

# 电磁场数值计算

---

邢庆子

**Tel:** 62781684(o), 13661226717

**E-mail:** [xqz@tsinghua.edu.cn](mailto:xqz@tsinghua.edu.cn)

清华大学工物系加速器实验室 刘卿楼309



## 3.9 现代通用程序介绍

---

- 一些通用程序

国外：**Superfish, Mafia, CST** 电磁工作室（上海软波工程软件有限公司）等程序；

国内：**DE3D, DE2D, FEMA2D**等。



## 3.9 现代通用程序介绍

### ● 电磁场计算程序的典型结构

#### 前处理(pre-processing)

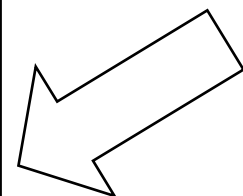
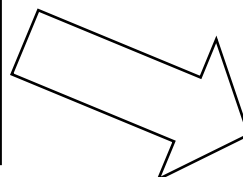
- ① 数据定义；几何尺寸；材料性质参数；边界条件。
- ② 空间剖分；网格自动产生及节点形成。
- ③ 网格图形显示。

#### 后处理(post-processing)

- ① 计算结果输出。
- ② 力线和位函数图形输出。
- ③ 铁区饱和情况显示。
- ④ 力、损耗的计算。
- ⑤ 局部场分布的细致计算。

#### 数据处理(data-processing)

- ① 系数矩阵形成。
- ② 代数方程组求解。
- ③ 非线性迭代。





## 3.9 现代通用程序介绍

---

### 一. Poisson / Superfish 程序简介

- 1.1 Poisson / Superfish 的发展与获取
- 1.2 软件包中程序流程及使用
- 1.3 Poisson / Superfish 磁场源文件的编制
- 1.4 例子

### 二. Mafia 程序简介

- 2.1 Mafia 程序简介
- 2.2 Mafia S 模块介绍
- 2.3 Mafia S 模块背景知识
- 2.4 Mafia S 模块菜单介绍
- 2.5 S 模块具体例子—静磁场问题
- 2.6 Mafia S 模块总结



## 1.1 Poisson / Superfish 的发展与获取

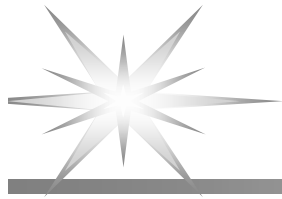
---

- **Poisson / Superfish** 源代码是由 **Los Alamos** 的 **Ron F. Holsinger** 和 **Klaus Halbach** 合作开发的。

最新版本: **PoissonSuperfish\_7.19 for Windows**

- **Poisson / Superfish** 程序由 **Los Alamos Accelerator Code Group (LAACG)** 维护。
- 下载:  
[http://laacg1.lanl.gov/laacg/services/download\\_sf.phtml](http://laacg1.lanl.gov/laacg/services/download_sf.phtml)

需要注册。



# Poisson Superfish

**James H. Billen and Lloyd M. Young**

**Documentation by  
James H. Billen**





## 1.1 Poisson / Superfish 的发展与获取

- 主要包括两个软件包：

- 1) **POISSON** 程序包：计算静态电磁场问题；

- 2) **SUPERFISH** 软件包：计算交变电磁场问题。

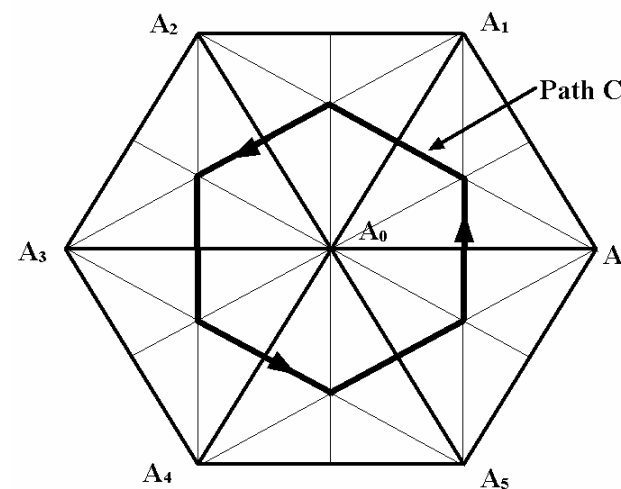
- 使用坐标系：

- 二维直角坐标系，或轴对称柱坐标系。

- 采用方法：

- 用矢量磁位计算场分布；

- 在位函数求解中采用三角形网格和差分法（积分法进行离散），对方程离散形成方程组后采用超松弛迭代求解。





## 1.1 Poisson / Superfish 的发展与获取

---

### ● 主要功能

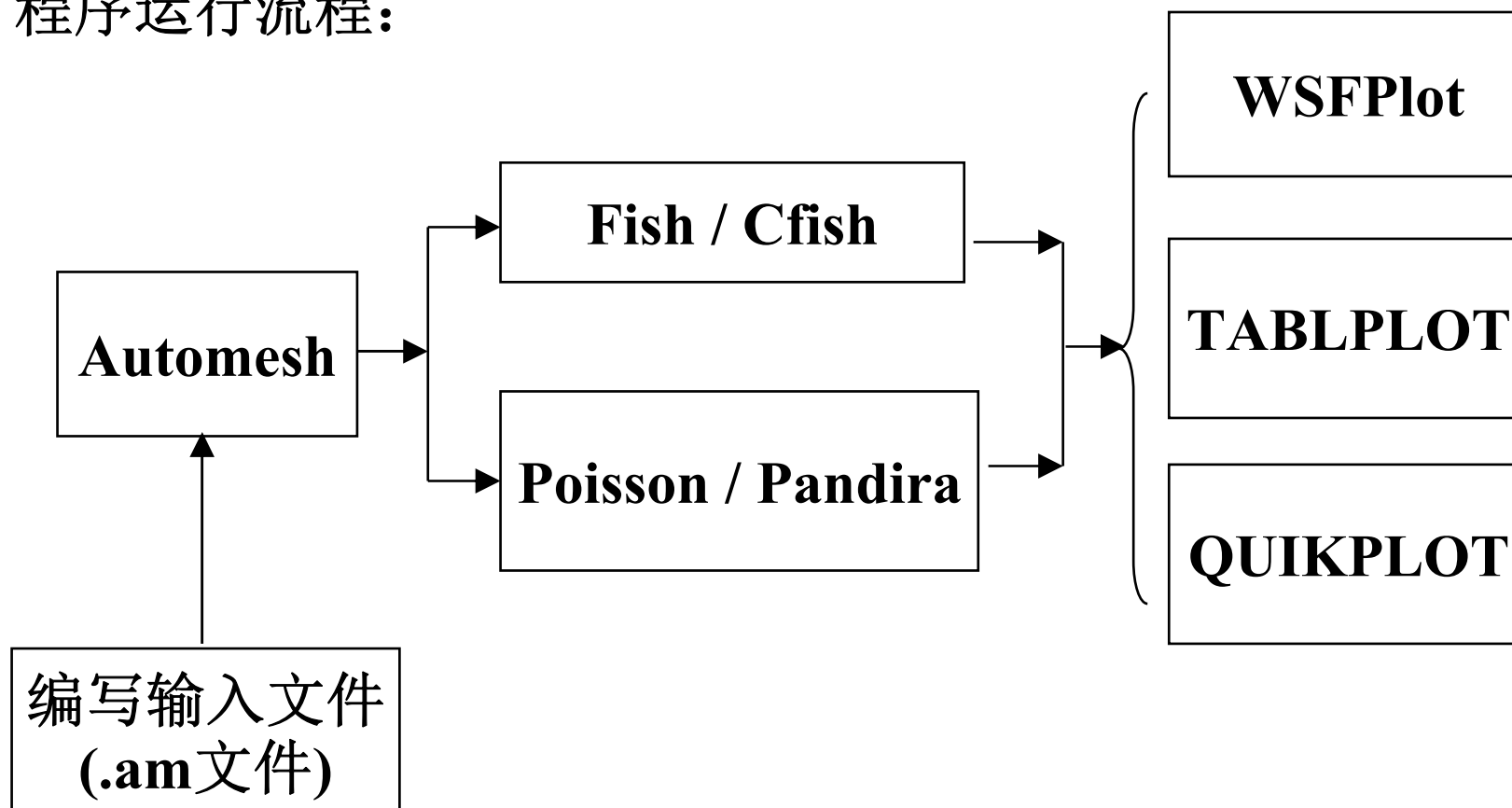
- ✓ 采用等势剖分自动生成适合边界条件和材料条件的三角形网格，并对生成的数据进行优化；
- ✓ 可以解决静态电场问题和静态磁场问题，特别是永磁问题和各向异性问题；对 **RF** 问题可以搜索谐振频率并计算场值；
- ✓ 考虑了对称性问题，以缩小计算区域，节省内存和计算时间；
- ✓ 可进行谐波分析，给出非均匀场中的各次谐波；
- ✓ 可计算二维直角坐标与柱坐标(**rz**)系统；
- ✓ 可以用图形及文本方式输出计算的结果；
- ✓ 后处理程序可以对各种类型的腔进行自动调谐，计算功率损失、表面阻抗、渡越时间因子积分等；可以对场的计算值进行插值，计算问题结构中各构件之间的作用力；还有为 **EGUN** 程序和**PARMELA** 程序提供输入文件等功能。





## 1.2 软件包中程序流程及使用

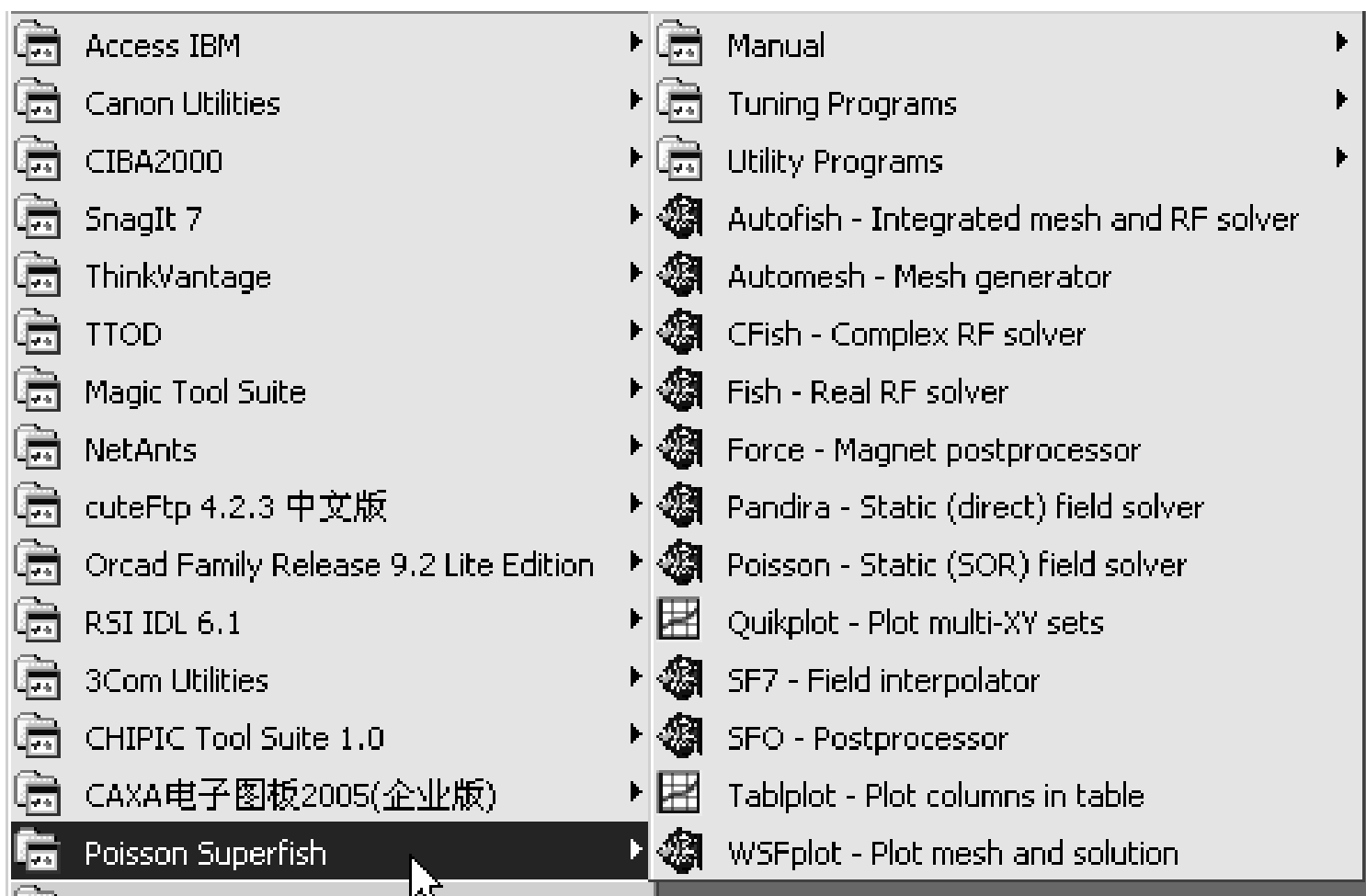
- 程序运行流程：





## 1.1 Poisson / Superfish 的发展与获取

### ● Poisson / Superfish 安装目录:





## 1.2 软件包中程序流程及使用

---

- **Autofish – Integrated mesh and RF solver**  
求解射频问题。

**Autofish** { **Automesh**  
          **Fish**  
          **SFO**

不能用于求解 **Poisson** 和 **Pandira** 问题。

- **Automesh – mesh generator**  
计算静态电场、磁场或射频问题前需要首先运行的程序。  
读入问题的几何结构和材料属性。



## 1.2 软件包中程序流程及使用

---

- **Cfish** – **complex RF solver**

对射频场、介电常数(permittivity)和磁导率(permeability)使用复数变量的一个Fish版本。

- **Fish** – **real RF solver**

对 **KPROB=1**的射频问题，在 **Automesh** 之后执行求解。

在二维直角坐标和三维柱坐标中求解**RF**腔的频率和场分布。

- **Force** – **Magnet postprocessor**

是 **Poisson** 和 **Pandira** 的后处理程序，可计算作用于磁轭和线包上的磁场力和力矩。



## 1.2 软件包中程序流程及使用

---

- **Pandira** – **Static (direct) field solver** , 可计算永磁材料。  
与**Poisson**类似, 主要可以计算各向异性介质磁场问题。
- **Poisson** – **Static (SOR) field solver**  
对于非线性、各向同性磁介质和电介质, 用连续超松驰迭代求解离散后的方程组。



## 1.2 软件包中程序流程及使用

---

- **Quikplot** – **Plot multi-XY sets**, 并可对区间积分。
- **SF7** – **Field interpolator**, 是后处理程序。
- **SFO** – **Post processor**

根据**Fish**和**Cfish**的计算结果计算腔的特性, 如品质因数、分路阻抗、渡越时间因子等参数。

- **Tablplot** – **Plot columns in table**

以一维曲线的形式作出图形。

- **WSFpot** – **Plot mesh and solution**

可以显示问题的几何结构、网格剖分情况及求解的磁场, 对于静态电磁场问题可以画出等势线。

# ● Poisson Superfish 程序中使用的文件:

Program	Input files	Output files
Automesh	XXXXX.AM, XXXXX.T36	OUTAUT.TXT, XXXXX.T35 (TAPE36, TAPE37)
Autofish	XXXXX.AF, XXXXX.T36, XXXXX.SEG	OUTAUT.TXT, OUTFIS.TXT, XXXXX.T35, XXXXX.SFO, XXXXX.PMI, (TAPE36, TAPE37, TAPE40)
Fish	XXXXX.T35	OUTFIS.TXT, FishScan.TBL, XXXXX.T35, (TAPE40)
CFish	XXXXX.T35	OUTFIS.TXT, FishScan.TBL, XXXXX.T35, (TAPE40)
Poisson	XXXXX.T35	OUTPOI.TXT, OUTPOI.TBL, XXXXX.T35, XXXXX.P07, EFLD.QKP, BFLD.QKP
Pandira	XXXXX.T35	OUTPAN.TXT, OUTPAN.TBL, XXXXX.T35, XXXXX.PA7, EFLD.QKP, BFLD.QKP, (TAPE40)
SFO	XXXXX.SEG, XXXXX.T35	Transit.TBL, TBETA.TBL, XXXXX.T35, XXXXX.SFO, XXXXX.PMI, TBETAnn.TBL
SF7	XXXXX.IN7, XXXXX.T35	OUTSF7.TXT, XXXXX.nn.TBL, XXXXXnn.EGN, XXXXXnn.T7
Force	XXXXX.FCE, XXXXX.T35	OUTFOR.TXT
WSFplot	XXXXX.T35 (WSFplot.PRF), CurveFile	OUTWSF.TXT, WSFplot.PRF, numerous hardcopy graphics file types
SegField	Filename.SGF, Filename.SFO as named in SGF file	Tablplot file named in the input SGF file
SFOtable	Filename.SFT, series of files Filename.SFO as named in SFT file	Tablplot file named in the input SFT file
SF8	Filename.IN8, two T35 solution files as named in IN8 file	OUTSF8.TXT
List35	XXXXX.T35	XXXXX.TXT
Quikplot	Filename.QKP	numerous hardcopy graphics file types
Tablplot	Filename.TBL	numerous hardcopy graphics file types
ABCfish (tuning codes)	Filename00.ABC, where ABC stands for CCL, DTL, etc.	Filename01.ABC, Filename00.LOG, plus files XXXXX.AM, XXXXX.T35, XXXXX.SFO for each problem solved. May also include XXXXX.PMI files.



## 1.2 软件包中程序流程及使用

### ● Poisson / Superfish帮助文件

#### SFTOC.DOC (Table of contents)

<u>SFINTRO.DOC</u>	Introduction, problem variables, SF.INI settings, technical support
<u>SFFILES.DOC</u>	Descriptions of input and output files
<u>SFCODES.DOC</u>	Autofish, Automesh, Fish, CFish, Poisson, Pandira
<u>SFPOSTP.DOC</u>	WSFplot, SFO, SF7, Force
<u>SFCODES2.DOC</u>	Cavity tuning programs XXXfish (CCLfish, DTLfish, etc.)
<u>SFCODES3.DOC</u>	Plotting programs Quikplot, Tablplot, and utility programs
<u>SFEXMPL1.DOC</u>	Example files for Fish, CFish, and Autofish
<u>SFEXMPL2.DOC</u>	Example files for Poisson and Pandira
<u>SFEXMPL3.DOC</u>	Example files for tuning programs
<u>SFPHYS1.DOC</u>	Theory of electrostatics and magnetostatics
<u>SFPHYS2.DOC</u>	Properties of static magnetic and electric fields
<u>SFPHYS3.DOC</u>	Boundary conditions and symmetries
<u>SFPHYS4.DOC</u>	Numerical methods in Poisson and Pandira
<u>SFPHYS5.DOC</u>	RF cavity theory





## 1.3 Poisson / Superfish 磁场源文件的编制

### H-Shaped Magnet

Including harmonic analysis for H type dipole magnet

Field output is requested along the X axis

[Originally appeared in 1987 Reference Manual B.2.1]

&reg kprob=0, ; Declares a POISSON problem

dx=.3, ; Mesh interval

mode=0 ; Use fixed gamma for material 2

xminf=0,xmaxf=22, ; X range for field interpolation

yminf=0,ymaxf=0, ; Y range (along line y = 0)

; The next 6 terms refer to the harmonic analysis:

ktype=6, ; H dipole symmetry

nterm=7, ; Number of coefficients

nptc=11, ; Number of arc points for  
interpolation

rint=1.5, ; Radius of the arc

angle=90, ; Angular extent of arc (default start =  
0)

rnorm=1.5 & ; Aperture radius

&po x=0.,y=0. & ; Start of the air-region points

&po x=22.,y=0. &

&po x=22.,y=13. &

&po x=0.,y=13. &

&po x=0.,y=0. &

&reg mat=2 & ; Start of the iron  
region

&po x=0., y=2. &

&po x=5.1,y=2. &

&po x=5.5,y=2.4 &

&po x=5.5,y=6. &

&po x=15.,y=6. &

&po x=15.,y=0. &

&po x=22.,y=0. &

&po x=22.,y=13. &

&po x=0.,y=13. &

&po x=0.,y=2. &

&reg mat=1,cur=-25455.791 & ; Start of  
the coil region

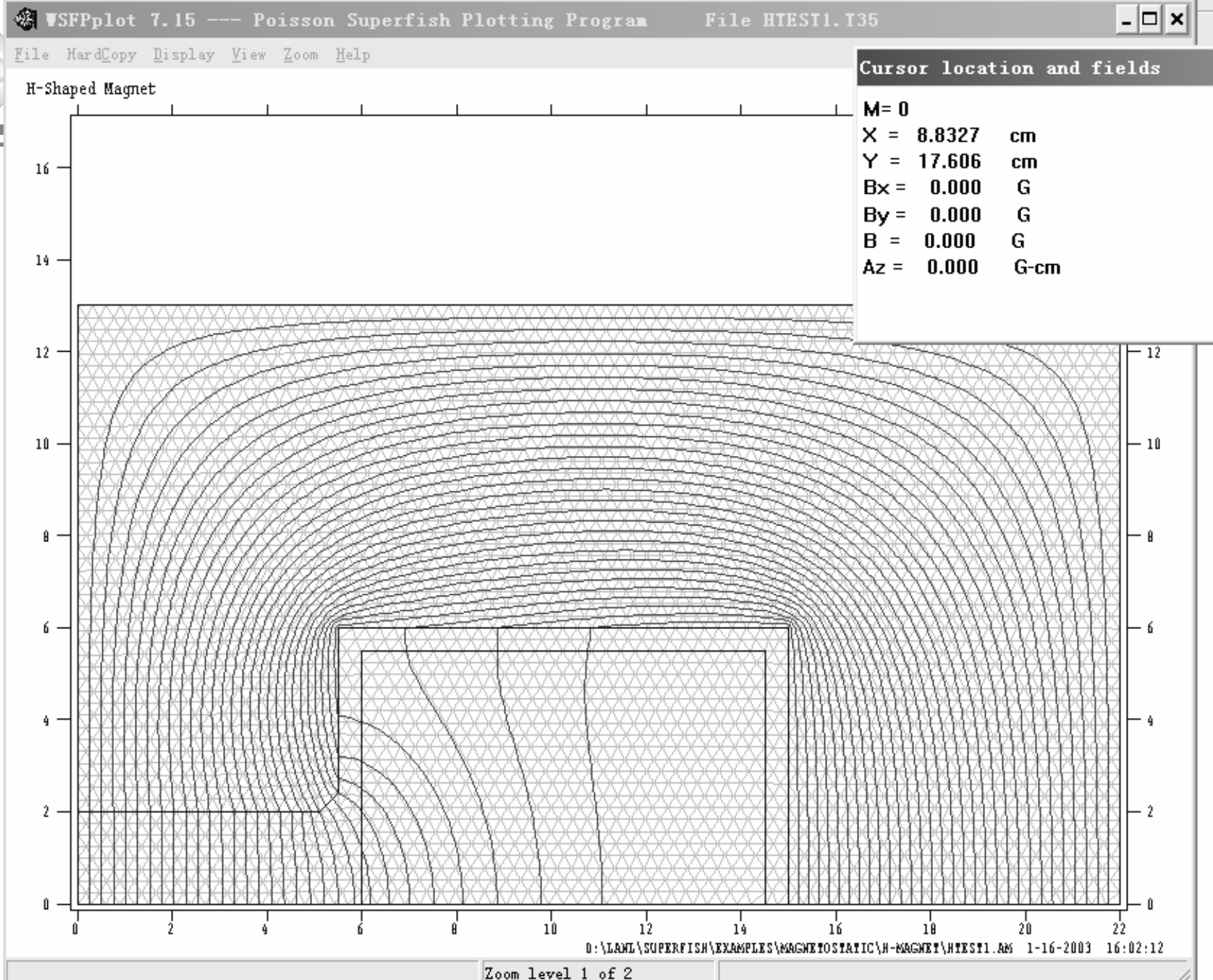
&po x=6.,y=0. &

&po x=14.5,y=0. &

&po x=14.5,y=5.5 &

&po x=6.0,y=5.5 &

&po x=6.,y=0. &





## 1.3 Poisson / Superfish 磁场源文件的编制

---

- 常用的表格:

- 1) **Problem variables: Superfish variables & Poisson variables**

- 2) **REG namelist variables**
- 3) **PO namelist variables**

} 每个REG namelist 后面有其相应的 PO namelist

- 4) **MT namelist variables**
- 5) **POA namelist variables**

} 相互独立，出现次序可以变化。

- 输入文件的开始可最多写10行标题行（每行不超过80个字母）。

- 源文件后缀为.am，以 **&reg**，**&PO**，**&MT**或 **&POA**开始，以 **&** 或 **&END** 结束，注释用 “!” 或 “;”。



## 1.3 Poisson / Superfish 磁场源文件的编制

---

- **Automesh**可以划分不同精度的网格区，用**XREGi(YREGi)**、**KREGi(LREGi)**实现。
- **kprob**  
**kprob = 0** 表示是 **Poisson or Pandira** 问题 (PP)  
**kprob = 1** 表示是 **Superfish** 问题(SP)
- **mode**  
**mode = 0** 表示有的材料具有可变磁导率(permeability)  
**mode = -1** 表示材料具有有限、固定磁导率  
(**mode = -2** (默认值) 表示 **MAT>1** 的所有材料具有无限磁导率)



## 1.3 Poisson / Superfish 磁场源文件的编制

### ● mat

**mat = 0**是具有  $\epsilon_r = \infty$  and  $\mu_r = \infty$ 材料

**mat = 1** 具有  $\epsilon_r = 1$  and  $\mu_r = 1$ 的材料（如空气、真空和线包区）

**mat  $\geq 2$**  用户定义的非线性材料

<b>MAT</b>	<b>Radio frequency problem</b>	<b>Electrostatic problem</b>	<b>Magnetostatic problem</b>
<b>0</b>	<b>Unmeshed metal region</b> ( $\epsilon_r = \infty$ and $\mu_r = \infty$ ).	<b>Unmeshed metal region</b> ( $\epsilon_r = \infty$ ).	<b>Unmeshed region.</b>
<b>1</b>	<b>Air or vacuum</b> ( $\epsilon_r = 1$ and $\mu_r = 1$ ).	<b>Air or vacuum</b> ( $\epsilon_r = 1$ ).	<b>Air, vacuum, and coil regions ( <math>\mu_r = 1</math> ).</b>
<b><math>\geq 2</math></b>	<b>User defined <math>\epsilon</math> and <math>\mu</math> .</b>	<b>User defined <math>\epsilon</math> .</b>	<b>User defined <math>\mu</math> .</b>



## 1.3 Poisson / Superfish 磁场源文件的编制

---

### ● MTID

**Material Table ID number**, 把该区的材料指向MT namelist中相同的MTID的MT table。

```
&REG MAT=2, MTID=6, MSHAPE=-1&      ; Region 1
; PO namelist entries for this region would appear here.
&REG MAT=2, MTID=7, MSHAPE=-1 &      ; Region 2
; PO namelist entries for this region would appear here.
&REG MAT=3, MTID=6, MSHAPE=-1&      ; Region 3
; PO namelist entries for this region would appear here.
&REG MAT=4, MTID=6, MSHAPE=0 &      ; Region 4
; PO namelist entries for this region would appear here.
&MT MTID = 6 MU = 20
BGAM = 0.000E+00 0.00175
0.114E+04      0.00175
; lines of this material table have been omitted here.
0.280E+05      0.2518 &
&MT MTID = 7 MU = 10
BGAM = 0.000E+00 0.00275
0.134E+04      0.00275
; lines of this material table have been omitted here.
0.310E+05      0.2905 &
```



## 1.3 Poisson / Superfish 磁场源文件的编制

---

**B —— Gauss**

**H —— Oersteds**

**磁阻率  $\gamma$  —— Dimensionless**

**相对磁导率  $\mu_r$  —— Dimensionless**

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

**高斯制:**

$$\mu_0 = 1 \implies \mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} = \mu$$



## 高斯制与国际单位制的换算

量的名称	高斯制	换算倍数	国际单位制
长度	厘米	$10^{-2}$	米
电场强度 $E$	静伏/厘米	$3 \times 10^4$	伏/米
电感应强度 $D$	静伏/厘米	$(\frac{1}{12\pi}) \times 10^{-5}$	库仑/米 <sup>2</sup>
磁场强度 $H$	奥斯特	$(\frac{1}{4\pi}) \times 10^3$	安培/米
磁感应强度 $B$	高斯	$10^{-4}$	特斯拉
磁化强度	高斯或奥斯特	$10^3$	安培/米

如何将国际单位制的  $\mu$  换算成高斯单位制？即乘以  $10^7/(4\pi)$  则变为高斯制(Gauss/Oe)

。

$$\mu = B/H \sim T/(A/m) \sim 10^4 \text{ Gauss}/(4\pi \times 10^{-3} \text{ Oe}) \sim 10^7/(4\pi) \text{ Gauss/Oe}$$





## 1.3 Poisson / Superfish 磁场源文件的编制

---

### ● MSHAPE

**Table VI-8. Values of MSHAPE when MODE = 0.**

<b>MSHAPE</b>	<b>Description</b>
<b>-1</b>	<b>Isotropic material with finite, but fixed, permeability.</b>
<b>0</b>	<b>Isotropic material with variable permeability.</b>
<b>1</b>	<b>Anisotropic material with straight-line BH curves.</b>
<b>2</b>	<b>Anisotropic material with variable permeability for the easy axis.</b>

**&REG MAT=2, MTID=6, MSHAPE=-1& ; Region 1**  
**; PO namelist entries for this region would appear here.**

**&REG MAT=2, MTID=7, MSHAPE=-1 & ; Region 2**  
**; PO namelist entries for this region would appear here.**

**&REG MAT=3, MTID=6, MSHAPE=-1& ; Region 3**  
**; PO namelist entries for this region would appear here.**

**&REG MAT=4, MTID=6, MSHAPE=0 & ; Region 4**  
**; PO namelist entries for this region would appear here.**

**&MT MTID = 6 MU = 20**  
**BGAM = 0.000E+00 0.00175**  
**0.114E+04 0.00175**  
**; lines of this material table have been omitted here.**  
**0.280E+05 0.2518 &**

具有相同**MAT**的区域，具有相同的材料属性。如果多个区域的**MAT**相同，但具有不同的**MTID**，则最后一个设置该**MAT**的区域，其**MTID**将设置其他所有具有相同**MAT**的区域。

**&MT MTID = 7 MU = 10**  
**BGAM = 0.000E+00 0.00275**  
**0.134E+04 0.00275**  
**; lines of this material table have been omitted here.**  
**0.310E+05 0.2905 &**

**Figure VI-1**



## 1.3 Poisson / Superfish 磁场源文件的编制

---

- 边界点定义

以**&PO**开始，以**&**结束。一般以逆时针封闭形式设定。  
要紧跟它所定义的区域(**&reg**)。后定义的区域将覆盖前面定义的区域。

- **nt** — 设定线型方式

**nt = 1** — 直线

**nt = 2** — 圆（椭圆）弧

**nt = 3** — 双曲线

**theta** = 极坐标旋转角度

**r** = 极坐标半径（**nt=1,2**）， $(x-x_0)(y-y_0)=r^2/2$ （**nt=3**）

**x0,y0**: 缺省值  $(x_0,y_0) = 0,0$ , **NT = 2**, **x0,y0** 是弧（圆）中心，**NT = 3**, **x0,y0**是双曲线中心，必须给出。



## 1.3 Poisson / Superfish 磁场源文件的编制

---

- 磁力线与表面平行：(对矢量磁位A)

第一类边界条件(Dirichlet boundary conditions)

- 磁力线与表面垂直：第二类边界条件 (Neumann boundary)
- & reg ibound 设定边界条件。

**IBOUND = 1 — Neumann boundary**

**IBOUND = 0 — Dirichlet boundary。**

Default values in:	Poisson/Pandira	Superfish
First region	<b>IBOUND = 0</b>	<b>IBOUND = 1</b>
Other regions	<b>IBOUND = 1</b>	<b>IBOUND = 1</b>



## 1.3 Poisson / Superfish 磁场源文件的编制

---

- 默认边界条件

**IBOUND = 0 — Dirichlet boundary**

**IBOUND = 1 — Neumann boundary。**

Variable	Superfish	Poisson
<b>NBSUP</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>NBSLO</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
<b>NBSRT</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>NBSLF</b>	<b>1</b>	<b>0</b>



## 1.4 例子\_Quadrupole

This is an example for one quadrupole.

```
&reg kprob=0,          ; Poisson or Pandira problem
mode=0,                ; Materials have variable permeability
;xmin=0.0,xmax=33.08,   ; X limits of the geometry
;ymin=0.0,ymax=33.08,   ; Y limits of the geometry
;新版本的程序不用再定义xmin, xmax, ymin, ymax。以
  Region 1中的定义决定结构的边界。
dx=.30,dy=.30,         ; Mesh intervals
yminf=0,ymaxf=0,       ; Fixed Y for field interpolation
xminf=0,xmaxf=15,      ; X range for field interpolation
;                      ; The next 6 terms refer to the harmonic
  analysis:
Ktype=4,               ; Quadrupole symmetry
nterm=10,              ; Number of coefficients
nptc=10,               ; Number of arc points for interpolation
rint=7.0,              ; Radius of the arc for interpolation
angle=45,              ; Angular extent of arc (default start =
  0)
rnorm=1.0&            ; Aperture radius for normalization
```

```
&po x=0.0,y=0.0&
&po x=33.080,y=0.0&
&po x=33.080,y=33.080&
&po x=0.0,y=0.0&

&reg mat=3,mtid=3&
&po x=5.837,y=5.837&
&po nt=3,r=8.255,x=13.507,y=2.523&
&po x=14.214,y=3.230&
&po x=22.470,y=11.486&
&po x=25.700,y=8.256&
&po x=25.700,y=0.0&
&po x=33.080,y=0.0&
&po x=33.080,y=33.080&
&po x=5.837,y=5.837&

&reg mat=1,cur=11416.4&
&po x=14.214,y=3.230&
&po x=22.470,y=11.486&
&po x=25.700,y=8.256&
&po x=17.444,y=0.0&
&po x=14.214,y=3.230&
```



## 1.4 例子\_Quadrupole

**&reg ibound=0&**

**&po x=33.080,y=33.080&**

**&po x=5.837,y=5.837&**

**&po x=0.0,y=0.0&**

**&mt mtid=3**

**bgam=0.00000E+00 0.0017513135 ! Start of B,Gamma data**

**0.11420E+04 0.0017513135**

**0.29530E+04 0.0010159504**

**0.51140E+04 0.0007821666**

**0.84760E+04 0.0007078644**

**0.96670E+04 0.0007241130**

**0.10578E+05 0.0007562580**

**0.11319E+05 0.0007951022**

**0.11940E+05 0.0008375209**

**0.12451E+05 0.0008834703**

**0.12912E+05 0.0009293680**

**0.13313E+05 0.0009764671**

**0.13654E+05 0.0010253255**

**0.13935E+05 0.0010764263**

**0.14216E+05 0.0011254924**

**0.14447E+05 0.0011767475**

**0.14618E+05 0.0012313603**

**0.14789E+05 0.0012846865**

**0.15020E+05 0.0013315579**

**0.15131E+05 0.0013879251**

**0.15252E+05 0.0014423770**

**0.15432E+05 0.0014912019**

**0.15594E+05 0.0015389351**

**0.15705E+05 0.0015918497**

**0.16180E+05 0.0018542555**

**0.16840E+05 0.0023752969**

**0.17150E+05 0.0029154519**

**0.17360E+05 0.0034566194**

**0.17620E+05 0.0039729837**

**0.17830E+05 0.0044863167**

**0.18200E+05 0.0054945055**

**0.18950E+05 0.0079176564**

**0.19500E+05 0.0102564103**

**0.20200E+05 0.0148588410**

**0.20650E+05 0.0193798450**

**0.20950E+05 0.0238663484**

**0.21600E+05 0.0370370370**

**0.21900E+05 0.0456621005**

**0.23000E+05 0.0869565217**

**0.23386E+05 0.1002810000**

**0.23850E+05 0.1181630000**

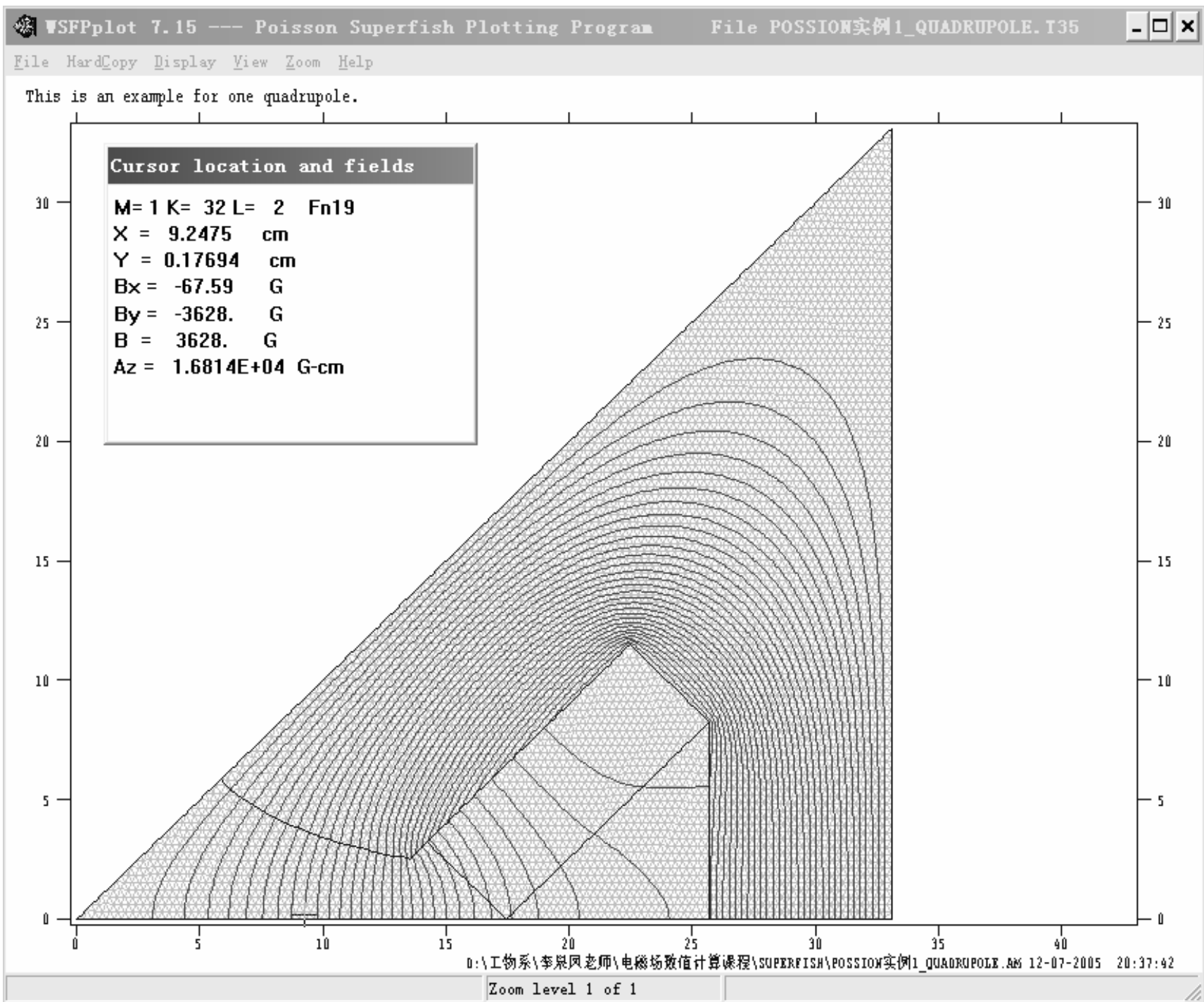
**0.24408E+05 0.1387420000**

**0.25079E+05 0.1622460000**

**0.25885E+05 0.1888580000**

**0.26854E+05 0.2186950000**

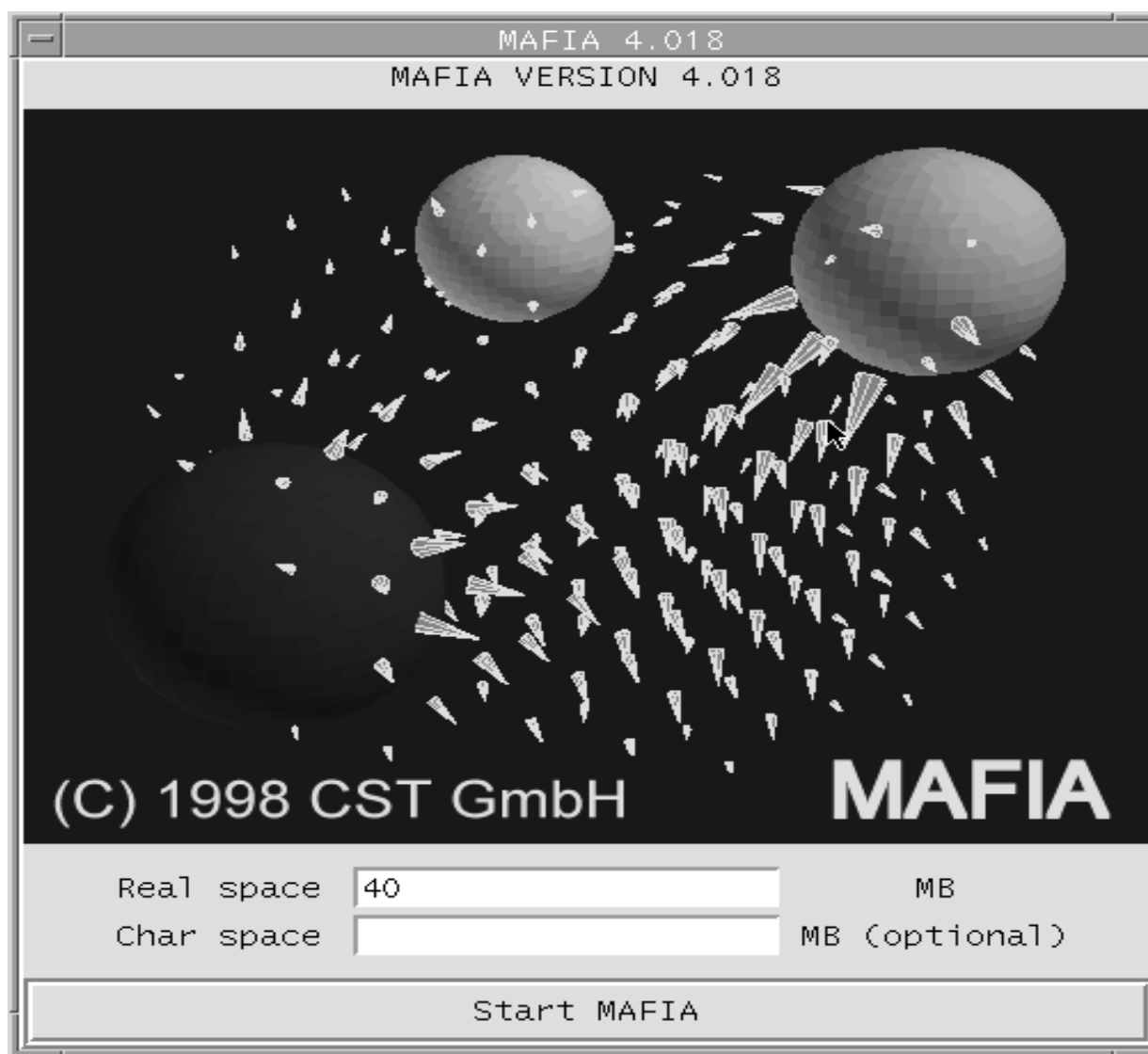
**0.28019E+05 0.2517840000 &<sup>31</sup>**







## 二、Mafia 程序使用简介



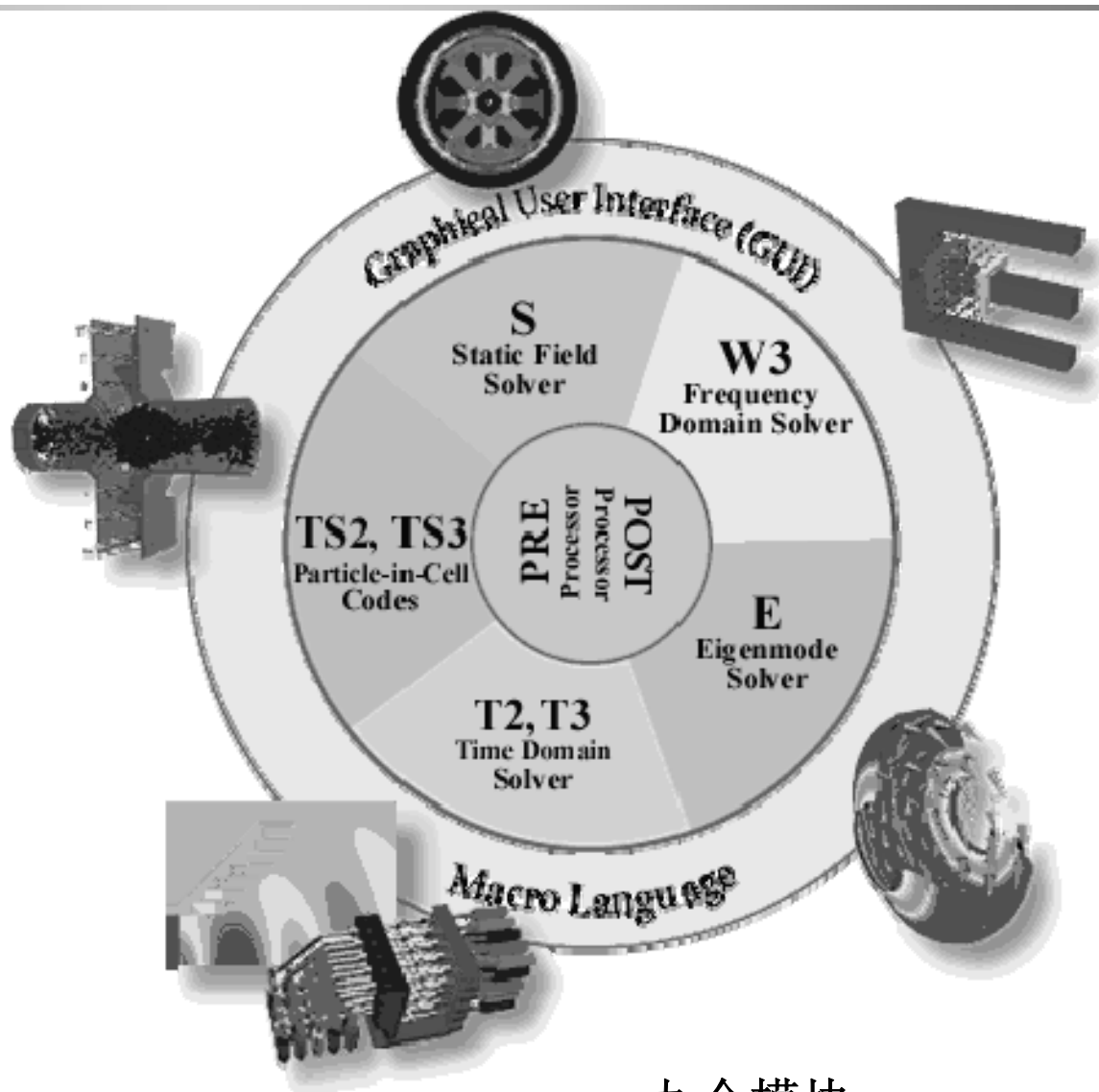


## 2.1 Mafia 程序简介

多用途的ECAD系统，  
在工业和实验室研究中  
应用了20多年，可以解  
决从静态到高频的电磁  
场问题。

**MAFIA**建立在有限积分  
(Finite Integration)  
方法基础上。

**MAFIA**包括不同的求解  
模块和预处理、后处理  
程序。统一的图形界面  
实现了从常数结构、计  
算到后处理等模块的转  
换。

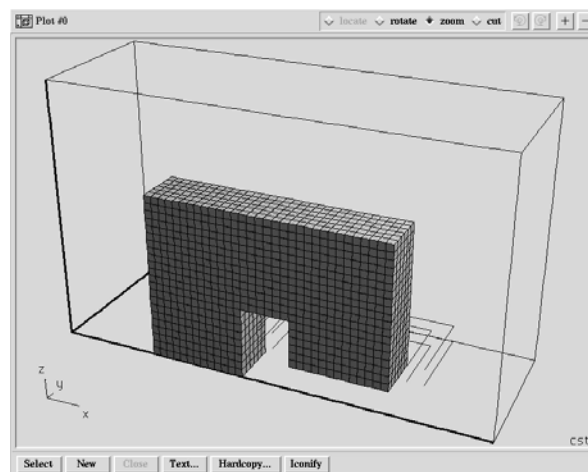


九个模块

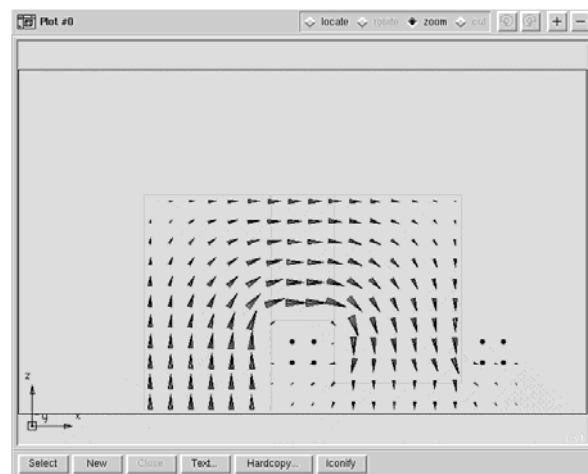


## 2.1 Mafia 程序简介

**M:** 预处理模块，建立求解问题的几何模型（包括计算区域、形状等）



**P:** 进行图形显示，给出计算结果等。





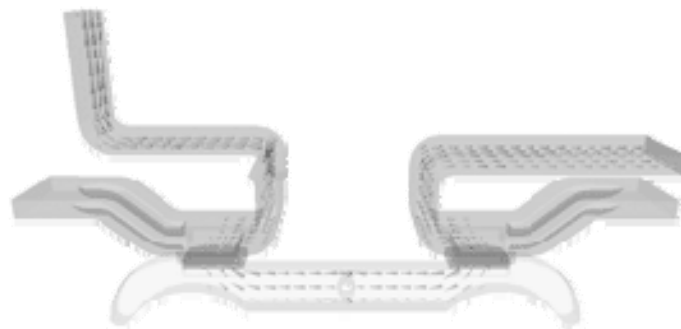
## 2.1 Mafia 程序简介

**S:** 能处理由泊松方程描述的各种物理问题：静电、磁场，恒流场，稳态温度场等。

**W3:** 在频域求解Maxwell方程组，可以计算包括涡流的低频到高频的电磁场问题。



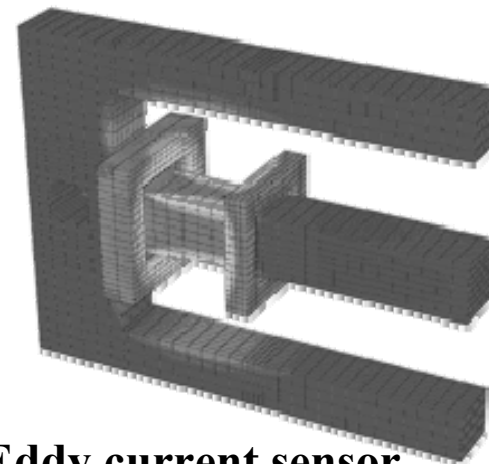
**Flux density distribution of permanent magnet motor**



**Current field of a circuit breaker**



**Temperature fields of energy transformers and power semi-conductors**



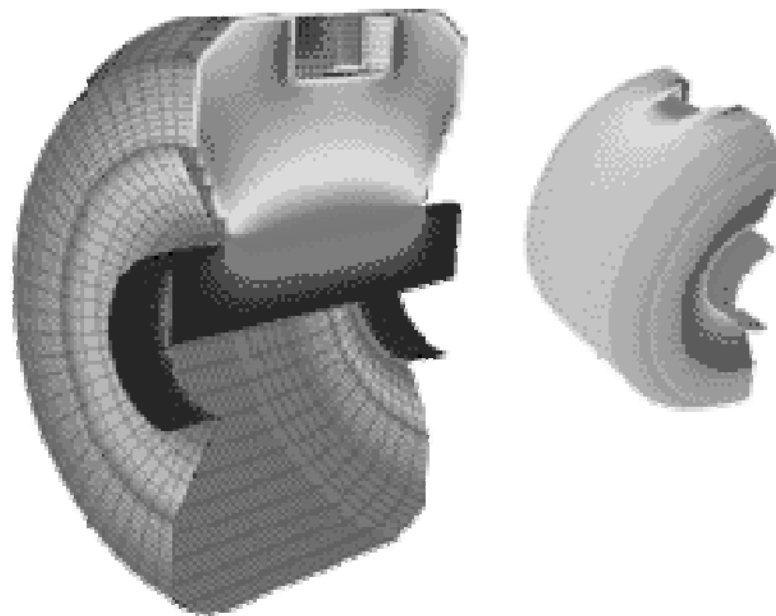
**Eddy current sensor**



## 2.1 Mafia 程序简介

---

**E:** 计算2D、3D结构的谐振腔、波导中的相关问题。

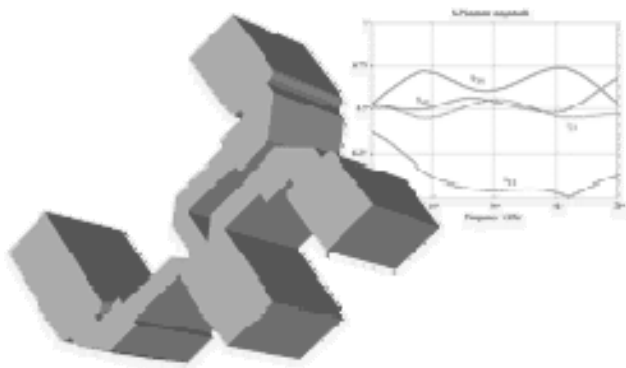


**Resonant Cavity (E)**

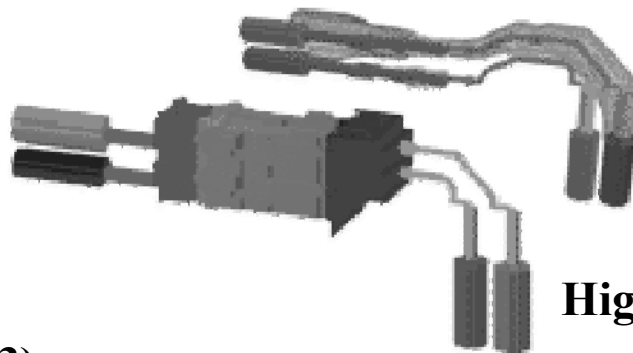


## 2.1 Mafia 程序简介

**T2、T3：**在时域中求解Maxwell方程组，如辐射和散射问题。天线、微带线、连接器、功分器、耦合器等静态参数 (S参数、阻抗) 计算；瞬态问题计算。

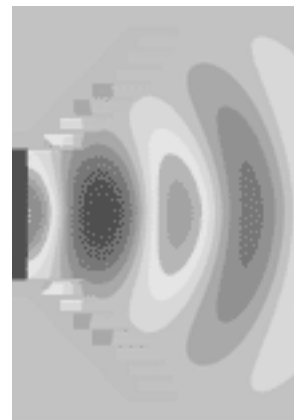


**Wave Guide Splitter (T3)**



**High Speed Connector (T3)**

**Patch Antenna (T3)**

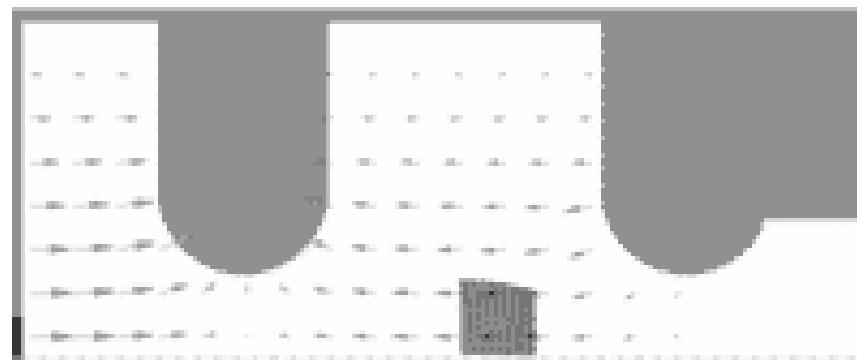
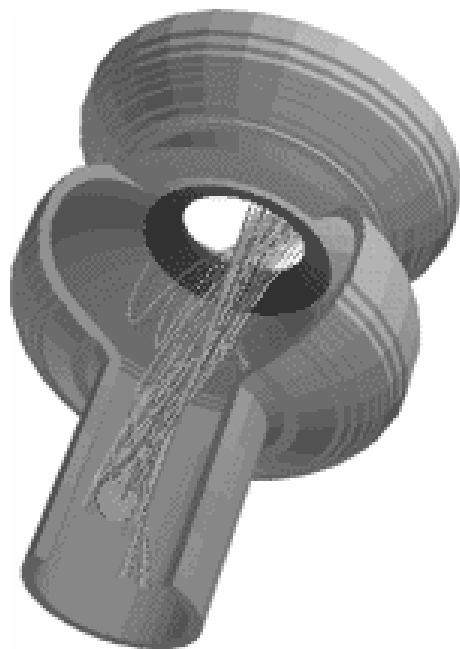
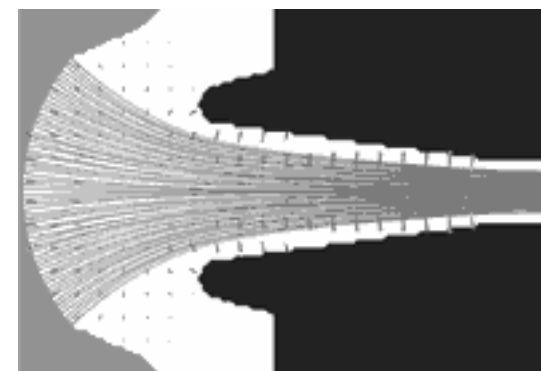
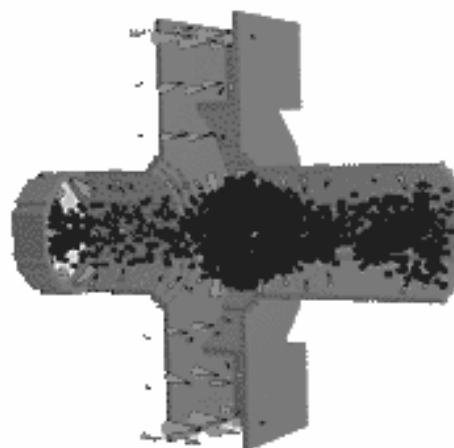


**Horn Antenna (T2)**



## 2.1 Mafia 程序简介

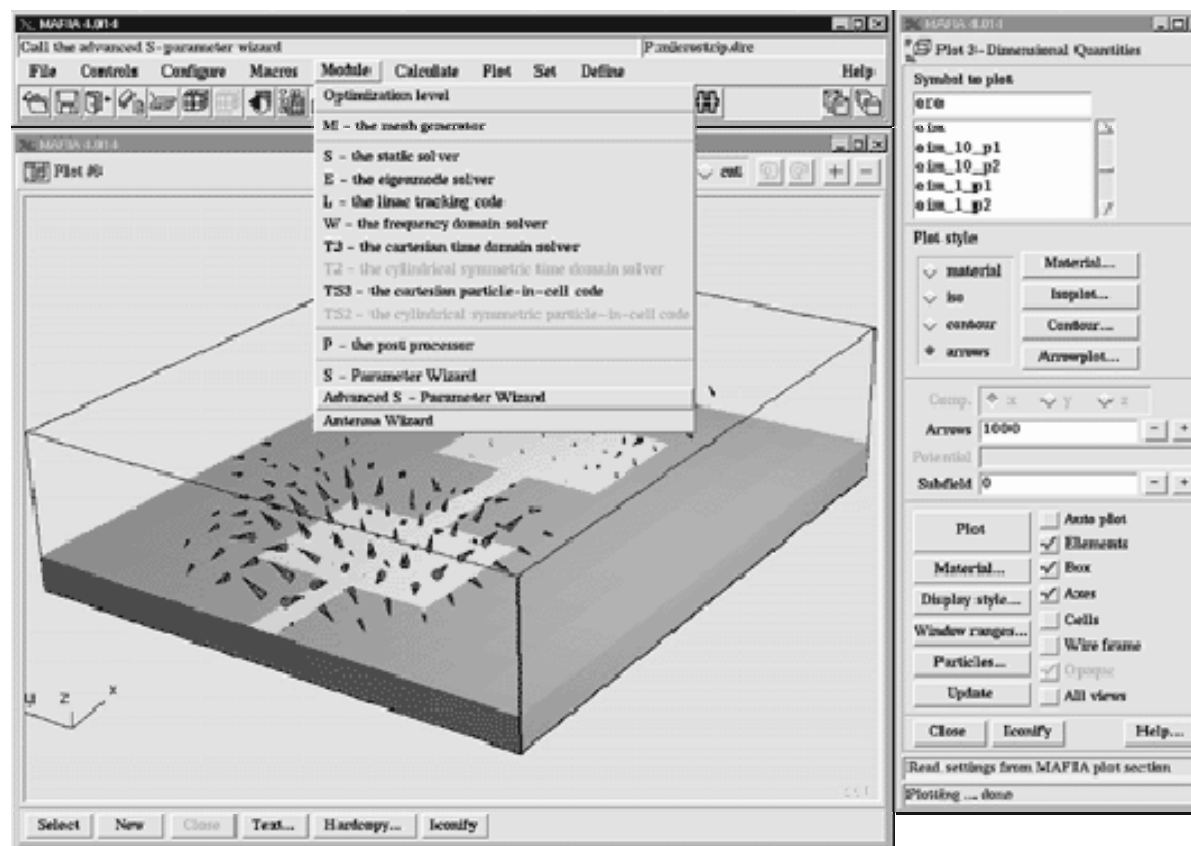
**TS2、TS3:** 粒子在静态、高频场作用下的行为; 电子枪、阴极、聚焦偏转设备、高功率管等设计(使用PIC方法)





## 2.1 Mafia 程序简介

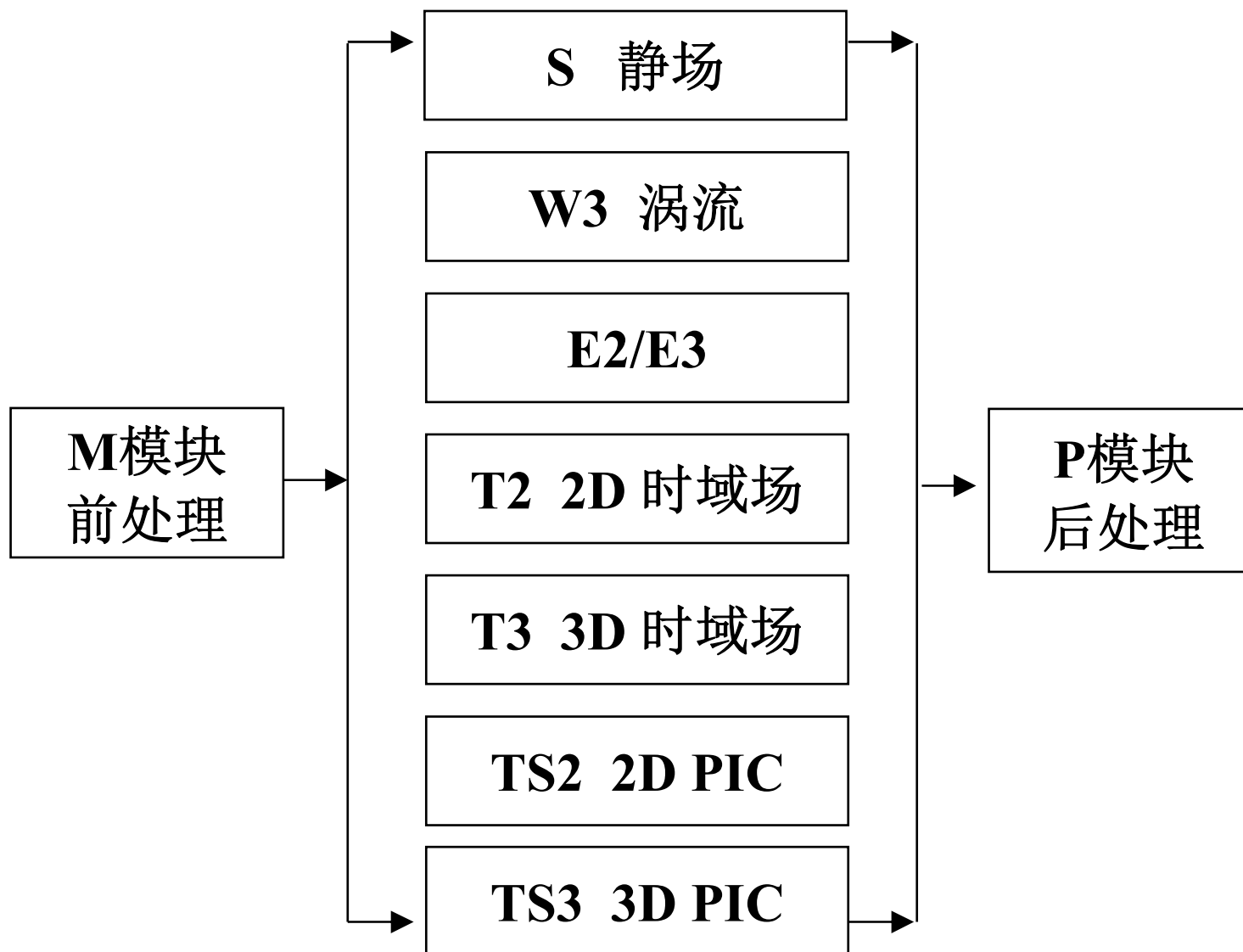
统一的图形界面实现了从结构定义、计算到后处理等模块的转换。







## 2.1 Mafia 程序简介





## 2.1 Mafia 程序简介

---

- **Mafia**中的数值计算方法

采用有限积分法解**Maxwell**方程组，直接得到电场和磁场。

有限积分技巧 **FIT — Finite Integral Technique**

将**Maxwell**方程组离散成一系列自洽的矩阵方程组。



## 2.1 Mafia 程序简介

---

- **MAFIA**中的**FIT**数值计算方法

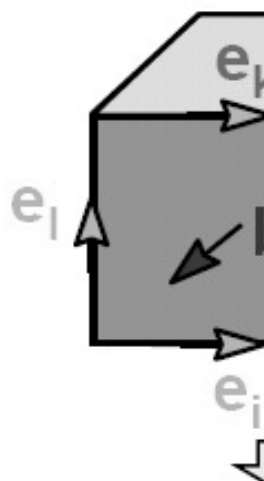
- ä 网格的划分（空间离散化）
- ä 物理量在网格单元上的定义（物理量的离散化）
- ä 麦氏方程组在网格上的表示（麦氏方程的离散化）
- ä 电磁场在网格中边界条件的解决方法（双网格）



## 2.1 Mafia 程序简介

### ● 离散麦氏方程组

$$\oint_{\partial A} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} =$$



$$e_i + e_j - e_k$$

Real Space  
 $\mathbb{R}^3 \otimes \mathbb{R}_+$

$\Leftrightarrow$

Grid Space  
 $\mathbb{R}^{3N} \otimes \mathbb{R}_+$

$$\oint_{\partial A} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = - \int \int_A \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{A} \Leftrightarrow$$

$$\mathbf{C} \mathbf{D}_s \mathbf{e} = -\mathbf{D}_A \dot{\mathbf{b}}$$

$$\oint_{\partial A} \mathbf{H} \cdot d\mathbf{s} = \int \int_A \left( \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{J} \right) \cdot d\mathbf{A} \Leftrightarrow$$

$$\tilde{\mathbf{C}} \tilde{\mathbf{D}}_s \mathbf{h} = \tilde{\mathbf{D}}_A (\dot{\mathbf{d}} + \mathbf{j})$$

$$\int \int_V \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0 \Leftrightarrow$$

$$\mathbf{S} \mathbf{D}_A \mathbf{b} = 0$$

$$\int \int_V \left( \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{J} \right) \cdot d\mathbf{A} = 0 \Leftrightarrow$$

$$\tilde{\mathbf{S}} \tilde{\mathbf{D}}_A (\dot{\mathbf{d}} + \mathbf{j}) = 0$$

$$\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E} \Leftrightarrow$$

$$\mathbf{d} = \tilde{\mathbf{D}}_\epsilon \mathbf{e}$$

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H} \Leftrightarrow$$

$$\mathbf{b} = \mathbf{D}_\mu \mathbf{h}$$

$$\mathbf{J} = \kappa \mathbf{E} + \rho \mathbf{v} \Leftrightarrow$$

$$\mathbf{j} = \tilde{\mathbf{D}}_\kappa \mathbf{e} + \mathbf{D}_\rho \mathbf{v}$$

$$\text{div curl} \equiv 0 \Leftrightarrow$$

$$\mathbf{S} \mathbf{C} = \tilde{\mathbf{S}} \tilde{\mathbf{C}} = 0$$

$$\text{curl grad} \equiv 0 \Leftrightarrow$$

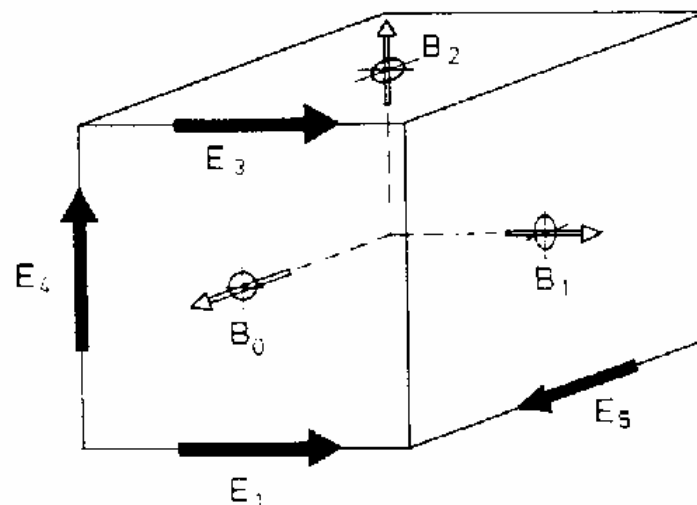
$$\tilde{\mathbf{C}}^t \tilde{\mathbf{S}}^t = \mathbf{C}^t \mathbf{S}^t = 0$$



## 2.1 Mafia 程序简介

### ● 双网格

- ä 电场分量在面的边上。
- ä 磁场分量在面的中心。
- ä 磁场与电场在不同的网格上，即磁场网格  $\tilde{G}$  和电场网格  $G$ 。



三维网格单元中的双网格



## 2.2 Mafia S模块介绍

---

- S 模块简介
- S 模块背景知识
- S 模块菜单介绍
- S 模块的具体例子
- S 模块总结



## 2.2.1 Mafia S模块简介

---

- **MAFIA 的 S 模块是 MAFIA 众模块的组成部分之一，它可以解决静场问题，也有许多与静场相类似的问题，例如稳态温度场问题、恒流问题等也可以用 S 模块解决。**
- **S 模块可以解决的问题：**
  - 1) 静电场问题
  - 2) 静磁场问题
  - 3) 恒流问题
  - 4) 稳态温度场问题
  - 5) 准静电场问题



## 2.2.1 Mafia S模块简介

---

### S 模块采用的坐标系

(直角坐标或圆柱坐标系)

- $(x, y, z)$
- $(x, y)$
- $(r, \phi, z)$
- $(r, z)$

### 激励静场的源

- 电压源
- 电流源
- 电荷密度源





## 2.2.1 Mafia S模块简介

---

几种可以选择的边界条件：

- 封闭的边界条件  
(例如 **Dirichlet** 或 **Neumann** 边界条件)
- 周期性的边界条件
- 开放的边界条件
- 混合型的边界条件 (温度场问题)



## 2.2.2 Mafia S模块背景知识

---

每个部分都有独立的等式系统并且需要分别求解。

静磁场

$$\text{curl } \vec{B} = \vec{J}$$

$$\text{div } \vec{B} = 0$$

恒流场

$$\text{curl } \vec{E} = 0$$

$$\text{div } (k \vec{E}) = q$$

静电场

$$\text{curl } \vec{E} = 0$$

$$\text{div}(\varepsilon \vec{E}) = q$$

稳态温度场问题

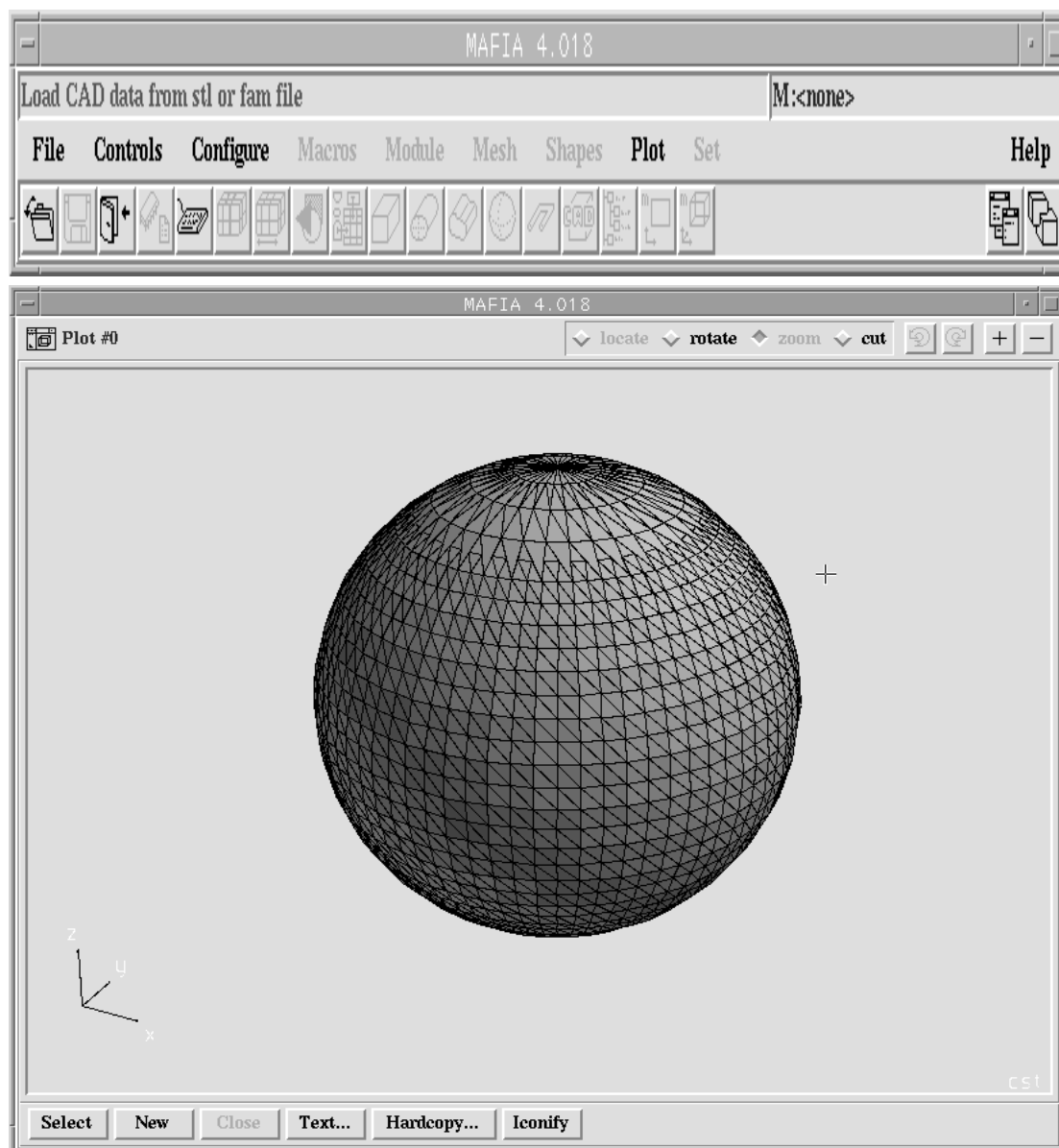
$$\text{div}(k \cdot \text{grad} T) = w$$

$$\text{curl}(\text{grad} T) = 0$$



## 2.3 Mafia S模块菜单介绍

主菜单窗口

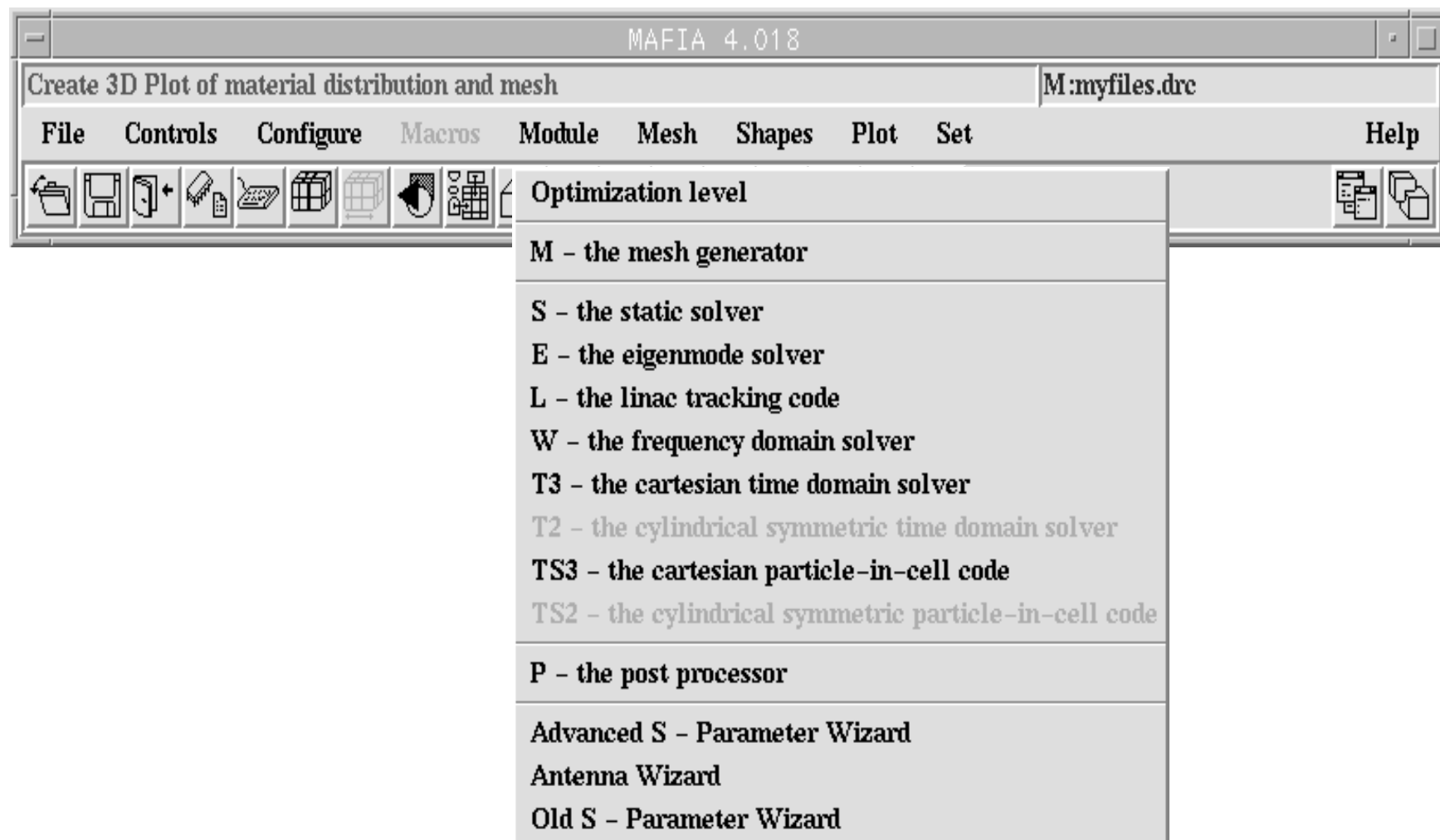


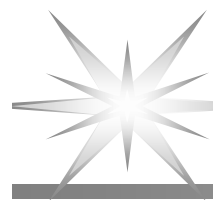
Plot 窗口



## 2.3 Mafia S模块菜单介绍

### 选择 Module 窗口



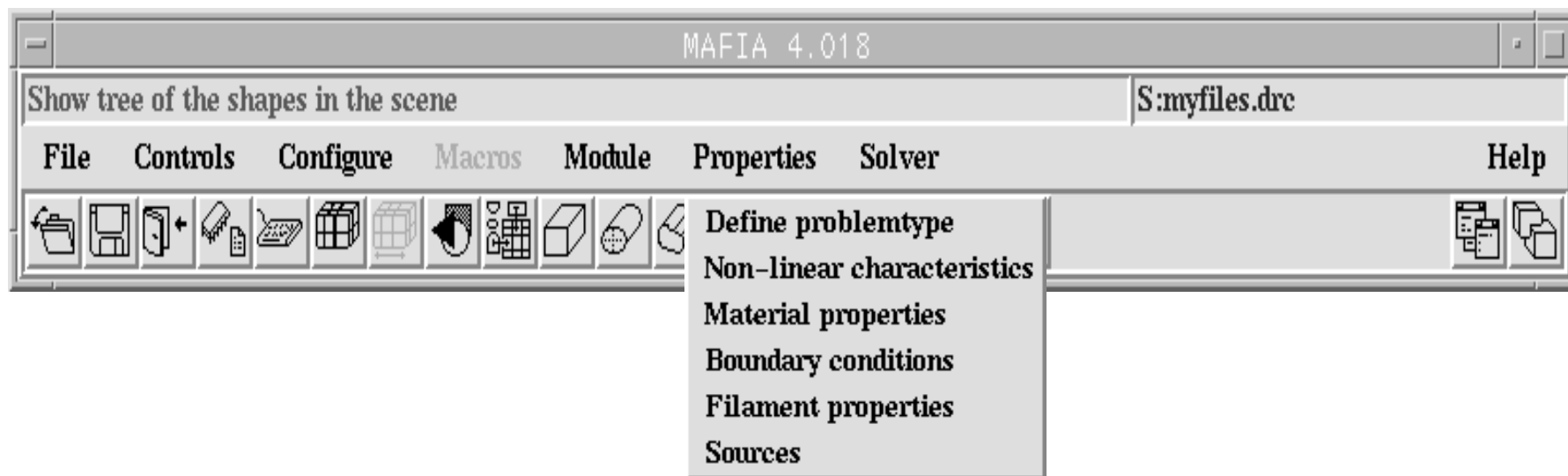


## 2.3 Mafia S模块菜单介绍

### S 模块窗口



### S模块特性窗口

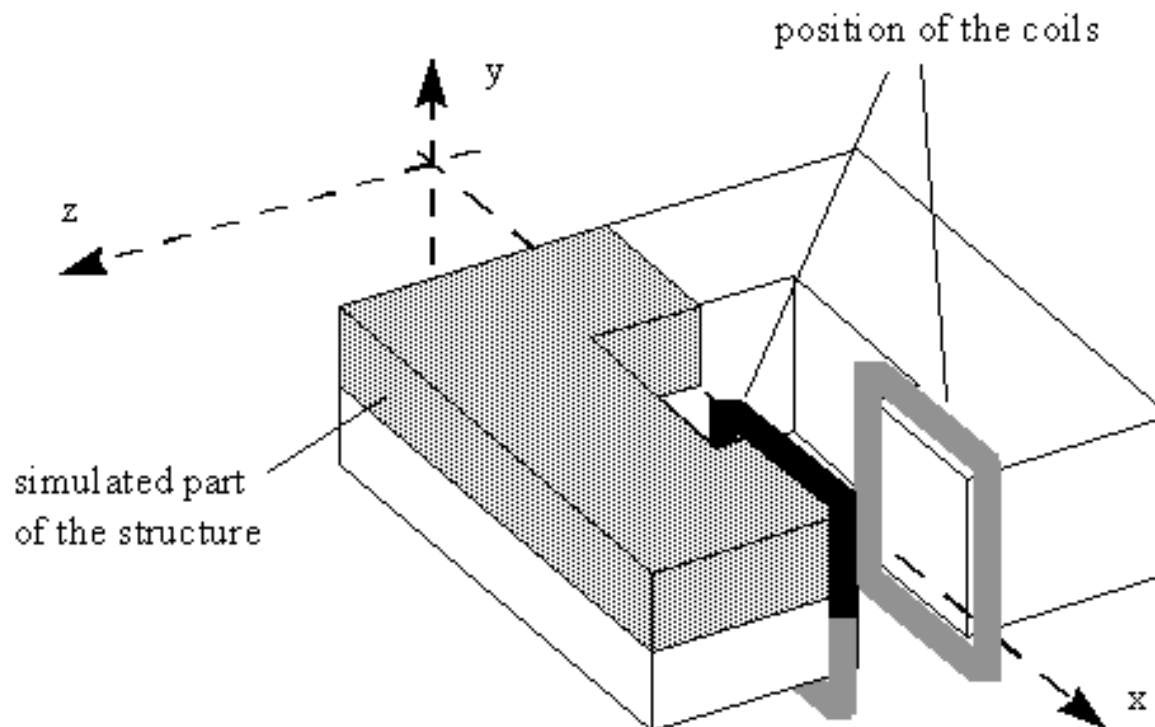




## 2.4 S模块具体例子—静磁场问题

- C型磁铁形成的静磁场（非线性问题）

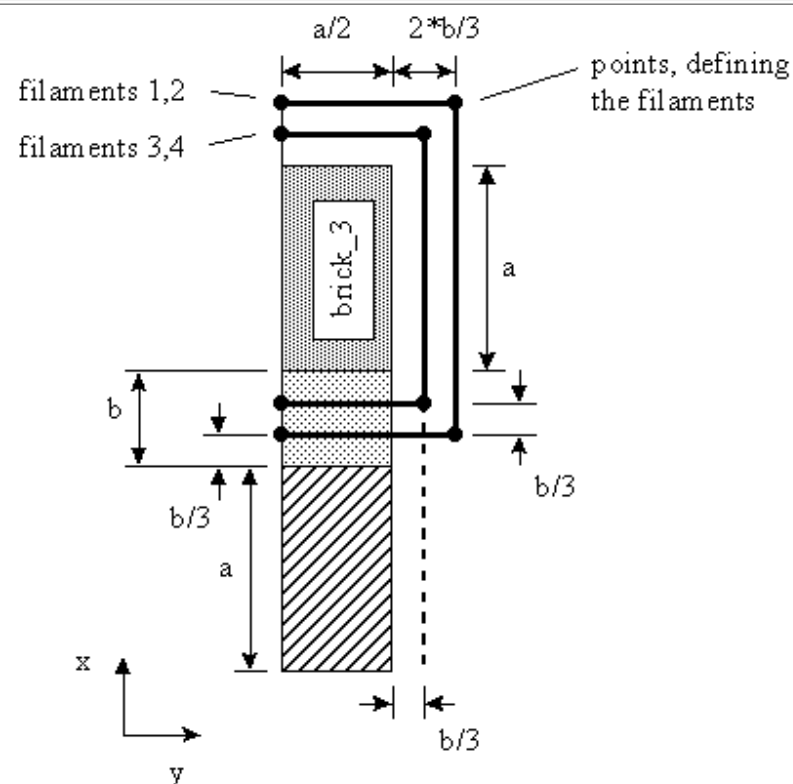
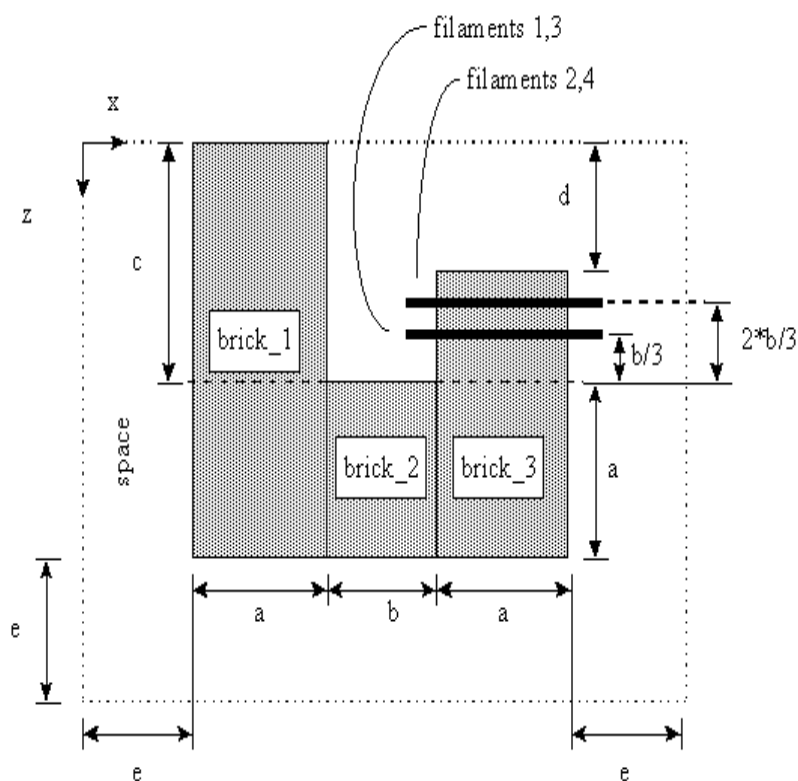
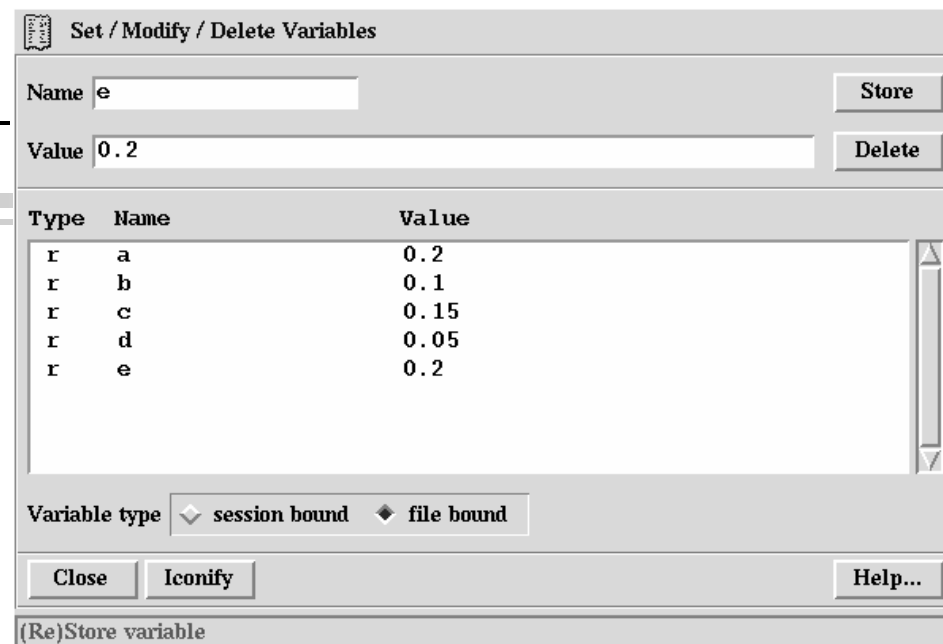
我们在本例子中将计算一个非线性磁铁的静态磁场，下图显示了该磁铁的形状。





## 2.4 S模块具体例子一

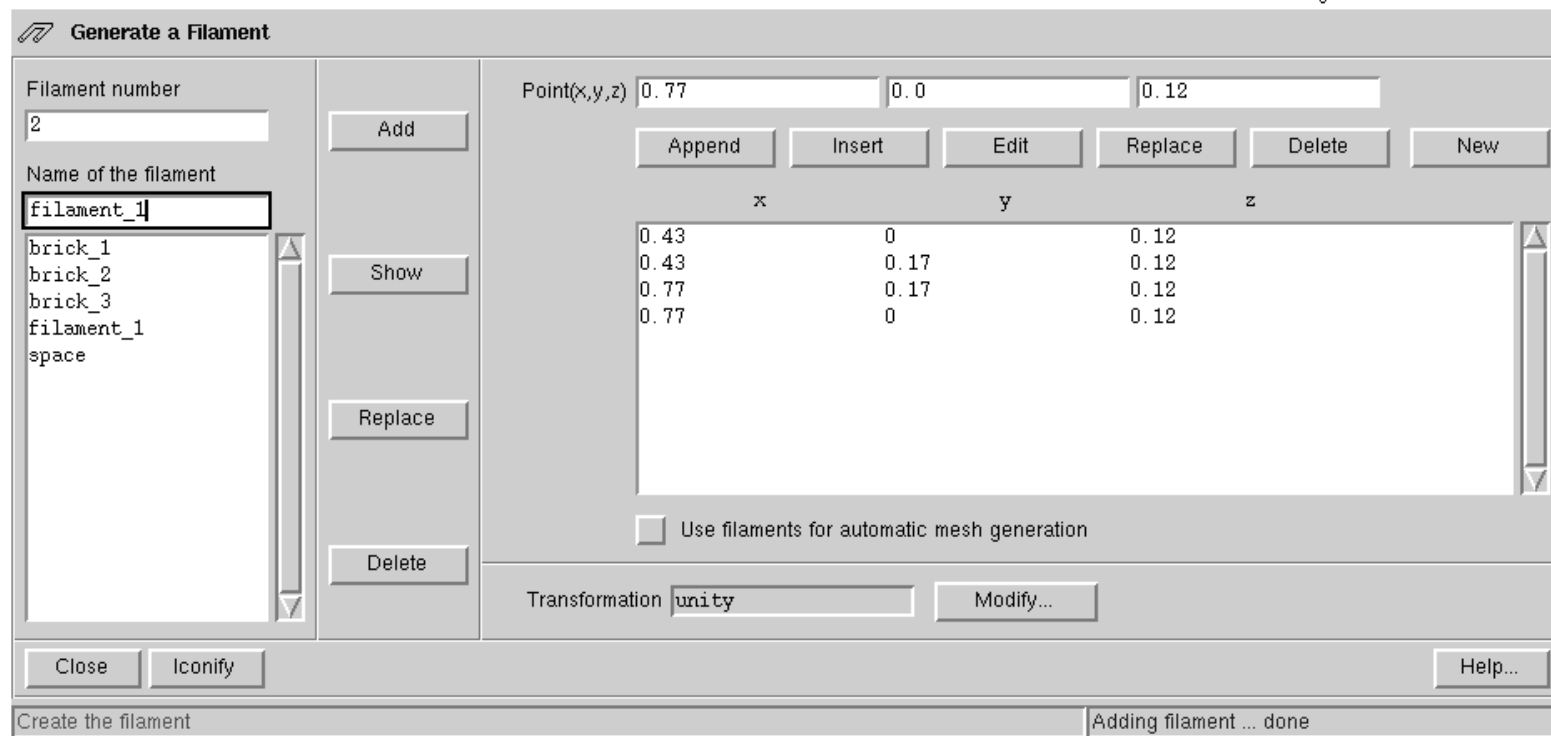
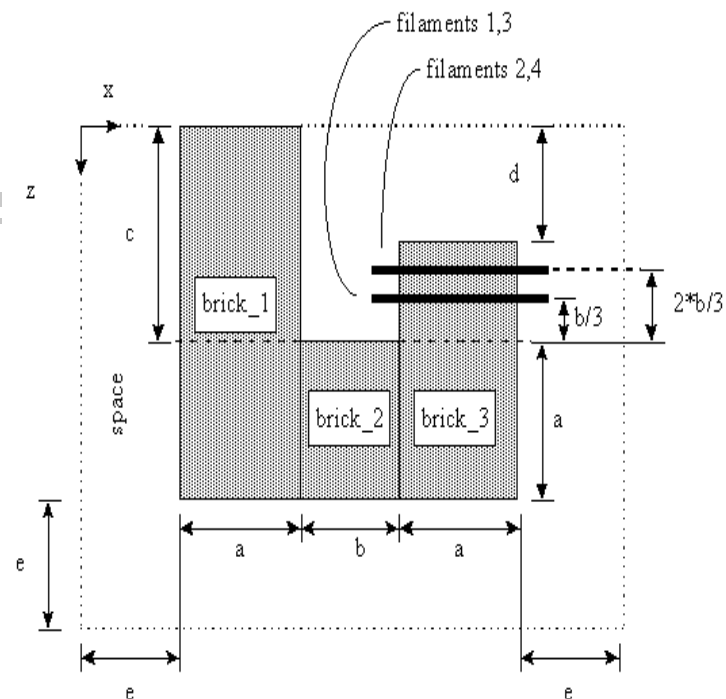
- 新建一个MAFIA文件
- 设定结构参数





## 2.4 S模块具体例子

- 建立结构模型

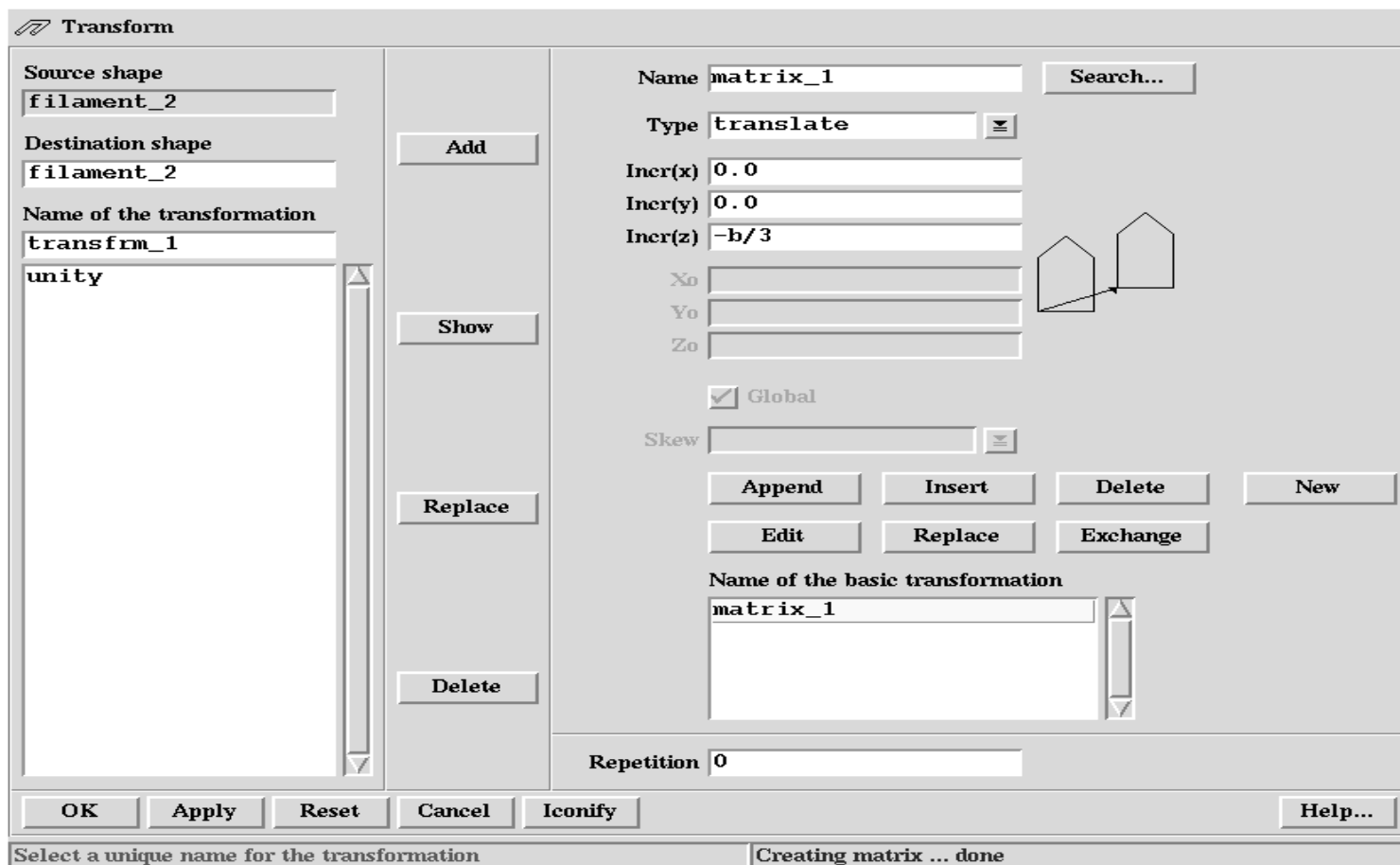






## 2.4 S模块具体例子—静磁场问题

- 建立结构模型





## 2.4 S模块具体例子—静磁场问题

---

- 建立结构模型

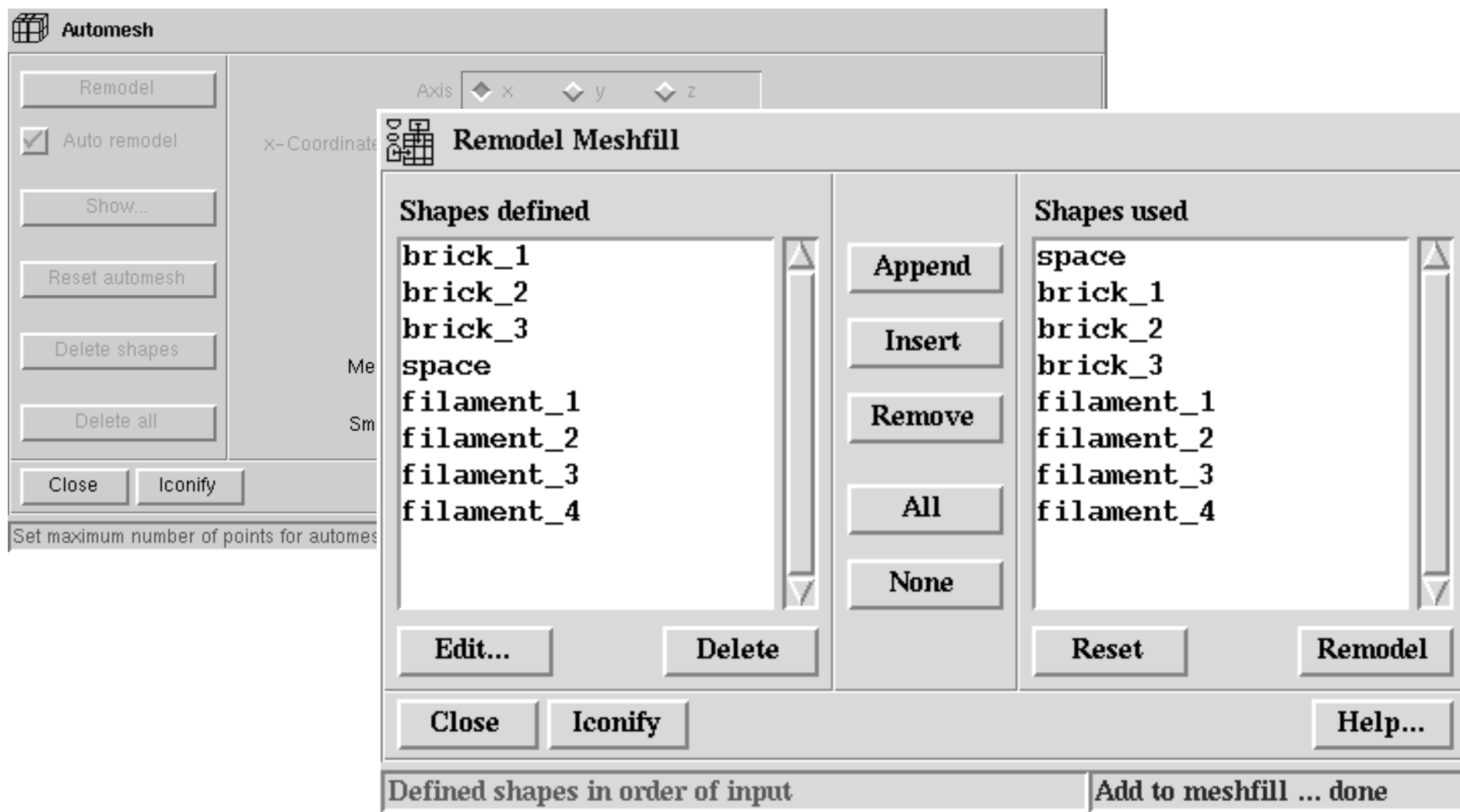
第四条导线定义可以同第二条导线定义一样，不过我们不需要重新定义转型了，只需要用导线二定义好的转型即可。  
步骤如下：

1. 将**filament\_4**输入到**Name of the filament**文本域中
2. 按**Modify...**键
3. 选择**Name of the transformation** 文本域中的**transfrm\_1**
4. 按**OK**键.
5. 按**Add**键
6. 按**Close**键关闭对话框



## 2.4 S模块具体例子—静磁场问题

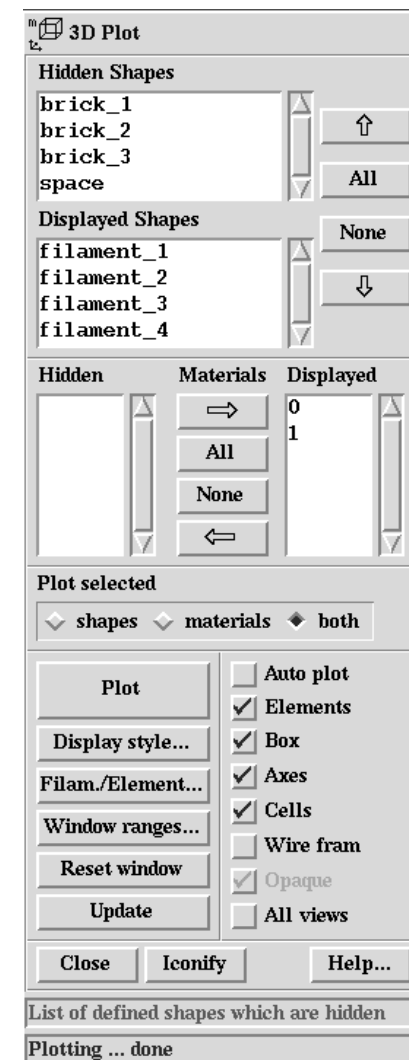
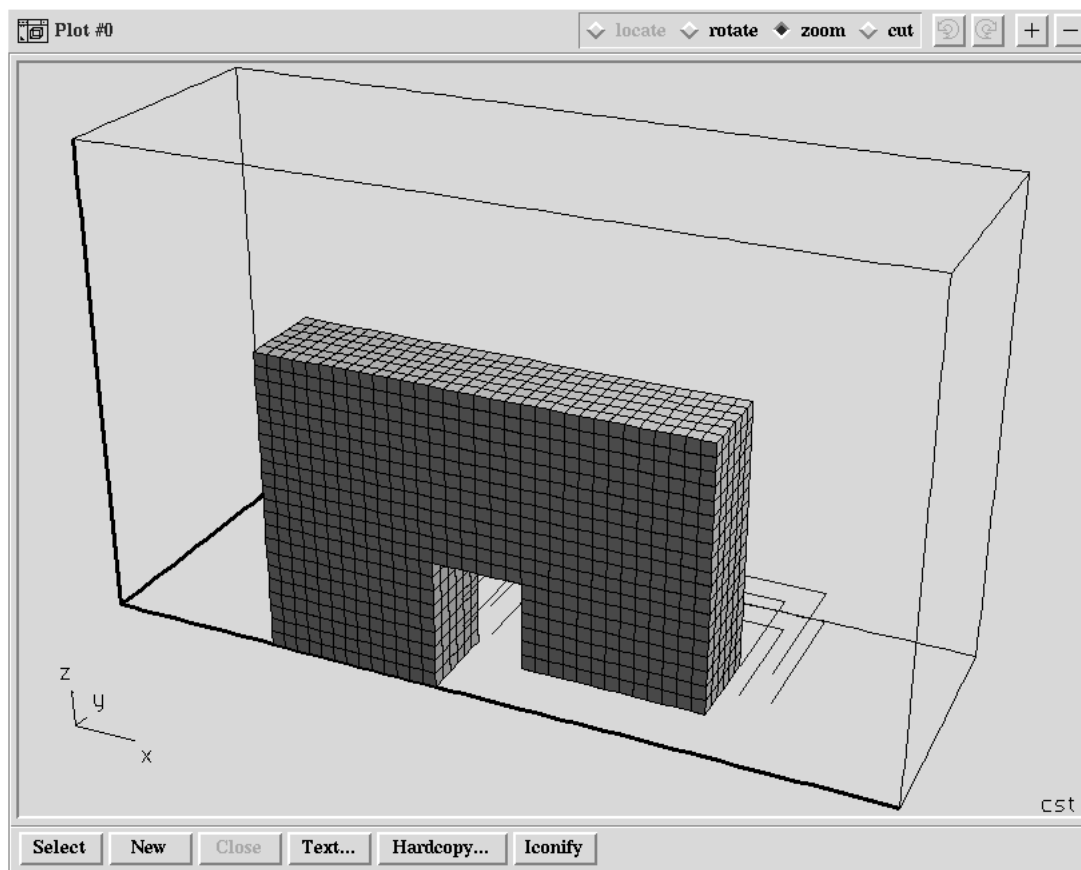
- 划分结构网格





## 2.4 S模块具体例子—静磁场问题

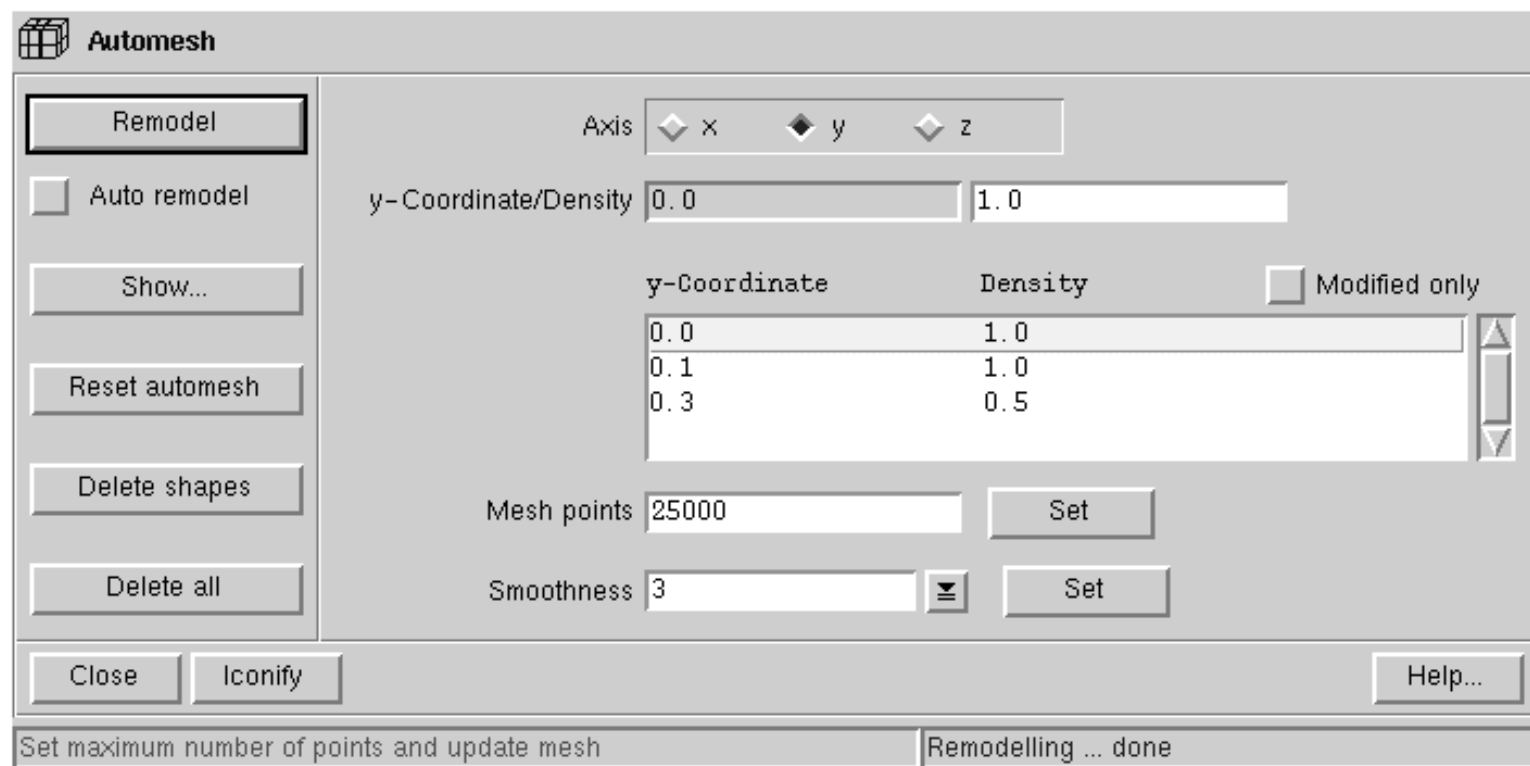
- 画出结构图形





## 2.4 S模块具体例子—静磁场问题

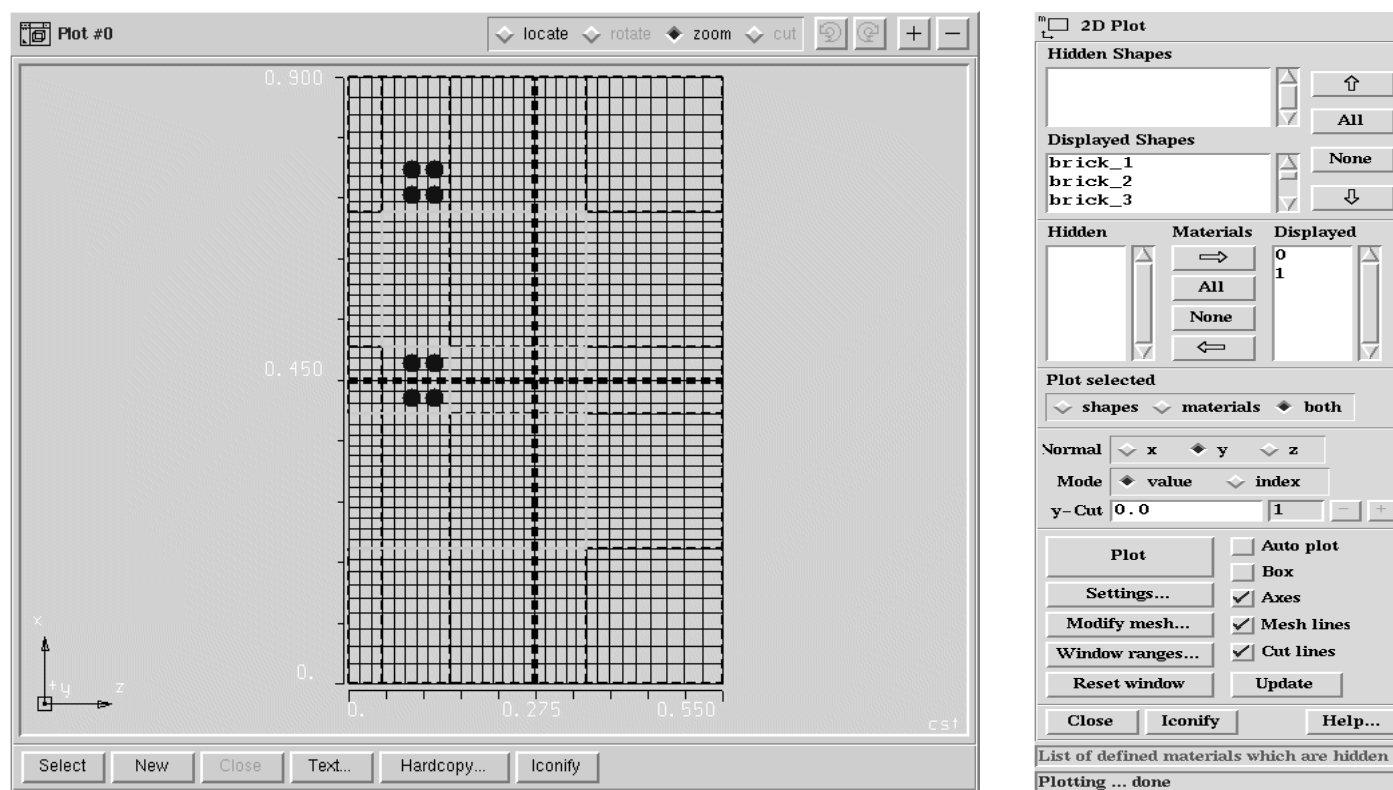
- 精确划分网格

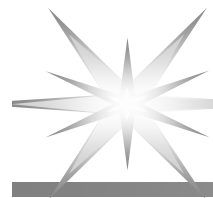




## 2.4 S模块具体例子—静磁场问题

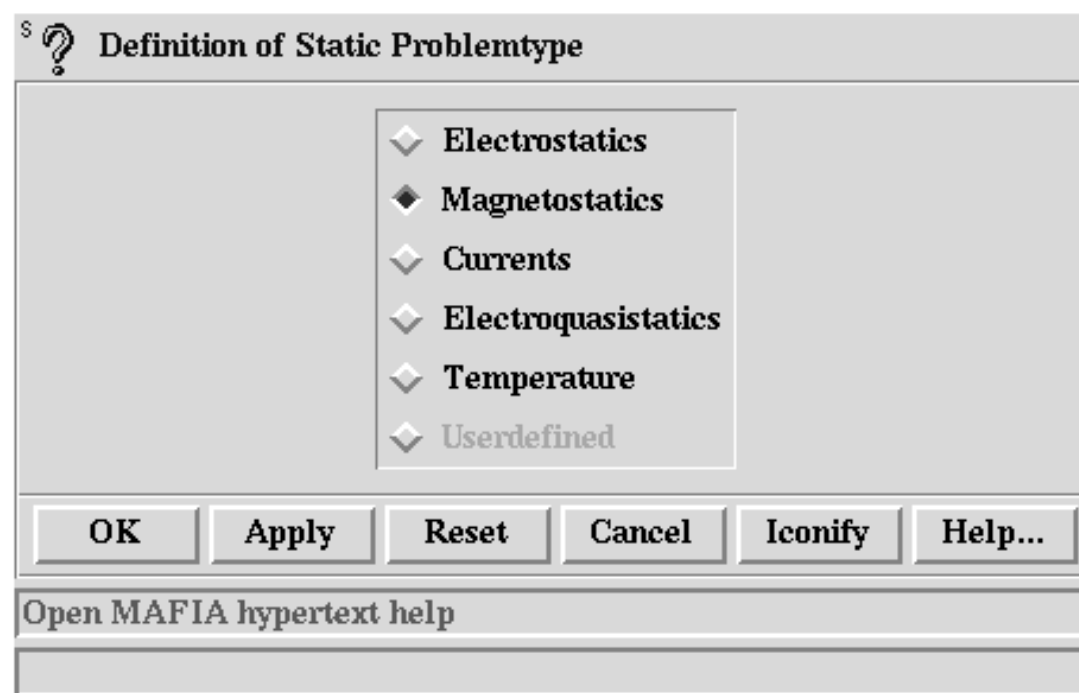
- 绘制精确划分网格后作图





## 2.4 S模块具体例子—静磁场问题

- 定义计算类型





## 2.4 S模块具体例子—静磁场问题

- 定义非线性表

**Enter a Characteristic Curve for Materials**

Name of the characteristic  
table\_1  
table\_1

Load  
Add  
Replace  
Delete  
Invert  
Show  
Show all  
Check

☒ Symmetric  
Field 200000.0 Flux 2.35  
Edit Replace Delete New

0.0000e+00	0.0000e+00
1.0000e+03	5.0000e-01
3.0000e+03	1.1500e+00
5.0000e+03	1.4540e+00
9.0000e+03	1.7200e+00
1.3000e+04	1.8100e+00
1.8000e+04	1.8800e+00
2.5000e+04	1.9600e+00
4.0000e+04	2.0600e+00
6.0000e+04	2.1100e+00
8.0000e+04	2.1500e+00
1.2000e+05	2.2100e+00
1.6000e+05	2.2600e+00
2.0000e+05	2.3500e+00

Close Iconify Help...

Create the characteristic Adding characteristic ... done





## 2.4 S模块具体例子—静磁场问题

- 定义材料特性

**Set the Material Properties**

Material number: 0

Material type: ☒ normal ☐

Relative permeability: ☒ isotrope ☐ anisotrope

xyz-mu: 1.0

Polarization: x-pol: 0.0, y-pol: 0.0, z-pol: 0.0

Fillfactor: x-fill: 1.0, y-fill: 1.0, z-fill: 1.0

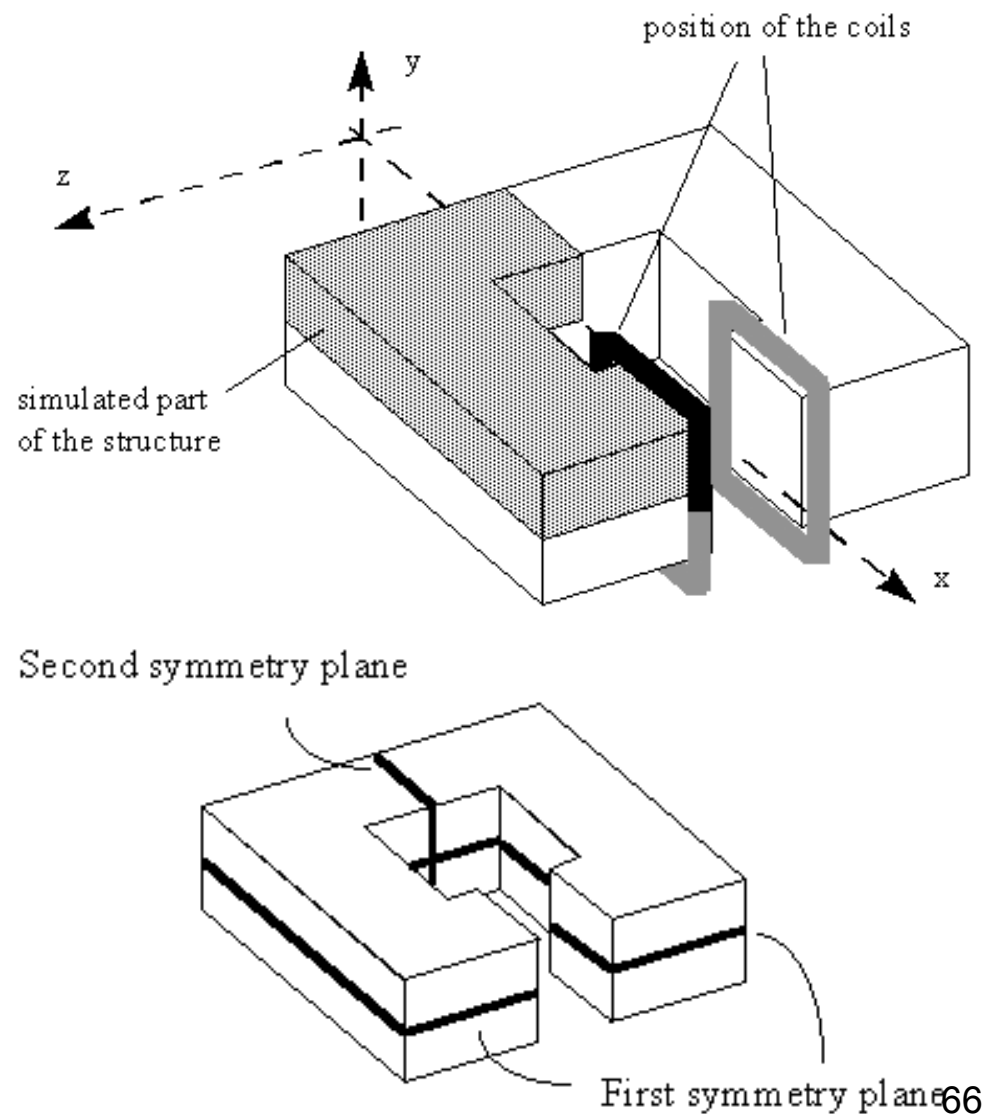
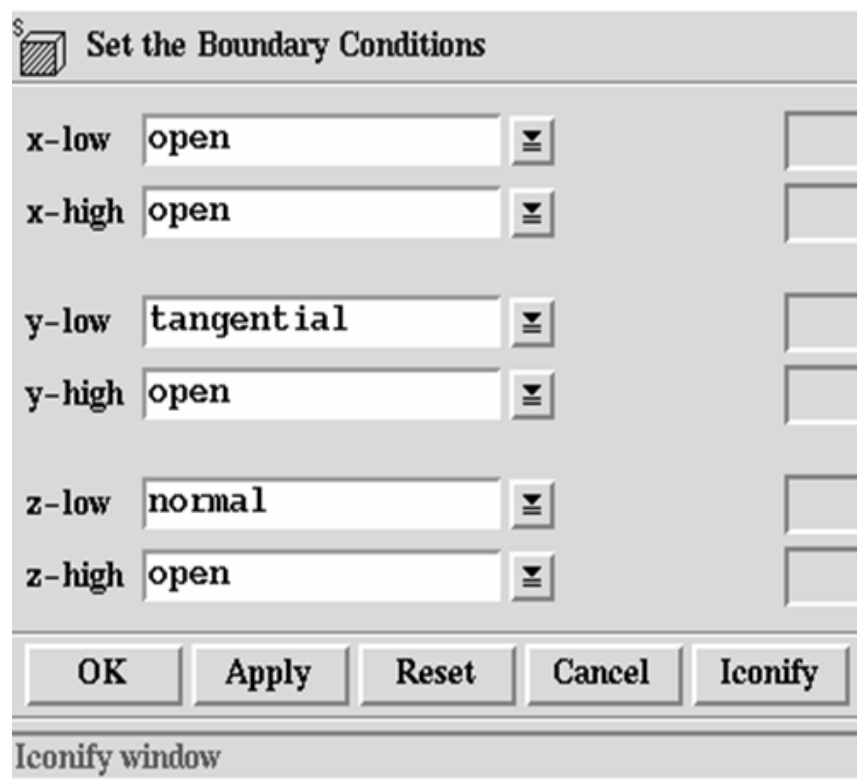
Buttons: Set, Show, Show all..., Close, Iconify, Help

Status bar: Accept input and set values | Setting values ... done



## 2.4 S模块具体例子—静磁场问题

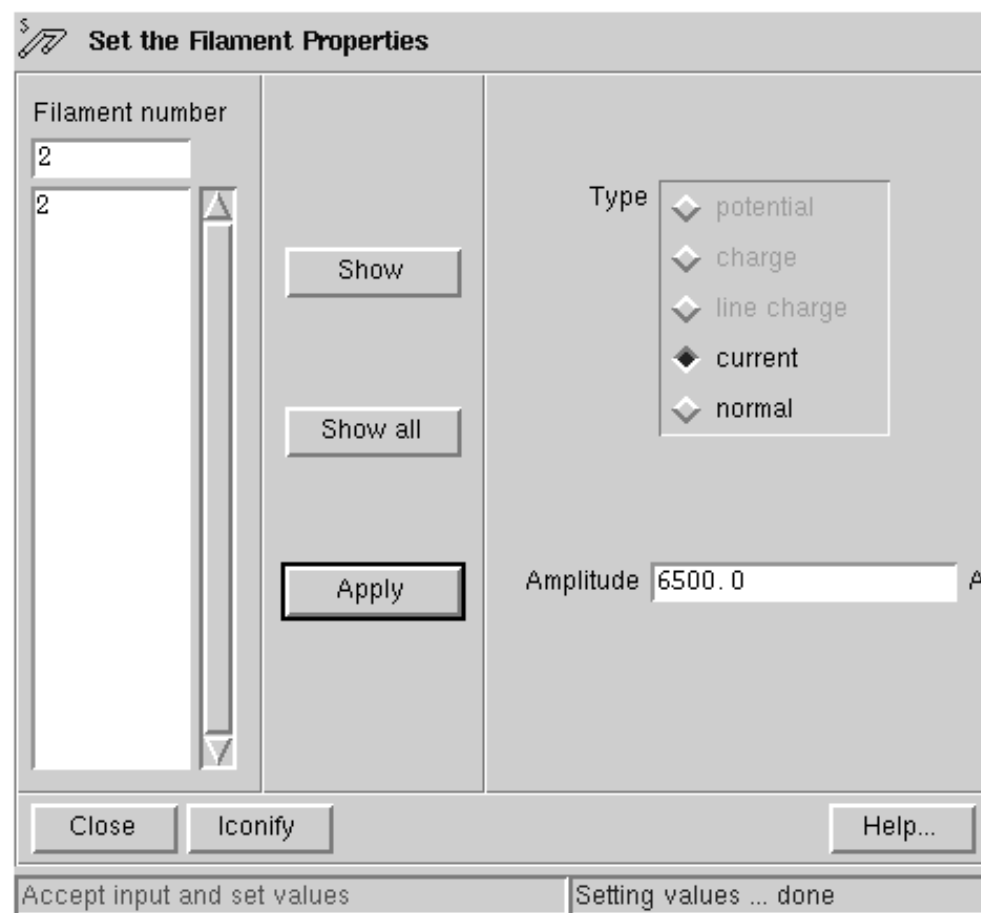
- 定义边界条件





## 2.4 S模块具体例子—静磁场问题

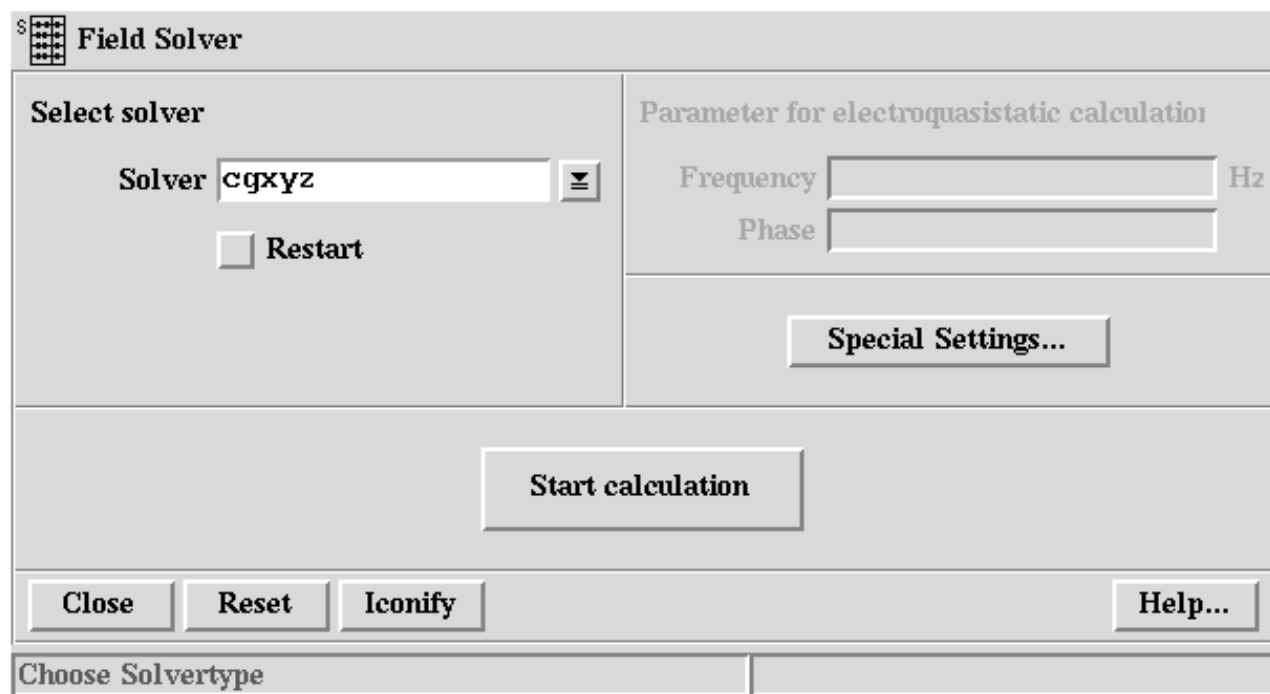
- 设置导线特性





## 2.4 S模块具体例子—静磁场问题

- 开始解场计算



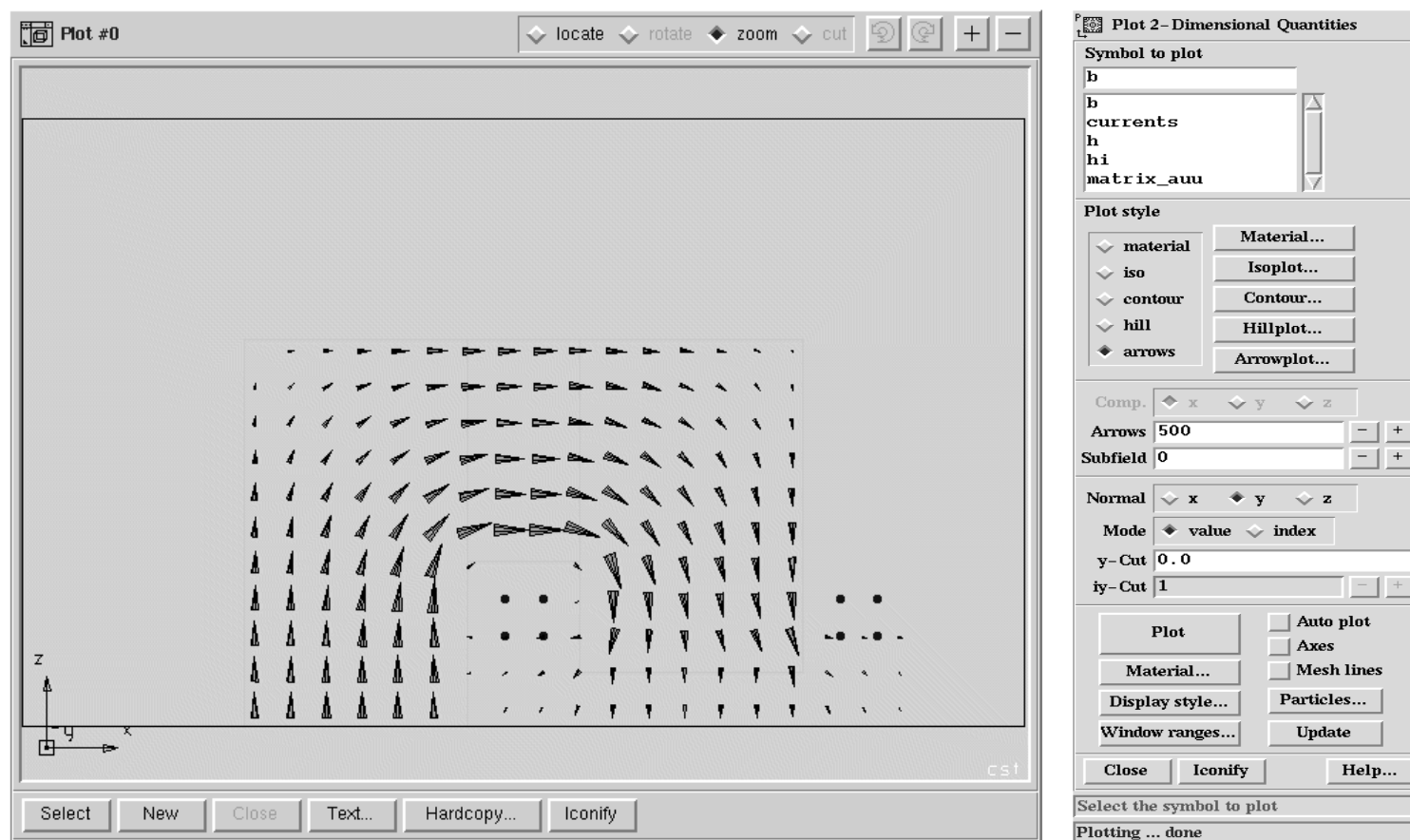
The image shows a software dialog box titled "Field Solver". It contains several sections for configuring an electroquasistatic calculation. On the left, under "Select solver", the "Solver" dropdown is set to "cgxyz" and there is an unchecked "Restart" checkbox. On the right, under "Parameter for electroquasistatic calculation", there are input fields for "Frequency" and "Phase", both followed by "Hz". Below these fields is a "Special Settings..." button. In the center of the dialog is a large "Start calculation" button. At the bottom, there are four buttons: "Close", "Reset", "Iconify", and "Help...". Below the main dialog area is a label "Choose Solvertype" followed by an empty input field.

Field Solver	
<b>Select solver</b>	<b>Parameter for electroquasistatic calculation</b>
Solver: <input type="text" value="cgxyz"/>	Frequency: <input type="text"/> Hz
<input type="checkbox"/> Restart	Phase: <input type="text"/>
	<input type="button" value="Special Settings..."/>
<input type="button" value="Start calculation"/>	
<input type="button" value="Close"/>	<input type="button" value="Reset"/>
<input type="button" value="Iconify"/>	<input type="button" value="Help..."/>
Choose Solvertype: <input type="text"/>	



## 2.4 S模块具体例子—静磁场问题

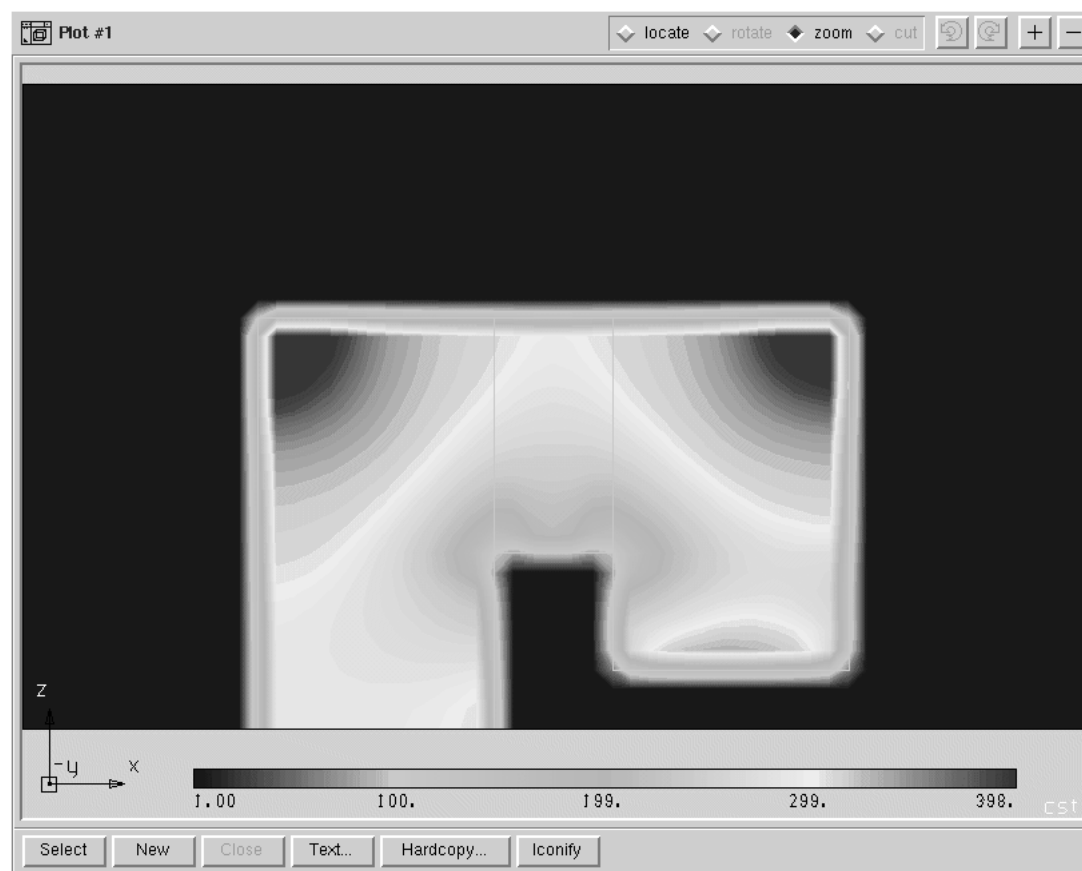
- 显示计算结果—二维





## 2.4 S模块具体例子—静磁场问题

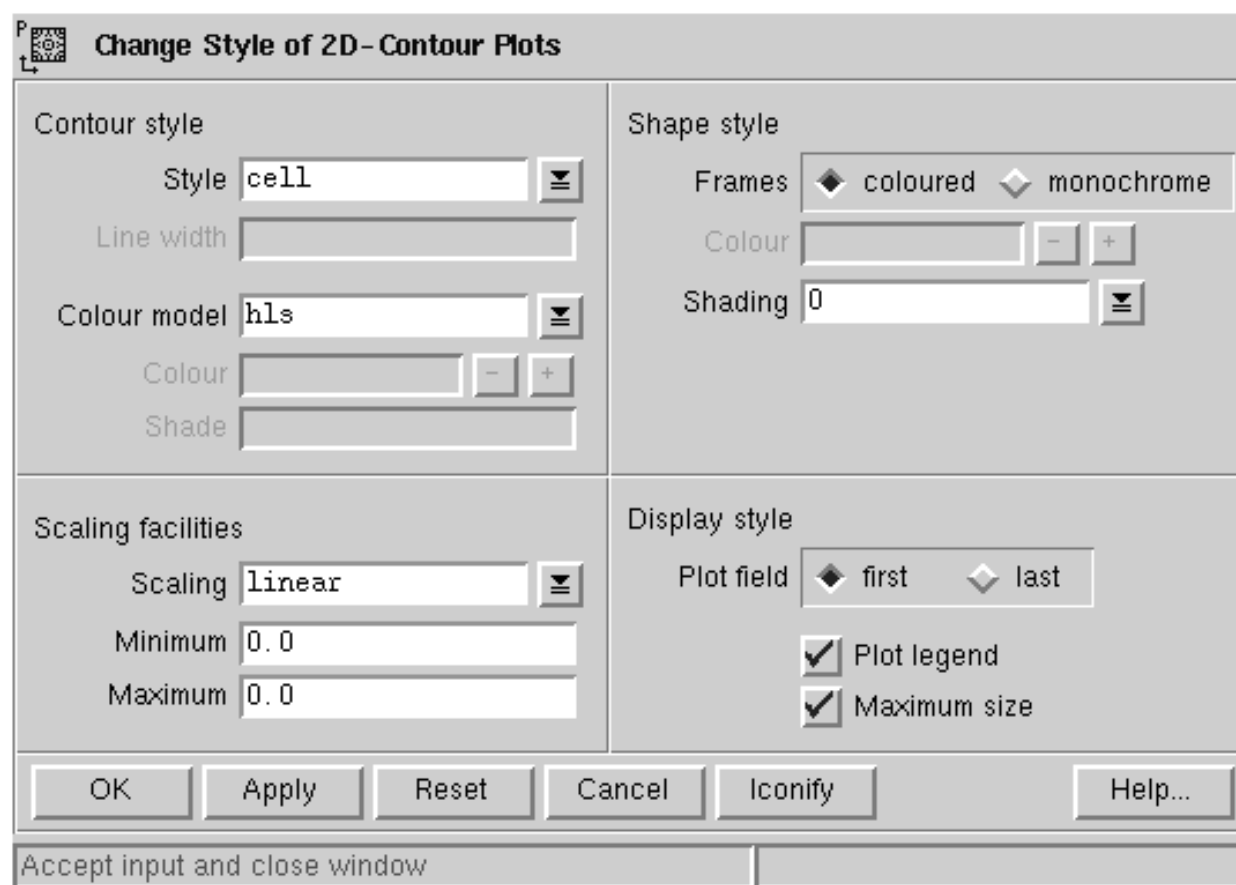
- 显示计算结果—二维导磁率分布





## 2.4 S模块具体例子—静磁场问题

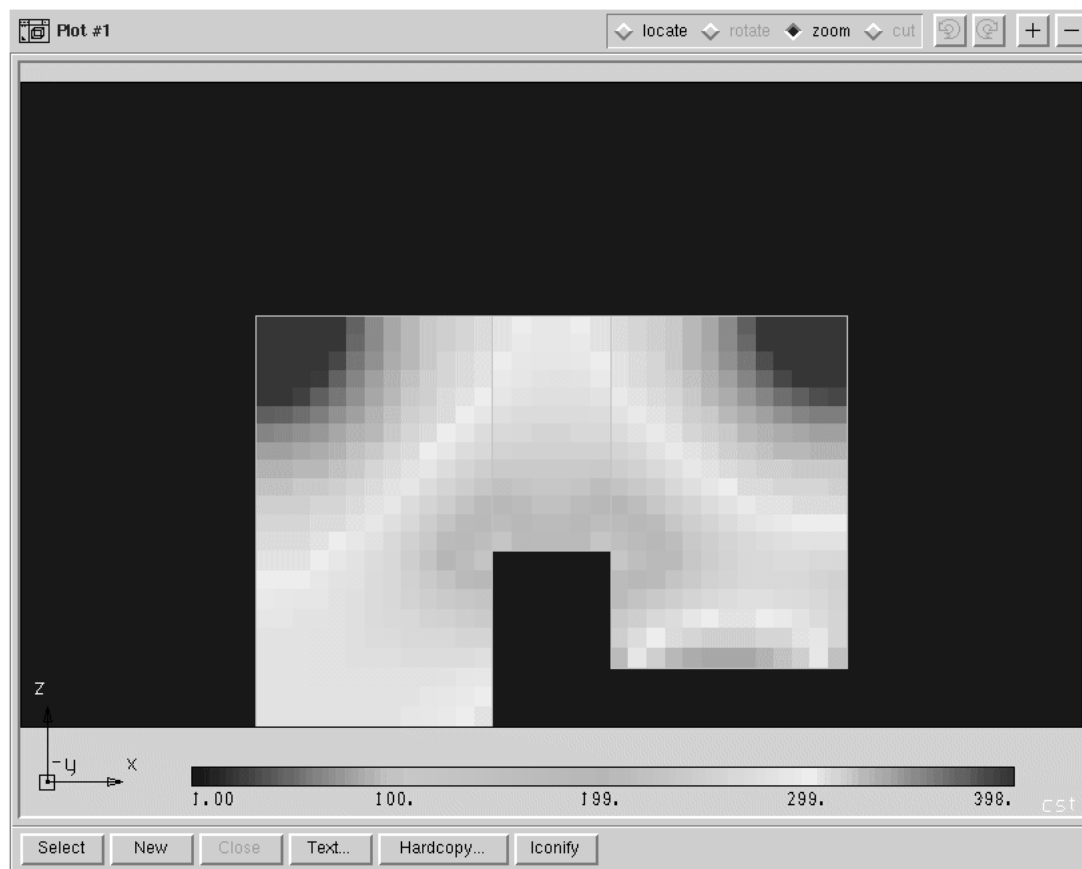
按Contour...后将出现Change style of 2D-Contour Plots对话框:





## 2.4 S模块具体例子—静磁场问题

- 重新显示计算结果—二维导磁率分布







## 2.4 S模块具体例子—静磁场问题

### ● 静磁场问题 总结:

步骤	动作
建立一个新 MAFIA 文件	File/New
设定结构参数	Controls/Modify Variables
建立结构	Shapes/brick Shapes/filaments Shapes/filaments->Modify... -转换一根导线形状
划分网格	Mesh/Automesh Mesh/Remodel meshfill -检验元素顺序
画出结构图	Plot3D Plot (material + filaments)
改变网格密度	MeshAutomesh -设置密度值
画出结构图	Plot2D Plot -设置绘图平面
场解计算	Module /S - the static solver Properties/Define problem type Properties/Non-linear characteristics - 也可以写命令文件 Properties/Material properties Properties/Boundary conditions Properties/Filament properties Solver /Field solver -开始场计算
绘制 B 场	Plot2D Plot -symbol "b" -Plotstyle Arrows
用轮廓图绘制 $\mu_e$ ( area averaging)	Plot2D Plot -symbol "mue" Plotstyle: contour
用轮廓图绘制 $\mu_e$ ( cell averaging)	Plot2D Plot Contour... Style: cell



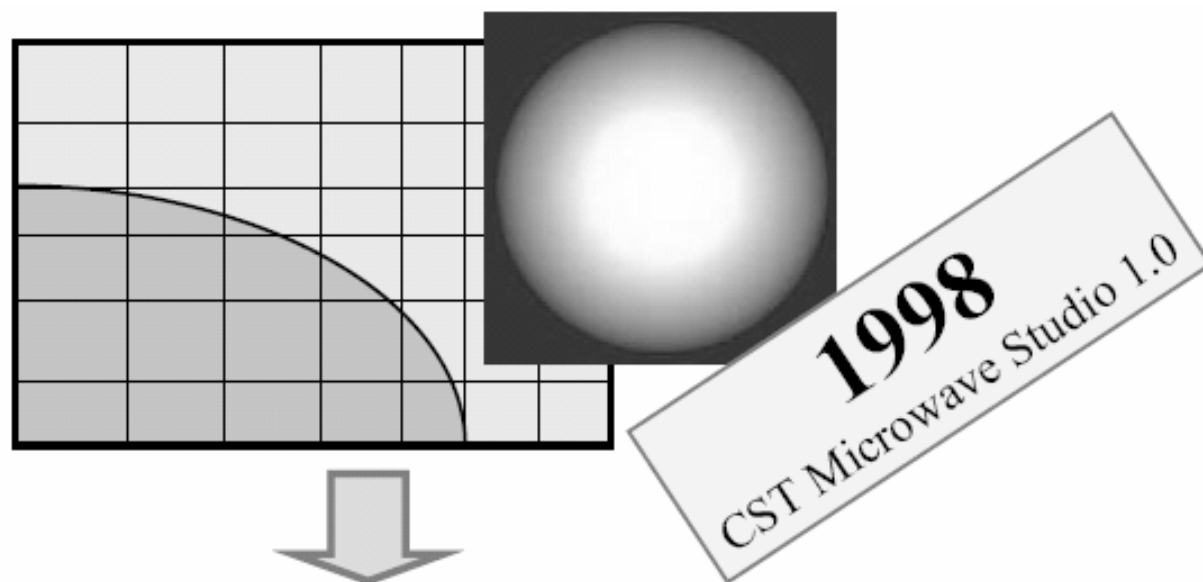
## 2.5 Mafia S模块总结

---

S模块利用有限积分技巧（FIT）将麦克斯韦方程转化成一系列自洽的离散矩阵方程组，然后解场分布；对于满足泊松方程的稳态问题（温度场问题等）也可以解决。

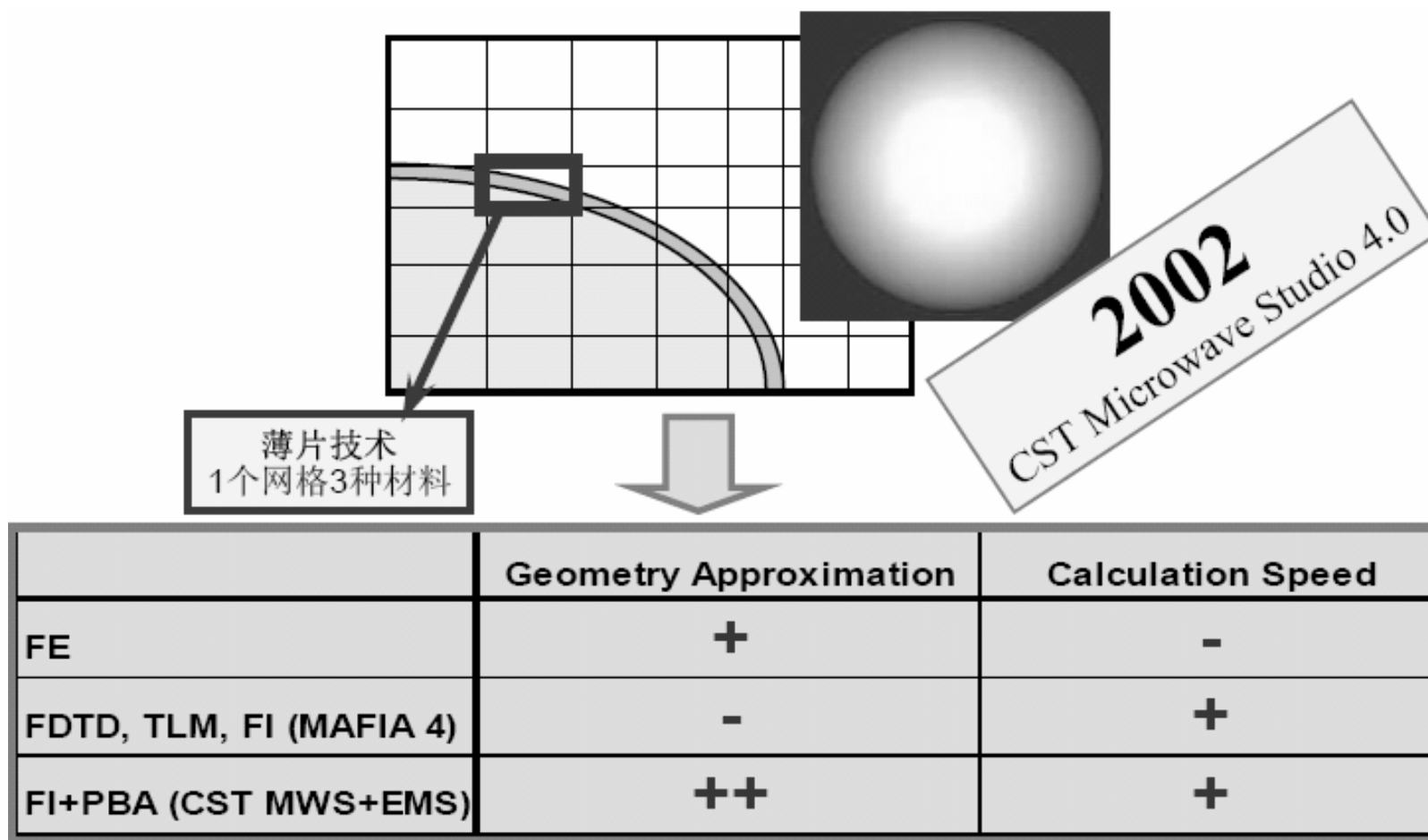
所采用的坐标系可以多样化，激励静场的源也可以是多样化，边界条件也可以多样化，是解决静场问题的有力工具。

## ➤ CST专有技术之1：PBA—理想边界拟合



	Geometry Approximation	Calculation Speed
FE	+	-
FDTD, TLM, FI (MAFIA 4)	-	+
FI+PBA (CST MWS+EMS)	+	+

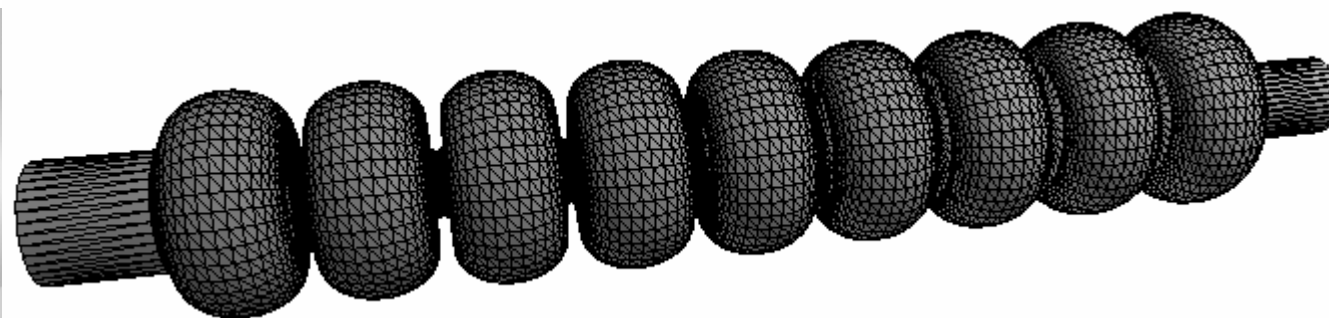
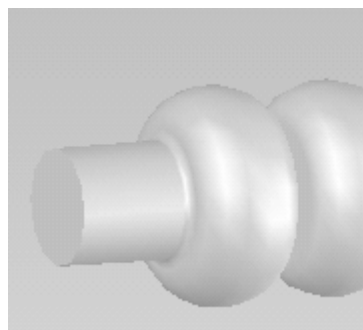
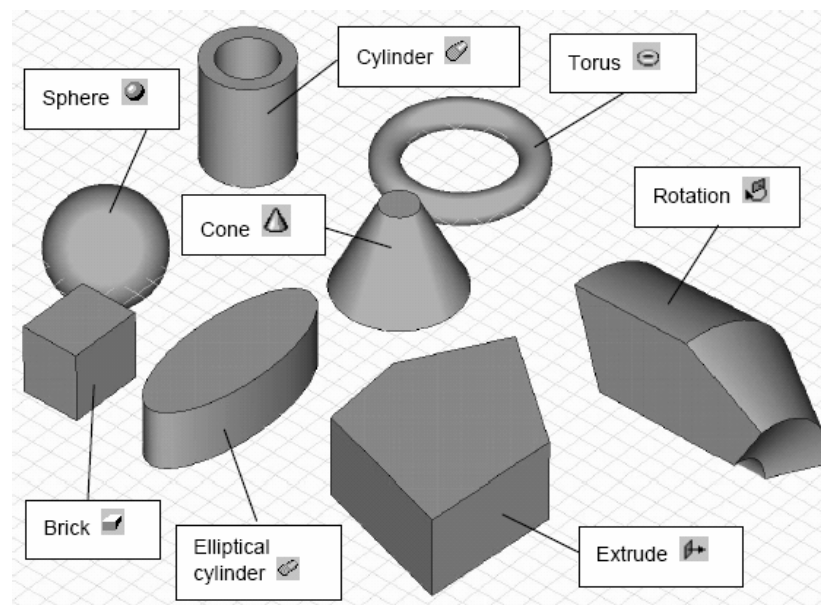
## ➤ CST专有技术之2：TST－薄片技术



From: CST China, CST高级三维电磁场仿真软件

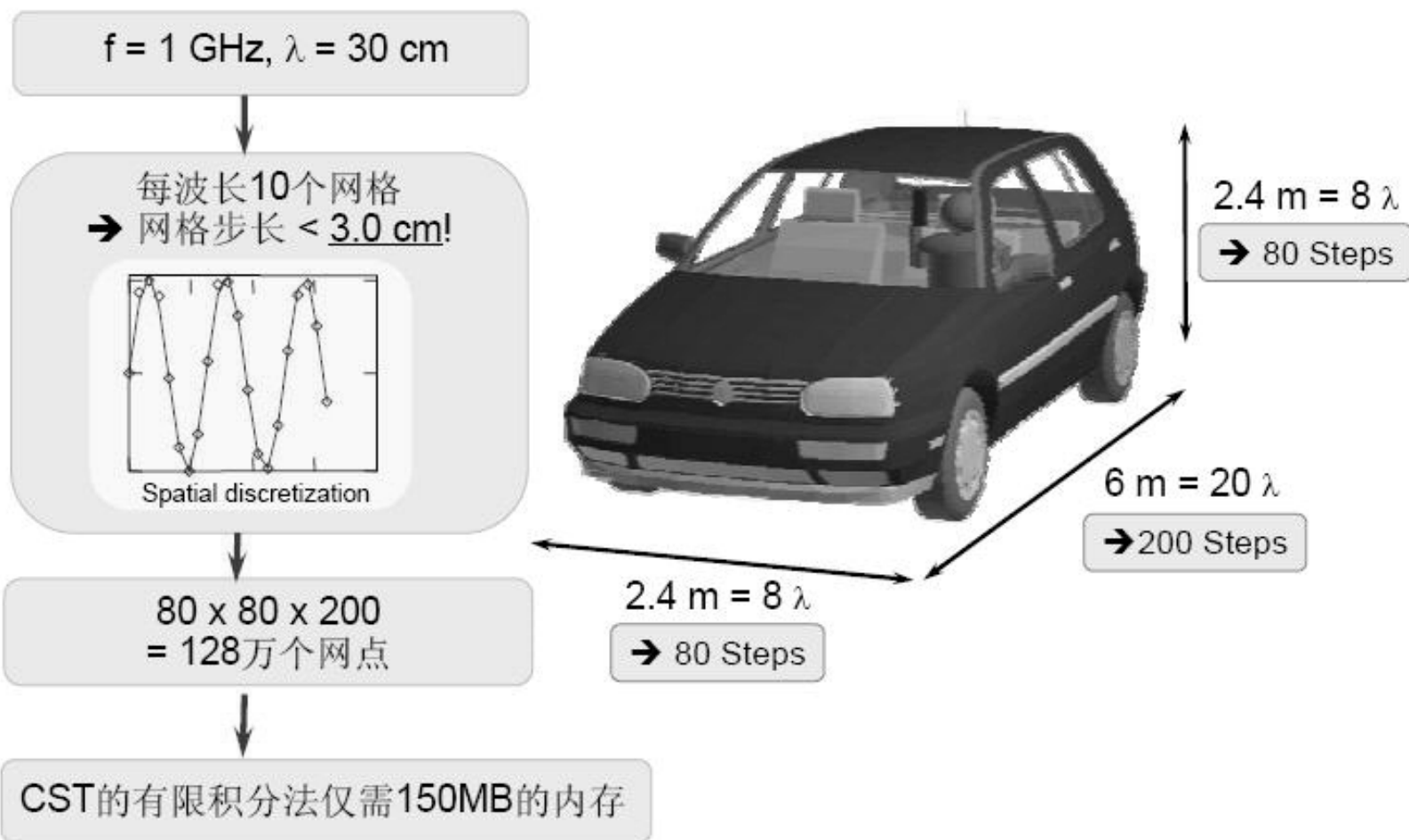
## ➤ CST中三维结构的创建

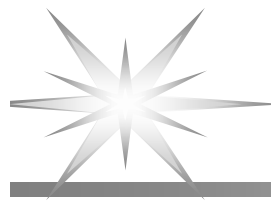
- 1) 自带基本三维结构创建功能
- 2) 可读入 AUTOCAD、SOLIDWORKS等程序创建的结构



```
#cadmesh action=read filename='9cell' filetype=stl name=cad_1
material=1
fillmode=diagonal figurefill=solid flip=no transform=unity execute
```

## ➤ CST对网格数量的要求





## 第3章 有限元法基础

---

- 本节无作业。