

Methods and Applications in
Reservoir Geophysics

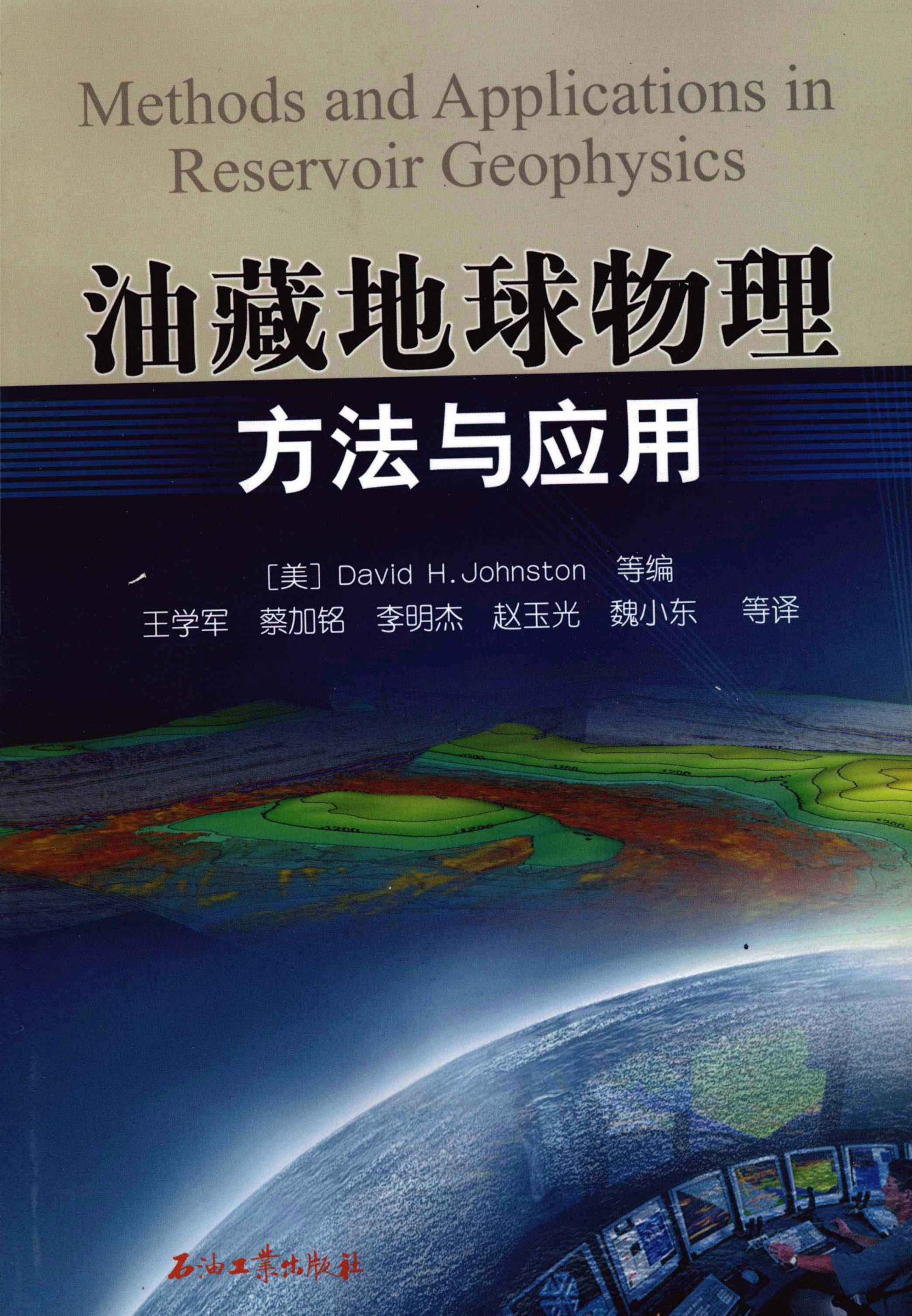
油藏地球物理

方法与应用

[美] David H. Johnston 等编

王学军 蔡加铭 李明杰 赵玉光 魏小东 等译

石油工业出版社



油藏地球物理方法与应用

[美] David H. Johnston 等编

王学军 蔡加铭 李明杰 赵玉光 魏小东 等译



石油工业出版社

内 容 提 要

本书从油藏地球物理的各个方面收集了有典型代表性的论文 54 篇, 每一篇论文都是一个很好的实例。通过实例的介绍和讨论, 对油藏地球物理技术进行了全面的归纳和总结, 突出了技术要点, 最后落实在技术应用的效果上。全书共分为六个部分: 第一部分为油藏管理与油田生命周期, 充分讨论了有效的油藏管理应当是在油田的生命周期中, 使油藏储量达到最大规模、油田采收率达到最佳状态并能最大限度地控制成本的增加。第二部分重点介绍油藏地球物理技术的基础, 包括油藏工程基础、地震岩石物理基础, 以及油藏地球物理基础。第三部分至第五部分分别是勘探地球物理、开发地球物理和生产地球物理的内容。第六部分是油藏地球物理技术发展展望。

本书可供从事地球物理专业的科研人员, 特别是油藏评价与开发和地震地质解释人员、地球物理学家、地质学家、大学本科生、研究生和博士生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

油藏地球物理方法与应用 / [美] 约翰斯顿 (Johnston, D. H.) 等编; 王学军等译.
北京: 石油工业出版社, 2012. 6

原文书名: Methods and Applications in Reservoir Geophysics

ISBN 978-7-5021-8992-1

I . 油…

II . ①约… ②王…

III . 油藏 - 地球物理学 - 文集

IV . P618.13-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 054081 号

Copyright © 2010 by the Society of Exploration Geophysicists

All rights reserved. This book or parts hereof may not be reproduced in any form without permission in writing from the publisher.

本书经 SEG 授权翻译出版, 中文版权归石油工业出版社所有, 侵权必究。
著作权合同登记号图字: 01-2011-7793

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

编辑部: (010) 64523533 发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 北京晨旭印刷厂

2012 年 6 月第 1 版 2012 年 6 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 49.75

字数: 1273 千字

定价: 298.00 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

中文版序

油藏地球物理学是地球物理技术应用于已知油藏的一门新兴学科。它的目标是综合地球物理信息、地质信息和油藏工程信息，协同解决油藏开发和生产中的各类问题，使地球物理学更好地服务于油田开发与生产。

这一新兴学科是 20 世纪 90 年代初真正确立的，其主要标志性事件是，1992 年 SEG 编辑出版了《油藏地球物理》一书，说明了地球物理技术的研究重点已从简单的构造成像，逐渐转向储层精细研究、油藏精细描述和动态监测。从此，油藏地球物理技术迅速受到上游石油公司和石油技术服务行业的青睐。油藏地球物理学的逐渐完善和应用，极大地提高了油藏的采收率，增加了油田的储量和产量。地球物理技术在油藏管理中的重要作用也逐步突显出来。

油藏地球物理技术发展初期，油藏管理的理念主要体现在降低油田开发和生产作业的成本费用，而油藏地球物理技术主要应用在：(1) 油藏描述（描述圈闭特征）；(2) 油藏表征（确定油藏特性和油藏特征参数）；(3) 油藏监视（生产监测）。当地球物理技术成为油藏管理工具时，除了降低作业成本以外，还可以发现以前没有得到开发的储量，并使干井和低产井的数量实现最小化。通过在油藏管理中发挥作用，地球物理技术也得到了进一步的扩充和完善。

我国石油工业提出要加强地球物理技术在油田开发和生产中的应用基本同步于国外，20 多年中，地球物理工作者坚持精诚为油田的勘探和开发服务，综合先进的采集、处理、解释和评价技术，在油藏描述、模拟和监测等方面做了大量工作和有益的尝试。油藏地球物理技术在准噶尔盆地呼图壁等气田、准噶尔盆地石西火山岩裂缝油藏、吐哈盆地丘陵油田、大庆萨尔图等油田、塔里木盆地塔北碳酸盐岩油田的开发和生产，在辽河拗陷曙光油田的稠油藏、准噶尔盆地稠油藏的蒸汽驱监测和稠油生产，以及在许多其他油田的开发和生产中都已发挥了重要作用并取得了很好的效果。2009 年，中国石油学会在青岛组织召开“油藏地球物理技术研讨会”，进一步推动了油藏地球物理技术的进步及其在油田开发与生产中的应用。

20 世纪末到 21 世纪初，剩余勘探目标越来越复杂，如盐下、玄武岩下的地质体，陆上地表条件十分恶劣、自然环境非常差的地区，致密砂岩、页（泥）岩、碳酸盐岩、火山岩等更加难以描述的含油目的层。人们清楚地认识到油藏管理面临两大技术的挑战：(1) 早期对油藏特征的精细描述，包括体积、流体性质、岩性和连续性等；(2) 改进油藏监视技术，以

便对油田生产过程进行准确监控和有效管理。这时，地球物理技术更加明显地体现出它不仅是一种勘探技术，而且还担负着油田整个生命周期中油藏特性描述的全部任务。

David H. Johnston 等人编撰的《油藏地球物理方法与应用》一书，就是在这样的背景下出版的，它是继 1992 年 SEG 编辑出版的《油藏地球物理》一书后的又一部经典著作，它对随后 18 年的油藏地球物理技术的发展进行了全面的归纳和总结。收集的每一篇论文都围绕油藏地球物理这一主题，从不同的角度，通过实例的介绍，对油藏地球物理方法及其应用进行了十分详细的讨论，对方法的应用效果做出了十分恰当的分析与评价。选择的每一篇论文都有其鲜明的代表性。它系统地介绍了油藏工程管理，油藏地球物理学的发展历程和涉及的具体领域，地球物理信息在油藏管理中的作用，油藏地质、油藏工程和油藏地球物理的关键概念和专业术语，岩石物理学原理和常用的经验法则，以及地球物理学的基本原理。它根据应用井信息和地震信息的不同程度，将油藏地球物理划分为开发地球物理和生产地球物理两大部分。前者主要用于油田最初的有效开发，包括制定和确定油田开采方案，确定初期生产井位，设计油田生产设施等；后者用于了解生产过程的进展，制定提高采收率的有效措施，包括三维和四维（时移）地震、重力和电磁技术的应用、井中地震、井中电磁、井间地震、井间电磁和地球物理测井等技术。油藏地球物理技术不仅在油藏管理中体现出价值，而且可以更有效地指导油藏研究。油藏地球物理技术应用的整个过程可以概括为：数据、知识、决策的转化过程，直接效果是提高采收率，并延长油田的生命周期。它分别介绍了勘探评价、开发和生产阶段油藏工程的主要工作内容，以及用于解决各阶段具体油藏问题的地球物理数据及采用的特定技术，并列举实例阐述各阶段应用的油藏地球物理技术和应用效果；最后指出了油藏地球物理的发展趋势。全书强调地球物理工作者要了解油藏工程的需求，各学科人员之间的相互沟通和协作，以及油藏地球物理对提高油田资产的重要性。

东方地球物理勘探有限责任公司研究院组织对该书进行了翻译，这是一项十分有意义的工作，为广大读者提供了极大的方便，同时为油藏地球物理技术在我国推广应用，必将发挥积极的促进作用。书中的实例虽然大多来自于海上数据，但对我国陆上地表和地下都十分复杂的油气藏的地球物理研究工作仍有很好的参考价值。我相信该译著的出版将有助于我国地球物理工作者更系统地了解国外油藏地球物理学的发展和应用现状，推动该学科在国内油田开发和生产中的应用，提升我国在这一领域的研究水平。同时，促进国内油藏地球物理领域人才的成长并对该学科的继续发展作出贡献。

中国科学院院士



2012 年 4 月 18 日

中文版前言

由 SEG（美国勘探地球物理学家学会）的 David H. Johnston 等人共同编撰的《油藏地球物理方法与应用》一书，是继 1992 年 SEG 编辑出版的《油藏地球物理》一书之后又一本具有重要参考价值的经典著作。从油藏地球物理技术的发展历程上分析，这两本书是油藏地球物理技术发展历程划分阶段的有标志性意义的重要著作。

20 世纪 80 年代初，伴随着三维地震技术的推广与应用，油藏地球物理技术也就应运而生了。随后，在近 10 年的时间内，通过广大地球物理工作者的艰辛努力和精心培育，油藏地球物理技术从雏形逐渐初具规模。这一方面适应了油气工业发展形势之需求，同时也为后续的发展奠定了坚实的基础。在《油藏地球物理》一书中，对这一阶段的技术发展进行了全面的归纳和总结。随后的 18 年，是油藏地球物理技术快速发展的阶段。在 20 世纪 90 年代初，石油企业面临的困境不亚于 20 世纪 70 年代和 80 年代的情形。一方面是油价起伏多变、成本持续上升；另一方面是勘探和开发的目标难度空前加大，迫切需要发展新的技术来提高勘探的成功率和油田开发与生产的采收率。这一新的形势，既为油藏地球物理技术的发展提供了机遇，又使其面临着多个方面的严峻挑战。虽然机遇和挑战总是并存，但从最终效果来看，这促进了油藏地球物理技术的快速发展。油藏地球物理技术系列逐渐趋向成熟，并在油藏管理和油田生命周期过程中各个环节得到了广泛的应用，并在各个方面都取得了成功，特别是在技术应用方面积累了丰富的经验，并获得了巨大的经济效益。

《油藏地球物理方法与应用》一书，从油藏地球物理的各个方面收集了有典型代表性的论文 54 篇。每一篇论文都是一个很好的实例，通过实例的介绍和讨论，对油藏地球物理技术进行了全面的归纳和总结，突出了技术要点，最后落实在技术的应用效果上。全书共分为六个部分，在每一部分的前面，作者给出了这一部分内容的概述，然后紧接着就是收集的论文。第一部分为油藏管理与油田生命周期，充分讨论了有效的油藏管理应当是在油田的生命周期中，使油藏储量达到最大规模、油田采收率达到最佳状态，并能最大限度地控制成本的增加。第二部分重点介绍油藏地球物理技术的基础，包括油藏工程基础、地震岩石物理基础，以及油藏地球物理基础，这些内容是十分重要的。第三部分至第五部分分别是勘探地球物理、开发地球物理和生产地球物理，这是本书的主体部分。地球物理勘探是大家相对比较熟悉的内容，在这一阶段我们不仅要找到油藏，而且要对油藏进行充分的准确的评价，因此又常称为勘探评价阶段。当项目评价完成并已确认其可行性后，就进入油藏开发阶段。此时

一方面要确定开采方案，确定初期生产井位（包括注水井位）和设计生产设施；另一方面要对第一批初始井进行采油，即我们平时说的试生产。21 世纪，地球物理技术已成为油田整体生产中不可缺少的一部分，地球物理数据频繁地用于解决油田生产中遇到的各种各样的特殊问题，监测油气饱和度和油藏压力的变化，并用于生产和调整油藏模型，这就是生产地球物理阶段的基本内容。第六部分是油藏地球物理技术发展展望，在展望未来技术发展的同时，回顾以往的历程可以提供许多有益的借鉴和重要的启示。一方面要完善当前得到应用的一些技术，使其趋向成熟，成为常规的应用技术；另一方面要将各种各样的新思路、新方法和新技术转变为商机，将遇到的各种挑战转变为创新的记录，以及紧紧抓住各种发展的机遇，创造出巨大的经济效应。

本书是在中国石油天然气集团公司东方地球物理勘探有限责任公司研究院的组织与支持下翻译而成的。该书英文版前言、英文版编委会主席介绍、目录由王学军翻译；第一部分由王学军、郭艳霞翻译；第二部分由蔡加铭、冉建斌、易良坤翻译；第三部分由李明杰、姚政道、庄田、陈志刚、谢结来、田兵翻译；第四部分由魏小东、王鹏、张进铎、周晓明、陈鑫、刘媛、周国峰、王忠凡、李艳静、唐资昌、张大伟翻译；第五部分由赵玉光、李建林、毛德民、黄忠范、胡新立、王红梅、李庆华翻译；第六部分由赵玉光、黄忠范、曾庆芹、高江涛、钱豫、贾文锐翻译。中国科学院贾承造院士对本书的翻译工作给予了大力支持和鼓励，并为本书作序。黄忠范、熊翥、赵建勋三位老专家对全书进行了审校。对他们的辛勤工作，在此一并表示感谢。

全书内容十分丰富，各个实例都有鲜明的代表性，均有很高的参考价值。我们相信，通过这本书的翻译出版，必将促进油藏地球物理技术在我国推广应用。由于译者水平和专业知识面所限，翻译不妥甚至错误之处敬请读者批评指正！

英文版前言

1992年美国勘探地球物理学家学会(SEG)出版的《油藏地球物理》是本书的前传。经历了20世纪80年代中期的下滑后,地球物理专业和石油工业正处在过渡阶段。与20世纪70年代晚期暴涨的石油价格相比,除了第一次海湾战争前后的几个月外,当时的油价已跌入低谷。勘探工作却又转向困难更多、费用更高的区域:深海区、深层目标区、更边远的地区。因此,提高原有油田原油的采收率成为石油企业迫切的任务。

在地球物理领域,成熟的三维地震技术帮助油气企业降低了发现油气的成本,从1979年的每桶15美元降至1992年的每桶6美元。20世纪80年代中期,尽管许多优秀的研究人员离开了地球物理行业,但是,计算机工作站提高了解释人员的工作效率,并为了解地下地质情况提供了新的有用技术。许多地球物理学家的研究重点开始从简单的构造成像逐渐转向油藏特性描述。

20世纪90年代早期,石油企业面临的困难要求油田尽快地投入生产,且要达到最高的采收率。除储量最大化和采收率最优外,油藏管理理念主要还体现在降低开发和作业的费用。当地球物理技术成为油藏综合管理的工具时,发现了以前没有开发的储量,并通过使干井和低产井数最小化以降低开发费用,以往局限于油气勘探的地球物理技术开始成为油藏管理综合体的一部分。此外,《油藏地球物理》一书是在油气工业和石油上游技术学科开始认识到综合性价值的时候问世的。

《油藏地球物理》是SEG开发和生产委员会集体努力的产物。该委员会负责加强地球物理学家、石油地质学家、油藏工程人员之间的沟通。本书的部分对策是通过实例研究证明各个学科必须尽力支持其他学科的研究。对策的其他要素包括征集SEG、AAPG、SPE年会及联合SEG/SPE专题研究和论坛的文章。

《油藏地球物理》的基本目的是提升地球物理对油藏研究贡献的意识,读者对象可能延伸至油藏工程人员(尽管推测大多数购书者是地球物理学家)。因此,书中所选研究实例主要突出应用地球物理技术的成果,不需要介绍所有技术的细节。《油藏地球物理》的编撰内容按以下章节安排:

- (1) 油藏描述——描述圈闭特性;
- (2) 油藏表征——确定油藏特性;
- (3) 油藏监视——生产监测。

18年后,伴随着《油藏地球物理方法与应用》一书的出版,石油企业和技术专业学科所面临的困境并不亚于1992年。油价起伏多变,成本持续上升。勘探工作在20世纪90年代后期已转向深海区,目前正转向诸如北极和超深海等更不利的环境。剩余勘探目标的成像更加困难(如盐下和玄武岩下地质体),或者含油气目的层更难描述,如致密砂岩、页(泥)岩、碳酸盐岩。此外,1992年以勘探开发为主要职业的地球物理学家、地质学家、工程人员已经或者即将退休。由于20世纪90年代后期石油企业雇佣的人员有限,具丰富经验的技术人员出现缺口,导致将技术人员较早地推到负有更多责任的位置。

1992年开始应用的油藏地球物理,目前已成为主流技术。SEG开发和生产委员会曾为SEG年会征集油藏地球物理方面的文章,但是,在2007年圣安东尼奥举办的年会上,30%的专业技术文章是油藏应用方面的。因此,《油藏地球物理方法与应用》的内容并不只是证明地球物理在油藏管理中的价值,同时还阐明了如何应用地球物理技术更有效地指导油藏研究。尽管我们希望油藏工程人员能够领会本书的用途,但是,主要读者还是地球物理学家。因此,论文中所选研究实例主要是用于油藏地球物理的处理、方法和技术,而不是只注重研究的结果。

此外,本书清楚地表明,地球物理并不单纯地只是一种勘探技术,而且还担负着在油田全部生命周期中用于油藏特性描述的任务:

- (1) 油藏发现和评价;
- (2) 开发规划;
- (3) 生产最优化。

本书第一部分是“油藏管理与油田生命周期”,该部分将油田生命周期分为多个阶段。确定了油藏管理过程、油田生命周期、综合油藏研究,以及油藏地球物理的基本概念。检查了在地球物理数据中投资的商务实例,以及综合团队环境中有效应用这些技术所需要的技能。

第二部分是“支撑技术”,介绍了油藏工程和油藏地球物理中的主要概念和技术。地球物理学家应该寻找富含相关问题信息源的文章和对工程人员很重要的数据。文章讨论了地震岩石物性,这是连接油藏工程描述与地球物理描述的纽带。结束部分是有关地球物理学的讨论,地球物理学家和工程人员都可找到全书文章中所讨论技术和数据的说明。

第三部分是“勘探地球物理”,主要介绍油田勘探阶段帮助描述和评价油藏主要要素(岩性、孔隙流体类型、孔隙压力和储量)所应用的地震和非地震地球物理方法。

第四部分是“开发地球物理”,介绍适合油田商业开发所要求的不同尺度的地球物理油藏特性描述。同时还介绍了应用地球物理方法对油藏监测进行规划。

第五部分是“生产地球物理”,描述了如何应用地球物理方法,通过识别油藏的非均质性或者监测油田生产中流体饱和度和油藏压力的变化,帮助油田实现采收率最大化。

第六部分是“油藏地球物理技术发展展望”,细察了正出现的判定为未来油藏地球物理技术(新颖的采集方法和更量化的分析)和新的应用领域。

同1992年出版的《油藏地球物理》一样,本书也是编委会成员多年努力的产物。所选文章部分是曾发表过的,20%是首次发表的新文章,涉及内容涵盖主要的油藏地球物理技术

及其应用。编者在此对文章作者表示衷心感谢。

另外，衷心感谢《油藏地球物理方法与应用》的编委会成员：Bill Abriel, Farrukh Ahmad, Alistair Brown（他也是1992年版《油藏地球物理》的编辑），Ian Jack, Kyle Lewallen, Colin MacBeth, Sankar Muhuri, Mike Payne, Jim Schuelke, Bob Sheriff（《油藏地球物理》的编辑），Ken Tubman, John Waggoner 和 Mike Wilt。衷心感谢 SEG 出版委员会，尤其是主管编辑 Mike Cooper，SEG 开发和生产委员会，以及 SEG 解释委员会对本书出版的支持。

编委会主席、编辑：David H. Johnston
美国得克萨斯州休斯敦，2010年9月

英文版编委会主席介绍



David H. Johnston 是 ExxonMobil 生产公司 (休斯敦) 的全球地球物理协调员。他于 1979 年加入 Exxon 生产研究公司。主要从事油藏地球物理研究, 涉及岩石物理、地震油藏特性描述和地震油藏监测。

Johnston 分别于 1973 年和 1978 年获马塞诸塞理工大学地质学硕士和地球物理学博士学位。他是 SEG, SPE, AAPG 的会员。1990 年担任 SEG 的秘书和司库, 并担任开发和生产委员会与解释委员会主席。1993 年曾获 SEG 优秀报告奖; 2005 年获 The Leading Edge 杂志优秀论文奖。他是 1992—1993 年度 SPE 的杰出讲师、1999 年度 SEG 的杰出讲师, 以及 2005 年度 AAPG 的杰出讲师。

由于对地球物理专业的卓越贡献, 2003 年 Johnston 成为休斯敦地球物理学会荣誉会员, 2004 年成为 SEG 终身会员。由于他杰出的技术成就, 2007 年获得 ExxonMobil 的首批 Peter Vail 奖。他已在专业杂志上发表论文 25 篇, 在专业会议上发表报告 40 多篇。他是 1981 年出版的《地震属性》(SEG 地球物理论文集 2) 和 1992 年出版的《油藏地球物理》(SEG 地球物理论文系列丛书: No. 7) 的合作编辑。

目录

第一部分 ◆ 油藏管理与油田生命周期

概述	002
综合项目团队在应用创新技术提高产量和采收率中的作用	006
使油藏综合研究的有效性最大化：改进过程和结果的实际途径	017
油藏地球物理概况及主要发展历程	028
地球物理信息在油藏管理中的价值	038
新世纪成功石油专业人员的职业素质	048
石油地学工作者的专业技术和能力	060

第二部分 ◆ 支撑技术

概述	070
油藏工程基础	071
地震岩石物理基础	099
油藏地球物理基础	124

第三部分 ◆ 勘探地球物理

概述	152
钻前地震预测平台（孔隙压力、破裂梯度、岩性和孔隙流体）： 多学科深海作业队的有效钻井规划工具	155
利用地震资料反演得到的高分辨率速度和基于泥岩压实及埋藏成岩作用 的岩石物理模型估算地层流体压力	165
利用纵横波阻抗估算深海浊积岩中的有效储层	181
低含气饱和度砂岩的地震振幅	191
谱分解技术在墨西哥含气盆地的应用	201
双方位角技术与宽方位角技术在迈德多格油田盐下成像中的应用 ——实例研究	207

根据 CSEM 数据探测复杂环境的油气层：在马来西亚沙巴洲深海区的应用	218
电磁和地震联合处理与综合解释——检测复杂油气目标的有效手段.....	231
地震驱动的评价和开发——玻利维亚查科盆地实例研究.....	239
SEC 定义的储量登记：岩石物理学家需要知道什么.....	253
在油气资源评价、产量和排放预测、不确定性评估和决策制定方面的最佳做法和方法	266

第四部分 ◆ 开发地球物理

概述	280
地球物理在马尔尚湾油田生产中的作用	283
尼日利亚海域邦加油田综合地震和地下地质特征描述.....	309
基于地震的综合油藏模拟：萨哈林海上伦斯克伊油田	323
油藏模拟：综合各种合适尺度的数据	334
泥盆系 31 组燧石油藏的岩石特性和地震属性分析	342
碳酸盐岩油藏三维可视化.....	356
北海浊积岩体系的三维 AVO 地震油藏成图技术.....	367
阿尔巴油田海底电缆地震勘探：在油田开发中的作用.....	396
克莱尔油田用三维 OBS 数据改善 P 波成像	410
温德河盆地天然裂缝型致密砂岩气藏的地震评价	416
四维地震油藏监测项目的可行性评价	432

第五部分 ◆ 生产地球物理

概述	444
尤通四维：利用生产测井仪器和时移地震数据描述流体界面的移动特性	448
时移地震数据在北海中部加内特油田的成功应用	463
安哥拉的四维监测及其对油藏管理和经济评价的影响.....	477
中东地区巨型碳酸盐岩油藏饱和度变化的成功四维监测：ADCO 四维监测 第一阶段试验成果.....	487
杰纳悉斯油田地质机械压实作用的四维时变序列和地震响应信号.....	502
英国北海贝里尔阿尔法油田拖缆和 OBC 地震数据比较.....	510
全方位角海底地震数据采集的经验	527
沃尔伏油田三维 PP-PS 叠前深度偏移.....	537
VSP：时深转换及其他作用	545
自然地震油藏监测：阿曼的研究实例	560
井间电磁和地震成像：联合探测调查蒸汽驱油的状况.....	572
四维微重力方法在注水监测中的应用——普拉德霍湾的重力测量.....	583
世界上第一个注水四维重力监测的成果——普拉德霍湾（阿拉斯加）	601

第六部分 ◆ 油藏地球物理技术与展望

概述	610
多方位角三维对尼罗河三角洲地震成像的改进	614
应用岩石物理和地震反演检测和估算天然气水合物：墨西哥湾北部 深海区实例	625
根据海上地震数据，估算天然气水合物和游离气的数量	637
弹性波场地震地层学及储层描述	650
最佳四维流体成像	670
利用时移地震数据改进墨西哥湾凝析油气藏的模拟	685
定量地震工程一体化发展的三个实例	699
北海斯莱普内尔地区地下二氧化碳储存点的地震监测	706
虚拟震源在成像和油藏监测中的应用	717
挪威北海瓦尔哈尔油田的终生地震系统	729

第一部分



油藏管理与油田生命周期

概述

David H. Johnston

一、引言

油藏管理的要素已经实施多年，尤其在主要经费开支已做计划的油田。然而，油藏管理形式作为一个过程，在石油工业界还是个较新的概念。Wiggins 和 Startzman (1990) 将油藏管理定义为：“一系列的决策和实施的过程，这个过程从它的发现到枯竭，直至最终废弃，包括油藏确定、测量、产出、开发、监测和评价。”

Satter 等人 (1994) 宣称：“有效的油藏管理是油藏在整个生命周期内成功运作的关键”。它是从油田发现开始贯穿于整个油田生命期间的持续过程。他们将这个过程描述为首先为油藏确定目标或者策略。制定策略要求了解油藏的特性和用于描述油藏特性及油藏开采的技术，以及了解与油田相关的商务、政治和环境问题。

满足油藏目标而设计出的最终油藏管理规划，“包括耗尽和开发策略，数据采集和分析，地质和数字模型研究，产量和储量预测，设备需求知识、经济优化和管理层同意” (Satter 等, 1994) 等方面。规划实施应用多学科团队，要求对油藏动态进行连续监测并将监测结果与期望结果进行比较。如果实际特性与预期不同，就需要修正规划，并重复开展实施、监测、评价的过程。此外，根据 Wiggins 和 Startzman 的定义，油藏管理还涉及制定决策。正如 Satter 等人所说：“让它发生或者使它发生”。

有效的油藏管理可以在油田的生命周期中使油藏储量最大化，实现最佳油田采收率，并控制成本。如何才能实现这一目标呢？Saleri (2005) 将现代油藏管理描述为“基本是数据—知识—决策的转化过程”。他提出：

- (1) 你是否懂得油藏的基本知识——你是否具有判断力？
- (2) 你是否有验证你的判断、你的油藏模型的数据和技术？
- (3) 你是否有手段实施根据数据和模型提出的方案，以及是否具有应用这些手段所需的技术和能力？

SEG 1992 年出版的《油藏地球物理》是本书的先驱，书中阐述了地球物理数据在油藏管理过程中可以起重要作用。如那书中所谈到的，壳牌的 Jim Jordan 已经在 20 世纪末认识到油藏管理面临的两个最大的技术挑战 (Jordan, 1987)。第一个挑战是早期对油藏特性的精细描述，包括体积、流体性质、岩性和连续性。第二个挑战是改进油藏的监视技术以便对油田生产过程进行准确监控和有效管理。本书中的许多文章说明，在解决这些问题方面已经取得明显进展。

按照 Saleri 的定义，地球物理有助于建立洞察力。在油田生命周期的不同阶段都应考虑应用地球物理数据。

在勘探评价阶段，地球物理数据是定义和评价油藏的唯一可用信息。地震数据描述圈闭的特性并确定构造的性质、范围、流体流动的边界和体积。可控源电磁测量法可以指明油气的存在，某些情况下也可以应用地震方法检测油气。综合地球物理数据和测井数据，即使在油田生命的早期，也可以帮助确定油藏的厚度分布及油藏横向和垂向的分布范围。地球物理技术在勘探评价阶段早期的应用不仅有助于评估油田的商业价值和收益情况，还可以降低油田进入开发规划的风险。

初期开发集中于规划油藏消耗和开发井位的部署。油藏地质模型和建立在该模型基础上的油藏流体模拟指导钻井方案。尽管测井和岩心提供了井孔周围的详细信息，同时也是油藏模型的基本输入，而在远离井的位置，模型中物性参数的不确定性迅速增加。和井数据相比，地球物理数据有密集的面积覆盖的优势，所以，它们可以用于改进对油藏物性空间变化的描述。地震地层学提供了沉积模式和横向岩相变化的信息。其他的地震分析技术提供了准确描述流体界面，预测岩性和孔隙度，以及描述油藏裂缝特性的方法。地球物理数据还可以通过预测钻井时断层和超压地层造成的危害，降低钻井的成本和减少钻干井的风险。开发阶段采集的数据也有助于建立油藏地球物理监测的潜力。因而，地球物理技术在开发阶段的有效应用不仅可以降低成本，而且还能够在油田向生产阶段过渡中减少不确定性和风险。

生产阶段的主要目标是收益的最大化，这一目标部分可通过降低费用实现，但目标同时还意味着优化油气采收率。油藏动态监测是油田成功运作的关键。根据实际结果和预测结果的差别不断更新油藏模型和修正开采的策略。时移地球物理数据可以用来校正油藏管理和初始开采规划的有效性，还可以通过在未波及区寻找布置加密井的机会，以确定油田升级的开发方案。加密井可以加快生产或者增加可采储量。用于提高采收率的强化开采过程更需要注重油藏特性描述和油藏监测。地球物理数据有助于检测渗透性的障碍，确定油藏的连通性和注水波及范围，从而使采收效率最大化。

石油工业在油藏领域的着重点已从勘探转入开发，进而转向生产。随着勘探机会的减少，越来越多的资金投入到了开发和生产活动。美国能源部门的数据显示，从20世纪80年代初开始（图1），美国石油公司在全球范围投入的开发及生产费用是投入勘探费用的两倍。美国以外的地区也存在类似的趋势。地球物理数据采集费用是油田开发及生产费用增长的一部分。

地球物理数据可以通过增加储量、提高采收率、降低支出的方式影响油藏管理。尽管应用地球物理方法的目的在于创造认知力，Saleri指出，“然而，科技的主要目标是面向……这种认知力所发展的行动。”Hite等（2006）在讨论技术投资的商业实例时强调了Saleri的观点。他们都注意到，数据本身并不增加油藏管理的价值。Hite等（2006）提出，“只有制定出好的决策并对其实施后，价值才能产生”。“油气资产的价值是经所定的决策和决策中的一系列活动实施后产生的，包括钻井、完井、实施采收过程及设备安装等。”

油藏管理决策的效率很大程度上取决于油藏数据和模型的不确定性。当然，地球物理在油藏管理中的应用不能与其他数据分离。完整的油藏描述要求综合多种尺度的测量——从控制油藏质量的岩心及测井测量，到控制油藏生产能力的井间及地面地震测量。每种数据都有其分辨率的局限性和不确定性。多种数据综合使用则可以降低这种不确定性，解决非唯一解，促进油藏管理决策，从而提高油田的产值。