有吊车框架时, 在组合(2)中还应考虑邻跨吊车水平力的作用。

由于门式刚架结构的自重较轻, 地震作用产生的荷载效应一般较小。设计经验表明: 当抗震设防烈度为7度而风荷载标准值大于 0.35kN/m^2 , 或抗震设防烈度为8度而风荷载标准值大于 0.45kN/m^2 时, 地震作用的组合一般不起控制作用。

1.3.2 刚架的内力和侧移计算

1.3.2.1 内力计算

对于变截面门式刚架, 应采用弹性分析方法确定各种内力, 只有当刚架的梁柱全部为等截面时才允许采用塑性分析方法, 但后一种情况在实际工程中已很少采用。进行内力分析时, 通常把刚架当作平面结构对待, 一般不考虑蒙皮效应, 只是把它当作安全储备。当有必要且有条件时, 可考虑屋面板的应力蒙皮效应。蒙皮效应是将屋面板视为沿屋面全长伸展的深梁, 可用来承受平面内的荷载。面板可视为承受平面内横向剪力的腹板, 其边缘构件可视为翼缘, 承受轴向拉力和压力。与此类似, 矩形墙板也可按平面内受剪的支撑系统处理。考虑应力蒙皮效应可以提高刚架结构的整体刚度和承载力, 但对压型钢板的连接有较高的要求。

变截面门式刚架的内力通常采用杆系单元的有限元法(直接刚度法)编制程序上机计算。计算时将变截面的梁、柱构件分为若干段, 每段的几何特性当作常量, 也可采用楔形单元。地震作用的效应可采用底部剪力法分析确定。当需要手算校核时, 可采用一般结构力学方法(如力法、位移法、弯矩分配法等)或利用静力计算的公式、图表进行。

根据不同荷载组合下的内力分析结果, 找出控制截面的内力组合, 控制截面的位置一般在柱底、柱顶、柱牛腿连接处及梁端、梁跨中等截面, 控制截面的内力组合主要有:

(1) 最大轴压力 N_{\max} 、和同时出现的 M 及 V 的较大值。

(2) 最大弯矩 M_{\max} 和同时出现的 V 及 N 的较大值。

这两种情况有可能是重合的。以上是针对截面双轴对称的构件而言的。如果是单轴对称截面,则需要区分正、负弯矩,参看第2章2.2.3节。

鉴于轻型门式刚架自重很轻,锚栓在强风作用下有可能受到拔起的力,还需要第3种组合,即:

(3) 最小轴压力 N_{\min} 和相应的 M 及 V , 出现在永久荷载和风荷载共同作用下,当柱脚铰接时 $M=0$ 。

1.3.2.2 侧移计算

变截面门式刚架的柱顶侧移应采用弹性分析方法确定。计算时荷载取标准值,不考虑荷载分项系数。侧移计算可以和内力分析一样在计算机上进行。《规程》给出柱顶侧移的简化公式,可以在初选构件截面时估算侧移刚度,避免因刚度不足而需要重新调整构件截面。

单层门式刚架在风荷载标准值作用下的柱顶侧移限值参见本教材上册《钢结构基础》第6章的有关内容。它虽然不涉及安全承载,却是不可忽视的设计指标。《规程》在2002年修订后,柱顶位移的计算限值放宽为不超过 $h/60$,已经相当宽松。

如果最后验算时刚架的侧移不满足要求,即需要采用下列措施之一进行调整:放大柱或(和)梁的截面尺寸,改铰接柱脚为刚接柱脚;把多跨框架中的个别摇摆柱改为上端和梁刚接。

1.3.3 刚架柱和梁的设计

1.3.3.1 梁、柱板件的宽厚比限值和腹板屈曲后强度利用

(1) 梁、柱板件的宽厚比限值(截面尺寸见图1-6):

工字形截面构件受压翼缘板的宽厚比限值:

$$\frac{b_1}{t} \leq 15 \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (1-2)$$

工字形截面梁、柱构件腹板的宽厚比限值:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 250 \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (1-3)$$

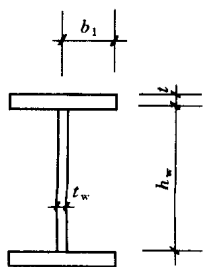


图1-6 截面尺寸

式中 b_1, t ——受压翼缘的外伸宽度与厚度;

h_w, t_w ——腹板的高度与厚度。

(2) 腹板屈曲后强度利用

在进行刚架梁、柱构件的截面设计时,为了节省钢材,允许腹板发生局部屈曲,并利用其屈曲后强度。在上册第4章4.6.4节曾经分析过受压板屈曲后继续承载的原理并给出

GB 50017 规范关于梁腹板利用屈曲后强度的计算公式。这些公式适用于简支梁。门式刚架的构件剪应力最大处往往弯曲正应力也最大，翼缘对腹板没有约束作用，因而计算公式不同于 GB 50017。

工字形截面构件腹板的受剪板幅，当腹板的高度变化不超过 60mm/m 时，其抗剪承载力设计值可按下列公式计算：

$$V_d = h_w t_w f'_v \quad (1-4)$$

$$\text{当 } \lambda_w \leq 0.8 \text{ 时} \quad f'_v = f_v \quad (1-5a)$$

$$\text{当 } 0.8 < \lambda_w < 1.4 \text{ 时} \quad f'_v = [1 - 0.64(\lambda_w - 0.8)]f_v \quad (1-5b)$$

$$\text{当 } \lambda_w \geq 1.4 \text{ 时} \quad f'_v = (1 - 0.275\lambda_w)f_v \quad (1-5c)$$

式中 f_v ——钢材的抗剪强度设计值；
 f'_v ——腹板屈曲后抗剪强度设计值；
 h_w ——腹板板幅的平均高度；
 λ_w ——参数，按公式 (1-6) 进行计算。

$$\lambda_w = \frac{h_w/t_w}{37 \sqrt{k_\tau} \sqrt{235/f_y}} \quad (1-6)$$

$$\text{当 } a/h_w < 1 \text{ 时} \quad k_\tau = 4 + 5.34/(a/h_w)^2 \quad (1-7a)$$

$$\text{当 } a/h_w \geq 1 \text{ 时} \quad k_\tau = 5.34 + 4/(a/h_w)^2 \quad (1-7b)$$

式中 a ——腹板横向加劲肋的间距；
 k_τ ——腹板在纯剪切荷载作用下的屈曲系数。当不设中间加劲肋时 $k_\tau = 5.34$ 。

公式 (1-5) 是参照欧洲规范的内容并略加修改后给出的，是一种较为简便的计算方法，计算结果属于下限。当腹板高度变化超过 60mm/m 时，公式 (1-5) 不再适用。

(3) 腹板的有效宽度

当工字形截面梁、柱构件的腹板受弯及受压板幅利用屈曲后强度时，应按有效宽度计算其截面几何特性。有效宽度取为：

$$\text{当腹板全部受压时} \quad h_e = \rho h_w \quad (1-8a)$$

当腹板部分受拉时，受拉区全部有效，受压区有效宽度为

$$h_e = \rho h_c \quad (1-8b)$$

式中 h_e ——腹板受压区有效宽度；
 ρ ——有效宽度系数，按下列公式进行计算：