

地形影响概念解析及其限制性要求

PAGravf4.5, 章传银

物理大地测量学中, 重力场量的地形影响处理有且仅有两个目的: 一是离散扰动重力场量推估或格网化, 以方便空域重力场积分数值计算或重力勘探建模; 另一个目的是重力场逼近时用于分离重力场量的超短波成分, 以改善超短波重力场的逼近性能。重力场量地形影响处理方法与技术要求都应紧密围绕这两个目的分析研究。

(1) 重力场量地形影响优化选择的基本原则

重力场量的地形影响涉及三个关键要素: ①地形或地壳质量调整方式; ②重力场量类型 (地形影响对象); ③重力场量所在位置 (与地形质量的位置关系)。

按质量调整方式不同, 地形影响类型通常有局部地形影响、地形布格影响、海水布格影响、地壳均衡影响、地形 Helmert 凝聚和剩余地形影响等。

为有效提升地形影响性能, 充分发挥其应有的作用, PAGravf4.5 依据物理大地测量学基本要求, 给出地形影响的类型选择及其算法参数设置的简化定量准则如下。

①为提高离散观测扰动场量推估或格网化精度水平, 要求移去地形影响后的离散场量平滑度有所提高。此时地形影响的优选准则为: 移去地形影响后的离散场量, 其标准差应有所下降。

②重力场逼近时要求地形影响仅有超短波成分, 因而其优选准则为: 地形影响移去前后, 扰动场量的标准差有所减小, 且地形影响量在数十公里范围内的平均值很小, 可以忽略。

③某种扰动场量某类地形影响的最大最小值之差 D (Range, 地形影响范围) 与标准差 ε 之比 D/ε , 反映该种场量的该类地形影响超短波信号的离群性。 D/ε 大, 代表超短波信号占比小但量级大。用该类地形影响处理该种场量, 对改善数据处理性能有利。

④当几种地形影响 D/ε 的量级相当时, 重力地形影响标准差与高程异常地形影响标准差之比越大, 此种地形影响的短波成分越丰富, 对改善大地水准面超短波性能越有利。

上述四个准则中, 前两个准则是技术规定, 具有全球普适性, 需要遵守; 后两个准则可作为技术参考, 需及时分析, 灵活把握。当重力数据匮乏到其统计结果的空间代表性严重不足时, 这些准则不再适用。

这四个准则只是方便直观地表达物理大地测量学中处理地形影响问题的基本理念, 面向具体问题时, 应根据这些准则蕴含的理念, 细化具体方法、算法和技术方案。

(2) 重力场量地形影响的性质与技术特点

地形影响的性质, 随计算区域的地形起伏和重力场短波超短波结构不同, 会存在明显差异。面向具体区域或目标问题时, 应事先计算、比较与分析各种重力场量的不同性质地形影响, 如高程异常、扰动重力、垂线偏差、重力梯度等多种性质地形影响的统计

性质，及其相互之间的差异，归纳总结目标区域各种性质地形影响的谱域特征、算法参数性质以及对不同类型场量的影响特点。据此设计出适应性强的地形影响处理方案。

地形影响处理的性能和效果，与当地的地形复杂程度、重力场短波结构、重力数据类型以及测点空间分布都是密切相关的。需要指出的是，当地形复杂性低，局部重力场结构简单，重力点分布较好时，存在选择任何性质的地形影响，都不能改善（甚至会降低）某种类型场量推估、格网化或重力场逼近性能的可能。

为统一地形影响概念，PAGrav4.5 严格区分地形影响性质、被影响的重力场量类型和重力场量所处位置。如地面扰动重力、地球外部扰动重力、大地水准面上扰动重力的局部地形影响、地形 Helmert 凝聚、剩余地形影响，涉及 $3 \times 3 = 9$ 种不同的地形影响量。

(3) 地形影响移去恢复法及其限制性要求

当地球外部地形影响调和时，可类似于参考重力场移去恢复方案，采用地形影响移去恢复法，提高重力场逼近性能和算法的稳定性。地形影响移去恢复法基本方案：

- ①计算并移去源重力场量的地形影响，得到源场量的剩余值；
- ②由源场量剩余值，按重力场逼近方法，求解所需目标重力场元的剩余值；
- ③计算并恢复目标场元地形影响，获得目标重力场元的逼近解。

地球外部任意类型重力场量都是整个地球质量及其分布的总效应，显然包含全部地形质量对该重力场量的影响（贡献）。地形质量密度是典型的地球物理要素，重力场量地形影响计算总会因密度的不确定性而存在不确定性，可见，任意重力场量的任何性质地形影响，都不满足唯一性和可测性要求，而不能成为有效的大地测量要求。

可见，源重力场量在移去地形影响时，必然引入不确定性，这种不确定性只有在恢复目标场元地形影响时能被有效地消除，才有可能让地形影响发挥正面作用，保证目标场元不受任何残留地形影响信息的负面影响。因此，重力场逼近中地形影响处理应满足如下两项限制性要求：

①用于计算源场量地形影响和计算目标场元地形影响所用的地形质量模型（包括地形质量调整方式）和选择的积分半径（或作用范围）完全相同；

②地形影响原则上应是解析调和的，源场量地形影响算法和目标场元地形影响算法应完全解析相容，即源场量地形影响和目标场元地形影响之间的解析函数关系，与源场量和目标场元之间的解析函数关系完全相同。

在上述两项限制性要求中，只要有其中一项得不到满足，重力场逼近结果都会产生不可控制的不确定性，从而影响重力场逼近的性能水平与质量控制能力。

(4) 地形影响在重力场逼近中的作用与性能控制原则

重力场逼近过程中，地形影响处理方案可采用“移去-重力场逼近-恢复”技术流程，其中，移去的是观测场量的地形影响，恢复的是目标场元的地形影响。由于地形密度近似或地球物理假设必然引起地形影响量的不确定性，因而高精度物理大地测量学普遍要求，

移去的地形影响量和恢复的地形影响量之间应具有严格解析函数关系，以确保从观测场量中移去的地形影响，能在目标场元地形影响恢复时切实消除残留的地形影响。

PAGrav4.5 据此推出借助地形超短波信息（如剩余地形影响）改善全球或局部重力场逼近性能的一般原则和要求：

①任意类型重力场量的各种性质地形影响都不可独立作为重力场逼近的观测场量，这是限制性要求，必须严格遵守；

②可通过地形影响移去恢复方法，以当前观测场量为约束控制，采用重力场逼近方法改善分辨率或观测类型，构造含地形超短波信息的加密观测场量；

③维持当前观测场量的重力场逼近（参数化）观测模型不变（这是约束性要求），补充加密观测场量的重力场逼近（参数化）观测模型，并明显降低加密观测场量对待估参数的灵敏性（有条件时），按最小二乘法实现全球或局部超高分辨率重力场逼近。

④可采用残差重力场累积逼近技术，改善超短波重力场逼近性能。

地面大地测量时代，重力资源匮乏，地面存在大量重力空白区，人们假设重力异常空间变化与当地地形起伏存在某种相关性，从而借助地形影响推估空白区重力异常。然而，在地球重力场探测技术快速发展和观测资源不断丰富的今天，未经深入细致地测试分析，无具体依据地过分跨大地形影响在重力场逼近中的地位和作用是不科学的。