

Discussion on the Deformation Monitoring Technology of Settlement of GPS Leveling Method on the Road

Chao Xie Peng Ai

Hebei Huakan Capital and Environmental Survey Co., Ltd., Chengde, Hebei, 067000, China

Abstract

With the geoid constantly precision, geometric leveling work instead of heavy use of GPS leveling, presents the method for determining the geoid, and based on China's new generation of quasi-geoid CQG2000, achieve the monitoring requirements in the normal high school high mountain areas in GPS elevation fitting error. Analysis with GPS real road subsidence engineering, fitting precision of GPS height in the plain areas can achieve the control point elevation accuracy as required.

Keywords

road settlement; GPS level; (like) geoid; GPS height fitting

GPS 水准法在道路沉降变形监测的技术探讨

谢超 艾鹏

河北华勘资环勘测有限公司, 中国·河北 承德 067000

摘要

随着似大地水准面的不断精准化, 利用GPS水准测量代替繁重的几何水准测量工作, 介绍了似大地水准面的确定方法, 并基于中国新一代似大地水准面CQG2000, 在高山区GPS高程拟合的正常高中误差达到监测要求。结合GPS实际道路沉降工程分析, GPS高程拟合精度在平原地区可达到像控点高程精度要求。

关键词

道路沉降; GPS水准; (似)大地水准面; GPS高程拟合

1 引言

在测量中大地水准面或似大地水准面是大地测量中的高程基准面。现代GPS水准测量出现后, 只要大地水准面或似大地水准面能达到相应的分辨率和精度, GPS测量结合大地水准面或似大地水准面数值模型就可能代替繁重的几何水准测量工作。因此, 不断精准化大地水准面或似大地水准面就成为当前地球重力场研究的主要任务之一^[1]。

道路沉降变形监测是在道路在建过程中, 保证工程质量、工后工程控制、竣工安全评估分析的重要测量手段。数据的有效快速获得, 且省人力和物力以及保证满足测量的要求是研究的目标。

利用全球定位系统(GPS)可以精确地确定出点位的大地高, 其与中国使用的水准高(正常高)相差一个似大地水准面高。因而, 只要求得高精度的似大地水准面高相对差异, 由下式便能求得精确的水准高差:

$$\Delta H = \Delta H'' + \Delta N$$

式中, ΔH 为大地高差; $\Delta H''$ 为水准高差; ΔN 为大

地水准面高差, 即高程异常。

大地水准面表征了地球的基本几何和物理特性, 随着科学技术特别是现代卫星空间技术的飞速发展, 卫星定位、海洋卫星测高等高新技术的出现和广泛应用使现代测绘生产技术产生了重大变革, 无论是测量手段还是测量精度都产生了质的飞跃, 测量范围从陆地延伸到海洋。

在局部似大地水准面确定方面, 近30年来, 由于重力测量技术和卫星重力探测技术的迅速发展, 重力场的逼近已取得了重大的进展。一些发达地区的局部和区域性重力场由于地面重力测量密度的改善以及GPS水准的应用, 分辨率已达几公里(如欧洲地区), 区域大地水准面的精度达分米级, 有的甚至达到厘米级。

2 似大地水准面的精化方法

2.1 重力似大地水准面的精化方法

对于高分辨率区域重力场确定的一般战略已有许多研究。当前, 被广泛接受和采用的方法, 是将重力场信息分成三种不同部分, 长波部分——由全球地球模型取得; 中波部分——由地面点或平均重力场观测(如重力异常、垂线偏差和卫星测高数据等)取得; 短波部分——由高分辨率的数字地形模型取得, 采用所谓的“消除——恢复法”。

【作者简介】谢超(1984-), 男, 中国河北承德人, 本科, 工程师, 从事工程测量与无人机应用研究。

显然,区域重力场模型具有更好的逼近性。近年 Rapp 的 OSU91A 计算至 50 阶的高程异常之标准偏差,海洋部分为 $\pm 10\text{cm}$,大陆部分为 $\pm 25\text{cm}$,在缺少详细重力资料的地区则为 $\pm 50\text{cm}$ 。中国宁津生教授等计算得到的地球位模型 WDM-89 (180 阶)、WDM-94 (360 阶),由于大量收集现有的其他国家先进成果及增补了众多的中国资料,是一个很好的模型,且能更好地逼近中国境内的(似)大地水准面,WDM-94 地球位模型的高程异常中误差为 $\pm 78\text{cm}$ 。

“中国的第九个五年计划”期间,中国研究和建立了能直接用于测绘生产的高精度、高分辨率并完整覆盖中国国土(包含海洋专属经济区)的新一代中国似大地水准面 CQG2000。

中国国土范围内的大地水准面相对于参考椭球呈东高西低的走向,且大部分位于参考椭球面以下,即高程异常为负值,其起伏变化幅度约为 $120\text{m}(-80\text{m} \sim +40\text{m})$ 。新一代大地水准面(CQG2000)充分利用空间定位、卫星测高等高新技术以及中国较先进的模型(EGM96)和计算方法(综合法),为了实际检核 CQG2000 的大地水准面的实际精度,选用“中国地壳运动网络”科学工程中的分布均匀的 80 多个高精度 GPS(水准)点进行外部检核。检核的结果证实 CQG2000 在大陆部分的似大地水准面高程异常确实达到了分米级精度。在东经 102° 以东地区,中误差不高于 $\pm 0.3\text{m}$,在东经 102° 以西、北纬 36° 以北和以南地区,中误差分别为 $\pm 0.4\text{m}$ 和 $\pm 0.6\text{m}$ 。CQG2000 在大陆部分的分辨率标称为 $5 \times 5\text{s}$,在东部地区实际不低于 $15 \times 15\text{s}$,西部地区不低于 $30 \times 30\text{s}$ ^[2]。

2.2 综合法确定(似)大地水准面

上面介绍了重力(似)大地水准面的确定状况。GPS 水准主要起到了检核与精度评定的作用。为了进一步精化(似)大地水准面,除了继续改进全球和区域地球位模型和地形均衡模型,充实提高重力与地形数据库外,还要充分利用与重力场有关的其他各类观测资料,包括 GPS 水准的高程异常、卫星测高、海面地形模型等。各类资料要进行粗差与系统误差剔除,统一参考系(如 GRS80)并作先验误差的估计。

各类有关资料集合在一起的整体平差模型主要有两种:一种是配置法;另一种是确定性参数模型法。

综合法可明显减小高程异常的标准偏差。目前,确定大地水准面多采用综合法。

2.3 拟合函数选取的标准

衡量拟合模型的精度指标可采用均方误差去拟合观测数据,其拟合精度与模型误差的大小,拟合函数系数矩阵的结构,观测精度以及拟合函数中的参数个数有关。因此,可认为拟合函数的选取标准应该是:

①模型误差要小,通过函数的系数结构作用后的二次型函数要小。

②精度给定时,拟合函数中引入的参数要尽可能地少,即引入在观测数据中占主要成分的那些主参数,次要参数尽可能地排除在拟合函数之外,理论上已经证明。

如果在拟合函数中引入次要的或不必要的参数,会影响和降低主参数的精度,所以不应该认为拟合函数的阶数越高越好。最后确定的拟合函数,其参数必须按最优的准则确定,即采用最小二乘估计。这里要指出两点:第一, GPS 机用软件中一般使用拟合函数式,其适合小测区的 GPS 工程和测区较平坦的情形。如果是较大测区,地形起伏又较大,采用函数式不一定合适,已有不少实例说明其拟合效果很不好,以致内插的 GPS 点高程因误差大而不能使用。第二,在一些大城市或大的 GPS 工程中,拟合函数的选取过分强调拟合中误差的大小,即过分强调模型误差小,而忽略了在拟合函数中引入的参数个数多少以及其中是否引入了不必要的次要参数。这也是一种不全面的考虑,也会影响拟合效果和成果的精度。因此, GPS 水准拟合模型的选取最好要遵循上述标准,特别对于高精度的 GPS 水准的拟合更应如此。但是,均方差计算式中的模型误差是未知的,实际计算有一定的困难^[3]。

2.4 用曲面拟合法进行 GPS 水准的内插推估

在一个不太大的区域内,我们可以用曲面拟合法来逼近该区域内的(似)大地水准面,进行推算任意点的高程异常。

一般有二次曲面拟合法、多重二次曲面(MQ)拟合法等^[4]。曲面拟合法得到广泛应用,如果基准点选取得当,在平原地区可达到四等水准的精度。但周围的少数 GPS 点需进行水准测量,有时在山区难以满足这一条件。

曲面拟合法的 GPS 高程精度取决于模型误差、高程联测误差、GPS 大地高测量误差、GPS 大地高测量误差一般为 $\pm 10\text{mm}$ 、 $\pm 2\text{ppm}$,高程联测一般采用等级水准方法,如此,模型误差是主要影响因素,而其中的联测水准的 GPS 点的间距是关键之一。14 点拟合方案联测水准的 GPS 点的间距是沿路基 $5\sim 10\text{km}$,7 点拟合方案联测水准的 GPS 点的间距是沿路基 22km ,两种方案河道两岸均较均匀地布设了联测水准的 GPS 点。符合《工程测量规范》的要求。在最弱点附近布置了检查点,外部精度检验的可靠性好。在平原地区联测水准的 GPS 点间距取 20km ,即可达到规范要求,如此,可明显地减少水准测量的工作量。

3 拟合计算精化和误差分析

3.1 拟合计算的精化

函数结点的选取。如果在一定范围内有较多的 GPS 水准点,即已知高程异常的点较多,可选取其中部分点为结点,其余点作为拟合高程的检核点。此时拟合结果就与所选结点不同而已,这是需要进一步实验和研究的问题。从以上试验得出结论如下:

第一,计算时,要对控制点坐标做中心化处理,即计

算参与拟合控制点坐标的平均值后计算各点与此平均值的差值,然后作拟合,这样可克服自变量 x 、 y 值程异常差异大的缺陷,使法方程求解更稳定。

第二,常数拟合法和移动曲面拟合法是对待定点根据实际情况分别作拟合,常数拟法仅仅对已知点进行加权平均,效果并不理想;以待定点到已知点距离作权,然后进项式拟合,拟合函数能反映出周围地形起伏的影响,从而加强了对高程异常变化趋拟合,效果比较理想。

第三,多项式拟合和多面函数拟合是给出区域内高程异常与坐标的函数关系,在拟数量及分布相同的条件下,采用多面函数拟合比二次多项式拟合精度稍高。

第四,同一个拟合模型并非选取的已知点越多拟合的精度就越高。为所选模型是佳的拟合整个区域的似大地水准面,所以在保证了一定数量的拟合点的同时,已知点尽量位于测区周边且均匀分布,少数点可选择在测区中央的地形特征点。

3.2 误差分析

用 GPS 水准拟合法确定高程异常,其误差来源主要有两个方面,一是作为起始数据的 GPS 水准网的精度与分辨率对高程异常的影响 m_1 ,二是拟合时产生的误差 m_2 ,待定点的高程异常精度 m 为:

$$m = \sqrt{m_1^2 + m_2^2}$$

下面分别分析这两种误差。

作为起始数据的 GPS 水准网的精度与分辨率对高程异常的影响,根据所在区域 GPS 水准点的高程异常确定,起始点高程异常精度直接影响内插的精度。对于一个 GPS 水准点,如果 GPS 测定的大地高为 H ,误差为 m_H ,水准测定的高程为 h ,误差为 m_h ,高程异常为 ξ ,则有:

$$\xi = H - h$$

高程异常误差为 m_ξ ,由误差传播定律得:

$$m_\xi = \sqrt{m_H^2 + m_h^2}$$

在实际工作中,我们知道一定等级的 GPS 网或水准网平差出结果的精度是一定的,通常不会超过某个限差,换句话说,一定等级的 GPS 成果或水准成果的单位权中误差总是在某个范围之内。因此, GPS 水准点的网格间距是影响 GPS 水准点误差的主要因素。若 GPS 网边长为 S (km),测定大地高的精度为:

$$m_H = 30\sqrt{S/15}$$

单位为 mm,水准测量误差每千米为 3mm,在不顾及水准点起始点误差时,则:

$$m_h = 3/\sqrt{S}$$

4 针对道路变形监测的实际应用

4.1 GPS 变形监测网的质量控制指标

公路 GPS 沉降变形监测网与常规控制网一样要满足一定的质量要求。监测网优化设计的目的就是使监测网具有较

高的质量,以满足控制网的不同需要,控制网的质量也可以从四个方面考虑,即精度、可靠性、费用、灵敏度。不同用途的网可能对不同的质量指标有所侧重,对于变形监测网除了考虑前三个质量指标外,灵敏度是变形控制网需要满足的标准。

4.2 基准点的布设原则

基准点点位应稳定,并且是地质条件非常稳定的地区,附近不存在严重的地面塌陷和影响基准点稳定的其他因素;基准点应该选择两个或两个以上并且距离沉降区域较近的区域,以保证监测有良好的观测精度;基准点点位要求天空开阔,点位周围不应有障碍物,点位应设在易于安装接收设备,与监测点距离适中而且高差不大,附近无强信号干扰、交通便利、安全可靠,点位附近不应有大面积水面;基准点应利于长期监测,由于基准点是整个监测网的基准,点位基准稳定,易于保存,所以一定要委托当地管理部门有偿维护,并签订维护协议、明确相互之间的责、权、利关系并建立好保护装置确保安全。

4.3 变形监测点的布设原则

GPS 沉降监测点的布设要考虑该地区的沉降程度,对于沉降较严重的地区, GPS 沉降监测点的密度应该大些,同时监测点布设应充分考虑所选择点位能体现该区域的沉降运动特征,并能满足 GPS 观测的精度要求和实际需要,利于长期保存以及具备长期监测的可能性等条件。具体布设时应在公路沉降区内有明显断裂区域的两边布设;根据专家推断的强烈沉降区内布设;能反映公路沉降区内沉降特征的特征面上布设;选点应避开城镇及其近期的发展规划区。

4.4 GPS 变形监测网形设计

GPS 变形监测网的网形主要是指基线的多少与连接方式,为了说明独立基线数对结果的影响,结合铁岭至朝阳高速公路工程实例,对公路沉降变形监测基准网进行分析,一般来说,独立基线的个数越多, GPS 控制网的精度、可靠性、灵敏度越强,但是费用也高,选择合理的基线数以及合理的基线布设形式,可以节省大量的工作,同时又能满足质量标准。

5 结语

经过对监测网型合理的设计,对数据的合理拟合^[5]。通过实验数据的证明,发现其精度能达到二级水准测量的精度,但是野外的工作量却极大地减少了。

参考文献

- [1] 李建成,陈俊勇,宁津生,等.地球重力场逼近理论与中国2000年似大地水准面的确定[M].武汉:武汉大学出版社,2003.
- [2] 邱国辉,姜卫平.GPS水准及其在测绘工程中的应用[J].地理空间信息,2006(2):6-8.
- [3] 李晓桓.GPS水准拟合模型的优选[J].测绘通报,2003(7):11-13.
- [4] 刘长建,柴洪洲.GPS水准多项式拟合自动优选算法[J].测绘科学技术学报,2009(2):49-51.
- [5] 李永泉.基于GPS的公路沉降变形监测的精度分析[J].SCIENCE & TECHNOLOGY INFORMATION,2010(1):621-623.