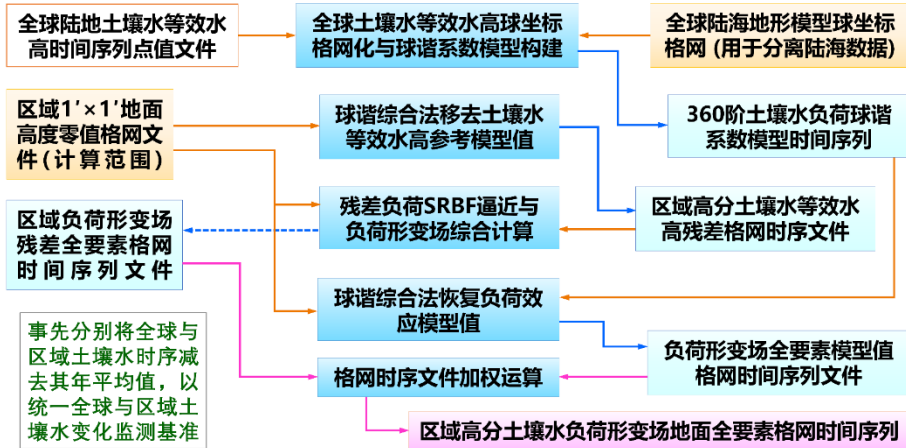


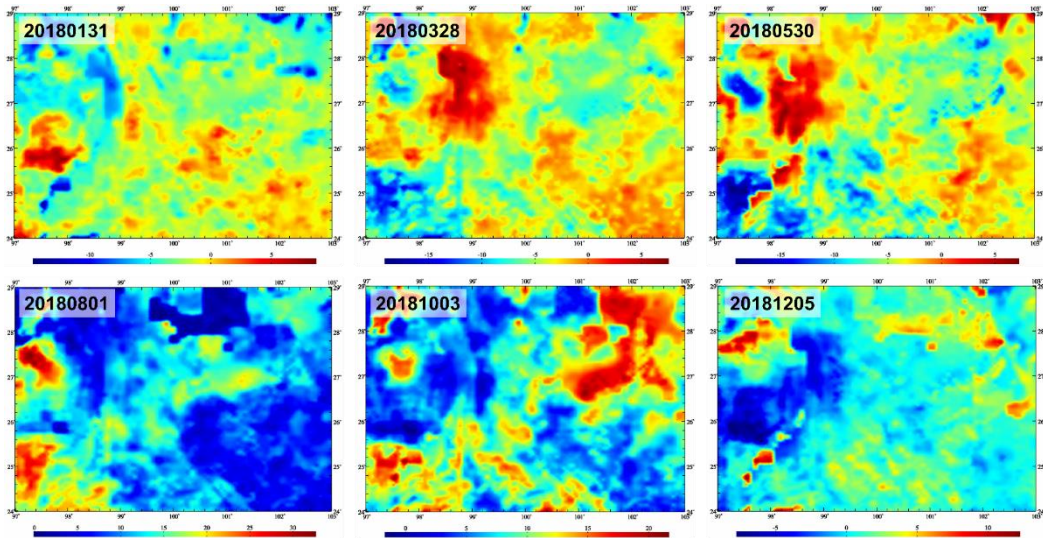
高分地表环境负荷形变场时序完整计算流程

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 sphETOP0nc30m.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

打开任一天球水球坐标格网文件 >> 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a 1.0 %
 迭代增量终止条件b 3.0 %

打开陆海地形球坐标格网文件

面函数定义在半径等于地球长半轴a的球面上

打开任一天球水球坐标格网文件 C:/ETideLoad4.5_win64cn/examples/Loadfmdfcdalcdemo/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/Loadfmdfcdalcdemo/sphETOP030m.dat.
 ** 创建结果文件保存目录C:/ETideLoad4.5_win64cn/examples/Loadfmdfcdalcdemo/sphcsmodel.
 ** 按通配符检索到球坐标格网时序文件:
 C:/ETideLoad4.5_win64cn/examples/Loadfmdfcdalcdemo/glsoilewh20180131cm.dat
 C:/ETideLoad4.5_win64cn/examples/Loadfmdfcdalcdemo/glsoilewh20180328cm.dat
 C:/ETideLoad4.5_win64cn/examples/Loadfmdfcdalcdemo/glsoilewh20180530cm.dat
 C:/ETideLoad4.5_win64cn/examples/Loadfmdfcdalcdemo/glsoilewh20180801cm.dat
 C:/ETideLoad4.5_win64cn/examples/Loadfmdfcdalcdemo/glsoilewh20181003cm.dat
 C:/ETideLoad4.5_win64cn/examples/Loadfmdfcdalcdemo/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负荷球谐系数模型文件Indwater***.cs.dat 迭代过程统计信息文件pro***.ini和残差格网文件rnt***.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

框口数据保存

阶数	GM (x 10 ¹⁴ m ³ /s ²)	a(m)	零阶项(cm)	相对误差(%)
1	3.986004418	6378137.00	0.5573	15.084
2	9.2457930065939986E-10	0.0000000000000000E+00	0.0000000000000000E+00	0.0000000000000000E+00
3	1.0268254779166223E-10	-4.7574877499471504E-11	2.2758.11	4.3
4	1.913350E-11	-9.9000930194071023E-11	2.769.5	5
5	3.372102E-09	0.0000000000000000E+00	2.782.2	6
6	3.6363130771720734E-10	3.5655990273019996E-10	2.782.2	6
7	3.6363130771720734E-10	3.5655990273019996E-10	2.782.2	6
8	3.6363130771720734E-10	3.5655990273019996E-10	2.782.2	6
9	3.6363130771720734E-10	3.5655990273019996E-10	2.782.2	6
10	3.6363130771720734E-10	3.5655990273019996E-10	2.782.2	6
11	3.6363130771720734E-10	3.5655990273019996E-10	2.782.2	6
12	3.6363130771720734E-10	3.5655990273019996E-10	2.782.2	6
13	3.6363130771720734E-10	3.5655990273019996E-10	2.782.2	6
14	3.6363130771720734E-10	3.5655990273019996E-10	2.782.2	6
15	3.6363130771720734E-10	3.5655990273019996E-10	2.782.2	6
16	3.6363130771720734E-10	3.5655990273019996E-10	2.782.2	6

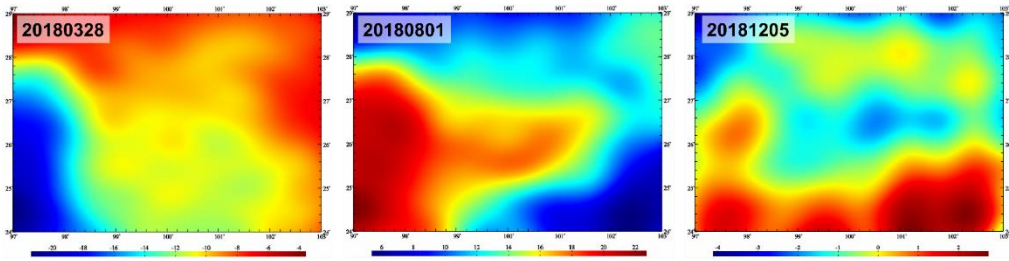
球谐系数阶数n等于格网在纬度方向格网数。如0.25°分辨率格网模型对应n=720。

迭代次数	残差平均值	标准差	最小值	最大值	
1	0	0.6721	3.2792	-46.8962	101.1671
2	1	0.0000	0.9831	-36.4558	79.2553
3	2	0.0000	0.6284	-29.5272	71.0895
4	3	0.0000	0.5630	-29.4247	68.2698
5	4	0.0000	0.5380	-30.4293	67.2374
6	5	0.0000	0.5247	-30.8438	66.8759
7	6	0.0000	0.5165	-31.0211	66.7593
8	7	0.0000	0.5109	-31.0974	66.7274
9	8	0.0000	0.5070	-31.1297	66.7218
10	9	0.0000	0.5039	-31.1430	66.7228
11	10	0.0000	0.5016	-31.1482	66.7244
12	11	0.0000	0.4997	-31.1503	66.7251
13	12	0.0000	0.4991	-31.1511	66.7250
14	13	0.0000	0.4988	-31.1516	66.7245
15	14	0.0000	0.4986	-31.1520	66.7237
16	15	0.0000	0.4985	-31.1520	66.7238
17	16	0.0000	0.4985	-31.1520	66.7238

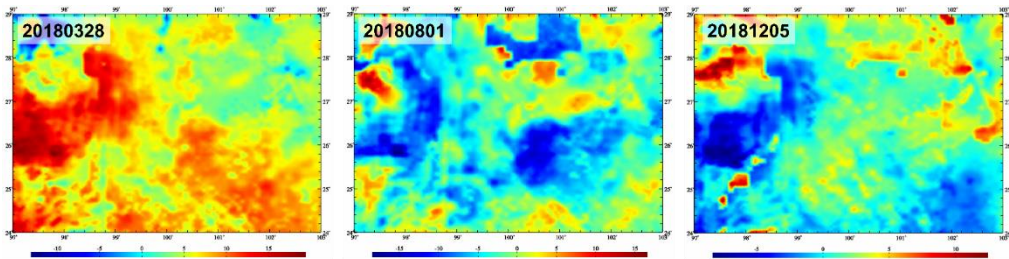
第二步：计算并移去全球土壤水等效水高参考模型值格网时序，构造区域高分土壤水等效水高残差格网时序。

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'x1'土壤水等效水高(cm)参考模型值格网时间序列



区域1'x1'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

地表现环境负荷等效水高模型值计算
负荷潮调和常数模型值计算
负荷等效水高模型值时间序列计算

选择计算点文件格式
计算格网文件

打开地面/海面高度格网文件

打开任一负荷球谐模型时序文件

设置系列文件名通配符

文件名中首个通配符序号 9

文件名中连续通配符总数 8

地表负荷 陆地水等效水高cm

设置模型最大计算阶数 360

计算过程 ** 操作提示

选择或创建结果文件目录 C:/EtldeLoad4.5_win64cn/examples/Loadmfdfcalcdemo/ewhmdl.

按通配符搜索到的负荷球谐系数模型时序文件:

C:/EtldeLoad4.5_win64cn/examples/Loadmfdfcalcdemo/sphmodel/lndwater[20180131].s.dat
 C:/EtldeLoad4.5_win64cn/examples/Loadmfdfcalcdemo/sphmodel/lndwater[20180228].s.dat
 C:/EtldeLoad4.5_win64cn/examples/Loadmfdfcalcdemo/sphmodel/lndwater[20180530].s.dat
 C:/EtldeLoad4.5_win64cn/examples/Loadmfdfcalcdemo/sphmodel/lndwater[20180801].s.dat
 C:/EtldeLoad4.5_win64cn/examples/Loadmfdfcalcdemo/sphmodel/lndwater[20181003].s.dat
 C:/EtldeLoad4.5_win64cn/examples/Loadmfdfcalcdemo/sphmodel/lndwater[20181205].s.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.....

计算过程需要等待... 期间可打开结果时序文件C:/EtldeLoad4.5_win64cn/examples/Loadmfdfcalcdemo/ewhmdl, 查看计算进度!

格网头文件中最后一个属性为实例例的球谐模型时序文件名通配符, 表示已完成该采样历元非潮汐负荷模型值计算。

开始时间: 2023-04-27 16:20:27

完成6个历元时刻负荷等效水高模型值计算!

结束时间: 2023-04-27 16:42:00

面谱函数定义在半径等于地球长半轴a的球面上

输入输出数据展示 ↓

GM(×10 ¹⁴ m ³ /s ²)	a(m)	零阶项(cm)	相对误差(%)
3.986004418	6378137.00	5.5725	14.965
0	9.2457894831377256E-09	0.0000000000	0.0000000000
2	1.0268261171846593E-09	-4.7574699109	
2	2.7890225156693954E-10	-9.9000746483	
2	2.6763122927756087E-09	3.5655984850	
3	2.12302259738841362E-09	5.4106063357	
3	-1.2507021949221179E-09	4.4504743416	
4	0 -8.9924002754411464E-10	0.0000000000	
4	1.45991119267751478E-09	5.5019279538	
4	2.7.6291238594266317E-10	6.8922342550	
4	3.7.7885942352571047E-10	2.8198192014	
4	4 -5.7623582418334400E-09	2.7893053434	

程序常用于负荷球谐系数模型移去恢复高分区域负荷潮效应精化, 和负荷球谐系数模型移去恢复高分区域负荷形变精化(参考模型值移去流程)。

受球谐系数阶次混响影响, 海平面变化、海潮调和常数模型值在近海陆地区域存在较小值, 陆地水等效水高模型值在近岸海域也存在较小值。

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 mtewh*.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 mtewh*.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, 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。

原始观测残差等效水高cm统计平均值	3.3563	标准差	2.4427	最小值	-8.4348	最大值	15.7512
第 0 次迭代残差等效水高cm统计平均值	-0.0078	标准差	0.6837	最小值	-5.1512	最大值	3.5556
第 1 次迭代残差等效水高cm统计平均值	0.0013	标准差	0.2514	最小值	-2.8204	最大值	2.1486

● 参数设置优化与累积逼近有效性原则：①负荷形变场连续收敛，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

地表环境负荷残差SRBF逼近与形变场综合计算 负荷残差时序SRBF逼近与负荷形变场时序计算 区域地表环境负荷SRBF分析与负荷形变场综合算法

选择计算点文件格式 计算图高格式 创建结果保存目录 计算信息保存

打开地图零值格网文件 C:/ETideLoad4.5_win64cn/examples/Loadmfcalcldemo/rntewh/wghcald/201803100.dat
 C:/ETideLoad4.5_win64cn/examples/Loadmfcalcldemo/rntewh/wghcald/20181003000.dat
 C:/ETideLoad4.5_win64cn/examples/Loadmfcalcldemo/rntewh/wghcald/20181205000.dat

打开任一等效水高残差格网时序文件 >> 选择结果保存目录：
 文件名中首个通配符序号 >> 参数设置完毕！进入系统！
 文件名中连续通配符总数 >> 点击[开始运算]按钮，或[开始运算]工具按钮.....
 设置首次SRBF逼近参数 >> 计算过程需要等待...期间可去结果时序文件目录C:/ETideLoad4.5_win64cn/examples/Loadmfcalcldemo/rntstrtdm/查看计算进度！
 >> 每个通配符文件文件名列于列后后的残差等效水高格网时序文件名通配符，表示该文件采样元的时间。

选择SRBF类型 径向多极子核 >> 开始时间: 2023-05-04 16:50:55
 多极次数 0 >> 0180131负荷等效水高逼近结果统计:
 最小阶数 180 原始测量量残差等效水高cm统计平均值 3.3563 标准差 2.4427 最小值 -8.4348 最大值 15.7512
 最大阶数 720 第 0 次迭代残差等效水高cm统计平均值 -0.0078 标准差 0.6537 最小值 -8.1512 最大值 3.5566
 Bjerhammar球面 20.0km 第 1 次迭代残差等效水高cm统计平均值 0.0013 标准差 0.2814 最小值 -2.8204 最大值 2.1486
 埋藏深度D
 SRBF中心作用距离 150km
 Reuter格网等级K 1800 >> 0180328负荷等效水高逼近结果统计:
 原始测量量残差等效水高cm统计平均值 6.8236 标准差 3.6424 最小值 -15.1111 最大值 19.4132
 第 0 次迭代残差等效水高cm统计平均值 -0.0291 标准差 0.8465 最小值 -7.5127 最大值 5.1767
 第 1 次迭代残差等效水高cm统计平均值 0.0046 标准差 0.3479 最小值 -3.5259 最大值 2.7438

选择法方程解算方法 LU三角分解法 设置累积逼近次数 1 参数设置输入 开始计算

选择SRBF逼近参数设置 选择法方程解算方法 LU三角分解法 设置累积逼近次数 1 参数设置输入 开始计算

提取负荷形变场 图形绘制

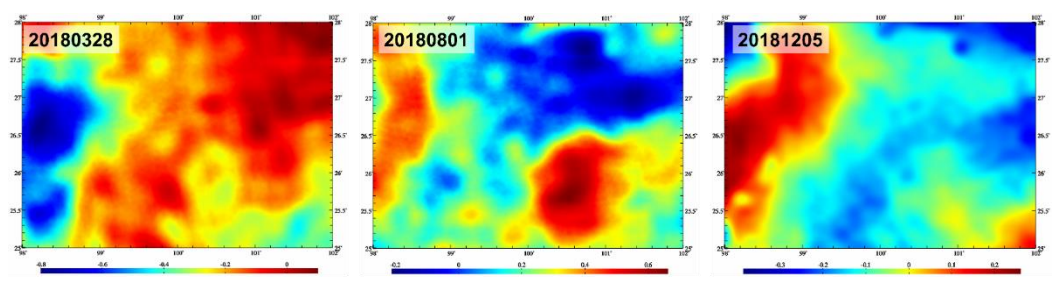
输入输出数据显示 1

高程异常变化mm 地面重力变化μGal 地面大地高变化mm 重力梯度径向mE

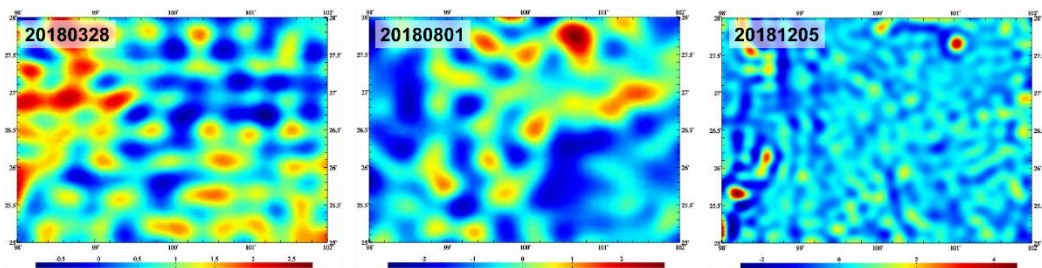
● 参数设置优化与累积逼近有效性原则: ① 负荷形变场空间连续可做, ② 负荷等效水高残差标准差明显减小, 残差统计平均值趋于零。

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。

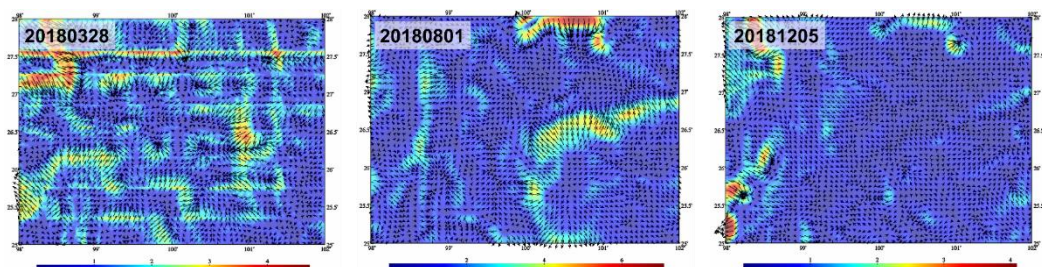
1'x1'地面重力土壤水负荷效应(μGal)残差格网时间序列



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

全球地表环境负荷形变场球谐综合算法

选择计算点文件格式

计算面高程格网

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

打开地面/海面高程格网文件

设置球谐系数模型时序文件名通配符

文件名中首个通配符序号 9

文件中连续通配符总数 8

选择影响类型

- 高程异常(mm)
- 地面重力(μGal)
- 扰动重力(μGal)
- 地轴斜(南/西向mas)
- 垂线偏差(南/西向mas)
- 水平位移(东/北向mm)
- 地面径向(大地高mm)
- 地面正(高)mm(μE)
- 扰动重力梯度(径向 $10\mu\text{E}$)
- 水平重力梯度(北/西向 $10\mu\text{E}$)

模型最大计算阶数 360

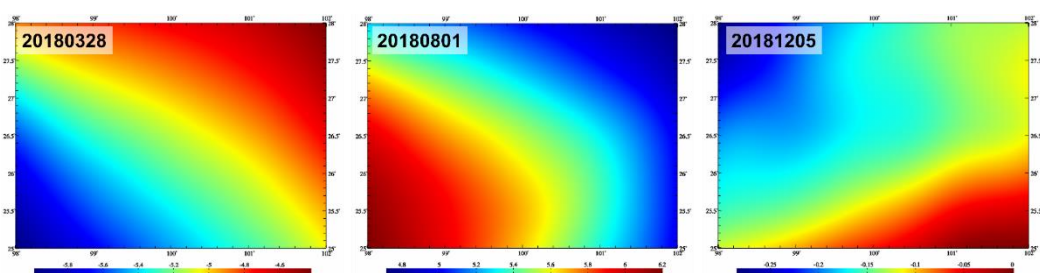
创建结果保存目录 参数设置结果输入 开始计算

加载球谐系数模型时序文件列表 (部分文件路径省略):

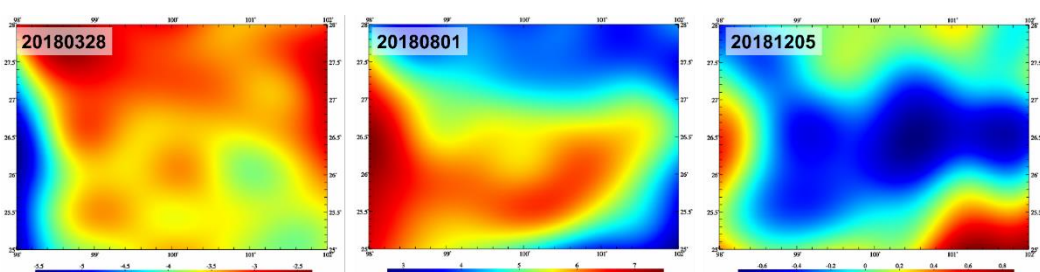
- C:/ETIdeload4.5_win64cn/examples/Loadfmdcalcdemo/sphsmodel/Indwater/20180328.dat
- C:/ETIdeload4.5_win64cn/examples/Loadfmdcalcdemo/sphsmodel/Indwater/20180328.s.dat
- C:/ETIdeload4.5_win64cn/examples/Loadfmdcalcdemo/sphsmodel/Indwater/20180328.dft
- C:/ETIdeload4.5_win64cn/examples/Loadfmdcalcdemo/sphsmodel/Indwater/20180328.vdf
- C:/ETIdeload4.5_win64cn/examples/Loadfmdcalcdemo/sphsmodel/Indwater/20180328.dph
- C:/ETIdeload4.5_win64cn/examples/Loadfmdcalcdemo/sphsmodel/Indwater/20180328.dpr
- C:/ETIdeload4.5_win64cn/examples/Loadfmdcalcdemo/sphsmodel/Indwater/20180328.rmi
- C:/ETIdeload4.5_win64cn/examples/Loadfmdcalcdemo/sphsmodel/Indwater/20180328.grr
- C:/ETIdeload4.5_win64cn/examples/Loadfmdcalcdemo/sphsmodel/Indwater/20180328.hgd
- C:/ETIdeload4.5_win64cn/examples/Loadfmdcalcdemo/sphsmodel/Indwater/20180328.gra
- C:/ETIdeload4.5_win64cn/examples/Loadfmdcalcdemo/sphsmodel/Indwater/20180328.rga

提取负荷形变 图形绘制

高程异常变化(mm) 地面重力变化(μGal) 扰动重力变化(μGal)



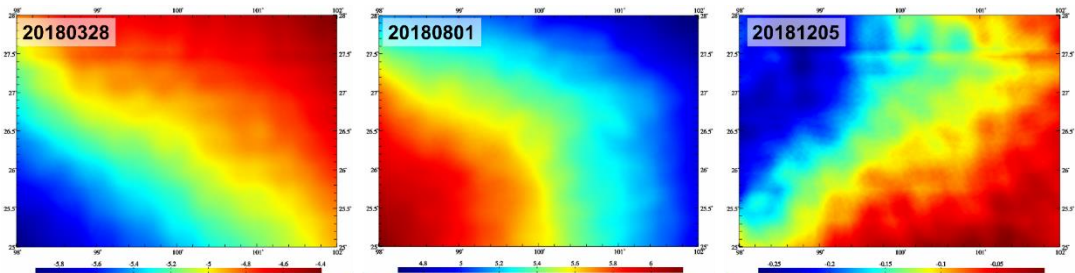
1'x1'大地水准面土壤水负荷效应参考模型值(mm)格网时间序列



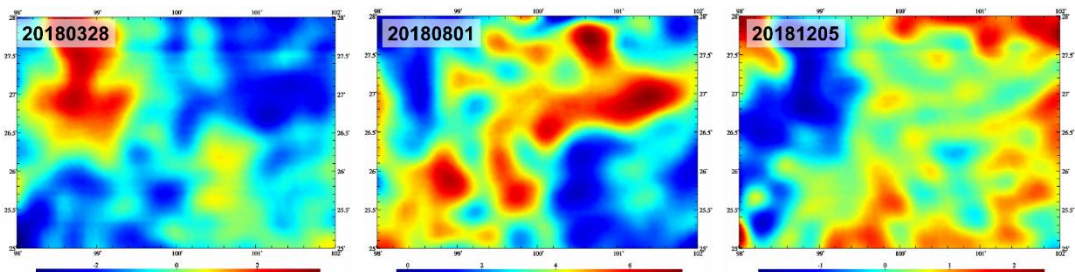
1'x1'地面重力土壤水负荷效应参考模型值 (μGal)格网时间序列

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 $soilloadfm*.???$ 。

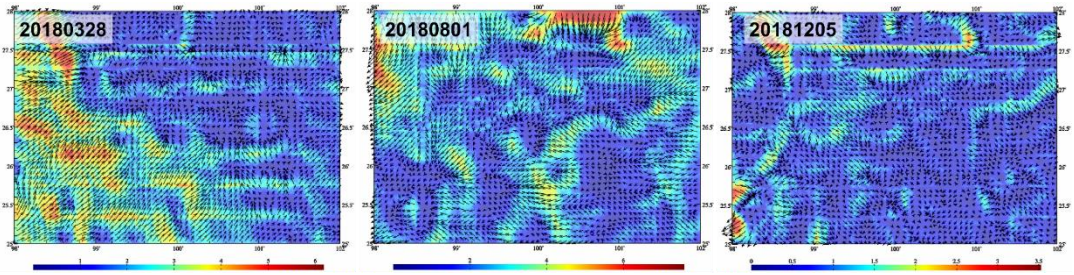


1'x1'大地水准面土壤水负荷效应(mm)格网时间序列成果

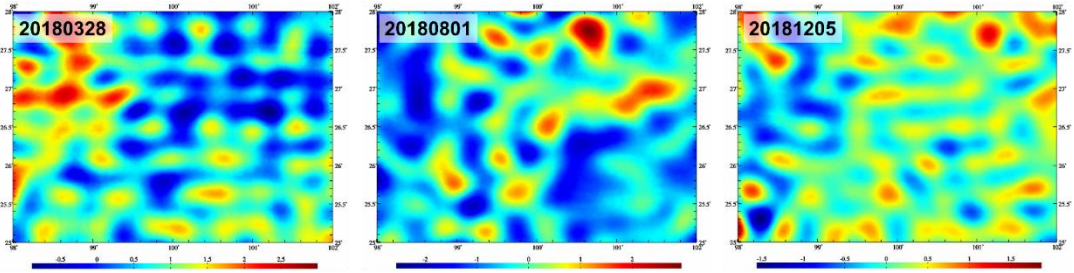


1'x1'地面重力土壤水负荷效应(μGal)格网时间序列成果

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。