

文章编号:1672-7479(2009)06-0011-03

GPS 拟合高程应用于铁路定测的研究

武 鹏

(中铁二院工程集团有限责任公司, 四川成都 610031)

Application of GPS Elevation Fitting in Railway Location Survey

Wu Peng

摘 要 简要介绍了当前采用的高程系统,结合客运专线精密工程测量网施测的二、三等水准成果和 GPS 测量数据,通过高程拟合得出水准点高程,并将 GPS 拟合高差与水准实测高差进行比较分析,认为在铁路勘测的定测阶段,采用精度较高的拟合算法所得到的拟合高程可靠,同时提出了进一步提高 GPS 拟合高程精度的方法。

关键词 大地高 正常高 高程异常 高程拟合 GPS

中图分类号: P228.4 **文献标识码**: B

在当前铁路勘测工作量大而且工期要求紧的情况下,传统的水准测量速度难以满足勘测进度的要求。为了能满足勘测定测阶段的工期要求且满足测量精度,用 GPS 高程拟合的方式解决水准测量是一种有效途径。本文将 GPS 拟合高程和传统水准测量高程数据加以试验分析,并取得了较为满意的成果。

1 高程系统

在理论上和各项工程建设的实际应用中,要表达地球表面一点的高度通常采用几种不同的表示方法,即利用几种高程系统来表示。其中,有大地高程系统、正高系统、正常高系统和力高高程系统等。同一点的高度利用不同的高程系统来表示其结果是不一样的^[1-2]。

1.1 大地高程系统

大地高程系统是以参考椭球面为基准面的高程系统。地球表面上某一点的大地高是指由该点沿着通过该点的椭球法线方向到椭球面的距离,通常用 H 来表示(如图 1 所示)。

大地高是一个几何量,并不具有物理意义。利用 GPS 测量定位技术,经过解算可以获得 GPS 点在 WGS

-84 坐标系统的坐标,其中包括大地高。

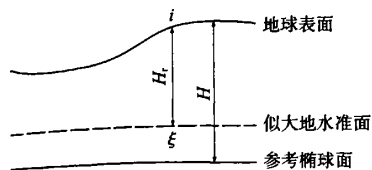


图 1 大地高与正常高的关系

大地高程系统在各项工程建设的实际应用中虽然没有被广泛应用,但是如果将它与水准测量资料、高程异常资料和重力测量资料等结合起来研究大地水准面的形状,确定 GPS 点的正常高等方面却具有重要意义。

1.2 正高系统

正高系统是以大地水准面为基准面的高程系统。地球表面上某一点的正高是指由该点沿着铅垂线方向到大地水准面的距离,通常用 H_g 表示。地球表面上某一点的大地高和正高具有下面关系: $H = H_g + N$, 式中 N 是大地水准面与椭球面的距离,即大地水准面差距。

正高系统是以大地水准面为基准面的,具有重要的物理意义,所以在城市建设、国防建设等领域有着较为广泛的应用。

1.3 正常高系统

由于正高实际上无法精确求定,出于实用上的考

收稿日期:2009-11-05

作者简介:武 鹏(1977—),男,2000年毕业于武汉测绘科技大学航测遥感专业,工程师。

虑,建立了正常高系统。正常高系统是以似大地水准面为基准面的高程系统。地球表面上某一点*i*的正常高是指由该点沿着铅垂线方向到似大地水准面的距离,通常用*H_n*表示,与其对应大地高*H_i*具有以下关系

$$H_n = H_i - \xi_i \tag{1}$$

式中, ξ 是似大地水准面与参考椭球面的距离,即高程异常。

利用 GPS 测量定位技术建立控制网,并对 GPS 基线向量网进行无约束平差,可以获得 GPS 点之间在 WGS-84 坐标系中的高精度三维空间直角坐标差($\Delta X_{ij}, \Delta Y_{ij}, \Delta Z_{ij}$),并可以将其转换成大地坐标差($\Delta B_{ij}, \Delta L_{ij}, \Delta H_{ij}$)。如果在 GPS 网中有一个点其大地高*H*值已知,则可以依次获得所有 GPS 点的大地高*H*值。

可见,如果能够首先确定各 GPS 点对应的高程异常值,即可以确定各 GPS 点的正常高。另外,如果同时已知各 GPS 点的大地高和正常高,便可以确定各点对应的高程异常值,为确定高精度似大地水准面提供数据。

2 GPS 正常高的获取

将 GPS 测量定位技术获得的各 GPS 点的大地高数据与高程异常资料或重力测量资料等结合起来,共同确定 GPS 点的正常高,目前主要有 GPS 水准高程和 GPS 重力高程等方法。工程建设中常用 GPS 水准高程方法。

GPS 水准高程是目前 GPS 测量作业中应用非常广泛的一种方法,其基本原理是:在选择布设 GPS 网点时,根据地形情况选取一些分布较适宜、并且一定密度的公共点。所谓公共点是既属于 GPS 点,同时其正常高也是已知的点。所选择的公共点可以是正常高已知的水准点,也可以是采用水准联测方法获得其正常高的点,根据公共点的大地高和正常高,按式(1)求出这些公共点对应的高程异常值,利用在范围不大的区域中,高程异常具有一定的几何相关性这一原理^[4],再用这些公共点的高程异常值采用平面拟合法、二次曲面拟合法、多面函数拟合法、地形改正法、位系数法等方法,推求出其他 GPS 点的高程异常值,最后再利用式(1),即可以确定所有 GPS 点的正常高。

按公式(1)获得的正常高精度主要受高程异常的精度制约,所以测区中公共点的分布密度和均匀性越好,拟合得到的高程异常 ξ 越准确,进而得到的 GPS 正常高精度愈高。

3 试验数据和算例

3.1 实例 1

湘桂线 DK216 ~ DK251 段位于湖南省全州县境内,线路长约 35 km,测区属低丘地貌,地形起伏小于 70 m。该段 CPII 采用 GPS 快速静态测量方法施测,点间距为 500 ~ 800 m,用六台 Trimble 5700GPS 接收机观测,采用大地四边形构网,连续观测 60 min。CP II 隔一个点和水准点共桩,水准测量采用三等。以网中的 BM42、BM48、BM53、BM58 为已知高程点进行高程拟合,计算出拟合高差和水准高差,并进行数据分析(见表 1)。

表 1 湘桂线 GPS 测量点拟合高差分析

拟合线路	点距离 /km	拟合高 差/m	水准高 差/m	互差 /mm	水准测量限差/mm	
					三等	四等
BM42 ~ BM43	2.427	0.021	0.037	-16.0	18.695	31.158
BM43 ~ BM44	1.928	3.269	3.269	0.0	16.662	27.770
BM44 ~ BM45	2.138	-18.559	-18.546	-13.0	17.546	29.244
BM45 ~ BM46	1.931	2.184	2.191	-7.0	16.675	27.792
BM46 ~ BM47	1.879	-2.366	-2.360	-6.0	16.449	27.415
BM47 ~ BM48	2.004	7.670	7.652	18.0	16.988	28.313
BM48 ~ BM49	1.200	-1.504	-1.506	2.0	13.145	21.909
BM49 ~ BM50	2.086	-0.433	-0.457	24.0	17.332	28.886
BM50 ~ BM51	1.788	-13.835	-13.850	15.0	16.046	26.743
BM51 ~ BM52	1.296	9.381	9.374	7.0	13.661	22.768
BM52 ~ BM53	2.376	-7.585	-7.585	0.0	18.497	30.829
BM53 ~ BM54	1.673	-16.000	-16.005	5.0	15.521	25.869
BM54 ~ BM55	2.897	-1.498	-1.510	12.0	20.425	34.041
BM55 ~ BM56	2.256	-1.039	-1.029	-10.0	18.024	30.040
BM56 ~ BM57	2.326	-20.036	-20.000	-36.0	18.301	30.502
BM57 ~ BM58	2.282	-3.650	-3.625	-25.0	18.128	30.213

注:水准测量限差三等为 $\pm 12 \sqrt{L}$,四等为 $\pm 20 \sqrt{L}$ 。

由表 1 分析可见,由于 BM57 偏离线路较远,造成精度较低,BM56—BM57 测段不能满足四等水准限差,其余段与水准实测结果符合较好,拟合计算的高差和水准实测高差互差可满足四等水准测量限差。

3.2 实例 2

为了进一步验证 GPS 水准测量的精度,选择了绵成乐客运专线 DK39 ~ DK75 段作为 GPS 水准试验。该测区位于四川省德阳市境内,线路长约 36 km,测区属丘陵地貌。该段 CPII 用八台 Trimble R8 GPS 接收机按快速静态测量方法施测,采用大地四边形构网,连续观测 60 min;CPII 隔一个点和水准点共桩,采用二等水准测量。以网中的 BM198、BM203、BM209、BM214 为已知高程点进行高程拟合,计算出拟合高差和水准高差,并进行数据分析(见表 2)。

表2 绵成乐客运专线 GPS 测量点拟合高差分析

拟合线路	点距离 /km	拟合高 差/m	水准高 差/m	互差 /mm	水准测量限差/mm	
					三等	四等
BM198 ~ BM199	1.750	15.443	15.445	-2.4	15.875	26.458
BM199 ~ BM200	2.008	0.706	0.715	-8.7	17.004	28.341
BM200 ~ BM201	1.816	7.490	7.500	-9.8	16.171	26.952
BM201 ~ BM202	1.931	2.484	2.478	6.5	16.675	27.792
BM202 ~ BM203	2.308	-0.126	-0.124	-1.6	18.231	30.384
BM203 ~ BM204	1.678	2.657	2.677	-20.1	15.545	25.908
BM204 ~ BM205	2.315	6.750	6.742	8.1	18.258	30.430
BM205 ~ BM206	1.785	5.452	5.444	7.7	16.032	26.721
BM206 ~ BM207	1.942	2.969	2.968	0.6	16.723	27.871
BM207 ~ BM208	2.248	-0.084	-0.092	7.7	17.992	29.987
BM208 ~ BM209	1.671	0.838	0.843	-4.9	15.512	25.853
BM209 ~ BM210	1.716	2.842	2.840	1.8	15.720	26.199
BM210 ~ BM211	2.055	4.173	4.173	0.2	17.202	28.671
BM211 ~ BM212	2.948	0.909	0.904	4.7	20.604	34.339
BM212 ~ BM213	2.120	-5.474	-5.485	11.4	17.472	29.120
BM213 ~ BM214	2.311	3.289	3.270	18.8	18.242	30.404

注:水准测量限差同表1。

由表2分析可见,采用二等水准点为已知点,并在网中均匀分布,所有测段的拟合高差结果和水准实测高差结果比较,均满足四等水准限差。但有2个测段不能满足三等水准限差要求,其余14个测段可以达到三等水准测量的精度。

4 提高GPS拟合高程精度的方法

4.1 提高GPS网基线解算的起算点坐标精度以及GPS网中公共点的正常高的精度

理论上公共点正常高的精度越高越好,但通常情况下,当要拟合GPS点的正常高的精度相当于四等时,公共点正常高的精度应该高于三等的精度,即应该使用三等以上水准点或利用三等以上的精度标准联测公共点。

4.2 增加GPS网中公共点的个数

通常情况下GPS网中公共点的个数越多越好,即GPS网中公共点的个数越多,拟合GPS点的正常高的精度越高。

4.3 GPS网中公共点的分布情况

最理想的情况是公共点在GPS网中分布均匀,在GPS网的外围有较多的公共点,而且在GPS网的中部也有若干数量的公共点。

4.4 拟合模型的精度

通常不同的拟合模型适合的地形区域有所不同,其拟合精度也有所不同。

4.5 将项目区域保持在控制点30 km半径的范围内

GPS相对定位的精确度部分与所测定基线的长度有关,定位误差的增长与基线长度一致,其比例关系约

为百万分之一。对于方圆30 km的网来说,GPS垂直分量中与距离有关的误差将会得到限制。对于那些较短的基线来说,短于1 h的设站观测时间,就能产生好的结果。

4.6 在VDOP小于5.0时进行观测

相对于用于确定位置的观测值的精度来说,垂直精度衰减因子(VDOP - Vertical Dilution of Precision)是垂直定位精确度的量度(主要与卫星的几何状态有关)。VDOP主要用于GPS码解的质量指标,大的VDOP值表示卫星几何状态不佳,通常将造成不强的定位解。

4.7 使用固定的三脚架

高度固定的三脚架可以提供一种统一的设站方法,从而能够减小天线高量测时可能产生的误差。

4.8 使用相同的带底盘的大地型天线

不同生产商或型号的GPS天线可能具有不同的相位中心。当混合使用不同类型的天线时,除非处理软件能够考虑GPS天线相位中心的不同,否则,混合使用不同类型的天线可能会引起高达100 mm的垂直分量误差。GPS天线高要准确量取。

4.9 采用精密星历

有条件的情况下,尽可能采用精密星历作为起算数据。

5 结束语

试验结果表明,不加地形改正和没有重力数据的情况下,进行GPS高程向正常高系统的转换,在平原或浅丘地区,GPS高程能够达到四等甚至于三等水准测量的精度。采用GPS水准测量方法具有观测时间较短,操作简便,且不受通视条件影响等优点,其经济效益和社会效益是十分明显的。与其他方法相比,工效可得到大大提高,在一定程度上降低了生产成本。所以,在铁路勘测定测阶段,有效利用GPS观测数据,采用精度较高拟合算法进行水准测量的方法是可行的。

参 考 文 献

- [1] 徐绍铨,张华海,杨志强,等. GPS测量原理及应用[M]. 武汉:武汉大学出版社,2003
- [2] 黄声享,郭英起. GPS在测量工程中的应用[M]. 北京:测绘出版社,2007
- [3] 许 曦,刘庆元,朱建军. 天文GPS水准方法的研究[J]. 中南大学学报,2004(8)
- [4] 陈现春. 关于较长距离的GPS水准跨河高程传递方法研究[J]. 公路,2008(7)