



李培廉 刘良叔 主编

新星油气田 开发理论与实践

THEORY & PRACTICE ON PETROLEUM DEVELOPMENT IN CNSPC

北京)

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是中国新星石油公司自成立后到 1998 年底两年间油气田开发技术论文的选编。内容包括油气藏描述、油气藏工程、油气层保护、采油（气）工艺以及油气处理、水平井、三次采油、煤层气研究等。其中“新星系统油气田开发历程的回顾与展望”和“中国新星石油公司油气田开发技术综述”两篇文章，综合概括了新星石油公司的前身——原地质矿产部石油地质海洋地质局自 70 年代着手油气开采至今 20 多年的开发历程和技术进步。

新星公司所管辖的油气田分布地域广阔，北起松辽盆地，南到三水盆地，西自塔里木盆地，东到东海大陆架，且油田、气田兼有，油气藏类型多，地质条件复杂，因此对油气藏工程、采油（气）工艺和油气集输等提出了更高、更新的要求。从而促进了油气层的测试、开采工艺和油气处理、集输等技术的不断进步。

本书可供从事油气田地质、开发、开采工艺等专业研究的人员，以及石油院校有关师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

新星油气田开发的理论与实践/李培廉，刘良叔主编．

北京：石油工业出版社，2000.12

ISBN 7-5021-3252-X

I．新…

II．①李…②刘…

III．①油田开发②气田开发

IV．TE3

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2000）86696 号

石油工业出版社出版

（100011 北京安定门外安华里二区一号楼）

河北省徐水县印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 13 印张 333 千字 印 1—1000

2000 年 12 月北京第 1 版 2000 年 12 月河北第 1 次印刷

ISBN 7-5021-3252-X/TE·2467

定价：28.00 元

新垦油氣田開發理論與實踐上記錄着新
星石油系統油氣田開發建設者开拓进取的足跡，
飽含着同志們的聰明才智和辛勤勞動。從側面反
映了新星石油系統油氣田開發建設的進程和良好業績。
實踐証明具有光榮傳統的新星石油職工，完全有能力搞
好油氣田開發建設。展望廿世紀，殷切希望新星石油職
工為發展祖國石油天然氣產業創造出更加輝煌的業績。

張輝倉

二〇〇一年十二月

《新星油气田开发的理论与实践》编委会

主 编：李培廉 刘良叔

副 主 编：何宏现 张数球 曹永斌 邓敦夏

编 委：全裕科 王泽林 刘志波 张 艳

李 红 朗春艳 魏宜森

序 言

《新星油气田开发的理论与实践》是一本反映中国新星石油公司油气田开发技术起步与发展的论文集。

中国新星石油公司属国家四大石油公司之一，其前身是原地质矿产部石油海洋地质局。长年以来，该局的主体业务是普查勘探和评价全国范围（包括海上）的石油天然气资源，队伍遍布全国 15 个省市。

在计划经济年代，这支队伍曾为国家找到了大庆、胜利、大港、扶余、下辽河、江汉、苏北、鄂尔多斯、南海珠江口、东海平湖等等一大批油气田。当时，按照政府分工，这些油气田全部交由其他部门进行开发。因此，作为单纯从事地质勘探的队伍，他们长期以来始终与原油和天然气的市场无缘。好在几代地质学家以报国为己任，凭着一腔热血和对于事业的执著追求，在非常困难的条件下，长期坚守在对祖国来说极其重要的油气普查勘探岗位，用他们的智慧和汗水寻找到一批又一批油气储量，为新中国石油工业的诞生和往后的迅猛发展提供了坚实的资源基础。“八五”和“九五”期间，又相继发现了东海春晓凝析气田，塔里木塔河亿吨级油田，在世界屋脊青藏高原成功地进行了稠油试采，实现了西藏出油的历史性突破。此外，在开拓煤层气新能源方面也率先在我国取得突破性进展。可以说，这支队伍以有限的资金投入，为国家石油工业的崛起和发展作出了奠基性和导向性的贡献。

由于政策的限制，长期以来使这支队伍只在个别地区开展些单井试采，所以在勘探和开发两个领域中的技术力量发展很不平衡。勘探技术和水平具有较强的优势，但开发技术及其水平却有较大差距。随着社会主义市场经济的逐步发展，这支队伍在 80 年代初小规模试采的基础上开始全面涉足开发领域。1997 年 1 月 24 日，当国务院副总理邹家华在北京人民大会堂为中国新星石油公司的成立揭开金色铜牌上的鲜红绸带之时，即表示着我国的石油工业即将注入新鲜血液。一支虽然缺乏经验但却充满了朝气的年轻的油气开发队伍开始登上神州大地油气开发行业的舞台，她必将为中国石油工业在新形势下的发展增添新的活力，作出自己应有的贡献。

历史的事实证实了上述预测。公司成立后的三年中，这支队伍在继续加强全国范围油气勘探的同时，在原先比较薄弱的开发领域奋起直追。全系统相继在塔里木盆地北部、四川盆地西部、松辽盆地南部、苏北盆地溱潼凹陷、鄂尔多斯盆地南部等地对新发现或扩大了塔河、新场、洛带、孤家子、秦家屯、溱潼、张天渠等油气田实施开发，并参与了东海平湖气田的开发，还将着手东海春晓凝析气田、塔里木雅克拉凝析气田等的开发。

作为四家国有石油公司中最小的一家，在油气田开发的具体工作中不可避免地遇到了很多困难。首先，公司所拥有的油气田数虽然不少，但除了个别的之外，绝大部分都是些小油气田。油气储量数也并不令人乐观。截止 1999 年底，新星石油公司只存有地质储量数 6×10^8 t 油当量，其中探明地质储量和控制地质储量约各占一半，石油可采储量为 3400×10^4 t，天然气可采储量为 880×10^8 m³，合计油气可采储量为 1.22×10^8 t 油当量。因此，用“面包都交给国家了，留下面包屑自己经营”这句话来形容公司在行业中的资源和资产地位并不过分。其次，由于大多数所发现油气田的主力油气层系、油层物性等变化很大，难以在短时间内认识清楚，许多复杂的油气藏或小断块油气藏即便有了详探井也达不到编制开发方案所要

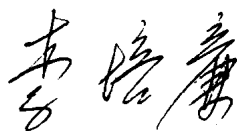
求的地质认识程度。很显然，这就涉及到如何将企业追求经济效益和化时间精细地研究油气藏统一起来这样一个问题。再者，油气开发所需的技术力量十分匮乏，开发的设备严重短缺，且苦于无资金大量购置和更换。所有这些都是对初涉油气开发领域不久的公司油气开发工作的考验。

令人欣慰的是，这支队伍在崇尚科学的同时，又发扬大无畏精神，依靠引进和吸收国内外成熟的技术和经验，虚心学习，勤于探索，勇于实践，硬是凭着为国家生产更多石油的赤诚之心和对企业生存发展的强烈愿望，在短期内大大地缩短了和国内同行业的技术差距。广大技术人员结合公司系统油气田的特点，特别是针对不同类型的复式油气聚集带，在以往单井试采的基础上，加强整体性研究，先开发主力层系和重点油气藏，逐渐地对整个油气聚集带进行扩边连片，在加深勘探的基础上，逐步将新的含油气层或油气藏分期投入开发，即实行滚动勘探开发方式。通过坚持不懈的探索和实践，在诸如油气藏精细描述、编制开发方案、油气层保护、采油气工艺、油气集输和处理、储层改造、二次采油和三次采油、生产井措施作业等方面均取得了长足的进步，并形成了比较有效的技术，整个开发领域的工作正逐步向着规范化方向发展。本论文集所收集的论文正是从各个侧面反映了上述技术的一部分。

就是这样一支仅仅拥有相对比较贫弱的资源和资产条件的 3 万人的队伍，从开始单井试采至 1999 年底，已为国家累计产出原油 $544 \times 10^4 \text{t}$ ，累计产出天然气 $76 \times 10^8 \text{m}^3$ 。尤其令人瞩目的是，在公司成立后的短短三年时间内，除了油气储量历年上一台阶之外，油气产量同样每年稳步上升，发展速度超过了同行业水平。1999 年公司的油气产量已达 $296 \times 10^4 \text{t}$ （油当量），比公司成立前 1996 年的 $138 \times 10^4 \text{t}$ （油当量）年产量整整翻了一番。油气田的地面建设也初具规模，呈现出一派繁荣景象。千里戈壁滩上一个现代化的油气处理联合站、计转站、储油罐拔地而起；多条天然气输送管道蜿蜒盘旋于成都平原和松辽平原；与兄弟单位合资建造的东海平湖气田海底管线已将东海的天然气源源不断地输送到上海浦东地区的千家万户。

毋庸置疑，新星公司目前的油气田开发工作尽管规模不大，开发设施仍然相对落后，开发的总体技术素质尚需进一步提高，但这支队伍在新的形势下已经或正在为国家的石油工业作出新的贡献。

根据国家石油工业进一步改革的需要，为了实现行业的优势互补和上下游一体化，中国新星石油公司按国务院的指令即将整体并入中国石油化工集团公司。在这一特殊的时期，为了回顾中国新星石油公司在油气田开发领域的技术起步并使之继往开来，为了促进这支队伍在该领域和同行业的进一步交流，以利于其快速发展，继续为国家石油工业作出贡献，我们以公司 1998 年油气田开发技术研讨会的论文为主体，又补充了若干内容，特编辑出版《新星油气田开发的理论与实践》这本论文集，以飨从事油气田开发工作的广大干部和技术人员。同时，也以此纪念为我国石油工业的崛起作出了重大贡献的原地质系统的几代专家、领导干部和广大工程技术人员。



2000 年 3 月 28 日

目 录

新星系统油气田开发历程的回顾与展望·····	(1)
新疆塔里木盆地西达里亚油气田三叠系Ⅱ ₁ 、Ⅲ ₁ 油藏开发效果分析·····	(12)
塔河1号油田利用水平井开发的油藏适应性评价·····	(25)
四川盆地北部石龙场和八角场大安寨凝析气藏的开采特征研究·····	(33)
新场气田上沙溪庙组气藏储层预测技术研究·····	(38)
台兴油田台南区块分层注水地质研究·····	(46)
溱潼凹陷草舍油田南断块泰州组油藏开发动态分析·····	(54)
复杂断块油藏CO ₂ 吞吐评价研究·····	(60)
江苏省储家楼油田戴一段油藏第8油层WPS三次采油矿场试验·····	(67)
松辽盆地南部十屋断陷八屋气田开发动态研究·····	(77)
张天渠油田(西部)油藏形态研究·····	(85)
张天渠油田开发工程方案研究·····	(90)
张天渠油田注采动态分析·····	(97)
张天渠油田(西部)延9、延10油层动用分析·····	(104)
东海平北区带油气田开发可行性评价·····	(111)
浅谈储层非均质性对水平井产能的影响·····	(117)
煤层气井原地应力测试初探·····	(123)
岩石裂缝闭合规律初探·····	(128)
中国新星石油公司油气田开发技术综述·····	(134)
油田开发中生产测井的应用·····	(139)
联作测试工艺技术的应用效果分析·····	(145)
高压凝析气井的测试工艺研究·····	(153)
塔北油田油气层保护技术·····	(158)
酸压技术在塔河油田的应用·····	(166)
油井不压井修井作业方法及分析·····	(174)
有杆泵抽油井优化设计和诊断技术现状及发展趋势·····	(180)
降低原油运动粘度 提高油井生产时率·····	(185)
冷凝分离法回收轻烃的工艺研究·····	(189)
附录 单位换算表·····	(197)
编后语·····	(198)

新星系统油气田开发历程的回顾与展望

李培廉 蒋泰然 胡承先

提要: 在原中国新星石油公司即将整体并入中国石化集团之际, 对新星系统油气田开发历程进行全面的回顾和总结。重点介绍了新星石油公司近 10 年来在油气井测试、油田注水开发、压裂和酸化、水平井测试和采油、小井眼采气、煤成气测气和采气、油气田生产动态监测和分析等油气开发技术领域所取得的进步。指出新星石油公司在未来将继续保持良好发展势头, 前景十分乐观。

主题词: 油田开发 气田开发 储量 科学技术 发展趋势

1 油气开发历史回顾

在我国石油工业再次进行重组, 原中国新星石油公司即将整体并入中石化集团的前夜, 对于新星系统油气田开发历程进行全面的回顾和总结是有必要的。

在计划经济年代, 该系统无权进行规模的油气田开发。但这支队伍却为新中国的油气勘探事业立下过汗马功劳。中国新星石油公司的前身——原地质矿产部石油地质海洋地质局系统, 自 1955 年成立以来, 长期在全国陆海范围从事石油天然气和海洋地质调查。通过全国石油普查勘探, 在柴达木、川中、松辽 (大庆、扶余)、华北 (胜利、大港)、辽河、江汉、鄂尔多斯 (长庆) 等盆地先后实现了突破和发现。1979 年以来在南海珠江口盆地、东海陆架盆地的突破, 成为中国海洋油气勘探的重要里程碑。1984 年沙参 2 井的突破, 带动了整个塔里木盆地的油气勘探。这一系列举世瞩目的成就, 为中国石油勘探事业的发展起到了导向性作用。

70 年代后期, 系统内陆续开始小规模试采油气工作。其中华东石油局 (原华东石油地质局) 是该系统中最先进入油气开发领域的地区局。早在 1975 年, 发现了储家楼油田并投入试采开发, 以后又陆续有十几个油田投入开发, 但除了草舍、洲城等个别油田储量大于 $100 \times 10^4 \text{t}$ 外, 大部分油田均为储量不足 $100 \times 10^4 \text{t}$ 的“袖珍”油田, 原油年产量未超过 $5 \times 10^4 \text{t/a}$ 水平。较早进行油气田开发的还有西南石油局 (原西南石油地质局), 1979 年川 30 井发现石龙场、1982 年川柏 54 井发现柏垭油气田并投入开发, 保持了 6 年 10^4t/a 以上的稳产。此外, 80 年代中后期还有一些, 如沙参 2 井、川合 100 井等重要的油气发现井也进行过较长时间单井试采。

80 年代末到 90 年代初, 我们陆续发现了新场气田、西达里亚油田、后五家户气田等主力油气田, 并相继投入开发, 这标志着我系统的油气开发作为一个产业开始进入了实质性的发展阶段。

总体而言, 1990 年以前, 受当时国家政策的限制, 油气开发只能局限于“小打小闹”状态, 投入开发的油气田都是小型和微型油气田。由于这类小而碎的断块油田地质条件十分复杂, 利用常规二维地震很难搞清准确构造形态, 因此开发程序基本都是边探边采、探采结合; 开发方式均为利用天然能量进行一次开发; 各油气田的开发实际上都还处在开发早期的

试采阶段。全系统油气开发还谈不上规模,除原石油地质海样地质局试油气技术中心和华东石油局井下作业大队进行油气开发的科研和工程作业外,全系统从事油气开发的技术队伍和组织管理体系基本是空白,油气产量长期低位徘徊。

进入 90 年代后,我国社会主义市场经济改革不断深入,国家地质勘探投入越来越少,这支功勋卓著的队伍陷入生存难以维系,发展举步维艰的境地。面对困难,这支队伍抓住历史赋予的机遇,转变观念,走向市场。全系统逐步由完全吃国家地勘费转向谋求自我生存、自我发展,开始由单纯从事石油天然气普查勘探真正转向勘探开发一体化进程阶段。中国新星石油公司就是在这样的形势下诞生的。

回顾历史,起步异常艰难。由于进入油气开发领域已很晚,所能拥有的油气田和储量,按照行业标准多属于低、小、碎、稠的难开发油、气藏,“面包都交出去了,留下面包屑自己惨淡经营”也许是很形象的比喻。特有的地质条件和资金、技术、人才的严重匮乏决定了油气田投入开发的程序只能是滚动勘探开发性质,只有通过滚动勘探开发,才能使企业积累资金、掌握技术,逐步增强经济实力。

新场气田的滚动勘探开发就是其中的一个缩影。该气田的构造为孝泉构造东延的平缓鼻状背斜。以 1987 年川孝 113 井和 1989 年川孝 129 井分别在中浅层侏罗系蓬莱镇组和沙溪庙组陆相致密砂岩中获得工业气流为契机,西南石油局果断调整部署,作出了“以油气勘探为基础,以油气开发为主体,规模开采天然气”的战略决策。针对新场气田古构造、岩性、成岩作用、断裂运移通道等几大控藏因素,优选部署勘探有利区块,实施滚动勘探开发。自 1992 年天然气产量跨上 $1 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{d}$ 后,连续 5 年产量以每年大于 30% 的幅度高速增长,探明储量也从 $20 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增加到了 $400 \times 10^8 \text{ m}^3$,并形成了探、钻、压、采、输完整的规模开发技术体系,在四川天然气工业中占有了一席之地。与此同时,西南石油局的经济实力也逐渐壮大起来。具有类似发展历程的还有东北石油局在吉林十屋断陷孤、后、八气田区进行的复杂低渗天然气藏的滚动勘探开发。

受历史条件和资金实力的限制,起步阶段油气开发难免不够规范,往往是因陋就简,建产周期也往往长达 3~4 年,有的是在已建成一定规模产能之后再补作开发方案的。尽管如此,在多数情况下,广大技术人员对仅有的油气田(藏)还是很注重保护资源,尽可能按照油气田开发的科学规律进行合理开发,宁可速度慢一些,也要避免破坏性开采。我们十分敬重这些同志们的科学态度。

西达里亚油气田是西北石油局发现的我国系统第一个石油储量超过 $1000 \times 10^4 \text{ t}$ 的中型油田。该油田中油组是一个带气顶($m=0.5$)、具有宽大油水过渡带(面积占整个含油面积一半以上)、天然水体能量十分丰富、(除气油界面附近外)总体上不饱和的油藏,开发中存在上有气侵、下有水锥双重威胁。该油藏通过两三年的试采和数值模拟研究,确立了气顶少量采气,适当降低油藏压力(保持不低于平均饱和压力 $36 \sim 38 \text{ MPa}$)以牵动天然水体的开发思路,既抑制了油井全面气侵,又形成了天然弹性水驱的合理开发局面。目前该油藏采出程度已达到 30%,超过了采收率标定值,综合含水 75% 左右,油藏压力不低于 40 MPa ,取得了较好的开发效果。

特别值得一提的是从 1990 年开始,华东石油局陆续对小油田进行注水开发。通过三维地震精细解释,在小油田上划分出许多 0.01 km^2 左右的小断块,精心设计注采井网,许多断块注采单元只有一注一采。通过实施注采井网调整、分层注水、调剖堵水等稳油控水措施,以及二氧化碳吞吐、WPS 驱油等三次采油试验,对那些复杂小断块油藏做精细的分析,

使小油田的采收率大幅度提高，全局原油年产量也由不足 $5 \times 10^4 \text{t/a}$ 上升到 $20 \times 10^4 \text{t/a}$ 左右，树立了对“袖珍”油田开发精雕细刻的典范。

1997 年 1 月中国新星石油公司成立后，更进一步明确了油气开发的主业地位。按照公司“陆海兼顾，油气并举，内联外拓，多元发展”的战略，以勘探发现为先导，集中资金、人力、物力培育大中型油气田，加快产能建设步伐。经过三年的奋斗，终于发现并探明了塔河亿吨级大油田，并实现了产量与储量同步增长，使油气开发步入了快速发展的道路。

表 1 为新星石油公司 1990~1999 年油气产量及增长率数据。

表 1 新星公司 1990~1999 年油气产量表

年 度	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
石 油	产量 10^4t/a	6.3	11.6	21.1	34.1	40.8	49.4	56.4	62.82	85.99
	增长率, %		84.1	81.9	61.6	19.6	21.1	14.2	11.4	36.88
天 然 气	产量 $10^4 \text{m}^3/\text{a}$	0.66	0.82	1.30	2.11	2.98	5.42	8.22	9.39	10.14
	增长率, %		24.2	58.3	62.3	41.2	81.9	51.7	14.2	7.99
油 当 量	产量 10^4t/a	12.9	19.8	34.1	55.2	70.6	103.6	138.6	156.72	187.4
	增长率, %		53.5	72.2	61.9	27.9	46.7	33.8	13.1	19.6

从表 1 和图 1 可以看到，近十年来我系统油气产量高速持续增长，增长的幅度越来越大。1996 年公司成立前，全系统油气年产量达到 $138 \times 10^4 \text{t/a}$ 油当量。1999 年西北石油局超额实现“塔河油区探明储量一亿吨，全局原油产量一百万吨”的目标，使全公司油气产量达到了 $294 \times 10^4 \text{t/a}$ 油当量，增长速度达到 56%。

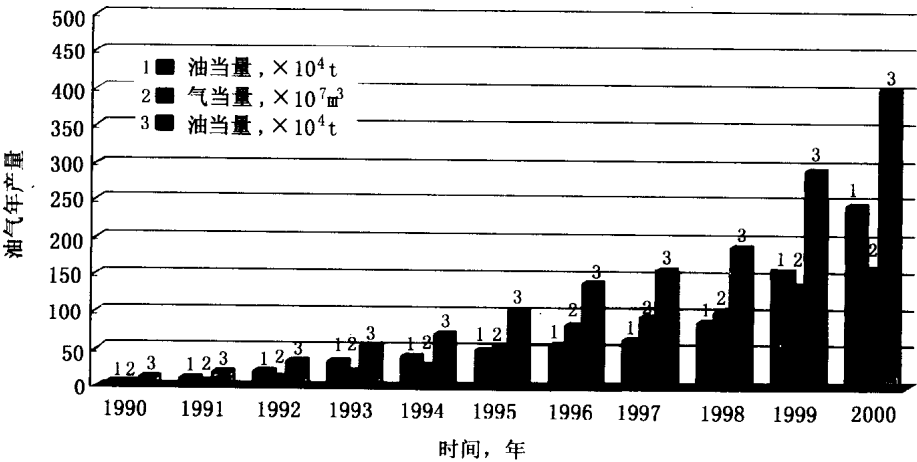


图 1 新星石油公司历年油气产量变化图

图 2 显示油气产量增长速度的变化。在平均增长速度处于 30% 左右的高水平上呈现出周期性的较大波动，这反映了一个处于成长期的新兴油气生产企业的典型的发展趋势：一方面企业总规模不大，充满活力，处于高速发展中；另一方面，油气开发仍处于初级阶段，尚未形成平稳接替的良性循环，产量的增长速度仍受到勘探成果的很大制约，增长速度呈现出

较大波动。

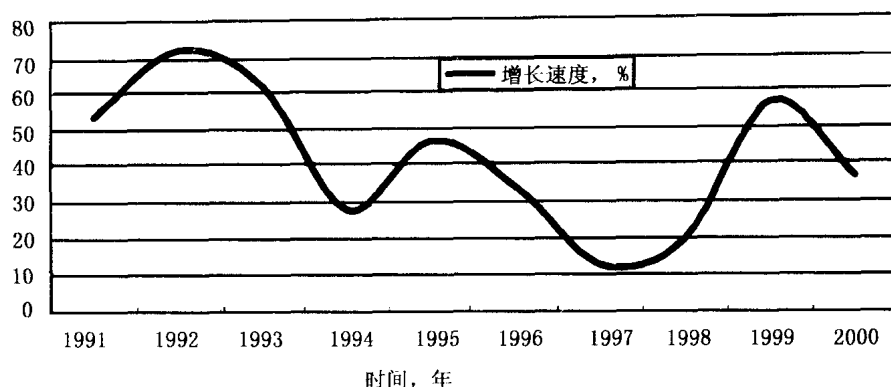


图2 新星石油公司油气产量增长率变化图

1997年、1998年的增长速度偏低是受到了某些外部因素的影响。比如国家勘探开发资源登记区块调整,雅克拉因下游利用项目被调整而无法投入规模开发,川西天然气下游市场疲软等。

随着公司的发展,规模的扩大,增长基数变大,新星系统的油气开发逐渐地步向正规和成熟,公司油气生产的增长速度将逐步回落,增长速度的波动也会逐渐减小而趋于稳定。

2 科技进步与技术现状

科学、合理、经济地开发油气田是油气田开发工作中的灵魂。为此公司总部和各地区局在近几年开发工作中着重抓了规范化。根据行业规范和公司自身的特点制定了一系列开发工作管理规定和各类开发方案编制规范。通过不懈的努力,基本实现了油气开发规范化、规模化,地面建设配套化。

科技进步是发展的无穷动力。新星石油公司油气开发的对象绝大部分是难开发的复杂油气田,如低渗复杂气田、复杂断块小油田、低渗小油田、薄油层底水油藏、超深高压凝析气田、复杂缝洞性碳酸盐岩油藏,对新技术、新工艺的需求更为迫切。基于这一共识,全公司系统都不遗余力地推动新技术、新方法在油气开发中的应用。实践证明工艺技术上的每一项重大突破,就带来油气开发的大发展,最突出的就是储层改造技术,如川西低渗致密气层的压裂改造、塔河奥陶系油藏储层酸压改造等。

充分利用国内、国外两个专业技术市场,通过技术引进、合作开发、自主开发等多种方式,大力推广先进、经济适用的新技术应用,开展技术创新,使新星石油公司系统油气开发技术水平得到了很大提高,目前已经采用或广泛采用了一些接近国内同行业先进水平的开发技术。如油气井测试技术、水平井射孔测试和采油技术、套管开窗侧钻开采剩余油技术;超深水平井开发底水油藏的钻井、测试及采油配套技术;低渗气层水力压裂储层改造技术、小井眼开发技术、排水采气工艺技术、高低压分输和增压采气技术;低渗油田整体压裂注水开发技术;煤层气测试和采气工艺技术;油气藏精细描述与油藏数值模拟技术等。

2.1 油气井测试技术的研究与应用

我系统80年代初从美国引进了MFE、HST、PCT、APR等地层测试器。目前DST地

层测试技术已在全系统（包括江苏、四川、吉林、塔北，东海等探区）推广应用，并在油气田勘探开发中发挥了重要作用。尤其是新疆塔东北地区雅克拉凝析气藏，其特点是井深（5000m 以上）、压力高（井口压力 30~40MPa）、温度高（井底温度 120~160℃）、产量大（天然气日产 $20 \times 10^4 \sim 100 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ）。经多年探索确立了以地层测试器为主，辅以常规测试方法，大大加快了测试速度。在塔北的西达里亚、塔河等油田，在东海平湖、宝云亭、武云亭、春晓等油气田的发现过程中，地层测试发挥了重要作用。

在消化、吸收国外先进技术和设备的同时，我们加强了测试方法和工艺重大难题的研究。这些研究与国家“七五”、“八五”重点科技攻关项目相结合，以国内外先进技术为目标。由于研究成果及时应用到实际生产中，解决了一些重大问题，取得了明显的经济效益和社会效益。

2.1.1 测试方法

80 年代初，随着地层测试器的引进，同时也引进了被称之为现代试井方法的格林加登—鲍迪特标准典型曲线，用以进行试井资料的解释。其优点是计算结果较可靠，得到的地层参数较多，可对早期资料进行定量解释，既适用于均匀介质，也适用于双重介质地层。但当时采用手工拟合，速度慢，误差亦较大。华东石油局试采大队与中国科学院应用数学所合作，于 1985 年开展了格林加登—鲍迪特图版计算机拟合解释的应用研究，克服了上述缺陷，其成果当时居国内领先水平，荣获 1987 年地质矿产部科技成果二等奖。

华东石油局试采大队与中国科学院应用数学所还共同承担了《不稳定试井方法评价油气藏特征的研究》，曾荣获 1991 年度中国科学院科技进步一等奖和国家科技进步三等奖。该专题以油藏边界形态模拟为重点，选择含有不渗透边界和恒压边界的矩形、非直角两条相交边界和三角形等边界模型，从数学模型、求解方法入手对油、气井的压力动态特征进行研究，形成一套实用性较强的油气藏边界形态模拟理论图版；结合非线性最优化方法，研制了相应的计算机软件系统。为了解决径向流特征段受到早期续流和晚期边界效应覆盖的问题，进一步研究了包括早期、中期、晚期试井资料在内的“全程拟合”分析方法，并形成相应的试井资料分析软件。

2.1.2 测试工艺

由华东石油局试采大队测试队研制成功、荣获 1990 年地矿部科技进步二等奖的“DYD—1 型”和“DYD—2 型”地层测试器井底压力地面直读系统，充分发挥了电子压力计不受测试时间长短限制的优点，适用范围广泛，可满足海上、陆上的斜井、裸眼井、套管井内使用。还可与 MFE、PCT、HST 三类共 6 种规格的测试器对接使用。此项成果当时填补了国内空白。

华东石油局还成功地研究了“水平井定向射孔工艺”和“分段分次双向液压延时点火引爆工艺”，并成功地将 TCP+DST+DYD（II）三联作 DST 地面直读系统用于江苏洲城油田 SP—1 井。该项目在国内水平井的测试中尚属首次，达到了国内领先水平。

TCP 射孔可选用与各种油层套管相匹配的多种规格的射孔枪。如选用深穿透射孔弹种，实现长井段一次负压射开全部油气层，可避免地层二次污染，并能充分发挥地层的生产能力。

由华东石油局与东北石油局共同研究的超压酸 TCP 射孔技术，在解决松辽盆地南部低压低渗气层的开采中发挥了作用。所谓超压酸 TCP 射孔，即在 TCP 射孔的同时，由地面动力泵施加的泵压、井内酸处理液的液柱压力及 TCP 射孔炸药产生的增压三部分共同形成了

超过油气储层破裂压力的超压，使射孔孔道附近的地层产生微裂缝。紧接着配伍性好的酸处理液由泵挤入射孔道、微裂缝及地层孔隙中，产生溶蚀作用，从而改善储层的渗流条件，提高油气井产量。

2.1.3 测试配套工艺

2.1.3.1 电缆投送装置的研制

在油气井测试过程中，经常要对测试层作临时性封堵。过去采用的封堵技术有打水泥塞、填砂、打胶塞等，但均须经过多次起下油管才能完成。在作业过程中，使用的设备较多，作业时间较长，劳动强度很大。我系统华东石油局试采大队早在 1977 年就与华东工程学院共同研制成功用火药作为动力的电缆投送胶塞装置。当时为国内首创并荣获江苏省科技成果三等奖。

2.1.3.2 液压桥塞及投放装置的研制

液压桥塞是永久可钻式桥塞的一种类型，是目前国内广泛应用的系列产品，国内已有少数油田引进。该工具可用于单层、多层测试开采和封堵层位。其体积小、施工方便。若准备弃之，只需用一只普通磨鞋吊磨二、三十分钟即可破坏。1987 年华东石油局试采大队引用美国壳牌公司电缆爆炸式桥塞的基本原理，设计制造了一套液压投放装置和三种系列 5½in, 7in 和 9½in 桥塞，填补了国内空白。该套工具几年来已在江苏、吉林、西藏、新疆等地成功施工数十次。

2.2 油田注水开发

油田注水开发已在本系统主要油田得到广泛应用。华东石油局最早于 1990 年 8 月首先开始对苏北草舍油田南断块泰州组油藏采用边缘注水。该断块注水前日产油 300t/d，注水后提高到 900t/d。地层压力也稳步回升，经济效益十分明显。

陕北张天渠（西部）为低压、低渗油田，大多数井只有通过压裂才能形成工业产能，对这样的油田注水开发难度大，在公司系统尚无先例。华北石油局在对油田地质特征认真研究的基础上，开展了计算机数值模拟，进行注水效果预测；对地层的破裂压力、裂缝的重张压力和延伸压力进行计算以确定注水井注水压力上限值，利用压裂微地震测量人工裂缝方向，合理确定注采井网；并采取了温和注水方式；在注水过程中通过实测吸水剖面、指示曲线，定期实测注、采井压力，并对现场水质进行分析，全面地对油田进行动态监测，及时了解注、采井动态变化。由于研究方法正确，措施恰当，该油田通过一年多的注水，单井采油量与注水前相比，提高了 30%，采油速度从 1.02% 提高到 1.72%，采收率预计可达到 20% 以上。不仅经济效益显著，而且为这类油田的注水开发积累了宝贵的经验。

2.3 压裂和酸化技术

压裂和酸化是油气井开发过程中经常采用的油气井增产措施。华北石油局第五普察大队早在 60 年代初在江汉、潜江凹陷对广华寺潜深 7 井和光明台构造潜深 10 井进行酸化解堵。酸化前产量极低，酸化解堵后分别获日产原油 124m³/d 和 43m³/d。70 年代初，华东石油局试采大队对江苏金湖刘庄构造东 60 井生物碎屑灰岩进行了两次高浓度（20% 盐酸）酸化作业，效果明显，日产天然气由酸化前的 $1.77 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 增加到 $34.1 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ （无阻流量），接着又对东 64 井进行酸化作业，日产天然气由酸化前的 $9.65 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 增加到 $112 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ （无阻流量）。

西南石油局、华北石油局在 80 年代引进了国外压裂设备。多年来在生产中应用效果较好。水力加砂压裂是低渗气藏开发的核心技术,西南石油局 1996 年以来已对蓬莱镇组气层实施 220 余口井,累计加砂 2266m^3 ,累计增加天然气测试无阻流量 $808 \times 10^4\text{m}^3/\text{d}$ 。1998 年新场气田中深层上沙溪庙组的加砂压裂取得突破,初步形成了以“大砂量,中砂比,大排量”为特色的致密气层水力压裂技术,取得了明显的经济效益。尤其是川孝 167 井,首先通过气藏研究,确定了产层裂缝的长度,从而为大型加砂压裂的实施提供了科学的参数,确保了压裂的效果。此外,四川石龙场气田、吉林后五家户低压低渗气藏、陕北韩渠低渗油田等也广泛采取压裂增产措施,经济效益同样十分显著。

塔河油田奥陶系碳酸盐油藏自 1998 年 11 月 2 日对 S23 井进行酸压改造获得突破后,1999 年先后又进行了两轮酸压共 16 井次,第一轮(6 井次)不够成功,经过总结经验,确定了以大排量($2.5 \sim 3.5\text{m}^3/\text{min}$)、高泵压(大于 $60 \sim 70\text{MPa}$)施工参数,大酸量,酸液与滑溜水(前置液)交替注入施工程序,缓速、低滤失的胶凝酸或稠化酸酸液配方,打人工井底或套管完井射孔酸压,缩小酸压井段,提高米排量等整套高强度、深穿透的进攻性工艺技术,有利于压开地层,并尽可能形成长缝,大大提高了沟通地层大缝大洞的概率,之后进行的第二轮酸压(10 井次)成功率和效果大大提高,仅塔河 3、4 号油田日产量在开发井总数基本不变的情况下由二轮酸压前的 1500 余吨猛增至 3300 余吨。

实践证明,酸压改造储层的技术手段极大地解放了地层能量,大幅度提高了油气井产能,已成为塔河 3、4 号油田开发中必不可少的关键技术手段,是完井工艺中的重要环节。

2.4 水平井测试与采油技术

1996 年华东石油局在苏北溱潼凹陷洲城油田钻了全系统第一口水平采油井——SP—1 井。该井垂深 1629.51m,斜深 2014.86m,水平段长 215.44m。试油表明采油指数比邻近直井高 1~1.5 倍。

西北石油局针对塔河 1、2 号油田底水油藏的特点,采用水平井开发,目前已完成井深 4800m 以上的水平井 6 口,均已成功投产,经系统测试产能是直井的 5 倍以上。

西南石油局在新场气田已打了一口水平井,井深 1304m,水平位移 150m,已固井成功。

2.5 小井眼采气技术

一般认为从钻井角度井眼直径小于 177.8mm (7in) 属于小井眼范畴;从采气工艺角度,油层套管直径小于 139.7mm ($5\frac{1}{2}\text{in}$) 或油管直径小于 73.03mm ($2\frac{7}{8}\text{in}$) 的即属于小油、套管范畴。东北石油局于 1996 年上半年在伏龙泉构造和八屋构造分别钻探 FL—11 和 B6—6 两口小井眼钻井。完钻井深分别为 1315 和 1550m。井径皆为 114.3mm 。经过 FL—11 井测试,日产天然气 $12 \times 10^4\text{m}^3/\text{d}$; B6—6 井经测试日产原油 $8\text{m}^3/\text{d}$ 。

上述小井眼钻井周期与常规井平均 47d 的钻井周期相比较,分别缩短了 38.9% 和 56.6%。钻井成本分别节约了 34.2% 和 40.1%。理论与实践证明,小井眼对油气产量影响不大,甚至对三低油气藏的效果反而更好。由于缩短了钻井周期,降低了钻井成本,减少了勘探风险,因此很有推广价值。

此外,应用小井眼钻井技术,可以对老井套管开窗侧钻,或加深钻井作业,使老井焕发青春,是实现转产、增产和提高采收率的新途径。

2.6 煤成气测试、采气工艺

华北石油局在“八五”期间承担了国家攻关课题“煤成气勘探开发评价选区及工程工艺技术攻关研究”，新星公司还申请了联合国援助项目“深层煤成气勘探（CRR/91/2.4）”，为引进国外先进技术和设备提供了条件。通过“八五”攻关，在煤成气地质特征和评价选区研究技术、煤成气储层工程技术及数值模拟软件系统的应用、煤成气钻井取心、完井及储层保护技术、煤成气试井技术、煤成气井压裂工艺技术、煤成气开采工艺方案设计与设备配套等方面均取得了突破性进展。在山西柳林，新星公司建立了我国第一个规范的煤层气开采小型试验井网。7口生产井中最高单井产气量超过7000m³/d，平均为1000~3000m³/d，从而为实现煤成气商业性开发打下了良好的基础。

2.7 油气田生产动态监测与分析

要提高油气田的最终采收率，一个很重要的方面就是要随时掌握油气藏的动态变化情况。我系统近些年来普遍加强了对油气田生产的跟踪研究。尽管所需设备状况很不尽人意，但技术人员想方设法获取动态资料。如西南石油局、华东石油局利用生产测井仪经常测量油气藏的产液剖面，测碳氧比，计算剩余油；西北石油局经常聘请外系统人员，租借设备作生产测井，对一些重点生产井则定期测取压力变化参数和产量参数。1998年底引进一套生产测井仪已在生产中发挥重要作用。东北石油局还作了核磁共振测量，以便对地层作出进一步评价。

3 公司油气开发前景展望

截止1999年底，新星石油公司拥有油田34个，气田22个，其中经国家储量委员会审批的油（气）田31个，公司油气储委审批的油（气）田25个（详见表2）。

表2 新星石油公司油气田一览表

地区	油气田 总数量	国家储量委员会审批的油气田		部门储量委员会审批的油气田	
		个数	油气田名称	个数	油气田名称
西北局	10	6	雅克拉凝析油气田，西达里亚油气田，巴什托油气田，塔河油田1、2号，亚松迪油气田，塔河油田3、4号	4	丘里油田、大涝坝2号凝析气田、阿克库勒油气田、轮台凝析气田
东北局	7	5	四五家子油气田、八屋气田、后五家户气田、秦家屯油田、孤家子气田	2	伏龙泉气田、东岭气田
华北局	8			8	韩渠油田、青坪川油田、张家河油田、顺宁油田、城东沟油田、塔八庙气田、代家坪油田、张天渠油田
华东局	14	11	草舍油田、台兴油田、溪南庄油田、陶思庄油田、储家楼油田、洲城油田、角墩子油田、茅山油田、腰滩油田、金南油田、淤溪油田	3	祝庄油田、淮建油田、坨圩油田
西南局	7	5	新场气田、合兴场气田、孝泉气田、东泰气田、石龙场油气田	2	涪阳坝气田、洛带气田

续表

地区	油气田 总数量	国家储量委员会审批的油气田		部门储量委员会审批的油气田	
		个数	油气田名称	个数	油气田名称
中南局	1			1	罗玛迪库油田
上海局	9	4	平湖油气田、宝云亭油气田、武云亭油气田、春晓凝析气田	5	孔雀亭油气田、玉泉气田、残雪凝析气田、天外天凝析气田、断桥凝析气田
合计	56	31		25	

从油田的数目来看（图3），探明储量与控制地质储量之和小于 $1000 \times 10^4 \text{t}$ 的中小型油田占大多数，为 84.85%，大于 $1000 \times 10^4 \text{t}$ 的大中型油田为 15.15%；但 15.15% 的大中型油田却保有 75.46% 的储量，所产出的原油也占总产量的 75% 左右。从气田数目来看（图4），探明储量与控制地质储量之和小于 $100 \times 10^8 \text{m}^3$ 的中小型气田数占 81.82%，大于 $100 \times 10^8 \text{m}^3$ 的大中型气田数为 18.18%。18.18% 的大中型气田保有 74.93% 的储量，生产天然气占 65% 左右。其中不到 1/5 的大中型油（气）田的储量和产量占全公司总储量和产量的 3/4 以上。说明大中型油（气）田是油气生产的主力。

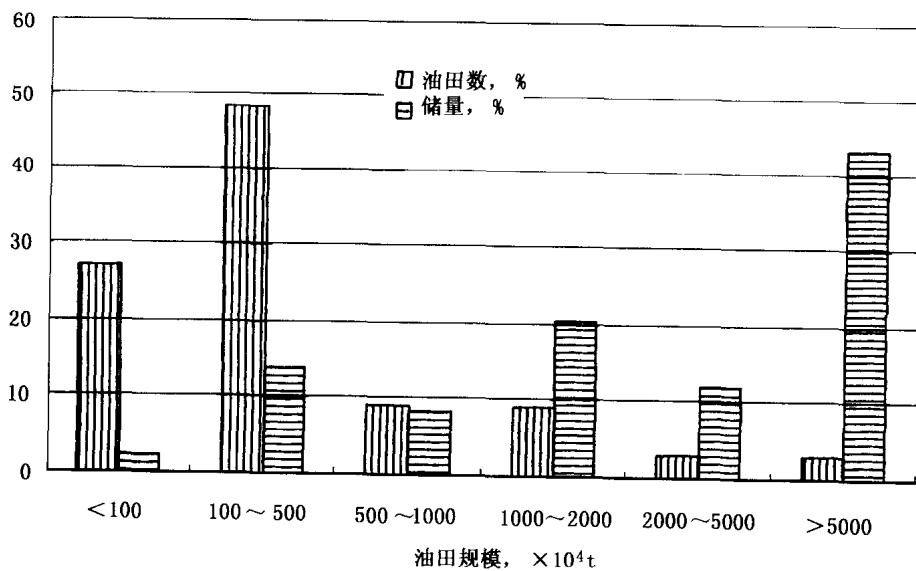


图3 新星石油公司油田规模分布图

塔河亿吨级油田的发现使公司探明储量和总储量比成立时的 1996 年翻了一番，到 1999 年末，公司累计拥有油气当量地质储量 $5.83 \times 10^8 \text{t}$ ，探明油当量地质储量为 $3 \times 10^8 \text{t}$ 。其中

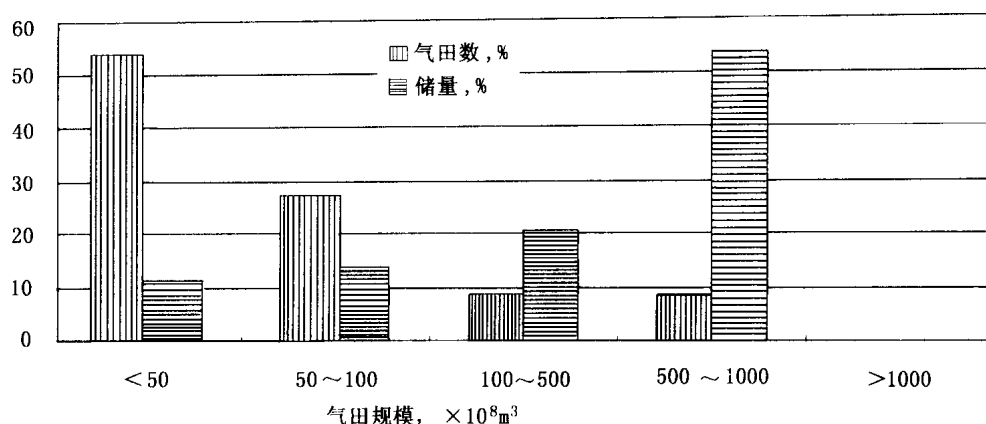


图4 新星石油公司气田规模分布图

原油探明储量 $1.6 \times 10^8 \text{ t}$ ，(包括凝析油)，气探明储量 $1428 \times 10^8 \text{ m}^3$ (包括溶解气)，原油储采比约 15:1，天然气储采比约 49:1。勘探发现的良好势头将为油气开发的快速增长奠定基础。

新星石油公司成立三年，在储、产量翻番的同时，产能建设和地面配套建设也取得很大成绩，油气开发已有了一定的规模。截止 1999 年底，油气生产能力达到油当量 $395.6 \times 10^4 \text{ t/a}$ ，其中原油 $230.6 \times 10^4 \text{ t/a}$ ，天然气 $16.5 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。预计到 2000 年底，油气生产能力将达到油当量 $500 \times 10^4 \text{ t/a}$ ，其中原油 $304.6 \times 10^4 \text{ t/a}$ ，天然气 $19.54 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。目前全系统累计有采油井 283 口，采气井 413 口，注水井 21 口，原油日产水平达到 6700t/d 左右；天然气日产水平 $370 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 左右；日注水量超过 $1000 \text{ m}^3/\text{d}$ 。全系统已建原油处理站 9 座，年处理原油能力 $258 \times 10^4 \text{ t}$ ，天然气集输站 44 座，日处理天然气能力 $460 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，外输天然气管道 1500km 以上 (包括海上和陆上合管道)，总外输能力 $650 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，油气集输能力已达到 $490 \times 10^4 \text{ t}$ 油当量/a。

目前新星石油公司勘探形势继续保持良好发展态势，油气开发技术水平也已跨上一个新台阶。根据新星石油公司制定的计划，2000 年油气产量将继续以 40% 左右的高速度增长，确保实现公司的“九五”发展目标，油气年产量跨上 $400 \times 10^4 \text{ t/a}$ 油当量的台阶，其中原油年产量将达到 $242 \times 10^4 \text{ t/a}$ 以上。

由于油气开发生产主业大步前进，公司各项经济指标也快速增长。1999 年公司全年生产经营总收入实际完成 60.8×10^8 元，是 1996 年 30×10^8 元的 2.02 倍。生产增加值实际完成 28.1×10^8 元，比 1998 年增长 19%。企业积累实际完成 12.6×10^8 元，比 1997 年增长 39.73%，资产增值率为 8%。全年实现利税 2.45×10^8 元，比 1997 年增长 12.9%。很明显，公司的经济效益和经济实力随着油气开发规模的发展已有了显著的提高。

新星石油公司在整体并入中石化集团之后，其经济实力将得以进一步加强，两方面的专业优势将得到充分互补，对于油气田开发的规模必然会有很大的促动。因此，展望未来，新星系统的油气田开发完全有可能继续保持近几年的高速发展势头。尤其是随着塔河亿吨级油田的进一步扩大和开发，雅克拉凝析气田、东海西湖凹陷第三系油气田的开发利用，新星公司的油气开发必将快速扩展。我们有充分的理由相信，新星石油公司油气开发事业的前景将会十分乐观。