

海洋测绘基准的需求及现状

翟国君¹, 黄谟涛¹, 暴景阳²

(1. 海军海洋测绘研究所, 天津 300061; 2. 海军大连舰艇学院 海洋测绘系, 辽宁 大连 116018)

The Requirement and Status of Hydrographic Datum

ZHAI Guo-jun, HUANG Mo-tao, BAO Jing-yang

摘要: 研究了海洋测绘基准的需求问题, 从几个方面探讨了建立海洋测绘基准的必要性和具体方法, 介绍了深度基准面的确定方法以及海洋测绘基准发展的现状、存在的问题和解决的对策。

关键词: 海洋测绘; 测绘基准; 深度基准面

中图分类号: P224 文献标识码: B 文章编号: 1671-3044(2003)04-0054-05

1 前 言

测量基准的建立和维持是测绘领域的基础性工作, 基准一旦建立, 就具有相应的法律效应。为测绘信息几何(位置)表征和物理(重力场)表征的需要, 测绘基准总体分为位置基准和重力基准两大类。就空间位置的几何表示而言, 在目前空间大地定位技术下, 精密三维笛卡尔坐标系, 特别是地心坐标系为大地定位提供了高精度的参考系, 在这一坐标系下一些精密测定的地面控制点坐标构成了维持和表示这个坐标系的框架。由于人类生存于地球表面, 所以 2+1 维的表示更符合人们认知地球、准确把握相对位置关系的习惯, 在此意义上, 几何基准又分为椭球面(平面)基准和垂直基准, 前者的坐标框架仅依据几何观测量建立, 而后者, 可采用纯几何表征或具有一定物理意义的表征, 分别对应于大地高、正高(或正常高)。ITRF 框架的建立为解决纯几何基准问题奠定了较坚实的基础。而正高或正常高的高精度表达需要全球或局部大地水准面(似大地水准面)的精细化, 厘米级大地水准面的研究仍然是大地测量的一个主要目标。传统大地测量依据地面的距离和角度观测量建立基本均匀分布的固定测站点集合而形成基准框架, 它是依据参考椭球的局部坐标框架。由该局部坐标系向全球统一的地心坐标系转换的数学关系也是大地测量基准变换的一个核心问题。

建立海洋测量基准是海洋测绘工作的一项基本

任务。在海洋上, 人们无法利用传统的大地测量方法均匀地布设高精度的大地测量控制点, 只能通过辅助测量手段将陆地测量基准扩展到海岸地带, 以形成能够满足各种海洋定位要求的基准体系。建国初期我国就是按照这种方式建立海洋测量基准体系的。这个体系一直沿用至今, 在我国沿海经济开发和国防建设中发挥了非常重要的作用。在目前的空间定位模式下, 该二维控制基准体系已渐渐不敷目前高精度海洋测绘应用。在海洋测绘的垂直基准方面, 不同国家采用的深度基准体系仍呈现较为混乱的局面, 主要体现为相对于平均海面定义的海图深度基准面算法的不同。我国曾采用多种算法定义海图深度基准, 1956 年统一采用弗拉基米尔斯基算法, 从而基本建立了“理论深度基准面”水位控制基准体系, 但这种统一仅局限于算法的一致。陆地的高程基准实际上仅由水准原点的高程来定义, 并通过水准网构建正(常)高基准框架, 而在海洋上, 由于平均海面不具有等位的特性, 深度基准体系或框架则更具复杂性, 事实上, 《中华人民共和国测绘法》所规定的统一深度基准目前仍未彻底建立起来。

应该看到, 由于受当时测量技术手段和作业经费等多种因素的制约, 几十年以前建立的海洋测量基准体系, 已经远远不能满足现代高技术条件下海洋测绘科研与业务工作的需求, 加上改革开放以来, 我国沿海地区进行大规模的开发建设, 有半数以上的海洋测量基准站都在不同程度上受到人为的破坏, 极大影响了海洋测量的作业速度和测图精度。

收稿日期: 2003-04-02

作者简介: 翟国君(1961-), 男, 山西临汾人, 博士, 高级工程师, 主要从事卫星测高、海洋测量数据处理与分析研究。

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

加强海洋测绘基准体系建设已成为目前海洋测绘工作亟待解决的基础性课题。

2 海洋测绘基准的需求

同陆地上的测绘一样,海洋测绘的数据成果也必须纳入一定的参考框架内才有意义。为了表示海洋地理环境和物理环境信息,我们需要知道测量点的椭球(平)面位置、高程(或深度)、地球重力场信息以及海水温度、盐度、密度等信息。从测绘学的角度讲,海洋测量基准也应该由平面基准、垂直基准和重力基准组成。

不论是国民经济建设还是海洋划界工作,都需要在严格的质量控制下建立一套全国甚至是全球统一的各类基准体系。

2.1 建立海洋测量基准是海洋开发活动的需要

占地球表面积 71% 的海洋是人类生存的重要空间。人类在海洋上的一切活动都或多或少地、精密或粗略地需要知道自身在海洋上所处的位置。海上交通、海上养殖、海上执法、渔业捕捞、防险救生、海洋工程、海洋划界等无不需要位置信息,这些位置信息无疑依赖于位置基准。

海上航行和渔业、海洋工程等需要知道海水的深度,这就要求海洋测绘要有一个深度基准,在该深度基准的框架下,提供客观的深度值,并通过该基准和必要的海面时变信息恢复瞬时深度。

同陆地上一样,海上的岛屿同样要有从某个面起算的高程,而且其高程应尽可能与大陆的表达方法相一致,这就要求海洋测绘必须提出岛屿高程传递的一套方法。

2.2 建立海洋测量基准是维护国家主权的需要

由于海洋具有丰富的资源,世界各海洋国家都把注意力由陆地向海洋转移。在我国周边的几个海洋邻国都宣布了其大陆架范围,我国与这些国家的海洋划界问题并没有得到很好的解决。甚至有的邻国与我国还存在岛礁的归属之争,使得海洋权益的争夺日益加剧。

为了进行海洋划界、维护我国海洋权益,开发海洋资源,一项基础性的工作就是开展海洋测绘,而海洋测绘必须在科学的基准框架内进行。特别是划定领海基线,对有关岛礁的位置测定和高程测定需要具有相当高的精度,更需要合理的基准数据支持。

2.3 建立海洋测量基准是军事斗争准备的需要

我国海域是中华民族赖以生存和发展的蓝色宝库,也是抵御外来入侵的主要战场之一。保卫国家安全,维护国家领土完整,是一项艰巨而长期的任

务。为了提高远程武器发射的机动性和命中精度,需要现势性很强的高程数据、水深数据和高精度高密度的海洋重力场数据。登陆和抗登陆则必须熟悉当地的海岸地形,了解岛屿和滩涂附近的变化,这些都需要精确的高程和水深测量数据。目前,我国只在少量岛屿上有等级不高的控制点,国家重力基点在我国沿岸的分布还很稀疏,海洋重力测点的密度还有很大差距。此外,数字技术和信息技术高度发展的现代化战争离不开各种各样的地图和海图,基准统一的地图和海图是很重要的基础性图件,这些数据都需要置于统一的基准当中。

2.4 建立海洋测量基准是经济建设的需要

海洋蕴藏着丰富的矿业资源、渔业资源等,是人类 21 世纪开发利用的重点。在陆地资源已经大部分勘查清楚之后,海洋国家的注意力已经转向了海洋,纷纷向海洋索取各种矿产资源、生物资源等。我国的沿海省市均成立了海洋管理机构,对海域的合法使用进行管理。为了准确、方便、及时地履行国家赋予的海洋管理职能,需要有一个统一的坐标系统。在海岸带开发利用方面,则要求具有现势性很强的海岸地形图。无论是采用航空摄影测量的方法,还是采用电子平板测量的方法,都需要与高程基准和深度基准发生关系。从国家的角度讲,海上资源的开发利用避免不了与邻国发生矛盾甚至冲突,为了解决国与国之间在海洋资源利用方面引起的争端,同样需要有统一的坐标系统。

2.5 建立海洋测量基准是确定领海基点的需要

领海基线是确定一个国家海上疆界的基准线,领海基点则是划定领海基线的依据。国际上公认的 12 海里领海以及 200 海里的专属经济区,都是从领海基线的基点处起算的。领海基点的点位、分布情况、位置测定准确与否等,直接关系到我国海洋国土面积和专属经济区的大小。领海基点的对外公布是国家的一件大事,采用的坐标系统必须得到国际的认可。

2.6 建立海洋测量基准是国家空间基础设施建设的需要

作为“数字地球”重要基础的国家空间数据基础设施,目前得到了蓬勃发展。我国已经建成了国家 GPS A、B 级网,全国 GPS 一、二级网和中国地壳运动观测网络,总点数已达到 2500 多个,然而这些点大多数都布设在我国大陆。为了建设国家空间数据基础设施,必须建立在统一大地测量基准下能覆盖国家整个国土的陆海空间大地测量控制网。

3 建立海洋测绘基准的方法

早期的海洋测量主要采用天文测量方法测定船的位置;后来逐渐发展到在海岸上布设经纬仪、光电测距仪,用常规测量手段测定近海船舶的位置;或布设无线电导航设备,如无线电指向标台、劳兰-C等,用雷达定位技术测定船的位置;或在近海海底布设定位标志,用声纳定位技术测定船的位置。但上述常规的海洋测量方法普遍存在效率低、精度差和工作范围有限的缺点,已逐渐被淘汰。随着现代空间技术的发展,卫星定位技术已被广泛应用于海洋定位和海洋测绘,并用来建立各种类型的高精度海洋定位基准体系。因此,我国海洋大地测量基准的建立必须采用适合海洋特点的现代空间定位技术,通过接收卫星信号和差分改正信息实现空间动态定位基准的传递和对误差的控制,以确保海洋测绘产品的一致性和可拼接性,使海洋测绘产品符合国际公认的标准。

海洋三维大地测量基准的建立,可采用高精度的静态 GPS 定位技术将已建成的陆地三维定位基准扩展到沿海地区及海岛,形成能满足各种海洋定位要求的基准体系;利用空间定位技术建立与海洋邻国大地坐标系及国际地球参考框架 (ITRF) 之间的基准传递坐标转换关系,建立地图图件之间、不同投影系统之间的转换关系。

由此可见,建立海洋测量平面控制基准的关键,是利用现代空间测量技术,在我国沿岸构建一个优化的海洋测量定位局部控制网,以替代或补充原有控制网的作用。

我国陆地测点的高程一般采用 1985 国家高程系统。根据不同的应用需求,海岛高程系统可采用局部基准或全国基准。局部基准可分别通过多年平均海面 and 大地水准面两种途径进行确定和计算。按多年平均海面方法建立岛屿高程系统的具体步骤和要求是,首先采用多年的验潮资料推求各个岛屿验潮站的多年平均海面,在此基础上,通过水准测量方法将各个验潮站水尺零点与所属岛屿 GPS 测点进行联测,最后根据水准联测结果和 GPS 三维观测数据便可确定 GPS 观测点的海拔高度,此高程属局部高程系统。通过这种方法建立岛屿高程系统的前提条件是,每个需要确定海拔高程的岛屿都必须设立验潮站,并进行验潮站零点与 GPS 观测点之间的水准联测和 GPS 联测。很显然,使用这种方法建立海岛高程系统,野外观测工作量及实现难度都比较大,因此,不宜大面积推广使用。

按照大地水准面方法建立岛屿局部高程系统的具体步骤和要求是,首先通过物理大地测量方法确定研究区域的大地水准面,并直接以通过重力方法计算得到的似大地水准面作为该区域高程起算面。当已知海岛上的 GPS 观测点处的大地水准面高度以后,结合 GPS 三维观测坐标即可计算出该点的海拔高程。通过这种方法确定岛屿 GPS 点的高程不需要进行水准联测,因此其技术路线比较简单。

当需要为岛屿高程系统与全国高程系统建立更密切的联系时,可通过基准面传递技术将我国陆地高程系统直接传递给岛屿上的观测点。由于南海的岛屿都远离祖国大陆,因此,只能使用大地水准面作为参考面来完成这种远距离的高程基准传递。通过这种途径建立岛屿高程系统,需要在全国范围内确定统一的大地水准面,使之尽可能逼近全国高程起算面。由于这种岛屿高程基准是从大陆传算过去的,因此它是全国高程基准的延伸,其传算精度取决于重力大地水准面计算精度的高低。

4 海洋测绘基准现状

目前,海洋测绘的二维定位基准采用的仍是 1954 年北京坐标系,仅有极少数点与国家的 GPS 控制网相连。海洋测绘的垂直基准则分为高程基准和深度基准。高程测量采用的是 1985 国家高程基准,深度测量则采用理论最低潮面作为深度基准面。海洋重力测量基准与陆地重力测量基准一致,都采用 1985 国家重力基准。

建立统一的海洋大地测量基准是进行海洋勘测、海洋开发和海洋学研究的先决条件,世界上一些发达国家历来非常重视海洋测量基准的建立和研究工作,并随着科学技术的发展,及时对原有基准进行更新或修正,如应用广泛的北美基准和欧洲基准等。近年来,许多国际组织和国际会议都把建立全球统一的高程基准列为今后开展合作研究的重点项目。越南和马来西亚等,也都正在实施本国的精密海洋定位工作计划。日本已经完成了海洋定位基准的建立工作。

几十年来,我国虽然已对周边海域进行了较为广泛的勘察和测量,但由于长期缺乏统一的高精度的海洋大地测量基准,因而一直难以实现各个部门之间及不同时段获得的数据之间的交换和相关图件的拼接,更难以实现与相邻国家的海洋勘测图件的有效拼接,无法满足专属经济区和大陆架划界工作的需求。

几年以前,我国已经完成把陆地大地控制网扩

展到南海海域的观测工作,在少数岛礁上进行了GPS联测,初步实现了海陆控制网的合理连接。但由于目前还缺乏统一的高精度的海洋测量高程基准,使得在陆地和海洋观测数据的统一处理方面仍存在许多困难,在很大程度上降低了海洋观测数据的使用价值。

因此,以现代科技手段建立我国的海洋大地测量定位基准体系并进行海底地形精密测绘,已提到国家紧迫的议事日程上来,国家高技术研究发展计划(863计划)在海洋服务领域中,已专门为此设置了“海洋动态大地测量基准技术”研究课题,以解决海洋勘察和海洋测绘中定位基准缺乏统一性的关键性问题。这一工作还有许多实质性问题有待作深入的探讨和研究。

随着空间大地测量的发展,近年来大地测量基准已经趋向于用空间数据或空间数据与地面数据联合定义。自20世纪80年代以来,我国空间大地测量已经取得了一大批重要成果,尤其是参与国际联测的SLR和VLBI测量成果以及在“八五”和“九五”期间,分别由国家测绘局和总参测绘局陆续完成的覆盖全国范围的GPS A、B级观测网和一、二级观测网。其中A、B级网各由30点和800点组成,A级网平均边长为650km,B级网平均边长为150km,一、二级网各由40多点和900多点组成。这些重要的空间大地测量成果将为建立高精度海洋大地测量基准提供强有力的物质保障。

最近,我国学者正在探讨利用卫星测高、重力大地水准面以及潮汐观测技术,结合使用沿海GPS和水准联测结果传递岛屿高程的可能性,为海洋测量实际作业提供理论依据,以满足国防和国民经济建设各个方面的需要,确保海洋测绘产品的一致性和可拼接性,使海洋测绘产品符合国际公认的标准,这无疑将为捍卫国家主权提供海洋测绘方面的基本保障,为国民经济发展、海洋资源开发和海洋科学研究活动提供高新技术支撑。

我国1985国家高程基准,是使用1952~1979年的潮汐观测资料,采用移动平均的方法,取连续19年的年平均海面为一组,滑动步长为1年,计算10组不同连续时段的19年平均海面值的平均值作为高程起算面。由于采用移动平均法,原观测数列的短周期波动被削弱,从而保证了最后结果的高精度。经典的几何水准测量方法是高程传递的基本手段,精度较高。在精度要求不高的个别地区,也可采用三角高程测量的方法,在水准网的控制下传递高程。

一些岛屿离大陆较远,不能采用常规测量方法

与国家高程控制网直接联测,一般通过多年平均海面的相关分析计算来确立某岛及其附近岛屿的局部高程基准,即独立的高程起算面。沿海地区的海洋测绘需要取得海岛局部高程基准与国家高程基准的相互关系时,可以采用水面水准的方法获取大陆与沿海岛屿的概略高程关系。

5 深度基准面的定义

海图深度基准面的建立与参考椭球定位和全国高程基准确定相比有一定的特殊性,它更明显地具有以方便海图使用为目的的实用性,该面的确定与潮汐的强弱即当地潮差的大小有着密切的联系,因而我国与其他沿海国家一样仅是规定基准面计算所应采用的方法,而不是规定某一个或某些参考点以供基准维持。实际上这种基准的维持是灵活的,只要将观测的潮位数据和计算的深度基准面值通过当地平均海面与国家统一高程系统建立联系,甚至在开阔海域可不与陆地基准联系,而只是由相对于潮汐振动的平衡面即稳定的平均海面的位置来表征,于是深度基准面的维持仅由平均海面实现。

海图深度基准面的计算通过潮汐调和常数实现,因而,深度基准面相对于平均海面的偏差仅在具有潮汐参数的点上获得,也就是说我们按照某种算法求得的深度基准面(相对于平均海面)数值仅是对真正曲面形态基准面在特定点的采样。

就应用而言,海图基准面的确定应满足两个公认的准则:(1)航行安全准则。它要求该面足够低,使得按该面归算的海图所载稳态水深有足够高的安全可信度,实际上海道测量和海图使用这两个过程对潮汐水位要素需作相反的处理过程,前者是移去潮汐影响,后者则是恢复,安全性的考虑则是要求图载深度为足够可信的保守深度,在进行潮位恢复处理时可以进一步增加通行安全,便于制订航行计划。(2)航道利用率准则。该准则要求尽量不损失航道利用率。在以上两个准则约束下,在潮汐明显的沿海国家或地区,该面通常选定接近最低潮面。并用航行保证率作为基本检核指标,航行保证率的理想值定为95%左右。

由于潮波的复杂性和观测的不同步影响,海图深度基准面不能像高程基准面那样由一点定义,并由保守力场的等位面或其近似面传递(通过水准测量)。在海洋动力作用下,深度基准面相对于平均海面的偏差即深度基准面作为一种空间形态要决定于各分潮波的状态和它们之间因迟角变化的差异产生的潮高叠加增强与减弱作用。

目前,世界各沿海国家采用了多种深度基准面算法,国际上常用的基准面定义有:理论深度基准面、平均低低潮面、最低低潮面、大潮平均低低潮面、印度大潮低潮面(略最低低潮面)、平均海面、平均低潮面、大潮平均低潮面和赤道大潮低潮面。20世纪80年代初,英国启用了“最低天文潮面(LAT)”,对不同的潮汐类型显示了更好的普适性和意义一致性。1995年4月,国际海道测量组织潮汐工作组召开会议,讨论了国际海道测量组织成员国深度基准面向LAT统一的基准定义修正提案。

因为海图深度基准面是相对于平均海面定义的,所以平均海面应作为比深度基准面更高一级的参考基准。在测量过程中,平均海面可以仅标定到验潮站零点,于是,在一个具体海区的水深测量中,所用的验潮站即构成水位控制的垂直基准框架。至于平均海面和深度基准面的绝对几何表达,可由卫星测高技术获得的海平面模型和深度基准值的空间分布来确定,而水深和陆地高程基准的统一则依托于国家高程零点等位面向海域延伸,它需要局部海面地形(以国家高程基准等位面为准)模型。

6 海洋测绘基准目前还存在的问题和解决对策

就二维定位框架而言,由于目前海洋测量仍采用传统的大地测量坐标系,它不利于与相邻国家、甚至不同部门测量成果的统一与拼接。为此,应将GPS网尽量向海域扩展,并在某历元的ITRF框架下进行统一平差计算,并获得原有坐标系和地心坐标系的准确转换关系,并逐步过渡到采用地心坐标系维持海洋测绘的定位基础框架。

陆地高程基准与海洋深度基准是不一致的,这种差异的存在,使得陆地高程和海洋深度之间的转换就显得比较复杂,而且不同图幅之间的水深也存在基准面不统一问题。由于高程基准与深度基准转换的困难,使得陆海交界处的高程表示无法进行无缝拼接,给航空海岸地形摄影测量、滩涂地区的开发利用、三军协同作战用图等带来了很大的困难。对此,我们认为,海洋垂直基准应分级设定,作为基础海洋地理信息获取方式的海底地形测量,选取平均海面基准作为水位控制的基础应该是保证数据质量和可重复性的主要解决思路。而海底地形与陆地地形的统一则需要通过将国家高程基准等位面向海域延伸来解决,即需加强与陆地高程基准统一的海面地形模型的研究。由于深度基准面的特殊性,沿岸各地的深度基准面的垂直位置并不相同。欲解决三军协同作战用图问题以及滩涂测图问题,必须加强沿岸各验潮站数据的收集和统一处理,建立深度基准面与1985国家高程基准面的转换参数模型,目前解决这一问题的理论和技术条件已基本成熟。

很多岛屿高程采用的是独立的高程基准,其高程基准是由当地多年的平均海面决定的。这表明,不同岛屿的高程可能起算于不同基准面。当然,按上述等位面扩展的方法,该问题也将基本得到解决。

海洋重力测量基点的分布在我国海域基本上处于空白,仅在少数码头设有重力测量基点,难以满足海洋重力测量基点比对和控制重力仪掉格的需要。因此,以绝对重力测量方式或高精度相对重力测量方式在沿岸有关港口建立海洋重力测量基准框架也势在必行。

参考文献:

- [1] 陈俊勇. 对我国建立现代大地坐标系统和高程系统的建议[J]. 测绘通报, 2002, (8): 1~5.
- [2] 宁津生. 现代大地测量参考系统[J]. 测绘通报, 2002, (6): 1~5.
- [3] 陈宗镛, 汤恩祥. 论我国高程基准面的确定问题[J]. 山东海洋学院学报, 1980, 10(1): 15~24.
- [4] 陈宗镛, 汤恩祥, 周天华, 等. “1985国家高程基准”与中国平均海面[J]. 军事测绘, 1988, (6): 44~49.
- [5] 刘雁春. 海道测量基准面传递的数学模型[J]. 测绘学报, 2000, (4): 310~316.
- [6] 暴景阳, 章传银. 关于海洋垂直基准的讨论[J]. 测绘通报, 2001, (6): 10~11.
- [7] 暴景阳. 海洋深度基准面的建立、标定与维持[J]. 海洋测绘, 2000, (4): 4~8.
- [8] 暴景阳, 黄辰虎, 刘雁春, 等. 海图深度基准面的算法研究[J]. 海洋测绘, 2003, (1): 8~12.
- [9] E W Grafarend, A A Ardalan. World Geodetic Datum 2000[J]. Journal of geodesy, 1999, (73): 611~621.
- [10] Erwin Groten, Damstadt A. Precise Definition and Implementation of the Geoid and Related Problems[J]. Zfv, 1987, 1.
- [11] M Pan, L E Sjoberg. Unification of Vertical Datum by GPS and Gravimetric Geoid Models with Application to Fennoscandia[J]. Journal of geodesy, 1998, (72): 64~70.
- [12] Changyou Zhang. Estimation of Dynamic Ocean Topography in the Gulf Stream Area Using the Hotine Formula and Altimetry Data[J]. Journal of geodesy, 1998, (72): 499~510.