

新
编

轻钢结构设计

实用手册

李承汉 徐琪华 姜学宜 乐嘉龙 编著



• 光盘内含门式刚架计算程序 •



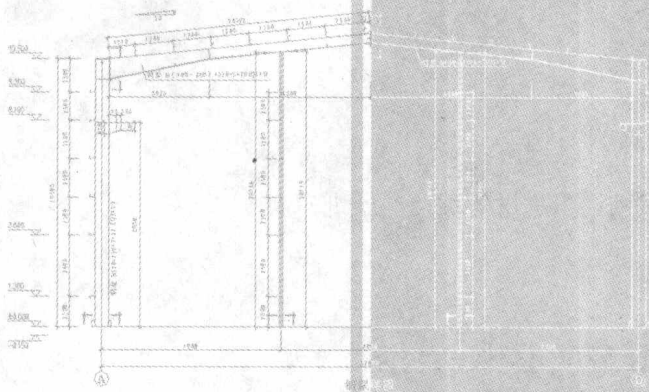
中国电力出版社
www.cepp.com.cn

新
编

轻钢结构设计

实用手册

李承汉 徐琪华 姜学宜 乐嘉龙 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本手册在图表前做了抛砖引玉式的讨论,主要篇幅是计算图表。与一般手册的选用表不同,本手册计算图表将 1740 个刚架的截面规格除了与刚架的外形尺寸及荷载数据联系在一起外,还将刚架各关键部位的控制内力值、刚架侧移刚度值以及计算模型的尺寸数据联系起来。不止于此,同时对每种跨度、每个荷载类别、每种柱距下都会有高、低两种檐口高度的刚架列在一起,而且每个刚架都会有等截面和变截面两种截面形式。这样即会使读者在特定的条件下找到合适截面规格的范围扩大许多,使用图表的方法也不止一种,甚至在有几种荷载作用与横梁的情况下,通过手册提供的程序,经过简单的内力计算,也能在图表中找到合适的参考截面。另外,将上述数据有顺序地排列在一起,会使读者除了找到参考截面之外,还会对门式刚架这种结构的工作状态另有所心得,对于想了解门式刚架计算前后处理程序的读者,手册里也结合所使用的程序做了介绍。

本手册适合从事门式刚架设计人员以及高校师生参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

新编轻钢结构设计实用手册/李承汉等编著. —北京:中国电力出版社, 2007

ISBN 978-7-5083-5917-5

I. 新… II. 李… III. 轻钢结构-结构设计-手册
IV. TU392.504-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 104795 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 http://www.cepp.com.cn)

北京盛通印刷股份有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2007 年 11 月第一版 2007 年 11 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 37.5 印张 978 千字

印数 0001—3000 册 定价 88.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

Preface



近年来门式刚架轻型房屋钢结构广泛地应用于民用和工业建筑。与此配合的协会标准《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》有两个版本批准发布，集中针对门式刚架的设计手册和专著，以及国家建筑标准设计图集《门式刚架轻型房屋钢结构》的批准施行；这些都成为门式刚架研究、设计、制作和安装的准则。通过专业人员的研究工作，进一步推动了我国门式刚架轻型房屋钢结构技术的发展。这些也是本手册编写的基础和初衷。

本手册分为两大章节。第一章为轻型门式刚架设计的一般准则，由姜学宜编写，第二章包含例题、计算图表及由计算图表引出的一些问题的讨论和设计程序介绍，再加上附录中轻型门式刚架工字形截面的截面特性，由李承汉和徐琪华编写。手册中所附的程序，内力计算部分由北京华思维科技有限公司提供 GTSTRUD（学生版），其处理部分由李承汉编制，全书由乐嘉龙总体审定。

本手册由中冶京诚工程技术有限公司（原北京钢铁设计研究总院）民用建筑院、工业建筑院组织编写，并经过王立军、李勇、马天鹏、孙鹁翎等技术专家的审定。

限于时间和水平，疏漏和不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者

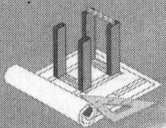
二〇〇六年十月



目 录

contents

前言	1
第一章 设计基本原则与结构选材	1
第一节 轻钢结构的定义及特点	1
第二节 轻钢结构材料	2
第三节 轻钢结构连接材料	4
第四节 轻钢结构体系	5
第五节 门式刚架结构分析	7
第二章 轻型门式刚架	16
第一节 概述	16
第二节 门式刚架的计算	17
第三节 轻型门式刚架计算图表	29
第四节 关于门式刚架计算图表中的一些问题	540
第五节 计算程序	553
附录	555
参考文献	595



设计基本原则与结构选材



第一节 轻钢结构的定义及特点

一、轻钢结构的定义

随着建筑结构形式的发展,越来越多的轻钢结构被广泛应用,其中最常见的是门式刚架轻型房屋钢结构。这种房屋的特点是轻,主要用于单层非住宅的中小型工厂仓库商店大型超市等,是采用轻型 H 型钢(焊接或轧制;变截面或等截面)做成门式刚架;C 形、Z 形冷弯薄壁型钢做檩条墙梁;压型钢板或轻质夹心板做屋面墙面围护结构;采用高强螺栓普通螺栓及自攻螺丝等连接件和密封材料连接承重结构、围护结构构件,现场组装的预制装配式轻钢结构建筑。

轻钢结构建筑,即轻钢建筑:是指以轻型冷弯薄壁型钢,轻型焊接和高频焊接型钢,薄钢板薄壁钢管轻型热轧型钢及以上各构件拼接、焊接而成的组合构件为主要受力构件,大量采用轻质围护隔离材料的单层和多层建筑。这样定义可以概括“轻钢结构”建筑大量采用薄壁结构,尤其是冷弯薄壁构件,大量采用轻质围护隔离建材的共同本质特点,而在具体结构形式上,又利于将来的进一步发展,较为严密且灵活。

二、轻钢结构建筑的特点

近年来,在我国建筑工程领域中已经出现了产品结构调整,长期以来混凝土和砌体结构一统天下的局面正在发生变化,轻钢结构以其自身的优越性引起业内关注,已经在工程中得到广泛的应用。我国轻钢结构发展迅速,与传统的钢筋混凝土结构和普通钢结构相比,轻钢结构建筑具有很多优越性,如高强高韧性抗震轻质,从而减轻地基基础造价,成本低,可满足建筑上的大开间和灵活分割,提高使用面积率 5%~8%,不消耗木材,可工厂化预制、拼装也可拆卸,有建筑工期短投资回收快环境污染少等综合优势。

1. 自重轻

自重轻是轻钢结构最显著的特点。其承重结构采用轻型焊接 H 型钢,冷弯薄壁型钢,这种型钢的截面形状可以按照实际受力情况和使用特点进行设计,比普通的工字钢、槽钢、角钢截面受力合理,截面利用系数高,单位质量轻,可以节省钢材 20%~50%。轻钢屋面系统的用钢量一般为 8~15kg/m²,单层轻钢仓库的用钢量为 16~30kg/m²,接近甚至可低于在相同条件钢筋混凝土结构的用钢量。工程资料表明:1t 钢结构可减少 7t 混凝土用量,可大量节约木材水泥及其他建筑材料。因此,轻钢结构可大幅度减低结构自重,一般轻钢结构自重约为同类普通钢结构的 1/2~1/3,钢筋混凝土结构的 1/10,房屋上部结构重量的减轻大大降低了基础工程的材料用量及工程用量。对于地基承载力较低的地区,这个优点更加突出。

2. 工业化程度高

轻钢结构建筑构造简单,材料单一,容易做到设计标准化,构件加工制作工业化,现场安装预制装配化程度高,销售设计生产可以全部采用计算机控制,产品质量好,生产效率高。



3. 现场施工速度快工期短

由于轻钢结构重量轻,比一般混凝土结构的运输吊装工作量可以减少 90%左右,构件标准定型装配化程度高,现场安装简单快捷,无湿作业,不需要支模和养护期,现场安装不受气候影响,利于保持现场文明施工和环境。一般厂房仓库签定合同后 2~3 个月可交付使用,对于工期较紧的工程采用轻钢结构是很有利的。

4. 综合经济效益优良

轻钢建筑采用计算机设计,采用先进的自动化制造设备,工业化生产方式,快速施工,经济效益十分显著。由于轻钢结构自重轻、强度高的特点,对于基础要求低,造价相对低廉,可节省建设资金。轻钢结构构件截面相对较小,与混凝土结构相比可增加建筑有效使用面积 8%左右,提高使用效率。作为围护结构的彩钢面板维护简便、费用低。因项目工期短,一般轻钢建筑的建造速度比同面积、同体积的混凝土结构建筑施工周期缩短了 2/3,极大地减少投资融资成本,投资回报率比其他结构形式快,使业主在享受回报上具有较大的优势。

5. 结构抗震性能好、变形能力强

轻型结构所采用的钢材强度高,塑性和韧性好,承受动力荷载的性能强,可靠性高,抗震性能优良。因自重轻,自振周期长,钢材延性好,所以整体抗震性能增强。

6. 利于环境保护

轻钢结构建筑是环保节能产品,符合可持续发展的战略,污染小,钢材可回收再循环利用,轻钢结构亦可搬迁复用,有利于环境保护、资源节约和美化生存环境。

7. 外形美观、现代感强

轻钢建筑外形设计和彩钢板的色彩选择自由度大,屋面压型板,尤其是墙面彩钢板,具有轻质高效、色彩艳丽、造型美观的特点,可作为墙体用,同时又具有装饰墙面的作用。一般厂房及其他结构在墙面板封闭完后即告完工,无需再进行装饰,可以满足多种生产工艺和使用功能的要求。

8. 利于住宅建筑的材料改革和换代

砖混结构住宅须消耗大量的黏土砖、木材等建筑材料,不利于节能环保,也难以实现住宅建设的工厂化生产。轻钢住宅安全可靠、美观实用、利于环保,同时也降低资源的消耗。推广建设轻钢住宅是经济建设、社会发展和市场要求的必然结果。另外,轻钢住宅便于地震、洪水和水灾后的居住区的快速重建以及旧房的加层改造。



第二节 轻钢结构材料

一、材料的类型

轻钢结构中所用钢材主要有普通碳素结构钢和低合金高强度结构钢,其牌号按屈服强度级别表示,如 Q235、Q345,牌号中的数字表示其屈服强度 (MPa);按质量等级 Q235 分别为 A、B、C、D 四个等级, Q345 分为 A、B、C、D、E 五个等级,分别对应于相应的化学成分、冲击功及脱氧方法等,以便于应用。

(1) 碳素结构钢:按含碳量在大小,碳素结构钢可分为低碳钢、中碳钢和高碳钢。一般而言,含碳量为 0.03%~0.25%的称为低碳钢,含碳量在 0.26%~0.60%之间称为中碳钢,含碳量在 0.60%~2.00%的称为高碳钢。含碳量越高材料强度越高。建筑结构中主要使用低碳

钢。钢材的牌号由代表屈服点的字母、屈服点数值、质量等级符号、脱氧方法的四个部分按顺序组成。

例如, Q235-B F 符号含义如下:

Q——材料屈服强度;

235——屈服点 (不小于) 235N/mm^2

A、B、C、D——质量等级, 从次到优顺序排列;

F、b、Z、TZ——沸腾钢、半镇静钢、镇静钢、特殊镇静钢, 在牌号表示中“Z”与“TZ”符号可忽略。

(2) 低合金结构钢: 在碳素结构钢中添加一种或几种少量的合金元素 (钢内各合金元素的总含量小于 5%), 从而提高其强度、耐腐蚀性、耐磨性或低温冲击韧性, 我们将这种钢称为低合金结构钢。低合金结构钢的含碳量一般较低 (少于 0.20%), 便于钢材的加工和焊接。

碳素结构钢用于一般受弯构件, 可以充分利用钢材的强度, 但挠度和稳定的潜力很难充分发挥; 而低合金结构钢构件的强度、挠度和稳定三个主要控制指标较易均衡地得以发展, 同碳素结构钢相比可以节约 20% 左右的钢材用量。

二、钢材的规格

轻钢结构所用钢材主要为热轧钢板, 各种型钢以及冷弯薄壁型钢等。各种钢材产品标准及规格如下:

- (1) GB/T 700—2006《碳素结构钢》;
- (2) GB 702—2004《热轧方钢、圆钢》, 最大直径或边长为 60mm;
- (3) GB/T 706—1988《热轧工字钢》, 截面最大高度 630mm;
- (4) GB/T 707—1988《热轧槽钢》, 截面最大高度 400mm;
- (5) GB/T 709—1988《热轧钢板和钢带》, 最大厚度为 200mm;
- (6) GB/T 1519—1994《低合金高强度结构钢》;
- (7) GB/T 3071—1999《合金结构钢》;
- (8) GB/T 9787—1988《热轧等边角钢》, 最大规格 $L200\text{mm} \times 200\text{mm} \times 24\text{mm}$;
- (9) GB/T 9788—1988《热轧不等边角钢》, 最大规格 $L200\text{mm} \times 125\text{mm} \times 18\text{mm}$;
- (10) GB/T 11243—2005,《热轧 H 型钢和部分 T 型钢》, 截面最大高度 1000mm;
- (11) GB/T 3277—1991《花纹钢板》, 基本厚度为 2~8mm;
- (12) GB/T 8162—1999《结构用无缝钢管》, 直径 32~480mm;
- (13) GB 9711—1988, SY 5036、37—1983《螺旋焊钢管》, 直径 219~1420mm;
- (14) GB/T 6723—1986《通用冷弯开口型钢》, 包括等边角钢、不等边角钢、槽钢、内卷边槽钢等品种, 厚度为 2.5~6.0mm;
- (15) GB/T 12755—1991《建筑用压型钢板》, 波高 28~173mm;
- (16) YB 410—2000《高层建筑结构用钢板》, 厚度 16~100mm。

三、钢材的选用

为了保证承重结构的承载能力和防止在一定条件下出现脆性破坏, 应根据结构的重要性、荷载特性、结构形式、连接方法、钢材厚度和工作温度等因素综合考虑, 选用合适的钢材牌号和材质。因此钢材选用应符合下列规定和要求。

- (1) 用于承重的冷弯薄壁型钢、轻型热轧型钢和钢板, 应采用现行国家标准 GB/T 700



《碳素结构钢》规定的 Q235 钢和 GB/T 1591《低合金高强度结构钢》规定的 Q345 钢。

(2) 当焊接承重结构为防止钢材的层状撕裂而采用 Z 形钢时, 其材质应符合现行国家标准 GB/T 5313《厚度方向性能钢板》的规定。

(3) 根据结构类型及其重要性来选择钢材。结构类型按其重要性, 分为重要、一般和次要三类。重级工作制吊车梁和特别重要的轻型钢结构主结构和次结构属于重要结构, 普通轻型钢结构厂房的主结构梁柱和次结构构件属于一般结构, 而辅助结构中的楼梯、平台、栏杆等属于次要结构。重要结构可选用 Q345 钢或 Q235-C 或 D, 一般结构可选用 Q235-B, 次要结构可选用 Q235-B·F。

(4) 根据结构上荷载性质来选择钢材。可分为静力荷载和动力荷载两种。动力荷载又有经常满载和不经常满载的区别。直接承受动力荷载的结构一般采用 Q235-B、Q235-C、Q235-D 及 Q345 钢。对于环境温度高于 -20°C 、起重量 $Q < 50\text{t}$ 的中、轻级工作制吊车梁也可选用 Q235-B。承受静力荷载或间接承受动力荷载的结构可选用 Q235-B。

(5) 根据结构工作温度选择结构的质量等级。例如, 工作温度低于 -20°C 时, 宜选用 Q235-C 或 Q235-D; 工作温度高于 -20°C 时, 可选用 Q235-B。

(6) 对处于外露环境, 且对大气腐蚀有特殊要求的或在腐蚀性气态和固态介质作用下的承重结构, 宜采用耐候钢, 其质量要求应符合现行国家标准《焊接结构用耐候钢》的规定。



第三节 轻钢结构连接材料

一、连接方式

轻钢结构的连接方式有焊缝连接与螺栓连接两种方式。焊缝连接是目前轻钢结构中较多采用的方法, 它具有不削弱构件截面, 构造简单和加工方便等优点。在轻钢结构中, 由于焊件薄, 通常焊缝少, 故多数采用手工电弧焊。其施焊灵活, 易于在不同位置施焊, 但焊缝质量低于自动焊。螺栓连接又分为普通螺栓连接与高强螺栓连接。普通螺栓连接主要用在结构的安全连接以及可拆卸的结构中。螺栓连接的优点是拆装便利, 安装时不需要特殊设备, 操作简便。

二、连接材料材质要求

1. 焊接连接

(1) 手工焊接采用的焊条, 应符合现行国家标准 GB/T 5117《碳钢焊条》或 GB/T 5118《低合金钢焊条》的规定。选择的焊条型号应与主体金属力学性能相适应。对直接承受动力荷载或振动荷载且需要验算疲劳的结构, 宜采用低氢型焊条。

将两种不同强度的钢材相连接时, 可采用与低强度钢材相适应的连接材料。

1) 对 Q235 钢宜采用 E43 型焊条。

2) 对 Q345 钢宜采用 E50 型焊条。

(2) 自动焊接或半自动焊接采用的焊丝和相应的焊剂应与主体金属强度相适应, 并符合现行国家标准 GB/T 14957《熔化焊用钢丝》的规定。

2. 螺栓连接

(1) 普通螺栓可采用符合现行国家标准《碳素结构钢》规定的 Q235-A 级钢制成, 并应符合现行国家标准《六角螺栓-A 级和 B 级》的规定。

(2) 高强度螺栓应符合现行国家标准 GB/T 1228《钢结构用高强度大六角头螺栓》, GB/T 1229《钢结构用高强度大六角头螺母》、GB/T 1230《钢结构用高强度垫圈》, GB/T 1231《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角头螺母、垫圈技术条件》或 GB/T 3633《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副技术条件》的规定。

按现行国家标准, 大六角头高强度螺栓的规格为 M12~M30, 其性能等级分为 8.8 级和 10.9 级, 8.8 级高强度螺栓推荐采用的钢号为 40B 钢、45 号钢和 35 号钢, 10.9 级高强度螺栓推荐采用的钢号为 20MnTiB 钢和 35VB 钢; 扭剪型高强度螺栓的规格为 M16~M24, 其性能等级只有 10.9 级, 推荐采用钢号为 20MnTiB 钢。

(3) 锚栓可采用现行国家标准 GB/T 700《碳素钢结构》中规定的 Q235 钢或 GB/T 1591《低合金高强度结构钢》中规定的 Q345 钢制成。

(4) 连接薄钢板或其他金属板采用的自攻螺钉应符合现行国家标准 GB/T 15856.1~4《自钻自攻螺钉》、GB/T 3098.11 或 GB/T 5282~5285《自攻螺栓》的规定。

第四节 轻钢结构体系

轻钢结构体系包括门式刚架、轻型钢屋架, 网架等多种结构形式, 其中门式刚架是应用较为广泛的一种结构形式。

一、门式刚架特点

门式刚架结构是梁、柱单元构件的组合物, 是钢柱与钢梁采用刚性连接作为承重骨架的结构体系。其形式多种多样, 在工业与民用建筑轻钢结构中, 应用较多的是: 单跨、双跨或多跨的单、双坡门式刚架, 可根据通风、采光的需要设置通风口、采光带和天窗架等。见图 1-1。门式刚架的特点是具有自重轻、建筑体型简捷、美观等。

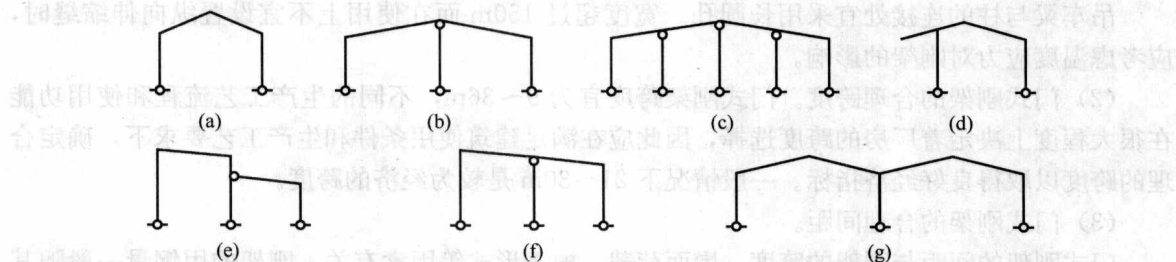


图 1-1 门式刚架的形式

- (a) 单跨双坡; (b) 双跨双坡; (c) 四跨双坡; (d) 单跨双坡带挑檐;
(e) 带毗屋刚架; (f) 双跨单坡; (g) 双跨四坡

二、门式刚架的基本组成

轻型门式刚架的结构体系主要包括五大部分:

- (1) 主结构: 包括横向刚架、吊车梁、托架等。
- (2) 次结构: 包括屋面檩条、墙梁、墙皮柱、抗风柱等。
- (3) 支撑结构: 包括屋面支撑、柱间支撑、系杆等。
- (4) 围护结构: 包括屋面板、墙面板、通风口等。



(5) 辅助结构：包括楼梯、内部平台、栏杆等。

轻型门式刚架的基本组成见图 1-2。

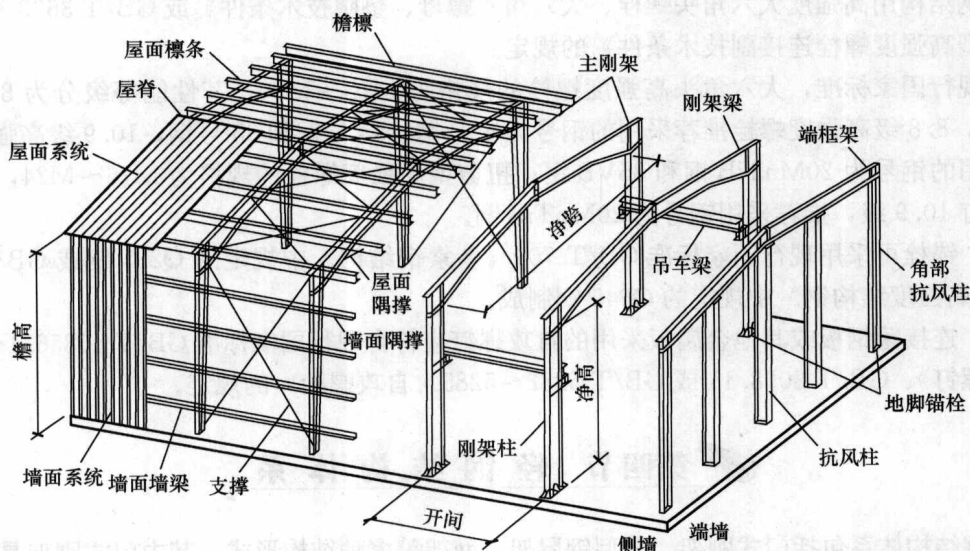


图 1-2 门式刚架轻型房屋钢结构的基本组成

三、门式刚架的结构布置

(1) 门式刚架轻型房屋钢结构的温度区段长度（伸缩缝间的距离）。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。

当需要设置横向伸缩缝时，可采用两种做法：①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；②设置双柱。

吊车梁与柱的连接处宜采用长圆孔。宽度超过 150m 而在使用上不宜设置纵向伸缩缝时，应考虑温度应力对刚架的影响。

(2) 门式刚架的合理跨度。门式刚架跨度宜为 9~36m，不同的生产工艺流程和使用功能在很大程度上决定着厂房的跨度选择，因此应在满足建筑使用条件和生产工艺要求下，确定合理的跨度以取得良好经济指标。一般情况下 21~30m 是较为经济的跨度。

(3) 门式刚架的合理间距。

门式刚架的间距与刚架的跨度、屋面荷载、檩条形式等因素有关。刚架的用钢量一般随其间距的增大而减小，但吊车梁、檩条、墙梁的用钢量则随刚架间距的增大而增加。对于无桥式吊车的单层门式刚架轻型房屋，刚架间距以 6~9m 为宜（因为薄钢檩条的截面最大高度不宜超过 250mm）；当没有悬挂荷载或悬挂荷载不挂在檩条上，或采用高频焊接轻型 H 型钢檩条，或采用结构式檩条时，刚架间距可以做到 12m，此时侧墙宜设墙架柱；通常大跨度刚架宜采用大间距，跨度与间距的比一般以 3.5~5 为宜，对于有 10t 以上吊车或较大的悬挂荷载的单层门式刚架轻型房屋，刚架间距以 6m 为宜。

(4) 门式刚架的其他布置。

1) 在多跨刚架局部抽掉中柱（或边柱）处，可布置托梁或托架。此时应在其两侧（或一侧）布置纵向水平支撑，并向两端各延伸一个开间，以加强整体刚度，并保证托梁（托架）的整体稳定。

2) 山墙可设置由斜梁、抗风柱和墙梁及其支撑组成的山墙墙架; 当有抗震要求或有扩建要求时, 不宜采用山墙墙架, 而宜采用门式刚架。

3) 屋面的檩条布置, 应考虑天窗, 通风屋脊、采光带、屋面材料、檩条的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。

4) 门式刚架建筑物的侧墙可采用砖墙或压型钢板墙面, 采用压型钢板墙面时, 下部宜设置一道高约 1m 的砖(砌块)墙或高约 0.2m 的混凝土踢脚, 以防止雨水渗漏。侧墙的墙梁通常设于刚架柱外侧, 或使墙梁外缘与刚架柱外侧齐平。



第五节 门式刚架结构分析

一、荷载条件

(一) 作用在轻型钢结构上的荷载包括以下类型

(1) 恒载: 包括屋面、屋架和天窗架等结构质量, 以及作用在屋架节点上的设备、管道自重等。

(2) 活载: 包括屋面均布活荷载、施工或检修活荷载、雪荷载和积灰荷载等。

1) 屋面均布活荷载: ①不上人屋面。当采用压型钢板等轻型屋面时, 中国工程标准化协会标准 CECS 102: 1998《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》中取屋面均布活荷载标准值(按投影面积计算)为 0.3kN/m^2 ; ②上人屋面, 按使用要求确定, 但不得小于 1.5kN/m^2 。

2) 施工或检修荷载。设计屋面板和檩条时应考虑施工或检修集中荷载, 其标准按 CECS 102: 1998《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》中取 1.0kN 。

3) 雪荷载、积灰荷载等按现行国家规范《建筑结构荷载规范》的规定采用。设计屋面板和檩条时, 应考虑在屋面天沟、阴角、天窗挡风板内以及高低跨相接处的荷载增大系数。

(3) 风荷载。垂直于建筑物表面的风荷载标准值, 应按 CECS 102: 2002 中附录 A 的规定计算。对于不是单脊双坡或高低跨的房屋以及不符合该附录 A. 0.2 的规定计算, 例如, 屋面平均规定大于 18m 或高宽比大于 1 的房屋不属于低矮房屋, 不能采用该附录 A 规定的风荷载, 而应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》的规定计算。以上两套规定, 设计时不能混用。

另外, 符合 A. 0.2 规定的条件但屋面坡度大于 10 的房屋, 可按美国 MBMA《低层房屋体系手册》(1966) 的规定采用。

鉴于低层房屋的屋面风吸力较大, 多坡房屋屋面体型系数除按 GB 50009 的规定计算外, 也可在对应坡面参考上述附录 A 的规定采用(二者都是近似的)。

(4) 吊车荷载按《建筑结构荷载规范》的规定计算, 作用于屋架的悬挂吊车(包括电动葫芦)的竖向荷载乘以动力系数 1.1, 其水平荷载由相应的支撑系统承受, 屋架计算时不予考虑。

(5) 温度荷载按实际环境温差考虑。

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

(二) 荷载效应组合原则

荷载效应组合符合下列原则:

- (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) 施工活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现行国家标准 GB 50009《建筑结构荷载规范》的规定。
- (5) 风荷载不与地震作用同时考虑。
- (6) 对于自重较轻的屋面, 应验算在风吸力作用下屋架杆件、檀条等在永久荷载与风荷载组合下杆件截面应力的影响, 此时永久荷载的分项系数取 1.0。

二、结构设计原则

(一) 结构设计基本方法

轻型房屋钢结构采用以概率理论为基础的极限状态设计方法, 用分项系数设计表达式进行计算。承重结构或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, 前者确保安全、可靠, 后者保证实用美观。

1. 承载能力极限状态

结构的承载能力极限状态是指结构或构件在设计荷载作用下不发生强度或稳定破坏或达到不适于继续承载的变形的极限状态。当结构或构件出现下列状态之一时, 即认为达到这种极限状态。

- (1) 构件和连接的强度破坏, 即其应力达到强度设计值认为已达到这种极限状态。
- (2) 结构或构件塑性变形而使其几何形状发生显著改变, 虽未达到最大承载能力, 但已不能使用。
- (3) 结构或构件达到临界状态而丧失稳定 (包括构件局部稳定和整体失稳等)。
- (4) 结构转变为机动体系而丧失承载能力。
- (5) 结构或构件的一部分作为刚体失去平衡 (例如滑移或倾覆)。

必须注意: 计算承载能力极限状态时, 必须采用荷载设计值。

2. 正常使用极限状态

当结构或构件达到正常使用的某种规定限值的状态时, 该结构或构件即达到正常使用极限状态。当结构或构件出现下列状态之一时, 即认为超过了正常使用极限状态:

- (1) 影响正常使用或外观的变形。
- (2) 影响正常使用的局部损坏。
- (3) 影响正常使用的振动。
- (4) 影响正常使用的其他特定状态。

对于轻型门式刚架结构而言, 正常使用极限状态是指结构和构件的位移满足相应的容许值, 这可以提供验算结构的变形来确定; 同时结构和构件不产生振动, 这可以通过限制构件的长细比来确保。

必须注意: 计算结构正常使用极限状态时, 采用荷载标准值。

设计时通常按承载能力极限状态设计结构或构件以保证安全, 再按正常使用极限状态进行校核以保证实用性。

(二) 建筑结构的安全等级

建筑结构安全等级的划分, 按 GB 50008《建筑结构可靠度设计统一标准》的规定应符合表 1-1 的要求。

表 1-1

建筑结构的等级

安全等级	破坏后果	建筑物类型
一 级	很严重	重要的房屋
二 级	严 重	一般的房屋
三 级	不严重	次要的房屋

注 1. 对特殊的建筑物, 其安全等级应根据具体情况另行确定。

2. 对抗震建筑结构, 其安全等级应符合国家现行有关规范的规定。

(三) 承载能力极限状态计算

按承载能力极限状态设计时, 应考虑荷载效应的基本组合(可变荷载为主的组合和永久荷载为主的组合), 必要时尚应考虑荷载效应的偶然组合, 用荷载设计值进行计算, 并采用下列表达式:

$$\gamma_0 S \leq R \quad (1-1)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数, 对安全等级为一级、二级和三级的结构构件, 分别取 1.1, 1.0 和 0.9 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 25 年时, 取值不小于 0.95;

S ——不考虑地震作用时, 荷载效应基本组合的设计值;

R ——结构构件承载力的设计值。

对于基本组合, 荷载效应组合设计值 S 应从下列组合中取最不利值确定:

(1) 由可变荷载效应控制的组合:

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} S_{Qik} \quad (1-2)$$

式中 γ_G 、 γ_{Qi} ——永久荷载的分项系数, 第 1 个可变荷载的分项系数;

S_{Gk} ——按永久荷载标准值 G_k 计算的荷载效应值;

S_{Qik} ——按永久荷载标准值 Q_{ik} 计算的荷载效应值, 其中 S_{Q1k} 为所有可变荷载效应中起控制作用者;

ψ_{ci} ——可变荷载 Q_i 的组合值系数;

n ——参与组合的可变荷载数。

注: 1. 基本组合中的设计值仅适用荷载与荷载效应为线性情况;

2. 当对 S_{Q1k} 无法明显判断时, 轮次以各可变荷载效应为 S_{Q1k} , 选其中最不利的荷载效应组合。

(2) 由永久荷载效应控制的组合:

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} \phi_{ci} S_{Qik} \quad (1-3)$$

注: 当考虑以竖向的永久荷载效应控制组合时, 参与组合的荷载仅限于竖向荷载。

(3) 对于一般排架、门式刚架、框架结构, 基本组合可采用简化规则, 并按下列组合中取最不利值确定:

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} \quad (1-4)$$

$$S = \gamma_G S_{Gk} + 0.9 \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} S_{Qik} \quad (1-5)$$

由永久荷载效应控制的组合仍按公式 (1-3) 采用。一般说来, 对于永久荷载较小的、采用轻型屋面的门式刚架以及轻钢住宅多为可变荷载效应控制的组合。



(四) 正常使用极限状态验算

对于正常使用极限状态，一般考虑荷载效应的标准组合按式 (1-6) 进行验算：

$$S \leq C \quad (1-6)$$

式中 S ——荷载效应标准组合的设计值（挠度、位移等）；

C ——结构或结构构件达到正常使用要求的规定限值。

由于轻型门式刚架结构较柔，在很多情况下构件截面是由位移控制的。

(五) 荷载分项系数及组合值参数

表 1-2 列出上述两种极限状态下基本组合与荷载有关的分项系数和组合值系数。

表 1-2 与荷载有关的系数

荷载类型	荷载分项系数 γ_G 和 γ_Q			组合值系数 ϕ_{ci}			
				屋面均布活荷载	屋面积灰荷载	屋面雪荷载	风荷载
永久荷载	对结构不利时	可变荷载效应控制组合	1.20	—	—	—	—
		永久荷载效应控制组合	1.35				
	对结构有利时		1.0				
可变荷载	倾覆滑移或漂浮验算		0.90	0.70	0.90	0.70	0.6
	一般情况		1.40				
	工业房屋楼面 $Q_k > 4\text{kN/m}^2$		1.30				

三、结构设计指标

(一) 钢材强度指标

钢材强度设计值（材料强度的标准值除以抗力分项系数），应根据材料厚度或直径按表 1-3 采用。

表 1-3 钢材强度设计值 N/mm^2

钢 材		抗拉、抗压和抗弯 f	抗 剪 f_v	端面承压（刨平顶紧） f_{ce}
牌 号	厚度或直径 (mm)			
Q235 钢	≤ 16	215 (205)	125 (120)	325 (310)
	$> 16 \sim 40$	205	120	
	$> 40 \sim 60$	200	115	
	$> 60 \sim 100$	190	110	
Q345 钢	≤ 16	310 (300)	180 (175)	400 (400)
	$> 16 \sim 35$	295	170	
	$> 35 \sim 50$	265	155	
	$> 50 \sim 100$	250	145	

注 1. 表中厚度系指计算点厚度。

2. 括号内数值适应于薄壁型钢；厚度不小于 2.5mm 的镇静钢，其 f 、 f_v 可按表中数值提高 5%。

3. 钢材屈服强度 f_y ：对 Q235 钢取 235N/mm^2 ；对 Q345 钢取 345N/mm^2 。

(二) 焊缝连接强度指标

焊缝连接强度设计值根据钢材牌号、焊条型号、焊接方法和焊接质量等级按表 1-4 采用。

表 1-4 焊缝强度设计值

焊接方法和焊条型号	牌 号	钢材厚度 或直径 (mm)	对接焊缝				角焊缝
			抗 压 f_c^w	抗拉 f_t^w		抗剪 f_v^w	抗拉、压、剪 f_t^w
				一、二级 焊缝	三级 焊缝		
自动焊、半自动焊和 E43 型焊条的手工焊	Q235 钢	≤16	215	215	185	125	160
		>16~40	205	205	175	120	
自动焊、半自动焊和 E50 型焊条的手工焊	Q345 钢	≤16	310	210	265	180	200
		>16~35	295	295	250	170	

- 注 1. 自动焊和半自动焊采用的焊丝和焊剂, 应保证其熔敷金属的力学性能不低于现行国家标准 GB/T 5293《碳素钢埋弧焊用焊剂》和 GB/T 12470《低合金钢埋弧焊用焊剂》中相关的规定。
2. 焊缝质量等级应符合现行国家标准 GB 50205《钢结构工程施工质量验收规范》的规定, 其中厚度小于 8mm 的对接焊缝不宜用超声波探伤确定焊缝质量等级。
3. 对接焊缝抗弯受压区强度设计值取 f_c^w , 抗弯受拉区强度设计值取 f_t^w 。
4. 表中厚度系指计算点钢材的厚度, 对轴心受力构件系指截面中较厚板件的厚度。

(三) 螺栓连接强度指标

螺栓连接强度指标见表 1-5。

表 1-5 螺栓连接强度指标 N/mm^2

钢材牌号或性能等级		普 通 螺 栓						锚 栓	承压型连接高强度螺栓			
		C级螺栓			A级、B级螺栓							
		抗 拉 f_t^b	抗 剪 f_v^b	承 压 f_c^b	抗 拉 f_t^b	抗 剪 f_v^b	承 压 f_c^b		抗 拉 f_t^b	抗 拉 f_t^b	抗 剪 f_v^b	承 压 f_c^b
普通螺栓	4.6级	170	140	—	—	—	—	—	—	—	—	+
	4.8级											
	5.6级	—	—	—	210	190	—	—	—	—	—	—
	8.8级	—	—	—	400	320	—	—	—	—	—	—
锚 栓	Q235 钢	—	—	—	—	—	—	140	—	—	—	—
	Q345 钢	—	—	—	—	—	—	180	—	—	—	—
承压型连接 高强度螺栓	8.8级	—	—	—	—	—	—	—	400	250	—	—
	10.9级	—	—	—	—	—	—	—	500	310	—	—
构 件	Q235 钢	—	—	305	—	—	405	—	—	—	—	470
	Q345 钢	—	—	385	—	—	510	—	—	—	—	590

- 注 1. A 级螺栓用于 $d \leq 24mm$ 和 $l \leq 10d$ 或 $l \leq 150mm$ (按较小值) 的螺栓; B 级螺栓用于 $d > 24mm$ 和 $l > 10d$ 或 $l > 150mm$ (按较小值) 的螺栓。D 为公称直径, l 为螺栓公称长度。
2. A、B 螺栓孔的精度和孔壁表面粗糙度, C 级螺栓孔的允许偏差和孔壁表面粗糙度, 均应符合国家标准 GB 50205《钢结构工程施工质量验收规范》的要求。
3. 每个高强螺栓的预拉力, 应符合现行国家标准 GB 50017—2003《钢结构设计规范》规定。

(四) 电阻点焊抗剪承载力设计指标

厚度不大于 3.5mm 的冷弯薄壁型钢可采用电阻点焊, 每个焊点的受剪承载力应按表 1-6



采用。电阻点焊的焊点中距不宜小于 $15\sqrt{t}$ (mm), 焊点边距不宜小于 $10\sqrt{t}$ (mm) (t 为相连板件中外层较薄板件的厚度)。

表 1-6

电阻点焊的抗剪承载力设计值

相焊板件中外层 较薄板件的厚度 t (mm)	每个焊点的抗剪 承载力设计值 N_v^e (kN)	相焊板件中外层 较薄板件的厚度 t (mm)	每个焊点的抗剪 承载力设计值 N_v^e (kN)
0.4	0.6	2.0	5.9
0.6	1.1	2.5	8.0
0.8	1.7	3.0	10.2
1.0	2.3	3.5	12.6
1.5	4.0	—	—

(五) 强度设计折减系数

(1) 当采用厚度小于 mm 的型钢或冷弯薄壁型钢时 (不包括厚度不小于 2.5mm 的 Q235 镇静钢), 表 1-3 和表 1-4 中规定的强度设计值应降低 5%。当冷弯薄壁型钢构件全截面有效时, 可采用《冷弯薄壁型钢结构技术规范》规定的考虑冷弯效应的强度设计值计算构件的强度。

(2) 计算下列情况的结构构件和连接时, 表 1-3~表 1-6 规定的强度设计值应乘以下列相应的折减系数:

1) 单面连接的单角钢:

①按轴心受力计算强度和连接

0.85;

②按轴心受压计算稳定性

等边角钢

$0.6 + 0.0015\lambda$, 但不大于 1.0;

短边相连的不等边角钢

$0.5 + 0.0025\lambda$, 但不大于 1.0;

长边相连的不等边角钢

0.7;

薄壁型钢

$0.6 + 0.0014\lambda$;

λ 为长细比, 对中间无关联的单角钢压杆取最小回转半径计算, 当 $\lambda < 20$ 时, 取 $\lambda = 20$;

2) 跨度不小于 60m 桁架的受压弦杆和端部受压腹杆

0.95;

3) 无垫板的单面对接焊缝

0.85;

4) 施工条件较差的高空安装焊缝

0.9;

5) 两构件的连接采用其间有垫板的连接以及单盖板的不对称连接

0.9;

6) 平面桁架式檩条端部主要受压腹杆

0.85;

7) 屋架、刚架横梁中采用焊接方管的受压弦杆及支座斜杆

0.95。

当几种情况同时存在时, 其折减系数应连乘。

四、结构变形规定

由于轻型门式刚架结构柔性好, 在很多情况下构件截面是由位移控制的。为了不影响结构或构件的观感和正常使用, 设计时应应对结构或构件的变形 (挠度或位移) 规定相应的限值。

轻型门式刚架结构位移限值的确定必须考虑到以下因素: