

实时获取 GPS高程拟合关系

蒋诗洋*

(佛山市城市规划勘测设计研究院, 广东 佛山 528000)

摘要:通常 GPS高程拟合关系通过 GPS静态测量平差计算求得, 本文通过实例证明: 动态 RTK测量同样可以实时获取高程拟合关系, 并且在地形起伏较小的地区能达到四等水准测量精度, 本法对于水准点稀少的地区具有较高的应用价值。

关键词:似大地水准面; 高程拟合; GPS/水准点; RTK/水准点; 数据分析

通常开展 RTK测量所需要的 GPS高程拟合参数, 都要经过外业踏勘, 内业布网, 再观测及数据后处理几道工序, 最后求得作业区域一定数量的 GPS/水准点 (为了区别起见, 用 GPS/水准点表示静态测量得到的平高点, 相应地, RTK/水准点表示动态测量得到的平高点), 进而求出 GPS高程拟合关系。然而, 对于一些工期较紧、精度要求稍低的项目, 如果我们按常规操作, 则不仅提高了成本, 也延误了工期。笔者在佛山市南海区狮山工业园开展燃气管线竣工测量时, 对于方圆约 500 km² 的区域, 采用了实时获取 RTK/水准点, 进而求取高程拟合关系的方法, 经比较分析证明, 利用这种高程拟合关系测量的 RTK点高程精度符合规范和设计要求, 在地形起伏较小的地区可达到四等水准测量精度。

1 RTK测量原理

RTK测量是基于载波相位观测值的实时动态定位技术, 能够实时地提供测站点在指定坐标系中的三维定位成果, 并实现厘米级的精度。其原理是: 在进行动态测量时, 基准站将已知的 WGS84坐标和观测数据实时地用电台传输给流动站, 在流动站实时进行差分处理, 得到基准站和流动站的三维坐标差, 坐标差再加上基准站坐标得到流动站每个点的 WGS84坐标, 最后通过坐标转换参数求出流动站每个点的在相应坐标系中的坐标。

RTK测量系统的开发成功, 是 GPS测量技术的灵活运用, 它极大地提高了 GPS测量工作的可靠性和效率, 对于 GPS测量技术的发展与普及具有特别重要的现实意义。

2 高程拟合的实际

高程测量是 GPS测量的重要组成部分, 在 GPS相

对定位中, 所求得的三维基线向量, 通过 GPS网平差, 可求得精密的 WGS - 84大地高差, 再通过坐标转换, 求得精密的国家或地区参考椭球的大地高差, 如果已知网中一个或多个点的大地高程, 就可以求得各 GPS点的大地高。

2.1 正常高系统

鉴于严密的正高不可求, 在实际应用的精密高程测量中, 是以似大地水准面为基准面的高程系, 即正常高系统。地面点的大地高是该点沿椭球法线到参考椭球面的距离, 正常高 $H_{\text{正常}}$ 是该点至似大地水准面的铅垂距离 (如图 1)。大地高 H 与正常高 $H_{\text{正常}}$ 的转换公式如下:

$$H_{\text{正常}} = H - \quad (1)$$

$$\text{或} \quad = H - H_{\text{正常}} \quad (2)$$

式中: H 表示大地高;

表示似大地水准面至参考椭球面的高差, 称为高程异常。

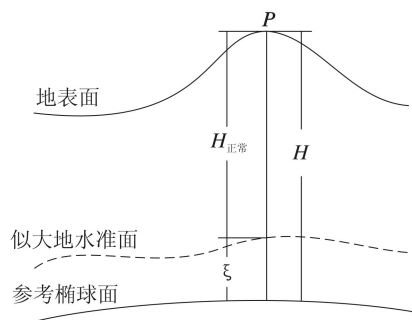


图 1 大地高与正常高的关系

2.2 高程拟合的实际与方法

所谓高程拟合, 就是在 GPS点布设的区域内, 根据已知点的平面坐标和高程异常值, 用数值拟合方

* 收稿日期: 2006—10—21

作者简介: 蒋诗洋 (1973—), 男, 工程师, 主要从事城市测绘技术工作。

法,拟合出似大地水准面,再内插求待定点的 $H_{\text{正常}}$ 值,从而求出待定点的正常高 $H_{\text{正常}}$ 。高程拟合的实际就是确定似大地水准面。

高程拟合计算的方法有:加权均值法、多项式曲线拟合、多项式曲面拟合、多面函数曲面拟合、线性移动拟合法、神经网络法等等,其中 GPS 水准利用多项式曲面拟合法应用最广。

多项式曲面拟合函数模型是利用拟合区域内多个 GPS 水准点,按削高补低的原则来平滑出一个多项式曲面来代表拟合区域的似大地水准面,拟合误差与拟合范围成正比。

单点的高程异常 ΔH 与坐标 (x, y) 之间函数关系如下:

$$\Delta H = f(x, y) + \epsilon \quad (3)$$

其中, $f(x, y)$ 为中趋势值, ϵ 为模型误差。

$$f(x, y) = a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 x^2 + a_4 xy + a_5 y^2 + \dots \quad (4)$$

当有多个点时,写成矩阵形式如下:

$$\Delta H = XB + \epsilon \quad (5)$$

对于每个已知点,在最小二乘准则条件下,解出各 a_i ,求出测区范围内任何插值点的高程异常值 ΔH ,进而计算出 GPS 点的正常高。

3 实时动态获取高程拟合关系实例

3.1 项目概况

佛山市规划勘测院于 2006 年起对南海区狮山、大沥、里水、桂城四片区域总面积约 500 km²、总长约 300 km 的燃气管网开展监测工作。而我院在该区域的控制点密度远不能满足施测需要,为了顺利做好燃气管网的监测工作,我们决定在四大片区域开展控制测量。作业时又将各区域划分为几个小块开展工作,其中狮山工业园的西北块(简称为狮西块)东至佛山一环、南达广三高速、西接西一环、西邻西南涌、面积约 50 km²,本文以狮西块为例,介绍实时获取高程拟合关系的过程。

3.2 资料分析及方法探讨

已有控制资料:平面控制成果有上九村委会、贤寮泵闸、确正设备、青歧镇政府、小榄卫生站 5 个 C、D 级 GPS 点;高程控制成果有沙头小学、三水劳教、狮岭小学、华涌制衣厂、罗洞、大榄小学、利普 7 个等水准点。

资料分析:所有 GPS 平面控制点无水准高程(不满足水准观测条件),其中 4 个 C 级 GPS 平面控制点分布在测区外围,平均点间距约 17 km, 1 个 D 级 GPS 平面控制点在测区的概略中心,该点在屋顶上,周围无高层建筑和发射台;所有等水准点无平面成果(不满足 GPS 静态观测条件), 5 个等水准点分布在测区外围、被平面控制点所包围, 2 个等水准点在测区内。

方法探讨:根据现有资料,假如布设静态 GPS 次级网,将屋顶的 C、D 级点引到地面获得 GPS 水准点,平面与水准联测的工作量都将很大;如果利用现有 C、D 级点平面拟合关系,通过 RTK 实时测量等水准点附近图根水准点的大地坐标而获得高程拟合关系,两者叠加作为测区的拟合参数,即可开展 RTK 图根控制测量(本次高程拟合关系获取时间仅半天)。由于拟合参数的误差源集中在大地高 H 与正常高 $H_{\text{正常}}$ 的观测精度,因此在 RTK 水准点位选取、观测方法、仪器选择等方面都要做好质量控制。

3.3 项目组织与实施

采用仪器:2 台套 (1+1) Thales Z-max GPS 接收机,同步测量模式平面精度指标为:1 cm+1 ppm,高程精度精度指标为:2 cm+1 ppm; 2 台套 (Zeiss DNil2) 电子水准仪、铟瓦条码水准标尺。

参加人员:工程师 2 人、技术员 2 人。其中 1 人守基准站, 3 人负责流动站数据采集和水准测量。

作业流程:测量前在 FastSurvey 手簿内拟合好平面转换关系,设站时基准站输入大地坐标,观测时流动站采集等水准点附近适合 RTK 测量的点,然后进行等水准联测。完成所有 RTK 水准点的测量后,现场拟合高程转换关系,然后利用所得平面高程转换关系,进行 RTK 图根点数据采集,并与水准成果检查比对,确认成果的可靠性。

3.4 数据分析

高程拟合:经多项式曲面拟合函数模型求高程转换关系,残差最小为 0.4 cm (利普 RTK 水准点),最大为 2.0 cm (狮岭小学 RTK 水准点)。

数据检查:数据检查采样及精度统计表见表 1。本次 RTK 数据采集总点数为 20 点,为了检查成果的可靠性,我们特别对所测的 RTK 图根点进行了等水准测量,经水准平差计算后,精度统计结果是:最大点间误差为 0.05 cm,最大点位误差为 0.10 cm,说明等水准测量值是正确的,在下面数据分析中作为真值使用。

由表 1 可知,RTK 高程与等水准高程较差最小值 $H_{\min} = 0.01$ cm (点号为 CP7),最大值 $H_{\max} = 0.31$ cm (点号为 CP15),平均值 $H_{\text{aver}} = 0.13$ cm。若以等水准高程为真值,计算出高程中误差 $M = \sqrt{[DD]/n} = \pm 0.15$ cm,可见成果可靠,可以使用。

(下转第 83 页)

特例。按非对称型缓和曲线的计算公式编程,可同时完成对称型缓和曲线的相关计算,条件是设定 $l_1 = l_2$ 。

测角误差在曲线测设总误差中所占的比重较大。严格限制测设距离,是保证测设精度的重要条件。

参考文献

- [1] 乔翔, 蔺惠茹. 公路立交规划与设计实务. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [2] 李青岳. 工程测量学. 北京: 测绘出版社, 1984.
- [3] CJJ - 99 城市测量规范.

Calculation and Setting - out of Asymmetric Connecting Curve

Xu YDao

(Wuhan Municipal Engineering Design Research Institute, Wuhan 430015, China)

Abstract: A symmetric connecting curve must be used in alignment design of the large citted traffic engineering, for suiting the requirement of speed change lane design. This paper state that the calculation formula and the setting - out method of asymnetric connecting curve.

Key words: A symmetric connecting curve; Calculating formula Total station; Pole - coordinate survey

(上接第 51 页)

等水准测量高程与 RTK 高程测量精度统计表 表 1

| 点号 | 等水准值 H_1 /m | RTK值 H_2 /m | 较差 H /cm |
|------|---------------|---------------|------------|
| CP1 | 7.041 | 7.042 | 0.01 |
| CP2 | 7.031 | 7.043 | 0.13 |
| CP3 | 7.393 | 7.376 | 0.17 |
| CP4 | 6.418 | 6.420 | 0.02 |
| CP5 | 6.932 | 6.954 | 0.22 |
| CP6 | 6.515 | 6.518 | 0.03 |
| CP7 | 5.270 | 5.271 | 0.01 |
| CP8 | 5.911 | 5.925 | 0.14 |
| CP9 | 6.499 | 6.473 | 0.26 |
| CP10 | 5.719 | 5.735 | 0.16 |
| CP11 | 5.323 | 5.335 | 0.12 |
| CP12 | 5.380 | 5.403 | 0.23 |
| CP13 | 5.372 | 5.381 | 0.09 |
| CP14 | 5.770 | 5.756 | 0.14 |
| CP15 | 23.500 | 23.531 | 0.31 |
| CP16 | 23.498 | 23.489 | 0.09 |
| CP17 | 5.201 | 5.210 | 0.09 |
| CP18 | 4.938 | 4.961 | 0.23 |
| CP19 | 5.153 | 5.141 | 0.12 |
| CP20 | 5.763 | 5.771 | 0.08 |

4 结论及建议

4.1 结论

本文通过工程项目实践证明:用 RTK/水准点代替 GPS/水准点求取高程拟合关系做图根控制测量,它满足 $30\sqrt{L}$ 的限差要求,在工期较紧、水准点相对较少的地区具有较高的实用价值,对于平坦地区能够达到更好的精度。

4.2 建议

(1)基准站的选择应满足:位于测区中央、地势较高、周围环境干扰小等条件。

(2)采集 RTK/水准点宜用双频接收机连接支架观测,观测 10 ~ 15 次取平均值作为最后成果。

(3)求拟合关系所利用的 RTK/水准点不要集中在一个小区域,宜包围整个作业范围,最好能均匀分布。

(4)对于较大范围的控制区域,增加一定的水准联测,可获得较好的高程拟合关系,进而可得较高精度的 GPS 点正常高。

参考文献

- [1] 徐绍铨, 张华海, 杨志强等编著: GPS 测量原理及应用. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 1998
- [2] 乔仰文. GPS 高程转换的若干问题的研究 [J]. 测绘通报, 1999 (11)
- [3] 徐绍铨, 李征航. 拟合法求定 GPS 点的正常高. GPS 论文集, 1992
- [4] 路伯祥, 杨锋. GPS 在线水准测量中的应用探讨 [J]. 铁路航测, 1999 (2): 40 ~ 43
- [5] 邱斌, 朱建军. GPS 高程转换的“RCR”算法. 测绘通报, 2004 (7)

Real - time Obtaining GPS Elevation Fitting Relations

Jiang ShiYang

(The design and research institute for urban planning and survey of Foshan city, Foshan 528000, China)

Abstract: The usual GPS elevation fitting relations is obtained through the GPS static state survey adjustment computation, but this paper will prove that the dynamic RTK surveying can also obtain the real - time elevation fitting relations, and in the topography uneven areas can achieve fourth - order leveling precisions, which has the high application value regarding the bench mark scarce areas

Key words: Quasi - geodetic level surface; height fitting; GPS/bench mark; RTK/ bench mark; data analysis