

Chapter 1

数据结构

GEONU现在的数据结构分成了4大类：

- Physics：物理输入；所有和物理相关的信息都存放在这个数据结构当中。
- Geology：地质输入；加载的地质模型、设定的丰度信息、随机产生的关联系数等数据都会存放在这个结构当中。
- Computation：存储每个cell的详细数据；Computation结构从Geology中读取数据进行计算，其中包括：随机抽样的均值、误差、关联系数等。
- Output：输出文件的结构；Output会从Computation中统计感兴趣的物理量，例如：总热功率、geonu通量、不同探测器的geonu事例率等。

Chapter 2

输入

2.1 Geology

Geology是一个非常重要的数据结构，这里面存储了地质计算的关键信息。Computation中的很多数据都是根据Geology进行随机抽样。

对于Lithosphere部分，需要认为输入以下地层的U、Th和K的丰度：

- OC: UC、LM和Sed的OC地形将会采用一样的丰度
- CC: UC、LM和sed需要输入不同的丰度

Chapter 3

Physics

Chapter 4

Geology

4.1 Load_Lithosphere_Data

这个函数可以实现：

- 根据Lithosphere.Model.Index自动加载对应的地质数据；其中BivarData将会用于DeepCrust的丰度计算
- 调用Assign_OC_CC函数：这个函数会根据不同地质模型，根据GeoPhys.type来标定哪些cell是OC、哪些cell是CC，并把结果加载到Model.Logical.OC或者CC当中。
- 调用Allocate_Variables_Lithosphere函数：申请内存，在Model.Abundance.(layer).U, Th和K中申请64800*3的表格。每一行有3列，分别代表均值、正误差、负误差；后续丰度的随机抽样结果将会填放在这里。

4.2 Generate_Correlations

这个函数可以实现：

- 产生一系列的关联系数：是用标准高斯分布产生关联系数；这些系数涉及到了Lithosphere、Mantle、BSE等结构，换句话说，只要是计算过程中用到的关联系数，都会在这产生，并且放到对应结构的Correlation当中。

需要注意的是：

- Lithosphere的7个地层只有Thickness是采用相同的关联系数；而Vp, Abundance是每层独立产生；
- MC和LC还另外计算了End和Bivar两个分支都会放到 Model.Correlation.(layer).DeepCrust当中，都会用于Deepcrust的丰度计算。

4.3 Compute_Abundance_DeepCrust

这个函数可以实现：

- 根据DeepCrust方法计算了MC和LC中U、Th、K的丰度；
- 整套计算采用的是xxxx方法。
- Amphibolite对应xx层；Granulite对应xx层
- 采用的Log-Normal抽样的方式

4.4 Assign_Abundance_Layer

这个函数会根据字符串自动加载OC和CC的丰度；这些丰度也会用于丰度的抽样。

4.5 Find_Near_Field_Cells

这个函数会根据detector的位置信息寻找detector附近的cell，寻找的结果会用于计算local filed的贡献，它不影响主要的计算。

4.6 Compute_Abundance_BSE

这个函数对BSE当中U, Th和K的丰度进行随机抽样, 抽样的方式有高斯与Log高斯。

Huang method

文献<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ggge.20129>详细描述了Huang的计算方法, 这里只做简单总结:

- Huang假设MC和LC都是由Felsic和Mafic构成, 只不过两者的占比不同从而成了Amphibolite和Granulite。但无论都有 $f + m = 1$ 。
- Huang在实验室中测量了felsic和Mafic的波速, 即 V_p 。通过组合让速度等于crust中的实际波速, 即 $f \times v_f + m \times v_m = v_{crust}$ 。
- 由于Amphibolite和Granulite都包含大量的 SiO_2 (质量占比50%以上), 通过 SiO_2 和 V_p 的关系就可以反推HPEs的丰度; 其中K元素丰度是通过 K_2O 进行推测的。平均丰度 a 与 SiO_2 遵循Log-Normal分布, 即 $Log(a) \sim N$;
- 最后用平均丰度 $a = f \times a_f + m \times a_m$ 来表征HPEs的丰度。

Felsic和Mafic中HPEs的丰度 a 遵循Log-Normal分布, 集成在了**Compute_Abundance_DeepCrust()**当中, 用到的常数都可以从Huang文章中的Table 5当中找到。

注意: 原版程序中 wt 表示的是 ^{40}K 的质量分数, 新版已经修改成了 K 的质量分数。

不同岩石中 V_p, V_s 遵循高斯分布, 具体数值可查Table 4; 波速 V_p 需要进行温度和压强修正, 具体表达式为:

$$v_p = v_p - (temperature - 20) * 4 * 10^{-4}, \quad (4.1)$$

$$v_p = v_p + (pressure - 600) * 2 * 10^{-4}. \quad (4.2)$$

先进行温度修正再进行压强修正。这些计算集成在了**Compute_Abundance()**当中。这个函数可以给出U, Th和 ^{40}K 的丰度。

丰度小记

- Compute_Aundance_DeepCrust: 随机抽样U、Th和K的丰度, 需要注意不是K40的丰度。
- Assign_Abundance: 指定U、Th和K的丰度。

BSE丰度

内容...

4.7 Preallocate_Computation

这个函数会根据Geology的信息提前申请内存。这个函数包含多种模板:

- 64800*iteration: Thickness, Depth, Radius, Density, Volume, Temperature, Pressure, Abundance.XXX, Mass.XXX
- 64800*3: Geonu_Flux.XXX, Heat_Power.xxx

- iteration * 1: Mantle.Abandance.xx

4.8 Fill_Computation

这个函数就是将Geology中的某些branch拷贝到了Computation，保持计算过程中代码的整洁性。

4.9 Compute_Lithosphere

这个函数实现了计算Lithosphere中的各种信息：Thickness, Depth, Density, Radius, Volume, Temperature, Pressure, Abundance, Mass, Geonu_Flux和Heat_Power。需要注意的是整套计算必须是从最外层往最内层逐层计算，也就是s1→LM，这是因为计算温度时会使用上一层的压强。

Compute_Layer_Thickness

这个函数用来计算厚度。对于Crust1+LM或者Crust2+LM这种组合，厚度的计算方法是Thickness = LAB - Moho；对于其他情况就是从Data.thick中进行高斯抽样，相对误差为12%。由于是随机抽样，最后会对负数置零。

Compute_Layer_Depth

这个函数用来计算深度即距离地表的距离。这个函数会从Data.depth中进行高斯抽样，相对误差为12%。由于是随机抽样，最后会对负数置零。

Compute_Layer_Density

这个函数用来计算密度，单位是??。这个函数会从Data.rho中进行高斯抽样，相对误差为5%。需要注意的是，相关系数使用的是Vp，这可能是因为地质学中密度都是通过地震波进行推测的。由于是随机抽样，最后会对负数置零。

Compute_Layer_Radius

这个函数用来计算半径，即地心到cell的直线距离。简单来说就是Geophys.r - depth。

Compute_Layer_Volume

这个函数用来计算cell的体积。体积的计算公式为

$$V = \int_{r_{min}}^{r_{max}} \int_{\varphi_{left}}^{\varphi_{right}} \int_{\theta_{bot}}^{\theta_{top}} r^2 \cos \theta d\varphi dr d\theta = \frac{1}{3} (r_{max}^3 - r_{min}^3) (\varphi_{right} - \varphi_{left}) (\sin \theta_{top} - \sin \theta_{bot}). \quad (4.3)$$

其中 r 为半径， φ 为经度， θ 为纬度。

Compute_Layer_Temperature

这个函数用来计算cell的温度，具体公式为

$$T = 10 + 71.6(1 - e^{-\frac{depth}{10000}}) + 10 * \frac{depth}{1000}. \quad (4.4)$$

Compute_Layer_Pressure

这个函数用来计算Cell的压强，具体公式为：

$$P = P_{lastlayer} + \frac{1}{2} * density * Thickness * 9.80665 * 10^{-6}. \quad (4.5)$$

Compute_Layer_Abundance

这个函数用来计算Cell的元素丰度。对于MC和LC地层来说，元素的丰度通过DeepCrust方法实现，具体集成到了Compute_Abundance函数当中；对于其他地层则是对Abundance.layer.xx进行高斯抽样，其中均值和相对误差都来自这个branch。

Compute_Abundance

这是一个非常复杂的函数。等待补充

Compute_Layer_Mass

这个函数用来计算cell的总质量、U、Th、K的质量，就是密度乘体积。

Compute_Layer_Geonu_Flux

这个函数用来计算cell的Geonu通量。在Physics.Elements.Geonu_Flux中已经输入了单位质量U、Th、K的Geonu通量，所以就是简单的乘法。

Compute_Layer_Heat_Power

这个函数用来计算cell的Geonu通量。在Physics.Elements.Heat_Power中已经输入了单位质量U、Th、K的热功率，所以就是简单的乘法。

4.10 Compute_Mantle_Mass

Chapter 5

Computation

5.1 Geonu信号

Geonu信号的计算

对于某个探测器来说，Geonu的事例率的计算公式为：

$$R_{Geonu} = \sum_i^N \int_{Earth} \rho A dV \frac{N_A \ln 2}{m \tau} \times \int_{1.806 MeV}^{\infty} \frac{P_{ee}}{4\pi L^2} \times \frac{dn}{dE} \sigma(E) dE \times \varepsilon \quad (5.1)$$

其中 N 是HPEs的个数； ρ 是岩石的密度； A 是HPE的质量丰度； N_A 是阿伏伽德罗常数； m 是HPE的摩尔质量； τ 是HPE的半衰期； L 是HPE到探测器的距离； P_{ee} 是振荡概率； dn/dE 是HPE的中微子能谱； $\sigma(E)$ 是IBD散射截面； ε 是探测器的探测效率。

有时候想看探测的地球中微子能谱，其计算公式为

$$\left(\frac{dn}{dE} \right)_{mea} = \sum_i^N \int_{Earth} \rho A dV \frac{N_A \ln 2}{m \tau} \times \frac{P_{ee}}{4\pi L^2} \times \frac{dn}{dE} \sigma \times \varepsilon \quad (5.2)$$

上述公式可以拆分成三部分：1) HPE的质量；2) 单位质量HPE能产生的通量；3) 传播效应。

既然HPEs会衰变释放中微子，释放中微子的能谱就是 dn/dE ；但是中微子振荡会扭曲，从而使我们探测到的能谱和 dn/dE 有很大的差别。这里就简单梳理一下计算探测能谱的逻辑：

1. 一直cell上HPEs的质量，就可以求出geonu的通量，即每秒释放出 n_1 个geonu。这些geonu遵循 dn/dE 能谱；
2. geonu按照球形传播，传播过程中还有振荡效应发生。所以 dn/dE 就会发生扭曲

所以我们需要将 dn/dE 归一化，然后bin-to-bin的施加传播效应。于是探测到的能谱是

$$\left(\frac{dn}{dE} \right)_{mea} = \sum_i^N \sum_j^{N_{Cell}} m_i \times l \times \frac{dn}{dE} \sigma(E) \frac{P_{ee}}{4\pi L^2} \quad (5.3)$$

对于能谱扰动来说，我们关注整个地球的影响，并不在乎具体地层的贡献；而对于geonu signal的研究来说，注重地层和cell的贡献。

Chapter 6

旧版函数解读

6.1 主程序解读

模拟设定

主程序第1-38行，选择要考虑的detector、是否要计算通量、nearfield的计算方法。detector信息的加载集成到了**Load_Detector()**中，计算开关呈主程序当中。

主程序第39-75行，选择Lithosphere的地质模型并加载对应数据。这段代码集成到了**Load_Lithosphere_Data()**当中。

主程序第76-120行，根据不同地质模型统计OC、CC地形。统计的索引会用于后续区分OC、CC的贡献。这段代码集成到了**Load_Detector::Assign_OC_CC()**当中。

主程序第121-131行，选择DeepCrust的计算方法。这段代码呈现在主程序当中。

主程序第132-161行，设定迭代次数、并行池的设定。新版程序中直接删除。

主程序第162-217行，提前申请内存，规定了丰度、热功率通量、质量、geo通量的格式。新版程序中对删除了热功率通量转而计算热功率，对应**Computation.Lithosphere.Layer.Heat_Power**，将丰度拆分到了**Geology.Lithosphere.Model.Abundance**和**Computation.Lithosphere.Layer.Abundance**当中；质量放到了**Computation.Lithosphere.Layer.Mass**中；geo通量放到了**Computation.Lithosphere.Layer.Geo_Flux**中；删除了sum变量，在全部完成计算之后再行统计。

Geology.Lithosphere.Model.Abundance的结构与规格定义在

Load_Lithosphere_Data::Allocate_Variables_Lithosphere()中。因为规格与地质数据有关，必须导入地质数据之后才能申请内存。

关联系数

主程序第218-242行，产生关联系数，它们会用于高斯和log高斯随机抽样。这段代码集成到了**Generate_Correlations()**。

主程序第243-261行，产生关联系数，它们用于Bivart方法中的随机抽样。这段代码集成到了**Generate_Correlations()**。

K的相关系数

主程序第262-263行，定义了K元素在 K_2O 的质量占比与 ^{40}K 在K中的质量分数。分别放到了**Physics.Constants.Others.K_K2O**和**Compute_Relative_Abundance_Mass()**。

应用：

- K.r: 主程序第315行：输入的是 K_2O 的数据而非K的数据，需要进行换算。
- K.b: 主程序第373, 758, 764行。

丰度相关

主程序第264-324行，输入的是UC所有地形(CC + OC)，LM的CC和Sed地层所有地形(CC + UC)的U、Th、K的丰度。这里的U包含 ^{235}U 和 ^{238}U ；K包含K的所有同位素。参数输入呈现在主程序，调用**Assign_Abundance_Layer()**实现填数。

注意：Sedminent的K元素丰度中需要乘一个K.r。

DeepCrust相关

主程序第325-339行，定义了amphibolite和granulite的HPEs丰度，它们会用于Huang's计算。这里的K实际上指的是 ^{40}K ，因为wt的表达式中乘了 ^{40}K 的质量分数。这段代码集成到了**Compute_Abundance_DeepCrust()**当中。

主程序第340-348行，定义了endmember，它们用于Bivart's计算。这段代码集成到了**Compute_Lithosphere::Compute_Layer_Abundance_Compute_Abundance()**中，说实话需要改进。

Mantle方法的统计

主程序第349-366行，定义了Mantle的计算方法，但现在只实现了Layered方法。呈现在主程序当中。

BSE相关

主程序第367-373行，定义了地幔中U的总质量、Th/U、K/U比值和BSE中U、Th和 ^{40}K 的丰度。这里的U指 ^{238}U 和 ^{235}U ；K指的是K的所有同位素。

物理输入

主程序第374-378行，输入的是单位质量HPEs产生的热功率。这段代码集成到了**Physics.Elements.Heat_Power**中。

主程序第379-384行，输入的是HPEs的摩尔分数。这段代码集成到了**Physics.Elements.Abundance.Mole**。

主程序第385-391行，输入的是HPEs的原子质量以及amu和kg的换算关系。放到了**Physics.Elements.Mass**和**Physics.Constants.Unit_Conversion**。

主程序第392-394行，输入的是Avogadro常数。放到了**Physics.Constants.Others**中。

主程序第395-399行，输入的是HPEs的衰变常数。放到了**Physics.Elements.Decay_Constants**中。

主程序第400-408行，输入的是中微子振荡常数。放到了**Physics.Oscillation.Parameters**，通过**Load_Oscillation_Parameters()**产生。换句话说振荡参数可以是固定的也可以是随机抽样的。

主程序第409-411行，计算了三个系数，便于中微子振荡的计算。放到了**Physics.Oscillation.Coefficients**中。GEONU采用的振荡公式为：

$$\text{OscillationEquationToBeFinished} \quad (6.1)$$

主程序第412-421行，输入的是中微子的能量，用于计算IBD截面和画图等操作。bin宽75 keV，范围从0 – 3300 keV。这段代码拆分成了**Physics.Elements.Spectrum.Energy**，能量的读取放到了**Load_Geonu_Spectrum()**中。

主程序第422-232行，加载了Enomoto提供的HPE衰变的中微子能谱，并根据设置的bin宽重新计算HPEs的 $\frac{dn}{dE}$ 。所有数据都可以从<https://www.awa.tohoku.ac.jp/sanshiro/research/geoneutrino/spectrum/>中查到，比对。这里直接解释么每列数据的含义：第1-3列是中微子的能量，单位分别是keV, MeV, pJ，第4-7列分别是 ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{40}K 的中微子能谱，单位是 $1/\text{keV}$ 。这里已经确认第1-7列除了第3列都没有问题。这段代码集成到了**Load_Geonu_Spectrum()**中。

主程序第433-438行，计算了HPEs元素一次衰变平均放出的中微子数目。这段代码集成到了**Load_Geonu_Spectrum()**中

主程序第439-448行，计算了IBD的散射截面，这段代码集成到了**Compute_Cross_Section()**。采用的公式为：

$$\frac{\sigma_{IBD}}{\text{cm}^2} = 9.52 * \text{?????}. \quad (6.2)$$

主程序第449-454行，没看懂，但不影响计算，应该是统计xxx随着distance的变化。

提前申请内存

主程序第455-469行，定义了**layer_cc_flux_sums**, **layer_nf_flux_sums**, **layer_nf_fluxs_cc**, **layer_oc_flux_sum**的规格：iteration * 2 能量bin长度。这里是两倍能量bin宽是想把U和Th同时放进去，比如说第一个bin组放U，第二个bin组放Th。新版本程序直接删除。

探测器信息处理

主程序第470-476行搜索了detector最近的cell，然后更新了detector的半径。这段代码集成到了**Find_Near_Field_Cells()**。

nearfield的搜索

主程序第477-491行，实现了矩形搜索nearfield的方法，不影响后续计算，只影响nearfield的统计。这段代码集成到了**Find_Near_Field_Cells()**。

主程序第492-500行，实现了圆形搜索nearfield的方法，不影响后续计算，只影响nearfield的统计。

平庸的操作

主程序第501-508行，计算了不知道什么东西，简单来说就是渐变了后续的地球中微子信号的计算，只影响Geonu信号的统计，不影响cell丰度等计算。新版本直接删除。

主程序第509-511行，平庸的赋值操作。新版本直接删除。

主程序第512-526行，输出文本信息。新版本直接删除。

Lithosphere的并行计算

主程序第527-532行，刷新随机种子，拿到了nearfield的索引。新版本直接删除。

主程序第533-601行，调用**Abund_And_Flux()**，对CC地形或者是CC且不是nearfield的cell，进行丰度、通量的等计算。water和ice地层对最后计算没有影响，后续分析也不会考虑这两层，可以忽略。

主程序第602-605行，对于CC地形且是nearfield的cell，GEONU不做处理。**我不明白!!**

主程序第606-663行，调用**Abund_And_Flux()**，对OC地形进行计算。

这段程序集成到了**Compute_Lithosphere()**。

主程序第664-671行，不明白统计了什么东西。新版本直接删除。

主程序第672-693行，统计了nearfield的丰度、质量、通量等信息。**我没看它们具体有什么东西，但就是一个统计**。新版本直接删除。

主程序第694-721行，统计了nearfield的CC地形的丰度、质量、通量等信息。**我同样没看它们具体有什么东西，但就是一个统计**。新版本直接删除。

主程序第722-728行，输出文本信息，不影响计算。新版本直接删除。

可以看到，**Abund_And_Flux()**函数实现了最重要的地质学计算，这个将会是重点解读的部分。除此之外还需要注意以下几点：

- 整套并行计算是按照cell并行计算，换句话说一定的立体角进行并行计算，从最外层往最内层计算，在**Abund_And_Flux()**实现温度、压强、质量、丰度等计算；新版程序则将**Abund_And_Flux()**拆分成了更小的函数，计算完某一地层的所有cell的所有信息参会计算下一底层的cell的所有信息。
- 计算要按照s1, s2, s3, UC, MC, LC, LM这个顺序进行。这是因为**Abund_And_Flux()**中会用到压强对 v_p 进行修正，所以会讲究计算顺序；压强是通过**temp**变量在不同底层之间传递，而变量**P**只是给出当前layer产生的压强。
- 旧版代码针对CC，OC和nearfield进行了区分，这是因为它们想单独计算cc, oc和nf的贡献。但在新版程序当中将不再区分而是统一计算，最后在根据OC、CC和nearfield的索引单独统计它们的贡献。

Mantle计算

主程序第729-738行，计算了地球、地核、bse和地幔，lithosphere的总质量。

主程序第739-746行，**看不明白!!**

主程序第747-766行，计算了depleted地层HPEs的丰度？

主程序第767-776行，计算了enriched地层HPE的质量？

主程序第777-789行，将depleted、enriched地层小于零的项归零。

主程序第790-799行，定义了并行计算中需要用到的变量。

主程序第800-806行，调用**mantleGeo()**进行计算。

主程序第807-822行，对depleted和enriched地层信息进行统计。

主程序第823-831行，输出文本。

误差计算

主程序第832-835行，不同误差计算方法对应不同的参数。

主程序第836-845行，调用**RM18_allocate()**进行误差计算。

主程序第846-849行，拷贝branch。

主程序第850-853行，调用**rmfield()**，但我不知道要干啥。

6.2 Abund_And_Flux函数解读

变量的整理

- **abund_mass**: 第1-3列表示U、Th、 ^{40}K 的质量(kg)。
- **heat**: U、Th、 ^{40}K 的热功率和总热功率(W)。
- **heatflow**: 热功率通量(W/m^2)。

0结果直接返回

函数第1-80行，注释。

函数第81-117行，如果是cell的厚度为0或者是**LM_oc**地层则直接返回0结果。新版程序中直接删除，需要想明白删除**LM_oc**时候合适，会不会影响后续的计算。

函数第118-122行，根据**K**的丰度计算了 ^{40}K 的丰度。TBD

函数第123-126行，定义DeepCrust中Huang方法的丰度计算公式，会用于函数第279-281行和第318-320行。

函数第127-137行，计算了cell的面积，单位 m^2 。

函数第138-142行，提前申请内存。

函数第143-148行，拿到DeepCrust中Bivart方法需要用到的变量，会用于函数第288-290行和第326-328行。集成到了**Compute_Layer_Abundance::COMPUTE_Abundance()**中。

函数第149-188行，看不懂的操作，初步看会用到geonu通量的统计当中，换句话说不影响每个cell的计算。

cell信息的计算

函数第189-206行，计算了thickness。对于Crust1+LM或者Crust2+LM的组合则采用LAB-moho的方式；其他组合则是高斯随机抽样。集成到了**Compute_Layer_Thickness()**。

函数第207-214行，对depth、rho(密度)进行了高斯随机抽样。分别集成到了**Compute_Layer_Deptho()**和**Compute_Layer_Density()**中。

函数第215-221行，计算了cell的质量。集成到了**Layer_Compute_Mass()**。

函数第222-229行，计算了该层产生的压强。集成到了**Layer_Compute_Pressure()**。

DeepCrust和丰度的计算方法

函数第230-254行, 是用DeepCrust方法计算LC和MC中HPEs丰度的计算, 拿到 V_p (km/s)、温度($^{\circ}\text{C}$)和压强(MPa)。集成到了**Compute_Layer_Abudance::Compute_Abundance()**。温度的计算公式是

$$T() = T_0 + \frac{q_m y}{k} + \frac{(q_0 - q_m) h_r}{k} (1 - e^{-y/h_r}), \quad (6.3)$$

这个公式来自于**Geodynamics**中的公式4.31, 具体的参数为 $T_0 = 10$, $h_r = 10\text{km}$, $q_0 = 60\text{mW}/\text{m}^2$, $q_m = 36\text{mW}/\text{m}^2$, $k = 3.35\text{W}/(\text{m}^{\circ}\text{K})$, y 是深度。这里需要注意的是, k 在书中的单位是 $\text{W}/(\text{m}^{\circ}\text{K})$, 但从它们展示的图像和GEONU注释中可以看出他们并不理解开尔文和摄氏度之间的关系, 只是认为两者相等, 所以这里修成了正确的单位。

函数第255-282行, MC层Huang的计算方法计算U、Th、 ^{40}K 丰度。集成到了**Compute_Layer_Abudance::Compute_Abundance()**。

函数第283-293行, MC层Bivart的计算方法计算U、Th、 ^{40}K 丰度, 集成到了**Compute_Layer_Abudance::Compute_Abundance()**。

函数第294-336行, LC层Huang和Bivart的计算方法计算U、Th、 ^{40}K 丰度。集成到了**Compute_Layer_Abudance::Compute_Abundance()**。

函数第337-356行, 计算其他地层U、Th、 ^{40}K 丰度, 高斯抽样或者Log高斯抽样。集成到了**Compute_Layer_Abudance()**。

函数第357-399行, 计算U、Th、 ^{40}K 的质量(kg)、热功率(W)、热流(W/m^2)。集成到了**Compute_Layer_Mass()**, **Compute_Layer_Heat_Power()**; 删除了热流的计算。

其他

函数第400-579行, Geoflux、Georate的计算。

函数第580-786行, 数据格式的整理。

6.3 mantleGeo

丰度计算

函数第1-34行, 注释。

函数第35-61行, 不知道干了什么。

函数第62-119行, 计算了mantle中不同底层的质量。

函数第120-144行, 计算了U、Th、 ^{40}K 的总质量。

函数第145-163行, 计算了depleted、enriched地层的热功率和热通量。函数第164-352行, 计算了Geoflux、Georate等信息。

函数第353-501行, 数据格式的整理。