自主堆用蒙卡程序RMC用户使用手册

清华大学工程物理系核能所

2012 年 5 月

##### **序**

# 第1章 程序安装与运行

## 1.1 安装与运行环境

### 1.1.1 操作系统配置

正文

### 1.1.2 并行环境设置

正文

## 1.2 输入与输出

### 1.2.1 输入文件

### 1.2.2 输出文件

### 1.2.3 数据库与索引文件

# 第2章 几何描述

复杂几何描述是蒙卡程序相对于确定论程序的重要优势之一。与世界上其它绝大多数蒙卡程序一样，RMC采用基于层级空间的几何描述系统（universe-based geometry system）。

## 2.1 基本几何单元

RMC的几何描述系统包括三类基本的几何描述单元，即，曲面（surface），栅元（cell）和空间（universe）。一般地，物理系统由多个或单个层级空间组成，每个空间由一定数量的栅元构成，栅元通过曲面方向（sense）的交并运算来定义。

### 2.1.1 曲面（surface）

曲面是RMC几何描述的最基本单元。考虑到MCNP用户的广泛性，RMC参考了MCNP的曲面定义方式。曲面输入卡的定义方式为：

|  |
| --- |
| **SURF**  **<id> <type> {parameters} // 描述第1个曲面**  **<id> <type> {parameters} // 描述第2个曲面**  **……** |

其中，**SURF**是曲面模块关键词，总起所有曲面的描述。**id**是曲面编号，要求为不重复的正整数。**id**前加\*号，如“\*1”，表示该曲面全反射边界；否则为真空边界。**type**是曲面类型所对应的关键词，**parameters**是曲面方程参数。下表给出了RMC支持的曲面类型及相应的曲面方程。

表2-1 RMC支持的曲面类型

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 类型 | 关键词 | 说明 | 方程 | 曲面方程参数 |
| 平面 | **P** | 一般 |  |  |
| **PX** | 垂直X轴 |  |  |
| **PY** | 垂直Y轴 |  |  |
| **PZ** | 垂直Z轴 |  |  |
| 球面 | **S** | 一般 |  |  |
| **SO** | 球心在原点 |  |  |
| **SX** | 球心在X轴 |  |  |
| **SY** | 球心在Y轴 |  |  |
| **SZ** | 球心在Z轴 |  |  |
| 圆柱面 | **C/X** | 平行于X轴 |  |  |
| **C/Y** | 平行于Y轴 |  |  |
| **C/Z** | 平行于Z轴 |  |  |
| **CX** | 轴心在X轴 |  |  |
| **CY** | 轴心在Y轴 |  |  |
| **CZ** | 轴心在Z轴 |  |  |
| 圆锥面 | **K/X** | 平行于X轴 |  |  |
| **K/Y** | 平行于Y轴 |  |  |
| **K/Z** | 平行于Z轴 |  |  |
| **KX** | 轴心在X轴 |  |  |
| **KY** | 轴心在Y轴 |  |  |
| **KZ** | 轴心在Z轴 |  |  |
| 椭球面/双曲面/抛物面 | **SQ** | 轴平行于X、Y或Z轴 |  |  |
| 圆柱面/圆锥面/椭球面/双曲面/抛物面 | **GQ** | 轴不平行于X、Y或Z轴 |  |  |
| 椭圆或圆形的圆环面 | **TX** | 平行于X轴 |  |  |
| **TY** | 平行于Y轴 |  |  |
| **TZ** | 平行于Z轴 |  |  |

例如，以下输入卡分别定义了三个不同类型的曲面。

|  |
| --- |
| SURF  1 so 10.0 // 定义球面：球心在原点，半径为10cm  2 p 1.0 2.0 3.0 0 // 定义一般平面：  3 pz 0.5 // 定义圆柱面：对称轴在z轴，半径为0.5cm |

### 2.1.2 栅元（cell）

栅元输入卡的定义方式为：

|  |
| --- |
| **<id> <mat> {surface boolean} {options}** |

其中，**id**是栅元编号。**mat**是该栅元填充材料的编号，与材料描述卡当中的编号对应。

**surface boolean**输入卡通过曲面方向的布尔运算来定义栅元区域，形如：

|  |
| --- |
| **<±surf> <boolean> <±surf> <boolean> <±surf> …** |

曲面方向（sense）的定义为：如果点（x,y,z）在一个曲面方程*f* (*x,y,z*)的计算值为*f* (*x,y,z*) > 0，则称该点对于这个曲面是正向的；若计算值为*f* (*x,y,z*) < 0，则为负向。RMC的布尔运算符包括交集（&）和并集（:）两种，并支持由括号定义的优先级。RMC不提供补集运算，因为补运算可以通过交运算和并运算展开。假设某个栅元的几何描述部分为：

（1 & -2）: 3

那么该栅元所表示的几何区域为： （曲面1的正向 ∩ 曲面2的负向） ∪ 曲面3的正向。

**options**定义了该栅元的其它相关信息，包括：

|  |
| --- |
| **[Vol = <volume>] [Tmp = <temperature>] [Void] [Fill = <universe>] [Inner]** |

其中，**Vol** 选项卡定义该栅元的体积，默认值为1.0cm3。**Tmp**选项卡定义该栅元的温度，默认值为293K。**Void**选项卡表示中子进入该栅元后直接终止跟踪，主要用于描述真空边界以外的区域。**Fill** 选项卡定义该栅元内部填充的空间编号，详见2.1.3小节。**Inner**选项卡表示该栅元在填充过程中未被外层边界分割，用于几何跟踪加速，建议高级用户使用。

### 2.1.3 空间（universe）

#### 2.1.3.1 基本空间

空间由一系列栅元组合而成，且这些栅元之间不能存在重叠或未定义区域。对任意的物理系统，至少需要定义一个基本空间，在输入文件中定义为universe 0。

例如，以下输入文件定义了一个普通压水堆栅元。

|  |
| --- |
| Universe 0  1 m1 -10 // Fuel Pin  2 m2 10 & -11 // Air  3 m3 11 & -12 // cladding  4 m4 12 & 13 & -14 & 15 & -16 // water  5 m0 -13 : 14 : -15 : 16 void // outside  SURF  10 cz 0.4096  11 cz 0.4178  12 cz 0.4750  \*13 px -0.63  \*14 px 0.63  \*15 py -0.63  \*16 py 0.63 |

#### 2.1.3.2 多层空间

对于复杂的物理系统，可能需要用到空间填充的描述方式，即，将某个空间填充到另一个空间的栅元当中。空间填充的定义在相应栅元输入卡中的Fill选项卡中实现。对上例中的压水堆栅元，，我们可以使用空间填充的方式来等价地进行描述，如下所示。

|  |
| --- |
| Universe 0  101 m0 13 & -14 & 15 & -16 Fill = 1 // define a cell filled by a universe  102 m0 -13 : 14 : -15 : 16 void // outside the box  Universe 1  1 m1 -10 // Fuel Pin  2 m2 10 & -11 // Air  3 m3 11 & -12 // cladding  4 m4 12 // water  SURF  10 cz 0.4096  11 cz 0.4178  12 cz 0.4750  \*13 px -0.63  \*14 px 0.63  \*15 py -0.63  \*16 py 0.63 |

#### 2.1.3.3 几何变换

RMC支持对空间（universe）的平移变换和旋转变换。

平移变换的表达式为：



其中，和分别为变换前和变换后的空间任意一点的位置坐标，为平移变换向量。

旋转变可以绕任意轴，其表达式为：



其中，为旋转变换矩阵。RMC实际要求用户输入的是旋转变换矩阵的转置矩阵，其参数按照以下方式定义：给定某直角坐标系，它经过相应旋转变换后得到新坐标系，则可表示为



其中

#### 2.1.3.4 重复网格

## 2.2 底层栅元描述与粒子定位

通过定义上述几何描述单元与几何填充方式，我们可以采用向量形式唯一地确定某个几何区域：

Cell vector = C[1] > C[2] > … > C[n]

其中，“>”表示上层对下层的包含关系，n为该栅元所处的层级，C[i]>0表示栅元编号或Lattice编号（当第i层为重复几何结构时）。

在蒙卡跟踪过程，需要将粒子定位到最底层栅元（即C[n]不被其它任何空间填充），然后获取相应的材料和温度等信息进行输运模拟。

# 第3章 材料描述

复杂几何描述是蒙卡程序相对于确定论程序的重要优势之一。与世界上其它绝大多数蒙卡程序一样，RMC采用基于层级空间的几何描述系统（universe-based geometry system）。

## 3.1 材料选项卡

RMC的几何描述系统包括三类基本的几何描述单元，即，曲面（surface），栅元（cell）和空间（universe）。一般地，物理系统由多个或单个层级空间（universe）组成，每个空间由一定数量的栅元（cell）构成，栅元由曲面（surface）划分或围合而成。

## 3.2 核素截面数据库

RMC的几何描述系统包括三类基本的几何描述单元，即，曲面（surface），栅元（cell）和空间（universe）。一般地，物理系统由多个或单个层级空间（universe）组成，每个空间由一定数量的栅元（cell）构成，栅元由曲面（surface）划分或围合而成。

### 2.1.1 连续能量截面数据库

### 2.1.2 连续能量热化截面数据库

### 2.1.2 多群截面数据库

# 第4章 临界计算

复杂几何描述是蒙卡程序相对于确定论程序的重要优势之一。与世界上其它绝大多数蒙卡程序一样，RMC采用基于层级空间的几何描述系统（universe-based geometry system）。

## 4.1 初始裂变源

RMC的几何描述系统包括三类基本的几何描述单元，即，曲面（surface），栅元（cell）和空间（universe）。一般地，物理系统由多个或单个层级空间（universe）组成，每个空间由一定数量的栅元（cell）构成，栅元由曲面（surface）划分或围合而成。

# 第5章 计数器

RMC支持统计反应堆物理计算常用参数，包括通量、能谱、裂变能沉积、反应率等。RMC通过采用Cell-Mapping方法，在处理大规模栅元计数方面较MCNP等其它蒙卡程序效率更高。

## 5.1 通用计数器

通用计数器用来统计通量、能谱、功率（裂变能沉积）等物理参数，其输入形式为：

**Tally Type = #，ID = #，Filter = a1 a2 … an，Integral = b1 b2 b3 …**

**C1[1] > C1[2] > … > C1[n]**

**C2[1] > C2[2] > … > C2[n]**

**C3[1] > C3[2] > … > C3[n]**

**...**

### 5.1.1 Type选项卡

Type选项定义了计数器的计数类型。Type=0表示通量统计，Type=1表示功率（裂变能沉积）统计。

### 5.1.2 ID选项卡

ID卡用于该计数器的身份标识，便于甄别输出。ID卡的另一个重要功能是配置依赖于能谱的计数器。用户可在输入文件中按照以下方式指定能谱：

**ErgBin ID = # e1，e2，e3，…**

通用计数器将自动根据ID匹配能谱，给出相应能谱结构下的通量计数。

### 5.1.3 计数栅元描述

与粒子定位的栅元描述类似（参考第2章），计数栅元也采用向量描述：

**C[1] > C[2] > … > C[n]**

一般地，这里要求C[n]为底层栅元（即C[n]不再被下层结构填充）。计数器的基本实现过程是：在蒙卡模拟过程中，检查粒子所在栅元向量是否与计数栅元向量匹配；若是，则累加计数信息。

为提高计数栅元描述的灵活性，程序引入“：”和“\*”两种辅助表达符。以某压水堆堆芯为例，假设全堆（栅元编号1）包括21×21=441个重复网格，每个网格为燃料组件或反射层；其中，燃料组件进一步划分为17×17=289个重复网格，每个网格内填充燃料棒（栅元编号35）和慢化剂（栅元编号36）。

为统计该堆芯中心组件（重复网格编号221）的中心栅元（重复网格编号145）燃料棒内的通量，计数栅元的输入为：

**1 > 221 > 145 > 35**

以此类推，若用户需要统计其它组件中心燃料棒内的通量，需要输入：

**1 > 1 > 145 > 35**

**1 > 2 > 145 > 35**

**1 > 3 > 145 > 35**

**…**

**1 > 441 > 145 > 35**

通过使用展开符“：”，上述输入方式可简写为：

**1 > 1:441 > 145 > 35**

事实上，程序还支持形如“1 > 1:441 > 1:289 > 35”的多层展开输入方式，按照从右至左的方向逐层展开：

**1 > 1 > 1 > 35**

**…**

**1 > 1 > 289 > 35**

**1 > 2 > 1 > 35**

**…**

**1 > 2 > 289 > 35**

**…**

**1 > 441 > 1 > 35**

**…**

**1 > 441 > 289 > 35**

全局展开符“\*”是展开符“：”的一个特例，它会自动搜索所有底层栅元为特定编号的区域，分别予以计数。在上述算例中，用户输入

**\*36**

即可分别统计各个组件内的各慢化剂区的通量。

### 5.1.4 Filter与Integral选项卡

如上所述，3.1.3中的计数栅元描述“C[1] > C[2] > … > C[n]”要求C[n]是底层栅元（即C[n]不再被下层结构填充）。但实际上，用户有时需要统计非底层栅元或复合栅元的通量分布，这时就需要用到Filter与Integral选项卡。

Filter选项卡的参数是一个整数向量，向量长度等于计数栅元的层级，默认情况下向量内的元素为1。若计数栅元中出现“0”通配符（下面有解释），则Filter向量中相应位置用0代替。

以3.1.3中的情形为例，若要分别统计各组件内的通量，可输入：

**Tally Type = 0，Filter = 1 1**

**1 > 1:441**

其中，1 > 1:441等同于输入“1 > 1，1 > 2，……，1 > 441”，而“Filter = 1 1”标识该计数器内的所有计数栅元都只有两层。该计数器将给出441个通量计数，第i个计数对应第i个组件内的总通量。

另一例如下所示：

**Tally Type = 0，Filter = 1 1 0 1**

**1 > 1:441 > 0 > 35**

注意到“1 > 1:441> 0 > 35”当中的0是一个通配符，在计数匹配过程中忽略该层级的栅元编号或网格编号。Filter相应的位置用0标识。该计数器将给出441个通量计数，第i个计数对应第i个组件内的所有燃料棒通量之和。

RMC程序在每个Tally内部构建了Cell map，能快速处理大规模栅元计数。因此尽量将相同类型（相同Filter）的计数栅元置于同一个Tally中，减少Tally总数（尽管增加了单个Tally的计数规模），从而提高计数效率。

Integral选项卡的作用是将计数器内的计数栅元进行合并，作为一个整体进行计数。试举一例：

**Tally Type = 0，Filter = 1 1 0 1，Integral = 100 100 100 141 （或100\*3 101）**

**1 > 1:441 > 0 > 35**

该计数器将给出4个计数，分别是1 > 1:100 > 0 > 35计数之和，1 > 101:200 > 0 > 35计数之和，1 > 201:300 > 0 > 35计数之和，1 > 301:441 > 0 > 35计数之和。通过使用Integral选项卡，理论上可以将任意多个栅元当作一个整体进行计数（即使它们在物理上并不相邻）。

## 5.2 单群截面计数器

# 第6章 源收敛诊断与加速

复杂几何描述是蒙卡程序相对于确定论程序的重要优势之一。与世界上其它绝大多数蒙卡程序一样，RMC采用基于层级空间的几何描述系统（universe-based geometry system）。

## 6.1 香农熵诊断

RMC的几何描述系统包括三类基本的几何描述单元，即，曲面（surface），栅元（cell）和空间（universe）。一般地，物理系统由多个或单个层级空间（universe）组成，每个空间由一定数量的栅元（cell）构成，栅元由曲面（surface）划分或围合而成。

## 6.2 维兰德/超历史加速

RMC的几何描述系统包括三类基本的几何描述单元，即，曲面（surface），栅元（cell）和空间（universe）。一般地，物理系统由多个或单个层级空间（universe）组成，每个空间由一定数量的栅元（cell）构成，栅元由曲面（surface）划分或围合而成。

# 第7章 燃耗计算

复杂几何描述是蒙卡程序相对于确定论程序的重要优势之一。与世界上其它绝大多数蒙卡程序一样，RMC采用基于层级空间的几何描述系统（universe-based geometry system）。

## 7.1 内耦合燃耗

RMC的几何描述系统包括三类基本的几何描述单元，即，曲面（surface），栅元（cell）和空间（universe）。一般地，物理系统由多个或单个层级空间（universe）组成，每个空间由一定数量的栅元（cell）构成，栅元由曲面（surface）划分或围合而成。

## 7.1 燃耗选项卡

# 第8章 点燃耗计算

复杂几何描述是蒙卡程序相对于确定论程序的重要优势之一。与世界上其它绝大多数蒙卡程序一样，RMC采用基于层级空间的几何描述系统（universe-based geometry system）。

## 8.1 截面数据库

RMC的几何描述系统包括三类基本的几何描述单元，即，曲面（surface），栅元（cell）和空间（universe）。一般地，物理系统由多个或单个层级空间（universe）组成，每个空间由一定数量的栅元（cell）构成，栅元由曲面（surface）划分或围合而成。

## 8.2 燃耗模式

RMC的几何描述系统包括三类基本的几何描述单元，即，曲面（surface），栅元（cell）和空间（universe）。一般地，物理系统由多个或单个层级空间（universe）组成，每个空间由一定数量的栅元（cell）构成，栅元由曲面（surface）划分或围合而成。

## 8.3 燃耗算法

## 8.4 衰变热、放射性活度、反应率计算

RMC的几何描述系统包括三类基本的几何描述单元，即，曲面（surface），栅元（cell）和空间（universe）。一般地，物理系统由多个或单个层级空间（universe）组成，每个空间由一定数量的栅元（cell）构成，栅元由曲面（surface）划分或围合而成。

# 第9章 并行计算

复杂几何描述是蒙卡程序相对于确定论程序的重要优势之一。与世界上其它绝大多数蒙卡程序一样，RMC采用基于层级空间的几何描述系统（universe-based geometry system）。

## 6.1 初始裂变源