

文章编号: 0494-0911(2011)02-0083-04

中图分类号: P229

文献标识码: B

EGM2008模型精化研究及其在濒海工程中的应用

冯义楷,刘焱雄,彭琳,于甲,李杰

(国家海洋局第一海洋研究所,山东青岛266061)

Research on EGM2008 Model Refinement and Its Application to Coastal and Island Elevation Delivery

FENG Yikai, LIU Yanxiong, PENG Lin, YU Jia, LI Jie

摘要: 利用最新的全球大地水准面模型 EGM2008 结合区域 GPS 水准网点成果精化区域大地水准面模型,并将该模型的计算结果分别与 GPS 水准网点直接内插所得结果、实测数据所得高程异常值进行对比。结果显示,我国大地水准面与全球大地水准面之间存在系统性偏差,约为 24.5 cm 。在沿海地区精化的区域大地水准面模型可达到 $\pm 5 \text{ cm}$ 的精度,可以满足近岸海岛高程传递和近岸海洋测绘等工作的需要。

关键词: EGM2008模型;高程异常;大地水准面;移去恢复

一、引言

近海海洋工程及岛礁水深地形测量中,经过潮汐改正后,需要将水深资料最终归算到验潮站的理论深度基准面。理论深度基准面与 1985 国家高程系统存在对应关系,因此,需要精确确定验潮站的 1985 国家高程(正常高)。由于我国近海岸地区水准点稀少,近岸工作区获取精确水准点资料非常困难;海岛远离陆地,不可能采用水准测量方式传递高程,如何进行海岛高程传递一直是海洋测绘中的难点问题。海岛高程基准传递的方法有静力水准法、动力水准法、GPS 水准法及常规大地测量法等四种方法。已有专家对静力水准法、动力水准法及常规大地测量法等三种方法的优缺点作了详尽分析^[1]。目前,国家测绘局和国家海洋局都在组织开展海岛礁测绘工作,其目的是获取海陆统一的陆地和海域地形图。因此,如何快速、准确及有效地确定验潮点 1985 国家高程及近海海岛高程传递成为研究人员当前急需解决的技术难题。

2008 年,美国国家地理空间情报局发表了其最新研制成果——EGM2008 模型。EGM2008 模型与早期出现的模型相比,模型更复杂、精度更高,将全球高程异常精度提高了 3~5 倍。章传银、郭春喜等对 EGM2008 模型在中国内地的适用性进行了研究,结果显示 EGM2008 模型计算的高程异常在我国大陆的总精度为 20 cm ,在东部沿海地区精度约

$10 \text{ cm}^{[2]}$ 。因此,完全可以利用沿海地区现有 GPS 资料结合 EGM2008 模型在濒海地区实现高精度的高程传递,满足海洋工程测量的需要。

二、EGM2008 模型及精度

EGM2008 模型采用的基本格网分辨率为 $5' \times 5'$,数据主要来自地面重力、卫星测高及卫星重力等测量。在计算时 EGM2008 模型采用 IIG-GRACE03 S 模型作为先验误差协方差矩阵,将 GRACE 数据作为计算 EGM2008 地球重力场低阶位系数的主要数据源,EGM2008 模型在精度及分辨率方面都取得了巨大的进步。表 1 为 EGM2008 模型与现有其他模型高程异常值精度统计,结果显示 EGM2008 模型与其他模型相比具有较高的精度。

表 1 各地球重力场模型 GPS 水准外部检核结果均方差

模型	阶次	美国	加拿大	欧洲	澳大利亚
		6169 点/m	1930点 /m	1235 点/m	201点 /m
EIGEN-Gl04C	360	0.339	0.253	0.336	0.244
EIGEN-5C	360	0.341	0.251	0.303	0.244
GGM03C	360	0.346	0.279	0.334	0.259
EGM96	360	0.379	0.357	0.478	0.297
EGM2008	2190	0.248	0.126	0.208	0.217

注:此表引自 <http://icgem.gfz-potsdam.de/EGM/>

三、数据处理方法

1. 移去恢复方法

GPS 水准点高程异常 ξ 的计算公式为

收稿日期: 2010-03-11

基金项目: 863 计划资助项目(2009AA12Z127); 海洋公益性行业科研专项经费资助项目(200705003); 广西 908 专项重点港湾测绘及动力沉积调查与研究资助项目(GX908-01-08); 国家海洋局第一海洋研究所基本业务经费资助项目(GY02-2008 T33)

作者简介: 冯义楷(1979—),男,湖北汉川人,硕士,工程师,主要从事海洋测绘、高精度 GNSS 定位技术研究。

$$\xi = h - H \quad (1)$$

式中, h 为 GPS测量的大地高; H 为由水准测量得到的正常高。

为实现 GPS测量点的大地高向正常高转换, 准确计算测量点高程异常 ξ 是关键。 ξ 可表示为

$$\xi = \xi_M + \Delta\xi \quad (2)$$

式中, ξ_M 是由地球重力场模型计算的模型高程异常, 对应高程异常中的中、长波部分; $\Delta\xi$ 为高程异常残差。

在高程异常变化较大区域, 直接根据离散点的高程异常通过数值拟合内插确定待定点高程异常, 会出现较大误差。可先由 GPS水准点实测高程异常 ξ 减去模型计算的高程异常值 ξ_M , 获得平滑度较高的残差高程异常场, 然后由此残差场拟合出待定点残差高程异常值 $\Delta\xi$ 。通过模型计算待定点的高程异常值 ξ_M , 将残差高程异常值与模型计算的值相加, 即可得到待定点精确的高程异常值 ξ 。结合待定点 GPS实测大地高 h 可以获得待定点正高 H 。此方法为移去恢复法。该方法的优点是通过对拟合内插平滑度较高的残差高程异常场来提高高程异常计算精度。

2 模型高程异常值计算

EGM2008模型高程异常计算公式为^[3,4]

$$\xi_M = \frac{GM}{r^2} \sum_{m=2}^{\infty} \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n (\bar{C}_m \cos m\lambda + \bar{S}_m \sin m\lambda) \bar{P}_m(\cos\theta) \quad (3)$$

式中, GM 为地心引力常数; a 为椭球长半径; \bar{C}_m 和 \bar{S}_m 为完全规格化位系数; $\bar{P}_m(\cos\theta)$ 为完全规格化 Legendre函数; r 为 GPS水准点的地心向径; γ 为正常重力。利用该公式, 可以直接实现大地高与水准高之间的转换。

3 数据内插拟合

在移去恢复技术中拟合高程异常残差场形成格网以及通过格网数据计算未知点的高程异常残差时, 都需要用到拟合函数。因此, 选择拟合函数合理与否对最后成果的精度也产生影响。常用的拟合方法有: 等值线法、平面拟合法、二次曲面拟合法、多面函数法、三次样条曲线拟合法、多项式曲线拟合法、加权反距离拟合法。各函数对地形及区域有其自身的适用性, 平面拟合法较适合于高程异常变化平缓的平原地区; 二次曲面及多项式曲面拟合较适合于小区域; 三次样条曲线、多项式曲线拟合则一般用于测量点呈直线排列的情形^[5]。本文在数据处理时选择平面拟合法、二次曲面拟合法及加权反距离拟合法。

4 高程异常计算

近年来, 国家测绘局和沿海省市在中国沿海布设了大量的 C级和 D级 GPS网点, 并在这些网点上施测了部分水准。利用这些 C级和 D级 GPS控制网点的 GPS水准资料与 EGM2008模型, 通过移去恢复技术计算出试验区域高程异常残差场; 然后基于 EGM2008模型和残差场, 可以计算出未知点位的正常高, 也能按照格网要求, 计算出格网点上的高程异常。

四、试验及成果分析

1 青岛试验结果

笔者共收集了青岛市 C级 GPS网控制点 60个, D级 GPS网控制点 5个, C级控制点均引测过二等水准, D级点为四等水准高程。将 C级 GPS控制点实测的高程异常值与模型计算的高程异常值比较, 如表 2所示。

表 2 实测高程异常值与 EGM2008模型计算值之差结果 m

最大残差	最小残差	平均残差	均方差
44.7	3.4	24.5	± 8.1

结果显示, 高程异常值之差全为正数, 这说明我国大地水准面与全球大地水准面之间存在系统性误差。由于我国水准原点位于青岛市区, C级网控制点大概分布在水准原点周围。因此, 可以将该地区高程异常值残差平均值作为我国 1985国家高程系统定义的似大地水准面与全球大地水准面之间的系统性偏差, 由此得到我国似大地水准面与全球大地水准面之间存在系统性误差为 24.5 m 。为简化计算, 将各 C级 GPS点位上的高程异常值之差减去系统性偏差, 得到无系统偏差的高程异常残差。对残差数据利用平面拟合法、二次曲面拟合法、加权反距离拟合法等三种方法拟合后, 得到格网化的高程异常残差曲面^[6], 如图 1所示。

根据格网点的高程异常残差及坐标值, 内插出各检核点点位的高程异常残差值; 然后, 利用各检核点的大地高和 EGM2008模型计算的高程异常值, 通过系统误差改正以及高程异常改正, 联合解算出检核点的正常高(或 1985高程)。

为便于比较, 也可以直接利用 C级 GPS控制网的高程异常值进行曲面拟合, 然后再内插出检核点位点的正常高。在选择 D级点时, 重点考虑靠近沿海的点。同时 C级网中 C049建设在海边, 将 C049作

为精度检核点。将 D级 GPS网控制点的实测高程异常值作为真值与两种方法计算的高程异常值求

差, 结果如表 3所示。

比较各差值的平均值及均方差, 如表 4所示。

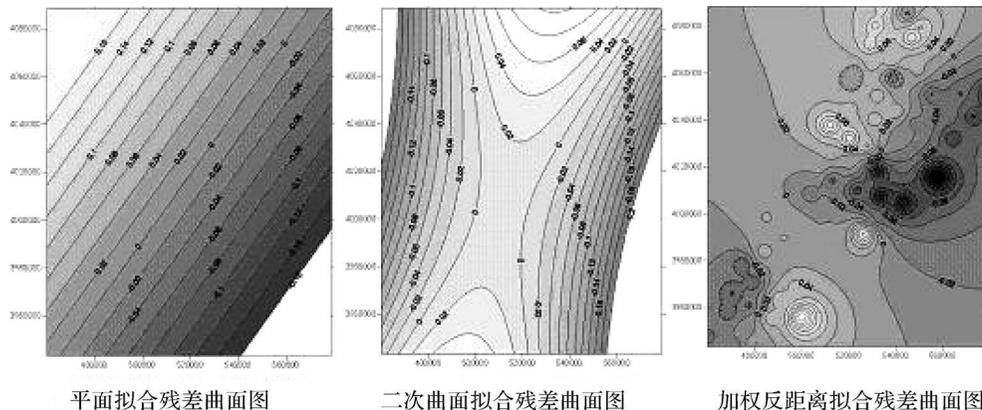


图 1 三种拟合残差曲面图

表 3 模型及直接拟合计算高程异常与实测高程异常比较结果

m

点名	实测高程异常 ξ	C级网直接拟合 ξ_c	平面拟合合法 ξ_p	二次曲面拟合 ξ_2	加权反距离拟合 ξ_j	$\xi - \xi_c$	$\xi - \xi_p$	$\xi - \xi_2$	$\xi - \xi_j$
D136	7.007	6.974	7.055	7.040	7.092	0.033	-0.048	-0.033	-0.085
D137	7.251	7.202	7.243	7.203	7.278	0.049	0.008	0.048	-0.027
D149	6.958	6.923	7.002	6.988	7.047	0.035	-0.044	-0.03	-0.089
D158	6.908	6.872	6.962	6.949	7.013	0.036	-0.054	-0.041	-0.105
D207	6.713	6.667	6.746	6.736	6.831	0.046	-0.033	-0.023	-0.118
C049	7.765	7.840	7.774	7.634	7.808	-0.075	-0.009	0.131	-0.043

表 4 均值及均方差比较

m

类型	$\xi - \xi_c$	$\xi - \xi_p$	$\xi - \xi_2$	$\xi - \xi_j$
均值	0.021	-0.030	-0.078	0.009
均方差	0.048	0.025	0.036	0.068

通过表 3~表 4的结果显示, 利用本文构建模型计算的高程异常值总体精度优于直接拟合内插出的高程异常。这表明, 完全可以通过 EGM2008模型结合当地 GPS控制网计算出高精度的近岸及近岸海岛控制点水准高, 可以满足验潮及作为图根控制点精度的要求; 在残差模型拟合时, 平面拟合与二次曲面拟合法计算的高程异常值精度高于加权反距离法计算的。

2 广西茅尾海试验及结果

茅尾海位于钦州湾的顶部, 是以钦江、茅岭江为主要入湾径流的河口海滨区, 总面积约 135 km², 其中滩涂面积占总面积的 80%。该内湾内浅滩密布, 潮沟众多, 潮汐情况十分复杂。部分滩涂在高潮时测量船只也无法到达, 在此种区域利用网络 RTK进行测量, 网络 RTK得到的高程数据为 WGS

84坐标系的椭球高, 在数据处理时需要将椭球高转换成 1985国家高程(正常高)。

在高程数据转换过程中, 笔者利用广西泛北部湾 GPS D级网 WGS84坐标和控制点上的二等水准高程值结合 EGM2008模型, 按照上述方法进行了局部大地水准面精化, 建立了钦州湾地区局部大地水准面精化模型, 并通过模型实现 RTK测量值从椭球高到正常高的转换。在茅尾海周边有两个验潮站, 其正常高是按四等水准要求引测的, 通过精化水准面模型计算的验潮站的高程值与水准仪引测的高程值差值均在 5 mm内。RTK测量数据与测深仪测量值有部分重合, 对重合点进行比较分析, 发现重合点高差之差基本在 0~20 mm内, 这完全满足水深测量在浅水区域限差在 30 mm以内的要求。这表明, 通过区域精化大地水准面模型求得的高程精度完全满足海洋工程所需数据精度的要求。

五、结 论

本文主要结论如下:

1) 我国大地水准面模型与全球大地水准面模

型存在系统性偏差,差值约为 24.5 mm

2) 可以利用 EGM2008模型建立以及精化区域大地水准面模型;

3) 由 GPS测量的大地高结合 EGM2008模型计算的高程异常值,经过残差异常改正及系统误差改正后可以得到厘米级精度的沿海及近海海岛 GPS测量点的 1985高程值,精度完全满足工程建设及调查基准点要求的需要;

4) 在对平坦地区数据拟合时,平面拟合法、二次曲面拟合法及加权反距离拟合法所得结果精度相当。

参考文献:

- [1] 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.

- [2] 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.
- [3] 魏子卿,王刚.用地球位模型和 GPS水准数据确定我国大陆似大地水准面[J].测绘学报,2003,32(1):1-5.
- [4] HEISKANEN W, MORITZ H. Physical Geodesy [M]. San Francisco: WH Freeman, 1967.
- [5] 程义军,孙海燕.薄板样条与大区域高程异常插值[J].测绘科学,2008,33(4):42-44.
- [6] 张兴福,魏德宏,赵滔滔.基于 Surfer软件的 GPS高程转换方法[J].测绘通报,2009(8):36-38.
- [7] 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.

(上接第 82页)

有序性和可控性,使工期进度符合合同要求,成果质量达到了西部测图工程的总体质量要求;尽管是在环境极为恶劣的高寒缺氧无人区工作,仍然达到了安全生产无事故的要求。但是在西部测图监理中也存在一些不太完善之处。

1) 监理工作的独立性不能够很好的发挥:由于监理区域自然环境的恶劣,监理人员往往都是与生产单位一起吃、住、行,虽然在工作上便于沟通和交流,但是也给监理工作的独立性带来了挑战。

2) 监理人员素质和能力参差不齐:西部测图项目测图区域和测图条件的特殊性,对监理人员在专业技术水平、身体条件、工作责任心、协同工作能力以及对事态发展的预判能力等方面都有较高的要求。监理工作多是主动介入,质量控制是如此,安全控制更是如此,监理人员要有对安全隐患的预判力,尽可能将问题及早发现,及早解决。

3) 监理委托单位和监理单位的协调沟通机制不够完善:监理委托单位(业主)与监理单位间的沟通和交流远远不如与生产单位,这就使得一些监理职能淡化或失效。比如项目的验收应该在得到监

理审核签字的《报验申请单》后方可执行,但实际操作中,往往是生产单位与业主直接沟通并开始验收时,才补充完成此项内容,使监理工作陷入被动局面,也导致验收时不能够完整提交验收成果。

五、结束语

尽管测绘监理机制还不太完善,有很多还处于探索阶段,但西部测图项目中引入测绘监理机制无疑给项目管理、生产质量和安全生产等方面起到了很好的监督、协调和加强作用。细致扎实、科学创新的监理工作,保证了项目生产的有序性和可控性,使成果质量达到了西部测图工程的总体质量要求,也为其他测绘项目的监理探索了宝贵的经验。

参考文献:

- [1] 国家测绘局西部测图项目部. 监理手册[R]. 北京:国家测绘局,2007.
- [2] 谭明建.测绘监理研究与探讨(一)[J].测绘质量监督与管理,2006(2):46-48.
- [3] 李恩宝.测绘工程监理[M].北京:测绘出版社,2008.