

移动曲面拟合用于高程控制测量的探讨

孟 冰

(安徽省第二测绘院, 安徽 合肥 230031)

摘 要 多项式曲线拟合、三次样条曲线拟合、多项式曲面拟合、多面函数曲面拟合、移动法曲面拟合是全球定位测量水准拟合常用方法, 本文结合实例, 分析多种方法获得数据的精度, 并通过工程实例比较和分析, 认为移动法曲面拟合拟合精度更高且稳定, 具有较高的可靠性和实用价值。

关键词 水准测量 移动曲面拟合 高程 精度

中图分类号: P224

文献标识码: B

文章编号: 1672- 4097(2011)04- 0038- 02

1 背景与资料

安徽省全域的似大地水准面精化于 2009 年全面完成, 主要基础控制测量成果, 包括卫星定位 A 级点 4 座, 卫星定位 B 级点 85 座, 卫星定位 C 级点 831 座, 另外为 13 个地级市联测卫星定位点 35 座; 二等水准路线 44 条, 路线总长 3 800 km, 获取 1140 个二等水准高程成果; 三等水准路线 104 条, 路线总长 5 900 km, 获取 876 个三等水准高程成果。这些控制点成果已全部入库, 实现了信息化管理, 满足快速查询、成果提供等。其次获取了高精度(厘米级)、高分辨率(2.5' × 2.5')的安徽省似大地水准面。它们以卫星定位连续运动站及卫星定位框架网点为基础, 利用卫星定位技术和水准测量技术, 按照统一规划、整体设计的原则, 建立和维持集卫星定位、水准于一体的省级基础控制网(卫星定位 C 级网和三等水准网), 通过对卫星定位/水准点、重力数据处理, 精化各省区域大地水准面, 在此基础上建立省级大地测量数据库。本文工程是在上述成果基础上探讨的。

2 似大地水准面精度

似大地水准面精度直接影像拟合的高程精度。安徽省似大地水准面精化成果的外部检验结论为: 差值分布基本合理, 符合误差分布规律。大地水准面差值最大值为 ±0.034 m、山地为 ±0.024 m、平地为 ±0.017 m。安徽省大地水准面精化精度平均, 总体精度为 ±0.019 m, 满足“城市、平原地区的大地水准面的精度优于 ±0.05 m 的精度指标。检验的主要方法是在全

省均匀布设了 24 个外部检验点, 兼顾平原、丘陵、山区这三种地形类别。检验方法是采用三等水准联测 C 级卫星定位点。已知卫星定位点的大地高 H , 利用安徽省似大地水准面精化成果, 插值法求取该点的高程异常 ζ , 该点正常高: $h_1 = H - \zeta$ 。又有水准测量得到该点的正常高 h_2 , 则似大地水准面的误差: $\Delta = h_2 - h_1$ 。该成果的精度直接影像工程试验的精度。

3 数据获取及模型及分析

卫星定位测量可以提供高精度的 WGS-84 坐标系下的大地高。要获取正常高, 需进行高程的拟合转换。我们采用下列常用的几种转换模型: 多项式曲线拟合、三次样条曲线拟合、多项式曲面拟合、多面函数曲面拟合、移动法曲面拟合。

根据实测的数据, 24 个平面高程控制点, 边长 1 500 m 左右, 所有控制点均进行了四等水准联测。为研讨拟合方案对精度的影响, 方案定为: 3 个平面拟合: 多项式曲面拟合、多面函数曲面拟合、移动法曲面拟合。巧合的是, 测区 3、4、9、10、15、16、21、22 点连线, 几乎与该地区高程异常等值平行, 为提高拟合精度提供了优环境。

我们推荐移动法曲面拟合。其特点是引入权函数, 根据内插点到数据点的距离给出不同的影响程度, 两点越近影响越大。计算时通常采用切比雪夫多项式作为移动多项式。设 GPS 测点的高程异常与 x, y 存在如下关系:

$$\xi(x, y) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N a_{ij} T_i(x) T_j(y)$$

式中, a_{ij} 为拟合系数, $T_i(x)$ 、 $T_j(y)$ 为变量, 分别为 x 、 y 的 M 和 N 次切比雪夫多项式。权函数可选取 $P(d) = \exp(-d^2/a^2)$, a 为常数, 一般取数据点平均间距的两倍, d 为内插点到数据点间的距离。当观测值个数 k 大于 $M \times N$ 时, 组成误差方程解拟合系数。再利用内差点坐标代回, 可获得内插点的高程异常。

因为坐标数据不便公开和篇幅限制, 我们列出拟合结果: 多项式曲面拟合拟合误差较大, 最大误差为 + 0.12 m, 平均精度为 0.058 m; 多面函数曲面拟合最大误差为 0.069 m, 平均误差为 0.027 m; 移动法曲面拟合最好, 最大误差为 0.017 m, 平均误差为 0.008 m。精度优于国家四等水准限差, 符合设计要求。

地球表面及其密度的复杂性(无数学模型描述), 所以用一种模型去拟合高程点, 误差是不可避免的, 选取适合自己省区的模型拟合是相对合理的方法。同时, 已知点的选取对拟合的精度影响很大, 因此已知点应该尽量选取均匀点位。一般来说, 采用相同的拟合方法, 起算点数量多、分布越均匀, 则拟合精度高。因此应根据测区实际情况选合理选择拟合起算点的个数。对含有不同地形趋势的大测区, 应采用分区计算的方法。

数据与实践表明, 卫星定位测量已能够提供毫米级的平面坐标, 但因似大地水准面与参考椭球面的差距, 使得高精度的大地高不能直接运用于生产实践。将卫星定位测量的大地高转化成水准高程, 并使其保持一定的精度, 是现代高程控制网测绘的

热点项目, 大面积的测区和山地测区, 因地形起伏较大, 精度难以保证。因为高程异常中的短波项主要由局部地形起伏引起的。假设某点的高程异常由两部分组成, $\xi = \xi_0 + \xi_1$ 一部分为中长波项 ξ_0 (平滑项), 另一部分为地形起伏引起的短波项 ξ_1 , 因此平坦地区可忽略短波项(数值很小), 山区不能忽略短波项。但可采用地形图或数字化的地面模型来获取格网化的高程数据, 但工作量大, 有待我们深入研究。

4 结 论

对起伏不大的平原与丘陵地区, 如果网的覆盖面积不大, 比如 50 km² 左右, 选择合适的数学模型, 拟合卫星定位高程可以优于国家四等水准高程, 甚至达到三等水准测量的精度。通过工程实例比较和分析, 认为移动法曲面拟合拟合精度更高且稳定, 具有较高的可靠性和实用价值。

参考文献

- 1 孔祥元, 梅是义. 控制测量学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2002.
- 2 杨国华, 等. GPS 水准在测图中的实用性试验[J]. 测绘工程, 1997(2): 58-63.
- 3 钟波, 罗志才. GPS 水准综合模型的应用研究[J]. 测绘通报, 2007(6): 527.
- 4 杨永平, 冯立清, 兰孝奇. BP 神经网络法在 GPS 高程拟合中的应用[J]. 三晋测绘, 2004(11): 17-20, 23.

Discussion for Move Curve Fitting for Measurement of Vertical Control

MENG Bin

(Anhui Province Second Surveying and Mapping Institute, Hefei Anhui 230031, China)

Abstract Some common method for fitting the standard measurement of global positioning are polynomial curve fitting, cubic spline curve fitting, polynomial surface fitting, Multifaceted function of surface fitting and mobile surface fitting method. Combining with practical example, this paper analyzed how to obtained the accuracy of the data by many ways, and with the compare and analysis for practical project, it believed that the method of mobile surface fitting's precision is higher and more steady, and it has a high reliability and practical value.

Key words leveling; mobile surface fitting; height; accuracy