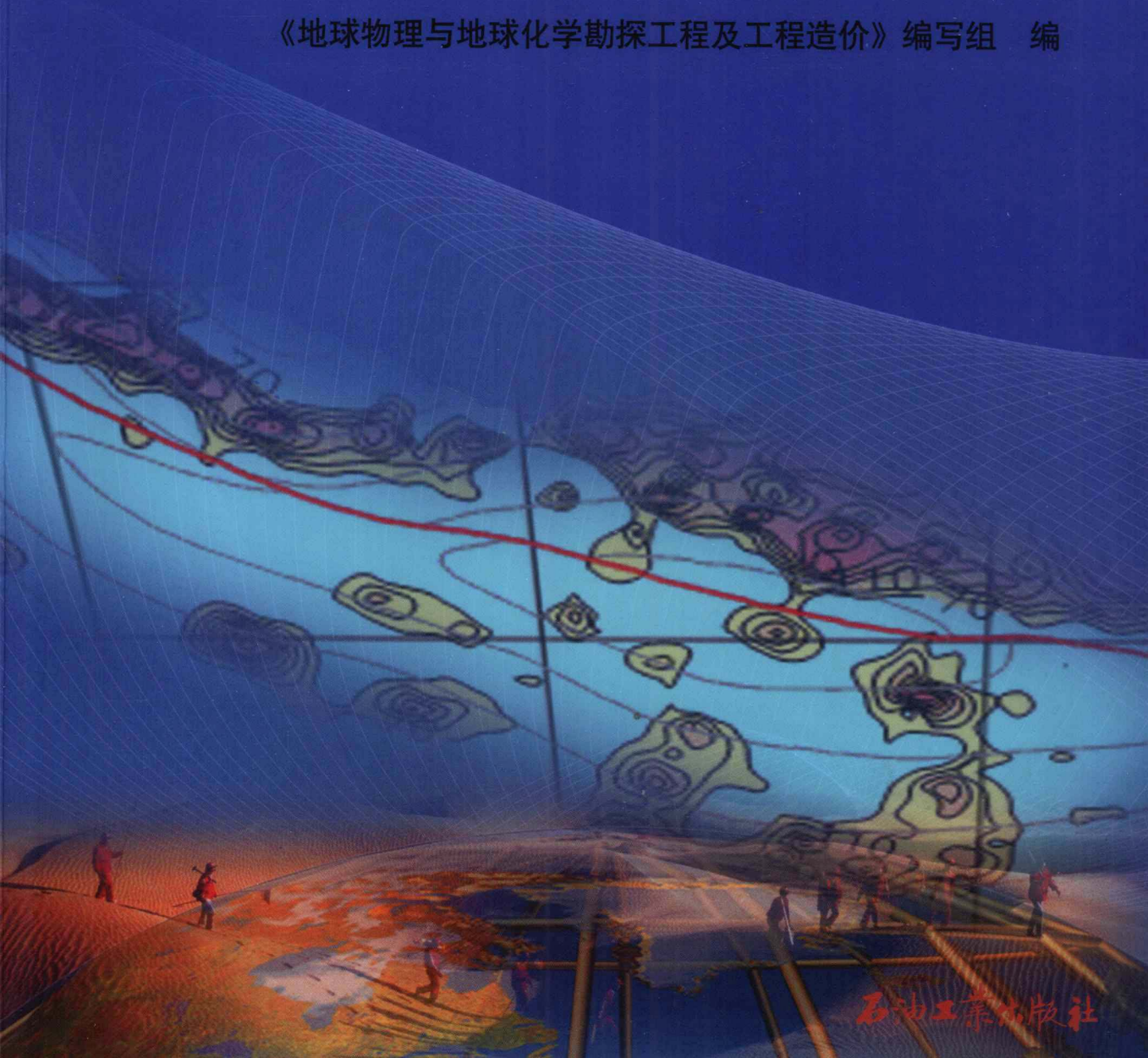


# 地球物理与地球化学 勘探工程及工程造价

(修订本)

《地球物理与地球化学勘探工程及工程造价》编写组 编



石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书内容包括：地球物理与地球化学勘探工程概述、非地震勘探工程与工程造价、地震勘探原理与技术、地震勘探工程基本工序与工程造价、物化探工程概（预）算编制等。

本书是石油勘探钻井工程造价专业培训及资质考核专用教材之一，同时也可作为石油勘探工程投资管理、项目管理及工程造价管理专业人员的业务工具书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

地球物理与地球化学勘探工程及工程造价/《地球物理与地球化学勘探工程及工程造价》编写组编. —修订本. —北京：石油工业出版社，2009. 2

ISBN 978 - 7 - 5021 - 6968 - 8

I. 地…

II. 地…

III. ①地球物理勘探 - 工程造价

②地球化学勘探 - 工程造价

IV. P631 P632

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 001164 号

---

出版发行：石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址：www. petropub. com. cn

发行部：(010) 64523620

经 销：全国新华书店

印 刷：北京晨旭印刷厂

---

2009 年 2 月第 1 版 2009 年 2 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本：1/16 印张：14. 5

字数：372 千字 印数：1—1500 册

---

定价：58.00 元

(如出现印装质量问题，我社发行部负责调换)

版权所有，翻印必究

# 《地球物理与地球化学勘探工程及工程造价》 编写组

组 长：肖圣竹

副组长：刘文涛 魏伶华

成 员：黄伟和 郭 正 司 光 郭士让 李保德  
贾兰木 陈毓云 周建平 毛祖平 李 臻  
邱宏杰 唐纯武 王 方 张桂合 刘崇利  
张小平 左顺先 张云怡 闻宝栋 马建新  
孙晓军 吕雪晴 胡 勇 郝明祥

# 前 言

《石油勘探工程与工程造价》出版已近四年，得到了中国石油勘探钻井工程造价管理系统领导及专业人员的肯定，为石油勘探钻井工程造价培训工作发挥了积极的作用。

近年来，随着电子技术、计算机技术的高速发展，物化探工程技术及装备也得到了飞速发展和更新，以高分辨率地震、高精度 3D 地震、叠前偏移成像、山地地震、高精度重磁等为代表的勘探地球物理技术和以约束反演、属性分析、4D 地震、井中地震、多波多分量地震等为代表的油藏地球物理技术在油气田勘探开发中普遍应用，并在油气田勘探开发中发挥着越来越重要的作用。为适应油气勘探开发的快速发展和满足勘探钻井工程造价管理及培训工作的需要，结合物化探工程的新技术、新工艺、新设备，对《石油勘探工程与工程造价》中第二篇“物化探工程与工程造价”内容做了修订和补充，最终形成本书，并将书名定为《地球物理与地球化学勘探工程及工程造价》。

本书的修订参考了近年来发表的石油物探技术论文和相关科技文献。一是补充完善了物化探工程各专业工程原理和新技术的应用，并通过实例进行辅助说明；二是用案例说明各地区不同地类的地形地貌及地下地质特点、施工与技术难点、解决办法与采取措施，以及各工序在施工中应注意的事项和质量控制要点；三是增加了质量管理与健康、安全、环保内容；四是通过与新编物探工程计价依据及案例的有机结合，系统介绍了物化探工程造价的编制及方法。

本书共分五章，包括地球物理与地球化学勘探工程概述、非地震勘探工程与工程造价、地震勘探原理与技术、地震勘探工程基本工序与工程造价、物化探工程概（预）算编制等内容。随着物化探工程技术的发展和新工艺、新方法的应用，石油勘探工程造价管理理论和方法需要不断补充完善，为科学合理地确定物化探工程造价，加强工程造价管理奠定坚实的基础。

本书的修订得到了中国石油规划计划部和石油工程造价管理中心领导、大庆油田有限责任公司价格定额中心、辽河油田分公司概（预）算管理中心、新疆油田分公司造价中心、华北油田分公司工程造价与价格定额部、大港油田分公司工程造价中心、西南油气田分公司工程项目造价管理部等单位的大力支持和具体帮助，在此一并表示衷心的感谢！

由于编者水平所限，书中难免存在问题和不足，恳请广大读者批评指正。

# 目 录

<b>第一章 地球物理与地球化学勘探工程概述</b> .....	(1)
第一节 物化探工程构成与工作程序.....	(1)
第二节 物化探工程的性质、特点与任务.....	(2)
第三节 我国石油物化探事业的发展状况及物化探技术发展趋势.....	(4)
第四节 物化探工程设计 .....	(12)
第五节 物化探工程造价的形成及影响因素 .....	(17)
<b>第二章 非地震勘探工程与工程造价</b> .....	(21)
第一节 化学勘探工程与工程造价 .....	(21)
第二节 重力勘探工程与工程造价 .....	(31)
第三节 磁力勘探工程与工程造价 .....	(38)
第四节 电法勘探工程与工程造价 .....	(43)
第五节 非地震物探仪器价格及处理解释费标准 .....	(57)
<b>第三章 地震勘探原理与技术</b> .....	(59)
第一节 基本概念与原理 .....	(59)
第二节 地震工程基本方法及有关概念 .....	(64)
第三节 地震勘探的主要技术 .....	(74)
<b>第四章 地震勘探工程基本工序与工程造价</b> .....	(81)
第一节 地震资料采集工序与生产组织 .....	(81)
第二节 地区地形与类别划分 .....	(82)
第三节 地震采集工序内容与工程造价.....	(103)
第四节 地震资料处理内容与工程造价.....	(174)
第五节 地震资料解释内容与工程造价.....	(190)
<b>第五章 物化探工程概(预)算编制</b> .....	(208)
第一节 物化探工程概(预)算定义与要求.....	(208)
第二节 物化探工程概(预)算编制依据、原则.....	(208)
第三节 物化探工程概(预)算费用项目.....	(209)
第四节 物化探工程概(预)算文件.....	(212)
第五节 物化探工程概(预)算计算方法.....	(214)
<b>参考文献</b> .....	(225)

# 第一章 地球物理与地球化学勘探工程概述

地球物理与地球化学勘探工程简称物化探工程。本章简要介绍物化探工程的构成、工作程序、发展趋势、造价的形成与影响因素等。

## 第一节 物化探工程构成与工作程序

### 一、物化探工程的种类

地学中有三种不同性质的调查方法，即地质方法、地球物理方法和地球化学方法。

地质方法是研究成矿地质条件、地质环境和地质作用，从而进行找矿的一种矿产调查方法。

地球物理勘探（简称物探）是根据地下岩石或矿体的物理性质差异所引起地表的某些物理现象的变化去判断地质构造，或发现矿体的一种勘探方法，包括地震勘探、重力勘探、磁力勘探、电法勘探、地热测量、放射性测量及地下地球物理测量等。通常将重力勘探、磁力勘探、电法勘探三种地球物理勘探方法称为普通物探，或非地震物探。

地球化学勘探（简称化探）是对岩石、土壤、地下水、地表水、植物、水系以及湖底沉积物等天然产物中一种或几种化学特征进行测定，再根据测定结果所表现的化学异常圈定目标，实现找矿目的的一种勘探方法。

物探与化探合称为物化探，地震勘探工程之外的物化探工程称之为非地震物化探工程。

物化探工程分类见图 1-1。

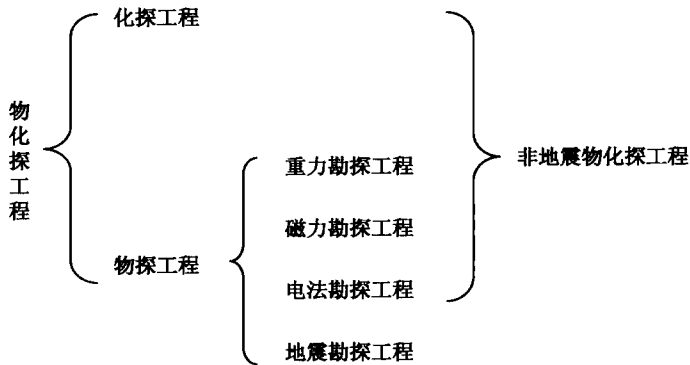


图 1-1 物化探工程分类图

### 二、物化探工程的构成

物化探工程从施工程序上由资料采集、资料处理、资料解释三大部分组成。

#### 1. 资料采集

资料采集就是在地质工作和其他物化探工作初步确定可能含油气地区，布置测网、测线、测点（采样点），利用重力、磁力、电法、化学及地震方法，将获得的地下物理化学信

息，如重力值（重力勘探）、磁力值（磁力勘探）、电位差值（电法勘探）、氢烃含量吸附值（化学勘探）、地震波特征（地震勘探）记录并存储的过程。

资料采集工程是物化探工程的基础。资料采集的质量直接影响资料处理与资料解释的结果，是能否完成油气勘探地质任务的关键。

## 2. 资料处理

资料处理是利用数字计算机设备对采集的原始信息进行各种去粗取精、去伪存真的处理，剔除原始信息中的各种干扰和无效信息，并转换成直接、直观资料的过程。

## 3. 资料解释

资料解释是对处理后的资料结合其他物化探、地质、钻井等资料进行综合分析，预测和圈定含油气远景区带、含油气圈闭和油气聚集带，提出钻探井位，以及对油气藏进行静态描述和动态监测的过程。

资料解释中，需分析处理结果产生的原因和与之相连的地质现象，通过多种信息分析对比，确定研究区域内地下地质构造形态、目的层和断层的展布情况、油气水的关系等。图 1-2 是采集、处理、解释、油气勘探与监测的相互关系示意图。

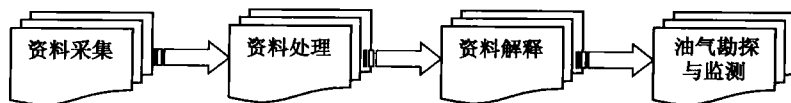


图 1-2 采集、处理、解释、油气勘探与监测关系示意图

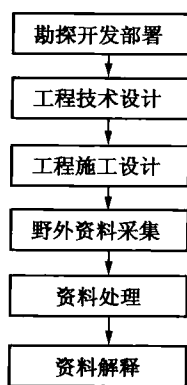


图 1-3 物化探工程  
工作流程示意图

物化探各工程解释流程相似，都是将设计区域范围内采集的数字信息经过加工处理，去除干扰，并结合地质等其他信息进行综合分析，判断出引起这些特征的地质原因，阐述地下的地质情况，并通过所做的文字报告及附图进行详细说明。

在油气勘探中，不同勘探方法提供给解释人员的信息资料是不同的，如磁力勘探提供的是磁力异常特征数据；重力勘探提供的是重力异常特征数据；电法勘探提供的是电阻率（或磁场）变化数据；地震勘探提供的是地震波特征数据；化学勘探提供的是地化异常特征数据。

## 三、物化探工程工作程序

物化探工程根据总体勘探开发部署方案，按照规定勘探程序实施。图 1-3 是物化探工程的工作流程示意图。

# 第二节 物化探工程的性质、特点与任务

## 一、物化探工程的性质与特点

(1) 物化探采集工程目标位于地下，资料采集受地表、交通、气候、地下地质等条件以及施工当地人文学因素的影响较大。同时，由于施工区块的变换，流动作业性强，可变因素多。

(2) 物化探工程的资料采集具有多工序联合作业的特点。资料采集各工序即相互衔接，又相对独立。生产的组织与协调对任务的完成与劳动效率影响很大。

(3) 物化探技术, 尤其是物探技术是间接找油气的一种方法。是依据地下地层的物理化学特性来推断地层、岩性的变化以及油气的存在的可能性, 提供相对准确的钻探井位。

(4) 物化探工程的每种方法都有特定的使用条件。应结合地下、地面条件做好物化探技术方法的论证, 优选施工方法确保地质勘探任务的完成。

(5) 物化探工程的对象具有非直观性。物化探接收和处理的是来自地下的信息, 是物理或化学的信号。因此, 对于物化探工程而言, 质量控制、监督、评价尤为重要。

(6) 物化探工程技术含量高, 技术、工艺、设备更新快。物化探工程是随着科学技术发展而产生, 集中了各个时期相关学科技术的最新成果, 是随着现代科技发展而发展起来的。如重力勘探是根据伽利略“地面重力加速度的变化和地球内部物质密度不均性”学说建立的; 磁力勘探是根据“组成地壳的岩石和矿石有着不同的磁性, 可以产生各不相同的磁场, 使地球磁场在局部地区发生变化, 形成磁异常”这一原理建立的; 地震勘探是伴随着 19 世纪数学、力学、弹性力学的发展而产生的。

近年来, 随着油气勘探工区日趋复杂, 勘探目标变小、目的层变深, 隐蔽性增强、类型增多, 对物化探工程尤其是地震勘探工程的精度提出了更高的要求。目前, 国内外地震勘探新技术、新方法发展很快。在 20 世纪 80 年代后的近 30 年中, 地震勘探已从二维地震勘探发展到三维、高分辨率地震勘探。地震仪已从 20 世纪 70 年代以前的光点仪器、80 年代的模拟仪器、90 年代的低道数字仪器, 发展到现在万道以上的地震仪。资料处理已从 20 世纪 70 年代以前的单次, 发展到现在的百次以上的多次叠加、精细处理、全三维处理。同时, 各种分析、处理软件的不断更新升级, 用于资料解释新的设备和新的方法层出不穷。物化探工程采集资料的品质、处理剖面的精度和效果得到大幅提高, 极大地增强了勘探发现能力, 提高了探井成功率, 有效地降低了油气勘探成本。

## 二、物化探工程的任务

物化探各工程专业原理、性质、方法不同, 勘探的任务与作用也各不相同。

### 1. 化学勘探

油气地球化学勘探是应用地球化学的重要分支, 其任务是通过调查油气藏上覆各种介质中地球化学场的分布与结构, 圈定和评价异常, 结合石油地质条件, 直接指出含油气圈闭及油气聚集带的油气勘探方法。我国油气化探始于 20 世纪 50 年代, 在 70 年代末得到广泛应用。所提供的预测性成果在我国东部、华北、西北、南方、大庆、二连等地经广泛应用, 为发现油气田提供了可靠的第一手资料。

### 2. 重力勘探

重力勘探是通过圈定的重力异常, 研究区域地质构造, 划分构造单元, 圈定沉积盆地范围, 预测含油气远景区带的油气勘探方法。利用高精度重力异常资料还可以查明与油气有关的局部构造。

### 3. 磁力勘探

磁力勘探是通过磁力测量发现的局部异常, 圈定沉积盆地, 研究区域地质构造和确定油气远景资源。可以在较短时间内, 以相对少的投资, 得到大面积磁场资料, 为地震勘探部署提供重要依据的勘探方法。

### 4. 电法勘探

电法勘探是通过电位局部异常, 研究区域构造, 确定沉积盆地基底起伏, 圈定含油气远景区域的勘探方法。在难以取得高品质地震资料的火成岩、碳酸盐岩覆盖区, 电法勘探是地



震勘探的有效补充。

上述四种非地震勘探方法各具特色，所揭示的石油地质信息各不相同。近年来，随着高精度物化探技术的发展，解决地质问题的准确性较以往已有很大程度提高。通过对异常信息进行多层次、立体、全方位的综合研究，可揭示盆地构造分布和主要勘探目的层特征，最终对盆地的含油气远景区做出初步评价，为下一步勘探提供方向。

### 5. 地震勘探

在油气勘探中，反射波地震勘探至今仍然是应用最广泛、效果最好的地球物理勘探方法。当前，油气勘探面对的地质目标已由浅变深、由大变小、由简单变复杂，地质需求由构造研究发展到非构造圈闭研究、薄互层储层横向预测，以及油气藏特征静态描述和动态监测。地震勘探由寻找油气圈闭、预测储层，延伸到油气开发的全过程。这不仅提高了地震勘探的地质效果和钻探效果，而且降低了油气勘探的风险和费用，同时，也有利于预测剩余油气的分布状况，提高油气采收率。

近年来，我国勘探中的许多重大发现都和地震勘探技术的发展密切相关。我国迄今为止最大的整装气田——克拉2气田的发现，就是山地地震勘探有效应用的结果。早在1953年，克拉2区块就已发现大量油气苗，但由于地表与地下地质条件极度复杂，虽经几十年勘探，但仍未能有效突破。1994年后，作为“八五”、“九五”国家重点科技攻关项目，开始进行地震攻关，并在地质理论上及地震采集资料品质上取得了很大进展，最终在1998年发现了克拉2大气田。

## 第三节 我国石油物化探事业的发展状况及物化探技术发展趋势

### 一、我国石油物化探事业的发展历程

我国第一个重力队和磁力队先后于1945年和1947年在玉门油矿成立。先后在河西走廊、台湾地区开展勘探工作。

新中国成立后，党和政府非常重视石油工业的发展。1949年，在上海成立了地球物理研究室。1951年，成立我国第一个地震队。1952年，又先后在陕北成立了两个重力队，两个磁力队，一个电法队和一个地震队。

1950—1952年间，地质和石油部门举办多期地球物理勘探训练班，培训了一大批技术人员，使我国的地球物理勘探有了较为明显的发展，并为石油物探技术的发展打下了良好基础。

1955年，石油工业部从苏联购买了10套“五一”型光点地震仪，首次成批组建地震队，使石油勘探领域从西部露头区扩展到东部平原区。随后西安石油仪器厂对地震仪进行了成功仿制，并批量投入生产。1965年，从法国引进了5套模拟磁带地震仪，1966年西安石油仪器在改进基础上进行批量生产，有力地促进了石油地震队装备的更新及队伍壮大。1972年，原石油工业部成立石油地球物理勘探局。在“地震先行”的勘探思路指导下，大量引进国外先进的技术和设备，配备了先进的数字化地震装备，使石油物探事业得到迅速发展。1988年，国家撤销石油工业部，成立了中国石油天然气总公司与中国海洋石油总公司。1999年，对中国石油天然气总公司进行改组，成立中国石油天然气集团公司与中国石油天然气股份有限公司。石油地球物理勘探局相应重组整合为东方地球物理勘探有限责任公司，按照企业机制运行。东方地球物理勘探有限责任公司的成立，技术实力和装备得到极大加

强，除在国内占有较大的勘探市场份额外，还在国外油气勘探领域占有较大市场份额（12%），成为世界范围内实力较强的专业化勘探公司。

## 二、物化探工程对我国石油事业的作用

我国石油事业的发展与物化探工程的发展息息相关。1958年，用重力、电法和地震反射波法勘探技术发现了大庆长垣构造，1959年经钻探获工业油流，从而发现大庆油田。

20世纪60年代，我国进入大规模物探普查阶段。地震队伍不断发展壮大，在这期间相继发现了大港、胜利、江汉等油田。

20世纪70年代，是我国石油物探事业大发展阶段。地震勘探开始进入到山区和沙漠地区，同时随着物探技术发展，解决地质问题的能力不断增强，采用物探方法寻找潜山圈闭、断块圈闭、背斜圈闭及地层岩性圈闭成为现实。

20世纪80年代，三维地震技术应用于油藏静态、动态描述，使探明油气储量上升到一个新台阶。

除20世纪30年代至新中国成立初期，依据地面地质构造发现的玉门老君庙油田、新疆依奇科里克、克拉玛依油田外，新中国成立至今建成并提供目前我国97%石油产量的所有大中型油气田（大庆、吉林、辽河、冀东、大港、华北、中原、胜利、河南、江汉、江苏、西南、长庆、吐哈、塔里木、青海、新疆等油气田）均是应用地球物理技术发现并落实的。全国原油年产量已由1949年的 $12 \times 10^4 \text{t}$ 上升到2006年的 $1.85 \times 10^8 \text{t}$ ，位居世界第五位。

截至2006年，中国石油天然气股份有限公司在册地震队伍185个，地震资料处理解释中心9个，非地震队15个，职工总数2万多人。

2006年，中国石油天然气股份有限公司在国内完成二维地震剖面43314km，三维勘探面积15752km<sup>2</sup>，非地震勘探有效剖面197520km；在国外勘探市场，二维地震投入38个施工队，完成地震剖面45380km，三维地震投入34个施工队，完成勘探面积24416km<sup>2</sup>；二维地震资料处理128045km，三维地震资料处理42894km<sup>2</sup>；二维地震资料解释597334km，三维地震资料解释323193km<sup>2</sup>。在技术方面，形成了适合我国石油地质特点的物化探资料采集、资料处理、综合研究、勘探方法研究、软件开发、装备研究与制造的技术系列。

多年来，我国的物化探技术有了很大发展，但仍然无法满足目前石油勘探开发的需要。同时，技术上与国外知名地球物理勘探服务公司相比，在海洋采集、资料处理与解释、软件开发、装备研究与制造等方面还存在一定的差距。

## 三、我国石油物化探技术的发展现状

### 1. 采集新技术及应用

在地震勘探方面，新的24位模数转换、畸变率百万分之三数字化地震仪器已广泛应用。数传速率可变自动传输技术得到快速发展，这项技术的发展，对日益采用的三维施工接收向高道数发展带来了突破。目前，国外采集道数大于5000道已很普遍，国内也在呈现增大的趋势。在地震采集设备方面，针对动态要求上处于“瓶颈”状态的检波器，各仪器生产厂家投入了大量的人力、物力、财力进行开发研制。目前，新的数字化检波器失真度已经可以稳定在0.1%以内，且频率特性稳定、横向震动谐波频率可以控制在400Hz以上。同时，新型的浅井钻并和激发设备不断研发，这对满足地形日趋复杂区块施工需要带来了新的希望。

在非地震勘探方面，勘探采集仪器已得到了较大发展，新的电法仪器已可以完成如多次覆盖地震的高密度电法采集施工。以MT方法为基础发展起来的新的CEMP勘探方法，比原方法有着更大的施工灵活性和更高的采集精度。新的重力仪器已可以观测到5~10 $\mu\text{Gal}$ 的

微重力差异，所采集的资料也更为准确。用于航磁和地磁勘察的新磁力仪器，读数精度已达到纳特级，观测精度有了很大的提高。

## 2. 处理新技术及应用

随着采集技术的快速发展，促进了处理技术的创新和快速发展。近年来，各种采集数据分析、处理软件的不断更新升级，使处理剖面精度、效果大幅度提高。随着各种处理软件的不断更新，山地、大沙漠、戈壁滩、黄土塬、水网地带、水陆过渡带等复杂地形的地震剖面处理质量，每年都有新的改善和提高。

## 3. 解释新技术及应用

地震数据解释方面，新的解释设备和新的方法层出不穷。目前，人机联作解释系统已经完全取代了传统的手工解释，并在勘探开发部门及有关单位得到广泛应用。同时，地质模型图形可视化技术、神经网络技术、数据体相干分析技术、模型正反演等新技术均得到了普遍应用。如亮点、暗点、AVO技术、属性分析技术等。在利用地震信息直接检测油气技术方面也到得较快发展。最近提出的“全波分析技术”，即是指利用地震波包括振幅、相位、频率、波形变化等整体特征进行分析，进而直接寻找油气。所有这些新方法、新技术的发展，对油气勘探开发阶段的探井、评价井、生产井和调整井的油气层识别，有很大的应用潜力。

## 4. 综合勘探技术及应用

近年来，针对勘探中出现的一系列技术难题，在开展依托重点勘探项目，大力进行综合物化探联合攻关方面取得了重要进展，探索出了以地震为主导，综合使用地震、重力、电磁、地质、钻井等资料进行联合反演，并取得了突破性进展。综合勘探技术的发展及其应用，不仅为地质目标的实现提供了强有力的技术保障，而且更为重要的是开拓了一批新的油气勘探领域，同时，也促进了地质家进一步解放思想，更新理念，在理论上获得更大的创新与突破。

(1) 精确成像为目的的山地地震技术，为复杂山前地带的油气勘探突破起了关键性作用。

西部山前地区大多处于前陆盆地的高陡有利含油气远景区。在地震勘探上，由于地面施工条件复杂，地下断裂发育，地层倾角较大，地震资料采集与处理极为困难复杂。虽经几代人不懈努力探索，但资料采集及处理一直未能取得实质性进展。“九五”期间，以塔里木盆地库车坳陷为代表的复杂山地地震勘探攻关取得突破性进展，在地震采集过程中，采用直升机支持，解决了直测线施工困难的问题（图1-4）。同时，由于研制成功了大吨位可控震源和车载砾石钻机，激发条件大幅改善。在采集方法上，通过选择合理的道距和最大炮检距，加长排列，增加覆盖次数等，改善了接收条件。在资料处理过程中，采用山地静校正叠加去噪、速度综合分析、叠前深度偏移等技术，有效地解决了复杂山地构造成像问题。在资料解释过程中，引进断层褶皱相关理论，较好地解决了地质建模，为地震资料的正确解释奠定了基础。这些技术与理论的创新突破，在克拉2气田等西北山区油气田发现过程中发挥了关键性的作用。

如在霍尔果斯复杂山地进行的地震勘探。该工区位于准噶尔盆地北天山山前，地下构造复杂，地层倾角大，地表重峦叠嶂，石灰岩出露，山间为巨厚砾石层，进行地震勘探资料采集极为困难，多年来一直未取得品质较好的地震资料。

对于这一类复杂山地进行地震资料采集，主要技术难点有：一是地表砾石层巨厚，结构疏松，含水性差，地震激发、接收条件差，地震波衰减严重。二是受地表岩性与地形影响，

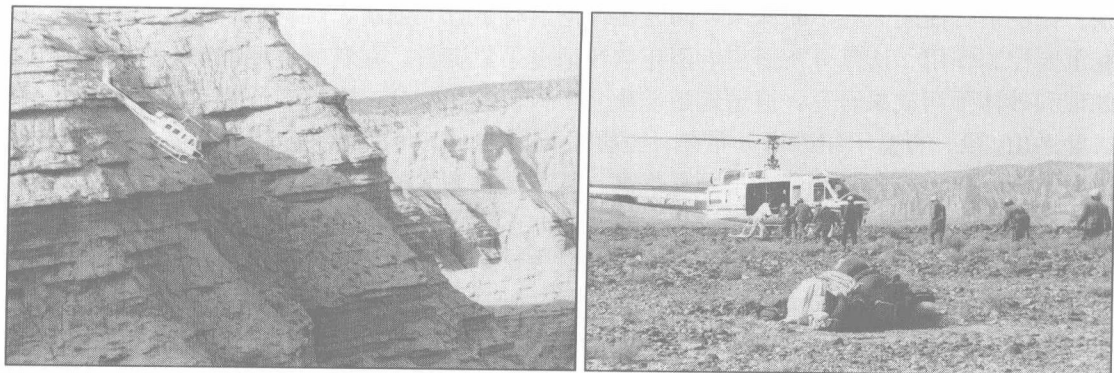


图 1-4 直升机支持地震施工与运送物资

各种干扰波发育。三是近地表结构复杂，低速层厚度变化大，静校正困难。四是地下构造复杂，成像困难。

为此，采取的主要措施一是利用高精度卫星照片辅助设计，指导采集方案。二是灵活设计观测系统，有针对性地解决实际问题。三是灵活设计覆盖次数，在构造主体部位加密炮，提高覆盖次数，在构造翼部降低覆盖次数。四是灵活选择激发方式与因素，露头区选用单深井，砾石区选用大吨位震源。五是灵活选择表层调查方法，平原与戈壁采用小折射与微测井相结合，砾石区采用超深微测井。

通过有针对性的措施，最终采集资料品质有了较大程度提高。从新老剖面对比上可看出，新剖面反射可靠，断裂清晰，信息丰富（图 1-5）。

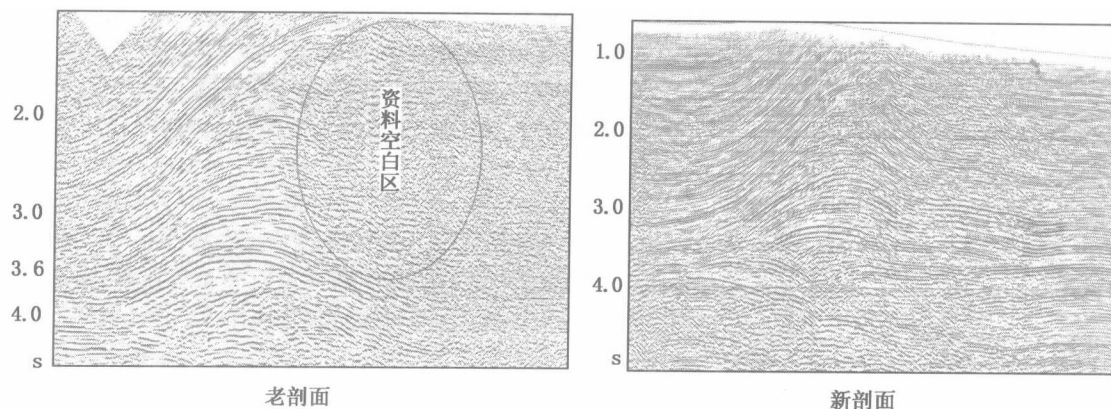


图 1-5 新老剖面对比图

(2) 以地震资料综合反演为基础的储层预测技术，促进了大面积岩性油气藏勘探的发展。

针对“八五”以来大面积岩性油气藏勘探的实际情况，“九五”期间，根据不同地质背景，进一步完善和大力推广应用以地震资料反演为主体的储层预测技术，取得了明显的效果。

鄂尔多斯盆地，地表黄土发育，沟壑纵横，地下为一简单的西倾单斜构造。以往地震资料品质较差，探井井位的确定很少利用地震资料。近年来，随着上古生界天然气勘探和三叠

系、侏罗系石油勘探的不断深入，同时在理论上有了较大创新，认识到砂体对油气的分布具有重要控制作用。认真分析研究近两年弯线地震采集资料，在资料处理解释上进行批量反演处理和砂体预测成果研究，通过地震地质多学科研究相结合，逐层、分片、反复修改和编制二叠系山<sub>2</sub>段、石盒子组砂岩分布图、三叠系长<sub>6</sub>、长<sub>2</sub>三角洲指状砂体分布图，侏罗系古河道分布图，使地震资料解释水平明显提高，探井成功率大幅度提高。在总体上摸清了盆地油气分布规律，扩大了油气勘探领域，促进了鄂尔多斯盆地油气勘探的大发展。

(3) 复杂断块油气藏勘探技术，为渤海湾老区的增储稳产作出了重要贡献。

在渤海湾探区，针对断块破碎的实际情况，通过三维地震连片处理、解释、油藏描述为主要内容，精雕细刻，在寻找小断块群油藏上取得了非常好的效果。同样，在辽河、华北、大港、冀东等探区，经广泛运用这种做法，勘探年年都有新发现，探井成功率不断提高，对保证各油气区产量的基本稳定发挥了重要作用。

(4) 综合物化探技术。

近几年来，通过在地震采集施工困难地区大力开展综合物化探攻关，探索出了以高精度重力和连续电磁法技术为主体，综合使用地震、地质、钻井等资料进行联合反演的勘探方法，取得了明显效果，为在地震无法获得资料的地区提供了新的勘探途径。这一技术已在柴达木、长庆等地区取得了明显效果。

通常，对于某一探区已选出的内部弱反射的两个地震异常体，判定其是礁体还是火山岩体，仅根据地震勘探资料是难以达到的。而通过综合物化探方法确定该异常体的属性，再根据火山岩、礁体及石灰岩的物性参数特征，以及该区的高精度重、磁、电资料，进行综合解释，则其属性确定较为容易。分析表 1-1，可明确判定 1 号、2 号异常体无磁性，不是火山岩；2 号异常体密度、电阻率接近礁体，1 号异常体电阻率比礁体小，判定可能含泥质。

表 1-1 地震异常体岩性分析表

不同岩石物性参数				异常体物性参数			
岩性	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	磁性	电阻率 (Ω·m)	异常体	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	磁性	电阻率 (Ω·m)
火成岩	2.68~2.90	强	大于 1000	1 号	2.61	无	25~30
礁体	2.68	无	70~90	2 号	2.67	无	65~80
石灰岩	2.70	无	大于 500				

### 5. 地震队生产调度指挥技术

对于传统意义上的地震队，主要是利用电台或其他通信工具进行现场管理，这种方法简便，但管理者很难全面掌握施工现场的即时动态，难以及时处理突发事件，不能对现场车辆进行合理、高效的调度，无法对各作业班组进行及时、高效的调度与指挥。

近年来，东方地球物理勘探有限责任公司利用信息技术、卫星定位技术和无线电通信技术，成功开发了“地震队生产调度指挥系统”（简称 VTS 系统），使地震队管理者真正做到全面掌握施工现场即时动态，并进行有效的调度（图 1-6）。

VTS 系统主要原理是通过接收机接收卫星导航信号，确定车辆的实时位置，并利用通信系统把信号传送给调度中心，通过计算机显示其位于工区具体方位，实现车辆与管理者之间准确、迅速、有效的信息传递，强化了管理，加强了控制，提高了工作效率，减少了风险。

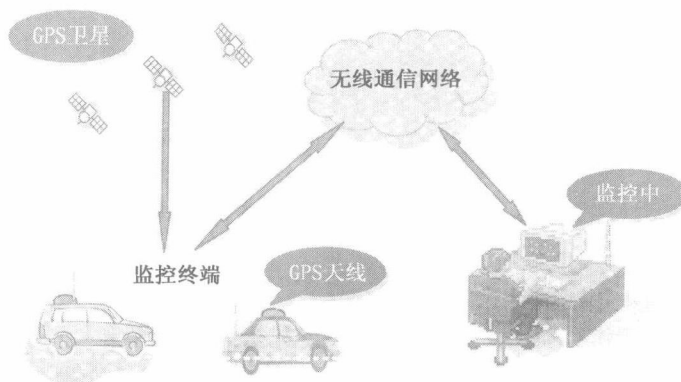


图 1-6 地震队生产调度指挥系统结构图

目前，东方地球物理勘探有限责任公司已为国内外部分地震队安装了 VTS 系统，并在生产管理方面发挥了重要作用。

#### 四、国际物化探新一代技术

近年来，物化探技术，特别是地震技术已进入飞跃发展阶段。突出表现在：由解决单一的构造问题向解决岩性、地层和油气检测方向进展；由油气勘探向油田开发、油藏工程方向发展；地震、测井、石油工程，由原来的相对独立研究向综合研究的趋势发展。

国际上物化探技术发展趋势着重体现在以下几个方面。

##### 1. 万道地震采集

万道地震采集是指采用万道地震仪和检波器进行接收，大动态范围，多分量，全方位，小面元网格，高覆盖次数，高精度的三维地震采集技术。

万道地震采集技术可以极大提高地震资料的纵、横向分辨率及信息精度，是地震技术的又一次革新，促使勘探技术向高精度发展，对发现小断块、小潜山、薄储层、小砂体等精细油藏具有重要意义。

##### 2. 万节点微机群并行处理

万道地震采集的数据量是常规千道仪采集的 30 倍，为满足大数据量运算，提高处理精度，需发展万节点微机群并行处理和海量存储技术，提高数据处理与存储能力。

万节点微机群并行处理技术是指计算机节点达到一万个以上，同时配备与之相应的静校正处理、组合处理、叠前时间与深度偏移处理、全三维各向异性等处理技术，以提高地下成像精度、储层描述及含油分析精度。

海量存储技术指发展大容量磁盘和自动带库，来满足大数据量存储需要。

##### 3. 微机群并行三维可视化解释

高精度地震资料同样需要高精度精细解释与之匹配。随着微机性能的日益提高，软硬件成本的降低以及软件的更新，高精度精细解释发展迅速，并有着微机群广泛应用趋势。

可视化解释是指在微机及三维图形服务器等硬件支持下，应用各种立体绘图技术软件，直接对数据三维显示，以便对构造、地层、岩性、含油性等进行交互解释（图 1-7）。

##### 4. 物探、地质、油藏管理一体化

对油气勘探而言，仅依靠一项技术解决复杂的地下地质问题是难以实现的，应是多学科的组合，才能实现更好的勘探效果。近年来，快速发展起来的三维可视化技术，一是可通过

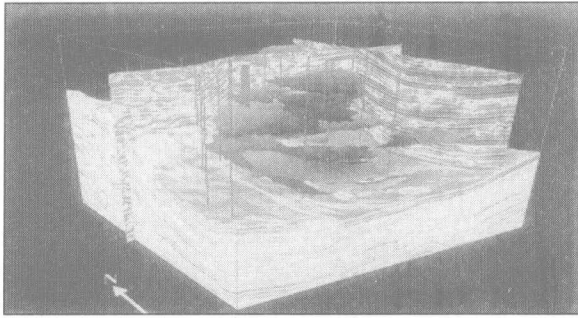


图 1-7 三维可视化解释

对数据体进行更为清晰的研究，同时结合井模型分析，为提高油藏描述精度提供更有效手段。二是达到了同一数据体共享，促使地质、物探、测井等多学科专业技术人员协同合作，从而实现处理解释一体化，地质、构造与储层研究一体化。

### 5. 特殊地震技术

目前特殊地震技术包括多波多分量地震、四维地震、三维 VSP、井间地震、随钻地震等技术（图 1-8）。

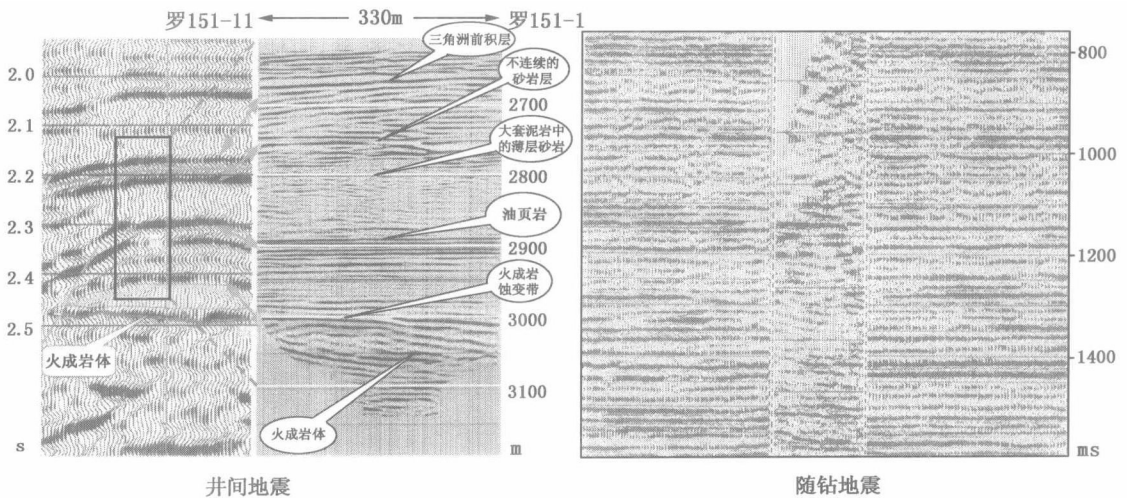


图 1-8 井间地震与随钻地震剖面

#### 1) 多波多分量地震

随着油气勘探的逐步深入，对地震勘探的成像质量、分辨率和岩性信息要求越来越高，相应促使人们不断发展勘探新技术与之适应。目前利用的多波多分量地震勘探技术，是解决成像质量和分辨率的技术之一。多波多分量地震的原理就是指纵波震源激发产生纵波向地下传播，在地层界面处产生反射纵波和转换横波，用三分量检波器进行接收反射纵波的一种新技术。利用该方法可以较好地分析地层的岩性、裂隙、含油性等特性。

#### 2) 四维地震

四维地震也称时移地震，即在不同的时间内对地质体进行的多次三维观测，主要用于油气开发阶段的油藏动态描述。

#### 3) 三维 VSP

三维 VSP 进行的观测通常是在围绕井口半径 2km 范围内，类似地面三维地震在地面进行点阵激发，并在井中采用三分量多级检波器接收，目的在于建立地质体三维空间地层信息数据。



#### 4) 井间地震

井间地震即在井中激发, 相邻井中放入检波器接收直达波信息的一种勘探方法。这种地震方式的优点可避免近地表低速带对地震波的衰减及地表各种干扰。

#### 5) 随钻地震

随钻地震即利用正钻井的钻头振动噪声作为震源进行地震勘探。与常规 VSP 相比, 具有不干扰钻井、不占用钻井时间、无检波器下井风险、在深度上可连续测量等优点。

### 五、世界石油物探行业发展现状与趋势

#### 1. 世界石油行业面临的主要问题

世界石油工业面临的主要问题, 一是急需在油气勘探新区与已开发老区找到更多可采储量, 以解决资源接替的问题; 二是在油气开发上, 如何进一步提高油气采收率, 延长油气田开发期限。解决这两方面问题的关键是石油物探技术的创新发展。

#### 2. 世界石油物探行业发展现状

(1) 队伍总体过剩, 市场竞争激烈。据统计, 2003 年世界地震队 486 个, 作业队伍 241 个, 待工队伍 245 个, 比例接近 1:1, 施工队伍总体呈缩减状态。

(2) 物探市场工作量增长缓慢。近年来, 全球油气开发投资持续增长, 增长率在 50% 以上, 但世界物探市场工作量的增长率却不到 20%, 其主要原因是随着国际油价大幅上涨, 各石油公司资金主要投入于油气中下游业务, 以获取高额利润及规避勘探风险, 而相对上游油气勘探的资金投入则较少, 造成物探工作量不足。

(3) 近年来, 随着国际原油价格不断上涨, 为获取更大利润和规避勘探风险, 各石油公司一方面将勘探风险逐步向技术服务公司转嫁, 同时另一方面对工程技术创新、作业标准要求越来越高, 使承包商方工程作业难度加大, 成本上升。

(4) 近年来, 世界各大物探公司为提高自身竞争力, 扩大市场份额及增加业务链, 正在加速企业间的联合与兼并。自 1993 年以来, 世界物探公司数量由 80 个减少到 60 个, 降幅 21%。尤其在海上物探领域, 这种集中趋势尤为明显, 世界最大 WesternGeco 公司和法国的 CGG 公司已拥有全球大约 80% 的海上作业能力。目前, 世界各大物探公司利用技术、资金、规模等优势, 致力于提高自身综合服务能力和一体化服务能力, 以争取更大的市场份额。

(5) 物探技术服务向油藏评价、开发与生产延伸, 涵盖勘探开发全过程。随着计算机与信息技术的高速发展, 促进了物探技术与装备的发展。20 多年来, 物探技术已经由单一的勘探涉足到开发领域, 由常规地质构造解释延伸到储层和油藏研究, 在油藏评价、油田开发与生产阶段得到广泛应用。在勘探阶段采用高分辨地震优化井位; 在评价阶段利用地震资料对油藏进行精细描述; 在开发阶段应用物探技术精确监测油藏, 优化开发方案; 在生产阶段, 通过四维地震追踪饱和度和压力变化情况研究剩余油藏分布, 合理选择和部署加密井位, 延长油藏开发期限。

#### 3. 世界石油物探行业发展趋势

(1) 为适应石油行业的快速发展, 世界上一些大型石油专业化技术服务公司, 如斯伦贝谢、哈里伯顿、贝克休斯等公司, 都在向油气勘探、开发和生产业务方向发展, 积极寻求与石油公司建立新型合作关系。

在物探技术服务业务上, 开辟了综合油藏信息解决方案等新型服务项目; 在经营模式上, 推出勘探、开发和生产一条龙服务, 通过完成承包石油公司油气产量目标及超产进行分成合作。世界大物探公司积极寻求建立勘探、开发、生产一体化的物探服务体系, 延伸服务



内容，力求通过与石油公司的合作，以求得自身生存与发展壮大。

(2) 石油物探行业趋于兼并与企业间的联合。世界主要物探公司都已清醒地认识到物探施工能力过剩制约了企业获取最大利润空间，并影响到企业的生存发展。采取缩减施工队伍总量和行业间联合，改变过去单一经营模式，提高企业综合竞争能力。通过行业联合及多品种经营扩大适应市场能力，以取得更大的经济效益。

(3) 石油物探技术创新发展趋势依然强劲。进入 21 世纪以来，石油物探技术进入了新的发展时期，技术发展主要体现在以物探、测井技术为核心，结合其他技术形成多专业多学科的综合技术服务公司，为油公司提供一体化的技术服务。

近年来推出的实时地震监测及随钻地震深度成像技术，已有力促进油气藏的开发与生产，并获得了较好效益。

## 第四节 物化探工程设计

### 一、非地震物化探工程设计

#### 1. 设计的依据和原则

非地震物化探工程设计根据油田总的勘探开发部署及年度勘探部署方案的具体要求进行设计。

#### 2. 设计的具体要求

非地震物化探包括重力、电法、磁力、地球化学、遥感等多种勘探方法。应按不同的非地震勘探方法进行设计。

##### 1) 非地震物化探工程基本地质任务

用于油气勘探早期阶段的非地震物化探工程主要解决的地质问题为：

(1) 探测构造盆地基底起伏和埋藏深度，划定盆地范围及其次级构造单元。其中，化探要求了解工区地球化学场及异常分布规律。

(2) 探测岩性、电性差异显著的大套地层展布和厚度变化情况。

(3) 探测采用地震方式不易施工的特殊岩性（如火成岩、碳酸盐岩、砾岩等）覆盖区的下伏构造情况。

(4) 探测局部构造，查明构造和油气异常情况。

在油气详查、精查阶段，非地震物化探工程主要对对构造带内各局部构造、圈闭的含油性进行评价，并做出含油气远景评价。

##### 2) 非地震物化探工程设计内容及要求

非地震物化探设计依据不同的施工阶段及要求可分为技术设计、施工设计、补充设计三种。

##### (1) 技术设计（甲方设计）。

通常由甲方（建设方）或委托有资质的第三方负责编写。设计主要内容包括：施工工区概况、地质任务、测线部署、采取的主要技术方法、采集质量要求等；资料处理与解释要求、成果图件、报告编写要求等。

##### (2) 施工设计（乙方设计）。

由乙方（承包商方）负责编写。具体施工设计应在掌握技术设计等相关资料，经实地踏勘工区，了解工区地表及地下地质条件、交通状况、城镇村落分布等施工条件，并结合自身