

地球物理探测法小丛书

海洋地球物理勘探

刘光鼎 编著

地质出版社

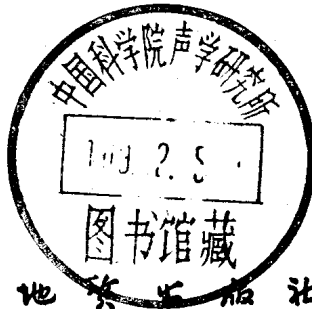
f6.29
85-9
2

DG50107

地球物理探测法小丛书

海洋地球物理勘探

刘光鼎 编著



4008880

地球物理探测法小丛书

海洋地球物理勘探

刘光鼎 编著

*

国家地质总局书刊编辑室编辑

地质出版社出版

地质印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1978年9月北京第一版·1978年9月北京第一次印刷

印数 1—6,800册·定价0.45元

统一书号: 15038·新318

前 言

海底蕴藏着哪些矿产资源？它们富集在何处？这是海洋地质勘探所要解决的重要任务之一，也是得到广泛关注和容易引起兴趣的课题。为了开发利用海底资源，不仅需要对各种矿产形成与富集的规律有正确的认识，而且需要使用现代化的技术装备，获取大量的直接间接资料，通过综合分析与研究，查明矿床存在的地质条件，而后才能有所发现。为此，本书试图通俗地介绍海洋地质中的一种主要手段——海洋地球物理勘探，扼要地阐述它的发展与当前国内外所采用的方法和技术，以期使读者对于勘探海底矿产资源有所了解。

本书初稿是文化大革命期间在广东完成的。作者对于第二海洋地质调查大队许多同志的支持与鼓励深深感谢。书中所附的照片，大多是北京地质仪器厂提供的，一并在此致谢。

目 录

一、海底矿产资源及其勘探	1
§ 1.1 海岸两侧的砂矿	1
§ 1.2 浅海石油与天然气	3
§ 1.3 深海固体矿产	7
§ 1.4 海洋物探	9
二、地震方法	14
§ 2.1 折射波法	15
§ 2.2 反射波法	23
§ 2.3 海洋地震震源	35
§ 2.4 地震记录仪器	42
§ 2.5 海洋地震观测	61
§ 2.6 地震资料的整理与解释	73
三、重力法	80
§ 3.1 重力测量原理	80
§ 3.2 海洋重力仪	84
§ 3.3 海洋重力观测	95
§ 3.4 观测重力异常值的统计	98
§ 3.5 重力异常及其解释	100
四、磁法	108
§ 4.1 磁力测量原理	108
§ 4.2 海洋磁力仪及其观测	112
§ 4.3 磁力异常区	120
五、海洋地质勘探条件	127

4008800

§ 5.1 无线电定位系统	127
§ 5.2 卫星导航系统	134
§ 5.3 综合导航系统	139
§ 5.4 调查船	143

一、海底矿产资源及其勘探

我们居住的陆地，约占地球表面面积的28%，其余72%左右为海水所覆盖，统称为海洋。海洋的总面积达三亿六千二百万平方公里。在这样辽阔的地域里，除体积庞大的海水中溶解着镁、钾、钠、钙、硫、锶、硼、铀等数十种金属盐之外，在海底还蕴藏着十分丰富的矿产资源，如沉积的铁矿、锰矿、铝土矿、各种盐类矿床，以及镍、钼、铀、钒、铜等硫化物矿床，还有煤、石油、天然气等。下面主要介绍海岸两侧的砂矿、浅海的石油与天然气和深海的固体矿产。

§ 1.1 海岸两侧的砂矿

岩石受风化作用而产生的大量碎屑矿物，经过河流的搬运和海水的分选，往往赋存在变化的海岸线两侧，富集成为滨海砂矿床。

砂矿大多在距离含矿母岩不远的地方，并受地貌条件的控制。海底阶地和古河床经常是海底砂矿床集中之处。

滨海砂矿中包含着许多重要的矿物原料。在我国发现并开采的砂矿中，有丰富的金红石、锆英石、独居石、锐钛矿、钛铁矿，以及金、铂、锡、铬等。在印度尼西亚和马来西亚附近海底开采的锡砂，占世界年产量的70%以上，是当前世界上锡的主要来源。其它如美国阿拉斯加的黄金和白金

则是海岸两侧砂矿中的著名产物，西南非洲的金刚石则是南非（在白人种族主义者统治下）和刚果附近海底深河谷中砂矿的贵重产品，到一九六五年已开采19.5万克拉。澳大利亚开采的海底砂矿床，每年能提供占世界总产量95%的金红石、25%的钛铁矿、87%的锆英石和75%的独居石。

应该指出，滨海砂矿中的这些有用矿物具有极为广泛的工业和国防用途。其中金红石的主要成分为二氧化钛，可作优质电焊条，也是发射火箭用的固体燃料中不可缺少的原料；钛及钛合金则是国防工业所需要的重要金属，用以制造飞机、舰船、潜艇和火箭的部件；锆英石中含有锆、钽、铪等元素，具有良好的放射性能，是应用于原子反应堆和核潜艇的矿物原料；独居石中富含稀有分散元素铈和钽；铈是能耐高温高压的合金材料，可用于宇宙飞船的外壳，钽具有超导电性和单极导电性，是发展空间技术所需器件的重要金属原料。

对于水下砂矿的勘探，主要应使用回声测深仪、旁侧声纳和浅地层剖面仪等地震声学仪器，来获取海底地形地貌的基本资料，查明水下阶地和古河道的位置，以及海底疏松沉积的分布。在此基础上，使用挖泥斗、取样管、浅钻或其它海洋地质采样设备采集底质样品，并在实验室内经过磁选和电磁选进行分离，而后鉴定其成分。根据情况，使用高精度核子旋进磁力仪和放射性计数器，还可以在采样前广泛地取得疏松沉积物的物性资料。此外，在勘探海底砂矿的过程中，必须详细查明有用矿物的物质来源、分布与富集的基本规律，其中包括与环境有关的侵蚀、搬运和水动力作用。

至于海底砂矿的开采，由于它赋存于海岸附近的海底表层，可以使用疏浚航道的挖泥船作为工具。

§ 1.2 浅海石油与天然气

大陆周围的海底，大多以地形较平坦、坡度较小为特征，通常称为大陆架。实际上，大陆架是陆地海底的自然延伸，虽然其地理位置上处于海水覆盖的浅海地区，但却具有与相邻陆地相同的地质构造和矿产类型。正是由于这种原因；早期的海底油气田，例如，美国的墨西哥湾和加利福尼亚沿岸、委内瑞拉的马拉开波湖、苏联的里海等，都是由陆及海，以陆地上的油气苗与油气田的分布作为线索，追踪下海而后发现的。

近海大陆架地区往往存在着巨厚的大型沉积盆地，同时还具备着适宜于油气生成与存储的地质条件。

石油是战略资源，对于国民经济建设有十分重要的意义。世界上的石油天然气勘探，在近二十年内已逐渐从陆地转向浅海大陆架，甚至有往深海大陆斜坡和大陆基发展的趋势。尽管在海洋上寻找油气已有八十年的历史，但蓬勃发展并迅速取得成效却是最近十年内的事。到一九七六年为止，世界上已有一百多个国家和地区在浅海大陆架上进行石油天然气的调查和勘探，其中有四十五个国家和地区已经取得成效，正在生产石油和天然气。在一九七六年内，海洋石油物探工作量达100万测线公里，其中海洋地震勘探生产76万测线公里，平均月生产效率为1252.8公里；海洋石油钻井共2044口，产油4.7亿吨，是当年世界石油总产量的16.5%。

曾经有人估算，世界海洋石油的剩余可采储量为228亿吨，占世界总储量的31.3%。这些储量在地理上分布于中东波斯湾、南美委内瑞拉马拉开波湖和帕里亚湾、非洲几内亚

湾、澳大利亚巴斯海峡和西北陆架，以及包括中国海在内的东南亚海域。在地层上，油气大多集中于中生代的白垩系和新生代的老第三系上部至新第三系中部，岩性大多是砂岩和灰岩。油气藏圈闭的类型主要是背斜与断层背斜等构造油藏，其次是地层油藏与构造地层复合油藏。

针对这样丰富的浅海油气资源，近年来的勘探活动是相当活跃的。勘探者的足迹几乎遍及世界上所有的大陆架。海洋霸权主义者则大肆掠夺。尤其是一九七三年十月资本主义世界发生的石油危机，更加剧了围绕着大陆架石油与天然气资源所进行的斗争。

寻找油气，主要应查明生油环境、储油构造和保存石油天然气的上下岩层的岩性情况。换句话说，无论在陆地还是海洋，油气勘探都是建筑在对于石油的生成、运移和存储规律的认识基础之上。古代的盆地，包括封闭的浅海和湖泊，是适宜于微体生物生活和大量繁殖的场所，同时也是容易接受有机质沉积的地方。经过亿万年的埋藏，这些生物遗骸和有机质逐渐转化为油气，再受地下水动力因素的作用而产生运移，直到进入适当的地质形体中，形成储油构造。一般地说，在储油构造中，含油层位上下的岩层应具备比较致密的岩性，才有利于油气的保存。在漫长的地质历史中，地壳一直处于不断的变动之中。地壳变动造成的断层或断裂，会破坏油气的聚集，在某些情况下也可能形成油气运移的通道，或者造成新的保存油气的条件。岩浆活动对于油气也有影响。高温下的岩浆将烤干其附近的石油，然而如果岩浆活动发生在油气运移之前，就也可能造成有利于油气存储的环境。对于油气的生、储、盖条件，我们要在勘探实践中反复、深入地加以认识。

在我国将近三百万平方公里的辽阔海域内，石油和天然气的蕴藏是丰富的，勘探活动也是十分活跃的。我国浅海大陆架宽阔，渤海完全是我们的内海，黄海、东海以及南海的南北两翼，都有面积广大、沉积巨厚的新生代盆地，其沉积厚度大多超过3—4千米，有的甚至达到5—6千米以上。只要我们认真地总结世界上海底油气田勘探的历史经验，广泛开展以地震勘探为主的海洋物探调查，优质高产地区获取原始资料，综合性地分析研究区域地质条件，从构造全局出发，慎重上钻，合理展开，就有可能在一个不太长的时期内，胜利地为祖国拿下海底大油田。

寻找埋藏在海底下面几千米的储油构造，必须广泛使用现代地球物理勘探方法。大量的勘探实例说明，海底油气田的发现与海洋地震勘探技术方法的发展紧密相关。当然，海洋钻探是必要的、不可缺少的，但钻探必须建筑在充分的物探资料，尤其是地震勘探资料的基础之上。许多情况下，钻探上不去或者钻探不能迅速见效的主要原因，就是地震资料不足，质量太差。

海洋石油物探的工作部署，一般采取下列三个阶段。首先，在未曾工作过的海域内进行测网为 8×8 公里或 10×10 公里的综合海洋地质地球物理区域概查。在船上使用海洋重力仪，在船尾拖曳核子旋进磁力仪，取得比例尺 $1/100$ 万— $1/50$ 万的海区重力场与地磁场的资料。同时结合地震勘探所提供的海底沉积层界面资料，划分海底沉积盆地的轮廓范围，圈定油气远景区。其次，对于综合概查中发现的构造带进行测网为 4×4 公里或 5×5 公里的石油普查，取得比例尺 $1/20$ 万— $1/10$ 万的图件资料。此时，应将重力仪沉放到海底进行精密的观测，采用多次覆盖技术，提高地震勘探追踪地震层位的

深度与可靠性，基本查明构造带的分布与特征，并发现局部构造。第三，为了给海上石油钻探提供孔位，提高钻探的命中率，还必须进一步提高地震勘探的详细程度与可靠性，在局部构造上加密测线，做 1×1 公里或更密测网的构造详查，提供比例尺 1/5 万以上的局部构造图。由于详查的目的是给钻探提供孔位资料，必须搞清局部构造的面积、闭合差、高点和地层展布，所以要求地震勘探努力消除各种干扰影响，包括多次重复地使用数字电子计算机处理地震资料，以确切地圈定此局部构造的形态，详细查明目的层位的变化和断层的分布。

海洋物探为海底油气田勘探提供重要的资料，但是它们毕竟是间接的，还必须经过钻探才能揭露所推测的含油气构造是否存在，储油层及其盖层的情况如何，以及是否确有油气存在等等。有了钻探资料才能验证物探资料解释的正确性。另一方面，即使在钻探见油之后，也还需要继续进行地震工作，甚至是多次反复的地震工作，才能摸清规律，查明油田储量，提供开发。

上述油气勘探工作，必须在石油地质理论的指导下进行。对于一个海区来说，虽然可以借助于邻区已有的地质成果来帮助分析判断，但更重要的却是在此海区内反复实践、反复验证所取得的认识。只有在实践中取得了完整的认识，基本摸清了区域地质条件和油气聚集的规律，才能有成效地开发海底油气田。

应该指出，浅海大陆架地区的矿产资源并非仅有石油和天然气。大陆架是陆地海底的延续部分，相邻陆地所赋存的矿产资源，只要地质条件相同或类似，大陆架上都有可能存在。在大陆架地区开采油气以外的矿产资源，不仅有许多

先例，也有相当长远的历史。在日本的濑户内海、英国和智利的近海，都已开采海底煤田。纽芬兰利用坑道通往海底开采铁矿。美国将高温热水注入钻孔，开采海底盐丘上的硫磺矿床。滨海底富集着大量的砂、砾和贝壳，是可作建筑材料用的另一种海底矿产资源。

§ 1.3 深海固体矿产

深海大洋底的表层，富集有锰结核和磷灰石结核。它们都是深海环境中以化学成因为主的自生矿物建造。尽管在近百年来已经不断地发现这些深海固体矿产，但只是在最近十几年内才提到勘探的议事日程上来。

锰结核大多分布于3500—6000米水深的深海大洋底。据统计，世界深海平原中有25%—30%为锰结核所覆盖，占面积达1380万平方公里。但是锰结核的分布并非连续的，它以 $N20^{\circ}-40^{\circ}$ ， $S20^{\circ}-40^{\circ}$ 地带内最集中，常作条带状。此外，在加勒比海海底高原等海岸区曾发现有锰结核，在水深较浅的海底和湖底也曾取得同类的样品。

近年来，大洋地质调查发现，锰结核在太平洋中分布的面积达1800万平方公里，富集量为10—60公斤/立方米。其中南太平洋的锰结核矿床多集中于海底高地，也出现于深海平原；北太平洋的锰结核属硅质软泥型，含量高，分布广。在大西洋中锰结核多属红色粘土型，含碳酸化合物；北部集中于布洛克海原和佛罗里达之东，中部海脊有被壳，南部出现于里奥格朗德海隆上。锰结核含有铜、锰、钴、镍和其它多种稀有金属与放射性元素、稀土元素。其含量情况见表1.1。一九七〇年休伯特估计锰结核的总量达三千万吨，太平洋、

表 1.1 大洋底锰结核的含量

地 区		铜(%)	锰(%)	钴(%)	镍(%)	
太平洋	南 部	海底高地	0.13	14.6	0.78	0.41
		深海平原	0.23	15.1	0.34	0.51
	北 部	—	1.16	24.6	0.25	1.28
大西洋	南 部	里奥格朗德海隆	0.90	—	—	0.14
	北 部	布勒克海原	0.08	13.9	0.35	0.18
		佛罗里达东	0.29	14.5	0.42	0.52

大西洋和印度洋各占三分之一。

陆地上开采这些金属的边界品位分别是：铜0.2—0.5%，锰20—25%，钴0.02—0.3%，镍0.2—0.5%。因此，勘探开发深海大洋底的锰结核，正在世界范围内引起广泛的注意和兴趣。可以预期，一旦锰结核得到工业性开采，它不仅能为世界提供数量巨大的金属原料，也势必改变世界工业原料的供求结构，甚至冲击一些国家的原料出口和收入。

深海大洋底锰结核的调查，主要使用深水测深仪测量海水的深度和海盆洋底的地形，深水地层剖面仪查明洋底表层沉积的分布及其厚度，旁侧声纳扫描洋底取得地貌资料，但更多的是利用拖网收集洋底样品，或者用无缆取样器采取洋底样品之后自动起浮返回海面。对小范围内的锰结核分布情况，有时还使用深海电视和深海摄影进行直接观测。至于开采技术，目前正在试验研究的有循环采掘法、连续铲斗法、水力吸引法和气升水压系统的采掘技术。

磷灰石结核主要分布于陆架外缘，以及陆坡上部陆源沉积速度缓慢而生物群丰富并有大量有机物存在的地区，其水

深一般大于 400 米。最早发现于南非好望角及美国加利福尼亚南部，随后在美国东海岸、拉丁美洲西海岸、日本、太平洋中部、印度洋诸岛岛架、非洲索马里海岸等地均有发现，而以新西兰东面 500 公里、水深 1000 米的查塔姆隆起上的发现含量最富。现在美国加利福尼亚西南海底已正式投入开采，推测储量达 10 亿吨。

磷灰石结核不仅能为农业提供磷肥，而且能为化学工业和医药工业提供磷原料。

最后，应该指出，一九六五年在红海内水深 2000 米以上的一条巨大的年青断裂带中首次发现多金属软泥，随后又在三个深海渊的沉积物中相继发现。红海底这种软泥的厚度达 30 米，其中平均含铁 29%、锌 3.4%、铜 1.3%、铅 0.1%、银 54 克/吨和金 0.5 克/吨。估计总储量达几十亿吨，其中锌为 290 万吨，铜为 110 万吨。多金属软泥是高温卤水成因的，与红海地堑的近代火山活动使炽热的含矿液体沿海底断裂上升有关。目前对于多金属软泥的开采和利用还很少谈论，但通过它来了解现代金属矿床的形成过程则是具有重大科学意义的。

§ 1.4 海洋物探

地球物理勘探，简称物探，是现代地质勘探的重要手段之一。它应用物理学的原理和技术，在地球表面的陆地上、海洋上，甚至在空中，查明各种物理场分布的特征，进而阐明地质构造，寻找矿产资源。海洋和陆地条件上有许多不同之处。仅仅一层海水之隔，就要求海洋物探采用一系列有别于陆地的技术方法，才能在海洋地区获取地质资料。

物探包含有多种方法，其中最基本的是地震、重力、磁力、电法、放射性和地热等六种。每种物探方法都有几个变种，使用的仪器也不同，而且随着勘探要求的深入和新技术的引用，又都处在不断的发展之中。现仅就其中最基本的方法，说明其物理依据和应用范围（表1.2）。

应该指出，地热方法是用固定间距的一对热敏电阻测定

表 1.2 物探方法的依据与应用范围

物探方法	物理依据	物性依据	观测方式	应用范围
地震	弹性波（地震波与声波）的反射和折射	传播速度	船上连续观测	地壳研究，区域地质调查，油气构造的普查与详查，煤田勘探，工程地质条件及其它调查
重力	万有引力与离心力	密度差	船上连续观测 海底定点观测	地壳研究，区域地质调查，油气构造普查，煤田以及铬铁矿等特殊矿床的勘探
磁力	地球磁场	磁化率 剩余磁性	船上连续观测	区域地质调查 磁性矿床的勘探
电法	自然电场 直流电场 电磁场	大地电流 视电阻率 磁导率	已有实验性工作，但并未在海上实际应用	基岩调查，金属矿床的普查与勘探，地下水调查
放射性	放射性	放射性	连续观测	放射性矿床的勘探，地质构造普查
地热	热流量	热传导率	大洋底热流量调查，在勘探中很少使用	地下热水、裂缝及有关特殊构造的调查

海底沉积中的温度垂直梯度，它与沉积物的导热率的乘积称为热流量。近年用这种方法在深海大洋中测量底部热流取得很大进展。已经查明，构造稳定的大陆与大洋内，热流值分布均匀，只在构造活动的边缘海、岛弧、海沟地区才有热流异常。热流值自海沟向岛弧到深海盆地，由低平均值向高平均值逐渐过渡，恰好与地壳结构及上地幔起伏直接有关，从而与地震震源深度也有一定的联系。这样就有力地支持了海底扩张说，对地质理论的发展作出了贡献。但是迄今为止，在海洋地区的找矿勘探活动中还没有使用地热方法。电法勘探是陆地广泛使用的物探方法，在寻找金属矿床时往往具有明显的效果。它的具体方案和形式很多，包括使用地球本身的自然电场和人工激发的电场，而后者又有低频、高频、甚低频的等等，近年在航空测量中应用取得成效。但是电法勘探在海洋上的应用却极少收效，除苏联曾用偶极测深在里海进行多年试验之外，没有更多的工作。放射性方法是寻找放射性矿物伴生矿床的直接手段，在陆地上普遍应用。但由于海水对电磁辐射能有强烈的吸收作用，造成在海洋地区内使用盖格计数器或闪烁计数器进行放射性测量的困难。目前勘探海底含放射性矿物的泥砂，一般都是通过采集泥砂样品之后，在实验室内分析、鉴定其中放射性矿物的含量，而后从取样站位的分布中确定其富集地段。

这样，在表1.2中所列六种基本的地球物理勘探方法中，在海洋地区主要应用地震、重力和磁力三种方法进行找矿勘探。通过它们查明海底的沉积与构造等地质条件，再根据各种矿产资源的富集规律，进行综合地质研究并逐步加深认识，找出其最有远景的地段，为钻探提供依据。

应用物探方法解决实际问题，必须要求它们具有充分的