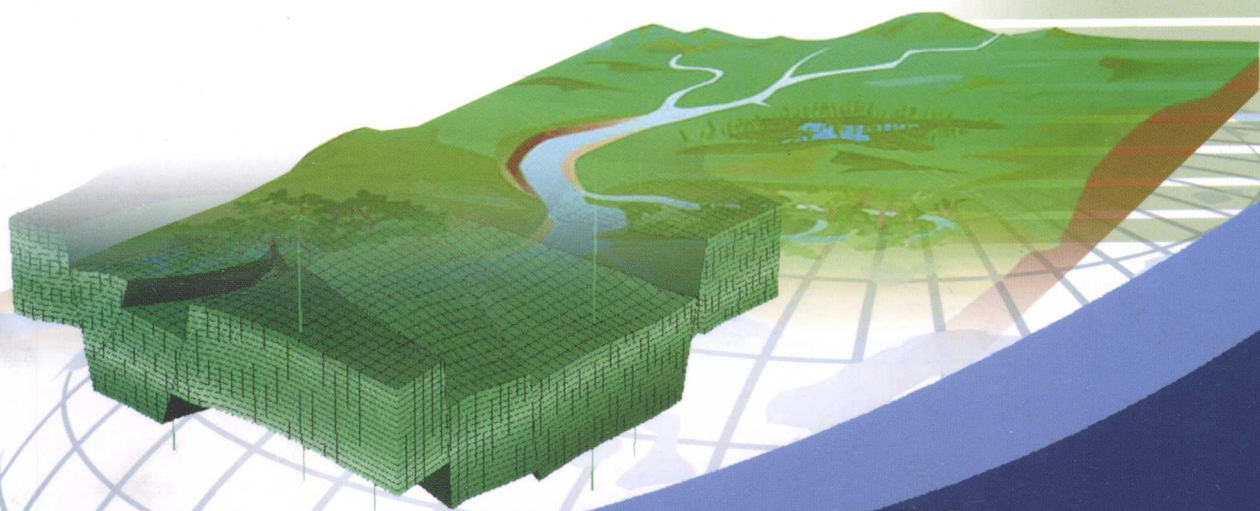


**The Action of Geophysics
in Exploration and Production
for Oil and Gas**

地球物理 在油气勘探开发中的作用

赵殿栋 主编



石油工业出版社

地球物理在油气勘探开发中的作用

赵殿栋 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书在系统调研分析国内外油气勘探开发不同阶段地球物理技术应用史例、技术攻关效果、技术发展动态,以及技术发展途径和科技创新模式等多方面大量文献资料的基础上,逐一论证了地球物理勘探技术为开拓我国石油工业所发挥的先行作用,为推动我国石油工业持续发展所发挥的核心作用,为攻克复杂探区油气勘探的技术难关所发挥的关键作用,进一步为油气开发提高采收率有望发挥新的效用。由此阐明了地球物理技术作为最主要的地球探测科学技术,在油气勘探开发的系统工程中同时肩负着战略研究和战术发展的双重重任。地球物理学既与石油地质学、地球化学等基础应用学科一起共同构成了现代油气地质理论的战略研究体系,又与钻井工程、油藏工程等工程学科一起共同构成了现代油气勘探开发方法技术的战术手段系列。通过油气勘探需求、市场竞争态势和投资回报率数据的分析进一步说明,推进地球物理技术进步是加速石油工业发展的重要战略问题,加大地球物理技术投入和研发力度是石油企业提高投资效益和核心竞争力的最佳途径。

图书在版编目(CIP)数据

地球物理在油气勘探开发中的作用/赵殿栋主编.

北京:石油工业出版社,2009.9

ISBN 978-7-5021-7348-7

I. 地…

II. 赵…

III. ①地球物理学-应用-油气勘探

②地球物理学-应用-油田开发

IV. P618.130.8 TE 34

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 166050 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 9 月第 1 版 2009 年 9 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:14.25

字数:370 千字 印数:1—2000 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

《地球物理在油气勘探开发中的作用》

编 委 会

主 编：赵殿栋

副主编：管路平 王炳章

编 委：陈 伟 宋桂桥 于世焕 严建文

朱海龙 赵改善

序

我们人类居住的地球，蕴藏着丰富的矿产资源，其中包括煤、铁、石油以及其它许许多多的金属与非金属矿产。如何才能发现这些矿产资源，并且将它们发掘出来，为人类服务呢？最初，人们根据出露地表的矿苗或露头，认识并追索与埋藏在地下的矿藏，进而开采矿产。地质学的发展是在大量实践经历的基础上，上升到规律性的认识，使人们加深了对矿产藏的形成与分布的认识，并用以指导找矿。地球化学是用化学方法检验之物的富集程度为找矿勘探提供信息。而地球物理学是用物理学的原理和方法，根据岩石的物理性质即给出的多种响应来判断地层层序的构造及其中所蕴藏的矿产。现在，矿产资源的勘探开发面临着“改探探盲，寻找大矿富矿”的任务，没有地质、地球化学和地球物理的综合研究，就不可能详细了解埋藏于地下深处矿床的位置与形态，从而也不可能为勘探开发提供依据。

地球物理勘探包括重力、磁法、电法、地震、放射性、地热等多种方法，它既有物理场深厚的理论基础，广泛采用无线电、通讯、航化定位、计算机等现代最新技术成就，在矿产资源勘探、环境监测、灾害防治以及军事安全方面得到日益增长的应用，被认为是现代高新技术。地球物理勘探作为油气勘探开发的先行者与侦察兵，为现代勘探油气提供第一手资料和地下图象，例如，没有地球物理勘探在地表和井中提供的信息，就无法判断地下深部的地质情况，也就不可能为钻井提供井位、井深、井径的资料，更不可能科学地发现油田。

重视地球物理勘探理论、数学与基础理论。其中应用现代先进技术来研究地球，探索地下矿藏资源。但是，它却存在两个基本问题。①任何一种地球物理勘探方法都是一种岩石物理性质为依据的，它只反映了岩石的一个侧面，例如，重力——密度差，磁力——磁化率差，电法——电阻率差，地震——速度差或阻抗差；②任何一种地球物理场的反演问题都不是唯一的，在数学上是多解的。这样，在原则上要求综合应用各种地球物理勘探方法，以取得对地质体比较全面的认识；与此同时，还必须通过联合反演等多种措施尽量消除反演问题解答的多解性。应该说明，正是这两个基本问题，才存在着使地球物理勘探的理论、方法、技术向更高层次发展的条件。

地球物理既是现代石油天然气勘探开发研究体系中的重要理论之一，又是钻井工程、油藏工程等重要组成油气勘探开发技术手段。因此，深化地球物理理论，推进地球物理技术进步，对加速发展油气工业具有十分重要的意义。

赵殿栋同志主编的“地球物理与油气勘探开发中的作用”一书是在广泛调研国内外油气勘探不同阶段地球物理应用史例的基础上综合而成的，既反映了我国地球物理工作者艰苦奋斗、锐意进取的过程，又论证了地球物理在我国油气勘探开发中的作用与进展，值得阅读和推荐。

中国科学院院士

王德林

2009.7.25.

编者的话

2004年仲夏,中国石油物探界的老前辈孟尔盛先生给当时在新疆工作的我打来电话,告诉我应该读一下由曾任SEG主席的Mr. L. C. Lawyer等人编著,美国勘探地球物理学家学会(SEG)出版的《人类活动中的地球物理》一书,并告诉我已委托东方地球物理勘探有限责任公司副总工程师王卫华先生捎来中译本。接到书后,抓紧阅读。读完该书,百感交集。一是看到此书由76岁高龄的石油物探专家陆邦干先生翻译,83岁高龄的孟老先生审校而完成,对老一辈石油物探专家兢兢业业、求实认真、执着热爱所从事的物探事业的感慨;二是认为此书实际上是一本勘探地球物理的技术史和经济史,它完整地记录了勘探地球物理从简单的科学开始,发展成为对人类文明形成冲击的复杂科学的历程。感慨之余萌生了编写一本关于勘探地球物理技术对石油工业贡献和作用的小册子的想法。

今年是中华人民共和国成立60周年,也是大庆油田发现50周年。新中国诞生以来,我国的石油工业从无到有,从弱到强,走过了一条中国特色的石油工业快速发展之路,创造了卓越辉煌的发展成就。肩负找油找气重任的油气勘探开发行业是一个知识与技术密集型行业,集多学科、多门类的先进知识与尖端技术于一身,仅从地学研究的角度就汇聚了石油地质、地球物理(物探与测井)、地球化学、钻井工程、油藏工程等多种专业学科门类。大家围绕着一个共同的油气地质目标,从不同的角度通过不同的技术手段进行联合研究探索,寻求逐步逼近真实地球的地质认识。无数次不同技术应用实践的探索、分析、融合、提高,才能形成一项新的地质认识;而只有经过实践检验的若干地质新认识的系统归纳与提炼,才能逐步形成一项油气勘探开发的新理论体系,正确指导油气勘探开发实践向纵深发展。

在油气资源的勘探开发中,地球物理技术的广泛应用,已获得良好成效。比如我国960万平方公里的大陆和近300万平方公里的海洋,有350个以上的大小沉积盆地,其中蕴藏着丰富的石油天然气资源。应用重、磁、电、震以及遥感等地球物理方法进行油气普查,再用二维、三维反射地震方法进行详查,通过地震资料处理和解释成图发现构造圈闭,运用地震地层学、层序地层学、地震沉积学和地震地貌学等地震资料解释方法寻找隐状的岩性圈闭,并对储层进行地质—地球物理预测及表征,为钻探提供科学依据,已经成为现代油气勘探的常规生产技术流程。且通过近百年找油找气科学实践的积累和发展,应用地球物理技术已经从单方法的运用,发展到多种地球物理方法的交叉综合;从单一资料的分析解释,发展到地球物理资料与地质、钻井、测井、测试等资料的融合共享;从单一的勘探地球物理学科,发展到不断融合更多专业学科的尖端科技成果和有效技术手段,向着油藏监测和寻找剩余油的油藏地球物理方向延伸。所以,现代地球物理技术既是油气发现和提高产能的重要技术手段,也成为油公司降低成本、提高效益的主要技术途径之一。随着油气勘探开发程度的不断提高,找油找气的目标不断向着条件复杂和环境恶劣的新地区新领域转移,油气勘探开发的难度在不断增大,地球物理技术如何适应日益迫切的高难技术需求,如何有效地加速其技术发展和科技进步,也是我们地球物理工作者需要思考的重要问题。

基于以上几个方面的考虑,我们在系统调研分析国内外油气勘探开发不同阶段地球物理技术应用史例、技术攻关效果、技术发展动态,以及技术发展途径和科技创新模式等多方面

大量文献资料的基础上,逐一论证了地球物理勘探技术为开拓我国石油工业所发挥的先行作用,为推动我国石油工业持续发展所发挥的核心作用,为攻克复杂探区油气勘探的技术难关所发挥的关键作用,进一步为油气开发提高采收率发挥新的效用。由此阐明了地球物理作为最主要的地球探测科学技术,在油气勘探开发的系统工程中同时肩负着战略研究和技术发展的双重重任。通过油气勘探需求、市场竞争态势和投资回报率数据的分析进一步说明,推进地球物理技术进步是加速石油工业发展的重要战略问题,加大地球物理技术投入和研发力度是石油企业提高投资效益和核心竞争力的最佳途径。

本书的编撰思路由编委会共同商讨拟定,并在编写过程中约请多位专家经过了多次讨论修改。全书分为六章,共二十五节。第一章由王炳章负责编写;第二章、第三章由陈伟、朱海龙负责编写;第四章由陈伟、赵殿栋、朱海龙负责编写;第五章由王炳章、赵改善编写;第六章由王炳章、赵殿栋、宋桂桥、于世焕、陈伟编写。全书由王炳章负责统稿,最终由赵殿栋分析提炼并审定。

本书所归纳综述的内容,只是几十年来我国几代石油地球物理工作者艰苦奋斗、锐意创新所取得巨大成果的一小部分,由于掌握资料和编者水平等方面的限制,难免挂一漏万和存在疏漏谬误,敬请广大读者特别是无数亲身经历者多多包涵。为了尊重史实和引用借鉴相关专家学者的真知灼见,本书参考选用抑或直接转载了若干已公开发表的文献资料,在此向文献原作者们表示诚挚的敬意和衷心的感谢!

赵殿栋

2009年7月

目 录

第一章 地球物理勘探是我国石油工业的开拓者和先行者	(1)
第一节 石油物探是发现大庆油田的头等功臣.....	(3)
第二节 石油物探是揭开华北大油气区的先锋.....	(7)
第三节 石油物探是我国海域找油气的开拓者	(10)
第四节 石油物探推动塔北油气勘探的重要突破	(15)
第二章 石油物探是推动我国石油工业持续发展的核心力量	(20)
第一节 隐蔽油气藏勘探关键技术推进胜利油田的持续新发现	(20)
第二节 碳酸盐岩缝洞型储层预测确保塔河油田快速增储上产	(26)
第三节 地震勘探技术的不断创新发现库车山前克拉 2 大气田	(32)
第四节 山地地震攻关揭开普光海相构造—岩性复合型大气藏	(35)
第三章 物探技术进步是攻克复杂探区油气勘探的关键所在	(39)
第一节 墨西哥湾三维地震和叠前深度偏移技术的应用	(40)
第二节 北海四分量地震技术再掀多分量勘探新高潮	(49)
第三节 塔中大沙漠区的高分辨率地震勘探方法技术	(56)
第四节 济阳拗陷潜山油藏勘探开发中的地球物理技术	(59)
第五节 大牛地致密碎屑岩气藏的地震储层预测技术	(71)
第四章 油藏地球物理技术在提高采收率中发挥效用	(75)
第一节 四维地震监测技术显著提高北海油田采收率	(75)
第二节 高含水后期油田提高采收率的油藏地球物理技术	(83)
第三节 垦 71 井区油藏综合地球物理技术试验效果.....	(89)
第四节 高精度三维地震和三维三分量技术应用实例	(93)
第五章 油气勘探开发地球物理技术发展趋势与最新进展	(107)
第一节 地震采集、处理、解释技术发展趋势与新进展.....	(108)
第二节 重、磁、电等综合物探技术的新进展.....	(125)
第三节 地震采集仪器装备的技术进步和发展趋势.....	(135)
第四节 计算技术在油气勘探开发中的应用及发展前景.....	(141)
第六章 推进地球物理技术进步是石油工业发展的重要战略	(152)
第一节 国内外石油物探主要技术力量及油公司的投资结构.....	(153)
第二节 国际上推进地球物理技术发展的几种科技创新模式.....	(165)
第三节 地球物理技术创新发展的多学科融合与一体化途径.....	(177)
第四节 从战略高度重视与推进我国油气地球物理技术进步.....	(184)
参考文献	(204)

第一章 地球物理勘探是我国石油工业的开拓者和先行者

世界石油工业走过了 140 多年波澜壮阔的风雨历程，新中国的石油工业也奇迹般地创造了 60 年辉煌的发展成就。作为产业上游的油气勘探开发行业，在我国石油工业的发展壮大中起到了决定性的作用，不但在建国初期就迅速地使我国由一个贫油国发展成为一个重要的产油国，而且在 50 多年里保持油气储量和产量不断攀升。2007 年我国石油和天然气产量分别达到 $18665.7 \times 10^4 \text{ t}$ 和 $693.1 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，稳居世界第 5 位，为我国经济建设和改革开放做出了突出贡献。

油气勘探开发是整个石油工业的先头部队，而石油地球物理勘探（简称“石油物探”）则是这支先头部队的排头兵。人类获取地质信息主要有两条途径，一是岩样（包括露头），一是地球物理资料。钻井的目的也是为了获取这两样资料。而当今的油气勘探中取得石油地质信息的主要来源是地球物理，因为钻井只能是孤立的点信息，而地球物理是面（体）信息，点面结合才能有较完整的地质认识。现在的石油地质勘探工作主要是利用地球物理（特别是地震勘探）及地球化学等信息进行石油地质解释，研究区域沉积盆地，划分构造带，寻找各类圈闭，研究储层类型和油藏模式，指导油气的勘探开发，并在大量的勘探实践中不断修正与完善地质勘探理论。所以，可以说没有石油物探，就没有现代的油气地质理论和油气勘探工作方法。

在现代油气勘探开发科学中，石油物探运用于油气勘探开发的各个阶段，探查地下各种地质情况，指导各阶段工程实施，是准确、高效、经济地勘探开发油气的唯一选择。物探技术发展到今天已经（并继续）融合了当代最尖端的科学技术，解决油气地质问题的能力大大增强，除了能查明地层分布和构造特征，精确地圈定各种类型的构造圈闭外，在寻找和发现隐蔽油气圈闭和直接找油气等方面也取得了明显的效果。石油物探资料可以提供地下有关地层、岩性和含油气情况；可以划分与追踪油气层，了解油气层的分布范围；可以确定油气藏的类型，监测开采过程中油气的动态变化；在油气勘探开发过程中，石油物探工作可以有效地节省钻探工作量和提高钻井成功率。

我国前石油部部长王涛曾经说过这样一句话：“搞石油勘探，成也在物探，败也在物探”。意思是说，当物探工作开展得及时、所获取的资料准确时，勘探就取得明显成效；当物探工作做得不好、资料不准确时，勘探就失利。换句话说，“物探决定了油气勘探的成败！”李庆忠院士 2001 年在《中国工程科学》杂志撰文指出：在我国石油工业的发展道路上，地球物理勘探起到了十分关键的作用。在我国现有的油气田中，除老君庙油田、延长油矿及西部少数油田是地面地质调查所发现的外，90% 以上的油田都是用物探方法首先查明地下构造情况，找出适合于油气聚集的隆起构造和圈闭，定下井位，然后打探井出油气所发现的。世界石油工业的发展历史和国内数十年的实践经验都充分证明，石油物探是油气勘探无可替代的开拓者和先行者。

我国地球物理工作者在国内开展石油物探工作始于 20 世纪 40 年代。从 1940 年起，著名地球物理学家翁文波先生就使用自行试制及改装的仪器，在玉门油矿进行过电测井和油区

的电法、磁法与重力测量。我国第一个地球物理勘探队——以翁文波为队长的重力（重磁）队于1945年9月在甘肃省老君庙成立，先后在河西走廊、台湾西部平原区和江苏太湖一带开展重、磁力普查和局部构造详查工作。

1949年5月上海解放后，立即在上海枫林桥成立了地球物理实验室，重力队也很快恢复工作，于1950年5月奔赴陕北开展石油普查。我国第一个地震勘探队于1951年3月在江苏省江阴县成立，并迅速开赴陕北四郎庙一带工作，使用美国24道轻便光点地震仪。1952年春，在新成立的西北石油管理局勘探处领导下成立了第二地震队，1952年秋冬又先后成立第三、第四地震队，均使用苏联48型24道光点地震仪，分别在潮水和酒泉盆地的巨厚砾石区工作。1952年，“中苏石油股份公司”设立了新疆石油地质调查处，其下组建了两个重力队、一个地震队及我国第一个磁法队和电法队，先后对准噶尔盆地、吐鲁番盆地和塔里木盆地开展重、磁力测量和少量地震工作。

20世纪50年代初期，我国的石油物探主要在西部的河西走廊、新疆地区、陕甘宁盆地、柴达木盆地及四川盆地山前拗陷局部地区的个别构造上开展工作。1955年，在准噶尔盆地由电法和地震勘探发现了南黑油山（维吾尔和汉语均称“克拉玛依”）潜伏构造，又根据地面油苗定下黑油山1号井位，同年10月见工业油流，发现了克拉玛依油田。接着在车排子、红山嘴到乌尔禾、夏子街一带开展地震、电法、重磁力勘探，初步查明克一乌大断裂带分布。发现克一乌大断层下降盘有五个平缓的鼻状构造，立即布署一批探井，组成10条大剖面，第二年就有32口井出油，第三年就控制了克拉玛依油田的含油范围。

大庆油田的发现是我国地球物理勘探的最突出贡献。1958—1959年，前地质部使用综合物探方法在松辽盆地开展了大规模的重力勘探、航空磁力勘探、电法勘探及地震勘探，发现了“大同镇长垣”（即大庆长垣）构造，并及时提出了部井建议。石油部利用这些物探资料并采纳地质部物探专家的意见，于1959年在盆地中央“凹中之隆”的高台子构造上布下探井，同年9月松基3井喷出了工业原油，从此揭开了大庆油田会战的序幕。原地质部长春物探大队随后及时提交的大庆长垣地震构造图，更是对大庆会战的部署和会战中及时调整部署起到了极其重要的指导作用。

20世纪60—70年代，华北平原渤海湾地区胜利、大港、辽河等油田的相继勘探发现，也是主要依靠地震勘探查明地下的断层分布及构造情况，才得以取得突破的。这些地区地下的断层十分复杂，油层的分布极不规则，如果不采用物探方法，光靠地质分析来部署探井是难以成功的。针对渤海湾的勘探难题，物探人员采用了“多次覆盖”、“数字处理”及“偏移归位”等一整套新技术，把复杂断块的情况搞得比较清楚，才使断块油田的勘探与开发步入较主动的局面，探井成功率提高到70%以上。至今整个渤海湾地区探明石油地质储量已超过 $30 \times 10^8 \text{ t}$ 。

20世纪80年代后期以来，在我国西部的塔里木、准噶尔及吐鲁番等盆地中，物探技术水平进一步得到提高。采用了最先进的GPS卫星定位技术及RTK实时定位技术；引进及自制的大吨位可控震源车可以在戈壁砾石区替代炸药震源；使用了24位模数转换的千道精密遥测地震仪器；科研人员开发出了具有自主知识产权的地震资料数字处理与解释软件。这些新技术的采用，使我们能够在塔克拉玛干大沙漠中5000m的深度上寻找出隆起幅度只有20~30m的含油构造，能够在 $56 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的茫茫大漠中根据地震勘探所定出的探井位置准确地打出高产油气流，相继发现了塔中、塔河等一大批高产油气田。90年代后期在库车地区的崇山峻岭中，地震勘探高水平地发现了克拉2构造，经钻探后发现了大气田，储量 $2500 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，

成为我国“西气东输”的主力气田。

石油物探更是海上油气勘探工作的重中之重，一方面海洋地球物理调查资料是勘探家了解与分析海区油气地质情况的唯一选择，另一方面只有充分掌握了大量的地球物理资料才有可能降低海上钻井的高成本和高风险。在渤海、黄海、东海、南海北部等海域的油气勘探中，我国的地球物理勘探队伍早在 20 世纪 60 年代初开始就担当起了开拓者的光荣责任，最终完全依靠自己的力量，在东海和南海北部（北部湾、莺歌海、琼东南及珠江口等盆地）取得了重要突破。70 年代末我国海域油气勘探工作全面对外开放后，我国与跨国石油公司合作开发的蓬莱 19-3 油田、流花 11-1 油田、崖 13-1 气田及东方 11-1 气田等一批大中型油气田，也全都是主要依靠地震勘探寻找出来的。

第一节 石油物探是发现大庆油田的头等功臣

石油资源是国家的重要战略资源，在新中国成立不久的 20 世纪 50 年代初期，寻找石油资源已成为一项紧迫的任务。当时国家领导人和地球科学家们都十分关心这一问题。但对发展前景还是捉摸不定。因为在 1915—1917 年间，美孚石油公司的克拉普和菲尔勒在陕北等地打了 7 口井，没有取得成功，可能从此成了流传“中国贫油论”的起源。1922 年美国斯坦福大学教授拉克韦尔在《美国矿业工程杂志》上著文称：“中国东南部找到石油的可能性不大；西南部找到石油的可能性更遥远；西北部不会成为一个重要的油田；东北地区不会有大量的石油。中国是绝不会产生大量石油的。”这些评价在新中国成立前和建国初期对我国石油远景评价是具有相当影响的。

1953 年，毛泽东主席、周恩来总理曾为我国石油远景评价的认识问题征询地质部部长李四光。李四光基于我国的地质构造和油气资源调查资料，分析了石油生成的基本条件，深信我国广大区域内具有丰富的天然油气资源。其中包括一个在北北东向新华夏构造体系的沉降带中可以找到石油的指导思想。后来周总理说过，“地质部长很乐观，对我们说地下石油储藏量很大，很有希望，我们很拥护他的意见，现在需要工作”。当时其他一些地质专家，如黄汲清、谢家荣、张文佑等也都从不同角度指出了中国的含油远景地区。

1954 年 12 月，国务院决定地质部从 1955 年起承担石油天然气普查和一部分详查工作，并在全国范围内开展了大规模的石油普查勘探。1955 年 1 至 2 月间，地质部召开第一次石油普查工作会议，决定把石油普查工作作为地质部的重点任务。会后即组成队伍分赴新疆、柴达木、鄂尔多斯、四川、华北等地区开展工作。当时地质部物探处根据地质部的决定，也分别组织了新疆物探队（611 队）、四川物探队（303 队）、南满物探队（112 队）、华北物探队（与地质队合组的 226 队），以及 1956 年的柴达木物探队（205 队），分别开展石油物探工作。这些都为以后的选区评价奠定了良好基础，在我国石油勘探史上迈出了决定性的一步。

20 世纪 50 年代中期以前，我国覆盖区的地质及地球物理研究程度甚低，当时对松辽平原（也叫东北平原）的地下地质构造情况大多属于推测。1955 年，东北地质局组成石油地质踏勘组，对松辽盆地边缘进行地质调查；地质部 112 物探队使用了重力、磁力和电测深方法开始进行区域性调查。1957 年，地质部航空物探大队 904 队在全平原开展 1/100 万航空磁测。石油部 1957 年也在松辽成立了 116 综合研究队，进行资料整理和综合研究。到 1957 年底，地质部的物探队伍完成了 $21.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的 1/100 万重力勘探和 $47 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的 1/100 万航空磁测（含周边山区），以及 5 条横贯平原的电测深剖面，并在剖面的局部地段开展了

地震折射工作。根据这些资料，初步认识到松辽盆地是一个中新生代的大型陆相沉积盆地，主要沉积拗陷的中新生代沉积厚度可达 3000~6000m。

一、松辽平原的石油普查勘探工作

1957 年底，中央及时提出了全国石油普查工作从西部向东部的战略转移，使松辽平原的找油工作发生了重大的转折。

地质部为贯彻中央关于在我国东部找油的批示，把松辽石油普查工作列为全国首要的重点，提出了“三年攻下松辽”的口号，石油普查力量迅速从西部转到东部。从 1957 年底至 1958 年初，把四川的 303 队电法分队、柴达木的 205 物探队，以及在鄂尔多斯工作的 116 物探队调松辽平原，与已在该地区工作的 112 物探队一起组成长春物探大队（1959 年改称为东北石油物探大队，以后又改为第二物探大队），使松辽地区的石油物探力量迅速壮大。从 1955 年到 1959 年底，由 3 个方法队发展到 15 个方法队，包括重磁力、电测深、大地电流、地震（4 个双站地震队）、测井等多种综合地球物理勘探方法，人员由 130 多人增到 1000 多人。

石油部 1958 年在松辽又增加了 5 个地质详查队，9 个重力队，2 个专题研究队，并成立了松辽石油勘探局。地质队分布在盆地东北部的青岗、望奎、海伦一带进行地质详查，重力队在盆地内做 1/20 万重力普查。

地质部的石油物探队伍在整个松辽平原进一步展开了较大规模的地球物理区域概查和构造普查。在 1958 年中期提前半年完成了全平原的区域物探工作，编制了一整套全盆地地球物理、地质综合图件（1/100 万），包括重磁异常图、电测深 S 图、沉积岩厚度图、结晶基底埋深图、大地构造分区图等和 13 条地球物理地质综合剖面图。根据这些资料圈出了面积约 6000km²、基底最深处约 5~6km 的范围广、沉积厚的中央拗陷为找油最有利地区。同时，在松辽拗陷外围还圈出了开鲁、双辽、新站、绥化等凹陷，在南部则圈定了下辽河凹陷。

二、综合物探方法发现了大庆长垣

1958 年在大跃进的形势下，上级要求在年内提前完成全平原的区域概查任务，并在含油远景地区开展构造普查工作。当时松辽平原物探工作的研究程度很低，横贯平原的综合性区域大剖面只有 5 条，按照 1/100 万比例尺的成图要求，还必须补做大量的综合性区域地球物理剖面，这样势必影响普查构造任务的完成，进而影响整个松辽平原石油普查勘探的进度。为此，长春物探大队经认真分析和充分讨论，明确了“着眼全区，面中求点”的指导思想；以区域剖面为主，兼顾普查构造的原则进行设计；确定了以重力为基础，以电法为先导，在关键地段用地震检验的工作方法，把区域剖面 and 构造普查有机地结合起来的工作思路。地震检验的关键地段主要是指：（1）对于划分构造单元直接有关的地段；（2）有局部隆起显示的地段；（3）对于解释物探异常有困难的地段。

通过 1958 年的区域剖面概查发现了一批普查构造对象，到 1958 年底共提出了 30 个有意义的局部构造、隆起和异常，其中最主要的有在拗陷中部大同镇长垣上的高台子、太平屯、杏树岗和葡萄花等局部高点。同年，地质部通过地质钻探于 4 月 17 日在吉林省前郭旗南 17 井首先获得了油砂，接着在公主岭杨大城子南 14 井也发现了多层油砂，这对松辽平原的含油远景评价提供了极为重要的资料和依据。

1958 年上半年在部署Ⅸ和Ⅺ区域物探剖面时，研究了原有的 1/100 万重力图，发现在

大同镇附近有一局部重力异常，电法队在该地段进行电测深剖面时也发现有隆起显示，为此电法分队及时进行了加密测量，同时大队立即布置地震反射剖面。从地震资料上可以看出该隆起是一沉积层的褶皱，需要继续查明其圈闭情况和延伸范围，于是决定地震分队就地转入初步普查，很快就圈出了高台子、太平屯、杏树岗和葡萄花等局部构造，并且地震资料显示整个构造带明显地向南北两端延伸，看来规模较大，应继续加强力量进行追踪。1959年初地矿部物探局在长春召开设计答辩会，作出以大同镇构造为重点的部署意见，决定调集2台双站地震仪分别向南向北追踪长垣的延伸范围并圈定其中的局部构造。1959年底基本完成了自萨尔图至松花江边全长160km宽约30~40km的大同镇长垣的详查任务，编制了面积近4000km²、1/10万比例尺的连片地震构造图和1/5万局部构造详查图。

三、地震勘探成果正确确定松基3井井位

1958年下半年，由石油部松辽石油勘探局的两台大钻和一台中型钻组成了3个钻井队，根据地质部取得的资料，在盆地东部的任民镇东14km处的重力高和电法隆起上钻探了松基1井（1958年7月9日开钻），在东南隆起带登娄库构造上钻了松基2井（1958年8月6日开钻）。这两个构造都在盆地边部，地层不全，生储油条件差，钻井结果未发现良好的油层。而盆地西部还没有一口深井，迫切需要打一口基准井以了解地层岩性和含油气情况。

怎样确定松基3井的井位，开始时有两种方案。其一是松辽石油普查大队1958年8月4日建议定在吉林省开通县乔家围子西1500m处；其二是长春物探大队提出在黑龙江省肇州县“大同镇电法隆起”处布钻。石油部松辽石油物探局于8月中旬派技术人员到地质部长春物探大队了解最新的物探资料，并共同研究，初步提出松辽基准3井井位应定在大同镇电法隆起上。为了统一思想，尽快确定松基3井井位，1958年9月3日松辽石油勘探局、长春物探大队和松辽石油普查大队三单位的主要技术人员联合召开会议，一起进行深入讨论，最后一致同意将松基3井定在大同镇电法隆起上。根据共同商定的意见，松辽石油勘探局于9月15日向石油部正式呈报了松基3井的井位意见。9月中旬长春物探大队又向松辽石油勘探局提供了大同镇一带最新的地震剖面，初步证实大同镇电法隆起在地震资料上也是一个沉积层的褶皱隆起。据此，松辽石油勘探局于9月24日又向石油部呈报了松基3井井位的补充依据。但石油部要求再进一步补充资料。

为此，松辽石油物探局技术人员又到长春物探大队商讨研究，长春物探大队技术负责人根据高台子地震工作最新成果进一步坚持了原定井位意见，并相约同赴黑龙江省明水县地震三队驻地，进一步检查资料，落实构造形态，研究构造特征，确定具体井位。根据地震队现场提交的大同镇地区的地震构造图和区域背景来看，高台子构造位于远景最好的中央拗陷内，是一个构造带上的局部圈闭，是确定基准井的理想位置。根据这些最新资料，对原定的松基3井井位做了一定移动，最后确定在高台子屯与小西屯之间。11月14日，松辽石油勘探局向石油部呈报了松基3井井位补充报告。报告说明：“松基3井井位已改定在大同镇西北，小西屯以东200m，高台子以南100m处”。经过这样反复论证、修改、补充工作，石油部于1958年11月29日正式行文批准了松基3井井位，至此历时近半年的井位问题得到了圆满解决。1959年4月11日松基3井正式开钻，9月26日喷出了工业油流，成为松辽盆地第一口自喷油井，标志着大庆油田的发现（图1-1）。松基3井的重大突破为建国十周年献上了一份厚礼，也使松辽平原石油勘探进入了新的阶段，它在我国石油勘探史和工业发展史上写下了举世瞩目的光辉篇章。



图 1-1 1959 年 9 月 26 日，松基 3 井喷出了工业油流，标志着大庆油田的发现

四、大庆长垣地震构造图的历史性作用

大庆长垣地震构造图对大庆会战的部署和会战中及时调整部署起到了极其重要的作用，这一点在石油部余秋里老部长的回忆录中得到了客观的证实。他在回忆录中提到：由于松基 3 井的突破，1959 年 12 月在大同镇期间，他一直在考虑一个问题，即大同镇长垣油气富集区在哪里？最有利的构造高点在哪里？他反复研究地质图和有关资料，考虑长垣北部有几个重磁力高和电法隆起，情况会不会比南部更好些。在“对比了高台子构造上松基 3 井和葡萄花构造上尚未完成的葡 2 井的测井资料后，发现从高台子向南到葡萄花构造，地层和油层厚度有变薄的现象，这预示向相反的方向，由高台子向北油层有可能更厚、产量更高”。“萨尔图一带可能是大庆长垣上的油气富集带”。有人建议“在重点勘探南部葡萄花等构造的同时，可不可以把钻探的步子向北甩得更大些”，但是“按当时一般勘探程序，采用十字剖面布井办法，以 2km 左右井距依次向四周展开勘探，从南部的高台子、葡萄花地区，一家伙甩到北部的萨尔图地区，这距离足有 70km，这是许多同志不敢想的”。在这种情况下，余秋里在回忆录里写道：“我要特别感谢地质部长春物探大队，正当我反复考虑这个问题，准备作出决定时，他们送来了最新完成的地震细测成果——“大庆长垣地震构造图”，清晰地勾画出了北部杏树岗、萨尔图、喇嘛甸子三个面积各为 100~130 平方千米的地震构造，可以明显地看到三个高点，不但同重磁力、电法显示的轮廓和高点吻合，而且更准确地反映了这些构造的范围和高点的位置。我兴奋不已，彻夜难寝，反复看这张构造图，盯着那三个高点，对萨尔图构造特别感兴趣。它的范围大，滨洲铁路横穿而过，一旦出油，扩大钻采，开发建设，交通很方便，可以很快上去。这天夜间，经过反复思索，我作出了一个决定，在 3 个构造的高点，各定一口预探井，先上萨尔图，进行火力侦察，打下去看看”（见解放军出版社 1996 年版《余秋里回忆录》第 593 至 594 页）。

在长垣北部萨尔图、杏树岗、喇嘛甸子三个局部构造的三口预探井，都是油层厚、产量高的高产井，并说明了大庆长垣上油层厚度最大、产能最高、丰度最富的地区是喇嘛甸子构造，这三口井有可能控制约 800km² 的含油面积，开始展示了长垣北部大面积富集高产的面貌。同时南部在太平屯构造和敖包塔构造上的预探井也获工业油流。通过已有探井油气情况的分析对比，说明长垣北部的油层比南部厚，产量比南部高，而整个长垣从南到北很可能是连片含油的。随着 1960 年 1 月在大庆长垣南部的高台子、葡萄花、太平屯地区完成的 13 口

井，在 200km^2 面积上，取得了 $1 \times 10^8\text{t}$ 以上地质储量，它相当于当时整个克拉玛依的成果。根据地震资料，大庆长垣是一个面积达 2000km^2 的二级构造带，整个油藏有可能受二级构造控制，也就是说整个长垣都有油。在这种背景下，决定了石油部在 1960 年 2 月 13 日提出进行大会战的报告，这个报告 7 天后就得到中央的批准，从而拉开了从根本上改变我国石油工业落后面貌的松辽石油大会战的序幕。

1960 年石油部调集 14 个地震队、2 个电法队、4 个重力队开始了大庆石油勘探会战，对盆地的西斜坡及北部地区进行了面积详查。1961 年调集了 25 个地震队进行地震连片测量，作出了全盆地六大层地震构造图。1962 年冬，集中主要力量攻克地震地质条件复杂的高岗、江叉地区，查明了东南隆起区的四大构造关系。同时，在大庆油田、古龙凹陷两侧，进一步开展了小幅度构造和非背斜封闭构造的研究。在两年多的时间内，完成地震剖面 25958km ，提供了全盆地七大层地震构造图，发现局部构造 51 个，复查构造 33 个，基本上搞清了大庆油田的构造细节，为油田的勘探开发和对松辽盆地的含油气远景的评价提供了重要依据。

大庆油田的发现并快速探明的历史充分证明，在我国石油勘探事业的起步阶段，成功应用石油物探技术能够高速度、高质量地完成区域概查、构造普查和详查，准确查明地下构造（圈闭）形态和确定钻探井位，石油物探是开拓我国石油工业辉煌历史的头等功臣。查明大庆长垣所形成的一整套有效的物探方法和工作程序，也使人们认识到先进的地球物理勘探方法和地球物理科技队伍，在油气勘探全过程中所占有的不可替代且相对独立的先行地位。更为重要的是使各级领导，特别是高层领导认识到了石油物探的作用和重要性，为以后我国石油物探事业的全面发展打下了坚实的基础。

第二节 石油物探是揭开华北大油气区的先锋

一、华北平原石油物探综合大普查

华北大平原是指秦岭大别山以北，燕山以南，吕梁山以东，郯庐断裂以西的广大地区，面积有 40 多万平方千米。从 1939 年到 1954 年期间，我国的地质学家曾经从不同角度指出过本区是可能的或有希望的含油区。因此，地质部在 1955 年初开展全国石油大普查时，就确定华北平原为首选地区之一，并迅速调动直属的物探队伍，与地质、钻探队伍一起组成华北石油普查大队（226 队），当时物探方面共有 10 个方法队和 1 个物性队，在冀、鲁、皖、豫等省展开工作。这样大规模的物探队伍对一个第四系掩盖的广大地区开展石油物探概查、普查，在我国尚属首次。

地质部华北石油普查大队借鉴苏联的经验，首先从区域着眼，以小比例尺（1/100 万）重、磁面积测量、电测深和地震区域大剖面进行全平原的整体部署，结合周边地质和少量钻探资料对华北平原进行“探边摸底”，了解区域地质的整体结构。1956 年初，华北石油普查大队就提交了地质部的第一份石油物探综合研究报告，初步划分了华北平原的区域构造。同时，石油部华北钻探大队开钻华北第一口基准井——华 1 井。进而，华北石油普查大队在认为有利的地带开展较大比例尺的综合物探构造普查，从 1955 年到 1958 年共完成了航磁 $30 \times 10^4\text{km}^2$ ，综合物探大剖面 7 条，1/100 万至 1/10 万不同比例尺的物探面积测量累计 $84.6 \times 10^4\text{km}^2$ 。

1957年6月，华北石油普查大队经过综合研究提出的1956年度“地球物理探测结果报告”，首次在华北平原内部圈出了5个沉积凹陷的范围，并推测了各自的沉积厚度，认为具有深厚沉积的凹陷是找油最有希望的地区。在1957年度的综合物探成果报告中，明确指出华北平原内存在有至少6000m以上的沉积岩层，它们在地震资料上反映为三个反射层组。第一层组为水平层，相当于第四系和新近系，深约1000~1500m；第二层组为 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 的倾斜层，在重力负异常、电性标志层深的地方厚，反之则薄，以至尖灭，估计为中新生界，一般厚约3000~4000m；第三层组为 15° 以上的倾斜层，为古生界。随着石油物探工作的继续开展，又进一步划分了华北地区的区域构造单元，圈出6个总面积达 $12.13\times 10^4\text{km}^2$ 、沉积厚度在2500~4000m的中、新生代沉积拗陷〔博野（后称冀中）、济黄、临清、开封、周口、合肥〕，确认为找油气有希望的地区，并初步推断济（阳）黄（骅）拗陷的含油气性最好。同时还发现了数十个有意义的重力异常和电法隆起，为后来地震详查选区提供了重要资料，使人们对华北平原的地质结构和含油气远景有了较明确的认识。

1958年春，华北石油普查大队的物探队伍划分出来，成立了地质部济南物探大队（后改称中原石油物探大队，1962年改名为第一物探大队），继续开展华北地区的石油物探工作。1959年到1960年期间，中原石油物探大队除在临清、开封、博野、济源等拗陷继续工作外，重点转向济黄拗陷进行构造详查，投入的地震工作量共有 3500km^2 的1/10万~1/20万面积普查和 1500km^2 的1/5万构造详查，以及近800km的区域剖面。在此期间，石油部华北石油勘探处也在京—津—衡水—保定地区进行电测深、大地电流等电法普查工作，并在天津杨村、山东济阳一带做了少量地震普查工作。

地质部航空物探大队于1959年在渤海地区完成了面积达 $14\times 10^4\text{km}^2$ 比例尺1/100万的航磁测量工作，取得了十分重要的成果。它揭示了济阳、黄骅拗陷已通向渤海，与下辽河凹陷相连呈一整体的大型拗陷。

通过各项物探工作共发现了300多个有意义的局部异常，其中有15个经1/5万地震详查证实为局部构造。它们的分布是：济阳拗陷有沙河街、胡家集、林樊家、三岔口、东营、坨庄、胜利村、义和庄；黄骅拗陷有齐家务、羊三木；临清拗陷有堂邑南、邱县、马头；冀中拗陷有大辛庄；开封拗陷南坡有邸阁等。这些局部异常和构造多数成排成带分布，构成众多的二级构造带，这就进一步证明华北拗陷区具有良好的圈闭条件。根据济阳拗陷钻井结果确定华北地区找油的目的层为古近系，从地震资料分析，除凸起外，拗陷中普遍存在厚度超过1000m的目的层。

中原石油物探大队在1959年度和1960年度的物探成果报告中，对华北平原构造单元再次进行了划分，采用拗陷区与隆起区、盆地（拗陷）与隆起、凹陷与凸起三个级别，首次将华北平原称作华北拗陷区，其中分冀中、济黄、临清、开封、周口、合肥六个拗陷和沧县、内黄两个隆起。在这些拗陷与隆起上又划出了22个凹陷、20个凸起和两个斜坡，使整个华北地区的构造区划更为规范化和系统化。

二、东营突破点的选择和胜利油田的发现

中原石油物探大队1960年2月在“1959年度华北平原石油详查及普查综合物探工作总结报告”中提出：“济黄盆地的新生界已钻到灰绿色地层，应视为具有现实意义的目的层；由于该盆地面积大，有良好的厚层中新世沉积及局部构造发育，因此含油远景最大，应列为重点突破的地区。其中济阳凹陷的商河、博兴、沾化地区及黄骅凹陷特别应迅速布置深