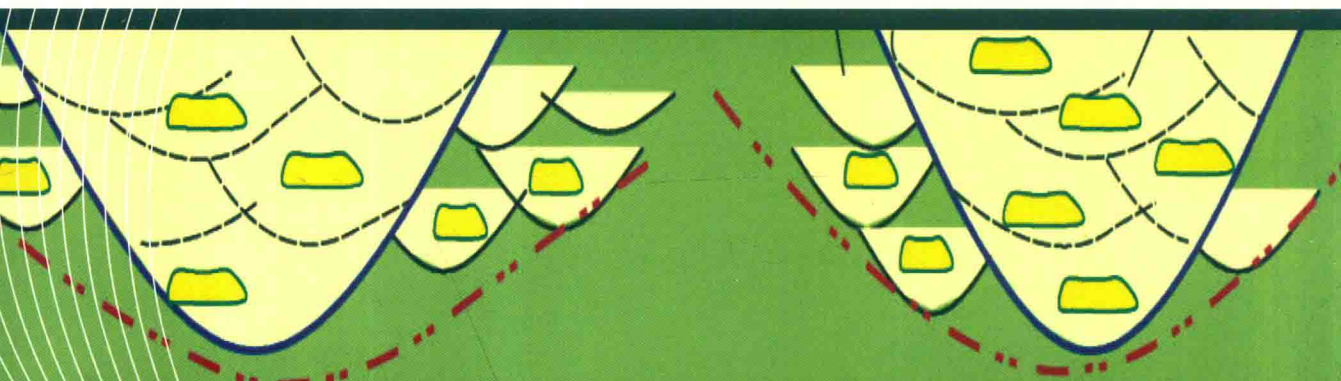


天然气开发 理论与实践

【第三辑】



贾爱林 何东博◎编著

石油工业出版社

天然气开发理论与实践

(第三辑)

贾爱林 何东博 编著



石油工业出版社

内 容 提 要

天然气开发是油气田开发的重要组成部分。本书分为综合篇、方法篇、地质应用篇、气藏应用篇,汇总了国内一批天然气开发领域专家的最新研究成果与心得。可为天然气开发提供理论参考和方法借鉴。

本书可供从事天然气开发的科研人员使用,也可以作为高等院校相关专业师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

天然气开发理论与实践. 第3辑 / 贾爱林, 何东博编著.
北京: 石油工业出版社, 2014.7
ISBN 978-7-5183-0155-3

I. 天…
II. ①贾…②何…
III. 采气 - 文集
IV. TE37-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 137468 号

出版发行: 石油工业出版社

(北京市朝阳区安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: [www. petropub. com. cn](http://www.petropub.com.cn)

编辑部: (010) 64523683 发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 北京中石油彩色印刷有限责任公司

2014 年 7 月第 1 版 2014 年 7 月第 1 次印刷

787 × 1092 毫米 开本: 1/16 印张: 16.25

字数: 410 千字

定价: 50.00 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

前 言

进入 21 世纪以来,我国天然气勘探开发得到了快速发展,天然气储量和产量都实现了跨越式增长,天然气探明剩余可采储量从 $1.4 \times 10^{12} \text{m}^3$ 增长到 $2.8 \times 10^{12} \text{m}^3$,天然气年产量从 $272 \times 10^8 \text{m}^3$ 增长到 $968 \times 10^8 \text{m}^3$ 。我国天然气年产量已经进入世界各国天然气产量排名前 7 位。

我国天然气勘探开发已经形成了四川盆地、鄂尔多斯盆地、塔里木盆地三大主产区,其年产量占全国天然气年产量的 65%。

常规天然气仍将是我国“十二五”乃至今后较长时间天然气勘探开发的主体,所开发的天然气藏类型主要包括低渗透砂岩气藏、超深高压气藏、碳酸盐岩气藏、高含硫气藏、疏松砂岩气藏、火山岩气藏等 6 种类型。

老气田的稳产和新区的产能建设并举,实现天然气储量和产量的进一步增长。四川盆地石炭系天然气藏已进入开发中后期。塔里木盆地的克拉 2 气田、牙哈凝析气田,鄂尔多斯盆地的靖边气田、榆林气田,四川盆地的普光气田,柴达木盆地的涩北疏松砂岩气田等大型气田也已先后进入稳产和接替稳产阶段。鄂尔多斯盆地的苏里格地区、塔里木盆地的库车地区和四川盆地川东北地区是目前天然气产能增长最有潜力的 3 个区域。

从天然气开发理论来看,基本掌握了 6 类气藏的地质特征和生产规律,形成了系列化的天然气藏开发模式,如克拉 2 异常高压气藏“少井高产、备用调峰”模式,苏里格低渗透低丰度气藏“井间接替、滚动开发”模式,牙哈凝析气藏“循环注气、保压生产”模式,靖边风化壳气藏“加密增压、滚动扩边”模式,中坝边底水气藏“主动排水、防控结合”模式等。

天然气开发技术得到了快速发展,对于提高单井产量和降低开发成本效果显著,如复杂储渗单元体的表征技术、快速钻井和复杂结构井钻井技术、直井分压合采技术、水平井多段改造技术、井下节流技术、防砂控砂采气技术、排水采气技术等。

《天然气开发理论与实践》系列论文集,立足我国天然气勘探开发所取得的成果,收集整理近年来具有代表性的论文,按照综合篇、方法篇、地质应用篇、气藏应用篇进行编辑,结集出版,希望在总结天然气勘探开发理论和技术成果同时,对这些理论和成果的推广应用发挥积极作用,并对新技术的探索有所启迪,从而对我国天然气勘探开发的进一步发展起到推动作用。

编者

2014 年 1 月

目 录

一、综合篇

智能化油气田建设关键技术与认识·····	贾爱林 郭建林 (3)
Key Technologies and Understandings on the Construction of Smart Fields ·····	Jia Ailin Guo Jianlin (10)
Advances and Challenges of Reservoir Characterization: A Review of the Current State-of-the-Art ·····	Jia Ailin He Dongbo Jia Chengye (19)
Tight Gas Resources in China and Successful Cases ···	Jia Ailin He Dongbo Guo Jianlin (37)
苏里格大型致密砂岩气田开发井型井网技术 ·····	何东博 贾爱林 冀 光 位云生 唐海发 (47)
Well Type and Pattern Optimization Technology for Large Scale Tight Sand Gas, Sulige Gas Field, NW China ·····	He Dongbo Jia Ailin Ji Guang Wei Yunsheng Tang Haifa (59)
中国天然气跨越式发展与大气田开发关键问题探讨 ·····	陆家亮 赵素平 韩永新 孙玉平 (77)

二、方法篇

致密气藏分段压裂水平井产能评价新思路·····	位云生 贾爱林 何东博 冀 光 (87)
鄂尔多斯盆地苏里格气田西区气水分布主控因素·····	王国亭 冀 光 程立华等 (92)
复杂条件下火山岩气藏单井数值模拟研究·····	赖枫鹏 李治平 李光涛 许进进 (97)
优化气井配产的多因素耦合分析方法及其应用 ·····	冯 曦 钟 兵 刘义成 楚玉映 陈 林 (106)
基于储层精细描述的水平井优化设计方法 ·····	王继平 任战利 李跃刚 李进步 张志刚 (112)
页岩气藏储层压裂实验评价关键技术·····	付永强 马发明 曾立新 余朝毅 陈 艳 (118)

三、地质应用篇

龙岗礁滩型碳酸盐岩气藏气水控制因素及分布模式 ·····	闫海军 贾爱林 郭建林 程立华 何东博 (125)
吐哈盆地巴喀气田八道湾组致密砂岩气藏气水分布特征 ·····	王国亭 何东博 程立华 蒋 平 李易隆 张 喜 王丽娟 (130)

苏里格气田西区气水分布规律及其形成机理…… 代金友 李建霆 王宝刚 潘 瑞 (139)

苏里格气田东区下古生界马五₄¹ 储层综合评价
..... 李浮萍 卢 涛 唐铁柱 靳福广 赵忠军 蒋婷婷 (144)

Challenges of Horizontal Well and Successful Cases for Tight Gas Development in China
..... Jia Ailin He Dongbo Jia Chengye Ji Guang Wei Yunsheng (152)

黏土矿物与页岩气..... 赵杏媛 何东博 (159)

靖边气田马五₄¹ 储层成岩作用及孔隙演化 陈凤喜 王东旭 (167)

四、气藏应用篇

苏里格型致密砂岩气藏水平井长度优化
..... 位云生 何东博 冀 光 唐海发 张军祥 (177)

缝洞型低渗透碳酸盐岩油藏产量递减曲线分析… 罗二辉 胡永乐 王 磊 何 军 (182)

高温高压气井、凝析气井井筒及近井地带的压力变化规律
..... 常志强 肖香姣 朱忠谦 王小培 王海应 (189)

用静态法预测苏里格气田水平井经济储量..... 毛美丽 (197)

The Effect of Gas Slippage on Laboratory Results and Gas Well Production
..... Lv Zhikai He Shunli Mo Shaoyuan Zhang Haiyong (200)

台南疏松砂岩气田水平井实施效果评价与认识
..... 李江涛 李 清 王小鲁 严焕德 奎明清 (207)

两层组气藏分采、合采效果和开采方式优选
..... 杨学锋 刘义成 李 进 王 颖 邓 惠 (213)

附图..... (220)

一、综合篇

智能化油气田建设关键技术与认识

贾爱林 郭建林

(中国石油勘探开发研究院)

摘要：分析智能化油气田的主要特征、发展趋势、解决方案、建设要点及国内外智能化油气田技术差异。智能化油气田主要包括实时监测、模型建立、决策与实施3个环节，其主要特征为“时效+协同+持续”。智能化油气田的核心是基于模型系统的最优化，包括4个层次：单井优化、生产优化、油气藏优化以及整体资产优化，最终追求的是系统的整体优化。智能化是智能化油气田建设的手段，实现油气田高效开发是其目的；数据是智能化油气田的基础与关键；智能化油气田决策的本质是基于模型的决策；建设智能化油气田需要高科技行业技术的配套支撑。中国与国外智能化油气田技术的差异主要表现在油气田勘探开发运作模式和管理理念、技术手段和研究团队、决策的时效性、不同专业人员的职责及开发对象等方面。

关键词：智能化油气田 模型建立 决策与实施 实时监测

随着油气田开发难度不断增加，原有的以专业划分为特点的油气田开发已经不能完全适应新形势的要求，需要有新的方案来解决油气田的勘探、评价、开发、调整和管理问题。基于最近几年技术水平的不断提高和油气井的数字化工作，壳牌公司提出了智能化油气田(Smart fields)这一概念并建立了一批智能化油气田，取得了一定效果。

本文介绍智能化油气田的主要特征、发展趋势、解决方案及建设要点，分析国内外智能化油气田技术差异，以期促进中国智能化油气田建设。

1 智能化油气田及其特点

1.1 智能化油气田概念与内涵

智能化油气田是指油气田勘探开发进入数字时代，通过不断实施最优化措施，在油气田勘探、评价、开发、调整与管理等工作的全过程中追求产量、最终采收率和效益的最大化。智能化油气田实施主要包括实时监测、模型建立、决策与实施3个环节。智能化油气田实施过程中重视数字化资料实时采集，充分利用网络和计算机技术将其集成在模型中，依靠专家系统的经验和智慧“及时”做出科学决策，研发选用新的、适用的经济技术措施，并将此过程贯穿油气田开发生命周期，进行“持续”最优化^[1]。

1.2 智能化油气田起源与意义

借鉴航空航天、汽车工业生产管理与运行系统的工作原理，壳牌公司管理层最早提出了智能化油气田的理念，其运行方式类似现代汽车的发动机：整个发动机是一个封闭系统，大量的传感器与一个计算机诊断系统相连，计算机系统通过传感器接收数据模拟发动机运

行,并根据模型即时给出最优化调整,汽车或者汽车工程师则相应自动作出调整;通过这种方式,可以大大提高燃料的有效性。

在上述理念指导下,壳牌公司实施了智能化油气田。首先,智能化油气田是壳牌公司适应日益复杂的油气田地质条件和国际社会新变化的需要。随着优质油气田开发殆尽,开发对象越来越复杂,各种类型复杂油气田开发难度更大、技术要求更高;同时其面临的国际形势也在不断变化,如国际社会和环境保护要求减少燃烧和排放,油田勘探开发合作对象全球化、多元化,对油气田开发的远程化、全球化管理等等。

其次,建设智能化油气田是提高项目效益、实现不同项目价值最大化的需要。通过实施智能化油气田,可以有效降低新项目风险、解决老油气田资料管理不完善等问题,确保实现油气田全生命周期价值的最大化。

另外,科技进步日新月异,在数据采集、传输与集成,工具设备和计算机软、硬件环境等方面技术进步的共同推动下,智能化油气田是发展的必然,是加强油气田勘探开发全过程一体化生产管理的需要。油气田勘探开发涉及多个方面,需要各个方面协同作业,包括生产管理措施、技术方案、各类人员、技能和工具、组织机构等一体化运作,才能确保项目效益最大化。

整体上,实施智能化油气田管理,预计可以使传统油气田最终采收率提高 8%,采油速度提高 10%。

1.3 智能化油气田的主要特征

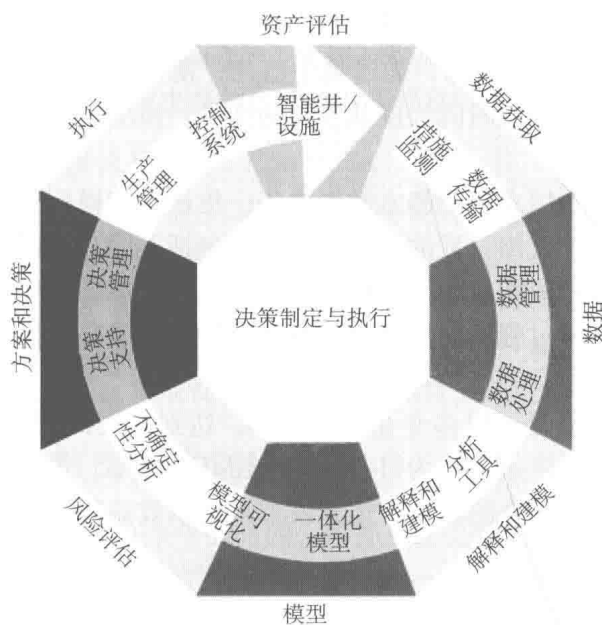
智能化油气田的主要特征可以概括为“时效+协同+持续”,即第一时间做出方案和决策、多专业部门协同工作、闭环式(封闭系统、链环互动)循环往复持续优化。智能化油气田具备以下 3 个主要特征。

首先是时效性。时效性是指实时监测所有生产动态并将其体现到模型中,始终为决策者提供最新的动态模型,优化、决策与实施都是在第一时间作出反应,同步进行。根据不同项目在各阶段的不同需求,模型数据群可按秒、分、时获取高频实时数据;同时为油气田综合管理建立全油气田的流动模型,获取的数据可以按天、月以至整个油田生命期来计。

其次是一体化协同。智能化油气田注重的是整个系统的一体化协同运作,在技术上采用的是实时远程控制、实时数据共享,实时调整运行与实时决策修正;在管理上实施的是闭环式管理,价值链环中各个环节紧密结合,即勘探、开发、管理全过程的所有人员形成一个紧密协同的项目组,而不是分隔式的专业管理。

第三是持续性。智能化油气田 3 个重点环节(实时监测、模型建立、决策与实施)形成整体价值链环,贯穿油气田开发整个生命周期,持续进行最优化,以实现产量、采收率和整体效益的最大化^[2]。

智能化油气田的实施是一个不间断循环式过程(见图 1)。从一个油气田的发现开始就实施智能化,通过各种途径获取数据,并进行解释分析,建立基本模型,开展风险评估,提出解决方案和决策建议,通过资产的整体评估后执行方案。执行的过程中,要开展整个油气田的实时动态监测,任何监测数据都要实时传输到计算机数据管理系统,系统会根据动态数据修改调整模型,提出具体的改进优化措施,从而实现油气田开发效益的最大化。

图1 智能化油气田实施流程示意图^[1]

2 智能化油气田发展趋势与解决方案

2.1 智能化油气田发展趋势

智能化油气田始于 2000 年前后的四维地震和智能井等单一技术，历经封闭式协同作业环境链环管理（2005 年）、油藏监测（单井优化—生产优化—油气藏优化—资产整体优化）等过程，目前由于光缆技术和纳米技术（2010 年）的应用，更加注重项目的协同运作，实现闭环式油气藏管理。

从早期智能化油气田概念的提出，到目前世界上多家公司、研究机构和大学（BP、斯坦福大学等）都认可并参与智能化油气田项目，智能化油气田将会取得更大的发展。

展望未来，今天的智能化，明天将常规化，而新技术始终是支撑智能化油气田不断向前发展的基础和动力。目前国外石油公司正在着手研发光缆监测技术，通过集成光缆传感器实现井与油藏实时监测，可同时监测温度、压力、应力、声波、流量、化学组分等多方面动态，使决策模型更科学可靠。

2.2 智能化油气田解决方案

智能化油气田管理方案中特别强调价值链环（value loop），各个价值链环的实现需有不同的关键技术，通过不同时间尺度、不同层次的优化，实现油气田一体化实时管理，最终达到油气田产量、最终采收率与效益的最大化^[3-5]。

具体来说，主要包括单井、生产、油气藏以及资产整体优化 4 个方面。单井优化主要是通过智能井实时收集井下与井场多参数资料，对以井为单元的生产设施进行远程控制和作业，实现所有流程自动化，达到设施监控、生产制度优化以及管线优化等目的。该过程强调的时间尺度是即时的，从 1 秒到 1 天，该层次优化强调的重点是实时与准确^[6-8]。

生产优化主要是实现整个生产系统的优化,包括井流入曲线分析、实施增产措施、短期生产预测、水化物/结垢分析等,通过集中监控,使每口井达到最佳工作状态,达到整个生产系统的最优化。该过程时间尺度从1天到3月,该层次优化强调的重点是系统的协调与优化。

油气藏优化主要是利用实时动静态数据修正、集成油藏模型,通过井与油藏管理,实现油藏认识的准确化与油气田开发的最优化。具体包括不同井不同层产量的配分、油气藏驱动方式的管理、长期和短期生产目标的平衡、实现采收率最大化技术的优选、长期生产预测以及区域监测等。该过程时间尺度从3月到2年,该层次的优化强调油气藏模型的动态化与生产制度的科学化。

资产整体优化则主要是通过多专业协同工作,达到油气田采收率与资产效益最大化。具体做法是不断优化以提高采收率为目的的油气田开发方案,包括生产上的加密调整、剖面调整、注采系统优化,未来的滚动扩边开发方案、以效益最大化为目的的产量调整、新技术应用、生产设施升级等。

3 智能化油气田建设要点

3.1 智能化油气田的途径和目的

智能化油气田的整个价值链环包括实时监测、模型建立以及决策与实施等多个方面,这些过程的优化强调系统的“智能化”。与传统技术不同的是,这些系统资料的集成与嵌入、模型的修改与完善以及决策建议等都由系统自动优化完成,这些“智能化”过程的最终目的只有一个,就是油气田的高效开发,以达到资产整体效益的最大化。

3.2 智能化油气田的核心、基础与关键

智能化油气田的核心是基于模型系统的最优化,而数据是智能化油气田的基础与关键。

目前的油藏模型多是基于某一特定时间建立的,而智能化油气田的计算机模型是基于油田实际运行状态过程而建立与实时修改的,该模型包括全油藏的方方面面,具备处理多信息不确定性能力和即时更新调整能力,并实时更新优化油气田生产指标等。

数据是建模的基础,不同来源的数据都会用于油藏模型,包括通过传感器、测井仪器以及井下和地面其他各种测量工具获取的实时数据。智能化油气田计算机模型是随时改进的,通过实际数据与预期数据的对比,持续更新模型。因此,由不同手段获得的即时数据是智能化油气田最重要的参数,直接影响模型的准确程度。

基于智能化油气田软件平台系统,工程师们可以修改模型的特定参数,随时快速准确预测单井、油气田和生产系统的变化,通过调整某些参数(如井的产量)达到决策层想要的结果,而以往这一过程需要几周甚至更长的时间。

3.3 智能化油气田决策的本质

科学决策基于模型,而实际操作中可能会出现技术人员与模型的不统一,对一个经验丰富的技术人员而言,决定权最终是在人而不是模型。

但是,计算机模型会要求技术人员解释与它作出不一致决策的原因,并将其考虑到模

型中,今后如遇到类似情况,模型记忆功能会提醒技术人员。因此,对技术人员而言,需要对整个系统有基本的理解,并对不同专业领域有必要的了解,才能真正做到科学决策、避免决策的随意性。智能化油气田决策的本质是基于模型的决策。

3.4 智能化油气田的配套支撑

建设智能化油气田需要不同行业、不同专业的公司共同参与,单一的油公司或油公司目前所具备的专业与能力很难完成,需要有专业的IT行业和自动化企业共同参与。如专业的数据采集系统、远程监控系统、无线光缆传输与接收系统以及模型自更新等系列软件都需要专业的团队实现,油公司的任务是掌握油气田内在的生产规律,而其他合作伙伴的主要任务是确保数据采集、传输、集成设备以及软件、系统的正常工作。

4 国内外智能化油气田技术对比

智能化油气田的提出仅有10余年的时间,国外目前仍然处于智能化的早期,从国外几个比较成功的实例来看,单个层面的智能化已经达到一定的水平,系统的整体集成与智能化仍处于持续推进与整合之中,但智能化理念已经深入到从管理层到作业者的各个层面。

纵观中国在该领域的发展现状,虽然没有明确提出智能化油气田的建设问题,但在生产管理的各个环节都做了大量具体工作,如数字化油藏描述、钻井实时分析、随钻测井、生产数据即时传输以及数字化油气田管理等,只是没有开展智能化油气田整体建设,没有形成有效的系统及软件将各个环节综合起来协同运作,整体性与完整性不够。与国外主要差异表现在以下几个方面。

4.1 油气田勘探开发运作模式与管理理念的差异

国外油公司的智能化油气田方案按照项目运作、资产管理模式管理一个油气田的勘探开发全过程,在其整个价值链环中甚至没有油气田专业的概念,只有现实物质资产(physical asset),油气开发就是资产的一个持续优化过程,油公司的任务是使资产效益最大化。而国内采用专业管理模式,油气藏开发分阶段进行,各个专业明确界定职责与业务,不同专业界面的整体性与链条模式尚需优化^[9]。

4.2 技术手段和研究团队的差异

国外大的油公司拥有油气勘探开发领域先进的技术手段和工具,按照其智能化油气田方案,至少具备智能井、先进的生产数据管理系统、全自动监测仪、无线数据传输系统、生产系统一体化模型、协同作业中心等先进的软硬件系统^[4]。另外在其合作研究团队中,除了油气业务领域的研究人员外,还有IT、自动化等领域的技术人才,目前正斥巨资研发无线光缆监测技术。中国目前在专业技术手段上与国外差异比较大,特别是测井技术、地球物理、钻完井工艺、数据采集与集成以及新技术的研发等^[10]。

4.3 决策时效性的差异

从智能化油气田生产与决策来看,时效性始终占有非常重要的地位。壳牌公司计划用5~10年时间,通过智能化油气田方案,每天24小时遥控并优化全球油气资产,按照资

产的重要性进行排序,对集中其全球人才与技术优势优先解决重要资产存在的问题。中国目前尚未建立重要性排序体系,全公司人才调配的灵活性不够。

4.4 不同专业人员职责的差异

国外油公司在人才管理方面实施专业人才分级制度,不同级别的专业人才解决不同层次的专业技术难题;管理人员的职责是有效组织与管理不同专业的人员,不具体参与技术研发。而目前国内管理人员与技术人员没有很好的界定,同时在技术人员的管理上也没有明确的分级制度。

4.5 开发对象的差异

从开发对象来看,国外大的油公司油气田自身条件好,大多属于中高产油气田;中国油气田整体条件较差,大多属于中低产油气田^[11]。因此国外大的油公司油气田高产带来的高收益为智能化油田管理提供了成本优势。而中国近几年发现的新油气田类型复杂、开发效益比较差,实施智能化管理初期,必然会带来成本的进一步上升。

5 实例

壳牌公司在智能化油气田建设上处于国际领先地位,在全球共有 59 个智能化油气田,经济收益已达 50×10^8 美元。下面是壳牌公司实施智能化油气田的 3 个典型实例,涵盖了海上与陆上、油与气、全面智能化与简单智能化等几种类型,具有代表性。

(1) 英国的尼尔森 (Nelson) 油气田于 1994 年投产,位于近海大陆架,目前处于开发中后期。该油气田当前主要面临工作效率低和海量数据管理、产量过低和过早衰竭、生产设施故障导致停产以及气举效果需要优化等方面的问题。通过该油气田实施智能化,将试井数据采集、生产数据监测、动态配产、模型修正等工作在软件平台上集成,实施“动态优化”;通过总部办公室远程指挥海上平台现场作业,提高决策效率;通过多专业协同工作,缩短了停产时间、提高了生产能力和整体效率,降低了作业成本;另外气举优化由原来约每月 1 次、每次耗时 45 分钟的优化过程改进为实时的气举优化、每次优化只需 2 分钟。目前该油气田原油产量 $4500 \text{ m}^3/\text{d}$ 、天然气产量 $3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

(2) 荷兰的格罗宁根 (Groningen) 气田于 1963 年投产,原始地质储量 $29000 \times 10^8 \text{ m}^3$,累计产气达 $17700 \times 10^8 \text{ m}^3$,气田拥有 29 个生产井组、300 口产气井,现生产能力约 $3.3 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{d}$;建有 2 个地下储气库,夏季储存周边小气田产出的气,冬季调峰,补偿格罗宁根产量的不足。气田主要面临 3 方面的问题:①气井受到最高产能限制,需要改善细化动态模型;②确保气田采收率最大化;③确保长期可靠正常运行。该气田智能化对策是实施全自动生产管理系统,多点实时监控;全气田产、储、输动态自动化;全自动启动与关停,无人值守(全气田仅 2 人)。

(3) 俄罗斯萨雷姆 (Salym) 油田项目 2003 年启动,处于开发早期,属多薄层陆上油藏。每年要进行超过 400 次油田监测作业,并打新井 100 口。油田智能化的主要目标是:海量井作业资料管理;减少电潜泵故障,减少停产次数并降低成本;环境恶劣 ($-30 \sim -40^\circ\text{C}$),减少用工。通过实施智能化油气田对策,在莫斯科建立远程监控中心,实现了对

偏远的 500 余口电泵井的有效监测、控制和优化。

总之,不同油气田智能化的程度和内容不一样,需要根据具体油气田面临的实际问题重点实施,可以是局部智能化,也可以是全面智能化。

6 结论与建议

智能化油气田是未来发展的方向,是实现油气田高效开发与管理的有力手段,它使油气田开发由过去的以专业和开发阶段划分为特色的时代跨入了以资产的持续优化为目标,追求产量、最终采收率与效益最大化的智能化油气田的新阶段。智能化油气田核心内容包括实时监测、模型建立、决策与实施 3 个环节,根据资料及动态变化持续进行优化,具体包括单井优化、生产优化、油气藏优化以及整体资产优化 4 个层次,最终追求的是系统的整体优化。

目前中国在该研究领域与国外有一定的差距。鉴于中国现有油气田的多样性与复杂性,实施智能化油气田方案时,可选条件相对成熟的不同类型与不同开发阶段的油田或气田实施,按照智能化油气田资产管理的理念建立全新的项目运作与管理模式,实施过程中可根据油气田的实际情况先部分智能化,试验成功后逐步推广到其他油气田。

参 考 文 献

- [1] Brinded M. Smart fields intelligent energy [R]. Amsterdam: Intelligent Energy Conference, 2008.
- [2] Ajayi A, Mathieson D, Konopczynski M. An innovative way of integrating reliability of intelligent well completion system with reservoir modeling [R]. SPE 94400, 2005.
- [3] Chan R, Terry B, Dixon D, et al. Kikeh development: Challenges in implementing a smart field [R]. OTC 19469, 2008.
- [4] Aggrey G H, Davies D R, Heriot-Watt U, et al. Data richness and reliability in smart-field management: Is there value? [R]. SPE 102867, 2006.
- [5] Oberwinkler C, Studner M. From real time data to production optimization [R]. SPE 87008, 2004.
- [6] Elmsallati S, Davies D R, Tesaker O, et al. Optimization of intelligent wells: A field case study [R]. Ravenna: Offshore Mediterranean Conference and Exhibition, 2005.
- [7] Drakeley B K, Douglas N, Haugen K E, et al. Application of reliability analysis techniques to intelligent wells [R]. SPE 83639, 2003.
- [8] de Jonge G, Stundner M, Zangl G. Automated reservoir surveillance through data mining software [R]. SPE 83974, 2003.
- [9] Lien M, Brouwer R, Jansen J D, et al. Multiscale regularization of flooding optimization for smart-field management [R]. SPE 99728, 2006.
- [10] 刘振武, 撒利明, 董世泰, 等. 中国石油物探技术现状及发展方向 [J]. 石油勘探与开发, 2010, 37 (1): 1-10.
- [11] 邹才能, 陶士振, 朱如凯, 等. “连续型”气藏及其大气区形成机制与分布: 以四川盆地上三叠统须家河组煤系大气区为例 [J]. 石油勘探与开发, 2009, 36 (3): 307-319.

Key Technologies and Understandings on the Construction of Smart Fields

Jia Ailin Guo Jianlin

(PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development)

Abstract : Key issues for smart fields have been discussed in this paper, including the main features, trends, solutions, construction elements and technical differences in China and abroad. Smart fields include three elements : real-time monitoring, modeling, decision-making and implementation. Their main features are real time, integration and continuity. The essence of smart fields is the optimization based on the model system, including 4 levels : single-well optimization, production optimization, reservoir optimization and optimization of the overall assets. And the overall system optimization is the ultimate objective. For smart fields, the *smart* is a method of constructing smart fields and efficient development is its purpose. Data is the basis and key of smart fields. The essence of smart field decision-making is based on the model. Smart fields can't go without the support of high-tech industry. The difference of smart fields technologies between home and abroad mainly lies in the oil and gas exploration and development mode and management concepts, technical means and research team, the timeliness of decision making, the responsibilities of different professionals and development objects.

Key words: smart field modeling decision-making and implementation real-time monitoring

Introduction

With the increasing difficulty in the development of oil and gas fields, the original oil and gas field development mode, which is classified according to disciplines, cannot fully adapt to the new demands. In this case, new solutions are required for oil and gas exploration, evaluation, development, adjustment and management issues. With the improving technical level and digitalization for oil and gas wells in recent years, Shell firstly proposed the concept of "Smart Field" and has successfully applied it in construction of a number of oil and gas fields.

In this paper, main features, trends, solutions and construction elements of "Smart Fields" are introduced and differences between domestic and international technologies for smart fields are analyzed, aiming to promote smart field construction in China.

1 Smart Field and its features

1.1 Concept and contents

The concept of "Smart Field" is to maximize the production, ultimate recovery and economic benefits through applying optimal measures in the whole process of exploration, evaluation,

development, adjustment and management in the digital age. Its execution consists of three parts: real-time monitoring, modeling, decision-making and implementation. During execution of "Smart Fields", emphasis is put on real-time acquisition of digital data, the network and computer techniques are effectively integrated into the model, scientific decisions are made by virtue of experts' systematic experiences and knowledges, new applicable economical and technical measures are developed and used. In addition, this procedure is implemented in the whole life cycle of oil and gas field development for "continuous" optimization^[1].

1.2 Origin and significance

Learning from the production management and operation system of aerospace and automotive industries, Shell's management firstly proposed the concept of "Smart Field" which works like a modern car engine. The engine is a closed system. A large number of sensors are connected to a computer diagnostic system, which receives data through the sensor and simulates the running of the engine, and provides the optimal adjustment immediately according to the model, while the automobile or automobile engineer realizes adjustment accordingly. In this way, effectiveness of fuel can be greatly improved.

Under guidance of the above principles, Shell implemented Smart Fields. Firstly, Smart Fields reflect Shell's adaptation to increasingly complex geological conditions and recent changes in international community. With depletion of high quality oil and gas fields, the development objective is becoming more and more complex, and varieties of complex oil and gas fields increase the difficulty of development and technical demands. Meanwhile nowadays international situation is constantly changing, such as restriction on carbon combustion and emissions claimed by the international community and environmental groups, globalization and diversification of cooperation partners in oil & gas exploration and production, and remote-control and globalization management of field development.

Secondly, smart field construction is developed for improving project efficiency and maximizing project benefits. Investment risks can be effectively reduced for new projects and imperfect data management can be coped for existing fields. Thus, the project value can be ensured to be the maximum through the life cycle of oil and gas field development.

In addition, "smart fields" are an inevitable trend, driven by technological advances in data acquisition, transmission and integration, tools and equipment, computer software and hardware. It is developed with the need of integrated production management in the whole process of oil and gas exploration and development. Oil and gas exploration and development involves many aspects and requires close collaboration of all parts. Multi-discipline and integrated operations including production management, technical solutions, skills and tools, technicians and organizations are the most effective mean to ensure maximum benefits of the project.

In general, ultimate recovery and production rate are estimated to be increased by 8% and 10% prospectively by implementation of smart fields.