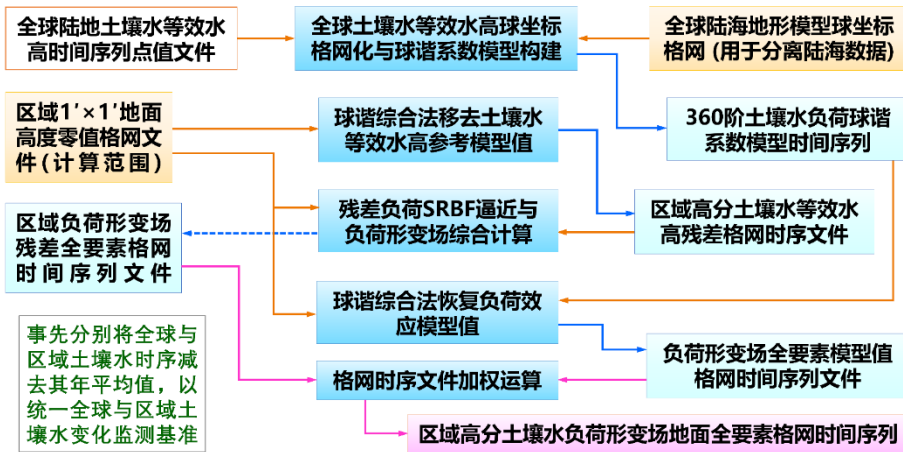


高分地表环境负荷形变场时序完整计算流程

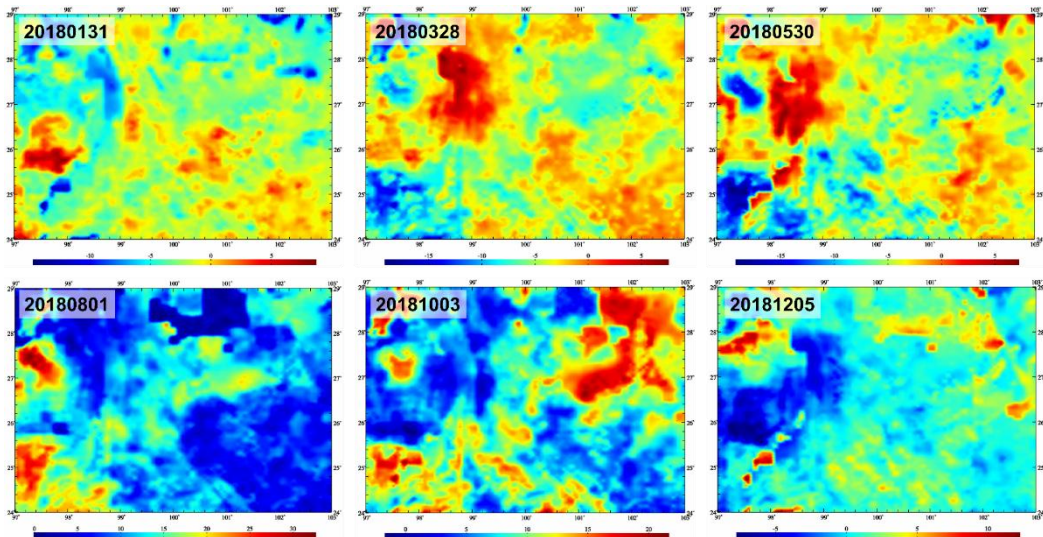
ETideLoad4.5, 章传银

以区域陆地土壤水变化为例, 采用负荷球谐系数模型与区域负荷 SRFB 逼近组合的移去恢复方案, 四步实现近地空间、任意区域、高精度、高分辨率负荷形变场全要素格网时间序列计算。

这里的土壤水, 包括 4m 以浅土壤水与湿地、植被、冰川雪山水含量, 不包括河流水和地下水。



高分辨率土壤水负荷形变场地面全要素格网时间序列完整计算流程



区域1'x1'土壤水等效水高(cm)格网时间序列

监测基准统一: 事先分别将全球陆地土壤水等效水高时间序列、区域高分土壤水等效水高时间序列减去各自的年平均值 (或某个参考历元时刻的土壤水等效水高), 以统一全

球和区域陆地土壤水变化监测基准。

高分地表环境负荷形变场全要素时序的完整计算流程由全球地表环境负荷球谐分析、负荷形变场球谐综合、区域残差地表环境负荷谱域 SRBF 分析与残差负荷形变场 SRBF 综合共四步构成。

第一步：构造全球陆地土壤水等效水高球坐标格网时序，构建全球陆地土壤水变化负荷球谐系数模型时序。

调用[系列全球地表数据球坐标格网化]功能，由全球陆地土壤水等效水高时间序列点值文件，构造球坐标系全球陆地土壤水等效水高格网时间序列文件 glsoilewh*.dat。*为采样历元，如*=20180131 表示 2018 年 1 月 31 日。本例省略此过程。

调用[全球大陆水等效水高球谐分析]功能，输入分辨率不低于土壤水等效水高格网的全球陆海地形球坐标格网 sphETOPonc30m.dat（用于陆海分离，海域土壤水等效水高自动置零），由全球陆地土壤水等效水高格网时间序列文件 glsoilewh*.dat，构造全球土壤水负荷球谐系数模型时间序列文件 Indwater*.cs.dat。

第一步：构造全球陆地土壤水等效水高球坐标格网时序，构建全球陆地土壤水变化负荷球谐系数模型时序

系列全球地表数据球坐标格网化 | 全球地面/海面大气压球谐分析 | **全球大陆水等效水高球谐分析** | 全球海面变化球谐分析

打开任一大陆水球坐标格网文件 >> 计算过程 ** 操作提示

设置模型时序文件名通配符
文件名中首个通配符序号 10
文件名中连续通配符总数 8
设置迭代控制条件
残差标准差阈值 1.0‰
迭代增量终止条件 3.0‰
打开陆海地形球坐标格网文件

面谐函数定义在半径等于地球长半轴a的球面上

```
>> 打开任一大陆水球坐标格网文件 C:/ETIdeLoad4.5_win64cn/examples/Loadfmdcalcdemo/glsoilewh20180131cm.dat.  
** 下方窗口只显示了其中不超过3000行数据!  
>> 打开陆海地形球坐标格网文件 C:/ETIdeLoad4.5_win64cn/examples/Loadfmdcalcdemo/sphETOP30m.dat.  
** 创建结果文件保存目录C:/ETIdeLoad4.5_win64cn/examples/Loadfmdcalcdemo/sphcsmodel.  
>> 按通配符搜索到的球坐标格网时序文件:  
C:/ETIdeLoad4.5_win64cn/examples/Loadfmdcalcdemo/glsoilewh20180131cm.dat  
C:/ETIdeLoad4.5_win64cn/examples/Loadfmdcalcdemo/glsoilewh20180328cm.dat  
C:/ETIdeLoad4.5_win64cn/examples/Loadfmdcalcdemo/glsoilewh20180530cm.dat  
C:/ETIdeLoad4.5_win64cn/examples/Loadfmdcalcdemo/glsoilewh20180801cm.dat  
C:/ETIdeLoad4.5_win64cn/examples/Loadfmdcalcdemo/glsoilewh20181003cm.dat  
C:/ETIdeLoad4.5_win64cn/examples/Loadfmdcalcdemo/glsoilewh20181205cm.dat  
>> 参数设置结果已输入系统!  
** 点击[开始运算]控件按钮, 或[开始运算]工具按钮.....  
>> 开始时间: 2023-05-04 13:04:53  
>> 完成6个全球大陆水格网球谐分析计算!  
>> 程序在保存目录中输出大陆水等效水高球谐系数模型文件Indwater***.dat 迭代过程统计信息文件pro***.ini和残差格网文件rmt***.dat. ***为指定通配符实例。
```

设置结果保存目录 | 参数设置结果输入 | 开始运算

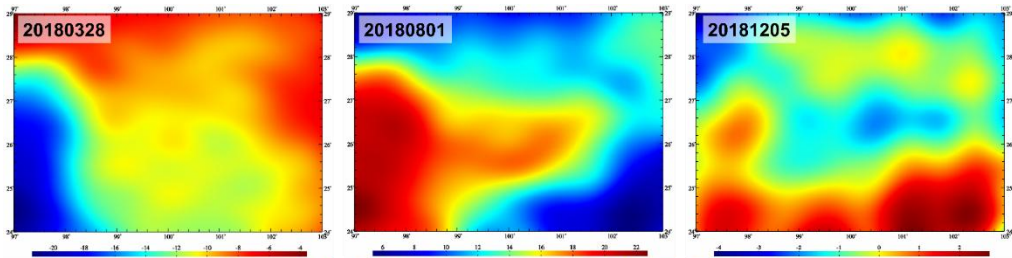
球谐系数阶数n	零阶项(cm)	相对误差(%)	迭代次数	残差平均值	标准差	最小值	最大值				
1	3.986004418	6378137.00	0.5573	15.084	0	0.6721	3.2792	-46.8962	101.1671		
2	0	9.2457930065939986E-10	0.0000000000000000E+00	0.9831	-36.4558	78.2553					
3	2	1.0268254779166223E-10	-4.7574877498471504E-11	2	0.0000	0.6284	-29.5272	71.0895			
4	2	1.913358E-11	-9.900830184071023E-11	2	2758.1	4	3	0.0000	0.5630	-29.4347	68.2698
5	3	3721202E-09	0.0000000000000000E+00	3	2782.2	6	5	0.0000	0.5380	-30.4293	67.2374
6	3	1.3721202E-09	0.0000000000000000E+00	3	2782.2	6	5	0.0000	0.5247	-30.8438	66.8759
7	3	3.6363130771720734E-10	3.5653990273019996E-10	5	2795.0	7	6	0.0000	0.5165	-31.0211	66.7593
8	3	2.123022510914972594E-10	5.4106078115310523E-10	8	2806.3	8	7	0.0000	0.5109	-31.0974	66.7274
9	3	-1.2507023908057166E-10	4.4584757452995267E-10	6	2814.5	9	8	0.0000	0.5070	-31.1297	66.7218
10	4	0.89924013483493641E-11	0.0000000000000000E+00	7	2818.6	10	9	0.0000	0.5039	-31.1430	66.7228
11	4	1.4599113387652335E-10	5.5019754977419413E-10	4	2819.7	11	10	0.0000	0.5016	-31.1482	66.7244
12	4	2.76291176219970650E-11	6.8922364997196835E-10	2	2818.9	12	11	0.0000	0.4997	-31.1503	66.7251
13	4	3.7885887494136339E-11	2.8188206515740033E-10	3	2817.8	13	12	0.0000	0.4981	-31.1511	66.7250
14	4	4.7623604746657341E-10	2.7890304486984297E-10	8	2817.7	14	13	0.0000	0.4968	-31.1516	66.7245
15	4	0.13649176546033810E-09	0.0000000000000000E+00	8	2817.7	15	14	0.0000	0.4956	-31.1520	66.7237
16	5	0.13649176546033810E-09	0.0000000000000000E+00	8	2817.7	16	15	0.0000	0.4945	-31.1526	66.7228
17	5	0.13649176546033810E-09	0.0000000000000000E+00	8	2817.7	17	16	0.0000	0.4934	-31.1530	66.7228

球谐系数阶数n等于格网在纬度方向格网数。如0.25°分辨率格网模型对应n=720。

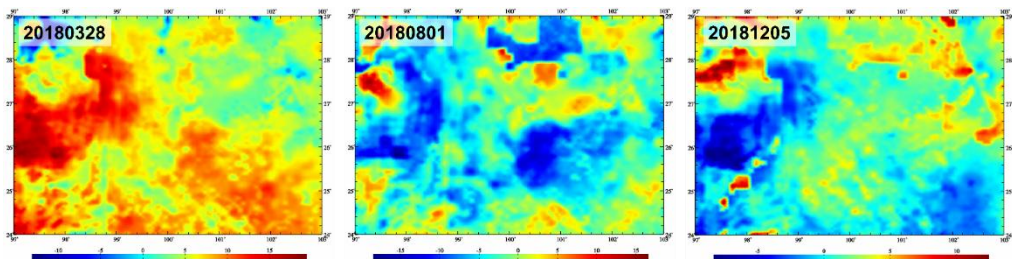
第二步：计算并移去全球土壤水等效水高参考模型值格网时序，构造区域高分土壤水等效水高残差格网时序。

调用[负荷等效水高模型值时间序列计算]功能，输入计算范围 1°零值格网文件 zero1m.dat（表示计算面为地面），地表负荷选择“陆地水等效水高 cm”，最大计算阶数

360, 由全球土壤水负荷球谐系数模型时间序列 `Indwater*cs.dat`, 计算区域土壤水等效水高模型值格网时间序列 `ldewh*.dat`。

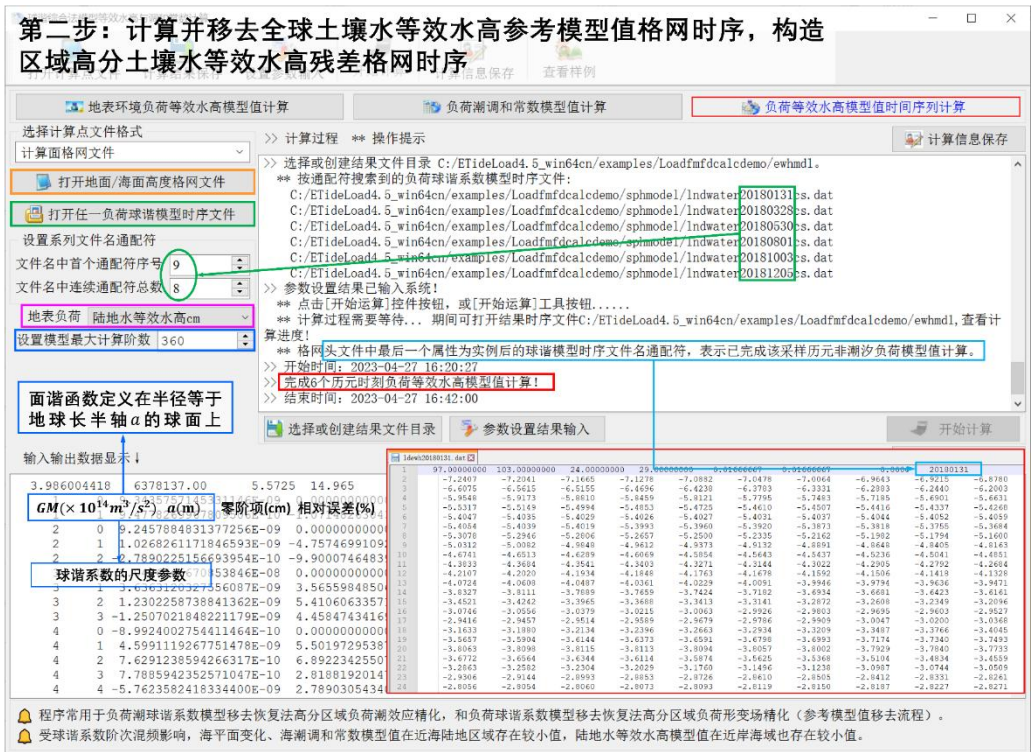


区域1'×1'土壤水等效水高(cm)参考模型值格网时间序列



区域1'×1'土壤水等效水高(cm)残差格网时间序列

调用[两组同规格格网时序文件加权运算] (或[格网格值加权运算]) 功能, 将计算区域1'土壤水等效水高格网时序 `soilewh*.dat` 减去土壤水等效水高模型值格网 `ldewh*.dat`, 生成区域高分土壤水等效水高残差格网时序 `wghcalc*.dat`。



第三步：按负荷 SRBF 逼近与综合法，计算区域土壤水负荷形变场残差全要素格网时间序列。

调用[地表环境负荷残差 SRBF 逼近与形变场综合计算]功能，输入成果范围 1'零值格网文件 zero1mrst.dat（移去格网 zero1m.dat 四周 1°区域），由任意历元时刻的区域高分土壤水等效水高残差格网 rntewh*.dat，计算区域负荷形变效应全要素残差格网时间序列 ttt*.???.其目的是，依据界面下方给出的参数设置优化与累积逼近有效性原则，设计合理的设置参数。

调用[负荷残差时序 SRBF 逼近与负荷形变场时序计算]功能，输入成果范围 1'零值格网文件 zero1mrst.dat（移去格网 zero1m.dat 四周 1°区域），按已设计好的参数，由区域高分土壤水等效水高残差格网时序 rntewh*.dat，统一计算区域负荷形变效应地面全要素残差格网时间序列 rntSRBFs*.???

扩展名???=ksi, gra, rga, dft, vdf, dph, dpr, nmh, gr 或 hgd, 分别表示高程异常、地面重力、扰动重力、地倾斜向量、垂线偏差向量、水平位移向量、地面径向、地面正（常）高、扰动重力梯度或水平重力梯度向量残差格网文件。

*为实例化后的残差等效水高格网模型时序文件的通配符，以标识残差负荷形变效应的采样历元时刻。

第三步：按负荷SRBF逼近与综合法，计算区域土壤水负荷形变场残差格网时间序列

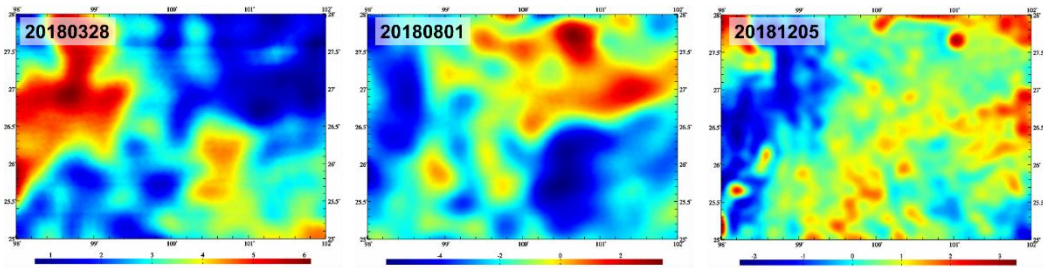
先依据参数设置优化与累积逼近有效性原则，设计合理的设置参数。

参数设置优化与累积逼近有效性原则：①负荷形变场空间连续可微，②负荷等效水高残差标准差明显减小，残差统计平均值趋于零。

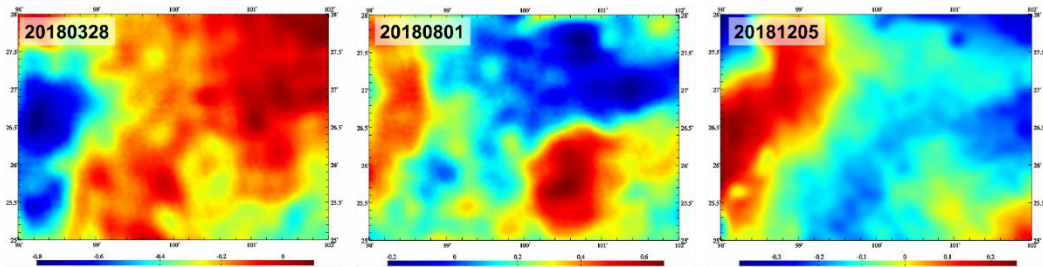
第三步：按负荷SRBF逼近与综合法，计算区域土壤水负荷形变场残差格网时间序列

按设计好的参数，统一计算土壤水残差负荷形变场格网时间序列。

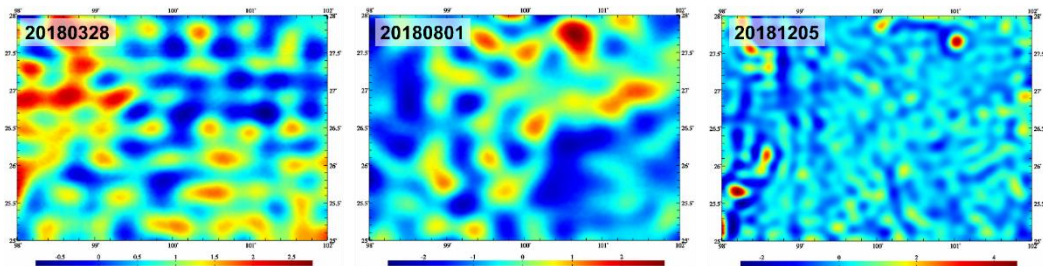
参数设置优化与累积逼近有效性原则：①负荷形变场空间连续可微，②负荷等效水高残差标准差明显减小，残差统计平均值趋于零。



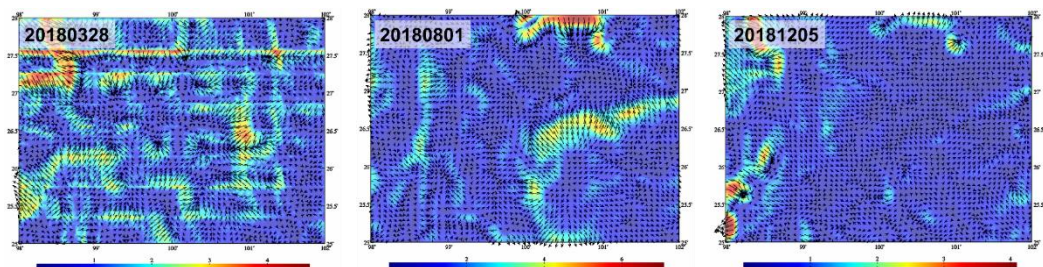
1'x1'地面重力土壤水负荷效应(μGal)残差格网时间序列



1'x1'地面大地高土壤水负荷效应(mm)残差格网时间序列



1'x1'重力梯度土壤水负荷效应(mE)残差格网时间序列



1'x1'地倾斜向量土壤水负荷效应(ms)残差格网时间序列

第四步：计算并恢复土壤水负荷形变场参考模型值格网时间序列，生成区域高分辨率负荷形变场全要素格网时间序列。

调用[地面负荷形变场时间序列批量计算]功能，输入成果范围 1'零值格网文件 zero1mrst.dat (移去格网 zero1m.dat 周边 1°区域)，地表负荷类型选择“陆地水等效水高 cm”，由全球土壤水负荷球谐系数模型时间序列 Indwater*cs.dat，最大计算阶数 360，计算土壤水负荷形变参考模型值格网时间序列 loadfmdl*.???

扩展名??? = ksi, gra, rga, dft, vdf, dph, dpr, nmh, grr 或 hgd, 分别表示高程异常、地面重力、扰动重力、地倾斜向量、垂线偏差向量、水平位移向量、地面径向、地面正(常)高、扰动重力梯度或水平重力梯度向量模型值格网文件。

*为实例化后的负荷球谐系数模型时序文件的通配符, 以标识土壤水负荷形变参考模型值格网的采样历元时刻。

第四步：计算并恢复土壤水负荷形变场参考模型值格网时间序列，生成区域高分辨率土壤水负荷形变场全要素格网时间序列

The screenshot shows a software window titled "全球地表环境负荷形变场球谐综合算法". The main panel contains the following text:

打开任一负荷球谐模型时序文件 地表负荷类型 陆地水等效水高

[功能]由全球大气压、陆地水或海平面变化负荷球谐系数模型(m)时间序列,按球谐综合算法,计算各种大地测量负荷形变效应时间序列。球谐系数模型(m)时间序列文件按指定的通配符提取。负荷形变效应的时间为球谐系数模型的采样历元时刻。

>> 打开地面/海面高度格网文件 C:/ETIdeLoad4.5_win64cn/examples/Loadfmdfcdldemo/zseolarat.dat.

>> 打开任一负荷球谐系数模型文件C:/ETIdeLoad4.5_win64cn/examples/Loadfmdfcdldemo/sphcmodel1/Indwater20180313ca.dat.

** 下方窗口只显示了其中不超过20000行的模型球谐系数!

创建结果文件保存目录: C:/ETIdeLoad4.5_win64cn/examples/Loadfmdfcdldemo/rstmdldfm/

保存按用户选择的负荷效应类型,输出负荷效应模型格网时序文件loadfwm_???.扩展名??? = ksi, gra, rga, dft, vdf, dph, dpr, nmh, grr或hgd, 分别表示高程异常、地面重力、扰动重力、地倾斜向量、垂线偏差向量、水平位移向量、地面径向、地面正(常)高、重力梯度或水平重力梯度向量格网文件。

*为实例化后的负荷球谐系数模型时间序列文件的通配符,以标识负荷形变效应值的采样历元时刻。

** 按通配符搜索到的负荷球谐系数模型时序文件:

```

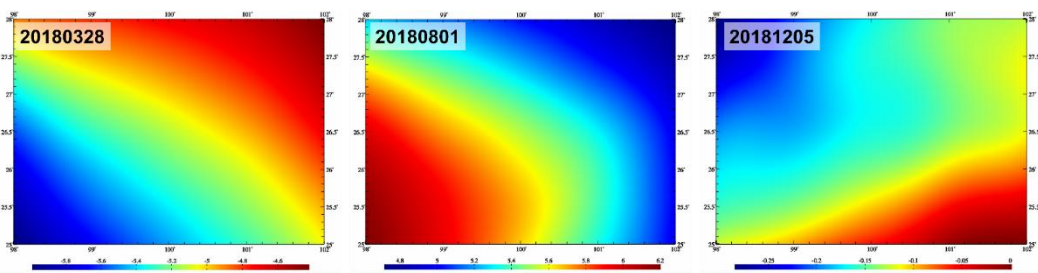
C:/ETIdeLoad4.5_win64cn/examples/Loadfmdfcdldemo/sphcmodel1/Indwater20180313i.s.dat
C:/ETIdeLoad4.5_win64cn/examples/Loadfmdfcdldemo/sphcmodel1/Indwater20180328i.s.dat
C:/ETIdeLoad4.5_win64cn/examples/Loadfmdfcdldemo/sphcmodel1/Indwater20180530i.s.dat
C:/ETIdeLoad4.5_win64cn/examples/Loadfmdfcdldemo/sphcmodel1/Indwater20180801i.s.dat
    
```

模型最大计算阶数 360

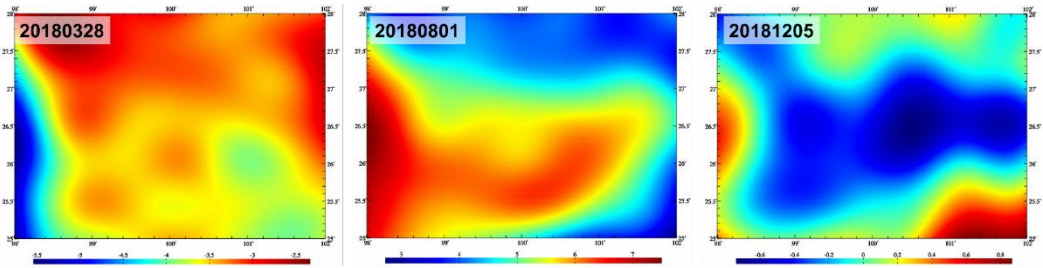
创建结果保存目录 参数设置结果输入 开始计算

The bottom section of the interface displays three maps of the region (approximately 25°N to 28°N, 98°E to 102°E):

- 高程异常变化(mm): Range from -3.3 to -2.9.
- 地面重力变化(μ Ga): Range from -3 to -1.
- 扰动重力变化(μ Ga): Range from -3.5 to -2.



1'x1'大地水准面土壤水负荷效应参考模型值(mm)格网时间序列



1'x1'地面重力土壤水负荷效应参考模型值 (μGal) 格网时间序列

调用[格格格值加权运算] (或[两组同规格格网时序文件加权运算]) 功能, 将结果区域 1'土壤水负荷形变场全要素参考模型值格网时间序列 loadfm*.???, 与负荷形变效应残差格网时间序列 rntSRBFs*.??? 直接相加, 生成区域高分土壤水负荷形变场全要素格网时间序列 soilloadfm*.???

两组同规格 (向量) 格网时间序列文件加权运算

两个同规格监测测量记录时序加权运算 | 系列点值文件生成监测测量记录时序 | **两组同规格格网时序文件加权运算** | 两组同规格向向量格网时序加权运算

打开第一组任一格网时序文件

设置文件名通配符: 9
 文件名中首个通配符序号: 8
 文件名中连续通配符总数: 8

打开第二组任一格网时序文件

设置文件名通配符: 9
 文件名中首个通配符序号: 8
 文件名中连续通配符总数: 8

选择运算方式: 相加 +
 权值设置: 权值一 1.00 | 权值二 1.00

计算过程 ** 操作提示

```

C:/ETideLoad4.5_win64cn/examples/Loadmfdfcalcdemo/rstmdldfm/loadfmd20180131 ksi
C:/ETideLoad4.5_win64cn/examples/Loadmfdfcalcdemo/rstmdldfm/loadfmd20180328 ksi
C:/ETideLoad4.5_win64cn/examples/Loadmfdfcalcdemo/rstmdldfm/loadfmd20180530 ksi
C:/ETideLoad4.5_win64cn/examples/Loadmfdfcalcdemo/rstmdldfm/loadfmd20180801 ksi
C:/ETideLoad4.5_win64cn/examples/Loadmfdfcalcdemo/rstmdldfm/loadfmd20181003 ksi
C:/ETideLoad4.5_win64cn/examples/Loadmfdfcalcdemo/rstmdldfm/loadfmd20181205 ksi
    
```

** 按通配符搜索到的第2组格网时序文件:

```

C:/ETideLoad4.5_win64cn/examples/Loadmfdfcalcdemo/rstrntdfm/rntSRBFs20180131 ksi
C:/ETideLoad4.5_win64cn/examples/Loadmfdfcalcdemo/rstrntdfm/rntSRBFs20180328 ksi
C:/ETideLoad4.5_win64cn/examples/Loadmfdfcalcdemo/rstrntdfm/rntSRBFs20180530 ksi
C:/ETideLoad4.5_win64cn/examples/Loadmfdfcalcdemo/rstrntdfm/rntSRBFs20180801 ksi
C:/ETideLoad4.5_win64cn/examples/Loadmfdfcalcdemo/rstrntdfm/rntSRBFs20181003 ksi
C:/ETideLoad4.5_win64cn/examples/Loadmfdfcalcdemo/rstrntdfm/rntSRBFs20181205 ksi
    
```

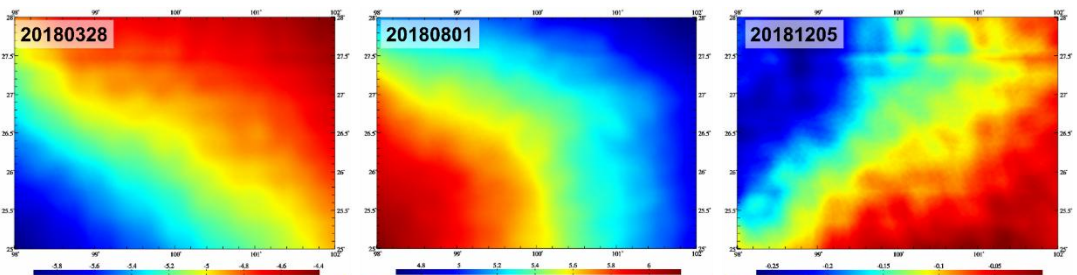
** 点击[开始运算]控件按钮, 或[开始运算]工具按钮.....

>> 开始时间: 2023-05-04 23:22:33

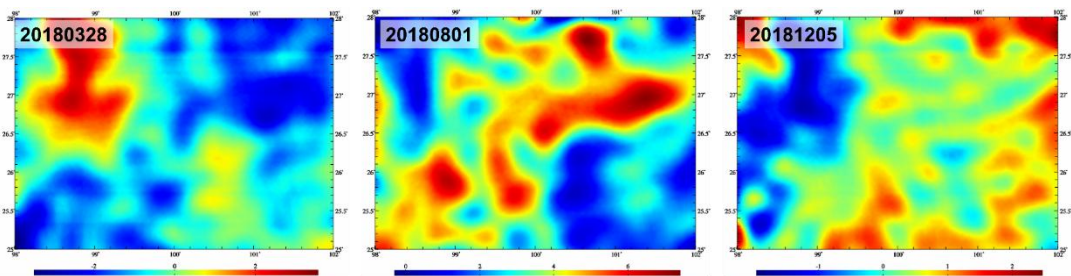
>> 完成两组同规格格网时序文件加权运算! 有6对格网时序文件参与计算。

输入输出数据显示:

98.000000	102.000000	25.000000	25.000000	0.01666667	0.01666667	20180131		
-0.0037	-0.0093	-0.0014	0.0034	0.0026	0.0049	0.0058	0.0072	0.0086
0.0176	0.0194	0.0207	0.0214	0.0239	0.0247	0.0270	0.0276	0.0246
0.0282	0.0273	0.0288	0.0289	0.0289	0.0239	0.0206	0.0205	0.0305
0.0342	0.0383	0.0388	0.0366	0.0366	0.0362	0.0362	0.0362	0.0383
0.0297	0.0297	0.0297	0.0217	0.0217	0.0188	0.0188	0.0139	0.0139
0.0142	0.017	0.017	0.0212	0.0212	0.026	0.026	0.0263	0.0263
0.0287	0.0287	0.0287	0.279	0.026	0.026	0.279	0.259	0.259
0.0293	0.028	0.028	0.309	0.0308	0.0308	0.309	0.319	0.319
0.0221	0.0238	0.0238	0.0212	0.0212	0.0212	0.0212	0.0207	0.0207
0.0266	0.0263	0.281	0.0282	0.0283	0.0270	0.281	0.0276	0.0276
0.0315	0.0316	0.0314	0.0314	0.0330	0.0343	0.0353	0.0356	0.0354
0.0369	0.0381	0.0388	0.0354	0.0379	0.0376	0.0385	0.0383	0.0390
0.0433	0.0432	0.0425	0.0440	0.0460	0.0473	0.0478	0.0462	0.0453
0.0465	0.0465	0.0435	0.0430	0.0426	0.0432	0.0447	0.0460	0.0473

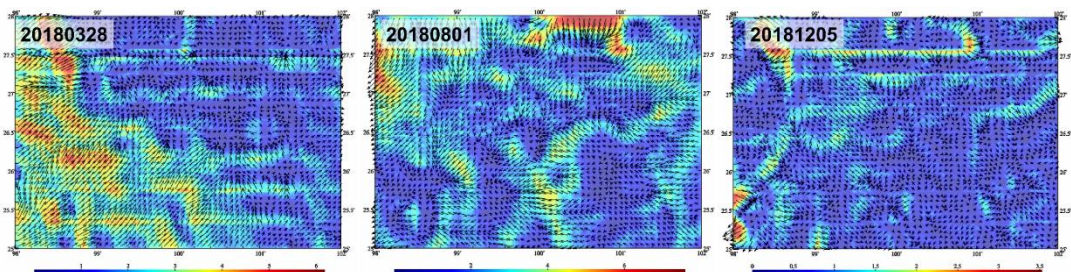


1'x1'大地水准面土壤水负荷效应(mm)格网时间序列成果

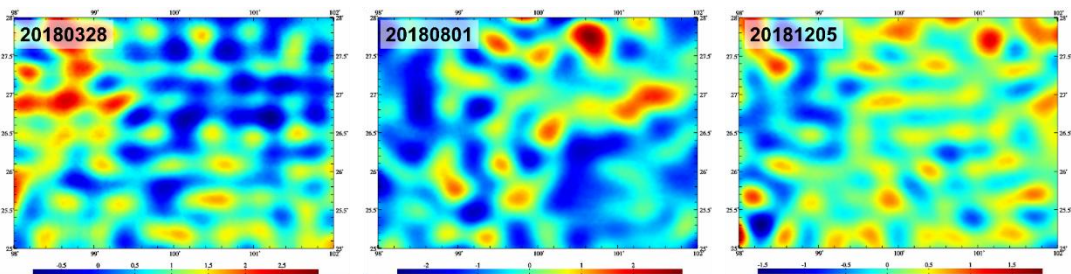


1'×1'地面重力土壤水负荷效应(μGal)格网时间序列成果

区域大气压、海平面变化负荷形变场全要素格网时间序列的计算流程完全相同。



1'×1'地倾斜向量土壤水负荷效应 (ms)格网时间序列成果



1'×1'重力梯度土壤水负荷效应 (mE)格网时间序列成果

ETideLoad4.5 负荷形变场 SRFB 逼近算法，可有效解决重力、地倾斜和重力梯度等扰动位微分量负荷格林函数的高阶振荡与不收敛问题、格林函数积分的频谱泄漏与奇异性问题。

地表环境负荷形变场，可用于精确标定大地测量卫星关键载荷，检核卫星大地测量监测能力，有效提升监测性能、质量、可靠性与精度水平。

将区域地表环境负荷形变场，用于 GNSS、水准、重力等各种高精度观测量的历元归算，可支撑多源异构大地测量基准实现与协同维持。

将地表环境负荷形变场，用于监测量历元归算与监测基准统一，是大地测量多源异质数据深度融合与多种异构技术协同监测的基本要求。