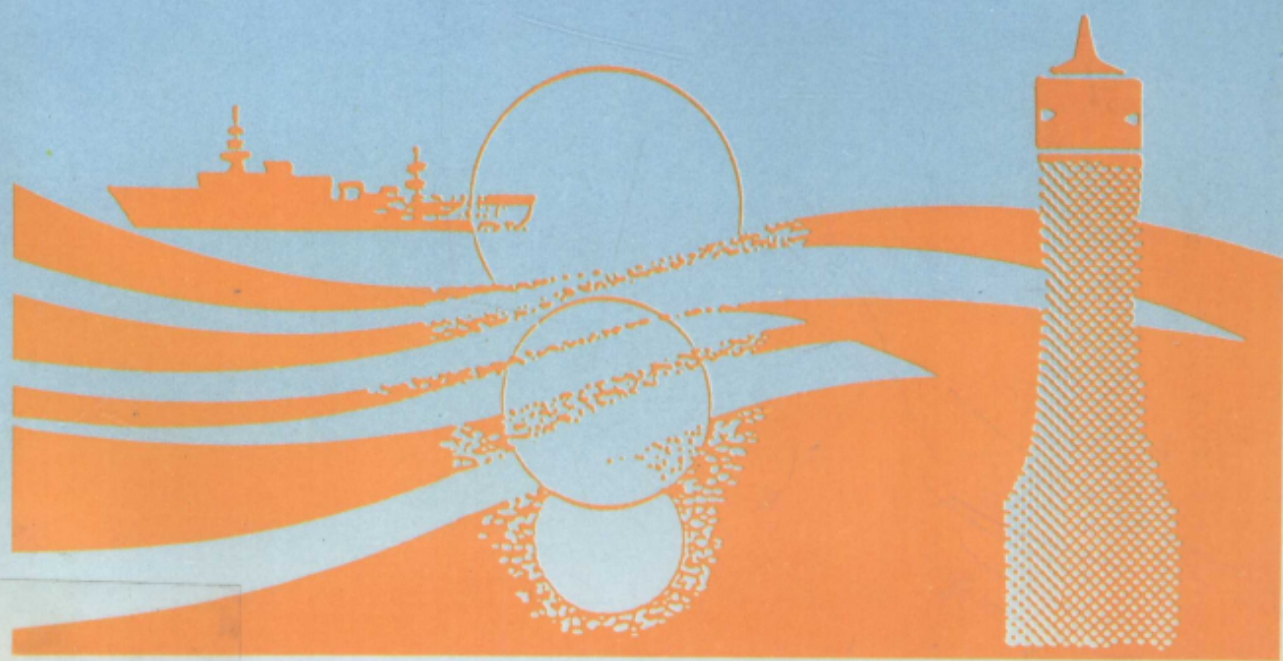


潮汐计算

徐汉兴 编著



人民交通出版社



责任编辑: 阎育丹 封面设计: 彭小秋

ISBN 7-114-02544-0



9 787114 025440 >

ISBN 7-114-02544-0

U · 01791

定 价: 11.00 元

A0285187-J

潮汐计算

Chaoxi Jisuan

徐汉兴 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书主要阐述河口、海湾、浅水海区的潮汐理论与应用计算。全书共分五章,取材体现国内外最新成果和先进水平,其内容有:潮汐现象,潮汐观测,潮汐理论——静力论、动力论,侧重讲潮汐的分析及预报计算的原理与方法,深入探讨了关于增减水(包括风暴潮、海啸、径流影响)和潮流的分析预报等。

本书可供从事水利工程、海洋工程、海岸工程特别是港口、航道工程设计、施工、科研等有关专业人员参考,或从事地球物理、流体力学、海洋动力学研究的科技工作者参考;也可作为海洋水文、海洋气象、航海、造船、海测等有关专业的教学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

潮汐计算/徐汉兴编. —北京:人民交通出版社,1996

ISBN 7-114-02544-0

I. 潮… II. 徐… III. 潮汐推算 IV. P731.
34

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第
24174 号

潮 汐 计 算

徐汉兴 编著

插图设计:秦淑珍 正文设计:崔凤莲 责任校对:杨杰

人民交通出版社出版

(100013 北京和平里东街 10 号)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

北京京东印刷厂印刷

开本:787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张:8.75 插页:1 字数:211 千

1998 年 2 月 第 1 版

1998 年 2 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001—300 册 定价:11.00 元

ISBN 7-114-02544-0
U·01791

前言

1980年11月,承蒙交通部人民交通出版社约邀,承担《潮汐》方面图书的编写工作。11年来,在几届社长和有关领导的亲自关怀下,结合作者从事水利水文技术工作四十余年积累的经验,广泛采集了体现国内外最新成果和现代化先进水平的大量资料,进行了去伪存真、去粗取精的深加工提炼,几度寒暑,几多艰辛,悉心编撰,终成此书。此书若能为当今我国社会主义现代化建设产生一些可供参考借鉴的作用,则不胜幸甚!

现代潮汐科学正处在一个非常特殊的发展阶段。由于海洋资料的开发,沿海工农业生产的发展,以及海洋工程、海岸工程、航运交通、军事国防、防台防汛、渔业盐业、海涂围垦、海区污染与环境保护等各方面的需要,使得这门科学正在迅速地发展。在实验研究方面,扩大了岸边和岛屿的永久性潮位观测站网,创制了以电子传感为特色的潮汐观测新仪器、新设备,甚至人们可以通过人造卫星来观测得到指定海区的潮汐,以及温度、盐度、深度和泥沙等各种资料。在理论研究方面也取得了重大成果,特别是从一些经典理论出发,并考虑了某些因素的影响使得计算上更加富有成效,从理想的条件进入到建立起现实水域的潮汐理论,随着计算上的电脑化,使得许多复杂问题的研究不仅成为可能,而且还能很快就得到结果。

但是,由于我们现有的理论知识和观测手段还不够完备,对潮汐现象结构的概念也许还只是定性地正确,以致得到的计算结果与实际观测数据往往不尽相符,尚需尽快地研究和考虑问题的物理实质。

本书旨在综合现阶段潮汐理论知识与应用计算上的某些成果,以便尽可能使得出计算结果与实际潮汐现象一致,直接为海洋资源的开发,沿海工农业的发展,以及海洋工程、海岸工程、航运交通、防台防汛……等各方面的需要服务。全书共分五章:第一章是概述潮汐现象,与现代观测手段和新设备,对潮汐研究认识和掌握潮汐规律,提供必备的基础知识。第二章内容是潮汐的两个基本理论——潮汐静力学理论和潮汐动力学理论,以便对潮汐的分析与计算打下理论基础。第三章是侧重讲以潮汐静力论为基础的潮汐的分析及预报计算的原理与方法,结合潮汐动力论,考虑了流域气象状况年过程涉及的径流影响、河口地形对潮波作用产生的短周期波动影响等因素,有效地改进了预报模式,并对长系列资料的高阶矩阵求解,在数学方法上找到了捷径,二者合起来,使得电脑化调和法的预报效果,在精度和速度上都获得了空前的提高。此外还对不同情况,不同要求的各种预报阐明原理,提出了一系列的有效方法等。第四章是以第三章即专门讲天文潮周期性水位预报为前提的继续深入,讲以潮汐的静力论和动力论以及统计理论为基础的,包括对各种风暴潮,乃至海啸及径流影响等非周期性增减水预报的原理与方法,并在上述的前提和理论基础上,总结出一些实践经验及新成果。第五章实际上又是第三、四章内容的继续补充,讲潮流的分析和预报的原理、方法与新成果。每章后都附有主要参考文献,以备查考。

在编写过程中,承蒙上海航道局设计研究所领导在工作安排上给予的大力支持、航测处等单位有关专家的指导帮助;在内容取材和观点方面曾从许多著者的先驱工作中吸取了有益的经验;在提高“清稿”的质量方面,上海体育学院杨国芳副教授给予全力支持,做了大量工作;部

分描图工作,先后得到陈六一、孙家荣同志的协助等,谨此深表谢忱!
因限于水平,敬希读者对缺点和错误惠予指正。

徐汉兴

1991 年 12 月于上海

目 录

第一章 潮汐现象与观测	(1)
§ 1-1 潮汐现象	(1)
§ 1-2 潮汐观测	(15)
参考文献	(22)
第二章 潮汐理论	(24)
§ 2-1 潮汐静力学理论	(24)
§ 2-2 潮汐动力学理论	(47)
参考文献	(56)
第三章 潮汐的分析及预报计算	(57)
§ 3-1 潮汐调和分析	(57)
§ 3-2 潮汐预报计算	(75)
参考文献	(85)
第四章 增减水	(86)
§ 4-1 增减水分析	(86)
§ 4-2 增减水预报	(100)
参考文献	(112)
第五章 潮流	(114)
§ 5-1 潮流分析	(115)
§ 5-2 潮流预报	(120)
参考文献	(124)
附录	(126)
附录 1 分潮一览表	(126)
1-1 主要“11”分潮一览表	(126)
1-2 常用“63”分潮一览表	(126)
1-3 实用“128”分潮一览表	(128)
附录 2 天文公式	(131)

第一章 潮汐现象与观测

§ 1-1 潮汐现象

潮汐是地球上普遍存在的一种物质运动形式。恩格斯说：“一切运动都存在于吸引和排斥的相互作用中”^{〔1〕}。由于日、月和地球等天体的周期性相对运动，在它们之间存在着吸引力和平衡力系的相互作用，因此使地球上整个自然界，包括大气圈、水圈和岩石圈（或固体地球本身）的构成物质，都发生着相应的周期性相对运动，人们把这种现象称为潮汐；发生在大气圈中的称大气潮汐；发生在海洋里的称海洋潮汐；发生在岩石圈或弹性地球体本身的称为固体（地壳）潮汐或地球潮汐，它们分别被简称为气潮、海潮和地潮。因此人们无时无刻不生活在潮汐之中，且与海潮的关系最为密切。

一、地球上的潮汐

（一）海潮

海洋潮汐是一种常见的海洋物理现象，自古以来它最早为人们所瞩目。人们尚在那蒙昧无知的年代，对海水那种有规律的运动，就充满了许多神奇的幻想。直到近代，尤其是最近200年来，随着人们生产的发展和需要，开始探索海洋，并逐渐积累认识，才找到了它的科学解释。同时开始了对海潮的利用，这对开发海洋、海岸工程、海运交通及渔盐、军事、科研等方面都起着重要的作用。

海潮现象，其表现为海水的每天有规律的升降或涨落，即包括潮汐的升降和潮流的涨落这样两个内容：海面的周期性垂直升降运动，这是狭义的“潮汐”；海水的周期性水平流动，被称为“潮流”。两者是同一现象中的不同的两个方面，是既有联系又有区别，它们合起来即是广义的“潮汐”。

海潮是一种十分复杂的长波运动。按其成因来分，有天文潮、气象潮和地震潮等。它们各在海洋波谱中占有重要的地位，是海面波谱的重要组成部分。

1. 天文潮

它纯粹由天体引潮力对海水的作用所引起，它是每天发生海洋潮汐的主部，周期为半天或一天以上；波长为几百公里至数千公里；在大洋里潮差较小，一般只有几十厘米到1m左右，接近海岸时它可增大到2~3m，而如果遇到某些特殊的地形，则甚至可增高达一、二十米。

2. 气象潮

它是由非周期性气象因素作用力所引起，其周期可以从几小时到几天以上而变化较大；波高从几十厘米到几米以上。它往往突如其来，使人措手不及，而风暴海啸的威胁性和破坏

〔1〕 指本章参考文献编号为1者，以下同此。

性，往往可以比潮海啸更大。

例如，1970年11月13日，印度洋上的一次强热带风暴，袭击了孟加拉湾沿岸。当时，海水完全席卷了哈堤亚岛，时速达200km的热带风暴，夷平了整个村庄，把树木连根拔起，高达20米的巨浪，其威力之大，竟抹去了地图上的一些小岛，使一万平方英亩的地面，荡然无存，看不到任何有生命的东西。30万人失去了生命，50万头牲畜死亡，100万人无家可归。我国海疆万里，每年夏季台风、冬季寒潮产生的风暴潮，经常威胁着沿海人民生产和生命财产的安全，因此，近年来引起了人们的重视，开展了有关问题的研究^[6]。

3. 地震潮

它是由非周期地质力所引起，当震级在六级以上，震源深度不足4km的地震，就有可能发生海啸；而地震在七、八级以上，将发生灾难性海啸。它的波长，可达五、六百公里以上；周期15~60min；每小时可传播几百公里至上千公里。当它传到浅海时，能产生很大的破坏力。它的纵波，以声速传到海面时，能使船只象“触了礁”似的，受到剧烈冲击，以致发生沉没。

1883年，在巽他海峡中，喀拉喀托火山的喷发，产生了一次极为强大的海啸。火山爆发时，强烈的爆炸声，在4500km以外的地方都能听到。离喷发地二、三百公里的爪哇岛上，窗户上的玻璃也飞出去了。火山灰冲上七、八十公里的高空，形成奇特的云彩，环绕地球转了好几年。当时在海面掀起了暴风雨，一片天昏地暗。巨浪高达35m，波长524km，在大洋中急速地奔驰，绕过好望角，传至英国、法国海岸。32小时内，通过了大约地球半周的距离。这次海啸使印度尼西亚地区的某些岛屿遭到了惨重的损失，受害者达3万6千人。又，1960年5月22日，智利发生8.25~8.5级大地震，产生的强大海啸，波及了整个太平洋沿岸。巨浪高达20~25m，在24h内，就传到远离波源17000km的日本沿岸。这次近代闻名的大海啸，使智利、夏威夷和日本都遭受了很大的损失。

(二) 气潮

人们对大气潮汐的认识，当然要比海潮晚得多，到1643年发明了气压计之后，气潮才开始逐步为人们所认识。大约在200年以前，拉普拉斯就发现有这样一种升降现象，并从理论上概述了大气潮汐。当月、日同在赤道平面内，在一直线上和平均距离时，得出大气潮汐在气压计上反映的最大升降幅度为0.84hPa [0.63mm (汞) 高]^[4]。半日周期的大气压力波，大约在上午十点和下午十点各有一个气压最大值。

气潮中太阳潮比太阴潮强得多，这表明气潮除了引潮力的作用外，太阳辐射这一热力因子也起重要作用。太阳半日分潮的振幅在赤道附近最大，向两极递减，至两极为零，其分布对称于赤道。伴随这一分布出现的全球性风系，能引起高层大气发生剧烈的周期性风场，风速可以很大，且能引起地磁和电离层的相应变化。这在空间物理和电离层物理中是个重要问题。太阴半日气压分潮相比之下要小得多，在赤道附近的最大振幅约为0.08hPa [0.06mm (汞) 高]。但其随纬度增高而减小的分布，同样能引起E电离层(110km)底面高度发生半日周期的变化。

由于空间技术的发展，气潮越来越引起人们的重视。而气潮作用于海面所引起的一种振动，叠加到海潮中，这一影响也值得海潮工作者注意。据观测，当气压计水银柱升、降33hPa (25mm)，地面每平方米的压力差可达340kg，可见大气压力效应之大。

(三) 地潮

地球潮汐是指地球体在引潮力场作用下发生弹性形变的现象，这一现象到19世纪初才

进行观测和计算。若地球为绝对刚体，在引潮力作用下不发生形变，则引潮力观测值应与理论计算值相一致。然而，事实上观测值总是小于理论值，这说明地球体能发生某种程度的形变。1884年彼得第一次作了正确计算；1883年达尔文首次根据海潮观测结果得出结论是，观测值只有理论值的0.7倍。在引潮力作用下，地球发生形变，只能近似地看作“刚体”。

地潮远不如海潮明显，太阴半日分潮的振幅约为半米，即能使地面每天发生大约半米的升降。这一很小的潮汐现象，可借助长基线射电干涉仪来测定，在相距数千里的两地进行同步观测，来测定地潮引起的地面升降，精度可达几厘米。若利用人造卫星微波技术，以地心为基准来测定，其精度可能更高。若能用人造卫星携带激光传感器来测定卫星与海面及海底的距离，这样所测得的地潮精度有可能达到5%左右，对太阴半日分潮振幅的最大误差将有可能达到 $\pm 2.5\text{cm}$ 。

地潮与海潮的相互作用，地潮能使大洋潮波的形成与传播机制受到一定影响。地球的形变所引起的海潮叠加到大洋潮波系统上，可以改变原来同潮时线、等潮差线的分布，虽然对总的潮汐分布不会引起本质的差异，却有可能使个别区域的潮波系统发生明显的改变。反之，海潮对地潮也可能产生一定的扰动影响。大洋潮波的运动变化不仅能影响洋底本身的形变过程，而且在涨落潮时不同水团所带来的亿万吨海水，不断交替地冲击着海岸，其所产生的应力作用，将不仅使海岸附近的区域经受着巨大的、冗长的海潮作用的影响，而且这种影响可以一直深入到内陆相当遥远的地方。

地潮因受天体引潮力、气温、气压、水团变化及其他多种因素的影响，亦有日周、年周及其他周期性和非周期性的变化。研究地潮的周期性和非周期性的变化。对于海平面变化与海岸升降和大地震趋势预报等均有重要意义。地震是地壳板块运动中的一种矛盾现象，当地壳内部形变应力积累到一触即发时，无论是哪种原因引起的周期性或非周期性的地潮，都有可能对地震有激发作用。特别是在朔、望前后、日、地、月位于一直线上时的引潮力最大，其所引起的地潮对某些地震区起激发作用的可能性较大，这就更应多加注意。

二、海啸、海面波谱

（一）海啸

海洋中伴有“啸声”的巨浪，称为“海啸”。如台风、寒潮、海底火山爆发，海底和海岸附近的地震等，都能引起海水的大规模的波动。这一类波动，在面积辽阔的海洋里，显示不出它的威力。但是，当它们从源地迅速传到浅水海区，尤其当传入喇叭形的海湾时，能激起几十米高的巨浪。它来势凶猛，可能冲毁田野、村庄和海港的建筑物，造成巨大的灾害。同时发出巨大的声响，因此，人们把它叫做“海啸”。伴随“风暴”，发生的强大气象潮，称为“风暴潮”或“风暴海啸”；强大的“地震潮”称为“地震海啸”；天文大潮也可以形成“潮海啸”——这实际上是一种“潮汐扑岸浪”，如钱塘江和亚马逊河的涌潮，激浪滚滚，翻江倒海，“声闻数十里外”，均十分壮观，而闻名于世。

（二）海面波谱

其实海面变化是一种极其错综复杂的波动现象，是由频率从0至 ∞ 的波谱构成的。它除了有天文、气象、地质等原因造成的周期从几十分钟至半天或一天以上的各种潮波外，还有周期在15min以下的一般风成波或重力波高频部分波动，以及周期超过24h以上的一般由台风或日、月引潮力产生的迁移波或超潮波（越潮波）低频部分潮波所组成，而后者对海洋面长期变化的研究更具有其一定的意义^[6.7]。

图 1-1 是由蒙克把一个复杂的海面波动，按周期划分成各种类型波动的谱模型。图中其

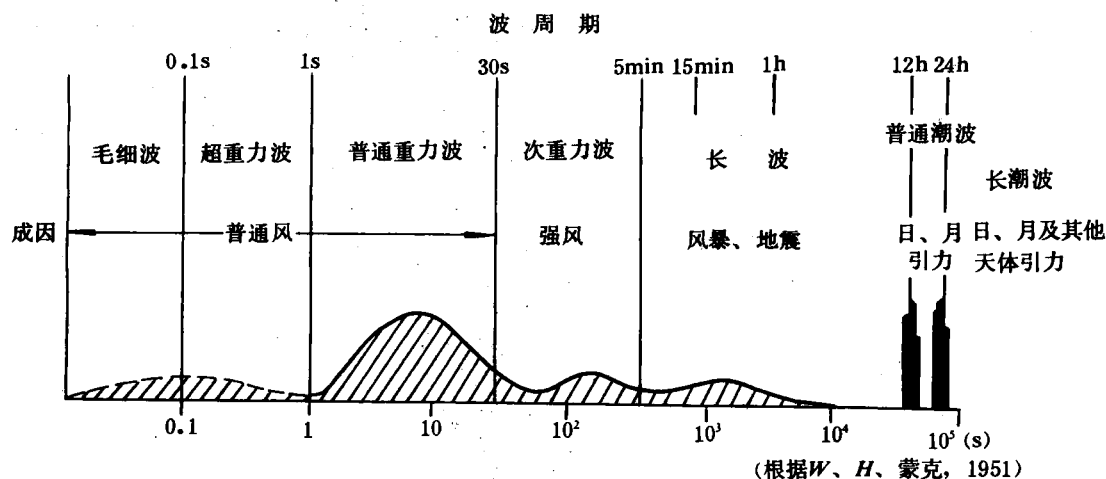


图 1-1 海面波谱模型 [根据 W.H. 蒙克, 1951]

周期短于 0.1s 的为毛细波；周期在 0.1~1s 之间的短周期重力波称为超重力波，而在 1~30s 之间的称为普通重力波，包括风浪和涌浪等。在 30~300s (5min) 之间的长周期重力波称为次重力波；周期在 5min 到 12h 称为长波，包括副振动和风暴潮等，而在 12~24h 之间的为一般的潮波，长于 24h 的长周期潮波称为长潮波或迁移波。

海面波谱中的低频潮波具有较大的能量，是造成海面变化的主部。其中，气象潮和地震潮都是偶然发生的，唯天文潮是每天发生的。因此，下面主要讲天文潮和略讲一些气象潮，而地震潮将予以从略。

三、潮汐特性

研究潮汐特性的依据是潮汐观测的记录。据观测，潮汐现象的本质有许多表现，并可以通过其各种表现特征来描述。下面主要按照各种潮汐要素、潮汐不等、潮汐迟时等特征表现来说明。并将表征潮汐特性的有关术语和基本概念，简述如下。

(一) 潮汐要素

表征潮汐特性的诸要素，如图 1-2 所示。即在海面的每一升降周期中，海面由某个时刻开始，不断上涨的过程，称为“涨潮”；整个涨潮，是从低潮开始，一直上涨到高潮为止。涨潮到一定时候，海面上升到了最高的位置，这就是“高潮”，或称“满潮”。这时，海面处于相对平衡状态，且往往持续一段时间，不涨也不落，这一段时间，称为“平潮”。高平潮时，时间各地不一，一般为几分钟到几十分钟，有的达几小时以上。高平潮的中间时刻，取为“高潮时”；其潮位高度，就称“高潮高”。高平潮过后，水位不断下落，这一过程称为“落潮”；整个落潮是从高潮开始一直下落到低潮为止。落潮到一定时候，海面下降到了最低的位置，便称“低潮”或“干潮”。这时，与高潮前后类似，海面处于相对平衡状态，亦往往持续一段时间，潮位不升也不降，这一段暂停升降的时间，叫做“停潮”，一般与高平潮情形大体相同。它的中间时刻叫做“低潮时”，其潮位的高度叫“低潮高”。接着，又开始涨潮，潮水就是这样日以继夜，往复不已。

从低潮时到高潮时，这一段历时叫“涨潮时”；二者对应的高度差，叫“涨潮潮差”。从高潮时到低潮时，这一段历时叫“落潮时”，二者对应的高度差，叫“落潮潮差”。潮差，即

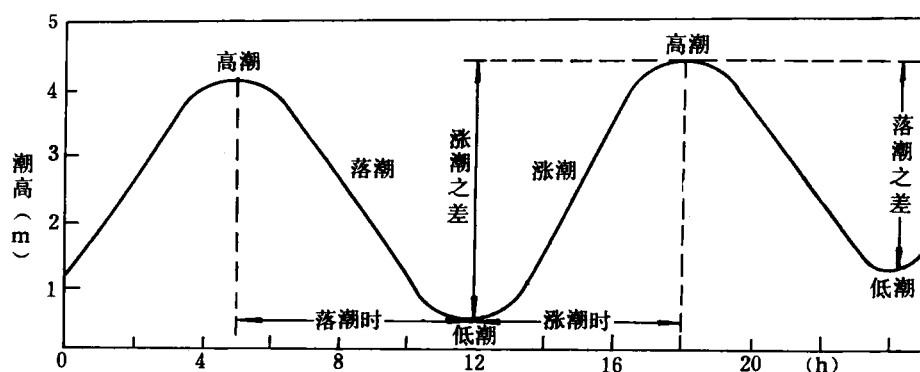


图 1-2 潮汐要素

相邻高低潮潮位之差。而相邻高潮（或低潮）之间的时间间隔，称为“潮期”，一般 12h 25min 完成一次潮汐升降，为一个“潮期”。潮差和潮期均因地而异，并均有一定的周期性变化。

潮汐现象最显著的特点，是有明显的周期性变化规律。但在一个周期中，升降、涨落并不是均匀的，而是时快时慢的。在实用上，往往从统计的角度，研究其某一要素的平均值。例如，多年的每小时潮位平均值，就是平均海面的高度。高潮面与低潮面之间的那个水平面，称为“半潮面”。一般，半潮面与平均海面仅稍有出入。在长江口区，在吴淞站及其上游一些测站，为半潮面比平均海面一般高出几厘米；而在夏季及其下游站，两者相接近。

（二）潮汐不等

在一个太阴日中，各日的潮差不相等，高潮高、低潮高不相等，涨潮时和落潮时也不相等，这种现象，总称为潮汐现象中之“不等”。

据观测，各地的潮汐涨落周期，并不完全相等。有的地方，在一个太阴日当中，涨落两次，为“半日潮”；有的地方，只涨落一次，为“全日潮”；有的则介乎这两者之间，为“混合潮”。此外，还有多种多样的长周期变化，如半月、一月、半年、一年及多年的变化周期等，从而潮汐亦有相应于这些周期的不等现象。

1. 日不等

在semi-diurnal潮地区，在潮位涨落过程中，两次相邻高（低）潮，在高度上相差很小；在时间间隔上也相差很小，平均相隔为 12h 25min；涨潮时与落潮时，也约略相等，平均各为 6h 12.5min；潮汐曲线具有对称的性质，历 24h 50min 而完成两周的变化。

在不正规半日潮地区，其两次相邻高（低）潮在高度上不相等，这种现象叫做“潮高周日不等”；同时，在时间间隔上也不相等，即不仅两次相邻潮（日潮和夜潮）的涨潮时和落潮时不相等，而且同一潮的涨、落潮时也不相等，这种现象叫做“潮时周日不等”。潮高周日不等和潮时周日不等合称为“潮汐周日不等”。

潮汐日不等现象具有复杂的变化周期。理论上指出，这种日不等现象主要是由月球的赤纬变化引起的。当月球赤纬增大到最大时，日不等现象也最显著。当它穿过赤道时，日不等现象近乎消失。而且事实上，往往要比该时刻推迟一些时间，才出现其最大或最小值。

2. 其他（半月、月、半年、年）不等现象

据观测，每月朔（望）时潮差达最大，以后逐日减小，至上（下）弦时达最小；而高（低）潮间隙时间也是每天不同。由于自朔（望）至望（朔）周期为半个月，所以潮差和间隙都具有半月周期变化。这种大潮，小潮变化的现象，称为潮汐“半月不等”；又因其与月相盈亏有关，而称为“盈亏（月相）不等”。

当月球在近地点附近时，潮差较平均值大，当月球在远地点附近时，潮差较小，由于月球每月公转地球一周，通过近地点的周期为一个近点月，所以其变化周期有一个月，这个现象是潮汐“月不等”，也叫做“视差不等”。

太阳，亦可产生类似的影响。太阳赤纬变化引起的潮汐不等周期为“半年”，在二至点最小，在二分点最大^[9]。当太阳在近日点附近时，潮差大，而在远日点附近时，潮差小，这是潮汐“周年不等”现象，其周期为一个近点年。

此外，潮汐还有多年不等现象。因为月球近地点（或月球轨道长轴方向）变化的周期为 8.84732 儒略年（1 个儒略年 = 365.24 平太阳日），月球升交点周期为 18.6129 儒略年，近点月与朔望月的会合周期接近于“八年零一天”等。所以，潮汐年年都不相等，即相应应有 8.85 年、18.61 年和 8 年等长周期变化。

（三）潮汐的“迟到”现象

理论上指出，当月球在某地上中天时，应出现高潮。事实上往往迟后一段时间才出现高潮。这被认为是潮汐的“迟到”现象，迟到的这一段时间叫“迟时”或“间隙”。潮汐的成因很复杂，使不能单以月中天时刻为准来解释的原因，除了月球外还有太阳的引力作用，海水流动时受地形和水流的摩擦作用，海水本身具有的惯性作用，以及其他非周期气象因素等，这些因素都可能使高潮时与月中天时刻发生不一致。一般是高潮要比月中天迟后一段时间；低潮也有类似现象。

1. 间隙时间

由月球中天时到第一次高潮时之间的时间间隔，称为“高潮间隙”；同样，从月中天时刻到第一次出现低潮的时间间隔，称为“低潮间隙”；二者合称为“月潮间隙”。实用上间隙时间一般以时和分计算；精确至 1min。

潮汐间隙时间，因地而异。在同一地点，它也有一定的周期性变化，它随月相而变；平均半月不等取决于月相，为月相的函数；有半个朔望月的周期。高潮间隙从大潮到小潮较平均高潮间隙为小，从小潮到大潮则较平均高潮间隙为大；在大潮和小潮时，它接近于平均高潮间隙，如图 1-3 所示。高潮间隙与平均高潮间隙最大相差为 $\pm 1\text{h}$ 左右^[18]，这种偏离正常值的分布，大约隔半个月复演一次；低潮间隙不等亦类似。

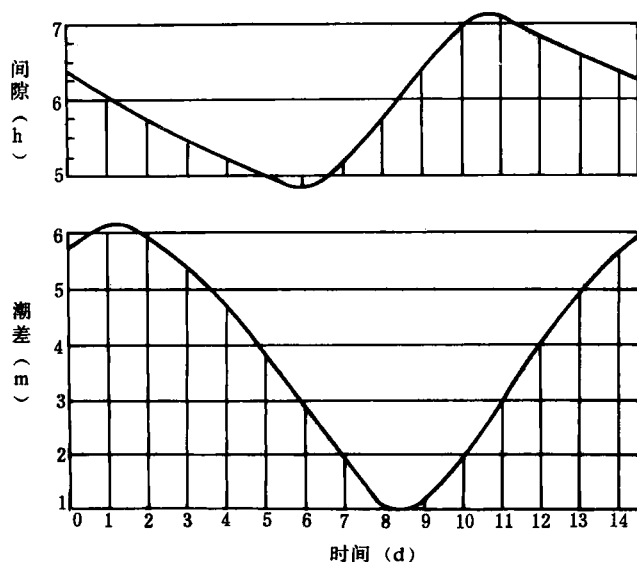


图 1-3 高潮间隙与潮差半月不等

在实用上，间隙不等取长期观测资料的平均值；一般取一年的平均值，作为其半月不

等。对高潮间隙有时取一个朔望月（或其整倍数）的资料作平均，称为“平均高潮间隙”；对低潮也一样。由此再根据月中天时，就可以推知当地的高潮（或低潮）到来的时刻。

2. 潮龄

据观测，在一个朔望月中，潮差有两次最大，分别出现在朔和望附近，它可能出现在朔、望之前1~2天，一般在朔、望之后1~3天，按平衡潮理论，则应分别出现在朔、望时刻、两次最小潮差应分别出现在上、下弦时刻。事实上，两者都可能超前或落后，这段时间叫做“潮龄”；以日计之。

由朔、望时刻算起，到最大潮差出现的时间间隔，称为“半日潮潮龄”或“朔望潮龄”，简称为“潮龄”。在长江口区，半日潮潮龄一般为落后2~3天；据计算，口外绿华山站为落后43h；口内吴淞站为49h，江阴为53h。这就是说，朔、望大潮不是发生在阴历初一、十五日，而是常发生在初二、三或十七、八日；小潮也不是发生在阴历初七、八或廿二、三日，而是常发生在初九、十或廿四、五日。在我国沿海其他地区大都如此。在钱塘江也不例外，所以，自古就有“八月十八，海宁观潮”之说，即要观看最为壮观的钱塘江涌潮，是在夏历八月十八，而不是在八月十五日。

同样，由月球赤纬变化引起的最大潮差，按理应出现在月球到达南、北赤纬最大时刻。而事实上，都要落后通常为一天左右的时间。这一段时间叫做“全日潮潮龄”，或简称为“日潮龄”。据计算，其长度在青岛为50h，厦门为20h。

同理，通常月球经近地点以后一段时间，潮差达最大，而经远地点以后一段时间，潮差达最小。其落后的这一段时间，叫做“视差潮龄”。半日潮龄和日潮龄每天不同。且具有半月周期。而视差潮龄则具有月不等周期。

四、潮流特性

潮汐与潮流是一对孪生兄弟。在有潮位升降的地方，同时必有其潮流涨落。潮位所具有的变化，周期及其不等现象，对潮流也同样存在。“潮汐不等现象”一词，实际上包括潮位和潮流。潮流按周期分类，也有半日型、全日型和混合型三种。按其流动形式来分，又有往复式和回转式两种（见图1-4）。

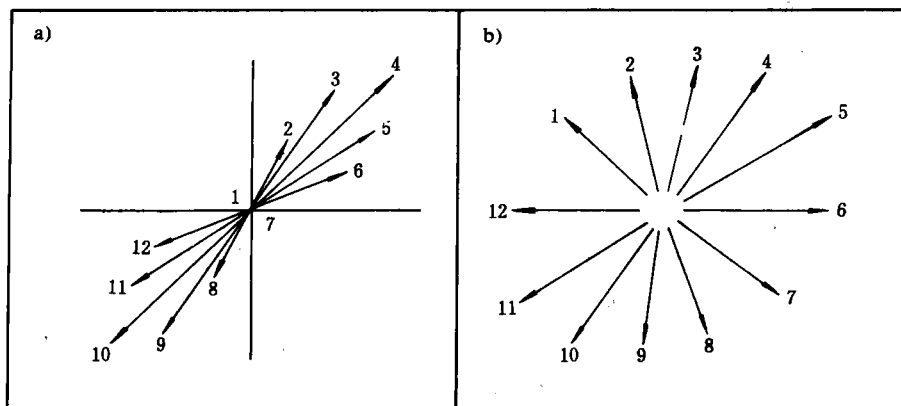


图 1-4 潮流形式

a) 往复式; b) 回转式

(一) 往复流

在近岸或狭窄航道、海峡、潮流因受地形条件的限制，涨、落潮流流速的大小，主要是

在近乎一直线的两个相反方向上变化,这叫做“往复式潮流”。往复式潮流具有最大流速和最小流速。当涨潮流达到最大流速的时候叫“涨急”;落潮流达到最大流速的时候叫“落急”。当涨、落潮流转换方向,且流速小于0.1节或等于零的时候,称为“转流时间”或“憩流时间”,简称“转流”或“憩流”;落潮流逐渐减小,流速等于零时,称为“落潮憩流”,简称“落憩”;涨潮流逐渐减小,流速等于零时,称为“涨潮憩流”,简称“涨憩”。从落憩到涨憩之间的时间间隔,称为“涨潮流历时”;涨憩到落憩之间的时间间隔,称为“落潮流历时”。从落憩到下一个落憩之间的时距,称为一个“潮流期”,在半月潮地区,约为12h25min。

实际憩流时刻的确定,可以由实测流速过程线与涨、落潮转换时间坐标轴的交点来求得,也可以由潮流观测直接得出。当垂线和断面上不是同一时刻发生憩流时,则可以取垂线或断面上各个憩流时刻的平均值,作为其憩流时刻。

习惯上按潮流方向有涨潮流和落潮流之分,一般涨潮流朝一个方向,落潮流朝另一个方向。从高潮到来得早些的海区流向高潮到来得晚些的海区的这种潮流,称为“涨潮流”;反之,则称为“落潮流”。注意,不能把潮位上涨时的流说成是涨潮流,也不能把潮位下落时的流说成是落潮流。

(二) 回转流

在海外或近海的广阔海区,潮流可以在各个方向上变化着,大约半天或一天变化一周,这种潮流称为“回转流”。回转式潮流在一个周期内流向变化 360° ;流速变化从最小到最大,又到最小。它没有转流或憩流。在无潮点处,流速即使小于0.1n mile/h或等于零,与转流和憩流现象也有不同。在外海,由于受地球自转偏力的影响,回转流一般在北半球作顺时针方向旋转,在南半球作逆时针方向旋转;在近海,由于受水文因素和地形的影响,往往也作相反方向的旋转。

将回转流昼夜连续观测的逐时流速资料,在极坐标纸上以测流点为原点绘制潮流矢量图,并以光滑曲线连接各时刻矢量的端点所得的这一迹线,称为“潮流流速矢端迹线”或“速矢端迹”。同样,根据某一分潮流自同一原点绘制的每整太阴时的潮流矢量图,所作出的速矢端迹则称为“潮流椭圆”。

当潮流进入近岸浅水区,或狭窄航道、海峡以后,因受当地的地形制约,潮流椭圆将随之而衰退,当其衰变为近乎一直线时,回转流也就变成为往复流了。即回转流是潮流流动的普遍形式,而往复流只是它的一种特殊形式。

五、潮汐类型

潮汐现象千变万化,随着各地条件的不同,几乎没有完全相同的潮汐可言。按它的变化周期来说,有的地点一天出现一次潮汐循环,有的地点出现两次潮汐循环,或者同一地点随时间不同而两种情况兼有。按其大小而言,有的潮差有几层楼房那样高,有的潮差几乎微不足道,但它们都有一定的周期变化。因此,为便于研究和应用,应将各种潮汐现象作适当分类。其分类的方法一般有二种:一是按潮汐周期作统计分类;另一种是按潮汐形态系数进行分类,二者都能把海潮区分为三种类型,即半月潮、全日潮和混合潮。而且后一种分类的方法,还可以将潮汐现象比前者更具体地细分为许多种类,加以区别。

(一) 三大类型

前面提到,按周期大小分,海洋潮汐现象有半月潮、全日潮和混合潮等三大类型,现分

述如下:

1. 半日潮

一个太阴日内出现两次涨潮和两次落潮, 相邻的两次高(低)潮的高度大约相等, 潮差大约相等, 潮期约 12h 25min, 潮位曲线对称, 涨潮时和落潮时各约 6h12.5min。但潮差仍有半月周期变化, 大潮和小潮分别出现在朔、望和上、下弦附近。这是正规半日潮性质的潮汐, 一般就称为“半日潮”。

2. 混合潮

一个太阴日内有时出现两次潮汐涨落, 有时只出现一次涨潮和一次落潮, 并有时接近于半日潮, 有时又接近于全日潮, 是介乎这两者之间的一种潮汐类型。又按其接近于半日潮或全日潮, 而再分为以下二种:

1) 不正规半日潮 在一个月多数日子为半日潮, 每个太阴日虽也有两次高潮和两次低潮, 但在某些日子相邻两次高(低)潮的高度不相等, 较高的一次高潮叫“高高潮”, 较低的一次高潮叫“低高潮”, 较高的一次低潮叫“高低潮”, 较低的一次低潮叫“低低潮”; 涨潮时和落潮时也不相等。这种混合潮接近于半日潮的性质, 属于不规则的半日潮。

2) 不正规全日潮 在半个月内出现全日潮的天数不超过七天, 其余日子为不正规半日潮。

3. 全日潮

半个月有连续半数以上的日子在一个太阴日内只出现一次高潮和一次低潮, 其余日子为一天有二次高潮和二次低潮现象。全日潮往往过程线是一条(近乎)对称的余弦状曲线, 相邻的两次高(低)潮的时距为 24h 50min。

(二) 潮汐分类

关于潮汐的分类方法, 一般采用“潮型数”作为潮汐分类的判据。潮型数是表征潮汐曲线形态变化的一种系数——主要分潮平均振幅之比, 亦称“潮性常数”或“潮型常数”。由实测资料经调和和分析求得分潮的调和常数——包括各分潮的平均振幅和位相, 可用来解释实际的潮汐现象和作为潮汐分类的依据。

1. 按潮型数分类

按潮汐形态系数来作潮汐分类, 其意义是明显的。即以潮形系数的大小为判据半日潮或全日潮哪一种成份占优势, 就属于哪一种类型。目前各国潮汐分类采用的潮型数标准不一, 一般有两种不同的取值方法, 其计算公式为:

$$F_1 = (H_{K1} + H_{O1})/H_{M2} \quad (1-1)$$

以及

$$F_2 = (H_{K1} + H_{O1})/(H_{M2} + H_{S2}) \quad (1-2)$$

其取值范围详见表 1-1。式中: F_1 和 F_2 分别表示第一、二种潮型常数; H 为主要分潮的振幅; 脚标 K_1 和 O_1 表示两个主要的日分潮; M_2 和 S_2 为两个主要的半日分潮; H_{M2} 即表示太阴半日分潮 M_2 的振幅, 余类推之。日分潮中以 K_1 和 O_1 为主, 半日分潮中以 M_2 和 S_2 分潮为主, 所以, 通常取它们的平均振幅之比, 作为潮汐分类的依据。

在表 1-1 列出的六种基本分类法中, VI 为 1897 年采用的司托克判别式, 将潮汐分成三种主要类型; I 为法国潮汐研究所采用的一种标准; III 为美国出版物中常见的一种分类法; V 为前苏联杜瓦宁建议的, 也是我国常用的一种方法。这些方法, 可按不同的要求加以选

用。其中 F_1 具有正确反映回归潮重现的优点，因为每月总是在回归潮这段时间的日不等最显著，所以，这也是一般情况下常用的一种形式。 F_2 的量值一般也随日不等增大而增大，但不甚明显，只有在冬、夏月份较正确，这是因为在冬、夏朔望时，月球在最大赤纬附近，朔望潮同回归潮相遇，所以日不等最为显著，然而，在欧洲一些国家中，却以 F_2 形式较为常用。

潮汐分类方法对照表 表 1-1

潮 型 数		潮 汐 类 型				参考文献	
I	$F_2 = \frac{H_{K1} + H_{O1}}{H_{M2} + H_{S2}}$	半日潮	混合潮	全日潮			[10、11、12]
		$0.0 < F \leq 0.25$	$0.25 < F \leq 1.25$	$1.25 < F$			
II	$F_1 = \frac{H_{K1} + H_{O1}}{H_{M2}}$	半日潮	混合潮	全日潮			[10、13]
		$0.0 < F \leq 0.5$	$0.5 < F \leq 1.5$	$1.25 < F$			
III	$F_1 = \frac{H_{K1} + H_{O1}}{H_{M2}}$	半日潮	混合潮	全日潮			[11]
		$0.0 < F \leq 0.5$	$0.5 < F \leq 2.0$	$2.0 < F$			
IV	$F_1 = \frac{H_{K1} + H_{O1}}{H_{M2}}$	半日潮	不正规半日潮	混合潮	全日潮	[10、14]	
		$0.0 < F \leq 0.5$	$0.5 < F \leq 2.0$	$2.0 < F \leq 4.0$	$4.0 < F$		
V	$F_1 = \frac{H_{K1} + H_{O1}}{H_{M2}}$	半日潮	混合潮		全日潮	变态潮	[10、15、16、17]
			不正规半日潮	不正规全日潮			
		$0.0 < F \leq 0.5$	$0.5 < F \leq 2.0$	$2.0 < F \leq 4.0$	$4.0 < F$	有四种半日潮	
VI	$F_2 = \frac{H_{K1} + H_{O1}}{H_{M2} + H_{S2}}$	半日潮	混合潮		全日潮		[18、19]
			不正规半日潮	不正规全日潮			
		$0.0 < F \leq 0.25$	$0.25 < F \leq 1.5$	$1.5 < F \leq 3.0$	$3.0 < F \leq \infty$		

2. 我国沿海的潮港类型

在我国沿海各主要港口的潮型常数按 V、VI 两种方法计算的结果见表 1-2。这两种结果稍有差别，但确定的潮港性质却基本上是一致的。从表中可以看出，两者的量值均在东海为最小，在温州和闽江口的梅花两站，均确定为典型的半日潮港，从东海向北到黄海、渤海，其值依次递增（个别例外），至营口为最大，并确定这一带一般属半日潮港或不正规半日潮港。其中尽管成山头的数值偏大是个例外，都仍属不正规半日潮港范畴。又据计算，秦皇岛附近的环山寺 F_1 为 9.8，属于全日潮；长山寺角 F_1 为 1.1，属于不正规半日潮。由此可见，黄、渤海沿岸的潮汐分布是：多数地点为半日潮，少数为混合潮，个别也出现全日潮和