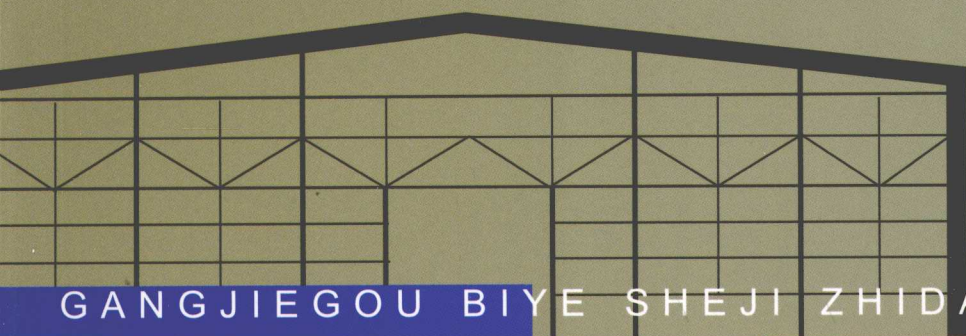


GAODENG XUEXIAO TUMUGONGCHENG ZHUANYE
BIYESHEJI ZHIDAOYONGSHU
高等学校土木工程专业毕业设计指导用书

王治均 唐柏鉴 邵建华 董 军 编



GANGJIEGOU BIYE SHEJI ZHIDAO

钢结构毕业设计指导



NLIC2971016462

中国建筑工业出版社

高等学校土木工程专业毕业设计指导用书

钢结构毕业设计指导

王治均 唐柏鉴 邵建华 董 军 编



NLIC2971016462

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

钢结构毕业设计指导/王治均等编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2014. 6

高等学校土木工程专业毕业设计指导用书

ISBN 978-7-112-16669-5

I. ①钢… II. ①王… III. ①钢结构—结构设计—高等学校—教学参考资料 IV. ①TU391.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 064658 号



高等学校土木工程专业毕业设计指导用书

钢结构毕业设计指导

王治均 唐柏鉴 邵建华 董 军 编

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京天成排版公司制版

北京中科印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 11 $\frac{1}{4}$ 字数: 280 千字

2014 年 8 月第一版 2014 年 8 月第一次印刷

定价: 25.00 元

ISBN 978-7-112-16669-5
(25480)

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)

本书是根据最新颁布的国家标准和规范而编写的高等院校土木工程专业
的教学参考书,内容包括钢结构设计步骤,钢结构毕业设计基本要求,
门式刚架单层厂房结构设计要点、步骤及典型例题、多层钢框架结构设
计要点、步骤及典型例题,钢桁架通信塔设计要点及典型例题等。

本书着重阐明门式刚架单层厂房结构设计要点及步骤,多层钢框架结
构设计要点及步骤,钢桁架通信塔设计要点,并给出了完整的设计实例,
有利于理解和掌握设计规范,便于自学和参考。内容安排符合土木工程专
业毕业设计的教学要求,具有一定的系统性和较好的完整性,有利于提高
教学质量和学生的工程实践能力。钢结构的设计实例是根据我国最新颁布
的设计规范,紧密结合工程实践而编写的,理论联系实际,便于应用和解
决工程实际问题。文字通俗易懂,论述由浅入深,循序渐进,从而为学生
自学提供方便。

本书可作为高等院校土木工程专业教学辅导教材,亦可供各高校进
行同类毕业设计参考。

* * *

责任编辑:李 明 刘平平

责任设计:李志立

责任校对:张 颖 党 蕾

前言

近年来,钢结构在中国得到了广泛应用和快速发展,大量钢结构新材料、新技术、新工艺得到推广应用,已建成世界上规模最大、难度最高的多项钢结构工程,钢结构已成为建筑业发展的主要方向,展现出良好的发展前景。

然而,我国钢结构人才培养的现状与钢结构行业蓬勃发展的要求还不相适应,不仅培养的人才数量不够,更重要的是培养的人才不能很好满足钢结构行业快速发展对人才实践能力和创新能力的要求。

为有效提高工程人才培养质量,国家实时启动了卓越工程师教育培养计划,南京工业大学土木工程专业成为首批试点专业之一。基于卓越计划培养要求,南京工业大学与江苏科技大学的钢结构学科团队紧密合作,开展了基于卓越计划要求的钢结构系列教研教改活动。在2011年江苏省高等教育教改立项研究课题“基于卓越计划要求的钢结构系列精品教材建设”支持下,组织编写了基于卓越计划要求的钢结构系列精品教材,内容涵盖钢结构基本原理、钢结构设计、钢结构课程实践与创新能力训练、钢结构学习指导、钢结构毕业设计指导等多个方面。本书是其中之一。

本书内容包括钢结构设计步骤、钢结构毕业设计基本要求、门式刚架单层厂房结构设计要点、步骤及典型例题、多层钢框架结构设计要点、步骤及典型例题、钢桁架通信塔设计要点及典型例题等。对于基本要求和要点,不罗列常规的知识点和规范条文,仅作精炼的概括,重点通过设计实例的演示,帮助读者理解重要知识点,有效掌握设计规范。设计实例依据我国最新设计规范,紧密结合工程实践编写。文字通俗易懂,论述由浅入深,循序渐进,便于自学和参考。

本书共4章,王治均副教授负责编写第2章及3.1节,唐柏鉴副教授负责编写第4章,邵建华副教授负责编写3.2节,董军教授负责编写第1章。全书由董军教授统稿。

在撰写本书的过程中,参考了较多的参考资料,未能在参考文献中一一列出,在此向有关作者表示衷心的感谢!

在第3章的编写过程中,佟小春对例题的计算和绘图工作付出了辛勤的劳动,在此特别表示感谢!

限于作者水平,书中错误及不当之处难免。敬请广大读者批评指正。

目 录

第1章 绪论	1
1.1 钢结构设计方法论	1
1.2 钢结构毕业设计基本要求	4
第2章 门式刚架单层厂房设计	6
2.1 门式刚架单层厂房结构设计要点及步骤	6
2.2 典型例题	26
第3章 多层钢框架结构设计	61
3.1 多层钢框架结构设计要点及步骤	61
3.2 典型例题	91
第4章 钢桁架通信塔设计	134
4.1 桁架塔选型	134
4.2 桁架塔设计	139
4.3 工程实例	150
附录1 门式刚架图纸	154
附录2 多层钢框架结构图纸	162
参考文献	174

第 1 章 绪 论

自 20 世纪末,国家不断出台政策鼓励钢结构技术的研究和应用,经过近 20 年的努力,钢结构产业在我国获得了蓬勃发展,同时也锻炼出了一大批钢结构设计和专业化施工队伍,包括研究学者。与此相应的,土木工程专业学生选择钢结构工程作为毕业设计的人数逐年增多,本书即为满足这种需求所写。

1.1 钢结构设计方法论

尽管钢结构形式很多,但遵循的设计步骤大体相同,这也从另一方面说明了如下设计步骤反映了钢结构自身的内在特征。

1.1.1 判断结构是否适合用钢结构

钢结构通常用于高层、大跨度、体型复杂、荷载或吊车起重量大、有较大振动、高温车间、密封性要求高、要求能活动或经常装拆的结构。直观地说,钢结构适用于大厦、体育馆、歌剧院、大桥、电视塔、仓棚、工厂、住宅和临时建筑等类型的结构,这和其自身的特点是相一致的。

1.1.2 结构选型与结构布置

在钢结构设计的整个过程中都应该强调“概念设计”,它在结构选型与布置阶段尤其重要。对一些难以作出精确理性分析或规范未规定的问题,可依据从整体结构体系与分体系之间的力学关系、破坏机理、震害、试验现象和工程经验所获得的设计思想,从全局的角度来确定控制结构的布置及细部措施。运用概念设计可以在早期迅速、有效地进行构思、比较与选择。所得结构方案往往概念清晰、定性正确,并可避免结构分析阶段不必要的繁琐运算。同时,它也是判断计算机内力分析输出数据可靠与否的主要依据。

结构选型时,应考虑它们不同的特点。在轻钢工业厂房中,当有较大悬挂荷载或移动荷载,就可考虑放弃门式刚架而采用网架。基本雪压大的地区,屋面坡度应有利于积雪滑落。降雨量大的地区相似考虑。建筑允许时,在框架中布置支撑会比简单的节点刚接的框架有更好的经济性。而屋面覆盖跨度较大的建筑中,可选择构件受拉为主的悬索或索膜结构体系。高层钢结构设计中,常采用钢-混凝土组合(SRC)结构。在地震烈度高或很不规则的高层中,宜选择周边为巨型 SRC 柱,核心为支撑框架的结构体系。

结构的布置要根据体系特征、荷载分布情况及性质等综合考虑。一般地说要保证结构的刚度均匀;力学模型清晰;尽可能限制大荷载或移动荷载的影响范围,使其以最直接的线路传递到基础;柱间抗侧支撑的分布应均匀,其形心要尽量靠近侧向力(风震)的作用线,否则应考虑结构的扭转;结构的抗侧应有多道防线,比如有支撑的框架结构,柱子至

少应能单独承受 $1/4$ 的总水平力。

1.1.3 预估截面

结构布置结束后,需对构件截面作初步估算,主要是梁柱和支撑等的断面形状与尺寸的假定。

钢梁可选择槽钢、轧制或焊接 H 型钢等类型的截面。根据荷载与支座情况,其截面高度通常在跨度的 $1/30 \sim 1/15$ 之间选择。翼缘宽度根据梁间侧向支撑的间距按 l/b 限值确定时,可回避钢梁的整体稳定的复杂计算,这种方法很受欢迎。确定了截面高度和翼缘宽度后,其板件厚度可按规范中局部稳定的构造规定预估。

柱截面按长细比预估。通常 $50 < \lambda < 150$,简单选择长细比值在 100 附近。根据轴心受压、双向受弯或单向受弯的不同,可选择钢管或 H 型钢等类型的截面。

初学者需注意,对应不同的结构,规范中对截面的构造要求有很大的不同,如钢结构板件的局部稳定,在《钢结构设计规范》GB 50017—2003 和《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》CECS102:2002 中的限值有很大的区别。

除此之外,构件截面形式的选择没有固定的要求,结构工程师应该根据构件的受力情况,合理的选择安全经济美观的截面。

1.1.4 结构分析

目前钢结构实际设计中,结构分析通常为一阶线弹性分析,其基本假定是:材料理想弹性,不考虑变形对平衡条件的影响。条件允许时考虑 $P-\Delta$ 效应。

目前有限元软件可以同时考虑几何非线性和钢材的弹塑性,这为更精确的分析结构提供了条件,但并不是所有的结构都需要使用软件。

典型结构可查力学手册之类的工具书直接获得内力和变形,简单结构通过手算进行分析,复杂结构才需要建模运行程序并作详细的结构分析。

1.1.5 工程判定

要正确使用结构软件,还应对其输出结果做“工程判定”,比如,评估各向周期、总剪力、变形特征等。根据“工程判定”选择是否修改模型重新分析,还是只修正计算结果。

不同的软件会有不同的适用条件,初学者应充分明了。此外,工程设计中的计算和精确的力学计算本身常有一定距离,为了获得实用的设计方法,有时会用误差较大的假定,但对这种误差,会通过“适用条件、概念及构造”的方式来保证结构的安全。钢结构设计中,“适用条件、概念及构造”是比定量计算更重要的内容。

工程师们不应该过分信任与依赖结构软件,美国一位学者曾警告说:“误用计算机造成结构破坏而引起灾难只是一个时间的问题。”

注重概念设计和工程判定是避免这种工程灾难的方法。

1.1.6 构件设计

构件的设计首先是材料的选择。通常主结构使用单一钢种以便于工程管理,从经济的

角度考虑,也可以选择不同强度的钢材。当强度起控制作用时,可选择 Q345;稳定控制时,宜使用 Q235。

构件设计中,薄壁及轻钢杆件采用弹性极限状态设计,相应的规范是:

《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018—2002;

《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》CECS 102:2002。

普通钢结构使用的是弹塑性的方法来验算截面,考虑截面部分塑性开展,相应的规范是:《钢结构设计规范》GB 50017—2003。

当前的结构软件,都提供截面验算的后处理功能。由于程序技术的进步,一些软件可以将验算时不通过的构件,从给定的截面库里选择加大一级,并自动重新分析验算,直至通过,如 SAP2000 等。这是常说的截面优化设计功能之一,它减少了结构师的很多工作量。但是,当上面第 1.1.3 条中预估的截面不满足时,加大截面应该分两种情况区别对待:

(1) 强度不满足,通常加大组成截面的板件厚度,其中,抗弯不满足时加大翼缘厚度;抗剪不满足时加大腹板厚度。

(2) 变形超限,通常不应加大板件厚度,而应考虑加大截面的高度,否则会很不经济。

使用软件的前述自动加大截面的优化设计功能,很难考虑上述强度与刚度的区分,实际上,常常并不合适。

1.1.7 节点设计

连接节点的设计是钢结构设计中重要的内容之一,在结构分析前,就应该对节点的形式有充分思考与确定。常常出现的一种情况是,最终设计的节点与结构分析模型中使用的形式不完全一致,这必须避免。按传力特性不同,节点分刚接、铰接和半刚接,初学者宜选择可以简单定量分析的前两种节点连接方式。

连接节点有等强设计和实际受力设计两种常用的方法,初学者可偏安全选用前者。

1.1.8 图纸编制

钢结构设计出图分设计图和施工详图两阶段,设计图为设计单位提供,施工详图通常由钢结构制造公司根据设计图编制,有时也会由设计单位代为编制。由于近年钢结构项目增多和设计院钢结构工程师缺乏的矛盾,有设计能力的钢结构公司参与设计图编制的情况也很普遍。

(1) 设计图:是提供制造厂编制施工详图的依据,深度及内容应完整但不冗余。在设计图中,对于设计依据、荷载资料(包括地震作用)、技术数据、材料选用及材质要求、设计要求(包括制造和安装、焊缝质量检验的等级、涂装及运输等)、结构布置、构件截面选用以及结构的主要节点构造等均应表示清楚,以利于施工详图的顺利编制,并能正确体现设计的意图。主要材料和构件截面应列表表示。

(2) 施工详图:又称加工图或放样图等。深度须满足车间直接制造加工,不完全相同的构件单元须单独绘制表达,并应附有详尽的材料表。

设计图和施工详图的内容表达方法及出图深度的控制,目前比较混乱,各个设计单位

之间及其与钢结构公司之间不尽相同。初学者可参考他人的优秀设计或参考相关的工具书，并依据规范规定进行图纸编制。

1.2 钢结构毕业设计基本要求

毕业设计对于土木工程专业的学生而言是一个十分重要的实践性教学环节，学生通过毕业设计，可以将以往所学的基础课、专业基础课和专业课程进行综合性应用，同时也是毕业走向工作前的一次演习。

1.2.1 钢结构毕业设计基本内容

钢结构毕业设计文件应包含结构计算书和设计图纸两部分。

毕业设计通常要求学生手算完成大部分结构内力分析和设计，因此计算书宜按照 1.1 节中的设计步骤，清晰地反映计算过程，其中以 1.1.4 结构分析、1.1.6 构件设计及 1.1.7 节点设计为重点内容。结构分析中，至少应反映计算单元选取、导荷过程、工况计算简图、反应(内力及位移等)分析过程、内力组合等关键环节。毕业设计计算书与实际设计工程计算书有所差别，由于实际设计工程，多采用软件分析及设计，计算书内容需反映软件“计算”特征。除了主体钢结构计算外，出于完整性考虑，毕业设计还应包括次要构件、基础等内容。

设计图纸应尽可能按照实际设计工程施工图纸要求完成。通常包括：结构设计说明；基础平面图及施工详图；结构平面布置图；结构立面(剖面)图；节点连接大样；支撑布置图；次要构件施工详图等。

1.2.2 设计说明

钢结构设计总说明的内容应包括：

- (1) 设计的主要依据(如设计规范、勘察报告等)；
- (2) 结构安全等级和设计使用年限、结构所处的环境类别；
- (3) 建筑抗震设防类别、建设场地抗震设防烈度、场地类别、设计基本加速度值、所属的设计地震分组以及结构的抗震等级；
- (4) 基本风压值、地面粗糙度；
- (5) 活荷载取值，特别要说明荷载规范中没有明确规定或与规范取值不同的活荷载标准值及其作用范围；
- (6) 设计±0.000 标高所对应的绝对标高值；
- (7) 所选用结构材料的品种、规格、型号、性能(抗震结构的钢筋、钢材应注明设计需要的特别要求)、强度等级；
- (8) 所采用的标准构件图集，如有特殊构件需作结构性能检验时，应说明检验的方法与要求；
- (9) 地基基础的设计类型与设计等级，对地基基础施工、验收要求以及对不良地基的处理措施与技术要求；
- (10) 说明施工应遵循的施工规范与注意事项。

1.2.3 钢结构施工图纸

一般钢结构施工图纸应表明如下内容：

- (1) 各种结构体系均应绘制各层结构平面布置图及屋面结构平面布置图；
- (2) 绘出定位轴线网及结构构件位置，并注明编号；
- (3) 现浇板及压型钢板组合楼(屋)盖应注明结构层标高、板厚、配筋；预制板应在相同的布置范围内用对角线注明板的编号、数量、标高，明确板的跨度方向；
- (4) 楼梯间应表明其位置，注明楼梯编号；
- (5) 单层有吊车的厂房，应绘制构件布置图和屋面结构布置图。当构件选用标准图时，应在图中予以注明。构件布置图中应表示的构件有：柱、吊车梁、吊车(注明吨位及工作级别)、雨篷、柱间支撑等，屋面结构布置图中应表示的构件有：屋架、天窗架、屋面支撑、系杆等，图中均应绘出柱网轴线，并标明这些构件的布置与编号、构件标高、详图索引号及有关的附注说明等；
- (6) 构件详图、安装节点详图；
- (7) 上述图纸应注明所用钢材材质要求，构件型号、规格、焊(栓)接施工及质量要求，钢结构防火、防腐要求，特别应标明所采用屋(墙)面压型钢板材质、波距、波高、截面惯性矩及外墙构件布置图等。

第2章 门式刚架单层厂房设计

单层钢结构厂房包括由柱与横梁(屋架或屋面梁)在柱顶铰接或刚接构成的中、重型厂房结构体系,以及由柱与横梁刚接构成的门式刚架轻型钢结构厂房结构体系。其中门式刚架结构厂房除具有普通钢结构自重较轻、材质均匀、应力计算准确可靠、加工制造简单、工业化程度高、运输方便等特点外,还具有取材方便、用料较省、自重更轻等优点,因而受到普遍欢迎,近年来在全国各地得到了大量的应用,尤其是吊车起重量较小的单层工业房屋或公共建筑,如超市、娱乐体育设施、车站候车室、码头建筑等应用较为广泛。单跨刚架的跨度在国内最大已达到72m。

门式刚架结构厂房主要适用于无桥式吊车或有起重量不大于20t的A1~A5工作级别桥式吊车或3t悬挂式起重机的单层房屋钢结构。

2.1 门式刚架单层厂房结构设计要点及步骤

2.1.1 结构形式

在门式刚架轻型房屋钢结构体系中,屋盖宜采用压型钢板屋面板和冷弯薄壁型钢檩条,主刚架可采用变截面实腹刚架,外墙宜采用压型钢板墙面板和冷弯薄壁型钢墙梁。主刚架斜梁下翼缘和刚架柱内翼缘出平面的稳定性,由与檩条或墙梁相连接的隅撑来保证。主刚架间的交叉支撑可采用张紧的圆钢。

门式刚架分为单跨(图2-1a、图2-1b、图2-1h)、双跨(图2-1e、图2-1f、图2-1g、图2-1i)和多跨刚架(图2-1c、图2-1d),按屋面坡脊数可分为单脊单坡(图2-1a)、单脊双坡(图2-1b、图2-1c、图2-1d、图2-1g、图2-1h)和多脊多坡(图2-1e、图2-1f、图2-1i)。

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,但是在设有桥式吊车的房屋时,中柱宜为两端刚接,以增加刚架的侧向刚度。

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5t以上桥式吊车时,宜将柱脚设计成刚接,以保证刚架有较强的侧向刚度。

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

轻型房屋的外墙,除采用以压型钢板等作围护面的轻质墙体外,尚可采用砌体外墙或底部为砌体、上部为轻质材料的外墙。

门式刚架轻型房屋可采用隔热卷材作屋面隔热和保温层,也可采用带隔热层的板材作屋面。

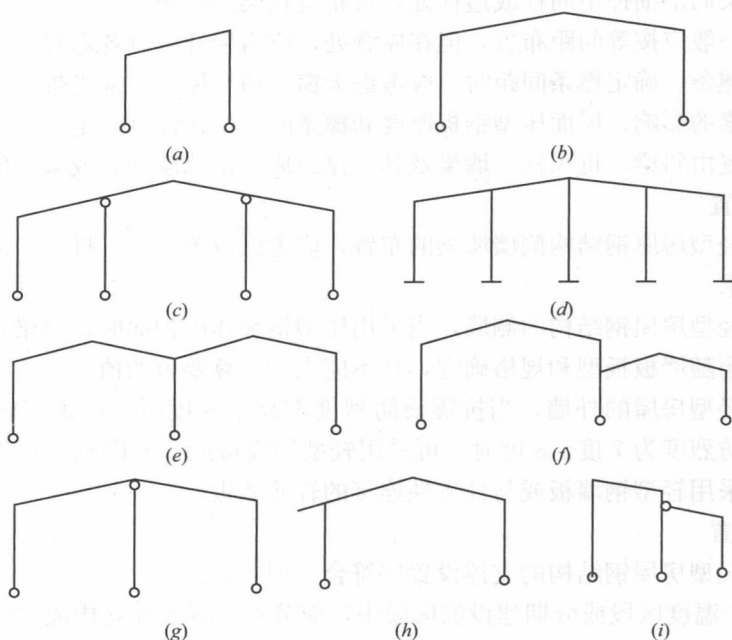


图 2-1 门式刚架结构形式

2.1.2 结构布置

1. 建筑尺寸

门式刚架轻型房屋钢结构的尺寸需符合下列规定：

(1) 门式刚架的跨度，应取横向刚架柱轴线间的距离。

(2) 门式刚架的高度，应取地坪至柱轴线与斜梁轴线交点的高度。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要求确定。

(3) 门式刚架轻型房屋的檐口高度，应取地坪至房屋外侧檩条上缘的高度。门式刚架轻型房屋的最大高度，应取地坪至屋盖顶部檩条上缘的高度。

(4) 门式刚架轻型房屋的宽度，应取房屋侧墙墙梁外皮之间的距离；门式刚架轻型房屋的长度，应取两端山墙墙梁外皮之间的距离。

门式刚架的跨度宜采用 9~36m，当边柱宽度不等时，其外侧应对齐；门式刚架的平均高度宜采用 4.5~9.0m，当有桥式吊车时不宜大于 12m；门式刚架的间距，即柱网轴线间的纵向距离宜采用 6~9m；挑檐长度可根据使用要求确定，宜采用 0.5~1.2m。

2. 结构平面布置

门式刚架轻型房屋钢结构的温度区段长度(伸缩缝间距)，应符合下列规定：纵向温度区段不大于 300m；横向温度区段不大于 150m。当有计算依据时，温度区段长度可适当加大。

当需要设置伸缩缝时，可采用两种做法：在搭接檩条的螺栓连接处采用长圆孔，并使该处屋面板在构造上允许胀缩或设置双柱。吊车梁与柱的连接处宜采用长圆孔。

在多跨刚架局部抽掉中间柱或边柱处，可布置托梁或托架。

屋面檩条一般应按等间距布置，但在屋脊处，应沿屋脊两侧各布置一道檩条，在天沟附近布置一道檩条。确定檩条间距时，应考虑天窗、通风屋脊、采光带、屋面材料、檩条供货规格等因素的影响。屋面压型钢板厚度和檩条间距应按计算确定。

山墙可设置由斜梁、抗风柱、墙梁及其支撑组成的山墙墙架，或采用门式刚架。

3. 墙架布置

门式刚架轻型房屋钢结构侧墙墙梁的布置，应考虑设置门窗、挑檐、遮雨篷等构件和围护材料的要求。

门式刚架轻型房屋钢结构的侧墙，当采用压型钢板作围护面时，墙梁宜布置在刚架柱的外侧，其间距随墙板板型和规格确定，且不应大于计算要求的值。

门式刚架轻型房屋的外墙，当抗震设防烈度不高于 6 度时，可采用轻型钢墙板或砌体；当抗震设防烈度为 7 度、8 度时，可采用轻型钢墙板或非嵌砌砌体；当抗震设防烈度为 9 度时，宜采用轻型钢墙板或与柱柔性连接的轻质墙板。

4. 支撑布置

门式刚架轻型房屋钢结构的支撑设置应符合下列要求：

(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，宜同时设置屋盖横向支撑，以组成几何不变体系。

(3) 屋盖横向支撑宜设在温度区间端部的第一个或第二个开间。当端部支撑设在第二个开间时，在第一个开间的相应位置应设置刚性系杆。

(4) 柱间支撑的间距应根据房屋纵向柱距、受力情况和安装条件确定。当无吊车时宜取 30~45m；当有吊车时宜设在温度区段中部，或当温度区段较长时宜设在三分点处，且间距不宜大于 60m。

(5) 当建筑物宽度大于 60m 时，在内柱列宜适当增加柱间支撑。

(6) 当房屋高度相对于柱间距较大时，柱间支撑宜分层设置。

(7) 在刚架转折处(单跨房屋边柱柱顶和屋脊，以及多跨房屋某些中间柱柱顶和屋脊)应沿房屋全长设置刚性系杆。

(8) 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。

(9) 在设有带驾驶室且起重量大于 15t 桥式吊车的跨间，应在屋盖边缘设置纵向支撑桁架。当桥式吊车起重量较大时，尚应采取措施增加吊车梁的侧向刚度。

刚性系杆可由檩条兼作，此时檩条应满足对压弯杆件的刚度和承载力要求。当不满足时，可在刚架斜梁间设置钢管、H 型钢或其他截面的杆件。

门式刚架轻型房屋钢结构的支撑，可采用带张紧装置的十字交叉圆钢支撑。圆钢与构件的夹角应在 30° ~ 60° 范围内，宜接近 45° 。

当设有起重量不小于 5t 的桥式吊车时，柱间宜采用型钢支撑。在温度区段端部吊车梁以下不宜设置柱间刚性支撑。

当不允许设置交叉柱间支撑时，可设置其他形式的支撑；当不允许设置任何支撑时，可设置纵向刚架。

2.1.3 截面预估

结构布置结束后,需对构件截面作初步估算。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,一般腹板厚度为 6mm,翼缘板厚可采用 10mm 或 12mm;当为格构式刚架时,宜采用方(矩)管冷弯管材作格构杆件。

设有桥式吊车时,柱宜采用等截面柱或阶形变截面柱。等截面柱的柱截面高度不宜小于柱高的 $1/20$,柱脚宜设计成刚接。无吊车门式刚架的柱脚用铰接连接时,为节约用材及美观,宜采用渐变截面的楔形柱,其铰接端的柱截面高度不宜小于 $200 \sim 250\text{mm}$ 。

等截面斜梁的截面高度一般取跨度的 $1/40 \sim 1/30$ (实腹梁)或 $1/25 \sim 1/15$ (格构梁),当梁跨度不大时,斜梁可采用等截面梁与加腋构造(加腋在计算时不考虑)。当梁跨度较大时,宜采用梁端加高的变截面梁,其端高不宜小于跨度的 $1/40 \sim 1/35$,中段高度则不小于跨度的 $1/60$,自梁端计起的变截面长度一般可取为跨度的 $1/6 \sim 1/5$ 。

变截面构件通常改变腹板的高度做成楔形,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的截面,必要时可改变翼缘的厚度。

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单元。单元构件本身采用焊接,单元之间可通过端板用高强螺栓连接。

2.1.4 刚架设计

1. 计算模型的确定

门式刚架的计算单元一般取受力最大的单榀刚架,并按平面计算方法进行。

2. 设计原则

门式刚架轻型房屋钢结构设计应采用以概率理论为基础的极限状态设计法,按分项系数设计表达式进行计算。

门式刚架轻型房屋钢结构的承重构件,应按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计。

当结构构件按承载能力极限状态设计时,应根据现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定计算荷载基本组合的效应设计值,并符合下列要求:

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad (2-1)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数。对一般的门式刚架钢结构构件安全等级取二级,当设计使用年限为 50 年时,结构承重性系数取不小于 1.0;当设计使用年限为 25 年时,取不小于 0.95;

S_d ——不考虑地震作用时,荷载组合的效应设计值;

R_d ——结构构件承载力的设计值。

在抗震设防地区,门式刚架轻型房屋钢结构应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 进行抗震验算,并符合下列要求:

$$S_E \leq R_d / \gamma_{RE} \quad (2-2)$$

式中 S_E ——考虑多遇地震作用时, 荷载和地震作用组合的效应设计值;

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数。

3. 荷载及荷载组合

(1) 荷载

作用在门式刚架轻型钢结构上的荷载包括以下类型:

1) 永久荷载: 包括结构自重(如屋面板、檩条、支撑、刚架、墙板等自重, 初步计算时可按标准值 $0.45 \sim 0.55 \text{ kN/m}^2$ 折算取用)和悬挂在结构上的非结构构件的重力荷载(如吊顶、管线、天窗、风机、门窗等)。

2) 可变荷载: 包括屋面活荷载、积灰荷载、雪荷载、风荷载、吊车荷载等。当采用压型钢板轻型屋面时, 屋面竖向均布活荷载标准值(按投影面积算)取 0.5 kN/m^2 ; 对受荷水平投影面积超过 60 m^2 的刚架结构, 计算时采用的竖向均布活荷载标准值可取 0.3 kN/m^2 ; 屋面活荷载与雪荷载不同时考虑, 取其中较大值计算; 积灰荷载与雪荷载和屋面活荷载中的较大值同时考虑。风荷载: 现行《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》CECS 102: 2002 对于风荷载的取用以《建筑结构荷载规范》GB 50009—2012 为基础, 风荷载体形系数按照美国金属房屋制造商协会 MBMA《低层房屋体系手册》中有关小坡度房屋的规定取用; 吊车荷载: 按《建筑结构荷载规范》GB 5009—2012 的规定取用, 但吊车的组合一般不超过两台。

3) 地震作用: 按《建筑结构荷载规范》GB 5009—2012 的规定取用, 一般不与风荷载作用同时考虑。

(2) 荷载组合

门式刚架的永久荷载一般比较小, 因此其荷载组合一般由可变作用效应控制。

计算承载能力极限状态时, 可取如下荷载组合:

$$A. \quad S_d = \sum_{j=1}^m \gamma_{G_j} S_{G_{j,k}} + \gamma_{Q_1} \gamma_{L_1} S_{Q_{1,k}} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Q_i} \gamma_{L_i} \psi_{c_i} S_{Q_{i,k}} \quad (2-3)$$

式中 γ_{G_j} ——第 j 个永久荷载的分项系数;

γ_{Q_i} ——第 i 个可变荷载的分项系数, 其中 γ_{Q_1} 为主导可变荷载 Q_1 的分项系数;

γ_{L_i} ——第 i 个可变荷载考虑设计使用年限的调整系数, 结构设计使用年限为 50 年时, 取 $\gamma_{L_i} = 1.0$, 其中 γ_{L_1} 为主导可变荷载 Q_1 考虑设计使用年限的调整系数;

$S_{G_{j,k}}$ ——按第 j 个永久荷载标准值 $G_{j,k}$ 计算的荷载效应值;

$S_{Q_{i,k}}$ ——按第 i 个可变荷载标准值 $Q_{i,k}$ 计算的荷载效应值, 其中 $S_{Q_{1,k}}$ 为诸可变荷载效应中起控制作用者;

ψ_{c_i} ——第 i 个可变荷载 Q_i 的组合值系数;

m ——参与组合的永久荷载数;

n ——参与组合的可变荷载数。

B. 1.2 (或 1.0) $\times$ 重力荷载代表值 $+1.3\times$ 水平地震作用标准值。

在计算截面强度、构件稳定性和铰接柱脚时, 需计算截面的最大弯矩及最大轴力, 此时式(2-2)中 γ_{G_j} 取 1.2 , 可变荷载的分项系数取 1.4 ; 对于刚接柱脚及锚栓的计算,

需要计算轴力最小而相应弯矩最大的内力组合,式(2-2)中 γ_{G_j} 取1.0。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,因此利用公式(2-2)进行刚架的抗倾覆验算时, γ_{G_j} 取1.0(此时取组合:1.0×永久荷载标准值+1.4×风荷载标准值);当 $S_{Q_{1k}}$ 无法明显判断时,应轮次以各可变荷载效应作为 $S_{Q_{1k}}$,并选取其中最不利的荷载组合的效应设计值;组合适用于计算有地震作用参与组合时的刚架内力。计算结构内力时,对于应考虑左风、右风荷载,左震、右震作用,组合时取最不利工况。

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/m²,或抗震设防烈度为8度而风荷载标准值大于0.45kN/m²时,地震作用的组合一般不起控制作用。

构件截面的验算应选择控制截面的最不利荷载组合。刚架斜梁一般应选用 $M_{\max}$ 的组合,同时也注意判断或选用稍次于 $M_{\max}$ 并能形成 $Q_{\max}$ 的组合;对柱的刚接上、下端截面,应选择 $M_{\max}$ 及相应 N 尽可能大的组合、 $N_{\max}$ 相应 M 尽可能大的组合;同时对柱脚锚栓、抗剪连接件的计算尚应考虑 $M_{\max}$ 相应 N 尽可能小、 $V_{\max}$ 相应 N 尽可能小的组合。

4. 内力及侧移计算

确定门式刚架计算简图时,柱的轴线可取通过柱下端(对变截面柱按较小端)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。

对于变截面门式刚架应采用弹性分析方法确定各种内力。等截面门式刚架内力计算一般采用结构力学方法按弹性分析方法进行。仅在构件全部为等截面时才允许采用塑性分析方法,并按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003的规定进行设计。

变截面门式刚架宜按平面结构分析内力,一般不考虑应力蒙皮效应。当有必要且有条件时,可考虑屋面板的应力蒙皮效应。考虑蒙皮效应是将屋面板作为深梁承受屋面平面内的荷载,可提高结构整体刚度和承载能力,在目前的设计计算中多把其作为结构的承载能力储备,按平面结构通过结构力学方法或由相关程序、计算手册分析内力。

门式刚架结构设计计算宜采用专用或通用程序或自行编制程序计算。变截面门式刚架的内力可采用有限元法(直接刚度法)计算。计算时宜将构件分为若干段,每段可视为等截面;也可采用楔形单元,其划分长度应按单元两端惯性矩 I 的比值不小于0.8来确定单元长度,并取单元中间惯性矩 I 值进行计算。

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。

门式刚架结构的地震作用效应可采用底部剪力法分析确定:无吊车且高度不大的刚架可采用单质点简图,柱上半部及以上各种质量集中于横梁中点质点;有吊车时可采用3质点简图,屋盖质量和上柱的上半部质量集中于横梁中点质点,吊车、吊车梁及上柱的下半部、下柱的上半部质量(含墙体质量)集中于牛腿处质点。计算纵向地震作用时宜采用单质