



测绘地理信息科技出版社
CEHUI DILI XINXI KEJI CHUBAN

现代测绘理论与技术丛书

海道测量实用潮汐

肖付民 刘雁春 暴景阳 夏伟 等 编著



Practical Tide for Hydrography



测绘出版社

现代丛书
测绘地理信息科技出版资金资助

海道测量实用潮汐

Practical Tide for Hydrography

肖付民 刘雁春 暴景阳 夏伟 黄辰虎 唐岩 编著

常州大学图书馆
藏书章

测绘出版社

·北京·

© 肖付民 2018

所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

内容简介

本书较系统地论述了海道测量中潮汐和潮流现象、潮汐数据处理及潮汐参数计算的理论与方法、海道测量基准确定方法和观测手段等。本书是依据我国海道测量本科教育的要求和国际海道测量组织颁布的《国际海道测量师资格标准》要求进行编写的,涉及潮汐基础知识、潮汐水位观测的原理与方法、潮流与海流及其观测的基本原理与方法、潮汐分析与预报及其基准面传递的基本原理与方法、潮汐资料应用、非潮汐水位变化成因和一般处理方法、海道测量中潮汐特征值计算的常用基本公式等。本书根据国内外海道测量潮汐理论、观测手段与数据处理方法方面的进展,充实了大量的新技术和新方法,基本反映了当前国内外海道测量潮汐领域的最新进展。

本书可作为高等学校大地测量与测量工程专业本科教材和国际海道测量师培训教材,供海洋测绘相关专业的教学和学习之用,也可为海洋工程、水运工程、海图制图、资源开发等专业技术人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

海道测量实用潮汐 / 肖付民等编著. —北京: 测绘出版社, 2018.8

ISBN 978-7-5030-4079-5

I. ①海… II. ①肖… III. ①海道—航道测量—潮汐观测 IV. ①U675.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 278331 号

责任编辑 巩岩 封面设计 李伟 责任校对 孙立新 责任印制 陈超

出版发行	测绘出版社	电 话	010-83543956(发行部)
地 址	北京市西城区三里河路 50 号		010-68531609(门市部)
邮政编码	100045		010-68531363(编辑部)
电子信箱	smp@sinomaps.com	网 址	www.chinasmp.com
印 刷	北京建筑工业印刷厂	经 销	新华书店
成品规格	169mm×239mm		
印 张	16.5	字 数	320 千字
版 次	2018 年 8 月第 1 版	印 次	2018 年 8 月第 1 次印刷
印 数	001-800	定 价	68.00 元

书 号 ISBN 978-7-5030-4079-5

本书如有印装质量问题,请与我社门市部联系调换。

前 言

21 世纪是海洋的世纪,世界各国加快了海洋利用和海洋开发的步伐。在当今高新技术的推动下,海道测量作为一切海洋活动的先导和基础性工作,获取海洋几何和物理等信息的能力不断加强,也源源不断地向各行业提供呈级数增长的海道测量信息。同时,各行业也不断向海道测量提出更多更高的新需求,这又进一步推动海道测量为满足这些需求而不断向前发展。海洋潮汐与潮流在海道测量中起着极其重要的作用。其中,建立测区垂直基准和获取测区水位与水流等信息是海道测量的重要内容之一,是实施海道测量必不可少的重要组成部分。

本书是根据我国海道测量本科教育的要求及国际测量师联合会(International Federation of Surveyors, FIG)、国际海道测量组织(International Hydrographic Organization, IHO)和国际制图协会(International Cartographic Association, ICA)联合认证并由国际海道测量局(International Hydrographic Bureau, IHB)出版的《国际海道测量师资格标准》(S-5,第 11 版,2011)的要求编写而成。

本书主要是在海军大连舰艇学院孟德润、田光耀、刘雁春编著的《海洋潮汐学》的基础上,为满足现代海道测量对海道测量人员的新要求,从海道测量实际应用出发,阐述海洋潮汐基本理论、潮汐的观测原理、潮汐基准确定、潮汐参数计算方法等。本书由海军大连舰艇学院海洋测绘系肖付民、刘雁春、暴景阳、夏伟,以及海军海洋测绘研究所黄辰虎和海军出版社唐岩共同编写。在编写过程中参考并充实了大量当代新技术及其研究成果,并进行了修改、补充和完善。

全书共分 8 章,以建立测区基准、获取潮流和潮汐观测数据及进行基本参数计算为主线,以国际海道测量组织第 11 版《国际海道测量师资格标准》中“海洋潮汐”要求为基本框架,内容涵盖了潮汐基础知识、潮汐水位观测方法、潮流与海流观测方法、潮汐基准面的确定、潮汐表的使用、非潮汐水位变化、常用的潮汐特征值计算方法等与海道测量密切相关的内容,特别加强了海道测量的实际应用部分和内陆水域水位控制部分,而对潮汐与潮流分析的基础理论部分仅进行概述。最后,在附录中列出了国际海道测量组织第 11 版《国际海道测量师资格标准》中“海洋潮汐”部分的课程大纲,以及部分与潮汐相关的专业术语和缩写词。

另外,本书中引用了许多国内外海道测量的通用专业术语,为此加注了英文全拼和英文简写,以便于学习和参阅国外相关文献。

在本书即将出版之际,由于通信联络问题,引用的部分图片等资料未征得原作

者的认可,深表歉意,并表示真诚地感谢。同时,本书的编写得到了海军参谋部航海保证局和海道测量同仁的指导和无私帮助,在此表示最真诚的感谢。本书的出版还要特别感谢海军参谋部航海保证局和军队 2110 工程的资助。

限于作者水平,书中不当之处在所难免,恳请读者批评指正。我们的邮箱地址是 xiaofum@163.com,将不胜感激。

目 录

第 1 章 绪 论	1
§ 1.1 国内外潮汐研究发展简史	1
§ 1.2 潮汐研究的意义	4
§ 1.3 潮汐在海道测量中的作用	8
§ 1.4 本书的主要内容	9
第 2 章 潮汐基础	10
§ 2.1 潮汐现象	10
§ 2.2 基本天文知识	17
§ 2.3 引潮力及其展开式	23
§ 2.4 平衡潮理论	35
§ 2.5 潮汐动力学理论	41
§ 2.6 中国海的潮汐特征	47
§ 2.7 部分常用潮汐术语及特征面	53
第 3 章 水位观测与数据整理	55
§ 3.1 验潮站分类及其选址	55
§ 3.2 水位观测仪器	63
§ 3.3 海道测量验潮站设立	77
§ 3.4 水位观测质量控制与记录	82
§ 3.5 验潮站垂直基准统一和相关垂直基准的关系	89
§ 3.6 水位观测资料整理	91
第 4 章 海流与潮流现象及其观测	95
§ 4.1 海 流	95
§ 4.2 潮 流	96
§ 4.3 潮流观测	102
§ 4.4 潮流观测资料整理与海图表示	110

第 5 章 潮汐分析与预报原理、基准确定和水位改正方法	118
§ 5.1 海道测量中潮汐调和分析与预报基本原理	118
§ 5.2 海道测量中平均海面确定方法	128
§ 5.3 海道测量中海图深度基准面确定方法	143
§ 5.4 海道测量中水位改正方法	155
§ 5.5 海道测量中垂直基准与确定基本流程	175
第 6 章 潮汐资料应用	184
§ 6.1 中国《潮汐表》的使用	184
§ 6.2 验潮站有效控制范围估计	192
§ 6.3 潮波图及其绘制	198
第 7 章 非潮汐水位变化	201
§ 7.1 增减水与风暴潮	202
§ 7.2 非潮汐水位变化的其他影响因素	208
§ 7.3 异常水位分离	215
第 8 章 海道测量中相关潮汐特征值计算	218
§ 8.1 正规半日潮	218
§ 8.2 不正规半日潮	228
§ 8.3 不正规日潮	234
§ 8.4 正规日潮	236
§ 8.5 海洋工程水位计算	239
参考文献	246
附录 A 国际海道测量组织第 11 版《国际海道测量师资格标准》中“海洋潮汐” 要求	248
附录 B 中国近海沿岸潮汐类型分布略图	249
附录 C 思考题	250
索引 主要缩写词	254

Contents

Chapter 1 Introduction	1
§ 1.1 Brief history of tide study	1
§ 1.2 Meaning of the tide study	4
§ 1.3 Function of tide in hydrographic survey	8
§ 1.4 The main contents	9
Chapter 2 Foundation of tide	10
§ 2.1 Tidal phenomena	10
§ 2.2 Basic knowledge of astronomy	17
§ 2.3 Tide-generating forces and its expandedness	23
§ 2.4 Theory of equilibrium tide	35
§ 2.5 Dynamic theory of tide	41
§ 2.6 Tidal characteristics in China Sea	47
§ 2.7 Tidal terms and characteristic levels	53
Chapter 3 Water-level observation and data pre-processing	55
§ 3.1 Tidal station and site selection	55
§ 3.2 Instruments for water-level observation	63
§ 3.3 Establishment of tidal stations in hydrographic survey	77
§ 3.4 Quality control and record in water-level observation	82
§ 3.5 Vertical datum of tidal stations and their relationship	89
§ 3.6 Tidal data pre-processing	91
Chapter 4 Phenomena of tidal current and sea current and observation	95
§ 4.1 Sea current	95
§ 4.2 Tidal current	96
§ 4.3 Tidal current observation	102
§ 4.4 Tidal current data pre-processing and representation	110
Chapter 5 Theory of tidal analysis and prediction, datum determination and water-level correction	118
§ 5.1 Brief theory of tidal analysis and prediction	118

§ 5.2	Methods of mean sea level determination in hydrographic survey	128
§ 5.3	Methods of chart datum determination in hydrographic survey	143
§ 5.4	Methods of water-level correction	155
§ 5.5	Flow of vertical datum determination in hydrographic survey	175
Chapter 6	Applications of tidal information	184
§ 6.1	Use of tide tables	184
§ 6.2	Available area of tidal station and calculation	192
§ 6.3	Cotidal chart and plotting	198
Chapter 7	Non-tidal water level variations	201
§ 7.1	Water level set-up and storm surge	202
§ 7.2	Other factors of non-tidal water level variations	208
§ 7.3	Separation of anomalous water-level	215
Chapter 8	Tidal eigenvalue calculation in hydrographic survey	218
§ 8.1	Semidiurnal tide	218
§ 8.2	Semidiurnal mixed tide	228
§ 8.3	Diurnal mixed tide	234
§ 8.4	Diurnal tide	236
§ 8.5	Water-level calculation in ocean engineering	239
References	246
Appendix A	Requirements of tide in the Standards of Competence for Hydrographic Surveyors(IHO, 11th edition)	248
Appendix B	The distribution of tidal types along the offshore of China	249
Appendix C	Questions	250
Index	Abbreviations	254

第1章 绪论

海洋的总面积大约有 3.6 亿平方千米,约占地球总面积的 70.9%,为陆地面积的 2.5 倍。海洋是一个巨大的宝藏,拥有大量宝贵的资源。为了开发和利用海洋,首先必须认识和了解海洋,研究探索海洋的内在规律。海洋潮汐现象是海洋中较突出的自然现象之一,其与海道测量存在着密切联系。

海洋潮汐现象主要是由月球和太阳对地球上各处引力不同引起的,其运动形式为波动,属于长周期波动现象,以小时为单位计算。这种波动在铅直方向上表现为水面的不断上升和下降,而其在水平方向上表现为潮流的进退。在我国多数海区,海水涨落周期约为半日,即海水在白天一涨一落,夜间一涨一落;少数海区,海水涨落的周期约为一日,即昼夜一涨一落。据 1999 年王成兴的考证,“潮汐”二字连用最早出现于《管子》一书中“朝(潮)夕(汐)迎之,则遂行而上”,并论述了航海与海潮间的关系,后逐渐把白天里出现的海水涨落称为“潮”,而把夜间的海水涨落称为“汐”,合称为“潮汐”。潮汐现象不仅在海洋中有,在较大的湖泊、大气圈和地球固体部分也有。大气中的潮汐(称大气潮)振幅约为 1 hPa,地球固体部分潮汐(简称固体潮),其涨落只有十几厘米,因此,大气潮和固体潮都不如海洋潮汐那样直观、明显。现代科技飞速发展,随着研究工作的不断深入,固体潮的观测数据中必须加入海洋潮汐影响的修正,而海洋潮汐更深入的研究中也必须考虑固体潮的影响。

§ 1.1 国内外潮汐研究发展简史

我国古代人民对潮汐现象的了解和认识比欧洲人早,而且有较深刻的认识。我国近海沿岸地区在古代就是我国人民生活的重要区域,其潮汐现象显著而复杂,潮差较大,且这些海岸的潮汐大多是较规则的半日潮,人们较容易认识和掌握它的变化规律。如钱塘潮,早在公元前 2 世纪,西汉枚乘所著《七发》中就有关于潮汐的记载:“将以八月之望,与诸侯远方交游兄弟,并往观涛乎广陵之曲江……徒观水力之所到,则恤然足以骇矣。”这是钱塘江大潮最早的记载。最早提到潮汐现象与月球关系的是东汉学者王充所著的《论衡·书虚篇》,书中驳斥了当时流传的关于伍子胥“阴魂驱水为涛以溺杀人”的迷信传说,提出“天地之性,上古有之。经曰:‘江、汉朝宗于海。’……涛之起也,随月盛衰,大小满损不齐同”。这不仅提出了潮汐与月球的关系,而且还提到潮汐大小是随月相而变化的。三国时,吴国科学家杨泉在

《物理论》中写道：“月，水之精，潮有大小，月有盈亏。”他以月属水之精华，更直接地把潮汐的大小与月球的盈亏相联系。东晋葛洪在《抱朴子》中明确地指出了一天有两次潮的现象，书中写道“潮者，据朝来也；汐者，言夕至也……水从天边来，一月之中，天再东再西，故潮来再大再小也”。对于江河入海口的暴涨现象，他提出了潮汐的“力”与“势”的理论，认为潮汐起自遥远的大洋，故力盛势大，进入海口狭窄水域后，其力不衰，其势不减，于是积水高高隆起，形成怒潮，较正确地解释了钱塘江涌潮是因海潮从外海传来，经过狭浅的江口造成水势迅猛堆积而形成的。

在公元8世纪的中后期，唐朝的科学家窦叔蒙在其所著《海涛志》中对潮汐及其成因进行了更细致的论述和研究，是我国现存最早的潮汐学专著。其主要贡献如下：

(1)对潮汐成因的认识较前人有较大提高。他写道“潮汐作涛，必符于月”“晦明牵于日，潮汐系于月，若烟自火，若影附形”“月与海相推，海与月相期，苟非其时，不可强而致也，时至自来，不可抑而已也”，揭示了潮汐运动有其内在的客观规律性。

(2)发现了潮汐的周日不等现象。他对一个朔望月内潮汐与月球的对应变化描述道：“海之潮汐，并月而生，日异月同，盖有常数矣。盈于朔望，消于朏魄（大意为朔望后三日开始减小），虚于上下弦，息于眺眊（大意为朔望前三日开始逐渐增大），轮回辐次，周而复始。”指出了潮汐的产生是由月球运行所致，每天的涨落时间是不同的，每月的潮汐是相同的，有一定的规律性。

(3)为一天中的高低潮时推算建立了一种科学的图表法，即“涛时之法，图而列之。上致月朔、朏、上弦、盈、望、虚、下弦、魄、晦。以潮汐所生，斜而络之，以为定式，循环周始，乃见其统体焉，亦其纲领也”。以月相变化为横轴，每天的时辰为纵轴，再将某地实测的高低潮时分别标入，然后把这些标记用斜线连接起来，便构成了一个朔望月的高低潮时推算图。

(4)对潮汐运动进行了定量计算，算出的高潮至下一次高潮时的平均时间间隔为12小时25分钟14.02秒，后一天的高潮时约平均推迟50分钟28.04秒。这两个数字与现在用的12小时25分钟和50分钟是一致的。这样窦氏的一个平均太阴日为24.841 120 7小时（等于24小时50分钟28.03秒），与现代计算的24.841 202 4小时（24小时50分钟28.33秒）非常接近。

在1200多年以前能算出如此精确的数值，说明了窦氏对潮汐观测和研究的水平非常之高。窦氏提出的每个朔望月的图表法是日前收集到的世界上最早的潮汐预报方法，它比欧洲最早的大英博物馆的“伦敦涨潮时间表”（公元1213年）早了大约450年。比窦叔蒙略晚的唐朝人封演通过对潮汐的长期观测，也精确地得出每一太阴月的高潮时的逐日变化，阐述了潮汐的时间与月相之间的密切关系，并且指出了月球与潮汐现象之间存在着相互作用的关系。

对潮汐的研究，我国在宋代达到高峰。北宋张君房进一步发展了窦叔蒙的“高

低潮时推算图”，指出“月之行运者，天之十二宫分；潮之泛历者，地之十二辰位。月周于次舍，惟三百六十五度；潮凑于昼夜，乃计一百刻之间”，将“高低潮时推算图”的月相改为“布宫布度”，即月球在黄道上运动的度数（当时一周定为 365.25° ），纵坐标改为时刻（当时定一天为100刻），从而使潮汐与月球之间的对应关系反映得更精细。北宋科学家燕肃经过对海潮多年的观测，采用当时先进的计时工具——莲花漏，对潮时推迟现象进行了更精确的计算，得出“大尽”（一个月30天）潮迟为3.72刻（相当于53分钟34秒），“小尽”（一个月29天）潮迟为3.735刻（相当于53分钟47秒）。还值得一提的是明清之际的揭暄将西方传入的大地球形观与传统潮汐学相结合，建立了潮汐运动的椭球模型，基本正确地解释了天文潮的运动规律，将中国潮汐研究水平推到了一个新的高度。

西方各国也有不少关于潮汐的历史记载，地中海的潮差一般不到1m，所以当时不大引起人们的关注。罗马帝国凯撒大帝在远征英格兰岛时，于低潮的时候将全部战舰停泊在沿海岸上，当高潮来临时，船只互相碰撞，几乎全军覆没，他在《高卢战争札记》中总结说：“我们的人民不懂得满月对于潮汐有如此密切的关系，使舰队蒙受了近乎毁灭性的损失。这是一桩痛心的事，这说明罗马人对潮汐的无知。”

古代中外科学家对潮汐现象有许多卓越的见解，但是第一个对潮汐现象给出科学解释和建立科学基础的是英国科学家牛顿(Newton)。17世纪，他发现了万有引力定律，并用该定律揭示了地球的潮汐现象，为后人研究潮汐铺平了道路。牛顿在《自然哲学的数学原理》中，提出了“平衡潮”理论，解释了实际潮汐的许多最基本现象，但仍有许多海洋潮汐现象与平衡潮理论并不相符，如海水的惯性导致平衡潮的变形等。在1个世纪之后，法国著名科学家拉普拉斯(Laplace)第一个用流体动力学的观点研究海洋中的潮汐，建立了潮波运动方程，它使潮汐理论向前大大地推进一步。拉普拉斯的功绩不仅在于建立了海洋动力学的基础，而且对潮汐的分析也做出了巨大的贡献。他为了求解大洋潮汐，把潮汐分为半日潮、日潮和长周期潮三部分，用余弦级数展开表示实际潮汐及有关常数由观测来确定等，这些概念与后来的调和法所依据的观点是相同的。在拉普拉斯之后的潮汐动力学大体上可分成两个方向：一个方向是求解大洋潮汐，从根本上解决潮汐的形成问题，在这方面艾里(Airy)、杜德森(Doodson)等做了大量的工作；另一个方向是潮汐传播的研究，有开尔文(Kelvin)、庞加莱(Poincare)等研究了各海区的潮波运动，形成了潮汐动力学的经典理论。

潮汐的分析和预报与潮汐动力研究是平行发展的。我国古代潮汐学的成就，所采用的方法都是将潮汐情况与天体运动直接建立关系，属于非调和法。国外最早用非调和法的是英国卢伯克(Lubbock, 1836)，最早用调和法分析和预报潮汐的是英国的汤姆孙(Thomson, 1868)。在调和方法出现之后，非调和法就居次要地

位,但仍在航海、盐业、渔业等行业中使用。英国科学家达尔文(Darwin)在调和法完善和实践方面发挥了巨大作用,他将引潮力进一步展开,得到了主要分潮的频率,设计了一套实用的分析方法,这一方法至今仍被许多国家使用。把调和分析和潮汐预报法进一步发展的是杜德森,他引用了更精确的布朗月球运动理论(简称“布朗月理”),在1921年将引潮力展开为纯调和展开式,计算推导了386个分潮。除了杜德森之外,还有许多学者得出了各具特色的分析方法,主要有劳舍尔巴赫(Rauschelbach)、列柯拉泽(Lecolazet)和我国学者方国洪等。

1960年,霍恩(Horn)成为最早一位利用电子计算机进行潮汐分析的潮汐学家。1959年,我国学者郑文振在《实用潮汐学》中提出了采用电子计算机进行潮汐潮流预报的设想。随着计算机技术的发展,电子计算机逐渐用于潮汐分析和潮汐预报,提高了潮汐分析和预报的效率和准确度,潮汐分析的方法也随之产生了很大的变化,出现了潮汐分析的最小二乘法、富氏方法、潮汐的波谱分析和潮汐响应分析等,进一步完善和发展了近代潮汐分析和预报理论与方法、分析预报效率。

§ 1.2 潮汐研究的意义

海洋潮汐与沿海各国经济、军事和人民生活之间存在密切的联系。长期以来,人们利用潮汐规律进行经济建设和军事活动,如围海造田、海洋捕捞、海洋养殖、海盐生产、海洋运输、潮汐发电、海洋工程建设、海洋工程使用与维护、登陆与抗登陆作战等。人们对海洋潮汐规律认识和了解越准确,利用和开发海洋的能力就越强,越能产生较大的经济和军事应用价值,降低潮汐带来的自然灾害影响。

海水在天体引力作用下,涨潮引起水位的升高,将动能转化为势能;落潮水位持续下降,势能又转化为动能(也包括水流动所具有的动能)。海水周期性的涨落运动中具有无限的动能和势能(潮汐能)。利用潮汐涨落和伴随的水的流动,建立堤坝蓄水(利用势能)带动水轮机发电或在流速大的区域带动双向水轮机进行潮汐发电,蕴藏着巨大的应用价值。图1.1为目前世界上功率最大的潮汐发电站示意图(位于英国北海)。我国有漫长的海岸线,一般潮差都比较大,潮汐能资源很丰富。据不完全统计,我国潮汐能蕴藏量为1.1亿千瓦,其中可供开发的约3850万千瓦,年发电量870亿千瓦时,大约相当于40多个新安江水电站。自1955年在沿海建设潮汐发电站并相继投产以来,为沿海经济建设提供了廉价的可再生能源。特别近十几年来,世界各国为了地球的未来相继加大了对新能源、可再生能源和清洁能源的开发和利用力度,其中潮汐能源项目就是目前世界各海洋大国发展的重点项目之一。

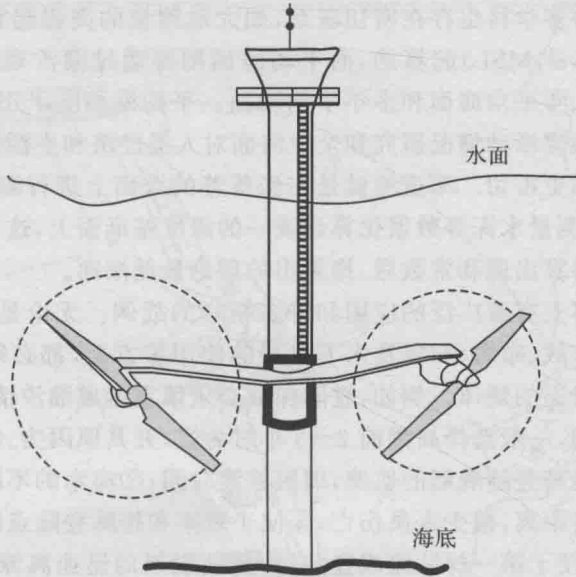


图 1.1 海上潮汐发电站示意

风暴潮及灾难性海水水位监测主要靠沿岸的验潮站进行,区域的或全球的验潮站组成的连续长期和准确的潮位资料,对灾难性海水水位变化监测及向有关部门提供早期预警信息以提高灾难性预防起到了极其重要的作用。正常情况下的实测潮位与预报的天文潮潮位基本一致,但当有较强的增水天气系统影响时,潮位就要增高许多。有的站超过本站警戒水位,甚至超过本站历史最高潮位。这些验潮站采用自记验潮仪,日夜记录潮位变化,在风暴影响期间,可根据预报部门的要求,利用有线或无线网络上报实时潮位,内容包括实时潮位值、高低潮(higher low water, HLW)潮高和潮时等。据此,预报部门将其与天文潮预报值相比较,则可随时了解这些验潮站风暴潮位的变化,采取相应对策。

航海业是支撑世界经济的主要产业,据不完全统计,世界范围内 80% 以上的国际贸易是通过海上进行的。沿海航运需要随时掌握各地的潮汐规律,趁高潮或涨潮时进出港,可增加载重量大的船只的通航能力,提高航道利用率和保证航行安全。例如,塘沽等某些港口,大型船只必须在高潮时才能进港装卸货物。在沿岸浅水地带航行的船舶,不了解潮水涨落的规律几乎无法航行。在流速大的地区,船只航行速度和航向受潮流影响很大。随着现代化工业的发展,船只吨位和货物装卸量大大增加,这对港口建设要求也越来越高,不仅需要开辟深水航道,而且要提高航道的维护费用和港口码头的工作效率。因此在进行港口设计、港口淤积及航道维护整治中,需要掌握潮流、潮差等的变化,特别关注特大高低潮和增减水对码头、仓库、航道、泊位等的影响。

潮汐学与许多学科也存在密切联系,如大地测量的高程起算面就是以平均海面(mean sea level, MSL)起算的,而平均海面则要通过潮汐观测,求得日平均海面、月平均海面、年平均海面和多年平均海面。平均海面除了用于大地测量以外,也用于地质学地壳活动情况研究和全球海面对人类经济和生活影响的研究。潮汐与海道测量关系更密切。海道测量是在涨落着的海面上进行测深的,为了实际应用,最终需要将测量水深等数据化算到统一的深度基准面上,这个面在我国是由潮汐水位观测资料算出调和常数后,推算出的理论最低潮面。

潮汐在军事上有着广泛的应用和许多精彩的战例。无论是舰艇机动,还是在登陆和抗登陆作战、布雷、扫雷及水下武器的使用等方面,都必须充分考虑当地潮汐变化和潮流进退的规律。例如,登陆作战必须慎重考虑潮汐情况,选择合适登陆日期和登陆时间,一般选择高潮前 2~3 小时为宜,究其原因为:①在高潮前登陆可以借助涨潮流提高登陆舰艇的航速,缩短航渡时间;②海水的不断上涨可以缩短登陆部队滩头冲击距离,减少人员伤亡;③便于观察和排除登陆点附近接近半潮面的水中障碍物;④便于第一梯队完成登陆后,登陆舰艇的迅速离滩,使后续部队能有靠岸的地方并能迅速增援。登陆前也应同时计算该地段高低潮的时刻和高度,以及潮流大小和方向。

掌握潮汐规律指挥作战,古今中外有许多战例。图 1.2 为郑成功军队利用有利的台湾周围潮汐规律出其不意收复台湾的要图。1661 年 4 月 30 日(农历四月初二)郑成功率领士兵 25 000 余人,战舰百艘,进军台湾,击败盘踞在台湾的荷兰侵略军。据记载:“四月初二日辰时天亮,即到鹿耳门线外,午后,大船齐进鹿耳门。先时此港颇浅,大船俱无法出入,是日水涨丈余。”郑成功依靠自己熟知水情的军士,准确掌握鹿耳门的潮汐规律,先佯攻安平,后趁大潮进入了沉船和泥沙淤阻的北航道,登陆北线尾岛,攻占台湾城,打败了侵略者,收复了台湾。

在第二次世界大战后期,美、英联军在诺曼底渡海登陆,就选在诺曼底海域大潮期间的 D 日(1944 年 6 月 6 日)高潮前的 3 小时开始,盟军迅速赢得了登陆作战的胜利,图 1.3 为第二次世界大战诺曼底登陆示意图。1949 年 10 月 3 日我军解放金塘岛的登陆作战,选择高潮前 1 小时登陆成功,为后续战斗胜利创造了有利条件。1950 年 9 月 15 日美军考虑仁川的战略地位、有较大潮差和流速等潮汐特点,利用第一次大潮(7 时 5 分,潮高 9.0 m,满足登陆舰船至少 7 m 的要求),于 6 时 30 分在月尾岛附近展开登陆,建立并控制登陆场,确保了后续部队登陆,创造了登陆作战史上著名的“仁川登陆”。在解放战争期间的金门登陆战役中,在登陆东南沿海的金门岛时,我军没有掌握当地的潮汐性质,当完成第一梯队登陆后,适逢落潮,所乘船只几乎全部搁浅,在敌方海岸火炮和军舰攻击下损失惨重,船只所剩无几,直接造成第二梯队不能增援,后续物资供应不上,加之其他原因,导致登陆作战失利。

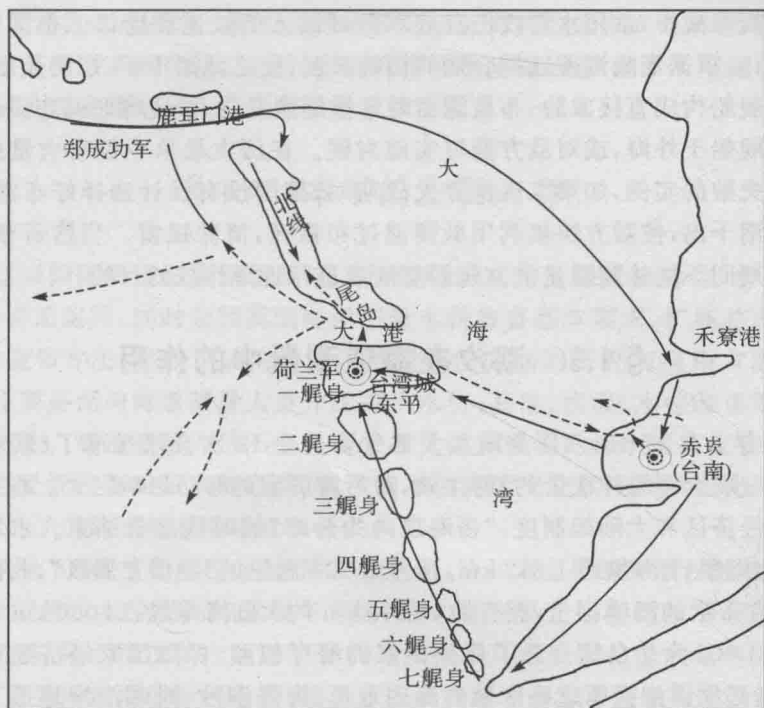


图 1.2 郑成功收复台湾示意

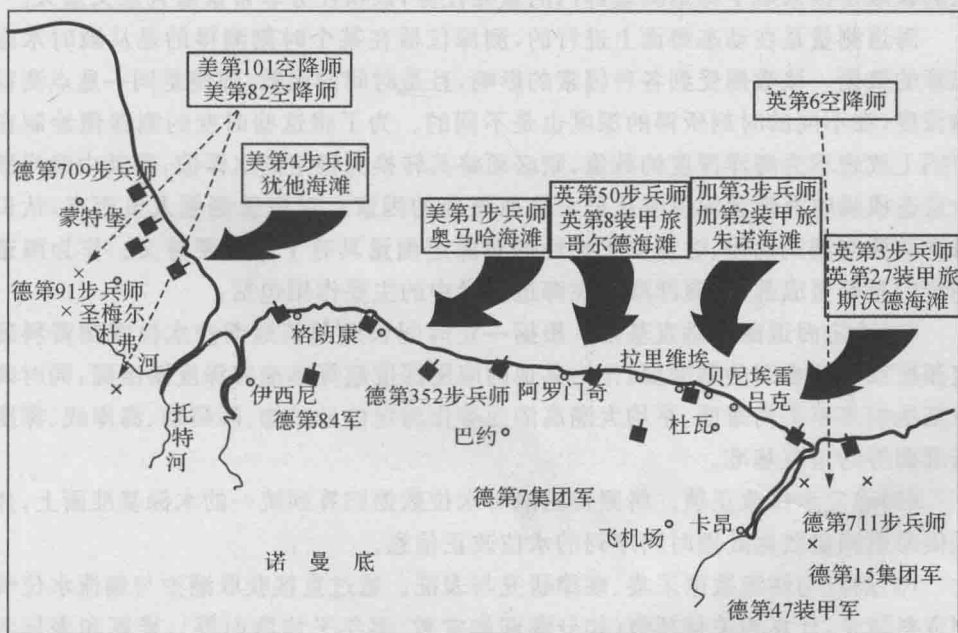


图 1.3 第二次世界大战诺曼底登陆示意

在常规海战中,常用水雷攻击敌舰和封锁敌人的航道和港口。布雷要掌握当地潮高变化,根据当地潮差选择合适的锚链长度,使之低潮不干,以防止敌方扫雷,又对过往舰船构成直接威胁;布设漂雷时掌握潮流变化,按正确时间布设漂雷阻击来犯敌方舰船于外海,或对敌方港口实施封锁。在历次战争中都有大量的水雷布设成功和失败的实例,如第二次世界大战期间,德国没有设计选择好布雷深度,以至于在低潮干出,使对方快艇利用低潮通过布雷区,清除锚雷。当然若布雷太深,则在高潮期间不能达到阻止敌方舰船登陆或进行近岸作战的目的。

§ 1.3 潮汐在海道测量中的作用

1996年5月15日,八届全国人大常委会19次会议批准了《联合国海洋法公约》。《联合国海洋法公约》的生效,对沿海国家的海防影响巨大。根据公约建立的专属经济区和大陆架制度,“领海之外为公海”的时代已告结束。水域纵深由基线外12海里(1海里约1.842 km)延伸至200海里的“经济专属区”,我国拥有约300万平方千米的海洋国土,拥有约18 000 km的大陆海岸线、14 000 km的海岛岸线,以及11 000余个岛屿。为了保护国家的海洋权益、保障国家经济建设和海上军事活动,必须详细探明这些区域的海底地形、海洋潮汐、毗邻沿岸地形及其他物理参数信息(如海水透明度、地磁、重力、浅层地质等),而对这些海域几何和物理信息的获取是国家赋予海道测量部门的重要任务,该项任务非常繁重且意义重大。

海道测量是在动态海面上进行的,测深仪器在某个时刻测得的是从瞬时水面起算的数据。该数据受到各种因素的影响,且是时间的函数,即使是同一地点测得的深度,在不同的时刻所得的深度也是不同的。为了将这些时变的测深值绘制在海图上或表示为海洋深度的数值,则必须将其转换为稳定的水深值,而其中海洋潮汐是造成瞬时海洋测深值变化最直接而显著的因素。对海道测量人员而言,认识海洋潮汐与潮流动因、时空变化特性等对海道测量具有十分重要意义。作为海道测量的重要组成部分,海洋潮汐在海道测量中的主要作用包括:

(1)确定海道测量垂直基准。根据一定时间长度的某地潮汐水位观测资料确定测区或某地水深的基准面,作为某地的海图深度起算基准或深度基准面;同时确定某地的多年平均海面、平均大潮高潮面等作为定位助航物、障碍物、海岸线、深度基准面等的垂直基准。

(2)确定水位改正值。将测得的瞬时水位数据归算到统一的水深基准面上,并提供海道测量数据处理时间序列的水位改正信息。

(3)潮汐与潮流数据采集、规律研究与表征。通过直接获取潮汐与潮流水位观测资料信息,计算相关特征值(如分潮调和常数、多年平均海面等),推算和表征各地潮汐与潮流的变化规律和变化趋势。