

# COMPASS-RULES 计算机软件

## 用 户 手 册

轴系扭转振动计算（SRM01）

——放大系数法

二零零九年七月

# 轴系扭转振动计算程序（SRM01）

## 目 录

1	概述.....	1
2	计算原理.....	2
2.1	计算模型.....	2
2.2	扭振计算方法.....	2
2.3	程序应用说明.....	2
3	程序流程图.....	3
4	操作说明.....	4
4.1	操作界面及布局.....	4
4.2	输入数据.....	5
4.2.1	轴系布置及齿轮.....	5
4.2.2	轴段数据.....	7
4.2.3	主机数据.....	9
4.2.4	其他数据.....	10
4.3	数据打印说明.....	12
4.4	计算结果保存.....	12
5	保存数据文件.....	13
6	运行环境.....	13

# 1 概述

- 本计算程序是根据 CCS 《钢质海船建造与入级规范》(2001) 第 3 篇第 12 章“轴系振动及校中”和《船上振动控制指南》(2000) 第 6 章“轴系扭转振动”等有关内容进行计算。
- SRM01 程序可用于船舶规范要求的审图校核计算轴系设计计算以及轴系故障的咨询分析计算。
- 本程序能计算(0.1~1.2)ne 转速范围内直到 15 次简谐的共振情况。得到在此转速范围内轴系各振动模态的自由振动和响应计算结果。程序提供曲轴、中间轴、螺旋桨轴、齿轮箱(若有)、弹性联轴器(若有)、发电机(若有)等所有谐次中最大的四个应力或振动扭矩的共振曲线和许用值曲线;同时提供各节各谐次共振计算的详细结果。应用本程序可迅速、直观地判断轴系的扭振状态。
- 本程序适用下列柴油机动力装置在正常工况和一缸熄火情况下的扭转振动特性计算:
  - (1) 船舶柴油机推进轴系包括水螺旋桨(含 Z 型推进装置) 喷水推进器空气螺旋桨
  - (2) 船舶柴油机发电机组轴系
  - (3) 柴油机水力测功器轴系
  - (4) 气垫船垫升装置轴系
- 本程序也适用于燃气轮机推进轴系的自由振动计算,对燃气轮机轴系只进行自由振动计算。
- 本程序的功能如下:
  - (1) (0.1~1.2)ne 转速范围内直到 15 次简谐的计算,包括轴段扭振应力、齿轮啮合处及弹性联轴器的振动扭矩、发电机转子处的振动扭矩、交流发电机转子处电角等;
  - (2) 计算 CCS 规范(2001)规定的扭振许用值;
  - (3) 以图形显示轴系中各部件在各节次中最大的 4 个共振及非共振曲线和许用曲线;对

二冲程柴油机还给出 $(1.2\sim 1.5)n_e$  范围内与气缸数相同的主简谐次数的非共振曲线。

- 注意：主机类型、额定功率、额定转速、主机列数、冲程数、气缸直径、活塞行程、曲臂回转半径、连杆长度、单缸往复质量、机械效率等数据属多分支模块公共数据，这些数据修改后会影响到其它模块的计算结果。

## 2 计算原理

### 2.1 计算模型

- SRM01 程序将柴油机轴系简化为一个线性集总参数系统模型的当量，当量系统由只有转动惯量而无柔度的集中质量和只有柔度而无惯量的柔度组成，当量系统示意图如图 2.1 所示；

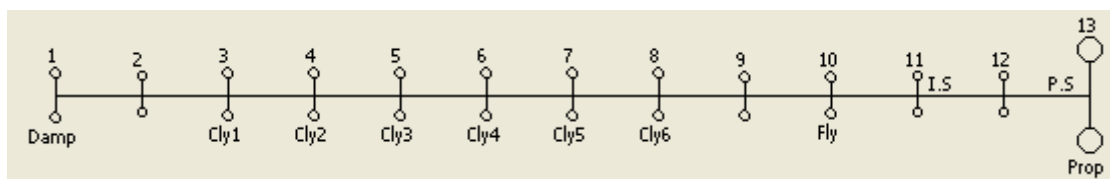


图2.1 轴系当量图

### 2.2 扭振计算方法

- 对基本方程应用赫兹法，采用有因次的惯量、柔度计算，求出系统自由扭转振动的固有频率、相对振幅、弹性力矩等，然后根据经验的能量法（动力放大系数法）进行响应计算。

### 2.3 程序应用说明

- 计算的振动模态最高为 6 节；
- 分支系统不包括分支；
- 当量系统集中质量个数最多为 30；
- V 型柴油机规则发火(各列发火顺序相同)；

- 每次只对一对啮合齿轮进行计算；
- 盖斯林格联轴器振动扭矩的许用值由用户根据产品说明书计算。

### 3 程序流程图

- 程序流程图如图 3.1 所示。

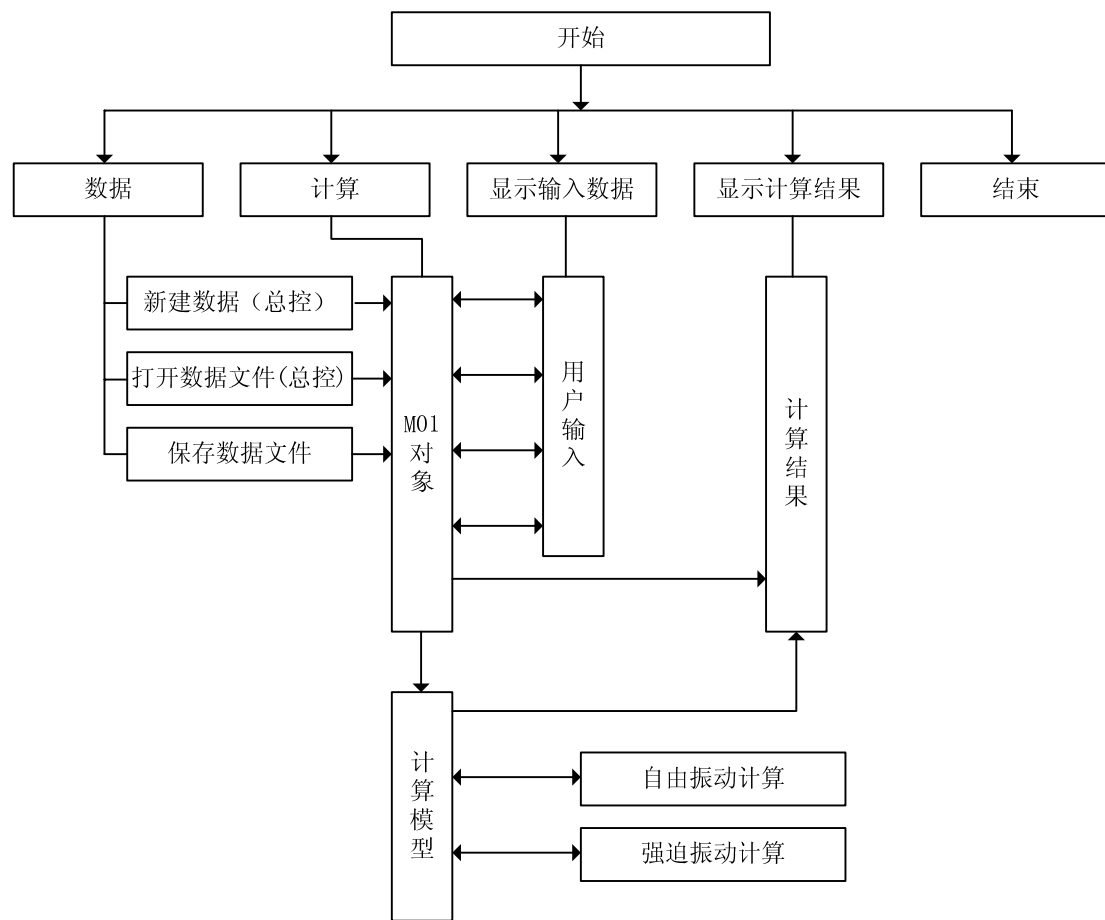


图 3.1 程序流程框图

## 4 操作说明

### 4.1 操作界面及布局

- 系统主界面中包括：标题栏、功能菜单、快捷功能按钮、数据显示与编辑区、轴系当量图区、轴系单元信息区、状态提示区，如图 4.1 所示。

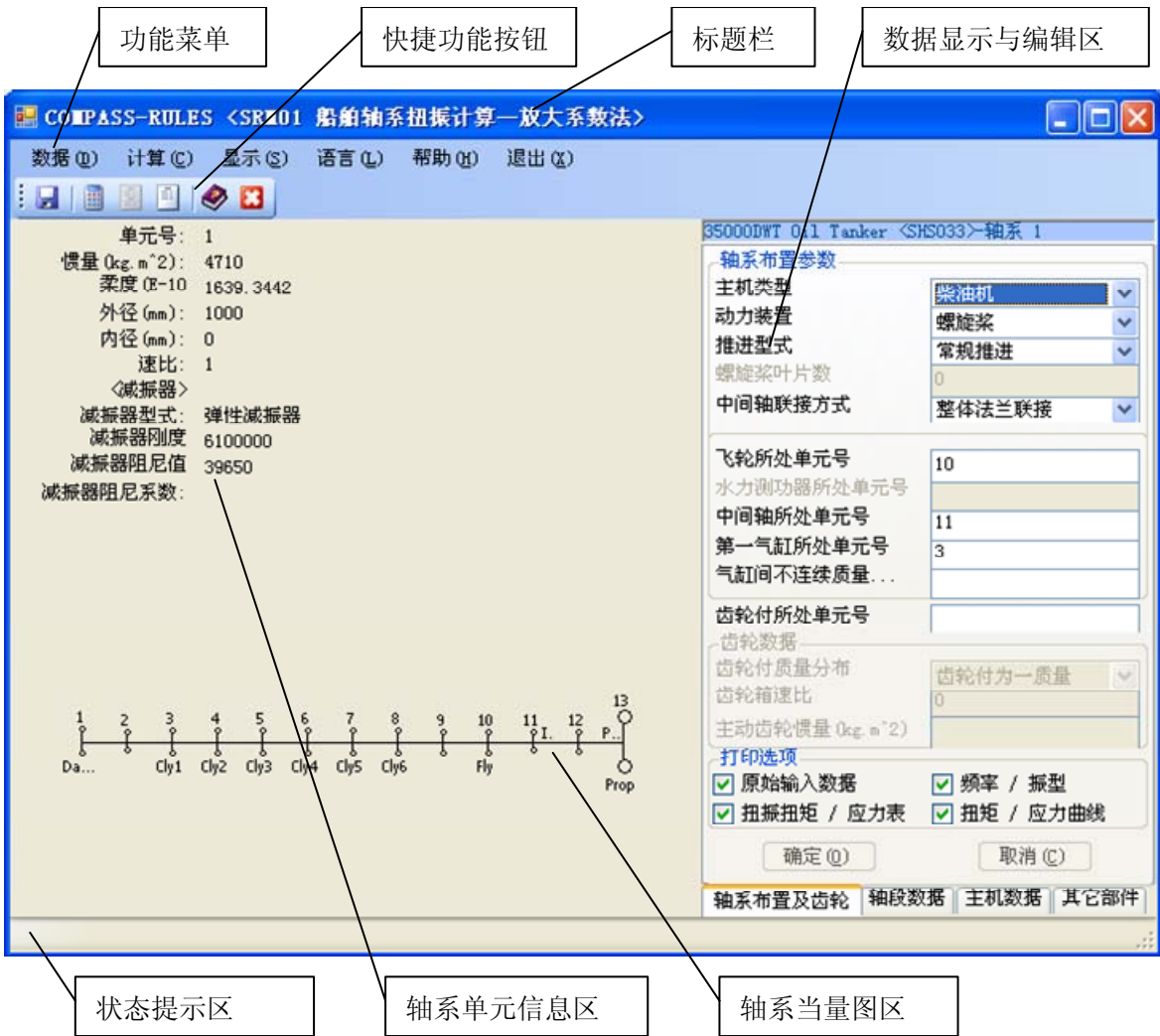


图 4.1 SRM01 三级主界面

**标题栏：**位于窗口的顶端，显示当前工作的模块的名称。

**功能菜单：**位于标题栏下方，菜单项分别有【数据】、【计算】、【显示】、【语言】、【帮助】、【退出】等。

- 【数据】实现数据保存
- 【计算】计算并显示报告

- **【显示】**内有显示输入的数据和计算报告子菜单项，其中输入的数据用于显示当前用户输入的数据；计算报告则用于显示计算后的结果
- **【语言】**内有简体中文和英语两个菜单项，其中简体中文用于切换当前的界面为中文界面；英语则切换当前界面为英文界面
- **【帮助】**显示操作指南及版本信息
- **【退出】**退出三级界面，返回二级界面

**快捷功能按钮：**位于功能菜单下方，提供常用操作功能的快捷使用方式。

**数据显示与编辑区：**位于窗口中部的右半部，用于输入、修改和显示相关数据。数据区最上方显示当前的船名、控制号和轴系名称，当鼠标移到其上时，状态提示栏显示出当前操作的数据文件名。

**轴系当量图区：**位于窗口中部的左半部下方，主要用于显示轴系当量图，可对图形做一定的操作。

**轴系单元信息区：**位于窗口中部的左半部上方，用于当鼠标移到轴系单元上时显示该轴系单元的相关信息。

**状态提示栏：**显示操作状态或输入数据的限制条件。

## 4.2 输入数据

- 数据显示与编辑区共有“轴系布置及齿轮”、“轴段数据”、“主机数据”和“其它部件”四个部分。
- 当鼠标停留在系统当量图上的某一个单元时，在轴系单元信息区显示此单元及其部件的相关信息，如图 4.1 所示。
- 用户输入数据时，可以按“TAB”键或“ENTER”键使光标从一个数据录入控件转入下一个数据录入控件。

### 4.2.1 轴系布置及齿轮

- 初始启动 SRM01 窗口时，系统自动定位在“轴系布置及齿轮”页，在其中可以输入“轴系布置参数”、“齿轮数据”的基本信息，以及设置打印选项参数，如图 4.2 所示。

35000DWT Oil Tanker <SHS033>轴系 1

**轴系布置参数**

主机类型: 柴油机

动力装置: 螺旋桨

推进型式: 常规推进

螺旋桨叶片数: 0

中间轴联接方式: 整体法兰联接

飞轮所处单元号: 10

水力测功器所处单元号:

中间轴所处单元号: 11

第一气缸所处单元号: 3

气缸间不连续质量单元号:

齿轮付所处单元号:

**齿轮数据**

齿轮付质量分布: 齿轮付为一质量

齿轮箱速比: 0

主动齿轮惯量 (kg. m<sup>2</sup>):

**打印选项**

☒ 原始输入数据 ☒ 频率 / 振型

☒ 扭振扭矩 / 应力表 ☒ 扭矩 / 应力曲线

确定 (O) 取消 (C)

轴系布置及齿轮 轴段数据 主机数据 其它部件

图 4.2 轴系布置及齿轮数据页

- “主机类型”下拉列表有柴油机和汽轮机两项选择，默认项为柴油机，选择汽轮机时程序将只进行轴系模型的自由振动计算，此时柴油机轴系的计算数据项将被屏蔽，输入操作无效。
- “动力装置”下拉列表用于选择轴系的吸功装置，共有 6 项选择，分别为：普通螺旋桨、空气螺旋桨、喷水推进器、垫升风机、发电机和水力测功器，默认项为普通螺旋桨。
- “推进型式”下拉列表有两种选择：常规推进和 Z 型推进。
- “中间轴联接方式”下拉列表用于选择中间轴的连接方式，用于计算 CCS 规范对中间轴的许用应力值共有三项，分别为：整体法兰联接、过盈套合联接和键联接。
- 若轴系中存在齿轮啮合，则对齿轮计算模型可采用两个啮合齿轮合并一个质量或两个质量，由“齿轮付质量分布”下拉菜单控制。
- “打印选项”用于选择要打印的内容，有四个选项：原始输入数据、频率/振型、扭振扭矩/应力表、扭矩/应力曲线，选择后就打印，未选就不打印相应部分。



### 4.2.2 轴段数据

- “轴段数据”页包括两个部分：轴系单元数据位于上半部分，以表格形式操作；曲轴、中间轴和螺旋桨轴数据位于下半部分，以三页切换方式操作。如图 4.2 所示。

轴系单元表格数据操作：

- (1) 轴系单元表格数据可以直接用鼠标定位到要操作的行列，也可以用 “↑”、“↓”、“←”、“→” 光标键移动到要操作的行列；
- (2) 当轴系单元表格数据中当前行变化时，轴系当量图的当前单元也对应同步变化，当量图中相应的单元获得焦点并且颜色变蓝；

35000DWT Oil Tanker <SHS033>-轴系 1

轴段数据

单元号	惯量 (kg.m <sup>2</sup> )	柔度 (E-10 rad/N.m)	外径 (mm)	内径 (mm)	速比
▶ 1	4710	1639.3442	1000	0	1
2	271	12.3701	560	0	1
3	3537	17.191	560	0	1
4	3537	17.191	560	0	1
5	3537	17.191	560	0	1
6	3537	17.191	560	0	1
7	3537	17.191	560	0	1
8	3537	11.4995	560	0	1
9	1803	9.1158	560	0	1
10	1473	0.336	560	0	1
11	250	333.1113	400	0	1
12	289	144.5087	480	0	1
13	28900	0	0	0	1
✱					

曲轴

中间轴

螺旋桨轴

材料抗拉强度 (N/mm<sup>2</sup>)

400

外径 (mm)

560

内径 (mm)

0

确定 (O)

取消 (C)

轴系布置及齿轮

轴段数据

主机数据

其它部件

图 4.3 轴段数据页

- (3) 反之，当用户单击轴系当量图中的一个单元时，在轴段数据表格编辑框中的相应记录行中的单元也将获得焦点。
- (4) 在轴段数据表格编辑框中可以进行单元（行）操作：插入一行、删除一行、复制当

前行至末行。先用鼠标点击行首以选中一行，再在行首处按鼠标右键弹出操作菜单（如图 4.4），再点击要操作的菜单项，操作完成后轴系当量图也跟着改变。

5	3537	17.191	560	0	1
			560	0	1
			560	0	1
			560	0	1
			560	0	1
10	1473	0.336	560	0	1

图 4.4 轴系单元表格数据操作功能

- (5) 选择“插入一行”菜单后，在当前行的上方插入一个新建行，其中各列值均为 0；选择“删除一行”菜单后，将当前行记录删除；选择“复制当前行至末行”菜单后，在最末行之后新增一行，并将当前行的各个数据复制到新建行。
- (6) 在轴系当量图上可以进行下列操作：复制当前单元至最后、删除单元、批量增加单元、设置动力装置、设置或取消部件。动力装置包括：螺旋桨、空气螺旋桨、喷水推进器、垫升风机、发电机、水力测功器等；部件包括：第一气缸、气缸间不连续单元、飞轮、齿轮副、减振器、联轴器、中间轴/风机轴等。如图 4.5 所示。

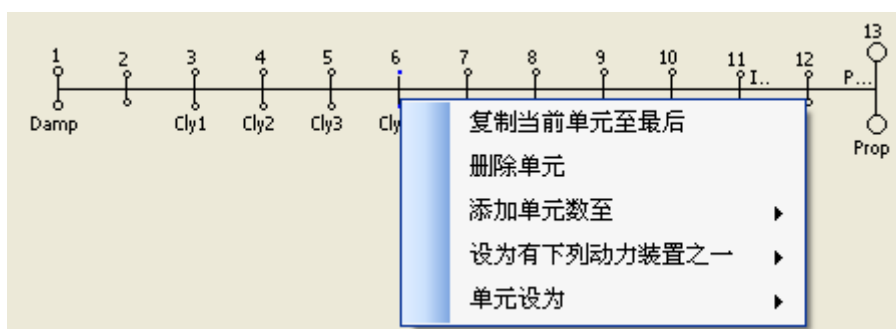


图 4.5 轴系当量图设置功能

- (7) 在轴段数据表格第二列（惯量）标题上按鼠标右键后，系统弹出“惯量单位”菜单项，可对惯量的单位进行自动转换，惯量单位有三种： $\text{kg.m}^2$ 、 $\text{kg.cm.sec}^2$ 和 $\text{lb.in.sec}^2$ ，用于程序计算使用的单位是 $\text{kg.m}^2$ ，如图 4.6。

单元号	惯量 ( $\text{kg.m}^2$ )	刚度 ( $\text{E-10 rad/N.m}$ )	外径 (mm)	内径 (mm)	速比
1	0				1
2	0				1
3	0				1
4	0.455	2124	105	0	1

图 4.6 惯量单位设置菜单

- (8) 在轴段数据表格第三列（柔度/刚度/等效长度）标题上按鼠标右键后，系统弹出“柔度/刚度/等效长度”菜单项，有五种：柔度 E-10rad/N.m、柔度 E-10rad/lb.in、刚度 M N.m/rad、刚度 M lb.in/rad 和等效长度 cm，选择不同菜单项可以切换输入柔度、刚度或等效长度，实现刚度与柔度各单位之间的自动转换，转换中对于值为 0 的将不进行转换，用于程序计算使用的是柔度，如图 4.7。

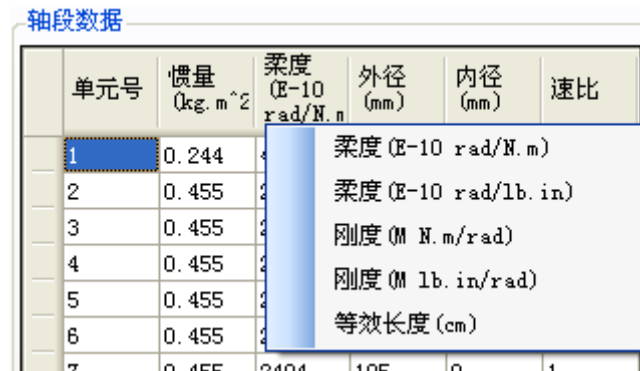


图 4.7 柔度/刚度/等效长度单位设置菜单

- (9) 在轴段数据表格第六列（速比）标题上按鼠标右键后，系统弹出“速比变换”菜单项，有两种：速比正变换和速比逆变换，可以对输入的惯量和柔度进行相对值的正计算和逆计算，如图 4.8。

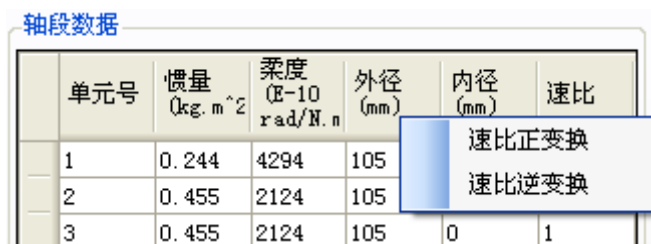


图 4.8 速比设置菜单

- (10) 输入数据的单位以标题的提示为准。

### 4.2.3 主机数据

- 当切换到“柴油机数据”页，在其中可以输入“柴油机”基本信息。如图 4.9 所示。

35000DWT Oil Tanker <SHS033>轴系 1

**主机数据**

主机类型: 6RTA52U

额定功率 (kW): 6184

额定转速 (r/min): 98

柴油机列数: 单列

冲程数: 2 冲程

气缸直径 (mm): 520

曲柄半径 (mm): 900

连杆长度 (mm): 1978

单缸往复质量 (kg): 3210

机械效率: 0.9

**发火顺序**

V - 型机列间夹角 (deg): 0

V 型机列间发火间隔角 (deg): 0

气缸号	发火顺序
1	1
2	6
3	2
4	4

确定 (Q) 取消 (C)

轴系布置及齿轮 轴段数据 主机数据 其它部件

图 4.9 主机数据页

- 当柴油机的气缸的增减操作同轴系单元表格数据的操作，缸数变化时（如：增加、删除一个气缸），轴系当量图也作相应的变化。
- “柴油机列数”下拉列表用于选择柴油机是直列型式还是 V 型，默认项为直列型式。
- “冲程数”下拉列表用于选择柴油机的冲程数（2 或 4），默认项为 2 冲程。

#### 4.2.4 其他数据

- 当切换到“其他数据”页，在其中可以输入“减震器”、“联轴器”和“发电机”基本信息。如图 4.10 所示。

35000DWT Oil Tanker <SHS033>轴系 1

减振器所处单元号

减振器型式

减振器刚度 (kNm/rad)

减振器阻尼系数

减振器阻尼值 (Nms/rad)

惯性轮惯量 (kg.m<sup>2</sup>)

联轴器所处单元号

联轴器型式

持续许用扭矩 (kNm)

瞬时许用扭矩 (kNm)

动态扭转刚度 (kNm/rad)

联轴器阻尼系数

联轴器特征频率 (rad/s)

发电机所处单元号

发电机型式

发电机效率

发电机负载 (N.m)

发电机极对数

发电机转速 (r/min)

轴系布置及齿轮 | 轴段数据 | 主机数据 | **其它部件**

图 4.10 其它部件页

- “减震器”、“联轴器”和“发电机”基本信息的显隐由轴系中是否包含此部件决定。
- “减振器类型”采用下拉列表进行选择，减振器的类型分为一般弹性减振器和硅油减振器。
- 对于一般弹性减振器，要求输入减振器的动态刚度、减振器阻尼值（绝对阻尼值或阻尼系数任选一个），对于硅油型式减振器应输入减振器惯性轮惯量（单位为Kgm<sup>2</sup>），程序将自动计算减振器阻尼。
- “联轴器类型”下拉列表用于选择联轴器的类型，联轴器类型有普通型联轴器和盖斯林格联轴器。
- 对于普通型联轴器要求输入相对阻尼参数，对于盖斯林格型式联轴器不要求输入阻尼参数，但要求输入特征频率（单位为 rad/s）。
- “发电机类型”下拉列表用于选择发电机的类别是直流还是交流发电机。

### 4.3 数据打印说明

- 单击【计算】按钮后，程序进入计算状态，计算完毕后会在屏幕上显示如图 4.11 所示的打印预览界面。



图 4.11 打印预览界面

- 工具栏上有【打印】、【放大】、【缩小】和【关闭预览窗口】四个按钮。单击【打印】按钮则可以进行打印操作。【放大】按钮则可以放大当前视图中的页面。【缩小】按钮则可以缩小当前视图中的页面。【关闭预览窗口】则可以返回到数据输入界面。
- 对燃气轮机轴系只进行自由振动计算。
- “打印选项”用于选择要打印的内容，有四个选项：原始输入数据、频率/振型、扭振扭矩/应力表、扭矩/应力曲线，选择后就打印，未选就不打印相应部分。

### 4.4 计算结果保存

- 如果您需要保存计算结果，则可以安装 PDF 打印机，然后再如图 4.11 所示的界面中，单击“打印”按钮，在随后出现的“选择打印机”对话框中选择“Acrobat PDF Printer”打印机即可。

## 5 保存数据文件

- 单击主菜单中的【数据】菜单下的【保存】菜单项，便将当前轴系的数据存入磁盘中。

## 6 运行环境

- 程序可以运行在 Windows 9x、Windows NT、Windows 2000 以及 Windows XP、Vista 等版本。
- 桌面区域为 800×600 像素以上。
- 在英文 Windows 环境下，使用中文界面时，要求有中文平台。
- 打印机无特别限制。如果需要保存打印结果，则需要安装 PDF 打印机。