

鄂尔多斯盆地油气勘探开发的 实践与可持续发展

胡文瑞, 翟光明

(中国石油天然气集团公司, 北京 100724)

[摘要] 鄂尔多斯盆地是我国近 10 年来石油天然气产量增长最快的盆地, 目前已经成为我国第二大油气生产盆地和第一大天然气产区。概述了鄂尔多斯盆地油气勘探开发的历史, 总结了盆地发展形成的重要认识、主要技术、开发管理模式、油气产量和取得的经济社会效益, 从发展规划、油气资源、非常规油气资源和其他资源方面探讨了盆地发展前景, 并对盆地可持续发展提出了建议。

[关键词] 鄂尔多斯盆地; 油气; 勘探开发; 可持续发展; 技术; 管理模式

[中图分类号] TE31 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2010)05-0064-09

1 前言

2008 年, 我国的石油消耗量已高达 3.757×10^8 t, 占世界能源总消耗量的 9.11%^①。2008 年, 我国石油(包括原油、成品油、液化石油气和其他石油产品)净进口量达 2.0067×10^8 t, 石油对外依存度达 53.4%。油气资源短缺问题正在成为制约我国经济发展的主要瓶颈之一。虽然近年来我国加大了对国外油气资源勘探的开发和收购力度, 海外油气产量不断增长, 但存在一定的政治、经济风险。因此, 加快我国国内油气资源勘探开发和提高国内油气产量, 对于缓解我国油气供需矛盾和保证国家能源安全具有重大的战略和经济意义。

鄂尔多斯盆地是我国第二大沉积盆地, 盆地内石油、天然气等资源丰富。经过几代人的不懈努力, 盆地油气产量不断增长, 尤其是最近 10 年, 盆地油气产量呈指数式快速增长。2009 年, 盆地内的两大主要油气生产实体^②——长庆油田和延长石油油气产量均创历史新高, 整个盆地合计生产油气当量达到 4406.7×10^4 t, 鄂尔多斯盆地已经成为我国第二大油气生产盆地和第一大天然气产区, 我国第二大

油气田生产企业——长庆油田公司和我国第一大气田——苏里格气田都位于该盆地内。

2 鄂尔多斯盆地油气勘探开发概况

2.1 盆地历史

鄂尔多斯盆地关于石油的记载, 可追溯到公元前。西汉末年, 史书记就有“高奴出脂水”之说。东汉班固《汉书·地理志》:“高奴有洧水可燃”。北宋沈括《梦溪笔谈·杂志》:“鄜延境内有石油, 旧说高奴出脂水, 即此也”。《元一统志》:“延长县南凿开石油一井, 其油可燃”。

早在西汉中叶, 鄂尔多斯盆地就已经出现了天然气井。《汉书·地理志》记载有西河郡鸿门县“有天封苑火井祠, 火从地出”。《地理风俗记》有“言阴县西五十里, 有鸿门亭天封苑火井庙, 火从地中出”的记载。汉代的鸿门县、言阴县, 即鄂尔多斯盆地的东北边缘一带。

① 引自 BP 公司《世界能源统计报告(2009)》

② 鄂尔多斯盆地油气生产实体, 除长庆油田和延长石油外, 还包括中石化的部分油气田, 如大牛地气田、镇泾油田等

[收稿日期] 2010-03-03

[作者简介] 胡文瑞(1950-), 男, 甘肃平凉市人, 教授级高级工程师, 博士生导师, 主要研究方向为低渗透油气田勘探开发与工程管理;
E-mail: hwr@petrochina.com.cn

2.2 盆地概况

鄂尔多斯盆地位于我国中西部地区(见图1),总面积37万平方公里,是一个整体升降、拗陷迁移、构造简单的大型多旋回克拉通盆地^[1]。盆地天然气、煤层气、煤炭三种资源探明储量均居全国首位,石油资源居全国第四位。此外,还含有丰富的水资源、地热、岩盐、水泥灰岩、天然碱、铝土矿、油页岩、褐铁矿等其他矿产资源^①,被称为“聚宝盆”。盆地内油气聚集的总体特征是“半盆油,满盆气”,“南油北气、上油下气”,含油气层系面积大、分布广、层系多、复合连片。盆地储层纵向上发育着“四套”含油气层系:侏罗系含油层系、三叠系含油层系、上古生界含气层系和下古生界含气层系,号称“四层楼”^[2]。

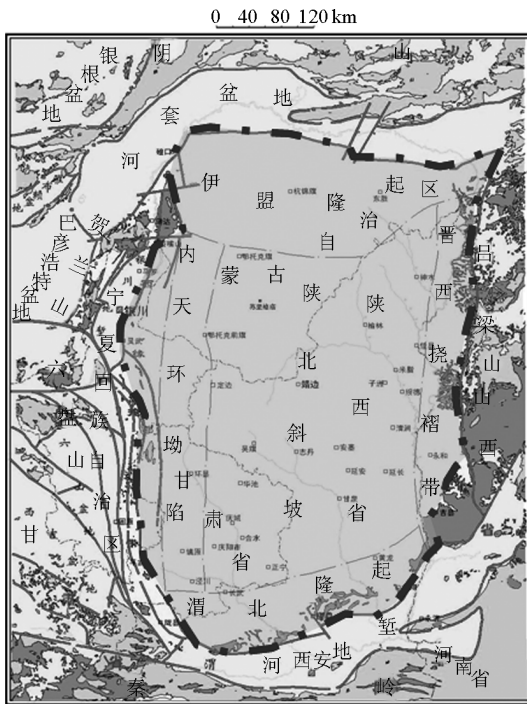


图1 鄂尔多斯盆地构造区域划分图

Fig.1 Structures and area divisions of Ordos Basin

2.3 盆地油气发展阶段

鄂尔多斯盆地真正意义上的石油勘探开发始于20世纪初,距今已有一百多年的历史,从其发展历程看可划分为5个阶段。

2.3.1 起步期(1905—1969年)

1905年,清政府创办的延长石油官厂成立,标志着鄂尔多斯盆地油气勘探开发的开始。1907年钻成中国陆上第一口工业油井——延1井,完钻深度81 m,从此开始生产石油。至1949年,整个盆地

年原油产量不足 $0.1 \times 10^4 \text{ t}$ ^[3]。1950年,新中国组建陕北勘探大队,在盆地中部和北部进行地质调查与钻探。1954年,在陕西省的永坪、枣园见低产油流。1958年,在盆地西部断褶带发现三叠系和侏罗系油层,但未获工业性油流。20世纪60年代,在宁夏灵武境内李庄子、马家滩钻探发现低产油流,第一次采用压裂技术改造低渗透油层获得工业性油流。

2.3.2 创业期(1970—1983年)

20世纪70年代初,长庆油田会战开始。石油部组织制定和实施了鄂尔多斯盆地石油勘探的“五条大剖面”,第一次对盆地地层有了整体的、较清晰的认识,并在许多层位见到了油气显示,奠定了盆地油气田大发现的基础。1970年钻探庆1井发现马岭油田,迎来盆地第一次储量增长高峰期。组织石油大会战,加强低渗透油藏改造技术攻关,开辟油田开发试验区。1979年,建成马岭、城壕、华池、红井子、吴旗、直罗、下寺湾等9个油田15个试采开发区,形成年产原油 $135 \times 10^4 \text{ t}$ 规模。

2.3.3 调整期(1984—1995年)

20世纪80年代,勘探重点由在侏罗系找油转向三叠系。1983年12月,中生界三叠系延长统塞一井出油,日产64.45 t,发现了安塞油田。1988年陕参1井钻探成功,发现靖边大气田,开创长庆油田天然气勘探开发的新局面。至此,鄂尔多斯盆地进入“油气并举”的新时代。安塞油田经过8年攻关获得成功,开辟了特低渗透油田规模有效开发的新道路。安塞油田的技术和经验被誉为“安塞模式”,在整个鄂尔多斯盆地和全国推广。安塞油田的成功开发,激活了整个鄂尔多斯盆地低渗透石油资源的开发,从此盆地石油产量开始稳步增长。

2.3.4 发展期(1996年至今)

1996年,在盆地内发现并高效开发了三叠系油藏为主的大型特低渗透油田——靖安油田。侏罗系滚动勘探开发取得成功,原油储量、产量连续突破历史最高水平。同年发现了榆林气田。1999年,长庆油田提出了“三个重新认识”,为盆地后来的大发现奠定了基础。

2000年发现了苏里格大气田,当年提交三级储量 $7327 \times 10^8 \text{ m}^3$,成为我国最大的气田并获国家科技进步一等奖。同年发现了绥靖中型油田。2001年,提出长庆油田“三步走”发展战略和“三个业务

① 引自互动百科网站的“鄂尔多斯盆地”词条(<http://www.hudong.com/>)

表1 三个重新认识的主要认识内容与认识成果

Table1 Main contents and achievements of "Three Reknow"

三个重新认识	主要认识内容	主要认识成果
重新认识鄂尔多斯盆地	油气资源量	满盆地、半盆地；南油北气
	区域构造	超高建设型大型河流三角洲
	砂体展布	四套层系、河口坝、中小分流河道
重新认识长庆低渗透	油藏类型	中等规模压裂、不压裂投注
	物性特征	超前注水、丛式钻井
	技术攻关管理方式	低渗透油气田开发模式
重新认识自己	认知自己、否定自己	跳出思维局限找资源
	勘探开发工作思路	“老三重”、相对均质、回归原点
	渗透油气田特点	集成、集约，低成本、技术创新

3) 集约化二元攻关。集约化二元攻关是指应用系统工程理论, 技术攻关与管理创新相结合, 全过程集中配置人力、物力、投资、组织等要素, 实现低成本、规模有效开发。其中“二元”是指“技术”和“管理”(见图2)。其形成于安塞8年攻关, 成熟于苏里格气田7年攻关。集约化二元攻关, 将管理方法理论引入到技术攻关中, 通过管理创新提高勘探开发和降低油气综合成本, 改变了过去单一技术攻关的开发模式, 充分尊重了低渗透油气藏的客观规律, 大大提高了技术攻关的效率和成功率, 使过去难以开发的低渗透油气田实现了规模有效开发, 为解决重大工程技术难题探索出了新方法。

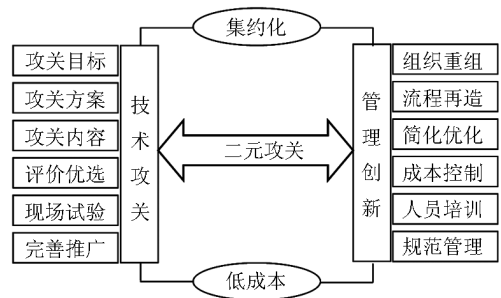


图2 集约化二元攻关示意图

Fig. 2 Sketches of intensive binary research

4) 原点找油论。原点是一个重要的哲学概念, 基本涵义是指离开原点, 又回归原点。原点找油论,

层面”思路, 为未来10年长庆油田发展和整个盆地更长一段时间内可持续发展指明了方向。2001年累计探明石油储量突破 10×10^8 t, 探明天然气储量突破万亿立方米。2001年发现了西峰大油田和姬塬大油田。2008年底, 苏里格气田储量达到 1.67 万亿 m^3 , 成为我国首个储量超万亿的大气田。2009年, 长庆油田油气产量突破 $3\,000 \times 10^4$ t, “三步走”发展战略提前1年实现, 证明了该战略的正确性和实用性。

3 鄂尔多斯盆地油气勘探开发的主要成果

鄂尔多斯盆地从1905年勘探开发开始, 经历了5个发展阶段和几代人的不懈努力, 获得了一系列重要认识, 形成了一系列低成本勘探开发技术和多个高效开发管理模式, 实现了油气产量快速增长, 取得了良好的经济效益和社会效益, 正在为我国经济发展和能源安全做着更大的贡献。

3.1 主要认识成果

1) “五条大剖面”。1971年, 长庆油田会战初期, 为了整体认识鄂尔多斯盆地南部天环向斜, 石油勘探部署了著名的“五条大剖面”, 对于整体认识鄂尔多斯盆地油气资源起了重要的奠基作用, 也是鄂尔多斯盆地油气勘探开发的认识基础, 并以此为指导发现了马岭、城壕、华池、吴旗等油田以及较多的侏罗系和三叠系延长统的出油气点, 在贺兰山东部的刘家庄进行的天然气勘探部署是鄂尔多斯盆地天然气最早最有意义的探索, 对于后期鄂尔多斯盆地油气事业的大发展发挥了重要的作用。

2) “三个重新认识”。所谓“三个重新认识”, 是指“重新认识鄂尔多斯盆地、重新认识长庆低渗透、重新认识自己”。其基本内涵是认知上的自我否定与修正, 其核心是解放思想, 实事求是, 既揭示了人类活动“认识—反思—创新”的一般过程, 又体现了能源采掘行业“认识—勘探—开发”的特殊性。

“三个重新认识”使人们认识到鄂尔多斯盆地具有丰富的油气资源, 而且大部分低渗透油气可以实现规模有效开采。它为盆地油气大规模勘探开发奠定了思想和认识基础, 推动了勘探开发技术攻关和开发管理创新, 指导发现了中国最大的气田——苏里格气田和西峰、姬塬、绥靖等大中型油田, 使盆地油气产量开始呈指数增长, 有力地推动了鄂尔多斯盆地油气勘探开发的大发展(见表1)。

是一次次离开,是认识的提升,实践的结束;又一次次回归,是实践的又一次开始,认识又一次提升,在每一次离开原点又回到原点的过程中取得了实践、认识的新收获。在鄂尔多斯盆地油气田勘探实践中,提出了“老三重”(重上老区、重翻老资料、重上露头),石油勘探均经两次以上的反复并最终突破;天然气勘探先后经历了先西部、再东部、后中部、又北部,最后在中、北部取得了大的突破,发现世界级的整装大气田。这些都不是简单的重复。鄂尔多斯盆地的石油勘探,从延长组开始,受阻后发现了延安组古地貌油藏,在开发侏罗系油藏的过程中,加深了对三叠系延长组三角洲的认识,并在工艺上取得重大突破,进而发现和开发了安塞油田等。对油气藏、油气田的认识,甚至工艺技术改进都走过了离开原点又回到原点的实践路径和认识轨迹。

原点找油论是建立在鄂尔多斯盆地油气成藏和分布特点基础上的,是盆地长期油气勘探实践的总

结。在原点找油论的指导下,“三上两下”发现了6亿吨级的西峰油田,“六上五下”发现了3亿吨级的姬塬油田,成为鄂尔多斯盆地近10年两个最重要的油田发现。

5)开发经济界限论。所谓经济界限,就是指油气田开发每一阶段的资金投入,都要以油气田投产后的最大或稳定产出为准绳,依此计算出相应的投资回报、投资利润。投入产出合算,则实施开发,否则,暂不开放。开发经济界限的设定,首先必须充分认识开发此类油气田的企业效益、社会效益的重大意义;其次必须在论证的前提下设置经济界限最基础的目标参数;再次要充分考虑技术进步的贡献值;最后要看到此类油气田开发对于类似储量的辐射和推动作用。在经济界限理论的指导下,长庆油田在保持油气产量和投资快速增长的同时,也取得了良好的经济效益(见图3)。

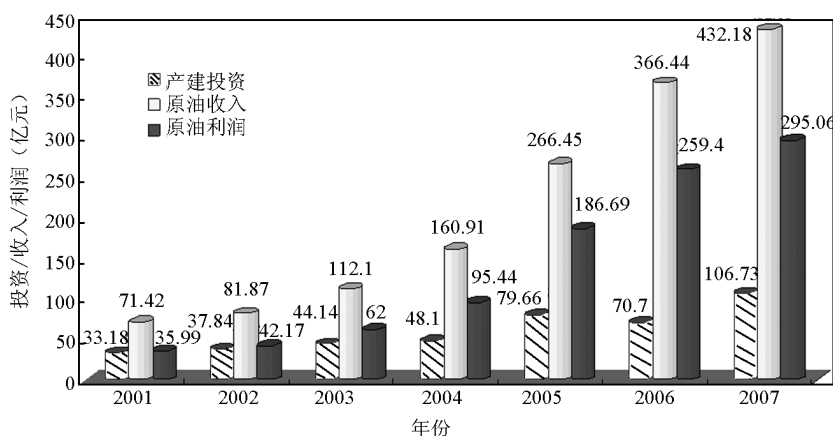


图3 长庆油田原油产能建设投资、收入、利润趋势图

Fig. 3 Trends of investments and incomes and profits of oil production capacity construction of Changqing Oilfield

3.2 主要技术成果

鄂尔多斯盆地在长期的勘探开发过程中,特别是在安塞油田8年攻关和苏里格气田7年攻关的过程中,探索、积累、形成了适合低渗透油气特点的低成本配套技术体系,其特色核心技术有:

3.2.1 地震技术

1)黄土塬地震勘探技术。鄂尔多斯盆地黄土塬土层巨厚、疏松,造成地震激发、接受条件差,干扰严重和地震波能量严重衰减。在长期的探索中,形成了以多深井组合放炮,双爆炸机激发,黄土塬沟中弯线资料采集,过塬直测线及网状三维资料采集,复

杂地表多域静校正,共反射面元优化叠加,多种波阻抗反演等为主的适合于盆地黄土塬地区特点的地震勘探技术^[4],大大改善了黄土塬区地震资料的品质,提高了储层预测的精度。

2)高精度二维数字地震技术。苏里格气田非均质性极强,沿用常规二维地震采集和解释方法预测可以找到砂体,但不能预测有效储层。经过优化地震采集的系统参数,现场反复试验,摸索出了以数字检波器接收、小道距、大偏移距、高覆盖次数、潜水面以下激发为核心的高精度二维地震采集技术,获得了高品质资料,满足了用叠前地震资料直接预

测气层的条件(AVO),大大提高了地震预测含气性的准确度,使I+II类井比例由评价初期的50%提高到目前的80%。

3.2.2 早期油藏描述

油藏描述提前介入,在勘探评价阶段,综合应用地质、地震、测井、测试等多种资料,由多学科团队对油气藏的各种特征进行定量地描述、表征及预测,建立油气藏地质模型,初步确立油气藏主要开发参数,为合理开发做好准备。其主要内容包括储层综合评价、储量评价和产能评价。早期油藏描述大大缩短了勘探与开发的距离,加快了勘探的节奏和开发的步伐,促进了勘探开发一体化,有利于低渗透油气田的快速建产。

3.2.3 丛式钻井技术

丛式钻井,是指在一个井场或平台上,钻出若干口油水井,各井的井口相距数米,各井的井底则伸向不同方位的一种钻井方式。20世纪90年代,安塞油田开始试验,在经历了直井、直井加小位移井、小丛式井组,形成了大丛式井组(见图4)。经过不断的攻关和完善,逐渐形成了丛式井钻采配套工艺技术系列,成为盆地油气田开发的主体技术。丛式钻井可以大大减少征借地费用、降低钻前工程量、简化地面输油流程、节约后期油井管理成本、降低产能建设投入和保护环境。1990年以来,仅长庆油田钻各类丛式井4410井组,井数20250口井,使百万吨产能建设能降低投资3200万元;节省土地80880亩(1亩=0.0667hm²),投资、环境效益十分巨大。



图4 长庆油田丛式井组图

Fig.4 Cluster well group of Changqing Oilfield

3.2.4 压裂改造技术

低渗透特低渗透致密砂岩油田开发,一般无自然产能,必须经过压裂改造之后才有产量,就是说低渗透、特低渗透油田开发,口口井都需要经过压裂改造。鄂尔多斯盆地的压裂改造,先后经历了小规模、大规模到中等规模压裂,最后形成长庆油田低渗透经典规模压裂改造模式——中等规模压裂,就低渗

透油田压裂规模而言,可分为大规模压裂(砂量在50m³以上)、中等规模压裂(砂量20~50m³)和小规模压裂(砂量在20m³以下)。实践证明低渗透储层压裂改造其规模加砂量25~30m³最佳。1996年该技术在安塞油田全面推广,并逐渐形成经典压裂参数模式。2001—2002年苏里格气田进行大规模压裂试验,结果表明大规模压裂并没有明显提高单井产量,而且在经济方面存在制约。而后调整思路改为中等适度规模压裂,不仅提高了气井产量而且还降低了成本,取得了较好的效果。

3.2.5 超前注水技术

该技术是指注水井在采油井投产前3个月或半年而提前投注,使原始地层压力保持在110%~120%的低渗透油田注水技术。该技术是低渗透油田最具影响力的核心技术、原创技术。安塞油田由开发初期的不注水,发展到常规注水,再到温和注水,后受长庆吴奇油田“污水回灌现象”的启示,提出了“超前注水”理论并研发配套形成了超前注水技术。其重大意义在于:a.解决了“低渗透”储层“低压”问题(世界性难题);b.解决了低渗透油田投产后采油、采液指数下降的难题(世界性难题);c.重要的是低渗透油田从投产之时就保持原始地层压力的平衡;d.建立有效的压力驱替系统,提高单井产量;e.避免因地层压力下降造成储层物性变差;f.使油藏具有较高的驱替压力,有利于提高最终采收率。

3.2.6 井下节流技术

苏里格气田开发初期,面临着气井高压生产阶段短、单井稳产能力差、常规井口节流易形成水合物等难题。2003年,苏39-14-2等3口井的套管破损出水,下入封隔器堵水后,意外地发现,不但解决了堵水问题,而且未出现井下水合物堵塞,气井生产压力、产量稳定,生产周期长。针对这一发现,进行井组试验并研发了配套工具,形成了井下节流技术。该技术抑制了井下水合物形成,稳定气井压力,将地面高压系统转换为低压系统,单井产量提高了20%,地面建设投资下降了36.7%,开井时率由67.0%提高到97.2%,成为鄂尔多斯盆地气田开发的核心技术。

3.2.7 分压合采技术

苏里格气田一井多层的现象较为普遍,合层改造很难充分动用纵向的所有气层。长庆油田分公司自主研发的可反洗井的Y241机械封隔器、分层压

裂合层开采一体化管柱,成功实现了一次分压三层。该技术节约了施工时间,减小了对储层的伤害,适应苏里格气田地质特征。气井产气剖面测试表明,次产层贡献率平均为20.1%,有效增加了单井产量,提高了储量动用程度。

3.2.8 地面工艺流程

1)“单、短、简、小、串”地面工艺流程。它是安塞油田地面开发建设采取的一整套最简化最适用的地面工艺流程。“单”即单井单管(丛式井阀组双管)不加热密闭集输工艺单干管、小支线、井口阀组串管注水、活动洗井工艺等。“短”即短流程,“丛式井口—接转站—集中处理站”二级布站。“简”即简化工艺、简化设备、简化操作。“小”即“小装置、小工艺、小设备、小设施、小仪表”。“串”即多口油水井、多座站共用一条管线完成集供输目的,即油井串油井、注水井串注水井、阀组串阀组、接转站串接转站等。

“单、短、简、小、串”地面工艺流程在安塞油田全面推广应用后,地面工程投资占总投资的比例由1988年的52.5%下降至1995年的31.6%,对安塞特低渗透油田实现规模有效开发起了重要作用。该工艺流程在长庆其他油田(如靖安、西峰、姬塬等)和延长油田开发建设中迅速推广应用并不断发展创新,也为我国其他低渗透油气田地面建设提供了示范和借鉴。

2)苏里格气田地面工艺流程。探索形成了“井下节流,井口不加热、不注醇,中低压集气,带液计量,井间串接,常温分离,二级增压,集中处理”的总体简化工艺流程。这种集气模式:a.降低了能耗。能耗下降为 0.21 吨标煤/ 10^4m^3 ,低于临区靖边气田采用的“高压集气、多井加热、小站脱水、集中净化”模式 0.23 吨标煤/ 10^4m^3 的能耗水平;b.缩短了采气管线长度,较大幅度节约了采气管线成本。与2003年10口加密井相比较,苏14开发试验井区2006年平均单井管线长度减少36%。

3.3 主要工程管理成果

鄂尔多斯盆地油气田开发在技术攻关的同时,坚持“两条腿走路”,坚持进行管理创新,在形成低成本管理体系的同时,也形成了多个特色油气田开发管理模式。

3.3.1 安塞开发模式

按照“三从一新”开发路线,形成了以规模丛式井、中等规模压裂、超前注水、射孔优化、采油工艺优

化、油藏井网优化、油田动态监测和地面集输优化为主要技术^[5],以“单、短、简、小、串”为特色工艺流程,“丛式井口—转油站—集中处理站”二级布站和集约化二元攻关管理的“安塞模式”^[6]。该模式在安塞油田推广后,其原油产量快速增产,1997年原油产量突破 100×10^4 t,2008年突破 300×10^4 t。地面建设投资大幅度下降,地面建设投资在总投资中的比例由原来的52%降到36%,大大降低了开发成本。

安塞油田是我国第一个成功大规模开发的特低渗透油田,“安塞模式”所形成的“三从一新”理念、8项配套技术、特色工艺和开发管理做法具有较广泛的适用性,在其他类似油田(如靖安、西峰等)推广应用后,大大加快了这些油田的开发建设,促进了原油产量的迅速增长。“安塞模式”为我国乃至世界低渗透油田经济有效开发探索出了一条可行的途径,对鄂尔多斯盆地乃至整个中国低渗透油田的规模有效开发建设产生了广泛而深远的影响。

3.3.2 靖安开发模式

靖安油田在勘探开发过程中借鉴安塞油田经济开发的技术和经验,坚持“三个紧密结合”,逐渐形成了“三优两先”开发思路,创新形成了以丛式井双管不加热密闭集输为主要流程,以优化布站、井组增压、区域转油、油气混输、环网注水为主要配套技术,以丛式井双管不加热密闭集输为主要技术,以“井口(增压点)—接转站—联合站”为主要特点的二级半布站方式,形成了“靖安模式”。

“靖安模式”使靖安油田的地面工程建设大大简化,地面工程投资在总投资中所占比例持续降低;原油产量不断增加,2001年达到 100×10^4 t,2006年原油产量跨越 300×10^4 t,1999—2001年连续三年被中石油评为“高效开发新油气田”。它是继“安塞模式”之后鄂尔多斯盆地油气田开发建设最为成功的开发管理模式。

3.3.3 靖边开发模式

靖边气田是鄂尔多斯盆地第一个年产 $50 \times 10^8\text{m}^3$ 的大型气田,“靖边模式”是在开发建设靖边气田过程中形成的理念、技术、管理、文化的有机集合,其主要技术工艺是“多井高压集气,多井集中注醇,多井加热炉加热节流,简化井口,简化计量,简化控制、小站脱水,集中净化”。该技术工艺大大简化了地面工艺流程,大幅度降低了地面建设投资(实施一期工程后节约投资2.16亿元),保证了安全平稳生产

(投产以来没有发生任何大小事故)。

3.3.4 延长开发模式

延长石油集团在地勘探开发探索中,形成了“非地震综合物化探、滚动勘探开发、浅油层丛式井钻井、小承压段压裂、空气泡沫驱提高采收率”等配套技术、“体制科技创新,科学精细管理”的管理理念和“一业主导,多元支撑”的发展战略。它的最大特点是最大程度简化,成本低、机制新、产量增长快。延长模式使延长石油集团实现了快速发展,2009年累计探明石油储量达到 17.06×10^8 t,生产原油 1121×10^4 t,综合销售收入突破 800 亿元,成为陕西省第一大企业。

3.3.5 苏里格开发模式

苏里格气田是我国迄今为止发现最大的整装天然气田,2008年累计探明储量已达 1.67 万亿 m^3 ,但同时,它又是典型的“三低”(低渗、低压、低丰度)、世界罕见难以有效开发的气田。自 2000 年发现以来,经过长达 7 年之久的技术、管理的创新与攻关,探索出了“5+1”合作开发模式,创建了“六统一、三共享、一集中”管理理念,全面推行“标准化设计、模块化建设、数字化管理、市场化运作”的建设原则,集成创新了适合苏里格气田低成本开发的 12 项开发配套技术,形成以“井下节流、井口不加热、不注醇、中压集气、带液计量、井间接接、常温分离、二级增压、集中处理”为特点的中低压集气工艺流程,创立了“苏里格模式”。

苏里格模式提高了单井产量,大大降低了开发成本,平均单井产量由开发试验时的 $8000 m^3/d$ 提高到 2008 年的 $12000 m^3/d$,单井建井成本由 1200 万元降至 800 万元;打破了传统油气田开发中“谁的矿权谁开发”的禁锢,探索出“5+1”合作开发模式,实现了市场配置资源,大大加快了苏里格开发建设的步伐;探索出了“六统一、三共享、一集中”的管理机制,解决各方技术标准不统一、生产管理协调不顺畅等问题;实行“标准化设计、模块化建设、数字化管理”,不仅保证了工程质量,而且降低了建设成本。2009 年产气量达到 $100 \times 10^8 m^3$,成为我国产气量第二大气田,规划到 2015 年年产气量达到 $230 \times 10^8 m^3$ 。

苏里格气田,是我国第一个规模有效开发特低渗透气田,“苏里格模式”探索出了一条开发特低渗透气田的成功途径,为我国类似气田的开发建设具有重要的指导意义。

3.3.6 西峰开发模式

西峰油田具有低渗、低压、埋藏深、油气比高、地层变化大、地面状况复杂等特点,开发难度较大。西峰油田建设以“创新、优化、简化、效益”为原则,贯彻地质、开发、地面系统“三位一体”整体优化,坚持地面工艺和自控技术的集成创新,形成了以“丛式井单管不加热密闭集输”为主要流程,以“井口功图计量、丛式井单管集油、油气密闭集输、三相分离脱水、伴生气回收利用、稳流阀组配水、系统综合优化、数据采集监控”为主要技术特点的“西峰模式”。

3.3.7 长北开发模式

长北模式是融合中国石油与壳牌公司先进技术和文化,采用国际承包商模式管理和市场化运作,形成了“大位移双分子水平井组布井、稀井高产、井间接替、分区分期”的开发技术理念和长北 HSE 管理体系的对外合作气田开发模式。长北项目仅钻 15 口双分支水平井和两口直井,仅用 3 年建成了 $30 \times 10^8 m^3$ 的天然气产能,2009 年天然气产量突破 $33 \times 10^8 m^3$,创造了中国陆上水平井钻井 10 多项历史记录,各项技术经济指标均达到国际先进水平,被中国石油确定为“上游业务 HSE 管理的样板”,被壳牌石油公司誉为“全球项目建设的典范”。

3.4 油气产量

鄂尔多斯盆地大规模石油勘探开发始于 20 世纪 70 年代初,到 70 年代末产量达到 100×10^4 t,然后徘徊将近 10 年,安塞油田攻关成功后,石油产量以平均每年 179×10^4 t 的速度快速增长,2009 年达到了 2713.5×10^4 t(见图 5)。盆地天然气大规模勘探开发始于靖边气田,1995 年产量达到 $1 \times 10^8 m^3$ 后,产量开始快速增长,2009 年达到 $212.5 \times 10^8 m^3$,成为我国第一大天然气产区,年均递增 45.4%(见图 6)。

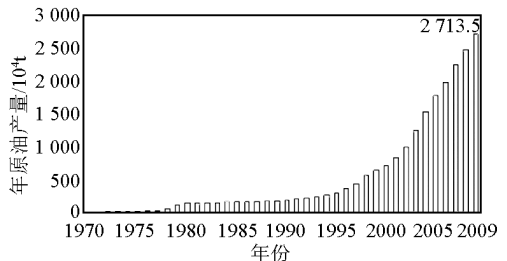


图 5 鄂尔多斯盆地原油产量

Fig. 5 Crude oil production of Ordos Basin

安塞油田攻关成功后,盆地油气当量呈指数快速增长,2001 年突破 1000×10^4 t,2004 年突破 2000×10^4 t,2007 年突破 3000×10^4 t,2009 年突破

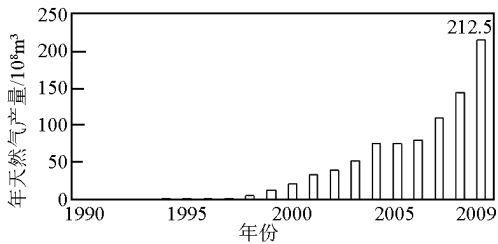


图6 鄂尔多斯盆地天然气产量

Fig. 6 Natural gas production of Ordos Basin

$4\ 000 \times 10^4 \text{ t}$, 达到 $4\ 406.7 \times 10^4 \text{ t}$ (见图7), 成为我国继松辽盆地之后第二大产油气盆地, 其中长庆油田油气产量达到 $3\ 082.5 \times 10^4 \text{ t}$, 成为我国第二大油气田; 延长油田油气产量达到 $1\ 144.9 \times 10^4 \text{ t}$ (包括 $3 \times 10^8 \text{ m}^3$ 天然气), 成为我国第六大油气田。

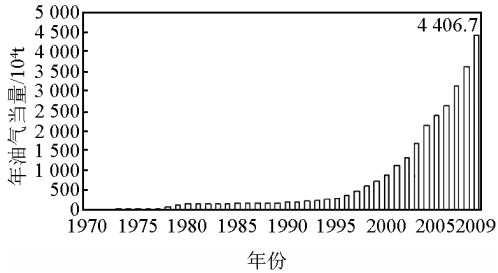


图7 鄂尔多斯盆地油气产量(当量)

Fig. 7 Oil and natural gas production (Oil Equivalent) of Ordos Basin

3.5 经济效益与社会效益

2001—2008年, 长庆油田实现主营业务收入2 503亿元, 利润1 519亿元, 是我国西部第二大、陕西省第一大企业。延长石油2009年销售收入一举突破800亿元, 实现利润50亿元。鄂尔多斯盆地石油天然气产量的快速增长, 缓解了国家经济发展对油气的需求, 为保证国家能源安全和独立做出了贡献。鄂尔多斯盆地是我国“西气东输1, 2线”的重要气源和“陕京1, 2线”的主要气源, 为北京、上海、天津、广州、西安等18个大中城市提供了清洁能源, 是我国最大的天然气枢纽和天然气调峰中心。盆地石油天然气资源的大规模开发, 带动了油气田附近地区的经济, 使革命老区多个县市实现了脱贫致富。

4 鄂尔多斯盆地可持续发展前景展望

新一轮全国油气资源评价结果表明, 鄂尔多斯盆地石油总资源量达 $85.88 \times 10^8 \text{ t}$, 天然气总资源量达 $10.7 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 鄂尔多斯盆地具有丰富的油气资源。可见, 截至2006年底, 盆地已探明石油地质储量 $20.71 \times 10^8 \text{ t}$, 资源探明率仅24.2%; 已探明天

然气地质储量 $1.75 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 资源探明率仅16.3%。而我国成熟盆地的油气探明率一般为40%~45%。鄂尔多斯盆地还有很多油气资源尚未发现, 具有很大的资源探明率提升空间。

截止2008年, 鄂尔多斯盆地石油累积产量为 $2.18 \times 10^8 \text{ t}$, 天然气累积产量为 $844.2 \times 10^8 \text{ m}^3$, 石油和天然气的采收率分别只有10.5%和4.8%, 按照最终石油采收率40%, 天然气采收率50%计算, 从目前探明的油气资源中, 还可以采出石油 $6.10 \times 10^8 \text{ t}$, 天然气 $7\ 905.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

随着科技的进步和开发技术工艺水平的提高, 盆地的油气资源量仍会不断增加。20世纪80年代末, 以10 mD为下限, 评价得到盆地的石油远景资源量为 $15.3 \times 10^8 \text{ t}$, 天然气4.17万亿 m^3 ; 20世纪90年代末期, 以1 mD为下限, 评价得到盆地的石油远景资源量 $40 \times 10^8 \text{ t}$, 天然气10.7万亿 m^3 ; 2003年左右, 以0.5 mD为下限, 评价得到盆地的石油远景资源量 $85.88 \times 10^8 \text{ t}$ 。但从盆地侏罗系11套油层, 延长统10套油层的实际看, 对储量资源量的认识还有巨大空间。所以, 鄂尔多斯盆地油气勘探开发有巨大的潜力。

此外, 鄂尔多斯盆地非常规油气资源相当丰富。煤层气资源11.32万亿 m^3 (埋深1 500~2 000 m)。其中, 石炭、二叠系6.52万亿 m^3 , 侏罗系4.8万亿 m^3 , 埋深小于1 500 m有利勘探目标区分布在大宁、吉县、吴堡、韩城、合水、乌审旗等地区。页岩油资源量 $525 \times 10^8 \text{ t}$, 大部分在1 000 m以内, 主要分布在三叠系延长统长7层。我国页岩气资源量约为30.7万亿 m^3 ^①, 其中鄂尔多斯盆地是除四川盆地外页岩气地质最好的地区, 主要分布在盆地南部的中生界上三叠统延长组, 有效烃源岩面积在 $8 \times 10^4 \text{ km}^2$ 以上, 厚度为300~600 m, 烃源岩体积为 $3 \times 10^4 \sim 4 \times 10^4 \text{ km}^3$, 具有良好的页岩气勘探开发前景^[7]。

5 鄂尔多斯盆地油气可持续发展的思考与建议

1) 国家宏观层面——各种资源统一规划。鄂尔多斯盆地资源丰富, 但目前资源开发各自为政, 经常发生矿权纠纷, 中央企业与地方政府矛盾较大, 资源破坏严重。国家应制定统一的资源开发规划, 实现各种资源的合理、有序开发, 既服务国家经济发展

① 石油勘探开发研究院廊坊分院2009年研究结果。

大局又兼顾地方利益,实现盆地的和谐和可持续发展。

2)政策层面——出台优惠政策,鼓励盆地低品位资源开发。鄂尔多斯盆地许多资源如石油、天然气等属于低品位资源,勘探成本高、开发难度大、经济效益差。国家和地方政府应出台一定的优惠政策,支持和鼓励低品位资源开发,带动经济发展。

3)技术层面——持续开展技术攻关。技术进步是低品位资源得以有效开发的前提。目前,盆地内 0.5 mD 以上的特低渗透油藏和 0.1 mD 以上的致密天然气藏已实现了规模经济有效开发,但仍有大量更低品味的油气资源等待开发,而开发这些资源需要新方法、新技术、新工艺^[8]。

4)企业层面——培育“两低”体系。低品位资源的开发必须走低成本开发路线,实现低成本不仅要靠技术,更要靠管理。企业要创新和发展低成本技术体系,探索低成本管理模式,积极培育和不断完善“低成本技术+低成本管理”体系,既实现低品位

资源的规模开发又能获得较好的经济效益。

参考文献

- [1] 翟光明,高维亮,等.中国石油地质学[M].北京:石油工业出版社,2005
- [2] 胡文瑞.低渗透油气田概论—迅速崛起的鄂尔多斯盆地[M].北京:石油工业出版社,2009
- [3] 申力生主编.中国石油工业发展史[M].北京:石油工业出版社,1980
- [4] 阎世信,吕其鹏.黄土塬地震勘探技术[M].北京:石油工业出版社,2001
- [5] 胡文瑞,张世富,杨承宗,等.安塞特低渗透油田开发实践[J].西安石油学院学报,1994,9(1):16-21
- [6] 胡文瑞.安塞油田开发建设实践与长庆低渗透油田地面建设规划[J].石油规划设计,1995,(02):5-8
- [7] 李建忠,董大忠,陈更生,等.中国页岩气资源前景与战略地位[J].天然气工业,2009,(05):11-16
- [8] 鲍敬伟,胡文瑞,宋新民.高含水油田开发层系重组方法研究与应用[J].新疆石油地质,2010

Practice and sustainable development of oil and nature gas exploration and development in Ordos Basin

Hu Wenrui ,Zhai Guangming

(China National Petroleum Corporation, Beijing 100724, China)

[Abstract] Ordos Basin is a sedimentary basin with the fastest oil and nature gas production growth rate in China in recent 10 years and has become the second largest oil and gas production basin and the largest nature gas production region. The history of oil and nature gas exploration and development in Ordos Basin was reviewed. Important knowledge, main technology, development management model ,oil-nature gas production and economic and social benefits achieved in Ordos Basin development were summarized. Based on development planning ,oil-gas resources, unconventional hydrocarbon resources and other resources, development prospect of Ordos Basin was discussed and several suggestions on sustainable development of Ordos Basin were proposed.

[Key words] Ordos Basin; oil and gas; exploration and development; sustainable development; technology; management model