

Crazyseismic

基于 MATLAB 图形界面的地震资料预处理软件

用户手册

v3.3

俞春泉

南方科技大学地球与空间科学系

2020 年 8 月 1 日

Table of Contents

1	Crazyseismic 简介	1
1.1	Crazyseismic 是什么?.....	1
1.2	Crazyseismic 能做什么?.....	1
1.3	Crazyseismic 有哪些特点?.....	1
2	前期准备	2
2.1	系统和平台.....	2
2.2	数据准备	2
2.2.1	数据格式.....	2
2.2.2	数据布局.....	3
3	Crazyseismic 构架	4
3.1	主程序	4
3.1.1	Crazyseismic_Pick.....	4
3.1.2	Crazyseismic_Decon.....	5
3.2	详细描述	6
3.2.1	Crazyseismic_Pick 详细描述.....	6
3.2.2	Crazyseismic_Decon 详细描述.....	11
4	示例展示	12
4.1	震相到时拾取.....	12
4.2	反褶积	18
5	总结	20
	致谢	20
	引用	20

1 Crazyseismic 简介

1.1 Crazyseismic 是什么？

Crazyseismic 是一款基于 MATLAB 图形界面（GUI）的天然地震数据预处理软件。它提供了一个交互式的图形界面，使用者可以在控制数据质量的同时简单、高效地处理大量地震数据。如需了解更多请参考 Yu 等（2017, SRL）。

1.2 Crazyseismic 能做什么？

Crazyseismic 的设计是尽量能够适用于大部分天然地震震相，可以处理单通道或双通道地震数据。Crazyseismic 主要用于地震数据的可视化挑选以及震相到时拾取，也可以用于波形叠加和反褶积计算（接收函数）。

1.3 Crazyseismic 有哪些特点？

Crazyseismic 有三个特点：

❖ 简单易操作性

Crazyseismic 的所有功能都嵌入在一个图形用户界面中，用户只需点击鼠标或敲击快捷键即可处理数据。

❖ 高效性

内嵌的地震震相走时以及多通道互相关等程序大大提高了地震数据处理效率。人机交互特性使得数据质量得以很好控制。

❖ 可拓展性

Crazyseismic 是一个基于 Matlab 的开源软件包，用户可以修改程序以满足他们的特定需求。

2 前期准备

2.1 系统和平台

Crazyseismic 是一款基于 MATLAB 图形界面的软件包。它可以在多种操作系统（例如 Window, Linux 或 Mac OS）上执行，要求安装 MATLAB 软件（包括 Signal Processing 和 Mapping 工具箱）。该代码已在 MATLAB 版本 R2012a 和 R2016a 进行了测试。如果无法正确运行该软件，请联系以下作者：

姓名：俞春泉

邮件：yucq@sustech.edu.cn

2.2 数据准备

2.2.1 数据格式

当前版本只接受 SAC 格式的地震数据。SAC 是地震学界的标准地震数据格式。有关 SAC 格式的更多详细信息，请访问以下网站：

http://ds.iris.edu/files/sac-manual/manual/file_format.html

在 SAC 格式数据中，必须将以下信息写入头文件：

- ❖ 地震信息
 - 发震时刻：
header.o
 - 地震位置：经度/纬度/深度
header.evla, header.evlo, header.evdp
- ❖ 台站信息
 - 台站位置：经度/纬度
header.stla, header.stlo

- 台站和台网名称
header.kstnm, header.knetwk
- ❖ 数据信息
 - 数据开始和结束时间:
header.b, header.e
 - 数据采样率:
header.delta
 - 数据点数
header.npts

2.2.2 数据布局

地震数据集

地震数据通常按（1）地震事件集或（2）地震台站集组织。

地震事件集：来自同一个地震事件不同台站的地震数据存储在同一个文件夹中。

地震台站集：来自不同地震事件同一个台站的地震数据存储在同一个文件夹中。

Crazyseismic 可处理这两种地震数据集，但更建议使用地震数据集。

列表

Crazyseismic 首先读取列表文件的信息，然后再导入地震数据。列表有两种：

（1）事件列表（或者台站列表）和（2）数据文件列表

- ❖ 事件列表（或者台站列表）
事件列表每一行给出每个地震事件文件夹的绝对（或相对）路径
- ❖ 数据文件列表
数据文件列表存放在每一个地震事件文件夹中。数据文件列表中的每一行给出地震数据的文件名称。通常同一通道（比如垂向分量）的数据文件单独生成一个数据文件列表。

3 Crazyseismic 构架

3.1 主程序

3.1.1 Crazyseismic_Pick

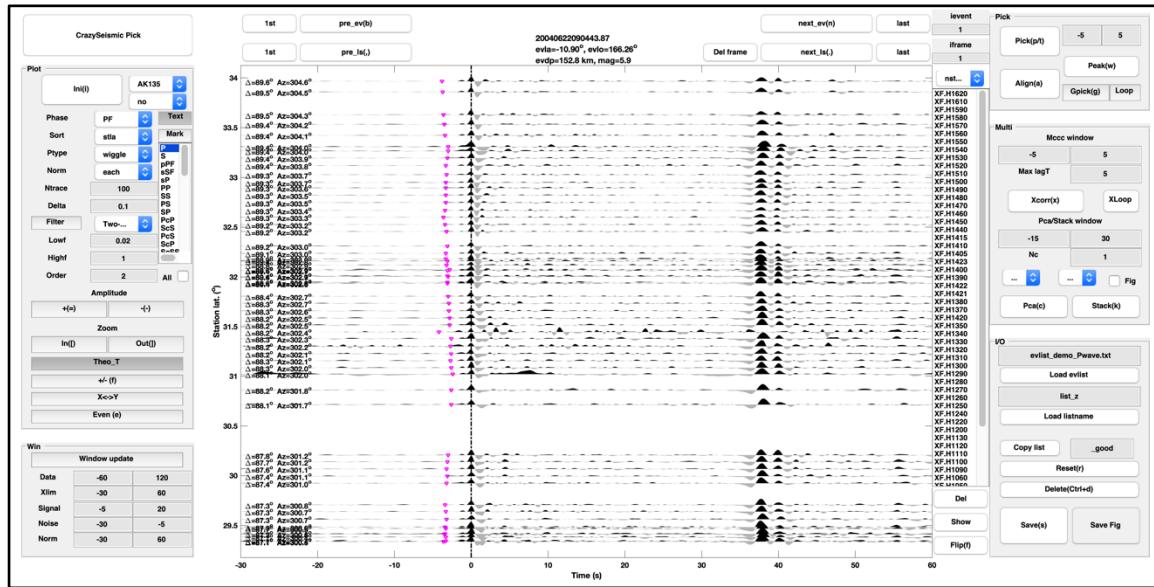


Figure 1 Crazyseismic_Pick 界面

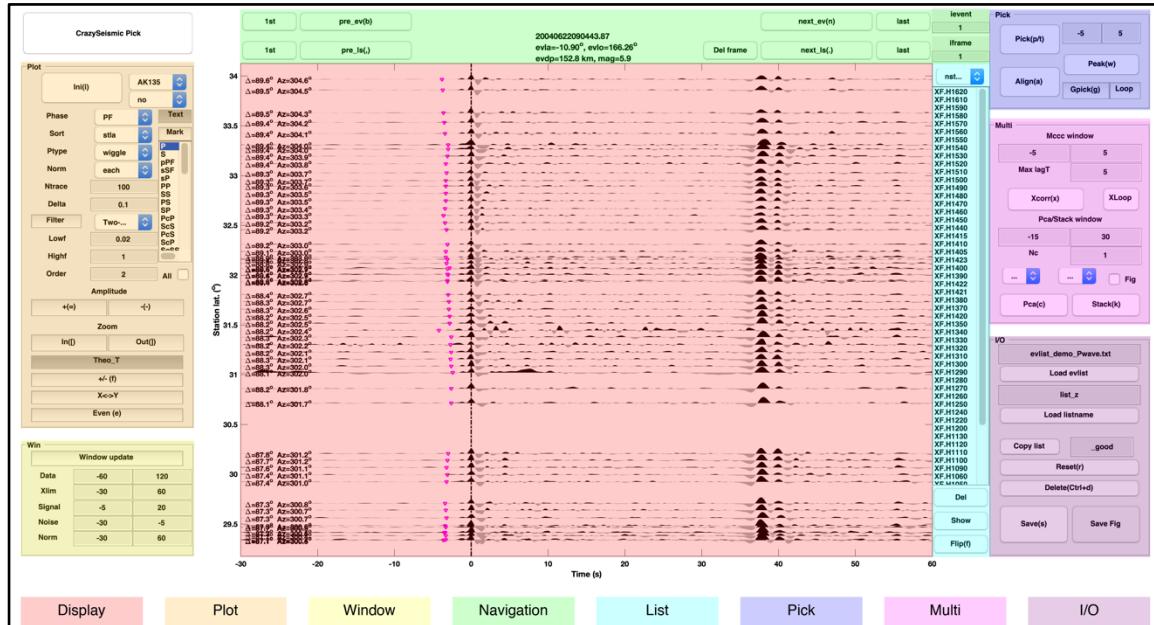


Figure 2 Crazyseismic_Pick 的八个功能面板

Figure 1 展示了 Crazyseismic_Pick 的图形界面，包含八个功能面板（Figure 2）：

- ❖ 展示面板（Display panel）：展示地震波形数据
- ❖ 作图面板（Plot panel）：控制作图参数
- ❖ 时窗面板（Window panel）：控制时间窗口
- ❖ 导航面板（Navigation panel）：在地震事件和数据页面之间导航
- ❖ 列表面板（List panel）：列出台站或文件名称
- ❖ 拾取面板（Pick panel）：拾取震相到时
- ❖ 多通道面板（Multi panel）：控制多通道互相关和主成分分析参数
- ❖ 输入输出面板（I/O panel）：控制输入输出参数

3.1.2 Crazyseismic_Decon

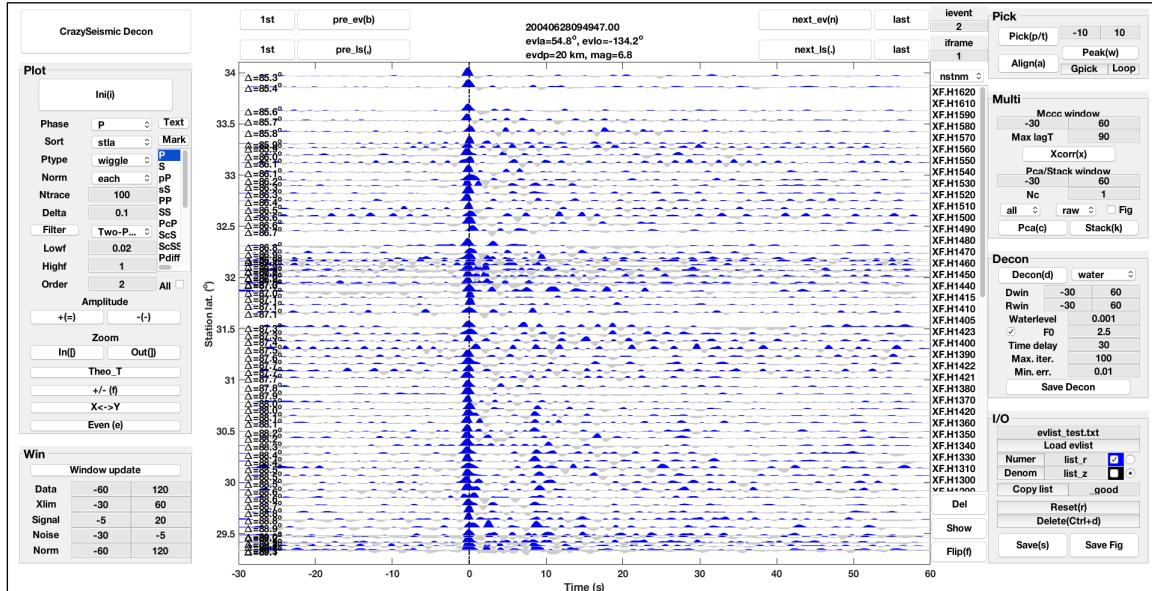


Figure 3 Crazyseismic_Decon 界面

Figure 3 展示了 Crazyseismic_Decon 的图形界面。除了具有 Crazyseismic_Pick 中的所有功能面板之外，它还具有一个反褶积面板。

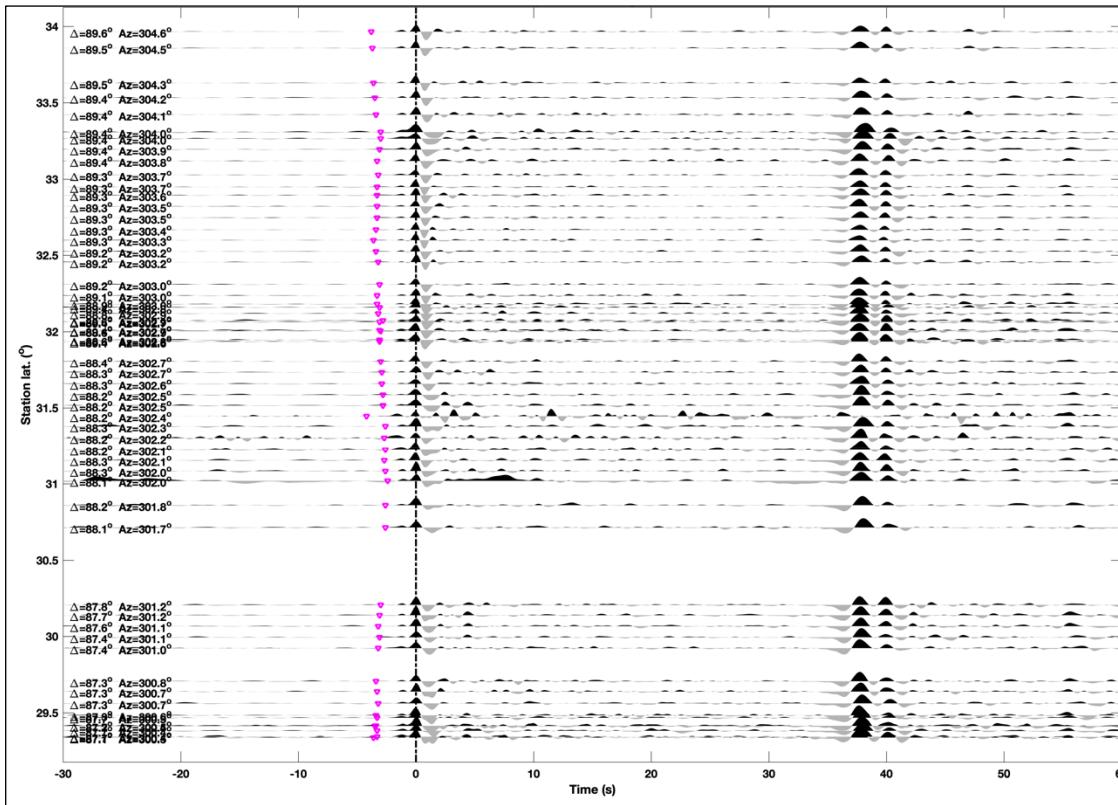
- ❖ 反褶积面板（Deconvolution panel）：控制两个通道之间反褶积计算参数

3.2 详细描述

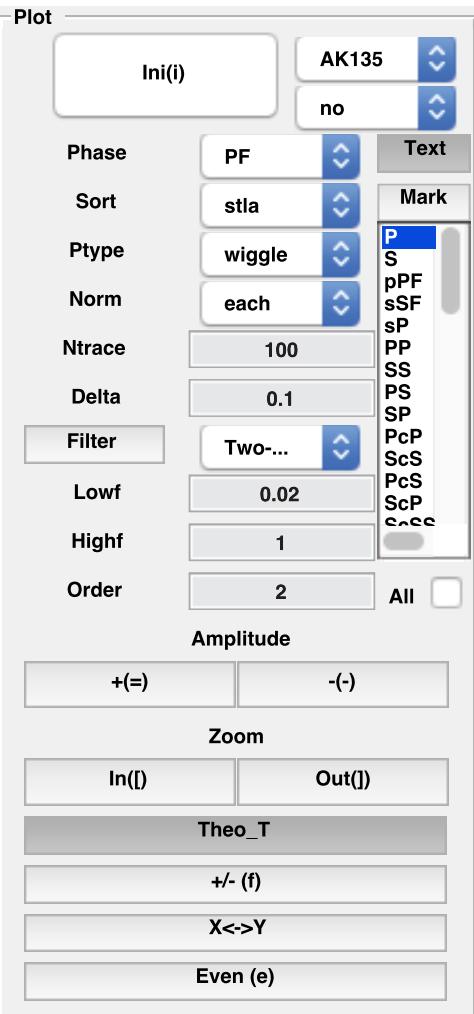
3.2.1 Crazyseismic_Pick 详细描述

❖ 展示面板 (Display panel)

图形界面的中间部分用以展示地震波形数据



❖ 作图面板 (Plot panel)



The Plot panel interface includes the following controls:

- Ini(i):** AK135
- Phase:** PF
- Sort:** stla
- Ptype:** wiggle
- Norm:** each
- Ntrace:** 100
- Delta:** 0.1
- Filter:** Two...
- Lowf:** 0.02
- Highf:** 1
- Order:** 2
- Amplitude:** + (=) / - (-)
- Zoom:** In(I) / Out(J)
- Theo_T:**
- +/- (f):**
- X<->Y:**
- Even (e):**

- **Ini (i):** 初始化当前事件作图
- **Phase:** 参考地震震相, 零时刻相对于该震相
- **Sort:** 地震数据排列方式
dist: 震中距
baz: 反方位角
snr: 信噪比
...
- **Ptype:** 作图类型: trace 或者 wiggle
- **Norm:** 归一化类型
each: 每个道集各自归一化;
all: 所有道集用同一个因子归一化
- **Ntrace:** 每一页展示道集数量
- **Delta:** 数据采样率 (以秒为单位)
- **Filter:** 单通、双通 Butterworth 滤波器或者最小相位滤波器
 - Lowf: 低频 (以 Hz 为单位)
 - Highf: 高频 (以 Hz 为单位)
 - Order: 滤波器介数
- 如果 Lowf=0, Highf>0, 采用低通滤波器;
- 如果 Highf=0, Lowf>0, 采用高通滤波器;
- 如果 Highf> Lowf > 0, 采用带通滤波器;
- 其他, 无滤波器
- 震相走时参考模型: ak135/prem/iasp91
- No/int/deri/sqrt/4th: 展示原始/积分/微分/平方根/四次方根波形数据
- **Text:** 显示数据参数, 比如震中距、反方位角
- **Mark:** 标记列表中选择的震相
- **All**: 勾选以标记列表中的所有震相
- **Amplitude**
 - + (=): 增加振幅
 - - (-): 降低振幅
- **Zoom**: In(I)/Out(J): 在时间轴上放大/缩小
- **Theo_T:** 显示理论参考震相到时
- **+/- (f):** 整个事件极性反转
- **X<->Y:** X-Y 翻转作图
- **Even (e):** 道集均匀/不均匀分布

❖ 时窗面板 (Window panel)

Window update		
Data	-60	120
Xlim	-30	60
Signal	-5	20
Noise	-30	-5
Norm	-30	60

➤ **Window update**
单击此按钮以更新此面板中的所有时间窗口
(以秒为单位)

➤ **Data**
数据时间窗口

➤ **Xlim**
显示时间窗口

➤ **Signal**
信号时间窗口 (连同噪声窗口一起计算数据信噪比)

➤ **Noise**
噪音时间窗口

➤ **Norm**
归一化时间窗口

❖ 导航面板 (Navigation panel)

1st
pre_ev(b)
next_ev(n)
last
ievent

20040622090443.87
evla=-10.90°, evlo=166.26°
evdp=152.8 km, mag=5.9

1st
pre_ls(.)
Del frame
next_ls(.)
last
iframe

➤ **(Above) 1st, pre_ev(b), next_ev(n), last**
第一个事件, 上一个事件, 下一个事件, 最后一个事件

➤ **(Below) 1st, pre_ls(.), next_ls(.), last**
第一个页面, 上一个页面, 下一个页面, 最后一个页面

➤ **(Right) ievent, iframe**
事件编号, 页面编号

❖ 列表面板 (List panel)

n...:	XF.H1620
	XF.H1610
	XF.H1590
	XF.H1580
	XF.H1570
	XF.H1560
	XF.H1550
	XF.H1540
	XF.H1530
	XF.H1520
	XF.H1510
	XF.H1500
	XF.H1490
	XF.H1480
	XF.H1470
	XF.H1460
	XF.H1450
	XF.H1440
	XF.H1440
	XF.H1415
	XF.H1410
	XF.H1405
	XF.H1423
	XF.H1400
	XF.H1390
	XF.H1390
	XF.H1422
	XF.H1421
	XF.H1380
	XF.H1370
	XF.H1420
	XF.H1350
	XF.H1340
	XF.H1330
	XF.H1320
	XF.H1310
	XF.H1300
	XF.H1290
	XF.H1280
	XF.H1270
	XF.H1260
	XF.H1250
	XF.H1240
	XF.H1220
	XF.H1200
	XF.H1130
	XF.H1120
	XF.H1110
	XF.H1100
	XF.H1090
	XF.H1060
	XF.H1050

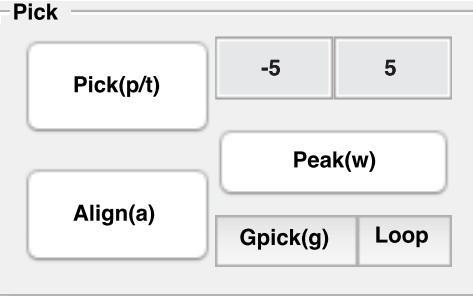
➤ **Text name**
nstnm: [台网名].[台站名]
stnm: 台站名
filename: 文件名

➤ **Del**
删除选定道集

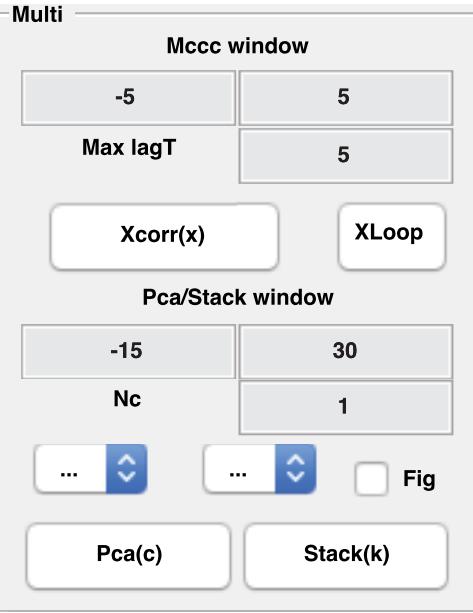
➤ **Show**
恢复选定道集

➤ **Flip (f)**
选定道集极性反转

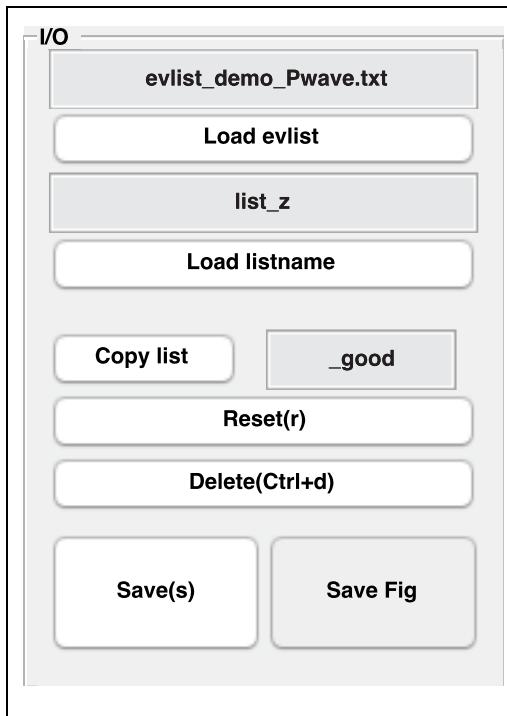
❖ 拾取面板 (Pick panel)

	<p>➤ Pick (p/t) 点击此按钮开始选择 单击鼠标左键继续画线，单击鼠标右键停止。所画曲线与道集数据曲线之间的相交点是震相拾取时间。</p> <p>➤ Align (a) 拾取后重新对齐数据波形</p> <p>➤ Peak (w) 通过在上面定义的时间窗口中找到峰值来自动对齐数据波形</p> <p>➤ Loop 单击此按钮可将“Peak (w)”功能应用于之后所有事件</p> <p>➤ Gpick(g) 使用鼠标在图形界面的位置选择道集</p>
---	--

❖ 多通道面板 (Multi panel)

	<p>➤ Mccc window 多通道互相关时间窗口（以秒为单位）</p> <p>➤ Max lagT 最大延迟时间（以秒为单位）</p> <p>➤ Xcorr (x) 多通道互相关</p> <p>➤ XLoop 将多通道互相关应用于以下所有事件</p> <p>➤ Pca/Stack window 主成分分析或叠加的时间窗口</p> <p>➤ Nc 主成分分析阶数</p> <p>➤ Pca (c) 执行主成分分析并保存数据</p> <p>➤ Stack (k) 数据叠加并保存数据</p> <p>➤ Data group for Pca/stack all: 事件所有道集数据 frame: 在当前页面下的道集数据 select: 选中的道集数据</p> <p>➤ Data type for Pca/Stack raw/filter: 原始或滤过波的数据</p> <p>➤ Fig 勾选以显示结果</p>
--	---

❖ 输入输出面板 (I/O panel)



The I/O panel contains the following controls:

- I/O
- evlist_demo_Pwave.txt
- Load evlist
- list_z
- Load listname
- Copy list
- _good
- Reset(r)
- Delete(Ctrl+d)
- Save(s)
- Save Fig

On the right, corresponding descriptions are provided for each button:

- **Load evlist**
单击此按钮加载事件列表
- **Load listname**
点击此按钮加载数据文件列表
- **Copy list**
将选定的道集保存为一个子列表
- **Reset (r)**
重置当前事件
- **Delete (Ctrl+d)**
删除当前事件 (创建一个空白震相文件列表)
- **Save (s)**
保存事件 (生成或更新震相文件列表)
- **Save Fig**
在事件文件夹中保存当前界面图像

❖ 快捷键

当界面左上角的 **Crazyseismic Pick** 图标处于高亮状态时，你可以使用快捷键。快捷键显示在相应功能的括号中。

❖ 利用键盘调整震相到时

首先，进入“列表”面板选择地震台站道集。进入/退出“列表”面板的快捷键是“Alt”或“Command”（请检查电脑系统快捷方式以避免冲突）。

- 按向上/向下箭头在台站之间导航
- 按住 Ctrl 可以进行多项选择
- 按 Ctrl + a 选择所有台站

然后，调整地震震相到时。

- 按左/右箭头移动数据
- 按 Ctrl (或 Command) + 左/右箭头进行微调
- 按 Shift + 左/右箭头进行粗调

最后，通过按“I/O”面板中的“Save”按钮来保存更改。

3.2.2 Crazyseismic_Decon 详细描述

Crazyseismic_Decon 的大部分功能面板与 Crazyseismic_Pick 相同。主要的区别在于 Crazyseismic_Decon 额外包含一个反褶积面板，并可以同时处理双通道地震数据。

❖ 反褶积面板

Decon	Decon(d)	water	
Dwin	-30	60	
Rwin	-30	60	
Waterlevel	0.001		
<input checked="" type="checkbox"/> F0	2.5		
Time delay	30		
Max. iter.	100		
Min. err.	0.01		
Save Decon			

- **Decon (d)**
执行反褶积
- **Decon type**
water: 频率域水位反褶积
iter: 时间域迭代反褶积
- **Dwin**
反褶积的数据时间窗口
- **Rwin**
反褶积结果时间窗口
- **Waterlevel deconvolution parameters**
waterlevel: 水准量值
F0: 高斯因子(滤波器在频率大约为 F0/2 Hz 时的振幅增益为 0.1)
- **Left box**
勾选以将与作图面板中相同的滤波器应用于反褶积结果
- **Time delay**
反褶积结果时间延迟量
- **Iterative deconvolution parameters**
Itmax: 最大迭代次数
Minerr: 最小误差
- **Save Decon**
将反褶积结果另存为 SAC 文件

4 示例展示

本教程展示了使用 Crazyseismic 处理地震数据的两个例子：（1）震相到时拾取和（2）反卷积。地震学中两个应用领域分别是地震层析成像和 P 波接收函数。

4.1 震相到时拾取

Step 1. 生成事件列表和数据文件列表

利用“`y_gen_listname.m`”同时生成事件列表和数据文件列表。

事件列表(比如“`evlist_demo_P.txt`”) 包含如下事件路径:

```
[PATH]/20040622090443.87  
[PATH]/20040628094947.00
```

...

(*PATH* 是事件的绝对或相对路径; *20040622090443.87* 是事件的文件夹名称)

数据文件列表(比如“`list_z`”) 在每个事件文件夹中，包含如下数据文件名称:

```
2004.174.09.16.12.2980.XF.H1010.01.BHZ.M.SAC  
2004.174.09.16.12.7950.XF.H1030.01.BHZ.M.SAC
```

...

Step 2. 运行 `Crazyseismic_Pick` 并导入地震数据

- 在 Matlab 下运行 `y_Crazyseismic_Pick.m`
- 导入事件列表

在 “I/O” 面板中，单击 “**Load_evlist**” 按钮以选择事件列表。

- 导入数据文件列表

然后，单击 “**Load_listname**” 按钮以选择数据文件列表。它将自动将列表中的 SAC 文件加载到 Matlab 中。

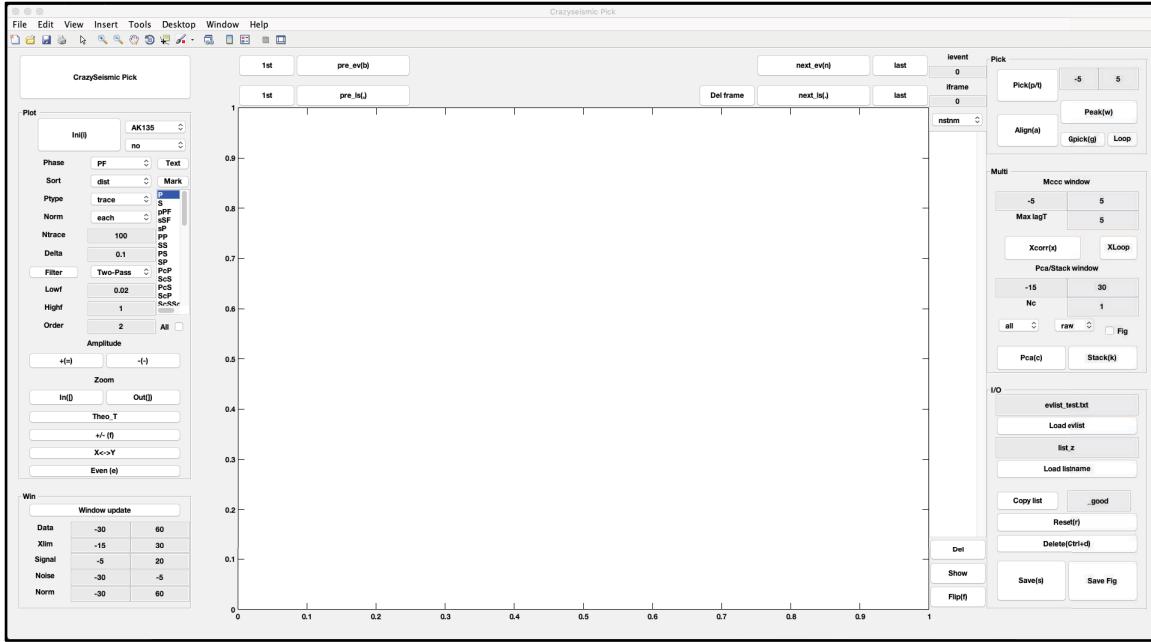


Figure 4 Crazyseismic_Pick 初始界面

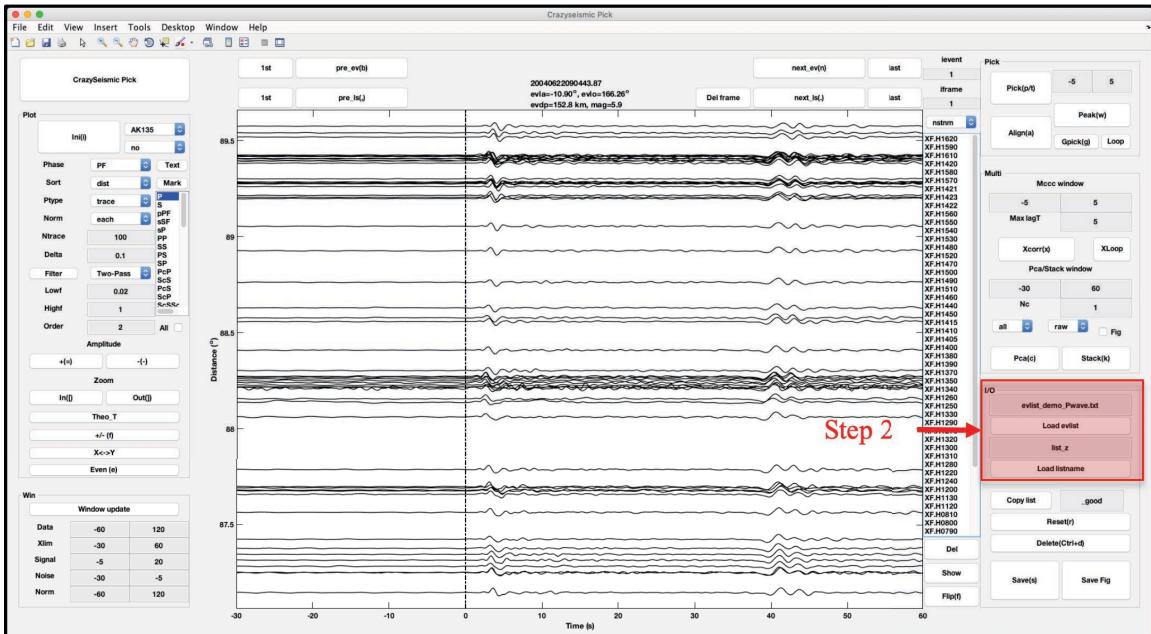


Figure 5 导入事件列表和数据文件列表之后的数据波形展示

Step 3. 选择地震震相并修改作图参数

- 在“作图”面板的震相菜单中选择参考地震震相。
- 调整相应作图参数

比如，要更改滤波器的频带范围，可以在“Lowf”和“Highf”中输入相应的频率值，然后单击“Filter”按钮以更新数据。您还可以按震中距（dist），反方位角（baz）或其他参数来对数据进行排序。

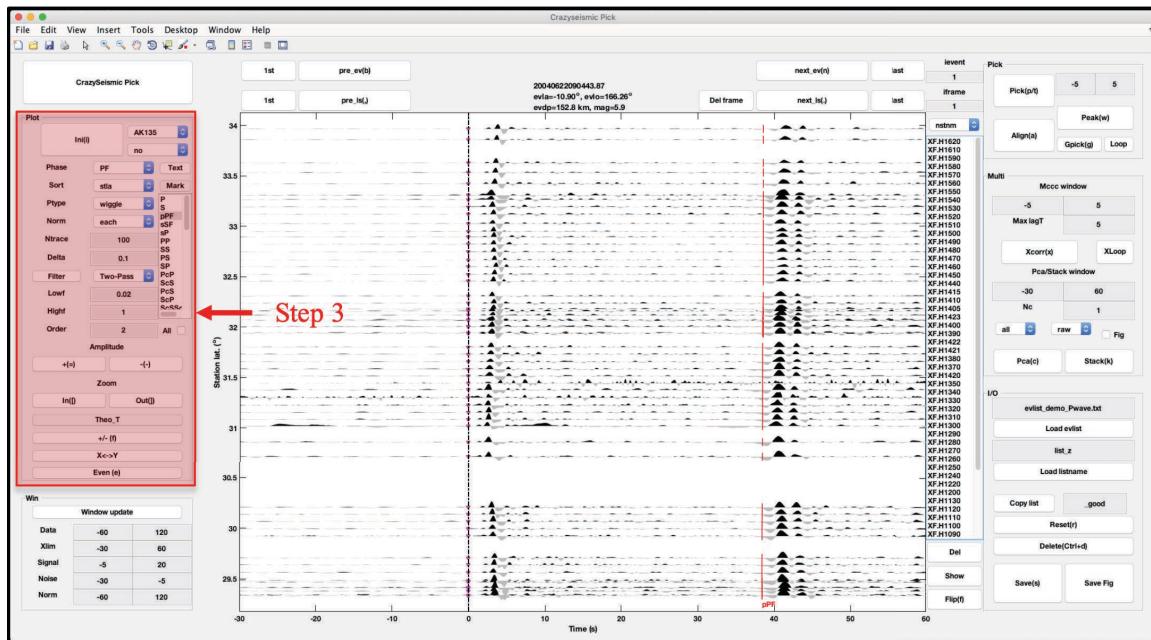


Figure 6 更改作图参数之后的界面。这里，地震数据按照台站纬度排列；作图方式从“trace”到“wiggle”，展示了理论 P 波到时（紫色倒三角），以及深度震相 pP 的相对到时（红色竖条）。

Step 4. 删除坏道或事件

➤ 删除坏道

在“列表”面板中单击选择地震道集对应的名称，选定的数据会高亮。快速定位道集数据的一种方法是先单击“**Gpick (g)**”，然后用鼠标单击道集附近的点。要删除坏道，请单击列表面板中的“**Del**”按钮或键盘中的“**Delete**”按钮。

➤ 恢复道集数据

单击“**Show**”按钮。

➤ 选定道集极性反转

单击“**Flip (f)**”按钮。

➤ 删除事件

单击“**I/O**”面板中的“**Delete (Ctrl+d)**”按钮。删除当前事件之后，界面会自动转到下一个事件数据。

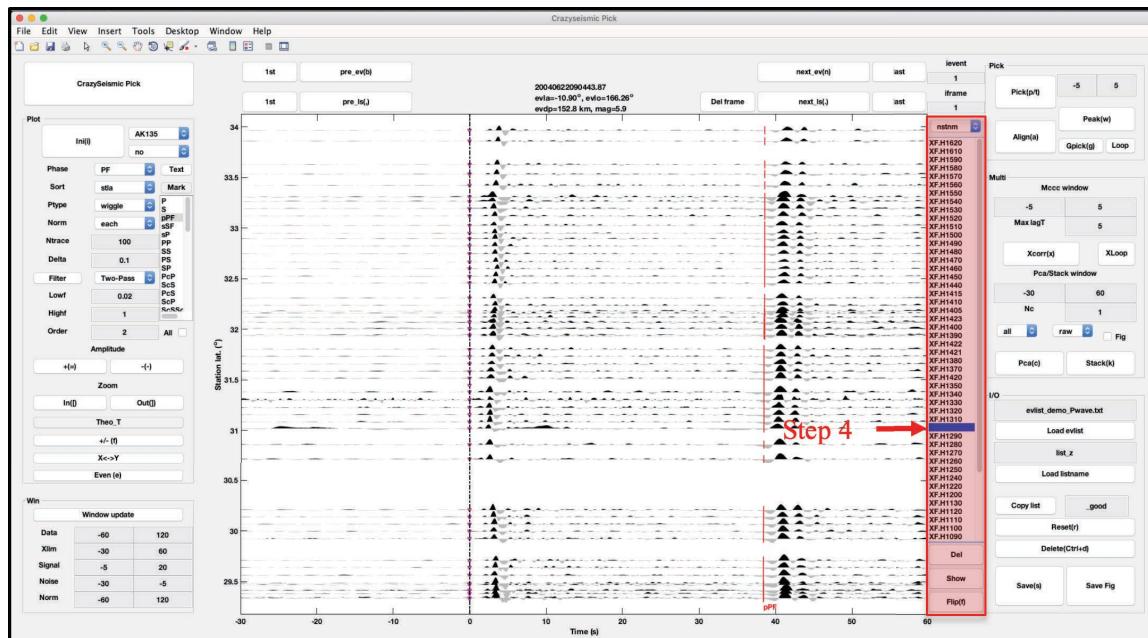


Figure 7 台站 XF.H1300 的坏道数据被删除

Step 5. 震相到时拾取

为了方便起见，我们提供了几种震相到时拾取的方法。

- 在“拾取”面板中使用“**Pick (p/t)**”和“**Align (a)**”

单击“**Pick (p/t)**”按钮开始画一条线。单击左键继续，单击右键结束。画出的线和地震道之间的交点将是所选择的震相拾取到时。然后，单击“**Align (a)**”按钮将数据重新对齐。

- 在“拾取”面板中使用“**Peak (w)**”

“**Peak (w)**”按钮将在定义的时间窗口中根据地震数据的最大峰值自动对齐。

“**Peak Loop**”用于之后所有事件的自动峰值对齐。

- 在“列表”面板中调整震相到时

在“列表”面板中选择地震道集，然后使用“左箭头”或“右箭头”移动数据。按住“Shift”键进行粗调，按住“Ctrl”键进行微调。

- 在“多通道”面板中使用“**Xcorr (x)**”

使用“**Xcorr (x)**”按钮进行多通道互相关震相到时对齐。使用该功能可以获得更为准确的相对到时测量。

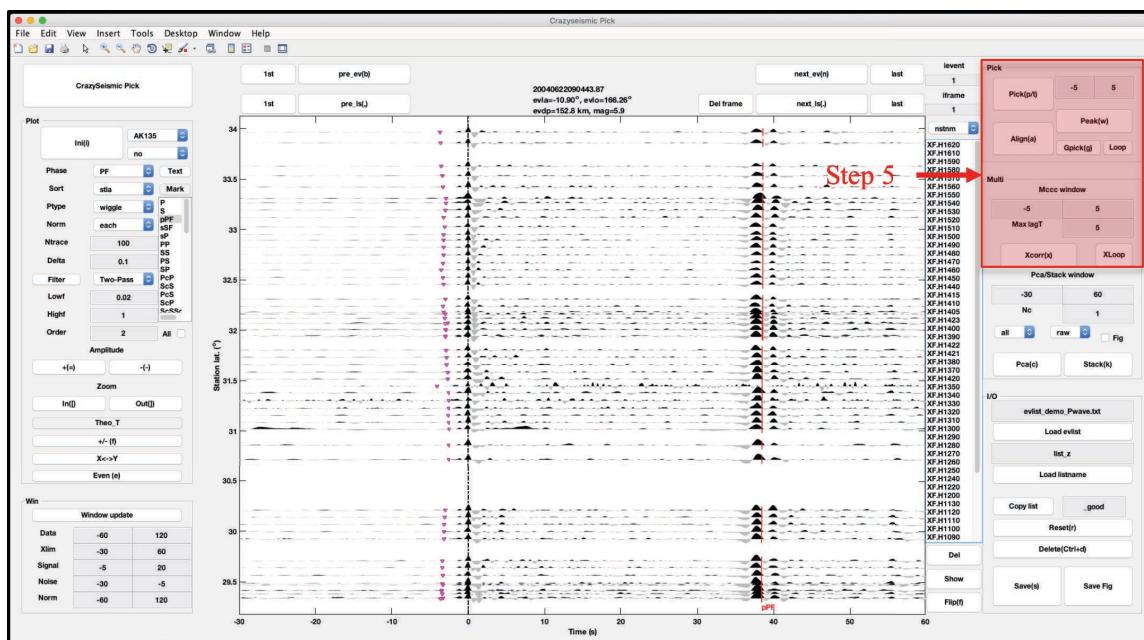


Figure 8 P 波震相到时按照最大峰值对齐

Step 6. 保存更改并前往下一个事件

- 在同一事件不同页面之间切换
在“导航”面板中单击“1st”，“pre_ls(.)”，“next_ls(.)”或者“last”
- 保存已处理的事件
在“I/O”面板中单击“Save (s)”
- 前往下一个事件
在“导航”面板中单击“next_ev (n)”

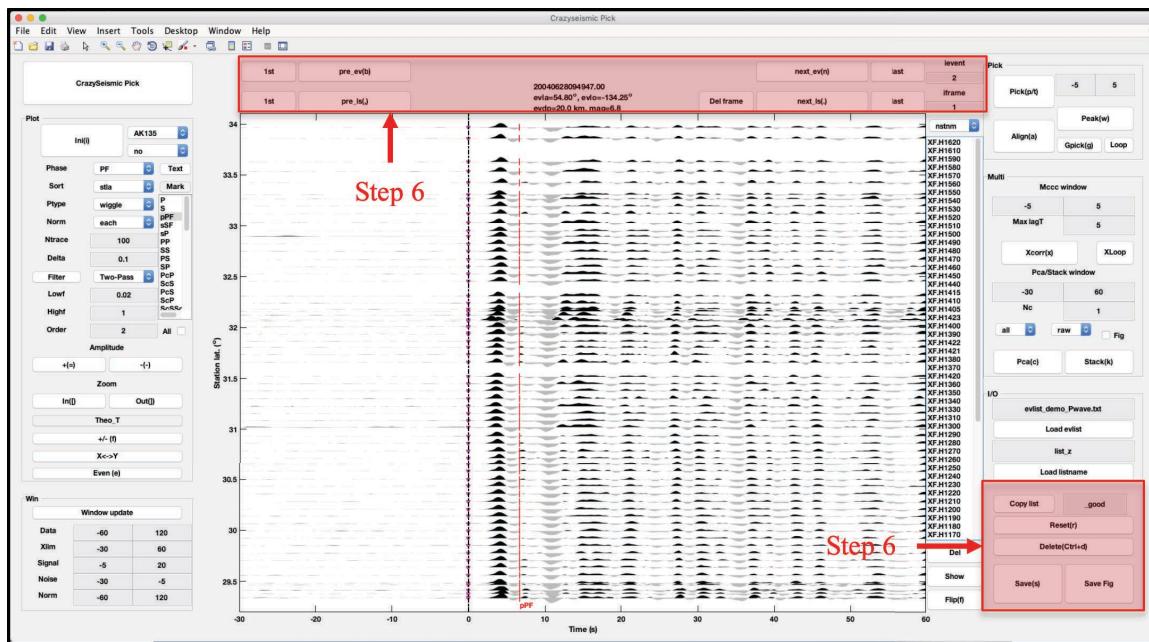


Figure 9 处理下一个事件

输出震相文件列表

点击保存之后将在每个事件文件夹中生成或更新一个震相文件列表。它的名称是数据文件列表名称和地震震相的组合。

例如，如果数据文件列表的名称为“list_z”，则 P 波的震相文件列表的名称将为“list_z_P.txt”。

震相文件列表内容如下：

```
#filename theo_tt tshift obs_tt polarity stnm netwk rayp stla stlo stel evla evlo evdp dist az baz snr0 xcoeff0
2004.174.09.16.12.2980.XF.H1010.01.BHZ.M.SAC 748.639442 0.000000 748.639442 1 H1010 XF 0.043292
29.335501 85.836403 4753.000000 -10.902000 166.259003 152.800003 87.146095 300.472839 104.036608
1.000000 1.000000
...
```

(theo_tt 是理论到时； tshift 是到时偏移量； obs_tt 是拾取到时； polarity 记录地震道的极性变化。+1：无变化，-1：极性反转； stnm 是台站名称； netwk 是台网名称； rayp 是震相射线参数； stla, stlo, stel 分别是台站的纬度，经度和高度； evla, evlo, evdp 分别是事件的纬度，经度和深度； dist 是震中距； az 和 baz 分别是方位角和反方位角； snr0 和 xcoeff0 目前不使用)

4.2 反褶积

由于“Crazyseismic_Decon”中的大多数功能与“Crazyseismic_Pick”类似，因此在此仅介绍反卷积功能。

Steps 1-6. 进行必要地震数据预处理

- 运行“y_Crazyseismic_Decon.m”
- 导入分母和分子数据文件列表
- 重复以上步骤 1-6

Step 7. 反褶积

这里提供两种反褶积方法选项：

➤ 频率域水位反褶积 (Frequency-domain waterlevel deconvolution)

➤ 时间域迭代反褶积 (Time-domain iterative deconvolution)

在“反褶积”面板中调整相应的参数，然后单击“Decon (d)”按钮，即可获得反褶积结果。如果需要将结果存储为 SAC 格式数据，请单击“Save Decon”按钮。

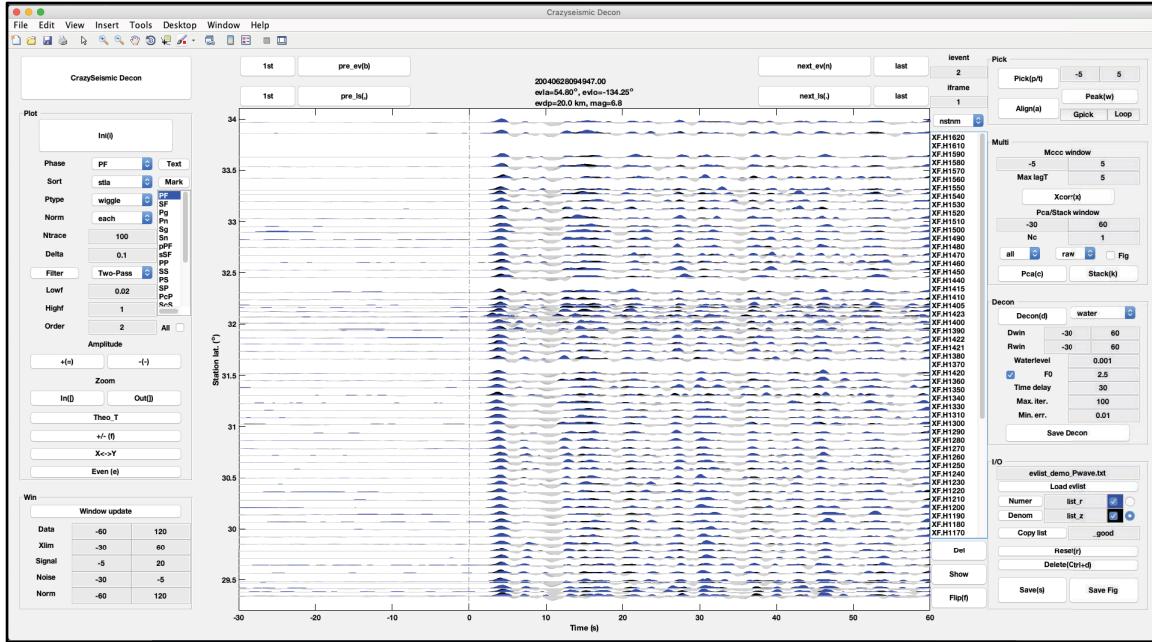


Figure 10 Crazyseismic_Decon 界面展示垂向和径向地震波形数据

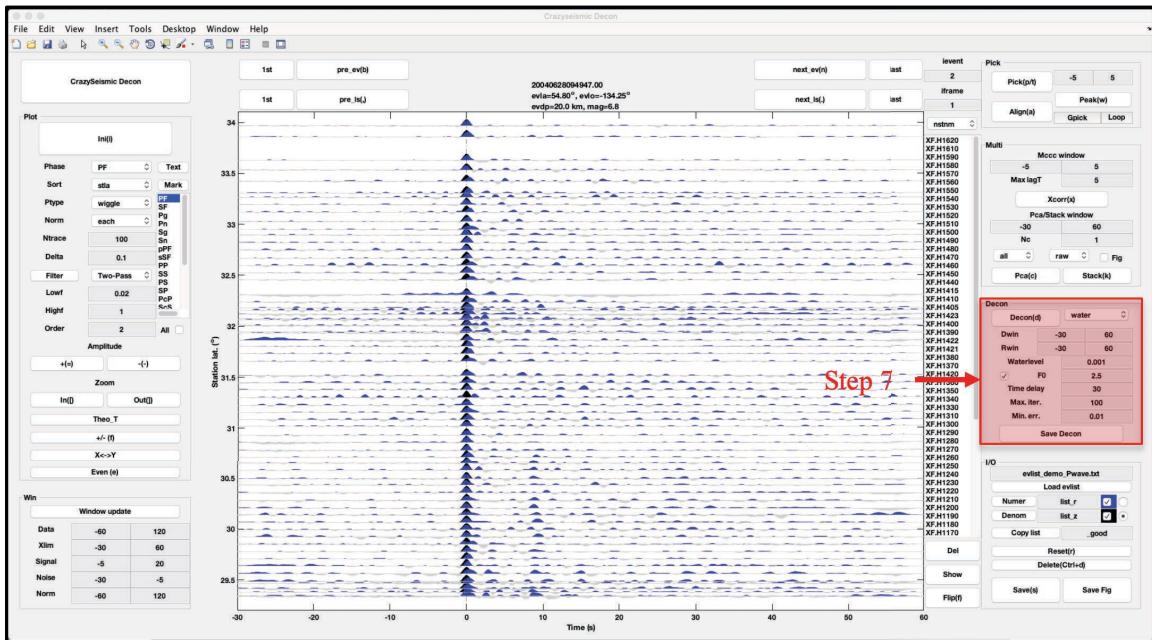


Figure 11 径向 P 波接收函数

5 总结

Crazyseismic 是一款基于 MATLAB 图形界面（GUI）的天然地震数据预处理软件。该软件的主要目的是用于地震数据的可视化挑选、震相到时拾取、波形叠加和震源反褶积计算（接收函数）。该软件的特点在于简易性、高效性和可拓展性。

Crazyseismic 将所有功能都归入到同一个 GUI 界面，用户只需点击鼠标或使用快捷键即可处理数据。软件自带的震相走时计算程序和多通道互相关函数不仅使得震相到时拾取更加便捷，还大大提高了相对到时的测量精度。Crazyseismic 适用于大部分地震震相分析。用户也可以根据自己的需求定义震相。希望该软件能为地震学界数据处理提供一定的帮助。

致谢

我们感谢许多同行对 Crazyseismic 软件进行测试并提供建议。该软件中部分子程序来自于他人在网络上的共享。时间域迭代反褶积程序由 I.W. Bailey 根据 Ligorria 和 Ammon 的 1999 年 BSSA 论文编写。最小相位滤波程序从 Julius O. Smith III 的网站下载。

引用

如果 Crazyseismic 对你的研究有帮助，请引用以下论文：

Yu, C., Y. Zheng, and X. Shang, 2017, Crazyseismic: A MATLAB GUI-based software package for passive seismic data preprocessing, *Seismological Research Letters*, 88, no. 2A, 410–415, doi: 10.1785/0220160207. ([link](#))