



建筑师 力学与结构 选型

JIANZHUSHI LIXUE YU
JIEGOU XUANXING

(续)

熊华复

华中理工大学出版社

建筑师力学与结构选型(续)

熊 华 复

江苏工业学院图书馆
藏书章

华中理工大学出版社

(鄂)新登字第 10 号

图书在版编目(CIP)数据

建筑师力学与结构选型(续):/熊华复 -武汉

华中理工大学出版社,1994 年 12 月

ISBN·7-5609-0962-0

I. 建…

II. 熊…

III. 建筑力学-建筑结构-研究

IV. TU31

建筑师力学与结构选型(续)

熊华复

责任编辑 佟文珍

*

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山)

新华书店湖北发行所经销

华中理工大学出版社印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:10.5 字数:252 000

1994 年 12 月第 1 版 1994 年 12 月第 1 次印刷

印数:1-1000

ISBN 7-5609-0962-0/TU·13

定价:7.30 元

目 录

第八章 桁架结构	(1)
§ 8-1 桁架结构的受力特点	(1)
§ 8-2 平面桁架的几何组成	(1)
§ 8-3 桁架杆件的内力计算	(2)
§ 8-4 桁架杆件强度及稳定性计算	(7)
§ 8-5 几种梁式桁架受力情况的比较	(11)
§ 8-6 组合结构的计算	(14)
§ 8-7 屋盖支撑	(16)
§ 8-8 屋架选型	(18)
思考、练习题	(19)
第九章 拱结构	(22)
§ 9-1 拱结构的受力特点	(22)
§ 9-2 拱的内力计算	(24)
§ 9-3 拱的轴线形式的选择	(29)
§ 9-4 承受拱水平推力的结构	(32)
§ 9-5 拱式屋盖的构造特点	(36)
思考、练习题	(37)
第十章 板柱结构和墙板结构	(38)
§ 10-1 概述	(38)
§ 10-2 板柱结构的组成	(38)
§ 10-3 板柱结构受力分析	(40)
§ 10-4 装配式大板结构	(40)
§ 10-5 现浇大模板结构	(43)
第十一章 薄壁空间结构	(47)
§ 11-1 概述	(47)
§ 11-2 薄壳曲面几何特征	(48)
§ 11-3 壳体的分类	(51)
§ 11-4 球面薄壳	(53)
§ 11-5 圆柱形薄壳	(56)
§ 11-6 双曲扁壳	(61)
§ 11-7 双曲抛物面扭壳	(63)
§ 11-8 薄壳结构天然采光处理	(66)
§ 11-9 折板结构	(66)

§ 11-10 充气结构	(70)
--------------------	------

第十二章 网架结构	(74)
------------------------	-------------

§ 12-1 网架结构的特点	(74)
§ 12-2 平板网架结构的形式	(75)
§ 12-3 平板网架结构的力学特征	(78)
§ 12-4 平板网架结构形式的选择	(80)
§ 12-5 平板网架的几何尺寸	(84)
§ 12-6 平板网架杆件选择和节点构造	(86)
§ 12-7 组合网架结构	(87)
§ 12-8 曲面网架结构	(89)

第十三章 悬索结构	(96)
------------------------	-------------

§ 13-1 概述	(96)
§ 13-2 单索的基本力学原理	(97)
§ 13-3 悬索结构的组成与形式	(100)
§ 13-4 混合悬挂结构	(111)
§ 13-5 轻质张力结构	(116)
§ 13-6 悬索结构的构造	(117)
§ 13-7 悬索屋盖设计要点	(119)

第十四章 高层建筑结构	(121)
--------------------------	--------------

§ 14-1 概述	(121)
§ 14-2 高层建筑的受力特点	(124)
§ 14-3 高层建筑结构概念设计	(127)
§ 14-4 框架结构体系	(130)
§ 14-5 剪力墙结构体系	(138)
§ 14-6 框架-剪力墙结构体系	(144)
§ 14-7 筒体结构体系	(148)
§ 14-8 高层建筑基础	(154)
§ 14-9 高层建筑中的楼(屋)盖	(157)

参考文献	(159)
-------------------	--------------

后记	(160)
-----------------	--------------

第八章 桁架结构

§ 8-1 桁架结构的受力特点

桁架是轴心受拉和受压杆件的组合体。这里所指的是平面桁架,它通常是由一些等横截面的直杆相互连接而成,且各杆件的轴线都位于同一平面内。

桁架是从梁演变而来的。梁和刚架在荷载作用下截面产生的内力主要为弯矩,由弯矩引起的正应力在截面上是非均匀分布的,这样,材料就不能充分发挥作用,假若将梁截面上应力较小的中间部分的材料减少,只保留少部分材料用来联系上下边缘的杆件,组成格构体系,就形成桁架结构。从梁变到桁架,受力状况也发生了变化,从梁的受弯为主变为其力沿杆件传递,杆件只以轴力的方式抵抗作用力,而没有受到弯曲,因此,桁架能比较经济合理地利用材料。还可采用拉大上下弦之间的距离来加大抵抗力矩的力臂,而对于梁来说,这无疑是增加了自重。所以,桁架结构适用于大跨度建筑物。

为了既能反映结构的受力特点,同时又便于计算,对实际桁架用下面的简化假定为基础。

一、桁架中每根杆件的两端是以无摩擦的铰连接。

实际上这些杆件以铆钉、螺栓或焊缝相连或与节点板相连,而使杆端不能自由转动,在计算中忽略这种影响。

二、荷载和支座反力都作用在铰的几何中心,即桁架的节点上。

显然,这是由于较轻的构件重量,以及非节点荷载引起的弯矩与轴向荷载作用相比很小,因此可以忽略。

三、各杆的轴线是直线,并且通过铰的几何中心。

由于制造上的误差,杆件不可能绝对平直,节点上各杆的轴线也不完全交于一点,然而,这种影响一般是次要的。

符合以上假设的理想桁架,各杆都是只承受轴向力的二力杆。由于实际情况与假设不符而引起的很小弯曲应力叫次应力。我们只限于讨论理想桁架。

桁架体系常用于建筑屋盖中的承重结构,也可将其用于高层建筑的巨型桁架结构、与楼层同高的转换桁架以及托架等。

§ 8-2 平面桁架的几何组成

桁架的形式有各式各样,但桁架杆件的布置必须满足几何不变体系的组成规律。根据其几何组成特点,桁架有以下三类。

一、由基本铰结三角形或基础开始,每次用不在一直线上的两个链杆连接一个新节点,这样依次组成的桁架称为简单桁架。如图 8-1 所示。

二、由几个简单桁架按几何不变体系组成规律而构成的桁架,称为联合桁架。如图 8-2 中 I、II 两个简单桁架,用铰 A 和不通过此铰的链杆 BC 连接成一联合桁架。

三、既不是简单桁架、又不是联合桁架,称为复杂桁架(图 8-3)。这种桁架在建筑结构中很少用到。

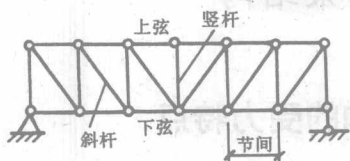


图 8-1

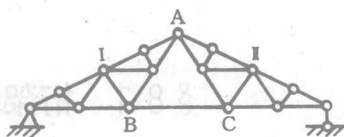


图 8-2

桁架同样也有静定与超静定桁架之分。

§ 8-3 桁架杆件的内力计算

桁架各杆的内力为轴力,因此在进行桁架分析时,要记住力的方向的标记,即一根杆件是受拉还是受压。我们规定拉力为正,压力为负。其物理意义是:正的力伴随有杆件的伸长,而负的力伴随有杆件的缩短。在计算时,通常先假定杆件的未知内力为拉力(力的方向背离作用的截面)。若计算结果为正,即表示内力是拉力;若为负,则表示内力是压力(力的方向指向作用的截面)。

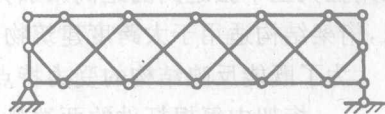


图 8-3

一、静定桁架内力计算

对于静定桁架,可以截取桁架中一部分作为隔离体,考虑隔离体的平衡,由静力平衡条件求出各杆的内力。

如果取桁架各个节点为隔离体,以此求出杆件内力的方法叫节点法。节点法是桁架分析的基本方法之一,从原则上讲,它可以解算任何形式的静定平面桁架。另一种分析方法是,所取隔离体包含两个节点以上的一部分,就叫做截面法。

1. 节点法

将桁架中每一个节点作为隔离体,由于作用于任一节点上的荷载与杆件内力作用线均汇交于节点中心而组成一平面汇交力系。因此,每一节点可列出两个独立的平衡方程: $\sum X_i = 0$, $\sum Y_i = 0$ 。所以,所截取的节点的杆件未知内力数目一般不超过两个,按此原则顺次地对各节点进行计算。显然,节点法最适宜于求解简单桁架的内力。因为简单桁架是由基本铰结三角形开始,依次增加二元体所组成的,这样,最后一个节点只包含两根杆。故可按构成桁架的相反顺序依次截取节点,即可求出全部杆件内力。

例题 8-1 试用节点法求图(a)所示桁架的内力。

解: 首先求出支座反力。由于桁架及其荷载都是对称的,得出

$$R_A = R_B = 20 \text{ kN}$$

由于对称性,所以只需计算左边一半杆件的内力。先取节点 A 为隔离体,然后依次取 C—D—F。

节点 A 为隔离体,如图(b)所示。

取节点 A 为隔离体,如图(b)所示。

$$\text{已知 } \sin\alpha = \frac{2}{\sqrt{2^2+4^2}} = 1/\sqrt{5}$$

$$\cos\alpha = 2/\sqrt{5}$$

$$\sum Y_i = 0 \quad N_{AD}\sin\alpha + R_A - 5 = 0$$

$$N_{AD} = -15/\sin\alpha = -15\sqrt{5} \text{ kN}$$

$$\approx -33.5 \text{ kN}$$

$$\sum X_i = 0 \quad N_{AD}\cos\alpha + N_{AC} = 0$$

$$N_{AC} = -N_{AD}\cos\alpha = 30 \text{ kN}$$

节点 C

此时 N_{AC} 已由前面求得, 故也只有两个未知杆内力, 隔离体如图(c)所示。

$$\sum X_i = 0 \quad N_{CE} - N_{AC} = 0$$

$$N_{CE} = N_{AC} = 30 \text{ kN}$$

$$\sum Y_i = 0 \quad N_{CD} = 0$$

杆件 CD 的内力为零, 称作零杆。

节点 D

取隔离体如图(d)所示。

$$\sum X_i = 0 \quad N_{DF}\cos\alpha - N_{AD}\cos\alpha + N_{DE}\cos\alpha = 0$$

$$\sum Y_i = 0$$

$$N_{DF}\sin\alpha - N_{AD}\sin\alpha - N_{DE}\sin\alpha - N_{CD} - 10 = 0$$

$$\text{联立求解得} \quad N_{DF} = -22.4 \text{ kN}$$

$$N_{DE} = -11.2 \text{ kN}$$

节点 F

取隔离体如图(e)所示。

$$\sum X_i = 0 \quad N_{FH} = N_{DF} = -22.4 \text{ kN}$$

4kN

$$\sum Y_i = 0 \quad -N_{EF} - N_{DF}\sin\alpha - N_{FH}\sin\alpha - 10 = 0$$

$$N_{EF} = 10 \text{ kN}$$

为了检查上面结果是否正确, 可再取节点 E 为隔离体进行校核。

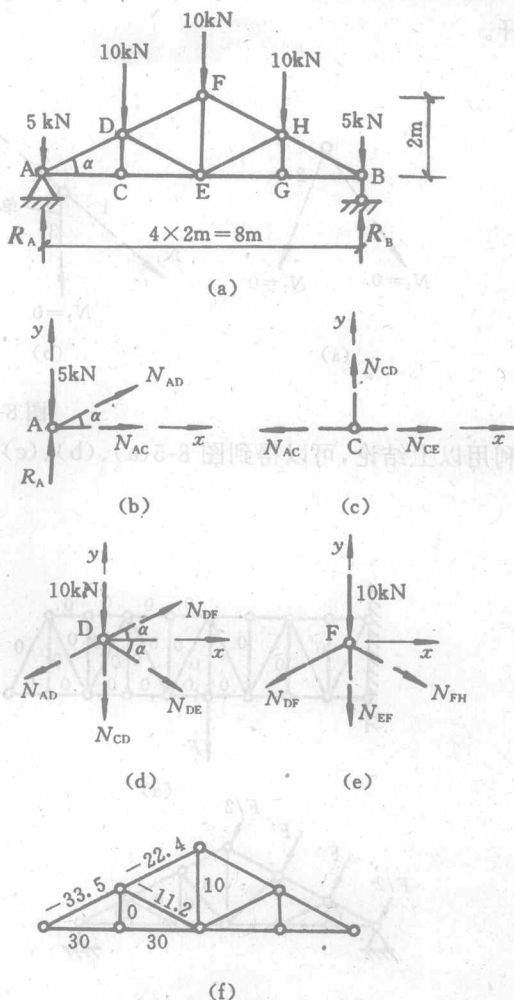
最后把各杆的内力标在各杆件的一边, 其中正号表示拉力, 负号表示压力, 如图(f)所示。

由上例计算结果看到, 桁架中某些杆件内力为零(如 $N_{CD} = N_{GH} = 0$), 必须指出, 零杆的出现与荷载的布置有关, 在某种荷载下可能是零杆, 而在另一种荷载下不一定是零杆。因此零杆并不是桁架中不起作用的杆, 我们要考虑各种荷载的可能性, 同时为了构造的需要, 也要设置。

如果我们在分析桁架时, 能首先根据零杆的特征, 判断哪些杆件在指定荷载下为零杆, 那将使计算得到简化。以下三种情况, 可以从节点平衡直接判断零杆。

(1) 在不共线的两杆节点上, 无荷载作用时(图 8-4(a)), 则两杆都是零杆。

(2) 不受荷载的三杆节点, 有两杆在一直线上(图 8-4(b)), 则不在这一直线上的单杆必为



例 8-1 图

零杆。

(3)在不共线的两杆节点上,作用着与其中一根杆件共线的荷载(图 8-4(c)),则另一根必为零杆。

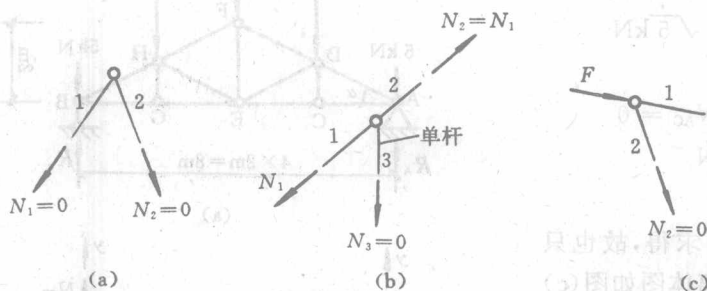


图 8-4

利用以上结论,可以得到图 8-5(a)、(b)、(c)、(d)中杆件旁有 0 号者均为零杆。

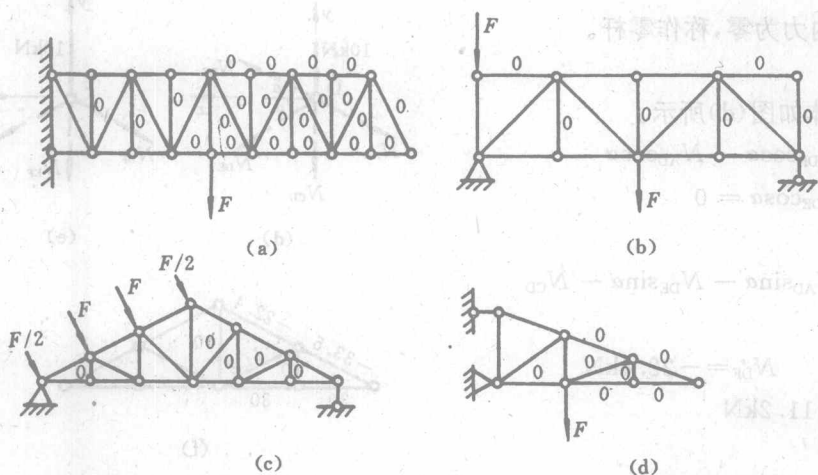


图 8-5

2. 截面法

用节点法常需逐个节点计算,后一节点的计算要用到前一节点的结果,如果某一节点计算发生错误,则会影响后面的结果。而且,节点法对简单桁架计算较为容易,但对联合桁架则很难求出全部杆件的内力,这时,采用截面法将是有利的。

截面法就是用一适当的截面通过欲求内力的杆件,将桁架分为两部分,取其中任一部分(至少包含两个节点)为隔离体,考虑其平衡条件,根据平面一般力系的三个平衡方程求出所截杆件的内力。因此,所截杆件一般不多于三根,且杆件不汇交于一点或互相平行,则可直接求出这三杆的未知轴力。

为使每一方程只包含一个未知力,为此,如所截割的三未知杆相互不平行时,可以两杆的交点作为矩心列出方程以求出第三杆的内力;若三杆中有两杆相互平行时,则可取垂直于该两杆的轴线作为投影轴,列出投影方程求出第三根不平行杆的内力。

例题 8-2 求图(a)所示桁架中 1、2、3 三杆的内力。

解 由对称关系可知支座反力

$$R_A = R_B = 2.5F$$

欲求 1、2、3 三杆内力，作截面 $m-m$ 截断这三根杆件，取桁架左边部分为隔离体，如图(b)所示，共有三个未知杆力 N_1 、 N_2 、 N_3 ，与作用在这部分的荷载构成一平衡力系，可列出三个平衡方程式。

因 N_1 与 N_3 平行，利用 $\sum Y_i = 0$ ，可求出 N_2

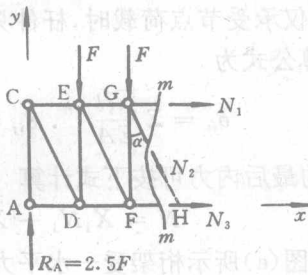
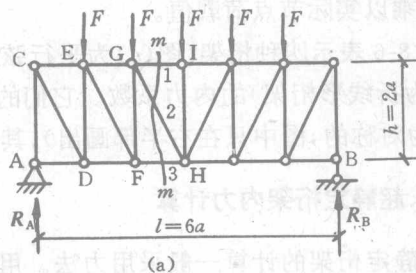
$$2.5F - 2F - N_2 \cos \alpha = 0$$

$$N_2 = \frac{0.5F}{\cos \alpha} = \frac{0.5F}{\frac{2}{\sqrt{5}}} \approx 0.56F$$

为求 N_1 ，可由 $\sum M_H = 0$

$$2.5F \times 3a - F \times 2a - Fa + N_1 \times 2a = 0$$

$$N_1 = \frac{-4.5Fa}{2a} = -2.25F$$



(b)

例 8-2 图

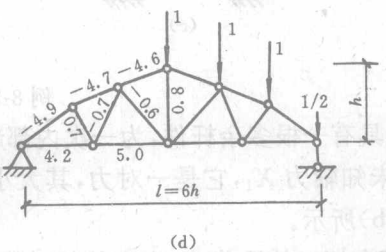
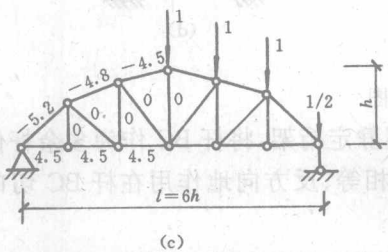
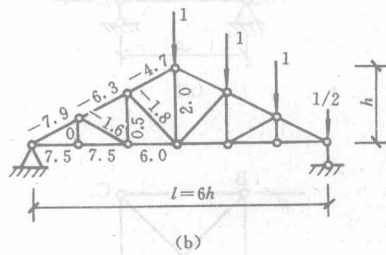
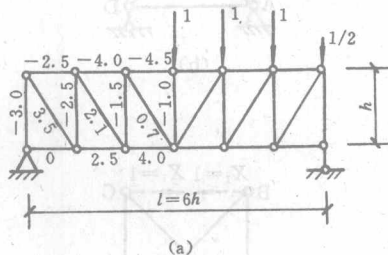


图 8-6

同理，由 $\sum M_G = 0$ 得到

$$2.5F \times 2a - Fa - N_3 \times 2a = 0$$

$$N_3 = \frac{4Fa}{2a} = 2F$$

为便于实际应用，已将一些桁架的内力系数制成图表，可直接从计算手册中查得。所谓内

力系数,是指节点单位荷载($F=1$)产生的各杆内力值。桁架各杆的实际内力应等于各杆的内力系数乘以实际节点荷载值。

图 8-6 表示四种桁架(图(a)为平行弦桁架,图(b)为三角形桁架,图(c)为抛物线形桁架,图(d)为折线形桁架)的内力系数。它们的跨度、高度均相同,且受到相同的节点荷载的作用,(荷载为对称的,图中只在右半部画出),其内力系数值分别表示在图中的左半部。

二、超静定桁架内力计算

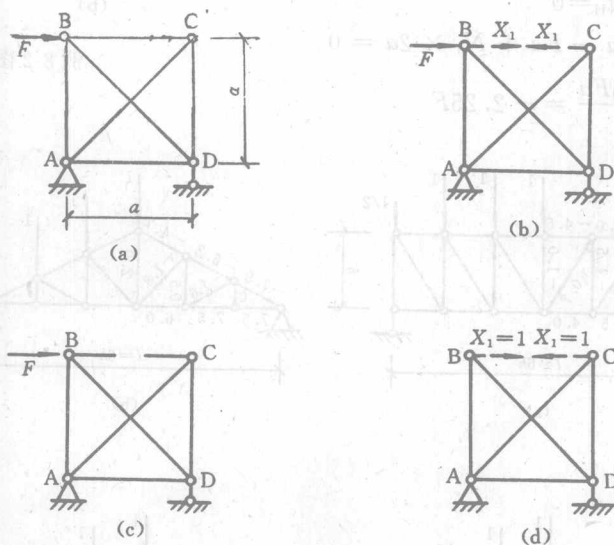
超静定桁架的计算一般采用力法。用力法计算超静定桁架的原理和步骤与 § 7-2 所述相同,只是桁架在仅承受节点荷载时,杆件只产生轴力而无弯矩和剪力,因而力法方程中的系数和自由项的计算公式为

$$\delta_{ii} = \sum \frac{\bar{N}_i^2 l}{EA} \quad \delta_{ij} = \sum \frac{\bar{N}_i \bar{N}_j l}{EA} \quad \Delta_{iF} = \sum \frac{\bar{N}_i N_F l}{EA}$$

桁架各杆的最后内力可按下式计算

$$N = X_1 \bar{N}_1 + X_2 \bar{N}_2 + \cdots + X_n \bar{N}_n + N_F$$

例题 8-3 图(a)所示桁架受一水平力 F 作用,设各杆 EA 相等,计算各杆内力。



例 8-3 图

解: 桁架具有一根多余杆件,为一次内部超静定桁架,将杆 BC 作为多余杆件,假想把杆 BC 切断,代以未知轴力 X_1 ,它是一对力,其大小相等、反方向地作用在杆 BC 切口两端,所得基本体系如图(b)所示。

根据 BC 杆在切口处沿着 X_1 方向的相对线位移为零的条件,可建立力法方程

$$X_1 \delta_{11} + \Delta_{1F} = 0$$

为了计算系数和自由项的数值,我们分别计算由于荷载而使基本体系各杆产生的内力 N_F 和由于 $X_1=1$ 而使基本体系各杆产生的内力 $\bar{N}_1$,分别如图(c)、(d)所示。

为清楚起见,常列表成表格进行计算。

需要注意的是,在运用和式时,应包括基本体系的全部杆件,杆 BC 被切断而不是撤去,因此,被切断的杆件也要计算在内。

$$\delta_{11} = \sum \frac{\bar{N}_1^2 l}{EA} = \frac{4a + 4\sqrt{2}a}{EA}$$

$$\Delta_{1F} = \sum \frac{\bar{N}_1 N_F l}{EA} = \frac{2Fa + 2\sqrt{2}Fa}{EA}$$

代入力法方程得

$$X_1 = -\frac{\Delta_{1F}}{\delta_{11}} = -\frac{2Fa + 2\sqrt{2}Fa}{4a + 4\sqrt{2}a} = -\frac{F}{2}$$

各杆内力按下式计算

$$N = N_F + X_1 \bar{N}_1$$

计算结果列入表中。

杆件	N_F	$\bar{N}_1$	$\bar{N}_1^2 l$	$\bar{N}_1 N_F l$	$N_F + \bar{N}_1 X_1 = N$
AB	F	1	a	Fa	$\frac{F}{2}$
BC	0	1	a	0	$-\frac{F}{2}$
BD	$-\sqrt{2}F$	$-\sqrt{2}$	$2\sqrt{2}a$	$2\sqrt{2}Fa$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}F$
AC	0	$-\sqrt{2}$	$2\sqrt{2}a$	0	$\frac{\sqrt{2}}{2}F$
AD	F	1	a	Fa	$\frac{F}{2}$
CD	0	1	a	0	$-\frac{F}{2}$
Σ			$4a + 4\sqrt{2}a$	$2Fa + 2\sqrt{2}Fa$	

§ 8-4 桁架杆件强度及稳定性计算

一、桁架杆件强度计算

对轴向拉伸(压缩)的杆,正应力在截面上是均匀分布的,这可由实验得到,即轴向拉伸或压缩的杆变形后两横截面作相对平移,其间所有纵向纤维伸长或缩短均相同,也就是说在其任意两个横截面之间的变形是均匀的,所以,其分布内力均匀分布,于是正应力 σ 在各点相同。

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad (8-1)$$

正应力随轴力 N 有正负之别: N 为拉力时, σ 为拉应力,取正号; N 为压力时, σ 为压应力,用负号表示。其强度条件由前面已知,得到 $\sigma \leq [\sigma]$

如果桁架杆件上有孔洞,其面积 A 应扣除孔洞面积,用 A_j 表示净截面面积,则强度条件写成

$$\sigma = \frac{N}{A_j} \leq [\sigma] \quad (8-2)$$

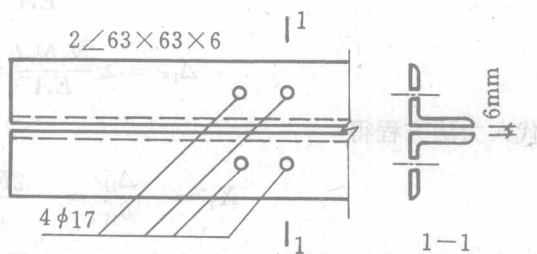
例题 8-4 试计算图示桁架下弦杆的应力。已知杆件内力 $N=180\text{kN}$, 截面为 $2\angle 63 \times 63 \times 6$, 每根角钢上有 $2\phi 17$ 的孔洞。

解: 由型钢表查出下弦杆截面面积

$$A = 2 \times 7.288\text{cm}^2 = 14.576\text{cm}^2$$

扣除孔洞后的净面积 $A_j = [14.576 - 2 \times 1.7 \times 0.6]\text{cm}^2 = 12.536\text{cm}^2$ 。由式(8-2)得

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{N}{A_j} = \left[\frac{180 \times 10^3}{12.536 \times 10^{-4}} \right] \\ &= 14.359 \times 10^7 \text{Pa} = 143.59 \text{MPa} \end{aligned}$$



例 8-4 图

二、桁架杆件稳定性计算

对于桁架中受压杆件来说,除了要考虑强度外,还要满足稳定条件。在第四章中曾讲述过,轴心受压直杆当轴向压力大于某一数值时,只要受到横向的微小干扰,就会由直线平衡形式变为弯曲平衡形式,而在取消扰动作用后,杆件不能回到原来的直线平衡位置,这叫做失去稳定。

使体系达到临界状态的外力称为临界荷载。它也就是使结构或构件产生新的变形形式的最小荷载。

临界荷载的确定有著名的欧拉公式,它是应用微小弯曲变形时力的平衡微分方程推导出来的。欧拉公式表示为

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(\mu l)^2} \quad (8-3)$$

式中 μl 是压杆的计算长度,与支承情况有关,对于不同的支承情况,用不同的长度系数 μ 。

在临界荷载作用下,杆件截面的平均应力称为临界应力。表示为

$$\sigma_{cr} = \frac{F_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 EI}{A(\mu l)^2} \quad (8-4)$$

式(8-3)和式(8-4)是以杆件的弹性变形为基础,即适用于细长杆。对于一些杆件截面的应力超过了材料的比例极限而压杆尚未破坏,这些杆的受力已经转入了弹塑性阶段工作,此时式(8-3)和式(8-4)就不再适用了。处于弹塑性阶段的轴心压杆,截面的受力将呈非线性的应力应变关系,确定它的临界应力将比较困难,对此有专门的理论来解决。

下面讨论一些影响临界荷载的因素。

1. 杆件材料

由欧拉公式看出临界荷载与弹性模量 E 成正比,例如,当截面、长度和支承都相同的杆,木杆的临界荷载小于钢杆的临界荷载。

2. 杆件的截面尺寸和形状

临界荷载可以借增大其横截面的惯性矩 I 而增大,这可将材料尽可能地远离横截面形心分布来实现。所以,管状压杆比具有相同横截面积的实心压杆要经济些,它以减小其截面壁的厚度而增大其横向尺寸,使压杆的稳定性增大,但壁厚有一下限,否则壁本身就变成不稳定的,造成局部失稳。

前面我们曾引进过一个反映杆件截面几何特征的特征值截面图形对 Z 轴的回转半径 i_z ,

令 $i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$, 它反映材料离开截面形心的程度。它的因次是长度的一次方。

对于边长为 b 的正方形截面则有

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{b^4}{12}}{b^2}} = \sqrt{\frac{b^2}{12}} = 0.29b$$

对于空心方形截面, 外边长为 b_1 , 内边长为 b_2 , 则有

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{b_1^4 - b_2^4}{12}}{b_1^2 - b_2^2}} = \sqrt{\frac{b_1^2 + b_2^2}{12}} = 0.29 \sqrt{b_1^2 + b_2^2}$$

可见当 $b_1 = b_2 = b$ 时, 空心截面的回转半径比外尺寸相同的实心截面为大。 i 值大的杆件就有较大的抗失稳能力。

3. 杆件长度

杆件越长, 就越容易失去稳定, 临界荷载也就越低。

4. 杆件的杆端约束

杆件端部约束对杆的承载能力有相当程度的影响, 约束程度不同, 杆的抵抗失稳能力也就不同。

可以以长度为 l 的两端铰接的压杆为基准, 根据杆端的约束条件用计算长度 μl 来代替杆的几何长度 l 。杆端的约束性能愈强, 计算长度 μl 愈小, 所得临界荷载愈大, 表明该压杆的稳定性愈好; 反之, 则约束性能弱, 计算长度大, 临界荷载就小。例如一端自由、另一端固定的压杆, 由于有一自由端, 约束性能最弱, $\mu = 2$, 算得的临界荷载只有两端铰接的 $1/4$ 。对于两端固定的压杆, 其约束性能最强, $\mu = 1/2$, 临界荷载则为两端铰接的 4 倍。一端固定、另一端铰接的压杆, 其约束介于两端铰接和两端固定之间, 所以 $\mu = 0.7$, 临界荷载近似为两端铰接的 2 倍。

计算长度 μl 及截面回转半径 i 都是反映压杆几何性质的, 可以合并为一个量, 取

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_z} \quad (8-5)$$

称它为压杆的长细比, 为一个无量纲的量, 长细比愈大, 则压杆越容易失稳。它包含的因素很多, 表征了杆端的约束情况、杆长、横截面尺寸、形状等诸因素对压杆临界荷载的综合影响, 是一个很重要的物理量。

这样, 式(8-4)可写成

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E I_z^2}{(\mu l)^2} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{\mu l}{i_z}\right)^2} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \quad (8-6)$$

实用中杆件常为非对称截面, 所以杆截面对两个主轴的回转半径常常并不相同, 两个方向的杆端约束也可能不是完全相同。轴心受压杆是在较大长细比的那个平面内失去稳定。因此, 最有效的受压杆件, 当两个方向计算长度相同时, 应该是在所有的方向都有较大的回转半径值。

桁架中的压杆, 通常用两个角钢组合而成, 以改善稳定条件。例如图 8-7(a)所示, 为 $\angle 140 \times 90 \times 10$ 的单角钢压杆截面, 其 $i_x = 4.47\text{cm}$, $i_y = 2.56\text{cm}$, $A = 22.261\text{cm}^2$ 。呈现出很不对称的几何特性。图 8-7(b)表示一种可能的组合, 采用两个 $\angle 140 \times 90 \times 10$ 的角钢, 中间留 10mm 的间隙, 组合成整体, 这种组合截面的 i_x 与单角钢相同, 但 i_y 则为 3.66cm, 接近于 i_x 。使其两

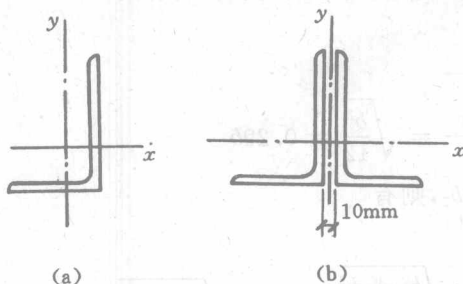


图 8-7

式中 φ 是一个小于 1 的无因次系数, 可从有关手册中查到。A 为横截面总面积, 不考虑局部截面削弱的影响, 因为局部截面的削弱, 并不明显地影响整个压杆临界荷载的大小。

表 8-1 按照钢结构设计规范(GB)17—88 给出了 3 号钢 b 类截面轴心受压构件的稳定系数值。

例题 8-5 验算桁架中受压杆件的稳定性。已知材料为 3 号钢, $[\sigma]=170\text{MPa}$, 轴向压力 $N=41.4\text{kN}$, 在桁架平面内计算长度 $l_{0x}=1.55\text{m}$, 在桁架平面外计算长度 $l_{0y}=1.94\text{m}$, 截面为 $2\angle 40\times 40\times 4$ 等边角钢, 中间留 6mm 间隙, 其间沿一定距离加焊垫板, 使之成为整体(属 b 类截面)。

解 由型钢表查到 $\angle 40\times 40\times 4$ 的

$$A = 3.09\text{cm}^2$$

$$I_x = 4.6\text{cm}^4$$

$$i_x = 1.22\text{cm}$$

$$z_0 = 1.13\text{cm}$$

组合截面的截面面积为 $2\times 3.09=6.18\text{cm}^2$, 对 x 轴回转半径与单角钢截面相同, 即 $i_x=1.22\text{cm}$ 。对 y 轴的惯性矩, 根据平行移轴公式得到

$$I_y = [2\times 4.6 + 2\times 3.09(1.13 + 0.3)^2]\text{cm}^4 = 21.84\text{cm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{21.84}{6.18}}\text{cm} = \sqrt{3.53}\text{cm} = 1.88\text{cm}$$

$$\lambda_x = \frac{l_{0x}}{i_x} = \frac{155}{1.22} = 127$$

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_y} = \frac{194}{1.88} = 103$$

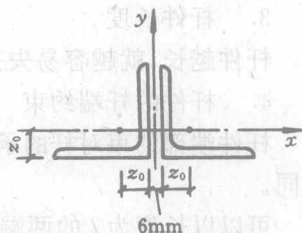
取其中较大者进行验算, 当 $\lambda=127$ 时由表 8-1 查到 $\varphi=0.402$ 。

$$\text{根据式(8-7)} \quad \sigma = \left[\frac{41.4 \times 10^3}{0.402 \times 6.18 \times 10^{-4}} \right] \text{N/m}^2 = 166.6\text{MPa} < [\sigma] \text{ (安全)}$$

个方向具有相等或接近的稳定性, 以充分发挥材料的作用。

在工程设计中为了更能符合设计计算的需要和方便, 一般不是直接计算临界荷载, 而是转换到以应力的角度去验算压杆的稳定性, 给出随着长细比的增大而降低的轴心受压稳定系数 φ , 并给出了一个十分简明的表达式

$$\frac{N}{\varphi A} \leq [\sigma] \quad (8-7)$$



例 8-5 图

表 8-1 3号钢 b类截面轴心受压构件的稳定系数 φ

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.998	0.997	0.996	0.995	0.994
10	0.992	0.991	0.989	0.987	0.985	0.983	0.981	0.978	0.976	0.973
20	0.970	0.967	0.963	0.960	0.957	0.953	0.950	0.946	0.943	0.939
30	0.936	0.932	0.929	0.925	0.922	0.918	0.914	0.910	0.906	0.903
40	0.899	0.895	0.891	0.887	0.882	0.878	0.874	0.870	0.865	0.861
50	0.856	0.852	0.847	0.842	0.838	0.833	0.828	0.823	0.818	0.813
60	0.807	0.802	0.797	0.791	0.786	0.780	0.774	0.769	0.763	0.757
70	0.751	0.745	0.739	0.732	0.726	0.720	0.714	0.707	0.701	0.694
80	0.688	0.681	0.675	0.668	0.661	0.655	0.648	0.641	0.635	0.628
90	0.621	0.614	0.608	0.601	0.594	0.588	0.581	0.575	0.568	0.561
100	0.555	0.549	0.542	0.536	0.529	0.523	0.517	0.511	0.505	0.499
110	0.493	0.487	0.481	0.475	0.470	0.464	0.458	0.453	0.447	0.442
120	0.437	0.432	0.426	0.421	0.416	0.411	0.406	0.402	0.397	0.392
130	0.387	0.383	0.378	0.374	0.370	0.365	0.361	0.357	0.353	0.349
140	0.345	0.341	0.337	0.333	0.329	0.326	0.322	0.318	0.315	0.311
150	0.308	0.304	0.301	0.298	0.295	0.291	0.288	0.285	0.282	0.279
160	0.276	0.273	0.270	0.267	0.265	0.262	0.259	0.256	0.254	0.251
170	0.249	0.246	0.244	0.241	0.239	0.236	0.234	0.232	0.229	0.227
180	0.225	0.223	0.220	0.218	0.216	0.214	0.212	0.210	0.208	0.206
190	0.204	0.202	0.200	0.198	0.197	0.195	0.193	0.191	0.190	0.188
200	0.186	0.184	0.183	0.181	0.180	0.178	0.176	0.175	0.173	0.172
210	0.170	0.169	0.167	0.166	0.165	0.163	0.162	0.160	0.159	0.158
220	0.156	0.155	0.154	0.153	0.151	0.150	0.149	0.148	0.146	0.145
230	0.144	0.143	0.142	0.141	0.140	0.138	0.137	0.136	0.135	0.134
240	0.133	0.132	0.131	0.130	0.129	0.128	0.127	0.126	0.125	0.124
250	0.123									

§ 8-5 几种梁式桁架受力情况的比较

上面讨论了平面桁架内力的分析方法,可以看出,桁架的外形对于杆件内力分布有很大的影响。为了更好地理解各种形式桁架的受力特性,下面就几种梁式桁架的受力情况进行比较。所谓梁式桁架,是指在竖向荷载作用下,只产生竖向反力的桁架。

常用的梁式桁架外形有平行弦桁架、三角形桁架、抛物线形桁架、梯形桁架、折线形桁架等。

一、平行弦桁架(图 8-8(a))

平行弦桁架的高度不变,上、下弦为平行的水平线。当上弦承受均匀集中荷载时,各杆的受力特点如下:

1. 弦杆

弦杆的内力计算可利用截面法,把矩心取在节点上,这时力臂就等于桁架的高度 h 。例如,计算上弦杆 CD 的内力,作截面 $m-m$,取左部分为隔离体,以杆 CD' 与 C'D' 的交点 D' 为矩心,应用力矩平衡方程式 $\sum M_{D'} = 0$,得

$$N_{CD} = \frac{R_A \times 3a - F/2 \times 3a - F \times 2a - F \times a}{h}$$

等式右边分子部分等于与桁架同荷载、同跨度的简支梁(图 8-8(b))相对应于桁架节点 D' 处的弯矩,记作 M_d^0 。上式可写成

$$N_{CD} = \frac{M_d^0}{h}$$

同理,可以得到其它弦杆的内力也存在上述关系,于是弦杆的内力计算式可写成一般表达式

$$N = \pm \frac{M^0}{h}$$

当下弦受拉,式中取正号;上弦受压,式中取负号。 h 为弦杆对矩心的力臂,此时为一常数,故弦杆内力与相应节点处的 M^0 成正比, M^0 如图 8-8(c) 所示,所以,平行弦桁架弦杆的内力中间部分大两端小。显然,增大桁架高度,弦杆内力就会减小。这与梁受弯时增大梁截面高度梁截面边缘应力就相应减小,是同一道理。

2. 腹杆

腹杆的内力可由竖直轴投影方程求得,斜杆内力的竖向分力和竖杆内力,分别等于相应简支梁上对应节间的剪力 V^0 ,即

$$\text{竖腹杆 } N = -V^0$$

$$\text{斜腹杆 } N \cos \alpha = V^0$$

这里,斜腹杆受拉,竖腹杆受压。由图 8-8(d),看到 V^0 两端大,中间小,因而腹杆内力也是两端内力大,中间内力小。

图 8-6(a) 给出了平行弦桁架各杆的内力系数。

由上分析表明,弦杆主要承受桁架由于弯曲而引起的弯矩,相当于工字形梁中翼缘的作用。腹杆主要承受剪力,相当于工字形梁中腹板的作用。外形上像一根大梁,实际通过杆的组合,整体承受弯矩和剪力,局部只受轴力,每一杆件的应力均匀分布在截面上,不同于梁,梁是通过实体来承受弯矩和剪力的。

平行弦桁架的节点形式相似,腹杆长度相等,但平行弦桁架杆件内力分布不均匀,相邻两节间的弦杆,内力相差较大,当然可以采用不同截面以节约材料,但给施工带来不便,所以不宜

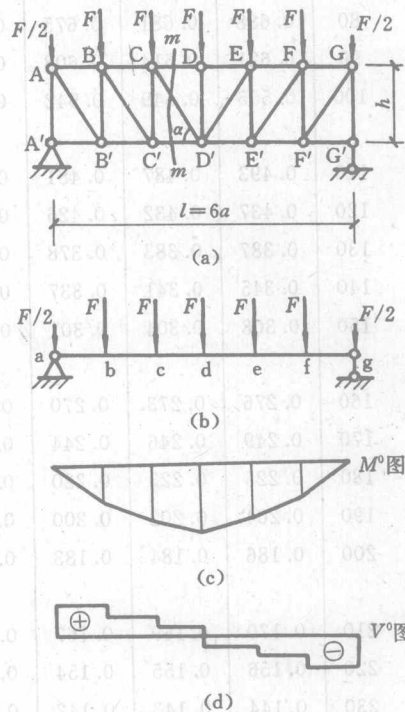


图 8-8