

5

Princeton
Science Library

普林斯顿科学文库 5

Princeton Science Library

海洋一瞥

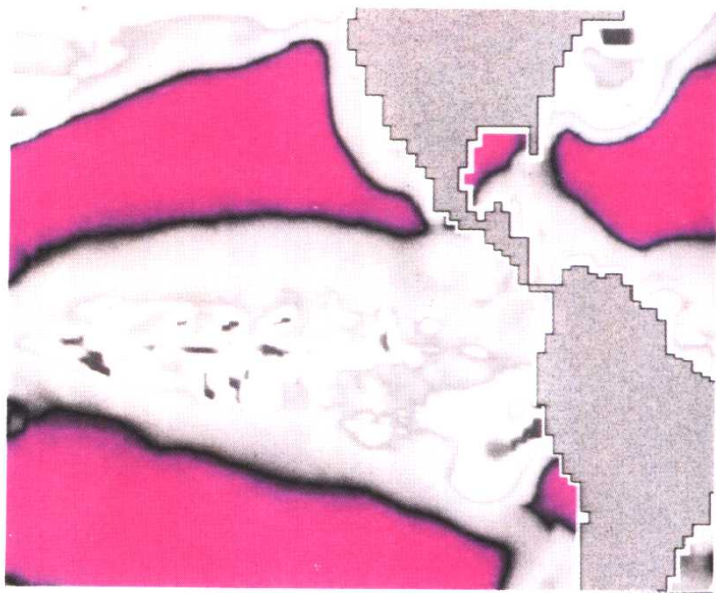
——轮机长与海洋学家关于大洋环流的对话

亨利·斯托梅尔 著

李允武 译

海洋一瞥

亨利·斯托梅尔 著



上海科技教育出版社



上海科技教育出版社

海洋一瞥 ——轮机长与海洋学家关于大洋环流的对话

亨利·斯托梅尔 著

李允武 译

上海科技教育出版社

A View of the Sea

by Henry Stommel

Copyright © 1987 by Princeton University Press

Chinese (Simplified Character) Trade Paperback copyright © 2001 by

Shanghai Scientific & Technological Education Publishing House

Published by arrangement with Princeton University Press

in associated with Arts & Licensing International, Inc., USA

ALL RIGHTS RESERVED

上海科技教育出版社业经普林斯顿大学出版社

及 Arts & Licensing International, Inc., USA

取得本书中文简体字版版权

责任编辑 卞毓麟 何妙福 装帧设计 汤世梁

海洋一瞥

——轮机长与海洋学家关于大洋环流的对话

亨利·斯托梅尔 著

李允武 译

上海科技教育出版社出版发行

(上海冠生园路 393 号 邮政编码 200235)

各地新华书店经销 上海长阳印刷厂印刷

开本 787 × 960 1/32 印张 5.5 字数 114 000

2001 年 12 月第 1 版 2001 年 12 月第 1 次印刷

印数 1 - 5 000

ISBN 7 - 5428 - 2738 - 3/N·442

图字 09 - 2000 - 307 号

定价:10.50 元

图书在版编目(CIP)数据

海洋一瞥:轮机长与海洋学家关于大洋环流的对话/(美)斯托梅尔
(Stommel, H.)著;李允武译. —上海:上海科技教育出版社, 2001. 12

(普林斯顿科学文库)

书名原文: *A View of the Sea: A Discussion between a Chief Engineer and an
Oceanographer about the Machinery of the Ocean Circulation*

ISBN 7 - 5428 - 2738 - 3

I . 海…

II . ①斯…②李…

III . 大洋环流-普及读物

IV . P731.27 - 49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 077409 号

献给我的妻子和 37 年的伴侣
伊丽莎白 (Elizabeth)

序 言

你正要乘船在亚速尔群岛以南的大片三角形海域作调查,来建立对大洋环流的认识。这个航次是你在 20 世纪 80 年代初要作的 5 个航次中的最后一次,你想尽量精密地作出海洋表面以下的密度分层情况。这是揭示大洋中部环流(β -螺旋)本质的研究的一部分,它能使人们对海洋内部的机制有更好的理解。

拉斯帕尔马斯港的引水员分配给此调查船一个没有吸引力的码头,而把市中心附近的码头留给非常拥挤的旅游船。港口检疫医生和海关官员都下船了。船长上岸去打一下午高尔夫球。船员和科学家都到岛上观赏景色去了。

你坐在船舱里陪着轮机长。他是位退休的轮机长,大半辈子都在商船上度过,这是他第一次在调查船上担任临时职务。这一会儿船上只有你们两人,而且又比较安静,你们都很高兴。主机停了,吵人的通风机也关了。正是闲谈的好时光,而不多功夫,平常的话题都谈完了。

于是,轮机长问你,你们调查的目的是什么?轮机长当然懂机器,他能把它拆开,再把它装上,而且知道每个部件的功

能,因此他有非常精明的本事来解释一部机器。这回你面临着要解释大洋环流这部机器是怎么工作的了。可是对海洋学家来说,作这样的解释是令人望而生畏的事。是啊,你懂得一些海洋的机制,可那大部分是假想的。是啊,你有一些测量数据,可是并不包括所有的变量。你能给这位求实的老轮机长作的解释可能还不足以证明你有资格在这艘“海洋”号船上的机舱里当一名加油工。把花里胡哨的“地球物理流体动力学”之类的字眼灌输给这位轮机长是徒劳无益的,他见多了自作聪明的家伙。没法回避,他熟知机器怎么工作(他掌握船上机器运行的有关知识),我对机器的了解只是半瓶子醋(海洋学家只不过如此),差异是巨大的。

这本书就是我向那位有点好奇心的老轮机长解释我们对大洋环流的物理机制的认识所作的努力。

读者在书末附录中可以看到一些计算机程序,*可以在大多数有彩色制图功能的个人计算机上运行,使你能用这本书里所说的大洋环流的概念动手作些补充实验。对认真的读者来说,它们不是无价值的游戏,而是有用的、供你选择的工具。但是本书的正文是独立的,要了解全书内容并不一定要求运行这些程序。读者欲购程序软盘时可写信给马萨诸塞州法尔茅斯仓库街市场书店,邮编 02540。

1986 年 8 月

于马萨诸塞州伍兹霍尔

* 鉴于原著初版后计算机软件发展神速,该附录从略。——译者

NA 64/16

致 谢

这本书是在周末,在值班之间的闲暇写的,只是个人对海洋的一瞥。它不可能包括现代海洋理论知识的整体,而只是对过去十年内我本人和另外一些科学家研究上层大洋环流的一个特殊侧面的概述。

我感谢克劳斯(Wolfgang Krauss)于1976年邀请我去德国基尔,在那里开始这整个探索;感谢肖特(Fritz Schott)在 β -螺旋历史数据的初步研究中的热心合作;法尔林(Eric Firing)、贝林杰(Dave Behringer)和阿米(Larry Armi)在1978~1981年期间共同在海上工作,得到更好的数据库并共同作出解释。感谢詹金斯(Bill Jenkins)分析氡/氦水样,对我们的解释的置信性起了很大作用。柯林斯(Curtis Collins)是国家科学基金会的耐心而能鼓励人的项目官员,是他使我们有可能在1978~1981年中在 β -三角形海域进行5个航次的调查。

我还得感谢莱因斯(Peter Rhines)和扬(Bill Young)所做的模型对我的激励,迫使我找出打破其限制的方法,1983年得到在密度界面露头处俯冲的模型,光凭我自己是做不到的。

没有吉姆·莱顿(Jim Luyten)*和乔·佩德洛斯基(Joe Pedlosky)的合作,我不可能正确地做出那个模型,或者演绎出它的物理意义。看乔是怎样思考出有严格推理的数学论证是很能启发人的。阿伦斯(Arnold Arons)、法赛特(Mary Fassett)和霍格(Nelson Hogg)帮助我讲清楚了本书的某些章节。

要想把这刻板的模型发展一步,使它更加灵活些,包括进浮力驱动,需要有新的方法。吉姆有一天在黑板前突然发现,我们可以用特征法列出一些问题的式子,而用微机求解。接着做了一阵紧张的工作。本书的后半部叙述了其中的一些结果。

我与吉姆近来对在微机彩色屏幕上显示带有海洋学数据的逼真图案的前景看好,其根源可以追溯到20世纪60年代初,那时我接触到弗雷德金(Ed Fredkin)的非凡而惊人的智慧,我从他那里受益非浅。

科学既是个体活动,也是社会活动。这本书虽然是我个人写的,但是其中的概念和结果、数据和理论、海上工作和资金筹措却是与同仁愉快而自由地交流的结晶。

我还要感谢普林斯顿大学出版社的卡拉普赖斯(Alice Calaprice)和坦纳(Edward Tenner)对我的鼓励和帮助。

随着海洋研究单位的增加,越来越不是个人的行为,我们科学家与操纵我们的调查船的全体高级和普通船员的联系越来越弱。我们大部分时间在实验室和办公室里度过,而他们则在海上。40年的友谊慢慢地被淡忘了。而从海上采集的

* 吉姆(Jim)为詹姆斯(James)的昵称。——译者

数据是海洋科学的生命线。在这本书里我选了一位虚构的轮机长来交谈,他可以是我认识而尊敬的真实的水手中的任一位。没有一本海洋学书籍的作者会忘记感谢操纵我们的调查船的水手们和轮机员们对科学知识所作的贡献。

目 录

1. 重力和压力	1
2. 地球的自转	12
3. 科里奥利力	23
4. 测量密度场	32
5. 地转速度	39
6. 难解的问题	49
7. 轮机长小试身手	62
8. 我们的三个法则的例外	80
9. 各种水块	88
10. 莱顿算法	100
11. 个人计算机上的模型	112
12. 轮机长给我上了一课	119
13. 问题的复杂性	129
14. 在毒蛇的嘴里	132
缩写词表	153
术语简释	154
选列书目	157

1. 重力和压力

轮机长到机舱简短地检查了辅机以后回到住舱,我们重新开始我们的谈话。他比我大三岁。1918 年第一次世界大战停战以后,他父亲从战壕回来,得了过去常叫做弹震病的痼疾,他家有段时间相当拮据。他的第一个职业是搬运工,在新贝德福德码头卸鱼。“我不愿意干一辈子,我得想法过得更好。自知当律师吧,不够机灵;又没有那么多钱学习当医生。后来,我找到机会进了商船学院学轮机。第二次世界大战中我大部分时间在油船上服役。你要是一旦习惯了机舱的热和吵,就觉得生活不错了。你可以看看世界,你可以不受别人摆布。一旦当了轮机长,你就充满了对船的责任感。是有点厌烦,于是你喝得挺多,可是日子过得够舒服的。几年前我刚退休时,关在家里简直受不了,我就自己跑到消防站去玩皮纳克尔牌戏。*不久我就感觉这种生活有点讨厌了。即使在消防站里日子打发得也不如在海上船上那么快。所以我找了个

* 此种牌戏采用两副扑克牌中从 9 到 K 并加上 A 共 48 张牌,由两人、三人或四人同玩。——译者

补差消遣的活儿。我就是想离开家,离开城市,离开人群,回到海上生活。喂!你是怎么搞上海洋学的?”

我告诉轮机长,我刚在耶鲁大学读天文学的研究生课程时,发现数学太难学,正在这时,珍珠港事件使我中止了。我还遇到了个难题:我受的和平主义教育不允许我在战争中打别人。有一段时间我在教海军 V-12 学生航海术,后来天体物理学家斯皮策(Lyman Spitzer)给我在伍兹霍尔海洋研究所找了个工作,研究怎么打潜艇。对我的良心来说,这比轰炸平民要正当些,可是我从来没有做到问心无愧。战争结束以后,我已经培养起对海洋的兴趣,于是我决定继续干,尽管我只有最低的正规学历。大多数战时的科学家都改行了,对海洋学的拨款也不稳定。但是我相信海洋中有很多需要研究的课题,这几年我开始发现一些东西——大半是关于大洋环流的。这对我是个非常有吸引力的职业。

我自己对海洋的理解是由一些比较简单的想法构成的。我想,要想叫轮机长了解,我得从解释流体静力学开始。于是我拿了几张打印机用过的大纸,用 HB6 铅笔画了张草图(图 1.1)。我们先把地球看做一个正球体。球不转动,覆盖着一薄层水。重力把水拉向地心,固态的海底托着它,所以水不会向地心加速运动。水向下压着海底,海底以上,上面一层压着下面一层。只有最上面一层的水不受压,因为它上面没有任何东西了(海洋学家把大气忽略了)。你可以看到压力随着深度的增加而增大。一层水的底面向上的压力比它的顶面向下的压力大,压力差等于地球对这层水的向下的地心引力。垂直压力差(梯度)与向下的重力恰好平衡。作用在水层上的力

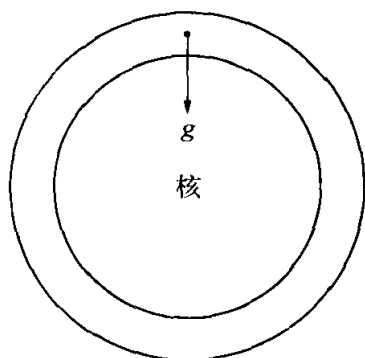


图 1.1 通过无自转地球的中心的剖面图,表示出固体的中央核,外面包围着深度一致的海洋。重力 g 拉着海水粒子挤向地心。但因为海水的向心加速度被固体海底(即核)向上的反作用压力所平衡,所以不会向着地心下落。

加在一起的最后结果是向下(或向上)的合力为零。那么按照牛顿运动定律,水层不会作垂直加速运动,而是在地球上保持静止,就是说处于流体静力学平衡状态。

你会注意到我谈到水层,其实水本身是连续的物质。水层只是一种虚构,只存在于我们的意识里,使我们谈到海水时,似乎它有不同的部分。下面我一直要用这种分层的概念。

轮机长问我:“你指的是小艇的平接壳与搭接壳的不同吗?”我回答他,既是又不是。从某种意义上说,海洋中真的有水层——它的密度、温度、盐度和其他特性或多或少不同的可辨别的水层。让我们看看标有数据的洋盆的垂直剖面图吧,你可以看见确实有或多或少沿水平向的海水带,它们的特性

有可以察觉的区别,很像搭接船壳的钉牢的木板样子。但是当我们更仔细地看的时候,这些带就成为模糊一片,当然也就像在聚焦得不好的照片中看到的船板间的缝隙一样了。

当我们建立流体静力学的海洋概念时,最好记住深处海水比表面附近海水的密度大。这多半是在压力作用下被压缩的结果,但是密度差还有重要的一部分是温度和盐度随着深度和地理位置而变化产生的。温水浮在冷水上面,淡水浮在咸水上面。如果我们假设海洋中有这种密度差,在不转动的地球上静力平衡的状态应该是由一系列的同心层组成的,越下方密度越大,每层的界面都是精确的球面。于是我给轮机长画了另一幅草图(图 1.2),这是一组同心的球面,包住里面的薄层海水,越往下密度越大。轮机长盯住它看了几分钟,然后说我简直“把海画得太深了,到了离地心一半的距离了”。他说对了,与到地心的距离相比,海水的深度实在是太浅了,还不到该距离的千分之一。我告诉他,我所以这样画是使我们能看得到水层,否则这些层都在 HB6 铅笔所划圈线的宽度里了!所以每次我画海洋的情况时,我都要把图的垂直比例尺夸大,以表示出这些来。

真正决定海洋的垂直大小与水平大小的巨大差异的一个方面是大洋环流引起的海洋的垂直运动比水平运动小得多,也就是说垂直加速度通常小得可以忽略不计,在计算时总是认为海洋中的压力处于流体静力学平衡状态。另一方面,水平速度比较大,加速度往往也比较大。因为水平加速度没有被垂直作用的重力所束缚(我们定义重力方向为“垂直”),我们必须考虑到它。

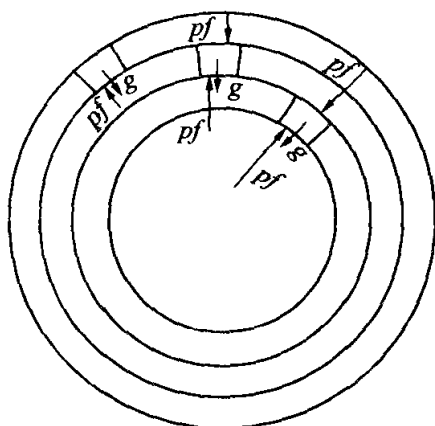


图 1.2 此处把海洋分成三个重叠的水层,都受朝地心方向的重力吸引。圆周代表水层界面,内压力场沿垂直于界面的方向施加压力。重力 g 作用于各层,而压力 pf 作用在层间界面上。压力产生的作用于水层顶面的向下的力小于作用于水层底面的向上的力。压力本身与温度一样,是没有方向的量,它能垂直作用于任何界面而产生力。在每一个特定界面上向上的压力等于向下的压力。但当某一水层将两个不同界面分开且处于流体静力学平衡状态时,作用于每个水层的三个力必须平衡,就是说,作用在每一水层底面的向上的压力必须大于水层顶面的向下的压力,超过值等于水层内向下作用的总重力。因此压力本身必须随深度的增加而增大。

产生水平加速度的一个因素是水平压力梯度。可以这样做:画出海洋的一小部分,把地球的弯曲拉直(图 1.3)。我们来看看理想的海洋侧视图,其海底是平的,海水密度是均匀的。它的表面的流体静压力为零,随着深度线性增大。如果此理想海洋上表面是水平的,像图 1.4 的上半画出的那样,静水压力与水平位置无关,也就是说尽管压力垂直梯度大,可

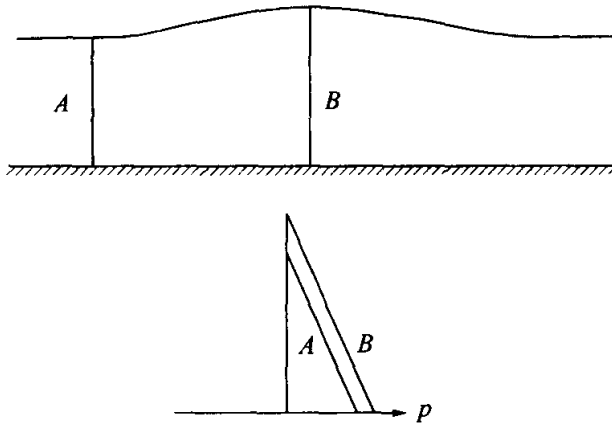


图 1.3 我们由图的上半可以看到流体层的垂直剖面，它的自由顶部表面有个隆起。固态的底部标有影线。图的下半表示出流体静压在顶部表面为零(即为大气压)，由此开始向下增大。因为在垂直线中 B 线比 A 线的起始水平高，所以在各个深度压力都大一些。 A 和 B 两条斜线表示在两个不同的垂直线上各个深度的压力。因此在隆起以下 B 线上任意水平的 p 总比 A 线上大。

虽然我们考虑了力的垂直静平衡，显然在没有其他力的情况下，隆起不可能保持平衡，因为压力梯度的水平分量会使水柱在水平方向加速；例如在 A 和 B 两条垂直线之间，水柱会向左加速。

是没有水平压力梯度。记住压力是没有方向的，不像指向地心的重力。只是有了压力差，或者说压力梯度，才能产生力。“我知道！”轮机长打断我：“在学院里老师总是告诉我们压力永远压不坏锅炉，只有内外压力差才能压坏。”那么，如果压力的水平梯度为零，也没有别的力的话，海里的水不会在水平方向加速。没有水平加速度，静者恒静，或者以恒定的水平速度运动。