

# 超声变幅杆设计用表的计算机编制(II)

阮世勋

(广西大学)

1982年5月25日收到

本文用类似第(I)部分的方法<sup>[1]</sup>,编制了含指数型、圆锥型、悬链线型过渡段的阶梯型复合变幅杆的设计用表。表列了公式和方程的变换结果、概述了表格数据所反映的各种复合杆尺寸及性能参数的变化趋势,最后对设计用表举了应用例。

含过渡段的阶梯型复合变幅杆,既在不同程度上保留了阶梯型杆的放大系数较大的优点,又较之有较大的形状因数,在某些场合使用是适宜的<sup>[2]</sup>。用类似第(I)部分的方法,我们对两段圆柱等长的含指数型、圆锥型和悬链线型过渡段的半波长空载变幅杆(以下分别简称为第一、二、三种复合杆),将其计算公式和方程变换整理成表1所示,并计算编制了  $KL_1 = KL_2 = 0.1\pi + 0.025\pi \times n$  ( $n = 0, 1, 2, \dots, 12, 14$ ),  $N = 1.1 - 10$ ,  $dN = 0.1$  时这三种复合杆的过渡段的  $H$ 、 $G$ 、 $E$  值,和各复合杆的性能参数。

## 一、计算结果概述

程序经运算后,对应于每个  $KL_1$  值输出一组数据表格,每组有如表2及表3.1—3.3所示的四个表格。

下面是这几组表格内数据所反映的一些情况:

### 1. 满足限制条件的情况

第一、三种复合杆在一些  $KL_1$  值只在一定  $N$  值内满足  $f > \frac{\beta c}{2\pi}$  或  $f > \frac{\gamma c}{2\pi}$  的限制条件,如表4所示。

### 2. 过渡段长度系数 $H$

$KL_1$  一定时,三种复合杆的过渡段的  $H$  值随  $N$  的变化规律和它们之间的对比关系与第(I)部分所述各相应简单型变幅杆相类似。

应用声学

### 3. 位移节点长度系数 $G$

$KL_1$  一定时,第一、三种复合杆的  $G$  值随着  $N$  的增大而减小。第二种复合杆的  $G$  值先是随着  $N$  的增大而减小,到一定  $N$  值后反而随着  $N$  的增大而增大。 $KL_1$  和  $N$  都相同时  $G_2 > G_1 > G_3$ 。

### 4. 放大系数 $M$

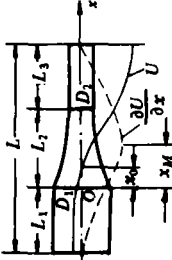
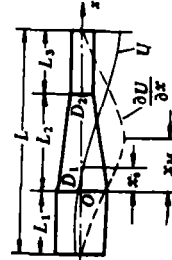
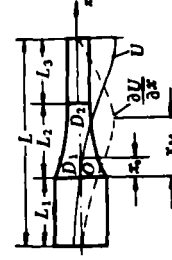
$KL_1$  一定时,第一、三种复合杆放大系数均随  $N$  的增大而增大。但这两种复合杆在某些  $KL_1$  值时,到一定直径比其过渡段就不能满足限制条件,满足限制条件的最大  $N$  值时的  $M$  值就是该  $KL_1$  值所能得到的最大放大系数。

第二种复合杆在  $KL_1 \leq 0.175\pi$  和  $KL_1 \geq 0.4\pi$  时,  $M$  随着  $N$  的增大而增大。在  $0.2\pi \leq KL_1 \leq 0.375\pi$  范围内,其放大系数先是随着  $N$  的增大而增大,但增大速度越来越慢,到一定  $N$  值后  $M$  反而随  $N$  的增大而变小,最大  $M$  值不在  $N = 10$  处,如表5所示。图1.1显示在  $N = 10$  范围内各种  $KL_1$  值的三种复合杆所能达到的最大  $M$  值。图1.2是  $KL_1 = 0.2\pi$  时三种复合杆  $M$  与  $N$  的关系曲线,图1.3是  $N = 2.5$  时  $M$  与  $KL_1$  的关系曲线。 $N$  和  $KL_1$  均相同时  $M_3 > M_1 > M_2$ 。

### 5. 形状因数 $\varphi$

$KL_1$  一定时,第三种复合杆的  $\varphi$  值随着  $N$  的增大而增大,第一、二种复合杆的  $\varphi$  值,随  $N$  的增大而增大到一定值后,固定于一个恒值不变。图2.2是  $KL_1 = 0.2\pi$  的情况。

表1 合指数型、圆锥型、悬链线型过渡段的(等圆柱阶梯半波长)复合变幅杆的计算式

| 过渡段类型                 | 指数型                                                                                                                   | 圆锥型                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 悬链线型                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 图示                    |                                    |                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 过渡段截面与x坐标和其它参数的关系     | $D = D_1 e^{-\beta x}$ $\beta = \ln N / L_2, K_1 = \sqrt{K^2 - \beta^2}$                                              | $N = D_1 / D_2$ $D = D_1 (1 - \alpha x)$ $\alpha = \frac{N-1}{N} \cdot \frac{1}{L_2}$                                                                                                                                                                                                                                                      | $D = D_2 \operatorname{ch}[\gamma(L_2 - x)]$ $\gamma = \operatorname{ch}^{-1} N / L_2, K_3 = \sqrt{K^2 - \gamma^2}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 频率方程                  | $\operatorname{tg}(K_1 L_2) \cdot \frac{1}{K_1 L_2} \sqrt{(K_1 L_2)^2 + (\ln N)^2} + \operatorname{tg}(2K_1 L_1) = 0$ | $\frac{1}{2} \cdot \frac{(N-1)^2}{N} \cdot \frac{1}{K_1 L_2} + \operatorname{ctg}(K_1 L_2)$ $\pm \sqrt{\operatorname{ctg}^2(K_1 L_2) + 1 + \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{N^2-1}{N} \cdot \frac{1}{K_1 L_2}\right)^2}$ $- \operatorname{tg}(K_1 L_1) = 0$ <p>(<math>K_1 L_2 \leq \pi</math> 根号前用正号, <math>K_1 L_2 &gt; \pi</math> 用负号.)</p> | $\frac{1}{2} \cdot \frac{\operatorname{th}(\operatorname{ch}^{-1} N)}{\sqrt{1 + \left(\frac{K_3 L_2}{\operatorname{ch}^{-1} N}\right)^2}} - \operatorname{tg}(K_3 L_2) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{\operatorname{ch}^{-1} N}{K_3 L_2}\right)^2}$ $- \sqrt{\frac{\operatorname{th}^2(\operatorname{ch}^{-1} N)}{1 + \left(\frac{K_3 L_2}{\operatorname{ch}^{-1} N}\right)^2} \cdot \frac{1}{4} + \frac{\operatorname{ctg}^2(K_3 L_2)}{1 + \left(\frac{\operatorname{ch}^{-1} N}{K_3 L_2}\right)^2}} + \operatorname{tg}(K_3 L_1) = 0$ |
| 过渡段长度 $L_2$ 及长度系数 $H$ | $H_1 = \frac{1}{\pi} \sqrt{(K_1 L_2)^2 + (\ln N)^2}$                                                                  | $L_2 = H \cdot \frac{1}{2}$ $H_2 = \frac{K_1 L_2}{\pi}$                                                                                                                                                                                                                                                                                    | $H_3 = \frac{1}{\pi} \sqrt{(K_3 L_2)^2 + (\operatorname{ch}^{-1} N)^2}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 放大系数 $M$              | $\operatorname{tg} \alpha_{11} = \frac{\pi H_1}{K_1 L_2} \operatorname{tg}(K_1 L_1) + \frac{\ln N}{K_1 L_2}$          | $\operatorname{tg} \alpha_{11} = \operatorname{tg}(K_1 L_1) + \frac{N-1}{N} \cdot \frac{1}{K_1 L_2}$ <p> <math display="block">a_2 = N[\cos(K' L_2) - \operatorname{tg} \alpha_2 \cdot \sin(K' L_2)]</math> <math display="block">M =  a_2 </math> </p>                                                                                    | $\operatorname{tg} \alpha_{11} = \frac{\pi H_3}{K_3 L_2} \operatorname{tg}(K_3 L_1) + \frac{\operatorname{ch}^{-1} N}{K_3 L_2} \operatorname{th}(\operatorname{ch}^{-1} N)$ <p>(其中 <math>K' L_2</math> 因不同类型过渡段分别为 <math>K_1 L_2, K_1 L_2, K_3 L_2</math>; <math>\alpha_2</math> 分别为 <math>\alpha_{11}, \alpha_{11}, \alpha_{11}</math>)</p>                                                                                                                                                                                         |

|                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                        |                                          |                                                                        |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 位移节点长度<br>$x_0$ 及位移节点<br>长度系数 $G$                            | $x_0 = G \cdot \frac{\lambda}{2}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | $G_1 = \frac{H_1}{K_1 L_1} \left( \frac{\pi}{2} - \alpha_{11} \right)$ | $G_2 = \frac{1}{2} - \frac{a_{12}}{\pi}$ | $G_3 = \frac{H_3}{K_3 L_3} \left( \frac{\pi}{2} - \alpha_{33} \right)$ |
| 应变极大点长<br>度 $x_M$ 、应变<br>极大点长度系<br>数 $E$ 及形状因<br>数 $\varphi$ | <p>若 <math>\operatorname{tg}(K_1 L_1 + \alpha_{11}) &gt; \frac{1}{2} \left( \frac{\ln N}{K_1 L_1} - \frac{K_1 L_1}{\ln N} \right) (*)</math><br/>                     则由超越方程<br/> <math display="block">\operatorname{tg} \left( K_1 L_1 \frac{E_1}{H_1} + \alpha_{11} \right) = \frac{1}{2} \left( \frac{\ln N}{K_1 L_1} - \frac{K_1 L_1}{\ln N} \right)</math><br/>                     解出 <math>E_1</math><br/> <math display="block">\varphi_1 = \left  \frac{2 \ln N}{\pi H_1} \cdot \frac{a_{31}}{a_{11}} \cdot e^{-\ln N \cdot E_1 / H_1} \right </math><br/>                     若 <math>(*)</math> 式不成立, 则<br/> <math>E_1 = H_1</math><br/> <math display="block">\varphi_1 = \frac{1}{\sin(K L_1)}</math> </p> <p>若 <math>\operatorname{tg}(K L_2 + \alpha_{22}) &gt; \frac{N-1}{K L_2} - \frac{1}{2} \cdot \frac{K L_2}{N-1} (**)</math><br/>                     则由超越方程<br/> <math display="block">\operatorname{tg}(\pi E_2 + \alpha_{22}) = \frac{N-1}{N} \cdot \frac{1}{K L_2} \cdot \frac{1}{1 - \frac{N-1}{N} \cdot \frac{E_2}{H_2}}</math><br/> <math display="block">- \frac{1}{2} \cdot \frac{N}{N-1} \cdot K L_2 \left( 1 - \frac{N-1}{N} \cdot \frac{E_2}{H_2} \right)</math><br/>                     解出 <math>E_2</math><br/> <math display="block">\varphi_2 = \left  \frac{2(N-1)}{N} \cdot \frac{1}{K L_2} \cdot \frac{a_{32}}{a_{22}} \right </math><br/>                     若 <math>(**)</math> 式不成立, 则<br/> <math>E_2 = H_2</math><br/> <math display="block">\varphi_2 = \frac{1}{\sin(K L_2)}</math> </p> <p>由超越方程<br/> <math display="block">\operatorname{tg} \left( K_3 L_3 \frac{E_3}{H_3} + \alpha_{33} \right) = \frac{\operatorname{ch}^{-1} N}{K_3 L_3} \operatorname{th} \left[ (\operatorname{ch}^{-1} N) \cdot \left( 1 - \frac{E_3}{H_3} \right) \right] - \frac{1}{2} \left( \frac{\operatorname{ch}^{-1} N}{K_3 L_3} + \frac{K_3 L_3}{\operatorname{ch}^{-1} N} \right)</math><br/>                     解出 <math>E_3</math><br/> <math display="block">\varphi_3 = \left  \frac{2}{N} \cdot \frac{\operatorname{ch}^{-1} N}{\pi H_3} \cdot \frac{a_{33}}{a_{23}} \cdot \operatorname{sh} \left[ (\operatorname{ch}^{-1} N) \left( 1 - \frac{E_3}{H_3} \right) \right] \right </math><br/> <math display="block">\cdot \frac{1}{\cos \left( K_3 L_3 \frac{E_3}{H_3} + \alpha_{33} \right)}</math> </p> |                                                                        |                                          |                                                                        |
| 限制条件                                                         | $c N_1 = \frac{\ln N}{\pi H_1} < 1$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $c N_2 = \frac{\operatorname{ch}^{-1} N}{\pi H_3} < 1$                 |                                          |                                                                        |
| $L_1, L_3$                                                   | $L_1 = L_3 = \frac{K L_1}{\pi} \cdot \frac{\lambda}{2} = \frac{K L_3}{\pi} \cdot \frac{\lambda}{2}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                        |                                          |                                                                        |
| $L$                                                          | $L = \left( H + 2 \cdot \frac{K L_1}{\pi} \right) \cdot \frac{\lambda}{2}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                        |                                          |                                                                        |

表 2 含过渡段的三种阶梯型复合杆参数对比总表

$$KL_1 = KL_2 = 0.225\pi$$

| N    | H <sub>1</sub> | H <sub>2</sub> | H <sub>3</sub> | G <sub>1</sub> | G <sub>2</sub> | G <sub>3</sub> | M <sub>1</sub> | M <sub>2</sub> | M <sub>3</sub> | $\varphi_1$ | $\varphi_2$ | $\varphi_3$ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|
| 1.1  | 0.5509         | 0.5515         | 0.5385         | 0.2656         | 0.2656         | 0.2594         | 1.16           | 1.16           | 1.16           | 1.07        | 1.08        | 1.04        |
| 1.5  | 0.5662         | 0.5772         | 0.5185         | 0.2395         | 0.2441         | 0.2199         | 1.89           | 1.87           | 1.95           | 1.29        | 1.32        | 1.15        |
| 2.0  | 0.5961         | 0.6275         | 0.5216         | 0.2224         | 0.2337         | 0.1961         | 2.93           | 2.82           | 3.19           | 1.43        | 1.51        | 1.22        |
| 2.5  | 0.6281         | 0.6815         | 0.5358         | 0.2126         | 0.2300         | 0.1837         | 4.10           | 3.74           | 4.70           | 1.50        | 1.54        | 1.26        |
| 2.9  | 0.6531         | 0.7232         | 0.5500         | 0.2074         | 0.2289         | 0.1776         | 5.11           | 4.40           | 6.08           | 1.53        | 1.54        | 1.28        |
| 3.0  | 0.6592         | 0.7332         |                | 0.2063         | 0.2287         |                | 5.37           | 4.56           |                | 1.53        | 1.54        |             |
| 3.5  | 0.6884         | 0.7806         |                | 0.2019         | 0.2285         |                | 5.71           | 5.25           |                | 1.54        | 1.54        |             |
| 4.0  | 0.7155         | 0.8232         |                | 0.1987         | 0.2286         |                | 8.12           | 5.81           |                | 1.54        | 1.54        |             |
| 4.5  | 0.7407         | 0.8609         |                | 0.1963         | 0.2290         |                | 9.58           | 6.25           |                | 1.54        | 1.54        |             |
| 5.0  | 0.7641         | 0.8942         |                | 0.1943         | 0.2294         |                | 11.09          | 6.58           |                | 1.54        | 1.54        |             |
| 5.5  | 0.7860         | 0.9233         |                | 0.1927         | 0.2297         |                | 12.65          | 6.83           |                | 1.54        | 1.54        |             |
| 6.0  | 0.8064         | 0.9492         |                | 0.1914         | 0.2301         |                | 14.24          | 7.00           |                | 1.54        | 1.54        |             |
| 6.5  | 0.8257         | 0.9718         |                | 0.1903         | 0.2304         |                | 15.87          | 7.12           |                | 1.54        | 1.54        |             |
| 7.0  | 0.8438         | 0.9917         |                | 0.1894         | 0.2307         |                | 17.53          | 7.20           |                | 1.54        | 1.54        |             |
| 7.5  | 0.8608         | 1.0093         |                | 0.1886         | 0.2310         |                | 19.23          | 7.25           |                | 1.54        | 1.54        |             |
| 8.0  | 0.8770         | 1.0248         |                | 0.1879         | 0.2312         |                | 20.95          | 7.27           |                | 1.54        | 1.54        |             |
| 8.5  | 0.8924         | 1.0386         |                | 0.1872         | 0.2314         |                | 22.69          | 7.28           |                | 1.54        | 1.54        |             |
| 9.0  | 0.9071         | 1.0509         |                | 0.1867         | 0.2315         |                | 24.46          | 7.27           |                | 1.54        | 1.54        |             |
| 9.5  | 0.9210         | 1.0619         |                | 0.1862         | 0.2317         |                | 26.25          | 7.26           |                | 1.54        | 1.54        |             |
| 10.0 | 0.9344         | 1.0718         |                | 0.1857         | 0.2318         |                | 28.07          | 7.24           |                | 1.54        | 1.54        |             |

表 3.1 含指数型过渡段的阶梯型复合杆参数表

$$KL_1 = KL_2 = 0.250\pi$$

| N    | $K_1 L_1$ | H <sub>1</sub> | G <sub>1</sub> | M <sub>1</sub> | E <sub>1</sub> | $\varphi_1$ | CN <sub>1</sub> |
|------|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------|-----------------|
| 1.1  | 1.570802  | 0.500921       | 0.240798       | 1.16877        | 0.27945        | 1.07622     | 0.06056         |
| 1.2  | 1.570802  | 0.503359       | 0.233165       | 1.34734        | 0.30723        | 1.14135     | 0.11530         |
|      | ⋮         | ⋮              | ⋮              | ⋮              | ⋮              | ⋮           | ⋮               |
| 2.3  | 1.570804  | 0.565944       | 0.195142       | 3.82289        | 0.54646        | 1.41151     | 0.46846         |
| 2.4  | 1.570804  | 0.572415       | 0.193563       | 4.08519        | 0.56414        | 1.41374     | 0.48683         |
|      | ⋮         | ⋮              | ⋮              | ⋮              | ⋮              | ⋮           | ⋮               |
| 9.9  | 1.570807  | 0.884601       | 0.169146       | 31.96366       | 0.88460        | 1.41422     | 0.82493         |
| 10.0 | 1.570807  | 0.887242       | 0.169076       | 32.40332       | 0.88724        | 1.41422     | 0.82608         |

表 3.2 含圆锥型过渡段的阶梯型复合杆参数表

$$KL_1 = KL_2 = 0.250\pi$$

| N    | $K_1 L_1$ | H <sub>2</sub> | G <sub>2</sub> | M <sub>2</sub> | E <sub>2</sub> | $\varphi_2$ |
|------|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------|
| 1.1  | 1.575532  | 0.501507       | 0.241077       | 1.16866        | 0.27987        | 1.07774     |
| 1.2  | 1.588086  | 0.505503       | 0.234144       | 1.34648        | 0.30920        | 1.14797     |
|      | ⋮         | ⋮              | ⋮              | ⋮              | ⋮              | ⋮           |
| 2.5  | 1.985785  | 0.632095       | 0.208461       | 3.98699        | 0.63209        | 1.41422     |
| 2.6  | 2.019831  | 0.642932       | 0.208164       | 4.18451        | 0.64293        | 1.41422     |
|      | ⋮         | ⋮              | ⋮              | ⋮              | ⋮              | ⋮           |
| 9.9  | 3.278942  | 1.043720       | 0.211810       | 8.07966        | 1.04372        | 1.41422     |
| 10.0 | 3.285345  | 1.045758       | 0.211838       | 8.07185        | 1.04576        | 1.41422     |

表 3.3 含悬链线型过渡段的阶梯型复合杆参数表

$$KL_1 = KL_2 = 0.250\pi$$

| N                                          | $K_3L_3$ | $H_3$    | $G_3$    | $M_3$   | $E_3$   | $\varphi_3$ | $CN_3$  |
|--------------------------------------------|----------|----------|----------|---------|---------|-------------|---------|
| 1.1                                        | 1.470812 | 0.489001 | 0.235112 | 1.17090 | 0.27107 | 1.04108     | 0.28874 |
| 1.2                                        | 1.377644 | 0.481189 | 0.223055 | 1.35602 | 0.28784 | 1.07467     | 0.41170 |
|                                            | ⋮        | ⋮        | ⋮        | ⋮       | ⋮       | ⋮           | ⋮       |
| 2.2                                        | 0.482155 | 0.478978 | 0.170935 | 3.92072 | 0.37734 | 1.21720     | 0.94728 |
| 2.3                                        | 0.340195 | 0.481847 | 0.168737 | 4.24326 | 0.38350 | 1.22286     | 0.97442 |
| 2.4                                        | 0.063103 | 0.484909 | 0.166779 | 4.57704 | 0.38945 | 1.22787     | 0.99914 |
| (以下不满足 $f > \frac{rc}{2\pi}$ 的限制条件、频率方程无解) |          |          |          |         |         |             |         |

表 4 第一、三种复合杆满足限制条件的情况

| $KL_1 (=KL_2)$ | 能满足限制条件的直径比 N |        |
|----------------|---------------|--------|
|                | 第一种复合杆        | 第三种复合杆 |
| 0.15 $\pi$     |               | 7.0    |
| 0.175 $\pi$    |               | 4.8    |
| 0.2 $\pi$      |               | 3.6    |
| 0.225 $\pi$    |               | 2.9    |
| 0.25 $\pi$     |               | 2.4    |
| 0.275 $\pi$    |               | 2.0    |
| 0.3 $\pi$      |               | 1.7    |
| 0.325 $\pi$    | 7.1           | 1.5    |
| 0.35 $\pi$     | 3.9           | 1.4    |
| 0.375 $\pi$    | 2.7           | 1.2    |
| 0.4 $\pi$      | 2.0           | 1.1    |
| 0.45 $\pi$     | 1.3           | 1.0    |

注: 未列的  $KL_1 = 0.1\pi, 0.125\pi$  和表中未填者在  $N=10$  范围内均可满足限制条件。

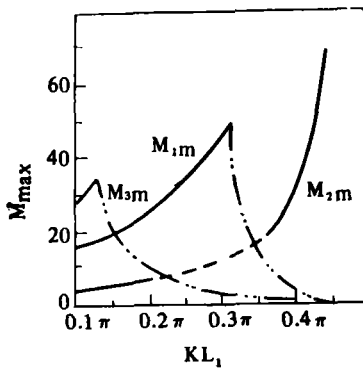


图 1.1

——最大M值在  $N=10$   
 ----最大M值不在  $N=10$   
 .....因  $N=10$  不满足限定  
 条件,最大M值不在  $N=10$

N一定时,第三种复合杆  $\varphi$  值随  $KL_1$  的增

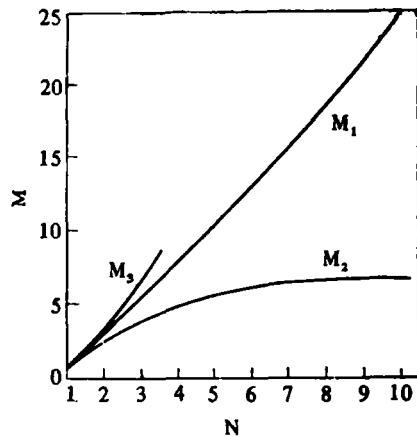


图 1.2

( $KL_1 = KL_2 = 0.200\pi$ )

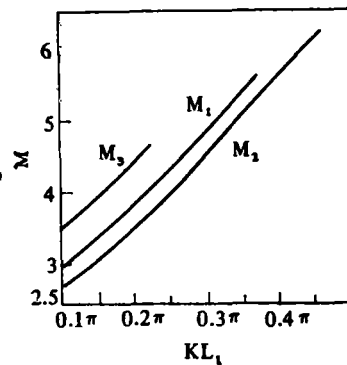


图 1.3

( $N=2.5$ )

大而变小,而第一、二种复合杆则有获得最大  $\varphi$  值的  $KL_1$  值,图 2.3 是  $N=2.5$  时的情况。图 2.1 是在  $N=10$  范围内各种  $KL_1$  值的三种复合杆所能达到的最大  $\varphi$  值。

表 5  $M_{\max}$  不在  $N = 10$  的第二种复合杆

| $KL_1 (=KL_2)$          | $0.2\pi$ | $0.225\pi$ | $0.25\pi$ | $0.275\pi$ | $0.3\pi$ | $0.325\pi$ | $0.35\pi$ | $0.375\pi$ |
|-------------------------|----------|------------|-----------|------------|----------|------------|-----------|------------|
| 存在 $M_{\max}$ 时的直径比 $N$ | 9        | 8.5        | 8.2       | 8.0        | 8.0      | 8.1        | 8.5       | 9.2        |
| $M_{\max}$              | 6.60     | 7.28       | 8.16      | 9.32       | 10.88    | 13.07      | 16.30     | 21.40      |

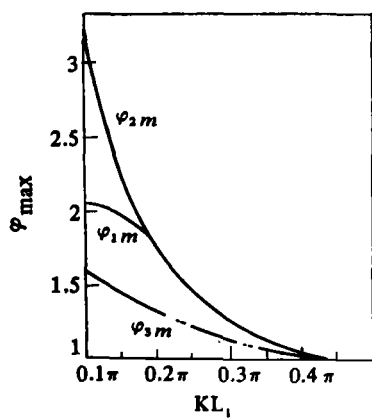


图 2.1

—  $\varphi_m$  值与  $N = 10$  时  $\varphi$  相同  
 - - -  $N = 10$  不满足限制条件,  
 $\varphi_m$  在满足限制条件的最大  $N$  值处。

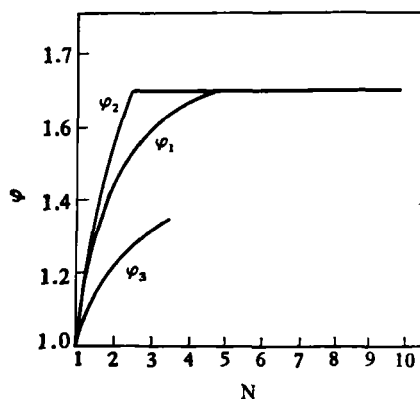


图 2.2

( $KL_1 = KL_2 = 0.200\pi$ )

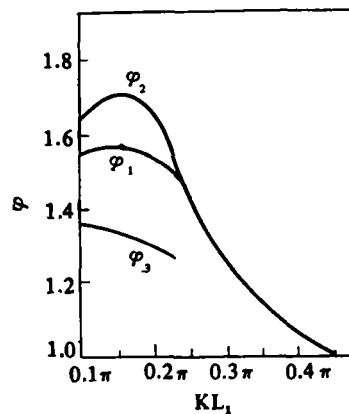
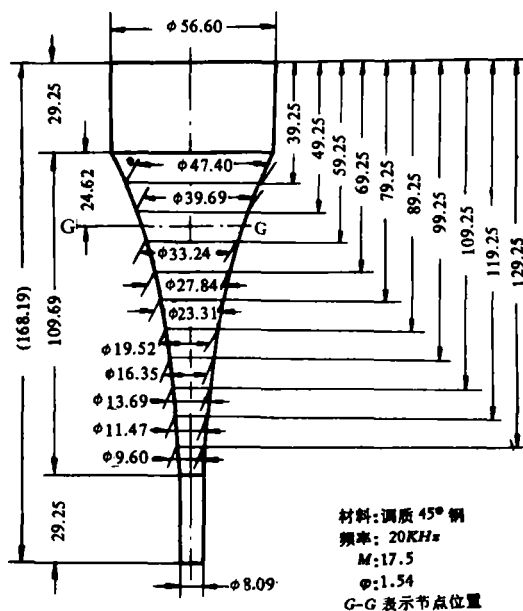


图 2.3

( $N = 2.5$ )



材料:调质 45° 钢  
 频率: 20KHz  
 $M: 17.5$   
 $\varphi: 1.54$   
 G-G 表示节点位置

图 3

## 二、用设计用表进行设计的例子

试设计  $f = 20\text{KHz}$ , 输入振幅  $A_1 = 4\mu\text{m}$ , 输出振幅  $A_2 = 70\mu\text{m}$  的变幅杆, 材料声速  $c = 5.20 \times 10^6\text{mm/s}$ , 疲劳应力取  $25\text{kg/mm}^2$ . 可以算得该变幅杆  $M = 17.5$ ,  $\varphi = 1.44$ . 由设计

用表知, 四种简单型杆和第二种复合杆, 均不能同时满足这两个条件. 只有  $KL_1 = 0.125\pi - 0.225\pi$  的第一种和  $KL_1 = 0.1\pi - 0.15\pi$  的第三种复合杆, 在某些  $N$  值可以同时满足. 其中以

表 6 满足  $M \geq 17.5$ ,  $\varphi \geq 1.44$  的两种复合杆

| 项 目                                                                            |                                                | 第一种复合杆     | 第三种复合杆    |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------|-----------|
| N                                                                              |                                                | 7          | 6.3       |
| M                                                                              |                                                | 17.53      | 17.49     |
| $KL_1 (= KL_3)$                                                                |                                                | $0.225\pi$ | $0.15\pi$ |
| $L_1$                                                                          | H                                              | 0.843754   | 0.816512  |
|                                                                                | $L_1 = H \cdot \frac{\lambda}{2} \text{ (mm)}$ | 109.69     | 106.15    |
| $x_0$                                                                          | G                                              | 0.189397   | 0.213796  |
|                                                                                | $x_0 = G \cdot \frac{\lambda}{2} \text{ (mm)}$ | 24.62      | 27.79     |
| $x_M$                                                                          | E                                              | 0.84375    | 0.66141   |
|                                                                                | $x_M = E \cdot \frac{\lambda}{2} \text{ (mm)}$ | 109.69     | 85.98     |
| $\varphi$                                                                      |                                                | 1.53977    | 1.47221   |
| $L = \left(H + 2 \cdot \frac{KL_1}{\pi}\right) \frac{\lambda}{2} \text{ (mm)}$ |                                                | 168.19     | 145.15    |
| CN < 1                                                                         |                                                | 0.73410    | 0.98526   |

$KL_1 = 0.225\pi$ 、 $N = 7$  的第一种和  $KL_1 = 0.15\pi$ 、 $N = 6.3$  的第三种复合杆所需  $N$  值最小。作为例子, 表 6 列出由设计用表查出的这两种复合杆的尺寸及性能参数, 图 3 是其中第一种复合杆的一个设计实例。

### 三、结 语

通过变换, 编制出了三种复合杆的设计用表, 通过对输出数据的观察和分析, 很容易剔除

不能满足限制条件的部分, 容易对这几种复合杆的尺寸及性能参数的变化趋势作纵横了解, 便于进行变幅杆的对比选择和计算。为简化这些变幅杆的设计提供了条件。

本文是在王奇浩副教授指导下完成的研究生毕业论文的部分内容, 计算过程中得到数学系沈舜尧等老师和计算机室全体工作人员的帮助和配合, 在此一并致谢。

### 参 考 文 献

- [1] 阮世勋, 应用声学 1-4 (1982), 23.
- [2] 周静华, 林仲茂, 声学学报, 2-3 (1965), 122.