

www.zcyphygeodesy.com

地球潮汐负荷影响与形变监测计算系统

ETideLoad4.0 参考说明书

课堂教学 独立自学 应用计算 科学研究



中国测绘科学研究院

二 〇 二 二 年 二 月

摘 要

地球潮汐负荷影响与形变监测计算系统 (Geodetic Computation for Earth Tide, Load Effects and Deformation Monitoring) ETideLoad4.0, 一种地球物理大地测量监测科学计算大型 Windows 程序包, 由大地测量全要素各类潮汐影响计算, 非潮汐大地测量时序处理分析, 高分负荷形变场及时变重力场逼近计算, CORS/InSAR 协同监测与地面稳定性估计, 以及大地测量数据编辑计算与可视化五大子系统有机构成。

ETideLoad4.0 科学目标是, 采用一致的地球物理模型和统一的数值标准, 构造相容的大地测量与地球动力学算法, 精确计算地面及固体地球外部各种几何物理大地测量的各类潮汐与非潮汐形变效应, 统一多源异构大地测量时空监测基准和参考历元, 构建其相互之间几何物理大地测量约束, 精化多种监测量之间时空动力学关系, 推进空天地海多种监测技术协同。为几何物理大地测量时空监测基准的构建维持, 多源异构地球监测数据的深度融合, 固体地球形变效应的监测计算, 以及地表水文环境、地质灾害与地面稳定性的变化监测, 提供一套科学实用的大地测量地球动力学算法系统。

ETideLoad4.0 适合大地测量、地球物理、地质环境灾害、水文动力学、卫星动力学、地震与地球动力学等领域高年级本科生、研究生、科研和工程技术人员, 兼顾课堂教学、自学练习、应用计算与科学研究多层次需要。用户可按需设计个性化技术流程, 灵活组织有关程序及模块, 完成地面及固体地球外部各种潮汐/非潮汐影响监测计算, 全球或区域形变场/时变重力场/地面稳定性/陆地水/地表动力环境变化监测, 以及多源异构大地测量深度融合等计算工作。

关键词: 大地测量; 地球物理; 固体潮; 负荷形变; 协同监测; 地下水; 地面稳定性; 地质灾害。

<https://www.zcphygeodesy.com>

技术支持: 章传银, 王伟, 蒋涛

中国测绘科学研究院, 100036

北京市海淀区 莲花池西路 28 号

联系电话 (010) 63880705/0703

13240330136/18600110108/13910496532

zhangchy@casm.ac.cn/QQ916601604

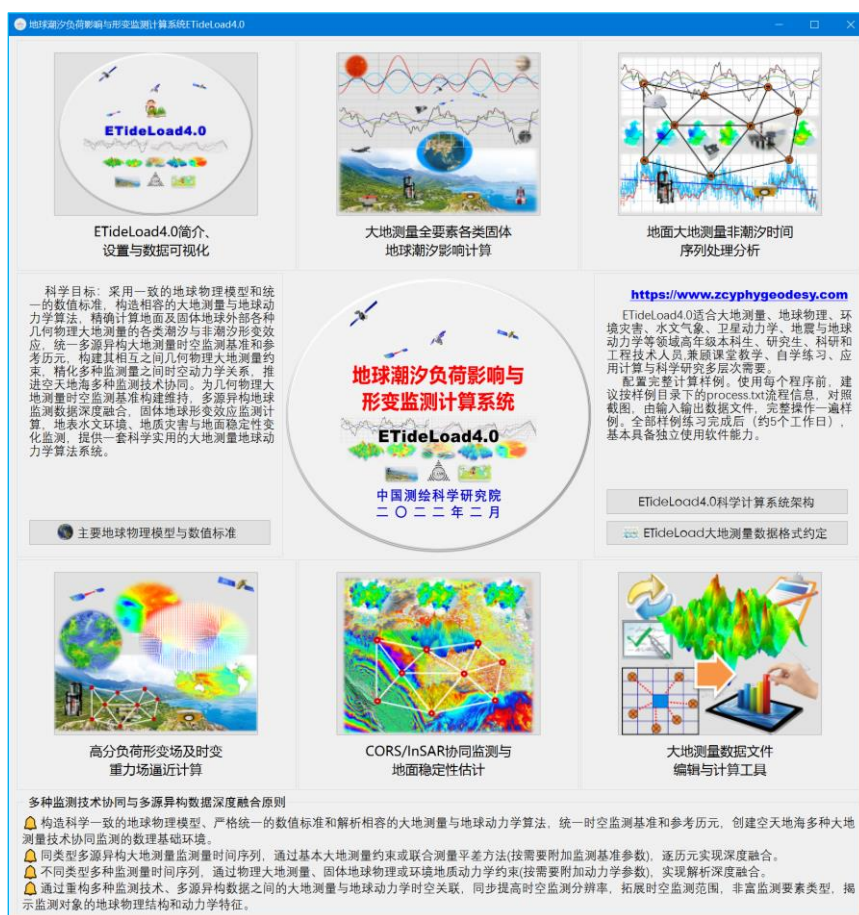
目 录

第一章 ETideLoad4.0 架构、特色与理念	1
1.1 ETideLoad4.0 系统架构	1
1.2 ETideLoad4.0 大地测量监测量约定	5
1.3 ETideLoad4.0 科学目标与技术特色	6
1.4 ETideLoad4.0 重要概念与特色理念	6
1.5 ETideLoad4.0 协议、学习与使用	9
第二章 大地测量全要素各类地球潮汐影响计算	12
2.1 地面及固体地球外部精密固体潮影响计算	12
2.2 地面及固体地球外部海潮负荷球谐综合	16
2.3 地面及固体地球外部大气潮负荷球谐综合	19
2.4 地面及地球外部极移与海洋极潮影响计算	22
2.5 永久潮汐影响计算与地球质心运动校正	24
2.6 大地测量控制网固体潮负荷潮影响计算	25
2.7 近地空间负荷潮影响格林积分法区域精化	27
2.8 地面大地测量全要素潮汐影响全球预报	30
第三章 地面大地测量非潮汐时间序列处理分析	33
3.1 地面监测量不规则时序粗差分离与处理	33
3.2 监测量不规则时序低通滤波与信号重构	37
3.3 不规则采样时序加权差分积分插值运算	39
3.4 大地测量监测网批量时间序列规格化	42
3.5 大地测量监测站网批量时序分析处理	44
3.6 地面大地监测网记录时序构造与分析	46
3.7 监测量（向量）格网时间序列处理分析	48
3.8 格网时序多种形式时空插值推估运算	50
第四章 高分负荷形变场及时变重力场逼近计算	54
4.1 全球地表环境负荷格网时间序列球谐分析	54
4.2 分潮球谐分析与负荷潮球谐系数模型构建	58
4.3 球谐综合法模型等效水高与调和常数计算	61
4.4 球谐综合法负荷形变场及时变重力场计算	64
4.5 负荷形变及时变重力场格林积分区域逼近	69
4.6 多源大地测量监测网陆地水时空变化估计	74
4.7 CORS/InSAR 融合的高分陆地水变化估计	76
4.8 地面形变场（向量）格网时序动力学运算	77

第五章 CORS/InSAR 协同监测与地面稳定性估计	80
5.1 大地监测网记录时序多站拟稳约束平差	81
5.2 InSAR 监测量粗差探测与空间形变分析	82
5.3 CORS 网控制 InSAR 时空协同监测处理	84
5.4 多源异构 InSAR 的深度融合与时序分析	88
5.5 垂直形变格网时序地面稳定性变化计算	91
5.6 重力变化格网时序地面稳定性变化计算	93
5.7 向量变化格网时序地面稳定性变化计算	95
5.8 稳定性变化时序的优化与时空特征整合	96
第六章 大地测量数据文件编辑、计算与可视化	99
6.1 文本记录数据标准化提取	99
6.2 数据插值、提取与区域分离	100
6.3 数据文件的简单直接运算	103
6.4 同规格时间序列文件编辑运算	104
6.5 区域数据格网生成与构造	106
6.6 向量格网文件构造与转换	108
6.7 大地测量数据统计信息提取	109
6.8 粗差探测与加权基函数格网化	110
6.9 大地测量数据可视化绘图工具	114
第七章 文件格式、地球物理模型与数值标准	119
7.1 ETideLoad4.0 大地测量数据文件	119
7.2 稳态大地测量数据文件约定格式	119
7.3 大地测量时间序列文件约定格式	121
7.4 主要地球物理模型与数值标准	124
第八章 ETideLoad4.0 主要算法及公式	129
8.1 地面及地球外部大地测量固体潮影响	129
8.2 地面及地球外部大地测量极移影响	131
8.3 全球负荷形变场球谐综合算法公式	133
8.4 全球负荷潮规格化球谐系数模型算法	137
8.5 地面大地测量负荷格林函数积分算法	139
8.6 勒让德函数及其一、二阶导数算法	144
ETideLoad4.0 科学计算程序功能索引	146
样例目录名与可执行程序名对照列表	153

第一章 ETideLoad4.0 架构、特色与理念

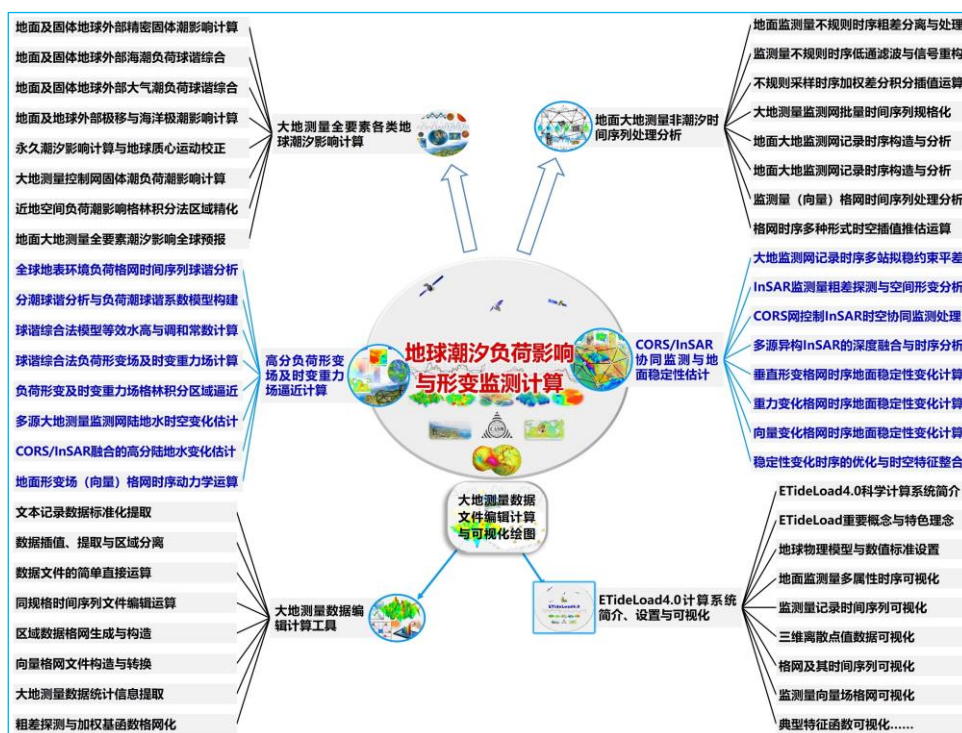
地球潮汐负荷影响与形变监测计算系统 ETideLoad4.0 (Geodetic Computation for Earth Tide, Load Effects and Deformation Monitoring), 一种地球物理大地测量监测科学计算的大型 Windows 系统程序包, 旨在采用科学一致的地球物理模型和严格统一的数值标准, 构造解析相容的大地测量与地球动力学算法, 精确计算地面及固体地球外空间各种大地测量观测量及参数的多种潮汐/非潮汐影响, 确定与精化全球或区域形变场及时变重力场, 实现地表动力环境与地面稳定性变化定量监测, 以促进多种大地测量监测技术协同与多源异构大地测量深度融合。



1.1 ETideLoad4.0 系统架构

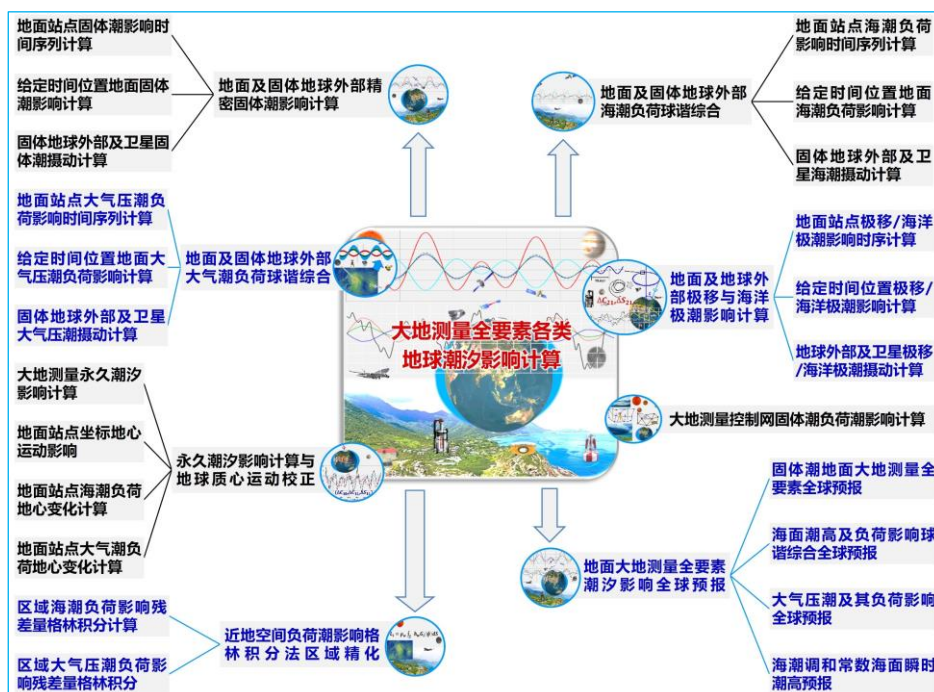
1.1.1 ETideLoad4.0 总体结构

ETideLoad4.0 由大地测量全要素各类固体地球潮汐影响计算, 地面大地测量非潮汐时间序列处理分析, 高分负荷形变场及时变重力场逼近计算, CORS/InSAR 协同监测与地面稳定性估计, 以及大地测量数据编辑计算与可视化五大子系统有机构成。软件系统设计兼顾课堂教学、独立自学、应用计算与科学研究等多层次需要。



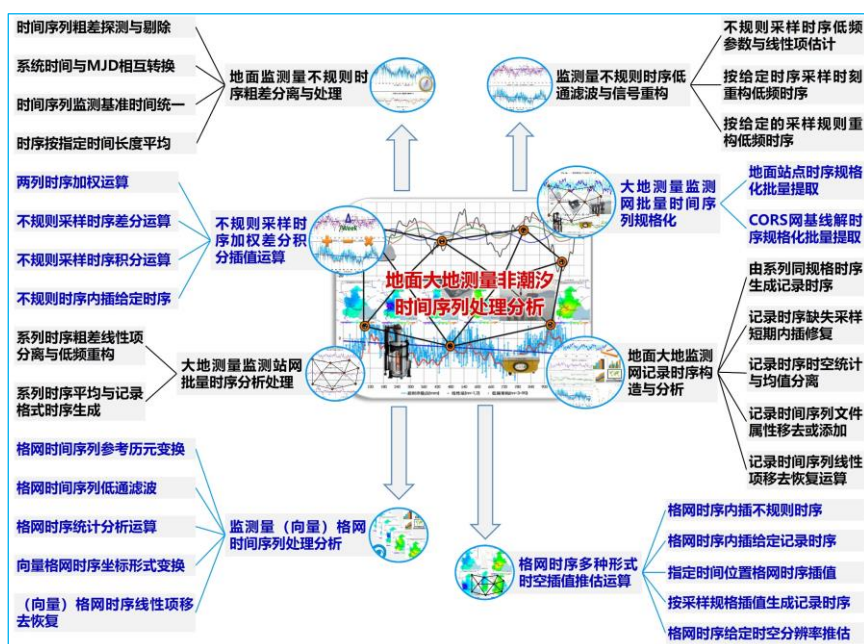
1.1.2 大地测量全要素各类地球潮汐影响计算

采用一致的地球物理模型、统一的数值标准和相容的大地测量和地球动力学算法，实现地面及固体地球外部各种大地测量固体潮、海潮和大气潮负荷影响的高精度统一计算，既是多种大地监测技术协同的重要基础，也是多源地球数据深度融合的必要条件。



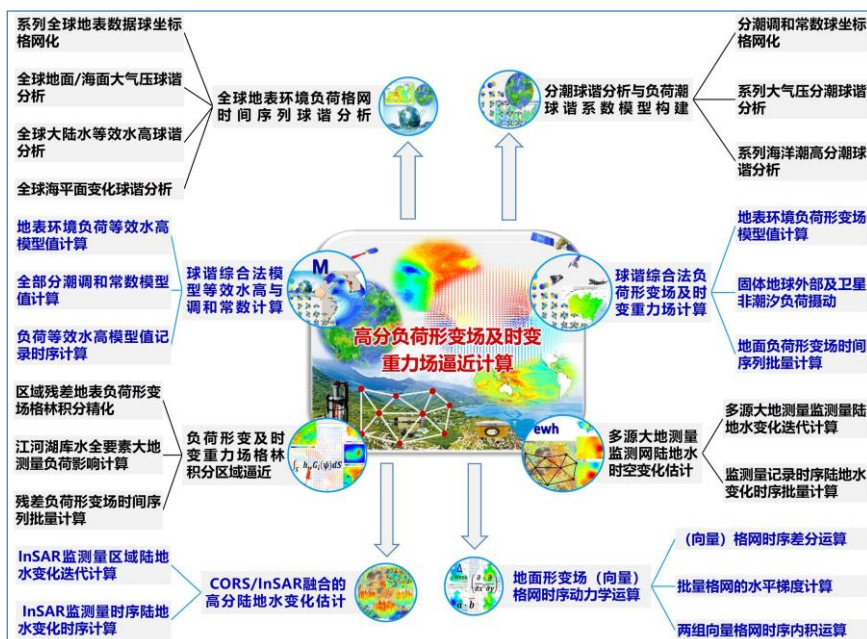
1.1.3 地面大地测量非潮汐时间序列处理分析

非潮汐时间序列处理分析程序集，基于非潮汐大地测量时序特点，采用稳定可靠的时序处理分析算法，规模化统一处理分析不同来源的时序数据。

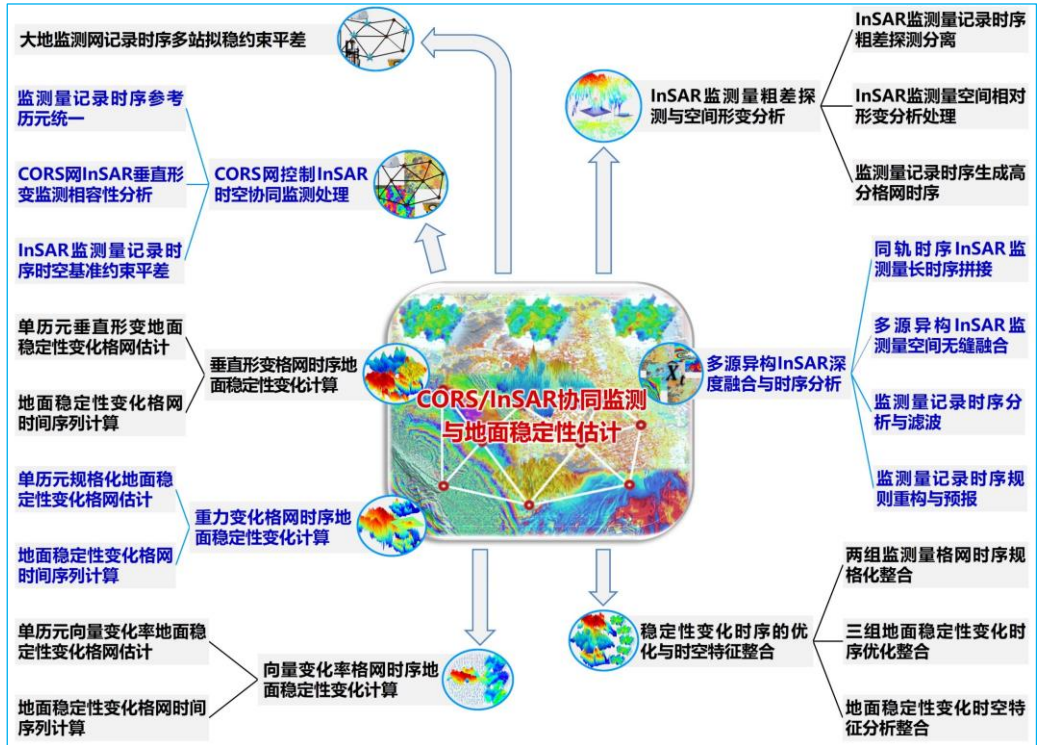


1.1.4 高分负荷形变场及时变重力场逼近计算

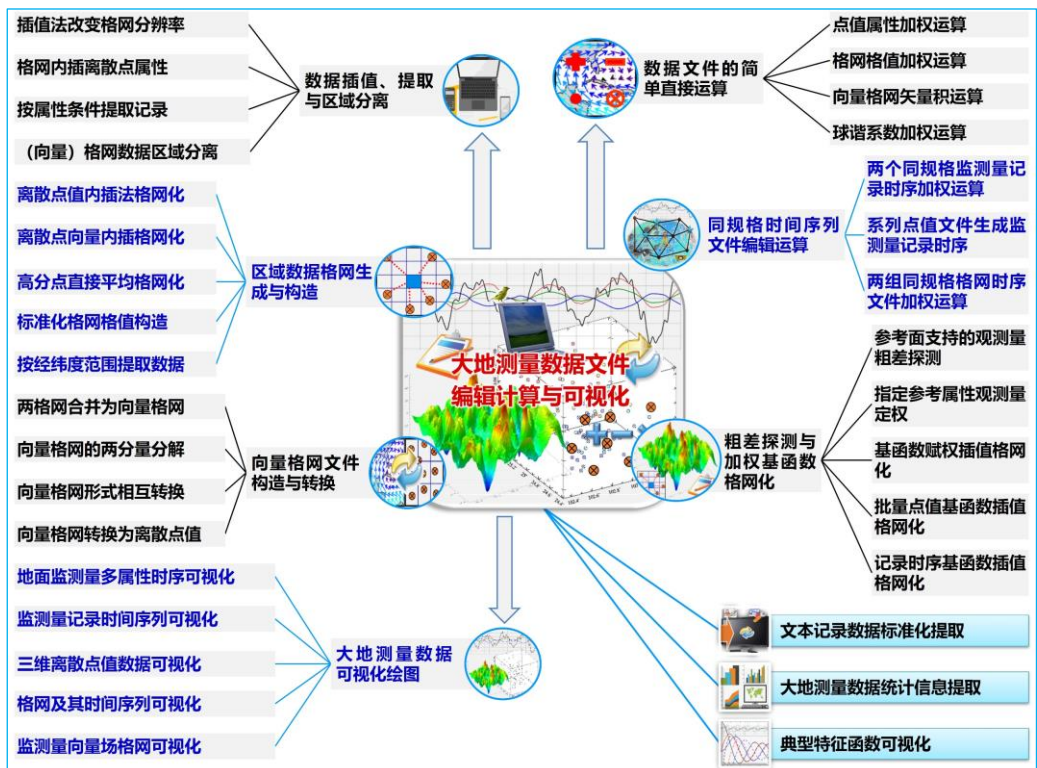
地球表层大气、海平面、土壤水、地下水、江河湖库水和冰川冰盖雪山等环境负荷非潮汐变化，导致固体地球形变，既引起所有类型几何物理大地测量观测量和参数随时间变化，又能被空天地海多种大地测量监测技术定量捕获。



1.1.5 CORS/InSAR 协同监测与地面稳定性估计



1.1.6 大地测量数据文件编辑、计算与可视化



1.2 ETideLoad4.0 大地测量监测量约定

因技术需要，ETideLoad 约定了大地测量监测量概念。大地测量监测量定义为当前历元时刻的大地测量观测量或参数，与其一段时间内观测量或参数的平均值或某一参考历元时刻大地测量观测量或参数之差。

大地测量监测量通常用大地测量观测量或参数变化（特指时间差分）表示。如地面重力变化、地倾斜向量变化分别表示地面重力监测量和地倾斜监测量。

1.2.1 监测量类型及单位约定

(1) 高程异常/大地水准面变化 (mm, 毫米)、地面重力/扰动重力变化 (μGal , 微伽)、地倾斜/垂线偏差变化 (mas, $0.001''$ /毫角秒);

(2) 地面水平位移 (东向/北向, mm)、地面径向位移 (大地高变化 mm)、地面正(常)高变化 (mm);

(3) 扰动重力梯度变化 ($10\mu\text{E}$)、水平重力梯度变化 (北向/东向 $10\mu\text{E}$);

(4) 卫星轨道重力位摄动 ($0.1\text{m}^2/\text{s}^2$)、重力摄动及其三维分量变化 (μGal)、扰动重力梯度摄动对角线三分量变化 ($10\mu\text{E}$);

(5) 陆地水负荷等效水高变化 (cm)、海平面变化 (cm)、海洋潮高 (cm) 和大气压变化 (hPa)。

1.2.2 监测量向量方向约定

(1) 地倾斜/垂线偏差变化 SW。第一分量指南方向，第二分量指向西方向，与地面重力/扰动重力方向构成右手直角坐标系，即自然坐标系；

(2) 站点水平位移 EN。第一分量指向东方向，第二分量指向北方向，与径向位移(大地高变化)方向构成右手直角坐标系，即东北天坐标系；

(3) 水平重力梯度变化 NE。第一分量指向北方向，第二分量指向东方向，与扰动重力梯度方向(铅垂线方向)构成右手直角坐标系；

(4) 分潮调和常数。第一分量为同相幅值(余弦分量)，第二分量为异相幅值(正弦分量)。

1.2.3 时间(日期)格式约定

ETideLoad4.0 时间(日期)采用格林尼治时间(零时区)。格式有两种形式，一种以 JD2400000.5 为零点的 MJD 天(GPS 时间, J2000.0 对应 MJD=51544.5), 一种为 ETideLoad 约定的长整型。

大多数情况下，ETideLoad4.0 时间序列的采样历元时刻和参考历元采用约定的长整型。如 20181224122642 表示 2018 年 12 月 24 日 12 时 26 分 42 秒，2018122412 表示 2018 年 12 月 24 日 12 时 0 分 0 秒，20181224 表示 2018 年 12 月 24 日 0 时 0 分 0 秒，而 201812、2018 不是有效的 ETideLoad4.0 约定格式时间。

1.3 ETideLoad4.0 科学目标与技术特色

1.3.1 ETideLoad4.0 科学目标

(1) 采用一致的地球物理模型和统一的数值标准，构造相容的大地测量与地球动力学算法，精确计算地面及固体地球外部各种几何物理大地测量的各类潮汐与非潮汐形变效应。

(2) 统一多源异构大地测量时空监测基准和参考历元，构建其相互之间几何物理大地测量约束，精化多种监测量之间时空动力学关系，推进空天地海多种监测技术协同。

(3) 为几何物理大地测量时空监测基准构建维持，多源异构地球监测数据深度融合，固体地球形变效应监测计算，地表水文环境、地质灾害与地面稳定性变化监测，提供一套科学实用的大地测量地球动力学算法系统。

1.3.2 ETideLoad4.0 技术特色

(1) 严格采用科学统一的标准与解析相容的算法，精密计算地面及固体地球外部空间点（泛指海洋、低空和卫星等不与地球固连的空间点）全要素大地测量观测量和参数的固体潮、海潮及大气潮负荷效应，非潮汐极移效应，永久潮汐影响与地球质心运动，实现地面全要素大地测量各类潮汐影响全球预报。

(2) 计算大气、海平面、土壤水、江河湖库水和冰川冰盖雪山等地表环境负荷非潮汐变化导致的全球或区域非潮汐负荷形变场及时变重力场；综合多种大地测量监测量时序，基于固体地球形变理论，同化地表环境负荷观测数据，监测区域陆地水时空变化，精化高分负荷形变场及时变重力场时序。

(3) 构建区域统一、长期稳定、高抗差性能的几何物理时空监测基准，开展 CORS 网、多源异构 InSAR 及多种大地测量协同监测与解析深度融合的科学计算；按客观自然规律，由大地测量几何物理场时序，构造地面稳定性降低定量辨识准则，实现地面稳定性变化空间无缝、时间持续的定量监测。

1.4 ETideLoad4.0 重要概念与特色理念

1.4.1 多种监测技术协同与多源数据深度融合原则

(1) 构造科学一致的地球物理模型、严格统一的数值标准和解析相容的大地测量与地球动力学算法，统一时空监测基准和参考历元，创建空天地海多种大地测量技术协同监测的数理基础环境。

(2) 同类多源异构大地测量监测量时间序列，通过基本大地测量约束或联合测量平差方法（按需要附加监测基准参数），逐历元实现深度融合。

(3) 不同类型多种监测量时间序列，通过物理大地测量、固体地球物理或环境地质动力学约束（按需要附加动力学参数），实现解析深度融合。

(4) 通过重构多种监测技术、多源异构数据之间的大地测量与地球动力学时空关联，同步提高时空监测分辨率，拓展时空监测范围，丰富监测要素类型，揭示监测对象的地球

物理结构和动力学特征。

1.4.2 固体地球潮汐形变及其大地测量潮汐效应

(1) 地球外部天体引潮位、海潮及大气潮，引起固体地球形变和地球重力场随时间变化，称为固体地球的潮汐形变。

(2) 通常将地球外部天体引潮位、海潮及大气潮引起的大地测量观测量或参数的周期性变化，称为该观测量或参数的潮汐效应（也称潮汐影响）。

(3) 大地测量潮汐影响包括固体潮影响和负荷潮影响。固体潮影响是引潮位引起的大地测量观测量或参数变化，负荷潮影响是海潮负荷或大气潮负荷引起的大地测量观测量或参数变化。

(4) 大地测量潮汐影响是可以模型化的，能够随时随地精确地移去或恢复。大地测量潮汐影响等于其潮汐改正数的负值。

只进行潮汐影响改正，而不考虑非潮汐影响的大地测量参考框架，仍是静态或稳态的。如精密水准控制网和重力控制网，虽然其观测量都经过潮汐改正，但它们仍是稳态的大地测量框架。

1.4.3 固体地球非潮汐形变形式及大地测量影响

(1) 地球表层系统（简称地表）中的土壤及植被水、江河湖库水、冰川冰盖雪山、地下水、大气与海平面变化等环境负荷非潮汐变化，引起地球重力位变化，同步激发固体地球形变，综合表现为地面垂直形变、地面重力及地倾斜变化，称为固体地球的负荷形变，包括地球重力场随时间变化。

(2) 地下水利用、地下资源开采、地下工程建设、冰川冰盖消融以及其他自然或人工地表质量大方量变动，致使表层岩土失去原有平衡，在自身重力或内应力作用下，缓慢趋向另一平衡状态，引起地面塑性均衡垂直形变。

(3) 地面负荷垂直形变由地表环境负荷质量变化（或重新分布）激发，作用于整个固体地球，属于弹性形变，可用负荷勒夫数定量表征；地面塑性垂直形变由人类活动或自然环境因素诱发，动力作用位于地下岩土，并以岩土自身为力学介质传递，是一种缓慢的塑性均衡垂直形变。

(4) 极移是移去固体潮和负荷潮影响后，瞬时地极相对于某参考历元时刻（如 J2000.0）地极的位置偏移。极移影响和地心运动都是非潮汐影响。非潮汐影响难以模型化，一般采用大地测量技术测定。快速或实时应用需要时，可将实测结果进行短期预报推估。

顾及非潮汐影响的大地测量参考框架只能是动态的，动态参考框架基准值对应具体唯一的参考历元时刻。当前历元参考框架点的基准值，需在其参考历元基准值的基础上，增加一项当前历元非潮汐影响相对于参考历元非潮汐影响的差异的校正，这项校正称为（非潮汐影响）历元归算。

1.4.4 地面垂直形变形式及时空动力学定量特征

地面垂直形变（地面沉降）有 3 种形式，即弹性负荷垂直形变、塑性均衡垂直形变与局部构造垂直形变。后两者也称非负荷垂直形变，都属于塑性形变。

(1) 负荷垂直形变，由地表环境负荷质量变化激发，引起地球重力位变化（直接影响），经固体地球的弹性动力作用，导致固体地球形变（间接影响，用负荷勒夫数表征），在监测区内表现为与负荷变化时间同步的地面垂直形变和重力场变化。其时变特征与地表环境负荷变化相似，表现为复杂的非线性和准周期性。

(2) 均衡垂直形变，通常表现为环境地质动力作用破坏地下岩土原有的平衡状态后，岩土在自身重力或内应力作用下，缓慢趋近于另一平衡状态的动力学过程。如：地下空隙岩土失水后的压实效应与渗/注水后的膨胀效应，地下工程建设引发的上方围岩形变，以及地表质量迁移后（冰雪消融、水土流失和地基开挖）的地面塑性回弹。

- 均衡垂直形变空域动力学定量特征：动力作用点位于地下岩土内部，均衡调整对象为动力作用点上方的岩土层，均衡调整空间影响角约为 45° ，即地面形变的空间影响半径约等于地下作用点的埋藏深度。

- 均衡垂直形变时域动力学定量特征：均衡调整持续时间与动力作用点埋藏深度近似成正比，在数年时间尺度上均衡垂直形变量与其加速率符号相反，在数月内表现为短期线性时变。

(3) 构造垂直形变，由板块水平运动驱动，仅作用于压缩性断裂带附近。构造垂直形变大小随离开断裂带的距离快速衰减至零，空间影响半径与构造深度相当。在百年时间尺度上，构造垂直形变速率基本保持不变。

1.4.5 负荷形变场及时变重力场的表示与逼近方法

(1) 非潮汐负荷影响可用地球重力场变化唯一表示。地球重力场参数非潮汐负荷影响之间的关系，与地球重力场参数之间的关系完全一致。

(2) 全球地球重力场可用地球重力位系数模型表示，同样全球负荷形变场及时变重力场可用全球负荷球谐系数模型表示。

(3) 已知地球重力位系数模型，可计算地球外部任意点的各种重力场参数，同样，已知负荷球谐系数模型，可计算固体地球外部任意点各种大地测量参数的负荷效应。

(4) 局部重力场（大地水准面）可采用移去恢复法逼近。同样，区域非潮汐负荷影响（负荷形变场及时变重力场）也能采用移去恢复方法精化。

地球重力场逼近理论是线性的，同样，弹性（线性粘弹性）负荷形变理论也是线性的。例如，将大气、陆地水和海平面变化统一用等效水高表示，分别由大气、大陆水和海平面变化三种等效水高计算负荷影响，再求和，与先对三种等效水高求和，再计算负荷影响，两者结果等价。

1.4.6 CORS 网时序 InSAR 垂直形变协同监测原理

(1) 通过粗差野值探测、空间滤波与时序分析, 将时序 InSAR 监测量分离成地面数米以浅土壤(气温和降水引起涨缩)及地表面在垂直方向上的变化和数米以深岩土层垂直形变两部分, 只有后者与其他大地测量监测相容。

(2) 通过 CORS 网地面大地高变化时序, 约束多源时序 InSAR 监测量, 控制时序 InSAR 监测量中垂直形变信号的精准分离和 CORS 网多源异构时序 InSAR 协同监测。

(3) 只有数米以深岩土层垂直形变, 才是地面沉降、地震地质环境灾害、地面稳定性变化、固体地球形变、地下水及地球动力学监测所需的信息。

从时序 InSAR 监测量中分离出的地表面及浅层土壤垂直变化, 可用于土壤、湿地与水环境监测, 以及地质环境调查监测、灾情监测灾后评估和水文气象研究等。

1.4.7 区域地面稳定性变化无缝连续定量监测方案

(1) 基于多源异构融合建立的地面垂直形变、重力与地倾斜变化格网时序, 构建地面稳定性降低的确定性准则, 实现区域地面稳定性变化定量连续监测。

(2) 地面稳定性降低定量准则: 地面大地高增大/重力减小, 大地高/重力变化水平梯度大, 地倾斜变化与地形坡度内积大等。

(3) 参考已发生的地质灾害事件, 优化整合多种大地测量地面稳定性变化格网时序, 建成适应当地环境地质地面稳定性变化格网时序, 夯实稳定性变化监测能力。

1.4.8 大地测量算法之间的解析相容性问题

解析相容性, 是大地测量理论和监测对象唯一性的具体表现, 是多种大地测量技术协同与多源大地测量数据融合的最低要求。

大地测量算法之间的解析相容性涉及两方面问题: (1) 不同类型大地测量观测量或参数、同类地球动力学影响量之间的相容性。(2) 同类大地测量观测量或参数、不同类型地球动力学影响量之间的相容性。

第一类相容性是大地测量理论基本要求。如, 高程异常负荷影响等于扰动重力负荷影响的 Hotine 积分, 在实现高程异常和扰动重力负荷影响算法时, 应确保 Hotine 积分关系不变; 再如, 站点的正常高固体潮影响等于其大地高固体潮影响与大地水准面固体潮影响之差, 这个关系也需严格保证。

第二类相容性由形变地球动力学方程组(包括本构方程)决定。

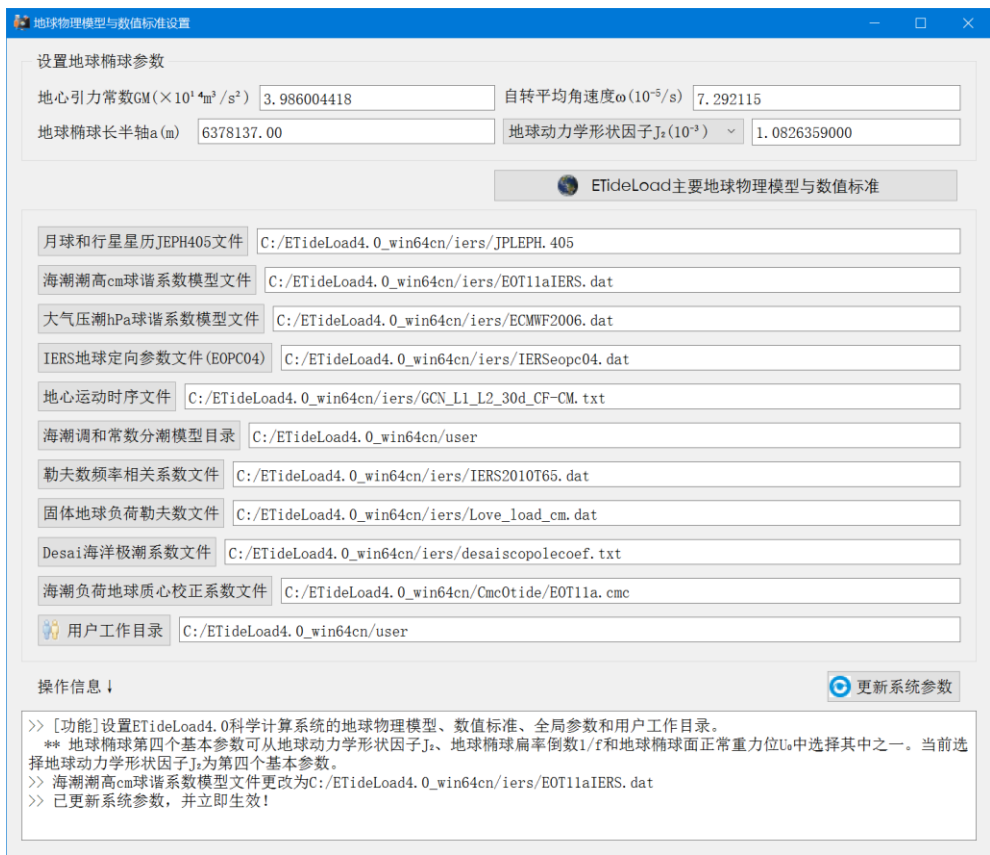
1.5 ETideLoad4.0 协议、学习与使用

1.5.1 ETideLoad4.0 地球物理模型与数值标准

ETideLoad 默认情况下, 以 IERS2010 协议推荐的地球物理模型和数值标准为基础。

用户可根据需要, 调用[地球物理模型与数值标准设置]程序, 对其进行替换或更新。这些地球物理模型和数值标准以文件形式存储在 C:\ETideLoad4.0_win64cn 目录中, 主要包括大气压潮负荷球谐系数模型, 海潮负荷球谐系数模型, 地球负荷勒夫数, IERS 地球

定向参数（EOP）时间序列，地心运动时间序列，海洋潮高调和常数向量格网模型，月球与行星星历 JEPH405，勒夫数频率相关系数，Desai 海洋极潮系数，以及海潮负荷地球质心校正系数等。



1.5.2 大地测量时间序列数据格式约定

ETideLoad 采用自定义格式的五种形式大地测量时间序列数据，包括地面监测量时间序列、监测网站点记录时间序列、监测网观测量记录时间序列、监测量（向量）数值格网时间序列和球谐系数模型时间序列。

(1) 地面监测量时间序列。一个地面监测量时序文件可存储某一站点、某条基线或路线多种属性监测量时间序列数据，各种属性的采样历元时刻完全相同。如 CORS 坐标解时间序列、固体潮站观测与分析成果时间序列、GNSS 基线解时间序列等。

(2) 监测网站点记录时间序列。一个监测网站点记录时序文件可存储大地监测网多个地面站点一种类型监测量的时间序列数据。如 CORS 站网坐标解（一维）、水准网点高程、固体潮站网、验潮站网时间序列，以及时序 InSAR 监测量等。

(3) 监测网观测量记录时间序列。一个大地测量监测网观测量记录时序文件可存储 CORS 网（GNSS 网）一维基线解、水准控制网水准路线高差观测量或重力控制网重力段差观测量时间序列数据。

(4) 数字模型（向量）格网时间序列。由一组带时间（历元）信息的某一种类型监测量（向量）格网文件构成，每个格网头文件第 7 个属性约定为该格网数据的采样历元时刻。如陆地水等效水高、海平面变化格网时序，各种地面负荷形变场格网时序，时变重力场格网时间序列等。

(5) 球谐系数模型时间序列。由一组带时间信息的球谐系数（Stokes 系数）模型文件构成，用于表示全球负荷变化时间序列、全球负荷形变场时间序列和全球重力场变化时间序列。每个文件头占住一行，至少包含地心引力常数 GM ($\times 10^{14} \text{m}^3/\text{s}^2$)、地球椭球长半轴 a (m) 和采样历元时刻（ETideLoad 约定的长整数格式）3 个属性。 GM, a 称为球谐系数模型的尺度参数。

程序[文本记录数据文件标准化提取]，[大地测量监测网批量时间序列规格化]，是 ETideLoad 接受外部文本格式数据的重要接口。

利用[固体潮地面大地测量全要素全球预报]或[大气压潮及其负荷影响全球预报]模块，可以构造指定位置和采样规格的地面监测量时间序列文件；利用[区域数据格网生成与构造]，可以构造指定规格的大地测量数值格网文件。其他程序或模块，只接受 ETideLoad 本身产生的格式数据。

1.5.3 课堂教学、自学练习与技术培训

适合课堂教学、独立自学与技术培训是 ETideLoad4.0 追求的应用效果。为此，我们为 ETideLoad4.0 程序配置了完整计算样例，存放在 C:\ETideLoad4.0_win64cn\examples 目录，每个目录下存放了该程序样例的计算过程文件（process.txt）、输入输出数据文件和程序计算过程的界面系列截图。

样例所在的目录名与可执行程序名相同。使用 ETideLoad4.0 程序前，建议按照 process.txt 流程信息，由输入输出数据文件，对照截图，完整操作一遍样例。全部样例练习完成后（约 5 个工作日），基本具备独立使用 ETideLoad4.0 的能力。

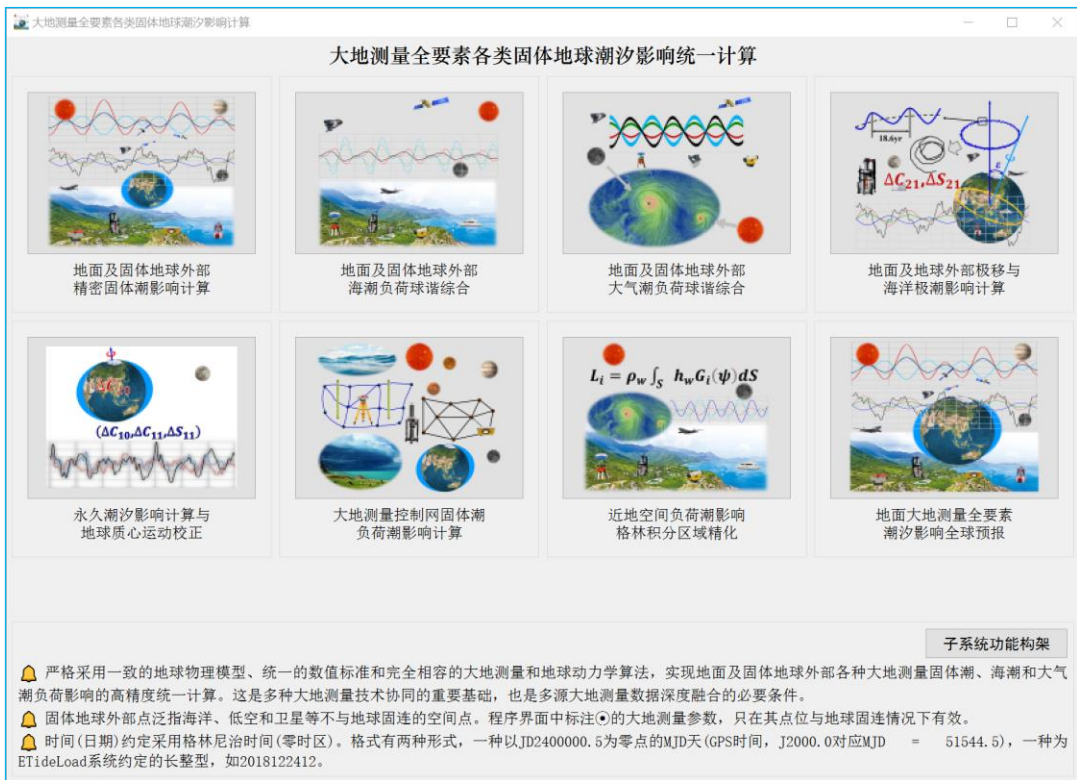
1.5.4 ETideLoad4.0 适用范围与使用说明

ETideLoad4.0 适合大地测量、地球物理、地质环境灾害、水文动力学、卫星动力学、地震与地球动力学等领域高年级本科生、研究生、科研和工程技术人员，兼顾课堂教学、独立自学、应用计算与科学研究等多层次需要。

用户可按需设计个性化技术流程，灵活组织有关程序模块，完成地面及固体地球外空间各种潮汐/非潮汐影响监测计算，全球或区域形变场/时变重力场/地面稳定性/陆地水/地表动力环境变化监测，以及多源异构大地测量深度融合等工作。

第二章 大地测量全要素各类地球潮汐影响计算

大地测量全要素各类固体地球潮汐影响计算程序集, 旨在采用严格一致的地球物理模型、科学统一的数值标准和解析相容的大地测量和地球动力学算法, 实现地面及固体地球外部各种大地测量固体潮、海潮和大气潮负荷影响的高精度统一计算。这是多种大地测量技术协同的重要基础, 也是多源大地测量数据深度融合的必要条件。



ETideLoad4.0 中的固体地球外部点, 泛指海洋、低空和卫星等不与地球固连的空间点。程序界面中标注⊙的大地测量参数, 只在其点位与地球固连情况下有效。

ETideLoad4.0 时间(日期)采用格林尼治时间(零时区)。格式有两种形式, 一种以JD2400000.5为零点的MJD天(GPS时间, J2000.0对应MJD=51544.5), 一种为ETideLoad自己约定的长整型, 如2018122412。

2.1 地面及固体地球外部精密固体潮影响计算

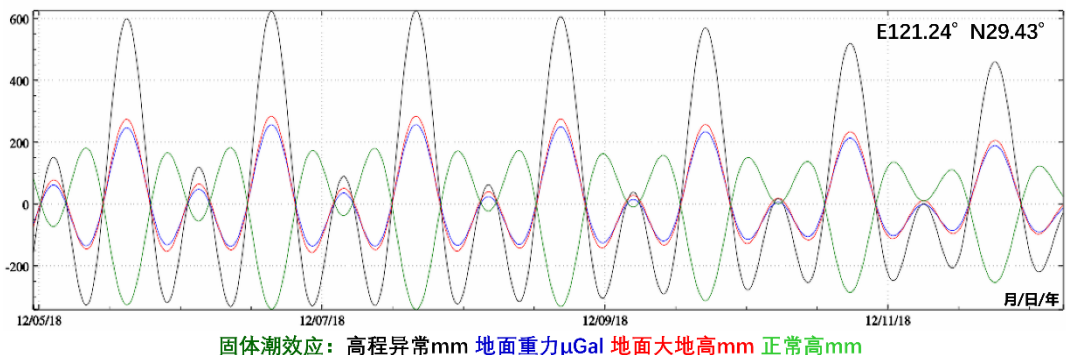
[目标]按输入文件中的地点和时刻, 计算地面各种大地测量参数的固体潮影响或固体地球外部空间的固体潮摄动。这里的固体地球外部点泛指海洋、低空和卫星等不与地球固连的空间点。

物理大地测量固体潮影响采用 IERS2010 协议标准, 顾及勒夫数的纬度相关和粘滞性, 计算日、月及 N 体的直接影响与 71 个 2 阶分潮 (n=2, 包含半日、周日和长周期) 的间接影响。地面站点位移的固体潮影响采用与物理大地测量相容的固体潮算法, 模型与数

2.1.1 地面站点固体潮影响时间序列计算

[输入]地面站点时间序列文件。

头文件占住一行，属性包括点名，经度，纬度（度小数），大地高（m），起算 MJD（可选），…。从第二行起，每行记录表示时序的一个历元时刻采样，其中至少有一个属性是采样历元时刻，其他各列代表不同属性时序。



[参数设置]输入头文件中大地高列序号，记录中时间属性列序号，选择影响类型（本例全选），输入结果文件名。

[输出]头文件取输入文件头，输出文件记录在输入文件记录的基础上，增加用户选择的固体潮影响值（本例全选，共 14 列属性）。

当时间为系统约定的长整型格式时，头文件中可以没有起算 MJD 属性，程序自动识别并忽略选择。

当地面点大地高等于大地水准面高时，地面高程异常影响即为大地水准面影响。

2.1.2 给定时间位置地面固体潮影响计算

[功能]输入带观测时间的若干地面点坐标文件，计算高程异常（大地水准面 mm）、地面重力（ μGal ）、扰动重力（ μGal ）、地倾斜（SW 南向/西向 mas）、垂线偏差（SW 南向/西向 mas）、水平位移（EN 东向/北向 mm）、地面径向（大地高 mm）、地面正（常）高（mm）、扰动重力梯度（ $10\mu\text{E}$ ）或水平重力梯度（NE 北向/东向 $10\mu\text{E}$ ）的固体潮影响。

[输入]带观测时间的若干地面点坐标文件。

头文件占住一行。从第二行起，每行记录的第 2、3 个属性约定为经度、纬度（度小数），记录中存在时间和大地高属性。

[参数设置]输入文件记录中大地高、时间属性列序号，选择影响类型（本例选择高程异常、扰动重力和扰动重力梯度），输入结果文件名。

软件界面截图显示了“给定时间位置地面固体潮影响计算”的功能。界面包含多个选项卡，其中“给定时间位置地面固体潮影响计算”被选中。左侧是参数设置区域，包括“打开文件”、“结果保存”、“设置参数输入”、“开始计算”、“计算信息保存”和“查看样例”按钮。中间是计算过程的操作提示，显示了计算开始和结束时间。右侧是计算信息保存区域。底部是输入输出数据展示区域，包含一个表格，列出了计算结果。表格的列标题包括：时间、经度、纬度、大地高、高程异常、地面重力、扰动重力、地倾斜、垂线偏差、水平位移、地面径向、地面正高、扰动重力梯度、水平重力梯度。表格中的数据行显示了具体的计算结果。

时间	经度	纬度	大地高	高程异常	地面重力	扰动重力	地倾斜	垂线偏差	水平位移	地面径向	地面正高	扰动重力梯度	水平重力梯度
201901010000	101.230000	29.910000	47.218	58484.000	0.000000	5.0276	2.1207	1.2103	16.5277	16.5277	16.5277	16.5277	16.5277
201901010100	101.230000	29.910000	47.218	58484.000	0.041667	57.6354	26.4251	16.5277	16.5277	16.5277	16.5277	16.5277	16.5277
201901010200	101.230000	29.910000	47.218	58484.000	0.083333	75.6911	34.6955	21.7000	21.7000	21.7000	21.7000	21.7000	21.7000
201901010300	101.230000	29.910000	47.218	58484.000	0.125000	50.1014	22.7804	14.1267	14.1267	14.1267	14.1267	14.1267	14.1267
201901010400	101.230000	29.910000	47.218	58484.000	0.166667	-14.8931	-7.2782	-4.8384	-4.8384	-4.8384	-4.8384	-4.8384	-4.8384
201901010500	101.230000	29.910000	47.218	58484.000	0.208333	-102.6242	-47.6840	-30.2264	-30.2264	-30.2264	-30.2264	-30.2264	-30.2264
201901010600	101.230000	29.910000	47.218	58484.000	0.250000	-188.3110	-96.9692	-54.7964	-54.7964	-54.7964	-54.7964	-54.7964	-54.7964
201901010700	101.230000	29.910000	47.218	58484.000	0.291667	-248.5366	-113.0130	-70.9651	-70.9651	-70.9651	-70.9651	-70.9651	-70.9651
201901010800	101.230000	29.910000	47.218	58484.000	0.333333	-253.1690	-116.2246	-72.7917	-72.7917	-72.7917	-72.7917	-72.7917	-72.7917
201901010900	101.230000	29.910000	47.218	58484.000	0.375000	-200.9778	-92.0530	-57.5188	-57.5188	-57.5188	-57.5188	-57.5188	-57.5188
201901011000	101.230000	29.910000	47.218	58484.000	0.416667	-92.6040	-42.2732	-26.3234	-26.3234	-26.3234	-26.3234	-26.3234	-26.3234
201901011100	101.230000	29.910000	47.218	58484.000	0.458333	54.7801	25.2293	15.8544	15.8544	15.8544	15.8544	15.8544	15.8544
201901011200	101.230000	29.910000	47.218	58484.000	0.500000	214.0038	98.0834	61.3308	61.3308	61.3308	61.3308	61.3308	61.3308
201901011300	101.230000	29.910000	47.218	58484.000	0.541667	353.8148	162.0930	101.3100	101.3100	101.3100	101.3100	101.3100	101.3100
201901011400	101.230000	29.910000	47.218	58484.000	0.583333	445.8638	204.3606	127.7851	127.7851	127.7851	127.7851	127.7851	127.7851
201901011500	101.230000	29.910000	47.218	58484.000	0.625000	471.0200	216.2042	135.3383	135.3383	135.3383	135.3383	135.3383	135.3383
201901011600	101.230000	29.910000	47.218	58484.000	0.666667	424.7868	185.2182	122.3542	122.3542	122.3542	122.3542	122.3542	122.3542

[输出]头文件取输入文件头，输出文件记录在输入文件记录的基础上，增加用户选择的

的若干固体潮影响属性。本例增加高程异常、扰动重力和扰动重力梯度固体潮影响共 3 个属性。

2.1.3 固体地球外部及卫星固体潮摄动计算

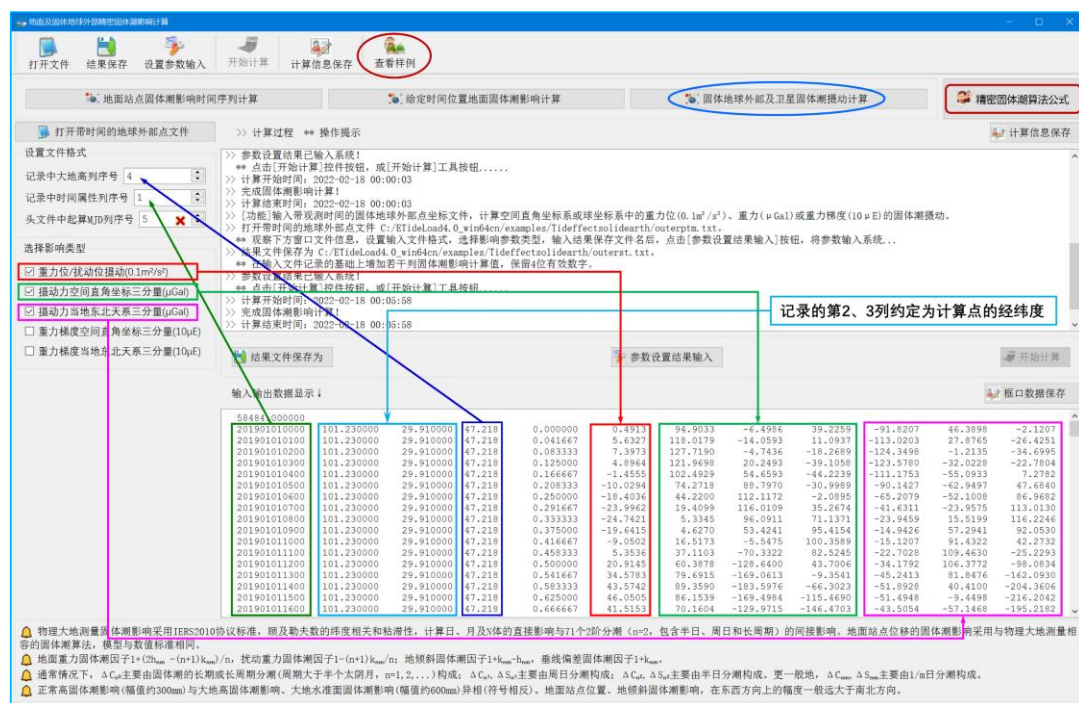
[功能]输入带观测时间的固体地球外部点坐标文件，计算空间直角坐标系或球坐标系中的重力位 ($0.1\text{m}^2/\text{s}^2$)、重力 (μGal) 或重力梯度 ($10\mu\text{E}$) 的固体潮摄动。

[输入]带观测时间的固体地球外部点坐标文件。

头文件占住一行。从第二行起，每行记录的第 2、3 个属性约定为经度、纬度 (度小数)，记录中存在时间和大地高属性。

[参数设置]输入文件记录中大地高、时间属性列序号，选择影响类型 (本例选择重力位摄动、摄动力空间直角坐标三分量、摄动力东北天坐标三分量)，输入结果文件名。

[输出]头文件取输入文件头，输出文件记录在输入文件记录的基础上，增加用户选择的固体潮影响属性。本例增加重力位摄动、摄动力空间直角坐标三分量、摄动力东北天坐标三分量固体潮影响共 7 个属性。



地面重力固体潮因子 $1+(2h_{nm}-(n+1)k_{nm})/n$ ，扰动重力固体潮因子 $1-(n+1)k_{nm}/n$ ；地倾斜固体潮因子 $1+k_{nm}-h_{nm}$ ，垂线偏差固体潮因子 $1+k_{nm}$ 。

通常情况下， ΔC_{n0} 主要由固体潮的长期或长周期分潮 (周期大于半个太阴月， $n=1, 2, \dots$) 构成； ΔC_{n1} ， ΔS_{n1} 主要由周日分潮构成； ΔC_{n2} ， ΔS_{n2} 主要由半日分潮构成。更一般地， ΔC_{nm} ， ΔS_{nm} 主要由 $1/m$ 日分潮构成。

正常高固体潮影响 (幅值约 300mm) 与大地高固体潮影响、大地水准面固体潮影响

(幅值约 600mm) 异相 (符号相反)。地面站点位置、地倾斜固体潮影响, 在东西方向上的幅度一般远大于南北方向。

2.2 地面及固体地球外部海潮负荷球谐综合

[目标]利用全球海潮负荷球谐系数模型 (cm), 按球谐综合算法, 由输入文件中的地点和时刻, 计算地面各种大地测量参数的海潮负荷影响或固体地球外部空间的海潮摄动。这里的固体地球外部点泛指海洋、低空和卫星等不与地球固连的空间点。

海潮负荷位于海面, 计算点相对海面的高度为正 (常) 高。

2.2.1 地面站点海潮负荷影响时间序列计算

[功能]输入地面站点时间序列文件, 计算其高程异常 (大地水准面 mm)、地面重力 (μGal)、扰动重力 (μGal)、地倾斜 (SW 南向/西向 mas)、垂线偏差 (SW 南向/西向 mas)、水平位移 (EN 东向/北向 mm)、地面径向 (大地高 mm)、地面正 (常) 高 (mm)、扰动重力梯度 ($10\mu\text{E}$) 或水平重力梯度 (NE 北向/东向 $10\mu\text{E}$) 的海潮负荷影响。

[输入]地面站点时间序列文件。

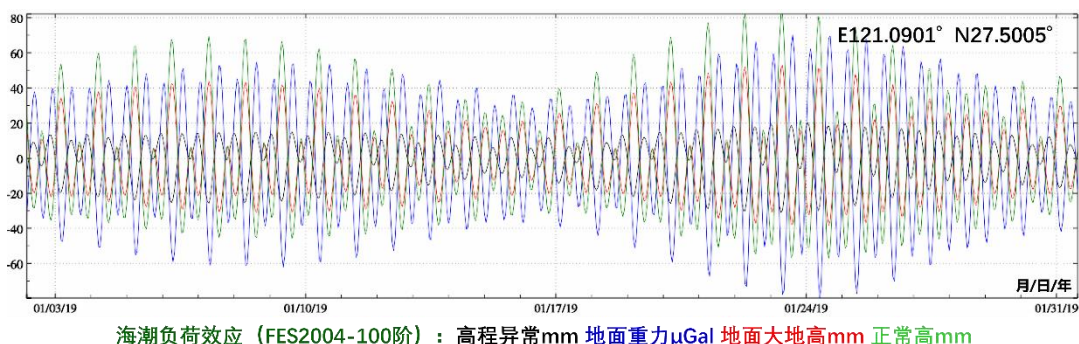
头文件占住一行, 属性包括点名, 经度, 纬度 (度小数), 高度 (m, 相对于海平面的高度), 起算 MJD (可选), ...。从第二行起, 每行记录表示时序的一个历元时刻采样。

[参数设置]输入头文件中正 (常) 高列序号, 记录中时间属性列序号, 选择影响类型 (本例全选), 输入结果文件名。

The screenshot displays the '地面及固体地球外部海潮负荷球谐综合' (Global Ocean Tide Load and Solid Earth External Tide Load Spherical Harmonic Synthesis) software interface. The main window is titled '计算过程' (Calculation Process) and contains several sections:

- 设置文件格式 (Set File Format):** Includes fields for '头文件中正(常)高列序号' (Header file normal height column number) and '记录中时间属性列序号' (Record time attribute column number).
- 选择影响类型 (Select Influence Type):** A list of checkboxes for various parameters: 高程异常(大地水准面mm) (Elevation anomaly), 地面重力(μGal) (Ground gravity), 扰动重力(μGal) (Perturbation gravity), 地倾斜(南向/西向mas) (Tilt), 垂线偏差(南向/西向mas) (Vertical deflection), 水平位移(东向/北向mm) (Horizontal displacement), 地面径向(大地高mm) (Ground radial), 地面正(常)高(mm) (Ground normal height), 扰动重力梯度($10\mu\text{E}$) (Perturbation gravity gradient), and 水平重力梯度(北向/东向 $10\mu\text{E}$) (Horizontal gravity gradient).
- 计算过程 (Calculation Process):** A text area showing the calculation steps and parameters.
- 输入输出数据展示 (Input/Output Data Display):** A table showing the results of the calculation. The table has columns for 'DONT' (Time), '高程异常mm' (Elevation anomaly), '地面重力 μGal ' (Ground gravity), '扰动重力 μGal ' (Perturbation gravity), '地倾斜西向mas' (Tilt West), '垂线偏差西向mas' (Vertical deflection West), '水平位移东向mm' (Horizontal displacement East), '地面径向mm' (Ground radial), '地面正(常)高mm' (Ground normal height), '扰动重力梯度 $10\mu\text{E}$ ' (Perturbation gravity gradient), and '水平重力梯度东向 $10\mu\text{E}$ ' (Horizontal gravity gradient East).

The table shows data for various time points (DONT) and the corresponding values for the selected parameters. The results are displayed in a grid format, with each parameter's values in a separate column.



[输出]头文件取输入文件头，输出文件记录在输入文件记录的基础上，增加用户选择的海潮负荷影响值（本例全选，共 14 列属性）。

2.2.2 给定时间位置地面海潮负荷影响计算

[功能]输入带观测时间的若干计算点坐标文件，计算高程异常（大地水准面 mm）、地面重力（μGal）、扰动重力（μGal）、地倾斜（SW 南向/西向 mas）、垂线偏差（SW 南向/西向 mas）、水平位移（EN 东向/北向 mm）、地面径向（大地高 mm）、地面正（常）高（mm）、扰动重力梯度（10μE）或水平重力梯度（NE 北向/东向 10μE）的海潮负荷影响。

[输入]带观测时间的若干地面点坐标文件。

全球海潮负荷球谐系数模型 (cm) 采用FES2004格式，可由全球海潮高通和常数格网，通用「全球海潮高通和常数格网球谐分析」程序构造。

程序采用默认的全球海潮负荷球谐系数模型。可在ETideLoad4.0地球物理模型和数值标准设置中，指定其他海潮负荷球谐系数模型。

地面重力负荷因子 $1 \times (2h' + (n+1)k') / n$ ，扰动重力负荷因子 $1 \times (n+1)k' / n$ ；地倾斜负荷因子 $1 \times k' \cdot h'$ ，垂线偏差负荷因子 $1 \times k' \cdot h'$ 。

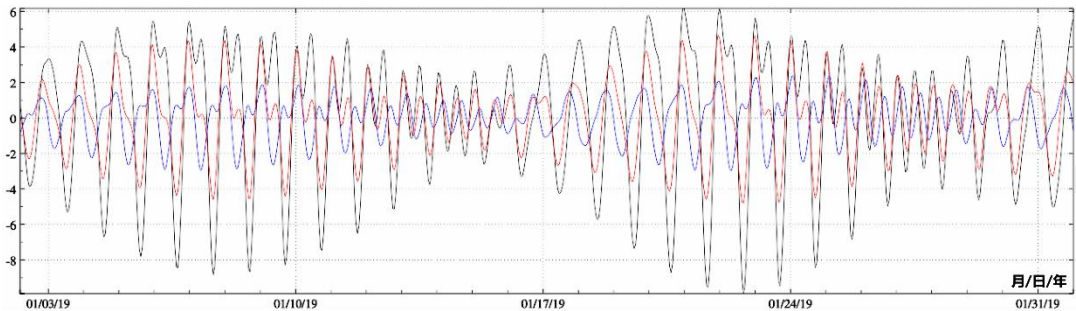
与固体影响不同，正常高负荷影响与大地高负荷影响同相，正常高海潮负荷影响的幅值约为大地高海潮负荷幅值的1.75倍。

头文件占住一行。从第二行起，每行记录的第 2、3 个属性约定为经度、纬度（度小

数), 记录中存在采样历元时间和正(常)高属性。

[参数设置]输入文件记录中正(常)高、时间属性列序号, 选择影响类型(本例选择高程异常、扰动重力和重力梯度), 输入结果文件名。

[输出]头文件取输入文件头, 输出文件记录在输入文件记录的基础上, 增加用户选择的海潮负荷影响属性。本例增加高程异常、扰动重力、扰动重力梯度和水平重力梯度海潮负荷影响共 5 个属性。



250km高度处海潮负荷效应: 扰动重力梯度10 μ E 水平梯度北向(GOCE卫星沿轨方向)10 μ E 水平梯度东向10 μ E

2.2.3 固体地球外部及卫星海潮摄动计算

[功能]输入带观测时间的固体地球外部点坐标文件, 计算空间直角坐标系或球坐标系中的重力位 ($0.1\text{m}^2/\text{s}^2$)、重力 (μGal) 或重力梯度 ($10\mu\text{E}$) 的海潮负荷影响。

[输入]带观测时间的固体地球外部点坐标文件。

头文件占住一行。从第二行起, 每行记录的第 2、3 个属性约定为经度、纬度(度小数), 记录中存在时间和大地高属性。

[参数设置]输入文件记录中大地高、时间属性列序号, 选择影响类型(本例选择重力位摄动、摄动力空间直角坐标三分量、摄动力东北天坐标三分量), 输入结果文件名。

[输出]头文件取输入文件头, 输出文件记录在输入文件记录的基础上, 增加用户选择的海潮负荷影响属性。本例增加重力位摄动、摄动力空间直角坐标三分量、摄动力东北天坐标三分量海潮负荷影响共 7 个属性。

全球海潮负荷球谐系数模型 (cm) 采用 FES2004 格式, 可由全球潮高调和常数格网模型, 调用[全球海洋潮高调和常数格网球谐分析]程序构造。

程序的计算速度, 取决于海潮负荷球谐系数模型的阶数和分潮数量。

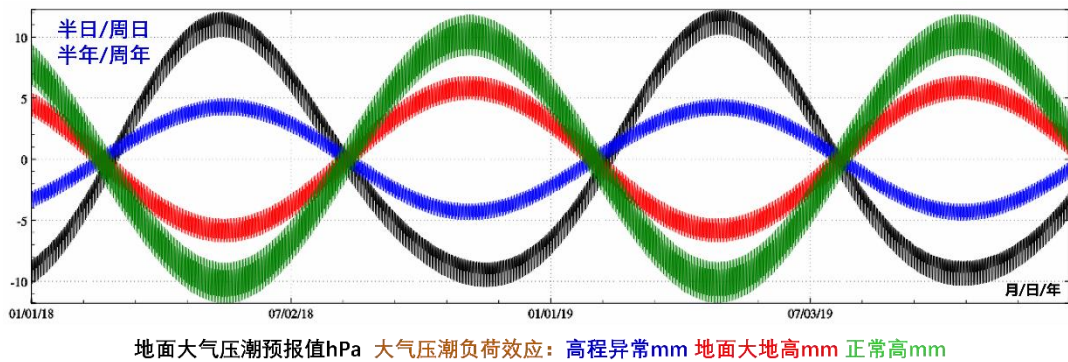
球谐系数最大计算阶数: 程序自动选择海潮负荷球谐系数模型最大阶数和输入最大阶数中的最小值作为计算阶数。

程序采用默认的全球海潮负荷球谐系数模型。可在 ETideLoad4.0 地球物理模型与数值标准设置中, 指定其他海潮负荷球谐系数模型。

地面重力负荷潮因子 $1+(2h'_n-(n+1)k'_n)/n$, 扰动重力负荷潮因子 $1-(n+1)k'_n/n$; 地倾斜负荷潮因子 $1+k'_n-h'_n$, 垂线偏差负荷潮因子 $1+k'_n$ 。

例全选)，输入结果文件名。

[输出]头文件取输入文件头，记录在输入文件记录的基础上，增加用户选择的大气压潮负荷影响值（本例全选，共 14 列属性）。



2.3.2 给定时间位置地面大气压潮负荷影响计算

[功能]输入带观测时间的若干计算点坐标文件，计算高程异常（大地水准面 mm）、地面重力（ μGal ）、扰动重力（ μGal ）、地倾斜（SW 南向/西向 mas）、垂线偏差（SW 南向/西向 mas）、水平位移（EN 东向/北向 mm）、地面径向（大地高 mm）、地面正（常）高（mm）、扰动重力梯度（ $10\mu\text{E}$ ）或水平重力梯度（NE 北向/东向 $10\mu\text{E}$ ）的大气压潮负荷影响。

[输入]带观测时间的若干计算点坐标文件。

头文件占住一行。从第二行起，每行记录的第 2、3 个属性约定为经度、纬度（度小数），记录中存在采样历元时间和高度属性。

[参数设置]输入文件记录中高度、时间属性列序号，选择影响类型（本例选择高程异常、扰动重力和扰动重力梯度），输入结果文件名。

[输出]头文件取输入文件头，输出文件记录在输入文件记录的基础上，增加用户选择的大气压潮负荷影响属性。本例增加高程异常、扰动重力和扰动重力梯度大气压潮负荷影响共 5 个属性。

2.3.3 固体地球外部及卫星大气压潮摄动计算

[功能]输入带观测时间的固体地球外部点坐标文件，计算空间直角坐标系或球坐标系中的重力位（ $0.1\text{m}^2/\text{s}^2$ ）、重力（ μGal ）或重力梯度（ $10\mu\text{E}$ ）的大气压潮摄动。

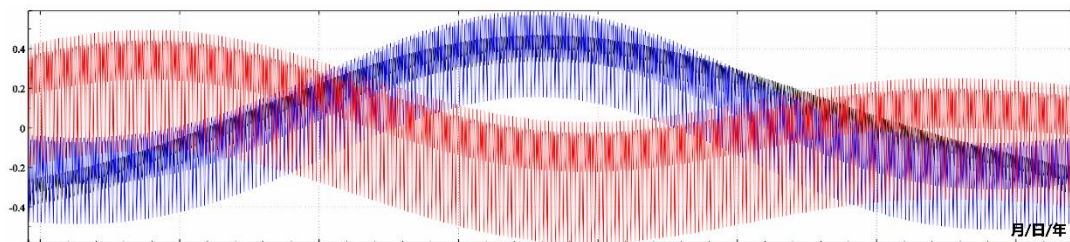
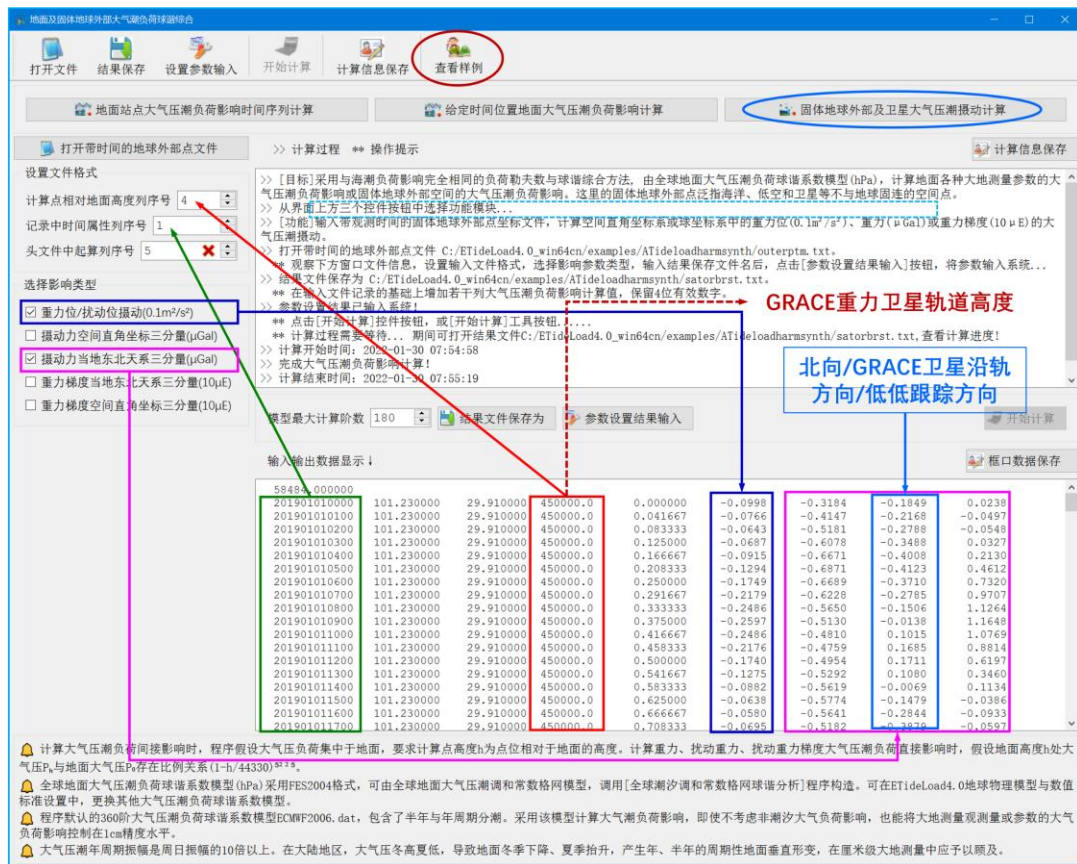
[输入]带观测时间的固体地球外部点坐标文件。

头文件占住一行。从第二行起，每行记录的第 2、3 个属性约定为经度、纬度（度小数），记录中存在采样历元时间和高度属性。

[参数设置]输入文件记录中高度、时间属性列序号，选择影响类型（本例选择高程异常、扰动重力和扰动重力梯度），输入结果文件名。

[输出]头文件取输入文件头，输出文件记录在输入文件记录的基础上，增加用户选择

的大气压潮负荷影响属性。本例增加重力位、重力向量的大气压潮摄动共 4 个属性。



大气压潮负荷效应：重力位摄动 $0.1\text{m}^2/\text{s}^2$ 摄动力东向 μGal 摄动力北向(GRACE卫星沿轨/低低跟踪方向) μGal

全球地面大气压潮负荷球谐系数模型(hPa)采用FES2004格式，可由全球地面大气压潮调和常数格网模型，调用[全球潮汐调和常数格网球谐分析]程序构造。可在ETideLoad4.0地球物理模型与数值标准设置中，更换其他大气压潮负荷球谐系数模型。

大气压潮年周期振幅是周日振幅的10倍以上。在大陆地区，大气压冬高夏低，导致地面冬季下降、夏季抬升，产生年、半年的周期性地面垂直形变，在厘米级大地测量中应予以顾及。

程序默认的360阶大气压潮负荷球谐系数模型ECMWF2006.dat，包含了半年与年周期分潮。采用该模型计算大气潮负荷影响，即使不考虑非潮汐大气负荷影响，也能将大地

测量观测量或参数的大气负荷影响控制在 1cm 精度水平。

2.4 地面及地球外部极移与海洋极潮影响计算

[目标]利用 IERS 地球定向参数产品文件 IERSeopc04.dat, 按输入文件中的地点和时刻, 计算地面及固体地球外部大地测量参数的地球极移或海洋极潮影响。

2.4.1 地面站点极移/海洋极潮影响时间序列计算

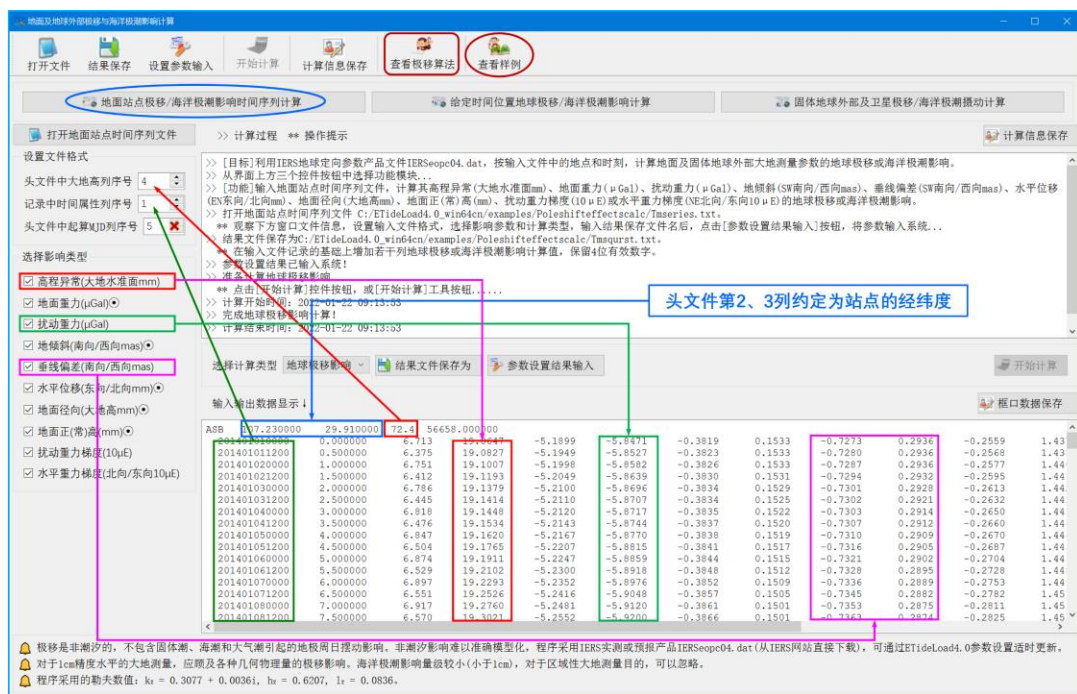
[功能]输入地面站点时间序列文件，计算其高程异常（大地水准面 mm）、地面重力（ μGal ）、扰动重力（ μGal ）、地倾斜（SW 南向/西向 mas）、垂线偏差（SW 南向/西向 mas）、水平位移（EN 东向/北向 mm）、地面径向（大地高 mm）、地面正（常）高（mm）、扰动重力梯度（ $10\mu\text{E}$ ）或水平重力梯度（NE 北向/东向 $10\mu\text{E}$ ）的地球极移或海洋极潮影响。

[输入]地面站点时间序列文件。

头文件占住一行, 属性包括点名, 经度, 纬度 (度小数), 大地高 (m), 起算 MJD (可选), ...。从第二行起, 每行记录表示时序的一个历元时刻采样。

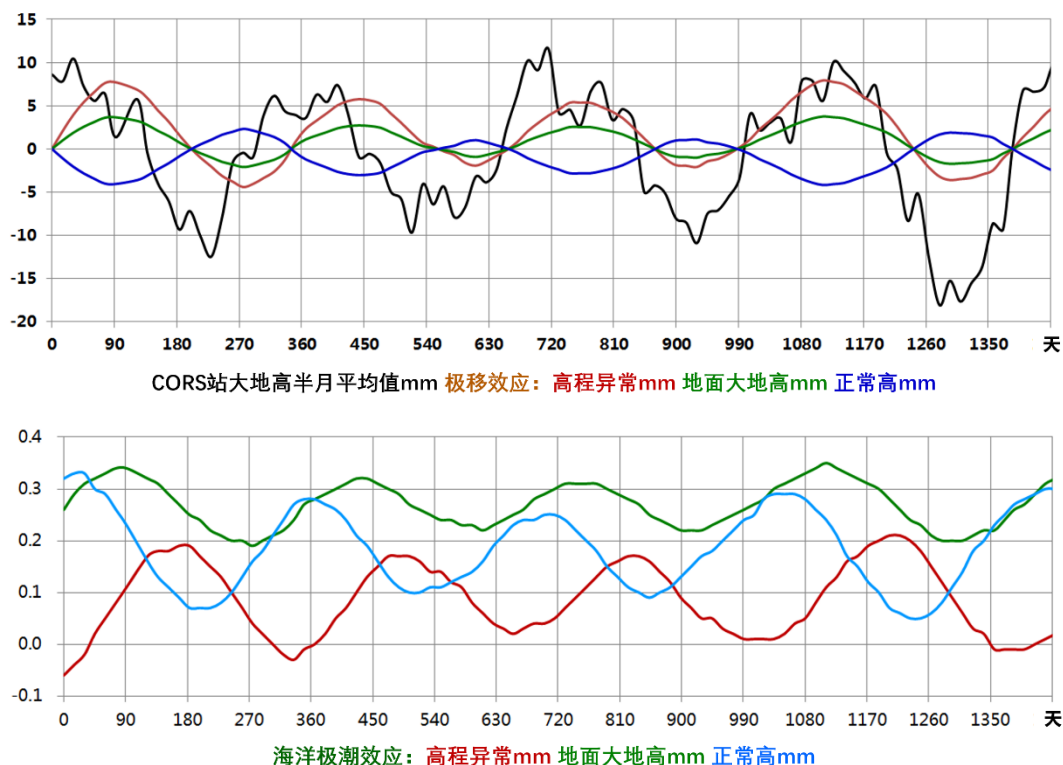
[参数设置]输入文件记录中时间属性列序号，选择影响类型（本例全选）和计算类型（本例选地球极移影响），输入结果文件名。

[输出]头文件取输入文件头，输出文件记录在输入文件记录的基础上，增加用户选择的极移/海洋极潮影响影响值（本例全选，共 14 列属性）。



极移是非潮汐的，不包含固体潮、海潮和大气潮引起的地极周日摆动影响。非潮汐影响难以准确模型化，程序采用 IERS 实测或预报产品 IERSeopc04.dat（从 IERS 网站直接下载），可通过 ETideLoad4.0 参数设置适时更新。

如果计算时间超出 IERS 地球定向参数产品文件 IERSeopc04.dat 时间范围，请更新参数时间序列文件！



2.4.2 给定时间位置地面极移/海洋极潮影响计算

[功能]输入带观测时间的若干计算点坐标文件，计算高程异常（大地水准面 mm）、地面重力（ μGal ）、扰动重力（ μGal ）、地倾斜（SW 南向/西向 mas）、垂线偏差（SW 南向/西向 mas）、水平位移（EN 东向/北向 mm）、地面径向（大地高 mm）、地面正（常）高（mm）、扰动重力梯度（ $10\mu\text{E}$ ）或水平重力梯度（NE 北向/东向 $10\mu\text{E}$ ）的地球极移或海洋极潮影响。

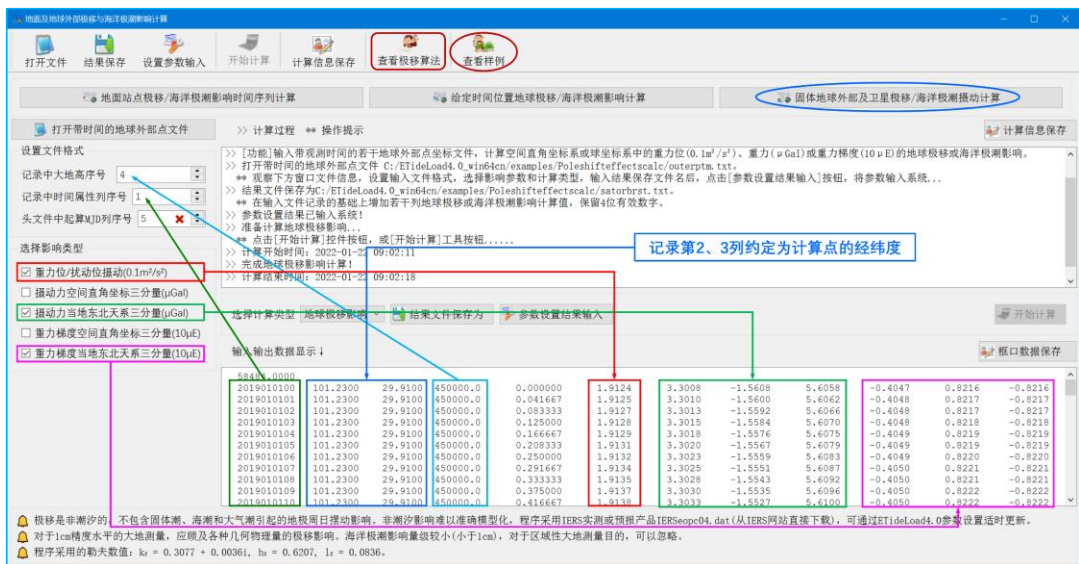
2.4.3 固体地球外部及卫星极移/海洋极潮摄动计算

[功能]输入带观测时间的若干计算点坐标文件，计算空间直角坐标系或球坐标系中的重力位（ $0.1\text{m}^2/\text{s}^2$ ）、重力（ μGal ）或重力梯度（ $10\mu\text{E}$ ）的地球极移或海洋极潮影响。

对于 1cm 精度水平的大地测量，应顾及各种几何物理量的极移影响。海洋极潮影响量级较小（小于 1cm），对于区域性大地测量目的，可以忽略。

程序采用的勒夫数值： $k_2 = 0.3077 + 0.0036i$, $h_2 = 0.6207$, $l_2 = 0.0836$ 。

位系数与极移参数、极潮系数之间关系采用 Desai（2002）的自适应海洋潮汐质量平衡算法，如 IERS2010 协议式（6.23）。

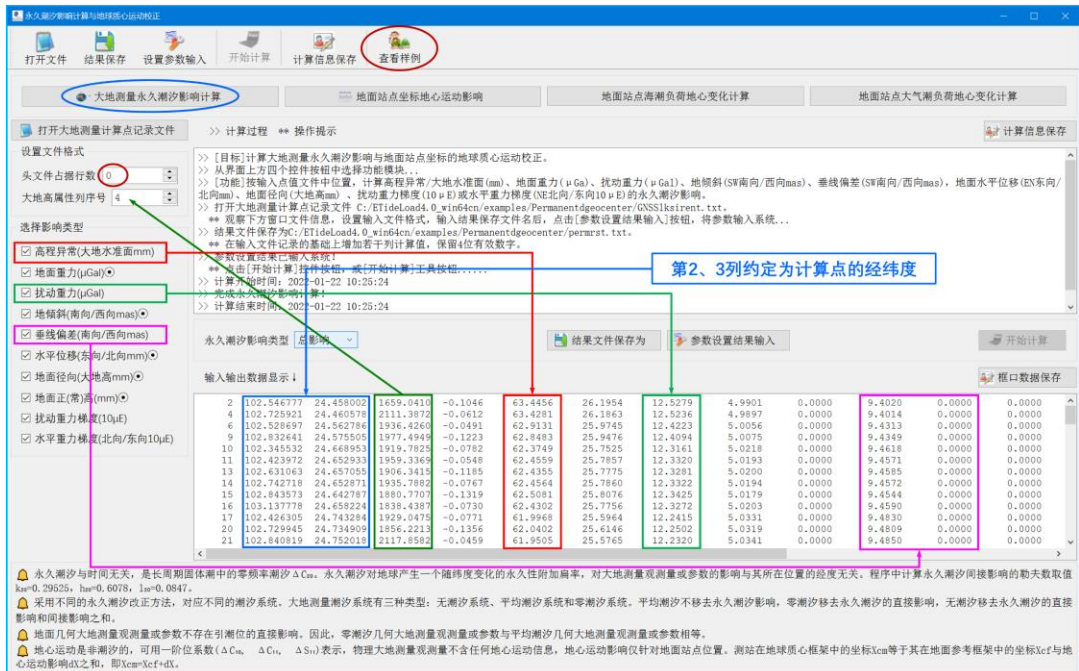


2.5 永久潮汐影响计算与地球质心运动校正

[目标]计算大地测量永久潮汐影响，与地面站点坐标的地球质心运动校正。

2.5.1 大地测量永久潮汐影响计算

[功能]按输入点值文件中位置，计算高程异常/大地水准面 (mm)、地面重力 (μGa)、扰动重力 (μGal)、地倾斜 (SW 南向/西向 mas)、垂线偏差 (SW 南向/西向 mas)，地面水平位移 (EN 东向/北向 mm)、地面径向 (大地高 mm)、扰动重力梯度 ($10\mu\text{E}$) 或水平重力梯度 (NE 北向/东向 $10\mu\text{E}$) 的永久潮汐影响。



永久潮汐与时间无关，是长周期固体潮中的零频率潮汐 ΔC_{20} 。永久潮汐对地球产生一个随纬度变化的永久性附加扁率，对大地测量观测量或参数的影响与其所在位置的经度无关。程序中计算永久潮汐间接影响的勒夫数取值 $k_{20}=0.29525$, $h_{20}=0.6078$, $l_{20}=0.0847$ 。

采用不同的永久潮汐改正方法，对应不同的潮汐系统。

大地测量潮汐系统有三种类型：无潮汐系统、平均潮汐系统和零潮汐系统。平均潮汐不移去永久潮汐影响，零潮汐移去永久潮汐的直接影响，无潮汐移去永久潮汐的直接影响和间接影响之和。

地面几何大地测量观测量或参数不存在引潮位的直接影响。因此，零潮汐几何大地测量观测量或参数与平均潮汐几何大地测量观测量或参数相等。

2.5.2 地面站点坐标地心运动影响

[功能]输入带观测时间的地面点坐标文件，采用多颗卫星激光测距 SLR 地心运动实测或预报产品，计算地面测站的地心运动影响 (mm)。

地心运动是非潮汐的，可用一阶位系数 (ΔC_{10} , ΔC_{11} , ΔS_{11}) 表示，物理大地测量观测量不含任何地心运动信息，地心运动影响仅针对地面站点位置。测站在地球质心框架中的坐标 X_{cm} 等于其在地面参考框架中的坐标 X_{cf} 与地心运动影响 dX 之和，即 $X_{cm}=X_{cf}+dX$ 。

如果计算时间超出 SLR 实测地心运动参数文件时间范围，请更新参数时间序列文件!

2.5.3 地面站点海潮负荷地心变化计算

[功能]输入带观测时间的地面点坐标文件，由海潮负荷地球质心校正系数，按 IERS2010 协议文档中的式 (7.17)，计算地面测站的海潮负荷地球质心变化量 (mm)。

2.5.4 地面站点大气潮负荷地心变化计算

[功能]输入带观测时间的地面点坐标文件，按 IERS2010 协议文档中的式 (7.20)，计算地面测站的大气压周日/半日分潮负荷的地球质心变化量 (mm)。

计算永久潮汐影响时，输入大地测量离散点记录文件，计算地心校正时，输入带观测时间的地面点坐标文件。

2.6 大地测量控制网固体潮负荷潮影响计算

[目标]按输入大地控制网文件记录中线路两端位置和观测时间，计算 GNSS 基线或水准高差的固体潮影响、海潮负荷影响或大气压潮负荷影响。

[输入]GNSS 基线网或水准路线网文件，采用 ETideLoad 自定义格式。

头文件占据一行。记录格式：GNSS 基线或水准路线名称，起点经度，纬度，高度，终点经度，纬度，高度，观测时间，…。时间属性列序号不小于 8。

大地测量控制网观测量的潮汐影响，应是观测量在实际观测时刻的潮汐影响。顾及 1/6 日分潮影响时，水准高差观测时间跨度不应超过 2 小时。

GNSS 网基线文件和水准网水准路线文件格式相同。

地面控制点的高度 (10m 精度): 计算固体潮时用大地高, 计算海潮负荷时用正 (常) 高, 计算大气压潮负荷时为控制点相对地面高度 (程序自动置零)。

重力控制网的外业观测在重力点上进行, 其固体潮、海潮负荷和大气负荷影响应按站点位置 and 实际观测时间计算。

2.7 近地空间负荷潮影响格林积分法区域精化

[目标]由移去模型量的海洋潮高或大气压潮调和常数残差量格网 (向量格式), 按负荷格林函数积分法, 计算地面或近地空间海潮或大气压潮负荷影响的残差量。

程序要求将全部分潮的区域调和常数残差量格网文件独立存放于某个文件夹下。分潮调和常数格网文件采用向量格网形式存储, 头文件第 7 个属性为 Doodson 常数。

计算海潮负荷影响时采用计算点相对海平面的高度, 即正 (常) 高; 计算大气压潮负荷影响时采用计算点相对于地面高度。

2.7.1 区域海潮负荷影响残差量格林积分计算

[功能]由区域海洋潮高各分潮调和常数残差量格网, 按负荷格林函数积分法, 计算高程异常 (大地水准面 mm)、地面重力 (μGal)、扰动重力 (μGal)、地倾斜 (SW 南向/西向 mas)、垂线偏差 (SW 南向/西向 mas)、水平位移 (EN 东向/北向 mm)、地面径向 (大地高 mm)、地面正 (常) 高 (mm) 的海潮负荷影响, 以及扰动重力梯度海潮负荷间接影响 (mE)、水平重力梯度海潮负荷间接影响 (NE 北向/东向 mE)、扰动重力梯度海潮负荷直接影响 (mE) 或水平重力梯度海潮负荷直接影响 (NE 北向/东向 mE) 的残差量。

[输入]地面站点时间序列文件, 区域海洋潮高各分潮调和常数残差量格网。

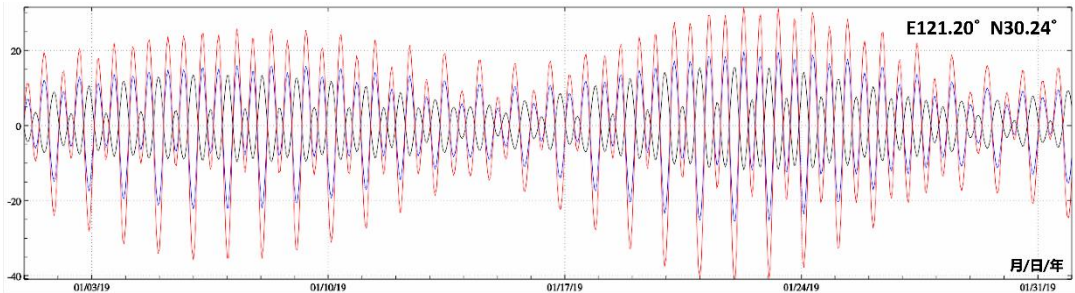
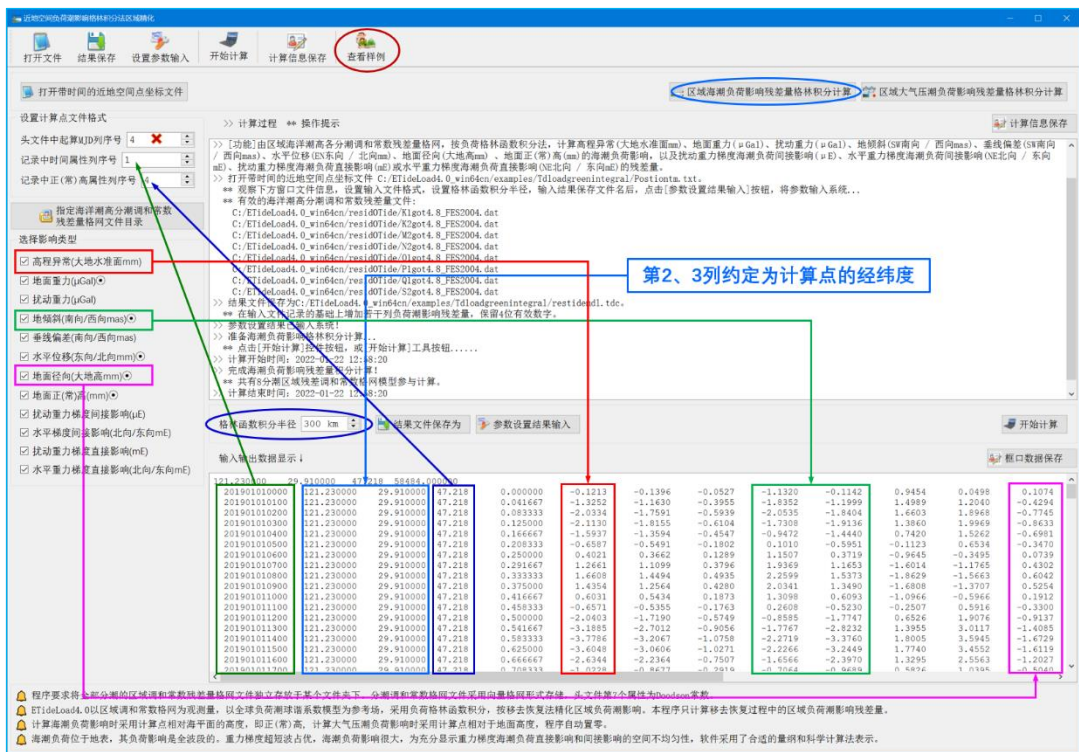
[参数设置]输入文件记录中时间属性和正 (常) 高列序号, 选择影响类型, 输入格林函数积分半径和输入结果文件名。

[输出]头文件取输入文件头, 记录在输入文件记录的基础上, 增加用户选择的海潮负荷影响残差量属性。本例增加高程异常、地倾斜向量和地面大地高海潮负荷影响残差量共 4 个属性。

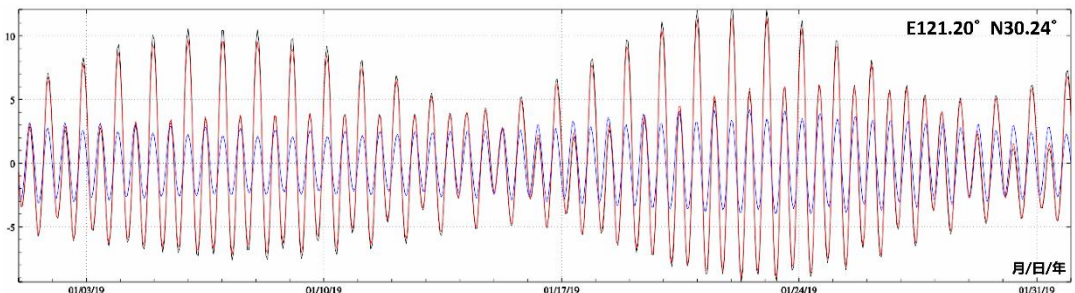
ETideLoad4.0 以区域调和常数格网为观测量, 以全球负荷潮球谐系数模型为参考场, 采用负荷格林函数积分, 按移去恢复法精化区域负荷潮影响。本程序计算移去恢复过程中的区域负荷潮影响残差量。

海潮负荷位于地表, 其负荷影响是全波段的。重力梯度超短波占优, 海潮负荷影响很大, 为充分显示重力梯度海潮负荷直接影响和间接影响的空间不均匀性, 程序将重力梯度的负荷潮影响拆分为直接影响和间接影响两部分, 并将其单位由 $10\mu\text{E}$ 变成 mE, 并将直接影响量用科学计算法表示。

这里以 GOT4.8 模型 ($0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 调和常数格网) 与 FES2004 模型 8 个分潮的差异, 来表示海潮模型误差 (实际情况只会更差) 对重力梯度的影响特点。



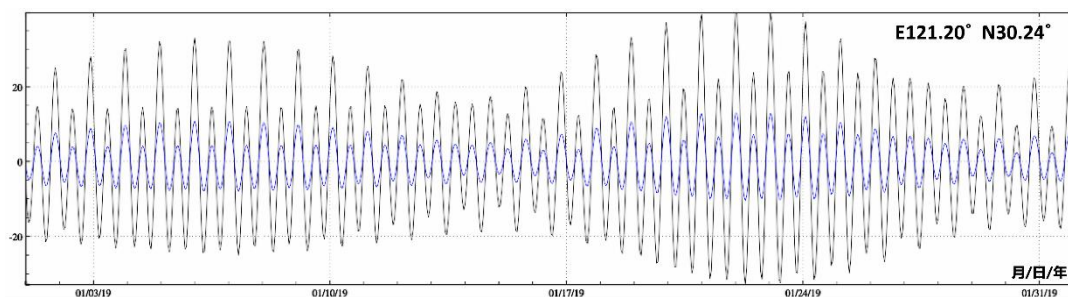
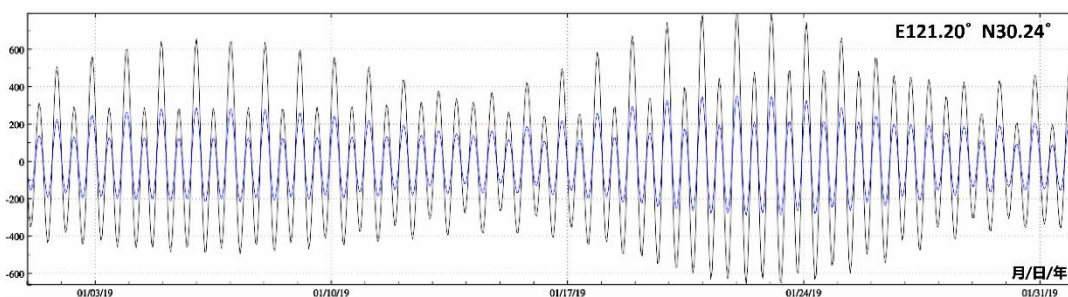
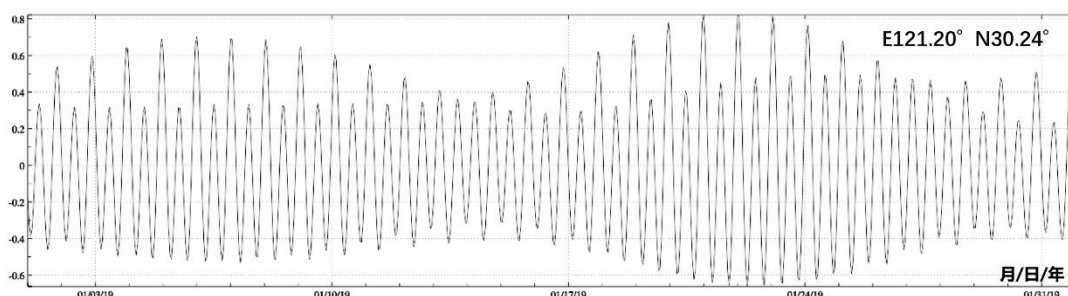
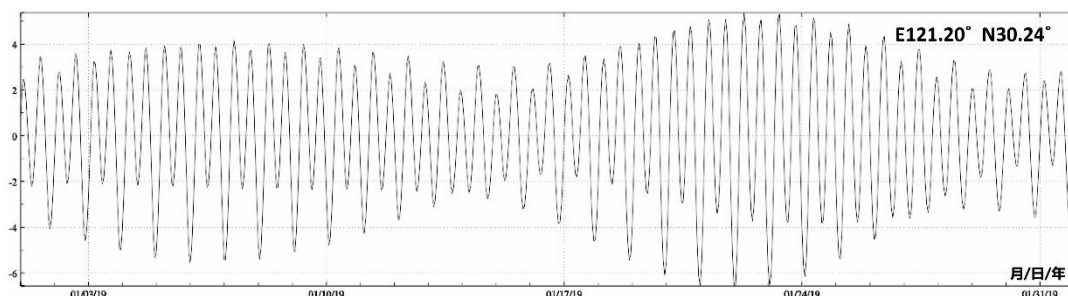
海潮模型误差 (GOT4.8-FES2004) 影响: 高程异常mm 地面大地高mm 地面正常高mm



海潮模型误差 (GOT4.8-FES2004) 影响: 地面重力μGal 地倾斜南向mas 地倾斜西向mas

计算结果显示: 海潮模型误差对扰动重力梯度直接影响的影响可达 mE 量级; 对水平重力梯度北方向的影响尤为显著, 海潮模型误差对水平重力梯度间接影响的影响可达数十 mE, 而对直接影响的影响可达 600mE; 对水平重力梯度东方向间接影响的影响超过

10mE, 直接影响超过 200mE。



不难看出, 在沿海地区, 如果没有一个高精度高分辨率的区域精密海潮模型或附近海面同步观测, 重力梯度观测很难达到 mE 精度水平。沿海地区, 应优先采用垂向重力梯度观测方案, 尽量避免直接测量水平重力梯度。

2.7.2 区域大气压潮负荷影响残差量格林积分

[功能]由区域地面大气压各分潮调和常数残差量格网，按负荷格林函数积分法，计算残差高程异常（大地水准面 mm）、地面重力（ μGal ）、扰动重力（ μGal ）、地倾斜（SW 南向/西向 mas）、垂线偏差（SW 南向/西向 mas）、水平位移（EN 东向/北向 mm）、地面径向（大地高 mm）、地面正（常）高（mm）的大气压潮负荷影响，以及扰动重力梯度（mE）和水平重力梯度（NE 北向/东向 mE）大气压潮负荷间接影响、扰动重力梯度（mE）和水平重力梯度（NE 北向/东向 mE）大气压潮负荷直接影响。

[输入]地面站点时间序列文件，区域地面大气压各分潮调和常数残差量格网。

[参数设置]输入文件记录中时间属性和地面高度列序号，选择影响类型，输入格林函数积分半径和输入结果文件名。

[输出]头文件取输入文件头，记录在输入文件记录的基础上，增加用户选择的海潮负荷影响残差量属性。

2.8 地面大地测量全要素潮汐影响全球预报

[目标]预报全球地面/海面任意点处各种大地测量监测量的固体潮、海潮负荷或大气压潮负荷效应，以及大气压潮或海洋潮高。

地面大地测量全要素潮汐影响全球预报

固体潮预报

海潮负荷预报

大气压潮负荷

设置参数输入

预报计算

查看样例

固体潮地面大地测量全要素全球预报

海面潮高及负荷影响球谐综合全球预报

大气压潮及其负荷影响全球预报

海潮调和常数海面瞬时潮高预报

☐ 按时段预报指定位置时序

指定点大地经度121.240000°

指定点大地纬度29.428100°

指定点的高度17.830m

指定预报时刻20160701

参数设置结果输入

开始预报计算

指定位置时刻潮汐影响预报

高程异常(大地水准面mm)473.939

地面重力 μGal 196.711

扰动重力 μGal 218.887

水平东向位移mm36.995

地倾斜南向分量mas6.268

垂线偏差南向分量mas11.668

水平北向位移mm-22.625

地倾斜西向分量mas-10.016

垂线偏差西向分量mas-18.765

径向位移(大地高mm)214.859

地面正(常)高mm-259.080

扰动重力梯度(10 μE)137.925

水平重力梯度北向(10 μE)-36.545

水平重力梯度东向(10 μE) -35.639

海潮、大气压潮负荷球谐系数模型可用[ETideLoad4.0地球物理模型与数值标准设置]程序进行更新。

计算固体潮时输入大地高，计算海潮及其负荷影响时输入计算点相对海平面的高度，即正(常)高，计算大气潮及其负荷影响时程序自动置零。

时间格式为ETideLoad4.0约定的长整数格式，如20181224122642表示2018年12月24日12时26分42秒，2018122412表示2018年12月24日12时0分0秒。

地面大地测量全要素潮汐影响全球预报

固体潮预报 海面潮负荷预报 大气压潮负荷 设置参数输入 预报计算 查看样例

固体潮地面大地测量全要素全球预报 海面潮高及负荷影响球谐综合全球预报 大气压潮及其负荷影响全球预报 海潮调和常数海面瞬时潮高预报

☐ 按时段预报指定位置时序

指定点大地经度 128.240000°
指定点大地纬度 29.428100°
指定点的高度 0.000m
指定预报时刻 20180701

球谐系数模型最大计算阶数 120

参数设置结果输入

开始预报计算

瞬时海面潮高cm 60.256

指定位置时刻潮汐影响预报

高程异常(大地水准面mm)	18.595	地面重力μGal	26.811	扰动重力μGal	31.197
水平东向位移mm	3.746	地倾斜南向分量mas	0.204	垂线偏差南向分量mas	0.750
水平北向位移mm	-1.175	地倾斜西向分量mas	-4.708	垂线偏差西向分量mas	-2.090
径向位移(大地高mm)	-29.039	地面正(常)高mm	-47.633		
扰动重力梯度(10μE)	-101.292	水平重力梯度北向(10μE)	40.700	水平重力梯度东向(10μE)	-49.076

海潮、大气压潮负荷球谐系数模型可用[ETideLoad4.0地球物理模型与数值标准设置]程序进行更新。
计算固体潮时输入大地高，计算海潮及其负荷影响时输入计算点相对海平面的高度，即正(常)高，计算大气潮及其负荷影响时程序自动置零。
时间格式为ETideLoad4.0约定的长整数格式，如20181224122642表示2018年12月24日12时26分42秒，2018122412表示2018年12月24日12时0分0秒。

地面大地测量全要素潮汐影响全球预报

固体潮预报 海面潮负荷预报 大气压潮负荷 设置参数输入 预报计算 查看样例

固体潮地面大地测量全要素全球预报 海面潮高及负荷影响球谐综合全球预报 大气压潮及其负荷影响全球预报 海潮调和常数海面瞬时潮高预报

☐ 按时段预报指定位置时序

指定点大地经度 85.240000°
指定点大地纬度 38.428100°
指定点的高度 0.000m
指定预报时刻 2016123109

球谐系数模型最大计算阶数 360

参数设置结果输入

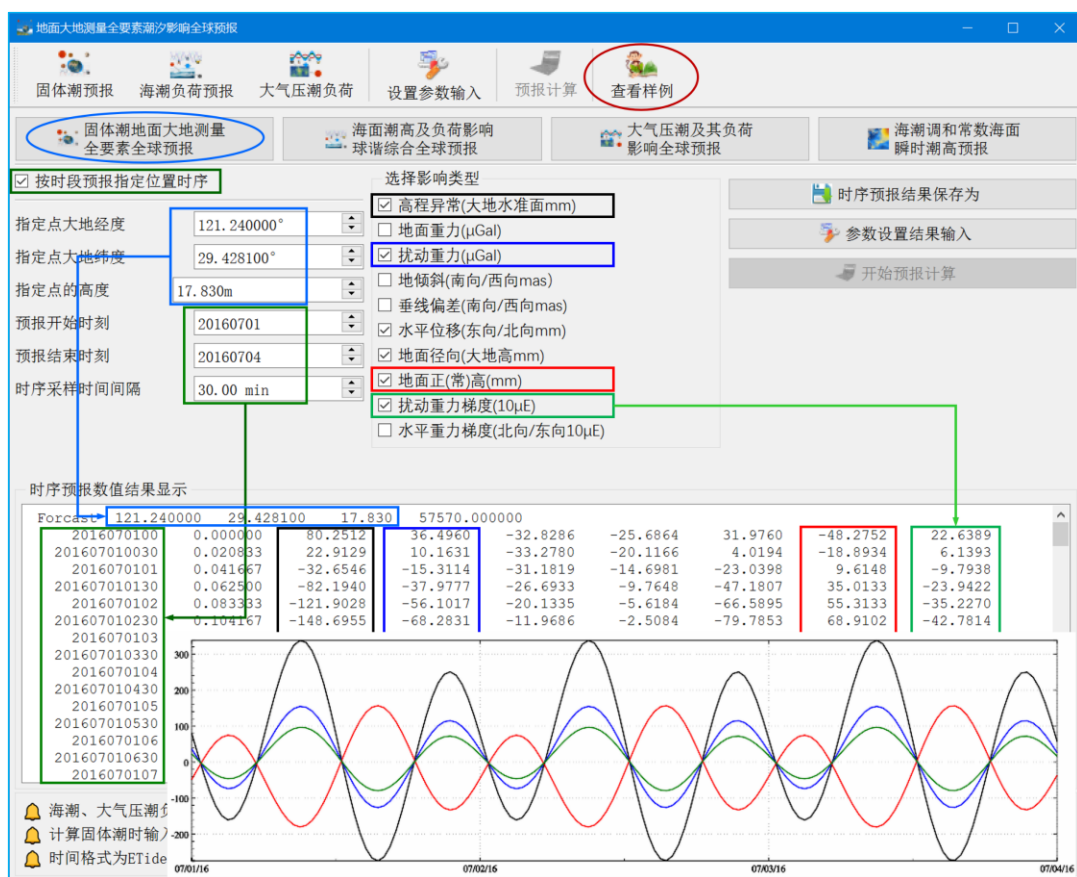
开始预报计算

瞬时地面大气压潮hPa -11.854

指定位置时刻潮汐影响预报

高程异常(大地水准面mm)	-6.523	地面重力μGal	8.218	扰动重力μGal	7.081
水平东向位移mm	-0.129	地倾斜南向分量mas	1.114	垂线偏差南向分量mas	0.390
水平北向位移mm	-0.413	地倾斜西向分量mas	0.076	垂线偏差西向分量mas	0.032
径向位移(大地高mm)	9.115	地面正(常)高mm	15.638		
扰动重力梯度(10μE)	-17.210	水平重力梯度北向(10μE)	-11.441	水平重力梯度东向(10μE)	1.865

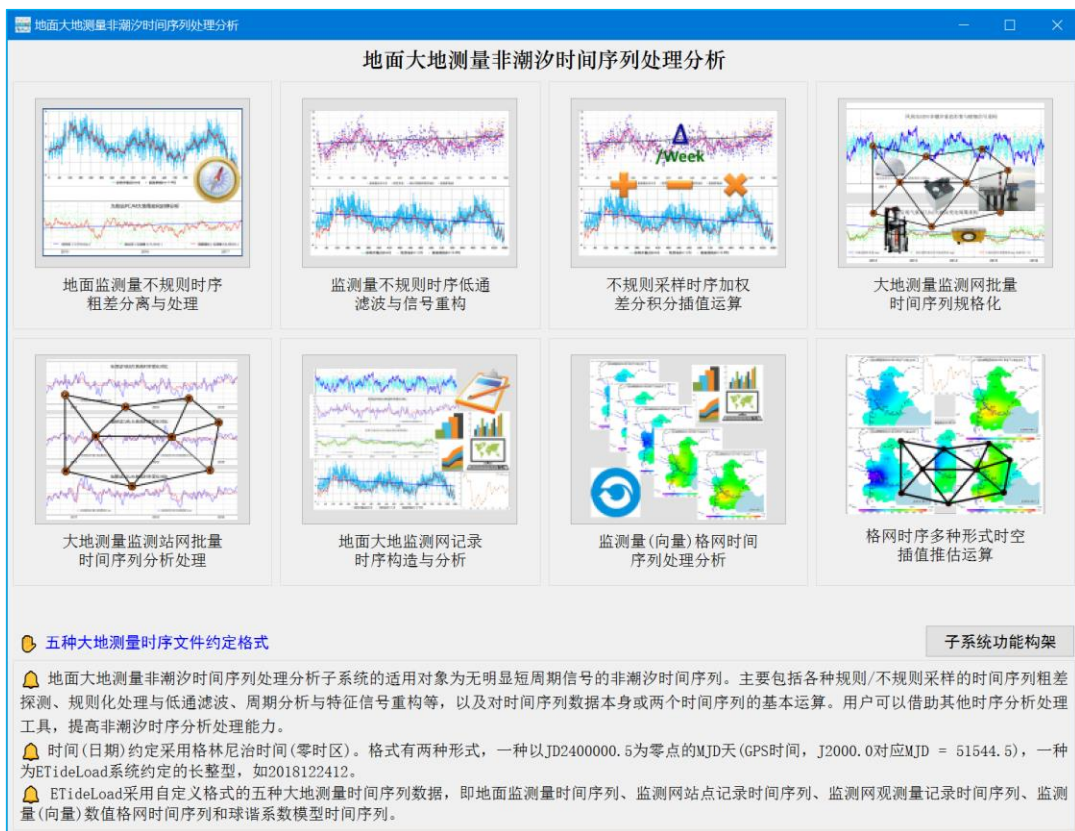
海潮、大气压潮负荷球谐系数模型可用[ETideLoad4.0地球物理模型与数值标准设置]程序进行更新。
计算固体潮时输入大地高，计算海潮及其负荷影响时输入计算点相对海平面的高度，即正(常)高，计算大气潮及其负荷影响时程序自动置零。
时间格式为ETideLoad4.0约定的长整数格式，如20181224122642表示2018年12月24日12时26分42秒，2018122412表示2018年12月24日12时0分0秒。



计算固体潮时输入大地高，计算海潮及其负荷影响时输入计算点相对海平面的高度，即正（常）高，计算大气潮及其负荷影响时程序自动置零。

第三章 地面大地测量非潮汐时间序列处理分析

地面大地测量非潮汐时间序列处理分析的适用对象为无明显短周期信号的非潮汐时间序列。本组程序用于各种规则/不规则采样的时间序列粗差探测、规则化处理、周期分析、低通滤波与特征信号重构等，以及对时间序列数据本身或两个时间序列的基本运算。用户可以借助其他时序分析处理工具，提高非潮汐时序分析处理能力。



ETideLoad 采用自定义格式的五种大地测量时间序列数据，即地面监测量时间序列、监测网站点记录时间序列、监测网观测量记录时间序列、监测量(向量)数值格网时间序列和球谐系数模型时间序列。

3.1 地面监测量不规则时序粗差分离与处理

[目标]输入 ETideLoad 格式的地面大地测量监测量不规则时间序列文件，对其进行粗差探测分离、时间格式变换、多列属性时序监测基准时间统一（即参考历元统一），或按指定时间长度平均等预处理工作。

3.1.1 时间序列粗差探测与剔除

[功能]按给定的低通滤波参数个数，采用连续 Fourier 和切比谢夫组合基函数，由指定属性的不规则采样时序，构造低通滤波参考曲线，计算采样值与参考值之差，并对残差时序进行统计，将大于指定倍数残差标准差的采样记录，作为粗差分离出去。程序进行 5

次迭代粗差探测与分离。

[输入]地面监测量不规则采样时间序列文件。

头文件占据一行。从第二行起，每行记录表示时序的一个历元时刻采样，其中至少有1个属性为采样历元时刻，其余各列代表不同属性监测量时序。

[参数设置]设置输入文件记录中采样时间属性、待探测目标属性时序所在的列序号，输入低通滤波参数个数，粗差阈值（标准差的倍数）。

这里的标准差，是目标时序采样值与低通滤波值之差的残差时序标准差。程序将目标属性残差绝对值大于标准差倍数对应的记录作为粗差分离出去。

低通滤波参数个数不大于时序采样数的1/2，不小于采样数的1/30。当超出此范围后，程序自动取最小或最大值。

地面监测量不规则时序粗差分离与处理

打开文件 结果保存 设置参数输入 开始计算 计算信息保存 查看样例

时间序列粗差探测与剔除 系统时间与MJD相互转换 多个时序监测基准时间统一 时序按指定时间长度平均

打开地面监测量时间序列文件 计算过程 ** 操作提示 计算信息保存

设置文件格式

头文件中起算MJD列序号 5

时间属性所在列序号 1

粗差探测目标时序列序号 2

粗差阈值(标准差倍数) 3

时序低通滤波参数个数 20

设置结果输入按钮，将参数输入系统...

结果时序文件保存为 C:/ETideLoad4.0_win64cn/examples/TmsrsErrorseppreproc/Errsepl.txt

在输入时序文件的基础上，头文件增加常数项和线性项(年变化率，/a)两个属性，每行记录增加低通滤波值、移去常数项后的低通滤波值、移去常数项和线性项后的低通滤波值、线性变化值和残差值5个属性，保留4位有效数字。

参数设置结果已输入系统

点击[开始计算]控件按钮，或[开始计算]工具按钮.....

计算开始时间：2022-02-19 11:32:14

残差平均值，标准差，最小值，最大值，常数项，线性项(/年)：-0.044, 12.468, -39.235, 40.459, 29.638, -0.6323

完成计算!

结果时序文件保存为 参数设置结果输入 开始计算

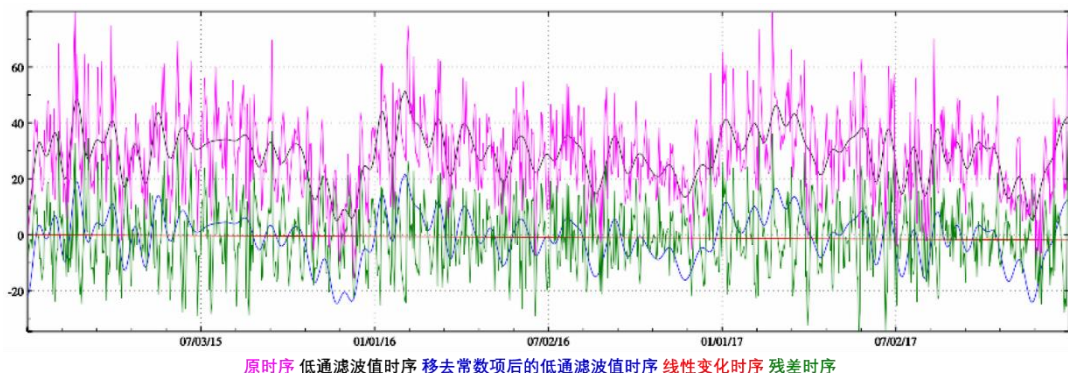
输入输出数据显示

JHYW	U	120.0442119	29.16216832	109.8773	57023.500	29.6384	-0.6323	-8.0099
2015010112	0.03	0.0	8.0399	-21.5985	-21.5985	-0.0000	-8.0099	-8.0099
2015010212	2.2	1.0	8.4821	-21.1563	-21.1544	-0.0017	-6.2821	-6.2821
2015010312	6.51	2.0	9.7780	-19.8604	-19.8569	-0.0035	-3.2680	-3.2680
2015010412	9.96	3.0	11.8280	-17.8104	-17.8052	-0.0052	-1.8680	-1.8680
2015010512	12.85	4.0	14.4762	-15.1622	-15.1553	-0.0069	-1.6262	-1.6262
2015010612	12.55	5.0	17.5242	-12.1142	-12.1055	-0.0087	-4.9742	-4.9742
2015010712	25.9	6.0	20.7491	-8.8893	-8.8789	-0.0104	5.1509	5.1509
2015010812	34.52	7.0	23.9232	-5.7152	-5.7031	-0.0121	10.5968	10.5968
2015010912	41.16	8.0	26.8338	-2.8046	-2.7907	-0.0138	14.3262	14.3262
2015011012	36.64	9.0	29.3019	-0.3365	-0.3210	-0.0156	7.3381	7.3381
2015011112	40.85	10.0	31.1965	1.5581	1.5754	-0.0173	9.6535	9.6535
2015011212	32.32	11.0	32.4454	2.8070	2.8261	-0.0190	-0.1254	-0.1254
2015011312	31.81	12.0	33.0392	3.4008	3.4216	-0.0208	-1.2292	-1.2292
2015011412	24.43	13.0	33.0298	3.3914	3.4139	-0.0225	-8.5998	-8.5998
2015011512	24.08	14.0	32.5232	2.8848	2.9091	-0.0242	-8.4432	-8.4432
2015011612	16.37	15.0	31.6660	2.0285	2.0545	-0.0260	-16.3869	-16.3869

监测量时间序列文件记录中，每个属性(除采样时间属性外)代表一种类型监测量时序，不同类型监测量采样历元时刻相同。

[输出]剔除粗差后的监测量时序分析文件。

在输入时序文件的基础上，头文件增加常数项和线性项（年变化率，/a）两个属性，每行记录增加低通滤波值、移去常数项后的低通滤波值、移去常数项和线性项后的低通滤波值、线性变化值和残差值5个属性，保留4位有效数字。



3.1.2 系统时间与 MJD 相互转换

[功能]自动探测地面监测量不规则时序文件的时间格式，实现系统约定格式的时间与以 JD2400000.5 为零点的 MJD 天（GPS 时）时间之间相互转换。

[输出]在输入时序文件记录的基础上，增加 1 列转换后的时间为输出记录的最后一列。当目标为 MJD 时间时，程序还在头文件最后一列增加时序第一个采样时刻对应的 MJD 天作为时序的起算 MJD0。

3.1.3 时间序列监测基准时间统一

[功能]设置监测基准时间（也称参考历元时刻），按三次样条插值或高斯基函数插值方式，内插多个指定时序在参考历元时刻的采样值，并将其从相应时序采样值中移去，从而实现多个时序采样值统一从参考历元时刻起算。在监测基准时间（参考历元时刻），所有时序的采样值恒为零。

程序要求选择的时序数量不大于 20，即最后 1 个时序与第 1 个时序的属性列序号之差小于 20。

要求监测基准时间（参考历元时刻）不早于首个采样时刻，不迟于最后采样时刻，否则，程序自动设置成首个或最后采样时刻。

当时序信号有噪声或缺失采样较多时，建议采用高斯基函数插值。

统一参考历元时刻是多源数据地球动力学监测的最基本要求。ETideLoad4.0 为各种格式的大地测量监测量时间序列提供了参考历元统一工具。

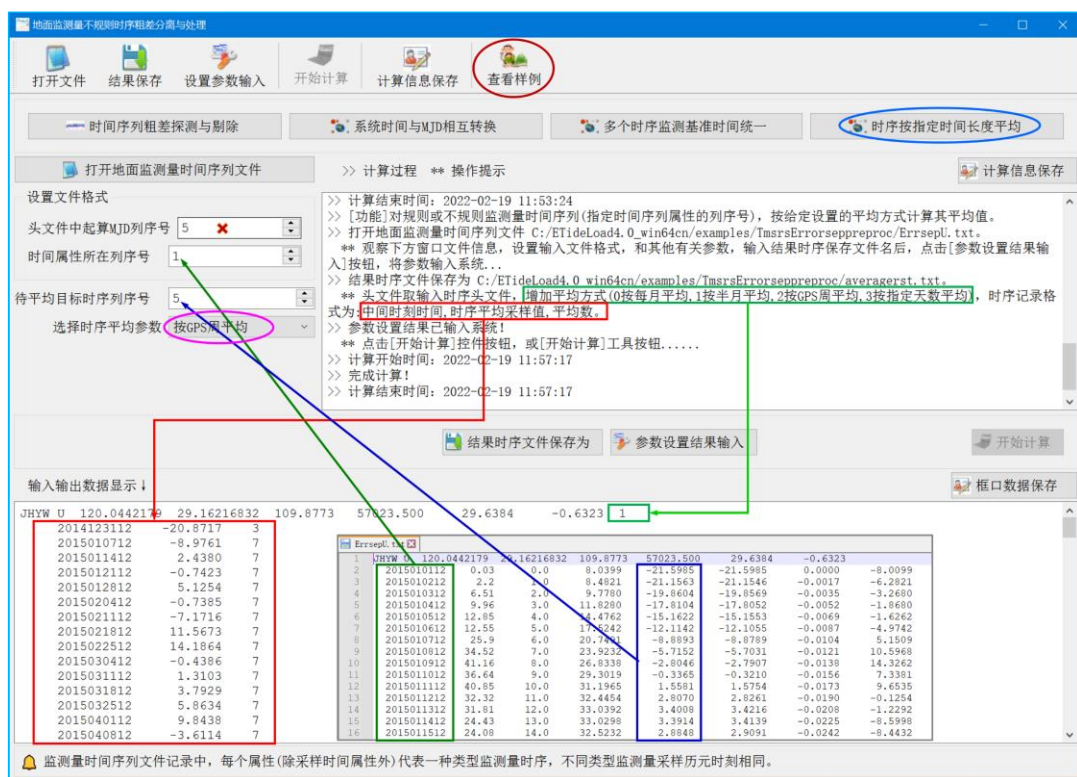
3.1.4 时序按指定时间长度平均

[功能]对规则或不规则监测量时间序列（指定时间序列属性的列序号），按给定的平均方式计算其平均值。

[输入]地面监测量不规则采样时间序列文件。

[参数设置]设置输入文件记录中时间属性和待平均目标属性所在的列序号，选择时序平均参数。

[输出]头文件取输入监测量时序头文件，增加平均方式（0 按每月平均，1 按半月平均，2 按 GPS 周平均，3 按指定天数平均）。输出时序记录格式：中间时刻时间，时序平均采样值，平均数。



ETideLoad4.0 软件界面截图，显示了“时序按指定时间长度平均”的功能设置和计算结果。

设置文件格式：

- 头文件中起算MJD列序号：5
- 时间属性所在列序号：1
- 待平均目标时序列序号：5
- 选择时序平均参数：按GPS周平均

计算过程：

- 计算结束时间：2022-02-19 11:53:24
- 计算开始时间：2022-02-19 11:57:17
- 完成计算！

输入输出数据显示：

JHYW	U	20.0442179	29.16216832	109.8773	57023.500	29.6384	-0.6323	1
2014123112	-20.8717	3						
2015010712	-8.9761	7						
2015011412	2.4380	7						
2015012112	-0.7423	7						
2015012812	5.1254	7						
2015020412	-0.7385	7						
2015021112	-7.1716	7						
2015021812	11.5673	7						
2015022512	14.1864	7						
2015030412	-0.4386	7						
2015031112	1.3103	7						
2015031812	3.7929	7						
2015032512	5.8634	7						
2015040112	9.8438	7						
2015040812	-3.6114	7						

JHYW	U	20.0442179	29.16216832	109.8773	57023.500	29.6384	-0.6323	1
1	JHYW	20.0442179	29.16216832	109.8773	57023.500	29.6384	-0.6323	1
2	2015010112	0.03	0.0	8.0399	-21.5985	-21.5985	0.0000	-8.0099
3	2015010212	2.2	0.0	8.4821	-21.1563	-21.1546	-0.0017	-6.2821
4	2015010312	6.51	2.0	9.7780	-19.8604	-19.8569	-0.0035	-3.2680
5	2015010412	9.96	3.0	11.8280	-17.8104	-17.8052	-0.0052	-1.8680
6	2015010512	12.85	4.0	13.4762	-15.1622	-15.1553	-0.0069	-1.6262
7	2015010612	12.55	5.0	17.8442	-12.1142	-12.1055	-0.0087	-4.9742
8	2015010712	25.9	6.0	20.7891	-8.8893	-8.8789	-0.0104	5.1509
9	2015010812	34.52	7.0	23.9232	-5.7152	-5.7031	-0.0121	10.5968
10	2015010912	41.16	8.0	26.9338	-2.8046	-2.7907	-0.0138	14.3262
11	2015011012	36.64	9.0	29.3019	-0.3365	-0.3210	-0.0156	7.3381
12	2015011112	40.85	10.0	31.1965	1.5581	1.5754	-0.0173	9.6535
13	2015011212	32.32	11.0	32.4454	2.8070	2.8261	-0.0190	-0.1284
14	2015011312	31.81	12.0	33.0392	3.4098	3.4216	-0.0208	-1.2292
15	2015011412	24.43	13.0	33.0298	3.3914	3.4139	-0.0225	-8.5998
16	2015011512	24.08	14.0	32.5232	2.8848	2.9091	-0.0242	-8.4432

监测量时间序列文件记录中，每个属性（除采样时间属性外）代表一种类型监测量时序，不同类型监测量采样历元时刻相同。

3.2 监测量不规则时序低通滤波与信号重构

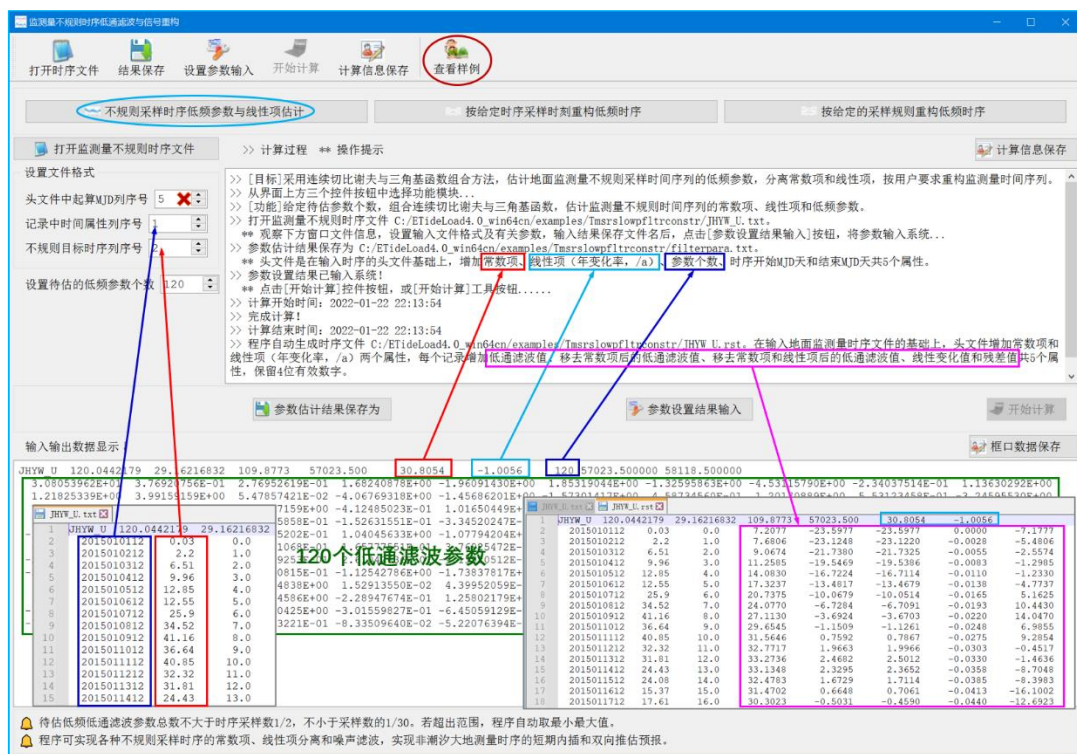
[目标]采用连续切比谢夫与三角基函数组合方法,估计地面监测量不规则采样时间序列的低频参数,分离常数项和线性项,按用户要求重构监测量时间序列。

3.2.1 不规则采样时序低频参数与线性项估计

[功能]给定待估参数个数，组合连续切比谢夫与三角基函数，估计监测量不规则时间序列的常数项、线性项和低频参数。

[输入]地面监测量不规则采样时间序列文件。

头文件占据一行。点名/点号, 经度, 纬度(度小数), 高度(m, 相对于椭球面、海平面或地面的高度, 可选), 起算 MJD(可选), ...。



从第二行起, 每行记录表示时序的一个历元时刻采样, 其中至少有 1 个属性为采样历元时刻, 其余各列代表不同属性监测量时序。

[参数设置]设置输入文件记录中采样时间属性、待滤波目标属性时序所在的列序号，输入低通滤波参数个数。

低通滤波参数个数不大于时序采样数 1/2，不小于采样数的 1/30。若超出范围，程序自动取最小最大值。

[输出]不规则采样时序低通滤波参数文件, 低通滤波时序分析文件。

(1) 不规则采样时序低通滤波参数文件。

头文件在输入时序的头文件基础上，增加常数项、线性项（年变化率， $1/a$ ）、参数个

数、时序开始 MJD 天和结束 MJD 天共 5 个属性。文件主体是按顺序排列的全部低通滤波参数值。

(2) 低通滤波时序分析文件*.rst (*为输入时序文件名)。

在输入地面监测量时序文件的基础上，头文件增加常数项和线性项（年变化率，/a）两个属性，每个记录增加低通滤波值、移去常数项后的低通滤波值、移去常数项和线性项后的低通滤波值、线性变化值和残差值共 5 个属性，保留 4 位有效数字。

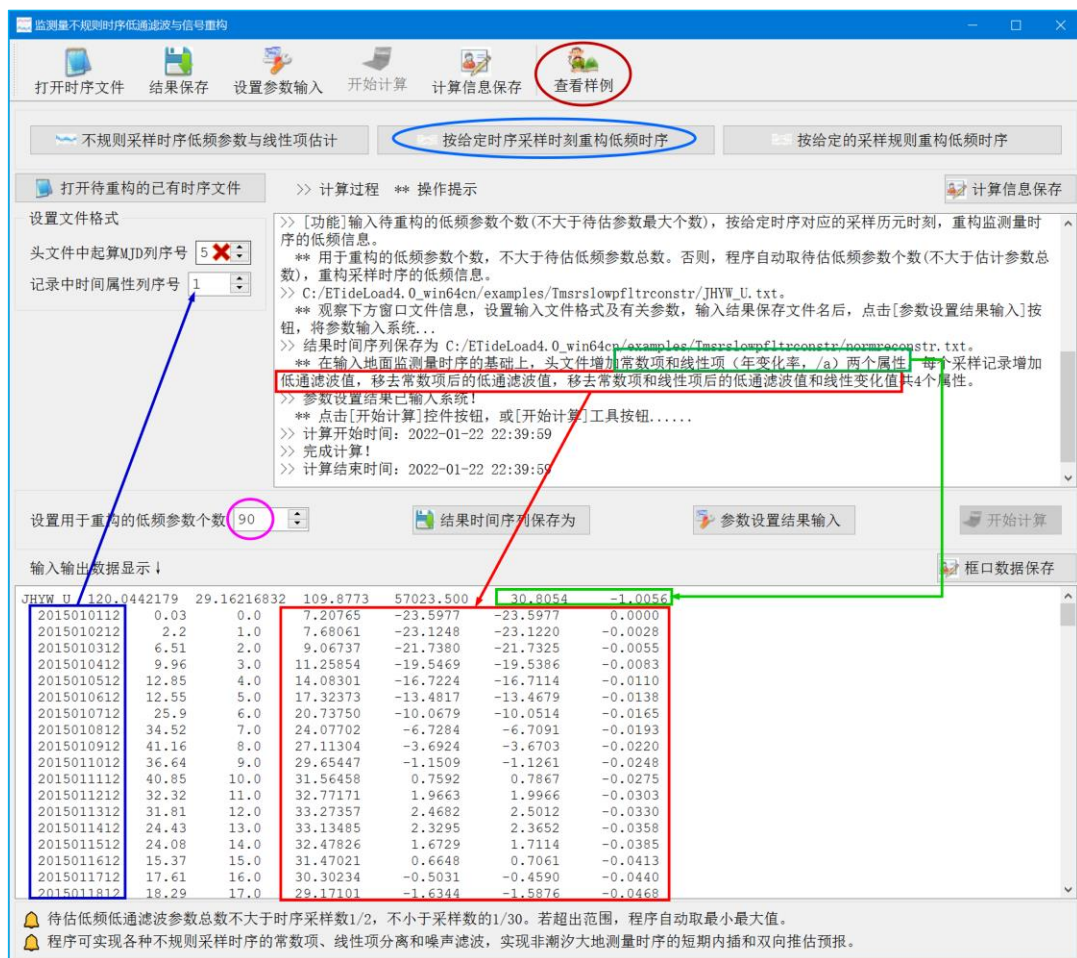
3.2.2 按给定时序采样时刻重构低频时序

[功能]输入待重构的低频参数个数（不大于待估参数最大个数），按照输入时序文件对应的采样历元时刻，重构监测量时序的低频信息。

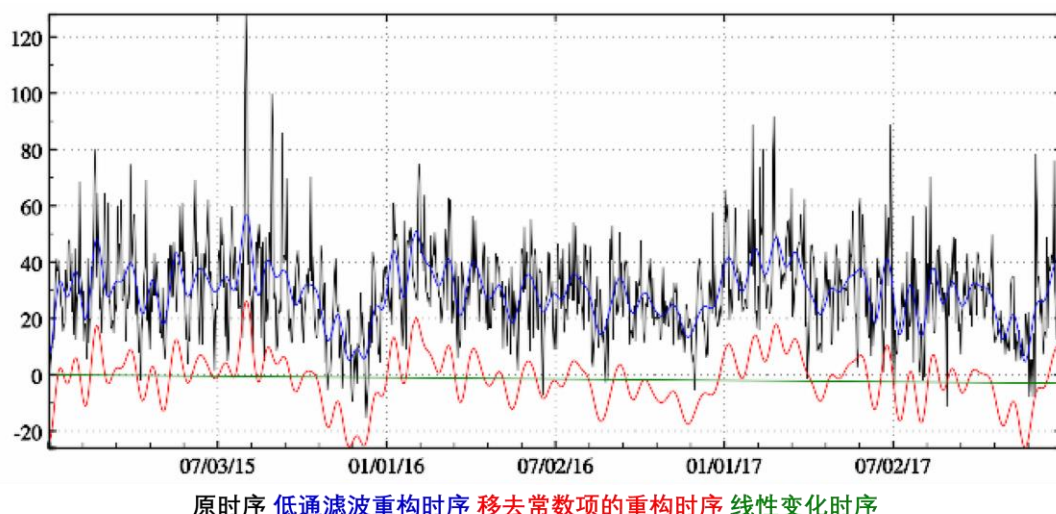
[输入]地面监测量不规则采样时间序列文件。

[参数设置]设置输入文件记录中采样时间属性所在的列序号，输入用于重构的低频参数个数。

用于重构的低频参数个数，不大于待估低频参数个数。否则，程序自动取待估低频参数个数（不大于估计参数总数），重构采样时序的低频信息。



[输出]低频重构时序文件。在输入地面监测量时序文件的基础上，头文件增加常数项和线性项（年变化率，/a）两个属性；每个采样记录增加低通滤波值，移去常数项后的低通滤波值，移去常数项和线性项后的低通滤波值和线性变化值共 4 个属性。



3.2.3 按给定的采样规则重构低频时序

[功能]给定采样起止时间（ETideLoad 约定格式）、采样间隔（小时）和用于重构的低频参数个数，重构时序的低频信息。

[参数设置]采样起止时间不宜早于（可略早于）参数估计时序的第一个采样历元时刻。不宜迟于（可略迟于）参数估计时序的最后一个采样历元时刻。

[输出]头文件直接取低通参数文件头文件，记录由采样时间、低通滤波值，移去常数项后的低通滤波值，移去常数项和线性项后的低通滤波值和线性变化值 5 个属性构成。

程序可实现各种不规则采样时序的常数项、线性项分离和噪声滤波，实现非潮汐大地测量时序的短期内插和双向推估预报。

3.3 不规则采样时序加权差分积分插值运算

[目标]直接对不规则采样的监测量时间序列，按用户给定的方式，进行加权、差分、积分和插值运算。

3.3.1 两列时序加权运算

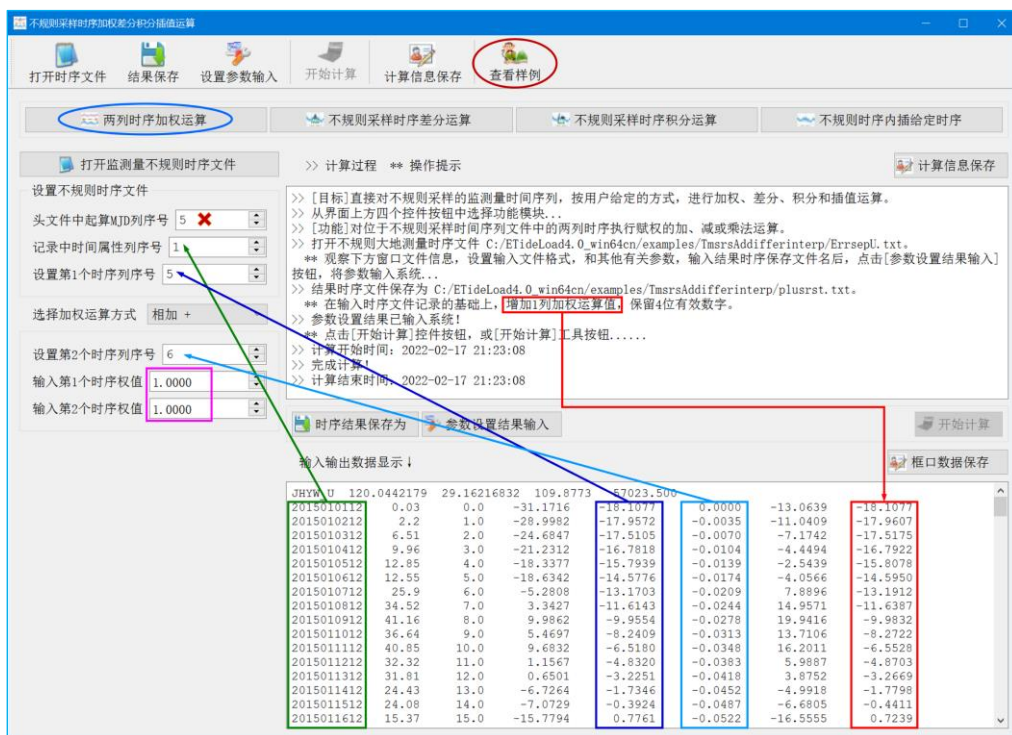
[功能]对不规则采样时间序列文件中的两列时序执行赋权的加、减或乘法运算。

[输入]地面监测量不规则采样时间序列文件。

[参数设置]设置输入文件记录中采样时间属性、属性 1 时序、属性 2 时序所在的列序号，输入时序 1、时序 2 的权值。

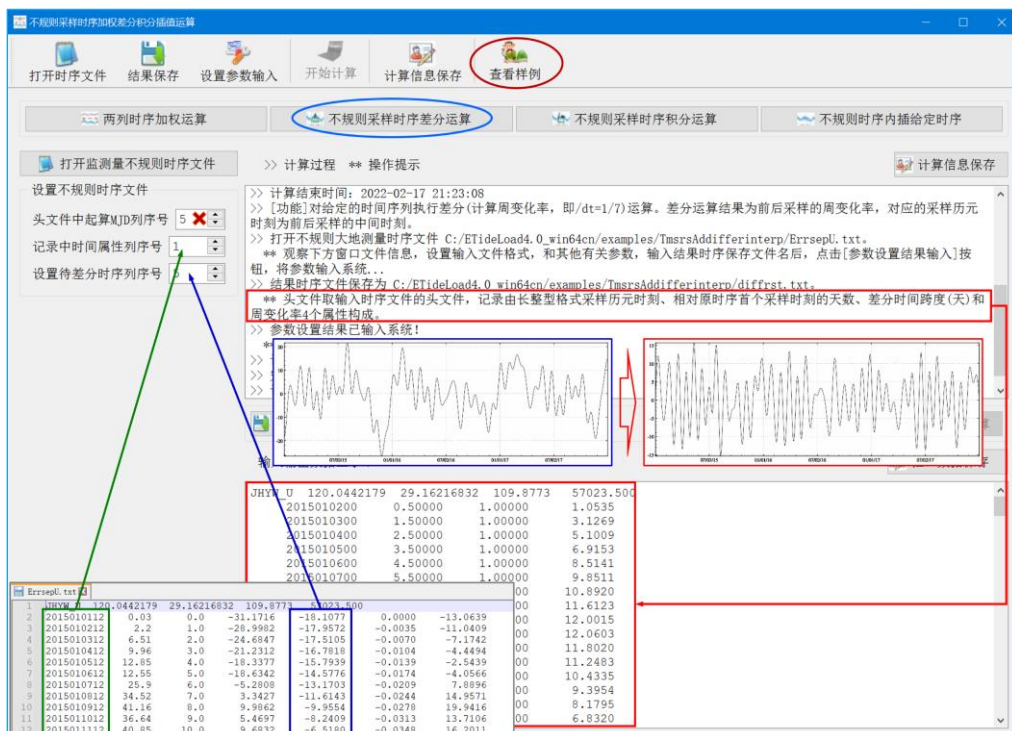
[输出]加权运算结果时间序列文件。

在输入时序文件记录的基础上，增加 1 列加权运算值，保留 4 位有效数字。



3.3.2 不规则采样时序差分运算

[功能]对给定的监测量时间序列执行差分（计算周变化率，即/dt=1/7）运算。差分运算结果为前后采样的周变化率，对应的采样历元时刻为前后采样的中间时刻。



[输入]地面监测量不规则采样时间序列文件。

[参数设置]设置输入文件记录中采样时间属性、待差分属性时序所在的列序号。

[输出]指定属性时序差分运算结果时间序列文件。

头文件取输入时序文件的头文件，输出记录由长整型格式采样历元时刻、相对原时序首个采样时刻的天数、差分时间跨度（天）和周变化率 4 个属性构成。

3.3.3 不规则采样时序积分运算

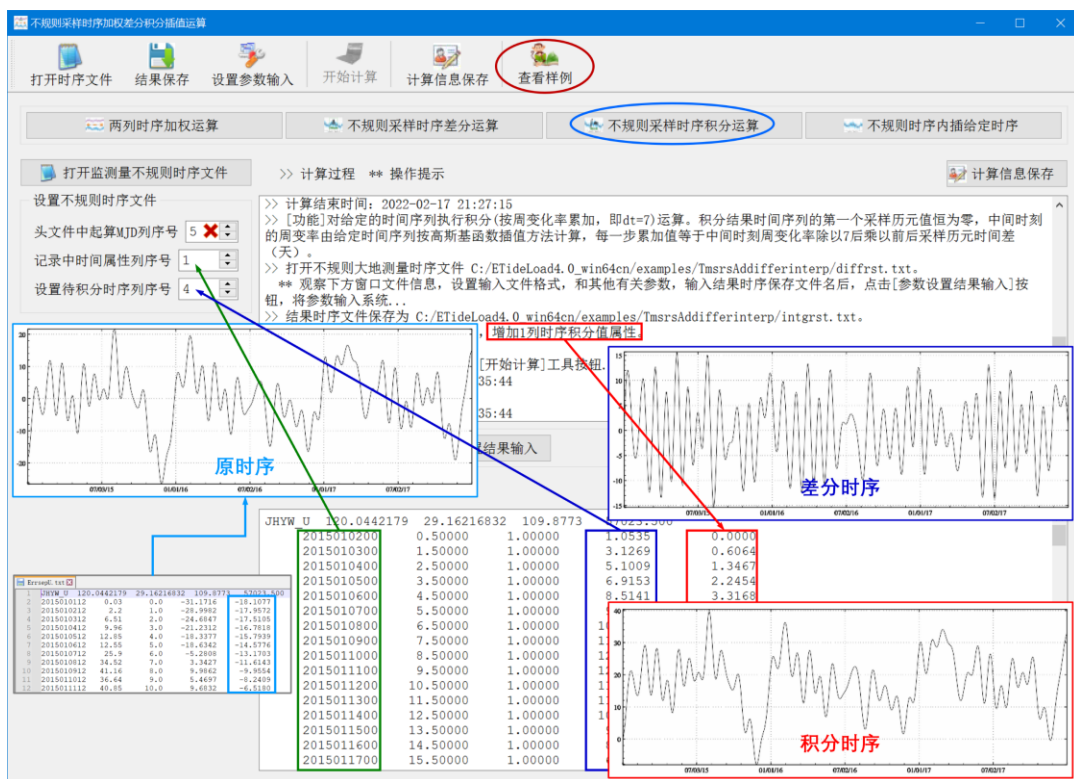
[功能]对给定的时间序列执行积分(按周变化率累加，即 $dt=7$)运算。积分结果时间序列的第一个采样历元值恒为零，中间时刻的周变率由给定时间序列按高斯基函数插值方法计算，每一步累加值等于中间时刻周变化率除以 7 后乘以前后采样历元时间差（天）。

[输入]地面监测量不规则采样时间序列文件。

[参数设置]设置输入文件记录中采样时间属性、待积分属性时序所在的列序号。

[输出]指定属性时序积分运算结果时间序列文件。

在输入时序文件记录的基础上，增加 1 列时序积分值属性。



3.3.4 不规则时序内插给定时序

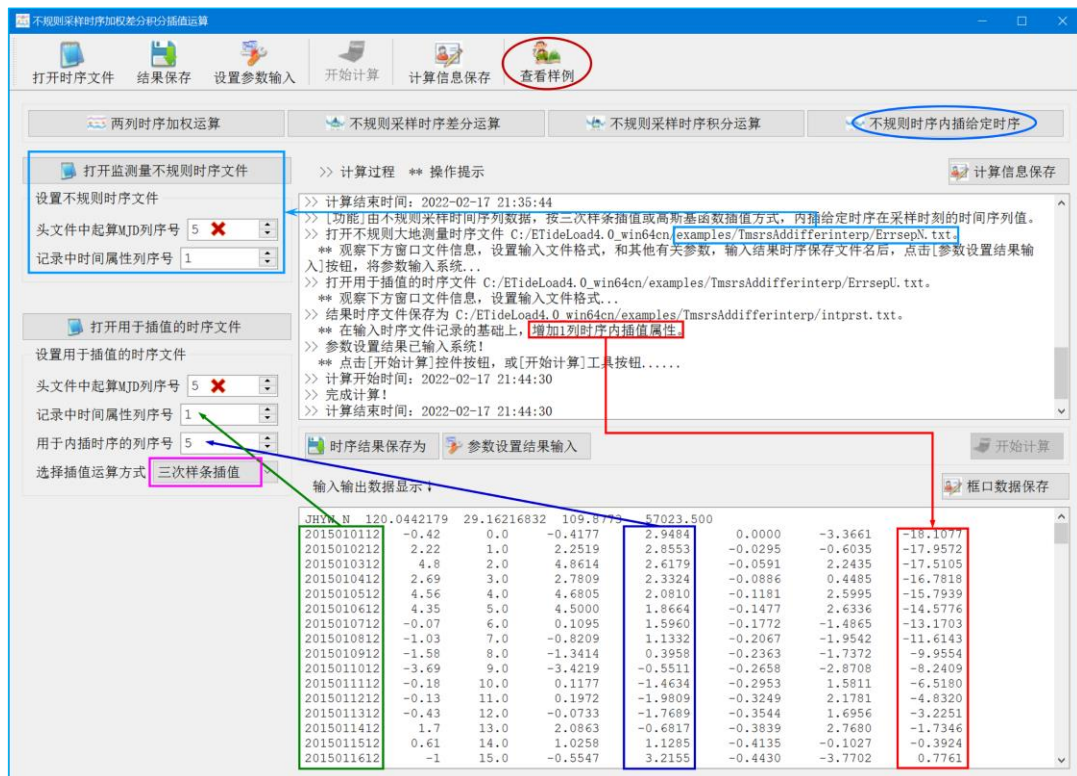
[功能]由不规则采样时间序列数据，按三次样条插值或高斯基函数插值方式，内插给定时序在采样时刻的时间序列值。

[输入]地面监测量不规则采样时序文件，用于插值的监测量不规则采样时序文件。

[参数设置]设置两个输入文件记录中采样时间属性所在的列序号，选择用于插值的监测量时序文件记录中属性时序所在列序号，选择插值方式。

[输出]插值后的结果时间序列文件。

在输入时序文件记录的基础上，增加 1 列时序插值结果属性。



3.4 大地测量监测网批量时间序列规格化

[目标]从格式一致、内含时序数据的系列大地测量站点或 CORS 站网基线解文本文件中,按监测量时序文件格式要求,规格化批量提取监测量时序数据。

程序要求批量原文件独立存放于一个目录中,且原文件名包含站点名或基线名(所有站点名或基线名的字符数相同),规格化提取后的批量文件保存到另一目录中。

3.4.1 地面站点时序规格化批量提取

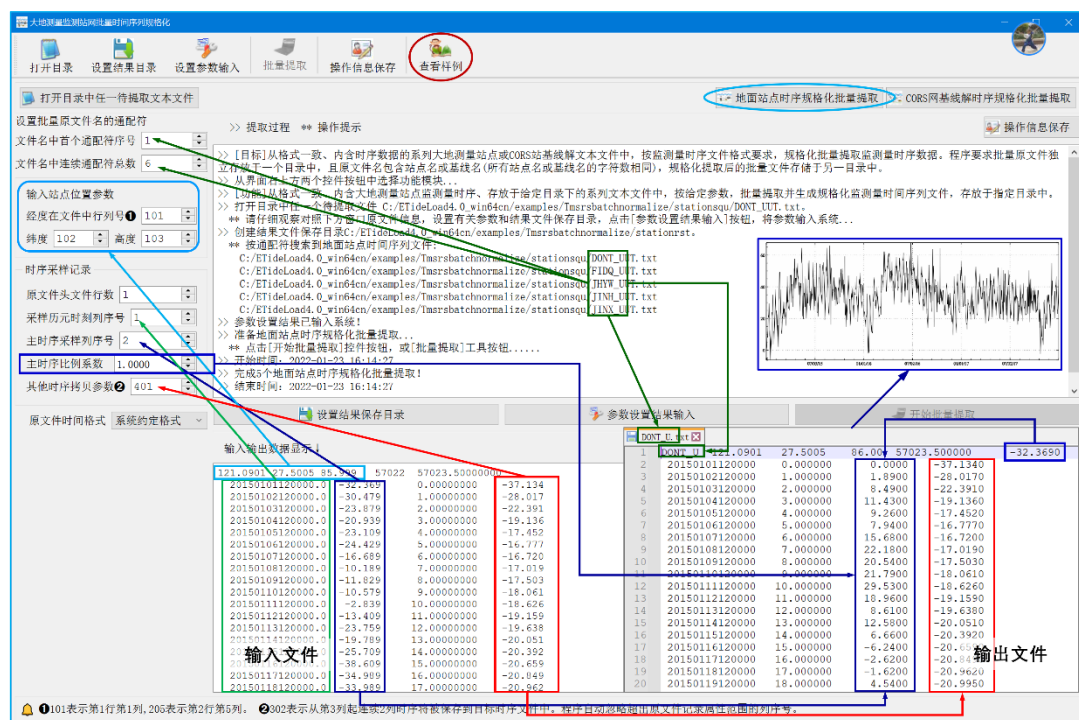
[功能]从格式一致、内含大地测量站点监测量时序,存放于给定目录下的系列文本文件中,按给定参数,批量提取并生成规格化监测量时间序列文件,存放于指定目录中。

[参数设置]程序要求文件名通配符能唯一标识目录中的文件,其对应字符将作为规格化提取后的时序文件名保存。

当原文件中不存在高度数据时,或输入的位置参数超出属性最大序号的行列号值,程序自动将高度属性置零。

起算 MJD0 与记录中采样历元(天)之和,等于采样历元时刻 MJD 天。当采样历元

若原文件的头文件没有起算 MJD0, 请输入 ETideLoad 约定长整数格式的起算时间, 程序会自动计算 MJD 天。



头文件：站点名（实例化的文件名通配符），经度，纬度，高度，起算 MJD0，常数项
目标时序第一个采样值）。

记录格式：采样时间，相对起算 MJD0 的天数，主时序采样值（移去主时序第一个采样值），其他直接拷贝的属性时序。

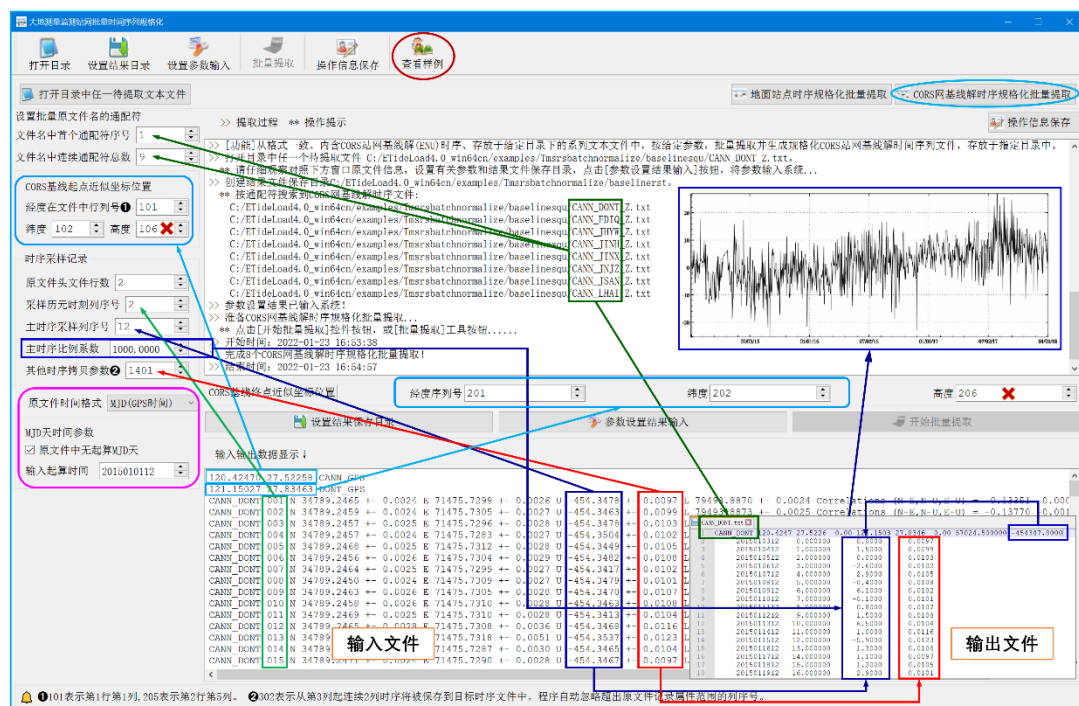
[功能]从格式一致、内含 CORS 站网基线解 (ENU) 时序, 存放于给定目录下的系列文本文件中, 按给定参数, 批量提取并生成规格化 CORS 站网基线解时间序列文件, 存放指定目录中。

批量提取前，请注意仔细观察对照下方窗口原文件信息，设置有关参数和结果文件保存目录。点击[参数设置结果输入]按钮，将参数输入系统...

[输出]批量 ETideLoad 格式的 CORS 基线解时序文件。

头文件：基线名（实例化的文件名通配符），起点经度，纬度，高度，终点经度，纬度，高度，起算 MJD0，常数项（目标时序第一个采样值）。

记录格式：采样时间（长整数），相对起算 MJD0 的天数，主时序采样值（统一减去主时序第一个采样值，即常数项），其他直接拷贝的属性时序。



3.5 大地测量监测站网批量时序分析处理

[目标]对系列地面监测量时序文件中的指定时序进行粗差探测、线性项分离与低通滤波重构，或按指定时间长度进行平均运算。程序要求原批量时序文件格式一致，且独立存放于一个目录中，处理后的批量时序文件另存于另一目录。

3.5.1 系列时序粗差线性项分离与低频重构

[功能]从系列地面监测量时间序列文件中，逐一构造低通滤波时序，以低通滤波时序为参考曲线，探测剔除粗差，分离线性项，重构低通滤波时序。结果存放于指定目录中。

[输入]格式一致的系列地面监测量时间序列文件。

[输出]在输入时序文件的基础上，头文件增加常数项和年变率两个属性，记录增加低通滤波值，移去常数项后的低通滤波值，移去常数项和线性项后的低通滤波值，线性变化值和残差值共 5 个属性。

程序同时输出系列时间序列的线性项文件 TsqLinear#.txt (#为原时序文件中给定时序的列序号)，每个记录存放一个时序的线性项信息，无头文件。记录格式：原时序头文件、滤波参数个数、年变化率 (/a)、常数项和重构后的残差标准差。

批量时序分析完成后，绘图查看每个时序的处理分析质量。必要时，可采用[不规则大地测量时序粗差分离与预处理]和[不规则采样时序低通滤波及其信号重构]程序，调整低通滤波参数个数，单独对个别时序进行分析处理。

Figure 1 shows the main interface of the 'Large-scale Groundwater Monitoring Data Analysis Software'. The interface includes a top menu bar, a left sidebar with file management options, a central workspace with a detailed workflow diagram, and a bottom panel displaying data results. The workflow diagram outlines the steps from data input to final analysis, including file selection, parameter setting, and data processing. The bottom panel shows a table of data results, with columns for file names and numerical values. Red and green arrows highlight specific steps and data points, indicating the flow of the analysis process.

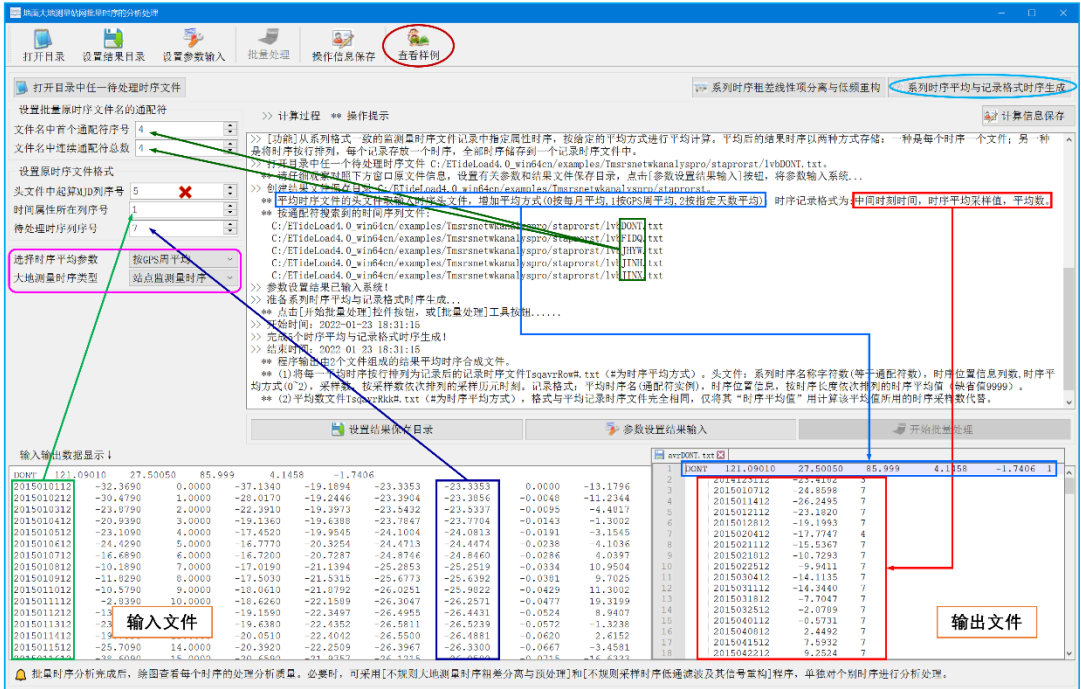
[功能]从系列格式一致的监测量时序文件记录中指定属性时序，按给定的平均方式进行平均计算。平均后的结果时序以两种方式存储：一种是每个时序一个文件；另一种是将时序按行排列，每个记录存放一个时序，全部时序存储到一个记录时序文件中。

程序输出由两个文件组成的结果平均时序合成文件。

②平均数文件 TsqavrRkk#.txt (#为时序平均方式)。格式与平均记录时序文件完全相同，
仅将其“时序平均值”用计算该平均值所用的时序采样数代替。

“大地监测网时序”表示该系列时序为 CORS 网（GNSS 监测网）基线、水准网高差或

重力网段差等大地网监测测量时间序列。



3.6 地面大地监测网记录时序构造与分析

[目标]构造分析由地面大地监测站网的多期或连续观测或成果数据组成的监测网记录时间序列。

记录时间序列文件用于表示由多个站点构成的地面监测网某一种监测测量时间序列，其中一条记录表示一个站点、一条 GNSS 基线、一个重力段差、一条水准路线高差或 InSAR 地面监测点等监测测量时间序列。

3.6.1 由系列同规格时序生成记录时序

[功能]将存放在某个目录中采样规格（采样时间跨度、间隔和历元）相同的系列监测测量时间序列文件，按指定属性时序，生成记录时序格式文件。

[输入] 采样规格相同的系列监测测量时间序列文件。

程序计算所有系列时序中采样时间的最大、最小值和最小采样间隔，组成新的采样规格，每个记录存放一个指定属性时序，其位置信息从相应时序的头文件中提取，9999.000 表示当前历元无有效采样值。

[输出]监测测量记录时间序列文件。

头文件：时序名字符数，时序位置信息占住的列数，记录时序长度，按时间先后排序的采样历元时刻。

记录：时序名，时序位置信息（一般情况下站点时序 3~4 个属性，基线或测段时序 6~8 个属性），按时间先后排序的采样值。



3.6.2 记录时序缺失采样短期内插修复

[功能]采用三次样条或高斯基函数插值方法，由临近采样值短时期内插记录时序中缺失采样数据。程序不具备短时推估预报能力，较多采样缺失修复和推估请采用[不规则采样时序低通滤波及其信号重构]程序。输入输出记录时序格式相同。

当时序信号存在一定噪声或时序采样连续缺失时，建议采用高斯基函数插值。

3.6.3 记录时序时空统计与均值分离

[功能]先以记录为单元，统计该时序监测量在整个采样时期的时间平均值、标准差、最小值和最大值；再以采样历元时刻为单元，统计所有监测量的空间平均值、标准差、最小值和最大值；最后，计算全部监测量在整个采样时段内的时空平均值、标准差、最小值和最大值。程序要求记录时序头文件中采样时刻与记录中时序采样值一一对应。

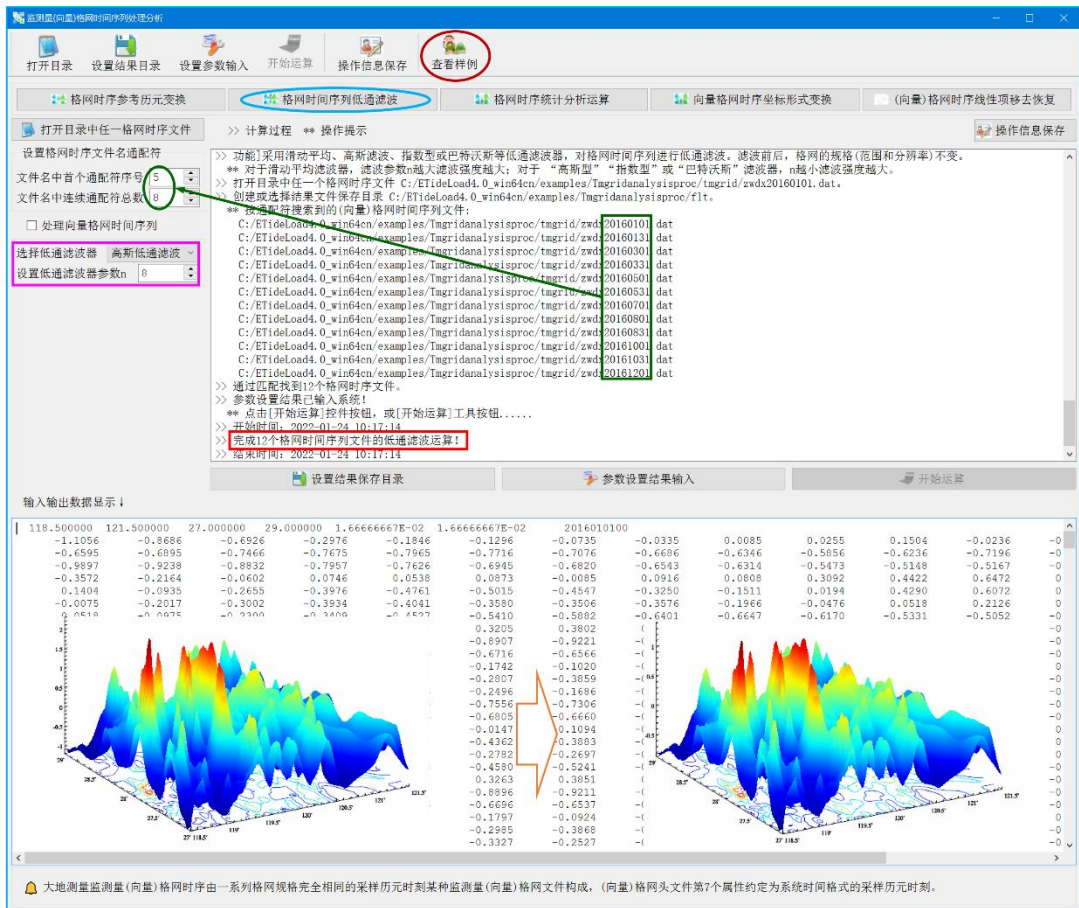
[输出]记录时序时间统计文件，记录时序空间统计值时序文件，以及移去每个采样时刻空间平均值后的记录时序文件，移去每个监测量时序时间平均值后的记录时序文件。

(1) 记录时序时间统计文件。无头文件，记录格式：原记录中第 1 到首个采样值（不含首个采样值）之间属性，该记录时序的时间平均值、标准差、最小值和最大值。

(2) 记录时序空间统计值时序文件。头文件：Epoch_statistics，监测网点经纬度和高度的平均值，全部采样在整个时间跨度上的时空平均值，标准差，最小值和最大值。记录格式：采样历元时刻，该时刻监测网有效采样数，空间平均值，标准差，最小值和最大值。

3.7.2 格网时间序列低通滤波

[功能]采用滑动平均、高斯滤波、指数型或巴特沃斯等低通滤波器，对格网时间序列进行低通滤波。滤波前后，格网的规格（范围和分辨率）不变。



对于滑动平均滤波器，滤波参数 n 越大滤波强度越大；对于“高斯型”“指数型”或“巴特沃斯”滤波器， n 越小滤波强度越大。

3.7.3 格网时序统计分析运算

[功能]计算（向量）格网时间序列每个采样历元时刻的空间平均值、标准差、最小值和最大值，生成由空间平均值、标准差、最小值和最大值属性时序组成的时间序列，并从每个采样历元时刻格网中移去各自的空间平均值；同时计算每个单元（向量）格网格值时间序列的时间平均值、标准差、最小值和最大值，生成格网时序的时间平均值、标准差、最小值和最大值（向量）格网。

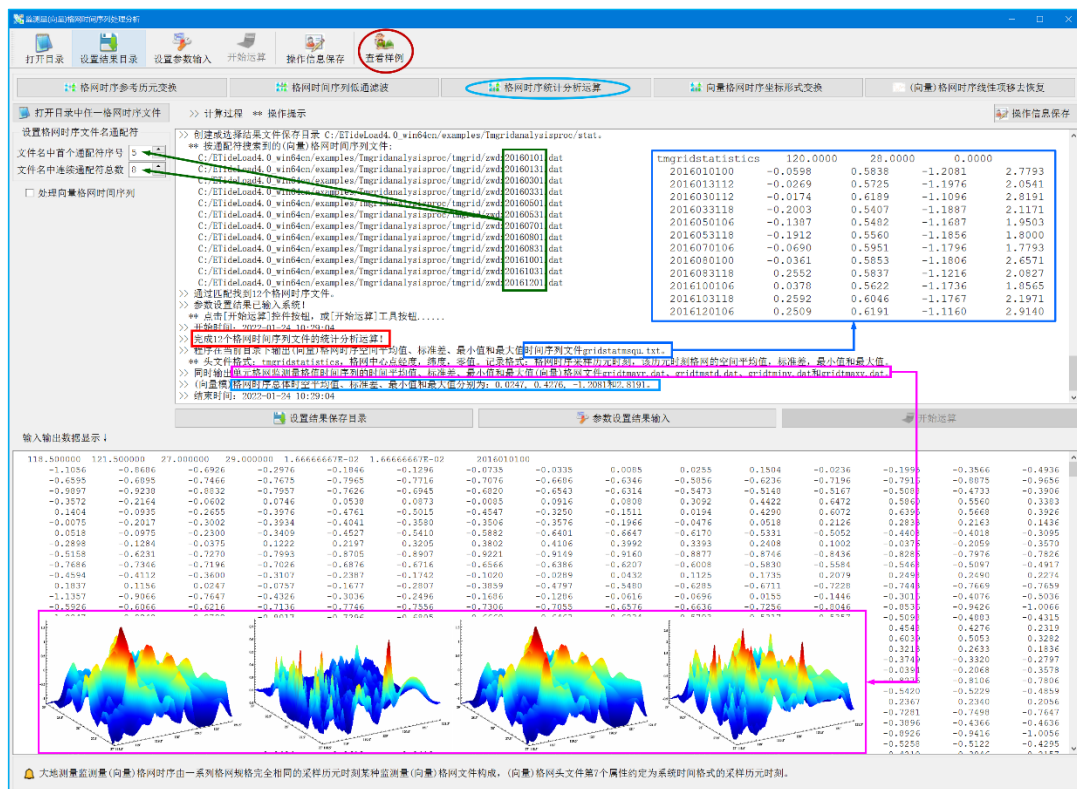
[输入]大地测量（向量）格网时间序列文件。

头文件第 7 个属性为采样历元时刻。

[输出](1) 格网空间平均值、标准差、最小值和最大值时间序列文件 gridstatmsqu.txt;

(2) 移去空间平均值后的（向量）格网时间序列文件 removeavr*.dat, *为采样历元时刻;

(3) 单元格网监测量格值时间序列的时间平均值、标准差、最小值和最大值(向量) 格网文件 gridtmavr.dat、gridtmstd.dat、gridtminv.dat 和 gridtmaxv.dat。



统计时序文件 gridstatsqu.txt 格式。头文件格式: tmgridstatistics, 格网中心点经度, 纬度, 零值。记录格式: 格网时序采样历元时刻, 该历元时刻格网的空间平均值, 标准差, 最小值和最大值。

3.7.4 向量格网时序坐标形式变换

[功能]向量格网时序中的向量表示方式在平面极坐标形式 (r,a) 和直角坐标形式 (E,N) 之间相互变换。

3.7.5 (向量) 格网时序线性项移去恢复

[功能]输入监测量年变率(向量)格网, 从给定的参考历元时刻起(该时刻线性项恒等于零), 计算格网时序各采样历元时刻的线性项, 按要求移去或恢复所有采样值格网的线性项。

3.8 格网时序多种形式时空插值推估运算

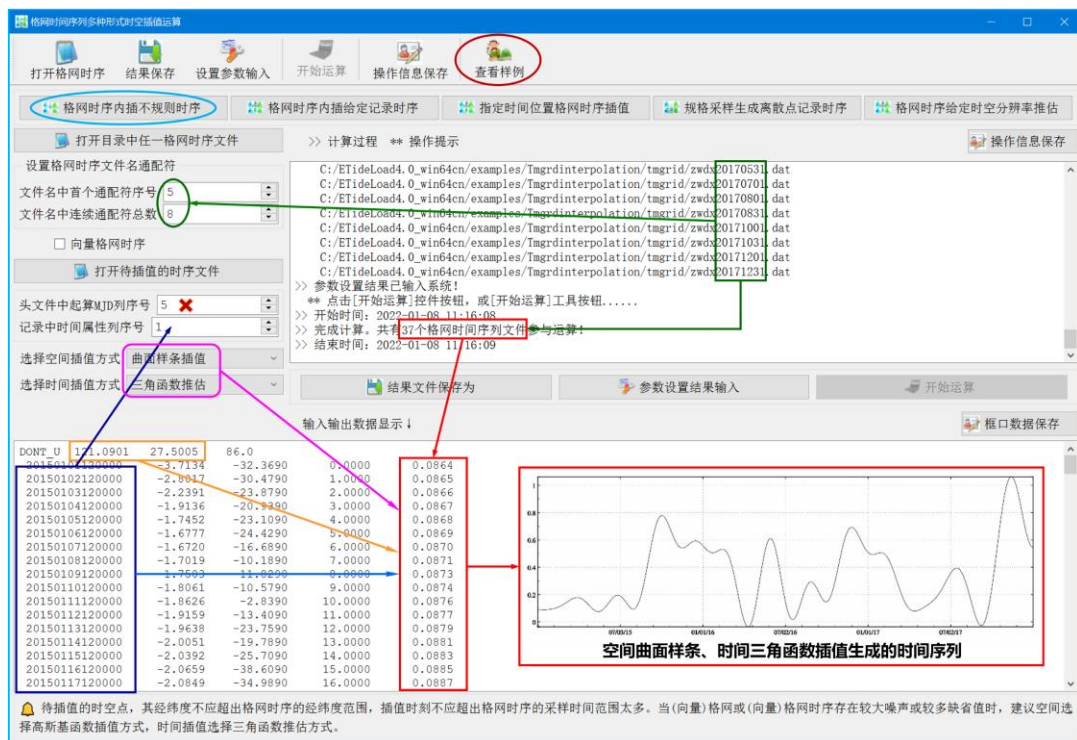
[目标]从位于某一目录下大地测量监测量格网时间序列文件中, 采用指定的空间插值和时间插值方式, 按照给定点位和采样规格, 构造监测量时间序列。格网时间序列文件按指定的通配符提取。

待插值的时空点，其经纬度不应超出格网时序的经纬度范围，插值时刻不应超出格网时序的采样时间范围太多。

当（向量）格网或（向量）格网时序存在较大噪声或较多缺省值时，建议空间选择高斯基函数插值方式，时间插值选择三角函数推估方式。

3.8.1 格网时序内插不规则时序

[功能]由大地测量监测量（向量）格网时序文件，采用选定的空间二维和时间一维插值方式，按照给定不规则时序的点位和采样规格，构造监测量不规则时间序列。



[输入]大地测量监测量（向量）格网时序文件，待插值的地面站点监测量不规则时间序列文件。

[输出]插值后的监测量不规则时间序列文件。

头文件同输入监测量时序文件，文件记录在输入时序记录的基础上，增加一列插值结果时序。

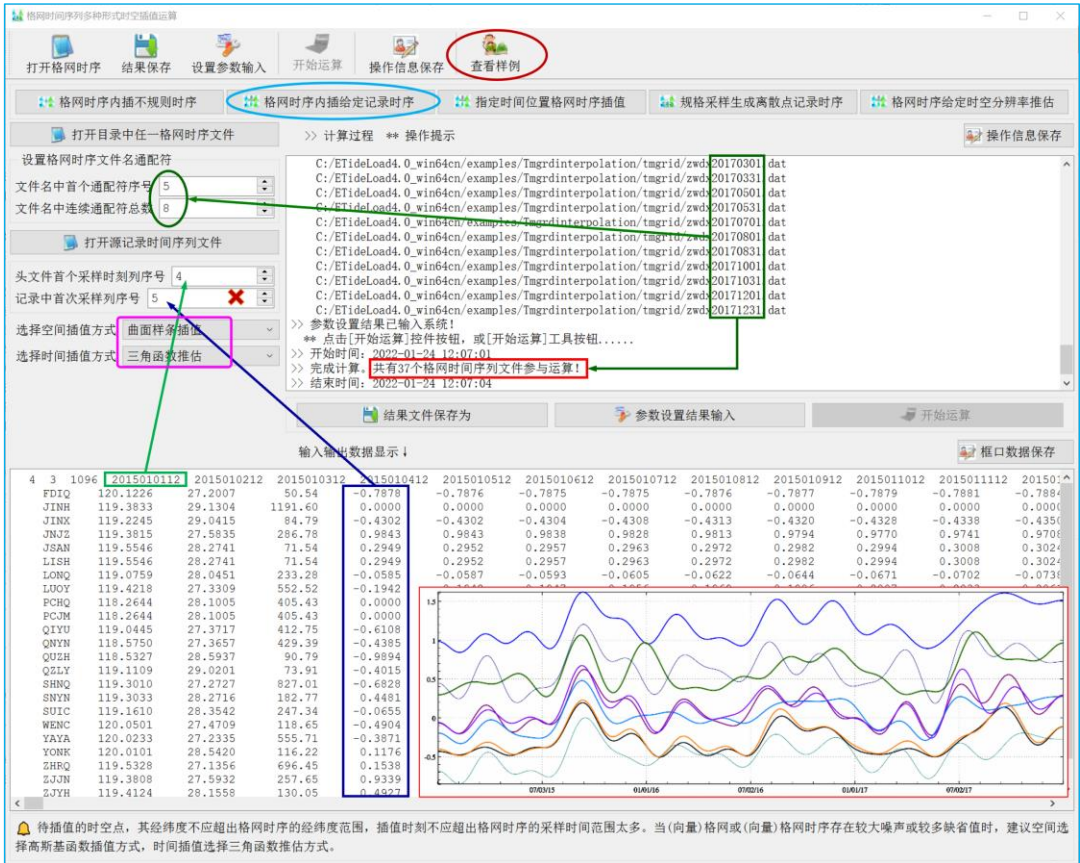
3.8.2 格网时序内插给定记录时序

[功能]由大地测量格网时序文件，按选定的空间二维插值和时间一维插值方式，内插给定的输入记录时序在对应时空点处的全部采样值。结果记录文件格式与给定的记录时序文件相同。

[输入]大地测量监测量（向量）格网时序文件，待插值的监测记录时序文件。

[输出]插值结果记录时序文件。将输入监测量记录时序文件中的监测量时序，全部用

插值时序替换。



程序在当前目录下输出剩余量记录时序文件 `rnt`。格式同输入记录时序文件，剩余量记录时序采样值等于原记录时序采样值与格网时序内插值之差（结果可用于区域形变场或时变重力场移去恢复法逼近）。

3.8.3 指定时间位置格网时序插值

[功能]由大地测量格网时序文件，按选定的空间二维和时间一维插值方式，内插推估离散点值在指定时间的采样值。

3.8.4 按采样规格插值生成记录时序

[功能]输入不规则离散点文件，给定采样时间跨度和采样时间间隔，由监测量格网时序文件，按选定的空间二维和时间一维插值方式，生成由离散点记录时序构成的监测量记录时序文件。

如下图。

3.8.5 格网时序给定时空分辨率推估

[功能]输入格网空间分辨率，给定时间采样规格，按选定的空间二维和时间一维插值推估方式，提高或降低格网时序的空间和时间分辨率，计算其一阶时间导数（/周）。

[输出]时空插值推估的(向量)格网时序文件 grdtmsp*.dat 及其对时间的导数格网时序文件 grdtmdf*.dat (/周)。*为采样历元时刻。



第四章 高分负荷形变场及时变重力场逼近计算

地球表层大气、海平面、土壤水、地下水、江河湖库水和冰川冰盖雪山等环境负荷非潮汐变化，导致固体地球形变，既引起所有类型几何物理大地测量观测量和参数随时间变化，又能被空天地海多种大地测量监测技术定量捕获。



构造一致的地球物理模型、唯一的数值标准以及相容的解析算法，统一处理无处不在的大地测量非潮汐影响，是实现 1cm (20μGal) 精度水平大地测量的重要基础，是实现多种大地测量技术协同、多源异构数据深度融合，以及构建与维持几何物理大地测量基准的必要条件。

4.1 全球地表环境负荷格网时间序列球谐分析

[目标]对地面/海面大气压、大陆水和海平面变化等全球非潮汐负荷格网进行球谐分析，生成规格化地表环境负荷球谐系数模型，用于计算地面、海洋、航空及卫星高度等固体地球外部空间全要素大地测量非潮汐负荷影响模型值。

4.1.1 系列全球地表数据球坐标格网化

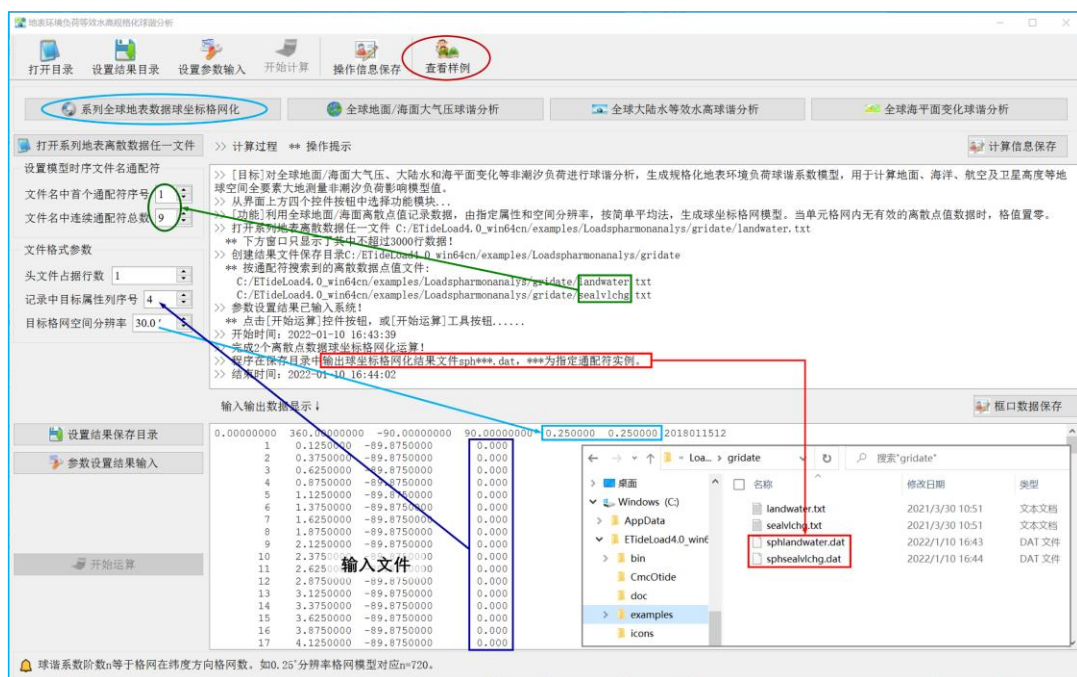
[功能]由系列全球地面/海面离散点值记录数据，按简单平均法和指定空间分辨率，生成系列球坐标格网模型。当单元格网内无有效离散点数据时，格值置零。

[输入]存放于某一目录下若干覆盖全球的离散点值数据文件。

记录格式：点号或点名，经度，纬度（度小数），…，待格网化属性，…。

[参数设置]设置用于提取多个离散点文件的文件名通配符参数，输入离散点文件的头文件行数和记录中目标属性所在列序号。

[输出]与输入系列离散点值文件——对应的系列球坐标格网文件。



4.1.2 全球地面/海面大气压球谱分析

[功能]对全球地面/海面大气压球坐标格网模型（hPa）时间序列，进行批量规格化球谱分析，生成非潮汐大气压负荷球谱系数模型（m）时间序列。球坐标格网时间序列文件按指定的通配符提取。

[输入]存放于某一目录下若干全球地面/海面大气压球坐标格网文件。

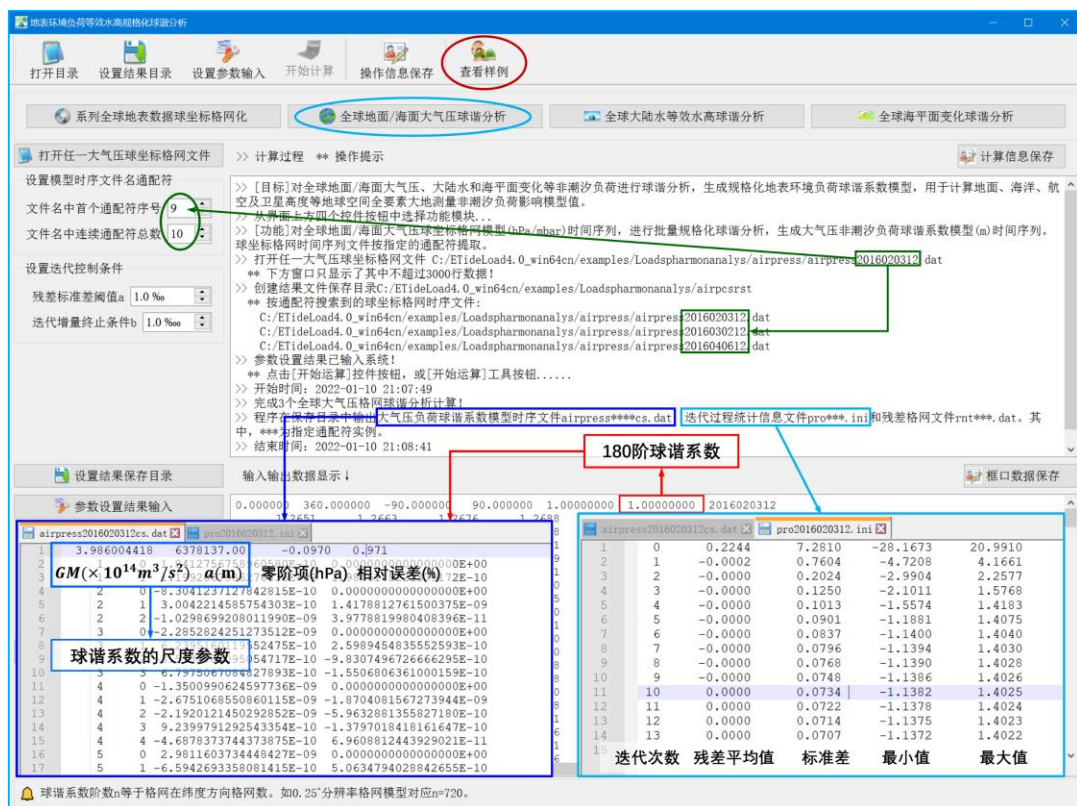
[参数设置]输入用于提取多个全球地面/海面大气压球坐标格网文件的文件名通配符参数，迭代终止条件参数。

迭代终止条件：当残差格网的格值标准差小于原格格值标准差的 $a\%$ 时，或者上一步迭代残差标准差与当前残差标准差之差，小于原格格值标准差的 $b\%$ 时，迭代终止。

[输出]大气压负荷球谱系数模型时间序列文件 `airpress****cs.dat`，迭代过程统计信息文件 `pro***.ini` 和残差格网文件 `rnt***.dat`。其中，***为指定通配符实例。

大气压负荷球谱系数模型 `airpress****cs.dat`。头文件：地心引力常数 GM ($\times 10^{14} \text{m}^3/\text{s}^2$)，地球长半轴 a (m)，零阶项 $a\Delta C_{00}$ (hPa)，相对误差 θ (%)。 θ 为最终迭代残差标准差与源格网标准差的百分比， GM, a 也称为球谱系数模型的尺度参数。

球谱系数阶数 n 等于全球地表负荷格网在纬度方向格网数。如 0.25° 分辨率格网模型对应 $n=720$ 。



零阶项代表大气压变化导致的全球大气总质量的变化,在地球大气质量守恒条件下无意义,后续计算一般忽略零阶项。3个一阶项球谐系数(ΔC_{10} , ΔC_{11} , ΔS_{11})代表大气压变化引起的地球质心变化。

4.1.3 全球大陆水等效水高球谐分析

[功能]对全球大陆水等效水高球坐标格网模型 (cm) 时间序列,进行批量规格化球谐分析,生成非潮汐大陆水负荷球谐系数模型 (m) 时间序列。球坐标格网时间序列文件按指定的通配符提取。

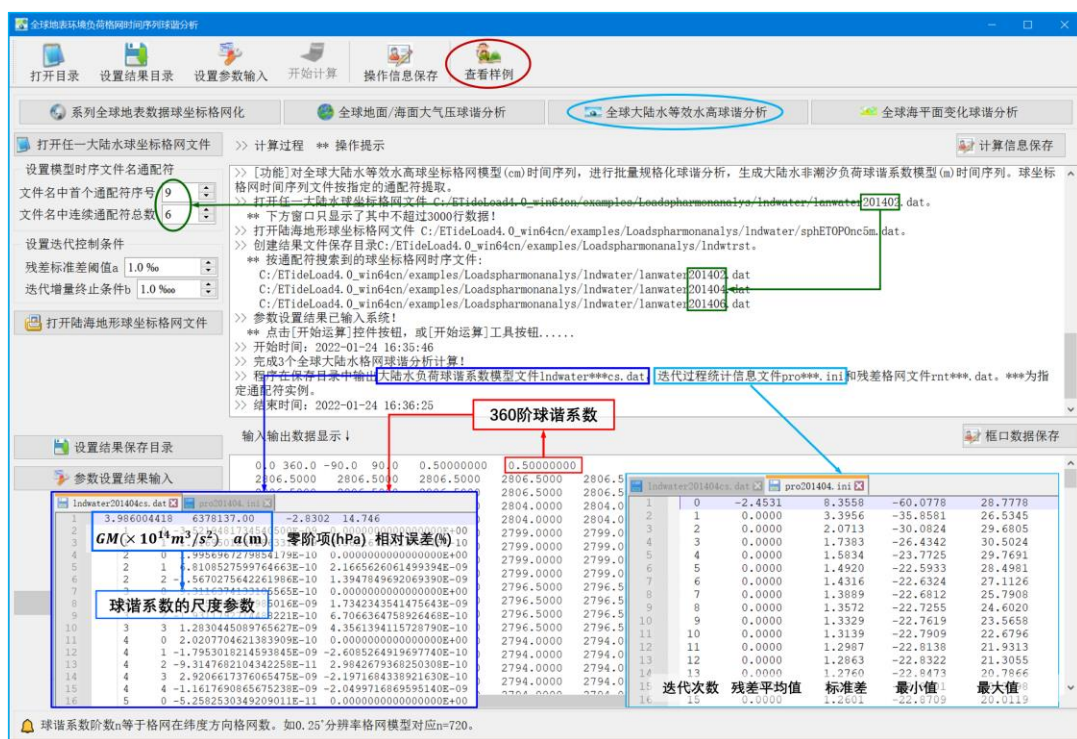
[输入]存放于某一目录下若干全球大陆水等效水高球坐标格网文件,用于陆海区域分离的全球陆海地形球坐标格网文件。

程序要求陆海地形球坐标格网的分辨率不低于大陆水等效水高球坐标格网的分辨率。

[参数设置]输入用于提取多个全球大陆水等效水高球坐标格网文件的文件名通配符参数,迭代终止条件参数。

[输出]大陆水负荷球谐系数模型时序文件 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。

3个一阶项球谐系数(ΔC_{10} , ΔC_{11} , ΔS_{11})代表陆地水变化引起的地球质心变化。对于全球性大地测量目的,需要顾及一阶项的影响。零阶项的大小可通过调整时间基准将其控制在一个很小的值。



4.1.4 全球海平面变化球谐分析

[功能]对全球海平面变化球坐标格网模型 (cm) 时间序列, 进行批量规格化球谐分析, 生成非潮汐海平面变化负荷球谐系数模型 (m) 时间序列。

[输入]存放于某一目录下若干全球海平面变化球坐标格网文件, 用于陆海区域分离的全球陆海地形球坐标格网文件。

程序要求陆海地形球坐标格网的分辨率不低于海平面变化球坐标格网的分辨率。

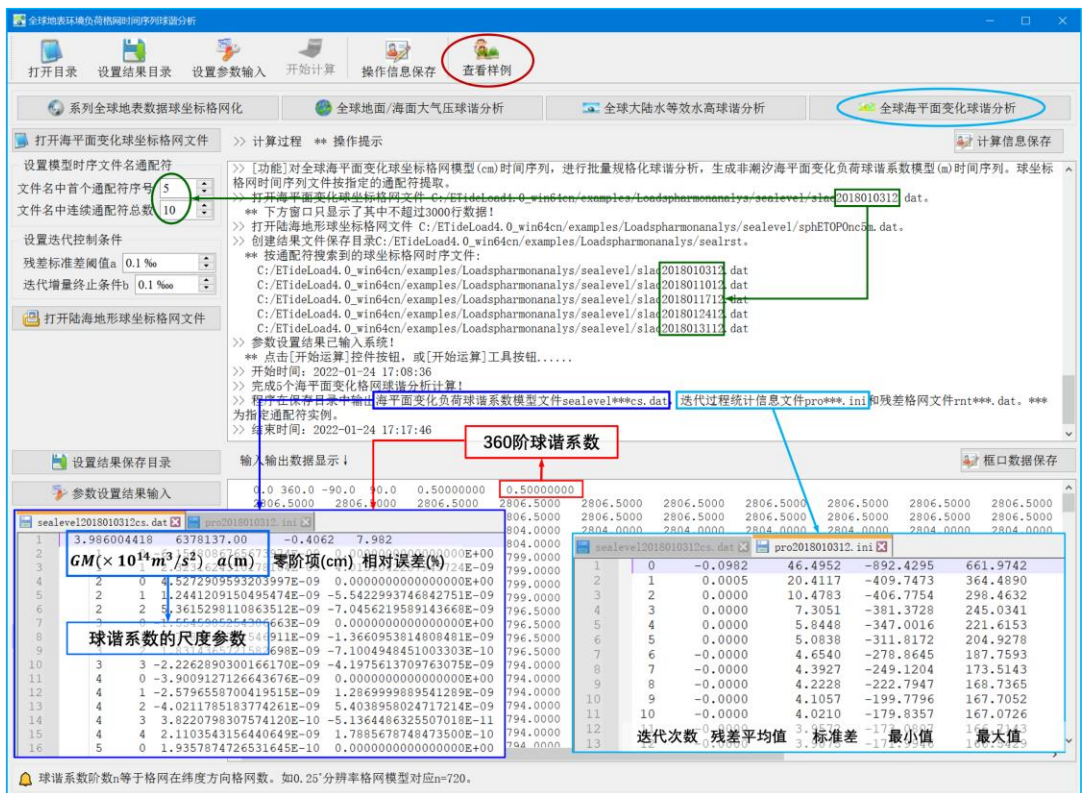
[参数设置]输入用于提取多个全球海平面变化球坐标格网文件的文件名通配符参数, 迭代终止条件参数。

迭代终止条件: 当残差格网的格值标准差小于原格格值标准差的 $a\%$ 时, 或者上一步迭代残差标准差与当前残差标准差之差, 小于原格格值标准差的 $b\%$ 时, 迭代终止。

[输出]海平面变化负荷球谐系数模型时序文件 sealevel****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。

类似地, 3 个一阶项球谐系数 ($\Delta C_{10}, \Delta C_{11}, \Delta S_{11}$) 代表海平面变化引起的地球质心变化。对于全球性大地测量目的, 需要顾及一阶项的影响。零阶项的大小可通过调整时间基准将其控制在一个很小的值。

对于全球大地测量目的, 应考虑增加任意历元时刻海陆气零阶项之和等于零约束, 即海平面变化、陆地水变化和大气压变化总负荷是守恒的。



4.2 分潮球谐分析与负荷潮球谐系数模型构建

[目标]对全球地面/海面大气压分潮、海洋潮高分潮的调和常数格网进行球谐分析，生成规格化大气潮、海潮负荷球谐系数模型（IERS2010 协议中 FES2004 海潮模型格式），用于计算地面、海洋、航空及卫星高度等固体地球外部全要素大地测量负荷潮影响模型值。

分潮调和常数单位与球谐系数单位相同。大气压分潮调和常数与球谐系数单位为 hPa，海潮分潮调和常数与球谐系数单位为 cm。

4.2.1 分潮调和常数球坐标格网化

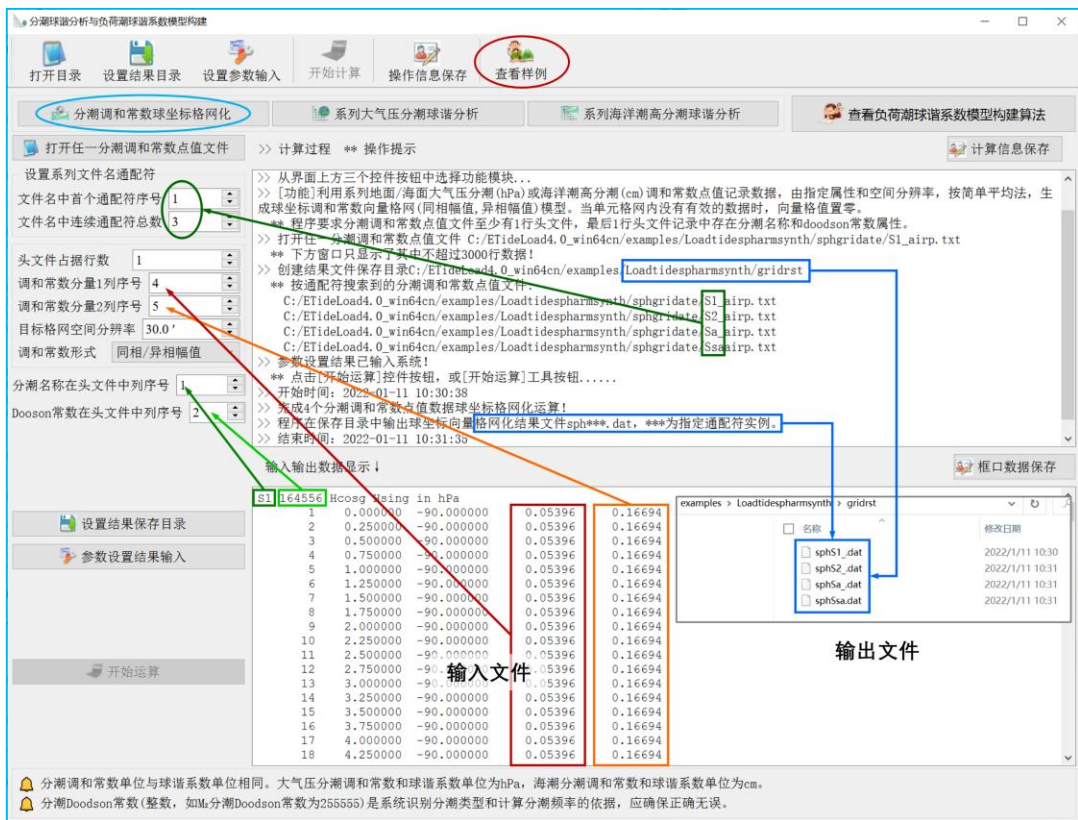
[功能]利用系列地面/海面大气压分潮（hPa）或海洋潮高分潮（cm）调和常数点值记录数据，由指定属性和空间分辨率，按简单平均法，生成球坐标调和常数向量格网（同相幅值，异相幅值）模型。当单元格网内无有效数据时，向量格值置零。

[输入]存放于某一目录下覆盖全球的各分潮调和常数离散点值数据文件。

程序要求分潮调和常数点值文件至少有 1 行头文件，最后 1 行头文件中存在分潮名称和 doodson 常数属性。

[参数设置]设置用于提取多个离散点文件的文件名通配符参数，输入文件记录中调和常数属性所在列序号。

[输出]与输入系列分潮调和常数点值文件一一对应的系列分潮调和常数球坐标向量格网文件。



4.2.2 系列大气压分潮球谐分析

[功能]对全球地面/海面大气压系列分潮调和常数球坐标向量格网模型 (hPa)，进行批量规格化球谐分析，生成与 IERS2010 协议中 FES2004 海潮模型格式相同的大气压潮负荷球谐系数模型 (hPa)。分潮调和常数球坐标向量格网文件按指定的通配符提取。

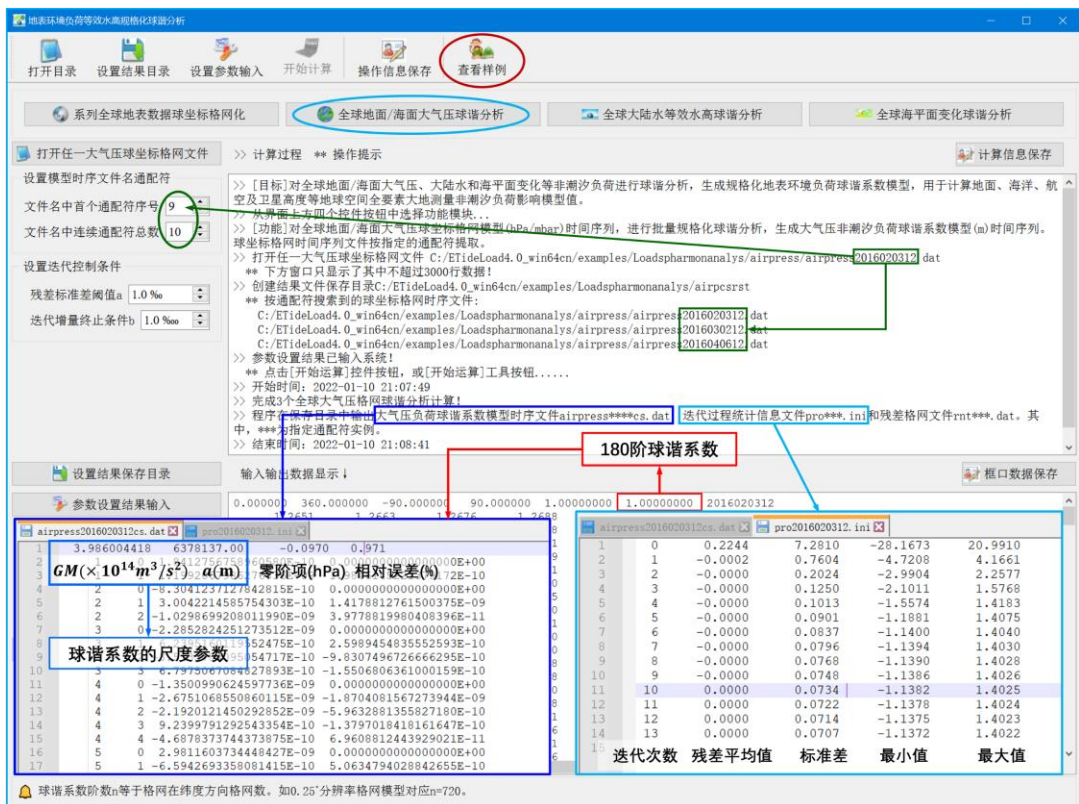
[输入]全球大气压全部分潮的调和常数球坐标向量格网模型文件 (本例有周日、半日、周年和半年 4 个分潮)。

迭代终止条件：当残差格网的格值标准差小于原格网格值标准差的 $a\%$ 时，或者上一步迭代残差标准差与当前残差标准差之差，小于原格网格值标准差的 $b\%$ 时，迭代终止。

[输出] (1) 大气压潮负荷球谐系数模型文件 Airtdloadcs.dat。(2) 大气压分潮负荷球谐系数模型文件 airptide***cs.dat，迭代过程统计信息文件 pro***.ini 和残差格网文件 rnt***.dat。其中，***为指定通配符实例。

大气压分潮负荷球谐系数模型 airptide***cs.dat。头文件 (第二行)：地心引力常数 GM ($\times 10^{14} \text{m}^3/\text{s}^2$)，地球长半轴 a (m)，零阶项 $a\Delta C_{00}$ (hPa)，相对误差 θ (%)。 θ 为最终迭代残差标准差与源格网标准差的百分比， GM, a 也称为球谐系数模型的尺度参数。

3 个一阶项球谐系数 ($\Delta C_{10}, \Delta C_{11}, \Delta S_{11}$) 代表大气压分潮引起的地球质心变化。对于全球性大地测量目的，需要顾及此项影响。



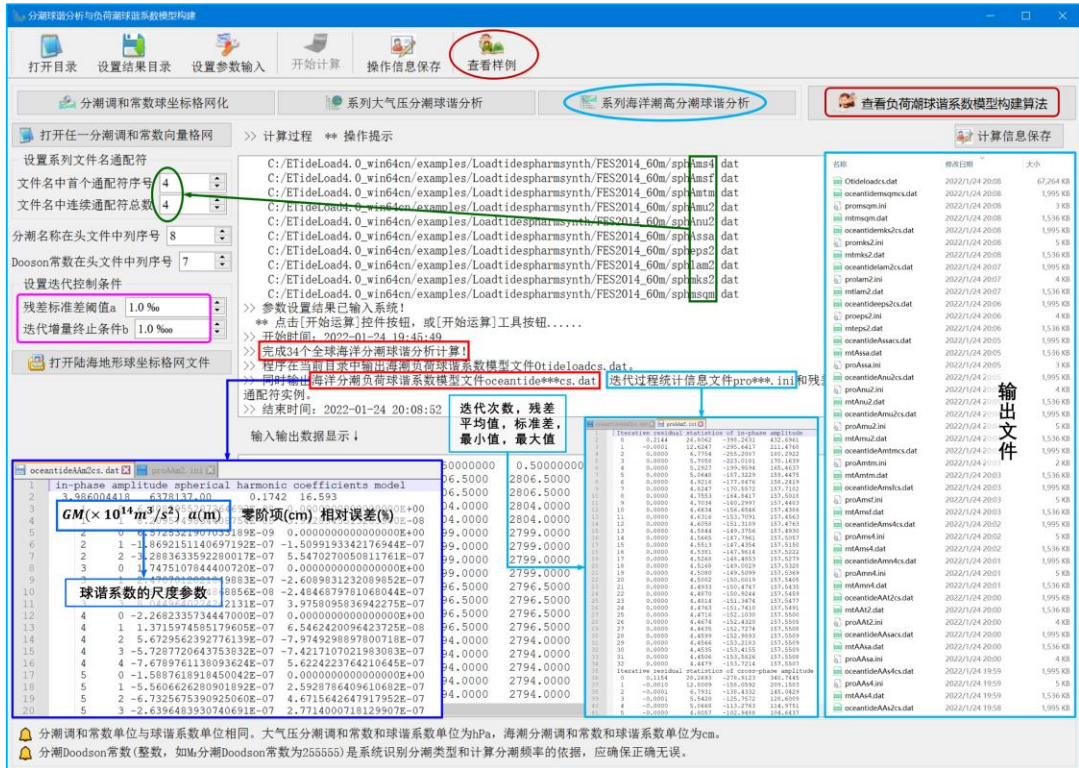
4.2.3 系列海洋潮高分潮球谐分析

[功能]对系列全球海洋潮高分潮调和常数球坐标向量格网模型 (cm)，进行批量规格化球谐分析，生成与 IERS2010 协议中 FES2004 海潮模型格式相同的海潮负荷球谐系数模型 (cm)。分潮调和常数球坐标向量格网文件按指定的通配符提取。

[输入] (1) 全球海洋全部分潮的调和常数球坐标向量格网模型文件 (本例共有 34 个分潮，来源于 FES2014 模型)。(2) 全球陆海地形球坐标格网模型。用于海潮调和常数的陆海分离，其分辨率应不低于海洋分潮调和常数格网分辨率。

[输出] (1) 海潮负荷球谐系数模型文件 Otideoloadcs.dat。(2) 海洋分潮负荷球谐系数模型文件 oceantide***cs.dat, 迭代过程统计信息文件 pro***.ini 和残差格网文件 rnt***.dat。

其中，***为指定通配符实例（34 个分潮）。(3) 输出数据文件见样例。



Ocean tidal heights normalized spherical harmonic coefficients model in cm.											
Created by EtideLoad4.0, ZHANG Chuanyin, Chinese Academy of Surveying and Mapping.											
	Doodson name	n	m	Cos+	Cos-	Cos+	Cos-	C+	eps+	C-	eps-
1	247.455 2N2	1	0	0.00458420	0.00231997	0.00458420	0.00231997	0.005138	63.1569	0.005138	63.1569
2	247.455 2N2	1	1	-0.00774376	0.00472509	0.01063936	-0.00154697	0.009072	301.3907	0.010751	98.2728
3	247.455 2N2	2	0	0.01414769	-0.00471846	0.01414769	-0.00471846	0.014914	108.4443	0.014914	108.4443
4	247.455 2N2	2	1	-0.01749259	0.01965388	-0.02057441	0.01244304	0.026311	318.3293	0.024044	301.1648
5	247.455 2N2	2	2	-0.05075444	0.15411156	0.03406874	-0.00707065	0.162254	341.7714	0.034795	101.7248
6	247.455 2N2	3	0	-0.00346088	-0.05402721	-0.00346088	-0.05402721	0.054138	183.6652	0.054138	183.6652
7	247.455 2N2	3	1	0.00460647	0.02861677	0.00875022	0.04125829	9.1445	64.5643	0.054062	64.5643
8	247.455 2N2	3	2	-0.01359097	-0.04803132	0.00043220	0.01917721	0.049917	195.7994	0.019182	1.2911
9	247.455 2N2	3	3	0.11577281	0.04745985	0.10042960	-0.03897627	0.125123	67.7093	0.107728	111.2110
10	247.455 2N2	4	0	-0.04606872	0.02580144	-0.04606872	0.02580144	0.052802	299.2516	0.052802	299.2516
11	247.455 2N2	4	1	0.03322210	0.01467471	0.01395744	0.02945237	0.036319	66.1682	0.032592	25.3562
12	247.455 2N2	4	2	0.06616764	-0.16309512	0.08022879	0.03609027	0.176006	157.9176	0.087793	65.7798
13	247.455 2N2	4	3	-0.04322740	-0.08711535	-0.08030463	0.08908666	0.097251	206.3910	0.119939	317.9678
14	247.455 2N2	4	4	-0.07108080	0.11910374	-0.03284196	0.04029769	0.138702	329.1714	0.051986	320.8205
15	247.455 2N2	5	0	0.00422881	0.00502529	0.00422881	0.00502529	0.050431	4.8101	0.050431	4.8101
16	247.455 2N2	5	1	-0.06599213	0.02863740	-0.06611907	-0.08775317	0.071938	293.4585	0.109874	216.9968
17	247.455 2N2	5	2	0.03191577	0.09160532	-0.12292791	0.09809409	0.097006	19.2086	0.157270	308.5892
18	247.455 2N2	5	3	-0.04623073	0.08930465	-0.03227823	-0.02333044	0.100561	332.6306	0.039827	234.1409
19	247.455 2N2	5	4	0.12979046	-0.00341329	-0.08015685	0.01815314	0.129835	91.5064	0.082187	282.7605
20	247.455 2N2	5	5	0.01769995	0.02947596	0.04405833	-0.08477059	0.077522	67.6524	0.095336	152.5375
21	247.455 2N2	6	0	0.03947245	-0.02794361	0.03947245	-0.02794361	0.048362	125.2957	0.048362	125.2957

海洋分潮负荷球谐系数模型文件 oceanide***cs.datt。头文件（第二行）：地心引力常数 GM ($\times 10^{14} \text{m}^3/\text{s}^2$)，地球长半轴 a (m)，零阶项 $a\Delta C_{00}$ (hPa)，相对误差 θ (%)。 θ 为最终迭代残差标准差与源纲网标准差的百分比， GM, a 也称为球谐系数模型的尺度参数。

3 个一阶项球谐系数 ($\Delta C_{10}, \Delta C_{11}, \Delta S_{11}$) 代表海洋分潮引起的地球质心变化。

4.3 球谐综合法模型等效水高与调和常数计算

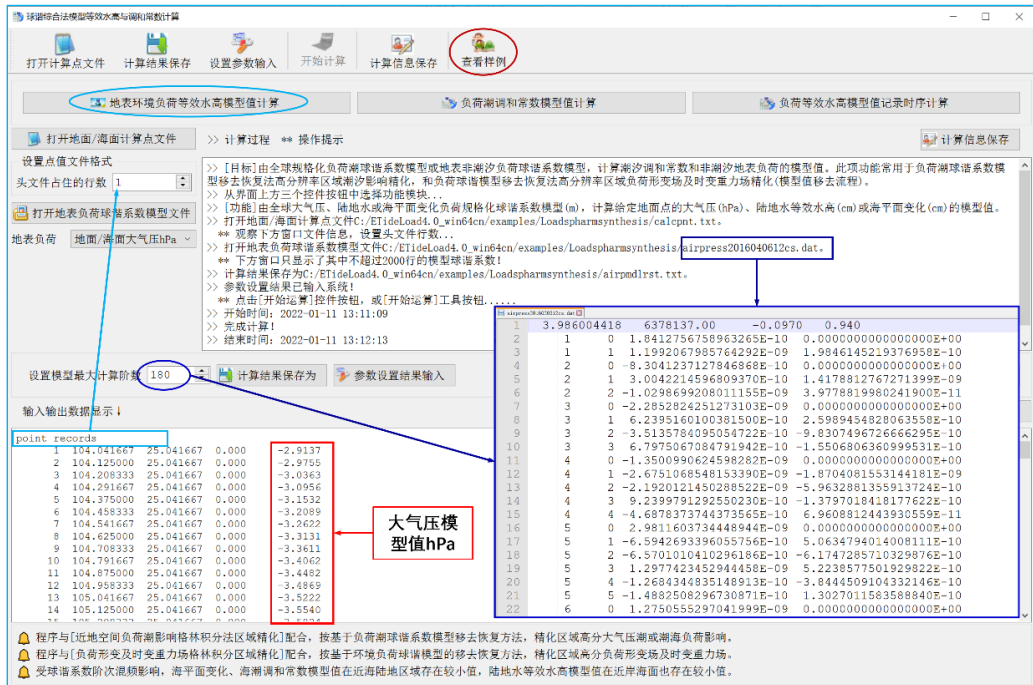
[目标]由全球规格化负荷潮球谐系数模型或地表非潮汐负荷球谐系数模型，计算潮汐调和常数和地表非潮汐地表的模型值。

此项功能常用于负荷潮球谐系数模型移去恢复法高分辨率区域潮汐影响精化, 和负荷球谐模型移去恢复法高分辨率区域负荷形变场及时变重力场精化（模型值移去流程）。

4.3.1 地表环境负荷等效水高模型值计算

[功能]由全球大气压、陆地水或海平面变化负荷规格化球谐系数模型（m），计算给定地面点的大气压（hPa）、陆地水等效水高（cm）或海平面变化（cm）的模型值。

[输入]（1）离散计算点文件。（2）全球大气压、陆地水或海平面变化负荷规格化球谐系数模型文件。



[参数设置]计算点文件的头文件行数，负荷规格化球谐系数模型最大计算阶数。

模型最大计算阶数: 程序自动选择模型最大阶数和输入最大阶数中的最小值作为计算阶数。

[输出]计算点地表等效水高模型值文件。头文件同输入计算点文件，文件记录在输入计算点文件记录的基础上，增加一列模型值计算结果。

4.3.2 全部分潮调和常数模型值计算

[功能]由规格化全球大气压潮负荷球谐系数模型（hPa）或海潮负荷球谐系数模型（cm），计算给定地面/海面点全部分潮的调和常数向量（同相幅值/异相幅值，hPa/cm）。

[输入]（1）离散计算点文件。（2）规格化全球大气压潮负荷球谐系数模型（hPa）或海潮负荷球谐系数模型（cm）。

[参数设置]计算点文件的头文件行数，负荷潮球谐模型最大计算阶数。

[输出]计算点处全部分潮调和常数模型值文件。

[功能]由全球大气压、陆地水或海平面变化负荷规格化球谐系数模型(m)时间序列, 计算给定地面点大气压(hPa)、陆地水等效水高(cm)或海平面变化(cm)模型值的记录时间序列。球谐系数模型时间序列文件按指定的通配符提取。

本例输入 10 个采样历元时刻的 360 阶陆地水负荷规格化球谐系数模型周变化时间序列，最大计算阶数为 180 阶。

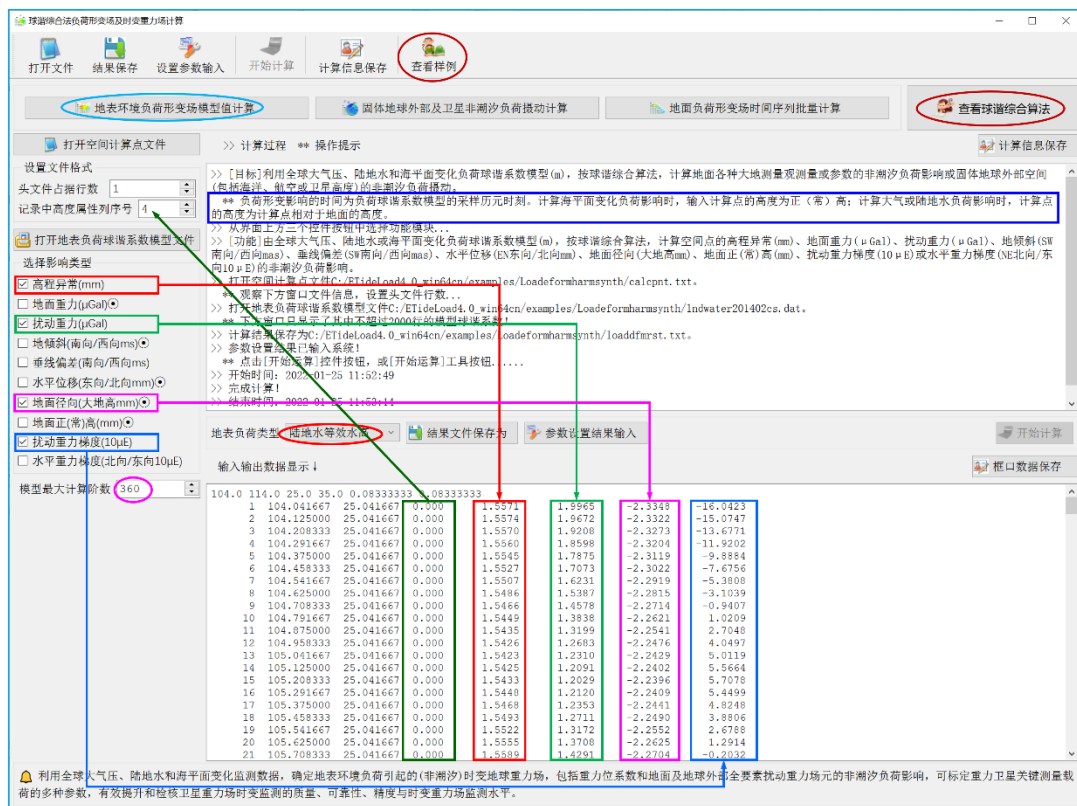
头文件在计算点文件的头文件后面，增加实例化球谐系数模型时序文件的通配符，以标识记录时序的采样历元时刻，本例有 10 个采样历元时刻；记录在计算点记录后面增加每个采样历元时刻模型等效水高计算值，本例增加 10 个采样历元时刻的模型计算值。

程序与[近地空间负荷潮影响格林积分法区域精化]配合,按基于负荷潮球谐系数模型移去恢复方法,精化区域高分大气压潮或潮海负荷影响。

63

[参数设置]输入文件记录中高度属性列序号，选择影响类型（本例选择高程异常、扰动重力、地面径向和扰动重力梯度），输入结果文件名。

[输出]计算点负荷形变影响值文件。头文件取输入计算点文件头，记录在输入文件记录的基础上，增加用户选择的多个负荷影响值属性。本例增加高程异常、扰动重力、地面径向和扰动重力梯度环境负荷影响共4个属性。



4.4.2 固体地球外部及卫星非潮汐负荷摄动计算

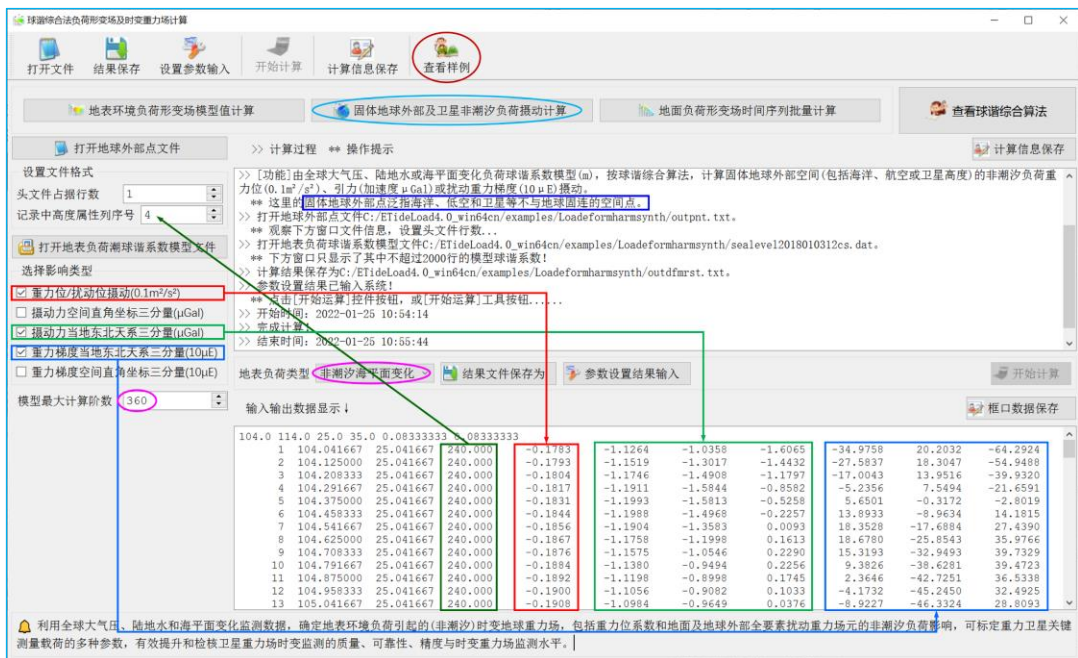
[功能]由全球大气压、陆地水或海平面变化负荷球谐系数模型(m)，按球谐综合算法，计算固体地球外部空间（包括海洋、航空或卫星高度）的非潮汐负荷重力位(0.1m²/s²)、引力（加速度 μGal）或扰动重力梯度（10μE）摄动。

这里的固体地球外部点泛指海洋、低空和卫星等不与地球固连的空间点。

[输入]固体地球外部计算点文件，全球大气压、陆地水或海平面变化负荷球谐系数模型(m)文件。

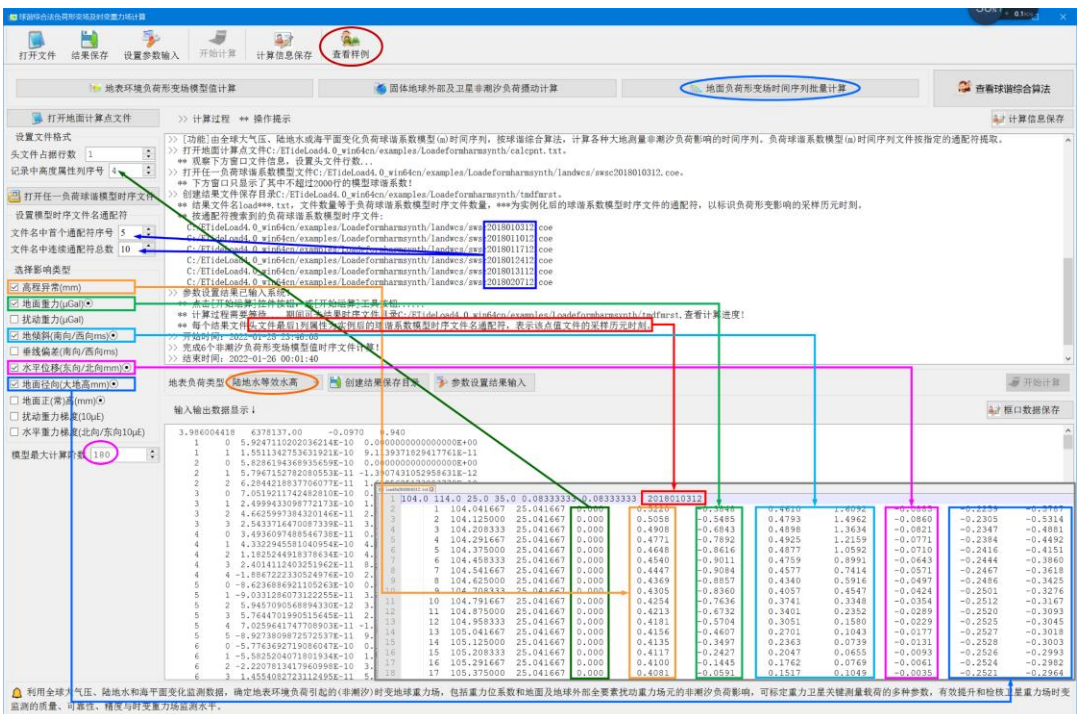
[参数设置]输入文件记录中高度属性列序号，选择影响类型（本例选择重力位摄动、摄动力当地东北天三分量和重力梯度摄动东北天三分量），输入结果文件名。

[输出]计算点负荷形变影响值文件。头文件取输入计算点文件头，记录在输入文件记录的基础上，增加用户选择的多个负荷影响值属性。本例增加重力位摄动、摄动力当地东北天三分量和重力梯度摄动东北天三分量共7个属性。



4.4.3 地面负荷形变场时间序列批量计算

[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，计算各种大地测量非潮汐负荷影响的时间序列。负荷球谐系数模型(m)时间序列文件按指定的通配符提取。



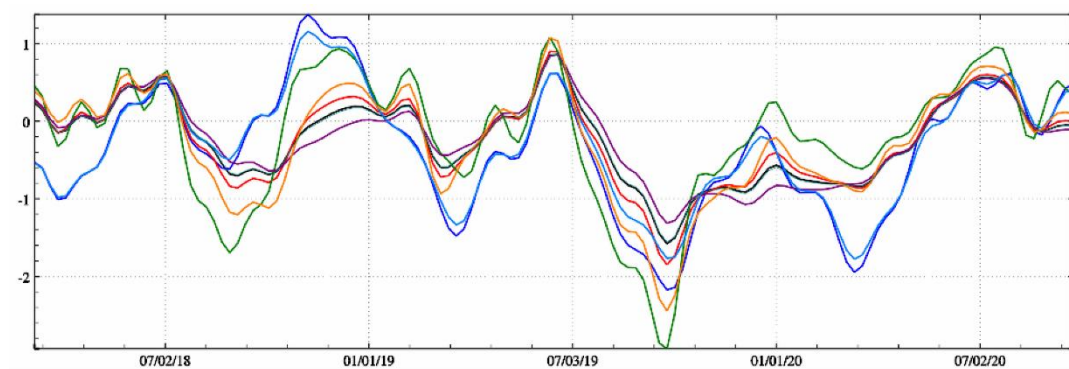
[输入]地面或地球外部计算点文件，全球大气压、陆地水或海平面变化负荷球谐系数

模型时间序列文件。

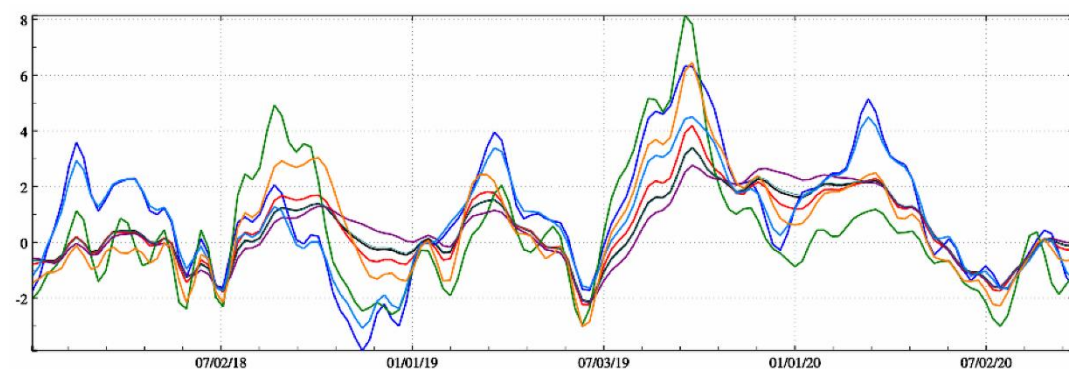
[输出]计算点负荷形变影响值时间序列文件 load***.txt。文件数量等于负荷球谐系数模型时序文件数量，***为实例化后的球谐系数模型时序文件的通配符，以标识负荷形变影响的采样历元时刻。

每个结果文件头文件最后 1 列属性为实例后的球谐系数模型时序文件名通配符，表示该点值文件的采样历元时刻。

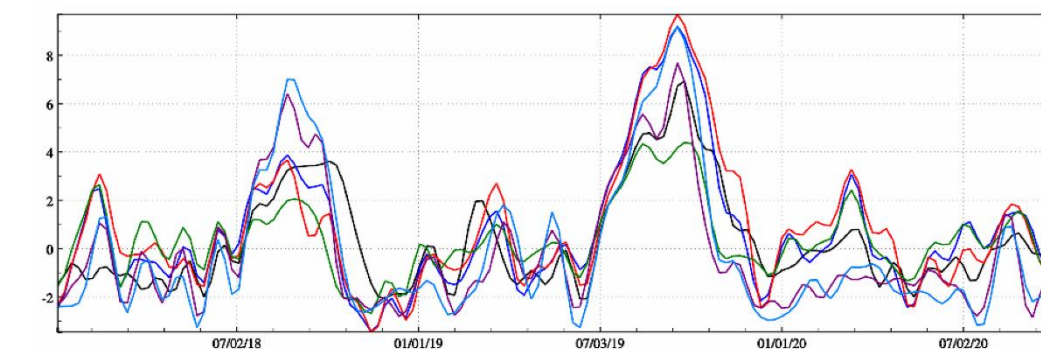
计算过程需要等待...期间可去结果时序文件目录，查看计算进度!



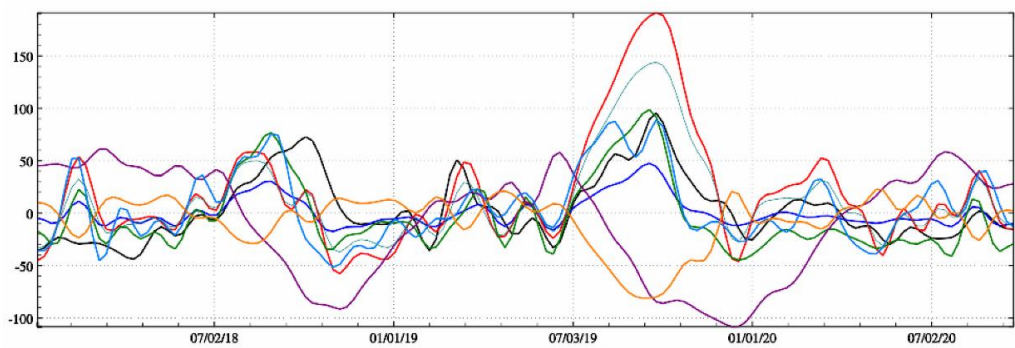
中国大陆土壤水变化负荷形变时变特征（360阶）-大地水准面变化mm



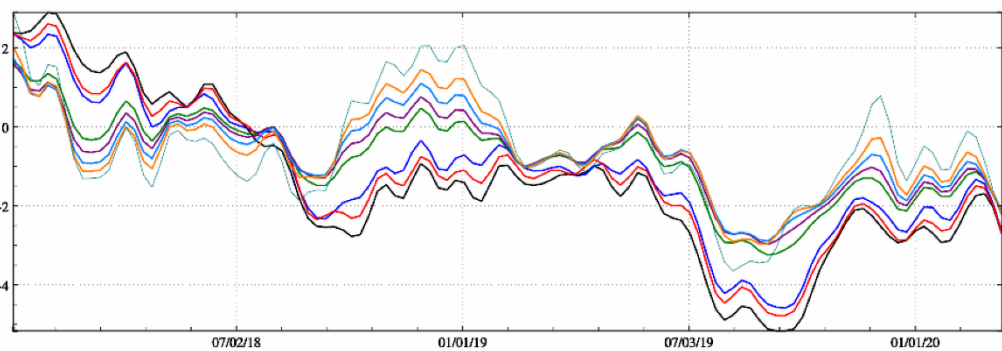
中国大陆土壤水变化负荷形变时变特征（360阶）-地面正（常）高变化mm



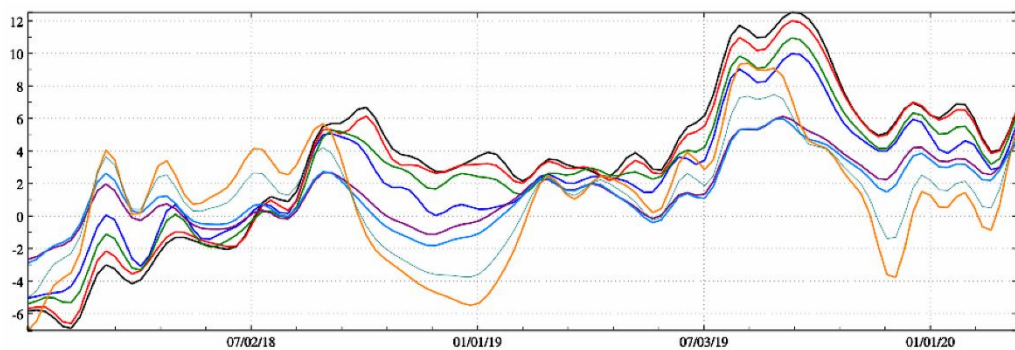
中国大陆土壤水变化负荷形变时变特征（360阶）-地面扰动重力变化 μGal



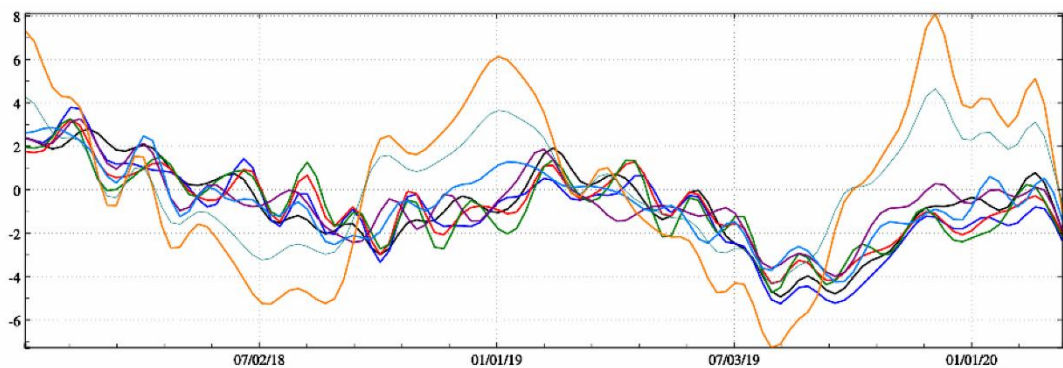
中国大陆土壤水变化负荷形变时变特征（360阶）-扰动重力梯度变化 $10\mu E$



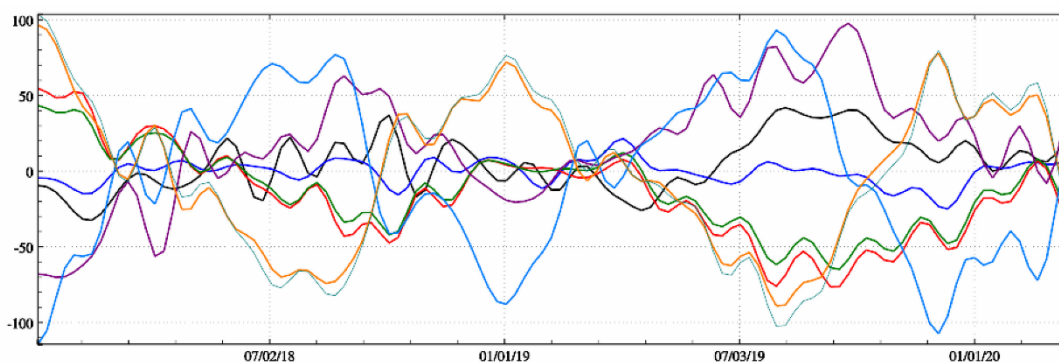
沿海地区海平面变化负荷形变时变特征（360阶）-大地水准面变化mm



沿海地区海平面变化负荷形变时变特征（360阶）-地面正（常）高变化mm



沿海地区海平面变化负荷形变时变特征（360阶）-地面重力变化 μGal



沿海地区海平面变化负荷形变时变特征（360阶）-扰动重力梯度变化 $10\mu\text{E}$

利用全球大气压、陆地水和海平面变化监测数据,确定地表环境负荷引起的(非潮汐)时变地球重力场,包括重力位系数和地面及地球外部全要素扰动重力场元的非潮汐负荷影响,可标定重力卫星关键测量载荷的多种参数,有效提升和检核卫星重力场时变监测的质量、可靠性、精度与时变重力场监测水平。

4.5 负荷形变及时变重力场格林积分区域逼近

[目标]由区域大气压、陆地水或海平面变化非潮汐负荷格网,利用[球谐综合法模型等效水高与调和常数计算]程序,计算并移去负荷模型值,获得残差负荷格网;按负荷格林函数积分算法,计算残差负荷形变场及时变重力场参数;再由[球谐综合法负荷形变场及时变重力场计算程序],计算并恢复模型负荷影响值,从而实现高分辨率区域负荷形变场及时变重力场的高精度逼近。

计算海平面变化负荷影响时,输入计算点的高度为正(常)高;计算大气或陆地水负荷影响时,输入计算点相对于地面的高度。

区域负荷形变场及时变重力场,可以用全要素大地测量负荷影响的时间序列表示。一种类型大地测量要素的时变场,用一组时间序列文件表示。

4.5.1 区域残差地表负荷形变场格林积分精化

[功能]由区域残差地面等效水高变化 (cm) 格网模型,按负荷格林函数积分法,计算地面或近地空间任意点高程异常 (mm)、地面重力 (μGal)、扰动重力 (μGal)、地倾斜 (SW 南向/西向 mas)、垂线偏差 (SW 南向/西向 mas)、水平位移 (EN 东向/北向 mm)、地面径向 (大地高 mm)、地面正(常)高 (mm) 的负荷影响,以及扰动重力梯度间接影响 (μE)、水平重力梯度间接影响 (NE 北向/东向 mE)、扰动重力梯度直接影响 (mE) 或水平重力梯度直接影响 (NE 北向/东向 mE) 的残差值。

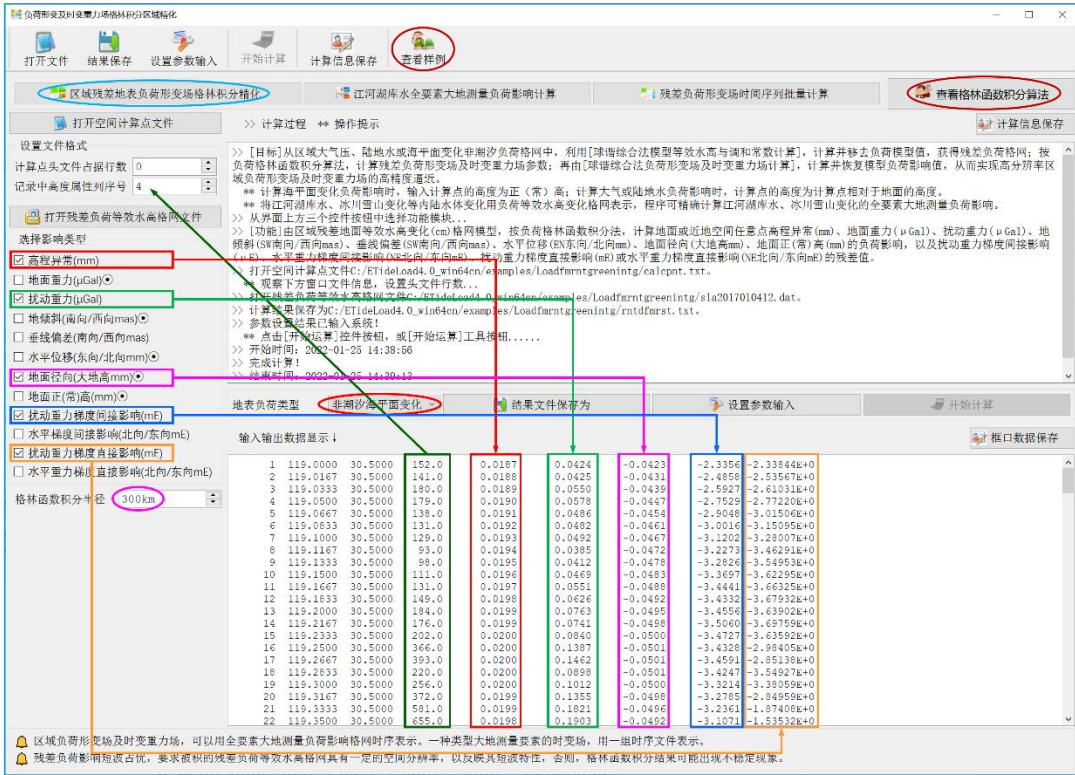
[输入]空间计算点文件,区域残差大气压 (hPa)、陆地水或海平面变化负荷 (cm) 格网模型文件。

[参数设置]输入文件记录中高度属性列序号,选择影响类型(本例选择高程异常、扰动重力、地面径向、扰动重力梯度间接影响和直接影响),输入格林函数积分半径和结果

文件名。

[输出]计算点残差负荷形变影响值文件。

头文件取输入计算点文件头，记录在输入文件记录的基础上，增加用户选择的多个残差负荷影响值属性。本例增加高程异常、扰动重力、地面径向、扰动重力梯度间接影响和直接影响共 5 个属性。



残差负荷影响短波占优，要求被积的残差负荷等效水高格网具有一定的空间分辨率，以反映其短波特性，否则，格林函数积分结果可能出现不稳定现象。

扰动重力梯度超短波占优，残差负荷效应无论是直接影响，还是间接影响都有可能很大，为此，程序将残差重力梯度负荷影响分解为直接影响和间接影响两个部分，单位由 10 μ E 变成 mE，即放大 100 倍。

4.5.2 江河湖库水全要素大地测量负荷影响计算

[功能]将江河湖库水、冰川雪山变化等内陆水体变化用负荷等效水高变化格网（cm）表示，负荷类型选择“陆地水等效水高”，按格林函数积分算法，计算地面或近地空间任意点高程异常（mm）、地面重力（ μ Gal）、扰动重力（ μ Gal）、地倾斜（SW 南向/西向 mas）、垂线偏差（SW 南向/西向 mas）、水平位移（EN 东向/北向 mm）、地面径向（大地高 mm）、地面正（常）高（mm）的负荷影响，以及扰动重力梯度间接影响（ μ E）、水平重力梯度间接影响（NE 北向/东向 mE）、扰动重力梯度直接影响（mE）或水平重力梯度直接影响

(NE 北向/东向 mE)。

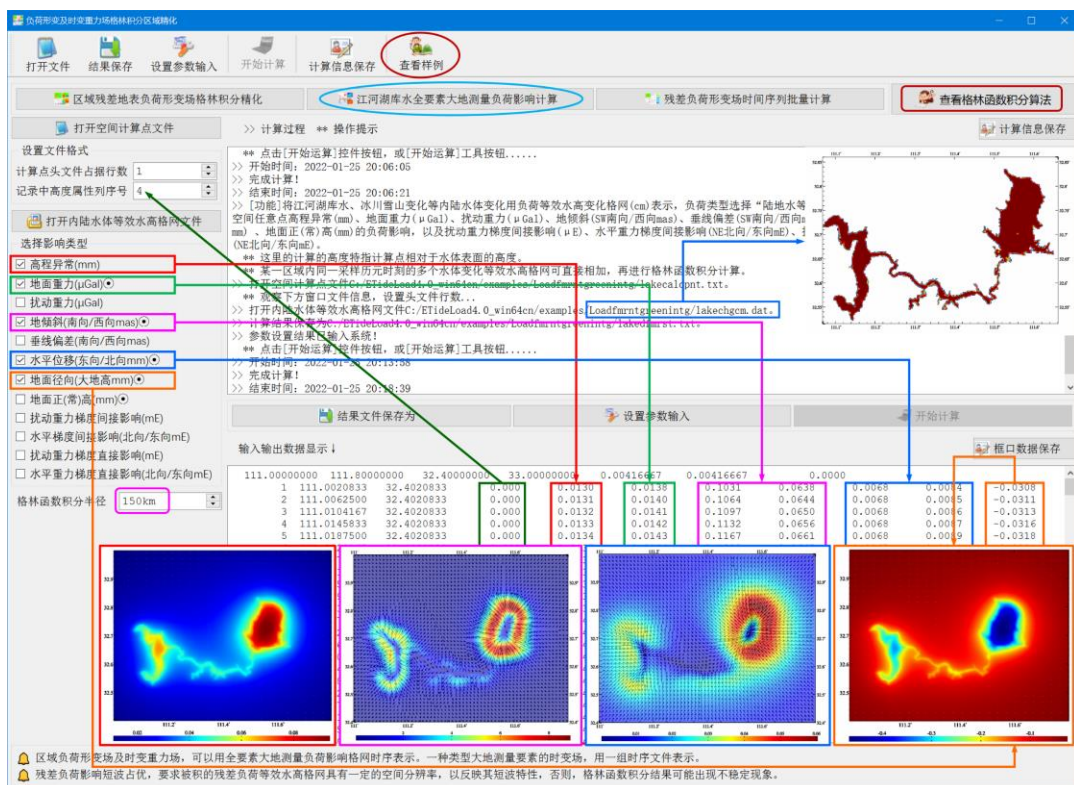
[输入]空间计算点文件，内陆水体等效水高变化格网 (cm) 格网模型文件。

[参数设置]输入文件记录中高度属性列序号，选择影响类型，输入格林函数积分半径和结果文件名。

这里的高度特指计算点相对于水体表面的高度。

[输出]计算点水体负荷形变影响值文件。

头文件取输入计算点文件头，记录在输入文件记录的基础上，增加用户选择的多个水体负荷影响值属性。



某一区域内同一采样历元时刻的多个水体变化等效水高格网可直接相加, 再进行格林函数积分计算。

4.5.3 残差负荷形变场时间序列批量计算

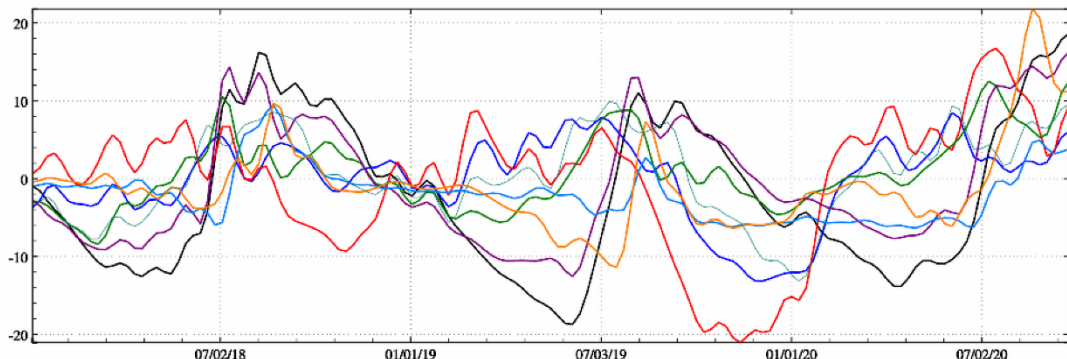
[功能]由区域残差地面等效水高变化(cm)格网模型时间序列, 按格林函数积分算法, 计算全要素大地测量非潮汐负荷影响的残差值时间序列。残差地面等效水高变化 (cm) 格网模型时间序列文件按指定的通配符提取。

残差负荷形变影响的采样历元时刻为区域残差地面等效水高变化 (cm) 格网模型对应的采样历元时刻。

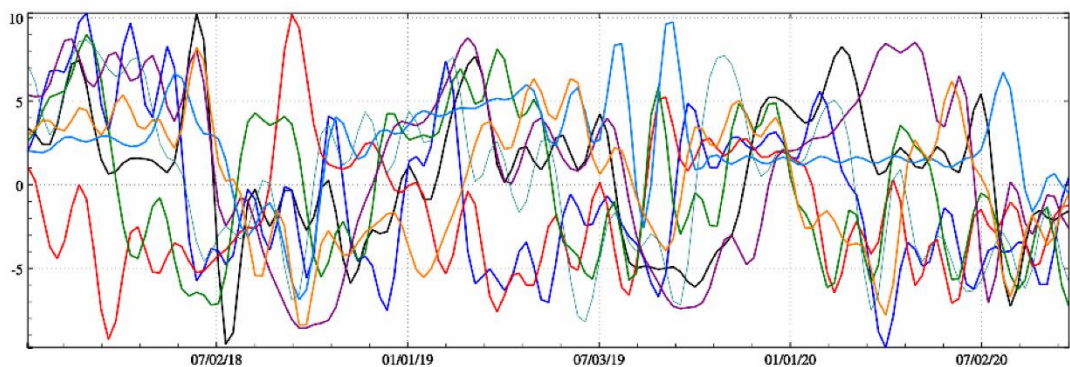
[输入]空间计算点文件, 全球大气压、陆地水或海平面变化负荷球谐系数模型时间序

[输出]计算点残差负荷变形影响值时间序列文件 load***.txt。

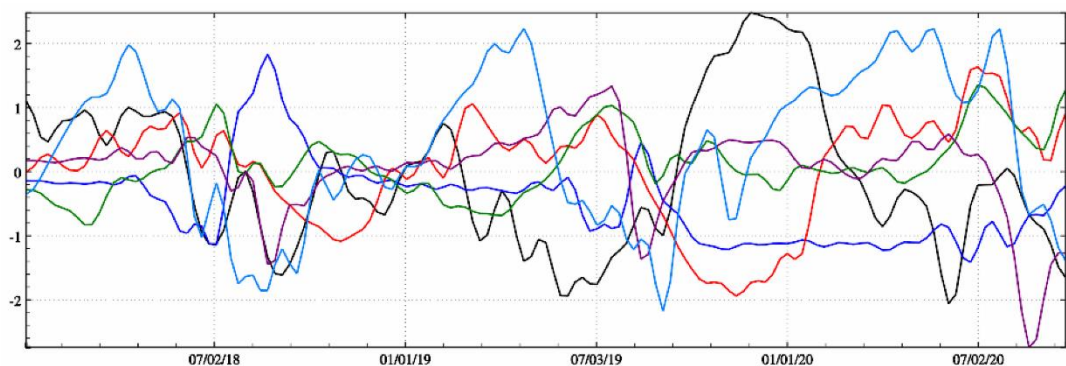
- (1) 文件数量等于负荷球谐系数模型时序文件数量，***为实例化后的残差负荷格网模型时序文件的通配符，以标识残差负荷形变影响的采样历元时刻。
- (2) 头文件最后 1 列属性为实例后的残差地面等效水高变化格网模型时序文件名通配符，表示该点值文件的采样历元时刻。

[illegible]

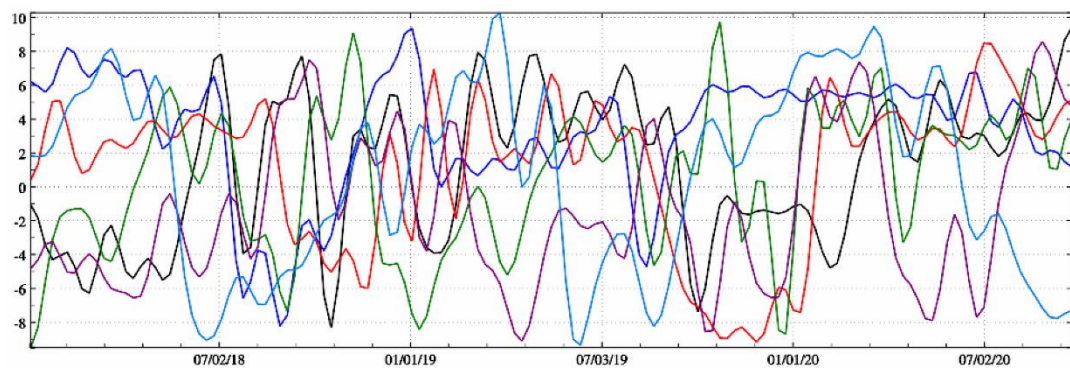
72



2018~2020年中国大陆30'×30'残差土壤水变化负荷形变 (Green积分) -扰动重力梯度直接影响mE



2018~2020年中国大陆30'×30'残差土壤水变化负荷形变 (Green积分) -扰动重力梯度间接影响mE



2018~2020年中国大陆30'×30'残差土壤水变化负荷形变 (Green积分) -水平梯度东向直接影响mE

计算显示，中短波（30'空间分辨率）的残差土壤水变化，能引起 mE 级以上的重力梯度时变，且没有明显的时变特征（难以模型化）。

叠加超短波地表水和地下水负荷影响后，地面扰动重力梯度时变量级可达 100mE，而水平重力梯度时变量级可达数百 mE。这种复杂无明显时空特征的地表动力学环境，必然会严重制约 mE 级精度地面重力梯度测量的实现。因此，不建议在地面或低空直接测量水平重力梯度。

4.6 多源大地测量监测网陆地水时空变化估计

[目标]综合区域 CORS 站网、重力固体潮站网或各种大地控制网等地面站点监测数据,按照全球负荷球谐系数模型球谐综合与区域已知负荷格网模型格林积分的组合移去恢复方法,实现区域地表环境负荷时空变化监测。

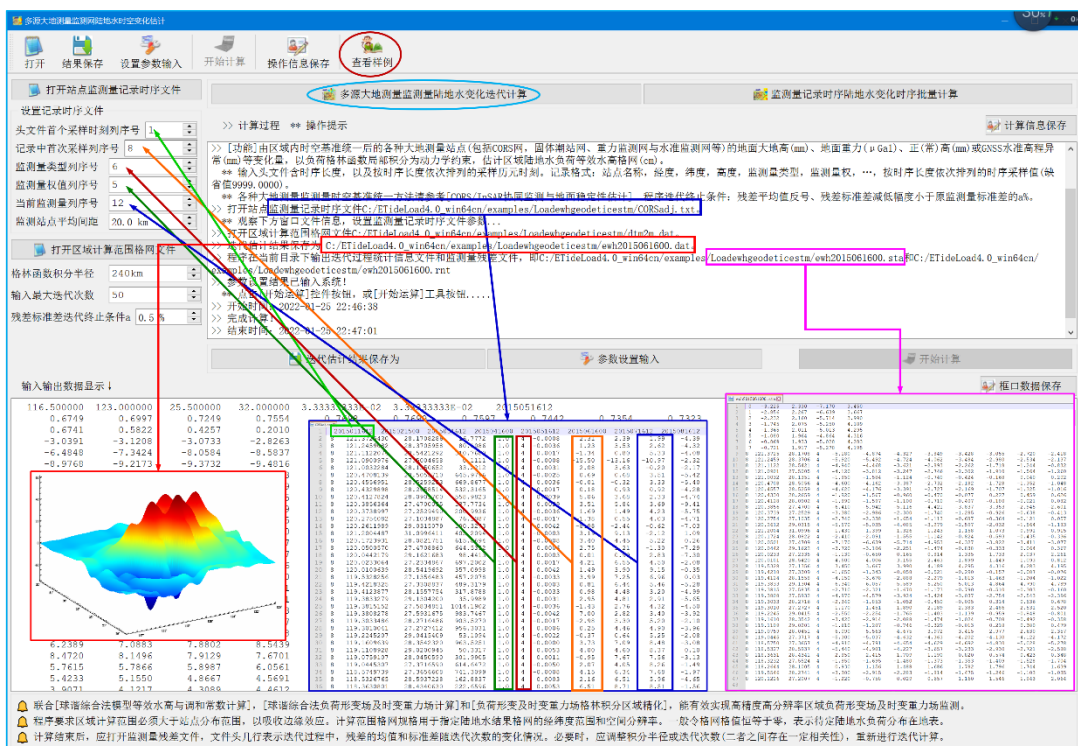
参与计算的监测量, 应事先移去大气压、地表水和海平面变化等已知环境负荷影响, 或利用时变卫星重力场模型移去负荷影响的长波部分, 以抑制远区效应, 满足局部格林函数积分条件。

联合[球谐综合法模型等效水高与调和常数计算], [球谐综合法负荷形变场及时变重力场计算]和[负荷形变及时变重力场格林积分区域精化], 能有效实现区域陆地水变化、负荷形变场及时变重力场的统一监测。

4.6.1 多源大地测量监测陆地水变化迭代计算

[功能]由区域内时空基准统一后的各种大地测量站点（包括 CORS 网、固体潮站网、重力监测网与水准监测网等）的地面大地高（mm）、地面重力（ μGal ）、正（常）高（mm）或 GNSS 水准高程异常（mm）等变化量，以负荷格林函数局部积分为动力学约束，估计区域陆地水负荷等效水高格网（cm）。

[输入]地面站点监测量记录时序文件和区域计算范围零值格网文件。



站点监测量记录时序文件。头文件含时序长度，以及按时序长度依次排列的采样历元时刻。记录格式：站点名称，经度，纬度，高度，监测量类型，监测量权，…，按时序长

度依次排列的时序采样值（缺省值 9999.0000）。

监测量类型 = 1 高程异常变化 mm, 2 扰动重力变化 μGal , 3 地面重力变化 μGal , 4 大地高变化 mm, 5 正常高变化 mm。

程序要求区域计算范围必须大于站点分布范围，以吸收边缘效应。计算范围网格规格用于指定陆地水结果网格的经纬度范围和空间分辨率。一般令网格值恒等于零，表示待定陆地水负荷分布在地表。

[参数设置]设置监测量记录时序文件参数，输入监测站点平均间距、格林积分半径与迭代终止参数。

程序迭代终止条件：残差平均值反号、残差标准差减低幅度小于原监测量标准差的 $a\%$ 。

[输出]区域陆地水负荷等效水高格网文件，迭代过程统计信息文件和监测量残差文件。

各种监测量时空基准统一方法请参考[CORS/InSAR 协同监测与地面稳定性估计]。

4.6.2 监测量记录时序陆地水变化时序批量计算

[功能]由区域内各种地面大地高 (mm)、地面重力 (μGal) 和正 (常) 高 (mm) 等变化监测量记录时序，以负荷格林函数局部积分为动力学约束，批量估计区域陆地水负荷等效水高格网 (cm) 时间序列。

[输入]地面站点监测量记录时序文件和区域计算范围零值格网文件。

站点监测量记录时序文件。头文件含时序长度，以及按时序长度依次排列的采样历元时刻。记录格式：站点名称，经度，纬度，高度，监测量类型，监测量权，…，按时序长度依次排列的时序采样值（缺省值 9999.0000）。

[输出]等效水高格网时序文件 ewh***.dat, 监测量残差时序文件 ewh***.rnt, 和迭代过程统计信息文件 ewh***.sta。***为原监测量记录时序头文件中的采样历元时刻, 用于标识等效水高格网时序和监测量残差时序的采样历元时刻。

估计的结果等效水高格网, 其有效范围, 比站点覆盖范围更小, 即站点覆盖区域的外围约 1/2 积分半径范围内也存在边缘效应, 应予以扣除。

计算结束后, 应打开迭代过程统计信息文件, 文件头几行表示迭代过程中, 残差的均值和标准差随迭代次数的变化情况。必要时, 应调整积分半径或迭代次数 (二者之间存在一定相关性), 重新进行迭代计算。

4.7 CORS/InSAR 融合的高分陆地水变化估计

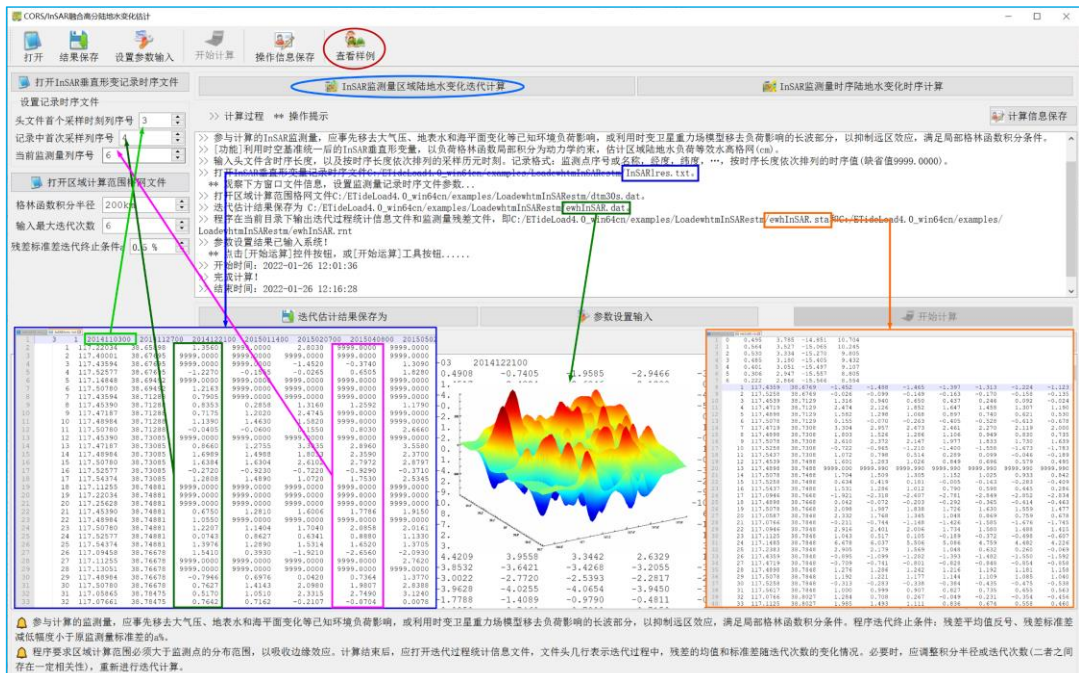
[目标]由经 CORS 网监测基准统一 (深度融合) 后的高分时序 InSAR 监测量, 采用全球负荷球谐系数模型球谐综合与区域已知负荷格网模型格林积分的组合移去恢复方法, 实现区域陆地水及其负荷形变场时空变化的高分高频监测。

程序要求区域计算范围必须大于站点分布范围, 以吸收边缘效应。计算范围格网规格用于指定陆地水结果格网的经纬度范围和空间分辨率。一般令格网规格恒等于零, 表示待定陆地水负荷分布在地表。

4.7.1 InSAR 监测量区域陆地水变化迭代计算

[功能]利用时空基准统一后的 InSAR 垂直形变量, 以负荷格林函数局部积分为动力学约束, 估计区域陆地水负荷等效水高格网 (cm)。

[输入]InSAR 监测量记录时序文件和区域计算范围零值格网文件。



InSAR 监测量记录时序头文件含时序长度，以及按时序长度依次排列的采样历元时刻。记录格式：监测点序号或名称，经度，纬度，…，按时序长度依次排列的时序采样值（缺省值 9999.0000）。

[参数设置]监测量记录时序文件参数，格林积分半径与迭代终止参数。

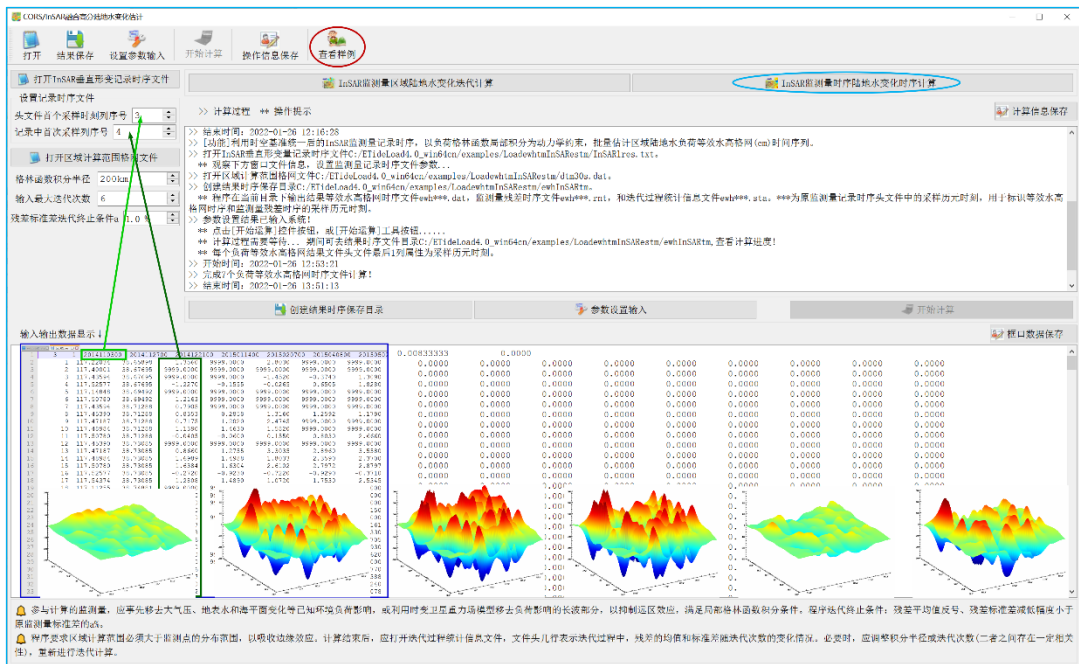
程序迭代终止条件：残差平均值反号、残差标准差减低幅度小于原监测量标准差的 a%。

[输出]区域陆地水负荷等效水高格网文件，迭代过程统计信息文件和监测量残差文件。

4.7.2 InSAR 监测量时序陆地水变化时序计算

[功能]利用时空基准统一后的 InSAR 监测量记录时序，以负荷格林函数局部积分为动力学约束，批量估计区域陆地水负荷等效水高格网（cm）时间序列。

[输出]等效水高格网时序文件 ewh***.dat，InSAR 监测量残差时序文件 ewh***.rnt，和迭代过程统计信息文件 ewh***.sta。***为原 InSAR 监测量记录时序头文件中的采样历元时刻，用于标识等效水高格网时序和监测量残差时序的采样历元时刻。



估计的结果等效水高格网，其有效范围，比 InSAR 监测点覆盖范围更小，即 InSAR 监测点覆盖区域的外围约 1/2 积分半径范围内也存在边缘效应，应予以扣除。

参与计算的 InSAR 监测量，应事先移去大气压、地表水和海平面变化等已知环境负荷影响，或利用时变卫星重力场模型移去负荷影响的长波部分，以抑制远区效应，满足局部格林函数积分条件。

4.8 地面形变场（向量）格网时序动力学运算

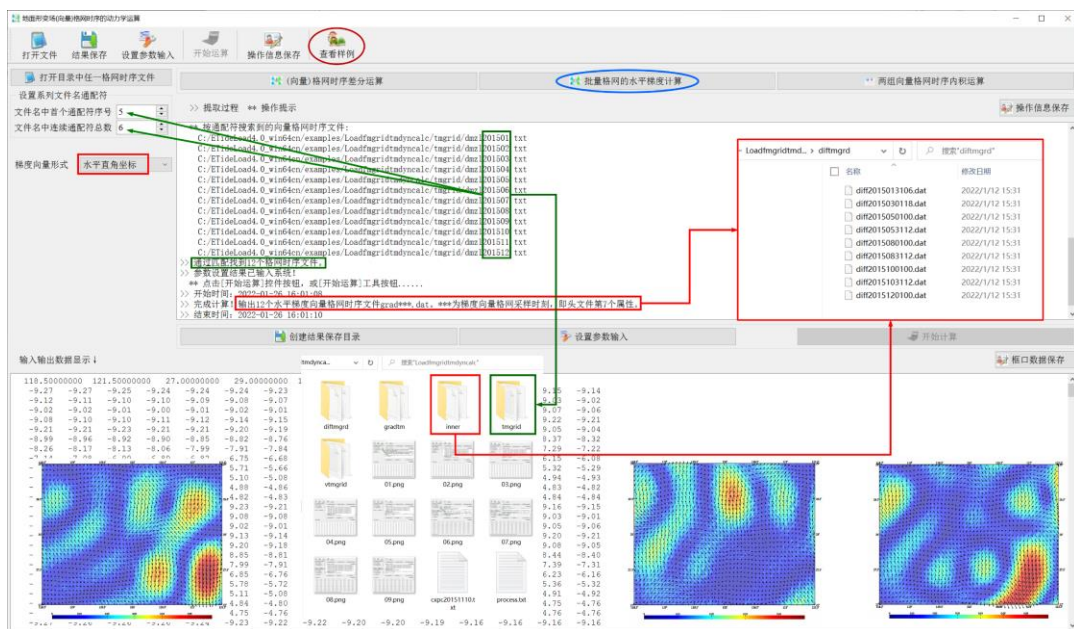
[目标]对地面形变场（时变重力场）格网时序进行分析运算，包括格网时序的时间差

4.8.2 批量格网的水平梯度计算

[功能]由存放于某一目录中格网规格相同的系列格网文件，批量计算监测量水平梯度向量格网 (/km)，水平梯度向量可选择用极坐标或 EN 水平坐标形式输出。系列格网文件按给定的通配符提取。

[输入]格网规格相同的系列监测量格网文件。

[输出]与输入监测量格网规格相同的系列监测量水平梯度向量格网文件。



4.8.3 两组向量格网时序内积运算

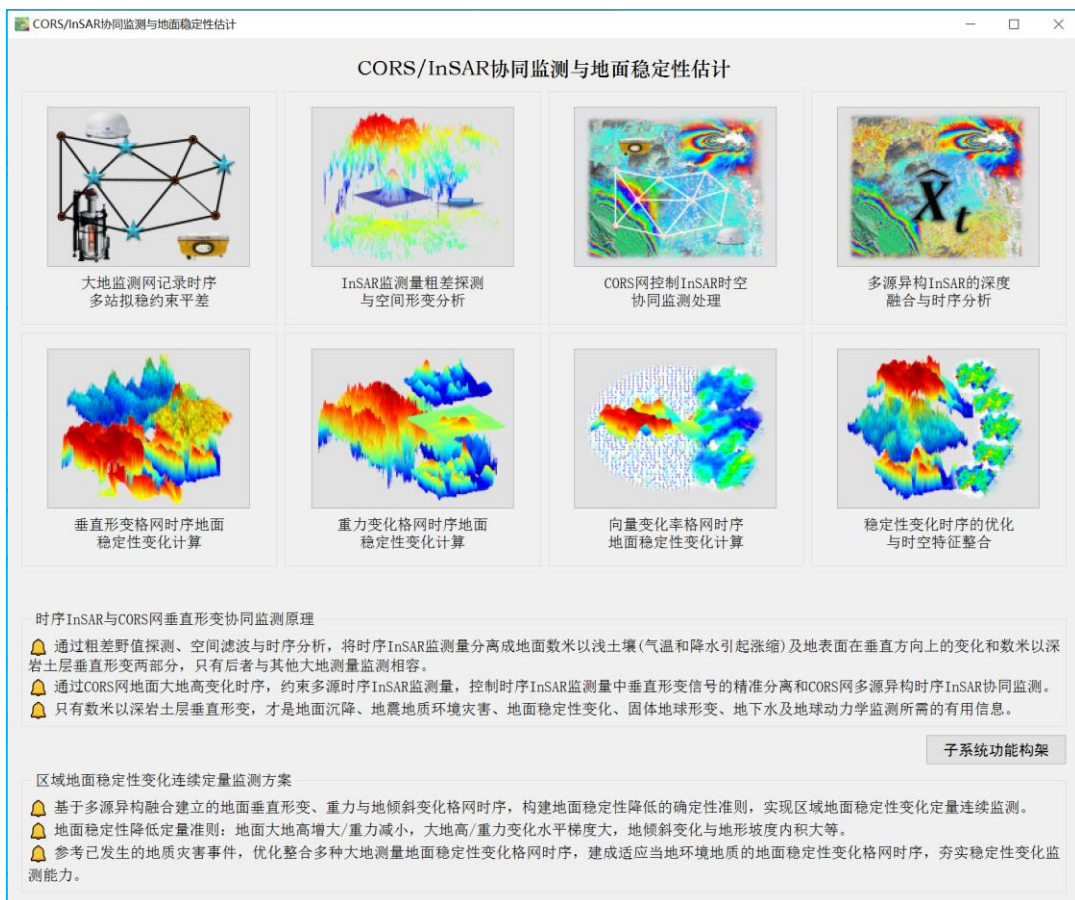
[功能]输入格网规格相同的 EN 水平直角坐标形式的两组向量格网时序文件，计算向量内积的格网时间序列。

程序要求向量格网为 EN 水平坐标形式，两组向量格网容许其中一组只有一个向量格网文件。当两组都为向量格网时序时，程序要求两组时序的采样历元时刻一一对应。

程序会自动搜索两组向量格网时序中格网规格和采样历元完全对应的向量格网对，且只计算采样历元时刻配对的两个向量格网的内积。

第五章 CORS/InSAR 协同监测与地面稳定性估计

CORS/InSAR 协同监测与地面稳定性估计程序集，旨在构建区域统一、长期稳定、高抗差性能的几何物理时空监测基准，开展 CORS 网、多源异构 InSAR 及多种大地测量协同监测与解析深度融合的科学计算；按客观自然规律，由大地测量几何物理场时序，构造稳定性降低的定量辨识准则，实现地面稳定性变化无缝连续监测。



(1) 时序 InSAR 与 CORS 网垂直形变协同监测原理

①通过粗差野值探测、空间滤波与时序分析，将时序 InSAR 监测量分离成地面数米以浅土壤（气温和降水引起涨缩）及地表面在垂直方向上的变化和数米以深岩土层垂直形变两部分，后者与其他大地测量监测相容。

②利用 CORS 网地面大地高变化时序，约束多源时序 InSAR 监测量，控制时序 InSAR 监测量中垂直形变信号的精准分离和 CORS 网多源异构时序 InSAR 协同监测。

③只有数米以深岩土层垂直形变，才是地面沉降、地震地质环境灾害、地面稳定性变化、固体地球形变、地下水及地球动力学监测所需的信息。

从时序 InSAR 监测量中分离出的地表面及浅层土壤垂直变化，可用于土壤、湿地与水环境监测，以及地质环境调查监测、灾情监测灾后评估和水文气象研究等。

(2) 区域地面稳定性变化无缝连续定量监测原则

①基于多源异构融合建立的地面垂直形变、重力与地倾斜变化格网时序，构建地面稳定性降低的确定性准则，实现区域地面稳定性变化定量连续监测。

②地面稳定性降低定量准则：地面大地高增大/重力减小，大地高/重力变化水平梯度大，地倾斜变化与地形坡度内积大等。

③参考已发生的地质灾害事件，优化整合多种大地测量地面稳定性变化格网时序，建成适应当地环境地质的地面稳定性变化格网时序，夯实稳定性变化监测能力。

5.1 大地监测网记录时序多站拟稳约束平差

[功能]以构建区域统一、长期稳定、高抗差性能的高精度几何物理时空监测基准为目的，由 CORS 站网（GNSS 监测网）基线一维分量、水准网测段高差或重力网段差变化量时序（监测量记录时序文件），以给定的一组地面站点基准值记录时序为拟稳基准，采用附有拟稳基准约束的间接最小二乘平差法，计算站坐标分量变化、正（常）高变化或重力变化记录时序的平差值。

程序要求所有监测量在每一采样历元时刻的时间严格同步，且要求所有监测量时序的参考历元统一。这是监测网构网和平差的前提条件。

[输入]大地监测网基线或测段记录时序文件，拟稳基准点记录时序文件。

监测网基线或测段记录时序。头文件含按时序长度依次排列的采样历元时刻，记录格式：基线或测段名称，两端点经纬度和高度，…，按时序长度依次排列的时序采样值（缺省值 9999）。

拟稳基准点记录时序文件。头文件含按时序长度依次排列的采样历元时刻，记录格式：站点名称，经度，纬度，高度，…，按时序长度依次排列的时序采样值（缺省值 9999）。

The screenshot displays the '大地监测网记录时序多站拟稳约束平差' (Large-scale Monitoring Network Record Time Series Multi-station Stable Constraint Adjustment) software interface. The interface is organized into several functional areas:

- Top Panel:** Contains buttons for '打开记录时序' (Open Record Time Series), '计算结果' (Calculate Results), and '查看结果' (View Results).
- Left Panel:** Labeled '监测网记录时序' (Monitoring Network Record Time Series), it shows a table of input data with columns for station names, coordinates, and time series values.
- Middle Panel:** Labeled '拟稳基准点记录时序' (Stable Reference Point Record Time Series), it displays a table of reference point data.
- Right Panel:** Labeled '站网监测量平差结果记录时序' (Station Network Measurement Adjustment Result Record Time Series), it shows the final adjusted values.
- Bottom Panel:** Labeled '拟稳基准点平差值记录时序' (Stable Reference Point Adjustment Value Record Time Series), it displays the adjustment results for the reference points.

The software includes a detailed instruction pane on the right side, providing guidance on file formats, calculation methods, and result interpretation. The interface is designed to facilitate the processing of large-scale monitoring data and the generation of precise adjustment results.

大地监测网的基线或测段与拟稳基准点之间的关联，通过其名称字符实现。基线或测段名约定为由两端站名 A、B 构成 (B***A)，并要求所有站点名（如 A、B）的字符数相等。基线或测段名的字符数，不小于站点名字符数的两倍。

[参数设置]输入大地监测网基线或测段监测网记录时序与拟稳基准点记录时序文件格式参数，选择拟稳基准约束方式。

当选择“基准值加权平均”约束时，程序要求监测量记录时序与基准值记录时序的采样历元时刻一一对应。当选择“基准值加权零平均”约束时，站点监测量平差结果时序的空间监测尺度不会大于站点分布覆盖区域（即局部区域相对形变，形变性质与时序 InSAR 监测量类似）。

[输出]站点变化量平差值记录时序文件，基准站点平差结果文件。

站点变化量平差值记录时序文件。头文件取基准点记录时序头文件，记录格式：站点名称，经度，纬度，高度，按时序长度依次排列的采样时刻平差值。

基准站点平差结果文件。头文件取基准点记录时序头文件，记录格式：站点名称，经度，纬度，高度，权值，按时序长度依次排列的采样时刻平差值。

当选择“基准值加权平均”约束时，基准站点平差结果文件最后一行为基准站点原基准值加权平均记录时间序列。

5.2 InSAR 监测量粗差探测与空间形变分析

[目标]依据地质和负荷动力作用下地面沉降（垂直形变）空间变化固有特征，构造 InSAR 监测量空间分析算法，分离 InSAR 监测量野值和粗差，抑制削弱地形面破碎、覆盖层土壤局部变化影响，生成与其他大地测量形变监测（地面数米以深岩土层垂直形变）相容的 InSAR 地面垂直形变记录时序。

时序 InSAR 监测量约定为监测点记录时序格式，采样历元时刻约定为系统时间格式。

5.2.1 InSAR 监测量记录时序粗差探测分离

[功能]按照动力学地面形变量的空间高相关特点，以 InSAR 监测量采样历元时刻为单元，由给定的低通滤波器，构造低通监测量参考面，分离 InSAR 监测量野值、粗差和突变等非动力学形变信号，以及 SAR 多路径效应和复杂粗糙地表环境干扰。

[输入]InSAR 监测量记录时序文件。

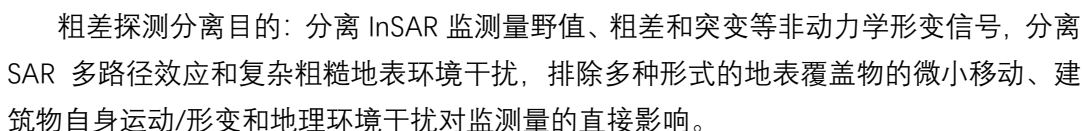
[参数设置]输入 InSAR 监测量记录时序文件格式参数，选择空域滤波方式，输入低通滤波参数和粗差探测迭代次数。

[输出]无粗差的 InSAR 监测量记录时序文件，InSAR 粗差记录时序文件。

粗差分离前后，InSAR 监测量记录时序的格式，监测点时空分布、数量和采样值大小保持不变，只将结果 InSAR 监测量记录时序中的粗差监测量用 9999.000 替换。

InSAR 粗差记录时序文件*.err。*是无粗差的 InSAR 监测量记录时序文件名，文件格式与 InSAR 监测量记录时序文件相同。头文件占住 1 行，最后若干列属性分别对应采样历

粗差监测量记录时序中缺省值 9999.00 表示该 InSAR 监测量不是粗差, 非缺省值表示该 InSAR 监测量是粗差, 数值为原 InSAR 监测量值。



[功能]按照动力学地面垂直形变量与动力源/作用点距离或距离平方近似反比的空间变化性质, 以 InSAR 监测量采样历元时刻为单元, 按给定的空间滤波算法, 抑制或削弱非地质动力学作用的极浅地表局部变化影响。

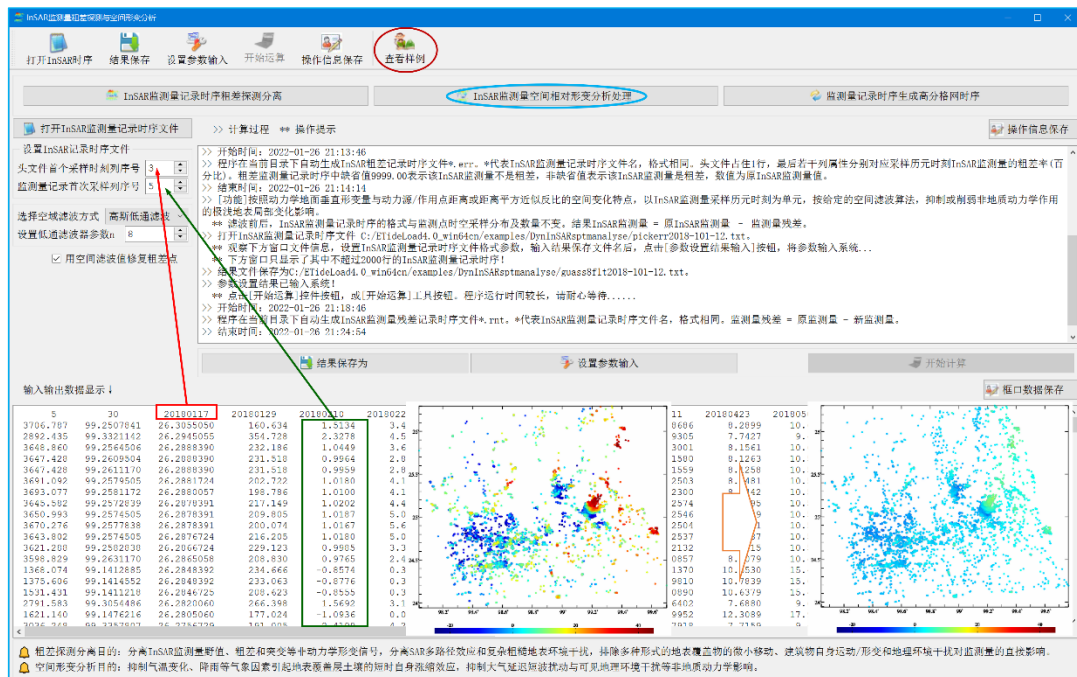
[参数设置]输入 InSAR 监测量记录时序文件格式参数, 选择空域滤波方式, 输入低通滤波参数, 选择是否用空间滤波值修复粗差点。

滤波前后, InSAR 监测量记录时序的格式与监测点时空采样分布及数量不变。结果

$$\text{AR 监测量} = \text{原 InSAR 监测量} - \text{监测量残差}。$$

空间形变分析目的：抑制气温变化、降雨等气象因素引起地表覆盖层土壤的短时自身

涨缩效应，抑制大气延迟短波扰动与可见地理环境干扰等非地质动力学影响。



5.2.3 监测量记录时序生成高分格网时序

[功能]给定单元格网内最少有效监测点数，采用直接平均法或高斯基函数插值法，由监测量记录时间序列生成文件个数等于采样历元个数的高分辨率格网时间序列。无效格网单元的格值用 9999.0 表示。

5.3 CORS 网控制 InSAR 时空协同监测处理

[目标]统一多源异构时序 InSAR 监测量（已分离地表及浅层土壤垂直变化）与 CORS 网大地高变化记录时序的参考历元，通过 CORS 网 InSAR 垂直形变的相容性分析，CORS 网时空监测基约束 InSAR 监测量整体平差等运算，实现时序 InSAR 监测量时空基准的高度统一，控制时序 InSAR 监测量误差随时间累积。

时序 InSAR 监测量文件约定为监测点记录时序文件格式，采样历元时刻约定为 ETideLoad 长整数格式。

地面 CORS 网控制时空 InSAR 协同监测目的：①高精度修复 InSAR 监测量的潮汐和非潮汐负荷影响，补偿空间中长波对分层模型误差；②当 CORS 站不少于 3 座时，能精密修复差分干涉尺度误差，补偿其他各种空间中长波误差影响；③高精度修复空间尺度大于 InSAR 监测区域的时变信息，精密控制时序 InSAR 监测量随时间的累积误差。

5.3.1 监测量记录时序参考历元统一

[功能]设置参考历元时刻（也称监测基准时间），按三次样条插值、高斯基函数插值或时域滤波分析方式，估计所有监测点时序在参考历元时刻的采样值，并将其从相应记录

垂直形变监测的相容性，评价 InSAR 监测量粗差探测与空间分析算法的有效性。

[输入]InSAR 监测量记录时序文件， CORS 网大地高变化记录时序文件。

程序要求 InSAR 监测量记录时序和 CORS 网大地高变化记录时序的参考历元统一。

[参数设置]输入 InSAR 监测量记录时序文件和 CORS 网大地高变化记录时序文件格式参数，输入参考历元时刻，选择 CORS 网时序插值方式，输入 CORS 站周边搜索半径及最少 InSAR 监测点数。

当监测量记录时序信号有噪声或缺失采样较多时，建议选择高斯基函数插值或时域滤波分析方式。

当参考历元超出有效监测时段范围时，若仍选择三次样条插值时，程序自动按高斯基函数法外推参考历元采样值。

[输出]CORS 站大地高变化与 InSAR 监测量比较文件 CORSInSARpntcomp.txt，系列 CORS 基线大地高双差与 InSAR 监测量双差记录时序文件 dblediff*.txt。

The screenshot displays the CORSInSAR software interface. The top menu bar includes '打开InSAR时序', '结果保存', '设置参数输入', '开始计算', '操作信息保存', and '查看帮助'. The main window is divided into several sections:

- 设置InSAR记录时序:** Includes fields for '打开InSAR监测量记录时序文件' and '打开CORS网大地高变化记录时序文件'.
- 设置CORS记录时序:** Includes fields for '打开CORS网大地高变化记录时序文件' and '打开InSAR监测量记录时序文件'.
- CORS站周边最少监测点数:** Set to 2.
- 附近InSAR监测点搜索半径:** Set to 500 m.
- 计算过程:** Includes '计算过程' and '操作信息' tabs.
- 输出结果:** A table showing the results of the comparison between CORS and InSAR data.

The output table has columns for '站号', '站名', '站类', '站型', '站高', '站东', '站南', '站西', '站北', '站东', '站南', '站西', '站北', '站东', '站南', '站西', '站北'. The data is organized into rows for each station, showing various parameters and their values.

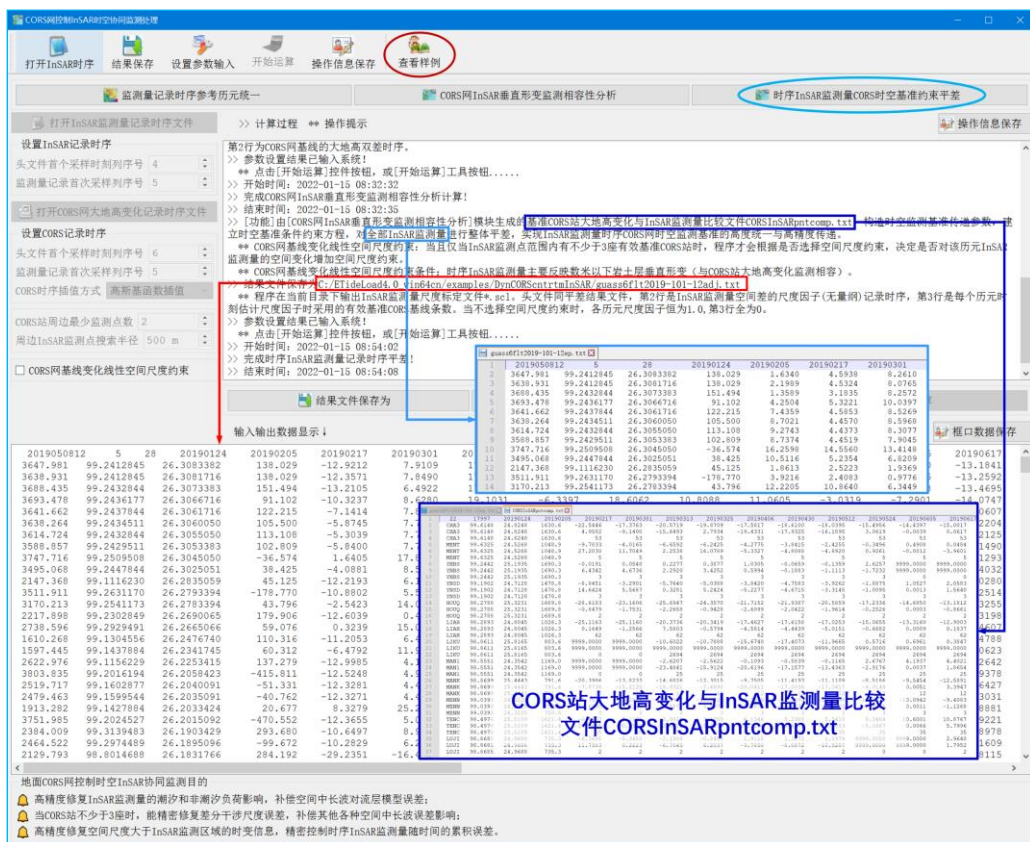
比较文件 CORSInSARpntcomp.txt。头文件包括 InSAR 监测范围 CORS 站总数，InSAR 监测点数量，采样历元时刻；每座基准 CORS 站参数记录由 3 行构成，第 1 行是 CORS 站在 InSAR 采样时刻的大地高变化值记录时序，第 2 行是 CORS 站周边 InSAR 监测点的监测量平均记录时序，第 3 行是参与平均计算的 InSAR 监测点数记录时序。

系列双差记录时序文件 dblediff*.txt。* = 1 ~ n/2 表示时间差分的采样间隔倍数，n 为采样历元数，即最大差分时间间隔约为时序长度的一半。头文件包括差分采样历元数 n/2，

CORS 网基线 InSAR 监测量双差算法。先由 CORS 站周边 InSAR 监测点的当前历元监测量，按直接平均法计算 CORS 站处 InSAR 监测量，再计算 InSAR 采样历元时刻基线两端监测量之差，最后计算后续历元监测量差与当前历元监测量差的时间差分，生成 CORS 基线 InSAR 监测量双差时序。

[功能]由[CORS 网 InSAR 垂直形变监测相容性分析]模块生成的基准 CORS 站大地高变化与 InSAR 监测量比较文件 CORSInSARpntcomp.txt, 构造时空监测基准传递参数, 建立时空基准条件约束方程, 对全部 InSAR 监测量进行整体平差, 实现时序 InSAR 监测量 CORS 网时空监测基准的高度统一与高精度传递。

[参数设置]设置检核框[CORS 网基线变化线性空间尺度约束]。



尺度标定文件*.scl 的头文件同 InSAR 监测量平差值记录时序文件,第 2 行是 InSAR 监测量空间差的尺度因子记录时序,第 3 行是每个历元时刻尺度因子估计时采用的有效基准 CORS 基线条数。当不选择空间尺度约束时,各历元尺度因子恒为 1.0,第 3 行全为 0。

CORS 网基线变化线性空间尺度约束条件: 时序 InSAR 监测量主要反映数米以下岩土层垂直形变 (与 CORS 站大地高变化监测相容)。

[目标]先对 CORS 网时空监测基准或参考历元统一后的多源异构时序 InSAR 监测量按时间和空间进行深度融合,再以每个 InSAR (监测点的)监测量记录时序为单元,进行时序分析,从而实现多源异构的时序 InSAR 协同监测与时序形变分析。

[功能]将监测区域相同（监测点不必重合）、参考历元统一后的两个时序 InSAR 监测量记录文件，采用高斯插值方法相互补充时序采样值，通过指定空间分辨率重采样，生成连续采样的长时序 InSAR 监测量记录文件。



程序要求：(1) 两个 InSAR 监测量记录时序，在空间覆盖上基本重合，在监测时段上前后相邻，或部分时段重合，以满足参考历元时刻统一的条件；(2) 两组 InSAR 监测量记录时序的参考历元必须统一，本例事先采用高斯基函数插值法将两个 InSAR 监测量记录时序的参考历元统一到 20190115。

[输出]长时序 InSAR 监测量记录文件。

[功能]将位于某一目录下格式相同的多源异构 InSAR 监测量记录时序, 按指定空间分辨率重采样后, 以单个文件形式保存融合后的多源异构 InSAR 监测量记录时序。系列 InSAR 监测量记录时序文件按给定的通配符提取。

程序要求：(1) 参与融合的 InSAR 监测量记录时序，应通过 CORS 网控制协同处理，统一时空监测基准。(2) InSAR 监测量记录时序格式完全相同。

[输出]空间融合后的 InSAR 监测量记录文件。



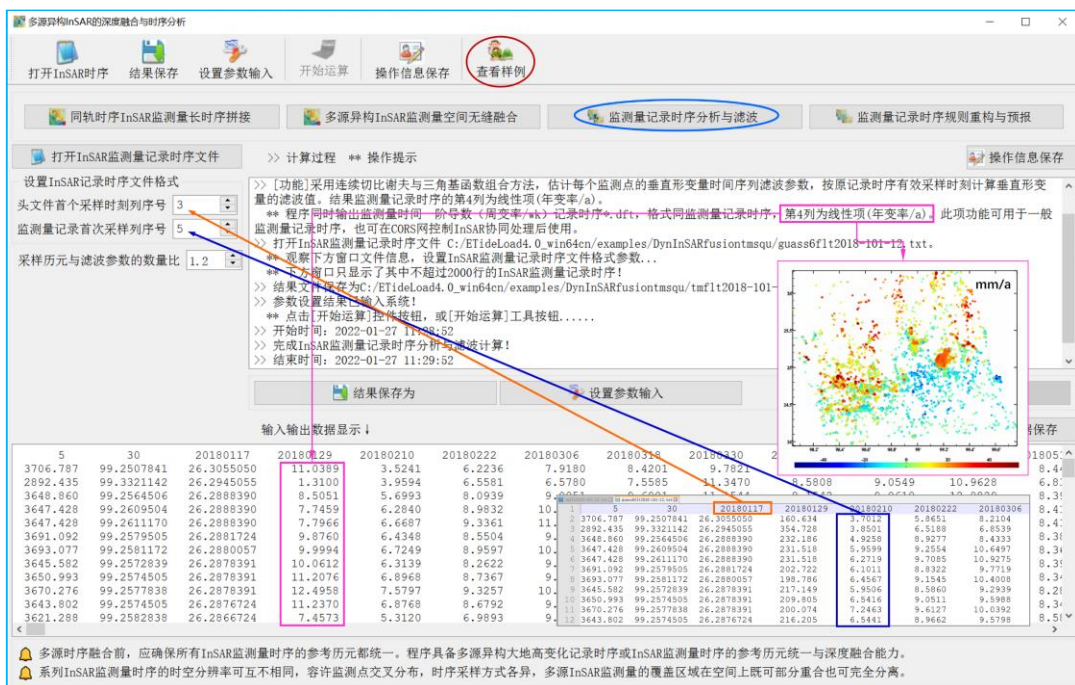
5.4.3 监测量记录时序分析与滤波

[功能]采用连续切比谢夫与三角基函数组合方法，估计每个监测点的垂直形变量时间序列滤波参数，按原记录时序有效采样时刻计算垂直形变量的滤波值。结果监测量记录时序的第4列为线性项（年变率/a）。

[输入]监测量记录时序文件。

[参数设置]设置监测量记录时序文件格式参数，输入参考历元（监测点采样数）与滤波参数个数的比值。

[输出]时域滤波后的监测量记录时序文件，监测量时间一阶导数（周变率/wk）记录时序*.dft。*为输出文件名。两个文件记录的第4均为线性项（年变率/a）。



此项功能可用于一般监测量记录时序，也可在 CORS 网控制 InSAR 协同处理后使用。

5.4.4 监测量记录时序规则重构与预报

[功能]采用连续切比谢夫与三角基函数组合方法，估计每个监测点的垂直形变量时间序列滤波参数，按给定时间序列采样方式，重构监测量记录时序。结果监测量记录时序的第4列为线性项（年变率/a）。

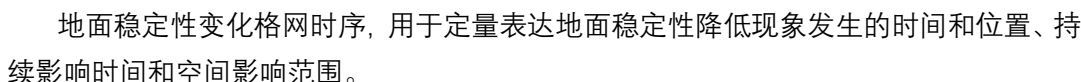
[输入]监测量记录时序文件。

[参数设置]设置监测量记录时序文件格式参数，输入参考历元（监测点采样数）与滤波参数个数的比值。

[输出]重构的监测量记录时序文件，监测量时间一阶导数（周变率/wk）记录时序*.dft。

*为输出文件名。两个文件记录的第4均为线性项（年变率/a）。

此项功能具备时域插值和短时推估预报能力。



基于垂直形变格网时序的地面稳定性降低定量辨识准则（客观规律，确定性/无疑义准则，ETideLoad 自定义）：①地面垂直形变速率较大（大于零），此时此地，地面向上抬升。②地面垂直形变率水平梯度（模）较大，此时此地，地面出现局部不均匀扭曲。③地形坡度值较大。

地面垂直形变可以是地面大地高变化，也可以是地面正（常）高变化（mm）。

监测量时序统计规格化整合算法，请参考[地面稳定性变化时序优化整合与短时预报]程序界面说明。

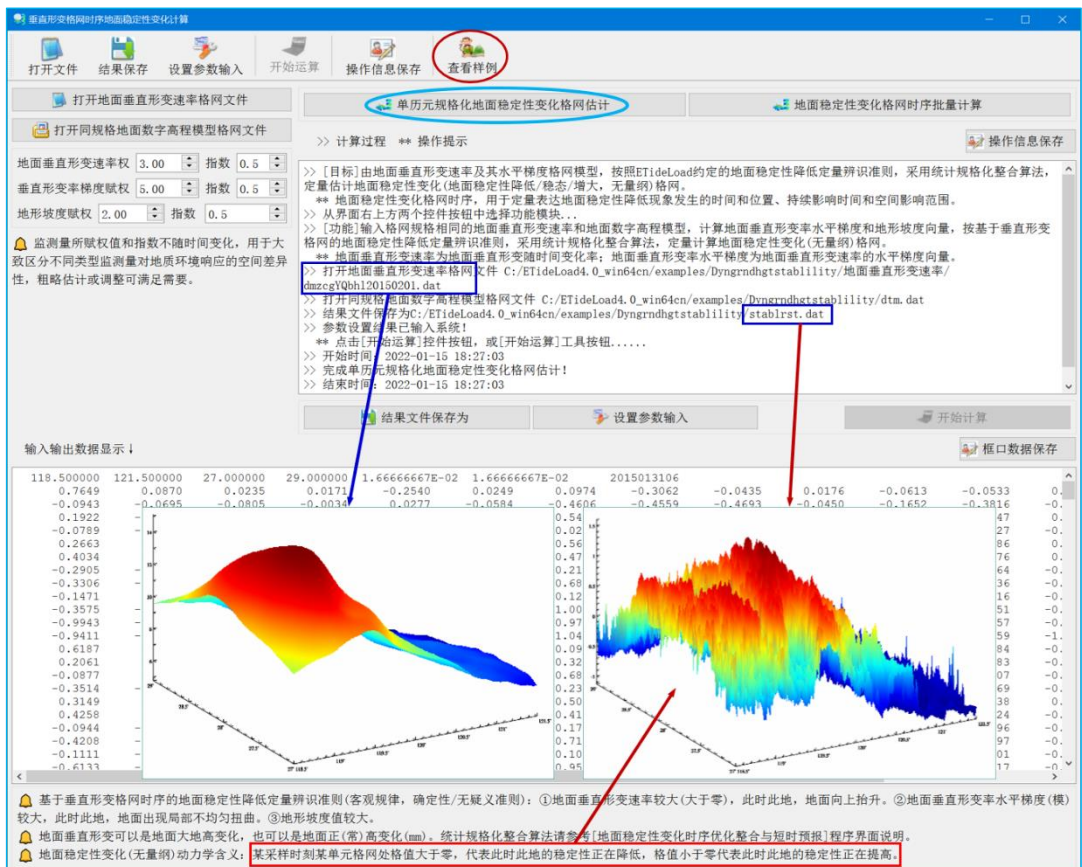
监测量所赋权值和指数不随时间变化，仅用于大致区分不同类型监测量对地质环境响应的空间差异性，粗略估计或调整可满足需要。

地面稳定性变化（无量纲）动力学含义：某采样时刻某单元格网处的格值大于零，代表此时此地的稳定性正在降低，格值小于零代表此时此地的稳定性正在提高。

5.5.1 单历元规格化地面稳定性变化格网估计

[功能]输入格网规格相同的地面垂直形变速率和地面数字高程模型，计算地面垂直形变率水平梯度和地形坡度向量，按基于垂直形变格网的地面稳定性降低定量辨识准则，采用统计规格化整合算法，定量计算地面稳定性变化（无量纲）格网。

[输入]格网规格相同的地面垂直形变速率格网文件和地面数字高程模型格网文件。



[参数设置]地面垂直形变速率、垂直形变速率水平梯度和地形坡度的权值和指数。

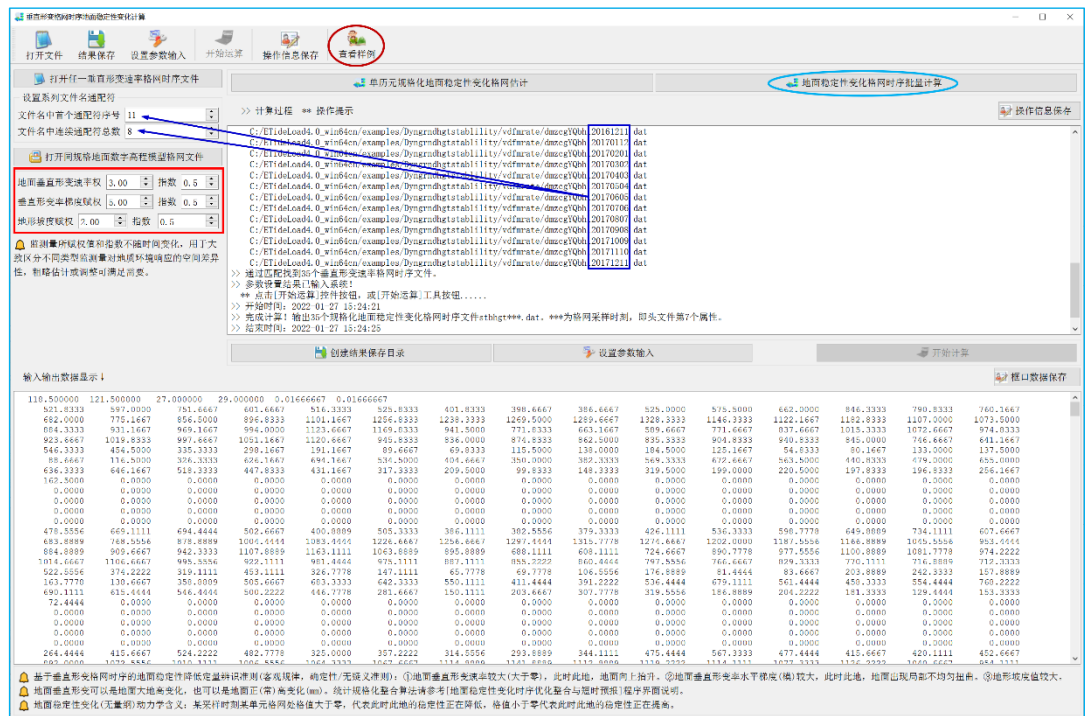
[输出]规格化的地面稳定变化格网文件。

地面垂直形变速率为地面垂直形变随时间变化率；地面垂直形变率水平梯度为地面垂直形变速率的水平梯度向量。

5.5.2 地面稳定性变化格网时间序列计算

[功能]输入格网规格相同的地面垂直形变速率格网时序和地面数字高程模型格网，计算地面垂直形变率水平梯度向量格网时序和地形坡度向量格网，按基于垂直形变格网的地面稳定性降低定量辨识准则，采用统计规格化整合算法，定量计算规格化地面稳定性变化（无量纲）格网时间序列。

[输出]规格化地面稳定性变化格网时序文件 stbhgt***.dat。***为格网采样时刻，即头文件第 7 个属性。



5.6 重力变化格网时序地面稳定性变化计算

[目标]由地面重力（扰动重力）速率及其水平梯度格网模型，按照 ETideLoad 定义的地面稳定性降低定量辨识准则，采用统计规格化整合算法，定量估计地面稳定性变化（地面稳定性降低/稳态/增大，无量纲）格网。

基于重力变化格网时序的地面稳定性降低定量辨识准则（客观规律，确定性/无疑义准则，ETideLoad 自定义）：①地面重力/扰动重力速率较大（小于零），此时此地，地面向上回弹。②地面重力速率水平梯度（模）较大，此时此地，地面存在局部不均匀作用力，

扰动重力的局部地形影响，用于定量表达地形起伏的剧烈程度。程序要求地面数字高程模型格网的经纬度范围应在地面重力速率格网的基础上，外扩不少于 50km，用于积分法扰动重力局部地形影响计算。

[功能]由地面重力速率格网计算其水平梯度(极坐标形式),由扩展的地面数字高程模型格网(经纬度范围外扩不少于 50km)计算扰动重力局部地形影响,按基于地面重力变化格网的地面稳定性降低定量辨识准则,采用统计规格化整合算法,定量计算地面稳定性变化(无量纲)格网。

[参数设置]输入地面重力速率、重力速率水平梯度和扰动重力局部地形影响的权值和指数。

重力变化格网时序的地面稳定性变化计算

打开文件
结果保存
设置参数输入
开始运算
操作信息保存
查看样例

打开地面(扰动)重力速率格网文件
单元元格化地面稳定性变化格网估计
地面稳定性变化格网时序批量计算

顾及重力的局部地形影响
操作信息保存

打开扩展的地面数字高程模型文件

地面重力速率权重 3.00 指数 0.5

重力速率梯度权重 5.00 指数 0.5

地形影响权重 2.00 指数 0.5

>> 计算过程 ** 操作提示

>> [目标]由地面重力(扰动)重力速率及其水平梯度格网模型,按照EtiLoad约定的地面稳定性降低定量辨识准则,采用统计规格化整合算法,定量估计地面稳定性变化(地面稳定性降低/升高/无影响)格网。

>> 地面稳定性变化格网时序,用于定量表达地面稳定性降低现象发生的时间和位置、持续影响时间和空间影响范围。

>> 从界面右上两个控件按钮中选择功能模块...

>> [功能]由地面重力速率格网计算其水平梯度(极坐标形式),由扩展的地面数字高程模型格网(经纬度范围外扩不少于50km)计算扰动重力局部地形影响,被基于重力变化格网的地面稳定性降低定量辨识准则,采用统计规格化整合算法,定量计算地面稳定性变化(无量纲)格网。

>> 扰动重力的局部地形影响,用于定量表达地形起伏的剧烈程度。程序要求地面数字高程模型格网的经纬度范围应在地面重力速率格网的基础上,外扩不少于50km,用于控制扰动重力局部地形影响计算。

>> 打开地面(扰动)重力速率格网文件 C:\EtiLoad4_0_win64cn\examples\Dyngnrgavstability\gravrate\diff2015013106.dat

>> 打开扩展的地面数字高程模型格网文件 C:\EtiLoad4_0_win64cn\examples\Dyngnrgavstability\dtm30s.dat

>> 结果文件保存为: C:\EtiLoad4_0_win64cn\examples\Dyngnrgavstability\start.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: 2022-01-27 15:40:22

>> 完成单元元格化地面稳定性变化格网估计!

>> 结束时间: 2022-01-27 16:40:53

结果文件保存为
设置参数输入
开始计算

输入输出数据显示
框口数据保存

118.50000000	121.50000000	27.00000000	29.00000000	0.01666667	0.01666667	2015013106	0.4800	0.5577	0.6341	0.6340	0.6341
0.8524	0.5934	0.8504	0.3567	0.3348	0.4044	0.4529	0.4042	0.5577	0.6341	0.6340	0.6341
0.6365	0.5987	0.6464	0.7315	0.7339	0.6364	0.4568	0.7057	0.5670	0.5188	0.5908	0.5461
0.4897	0.466					0.6110				333	1.1530
1.1245	0.754					1.2003				860	0.6728
0.5414	0.512					0.0473				527	-0.0955
0.1748	0.216					0.5547				460	1.0460
1.2196	1.065					0.9933				791	0.4620
0.1401	0.138					0.0349				118	-0.0651
-0.1335	-0.104					-0.2103				806	-0.2253
-0.1500	-0.201					0.2154				103	-0.2526
-0.2318	-0.263					-0.1760				523	-0.2851
-0.3132	-0.376					-0.4978				318	-1.0296
0.2799	0.555					0.3553				337	0.5141
0.6394	0.594					0.6633				111	0.4931
0.4076	0.481					0.8319				938	0.7050
0.7399	0.757					1.1427				521	0.7090
0.4446	0.484					1.0407				262	-0.0355
0.2057	0.222					0.4550				132	1.0504
1.1255	0.934					0.9396				481	0.5572
0.1333	0.097					0.1051				891	0.0157
-0.0325	0.024					-0.1220				421	-0.0550
-0.1656	-0.207					-0.2454				211	-0.2973

基于重力变化格网时序的地面稳定性降低定量辨识准则(客观规律,确定性/无歧义准则):①地面重力/扰动重力速率较大(小于零),此时此地,地面向上回弹。②地面重力速率水平梯度(模)较大,此时此地,地面存在局部不均匀作用力,产生剪切。③扰动重力的局部地形影响值(反号)较大。

地面稳定性变化(无量纲)物理学含义:某采样时刻某单元格网处格值大于零,代表此时此地的稳定性正在降低,格值小于零代表此时此地的稳定性正在提高,统计规格化整合算法请参考[监测网格时序规格化整合与短时预报]程序界面说明。

[功能]输入格网规格相同的地面重力速率格网时序, 计算地面重力速率水平梯度向量

(极坐标形式) 格网时序, 由扩展的地面数字高程模型格网 (经纬度范围外扩不少于 50km) 计算扰动重力局部地形影响, 按基于地面重力变化格网的地面稳定性降低定量辨识准则, 采用统计规格化整合算法, 定量计算规格化地面稳定性变化格网时间序列。

5.7 向量变化格网时序地面稳定性变化计算

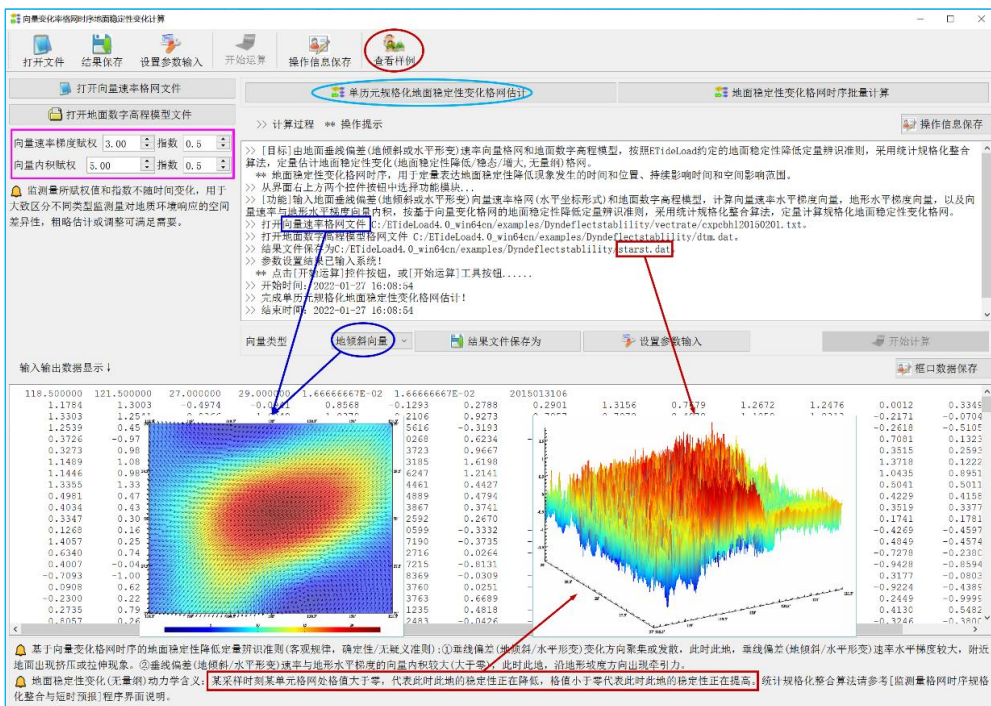
[目标]由地面垂线偏差 (地倾斜或水平形变) 速率向量格网和地面数字高程模型, 按照 ETideLoad 定义的地面稳定性降低定量辨识准则, 采用统计规格化整合算法, 定量估计地面稳定性变化 (无量纲) 格网。

基于向量变化格网时序的地面稳定性降低定量辨识准则 (客观规律, 确定性/无疑义准则, ETideLoad 自定义): ①垂线偏差 (地倾斜/水平形变) 变化方向聚集或发散, 此时此地, 垂线偏差 (地倾斜/水平形变) 速率水平梯度较大, 附近地面出现挤压或拉伸现象。②垂线偏差 (地倾斜/水平形变) 速率与地形水平梯度的向量内积较大 (大于零), 此时此地, 沿地形坡度方向出现牵引力。

地面稳定性变化 (无量纲) 动力学含义: 某采样时刻某单元格网处的格值大于零, 代表此时此地的稳定性正在降低, 格值小于零代表此时此地的稳定性正在提高。

5.7.1 单历元规格化地面稳定性变化格网估计

[功能]输入地面垂线偏差 (地倾斜或水平形变) 向量速率格网 (水平坐标形式) 和地面数字高程模型, 计算向量速率水平梯度向量, 地形水平梯度向量, 以及向量速率与地形水平梯度向量内积, 按基于向量变化格网的地面稳定性降低定量辨识准则, 采用统计规格化整合算法, 定量计算规格化地面稳定性变化格网。



[输入]地面垂线偏差（地倾斜或水平形变）向量速率格网（水平坐标形式）文件和地面数字高程模型文件。

[参数设置]向量形变速率和向量内积的权值和指数。

[输出]规格化的地面稳定变化格网文件。

5.7.2 地面稳定性变化格网时间序列计算

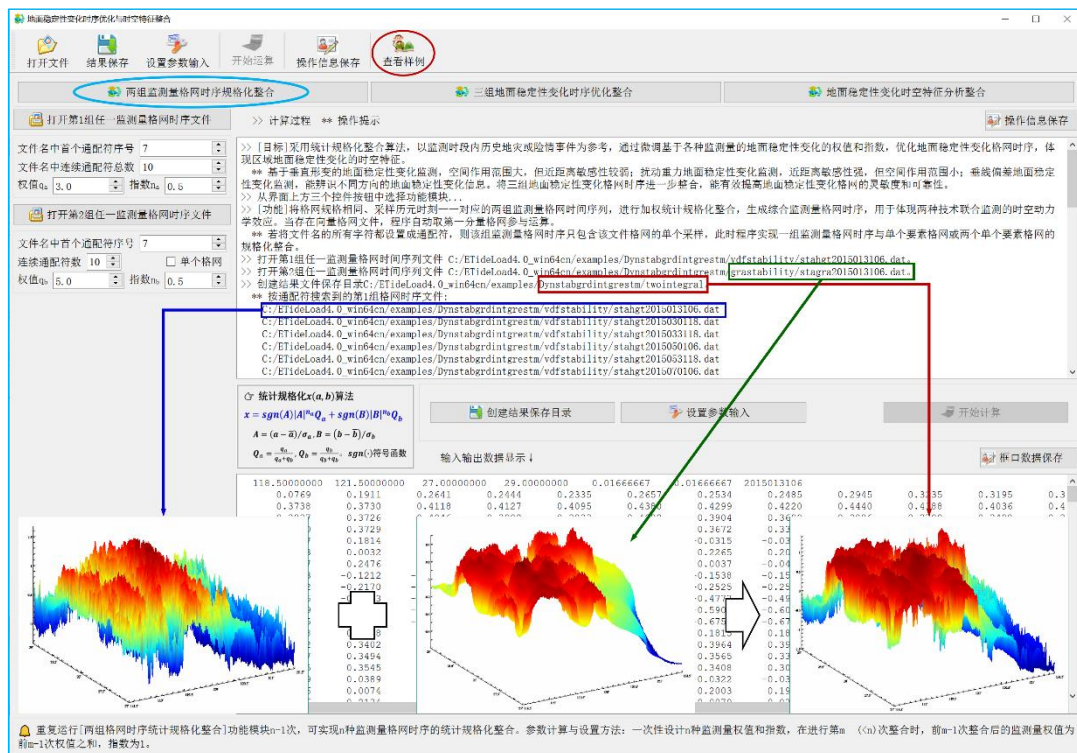
[功能]输入地面垂线偏差（地倾斜或水平形变）向量速率（水平坐标形式）格网时序和地面数字高程模型，计算向量速率水平梯度向量格网时序，以及向量速率与地形水平梯度内积格网时序，按基于向量变化格网的地面稳定性降低定量辨识准则，采用统计规格化整合算法，定量计算规格化地面稳定性变化格网时间序列。

5.8 稳定性变化时序的优化与时空特征整合

[目标]采用统计规格化整合算法，以监测时段内历史地灾或险情事件为参考，通过微调基于各种监测量时序的地面稳定性变化权值和指数，优化地面稳定性变化格网时序，以体现或突出区域地面稳定性变化的时空特征。

5.8.1 两组监测量格网时序规格化整合

[功能]将格网规格相同、采样历元时刻一一对应的两组监测量格网时间序列，进行加权统计规格化整合，生成综合监测量格网时序，用于体现两种技术联合监测的时空动力学效应。当存在向量格网文件，程序自动取第一分量格网参与运算。



若将监测量格网时序文件名的所有字符都设置成通配符, 则该组监测量格网时序只包含该文件格网的单个采样, 此时程序实现一组监测量格网时序与单个要素格网或两个单个要素格网的规格化整合。

程序会自动搜索两组格网时序中格网规格和采样历元时刻相同的格网对, 只有完全配对的两组监测量格网才会参与整合运算。本例中, 第一组格网时序有 35 个文件, 第二组格网时序有 11 个文件, 但只有其中 3 对监测量格网的采样历元时刻配对, 因此, 最终完成 3 对监测量格网的规格化整合。

监测量 a, b 格网时序统计规格化整合 x 算法:

$$x = \text{sgn}(A)|A|^{n_a}Q_a + \text{sgn}(B)|B|^{n_b}Q_b$$

式中: $A = (a - \bar{a})/\sigma_a, B = (b - \bar{b})/\sigma_b$;

$$Q_a = \frac{q_b}{q_a + q_b}, Q_b = \frac{q_a}{q_a + q_b}; \text{sgn}(\cdot) \text{ 为符号函数。}$$

重复运行[两组格网时序统计规格化整合]功能模块 $n-1$ 次, 可实现 n 种监测量格网时序的统计规格化整合。此时, 可事先一次性设计 n 种监测量格网时序的权值和指数, 在进行第 m ($< n$) 次整合时, 前 $m-1$ 次整合后的监测量时序的权值为前 $m-1$ 次权值之和, 指数为 1。

5.8.2 三组地面稳定性变化时序优化整合

[功能]将格网规格相同、采样历元时刻一一对应的三组地面稳定性变化格网时间序列, 进行加权统计规格化整合, 生成时空动力学特征信息较为丰富的、灵敏度和可靠性较高的地面稳定性变化格网时序。

程序会自动搜索三组格网时序中格网规格和采样历元时刻都匹配的格网, 只有完全匹配的 3 组监测量格网才参与整合运算。

基于垂直形变的地面稳定性变化监测, 空间作用范围大, 但近距离敏感性较弱; 扰动重力地面稳定性变化监测, 近距离敏感性强, 但空间作用范围小; 垂线偏差地面稳定性变化监测, 能辨识不同方向的地面稳定性变化信息。将三组地面稳定性变化格网时序进一步整合, 能有效提高地面稳定性变化格网的灵敏度和可靠性。

5.8.3 地面稳定性变化时空特征分析整合

[功能]输入地面稳定性变化格网时序, 计算其空间水平梯度和时间导数格网时间序列, 采用空间、时间低通滤波与统计规格化整合等方法, 按指定采样规格和统计参数, 生成融合时空变化特征的地面稳定性格网时序 stachr*.dat。

[输入]地面稳定性变化格网时间序列文件。

[参数设置]输入地面稳定性变化、稳定性变化水平梯度与稳定性变化时间导数的权值和指数, 设置格网空间和时域低通滤波参数, 设置预报格网时序采样规格参数。

[输出]融合时空变化特征的地面稳定性格网时序 stachr*.dat, 滤波后的地面稳定性变化格网时序 staflt*.dat、地面稳定性变化空间水平梯度 (模, /km) 格网时序 stagrd*.dat

第六章 大地测量数据文件编辑、计算与可视化

大地测量数据文件编辑与计算程序集，主要用于标准数据文件构造、格式转换，插值与格网化，数据提取、分离与合并，向量及格网数据处理，多组数据基本运算，以及其他数据预处理等。



ETideLoad4.0 采用自定义格式的 5 种类型大地测量稳态数据文件和 5 种类型大地测量时间序列数据文件。

[文本记录数据文件标准化提取]，[大地测量监测站网批量时间序列规格化]模块，是 ETideLoad4.0 接受外部文本格式数据的重要接口。利用[固体潮地面大地测量全要素全球预报]或[大气压潮及其负荷影响全球预报]模块，可以构造指定位置和采样规格的地面监测测量时间序列文件；利用[区域数据格网生成与构造]，可以构造指定规格的大地测量数值格网文件。其他程序或模块，只接受 ETideLoad 本身产生的格式数据。

6.1 文本记录数据标准化提取

[功能]将不同来源、非标准格式的文本记录文件，转换为 ETideLoad 约定格式的离散点值文件或监测测量时间序列文件。

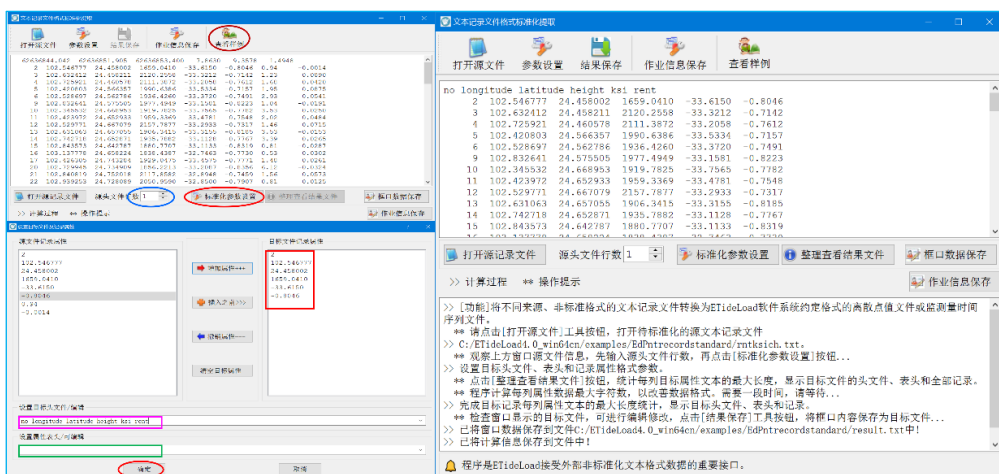
打开源文本文件，观察上方窗口源文件信息，先输入源头文件行数，再点击[标准化参数设置]按钮，弹出对话框，选择需要的属性数据，并按需排列属性顺序，再设置目标头文件、表头和记录属性格式参数。

当目标文件不需要头文件或表头时，请将对应输入文本框的文字清空。

点击[确定]按钮关闭对话框，再点击[整理查看结果文件]按钮，程序统计每列目标属

性文本的最大长度，并在文本框中显示目标文件的头文件、表头和全部记录。

目标属性统计整理过程需要时间，请等待...

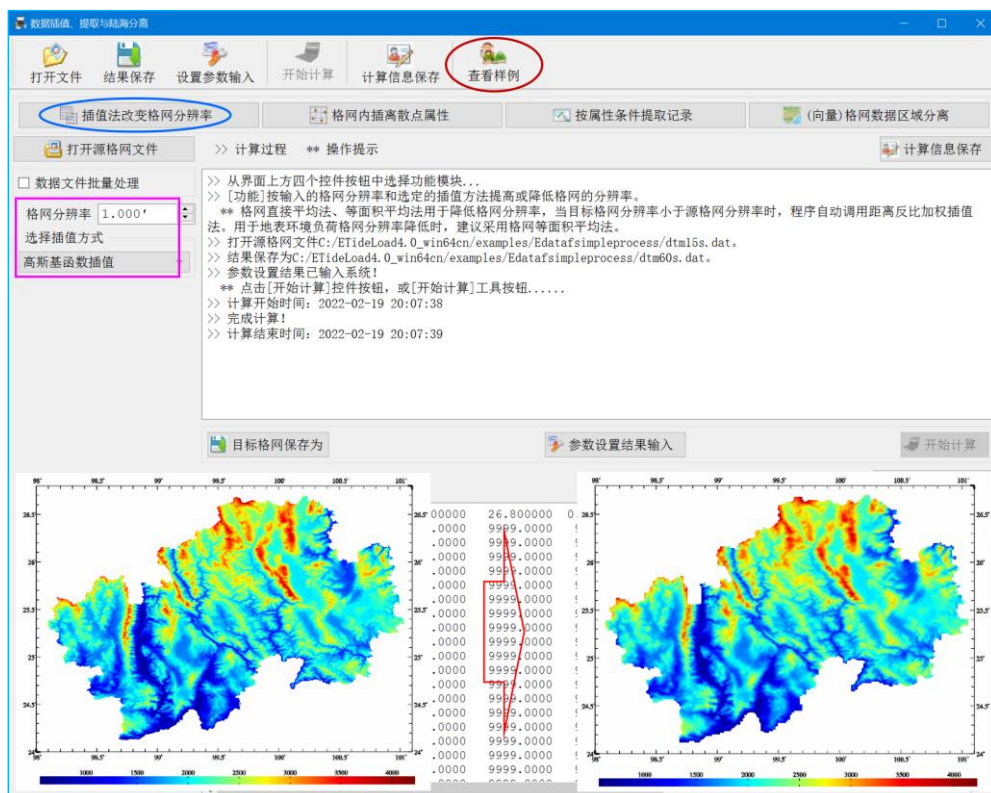


检查文本窗显示的目标文件，必要时可进行编辑修改。最后，点击[结果保存]工具按钮，将文本框中内容保存为目标文件。

6.2 数据插值、提取与区域分离

6.2.1 插值法改变格网分辨率

[功能]按输入的格网分辨率和选定的插值方法提高或降低格网的分辨率。



[输入]大地测量数值格网文件。

[参数设置]输入目标格网空间分辨率、选择空间插值方式。

[输出]目标大地测量数值格网文件。

格网直接平均法，将目标格网范围内的原格网有效格值求和，再除以有效格网数。格网等面积平均法，将目标格网范围内的原格网有效格值求和，再除以全部格网数。

格网直接平均法、等面积平均法用于降低格网分辨率，当目标格网分辨率小于源格网分辨率时，程序自动调用距离反比加权插值法。

程序可一次实现多个格网分辨率改变。

用于地表环境负荷格网分辨率降低时，建议采用格网等面积平均法。

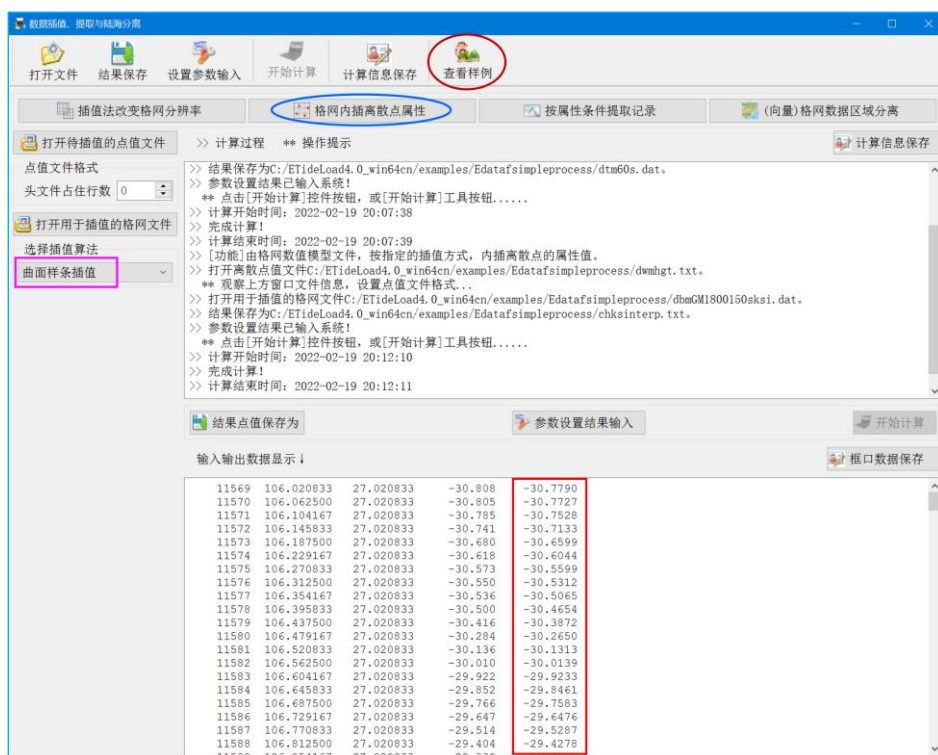
6.2.2 格网内插离散点属性

[功能]由格网数字模型文件，按指定的插值方式，内插离散点的属性值。

[输入]待插值的离散点值文件（用于提供插值点的位置），用于插值的大地测量数值格网文件。

[参数设置]输入离散点值文件头文件行数，选择插值方法。

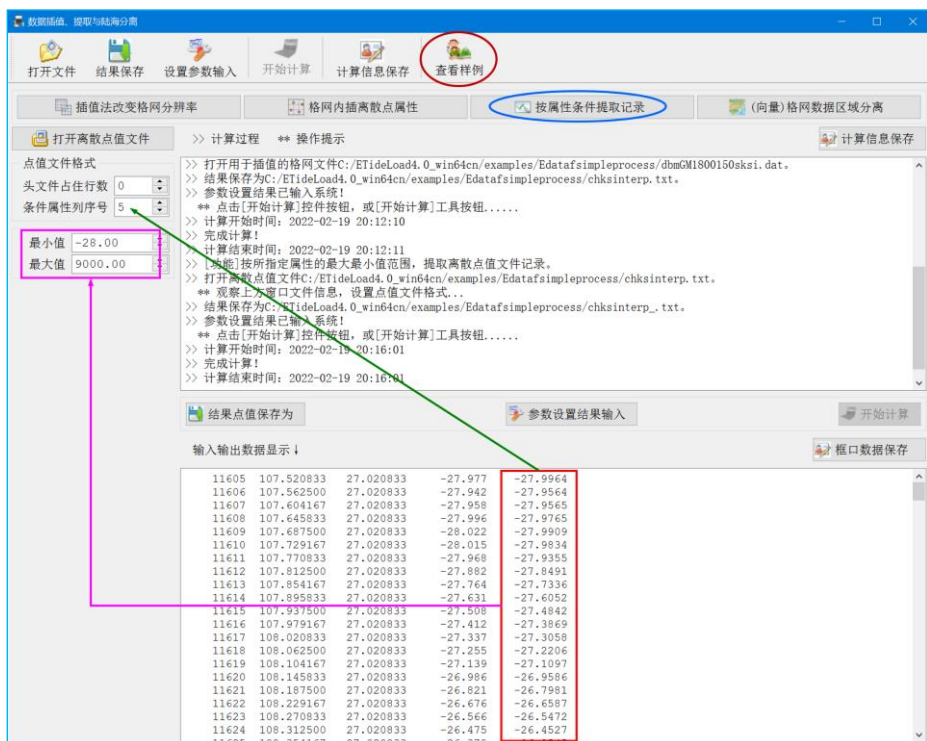
[输出]插值后的离散点文件。头文件同待插值的离散点值文件，记录在待插值离散点值文件记录的基础上，增加一列插值属性。



6.2.3 按属性条件提取记录

[功能]按所指定属性的最大最小值范围，提取离散点值文件记录。

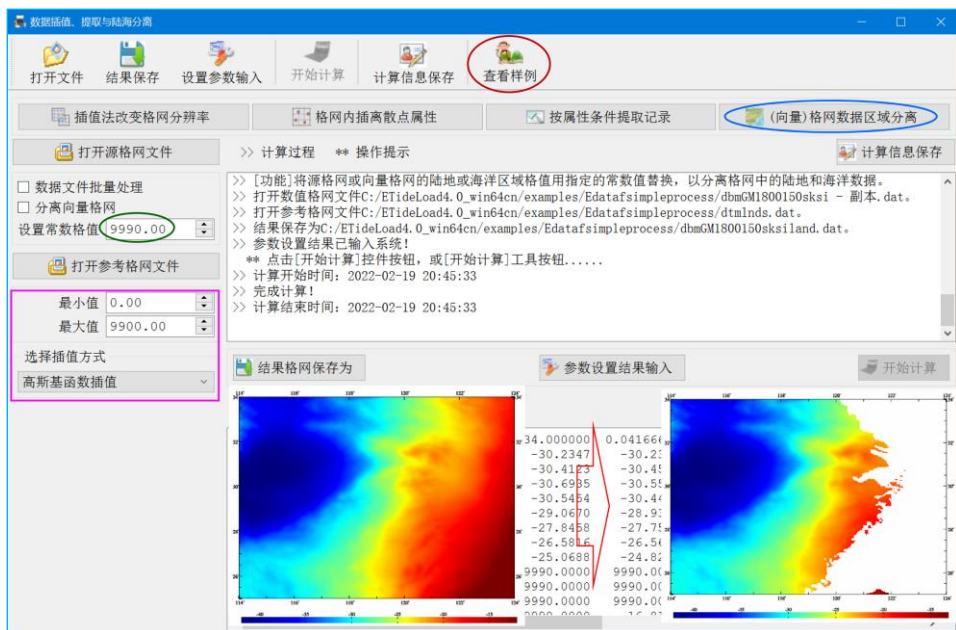
[参数设置]选择用于构造条件的属性，输入属性最大最小值范围。

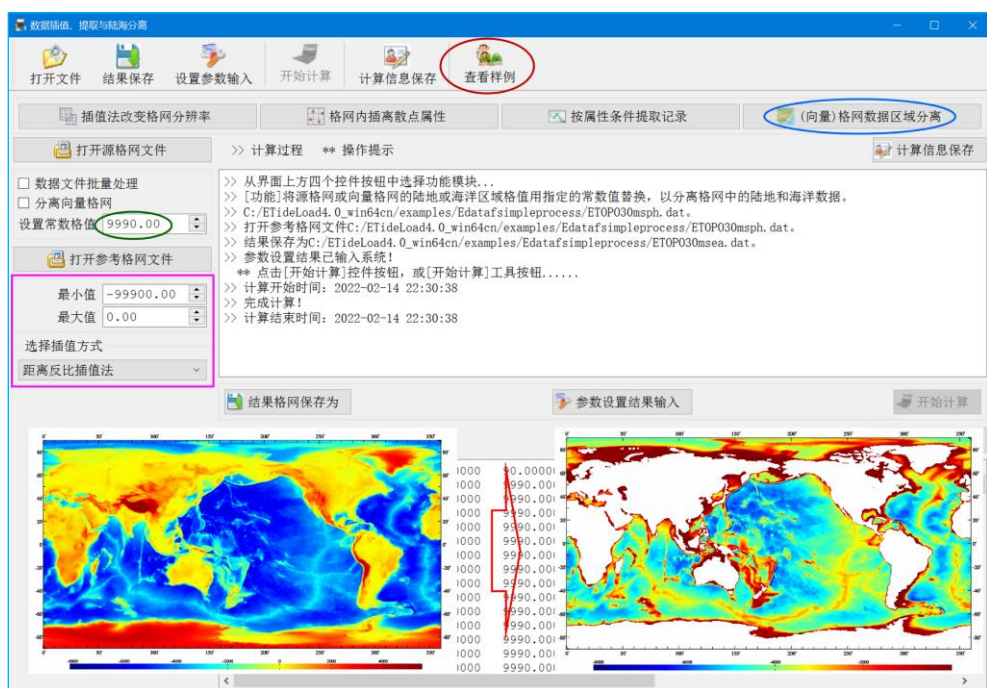


6.2.4 (向量) 格网数据区域分离

[功能]选择能区分不同区域的参考格网，通过用常数格值替换不满足条件的格网格值，分离 (向量) 格网中满足参考格网条件的目标区域 (向量) 格网数据。

程序要求参考格网能用其格值最小最大值范围区分目标区域。



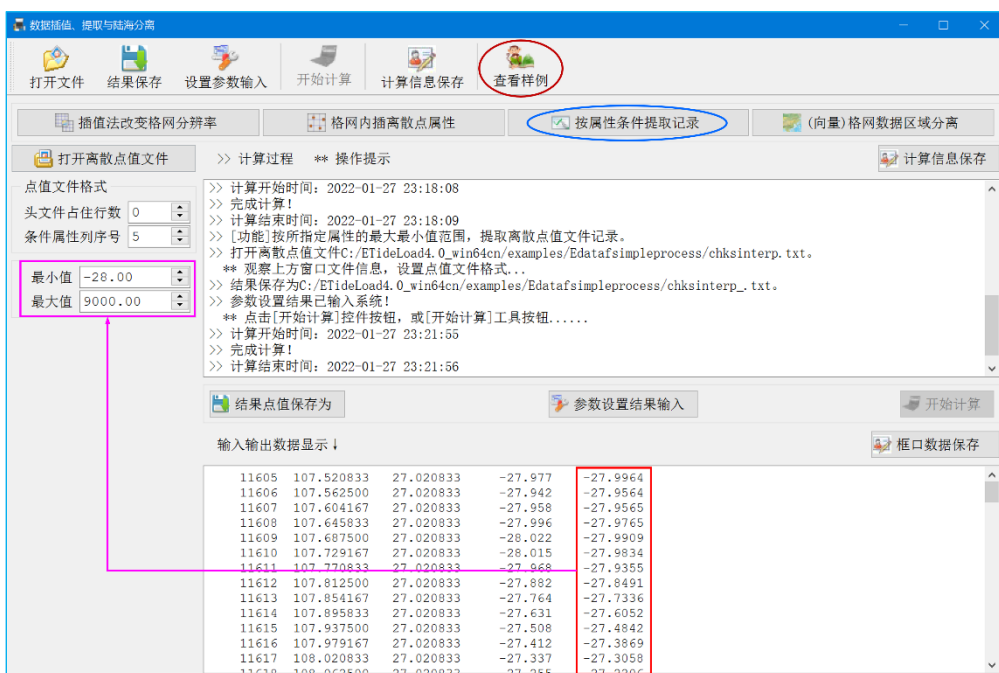


程序可实现陆海（向量）格网数据分离，局部区域（向量）格网提取等功能，实现批量监测量（向量）格网的区域分离，且容许源（向量）格网的格网规格不完全一致。

6.3 数据文件的简单直接运算

6.3.1 点值属性加权运算

[功能]对点值文件记录中给定的两个属性执行带权的加、减或乘法运算。



6.3.2 格网格值加权运算

[功能]对两个同规格（向量）格网元素执行带权的加、减或乘法运算。

6.3.3 向量格网矢量积运算

[功能]对两个同规格向量格网的格值向量进行外积或内积运算。

6.3.4 球谐系数加权运算

[功能]对两个规格化球谐系数模型文件（头文件占住一行）执行加权运算。

6.4 同规格时间序列文件编辑运算

6.4.1 两个同规格监测量记录时序加权运算

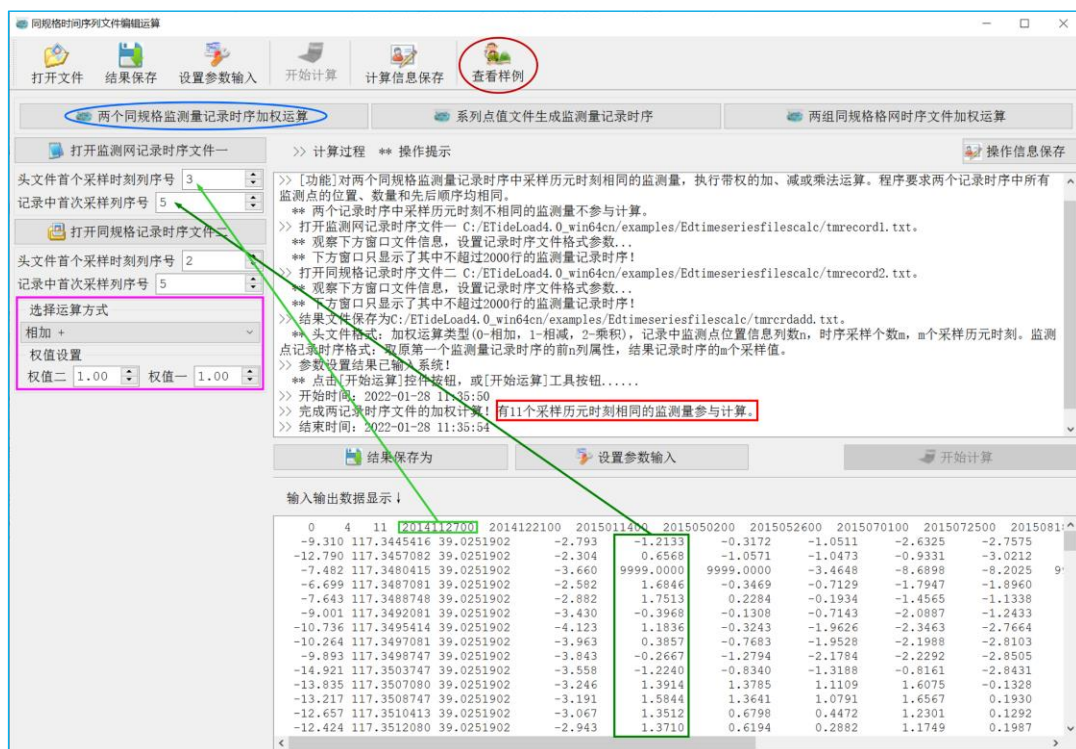
[功能]对两个同规格监测量记录时序中采样历元时刻相同的监测量，执行带权的加、减或乘法运算。

程序要求两个记录时序中所有监测点的位置、数量和先后顺序均相同。两个记录时序中采样历元时刻不相同的监测量不参与计算。

[输出]加权运算后的监测量记录时序文件。

头文件：加权运算类型（0-相加，1-相减，2-乘积），记录中监测点位置信息列数 n ，时序采样个数 m ， m 个采样历元时刻。

记录格式：取原第一个监测量记录时序的前 n 列属性，结果记录时序的 m 个采样值。本例中， n 为 5， m 等于 11。



6.4.2 系列点值文件生成监测量记录时序

[功能]从带有采样历元时刻的系列同规格点值文件中，提取指定属性监测量，按采样历元时刻先后顺序组成时间序列，生成由若干监测点时序构成的监测量记录时序文件。

[输入]系列同规格离散点值文件。

程序要求，系列点值文件的头文件占住一行，且存在长整型的采样历元时刻。要求所有参与合并的点值文件，其监测点的经纬度位置一一对应，但容许不同点值文件的记录长度不同。

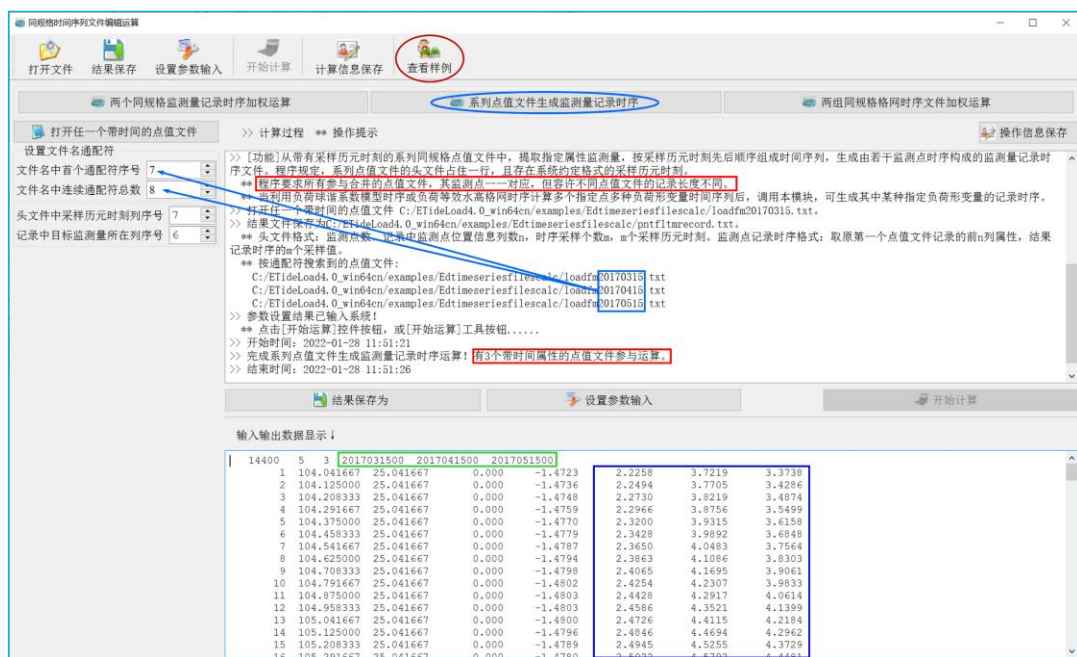
[参数设置] 设置系列点值文件名的通配符和文件格式参数，输入头文件中采样历元时刻属性列序号和记录中目标属性列序号。

[输出] 指定属性监测量记录时间序列文件。

头文件：监测点数，4，时序长度 n，n 个采样历元时刻。

文件记录：原点值文件记录前 4 列，n 个采样时刻的监测量采样值。

当利用负荷球谐系数模型时序或负荷等效水高格网时序计算多个指定点多种负荷形变量时间序列后，调用本模块，可生成其中某种指定负荷形变量的记录时序。

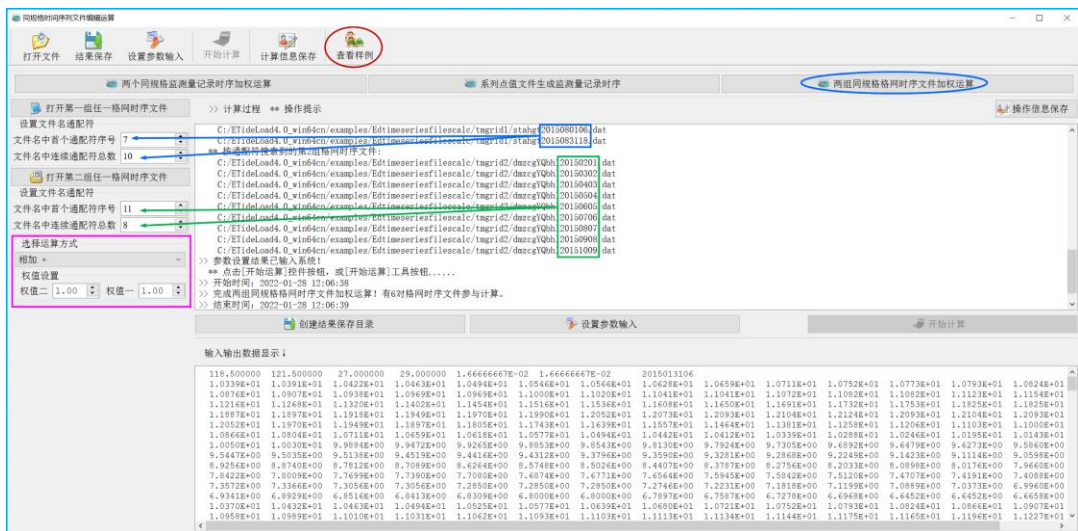


6.4.3 两组同规格格网时序文件加权运算

[功能]对两组同规格监测量格网时序中采样历元时刻相同的监测量格网，执行带权的加、减或乘法运算。

程序将两组同规格监测量格网时间序列文件中，采样历元时刻相同的监测量格网配对后，执行加权运算。

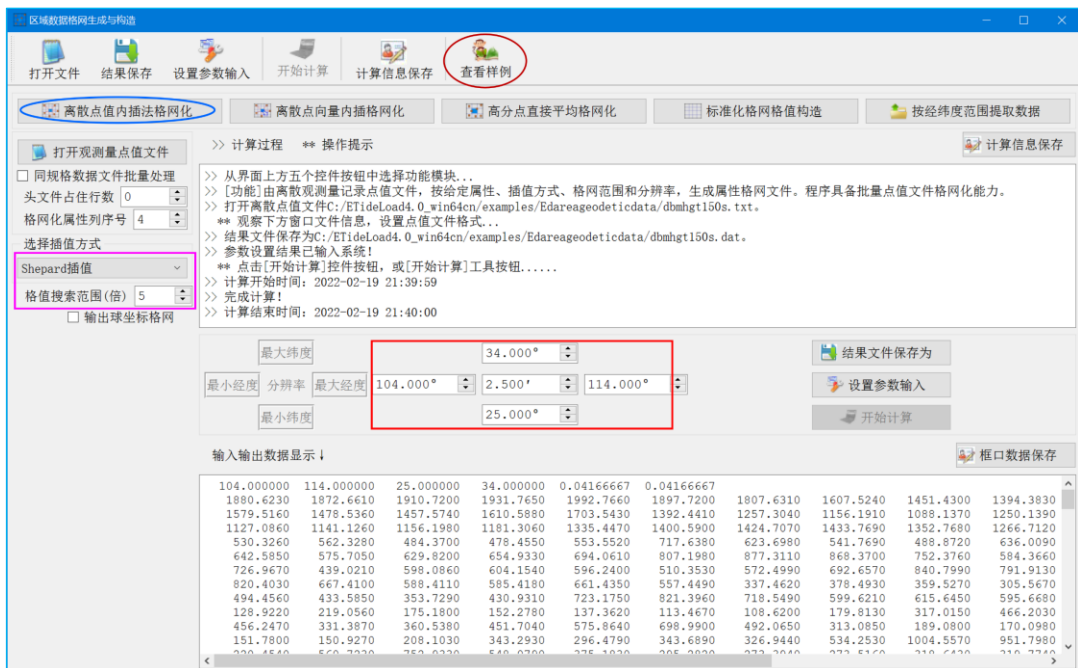
采样历元时刻不能一一对应的监测量格网文件将自动被忽略。



6.5 区域数据格网生成与构造

6.5.1 离散点值内插格网化

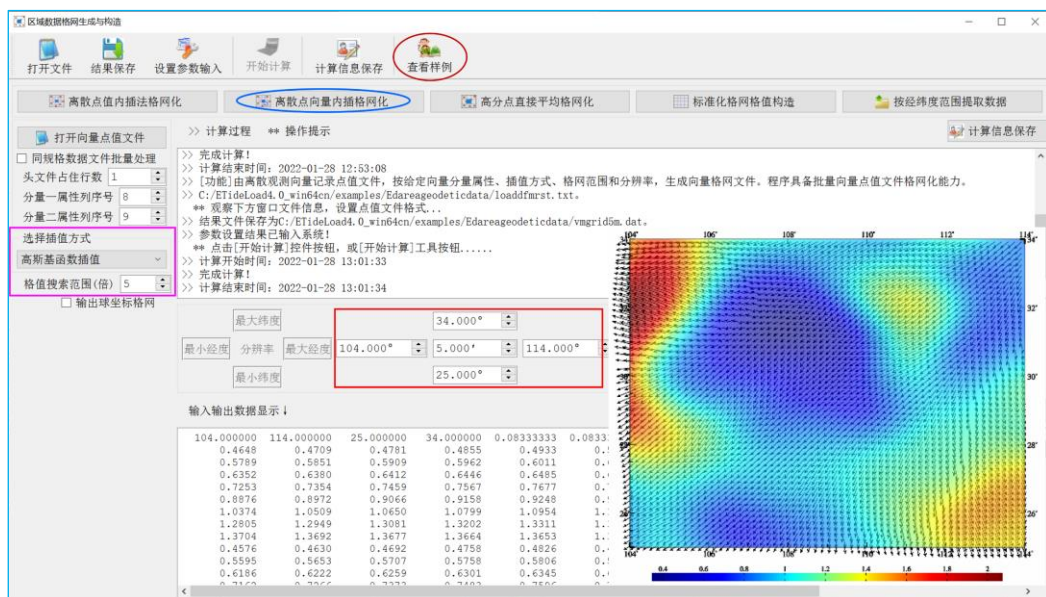
[功能]由离散观测记录点值文件，按给定属性、插值方式、格网范围和空间分辨率，生成属性格网文件。程序具备批量点值文件格网化能力。



6.5.2 离散点向量内插格网化

[功能]由离散观测向量记录点值文件，按给定向量分量属性、插值方式、格网范围和分辨率，生成向量格网文件。

程序具备批量向量点值文件格网化能力。

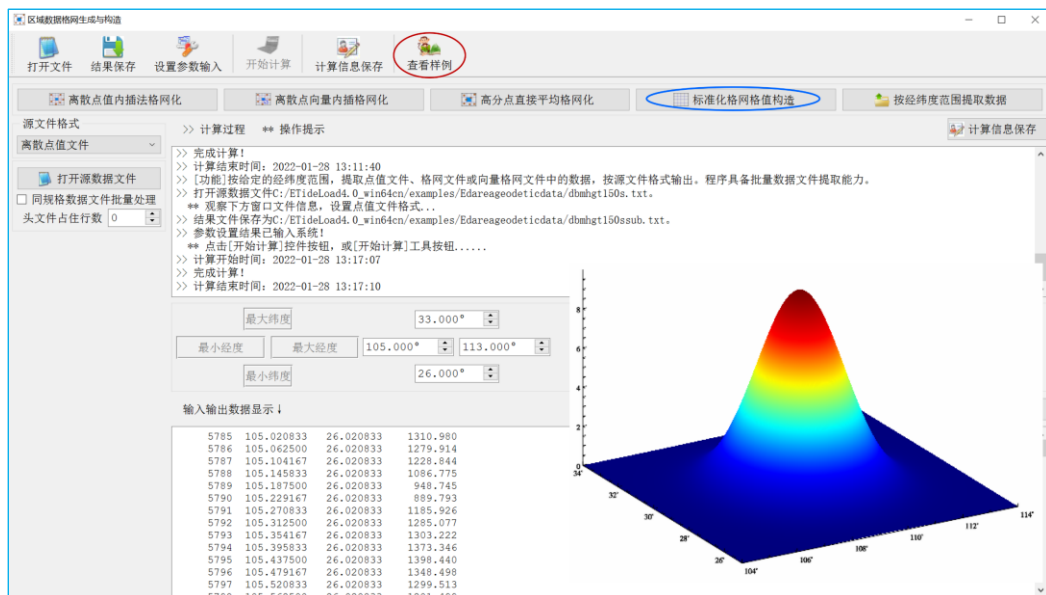


6.5.3 高分点直接平均格网化

[功能]采用直接平均法,将高分辨率离散点观测量数据进行格网化。

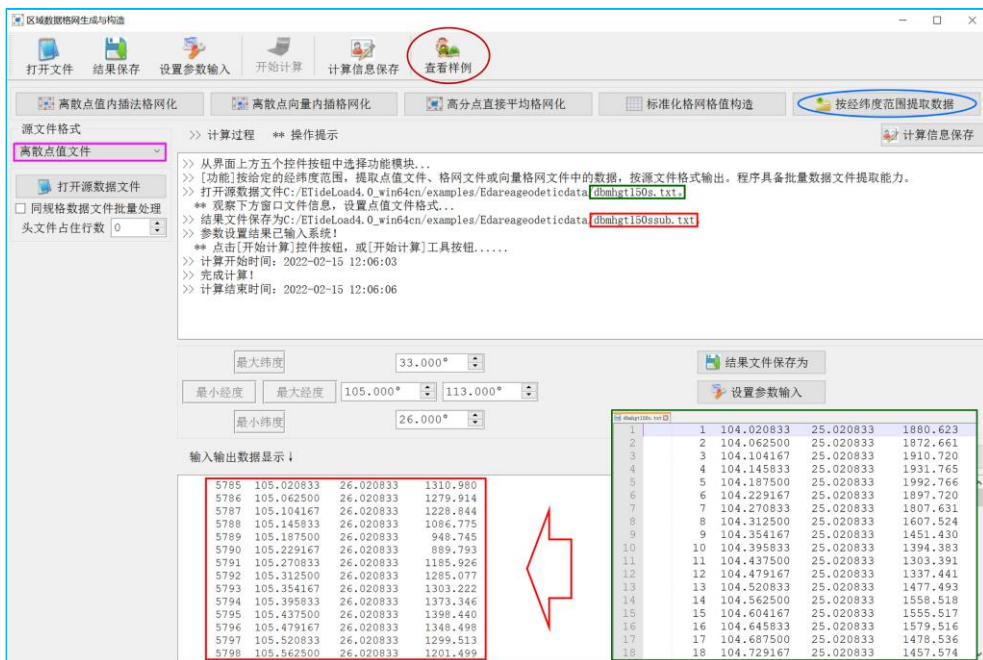
6.5.4 标准化格网格值构造

[功能]按给定的经纬度范围和分辨率,生成标准化的常数值、随机数、二维数组索引值、二维高斯曲面格网。



6.5.5 按经纬度范围提取数据

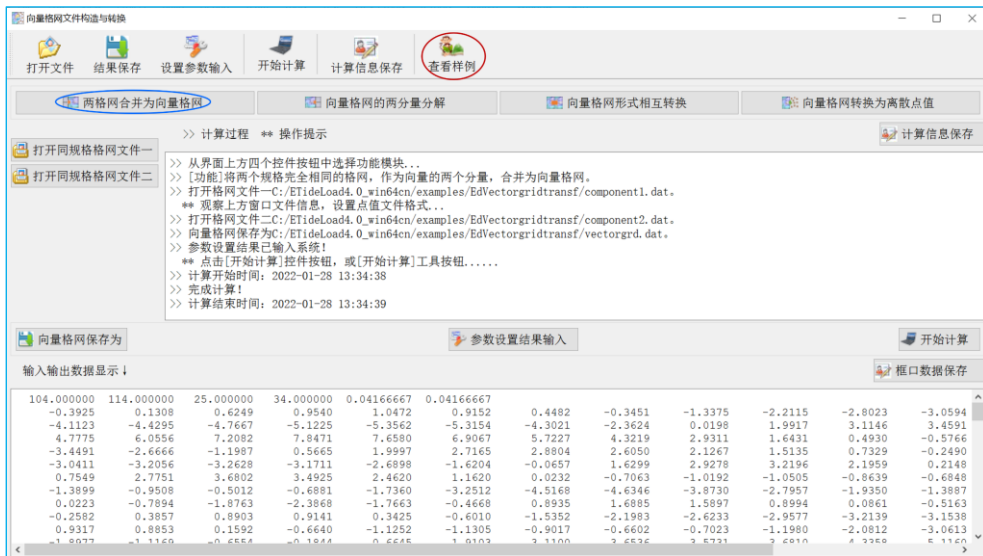
[功能]按给定的经纬度范围,提取点值文件、格网文件或向量格网文件中的数据,按源文件格式输出。程序具备批量数据文件提取能力。



6.6 向量格网文件构造与转换

6.6.1 两格网合并为向量格网

[功能]将两个规格完全相同的格网, 作为向量的两个分量, 合并为向量格网。



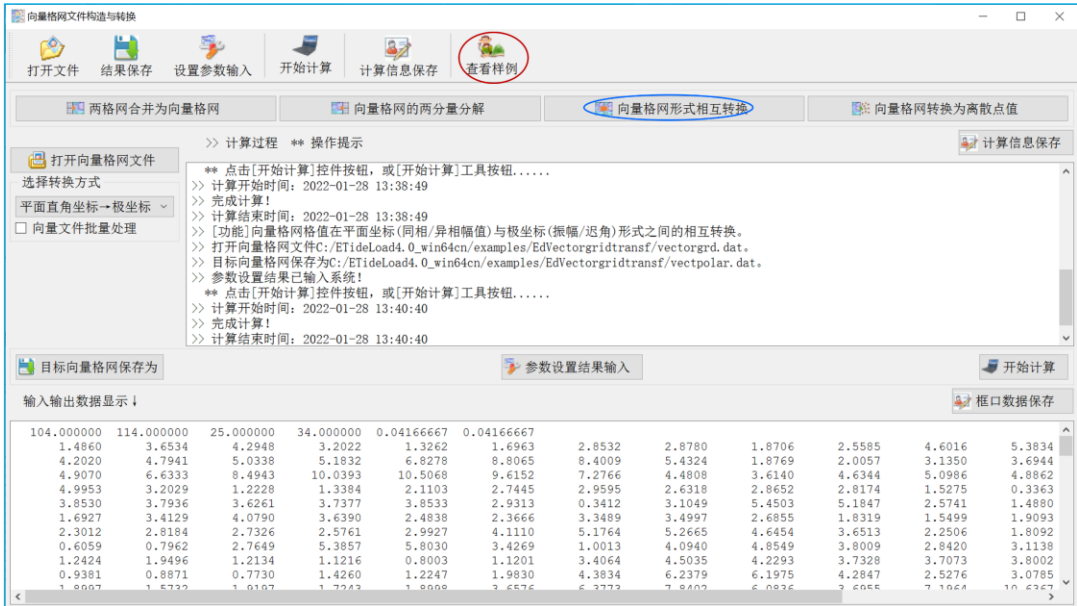
6.6.2 向量格网的两分量分解

[功能]将向量格网文件分解为两个分量格网文件。

6.6.3 向量格网形式相互转换

[功能]向量格网格式值在平面直角坐标（同相/异相幅值）与极坐标（振幅/迟角）形式

之间相互转换。

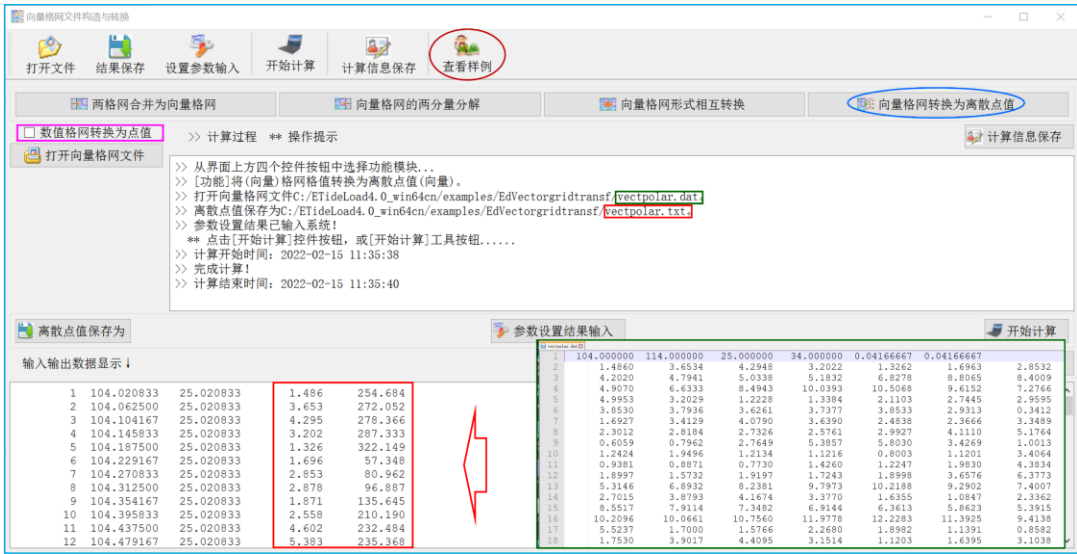


6.6.4 向量格网转换为离散点值

[功能]将（向量）格网格值转换为离散点值（向量）。

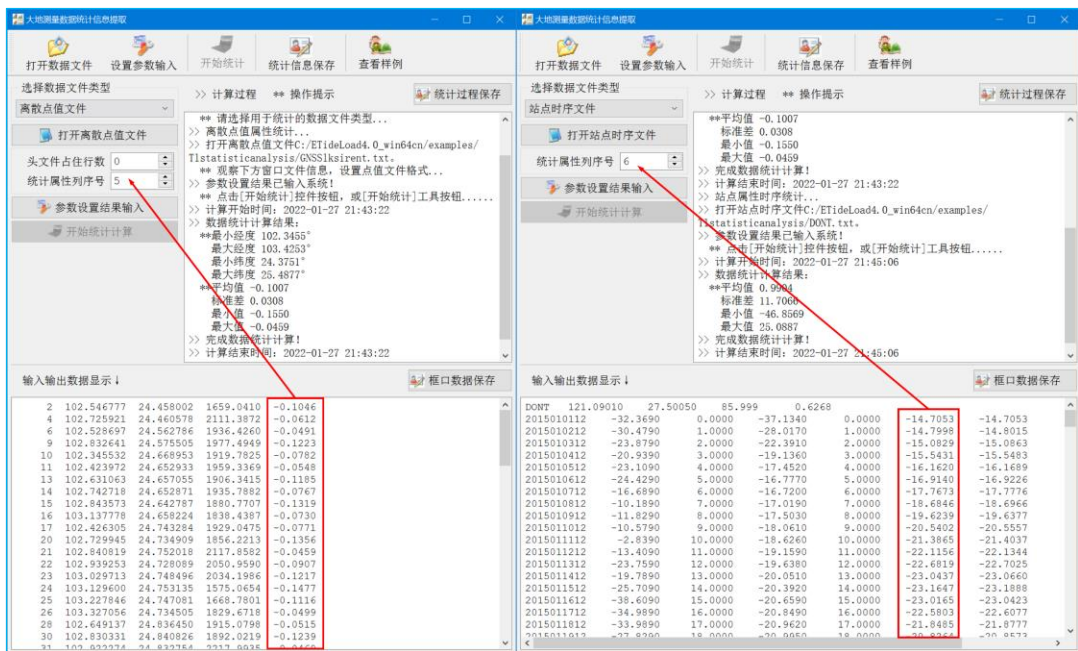
[输出]离散点值文件。无头文件。记录格式：点号，经纬度（度小数），转换后的（向量）格值。

经纬度取单元格网中心点的经纬度。



6.7 大地测量数据统计信息提取

[功能]提取点值文件指定属性、站点时序文件指定属性时序、格网或向量格网文件数据的经纬度范围，平均值、标准差、最小值、最大值等统计信息。

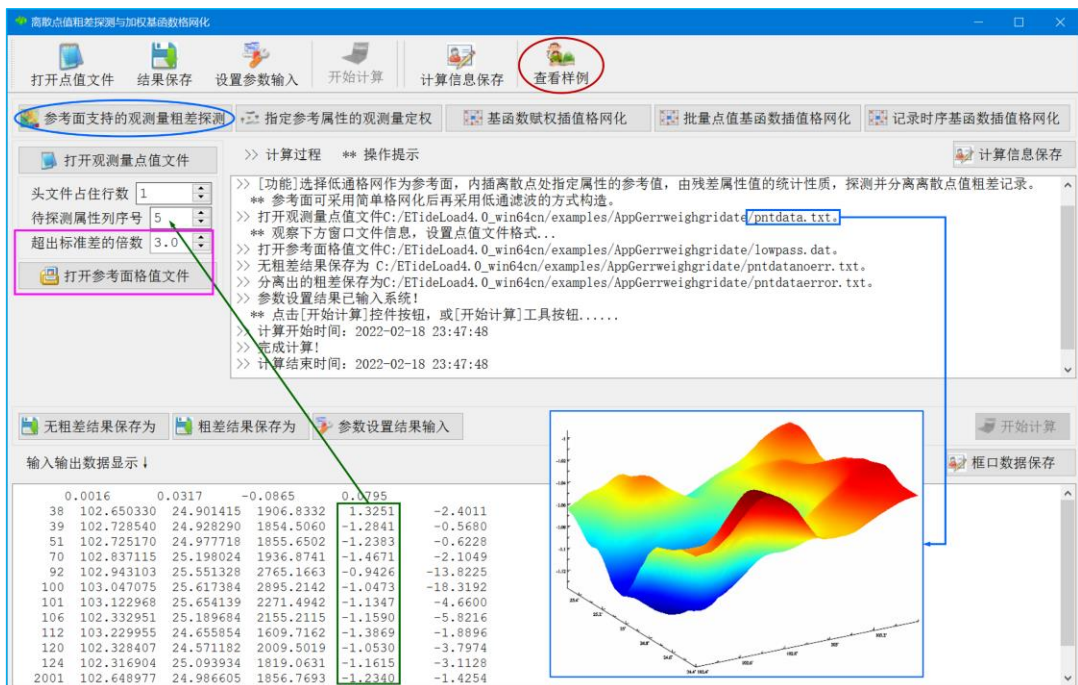


6.8 粗差探测与加权基函数格网化

6.8.1 参考面支持的观测值粗差探测

[功能]选择低通格网作为参考面，内插离散点处指定属性的参考值，并计算残差值。由离散点残差值的统计性质，探测并分离粗差记录。

[输入]含探测属性的离散点值文件，用于属性参考面的低通滤波格网文件。



参考面可采用简单格网化后再采用低通滤波的方式构造。

[参数设置]输入离散点值文件头文件行数，待探测属性所在列序号，以及超出标准差倍数（用于判定粗差）。

当属性值与其平均值之差的绝对值大于 n 倍属性标准差时，该记录是粗差记录。

[输出]粗差离散点值文件（头文件为指定属性残差平均值，标准差，最小值和最大值），无粗差的离散点值文件（格式同输入离散点值文件）。

6.8.2 指定参考属性观测量定权

[功能]指定点值文件记录中的参考属性，依据其统计性质，按 ETideLoad 自定义的权函数形式，估计权值。

[输入]含参考属性的离散点值文件。

本例中，参数属性是扰动重力局部地形影响，由数字高程模型数据事先按积分法计算，用于定量反映布局地形起伏程度。

[参数设置]输入离散点值文件头文件行数，参考属性 x 在文件记录中的列序号，以及权函数平滑因子。

The screenshot shows the ETideLoad software interface. The title bar is "离散点值粗差探测与加权基函数格网化". The toolbar has buttons: "打开点值文件", "结果保存", "设置参数输入", "开始计算", "计算信息保存", and "查看样例". The main window has a tab "指定参考属性的观测量定权". Below the tab, there are input fields: "头文件占住行数" (1), "参考属性列序号" (6), and "权函数平滑因子a" (2.0). A green arrow points from the input field "a" to the formula $w(x, a) = 10\sigma / \sqrt{\sigma^2 + (ax)^2}$. The formula is displayed in the "计算过程" section. Below the formula, there is a table of data. The table has columns: "number", "long(deg/decimal)", "lat", "ellipHeight(m)", "rentKsi(m)", "TerEffect(mGal)". The data is as follows:

number	long(deg/decimal)	lat	ellipHeight(m)	rentKsi(m)	TerEffect(mGal)
1	102.442457	24.471769	1972.7703	-1.0013	-3.3508
2	102.546777	24.458002	1659.0410	-1.0916	-6.6124
3	102.632412	24.458211	2120.2558	-0.9639	-5.0422
4	102.725921	24.460578	2111.3872	-0.9936	-3.6867
5	102.420803	24.566357	1990.6386	-1.0706	-3.1489
6	102.528697	24.562786	1936.4260	-1.0402	-2.0473
7	102.634437	24.565660	2192.9271	-0.9743	-4.0534
8	102.725888	24.581970	2303.7797	-0.9566	-7.1388
9	102.832641	24.575505	1977.4949	-1.0619	-5.9858
10	102.345532	24.668953	1919.7825	-1.0840	-1.6645
11	102.423972	24.652933	1959.3369	-1.0281	-3.0476
12	102.529771	24.667079	2157.7877	-1.0165	-4.2396
13	102.631063	24.657055	1906.3415	-1.0806	-1.6637
14	102.742718	24.652871	1935.7882	-1.0343	-1.7419
15	102.843573	24.642787	1880.7707	-1.0819	-7.7294
16	103.137778	24.658224	1838.4387	-0.9843	-11.7862
17	102.426305	24.743284	1929.0475	-1.0229	-4.1779
20	102.729945	24.734909	1856.2213	-1.0884	-0.8096

定权函数： $w(x, a) = 10\sigma / \sqrt{\sigma^2 + (ax)^2}$ ， x 为参考属性， a 为给定的权函数平滑因子，

σ 为程序自动计算的 x 的标准差。

[输出]离散点定权结果文件。在输入文件记录的基础上，增加一列权值属性。

本例中，扰动重力局部地形影响绝对值越大，局部地形起伏约剧烈，权值越小。

6.8.3 基函数赋权插值格网化

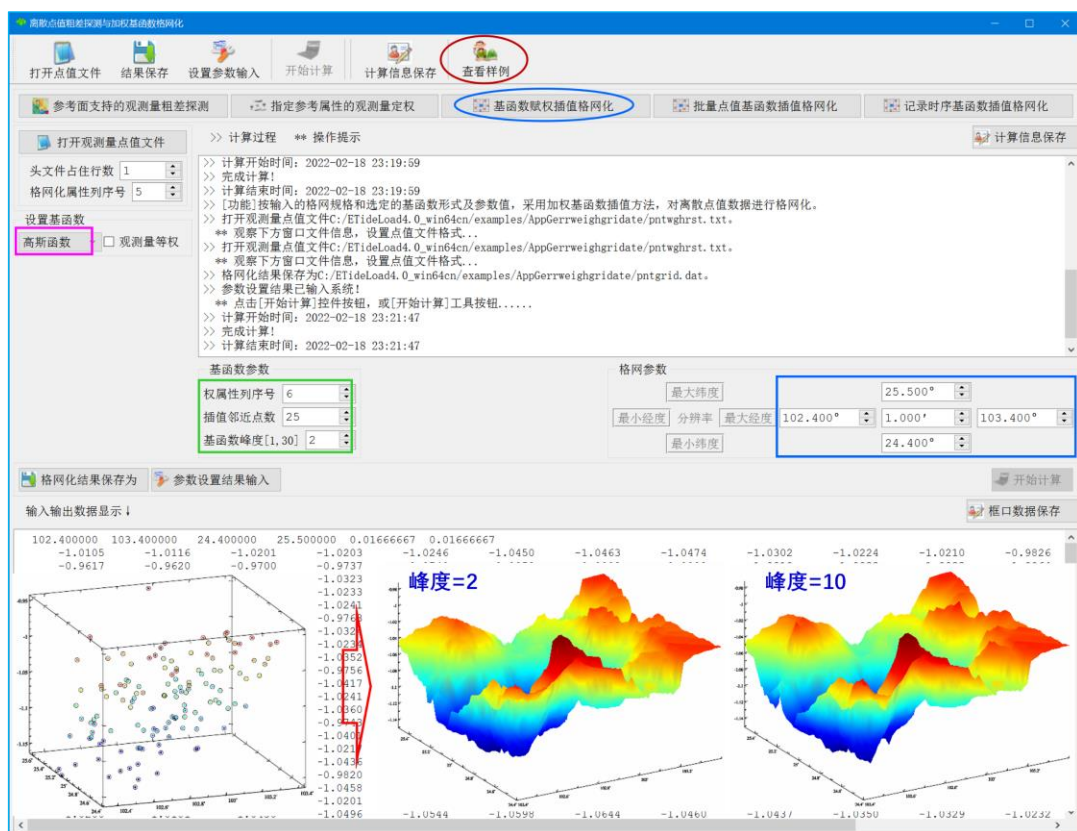
[功能]按输入的格网规格和选定的基函数形式及参数值，采用加权基函数插值方法，对离散点值数据进行格网化。

[输入]待格网化的离散点值文件。

[参数设置]输入待格网化的离散点属性列序号，选择基函数形式（余弦函数、高斯函数或指数函数），插值邻近点数和权函数峰度，输入设置格网分辨率和经纬度范围。

基函数峰度越小（基函数随距离衰减越慢），插值邻近点数越大，格网化过程的低通滤波能力越强，插值越平滑，边缘效应越弱，对稀疏数据的插值能力也越强。

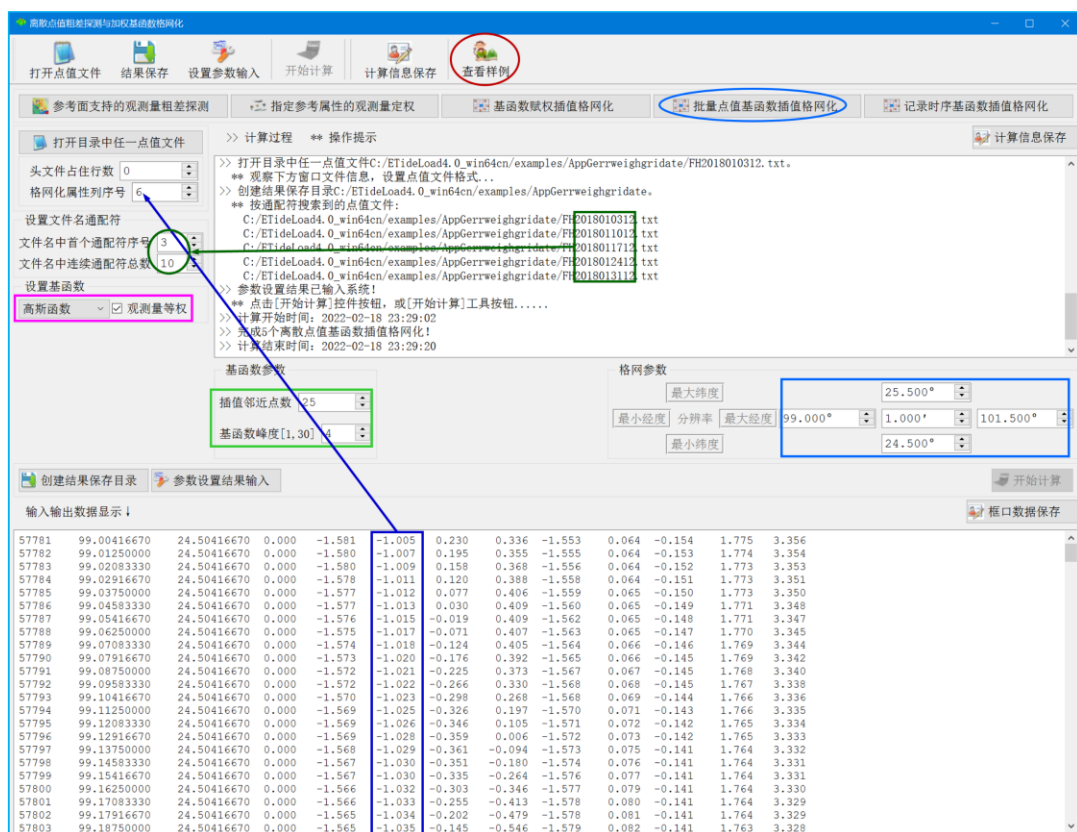
计算插值点数值时，程序将离散点记录属性中的权值与基函数（插值点与离散点之间距离的函数）相乘，作为离散点权值。



基函数赋权插值格网化，是 ETideload4.0 基于一般地球物理场性质专门设计，适合各种单一类型多源异质地球物理场格网化。

6.8.4 批量点值基函数插值格网化

[功能]按输入的格网规格和选定的基函数形式及参数值, 采用加权基函数插值方法, 对某一目录中同规格点值文件记录的指定属性进行格网化。



[输入文件]系列同规格离散点值文件。

[参数设置]设置输入离散文件名通配符，输入离散点文件头文件行数与格网化属性在文件记录中的列序号。选择基函数，设置基函数参数（插值临近点参数、基函数峰度等），设置输出格网规格参数。

[输出文件]与离散点值文件——对应的数值格网文件 bsfgrd***.dat。***为输入文件名通配符实例，用以标识数值格网文件采样历元时刻。

6.8.5 记录时序基函数插值格网化

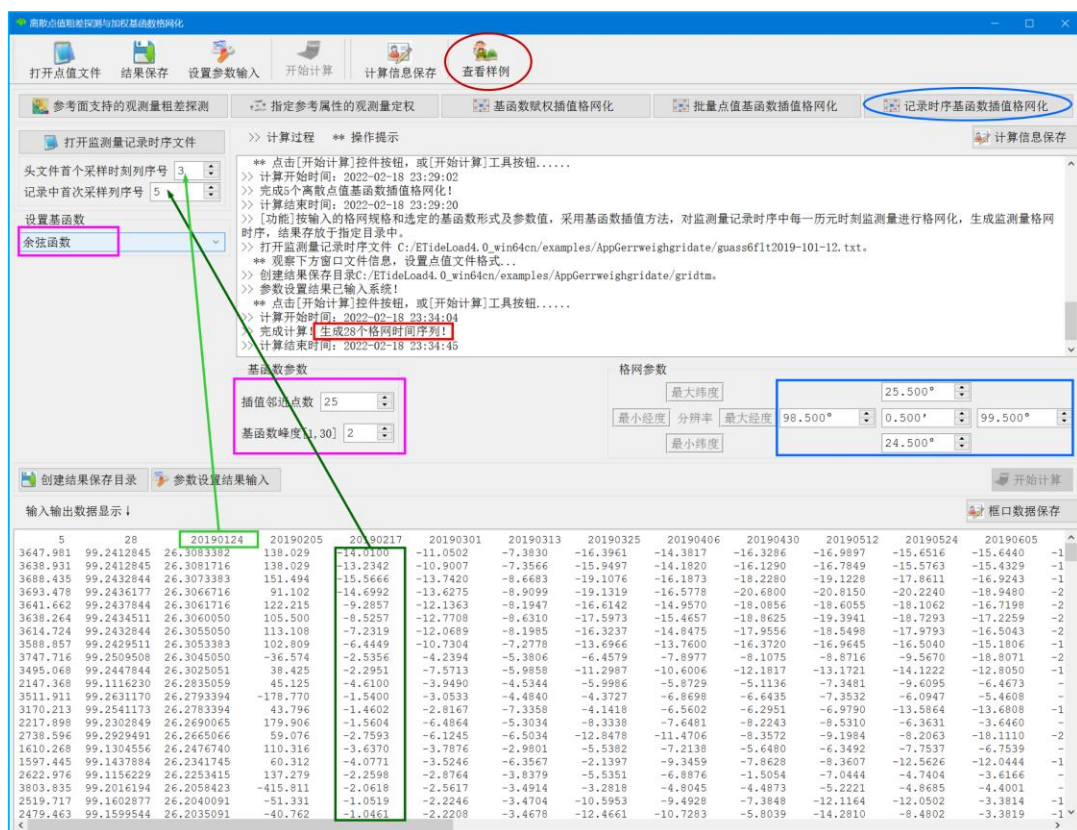
[功能]按输入的格网规格和选定的基函数形式及参数值，采用基函数插值方法，对监测记录时序中每一历元时刻监测量进行格网化，生成监测量格网时序，结果存放于指定目录中。

[输入文件]监测量记录时序文件。

[参数设置]设置输入离散文件名通配符，输入离散点文件头文件行数与格网化属性在文件记录中的列序号。选择基函数，设置基函数参数（插值临近点参数、基函数峰度），

设置输出格网规格参数。

[输出文件]数量等于监测量记录采样数的监测量格网文件 bfngrd*.dat。***为监测量格网文件的采样历元时刻。



6.9 大地测量数据可视化绘图工具

6.9.1 地面监测量多属性时序可视化

[功能]绘制地面监测量多个属性时间序列曲线。

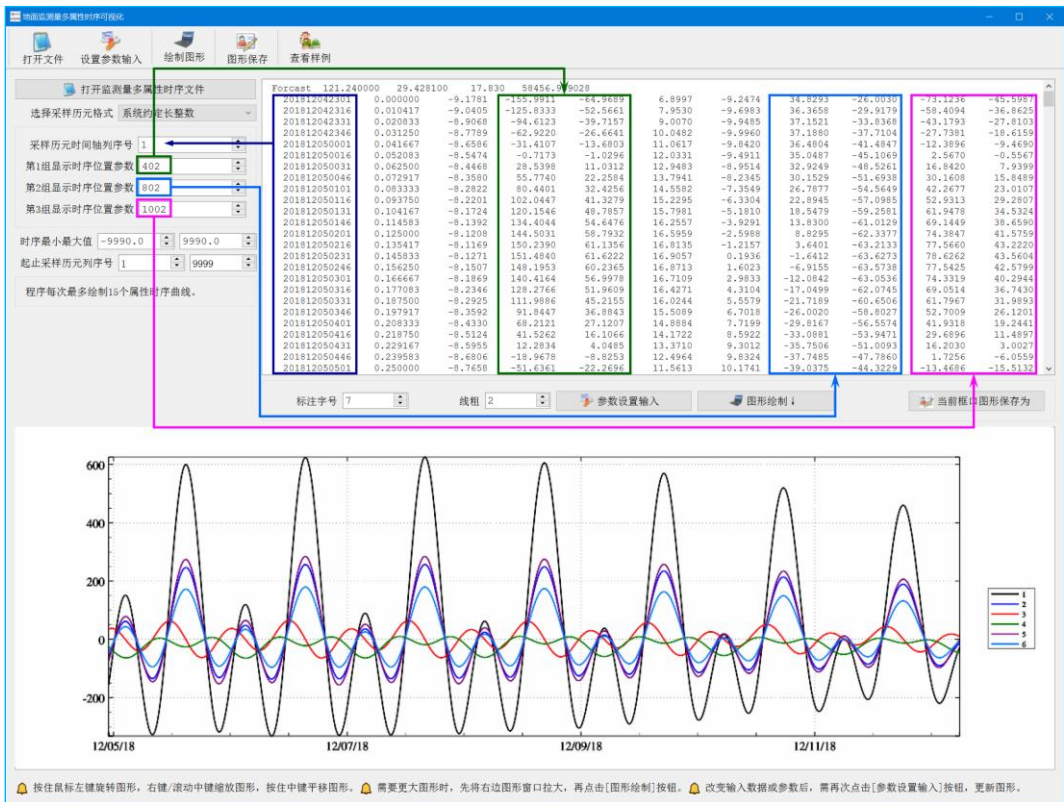
[输入]地面监测量时间序列文件。

[参数设置] 依据打开的地面监测量时序文件，选择采样历元时间格式，输入采样历元时刻属性在文件记录中的列序号，设置待绘制时间序列在记录中的位置参数，输入监测量时序的最小最大值和起止采样历元序号。

当时序位置参数对应的记录列序号大于记录最大列序号，程序自动将时间序列序号设为记录最大列序号。

当终止采样历元序号大于采样数时，程序自动将终止采样历元序号设为采样数。

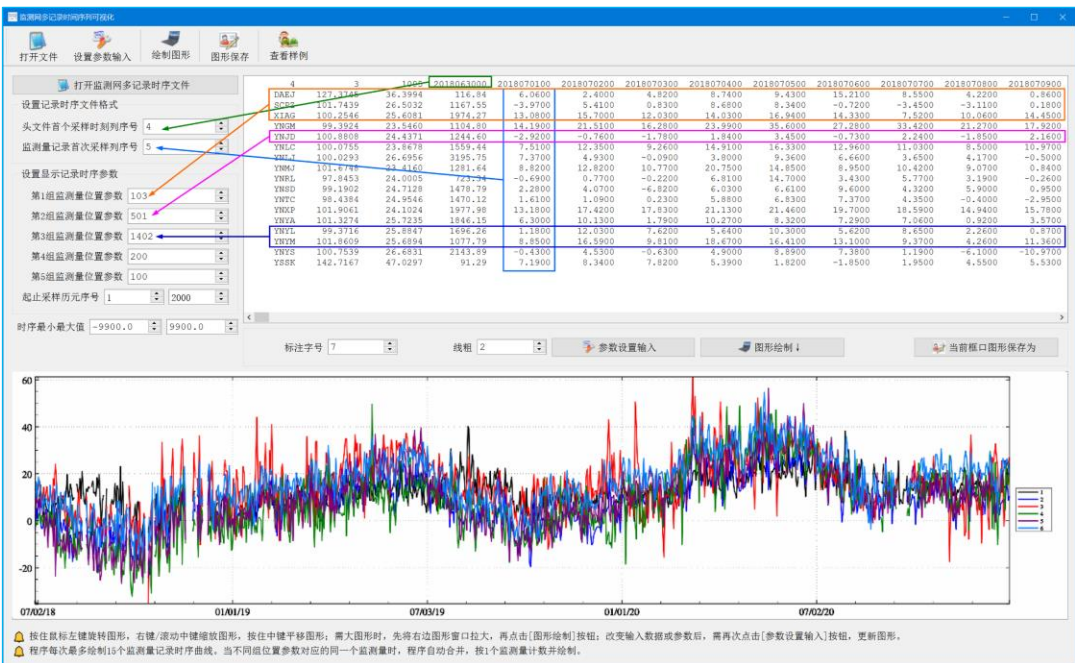
按住鼠标左键旋转图形，右键/滚动中键缩放图形，按住中键平移图形。需要更大图形时，先将右边图形窗口拉大，再点击[图形绘制]按钮。改变输入数据或参数后，需再次点击[参数设置输入]按钮，更新图形。



6.9.2 监测记录时间序列可视化

[功能]绘制记录多个监测量时间序列曲线。

[输入]监测记录时间序列文件。



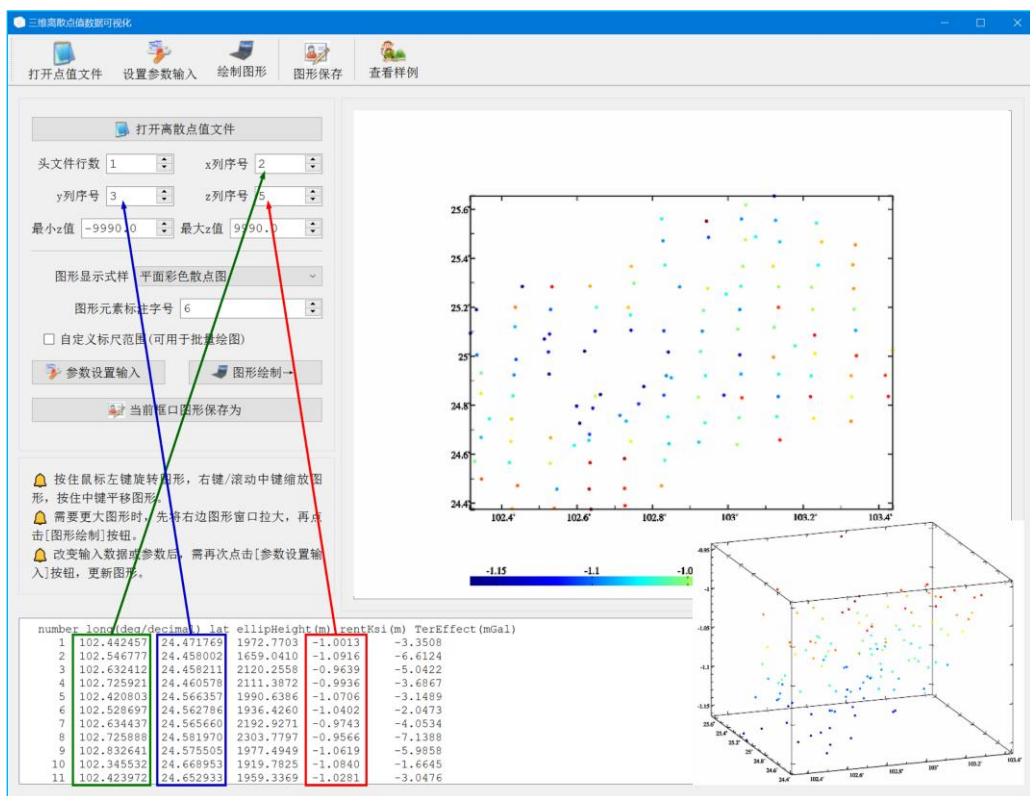
[参数设置]依据打开的监测网记录时序文件，选择采样历元时间格式，设置记录时序格式参数，设置待绘制时间序列在文件中的位置参数（行号），输入起止采样历元序号。

程序每次最多绘制 15 个监测量记录时序曲线。当不同组位置参数对应的同一个监测量时，程序自动合并，按 1 个监测量记录时序计数并绘制。

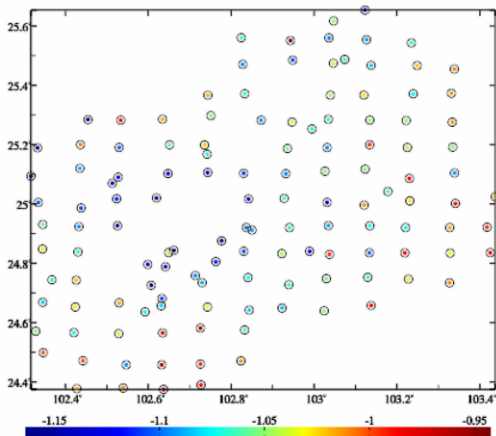
6.9.3 三维离散点值数据可视化

[功能]展示离散点值文件中的点位分布和指定属性大小。

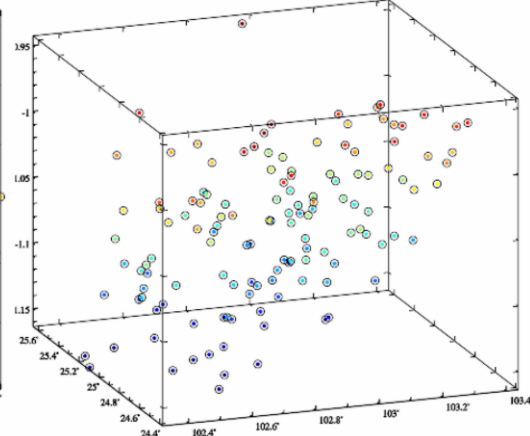
[输入]大地测量离散点值文件。



Plane color scatter + O plot



3D color scatter + O plot



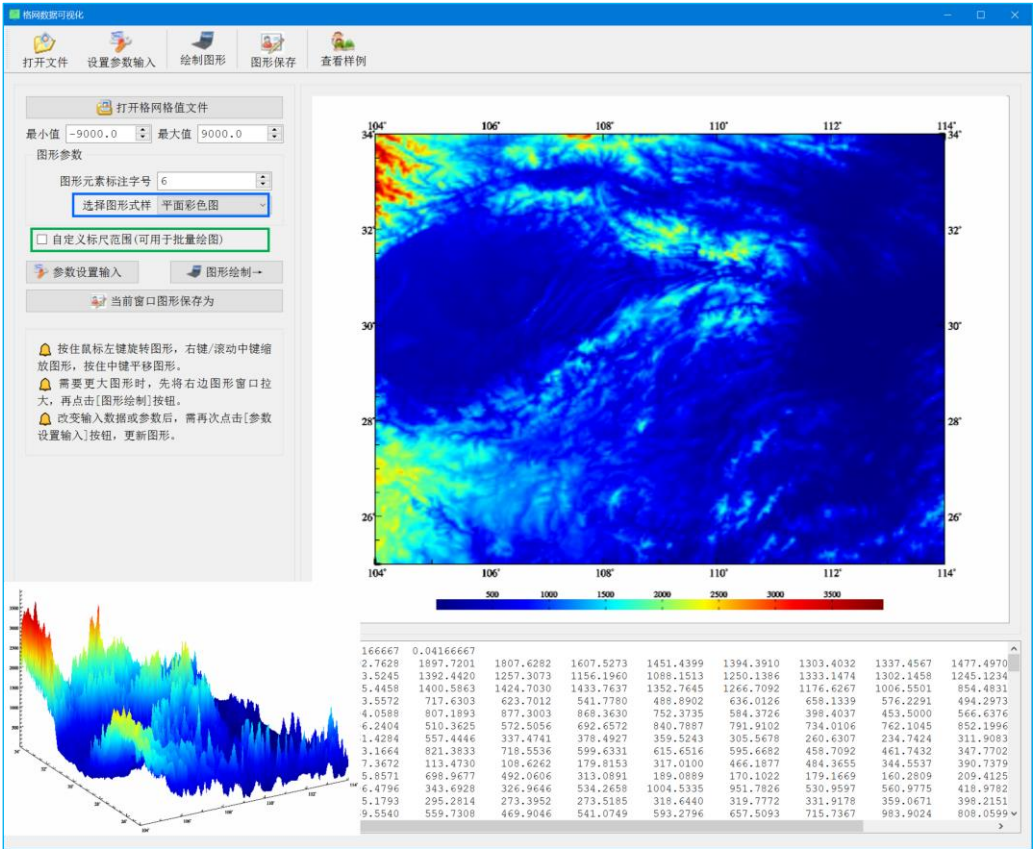
可通过固定标尺范围，统一批量图形标尺。绘制批量图形前，先将右方图形窗口大小和图形调整到合适情形，再进行批量图形绘制。批量图形绘制期间，请保持参数和图形窗口大小不变，不对图形进行鼠标操作。

6.9.4 格网及其时间序列可视化

[功能]大地测量格网或格网时间序列可视化绘图。

[输入]大地测量数值格网文件。

[参数设置]选择绘图风格，设置是否启用限定格值大小范围的固定标尺。

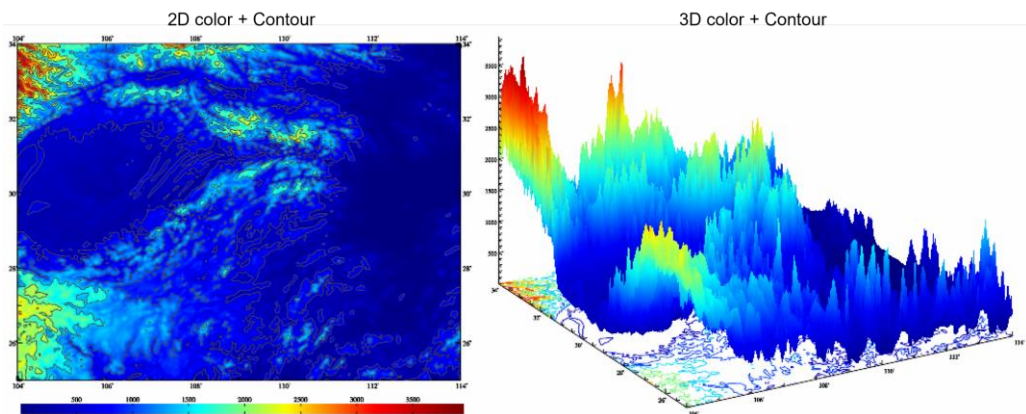


程序容许将向量格网的第一分量当作格网数据直接显示。启用固定标尺后，可用按统一标尺绘制格网时间序列图。

程序可通过控制格网值最小值、最大值范围，或调整固定标尺范围两种方式，来调节绘图性质。

可随时点击控制按钮[当前窗口保存为]，将界面右上方窗口中绘制的图形，保存到指定的图形文件中。

可通过固定标尺范围，统一批量图形标尺。绘制批量图形前，先将右方图形窗口大小和图形调整到合适情形，再进行批量图形绘制。批量图形绘制期间，请保持参数和图形窗口大小不变，不对图形进行鼠标操作。



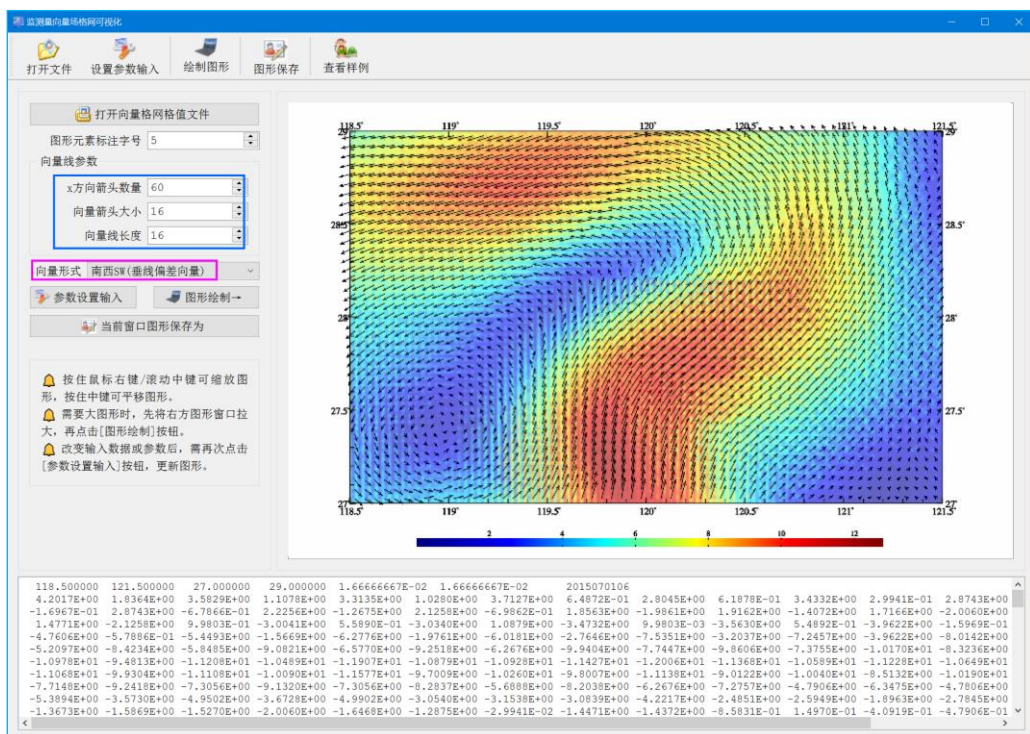
6.9.5 监测向量场格网可视化

[功能]大地测量向量场格网可视化绘图。

[参数设置]选择输入向量场的向量形式。

程序要求向量是平面坐标格式。向量形式可以是东北 EN（水平位移向量），南西 SW（垂线偏差向量），或北东 NE（水平重力梯度）。

ETideLoad 绘图坐标系的 xy 轴，分别指向东北 EN，方向同水平位移向量。



可随时点击控制按钮[当前窗口保存为]，将界面右上方窗口中绘制的图形，保存到指定的图形文件中。

第七章 文件格式、地球物理模型与数值标准

7.1 ETideLoad4.0 大地测量数据文件

ETideLoad 采用自定义格式的大地测量稳态数据和大地测量时间序列数据。其中，大地测量稳态数据有五种形式，即离散点大地测量数据记录、大地控制网观测量记录、大地测量数值格网、大地测量向量格网和球谐系数模型。大地测量时间序列数据也有五种形式，即地面监测量时间序列、监测网站点记录时间序列、监测网观测量记录时间序列、监测量（向量）数值格网时间序列和球谐系数模型时间序列。

[文本记录数据文件标准化提取]，[大地测量监测站网批量时间序列规格化]模块，是 ETideLoad 接受外部文本格式数据的重要接口。利用[固体潮地面大地测量全要素全球预报]或[大气压潮及其负荷影响全球预报]模块，可以构造指定位置和采样规格的地面监测量时间序列文件；利用[区域数据格网生成与构造]，可以构造指定规格的大地测量数值格网文件。其他程序或模块，只接受 ETideLoad 本身产生的格式数据。

7.2 稳态大地测量数据文件约定格式

7.2.1 离散点大地测量数据记录文件

- (1) 容许有多行头文件，头文件内容和格式不受限制。
- (2) 离散点大地测量数据有多个记录组成，每个记录的属性依次为：点号（点名），经度（度小数），纬度（度小数），高度（米），属性 5，……，属性 n 。如图。
- (3) 记录属性约定为数值格式，属性数 n 的最大值为 80，属性之间用空格隔开。
- (4) 一个记录的 Fortran 语言读取语句为：

read(fileno,*)(record(i),i=1,n) ! record(n)为文件记录数组

rdgravpntmxdx.txt									
1	1	102.392927	24.494402	2227.4900	25.8548	22.8415	2210.7385	22.9157	
2	2	102.395920	24.508898	2169.5000	19.2278	23.3482	2220.1556	23.1268	
3	3	102.392718	24.529614	2012.6300	-2.5982	23.5704	2112.7810	23.1433	
4	4	102.396602	24.545253	2121.8000	8.5305	22.2493	2071.2506	22.4506	
5	5	102.396873	24.563563	1970.5800	-7.6153	21.1752	2045.8186	20.8999	
6	6	102.393754	24.581317	1939.6100	-9.4593	19.2625	1962.1555	19.1874	
7	7	102.395223	24.603553	1964.8800	-7.7358	16.3706	1985.6935	16.3132	
8	8	102.393104	24.617811	1997.0200	-5.1529	14.5630	1978.1810	14.6096	
9	9	102.393520	24.638369	1915.4500	-11.6028	12.4719	1947.9042	12.4048	
10	10	102.397107	24.653500	2009.9700	-0.2375	10.8712	1974.4709	10.9325	
11	11	102.396963	24.675343	1945.3300	-7.3841	9.6422	1981.4985	9.5877	
12	12	102.395819	24.692939	1980.3300	-3.7480	9.0670	1966.7684	9.0868	
13	13	102.395371	24.708913	2029.0300	2.5687	8.8403	1957.6558	8.9453	
14	14	102.395350	24.727566	1902.2900	-12.2454	9.0661	1903.0214	9.0650	
15	15	102.396700	24.745993	1869.7500	-15.8731	8.9810	1891.7180	8.9468	
16	16	102.395841	24.764933	2083.6400	7.3406	8.5926	2073.5757	8.6092	

7.2.2 大地控制网观测量记录文件

一个大地控制网观测量文件可存储 CORS 网（GNSS 网）一维基线解、水准控制网水准路线高差观测量或重力控制网重力段差观测量数据。

- (1) 头文件占据一行，格式为：基线或路线名字符数，站点名字符数，…
- (2) 记录格式：基线或测段名称，起点经纬度和高度，终点经纬度和高度，…，观测

量（缺省值 9999）。

(3) 大地控制网的基线或测段与站点之间的关联，通过其名称字符实现。基线或测段名称约定由两端站点名 A、B 构成 (B***A)，并要求所有站点名称（如 A、B）的字符数相等。因此基线或测段名称的字符数，不小于站点名称字符数的两倍。

如图第一个记录中，水准路线名为 CANN_DONT，水准点名 A 为“DONT”，水准点名 B 为“CANN”，水准点名字符数等于 4。“***”为用户自定义字符，要求对于所有水准路线，字符数保持不变，图中“***”为“_”，字符数等于 1。

GNSS水准残差高程异常.txt		水准路线.txt					
1	9	4					
2	CANN_DONT	120.424700	27.522580	121.150270	27.834630	79493.9	
3	CANN_FDIQ	120.424700	27.522580	120.207320	27.335310	29876.4	
4	CANN_JHYW	120.424700	27.522580	120.078380	29.272690	196899.1	
5	CANN_JINH	120.424700	27.522580	119.642580	29.217830	202930.8	
6	CANN_JINX	120.424700	27.522580	119.379220	29.070950	199897.1	
7	CANN_JUNZ	120.424700	27.522580	119.637540	27.976350	92473.9	
8	CANN_USAN	120.424700	27.522580	118.608560	28.727950	222881.6	
9	CANN_LHAI	120.424700	27.522580	121.189470	28.905910	170695.1	
10	CANN_LISH	120.424700	27.522580	119.929490	28.461260	114864.2	
11	CANN_LONQ	120.424700	27.522580	119.133090	28.080720	141509.7	
12	CANN_LUOY	120.424700	27.522580	119.705090	27.552460	71164.3	

7.2.3 大地测量数值格网文件

(1) 头文件占住一行，用于表示格网经纬度范围和空间分辨率。格式为：最小、最大经度，最小、最大纬度，格网的经度间隔、纬度间隔。单位都是度小数。

(2) 格网的格值按行纬度、列经度递增方式依次存放，直到放完全部数据。

(3) 格值文件的整个格网数据 Fortran 语言读取程序为：

```
open(unit=fileno,file=filename,status="old")
read(fileno,*)(hd(i),i=1,6)      ! hd(6)为头文件
nlat=nint((hd(4)-hd(3))/hd(6))   ! nlat 为格网行数，即北方向单元格网数
nlon=nint((hd(2)-hd(1))/hd(5))   ! nlon 为格网列数，即东方向单元格网数
do i=1,nlat
  read(fileno,*)(gr(i,j),j=1,nlon) ! gr(nlat,nlon)为存放格网数据的二维数组
enddo
```

dbmght150s.dat						
1	104.000000	114.000000	25.000000	34.000000	0.04166667	0.04166667
2	1880.6233	1872.6612	1910.7203	1931.7653	1992.7665	1897.7199
3	1579.5158	1478.5360	1457.5736	1610.5877	1703.5435	1392.4407
4	1127.0862	1141.1257	1156.1979	1181.3065	1335.4466	1400.5901
5	530.3264	562.3283	484.3702	478.4546	553.5518	717.6379
6	642.5849	575.7052	629.8202	654.9330	694.0609	807.1985
7	726.9670	439.0212	598.0862	604.1542	596.2404	510.3528
8	820.4032	667.4105	588.4110	585.4184	661.4350	557.4490
9	494.4559	433.5850	353.7288	430.9312	723.1754	821.3956
10	128.9223	219.0560	175.1799	152.2779	137.3618	113.4669
11	456.2471	331.3871	360.5383	451.7036	575.8641	698.9905
12	151.7805	150.9271	208.1027	343.2925	296.4793	343.6893
13	220.4542	560.7228	752.9326	548.0788	375.1834	295.2821
14	267.7073	300.9139	596.1386	576.3569	569.5556	559.7308
15	466.1608	254.1723	224.2118	236.2868	250.4018	331.5582
16	509.1123	504.2678	607.4595	873.6999	972.9491	777.1609
17	129.8216	112.8806	145.9967	223.1369	239.2738	219.4003
18	1868.6248	1859.6737	1903.7419	2051.7911	2088.7992	1910.7605

格网单元的格值代表格网单元平均值。数值积分运算时，取格网单元中心点位置作为平均被积场元的位置，计算面元到计算点的积分距离。

7.2.4 大地测量向量格网文件

向量格值文件是在标准格值文件的基础上，增加一个无头文件的、格网范围和分辨率完全相同的格网数据。ETideLoad 中的垂线偏差向量、水平梯度向量等格网，采用向量格值文件形式存放。

7.2.5 球谐系数文件约定格式

重力场位系数模型和负荷球谐系数模型采用球谐系数文件格式存储。

(1) 头文件占住一行，至少由两个属性数据构成，即地心引力常数 GM ($\times 10^{14} \text{m}^3/\text{s}^2$)、椭球长半轴 a (m)。 GM, a 称为重力场位系数模型的尺度参数。

球谐系数值与 GM, a 对应，不同的球谐系数模型， GM, a 不一定相同。

(2) 球谐系数模型由若干个记录组成，每个记录的属性格式：阶 n ，次 m ，球谐系数 C_{nm}, S_{nm} (C_{nm} 中误差， S_{nm} 中误差)。每个记录的属性之间用空格隔开。

ETideLoad4.0 不要求球谐系数阶次按顺序排列，容许阶次不充分。对于非充分阶次的球谐系数文件，程序自动将非充分阶次的球谐系数值置零。

7.3 大地测量时间序列文件约定格式

7.3.1 地面大地监测量时间序列文件

一个地面大地测量监测量时序文件可存储某一站点、某条基线或测量路线多种属性监测量时间序列数据，各种属性的采样历元时刻完全相同，如图。如 CORS 站坐标解时间序列、固体潮站观测与分析成果时间序列、GNSS 某条基线解时间序列等。

tmsqurst.txt										
1	NYB 101.230000	29.910000	47.218	58484.000000						
2	2019010100	0.000000	2.764	5.0173	1.5712	0.3849	10.3234	-5.2424	19.3396	
3	2019010101	0.041667	2.778	57.5174	23.2452	10.8146	12.7102	-3.1452	23.8048	
4	2019010102	0.083333	2.762	75.5361	30.5675	14.2375	13.9736	0.1439	26.1911	
5	2019010103	0.125000	2.724	49.9989	19.8264	8.9137	13.8655	3.6134	26.0285	
6	2019010104	0.166667	2.675	-14.8626	-7.1040	-4.1257	12.4479	6.1922	23.4162	
7	2019010105	0.208333	2.626	-102.4140	-43.2138	-21.3751	10.0693	7.0460	18.9862	
8	2019010106	0.250000	2.582	-187.9254	-78.2261	-37.8487	7.2674	5.8002	13.7343	
9	2019010107	0.291667	2.546	-245.0339	-101.3204	-48.4404	4.6323	2.6332	8.7685	
10	2019010108	0.333333	2.517	-252.6506	-103.9667	-49.2598	2.6643	-1.7744	5.0436	
11	2019010109	0.375000	2.489	-200.5663	-82.1562	-38.6091	1.6655	-6.4133	3.1473	
12	2019010110	0.416667	2.455	-92.4143	-37.5190	-17.4012	1.6833	-10.1887	3.1848	
13	2019010111	0.458333	2.410	54.6679	22.8880	11.0186	2.5175	-12.1759	4.7817	
14	2019010112	0.500000	2.354	213.5656	88.0350	41.5647	3.7816	-11.8314	7.1990	
15	2019010113	0.541667	2.288	353.0904	145.2782	68.4536	5.0033	-9.1200	9.5289	
16	2019010114	0.583333	2.223	444.9509	183.1245	86.4011	5.7439	-4.5343	10.9299	
17	2019010115	0.625000	2.169	470.2372	193.8160	91.7570	5.7101	1.0003	10.8461	
18	2019010116	0.666667	2.139	423.9270	175.1684	83.3590	4.8356	6.3198	9.1633	
19	2019010117	0.708333	2.140	316.2909	131.2080	62.8992	3.3117	10.2823	6.2600	
20	2019010118	0.750000	2.176	170.7224	71.3813	34.6611	1.5535	12.0396	2.9335	
21	2019010119	0.791667	2.245	18.3457	8.4289	4.6113	0.1037	11.2554	0.2101	
22	2019010120	0.833333	2.337	-109.4070	-44.6375	-20.9983	-0.5077	8.2071	-0.9215	
23	2019010121	0.875000	2.439	-188.4457	-77.7247	-37.1906	0.0868	3.7328	0.2122	
24	2019010122	0.916667	2.535	-207.9073	-86.1738	-41.5571	1.9732	-0.9763	3.7572	

(1) 头文件占据一行。点名/点号，经度，纬度 (度小数)，高度 (m，相对于椭球面、海平面或地面的高度，可选)，起算 MJD (可选)，…。

(2) 从第二行起，每行记录表示时序的一个历元时刻采样，其中至少有 1 个属性为采样历元时刻，其余各列代表不同属性监测量时序。

(3) 监测量时间序列文件记录中每个属性（除采样历元时间属性外）代表一种类型监测量时序，不同类型监测量采样历元时刻相同。

(4) 起算 MJD0 为采样历元时刻的起算时间，仅当采样历元时刻为 MJD 格式时有效。此时，起算 MJD0 与当前采样时间（天数）相加，为当前采样历元时刻 MJD。当采样历元时刻为 ETideLoad 约定的长整型格式时，头文件中可以没有起算 MJD0，程序自动识别并忽略选择。

7.3.2 监测站点记录时间序列文件

一个监测站点记录时序文件可存储大地监测网多个地面站点一种类型监测量的时间序列数据。如 CORS 站网坐标解（一维）、水准网点高程、固体潮站网、验潮站网时间序列，以及时序 InSAR 监测量等。

(1) 头文件占据一行，格式：站点名称字符数（可选），记录时序长度（可选），按时间先后排序的采样历元时刻。

(2) 从第二行起，每行记录存储一个站点监测量时序数据。格式：站点名，站点经纬度、高度，…，按时间先后排序的监测量时间序列采样值。

(3) ETideLoad 规定，头文件中采样历元时刻的数量与记录中采样值的数量相等，采样历元时刻与监测量采样值一一对应。

(4) 从程序界面输入站点记录时间序列文件时，一般要求指定头文件中第一个采样历元时刻对应的列序号，和记录中监测量时序第一个采样值所在的列序号。

TsqrRowU.txt		TsqrRowU.txt		TsqrRowU.txt		TsqrRowU.txt		TsqrRowU.txt		TsqrRowU.txt	
1	4	0	36			2015011612	2015021500	2015031612	2015041600	2015051612	2015061600
2	JINH	119.6426	29.2178	1191.60	1.0	-4.9145	9.3944	3.7319	0.4720	1.1566	2.7777
3	JINX	119.3792	29.0709	84.79	1.0	-4.3724	1.6001	6.6220	0.8372	2.9622	1.8461
4	JNJJ	119.6375	27.9764	286.78	1.0	-4.1680	3.2284	3.1467	-0.4777	2.3145	1.8212
5	JSAN	118.6086	28.7279	71.54	1.0	4.8394	10.8248	7.4036	2.4828	0.3532	-2.2769
6	LISH	119.9295	28.4613	71.54	1.0	4.8394	10.8248	7.4036	2.4828	0.3532	-2.2769
7	LONQ	119.1331	28.0807	233.28	1.0	-4.9987	3.4121	3.3682	-2.0458	-2.0137	-1.6199
8	QIYU	119.0793	27.6213	412.75	1.0	-2.9713	5.7773	7.2012	1.1874	-3.3157	-3.4728
9	QNYN	118.9638	27.6157	429.39	1.0	0.7446	7.2540	6.9323	0.2500	-1.3013	-1.8433
10	QUZH	118.8908	28.9937	90.79	1.0	-1.0815	5.9656	5.1221	-1.1572	0.5323	-1.6064
11	QZLY	119.1858	29.0336	73.91	1.0	-1.3703	6.4829	8.4987	1.9209	1.5578	0.7378
12	SHNQ	119.5028	27.4576	827.01	1.0	-6.5350	3.4134	3.8402	1.0473	3.2554	-2.4524
13	SHYN	119.5093	28.4546	182.77	1.0	-5.6627	3.1365	4.4180	0.4287	2.1431	2.2420
14	YAYA	120.0425	27.3930	555.71	1.0	-2.1462	5.1836	4.0938	3.6248	4.5640	1.2865

TsqrRowU.txt		TsqrRowU.txt		TsqrRowU.txt		TsqrRowU.txt		TsqrRowU.txt		TsqrRowU.txt	
1	5	37				20141103	20141127	20141221	20150114	20150207	20150408
2	-9.310	117.3445416	39.0251902	-2.793	-0.3091	0.0866	0.0482	0.2194	0.2865	0.5720	0.3395
3	-12.790	117.3457082	39.0251902	-2.304	-0.1796	0.2752	0.1906	0.2887	0.3340	0.5632	0.2861
4	-7.482	117.3480415	39.0251902	-3.660	-0.3846	9999.0000	-0.0523	0.0135	0.1783	-0.0167	-0.5455
5	-6.699	117.3487081	39.0251902	-2.582	-0.2325	0.2301	0.0701	0.2610	0.4179	0.7154	0.4377
6	-7.643	117.3488748	39.0251902	-2.882	-0.1876	0.3087	0.1757	0.3743	0.5347	0.9182	0.6967
7	-9.001	117.3492081	39.0251902	-3.430	-0.2356	0.2486	0.2262	0.4490	0.5863	1.0390	0.8643
8	-10.736	117.3495414	39.0251902	-4.123	-0.2211	0.1605	0.0977	0.4080	0.4816	1.0206	0.9163
9	-10.264	117.3497081	39.0251902	-3.963	-0.2530	0.0627	0.0174	0.2817	0.3735	0.9470	0.9182
10	-9.893	117.3498747	39.0251902	-3.843	-0.2733	0.0120	-0.0196	0.2078	0.3072	0.8895	0.8983
11	-14.921	117.3503747	39.0251902	-3.558	-0.2906	0.0654	0.0359	0.2029	0.2907	0.8569	0.8558
12	-13.835	117.3507080	39.0251902	-3.246	-0.1282	0.2632	0.1912	0.3657	0.4738	1.0386	1.0551
13	-13.217	117.3508747	39.0251902	-3.191	-0.0641	0.3303	0.2465	0.4314	0.5473	1.1231	1.1658
14	-12.657	117.3510413	39.0251902	-3.067	0.0039	0.3831	0.2929	0.4991	0.6149	1.2231	1.3072
15	-12.424	117.3512080	39.0251902	-2.943	0.0099	0.3579	0.2776	0.4952	0.6110	1.2489	1.3458
16	-12.475	117.3513747	39.0251902	-2.964	0.0053	0.3079	0.2478	0.4779	0.5912	1.2806	1.3846

7.3.3 监测网观测量记录时间序列文件

一个大地监测网观测量记录时序文件可存储 CORS 网（GNSS 网）一维基线解、水准控制网水准路线高差观测量或重力控制网重力段差观测量时间序列数据。

(1) 头文件占据一行，格式为：基线或路线名称字符数，站点名称字符数，时间序

列长度（可选）…，按时序长度依次排列的采样时间。

(2) 记录格式：基线或测段名称，起点经纬度和高度，终点经纬度和高度，…，按时序长度依次排列的时序值（缺省值 9999）。

(3) 大地监测网的基线或测段与站点之间的关联，通过其名称字符实现。基线或测段名称约定由两端站点名 A、B 构成（B***A），并要求所有站点名称（如 A、B）的字符数相等。因此基线或测段名称的字符数，不小于站点名称字符数的两倍。

Tsqrwzdw.txt		Tsqrwzdw.txt				2015011612	2015021500	2015031612	2015041600	2015051612	2015061600
1	9 0 36										
2	CANN_DONT	120.4247	27.5226	0.00	121.1503	27.8346	0.00	6.4092	3.5311	-0.6494	3.4802
3	CANN_FDIQ	120.4247	27.5226	0.00	120.2073	27.3353	0.00	7.5566	9999.0000	9.8866	4.9806
4	CANN_JHYW	120.4247	27.5226	0.00	120.0784	29.2727	0.00	3.3886	1.7941	-0.5867	-0.4076
5	CANN_JINH	120.4247	27.5226	0.00	119.6426	29.2178	0.00	2.8530	-0.7712	-1.3292	1.3058
6	CANN_JINX	120.4247	27.5226	0.00	119.3792	29.0709	0.00	4.3333	1.6376	2.9746	3.5908
7	CANN_JMZ	120.4247	27.5226	0.00	119.6375	27.9764	0.00	4.9006	3.1138	1.0930	0.3909
8	CANN_JSAN	120.4247	27.5226	0.00	119.6086	28.7279	0.00	2.5860	0.7616	-0.7290	-0.5568
9	CANN_LHAI	120.4247	27.5226	0.00	121.1895	28.9059	0.00	1.0756	-1.0669	-1.8127	-0.4355
10	CANN_LISH	120.4247	27.5226	0.00	119.9295	28.4613	0.00	13.8711	10.5885	3.5993	4.5791
11	CANN_LONQ	120.4247	27.5226	0.00	119.1331	28.0807	0.00	7.3816	6.1923	2.8466	1.8460
12	CANN_LUOY	120.4247	27.5226	0.00	119.7051	27.5525	0.00	8.8132	9.4984	3.5027	4.0624
13	CANN_PANA	120.4247	27.5226	0.00	120.4367	29.0542	0.00	0.2485	-2.0512	-4.4740	-2.9385
14	CANN_FCHQ	120.4247	27.5226	0.00	119.5422	27.9232	0.00	5.5253	5.7473	3.2665	1.6373
15	CANN_FCMZ	120.4247	27.5226	0.00	119.4454	28.1480	0.00	14.2248	12.7588	7.9740	8.5291
16	CANN_QINT	120.4247	27.5226	0.00	120.2900	28.1394	0.00	7.1517	4.5782	2.4621	4.4460
17	CANN_QIYU	120.4247	27.5226	0.00	119.0793	27.6213	0.00	7.1481	6.6956	4.4206	1.9230
18	CANN_QNYN	120.4247	27.5226	0.00	119.9638	27.6157	0.00	10.9311	7.9043	4.5820	1.4154
19	CANN_QUZH	120.4247	27.5226	0.00	119.8908	28.9937	0.00	8.1029	5.9283	1.7235	1.2962
20	CANN_QZLY	120.4247	27.5226	0.00	119.1858	29.0336	0.00	7.1312	6.3296	4.8051	4.9249
21	CANN_RUIA	120.4247	27.5226	0.00	120.4490	27.7833	0.00	8.9624	7.8493	0.2735	0.8812
22	CANN_SHHQ	120.4247	27.5226	0.00	119.5028	27.4576	0.00	4.8563	4.6628	0.3999	3.4718
23	CANN_SNYN	120.4247	27.5226	0.00	119.5093	28.4546	0.00	3.3183	3.1267	1.3992	1.8621
24	CANN_SUIC	120.4247	27.5226	0.00	119.2693	28.5951	0.00	14.7246	7.6386	10.1070	4.5706
25	CANN_TAI2	120.4247	27.5226	0.00	121.4164	28.6183	0.00	4.0291	3.2741	0.3639	1.5962

7.3.4 数值（向量）格网时间序列文件

数字模型（向量）格网时间序列，由一系列带时间信息的某一种类型监测量（向量）格网文件构成，每个格网头文件第 7 个属性约定为该格网数据的采样历元时刻。如陆地水等效水高、海平面变化格网时序，各种地面负荷形变场格网时序，时变重力场格网时间序列等，如图。数字模型（向量）格网格式约定见 7.2。

rwzdw20150331.dat		rwzdw20150331.dat		rwzdw20150331.dat							
1	118.500000	121.500000	27.000000	29.000000	1.66666667E-02	1.66666667E-02	2015033118				
2	-0.3746	-0.5686	-0.6666	-0.9356	-1.0686	-1.0836	-1.0606	-1.0586	-1.0586	-1.0586	-1.0566
3	-0.5445	-0.4746	-0.4966	-0.6746	-0.8176	-0.8646	-0.9356	-0.9356	-0.9356	-0.9575	-0.9565
4	-0.9326	-0.9128	-0.9132	-0.8647	-0.7606	-0.7255	-0.6170	-0.5403	-0.5403	-0.4534	-0.4873
5	-0.5622	-0.5214	-0.4842	-0.4644	-0.4832	-0.4767	-0.5045	-0.4994	-0.4994	-0.4972	-0.4458
6	-0.1776	-0.0795	0.0535	0.0904	0.1088	0.0885	-0.0087	-0.1460	-0.1460	-0.2341	-0.2686
7	-0.0685	0.1893	0.3498	0.4787	0.5169	0.4660	0.2675	0.1964	0.1964	0.1144	0.0974
8	0.1248	-0.0175	-0.1520	-0.2620	-0.3917	-0.4810	-0.5751	-0.6501	-0.6501	-0.7137	-0.7640
9	-0.2918	-0.1304	0.0015	0.1363	0.2607	0.3785	0.4382	0.4686	0.4686	0.4562	0.3953
10	-0.4998	-0.6231	-0.7580	-0.8453	-0.9315	-0.9857	-1.0331	-1.0529	-1.0529	-1.0680	-1.0697
11	-1.0796	-1.0936	-1.0966	-1.0966	-1.0996	-1.1006	-1.1006	-1.0996	-1.0996	-1.0997	-1.0978
12	-1.0184	-0.9872	-0.9330	-0.8807	-0.8047	-0.7382	-0.6460	-0.5719	-0.5719	-0.4788	-0.3955
13	-0.2513	-0.3094	-0.3723	-0.4617	-0.5417	-0.6397	-0.7159	-0.7967	-0.7967	-0.8500	-0.8985
14	-0.4647	-0.6176	-0.7077	-0.8746	-1.0456	-1.0596	-1.0546	-1.0526	-1.0526	-1.0576	-1.0416
15	-0.4536	-0.3635	-0.4356	-0.6346	-0.7596	-0.8306	-0.9016	-0.9016	-0.9016	-0.9385	-0.9385
16	-0.9086	-0.9138	-0.9142	-0.8636	-0.7696	-0.7325	-0.6810	-0.6283	-0.6283	-0.5264	-0.5533
17	-0.5762	-0.5344	-0.5152	-0.4914	-0.5093	-0.5217	-0.5505	-0.5446	-0.5446	-0.5243	-0.4589
18	-0.1982	-0.1410	-0.0271	0.0068	0.0242	0.0178	-0.0763	-0.1896	-0.1896	-0.2368	-0.2702
19	-0.0970	0.1349	0.3035	0.4214	0.4327	0.4208	0.2203	0.1393	0.1393	0.0803	0.0864
20	0.0868	-0.0434	-0.1649	-0.2578	-0.4047	-0.5100	-0.5791	-0.6770	-0.6770	-0.7527	-0.7781

rwzdw20150331.dat		rwzdw20150331.dat		rwzdw20150331.dat							
1	118.500000	121.500000	27.000000	29.000000	1.66666667E-02	1.66666667E-02	2015033118				
2	-0.5726	-0.5146	-0.4696	-0.3526	-0.3026	-0.2786	-0.2246	-0.1846	-0.1846	-0.1386	-0.1066
3	-0.0786	-0.1136	-0.1836	-0.1926	-0.2206	-0.2516	-0.2506	-0.2406	-0.2406	-0.2656	-0.3146
4	-0.6867	-0.6808	-0.6722	-0.6367	-0.5896	-0.5565	-0.5190	-0.4613	-0.4613	-0.3744	-0.2933
5	0.0678	0.1756	0.3518	0.5076	0.5198	0.5373	0.5285	0.5466	0.5466	0.5997	0.7823
6	1.0474	1.0315	1.0045	0.8744	0.8088	0.7405	0.6753	0.6110	0.6110	0.6498	0.6394
7	0.4535	0.3733	0.3578	0.3606	0.3549	0.3880	0.4304	0.4904	0.4904	0.6103	0.7434
8	1.1988	0.9995	0.8420	0.7620	0.6712	0.6139	0.6138	0.5539	0.5539	0.4073	0.3240
9	0.2442	0.2776	0.2575	0.2883	0.3467	0.4195	0.4542	0.4566	0.4566	0.4312	0.3573
10	-0.5308	-0.6581	-0.8080	-0.8983	-0.9905	-1.0457	-1.0961	-1.1219	-1.1219	-1.1400	-1.1467
11	-1.1806	-1.1796	-1.1816	-1.1806	-1.1826	-1.1826	-1.1846	-1.1826	-1.1826	-1.1817	-1.1788
12	-1.0974	-1.0642	-1.0110	-0.9607	-0.8867	-0.8182	-0.7280	-0.6529	-0.6529	-0.5628	-0.4925
13	-0.3523	-0.4064	-0.4673	-0.5537	-0.6327	-0.7247	-0.7999	-0.8787	-0.8787	-0.9290	-0.9745
14	-0.5867	-0.5536	-0.4687	-0.3766	-0.3276	-0.3046	-0.2476	-0.2086	-0.2086	-0.1786	-0.1306
15	0.0144	-0.0116	-0.0596	-0.1056	-0.1586	-0.2066	-0.2116	-0.2416	-0.2416	-0.2786	-0.3276
16	-0.6877	-0.6818	-0.6502	-0.6237	-0.5906	-0.5565	-0.4950	-0.4613	-0.4613	-0.3744	-0.2943
17	0.0548	0.1466	0.3048	0.4066	0.4197	0.4353	0.4435	0.4784	0.4784	0.5897	0.7731
18	1.0309	1.0080	0.9599	0.8668	0.8013	0.7498	0.7007	0.6754	0.6754	0.6952	0.6978
19	0.4550	0.3729	0.3785	0.3664	0.3607	0.3918	0.4203	0.4933	0.4933	0.6353	0.7654
20	1.1838	1.0216	0.8541	0.7912	0.6983	0.6290	0.5809	0.4910	0.4910	0.3593	0.3099

7.3.5 球谐系数模型时间序列文件

球谐系数模型时间序列由一组带时间信息的球谐系数 (Stokes 系数) 模型文件构成, 用于表示全球负荷变化时间序列、全球负荷形变场时间序列和全球重力场变化时间序列。

(1) 每个文件头占住一行, 由地心引力常数 $GM (\times 10^{14} \text{m}^3/\text{s}^2)$ 、地球椭球长半轴 $a (\text{m})$ 和采样历元时刻 (ETideLoad 约定的长整型格式) 3 个属性构成。 GM, a 称为球谐系数模型的尺度参数。

(2) 球谐系数模型由若干个记录组成, 每个记录的属性格式: 阶 n , 次 m , 球谐系数 C_{nm}, S_{nm} (C_{nm} 中误差, S_{nm} 中误差)。记录的属性之间用空格隔开。

(3) ETideLoad 不要求球谐系数阶次按顺序排列, 容许阶次不充分。对于非充分阶次的位系数文件, 程序自动将非充分阶次的位系数值置零。

7.4 主要地球物理模型与数值标准

ETideLoad 默认情况下, 以 IERS2010 协议推荐的地球物理模型和数值标准为基础, 用户可根据实际需要对其更新, 并在[地球物理模型与数值标准设置]程序中指定使用。这些地球物理模型和数值标准以文件形式存储。

7.4.1 大气压潮球谐系数模型文件

360 阶大气压潮负荷球谐系数模型 ECMWF2006.dat。采用欧洲中期气候预报中心 ECMWF-DCDA2006 的大气压周日 S_1 、半日 S_2 、半年 S_{Sa} 和年周期 S_a 分潮的 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 全球调和常数格网, 由 ETideLoad4.0 有关程序按球谐分析方法生成, 以满足厘米级大地测量基本需要。

ECMWF-DCDA2006 模型的大气压周日 S_1 、半日 S_2 分潮可构成 RP03 模型。地面大气压单位: hPa。

ECMWF2006.dat												
1 Atmospheric tide model: ECMWF-DCDA2006 normalized model up to (360,360) in hPa												
2 半日/周日/半年/年周期												
3	Doodson	Darw	n	m	Csin+	Ccos+	Csin-	Ccos-	C+	eps+	C-	eps-
4	164.556	S1	1	0	-0.01055351	0.00555959	-0.01055351	0.00555959	0.01192835	297.7803	0.01192835	297.7803
5	164.556	S1	2	0	-0.00898730	0.02713172	-0.00898730	0.02713172	0.02858149	341.6727	0.02858149	341.6727
6	164.556	S1	3	0	0.02416514	0.01232573	0.02416514	0.01232573	0.02712707	62.9756	0.02712707	62.9756
7	164.556	S1	4	0	0.01971779	-0.01808456	0.01971779	-0.01808456	0.02675523	132.5261	0.02675523	132.5261
8	164.556	S1	5	0	0.00538826	-0.01556217	0.00538826	-0.01556217	0.01646859	160.9021	0.01646859	160.9021
9	164.556	S1	6	0	-0.01896560	-0.00055330	-0.01896560	-0.00055330	0.01897366	268.3289	0.01897366	268.3289
10	164.556	S1	7	0	0.00163224	0.00711629	0.00163224	0.00711629	0.00730108	12.9183	0.00730108	12.9183
11	164.556	S1	8	0	0.00341644	0.00607435	0.00341644	0.00607435	0.00696920	29.3550	0.00696920	29.3550
12	164.556	S1	9	0	-0.00469730	-0.00311697	-0.00469730	-0.00311697	0.00563739	236.4331	0.00563739	236.4331
13	164.556	S1	10	0	0.00442735	-0.01563001	0.00442735	-0.01563001	0.01624496	164.1847	0.01624496	164.1847
14	164.556	S1	11	0	0.00941838	-0.00082619	0.00941838	-0.00082619	0.00945455	95.0132	0.00945455	95.0132
15	164.556	S1	12	0	-0.00454013	0.00688423	-0.00454013	0.00688423	0.00824654	326.5953	0.00824654	326.5953
16	164.556	S1	13	0	-0.01227672	0.00310149	-0.01227672	0.00310149	0.01266243	284.1781	0.01266243	284.1781
17	164.556	S1	14	0	0.00203678	0.00166923	0.00203678	0.00166923	0.00263340	50.6638	0.00263340	50.6638
18	164.556	S1	15	0	0.00253994	0.00381849	0.00253994	0.00381849	0.00458608	33.6306	0.00458608	33.6306
19	164.556	S1	16	0	0.00613602	-0.00041704	0.00613602	-0.00041704	0.00615017	93.8882	0.00615017	93.8882
20	164.556	S1	17	0	-0.00113104	-0.00413462	-0.00113104	-0.00413462	0.00428652	195.2992	0.00428652	195.2992
21	164.556	S1	18	0	-0.00311700	0.00136741	-0.00311700	0.00136741	0.00340375	293.6868	0.00340375	293.6868
22	164.556	S1	19	0	-0.00217138	0.00053937	-0.00217138	0.00053937	0.00223737	283.9498	0.00223737	283.9498
23	164.556	S1	20	0	-0.00017645	0.00369644	-0.00017645	0.00369644	0.00370065	357.2671	0.00370065	357.2671

7.4.2 海潮负荷球谐系数模型文件

海潮负荷规格化球谐系数与负荷位系数的关系如 IERS2010 协议标准 (6.15) 式。系统中的 100 阶海潮负荷规格化球谐系数模型 FES2004S1.dat 如图。

为满足卫星、近岸和海洋重力梯度数据处理的基本需要, 我们采用 AVISO+的

FES2014b 潮高调和常数模型，经 ETideLoad4.0[分潮球谐分析与负荷潮球谐系数模型构建]，生成了 360 阶 FES2014 海潮负荷规格化球谐系数模型 FES2014cs.dat。FES2014cs.dat 包括 36 个分潮 ($\Omega_1, \Omega_2; 2N_2, Eps_2, J_1, K_1, K_2, L_2, La_2, M_2, M_3, M_4, M_6, M_8, M_f, MKS_2, M_m, MN_4, MS_4, MS_f, MS_{qm}, M_{tm}, \mu_2, N_2, N_4, Nu_2, O_1, P_1, Q_1, R_2, S_1, S_2, S_4, S_a, S_{sa}, T_2$) 潮高球谐系数，其中平衡潮 Ω_1 、 Ω_2 球谐系数来源于 FES2004S1.dat。

Ocean tide model: FES2004 normalized model (fev. 2004) up to (100,100) in cm											
(long period from FES2002 up to (50,50) + equilibrium Om1/Om2, atmospheric tide NOT included)											
Doodson	Darw	n	m	Csin+	Ccos+	Csin-	Ccos-	C+	eps+	C-	eps-
55.565	Om1	2	0	-0.540594	0.000000	0.000000	0.000000	0.5406	270.000	0.0000	0.000
55.575	Om2	2	0	-0.005218	0.000000	0.000000	0.000000	0.0052	270.000	0.0000	0.000
56.554	Sa	1	0	0.017233	0.000013	0.000000	0.000000	0.0172	89.957	0.0000	0.000
56.554	Sa	2	0	-0.046604	-0.000903	0.000000	0.000000	0.0466	268.890	0.0000	0.000
56.554	Sa	3	0	-0.000889	0.000049	0.000000	0.000000	0.0009	273.155	0.0000	0.000
56.554	Sa	4	0	0.012069	-0.000413	0.000000	0.000000	0.0121	91.960	0.0000	0.000
56.554	Sa	5	0	-0.009780	-0.000421	0.000000	0.000000	0.0098	267.535	0.0000	0.000
56.554	Sa	6	0	0.006895	0.000043	0.000000	0.000000	0.0069	89.643	0.0000	0.000
56.554	Sa	7	0	-0.010515	-0.000287	0.000000	0.000000	0.0105	268.437	0.0000	0.000
56.554	Sa	8	0	0.002067	-0.000011	0.000000	0.000000	0.0021	90.305	0.0000	0.000
56.554	Sa	9	0	-0.004236	-0.000110	0.000000	0.000000	0.0042	268.512	0.0000	0.000
56.554	Sa	10	0	-0.001781	-0.000085	0.000000	0.000000	0.0018	267.268	0.0000	0.000
56.554	Sa	11	0	-0.001372	-0.000068	0.000000	0.000000	0.0014	267.163	0.0000	0.000
56.554	Sa	12	0	-0.004081	-0.000048	0.000000	0.000000	0.0041	269.326	0.0000	0.000
56.554	Sa	13	0	-0.000116	-0.000041	0.000000	0.000000	0.0001	250.534	0.0000	0.000
56.554	Sa	14	0	-0.003043	-0.000007	0.000000	0.000000	0.0030	269.868	0.0000	0.000
56.554	Sa	15	0	0.001109	-0.000028	0.000000	0.000000	0.0011	91.446	0.0000	0.000
56.554	Sa	16	0	-0.002596	-0.000034	0.000000	0.000000	0.0026	269.250	0.0000	0.000
56.554	Sa	17	0	-0.000674	0.000022	0.000000	0.000000	0.0007	271.870	0.0000	0.000
56.554	Sa	18	0	0.000546	0.000006	0.000000	0.000000	0.0005	89.370	0.0000	0.000
56.554	Sa	19	0	-0.000024	0.000023	0.000000	0.000000	0.0000	313.781	0.0000	0.000
56.554	Sa	20	0	0.000867	0.000014	0.000000	0.000000	0.0009	89.075	0.0000	0.000

7.4.3 地球负荷勒夫数文件

地球负荷勒夫数，也称地球负荷形变系数。系统采用球对称无旋转弹性地球模型 REF6371 计算的负荷勒夫数 Love_load_cm.dat（来源于区域地面回弹计算器 REAR1.0, 2015.11）。文件包括了 1 至 32768 阶的径向位移、水平位移和（重力）位负荷勒夫数 (h'_n, l'_n, k'_n), $n = 1, \dots, 32768$ ，如图。

The load Love numbers from the REAR package are attached. There are no more of these oscillations at high degree, and they go up to degree 32768.			
November 20, 2015, Jean-Paul			
CM: center of mass reference frame			
n	h' (vert)	l' (horiz)	k' (potent)
0	0.0000000000D+00	0.0000000000D+00	-1.0000000000D+00
1	-0.0287112988D+01	0.1045044062D+00	-1.0000000000D+00
2	-0.9945870591D+00	0.2411251588D-01	-0.3057703360D+00
3	-0.1054653021D+01	0.7085493677D-01	-0.1962722363D+00
4	-0.1057783895D+01	0.5958723183D-01	-0.1337905897D+00
5	-0.1091185915D+01	0.4702627503D-01	-0.1047617976D+00
6	-0.1149253656D+01	0.3940811757D-01	-0.9034958051D-01
7	-0.1218363201D+01	0.3499400649D-01	-0.8205733906D-01
8	-0.1290473661D+01	0.3225123202D-01	-0.7652348967D-01
9	-0.1361847865D+01	0.3038562458D-01	-0.7239287690D-01
10	-0.1430981761D+01	0.2902258995D-01	-0.6907768441D-01
11	-0.1497377458D+01	0.2798156018D-01	-0.6629382122D-01
12	-0.1560934855D+01	0.2716367080D-01	-0.6388475059D-01
13	-0.1621715593D+01	0.2650554043D-01	-0.6175536119D-01
14	-0.1679770379D+01	0.2596800569D-01	-0.5983856019D-01
15	-0.1735198310D+01	0.2551661917D-01	-0.5808965155D-01
16	-0.1788088250D+01	0.2512667367D-01	-0.5647488828D-01
17	-0.1838448069D+01	0.2478452380D-01	-0.5496610314D-01
18	-0.1886440474D+01	0.2447083426D-01	-0.5354901315D-01
19	-0.1932084480D+01	0.2417919471D-01	-0.5220607051D-01
20	-0.1975465902D+01	0.2389862142D-01	-0.5092726303D-01
21	-0.2016677975D+01	0.2362510597D-01	-0.4970406011D-01
22	-0.2055800328D+01	0.2335504487D-01	-0.4853059813D-01
23	-0.2092911079D+01	0.2308664225D-01	-0.4740132374D-01
24	-0.2128152865D+01	0.2281672671D-01	-0.4631386954D-01
25	-0.2161524726D+01	0.2254486326D-01	-0.4526257393D-01
26	-0.2193197725D+01	0.2227093034D-01	-0.4424709694D-01
27	-0.2223233858D+01	0.2199506362D-01	-0.4326515094D-01
28	-0.2251723710D+01	0.2171768906D-01	-0.4231416668D-01

为抑制负荷格林函数的高频震荡，ETideLoad 程序将实际负荷格林函数计算到 54000 阶，超过 32768 阶的负荷勒夫数用其渐进公式计算： $h_n' = -6.209114$ ， $l_n' = 1.890061/n$ ， $k_n' = -2.682697/n$ 。

7.4.4 IERS 地球定向参数 EOP 文件

IERSEOP_C04 格式产品，实测或预报 EOP。对于未来历元，可以使用预报产品，预报时间控制在半年以内为宜。ETideLoad 中的 EOP 文件 IERSeopc04.dat (ITRF2008) 如图。

INTERNATIONAL EARTH ROTATION AND REFERENCE SYSTEMS SERVICE EARTH ORIENTATION PARAMETERS EOP (IERS) 14 C04														
FORMAT (3(I4),I7,2(F11.6),2(F12.7),2(F11.6),2(F11.7),2(F12.6))														
Date (0h UTC)	MJD	x "	y "	UT1-UTC s	LOD s	dX "	dY "	x Err "	y Err "	UT1-UTC Err s	LOD Err s	dX Err "	dY Err "	
15	2001 1 1 51910	-0.073506	0.398095	0.0931626	0.0006630	0.000150	-0.000109	0.000061	0.000048	0.0000107	0.0000131	0.000028	0.000030	
16	2001 1 2 51911	-0.072651	0.398006	0.0924546	0.0007596	0.000141	-0.000092	0.000061	0.000048	0.0000070	0.0000131	0.000028	0.000031	
17	2001 1 3 51912	-0.071557	0.401864	0.0916573	0.0008515	0.000132	-0.000074	0.000061	0.000047	0.0000034	0.0000131	0.000028	0.000031	
18	2001 1 4 51913	-0.071024	0.403840	0.0907195	0.0008969	0.000149	-0.000084	0.000061	0.000047	0.0000084	0.0000132	0.000029	0.000031	
19	2001 1 5 51914	-0.070723	0.405333	0.0897667	0.0008872	0.000174	-0.000103	0.000060	0.000047	0.0000163	0.0000132	0.000029	0.000031	
20	2001 1 6 51915	-0.070378	0.407225	0.0889292	0.0008068	0.000199	-0.000122	0.000060	0.000047	0.0000221	0.0000132	0.000029	0.000031	
21	2001 1 7 51916	-0.070068	0.408041	0.0882375	0.0006463	0.000224	-0.000141	0.000060	0.000047	0.0000163	0.0000132	0.000029	0.000031	
22	2001 1 8 51917	-0.070205	0.409479	0.0876861	0.0004933	0.000250	-0.000160	0.000060	0.000047	0.0000104	0.0000132	0.000029	0.000031	
23	2001 1 9 51918	-0.070220	0.410814	0.0872445	0.0004441	0.000275	-0.000179	0.000060	0.000046	0.0000046	0.0000132	0.000029	0.000032	
24	2001 1 10 51919	-0.069861	0.412336	0.0868199	0.0004186	0.000270	-0.000158	0.000060	0.000046	0.0000043	0.0000133	0.000029	0.000031	
25	2001 1 11 51920	-0.069330	0.414004	0.0864003	0.0004447	0.000155	-0.000180	0.000059	0.000046	0.0000039	0.0000133	0.000029	0.000031	
26	2001 1 12 51921	-0.068456	0.416120	0.0858451	0.0005855	0.000106	-0.000203	0.000059	0.000046	0.0000088	0.0000133	0.000028	0.000030	
27	2001 1 13 51922	-0.067463	0.418251	0.0851161	0.0007422	0.000095	-0.000222	0.000059	0.000046	0.0000138	0.0000133	0.000028	0.000030	
28	2001 1 14 51923	-0.066479	0.420226	0.0842390	0.0008823	0.000084	-0.000241	0.000059	0.000046	0.0000112	0.0000134	0.000028	0.000029	
29	2001 1 15 51924	-0.065438	0.422044	0.0833100	0.0009404	0.000072	-0.000259	0.000059	0.000046	0.0000086	0.0000134	0.000027	0.000028	
30	2001 1 16 51925	-0.063999	0.423541	0.0824180	0.0009155	0.000061	-0.000278	0.000059	0.000046	0.0000060	0.0000134	0.000027	0.000028	
31	2001 1 17 51926	-0.062602	0.425076	0.0816384	0.0007815	0.000050	-0.000297	0.000059	0.000046	0.0000034	0.0000135	0.000027	0.000027	
32	2001 1 18 51927	-0.061434	0.426438	0.0809369	0.0005717	0.000307	-0.000078	0.000060	0.000046	0.0000060	0.0000135	0.000026	0.000026	
33	2001 1 19 51928	-0.060301	0.428009	0.0803992	0.0004021	0.000387	-0.000005	0.000060	0.000046	0.0000114	0.0000135	0.000026	0.000026	
34	2001 1 20 51929	-0.059175	0.429300	0.0801026	0.0002618	0.000335	-0.000045	0.000060	0.000046	0.0000197	0.0000136	0.000025	0.000025	
35	2001 1 21 51930	-0.058122	0.430418	0.0799970	0.0000786	0.000284	-0.000085	0.000060	0.000046	0.0000198	0.0000136	0.000025	0.000024	
36	2001 1 22 51931	-0.056745	0.431190	0.0799904	-0.0000387	0.000232	-0.000124	0.000060	0.000047	0.0000199	0.0000136	0.000024	0.000023	
37	2001 1 23 51932	-0.055378	0.432515	0.0800354	0.0000794	0.000180	-0.000164	0.000061	0.000047	0.0000200	0.0000137	0.000024	0.000022	
38	2001 1 24 51933	-0.054038	0.434299	0.0801054	-0.0000531	0.000189	-0.000183	0.000061	0.000047	0.0000090	0.0000137	0.000024	0.000022	
39	2001 1 25 51934	-0.052227	0.436048	0.0801105	0.0000481	0.000130	-0.000240	0.000061	0.000047	0.0000025	0.0000137	0.000023	0.000021	
40	2001 1 26 51935	-0.050435	0.438026	0.0799589	0.0001715	0.000101	-0.000252	0.000062	0.000048	0.0000160	0.0000137	0.000023	0.000021	
41	2001 1 27 51936	-0.049130	0.439912	0.0796787	0.0002940	0.000094	-0.000242	0.000062	0.000048	0.0000312	0.0000137	0.000022	0.000020	
42	2001 1 28 51937	-0.047602	0.441607	0.0792944	0.0004503	0.000086	-0.000232	0.000062	0.000048	0.0000276	0.0000137	0.000022	0.000019	
43	2001 1 29 51938	-0.045537	0.443509	0.0788172	0.0005621	0.000079	-0.000221	0.000063	0.000048	0.0000239	0.0000138	0.000021	0.000019	
44	2001 1 30 51939	-0.043660	0.444974	0.0782782	0.0006019	0.000072	-0.000211	0.000063	0.000048	0.0000203	0.0000138	0.000021	0.000018	
45	2001 1 31 51940	-0.042067	0.446396	0.0777060	0.0005437	0.000254	-0.000159	0.000063	0.000049	0.0000063	0.0000138	0.000021	0.000019	
46	2001 2 1 51941	-0.040683	0.447325	0.0772066	0.0004689	0.000298	-0.000141	0.000064	0.000049	0.0000064	0.0000138	0.000022	0.000020	
47	2001 2 2 51942	-0.039012	0.448060	0.0767917	0.0003692	0.000290	-0.000134	0.000064	0.000049	0.0000143	0.0000138	0.000022	0.000020	
48	2001 2 3 51943	-0.037722	0.448868	0.0764837	0.0002097	0.000283	-0.000128	0.000064	0.000049	0.0000284	0.0000138	0.000023	0.000021	
49	2001 2 4 51944	-0.036102	0.449525	0.0763497	0.0000712	0.000275	-0.000122	0.000064	0.000049	0.0000205	0.0000138	0.000023	0.000022	
50	2001 2 5 51945	-0.034057	0.450440	0.0763128	-0.0000019	0.000268	-0.000115	0.000064	0.000050	0.0000125	0.0000138	0.000024	0.000022	

7.4.5 地心运动时间序列文件

空间大地测量实测或预报时间序列产品。对于未来历元，可以使用预报产品，预报时间控制在 3 个月以内为宜。系统采用由 UT/CSR 提供的 5 颗卫星激光测距 (SLR) 实测的地心运动参数月变化时间序列产品 GCN_L1_L2_30d_CF-CM.txt (ITRF2005)，如图。

GCN_L1_L2_30d_CF-CM.txt							
Year	X	Y	Z	X sig	Y sig	Z sig	
2001.0402	2.50	2.00	5.40	1.78	1.48	4.24	
2001.1248	0.65	-1.35	10.75	1.61	1.34	3.68	
2001.2128	-0.10	-3.40	3.05	1.61	1.41	3.51	
2001.2932	-0.85	-3.55	-4.10	2.82	2.15	3.79	
2001.3784	0.40	-2.50	-7.00	1.70	2.30	3.05	
2001.4646	-1.65	-1.60	-6.60	1.62	3.30	3.11	
2001.5456	-1.55	-2.45	-3.35	1.27	1.85	3.00	
2001.6278	-4.45	-0.40	-2.80	1.44	1.90	3.22	
2001.7120	-2.05	0.85	-4.05	1.44	1.95	3.34	
2001.7911	-1.20	2.05	0.25	1.27	2.05	3.28	
2001.8708	0.05	2.05	-2.60	1.44	1.55	3.11	
2001.9569	0.05	3.70	-4.60	1.53	1.41	3.39	
2002.0399	3.85	4.05	-6.05	1.70	1.75	3.39	
2002.1250	1.10	0.25	1.75	1.36	1.27	3.17	
2002.2103	0.40	-1.45	3.30	1.44	1.20	2.94	
2002.2899	0.50	-2.20	3.10	1.53	1.27	3.34	
2002.3769	0.95	-3.45	-0.80	1.44	1.55	5.36	
2002.4625	-1.15	-4.50	-5.75	1.62	1.27	2.94	
2002.5412	-3.30	-4.90	-4.80	2.16	1.48	2.94	
2002.6263	-1.85	0.15	-5.55	1.78	2.35	3.17	
2002.7114	-1.85	0.05	0.70	1.53	2.05	3.90	
2002.7952	-2.80	-0.30	0.55	1.44	1.90	3.73	
2002.8744	-2.75	1.70	0.15	1.44	3.10	3.62	

7.4.6 海洋潮高调和常数格网模型

(1) ETideLoad4.0 默认的海洋潮高调和常数模型是 GOT4.8 的 10 个分潮全球 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 潮高调和常数模型格网。

(2) 同一海潮模型的各分潮（剩余）调和常数文件独立存放在一个目录中（如 C:\ETideLoad4.0_win64cn\OceanTide），不同分潮模型的格网规格完全相同。

(3) 分潮类型由分潮模型格网头文件的第 7 个属性 Doodson 常数识别，ETideLoad 程序对分潮模型文件的命名形式没有特殊要求。

(4) 海潮潮高调和常数模型可以是全球的，也可以是区域的，程序能自动识别。

(5) 分潮潮高单位 cm，陆地区域分潮调和常数置零。

m2_got4.8.dat												
1	0.000000	360.000000	-90.000000	90.000000	0.50000000	0.50000000	255555					
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

7.4.7 行星星历 JEPH405 文件

JPL 月球和行星星历文件 JEPH.405, 星历开始时间 1599 年 12 月 9 日 0 时 (2305424.5), 截止时间 2201 年 2 月 20 日 0 时 (2525008.5)。

7.4.8 勒夫数频率相关系数文件

勒夫数频率相关系数文件 IERS2010T65.dat。由 IERS2010 协议标准中的表 6.5a、6.5b 和 6.5c 生成。用于计算与频率相关的高精度固体潮影响校正值。

7.4.9 Desai 海洋极潮系数文件

ECWVP2006.dat			FES2004S1.dat			IERS2004.04.dat			GCN_L1_L2_30d_CF-CW.txt			desaiscopolecoef.txt		
1	n	m	Arm(Real)			Bnm(Real)			Arm(Imaginary)			Bnm(Imaginary)		
2	1	0	1.8736759805448e-02			0.0000000000000e+00			2.968884960424e-02			0.0000000000000e+00		
3	1	1	2.8258913146935e-02			2.1774643075236e-02			2.3898264393684e-02			5.6771602236635e-02		
4	2	0	-3.9555099024374e-03			0.0000000000000e+00			6.8390464271953e-04			0.0000000000000e+00		
5	2	1	-2.4325330521304e-01			5.4680741193318e-03			5.4680741193318e-03			-1.925211185300e-01		
6	2	2	1.9102047023374e-02			1.1158297399424e-02			-1.5123770169928e-02			-2.4857839911518e-04		
7	3	0	-2.0869478248378e-02			0.0000000000000e+00			-1.0775272844125e-02			0.0000000000000e+00		
8	3	1	3.0809252024501e-02			7.4552838003486e-03			5.5937937407386e-03			6.6496877724041e-02		
9	3	2	2.3295703062629e-02			3.7984356463618e-02			-2.1678456242839e-03			1.1232359168959e-02		
10	3	3	7.9776020803848e-03			1.2502542787182e-02			-2.2341399966187e-02			-2.2979590161975e-02		
11	4	0	-1.0612668622736e-02			0.0000000000000e+00			-1.5569196271270e-02			0.0000000000000e+00		
12	4	1	1.3606306893006e-04			2.2051992576636e-03			2.0130037501025e-03			1.6323514549038e-02		
13	4	2	1.1139374002795e-02			1.7031544962514e-02			-7.9621127289889e-03			-8.4440848505132e-04		
14	4	3	1.6100794768731e-02			1.4681986705593e-02			9.5178410813713e-03			-2.1017136590507e-02		
15	4	4	4.3132021252707e-03			-4.6836271624465e-03			-2.9309550249205e-03			1.3175690530653e-02		
16	5	0	7.0731357453056e-03			0.0000000000000e+00			-1.8023029843730e-03			0.0000000000000e+00		
17	5	1	2.5644907587134e-03			-1.0076857169607e-02			-9.6273922883022e-03			-1.1684145258283e-02		
18	5	2	-7.9615162895536e-03			2.0820461332209e-03			-3.0274671879191e-03			-1.0475800274156e-02		
19	5	3	-1.1818705609675e-02			1.2063416189422e-02			-1.6584597520384e-02			-2.8253528754893e-02		
20	5	4	9.2731253376468e-03			1.8353138561674e-02			-1.0870088052722e-02			4.7120935900411e-03		
21	5	5	1.4460712839068e-02			-8.5510747244577e-03			8.9167437380844e-04			1.6048852898081e-02		
22	6	0	7.4439256593180e-03			0.0000000000000e+00			-1.0670986469176e-03			0.0000000000000e+00		
23	6	1	1.8261459881891e-02			-3.7775168887123e-03			-3.6768761254664e-03			-1.4329108864964e-03		
24	6	2	-8.4568708595335e-03			2.5640802224787e-03			8.0976103423504e-03			-6.3983905389798e-03		
25	6	3	-1.5355186088842e-02			1.8642889355748e-03			-9.695652328784e-03			-2.2353328754893e-02		
26	6	4	1.4142224508565e-03			-2.2076728030274e-03			-6.1060835758971e-03			1.4301205310949e-02		
27	6	5	3.7744391579465e-03			1.6205935938625e-02			-7.4210466275681e-03			-2.8879881476777e-03		
28	6	6	3.2420227193323e-03			-1.0204123402364e-03			6.5738366845630e-03			-6.6744309720085e-03		
29	7	0	-1.3403793937592e-03			0.0000000000000e+00			-8.9119937331666e-04			0.0000000000000e+00		

位系数与极移参数和极潮系数之间关系采用 Desai (2002) 的自适应海洋潮汐质量平衡算法, 如 IERS2010 协议标准式 (6.23)。ETideLoad 中的 360 阶海潮极潮系数模型文件 desaiscopolecoef.txt 如图。

7.4.10 海潮负荷质心校正系数文件

(1) 海潮负荷地球质心校正公式如 IERS2010 协议标准 (7.17) 式。质心校正的对象是地面测站在地面参考框架 (如 ITRF) 中的三维坐标。

(2) 当用不同的海潮模型对地面测站坐标进行海潮负荷改正后, 应采用与其对应的海潮负荷地球质心校正系数文件进行地球质心校正。

(3) ETideLoad4.0 给出了常见海潮模型对应的质心校正系数文件, 存放在目录 C:\ETideLoad4.0_win64cn\CmcOtide 中。FES2004 海潮负荷质心校正系数如图。

ECMWF2006.dat FES2004S1.dat IERS2010.dat GCN_L1_L2_30d_CF-CM.txt desaiscopolecoef.txt FES2004.cmc								
1	(a,1p,t42,3(2x,2e12.4))							
2	M2 NCDF_FES2004	-1.2661E-03	-1.4298E-03	-1.3724E-03	8.2077E-04	1.1479E-03	2.3005E-04	
3	S2 NCDF_FES2004	-1.7763E-04	-5.7273E-04	-5.3350E-04	-3.1591E-04	-5.1370E-05	2.8184E-04	
4	N2 NCDF_FES2004	-3.2372E-04	-2.8986E-04	-2.7121E-04	1.9849E-04	2.6018E-04	-1.4302E-04	
5	K2 NCDF_FES2004	-1.1814E-04	-1.5250E-04	-1.1223E-04	-1.0889E-05	-1.5751E-05	1.2367E-04	
6	K1 NCDF_FES2004	-1.1370E-03	4.4839E-03	-1.8539E-03	-8.6426E-04	-9.1022E-04	-1.7823E-03	
7	O1 NCDF_FES2004	-1.6802E-04	2.9702E-03	-1.3985E-03	-2.2975E-04	-8.8858E-04	-6.4989E-04	
8	P1 NCDF_FES2004	-3.6495E-04	1.4941E-03	-6.1436E-04	-2.9129E-04	-2.9261E-04	-5.7461E-04	
9	Q1 NCDF_FES2004	3.0709E-05	4.5472E-04	-2.7831E-04	-2.9313E-05	-2.1734E-04	-4.1637E-05	
10	Mf NCDF_FES2004	-5.0643E-04	-7.3040E-05	-2.2065E-04	4.1472E-04	-1.0212E-04	8.2276E-05	
11	Mm NCDF_FES2004	-2.7885E-04	2.0596E-05	4.6882E-05	1.8399E-04	-7.4897E-06	1.3209E-05	
12	Ssa NCDF_FES2004	-1.4899E-04	2.6146E-06	1.3687E-04	3.5475E-05	-2.4093E-05	3.1666E-07	
13								

第八章 ETideLoad4.0 主要算法及公式

8.1 地面及地球外部大地测量固体潮影响

8.1.1 天体引潮位的直接影响

天体引潮位对地球外部重力位的直接影响可用位系数变化表示：

$$\Delta\bar{C}_{nm} - i\Delta\bar{S}_{nm} = \frac{1}{2n+1} \sum_{j=2}^{10} \frac{GM_j}{GM} \left(\frac{a}{r_j}\right)^{n+1} \bar{P}_{nm}(\sin\varphi_j) e^{im\lambda_j} \quad (1)$$

式中： GM_j 为引潮天体 j 引力常数； r_j 为引潮天体的地心距； $j = 2 \sim 10$ ， 分别代表月球 ($n = 2, 3$)、太阳、水星、金星、火星、木星、土星、天王星和海王星 ($n = 2$)； φ_j 为地固坐标系中引潮天体的地心纬度； λ_j 为地固坐标系中引潮天体的经度（格林尼治恒星时）。

8.1.2 频率无关的固体潮影响

引潮位引起固体地球形变，导致地球质量重新调整，产生附加引力位，即附加位，称为重力位的间接影响。间接影响用勒夫数来表征。地球重力场位系数的固体潮影响，等于其直接影响与间接影响之和。

对于弹性地球，勒夫数与频率无关，这样的勒夫数称为标称勒夫数，如表 1。

表 1 标称勒夫数取值

n	m	潮汐周期	k_{nm}	h_{nm}	l_{nm}
2	0	长周期	0.29525	0.6078	0.0847
2	1	周日	0.29470	0.6078	0.0847
2	2	半日	0.29801	0.6078	0.0847
3	0	长周期	0.093	0.2920	0.0150
3	1	周日	0.093	0.2920	0.0150
3	2	半日	0.093	0.2920	0.0150
3	3	1/3 日	0.094	0.2920	0.0150

(1) 与频率无关的重力场位系数固体潮影响可表示为：

$$\Delta\bar{C}_{nm} - i\Delta\bar{S}_{nm} = \frac{1+k_{nm}}{2n+1} \sum_{j=2}^{10} \frac{GM_j}{GM} \left(\frac{a}{r_j}\right)^{n+1} \bar{P}_{nm}(\sin\varphi_j) e^{im\lambda_j} \quad (2)$$

式中： k_{nm} 称为 n 阶 m 次标称位勒夫数。

(2) 与频率无关的地面及地球外部高程异常（大地水准面）固体潮影响

$$\zeta = \frac{GM}{\gamma r} \sum_{n=2}^3 \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n (1+k_{nm}) (\Delta\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \Delta\bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm} \quad (3)$$

(3) 与频率无关的地面重力固体潮影响⊙

$$g_t = \frac{GM}{r^2} \sum_{n=2}^3 (n+1) \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n \left(1 + \frac{2}{n} h_{nm} - \frac{n+1}{n} k_{nm}\right) (\Delta\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \Delta\bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm} \quad (4)$$

(4) 与频率无关的扰动重力固体潮影响

$$\delta g = \frac{GM}{r^2} \sum_{n=2}^3 (n+1) \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n (1+k_{nm}) (\Delta \bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \Delta \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm} \quad (5)$$

(5) 与频率无关的地倾斜固体潮影响⊙

$$\begin{aligned} \text{南向: } \xi^S &= \frac{GM}{\gamma r^2} \sin \theta \sum_{n=2}^3 \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n (1+k_{nm} - h_{nm}) \\ &\quad (\Delta \bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \Delta \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \frac{\partial}{\partial \theta} \bar{P}_{nm} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{西向: } \eta^S &= \frac{GM}{\gamma r^2 \sin \theta} \sum_{n=2}^3 \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=1}^n (1+k_{nm} - h_{nm}) m \\ &\quad (\Delta \bar{C}_{nm} \sin m\lambda - \Delta \bar{S}_{nm} \cos m\lambda) \bar{P}_{nm} \end{aligned} \quad (7)$$

(6) 与频率无关的垂线偏差固体潮影响

$$\text{南向: } \xi = \frac{GM}{\gamma r^2} \sin \theta \sum_{n=2}^3 \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n (1+k_{nm}) (\Delta \bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \Delta \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \frac{\partial}{\partial \theta} \bar{P}_{nm} \quad (8)$$

$$\text{西向: } \eta = \frac{GM}{\gamma r^2 \sin \theta} \sum_{n=2}^3 \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=1}^n (1+k_{nm}) m (\Delta \bar{C}_{nm} \sin m\lambda - \Delta \bar{S}_{nm} \cos m\lambda) \bar{P}_{nm} \quad (9)$$

(7) 与频率无关的地面站点位移固体潮影响⊙

$$\text{东方向: } e = -\frac{GM}{\gamma r^2 \sin \theta} \sum_{n=2}^3 \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n l_{nm} m (\Delta \bar{C}_{nm} \sin m\lambda - \Delta \bar{S}_{nm} \cos m\lambda) \bar{P}_{nm} \quad (10)$$

$$\text{北方向: } n = -\frac{GM}{\gamma r^2} \sin \theta \sum_{n=2}^3 \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n l_{nm} (\Delta \bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \Delta \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \frac{\partial}{\partial \theta} \bar{P}_{nm} \quad (11)$$

$$\text{径向: } r = \frac{GM}{\gamma r} \sum_{n=2}^3 \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n h_{nm} (\Delta \bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \Delta \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm} \quad (12)$$

(8) 与频率无关的扰动重力梯度固体潮影响

$$\begin{aligned} T_{nn} &= -\frac{GM}{r^3} \sum_{n=2}^3 (n+1)(n+2) \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n (1+k_{nm}) \\ &\quad (\Delta \bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \Delta \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm} \end{aligned} \quad (13)$$

(9) 与频率无关的水平重力梯度固体潮影响

$$\begin{aligned} \text{北向: } T_{\varphi\varphi} &= -\frac{GM}{r^3} \sum_{n=2}^3 \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n (1+k_{nm}) \\ &\quad (\Delta \bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \Delta \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \bar{P}_{nm} \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \text{东向: } T_{\lambda\lambda} &= -\frac{GM}{r^3 \cos^2 \varphi} \sum_{n=2}^3 \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=1}^n (1+k_{nm}) m^2 \\ &\quad (\Delta \bar{C}_{nm} \sin m\lambda + \Delta \bar{S}_{nm} \cos m\lambda) \bar{P}_{nm} \end{aligned} \quad (15)$$

上述标注⊙的大地测量观测量或参数, 只有其点位与地球固连情况下有效, 其余观测量或参数适合地面及固体地球外部空间。

8.1.3 频率相关的位系数变化

为表示粘滞性形变地球附加位引起的 n 阶 m 次位系数变化, 需要用到 3 种形式的位勒夫数 k , 即 $k_{nm}^{(0)}, k_{nm}^{(\pm)}$ ($n > 2$)。当 $n = 2$ 时, 考虑到形变地球的质量守恒, 有 $k_{2m}^{(-)} = 0$ 。

地幔的粘滞性导致地球对引潮位的响应产生延迟, 使得位勒夫数 k 随频率变化, $k_{nm}^{(0)}$ 和 $k_{2m}^{(+)}$ 存在小的虚部。通常按如下两个步骤来处理附加位引起的位系数变化。

表 2 潮汐位勒夫数 k 的取值

nm		潮汐周期	弹性地球		粘弹性地球		
n	m		k_{nm}	$k_{2m}^{(+)}$	$\text{Re}(k_{nm})$	$\text{Im}(k_{nm})$	$k_{2m}^{(+)}$
2	0	长周期	0.29525	-0.00087	0.30190	-0.00000	-0.00089
2	1	周日	0.29470	-0.00079	0.29830	-0.00144	-0.00080
2	2	半日	0.29801	-0.00057	0.30102	-0.00130	-0.00057
3	0	长周期	0.093	...			
3	1	周日	0.093	...			
3	2	半日	0.093	...			
3	3	1/3 日	0.094	...			

(1) 采用与频率相关的勒夫数 $k_{2m}^{(+)}$, ($m = 0,1,2$), 由 2 阶引潮位计算 4 阶位系数变化:

$$\Delta\bar{C}_{4m} - i\Delta\bar{S}_{4m} = \frac{k_{2m}^{(+)}}{5} \sum_{j=2}^{10} \frac{GM_j}{GM} \left(\frac{a}{r_j}\right)^3 \bar{P}_{2m}(\sin\varphi_j) e^{im\lambda_j} \quad (16)$$

(2) 对 2 阶位勒夫数 k_{2m} 进行偏差校正 $\delta k_{2m}^{(0)} = k_{2m}^{(0)} - k_{2m}$, 利用位勒夫数校正, 对 2 阶引潮位全部分潮 (包括长周期、周日和半日分潮) 引起的 2 阶各次附加位系数变化($\Delta\bar{C}_{2m}, \Delta\bar{S}_{2m}$)进行改正。

8.1.4 地面测站位移潮汐影响

引潮位对测站位移的间接影响通过位移勒夫数 (勒夫数 h_{nm} 和志田数 l_{nm}) 来表征。对于实际 (粘滞性) 地球, 位移勒夫数既依赖于测站纬度, 又依赖于潮汐频率。固体潮对测站位移的影响通常也分两步计算:

(1) 采用位移勒夫数标称值 $h_{2m}^{(0)}$ 和 $l_{2m}^{(0)}$ ($m = 0,1,2$), 如表 1, 由式 (10) ~ (12) 计算 2 阶、3 阶引潮位对测站位移的间接影响。

(2) 考虑频率相关的 2 阶位移勒夫数与标称值的偏差, 对第一步的计算结果进行改正, 改正包括周日 ($nm = 21$) 位移勒夫数虚部的贡献。

8.2 地面及地球外部大地测量极移影响

极移参数(m_1, m_2)可利用空间大地测量方法精密测定。在现代大地测量中, 极移参数用移去固体潮和负荷潮影响后的 2 阶田谐位系数非潮汐变化($\Delta\bar{C}_{21}, \Delta\bar{S}_{21}$), 即($nm = 21$) 来表示。

8.2.1 地球外部重力位的极移影响

极移对外部重力场的影响是由极移的离心效应引起的, 这种效应也称为极潮。极移影响是非潮汐的, “极潮”称谓不严密。

极移直接引起地球外部重力位的变化, 即极移对重力位的直接影响, 可表示为:

$$\Delta V = -\frac{\omega^2 r^2}{2} \sin 2\theta \operatorname{Re}[(m_1 - im_2)(\cos\lambda + i\sin\lambda)] \quad (1)$$

极移引起的附加位，即极移对重力位的间接影响，由 2 阶位勒夫数 k_2 表征：

$$V^a = k_2 \Delta V = -\frac{\omega^2 r^2}{2} \sin 2\theta \operatorname{Re}[k_2(m_1 - im_2)(\cos\lambda + i\sin\lambda)] \quad (2)$$

极移对地球外部重力位的总影响，等于其直接影响与间接影响之和：

$$\begin{aligned} V_t &= (1 + k_2) \Delta V = -\frac{\omega^2 r^2}{2} \sin 2\theta \operatorname{Re}[(1 + k_2)(m_1 - im_2)(\cos\lambda + i\sin\lambda)] \\ &= -\frac{\omega^2 r^2}{2} \sin 2\theta \operatorname{Re}\{(1 + k_2)[(m_1 \cos\lambda + m_2 \sin\lambda) + i(m_1 \sin\lambda - m_2 \cos\lambda)]\} \end{aligned} \quad (3)$$

8.2.2 各种大地测量参数的极移影响

给定 2 阶勒夫数 $k_2 = 0.3077 + 0.0036i$ ， $h_2 = 0.6207$ ， $l_2 = 0.0836$ ，可计算地面及固体地球外部各种物理和几何大地测量参数的极移影响。

(1) 高程异常（大地水准面）的极移影响

$$\begin{aligned} \zeta_t &= \frac{1+k_2}{\gamma} \Delta V = -\frac{\omega^2 r^2}{2\gamma} \sin 2\theta \operatorname{Re}[(1 + k_2)(m_1 \cos\lambda + m_2 \sin\lambda) + i(m_1 \sin\lambda - m_2 \cos\lambda)] \\ &= -\frac{\omega^2 r^2}{2\gamma} \sin 2\theta \operatorname{Re}\{(1.3077 + 0.0036i)[(m_1 \cos\lambda + m_2 \sin\lambda) + i(m_1 \sin\lambda - m_2 \cos\lambda)]\} \\ &= -\frac{\omega^2 r^2}{2\gamma} \sin 2\theta [(1.3077m_1 + 0.0036m_2) \cos\lambda + (1.3077m_2 - 0.0036m_1) \sin\lambda] \end{aligned} \quad (4)$$

(2) 地面重力的极移影响⊙

$$\begin{aligned} g_t &= -\frac{(1+h_2-\frac{3}{2}k_2)\partial\Delta V}{\partial r} = \omega^2 r \sin 2\theta \operatorname{Re} \left[\left(1 + h_2 - \frac{3}{2}k_2\right)(m_1 - im_2)(\cos\lambda + i\sin\lambda) \right] \\ &= \omega^2 r \sin 2\theta \operatorname{Re}\{(1.15915 - 0.0054i)[(m_1 \cos\lambda + m_2 \sin\lambda) + i(m_1 \sin\lambda - m_2 \cos\lambda)]\} \\ &= \omega^2 r \sin 2\theta [(1.15915m_1 - 0.0054m_2) \cos\lambda + (1.15915m_2 + 0.0054m_1) \sin\lambda] \end{aligned} \quad (5)$$

(3) 扰动重力的极移影响

$$\begin{aligned} \delta g_t &= -(1 + k_2) \frac{\partial \Delta V}{\partial r} = \omega^2 r \sin 2\theta \operatorname{Re}[(1 + k_2)(m_1 - im_2)(\cos\lambda + i\sin\lambda)] = -\frac{2\gamma}{r} \zeta_t \\ &= \omega^2 r \sin 2\theta [(1.3077m_1 + 0.0036m_2) \cos\lambda + (1.3077m_2 - 0.0036m_1) \sin\lambda] \end{aligned} \quad (6)$$

(4) 地倾斜南方向的极移影响⊙

$$\begin{aligned} \xi_t^S &= (1 + k_2 - h_2) \frac{\partial \Delta V}{\gamma r \partial \theta} = -\frac{\omega^2 r}{\gamma} \cos 2\theta \operatorname{Re}[(1 + k_2 - h_2)(m_1 - im_2)(\cos\lambda + i\sin\lambda)] \\ &= -\frac{\omega^2 r}{\gamma} \cos 2\theta [(0.687m_1 + 0.0036m_2) \cos\lambda + (0.687m_2 - 0.0036m_1) \sin\lambda] \end{aligned} \quad (7)$$

(5) 地倾斜西方向的极移影响⊙

$$\begin{aligned} \eta_t^S &= (1 + k_2 - h_2) \frac{\partial \Delta V}{\gamma r \sin \theta \partial \lambda} = \frac{\omega^2 r}{\gamma} \cos \theta \operatorname{Re}[(1 + k_2 - h_2)(m_1 - im_2)(\sin\lambda - i\cos\lambda)] \\ &= \frac{\omega^2 r}{\gamma} \cos \theta \operatorname{Re}\{(0.687 + 0.0036i)[(m_1 \sin\lambda + m_2 \cos\lambda) - i(m_1 \cos\lambda + m_2 \sin\lambda)]\} \\ &= \frac{\omega^2 r}{\gamma} \cos \theta [(0.687m_1 + 0.0036m_2) \sin\lambda + (0.0036m_1 + 0.687m_2) \cos\lambda] \end{aligned} \quad (8)$$

(6) 垂线偏差南方向的极移影响

$$\xi_t = \frac{(1+k_2)\partial\Delta V}{\gamma r \partial\theta} = \frac{-\omega^2 r}{\gamma} \cos 2\theta [(1+k_2)(m_1 - im_2)(\cos\lambda + i\sin\lambda)] = \frac{2\zeta_t}{r} \operatorname{ctg} 2\theta \quad (9)$$

(7) 垂线偏差西方向的极移影响

$$\begin{aligned} \eta_t &= (1+k_2) \frac{\partial\Delta V}{\gamma r \sin\theta \partial\lambda} = \frac{\omega^2 r}{\gamma} \cos\theta \operatorname{Re}[(1+k_2)(m_1 - im_2)(\sin\lambda - i\cos\lambda)] \\ &= \frac{\omega^2 r}{\gamma} \cos\theta [(1.3077m_1 + 0.0036m_2)\sin\lambda + (0.0036m_1 + 1.3077m_2)\cos\lambda] \end{aligned} \quad (10)$$

(8) 地面水平东方向的极移影响⊙

$$\begin{aligned} e &= \frac{l_2 \partial\Delta V}{\gamma \sin\theta \partial\lambda} = l_2 \frac{\omega^2 r^2}{\gamma} \cos\theta \operatorname{Re}[(m_1 - im_2)(\sin\lambda - i\cos\lambda)] \\ &= 0.0836 \frac{\omega^2 r^2}{\gamma} \cos\theta (m_1 \sin\lambda - m_2 \cos\lambda) \end{aligned} \quad (11)$$

(9) 地面水平北方向的极移影响⊙

$$\begin{aligned} n &= -\frac{l_2 \partial\Delta V}{\gamma \partial\theta} = -l_2 \frac{\omega^2 r^2}{\gamma} \cos 2\theta \operatorname{Re}[(m_1 - im_2)(\cos\lambda + i\sin\lambda)] \\ &= -0.0836 \frac{\omega^2 r^2}{\gamma} \cos 2\theta (m_1 \cos\lambda + m_2 \sin\lambda) \end{aligned} \quad (12)$$

(10) 地面径向位移的极移影响⊙

$$r = \frac{h_2 \Delta V}{\gamma} = -0.6207 \frac{\omega^2 r^2}{2\gamma} \sin 2\theta (m_1 \cos\lambda + m_2 \sin\lambda) \quad (13)$$

(11) 扰动重力梯度的极移影响

$$\begin{aligned} T_{nn} &= -\frac{(1+k_2)\partial^2\Delta V}{\partial r^2} = \omega^2 \sin 2\theta \operatorname{Re}[(1+k_2)(m_1 - im_2)(\cos\lambda + i\sin\lambda)] = \frac{\delta g_t}{r} \\ &= \omega^2 \sin 2\theta [(1.3077m_1 + 0.0036m_2)\cos\lambda + (1.3077m_2 - 0.0036m_1)\sin\lambda] \end{aligned} \quad (14)$$

(12) 水平重力梯度北方向的极移影响

$$\begin{aligned} T_{\varphi\varphi} &= -T_{\theta\theta} = -(1+k_2)\omega^2 \sin 2\theta [(m_1 - im_2)(\cos\lambda + i\sin\lambda)] \\ &= -\omega^2 \sin 2\theta [(1.3077m_1 + 0.0036m_2)\cos\lambda + (1.3077m_2 - 0.0036m_1)\sin\lambda] \end{aligned} \quad (15)$$

(13) 水平重力梯度东方向的极移影响

$$\begin{aligned} T_{\lambda\lambda} &= \frac{(1+k_2)\partial^2\Delta V}{r^2 \sin^2\theta \partial\lambda^2} = (1+k_2)\omega^2 \operatorname{ctg}\theta [(m_1 - im_2)(\cos\lambda + i\sin\lambda)] \\ &= 2T_{nn} \cos^2\theta = -2T_{\varphi\varphi} \cos^2\theta = 2 \frac{\delta g_t}{r} \cos^2\theta \end{aligned} \quad (16)$$

上述标注⊙的大地测量观测量或参数，只有其点位与地球固连情况下有效，其余观测量或参数适合地面及固体地球外部空间。

注：IERS2010 协议给出的地球定向参数产品 EOPC04，未移去大气负荷的年周期、半年周期分潮影响，因此，由此产品计算所得到的极移参数(m_1, m_2)，明显包含年周期和半年周期成分。

8.3 全球负荷形变场球谐综合算法公式

地球表层大气、土壤水、江河湖库水、冰川冰盖雪山、地下水和海平面变化，都是非潮汐的，这些地表非潮汐负荷变化可用地面等效水高变化统一表示。地面点(R, θ, λ)处等效水高变化 h_w 可表示为规格化负荷球谐级数：

$$h_w(R, \theta, \lambda) = R \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n [\Delta C_{nm}^w \cos m\lambda + \Delta S_{nm}^w \sin m\lambda] \bar{P}_{nm}(\cos\theta) \quad (1)$$

式中：\$R\$为地球平均半径；\$\Delta C_{nm}^w, \Delta S_{nm}^w\$为\$n\$阶\$m\$次规格化负荷球谐系数；\$\bar{P}_{nm}(t) = \bar{P}_{nm}\$为完全规格化缔合 Legendre 函数。

全球地面等效水高变化\$h_w\$（面密度变化\$\rho_w h_w\$），直接产生地面重力位变化：

$$\Phi^d(R, \theta, \lambda) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4\pi G \rho_w R^2}{2n+1} \sum_{m=0}^n [\Delta C_{nm}^w \cos m\lambda + \Delta S_{nm}^w \sin m\lambda] \bar{P}_{nm} \quad (2)$$

由地球重力场理论可知，地面重力位变化\$\Phi^d\$也可用引力位系数变化表示为：

$$\Phi^d = \frac{GM}{R} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n (\Delta \bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \Delta \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm}(\cos\theta) \quad (3)$$

式中：\$\Delta \bar{C}_{nm}, \Delta \bar{S}_{nm}\$为完全规格化的位系数变化。

比较 (2) 与 (3) 式，得：

$$\Delta \bar{C}_{nm} = \frac{4\pi R^3}{M} \frac{\rho_w}{2n+1} \Delta C_{nm}^w = \frac{4\pi R^3}{\rho_e V} \frac{\rho_w}{2n+1} \Delta C_{nm}^w = \frac{4\pi R^3}{4\pi R^3 \rho_e / 3} \frac{\rho_w}{2n+1} \Delta C_{nm}^w = \frac{3}{2n+1} \frac{\rho_w}{\rho_e} \Delta C_{nm}^w$$

$$\text{同理, } \Delta \bar{S}_{nm} = \frac{3}{2n+1} \frac{\rho_w}{\rho_e} \Delta S_{nm}^w \quad (4)$$

式 (2) ~ (4) 中，\$G\$为万有引力常数；\$\rho_w\$为水的密度；\$\rho_e\$为地球平均密度；\$M\$、\$V\$分别为地球总质量和总体积。

由负荷形变理论可知，对于地面及固体地球外部，

(1) 高程异常（大地水准面）负荷影响

$$\zeta = \frac{GM}{\gamma r} \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{a}{r}\right)^n (1 + k'_n) \sum_{m=0}^n (\Delta \bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \Delta \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm} \quad (5)$$

(2) 地面重力负荷影响⊙

$$g_t = \frac{GM}{r^2} \sum_{n=2}^{\infty} (n+1) \left(1 + \frac{2}{n} h'_n - \frac{n+1}{n} k'_n\right) \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n (\Delta \bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \Delta \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm} \quad (6)$$

(3) 扰动重力负荷影响

$$\delta g = \frac{GM}{r^2} \sum_{n=2}^{\infty} (n+1) (1 + k'_n) \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n (\Delta \bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \Delta \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm} \quad (7)$$

(4) 地倾斜负荷影响⊙

$$\begin{aligned} \text{南向: } \xi^s &= \frac{GM}{\gamma r^2} \sin \theta \sum_{n=2}^{\infty} (1 + k'_n - h'_n) \left(\frac{a}{r}\right)^n \\ &\quad \sum_{m=0}^n (\Delta \bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \Delta \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \frac{\partial}{\partial \theta} \bar{P}_{nm} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{西向: } \eta^s &= \frac{GM}{\gamma r^2 \sin \theta} \sum_{n=2}^{\infty} (1 + k'_n - h'_n) \left(\frac{a}{r}\right)^n \\ &\quad \sum_{m=1}^n m (\Delta \bar{C}_{nm} \sin m\lambda - \Delta \bar{S}_{nm} \cos m\lambda) \bar{P}_{nm} \end{aligned} \quad (9)$$

(5) 垂线偏差负荷影响

$$\text{南向: } \xi = \frac{GM}{\gamma r^2} \sin \theta \sum_{n=2}^{\infty} (1 + k'_n) \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n (\Delta \bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \Delta \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \frac{\partial}{\partial \theta} \bar{P}_{nm} \quad (10)$$

$$\text{西向: } \eta = \frac{GM}{\gamma r^2 \sin \theta} \sum_{n=2}^{\infty} (1 + k'_n) \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=1}^n m (\Delta \bar{C}_{nm} \sin m\lambda - \Delta \bar{S}_{nm} \cos m\lambda) \bar{P}_{nm} \quad (11)$$

(6) 地面站点位移负荷影响⊙

$$\text{东方向: } e = -\frac{GM}{\gamma r^2 \sin \theta} \sum_{n=2}^{\infty} l'_n \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=1}^n m(\Delta \bar{C}_{nm} \sin m\lambda - \Delta \bar{S}_{nm} \cos m\lambda) \bar{P}_{nm} \quad (12)$$

$$\text{北方向: } n = -\frac{GM}{\gamma r^2} \sin \theta \sum_{n=2}^{\infty} l'_n \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n (\Delta \bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \Delta \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \frac{\partial}{\partial \theta} \bar{P}_{nm} \quad (13)$$

$$\text{径向: } r = \frac{GM}{\gamma r} \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{a}{r}\right)^n h'_n \sum_{m=0}^n (\Delta \bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \Delta \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm} \quad (14)$$

(7) 扰动重力梯度负荷影响

$$T_{nn} = -\frac{GM}{r^3} \sum_{n=2}^{\infty} (n+1)(n+2)(1+k'_n) \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n (\Delta \bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \Delta \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm} \quad (15)$$

(8) 水平重力梯度负荷影响

$$\text{北向: } T_{\varphi\varphi} = -\frac{GM}{r^3} \sum_{n=2}^{\infty} (1+k'_n) \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n (\Delta \bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \Delta \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \bar{P}_{nm} \quad (16)$$

$$\text{东向: } T_{\lambda\lambda} = -\frac{GM}{r^3 \cos^2 \varphi} \sum_{n=2}^{\infty} (1+k'_n) \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=1}^n (1+k_{nm}) m^2 (\Delta \bar{C}_{nm} \sin m\lambda + \Delta \bar{S}_{nm} \cos m\lambda) \bar{P}_{nm} \quad (17)$$

上述标注⊙的大地测量观测量或参数，只有其点位与地球固连情况下有效。

式 (5) ~ (17) 中， h'_n 、 l'_n 和 k'_n 分别为 n 阶径向、水平和位负荷勒夫数。依据 Farrell 地表负荷形变理论，采用球对称无旋转弹性地球模型 PREM 有关参数，计算地表单位点质量负荷（面密度， 1 kg/m^2 ）作用下的地表负荷勒夫数，如表 3。

表 3 负荷勒夫数取值

阶数 n	h'_n	l'_n	k'_n
1	-0.2871129880	0.1045044062	-1.0000000000
2	-0.9945870591	0.0241125159	-0.3057703360
3	-1.0546530210	0.0708549368	-0.1962722363
4	-1.0577838950	0.0595872318	-0.1337905897
5	-1.0911859150	0.0470262750	-0.1047617976
6	-1.1492536560	0.0394081176	-0.0903495805
7	-1.2183632010	0.0349940065	-0.0820573391
8	-1.2904736610	0.0322512320	-0.0765234897
9	-1.3618478650	0.0303856246	-0.0723928769
10	-1.4309817610	0.0290225900	-0.0690776844
12	-1.5609348550	0.0271636708	-0.0638847506
14	-1.6797703790	0.0259680057	-0.0598385602

16	-1.7880882500	0.0251266737	-0.0564748883
18	-1.8864404740	0.0244708343	-0.0535490132
20	-1.9754659020	0.0238986214	-0.0509272630
25	-2.1615247260	0.0225448633	-0.0452625739
30	-2.3044581340	0.0211578086	-0.0405033192
35	-2.4152406280	0.0197609745	-0.0364524519
40	-2.5028874800	0.0184188171	-0.0329970228
45	-2.5741299450	0.0171690959	-0.0300450548
50	-2.6337485520	0.0160264262	-0.0275153569
60	-2.7300189390	0.0140651027	-0.0234487653
70	-2.8076818590	0.0124702089	-0.0203629907
80	-2.8746338100	0.0111640070	-0.0179658948
90	-2.9350553590	0.0100800427	-0.0160636283
100	-2.9913054190	0.0091686192	-0.0145257169
120	-3.0965116190	0.0077267323	-0.0122109806
140	-3.1965444360	0.0066448758	-0.0105711243
150	-3.2455767690	0.0062018042	-0.0099238838
160	-3.2942117980	0.0058106942	-0.0093636844
180	-3.3907532400	0.0051551676	-0.0084470364
200	-3.4867370690	0.0046324760	-0.0077337989
250	-3.7248624300	0.0037212221	-0.0065109062
300	-3.9588101480	0.0031642726	-0.0057493979
350	-4.1853482260	0.0028105951	-0.0052320414
400	-4.4014325530	0.0025772705	-0.0048534799
450	-4.6045856190	0.0024162122	-0.0045579733
500	-4.7931516890	0.0022987082	-0.0043145187
600	-5.1234075730	0.0021315364	-0.0039191204
700	-5.3914177940	0.0020034613	-0.0035936423
800	-5.6025165630	0.0018887552	-0.0033104524

1000	-5.8875374130	0.0016743075	-0.0028324828
1500	-6.1543113080	0.0012327687	-0.0020071634
2000	-6.2038470670	0.0009427101	-0.0015226332
3000	-6.2137113920	0.0006307787	-0.0010176493
4000	-6.2144649520	0.0004731032	-0.0007634795
5000	-6.2148224370	0.0003784752	-0.0006108869
6000	-6.2150593160	0.0003153917	-0.0005091296
8000	-6.2153555850	0.0002365398	-0.0003819009
10000	-6.2155334610	0.0001892299	-0.0003055465
12000	-6.2156520860	0.0001576905	-0.0002546364
14000	-6.2157368460	0.0001351626	-0.0002182685
16000	-6.2158004300	0.0001182669	-0.0001909907
18000	-6.2158498910	0.0001051258	-0.0001697735
25000	-6.2159607070	0.0000756901	-0.0001222433
30000	-6.2160082030	0.0000630749	-0.0001018717
32000	-6.2160230550	0.0000591327	-0.0000955054
32768	-6.2160282710	0.0000577468	-0.0000932672
∞	-6.2091440000	0.0000000000	0.0000000000

8.4 全球负荷潮规格化球谐系数模型算法

8.4.1 全球负荷潮规格化球谐系数模型构建

全球负荷潮规格化球谐系数模型（IERS2010 中 FES2004 海潮模型格式）构建的一般方法：

（1）利用全球海洋各分潮调和常数格网模型，采用球谐分析方法，分别生成各分潮调和常数规格化球谐系数模型；

（2）根据分潮天文潮高算法，将分潮调和常数规格化球谐系数转换为分潮负荷规格化球谐系数；

（3）组合全部分潮负荷规格化球谐系数，生成全球海潮负荷规格化球谐系数模型。

天文潮位 $T(t)$ ，用天文潮位面相对于当地长期平均海面的高度表示，等于多个海洋分潮潮高的叠加：

$$T(\varphi, \lambda, t) = \sum_{i=1}^M T_i(\varphi, \lambda, t) = \sum_{i=1}^M H_i(\varphi, \lambda) \cos[\theta_i(t) - g_i(\varphi, \lambda)] \quad (1)$$

式中： M 为分潮的个数； $\theta_i(t)$ 为分潮 i 的天文幅角； H_i 、 g_i 分别称为分潮 i 的振幅和迟角。

展开任意分潮*i*的天文潮高 T_i :

$$\begin{aligned} T_i(\varphi, \lambda, t) &= H_i(\varphi, \lambda) \cos g_i(\varphi, \lambda) \cos \theta_i(t) + H_i(\varphi, \lambda) \sin g_i(\varphi, \lambda) \sin \theta_i(t) \\ &= H_i^+(\varphi, \lambda) \cos \theta_i(t) + H_i^-(\varphi, \lambda) \sin \theta_i(t) = H_i^+ \cos \theta_i + H_i^- \sin \theta_i \end{aligned} \quad (2)$$

通过球谐分析, 任意分潮*i*的潮高又可表示为规格化球谐级数形式:

$$T_i(\varphi, \lambda, t) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=0}^n \bar{P}_{nm}(\sin \varphi) [T_{i,nm}^+(\lambda, t) + T_{i,nm}^-(\lambda, t)] \quad (3)$$

$$\text{式中, } T_{i,nm}^+(\lambda, t) = \bar{C}_{i,nm}^+ \cos(\theta_i + m\lambda) + \bar{S}_{i,nm}^+ \sin(\theta_i + m\lambda) \quad (4)$$

$$T_{i,nm}^-(\lambda, t) = \bar{C}_{i,nm}^- \cos(\theta_i - m\lambda) + \bar{S}_{i,nm}^- \sin(\theta_i - m\lambda) \quad (5)$$

将式 (4) 和式 (5) 中的三角函数展开得:

$$\begin{aligned} T_{i,nm}^+(\lambda, t) &= \bar{C}^+ [\cos \theta_i \cos m\lambda - \sin \theta_i \sin m\lambda] + \bar{S}^+ [\sin \theta_i \cos m\lambda + \cos \theta_i \sin m\lambda] \\ &= [\bar{C}^+ \cos m\lambda + \bar{S}^+ \sin m\lambda] \cos \theta_i + [-\bar{C}^+ \sin m\lambda + \bar{S}^+ \cos m\lambda] \sin \theta_i \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} T_{i,nm}^-(\lambda, t) &= \bar{C}^- [\cos \theta_i \cos m\lambda + \sin \theta_i \sin m\lambda] + \bar{S}^- [\sin \theta_i \cos m\lambda - \cos \theta_i \sin m\lambda] \\ &= [\bar{C}^- \cos m\lambda - \bar{S}^- \sin m\lambda] \cos \theta_i + [\bar{C}^- \sin m\lambda + \bar{S}^- \cos m\lambda] \sin \theta_i \end{aligned} \quad (7)$$

比较 (2) 式与 (3) 式, 对于任意海潮分潮*i*, 有 (以下省略分潮序号*i*):

$$H^+ = \sum_{n=1}^N \sum_{m=0}^n \bar{P}_{nm} (\bar{C}^+ \cos m\lambda + \bar{S}^+ \sin m\lambda + \bar{C}^- \cos m\lambda + \bar{S}^- \sin m\lambda) \quad (8)$$

$$H^- = \sum_{n=1}^N \sum_{m=0}^n \bar{P}_{nm} (-\bar{C}^+ \sin m\lambda + \bar{S}^+ \cos m\lambda + \bar{C}^- \sin m\lambda + \bar{S}^- \cos m\lambda) \quad (9)$$

$$H^+ = \sum_{n=1}^N \sum_{m=0}^n \bar{P}_{nm} [(\bar{C}^+ + \bar{C}^-) \cos m\lambda + (\bar{S}^+ - \bar{S}^-) \sin m\lambda] \quad (10)$$

$$H^- = \sum_{n=1}^N \sum_{m=0}^n \bar{P}_{nm} [(\bar{S}^+ + \bar{S}^-) \cos m\lambda + (-\bar{C}^+ + \bar{C}^-) \sin m\lambda] \quad (11)$$

$$\bar{C}^+ = \hat{C}^+ \sin \varepsilon^+, \quad \bar{C}^- = \hat{C}^- \sin \varepsilon^-, \quad \bar{S}^+ = \hat{C}^+ \cos \varepsilon^+, \quad \bar{S}^- = \hat{C}^- \cos \varepsilon^- \quad (12)$$

同样, 由全球地面大气压潮汐调和常数格网模型, 经规格化球谐分析, 可得到地面大气压负荷潮球谐系数模型, 如 ETideLoad4.0 给出的 360 阶大气压负荷潮球谐系数模型 ECMWF2006.dat (包含半日、周日、半年、年 4 个周期的地面大气压分潮)。

8.4.2 地球重力场位系数海潮负荷影响算法

根据 Farrell (1972) 理论, 海潮总负荷位 V^{ot} 可用位格林函数积分形式表示:

$$V^{ot}(\varphi, \lambda, t) = G\rho_w \iint_S H(\varphi', \lambda', t) G^V(\psi) dS \quad (13)$$

式中: H 为海潮潮高; S 为整个海面; ψ 为计算点和海面流动点之间的球面角距; $G^V(\psi)$ 为总负荷的位格林函数。

总负荷位格林函数 $G^V(\psi)$ 可用位负荷数表示为球谐级数形式:

$$G^V(\psi) = \sum_{n=1}^{\infty} (1 + k'_n) P_n(\cos \psi) \quad (14)$$

将 (14) 代入 (13) 式, 并进行规格化处理, 得到全球潮高 H 与地球重力位系数变化 $(\Delta \bar{C}_{nm}, \Delta \bar{S}_{nm})$ 之间的积分关系式:

$$\begin{bmatrix} \Delta \bar{C}_{nm} \\ \Delta \bar{S}_{nm} \end{bmatrix} = \frac{G\rho_w(1+k'_n)}{g_0(2n+1)} \int_0^{2\pi} \int_0^\pi H \bar{P}_{nm}(\sin \varphi) \begin{bmatrix} \cos m\lambda \\ \sin m\lambda \end{bmatrix} \cos \varphi d\varphi d\lambda \quad (15)$$

式中: $g_0 = \frac{GM}{a^2}$, 取海面平均重力。

给定海潮模型，即给定各分潮（角频率为 σ ）调和常数（振幅和迟角）的格网模型，则 t 时刻 (φ, λ) 处的瞬时潮高 $H(t, \varphi, \lambda)$ ：

$$H(t, \varphi, \lambda) = \sum_{\sigma} H_{\sigma}(\varphi, \lambda) \cos[\theta_{\sigma}(t, \varphi, \lambda) - g_{\sigma}] \quad (16)$$

式中： H_{σ} 为潮高分潮 σ 的振幅； $\theta_{\sigma}(\varphi, \lambda, t)$ 是 (φ, λ) 处分潮 σ 在 t 时刻的天文幅角； g_{σ} 为分潮 σ 的迟角。

实际计算时，用同相幅值 $H_{\sigma} \cos g_{\sigma}$ 和异相幅值 $H_{\sigma} \sin g_{\sigma}$ 的球谐函数替换分潮 σ 的振幅 H_{σ} 和迟角 g_{σ} ，代入（16）式，将瞬时潮高 $H_t(\varphi, \lambda)$ 展开：

$$H_t(\varphi, \lambda) = \sum_{\sigma} \sum_{n=1}^N \sum_{m=0}^n \bar{P}_{nm}(\cos \varphi) \sum_{\pm} H_{\sigma, nm}^{\pm}(\lambda, t) \quad (17)$$

$$H_{\sigma, nm}^{\pm}(t, \lambda) = \bar{C}_{\sigma, nm}^{\pm} \cos(g_{\sigma} + \varepsilon_{\sigma} \pm m\lambda) + \bar{S}_{\sigma, nm}^{\pm} \sin(g_{\sigma} + \varepsilon_{\sigma} \pm m\lambda) \quad (18)$$

式中： $(\bar{C}_{\sigma, nm}^{\pm}, \bar{S}_{\sigma, nm}^{\pm})$ 称为分潮 σ 的 n 阶 m 次正向前行 (prograde) 和逆向后退 (retrograde) 的规格化球谐系数，也称分潮 σ 的 n 阶 m 次调和幅值，可进一步用幅值 $\hat{C}_{\sigma, nm}^{\pm}$ 和相位偏差 $\varepsilon_{\sigma, nm}^{\pm}$ 将其表示为：

$$\bar{C}_{\sigma, nm}^{\pm} = \hat{C}_{\sigma, nm}^{\pm} \sin \varepsilon_{\sigma, nm}^{\pm}, \quad \bar{S}_{\sigma, nm}^{\pm} = \hat{C}_{\sigma, nm}^{\pm} \cos \varepsilon_{\sigma, nm}^{\pm} \quad (19)$$

式（18）中， ε_{σ} 称为分潮 σ 的相位偏差，它由分潮振幅 H_{σ} 的符号定义（Cartwright & Edden, 1973），如表 4。

表 4 分潮 σ 的相位偏差值

相位偏差 ε_{σ}		$H_{\sigma} > 0$	$H_{\sigma} < 0$
$m = 0$	长周期潮	π	0
$m = 1$	周日分潮	$\pi/2$	$-\pi/2$
$m = 2$	半日分潮	0	π

将（17）代入（15）式，顾及（18）和（19）式，则位系数变化可表示为：

$$\Delta \bar{C}_{nm} - i \Delta \bar{S}_{nm} = \sum_{\sigma} (C_{\sigma, nm}^{\pm} \mp i S_{\sigma, nm}^{\pm}) e^{\pm i \theta_{\sigma}} \quad (20)$$

比较（20）和（16）式得：

$$C_{\sigma, nm}^{\pm} = \frac{4\pi G \rho_w (1+k_n')}{g_0 (2n+1)} \hat{C}_{\sigma, nm}^{\pm} \sin(\varepsilon_{\sigma, nm}^{\pm} + \varepsilon_{\sigma}) \quad (21)$$

$$S_{\sigma, nm}^{\pm} = \frac{4\pi G \rho_w (1+k_n')}{g_0 (2n+1)} \hat{C}_{\sigma, nm}^{\pm} \cos(\varepsilon_{\sigma, nm}^{\pm} + \varepsilon_{\sigma}) \quad (22)$$

利用（21）（22）式，可将以分潮振幅和迟角表示的海潮格网模型转换为分潮总负荷位的调和幅值，进而按（20）式计算海潮总负荷位对应的位系数变化。

8.5 地面大地测量负荷格林函数积分算法

8.5.1 近地空间区域负荷直接影响积分公式

（1）地面及地球外部重力位直接影响积分公式

已知地面等效水高 h_w ，则地面及地球外部重力位的直接影响 V_w ，可由万有引力公式直接给出：

$$V_w = G\rho_w \int_S \frac{h_w}{L} dS, L = \sqrt{r^2 + r'^2 - 2rr'\cos\psi} \quad (1)$$

式中: L 为地面或地球外部计算点 (r, θ, λ) 与地面流动点 (r', θ', λ') 间的空间距离; dS 为地面流动积分面元; ψ 为计算点 (r, θ, λ) 与地面流动点 (r', θ', λ') 间的球面角距。

$$\begin{aligned} \cos\psi &= \cos\theta\cos\theta' + \sin\theta\sin\theta'\cos(\lambda' - \lambda), \\ \sin\psi &= \sin\theta\cos\theta' + \cos\theta\sin\theta'\cos(\lambda' - \lambda) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \sin\psi\cos\alpha &= \sin\theta\cos\theta' - \cos\theta\sin\theta'\cos(\lambda' - \lambda), \\ \sin\psi\sin\alpha &= \sin\theta'\sin(\lambda' - \lambda) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\frac{\partial\psi}{\partial\theta} = -\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} = \cos\alpha, \quad \frac{\partial\psi}{\partial\lambda} = -\sin\alpha\sin\theta \quad (4)$$

在地面, 当计算点与流动点重合时, 有:

$$L = r\psi, \quad r - r'\cos\psi = r\psi^2/2 \quad (5)$$

$$A = dS = r^2 \int_{\alpha=0}^{2\pi} \int_0^{\psi_0} \psi d\psi d\alpha = \pi r^2 \psi_0^2 \rightarrow \psi_0 = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (6)$$

式中: $A = dS$ 为流动积分面元的面积。

此时, 积分 (1) 在计算点处奇异:

$$V_0 = G\rho_w r^2 \int_{\alpha=0}^{2\pi} \int_0^{\psi_0} \frac{h_w}{r\psi} \psi d\psi d\alpha = 2\pi G\rho_w h_w r \psi_0 \quad (7)$$

(2) 地面及地球外部扰动重力直接影响积分公式

根据扰动重力定义式, 有:

$$\delta g = -\frac{\partial V_w}{\partial r} = -G\rho_w \int_S h_w \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{L} \right) dS = G\rho_w \int_S h_w \frac{r-r'\cos\psi}{L^3} dS \quad (8)$$

在地面上, 当计算点与流动点重合时, 积分 (8) 奇异:

$$\delta g_0 = 2\pi G\rho_w h_w \int_0^{\psi_0} \frac{\psi^2/2}{\psi^3} \psi d\psi = \pi G\rho_w h_w \psi_0 \quad (9)$$

(3) 地面及地球外部垂线偏差直接影响积分公式

$$\text{总垂线偏差 } \theta = \frac{1}{\gamma r} \frac{\partial V_w}{\partial \psi} = \frac{G\rho_w}{\gamma r} \int_S h_w \frac{\partial}{\partial \psi} \left(\frac{1}{L} \right) dS = -\frac{G\rho_w}{\gamma} \int_S h_w r' \frac{\sin\psi}{L^3} dS \quad (10)$$

$$\xi = \theta \frac{\partial\psi}{\partial\theta} = -\frac{G\rho_w}{\gamma} \int_S h_w r' \frac{\sin\psi}{L^3} \cos\alpha dS,$$

$$\eta = -\theta \frac{\partial\psi}{\partial\lambda} = -\frac{G\rho_w}{\gamma} \sin\theta \int_S h_w r' \frac{\sin\psi}{L^3} \sin\alpha dS \quad (11)$$

(4) 地面及地球外部扰动重力梯度直接影响积分公式

根据扰动重力梯度定义式, 有:

$$T_{nn} = -T_{rr} = -\frac{\partial^2 V_w}{\partial r^2} = G\rho_w \int_S h_w \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{r-r'\cos\psi}{L^3} \right) dS = G\rho_w \int_S h_w \left[\frac{1}{L^3} - \frac{3(r-r'\cos\psi)^2}{L^5} \right] dS \quad (12)$$

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{r-r'\cos\psi}{L^3} \right) = \frac{1}{L^3} - \frac{3(r-r'\cos\psi)}{L^4} \frac{\partial}{\partial r} L = \frac{1}{L^3} - \frac{3(r-r'\cos\psi)^2}{L^5}, \quad \frac{\partial}{\partial r} L = \frac{r-r'\cos\psi}{L}$$

在地面上, 当计算点与流动点重合时, 积分 (12) 奇异:

$$T_{nn}^0 = 2\pi G\rho_w h_w r^2 \int_0^{\psi_0} \left(\frac{1}{r^3\psi^3} - \frac{3\psi^4}{4r^3\psi^5} \right) \psi d\psi = \frac{2\pi G\rho_w h_w}{r} \int_0^{\psi_0} \left(\frac{1}{\psi^2} - \frac{3}{4} \right) d\psi \approx -\frac{\pi G\rho_w h_w}{r\psi_0^2} \quad (13)$$

(5) 地面及地球外部水平重力梯度直接影响积分公式

$$\begin{aligned} \text{总水平梯度 } \Gamma &= \frac{\partial^2 V_w}{r^2 \partial \psi^2} = -\frac{G\rho_w}{r} \int_S h_w r' \frac{\partial}{\partial \psi} \left(\frac{\sin \psi}{L^3} \right) dS \\ &= -\frac{G\rho_w}{r} \int_S h_w r' \left(\frac{\cos \psi}{L^3} - \frac{3rr' \sin^2 \psi}{L^5} \right) dS \end{aligned} \quad (14)$$

$$T_{\varphi\varphi} = -\Gamma \frac{\partial^2 \psi}{\partial \theta^2} = \frac{G\rho_w}{r} \int_S h_w r' \left(\frac{\cos \psi}{L^3} - \frac{3rr' \sin^2 \psi}{L^5} \right) \text{ctg} \psi (1 - \cos \alpha) dS \quad (15)$$

$$\begin{aligned} T_{\lambda\lambda} &= \Gamma \frac{\partial^2 \psi}{\partial \lambda^2} = \frac{G\rho_w}{r} \int_S h_w r' \left(\frac{\cos \psi}{L^3} - \frac{3rr' \sin^2 \psi}{L^5} \right) \\ &\quad \left[\text{ctg} \psi - \text{ctg} \psi (\sin \theta \sin \alpha)^2 - \frac{\cos \theta \cos \theta'}{\sin \psi} \right] dS \end{aligned} \quad (16)$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial \theta^2} = \frac{\partial}{\partial \theta} \cos \alpha = \frac{\partial}{\partial \theta} \frac{\sin \theta \cos \theta' - \cos \theta \sin \theta' \cos(\lambda' - \lambda)}{\sin \psi} = \text{ctg} \psi (1 - \cos^2 \alpha) \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \psi}{\partial \lambda^2} &= -\sin \theta \frac{\partial}{\partial \lambda} \sin \alpha = -\sin \theta \sin \theta' \frac{\partial}{\partial \lambda} \frac{\sin(\lambda' - \lambda)}{\sin \psi} = \sin \theta \sin \theta' \left[\frac{\cos(\lambda' - \lambda)}{\sin \psi} - \frac{\sin(\lambda' - \lambda) \cos \psi}{\sin^2 \psi} \sin \alpha \sin \theta \right] \\ &= \frac{\cos \psi - \cos \theta \cos \theta'}{\sin \psi} - \frac{\cos \psi}{\sin \psi} (\sin \theta \sin \alpha)^2 = (1 - \sin^2 \theta \sin^2 \alpha) \text{ctg} \psi - \frac{\cos \theta \cos \theta'}{\sin \psi} \end{aligned} \quad (18)$$

8.5.2 负荷间接影响格林函数及积分公式

地表单位点质量负荷 $q_w = \rho_w h_w$ (kg/m^2) 对大地测量参数的影响, 可用负荷格林函数表示。令 $t = \cos \psi$, 则地面大地测量参数的负荷间接影响格林函数算法公式分别为:

(1) 地面重力位间接影响格林函数 G_i^V 或高程异常间接影响格林函数 G_i^ζ :

$$G_i^V(\psi) = \gamma G_i^\zeta(\psi) = \frac{a\gamma}{M} \frac{k'_\infty}{2\sin \frac{\psi}{2}} + \frac{a\gamma}{M} \sum_{n=0}^{\infty} (k'_n - k'_\infty) P_n(t) \quad (19)$$

(2) 地面重力间接影响格林函数 G_i^g :

$$G_i^g(\psi) = -\frac{\gamma}{M} \frac{k'_\infty - 2h'_\infty}{2\sin \frac{\psi}{2}} - \frac{\gamma}{M} \sum_{n=0}^{\infty} [(n+1)k'_n - k'_\infty - 2(h'_n - h'_\infty)] P_n(t) \quad (20)$$

(3) 扰动重力间接影响格林函数 $G_i^{\delta g}$:

$$G_i^{\delta g}(\psi) = -\frac{\gamma}{M} \frac{k'_\infty}{2\sin \frac{\psi}{2}} - \frac{\gamma}{M} \sum_{n=0}^{\infty} [(n+1)k'_n - k'_\infty] P_n(t) \quad (21)$$

(4) 地倾斜间接影响格林函数 G_i^t :

$$G_i^t(\psi) = -\frac{1}{M} \frac{h'_\infty \cos \frac{\psi}{2}}{4\sin^2 \frac{\psi}{2}} + \frac{1}{M} \frac{k'_\infty \cos \frac{\psi}{2} (1 + 2\sin \frac{\psi}{2})}{2\sin \frac{\psi}{2} (1 + \sin \frac{\psi}{2})} - \frac{1}{M} \sum_{n=1}^{\infty} \left(k'_n - \frac{k'_\infty}{n} - h'_n + h'_\infty \right) \frac{\partial P_n(t)}{\partial \psi} \quad (22)$$

(5) 垂线偏差间接影响格林函数 G_i^θ :

$$G_i^\theta(\psi) = \frac{1}{M} \frac{k'_\infty \cos \frac{\psi}{2} (1 + 2\sin \frac{\psi}{2})}{2\sin \frac{\psi}{2} (1 + \sin \frac{\psi}{2})} - \frac{1}{M} \sum_{n=1}^{\infty} \left(k'_n - \frac{k'_\infty}{n} \right) \frac{\partial P_n(t)}{\partial \psi} \quad (23)$$

(6) 水平负荷格林函数 G^l :

$$G^l(\psi) = -\frac{a}{M} \frac{l'_\infty \cos \frac{\psi}{2} (1 + 2\sin \frac{\psi}{2})}{2\sin \frac{\psi}{2} (1 + \sin \frac{\psi}{2})} + \frac{a}{M} \sum_{n=1}^{\infty} \left(l'_n - \frac{l'_\infty}{n} \right) \frac{\partial P_n(t)}{\partial \psi} \quad (24)$$

(7) 径向负荷格林函数 G^r :

$$G^r(\psi) = \frac{a}{M} \frac{h'_\infty}{2\sin\frac{\psi}{2}} + \frac{a}{M} \sum_{n=0}^{\infty} (h'_n - h'_\infty) P_n(t) \quad (25)$$

(8) 扰动重力梯度负荷格林函数 G^{Tnn} :

$$G^{Tnn}(\psi) = -\frac{\gamma}{aM} \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)(n+2) k'_n P_n(t) \quad (26)$$

(9) 水平重力梯度间接影响格林函数 G^{Tss} :

$$G_i^{Tss}(\psi) = \frac{\gamma}{aM} \sum_{n=0}^{\infty} k'_n \frac{\partial^2 P_n(t)}{\partial \psi^2} \quad (27)$$

令 $G_i(l) = 2a\sin\frac{\psi}{2} G_i(\psi) = lG_i(\psi)$, 将负荷勒夫数代入式 (19) ~ (27), 求得地表单位点质量负荷 $q_w = 1$ (kg/m²) 作用下, 各种地面大地测量参数负荷间接影响格林函数值, 如表 5 (ETideLoad4.0 程序计算结果)。

表 5 负荷间接影响格林函数取值

$l(\text{km})$	$G_i^{\zeta} \times 10^{-13}$	$G_i^g \times 10^{-17}$	$G_i^{\delta g} \times 10^{-18}$	$G_i^t \times 10^{-14}$	$G_i^{\theta} \times 10^{-19}$	$G_i^l \times 10^{-12}$	$G_i^r \times 10^{-11}$	$G_i^{nn} \times 10^{-15}$	$G_i^{ss} \times 10^{-15}$
0.1	-0.0249	-11.3315	15.8795	42.2955	-2.1192	-0.8369	-42.1264	40.7525	20.0337
0.2	-0.0439	-9.8972	29.6981	21.1510	-8.0632	-3.1842	-41.9553	73.6102	34.1831
0.3	-0.0625	-8.8334	39.7946	14.1058	-16.6878	-6.5901	-41.7788	92.3770	37.9744
0.4	-0.0804	-8.2348	45.2182	10.5853	-26.3601	-10.4097	-41.5956	93.8712	29.4189
0.5	-0.0975	-8.1095	45.8894	8.4739	-35.3064	-13.9425	-41.4057	78.5612	9.4993
0.6	-0.1139	-8.3807	42.5773	7.0657	-41.9834	-16.5790	-41.2101	50.3867	-18.0490
0.7	-0.1294	-8.9073	36.7009	6.0583	-45.3905	-17.9241	-41.0109	15.8142	-47.6055
0.8	-0.1444	-9.5157	30.0034	5.3006	-45.2558	-17.8704	-40.8109	-17.6468	-72.9744
1.0	-0.1727	-10.3454	20.4992	4.2343	-36.8762	-14.5596	-40.4173	-55.8494	-91.9157
1.2	-0.1998	-10.1321	21.4749	3.5210	-26.2416	-10.3574	-40.0402	-39.6641	-61.0517
1.4	-0.2261	-9.1669	30.0077	3.0153	-22.8895	-9.0304	-39.6752	8.4433	-7.5471
1.6	-0.2518	-8.3519	37.0350	2.6419	-28.6871	-11.3158	-39.3091	42.4515	24.9158
2.0	-0.3003	-8.9633	28.5858	2.1198	-40.5309	-15.9830	-38.5476	-4.3817	-24.2022
2.5	-0.3570	-9.1242	24.1119	1.6843	-25.9871	-10.2232	-37.6133	-17.0612	-27.2278
3.0	-0.4112	-7.9718	32.8632	1.4080	-35.2424	-13.8576	-36.7093	28.7167	17.2271
3.5	-0.4621	-8.9437	20.3140	1.2022	-32.5321	-12.7629	-35.7866	-31.1746	-40.2655
4.0	-0.5112	-7.7218	29.8481	1.0465	-28.2814	-11.0562	-34.9109	22.8507	15.9355
5.0	-0.6036	-7.8959	22.7679	0.8291	-26.3578	-10.2305	-33.1702	-5.9459	-11.1019
6.0	-0.6903	-7.8527	18.1028	0.6858	-29.9324	-11.5649	-31.5082	-23.6048	-28.4842

7.0	-0.7725	-7.2943	18.8748	0.5827	-33.7803	-12.9988	-29.9389	-13.5281	-18.2480
8.0	-0.8510	-6.5206	22.0921	0.5013	-33.1161	-12.6452	-28.4652	9.3638	5.3150
10.0	-0.9991	-6.0125	18.9937	0.3784	-24.7530	-9.1540	-25.7982	5.3162	2.8950
12.0	-1.1387	-5.9045	13.1167	0.2999	-27.9718	-10.2454	-23.5296	-16.1892	-18.4692
14.0	-1.2726	-4.9048	17.3988	0.2398	-26.5722	-9.5373	-21.6664	13.0654	11.2087
16.0	-1.4019	-4.8896	12.8941	0.1911	-21.0009	-7.2164	-20.1480	-4.3047	-5.5888
20.0	-1.6520	-4.0437	14.8205	0.1306	-20.9145	-7.0582	-18.0179	12.2601	11.2369
25.0	-1.9534	-3.6904	13.7959	0.0872	-19.8016	-6.6584	-16.5317	10.0949	9.3198
30.0	-2.2455	-3.5544	12.9067	0.0638	-18.9897	-6.5141	-15.7982	5.5325	4.9129
35.0	-2.5296	-3.5250	12.0811	0.0505	-18.1729	-6.4230	-15.4331	0.0753	-0.4331
40.0	-2.8059	-3.5272	11.4345	0.0423	-17.1945	-6.2698	-15.2297	-4.7358	-5.1568
50.0	-3.3365	-3.4643	11.2395	0.0322	-14.9772	-5.7725	-14.9607	-8.1685	-8.4622
60.0	-3.8395	-3.2518	12.5464	0.0262	-13.6029	-5.4612	-14.6941	-2.7549	-2.9775
70.0	-4.3177	-3.0073	14.0654	0.0229	-13.9783	-5.7205	-14.3923	4.6469	4.4506
80.0	-4.7741	-2.8804	14.3310	0.0210	-15.3999	-6.3101	-14.0649	6.2127	6.0235
100.0	-5.6311	-2.9117	11.9306	0.0171	-15.7804	-6.3810	-13.3843	-4.6763	-4.8316
120.0	-6.4270	-2.6545	12.4755	0.0129	-14.0249	-5.5346	-12.7235	0.1761	0.0607
140.0	-7.1738	-2.4359	12.7461	0.0120	-15.5946	-5.9880	-12.0989	3.7448	3.6348
160.0	-7.8804	-2.4586	10.7233	0.0100	-14.9953	-5.5941	-11.5133	-4.4893	-4.5820
180.0	-8.5536	-2.2087	11.5710	0.0080	-13.8312	-4.9933	-10.9748	1.9062	1.8299
200.0	-9.1986	-2.0952	11.1758	0.0080	-15.1075	-5.3733	-10.4758	1.7439	1.6689
250.0	-10.7136	-1.8097	10.7082	0.0058	-14.0435	-4.7072	-9.3924	3.2869	3.2307
300.0	-12.1238	-1.5962	10.1419	0.0042	-12.9077	-4.0819	-8.5118	3.2916	3.2481
350.0	-13.4587	-1.4397	9.5227	0.0030	-11.9089	-3.5581	-7.7994	2.1184	2.0836
400.0	-14.7375	-1.3210	8.9521	0.0023	-11.1503	-3.1625	-7.2265	0.4258	0.3969
500.0	-17.1749	-1.1331	8.3207	0.0016	-10.3019	-2.7029	-6.4078	-2.1612	-2.1831
600.0	-19.4980	-0.9603	8.5053	0.0014	-9.8691	-2.4641	-5.9044	-2.3040	-2.3219
700.0	-21.7353	-0.8020	9.1773	0.0012	-9.4436	-2.2596	-5.6076	-1.0615	-1.0768
800.0	-23.8986	-0.6720	9.9646	0.0010	-9.0007	-2.0628	-5.4405	0.1041	0.0908

类似基于全球重力场位系数模型的局部重力场精化作业流程，区域负荷形变场精化，可采用基于全球负荷形变场球谐系数模型的移去恢复法。

8.6 勒让德函数及其一、二阶导数算法

8.6.1 勒让德函数及其对 ψ 、二阶导数

$$\text{令 } t = \cos \psi, \quad u = \sin \psi \quad (1)$$

$$P_n(t) = \frac{2n-1}{n} t P_{n-1}(t) - \frac{n-1}{n} P_{n-2}(t) \quad (2)$$

$$P_1 = t, \quad P_2 = \frac{1}{2}(3t^2 - 1) \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial \psi} P_n(t) = \frac{2n-1}{n} t \frac{\partial}{\partial \psi} P_{n-1}(t) - \frac{2n-1}{n} u P_{n-1}(t) - \frac{n-1}{n} \frac{\partial}{\partial \psi} P_{n-2}(t) \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial \psi} P_1(t) = -u, \quad \frac{\partial}{\partial \psi} P_2(t) = -3ut \quad (5)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial \psi^2} P_n(t) = \frac{2n-1}{n} \left(t \frac{\partial^2}{\partial \psi^2} P_{n-1} - 2u \frac{\partial}{\partial \psi} P_{n-1} - t P_{n-1} \right) - \frac{n-1}{n} \frac{\partial^2}{\partial \psi^2} P_{n-2} \quad (6)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial \psi^2} P_1(t) = -t, \quad \frac{\partial^2}{\partial \psi^2} P_2(t) = 3(1 - 2t^2) \quad (7)$$

8.6.2 规格化缔合勒让德函数及对 θ 导数

(1) $\bar{P}_{nm}(t)$ 标准前向列递推算法 ($n < 1900$)

$$\begin{cases} \bar{P}_{nm}(t) = a_{nm} t \bar{P}_{n-1,m}(t) - b_{nm} \bar{P}_{n-2,m}(t) & \forall n > 1, m < n \\ \bar{P}_{nn}(t) = \sqrt{\frac{2n+1}{2n}} \bar{P}_{n-1,n-1} \end{cases} \quad (8)$$

$$a_{nm} = \sqrt{\frac{(2n-1)(2n+1)}{(n+m)(n-m)}}, \quad b_{nm} = \sqrt{\frac{(2n+1)(n+m+1)(n-m-1)}{(2n-3)(n+m)(n-m)}} \quad (9)$$

$$\bar{P}_{00}(t) = 1, \quad \bar{P}_{10}(t) = \sqrt{3}t, \quad \bar{P}_{11}(t) = \sqrt{3}u$$

(2) $\bar{P}_{nm}(t)$ 改进 Belikov 递推算法 ($n < 64800$)

当 $n = 0, 1$ 时，采用 (9) 式；当 $n \geq 2$ 时：

$$\bar{P}_{n0}(t) = a_n t \bar{P}_{n-1,0}(t) - b_n \frac{u}{2} \bar{P}_{n-1,1}(t), \quad m = 0 \quad (10)$$

$$\bar{P}_{nm}(t) = c_{nm} t \bar{P}_{n-1,m}(t) - d_{nm} u \bar{P}_{n-1,m+1}(t) + e_{nm} u \bar{P}_{n-1,m-1}(t), \quad m > 0 \quad (11)$$

$$a_n = \sqrt{\frac{2n+1}{2n-1}}, \quad b_n = \sqrt{\frac{2(n-1)(2n+1)}{n(2n-1)}} \quad (12)$$

$$c_{nm} = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{(n+m)(n-m)(2n+1)}{2n-1}}, \quad d_{nm} = \frac{1}{2n} \sqrt{\frac{(n-m)(n-m-1)(2n+1)}{2n-1}} \quad (13)$$

当 $m > 0$ 时，有：

$$e_{nm} = \frac{1}{2n} \sqrt{\frac{2}{2-\delta_0^{m-1}}} \sqrt{\frac{(n+m)(n+m-1)(2n+1)}{2n-1}} \quad (14)$$

ETideLoad 主要采用改进的 Belikov 递推算法计算规格化缔合勒让德函数。

(3) $\bar{P}_{nm}(t)$ 函数跨阶次递推算法($n < 20000$)

当 $n = 0, 1$ 时, 采用 (9) 式; 当 $n \geq 2$ 时:

$$\bar{P}_{nm}(t) = \alpha_{nm}\bar{P}_{n-2,m}(t) + \beta_{nm}\bar{P}_{n-2,m-2}(t) - \gamma_{nm}\bar{P}_{n,m-2}(t) \quad (15)$$

$$\alpha_{nm} = \sqrt{\frac{(2n+1)(n-m)(n-m-1)}{(2n-3)(n+m)(n+m-1)}}$$

$$\beta_{nm} = \sqrt{1 + \delta_0^{m-2}} \sqrt{\frac{(2n+1)(n+m-2)(n+m-3)}{(2n-3)(n+m)(n+m-1)}} \quad (16)$$

$$\gamma_{nm} = \sqrt{1 + \delta_0^{m-2}} \sqrt{\frac{(n-m+1)(n+m-3)}{(n+m)(n+m-1)}}$$

(4) $\frac{\partial}{\partial \theta} \bar{P}_{nm}(\cos \theta)$ 的非奇异递推算法

$$\frac{\partial}{\partial \theta} \bar{P}_{nm}(\cos \theta) = -\sin \theta \frac{\partial}{\partial t} \bar{P}_{nm}(t) \quad (17)$$

为 $\bar{P}_{nm}(\cos \theta)$ 对 θ 的一阶微分, \bar{P}'_{nm} 为 $\bar{P}_{nm}(t)$ 对 t 的一阶导数。

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial \theta} \bar{P}_{n0} = -\sqrt{\frac{n(n+1)}{2}} \bar{P}_{n1}, & \frac{\partial}{\partial \theta} \bar{P}_{n1} = \sqrt{\frac{n(n+1)}{2}} \bar{P}_{n0} - \frac{\sqrt{(n-1)(n+2)}}{2} \bar{P}_{n2} \\ \frac{\partial}{\partial \theta} \bar{P}_{nm} = \frac{\sqrt{(n+m)(n-m+1)}}{2} \bar{P}_{n,m-1} - \frac{\sqrt{(n-m)(n+m+1)}}{2} \bar{P}_{n,m+1}, & m > 2 \end{cases} \quad (18)$$

$$\frac{\partial}{\partial \theta} \bar{P}_{00}(t) = 0, \quad \frac{\partial}{\partial \theta} \bar{P}_{10}(t) = -\sqrt{3}u, \quad \frac{\partial}{\partial \theta} \bar{P}_{11}(t) = \sqrt{3}t \quad (19)$$

(5) $\frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \bar{P}_{nm}$ 的非奇异递推算法

$$\begin{cases} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \bar{P}_{n0} = -\frac{n(n+1)}{2} \bar{P}_{n0} + \sqrt{\frac{n(n-1)(n+1)(n+2)}{8}} \bar{P}_{n2} \\ \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \bar{P}_{n1} = -\frac{2n(n+1)+(n-1)(n+2)}{4} \bar{P}_{n1} + \frac{\sqrt{(n-2)(n-1)(n+2)(n+3)}}{4} \bar{P}_{n3} \end{cases} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \bar{P}_{nm} &= \frac{\sqrt{(n-m+1)(n-m+2)(n+m-1)(n+m)}}{4} \bar{P}_{n,m-2} - \frac{(n+m)(n-m+1)+(n-m)(n+m+1)}{4} \bar{P}_{nm} \\ &\quad - \frac{(n+m)(n-m+1)+(n-m)(n+m+1)}{4} \bar{P}_{nm} \\ &\quad + \frac{\sqrt{(n-m-1)(n-m)(n+m+1)(n+m+2)}}{4} \bar{P}_{n,m+2}, \quad m > 2 \end{aligned} \quad (21)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \bar{P}_{00}(t) = 0, \quad \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \bar{P}_{10}(t) = -\sqrt{3}t, \quad \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \bar{P}_{11}(t) = -\sqrt{3}u \quad (22)$$

ETideLoad4.0 科学计算程序功能索引

第一章 ETideLoad4.0 架构、特色与理念..... 1

1.1 ETideLoad4.0 系统架构..... 1

1.1.1 ETideLoad4.0 总体结构..... 1

1.1.2 大地测量全要素各类地球潮汐影响计算 2

1.1.3 地面大地测量非潮汐时间序列处理分析 3

1.1.4 高分负荷形变场及时变重力场逼近计算 3

1.1.5 CORS/InSAR 协同监测与地面稳定性估计 4

1.1.6 大地测量数据文件编辑、计算与可视化 4

1.2 ETideLoad4.0 大地测量监测量约定..... 5

1.2.1 监测量类型及单位约定..... 5

1.2.2 监测量向量方向约定 5

1.2.3 时间（日期）格式约定..... 5

1.3 ETideLoad4.0 科学目标与技术特色..... 6

1.3.1 ETideLoad4.0 科学目标..... 6

1.3.2 ETideLoad4.0 技术特色..... 6

1.4 ETideLoad4.0 重要概念与特色理念..... 6

1.4.1 多种监测技术协同与多源数据深度融合原则 6

1.4.2 固体地球潮汐形变及其大地测量潮汐效应..... 7

1.4.3 固体地球非潮汐形变形式及大地测量影响..... 7

1.4.4 地面垂直形变形式及时空动力学定量特征..... 8

1.4.5 负荷形变场及时变重力场的表示与逼近方法 8

1.4.6 CORS 网时序 InSAR 垂直形变协同监测原理 9

1.4.7 区域地面稳定性变化无缝连续定量监测方案 9

1.4.8 大地测量算法之间的解析相容性问题..... 9

1.5 ETideLoad4.0 协议、学习与使用 9

1.5.1 ETideLoad4.0 地球物理模型与数值标准 9

1.5.2 大地测量时间序列数据格式约定 10

1.5.3 课堂教学、自学练习与技术培训 11

1.5.4 ETideLoad4.0 适用范围与使用说明..... 11

第二章 大地测量全要素各类地球潮汐影响计算..... 12

2.1 地面及固体地球外部精密固体潮影响计算..... 12

2.1.1 地面站点固体潮影响时间序列计算..... 13

2.1.2 给定时间位置地面固体潮影响计算..... 14

2.1.3 固体地球外部及卫星固体潮摄动计算	15
2.2 地面及固体地球外部海潮负荷球谐综合	16
2.2.1 地面站点海潮负荷影响时间序列计算	16
2.2.2 给定时间位置地面海潮负荷影响计算	17
2.2.3 固体地球外部及卫星海潮摄动计算	18
2.3 地面及固体地球外部大气潮负荷球谐综合	19
2.3.1 地面站点大气压潮负荷影响时间序列计算	19
2.3.2 给定时间位置地面大气压潮负荷影响计算	20
2.3.3 固体地球外部及卫星大气压潮摄动计算	20
2.4 地面及地球外部极移与海洋极潮影响计算	22
2.4.1 地面站点极移/海洋极潮影响时间序列计算	22
2.4.2 给定时间位置地面极移/海洋极潮影响计算	23
2.4.3 固体地球外部及卫星极移/海洋极潮摄动计算	23
2.5 永久潮汐影响计算与地球质心运动校正	24
2.5.1 大地测量永久潮汐影响计算	24
2.5.2 地面站点坐标地心运动影响	25
2.5.3 地面站点海潮负荷地心变化计算	25
2.5.4 地面站点大气潮负荷地心变化计算	25
2.6 大地测量控制网固体潮负荷潮影响计算	25
2.7 近地空间负荷潮影响格林积分法区域精化	27
2.7.1 区域海潮负荷影响残差量格林积分计算	27
2.7.2 区域大气压潮负荷影响残差量格林积分	30
2.8 地面大地测量全要素潮汐影响全球预报	30
第三章 地面大地测量非潮汐时间序列处理分析	33
3.1 地面监测量不规则时序粗差分离与处理	33
3.1.1 时间序列粗差探测与剔除	33
3.1.2 系统时间与 MJD 相互转换	35
3.1.3 时间序列监测基准时间统一	35
3.1.4 时序按指定时间长度平均	36
3.2 监测量不规则时序低通滤波与信号重构	37
3.2.1 不规则采样时序低频参数与线性项估计	37
3.2.2 按给定时序采样时刻重构低频时序	38
3.2.3 按给定的采样规则重构低频时序	39
3.3 不规则采样时序加权差分积分插值运算	39

3.3.1 两列时序加权运算.....	39
3.3.2 不规则采样时序差分运算.....	40
3.3.3 不规则采样时序积分运算.....	41
3.3.4 不规则时序内插给定时序.....	41
3.4 大地测量监测网批量时间序列规格化.....	42
3.4.1 地面站点时序规格化批量提取.....	42
3.4.2 CORS 网基线解时序规格化批量提取.....	43
3.5 大地测量监测站网批量时序分析处理.....	44
3.5.1 系列时序粗差线性项分离与低频重构.....	44
3.5.2 系列时序平均与记录格式时序生成.....	45
3.6 地面大地监测网记录时序构造与分析.....	46
3.6.1 由系列同规格时序生成记录时序.....	46
3.6.2 记录时序缺失采样短期内插修复.....	47
3.6.3 记录时序时空统计与均值分离.....	47
3.6.4 记录时间序列文件属性移去或添加.....	48
3.6.5 记录时间序列线性项移去恢复运算.....	48
3.7 监测量（向量）格网时间序列处理分析.....	48
3.7.1 格网时间序列参考历元变换.....	48
3.7.2 格网时间序列低通滤波.....	49
3.7.3 格网时序统计分析运算.....	49
3.7.4 向量格网时序坐标形式变换.....	50
3.7.5 （向量）格网时序线性项移去恢复.....	50
3.8 格网时序多种形式时空插值推估运算.....	50
3.8.1 格网时序内插不规则时序.....	51
3.8.2 格网时序内插给定记录时序.....	51
3.8.3 指定时间位置格网时序插值.....	52
3.8.4 按采样规格插值生成记录时序.....	52
3.8.5 格网时序给定时空分辨率推估.....	52
第四章 高分负荷形变场及时变重力场逼近计算.....	54
4.1 全球地表环境负荷格网时间序列球谐分析.....	54
4.1.1 系列全球地表数据球坐标格网化.....	54
4.1.2 全球地面/海面大气压球谐分析.....	55
4.1.3 全球大陆水等效水高球谐分析.....	56
4.1.4 全球海平面变化球谐分析.....	57

4.2 分潮球谐分析与负荷潮球谐系数模型构建	58
4.2.1 分潮调和常数球坐标格网化	58
4.2.2 系列大气压分潮球谐分析	59
4.2.3 系列海洋潮高分潮球谐分析	60
4.3 球谐综合法模型等效水高与调和常数计算	61
4.3.1 地表环境负荷等效水高模型值计算	62
4.3.2 全部分潮调和常数模型值计算	62
4.3.3 负荷等效水高模型值记录时序计算	63
4.4 球谐综合法负荷形变场及时变重力场计算	64
4.4.1 地表环境负荷形变场模型值计算	64
4.4.2 固体地球外部及卫星非潮汐负荷摄动计算	65
4.4.3 地面负荷形变场时间序列批量计算	66
4.5 负荷形变及时变重力场格林积分区域逼近	69
4.5.1 区域残差地表负荷形变场格林积分精化	69
4.5.2 江河湖库水全要素大地测量负荷影响计算	70
4.5.3 残差负荷形变场时间序列批量计算	71
4.6 多源大地测量监测网陆地水时空变化估计	74
4.6.1 多源大地测量监测量陆地水变化迭代计算	74
4.6.2 监测量记录时序陆地水变化时序批量计算	75
4.7 CORS/InSAR 融合的高分陆地水变化估计	76
4.7.1 InSAR 监测量区域陆地水变化迭代计算	76
4.7.2 InSAR 监测量时序陆地水变化时序计算	77
4.8 地面形变场（向量）格网时序动力学运算	77
4.8.1 （向量）格网时序差分运算	78
4.8.2 批量格网的水平梯度计算	79
4.8.3 两组向量格网时序内积运算	79
第五章 CORS/InSAR 协同监测与地面稳定性估计	80
5.1 大地监测网记录时序多站拟稳约束平差	81
5.2 InSAR 监测量粗差探测与空间形变分析	82
5.2.1 InSAR 监测量记录时序粗差探测分离	82
5.2.2 InSAR 监测量空间相对形变分析处理	83
5.2.3 监测量记录时序生成高分格网时序	84
5.3 CORS 网控制 InSAR 时空协同监测处理	84
5.3.1 监测量记录时序参考历元统一	84

5.3.2 CORS 网 InSAR 垂直形变监测相容性分析	85
5.3.3 InSAR 监测量记录时序时空基准约束平差	87
5.4 多源异构 InSAR 的深度融合与时序分析	88
5.4.1 同轨时序 InSAR 监测量长时序拼接	88
5.4.2 多源异构 InSAR 监测量空间无缝融合	89
5.4.3 监测量记录时序分析与滤波	90
5.4.4 监测量记录时序规则重构与预报	90
5.5 垂直形变格网时序地面稳定性变化计算	91
5.5.1 单历元规格化地面稳定性变化格网估计	92
5.5.2 地面稳定性变化格网时间序列计算	93
5.6 重力变化格网时序地面稳定性变化计算	93
5.6.1 单历元规格化地面稳定性变化格网估计	94
5.6.2 地面稳定性变化格网时间序列计算	94
5.7 向量变化格网时序地面稳定性变化计算	95
5.7.1 单历元规格化地面稳定性变化格网估计	95
5.7.2 地面稳定性变化格网时间序列计算	96
5.8 稳定性变化时序的优化与时空特征整合	96
5.8.1 两组监测量格网时序规格化整合	96
5.8.2 三组地面稳定性变化时序优化整合	97
5.8.3 地面稳定性变化时空特征分析整合	97
第六章 大地测量数据文件编辑、计算与可视化	99
6.1 文本记录数据标准化提取	99
6.2 数据插值、提取与区域分离	100
6.2.1 插值法改变格网分辨率	100
6.2.2 格网内插离散点属性	101
6.2.3 按属性条件提取记录	101
6.2.4 (向量) 格网数据区域分离	102
6.3 数据文件的简单直接运算	103
6.3.1 点值属性加权运算	103
6.3.2 格网格值加权运算	104
6.3.3 向量格网矢量积运算	104
6.3.4 球谐系数加权运算	104
6.4 同规格时间序列文件编辑运算	104
6.4.1 两个同规格监测量记录时序加权运算	104

6.4.2 系列点值文件生成监测量记录时序.....	105
6.4.3 两组同规格格网时序文件加权运算.....	105
6.5 区域数据格网生成与构造	106
6.5.1 离散点值内插法格网化.....	106
6.5.2 离散点向量内插格网化.....	106
6.5.3 高分点直接平均格网化.....	107
6.5.4 标准化格网格值构造	107
6.5.5 按经纬度范围提取数据.....	107
6.6 向量格网文件构造与转换	108
6.6.1 两格网合并为向量格网.....	108
6.6.2 向量格网的两分量分解.....	108
6.6.3 向量格网形式相互转换.....	108
6.6.4 向量格网转换为离散点值	109
6.7 大地测量数据统计信息提取	109
6.8 粗差探测与加权基函数格网化.....	110
6.8.1 参考面支持的观测量粗差探测.....	110
6.8.2 指定参考属性观测量定权.....	111
6.8.3 基函数赋权插值格网化.....	112
6.8.4 批量点值基函数插值格网化	113
6.8.5 记录时序基函数插值格网化	113
6.9 大地测量数据可视化绘图工具.....	114
6.9.1 地面监测量多属性时序可视化.....	114
6.9.2 监测量记录时间序列可视化	115
6.9.3 三维离散点值数据可视化.....	116
6.9.4 格网及其时间序列可视化.....	117
6.9.5 监测量向量场格网可视化.....	118
第七章 文件格式、地球物理模型与数值标准.....	119
7.1 ETideLoad4.0 大地测量数据文件	119
7.2 稳态大地测量数据文件约定格式	119
7.2.1 离散点大地测量数据记录文件.....	119
7.2.2 大地控制网观测量记录文件	119
7.2.3 大地测量数值格网文件.....	120
7.2.4 大地测量向量格网文件.....	121
7.2.5 球谐系数文件约定格式.....	121

7.3 大地测量时间序列文件约定格式	121
7.3.1 地面大地监测量时间序列文件	121
7.3.2 监测网站点记录时间序列文件	122
7.3.3 监测网观测量记录时间序列文件	122
7.3.4 数值（向量）格网时间序列文件	123
7.3.5 球谐系数模型时间序列文件	124
7.4 主要地球物理模型与数值标准	124
7.4.1 大气压潮球谐系数模型文件	124
7.4.2 海潮负荷球谐系数模型文件	124
7.4.3 地球负荷勒夫数文件	125
7.4.4 IERS 地球定向参数 EOP 文件	126
7.4.5 地心运动时间序列文件	126
7.4.6 海洋潮高调和常数格网模型	127
7.4.7 行星星历 JEPH405 文件	127
7.4.8 勒夫数频率相关系数文件	127
7.4.9 Desai 海洋极潮系数文件	127
7.4.10 海潮负荷质心校正系数文件	128
第八章 ETideLoad4.0 主要算法及公式	129
8.1 地面及地球外部大地测量固体潮影响	129
8.1.1 天体引潮位的直接影响	129
8.1.2 频率无关的固体潮影响	129
8.1.3 频率相关的位系数变化	130
8.1.4 地面测站位移潮汐影响	131
8.2 地面及地球外部大地测量极移影响	131
8.2.1 地球外部重力位的极移影响	131
8.2.2 各种大地测量参数的极移影响	132
8.3 全球负荷形变场球谐综合算法公式	133
8.4 全球负荷潮规格化球谐系数模型算法	137
8.4.1 全球负荷潮规格化球谐系数模型构建	137
8.4.2 地球重力场位系数海潮负荷影响算法	138
8.5 地面大地测量负荷格林函数积分算法	139
8.5.1 近地空间区域负荷直接影响积分公式	139
8.5.2 负荷间接影响格林函数及积分公式	141
8.6 勒让德函数及其一、二阶导数算法	144

8.6.1 勒让德函数及其对 ψ 一、二阶导数.....	144
8.6.2 规格化缔合勒让德函数及对 θ 导数	144
ETideLoad4.0 科学计算程序功能索引	146
样例目录名与可执行程序名对照列表	153

样例目录名与可执行程序名对照列表

序号	程序中文名称	可执行程序名/样例目录名
1	地面及固体地球外部精密固体潮影响计算	Tideeffectsolidearth
2	地面及固体地球外部海潮负荷球谐综合	OTideloadharmsynth
3	地面及固体地球外部大气潮负荷球谐综合	ATideloadharmsynth
4	地面及地球外部极移与海洋极潮影响计算	Poleshifteffectscal
5	永久潮汐影响计算与地球质心运动校正	Permanentdgeo
6	大地测量控制网固体潮负荷潮影响计算	Controlnetworktide
7	近地空间负荷潮影响格林积分法区域精化	Tdloadgreenintegral
8	地面大地测量全要素潮汐影响全球预报	SolidLoadtidecalct
9	地面监测量不规则时序粗差分离与处理	TmsrsErrorseppreproc
10	监测量不规则时序低通滤波与信号重构	Tmsrslowpfltrconstr
11	不规则采样时序加权差分积分插值运算	TmsrsAddifferinterp
12	大地测量监测站网批量时间序列规格化	Tmsrsbatchnormalize
13	大地测量监测网批量时间序列分析处理	Tmsrsnetwkanalyspro
14	地面大地监测网记录时序构造与分析	Tmrecordanalysproc
15	监测量（向量）格网时间序列处理分析	Tmgridanalysisproc
16	格网时序多种形式时空插值推估运算	Tmgrdinterpolation
17	全球地表环境负荷格网时间序列球谐分析	Loadspharmonanalys
18	分潮球谐分析与负荷潮球谐系数模型构建	Loadtidespharmsynth
19	球谐综合法模型等效水高与调和常数计算	Loadspharmsynthesis
20	球谐综合法负荷形变场及时变重力场计算	Loadeformharmsynth

21	负荷形变及时变重力场格林积分区域精化	Loadfmrntgreenintg
22	多源大地测量监测网陆地水时空变化估计	Loadewhgeodeticestm
23	CORS/InSAR 融合的高分陆地水变化估计	LoadewhtmInSARestm
24	地面形变场（向量）格网时序动力学运算	Loadfmgridtmdyncalc
25	大地监测网记录时序多站拟稳约束平差	Tmrecordnetwkadjust
26	InSAR 监测量粗差探测与空间形变分析	DynInSARsptmanalyse
27	CORS 网控制 InSAR 时空协同监测处理	DynCORScntrtmInSAR
28	多源异构 InSAR 的深度融合与时序分析	DynInSARfusiontmsqu
29	垂直形变格网时序地面稳定性变化计算	Dyngrndhgtstability
30	重力变化格网时序地面稳定性变化计算	Dyngnrgravstability
31	向量变化率时序地面稳定性变化计算	Dyndeflectstability
32	地面稳定性变化时序优化与时空特征整合	Dynstabgrdintgrestm
33	文本记录数据标准化提取	EdPntrecordstandard
34	数据插值、提取与陆海分离	Edatafsimpleprocess
35	数据文件的简单直接运算	EdFlgeodatacalculate
36	同规格时间序列文件编辑运算	Etimeseriesfilescal
37	区域数据格网生成与构造	Edareageodeticdata
38	向量格网文件构造与转换	EdVectorgridtransf
39	大地测量数据统计信息提取	Tlstatisticalanalysis
40	粗差探测与加权基函数格网化	AppGerrweighgridate
41	地面监测量多属性时序可视化	Veiwtimesqu
42	监测量记录时间序列可视化	Viewtmrecords
43	三维离散点值数据可视化	Viewpntdata
44	格网及其时间序列可视化	Viewgridata
45	监测量向量场格网可视化	Viewvectgrd