

平均地形高度面完全布格扰动重力计算流程

由模拟的地面及航空高度上观测扰动重力，与地面数字高程模型，按剩余地形影响、参考重力场模型与地形质量球谐系数模型组合移去恢复技术，计算平均地形高度面（当作重力等位面）上完全布格扰动重力格网，以演练适合近地空间、陆海统一的完全布格影响计算要点与作业流程。

完全布格影响定义为：移去大地水准面以上地形质量，同时将海水密度补偿到地形密度后，产生的地球重力场变化。

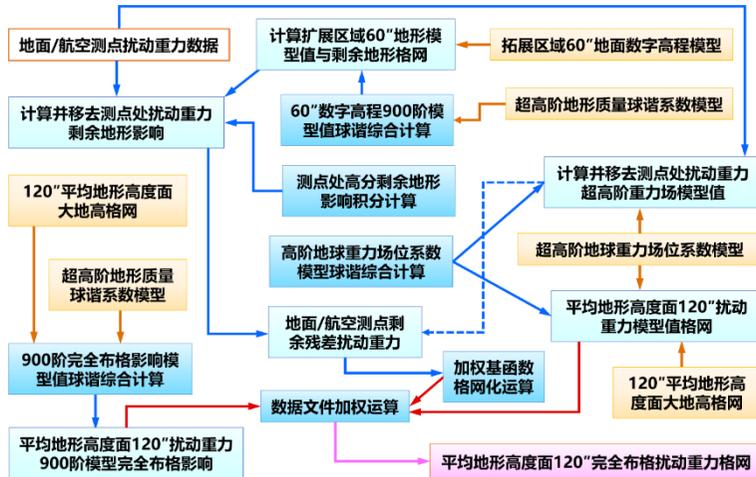
（一）输入输出数据与相关地形模型

为抑制积分边缘效应，要求地形数据范围（扩展区域，E94.5~99.5°，N30.5~34.5°）
▷ 成果范围（测点分布范围/归算面范围，E95.0~99.0°，N31.0~34.0°）。

（1）观测扰动重力数据 Obsgrav.txt。

测点扰动重力采用 1800 阶 EGM2008 模型值模拟。PAGravf4.5 采用完全相同的算法统一处理地面、航空和海面的各种重力数据，处理过程中无需区分重力点位是在地面、航空高度还是在海域。

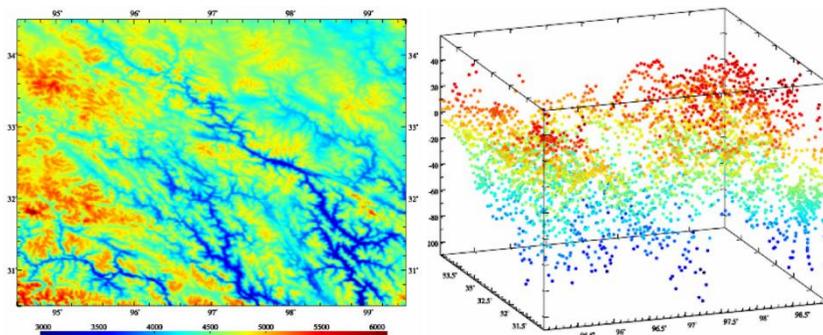
观测数据文件记录格式：点号，经度（°），纬度（°），大地高（m），扰动重力（mGal）。点位分布如图。



平均地形高度面完全布格扰动重力典型计算流程

（2）1800 阶地形质量球谐系数模型 ETOPOcs3600.dat 与 2190 阶 EGM2008 重力位系数模型 EGM2008.gfc。

两个模型存放在 C:\PAGravf4.5_win64cn\data 目录中。其中，1800 阶地形质量球谐系数模型，采用全球 2'陆海地形模型 ETOPO2v2g，由 PAGravf4.5 程序[超高阶陆海地形球谐分析与球谐系数模型构建]生成。



地面数字高程模型（60"）与扰动重力测点空间分布

(3) 地面数字高程模型。

为消除积分边缘效应，数字高程模型网格范围（扩展区域）要比计算区域大些。

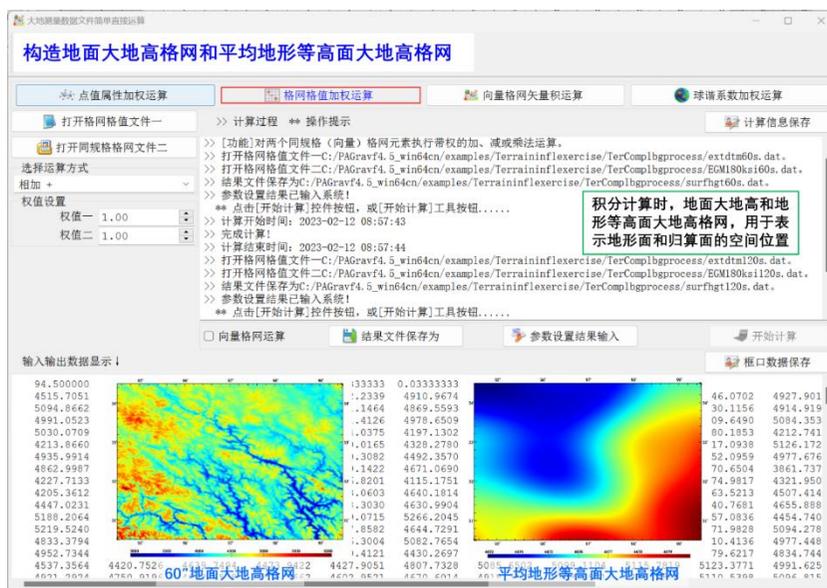
数字高程模型分辨率通常采用两种。高分辨率用于观测数据归算，即计算并移去测点重力数据的剩余地形影响；另一种分辨率与成果分辨率一致，用于恢复成果的地形影响。本例分别为 60"和 120"，对应文件为 extdtm60s.dat 和 extdtm120s.dat。

(4) 60"地面大地高格网 surfhgt60s.dat。

地面大地高格网用于提供剩余地形质量（积分流动单元）所在的空间位置，在高精度计算中不可或缺。本例中地面大地高格网等于 180 阶模型高程异常与地面数字高程模型之和生成。

(5) 120"平均地形等高面大地高格网 equihgt120s.dat。

本例中，平均地形高度面，简称地形等高面，是地面观测量的归算面，也是成果格网的计算面。地形等高面大地高格网由 180 阶模型高程异常与地面正（常）高平均值（4512.0m，由数字高程模型统计）之和生成。



格网化是一种非重力场解析运算，容易削弱重力场的解析结构。非解析运算，应在重力等位面上进行，以尽量抑制非解析格网化运算的负面效应。本例使用地形等高面大地高格网代表重力等位面。

当以模型大地水准面高即零高程面大地高，作为等高面大地高时，归算面和计算面即为传统的大地水准面。

(6) 输出成果数据。平均地形等高面 120"完全布格扰动重力格网成果。

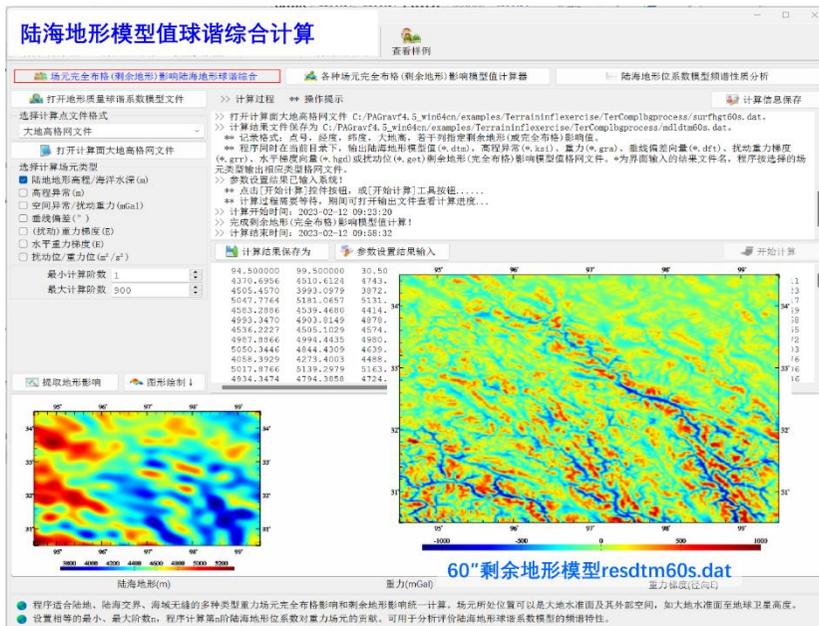
(二) 程序调用、效果与完整数据流

(1) 计算并移去模型地形高度值，构造 60"剩余地形模型。

调用[场元完全布格(剩余地形)影响陆海地形球谐综合]程序，设置最小计算阶数 1，最大计算阶数 900（工程计算时阶数尽可能大些），选择计算类型“陆地地形高程/海洋水深（m）”，输入地形质量球谐系数模型 ETOPOCs1800.dat，输入计算面大地高格网按 surfhgt60s.dat，生成 60"模型数字高程格网 mlddtm60s.dtm。

将 extdtm60s.dat 与 mlddtm60s.dtm 相减后，得到扩展区域剩余地形模型 resdtm60s.dat，如图。

(1) 计算并移去模型地形高度值，构造60"剩余地形模型



剩余地形格网统计结果如表 1。

	平均值	标准差	最小值	最大值
60"剩余地形格网 m	0.4988	222.3702	-1124.9200	1001.8600
120"剩余地形格网 m	-0.2826	193.8538	-923.7386	843.0482

(2) 计算并移去测点处超高阶模型扰动重力。

调用[地球重力场各种场元模型值计算]功能，输入 EGM2008.gfc 和观测数据文件 Obsgrav.txt，设置最小计算阶数 2，最大计算阶数 720（实际计算时尽可能大些），选择计算类型扰动重力，生成测点处模型扰动重力文件 Obsgravmdl.txt（第 6 列）。

将 Obsgravmdl.txt 中观测扰动重力（第 5 列）与模型扰动重力（第 6 列）相减，生成测点处模型残差扰动重力（第 7 列）数据 Obsgravmdlresd.txt。

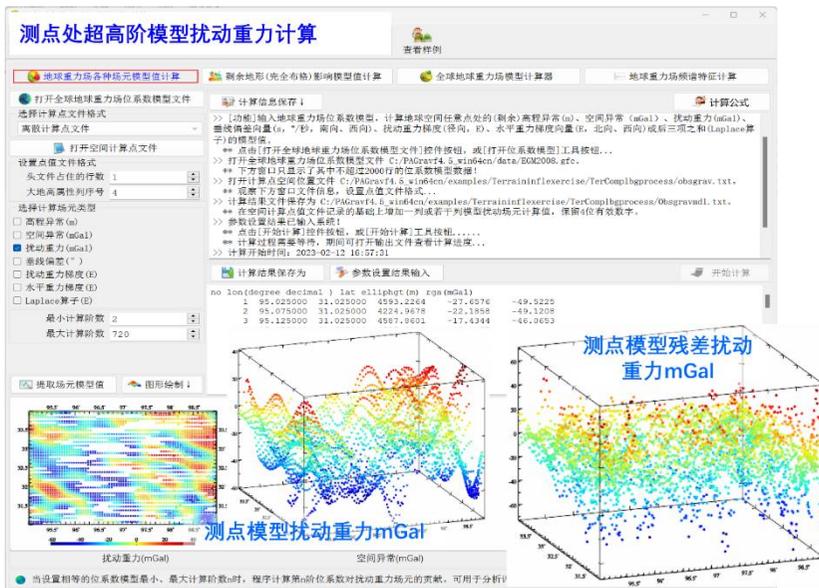
测点扰动重力移去 720 阶模型值前后的统计结果如表 2。

地面重力测点	平均值	标准差	最小值	最大值
测点扰动重力 mGal	-15.6106	25.5080	-110.7251	59.0160
模型残差扰动重力	-0.4881	17.4588	-74.6129	71.5003

(3) 计算并移去测点处扰动重力剩余地形影响。

调用[场元陆海剩余地形影响完全布格影响数值积分]功能，输入观测数据文件（为方便计算，用 Obsgravmdlresd.txt），输入高分数字高程模型 extdtm60s.dat、低通数字高程模型 mldtm60s.dtm 和地面大地高格网 surfhgt60s.dat，设置积分半径 90km，生成测点处扰动重力剩余地形影响文件 Obsgravresdtm.txt（第 8 列）。

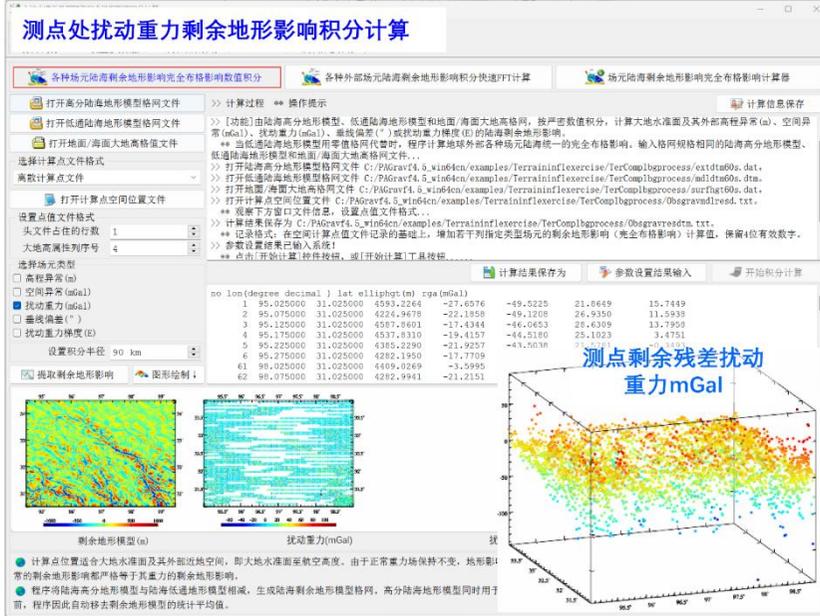
(2) 计算并移去测点处超高阶模型扰动重力



有限半径积分法剩余地形影响计算时，无法处理地形零阶项，因而要求剩余地形模型的平均值应为零。积分计算前，程序自动移去剩余地形模型的统计平均值。

将 Obsgravresdtm.txt 中模型残差扰动重力（第 7 列）与扰动重力剩余地形影响（第 8 列）相减，生成测点处剩余残差扰动重力（第 9 列）数据 Obsgravresidual.txt。

(3) 计算并移去测点处扰动重力剩余地形影响



移去剩余地形影响后，测点处的剩余残差扰动重力统计结果如表 3。

地面重力测点	平均值	标准差	最小值	最大值
扰动重力剩余地形影响 mGal	4.8843	7.2038	-73.7901	118.6158
剩余残差扰动重力 mGal	-5.3034	19.7638	-144.5444	92.4782

本例省略残差扰动重力梯度法解析延拓（1000m 高度内量级很小）过程，此时测点高度处的剩余残差扰动重力，就等于等高面上的剩余残差扰动重力。

表 1~3 统计的基本目的是，按格网化优化准则，改善剩余地形影响算法和有关参数。模拟数据缺乏足够的真实重力场超短波信息，本例因此省略优化准则分析过程。

至此，完成测点扰动重力到等高面的归算处理工作。

(4) 地形等高面 120" 剩余残差扰动重力格网化。

调用[异质数据基函数插值格网化]功能，选择观测量等权（可自行以剩余地形影响为参考属性配权），对 Obsgravresidual.txt 中的第 9 列进行格网化运算，生成地形等高面上 120" 剩余残差扰动重力格网 distgravresidual.dat。

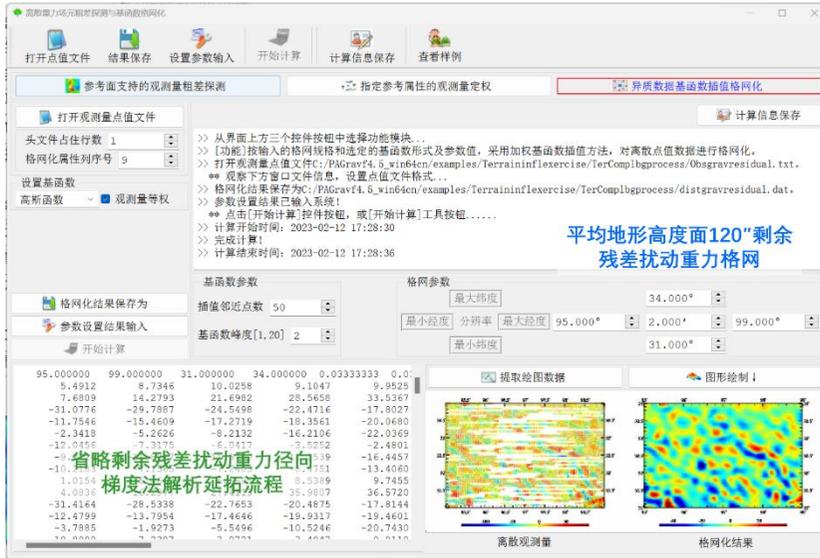
格网范围和分辨率，与成果模型格网一致。

(5) 计算地形等高面 120" 扰动重力模型值格网。

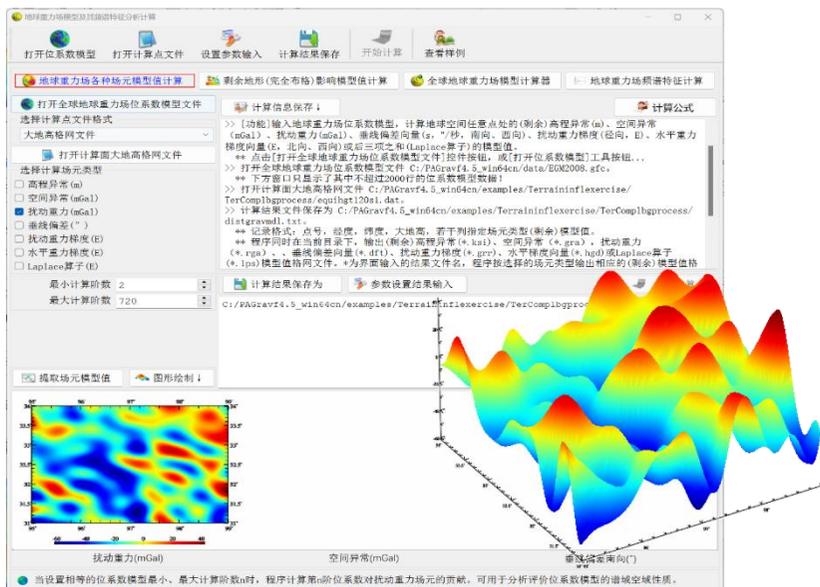
调用[地球重力场各种场元模型值计算]功能，输入 EGM2008.gfc 和地形等高面大地高格网文件 (equihgt120s01.dat)，选择计算类型扰动重力，设置最小计算阶数 2，最大计算阶数 720，生成地形等高面 120" 模型扰动重力格网 distgravmdl.rga。

技术上要求重力场位系数模型、最小最大阶数与步骤 (2) 完全相同。

(4) 平均地形高度面120"剩余残差扰动重力格网化



(5) 计算平均地形高度面120"扰动重力模型值



(6) 计算等高面 120"扰动重力完全布格影响模型值格网。

调用[场元完全布格(剩余地形)影响陆海地形球谐综合]程序，设置最小计算阶数 2，最大计算阶数 900，选择计算类型为扰动重力，输入地形等高面大地高格网 equihgt120s01.dat，生成 120"扰动重力完全布格影响模型值 distgravmdlcmpbg.rga。

技术上要求最大计算阶数与步骤 (1) 相等。

(7) 生成地形等高面 120"完全布格扰动重力格网成果。

将计算面上同格网规格扰动重力的剩余残差量格网 distgravresidual.dat 与超高阶重

模型值格网 distgravmdl.rga 相加，再减去模型完全布格影响格网 distgravmdlcmpbg.rga，生成地形等高面上 120" 完全布格扰动重力格网成果 distgravcmpbg.dat。

(6) 计算等高面 120" 扰动重力完全布格影响模型值格网

