

揭暄的潮汐学说*

石云里

(中国科学技术大学, 合肥 230026)

内 容 提 要

明清之际, 揭暄结合西方的地圆说与中国传统的潮汐理论, 提出了一种独特的潮汐学说, 认为由于月球的作用, 地球潮汐将形成一个椭球, 并随月球的周日运动绕地运行。这一学说可能并非来自西方, 而是揭暄本人的独创。

关键词: 揭暄, 潮汐学说

揭暄, 字子宣, 号半斋, 一号韦纶, 江西广昌人, 生卒年不详。邱邦士在清康熙十四年(1675年)说当时揭暄“年已五十”^{〔1〕}, 但梅文鼎在清康熙四十一年(1702年)前不久又说, 在康熙二十八年至三十二年(1689—1693年)间揭暄曾游历安徽, 住半年而返^{〔2〕}。由此推来, 揭暄生年当在明万历三十八年至天启六年(1610—1626年)之间。梅文鼎把揭暄与汤若望、穆尼阁及王锡阐并列为当时四大天文学派的代表人物, 又与他有过书信交往, 但在写上面这些内容时并未提到他的死讯, 所以当时他也许仍然健在。他“少颖悟, 通性命天人之学”^{〔3〕}, 同时又“有奇气, 好论兵, 慷慨自任。”^{〔4〕}清人入关后曾率众起义于赣闽之间, 辅佐过南明隆武政权。兵败后“遂深居山林, 簪冠野服……呜咽幽抑以终。”^{〔5〕}清顺治十六年(1659年)方以智禅游江西, 引徒谈经, 揭暄自此开始与方氏父子交游论学^{〔6〕}, 并把主要精力投入到自然科学, 尤其是天文学的研究上来。揭暄一生著述颇多, 传世的有《性书》、《道书》、《禹书》、《兵经》、《战书》、《昊书》及《璇玑遗述》(一名《写天新语》)。其中《昊书》是为“原天地之故”而作的, 对自然界中的一些常见现象进行了广泛的讨论; 《璇玑遗述》主要是讨论天文学问题的, 主要集中在天体运行机制问题的探讨上。揭暄生活在西方科学全面传入中国的时代, 西方科学为他提供了十分丰富的营养。在西学和传统相结合的基础上他朝前迈进了一步, 提出了许多非常独到的理论和学说, 他的潮汐学说即可作为其中一例。下面我们就对他这一学说进行一些介绍和讨论, 以就正于方家。

一、潮汐运动模型的建立

中国人早在东汉时期就已明确认识到潮汐运动与月亮运动之间的同步规律, 到唐宋时

收到修改稿日期: 1992年8月30日。

* 本文写作过程中得到了中国科学院自然科学史研究所宋正海、薄树人先生的关心和指导, 中国科学技术大学李志超、张秉伦先生也给予了多方指点, 谨此致谢。

期,已经能根据这一规律十分准确地进行潮汐预报。然而,对于潮汐究竟是如何运动的,始终没有建立起一个正确的物理模型,以至于到了宋代之后,中国的潮汐研究出现了长期停滞不前的局面。直到明清之际,西方科学大规模传入中国,为中国各项科学的发展注入了新鲜血液。正是在这种背景下,揭暄将西方传入的大地球形观与传统潮汐学说结合起来,建立了潮汐运动的椭球模型,基本上正确地解释了天文潮的运动规律,将中国的潮汐研究水平推到了一个新的高度。

揭暄的这个模型最早在《昊书》中已经出现了雏形,经过一段时间的发展,最后以比较成熟的形式出现在《璇玑遗述》之中。而据目前掌握的材料,《昊书》至迟是在清顺治二年(1645年)首次正式刊刻的^{〔7〕},《璇玑遗述》至迟在康熙十四年(1675年)已经完稿,并开始在一些学者中流传^{〔8〕}。

揭暄提出这个模型的基础有两点,第一是大地球形说,第二是对潮汐运动规律的认识。

事实上,大地球形说早在元代已经传入中国,但并没有引起什么反响。明代末年,耶稣会传教士再次将它介绍到中国,并作了大量宣传,这才使这一学说为当时大多数中国知识分子所知。而对揭暄来说,他不仅知道这一学说,而且还毫无疑问地接受了它,并把它应用在对一些自然现象的探讨之中,这充分反映了大地球形说在中国所造成的深层影响。从传教士们所出版的世界地图上可以明显看出,地球表面的各大海洋是相互连通的,海洋占据了地球表面的绝大部分,这一点无疑是揭暄建立自己潮汐运动模型的一个重要前提。

在潮汐运动规律方面,揭暄从中国传统潮汐学说中得益不少。早在唐代,封演就对潮汐的运动规律进行了较为详细的总结,指出:“大抵每日两潮,昼夜各一。假如月出以平明,二日三日渐晚,至月半则月初早潮翻为夜潮,夜潮翻为早潮矣。如是潮转,至月半之夜潮复为早潮。凡一月旋转一匝,周而复始。”^{〔9〕}到了北宋时期,沈括又明确指出了每天两次潮汐正好发生在月亮上下中天前后的事实,他写道:“予常考其行节,每至月正临子、午则潮生。”^{〔10〕}对于前人的这些结论,揭暄都是十分了解的。

既然揭暄已经知道一天有两次潮汐,两次潮汐分别发生在月球上下中天之时,并且潮汐的运动总是按一定的周期往来循环的,既然他也已经知道了大地球形说,知道地球表面的大片海洋是相互连通的,那么,只要把这两个事实联系起来,就可以自然而然地得出这样一个结论,即地球上的潮汐是朝两面突起的。有了这一结论,潮汐运动的椭球模型就很容易建立起来了。

下面这段文字是从《昊书》中引出的,较为清晰地反映了揭暄所得出的上述结论以及得出这一结论的基本思路:

“潮以月为主,月过地心而子潮,月过天心而午潮,二日半而易一时,如一日以后而子午而丑未而寅申、卯酉而辰戌、巳亥,至十五则午子而未丑而申寅、卯酉而戌辰、亥巳,初一又复子午。月周而复初,潮亦应之。在下为涌,在上为摄,上摄者因月,下涌者因所摄之水落也。地本对足,故此面升则彼面落,此面落则彼面起。月行天一周期,潮循地一周。是无地不潮,无时不潮,总以所抵对为期。”

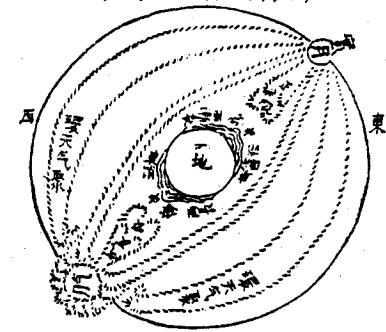
显然,揭暄在这里所说的背月面海水的“落”是相对于向月面海水的升而言的,实际上也是指水位的升高,也就是“涌”。否则,他就无法解释为什么月球下中天时(即“月过地心”)也会有一次潮汐出现。关于这一点,还可以从他为方以智《物理小识》卷之二“潮汐”条所作的注中得到证明。这个注作于1659至1665年之间^{〔11〕},注文是:“月为水精,以

月主潮者是也。月之所临则潮起……月之对冲潮亦起……月绕地而行，潮亦绕地而行，月行天一周，潮循地一周。是天地内，无地不潮，无刻不潮也。”在这里，揭暄把“月之对冲潮亦起”这一事实说得更加清楚了。

从地球潮汐两面突起这一结论的得出，到椭球模型的最后建立，这中间经历了约三十年。最后，在《璇玑遗述》中，揭暄终于提出了一个较为成熟的潮汐运动模型。他把向月面的潮汐称为“潮”，背月面的潮汐称为“汐”，指出：

“盖月轮所在，诸水悉升，固已。然以当顶处为正对。潮壮盛，在西偏万五千里，水望见，潮即起，在东偏万五千里，水不见，乃消尽，横跨地面，实平分地球之半。在汐则不然，东潮则西汐，昼潮则夜汐。月已没，汐方起。月正隔，特壮盛，月将生，乃消尽，正与月相背，正与潮相反，亦平分地球之半（注：汐背月而生，月在地面上周移，汐亦在地面下周移，不论昼夜，渐移渐改，似不欲与月相见而深相避者。然地本圆体，上下潮汐突起，前后两头生消，遂抱地作长椭圆形，有如榄核但椭，核移，地球不移，余有图）”^{〔12〕}。

圖汐潮攝對月兩



道普星潮至日則能起月呵日取月
運瀾羽食千食能推知氣得火陰主
折在之清二又期期亦但成不延無
而皆瀾清刻又或亦知地滿知取無
重瀾在瀾西刻又或亦知地滿知取無
之瀾在瀾西刻又或亦知地滿知取無
之瀾在瀾西刻又或亦知地滿知取無

在这里，揭暄用到了“长椭圆形”这个词，并把整个海面围成的形状比喻成橄榄核，以“核移，地球不移”的文字形象地描述了潮汐绕地推移的方式，从而完成了其潮汐运动模型的建立，在地心、地静的宇宙模式中基本上正确地解释了天文潮的运动规律，为中国的潮汐学研究作出了重要贡献。

揭暄不仅用文字描述了自己的潮汐运动模型，而且还特地画了一幅示意图，这幅图被收在其好友游艺的《天经或问后集》中^{〔13〕}（图1），也就是他在上面那段文字的结尾所提到的那幅图。图下有一段说明文字，题名“揭子游子同志”，重申了《璇玑遗述》中有关潮汐的一些主要观点，实际上反映了揭暄本人的观点。除此之外游艺在其《天经或问前集》中也引用了揭暄的这些观点^{〔14〕}。

图1 揭暄的潮汐模型
(采自游艺《天经或问后集》)

二、对起潮机制的探讨

在万有引力定律被发现之前，人类对于起潮机制的讨论都显得比较粗浅。然而，这种粗浅的讨论中却不时地可以发现一些人类智慧的闪光之点，发现一些直到今天仍然值得我们称道的思想。揭暄对起潮机制的探讨便是如此。

关于起潮的原因，中国古代出现过多种解释^{〔15〕}。除了海鲙兴潮、子胥驱涛等荒诞说法之外，有人认为潮汐是太阳出入海面，激荡海水的结果（如唐代的卢肇^{〔16〕}），有人认为潮汐是大地相对于海水作升降运动的结果（如五代的邱光庭^{〔17〕}），更多的人则认为潮汐运动与月亮的运动有关^{〔18〕}，起潮是月亮与海水之间“潜相感致”^{〔19〕}的结果。

在上述这些说法中，揭暄继承了最后这种正确观点。他明确指出“潮与汐皆月所摄也”，

一针见血地指明了月球引力在起潮中的关键作用,并且认识到这种引力的作用与“磁之引针,珀之拾芥”在道理上是相同的。不仅如此,他还认识到,月球距离的变化会对潮汐的大小造成影响(“激轮有高下,故潮汐之盛衰分焉”)。而且,他还提到,在起潮方面,“星亦与月类……而必以月为主者,以月之气近而大耳。”当然,揭暄在这里所说的引力绝对不是万有引力,而仅仅只是基于古代“物类相感”观念的一种朴素的引力思想。因为,在他看来,月球之所以会吸引海水,主要是[因为月球中含有“水望见必投”的“水母”或“潮母”,它对海水的吸引作用只不过是一种物趋其类,子母相招的结果²⁰。

揭暄对潮汐运动模型的建立看起来完全是一种水到渠成的结果,似乎没费多大的力气。但是,在寻求这一模型的力学解释时却使他费了一番脑子。因为,用月球的吸引作用只能解释地球向月面海水的起潮,对于背水面的海水则无计可施。在《昊书》中,这一问题并没有得到解决,但到为《物理小识》作注时,他已经找到了一条解决这个问题的途径。

在揭暄的心目中,月球会施放出一种“月气”,这种“月气”正是月球吸引海水的媒介。他还认为,隔着地球的天空就象是一个很大的凸透镜(“天之对冲,乃大火镜也。”²¹)火镜即凸透镜),对月气存在着一种聚焦作用。结果,“月之气从前顺嘘,至对冲而极,极而不能前则聚,聚则盈。故月之所在为一月,月气所聚又一月也。”²²图1实际上反映了揭暄的这一思想,他认为,月气所聚成的“气月”与“实月”一样对海水具有吸引作用,在它的作用下,背月面的海水也会起潮,在《璇玑遗述》中,他进一步阐述了这种思想,指出:“月气所聚又一月,与日对火燧而生反焰,其理一也。故月之所临则潮起,为正摄,月之对冲潮亦起,为对摄。”²³这种解释虽然显得有点荒唐,但却反映了揭暄在探寻自然现象之间的因果性时所表现出的良苦用心。在西方这个问题,直到万有引力发现之后才得到圆满解决。

早在晋代,葛洪就已经注意到太阳在起潮中的重要作用,指出潮汐的四季变化与太阳的位置有关²⁵。到了北宋,张君房也开始以太阳和月亮的相互作用来解释潮汐大小随朔望变化的原因²⁶。对于这些问题,揭暄也进行了简要的讨论,他不仅认识到潮汐在一个月或者一年之中的大小变化与太阳的作用有关(“盛于朔望,倍于春秋者惟日;即弱于大暑,减于大寒……亦惟日也”。),而且还认识到,潮汐的大小变化还与太阳和月亮离天赤道的远近距离有关(“黄道有南北,海眼有远近,故发之大小渐暴分焉。”)²⁷。我们看到,当牛顿在《自然哲学之数学原理》(1687年)中讨论影响潮汐大小的诸因素时,也对同样的问题进行过详细讨论²⁸。

当然,必须指出,揭暄对起潮机制的解释中还存在着许多不足之处。例如,他一方面肯定月球在起潮中起着主导作用,肯定月球起潮是“水母”吸引海水的结果,另一方面又把太阳视为起潮的关键所在,认为“非日则气不生,气不生则水不起,月又何自摄乎?非日则阴不生,阴不生则气不吸,月又何自为摄乎?”²⁹也就是说,没有太阳的作用,月球就不能单独起潮。这种观点夸大了太阳在起潮中的作用,明显是受了北宋燕肃“日者众阳之母,阴生于阳,故潮附之于日也”³⁰这一观念的影响。

三、与同一时期西方潮汐理论的关系

当我们谈及明清之际一位中国学者在科学上所取得的一项成果时,总不能不去考虑一下这样的问题,即这项成果有没有可能是通过入华传教士而从西方学者那里吸收过来的。要考

虑这样的问题一般都要从以下三个角度着手：第一，在此之前，有无西方学者发表过类似的成果；第二，如果曾有西方学者发表过类似的成果，那么，入华传教士有没有把它介绍给中国学者；第三，中国学者有无独立得出这项成果的可能。对揭暄的潮汐理论，尤其是他的潮汐运动模型，我们也应该考虑这样的问题，而且也应由这三个角度着手。

通过查阅有关资料，我们发现，在1605至1608年之间，荷兰科学家史台文(Simon Stevin)在其《地理学》一书中发表过一种潮汐理论。这种理论是以下两个假说为前提的：

1. 月球及其对冲点都能将地球两侧的海水吸引起来；
2. 地球表面完全被水所包围，没有任何干扰潮汐推移的因素。

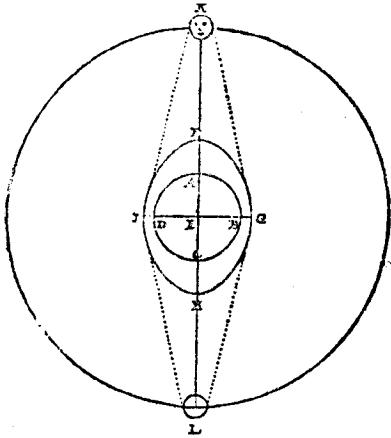


图2 史台文的潮汐模型

(采自：Simon Stevin—Science
in the Netherland around 1600)

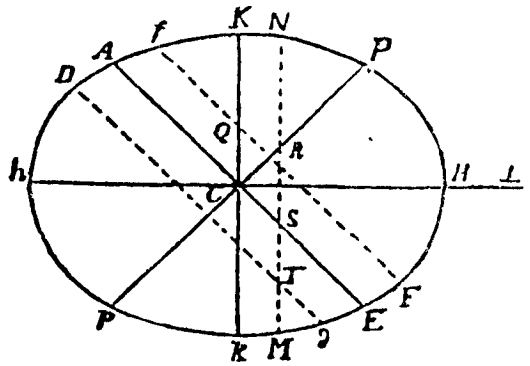


图3 牛顿的潮汐模型

(采自：牛顿著、郑太朴译
《自然哲学之数学原理》)

在这两条假说的基础上，史台文建立了如图2的潮汐运动模型。其中，地球上的海水被表示成一个卵形(oval form)。史台文指出，由于地球的自转，海潮FGHI将相对于地球ABCD转动，当F、H经过某地时，那里便出现高潮，当I、G经过某地时，那里出现低潮。考虑到月球自身的实际运动，每次高潮与随后的低潮之间的间隔为6小时15分钟^[31]。七十多年之后，牛顿在《自然哲学之数学原理》中讨论潮汐问题时，所采纳的也是一个旋转椭球模型^[32](如图3)。牛顿的这一模型很可能受到了史台文模型的影响，所不同的是，牛顿模型的基础是万有引力定律。

牛顿的潮汐模型出现在揭暄之后，当然不可能对揭暄造成什么影响。然而，史台文模型却比揭暄早近四十年，而且，明末邓玉函已经将他的部分科学著作带入中国，并在《远西奇器图说》中作了节译^[33]，但《远西奇器图说》中未介绍史台文的潮汐理论和模型。

如果史台文讨论潮汐运动椭球模型的著作真的传到了中国，那么，中国学者只能通过两种途径去了解它的内容。要么是传教士把它的内容译成汉文，公开出版，要么是中国学者同传教士私下接触，从口头上去了解。但是，对于揭暄来说，这两种可能性非常之小。因为，首先，在明清之际传教士们所出版的汉文著作中，虽然有许多论述潮汐问题的内容^[34]，但目前还没有看到对史台文潮汐理论及模型的介绍；其次，从目前掌握的材料来看，无论是在《昊书》出版之前还是之后，他与传教士从未有过私下接触。

所以，从前面我们提出的第二个角度来看，揭暄了解史台文潮汐模型的可能性微乎其

微。而从第三个角度来看，揭暄独立提出潮汐运动椭球模型的可能性却要大得多。因为，正如前面已经指出的，揭暄提出这一模型的两个基础（即大地球形说与潮汐运动的循环规律）已经具备，作为一个关心潮汐问题的人，在此基础上建立起一个基本正确的模型应该是顺理成章的事。不但如此，我们还可以看到，揭暄建立这一模型前后经历了数十年的功夫，有一个从雏形走向成熟的发展过程，他对背月而起潮原因的解釋也有着自己鲜明的特色。所以，他的这一模型不太可能是原封不动地从别人那里照搬过来的。

当然，我们在得出上述推论的同时，一点也不能忽略了西方科学对揭暄的启发作用。应该看到，除了大地球形说所起的关键作用之外，传教士出版的论述潮汐的汉文著作中也有能给揭暄提供帮助的地方。例如，高一志在论述月光不是起潮的唯一原因时曾经提到：“盖朔会时月之下面无光，与吾对足之地亦无光，海水当时犹然发潮不息，则知月尚有他能力所谓隐德者，乃可以通远而成功矣。”^{〔35〕}这里实际上间接提到了背月面起潮的问题，如果揭暄读到过这段文字，并理解了这层意思，他从中所能得到的启发是可想而知的。

揭暄的潮汐理论在同一辈的学者中间影响较大，但随后的学者却很少了解这一理论。清乾隆四十六年（1781年），俞思谦在广泛搜集古代以至清初各种潮汐学说的基础上，编写成《海潮辑说》一书，其中对揭暄的潮汐理论竟只字未提。

参 考 文 献 与 注 释

- 〔1〕揭暄：《璇玑遗迹》，“邱邦士序”，乾隆刻本。
- 〔2〕〔清〕梅文鼎：《勿菴历算书目·写天新语抄存》。
- 〔3〕刘大千：《广昌志·文学传》。
- 〔4〕、〔5〕盛谟：《揭半斋先生父子传》。
- 〔6〕任道斌：《方以智年谱》，安徽教育出版社，1983年，第221页。
- 〔7〕揭暄：《昊书》，“谢毓云序”，《揭子遗书》本。
- 〔8〕同〔1〕。
- 〔9〕〔唐〕封演：《说潮》，《全唐文》卷四四〇。
- 〔10〕〔宋〕沈括：《梦溪笔谈·补笔谈》卷二《象数》。
- 〔11〕揭暄于1659年始与方以智交往，1665年《物理小识》脱稿付梓。参见任道斌《方以智年谱》，第221、239页。
- 〔12〕揭暄：《璇玑遗迹》卷九《潮汐主月》。
- 〔13〕游艺：《天经或问后集》，“潮汐图”，北京图书馆藏本。
- 〔14〕游艺：《天经或问》卷四《潮汐》，《四库全书》本。
- 〔15〕宋正海等：《中国古代海洋学史》，海洋出版社，1989年，第245—269页。
- 〔16〕〔唐〕卢肇：《海潮赋》，《全唐文》卷七百六十八。
- 〔17〕〔五代〕邱光庭：《海潮论》，《全唐文》卷八百九十九。
- 〔18〕〔东汉〕王充在《论衡·书虚篇》中提出“涛之起也，随月盛衰”之说，最早明确将潮汐成因和月球运动密切联系起来。此后西晋杨泉在《物理论》、东晋葛洪在《抱朴子·外佚文》、唐窦叔蒙在《海涛志》、北宋余靖在《潮汐图序》、清屈大均在《广东新语》等又有更多的阐述。
- 〔19〕同〔9〕。
- 〔20〕同〔12〕。
- 〔21〕揭暄：《璇玑遗迹》卷三《星政避日》。
- 〔22〕方以智：《物理小识》卷之二《潮汐》揭暄注，《万有文库》本。
- 〔24〕同〔12〕。
- 〔25〕〔晋〕葛洪：《抱朴子·外佚文》，《四部备要》本。
- 〔26〕〔北宋〕张君房：《潮说》，见〔清〕余思谦《海潮辑说》卷上，《丛书集成初编》本。

〔27〕同〔12〕。

〔28〕〔英国〕牛顿著、郑太朴译：《自然哲学之数学原理》，第三编第一章，《万有文库》本。

〔29〕同〔12〕。

〔30〕〔北宋〕燕肃：《海潮论》，见〔清〕余思谦《海潮辑说》卷上。

〔31〕E. J. Dijkterhuis, Simon Stevin—Science in the Netherland around 1600, Martinus Nijhoff/The Hague, 1970. 由中国科学院自然科学史研究所韩琦博士提供。

〔32〕同〔28〕，第三编第一章第28节。

〔33〕惠泽霖(H. Vebaeren)著、景明译：《王征所译〈奇器图说〉》，《上智编译学馆刊》，第2卷第1期，第31页。

〔34〕例如：〔意大利〕高一志《空际格致》卷下《海之潮汐》、〔比利时〕南怀仁《坤舆图说》卷上《海之潮汐》、〔意大利〕熊三拔《泰西水法》卷五《水法或问》等等。

〔35〕〔意大利〕高一志：《空际格致》卷下《潮之潮汐》，上海聚珍仿宋版。

JIE XUAN'S THEORY OF TIDE

Shi Yunli

Abstract

By combining the Western concept of the earth with traditional Chinese tide theories, Jie Xuan put forth a unique doctrine of tide in late Ming and early Qing dynasties. He suggested that tides will assume an oval shape under the attraction of the moon and go round the earth as the moon makes its daily revolution through the sky. This theory was not introduced from Europe, but was created by Jie Xuan himself.

Key words: Jie Xuan, tide theory

首届“中国青年科学家奖”颁奖

1983年2月25日，首届“中国青年科学家奖”颁奖仪式在北京举行。堵丁柱、张泽、赵玉芬、卢炬甫、盛承发、谢和平、彭实戈、杨卫、曾烈光、周其凤、李乃胜、邓子新、陈玉祥计13人光荣获奖。首届“中国青年科学家奖”是由团中央、全国青联和中国青少年发展基金会共同主办，经国家自然科学基金委员会和几十位学部委员组成的评审委员会历时8个月，从全国推荐的270名45岁以下的青年科技工作者中评选出来的。他们分别在数学、物理学、化学、天文学、生命科学、技术科学学、农业科学等领域中取得了突出的成就，其学术理论与实践都反映了目前中国基础学科的研究水平。

(赵慧芝)