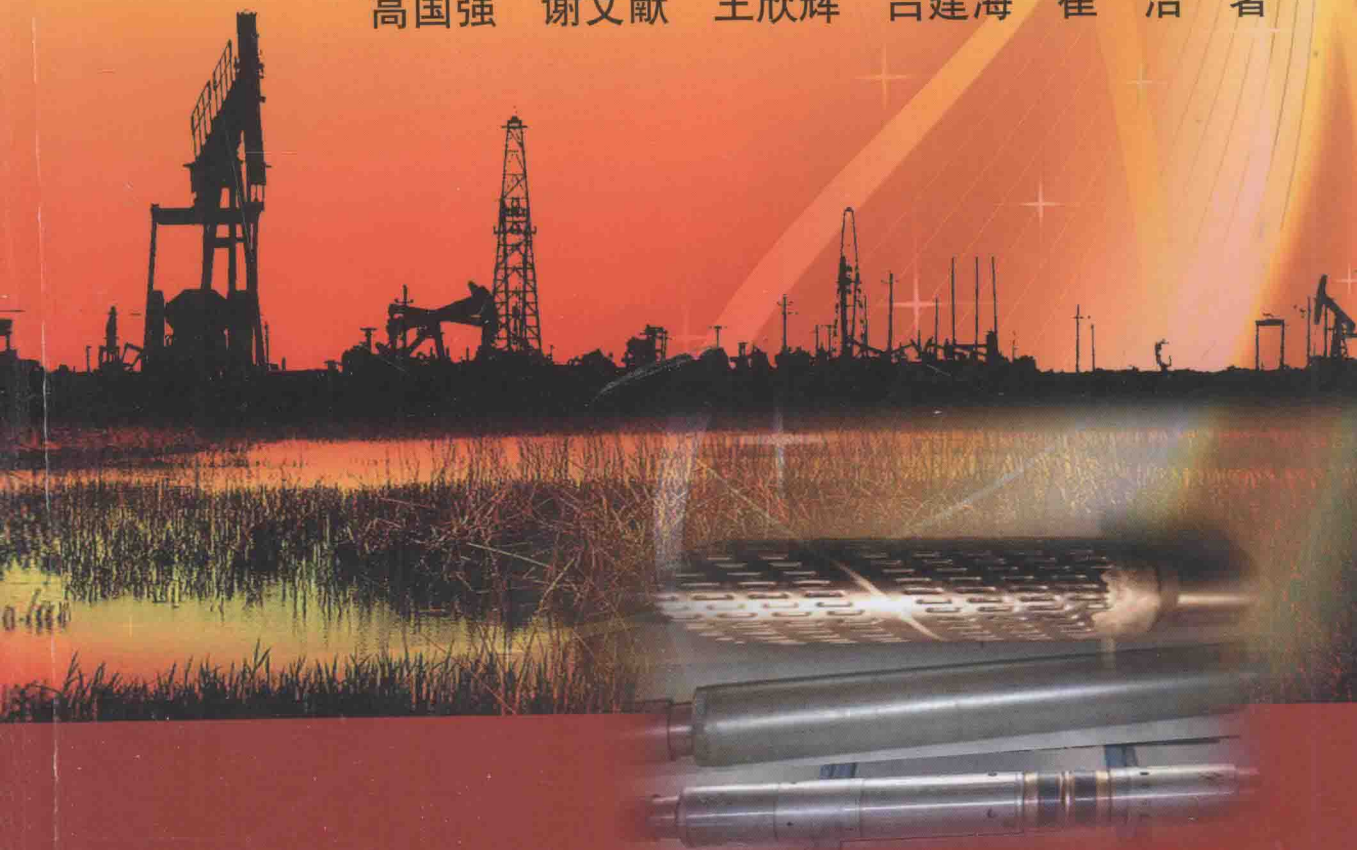


胜坨油田勘探开发 50 年实践与认识丛书

(卷四)

工艺技术

高国强 谢文献 王欣辉 吕建海 崔洁 著



石油工业出版社

胜坨油田勘探开发 50 年实践与认识丛书（卷四）

工 艺 技 术

高国强 谢文献 王欣辉 吕建海 崔 洁 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书介绍了胜利采油厂经过 50 年勘探开发, 工艺技术随着开发的不断深入所获得的进步, 形成了适合高含水老油田开发的工艺技术新体系, 包括举升、分层注水、堵水调剖、复杂井筒治理、防砂、修井等工艺技术的新发展, 以及这些技术在现场进行规模应用的情况与取得的效果, 为类似油田经历高含水开发阶段时提供了可借鉴的技术和经验。

本书可供从事工艺技术研究工作人员及高等院校相关专业师生参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

工艺技术/高国强等著. —北京: 石油工业出版社, 2013. 12
(胜坨油田勘探开发 50 年实践与认识丛书; 4)

ISBN 978 - 7 - 5021 - 9897 - 8

I. 工…

II. 高…

III. 油田开发 - 研究 - 东营市

IV. TE34

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 284540 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

2013 年 12 月第 1 版 2013 年 12 月第 1 次印刷

787 × 1092 毫米 开本: 1/16 印张: 18

字数: 460 千字

定价: 150.00 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

序

时光荏苒，岁月如梭。作为我国渤海湾盆地最早发现并投入开发的整装大油田，胜坨油田已进入勘探开发的第 50 个年头。50 年风霜雪雨，50 年拼搏奋斗，胜坨油田已累计为国家生产原油 $1.81 \times 10^8 \text{t}$ ，取得了令人瞩目的开发效果和巨大的经济效益，同时也见证了我国石油工业的崛起和腾飞。抚今追昔，从油田开发初期的艰苦创业到开发中期年产油登上 $600 \times 10^4 \text{t}$ 顶峰时的荣耀辉煌，再到开发后期探索老油田可持续发展的信心与成就，胜坨油田在 50 年勘探开发历程中，积累了丰富的油田开发实践经验，形成了一套极具特色的油田勘探开发理论、方法和技术系列，同时也凝聚着几代石油人的心血与汗水。为了系统总结胜坨油田勘探开发 50 年来的技术成就，同时也为胜坨油田今后的持续有效发展提供技术支撑，中国石化胜利油田分公司胜利采油厂组织相关专家、技术人员，历时两年完成了《胜坨油田勘探开发 50 年实践与认识丛书》的编写工作。

《胜坨油田勘探开发 50 年实践与认识丛书》包括《勘探技术》、《油藏地质》、《开发技术》、《工艺技术》共 4 卷，系统阐述了胜坨油田在油气勘探、油藏地质研究、油田开发、采油工艺技术领域的理论、方法及创新成果。该套丛书既是胜坨油田 50 年勘探开发历程的回顾与总结，也是胜坨油田 50 年勘探开发技术、成果的集成与展示，更是几代石油人劳动智慧的结晶。正是他们 50 年来代代相传的辛勤耕耘、无私奉献，铸就了胜坨油田辉煌的成就。

当前，胜坨油田已进入特高含水后期开发阶段，综合含水为 96.1%，采出程度为 37.9%，油田开发的难度越来越大，油田可持续发展面临严峻挑战。在胜坨油田勘探开发 50 周年的历史节点上，希望本套丛书的出版能够给奋战在胜坨油田勘探、开发战线上的人们以启迪，推动和提高今后一个时期胜坨油田的勘探开发工作水平，同时也希望本套丛书能够为业内同行专家及其他油田的勘探、开发工作提供借鉴。

最后，借本套丛书出版发行之际，向胜坨油田勘探开发 50 周年致敬！向胜坨油田的开发建设者们致敬！预祝胜坨油田的开发取得更大的成绩！

《胜坨油田勘探开发 50 年实践与认识丛书》编写组

2013 年 9 月

前 言

胜坨油田是我国渤海湾盆地最早发现并投入开发的整装大油田，属于典型的多层砂岩油藏，油藏类型多、断层复杂。从开发历程上看，油藏经历了6个主要开发阶段：天然能量试采阶段（1963年10月至1966年5月）、初建产能阶段（1966年6月至1969年12月）、扩建产能及高速开发阶段（1970年1月至1979年12月）、稳产开发阶段（1980年1月至1993年12月）、产量递减加快阶段（1994年1月至1999年12月）、特高含水开发阶段（2000年1月至今）。由于胜坨油田油藏形态上呈多样性，地下情况复杂，对开采工艺的需求也是多种多样的。同时，由于开发历程长，不同的开发阶段又表现出各不相同的突出矛盾及问题，这也决定了胜坨油田开发工艺技术具有多样性和复杂性的特质。中国石化胜利油田分公司胜利采油厂的广大科技工作者在艰苦创业的生产实践中，创新攻关、锐意进取，探索出了一系列独有的新工艺和新技术，在不同阶段形成了各具特色的工艺技术体系，为胜坨油田的高效开发做出了巨大贡献，在整个胜坨油田的发展中，起到了引领与示范的作用。

在胜坨油田开发40年时，中国石化胜利油田分公司胜利采油厂编写了《胜坨油田勘探开发40年》技术丛书之《胜坨油田采油工艺》，对40年开发工艺技术进行了全面总结。在即将迎来胜坨油田开发50周年之际，中国石化胜利油田分公司胜利采油厂决定编纂本书，即《胜坨油田勘探开发50年实践与认识丛书（卷四）工艺技术》，重点对2004—2013年这10年来特高含水老油田开发出现的新矛盾、新问题及技术创新的新进展和新成果进行全面的梳理和总结。其中，有技术人员依据现场大量详实的调研分析，形成的新认识与新方法；有自主创新，攻关配套，形成的新技术新工艺。本书内容丰富，全面总结了中国石化胜利油田分公司胜利采油厂50年开发取得的经验，特别是特高含水期的工艺技术的发展，充分体现了理论与实践的紧密结合，以及油藏与工程、开发与经营的一体化。对石油开采行业的科研人员和一线工作者来说，本书是一份非常有实用价值的参考资料，对于其他类似油田的开发开采具有一定的指导意义。

本书共分7章：第一章简单地对整个胜坨油田的采油工艺技术的发展进行了综述，由邓玉华执笔，张韬初审，谢文献审核；第二章介绍胜坨油田机械采油技术，由郭立谦、官鹏、王锦程执笔，苏庆欣初审，付路长审核；第三章介绍胜坨油田分层注水技术，由肖坤执笔，崔洁初审，王欣辉审核；第四章介绍胜坨油田堵水调剖工艺技术，由唐洪涛执笔，李健康审核；第五章介绍套损及复杂井况治理工艺技术，由曲兆选、李修文、田雨执笔，张韬初审，崔洁审核；第六章介绍胜坨油田防砂工艺技术，由李力执笔，吕建海审核；第七章介绍胜坨油田修井作业工艺技术，由尹锐、邵宝华执笔，卜凡俭审核。全书由高国强、谢文献组织编写，并负责各章节内容的确定和书稿的审定工作。

在本书的编写过程中得到了中国石油大学（华东）王海文教授的积极帮助和指导，在此谨向所有关心支持本书的领导、专家和同志表示衷心的感谢！

由于时间和编写水平的限制，书中难免存在错误和疏漏，恳请读者批评、指正。

目 录

第一章 胜坨油田采油工艺发展综述	(1)
第一节 胜坨油田采油工艺发展历程	(1)
一、天然能量试采阶段	(1)
二、初建产能阶段	(2)
三、扩建产能及高速开发阶段	(3)
四、稳产开发阶段	(4)
五、产量递减加快阶段	(8)
六、特高含水开发阶段	(12)
第二节 胜坨油田采油工艺现状	(15)
一、完井技术	(15)
二、油层保护技术	(15)
三、举升工艺的配套	(17)
四、分注工艺改进	(19)
五、防砂	(21)
六、堵水调剖现状	(23)
七、套损井治理	(24)
八、油层改造现状	(26)
九、稠油工艺现状	(27)
十、地面工程	(28)
第二章 特高含水期举升工艺新发展	(30)
第一节 有杆泵	(30)
一、常规有杆泵改进	(30)
二、特殊有杆泵的应用	(35)
第二节 电潜泵采油系统改进	(38)
一、电潜泵防掉技术	(39)
二、电潜泵井防腐蚀、冲蚀技术	(42)
三、潜油泵叶轮结构改进	(43)
四、单流阀改进技术	(45)
第三节 防偏磨技术	(47)
一、杆管偏磨理论研究	(47)
二、生产过程中抽油杆受力测试技术研究	(49)
三、偏磨治理工艺评价技术	(50)
四、内衬管防偏磨工艺技术	(52)
五、双向保护接箍防偏磨工艺技术	(55)

第四节 螺杆泵采油工艺	(55)
一、螺杆泵工艺应用的必要性	(55)
二、螺杆泵的发展	(56)
三、螺杆泵原理	(56)
第五节 提高机采系统效率	(63)
一、举升方式优化	(63)
二、设计优化	(64)
三、电潜泵机组优化配套技术	(65)
四、调速设备应用技术	(68)
五、节能型抽油机	(69)
六、稠油举升技术	(74)
第六节 示功图在线测试技术	(76)
一、系统组成及工作原理	(76)
二、系统功能	(76)
第三章 分层注水新工艺	(78)
第一节 分层注水存在的问题分析	(78)
一、封隔器寿命短	(79)
二、油管抗腐蚀能力差	(80)
三、配套工具适应性差	(82)
第二节 管柱失效研究	(83)
一、管柱受力分析	(83)
二、注水管柱轴向变形的分析	(85)
三、注水管柱伸缩力的计算	(86)
四、注水管柱伸长量的计算	(87)
五、现场验证	(87)
第三节 防腐油管选型定型	(88)
一、防腐管选型调研	(88)
二、胜坨油田注水防腐油管优选	(94)
第四节 分注工具改进	(94)
一、封隔器改进研究	(94)
二、蠕动补偿器的研制	(97)
三、耐刺损配水器的研制	(97)
四、沉砂底筛堵的研制	(98)
第五节 分注管柱模式	(99)
一、常规分注管柱	(99)
二、封窜漏管柱	(100)
三、注水井套管保护管柱	(100)
四、同心双管分注工艺	(101)
五、工艺配套效果	(102)
第四章 堵水调剖工艺	(103)

第一节 优势通道识别与描述	(103)
一、井间干扰试井识别技术	(103)
二、水驱特征曲线识别技术	(108)
第二节 区块整体堵调优化决策技术	(111)
一、水井调剖选井决策技术	(111)
二、油井化学堵水选井决策技术	(118)
第三节 堵剂评价与优化	(121)
一、主要堵剂体系	(122)
二、堵剂性能对比评价	(130)
三、堵剂选择模式	(133)
第四节 参数优化技术	(134)
一、水井调剖段塞优化	(134)
二、油井堵水段塞设计优化	(139)
三、堵调施工排量设计	(141)
四、施工压力控制	(141)
五、注入设备	(144)
第五节 堵水调剖的应用与认识	(145)
一、堵水调剖实施规模与效果	(145)
二、堵水调剖见效规律认识	(145)
第五章 套损及复杂井况治理技术	(155)
第一节 套损及复杂井况井评价	(155)
一、套损及复杂井况现状	(155)
二、套损及复杂井况带来的影响	(156)
三、套损原因概述	(159)
四、套损预防技术	(164)
第二节 井况监测技术	(167)
一、多臂井径测井技术	(168)
二、井温测井找漏	(175)
三、流量计找漏	(177)
四、声波变密度测井	(180)
五、陀螺测斜	(183)
六、应用效果	(186)
第三节 井筒简化技术	(186)
一、贴堵工艺	(186)
二、贴堵工艺的应用原则	(203)
三、井筒简化治理应用效果	(203)
第四节 套损井治理技术	(205)
一、套漏治理对策	(205)
二、套管错断治理对策	(213)
三、套管缩径治理对策	(217)

第六章 防砂工艺技术	(223)
第一节 概况	(223)
第二节 不动管柱二次补砂技术	(224)
一、二次补砂的背景	(224)
二、二次补砂的原理	(225)
三、二次补砂的施工优化	(227)
四、补砂效果	(233)
第三节 复杂井况防砂技术	(234)
一、水平井防砂工艺	(234)
二、小井眼井防砂工艺	(237)
三、套损井防砂工艺	(241)
第四节 稠油热采井防砂工艺	(248)
一、胜坨油田稠油油藏概况	(248)
二、开发中存在的难点	(249)
三、配套工艺的研究与应用	(249)
四、实施效果	(254)
第五节 低产能井粉细砂防砂技术	(254)
一、粉细砂油层防砂困难因素分析	(254)
二、工艺的选择	(256)
三、取得的效果	(259)
第六节 冲堵防一体化技术	(259)
一、漏失井冲砂技术现状	(259)
二、涂料砂冲堵防一体化技术	(261)
三、漏失井涂料砂冲堵防一体化技术的应用效果	(264)
第七章 修井作业技术	(265)
第一节 快速修井技术	(265)
一、钢丝绳捞砂技术	(265)
二、无管柱打塞技术	(266)
三、无管柱打防掉丢手技术	(267)
四、通井、打印、小件落物等打捞技术	(269)
第二节 复杂井处理技术	(269)
一、电泵井打捞技术	(269)
二、井下工具打捞技术	(272)
三、防砂管柱打捞技术	(273)
四、胶皮处理	(275)
五、注水井复杂打捞技术	(276)
参考文献	(277)

第一章 胜坨油田采油工艺发展综述

第一节 胜坨油田采油工艺发展历程

胜坨油田自1963年10月发现以来,经历了天然能量试采、初建产能、扩建产能及高速开发、稳产开发、产量递减加快、特高含水开发6个阶段,针对不同阶段油田开发中存在的突出问题与矛盾,工艺技术始终坚持“开发需求、工艺覆盖”的原则,引进、研发并举,逐步形成了体系完备的技术系列。

一、天然能量试采阶段

天然能量试采阶段,油藏地层能量充足,油井生产以自喷采油为主,针对油井结蜡严重、计量不准确和地面集输不完善的问题,发展了多种清防蜡技术,初步建成了计量站及米字流程的地面集输管网。

(一) 油田开发技术政策及任务

天然能量试采阶段(1963年10月—1966年5月)的开发技术政策及任务是:在系统试油试采的基础上,实施沙二段基础井网,进一步查明主要断层、油水关系分布,掌握油层岩性、物性、油性、电性变化及相互关系,明确边水能量、生产能力、合理开发条件及开发方式,为进一步全面开发做好准备。

本阶段未完钻基础井79口,开井48口,其中自喷井41口,抽油井7口,日产油水平为3112t,自喷井产量占油田总产量的99.4%,综合含水为6.3%,采油速度为0.25%,采出程度为0.42%,1966年年产油 109.3×10^4 t,累计产油 121.43×10^4 t。

(二) 开发主要问题与矛盾

主要存在边水不活跃、弹性能量低、地层压力下降快(1965年沙二段总压降已达1.2MPa)、油井自喷生产过程中结蜡严重、油井计量不准确和地面集输不完善等问题。

(三) 工艺技术的配套与发展应用

1. 钻完井方式

天然能量试采阶段,胜坨油田一直采用的是“重压、快转、大排量”的普通钻井方式,机械钻速低、周期长,平均钻井周期(沙二段)为17.625d;采用二开、表层套管+油层套管的井身结构;因套管射孔完井适应性强,具有工艺简单可靠,有利于分层注采及后期措施改造等优点,油水井均采用套管射孔完井方式;射孔技术分为有枪身和无枪身两种,有枪身射孔采用的是57-103枪、57-103弹,孔密为10孔/m,方位角为 90° ,无枪身采用的是文胜-1型、文胜-2型,孔密为40孔/m,方位角为 90° 。

2. 举升工艺的配套

举升工艺以自喷采油为主、机械采油为辅,自喷采油工艺是将油管下至油层中部、井口装采油树的生产方式,所选的油嘴直径一般为4~10mm,少数日产千吨的自喷井油嘴直径

为 10~30mm。

3. 清防蜡技术

在原油生产过程中,伴随着温度和压力的降低,溶解在原油中的蜡会以晶体的形式析出并吸附在油管壁、套管壁、抽油泵上,严重影响了油井的正常生产。对结蜡严重的油井采用手动或电动清蜡绞车下刮蜡片机械清蜡,并推广采用了热水循环、热油循环清蜡和化学清蜡、玻璃油管防蜡等工艺措施。1966 年 11 月在 5 口井上设计安装热油循环流程,其中 ST1-2-11 井由原来的 3d 清蜡一次延长至 13d 清蜡一次。

4. 油井计量及集输

1964 年基本是单井拉油。1965 年胜坨油田二区以排状流程为主实行一排井、一部活动计量车进行计量。由于这种方法计量不准,冬季分离器内不能加热,又改为一口井、一台水套炉、一台分离器计量。1966 年二区顶部开始出现计量站及米字流程。以后地面集输一直采用米字流程。天然能量试采阶段原油年最大生产规模为 $130 \times 10^4 \text{t}$, 1965 年投产坨一站和坨二站, 1965—1966 年相继投产坨三站、坨四站,原油以管道输送为主。

二、初建产能阶段

初建产能阶段,油井仍以自喷采油为主,由于地层平均压降达到 1.97MPa,油井相继停喷转抽。针对开发初期层系划分较粗、大段合采层间矛盾突出的问题,采取早期分层注水开发,加强低渗透层段的注水控制高渗透层的注水量,调整层间矛盾,保持地层能量。

(一) 油田开发技术政策及任务

初建产能阶段(1966 年 6 月—1969 年 12 月)的技术政策及任务是:确定了初步开发方案,沙一段、东营组油层暂不开发,沙二段油层全部动用,分沙二段上油组、沙二段下油组两套层系,早期注水开发,保持地层能量。

本阶段末采油井有 253 口,开井 198 口,日产油水平为 7126t,综合含水为 12.8%,采油速度为 0.52%,采出程度为 1.61%;注水井总井数为 82 口,开井 65 口,注采比为 0.61。1969 年年产油 $225.32 \times 10^4 \text{t}$,累计产油 $700.3614 \times 10^4 \text{t}$ 。

(二) 开发主要问题与矛盾

开发初期层系划分较粗,各类油层动用状况不同,层间干扰严重,大段合采层间矛盾突出,稀油高渗透层干扰稠油低渗透层。

(三) 工艺技术的配套与发展应用

1. 举升工艺的配套

举升工艺仍以自喷采油为主,机械采油为辅,由于注采不平衡,注采比只有 0.4~0.6,地层平均压降达到 1.97MPa,油井相继停喷转抽,抽油井比例达到 30.8%。1964 年辛 2 井安装了抽油机下泵生产,标志着机械采油开始,机械采油方式伴随了油田开发的始终。

初建产能阶段,油井的能量好,有些甚至连抽带喷,抽油机悬点负荷不大,抽油机主要为 CYJ5-1812、CYJ5-2712、CYJ5-3012 和 CYJ10-2115、CYJ10-3012、CYJ10-3312 等几种,冲程多为 2.1~3.3m,冲次多为 6~12 次/min。1966 年,在营 1 井试验第一台卧式链条抽油机,1970 年,在 Y13-4 试验第一台立式链条抽油机,这两种抽油机应用 13 台,由于加工件多,维修不便,逐渐停用。抽油泵采用管式衬套泵,泵型只有 $\phi 43\text{mm}$ 泵和 $\phi 56\text{mm}$ 泵,泵深为 600~800m,负荷较轻,抽油杆主要采用 C 级杆。

2. 注水工艺的配套

为了保持地层压力,使油田长期高产稳产,1966年转注了第一口注水井 ST2-2-6井,标志着油田进入注水开发阶段。油田投入注水开发后即进行分层配水,可以有效提高注入水的波及体积,防止注入水单层突进,如果笼统注水势必造成注入水沿动用好、压降大的稀油高渗透层单层突进,加剧层间矛盾和干扰,加快含水上升的速度。采用分层注水区别对待不同渗透率的注水层段,加强低渗透层段的注水,控制高渗透层的注水量,调整层间矛盾。本阶段配套建成了胜一注水站、胜二注水站、胜三注水站,日注水能力为 $1.31 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

1) 注水管柱

1966年引进大庆 K344-112 水力压差封隔器,并通过固定配水器 KGD 来调节分层水量。在调配水量时候,需要起下注水管柱才能更换配水器,造成固定配水效率低、成本高。

2) 分层测试工艺技术

分层注水测试是获取某一压力下注水井各层段间注水量的工艺技术。注水井的测调工艺随着配水工艺的变化而变化。初建产能阶段由采油测试队承担全部注水井分层测试,采取投球测试工艺。

三、扩建产能及高速开发阶段

扩建产能阶段,油层平均总压降达到了 3.5MPa,绝大多数油井停喷转抽,以机械采油为主。油层压力下降比较快,急需加强注水,恢复地层能量,为此采用了高效率的空心配水管柱替代了效率低、施工成本高的固定配水管柱;为了解决高含水层干扰中低含水层的问题,试验自喷井双管、三管采油工艺;高速开发阶段,针对空心活动配水管柱只能分为四级、投捞工作量大的缺点,推广了分层多、投捞简单的偏心配水管柱;为了满足大排量提液上产的需要,自主研发了 $\phi 70\text{mm}$ 双作用泵,阶段末大泵井数占抽油井井数的 47.8%。通过大幅度提高注水量,增加水驱储量,地层总压降恢复到 2.79MPa,抽油井动液面由 401m 升到 178.5m,泵效由 65.7% 提高到 76.2%,油田年产量在 $600 \times 10^4 \text{ t}$ 高速稳产。

(一) 油田开发技术政策及任务

1970年1月—1979年12月扩建产能及高速开发阶段的技术政策及任务是:对胜坨一区、胜坨二区沙二段和胜坨三区坨 28、坨 7、坨 30、坨 21 断块沙二段细分开发层系,投产沙一段和胜坨二区东三段。

本阶段末有油井 642 口,开井 612 口,日产油水平为 18700t,综合含水为 67.9%,采油速度为 1.36%,采出程度为 13.59%;注水井有 248 口,开井 241 口,日注水量为 $55715 \times 10^4 \text{ m}^3$,注采比为 1.51。1979 年年产油 $592.68 \times 10^4 \text{ t}$,累计产油 $5912.3048 \times 10^4 \text{ t}$ 。

(二) 开发主要问题与矛盾

(1) 油藏需要大幅度提高注水量,增加水驱储量,恢复地层能量,保持稳产,但是注水工艺的配套技术效率低、施工成本高。

(2) 层间干扰严重,主要是高含水层干扰中低含水层。

(三) 工艺技术的配套与发展应用

1. 钻完井方式

1973—1976 年进行喷射钻井现场实验,钻井速度得到了大幅提高,钻井周期缩短,喷射钻井技术得到推广应用;采用无枪身射孔技术,无枪身采用的是文胜-1 型、文胜-2 型,孔密为 40 孔/m,方位角为 90° 。

2. 举升工艺的配套

扩建产能阶段,油层压力下降比较快,平均总压降达到了 3.5MPa,绝大多数油井停喷转抽,1973 年机械采油井的年产油量已经超过了自喷井的采油量,占总产油量的 52.3%,抽油井的比例达到了 88.7%。

开发初期,主力含油层系沙二段分两套开发层系,每套开发层系有 6~9 个砂层组,30~40 个小层,油藏层间差异大,油层干扰严重。1971 年在“六分四清”(“六分”即分层注水、分层采油、分层测试、分层研究、分层改造、分层管理;“四清”即分层的压力、产量、注水量、产水量清楚)工艺会战中,胜坨油田试验自喷井双管、三管采油工艺。1971—1973 年期间实施了 20 口井,均见到了增产效果,大部分井产量翻番。双管、三管采油工艺因井下管柱结构复杂,无法分层测试而逐渐停用。

为了解决地层能量下降、下泵深度增加、抽油机悬点负荷增大的问题,1974 年开始应用苏 6-2115 和苏 7-2512 抽油机,用苏 7 型机在 C16 井将 $\phi 56\text{mm}$ 泵下深 1700m 生产试验成功。1974 年自主研制了 $\phi 70\text{mm}$ 双作用泵,并于 1974 年 10 月在 ST3-4-6 井试验,共试验了 49 口井,至 1979 年累计增加产液量 $53.92 \times 10^4 \text{m}^3$,增油 $12.05 \times 10^4 \text{t}$ 。

3. 注水工艺的配套

为了满足油藏需要大幅度提高注水量、恢复地层能量的要求,对注水管柱进行了改进,采用高效率的空心配水管柱替代了效率低、施工成本高的固定配水管柱。

1) 空心配水技术

1971—1976 年注水井数大幅度增加,新建注水泵站 4 座,注水泵由 9 台增加到 32 台,原来的固定配水管柱不适应油田的开发需要,改下空心活动配水器,兼有少数固定配水器。对空心活动配水器进行了改进,水嘴芯子形成系列;在中心管与芯子相结合的水嘴部分加开内环槽,调配时不用动管柱,只需要打捞车捞出活动芯子,投下新配水嘴的芯子即可。采用空心配水管柱减少了作业工作量、缩短了施工时间。

2) 偏心配水技术

1975 年,针对空心活动配水管柱只能分为 4 级、存在投捞工作量大的缺点,试验应用偏心配水管柱分层注水工艺,在 ST3-6-329 井试验成功,因其具有分层多、投捞简单、调嘴方便等特点得到推广应用。

3) 分层测试工艺技术

扩建产能阶段以专业测试队为主,采油队测试为辅,空心配水井采用投球测试工艺,偏心配水井采用仪表测试。

4. 酸化解堵工艺技术

开发初期为了解决钻井过程中油层浅部的钻井液伤害问题,采取土酸酸化解堵工艺技术。由于普通土酸酸化方法处理半径小,配方单一,使用不当会对地层造成伤害,至 1973 年实施 58 井次,成功率只有 62%。对普通土酸酸化技术进行了改进,隔离土酸与地层水的接触,防止二次沉淀的产生;提前溶解碳酸盐及铁锈,减少土酸的消耗,改进后土酸酸化成功率达到 90% 以上。

四、稳产开发阶段

高速开发以后,油藏含水逐渐上升,出现短期的产量下降,年产油量由 1979 年的 $592.6792 \times 10^4 \text{t}$ 逐渐下降到 1982 年的 $443.5884 \times 10^4 \text{t}$ 。为了油田稳产,强化措施挖潜,大

量引进电动潜油泵、研发各种类型大泵,提液增油弥补产量递减,保持了油田年产油量在 $400 \times 10^4 \text{t}$ 以上稳产 14 年。工艺上针对平面、层间、层内水驱的不均衡性,特高含水层干扰中高含水层的问题,发展了堵水调剖工艺技术,自主研发水玻璃氯化钙、黏土颗粒、木质素磺酸钙复合凝胶等调剖堵剂,并由单井向区块整体、多轮次调剖方向发展;细分开发层系后需要加强分层注水,由于偏心注水管柱配水芯子偏置,在管柱结垢时造成芯子卡、水嘴堵塞等问题,偏心配水管柱逐步被空心配水管柱所替代;针对分层注水工艺中封隔器承压低、停注后层间水窜、测试工艺落后等缺点,推广应用了“四配套”分注工艺配套模式;针对储层伤害堵塞、夹层薄无法分层酸化、有机物夹裹无机垢物等造成油井减产、注水井欠注的问题,优化以土酸、盐酸—氟化铵酸化、暂堵选择性酸化、胶束酸、铝盐缓速酸为主的酸化解堵液配方体系,提高了酸液的油藏适应性,增产、增注效果明显。

(一) 油田开发技术政策及任务

1980 年 1 月—1993 年 12 月稳产开发阶段的技术政策及任务是:对胜坨二区沙一段、东三段、胜坨三区坨 7 沙二段 1~9 砂层组、坨 11 沙二段、坨 21 沙二段 1~5 砂层组、坨 30 沙二段 1~6 砂层组全面细分开发层系、加密、完善注采井网,提液增油弥补产量递减。

本阶段末油田共有采油井 1189 口,开井 1109 口,日产油水平为 11432t,采油速度为 0.99%,采出程度为 28.48%,综合含水为 92.4%;注水井总井数为 574 口,开井 538 口,日注水平为 138923m^3 ,注采比为 1.06,累计注水 $52828.51 \times 10^4 \text{m}^3$ 。1993 年年产油量为 $431.49 \times 10^4 \text{t}$,累计产油 $12358.049 \times 10^4 \text{t}$ 。

(二) 开发主要问题与矛盾

(1) 油藏含水逐渐上升,需要解决提液增油和泵的排量小之间的矛盾。

(2) 平面、层间、层内水驱不均衡,特高含水层干扰中高含水层。

(三) 工艺技术的配套与发展应用

1. 钻完井方式

1980 年,为动用受地面条件限制的储量,采用定向井钻井技术,2 月第一口定向井 ST1-4-51 井完钻,井深 2193.16m,井底水平位移 389.9m;1981 年以后,为适应东营组稠油油藏防砂的需要,采用外径 339.7mm 表层套管+外径 177.8mm 油层套管;1987 年,开展喷射钻井的升级工作,与常规钻井相比,钻头平均进尺提高 0.6~2.1 倍,机械钻速平均提高 2.3~3.1 倍,缩短了钻井周期,平均钻井周期(沙二段)为 11.83d;1991 年,为有效开采大厚油层顶部的剩余油和特殊岩性油藏,采用水平井钻井技术,9 月第一口水平井 S2P1 井完钻,井深 2506m,水平段长 649.13m,钻遇目的层厚度为 191m,井身结构采用外径 339.7mm 表层套管+外径 244.5mm 技术套管+外径 139.7mm 油层套管。

射孔穿深、孔径、孔密对射孔完井的产能有很大的影响。在射孔孔眼穿透钻井伤害带后,射孔完井的产能有较大幅度的提高;采用直径较大的孔眼减少摩擦阻力、降低流速、减少冲刷作用的携砂能力;油井的产能随孔密的增加而增大。为了通过增加射孔弹的穿深、孔径和孔密以提高油井的产能,1982 年 9 月,首次使用 73 枪、73 弹、孔密 16 孔/m 射孔完井,取代 57-103 枪射孔,无枪身射孔基本淘汰。1990 年 2 月在 ST1-1-42 井二次补孔施工中,首次使用 89 枪、89 弹射孔,射孔枪弹的穿深、孔径、孔密逐渐提高。

2. 举升工艺的配套

稳产开发阶段通过大量引进电动潜油泵、研发各种类型大泵,提液增油弥补产量递减。

1) 电动潜油泵采油技术

高含水采油期,采用排量大的新型抽油泵是保证原油稳产高产的有效措施。1980年3月,首次引进美国森垂立夫特公司400系列、排量为 $300\text{m}^3/\text{d}$ 的N80型电动潜油泵5套,1981年9月,在ST2-1-164井第一次下井成功。由于电动潜油泵具有大排量、大泵深、高可靠性的特点,在胜坨油田高含水期得到了迅速推广,应用井数逐年增多。1983—1986年先后从美国共购进各种电泵640台。1987年9月用国产配件组装了第一台国产化电动潜油泵,标志着电动潜油泵向全部实现国产化的方向迈进。电动潜油泵采油技术从引进、消化、下井试验后迅速发展,电泵规格系列趋于完善,逐步发展形成排量为 $30\sim 400\text{m}^3/\text{d}$ 的电泵,以及多种系列规格的配套电机。1993年12月,电泵井达到470口,日产液能力为 $12.52\times 10^4\text{t}$,日产油能力为7859t,综合含水为93.9%。电泵井开井数占总开井数的42.4%,电泵日产油占总日产油的63.95%,电泵成为提液稳产的主要手段。

2) 大泵提液

(1) $\phi 83\text{mm}$ 泵研制与应用效果。

为适应油田大排量提液稳产的需要,研制 $\phi 83\text{mm}$ 大泵及其配套工具双卡脱节器,1979—1985年应用702台次,双卡脱节器808套次,并支援大港、中原、华北等油田。

(2) $\phi 83\text{mm}$ 串联泵研制与应用效果。

针对稳产开发阶段抽油机最大冲程只有3m、套管尺寸多为139.7mm的高含水条件下难以实现大排量提液的问题,1978年研制 $\phi 83\text{mm}$ 串联泵,该技术是由两台普通 $\phi 83\text{mm}$ 泵串联,中间加密封装置,形成两个生产腔室,提高了泵的排量,按排量折算为 $\phi 110\text{mm}$ 泵,主要用于高含水的强抽井。1978—1985年试验18口井,成功率为92%,累计增油16630t。由于电泵井大幅度增加,下井井次减少。

(3) $\phi 83\text{mm}$ 、 $\phi 56\text{mm}$ 分抽混出泵研制与应用效果。

1978年,为消除层间矛盾,充分发挥各油层的生产潜力,研制 $\phi 83\text{mm}$ 、 $\phi 56\text{mm}$ 分抽混出泵,该工艺是由两台管式深井泵通过一定结构形式相连接,在两油层之间卡封,抽油杆带动两泵活塞在各自泵筒内同步运动,完成互不干扰的吸入过程,抽出的井液经排出阀混合后由油管排出。该泵的排量与 $\phi 83\text{mm}$ 泵相同,两台泵可以同时抽到两个油层的油,主要用于层间干扰较大的油井。1983—1986年共现场下井104口,累计增油 $21.56\times 10^4\text{t}$ 。由于工具配套不完善,可靠性有待进一步提高,逐渐停用。

(4) $\phi 95\text{mm}$ 泵研制与应用效果。

20世纪80年代随着有杆泵泵筒加工工艺的改进,使进一步提高有杆泵的提液能力成为可能。1981年5月在ST2-3-226井试验 $\phi 93\text{mm}$ 无衬套软密封泵,1986年2月在ST1-1-72井试验 $\phi 95\text{mm}$ 硬密封泵。1990年10月,采用 $\phi 95\text{mm}$ 泵配合应用14型抽油机,分别在ST3-6-226井、ST3-6-229井进行深抽大排量试验,泵深1000m,冲程为5.5m,冲次为3次/min,日产液为140t。在推广应用研制了卡爪脱节器配套支撑泄油器,提高了 $\phi 95\text{mm}$ 泵的可靠性。至1993年,共下 $\phi 95\text{mm}$ 泵42口,累计增油 $3.64\times 10^4\text{t}$,平均泵效为73%。

(5) 水力活塞泵采油技术。

针对当时有杆泵不能满足低液面或大排量提液的生产需求,引进水力活塞泵。水力活塞泵是一种液压传动的无杆泵抽油系统。1967年5月,第一口水力活塞泵在ST3-6-22井投产,泵深1204.63m,采用 60m^3 泵,当时为单井单台泵生产。20世纪70年代初到80年代初发展到以计量站为中心,采用集油站脱水原油作为动力液的生产系统。1976年胜坨三区有5

个泵站、29口井生产。当时地面泵为3W-6B4、3ZB型等，地下泵为 $60\text{m}^3/\text{d}$ 、 $100\text{m}^3/\text{d}$ 、 $200\text{m}^3/\text{d}$ 、 $300\text{m}^3/\text{d}$ 等几种。1983—1984年，在胜坨三区又建立6个水力活塞泵地面泵站，水力活塞泵井数达到74口，平均单井日增油量为7.6t。各种工艺都有其选井条件和适应范围，水力活塞泵对动力液质量要求苛刻，随着油井含水的上升，采用原油作为动力液已不经济，加上长期解决不了测压和计量问题，至1987年水力活塞泵站全部停用。

(6) 喷射泵采油技术。

1986年5月，研制的SIB62型水力喷射泵在ST3-8-168井进行试验，泵深1000m，日注动力液 170m^3 ，日产油为11t。1987年，在ST1-1N41井应用，最大排量达到 590m^3 。水力喷射泵的优点是结构简单、排量大、下泵深、检泵方便等；缺点是泵效低，不适用于油气比大的井。在现场应用过程中，研究改进了喷射泵的喷嘴、喉管、扩散器等关键部位的结构和材质，泵效达到38.5%。喷射泵主要用于排液转注井、严重杆管偏磨井和油稠结蜡井。截至1993年，共下井63口，累计增油 $7.19 \times 10^4\text{t}$ 。

(7) 螺杆泵采油技术。

为开发胜坨油田坨28断块的高黏油和东营组的稠油出砂原油，1991年4月首先在ST3-4-141井引进应用了LBJ150-15单头螺杆泵采油工艺，至1993年，推广应用了34口井，累计增油 $2.04 \times 10^4\text{t}$ 。

(8) 重型长冲程抽油机的应用。

随着有杆大泵的发展，抽油机悬点负荷不断地增加，为此引进了重型长冲程抽油机，配套应用强度高的D级抽油杆代替了C级抽油杆。1979年，引进的CYJ12-3.3-70B型抽油机在ST2-1-171井试验成功；1981年，引进的CYJ11-3-48B型抽油机在ST2-2-266井进行试验；1986年，引进的CYJ12-4.8-74HB型抽油机配套应用长筒泵进行试验。重型长冲程抽油机的应用为大泵提液增油创造了有利条件。

3. 注水工艺的配套

1980—1993年注水井数大幅度增加，新建胜六注水站、胜七注水站、胜八注水站、胜九注水站，日注水能力为 $20.13 \times 10^4\text{m}^3$ ，扩建了污水站，含油污水全部回注。1981年，研究推广应用“偏心配水、涂料油管、仪表测试”注水工艺，至1983年达到129口，但由于污水回注水质较差，偏心注水井在测调过程中经常出现芯子坐不严、捞不出、测调遇卡等问题，偏心配水管柱逐步被空心配水管柱所替代，到1986年注水井全部采用空心配水管柱。1989年，针对分层注水工艺中封隔器承压低、停注后层间水窜、测试工艺落后等缺点，推广了“四配套”分注工艺配套模式：Y341-114(150)压缩式封隔器+空心配水器+涂料油管注水管柱和“108”流量计测试工艺。该工艺具有耐压高、停注不水窜、油管耐腐蚀、测试准确等特点。至1996年年底，胜坨油田有379口井采用了“四配套”注水工艺，占胜坨油田分注井的82%，并对胜坨一区1~3单元，胜坨二区 $7^4 \sim 8^1$ 、4~6、9~10单元，胜坨三区坨7断块、坨28断块实行了整体配套，取得了显著的控水稳油好效果。

4. 堵水调剖工艺技术

胜坨油田为多层砂岩油藏，非均质严重，开发初期合采合注，造成层间矛盾突出，针对注入水单层突进、油井含水上升速度快、水驱效率降低的现象，开展技术攻关和工艺试验，探索提高水驱油效率的新技术，发展了水井调剖、油井堵水工艺技术，对改善水驱状况、控制含水上升、增加可采储量发挥了重要作用、堵水调剖成为老油田控水稳油，改善开发效果的主导工艺。