

GPS高程异常值求取方法及应用

闫伟伟*

中冶地集团西北岩土工程有限公司, 陕西 710000

摘要: 本文简要介绍了求取GPS高程异常值的等值线图法和加权平均值法。结合工程测量的具体实例重点阐述了等值线图法在实际中的应用。从GPS高程拟合的基本原理出发, 采用千寻CORS测量、高程异常值求取的正常高与运用水准测量获取的高程值进行分析、比对, 得到的结果可以满足精度需要, 体现出应用的便捷性。

关键词: GPS高程拟合; 高程异常; 等值线图法; 加权平均值法

一、引言

千寻CORS^[1]系统是以RTK的差分定位原理为基础, 基于北斗卫星系统, 融合阿里巴巴集团自主研发的定位技术, 云计算时代的多频网络RTK算法系统。它以“互联网+位置(北斗)”为理念^[2], 通过北斗地基增强系统, 整合全国一张网的建设, 构建位置服务开放平台^[3], 通过互联网的方式为CORS账号使用者提供全天候2000国家大地坐标系下的厘米级精度位置差分服务。近年来在全国范围内迅速地推广应用, 满足国家、行业、大众市场对精准位置服务的需求。

在实际工程测量工作中, 有了千寻CORS账号以后, 在其服务范围内, 无须再建基站, 仅需正确设置一个移动站后就可以开始测量工作。因此, 它在工程测量GPS高程异常值应用方面发挥着不可替代的作用。

(一) 基本概念^[4]

1. 大地高

地面点沿椭球法线到参考椭球面的距离。

2. 正常高

地面点沿正常重力线到似大地水准面的距离。

3. 正高

地面点沿铅垂线至大地水准面的距离。

(二) 高程异常^[4]

高程异常: 似大地水准面与椭球面之间的差距称为高程异常, 也就是大地高与正常高之间的关系。通过GPS测量, 获取的是地面点相对于WGS84椭球(参考椭球面)精确的大地高, 而在实际工程中, 需要的是相对于似大地水准面的正常高, 两者之间的关系式为(见图1): $\zeta = H - h$ 。

式中: ζ 表示高程异常, H 表示大地高, h 表示正常高。

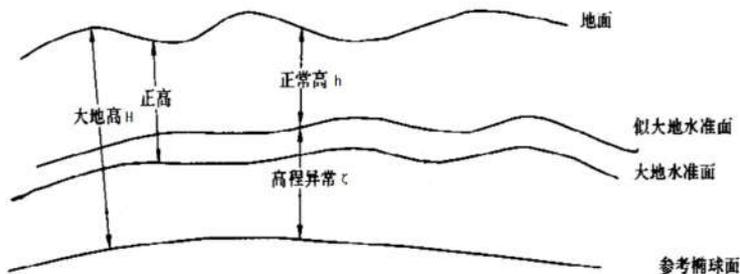


图1 大地高与正常高的关系

我国使用的高程系统为正常高系统, 正常高即为海拔高; 若能精确地求出GPS网点的高程异常 ζ , 就可以求出GPS点的正常高 h 。

*通讯作者: 闫伟伟, 1984年2月, 男, 汉族, 河南叶县人, 就职于中冶地集团西北岩土工程有限公司, 中级工程师, 本科学历。研究方向: 工程测绘。

二、高程异常值求取方法

(一) 等值线图法

等值线图^[5]包括地形等高线图、地层等厚度图、矿床有用成分品位等值线图。它是用数值相等的各点连成的平滑曲线，是连续分布、逐渐变化的数量特征的一种图。等值线图的绘制方法有目估法、解析法和计算机系统绘图法等。值的变化量越小，线的间距就越大。值上升或下降得越快，线的间距就越小。在一幅等值线图上，等值线的数值间隔通常是常数，根据等值线的疏密可以判断高程异常值的变化趋势。

假如有N个大地高已知的高等级控制点，用水准测量的方法得到这N个已知点中M个点的正常高，这些M点称为公共点，再利用大地高与正常高之间的关系求出这M个公共点的高程异常值。将这M个公共点的高程异常值按一定的比例尺展绘于图纸上或者绘制于计算机相关软件上，并记上相对应的高程异常值，然后以合适的数值间隔生成高程异常分布图，那么非公共点的高程异常值即可在图上内插求出。

(二) 加权平均值法

加权平均值法是在测区范围内分布的水准点数量相对较均匀、较密集的基础上，利用已知点和待测点间的距离作为定权依据，然后用加权平均的放阿飞计算出待测点的高程异常值。计算公式如下：

$$\xi_k = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \xi_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

式中， P_i 为已知点的权， ξ_k 为待测点X的高程异常值， ξ_i 为已知点的高程异常值。

对于权 P_i 的确定，采用下面的两种方法：

3. 按距离待测点的距离的倒数定权，公式如下：

$$P_i = 1/d_i$$

4. 按距离待定点的距离的平方的倒数定权，公式如下：

$$P_i = 1/d_i^2 \quad \left(d_i = \sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2} \right)$$

由以上公式可知，加权平均值法去掉了与待测点较远的已知点，使这些较远的点不参与高程异常值的计算，有效地避免了拟合范围大对拟合精度的影响。本文仅以等值线图法为例说明其在工程测量中的应用情况。

三、等值线图法在工程测量中的应用

(一) 项目概述

某县饮水安全工程项目，测区线路里程从K0+000-K80+500，呈西南—东北走向。全线地貌类型为平原，地势较平坦，视野开阔，遮挡物少，通视情况良好。区域内起点K0+000至K14+100处地类主要以荒草地和盐碱为主，K14+100至终点范围内地类主要是农用地，区域海拔高程在1100~1188米之间。工作任务是按1：500比例尺测定线路上的阀井、阀房及线路附近的水厂等永久性土地使用范围及用地界桩位置、标定用地界线、编制图件、报告等。坐标系采用2000国家大地坐标（高斯克吕格投影），1985国家高程基准。

(二) 已有控制资料

收集到项目区域的C级GPS控制点17个（10个作为已知点计算高程异常值，7个作为项目检核点，展点图详见图3），分布于线路附近区域，平均点间距为10 km。成果为2000国家大地坐标系的平面坐标（高斯克吕格投影）和大地坐标，高程基准为1985国家高程基准（某科学研究院高程精化成果）。

(三) 已有控制资料说明

已有控制资料为2000国家大地坐标系，而计算高程异常值需要的是地面点相对于WGS84椭球的精确的大地高。在 原点、尺度、定向及定向演变的定义上，2000国家大地坐标系（CGCS2000）与WGS84是相近的^[6]。两个坐标系使用的参考椭球4个常数也非常相近，长半轴a、扁率f、地球引力常数GM、自传角速度 ω 中，唯有f和GM存在差异，即： $f_{CGCS2000} = 1/298.257222101$ ， $f_{WGS84} = 1/298.257223563$ ； $GM_{CGCS2000} = 3.986004418 \times 10^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$ ， $GM_{WGS84} = 3.986005 \times 10^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$ 。鉴于二者在坐标定义中存在差异，但差异微小，对于一般用户可忽略不计，二者值可通用。在此工程测量项目中，可采用已有控制资料成果中的大地高求取高程异常值。

(四) 高程异常值应用思路

1. 利用已知点资料求出该区域点的高程异常值，用等值线图法求取测区的高程异常值分布图。
2. 利用千寻CORS账号方式获取待测点的2000国家大地坐标系平面坐标和大地高。
3. 利用高程异常、大地高、正常高三者的关系求出待测点的高程值。

(五) 千寻CORS工作设置方法

千寻CORS以网络RTK差分定位为基础，在优化测绘作业流程、提升数据观测精度方面，展现出显著优势。其工作设置流程如下：

1. 设置移动站数据链，设置界面设置见图2左。
2. 设置网络通信模式，包括网络类型（运营商）、服务器域名/IP、端口号以及千寻CORS账号、密码，并调通，见图2中。
3. PPK模式关闭，北斗、Glonass开启，设置，见图2右。
4. 以上设置完成，在已知控制点上检核，满足 $\Delta X < 2\text{ cm}$ 、 $\Delta Y < 2\text{ cm}$ 、 $\Delta H < 3\text{ cm}$ 要求后方可进行施测。



图2 千寻CORS工作流程设置

(六) 求解高程异常值及高程检核

1. 利用已知控制点（10个）高程异常值（表1）绘出等值线图详见下图3。

表1 10个已知点高程异常值成果表

序号	控制点名	大地高H (m)	正常高h (m)	高程异常值 (m)
1	C1	1074.56	1120.528	-45.968
2	C2	1066.48	1113.163	-46.683
3	C3	1080.92	1127.538	-46.618
4	C4	1080.595	1127.694	-47.099
5	C5	1071.579	1118.572	-46.993
6	C6	1086.343	1133.132	-46.789
7	C7	1080.301	1127.767	-47.466
8	C8	1090.821	1138.711	-47.890
9	C9	1090.938	1139.199	-48.261
10	C10	1093.022	1141.268	-48.246

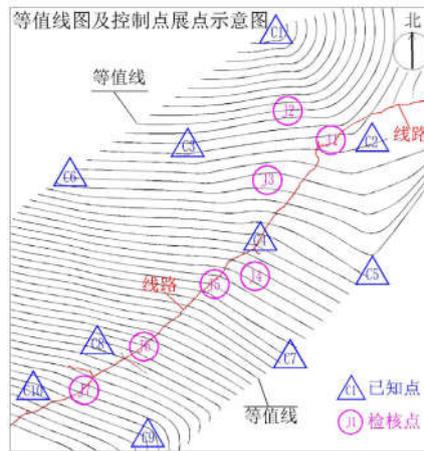


图3 等值线图及控制点展点示意图

9. 利用高程异常值构成的等值线图求取检核点的正常高与检核点（上述7个已知点）的已知正常高比较如下表2。

表2 7个检核点比较表

序号	检核点 点名	正常高h (m) 已知点	正常高h (m) 检核点	二者差值 Δh (mm)
1	J1	1171.175	1171.184	9
2	J2	1119.091	1119.102	11
3	J3	1122.383	1122.376	-7
4	J4	1127.327	1127.342	15
5	J5	1128.647	1128.655	8
6	J6	1137.386	1137.373	-13
7	J7	1140.045	1140.038	-7

注：（1）正常高h (m) 已知点一列是7个已知点的正常高。
（2）正常高h (m) 检核点一列是利用等值线图求取的正常高。

3. 水准测量检核求取的正常高

按二等水准测量进行，检核J1至J2段长度为5 km，J2至J3段长度为7 km，J3至J1段长度为7 km。经检核知，各段闭合差均小于 $8\sqrt{L}$ （L为往返测段的路线长度，以km计）。与用等值线图法求取点正常高之间的差值为：J1为4 mm，J2为-5 mm，J3为6 mm。

四、结束语

等值线图法与加权平均值法在实际工作中都较容易实现，而且也很方便。等值线图法在相对平坦的地区精度可达到厘米级，可以满足相关精度要求。等值线图因可以直观的看出高程异常值连续变化的趋势，故在实际使用中较为便捷、高效。等值线图法求取的高程异常值会受到等值线绘制精度误差及内插误差的影响。加权平均值法中，根据定权公式可得出，距待定点较近的已知点对待测点的精度影响最大。在实际工作中，尽量将均匀分布，甚至覆盖整个测区的已知点参与到高程异常值的计算中来。

上述高程异常值的求取限于该测区应用，但方法可在其他千寻CORS开通的地区尝试应用。

参考文献：

[1]程苇杭,郑红,李莉莉.舟山长峙岛千寻CORS系统定位精度验证[J].中国水运. 2018(06):239-240.
 [2]樊晓峰.千寻位置在测绘生产中的应用推广[J].华北国土资源. 2018(6):67-68.
 [3]刘东军.千寻位置服务与CORS系统的精度探讨[J].科学管理. 2018(04):229.
 [4]徐绍铨,张华海,杨志强.GPS测量原理及应用(第四版)[M].武汉大学出版社. 2017:230.
 [5]张广友.GPS高程拟合方法对比研究[J].东华理工大学. 2015:16-17.
 [6]徐登云,郝丽娟.2000国家大地坐标系与GRS80及WGS84的比较[J].西部资源. 2012(02):152-153.