

海洋地质学

〔荷兰〕 Ph·H·奎年著

梁元博译

中国工业出版社

海洋地质学

（第四版）

（地质类）

地质出版社

389336

452.7

45-2939

389336

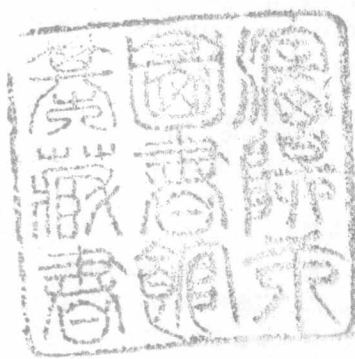
939

海洋地质学

荷兰哥罗宁根大学地质学教授

Ph. H. 奎 年 著

梁 元 博 译



中国工业出版社

1963 北 京

本书是西方国家近几十年来海洋地质研究工作的总结。

本书第一章简单介绍了与海洋地质工作有关的海洋物理学一般知识，从第二章开始详细论述海底的地质构造、沉积物的形成和搬运、珊瑚礁的海洋地质意义、海底地貌和海面升降运动等一系列重大问题。作者根据他在实际考察中所取得的第一手资料和对现有文献的广泛概括，对一些海洋地质问题（海底地槽发育、陆棚和陆坡的起源、海底峡谷）提出了新颖的见解，并且指出了许多新的研究方向。

全书共8章，约40万字，可供我国海洋地质工作者、海洋地质专业的师生和海洋学及地质学其他方面研究人员的阅读和参考。

Professor of Geology,
University of Groningen,
The Netherlands

Ph. H. Kuenen

MARINE GEOLOGY

John Wiley & Sons, Inc., New York
Chapman & Hall, Limited, London

1950

* * *

海 洋 地 质 学

梁 元 博 译

*

地质部地质书刊编辑部编辑（北京西四羊市大街地质部院内）

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本787×1092¹/₁₆·印张23·插页7·字数489,000

1963年12月北京第一版·1963年12月北京第一次印刷

印数001—730·定价(11-8)3.70元

*

统一书号：15165·1487(地质-152)

原 序

过去的地质学家不是经常有系统地发展他们所研究的学科的。海洋地质学尤其受到忽视。但这是有充分理由的，大多数的地质项目就时间和经费方面来说都易于进行研究，或者比较花费不大；然而海底的考察，就需要浩大的开支和长时间的出海航行，同时还要有复杂的调查技术。直到最近时期，才有为数日多的个别研究者、石油企业和海洋研究所从事比较详细的海洋地质学研究。

这个疏忽仍反映在教学工作上，不顾许多地质专业的学生将来有大部分的时间却要在某些方面和古代的海洋沉积物打交道的事实。要是海洋地质学的工作一日不曾展开，这个重大的缺点就一日不能完全消除。但是鉴于目前在这方面所取得的巨大进展，显然已有充分理由要求对海洋地质学的问题给予更大的注意。

因此，著者在写作本书时抱着三个目的。第一是给大学地质院系的学生介绍他们学科中的一个重要分支；其次，是给地质学家、海洋学家、以及一般希望探索海洋地质学领域的科学家提供一部指南；最后，是总结已有的成果并着重指出尚待解决的许多问题，借以促进研究工作的发展。应当指出，本书的任务并不是要把各种资料包罗无遗，但书中所列的文献虽不完备，也可以给读者指出一条途径，让他们自己去寻找他们所需要的较为详细的报导。

整个说来，本书的重点是放在各种问题的探讨上，以便引起学者的兴趣和启发他们的思考能力。然而著者清楚理解到，这样做会使某些陈述包罗过广，还会偏重了一些超出普通范围的讨论，同时又忽略了其他的问题。某些题目，例如海底地球物理学、海岸地貌学、现代海洋沉积物的记述岩石学，以及古岩相的分析等等，是特意地仅加以简略的论述。另一方面，著者却特别注意珊瑚礁、海底峡谷和摩鹿加深海海槽等，因为著者本人曾经长时间研究过这些问题。

本书与现行有关海洋地质学的其他教材有着明显的不同。德利 (R.A. Daly) 的海底 (*The Floor of the Ocean*) 主要是关于地球物理学方面的；布卡尔 (J. Bourcart) 的海底地理 (*Géographie du fond des mers*) 是地理学方面的；斯费德鲁普等 (H. U. Sverdrup et al.) 的海洋 (*The Oceans*) 是海洋学方面的。谢帕德 (F. P. Shepard) 的卓越的海底地质 (*Submarine Geology*) 一书着重于地貌学的问题和野外技术，和本书极少有重复之处。

著者在写作过程中才真正认识到海洋地质学的领域是何等宽广而复杂。如果没有下列各位同事的热情协助，本书是不可能完成的。在这些同事之中，最主要的是 C. O. 邓巴 (C. O. Dunbar)，他阅读过全部原稿，以及 F. P. 谢帕德，他阅读过原稿的大部分。这两位学者提出了大量的订正和修改的意见。其他阅读过若干章节并提供宝贵意见的有 P. 格隆 (P. Groen)，D. L. 因曼 (D. L. Inman)，A. N. 杰弗里斯 (A. N. Jeffares)，G. A. 聶宝 (Gerda A. Neeb)，L. v. 斯特拉登 (L. M. J. U. v. Straaten) 和 J. 武木格罗夫 (J. H. F. Umbgrove)。对以上全体朋友，著者仅致以衷心的感谢，希望他们对自己所提意见的结果感到满意，而又无须对可能有的缺点担负责任。

Ph. H. 奎 年

于荷兰哥罗宁根大学地质学院

目 录

原序	3
第一章 物理海洋学	1
资料的蒐集	1
海水的组成和性质	5
溶解在海水中的气体	5
通气不良的海盆	6
溶解在海水中的盐类	9
海水的性质	11
盐水和淡水的对比	11
海水的密度	13
热传导; 涡动	13
海水的颜色和透明度	14
海水的可压缩性	15
海水的温度	15
海冰	16
海水的运动	17
海流	17
海流的成因	17
深海中的环流	20
表流	23
入口很浅的海盆	26
入口较深的海盆	29
潮汐运动	35
引潮力	35
湖泊中的潮汐	37
内海中的潮汐	37
荷兰潮浦和印度尼西亚的潮汐	40
波浪	43
摆动波	43
海啸浪	50
浅水波和激浪	50
孤立波	53
第二章 海洋盆地	57
海洋盆地的形状	57
测深和海图的编制	57
海底地形	61
海盆的演化	70

岩质海底图的编制	70
海盆形状和大小的变化	71
大陆和洋底的构成	73
大洋永存性的問題	79
对大陆和大洋起源問題的各种不同观点	84
几个一般性的假說	84
大陆是在扩展着嗎?	92
地壳的图形	93
地震学提供的証据	95
海底上的正地形	96
陆台	98
有关資料	98
陆台的起源	100
地壳隆起高度的頻率曲綫 (陆高海深曲綫)	104
第三章 印度尼西亚深海洼地	113
印度尼西亚深海洼地的起源	113
印度尼西亚深海洼地和古沉积盆地的比較	126
第四章 海洋沉积物的来源及其搬运	137
海洋沉积物的来源	137
大气	138
生物的残骸和介壳	140
可分解的有机物	141
沉淀物	142
海岸侵蚀和海底侵蚀作用	144
浪蚀作用	144
海流侵蚀作用	149
河流	151
冰川和冰	153
风化作用	154
海洋中沉积物的搬运作用	155
沉积物的滑动和重力作用	155
渾水流	155
滑动	157
沉降作用	162
水平流	163
海流和波浪涡动的联合作用	170
波浪在海底上的搬运作用	173
筏运	179
顆粒在搬运时所受到的磨蚀作用	180
搬运时的分选作用	183
韻律性堆积	187

波痕	187
較大的韵律性堆积	190
滩角	190
第五章 海洋沉积物的形成作用	197
海底形状的影响	197
海底的均衡剖面	197
海岸地形和沉积作用	202
海洋沉积作用的环境	202
总論	202
砂和泥在海洋环境中的沉积作用	206
远洋—深海环境	207
近海—深海环境	208
次深海环境	208
浅海环境	209
三角洲环境	210
潮浦和三角港环境	214
泻湖环境	215
潮汐带环境	215
欧克辛(古黑海式)环境	217
海洋沉积物的分类及其分布	218
海成和陆成混合沉积物	219
海洋沉积物	219
陆棚沉积物	219
近海或陆源沉积物	219
远洋沉积物	226
海洋沉积物的分布	236
沉积作用的进一步探討	236
层理	236
总論	236
現代沉积物的层理	240
放射性	244
沉积速度	245
大洋沉积物的总体积	251
可分解的有机物质	260
某几种因素对沉积作用的影响	262
气候	262
海濱綫的相对上升和下降	263
生物作用	264
对闡释古代沉积物的几点提示	265
第六章 珊瑚礁	270
珊瑚礁的生物学性质及其分类	270

生物学性质	270
珊瑚礁的分类及其各组成部分	276
岸礁	276
堡礁	276
环礁	276
准环礁、沒有礁湖的巨型珊瑚礁、礁錫、礁斑、滩内礁、溺礁、上升礁	277
礁坪	277
船渠	278
向海方面的斜坡	278
石珊瑚藻礁(石枝藻礁)	278
黑圆壳	278
砂島或沙滩	279
粗砾和巨砾垒	280
上升島	280
各种因素对珊瑚礁的影响	280
石珊瑚藻的影响	280
松散顆粒的胶結作用	282
珊瑚石灰岩的海蝕作用	283
沉积物对珊瑚生长的影响	285
风对珊瑚島的影响	286
对珊瑚生长的影响	286
对礁块形状的影响	286
对砂島的影响	286
对粗岩屑的影响	287
海流对珊瑚礁的影响	288
海平面变动的影响	290
小規模的海平面变动	290
大規模的海平面变动	293
环礁和堡礁的形成作用	294
主要学說概述	294
某些珊瑚礁群島所提供的証据	305
珊瑚礁基础的稳定程度	309
第七章 海底地貌	314
海谷	314
陆棚海沟	314
沉沒河谷(溺谷)	314
由潮汐冲刷所产生的海沟	316
淹沒的冰川槽	316
海底峡谷	317
有关海底峡谷的資料	317
海底峡谷形成作用的各种假說	326

海平面大規模下降的假說	329
渾水流說	333
渾水流說的進一步探討	336
海底峽谷起源的結論	342
海底火山坡面	344
第八章 海平面的升降变化	349
現代的海面升降运动	349
冰期和冰期后的海平面变动	350
由地层研究所揭示的海面升降变位	354
地球上水量的变化	356
大洋中水量的变化	356
沉积作用	357
地槽沉积作用	357
深海沉积作用	358
海盆形成作用	358
洋底的造山作用	359
地壳下面的內在原因	359
附图版 A 和 B	(插頁)

第一章 物理海洋学

海底地质学同海洋物理、化学和生物等許多問題有着密切的联系，因此不能把海洋地质学和海洋学截然分开。海底的侵蝕和沉积是由海流和波浪制約着的。沉积物的微粒有很大一部分来自浮游生物，而浮游生物本身的生长也取决于海中物理和化学条件的性质和分布。沉积物质不論是以悬浮物的形式运来或直接从溶液輸入，都要被大洋水的运动从它的来源地散播开去。海底地形、海平面的位置和潮汐現象不論对于海洋地质学者或是对于海洋学者都有着同样的重要性。显然，一个海洋地质学者如果没有某些方面的海洋学知識，是不能順利地进行研究的。

海洋科学研究下列几方面的問題：海水的物理性质和化学性质；温度、盐度和其他变量的分布；海水的运动；大气圈和水圈的相互作用；洋底的形状；海中的生物；海底上的沉积物；海岸和大洋底床的侵蝕等等。观测海洋的重力和測定海底別的地球物理性质有时也归入海洋科学研究的范围。

在这一章我們將着重研究海洋物理方面的問題，因为它对海洋地质学有着特別的重要性。

至于从生物学的观点来討論海洋学的問題，可參看默萊和希約德(J. Murray and J. Hjort, 1912)、罗素和楊格(F. S. Russell and C. M. Yonge, 1928)、汉哲尔(E. Hentschel, 1929)和柯伦斯(C. W. Correns, 1934)等人的著作。物理海洋学方面的主要論著可以举出：德芳(A. Defant, 1929, 1940)、比格楼(H. B. Bigelow, 1931)、国家研究委员会(1932)、柯伦斯(1934)、沃昂(T. W. Vaughan, 1937)、佛林明和李維尔(R. H. Fleming and R. Revelle, 1939)、魯氏(J. Rouch, 1939, 1941, 1943—1948)、多果德(H. Thorade, 1941)和斯費德魯普(1945)等人的論文。克琉麦尔(O. Krummel, 1907, 1911)的論文写得很全面，只可惜内容已經陈旧了。斯費德魯普、約翰逊(M. W. Johnson)和佛林明(1942)的卓越著作論述范围很广，是近年的一本綜合討論海洋学各种問題的书。肖特(G. Schott, 1935和1942)的两本专論都是从区域观点来討論海洋学的問題。謝帕德(1948)近来出版的著作出色地和适时地論述了海洋地质学和特別是海洋地貌学的問題，該书著者是这个領域中最活跃的研究者之一。沃昂(1937)則极其詳尽地列举了海洋科学各方面的研究刊物。

資料的蒐集

虽然某些海洋学观测可以在陆地上进行，但大部分的材料还是要在船上取得的。精确掌握表流、潮汐、海岸和海底地形、海洋气象等方面的知識对海洋运输和軍艦航行有着非常重要的意义。远在科学研究开始之前，許多船舰駕駛台上的观测者已經积累起十分丰富的知識。例如，我們对表流的知識，就有大部分是从观察船舰航行时的漂流得来的。所有从事航海事业的国家都設有水文机构，其中許多还保存着极有价值的长期記錄。除了对潮汐和海流进行观测和科学研究之外，这些机构还积极进行編纂沿岸区海图的工作，这些海

图通常把深度和海底沉积物一併标明出来。在第二次世界大战期間，美国海軍施行了大規模的海洋学研究計劃，自此以后調查工作一直在积极进行。其他專門研究海洋学某一方面問題的官方机构計有港务局、气象研究所、水产厅、海岸保护局、海濱侵蝕局等等。

这些政府机构之中有一些的調查范围包括較远的野外区域，并把它們的观测工作扩大到沿岸海区以外，一直达到外洋的洋面。然而深海区域除了几次純粹科学性的考察以外，实际上仍然是一些空白点。鑑于比較实用的研究主要局限于表层海水，調查海底也只达到一二百米的深度，所以科学考察主要是集中在較深的海中进行。現在則調查深水大洋方面的严重落后状态已經消除，初步的求知心已經得到滿足，科学家們的注意力又回过来研究浅海的許多重要問題和表层現象。

一系列的深海考察是从1872至1876年間在威廉·湯姆逊(William Thomson)率領下的挑战号(*Challenger*)船考察队开始的。以后接踵而来有80多个深海考察队(魯氏, 1943)。表1列出两次世界大战之間出航的一些考察队。

表1 两次世界大战之間的深海考察^①

船名	年份	国籍	研究区域
卡內基(Carnegie)	1909—29	美国	环球航行
何非?(Pourquoi-Pas?)	1912—36	法国	大西洋—北冰洋
丹納(Dana)	1921—32	丹麦	环球航行
米哈尔·薩尔斯(Michael Sars)	1924	挪威	北冰洋
发现(Discovery)	1925—26	英国	北冰洋
流星(Meteor)	1925—27	德国	南大西洋
威廉·斯科列斯比(William Scoresby)	1926—32	英国	南极—大西洋
阿尔摩·汉生(Armauer Hansen)	1928	挪威	北大西洋
戈德塔伯(Godthaab)	1928	丹麦	巴芬湾
馬利昂(Marion)	1928—35	美国	北极—北大西洋
威利布罗德·斯尼留斯(Willebrord-Snellius)	1929—31	荷兰	摩鹿加群島区
現 I (Discovery I)	1930—35	英国	南极
挪威(Norvegia)	1929—31	挪威	南极
阿特兰提斯(Atlantis)	1931—32	美国	大西洋
触媒(Catalyst)	1932—36	美国	太平洋
汉尼拔(Hannibal)	1933—36	美国	安的列斯—太平洋
馬哈比斯(Mahabis)	1933—34	埃及	印度洋
斯科利浦斯(E.W. Scripps)	1937—40	美国	加利福尼亚湾

①近年比較重要的远洋考察队尚可补充如下:

信天翁(Albatross)	1947—48	瑞典	环球航行
海神(Galatea)	1951—52	丹麦	环球航行
挑战 II 号(Challenger II)	1951—52	英国	环球航行
汎太平洋(Trans-Pacific)	1953	美国	太平洋
中太平洋(Mid-Pacific)	1959	美国	太平洋
勇士(Э/С Витязь)	从1949起	苏联	太平洋
米海伊尔·罗蒙諾索夫(Михаил Ломоносов)	国际地球物理年	苏联	大西洋
塞瓦斯托波尔(Севастополь)	国际地球物理年	苏联	大西洋
非磁性船曙光号(Заря)	国际地球物理年	苏联	环球航行
鄂毕(Обь)	国际地球物理年	苏联	南极—各大洋南部
勒拿(Лена)	国际地球物理年	苏联	南极—各大洋南部

这些考察队研究海洋学の問題多少是帶有短期的性质。現在有愈来愈多的永久性海洋研究所和海洋研究站按照庞大的計劃从事海洋研究工作。其中有一些着重研究海洋生物，或甚至專門研究海洋生物学的某一方面如漁业問題等，另一些則选择海洋物理为其专业研究方向，或只限于研究潮汐現象一項。然而，也有一些机构的研究范围要广闊得多，包括

了海洋学的全部領域。这些研究单位有一些隶属于国家的政府或附設在大学之内；另一些则由私人资金所创办或由捐款来維持^①。

海洋研究所通常拥有专用的汽船以至較大的海輪，以便从事大規模的航行。因此科学研究人員有着比較良好的机会，可以重复訪問同一的海区，研究韵律性的或长期的变化。凡是需要长期研究或在一定的区域内深入考察的問題，都只能由这种永久性的研究所来进行，单独的一些深海考察队是不能解决問題的。沃昂（1937）列举了两百多个以全部時間或部分時間从事海洋研究的研究所和其他永久性机构。

詳細叙述海洋研究所用的仪器和方法会花費太多的篇幅。然而，一个必須了解海洋学研究成果的海洋地质学家却不能对取得資料并借此得出結論的方法一无所知。不然的話，他很容易对海洋学調查报告所提供的事实作出錯誤的判断，或者只好从出海調查的同事那里間接取得他未能亲自得到的情报。著者在介紹本书讀者如何从海洋学論文和特别是从調查报告得出詳尽的情报之前，首先簡單叙述一下“斯尼留斯号”船考察队从1929到1930年在摩鹿加海区所进行的船上操作。著者在考察队中負責海洋地质研究，因此有机会熟习这种海洋学工作。一般說来，别的考察队也遵循着同样的工作过程。至于近年的发展，則另作几点补充。

考察船出海时所取的航綫經常不断用海图推算、天文观测和根据附近海岸上的物标尽可能精密地进行核对。深度用回声测深器测定，間距取一二公里，如果海底地形很不規則或坡度很陡，也可以取較密的間距。近来的发展是采用自記回声测深仪，把测深結果連續不断地記錄下来。表层水溫、盐度和含氧量每隔数小时测定一次，用自記溫度計可以連續不断地記錄表层的水溫。設在船上的小型气象站記錄气温、空气湿度和气压，而太阳輻射率也按照正規的时距测定。如果時間允許的話，可用拖网或捞网进行生物采集。在海滩上作生物学和地质学的研究，無論何时总是簡便易行的，搜集珊瑚礁和海岸情况的資料尽量予以优先进行。

然而，这次考察的主要目的却是在馬魯古区的所有深海海盆上普遍設立海洋測站。这些測站在开始时先作鉛錘测深来核对深度、沉积物和底层海水取样、测定水溫。同时用細网眼的捞网采集表层浮游生物。其次在海面和海底之間的一系列深度层上采取水样和水溫讀数，来进行所謂連續观测。在較深的測站上，如果一系列12个取样管还不够用（一系列取样管最多只有12个），則分成两列或三列放下，一列比一列深（图1）。在某些測站上把一个采集网放入一二千米深的地方，向上提起一定距离后，再利用一个重錘把网口关闭。用这个方法可以在各种不同的深度面上从事采集。船上的一个化学實驗室不断用滴定法测定海水样品的盐度、鹼度、含氧量和营养盐类。

在考察中还作过好几个錨泊測站，在每一个測站分別停泊几天，其中一些停泊点的深度超过5000米。从停着的船上测量各深度面上的海流速度。在24小时內反复进行連續观测，以此作为研究內波使水层垂直移位的根据。

現时新添的海洋学仪器有自記深水溫度計和深水取样器，这些仪器可以在船只行进中使用。

① 所指的是西方国家的情形——譯者注。

别的海洋学考察队所进行的观测，还有波浪立体摄影、磁力观测、用地球物理方法测定海底上的重力和沉积物厚度、光线透射、以及浮游生物和泥末的定量测定等等。

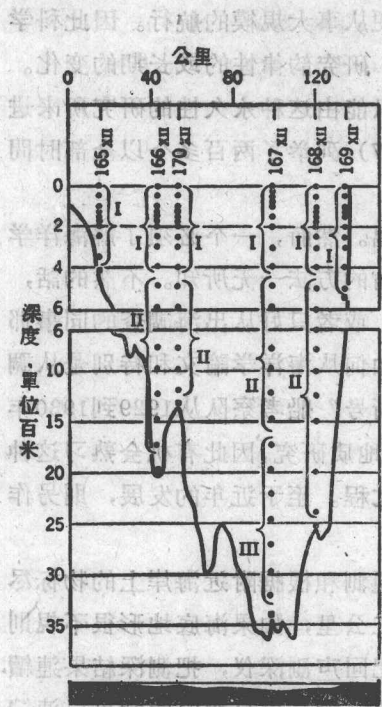


图 1 佛罗里斯海槽的剖面，左边是北方，深度单位百米。上半部垂直比例尺为水平比例尺的 100 倍，下半部垂直比例尺为水平比例尺的 50 倍。（实际比例见底下）。每一点指出“斯尼留斯号”船考察队进行水温测量和取水样的深度（据 V. 里尔〔van Riel〕，1937，图 2）

由于内壁的摩擦，进入管内的土柱长度比取样管插入沉积物中的深度要小得多。这种新的瑞典式取样管带有一个活塞，悬在测深索的末端，装置在管内的下端。当管子插入海底时，活塞停留在原来的地方，而带着重物的管身则围绕着重物滑下。周围海水和沉积物的静压力把土样推向活塞。这样取得的土柱长度和管身插入长度相等，并且差不多完全免于扰动。他所取得极长的土柱有部分应当归功于他采用了重量非常大的负荷物。

大多数的取样管内面附有一个玻璃的、铜质的或塑料之类的衬管，取样后把它连同土样一起抽出来。把这个内层衬管两端封闭起来，可以使土样保存在原来的湿度条件下，以便将来在实验室中进行研究。

现在使用“行进式底质取样器”在船只高速行驶时也能够浅水海区取得底质样品（Emery 和 Champion，1948；Worzel，1948）。

新近由尤文（W.M.Ewing）创始的一门特殊技术是海底摄影。他把暗箱和闪光灯放入海中，当触及海底时摄影机会自动进行拍摄。其他如谢帕德和埃美利（K.O.Emery）曾在加利福尼亚海岸外面深达 250 米的地方摄得了一些有价值的照片。以后进一步采用这个方法来工作，将使我们大大地增加用其他方法得不到的知识。海底照片清晰地显示出来的

鉴于海底沉积物对地质科学有着特殊的重要性，我们简单介绍一下底质样品取样时所采用的各种方法。现在已经创造出大量各种各样的仪器。最常用的一种是上端荷重的长钢管。当取样管以很大的速度（每秒 3 米以上）落到海底上时，重力使取样管深深陷入松软的沉积物中。有几类取样管的重物能够自动脱离，使取样管比较易于提起来。不过这种作法很浪费，除了在海水很深的地方，测深钢索本身的重量已经很大，钢索仅能支持取样管从泥中拔出时的力量，现在很少采用这种办法。当样品提出水面时，样品往往要掉出来；因此，通常使用特殊的装置把管子的下端封闭。用这种取样管曾经取得长达 5 米以上的土样柱。对于砂和砾石底质的取样必须使用挖泥器，因为这些底质有些会从取样管中掉出来，有些根本不能被重力式取样管插入。

皮各德（C.S.Piggot）设计了一种巧妙的取样管；它带有一个短短的发射管，当取样管接触到海底时，立刻把取样管射入沉积物中去。这种发射式取样管也使用得很成功，取得了长达 3 米的土样柱。

最近古伦堡（B.Kullenberg）作出了一个极大的改进，他从深海海底取得了长达 23 米的土样柱，因而更前进了一大步。使用取样管时，最麻烦的是由于管

影象有波痕、虫跡、海底动物、砾石、結核体和岩石悬崖等等。

用挖泥器操作能够提供十分重要的海底情报。使用挖泥器遇到很多技术上的困难，但所得的结果足够补偿所費的辛劳而有余。用挖泥器操作所得到的意外发现之中，有在1000米以下的深度上发现了极其大量的岩石底质、还发现有滚圓的卵石以至巨砾等等。

海水的組成和性質

海水溶液中含有大量的各种离子。在全部已知元素之中，有一半以上的元素都已經在海水中发现，不过，有許多元素如 Au 和 U 等只有微量存在。其重要的組份一方面可以分为气体元素，特别是氮、氧和二氧化碳等，另一方面則可以分为盐类离子。

溶解在海水中的气体

从前人們推测溶解在海水中的氮当海水循环时并不同别的物质化合，因此它的百分比不发生显著的变化。这样一来，以往很少測定它的含量。然而，在这种推测得到証实以前，还必须作进一步的研究。

另一方面，大气圈的其他两种主要气体，即氧和二氧化碳，却积极参与生物的新陈代谢作用、碳酸鈣的形成和溶解以及有机物质的分解。因此其百分比在各个水体之間变化很大，測定它們的含量具有十分重要的意义。表层海水通常饱和着氧，其含量随温度和盐度的不同，变化在每升 $4\frac{1}{2}$ 和 9 厘米³ 之間。水温較低时含量比較大。由于对流、波浪作用等等原因，同大气保持平衡状态的水层厚度經常发生变化，但其厚度一般很大。

就二氧化碳來說，表层海水也和大气保持平衡状态。由于这种气体在大气中的百分比很低（仅占空气体积的 0.03%），它溶解在海水内的数量也很微少（約为每升 1/10 克）。然而它在大洋內的总含量却比它在大气中的全部貯量大 25 倍（ 60×10^{12} 吨比 2.2×10^{12} 吨）^①。碳的各种化合物在海水中的化学作用是异常复杂的，这里不准备討論。讀者如想了解这个問題，可参看斯費德魯普等人的著作（1959年中譯本）。

然而，当表层海水被下降流带离海面，不再和大气圈直接接触以后，氧和二氧化碳这两种气体的含量立刻开始变化。植物在光綫照射下进行的光合作用，要吸收二氧化碳并放出氧。这种作用最后可能导致氧的过饱和。由于阳光透入的强度只有在一二十米內才足以使植物生长，因此产生氧的“光合作用带”只形成一个薄膜复盖在洋面上。在較下层有两种作用經常要减少游离氧的含量。第一是各种动物呼吸时从水中吸收这种元素并放出二氧化碳；第二是有机物质腐烂分解时也要引起相同的轉变。

大致說来，一个水团离开海面接触带愈久，它的含氧量也愈低，如此类推。但由于它原来的含量大小不一，同时，更重要的是在整个大洋中生物过程的强度并不是到处一样的，因而在不同的地方氧轉变为二氧化碳的数量也不相同，我們不能根据这两种气体的含量来推断水团“年龄”的精确数值。

除了在涡动很强烈的地方以外，两个方向相反运动的水团之間的边界层一般是几乎静止不动的。由于氧的消耗和氧含量的大小无关，因而在一定的距离上水团移动得愈慢，它

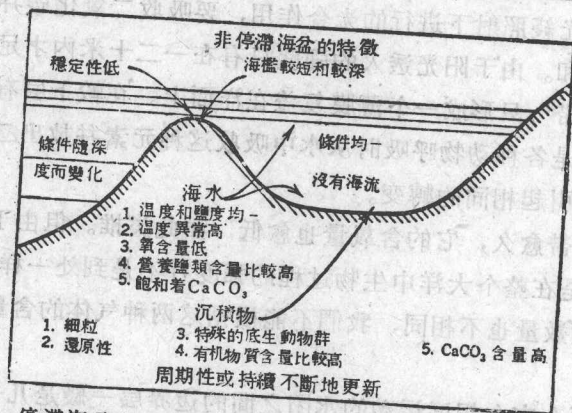
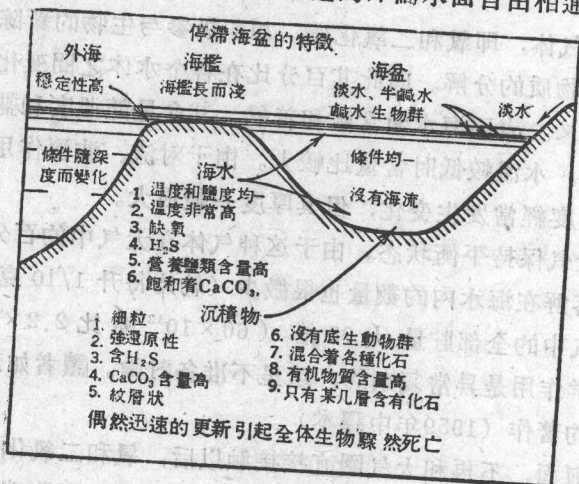
① 和碳化合在地壳石灰岩中的数量比較起来，碳在其他物质中的全部含量，甚至包括煤和石油沉积层的总含量在內，都是微不足道的。

所失掉的氧也愈多，而其他东西却没有变化。因为这时气体含量的差异并不大，又因为边界层当中的海水体积很大，所以正常的扩散作用很少能影响气体的分布。只有涡动扩散（涡流、内波和游泳动物引起的运动）才能把氧补给进来，防止氧完全被耗尽。因此，这种停滞的边界层往往以含氧百分率很低为其特征。这种缺氧现象时常表现得很显著，足以帮助海洋学者确定深海海流的界限。不过，既然氧含量降低的现象也能由别的原因所造成（例如，由于某一水层的消耗量特别大所造成），根据气体含量来推定海流的边界必须进行得十分慎重。

反之，比较高的含氧百分率往往是见于充气良好的海流中央部分。例如，大西洋的许多深水盆地被富含氧的寒冷底流所注满，而这大量的氧是从南极大陆附近的海面上得来的。

通气不良的海盆

通气不良对氧含量会产生不利的影响，这可以从许多几乎完全闭合的海盆所拥有的条件看出来。在与大洋或和外边的开阔水面自由相通的浅海中，经常进行着充分的交换作用，使氧获得补足。



2 停滯海盆和非停滯海盆的特徵。細綫為等密綫。(据佛林明和李維尔，載于特列斯克主編，1939，“現代海洋沉积物”，图10，美国石油地质学会出版)

滯的海水，这种通气不良的情况結果造成了很有趣的现象。我們在这里只討論最后一种

入口处被海檻限制着的部分闭合海盆可能具有各种不同的通气条件。如果海檻深度很大，海盆和外界之間的海水交换可以在海面以下很深的地方进行。这样，海盆的通气作用相当活跃，并且和較高水层的条件无关。如果海檻很浅，就可能出現几种不同的情况（图2）。

(1) 在蒸发或冷却等气候条件使表层海水密度增大的地方，这种局部变重了的海水发生下沉，充满了海盆的深部。結果較輕的大洋水会从海面上补充进来，而較重的海水則越过海檻流出去（图3，A）；(2) 当海檻非常浅的时候，它只能让海流流入，因此在气候干燥的地方，这种海盆内会繼續不断地聚集起盐分；(3) 在蒸发少于降水和逕流的地方，盐度低的海水从表面上流出，而較重的大洋水則越过海檻流进来（图3，B）。在最后一种情况下，十分浅的海檻后头可能积蓄着

海盆；其他几种留待以后谈到海流时一併加以讨论。

黑海、拥有浅水通道的许多挪威峡江、哈尔马赫拉岛北面两支臂间的卡奥湾(Kaø Bay)、以及许多同类的几乎封闭的海盆，都是通气不良的海盆的例子(Trask, 1939; Strøm, 1939)。在挪威的峡江内，正常的海水从外面流进来，充满了盆地的整个凹陷部分。这种海水保持

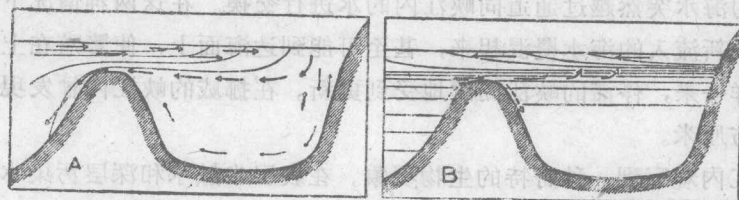


图3 A. 海盆水系在盆内形成，盆内海水越过海槛流出(“出流海盆”)；
B. 表层的“出流”密度很小，只有当密度较大的“入流”偶然越过海槛流入盆内时，海盆水才有更新的机会(“入流海盆”) (据斯费德鲁普等人，1942，海洋图37)

停滞不动，不过它的表层通常被来自周围陆地的淡水所稀释。表层的半咸水由于比重较小，甚至在寒冷的天气中也继续停留在顶上。它缓缓地流出海去，在海中散布开来，不再保持均一的成分。在峡江较深的地方，氧逐渐被消耗，当它全部耗尽时立刻开始出现硫化氢。自此以后除某些硫磺细菌以外，生物完全被绝灭。在海底沉积物内，硫化氢甚至在更早的阶段就开始出现(图4)。

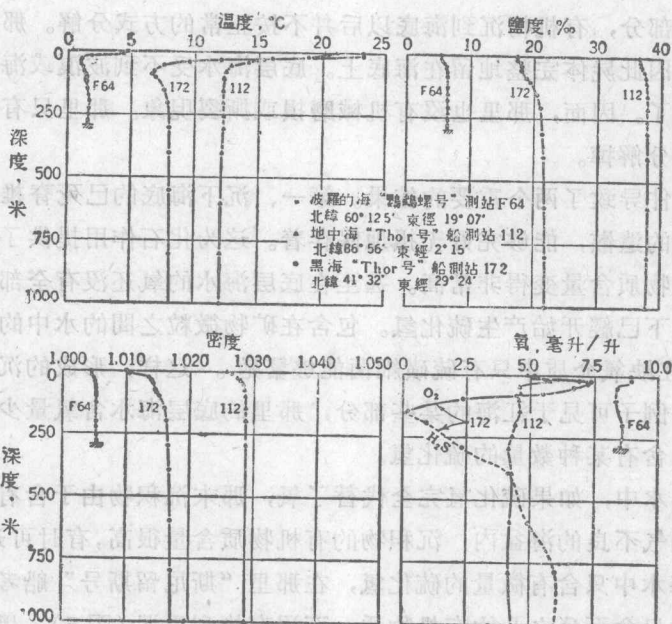


图4 温度、盐度、密度和溶解氧在不同类型海盆内的垂直分布。波罗的海—高纬度上的大型海盆。黑海—水流停滞的海盆。地中海—蒸发量极大地区的大型通气海盆。(据佛林明和李维尔，载于特列斯克所编“现代海洋沉积物”，1939，图9，美国石油地质学会出版)

海水中的硫化氢浓度各处不同，这随着海水停滞的程度而转移。在某些峡江内不断地进行着缓慢的对流，因此其中的条件比较均一，只不过硫化氢的含量向海底逐渐增大。在