

大洋的起源

〔苏〕И. А. 列扎诺夫 著



381

大 洋 的 起 源

〔苏〕И. А. 列扎诺夫 著

孙德佩 译

科 学 出 版 社

1 9 8 2

内 容 简 介

大洋占地球总面积的三分之二。缺少大洋地质学的知识，对我们这颗行星的历史，也不可能有一个正确的概念。本书系统地叙述了洋底的地势、沉积物的年龄和形成条件以及岩浆岩的化学成分，同时还详尽地分析了为研究地壳和地幔而进行的洋底深水钻探的成果。

本书内容丰富，说理性强，对大洋起源的各种科学假说均有评价和讨论。可供地学、海洋学工作者参考，对地球科学感兴趣的广大读者亦可从中得到启发。

И. А. Резанов

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ОКЕАНОВ

Издательство Наука, 1979

大 洋 的 起 源

〔苏〕И. А. 列扎诺夫 著

孙德佩 译

责任编辑 余志华

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

*

1982年12月第 一 版 开本：787×1092 1/32

1982年12月第一次印刷 印张：5 3/4

印数：0001—2,000 字数：127,000

统一书号：13031·2057

本社书号：2810·13—17

定价：0.75 元

译者前言

人类对于物质世界的认识是永远不会完结的。当前，自然科学家认为地球是太阳系中唯一的蓄水行星。随着板块学说的兴起，很少有比盛水大洋起源的问题更令人着迷的了。大洋盆地是在地球历史1%的最近时期才形成的吗？大洋之水是从哪里来的？洋壳和陆壳到底有什么不同？许许多多的问题萦绕着物理学家和海洋学家的头脑。“新全球构造”假说吸引大批物理学家到研究地球的营垒中来，迫使地质学家摆脱传统的思维方式并广泛地利用地球物理资料，它意味深长地激发了人们对于地球科学的普遍兴趣。

作者伊戈里·亚力山大洛维奇·列扎诺夫没有急于采用由一般假说推断特殊事实的演绎法来著书立说（这本书只是科学综述），而是以地质学家所惯用的现实主义原则介绍和评述了大洋起源的各种假说。他援引“格罗玛挑战者号”深水钻探成果、地球物理探测等最新资料，从精细地分析这些资料入手，对洋底地势、松散沉积物的年龄和形成条件以及岩浆岩的化学成分进行了研究。他援引洋底扩张假说没有采用的事实，认真地讨论了包括洋底扩张在内的各种假说。这种对待实际材料的客观态度是难能可贵的。大洋化假说着墨较多。这一假说的实质是，深海或具有洋壳型的海渊是在从前陆地或具有陆壳型的水域逐渐形成的。

假说毕竟不是理论。从26届国际地质学会（1980年7月于巴黎召开）来看，当前地学界的思想是很活跃的。译者缺乏海洋地质学的实践，翻译过程中，常因新术语名词无从考

证而困于“一名之立，旬月踟蹰”的窘境。个别术语经多方请教仍难于处理的，只好暂时从我做起了。总之，原书涉及知识面较广，译者水平不高，谬误之处在所难免，希望读者多加指正。

孙德佩

1981年元月

于河北地质学院

序

我们这颗行星在地质学上最令人惊讶的事物是它的陆下壳和洋下壳的结构不同：陆下壳30—45公里或更厚，而洋下壳的厚度却只有5—10公里。于是研究大洋的起源，归根到底在于探求下列问题的答案：薄薄的洋壳是怎样产生的？覆盖着洋壳的五公里厚的盐水是从哪里来的？问题的复杂性之所以加深还在于，迄今为止我们对陆壳的基底（下部）是由什么岩石组成的尚未确实了解；而如果不考虑洋壳基底的上部沉积层，则连洋壳的组成也不清楚。

从地质学和地球物理学的角度对洋底的积极研究仅仅开始于30年前。有关大洋的报道在这个短时期内源源不断地急剧增长起来，现在，论述大洋的书刊，其数量已不见得比从地质、地球物理角度研究大陆的著作的数量少。

大洋深水盆地研究中的首批巨大成绩，是和30—40年代成功地运用回声探深仪进行测量相联系的，当时获得了可靠的沿航向的洋底地势剖面图。那时在全球各大洋完成的剖面测量，为数是相当可观的，它使编绘大洋床地形图和做出水下地势的结构和起源的许多重要结论成为可能。

50—60年代时，大洋的地球物理研究获得了广泛发展，它提供了厚层水下的地壳结构、来自地球内部的热流以及磁异常和重力异常等有价值的情报。及至70年代，科学家们又直接从大洋底采集到岩石标本。开始是用采样器采集水下山脉斜坡上的岩石，后来则是借助于大洋底部钻孔取样。

可见，现代科学是掌握洋底的地形、地球物理场和地质

结构等项资料的。但是，如果由此而认为洋底的地质结构业已了解得很清楚，那就不对了。因为大洋空间是这样地辽阔，以至使剖面测量和水下钻探点彼此之间只能维持在几百（有时几千）公里的很大距离上。加以从地质和地球物理的角度来研究大洋底才刚开始，故而可以预计在大洋深部的调查中一定会发现许多饶有趣味的、出乎意外的新资料。

大洋把大量的哑谜堆在科学家面前：无穷尽的大洋之水是从哪里来的？这许多水是怎样聚集的？大洋水的盐类组分是如何形成的？大洋为什么听凭时间的流逝而很少变化？深水盆地的生成在什么时候是什么原因？如果洋下壳和陆下壳不同，那又该怎样解释洋下和陆下的热流是均衡的？大洋中的带状磁异常标志着什么？为什么大洋底常见玄武质熔岩？其中许多问题还只能用假说来解释。在地质学作为科学而存在的200年间相继出现过许多假说。但是大概其中任何一种假说也没有象通称为“板块”的“海底扩张”假说的运气那样，享受到如此轰动一时的成功。然而就连这一假说也不免导致严峻的非难。

本书将使读者认识大洋成因各方面的繁难问题。现在对世界各大洋底进行积极地地质—地球物理研究不只是为了检查验证某种假说，还在于大洋是人类的一大宝库。它占地表面积70%，并含有地球全部矿物资源的极大分量：洋底之下有若干倍于全球大陆上的石油，而大洋中的许多化学元素储量可谓是真正取之不尽的。

目 录

译者前言	iii
序	v
大洋底的地质学	1
大洋的水量和盐量的历史	3
洋面和洋底的变动	12
大洋底的地势	24
洋底上的沉积物	37
大陆上和大洋底的玄武岩	50
大洋底的岩浆岩	56
大陆架的结构及发展史	63
大陆边缘的地质	68
地球构造中的大洋	85
大洋底的地球物理	97
洋壳的地震研究	97
大洋的上地幔之构成	108
地球物理场	115
大陆和大洋的比较	128
大洋形成的原因	135
几种假说	137
大洋的形成条件	149
陆壳大洋化的两种机理	152
边缘海深水海渊的形成	163
大洋的起源	167
大洋中脊的实质	171
大洋形成的周期性	172

大洋底的地质学

在最近几十年里，对洋底的地势、沉积物的成分、洋壳的结构、深部的热流、重力异常和地磁异常等的认识，是由于在大洋中进行了考察才得到的。在解决大洋盆地起源的问题时往往会不由自主地产生这样的问题：分析这些材料首先应该从何着手？要想弄清大洋底下的薄地壳怎样产生，或者说若要查明纵贯地球的大洋中脊的性质，是先提出大洋盆地形成的大地构造假说，然后在收集到的事实上验证它呢，还是从精密地分析这些材料开始呢？据我们看，研究这个问题不是没有益处的，因为对分析实际材料所持的不同态度正是现在进行着关于大洋性质的如此激烈辩论的主要原因。换句话说，就是在科学中现存的两条道路：由假说到事实，或由事实到假说，即用归纳法研究还是用演绎法研究，二者必居其一。

地质学是历史性的科学。由于直接踏遍全球的历代地质学家们细心和耐心的劳动，地质学在建树地表发展的严整的理论中获得了自己的主要成果。

因此我们才知道，地球上地质作用的次序、海进和海退的时代、造山运动的时期以及岩体的年龄；编制了世界的地质图。地质学家们打算解释地质图上反映出来的某些构造特征，于是提出了假说，而验证这些假说的试金石还是地质图。当然，将来图上的详细内容还要逐步改善和精确，而编图的基本原则却是不会改变的。当然不是说大陆地质学的所有问题业已全部解决。图上只能详细地判读出我们这颗行星

的显生宙，也就是最近五亿五千万年（一般均认为是六亿年——译者注）里形成的岩层。因为更老的地质形成物被较新的沉积物覆盖到下面去了。所以用钻探和地球物理勘探来揭露埋藏在大地深处的岩层将起更大作用。

在分析洋底的捕捞、钻探、地球物理调查以及水下地势摄影等成果时，都应该利用地质学的方法。近几年出现的“从大洋方面”来研究大陆的尝试是无所作为的，因为在研究无论是大陆还是大洋的时候，对事实真相所持的地史学态度和对已获材料采用的分析方法是一样的；几十次也许几百次地研究大洋的地质构造还不如对大陆地质构造的一次研究。不过，大洋对大陆地质学影响的事实也是非常清楚的。比如，我们现在已相当清楚地了解到深水沉积物的形成和组分，由此也就可以在研究大陆上的古海相地层时满有把握地恢复古地理环境。

现在我们可以把有关大洋的全部资料分为地质类和地球物理类两部分。作者认为，关于洋底地势、洋底沉积物的厚度、物质成分和形成条件等知识，洋底捕捞和水下钻探的材料以及洋底喷出岩的化学成分和形成条件方面的资料都属于第一类。就连大陆的，特别是大陆边缘现已被海水淹没的，给陆块的发展史提供了确切情报的古地理学说也应属于第一类。

大洋底的地球物理类的报道有：关于研究洋下地壳和地幔的厚度、组成的地震方面的各项资料，以及各物理场（地热场、重力场、地磁场）和震源分布等资料。地球物理类的大洋资料的特点是，当我们恢复现在洋底上地质事件的次序时，或多或少总可以同义地解释第一类资料。这个由地质学情报而获得的结论，完全可以与大陆地质学“吻合”，因为论述大洋或论述大陆所用的是一种“语言”。

大洋水域的地球物理资料（其实也还是大陆的）有另外解释。但据我们看，大洋（局部大陆）地球物理资料的非同义的地质解释，恰恰就是造成许多错误认识的主要原因。大陆上、大洋中作用性质的分歧被夸大了，所以出现了一些使我们远离事实的假说。

大洋的水量和盐量的历史

大洋之水从何处来？这是谈到大洋起源时产生的第一个问题。在回答这个问题以前，我们先来研究生物学和地球化学对大洋历史的看法。津克维奇（Л. А. Зенкевич）院士强调地指出过：“大洋动物群是自有大洋以来，洋底地形和大洋物理化学动态诸变化的最可靠和最实在的见证。”^①他得出结论说，远在早寒武世的动物群，尽管形形色色种类万千却都是大洋动物群，它们不能在很小的陆缘海域中生活。在显生宙的历史阶段里，包括深水域在内的大洋一直存在着。可是古生物的资料不能判断出大洋水的体积变化。在前寒武纪和古生代，大洋所占据的面积可能比现在小，这时地球表面上水的总体积或许更小。

研究大洋的现代动物群和化石群，可以得出大洋盆地深部变化的某些结论。别利亚耶夫（Г. М. Беляев）研究了布满现今大洋深水海沟的动物群的属、种组成之后，得出结论说：深水动物群的种基本上各不相同，但都处在青春时代。生活在同一条海沟里特有的种证明，被动物新种布满的深水海沟形成于不久前的地质时代。

① 津克维奇，Л. А.：《古大洋及其生物群问题》。摘自《世界大洋史》一书第83页，莫斯科，1971年版。

我们注意到，动物群只说明超深的大洋海渊（超过6公里）较新。而深度为4—6公里的大洋盆地却另有别开生面的景象。苏联生物学家比尔什琴（Я. А. Бирштейн）在分析深水动物群的进化时写道：“这样一来，用深水海沟里种的形成问题的资料来作结论是完全不够的，而只能泛泛不切实际地讨论这个问题。当然如果不分析种，仅对深水动物群作非常详细的分类，即不研究‘微小’，而研究‘巨大’进化的规律性，那么这大量的材料也都还是可以利用的。”①

Я. А. 比尔什琴得出结论，一些动物的群在其所习惯于大深度的水域当中所受到的进化演变是极不相同的。一些群在浅海域以属的形态出现，而更大深度上的另一些群则产生特殊的属、科，而在个别情况下甚至产生更高级别的分类。有古代残余型动物群存在，有高级别的特殊分类，就可以判断深水动物群的古老性质，因而至少可以判断从古生代起就存在的大洋深处的古动物群。但是，我们仍不能借助于动物群来确定出这些古代深水水域的大小。

动物群是大洋水含盐度的最重要的指示剂。棘皮动物门、腕足动物门、头足动物纲对含盐度的减低特别敏感。Л. А. 津克维奇指出，甚至含盐量只减低1%就会有許多类别全部或局部地从动物群中消失。按他的意见，显生宙时期内，世界大洋的含盐量不会低于3.2—3.4%，并且最高也只能达到4.0—4.5%，就是说经常保持在3.5—4.0%上下。动物群证明，这段期间内，就连大洋水的温度也很少改变。

分析动物化石和现代动物群表明，包括深水（4—6公里）盆地在内的大洋，至少从古生代开始存在以来，水的含

① 比尔什琴，Я. А.：《深水动物群进化的若干问题》。摘自《世界大洋史》一书第87页，莫斯科，1971年版。

盐量几乎没有改变过。

现在让我们来试估一下（虽然只是近似地估算）地球的水量有多少吧。海洋中水的体积是13.7亿立方公里、河湖中为75万立方公里、冰川中有2,260万立方公里。因此，我们的行星表面上水的总量约有14亿立方公里。但是，如果认为这个数字指示着地球上的全部水体积，那是错误的。相当大的一部分水量是处在地壳表层，甚至更深的壳层里的。按水文地质学家马柯连科(Ф. А. Макаренко)的意见，现代的地下水圈包括全部地壳和上地幔。这位学者把地球内部分为几个水文物理带：第一带是固体水(冰)带；第二带是液态流体带。对于天然溶液来说分带当以“水—冰”和“水—汽”相变的地壳地热等温线为界。这一带的温度随深度增长，由冰点增到临界点(纯水为 273°C ，矿化水达 450°C)。Ф. А. 马柯连科认为这一带占据地壳体积的80%。在地热增温率较低的古地台之下，这一带下限可以降低到60公里。在增温率较高的地区，这一带的厚度小于25公里。在较深的水文物理带内，水分子离解为 H^{+} 和 OH^{-} ，并且流体的物理性质也有改变。

使我们感兴趣的是第二个水文物理带里水的体积，它的上下限与地球物理学家和地质学家称之为地壳的上下限非常相符。水文学家费多谢耶夫(И. А. Федосеев)不久前批判地分析了全部资料，认为地壳中有水8亿立方公里。加里普(Дж. Кальп)提出下列数字：沉积岩中有水0.9亿立方公里、变质岩中有水0.22亿立方公里、玄武岩层中有水7.3亿立方公里。总计8.42亿立方公里。美国地球化学家鲁比(Р. Руби)计算仅地壳的结晶岩中水的总量就有3亿立方公里。如果取比较实际的数字7亿立方公里，那么现在地壳中占这个水量的一半组成水圈。三分之二的水在地表上，三分之一的水在

地壳里。地球上的水总共有21亿立方公里。所以我们意识到，地壳中水的体积可能被大大地缩小了。地壳里的水可能很多。按水文学家杰尔普戈里滋(В. Д. Дерпгольц)的计算，地表上和地壳里的总水量达25亿立方公里。

地壳里的水处在两种基本状态之中：自由态的水充满着晶体之间的裂隙、孔隙、空间，弥散在地壳物质之中；结合状态的水则进入许多矿物的结晶格架里。如果自由水的数量随着深度的增加和岩石的压密而逐渐减少，那么结晶水^①的情况则完全相反。在自身的结晶格架中包含着水的各种矿物是在各种温度和压力的范围里形成的。所以深度不同的各带里，结合水的数量可能各不相同。对此，在本书结论一章将较详细地讨论。现在我们暂将注意力移向地壳内部的大量水体，这种水在地球发展的长时期里一直在不同程度地参与地球水的总循环。

水的产生和水圈的演化是与地球这颗行星形成的普遍问题牢固地联系着的。现在讨论地球起源的两种假说。根据施密特(О. Ю. Шмидт)院士周密详细研究过的理论，行星由太阳捕获的宇宙星云形成，开始时在星云内部产生许多小行星，而后便由这些天体形成了行星，由于新天体的加入，行星逐渐增长自己的体积。著名的美国地球化学家尤里(Г. Юри)也支持这种地球起源的概念。根据施密特—尤里假说，刚刚产生的地球没有厚层的水壳和气壳，虽然地球表面上可以有一点点彗星核心带来的水。作者认为水圈和大气圈的形成，与水蒸气和气态离子在放射性热燃烧地球的过程中从行星内部向外逸出有关。既然地球发展的初期地内尚未烧热，那就可以想象地表上是不会有浓密的大气圈和大量水的。后

① 这里的结晶水是指化学结合水。——译者注

来，随着地球内部烧热的范围不断扩大，气与水便被逼到地表和地壳里来。

按照地球热起源的假说，大概有一个含水蒸气的气体壳层围绕着地球。但蒸气状态的水相对含量可能不多。

在行星的地质历史当中，特别是生命出现以来，地球的大气圈强烈地进化了。关于地球形成的彼此排斥的各种假说，把地球的大气圈和水圈的演化史描写得一模一样。都认为生命初现时行星的表面上没有水或者只有很少量的水。只是后来由于地幔可能还有地核的脱气作用，水才在行星地壳里和地表上逐渐地聚集起来。许多研究家(П. Н. 克鲁泡特金、B. E. 哈音、Φ. A. 马柯连科、Φ. 库艾年等)都认为在地球演进的最近的显生宙时期内，由于地幔中水的储量逐渐地消耗殆尽，水由地球内部向外排导也随之减少了。

因为哪一种假说都确定不了水的排导机理和排导速度的现代概念，我们只好选一简单说法：假定在地球的全部地质历史中，水从地球内部以匀速向外排导。如果取地表上和地壳中水的总量为21亿立方公里，并把它分配到地球的地质年龄(45亿年)上，那么每年平均从地球内部排导出来的水量便有0.5立方公里左右。根据某些专家，比如苏联科学院通讯院士罗诺夫(А. Б. Ронов)的意见，每单位时间内从地幔中排导出来的水量非常悬殊，它服从于地球的构造韵律。他推测，在从太古代到元古代的过渡时期和晚中生代时期，即地球历史中花岗岩化作用最强烈的时期里，从地幔排导到地壳中的水量显著增长。随着地球上周期性的构造作用而有水从地幔中来的思想，虽然听起来引人入胜，但并没有获得广泛承认。在行星的地质历史上构造活化和花岗岩化作用的时期为期很多，如果对其中某一个作用期看得很重是不正确的。何况，正如现已确定的，花岗岩化仅仅是一个重融的过

程，参与花岗岩化的水是从地壳岩石中来的。

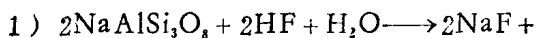
解释世界大洋盐量形成的历史是地球化学的主要任务之一。在详细研究大洋起源普遍假说时，应当考虑溶解在大洋中的化合物的地球化学进程。“大洋溶液与洋底洋岸的岩石之间、火山的气体与大气圈之间，在地球发展的漫长地质时期内形成了大小不断变化的交替平衡。”^①维诺格拉多夫(А.П.Виноградов)院士这样写着。他在研究大洋盐量形成的复杂问题时划分出了三个阶段：1) 早期，当时没有生物圈(太古代)；2) 中期，生物圈形成(太古代末至古生代)；3) 现代(从古生代起至今)。А.П.维诺格拉多夫写道：“可以肯定地说，大洋盐分的一切阴离子都来源于火山脱气作用的产物中，而阳离子则源于岩石的分解。”

现在，大洋水中存在的溴、氯的数量或许只能用地幔的脱气作用来解释。因为即使地壳的所有岩石都被破坏掉，那么也不能由此而造成大洋中现有的 Cl^- 、 F^- ，以及 SO_4^{2-} 和 HCO_3^- 。

当生命还没有在地球上产生的地球历史的早期， CH_4 、 CO 、 CO_2 、 NH_3 、 S 、 H_2S 、 H_3BO_3 、 HCl 、 HF 、 HB_2 、 HI 等与火山熔岩和水蒸气一起从地球内部来到行星表面。最初的凝结水主要是由 HCl 这样的强酸造成的酸性水。强酸为了中和而必须从玄武岩和其它岩石中提取一定数量的碱金属、碱土金属和其它元素，同时也就破坏了这些岩石。

А.П.维诺格拉多夫认为，这就是地球上生命发生之前所进行的最典型的反应：

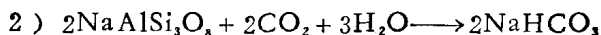
^① 维诺格拉多夫，А.П.，《大洋地球化学概论》，莫斯科，1967年版，第26页。



钠长石 火山烟

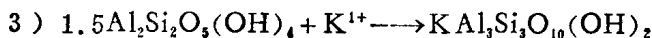


高岭石 二氧化硅



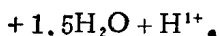
火山烟

重碳酸盐



高岭石

云母



以这种方式形成的盐类在水中是易于溶解的。可想，初始大洋应是一片盐盆地。随着火山和热液排导水量的多少，可以相应地弄清楚酸性烟有多少，所以水量与大洋中的盐量同时增长起来。维诺格拉多夫认为，盐类的总浓缩，大概很少与现代有什么不同，因为初生水始终伴随着易挥发的组分，这情况大概和现在是一样的。

没有在大洋水中溶解的那些气体 (CH_4 、 N_2 、 NH_3 、 CO_2 、 SO_4) 部分地运移到大气圈中并与水蒸气一起形成水。因为当时大气圈中没有氧。

生命的出现改变了地质作用。这影响到大气圈、大洋盐类组分和洋底沉积物的形成。由于有机物的生命活动，出现了游离氧。新的氧化环境产生，改变了大气圈和大洋的早期均衡。二氧化碳气几乎完全是由生物有机体从大气圈中获取的。有机成因的碳酸盐开始在水体中沉积。硫在改变了大洋水的组分之后变为 SO_4 。氨 (NH_3) 已被生物有机体耗尽了，或者被氧化为元素氮。有机物的生命活动创造了行星的现代氮—氧大气圈。行星的表面开始进行积极的氧化作用。碳化合物的氧化增加了水和大气圈里的 CO_2 含量。A. П. 维诺