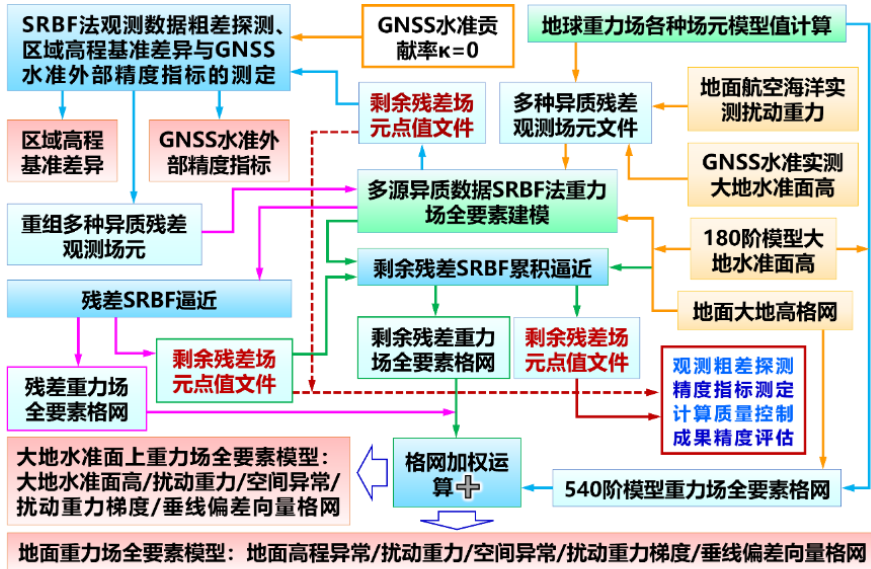


正高系统谱域 SRBF 法重力场全要素建模快捷流程

省略地形影响处理，由地面、海洋和航空测点扰动重力和正高系统中 GNSS 水准实测大地水准面高数据，按球面径向基函数逼近法，六步完成大地水准面和地面上的重力场全要素建模，以快速了解重力场观测数据分析、计算质量控制与重力场建模要领。

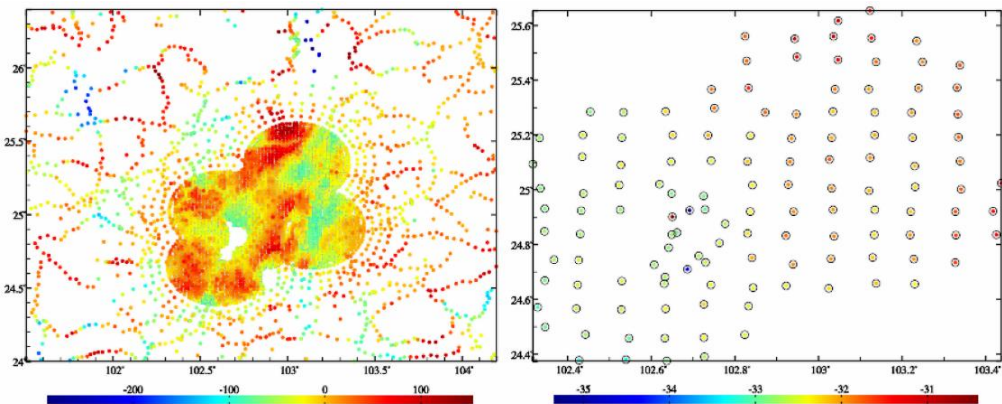
省略地形影响处理后，由于不需要额外的延拓归算、格网化和 GNSS 水准融合流程，径向基函数逼近法重力场建模流程变得非常简单，只需 6 步（含质量控制），如图。



正高系统谱域SRBF法重力场全要素建模快捷流程

⊙主要数据源：地面、船测和航空实测扰动重力 obsdistgrav.txt，GNSS 水准实测大地水准面高 obsGNSSgeoid.txt。点位分布如图。

实测扰动重力文件记录格式：点号/点名 经度（度小数） 纬度 大地高（m） 扰动重力（mGal）。



重力测点的实测扰动重力（mGal）与GNSS水准点的实测大地水准面高（m）

正高系统中 GNSS 水准实测大地水准面高文件记录：点号/名 经度 纬度 实测大地水准面高 (m)。

本例中的实测扰动重力、GNSS 水准实测大地水准面高采用 1800 阶 EGM2008 地球重力场模型值叠加噪声模拟。

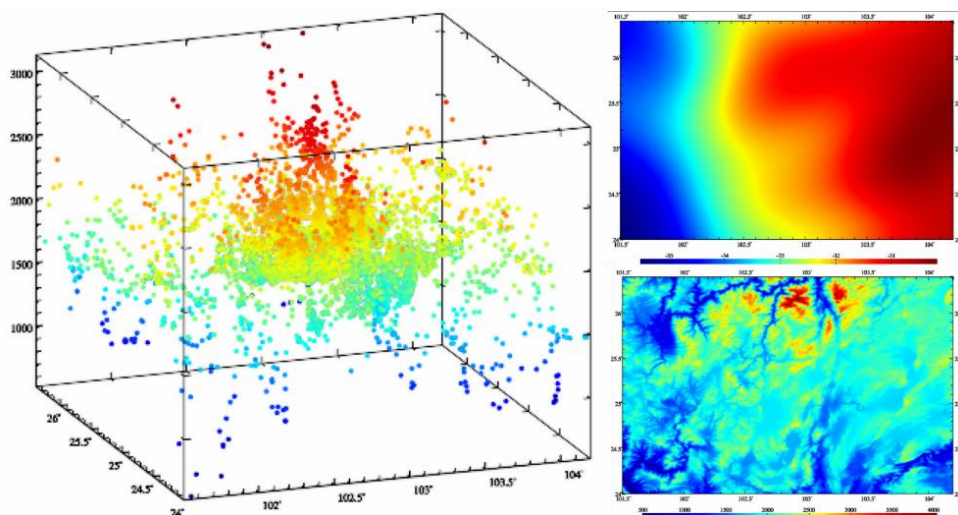
PAGrav4.5 统一处理地面、海洋和航空重力，无须区分，可分别配权。

需要注意的是，由于 GNSS 水准实测大地水准面高实质是测定了大地水准面上的高程异常，因此 GNSS 水准点的大地高必须是大地水准面大地高，可用实测大地水准面高或模型大地水准面高表示。

⊙计算面大地高格网

用于大地水准面上的重力场全要素建模时，计算面大地高格网应为大地水准面大地高格网，本例用模型大地水准面高格网表示 mdlgeoidh30s.dat。

用于地面重力场全要素建模时，计算面大地高格网应为地面大地高格网，本例用地面大地高格网 surfhgt30s.dat (= 陆海数字高程模型 DEM30s.dat + 模型大地水准面高 mdlgeoidh30s.dat) 表示。



重力测点空间分布、180阶模型大地水准面高m (右上) 和地面大地高m (右下)

模型大地水准面高、模型地面高程异常用 180 阶重力场模型计算 (略)。程序要求计算面大地高格网范围大于目标区域范围，以吸收边缘效应。

第一步：移去观测量参考模型值，构造多种异质残差观测场元。

调用[地球重力场各种场元模型值计算]，最大计算阶数 540，分别计算并移去测点扰动重力 obsdistgrav.txt 和 GNSS 水准实测大地水准面高 obsGNSSlgeoidh.txt 的参考重力场模型值，按约定格式要求合并，生成多种异质离散残差观测场元文件 obsresiduals0.txt。

多种异质离散观测场元文件记录采用约定格式：点号/站名，经度 (度小数)，纬度，

大地高 (m)，残差观测场元，场元类型 (0~5)，权值，...。记录前 5 项属性的位置和顺序约定不变。

残差观测场元类型和单位：0-残差扰动重力 (mGal)，1-残差大地水准面高 (m)。对于重力测点，大地高为测点大地高；对于 GNSS 水准实测残差大地水准面高，其大地高可直接用 GNSS 水准实测大地水准面高。注意，不能用 GNSS 水准点的大地高。

第一步：移去参考模型值，构造多种异质残差观测场元

多种异质离散残差观测场元文件

地面航空海洋实测残差扰动重力

GNSS 水准实测残差大地水准面高

GNSS水准大地水准面高的大地高是模型大地水准面高或实测大地水准面高 (第5列)，而不是GNSS水准点的大地高第4列

ID	lon (degree decimal)	lat ellipH (m)	ks1 (m)	res	kind	weight
1	102.4024	24.4927	1973.56	-32.7581		
2	102.5467	24.4551	1659.69	-32.9577		
3	102.6324	24.4582	1120.99	-32.5792		
4	102.7259	24.4605	2118.20	-32.3197		
5	102.4208	24.5663	1991.59	-32.6038		
6	102.5286	24.5627	1937.23	-32.5836		
7	102.6344	24.5656	2193.72	-32.3822		
8	102.7258	24.5819	2304.57	-32.2197		
9	102.8326	24.5795	1978.11	-32.5408		
10	102.3455	24.6689	1920.60	-32.9297		
4221	102.4424	24.4717		-32.6525	0	1
4222	102.5467	24.4580		-32.5340	0	1
4223	102.6324	24.4582		-32.4433	0	1
4224	102.7259	24.4605		-32.3324	0	1
4225	102.4208	24.5663		-32.5734	0	1
4226	102.5286	24.5627		-32.4239	0	1
4227	102.6344	24.5656		-32.3128	0	1
4228	102.7258	24.5819		-32.2069	0	1
4229	102.8326	24.5795		-32.0934	0	1
4230	102.3455	24.6689		-32.9297	0	1
4231	102.4239	24.6529		-32.4801	0	1
4232	102.5297	24.6670		-32.3057	0	1

GNSS水准大地水准面高m

残差扰动重力mGal

残差大地水准面高m

第二步：SRBF 法粗差探测与多种异质残差观测场元重构。

调用[多源异质数据 SRBF 重力场全要素建模]程序，输入多种异质离散残差观测场元文件 obsresiduals0.txt，输入模型大地水准面高格网 mdlgeoidh30s.dat，选择高程异常为可控观测场元，可控场元贡献率 $\kappa = 0$ ，估计大地水准面上残差重力场全要素格网 rntSRBFgeoidh30s0.xxx，输出剩余残差点值文件 rntSRBFgeoidh30s0.chs。

xxx=ksi 残差高程异常，=rga 残差扰动重力，=gra 残差空间异常，=grr 残差扰动梯度，=dft 残差垂线偏差，下同。

粗差探测：从程序输出的剩余残差场元点值文件 rntSRBFgeoidh30s0.chs 中，分离出测点剩余残差扰动重力记录 rntobsdistgrav0.txt 和 GNSS 水准剩余残差大地水准面高记录 rntobsGNSSlgeoidh0.txt，以剩余残差量 (第 5 列) 为统计属性，按 5 倍剩余残差标准差剔除巨大粗差的重力测点，按 3 倍剩余残差标准差剔除 GNSS 水准粗差点，重新生成多种异质离散残差观测场元文件 obsresiduals01.txt。

第二步：SRBF法粗差探测与多种异质残差观测场元重构

球面径向基函数重力场全要素建模算法

打开多种异质残差观测场元文件

头文件占住的行数: 1

场元观测量类型序号: 6

权重属性所在的列序号: 7

选择径向基函数: 径向多极子核函数

设置径向基函数参数

多极次数: 5

最小阶数: 360

最大阶数: 1800

Bjerrhemer球面埋藏深度: 10.0km

RBF中心作用距离: 100km

Reuter网格等级: 3600

选择可调控制观测场元: 高程异常(m)

设置调控制观测场元贡献率: 0.00

选择调方方程参数估计方法: LU三角分解法

值。*为输出文件名。

>> 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: 2023-03-31 09:46:04

>> 完成计算!

>> 计算结束时间: 2023-03-31 09:49:13

>> 程序在当前目录下输出计算面上的残差扰动重力*.rga、残差高程异常*.ksi、残差空间异常*.gra、残差扰动重力梯度*.grr和残差垂线偏差向量*.drt格网文件。

* 程序还在当前目录下输出球面径向基函数中心文件*center.txt。头文件格式: Reuter网格等级, RBF中心点数, 子午圈方向单元网格数, 平行圈方向单元网格数, 平行圈方向单元网格间距(°)。

>> 观测场元类型 0 原平均值 0.3186 标准差 42.1772 最小值 -296.0915 最大值 165.2611

>> 结果残差观测场元平均值 0.7368 标准差 16.9838 最小值 -103.2839 最大值 114.8811

>> 结果残差观测场元平均值 -0.3510 标准差 0.2774 最小值 -0.9982 最大值 0.3435

>> 结果残差观测场元平均值 -0.0410 标准差 0.0287 最小值 -0.1943 最大值 0.0132

打开计算面大地高程格网文件

计算结果保存为

参数设置结果输入

开始计算

ID	lon	lat	ellipsoid	g	grr	grrE	grrN	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN	grrO	grrP	grrQ	grrR	grrS	grrT	grrU	grrV	grrW	grrX	grrY	grrZ	grrA	grrB	grrC	grrD	grrE	grrF	grrG	grrH	grrI	grrJ	grrK	grrL	grrM	grrN
----	-----	-----	-----------	---	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

GNSS 水准外部精度指标测定结果：表中 0.0243m 是 GNSS 水准实测大地水准面高的外部精度指标，用标准差表示，即 2.43cm。这是 SRBF 逼近法 GNSS 水准外部精度指标测定方法，其结果表示 GNSS 水准外部精度不低于 2.43cm（标准差）。

第三步：区域高程基准差异与GNSS水准外部精度指标测定

值。*为输出文件名。
 >> 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：2023-03-31 10:08:27
 >> 完成计算！
 ** 结果残差观测场元平均值 -0.5621 标准差 13.7206 最小值 -80.4161 最大值 84.8276
 ** 程序在当前目录下输出计算面上的残差扰动重力*。rgn
 *.dft格网文件。
 ** 程序还在当前目录下输出球面径向基函数中心文件*ce
 最多单元格网数，纬度间隔（'）。记录格式：点号，经度（度小数），大地纬度，单元格网面积百分比，平行圆方向单元格网经度间隔（'）。
 >> 观测场元类型 0 原平均值 0.2695 标准差 42.0737 最小值 -296.0915 最大值 86.2611
 ** 结果残差观测场元平均值 -0.5621 标准差 13.7206 最小值 -80.4161 最大值 84.8276
 >> 观测场元类型 1 原平均值 -0.3482 标准差 0.3768 最小值 -0.9982 最大值 0.3435
 ** 结果残差观测场元平均值 -0.0070 标准差 0.0243 最小值 -0.1327 最大值 0.0561

0.2768m 测定的540阶参考模型大地水准面高精度指标（标准差）
 0.0243m SRBF法测定的GNSS实测大地水准面高外部精度指标（标准差）

ID	lon	lat	ellipsoid gravity	disturbance(mgal)	height anomaly(m)	gravity anomaly(mgal)	gravity gradient(E)	vertical deflection
1	101.50417	24.00417	-35.520	-28.0425	-0.4155	-27.9147	-15.9774	9.2237
2	101.51250	24.00417	-35.519	-36.6655	-0.4692	-36.5212	-31.9193	10.0940
3	101.52083	24.00417	-35.510	-43.9560	-0.5374	-43.7663	-41.6147	10.7963
4	101.52917	24.00417	-35.501	-52.5841	-0.6211	-52.2966	-50.0000	11.4986
5	101.53750	24.00417	-35.491	-62.3460	-0.7206	-62.0834	-60.2834	12.2009
6	101.54583	24.00417	-35.481	-73.3413	-0.8368	-73.3310	-73.3310	12.9032
7	101.55417	24.00417	-35.471	-85.4710	-0.9692	-85.4710	-85.4710	13.6055
8	101.56250	24.00417	-35.461	-98.7600	-1.1276	-98.7600	-98.7600	14.3078
9	101.57083	24.00417	-35.450	-113.1701	-1.3127	-113.1701	-113.1701	15.0101

$-0.3482 - (-0.0070) = -0.3412m$
 SRBF法测定的区域高程基准差异

仅用残差扰动重力数据作为检测数据源

多源异质观测点空间分布 | 球面径向基函数空域曲线 | 目标残差扰动重力mGal

目标残差高程异常m | 残差扰动梯度径向E | 残差垂线偏差南向

一般情况下，需继续以剩余残差观测场元文件*.chs为输入文件，累积1~2次SRBF逼近，求得剩余残差标准差的最小值，作为外部精度指标。本例省略这个过程。

移去区域高程基准差异-0.3411m后，重新生成多种异质离散残差观测场元文件obsresiduals1.txt。

第四步：残差重力场全要素模型 SRBF 逼近法计算。

调用[多源异质数据 SRBF 重力场全要素建模]程序，输入多种异质离散残差观测场元文件 obsresiduals1.txt，输入模型大地水准面高格网 mdlgeoidh30s.dat，选择高程异常为可控观测场元，贡献率 $\kappa = 1$ ，估计残差重力场全要素格网 rntSRBFgeoidh30s1.xxx，输出剩余残差点值文件 rntSRBFgeoidh30s1.chs。

质量控制：可继续利用 rntSRBFgeoidh30s1.chs 文件，按 5 倍剩余残差标准差探测扰动重力粗差，按 3 倍剩余残差标准差探测 GNSS 水准粗差，剔除粗差后，重新第四步，本例省略此过程。

第四步：残差重力场全要素模型SRBF逼近法计算

球面径向基函数重力场全要素建模算法

打开多种异质残差观测场元文件

头文件占住的行数: 1
场元观测类型序号: 6
权值属性所在列序号: 7

选择径向基函数: 径向多极子核函数

设置径向基函数参数
多极次数m: 3
最小阶数: 360
最大阶数: 1800

Bjerhammer球面埋藏深度D: 10.0km
RBF中心作用距离: 100km

Reuter格网等级K: 3600

选择可调控观测场元: 高程异常(m)
设置调控观测场元贡献率κ: 1.00
选择方法方程参数估计方法: LU三角分解法

值。*为输出文件名。
>> 参数设置结果已输入系统!
>> 计算开始时间: 2023-03-31 08:38:18
>> 完成计算!
>> 计算结束时间: 2023-03-31 09:01:33
>> 程序在当前目录下输出计算面上的残差扰动重力*_rga、残差高程异常*_ksi、残差空间异常*_gra、残差扰动重力梯度*_srr和残差垂线偏差向量*_dft格网文件。
>> 程序还在当前目录下输出球面径向基函数中心文件*center.txt。头文件格式: Reuter格网等级, RBF中心点坐标, 子午圈方向单元格网坐标, 平行圈方向单元格网经度间隔('')。

>> 观测场元类型 0	原平均值	0.2695	标准差	42.0737	最小值	-296.0915	最大值	165.2611
>> 结果残差观测场元平均值	0.0196	标准差	12.9866	最小值	-80.4161	最大值	64.8276	
>> 观测场元类型 1	原平均值	-0.0071	标准差	0.2768	最小值	-0.6571	最大值	0.6846
>> 结果残差观测场元平均值	-0.0002	标准差	0.0276	最小值	-0.1059	最大值	0.0768	

打开计算面大地高格网文件 计算结果保存为 参数设置结果输入 开始计算

ID	lon	lat	ellipsoidgt	gravity	disturbance(mgal)	height	anomaly(m)	gravity anomaly(mgal)	gravity gradient(E)	vertical deflection
1	101.50417	24.00417	-35.528	-40.8686	-0.3641	-40.7566	-57.8306	7.9481	3.4054	
2	101.51250	24.00417	-35.519	-47.9108	-0.4135	-47.7836	-69.2552	8.7393	3.2540	
3	101.52083	24.00417	-35.510	-55.2656	-0.4640	-55.3295	-81.8702	9.5978	3.1184	
4	101.52917	24.00417	-35.501	-64.0905	-0.5229	-64.0905	-94.5229			
5	101.53750	24.00417	-35.491	-73.4852	-0.5848	-73.4852				
6	101.54583	24.00417	-35.481	-72.3357	-0.5786	-72.3357				
7	101.55417	24.00417	-35.471	-76.9013	-0.6113	-76.9013				
8	101.56250	24.00417	-35.461	-84.2142	-0.6615	-84.0108	-123.9933	11.4571	1.7616	
9	101.57083	24.00417	-35.450	-88.9580	-0.6936	-88.7446	-130.2531	11.7819	1.1149	

可继续使用*.chs文件探测剔除观测场元粗差后, 再重新计算

多源异质观测点空间分布 球面径向基函数空域曲线 目标残差扰动重力mGal

首次计算完成后, 建议再以输出残差点值文件*.chs为输入观测场元文件, 采用多次SRBF逼近法计算残差目标场元, 一般累积1~3次SRBF逼近即可达到稳定解。目标场元格网等于几次逼近的残差场元格网之和。

单次SRBF逼近有效性原则: ①保证残差目标元空间分布连续可控, 让残差标准差尽量小; ②残差统计平均值累积次数增加趋于零, 且无明显反号。

高性能重力场SRBF全要素建模与质量测评万能工具

直接联合多源异质、不同高度、交叉分布、陆海共存的多重力场观测量, 无需归算、延拓及格网化, 高效实施重力场的高性能全要素建模。

有效解决各种复杂情形下观测量粗差探测、外部精度测定(贡献率κ=0或观测权ρ=0)、计算性能控制与成果质量测评(*.chs)等传统难题。

残差地面重力场全要素建模结果
rntSRBFgeoidh30s1.xxx

目标残差高程异常m 残差扰动梯度经向E 残差垂线偏差南向°

第五步：剩余残差重力场全要素模型 SRBF 累积逼近。

调用[多源异质数据 SRBF 重力场全要素建模]程序, 输入剩余残差点值文件 rntSRBFgeoidh30s1.chs, 输入模型大地水准面高格网 mdlgeoidh30s.dat, 选择高程异常为可控观测场元, 贡献率 $\kappa = 1$, 估计剩余残差重力场全要素格网 rntSRBFgeoidh30s2.xxx, 输出剩余残差点值文件 rntSRBFgeoidh30s2.chs。

		平均值	标准差	最小值	最大值
测点残差扰动重力 mGal	原残差量	0.3523	42.1561	-296.0915	165.2611
	SRBF 逼近	0.0196	12.9866	-80.4161	64.8276
	1次累积逼近	0.0200	8.4565	-54.9649	58.6241
GNSS 水准残差大地水准面高 m	原残差量	-0.0071	0.2768	-0.6571	0.6846
	SRBF 逼近	-0.0002	0.0276	-0.1059	0.0768
	1次累积逼近	0.0008	0.0147 ^④	-0.0511	0.0345

表中 0.0147^④m = 1.5cm 可作为重力大地水准面建模的精度指标。

质量控制: 可再次利用 rntSRBFgeoidh30s2.chs 文件, 按 5 倍标准差探测扰动重力粗差, 按 3 倍标准差探测 GNSS 水准粗差, 剔除粗差后, 重新按从第四步开始计算, 本例省略此过程。

若成果质量未达到预期，还可继续累积逼近，本例省略。

第五步：剩余残差重力场全要素模型SRBF累积逼近

球面径向基函数重力场全要素建模算法

打开多种异质残差观测场元文件

头文件占用的行数 2
场元观测量类型序号 7
权值属性所在的列序号 8

选择径向基函数 Posson小波核函数

设置径向基函数参数
多核次数 5
最小阶数 540
最大阶数 5400

Bjerhammar球面埋藏深度 6.0km
RBF中心作用距离 60km
Reuter网格等级 5400

选择可调观测场元 高程异常(m)
设置可调观测场元贡献率 1.00
选择方法参数估计方法 LU三角分解法

值。*为输出文件名。
>> 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
>> 计算开始时间：2023-03-31 09:20:31
>> 完成计算！
>> 计算结束时间：2023-03-31 09:23:03
>> 程序在当前目录下输出计算面上的残差扰动重力*.rga、残差高程异常*.ksi、残差空间异常*.gra、残差扰动重力梯度*.grr和残差垂线偏差向量*.dft网格文件。
>> 程序还在当前目录下输出球面径向基函数中心文件*center.txt，头文件格式：Reuter:网格等级，RBF中心点东，子午圈方向单元格网数，平行圈方向最多单元格网数，纬度间隔(°)。记录格式：点号，经度(度小数)，大地纬度，单元格网面积差百分比，平行圈方向单元格网经度间隔(°)。
>> 观测场元类型 0 原平均值 0.0196 标准差 12.9866 最小值 -80.4161 最大值 64.8276
** 结果残差观测场元平均值 0.0200 标准差 8.4565 最小值 -54.9649 最大值 58.6241
>> 观测场元类型 1 原平均值 -0.0002 标准差 0.0276 最小值 -0.1059 最大值 0.0768
** 结果残差观测场元平均值 0.0008 标准差 0.0147 最小值 -0.0511 最大值 0.0345

将上一步输出的剩余残差场元rntSRBFgeoidh30s1.chs作为观测场元文件输入

打开计算面大地高格网文件 计算结果保存为 参数设置结果输入 开始计算

ID	lon	lat	ellipsoid	gravity	disturbance(mGal)	height	anomaly(m)	gravity anomaly(mGal)	gravity gradient(E)	vertical deflection
1	101.50417	24.00417	-35.528	-12.7117	0.0165	-12.7065	-97.1597	-0.6515	-0.5321	
2	101.51250	24.00417	-35.519	-6.6258	0.0077	-6.6234	-54.9695	-1.2702	-1.0260	
3	101.52083	24.00417	-35.510	2.3531	0.0053	2.3515	9.9592	-2.0661	-1.4528	
4	101.52917	24.00417	-35.501	11.0246	0.0174	11.0193	74.1283	-2.9071	-1.6711	
5	101.53750	24.00417	-35.491	16.9356	0.0255					
6	101.54583	24.00417	-35.481	17.2077	0.0259					
7	101.55417	24.00417	-35.471	12.2759	0.0176					
8	101.56250	24.00417	-35.461	3.9074	0.0072					
9	101.57083	24.00417	-35.450	-5.2803	-0.0059					

0.0147m ≈ 1.5cm 可作为重力地面高程异常建模的精度指标

多源异质观测点空间分布 球面径向基函数空域曲线 目标残差扰动重力mGal

提取绘图数据 图形绘制

● 首次计算完成后，建议再以输出残差点值文件*.chs为输入观测场元文件，采用多次SRBF逼近法计算残差目标场元，般累积1-3次SRBF逼近即可达到稳定解。目标场元格网等于几次逼近的残差场元格网之和。

● 单次SRBF逼近有效性原则：①保证残差目标场元空间分布连续可靠，让残差标准差尽量小；②残差统计平均值随累积次数增加趋于零，且不明显反号。

● 高性能重力场SRBF全要素建模与质量测评万能工具

- 直接联合多源异质、不同高度、交叉分布、陆海共有的多种重力场观测量，无需归算、延拓及格网化，高效实施重力场的高性能全要素建模。
- 有效解决各种复杂情形下观测量粗差探测、外部精度测定(贡献率 $\kappa=0$ 或观测权 $p=0$)、计算性能控制与成果质量测评(*.crs)等传统难题。

剩余残差地面重力场全要素建模结果 rntSRBFgeoidh30s2.xxx

目标残差高程异常m 残差扰动梯度经向E 残差垂线偏差南向*

第六步：恢复参考场模型值，生成大地水准面上重力场全要素模型。

调用[地球重力场各种场元模型值计算]，最大计算阶数 540，由 180 阶模型大地水准面高格网 mdlgeoidh30srst.dat (移去格网边缘后)，计算大地水准面上 540 阶模型大地水准面高 GMgeoidh30s540.ksi、模型扰动重力 GMgeoidh30s540.rga、模型空间异常 GMgeoidh30s540.gra、模型扰动重力梯度 GMgeoidh30s540.grr 和模型垂线偏差向量 GMgeoidh30s540.dft。

分别将两次 SRBF 逼近的大地水准面上残差重力场格网 geoidh30s1.xxx (从残差重力场格网 rntSRBFgeoidh30s1.xxx 中移去格网边缘)、剩余残差重力场格网 geoidh30s2.xxx (从格网 rntSRBFgeoidh30s2.xxx 中移去格网边缘) 与 540 阶参考重力场格网 GMgeoidh30s540.xxx 相加，得到大地水准面上重力场全要素模型 geoidh30srst.xxx，包括重力大地水准面高格网 geoidh30srst.ksi，扰动重力格网 geoidh30srst.rga、空间异常格网 geoidh30srst.gra 扰动重力梯度格网 geoidh30srst.grr 和垂线偏差向量格网 geoidh30srst.dft。

将重力大地水准面高格网 geoidh30srst.ksi 与区域高程基准差异-0.3411m 相加，得到区域高程基准下重力大地水准面格网 geoidh30srgn.ksi。

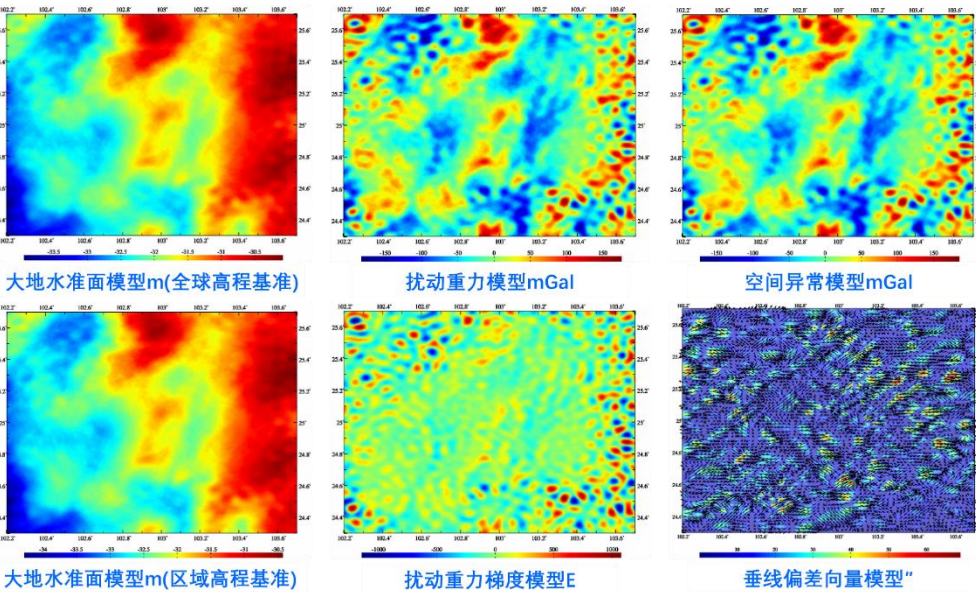
至此，完成大地水准面上重力场全要素建模计算工作。

第六步：恢复参考场模型值，生成大地水准面上重力场全要素模型

The screenshot shows the software interface for the final step of the process. It includes several panels:

- 计算参数设置 (Calculation Parameters):** Shows various input parameters and a large data table with columns for different model components.
- 计算结果 (Calculation Results):** Displays a grid of calculated values, including gravity anomalies and gradients.
- 模型输出 (Model Output):** Lists the generated files:
 - 重力场全要素模型格网: `geoidh30srst.xxx`
 - 残差场元格网: `geoidh30s1`
 - 剩余残差场元格网: `geoidh30s2`
 - 场元参考模型格网: `GMgeoidh30s540`
- 大地水准面上模型扰动重力梯度E** and **大地水准面上模型垂线偏差**: Two heatmaps showing the perturbation gravity gradient and vertical deflection on the geoid surface.

大地水准面上30"×30"重力场全要素模型成果



★将计算面改为地面，直接生成 30"地面重力场全要素模型。

在上述第三步至第六步中，保持输入数据文件和所有参数设置完全相同，仅将计算面改为地面大地高格网，按完全相同的计算流程，可同步获得地面重力场全要素模型 `surfhgt30srst.xxx`，包括重力地面高程异常格网 `surfhgt30srst.ksi`，地面扰动重力格网 `surfhgt30srst.rga`、地面空间异常格网 `surfhgt30srst.gra`、地面扰动重力梯度格网

surfhtg30srst.grr 和地面垂线偏差向量格网 surfhtg30srst.dft, 以及区域高程基准下重力地面高程异常格网 surfhtg30srgn.ksi。

将计算面改为地面，直接生成30"地面重力场全要素模型

