

英国开放大学海洋学教程

第十三、十四单元

海洋变迁

海洋出版社



英国开放大学海洋学教程第13、14单元

海洋学教程第13、14单元，主要介绍海洋学的基本概念、海洋学的发展历史、海洋学的主要分支学科、海洋学的应用、海洋学的前沿领域、海洋学的未来展望等。

海洋学教程第13、14单元，主要介绍海洋学的基本概念、海洋学的发展历史、海洋学的主要分支学科、海洋学的应用、海洋学的前沿领域、海洋学的未来展望等。

英国开放大学教材研究室 编

内 容 提 要

本书为英国开放大学海洋学教程第13、14单元。本文讨论了最近地质时期(中生代以后的地质年代)的洋盆演变。主要内容包括:海水成分的变化史;海流的形成史;主要洋盆的发育;海平面的变化史等。着重探讨了红海的诞生、印度洋的发育、南极绕极流的形成以及主要的海侵和海退。

英国开放大学海洋学教程共16个单元,分7册出版。第1册:海洋学导论(1—3单元);第2册:物理过程(4、5单元);第3册:化学过程(7、8单元);第4册:生物环境(9、10单元);第5册:海洋沉积(11、12单元);第6册:海洋变迁(13、14单元);第7册:海洋法(15、16单元)。

本书可作为大专院校海洋学教科书,也是海洋、地质、气象、水产、海洋工程等部门的科技人员和管理人员的很好的参考书,也可供海洋科学爱好者自学用。

英国开放大学海洋学教程第13、14单元

海 洋 变 迁

英国开放大学教材研究室编

郁 彰 译 周月琴 校

海洋出版社出版

北京复兴门海贸大楼

建外印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1983年3月第1版 1983年3月第1次印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 3³/₄

字数: 70,000 印数: 1—8,000

统一书号: 13193·0179 定价: 0.55 元

82	目录	1.0
08	第13、14单元学习指南	1
	表A——科学术语、概念和原理一览表	4
	1. 引言	8
	2. 稳定态海洋——这是一个正确的概念吗?	9
47	2.1. 海水的简史	9
77	2.2. 存在一个平衡的海洋吗?	12
87	2.2.1. 一个可考虑的折衷方案	13
88	2.2.2. 反风化作用和 H^+ 与 CO_2 平衡在全球循环中	
88	所起的作用	17
28	2.3. 全球循环的概括性描述	22
88	3. 红海的诞生	25
08	3.1. 红海海盆的特征	25
10	3.2. 红海海盆的发育	30
40	3.2.1. 一些有争议的地质证据	35
80	4. 主要洋盆	36
80	4.1. 印度洋的发育	38
70	4.1.1. 东经九十度海脊是一个异常断裂带?	44
80	4.1.2. 沃顿海盆	48
80	4.1.3. 其他问题	48
80	5. 洋流的形成	50
011	5.1. 南极绕极流的形成	50
51	5.1.1. 沉积物的证据	51
51	6. 海平面变化及其有关影响	57

6.1. 海平面变化在时标上的差异	58
6.1.1. 冰后期海平面的上升	60
6.1.2. 第四纪海平面变化	63
6.1.3. 主要的海侵和海退	65
6.1.4. 南极冰盖的生长	69
6.1.5. 板块构造过程对海平面的影响	71
6.2. 气候变化和某些其他因素的影响	74
6.2.1. 气候变化对底层环流的影响	77
6.2.2. 白垩纪的“缺氧事件”	78
7. 地中海的盐度危机	83
7.1. 地中海的干涸	83
7.1.1. 来自河谷的证据	85
7.1.2. 蒸发岩的体积	86
7.1.3. 蒸发岩及其伴生的沉积物的特征	89
7.1.4. 干旱期的结束	91
7.1.5. 一些不同的观点	94
7.2. 地中海是个正在变干的海洋吗?	95
7.3. 蒸发岩和洋盆的诞生和消亡	96
8. 结束语	97
附表1. 地层柱状剖面图	98
自评习题答案和注释	98
第13、14单元的目的要求	109
第13、14单元参考文献	110
课外选修读物	112
附录 索引	112

第13、14单元学习指南

一、请大家好好地学习此指南，它能有效地指导大家学好这两个单元

当我们着手写有关洋盆的形成、发育和周期性的变化时，显然要把正在变化着的海洋作为连续部分来研究，所以我们就把第13、14单元结合起来学习。

在前几个单元中，我们主要论述了现代海洋。即使我们从历史角度谈及时间时，一般来说，也只是涉及一些与发生在更新世冰期时比较小的变化有关的问题，特别是与海平面变化、沿岸和大陆架地区的沉积类型有关的问题。只有在讲到更远的地质时代时，才涉及到一些大陆与洋盆相对位置的变化（第1单元）、涉及海洋地壳古老碎块的调查研究等等问题（第2单元），但内容并不多。而在这两个单元中，我们将利用研究保存在过去海洋变化过程中的产物——沉积物、岩石和化石中的地质记录，详细论述在地质年代中海洋是怎样发生变化的。

在本课程中，还将着眼于一些单独的、但与论述海洋变化有关的专题。课文开始，我们将简要地介绍一下，在整个地质时代，海水成分是怎样逐渐形成、发展和得到控制的，从而使得海水成分在至少是几亿年的时间中保持不变。同时，也将使你们了解，我们提出的稳定态模式为什么不一定被所有的海洋学家们接受的理由。然后，我们再转到利用测

量古纬度、磁异常图式和沉积物分布等方式来推断出洋盆形状的变化。接下来，我们将对红海作为一个雏形海洋的诞生进行描述，并对印度洋复杂的历史进行研究；紧接下来，对现代海洋中的主要洋流之一的南极环流的起源进行讨论。以上所述的这几节内容将使你们认识到，洋盆的形成历史和它们的流系形成时间在地质时间尺度上是多么的短暂。

海洋也受到海平面的短期和长期变化的影响。你们大概已知道了一些有关海平面变化受冰盖消、长影响的情况，但是，你们是否也知道板块构造运动也能适当地影响海平面变化呢？通过这两个单元学习，你们就能够区分这些不同过程对海平面的影响。

本单元的最后一部分将论述地中海中的新发现，并探讨了在不太长的时间里地中海有可能几乎完全干涸的看法。

二、本单元的学习任务、表A、自评习题

本课程一般把学习的目的要求放在自评习题（SAQs）答案和注释后面。表A是在课文中用符号标出的新术语的基本概念和原理一览表。

在此，我们要特别强调一下，在学习过程中，你们一定要熟读自评习题答案和注释，因为它们能给你们增加不少知识。

三、本单元的学习时间

这两个单元合在一起，内容大概是有所有几个单元中最长和最多的，但内容中很少有新的概念。我们通常只要求你们运用已学过的知识来解释海洋的历史。当这些单元论述到要试图去解释过去的地质历史时，只要你们以前曾学过一些地球科学的基本知识，学习起来并不困难。此外，如果你们想

表A 科学术语、概念、原理一览表

引用(S100 ¹⁾) 的术语	S100 单元号	前几单元用的术语	单元号	本单元用的术语	页数
新生代	26	边缘海	12	海水演化	10
成生性板块边缘	24	大气微粒	3和7	海洋平衡模式	13
破坏性板块边缘	24	反照率	4	反风化作用	18
地球早期大气圈	27	碱性	8	海洋地球化学模式	18
地震震中	22	缺氧沉积物	3、8、2、	洋盆的形成	31
时代	26	南极底层水	3、6	洋盆的相对复杂性	36
真核藻	27	南极绕极流(西风漂流)	6	洋底资料说明	38
地球化学循环	24		6	表层流系的形成	51
地质年代表	26	无震大陆边缘	1	海平面变化的控制因素	58
地磁倒转年代表	23	无震海脊	2	水动力海平面变化	63
地壳均衡	24	自生作用	7	氧同位素和海平面变化	65
中生代	26	底栖生物	10	海侵和海退	66
造山运动	24	生物限制性元素、生物中间元素、生物非限制性元素。	8	大陆相对高程	67

1) S100: 开放大学1971年出版的S100理科基础教程。

续表 A

引用 S100 的术语	S100 单元号	前几单元用的术语	单元号	本单元用的术语	页数
古地磁学	23	方解石和文石	8	冰盖和海平面变化	71
光合作用	15	碳酸盐补偿深度	3 8	板块构造和海平面变化	73
板块构造	24	海水碳酸盐饱和度	8	气候带的变迁	76
前寒武纪	26	粘土矿物	2、11	无冰海洋的底层环流	79
放射性测年	2	海水组成的恒定性	7	白垩纪缺氧事件	80
		pH控制	8		
海平面变化	24	科氏力(F)	5	地中海海水收支	85
溶度积	9	深海水团	2 6	侵蚀基准面	86
地层相关	26	海洋的差异性	3、9、10	海水中蒸发岩体积	88
忒斯拉(T)	23	深海钻探计划(DSDP)	2	蒸发岩中的盐类	89
不整合	26	岩脉贯入	2	蒸发岩的沉积型式	90
均变说	26	过量挥发	7		
风化和侵蚀	24	海绿石	12		
		热收支平衡	4		

续表 A

引用 S100 的术语	S100 单元号	前几单元用的术语	单元号	本单元用的术语	页数
等深线	59	等深线	11		
本露号	30	等温线	3、4	露号中的等温线	80
等温线(L)	51	海水的主要和次要成分	7	露号中的等温线	80
地幔柱	52	地幔柱	20	露号中的等温线	88
地中海海水	0	地中海海水	3、6	露号中的等温线	80
微大陆	54	微大陆	21	露号中的等温线	82
自游生物		自游生物	89		
仰冲作用	5	仰冲作用	12	露号中的等温线	80
蛋白石(硅石)	58	蛋白石(硅石)	8	露号中的等温线	10
蛇缘岩套混杂岩	54	蛇缘岩套混杂岩	82	露号中的等温线	10
氧同位素比值	12	氧同位素比值	3、2	露号中的等温线	13
气体分压	53	气体分压	87	露号中的等温线	11
浮游生物	2100	浮游生物	19	露号中的等温线	11
旋转极		旋转极	1		

续表 A

引用 S100 的术语	S100 单元号	前几单元用的术语	单元号	本单元用的术语	页数
		涨落潮	5		
		压强梯度力(PGF)	5		
		河水中盐的循环	7		
		盐丘	1		
		海底风化	2		
		初级生产力的季节变化	9		
		陆架海	12		
		海槛	3		
		物质来源、沉降和循环	7		
		稳定态海洋	7		
		盐层石	11		
		三接点	1		
		海洋双箱模式	8		
		海洋初级生产力的纬度变化	9		
		潮度	6		

1. 引言

当你在学习本课程前几个单元的时候，是否有时会停下来沉思，自己正读到的那些特征中哪些是永久性的问题呢？例如，渊远流长的墨西哥湾流的流程有多长？如不存在极地冰盖，深水水团将会有什么样的特征？如果你熟悉海岸线的一个特殊部位，比如说，一个河口、一个海滩或一个岬角，你可能会因对它们感到好奇而发问，它们在那里究竟已有多长时间了？它们是什么时候形成的？这些海岸地形又以什么样的速度发生变化？这些奥妙的变化可能发生在人的一生中，也可能发生在最近几千年内。无论什么变化都可以在海洋中发生。但是，影响它们的基本过程是不会改变的。海洋中始终存在着波浪、潮汐和海流，由于它们之间的密度差异，常常决定了海洋中水团的稳定和运动。有营养盐和能量的地区适合于生物的生长。在那里，动物和植物占据了适宜的栖息处，并以迁移、适应和进化的形式来适应环境的变化。凡暴露于大气中的岩石，都会受到风化和侵蚀。因此，凡有水运动的地方，就一定会存在沉积物的搬运作用和沉积作用。在沉积物被埋藏的地方，就将会发生成岩作用。随着时间的推移，在经过漫长的地质时期以后，可能许多碎屑物质都将成为有用的地质记录。因此我们只要通过对大陆地区保存下来的沉积物和洋壳岩石的研究，就能推断出中生代以前的世界海洋的历史。并且，还可通过对堆积在洋盆中的沉积物的研究，来补充中生代以来的非常不完整的历史记录。这些洋盆的沉积物的堆积方式与现代海盆发育方式是一样的。如今，我们通过对深海钻探计划（DSDP）所采集来

的岩芯样品的继续研究，又给这比较完整的历史记录提供了大量资料。此外，起着海洋磁带录音机作用的洋底线性磁异常图式的发现，更使海洋历史记录日趋完善。因为它是阐明最近二亿年或更近一些时期以来海洋和大陆相对运动的一个有力的工具。

在这两个单元里，我们主要研究最近地质时期（中生代和更年轻一些的地质年代）的洋盆演变。首先，我们将提出一些在第12单元结束时已稍为提示过的问题。这些问题可能与海水组成的长期变化有关，也可能与控制海水成分的过程有关。

2. 稳定态海洋——这是一个正确的概念吗？

在整个课程中，我们将以海洋保持着稳定状态这一设想为前提，（设想的要点：海洋中主要溶解物质成分的输入和输出速率大致应是平衡的）对海水成分进行讨论。这一稳定状态时期与重要的海洋混合循环时期相比是非常长的（即为几亿年与几千年相比较；见第8单元2.2.3节）。这一证据来自对海洋沉积物的全部地质记录的研究，包括年龄大约为38亿年的最古老的岩石的研究得出的。在下一节中，我们将概述一些对现代海水组成有影响的主要因素。

2.1. 海水的简史

根据一般的看法，在地球历史早期，海水早已存在了，但，“原始的”海水成分与现代的是非常不同的。地球早期的大气圈内由于缺氧，进行的是还原作用而不是氧化作用，大气圈内的主要成分是二氧化氮和二氧化碳。地质记录表明，当时的地球上几乎完全处于缺氧环境。大约直到19亿年前，

地质记录中才第一次出现地球表面形成的氧化铁矿物。所以，当时的海洋也处于还原环境，并造成了以下结果：

(1) 沉积物中保存了有机物。主要是藻类和细菌。

(2) 与现代海水成分相比，当时海水中重要的组成部分是可溶性二价铁 (Fe^{2+})。它与二价钙离子 (Ca^{2+}) 和二价镁离子 (Mg^{2+}) 以基本相同的方式沉淀，形成为碳酸盐和硅质矿物。

(3) 当时，硫主要存在于不溶性的硫化物中，不存在于可溶性的硫酸盐中。所以，在海水的负变化过程中，起主要作用的是氯离子 (Cl^-) 和碳酸氢离子 (HCO_3^-) (第8单元表5)。

大气缺氧的结果，会造成二氧化碳 (CO_2) 的分压过高，因此，使当时的海水的pH值比现代海水的pH值为低。从容易获得的、含有当时的海藻和硬粘土的沉积物中测得它们的地质年龄约为25亿年前 (此种沉积物为迭层石，第11单元6.3.1节)。一些有权威的人士认为当时的平均海表面温度可能为50℃，比现代海表面温度为高。然而，没有证据表明，当时海水中的主要阳离子 Ca^{++} 、 Mg^{++} 、 K^+ 、 Na^+ 和阴离子 Cl^- 的浓度与现代海水中的阳离子和阴离子浓度有显著的不同，尽管在远古时代它们的浓度会更大。

由于海藻进行光合作用，使氧气在大气圈内缓慢地积累，从而使大部分的 CO_2 变成为有机物质，减小了 CO_2 的分压力；同时，又有更多的二价铁氧化为三价铁，使大多数的硫化物变成为硫酸盐。最后，约在15亿年前，开始出现了需要氧气来进行呼吸作用的有机体——真核海藻。含氧标准继续增加，一直增加到大气圈达到稳定状态为止。在此稳定状态

中，还原作用形成的新的沉积物中的有机物的保存速率，与正在风化的较老沉积物中的有机物的氧化速率相平衡。达到此稳定状态的时间，目前尚不知道，但比较合理的一个结论是认为它发生在大约10亿年前（在此时期，海水的成分已与现代海水成分相同，并自此以后，海水成分没有发生过较大的变化）。但此结论并未排除海水成分中可能发生的其他一些缓慢变化，或海水的长期平均成分中出现的一些波动。从而，可认为不同地质时代的海水样品的含盐度和主要成分——S的比值，一定会在代表现代海水的典型值范围以内（第7单元表2）。但实际情况不是这样。所以，这结论一般来说是不成熟的。我们前面已讲到过，在过去的地质时期中，碳酸盐补偿深度曾有波动（第3单元3.3.4节）。并且，这些波动可能与钙和碳的浓度变化有关，也可能与其他重要的生物因素有关。另外，你们也知道，世界范围的气候变化会造成储存在冰盖里的大量水体发生变化。而当海洋中水的总体积发生变化时，就一定会影响到盐度的变化——尽管溶解物质成分的相对数量保持不变（第7单元1.3.2节）。另一方面，大量海水的蒸发会使溶解物质发生不同的沉淀。

最近几亿年以来，海洋中沉积的沉积物仍有其与海洋生物并存的（例如，一定的棘皮动物）共性。鉴于海洋生物的基本生理现象，不允许它赖以生存的海水的成分和温度发生很大的变化，从这点我们可以推断出最近几亿年来，海水成分没有发生过重大变化。在下几节里，我们将扼要地解释自晚前寒武纪以来（约10亿年前），甚至更早些时期以来直到现代，海水成分的总趋向保持不变的方式。

虽然，在那时期海水成分保持不变，但仍旧存在着许多

完全改变地球面貌的主要变化。特别是洋盆的形成、破坏；山脉的上升、侵蚀；动植物的演变等等一些主要变化。而以上所述的这些问题，正是海洋学家们深思熟虑了几十年的研究课题。

2.2. 存在一个平衡的海洋吗？

对控制海水全部成分的基本机制的看法，似乎有两个学派。按照稳定状态学派的观点，认为物质被搬运到沉降区的速率是随着来自源头区的溶解物质的供给速率的变动而变化的。气候变化很可能是影响这种变动的原因之一。按照平衡学派的观点，认为在海水和沉积物之间存在着化学平衡状态，自生作用反应完全是可逆的。

现在让我们更仔细地来看看这两个学派的观点。假设由河流携带进入海洋中的溶解物质供给量减少，也就是说，更多的水变成了固定在冰盖中的冰，从而使机械风化作用由于化学风化作用的减弱而增强了。那么，这两个学派的观点将如何解释这一变化呢？

(1) 在稳定状态情况下，源头区和沉降区之间的迁移反应仅仅是在减缓速度地进行。反应的速度是由溶液中的反应物的浓度来决定的。而海水中的反应物浓度通常就是迁移的速率正好与供给的速率平衡。如果由于供给减少浓度开始下降的话，那么只有减小迁移速率来进行补偿，保持海水浓度不变。迁移反应将向一个方向连续进行。但它是根据溶解物质供给情况的多少按不同的速率进行的。这种情况可以简单地用下式表示出来（表示式中箭头的长短是与速度成正比例的）：

正常情况： 源头区 $\longrightarrow$ 沉降区