

# 海上地球物理勘探

(译名) 罗央罗央罗央  
 罗央罗央罗央  
 罗央罗央罗央

中南矿冶学院  
 图书馆藏

中国工业出版社

## 前 言

海洋地球物理勘探方法在最近十年內开始广泛应用。这些方法在海洋地质学领域中占重要地位，它用来解决以下两类基本問題：大洋区内地壳深部构造的研究与陆棚区内地壳表层（或沉积盖层）的詳細地质研究。

广闊地区深部地质构造資料的主要来源靠重力、地震与磁法的地球物理調查。綜合应用上述方法可以測定海洋水下地壳的厚度，并且在空間內将地壳划分为具有各种物理-地质性质的地层。缺乏占整个地球面积70%以上、有关大洋构造特点的資料，就不可能闡明整个地壳发展的理論，更不可能对大地构造进行完整的系統化和分类。此外，研究大陆与大洋之間的过渡带，对論証現代地槽与其中所发生的地质构造过程的成因和結構有很大意义。

本书将不包括地壳深部构造研究的綜合地球物理方法，因为这个問題是独立而广泛的課題。本书介紹在海的陆棚区进行調查时所用的地球物理勘探方法，目前正在陆棚区进行着緊張的寻找油、气藏的工作。

苏联于三十年代开始进行海上地球物理勘探工作（长期在里海西南部进行）。早在1927年，在伊里奇港填滿了海水的地段上就已进行了钻探。1935年在阿尔秋姆島地区內，在人工小島上打了第一批探井。钻探結果表明，延伸到海底的油层有强大的生产能力。以后随着地质普查工作的大規模进行，发现并开发了下列大油、气田：油石头（Нефтяные камни）、日洛伊島（О. Жилой）、达尔文浅滩（Банка Дарвина）、砂島（О. Песчаный）等。

阿塞拜疆陆棚的总面积（到200米等深綫），根据近似的計算，大約为30,000平方公里，而这个地区比陆地上的可能含油、

气沉积大1倍。邻近土庫曼、达格斯坦与恩巴的海区的含油、气远景也是不小的。因此，显而易见，里海中的地质-地球物理調查有多么大的国民經济意义。

許多地球物理学家們在很多年內探討了对于海区地球物理勘探有重要意义的海上地球物理工作的方法与技术的基础。現在已經选定适于海上地球物理勘探用的最好的仪器与装备类型；在很大程度上研究了水介质中的物理过程；設計出專門的仪器；探討过高效生产的与有效的观测方法和技术。此外，已經积累了对于进一步部署海上地球物理工作有科学意义与实际意义的大量实际資料。

在阿塞拜疆內对于解决石油地质問題，以及部分地对于各种工程地质調查所研究的地球物理勘探的方法与技术，也成功地应用于苏联以下海区：亚速海、黑海、巴伦支海与鄂霍次克海。

近几年来，海上地球物理勘探，尤其是地震勘探，使用得更广泛，而且不仅遍布于广闊的陆棚地区，还布及于深度达1,000米的較远海区。

本书介紹里海区海上地球物理勘探工作的經驗及其現狀。

由H.И.沙皮罗夫斯基写第一、二、四及五章，由P.М.噶吉耶夫写第三与第六章。

編写本书时，作者参考了阿塞拜疆石油开采科学研究院与海洋地球物理勘探管理局的联合組織“阿塞拜疆石油”（Азнефть）的資料，与苏联地质保矿部全苏地球物理勘探研究所的資料。

# 目 录

## 前 言

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第一章 研究海洋地质学的现代方法          | 1   |
| 第二章 地震勘探方法                | 16  |
| 1. 地震波在海中的传播              | 17  |
| 2. 地震仪器                   | 33  |
| 3. 观测方法与技术                | 50  |
| 4. 解释的几个问题                | 75  |
| 第三章 重力勘探                  | 88  |
| 1. 海底重力仪                  | 90  |
| 2. 海上重力测量工作方法             | 94  |
| 3. 野外工作的组织与技术             | 96  |
| 4. 海上重力勘探资料的整理            | 99  |
| 第四章 电法勘探                  | 104 |
| 1. 連續双边軸向偶极测深法 (HДOЗ)     | 104 |
| 2. 电剖面法                   | 110 |
| 3. 仪器和輔助装备                | 114 |
| 第五章 海上地球物理观测点位置的测定        | 117 |
| 第六章 海上地球物理勘探方法的綜合应用       | 127 |
| 1. 研究海区区域地质构造的綜合地球物理方法    | 128 |
| 2. 用来普查和詳細勘探海底构造的綜合地球物理方法 | 135 |
| 参考文献                      | 141 |

# 第一章 研究海洋地质学的现代方法

阿塞拜疆境内，为寻找与勘探油、气构造而进行的海洋地质研究，首先在里海西南沿岸地带的范围内开始（图1）。很早以前，包括巴庫群島与阿普歇伦群島在内的此海区的直接与間接油、气显示，就已引起許多著名地质学家們的注意〔32〕。

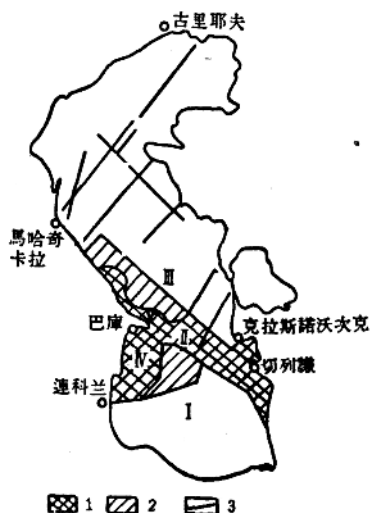


图1 里海的地球物理研究程度

- 1—地球物理研究面积；2—面积地震测量区域；3—区域地震剖面。I—南里海盆地；II—阿普歇伦石滩；III—中里海盆地；IV—巴庫群島；V—阿普歇伦群島

卓越的高加索研究者Г.В.阿毕赫（Абих）院士給出巴庫群島地质构造的初步資料（1859年）。随后，于1888年，Н.И.安得魯索夫（Андрусов）指出里海海底地形与其周围陆地地段大地构造的关系，特别是，Н.И.安得魯索夫认为，将里海分割为两个深水盆地的“水下横堤”（Подводная перемычка）是高加索山系与土庫曼山系之間的連結部分。

如果不考虑由于泥火山的水下喷发与海面上的大量天然气显示而引起航海家与地质家的个别观

测，則于上述早期調查之后，几乎有30多年沒有进行过里海海区的地质研究。

只是在1921年才出現К.П. 卡里茨基 (Калицкий)、С.Р. 祖別爾 (Зубер)、М.В. 阿布拉莫維奇 (Абромович)、С.М. 阿普列索夫 (Апресов)、С.А. 柯瓦辽夫斯基 (Ковалевский)、М.Ф. 密爾欽科 (Мирчинк) 等的許多著作，其中給出西南里海各島的地貌特点；描述泥火山的活動情況并闡述近海岸帶大地構造的一般綱要圖。這些綱要圖大部分是推測性的，因為那時只有很少的實際資料能用來繪制它們。雖然如此，水上地質調查對於海洋地質的研究無疑是有意義的，因為里海西南部的大量島嶼都是堅固岩石被沖毀的遺迹，它們可以給出海區構造的一般概念。在有泥火山源的島嶼上可以觀測到泥火山噴口的圍牆，它們的噴發“器官” (аппарат) 與噴出的固體產物，根據這些情況可以在某種程度上判斷剖面的年代與岩性、岩相成分。雖然如此，水上地質調查的結果畢竟是極有限的，因為島嶼範圍不大，而且通常屬於大部分為水覆蓋着的個別構造單元。

為了詳細研究水下構造，並為深探井作準備，必須綜合使用陸地上所應用的全部地質找礦工作方法。然而，海上勘探工作的獨特特點要求採用新的工作方法與技術手段。早在1931年就已開始探討過這些方法與技術；1945年開始了海區的廣泛而有計劃的地質研究；在最近十年內，這個問題才獲得最大的進展。А.А. 阿里扎德 (Али-заде)、А.К. 阿立耶夫 (Алиев)、Г.А. 阿赫美道夫 (Ахмедов)、А.М. 阿赫美道夫、В.К. 巴巴扎德 (Баба-заде)、М.В. 克蓮諾娃 (Кленова)、В.И. 庫里科夫 (Куликов)、М.К. 馬美道夫 (Мамедов)、В.И. 美立克巴沙耶夫 (Мелик-пашаев)、А.Л. 普特卡拉澤 (Путкардзе)、Д.М. 蘇列曼諾夫 (Сулейманов)、В.Ф. 索洛維耶夫 (Соловьев)、А.А. 雅庫鮑夫 (Якубов) 等地質調查家在海上各種綜合地質勘探工作中起了巨大作用。

現代研究海區地質的方法幾乎包括全部的陸地上所應用的各種形式的勘探工作，僅個別調查方法所採用的技術與陸地上不同。在著作[67]中給出最有益於海上尋找新油、氣構造的各個方

法的比較評價。如果更廣泛地來討論這個問題，並且考慮到近幾年內所得到的結果，則為了研究海区地質構造，可以合理的組織，並確定出下列各種地質找礦工作：

- 1) 地貌調查；
- 2) 海底沉積物的研究；
- 3) 航空攝影測量；
- 4) 地球物理勘探；
- 5) 制圖鑽；
- 6) 構造普查與勘探鑽。

這些方法的結合與綜合應用的順序決定於測區研究程度的狀況以及提及勘探的地質任務。

構造普查與勘探鑽的主要特點為：安設井孔必須要專門的水工技術建築裝置（堤壩、棧橋、基礎等），這就關係到海上鑽井的組織和技術供應的困難問題。同時，海上深井的安設裝備與技術工藝幾乎和陸地上沒有什麼不同。上述綜合地質勘探工作的其他單元也都有許多與海上進行地質找礦工作的特殊條件有關的方法與技術差別。為了評價地球物理勘探在總的綜合地質找礦工作中的意義，我們簡短地談談每個綜合單元的實質與應用的可能性，而主要注意力集中於地球物理方法。

**地貌調查**是以海底地形與其地質構造之間存在的相互聯繫為基礎的。很早以前，許多學者[39, 40, 80]就已經指出這種相互聯繫。在海底地形的形成中，除開流體動力過程以外，構造力（包括現代地殼振盪運動）起着很大的作用。M.B. 克達諾娃[40]指出：“在海中，具備着可以在長時期內保留過去古代遺物的有利條件”。

海底地形的研究，除開普通水文測量以外，還廣泛地使用最新的回聲測深自記儀（эхолоты-самописцы）。沿着相當致密的航向網，通過連續的海底剖面測量（記出地形記錄）來進行回聲測深。所得到的記錄（回聲記錄）用來繪制地貌剖面與海深圖；在許多情況下，這些圖件可以獲得海底地貌單元的位置與特點的

一般概念。

应用綜合調查方法（回声測深与底部沉积样品的研究），并将海深图与地球物理資料相比較，可以更可靠地識別出海底地形的形状組合，并給以成因解釋。

里海海底地貌的研究（M.B.克達諾娃、B.Φ.索洛維耶夫等）从1945年开始。分析深度图与地质地球物理資料（主要是地震勘探），可以确定出南里海底的构造十分复杂。在大多数情况下，它的形态决定于构造表現：正的地形相当于背斜构造隆起，而負的地形相当于洼地和拗陷。

地貌調查是研究水下地质的一個阶段。在最近几年內所作的里海、黑海、巴伦支海与鄂霍次克海的深度測量，可以获得上述盆地区域地质构造的新的和有意义的概念[75, 80]。

**海底沉积物的研究是用来进行海底地质制图的** 在这种調查中，采集并分析現代沉积物具有重要的意义。这种調查在近岸浅水地区內可以通过潜水下沉容器（Спуск）来进行。在这种情况下也可以取基岩样品，并測量其产状要素。然而，在海洋近岸部分与深水部分研究現代沉积的比較通用的方法是利用各种海底挖泥机和取样管获得底质样品与底部生物标本。活塞取样管的現代结构可以取得长达10米以上的底质柱。

通过底部沉积的研究，編繪出反映現代沉积形成过程的底质图。海区是自身状态变动最大的地段；在此地段內底质測量通常与水文地质工作和水化学工作同时进行。

对各个海的大量調查結果表明：在負的地形起伏地区內，聚集并沉淀了均匀的、厚厚的現代沉积物盖层。在水下高地上，現代沉积的厚度不大，砂粒与重矿物的含量高。M.B.克達諾娃将这种緩慢沉淀的地段看成“部分地继承先前地质发育阶段的相对隆起地区”[75]。

里海沉积的系統研究是从1932年开始的。以后曾用詳細的底质測量方法檢驗过所得的資料，其結果在文献[56, 75, 85]中均有詳細闡述。

对于石油地质最有意义的是进行于1945年~1948年的詳細測量 (M.B.克達諾娃、Д.М.苏列曼諾夫等)，这种測量与其它方法联合有可能闡明阿塞拜疆水下斜坡范围内的海洋沉积的規律和机理。对此海区所編繪的底质图給出底部沉积的岩石矿物成分及其分布 (与海底地貌、水流速度、构造等有关) 的概念。利用回声測深仪获得海底沉积表层构造的有意义的資料。回声測深仪在記錄带上記錄出厚度为几十米，在个别情况下为几百米的表层沉积物的层理。

**航空摄影測量**基于利用安設在飞机專門裝置上的自动化仪器来拍摄海底〔7〕在飞行測量过程中，飞机航行的速度决定于航空摄影机所容許的图象偏移，不应超过180~220公里/时。

海底摄影是复杂的，并且不总是可以實現的过程。航空摄影測量的結果在很大程度上决定于海面的光度、水的透明度、波浪与底质的反射能力。由于海面上光的反射、海水层中光的吸收与散射产生了附加的困难。在現代的技术条件下，海底摄影測量只能在許多自然条件有利地配合下，在海深达7~9米，个别情况下达17米处进行。

航空摄影測量最困难的工序是航空照片的解释或分析。根据海底的肉眼观察、潛水下沉、取底样品以及專門的浅井钻探就可以判断进行解释的可能性。此外，为了确定进行解释的可能性而研究岩石性质，要求有島屿 (如果有島屿的話) 和邻近陆地地段的地质构造知識。通过海底航空照片的野外地质解释，可以得到类似陆地地层图的摄影图片。航空照片的綜合解释可以闡明某种岩石的地区分布、褶皺的存在、它們的构造及地层的平移断层破坏。

航空摄影測量适用于海底为岩性上分異的基岩所复杂化的地段。存在有現代沉积层时，摄影图片为均匀的。

用航空摄影測量方法进行海底地质研究的想法不止产生过一次。早从航海实践中得知，在飞机上要比在船舷上能更好地看到水下所存在的物体。1923年，C.P.祖別尔在风平浪靜的天气下，

在里海上空飞行时清晰地看到深度达 10 米的巴庫群島的海底构造。同时，能很好地区分开水下的石灰岩露头和小泥火山。

海底摄影法要求創造出專門的仪器以及相应的观测方法。在成功的試驗調查之后，在 1950~1953 年期间，与其它地质方法綜合，完成了里海西岸海区的航空摄影测量。作出的海底地质图可以获得巴庫群島北部与阿普歇伦半島周围近岸浅水地带內的某些构造的补充資料。在达格斯坦沿岸曾經用航空地质工作闡明中、上薩尔馬特阶石灰岩的新的水下礁石（Гряды），它們圈出伊茲別爾格-卡亞讓特（Изберг-Каякент）构造綫的海底褶皺的輪廓。

**制图钻** 因为現代沉积层与水层复盖着海底，众所周知，陆地上的地质制图方法不能在海的条件下应用。因此，海上近岸地区的地质测量是用制图钻进行的。这个方法用以划分和追踪組成所测构造的沉积剖面中的标准层位。經驗証明，能很好地对比出在海底出露的分界面：阿普歇伦阶—生产层与生产层—蓬特（Понт）阶。在某些情况下当测綫相当密时，用制图钻能成功地划分出并追踪海洋构造上的断裂带。此时，地层倾角的显著变化、分界面的偏移、褶皺岩石的存在等都作为特征标志。

1936 年 А. М. 鮑別金（Победин）利用漂浮钻机开始打制图钻。在此时期內，第一次对阿普歇伦半島周围构造（馬尔达克揚隆起及日洛伊島地区等）的近岸地段編繪出海底地质图。

从 1950 年起，海上制图钻获得广泛的发展。为此，应用装备精良的船只，船上安装着在水深不超过 30 米时可以钻深度达 120 米的制图井的钻机[56, 67]。用制图钻井发现巴庫群島和阿普歇伦群島的浅水地带內的大量背斜构造。在海底基岩出露或者为厚度不大的現代沉积层复盖的构造隆起部分，获得最明晰最可靠的结果。

**地球物理勘探方法** 海上的勘探地球物理方法和陆地上一样，都是以物理原理为依据的。基本的差别为完成观测所应用的

① 工作方法、②仪器以及技术条件。

重力勘探、地震勘探、电法勘探与磁法勘探用来研究海区的地质构造。下面我们讨论这些地球物理勘探方法中的每一种方法。

重力勘探是基于研究地面上的重力场及与其有关的量。众所周知，重力是两个等作用力：物体所受到的来自地球全部质量的各方面的引力与地球绕其轴旋转所引起的离心力。

地球的各部分都为密度不均匀的质量所填满。因此，重力场的构造复杂，与均匀质量的和不动质量的动力场不同。

由于这个缘故，在地面上或者在地面以上所观测到的重力场都决定于地球内部质量的分布，所以，重力测量学可以用来确定地球的內部构造。为此，必须使观测重力场与某个标准相比较。选择均匀的旋转椭球体作为表示理想地球重力作用的标准，对于这种椭球体可以从理论上计算出任意点上所谓的正常重力值、观测重力值与理论值（或正常值）之间的差称为在此点上的重力异常。用 $\Delta g$ 表示的异常值以毫伽（ $\text{mГЛ}$ ）为单位测量。

在地面上观测到的重力异常是在不均匀分布的质量作用下发生的，因而，它反映出地球上地质构造的特点。显然，正的重力异常可以指示出较致密的岩石接近于地面。解答关于某个异常是相当于怎样的地质体的问题，在大多数情况下是多值的。因为观测重力场与深部构造的许多独立参数：密度、形状、体积、产状条件等有着函数关系。这就是将重力测量学在很大程度上作为一种定性方法的原因。

观测到的与地壳表层不均匀性有关的重力异常很小，通常不超过整个重力值的几百万分之一。因此，用很精确和灵敏度很高的仪器在野外（陆地与海上）来测量重力。振摆仪与重力仪都可以应用来测量。

勘探石油时，主要应用测区在具有一定疏密程度的观测点均匀重力测量。测定向重力值及其异常的结果表示成重力图与剖面图。在重力图上作出异常值相等的线——等异常线。作等异常线的方法和地形图上作等高线的方法相似。根据测量结果所作的重

力图与剖面图是地质解释的基本资料。解释时，不仅要考虑重力场的一般性质，而且还要参考测区地质剖面的密度特征以及其它地质-地球物理调查的成果。

重力测量是区域性石油调查的基本方法之一；它可以为进一步详细勘探划分出含油、气远景区。在个别情况下，根据重力异常所作的构造分区可以发现有利的岩相分布界限以及与其有关的含油、气区的一般轮廓。在阐明地壳表层构造并普查构造形态时，重力勘探的可能性受到某种程度的限制。为了解决这些问题，要求具备如下的有利条件：沉积层的密度分异明显存在有岩层倾角相当陡的巨大褶皱，以及存在着陡斜阶梯和区域性断裂等。在研究盐丘构造时，重力测量的勘探可能性最大。在重力图上，以很大的重力低的形式良好地划分出由水化学沉积物组成的单个盐丘。在岩石密度差别不太以及剖面中没有相当明显的不同密度的分界面的地区内，在重力图上常常反映不出正常的褶皱。

因此，重力测量能最有成效地解决含油、气区的普查勘探任务，而在已知地质条件下，它能给出个别构造的位置与基本构造线的轮廓的定性图形。

重力测量是在里海开始应用的第一种地球物理方法。1929年Л.В.索洛金（Соркин）曾经在这里进行过振摆仪观测，随后于1935年~1936年内В.В.费登斯基（Федьинский）继续进行工作。此时，测量是在顺路的油船上沿港口城市间的航线进行的〔83，89〕。

以后，在1950年~1951年期间，于专门的船上进行了振摆仪测量。仪器得到很大的完善，解释方法也有所改进。

从1955年起，开始应用安装在船舷上的强阻尼重力仪进行区域性测量。里海与鄂霍次克海的试验观测结果表明，这种重力仪的精度比振摆仪器高得多〔90，91，92〕。对于重力详查工作来说，广泛地应用要放置于海底的远距离的遥控重力仪（海底重力仪）。苏联第一台海底重力仪已经制成，并在克拉斯诺沃茨克湾与阿普歇伦半岛附近试验用过（1949年）。在近几年内作出几种

海底重力儀的系統（助動的、石英的等）。重力儀器的不斷完善和觀測技術的不斷改進，使得現在能在海深達 250~300 米的深處，以 0.3~0.5 毫伽的精度進行測量〔P. M. 噶吉耶夫、B. A. 拉斯金娜（Ласкина）等〕。

利用阻尼（Затушенные）重力儀在三腳架上進行海深 1.5 米的近岸地帶與海灣內的觀測。這種測量的精度不超過 0.4~0.5 毫伽。里海與其它海区重力觀測經驗表明，通過一般的重力測量可以進行構造分區，而陸棚上的詳細工作可以追索基本構造單元和個別的局部構造。

**磁法勘探是最古老的地球物理勘探方法** 它的基础系建立在地球表面磁力分布的研究上。磁力在地面每一点上都有其强度值，其单位为伽偶。与重力勘探中的重力一样，地磁除开区域性变化外，还有与岩石磁性分異有关的地方性变化，或局部变化。铁矿石与噴发岩有最大的磁性。作为普查含油、气构造对象的沉积岩具有微弱的磁化率。用来解决測区各种地质构造問題的磁異常值基本上决定于岩石的磁特性。

在海上应用連續記錄的航空磁力儀来研究磁場。这种儀器安装在有拖曳吊籃的飞机上。

在 500~3,000 米的飞行高度上进行觀測。航空磁力儀的記錄可以測定地磁場强度总向量的模量变化，誤差为  $\pm 5 \sim 10$  伽偶。將觀測結果加以相应的校正后，表示成剖面图和表征出測区磁場分布特征的图。

在里海（1950年~1951年）、亞速海和鄂霍次克海，以及在太平洋上自千島群島向东都进行过航空磁測。測量資料指出，磁異常与地壳区域构造的基本特点的緊密联系。磁異常是由地形、結晶基底的岩石成份变化、深断裂等所引起的。

应该指出，在大多数情况下，磁異常的解释具有定性的性质，因为磁力測量反演問題的解答与重力測量一样，都是多值的。应用地震和重力的資料来解释时，磁測結果是比較精确的。

航空磁測的方法与技术基本上和地面磁測沒有差別。在巴发

表的許多著作[81, 91, 58]中都很好地說明过这个問題。在研究水下地质时, 磁測方法的地质效果将在“海上地球物理方法的綜合应用”(第六章)中闡述。

电法勘探中的电阻法是以岩石导电率的差別为根据, 即以它們在不同程度上传导电流的性质为依据。这些性质决定于1立方米岩石的視电阻率值 $\rho$ , 它的量綱为欧姆-米。各种岩石的視电阻率在很大的范围內变化, 自几分之一欧姆-米(例如硫化物等)变化到几十, 甚至几十万欧姆-米(石灰岩、砂岩、硬石膏、噴发岩等)。岩石电性的这种显著分異使得能根据它們視电阻率的研究来判断勘探地区的地质构造。为了解决构造地质問題, 有根据应用直流与交流的人工电場、自然电場与电磁場的各种电法勘探方法的分支。

海上电法勘探中, 目前只用电阻法。电阻法是根据岩石視电阻率的測量进行构造地质制图的方法。为此, 用电极 $A$ 与 $B$ 将电流自电源通入大地。在 $M$ 与 $N$ 两点之間来測量电位差。知道了电位差、电流值与电极之間的距离(装置系数), 就可以根据电場在三度空間內分布的已知規律, 測定岩石的电阻率。

岩石在自然产状条件下很少是均匀的, 它們的电阻率在水平方向和垂直方向上都在很大的范围內变化, 因此, 所測量的电阻率为平均值, 称为岩石的視电阻率( $\rho_x$ )。

在規定的調查深度时, 用电剖面来进行視电阻率的研究。用电測深研究岩石电阻率随深度的变化。

偶极剖面 and 微分剖面在海上电法勘探中得到了应用。測量結果表示成  $\Delta U$  与測綫上測点之間距离的关系图形。如果电剖面是在背斜构造上完成的, 則随复盖沉积与組成构造的沉积的視电阻率相互关系的不同, 褶皱的隆起附近部分将表现出升高的或降低的电阻率。褶皱两翼的傾角在图形上以不同下降陡度为特征。在均匀地布置电剖面的情况下, 某个面积上的 $\rho_x$ 分布的概念, 可以用編繪等电阻率图或等欧姆图的方法求得。在等欧姆图上的电阻增高或降低的地帶, 可以定性地判断埋藏不深的构造的輪廓、它

們的軸向、其兩翼的傾斜。在海底沉積之下埋藏不深的、不同電阻率的陡斜地層的詳細制圖時，用電剖面測量可以獲得良好的結果。儘管電剖面法有上述眾所周知的優點，但是，對於解決比較複雜的地質普查問題來說仍舊很少奏效。

電法勘探的進一步發展與電測深法的應用有關。有許多種電測深的方案，它們彼此以電極位置與其移動方法而不同。然而，對稱測深與偶極測深這兩種方案有實際意義。在海上電法勘探中成功地探討並應用了偶極測深。

電測深的結果表示成  $\rho_x = f\left(\frac{AB}{2}\right)$  圖形，它的解釋是根據對比實測曲線與理論計算曲線（量板）。按照圖形測定出地層的電性與埋藏深度。在有多層介質與不均勻介質時，以及在地層傾角超過  $15 \sim 20^\circ$  時，很難定量地解釋圖形。在有利的條件下，根據垂向電測深曲線測定地層埋藏深度的誤差達實際深度值的  $\pm 10 \sim 15\%$ 。在地電剖面中有顯著不同於上復沉积电阻率的無窮大電阻率標準層位時，電測深的測量能給出良好的結果。根據標準電層位所作的構造圖反映出測區的構造。

1931年在伊里奇港（Бухта Ильича）地區〔比比愛巴特（Бибибат）〕內首先進行海上電法勘探工作。於1932年內開始全面地探討海上電法勘探的工作方法與技術〔С.Я.黎特文諾夫（Литвинов）、Л.В.阿爾哈羅夫（Архаров）等〕。這個方法很快就用到生產上了，並在1933年之前就用於阿普歇倫半島的近岸地帶內。這裡主要探討了間距  $AB=1,200$  米和  $A_1B_1=1,800$  米的對稱裝置  $AMNB$  剖面法；這種方法保證定性地研究深度大約為  $250 \sim 300$  米的剖面。由於完成了電剖面測量，對海的近岸帶編繪出等歐姆圖，將等歐姆圖的極小解釋成背斜構造頂部導電生產層的沉積埋藏不深的地段〔48〕。在海深不大的地帶內（等深綫達20米），曾經發現幾個構造（馬爾達克揚、砂島等），它們後來都為地震勘探與鑽探所証實。在長時期間斷之後，海上電法勘探工作於1951年重新恢復起來。在1951年～1954年期間內，曾討論出對構造

頂部制图的仪器和工作方法，利用調查深度不大（达10~15米）的微分裝置。在船行進中，应用半自动与自动記錄进行測量。此外，还研究过海流位、电极极化、大地电流等問題。

微分裝置剖面法最有成效地应用于追索达格斯坦沿岸薩尔馬特阶石灰岩的水下礁石。在阿塞拜疆水下斜坡上，用微分剖面法可以圈定泥火山角砾岩带。

从1954年起，开始探討大极距的連續偶极測深法和連續剖面法的仪器与工作方法[О.В.納札林柯(Назаренко)、Г.А.薩尔其索夫(Саркисов)等]。在有利的地电剖面条件下，用这些方法可以实现普查深度达1.5~2.0公里的构造的測量。在地台区內，偶极測深可以确定埋藏不深的固結結晶基底的埋藏深度和輪廓。

地震勘探是以研究岩石中彈性振动传播速度为根据的 爆炸是小規模的人工地震，用它作为彈性振动（地震波）的激发源。

爆炸脉冲在其周围的地质介质中形成自身結構不同的彈性波。

目前，地震勘探方法主要研究纵波。如果纵波在地质层理中传播，則在地层分界面上发生反射波和折射波。这种二次波返回到地面（或海面）上，可以用高灵敏度的地震仪器記錄到它們。

根据所研究的二次波的类型，将地震勘探划分为反射波法与折射波法两种。在这两种方法中，爆炸时刻与波到达时刻之間的时间間隔都与地质界面的埋藏深度以及地震波的传播速度成函数关系。由于这些波的时间 and 速度是从观测中确定的，所以，根据这些資料可以闡明測区地质构造的特性。

虽然地震勘探的理論基础很簡單，但是，与其它地球物理方法比較，它却要求比較复杂的仪器和装备。

利用“活动實驗室”——地震站来实现爆炸激起的彈性振动的記錄。地震站是由接收放大裝置和示波仪所組成的复杂仪器組。将微觀彈性振动变換成电压的地震检波器作为接收裝置。电压加到放大器上，然后再加到示波仪上，在示波仪內由平排的检流計在照象紙上进行記錄，而成地震带或地震記錄。由地震检波

器、放大器与检流計組成的仪器綫路称为地震記錄道。

在現代地震站內通常进行多道記錄。現今，海上地震勘探广泛地使用CC-26-51Ⅱ型与MCC-58型26道地震站。

各种相互位置不同的地震检波器点与爆炸点，用地震站进行地震波的記錄。爆炸点与地震检波器安置点在一条直綫上（纵剖面）是最常見的。在折射波法观测时，常常应用地震检波器分布于不通过爆炸点的直綫上的非纵測綫。

在記錄上識別某些有效地震波是很重要的，但也是很困难的。这种困难在于：除有效波（反射波与折射波）外，在地震記錄上還記錄到許多其它干扰波；在海洋地震勘探时，各种干扰波的出現尤其經常。由于有干扰的存在，地震記錄具有相当复杂的形式。

有各种帮助在地震記錄上識別有效波的方法。其中最重要的是頻率选择法与空間选择法。

頻率选择的根据是有效波与干扰的頻率譜的差別。这种差別可以实现道的頻率滤波作用。頻率滤波时，使道的灵敏度对于頻率与有效波极大頻率一致的振动达到极大。此时，有效波在記錄上的振幅最大。

空間选择的重要性并不比識別有效波的方法差。空間选择法的依据是反射波和折射波在地面上以接近于垂綫方向出射。由于地震检波器在測綫上彼此靠近地分布着，所以，在用多道仪器同时記錄土壤振动时，在記錄上不仅用振幅的增加，而且用到达的同时性来发现有效波。

同时性标志，或者振动的同相性标志，使波的相位对比容易实现，并且是空間选择的重要特点之一。有許多空間选择的仪器工具：振动的混合、調节方向接收（PHI）等。地震检波器与爆炸的組合方法是很有效的。除上述方法外，还有許多不同的接收方法，可以改善地震記錄质量，并使記錄成为进行較可靠解释的各种方法的手段。

地震資料的解释是以爆炸点到观测点的距离与两点間波传播