

远离大陆海岛的高程传递

柯宝贵, 章传银, 张利明

(中国测绘科学研究院, 北京 100830)

Height Transmission Far from the Mainland

KE Baogui, ZHANG Chuanyin, ZHANG Liming

摘要:根据舟山庙子湖岛短时验潮站上 GPS 点的大地高, 结合 EGM2008 重力场模型计算短时验潮站的重力大地水准面高, 得到 GPS 点的海拔高。利用同步水位观测技术得到 GPS 点多年平均海面的 1985 国家高程。将 GPS 海拔高与其 1985 国家高程比较, 发现两者相差不超过 10 cm。研究结果表明, 在没有前期观测数据的情况下, 同步水位观测技术和 GPS/重力移去-恢复法均可进行远离大陆海岛的高程传递。

关键词:重力场模型; 1985 国家高程; 高程传递; 同步水位观测

一、引言

我国是世界上海岛较多的国家之一, 海岛礁是海洋经济的重要领域, 是优化海洋经济发展布局的重要载体, 对其开发利用具有广阔的发展前景。因为历史原因, 我国远离大陆海岛礁的大地基准和高程基准并未与陆地基准统一起来。而海岛礁的测绘有其自身特点, 如何有效地进行海岛高程传递一直是海洋测绘中的难点问题^[1]。目前, 国家测绘地理信息局正在组织开展海岛礁测绘工作, 其目的之一是构建陆海统一高程/深度基准, 实现电子地图与电子海图的无缝拼接。

海岛高程基准传递有 4 种传统方法: 静力水准法、动力水准法、GPS 水准法及常规大地测量法。李建成比较分析了静力水准法、动力水准法及常规大地测量法 3 种方法的优缺点^[2]; 章传银等对 EGM2008 模型在中国内地的适用性进行了研究^[3]; 张利明研究了利用基于重力等位面的方法进行跨海高程传递的问题^[4]。本文基于在庙子湖岛建立的短时验潮站, 利用 GPS/重力移去-恢复法实现远离大陆海岛的高程传递, 得到庙子湖岛短时验潮站的海拔高, 并与基于同步水位观测技术的 1985 国家高程基准传递方法进行对比分析。结果表明, GPS/重力移去-恢复法可进行远离大陆海岛的高程传递, 实现陆海高程基准的统一, 为庙子湖岛的各种测绘信息采集提供统一的 1985 国家高程基准。

二、远离大陆海岛高程的确定方法

1. 移去-恢复法

利用移去-恢复法确定大地水准面, 就是将大地水准面高分解为中长波分量和残余分量两部分。中长波分量用地球重力场参考模型 (EGM2008) 计算, 通常称为模型大地水准面高, 文中以 N_{GM} 表示; 同时利用参考模型计算模型重力异常, 文中以 Δg_{GM} 表示。首先从观测的重力异常中扣除 Δg_{GM} 后, 利用 Stokes 公式计算大地水准面的残余分量, 此过程为移去的过程; 然后将模型重力大地水准面高与残余分量相加即可得到研究区域的大地水准面高, 此即恢复过程。计算方法如式 (1)

$$N = N_{GM} + \frac{R}{4\pi\gamma} \iint_{\sigma} (\Delta g - \Delta g_{GM}) S(\psi) d\sigma \quad (1)$$

式中 N_{GM} 称为模型大地水准面高; Δg_{GM} 称为模型重力异常。

$$N_{GM} = \frac{GM}{r\gamma} \sum_{n=2}^{N_{max}} \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n (\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm}(\cos \theta) \quad (2)$$

$$\Delta g_{GM} = \frac{GM}{r^2} \sum_{n=2}^{N_{max}} (n-1) \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n (\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm}(\cos \theta) \quad (3)$$

式中 (r, θ, λ) 为计算点的球坐标 (地心距离、余纬和经度); GM 是地心引力常数; a 是地球椭球长半轴; \bar{C}_{nm} 和 \bar{S}_{nm} 为完全规格化位系数; $\bar{P}_{nm}(\cos \theta)$ 为完全规格化缔合 Legendre 函数; N_{max} 为位模型球谐展

收稿日期: 2011-05-16

基金项目: 国家高技术发展计划资助项目 (2009AA121405, 2009AA121402); 国家自然科学基金资助项目 (40974016, 41004004); 中国测绘科学研究院基本业务费资助项目

作者简介: 柯宝贵 (1982—), 男, 湖北黄冈人, 博士, 主要从事大地测量与地球动力学研究工作。

开的最高阶数; γ 为计算点的正常重力; σ 为单位球面; ψ 为计算点到积分面元之间的角距, 式(1)中的 $S(\psi)$ 为 Stokes 函数, 其表达式为

$$S(\psi) = \frac{1}{\sin \frac{\psi}{2}} - 6 \sin \frac{\psi}{2} + 1 - 5 \cos \psi - 3 \cos \psi \ln \left(\sin \frac{\psi}{2} + \sin^2 \frac{\psi}{2} \right) \quad (4)$$

GPS 测量可以得到精确的大地高。根据关系式 $h = H - N$ (式中 h 为观测点海拔高程; H 为大地高; N 为大地水准面起伏), 即得到利用海岛 GPS 观测点的大地高 H 和地球重力扰动位模型得到观测点的海拔高 h 。

2. CGCS2000 下的大地水准面转换

由于 EGM2008 地球重力场模型与 GPS 大地高 (CGCS2000) 所用的参考椭球不一致, 故需要将 EGM2008 参考椭球面的物理量转换到 CGCS2000 的参考椭球面上, 利用 EGM2008 参考椭球所用椭球参数, 按照式(6)进行转换

$$dh = -W da + \frac{a}{W} (1-f) \sin^2 \varphi df \quad (5)$$

式中, a 是参考椭球的长半轴; f 是参考椭球的扁率; φ 是大地纬度; $W = \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}$; e 为椭球的第一偏心率; $da = a_0 - a$, $df = f_0 - f$, da 与 df 分别为椭球的长半轴改正和扁率改正; dh 为参考椭球转换引起的高程变化。

3. 基于同步水位观测技术的 1985 国家高程基准传递

舟山庙子湖岛缺乏长期的验潮资料, 笔者利用两个月时间的短期验潮资料, 不足以计算多年平均海面, 仅能得到有观测数据期间内的短期平均海面距水尺零点的高度。本文采用同步改正法确定短期站的多年平均海面, 如图 1 所示。同步水位观测的基本假设是长期验潮站与短时验潮站两个站的多年平均海面及短期平均海面高度一致。考虑到长期验潮站的多年平均海面已知, 则短期验潮站的多年平均海面从它的水尺零点起算的高度, 由式(6)给出

$$h = h_3 + (h_1 - h_2) \quad (6)$$

式中 h 为多年平均海面与临时验潮站水尺零点之间的距离, 也就是说 h 值的大小也可表示为水尺零点的 1985 国家高程; h_1 为多年平均海面与长期验潮站水尺零点之间的距离; h_2 为短期平均海面与长期验潮站水尺零点之间的距离; h_3 为短期平均海面与临时验潮站水尺零点之间的距离。

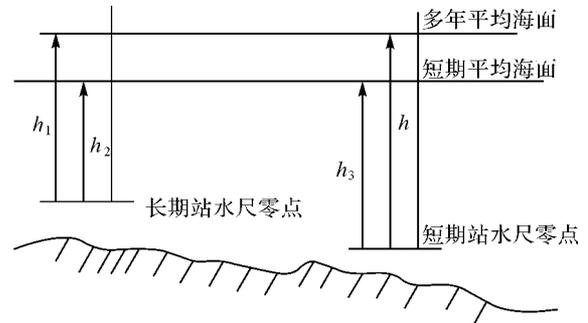


图 1 同步改正法

三、观测数据分析

1. 实际观测数据

为了实现陆海大地基准的统一, 构建了 3 个临时 GPS 基准站, 并与 IGS 站或浙江 CORS 网络联网。第一个建在庙子湖岛南边庙里村, 第二个建在东福山, 第三个建在朱家尖。试验期间, GPS 基准站 24 h 连续观测不少于 60 d, 采样间隔为 1 s。GPS 临时基准站的精确坐标选择周边 IGS 站以及浙江省的 5~6 个 CORS 站联合解算。文中以庙子湖岛 GPS 基准站进行静态大地基准控制, 观测到临时验潮站及其他两个验潮站的大地高如表 1 所示。

表 1 3 个验潮站大地高

| 点名 | 纬度 /(° ' ") | 经度 /(° ' ") | 大地高 /m |
|--------|----------------|----------------|-----------|
| 南码头 | ... 29.361 01 | ... 02.690 91 | 19.049 |
| 岱山验潮站 | ... 24.879 63 | ... 54.751 03 | 19.482 |
| 沈家门验潮站 | ... 35.657 91 | ... 59.567 94 | 18.288 |

2. 验潮数据观测

在舟山庙子湖岛南码头获得了 2010 年 8 月 1 日—2010 年 9 月 30 日两个月的潮位观测数据。分别与岱山、沈家门长期验潮站进行同步观测, 采样间隔为 1 min, 验潮水尺观测不少于 1 个月 (台风等恶劣天气除外), 每天 3 h, 每 10 min 读取一个数。庙子湖岛 1985 国家高程水准点与验潮水尺进行三等水准联测, 误差不超过 ± 3 cm。

利用同步水位观测的方法, 由沈家门长期验潮站推算的庙子湖岛临时验潮站水尺零点的 1985 国家高程为 -3.011 m, 而从岱山长期验潮站推算的庙子湖岛临时验潮站水尺零点的 1985 国家高程为 -3.049 m。取两者平均值, 临时验潮站水尺零点的 1985 国家高程为 -3.03 m。对庙子湖岛 1985 国家高程水准点与临时验潮站水尺零点进行三等水准联测, 得到 1985 国家高程水准点与验潮水尺零点距

(下转第 32 页)

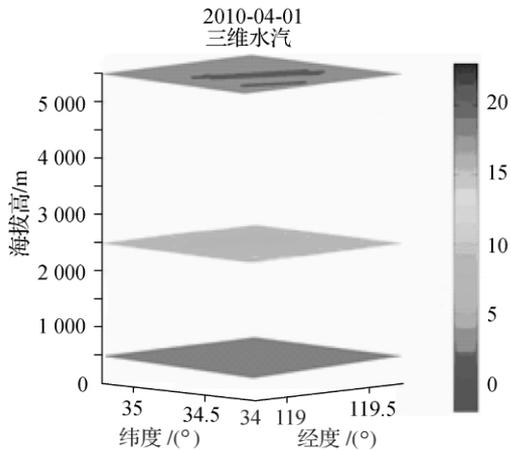


图 10 3 测站的综合三维水汽含量

五、结束语

本文在连云港沿海区域灌云、赣榆、燕尾港 3 个 JSCORS 站点基础上,以 2010 年 4 月 1 日为例,提出并实施了运用 GAMIT 软件、Matlab 工具及层析技术反演区域三维水汽特征的研究。结果表明,连云港海岸带大气水汽总体变化趋势是底层大气水汽含量较高,随着海拔高度的增加,水汽含量相应降低,而且在同一海拔高度的不同时间,水汽含量变化也不相同。局部地区水汽变化幅度较大,但不会影响总

体水汽总体变化趋势较平稳。水汽含量底层变化平稳,上层变化比较大。结果证明了利用 GPS 观测信息层析三维水汽特性的可行性、适用性与先进性,在具有一定密度的 GPS 网点信息量的沿海地区,可作为水汽分析、天气预报及气候预测的新手段。

参考文献:

- [1] 宋淑丽,朱文耀,程宗颐,等. GPS 信号斜路径方向水汽含量的计算方法[J]. 天文学报,2004,45(3): 338-346.
- [2] 李国翠,李国平,景华,等. 华北三站地基 GPS 反演的大气可降水量及其特征[J]. 气象科学,2008,28(4): 389-394.
- [3] 毕研盟,毛节泰,刘晓阳,等. 应用地基 GPS 遥感倾斜路径方向大气水汽总量[J]. 地球物理学报,2006,49(2): 335-342.
- [4] 曹玉静,刘晶森,梁宏,等. 基于地基 GPS 层析大气水汽资源的方法研究[J]. 自然资源学报,2010,25(10): 1786-1796.
- [5] 王勇,何荣,杨彬云,等. GPS 反演的可降水量与降水的对比分析研究[J]. 测绘科学,2010,35(5): 80-82.
- [6] 刘敏,郭鹏,叶其欣,等. 上海地区地基 GPS 水汽三层析技术和初步应用[J]. 天文学报,2010,51(3): 299-308.

(上接第 4 页)

离为 5.904 m。从而得到庙子湖岛上 1985 国家高程水准点(南码头)的高程为 2.874 m。

3. 数据对比分析

由表 2 可以看出,庙子湖岛南码头的海拔高为 2.962 m,而由同步验潮的方法得到南码头水准点的高程为 2.874 m,两者相差 0.088 m,未超过 10 cm。没有前期观测数据的情况下,同步水位观测技术和 GPS/重力移去-恢复法均可进行远离大陆海岛礁的高程传递。

表 2 基于移去-恢复法得到 3 个验潮站的海拔高 m

| 点 名 | 大地水准面高 | CGCS2000 的大地水准面高 | 海拔高 |
|--------|--------|------------------|-------|
| 南码头 | 16.498 | 16.087 | 2.962 |
| 岱山验潮站 | 14.963 | 14.552 | 4.930 |
| 沈家门验潮站 | 15.351 | 14.939 | 3.348 |

四、结束语

利用 GPS 大地高与 EGM2008 重力场模型的重

力大地水准面高,得到 GPS 点的海拔高以及利用同步水位观测技术得到 GPS 点多年平均海面的 1985 国家高程两种技术,在缺乏前期测绘基础信息的情况下,使用两种技术所确定的高程基准,具有一定的参考价值,可为远离大陆的海岛提供公共可行的高程基准值。

参考文献:

- [1] 李建成. 我国现代高程测定关键技术若干问题的研究及进展[J]. 武汉大学学报: 信息科学版,2007,32(11): 980-987.
- [2] 李建成,姜卫平. 长距离跨海高程基准传递方法的研究[J]. 武汉大学学报: 信息科学版,2001,26(6): 514-517.
- [3] 章传银,郭春喜,陈俊勇,等. EGM2008 地球重力场模型在中国大陆适用性分析[J]. 测绘学报,2009,38(4): 283-289.
- [4] 张利明. 与陆地一致的海岛(礁)高程传递方法: 中国,20100198624[P]. 2010-06-12.