

关于江苏省海岛高程基准传递的研究

张爱明,王勇,方位达

(江苏省测绘工程院,江苏南京 210009)

摘要:“第二次全国海岛资源综合调查”项目即将全面展开,对海岛进行高程基准传递的方法研究亟需深化。该文从高程基准传递的发展历史入手,依据其发展现状,结合近年来对江苏省海岛的工作,综合利用 JSCORS, GPS-RTK, PPP 和同步水准观测等技术方法,提出一种包含近岸、中等离岸距离和远岸三类组成的海岛高程基准传递方法。

关键词:高程基准;传递;江苏海岛

中图分类号:P228.4

文献标识码:B

0 引言

我国是海洋大国,依据最新的“908 专项”部分成果,我国海域面积约 473 万 km^2 ,大小海岛 1 万余个,大陆和海岛海岸线总长度 3.2 万 km 。2010 年 3 月《中华人民共和国海岛保护法》颁布,规范了海岛保护和利用的制度,要求查清我国海岛的资源环境现状,进一步开发利用海岛资源。然而第一次全国海岛资源调查已过去 20 多年,海岛的资源环境情况变化较大,测绘资料大部分陈旧,高程基准不统一,部分海岛至今尚无测绘资料,因此,新一轮全面系统的全国海岛资源综合调查亟需展开。近年来“全国海域海岛地名普查”、“908 专项”“国家 927 工程一期”等专项陆续开展,更新了大量海岛海岸带相关信息。2011 年“第二次全国海岛资源综合调查”项目(以下简称“二调”)已被财政部正式批复立项,相关调查工作即将全面展开,其中海岛的基础测绘工作是“二调”的工作核心,也是服务于国家海岛安全、主权和可持续发展战略的根本依据之一。

由于海面无法稳定使用水准测量设备,海岛通信网络覆盖存在盲区,使得海岛高程基准传递一直是海洋测绘中的难点^[1]。目前我国多数海岛的高程基准并未与陆地统一,面对日益迫切的海岛基础测绘成果的需求,各种用于海岛地区高程基准传递

的新技术不断呈现。该文依海岛的离岸距离不同,结合近年来承担的海岛调查项目,描述了一套包含近岸海岛、中等连距离海岛和远岸海岛的高程基准传递的方法,分析了各类技术的优势和不足,展望了未来海岛高程传递技术的发展方向。

1 高程基准的传递

随着我国海洋大开发战略的全面实施,海底管线、海底隧道、海上平台和跨海大桥等大型工程全面兴起,若工程内使用了不同的高程基准,势必会给桥隧对接、平台合拢等带来困难,也使工程存在失败的巨大风险。然而,海岛四面环水,受海上气候条件、通视条件的制约,常规的水准测量方法在海岛上无法实现长距离、高精度的高程传递^[2]。同样的,当前的 RTK 定位技术在垂直方向上的定位精度依赖于参考站的位置信息和基线距离,由于海岛上 GPS 控制点稀少,现今的 RTK 定位技术也难以完成远距离海岛的高程基准传递^[3,4]。为了解决这个问题,科研工作者做出了不懈的努力,取得了丰硕的成果。

高程基准是推算国家统一高程控制网中所有水准高程的起算依据,高程基准传递是为了使地球不同处的测量高度归算到统一的水准基面。我国最早有记录的海岛高程传递方法为三国时期刘徽所著的《海岛算经》,此卷以大地和海洋都是平面为理论基

收稿日期:2013-07-10;修订日期:2013-07-15;编辑:陶卫卫

作者简介:张爱明(1974—),男,江苏盐城人,高级工程师,主要从事海洋测绘和工程测量方面研究;E-mail:chgcyzam@126.com。

础,认为海岛与观察者所在位置的高程基准处于同一水平面上,利用多次观测数据,推算远处海岛的高度、长宽和距离。随着对地球认识的不断深入,“天圆地方”的认知被地球是圆的理论取代,希腊学者埃拉托斯特尼最先计算出了子午线长度为 3.97×10^4 km。此后的一段时间里,科学界认为地球高程基准面是一个以子午线为大圆周长的球体,在已知一点高程基础上,可以根据相对方位和距离,利用球体模型计算出另一点的高程,以完成高程基准传递。1519—1522年,麦哲伦船队的环球旅行证实了地球是个球体,奠定了大地坐标应用的基础,使得地球上的任何一点都可以被经纬度表示出来,高程基准的传递也依此拓展到了全球范围。随着测绘技术的发展,对地球形状的认知也由球体演变为椭球体,并进一步演变为当前两极稍扁赤道略鼓的不规则球体。相应的,高程基准面也随之由规则几何体表面模型演变为地球重力等位面模型,并衍生了正高系统。为了辅助计算和实际应用,包括我国在内的多个国家使用了以似大地水准面为基准的正常高系统,现今我国最常用“1985国家高程基准”即为正常高系统,其在海洋部分与正高系统一致,起算基面为平均海平面。地球物理探测信息技术的新兴发展正逐步精化地球的重力场模型,各国家、国际标准下的似大地水准面也进一步细化。同时,伴随全球定位卫星系统的成熟,利用GPS-RTK技术建立的大地高系统得以广泛的应用,结合精化似大地水准面模型,大地高转化为正常高的相关技术也已日益成熟,可以利用GPS三维定位取代传统的水准测量方法,测定正常高,完成高程基准传递。近年来激光雷达测高的推广应用更是将三维定位的效率和精度大大提高,为高程基准的传递提供了可靠的参考^[5]。

2 海岛测绘的高程基准传递方法

自2007年起,江苏省测绘工程院承担了海域勘界、海岸线修测、927工程项目(国家海岛(礁)测绘)、江苏908专项、全省海岛地名普查、无居民海岛使用情况调查等大量的海岛测绘和勘察任务,积累了丰富的海洋工作经验。在工作中对海岛高程基准传递方面做了以下几方面的尝试。

2.1 近岸海岛

江苏省近岸海岛主要有连岛、羊山岛、永隆沙和

兴隆沙等,该类海岛皆为有居民海岛,面积较大,有精化的大地水准面,且有稳定的JSCORS网络覆盖。JSCORS是通过在江苏及周边省域范围内建设GNSS连续运行参考站,提供江苏省内高覆盖、高精度、高效率的综合信息服务网^[6]。由于该类海岛利用JSCORS可以轻松实现单点高精度的实时定位,获取平面位置和大地高,故该类海岛高程基准传递的关键在于大地高向正常高的转换。由于似大地水准面不规则,通常情况下其不平行于参考椭球面,故不同点之间高程异常也不同。如图1所示,假使海岛A、B两处的大地高相等;但由于A、B两处的高程异常不一;则在1985国家高程基准下它们的高程值是不一致的,因此获取区域高程异常是高程传递的关键所在。

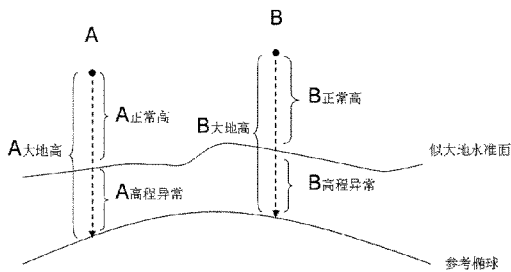


图1 大地高和正常高示意图

由于参考椭球的几何参数已知,只要求出似大地水准面就能表达出高程异常^[7,8]。似大地水准面的主要度量因子为重力场,近20多年来重力测量技术和卫星重力探测技术的迅速发展,全球重力场的分辨率已达数千米,全球大地水准面的精度达分米级或更优。近几年,江苏省使用Molodensky等方法,利用精化的重力场模型建立了局部似大地水准面,平面分辨率为2.5',垂直精度优于 ± 7.8 cm^[9]。依据该局部似大地水准面可以计算出区域内任意位置的高程异常,与JSCORS得到的大地高叠加获得正常高,完成近岸海岛的高程基准的传递。该方法由于直接使用了JSCORS的服务,高程基准的传递方便快捷效率高,具有JSCORS的精度。但该方法依赖于稳定的JSCORS服务和精化的似大地水准面,在JSCORS信号不稳定时难以适用。

为验证该方法的实用性,选择在江苏省连云港、盐城及南通等沿海地区用上述方法进行了测量,并连测了最近的水准成果,详见表1。

表1 近海岸测量方法与水准测量方法的比较

地区	大地高-高程异常(m)	水准高(m)	正常高差值(m)
赣榆	*. *23	*. *72	-0.0485
连云港	*. *31	*. *84	0.0473
滨海港	*. *95	*. *21	0.0745
海通镇	*. *82	*. *35	0.0467
大丰	*. *29	*. *82	-0.0534
新街	*. *73	*. *48	-0.0746
东安镇	*. *82	*. *14	-0.0315
启东市	*. *65	*. *07	-0.0424

2.2 中等离岸距离海岛

江苏省中等离岸距离海岛主要有开山岛、秦山岛和阳光岛等,该类海岛无常住居民,面积较小,有精化的大地水准面,JSCORS 服务仅有部分覆盖和间断性提供。由于无法稳定获取高精度实时定位传递高程基准,因此在海岛及周边海域调查时存在严重的限制。例如在海岛岸滩勘测时,长时间的等待 JSCORS 服务将打乱工作计划和潮汐时的匹配,进而带来人员安全风险;在海域地形测量时,不稳的定位信息将干扰测量船的测线执行情况,导致数据获取不合格,浪费人力物力。

为解决该问题,将 JSCORS 和传统的基站 RTK 测量相结合。由于海岛较小,少数 GPS 控制点即可满足海岛及周边海域的高程基准传递工作。因此,在 JSCORS 可用的时间和区域,选取开阔处数点,筛选其中定位质量较好的点位,将其作为临时参考站架设基站,再使用多基站 RTK 测量方法,以无线电台发射定位改正信息,使测量流动站能够稳定的获取平面位置和大地高信息。随后,同近岸海岛的方法进行高程异常校正,完成中等离岸距离海岛的高程基准传递。该方法利用 JSCORS 生成的临时参考站提供定位改正信息,解决了 JSCORS 信号不稳定时的高程基准传递问题,但该方法依旧需要 JSCORS 的支持,且误差由临时控制点传递,精度将小于近岸海岛。为确保该方法的有效性,利用开山岛、秦山岛和阳光岛上的已知点成果及该节的方法进行比测,结果良好(表2)。

表2 中等离岸距离海岛方法与水准成果的比较

地区	大地高-高程异常(m)	水准高(m)	正常高差值(m)
开山岛	*. *97	*. *66	-0.0690
秦山岛	*. *81	*. *03	-0.0222
阳光岛	*. *75	*. *00	0.0754

2.3 远岸海岛

江苏省远岸海岛主要有外磕脚、麻菜珩等,该类海岛人类活动少,前期基础资料缺乏,面积小,无精化的大地水准面,无 JSCORS 服务覆盖。由于远岸海岛无法与陆地已知高等级控制点联测,其高程传递一直是海洋测绘中的难点问题,近年来,诸如领海基点保护工程等远岸海岛工程陆续实施,实现远岸海岛高程基准稳定、实时、精确传递的需求迫在眉睫。

借鉴中等离岸距离海岛的方法,通过架设临时参考站完成远岸海岛的高程基准传递,难点在于求取临时参考站的位置信息和正常高。GPS 精密单点定位技术(PPP)以单台双频 GPS 接收机采集的相位和伪距码作为主要观测值,通过利用 IGS 提供的精密星历和卫星钟差,加上误差模型进行改正,无需参考站辅助,直接获取定位信息。依据已有研究成果,当静态观测时间大于 5 000 s 时,定位精度可达厘米级^[10,11]。然而,由于远岸海岛区域无精化的大地水准面资料,因此需要另寻方法获取高精度的高程异常。

1985 国家高程基准的起算面为黄海(青岛)的多年平均海面。从平均海面定义出发,假设长期海洋站与元岸海岛之间,多年平均海面 and 短期平均海面高度差一致^[12],通过设立临时验潮站,采用与长期海洋站同步水位观测的方法,直接推算参考站的正常高,完成高程基准传递。具体步骤如图 2 所示, H_1, H_2 和 h_1, h_2 分别是长期海洋站和临时潮位站的 1985 国家高程基准水尺量高、短期平均海面水尺量高,依据上文中的假设存在等式:

$$H_1 - H_2 = h_1 - h_2 \quad (1)$$

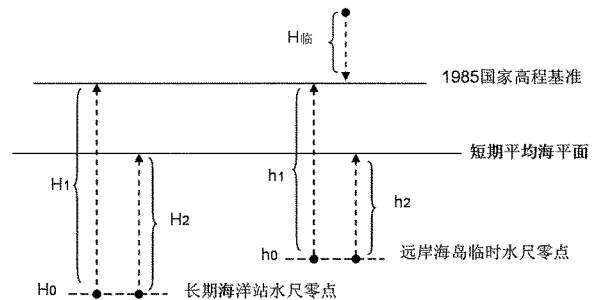


图2 同步水位观测法示意图

长期海洋站中 H_1 已知, H_2 和 h_2 可依测量工作时期的潮位记录统计而出,进而可以计算出 $h_1 = h_2 + H_1 - H_2$ 。假定临时参考站的正常高为 0,在此基

础上通过 RTK 方法测得临时潮位站水尺零点的高度为 h_0 , 故在临时参考站的基础上 1985 国家高程基准高度为 $h_0 + h_1$, 反之则 1985 国家高程基准下临时潮位站高程为 $H_{\text{临}} = -(h_0 + h_1)$ 即:

$$H_{\text{临}} = -h_0 - h_2 - H_1 + H_2 \quad (2)$$

综上, 选取远岸海岛开阔处某点, 使用 PPP 技术获取位置信息, 并根据式(2)的计算得到其正常高, 以此建立临时参考站基站, 最后利用单机站 RTK 技术完成高程基准的传递。

该方法实现了在脱离 JSCORS 下传递高程基准, 但由于需要执行同步水位观测, 且观测时间越长方法的可信度越好, 故测量工作周期被迫拉长。此外, 由于叠加了 PPP 测量和同步水位观测的误差, 高程基准的传递精度将小于中等离岸距离海岛。

为验证该方法的可行性与正确性, 对外磕脚、麻菜珩、平岛等 3 个岛上的已知点按照该节方法进行测量, 测量结果与已公布的水准成果比较(表 3)。

表 3 远岸海岛方法与水准成果的比较

地区	大地高-高程异常(m)	水准高(m)	正常高差值(m)
平岛	6.755	6.843	-0.0885
麻菜珩	3.838	3.994	-0.1560
外磕脚	2.872	3.024	-0.1511

3 结论与展望

(1) 随着卫星定位技术和地球物理探测技术的发展, 高程系统传递由传统的水准测量向 GPS 实时测定发展。

(2) 江苏近岸海岛可直接使用 JSCORS 系统和精化似大地水准面完成高程基准传递。

(3) 江苏中等离岸距离海岛可使用 JSCORS 选建临时参考站, 再利用多基站 RTK 测量方法完成高

程基准传递。

(4) 江苏省远岸海岛可使用 PPP 技术和同步水准观测的方法选建临时参考站, 再利用单基站 RTK 测量方法完成高程基准传递。

随着 CORS 网络和精化似大地水准面的进一步广泛覆盖, 单点定位技术实时化发展, 以及数据无线传输能力的加强。高程基准将摆脱临时基站和静态定位等束缚完成实时传递, 应用范围也将拓展到全球范围并进一步向深海和深空方向发展。

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] 李凤斌, 柳光魁, 王晓丽, 等. 长距离跨海高程基准传递方法及精度[J]. 现代测绘, 2007, 30(2): 7-8.
- [4] 刘森波, 周兴华, 张化疑, 等. 跨海高程基准传递方法及其精度研究[J]. 海岸工程, 2012, 31(1): 60-66.
- [5] 史照良, 曹敏. 基于 LiDAR 技术的海岛礁、滩涂测绘研究[J]. 测绘通报, 2007, 5: 49-54.
- [6] 宋玉兵, 曹泉根. 基于 JSCORS 的江苏省现代大地坐标框架的建设与维护[J]. 现代测绘, 2009, 32(4): 3-5.
- [7] 畅毅, 姜卫平. 局部似大地水准面精化技术及其应用现状分析[J]. 物探装备, 2006, 16(4): 255-260.
- [8] 张赤军. 洱海中海岛大地水准面与正高的推求[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2000, 22(4): 266-268.
- [9] 袁国辉, 吴云孙. 高精度(厘米级)、高分辨率区域(似)大地水准面精化[A]//现代工程测量技术发展与应用研讨交流会议论文集[C]. 2005.
- [10] 杨战辉, 蒙晓锋, 鹿晓东, 等. GPS 精密单点测量解算方法应用[J]. 测绘技术装备, 2011, 12(3): 28-30.
- [11] 李凯锋, 欧阳永忠, 陆秀平, 等. 基于 GPS 精密单点定位技术的水深测量[J]. 海洋测绘, 2009, 29(6): 4-8.
- [12] 柯宝贵, 章传银, 张利明. 远离大陆海岛的高程传递[J]. 测绘通报, 2011, (12): 3-5.

Study on Island Elevation Datum Transmission in Jiangsu Province

ZHANG Aiming, WANG Yong, FANG Weida

(Jiangsu Surveying and Mapping Engineering Institute, Jiangsu Nanjing 210013, China)

Abstract: The second national island resources survey project is about to begin, to study the urgent need to deepen the island Elevation Datum transmission. In this paper, the history of the development of the Elevation datum transfer, based on the development status quo, with the technical methods in recent years, Jiangsu Province, the island work, comprehensive utilization JSCORS, GPS-RTK, PPP and synchronization level observations, the set contains inshore, middle-distance from the shore, far from the shore three categories island Elevation Datum delivery method.

Keywords: Elevation datum; transfer; Jiangsu island