

高等学校土木建筑专业
|应用型本科系列规划教材|

钢结构 设计

主 编 ◎ 杜新喜

副主编 ◎ 王若林 袁焕鑫

G A N G J I E G O U
S H E J I



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

高等学校土木建筑专业应用型本科系列规划教材

钢结构设计

主 编 杜新喜
副主编 王若林 袁焕鑫

东南大学出版社
· 南京 ·

内 容 提 要

本书是为高等院校土木工程专业在专业基础课程“钢结构原理”之后开设“钢结构设计”课程而编写的教材,本书着重讲述各种钢结构体系的类型、特点和设计方法,主要内容包括平面结构、大跨度空间结构和高层钢结构。书中广泛引入了有关规范的设计要求和设计公式,附有设计实例和思考题,以利于有关基本设计理论和方法的学习和掌握。

本书内容丰富、系统,注重贴近实际工程设计应用,可作为高等院校土木工程专业本科生教材,还可作为相关工程技术人员和研究人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

钢结构设计 / 杜新喜主编. — 南京: 东南大学出版社, 2017. 1

ISBN 978-7-5641-6688-5

I. ①钢… II. ①杜… 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(2016)第 197502 号

钢结构设计

出版发行: 东南大学出版社

社 址: 南京市四牌楼 2 号 邮编: 210096

出 版 人: 江建中

责任编辑: 史建农 戴坚敏

网 址: <http://www.seupress.com>

电子邮箱: press@seupress.com

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 南京京新印刷厂

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 14.50

字 数: 365 千字

版 次: 2017 年 1 月第 1 版

印 次: 2017 年 1 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5641-6688-5

印 数: 1—3000 册

定 价: 37.00 元

本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话:025-83791830

高等学校土木建筑专业应用型本科系列 规划教材编审委员会

名誉主任 吕志涛(院士)

主任 蓝宗建

副主任 (以拼音为序)

陈蓓	陈斌	方达宪	汤鸿
夏军武	肖鹏	宗兰	张三柱

秘书长 戴坚敏

委员 (以拼音为序)

程晔	戴望炎	董良峰	董祥
郭贯成	胡伍生	黄春霞	贾仁甫
金江	李果	李宗琪	刘殿华
刘桐	刘子彤	龙帮云	王丽艳
王照宇	徐德良	于习法	余丽武
喻骁	张靖静	张伟郁	张友志
章丛俊	赵冰华	赵才其	赵玲
赵庆华	周桂云	周 佶	

总前言

国家颁布的《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》指出,要“适应国家和区域经济社会发展需要,不断优化高等教育结构,重点扩大应用型、复合型、技能型人才培养规模”;“学生适应社会和就业创业能力不强,创新型、实用型、复合型人才紧缺”。为了更好地适应我国高等教育的改革和发展,满足高等学校对应用型人才的培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等的要求,东南大学出版社携手国内部分高等院校组建土木建筑专业应用型本科系列规划教材编审委员会。大家认为,目前适用于应用型人才培养的优秀教材还较少,大部分国家级教材对于培养应用型人才的院校来说起点偏高、难度偏大、内容偏多,且结合工程实践的内容往往偏少。因此,组织一批学术水平较高、实践能力较强、培养应用型人才的教学经验丰富的教师,编写出一套适用于应用型人才培养的教材是十分必要的,这将有力地促进应用型本科教学质量的提高。

经编审委员会商讨,对教材的编写达成如下共识:

一、体例要新颖活泼。学习和借鉴优秀教材特别是国外精品教材的写作思路、写作方法以及章节安排,摒弃传统工科教材知识点设置按部就班、理论讲解枯燥乏味的弊端,以清新活泼的风格抓住学生的兴趣点,让教材为学生所用,使学生对教材不会产生畏难情绪。

二、人文知识与科技知识渗透。在教材编写中参考一些人文历史和科技知识,进行一些浅显易懂的类比,使教材更具可读性,改变工科教材艰深古板的面貌。

三、以学生为本。在教材编写过程中,“注重学思结合,注重知行统一,注重因材施教”,充分考虑大学生人才就业市场的发展变化,努力站在学生的角度思考问题,考虑学生对教材的感受,考虑学生的学习动力,力求做到教材贴合学生实际,受教师和学生欢迎。同时,考虑到学生考取相关资格证书的需要,教材中还结合各类职业资格考试编写了相关习题。

四、理论讲解要简明扼要,文例突出应用。在编写过程中,紧扣“应用”两字创特色,紧紧围绕着应用型人才培养的主题,避免一些高深的理论及公式的推导,大力提倡白话文教材,文字表述清晰明了、一目了然,便于学生理解、接受,能激起学生的学习兴趣,提高学习效率。

五、突出先进性、现实性、实用性、可操作性。对于知识更新较快的学科,力求将最新最前沿的知识写进教材,并且对未来发展趋势用阅读材料的方式介绍给学生。同时,努力将教学改革最新成果体现在教材中,以学生就业所需的专业知识和操作技能为着眼点,在适度的基础知识与理论体系覆盖下,着重讲解应用型人才培养所需的知识点和关键点,突出实用性和可操作性。

六、强化案例式教学。在编写过程中,有机融入最新的实例资料以及操作性较强的案例素材,并对这些素材资料进行有效的案例分析,提高教材的可读性和实用性,为教师案例教学提供便利。

七、重视实践环节。编写中力求优化知识结构,丰富社会实践,强化能力培养,着力提高学生的学习能力、实践能力、创新能力,注重实践操作的训练,通过实际训练加深对理论知识的理解。在实用性和技巧性强的章节中,设计相关的实践操作案例和练习题。

在教材编写过程中,由于编写者的水平和知识局限,难免存在缺陷与不足,恳请各位读者给予批评斧正,以便教材编审委员会重新审定,再版时进一步提升教材的质量。本套教材以“应用型”定位为出发点,适用于高等院校土木建筑、工程管理等相关专业,高校独立学院、民办院校以及成人教育和网络教育均可使用,也可作为相关专业人士的参考资料。

高等学校土木建筑专业应用型
本科系列规划教材编审委员会

前 言

根据高校土木工程专业指导委员会的建议,国内许多高校土木工程专业的培养计划将钢结构课程分为“钢结构原理”和“钢结构设计”两个部分。本书是为“钢结构设计”课程编写的教材。

结合近年来我国钢结构工程建设快速发展的需要,本书总体上涵盖了钢结构工程设计中的基本内容。第1章归纳介绍了平面钢结构体系,重点阐述了轻型门式刚架结构的设计方法。第2章介绍了常见的空间结构体系,重点阐述了网架结构、网壳结构的计算理论及方法。第3章包括了高层钢结构的整体结构分析以及构件和节点的设计计算内容。

本书在编写过程中充分遵循了现行有关设计规范、规程的规定,具体涉及《钢结构设计规范》《冷弯薄壁型钢技术规范》《建筑结构荷载规范》《建筑抗震设计规范》《空间网格结构技术规程》《高层民用建筑钢结构技术规程》《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》《拱形钢结构技术规程》等。书中结合具体的钢结构类型,对现行规范、规程中的相关设计计算公式和条文进行了阐述说明。

本书侧重于实际钢结构工程设计,为了让学习者能有效和正确地掌握各种类型钢结构设计的基本要点,书中给出了4个具体的设计实例,包括轻型门式刚架结构设计、网架结构设计、网壳结构设计、多层钢框架结构设计。本书可作为土木工程专业本科生的有关建筑钢结构设计课程的教材,也可作为相关工程技术人员和研究人员的参考书籍。

本书由武汉大学杜新喜担任主编,武汉大学王若林、袁焕鑫担任副主编。具体分工如下:第1章由袁焕鑫编写,第2章由杜新喜编写,第3章由王若林编写。在编写过程中,得到了相关工程技术人员的大力支持与帮助,参考了有关单位的资料,在此一并致谢。

限于编者的理论水平及实践经验,书中难免存在错误和不足,敬请读者批评指正。

编者

2016年10月

目 录

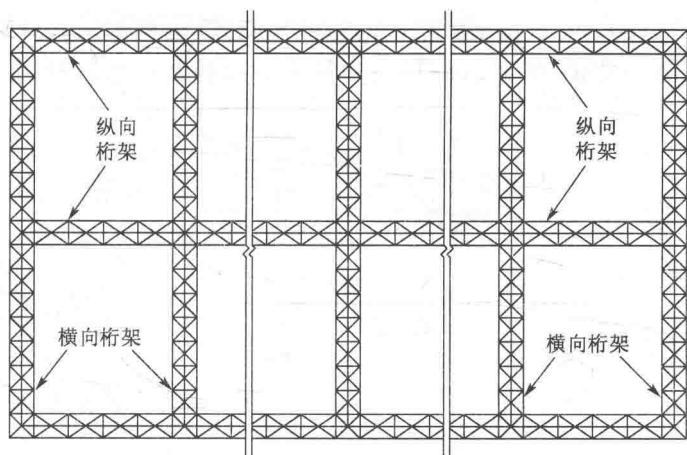
1 平面钢结构设计	1
1.1 平面桁架结构	2
1.2 平面拱结构	5
1.3 轻型门式刚架结构设计	7
思考题	40
参考文献	40
2 大跨度空间结构设计	41
2.1 概述	41
2.2 网架结构	42
2.3 网壳结构	83
2.4 悬索结构	100
2.5 管桁架结构	108
2.6 其他新型空间结构	113
2.7 空间结构设计实例	116
思考题	134
参考文献	134
3 高层钢结构设计	135
3.1 高层钢结构的体系和布置	135
3.2 高层钢结构的构件及节点设计	179
思考题	218
参考文献	218

平面钢结构设计

承重结构的受力可以简化为平面内承载的钢结构的受力,可以统称为平面钢结构,一般包括平面桁架结构、平面拱结构和门式刚架结构等。平面钢结构是相对于空间钢结构而言的,一般建筑结构本质上都是空间性质的,当可以忽略次要的空间约束时,出于简化设计计算的目的,将三维空间结构简化为平面结构来计算分析。当然,也有部分结构具有明显的空间特征而不宜简化成平面结构,需要根据实际三维结构进行计算分析。

随着钢结构的发展,在工程应用实践中,平面钢结构主要体现为平面桁架结构、平面拱结构和门式刚架结构等主要应用形式。其中平面桁架结构包含钢屋架、张弦梁和张弦桁架形式,平面拱结构包括普通拱形钢结构和索拱结构。平面钢结构体系的结构布置较为简单,传力路径清晰明确,结构计算分析便捷,一般可以采用简化的平面力学模型进行计算分析,而且连接节点构造一般较空间节点较为简单,加工制作效率高。

在平面钢结构体系中,组成结构的构件轴线属于同一个平面,主要竖向荷载和横向荷载的作用线也属于该平面,结构体系平面内承载能力一般强于平面外的承载能力,在平面外往往需要设置支撑系统承受纵向荷载作用,以保证结构和构件的平面外稳定性。如图 1-1 所示为平面桁架结构和门式刚架结构的平面外支撑系统布置,图 1-1(a)中各榀横向桁架之间通过纵向桁架联系,图 1-1(b)中各榀门式刚架通过横向水平支撑和纵向系杆相连,使得结构成为稳定的空间体系。



(a) 桁架结构

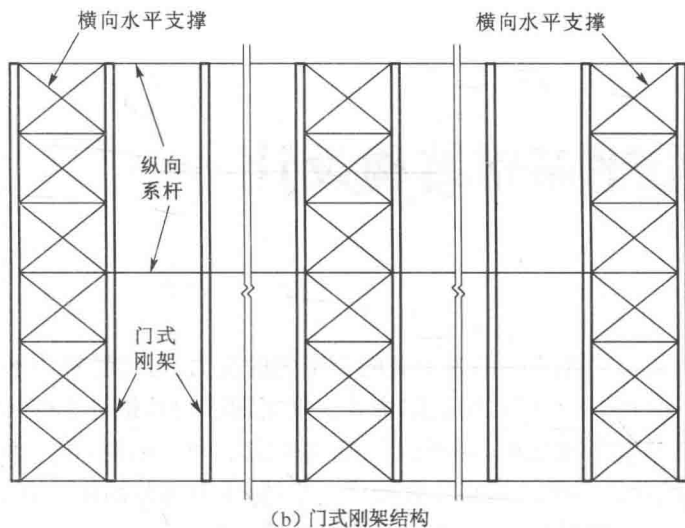


图 1-1 平面钢结构的平面外支撑系统布置

1.1 平面桁架结构

1.1.1 钢屋架

屋架是一种屋盖承重体系的梁式桁架,其外形一般分为三角形(图 1-2(a)、(b)、(c))、梯形(图 1-2(d)、(e))、人字形(图 1-2(f))和平行弦(图 1-2(g))等。屋架的腹杆布置常用有人字式(图 1-2(b)、(d)、(f))、芬克式(图 1-2(a))、豪式(也称单向斜杆式,见图 1-2(c))、再分式(图 1-2(e))和交叉式(图 1-2(g))五种,其中前四种为单系腹杆,第五种即交叉腹杆为复系腹杆。

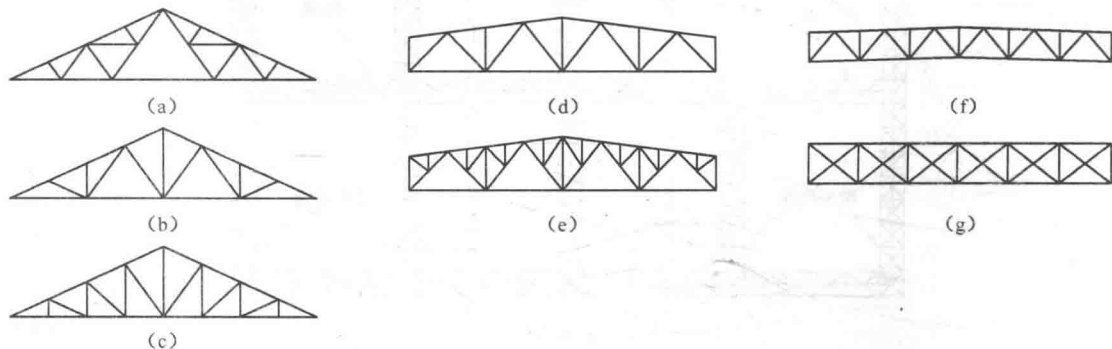


图 1-2 钢屋架的外形

三角形屋架上弦坡度较陡,适用于有檩屋盖体系,通常只能与柱子铰接,房屋的整体横向刚度较小。对于简支屋架来说,荷载作用下的弯矩图是抛物线分布,致使这种屋架弦杆受力不均,支座处内力较大,跨中内力较小,弦杆的截面不能充分发挥作用,而支座处上、下弦杆交角过小造成内力较大。三角形屋架的腹杆布置形式常用的有芬克式和人字式。芬克式的腹杆虽然较多,但其压杆短、拉杆长,受力相对合理,且可分为两个小桁架运输,较为方便。人字式腹杆节点虽少但受压腹杆长,适用于跨度较小($L \leq 18 \text{ m}$)的情况。但是人字式屋架的抗震性能优于芬克式屋架,故在强地震烈度地区,跨度大于 18 m 时仍采用人字式腹杆屋架。

梯形屋架上弦坡度较平坦,适用于无檩屋盖体系。屋盖与柱的连接可以做成铰接,也可以做成刚接,后者可以提高建筑物的横向刚度。梯形屋架与简支受弯构件的弯矩图较为接近,弦杆受力较为均匀。梯形屋架的腹杆体系可采用单斜式、人字式和再分式。人字式按支座斜杆与弦杆组成的支撑点在下弦或上弦分成下承式和上承式两种,二者各有优势,下承式使排架柱计算高度减小又便于在下弦设置屋盖纵向水平支撑,但上承式使屋架重心降低,支座斜腹杆受拉,且安装方便。一般情况下,与柱刚接的屋架宜采用下承式;与柱铰接时则下承式或上承式均可。

人字形屋架的上、下弦可以是平行的,坡度为 $1/20 \sim 1/10$,节点构造较为统一。人字形屋架有较好的空间观感,制作时可不再起拱,多用于较大跨度的屋盖体系,采用固定支座时在竖向荷载作用下对柱有推力作用。人字形屋架一般宜采用上承式,这种形式不但安装方便而且可使折线拱的推力与上弦杆的弹性压缩互相抵消,在很大程度上减小了对柱的不利影响。

平行弦屋架可以做成不同大小的坡度,其端部可以铰接也可以刚接,且能用于单坡屋盖和双坡屋盖。平行弦屋架的弦杆及腹杆分别等长、节点形式相同,能保证桁架的杆件重复率最大,且可使节点构造形式统一,便于制作工业化。腹杆布置通常采用人字式,用作支撑桁架时腹杆常采用交叉式。

钢屋架的外形与腹杆形式,应该经过综合分析来确定,基本原则应从下述几个方面考虑:

(1) 满足使用要求。对屋架来说,上弦坡度的确定应与屋面防水构造相适应。此外,屋架在端部与柱是铰接还是刚接,房屋内部净空有何要求,有无吊顶,有无悬挂吊车,有无天窗及天窗形式以及建筑造型的需要等,也都影响屋架外形的确定。

(2) 受力合理。只有受力合理时才能充分发挥材料的作用,从而达到节省材料的目的。对弦杆来说,所谓受力合理是要使各节间弦杆的内力相差不太大,这样,一根通长的型钢来做弦杆时对内力小的节间就没有太大的浪费。一般而言,简支屋架外形与均布荷载下的抛物线形弯矩图接近时,各处弦杆内力才比较接近。但是弦杆做成折线形时节点费料费工,所以桁架弦杆一般不做成多处转折的形式,而经常做成上述的几种形式,它们的弦杆都只在屋脊处有转折。

(3) 制作简单及运输与安装方便。制作简单、运输与安装方便可以节省劳动量并加快建设速度。从制作简单方面看,应该是杆件数量少,节点少,杆件尺寸划一及节点构造形式划一。

在钢屋架的内力分析中,首先按荷载规范的规定计算求得作用在屋架上的荷载,具体包括恒荷载、活荷载、雪荷载、风荷载、积灰荷载及悬挂荷载等,根据最不利荷载组合,将荷载集中到节点上,并假定节点均为理想铰接,各杆件轴线相交于节点中心,采用图解法或解析法进行节点荷载作用下屋架杆件的内力分析。按上述理想体系内力所求出的应力是桁架的主应力,当杆件截面较大时,应按刚接节点进行计算,以考虑节点实际具有的刚性所引起的次应力。对于有节间荷载作用的屋架,应计算节间荷载引起的局部弯矩。杆件的截面形式选择应考虑构造

简单、施工方便和易于连接,使其具有一定的侧向刚度并且取材方便,通常采用角钢以及角钢拼接组成的 T 形、十字形截面形式,也可用 H 型钢、圆钢管和方钢管等截面形式。

1.1.2 平面张弦梁

张弦梁结构是上弦刚性受压构件和下弦柔性拉索两种类型单元组合而成的一种预应力自平衡结构体系,属于杂交结构体系范畴。张弦梁结构由于其结构形式简洁、富有建筑表现力,在大跨度建筑结构中得到了较为广泛的应用。从结构受力特点来看,由于张弦梁结构的下弦采用高强度拉索,其不仅可以承受结构在荷载作用下的拉力,而且可以适当地对结构施加预应力以改善上弦的受力性能,从而提高结构的跨越能力。

平面张弦梁结构是其结构构件位于同一平面内,且以平面内受力为主的张弦梁结构,如图 1-3 所示。根据上弦构件的形状可分为三种基本形式:直梁型张弦梁、拱型张弦梁、人字拱型张弦梁。

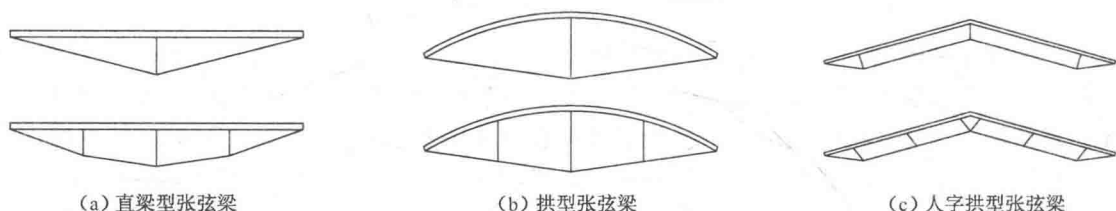


图 1-3 平面张弦梁结构的基本形式

直梁型张弦梁的上弦构件成直线,通过拉索和撑杆提供弹性支承,从而减小上弦构件的弯矩,主要适用于楼板结构和小坡度屋面结构。拱型张弦梁具有拉索和撑杆为上弦构件提供弹性支承以减小拱上弯矩的特点,此外,由于拉索张力可以与拱推力相抵消,不仅充分发挥了上弦拱的受力优势,还充分利用了拉索抗拉强度高的优点,适用于大跨度甚至超大跨度的屋盖结构。人字拱型张弦梁结构主要用下弦拉索来抵消人字拱两端推力,通常其起拱较高,所以适用于跨度较小的双坡屋盖结构。张弦梁的撑杆可以沿跨度方向均匀布置或不等间距布置,撑杆的高度取决于建筑功能及受力性能,索受拉力对撑杆提供一个向上的支撑力,撑杆作为梁的支点对梁起支撑作用,相当于减小了梁的跨度,可以显著削减刚性梁跨中的弯矩幅值,使梁的弯矩分布更为合理,如图 1-4 所示。

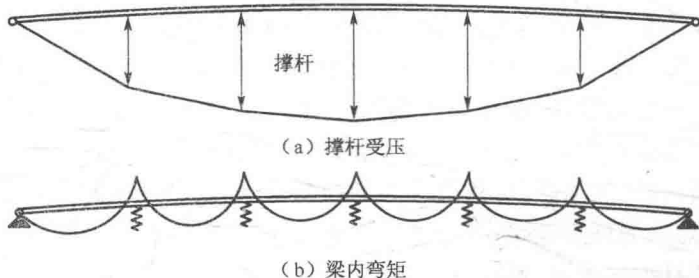


图 1-4 张弦梁受力特点

张弦桁架是张弦梁结构的一种特殊形式(图 1-5),是采用刚性的上弦立体桁架作为上弦梁构件而得到的新型结构形式。张弦桁架在保证充分发挥索的抗拉性能的同时,由于引进了具有抗压和抗弯刚度的桁架而使体系的刚度和稳定性大为增加。柔性拉索与刚性桁架的结构不仅充分发挥了各自的优点,而且相互制约了彼此的弱点。对张弦结构中的索施加一定的预应力,这既可使索具有适当的初始绷紧度,也可对索与桁架之间的受力比例进行必要的调整;既充分发挥了索的抗拉能力,又调整了桁架的内力分布,使其趋于均匀。

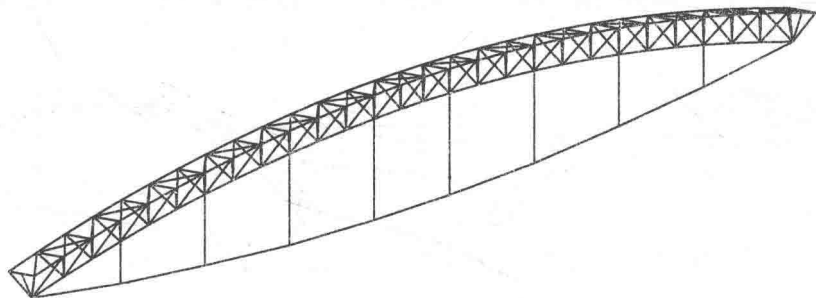


图 1-5 单榀张弦桁架

张弦梁结构是一个自平衡受力体系,拉索张力与上弦刚性构件通过撑杆相互平衡,拉索不需要外部锚固结构。因此,张弦梁在施工张拉过程中不能完全约束其支座的水平自由度,在使用阶段也宜采用一端固定、另一端滑移的支座形式,如图 1-6 所示,而且这样的支座设计也可以释放结构正常使用期间的温度效应影响。如果张弦梁结构的两端支座均为限制水平滑移的固定铰支座,则需要考虑支座的水平推力作用,具体介绍可参见下节中的索拱结构。

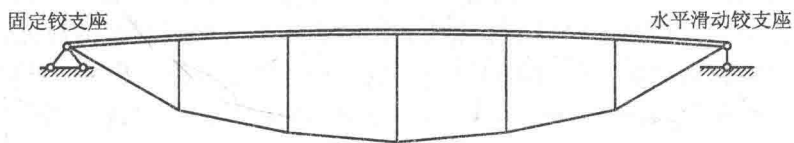


图 1-6 张弦梁结构的位移边界条件

1.2 平面拱结构

1.2.1 拱形钢结构类型与特点

拱结构在承担竖向荷载作用时支座产生水平推力,利用其几何曲线将荷载作用转化为轴向压力,显著减小其弯矩和剪力,能够充分利用材料的强度。随着钢结构的发展,拱形钢结构因其自重轻、材料强度高、抗拉性能好、承载效率高、造型美观、施工安装方便等优点,在建筑结构和桥梁工程中得到了广泛的应用。

从结构类型来看,拱形钢结构主要分为实腹式截面拱和桁架拱两大类(图 1-7)。其中实

腹式截面拱包括普通截面钢拱、腹板开孔钢拱及波形腹板钢拱等多种形式。实腹式截面拱一般用于中小跨度结构中,常用的截面形式有圆管、箱形及工字形截面等。当有设备管线穿过或建筑美观要求时,可选择腹板开孔钢拱。波形腹板钢拱由于腹板面外波折或波浪从而大大增强了腹板的面外刚度和剪切屈曲承载力。当实腹式截面拱采用圆管或箱形截面时,可在拱身内填充混凝土形成钢管混凝土拱,提高其刚度和稳定承载力,改善局部稳定性、耐火与耐久性。桁架拱结合了拱和桁架的双重优势,以其曲线形式实现弯矩向轴力的转化,并通过格构的方式将截面弯矩转化为弦杆的轴力,具有更高的结构承载效率,常用于超大跨度空间结构中,如体育馆和桥梁工程中。

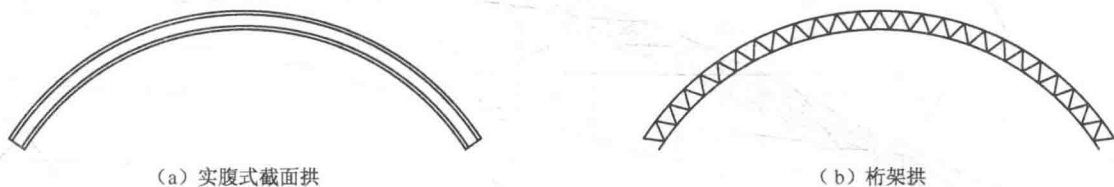


图 1-7 拱形钢结构类型

拱的受力与其轴线形式、矢跨比和拱脚边界条件等密切相关。拱轴线形式的确定原则是,在满足建筑外观要求的前提下,在主要荷载工况下尽量减小截面的弯矩,以轴压受力为主。常规的拱轴线形式有圆弧形、抛物线形、悬链线形和椭圆形等。矢跨比对拱内力大小与分布影响很大,一般需要根据建筑外观、承载效率、基础条件和通航限制等各方面因素综合确定。关于矢跨比的取值,当钢拱的跨度一定时通常存在使其稳定承载力最高的最优矢跨比。

拱形钢结构的轴压特征明显,其稳定性计算成为设计中的关键问题,主要包括局部稳定性和整体稳定性两方面。局部稳定对于实腹式截面拱表现为翼缘或腹板的鼓曲,对于钢管桁架拱表现为腹杆或弦杆的屈曲。整体稳定性包括拱轴线的平面内稳定和平面外稳定。当屋面檩条、屋面板或支撑提供足够的平面外约束、限制拱截面的面外位移和扭转时,只需验算拱的平面内稳定性。当面外无支撑或支撑不足时,整个钢拱或支撑间拱段会发生面外的空间弯扭失稳破坏,成为稳定设计的控制因素。拱形钢结构通常在全跨均布竖向荷载作用下具有较好的平面内稳定承载性能。

关于拱的截面类型,一般选择双轴对称的工字形开口截面或者圆管、箱形闭合截面。考虑拱形钢结构的平面外稳定时,采用闭合截面将获得较高的自由扭转刚度与平面外弯曲刚度,还可以灌入混凝土形成钢管混凝土拱。拱形钢结构的节点设计应遵循构造简单、整体刚度好、传力明确、安全可靠、节约钢材和施工方便等原则,节点选型可参照其他钢结构节点形式,例如钢管桁架拱可以参考钢管桁架梁柱的节点构造处理方法。拱脚应采用传力可靠、连接简单的节点形式,其构造措施应保证与计算假定一致,铰接时应保证拱脚位置具有充分的自由转动能力,同时可以有效传递剪力和轴力,而固接时应保证其能可靠传递弯矩,反之则需要根据实际拱脚构造情况在计算中考虑节点的弯矩-转角特性。对于非落地拱形钢结构,尚应重视下部结构的设计,确保下部支承结构具有足够的刚度和承载力以抵抗拱脚推力,当拱脚沉降或侧移较大时,应考虑对无铰拱与两铰拱受力性能的影响。现行行业标准《拱形钢结构技术规程》(JGJ/T 249—2011)涵盖了结构与节点选型、荷载效应分析、强度及稳定性设计、制作安装及工程验收等各方面内容,可作为拱形钢结构设计的参考依据。

1.2.2 索拱结构

针对单拱对初始缺陷较为敏感以及半跨荷载作用下稳定承载力低、刚度弱等问题,在工程中引入了索拱结构,即将拉索按一定规则布置,与拱体形成杂交结构体系,根据布索形式及构成方式可以分为张弦式索拱、弦撑式索拱及车辐式索拱等,如图1-8所示。索拱结构应综合考虑拱轴线的形式、矢跨比、主要荷载类型、支座条件、使用功能及构造要求等因素确定合理的布索形式,从而实现对拱肋变形的有效控制,改善和提高结构的整体刚度和承载能力。

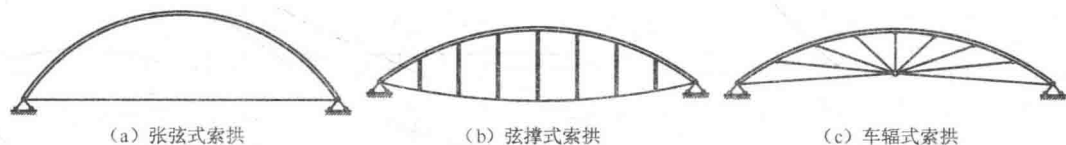


图 1-8 索拱结构的形式

索拱结构通过拉索、撑杆或索盘与各种形式拱肋的组合,利用拉索的牵制作用或撑杆的支承作用,形成更为高效合理的结构体系。相比纯拱形钢结构,索拱结构依据其拉索布置形式不同具有以下优点:

- (1) 有效提高了拱的刚度,相同荷载作用下拱的变形明显减小。
- (2) 有效控制了对称荷载作用下拱的二次分岔屈曲的发生,降低了拱对反对称几何初始缺陷的敏感性。
- (3) 有效提高了拱的稳定承载力,特别是对于全跨荷载和半跨荷载作用,如适当地调整拉索布置形式,可以消除拱的整体失稳进而由强度设计控制,大幅提高了材料利用效率。

- (4) 通过对拉索施加一定的预拉力,可以调节拱脚处的水平推力,减轻基础负担。

关于索拱结构中拉索预应力的取值,对于张弦式索拱结构以及车辐式索拱结构,拉索预应力取值应以拉索张紧为宜。这是由于索的张拉作用只有在钢拱变形时才能发挥出来,所以对其不必施加预应力,但在施工时以张紧为宜。在正常使用期间,可以允许拉索在可变荷载(如风荷载等偶然作用)作用下松弛,但在永久荷载作用下,拉索宜保持张紧状态。对于弦撑式索拱结构,拉索的主要作用是消减拱体中的弯矩峰值,需要对拉索施加预应力,以提高拱体的承载力与刚度。

索拱结构是拉索与拱体组成的一种杂交结构,可以通过设置不同的布索形式,利用拉索改善拱结构的受力性能,应把拉索和拱体作为整体计算其刚度和承载力,目前对于索拱结构的实用计算方法研究开展比较有限,建议采用有限元分析方法建立计算分析模型,在考虑几何非线性和材料非线性基础上计算结构的承载力与变形性能。

1.3 轻型门式刚架结构设计

1.3.1 概述

轻型门式刚架结构主要指承重结构为单跨或多跨实腹门式刚架,具有轻型屋盖和轻型外

墙、无桥式吊车或有起重量不大于 20 t 的 A1~A5 工作级别桥式吊车或 3 t 悬挂式起重机的单层房屋钢结构。

轻型门式刚架结构的构件截面尺寸较小,可有效地利用建筑空间;其自重较轻,建筑体型较为简洁、美观。门式刚架为超静定结构,内力分布较为均匀,有利于充分发挥材料的强度;门式刚架结构平面内、外的刚度比较接近,有利于制作、运输和安装;同时,门式刚架的构、配件生产的标准化、工业化程度较高,大多数在工厂制作,仅在工地现场进行简单的拼接和安装,施工速度快,工期较短,且便于维护与拆迁。

门式刚架用于中、小跨度的工业建筑或较大跨度的民用公共建筑,均有较为广泛的适用性和较好的经济效果。因此,门式刚架已广泛用于各类工业厂房、仓库、体育场馆、会议厅、展览中心、影剧场等大型公共建筑以及不同用途的各种活动房屋;门式刚架特别适用于地震区或地基承载力较低、缺少砂石和水泥等材料的地区,以及运输条件较差、施工场地狭小或建设工期较短的工程。

1.3.1.1 门式刚架结构的组成

轻型门式刚架钢结构的组成如图 1-9 所示,主要包括以下几部分:

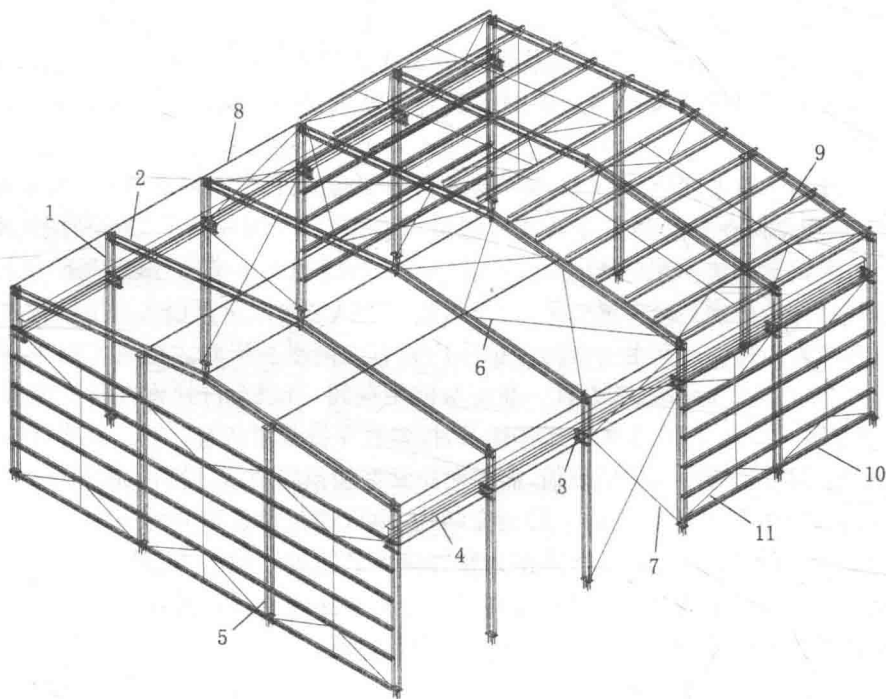


图 1-9 轻型门式刚架结构基本组成

1—框架柱;2—框架梁;3—牛腿;4—吊车梁;5—抗风柱;
6—屋面支撑;7—柱间支撑;8—系杆;9—檩条;10—墙梁;11—拉条

- (1) 主结构:门式刚架、吊车梁、托梁或托架;
- (2) 次结构:屋面檩条和墙面檩条等;
- (3) 支撑结构:屋面支撑、柱间支撑、系杆;

- (4) 围护结构:屋面板和墙板;
- (5) 辅助结构:楼梯、平台、扶栏等;
- (6) 基础。

1.3.1.2 门式刚架的结构形式

门式刚架的结构形式分为单跨(图 1-10(a)、(b))、双跨(图 1-10(e)、(f)、(g)、(i))和多跨(图 1-10(c)、(d)),按屋面坡脊可分为单脊单坡(图 1-10(a))、单脊双坡(图 1-10(b)、(c)、(d)、(g)、(h))、多脊多坡(图 1-10(e)、(f)、(i))。

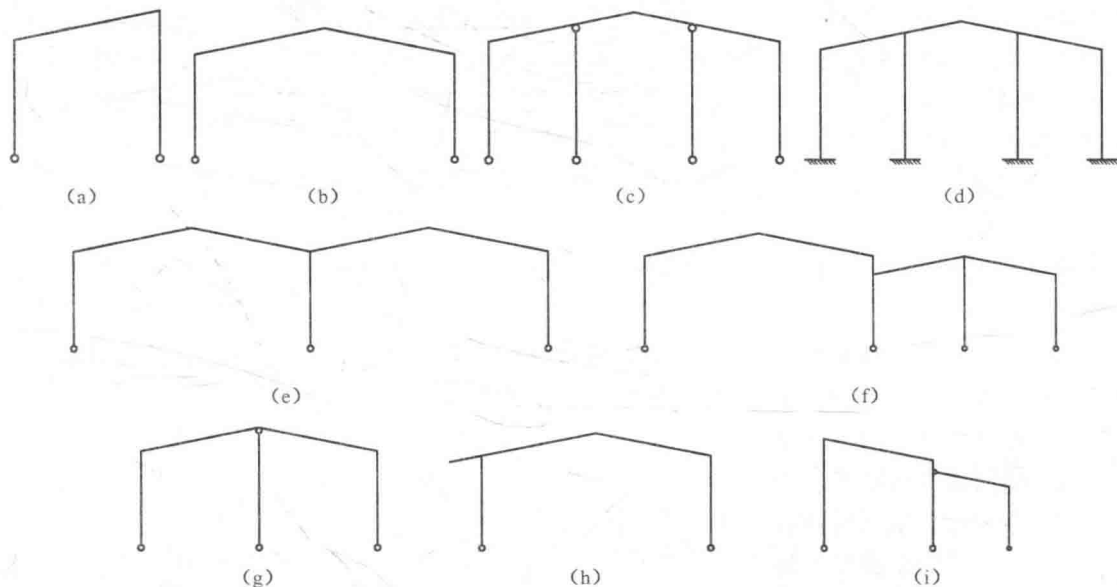


图 1-10 门式刚架的结构形式

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是很大时,中柱宜采用两端铰接的摇摆柱(图 1-10(c)、(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,中柱宜为两端刚接(图 1-10(d)),以增加刚架的侧向刚度。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向失稳)。由于边柱的高度相对较小(亦即长细比较小),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截面,必要时可改变翼缘厚度;邻接的安装单元可采用不同的翼缘截面,两单元相邻截面高度宜相等。

门式刚架的柱脚多按铰接支承设计,通常为平板支座,设一对或两对地脚锚栓。当用于工业厂房且有 5 t 以上桥式吊车时,宜将柱脚设计成刚接。

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。

门式刚架可由多个梁、柱单元构件组成。柱一般为单独的单元构件,斜梁可根据运输条件