







































表 A.2 (续)

单元号	总长 mm	单元长度 mm	外径 mm	内径 mm	单元说明
3	369.0	123.0	580.0	0.0	轴段
4	492.0	123.0	580.0	0.0	轴段
5	615.0	123.0	600.0	0.0	轴段
6	620.0	5.0	615.0	0.0	轴段
7	810.0	190.0	683.0	0.0	轴段
8	1510.0	700.0	683.0	0.0	轴段
9	1743.0	233.0	683.0	0.0	轴段
10	1743.0	—	—	—	轴承
11	2610.0	867.0	683.0	0.0	轴段
12	3477.0	867.0	683.0	0.0	轴段
13	4477.0	1000.0	683.0	0.0	轴段
14	5007.0	530.0	683.0	0.0	轴段
15	5537.0	530.0	683.0	0.0	轴段
16	5802.0	265.0	615.0	0.0	轴段
17	6222.0	420.0	630.0	0.0	轴段
18	6642.0	420.0	630.0	0.0	轴段
19	6892.0	250.0	615.0	0.0	轴段
20	7142.0	250.0	615.0	0.0	轴段
21	7272.0	130.0	1060.0	0.0	轴段
22	7392.0	120.0	1060.0	0.0	轴段
23	7792.0	400.0	470.0	0.0	轴段
24	8127.0	335.0	470.0	0.0	轴段
25	8572.0	445.0	530.0	0.0	轴段
26	8572.0	—	—	—	轴承
27	9017.0	445.0	530.0	0.0	轴段
28	10017.0	1000.0	470.0	0.0	轴段
29	10887.0	870.0	470.0	0.0	轴段
30	11887.0	1000.0	470.0	0.0	轴段
31	12332.0	445.0	530.0	0.0	轴段
32	12332.0	—	—	—	轴承
33	12777.0	445.0	530.0	0.0	轴段
34	13112.0	335.0	470.0	0.0	轴段
35	13512.0	400.0	470.0	0.0	轴段
36	13632.0	120.0	1060.0	0.0	轴段
37	13782.0	150.0	1060.0	0.0	轴段
38	13932.0	150.0	670.0	0.0	轴段
39	14082.0	150.0	670.0	0.0	轴段

## A.6 轴系布置图

轴系布置图参见图 A.1。

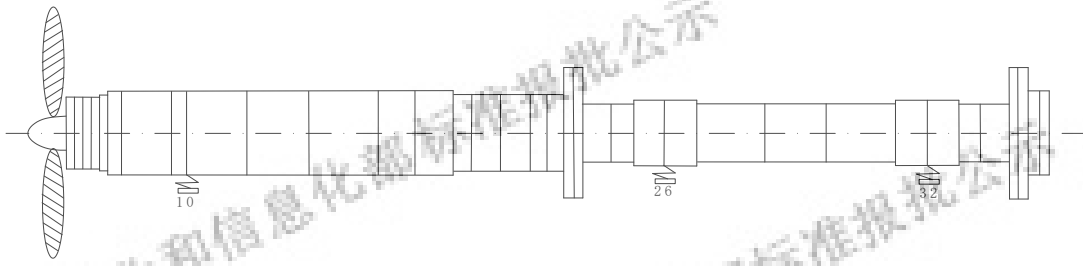


图 A.1 轴系布置图

## A.7 计算结果

## A.7.1 横向振动计算结果

横向振动(频率比  $h=0$ )的固有频率为 10.17 Hz, 其计算结果见表 A.3、图 A.2 和图 A.3。

表 A.3 横向振动截面参数计算表

序号	相对位移 mm	相对转角 rad	相对弯矩 Nm	相对剪力 N
1	1.0000E+0	-3.7458E-3	0.0000E+0	0.0000E+0
2	1.0000E+0	-3.7458E-3	5.6689E+6	7.2007E+4
3	9.5386E-1	-3.6813E-3	6.5619E+6	7.3041E+4
4	9.0856E-1	-3.6074E-3	7.4672E+6	7.4025E+4
5	8.6422E-1	-3.5238E-3	8.3844E+6	7.4961E+4
6	8.2097E-1	-3.4305E-3	9.3127E+6	7.5849E+4
7	7.7887E-1	-3.3405E-3	1.0252E+7	7.6752E+4
8	7.7718E-1	-3.3370E-3	1.0291E+7	7.6790E+4
9	7.1410E-1	-3.2436E-3	1.1768E+7	7.8480E+4
10	4.9984E-1	-2.7885E-3	1.7456E+7	8.3515E+4
11	4.3633E-1	-2.5971E-3	1.9420E+7	8.4807E+4
12	4.3633E-1	-2.5971E-3	1.9420E+7	-3.5285E+4
13	2.4312E-1	-1.9033E-3	1.6530E+7	-3.1860E+4
14	1.0527E-1	-1.3165E-3	1.3857E+7	-3.0139E+4
15	3.3896E-3	-7.6524E-4	1.0885E+7	-2.9586E+4
16	-3.0100E-2	-5.2659E-4	9.3158E+6	-2.9695E+4
17	-5.1921E-2	-3.2512E-4	7.7358E+6	-2.9977E+4
18	-5.8395E-2	-1.9325E-4	6.9396E+6	-3.0130E+4
19	-6.2420E-2	-3.0181E-5	5.6685E+6	-3.0404E+4
20	-6.0284E-2	9.9865E-5	4.3857E+6	-3.0679E+4
21	-5.6562E-2	1.6770E-4	3.6167E+6	-3.0826E+4
22	-5.1305E-2	2.2247E-4	2.8442E+6	-3.0962E+4
23	-4.8334E-2	2.2511E-4	2.4399E+6	-3.1149E+4
24	-4.5562E-2	2.2719E-4	2.0646E+6	-3.1311E+4
25	-3.2877E-2	3.4150E-4	8.0984E+5	-3.1410E+4
26	-2.0103E-2	3.6037E-4	-2.4351E+5	-3.1462E+4
27	-4.0714E-3	3.0872E-4	-1.6448E+6	-3.1496E+4
28	-4.0714E-3	3.0872E-4	-1.6448E+6	5.8558E+3
29	7.6103E-3	2.2586E-4	-1.3842E+6	5.8688E+3
30	1.7927E-2	9.2946E-6	-7.9281E+5	5.9682E+3
31	1.3670E-2	-8.2682E-5	-2.6946E+5	6.0566E+3

表 A.3 (续)

序号	相对位移 mm	相对转角 rad	相对弯矩 Nm	相对剪力 N
32	4.2614E-3	-7.5820E-5	3.3933E+5	6.1066E+3
33	1.2440E-3	-4.9816E-5	6.1131E+5	6.1131E+3
34	1.2440E-3	-4.9816E-5	6.1131E+5	-5.2994E+3
35	-1.7968E-4	-2.2822E-5	3.7549E+5	-5.3001E+3
36	-4.5280E-4	-3.7279E-6	1.9790E+5	-5.3023E+3
37	-2.3413E-4	3.5745E-6	-1.4243E+4	-5.3037E+3
38	-1.8167E-4	3.5320E-6	-7.7902E+4	-5.3044E+3
39	-1.1739E-4	3.3964E-6	-1.5748E+5	-5.3050E+3
40	-4.5855E-5	1.9719E-6	-2.3706E+5	-5.3051E+3

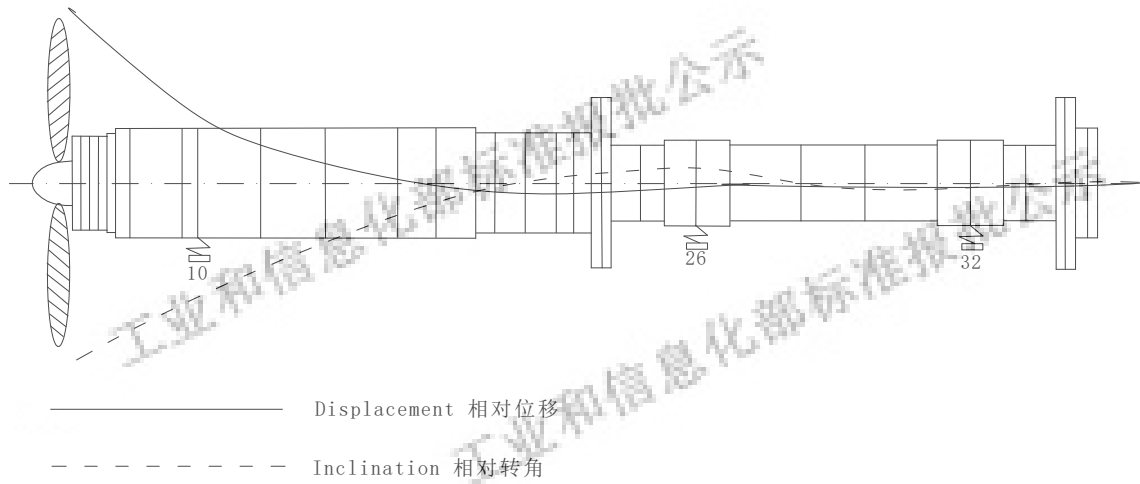


图 A.2 横向振动 (频率比  $f=0$ ) 的相对位移和相对转角

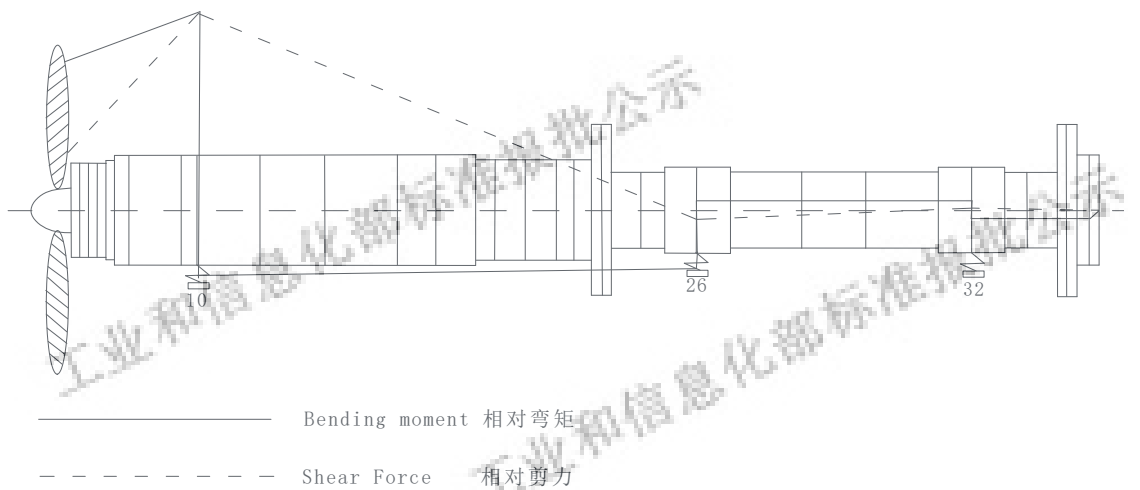


图 A.3 横向振动 (频率比  $f=0$ ) 轴段的相对弯矩和剪力

A.7.2 1次正回旋振动计算结果

1次正回旋振动 (频率比  $f=1$ ) 的固有频率为 11.73 Hz, 其计算结果见表 A.4、图 A.4 和图 A.5。

表 A.4 1 次正回旋振动截面参数计算表

序号	相对位移 mm	相对转角 rad	相对弯矩 Nm	相对剪力 N
1	1.0000E+0	-2.6716E-3	0.0000E+0	0.0000E+0
2	1.0000E+0	-2.6716E-3	-3.3593E+6	9.5769E+4
3	9.6634E-1	-2.7008E-3	-2.1735E+6	9.7161E+4
4	9.3239E-1	-2.7173E-3	-9.7090E+5	9.8505E+4
5	8.9830E-1	-2.7212E-3	2.4796E+5	9.9799E+4
6	8.6424E-1	-2.7121E-3	1.4824E+6	1.0104E+5
7	8.3039E-1	-2.6927E-3	2.7323E+6	1.0232E+5
8	8.2902E-1	-2.6917E-3	2.7835E+6	1.0238E+5
9	7.7743E-1	-2.6599E-3	4.7497E+6	1.0481E+5
10	5.9633E-1	-2.3943E-3	1.2357E+7	1.1244E+5
11	5.4117E-1	-2.2523E-3	1.4999E+7	1.1454E+5
12	5.4117E-1	-2.2523E-3	1.4999E+7	-3.4411E+4
13	3.7043E-1	-1.7266E-3	1.2294E+7	-2.8204E+4
14	2.4085E-1	-1.2963E-3	1.0035E+7	-2.4056E+4
15	1.3270E-1	-9.0020E-4	7.7833E+6	-2.1162E+4
16	9.0031E-2	-7.2937E-4	6.6856E+6	-2.0240E+4
17	5.5728E-2	-5.8397E-4	5.6284E+6	-1.9641E+4
18	4.1788E-2	-4.8749E-4	5.1097E+6	-1.9483E+4
19	2.4294E-2	-3.6589E-4	4.2948E+6	-1.9306E+4
20	1.1464E-2	-2.6528E-4	3.4857E+6	-1.9214E+4
21	5.7553E-3	-2.1026E-4	3.0054E+6	-1.9191E+4
22	1.3204E-3	-1.6337E-4	2.5256E+6	-1.9183E+4
23	-7.4932E-4	-1.6098E-4	2.2757E+6	-1.9182E+4
24	-2.6335E-3	-1.5898E-4	2.0450E+6	-1.9190E+4
25	-5.5484E-3	-2.6904E-5	1.2768E+6	-1.9214E+4
26	-4.7623E-3	3.6687E-5	6.3278E+5	-1.9232E+4
27	-2.1815E-3	4.7887E-5	-2.2347E+5	-1.9248E+4
28	-2.1815E-3	4.7887E-5	-2.2347E+5	7.6522E+2
29	-3.2952E-4	3.6591E-5	-1.8951E+5	7.6090E+2
30	1.6388E-3	6.5014E-6	-1.1305E+5	7.7005E+2
31	1.4699E-3	-7.2260E-6	-4.5517E+4	7.8197E+2
32	4.9346E-4	-8.4701E-6	3.3127E+4	7.8956E+2
33	1.4956E-4	-5.6960E-6	6.8290E+4	7.9067E+2
34	1.4956E-4	-5.6960E-6	6.8290E+4	-5.8141E+2
35	-1.5415E-5	-2.6677E-6	4.2415E+4	-5.8140E+2
36	-4.9512E-5	-4.9167E-7	2.2932E+4	-5.8167E+2
37	-2.6888E-5	4.0662E-7	-3.4052E+2	-5.8186E+2
38	-2.0952E-5	4.0309E-7	-7.3223E+3	-5.8197E+2
39	-1.3655E-5	3.8962E-7	-1.6051E+4	-5.8207E+2
40	-5.4853E-6	2.4219E-7	-2.4782E+4	-5.8208E+2

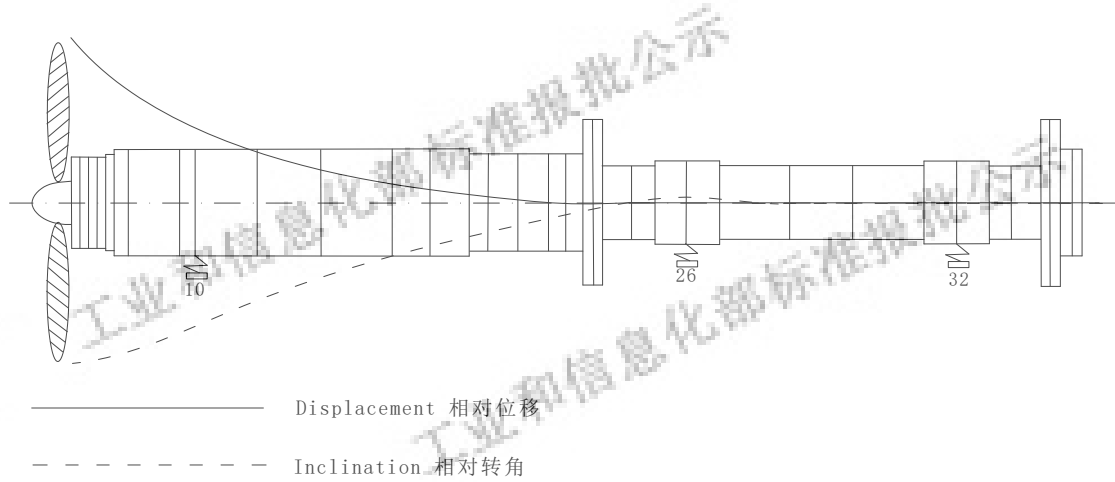


图 A.4 1 次正回旋振动(频率比  $h=1$ ) 相对位移和相对转角

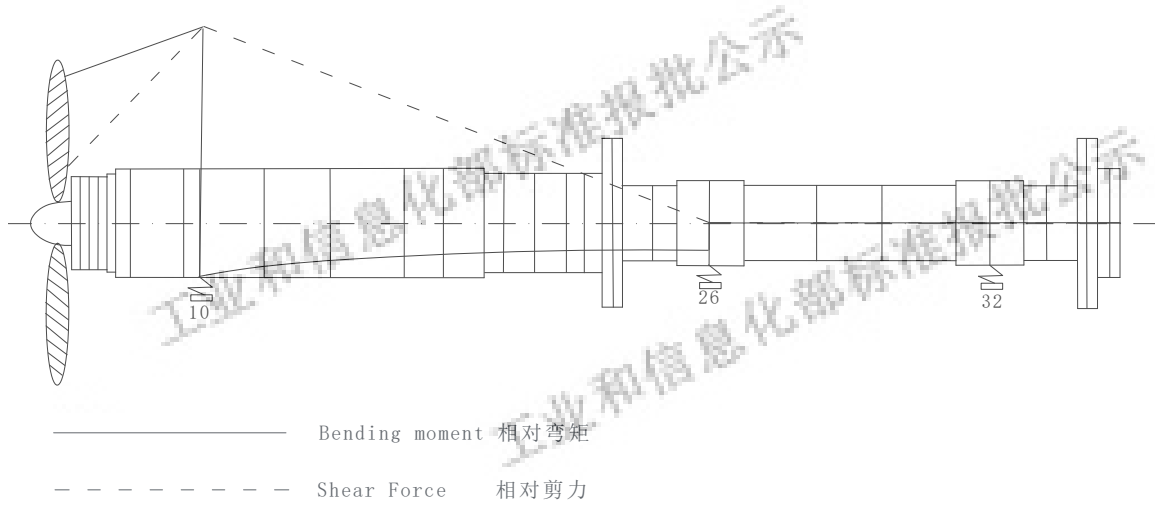


图 A.5 1 次正回旋振动(频率比  $h=1$ ) 轴段的相对弯矩和剪力

A.7.3 1 次逆回旋振动计算结果

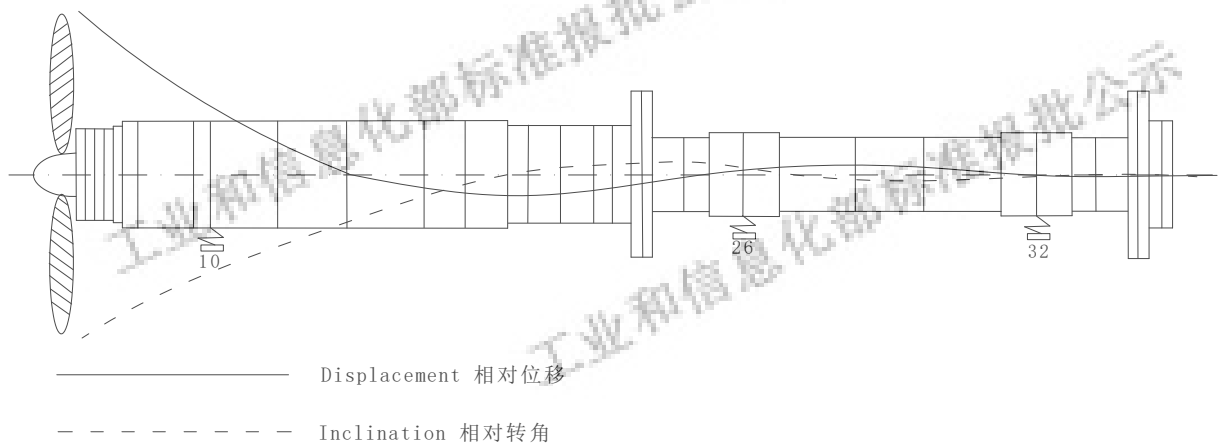
1 次逆回旋振动(频率比  $h=-1$ ) 的固有频率为 8.62 Hz, 其计算结果见表 A.5、图 A.6 和图 A.7。

表 A.5 1 次逆回旋振动截面参数计算表

序号	相对位移 mm	相对转角 rad	相对弯矩 Nm	相对剪力 N
1	1.0000E+0	-4.5862E-3	0.0000E+0	0.0000E+0
2	1.0000E+0	-4.5862E-3	1.3088E+7	5.1730E+4
3	9.4412E-1	-4.4449E-3	1.3731E+7	5.2462E+4
4	8.9002E-1	-4.2967E-3	1.4382E+7	5.3151E+4
5	8.3778E-1	-4.1415E-3	1.5042E+7	5.3798E+4
6	7.8749E-1	-3.9794E-3	1.5710E+7	5.4406E+4
7	7.3913E-1	-3.8317E-3	1.6385E+7	5.5019E+4
8	7.3720E-1	-3.8261E-3	1.6412E+7	5.5044E+4
9	6.6546E-1	-3.6826E-3	1.7475E+7	5.6180E+4
10	4.2673E-1	-3.0744E-3	2.1547E+7	5.9403E+4
11	3.5724E-1	-2.8433E-3	2.2945E+7	6.0171E+4
12	3.5724E-1	-2.8433E-3	2.2945E+7	-3.8153E+4

表 A.5 (续)

序号	相对位移 mm	相对转角 rad	相对弯矩 Nm	相对剪力 N
13	1.4855E-1	-2.0189E-3	1.9741E+7	-3.6373E+4
14	5.9979E-3	-1.3162E-3	1.6627E+7	-3.5888E+4
15	-8.9893E-2	-6.5498E-4	1.3029E+7	-3.6348E+4
16	-1.1614E-1	-3.6997E-4	1.1092E+7	-3.6845E+4
17	-1.2848E-1	-1.3107E-4	9.1251E+6	-3.7427E+4
18	-1.2941E-1	2.3975E-5	8.1300E+6	-3.7678E+4
19	-1.2358E-1	2.1371E-4	6.5386E+6	-3.8084E+4
20	-1.1065E-1	3.6206E-4	4.9304E+6	-3.8457E+4
21	-1.0018E-1	4.3748E-4	3.9660E+6	-3.8647E+4
22	-8.8028E-2	4.9651E-4	2.9971E+6	-3.8816E+4
23	-8.1477E-2	4.9925E-4	2.4881E+6	-3.9045E+4
24	-7.5402E-2	5.0132E-4	2.0158E+6	-3.9240E+4
25	-5.1749E-2	5.9913E-4	4.4330E+5	-3.9352E+4
26	-3.0645E-2	5.8472E-4	-8.7643E+5	-3.9407E+4
27	-5.3276E-3	4.8875E-4	-2.6318E+6	-3.9440E+4
28	-5.3276E-3	4.8875E-4	-2.6318E+6	9.4369E+3
29	1.3131E-2	3.5625E-4	-2.2120E+6	9.4572E+3
30	2.9167E-2	1.0838E-5	-1.2607E+6	9.5817E+3
31	2.2068E-2	-1.3482E-4	-4.2206E+5	9.6876E+3
32	6.8490E-3	-1.2215E-4	5.5052E+5	9.7451E+3
33	1.9935E-3	-8.0158E-5	9.8452E+5	9.7517E+3
34	1.9935E-3	-8.0158E-5	9.8452E+5	-8.5372E+3
35	-2.9607E-4	-3.6685E-5	6.0465E+5	-8.5389E+3
36	-7.3368E-4	-5.9435E-6	3.1853E+5	-8.5421E+3
37	-3.7936E-4	5.7985E-6	-2.3224E+4	-8.5440E+3
38	-2.9437E-4	5.7298E-6	-1.2579E+5	-8.5448E+3
39	-1.9022E-4	5.5109E-6	-2.5400E+5	-8.5456E+3
40	-7.4409E-5	3.2139E-6	-3.8220E+5	-8.5455E+3

图 A.6 1 次逆回旋振动(频率比  $f=1$ ) 相对位移和相对转角

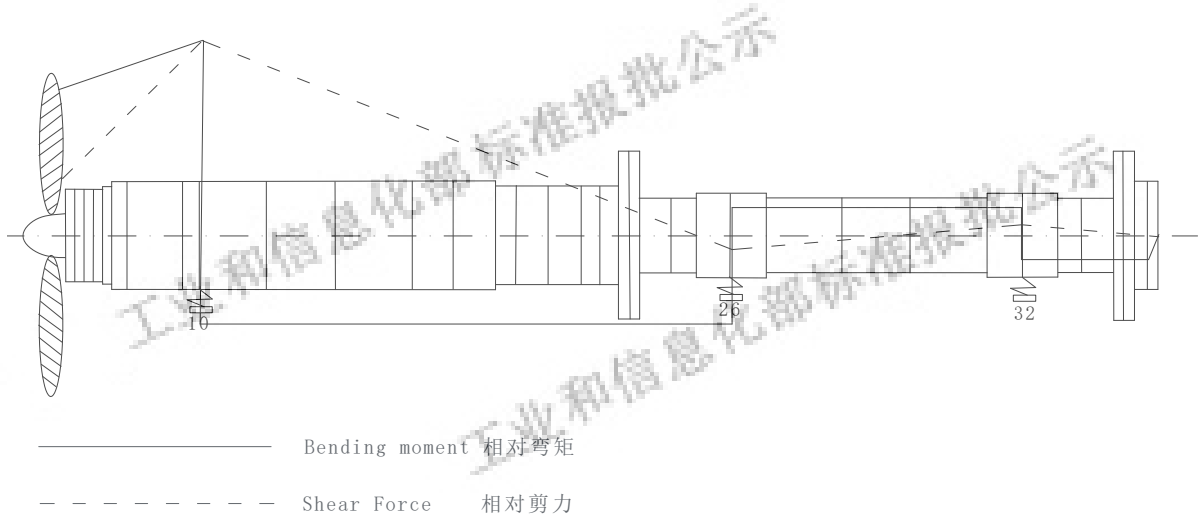


图 A.7 1 次逆回旋振动(频率比  $h=1$ ) 轴段的弯矩和剪力

A.7.4 叶片次正回旋振动计算结果

叶片次正回旋振动(频率比  $h=1/5$ )的固有频率为10.51 Hz, 其计算结果见表A.6、图A.8和图A.9。

表 A.6 叶片次正回旋振动截面参数计算表

序号	相对位移 mm	相对转角 rad	相对弯矩 Nm	相对剪力 N
1	1.0000E+0	-3.5347E-3	0.0000E+0	0.0000E+0
2	1.0000E+0	-3.5347E-3	3.8547E+6	7.6864E+4
3	9.5631E-1	-3.4890E-3	4.8075E+6	7.7971E+4
4	9.1323E-1	-3.4333E-3	5.7737E+6	7.9027E+4
5	8.7089E-1	-3.3672E-3	6.7525E+6	8.0034E+4
6	8.2943E-1	-3.2908E-3	7.7433E+6	8.0993E+4
7	7.8893E-1	-3.2149E-3	8.7462E+6	8.1970E+4
8	7.8730E-1	-3.2119E-3	8.7872E+6	8.2010E+4
9	7.2644E-1	-3.1309E-3	1.0364E+7	8.3844E+4
10	5.1854E-1	-2.7136E-3	1.6442E+7	8.9365E+4
11	4.5661E-1	-2.5319E-3	1.8543E+7	9.0803E+4
12	4.5661E-1	-2.5319E-3	1.8543E+7	-3.4869E+4
13	2.6757E-1	-1.8711E-3	1.5709E+7	-3.0956E+4
14	1.3116E-1	-1.3144E-3	1.3131E+7	-2.8832E+4
15	2.7915E-2	-7.9230E-4	1.0307E+7	-2.7911E+4
16	-7.3860E-3	-5.6622E-4	8.8306E+6	-2.7865E+4
17	-3.1628E-2	-3.7505E-4	7.3510E+6	-2.8018E+4
18	-3.9537E-2	-2.4963E-4	6.6072E+6	-2.8126E+4
19	-4.6132E-2	-9.4051E-5	5.4216E+6	-2.8336E+4
20	-4.6834E-2	3.0743E-5	4.2268E+6	-2.8561E+4
21	-4.4895E-2	9.6339E-5	3.5112E+6	-2.8685E+4
22	-4.1465E-2	1.4978E-4	2.7925E+6	-2.8801E+4
23	-3.9443E-2	1.5238E-4	2.4168E+6	-2.8964E+4
24	-3.7549E-2	1.5445E-4	2.0681E+6	-2.9106E+4
25	-2.7790E-2	2.7255E-4	9.0184E+5	-2.9195E+4
26	-1.7253E-2	3.0002E-4	-7.7185E+4	-2.9243E+4
27	-3.7252E-3	2.6018E-4	-1.3796E+6	-2.9276E+4



表 A.6 (续)

序号	相对位移 mm	相对转角 rad	相对弯矩 Nm	相对剪力 N
28	-3.7252E-3	2.6018E-4	-1.3796E+6	4.9004E+3
29	6.1281E-3	1.9067E-4	-1.1615E+6	4.9107E+3
30	1.4896E-2	8.8211E-6	-6.6645E+5	4.9976E+3
31	1.1403E-2	-6.8632E-5	-2.2804E+5	5.0758E+3
32	3.5617E-3	-6.3311E-5	2.8232E+5	5.1205E+3
33	1.0406E-3	-4.1628E-5	5.1038E+5	5.1264E+3
34	1.0406E-3	-4.1628E-5	5.1038E+5	-4.4206E+3
35	-1.4965E-4	-1.9086E-5	3.1366E+5	-4.4211E+3
36	-3.7863E-4	-3.1294E-6	1.6552E+5	-4.4229E+3
37	-1.9632E-4	2.9971E-6	-1.1440E+4	-4.4242E+3
38	-1.5237E-4	2.9620E-6	-6.4540E+4	-4.4248E+3
39	-9.8505E-5	2.8494E-6	-1.3092E+5	-4.4254E+3
40	-3.8567E-5	1.6643E-6	-1.9731E+5	-4.4254E+3

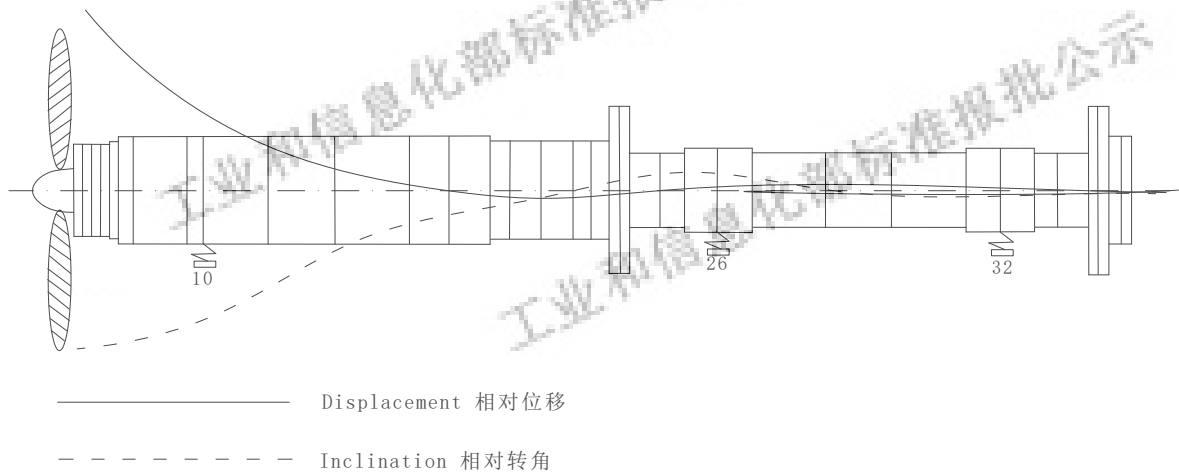


图 A.8 叶片次正回旋振动(频率比  $f=1/5$ ) 相对位移和相对转角

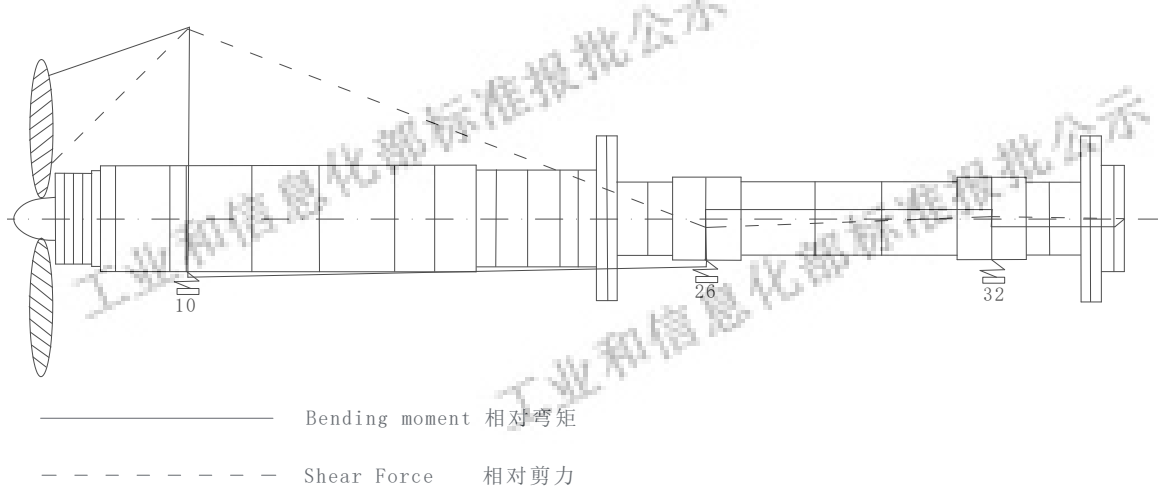


图 A.9 叶片次正回旋振动(频率比  $f=1/5$ ) 轴段的相对弯矩和剪力

A.7.5 叶片次逆回旋振动计算结果

叶片次逆回旋振动(频率比  $f=-1/5$ )的固有频率为9.84Hz,其计算结果见表A.7、图A.10和图A.11。

表A.7 叶片次逆回旋振动截面参数计算表

序号	相对位移 mm	相对转角 rad	相对弯矩 Nm	相对剪力 N
1	1.0000E+0	-3.9449E-3	0.0000E+0	0.0000E+0
2	1.0000E+0	-3.9449E-3	7.3976E+6	6.7342E+4
3	9.5155E-1	-3.8625E-3	8.2331E+6	6.8305E+4
4	9.0416E-1	-3.7712E-3	9.0801E+6	6.9221E+4
5	8.5794E-1	-3.6710E-3	9.9880E+6	7.0089E+4
6	8.1301E-1	-3.5616E-3	1.0806E+7	7.0911E+4
7	7.6941E-1	-3.4581E-3	1.1685E+7	7.1745E+4
8	7.2766E-1	-3.3511E-3	1.1721E+7	7.1779E+4
9	7.0251E-1	-3.3490E-3	1.3103E+7	7.3336E+4
10	4.8233E-1	-2.8581E-3	1.8417E+7	7.7924E+4
11	4.1736E-1	-2.6573E-3	2.0249E+7	7.9082E+4
12	4.1736E-1	-2.6573E-3	2.0249E+7	-3.5789E+4
13	2.2032E-1	-1.9325E-3	1.7299E+7	-3.2797E+4
14	8.1216E-2	-1.3177E-3	1.4531E+7	-3.1422E+4
15	-1.9335E-2	-7.3949E-4	1.1415E+7	-3.1174E+4
16	-5.1113E-2	-4.8932E-4	9.7590E+6	-3.1409E+4
17	-7.0666E-2	-2.7848E-4	8.0856E+6	-3.1792E+4
18	-7.5803E-2	-1.4076E-4	7.2407E+6	-3.1980E+4
19	-7.7439E-2	2.9089E-5	5.8909E+6	-3.2302E+4
20	-7.2672E-2	1.6385E-4	4.5273E+6	-3.2615E+4
21	-6.7302E-2	2.3367E-4	3.7097E+6	-3.2780E+4
22	-6.0357E-2	2.8961E-4	2.8881E+6	-3.2929E+4
23	-5.6509E-2	2.9228E-4	2.4576E+6	-3.3135E+4
24	-5.2928E-2	2.9436E-4	2.0580E+6	-3.3312E+4
25	-3.7546E-2	4.0496E-4	7.2304E+5	-3.3417E+4
26	-2.2716E-2	4.1581E-4	-3.9766E+5	-3.3472E+4
27	-4.3865E-3	3.5327E-4	-1.8885E+6	-3.3507E+4
28	-4.3865E-3	3.5327E-4	-1.8885E+6	6.7362E+3
29	8.9728E-3	2.5815E-4	-1.5888E+6	6.7514E+3
30	2.0708E-2	9.7084E-6	-9.0870E+5	6.8603E+3
31	1.5750E-2	-9.5579E-5	-3.0738E+5	6.9561E+3
32	4.9028E-3	-8.7290E-5	3.9166E+5	7.0100E+3
33	1.4303E-3	-5.7323E-5	7.0386E+5	7.0168E+3
34	1.4303E-3	-5.7323E-5	7.0386E+5	-6.1053E+3
35	-2.0730E-4	-2.6246E-5	4.3219E+5	-6.1062E+3
36	-5.2087E-4	-4.2760E-6	2.2758E+5	-6.1086E+3
37	-2.6884E-4	4.1047E-6	-1.6815E+4	-6.1102E+3
38	-2.0857E-4	4.0553E-6	-9.0155E+4	-6.1109E+3
39	-1.3472E-4	3.8986E-6	-1.8184E+5	-6.1116E+3
40	-5.2547E-5	2.2545E-6	-2.7352E+5	-6.1116E+3

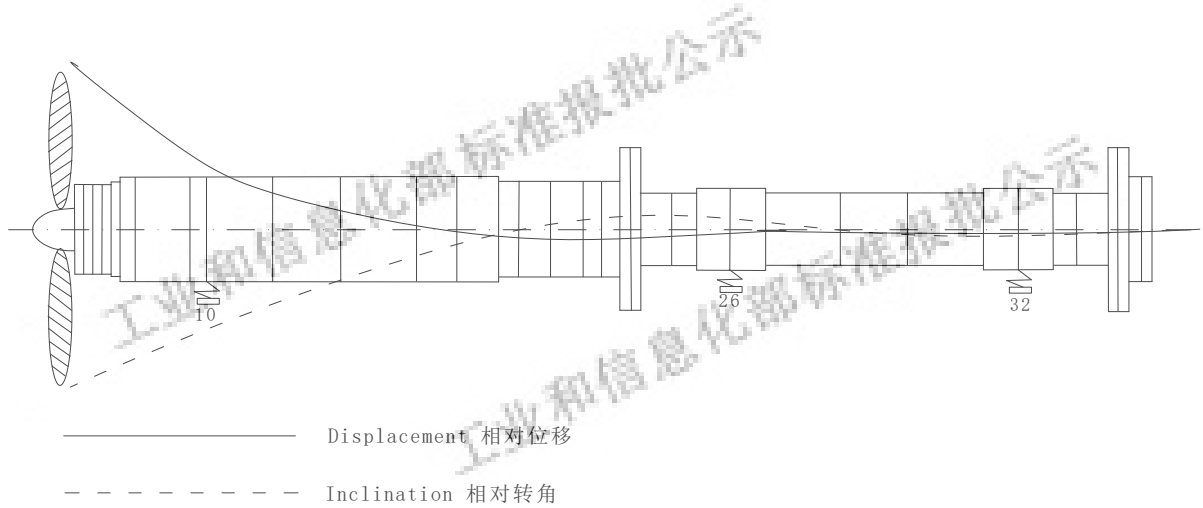


图 A.10 叶片次逆回旋振动 (频率比  $h=-1/5$ ) 相对位移和相对转角

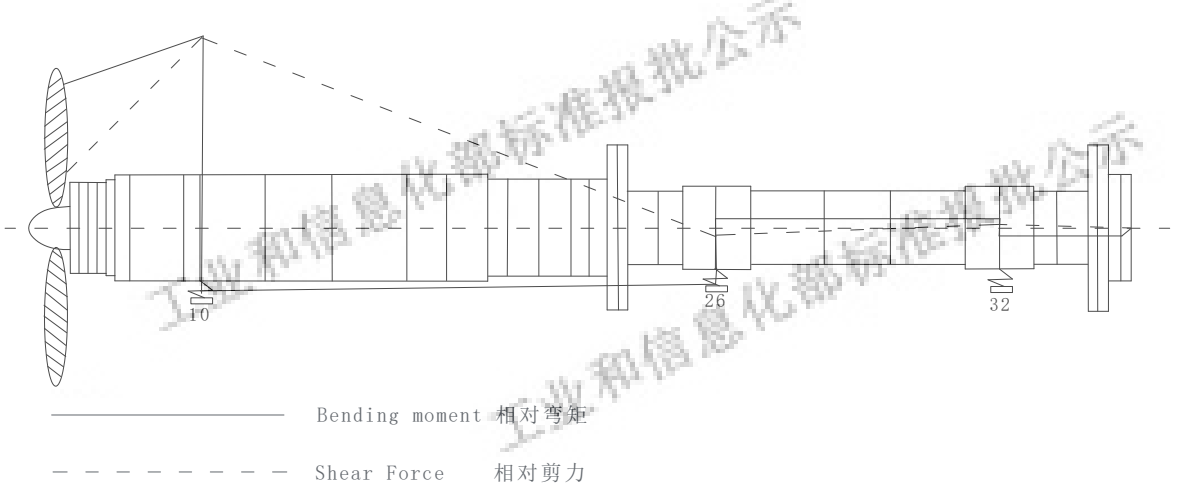


图 A.11 叶片次逆回旋振动 (频率比  $h=-1/5$ ) 轴段的相对弯矩和剪力

A.8 计算结果综合表

计算结果综合表参见表 A.8。

表A.8 计算结果综合表

频率比	轴系固有频率 Hz	轴系共振转速 r/min	衡准判断
横向振动 ( $h=0$ )	10.17	610.22	
1次正回旋振动 ( $h=1$ )	11.73	703.74	满足要求
1次逆回旋振动 ( $h=-1$ )	8.62	517.22	-
叶片次正回旋振动 ( $h=1/5$ )	10.51	126.09	满足要求
叶片次逆回旋振动 ( $h=-1/5$ )	9.84	118.02	-