

国外油气勘探开发新进展丛书(二)
GUOWAI YOUQI KANTAN KAIFA XIN JINZHAN CONGSHU

Integrated Reservoir Studies

油藏评价一体化研究

Integrated Reservoir Studies

石油工业出版社

〔法〕鲁卡·考森蒂诺 著

李 阳 王大锐 张正卿 尹寿鹏 闫家林 译

国外油气勘探开发新进展丛书(二)

油藏评价一体化研究

[法] 鲁卡·考森蒂诺 著

李 阳 王大锐 张正卿

尹寿鹏 闫家林 译

石油工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

油藏评价一体化研究/(法)考森蒂诺著;李阳等译.
北京:石油工业出版社,2003.5

(国外油气勘探开发新进展丛书;2)

书名原文:Integrated Reservoir Studies

ISBN 7-5021-4226-6

I.油…

II.①考…②李…

III.油藏-评价-一体化

IV.P618.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 024968 号

©2001, Editions Technip, Paris

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopy, recording, or any information storage and retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

北京乘设伟业科技排版中心排版

石油工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 15.5 印张 390 千字 印 1—1000

2003 年 5 月北京第 1 版 2003 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-4226-6/TE·2972

定价: 60.00 元

《国外油气勘探开发新进展丛书》(二)

编 委 会

主 任：刘宝和

副 主 任：冉新权 张卫国

编 委：张正卿 刘德来 李 阳 沈 琛

何江川 阎建华 周家尧 张仲宏

李 斌 咸月瑛 汪大锐 钟太贤

序

为了跟踪国外油气勘探开发的新理论、新技术、新工艺,提高中油股份公司油气勘探开发的理论和技术水平,提高整体经济效益,中油股份公司勘探与生产分公司有计划地组织有关专家对国外油气勘探开发及生产方面的新技术、新理论、新成果进行调研引进、吸收,并翻译出版,推荐给油田广大技术人员及管理干部,以期能达到促进生产、更新知识、提高业务水平及技术水平的目的。第一批引进的5本专著出版后,产生了较好的社会效益,得到了广大读者的高度关注和认可,普遍认为翻译质量高,出版质量好,内容满足实际需要。

为了进一步搞好股份公司石油勘探开发的科技发展事业,促进石油工业发展,我们在第一辑出版的基础上,经过多次调研、筛选,又推选出国外最新出版的5本专著,即《油藏评价一体化研究》、《油藏地层伤害——基础理论、模拟、评价和解除》、《油藏工程实践》、《异常高压气藏》、《酸气开发设计指南》,以期追踪国外油气田勘探开发的热点问题和切合我国油气田开发实际需要的实用技术。

在全套丛书的引进、翻译出版过程中,勘探与生产分公司和石油工业出版社组织了一批著名专家、教授和有丰富实践经验的油田工程技术人员担任该书的翻译和审校人,并使本套丛书得以高质高效地出版。希望各油田及科研院校从事于勘探、开发工作的管理人员、技术人员以及研究人员读读这套丛书,同时在实践中应用之,这将会对今后的工作起到一定的指导和推动作用,为搞好油田勘探开发,实施低成本战略,创造更大效益做出贡献。

中国石油天然气股份有限公司副总裁

译者前言

进入 21 世纪以后,石油工业充满着挑战、机遇和竞争。受世界油价和经济因素的影响,石油科技在近 20 年来发生了革命性的变化。与油气田勘探与开发相关的技术也在向多元化和专业化方向发展,而在这种发展过程中一体化概念在勘探和生产领域已成为一个很时髦的词。

很多石油公司都在试图使其拥有的技术向一体化方向发展,国内也提出了很多这方面的概念和需求,但都没有形成系统的关于如何开展勘探开发一体化研究的思想和具体的可操作的工作程序。

译者 2001 年在与法国国家石油研究院交流过程中,看到刚出版的这本书。通过阅读,感觉有责任和义务把它翻译出来,以供国内同行参考。

全书共分 8 章,全面地论述了油藏评价阶段一体化研究的内涵,包括一体化的概念、一体化的数据库、一体化的地质模型、岩石性质、储量、基础油藏工程、数值模拟以及如何来科学地规划一个研究项目。此书囊括了大量新技术,比较全面地把地质与油藏研究结合在一起,对于从事一体化研究的人员提供了研究思路以及科学的方法,而各章中涉及的具体技术细节,可以参考列出的详细文献。本书特别适合于项目经理一级的管理人员阅读,具有很强的实用性和可操作性。

目前,一体化的概念也适应了国际上流行的团队工作精神,通过一体化的研究,相对于过去各专业孤军奋战的情况而言,会创造出很多价值。

正如原书前言所讲的,何时能使每天的工作成为现实,一体化到底意味着什么?它对于我们每天的工作方式而言有什么变化?一体化只是对老问题的一种新的解决方法,还是一种完全不同的方法,从而产生一些新的意想不到的问题?如果是这样,我们能识别这些问题并提出解决办法吗?要面对什么样的新技术和专业挑战?在研究过程中谁负责这些一体化的正确实施?相信通过阅读本书,或许能找到一些答案,为我国的油气勘探开发一体化研究做出贡献,这也是译者最大的心愿。

本书由李阳、王大锐、张正卿、尹寿鹏、闫家林翻译,最后由尹寿鹏博士统一校对成书。译者对以下人员表示衷心的感谢:何东博先生阅读译稿并提出宝贵的建议;王蕾、李森、徐晓玫、朱淑妍和王爱莉女士等完成本书大部分的文字录入工作;张映红、陈增智两位博士在此书的翻译过程中提供帮助;石油工业出版社领导及同仁的帮助,在他们的大力支持下,才使本书能早日与读者见面。

译者

2002 年 12 月 18 日

原 著 序

从 1986 年经济危机以来,原油价格一直处于动荡之中。油公司为适应这种形式,缩减成本,做出大量的努力来准确地评价项目的经济性以及有关的一些风险。

目前,井位设计以及钻井方面的技术进步可允许采用新的产—注结构设计,钻探几千米长的水平井以及扩边的丛式井。这些井可以采用较少的井口以及便捷的地面设备来开发油田。还有,新型的结构代替了传统的平台,降低了投资风险,从而增加了深海开发的可能性。

通过增大钻距和减少井数量可以节省大量的费用,但其技术风险是很高的。这些复杂井比常规的直井要昂贵,一旦出现失误,其对项目的经济影响是非常大的。除此之外,这些井在钻探阶段会遇到技术上的一些问题,下测井仪进行测井作业通常也不是直接进行的。

另外,对这些复杂井的完井也不太容易进行干预,可能水平井例外,可以用水泥进行完井。早期的水或气突会造成过早的关井,造成整个油田产量的急剧下降。

过去、现在乃至未来,认真地规划油藏的开发方案都是非常重要的,要考虑到钻井的类型、数目以及开采过程(衰竭、注水等)。这些选择,与正确的油田产量预测一起,将大大影响地面结构设计以及项目的整体经济效益。为限定经济成本和减少风险,油公司要进行油藏研究。尽管这些研究已经完成了,但在当今条件下,要求其更为准确、费用要更少。

基本的流体流动方程已经用了 50 多年,最近的应用与近期开发的油藏模拟器有关。现在的模型通常有 10^5 个网格块,但更大的网格模拟(10^6 网格块)变得越来越普遍。组分模拟需要对流体组分的变化有更好的模拟模型,而井孔水动力和地表网络也要放到油藏模型中去。

尽管如此,这些模型仍代表了一种简化的近似的模型,以取代复杂的未知的实际情况。主要问题和对油藏参数的认识以及大尺度网格的离散化有关。在这方面,成熟的粗化技术在过去几年中已开发出来了,然而还没有确定性的解决方法,由于粗化造成的信息丢失,在定义油藏模型时必须考虑到。

任何情况下,油藏知识是最重要的因素,控制油田动态特征参数主要包括以下几个方面:

构造参数(深度和厚度图、断层等);

内部结构(地层对比方案);

岩石物理性质(孔隙度、渗透率、毛细管压力、相对渗透率);

流体接触关系;

流体热动力特征。

在只有少数的样品点(井)而且原地测量比较困难的情况下,这些数据只是部分可获取的。另外,这些数据不是直接可以测量的,相反,必须根据其它的测量结果进行推测(如电阻率、放射性、压力)。复杂井的钻探只有少数的样点,因此这些测量结果的解释一般都比较困难。实际上,在所有情况下,油藏性质的估计在仅有几个点时就应该进行。

近些年,在数据获取方面取得了很大的进展,主要归功于技术进步以及记录新的物理参数

的能力,这些参数与油藏的特性有关。较突出的一项技术就是三维地震,它完全改变了油藏的构造模拟情况,在适当的情况下,可以帮助评价某些油藏性质的分布规律;最近的测井仪器可以区分矿物、流体、断层、裂缝等;固定的仪器可以对油藏进行连续的监测。

同时,解释技术变得越来越成熟,可以对油藏特征进行更好的描述。在这方面,最大的进展是油藏性质的空间模拟。层序地层学展示了井间对比的主要格架,减少了复杂沉积环境下对比的错误。另外,概率评价方法导致了地质统计学的发展。理论、数值方法和计算机能力的共同发展形成了统计学发展的基础,从稀疏的数据集就可以产生等概率的油藏图像。

这些技术需要有丰富的经验,以及强大的计算资源,但其成功的应用还依赖于可以获得的数据的数量和质量。大多数情况下,虽然人们已经认识到了这一点,但各方面专家(团队)的合作以及一体化研究的概念是最重要的因素,其目的是为了获得高质量的结果。

很明显,这些概念的实现是一项困难的工作。油公司也认识到仅仅把地球物理学家、地质学家和油藏工程师放在同一工作地点是不够的。虽然这些条件对于团队工作是很理想的,但不能保证最后的研究真正是一体化的。主要问题是方法的选择,以及通过项目成员间连续沟通而达到不同任务平行管理方面的困难。

每一阶段(测井解释、试井、空间分析等)都在不同的技术下进行,用的时间以及费用是不同的。传统的说法是用 20% 的时间完成 80% 的工作。因此,从规划阶段就应该分别对数据和结果的 20% 的重要性选择解释技术。

一体化的重要性还在于数据的缺乏,因此必须要通过假设、类比和对比来补充数据,这些数据对最终的结果会有很大的影响。这些不同的因素在研究的所有阶段都要进行验证。例如,油藏工程师根据生产数据可能怀疑有封堵断层,但这必须要与地质方案一致。困难在于研究工作根据任务的不同进行了划分,每一项任务的结果代表了对其它任务的反馈。如果下游任务与上游任务不一致,后者要进行更正,这一过程可能会造成项目的推迟以及费用的增加。因此,在开始一项新的任务以前,对于每位专家都有必要检查各环节假设的一致性,反之,也说明所有的任务都要尽可能地同时进行。

正如人们所想象的,一体化研究的规划和实现是一个很大的挑战。通常,每一位专家都趋于完成最好的研究工作,获得最好的结果,即使与研究的总体目标无关。通常可能的情况是看到复杂(费用高)的研究,而在随后的研究中不能够利用。相反的情况也会常常碰到:专家限定了它们的工作详细程度,对提供更准确的结果不感兴趣。例如,地质学家可生成 3 层垂直的离散化模型(因为油藏工程师几乎不用超过 3 层的模型)。相反,另一个地质学家可能提出 15 层的模型,从技术观点出发,5 层的描述可能是比较恰当的结果。

另一方面,平行规划的概念,对于专家来讲可能会造成一些困难,专家不愿意共享来自其它专家的中间结果。自然,大多数的专家在提交结果以前,愿意完成自己的工作。

关于一体化研究中存在问题的快速回顾中,强调了项目经理的重要性。与团队成员一起,他负责工作计划的制定以及在执行过程中必须做出的修改。他必须检查每一阶段的结果,在各学科间要及时共享,要考虑到项目可能推迟,以及总是要考虑项目的总体目标。新油田的开发研究(此时只有很少的数据)从全局的观点看必须是准确的。在一个典型的加密井钻探项目中,可以获得很多数据,需要进行详细的研究。最后,二次采油和三次采油研究需要更为准确的油藏知识,如流体分布。

通常,一体化研究的项目经理隶属一个主要的学科(地质学、地球物理学、油藏工程),然而,他必须意识到其它学科的重要性。当然,他不可能是每一个学科的专家,因为,每一个学科正在变得越来越复杂。

市场上存在的优秀教科书,都是针对于某一个油藏学科的。显然,这些书是针对专家的,并不适合于项目经理。虽然项目经理不必要知道这些细节,但要知道不同学科的附加值。油藏项目经理手册应解释需要做什么以及费用如何,不需要陷入详细的细节。这些书应作为项目经理的指南,处理需要做什么以及研究的目标是什么,同时优化所需费用以及技术详细程度。据我所知,这样的手册并不存在。

鲁卡·考森蒂诺已做出努力来弥补此空白。作为具有地质背景的一个油藏工程师,他已经管理了几个不同油藏的一体化研究项目,都是对油公司和咨询公司的。利用这些经验,写了本书,对油藏研究中所用到的不同方法做了简单和完整的总结。同时,他给我们提供了详细的参考文献,以便于进一步了解一些技术细节。

我毫不犹豫地向行业人士建议在手头储备此宝贵的图书,以便于在对他们不熟悉的领域进行决策时提供参考。遗憾的是,要等到 2000 年才能见到此书。此解释可能是根据经验、概括能力以及完成这一任务的工作量做出的。在任何情况下,付出努力就会有收获!

Jean - Claude Sabathier

原著前言

近些年来,一体化在油气勘探和生产领域可能已成为一个很时髦的词。文章、大会和技术会议都强调一体化概念,而且在成功应用此概念时已体会到其涵盖的重要意义。

在过去的这些年里,属于不同学科的专业人士,如地质学、地球物理学、岩石物理学以及油藏工程,被告知要在一起工作,寻求一个团队,把各自独立的工作整合在一起。销售商已推出了一体化数据库、共享的地球模型和可以交互方式操作的一些应用产品。

另一方面,经理们创造了高效的团队,组织了共用的工作环境以及跨学科的教育课程。他们正在寻找一体化,相信能够获得一些附加值,做出这些努力是值得的。当然,人们应承认这一点,一体化是那些具有魔力的词汇之一,这些词语具有积极的意义,而且被使用了。一体化总是比不一体化要好,而且寻找某种一体化也是正确的。

但是,何时能使每天的工作成为现实,一体化到底意味着什么?它对于我们每天的工作方式而言有什么变化?一体化只是对老问题的一种新的解决方法,还是一种完全不同的方法,从而产生一些新的意想不到的问题?如果是这样,我们能识别这些问题并提出解决办法吗?要面对什么样的新技术和专业挑战?在研究过程中谁负责这些一体化的正确实施?

本书的目的就是试图对这些问题提供一些答案,强调一项研究计划的这些方面。当我们想完成一项一体化油藏研究时,这些方面是相关联的。

作者简介

Luca Cosentino 是法国国家石油研究院 Beicip - Franlab 公司高级油藏工程师和项目经理，负责一体化油藏研究工作。他已发表了大量关于油藏描述、油藏模拟、地质统计以及裂缝油藏方面的文章。目前 Luca Cosentino 是 SPE 的技术编辑。

版 权 声 明

本书英文书名为“Integrated Reservoir Studies”。

本书经由法国 Editions TECHNIP 授权翻译出版,中文版权归石油工业出版社所有,侵权必究。

图字 01-2002-1039

目 录

1 一体化概念	(1)
1.1 什么是一体化	(1)
1.2 系统思维	(2)
1.3 研究重点的改变	(3)
1.4 信息资料的一体化	(4)
1.5 准确性和精确度	(6)
1.6 复杂性和准确性	(7)
1.7 其它的一体化内容	(9)
1.8 项目负责人的职责	(10)
参考文献	(11)
2 一体化数据库	(12)
2.1 定义	(12)
2.2 一体化数据库问题	(12)
2.3 勘探与开发数据库的三个等级	(13)
2.4 项目数据库	(14)
2.5 项目数据库管理	(16)
2.6 软件的一体化	(17)
参考文献	(19)
3 一体化地质模型	(20)
3.1 构造模型	(21)
3.1.1 油藏构型的确定	(21)
3.1.2 断层建模	(22)
3.1.3 构造模型的不确定因素	(26)
3.1.4 建立三维构造框架	(26)
3.2 地层模型	(27)
3.2.1 层序地层学	(28)
3.2.2 其它技术	(29)
3.2.3 建立地层网格	(32)
3.3 岩相模型	(33)
3.3.1 概念化的沉积学模型	(33)
3.3.2 岩相分类	(34)
3.3.3 岩相分布	(40)

3.4 油藏的非均质性	(44)
3.4.1 油藏非均质性的分类	(45)
3.4.2 油藏非均质性的识别	(50)
参考文献	(66)
4 岩石性质	(70)
4.1 岩石物理评价	(70)
4.1.1 微观岩石性质	(70)
4.1.2 岩石粒径和分选	(73)
4.1.3 孔隙度	(75)
4.1.4 含水饱和度	(81)
4.1.5 渗透率	(90)
4.1.6 净/毛比	(107)
4.2 岩石性质分布	(111)
4.2.1 孔隙度	(112)
4.2.2 水饱和度分布	(116)
4.2.3 纯产层	(121)
4.2.4 渗透率分布	(123)
参考文献	(128)
5 石油地质储量的确定	(131)
5.1 容积法评价	(131)
5.1.1 确定性评价	(133)
5.1.2 概率性评价	(133)
5.2 物质平衡评估	(135)
5.2.1 气藏	(135)
5.2.2 油藏	(136)
参考文献	(137)
6 基础油藏工程	(138)
6.1 油藏天然驱动机理	(138)
6.1.1 流体膨胀	(139)
6.1.2 溶解气驱	(139)
6.1.3 水驱	(142)
6.1.4 气顶驱	(144)
6.1.5 压实驱动	(146)
6.2 流体性质	(148)
6.2.1 油藏中的烃类流体	(149)
6.2.2 主要的油气 PVT 参数	(150)
6.2.3 流体采样程序	(152)
6.2.4 PVT 实验室分析	(154)

6.2.5	油田生产数据	(156)
6.2.6	综合 PVT 参数对比	(157)
6.2.7	PVT 信息的综合	(159)
6.2.8	油藏水特性	(159)
6.3	岩石流体特性	(160)
6.3.1	润湿性	(160)
6.3.2	毛细管压力	(161)
6.3.3	相对渗透率	(162)
6.3.4	剩余油饱和度	(168)
6.4	压力分析	(169)
6.4.1	地层压力	(170)
6.4.2	油藏压力数据来源	(170)
6.4.3	压力建模	(173)
6.5	油藏流体分布与监测	(175)
6.5.1	生产与注入再分配	(175)
6.5.2	水随时间推进	(176)
6.5.3	气随时间推进	(178)
6.5.4	四维地震监测	(179)
6.6	物质平衡	(180)
6.6.1	为什么要进行物质平衡计算?	(180)
6.6.2	物质平衡在油藏研究中的应用	(181)
6.6.3	物质平衡与数值模拟	(182)
6.7	流线模拟法	(183)
	参考文献	(185)
7	油藏数值模拟	(188)
7.1	何时需要应用模拟模型?	(188)
7.2	为什么要应用模拟模型?	(190)
7.3	模拟模型的设计	(190)
7.3.1	选择模型的几何形态	(190)
7.3.2	选择模拟器类型	(192)
7.4	建立模拟的网格	(193)
7.4.1	地质问题	(193)
7.4.2	动态问题	(193)
7.4.3	数值问题	(194)
7.4.4	选择模拟网格	(195)
7.4.5	建立模拟网格:总结	(197)
7.5	输入参数赋值	(198)
7.5.1	储层几何形态	(199)

7.5.2	岩石特性	(199)
7.5.3	流体性质	(202)
7.5.4	饱和度函数	(202)
7.5.5	生产及完井数据	(204)
7.5.6	模型初始化	(204)
7.6	历史拟合	(205)
7.6.1	历史拟合过程中的一些重要问题	(206)
7.6.2	拟合参数	(206)
7.6.3	拟合过程	(209)
7.6.4	拟合质量	(210)
7.7	产量预测	(211)
7.7.1	输入数据	(211)
7.7.2	设定准则及约束条件	(211)
7.7.3	注入与生产井动态	(212)
7.7.4	方案预测	(213)
7.8	不确定性评估	(214)
	参考文献	(215)
8	研究规划	(217)
8.1	规划与一体化	(218)
8.2	独立工作阶段评估	(218)
8.3	顺序规划	(220)
8.4	一体化规划	(220)
8.5	总结	(222)
	参考文献	(222)
	附录 物质平衡	(223)
	参考文献	(228)
	单位换算表	(229)

1 一体化概念

1.1 什么是一体化

按照 Webster 词典上的定义,一体化就是将一些分散而多种多样的要素或单元合并组合成一个更加完整或协调的整体^[1]。由于一体化创造了一个更加完整或协调的整体,所以被认为是一种产生极大价值的变化过程。本书的目的就在于精确地论述这种极大价值是如何产生的。

在石油工业,尤其是油气的勘探与生产(E&P)领域中,一体化通常被认为是将不同的学科结合起来的一种方式,而这一方式有助于建立(或创造一种全新的)分析过程。

然而,事实上,一体化是一个难以被确切定义的概念。E&P 是极为复杂的,它包含许多学科,而其中每一学科都有自身的一体化问题。因此,这一措施实际上意味着将这些学科中所有要素的一体化。在实践中,不仅存在着由各种不同专业不同工作分支的一体化问题,而且亦存在不同专业文化背景的不同地球科学家进行一体化的问题。而且,还需要将来自不同地域、不同语言的不同的人的行为进行一体化的问题。最后,还有一个将软件与硬件平台、一体化研究的所需条件进行一体化的问题。

为了进一步完善这一概念,在一个团队或一项工作程序之内,一体化的程度从某种意义上讲总是变化的。因此,在研究进程中,一体化的问题是在不断发生变化的,而且也需要不断地加以修正。

虽然在定义一体化的含义时存在这种可变性,但我们依然试图归纳出一些基本概念来,尤其那些与一体化的油藏研究有关的概念:

纵向与横向一体化。可以根据一个 E&P 学科内纵向一体化及与多学科相交叉的横向一体化而制定出一个基本的区别界限。纵向一体化的一个实例是当不同的地球物理学家在一起,以不同的地球物理解释方式在相同的平台上工作时,对于一个特殊的油藏所进行的地震解释工作,比如,对原始体积的构造解释以及对数据处理所得出的体积进行相关的解释。应在各个学科内进行纵向一体化,这一点是十分清楚的,而且也已许多计算系统内得以完成。完成这一工作通常也是容易的,因为许多专业都属于同一学科分支,比如地球物理学就很容易互相交流沟通。相反地,横向一体化则意味着跨越一项一体化研究所涉及的不同学科而进行一体化工作,而这将是一个更为复杂的问题。主要的障碍在于常规软件平台间相互的可操作性相对减少,而且在绝大多数情况下,不同专业的人员更侧重于他们的专项研究,而使该研究团队的其他专业人员之间处于一种低水准的交流状态。

松散与密切一体化。另一个有用的定义是松散和密切一体化。正如在下一章中将要讨论的那样,这主要是指不同应用软件的相互间可操作性的程度。但是,松散与密切一体化可以很容易地在一般意义上和工作过程中予以判定。当一位地质家与油藏工程师讨论在他们的研究工作中所确定的断层位置时,我们就可以称之为松散的一体化。当几位地质家与工程师一起