

运用 GPS 曲面拟合高程精化锦州市区似大地水准面

秦志伟, 李福金

(辽宁省基础测绘院 辽宁 锦州 121003)

摘要: 利用已完成的锦州市区基础控制成果对锦州市似大地水准面精化进行了研究。介绍了 GPS 高程的应用理论, 大地水准高的计算方法以及利用曲面拟合法计算大地水准面高, 并对结果进行了分析, 绘制出高程异常等值线图。

关键词: 基础控制; GPS 高程; 似大地水准面; 曲面拟合法; 高程异常等值线图

中图分类号: P228.4 文献标识码: B 文章编号: 1672-5867(2012)02-0073-03

Quasi-geoid of Jinzhou through GPS Height Fitting Method Based on Curved Surface

QIN Zhi-wei, LI Fu-jin

(Liaoning Provincial Basic Surveying and Mapping Institute, Jinzhou 121003, China)

Abstract: The paper studies the quasi-geoid of Jinzhou through its finished basic control result. The paper introduces the application theory of GPS height and both the general method and the curved surface fitting method to measure geodetic height. At last, the paper analyzes the result and the map of geoid contour is drawn.

Key words: basic control; GPS height measurement; quasi-geoid; curved surface; fitting method; map of geoid contour

0 引言

目前 GPS 定位技术已得到了普遍应用, 人们已经能够在 10^{-7} 至 10^{-9} 的精度量级上简捷而经济地获得所测点位的平面位置, 但是却一直未能以相应的精度解求点的高程(海拔高)。原因是尽管 GPS 能给出高精度的大地高, 却由于没有一个具有相应精度和高分辨率的似大地水准面模型, 致使在 GPS 大地高至 GPS 海拔高的转换中精度严重损失。高精度似大地水准面的建立, 不仅可以建立与地方大地测量坐标相一致的精确的大地平面控制网, 而且可以快速地获取地面点的高程, 极大地改善传统高程测量作业模式, 取代城市四等乃至三等水准测量, 使费用高、难度大、周期长的传统水准测量工作量减少到最低程度, 满足目前数字基础地理信息采集的迫切需要。在应用于大地数据库的建立、4D 产品开发等方面, 具有特别重要的科学意义。

本文就应用利用已经完成的锦州市区基础控制成果, 用水准联测 GPS 点建立似大地水准面及通过增加 GPS 水准联测精化似大地水准面, 继而为 GPS-RTK 快速测定待测点高程提供依据, 并绘制出高程异常等值线图。

1 GPS 高程应用理论

GPS 测高是以椭球面为基准的高程系统, 常规测量所说的高程是以水准面为基准的高程系统, 两者是完全不同的两种参考面。

大地高、正高、正常高三者之间的关系如图 1 所示。

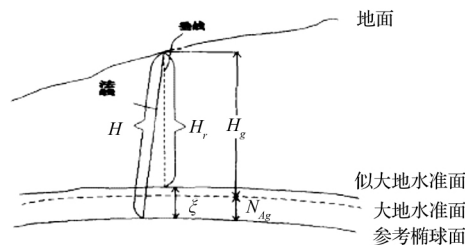


图 1 大地高、正高与正常高的关系图

Fig. 1 Relationship between geodetic height, orthometric height and normal height

由图可知: $H = H_g + N_{Ag}$, $H = H_r + \zeta$

H 为从地面一点沿过此点的地球椭球面的法线到地球椭球面的距离, 即为大地高; H_g 为地面到大地水准

收稿日期: 2011-09-08

作者简介: 秦志伟(1982-)男, 辽宁锦州人, 高级工程师, 硕士, 2010年毕业于武汉大学测绘工程专业, 主要从事大地测量、工程测量、地籍测量等工作。

面的高,即为正高; H_y 为地面到似大地水准面的高,即为正常高; N_{Ag} 为大地水准面到参考椭球面的高; ζ 为高程异常。

GPS 定位是以世界大地测量坐标 WGS-84 为基础的,这是一种地心地固 3 维空间直角坐标系,与之对应同时定义了一个参考椭球。鉴于参考椭球与似大地水准面是两种不同类型的基准面,二者既不重合也不平行,而且二者计量方向也不一致。如图 1 所示,地面某点 i 其正常高 H'_i 与大地高 H_i 的关系为:

$H_i = H'_i + \zeta_i$, 相应于 j 点 $H_j = H'_j + \zeta_j$, ζ_i, ζ_j 为 i, j 点的高程异常。 i, j 两点的高差为:

$$\Delta H_r = \Delta H - \Delta \zeta$$

ΔH 是两点间的大地高高差,由 GPS 相对定位求得; ΔH_r 是两点间的正常高的高差, $\Delta \zeta$ 是两点间的高程异常的变化。所以用 GPS 大地高差求解正常高的关键是以必要的精度求得 ζ 或 $\Delta \zeta$ 。

2 大地水准面高的计算方法

目前,求解高程异常 ζ 和高程异常的变化 $\Delta \zeta$ 的方法有多种,主要有天文大地水准方法,地球重力场模型法,重力法及数值拟合法等。因为本次研究没有专门立项,仅仅是我们进行初步的研究。根据单位情况,不具备天文测量条件,而重力数据保存在国家测绘局大地数据处理中心和省地震局,属机密数据,不容易获得,所以我们主要探讨用数值拟合法来求解大地水准面高。而数值拟合法中包含常数拟合法、曲线拟合法、曲面拟合法,本次控制面积约 690 km²,采用了曲面拟合法。

3 锦州市似大地水准面精化实例

1) GPS 数据来源

本论文的 GPS 数据来源于锦州市地籍测量 C 级基础控制网(由于平均边长已经在 3~5 km,所以继续加密的一级、二级控制网数据没有采用),共施测 C 级 GPS 控制点 59 个、联测 8 个国家 II 等三角点。

2) 水准数据来源

本论文的水准数据为锦州地籍测量中的水准数据,测区内共找到 6 个 II 等水准点,在 GPS 网内共联测 41 个点,重合率达到 70%。

3) 内插模型及精度分析

本次项目我们采用多项式曲面拟合中的三次曲面拟合模型进行大地高的计算。

三次曲面拟合数学模型为:

$$\zeta = a_0 + a_1X + a_2Y + a_3X^2 + a_4Y^2 + a_5XY + a_6X^3 + a_7X^2Y + a_8XY^2 + a_9Y^3 \quad (1)$$

均匀选取测区内 10 个重合点进行三次曲面拟合,精度统计见表 1。

综合表格数据,可分析用三次曲面拟合的精度很高,能够达到四等水准的要求,可以在实际工作中代替四等水准。

表 1 三次曲面拟合参数残差变化表

Tab. 1 Variation of cubic curved surface fitting parameter residual

精度区间/mm	10 个重合点残差拟合个数
0~20	34
20~50	6
50~100	1
100~150	
平均残差/mm	12

4 建立高程异常等值线图

4.1 建立三角网

三角网高程异常模型的建立应基于最佳三角形的条件,即尽可能保证每个三角形或三边的长度近似相等,以下介绍比较常用的 Delaunay 法建立 TIN。

Delaunay 三角网是俄国数学家 B. Delaunay 于 1934 年发现的。关于 Delaunay 三角网构建的研究有许多,但由于本课题具有数据量大的特征,不宜直接沿用已有构建方法,笔者针对本课题数据特征,研究获得了适应本课题速度较快的构建方法。Delaunay 三角网有一个特性,每个三角网形成的外接圆都不包含其他参考点。利用这一个性质,我们可以直接构成 Delaunay 三角网。

当所有生成的三角形的新生边均经过扩展处理后,则全部离散的数据点被连成了一个不规则的三角网高程异常模型。当前生成三角网的程序已被封装到商用软件中,本项目使用的是南方 CASS 7.0 软件来构 TIN,具体如图 2 所示。

4.2 生成高程异常等值线图

我们采用南方 CASS 7.0 商用软件生成了高程异常等值线,步骤如下。

1) 打开 CASS 7.0: 执行下拉菜单中“文件”下“参数配置”,在弹出的“参数设置”对话框的“地物绘制”选项卡中的“高程注记位数”单选框区选中“3 位”单选框,使以后展绘的控制点高程异常值显示到 mm 位。

2) 创建坐标数据文件: 打开 Windows 的记事本,每行按照“点号 x 坐标 y 坐标 ζ 高程异常”的顺序输入 41 个控制点数据,以文件名 dzx.dat 存盘保存后,退出记事本。

3) 展绘坐标数据文件: 执行下拉菜单“绘图处理”下的“展高程点”命令,命令行提示输入绘图比例尺时输入“50 000”,在弹出的“输入坐标数据文件名”对话框中选择先前已创建的数据文件 dzx.dat。

4) 建立 DTM: 执行下拉菜单“等高线”下的“由数据文件建立 DTM”命令,在弹出的“输入数据文件名”对话框中选择前已创建的数据文件 dzx.dat,根据命令行的提示全部按 Enter 键响应,CASS 自动生成如图 2 所示的三角网。

5) 绘制高程异常等值线: 执行下拉菜单“等高线”下的

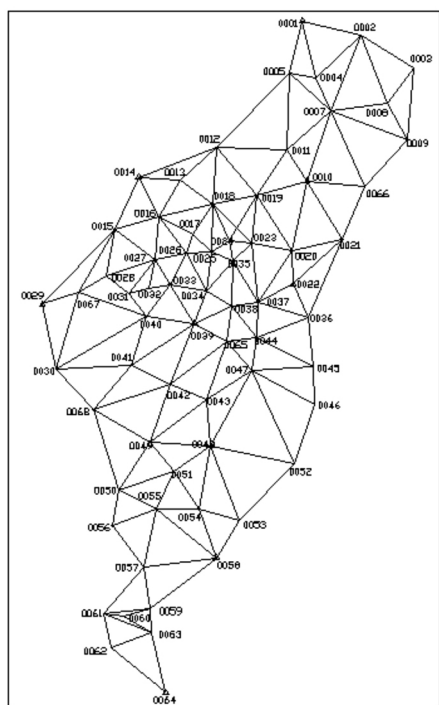


图 2 不规则的三角网高程异常模型
Fig.2 Anomalous triangle net height model

“绘制等高线”命令 在命令行输入等高距为 0.005 m 选择“三次 B 样条拟合”选项 ,CASS 将自动以 0.005 m 的等高距绘出本地区 41 个点的高程异常等值线图。CASS 是在第四步已生成的三角网基础上采用相邻数据点间(也即三角网边长)线性内插的方式按用户键入的等高距值自动绘制等值线 就某条三角网边长而言属于线性内插,但将各三角网边长上线性内插求得的同一高程等值线以三次 B 样条拟合后得到的等值线就类似于多项式曲面拟合了。因此从原理上分析 采用 DTM 模型创建的高程异常等值线图应该与多项式曲面拟合求得的结果相近。

6) 注记高程异常等值线: 执行下拉菜单“等高线”下的“等高线注记”命令 注记高程异常等值线的计曲线,最后结果如图 3 所示。

为了验证生成高程异常等值线图的精度,利用此次项目中的 8 个一级控制点的点位 联测四等水准,求解出内插在等值线图中 精度见表 2。

表 2 ζ 内插值变化表
Tab.2 Variation of ζ interpolation value

点号	ζ	ζ_j	$\Delta\zeta$
N 008	52.326	52.318	0.008
N 035	52.504	52.508	-0.004
N 038	52.538	52.536	0.002
N 073	52.584	52.586	-0.002
N 089	52.609	52.615	-0.006
N 101	52.683	52.678	0.005
N 103	52.672	52.671	0.001

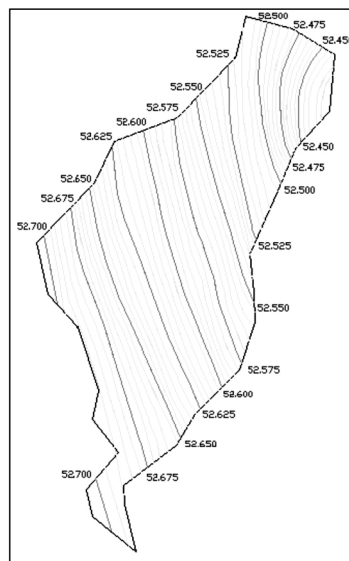


图 3 高程异常等值线图
Fig.3 Map of geoid contour

综合上表数据,可分析内插值与生成的高程异常等值线图比较吻合 模型比较贴近锦州地区的实际情况。

5 结束语

论文以锦州市已完成的基础控制的 GPS 网与水准网为数据来源,利用三次曲面拟合的方法求解高程异常值,并统计残差变化表。最后就现有数据在南方 CASS 7.0 下生成了 0.005 m 分辨率的高程异常等值线图,并均匀选取了 8 个检查点进行区域内的精度检查,精度良好。通过本文实例看出,在地势比较平坦、控制面积不是很大的情况下,完全可以使用商用 CASS 7.0 软件建立三角网,并生成高程异常等值线,这种方法不需要复杂的编程计算,可操作性很强。

参考文献:

[1] 孔祥元,郭际明.控制测量学(下)[M].武汉:武汉测绘科技大学出版社,1996.
[2] 尹水清,王虎,王贵明.大连市厘米级精度的似大地水准面精化[J].测绘与空间地理信息,2008,31(1):165-167.
[3] 徐绍铨,吴祖仰.大地测量学[M].武汉:武汉测绘科技大学出版社,1998.

[编辑:胡雪]