



潮汐

海潮 陆潮 气潮

科学出版社

潮 汐

海潮 陆潮 气潮

李 珩 编 译

科 学 出 版 社

1 9 7 3

内 容 简 介

本书较全面地介绍了潮汐的各种情况和测量方法,并介绍了潮汐在航海、发电、捕鱼等方面的应用,是一本中级科技读物。

本书可供具有中等文化水平读者阅读参考。

潮 汐

海潮 陆潮 气潮

李 珩 编译

*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1973 年 8 月第 一 版 开本:787×1092 1/32

1973 年 8 月第一次印刷 印张:2 13/16

印数:0001—17,200 字数:60,000

统一书号:13031·130

本社书号:247·13—5

定 价: 0.25 元

前 言

潮汐是一种宏伟的自然现象，我国劳动人民早已知道它和月亮盈亏的关系。在欧洲，到了十七世纪，牛顿才首先以月亮和太阳的引力说明潮汐形成的原因。由于潮汐对于海运、渔业、盐业、港埠建筑和动能利用各方面的重要性，经过数学家与物理学家几百年的研究，潮汐学现已成为海洋科学的一个重要分支。

本书是一本中级科技读物，是为具有中等文化水平的读者和从事海产、海运的工作者参考而编写的。书中除了介绍潮汐现象、测量方法、理论探讨、并综合理论与实测来作出预报之外，还说明了潮汐的区域性变化，特别提到我国近海水区的潮汐与潮流情况。月球和太阳两个天体吸引海水而成为海潮，同时也吸引陆地与大气而造成陆潮与气潮。这两种潮汐对于某些科学（如天体测量、地球物理和地质科学）有相当重要的意义。近二十年来，由于实验技术的进步，才获得一些有用的知识，本书一并加以简略的叙述。末后几章谈到潮汐对于海洋生物和天文现象的影响，并特别叙述潮汐能量的利用和解放后江浙沿海贫下中农所修建的小型潮汐发电站，以及我国沿海历代劳动人民为阻挡海潮的侵袭而修筑的人工堤岸（海塘）。由此可见，本书内容虽浅显，但涉及的范围却相当广泛，希望读者对于与海滨人民生产斗争颇有关系的这个自然现象有一些了解，更进而加以研究与利用。

书中关于推算我国沿海港埠潮汐的基本用数（调和分析常数）和有关各海区潮流情况的一些数据，都转载自本书文

献内的重要典籍和解放前上海出版的《中国沿海潮汐表》^[11]，而这个表又是摘自英国海军部每年印行的《太平洋及其邻近海区的潮汐表》^[12]。如果读者需要较多的知识，请参考大连海运学院教研室编译的《英国航海图书资料》。本书为举例说明所引用的数据比较简略，读者如想作进一步的研究，可参考以上所举的两种潮汐表和书末文献。

本书主要是根据书末所列几本文献编写而成的，因此书中难免有解说不清甚至错误之处，尚望读者指正，以便再版时加以修改。

本书出版前，承李杭同志修改校样、设计封面，编者在这里对他的协助表示感谢。

[11], [12] 见书末参考文献。

目 录

前言	iii
1. 什么是潮汐	1
§ 1.1 引言	1
§ 1.2 潮汐的周期性	2
§ 1.3 港湾里的潮汐现象	3
§ 1.4 风和潮	5
2. 潮汐的测量	6
§ 2.1 测潮计	6
§ 2.2 海洋上潮高的测量	8
§ 2.3 潮流的测量	10
3. 引潮力	13
§ 3.1 月球和太阳的效应	13
§ 3.2 引潮力的实验证明	18
4. 潮汐的理论与预报	23
§ 4.1 概论	23
§ 4.2 牛顿的静力平衡理论	23
§ 4.3 拉普拉斯的动力理论	25
§ 4.4 谐波分析与潮汐预报	27
§ 4.5 潮汐的特征	34
5. 湖泊和海洋里的潮汐	38
§ 5.1 闭合水区里的驻波, 拟潮	38
§ 5.2 海洋、海湾和水道里的潮汐	42

§ 5.3 地球自转与摩擦的影响	45
6. 我国近海水区的潮汐	49
§ 6.1 我国近海潮波的形成	49
§ 6.2 我国近海潮汐的性质和潮差的分布	50
§ 6.3 我国近海的潮流	51
§ 6.4 河口的潮汐	52
§ 6.5 钱塘江潮	54
§ 6.6 扬子江潮	58
7. 内波与内潮	59
8. 大气和电离层里的潮振荡	64
§ 8.1 大气潮	64
§ 8.2 电离层里的潮振荡	67
9. 陆潮(固体潮)	68
10. 潮汐的利用	73
§ 10.1 潮汐与航运	73
§ 10.2 潮汐与渔业、盐业和农业	73
§ 10.3 潮汐能量的利用	74
§ 10.4 海塘工程	76
11. 潮汐对海洋生物的影响	77
12. 潮汐对天文现象的影响	80
§ 12.1 潮汐的摩擦对地球自转的影响	80
§ 12.2 地-月系的潮汐演化理论	82
§ 12.3 太阳系起源的潮汐假说	82
参考文献	83

1. 什么是潮汐

§ 1.1 引言

居住在海滨或江口的人们，常看见海水或江水每天有两次或一次的涨落。这种水面高低的变化，对海滨居民的生产与生活有相当大的影响。当我们观察落潮与涨潮时，便会发现海水的运动既有上下向的升降(潮汐)，也有水平向的漫延(潮流)。这是同一种波动的两个部分，因而它们具有相同的周期。这种周期性的海水起伏虽然到处都有，可是有些地方异常微弱，常为风浪和气象因素所掩蔽；也有一些地方，潮汐特别强大，可达几丈之高，成为惊人的壮观。

在浅海的沙滩上，潮汐现象特别显著。例如，在一些地区的海边上有一片一、二十公里长的沙滩，退潮时平沙漠漠，涨潮时波浪滔滔。这一带宽阔的灰色低地是润湿的泥和沙所构成的“海陆两栖”地区。其上便是缓缓高起的肥沃的沼泽区域，大部分由海堤防护着，涨潮时形成了海陆分界的栅栏。当海堤被潮汐冲击决口时，便会造成可怕的灾祸。在这广袤的泥沙地上还有着深陷的水沟。落潮时，沟里的水流向海里；涨潮时，海水涌进沙滩。这些水沟里比较宽而深的部分可以行船，周围比较浅的沟道立有木桩，以防船只驶入，遭到搁浅。

如果海岸是陡峭的，情况自然又不相同。潮水仅表现出高低的起伏，水平向的运动很小。在这种情况下，潮汐不能淹

没陆地,只能冲击海岸的岩石。

§ 1.2 潮汐的周期性

潮来有一定的时间。潮头来时,水面升高,这叫做涨潮;继续逐渐升高,以达高潮。平潮停顿了一段时间以后,水面开始下降,潮水退回海里去,这叫做落潮;水面达到最低时叫做低潮。经过一段平潮的时间,涨落潮又循环重演。如果仔细观察这个永恒不息的现象,便会发现两个高潮或低潮中间所经历的时间是12小时25分。譬如,今天早上8时有高潮,下一次高潮便要在12小时25分之后,即在今天晚上8时25分出现;再下一次高潮将再经过12小时25分,即在第二天早上8时50分出现。可见每天早潮或晚汐¹⁾比前一天平均落后50分钟。这只是一个平均的数字,有时偏差只有40分,有时则可达1小时40分之多,在上、下弦之后尤其显著。风力、风向和江口水位高低,对于潮汐来去的时间也很有影响。

我们一般按照太阳的视运动²⁾来计算潮汐的涨落时间。太阳围绕地球一周的视运动大约需要24个太阳时。正午太阳经过一地的子午圈(中天),24小时之后太阳再度中天。而月亮相继两次经过一处的子午圈之间所经历的时间叫做一个太阴日,为24小时50分。换句话说,月亮中天每天较前一天迟50分钟。这正是相继两次早潮或晚汐所推迟的时间。月亮中天与高潮发生中间所隔的时间,对于海滨一定的地点大约是一个常数,即每一港口有其特殊的“月潮间隔”或“潮候”。例如,上海的潮候时差是1小时30分,这便是朔、望日太阳与月

1) 每日海水高涨两次,早上的叫潮,晚上的叫汐,名异而实同。

2) 由于真运动反映天体在天球上的运动叫做“视运动”。例如天体的周日运动是一种视运动,它反映地球绕轴自转的真运动。

亮同时在上海中天¹⁾的时刻与相继发生的高潮的时刻两者中间相距的时间。

月亮在天空的位置不但影响潮来的时间，也影响潮水的高度和潮流中的水量。每天高潮和低潮的高度差叫做潮幅或潮差。在满月或新月(朔,望)时,潮差最大;那时高潮最高,低潮最低,所以朔、望潮叫做大潮。但是由于海水和海底的摩擦,潮水往往要延迟两、三天才形成大潮,因而大潮常发生在夏历初三、四或十八、十九两天。在上弦或下弦时,潮差最小。潮幅随月相²⁾的这一变化叫做相差,这虽决定于月亮和地球的相对位置,但因月相是随地球对于日、月两体的相对位置而变化的,所以潮汐的相差也受太阳位置的影响。潮差常随每次潮汐而不同;午前的高潮比午后的高潮有时高、有时低。这现象叫做日差。除这两种基本潮差之外,还有其他潮差。

§ 1.3 港湾里的潮汐现象

两千年前,我国江海上的劳动人民便认识了潮汐的周期性。汉代哲学家王充(公元 27—97)在他的“论衡”一书里已经提到“涛之起也,随月盛衰”,说明了月相变化与潮汐涨落的关系。出入黄浦江和航行在长江的渔民中间,一向流传着一张潮汛单(见下页)。这张潮汛单可以归纳为一句话:阴历初一和十六日,9 时涨潮 3 时退,以后每次增加 1 天加 1 小时(或 50 分钟);这等于说,朔、望时月亮中天前 3 小时潮来,中天后 3 小时潮去。这张潮汐单只是一种很粗略的估计,与实际情形常有相当大的出入。在 § 4.4 中,我们还要谈谈天文学家怎样根据万有引力定律和波浪的数学分析,来推算每个港埠

1) 朔日月亮和太阳同时上中天,望日月亮上中天时,太阳下中天。

2) 月球明亮部分的各种不同形象叫做月相。

上海潮汛单

初 一 二 三	十 六 七 八	亥 涨	寅 申 退 ¹⁾
初 四 五	十 九 二十	子 午 涨	卯 酉 退
初 六 七 八	廿 一 二 三	丑 未 涨	辰 戌 退
初 九 十	廿 四 五	寅 申 涨	巳 亥 退
十 一 二 三	廿 六 七 八	卯 酉 涨	子 午 退
十 四 五	廿九 卅	辰 戌 涨	丑 未 退

的潮汐情况,如潮来,潮去,高潮与低潮发生的时刻及高度等。即使是这样精密的计算,也往往由于气象因素的变化及河口水位的涨落,理论推算与实际观测常常有或多或少的差异。

潮差随港湾的地貌大有差别,自几寸至几丈不等。例如,我国有驰名世界的钱塘潮(在 § 6.5 中详述)。又例如加拿大东南的芬地湾,约长 230 公里,口宽 80 公里,向内逐渐变狭,呈喇叭形状,以涌潮²⁾ 高、潮差大而著名,涌潮有时高达 12—15 米,湾头部分平均潮差 9—12 米,高潮时可达 15—18 米。法国诺曼底省海岸外的圣米塞耳山也以潮差特大而知名。这是一个处于泥滩上的小岛,高潮时泥滩浸在水面下约 12 米;但在退潮时,人们常可由陆上步行到那里去。世界上有许多港埠建在潮差大的浅海边和江河两岸,大船出入需要在码头或

1) 与 12 时辰相当的时间是: 子、午为 11—1 时, 丑、未为 1—3 时, 寅、申为 3—5 时, 卯、酉为 5—7 时, 辰、戌为 7—9 时, 巳、亥为 9—11 时。
2) 当涨潮时,潮流向河口冲去,如遇河口骤然狭小,以及河底突然高起时,潮波的前峰易被壅起成垂直状,甚至略向前倾,形成潮头,称为涌潮或暴涨潮。

江口等候潮来。有经验的领港人员十分熟知港湾内的潮汐情况,所以能够安全地驾驶船只出入港口。

因潮水的流速可能很大,特别是海岸和大陆架¹⁾附近,航行缓慢的船只经常受到很大的影响。因此,领港人员对于潮水的方向与流速的了解是很重要的,否则船只有搁浅的危险。

在外海里由于没有固定的目标来比较海面起伏的程度,因而很难测量潮汐。对于抛锚停泊的船只,可由潮流作用于锚锁上的拉力去测量潮汐。在海深 90 米以内的浅水里,可用深度测量去估计潮差,但船只在航行时便不能作这种测量。

§ 1.4 风 和 潮

潮水流动的方向常为风所改变。由海面吹向陆地的风驱逐海水涌向海岸,因而使水面升高;反之,由陆地吹向海面的风阻挡海水,使水面降低。这两种情况都表现在气压计上。这种变化与潮汐本身并无关系。例如,在差不多没有潮汐的内陆湖泊里,水面高低也随风向改变。涨潮时,如遇方向一致的大风,它可以推波助澜地使潮汐变得非常危险,有时汹涌的狂涛冲破堤防,造成生命财产的重大损失。潮汐也能使许多海岸线发生改变,特别是在浅水地带²⁾。日积月久,陆地逐渐为海水所侵蚀,人们只有建筑堤防,才能阻止这种侵蚀。为了保护海岸与岛屿,和自然界的这种破坏力作斗争,这是每个滨海国家所面临的长期的艰巨任务。

1) 亦称“大陆浅滩”,即大陆在水下的延续部分。

2) 唐代诗人白居易有一首描绘潮汐对于海岸线作用的诗
白浪茫茫与海连,平沙浩浩四无边。
暮去朝来淘不住,遂令沧海变桑田。

2. 潮汐的测量

§ 2.1 测 潮 计

如果要对某一地点的潮汐加以仔细的研究,就需要每隔一小时记录一次水面的高度(水位),而且需作长时期的观测。波浪少的浅滩边,水面的骚动不大,可以树立海底标杆(水尺),来定时观测潮汐的起伏(图 1)。最高的水尺需高出高潮时最高的水位,最低的水尺需使人能读出最低的水位。水尺刻度的位置需经过精密的水准测量来决定。堤坝、码头或闸墙上面涂绘尺度也可供观测水位之用。但是这些水尺常受海面波浪的影响,不能表示出真正的水位。

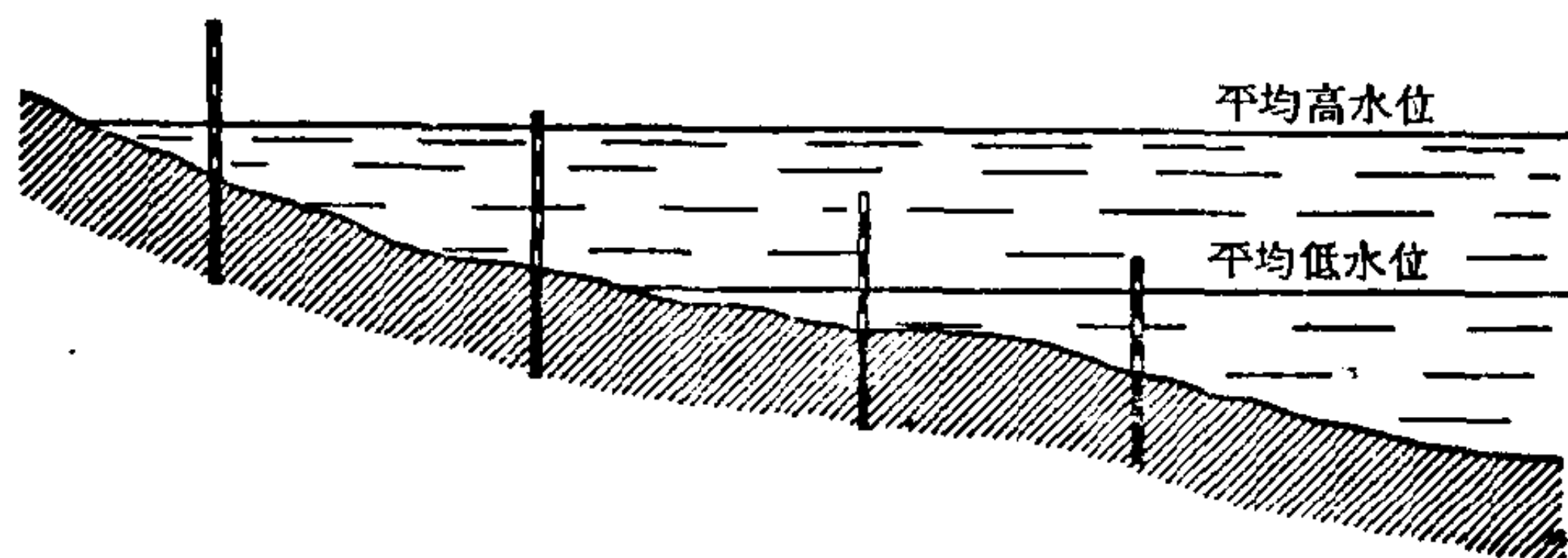


图 1 用标杆(水尺)测量潮水的高度(水位)

如果需要比较精密的测量,就应该避免波浪的影响。常用的方法是在海边高出最高水位处埋下一个水柜,其底部需在最低的水位下一、二米处(图 2)。用一根水管将水柜与海水联接起来,并将其一端放在水面下相当深处;末梢处装上洒水器,并且用浮标将水管固定在岸边海底上。由于在这样深处波浪已没有什么作用,水柜里水位的变化便反映出潮汐的

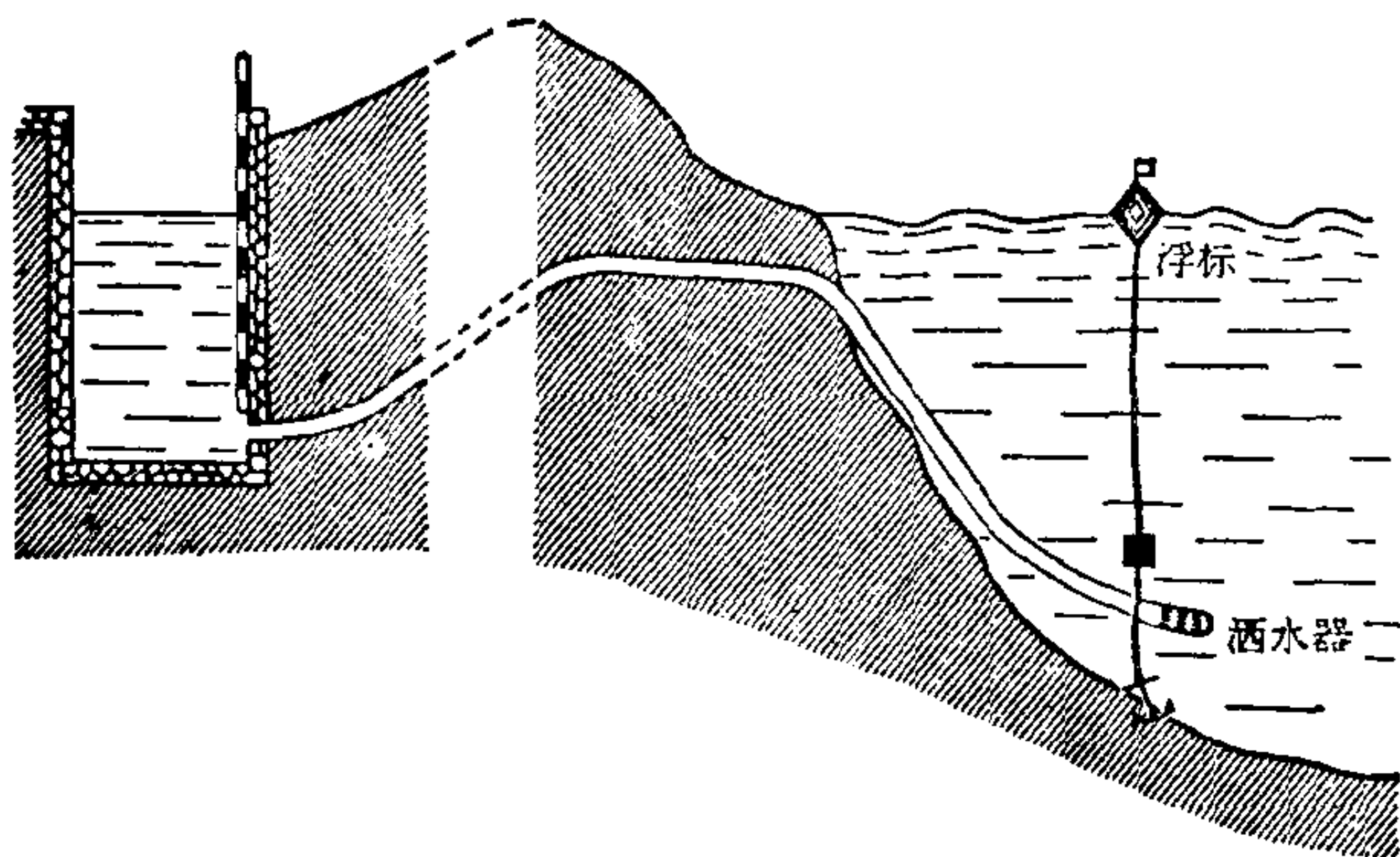


图 2 避免波浪的影响对潮差作较精确的测量装置

起伏。当海面波涛汹涌时,水柜里却很平静,里面的水位便表示海水的高度。

用眼观测潮汐既费时又不十分准确,因而一般使用自动记录的测潮计。图 3 是自动记录测潮计示意图:一个浮板 F 随水柜 R 里的水面高低而升降,浮板上系着一根铜丝,它的

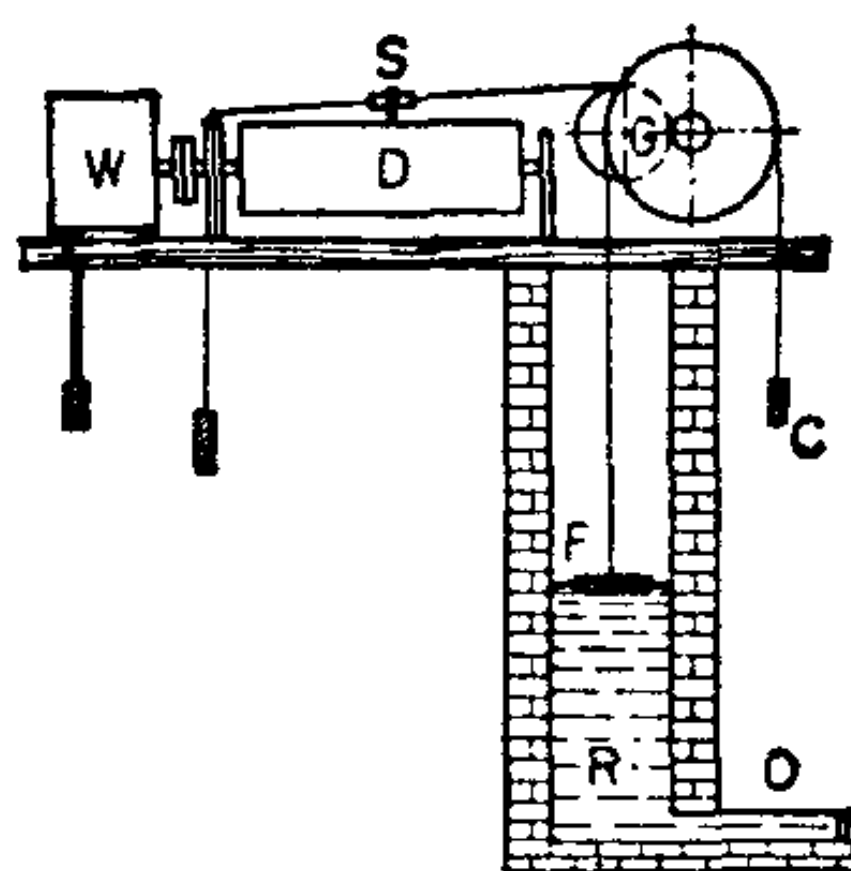


图 3 自动记录测潮计示意图

O: 与海相连的水管; R: 水柜; F: 浮板; G: 鼓形轮; S: 刻划针;
D: 圆柱卷纸筒; W: 发条机械; C: 平衡锤

上端经过一个鼓形轮 G,当水面变化时,铜丝带动鼓形轮转动,联在鼓形轮上的刻划针 S 便将水位变化的情况记录在一张纸条上面。有时也应用继电器,将数据送到实验室里去加

以记录。这便是潮汐自动记录仪的构造原理。由仪器所描出的潮汐曲线(图 4), 便表示了任何时刻的潮汐水位。从潮汐曲线上我们可以立刻看出潮汐的一切特征: 每日有两次高潮, 每次高潮到来的时刻常较前一天同类的高潮迟 50 分钟, 并表现有日差与相差(§ 1.2)。

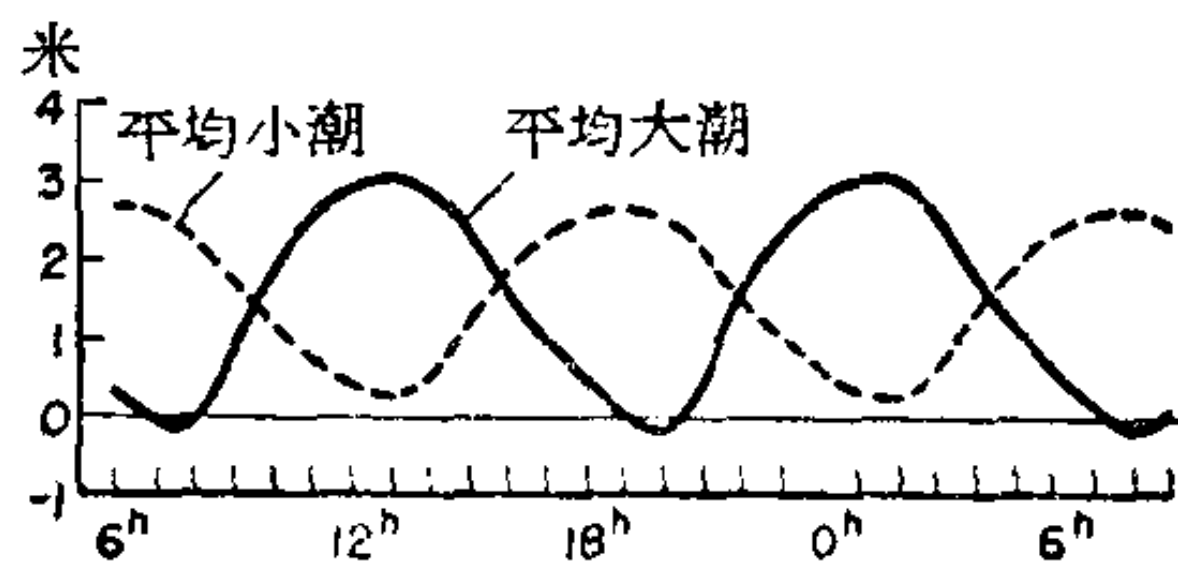


图 4 某港的大潮和小潮的曲线
(图中 h 代表小时,下同)

工作人员必须根据潮汐曲线来分析得到的一切数据,而且需要从较多的观测站上去测定潮汐的周期、潮差和潮汐曲线的形态等。我们虽然不能在海岸逐点去从事这样的观测,但却已掌握了若干重要港埠的长期观测数据。如果同时还掌握了附近任何一点和这些港埠的短期观测数据,我们便可根据这些港埠的长期数据去推算附近各点潮汐的大概情况。例如,知道了高潮或低潮的周期和潮差,便可推算出这些数据 and 港埠的长期数据之间的关系。这个推算方法所以有效,因为扰乱潮汐的因素,特别是气象因素,在一个小区域内变化不大,因而引起的微扰可以互相抵消。而且这些短期观测,对沿海各埠大范围潮汐现象的估计和潮汐表的编制,也是很有用的。

§ 2.2 海洋上潮高的测量

即使在海洋上,潮汐也能使水面发生起伏变化。可是要

在随水面涨落的船只上去作观测,那是很困难的,因为没有固定面以资比较。前面讲过,在不到 90 米深的浅水里,人们可在停泊船只上去系统地作深度测量,而决定潮差。图 5 是这样测得的一条曲线。但是这种测量是风力、水流和气压的影响。如果拴住船只的缆链发生松弛,前两个因素会使船只的方位改变。可是如果海底不平,深度的测量也会遭到一定的影响,但这是和潮汐无关的。

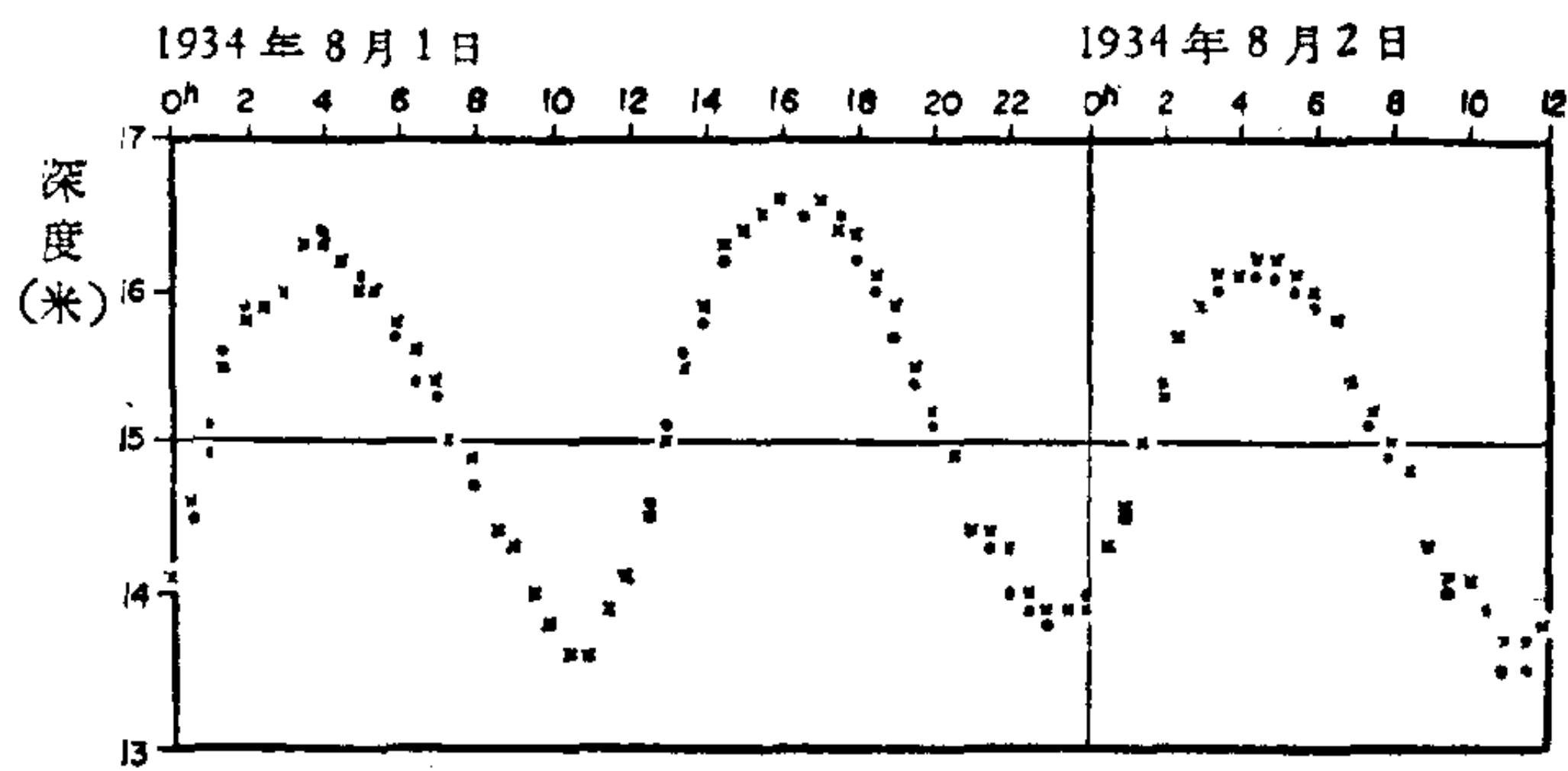


图 5 根据北纬 $54^{\circ}14'$ 东经 $8^{\circ}14'$ 北海海面“沙站 2 号”停泊时所作的深度测量而绘的潮汐曲线

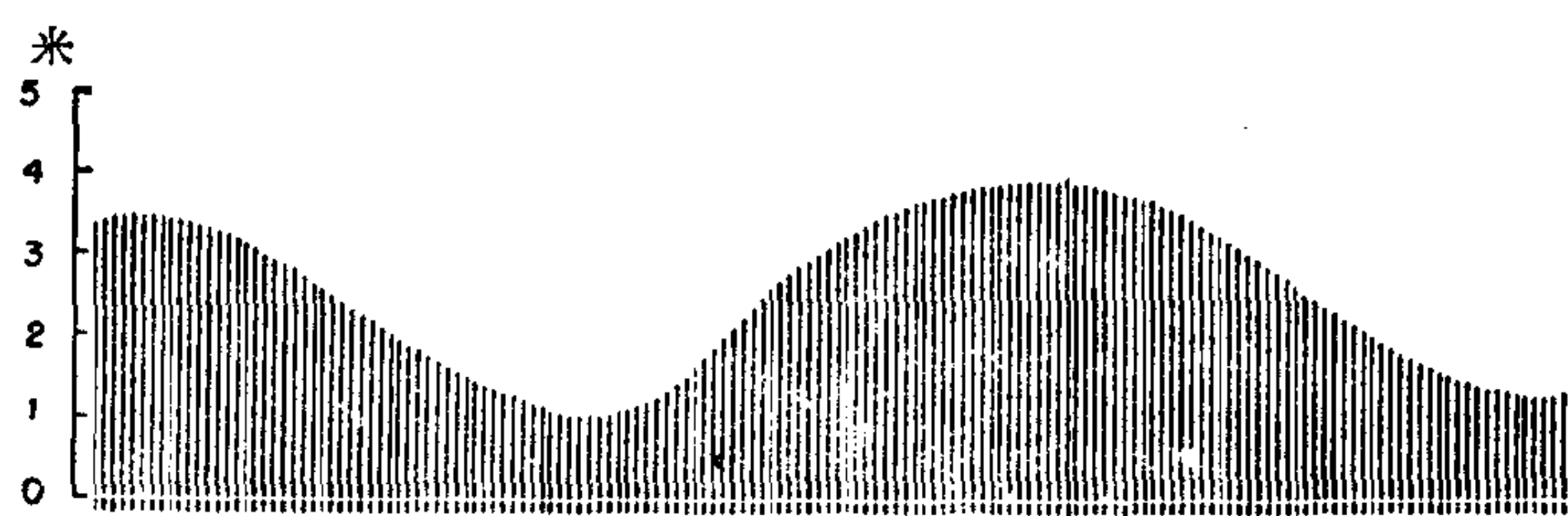


图 6 水压测潮计的记录

近年来发明了水压测潮计,从水压的观测去推求海水的深度。可是这种方法也只能应用于 180 米深的浅海里。人们常在一个区域的海底安放许多这种仪器,经过半个月的时间,便可了解该区域潮汐变化的概况。图 6 便是用这种方法获得

的记录。但是不可避免的气象因素和海底的高低起伏都会影响观测结果,使其成为一个难以使用的方法。在深海里,困难就更大了,即使那里的潮差很小,但却不易想出一种方法去作精密的测量。对于大洋里潮汐的研究,这方法便没有多大的实际意义,因为对于航行在大洋里的船只,深度纵有几米的变化,对航行也不会有丝毫妨碍。

§ 2.3 潮流的测量

潮流可以影响船只的航行,因此,潮流的方向与速度的大小,即便在海洋里,对船只的航行也是相当重要的。潮流的速度可由停泊着的船只上去测量。常用的仪器是“测流浮标”。这是一个三角形的木板,一边悬挂着重物,使其直立地浮在水面。三角顶系着绳索,并联接在一根带尺上。当测流浮标由船只上抛出以后,每隔一定时间,记录拉出去的带尺的长度,便可推算出水面流速为每小时若干浬(1浬 = 1.852 公里)。如果我们还想测定海洋下面水流的方向与快慢,便需要使用一种“流速仪”。这类仪器虽然有多种类型,但现在常用的一种是根据推进器¹⁾的原理制成的。使用时先将它沉到要测量流速的地方。图 7 是常用的一种流速仪,外表为流线形,测量仪器装置在其顶部突出处。这是一个不漏气的圆柱,直径约为 45 厘米,外壳上装有 12 个凹形叶片。这种“推进器”的比重与水相近,因而它可以绕其轴旋转,而很少受到摩擦的阻碍。它的旋转周数(由此可以算出流速的大小)在圆柱内可用照相的方法记录下来。由于尾部装置有鳍状安定板,仪器的位置常与潮流的方向平行。流速仪内装置有罗盘仪一具,其读数

1) 推动船舶前进的机构,如螺旋桨等,都叫做推进器。