

油气藏评价与产能建设 新技术文集

○ 李凡华 高小翠 主编



石油工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

油气藏评价与产能建设新技术文集/李凡华, 高小翠主编.
北京: 石油工业出版社, 2010. 6
ISBN 978 - 7 - 5021 - 7855 - 0

- I. 油…
- II. ①李…②高…
- III. ①油气藏 - 评价 - 文集
②油气藏 - 生产能力 - 建设 - 文集
- IV. P618. 13 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 110400 号

出版发行: 石油工业出版社
(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)
网 址: www.petropub.com.cn
发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店
印 刷: 保定彩虹印刷有限公司

2010 年 6 月第 1 版 2010 年 6 月第 1 次印刷
787 × 1092 毫米 开本: 1/16 印张: 14.25
字数: 365 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

《油气藏评价与产能建设新技术文集》

编 委 会

主 编：李凡华 高小翠

编 委：胡永乐 田昌炳 孙 涛 高 巍 芦天明
张宏伟 赵郁文 孙小平 袁广旭 刘建成
叶义平 肖林鹏 阳建平 张德宽 舒红林
郝明强 王锦芳

前 言

中国石油自“十一五”大力推进勘探开发一体化工作以来，油气藏评价与预探，开发紧密结合，探明储量进入了一个稳定增长的高峰期，探明储量的落实程度及动用程度也大幅提高。2004年以来连续6年新增石油探明储量保持在 $5 \times 10^8 \text{t}$ 以上，油气三级储量均超额完成计划指标，为油气田整体目标优选和部署积极调整提供了资源基础。

由于近年来新增的探明储量以低渗透、特低渗透油藏为主，火山岩、碳酸盐岩等复杂岩性油藏储量比例不断增加，新区开发难度也不断加大，油气田开发遇到了很多新的技术难题，但通过广大技术人员的刻苦攻关，在复杂油气田开发技术上取得了很多突破。

本书系统地总结了近几年油气藏评价与产能建设新技术的发展与应用，其中油气藏评价技术主要有：裂缝—孔隙型火山岩油藏评价技术、复杂断块油藏评价技术、低渗透岩性油藏评价技术、深层火山岩气藏评价技术、潜山灰岩气藏评价技术、砾岩体气藏评价技术；油气藏开发技术主要有：复杂岩性裂缝性油藏开发技术、稠油油藏开发技术、海上油田高效建产技术、低渗透油藏水平井井网优化设计技术、高压气藏高效开发技术、低渗透气藏快速建产技术、多层疏松砂岩气田开发技术等。该书的出版，必将进一步推动油气藏评价与产能建设中油气藏开发技术的提高。

希望本书能为从事油气藏评价与产能建设的管理和专业技术人员提供一定的借鉴作用，能为油田的科学发展、长远发展提供经验与参考。

编 者

2010年5月

目 录

气藏评价与产能建设新技术

青海涩北多层疏松砂岩气田开发生产问题分析与防治对策	李江涛 马力宁 高勤峰 田会民 张洪良 王善聪 (3)
薄层校正技术在涩北气田储层识别中的应用	孙虎法 严焕德 苏 静 李 清 路艳丽 (14)
涩北二号气田水平井井眼轨迹对开发效果的影响	孙虎法 程红卫 范洪涛 苏 静 严焕德 (22)
涩北一号气田出砂机理与出砂临界压差计算方法研究	孙虎法 严焕德 苏 静 范洪涛 程红卫 (26)
涩北一号气田出水分析研究	孙虎法 苏 静 严焕德 范洪涛 (31)
高压气藏产能评价技术研究——以玛河气田古近系紫泥泉子组高压气藏为例	杨作明 王 彬 李道清 庞 晶 闫利恒 (36)
勘探开发紧密结合, 依靠三维地震技术, 高效开发玛河气田	杨作明 王 彬 李道清 潘前樱 庞 晶 (43)
苏里格气田气藏评价技术及应用效果	王 宏 李进步 朱亚军 靳锁宝 李义军 (49)
产量不稳定分析在塔中 I 号气田动态评价中的应用	余治成 邓兴梁 施 英 刘应飞 (57)
靖边低渗薄层碳酸盐岩气藏水平井地质导向与跟踪方法及其应用	刘海锋 冯强汉 夏 勇 (63)
苏里格气田丛式井井位优选技术与应用	张 吉 李跃刚 李进步 张 清 赵忠军 孙艳辉 (68)
榆林气田南区快速建产技术及应用效果	刘海锋 艾 芳 孙小平 (75)

油藏评价与产能建设新技术

鄂尔多斯盆地低渗透油藏评价新技术研究与应用	程启贵 彭惠群 王海红 牛小兵 梁晓伟 (85)
青西深层复杂岩性裂缝性油藏开发新技术研究与实践	胡灵芝 石万和 李晓军 袁广旭 (98)
青西油田裂缝性储层测井识别与评价	曾利刚 谭修中 胡小勇 (109)
强化技术运用、优化方案设计, 创出复杂岩性油藏开发高水平	钱根宝 彭永灿 戴雄军 肖立军 刘根强 孔垂显 顾振刚 夏 兰 (115)
建体系、求规范形成新疆油田特色开发方案管理办法	叶义平 (124)
大兴砾岩体气藏评价及产能建设新技术应用及成效	王连山 张 峰 张崇军 芦天明 杨和义 张 斌 (133)

千米桥潜山灰岩气藏评价技术与效果

..... 李建东 马小明 池永红 邢立平 鞠海英 杨玉生 (140)

属性分析技术在新疆油田油气预测中的应用

..... 黄小平 杨荣荣 齐洪岩 张吉辉 李 岩 (145)

埕海一区产能建设开发方案优化及实施中新技术的应用

..... 刘建锋 王建富 董树政 赵连水 张卫江 姚玉华 李志军 张 莉 (150)

中央凹陷低阻储层油水层识别方法研究

..... 盛 利 王振军 高 巍 葛世坤 边晨旭 臧世伟 潘云生 (156)

最佳时窗法河道砂体预测与油藏评价技术

新立油田新 229 区块开发效果评价及调整方案研究

..... 王振军 盛 利 边晨旭 高 巍 赵殿彪 葛世坤 臧世伟 潘云生 (170)

大港埕海油田一区滚动开发潜力研究

..... 王春仲 董树政 刘建峰 金荟苓 李艳玲 张艳军 张 莉 (176)

利用时间推移测井确定最佳测井环境方法

..... 林学春 丁娱娇 邵维志 王海中 卢 琦 姜崇波 (183)

随钻测井资料在埕海油田中的应用

埕海油田张海 5 构造沙二上油气地球化学特征及油气藏类型研究

..... 董树政 李良峰 李艳玲 张艳军 (194)

酸性成因次生孔隙的形成机理及其影响因素研究

..... 李嘉光 陈朝玉 于家义 张中劲 (201)

高含水油田水平井开发规律及增产技术研究

..... 王锦芳 刘 卓 高小翠 李凡华 胡永乐 (206)

王官屯油田官 13-7 断块油藏评价技术与方法

..... 郑振英 王怀忠 郑玉梅 王雅杰 (212)

××油气田 H 组沉积微相分析..... 徐 锐 汤 军 何建红 李 娟 (217)

气藏评价与产能 建设新技术

青海涩北多层疏松砂岩气田 开发生产问题分析与防治对策

李江涛² 马力宁¹ 高勤峰² 田会民² 张洪良² 王善聪

(1. 青海油田公司; 2. 青海油田天然气开发公司)

摘要: 本文以试采开发资料积累最多的涩北一号气田为例, 首先介绍气田试采开发阶段和生产井型, 其次运用气井生产原始记录和测试资料, 总结此类气田气井生产固有特点, 分析存在的低产、压降、出水、出砂等问题, 并指出问题产生的原因, 最后结合开发生产实践经验提出了防治气井病害、维护气井稳定生产的对策与意见, 为多层疏松砂岩气田的科学开发提供了值得借鉴的方法。

关键词: 气田 疏松砂岩 开发生产 低产 压降 出水 出砂 对策

前 言

青海柴达木盆地涩北一号气田属于国内首例发现并规模开发的第四系疏松砂岩气田, 构造幅度低、两翼宽大平缓; 横向上, 气砂体以席状砂为主, 连通率高; 纵向上砂泥岩交互沉积、气层多、埋藏浅、含气井段长; 储层成岩性差, 岩性疏松、物性好; 气藏边水和层间水发育, 且层内束缚水含量高。这些开发地质条件的特殊性致使气田开发生产特征存在许多非常规的特点。总结十多年来试采开发过程中气田表现出来的固有特点, 剖析气井出砂、出水等问题, 分析生产实践中探索的有效开采方式和提出措施稳产对策和方法, 对指导此类气田的高效开发是必要的。

1 气田开发生产概况

1.1 不同阶段的划分

涩北一号气田于 1964 年发现, 1975 年上报地质储量 $37.04 \times 10^8 \text{ m}^3$, 直至 1996 年才进入试采评价和大幅度增储阶段, 经过六次储量复算升级, 最终地质储量为 $990.61 \times 10^8 \text{ m}^3$, 2003 年正式编制气田开发实施方案, 之后正式开始规模建产, 并进入开发生产阶段 (见图 1)。最主要的试采开发阶段延续十多年, 为积累开发经验赢得了时间。目前又根据“百亿方产能建设”指示精神, 在原年产 $25 \times 10^8 \text{ m}^3$ 开发实施方案的基础上, 抓紧编制年产 $32 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的提速开发调整方案。

1.2 气田开发生产现状

涩北一号气田试采开发 13 年以来, 实际动用地质储量 $779.01 \times 10^8 \text{ m}^3$, 目前共有正常生产井 113 口 (包括利用老探井 9 口), 平均单产 $4.36 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 核实日产能为 $493.2 \times$

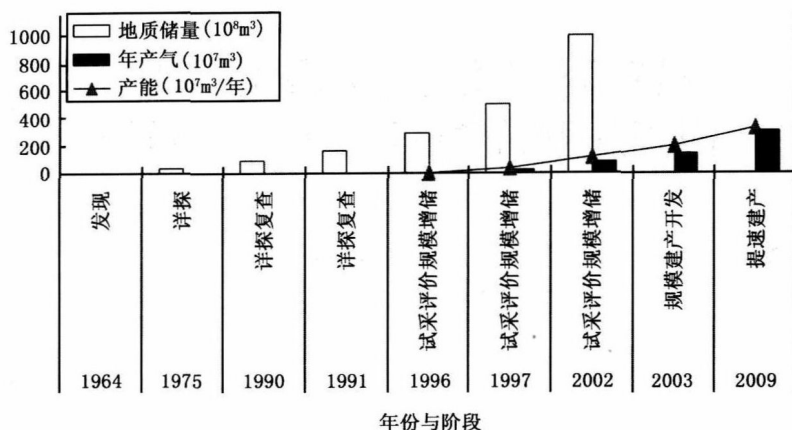


图1 涩北一号气田勘探开发阶段划分图

$10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 年产能 $16.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。截至 2007 年底共生产天然气 $74.6428 \times 10^8 \text{ m}^3$, 采出程度为 9.58%, 气田平均地层压力下降 2.43MPa, 占原始地层压力的 18.70%。

结合气层纵向分布特点, 根据不同时期对单井产能的需要, 涩北一号气田开发生产井型大体可分为单层生产井和多层生产井; 并且单层生产井型内又可细分为一类、二类、三类单层生产井和水平井。

多层生产井又可细分为多层混采井、油套分采井和三层分采井, 实际油套分采和三层分采井内分开的各井段中基本是多层混采。统计历年资料, 若将油套分采井算作两口井, 该气田单层生产井 17 口、多层混采井 136 口 (见图 2)。

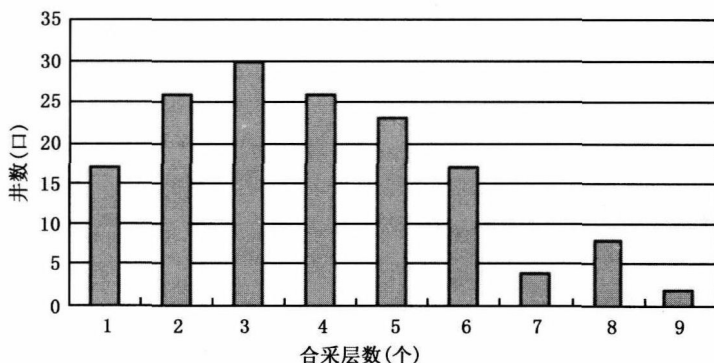


图2 生产井型对比图

2 生产特征及原因分析

气田开发生产特征主要表现为气井产能的大小、压力稳定程度、生产影响因素及影响程度、气井产量及压力递减规律等, 这些开发生产特征不仅受产层自身物性特征的影响, 也受气井完井投产方式和措施工艺的影响。

2.1 单井产量

单井产量呈现如下特征：
一是，目前气井单产以 $(3 \sim 5) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 为主，以 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的井为辅。平均 $4.36 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，比方案设计低 $2.13 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，单井产量近几年变化情况见图 3、图 4。

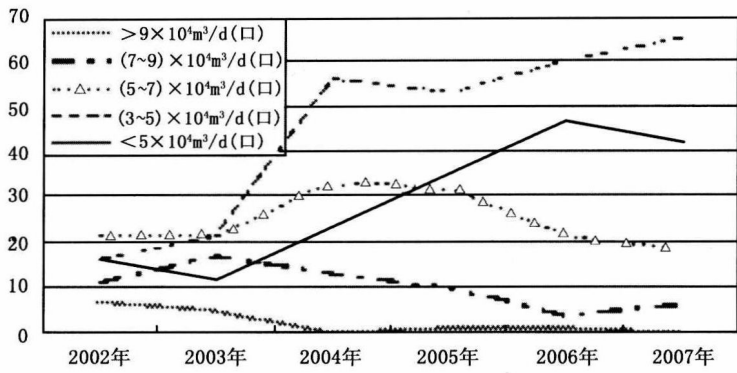


图 3 涩北一号气田历年高中低产井变化曲线

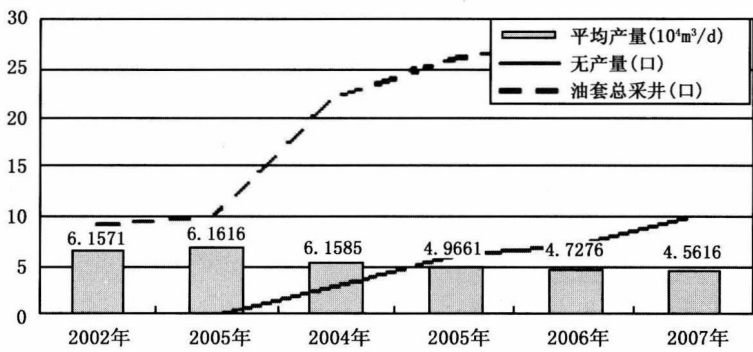


图 4 涩北一号气田历年单产变化图

二是，2002—2003 年大于 $7.0 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的气井占总井数的 25.35% ~ 29.33%，后四年间，平均单产也由 2003 年的 $6.64 \times 10^4 \text{ m}^3$ 降到了目前的 $4.36 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，平均单产呈急剧下降趋势。

三是，使用大直径气嘴放大生产压差生产，气井产量虽然得以迅速提高，但是出砂、出水量也很快上升，导致产量、压力递减加快，见图 5，图 6。

四是，气井产量自然递减受出水影响大，在避免出水影响的前提下，控压差生产，递减幅度不大。

原因分析：其一，2002 年前后试采动用的是地层压力大、储量丰度高、单产高的深部第四开发层系，所以一类气层多，高产井占总井数的比例大；其二，2002 年前后正在开展提高单产试验，单井射开层数多厚度大，且工作制度多采用 6 ~ 8mm 气嘴，人为提产因素多；其三，2003 年以后规模建产主要动用的是浅部低压、低丰度储量，一类气层少，且射开层数和厚度减少，大部分气井产量呈现中低产水平；其四，气井放大生产压差后，地下气流速增加，气体流态由线性渗流转变为非线性渗流，高速紊流扰动使气体分子间摩阻增

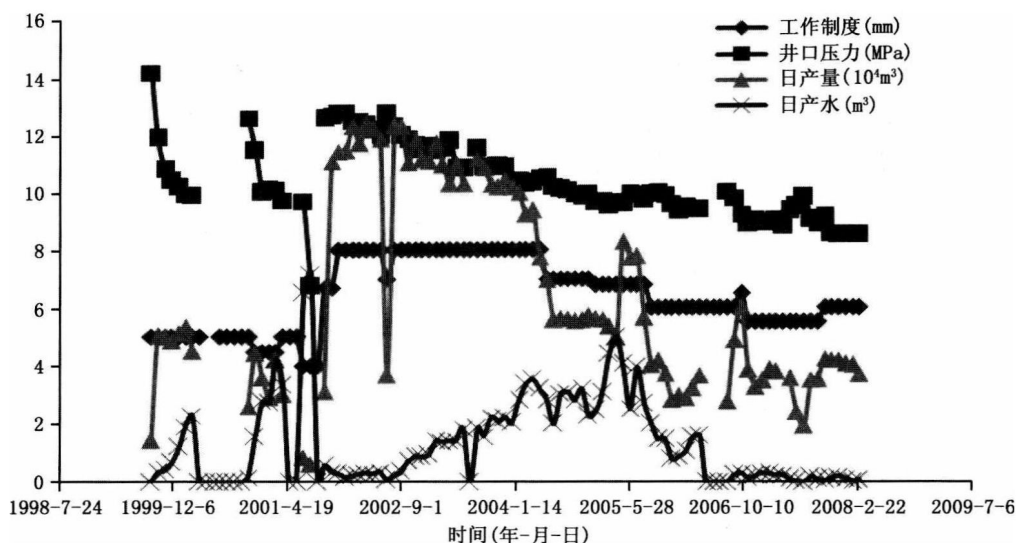


图5 放大生产压差试验井4-2采气指示曲线

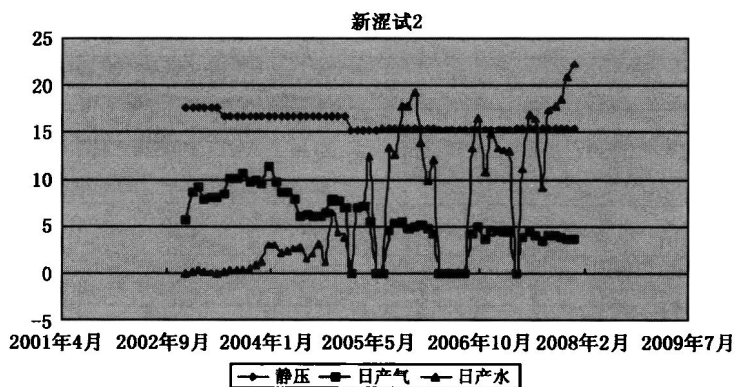


图6 受出水影响的典型气井采气指示曲线

大,增强了对储层骨架颗粒和束缚水的拖扯力,而使井筒积砂、积液加剧,导致产量、压力递减加快。其五,特别是气井出水后,井筒积液,使井下流压增大,生产压差减少,产层泄压产气能力降低,并且井口油套压相应降低,进站压力不足,导致气井产气量大幅度下降。

2.2 地层压力

地层压力呈现如下特征:

一是,目前气井稳定生产时的平均井口油压介于7.5~9.7MPa的占68%,介于6.0~7.5MPa的占23%;并且,井口压降>4MPa的井数占41.5%,压降3~4MPa的占16.2%,说明中低压井占的比例大,气井井口压降速度过快,见图7。

二是,压降幅度和采出程度不匹配。各层组平均采出程度8.58%,而压降幅度平均高达17.74%,特别是I-3层组,压降幅度和采出程度相差10余倍,见图8。

三是,各层组地层压力呈现不均衡下降,地层压力系统由原始的统一系统变为不统一,地层压力整体下降过快,见图9。

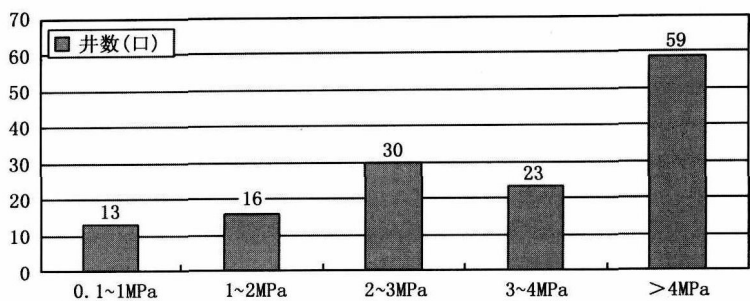


图7 气井井口压降及井数统计

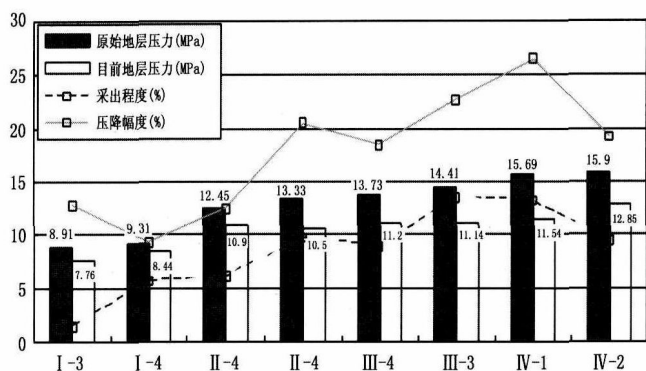


图8 各开发层组压降幅度指示曲线

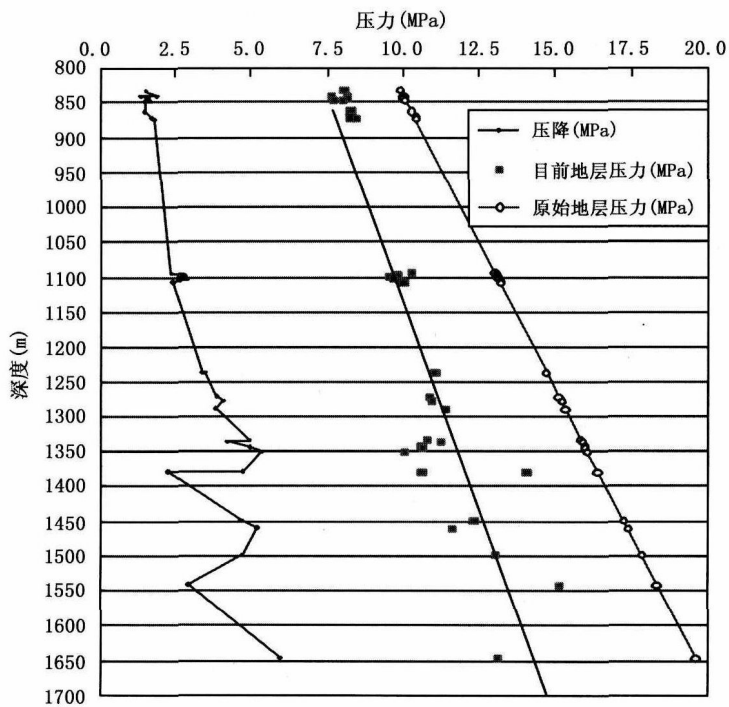


图9 气田地层压力剖面图

四是，层组内各单气藏单位压降产气能力差异大，弹性产率不统一，说明各气藏水驱能量和泄压速度等不一致，见图 10。

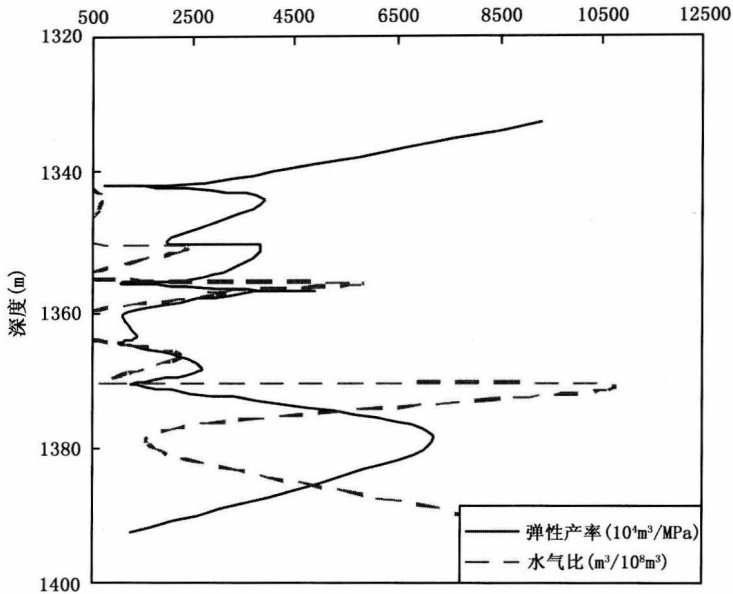


图 10 不同气藏含水及弹性产率对比曲线

原因分析：其一，气藏埋藏浅导致地层压力不属于异常高压系统；其二，气藏边水和弹性驱动能量有限；其三，生产时间越长、采出程度越高、采速越快的开发层组总压降越大，各开发层组配产不均衡；其四，地质储量计算值偏大，则采出程度计算值变低，远小于压降幅度；其五，气井一旦出水造成井筒积液，则井口油、套压迅速降低。

2.3 气井出水

气井出水呈现如下特征：

一是，目前平均单井日产水 1.97 m^3 ，64.54% 的井出水量小于 0.5 m^3 。9.22% 的井出水量大于 3.0 m^3 ，这些气井普遍存在携液不畅的现象，产量压力较低。目前总水气比为 $16.65 \text{ m}^3/10^6 \text{ m}^3$ ，年水气比为 $31.85 \text{ m}^3/10^6 \text{ m}^3$ 。其出水统计情况见图 11。

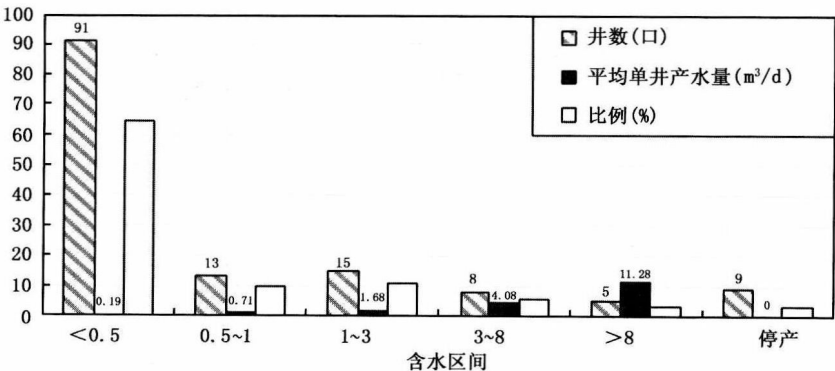


图 11 一号气田气井出水情况统计图

二是，含气面积小、采出程度高、压降大的开发层组水气比偏高，见图 12。

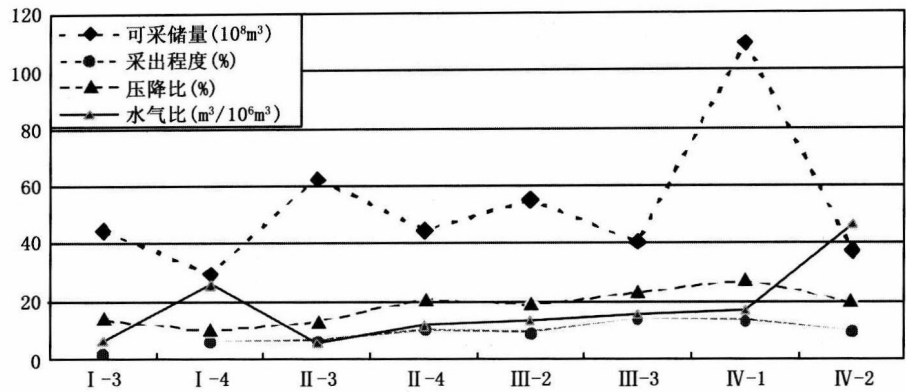


图 12 分开发层组含水分析曲线

三是，水层地层压力与静水柱压力接近，产水时流压比较低，一般为 4.0 ~ 6.0MPa，除一层自溢（涩 30 井）、一层自喷（涩 31 井）外，其余测试层段均不能自喷；一般采用抽汲求产，日产水小于 3.0m³ 的有 5 层，占 18.5%，3.0 ~ 10.0m³ 的有 14 层，占 52%，大于 10.0m³ 的有 8 层，占 29.6%（见图 13），总体表现水层能量有限，边水不活跃。

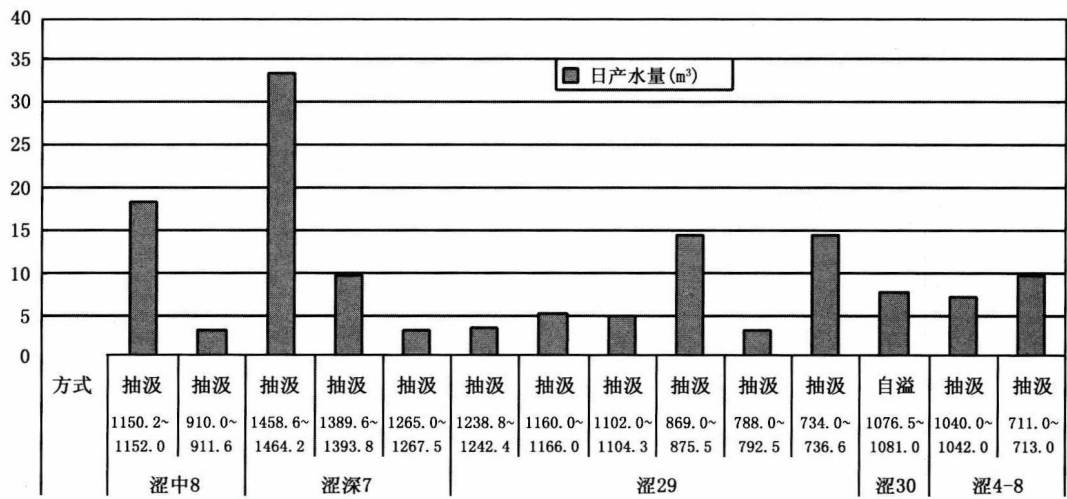


图 13 涩北一号气田水层测试统计表图

四是，剖析 IV - 1 开发层组，构造西北翼和东南翼属于相对较强的边水驱动井区，而在构造西南翼和东北翼属于相对较弱的边水驱动井区，进一步说明边界条件是复杂的，驱动类型也表现为以弱边水驱为主的近似复合驱气藏，并自身存在局部边水“突进”的现象（见图 14）。

原因分析：其一，随着气井投产井段采出程度的增加，压力亏空加剧，上下邻近水层沿套管外水泥环界面泄压窜入，或上下泥岩隔层束缚水释放而侵入气层；其二，由于气井处于气水边界或气水过渡带，随着采出程度的增加，气层压力亏空引起边水侵入气藏，或由于气层本身泄压，引起层内束缚水变为可动水产出；其三，由于储层的非均质性强，单个气藏的

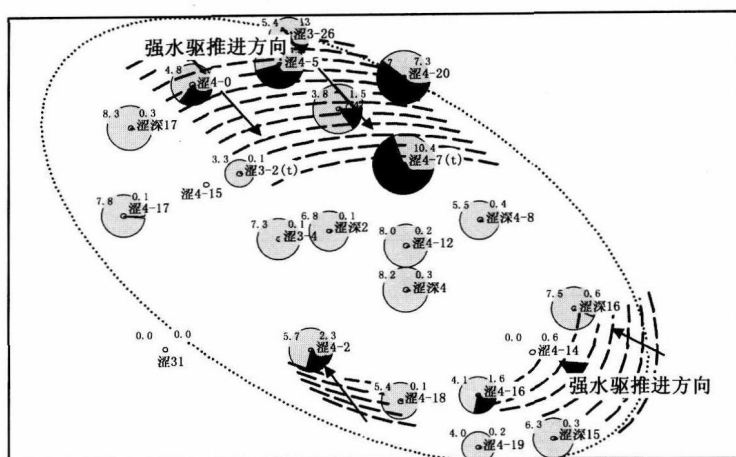


图 14 IV - 1 层组边界水驱条件分析图

储层性质、气水接触边界位置、水体体积大小、开采条件有较大差异，因此存在边水推进不均一的现象，加之个别井区采出程度高、压降大，引起边水“突进”。

2.4 气井出砂

气井出砂呈现如下特征：

一是，从硬探砂面资料统计中可以看出，井筒内平均沉砂高度呈现大幅度上升趋势，砂面年上升速度和出砂井数在近几年降低压差的情况下，有了一定抑制（见图 15）。

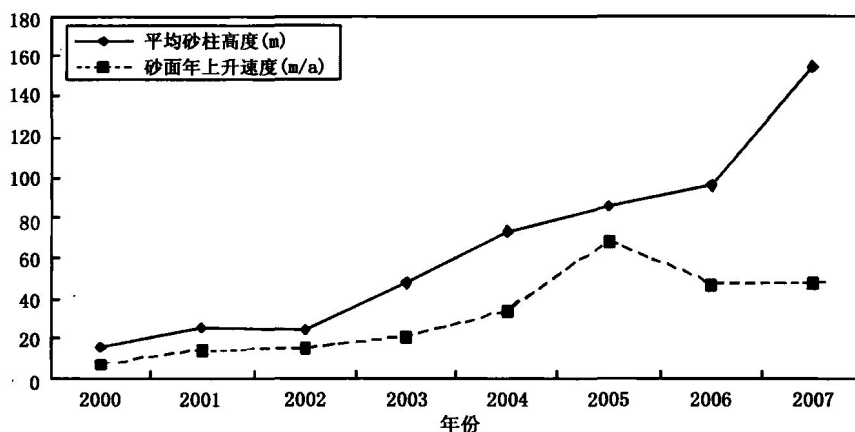


图 15 历年井内砂面上升高度及速度统计曲线

2007 年硬探砂面井平均沉砂高度达到了 95.48m，砂面平均年上升速度为 46.72m/年，统计的 11 口井中有 8 口井气层被砂埋，说明部分气井出砂严重（见图 16）。

二是，从措施作业洗井时的井内返出物来看，所有气井井筒内或多或少都存在积砂，并且出砂井除了有部分带出地面外，其大部分沉到了井底，说明气井普遍出砂。

三是，气井出水可以加剧地层出砂。统计出水气井生产记录资料，绘制图 17 关系曲线，证实气井因出水而出砂加剧，并且出砂气井产气量都有不同程度下降。

四是，目前所有气井节流阀心普遍应用氧化锆陶瓷气嘴控制压差生产，气嘴磨蚀强度增加，使更换刺坏气嘴的次数减小了，但是地面集气管线及阀门内有一定的积砂，造成采气树阀门、场站内阀门关闭不严，甚至报废。

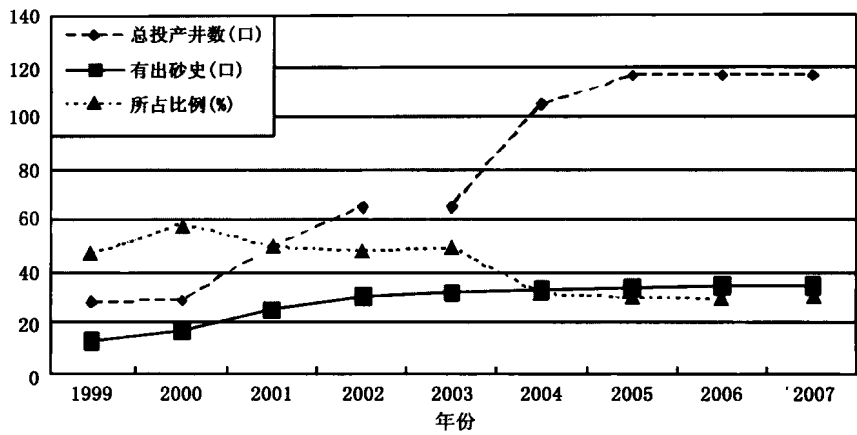


图 16 历年出砂井数统计指示曲线

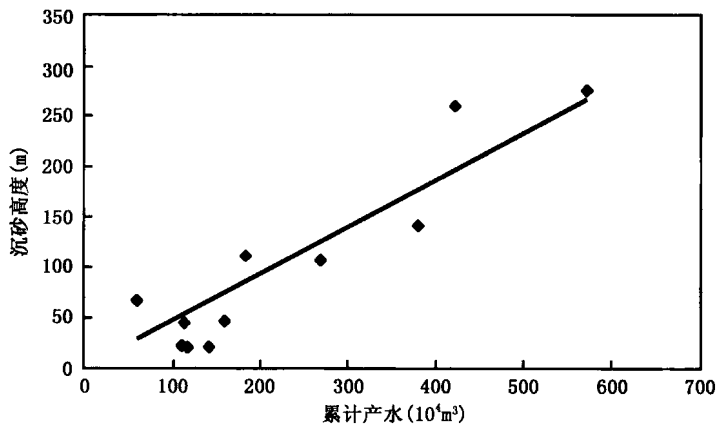


图 17 气井出水与出砂关系曲线

原因分析：其一，储层岩石成岩性差、颗粒胶结松散，在高孔、中高渗储层孔隙空间内，填隙物多呈松散状态，当气井开始建立较小生产压差时，储层孔隙内的气体开始慢慢流动，未固结的微细填隙物随气体沿喉道排出；其二，随着生产压差的增大，孔隙内气体流量变大，气体流态由线性渗流转变为非线性渗流，高速紊流扰动的气体分子间摩阻增大，作用在孔壁岩石颗粒表面上的径向摩擦阻力就越大，最终造成构架孔隙空间的相对较粗的储层岩石骨架颗粒脱落，进而造成储层孔隙结构的破坏，引起大量出砂；其三，频繁开关井使生产压差波动，会造成井底激动压力作用于砂桥上，使动平衡时形成的砂桥遭到破坏，进而导致气井再度出砂，即频繁出现砂桥再形成再破坏的反复出砂过程；其四，由于水的动力粘度比气要大得多（ $\mu_w = 1.225\text{cp}$ ， $\mu_g = 0.018\text{cp}$ ），水流动就会产生很大的剪切力，易将储层胶结松散的颗粒砂剥落而携带出来。并且，储层粘土矿物含量高，以伊利石和伊蒙混层为主，与水接触易造成膨胀分散而剥落。