

微型机结构计算机软件系统

之九

网架结构计算

黄小果 叶家源 编

北京科技协作中心

计算机软件部

一九九二年五月

空间网架结构是由许多杆件按照一定规律组合而成的高次超静定结构。由于它受力合理,具有整体刚度强,覆盖面积大,材料用量省等优点,已在各类建筑中得到广泛的应用。

本程序适用于多种型式的网架结构计算,对于特殊构造的网架有坡度的网架也可采用。计算的内容除节点位移、杆件内力和支座反力外,还可以进行内力组合、截面选择的优化、矢高的优化以及焊接球的选择。目前经多次修改的程序能计算1490个节点、5500个杆件的空间网架。根据目前常用的管材和焊接球,程序内储了33个常用管材断面和54个不同直径不同壁厚的焊接球类型,供程序自动优化选材。与此同时为配合新的量钢和新规范的要求,修改了原有的量钢,对于 8° 、 9° 的地震区,根据新的抗震规范GBJ 11-89中的第4.3.2.条要求,考虑了竖向地震作用。

由于网架的空间图形复杂、节点上下重迭,杆件相互交错,一个网架往往有数百上千根杆件,如将节点座标、杆件编号等用数据填写工作量必然繁多。为此程序采用了自动编码技术,输入少量信息,就能形成结构的几何特性加荷载特征。与此同时,程序还能处理在按一定的规律形成网架节点时,设计者根据需要抽空一些节点的情况下仍然由程序自动编号节点号、杆件号。

为方便用户,本程序配置了图形处理程序和汉字屏幕菜单。使用者可根据汉字菜单直观选择计算步骤。程序的图形功能包括能形成输入的计算平面图,显示轴线编号、杆件编号,设计者能清楚地从屏幕上检查输入的数据的正确性。通过图形处理程序,直接形成一系列的 $\times \times \times$.DWG的AUTOCAD图文件,包括计算简图、内力图、荷载图及受力简图。设计者可通过AUTOCAD软件绘制和打印计算结果。

一、程序功能和应用范围

1. 网架的平面形状及型式:

主要适用于矩形平面,也可用于六角形、八角形等平面。上弦平面可以是水平的,或具有单坡、双坡、四坡及幕式等。下弦平面可以是水平或拱起的。对于网架结构与施工规定(JGJ 7-80)附录中的常用网架形式中的各类型网架基本上均能自动编码和计算。特别对于一些网架轴距不等的情况,同样也可以自动编码和计算。同时程序也可以处理设有柱帽、挑檐等特殊型式的网架。

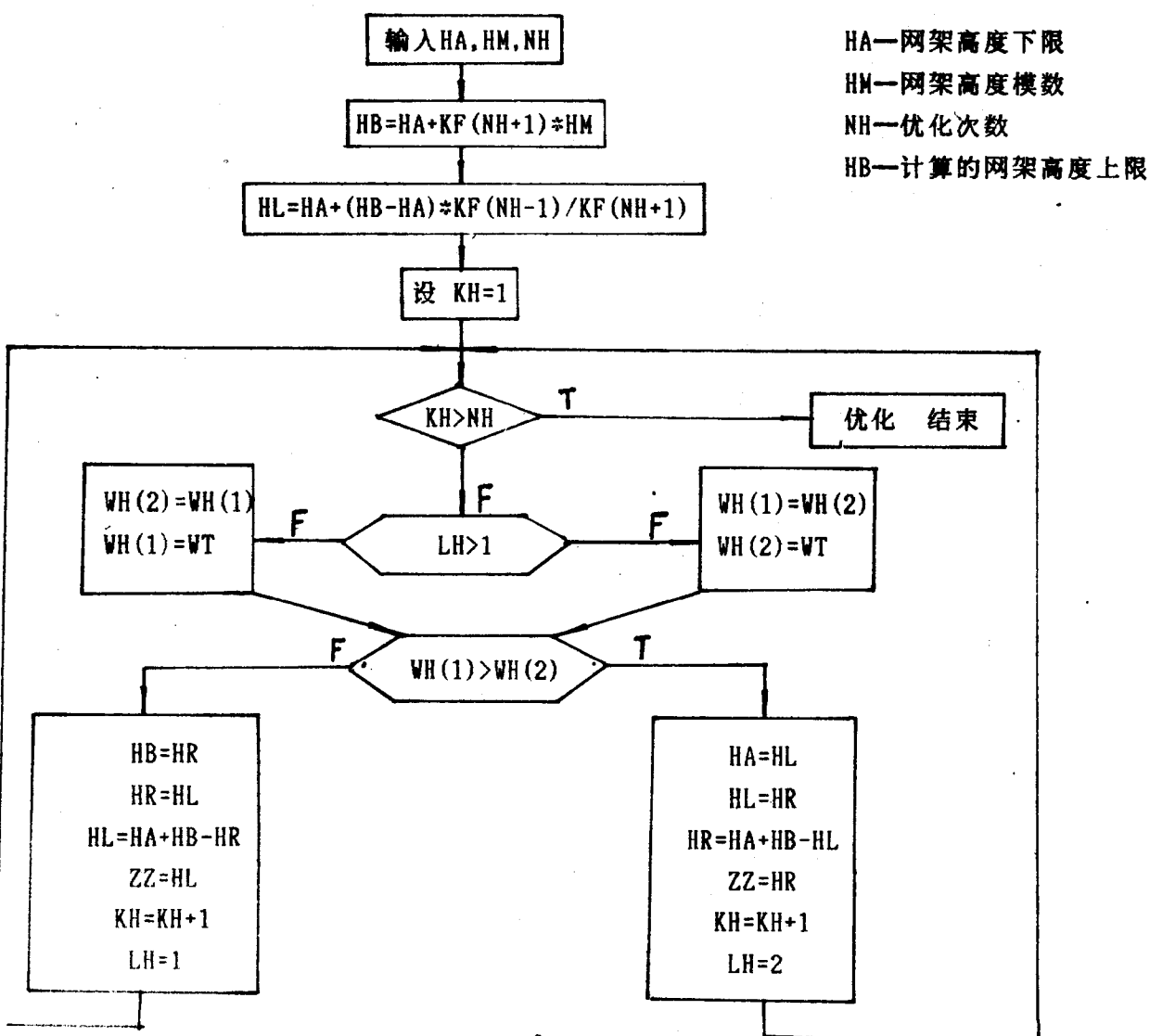
2. 荷载种类：

荷载分静载和活载，其作用方向可以是水平、垂直或任意方向，各节点可以是等值或不同，对于多组荷载，程序能按最不利情况进行内力组合。程序还能处理互相排斥的荷载，对于常用的吊车荷载，可以采用互相排斥的荷载进行处理。

3. 网架高度的优选：

对空间网架结构进行内力分析时，可利用优选法对网架高度进行优选。程序采用斐波那契(Fibonacci)分数法，当给定网架高度优化范围时，便可以按照斐波那契数列计算，其框图如下：

高度优化框图：



4. 边界条件的处理：

边界条件系指支承约束条件 and 对称面的约束条件，方法分别如下：

(1). 支承约束条件的处理：

在刚性支承中，可以理想化为下面三种情况

支承情况	支 承 位 移			填表时的 描述形式
	U_i (X位移)	V_i (Y位移)	W_i (Z位移)	
不动球铰支承	=0	=0	=0	0.123
不动圆柱铰支承	$\neq 0$ (或 =0)	$\neq 0$ (或 =0)	=0	0.023 0.103
可动球铰支承	$\neq 0$	$\neq 0$	=0	0.003

(2). 对称面上的约束条件的处理

为减少计算工作量，在网架计算中，往往利用结构与荷载等参数的对称性，选择适当的计算单元求得简化，这样在对称面上就有在边界条件的处理问题。

- 对称面内的网架节点，在对称荷载的作用下，其反对称位移为零，计算时应在相应方向给与约束条件。
- 被对称面切断的（即杆长被切成两半的）单根杆件，断点的约束描述应符合对称面上的位移。程序将自动处理将对称面上的截断杆件形成的Z向位移值进行处理。
- 与对称面重合的杆件由程序自动判断，将截面计算值取其原截面的1/2。对称面上的荷载值也由程序自动处理。若设计者输入节点荷载值时，取输入值。

二、杆件截面计算及焊接球的计算

1. 应力公式：

$$\sigma = \begin{cases} N/F, & \text{当 } N \geq 0 \text{ 时} \\ N/\Phi F, & \text{当 } N < 0 \text{ 时} \end{cases}$$

式中：N为杆件的内力，F为杆件断面， Φ 为稳定系数

2. 稳定系数 Φ 值的计算公式：

(1). 杆件的长细比：

$$\lambda = \frac{XS \cdot L}{\gamma}$$

L——杆件的长度(M)

γ ——杆件的回转半径

XS——杆件的计算长度系数（见网架规范）

注：XS在计算过程中，由设计者从屏幕输入

(2). 假定长细比：

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

f_y ——钢材的屈服强度

3号钢 $f_y = 1.087 \times 215 = 233.7 \text{ MPa}$

16号锰钢 $f_y = 1.087 \times 315 = 342.4 \text{ MPa}$

1.087 为抗力分项系数

E——钢材的弹性模量

$E = 206 \times 1000 \text{ MPa}$

(3). 稳定系数 φ 的计算公式：

$$\text{当 } \bar{\lambda} \leq 0.215 \quad \varphi = 1 - \bar{\lambda}^2$$

$$\text{当 } \bar{\lambda} > 0.215$$

$$\varphi = \frac{1}{2\bar{\lambda}^2} \left[(\alpha_2 + \alpha_3 \bar{\lambda} + \bar{\lambda}^2 - \sqrt{(\alpha_2 + \alpha_3 \bar{\lambda} + \bar{\lambda}^2)^2 - 4\bar{\lambda}^2}) \right]$$

$$\text{取 } \alpha_1 = 0.41 \quad \alpha_2 = 0.986 \quad \alpha_3 = 0.152$$

3. 焊接球节点计算：

(1). 受压空心球：

$$[N_c] = \eta_c (400td - 13.3 \frac{t^2 d^2}{D})$$

式中：[N_c]——受压空心球的设计承载力 (N)；

D —— 空心球外径 (mm)；

t —— 空心球壁厚 (mm)；

d —— 钢管外径 (mm)；

η_c ——受压空心球加肋承载力提高系数

未加肋 $\eta_c = 1.0$ ； 加肋 $\eta_c = 1.4$

(2). 受拉空心球：

$$[N_t] = 0.6 \eta_t t d \pi f$$

式中：t —— 空心球壁厚 (mm)；

d —— 钢管外径 (mm)；

f —— 钢材抗拉设计强度 (MPa)

η_t ——受压空心球加肋承载能力提高系数

未加肋 $\eta_t = 1.0$ ； 加肋 $\eta_t = 1.1$

4. 关于钢材的强度值的一点补充说明：

鉴于国内目前的钢材（管材）质量不够稳定，据一些网架专家的建议在截面选择过程中，钢材强度设计值的取值应在GBJ 17-38表3.2.1-2的给定值乘以0.85的系数。

3号钢（第1组） $f = 215\text{MPa}$ 取值 $215\text{MPa} \times 0.85 = 183\text{MPa}$
16M 钢 $f = 315\text{MPa}$ 取值 $315\text{MPa} \times 0.85 = 268\text{MPa}$

三、程序使用说明

1. 计算简图：

(1). 轴线的划分：

轴线划分的原则是使每个节点都处于纵横轴线的交点处，然后算出轴线号和相应的轴线间距，轴距可以不相等。第一轴线均落在X、Y轴上。对于有坡度的网架还应标注出每一轴线上节点的Z坐标。

(2). 结构座标：

采用右手坐标系。一般情况XOY坐标面设在网架的下弦平面，网架全部位于第一挂限，即座标原点在网架的左上角，所有结点均落在座标节点上。若座标XOY面设在网架上弦平面内时，总信息中的ZZ=0。

(3). 网架平面图：

网架平面图可根据网架的对称性画出1/2;1/4或全部画出。并应画出坐标轴XOY平面，标注轴线号、轴线间距及节点号。当利用其对称性仅画出1/4或1/2时，应画出相应对称轴及对称轴的X轴及Y轴的坐标值。

(4). 节点及杆件类型：

a. 标准节点：

凡是按一定规律分布的节点，并在计算过程中能自动编号者称为标准节点。对于标准节点又分为不同的类别，即根据其分布规律，节点关联规律及初选的截面不同相区别。详见填表说明。

b. 附加节点:

凡不能用标准节点所描述的节点称为附加节点。附加节点可以分成二部分:一部分是指网架中一些特殊的节点,如:柱帽、反梁上的点,对称面处由于杆件被截断所增加的杆件和节点等。一部分是由于难以用标准节点方式描述的节点。

(注:凡填表较为熟习之后,尽可能地用标准节点来描述节点,尽管该类节点只有一个或仅几个的情况)。

c. 附加杆件:

与附加节点相连接的杆件,在计算过程中不能实现杆件自动编号故称为附加杆件。

2. 填表说明

I. 输入顺序

(1) 总信息:共 22 信息数

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IX	JY	XX	YY	ZZ	MD	NDD	AEE	NHH	NQ	Gul
横向 轴线数	纵向 轴线数	横轴 间距 (M)	纵轴 间距 (M)	网架 高度 (M)	标准 节点 种类 数	附加 节点 数	附加 杆件 数	高度 变化 信息	抽空 节点 数	上弦 节点 荷载 (KZ)
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
CL	GW	QQ	LP	IE	AIB	IC	IR	IS	ISS	KE
下弦 节点 荷载 (KN)	自重 荷载 信息	荷载 组数	离散 节点 荷载 信息 数	可选 截面 总数	边界 支座 约束 信息 数	计算 信息	材料 强度 信息	输出 信息	输出 分组 位移 信息	地震 烈度 信息

(2) 对须要调整节点荷载取值的节点荷载取值的描述

NJ(NJL, 2)

序 号	节 点 号	荷载取值调整值
i	MJ(NJL, 1)	MJ(NJL, 2)
⋮		
NJL		

(3) 对标准节点的描述: BDD(MD, 3)

序 号	节点分布信息	节点关联信息	初选截面序号
i	BDD(i, 1)	BDD(i, 2)	BDD(i, 3)
⋮			
i=MD			

(4) 对网架高度优化初参数 (IC<3不填此表) (以米为单位)

HA	HM	NH
优化的下限 (M)	高度的模数 (M)	优化的次数

(5) X方向轴距不等时输入轴距值 (当XX=100.0时填此表)

NE1	X1	NE2	X2	NE3, X3.....
连续相同轴距	轴距值 (M)	连续相同轴距数	轴距值	

$$IX=NE_1+NE_2+NE_3+ \dots$$

(当 XX=-1 时输入下数值)

NSS

(6) Y方向轴距不等时输入轴距值 (当 YY=100.0 时填此表)

NE ₁	Y ₁	NE ₂	Y ₂	NE ₃ , Y ₃
连续相同轴距数	轴值 (M)	连续相同轴距数	轴距值 (M)	

$$JY=NE_1+NE_2+NE_3+ \dots$$

(当 YY=-1 时输入下数值)

NSS

(7) 当有抽空节点时,输入抽空节点的信息: IGG(NQ,2)

序 号	节点的行号	节点的列数
NQ=1	IGG(NQ,1)	IGG(NQ,2)
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮
NQ	⋮	⋮

NQ=0 时不填此表

(8) 输入附加节点的座标值: DSS(1:NDD)

序 号	附加节点座标值
i=1	$\pm \underline{\text{XXXX}} \cdot \underline{\Delta\Delta\Delta\Delta} \quad \underline{\square\square\square\square}$
⋮	
i=NDD	X Y Z

注: (1) NDD=0 时不填此表 (2) NDD 总数应小于50

(9) 数入附加杆件的端节点号及截面号 GSS(1:NEE)

序 号	关联信息及截面序号
i=1	$\underline{\text{XXXX}} \cdot \underline{\Delta\Delta\Delta\Delta} \quad \underline{\square\square}$
⋮	
⋮	
⋮	
⋮	
i=NEE	A端节点号 B端节点号 截面代号

注: (1) NDD=0 时不填此表 (2) NEE总数应小于150

(10) 变高度的网架数据: $HXX(IX,2), HYY(JY,2)$ (以M为单位)

序 号	横轴 (X轴) 下弦节点最大Z座标	X轴上弦节点最大Z座标
i=1 i=IX	HXX(i,1)	HXX(i,2)
序 号	纵轴 (Y轴) 下弦节点最大Z座标	Y轴上弦节点最大Z座标
j=1 j=JY	HYY(j,1)	HYY(j,2)

NHH=1 时不填此表

(11) 输入可选截面的截面序号 IEE(1:IE)

截面序号 (信息数 IE)
IEE(1), IEE(IE)

注: (1) IE=0 不填入此表

(2) 最大可选截面数量小于15个。

(所有序号的截面选自程序内定的38个杆件, 详见附录)

(12) 输入支座约束信息: BSS(1:IB)

信息总数 IB		
约束信息	节点集合信息	约束信息·····
<u>0·X</u> · <u>Δ</u> <u>X</u>	<u>ΔΔΔΔ</u> · <u>XX</u> <u>ΔΔΔΔ</u>	

注: (1) IB=0 时不填此表。

(2) 支座约束信息总数IB应小于50个。

(13) 输入离散节点荷载信息: PP(1:LP)

信息总数 LP			
组号:	荷载值:	方向及节点集合号:	组号: 荷载值:·····
PP(1):	PP(2):	PP(3):	PP(4):·····

注: (1) 当 LP=0 时不填此表。

(2) 当离散节点荷载信息总数LP应小于120个。

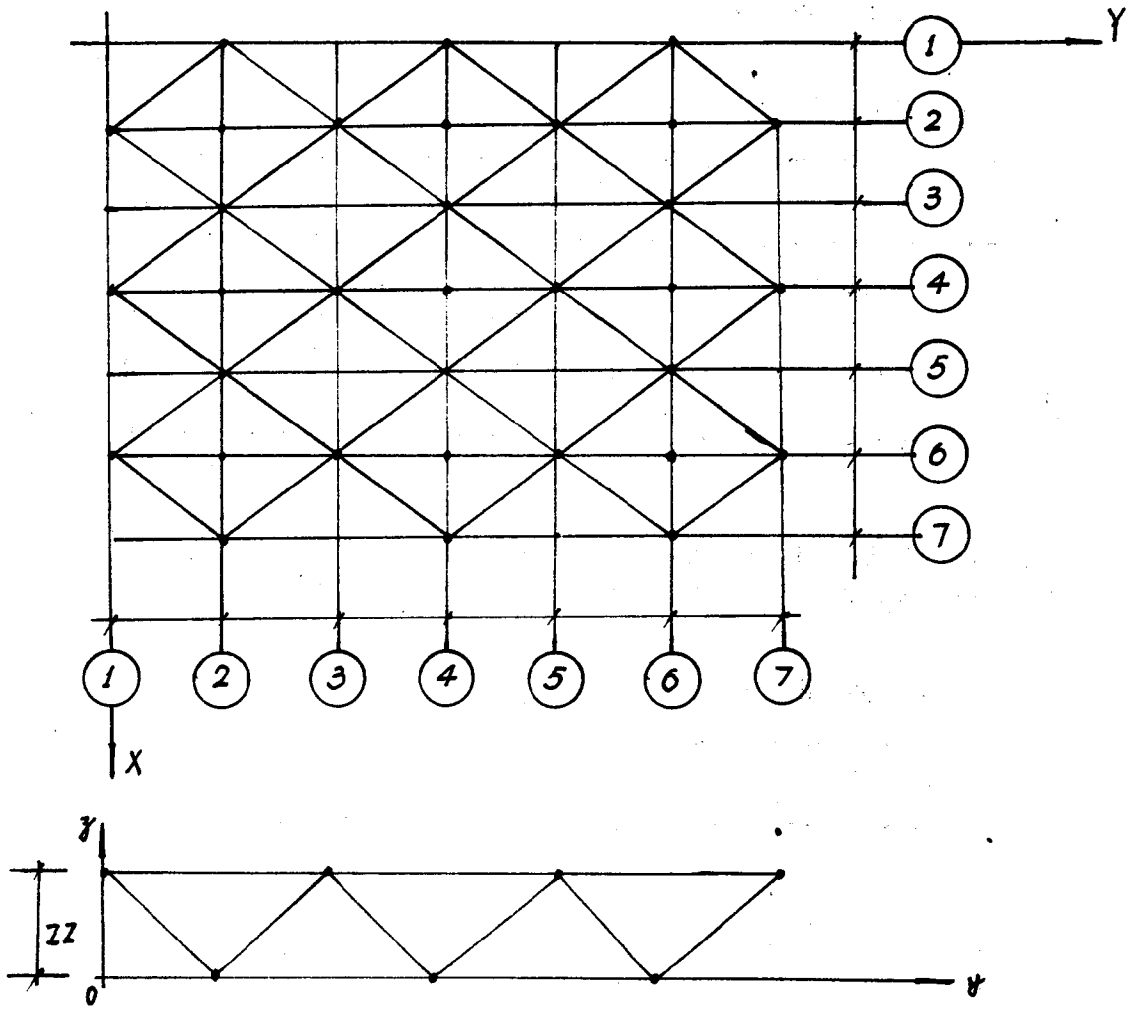
(14) 输入活荷组合系数: QI(1:KQ)

序 号	每组活荷的组合系数
i=1	QI(1)
·	·
·	·
·	·
·	·
·	·
KQ	QI(KQ)

II. 输入说明:

<1> 总信息 (22个数)

- (1) IX—— 横向轴线数。总轴线数 $IX \leq 30$ 。
- (2) JY—— 纵向轴线数。总轴线数 $JY \leq 30$ 。



(3) XX-----横轴线之间的间距(M),有效数字为小数点后两位。

(4) YY-----纵轴线之间的间距(M),有效数字为小数点后两位。

注: XX(或YY)>0即为输入轴距相等时的轴距值。

YY(或XX)=100.0为轴距不等。分别应输入表(4)或表(5)。

XX(或YY)=-1,三角形为基本单元的非矩形平面网架。

XX=0.0 即为X轴仅为一个轴线

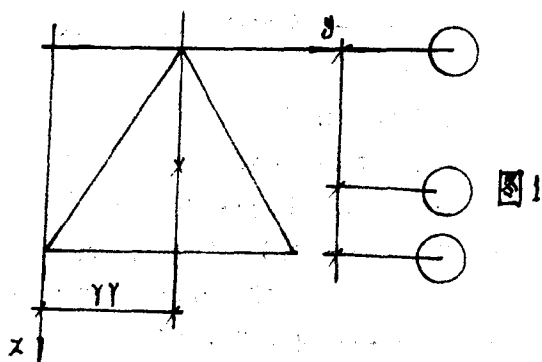
输入信息 NSS

当 $XX=-1$ 时

NSS=-1 为正三角形 图1

NSS=1 为三角形 图2

NSS=2 由设计者输入轴距

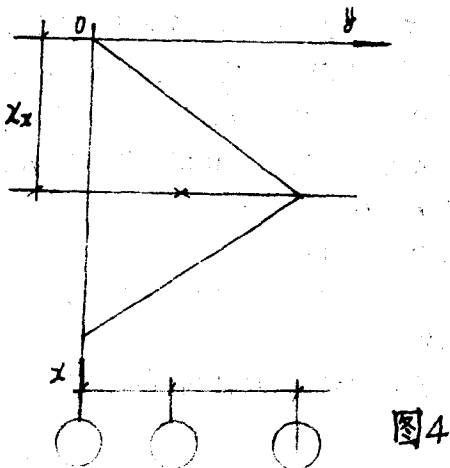
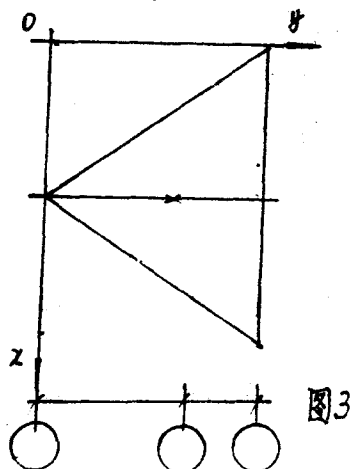
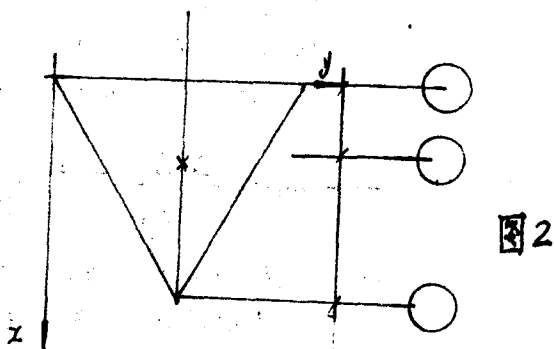


当 $YY=-1$ 时

NSS=-1 为正三角形 图3

NSS=1 为三角形 图4

NSS=2 由设计者输入轴距



(5) ZZ —— 网架高度(M)

有效数值为小数点后三位

当ZZ=0.0时表示座标平面设在上弦平面之内。

(6) MD —— 标准节点种类数。

当MD=-1 程序内定为斜放四角锥。

当MD=-2 程序内定为正放四角锥。

以上两种情况由程序自动形成标准节点座标,不须输入标准节点信息。

(7) NDD —— 增设的非标准节点数(附加节点)(没有时填零)

AEE —— 附加杆件数信息(没有时填零)

AEE=NEE NEE1

NEE: 附加杆件数

NEE1: 被对称面将杆长截成两部分的杆件。

(8) NHH —— 网架高度变化信息

有坡度或起拱等高度有变化时填2,否则填1。

(9) NQ —— 抽空节点总数

如遇上网架的将一定规律排列的网架节点某些节点抽空时,可以用NQ输入。程序自动抽去该节点,以及与该节点相联结的杆件。

可以仍然将网架各节点按标准节点信息输入。

(10) Gul ——
$$Gul = \frac{\Delta \Delta \cdot \Delta \Delta}{Gu} \frac{XX}{NJL}$$

Gu —— 对应于上弦均布荷载的节点荷载值(KN)系指内部节点荷载值,对于边界节点的荷载值,程序可以处理矩形平面的边节点(取1/2)和角节点(取1/4)的取值。但对于非矩形平面的网架的角节点,边节点荷载须折减时由设计者输入。

NJL —— 须要调整边或角结点的荷载值的节点总数。

(11) GL —— 对应于下弦均布荷载的节点荷载(KN)(说明同上)

(12) GW —— 考虑自重及是否利用对称性的信息

GW=0.0 不考虑杆件自重

GW=1.1 考虑杆件自重

GW=1.2 考虑杆件自重,并且利用对称性仅计算1/2网架对称轴平行Y轴,屏幕输入 XXX。

GW=1.3 考虑杆件自重,并且利用对称性仅计算1/2网架对称轴平行X轴,屏