

· 阮澍铭 于玲玲 编著

工程应用结构力学

GONGCHENGYINGYONGJIEGOULIXUE

中国建材工业出版社

工程应用结构力学

阮澍铭 于玲玲编著

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程应用结构力学/阮澍铭,于玲玲编著. —北京:
中国建材工业出版社,2004.8
ISBN 7-80159-731-1

I.工... II.①阮...②于... III.工程结构—结构
力学 IV.TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 081142 号

内 容 提 要

本书是在近几年为土木工程专业本科学生开设的选修课“结构力学与工程”讲义的基础上编写的。目的是加强力学知识与现代工程设计方法之间的沟通和衔接,强化学生选择结构计算简图的能力、分析计算能力、结构计算软件应用及编程能力。全书共 6 章,内容包括结构计算简图的简化与荷载的计算、常规结构的计算、加固与改造及工程事故分析中的结构力学问题、特殊结构的计算、结构的极限荷载与塑性设计原理、拉压强度不同材料结构的极限分析。在拉压强度不同材料的结构极限分析中,引用了作者的科研成果。

本书可供土建类专业本、专科学生,函授、电视大学、自考、业余大学学生参考阅读。

工程应用结构力学

阮澍铭 于玲玲 编著

出版发行:中国建材工业出版社

地 址:北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编:100044

经 销:全国各地新华书店

印 刷:北京鑫正大印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:7.25

字 数:173 千字

版 次:2004 年 9 月第 1 版

印 次:2004 年 9 月第 1 次

印 数:1~3000 册

书 号:ISBN 7-80159-731-1/TU·393

定 价:12.00 元

网上书店: www.ecool100.com

本书如出现印装质量问题,由我社发行部负责调换。联系电话:(010)68345931

前 言

工科大学生是未来的工程师。力学又被称为是工程师看家的本领,对于那些拟在毕业后参加工作的学生,如何灵活运用力学及相关的专业知识解决工程问题,显得更加重要。为使力学更好地为专业服务,最大限度地与工程实际相结合,编写了本书,以加强力学知识与现代工程设计方法之间的沟通和衔接,强化学生的工程观念和力学分析方法的训练,为学生从事工作,适应社会需要打下基础。全书共 6 章,内容包括结构计算简图的简化与荷载的计算、常规结构的计算、加固与改造及工程事故分析中的结构力学问题、特殊结构的计算、结构的极限荷载与塑性设计原理、拉压强度不同材料结构的极限分析。本书侧重于力学与现代工程之间的联系以及力学的研究成果在工程中的应用。

由于作者的水平有限,书中可能存在不妥和疏漏,恳请读者批评指正。

编著者
2004.6

目 录

第一章 结构计算简图的简化与荷载的计算	1
§ 1-1 计算简图的简化要点	1
§ 1-2 实际工程的简化	3
§ 1-3 荷载的计算	10
第二章 常规结构的计算	23
§ 2-1 多层框架结构	23
§ 2-2 门式刚架结构	33
§ 2-3 无梁楼盖	38
第三章 加固、改造及工程事故分析中的结构力学问题	42
§ 3-1 加固与改造	42
§ 3-2 工程事故分析与加固	47
第四章 特殊结构的计算	55
§ 4-1 网架结构	55
§ 4-2 折板结构	79
第五章 结构的极限荷载与塑性设计原理	81
§ 5-1 概述	81
§ 5-2 静定梁的弹塑性分析	82
§ 5-3 梁的极限荷载	83
§ 5-4 比例加载时判定极限荷载的一般定理	87
§ 5-5 刚架的极限荷载	90
§ 5-6 超静定结构塑性内力重分布与塑性设计原理	92
第六章 拉压强度不同材料结构的极限分析	94
§ 6-1 概述	94
§ 6-2 拉压性能不同材料的几种简单结构的极限分析	94
§ 6-3 几种典型结构的极限分析	99
主要参考文献	108

第一章 结构计算简图的简化 与荷载的计算

§ 1-1 计算简图的简化要点

实际结构是多种多样的,要想完全严格地考虑每一结构的全部特点及其各部分之间的相互作用来建立理论和进行计算将是不可能的。因此在对实际结构进行力学计算以前,必须加以简化,略去一些次要因素,显示其基本特点,用一个计算简图来代替实际结构。计算简图的选择是力学计算的基础,因此好的简图必须既要便于计算,又能反映实际结构的主要性能。具体简化时应遵循以下要点:

1. 结构体系的简化

实际结构一般都是空间结构,但在多数情况下,可以忽略一些次要的空间约束,将实际空间结构分解为平面结构,使计算大大简化。如装配式厂房结构,虽然是由许多排架用屋面板和吊车梁连接起来的,但各排架在纵向以一定的间距有规律地排列着。作用于厂房上的荷载如恒载、雪载和风荷载等一般是沿纵向均匀分布的,通常可把这些荷载分配给每个排架,而将每一排架看作一个独立的体系,于是实际的空间结构便简化成平面结构。又如框架结构也是一个空间受力体系,为计算方便,也常常忽略结构纵向和横向之间的空间联系,忽略各构件的抗扭作用,将纵向框架和横向框架分别按平面框架进行分析计算。这种将空间结构简化为平面结构在以手算为主的设计过程中使用较为普遍,但随着计算机的发展,考虑空间作用的结构计算程序大量出现,而且计算速度也大大加快,因此对一些平面形状较不规则的结构最好采用空间简图,用程序计算,以便减小计算误差。

2. 杆件的简化

由于杆件的截面尺寸通常比杆件长度小得多,因此在计算简图中,用轴线代替实际杆件,杆件间的连接区用结点表示,杆长用结点间的距离表示,荷载的作用点也转移到轴线上。

注意:当截面尺寸增大时(例如超过长度的 $1/4$),杆件用其轴线表示的简化,将引起较大的误差。

3. 杆件间连接的简化

杆件间的连接区简化为结点。在计算简图中,结构的结点通常简化为以下两种理想情况。

(1)铰结点:杆件间不能相对平动,但可以相对转动;结点可以传递力,但不能传递弯矩。例如木屋架的结点比较接近于铰结点。

(2)刚结点:杆件间在连接处不能相对平动,也不能相对转动,可以传递力,也可以传递力矩。例如钢筋混凝土结点通常简化为刚结点(图 1-1)。

(3)组合结点:同一结点处,有些杆件为刚结,有些为铰接(图 1-2)。

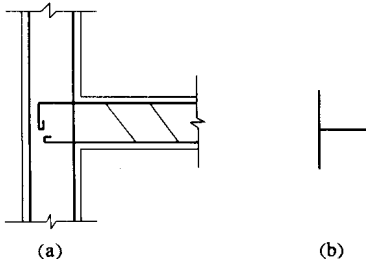


图 1-1

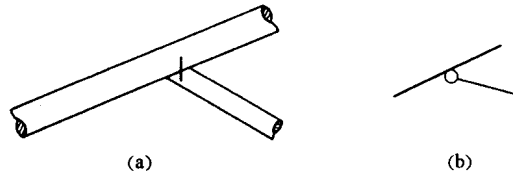


图 1-2

4. 结构与基础间连接的简化

结构与基础的连接区简化为支座。

按其受力特征,平面结构一般简化为以下四种情形:

(1)滚轴支座:可以水平移动和转动,但不能竖向移动,具有竖向反力(图 1-3)。

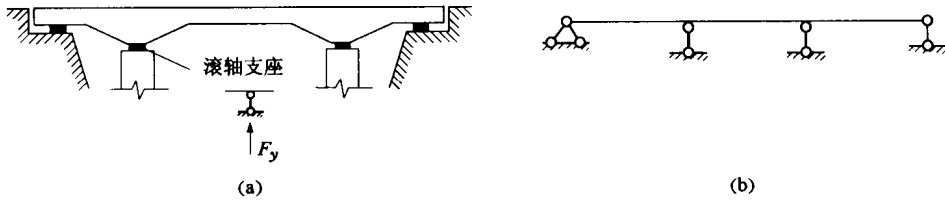


图 1-3

(2)铰支座:可以转动,但不能移动,有两个支座反力(图 1-4)。

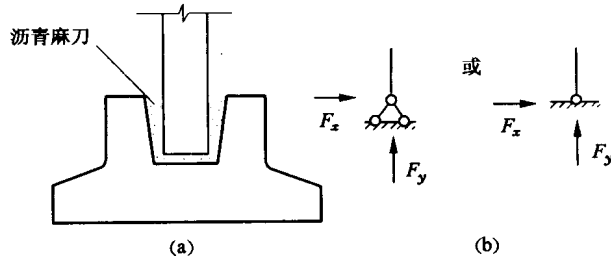


图 1-4

(3)定向支座:不能转动,但可以沿一个方向平行滑动,具有反力矩和一个反力(图 1-5)。

(4)固定支座:结构在支座处不能发生任何转动和平动,具有一个反力矩和两个支座反力(图 1-6)。

空间结构的支座,通常有下列三类:

(1)固定球形铰支座(点支座):结构只能绕球心作空间转动而不能有任何平动,具有三个不共面的反力(F_x, F_y, F_z)。

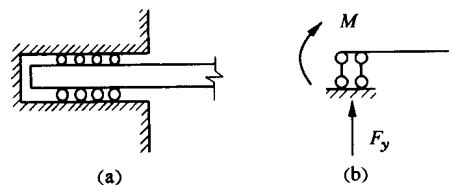


图 1-5

(2)可动圆柱形支座(线支座):结构除了能绕球心转动之外,还可以在支承平面内沿与滚轴垂直的方向移动。支座的反力通过球心并在与移动方向垂直的平面内,可以用两个反力 F_x, F_y 来表示。

(3)可动球形支座(面支座):结构除可绕球心转动之外,还可以在支承平面内沿两向移动。支座反力通过球心并与支承平面垂直,故只有它的 F_x 未知。

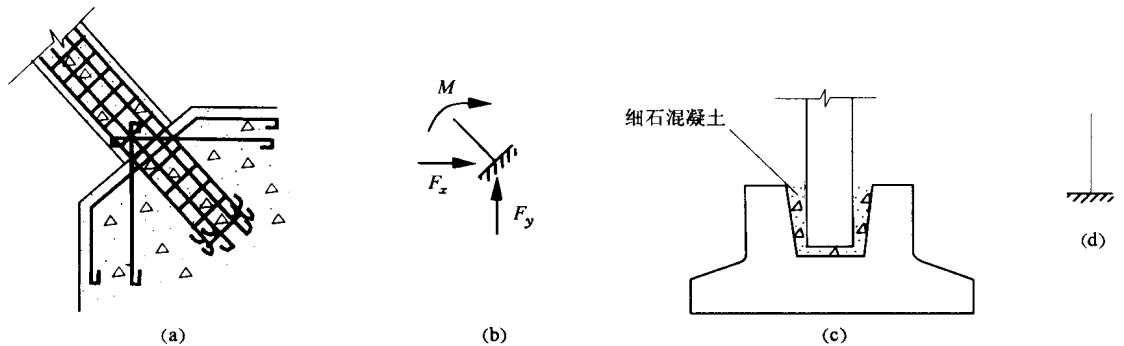


图 1-6

5. 材料性质的简化

在结构计算中,对组成各构件的材料一般都假设为连续的、均匀的、各向同性的、完全弹性或弹塑性的。这种假设对金属材料在一定受力范围内符合实际情况,对于混凝土、钢筋混凝土、砖石等材料则具有一定程度的近似性。

6. 荷载的简化

结构承受的荷载可以分为体积力和表面力两大类。体积力是指结构的自重或惯性力等;表面力是由其他物体通过接触面传给结构的作用力,如土压力、车辆的轮压力等。荷载按其分布情况可以简化为集中荷载和分布荷载。

§ 1-2 实际工程的简化

上述结构计算简图的简化要点在实际工程中应用中最、最难把握的就是结点和支座的简化问题。什么样的实际结构简化成什么样的结点和支座,不仅对于初学者,即使是有经验的设计人员也必须谨慎考虑。尤其是对一些新的结构形式,必须经过严格的实验验证,方可确定其简图。而对简化中存在的误差,则通过一些工程构造措施加以修正。

以下将对一些工程中常用结构的结点和支座的简化加以介绍。

一、装配式钢筋混凝土厂房结构(图 1-7)

通常按以下原则确定装配式钢筋混凝土厂房结构的计算简图:

(1)通常梁和柱都是预制的,预制柱子下端插入基础的杯口一定深度,然后用高标号细石混凝土填实,故柱与基础连接处简化为固定支座,固定端位于基础顶面。有时杯口内也用沥青麻刀等柔软材料填充,这时就应简化为铰支座。

(2)屋架或屋面大梁与柱顶连接处,仅是通过将屋架端部和柱端的预埋钢板进行焊接而实现的。两者之间虽不能发生相对移动,但由于钢板抵抗转动的能力很小,仍有微小相对转动的可能,因此可取为铰结点。

(3)对一般钢筋混凝土和预应力屋架,受力后轴向变形可以忽略不计,而且厂房结构计算的目的是算出柱子在各种荷载作用下的内力,此时屋架横梁只起到将两个柱连在一起的作用,

因此在画计算简图时,可以用一根链杆代替。

注意:上述假定具有一定的局限性,如:当地基土较软弱或基础一侧有很大的地面堆载时,基础可能发生转动而不能按固定支座考虑。又如若屋架横梁的刚度较小时(如上弦为钢筋混凝土,下弦为圆钢或小型角钢做成的屋架;门式刚架的横梁等)忽略轴向变形的假定就会带来一定的误差。

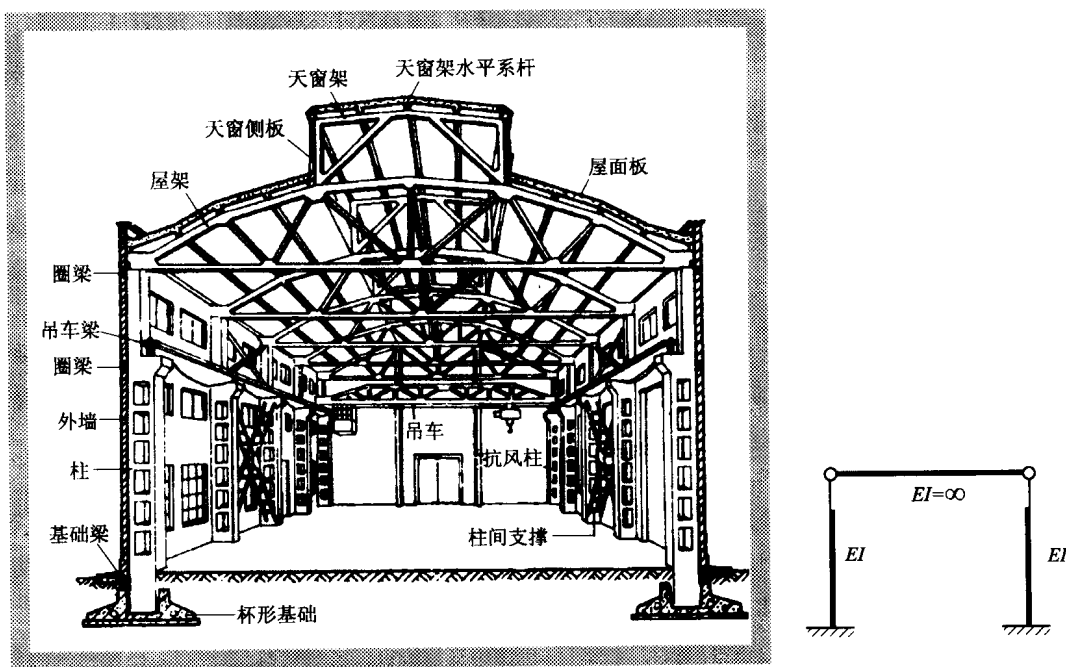


图 1-7 装配式钢筋混凝土厂房结构

二、钢结构

钢结构的连接包括梁与梁的连接,梁与柱的连接以及柱脚的连接等。

1. 梁与梁的连接

主次梁相互连接的构造与次梁的计算简图有关。次梁可以简支于主梁,也可以在和主梁连接处做成连续的。就主次梁相对位置的不同,连接构造可以区分为叠接和侧面连接。

(1) 次梁为简支梁

1) 叠接

次梁直接放在主梁上(图 1-8),用螺栓或焊缝固定其相互位置不需计算。为避免主梁腹板局部压力过大,在主梁相应位置应设支承加劲肋。叠接构造简单、安装方便。缺点是主次梁所占净空大,不宜用于楼层梁系。

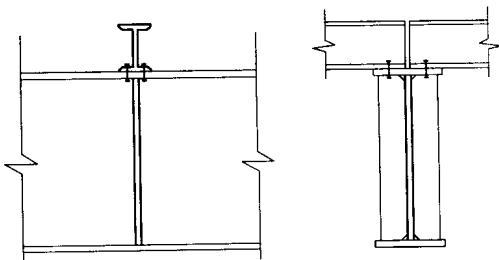


图 1-8 叠接

2) 侧面连接

图 1-9 为几种典型的主次梁简支连接,其中前三个图的次梁都是只连腹板,不连翼缘。不同的是有的用连接角钢,有的用连接板或利用主梁加劲肋。图 1-9(b)的连接板较宽,使次梁

不必切除部分翼缘。图 1-9(d)在次梁下面设有承托角钢,可便于安装。承托虽然能够传递次梁的全部支座压力,但为了提供扭转约束,次梁腹板上部还需要有连接角钢,可只在一侧设置。图 1-9(c)需将次梁上下翼缘的一侧局部切除。考虑到连接处有一定的约束作用,并非理想铰接,可将次梁反力 R 加大 20%~30% 进行连接计算。当用螺栓连接不能满足需要时,也可采用工地焊缝连接,见图 1-9(e),此时螺栓只起临时固定作用。图 1-9(a)图的主次梁用短角钢螺栓连接,需将次梁上翼缘局部切除,次梁腹板每侧各放一个短角钢,其中一侧的短角钢应预先固定在主梁腹板上,以便利次梁就位。当计算次梁与短角钢之间的连接螺栓 B 时,可将短角钢视为与次梁一体。因此螺栓 B 应承担次梁支座反力和力矩 $M = Re$ 的共同作用,而短角钢与主梁腹板间的连接螺栓 A 则只承担次梁反力 R 的作用。也可以反过来视短角钢与主梁成为一体,则螺栓 B 只承受反力 R 的作用,而螺栓 A 应承受 R 和 $M = Re$ 的共同作用。此时螺栓 A 既受拉又受剪。若采用图 1-9(c)所示焊缝连接,其计算方法与上面相似,即焊缝 1 和焊缝 2 也应分别承担 R 或 R 和 $M = Re$ 的共同作用。图 1-9(a)的次梁还需验算腹板在拉剪联合作用下破坏的可能性。

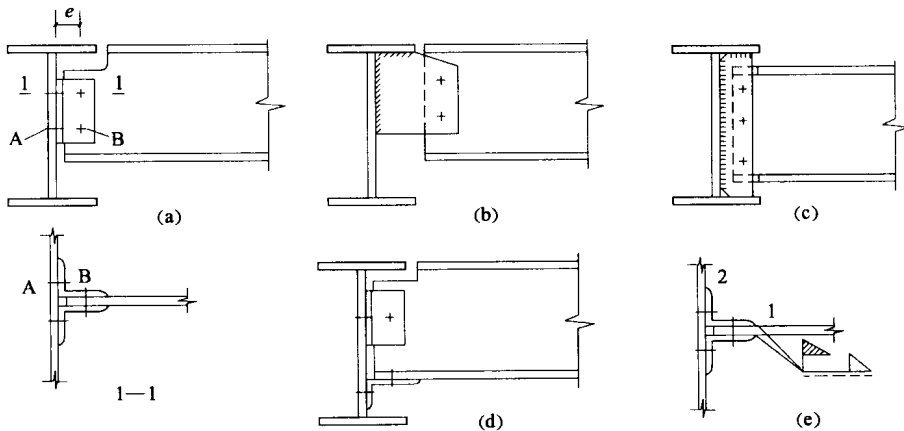


图 1-9 侧面连接

(2) 次梁为连续梁

1) 叠接

次梁连续通过,不在主梁上断开。当次梁需要拼接时,拼接位置可设在弯矩较小处。主梁和次梁之间可用螺栓或焊缝固定它们之间的相互位置。

2) 侧面连接

连续连接的要领是将次梁支座压力传给主梁,而次梁端弯矩则传给邻跨次梁,相互平衡。图 1-10(a)、(c)为螺栓连接构造,次梁上下翼缘设连接板使翼缘的力能直接传递。图 1-10(a)所示为次梁的腹板连接在主梁的加劲肋上,下翼缘的连接板分成四块,焊在主梁腹板的两侧,或是做成连续板,在主梁腹板上开孔穿过去。图 1-10(c)所示为次梁的腹板与主梁用短角钢相连,下翼缘的连接板只有两块。图 1-10(b)的焊接方案则是次梁支承在主梁的支托上。次梁的上翼缘设置连接板,下翼缘的连接板由支托平板代替,通过平板与主梁间焊缝传力。计算时,次梁支座的弯矩可用力偶 $N = M/h$ 来代替。次梁上下翼缘与连接板的焊缝应满足传递内力的要求。次梁支座压力只通过承压传给支托,再由焊缝传给主梁。竖向压力 R 在支托上的作用位置可视为距支托肋板外边缘 $a/3$ 处。(d)图的连接构造两翼缘都用对接焊缝来实现

传力,次梁翼缘要开剖口,梁端切割要求很精确。施焊时下面要设小垫板,以保证焊缝焊透。

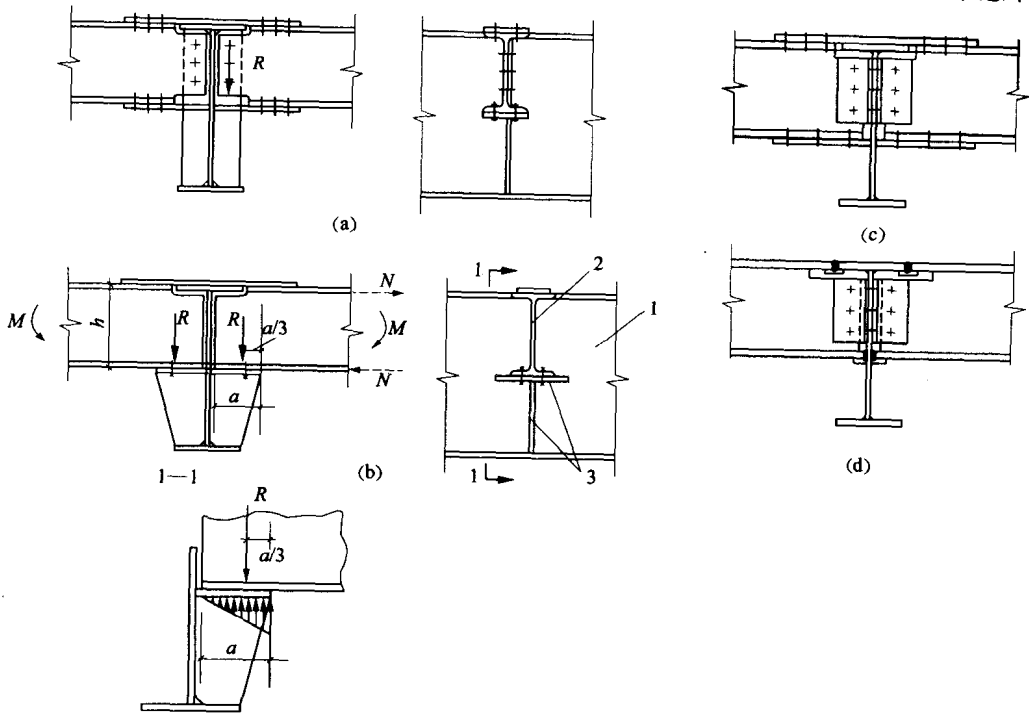


图 1-10 侧面刚性连接
1—主梁;2—次梁;3—支托

2. 梁与柱的连接

梁柱连接按转动刚度的不同可分为柔性连接(铰接)、刚接、半刚接三类。连接的转动刚度和连接的构造方式有直接关系。图 1-11 给出了 8 种不同的连接构造,它们的 $M-\theta$ 关系示于图 1-12,其中用两段 T 形钢连接的⑤转动刚度最大,可以认为是刚性连接。用端板的连接有①和②,刚度次之。梁上下翼缘用角钢或角钢和钢板连于柱的有⑥和⑧,刚度再次之,这四种连接可认为是半刚性的。但②的连接端板足够厚时,可以作为刚性连接。仅将梁腹板用单角钢②,用双角钢④或端板⑦连于柱的,转动刚度很小,属于柔性连接。

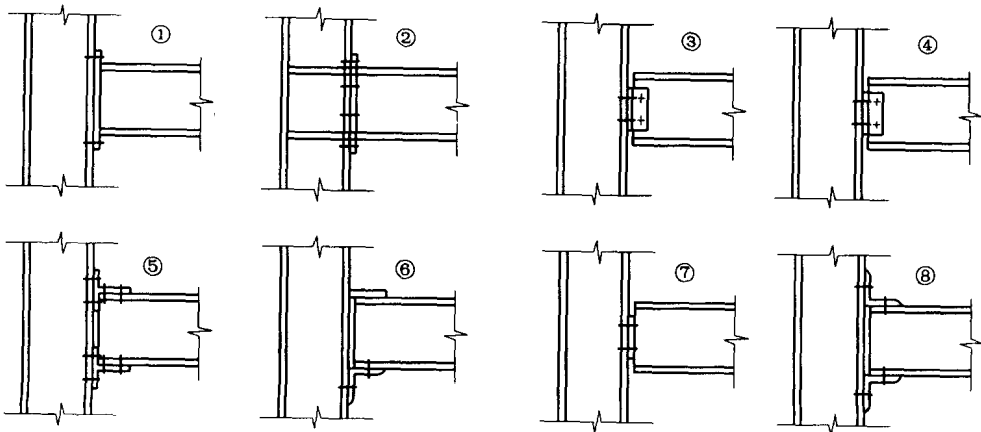


图 1-11 梁柱连接

梁柱连接的实际 $M-\theta$ 曲线应与结构整体分析和构件计算中的假定相一致。 $M-\theta$ 关系曲线给出连接的抗弯能力、转动刚度和转动延性三个主要参数。设计者不仅要掌握连接的承载力,还要了解它的变形性能。图 1-12 中, $M-\theta$ 曲线所显示的是转动刚度和延性。不仅柔性连接应该具有很好的转动能力,刚性连接框架的抗震设计也要求在出现塑性铰后具有一定的转动延性。

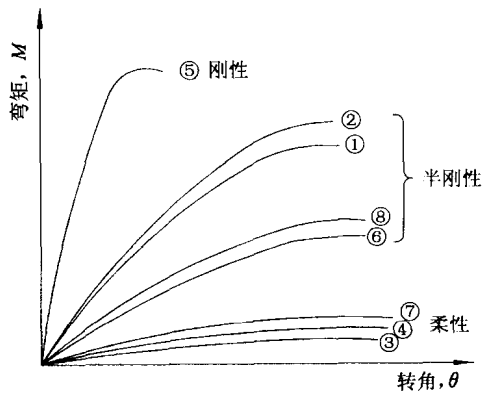


图 1-12 梁柱连接的 $M-\theta$ 曲线

梁柱刚性连接可以做成完全焊接的(图 1-13a),栓接的(图 1-13b)及栓焊混合连接(图 1-13c,d)。完全焊接时,梁翼缘用剖口焊缝连于柱翼缘。为保证焊透,施焊时梁翼缘下面需设小衬板,衬板反面与柱翼缘相接处宜用角焊缝补焊。为施焊方便梁腹板还要切去两角。全焊连接构造简单,但安装精度及焊缝质量要求很高,同时这种构造使柱翼缘在其厚度方向受拉,容易造成层间撕裂。

刚性连接的计算,除梁翼缘和腹板都直接焊于柱者外,经常让梁翼缘的连接传递全部弯矩,腹板的连接件只传递剪力。也可由支托传递剪力(图 1-13c)。图 1-13(b)所示的栓接刚性连接采用了两块 T 形短段传递梁端弯矩,腹板上的角钢传递剪力。

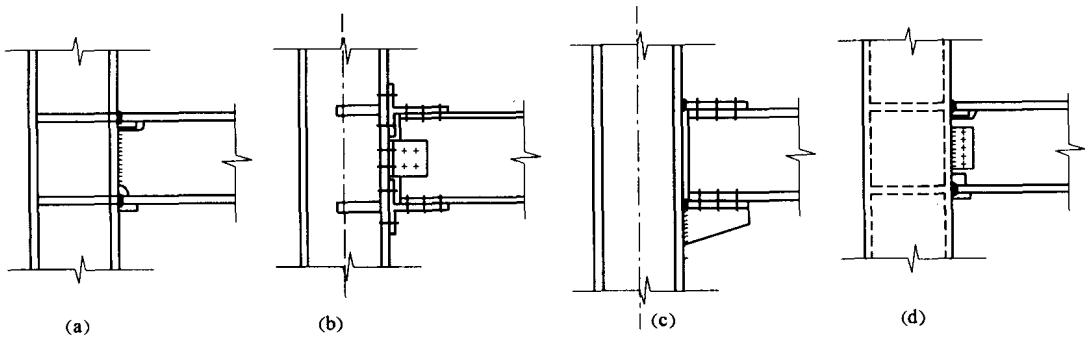


图 1-13 梁柱刚性连接

四块板焊成的箱形截面柱和梁的连接可以采用和图 1-13(a)类似的全焊连接。柱内宜在梁上下翼缘平面设置横隔板(图 1-13d),构件制作时,横隔板可以和柱的三块壁板先焊起来,其和第四块壁板的连接只能从外面用电焊来解决。

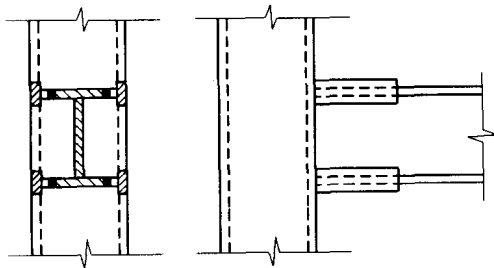


图 1-14 冷弯方管柱和梁的刚性连接

当柱为冷弯方管时,梁也可以直接焊于柱壁,但梁宽通常比柱宽度小(图 1-14),在不用加劲板(柱横隔板)的情况下,梁端弯矩会使柱壁板受弯而产生较大变形,满足不了刚性连接的要求。对于冷弯方管柱,设置内横隔很不方便,可采用从外部加劲的作法,在梁端两侧焊上短 T 形钢或短角钢使其宽度与柱宽相同,这样梁端弯矩可以有很大一部分直接传到与梁腹板平行的

柱壁,使与梁相连的柱壁变形大为减小。

单层单跨钢框架横梁与柱的连接都是刚性的。图 1-15 给出了多种形式的梁柱刚性连接构造,其中图 1-15(b)、(d)、(e)图的三种构造都属于加腋节点。加腋的目的一方面是为了提高梁端截面的抗弯能力(图 1-15b、d),另一方面是增大梁端截面螺栓连接的力臂,如图 1-15(e)。

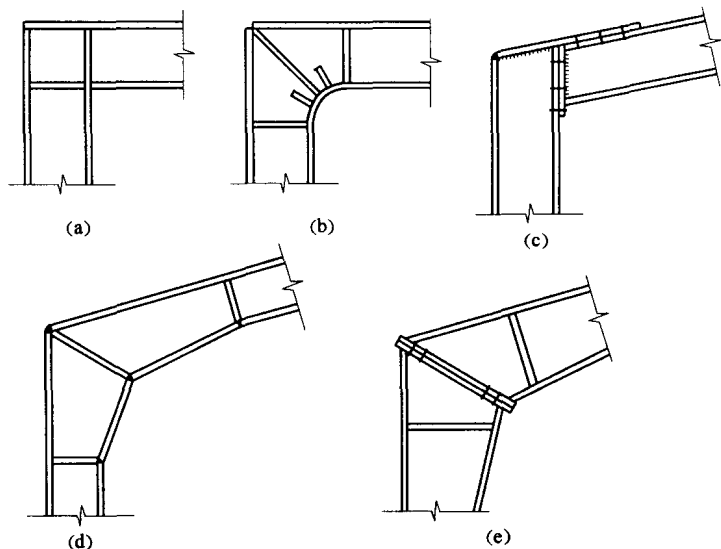


图 1-15 单跨单层刚架横梁与柱连接

单层多跨刚架边柱与梁的连接和单跨相同,中柱上端与横梁可以刚接也可采用铰接。

柔性连接只能承受很小的弯矩。这种连接是为了实现简支梁的支承条件。柔性连接有图 1-11 的③、④、⑦三种形式,它们均采用梁腹板和柱相连。这些连接的构造,以及计算都和次梁与主梁的简支连接很相似。

3. 柱脚连接

柱脚的功能是将柱子的内力可靠地传递给基础,并和基础有牢固的连接。柱脚构造应该尽可能符合结构的计算简图。在整个柱中,柱脚是比较费钢材也比较费工的部分,设计时应力求简明。

柱脚的具体构造取决于柱的截面形式及柱与基础的连接方式。柱与基础的连接方式有刚接和铰接两种形式。刚接柱脚与混凝土基础的连接方式有支承式(也称外露式)、埋入式(也称插入式,图 1-16a)、外包式(图 1-16b)三种。铰接柱脚均为支承式。

埋入式柱脚插入钢筋混凝土基础的杯口中,然后用细石混凝土填实,通过柱身与混凝土之间的接触传力。当柱在荷载组合下出现拉力时,可采用预埋锚栓或柱翼缘设置焊钉等办法(图 1-16a)。外包式基础的传力方式与埋入式相似,因外包层混凝土层较薄,需配筋加强。

轴心受压柱的柱脚可以是铰接柱脚,如图 1-17(a)、(b)和(c),也可以是刚接柱脚,如图 1-17(d)。

图 1-17(a)是一种轴承式铰接柱脚,柱可以

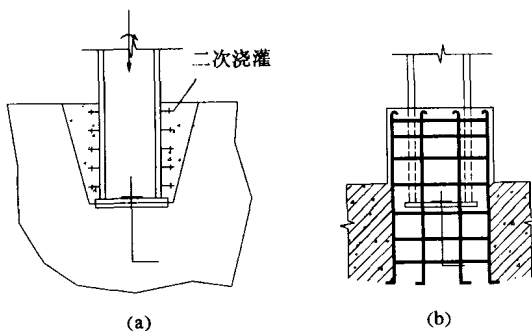


图 1-16 埋入式和外包式刚接柱脚

围绕着枢轴自由转动,其构造型式很符合铰接连接的力学计算简图。但是,这种柱脚的制造和安装都很费工,也很费钢材,只有少数大跨度结构因要求压力的作用点不允许有较大变动时才采用。图 1-17(b)、(c)都是平板式铰接柱脚。其中图 1-17(b)是一种最简单的柱脚构造方式,在柱的端部只焊了一块不太厚的钢板,这块板通常称为底板,用以分布柱的压力。由于柱身压力要先经过焊缝后才由底板到达基础,如果压力太大焊缝势必很厚以致超过构造限制的焊缝高度,而且基础的压力也很不均匀,将直接影响基础的承载能力,所以这种柱脚只适用于压力较小的轻型柱。对于负荷很大的柱,可将柱端铣平后直接置于底板上,此时仍应设置角焊缝,可按传递部分轴力计算角焊缝。这种构造方式虽然很简单,但是柱端的加工要在大型铣床上完成,实际上很难实现,而且还要采用很厚的底板,因此目前很少采用。最常采用的铰接柱是由靴梁和底板组成的柱脚,如图 1-17(c)所示。柱身的压力通过与靴梁连接的竖向焊缝先传给靴梁,这样柱的压力就可向两侧分布开来,然后再通过与底板连接的水平焊缝经底板达到基础。当底板的底面尺寸较大时,为了提高底板的抗弯能力,可以在靴梁之间设置隔板。柱脚通过埋在基础里的锚栓来固定,按照构造要求采用 2~4 个直径为 20~25mm 的锚栓。为了便于安装,底板上的锚栓孔径用锚栓直径的 1.5~2 倍,套在锚栓上的零件板是在柱脚安装定位以后焊上的。图 1-17(d)是附加槽钢后使锚栓处于高位紧张的刚性柱脚,为了加强槽钢翼缘的抗弯能力,在它的下面焊以肋板。柱脚锚栓分布在底板的四周以便使柱脚不能转动。

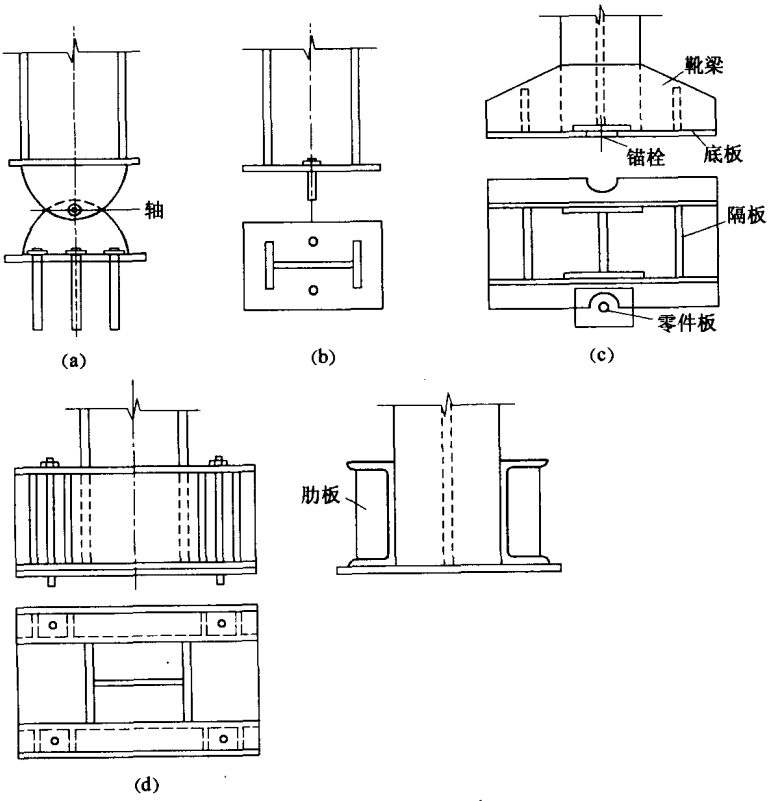


图 1-17 柱脚型式

实际工程中计算简图的确定还与计算工具的发展有着极为密切的关系。如:框架结构简化为平面结构是为了便于手算的方便,而计算机和先进的计算工具软件出现之后(如:TAT,

SATWE 等计算软件),使得按空间模型计算更加方便、结果也更加准确。又如:钢筋混凝土屋架在非结点荷载作用下手算时通常按铰接桁架体系计算,并把上弦荷载都化作结点荷载。实际上,钢筋混凝土屋架的结点均由混凝土整体浇筑而成,结点具有刚性,与铰接的假定有出入。对于承受节间荷载的屋架,上弦杆按刚性支承连续梁计算,而实际上屋架结点是有位移的。这种因结点的刚性作用产生的内力以及因结点位移而产生的内力都是次应力。应用结构矩阵分析程序、结构力学求解器可以有效地消除或减少这些次应力,因为利用这些计算软件我们完全可以按照实际的结点特征(刚结点)和杆件的实际刚度输入数据,并迅速得出准确的计算结果,而不必特意为了减少手算的工作量而作出一些假设,这样便能有效提高计算结果的准确性。

§ 1-3 荷载的计算

作用在结构上的荷载会使结构产生内力、变形等(称为效应)。结构设计的目标就是确保结构的承载能力足以抵抗内力,而变形控制在结构能正常使用的范围内。进行结构设计时,不仅要考虑直接作用在结构上的各种荷载作用(如重力、土压力、水压力、风压力、冲击力、爆炸作用等),还应考虑引起结构内力、变形等效应的其他非直接作用因素,或称为间接作用(如地震、温度变化、基础不均匀沉降、焊接等)。习惯上(特别是工程中)将间接作用也称为荷载,此时荷载可理解为广义的荷载。

确定荷载是结构设计中极为重要的工作,需要周密的考虑。如果荷载估计过大,会造成浪费,如果估计过低,则设计的结构将不够安全。

荷载可以根据不同的特征进行分类:

1. 按随时间的变异分类

(1)永久作用:在结构设计基准期内其值不随时间变化,或其变化与平均值相比可以忽略不计。例如,结构自重、土压力、水压力、预加应力、基础沉降、焊接等。

(2)可变作用:在结构设计基准期内其值随时间变化,且其变化与平均值相比不可忽略。例如,车辆重力、人员设备重力、风荷载、雪荷载、温度变化等。

(3)偶然作用:在结构设计基准期内不一定出现,而一旦出现其量值很大且持续时间较短,例如,地震、爆炸等。

由于可变作用的变异性比永久作用的变异性大,可变作用的相对取值(与其平均值之比)应比永久作用的相对取值大。另外,由于偶然作用的出现概率较小,结构抵抗偶然作用的可靠度可比抵抗永久作用和可变作用的可靠度低。

2. 按随空间位置的变异性分类

(1)固定作用:在结构空间位置上具有固定的分布。例如,结构自重、结构上的固定设备荷载等。

(2)可动作用:在结构空间位置上的一定范围内可以任意分布。例如,房屋中的人员、家具荷载、桥梁上的车辆荷载等。

由于可动作用可以任意分布,结构设计时应考虑它在结构上引起最不利效应的分布情况。

3. 按结构的反应分类

(1)静态作用:对结构或结构构件不产生加速度或其加速度可以忽略不计。例如,结构自重、土压力、温度变化等。

(2)动态作用:对结构或结构构件产生不可忽略的加速度。例如,地震、风、冲击和爆炸等。

对于动态作用,必须考虑结构的动力效应,按动力学方法进行结构分析,或按动态作用转换成等效静态作用,再按静力学方法进行结构分析。

一、几种重力荷载的计算

1. 结构自重

结构的自重是由地球引力产生的组成结构的材料重力,一般而言,只要知道结构各部件或构件尺寸及所使用的材料资料,就可根据材料的重度,算出构件的质量:

$$G_b = \gamma V \quad (1-1)$$

式中 G_b ——构件的自重(kN);

γ ——构件材料的重度(kN/m³);

V ——构件的体积,一般按设计尺寸确定(m³)。

《建筑结构荷载规范》GB50009-2001 列举了工程结构基本材料的质量密度,可予以参考。式(1-1)适用于一般建筑结构、桥梁结构以及地下结构等各构件自重计算,但必须注意土木工程中结构各构件的材料重度可能不同,计算结构总自重时可将结构人为地划分为许多容易计算的基本构件,先计算基本构件的重量,然后叠加即得到结构总自重,计算公式为:

$$G = \sum_{i=1}^n \gamma_i V_i \quad (1-2)$$

式中 G ——结构总自重(kN);

n ——组成结构的基本构件数;

γ_i ——第 i 个基本构件的重度(kN/m³);

V_i ——第 i 个基本构件的体积(m³)。

在进行建筑设计时,为了工程上应用方便,有时把建筑物看成一个整体,将结构自重转化为平均楼面恒载。作为近似估算,对一般的木结构建筑,其平均楼面恒载可取为 1.98~2.48kN/m²;对钢结构建筑,平均恒载大约为 2.48~3.96kN/m²;对钢筋混凝土结构的建筑,其值在 4.95~7.43kN/m² 之间;而对预应力混凝土建筑,建议可取普通钢筋混凝土建筑恒载的 70%~80%。

2. 土的自重应力

土是由土颗粒、水和气所组成的三相非连续介质。若把土体简化为连续体,而应用连续介质力学(例如弹性力学)来研究土中应力的分布时,应注意到土中任意截面上都包括有骨架和孔隙的面积在内,所以在地基应力计算时都只考虑土中某单位面积上的平均应力。必须指出,只有通过土粒接触点传递的粒间应力才能使土粒彼此挤紧,从而引起土体的变形,而且粒间应力又是影响土体强度的一个重要因素,所以粒间应力又称为有效应力。因此,土的自重应力即为土自身有效重力在土体中所引起的应力。

在计算土中自重应力时,假设天然地面是一个无限大的水平面,因此在任意竖直面和水平面上均无剪应力存在。如果地面下土质均匀,土层的天然重度为 γ ,则在天然地面下任意深度 z 处 a — a 水平面上的竖直自重应力 σ_{cz} ,可取作用于该水平面上任一单位面积的土柱体自重 $\gamma_z \times 1$ 计算,即:

$$\sigma_{cz} = \gamma_z \quad (1-3)$$

σ_{cz} 沿水平面均匀分布,且与 z 成正比,即随深度按直线规律分布。如图 1-18 所示。一般情况下,地基土是由不同重度的土层所组成。天然地面下深度 h 范围内各层土的厚度自上而下分别为 $h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_n$,则成层土深度 z 处的竖直有效自重应力的计算公式为:

$$\sigma_{cz} = \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \dots + \gamma_n h_n = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i \quad (1-4)$$

式中 n ——从天然地面起到深度 z 处的土层数;

h_i ——第 i 层土的厚度(m);

γ_i ——第 i 层土的天然重度,若土层位于地下水位以下,由于受到水的浮力作用,单位体积中,土颗粒所受的重力扣除浮力后的重度称为土的有效重度 γ_i' ,是土的有效密度与重力加速度的乘积,这时计算土的自重应力应取土的有效重度 γ_i' 代替天然重度 γ_i 。对一般土,常见变化范围为 $8.0 \sim 13.0 \text{ kN/m}^3$ 。

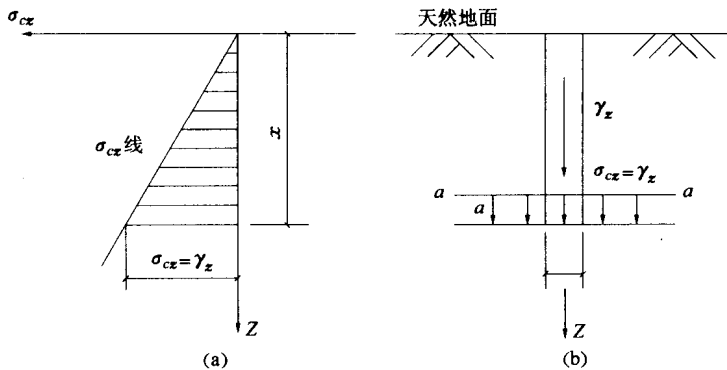


图 1-18 均质土中竖向自重压力
(a)沿深度的分布(b)任意水平面的分布

计算土中竖向自重应力在划分土层时,一般以每层土为原则,但需考虑地下水位,若地下水位位于某一层土体中,则需将该层土划分为二层土;图 1-19 为一典型呈层土中竖向自重应力沿深度变化的分布。

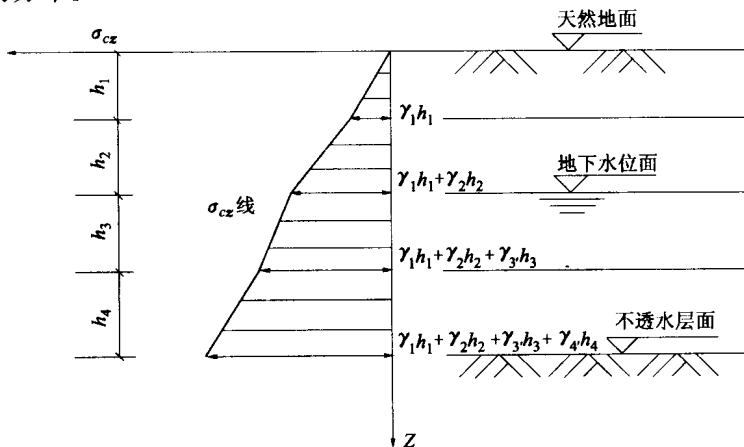


图 1-19 呈层土中竖向自重应力沿深度的分布