

续表

节点编号	D_x	D_y
34	- 2.268 4	- 4.382 9
35	- 1.363 5	- 4.476 9
36	- 0.454 89	- 4.524
37	0.454 89	- 4.524
38	1.363 5	- 4.476 9
39	2.268 4	- 4.382 9
40	3.167 2	- 4.242 1
41	4.057 5	- 4.055
42	- 6.183 1	- 2.906 9
43	- 5.632 1	- 3.462 5
44	5.632 3	- 3.462 7
45	6.183 4	- 2.907 1

在提取完节点位置信息之后, 通过以下方法来计算节点荷载。

衬砌结构承受主动垂直线性荷载和水平线性荷载, 计算时将其转换为节点荷载。假设单元 ij 承受如图 1-10 所示的荷载作用, 则节点 i 和节点 j 的等效节点荷载可分别由如下荷载阵列求出:

$$\{F_i\} = \begin{Bmatrix} F_{xi} \\ F_{yi} \\ M_i \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -\frac{7e_1 + 3e_2}{20} |y_j - y_i| \\ -\frac{7q_1 + 3q_2}{20} |x_j - x_i| \\ \frac{1}{60} (y_j - y_i)^2 (3e_1 + 2e_2) - \frac{1}{60} (x_j - x_i)^2 (3q_1 + 2q_2) \end{Bmatrix} \quad (1)$$

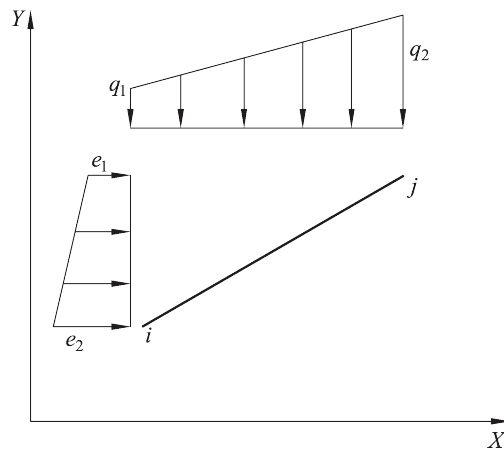


图 1-10 单元 ij 受力图示

$$\{F_j\} = \begin{Bmatrix} F_{xj} \\ F_{yj} \\ M_j \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -\frac{3e_1 + 7e_2}{20} |y_j - y_i| \\ -\frac{3q_1 + 7q_2}{20} |x_j - x_i| \\ \frac{1}{60} (y_j - y_i)^2 (2e_1 + 3e_2) - \frac{1}{60} (x_j - x_i)^2 (2q_1 + 3q_2) \end{Bmatrix} \quad (2)$$

节点荷载计算结果如表 1-4 所示。

表 1-4 节点荷载

节点编号	F_x	F_y
1	- 27 420.62	0
2	0	- 106 411
3	- 31 346.3	- 6 525.46
4	- 31 875.7	- 7 210.54
5	- 31 820.4	- 8 563.59
6	- 31 181.4	- 22 813.4
7	- 29 970.9	- 36 640.7
8	- 28 211.9	- 49 794.4
9	- 25 935.7	- 62 040.4
10	- 23 183.4	- 73 150.2
11	- 20 008	- 82 918.4
12	- 16 466.1	- 91 168
13	- 12 619.3	- 97 744.8
14	- 8 543.04	- 102 522
15	- 4 310.91	- 105 433
16	27 420.62	0
17	4 310.911	- 105 433
18	8 543.037	- 102 522
19	12 619.31	- 97 744.8
20	16 466.07	- 91 168
21	20 007.97	- 82 918.4
22	23 183.35	- 73 150.2
23	25 935.69	- 62 040.4
24	28 211.89	- 49 794.4
25	29 970.85	- 36 640.7
26	31 181.4	- 22 813.4
27	31 820.42	- 8 563.59

续表

节点编号	F_x	F_y
28	31 875.74	- 7 210.54
29	31 346.34	- 6 525.46
42	21 468.92	0
43	19 031.72	0
44	- 19 031.7	0
45	- 21 468.9	0

施加节点荷载的命令格式如下：

F, 2, Fy, - 106 411.169 34 ! 施加竖向的节点荷载

F, 17, Fy, - 105 434.920 08

F, 17, Fx, 4 310.911 206 000 01 ! 施加水平的节点荷载

F, 18, Fx, 8 543.037 384

施加节点荷载后的模型结果如图 1-11 所示。

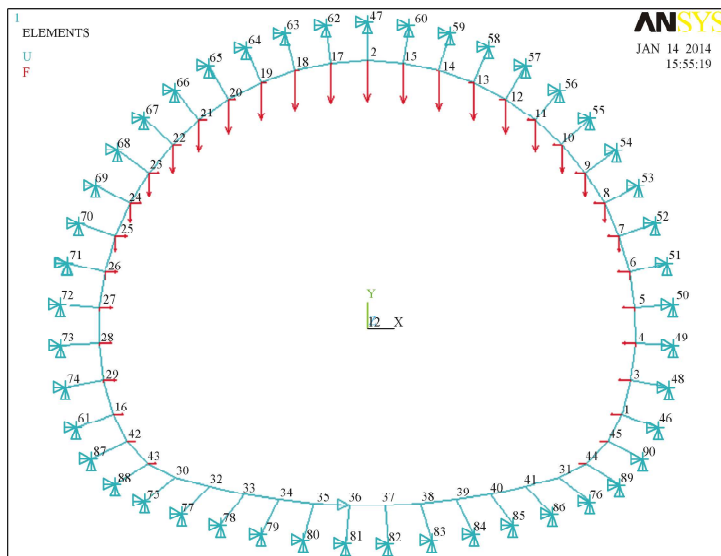


图 1-11 施加节点荷载

(3) 施加重力。

施加重力的命令如下：

/solu ! 进入 solution 功能

acel, , 9.8 ! 施加重力

6. 求解

/solu

antype, 0 ! 指定分析类型为静态分析

solve ! 求解

输入上述命令开始求解，直到出现“Solution is done”提示栏，如图 1-12 所示，表示求解结束。



图 1-12 求解结束提示栏

1.1.5 计算结果分析

1. 计算分析修改模型

(1) 查看二衬结构变形图，命令如下：

```
/post1          ! 进入后处理器  
pldisp, 1      ! 重叠显示结构变形前后的形状
```

显示结果如图 1-13 所示。

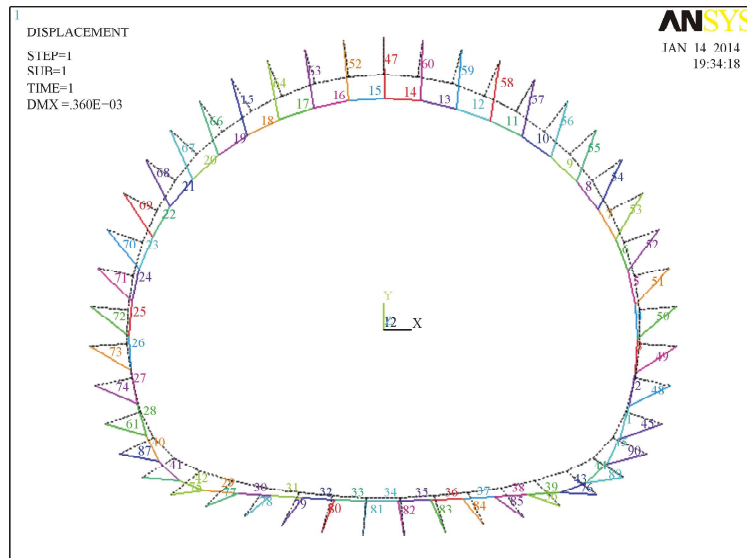


图 1-13 初次分析计算二衬结构变形图

从图 1-13 中可以看出，47、62、63、64、60、59、58 等弹簧单元是受拉的，但用来模拟隧道结构与围岩相互作用的地层弹簧只能承受压力，故必须去掉这些弹簧再重新计算，直到结构变形图中没有受拉弹簧为止。

(2) 删除受拉弹簧单元。

通过下列命令删除弹簧单元 47、62、63、64、65、66、60、59、58、57、56。

```
/prep7          ! 进入前处理器
```

edele, 56, 60, 1 ! 删除单元

edele, 62, 66, 1

edele, 47

通过下列命令删除弹簧单元外端的节点:

/prep7 ! 进入前处理器

ndelete, 56, 60, 1 ! 删除节点

ndelete, 62, 66, 1

ndelete, 47

(3) 第 2 次求解。

执行 1.2.4 节中第 6 步的求解命令再次求解。

(4) 查看第 2 次求解的结果变形图, 图中显示第 2 次计算仍有受拉弹簧。

(5) 再次去掉受拉弹簧, 重复上述第 (2) ~ (4) 步, 直到分析计算二衬结构变形图中没有受拉弹簧为止。

经过反复计算得到没有受拉弹簧时结构的模型, 如图 1-14 所示, 其对应的分析计算二衬结构变形图如图 1-15 所示。

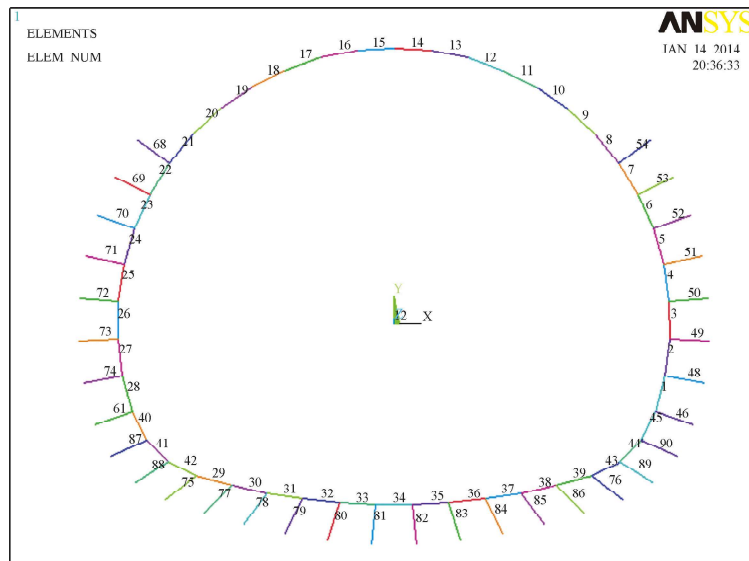


图 1-14 没有受拉弹簧时的二衬结构计算模型

2. 画出主要图形

通过下列命令来制定弯矩、轴力、剪力单元表。

/post1 ! 进入后处理器

ETABLE, NI, SMISC, 1 ! 制定轴力单元表

ETABLE, NJ, SMISC, 7

ETABLE, MI, SMISC, 6 ! 制定弯矩单元表

ETABLE, MJ, SMISC, 12

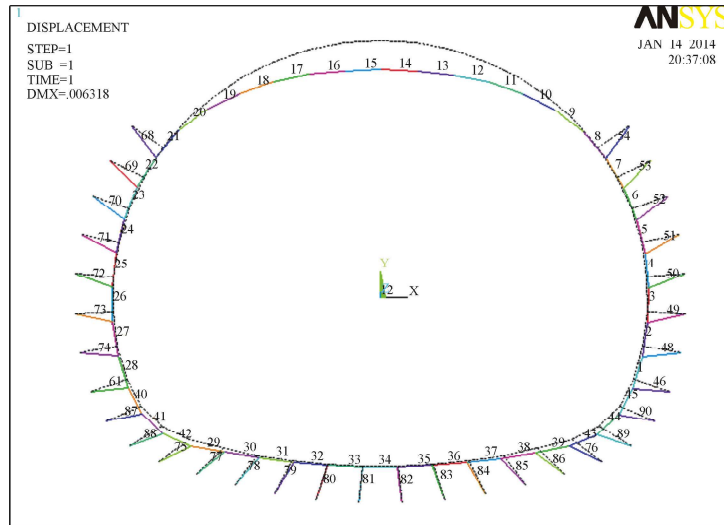


图 1-15 最终的二衬结构变形图

ETABLE, QI, SMISC, 2 ! 制定剪力单元表

ETABLE, QJ, SMISC, 8

制定好的单元表如图 1-16 所示。

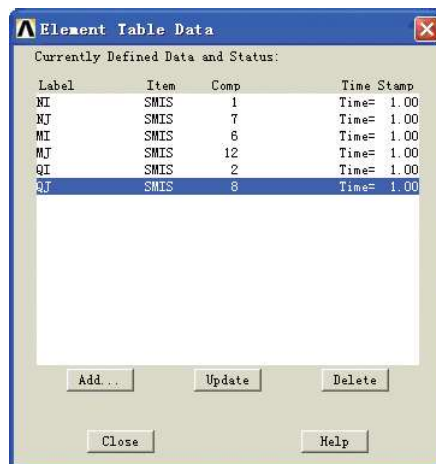


图 1-16 弯矩、轴力、剪力单元表

制定好单元表之后,可以通过下列命令来显示弯矩、轴力、剪力图。

(1) 显示弯矩图。

输入如下命令可得到二衬弯矩图:

/post1 ! 进入后处理器

PLLS, MI, MJ, -1, 0 ! 显示弯矩图

esel, s, type, , 1 ! 仅显示衬砌单元

弯矩图如图 1-17 所示。

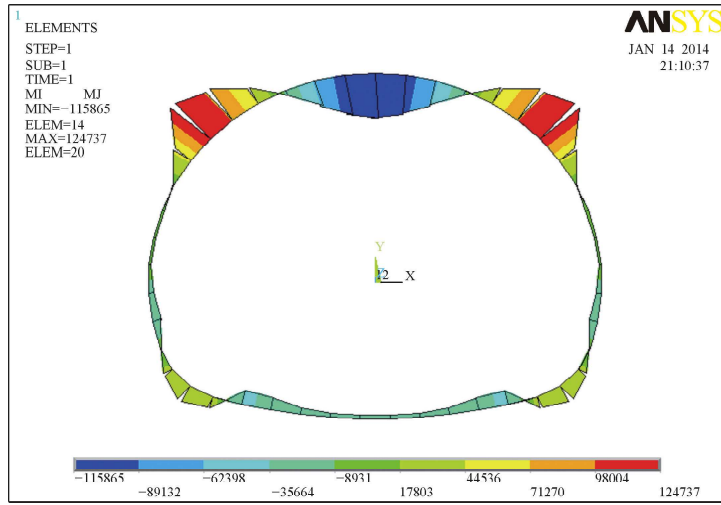


图 1-17 二衬弯矩图 (单位: $N \cdot m$)

(2) 显示轴力图。

输入如下命令可得到二衬轴力图:

PLLS, NI, NJ, 1, 0

! 显示轴力图

轴力图如图 1-18 所示。

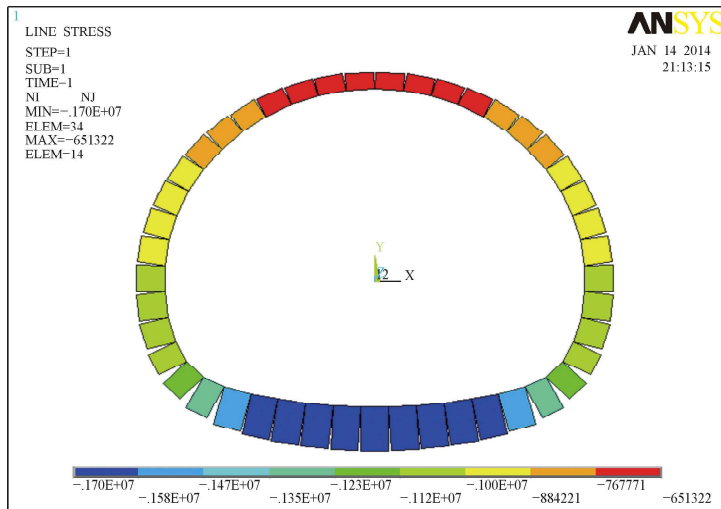


图 1-18 二衬轴力图 (单位: N)

(3) 显示剪力图。

输入如下命令可得到二衬剪力图:

PLLS, QI, QJ, 1, 0

! 显示剪力图

二衬剪力图如图 1-19 所示。