

微型机结构计算机软件系统

之十三

# 螺旋空间曲杆计算

叶学杰 编

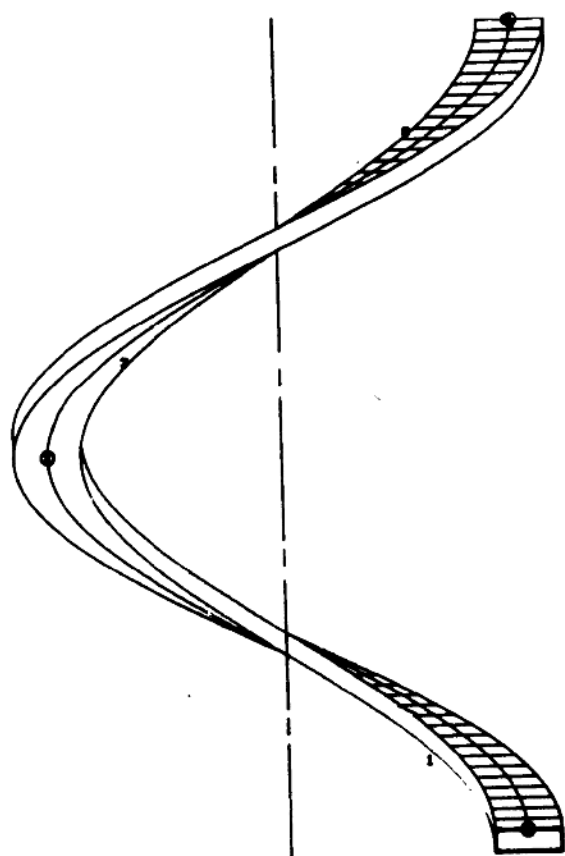
北京科技协作中心

计算机软件部

一九九二年五月

# 螺旋空间曲杆程序

## 使用说明



海军工程设计研究局

## 目 录

|   |                 |   |
|---|-----------------|---|
| 一 | 功 能             | 1 |
| 二 | 计 算 方 法         | 1 |
| 三 | 座 标 系           | 2 |
| 四 | 输 入 数 据 填 写 说 明 | 3 |
| 五 | 程 序 的 运 行       | 6 |
| 六 | 输 出 结 果         | 6 |
| 七 | 例 题             | 7 |

## 一、功能：

本程序适用于各种含有空间曲杆的结构进行内力计算，如旋转楼梯、滑梯、圆弧梁等。

1、本程序计算的旋转楼梯可以是任意段不同旋转半径、不同旋转方向的螺旋空间曲杆的组合。

2、本程序可以计算直线段与螺旋段任意组合的结构，当只有直线段时就是折线楼梯。如H形、L形、V形楼梯等。

3、结构的支座支承可以为固接、铰接、半铰接、弹性支撑等各种支承条件。

4、结构承受的荷载可以为垂直均布荷载、轴向均布扭矩、集中节点荷载、集中节点弯矩等。

5、对矩形截面的钢筋混凝土构件可进行配筋计算。

6、可计算结构各节点的位移。

## 二、计算方法：

本程序依据力学上的位移法求解螺旋空间曲杆结构在各种荷载作用下、具有各种支承条件的位移，进而求出各杆段的内力。对于螺旋曲线杆段的单元刚度矩阵则是利用空间矢量悬臂法精确推导出来的，而不是采取直线段去近似逼近。这样不仅保证了计算的准确性，而且提高了使用的灵活性，扩大了程序的适用范围，并使之具有良好的可移植性。

### 1、位移计算

$$\{U\} = [K] \{P\}$$

式中： $\{U\}$ ——各自由度的位移向量。

$[K]$ ——结构的总刚度矩阵，它由各杆单元的单元刚度矩阵 $[K_e]$ 拼装而成。

$[K_e]$ ——单元刚度矩阵，其中螺旋空间曲杆的单元刚度矩阵的推导详见叶学杰的《组合螺旋空间曲杆的计算》一文。

$\{P\}$ ——结构各自由度所承受的荷载向量。

### 2、内力计算

$$\{F\} = [K_e] \{U_e\} + \{F_0\}$$

式中： $\{F\}$ ——杆端内力向量。

$[K_e]$ ——杆单元的刚度矩阵。

(Ue) ——杆端的位移向量。

(Fe) ——跨中荷载作用下的固端反力。

### 3、配筋计算

配筋计算依据钢筋混凝土结构设计规范 G B J 10，按叠加原理对纵向钢筋和箍筋输出空间内力叠加后的配筋。材料选定与计算方法如下：

(1) 材料：混凝土等级任意选定。

纵向钢筋定为 II 级。

横向钢筋定为 I 级。

(2) 钢筋按对称配置，依双向偏心受力计算。

(3) 偏心受压

$$N \leq \frac{I}{\frac{I}{N_{ux}} + \frac{I}{N_{uy}} - \frac{I}{N_{uo}}}$$

式中：N<sub>uo</sub> ——构件的截面轴心受压承载力设计值。

N ——轴向力设计值。

N<sub>ux</sub> ——轴向力作用于 X 轴，并考虑相应的计算偏心距后，按全部纵向钢筋计算的构件偏心受压承载力设计值。

N<sub>uy</sub> ——轴向力作用于 Y 轴，并考虑相应的计算偏心距后，按全部纵向钢筋计算的构件偏心受压承载力设计值。

(4) 偏心受拉

$$N \leq \frac{I}{\frac{I}{N_{uo}} + \frac{E_o}{M_u}}$$

式中：N<sub>uo</sub> ——轴向受拉时的承载力设计值。

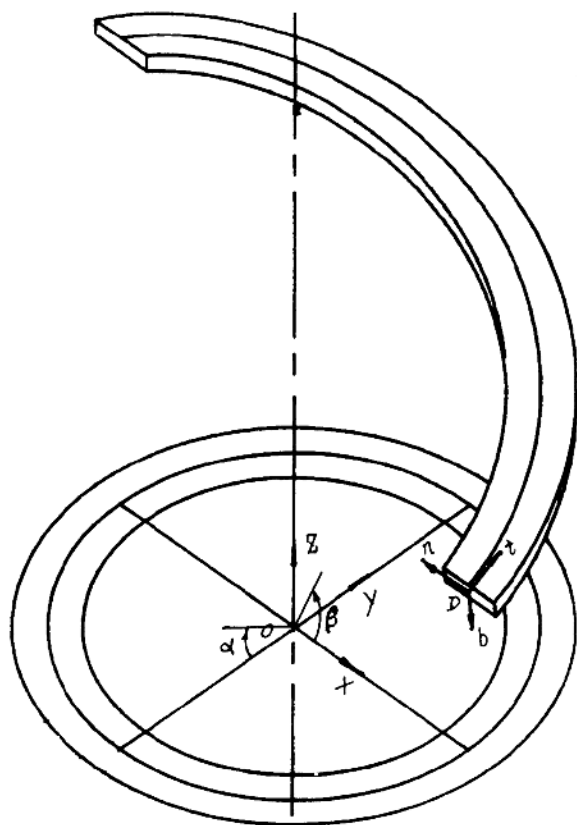
M<sub>u</sub> ——按轴向力作用下的弯矩平面计算的正截面受弯承载力设计值。

E<sub>o</sub> ——偏心受拉时轴向力的偏心距。

N ——偏心受拉时轴向力设计值。

### 三、坐标系

采用两个坐标系，即总体坐标系 O—XYZ 与杆件坐标系 D—TBN。如图



#### 四、输入数据填写说明

##### 1、控制信息 $N, M$

$N$  —— 节点数。

$M$  —— 杆件数。

##### 2、坐标信息 $X(1:N), Y(1:N), Z(1:N)$

$X(1:N)$  —— 各节点的X坐标(米)。

$Y(1:N)$  —— 各节点的Y坐标(米)。

$Z(1:N)$  —— 各节点的Z坐标(米)。

上述的坐标是相对于总体坐标系而定的，该总体坐标系的Z轴方向必须垂直向上，X轴、Y轴在水平面内，其它由用户依据右手坐标系法则任意选取。

##### 3、杆件信息及旋转半径 $LB(1:M, 1:2), R(1:M)$

LB (1: N, 1: 2) —— 各杆件的始末端节点号, 对于螺旋曲杆, 始末端节点号的顺序必须按沿弧长逆时针方向填写。

R (1: M) —— 各杆件的旋转半径 (米)。

注: 对于螺旋曲杆, 其杆长为优弧时, 半径冠以负号。

对于直线段, 其半径填 1000。

4、杆截面类型数与混凝土等级 NBW, EB

NBW —— 杆截面类型数

EB —— 混凝土等级号, 如 C20 就填 20。

5、杆截面信息 BH (1: NBW, 1: 7), LBW (1: M)

BH (1: NBW, 1: 7) —— 各类型杆的类型特征号及相应尺寸 (米)。

各类型杆件的 BH 数组填写方法为先填写类型特征号, 随着填写相应个数的尺寸数据, 具体填法如下:

| 类型特征号     | 尺寸                                                               |
|-----------|------------------------------------------------------------------|
| 0 (矩形)    | B (宽), H (高)。                                                    |
| 1 (倒 T 形) | B (腹板宽), Bi (下翼缘宽),<br>H (高), Hi (下翼缘厚)。                         |
| 2 (T 形)   | Bi (上翼缘宽), B (腹板宽),<br>H (高), Hi (上翼缘厚)。                         |
| 3 (工字形)   | B1 (上翼缘宽), B (腹板宽),<br>B2 (下翼缘宽), H (高),<br>H1 (上翼缘厚), H2 (下翼缘厚) |

)。

- 1 (任意形状) 截面积 S, 抗扭惯性矩 X J, 绕垂直中和轴的惯性矩 Z J1, 绕水平中和轴的惯性矩 Z J2。

以上长度单位为米, 面积单位为平方米, 惯性矩单位为米的四次方。

LBW (1: M) —— 各杆的截面类型号 (即该杆的截面类型号与尺寸在 BH 数组中的行号)。

6、视图角度  $\alpha, \beta$

$\alpha$  —— 水平方向视角 ( $^{\circ}$ )

LB (1: N, 1: 2) —— 各杆件的始末端节点号, 对于螺旋曲杆, 始末端节点号的顺序必须按沿弧长逆时针方向填写。

R (1: M) —— 各杆件的旋转半径 (米)。

注: 对于螺旋曲杆, 其杆长为优弧时, 半径冠以负号。

对于直线段, 其半径填 1 0 0 0。

4、杆截面类型数与混凝土等级 NBW, EB

NBW —— 杆截面类型数

EB —— 混凝土等级号, 如 C 2 0 就填 2 0。

5、杆截面信息 BH (1: NBW, 1: 7), IBW (1: M)

BH (1: NBW, 1: 7) —— 各类型杆的类型特征号及相应尺寸 (米)。

各类型杆件的 BH 数组填写方法为先填写类型特征号, 随着填写相应个数的尺寸数据, 具体填法如下:

| 类型特征号      | 尺 寸                                                               |
|------------|-------------------------------------------------------------------|
| 0 (矩 形)    | B (宽), H (高)。                                                     |
| 1 (倒 T 形)  | B (腹板宽), Bi (下翼缘宽),<br>H (高), Hi (下翼缘厚)。                          |
| 2 (T 形)    | Bi (上翼缘宽), B (腹板宽),<br>H (高), Hi (上翼缘厚)。                          |
| 3 (工 字 形)  | B1 (上翼缘宽), B (腹板宽),<br>B2 (下翼缘宽), H (高),<br>H1 (上翼缘厚), H2 (下翼缘厚)。 |
| - 1 (任意形状) | 截面积 S, 抗扭惯性矩 XJ, 绕垂直中和轴的<br>惯性矩 ZJ1, 绕水平中和轴的惯性矩 ZJ2。              |

以上长度单位为米, 面积单位为平方米, 惯性矩单位为米的四次方。

IBW (1: M) —— 各杆的截面类型号 (即该杆的截面类型号与尺寸在 BH 数组中的行号)。

6、视图角度  $\alpha, \beta$

$\alpha$  —— 水平方向视角 (°)

$\beta$  —— 垂直方向视角 ( $^{\circ}$ )

7、节点约束信息 IYS, YSXX (1: IYS, 1: 7)

IYS —— 约束节点数

YSXX (1: IYS, 1: 7) —— 约束节点号及约束条件, 按每一个约束节点顺序填写如下:

节点号, X向线位移约束条件, Y向线位移约束条件, Z向线位移约束条件, X向转角约束条件, Y向转角约束条件, Z向转角约束条件。(约束条件规定为: 固接时填1, 铰接时填0, 弹性支承时填相应方向的支承弹性刚度)。

8、节点荷载信息 NEO (1: 11), NUM0 (1: 6, 1: 12)

NEO (1: 11) —— 按节点号顺序填写具有相同荷载作用的连续节点数, 节点不能遗漏或者重复。无荷载作用的在节点数后加填两个0, 连续相同荷载作用的节点数不应超过99个, 否则应分成几部分填, 每部分不超过99个节点。11为连续相同荷载作用的节点组数。

NUM0 (1: 6, 1: 12) —— 相应于NEO (1: 11) 中每个数据填写的一组荷载数据, 对于NEO中大于99的数据, 意味着相应的节点无荷载作用, 就不填其荷载数据。填写的每一组荷载数据依次为X向集中力、Y向集中力、Z向集中力、X向力矩、Y向力矩、Z向力矩六个数据, 没有的应该填0。集中力的单位为千牛、力矩的单位为千牛·米。12为连续相同荷载作用并且荷载不等于零的节点组数。

9、跨中的荷载信息 NEO (1: 11), NE1 (1: 12), NUM (1: 12, 1: 3)

NEO (1: 11) —— 按杆件号顺序填写的具有相同跨中荷载作用的连续杆件数, 杆号不能遗漏或者重复, 相同荷载作用的连续杆件数不能超过99个, 否则应分成几部分填写, 每部分都不超过99个。无跨中荷载作用的连续杆件数后加填两个0。11为连续相同荷载作用的杆件组数。

NE1 (1: 12) —— 对应于NEO (1: 11) 中的每个数据的杆件跨中荷载个数, 无跨中荷载作用的跳过不填, 不必写0。12为连续相同荷载作用并且荷载不等于零的杆件组数。

NUM (1: 12, 1: 3) —— 依照NE1 (1: 12) 数组中每个

数据指示的荷载顺序填写相应的跨中荷载的类型号及荷载大小、作用距离等荷载数据。

13为NE1数组指示的荷载总个数。具体填法如下：

| 类型号        | 大 小                   | 作用距离 |
|------------|-----------------------|------|
| 3 (均布垂直荷载) | 单位水平投影弧长的强度<br>(千牛·米) | U    |
| 4 (均布轴向扭矩) | 单位水平投影弧长的强度           | U    |

注：荷载大小应为荷载效应组合的设计值。

## 五、程序的运行

1、先在硬盘中建立STR子目录，将软盘中的程序文件考入该目录下，为了显示简图，可在CAD子目录下装入AUTOCAD程序。

2、按上面输入数据填写说明的要求，准备好所算题的数据文件。

3、进入STR子目录，在A软盘驱动器插入钥匙盘，敲入STAR90命令，即开始运行程序。

4、按照屏幕菜单选择相应的项目运行。

5、当选择分析计算项目时，程序将要求回答相应的初始数据文件名，计算结果存于STAR90.OUT文件中。

## 六、输出结果

1、输出经过整理、展开的初始输据及部分中间结果。

2、逐杆输出计算结果。

(1)、内力：每杆分11个截面输出

$N_i$  --- 轴向力 (KN)

$Q_b$  --- 垂直剪力 (KN)

$Q_n$  --- 侧向水平剪力 (KN)

$M_t$  --- 扭矩 (KN·M)

$M_b$  --- 垂直向弯矩 (KN·M)

$M_n$  --- 侧向水平弯矩 (KN·M)

(2)、杆端位移

$U_t$  --- 轴向位移 (CM)

- $U_b$  --- 垂直向位移 (CM)  
 $U_n$  --- 侧向水平位移 (CM)  
 $\Theta_t$  --- 扭角 ( $^{\circ}$ )  
 $\Theta_b$  --- 垂直向转角 ( $^{\circ}$ )  
 $\Theta_n$  --- 侧向水平转角 ( $^{\circ}$ )

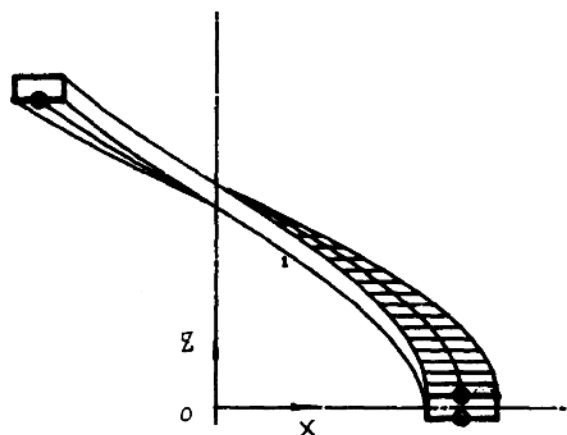
以上内力与位移方向均是相对于杆件坐标系确定的

(3)、配筋 (每个杆件分 11 个截面输出)

- $A_{gx}$  --- 截面上下每边的纵向钢筋面积 (MM<sup>2</sup>)  
 $A_{gy}$  --- 截面左右每侧边的纵向钢筋面积 (MM<sup>2</sup>)  
 $A_{gk}$  --- 截面箍筋面积 (MM<sup>2</sup>/M)  
 $S_{ag}$  --- 纵向钢筋的总面积下限 (MM<sup>2</sup>)

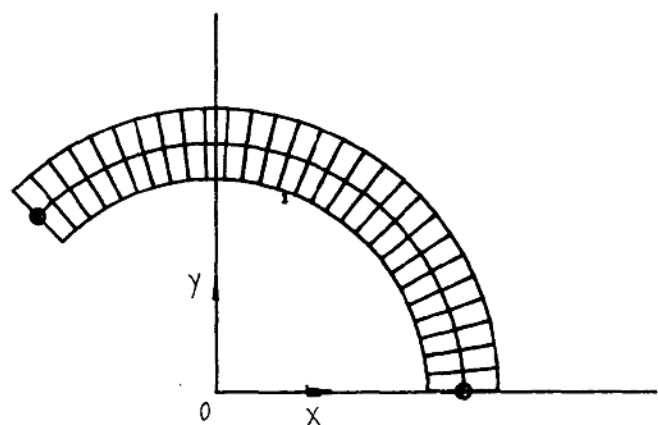
七、例题

1、一钢筋混凝土旋转楼梯，截面宽为 1 米，高为 0.32 米，圆弧半径为 3.5 米，层高为 4.48 米，承受的均布垂直荷载为 48.72 KN/M，楼梯上下两端固接，水平转角为 180 $^{\circ}$ ，混凝土等级为 C20。



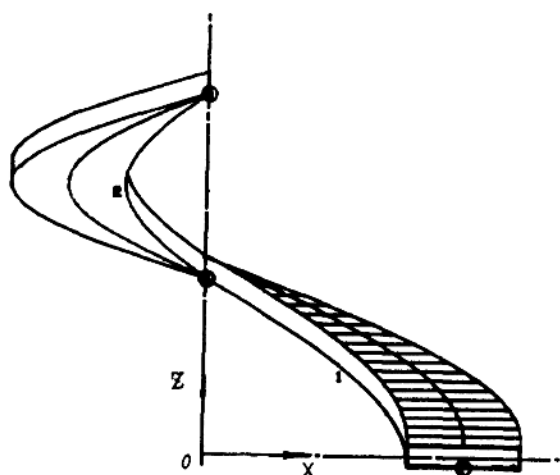
输入数据为：

- (1) 2, 1  
 (2) 3.5  
     - 2.47  
     0, 2.47  
     0, 4.48  
 (3) 1, 2  
     3.5  
 (4) 1, 20  
 (5) 0, 1  
     0.32  
     1  
 (6) 0, 0

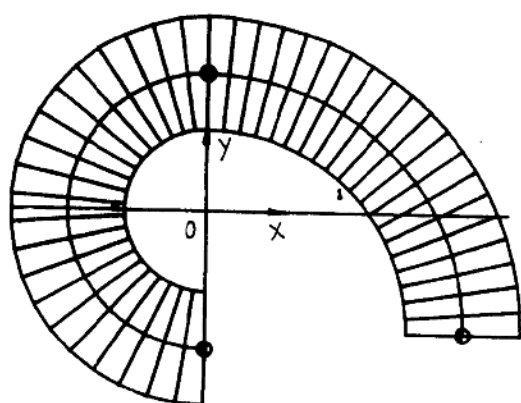


- (7) 2  
1, 1, 1, 1  
1, 1, 1  
2, 1, 1, 1  
1, 1, 1  
(8) 2 0 0  
(9) 1  
1  
3, 48.72  
0

2、由两个不同半径的圆弧段组成的钢筋混凝土旋转楼梯， $D_1=3.65$ 米， $D_2=1.95$ 米，第一段圆弧爬升到2.6米高度处，第二段圆弧接着爬升到5.2米高度处，第一段圆弧的水平转角为 $90^\circ$ ，第二段圆弧的水平转角为 $180^\circ$ ，两段圆弧旋转的方向相同，楼梯的截面宽为1.6米，高为0.3米，两端固接，承受的垂直均布荷载为 $40\text{ kN}\cdot\text{m}$ 。



- 输入数据为  
(1) 3, 2  
(2) 3.65, 0  
0  
0, 3.65  
-0.25  
0, 2.6  
5.2  
(3) 1, 2  
2, 3  
3.65  
1.95  
(4) 1, 2 0



(5) 0, 1.8

0.3

1, 1

(6) 0, 0

(7) 2

1, 1, 1, 1

1, 1, 1

3, 1, 1, 1

1, 1, 1

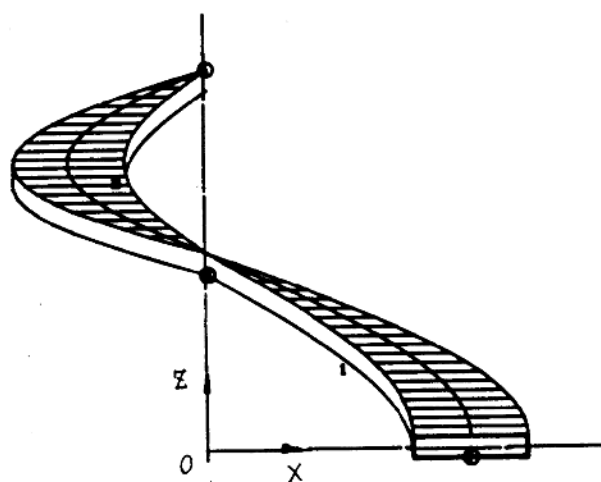
(8) 3 0 0

(9) 2

1

3, 4 0, 0

3、例题2中，将第二段圆弧的旋转方向改为与第一段圆弧的旋转方向相反，其它的条件与例题2相同。



输入数据为

(1) 3, 2

(2) 3.65, 0, 0

0, 3.65

7.55

0, 2.6

5.2

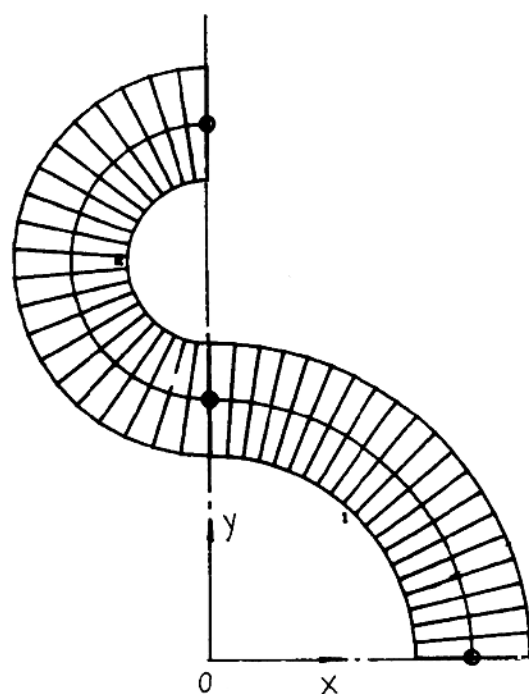
(3) 1, 2

3, 2

3.65

1.95

(4) 1, 2 0



(5) 0, 1, 6

0, 3

1, 1

(6) 0, 0

(7) 2

1, 1, 1, 1

1, 1, 1

3, 1, 1, 1

1, 1, 1

(8) 3 0 0

(9) 2

1

3, 4 0, 0