



古海洋学

PALEOCEANOGRAPHY

〔美〕T. J. M. 肖普夫 著

海 洋 出 版 社

古 海 洋 学

【美】 T.J.M. 肖普夫 著

仇祥华 朱西岭 译

张瑞翔 许东禹 槐

海 洋 出 版 社

1984 · 北京

内 容 简 介

古海洋学是海洋学中最新的分支之一。本书从近代海洋学原理出发,围绕沉积地质学阐述了古海洋的环境特征及其变化。重点说明了海洋起源、古海洋体积、古海水流动、古海洋化学、古海洋气候、古海洋生物及其相互关系。

古海洋学知识对海洋学各专业都需要,对于研究地球的形成和变化也具有重要意义。

本书集世界古海洋学研究之大成(收集了3000多篇论文),以丰富的资料、新颖的内容、合理的逻辑、简明的立论,综合地论述了古生代以来的海洋变化,实为不可多得的参考书。

本书可作为海洋学、气象学、地质学等各学科的科研和教学人员的参考书。

《PALEOCEANOGRAPHY》

T J M. Schopf

HARVARD UNIVERSITY PRESS

Cambridge, Massachusetts
and London, England, 1980

古 海 洋 学

仇祥华 朱西岭 译 张瑞翔 许东禹 校

海洋出版社出版(北京市复兴门外大街)
新华书店北京发行所发行 德外印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 12号 字数: 200千字

1985年1月第一版

1985年1月第一次印刷

印数: 2000

统一书号: 13193·0226 定价: 1.80元

绪 言

古生物学家在科学上一向感到兴趣的有两方面：通晓化石并结合以对地史学的深刻理解。以著名古生物学家卡尔·顿巴的著述为例，他在动物学方面有论述腕足类的著作，在地质学方面有（和约翰·罗杰斯合写的）“地层学原理”一书。这本书着重于对岩石本身进行解释，在五十年代末期这类著作都是这样。但是，近二十年来，关于岩石生成于其中的古海洋方面的资料大量增加，因而，连一些专长于前寒武纪的古生物学家也着手做古海洋学的解释工作。目前古海洋的环流、气候、水深、化学、温度等等问题在任何普通地质学刊物中几乎都可见到。

过去十年，作者一直在芝加哥大学教授一门叫做“古海洋学”的课程。由于缺乏这方面的书籍，所以教材选自基础文献的各类文章。在这本书里，我也只能对古海洋学的各个主要课题做个简单的论述（但要使读者能对当代文献有足够深度的了解）。在一学期的三十个演讲中，教材的一般安排是：海洋体（4讲）、水深（5讲）、水（4讲）、温度（5讲）、化学（6讲）、气候学（3讲）、生物学（3讲）。

本书共分七章，每章这样组织：首先简述某一海洋要素（诸如潮汐、温度等等）的现代模式；接着讨论用来推测古

代条件的一些方法；然后就地质时代这一特定方面总结一下作为本章结尾。从本书的114幅插图可以看出本书大致的性质：约有10%的图为世界图，10%的图以纬度线作为坐标轴，再有10%的图是在深度上又标绘了一些内容，近20%的图以时间作为坐标，如“百万年以前”、“10亿年以前”、“地球生成后10亿年”或“数千年以前”。这样，就是大约50%的图解是试图传授广泛的概要知识的。

为了解决早古生代的诸问题，本书先讲授一些地层学以及在古海洋学方面我所必需的准则（Schopf, 1966: 22）。伯杰（Berger, 1978c）认为：古海洋学这个最新分支学科是所有地质学课题中最富于地质内容的。所以我就把专门从事古生代岩系研究的古生物学家所需要的东西牢记不忘，并着眼于“全部”地质时期那些有用的东西，而不着重于已做过极其详细的调查工作而时间短得多的更新世和晚第三纪。虽然，我也相信这本书涉及面之广必将引起其它读者的兴趣，但本书主要是为古生物学家、地层学家和地质学家而作。

我们还必须考虑一个基本的哲理问题，因为所有写作古海洋学的人们都自觉或不自觉地把这个哲理问题渗透进他们的著作当中。这个问题就是如何正确对待历史本身（技术上称为史实性）与稳定状态之间的关系。这个主题在讨论大洋体、水深、水、温度、化学、气候学和生物学时曾反复用到。如果一个人很自觉地赞成具有稳定状态的模型（如我通常所主张的），那末负反馈机制就是至关重要的。但这种机制常常不为人们所了解，即使有所了解，也还是存在很多争议。稳定状态结构看来虽然极其合理，但有时在“平均”值

周围的扰动还是很大的，因而就必须把非稳定状态的历史要素考虑进去。对我很有教益的是，我发现历史观点和均衡观点的对立，最终并不只限于自然科学。有一个书评者曾对诺伯特·伊莱亚斯的巨著——西方文明中的民风史写过这样的总结：这本书大部分已被“那些对历史不感兴趣的人”所忽视，这些人“宁可把均衡，而不是把发展看作正常状态”。对立观点的例子在人类奋斗的其它领域中无疑地还有很多。

在正字方面，选用了“paleoceanography”一字，而不用“paleo-oceanography”或“paleoceanography”（与以前的主张相反〔Schopf, 1975〕）。正确的组词形式是“pale”，而不是“paleo”，外加的“o”只是为了联结语音，而不是出于本字的需要。地层学家可能要问，“early”（“早”）和“late”（“晚”）为什么不像“Early Ordovician”（“早奥陶纪”）中那样大写。我认为这些术语在不是笼统地而是精确使用时应为大写，但一般读物无需大写。最后，在文献中还讨论过（常常是激烈地！）其它一些表达法的问题（包括 eucaryote 和 eukaryote，benthic 和 benthonic 以及 precambrian 和 pre-phanerozoic），希望读者宽容并接受我们在这里所作的选择以有利于讨论。

我还应该谈谈参考文献的性质。引用这些文献有三重目的：我以应有的忠实于原工作者的态度，引证他们的工作，作为进行论证的根据；对于比较一般的论点，合理地引用一些作为例证；而对于广泛的文献则提出一个指引。许多证实某种论点的文章没有引用，因为本书不是百科全书式的作品。在一本书中，要从地质学、地球化学、

海洋学、气候学和古生物学的大量文献中选择参考文献，是很麻烦的。我的目的就是试图使我所提出的看法不偏不倚。我用过3500篇论文，纳入参考的是其中的900篇左右。所引用的这些参考文献中45%左右是1974年及其以后出版的。这表明古海洋学文献的半衰期大约是5年，这个速度标志着一些领域的飞速变化。

本书没有——也不可能有的——是一套精确的古地理图。这方面的成果简直太复杂、变化也太快了，无法收集。然而，芝加哥大学的同事艾尔弗雷德·齐格勒和克里斯托弗·斯科蒂斯过去几年一直在搞一套古地理图集，这个图集的那些最早的底图现已成图，并在1979年发表在“地质杂志”和“地球和行星科学年鉴”上。或许，最好的办法是把他们的书和最精确、最适用于地区的古地理图结合起来使用。

任何作者如想搞的课题不止一个，都会发现各课题的进展程度不尽相同。某些课题，如古潮汐，活跃过一阵子，然后到最近一、二年内又稳定下来。其它一些课题，如海洋化学，它们的主要概念发展很早以前就已完成了，一般说比较成熟了，但也不时增加进一些新的内容。还有一些领域，诸如可能揭示整个地质时期大洋环流及其沉积学结果的深海古测深学，目前正处于指数形式的发展中。发展如此迅速的领域的成果是极难掌握的。古海洋学总的说来就象是伪足伸缩程度不同的有孔虫，某些伸出来很快，有些较慢，而有些却正被收回主体中。

帮助我避免了一些我在事实和判断中无意产生的错误的人不止一位。我特别感激沃尔夫冈·伯杰，他审阅了我全部

的早期草稿，还有简·维泽，他从头到尾审阅了第一、四章和第五章。我还要感谢彼得·怀利严格审阅了第一章，乔治·普拉茨曼和卡尔·旺什审阅了第三章，朱利安·戈德斯密司审阅了第五章。有几位先生也对个别的题目给予专门的帮助，如R.M.加勒尔、H.C.詹金斯、E.D.麦科伊、W.S.麦克劳、W.米凯利斯、J.J.麦卡锡、S.穆尔巴瑟、P.J.马勒、M.马林、A.T.S.拉姆齐、J.W.肖普夫、I.B.辛格和U.范拉德。但愿我已经把他们的嘉言忠告全部采纳了。我们芝加哥大学地球物理系的主任在物质上资助我复制有关文献的经费。他们事实上使我能在图书馆缩短开馆时间，这就节省了大量的时间。为酬答他们对我所作努力的盲目信任，稿酬已献于该系常设的格利基金会，以支持古生物学的研究。

T.J.M. 肖普夫

一九七九年八月二十六日于弗赖德港

目 录

第一章 海洋体.....	1
1. 海洋的起源.....	1
2. 陆高海深曲线.....	10
3. 陆壳的厚度及范围.....	18
4. 海平面变化.....	23
5. 结语	32
第二章 水 深.....	34
1. 能量.....	35
2. 粒级分布：预测.....	38
3. 粒级分布：实测结果.....	45
4. 其它沉积学标志.....	49
5. 追溯法和碳酸盐补偿深度.....	60
6. 地球化学和矿物学标志.....	68
7. 生物学标志.....	73
8. 普通水深模式.....	83
9. 结语.....	91
第三章 水.....	92
1. 潮汐.....	92

2. 海流.....	107
3. 环流.....	114
4. 结语.....	139
第四章 温度.....	140
1. 原理.....	141
2. 地质标志.....	145
3. 太阳和大气中的变化.....	165
4. 整个地质时期的温度变化.....	174
5. 结语.....	181
第五章 化学.....	183
1. 现代海洋化学.....	184
2. 地质标志.....	194
3. 海洋和大气化学: 46至20亿年前.....	209
4. 海洋和大气化学: 20亿年前至今.....	224
5. 结语.....	243
第六章 气候学.....	244
1. 纬度变化.....	244
2. 沉积物产量.....	263
3. 风暴.....	277
4. 结语.....	286
第七章 生物学.....	287
1. 生产力.....	287

2. 分类变化的模式.....	297
3. 生物地理学.....	310
4. 结语.....	323
附录 粒度命名法.....	325
参考文献.....	327

第一章 海洋 体

万 变 不 离 其 宗

地球的年龄大约为46亿年，而我们今日所见的海洋，如将予阐明的，已有这段时间的一半了。通常认为，在距今46亿年至25亿年之间，地壳与海洋呈单向发展；而从25亿年至今，大多是添加在地史早期格局上地表的那些物质的往复循环。因此，可以将地球的发展分为两个阶段，大部分主要变化发生在早期阶段和以停滞为主的后期阶段。但是，重要的是不要忘记，所谓“停滞”是指在 10^9 年的量级上变化缓慢，因而，仅在 2.5×10^9 年里看不出其变化。

本章旨在提出以下几个观念：（1）世界大洋的起源，（2）现代大洋的体积如何作为深度（陆高海深曲线）的函数分布；（3）如何用地壳厚度确定过去海洋的体积；（4）控制海平面变化的因素。还将探讨陆高海深曲线和海平面在地质时期可能经历过的变化。因此，本章的内容为今后的古海洋学研究提供条件。

1. 海洋的起源

海洋来自地球的内部，问题是，它是在什么时候、以怎样的速度生成的？现代对于地球内部排气的讨论，是在25年

前由W. W. 鲁比 (Rubey) 最先提出的论点引起的。鲁比认为, 在整个地质时期地球内部曾经历过缓慢而持续的排气过程, 而且这一过程目前仍在继续。

更概括地说, 关于洋盆中水的积蓄速度曾提出过三种模式, 如图1-1所示。图中的曲线A、C和D分别表示: 海洋是早期迅速形成的 (Kuenen, 1950); 海洋是以恒定速度生成的 (Rubey, 1951); 或者是在地质史的后期迅速形成的 (Revelle, 1955)。现已出版的大量近代证据使我们可以对这些不同的模式作出评价并对海洋中的 1.37×10^9 立方公里的海水作出解释。

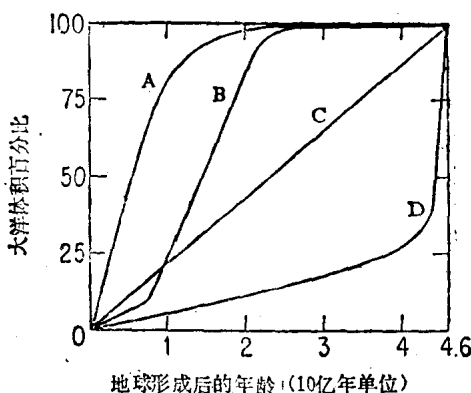


图1-1 地球表面水的积蓄的时间过程。曲线A表示海水在早期积蓄; 曲线B通过某一点, 该点是在太古代及其以后时间, 为均衡前寒武纪地壳厚度所需的海水体积 (见正文); 曲线C表示恒定的海水积蓄速度 (据Dietz 1964a计算, 为1米/百万年); 曲线D表示海水在后期积蓄。本书的观点倾向于曲线B。

通过地球内部排气而加到地球表面的水有两个来源：陆地玄武岩和海洋玄武岩。(1) 由喷发到陆地上的玄武岩衍生出来的水量可用以下方法计算。每年新生的玄武岩总量为1立方公里 (Kuenen, 1950和Hess, 1962, 都接受 Sapper [1927] 作出的这一估算, 它是以过去400年的火山喷发量为依据算出的)。如果这些玄武岩中能 提供为其体积0.5%的水, 而且水是由地幔衍生出来, 则 每10亿年增加 0.005×10^9 立方公里的水, 或者说, 在过去的35亿年中增加 0.0175×10^9 立方公里的水, (2) 在洋脊隆起喷发的玄武岩等衍生出来的水量可由下述方法算出: 大洋中已发现的最古老的岩石是大约于1.9亿年以前开始的侏罗纪的。显而易见, 大约每隔两亿年, 海洋就由于海底扩张而产生出新的玄武岩洋底 (Hess, 1962; Dietz, 1965), 覆盖 287.3×10^6 平方公里的面积 (Menard和Smith, 1966: 表5), 洋壳厚度 约为10公里, 因此, 每隔10亿年洋底就更新5次, 产生出总量为 14.365×10^9 立方公里的玄武岩。如果这个体积的0.5%是水, 而且所有的水都由地幔衍生出来, 则每10亿年增加 0.071×10^9 立方公里的水, 或者说在过去的35亿年里增加了 0.25×10^9 立方公里。

以上数值是由陆地和海洋玄武岩增加到地表的水的最大体积值。如果由玄武岩加入到现在海洋中的所有的水都只是再循环的海水, 则最初大量的排气过程就更加必不可少。然而, 前面的计算表明, 来源于海洋玄武岩的水很可能是陆地玄武岩的10倍左右。此外, 如果现代玄武岩中的0.5%的水是新生成的, 而且完全是由玄武岩排出的(总量为 0.25×10^9 立

方公里)，则过去35亿年以来由玄武岩日积月累排出水分的说法，无法解释海洋中的水量（ 1.4×10^9 立方公里）。目前看来还不可能就这个问题作出更肯定的解释。

有几条证据表明，地球内部的轻度排气目前仍在或可能仍在继续进行。主要论点是，稀有气体以及其它某些气体和元素的丰度型式对应于太阳和陨石的丰度，比对应于经过地质变化的地球丰度更为紧密，以及肯定存在着某种更新的过程，使它保持着原始的类型。最为重要的一条证据来自 $^3\text{He}/^4\text{He}$ ，而关于地幔衍生出来的水正在进入大洋的证据并不清楚。关于排气的几条证据如下。

(1) 克拉克(Clarke)、贝格(Beg)和克雷格(Craig)在1969年首先报道了海水中有 ^3He 的富集(相对于大气中 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 的比率)。自那以后，人们发现，不管是在深海海水中还是在海底枕状玄武岩的玻璃质边缘， ^3He 比 ^4He 的富集程度都高得多(Craig和Lupton, 1976)。这种过量的 ^3He 是“由于地球原始的 He^3 的残余部分渗漏到海洋中去而产生的——看来没有其它可能的机理”(Clarke, Beg和Craig, 1969)。1969年初步计算出其渗漏速度约为2个原子/(厘米²·秒)，后来证明它近似等于 4 ± 1 个原子/(厘米²·秒)(Jenkins, Edmond和Corliss, 1978)。在北大西洋3200米处， ^3He 的峰值与可能也是来自地幔的“溶解的铁、铜、锌的局部突然最大值”处于同一水层(Jenkins et al., 1972)。

最近，在加拉帕戈斯断裂带和红海卤水中发现了地幔衍生的 ^3He (Lupton, Weiss和Craig, 1977a, 1977b; Jenkins, Edmond和Corliss, 1978)。 ^3He 最有力地表明地幔仍在排

气。这种气体，无论是在海里还是在陆上，都是从板块边缘逸出 (Wakita等人, 1978)。逸出的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 的比率不变，

“这意味着在上地幔存在着的放射成因和原始的He的浓度比率相当稳定” (Dymond和Hogan, 1978)。至于这种地幔组分能否用来作为估算水、二氧化碳或其它地幔挥发物质的示踪物，尚有待验证。

关于目前排气过程的其余几个论点——从2至7——有的研究程度大大低于对于 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 的探讨，有的证据还有严重争论。对争论中的很多论点，表示赞同的或反对的，还都不普遍。

(2) ^{20}Ne 看来缺少放射性源，因此它是原生氖的示踪原子。它与原始 ^3He 伴生 (Craig和Lupton, 1976)。在基拉韦厄火山和东太平洋洋隆火山的喷发气体中发现了富集程度为百分之二至五的 ^{20}Ne 。

(3) 人们认为 ^{129}Xe 产生于地史早期的业已绝迹17百万年的 ^{129}I 。显然， ^{129}Xe 至今还在进入大气中 (Butler等人, 1963; Boulos和Manuel, 1971)。沃塞伯格 (Wasserburg, 1964) 也坚持认为，放射成因的 ^{129}Xe 是那时“有原生气体放出的唯一证据” (但是 Fanale和Cannon, 1971, 对Xe的来源仍有不同意见)。

(4) 在现代的大气中， ^4Ar 远比 ^{36}Ar 或 ^{38}Ar 常见。 ^4Ar 的来源是放射性 ^{40}K ，而 ^{36}Ar 和 ^{38}Ar 是原始的。现代的过量 ^4Ar 可以说是前寒武纪超镁铁岩的历史痕迹，由此证实了早期灾变性的排气过程 (Schwartzman, 1973; Ozima, 1975)。 $^4\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 的比率已在年龄为3.8亿年的泥盆纪

Rhynie燧石层中测定出来。这一比率很接近现代值,因此排除了一次排气模型的可能性,它的特征是在整个地质时期连续不断地大量排气 (Cadogan, 1971)。这样,它就成为两次排气模型的证据,即先是早期的灾变性排气,接着是后来的缓慢排气——与以后用以解释 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比率的模型相同。

(5) 地壳中蛇纹石化的玄武岩中富集着元素硼。跟海水中的硼 (4ppm) 相比,淡水中硼的含量极低 (0.01ppm),而且硼还被粘土不断地从海水中带走。为了补充海水中的硼,看来还要有另一个来源 (Thompson和Melson, 1970)。这个来源可能是由蛇纹石化玄武岩带来的初生水中的硼,这些玄武岩由于裸露而将硼流失到海水中去了。作为这一观点的对立面,哈里斯 (Harris, 1969) 提出硼的质量平衡,他甚至否定将海底火山活动作为来源之一,声称“这是可忽略不计的”。

(6) 根据水、氯和溴在岩流液包体中的产状而得出的质量平衡,说明这些元素的滞留时间均接近地球的年龄 (Anderson, 1974, 1975)。这可表明连续而缓慢的排气过程正在进行,其它关于氯的质量平衡计算也支持这一结论 (Schilling, Unni 和Bender, 1978)。然而,由包体测得的测量值的误差可能很大,因此这些数值并不能排除下面这种可能性,即:海水的80—90%是早期排气的结果,而只有10—20%是在其后的25亿年至今这段时期内由于缓慢排气而增加进去的。

(7) 对大气史的通常看法是将它与太阳的元素丰度作一比较之后,可以看到地球的大气明显地没有非放射性稀有