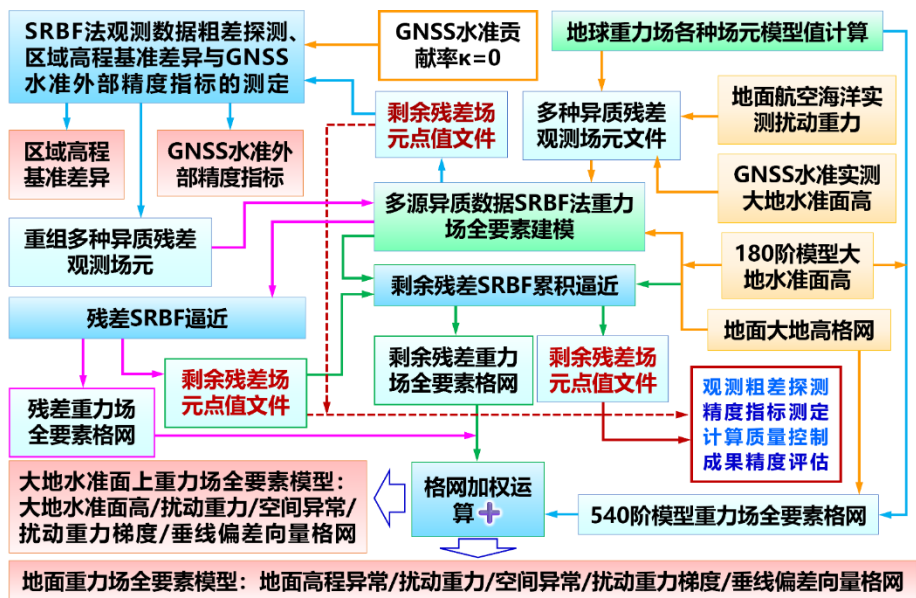


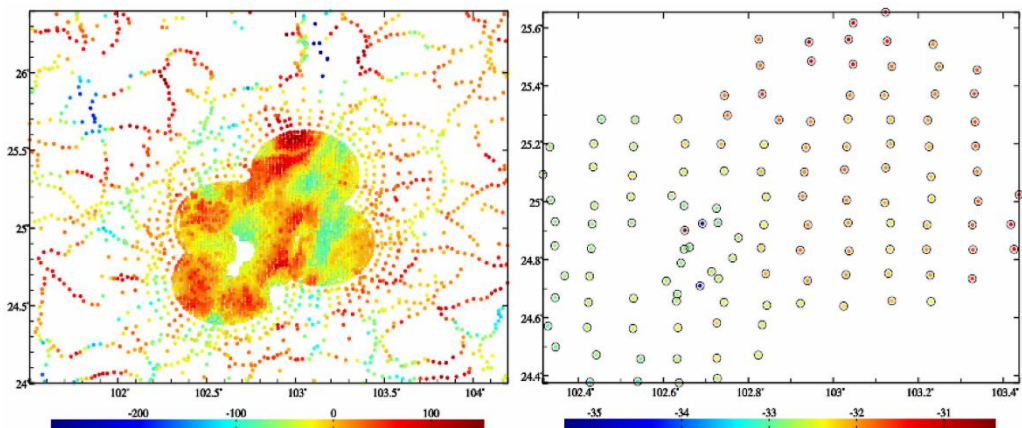
## ☆ 正高系统谱域 SRBF 法重力场全要素建模快捷流程

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



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)

◎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 obsGNSSlgeoid.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

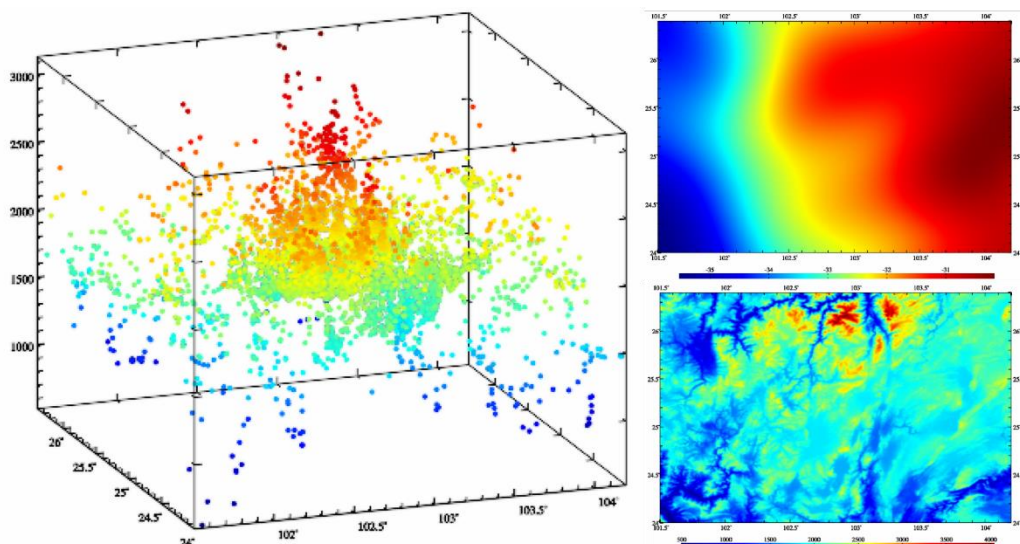
力 (mGal)。

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。



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)

### ⊙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。

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。

### 第一步：移去参考模型值，构造多种异质残差观测场元

**计算信息保存：**

- >> [功能]输入地球重力场位系数模型，计算地球空间任意点处的(剩余)高程异常(m)、空间异常(mGal)、扰动重力(mGal)、垂线偏差向量(s, "秒, 南向、西向)、扰动重力梯度(径向、E)、水平重力梯度向量(E, 北向、西向)或后三项之和(Laplace算子)的模型值。
- \*\* 点击[打开全球地球重力场位系数模型文件]按钮, 或[打开系数模型]工具按钮...
- >> 打开全球地球重力场位系数模型文件 C:/PGrav4.5\_win64cn/data/EGM2008.gfc.
- \*\* 下方窗口只显示了其中不超过2000个位系数模型数据!
- >> 打开计算点空间位置文件 C:/PGrav4.5\_win64cn/examples/GravFndExercise/SRBFAppgeoidexercise/obsGNSSlgeoidh.txt.
- \*\* 观察下方窗口文件信息, 设置点值文件格式...
- >> 计算结果文件保存为 C:/PGrav4.5\_win64cn/examples/GravFndExercise/SRBFAppgeoidexercise/obsGNSSlgeoidh\_GM50.txt.
- \*\* 在空间计算点值文件记录的基础上增加一列或者若干列模型扰动重力计算值, 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]按钮, 或[开始计算]工具按钮.....

**计算结果保存为：** 参数设置结果输入

ID	lon(degree decimal)	lat	ellip(m)	ksa(m)	rent	kind	weight
1	102.4424	24.4717	1973.56	-32.7581	-32.6525		
2	102.5467	24.4580	1659.69	-32.9577	-32.5340		
3	102.6324	24.4582	1120.99	-32.5792	-32.4433		
4	102.7259	24.4605	2128.20	-32.3927	-32.3324		
5	102.4208	24.5663	1991.53	-32.6038	-32.5734		
6	102.5286	24.5627	1937.23	-32.5636	-32.4239		
7	102.6344	24.5656	2193.72	-32.3822	-32.3128		
8	102.7258	24.5819	2304.57	-32.2197	-32.2069		
9	102.8326	24.5755	1978.11	-32.5408	-32.0934		
10	102.3455	24.6689	1920.60	-32.9297	-32.6394		

**GNSS水准大地水准面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**

**残差扰动重力 mGal**

ID	lon(degree decimal)	lat	ellip(m)	rent	kind	weight
1	102.3929	24.4944	2228.19	54.9765	0	1
2	102.3959	24.5089	2170.20	50.0971	0	1
3	102.3927	24.5296	2013.33	28.3652	0	1
4	102.3966	24.5450	1822.40	38.3822	0	1
5	102.3969	24.5615	1659.69	20.6411	0	1
6	102.3929	24.5815	1490.21	15.5784	0	1
7	102.3952	24.6036	1365.58	14.5045	0	1
8	102.3931	24.6178	1197.72	14.9731	0	1
9	102.3935	24.6384	1916.15	7.4068	0	1

**残差大地水准面高m**

ID	lon(degree decimal)	lat	ellip(m)	rent	kind	weight
4221	102.4424	24.4717	-32.6525	-0.1056	1	1
4222	102.5467	24.4580	-32.5340	-0.4237	1	1
4223	102.6324	24.4582	-32.4433	-0.1359	1	1
4224	102.7259	24.4605	-32.3324	-0.0593	1	1
4225	102.4208	24.5663	-32.5734	-0.0304	1	1
4226	102.5286	24.5627	-32.4239	-0.1397	1	1
4227	102.6344	24.5656	-32.3128	-0.0694	1	1
4228	102.7258	24.5819	-32.2069	-0.0128	1	1
4229	102.8326	24.5755	-32.0934	-0.4474	1	1
4230	102.3455	24.6670	-32.9297	-0.2903	1	1
4231	102.4239	24.6529	-32.4901	-0.0740	1	1
4232	102.5287	24.6670	-32.3057	-0.2186	1	1

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SRBF法全要素建模算法**

打开多种异质残差观测场元文件

头文件占有的行数: 1

场元观测类型列序号: 6

权值属性所在的列序号: 7

选择径向基函数: 径向多核子核函数

设置径向基函数参数

多核次数: 5

最小阶数: 360

最大阶数: 1000

Bjerchmann球面埋藏深度D: 10.0km

RBF中心作用距离: 100km

Reuter格网等级K: 3600

选择可控观测场元: 高程异常(m)

设置调控观测场元贡献率k: 0.00

选择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!

\*\* 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上的残差扰动重力\*.rga、残差高程异常\*.kai、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格网文件。

>> 程序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中心点经, 子午圈方向单元格网数, 平行圈方向最多单元格网数, 精度间隔(')。记录格式: 点号, 经度(度小数), 大地纬度, 单元格网面积百分比, 平行圈方向单元格网度间隔(')。

\*\* 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 0.7268 标准差 16.9838 最小值 -105.2839 最大值 114.8811

\*\* 观测场元高程 1 原平均值 -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

打开计算图大地格网文件    计算结果保存为    参数设置结果输入    开始计算

ID	lon	lat	ellipsoid	g	残差扰动重力	残差高程异常	残差空间异常	残差扰动重力梯度	残差垂线偏差
1	101.50417	24	2	1	0.3186	42.1772	-296.0915	165.2611	0.7268
2	101.50417	24	2	1	-0.9510	0.2774	-0.9982	0.3435	-0.0410
3	101.51250	24	3	1	102.39290	24.49440	2228.190	16.4199	54.9765
4	101.52917	24	5	102.39590	24.50890	2170.200	-4.7468	50.9971	0.1000
5	101.53750	24	6	102.39270	24.52960	2013.330	-18.3876	26.3652	0.1000
6	101.54583	24	7	102.39660	24.54930	2122.900	1.0011	12.1550	0.1000
7	101.55417	24	8	102.39990	24.56360	1971.280	-0.0346	-12.0941	0.1000
8	101.56250	24	9	102.39380	24.58130	1940.310	-12.0941	12.1550	0.1000
9	101.57083	24	10	102.39310	24.61780	1997.720	20.5312	3.2948	0.1000
10	102.39710	24	11	102.39350	24.63840	1916.150	3.2948	20.5312	0.1000
12	102.39710	24	12	102.39710	24.65350	2010.470	10.7216	0.1000	0.1000

剩余残差项(第5列)。5倍标准差探测扰动重力; 3倍标准差探测GNSS水准

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, 一般取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微, 让残差标准差尽量小; ②残差统计平均值随逼近次数增加趋于零, 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 $p=0$ )、计算性能控制与成果质量测评(\*chs)等经典难题。

### 第三步：区域高程基准差异与 GNSS 水准外部精度指标测定。

输入无粗差的多种异质残差观测场元文件 obsresiduals01.txt, 重复第二步计算, 重新估计残差重力场全要素格网 rntSRBFdatum30s.xxx, 输出剩余残差场元点值文件 rntSRBFdatum30s.chs。

由于事先设置 GNSS 水准贡献率 $\kappa = 0$ , 因此, 本质上是仅用离散扰动重力数据, 直接测定实测 GNSS 水准的精度指标。粗差探测与剔除前后 SRBF 逼近的统计结果如表。

		测点数	平均值	标准差	最小值	最大值
测点扰动重力数据 mGal	原残差观测量	4219	0.3186	42.1772	-296.0915	165.2611
	无粗差观测量	4215	0.2695	42.0737	-296.0915	165.2611
	剩余残差量	4215	-0.4584	13.6071	-61.1040	64.8276
GNSS水准大地水准面高 m	原残差观测量	125	-0.3510	0.2774	-0.9982	0.3435
	无粗差观测量	124	-0.3482 <sup>①</sup>	0.2768	-0.9982	0.3435
	剩余残差量	124	-0.0070 <sup>②</sup>	0.0243 <sup>③</sup>	-0.1327	0.0561

区域高程基准差异测定结果: 表中 GNSS 水准残差大地水准面高的统计平均值<sup>①</sup>减去<sup>②</sup>, 即 $-0.3482^{①} - (-0.0070^{②}) = -0.3412\text{m}$ , 是区域高程基准与全球高程基准(重力大地水准面)之差的测定结果。这是 SRBF 逼近法区域高程基准差异测定方法。

GNSS 水准外部精度指标测定结果: 表中 $0.0243^{③}\text{m}$ 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

**球面径向基函数重力场全要素建模**

打开多种异质残差观测场元文件

头文件占有的行数: 1

场元观测类型列序号: 6

权重属性所在的列序号: 7

选择径向基函数: 径向多核子核函数

设置径向基函数参数

多核次数m: 3

最小阶数: 240

最大阶数: 1800

Bjerhammar球面插值深度D: 10.0km

RF中心作用距离: 100km

Reuter格网等级K: 3600

选择可控残差观测场元: 高程异常(m)

设置可控残差观测场元贡献率κ: 0.00

选择场方程参数估计方法: 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 10:08:27

>> 完成计算!

>> 计算结束时间: 2023-03-31 10:11:39

>> 程序在当前目录下输出计算面上的残差扰动重力\*.rnt

\*.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\*cc\*

>> 最多单元格数, 精度间隔( )。记录格式: 点号, 经度, 纬度

>> 观测场元类型 0 层平均值: 0.2666 标准差: 49.0737 最小值: -296.0915 最大值: 65.5611

>> 结果残差观测场元平均值: 0.3482 标准差: 13.7096 最小值: -80.4161 最大值: 64.8276

>> 观测场元类型 1 层平均值: -0.3482 标准差: 0.2768 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: 0.0661

计算结果保存为: 参数设置结果输入 开始计算

ID	lon	lat	ellipshgt	gravity	disturbance(mGal)	height anomaly(m)	gravity anomaly(mGal)	gravity gradient(E)	vertical deflection(m)
1	101.50483	24.00417	-35.529	-28.0426	-0.4155	-27.9147	-15.9774	9.2237	4.0106
2	101.51250	24.00417	-35.519	-36.6655	-0.4692	-36.5212	-31.9193	10.0940	3.9482
3	101.52083	24.00417	-35.510	-43.9564					
4	101.52917	24.00417	-35.503	-52.5844					
5	101.53750	24.00417	-35.491	-62.9602					
6	101.54583	24.00417	-35.481	-63.3947					
7	101.55417	24.00417	-35.471	-67.1308					
8	101.56250	24.00417	-35.461	-73.7604					
9	101.57083	24.00417	-35.450	-79.1701	-0.7625	-78.9356	-97.3310	13.7563	2.1200

计算结果保存为: 参数设置结果输入 开始计算

**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实测大地水准面高精度外部精度指标 (标准差)**

**-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**

首次计算完成后, 建议再以输出残差扰动重力文件\*.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。数据累积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扰动重力之和。

多次SRBF逼近有效性检测: 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残差统计平均值得残差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软件

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κ=0或观测率p=0)、计算性能控制与成果质量测评(\*chs)等传统难题。

多源异质观测点空间分布    球面径向基函数空间曲线    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    残差垂直线偏差南向"

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-0.3412m 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κ = 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程序

打开多种异质残差观测场元文件

头文件占住的行数 1  
场元观测类型列序号 6  
权值属性所在的列序号 7

选择径向基函数 径向多核子核函数

设置径向基函数参数  
多核次数m 3  
最小阶数 360  
最大阶数 1800

Bjerhammar球面  
埋藏深度D 10.0km  
SRBF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k 1.00  
选择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！  
\*\* 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 08:58:18  
>> 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\*grr和残差曲线偏差向量\*drf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，SRBF中心点数，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，单元格网面积百分比，平行圈方向单元格网密度间隔（'）。  
>> 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 高程异常 -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	ellipsoid	gravity	disturbance(mGal)	height	anomaly(m)	gravity anomaly(mGal)	gravity gradient(E)	vertical deflex
1	101.50447	24.00417	-35.528	-40.9486	-0.3641	-40.7566	-57.8936	7.9401	3.4054	
2	101.51250	24.00417	-35.519	-47.9128	-0.4135	-47.7836	-69.2552	8.7393	3.2540	
3	101.52083	24.00417	-35.510	-55.2656	-0.4640	-55.1228	-81.5782	9.3875	3.1154	
4	101.52917	24.00417	-35.501	-64.0905	-0.5229	-63.9296	-97.2660	10.2425	3.1030	
5	101.53750	24.00417	-35.492	-73.4852	-0.5868	-73.3072	-114.3776	10.9105	3.1027	
6	101.54583	24.00417	-35.483	-82.3357	-0.6576	-82.1528	-132.5208	11.5100	3.1025	
7	101.55417	24.00417	-35.474	-91.6503	-0.7344	-91.4616	-151.6064	12.0425	3.1023	
8	101.56250	24.00417	-35.465	-101.4202	-0.8161	-101.2214	-171.5352	12.5075	3.1021	
9	101.57083	24.00417	-35.456	-111.6456	-0.9028	-111.4368	-192.3072	12.9000	3.1019	

可继续利用\*.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

残差地面重力场全要素建模结果  
果rntSRBFgeoidh30s1.xxx

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"

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。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均匀可靠，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，且无明显反号。

高精度重力场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，无偏归算、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(\*.chs)等传统难题。

### 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 <sup>(4)</sup>	-0.0511	0.0345

表中  $0.0147^{(4)}\text{m} = 1.5\text{cm}$  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法

打开多种异质残差观测场元文件

头文件占住的行数: 2  
场元观测量类型序号: 7  
权值属性所在列序号: 8

选择径向基函数: **Possion小波核函数**

设置径向基函数参数  
多极次数m: 5  
最小阶数: 540  
最大阶数: 5400

Bjerhama球面埋藏深度D: 6.0km  
RBF中心作用距离: 60km  
Reuter-格网等级K: 5400

选择可控观测场元: **高程异常(m)**  
设置可控观测场元贡献率k: 1.00  
选择方法方程参数估计方法: **LU三角解法**

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

计算开始时间: 2023-03-31 09:20:31  
完成时间: 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\*drf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中心点数, 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, 单元格网面积百分比, 平行圈方向单元格网经度间隔(')。  
\*\* 结果场元类型 0 原平均值 0.0196 标准差 12.9866 最小值 -80.4161 最大值 64.8276  
>> 计算结果场元平均值 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 0.0147 标准差 11.0153 最小值 -2.9071 最大值 0.0345

ID	lon	lat	ellipsoid	gravity	disturbance	height	anomaly	gravity	anomaly	gravity	gradient	vertical	deflec
1	101.50417	24.00417	-35.528	-12.117	-0.0168	-12.7065	-97.1597	-0.6515	-0.5321				
2	101.51250	24.00417	-35.519	-6.258	-0.0077	-6.6234	-54.9655	-1.2702	-1.0260				
3	101.52083	24.00417	-35.510	2.531	0.0053	2.3515	9.9592	-2.0661	-1.4528				
4	101.52917	24.00417	-35.501	11.246	0.0174	11.0153	74.1293	-2.9071	-1.6711				
5	101.53750	24.00417	-35.491	16.358	0.0255								
6	101.54583	24.00417	-35.481	17.077	0.0259								
7	101.55417	24.00417	-35.471	12.126	0.0168								
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

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 | 残差扰动梯度径向E | 残差垂线偏差南向°

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相差探测、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(\*.chs)等传统难题。

### 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 step 6. The '计算参数' (Calculation Parameters) tab is active, showing various input fields and a '计算' (Calculate) button. Below the parameters, there are several heatmaps representing different gravity field models. A table of numerical data is also visible, showing values for various parameters and coordinates.

**重力场全要素模型格网 geoidh30srst.xxx**

**残差场元格网 geoidh30s1**

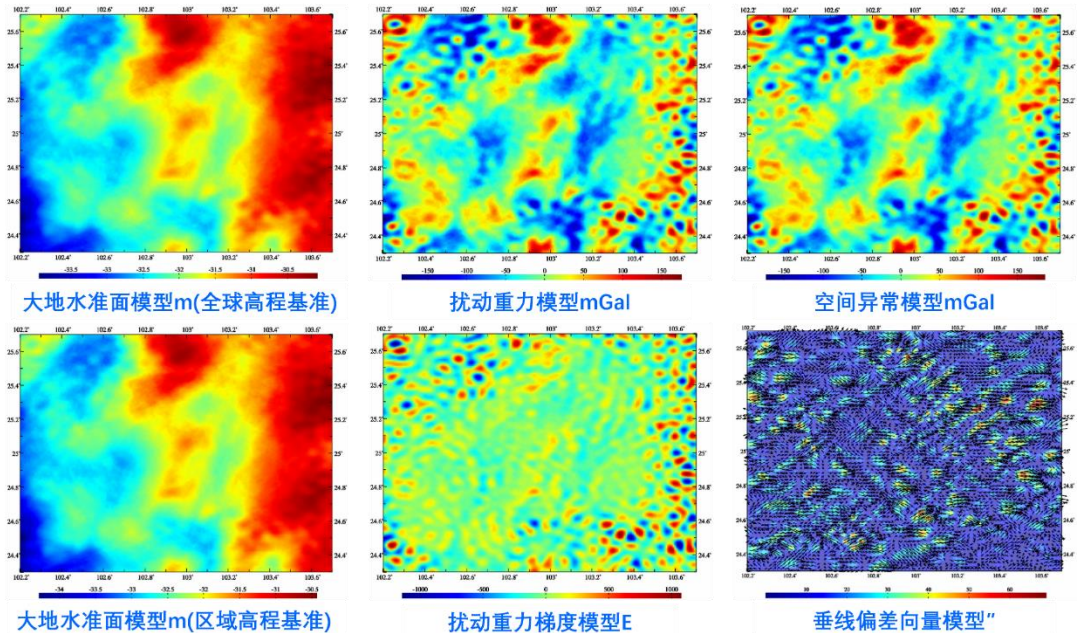
**剩余残差场元格网 geoidh30s2**

**场元参考模型格网 GMgeoidh30s540**

**大地水准面上模型扰动重力梯度E**

**大地水准面上模型垂线偏差"**

## 大地水准面上30"×30"重力场全要素模型成果



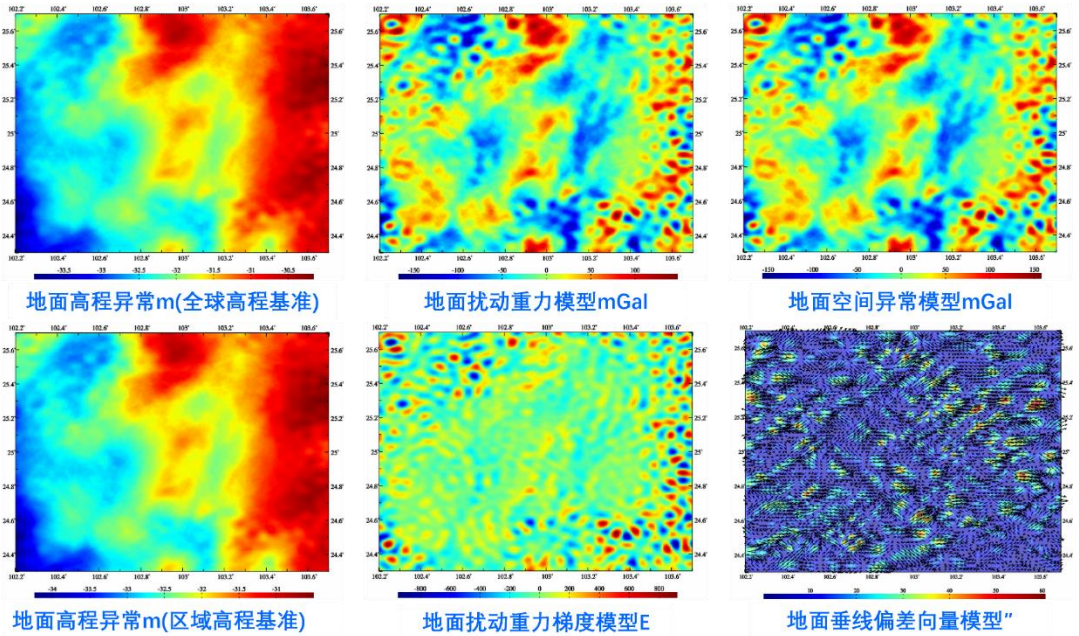
★将计算面改为地面，直接生成 30"地面重力场全要素模型。

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



surfght30rst.xxx，包括重力地面高程异常格网 surfght30rst.ksi，地面扰动重力格网 surfght30rst.rga、地面空间异常格网 surfght30rst.gra、地面扰动重力梯度格网 surfght30rst.grr 和地面垂线偏差向量格网 surfght30rst.dft，以及区域高程基准下重力地面高程异常格网 surfght30srgn.ksi。

**将计算面改为地面，直接生成30"地面重力场全要素模型**



## ☆ 正常高系统谱域 SRBF 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常高系统中 GNSS 水准实测高程异常数据，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。

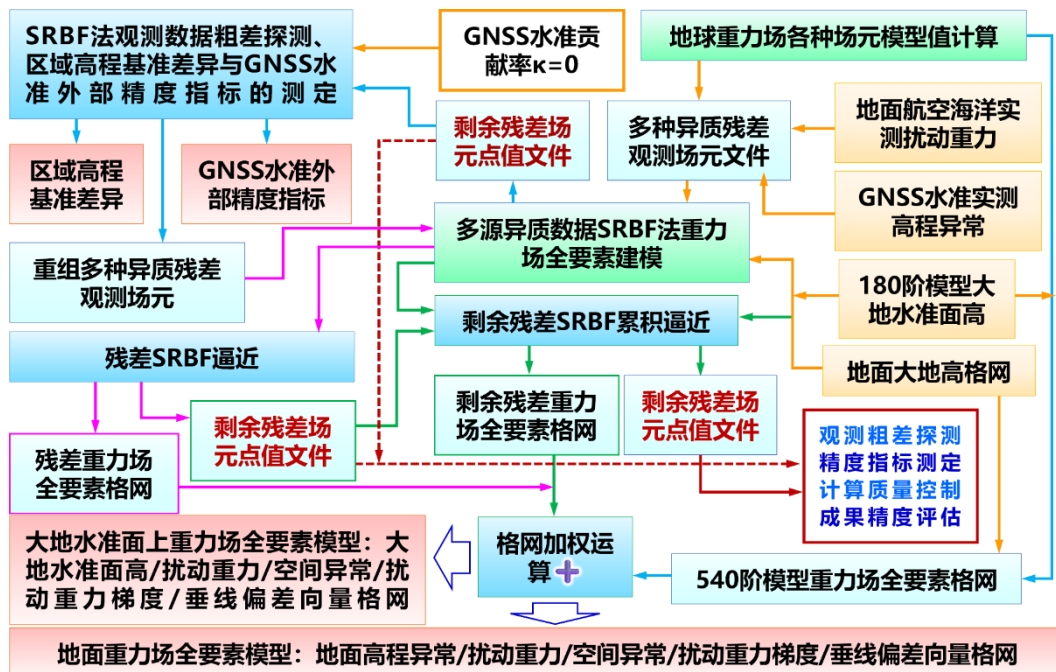
本节用正常高系统中的 GNSS 水准实测地面高程异常，代替 4.8.2 节正高系统中 GNSS 水准实测大地水准面高，介绍 SRBF 重力场全要素建模快捷流程。两种情况下，仅在处理输入 GNSS 水准实测数据上存在微小差别，其余建模流程完全相同。为方便练习，这里重复给出完整的快捷流程。

⊙**主要数据源**：地面、船测和航空实测扰动重力 obsdistgrav.txt（与 4.8.2 完全相同），GNSS 水准实测高程异常 obsGNSSlksi.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）。

正常高系统中 GNSS 水准实测高程异常文件记录：点号/名 经度 纬度 大地高 实测高程异常（m）。

本例中的实测扰动重力、GNSS 水准实测高程异常采用 1800 阶 EGM2008 地球重力场模型值叠加噪声模拟。



### 正常高系统谱域SRBF重力场全要素建模快捷流程

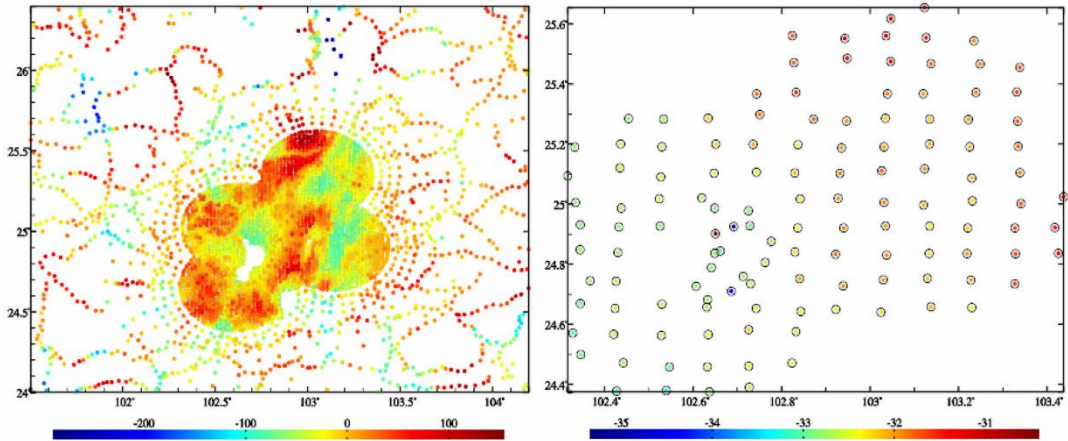
#### ⊙计算面大地高格网

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。

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。



重力测点的实测扰动重力 (mGal) 与GNSS水准点的实测高程异常 (m)

### 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 水准实测高程异常 obsGNSSiksi.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-残差高程异常 (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，输入地面大地高格网 surfhgt30s.dat，选择高程异常为可控观测场元，可控场元贡献率  $\kappa = 0$ ，估计残差地面重力场全要素格网 SRBFsurfhtg30s0.xxx (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)，输出剩余残差点值文件 SRBFsurfhtg30s0.chs。

粗差探测：从程序输出的剩余残差场元点值文件 SRBFsurfhtg30s0.chs 中，分离出测点剩余残差扰动重力记录 rntobsdistgrav0.txt 和 GNSS 水准剩余残差高程异常记录 rntobsGNSSiksi0.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

巨大相差的重力测点，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。

### 第一步：移去参考模型值，构造多种异质残差观测场元

地球重力场模型及其特征分析计算

地球重力场各种场元模型值计算 | 剩余地形(完全布影)模型值计算 | 全球地球重力场模型值计算器 | 地球重力场谱特征计算

打开全球地球重力场位系数模型文件  
 选择计算点文件格式  
 高数计算点文件  
 打开空间计算点文件  
 设置点值文件格式  
 头文件占住的行数 1  
 大地高属性列序号 4  
 选择计算场元类型  
 高程异常(m)  
 空间异常(mGal)  
 扰动重力(mGal)  
 垂线偏差(")  
 扰动重力梯度(E)  
 水平重力梯度(E)  
 Laplace算子(E)

计算信息保存：  
 >> 打开全球地球重力场位系数模型文件 C:/PAGrav4.5\_win64cn/data/EGM2008.gfc.  
 \*\* 下方窗口只显示了其中不超过2000行的位系数模型数据!  
 >> 打开计算点空间位置文件 C:/PAGrav4.5\_win64cn/examples/GravIndIexercise/SRBFApprvithGNSSksl/obsGNSSksl.txt.  
 \*\* 请按下方窗口文件信息，设置点值文件格式  
 >> 计算结果文件保存为 C:/PAGrav4.5\_win64cn/examples/GravIndIexercise/SRBFApprvithGNSSksl/obsGNSSksl\_CMS40.txt.  
 \*\* 在空间计算点值文件记录的基础上添加一列或者多列模型扰动场元计算值，保留四位有效数字。  
 >> 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.....  
 \*\* 计算过程需要等待，期间可打开输出文件查看计算进度...  
 >> 计算开始时间: 2023-03-11 12:42:23  
 >> 完成地球重力场(剩余)模型值计算!  
 >> 计算结束时间: 2023-03-11 12:43:03

计算结果保存为 | 参数设置结果输入 | 开始计算

地面航空海洋实测残差扰动重力 | GNSS水准实测高程异常

多种异质离散残差观测场元文件

ID	lon(degree decimal)	lat_ellipH(m)	ksl(m)	残差扰动重力mGal
1	102.4424	24.4717	1973.56	-32.6699
2	102.5467	24.4580	1659.69	-32.5393
3	102.6324	24.4582	2120.99	-32.4414
4	102.7259	24.4605	2112.20	-32.3917
5	102.4208	24.5663	1991.56	-32.6038
6	102.5286	24.5627	1937.23	-32.5636
7	102.6344	24.5656	2193.72	-32.3922
8	102.7258	24.5819	2304.57	-32.2197
9	102.8326	24.5755	1978.11	-32.5408
10	102.3455	24.6689	1920.60	-32.9297

GNSS水准高程异常的大地高是GNSS水准点的实测大地高第4列

GNSS水准点模型高程异常m | 空间异常(mGal)

当设置相等的位系数模型最小、最大计算阶数n时，程序计算第n阶位系数对扰动重力场元的贡献。可用于分析评价位系数模型的谱域区域性质。

### 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

打开多种异质残差观测场元文件  
 头文件占住的行数 1  
 场元观测量类型列序号 6  
 权值属性所在列序号 7  
 选择径向基函数 径向多极子函数  
 设置径向基函数参数  
 多极次数m 5  
 最小阶数 360  
 最大阶数 1800  
 Bjerhammar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k 0.00  
 选择方法参数估计方法 LU三角分解法

计算信息保存：  
 >> 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 14:36:55  
 >> 完成计算!  
 >> 计算结束时间: 2023-03-31 14:40:14  
 \*\* 程序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中心点号，子午面方向单元格网宽，子午面方向单元格网高，经度间隔(")，纬度间隔(")，计算格式: 点号, 高程(4位小数), 大地高程, 单元格网面积百分比, 平行面方向单元格网经度间隔(")，  
 \*\* 结果残差观测场元平均值 0.7856 标准差 17.5917 最小值 -105.2839 最大值 114.8811  
 \*\* 观测场元类型1 原平均值 -0.3452 标准差 0.2739 最小值 -0.9755 最大值 0.3702  
 \*\* 结果残差观测场元平均值 -0.0405 标准差 0.0271 最小值 -0.1876 最大值 0.0099

计算结果保存为 | 参数设置结果输入 | 开始计算

首次计算完成后，建议再输出残差值点文件\*.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。目标场元格网等于上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。

剩余残差项(第5列)。5倍标准差探测扰动重力; 3倍标准差探测GNSS水准

多种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"

高性能重力场SRBF全要素建模与质量测评万能工具  
 直接融合多源异质、不同高度、交叉分布、陆海共存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(真值 $\mu=0$ 或观测值 $p=0$ )、计算性能控制与成果质量测评(\*chs)等传统难题。

### 第三步：区域高程基准差异与 GNSS 水准外部精度指标测定。

输入无粗差的多种异质残差观测场元文件 obsresiduals01.txt，重复第二步计算，重新估计残差地面重力场全要素格网 rntSRBFdatum30s.xxx，输出剩余残差场元点值文件 rntSRBFdatum30s.chs。

由于事先设置 GNSS 水准贡献率  $\kappa = 0$ ，因此，本质上是仅用离散扰动重力数据，直接测定实测 GNSS 水准的精度指标。粗差探测与剔除前后 SRBF 逼近的统计结果如表。

		测点数	平均值	标准差	最小值	最大值
测点扰动重力数据 mGal	原残差观测量	4219	0.3186	42.1772	-296.0915	165.2611
	无粗差观测量	4215	0.2695	42.0737	-296.0915	165.2611
	剩余残差量	4215	-0.5677	13.8957	-80.4161	64.8276
GNSS 水准地面高程异常 m	原残差观测量	125	-0.3452	0.2739	-0.9755	0.3702
	无粗差观测量	123	-0.3386 <sup>①</sup>	0.2709	-0.9755	0.3702
	剩余残差量	123	-0.0069 <sup>②</sup>	0.0233 <sup>③</sup>	-0.1295	0.0528

区域高程基准差异测定结果：表中 GNSS 水准残差高程异常的统计平均值<sup>①</sup>减去<sup>②</sup>，即  $-0.3386^{①} - (-0.0069^{②}) = -0.3345\text{m}$ ，是区域高程基准与全球高程基准（重力大地水准面）之差的测定结果。这是 SRBF 逼近法区域高程基准差异测定方法。

**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 11:53:06  
 >> 完成计算：  
 >> 计算结束时间：2023-03-31 11:56:25  
 >> 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。  
 最多元格格网数，纬度间隔('')，记录格式：点号，经度(度)小数  
 \*\* 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 -0.5677 标准差 13.8957 最小值 -80.4161 最大值 64.8276  
 >> 观测场元类型 1 原平均值 -0.3404 标准差 0.2735 最小值 -0.9755 最大值 0.3702  
 \*\* 结果残差观测场元平均值 -0.0069 标准差 0.0233 最小值 -0.1295 最大值 0.0528

**0.2735m 测定的540阶参考模型大地水准面高精度指标 (标准差)**  
**0.0233m SRBF法测定的GNSS实测高程异常外部精度指标 (标准差)**

**-0.3404 - (-0.0069) = -0.3345m**  
**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**

● 首次计算完成后，建议再输出残差点值文件+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保证残差目标场元空间分布连续可微，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(\*chs)等传统难题。

GNSS 水准外部精度指标测定结果：表中  $0.0233^{\textcircled{3}}\text{m}$  是 GNSS 水准实测高程异常的外

部精度指标，用标准差表示，即 2.3cm。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 2.3cm（标准差）。

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 -0.3345m 后，重新生成多种异质离散残差观测场元文件 obsresiduals1.txt。

#### 第四步：残差地面重力场全要素模型 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，输入地面大地高格网 surfhgt30s.dat，选择高程异常为可控观测场元，贡献率 $\kappa = 1$ ，估计残差地面重力场全要素格网 SRBFsurfhtg30s1.xxx，输出剩余残差点值文件 SRBFsurfhtg30s1.chs。

质量控制：可继续用.chs 文件，按 5 倍剩余残差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，重新第四步计算，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  
权值属性所在的列序号: 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m: 3  
最小阶数: 360  
最大阶数: 1800

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

Reuter格网等级K: 3600

选择可控观测场元: 高程异常(m)  
设置可控观测场元贡献率 $\kappa$ : 1.00  
选择场元参数估计方法: 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.....  
>> 开始计算时间: 2023-03-31 12:00:18  
>> 完成计算!  
>> 计算结束时间: 2023-03-31 12:03:35  
>> 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中心点数, 子午圈方向单元格网数, 平行圈方向单元格网数。  
>> 结果残差观测场元平均值 0.3695 标准差 43.0737 最小值 -296.0915 最大值 165.2011  
\*\* 结果残差观测场元平均值 0.0620 标准差 12.9806 最小值 -80.4161 最大值 64.8276  
\*\* 结果残差观测场元平均值 -0.0014 标准差 0.0291 最小值 -0.1886 最大值 0.0595

ID	lon	lat	ellipsoidht	gravity disturbance(mGal)	height anomaly(m)	gravity anomaly(mGal)	gravity gradient(E)	vertical deflection
1	101.50417	24.00417	2427.222	-33.8830	-0.3067	-33.7888	-45.5553	7.3477
2	101.51250	24.00417	2480.591	-41.3359	-0.3579	-41.2260	-58.7998	8.0721
3	101.52083	24.00417	2435.157	-47.3401	-0.3988	-47.2175	-68.4820	8.6460
4	101.52917	24.00417	2229.999	-55.4958	-0.4544	-55.4006	-68.4820	8.6460
5	101.53750	24.00417	2032.509	-65.0026	-0.5171	-64.9113	-77.0019	9.1247
6	101.54583	24.00417	1896.019	-65.4479	-0.5213	-65.3587	-82.4597	9.1247
7	101.55417	24.00417	1925.362	-68.0460	-0.5408	-67.9019	-82.4597	9.1247
8	101.56250	24.00417	1563.539	-76.5357	-0.5998	-76.3019	-82.4597	9.1247
9	101.57083	24.00417	1129.050	-82.6577	-0.6439	-82.4597	-120.0159	11.4483

可继续利用\*.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

残差地面重力场全要素建模结果SRBFsurfhtg30s1.xxx

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

#### 第五步：剩余残差地面重力场全要素模型 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 SRBFsurfhtg30s1.chs，输入地面大地高格网 surfhgt30s.dat，选择高程异常为可控观测场元，贡献率 $\kappa = 1$ ，估计剩余残差地面重力场全要素格网 SRBFsurfhtg30s2.xxx，输出新的剩余残差点值文件 SRBFsurfhtg30s2.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	0.2695	42.0737	-296.0915	165.2611
	SRBF 逼近	0.0620	12.9866	-80.4161	64.8276
	1 次累积逼近	0.1309	8.5135	-50.6030	57.3920
GNSS 水准残差地面高程异常 m	原残差量	-0.0071	0.2768	-0.6571	0.6846
	SRBF 逼近	-0.0014	0.0291	-0.1886	0.0595
	1 次累积逼近	-0.0002	0.0164 <sup>④</sup>	-0.0972	0.0341

表中 0.0164<sup>④</sup>m = 1.6cm 可作为重力地面高程异常建模的精度指标。

### 第五步：剩余残差重力场全要素模型SRBF累积逼近

将上一步输出的剩余残差场元SRBFsurfhtg30s1.chs作为观测场元文件输入

0.0164m ≈ 1.6cm 可作为重力地面高程异常建模的精度指标

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1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微，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  
直接联合多源异构、不同高度、交叉分布、陆海共存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=0或观测权p=0)、计算性能控制与成果质量测评(+chs)等传统难题。

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

剩余残差地面重力场全要素建模结果

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°

质量控制：可再次利用 SRBFsurfhtg30s2.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。

### 第六步：恢复参考场模型值，生成地面重力场全要素模型。

调用[地球重力场各种场元模型值计算]，最大计算阶数 540，由地面大地高格网文件 surfhtg30srst.dat（移去格网边缘后），计算 540 阶模型地面高程异常 GMsurfhtg30s540.ksi、模型地面扰动重力 GMsurfhtg30s540.rga、模型地面空间异常 GMsurfhtg30s540.gra、模型地面扰动重力梯度 GMsurfhtg30s540.grr 和模型地面垂线偏差

向量 GMsurfthgt30s540.dft.

### 第六步：恢复参考场模型值，生成地面重力场全要素模型

The screenshot shows the software interface with the following components:

- 计算结果 (Calculation Results):** A table showing numerical data for various parameters.
 

112.200000	112.700000	24.300000	25.700000	0.000000	0.000000
-0.100000	-0.100000	-0.200000	-0.200000	-0.100000	-0.100000
-0.100000	-0.100000	-0.200000	-0.200000	-0.100000	-0.100000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
- 重力场全要素模型格网 surfhgt30srst.xxx:** A 3D plot showing the full gravity field model.
- 残差场元格网 surfhgt30s1:** A 3D plot showing the residual field model.
- 剩余残差场元格网 surfhgt30s2:** A 3D plot showing the remaining residual field model.
- 场元参考模型格网 GMsurfthgt30s540:** A 3D plot showing the reference field model.
- 模型地面扰动重力梯度E:** A 2D heatmap showing the model ground disturbance gravity gradient.
- 模型地面垂线偏差" (Model ground vertical deflection):** A 2D plot showing the model ground vertical deflection.

### 30"×30"地面重力场全要素模型

The grid of plots shows the following models and anomalies:

- 地面高程异常m(全球高程基准):** Global height anomaly map.
- 地面高程异常m(区域高程基准):** Regional height anomaly map.
- 地面扰动重力模型mGal:** Ground disturbance gravity model in mGal.
- 地面空间异常模型mGal:** Ground spatial anomaly model in mGal.
- 地面扰动重力梯度模型E:** Ground disturbance gravity gradient model in E.
- 地面垂线偏差向量模型" (Model ground vertical deflection vector model):** Model ground vertical deflection vector model.

分别将两次 SRBF 逼近的残差地面重力场格网 surfhgt30s1.xxx (从残差地面重力场格网 SRBFsurfthgt30s0.xxx 中移去边缘)、剩余残差重力场格网 surfhgt30s2.xxx (从格网 SRBFsurfthgt30s1.xxx 中移去边缘) 与 540 阶地面参考重力场格网 GMsurfthgt30s540.xxx 相



加，得到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 surfhgt30srst.grr 和地面垂线偏差向量格网 surfhgt30srst.dft。

将重力地面高程异常格网 surfhgt30srst.ksi 与区域高程基准差异-0.3345m 相加，得到区域高程基准下重力大地水准面格网 surfhgt30srgn.ksi。

至此，完成地面重力场全要素建模计算工作。

**将计算面改为大地水准面，直接生成大地水准面上 30"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，仅将计算面改为模型大地水准面高格网，按完全相同的计算流程，可同步获得大地水准面上的重力场全要素模型 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，以及区域高程基准下重力大地水准面格网 geoidh30srgn.ksi。

**将计算面改为大地水准面，直接生成大地水准面上30"重力场全要素模型**

