

新世纪土木工程系列教材

钢结构设计原理

张耀春 主 编

周绪红 副主编



高等教育出版社

内容提要

本书着重讲述钢结构的基本原理,包括钢结构材性、连接和各种基本构件的设计,单层厂房钢结构的设计与应用,钢结构塑性设计和抗震设计方法等内容。书内附有适当的例题和习题。为了适应不同学时和不同读者对象的要求,书内编入了一部分比较深入的内容,供自由选读。

本书为高等教育出版社出版的新世纪土木工程系列教材之一,内容丰富、系统、理论联系实际。可作为土木工程专业本科生教学用书,也可作为有关科研人员和工程设计人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

钢结构设计原理 / 张耀春主编. —北京:高等教育出版社, 2004. 7

ISBN 7-04-014489-1

I. 钢... II. 张... III. 钢结构-结构设计-高等学校-教材 IV. TU391.04

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第054105号

策划编辑 赵湘慧 责任编辑 赵湘慧 封面设计 于涛 责任绘图 朱静
版式设计 张岚 责任校对 胡晓琪 责任印制

出版发行 高等教育出版社

社址 北京市西城区德外大街4号

邮政编码 100011

总机 010-82028899

购书热线 010-64054588

免费咨询 800-810-0598

网址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

经销 新华书店北京发行所

印刷 国防工业出版社印刷厂

开本 787×1092 1/16

印张 29.5

字数 720 000

插页 1

版次 年月第1版

印次 年月第 次印刷

定价 33.50元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

教育部高等教育出版社土建类系列教材

编辑委员会委员名单

主任委员：沈蒲生(湖南大学)

副主任委员：(按姓氏笔画排序)

白国良(西安建筑科技大学)

邹超英(哈尔滨工业大学)

周绪红(长安大学)

强士中(西南交通大学)

委员：(按姓氏笔画排序)

卫 军 (华中科技大学)

王 健 (北京建筑工程学院)

王清湘 (大连理工大学)

叶志明 (上海大学)

江见鲸 (清华大学)

关宝树 (西南交通大学)

刘 明 (沈阳建筑工程学院)

朱彦鹏 (甘肃工业大学)

张印阁 (东北林业大学)

张家良 (辽宁工学院)

吴胜兴 (河海大学)

杨和礼 (武汉大学)

尚守平 (湖南大学)

周 云 (广州大学)

胡长顺 (长安大学)

赵明华 (湖南大学)

梁兴文 (西安建筑科技大学)

黄醒春 (上海交通大学)

焦兆平 (广州大学)

廖红建 (西安交通大学)

霍 达 (北京工业大学)

出版者的话

新世纪土木工程系列教材是我社组织编写出版的“大土木”范畴的专业系列教材。1998年教育部颁布了新修订的《普通高等学校本科专业目录和专业介绍》，新专业目录中土建类土木工程专业覆盖了原来建筑工程和交通土建工程等8个专业。1999年各高校已按新的专业目录招生。开设土木工程专业的各院校把近年来在教育思想与教学观念、教学内容与课程体系、教学方法与教学手段等方面取得的改革成果固化到教学计划和人才培养过程中，设计了从教学思想到教学模式等一系列教学改革方案。大家在教学实践中体会到：专业、课程教学改革必然引起相应的教材改革。我社从1999年开始进行土木工程专业系列教材的策划工作，并于2000年成立了“教育部高等教育出版社土建类系列教材编委会”。

我们编辑出版土木工程系列教材的指导思想是：

1. 紧密结合人才培养模式改革，根据拓宽专业基础、提高综合素质、增强创新能力的要求，调整学生的知识结构。
2. 从各院校调整土建类各专业教学计划出发，加强基础课程到专业课程的有机沟通，用系统的观点和方法建立新的课程体系结构，包括对课程的整合与集成，组织和建设专业核心课程，成套成系列地推出土木工程系列教材。
3. 各门课程教材要具有与本门学科发展相适应的学科水平，以科技进步和社会发展的最新成果充实、更新教材内容，贯彻理论联系实际的原则。
4. 要正确处理继承、借鉴和创新的关系，不能简单地以传统和现代划线，决定取舍，而应根据教学要求进行取舍。继承、借鉴历史和国外的经验，注意研究结合我国的现实情况，择善而从，消化创新。
5. 随着高新技术、特别是数字化和网络化技术的发展，在土木工程系列教材建设中，要充分考虑文字教材与音像、电子、网络教材的综合发展，发挥综合媒体在教学中的优势，提高教学效率。在开发研制教学软件的同时，要注意使文字教材与先进的软件接轨，明确不同形式教材之间的关系是相辅相成、相互补充的。
6. 坚持质量第一。图书是特殊的商品，教材是特殊的图书。教材质量的优劣直接影响教学质量和教学秩序，最终影响学校人才培养的质量。教材不仅具有传播知识、服务教育、积累文化的功能，也是沟通作者、编辑、读者的桥梁，一定程度上还代表着国家学术文化或学校教学、科研水平。因此，遴选作者、审订教材、贯彻国家标准和规范等方面需严格把关。

为了实现本套教材的指导思想，我们组建了由有丰富的教学经验、有较高的学术水平和学术声望的教师组成的编委会，由编委会研究提出土木工程系列教材的选题及其基本内容与编审原则，并推荐作者。

我们出版本系列教材，旨在为新世纪的土木工程专业学生提供一套经过整合优化的比较系

统的专业系列教材,以期为我国的土木工程专业教材建设贡献自己的一份力量。

本系列教材的编写大纲和初稿都经过了编委会的审阅,以求教材质量更臻完善。如有疏漏之处,请读者批评指正!

2002年12月

前 言

本书为新世纪土木工程系列教材之一,是为适应“大土木”专业覆盖面广的需要而编写的。

本书以阐述钢结构的基本设计原理为重点,结合新版 GB 50017—2003《钢结构设计规范》和 GB 50018—2002《冷弯薄壁型钢技术规范》的修订内容,着重讲述了钢材的性能、连接和各种基本构件的设计原理,各类节点的构造和设计;同时以单层厂房钢结构为例,介绍了整体房屋钢结构的设计方法;书中还介绍了钢结构的塑性设计方法和抗震设计特点。

考虑到近年来轻钢结构快速发展的需要,书中适当安排了冷弯薄壁型钢结构设计原理的部分内容,教学时可不作为基本内容要求。

本书可作为土木工程专业本科生的专业基础课教材,也可作为钢结构技术工作者和土建人员的学习参考用书。

参加本书编写的人员有:哈尔滨工业大学张耀春(主编,第1、2、10章)、武振宇(第4、5章)、张连一(第8章)、张文元(附录)、汕头大学王湛(第3章)、长安大学周绪红(副主编,第6章)、刘永健(第7章)、湖南大学舒兴平(第9章)。全书由张耀春统稿,由哈尔滨工业大学钟善桐教授主审。

在本书编写过程中得到了编委会和高等教育出版社的大力支持和帮助,对此表示衷心的感谢。另外,哈尔滨工业大学研究生王春刚同志协助主编整理了部分书稿,在此深表谢意。

限于编者水平,错误和不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者
2004年5月

第 9 章

单层厂房钢结构

§ 9.1 单层厂房钢结构的组成及布置原则

9.1.1 单层厂房钢结构的组成

单层厂房钢结构(single - story industrial steel structures)一般是由屋盖结构、柱、吊车梁、制动梁(或制动桁架)、各种支撑以及墙架等构件组成的空间体系(图 9.1.1)。这些构件按其作用可分为下面几类：

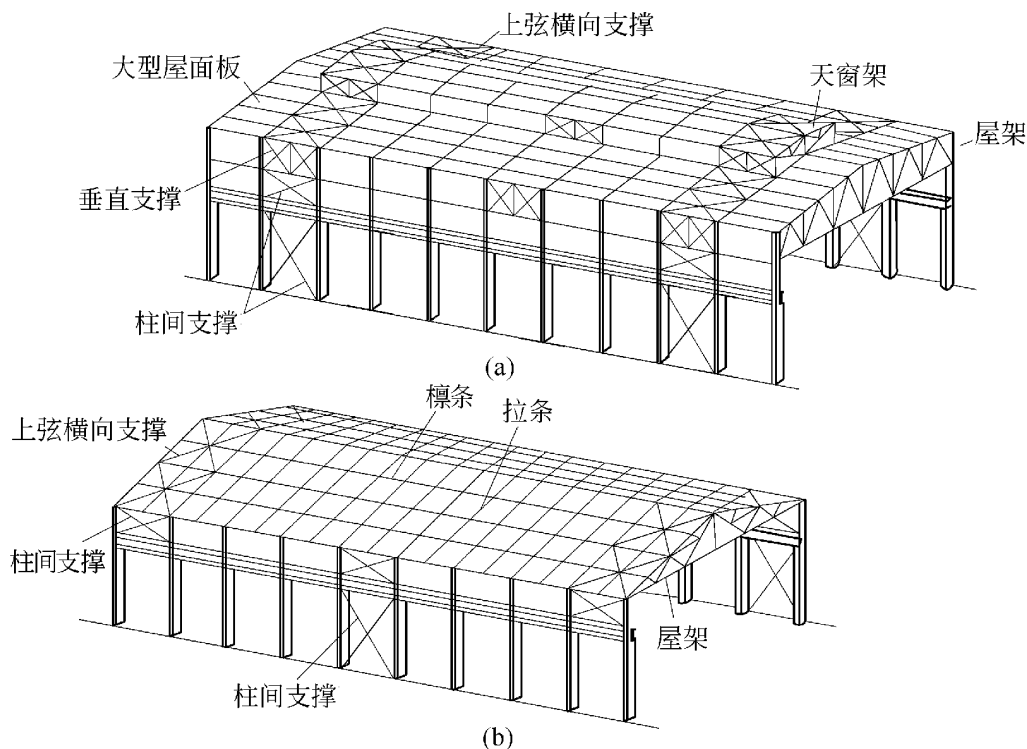


图 9.1.1 单层厂房钢结构的组成示例

(a) 无檩屋盖 (b) 有檩屋盖

(1) 横向框架。由柱和它所支承的屋架或屋盖横梁组成,是单层厂房钢结构的主要承重体系,承受结构的自重、风、雪荷载和吊车的竖向与横向荷载,并把这些荷载传递到基础。

(2) 屋盖结构。承担屋盖荷载的结构体系,包括横向框架的横梁、托架、中间屋架、天窗架、檩条等。

(3) 支撑体系。包括屋盖部分的支撑和柱间支撑等,它一方面与柱、吊车梁等组成单层厂房钢结构的纵向框架,承担纵向水平荷载;另一方面又把主要承重体系由个别的平面结构连成空间的整体结构,从而保证了单层厂房钢结构所必需的刚度和稳定。

(4) 吊车梁和制动梁(或制动桁架)。主要承受吊车竖向及水平荷载,并将这些荷载传到横向框架和纵向框架上。

(5) 墙架。承受墙体的自重和风荷载。

此外,还有一些次要的构件如梯子、走道、门窗等。在某些单层厂房钢结构中,由于工艺操作上的要求,还设有工作平台。

9.1.2 柱网和温度伸缩缝的布置

1. 柱网布置

柱网布置(layout of column rows)就是确定单层厂房钢结构承重柱在平面上的排列,即确定它们的纵向和横向定位轴线所形成的网格。单层厂房钢结构的跨度就是柱纵向定位轴线之间的尺寸,单层厂房钢结构的柱距就是柱子在横向定位轴线之间的尺寸(图9.1.2)。

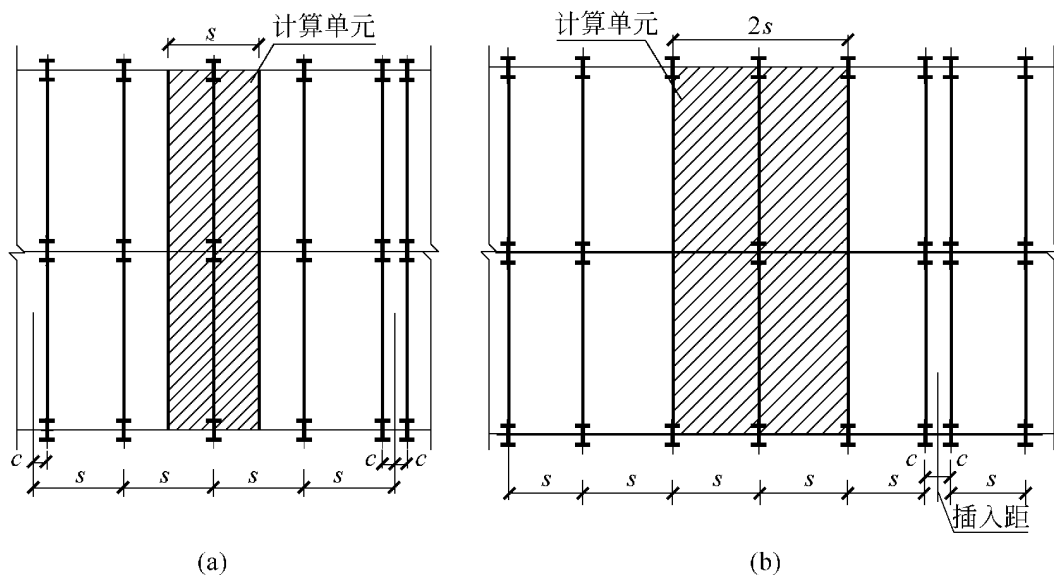


图9.1.2 柱网布置和温度伸缩缝

(a) 各列柱距相等 (b) 中列柱有抽柱

进行柱网布置时,应注意以下几方面的问题:

(1) 应满足生产工艺要求。厂房是直接为工业生产服务的,不同性质的厂房具有不同的生产工艺流程,各种工艺流程所需主要设备、产品尺寸和生产空间都是决定跨度和柱距的主要因素。柱的位置(包括柱下基础的位置)应和地上(地下)设备、机械及起重运输设备等相协调。此外,柱网布置尚应考虑未来生产发展和生产工艺的可能变动。

(2) 应满足结构的要求。为了保证车间的正常使用,使厂房具有必要的刚度,应尽量将柱布置在同一横向轴线上,以便与屋架或横梁组成横向框架,提供尽可能大的横向刚度。

(3) 应符合经济合理的原则。柱距大小对结构的用钢量影响较大,较经济的柱距可通过具体方案比较确定,例如,在柱子较高、跨度较大而吊车起重量又较小的车间中,采用大柱距可能是经济合理的。为了降低制作和安装工作量,应尽量实现结构构件的统一化和标准化,满足《厂房

建筑统一化基本规则》的规定:当单层厂房钢结构跨度小于或等于 18 m 时,应以 3 m 为模数,即 9 m、12 m、15 m、18 m;当厂房跨度大于 18 m 时,则以 6 m 为模数,即 24 m、30 m、36 m。但是当工艺布置和技术经济有明显的优越性时,也可采用 21 m、27 m、33 m 等。厂房的柱距一般采用 6 m 较为经济,当工艺有特殊要求时,可局部抽柱,即柱距做成 12 m;对某些有扩大柱距要求的单层厂房钢结构也可采用 9 m 及 12 m 柱距。

2. 温度伸缩缝

温度变化将引起结构变形,使厂房钢结构产生温度应力。故当厂房平面尺寸较大时,为避免产生过大的温度变形和温度应力,应在厂房钢结构的横向和纵向设置温度伸缩缝(temperature joint)。

温度伸缩缝的布置决定于厂房钢结构的纵向和横向长度。纵向很长的厂房在温度变化时,纵向构件伸缩的幅度较大,引起整个结构变形,使构件内产生较大的温度应力,并可能导致墙体和屋面的破坏。为了避免这种不利后果的产生,常采用横向温度伸缩缝将单层厂房钢结构分成伸缩时互不影响的温度区段。按规范规定,当温度区段长度不超过表 9.1.1 的数值时,可不计算温度应力。

表 9.1.1 温度区段长度值

结构情况	温度区段长度/m		
	纵向温度区段(垂直于屋架或构架跨度方向)	横向温度区段(沿屋架或构架跨度方向)	
		柱顶为刚接	柱顶为铰接
采暖房屋和非采暖地区的房屋	220	120	150
热车间和采暖地区的非采暖房屋	180	100	125
露天结构	120	—	—

温度伸缩缝最普遍的做法是设置双柱。即在缝的两旁布置两个无任何纵向构件联系的横向框架,使温度伸缩缝的中线和定位轴线重合(图 9.1.2a);在设备布置条件不允许时,可采用插入距的方式(图 9.1.2b),将缝两旁的柱放在同一基础上,其轴线间距一般可采用 1 m,对于重型厂房由于柱的截面较大,可能要放大到 1.5 m 或 2 m,有时甚至到 3 m,方能满足温度伸缩缝的构造要求。为节约钢材也可采用单柱温度伸缩缝,即在纵向构件(如托架、吊车梁等)支座处设置滑动支座,以使这些构件有伸缩的余地。不过单柱伸缩缝使构造复杂,实际应用较少。

当厂房宽度较大时,也应该按规范规定布置纵向温度伸缩缝。

§ 9.2 横向框架的结构类型及主要尺寸

9.2.1 框架的类型

单层厂房的基本承重结构通常采用框架(frames)结构体系。这种体系能够保证必要的横向

刚度,同时其净空又能满足使用上的要求。

横向框架按其静力计算模式来分,主要有横梁与柱铰接和横梁与柱刚接两种情况。如按跨度来分,则有单跨、双跨和多跨。

横梁与柱铰接的框架,在传统单层厂房钢结构中常可见到。由于其横向刚度较差,常不能满足吊车使用上的要求,因此这种结构类型现在很少采用。横梁与柱刚接的框架具有良好的横向刚度,但对于支座不均匀沉降及温度作用比较敏感,需采取防止不均匀沉降的措施。轻钢厂房采用的门式刚架属于横梁与柱刚接,而且由于结构自重与传统单层厂房钢结构相比大为减轻,沉降问题不甚严重,因而是一种较好的结构形式。

9.2.2 主要尺寸

框架的主要尺寸如图9.2.1所示。框架的跨度,一般取为上部柱中心线间的横向距离,可由下式定出:

$$L_0 = L_K + 2S \quad (9.2.1)$$

式中 L_K 为桥式吊车的跨度; S 为吊车梁轴线至上段柱轴线的距离(图9.2.2),应满足下式要求:

$$S = B + D + b_1/2 \quad (9.2.2)$$

B 为吊车桥架悬伸长度,可由行车样本查得; D 为吊车外缘和柱内边缘之间的必要空隙,当吊车起重量不大于500 kN时,不宜小于80 mm;当吊车起重量大于或等于750 kN时,不宜小于100 mm;当在吊车和柱之间需要设置安全走道时,则 D 不得小于400 mm; b_1 为上段柱宽度。

S 的取值:对于中型厂房一般采用0.75 m或1 m,重型厂房则为1.25 m甚至达2.0 m。

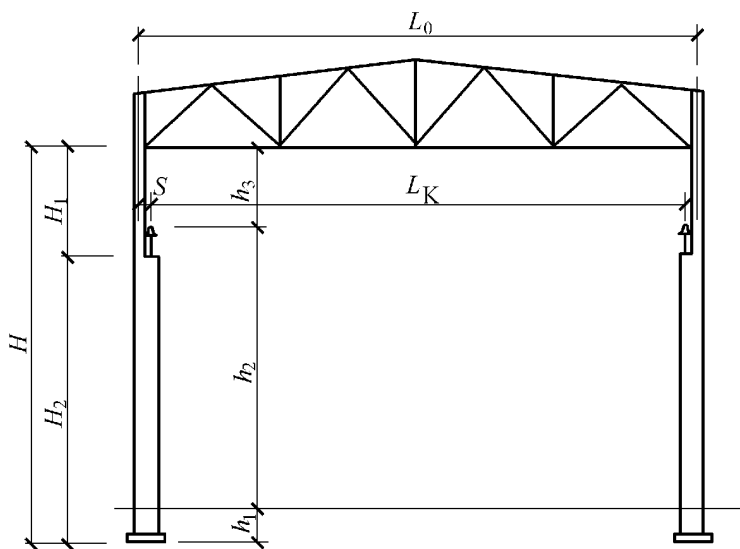


图 9.2.1 横向框架的主要尺寸

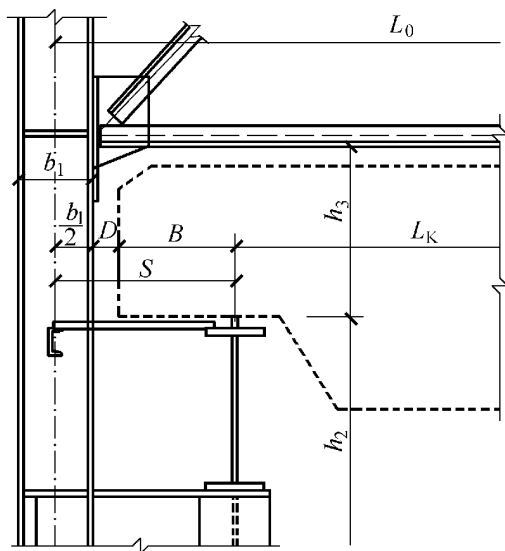


图 9.2.2 柱与吊车梁轴线间的净空

框架由柱脚底面到横梁下弦底部的距离:

$$H = h_1 + h_2 + h_3 \quad (9.2.3)$$

式中 h_1 为地面至柱脚底面的距离,中型车间约为0.8~1.0 m,重型车间为1.0~1.2 m; h_2 为地面至吊车轨顶的高度,由工艺要求决定; h_3 为吊车轨顶至屋架下弦底部的距离,

$$h_3 = A + 100 \text{ mm} + (150 \sim 200) \text{ mm} \quad (9.2.4)$$

式(9.2.4)中 A 为吊车轨道顶面至起重小车顶面之间的距离;100 mm 是为制造、安装误差留出的空隙;(150~200) mm 则是考虑屋架的挠度和下弦水平支撑角钢的下伸等所留的空隙。

吊车梁的高度可按 $(1/5 \sim 1/12)L$ 选用 L 为吊车梁的跨度,吊车轨道高度可根据吊车起重量决定。框架横梁一般采用梯形或人字形屋架,其形式和尺寸参见本章 § 9.4 节。

§ 9.3 结构的纵向传力系统

9.3.1 纵向框架柱间支撑的作用和布置

柱间支撑(bracings)与厂房钢结构框架柱相连接,其作用为:

(1) 组成坚强的纵向构架,保证单层厂房钢结构的纵向刚度。

(2) 承受单层厂房钢结构端部山墙的风荷载、吊车纵向水平荷载及温度应力等,在地震区尚应承受纵向地震作用,并将这些力和作用传至基础。

(3) 可作为框架柱在框架平面外的支点,减少柱在框架平面外的计算长度。

柱间支撑由两部分组成:在吊车梁以上的部分称为上层支撑,吊车梁以下部分称为下层支撑。下层柱间支撑与柱和吊车梁一起在纵向组成刚性很大的悬臂桁架。为了使纵向构件在温度发生变化时能较自由地伸缩,尽量减少温度应力,下层支撑应该设在温度区段中部。只有当吊车位置高而车间总长度又很短(如混铁炉车间),下层支撑设在两端不会产生很大的温度应力,而对厂房纵向刚度却能提高很多时,放在两端才是合理的。

当温度区段小于 90 m 时,在它的中央设置一道下层支撑(图 9.3.1a);如果温度区段长度超

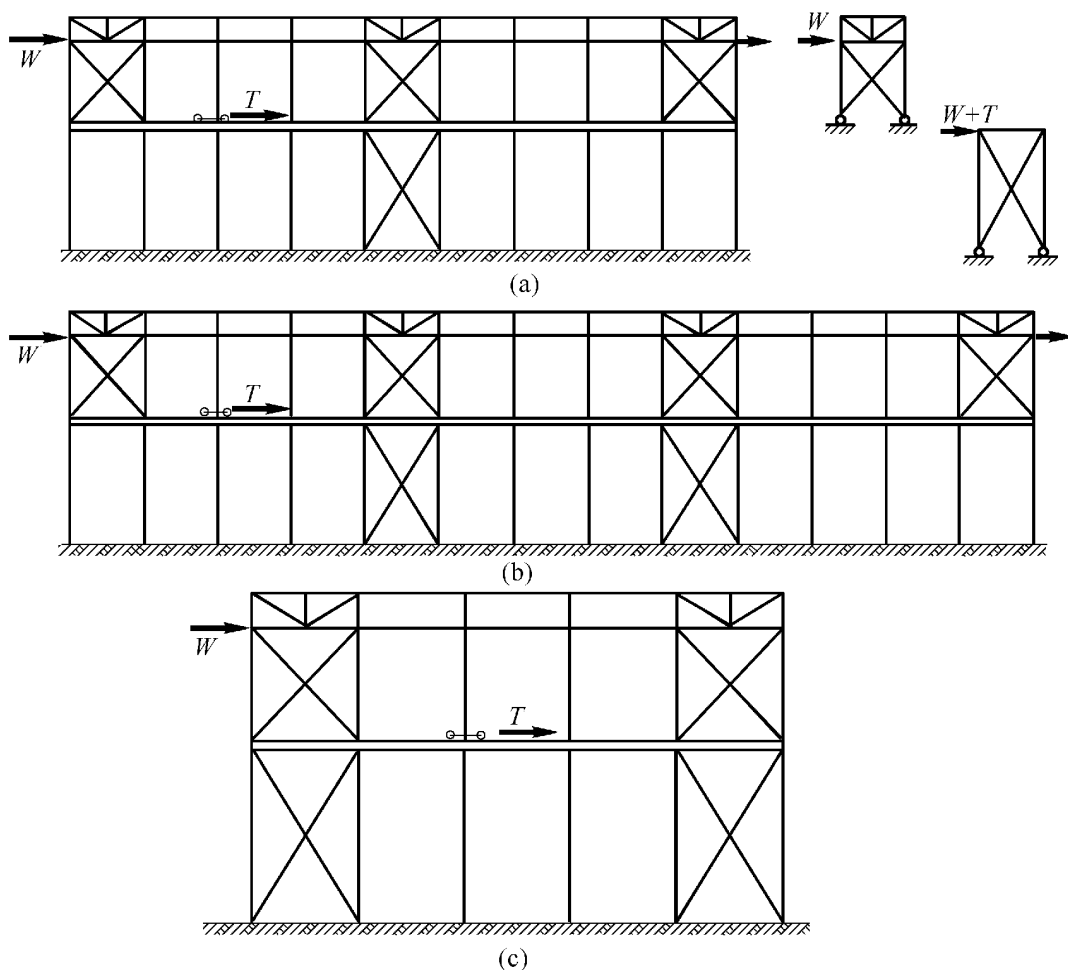


图 9.3.1 柱间支撑布置

过 90 m,则在它的 1/3 点处各设一道支撑(图 9.3.1b),以免传力路程太长。在短而高的单层厂房钢结构中,下层支撑也可布置在单层厂房钢结构的两端(图 9.3.1c)。

上层柱间支撑又分为两层,第一层在屋架端部高度范围内属于屋盖垂直支撑。显然,当屋架为三角形或虽为梯形但有托架时,并不存在此层支撑。第二层在屋架下弦至吊车梁上翼缘范围内。为了传递风荷载,上层支撑需要布置在温度区段端部,由于单层厂房钢结构柱在吊车梁以上部分的刚度小,不会产生过大的温度应力,从安装条件来看这样布置也是合适的。此外,在有下层支撑处也应设置上层支撑。上层柱间支撑宜在柱的两侧设置,只有在无人孔且柱截面高度不大的情况下才可沿柱中心设置一道。下层柱间支撑应在柱的两个肢的平面内成对设置,与外墙墙架有联系的边列柱可仅设在内侧,但重级工作制吊车的厂房外侧也同样设置支撑。此外,吊车梁和辅助桁架作为撑杆是柱间支撑的组成部分,承担并传递单层厂房钢结构纵向水平力。

9.3.2 柱间支撑的形式

柱间支撑按结构形式可分为十字交叉式、八字式、门架式等(图 9.3.2)。十字交叉支撑的构造简单、传力直接、用料节省,使用最为普遍,其斜杆倾角宜为 45° 左右。上层支撑在柱间距较大时可改用斜杆(图 9.3.2d);下层支撑高而不宽者可以用两个十字形,高而刚度要求严格者可以占用两个开间(图 9.3.2c)。当柱间距较大或十字撑妨碍生产空间时,可采用门架式支撑(图 9.3.2d)。图 9.3.2e 的支撑形式,上层为 V 形,下层为人字形,它与吊车梁系统的连接应做成能传递纵向水平力而竖向可自由滑动的构造。

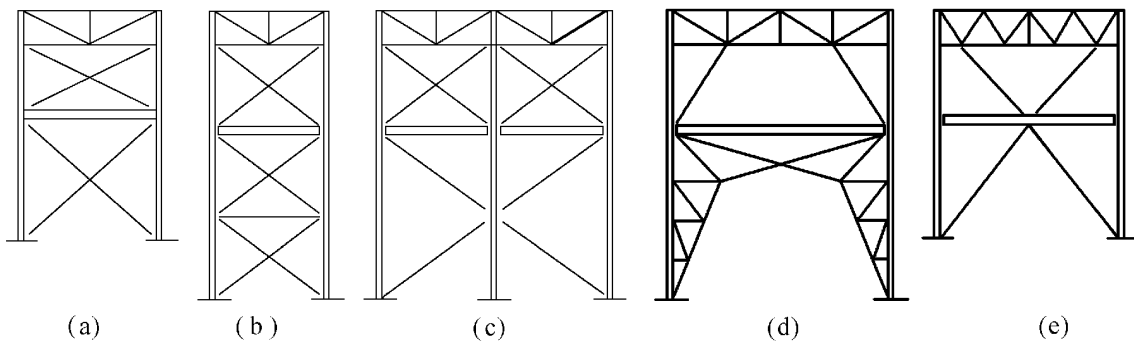


图 9.3.2 柱间支撑的形式

上层柱间支撑承受端墙传来的风荷载;下层柱间支撑除承受端墙传来的风荷载以外,还承受吊车的纵向水平荷载。在同一温度区段的同一柱列设有两道或两道以上的柱间支撑时,全部纵向水平荷载(包括风荷载)由该柱列所有支撑共同承受。当支撑系统在柱的两个肢的平面内成对设置时,在吊车肢的平面内设置的下层支撑,除承受吊车纵向水平荷载外,还承受与屋盖肢下层支撑按轴线距离分配传来的风荷载;靠墙的外肢平面内设置的下层支撑,只承受端墙传来的风荷载与吊车肢下层支撑按轴线距离分配来的风荷载。

柱间支撑的交叉杆和图 9.3.2d 的上层斜撑杆和门形下层支撑的主要杆件一般按柔性杆件(拉杆)设计,交叉杆趋向于受压的杆件不参与工作,其他的非交叉杆以及水平横杆按压杆设计。某些重型车间,对下层柱间支撑的刚度要求较高,往往交叉杆的两杆均按压杆设计。

9.3.3 柱间支撑的设计计算

1. 支撑设计荷载计算

(1) 纵向风荷载

由房屋两端或一端(房屋设有中间伸缩缝)的山墙及天窗架端壁传来的纵向风荷载,按 GB 50009—2001《建筑结构荷载规范》的相关规定确定其设计值。

(2) 吊车纵向水平荷载

由吊车在轨道上纵向行驶所产生的制动力,一般按不多于两台吊车计算,该荷载的设计值可由下式决定:

$$T = 0.1P_{\max} \quad (9.3.1)$$

式中 P_{\max} 为吊车刹车车轮的最大设计轮压,刹车轮数一般为吊车一侧轮数的一半。

(3) 纵向地震作用

位于抗震设防烈度 7 度及以上地区的单层厂房钢结构,应根据其抗震设防标准,按 GB 50011—2001《建筑抗震设计规范》中 9.2 节的相关规定确定其纵向地震作用设计值。

(4) 保证柱子平面外稳定的支撑力

做为框架柱平面外的支承点,在纵向柱列高度中央附近通过柱截面剪心设置一边支撑系统(包括水平撑杆)时,支撑系统所受的支撑力设计值应按下列式计算:

$$F_{bn} = \frac{\sum N_i}{60} \left(0.6 + \frac{0.4}{n} \right) \quad (9.3.2)$$

式中, $\sum N_i$ 为被撑柱列同时存在的轴心压力设计值之和, n 为柱列中被撑柱的根数。

该支撑力可不与其他荷载效应组合。

2. 支撑构件内力计算

计算各支撑杆件的内力时,假设各连接节点均为铰接,并忽略各杆件的偏心影响,即各杆件均可按轴心受拉或轴心受压构件计算。

柱间支撑的内力,应根据该柱列所受纵向荷载按支承于柱脚基础上的竖向悬臂桁架计算。对于带有交叉腹杆的支撑可按拉杆体系设计,也可按压杆设计。所谓按拉杆设计,是假定交叉腹杆只承受拉力,一旦受压即失去稳定而退出工作,如图 9.3.3 中的虚线所示,体系变为静定结构。所谓按压杆设计,是假定所有杆件均可受压,此时应按超静定结构计算支撑体系的内力。当交叉腹杆截面相同时,可假设两杆内力的绝对值相同,以简化计算。在内力分析时,必须考虑荷载方向的可变性。

当同一柱列设有多个纵向柱间支撑时,纵向力在各支撑间可按平均分布考虑。

3. 支撑构件截面验算

(1) 支撑构件的长细比验算

支撑的截面尺寸一般由杆件的长细比按构造要求确定,即首先应满足其容许长细比的要求:

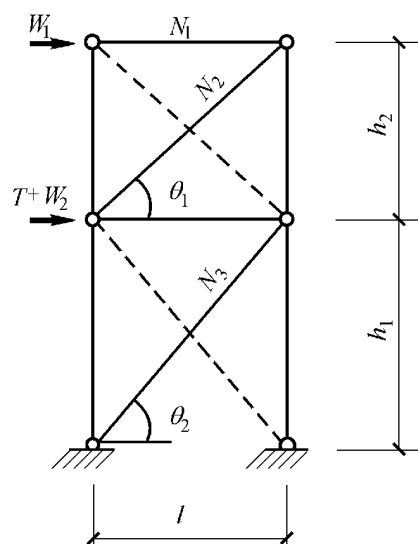


图 9.3.3 柱间支撑计算简图

$$\lambda_{\max} \leq [\lambda] \quad (9.3.3)$$

式中 $[\lambda]$ 为支撑杆件的容许长细比,按第6章表6.2.1和表6.2.2采用。

计算支撑杆件的 λ_{\max} 时,应符合下列规定:

① 张紧圆钢拉条的长细比不受限制。

② 十字交叉支撑斜杆的平面内计算长度应取节点中心到交叉点间的距离;其平面外的计算长度,当按拉杆设计时,取节点中心间的距离(交叉点不作为节点考虑),当按压杆设计时,应按表9.3.1取用。

③ 计算单角钢杆件的长细比时,应采用角钢最小回转半径;但计算在交叉点相互连接的单角钢交叉杆件在支撑平面外的长细比时,应采用与角钢肢边平行轴的回转半径。

④ 双片支撑的单肢杆件在平面外的计算长度,可取横向联系杆之间的距离。

表9.3.1 交叉腹杆平面外的计算长度

项次	杆件类别	杆件相交情况	平面外的计算长度
1	压杆	相交的另一杆受压,两杆在交叉点均不中断	$l_0 = l \sqrt{\frac{1}{2} \left(1 + \frac{N_0}{N} \right)}$
2		相交的另一杆受拉,两杆中有一杆在交叉点中断,但以节点板搭接	$l_0 = l \sqrt{1 + \frac{N_0^2}{12} \cdot \frac{N_0}{N}}$
3		相交的另一杆受拉,两杆在交叉点均不中断	$l_0 = l \sqrt{\frac{1}{2} \left(1 - \frac{3}{4} \frac{N_0}{N} \right)} \geq 0.5l$
4		相交的另一杆受拉,此拉杆在交叉点中断,但以节点板搭接	$l_0 = l \sqrt{1 - \frac{3}{4} \frac{N_0}{N}} \geq 0.5l$
5	拉杆		$l_0 = l$

注:1. 表中 N 为所计算杆的内力, N_0 为相交另一杆的内力,均为绝对值。两杆均受压时,取 $N_0 \leq N$,两杆截面应相同。

2. 当确定交叉腹杆中单角钢杆件斜平面内的长细比时,计算长度应取节点中心至交叉点的距离。

(2) 支撑构件的强度和稳定性验算。

支撑构件的内力求出后,应按第6章的公式(6.2.2)或(6.2.3)验算构件的强度,按公式(6.4.2)验算受压支撑构件的稳定性。

由于支撑系统受力方向的可变性,为防止支撑的某些杆件受压失稳导致整个支撑系统失效,除按拉杆设计的交叉腹杆外,其他杆件均应按压杆设计。

[例题9.1] 一跨度为30m的单层厂房,两端为封闭式山墙,设有山墙柱,其上端与屋架下弦水平支撑相连,下端与柱基铰接。檐口标高13m。内设两台起重量为20t的普通桥式吊车,中级工作制,轨顶标高9m,一台吊车的最大轮压(标准值) $P_{\max} = 29.6$ t。每侧边列柱均设有一道柱间支撑,均为三层X形交叉支撑,如图9.3.4所示。取山墙基本风压 $w_0 = 0.45$ kN/m²,风压高度变化系数 $\mu_z = 1.0$,整体(迎风+背风)风压体型系数 $\mu_s = 0.9$ 。试仅按风荷载和吊车荷载设计柱间支撑各构件的截面。

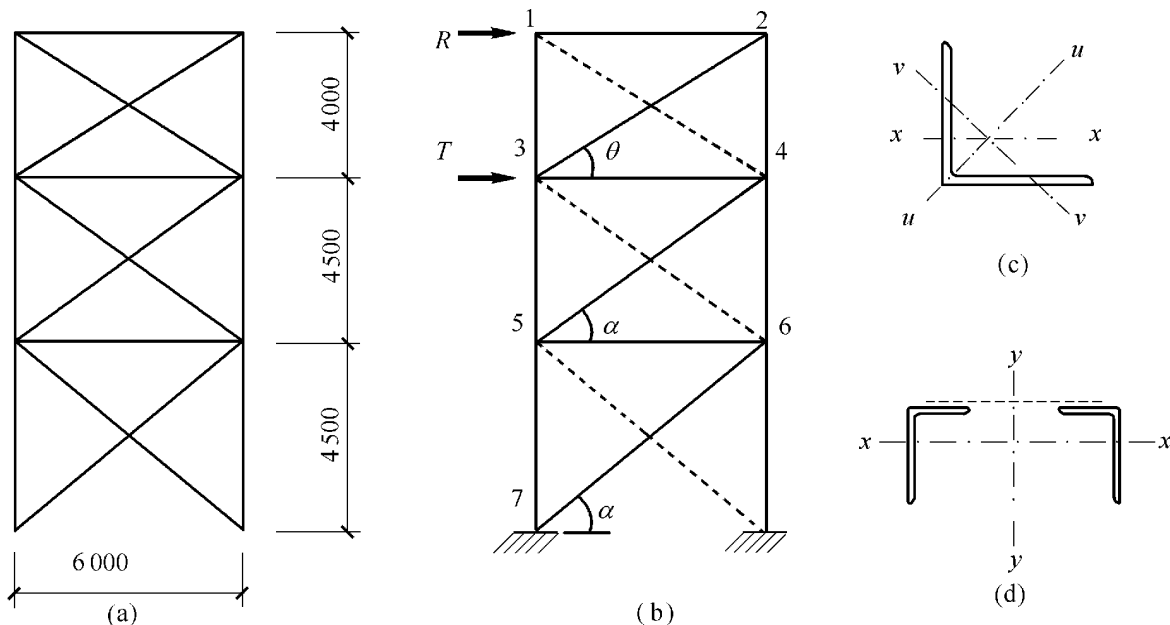


图 9.3.4 柱间支撑设计简图

[解]

1. 荷载计算

(1) 风荷载

风压设计值 $w = 1.4\mu_s\mu_zw_0 = 1.4 \times 0.9 \times 1.0 \times 0.45 \text{ kN/m}^2 = 0.57 \text{ kN/m}^2$

每片柱间支撑柱顶风荷载节点反力为：

$$R = \frac{1}{4} \times w \times \text{挡风面积} = \frac{1}{4} \times 0.57 \text{ kN/m}^2 \times 13 \text{ m} \times 30 \text{ m} = 55.58 \text{ kN}$$

(2) 吊车纵向水平制动力 T

按计算跨间两台吊车同时作用，一台吊车一侧有两个制动轮计算，则单片柱间支撑所受吊车纵向水平制动力 T 为：

$$T = 0.1 \sum P_{\max} = 0.1 \times 1.4 \times 2 \times 2 \times 9.8 \text{ N/kg} \times 29.6 \text{ t} = 162.44 \text{ kN}$$

2. 柱间支撑构件内力计算

柱间支撑桁架内力分析如图 9.3.4b 所示。假设交叉斜杆只能受拉，当如图示纵向力的方向时，虚线的斜杆退出工作不受力。将 1、2、...、7 诸点都看作是铰。

$$N_{2-3}^R = \frac{R}{\cos \theta} = \frac{55.58 \text{ kN} \times \sqrt{6^2 + 4^2}}{6} = 66.80 \text{ kN}$$

$$N_{4-5}^R = \frac{R}{\cos \alpha} = \frac{55.58 \text{ kN} \times \sqrt{6^2 + 4.5^2}}{6} = 69.48 \text{ kN}$$

$$N_{4-5}^T = \frac{T}{\cos \alpha} = \frac{162.44 \text{ kN} \times \sqrt{6^2 + 4.5^2}}{6} = 203.05 \text{ kN}$$

$$N_{6-7} = N_{4-5}$$

$$N_{5-6}^R = -R = -55.58 \text{ kN} \quad (\text{压杆})$$

$$N_{5-6}^T = -T = -162.44 \text{ kN} \quad (\text{压杆})$$

3. 截面设计

(1) 上部柱间支撑斜杆 2-3

采用单角钢、单片支撑,截面如图 9.3.4c 所示。几何长度 $l = 7.211 \text{ m}$ 。

$$\text{平面内计算长度: } l_0 = \frac{l}{2} = \frac{7.211 \text{ m}}{2} = 3.606 \text{ m}$$

上部柱间支撑按拉杆设计,容许长细比 $[\lambda] = 400$ 。

$$\text{需要平行于斜平面回转半径: } i_v \geq \frac{360.6 \text{ cm}}{400} = 0.90 \text{ cm}$$

$$\text{平面外计算长度: } l_0 = l = 7.211 \text{ m}$$

$$\text{需要角钢肢边的回转半径: } i_x \geq \frac{721.1 \text{ cm}}{400} = 1.80 \text{ cm}$$

需要角钢的净截面积为:

$$A_n = \frac{N_{2-3}^R}{0.85f} = \frac{66.80 \times 10^3 \text{ N}}{0.85 \times 215 \times 10^2 \text{ N/cm}^2} = 3.66 \text{ cm}^2$$

式中 0.85 是单面连接单角钢强度设计值折减系数。

选用 1 肢 63×6 , $A = 7.29 \text{ cm}^2$, $i_v = 1.24 \text{ cm} > 0.90 \text{ cm}$, $i_x = 1.93 \text{ cm} > 1.80 \text{ cm}$ 。

杆件与节点板以角焊缝焊接,安装螺栓在节点范围以内,不需扣除螺栓孔, $A_n = A = 7.29 \text{ cm}^2$, 大于需要的 $A_n = 3.66 \text{ cm}^2$, 满足要求。

(2) 下部柱间支撑斜杆 4-5(6-7)

采用两角钢双片支撑,截面如图 9.3.4d 所示。假设 N_{4-5}^R 由外侧的支撑分肢承受, N_{4-5}^T 由吊车梁侧的支撑分肢承受。双片支撑两分肢间用缀条或缀板相连,以增强侧向刚度。

吊车梁侧支撑需要的净截面积为:

$$A_n \geq \frac{N_{4-5}^T}{f} = \frac{203.05 \times 10^3 \text{ N}}{215 \times 10^2 \text{ N/cm}^2} = 9.44 \text{ cm}^2$$

外侧支撑需要的净截面积为:

$$A_n \geq \frac{N_{4-5}^R}{f} = \frac{69.48 \times 10^3 \text{ N}}{215 \times 10^2 \text{ N/cm}^2} = 3.23 \text{ cm}^2$$

因两支撑分肢间有缀件相连,实际上已构成一个组合构件,故以上计算中强度设计值未考虑折减系数 0.85。两分肢选用相同截面,各为 1 肢 90×8 , $A = 13.94 \text{ cm}^2$, $i_v = 1.87 \text{ cm}$, $i_x = 2.76 \text{ cm}$ 。

两片支撑斜杆(拉杆)之间用缀条相连,以增强平面外的刚度,这样验算支撑斜杆的长细比将由平面内控制:

$$\text{平面内计算长度: } l_0 = \frac{l}{2} = \frac{7.500 \text{ m}}{2} = 3.750 \text{ m}$$

$$\text{平面内回转半径: } i_x = 2.76 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \frac{375.0 \text{ cm}}{2.76 \text{ cm}} = 135.9 < [\lambda] = 300$$

满足要求。

(3) 下部柱间支撑横杆 5-6(中心受压)

$$\text{容许长细比: } [\lambda] = 150$$

$$\text{需要平面内回转半径: } i_x \geq \frac{600 \text{ cm}}{150} = 4 \text{ cm}$$

$$\text{内力: } N_{5-6} = N_{5-6}^R + N_{5-6}^T = -55.58 \text{ kN} - 162.44 \text{ kN} = -218.02 \text{ kN}$$

根据需要的 $i_x \geq 4 \text{ cm}$,选用两角钢组合截面如图 9.3.4d 所示 ,为 2 腓 $40 \times 90 \times 10$,长肢下伸 $A = 44.52 \text{ cm}^2$ $i_x = 4.47 \text{ cm}$ 。

验算支撑横杆的稳定性(平面内控制):

$$\lambda_x = \frac{l_0}{i_x} = \frac{600 \text{ cm}}{4.47 \text{ cm}} = 134.2 < [\lambda] = 150$$

由 b 类截面查得 $\varphi = 0.369$,

$$\frac{N}{\varphi A} = \frac{218.02 \times 10^3 \text{ N}}{0.369 \times 44.52 \times 10^2 \text{ mm}^2} = 132.71 \text{ N/mm}^2 < f = 215 \text{ N/mm}^2$$

满足要求。

支撑横杆的两角钢间用缀条相连 ,以保证分肢稳定。

9.3.4 柱间支撑的连接及构造

柱间支撑采用角钢时 ,其截面不宜小于腓 5×6 ;采用槽钢连接时 ,不宜小于 $[12]$ 。下层柱间支撑一般设置为双片 ,分别与吊车梁和屋盖肢相连 ,双片支撑之间以缀条相连 ,缀条常采用单角钢 ,以控制其长细比不超过 200 ,且不小于腓 50×5 为宜。上层柱间支撑一般设置为单片 ,如果上柱设有人孔或截面高度过大 ($\geq 800 \text{ mm}$) ,亦应采用双片。支撑的连接可采用焊缝或高强螺栓。采用焊缝时 ,焊缝尺寸不应小于 6 mm ,焊缝长度不应小于 80 mm ,同时要在连接处设置安装螺栓 ,一般不小于 $M16$ 。对于人字形 ,八字形之类的支撑还要注意采取构造措施 ,如采用弹簧板连接使其与吊车梁(或制动结构 辅助桁架)的连接仅传递水平力 ,而不传递垂直力 ,以免支撑成为吊车梁的中间支点。支撑与柱的连接节点如图 9.3.5 所示。

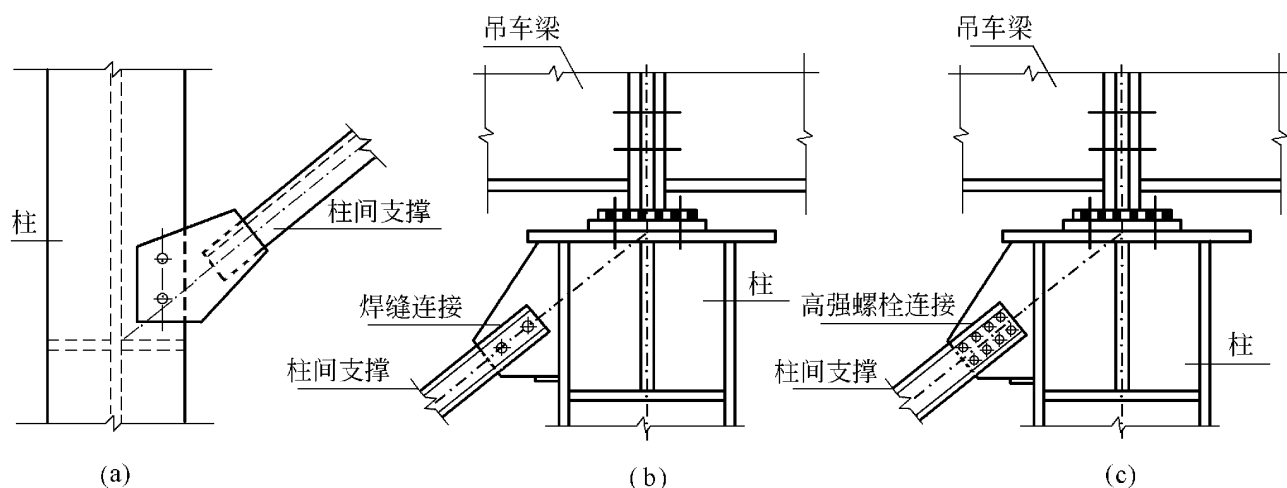


图 9.3.5 柱间支撑与柱的连接

(a) 柱间支撑下端与柱的连接 (b) 柱间支撑上端与柱焊接连接 ;

(c) 柱间支撑上端与柱用螺栓连接

§ 9.4 屋盖结构体系

9.4.1 钢屋盖结构的形式、组成及布置

钢屋盖结构通常由屋面、檩条、屋架、托架和天窗架等构件组成。根据屋面材料和屋面结构
此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com