

# *SplitRFlab* 中文手册

徐弥坚

*February 21, 2015*



# 目 录

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| <b>I SplitRFlab 简介</b>         | vii |
| <b>什么是SplitRFlab</b>           | ix  |
| 如何获取SplitRFlab .....           | ix  |
| 联系我们 .....                     | x   |
| 致谢 .....                       | x   |
| <b>1 安装SplitRFlab</b>          | 1   |
| 1.1 注意 .....                   | 1   |
| 1.2 安装 .....                   | 2   |
| 1.2.1 运行MATLAB .....           | 2   |
| 1.2.2 安装Splitlab .....         | 2   |
| 1.2.3 安装processRFmatlab .....  | 3   |
| <b>2 SplitRFlab 的界面环境与主要功能</b> | 5   |
| 2.1 运行 SplitRFlab .....        | 5   |
| 2.2 面板介绍与参数设置 .....            | 6   |
| 2.2.1 General .....            | 6   |
| 2.2.2 Station .....            | 7   |
| 2.2.3 Event window .....       | 9   |
| 2.2.4 Request .....            | 11  |
| 2.2.5 Phase .....              | 12  |

|       |                           |    |
|-------|---------------------------|----|
| 2.2.6 | Find files .....          | 13 |
| 2.2.7 | Process .....             | 15 |
| 2.3   | 左侧的面板的其他功能 .....          | 18 |
| 2.3.1 | Save Preferences 按钮 ..... | 18 |
| 2.3.2 | "?" 按钮 .....              | 18 |
| 2.3.3 | Load Project 下拉菜单 .....   | 18 |
| 2.3.4 | Save project as 按钮 .....  | 18 |
| 2.3.5 | View Seismograms 按钮 ..... | 18 |
| 2.3.6 | View Database 按钮 .....    | 18 |
| 2.4   | Dstebase 界面环境 .....       | 18 |
| 2.4.1 | Preview 按钮 .....          | 19 |
| 2.4.2 | Clean Up 按钮 .....         | 19 |
| 2.4.3 | Export 按钮 .....           | 19 |
| 2.4.4 | Statistic 按钮 .....        | 20 |
| 2.5   | 地震波形预览（Preview）窗口 .....   | 20 |
| 2.5.1 | 顶部功能键菜单 .....             | 20 |
| 2.5.2 | 波形图像窗口 .....              | 22 |
| 2.5.3 | 震相选择下拉菜单 .....            | 22 |
| II    | 接收函数处理                    | 23 |
| 3     | 台站信息与事件匹配                 | 25 |
| 3.1   | 设置项目文件名和数据路径 .....        | 25 |
| 3.2   | 设置台站信息 .....              | 26 |
| 3.3   | 搜索符合条件的地震事件 .....         | 26 |
| 3.4   | 选择震相 .....                | 27 |
| 3.5   | 匹配事件 .....                | 28 |
| 3.6   | 设置计算接收函数所需的参数 .....       | 30 |

|                              |           |
|------------------------------|-----------|
| <b>4 进行接收函数计算</b>            | <b>31</b> |
| 4.1 手动计算接收函数 .....           | 31        |
| 4.2 接收函数批处理功能 .....          | 33        |
| 4.3 绘制按反方位角排列的接收函数波形图像 ..... | 34        |
| <b>5 进行 H-k 叠加</b>           | <b>37</b> |
| 5.1 H-k 叠加图像 .....           | 37        |
| 5.2 R 分量接收函数按射线参数排列图像 .....  | 37        |
| <b>6 小结</b>                  | <b>41</b> |
| <b>III 附录</b>                | <b>43</b> |
| <b>快捷键列表</b>                 | <b>45</b> |



# 第 I 部分 SplitRFlab 简介



# 什么是SplitRFlab

SplitRFlab是基于Splitlab的一个二次开发软件，由师兄和我共同开发。我们在Splitlab的基础上添加了接收函数计算、接收函数作图、H-k叠加。并且保留了原先Splitlab的全部功能。

优势:

1. 友好的图形界面。
2. 高效的快捷键操作。
3. 同时也有批处理功能。
4. 一键出图。
5. 这是一个开源软件。

.....

缺点:

1. 由于MATLAB是一个商业软件，而且更新太快（一年两个版本），所以不同MATLAB版本兼容性会有一些问题。
2. 和Splitlab一样，SplitRFlab是对单个台站进行操作的，所以无法处理类似于地震成像这样区域性的问题。

## 如何获取SplitRFlab

在GitHub主页上可以获取最新的SplitRFlab。我们也会将最新的SplitRFlab第一时间托管到GitHub。

项目主页: <https://github.com/xumi1993/SplitRFlab>

## 联系我们

如果在使用过程中发现任何Bug，你可以Fork GitHub上的项目进行修改，也可以联系 [gomijianxu@gmail.com](mailto:gomijianxu@gmail.com) 或 [gomijianxu@163.com](mailto:gomijianxu@163.com)。

## 致谢

我们非常感谢Splitlab提供了非常优秀的图形用户界面，以及强大的SAC读写，事件匹配等功能。同时还要感谢processRFmatlab提供了优秀的接收函数计算程序。另外FuncLab软件在对接收函数处理给予我们很大的帮助。

Splitlab: <http://splitting.gm.univ-montp2.fr>

processRFmatlab: <https://github.com/iwbailey/processRFmatlab.git>

FuncLab: [http://www.seismosoc.org/publications/SRL/SRL\\_83/srl\\_83-3\\_es\\_II/](http://www.seismosoc.org/publications/SRL/SRL_83/srl_83-3_es_II/)

# 第1章 安裝SplitRFlab

## 1.1 注意

由于Splitlab提供的matTaup版本过旧，无法在64位Windows版的MATLAB上运行，所以如果你的电脑是Windows系统请安装32位MATLAB 2014b以前的版本。由于软件大部分在Mac OSX系统下开发，软件在Windows系统上缺少测试，所以最好在Mac OSX或Linux系统下使用该软件，本文的所展示的界面和实例都是在Mac OSX 10.10 系统下运行的。

MATLAB在2014b版本之后对绘图功能进行了大幅改变。所以SplitRFlab无法在该版本及之后的版本上运行。如果想让全部的功能在2014b版本上可以运行，需要对软件做大幅修改，所以如果各位有兴趣去做这个工作联系我们。

## 1.2 安装

### 1.2.1 运行MATLAB

运行MATLAB，并设置路径到.../SplitRFlab/SplitLab1.0.5（图 1.1）。

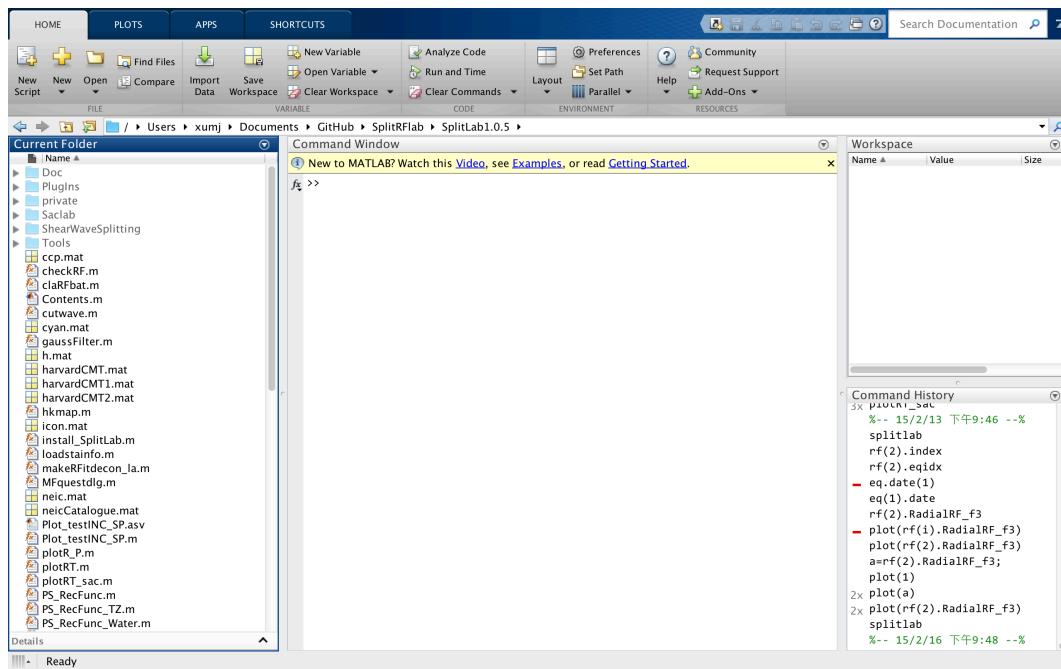


图 1.1: Matlab 2014a界面环境

### 1.2.2 安装Splitlab

在command窗口输入install\_SplitLab，出现图形安装界面（图 1.2）。

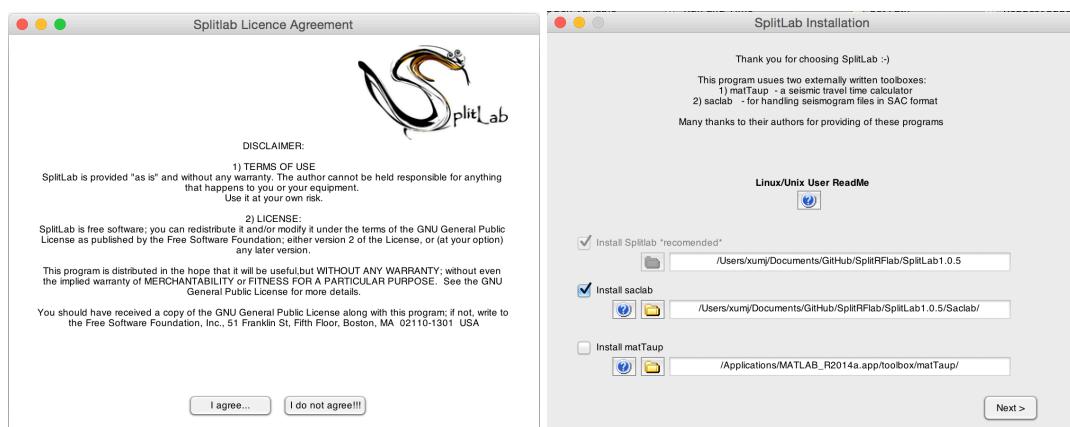


图 1.2: Splitlab的安装界面

### 1.2.3 安裝processRFmatlab

設置路徑到.../SplitRFlab/processRFmatlab，在command窗口輸入  
processRFmatlab\_startup (圖 1.3)。

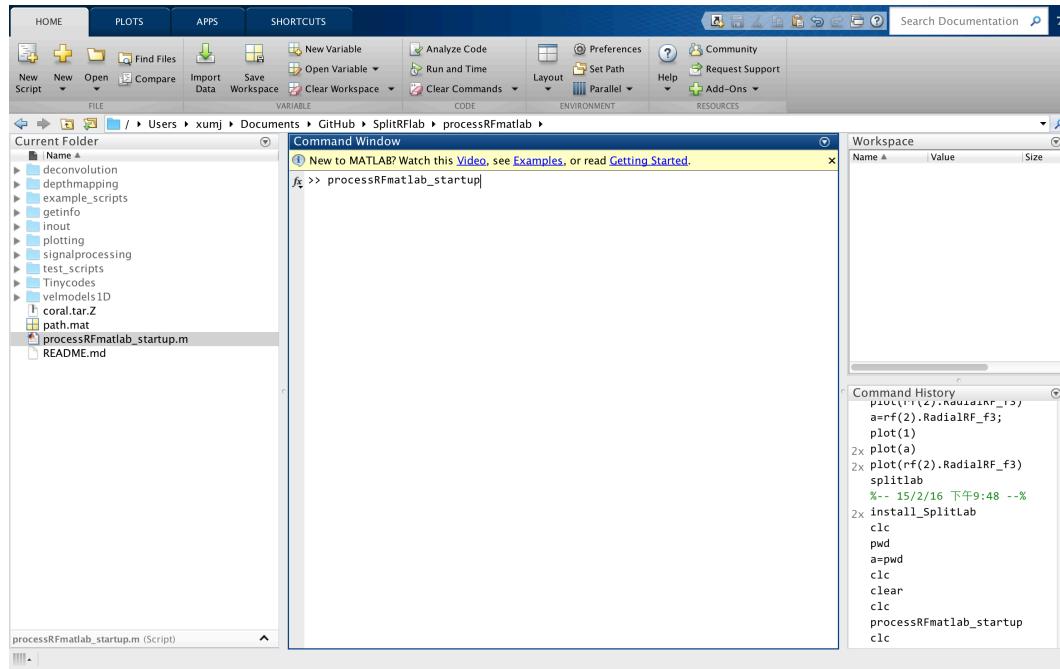


圖 1.3: 在Command window中輸入processRFmatlab\_startup



# 第2章 SplitRFlab 的界面环境与主要功能

我们继承了Splitlab的界面和处理S波分裂的功能。它的帮助文档有非常详细的介绍，所以这里我们只介绍其处理接收函数的新功能。

## 2.1 运行 SplitRFlab

在命令行里输入`splitlab`，我们可以看到Splitlab的界面（图 2.1），但与原始的Splitlab又有些不同。我们先来看界面左侧的面板。在不同的面板中对应了不同功能的设置、选择和执行。

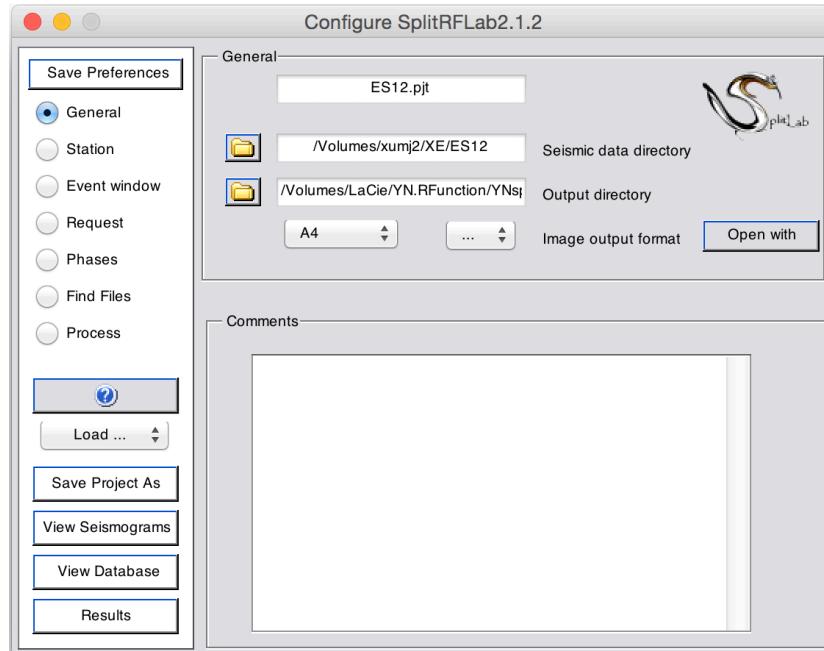


图 2.1: Splitlab的界面环境（General面板）

- General — 工程文件名、SAC数据路径
- Station — 台站信息
- Event window — 事件信息
- Request — 数据申请界面
- Phase — 震相选择
- Find Files — 匹配SAC文件
- Process — 接收函数处理

## 2.2 面板介绍与参数设置

### 2.2.1 General

- 在这个文本框内输入工程文件的文件名（图 3.1），后缀为.pjt，用来保存这个项目的信息，我们对单个台站进行处理，所以该文件名可以用台站名来命名。

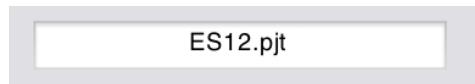


图 2.2: 工程文件名输入文本框

- 点击左侧浏览图标选择一个台站下SAC文件所在的路径。或者在文本框内输入修改路径（图 2.3）。



图 2.3: SAC文件路径设置部分

## 2.2.2 Station

Station面板如图 2.4。其中包含了台站信息和通道旋转两个部分。

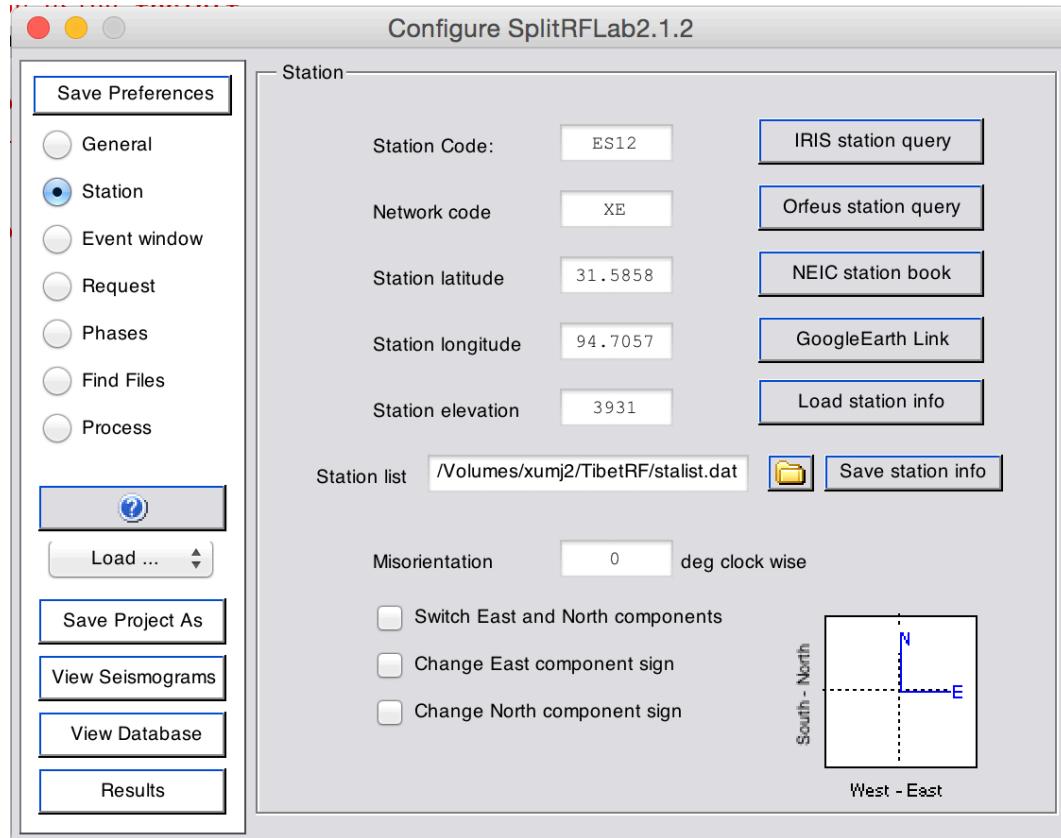


图 2.4: Station面板

- 台站信息的五个文本框从上到下依次为：台站名、台网名、台站纬度、台站经度、台站高程。我们可以通过点击右侧的Load station info按钮自动读取以上台站信息（图 2.5）。



图 2.5: 台站信息设置部分

- 如果你需要处理一个台阵（台网）的数据，那么你可能需要保存一个台站列表，那么点击Save station info可以将台站信息写到一个列表中，列表所在的路

径可以通过左侧的浏览图标或文本框进行设置（图 2.6）。



图 2.6: 台站信息储存部分

- 有的时候因为一些人为因素（如操作失误）会导致通道反向或通道与它应该所处的方向形成一定角度，我们可以通过点击图 2.7 中的复选框或在文本框内设置角度，将通道复原到正确地位置。

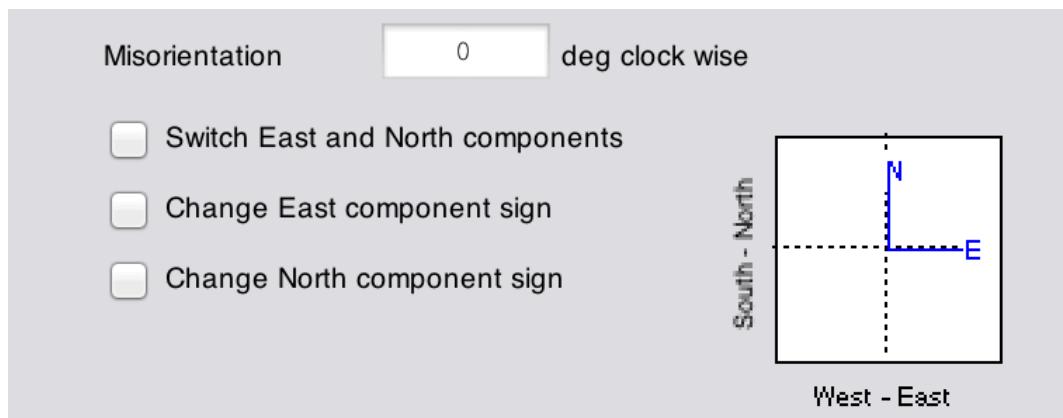


图 2.7: 通道设置部分

### 2.2.3 Event window

在这个面板中我们可以设定一些条件来搜索与之匹配的地震事件（图 2.8）。并且我们还可以实时地更新事件列表，这里的事件列表是由CMT Catalog提供的。

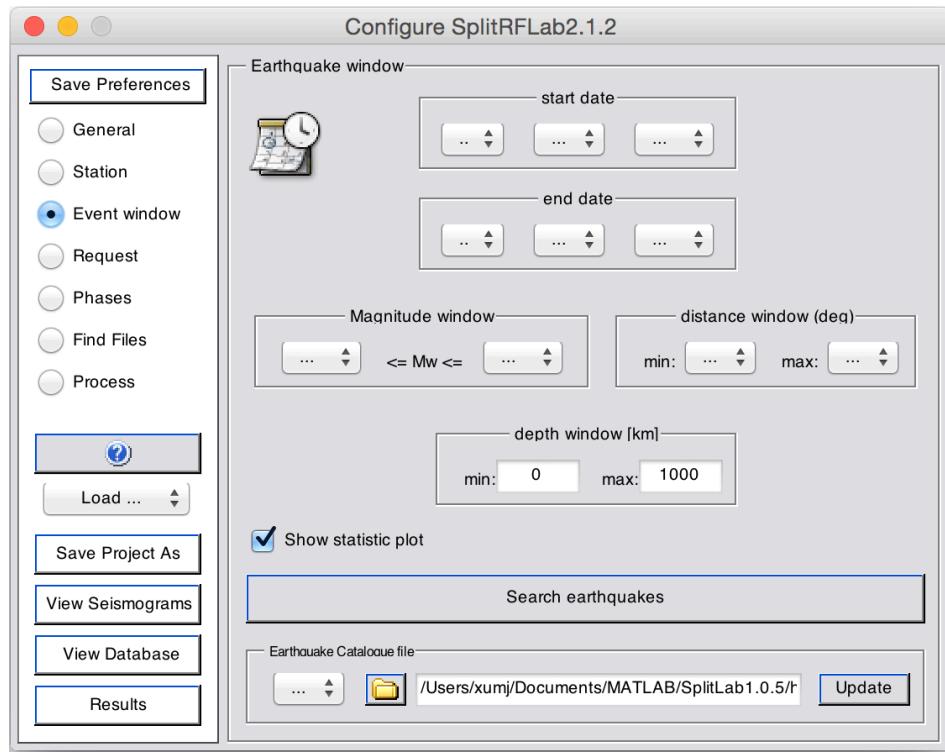


图 2.8: Event window 面板

- 这个部分提供了搜索地震事件的条件（图 2.9）。

start date — 搜索事件的起始日期

end date — 搜索事件的终止日期

Magnitude window — 搜索事件的震级范围

distance window — 搜索事件的震中距范围

depth window — 搜索事件的震源深度范围

对上述条件进行设置之后点击Search earthquakes按钮就可以搜索出符合上述条件的地震事件。

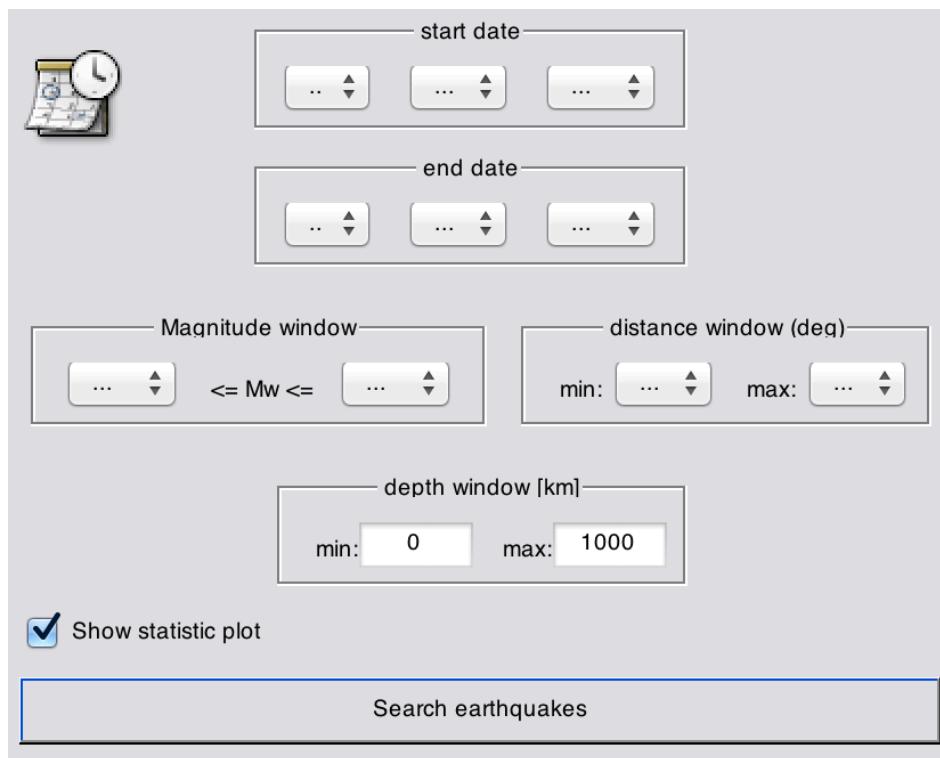


图 2.9: 地震事件搜索部分

- 在图 2.10 Earthquake Catalog files 模块中我们可以设置Catalog文件所在的位置，或者对Catalog进行更新。



图 2.10: 事件列表设置部分

注意：

- 左侧的下拉列表可以选择Catalog的格式有CMT和NEIC两种格式。但是NEIC格式由于服务器的原因无法使用。
- 如果隔很长时间没有更新列表可能会出现列表缺失的现象，如果出现这种现象也不需要紧张，我们可以连接[CMT Catalog](#)的网站自行下载完整的Catalog然后点击Update，出现图 2.11 的对话框点击Local file，选择刚刚下载的Catalog。

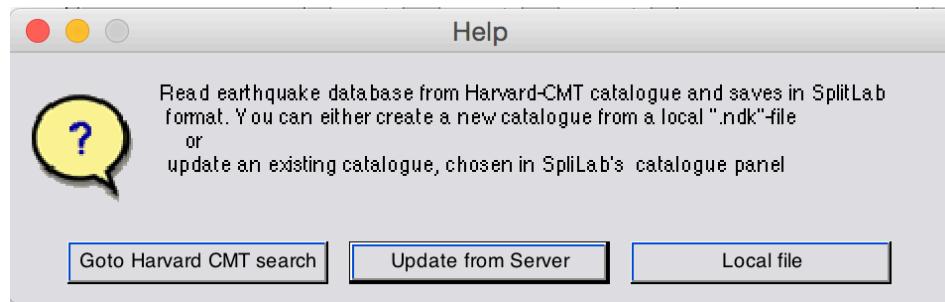


图 2.11: 更新Catalog的对话框

## 2.2.4 Request

这是Splitlab原有的功能（图 2.12），我们没有做任何修改。我们可以在这个面板中填写个人信息来向IRIS发送数据申请的邮件。但是这个功能有一定的局限性，当我们需要申请很多台站的数据，或者要申请连续数据时，这就变得很不方便。因此我们另外编写了一些Python脚本用来搜索台站信息和发送数据申请的邮件。

项目主页: <https://github.com/xumi1993/bqmail>

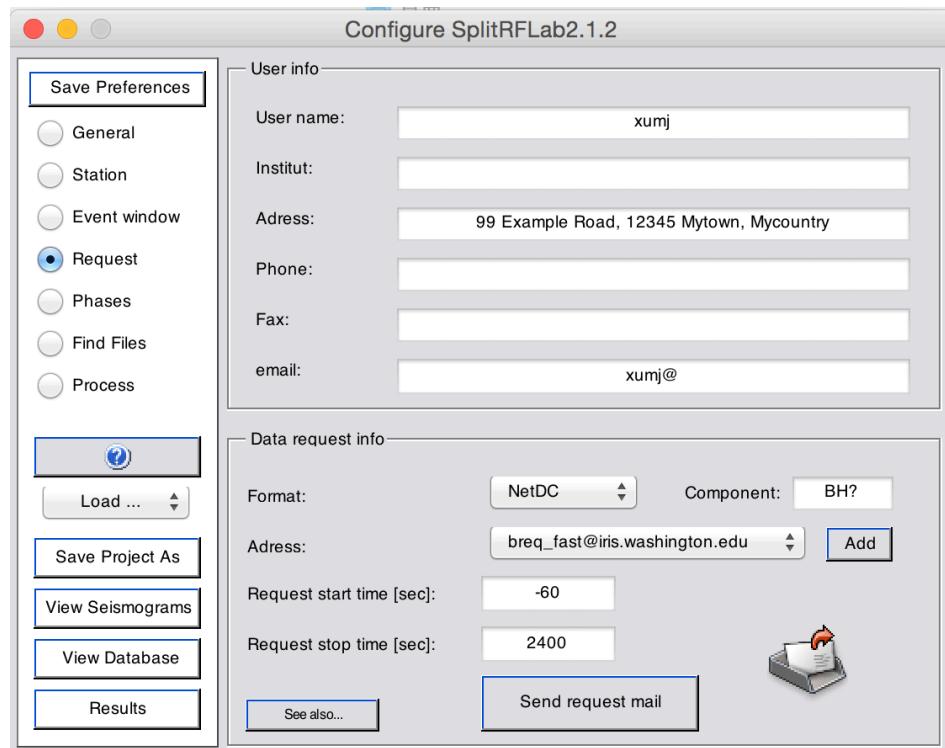


图 2.12: Request面板

### 2.2.5 Phase

在这个面板中我们可以在下拉菜单中选择速度模型，并在左侧选择需要的震相，所选择的震相会在地震图中标出。如果我们需要处理接收函数，那么我们就要选择P，当然也可以用多选（图 2.13）。

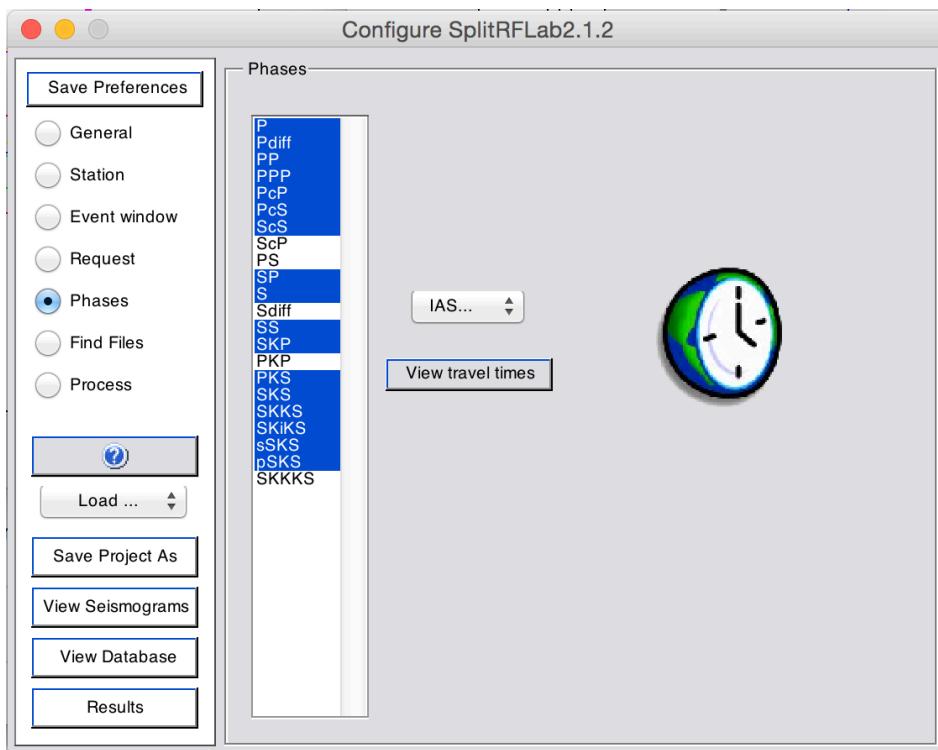


图 2.13: Phase面板

除此之外点击View travel times按钮可以看所选震相的走时曲线和射线路径（图 2.14）。

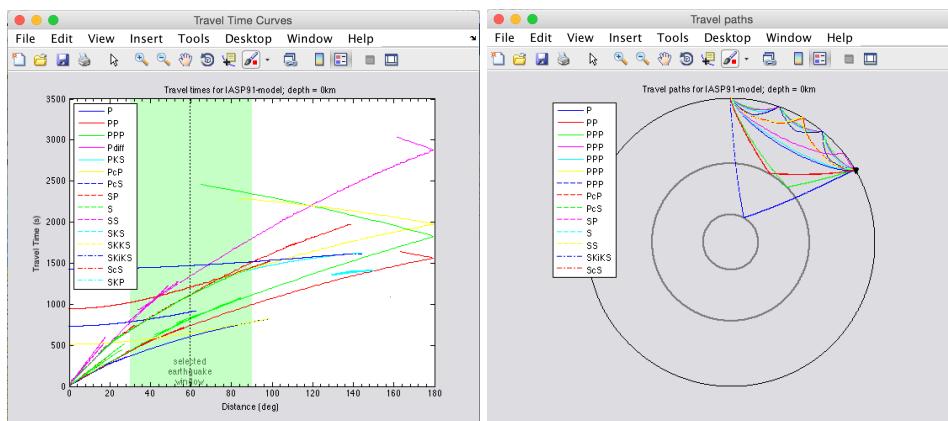


图 2.14: 所选震相的走时曲线和射线路径

### 2.2.6 Find files

这个面板用于对搜索到的地震事件与已有的SAC文件进行匹配（图 2.15）。这个功能是我们选择Splitlab作为宿主软件的一个重要原因，因为在匹配事件之后，我们不仅可以看到波形对波形进行处理，同时也获得了事件与台站的方位角、反方位角、震中距以及一些发震信息。这非常有利于我们对地震波形进行理解，不管使用什么方法处理地震信号。

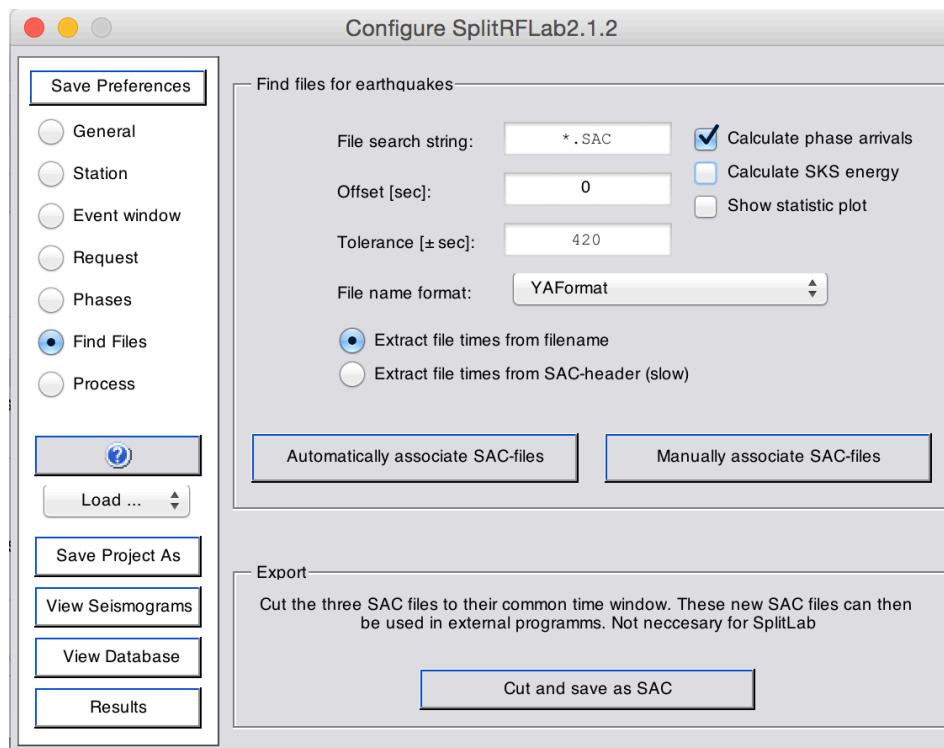


图 2.15: Find files面板

- **File search string** — 匹配SAC文件的后缀。我们知道在类Unix环境下文件是无后缀的所以SAC文件不一定要以.SAC 结尾，因此我们要输入一种格式让SplitR-Flab找到SAC 文件。通常这里可以设置为 \*.SAC 或 \*.sac，注意这里是区分大小写的。
- **Offset** — Offset 表示事件发震时刻与SAC数据起始时刻的差值。理想状态下，发震时刻应该与数据起始时刻一致，但实际的SAC数据有时会与发震时刻有一定的差值（图 2.16），Offset 就表示这个差值。
- **Tolerance** — Tolerance定义了一个时间窗（图 2.16）。由于发震时刻与SAC数据起始时刻不可能完全一样，所以当发震时刻落在这个时间窗内我们认为事件

与SAC数据匹配成功。

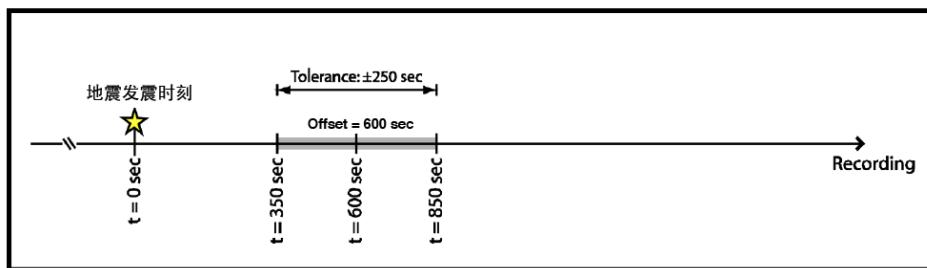


图 2.16: 发震时刻与时间差值和时间窗的对应关系

- **File name format** — 我们知道SAC文件的文件名通常包含了地震数据的时间信息，之后我们就是用这个时间信息与搜索到的发震时刻。但不同来源的数据文件名格式各有不同所以我们需要手动设置一下文件名格式。设置的过程需要是我们编辑Matlab脚本的。方法如下：

#### 1. 设置时间格式

##### (a) 打开文件

`.../SplitRFlab/SplitLab1.0.5/Tools/getFileAndEQseconds.m`  
找到下面这行代码。

```
switch config.FileNameConvention
```

##### (b) 在这行代码下面添加一个新的case。

```
case 'MyFormat'
```

##### (c) 找到年、朱利日、时、分、秒在文件名中的字符位置，例如SAC文件的格式为`2011_232_10_09_02.16_BHZ_51060.SAC` 添加下列代码，保存文件。如果文件名是年-月-日的格式可以在Matlab中调用函数`dayofyear`。

```

1 %2011_232_10_09_02.16_BHZ_51060.SAC
2 FIyyyy = str2num(F(:,1:4));
3 FIddd = str2num(F(:,6:8));
4 FIHH = str2num(F(:,10:11));
5 FIMM = str2num(F(:,13:14));
6 FISS = str2num(F(:,16:17));
7 FIsec = FISS + FIMM*60 + FIHH*3600 + (FIddd)*86400;
8 config.yy = 1; config.ss = 17;
```

2. 下面设置SAC数据通道信息在文件名中的位置。

(a) 打开文件

`.../SplitRFlab/SplitLab1.0.5/Tools/sort_components.m`

找到下面这行代码。

```
switch config.FileNameConvention
```

(b) 在这行代码下面添加一个新的case。

```
case 'MyFormat'
```

(c) 找到通道信息所在文件名中的字符位置，例如上面那个例子，添加下面这行代码，保存文件。

```
pos = 21;
```

3. 把添加新建的文件名格式到格式菜单中

(a) 打开文件

`.../SplitRFlab/SplitLab1.0.5/private/configpanelFINDFILE.m`

找到下面这行代码。

```
str = {'RDSEED' 'SEISAN', 'YYYY.JJJ.hh.mm.ss.stn.sac.e' 'YYYY
.MM.DD-hh.mm.ss.stn.sac.e'};
```

(b) 添加新建的格式名到这个cell类矩阵的最后，保存文件。

```
str = {'RDSEED' 'SEISAN', 'YYYY.JJJ.hh.mm.ss.stn.sac.e' 'YYYY
.MM.DD-hh.mm.ss.stn.sac.e' 'MyFormat'};
```

- extract time from filenames或extract times from SAC headers — 这个单选框的意思是选择从文件名里或者从SAC头文件里读取时间和通道信息。如果文件名格式可以按上面的方法设置，那么最好使用extract time from filenames，因为这种方式匹配速度更快而且不容易出Bug。
- Automatically associate SAC files — 点击这个按钮开始匹配。注意在匹配之前我们必须勾选Calculate phase arrivals，否则将无法计算理论到时。

### 2.2.7 Process

这是我们为接收函数功能开发的一个新的面板（图 2.17）。我们可以在这个面板中设置路径以及处理接收函数的一些参数。另外还有H-k叠加功能。我们将在下面一一介绍。

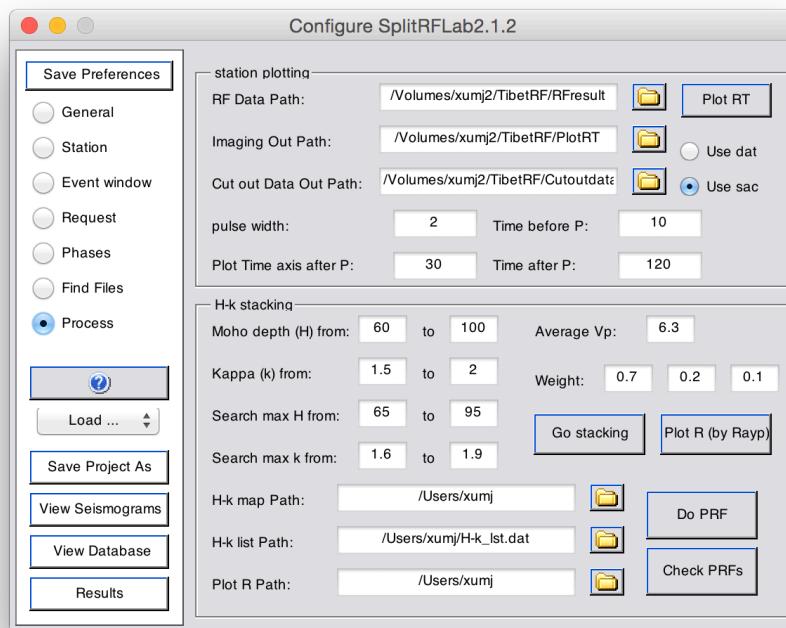


图 2.17: Process面板

- **接收函数参数设置：**在这里可以设置处理接收函数的参数和保存接收函数的路径，以及进行接收函数作图。

1. **RF Data Path** — 这里可以通过点击浏览图标或修改文本框设置接收函数的输出路径。注意：这里的路径只写到台站路径的前一级程序会自动在该路径下创建台站路径。例如，如果台站路径是.../RFresult/Station，那么这里的接收函数的输出路径应该设置为.../RFresult。
2. **Imageing Out Path** — 按方位角排列的单台接收函数图像的输出路径。
3. **Cut out data Out Path** — 我们在处理接收函数的同时可以截取原始波形并保存，这是截取数据的保存路径。和接收函数的输出路径一样路径只需要设置到台站路径的前一级。
4. **pulse width** — 高斯系数，默认值为2.0。
5. **Plot time axis after P** — 接收函数图像时间轴的长度，默认值为30 sec。
6. **Time before P** — 直达P之前用于计算接收函数的时间，默认值为10 sec。

7. **Time after P** — 直达  $P$  之后用于计算接收函数的时间，默认值为 120 sec。
  8. **use dat** 或 **use sac** — 数据保存格式，**dat** 格式只将一列振幅数据保存为文本格式文件，在这种格式下我们会将地震事件信息保存到一个文本格式的事件列表中，之后可以通过读取事件列表调用接收函数进行处理。**sac** 格式下我们就把地震事件信息保存在头段中<sup>1</sup>。
  9. **Plot RT** — 在计算一个台站接收函数完成之后，点击这个按钮进行按方位角排列的接收函数（R 分量和 T 分量）作图，图像被保存在 “Imageing Out Path” 中。
- **H-k 叠加功能及参数设置：**在这里可以设置进行 H-k 叠加所需的参数、保存图像和列表的路径，并进行 H-k 叠加计算。
    1. **Moho depth from A to B** — 设置作图时 Moho 面的深度从  $A$  到  $B$ ，默认值  $A = 20 \text{ km}$ ,  $B = 60 \text{ km}$ 。
    2. **Kappa from A to B** — 设置作图时地壳平均波速比的从  $A$  到  $B$ ，默认值  $A = 1.5$ ,  $B = 2$ 。
    3. **Search max H from A to B** — 设置 H-k 叠加时 Moho 面深度的扫描范围从  $A$  到  $B$ ，默认值  $A = 30 \text{ km}$ ,  $B = 50 \text{ km}$ 。
    4. **Search max k from A to B** — 设置 H-k 叠加时地壳平均波速比的扫描范围从  $A$  到  $B$ ，默认值  $A = 1.6$ ,  $B = 9$ 。
    5. **Average Vp** — 设置 H-k 叠加时的地壳平均 P 波速度，默认值为  $6.3 \text{ km/s}$ 。
    6. **Weight** — 设置进行 H-k 叠加时的权重，默认值为  $0.7, 0.2, 0.1$ 。
    7. **H-k map Path** — H-k 叠加图像的保存路径。
    8. **H-k list Path** — 我们有时会处理一个台阵（台网）的数据，我们可以把每个台站 H-k 叠加的结果保存成一个列表，方便以后作图。在这里设置列表的路径。
    9. **Plot R Path** — R 分量接收函数按射线参数排列的图像的保存路径。
    10. **Go stacking** — 点击这个按钮进行 H-k 叠加。
    11. **Plot R** — 点击这个按钮绘制 R 分量接收函数按射线参数排列的图像，这个图像中通过 H-k 叠加我们将  $P_m s$  以及它的多次震相的理论到时标在了图中。

<sup>1</sup>SAC头段中USER0为射线参数，USER1为高斯系数。

- 接收函数批处理功能：在进行完上面的设置就可以对数据进行接收函数批处理，然后再检查接收函数，挑出好的接收函数保存。

1. **Do PRF** — 点击这个按钮可以批量对之前匹配到的数据进行接收函数计算，由于接收函数方法对直达P波到时要求不高，所以这里我们用之前计算的直达P波的理论到时来进行计算。在计算接收函数之前我们同时选用3种不同的滤波器对地震波形进行滤波，通频带范围分别是：

$0.03 \sim 2 \text{ Hz}$ ,  $0.06 \sim 2 \text{ Hz}$  和  $0.1 \sim 2 \text{ Hz}$ 。

2. **Check PRFs** — 在批量计算接收函数结束之后，点击这个按钮打开检查接收函数的图像界面，来挑选好的接收函数并保存。

## 2.3 左侧的面板的其他功能

### 2.3.1 **Save Preferences** 按钮

点击这个按钮可以将我们当前的配置，设定为默认配置。

### 2.3.2 “?” 按钮

点击这个按钮可以跳转Splitlab 的帮助主页。

### 2.3.3 **Load Project** 下拉菜单

浏览并打开最近使用的项目，点击Browse...按钮打开一个已保存的项目。

### 2.3.4 **Save project as** 按钮

保存当前项目。

### 2.3.5 **View Seismograms** 按钮

打开地震波形预览窗口，当前的地震为数据库中的第一个地震。

### 2.3.6 **View Database** 按钮

匹配好的地震记录会存放在这个数据库中，点击这个按钮打开数据库。

## 2.4 Dstebase 界面环境

点击**View Database** 按钮会弹出图 2.18 & 2.19 两个界面，图 2.18 是数据库界面，图 2.19是数据库中地震事件在全球的分布情况。所匹配到的地震记录会在数据库中已

列表的形式出现，在数据库中选择不同的事件，在图 2.19 中会用黄色★号标出该地震事件发震的位置。

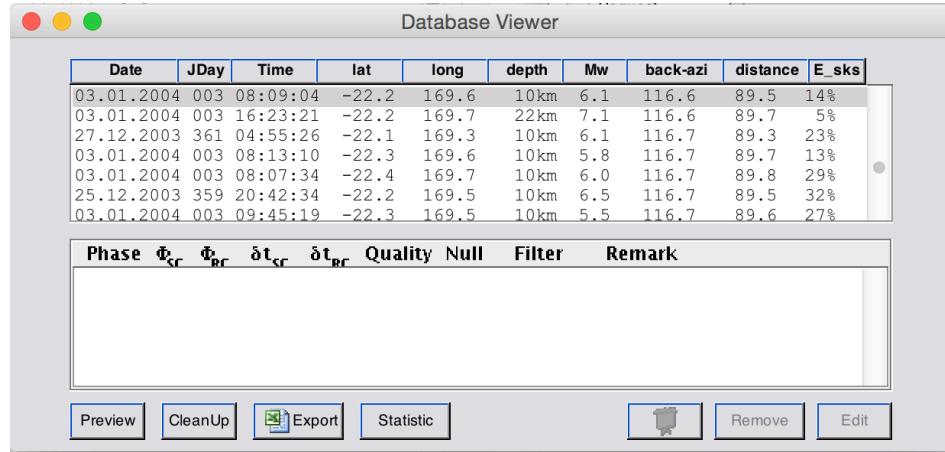


图 2.18: Database 界面环境

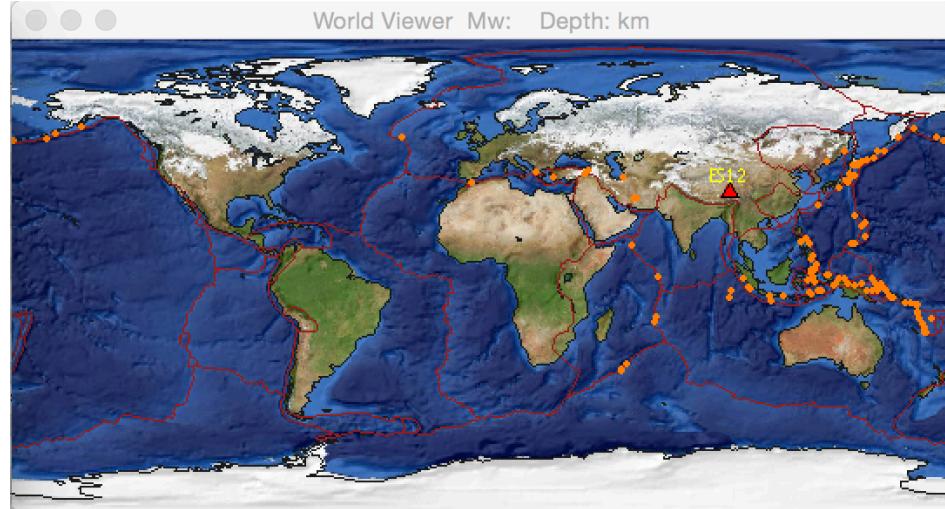


图 2.19: 数据库中地震事件在全球的分布，红色三角是台站位置，黄色圆点是地震事件的发震位置。

#### 2.4.1 **Preview** 按钮

点击打开地震波形预览窗口。

#### 2.4.2 **Clean Up** 按钮

在处理S波分裂时清除没有结果的地震记录。

#### 2.4.3 **Export** 按钮

导出Excel格式的表格。

#### 2.4.4 Statistic 按钮

点击按钮出现图 2.20 窗口，显示地震事件按方位角的分布情况。

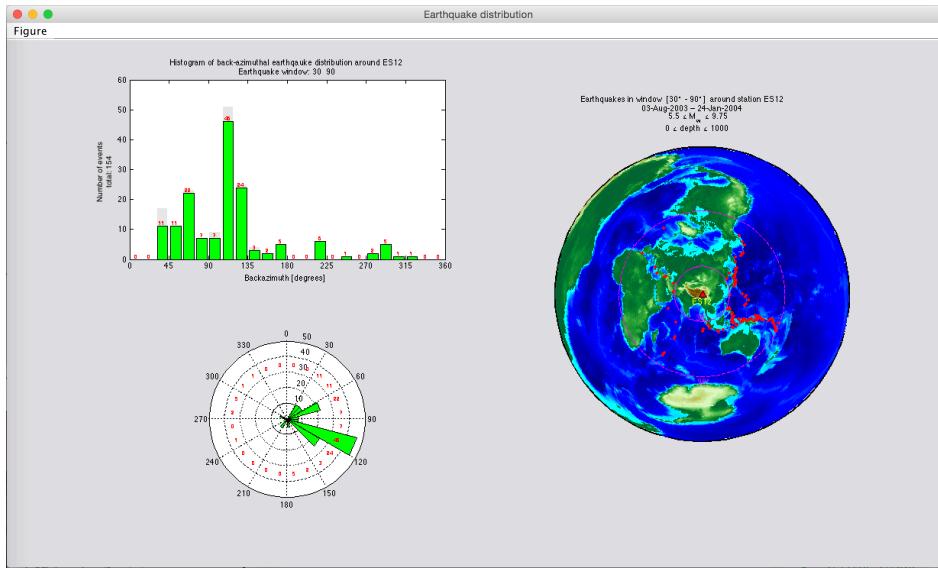


图 2.20: 地震事件按方位角的分布

### 2.5 地震波形预览 (Preview) 窗口

这个窗口可以预览数据库中每个事件的地震波形（图 2.21），并且包含了很多很有用的功能来对地震波形进行处理，当然也包括了接收函数的处理。这个窗口中包含了顶部功能键菜单、波形图像窗口以及底部的震相选择菜单，下面我们来一一介绍。

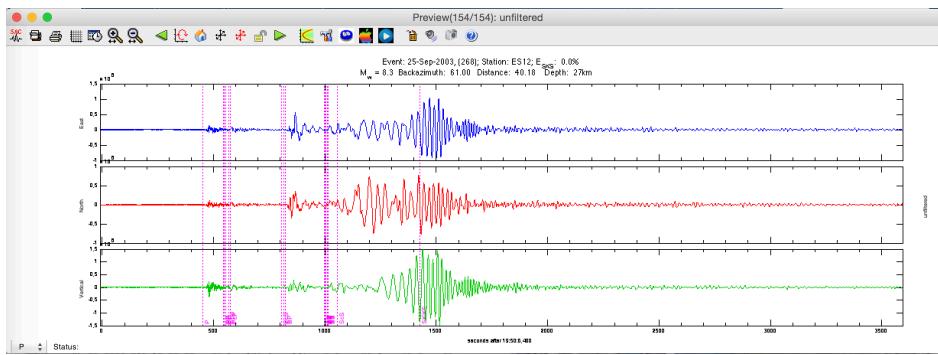


图 2.21: 地震波形预览窗口

#### 2.5.1 顶部功能键菜单

点击不同的按钮可以对下方波形窗口中的地震波形进行不同的处理（图 2.22）。下面我们从左至右来介绍这些功能。



图 2.22: 地震波形预览窗口的顶部功能键菜单

- SAC按钮：将当前窗口的的波形保存为SAC文件。
- 数据库按钮：显示当前地震事件在数据库中的位置。
- 打印按钮：打印当前窗口。
- 网格按钮：在波形窗口中显示或不显示网格。
- 时间表窗口按钮：选择震相以当前的震中距和震源深度用MatTaup计算走时曲线和射线路径。
- 窗口放大按钮：点击按钮鼠标变成放大镜，在波形窗口拖动以放大波形。
- 窗口缩小按钮：点击按钮缩小波形窗口中的波形。
- 向左箭头：显示数据库里的前一个地震。
- 轨迹按钮：在用鼠标选定一个时间窗后，点击这个按钮显示质点的平面震动轨迹（图 2.23）。

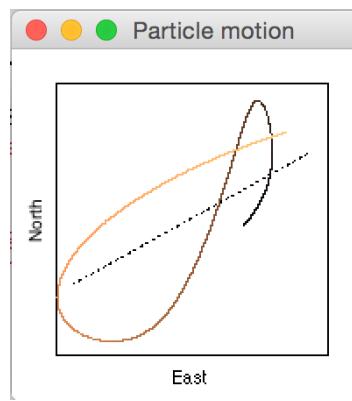


图 2.23: 质点在水平面的震动轨迹，虚线表示反方位角的方向。

- 房子按钮：将波形放大到所选震相附近。
- 黑色坐标按钮：将波形旋转到LQT分量，其中出射角由所选震相通过理论计算得到。
- 红色坐标按钮：将波形旋转到RTZ分量。

- 锁按钮锁定或不锁定各分量纵坐标的尺度。
- 向右箭头：显示数据库里的后一个地震。
- 谱图按钮：对所选时间窗内的R分量和T分量波形做时频分析，画出能量谱。
- 设置按钮：允许用户设置一些处理S波分裂的参数。
- Ps接收函数按钮：以所选取的时间窗起始时刻为P波初动，向前截取”Time before P”秒，向后截取”Time after P”秒，高斯系数为”pulse width”，用迭代反卷积法计算接收函数。
- Sp接收函数按钮：计算Sp接收函数（功能尚未完成）。
- 坐标旋转按钮：计算实际出射角，进行坐标旋转。
- 垃圾桶按钮：从数据库中删除这条地震记录。
- 喇叭按钮：将时间窗内的地震波形转化成声波信号输出。
- 相机按钮：保存实际地震波形到图像文件。

## 2.5.2 波形图像窗口

之前匹配到的SAC文件，会在这里被绘制出来。点击窗口放大按钮之后拖动鼠标可以将波形放大；直接在窗口中拖动鼠标以选取时间窗；在窗口中点按键盘快捷键可以实现部分功能键的功能，同时也可以实现滤波、固定截取、计算S波分裂等功能。快捷键功能参见[快捷键列表](#)

## 2.5.3 震相选择下拉菜单

之前我们在 Phase 面板选择的震相会在波形预览窗口的左下角列出来（图 2.24），这里选择我们需要处理的震相，如果处理接收函数就选择 P 震相。

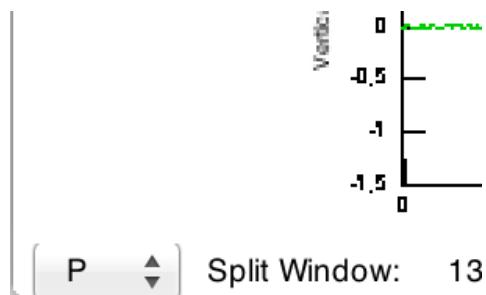


图 2.24: 震相选择下拉菜单

# 第 II 部分 接收函数处理



# 第3章 台站信息与事件匹配

这一部分我们通过一个实例介绍如何处理一个台站所有的接收函数，并做H-k叠加处理。在计算接收函数之前我们要做的准备工作就是设置台站信息和匹配相应的事件。

## 3.1 设置项目文件名和数据路径

我们之前说过项目文件会储存我们在界面中设置的参数。所以在开始一个新的项目时要设置一个新的文件名，在参数设置结束后把它保存到一个路径下。这样做既方便下次继续对这个台站处理一些工作又可以在处理下一个台站时只修改少量的参数。我们通常把文件名命名为台站名如图 3.1。



图 3.1: 将项目文件名设置成台站名.pjt

下面设置SAC数据路径（图 3.2），这里我们在例子中把路径设置为/Volumes/xumj2/XE/ES12，那么就是说这个台站需要处理的SAC数据都存放在这个路径下。要注意的是在Windows操作系统下路径的分隔符是“\”，而类Unix操作系统下分隔符是“/”。

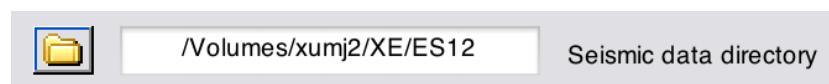


图 3.2: 设置SAC文件的路径

## 3.2 设置台站信息

在完成第一步之后我们来到Station面板（图 3.3）。在这里我们只需要点击Load station info按钮来读取台站信息。



图 3.3: 读取台站信息

## 3.3 搜索符合条件的地震事件

下面我们到 Event window（图 3.4）来搜索符合条件的地震事件。

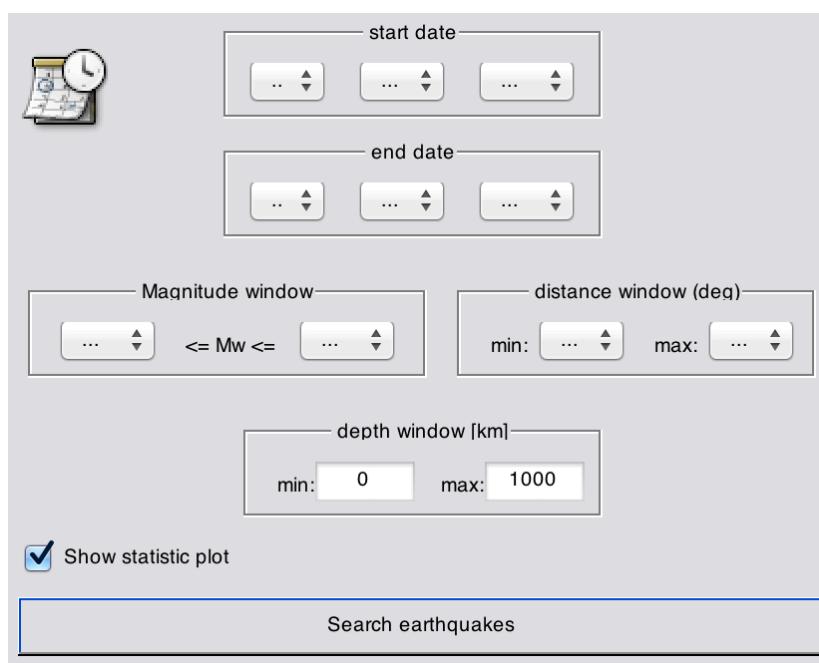


图 3.4: 设置搜索事件的条件

1. 设置搜索的起止事件，只要所有地震记录的事件在这个范围内就可以了。
2. 设置震级大小，由于接收函数用的是远震所以这里我们可以设置为  $5.5 \sim 10 M_w$ 。
3. 设置震中距范围，处理接收函数时我们一般设定震中距范围为  $30^\circ \sim 90^\circ$ 。
4. 接收函数不设定震源深度，所以采用默认值即可。
5. 点击 "Search earthquakes" 按钮，如果勾选了 "show statistic plot" 就会弹出图 3.5 窗口

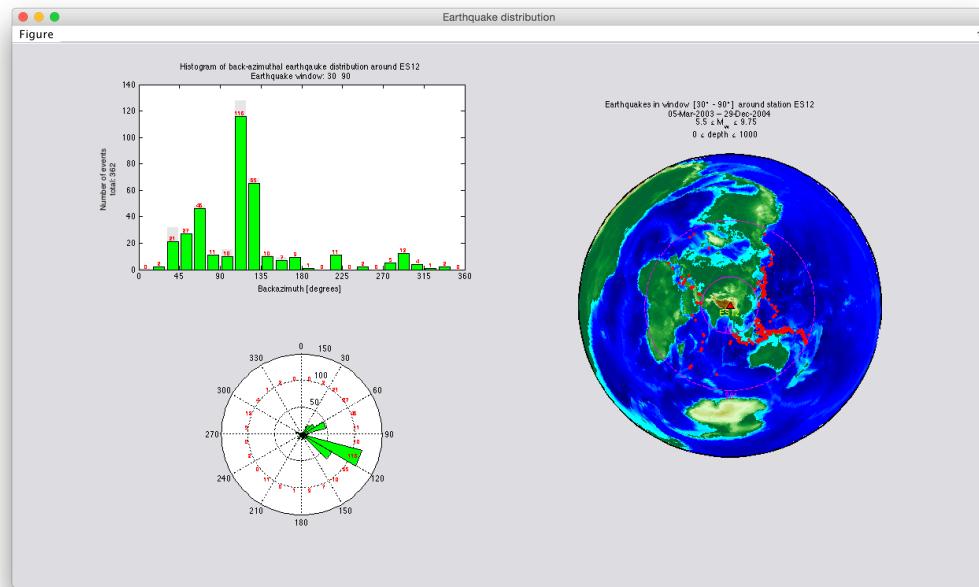


图 3.5: 搜索到的地震事件按方位角的分布情况

## 3.4 选择震相

可以关闭刚刚弹出的窗口，进入 Phese 面板（图 3.6），通过键盘 shift 键或 ctrl 键选择多个震相，理论上说处理接收函数只要选择 P 震相即可，但为了更好地理解和分析地震波形我们可以选择多个震相，速度模型选择 IASP91 即可。

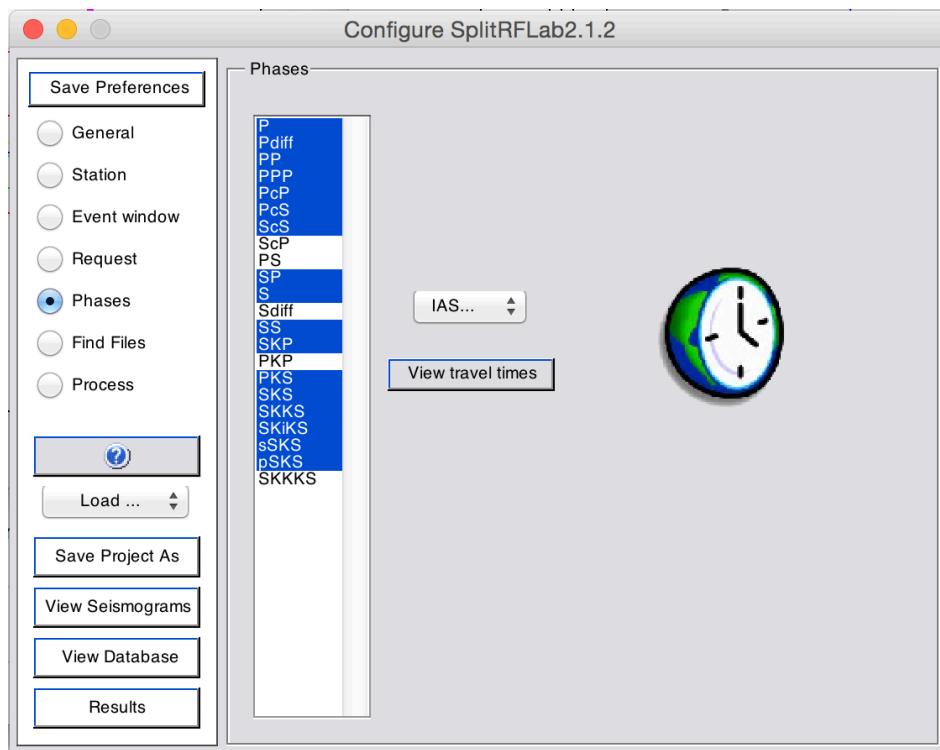


图 3.6: 在 Phase 面板选择震相

## 3.5 匹配事件

进入 Find Files 面板设置一些用于匹配事件的参数 [3.7](#)，这一步是设置参数中比较复杂的一步。

1. 选择“Calculate phase arrivals”后设定匹配的文件名后缀（也可以是文件名中间的某一字段）。
2. 设置时间差值和时间窗。时间差值和时间窗需要自己根据数据的情况来定，他们的意义详见 [2.2.6](#) 节。设置的时间窗不合适会减少匹配到的地震，所以我们有时候需要多次修改这个参数进行匹配，来确保匹配到的事件最多。这里的默认值  $Offset = 0\text{ s}$ ,  $Tolerance = \pm 420\text{ s}$ , 这表示数据的起始时刻在发震时刻的前420秒至后420秒，我们认为匹配到一个地震。
3. 用 [2.2.6](#) 节的方法设置合适的文件名格式，在下拉菜单中选择这个格式。
4. 选择“Extract file time from filename”点击“Automatically associate SAC-files”匹配地震数据。

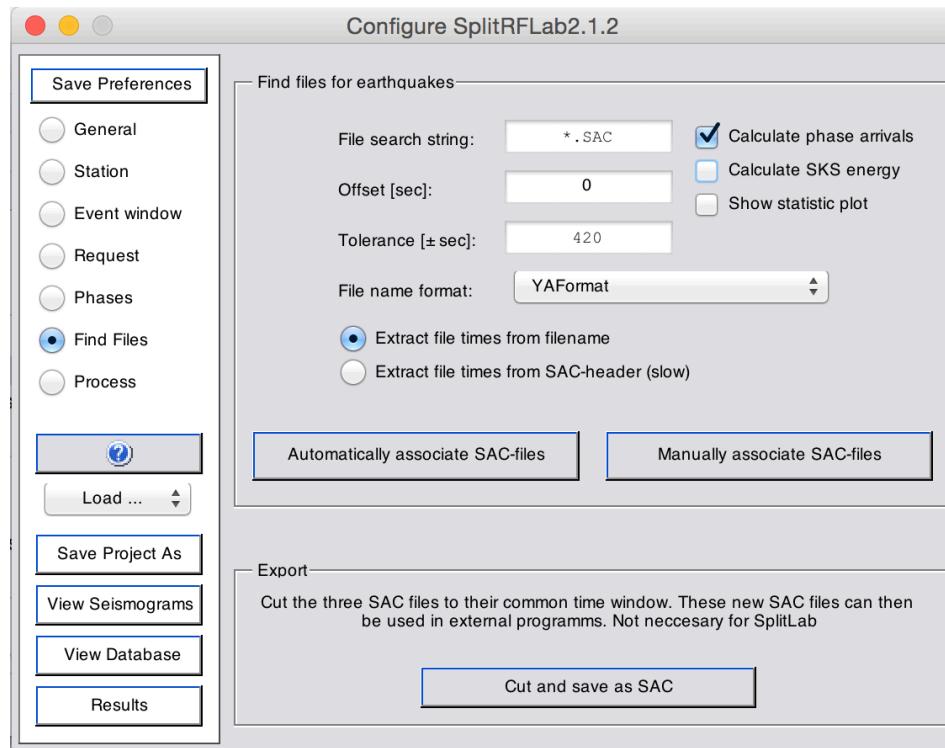


图 3.7: 在 Find Files 面板设置匹配所需要的参数

5. 如果勾选了“Show statistic plot”就会出现（图 3.8）窗口，与搜索地震时弹出的窗口不同这里给出了匹配到的事件按方位角的分布情况。

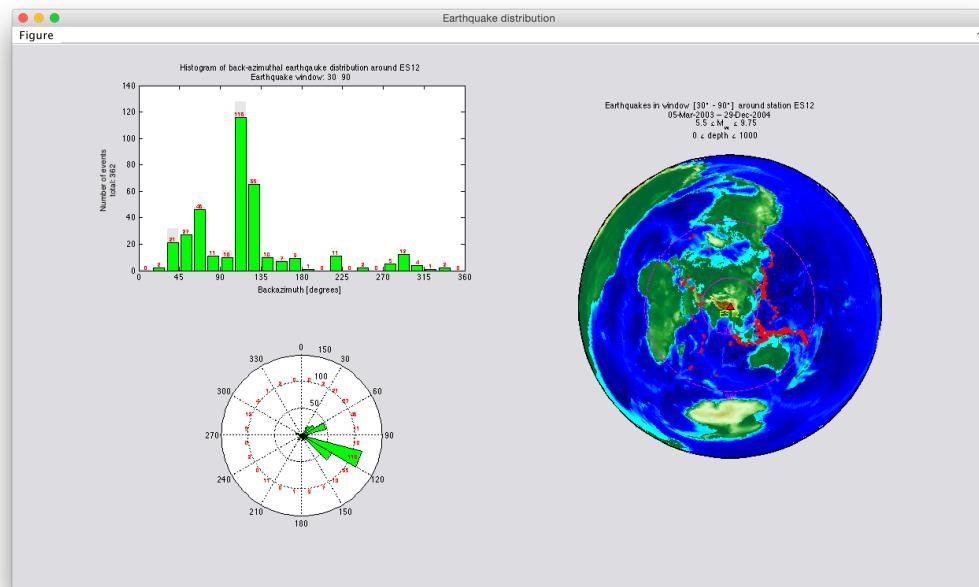


图 3.8: 匹配到的地震数据按方位角的分布情况

## 3.6 设置计算接收函数所需的参数

关闭图 3.8 窗口进入 Process 面板（图 3.9）。设置：

- 接收函数的输出路径，参见 “RF Data Path”。
- 图像输出路径，参见 “Imaging Out Path”。
- 截取波形的输出路径，参见 “Cut Out data Out Path”。
- 高斯系数。参见 “pulse width”。
- 直达 P 向前 X 秒，参见 “Time before P”。
- 直达 P 向后 X 秒，参见 “Time after P”。
- 单台接收函数图像的时间轴长度，参见 “Plot time axis after P”。
- 将输出的接收函数保存为 dat 格式或 sac 格式。参见 “use dat” 或 “use sac”。

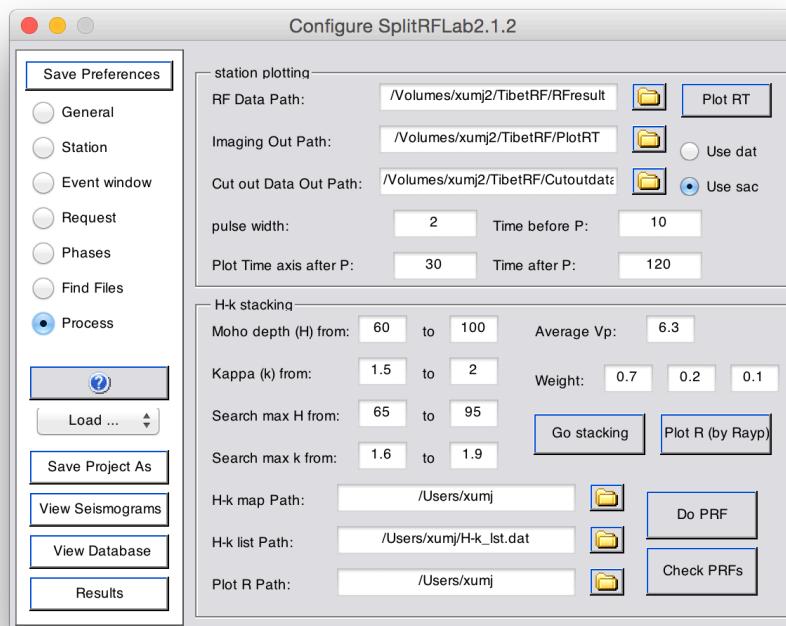


图 3.9：设置计算接收函数所需的参数

到这里我们就完成了计算接收函数之前所有的设置。这时候我们一定要记得点击 “Save Project As” 按钮保存项目文件。

# 第4章 进行接收函数计算

## 4.1 手动计算接收函数

1. 打开 Database 这里出现了我们匹配到的地震记录（图 4.1），养成良好的习惯我们可以点击列表上方的项目栏，按一定的规则进行排序。这里我们按方位角排列，也可以按震中距或震级排列等等。

The screenshot shows a Mac OS X-style window titled "Database Viewer". Inside, there is a table with columns: Date, JDay, Time, lat, long, depth, Mw, back-azi, distance, and E\_sks. Below the table is a search bar with fields for Phase,  $\Phi_{sr}$ ,  $\Phi_{pr}$ ,  $\delta t_{sr}$ ,  $\delta t_{pr}$ , Quality, Null, Filter, and Remark. At the bottom are buttons for Preview, CleanUp, Export, Statistic, a trash icon, Remove, and Edit.

| Date       | JDay | Time     | lat  | long   | depth | Mw  | back-azi | distance | E_sks |
|------------|------|----------|------|--------|-------|-----|----------|----------|-------|
| 03.08.2003 | 215  | 04:10:51 | 56.1 | -153.3 | 17km  | 5.6 | 32.3     | 75.1     | 51%   |
| 27.11.2003 | 331  | 06:07:05 | 53.6 | -163.3 | 33km  | 5.7 | 37.7     | 71.6     | 12%   |
| 07.08.2004 | 220  | 09:30:17 | 51.8 | -166.3 | 8km   | 5.9 | 40.4     | 70.8     | 44%   |
| 05.12.2003 | 339  | 21:26:10 | 55.5 | 165.8  | 10km  | 6.6 | 41.4     | 54.0     | 0%    |
| 09.12.2003 | 343  | 12:44:02 | 51.3 | -179.3 | 33km  | 6.2 | 44.1     | 63.5     | 31%   |
| 19.09.2004 | 263  | 20:26:04 | 52.2 | 174.0  | 25km  | 6.2 | 44.5     | 59.3     | 0%    |
| 17.11.2003 | 321  | 06:43:07 | 51.1 | 178.7  | 33km  | 7.8 | 44.8     | 62.3     | 0%    |

图 4.1: 数据库中列出了我们匹配好的地震记录

2. 选择数据库中第一个记录，点击 "Preview" 弹出波形预览窗口（图 !4.2），并在震相选择下拉菜单中将震相选择为 P。

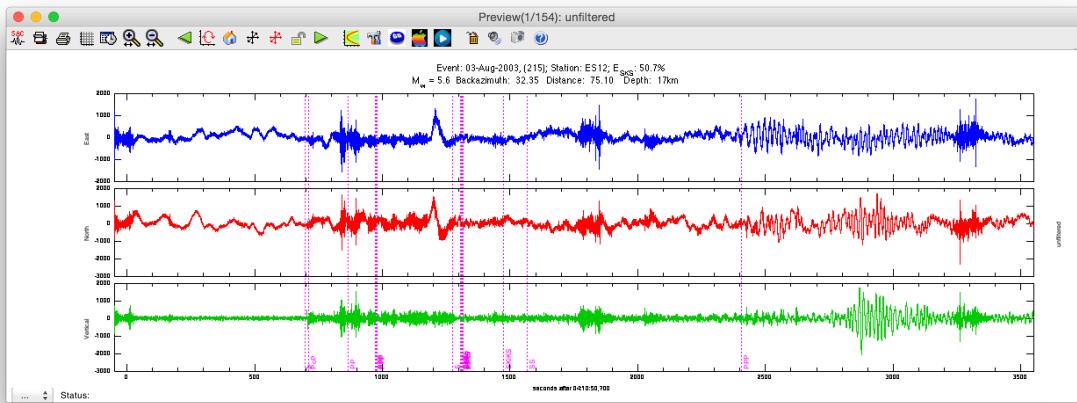


图 4.2: 未经处理的地震记录

3. 下面我们要对原始波形进行一些预处理，包括去除平均值、去除线性趋势和滤波。这里我们把这三个步骤放在一步完成。我们通过点击键盘快捷键就可以直接进行这一操作比如点按数字键 “1” 就可以在去平均和去趋势之后进行通频带为  $0.03 \sim 2 \text{ Hz}$  的3阶巴特沃斯带通滤波。点按 “q” 通频带为  $0.1 \sim 2 \text{ Hz}$ ，通频带范围显示在窗口的标题栏中。这里选择不同的滤波器参数，滤波结果互不干涉。图 4.3 是这个地震在点按数字键 “1” 滤波之后的结果。

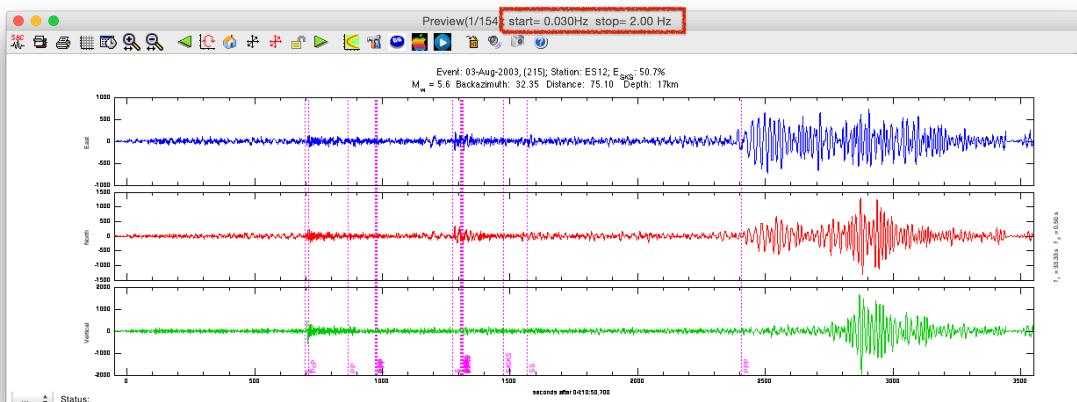


图 4.3: 预处理之后的地震记录

4. 点按键盘 “Tab” 键或者点击顶部菜单栏的放大按钮，将波形图像窗口放大到 P 震相附近（图 4.4），然后选择 P 波初动拖动鼠标选择一个时间窗，处理接收函数时只选用了时间窗的起始时刻也就是 P 波初，所以时间窗的长度选择是不影响计算的。

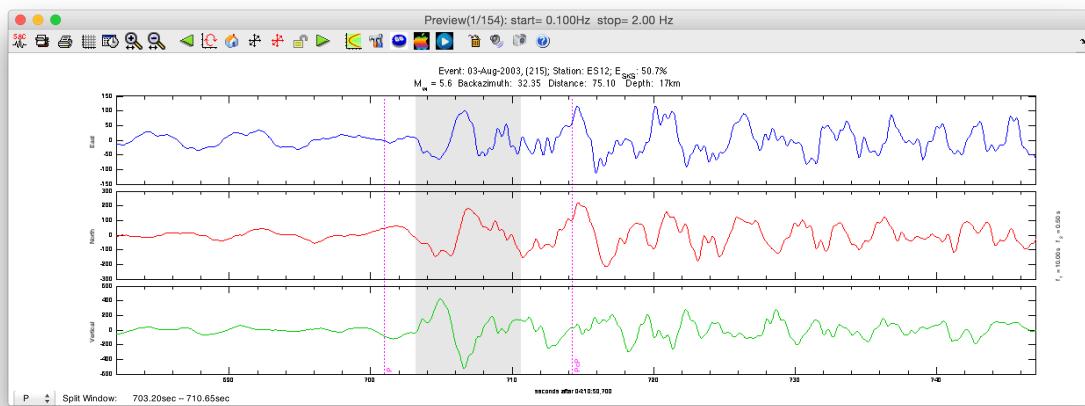


图 4.4: 放大之后的波形, 阴影部分为选择的时间窗。

5. 点按键盘 “r” 键或者点击顶部菜单栏的 Ps 接收函数按钮就可以用迭代反卷积方法进行接收函数计算, 计算完成之后会弹出图 4.5(a) 窗口和图 4.5(b) 对话框。点击 “Yes” 就会按之前的设定保存这条接收函数结果并关闭图 4.5(a) 窗口; 点击 “No” 就直接关闭图 4.5(a) 窗口。

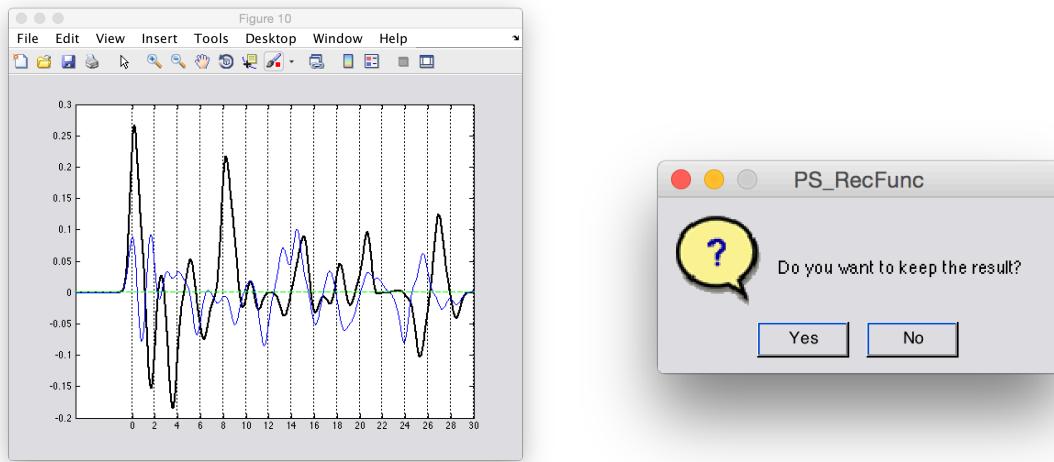
注意: 如果我们跳过了前一步, 没有选择时间窗, 直接结算接收函数在程序中也是允许的, 这时 P 波初动时刻被设定为用 Taup 计算出的 P 波理论到时。

6. 在返回波形预览窗口之后我们可以点按键盘 “c” 或者键点击向右箭头进入下一个地震记录。然后重复本节 2 ~ 5 步计算下一个接收函数。

## 4.2 接收函数批处理功能

在完成第三章的设置之后我们也可以不打开数据库, 而是点击 Process 面板的 “Do PRF” 按钮对所有匹配到的时间进行接收函数批处理。由于不同的地震记录可能需要不同频带的滤波器来做预处理, 所以我们同时计算了 3 种滤波器。待批处理结束之后我们点击 “Check PRFs” 按钮进入接收函数挑选窗口 (图 4.6), 来选择一个合适的结果或者跳过一个结果。

图 4.6 显示了用 3 种不同的滤波器 (从上至下带宽依次为  $0.03 \sim 2 \text{ Hz}$ ,  $0.06 \sim 2 \text{ Hz}$  和  $0.1 \sim 2 \text{ Hz}$ ) 进行批处理之后得到的接收函数结果。在这个窗口内点按键盘



(a) 计算得到的接收函数结果，黑色波形为 R 分量  
接收函数结果，蓝色波形为 T 分量接收函数结果。

(b) 是否保存接收函数的对话框

图 4.5: 接收函数结果窗口。

”q”键即保存第一个结果到之前设定的路径中并跳转下一个接收函数结果。点按键盘 ”w” 保存第二个结果，点按键盘 ”e” 保存第三个结果。

如果不保存这条接收函数结果点按键盘 ”c” 键直接进入下一个接收函数结果。  
如果想回看前一个结果则点按键盘 ”z” 键。如果想看该接收函数结果的地震波形，只需点击顶部菜单栏的 ”SAC” 按钮就可以进入该地震事件的波形预览窗口，在波形预览窗口中我们任然可以对波形进行之前介绍的操作。

### 4.3 绘制按反方位角排列的接收函数波形图像

在计算并保存了算好的接收函数之后，我们可以回到 Process 面板（图 3.9），在 ”Plot time axis after P” 设置一下图像时间轴的长度，默认值为 30sec。然后点击 ”Plot RT” 按钮就可以进行绘图，绘制完成之后会弹出一个类似（图 4.5(b)）的对话框，点击 ”Yes” 保存图像（图 4.7）。

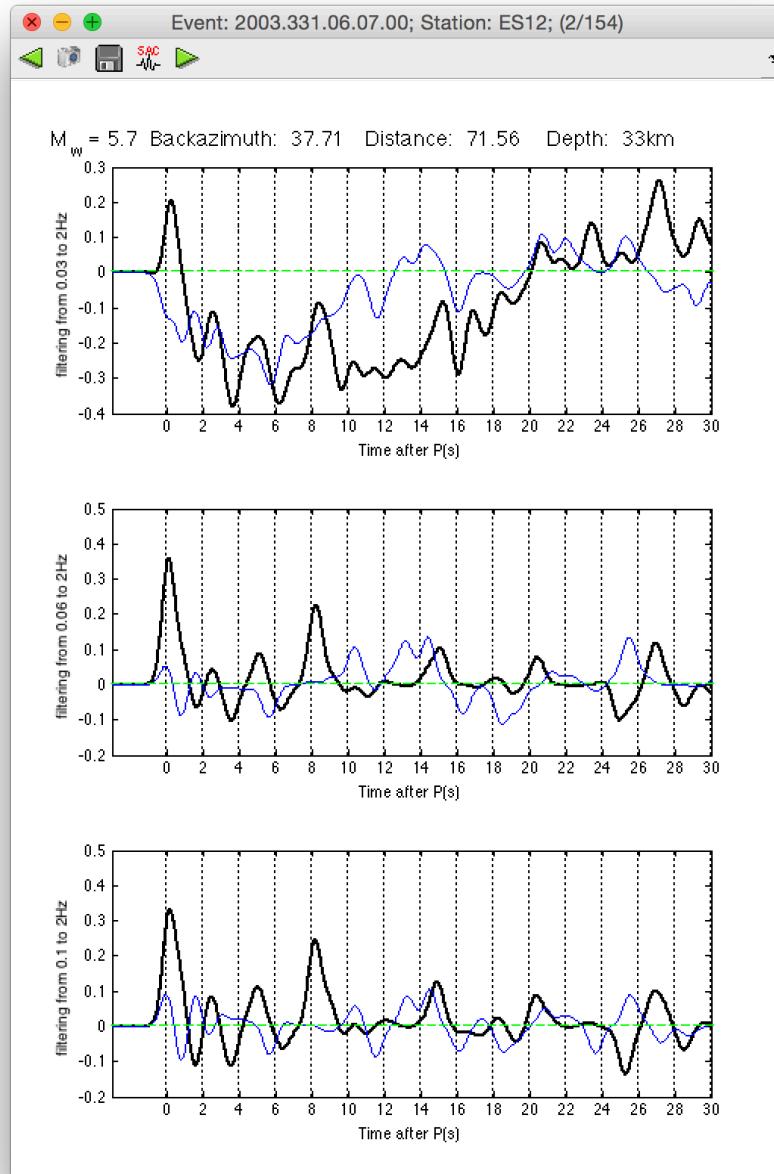


图 4.6: 接收函数挑选窗口

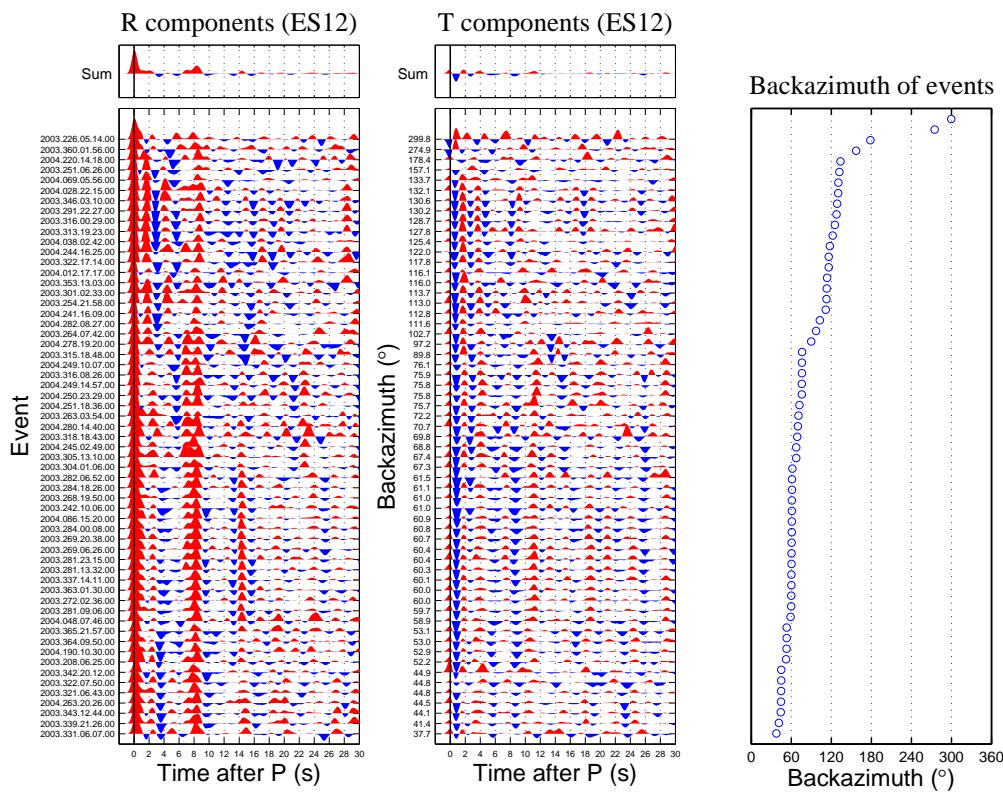
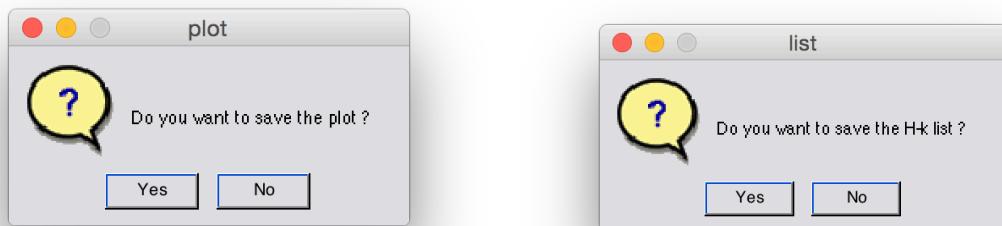


图 4.7: 按反方位角排列的接收函数波形图像

# 第5章 进行 H-k 叠加

## 5.1 H-k 叠加图像

按照上一章的方法计算完成一个台站的接收函数之后，我们还可以在 Process 面板中进行 H-k 叠加处理。在 Process 面板中设置好所有 H-k 叠加参数（参见 [H-k 叠加参数设置](#)），点击 “Go stacking” 进行 H-k 叠加计算并绘制图像。这是会弹出图 5.1(a) 对话框，点击 “Yes” 或 “No” 选择是否保存图像。在这个对话框关闭之后，会弹出图 5.1(b) 对话框，点击 “Yes” 或 “No” 选择是否把 H-k 叠加的结果保存到之前设置的 “H-k list” 中。图 5.2 为 H-k 叠加图像。



(a) 是否保存 H-k 叠加图像的对话框

(b) 是否保存 H-k 叠加结果到列表的对话框

图 5.1: H-k 叠加的结果保存对话框。

## 5.2 R 分量接收函数按射线参数排列图像

当我们计算完成一个台站的接收函数，并在 Process 面板中设置了 H-k 叠加参数，点击“Plot Rayp”进行 R 分量接收函数按射线参数排列图像的绘制，在图 5.3 中我们用 H-k 叠加结果估计了  $Ps$ 、 $PpPs$  和  $PsPs + PpSs$  震相的理论到时并在图中用红

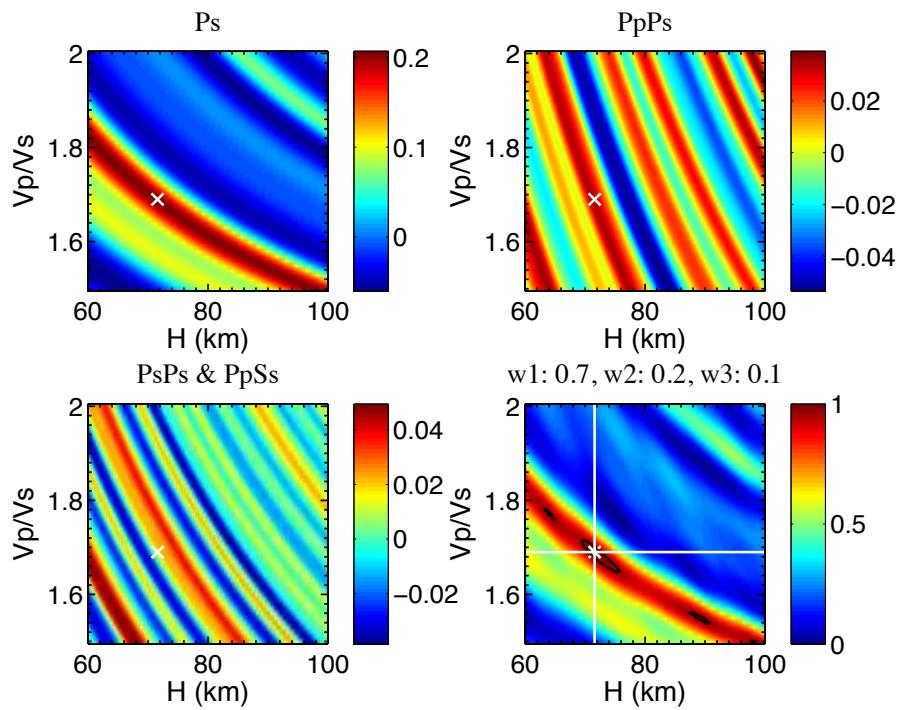


图 5.2: H-k 叠加图像

色虚线标记。

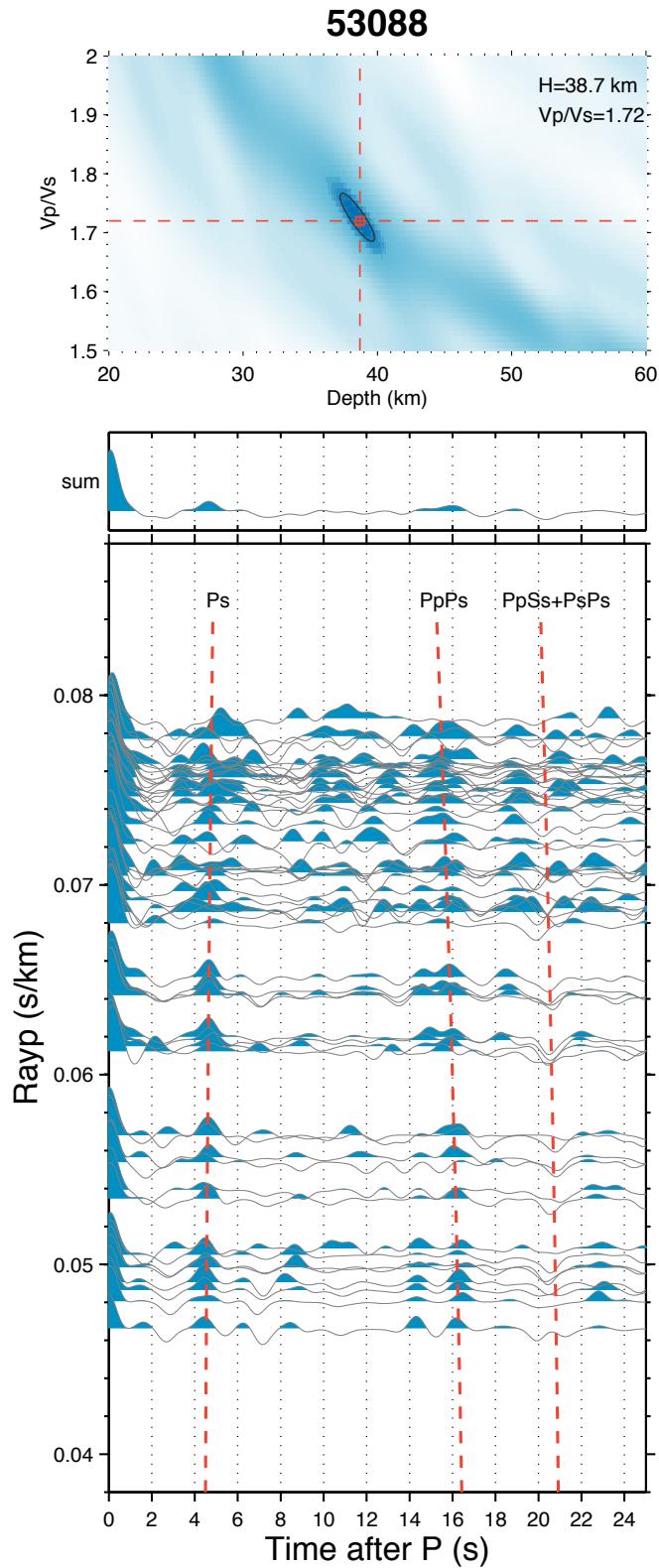


图 5.3: R 分量接收函数按射线参数排列图像



## 第6章 小结

我们在这一部分详细介绍了如何用 Splitlab 处理接收函数，在处理的过程中我们可以多选用一些快捷键来方便我们操作。还有很多快捷键我们在这里没有列出来。在[快捷键列表](#)中我们可以查询所有的快捷键功能。

写到这里应该也差不多了。起始这个软件还可以加入更多的功能，只是因为我一直在做接收函数没有太多地涉及其他方法。所以大家如果有好的想法也可以借助这个软件平台。最后如果你有任何疑问请[联系我们](#)！！！



# 第 III 部分 附录



# 快捷键列表

## 波形预览窗口的快捷键

波形预览窗口的快捷键列表

| 键盘符号 | 功能   |
|------|--|
| ”1”  | 进行带宽为 $0.03 \sim 2 \text{ Hz}$ 的滤波           |
| ”2”  | 进行带宽为 $0.03 \sim 1 \text{ Hz}$ 的滤波           |
| ”3”  | 进行带宽为 $0.03 \sim 0.5 \text{ Hz}$ 的滤波         |
| ”4”  | 进行带宽为 $0.03 \sim 0.25 \text{ Hz}$ 的滤波        |
| ”5”  | 进行带宽为 $0.03 \sim \frac{1}{6} \text{ Hz}$ 的滤波 |
| ”6”  | 进行带宽为 $0.05 \sim 0.2 \text{ Hz}$ 的滤波         |
| ”7”  | 进行带宽为 $0.04 \sim 0.125 \text{ Hz}$ 的滤波       |
| ”8”  | 进行带宽为 $0.04 \sim 0.15 \text{ Hz}$ 的滤波        |
| ”9”  | 进行带宽为 $0.04 \sim 0.2 \text{ Hz}$ 的滤波         |
| ”q”  | 进行带宽为 $0.1 \sim 2 \text{ Hz}$ 的滤波            |
| ”w”  | 进行带宽为 $0.1 \sim 1 \text{ Hz}$ 的滤波            |
| ”a”  | 进行带宽为 $0.05 \sim 2 \text{ Hz}$ 的滤波           |
| ”s”  | 进行带宽为 $0.05 \sim 1 \text{ Hz}$ 的滤波           |
| ”+”  | 将当前滤波器的低频截止频率 $+0.01$ 进行滤波                   |
| ”-”  | 将当前滤波器的低频截止频率 $-0.01$ 进行滤波                   |
| ”*”  | 将当前滤波器的低频截止频率 $+0.02$ 进行滤波                   |
| ”/”  | 将当前滤波器的低频截止频率 $-0.02$ 进行滤波                   |
| ”0”  | 取消滤波器  |
| ”f”  | 弹出对话框来自定义滤波器的频带范围                            |

|       |  |
|-------|--|
| ”空格”  | 将 ENZ 分量转到 LQT 分量，再点一下回到 ENZ 分量，等同于 <a href="#">黑色坐标按钮</a>                                     |
| ”x”   | 打开放大功能，再点一下关闭放大功能，等同于 <a href="#">窗口放大按钮</a>   |
| ”b”   | 缩小时间轴尺度，等同于 <a href="#">窗口放大按钮</a>   |
| ”退格”  | 重置时间轴尺度  |
| ”tab” | 放大到所选震相附近  |
| ”c”   | 下一个事件  |
| ”z”   | 上一个事件  |
| ”r”   | 用迭代法计算接收函数   |
| ”d”   | 用水准量法计算接收函数  |
| ”e”   | 用迭代法针对 410km 界面和 660km 界面计算接收函数  |
| ”v”   | 截取从时间窗起始时刻 – ”Time before P” 到时间窗起始时刻 + ”Time after P”的波形并在 <a href="#">截取数据路径</a> 下保存为 SAC 文件 |
| ”回车”  | 计算 S 波分裂   |

## 接收函数挑选窗口的快捷键

接收函数挑选窗口的快捷键列表

| 键盘符号 | 功能                             |
|------|--------------------------------|
| ”c”  | 下一个事件的接收函数结果                   |
| ”z”  | 上一个事件的接收函数结果                   |
| ”q”  | 保存用带宽为 0.03 ~ 2 Hz 做预处理的接收函数结果 |
| ”w”  | 保存用带宽为 0.06 ~ 2 Hz 做预处理的接收函数结果 |
| ”e”  | 保存用带宽为 0.1 ~ 2 Hz 做预处理的接收函数结果  |