

开启智能油田

陈新发 曾 颖
李清辉 支志英

编著



科学出版社

开启智能油田

陈新发 曾 颖 编著
李清辉 支志英

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是在总结和分析新疆油田信息化建设的实践经验和数字油田发展历程的基础上,探讨了数字油田未来发展的方向——智能油田,对智能油田的概念、内涵、建设内容、技术体系等进行了全面阐述。

本书可供从事石油生产、科研、管理的科技人员、管理人员及从事油田信息化建设的技术人员阅读参考,也可作为高等院校相关专业师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

开启智能油田/陈新发等编著. —北京:科学出版社, 2013. 7

ISBN 978-7-03-038050-0

I. 开… II. 陈… III. 数字技术-应用-油田开发-研究 IV. TE319

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 136076 号

责任编辑:彭胜潮 沈睿媛/责任校对:朱光兰

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 7 月第 一 版 开本:B5 (720×1000)

2013 年 7 月第一次印刷 印张:15 1/4

字数:288 000

定价:45.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序 一

中国大部分石油企业的信息化建设起步于 20 世纪 90 年代初期。最初是为了满足局部业务领域的应用需要，降低手工作业强度，因此这一时期的信息化建设具有分散、独立、规模小的特点，这为企业大规模集成应用带来巨大困难。1999 年“数字油田”的概念诞生，并很快得到行业的广泛认同。数字油田以油田实体为对象，以地理空间坐标为依据，通过海量存储和异构数据的融合，用多媒体和虚拟现实技术实现油田地上地下的多维空间表达。空间化、数字化、网络化和可视化是数字油田的基本特征。这一概念将油田当作一个整体进行信息化管理，强调整体的一致性和业务板块的协调性，是对早期信息化建设理念的重大改进。国内各油田企业在 2000 年后纷纷将“数字油田”列为中长期建设目标。

中国石油集团公司高度重视企业信息化建设，将其作为推进“两化”融合、促进经济发展方式转变的重要举措，纳入建设综合性国际能源公司目标体系之中，并列为实施“资源、市场和国际化”战略的六项保障措施之一。伴随着“数字油田”概念的诞生和发展，中国石油集团公司从全局的高度进行了“十五”、“十一五”和“十二五”的信息化统一规划和建设，为各油田企业的数字化建设提供了指导性内容。到“十一五”末，主要规划内容已基本建设完成，企业整体信息化格局初步形成，应用系统集成得到持续提升，数字油田整体进入发展成熟期。

数字油田的建设和应用极大地促进了油田业务的发展，在勘探开发、生产管理、经营管理等方面获得了巨大的经济效益。

目前我国主力油田对油气藏的开采大都进入中后期，由于受油气资源生产可能性边界条件的硬约束，任何一个油田的开采都不可能持续地保持高产量。另外，可动用区块逐年减少，新区勘探难度越来越大。资源品位下降和新老资源接替不足是国内油田企业必须长期面对的问题。为了保持企业的正常运转乃至高速发展，寻找更多的剩余油，

探索提高油气采收率，延缓老油田资源枯竭和产量递减速率，成为油田企业管理者和科研工作者的努力方向。在数字油田建设成果的基础上，利用物联网、云计算、知识化管理、辅助决策、人工智能等先进技术，建设智能化油田是一个解决问题的有效方法。

新疆油田于 2009 年率先完成数字油田建设，成为国内油田企业信息化的一面旗帜。2010 年新疆油田提出“智能油田”概念，并进行了总体规划，用 10 年的时间完成智能新疆油田建设。该书从“智能油田”的概念入手，阐述了数字油田到智能油田的过渡关系，介绍了油气勘探、油气开发、油气生产、油气集输等主要业务环节的智能化建设内容，并对技术实现进行了设计。该书主体内容对油田企业管理者、科研工作者、信息化主管人员等都具有较高的参考价值和指导意义。

中国工程院院士



2013 年 2 月

序 二

在全球经济瞬息万变的背景下，面临来自内外部的种种压力，继续深化改革、转换经济发展方式已成为当务之急。联合国发布的《2012年世界经济形势与展望》数据显示，2012年美国可能衰退0.8%，欧洲经济可能衰退1.6%。中国国家统计局数据显示，2012年上半年GDP增速为7.8%，二季度为7.6%，二季度GDP创13个季度新低，连续6个季度放缓。可见，发达国家经济步伐正在放缓，我国国内经济状况也不容乐观。受经济增速下滑影响，国有企业经营也未能幸免，2012年上半年央企总体利润同比下滑11.6%。复杂的新型经济形势对企业在整体资源规划和创新意识等诸多方面都提出了更高的要求，而科技创新是实现途径。

在石油与天然气行业，根据IBM公司与全球石油公司高级管理人员访谈而形成的《石油天然气行业2030年展望》报告，81%的受访者认为在未来20年内，技术进步对石油天然气行业影响最大；对于公众密切关注的石油公司环境保护与可持续发展问题，71%的受访者认为改进生产技术是解决之道。油田作为石油与天然气行业产业链的主体，是科技创新的焦点。国际油田企业与研究机构的大量研究与实践活动表明，“智能油田”是油田企业科技与信息化发展的未来趋势，是增加业务绩效、提高油气采收率、降低对环境的破坏、提升油田内在能力的有效方式。

新疆油田是国内油田信息化建设的领先者。经过十余年坚持不懈的努力，于2009年初宣布数字新疆油田全面建成。并且适应油气行业信息化发展趋势，提出了“由数字化向智能化管理迈进”的愿景，计划再用10年时间，充分发挥信息技术的潜力，完成“智能油田”建设目标，推动油田管理模式的变革。

IBM公司对新疆油田公司取得的成绩以及规划的宏伟蓝图深感敬佩，有幸于2010年与新疆油田开展了“智能新疆油田规划方案编制项目”的合作，建立了长期互信关系。IBM公司将与新疆油田继续深入

合作，助力智能新疆油田的建设任务。

新疆油田自 2010 年起在智能油田上的实践，在一定程度上引领了国内油田公司信息化建设方向，其他石油公司也跟进提出了“智能油田”的建设目标，探求发展创新之路。这些企业需要纲领性的整体框架以及有益的参考案例和实践经验，以便降低建设风险。新疆油田通过融合智能油田建设的深入理解与多年油田信息化实践经验，撰写了《开启智能油田》一书，是非常及时、非常有价值的。

该书在总结新疆油田数字油田发展历程基础上，全面、深入地阐述了数字油田的发展方向，即智能油田的内涵、发展思路和建设内容，可以说是国内关于智能油田建设的智慧结晶，更是关于智能油田建设量身定制的专业参考读本，值得关注油田信息化的读者认真研读和借鉴，相信能够有所启示。

IBM 大中华区全球企业咨询服务部工业部总经理



2013 年 2 月

序 三

在迎面而来的物联网时代，油田企业的信息化管理方式会是什么趋势？可以明确地说，随着全球信息技术的不断发展，企业必须不断提升信息化管理水平，从数字油田向智能油田发展，已经成为世界石油行业信息技术管理发展的必然趋势。

那么什么是智能油田？智能油田是否只是一个新的概念或好听的名词？智能油田与数字油田有什么不同？

当我拿到《开启智能油田》这本书稿，在看到关于“智能油田”的定义时，我已经意识到克拉玛依这座极具共和国特色的老石油工业基地，在新一届领导班子的带领下已经拉开了又一场革命。

在这里说到新疆油田，其实就是在说克拉玛依油田。说到克拉玛依，很多人便会随着那首《克拉玛依之歌》欢快、高昂的旋律，想到克拉玛依油田的诞生，想到这里不仅为新生的共和国提供了源源不断的工业血液，而且在精神层面上打破了西方学者的“陆相贫油论”，证明陆相沉积也可以找到大油田，为共和国在更广阔的领域开发更多更大油田扫清了观念障碍。

可以说，克拉玛依油田自落地之日起就开始了奔跑。克拉玛依是不断创新理念、不断创造奇迹的地方。我国著名学者、作家易中天的《克拉玛依赋》中有：“噫吁嘻，克拉玛依！建设新边疆，已着先鞭；开发大西北，当仁不让……海纳百川，川流无宕；壁立千仞，仞高无傍。天道行健，君子自强；自强之路，坦坦荡荡！”

克拉玛依油田作为共和国的长子、第一油田，为共和国的建设立下过特殊功勋，在其追求现代化生存的过程中，其自强之路是不断创新理念、不断创造奇迹。克拉玛依人展现出的与时俱进的创造力，不仅让这座油田历经半个多世纪依然充满活力，而且在地处偏远的大漠深处，把现代化的数字化油田做到了全国领先水平，2009年他们又为克拉玛依油田贴上了“智能油田”的标签。

“智能油田就是能够全面感知的油田，能够自动控制的油田，能够

预测趋势的油田，能够优化决策的油田”。这是中国石油新疆油田公司、克拉玛依人对于即将实现的世界第一个智能化油田做出的定义。打造智能油田、实现克拉玛依石油城的转型，这足以引起中国人乃至全球能源领域对克拉玛依油田的重新审视。

从机械化到自动化，技术发展和进步促进了生产力解放，改善了劳动(生产)环境条件，促进了集约化生产和标准化生产，也孕育了一场管理上的革命，特别是数字化和信息化技术的形成和发展，更优化了资源配置，推动了更深层次的革命。例如，“实时数据”、“数字仿真模型”、“人工智能”以及“流程再造”等不仅体现在生产系统(工具)和管理系统(手段)的更高级现代化，通过开发应用现代化(数字信息)生产、管理系统，还表现在管理思想、观念和管理方法、水平的进一步现代化和智能化。

数字油田的建设不仅让克拉玛依油田在不断探索创新油田和城市信息化发展的新模式中以信息化、工业化融合为着力点，充分吸收国际新技术、新工艺、新方法，在全国率先建立起技术水平不断提高、资源消耗不断降低、经济效益持续增长的生产体系，而且也让克拉玛依油田进入了以现代科学知识和管理理论为指导，以自动控制、优化控制、智能控制为主要形式的智能化管理时代。

信息数字化、管理智能化是当今世界发展的大趋势，是推动经济社会发展变革的重要力量。随着以物联网、云计算为代表的信息技术的创新突破，数字化正以前所未有的力量推动着传统产业发展方式发生巨大的变革。2010年，克拉玛依油田在全球首次提出“智能油田”概念。从数字到智能，虽只一词之差，却凸显了新疆油田信息化建设发展的革命性跨越。

领先，这是现代化生存的必须需求。无论人们是否已经清醒地意识到，理论分析与社会实践都已清楚表明，信息化走向智能化的时代已经来临。智能科学技术已被推上经济社会发展的历史舞台，并将引领信息社会走向智能化时代。一如该书的第一作者、克拉玛依市市长、新疆油田公司总经理陈新发对一个老油田、新城市的发展认识。他认为，此时此刻，“谁高屋建瓴做好了可持续发展的科学发展规划，做好了科学发展的顶层设计，谁就跟上了时代的步伐，谁就掌握了现代化

生存与发展的主动权”。“克拉玛依必须领先一步，只有领先，才能破解一切发展的不利因素。”

新疆油田是国内第一批进行信息化建设的石油企业，20世纪90年代初即开始信息化之路，几任领导班子将信息化建设放到与勘探开发主营业务同等重要的位置来抓。新疆油田的信息化建设从1993年起步，到2001年提出了建设“数字油田”的目标，再到2008年全面建成了我国第一个高水平的数字油田，经过持续不断的创新，新疆油田已经建立起完整的计算机设施体系，实现了数据集中管理。建成的油田计算机网络，犹如一张大网，覆盖了整个油田生产数据源点和办公场所，实现了油田应用系统的全覆盖集成。与此同时，新疆油田的软件研发实力也走在了国内石油石化企业前茅，自主研发了数字油田信息平台，并利用该平台通过业务定制方式，开发了87套数字油田应用软件，其中30套获得国家软件著作权。制定的344个油田信息化标准规范体系，基本覆盖了油田数字化的各项应用。在建成覆盖油田生产、科研、经营和管理全过程的勘探开发信息管理和服务体系的过程中，形成了一大批具有自主知识产权、质量过硬和功能先进的信息技术产品。

新疆油田提出的“由数字化向智能化管理迈进”的信息化工作方向，从2010年开始智能油田建设，首先开展了智能油田的规划，描述智能油田的蓝图，形成智能油田建设的整体框架。与此同时，开展智能油田的概念、内涵、技术框架等理论方面的研究。智能油田计划用10年的时间，通过建立完善的油田数据应用体系、优化的决策分析模型、体系化的生产管理知识库以及共享的油田数据知识，从而实现生产流程自动化、系统应用一体化、生产指挥可视化、分析决策科学化。

如今，被称为当今世界IT业“航母”、世界领先的信息技术服务跨国企业IBM与克拉玛依市政府一起为克拉玛依油田规划了智能油田和数字城市的发展蓝图。克拉玛依油田借助信息化建设走出了一条科学发展和高效开发的新路子，其信息化取得的成果在中国石油石化企业中名列前茅。

可以说，代表着现代科技先进水平的“数字油田”已使克拉玛依油田发生了凤凰涅槃式的变化，也为克拉玛依搭好了起跳的踏板——向着“智能油田”腾飞。

新疆油田的实践证明，数字油田与智能油田具有一致的建设目标，智能油田是数字油田的高级阶段，从数字油田到智能油田是持续完善的过程。智能油田建设是一项庞大而复杂的系统工程，没有成熟的经验和方法可以借鉴。

克拉玛依石油人又一次成为“第一个吃螃蟹的人”。为此，该书通过新疆油田的实践经验，在总结数字油田发展历程基础上，探讨了数字油田未来发展的方向——智能油田，对架构智能油田内涵和建设内容进行了全面阐述，不仅为高起点、高标准地建设智能化油田奠定了发展路线图，而且为建设智能油田勾勒出看得见、可操作的架构。

期待克拉玛依智能油田早日实现。

《中国石油企业》杂志社副总编



2013年2月

前 言

在石油工业领域，油气勘探和开发面临着很多挑战。勘探方面，勘探对象越来越复杂，逐步向深层、深海和自然地理恶劣的沙漠、高寒地带转移，新发现油气藏规模减小，储量品质变差，难动用储量比例增加。开发方面，老油气田开发程度越来越高，提高采收率的难度越来越大；低渗透率油气藏在探明储量中的比例越来越高，开发和开采难度越来越大；重油和天然沥青资源的开发对生产技术中的科技含量提出了更高的要求；天然气开发面临老、低、深、高含硫等难采资源之困；非常规油气(煤层气、页岩气、页岩油等)资源开发技术面临巨大挑战。

为了应对这些挑战，世界各国在发展油气勘探和开发技术的同时，关注 IT 技术对油气勘探开发的支持。进入 21 世纪后，全球各主要石油公司掀起数字油田的建设热潮。数字油田来源于数字地球，是数字地球最重要的领域和分支。数字油田的实质是对真实油田整体及其相关现象的统一性认识与数字化再现。数字油田可以使石油企业按照数字地球的理论、思想和方法，提高企业的信息化程度，加快企业的信息化进程，提高石油企业的国际竞争力，实现油田资源环境与社会经济的可持续发展。在国外，英国石油公司提出了“未来油田”(Field of the Future)项目，建设自动化和通信基础设施，优化勘探开发方案，实现远程绩效管理；壳牌石油公司开展了“智能油气田”(Smart Fields)项目，对井场设施进行远程自动操作，建立智能井，开展单井优化、油藏优化、设施优化；挪威国家石油公司开展了“一体化运营生产”(Integrated Operation)项目，建立离线一体化运营生产中心，实现远程自动化控制和生产优化，利用机器人进行现场操作。在国内，大庆、长庆、胜利、辽河、塔里木等各大油田纷纷开展了数字油田建设，取得了丰硕的成果。新疆油田经过十余年数字油田的建设，在 IT 基础设施、数据建设、专业软件系统、标准规范、管理体系等方面取得了显著成效，截至 2008 年 12 月 31 日，数字油田工程项目全部完成，至此数字新疆油田全面建成，成为国内第一家全面建成数字油田的石油企业。

随着数字油田的基本建成，人们开始关注数字油田的进一步发展方向。数字油田的进一步发展趋势可以从两个方面看：一是数字油田自身的完善；二是向更高层次的发展。从自身完善的角度，数字油田的发展体现在提高数据精度和密度，数据集成向全油田业务扩展、不断提高数据管理水平、应用软件向服务化方向发展。除自身的完善外，数字油田将向更高层次发展，主要体现在从数据层、信息

层向知识层发展,协同工作模式变得普及化,虚拟现实技术得到广泛应用,更加重视提升数据资源为油田带来的价值。

数字油田是在多年油田信息化建设摸索和总结中提出来的。在数字油田提出之前,油田信息化建设是一种局部性、小规模、分散化的模式,数字油田的概念提出后,油田信息化建设开始进入全局性、集成化、系统化的发展阶段。

在数字新疆油田全面建成的基础上,新疆油田提出了“由数字化向智能化管理迈进”的信息化工作方向。从2010年开始的智能油田建设,首先开展了智能油田的规划,描述智能油田的蓝图,形成智能油田建设的整体框架。与此同时,开展智能油田的概念、内涵、技术框架等理论方面的研究。智能油田计划用5~10年的时间,通过建立完善的油田数据应用体系、优化的决策分析模型、体系化的生产管理知识库以及油田数据知识的共享,从而实现生产流程自动化、系统应用一体化、生产指挥可视化、分析决策科学化。

本书是通过新疆油田的实践经验,在总结数字油田发展历程的基础上,探讨了数字油田未来发展的方向——智能油田,对智能油田内涵和建设内容进行了全面阐述。

全书共分7章。第1章总结了信息技术在油田勘探开发中的重要作用,在分析数字油田建设现状和发展趋势的基础上,指出智能油田是油田建设和发展的方向,对智能油田定义、特征等进行了阐述,给出了智能油田的总体架构。第2~5章分别阐述了油田的核心业务,油气勘探、油气开发、油气储运、油田生产保障的智能化建设内容,包括各业务领域的智能化定义、目标、业务场景、系统设计、实施步骤等。第6章介绍了智能油田的技术实现,对智能油田的技术需求进行了分析,设计了智能油田的技术框架,并介绍了实现智能油田的关键技术以及这些技术在智能油田开发中的应用方案。第7章介绍了智能油田技术在新疆油田的总体规划蓝图及实施路线。

我们之所以能写出这本书,得益于中国石油天然气集团公司各级领导多年来对新疆油田信息化建设的支持和帮助,得益于新疆油田各级领导的重视和关心,特别是油田广大科技人员的扎实工作。东北石油大学文必龙教授、IBM公司欧阳欣然、原中石化勘探开发研究院关德范院长、《中国石油企业》杂志社副总编牟雪江等对本书的编著提供了热情的帮助,中国石油新疆油田分公司陈仕意、沈建林、王建、吴坚强、贾鹿等对本书内容也有贡献,在此一并表示感谢。本书撰写的目的,就是为与所有关心油田信息化建设和发展的科技人员共同探讨智能油田的创新和应用问题。书中涉及的一些理论问题和应用实践,仅仅是作者的初步思考和认识,还存在许多不足甚至错误之处,敬请批评指正。

目 录

序一	
序二	
序三	
前言	

第 1 章 从数字油田到智能油田	1
1.1 数字油田理论与发展	2
1.1.1 国内研究	2
1.1.2 国际趋势	6
1.2 智能油田内涵和框架	9
1.2.1 国外智能油田定义	9
1.2.2 智能油田的定义	11
1.2.3 智能油田的特征	12
1.2.4 智能油田的业务目标	13
1.2.5 智能油田的总体框架	16
1.3 智能油田与数字油田的关系	20
第 2 章 智能油气勘探	25
2.1 智能油气勘探的总体框架	25
2.1.1 智能油气勘探定义	25
2.1.2 智能油气勘探建设工程	28
2.2 勘探数据和知识管理	32
2.3 数字盆地	35
2.4 智能战略选区	36
2.5 井位协同设计	38
2.6 探井跟踪研究	40
2.7 智能多井对比	42
第 3 章 智能油气开发生产	45
3.1 智能油气开发生产的总体架构	45
3.1.1 智能油气开发生产定义	45
3.1.2 智能油气开发生产建设工程	50

3.2	油藏实时监测和动态模拟	54
3.3	油藏分析和优化	56
3.4	注采关系监测和优化	59
3.5	措施选井和方案评估	61
3.6	单井管理	64
3.7	产量管理	69
第4章	智能油气储运	77
4.1	智能油气储运的总体架构	77
4.1.1	智能油气储运定义	77
4.1.2	智能油气储运建设工程	80
4.2	管网监控与预警	84
4.3	油气管网智能运行调节	86
4.4	集输储运模拟分析	89
第5章	智能生产保障	92
5.1	智能生产保障的总体架构	92
5.1.1	智能生产保障定义	92
5.1.2	智能生产保障建设工程	95
5.2	供用电监测与分析系统	99
5.3	供水动态监测与水量分析调节	101
5.4	物资仓储管理	105
5.5	应急协同指挥	107
第6章	智能油田的技术实现	111
6.1	智能油田的技术需求	111
6.1.1	智能油田的技术层次	111
6.1.2	智能油田的技术方向	112
6.1.3	智能油田的技术特点	113
6.2	智能油田的技术框架	116
6.2.1	智能油田的技术架构	116
6.2.2	智能油田的技术原则	119
6.2.3	智能油田的技术等级	120
6.3	感知技术	122
6.3.1	技术现状	122
6.3.2	物联网	125
6.3.3	随钻技术	132

6.4	自动控制技术	136
6.4.1	技术现状	136
6.4.2	自动化控制	138
6.4.3	智能井	142
6.5	分析模拟技术	145
6.5.1	技术现状	145
6.5.2	油藏动态模拟	146
6.5.3	单井动态分析	150
6.6	决策支持技术	152
6.6.1	技术现状	152
6.6.2	决策支持系统	156
6.6.3	数据仓库技术	157
6.6.4	决策支持在油田的应用	162
6.7	优化技术	164
6.7.1	技术现状	164
6.7.2	优化技术的应用案例	165
6.8	知识管理和应用技术	168
6.8.1	技术现状	168
6.8.2	智能搜索技术	172
6.8.3	知识管理在油田企业的应用	178
6.9	信息集成技术	183
6.9.1	技术现状	183
6.9.2	ESB 集成技术	183
6.9.3	workflow 整合技术	185
6.9.4	信息集成在油田企业的应用	188
6.10	云计算技术	191
6.10.1	基本概念	191
6.10.2	体系架构	193
6.10.3	关键技术	196
第 7 章	智能新疆油田实践	198
7.1	数字新疆油田建设成果	198
7.1.1	数字新疆油田建设历程	198
7.1.2	实体油田和生产过程的数字化	198
7.1.3	研发自有知识产权的信息技术平台	199

7.1.4	油田全部业务领域的集成应用	200
7.1.5	建立完善的信息基础设施	201
7.1.6	建立数字油田标准体系	202
7.1.7	建设科学合理的信息化管理体系	202
7.1.8	迈向智能油田	203
7.2	油田智能化需求	204
7.2.1	勘探领域现状及需求	206
7.2.2	评价领域现状及需求	207
7.2.3	开发与生产领域现状及需求	209
7.2.4	储运领域现状及需求	213
7.2.5	生产保障领域的现状及需求	214
7.3	建设智能油田的现状评估	216
7.3.1	信息管理现状评估	216
7.3.2	基础设施现状评估	217
7.3.3	组织机构现状评估	218
7.4	智能新疆油田总体规划	218
7.4.1	整体思路	218
7.4.2	项目规划方法	219
7.4.3	实施策略	220
7.4.4	实施路线图	221
参考文献		225
后记		226