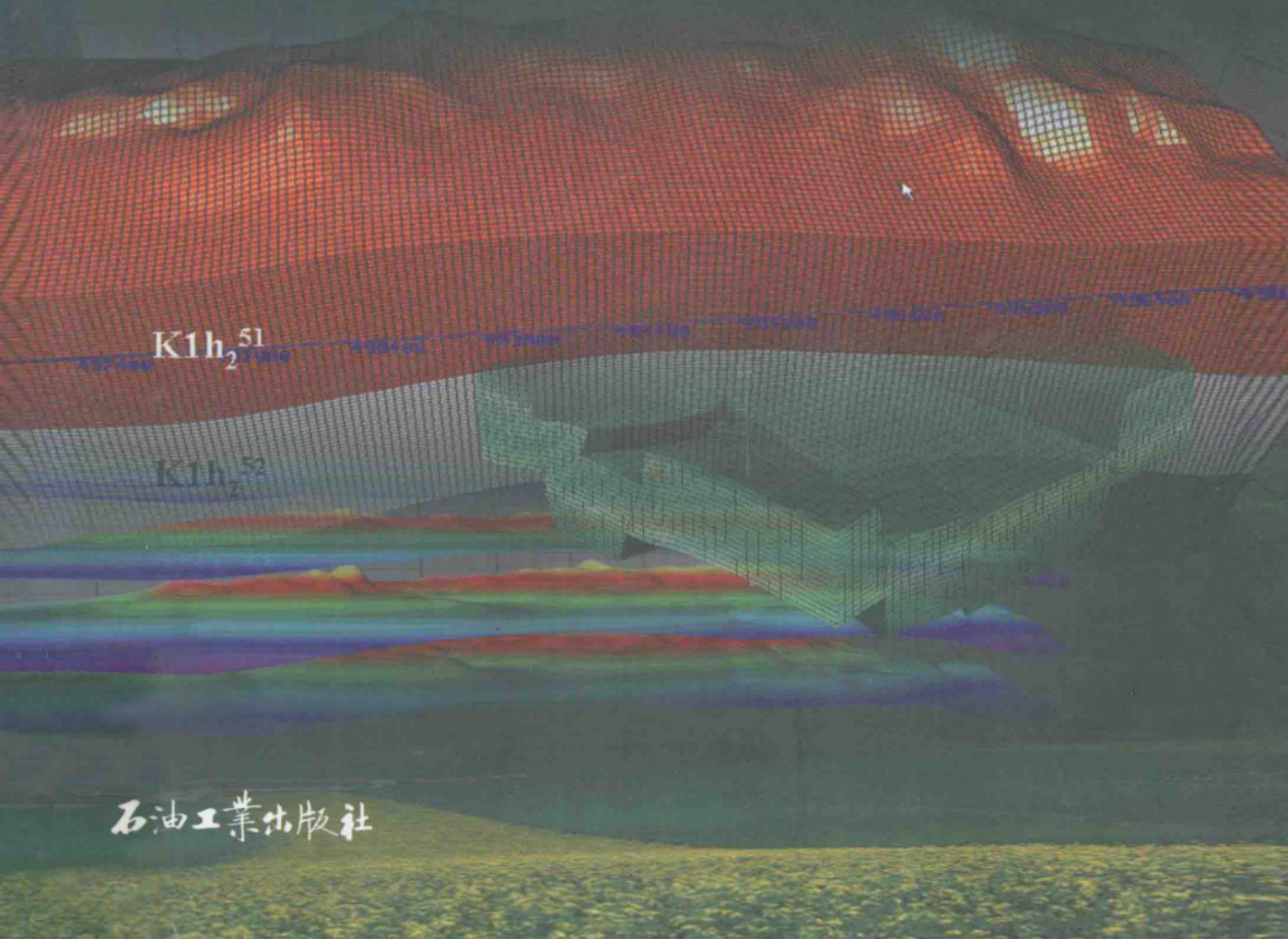




低幅度薄互层边底水油藏 开发理论与实践

——以陆梁油田为例

闻玉贵 杨生榛 王志章 霍 进 陈伦俊 著



石油工业出版社



闻玉贵，新疆油田公司副总地质师，中国石油集团公司高级技术专家、中国博士后科学基金会评审专家、中国石油大学（北京）和西南石油大学兼职教授、博士研究生现场指导老师。从编制油田“七五”规划开始，到油田“十五”规划，长期从事油田规划设计工作。每次经他编制的规划符合率都达到99%以上。1983年，从第一口浅层探井取出稠油含油岩心开始，积极参与稠油资源的勘探、评价、技术引进、热力试采和投入工业化开发的全过程，为新疆油田发展奠定了坚实的基础。在陆梁油田开发过程中，有针对性地提出了细分开发层系的方法，改变固井水泥浆体系，提高固井合格率；制订低电阻油层的识别标准，提高油水层识别率；优化射孔井段，控制新井含水率等一系列技术措施。有效建立了陆梁油田开发和管理模式，解决了多油层、低幅度、边底水油藏开发的新理论、新方法。



杨生榛，新疆油田公司采油二厂厂长，曾任陆梁油田作业区经理、党委书记。从事油田开发研究与管理20余年来，治学严谨，专业理论基础深厚、实践经验丰富，学术造诣很高。先后获得自治区科技进步奖5项，中国石油集团公司、股份公司技术创新奖2项，新疆油田公司科技突破奖、进步奖10余项。在国际、国内相关学术刊物和会议宣读或发表论文几十篇。荣获“新疆油田原油产量上千万吨十大科技杰出贡献者”称号，是新疆石油局、新疆油田公司第一、第二届专家委员会委员，新疆油田公司首批学术技术带头人。2007年荣获新疆维吾尔自治区有突出贡献优秀专家荣誉称号。

担任油田作业区经理以来，建立健全了高效油田作业区管理模式、运行机制和内部控制体系。为解决陆梁油田的开发问题，通过现场岩心精细描述和室内动、静态资料的综合研究，解决了该区低幅度背斜油藏的油层识别、射孔优化和合理生产压差等关键问题，创造了国内第一个薄互层、边底水、低电阻油藏开发的成功先例。对石南21井区油藏的地质特征、投产工艺进行了深入研究和优化后，80%以上的开发井不需要改造，就能自喷井达到设计产能，使石南21井区油藏获得成功开发，成为新疆油田公司成立以来的第二个百万吨级整装沙漠油田。

责任编辑：鲜于德清 封面设计：赛维钰 责任校对：王 蕾

ISBN 978-7-5021-7809-3



9 787502 178093 >

定价：90.00 元

低幅度薄互层边底水油藏 开发理论与实践 ——以陆梁油田为例

闻玉贵 杨生榛 王志章 霍 进 陈伦俊 著

石油工业出版社

内 容 提 要

陆梁油田油藏具有低幅度、多层系、跨度大和油水关系复杂等特点。从油田勘探到油田开发,该油田的决策者采取了全新的技术思路和工作方法,制定了科学合理的开发方案、开发技术和开发策略。本书在全面认清该类油藏地质特点、开发规律的基础上,系统总结了该油藏有效的开发技术对策,开发理论、开采技术与方案,高效稳产开发管理模式,以达到提高类似油田最终采收率的目的,同时为类似油田的开发提供成功经验。

本书适合从事油田勘探和开发工作的相关人员参考,同时也可作为石油大专院校相关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

低幅度薄互层边底水油藏开发理论与实践:以陆梁油田为例/闻玉贵等著. —北京:石油工业出版社, 2010. 9

ISBN 978 - 7 - 5021 - 7809 - 3

I. 低…

II. 闻…

III. 油田开发 - 研究 - 新疆

IV. TE34

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 087195 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

编辑部: (010) 64523524

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 9 月第 1 版 2010 年 9 月第 1 次印刷

787 × 1092 毫米 开本: 1/16 印张: 29

字数: 736 千字 印数: 1—2000 册

定价: 90.00 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

前 言

本专著是陆梁油田高效稳产开发 10 年的理论、方法与技术成果的总结、升华。作者都是陆梁油田高效稳产开发的设计者、管理者、研究者和实践者。

专著共分为八章，第一章总论，第二章油藏表征关键技术及地质特征描述，主要阐述陆梁油田地层、构造、沉积、储层、流体分布、油藏特征、开发特点。阐明了针对陆梁油田油藏低幅度、边底水、薄互层、储层高度非均质、油水层识别难度大等特点，在油藏识别、评价中所采用的关键技术及利用特有的技术、方法对油藏所进行的表征及预测。第三章油藏工程研究，主要阐述依据油藏静态特征所制定的油藏开发方案、开发方式及油藏开发过程中所进行的动态特征研究、水驱效果评价、产能评价、天然能量评价。第四章 油藏三维建模 - 数模一体化及开发技术政策，主要阐述陆梁油田三维地质建模、边底水油藏数值模拟研究、合理注采井网、产液量、注采比、采油速度、地层压力、流动压力、注水时机、注水能力、最大产液量等开发技术政策。第五章边底水油藏开发理论及开发试验，主要包括边底水油藏天然能量合理利用；薄层边底水油藏超前注水、平衡注水、精细注水；射孔优化、抑制底水锥进等开发理论及油水运动理论研究，包括水驱规律物理试验、薄层底水油藏生产过程物理试验、注采试验、底水锥进控制试验、矿场试验。第六章油藏开发关键技术，包括不完全射孔薄层底水油藏试井解释技术、射孔优化技术、抑制底水锥进技术、水平井开发技术、跟踪数值模拟技术、提高注入水存水率技术。第七章开采过程监控，主要包括开采动态监测、开采过程控制及油水井自动化实时监控。第八章高效稳产开发战略。主要包括天然能量合理利用、精细注水（“月配季调”、“旬配月调”、“日配旬调”）与调整“三率”，分注合采提高动用储量，深部调驱与泡沫驱提高采收率等。

本书的出版首先要感谢中国石油股份公司领导的关心和支持、感谢新疆油田分公司领导、开发处领导，正是在他们的正确领导下，保证了陆梁油田各项决策的顺利实施。

感谢奋战在陆梁油田生产第一线的历届领导、广大员工的支持与帮助。正是他们数十年如一日、以厂为家、奋发向上、艰苦创业的献身精神，使陆梁油田在不可为、不能为的条件下，克服重重困难，闯出了一条适应低幅度、多薄互层、边底水、强非均质油藏高效稳产开发的理论、方法和技术。

感谢长期与油田合作的石油院校、科研院所的领导、专家、教授及博士和硕士生。

感谢李兴训教授级高工、李汉林教授对初稿的审核。

本专著是陆梁油田及相关科研院所十余年几百人科研与生产的高度总结和概括。除专著作者外，欧阳可悦、石国新、路建国等参与了部分章节的编著，其他人的贡献不能一一列举，甚为抱歉。

愿这本专著能为我国复杂油藏开发理论的发展作一点微薄的贡献。由于笔者水平所限，不足之处，敬请读者指正。

闻玉贵 杨生榛 王志章

2009. 10. 10

绪 论

陆梁油田是 21 世纪中国陆上发现的第一个亿吨级沙漠整装油田，是准噶尔盆地当年发现、当年探明、当年投产的第一个百万吨级的大油田，也是中国石油天然气股份有限公司近几年开发最成功的百万吨油田之一。

该油田地处古尔班通古特沙漠腹地，由于远离城市，工作生活条件艰苦。早在 20 世纪 50 年代，石油人就开始了陆梁油田的勘探和地质研究等工作，在半个多世纪的时间里，新疆油田在三个泉地区三上三下，相继钻探了陆 1—陆 8 井，一直没有获得突破，但是克拉玛依人没有气馁。

2000 年初，陆 4 井区三维地震处理资料出站，精细解释新发现了一系列低幅度背斜。综合评价三个泉 1 号背斜东高点是一个完整的短轴背斜，对油气的保存非常有利，故优先在三个泉 1 号背斜东高点上钻探陆 9 井，首选目的层为白垩系和侏罗系。

陆 9 井于 2000 年 4 月 23 日开钻，2000 年 5 月 21 日完钻，完钻井深 2820m，井底地层为侏罗系八道湾组。钻井过程中在白垩系、侏罗系见到良好油气显示。

2000 年 6 月 10 日在陆 9 井侏罗系西山窑组 2226 ~ 2230m 井段试油，3.5mm 油嘴试产，折算日产原油 20.8t，日产气 349m³，宣告陆梁油田的诞生。2000 年 7 月 12 日，射开陆 9 井白垩系呼图壁河组 1414.5 ~ 1418.0m 井段，3.5mm 油嘴试产，日产原油 13.8t，日产气 479m³，首次在盆地发现了白垩系呼图壁河组稀油油藏。陆 9 井侏罗系、白垩系工业油气流的获得，标志着三个泉凸起的油气勘探获得了重大突破，将盆地的含油气领域向北推进了 30km。实现了几代克拉玛依石油人在陆梁发现大油田的梦想……

陆 9 井出油后，为加快陆梁油田的开发评价和试验工作，2000 年 7 月首先在陆 9 井区西山窑组油藏部署了一个 350m × 495m 反九点开发试验井组和 3 口开发评价井，随后又在呼图壁河组油藏初步认识的基础上，在陆 9 井和陆 101 井之间部署了一个 300m × 425m 反九点开发试验井组，在陆 102 井附近部署一个 212m × 300m 小井距反九点开发试验井组，共计布井 29 口，进行开发前期资料录取和试采工作。新疆油田公司成立了勘探开发一体化组织机构，统一组织和协调陆梁油田的评价，并且勘探开发联合攻关，重点对低阻油层识别、油砂体的分布及油藏类型、开发层系划分、井网、优化射孔与产能评价等开展专题研究。

针对陆梁油田构造幅度低、油层跨度大、油层层数多，单层厚度薄及电阻率低等特点，采用以 MDT 为主导的测井技术，快速识别、评价油气层，同时结合地震、钻井、试油和分析化验资料，应用储层建模技术、油藏描述等手段，用半年时间快速高效的完成了油藏评价，创造性的建立了白垩系油藏“一砂一藏”的独特的地质模式，基本弄清了陆梁油田各层系的油藏类型，当年在陆 9 井区白垩系呼图壁河组 K₁h₂、侏罗系西山窑组油藏整装探明新增石油地质探明储量 6755 × 10⁴t，叠加含油面积 17.6km²；白垩系呼图壁河组 K₁h₁ 油藏石油地质控制储量 584 × 10⁴t，白垩系吐谷鲁群气藏天然气预测储量 193.94 × 10⁸m³。同时，在三个泉凸起 1 号背斜西高点、中高点、南高点和陆 2 井北 1 号断鼻上，分别钻探了陆 11、陆 12、陆 13 和陆 15 井，在侏罗系均获工业油流，并于 2000 年上报陆梁油田陆 11、陆 12、陆 13、陆 15 井区侏罗系油藏石油地质控制储量 1319 × 10⁴t。2001 年在勘探开发的紧密协作下，

在陆梁油田又探明石油地质储量 $5235 \times 10^4 \text{t}$ ，一年半累计探明石油地质储量 $11990 \times 10^4 \text{t}$ ，可采储量 $2880.1 \times 10^4 \text{t}$ ，每吨可采储量直接勘探成本为 9.79 元（合 0.16 美元/桶），实现了油田的快速、高效勘探。

在油藏评价的基础上，应用油藏工程和油藏数值模拟技术，就低幅度、薄互层、边底水油藏的开发层系划分、合理开发方式，合理产能，合理生产压差等一系列关键技术进行了论证和研究。按照“整体部署、滚动实施”的原则，将陆梁油田主力含油区陆 9 井区一次性部署 6 套开发井网，2001 年陆梁油田正式投入开发建设，首先开发了落实程度较高的陆 9 井区侏罗系西山窑组油藏（ J_2x_4 ）和白垩系呼图壁河组油藏（ K_1h_2 ），当年 3 月 28 日陆梁油田第一口开发井投产，并陆续建成开发井 230 口，产能 $53.55 \times 10^4 \text{t}$ ，开发井初期含水只有 18.5%，比同层系开发试验井初期 50.8% 的含水下降了 32.3%。当年生产原油 $42 \times 10^4 \text{t}$ ，当年产能到位率达到 78%，创造了新疆油田新区开发的新高。2002 年陆梁油田原油产量跃上百万吨级台阶，并且连续五年原油产量超过百万吨。

在油田开发过程中，有针对性地研究制定了早期平衡注水策略，用人工水平能量有效地平衡和抑制了边底水锥进，使油田开发形势得到了进一步稳定，2003 年陆梁油田油量自然递减和综合递减分别只有 6.7% 和 1.2%，含水上升率为 -1.58%，创造了低幅度、薄互层、边底水油藏开发的新水平。

陆梁油田是一个地下油层纵向跨度大，单个油层厚度薄，油、气、水三者之间分界线不明显，有的甚至相互混杂的典型的低幅度、边底水、薄互层、储层高度非均质、一砂一油藏的油田。投入开发之前，由于陆梁油田的先天不足，许多知名专家断言这类油田，开发难度前所未有，迄今在国内其他油田尚无开发成功的先例，在陆梁也难以成功。但是，陆梁油田科技人员，在国内外石油院校及科研院所支持下，反复摸索，多次试验，有针对性地提出了细分开发层系的方法，制订低电阻油层的识别标准，提高油水层识别率；优化射孔井段，控制新井含水率等一系列的技术措施。科学地采用独特的“先下后上、先高后低”的打井方案，单层开采技术及早期精细平衡注水方法等，终于解开了低幅度油田开发生产难题，并用事实证明了所使用的技术准确，用专家的话说，“创造了油田开发史上的奇迹”。

为搞清陆梁油田油藏地质特征，陆梁油田人先后进行了精细油藏描述、开发机理研究，在油藏数值模拟、剩余油形成机理及分布规律研究的基础上，进行了先导开发实验及多层系、注采两同时、立体综合开发。采取了加强平衡注水、精细注水的策略，以油藏精细描述为中心，加大水驱规律研究，依据不同油藏、不同开发阶段的注采关系，提高水驱效果，努力降低油藏自然递减，加强同心管分采技术、分注合采技术和水平井开发技术研究，从根本上提高油田储量动用程度，使老区开发形势持续稳定。

寒来暑往，岁月更替，陆梁油田人通过深化低幅度、边底水油藏成功开发之认识，提出多层、低幅度、边底水油藏开发新理论、新方法，创陆梁开发、管理模式；弘扬陆梁人求真务实、和谐向上的文化理念；追逐优秀，始终如一的价值观；奋发向上、艰苦创业的献身精神；以科学发展观为指针，以经济效益为中心，以老区稳产为基础，以新区产能建设为重点，坚持“优化方案、优化注水、优化措施、精细管理”的工作方针。加大油藏研究力度，努力挖掘油田生产潜力，强化油田精细化管理，确保油田高水平、高效益和可持续发展。陆梁油田分别荣获中国石油天然气股份有限公司“高效开发油田”和“油田开发管理先进单位”称号。

总之，10 年不算太久，可是，使“不可为”、“不能为”的薄层、边底水油藏高效、高

速、稳产 10 年，不能不算是一个“奇迹”。所有的这一切，在于“天然能量合理利用”、“油藏超前注水、平衡注水、精细注水”、“射孔优化”、“抑制底水锥进”等先进的开发理论；大规模水驱规律物理试验、薄层底水油藏生产过程物理试验、注采试验、底水锥进控制试验、矿场试验等过硬的开发实验；不完全射孔薄层底水油藏试井解释、射孔优化、抑制底水锥进、水平井开发、跟踪数值模拟、提高注入水存水率等超前的开发技术；分注合采、深部调驱与泡沫驱、大规模采用水平井、月配季调、旬配月调、日配旬调的精细平衡注水开发等艰苦的生产实践以及系统思考、超前研究，科学用水、精细注水，科研成果及时转化为生产力和理论与实践相结合的与时俱进的“科学管理”。

我们怀着崇敬、自豪和激动的心情，撰写这本专著，旨在通过对陆梁油田依靠科技进步，加强综合管理，实现油田长期高效稳产的经验进行总结和回顾，对类似油田开发提供思路 and 借鉴。

本专著是在新疆油田公司及其与国内有关院校、科研院所共同合作的 30 余项有关陆梁专题研究报告的基础上编著而成，凝聚了上百人的心血。在此不能一一列出，甚为抱歉。由于编者水平所限，文中错误难免，恳请专家不吝赐教。

作 者

2009. 11

目 录

第一章 总 论	(1)
第一节 陆梁油田基本情况	(1)
一、基本状况	(1)
二、勘探开发简况	(1)
第二节 油藏主要地质特征	(3)
一、构造类型简单, 为低幅度的背斜或断鼻构造	(3)
二、含油层系多、跨度大、油层层数多、单油层薄	(3)
三、储层物性差异大, 以中、高渗透储层为主	(4)
四、油层电阻率低、识别难度大	(4)
五、油水关系复杂, 具“一砂一藏”的独有特征, 且多为边底水油藏	(4)
六、油藏天然能量不足	(4)
第三节 油田建设及管理	(4)
一、坚持勘探开发一体化, 加快油田开发进程	(4)
二、依靠科技进步, 高速、高效开发建设油田	(6)
三、以油藏研究为中心, 精细油藏管理, 努力实现油田高效稳产	(10)
第四节 油藏表征及预测关键技术	(12)
一、地震资料精细解释及储层正演模拟技术	(12)
二、低阻油水层的测录井联合判识技术	(12)
三、精细储层结构分析及流体流动单元研究技术	(13)
四、高精度地质建模技术	(13)
第五节 边底水油藏开发试验	(13)
第六节 边底水油藏开发理论研究及开发关键技术	(14)
一、边底水油藏开发理论研究	(14)
二、边底水油藏开发关键技术	(15)
第七节 开发过程监控与开采技术政策实时调整	(15)
第八节 长远高效稳产开发战略及开发经验	(16)
第二章 油藏表征关键技术及地质特征描述	(17)
第一节 地震资料精细解释及储层正演模拟技术	(17)
第二节 低阻油水层识别技术	(20)
一、低阻油层的特征	(20)
二、LU9 井区白垩系低阻油层形成的地质因素	(21)
三、白垩系低阻油气藏侵入特征及测井系列选择	(24)
四、低阻油气层的识别	(26)
五、低阻油气层定量评价方法及评价模型	(32)
第三节 油藏基本地质特征	(53)

一、构造特征描述	(53)
二、地层与小层划分	(54)
三、沉积相和沉积微相	(56)
四、储层特征	(68)
五、原油性质	(70)
六、温度与压力	(71)
七、油藏特点及油藏类型研究	(72)
第四节 含油单砂体精细解剖及流动单元划分	(78)
一、含油单砂体精细解剖	(78)
二、储层流动单元划分	(79)
三、流动单元研究	(81)
第三章 油藏工程研究	(85)
第一节 油田开发建设原则	(85)
第二节 油藏试油试采特征	(85)
一、纯油层比例较低,油水同层较多	(85)
二、油藏单井产能差异较大	(85)
三、各油藏压力系数较低,油井自喷能力较差	(86)
四、不稳定试井分析	(86)
五、系统试井分析	(86)
第三节 油藏渗流特征	(86)
一、毛管压力	(86)
二、油水相渗曲线特征	(86)
三、储层岩石的水驱油特征	(86)
第四节 开发层系划分与组合	(87)
一、开发层系合理划分和组合的原则	(87)
二、层系划分依据	(87)
三、开发层系划分与组合	(88)
第五节 井网井距研究	(88)
一、井网控制程度	(88)
二、水驱控制程度	(88)
三、经济极限井网密度和经济合理井网密度	(89)
四、油藏数值模拟方法	(90)
五、井排方向	(90)
第六节 开发方式研究	(90)
一、油藏驱动类型及天然能量评价	(90)
二、水驱油效率及水驱采收率	(90)
三、开发方式的确定	(91)
第七节 油藏产能研究	(91)
一、油层产能评价	(91)
二、底水油藏临界产量	(93)

三、注入能力研究	(93)
四、单井最大注入量的确定	(93)
第八节 方案设计及开发指标预测	(94)
一、井网部署原则	(94)
二、油藏布井方案优选	(94)
第九节 油藏开采动态特征描述与评价	(95)
一、压力变化特征	(95)
二、开发潜力分析	(95)
三、含水变化特征	(96)
四、水驱效果评价	(98)
五、产能评价及核实	(108)
六、天然能量综合评价	(113)
第四章 油藏三维建模—数模一体化及开发技术政策	(119)
第一节 三维地质建模	(119)
一、三维油藏地质建模主要研究内容	(119)
二、构造模型研究	(119)
三、三维相模型的建立	(121)
四、储层属性模型建立	(122)
五、属性模型优选评价	(130)
六、模型粗化	(132)
第二节 油藏数值模拟研究	(133)
一、数值模拟器的建立	(133)
二、生产历史拟合	(134)
三、边底水油藏数值模拟	(135)
第三节 开采技术政策研究	(136)
一、合理井网	(136)
二、合理产液量	(137)
三、合理注采比	(140)
四、合理采油速度	(142)
五、合理地层压力研究	(143)
六、合理流动压力研究	(145)
七、地层压力恢复速度研究	(151)
八、合理注水时机	(151)
九、合理注水能力研究	(152)
十、油井最大产液界限研究	(153)
第五章 边底水油藏开发理论及开发试验研究	(158)
第一节 水驱油特征规律物理模拟实验及理论研究	(158)
一、水驱油特征规律研究的发展和现状	(158)
二、陆梁薄层底水油藏产水动态规律物理模拟的验证性实验研究	(159)
三、陆梁油田水驱油特征规律研究	(177)

四、陆梁薄层底水油藏水驱油特征规律研究	(187)
五、陆梁薄层底水油藏含水上升规律理论研究	(193)
第二节 底水油藏生产过程物理模拟实验及理论研究	(198)
一、物理模拟实验的建立	(199)
二、模拟天然能量驱动下底水上窜实验	(203)
三、注水开发模式的物理模拟实验研究	(208)
第三节 薄层状底水油层注采机理研究	(213)
一、渗流物理特性	(213)
二、射开程度与临界产量	(213)
三、油井产量与压差的理论关系	(215)
四、注水量与注采压差	(221)
第四节 底水锥进控制理论物理模拟	(228)
一、底水锥进可视化物理模拟	(228)
二、底水锥进对油井初期产水率的影响	(230)
三、单井排水采油机理及水锥控制	(231)
四、井组排水采油机理及水锥控制	(234)
第五节 提高驱油效率物理模拟试验	(240)
一、均质岩心驱油试验	(240)
二、均质岩心泡沫驱油试验	(242)
三、模拟 1/3 底水的驱油实验	(245)
四、模拟 2/3 底水驱油实验	(247)
五、认识	(249)
第六节 边底水油藏开发矿场试验	(249)
一、开发试验及评价	(249)
二、早期注水试验	(250)
三、堵水实验	(251)
四、井间化学示踪剂试验	(255)
五、调驱实验及物模研究	(261)
第七节 薄层底水透镜状油藏水平井先导实验	(277)
一、水平井开发可行性研究	(277)
二、水平井部署研究	(279)
三、实施效果分析	(285)
四、结论及认识	(286)
第六章 薄层边底水油藏开发关键技术	(287)
第一节 不完全射孔薄层底水油藏试井解释技术	(287)
一、不稳定试井曲线特征分析	(288)
二、基本渗流微分方程的建立及其点源解	(289)
三、均质油藏部分打开井渗流特征分析	(292)
四、双重介质油藏部分打开井渗流特征分析	(298)
五、直线型组合外边界影响的部分打开井试井模型及压力动态特征	(303)

六、试井解释方法	(306)
七、薄层底水油气藏试井资料精细解释	(313)
第二节 射孔优化技术	(315)
一、同类油藏开发经验	(315)
二、射孔优化	(316)
三、射孔原则	(316)
四、优化射孔的实施效果	(316)
第三节 早期注水技术	(317)
一、早期注水试验	(317)
二、全面转注	(317)
第四节 抑制水锥技术	(318)
一、油井打隔板压水锥技术	(319)
二、排水采油抑制水锥技术	(326)
三、注入水引导技术	(327)
第五节 底水油藏水平井开发技术	(327)
一、水脊理论及开采机理	(327)
二、流动单元划分	(328)
三、水平井开采筛选条件	(330)
四、水平井轨迹控制与合理长度	(330)
五、开采方式及井网	(331)
六、合理产液量控制	(332)
七、应用效果	(333)
第七章 开采过程监控与实时模拟	(335)
第一节 开采动态监测	(335)
一、水驱前缘监测	(335)
二、油藏压力系统动态监测	(341)
三、层系动用状况监测	(343)
四、剩余油监测	(345)
第二节 开采过程控制	(352)
一、油井开采过程控制	(352)
二、注水井开采过程控制	(353)
第三节 油水井自动化实时监控	(353)
一、陆梁油田自动化系统	(353)
二、油水井自动化实时监控	(355)
三、系统应用情况	(355)
第四节 跟踪油藏数值模拟与技术政策界限实时调整	(356)
一、油藏数值模拟跟踪研究	(356)
二、已开发油藏剩余油分布特征	(359)
三、技术政策界限实时调整	(361)
第八章 长远高效稳产开发战略	(365)

第一节 天然能量合理利用	(365)
一、天然能量合理利用技术原则	(365)
二、开采方式	(366)
三、调整合理产液量	(367)
四、细化合理注采比	(370)
五、合理采油速度	(372)
第二节 精细注水与调整“三率”	(372)
第三节 提高注入水存水率	(373)
一、影响薄层底水油藏含水率上升的因素	(373)
二、影响薄层底水油藏注入水存水率的因素	(378)
三、提高薄层底水油藏注入水存水率的方法及隔板半径优选	(383)
四、提高薄层底水油藏注入水存水率的工作液	(386)
五、提高薄层底水油藏注入水存水率的施工工艺	(391)
六、薄层底水油藏注入水存水率效果评价	(391)
第四节 分注合采提高动用储量	(392)
一、单一参数敏感性分析	(392)
二、正交参数匹配及技术界限分析	(401)
三、分注合采的效果预测	(413)
第五节 深部调驱与泡沫驱提高采收率	(414)
一、深部调驱	(414)
二、泡沫驱	(420)
第六节 立体综合调整	(423)
一、概述	(423)
二、总体研究思路	(424)
三、难点及关键技术	(425)
四、部署方案优化研究	(425)
第七节 底水现代化油藏管理	(431)
一、隔板理论下的传统油藏管理模式	(431)
二、国外底水油藏开发管理	(435)
三、陆梁油田现代油藏开发管理	(436)
参考文献	(444)

第一章 总 论

第一节 陆梁油田基本情况

一、基本状况

陆梁油田位于准噶尔盆地古尔班通古特沙漠北部，克拉玛依市东偏北约 120km。构造区划属于准噶尔盆地陆梁隆起（图 1-1）。主要含油层系为侏罗系西山窑组、头屯河组和白垩系呼图壁河组，探明叠加含油面积 35.9km^2 ，地质储量 $11990 \times 10^4\text{t}$ 。

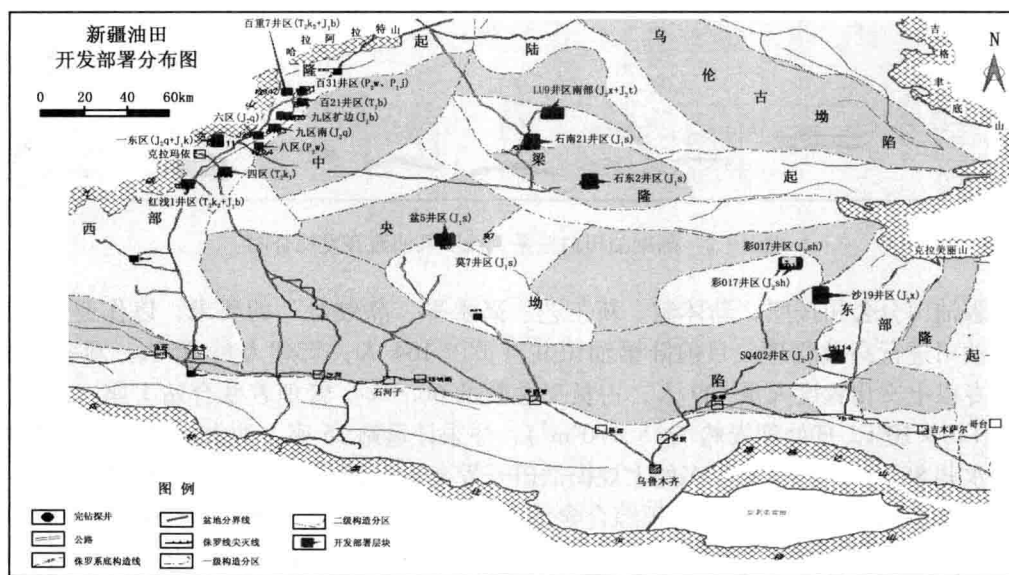


图 1-1 陆梁油田位置图

二、勘探开发简况

陆梁油田发现井 LU9 并于 2000 年 6 月 10 日、7 月 12 日分别在侏罗系西山窑组和白垩系呼图壁河组首次试出工业油流，当年年底上报探明地质储量 $6755 \times 10^4\text{t}$ ，实现了准噶尔盆地白垩系勘探的战略性突破。经过一年多的勘探，又相继在 LU9 井区、LU11 井区、LU12 井区、LU13 井区、LU15 井区和 LU22 井区等六个区块探明石油地质储量近 $5235 \times 10^4\text{t}$ （图 1-2）。

2000 年下半年进行了开发试验与评价工作，钻开发评价井和开发试验井 29 口。2001 年 LU9 井区白垩系呼图壁河组 K_1h_2 油藏和侏罗系西山窑组 J_2x_4 油藏投入开发，按 $300\text{m} \times 425\text{m}$ 井距反九点面积注水井网，钻新井 213 口，建产能 $53.55 \times 10^4\text{t}$ 。2002 年 LU9 井区白垩系呼图壁河组 K_1h_1 油藏和侏罗系头屯河组油藏以及外围 LU12 井区、LU13 井区、LU15 井区和 LU22 井区投入开发，钻新井 173 口，建产能 $38.46 \times 10^4\text{t}$ 。2003 年，在 LU9 井区白垩

系呼图壁河组 (K_1h_1 、 K_1h_2)、侏罗系头屯河组 ($J_2t-J_2x_1$) 和西山窑组 (J_2x_4)、LU12 井区侏罗系西山窑组 (J_2x_4) 共部署滚动扩边井 63 口, 设计建产能 $13.95 \times 10^4 t$ 。

截至 2002 年年底, 陆梁油田已投入开发的有 LU9 井区、LU12 井区、LU13 井区、LU15 井区和 LU22 井区等 5 个井区 11 个层块, 共动用含油面积 $37.7 km^2$, 动用石油地质储量 $6242 \times 10^4 t$, 动用可采储量 $1630.1 \times 10^4 t$, 建成原油生产能力 $92.01 \times 10^4 t$ 。2002 年生产原油 $101.8 \times 10^4 t$, 成为又一个“百万吨级”沙漠油田。

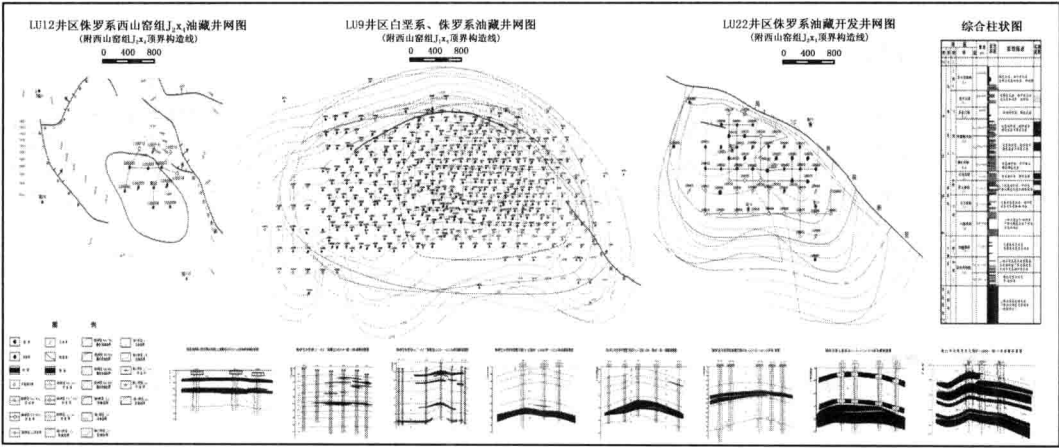


图 1-2 陆梁油田白垩系、侏罗系油藏开发综合图

新疆油田分公司按照“新体制、新工艺、高水平、高效益”的要求, 以作业区的形式对陆梁油田进行高效管理。目前陆梁油田共有员工 164 人, 管理人员 60 人, 科技人员 33 人, 中专以上文化程度人员 109 人, 占员工总数的 66.5%。管理着联合站 1 座 (年处理原油能力 $120 \times 10^4 t$, 日处理天然气 $15 \times 10^4 m^3$), 注采计量站 25 座, 油水井 469 口 (油井 381 口, 注水井 88 口)。经过两年多的大规模油田开发建设及滚动扩边, 截至 2003 年 7 月, 陆梁油田区日产油水平达 3196t, 油田综合含水 37.8%, 日注水平 3559t, 已累计生产原油 $208 \times 10^4 t$ (2001 年 $42 \times 10^4 t$, 2002 年 $101.8 \times 10^4 t$, 2003 年 1—7 月 $64.3 \times 10^4 t$), 天然气 $0.93 \times 10^8 m^3$, 创产值 28.86 亿元 (现价), 实现了油田的高速、高效开发 (图 1-3)。

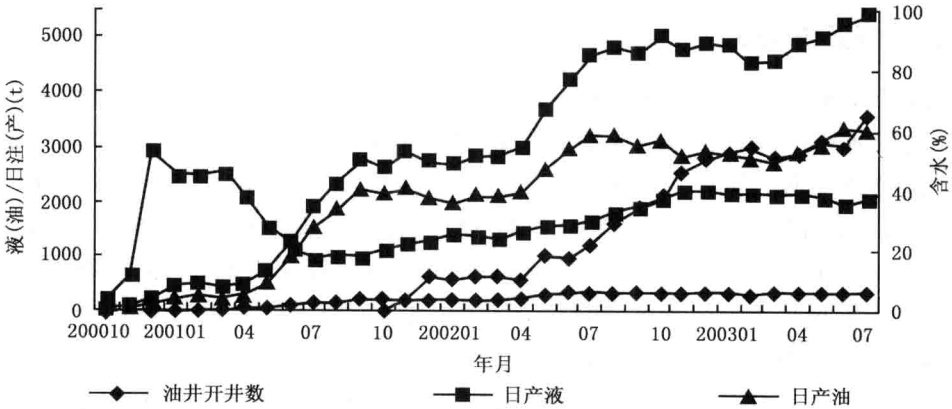


图 1-3 陆梁油田开发曲线

第二节 油藏主要地质特征

一、构造类型简单，为低幅度的背斜或断鼻构造

陆梁油田各含油区块均处于三个泉凸起的次高点上，油藏构造形态多为背斜、断背斜或断鼻，构造闭合度小，一般约为 10~35m，侏罗系油藏构造幅度大于白垩系油藏。LU9 井区西山窑组为简单的近东西向背斜， J_2x_4 圈闭面积为 13.9km²，闭合度为 20m，高点埋深为 2220m。呼图壁河组 K_1h_1 为简单的近东西向短轴背斜，闭合高度为 10m，高点埋深 1560m。

二、含油层系多、跨度大、油层层数多、单油层薄

陆梁油田主力区块——LU9 井区和 LU22 井区均表现为大跨度、多层系含油特征。从侏罗系西山窑组 (J_2x_4) 到白垩系呼图壁河组 ($K_1h_2^3$) 有多达 15 个含油气砂层组，每个砂层组又具有至少两个含油层，个别井的油层数多达 36 个，油层之间的纵向跨度达 1130m。由于油层厚度较薄，一般小于 5m，因此，除少数主力油层横向连片性较好以外，大部分油层呈透镜状分布。

西山窑组至呼图壁河组沉积厚度为 1200m，油层之间的纵向跨度达 1130m。在油层纵向跨度范围内均有油气显示，而且含油砂层多，局部地区多达 40 个左右。呼图壁河组 K_1h_1 自上而下划分为七个砂组即 $K_1h_1^1$ 、 $K_1h_1^2$ 、 $K_1h_1^3$ 、 $K_1h_1^4$ 、 $K_1h_1^5$ 、 $K_1h_1^6$ 和 $K_1h_1^7$ ，十八个单砂层，即

$K_1h_1^1$ 砂组：分为 $K_1h_1^{1-1}$ 、 $K_1h_1^{1-2}$ 和 $K_1h_1^{1-3}$ 三个砂层；

$K_1h_1^2$ 砂组：分为 $K_1h_1^{2-1}$ 、 $K_1h_1^{2-2}$ 两个砂层；

$K_1h_1^3$ 砂组：分为 $K_1h_1^{3-1}$ 、 $K_1h_1^{3-2}$ 和 $K_1h_1^{3-3}$ 三个砂层；

$K_1h_1^4$ 砂组：分为 $K_1h_1^{4-1}$ 、 $K_1h_1^{4-2}$ 两个砂层；

$K_1h_1^5$ 砂组：分为 $K_1h_1^{5-1}$ 、 $K_1h_1^{5-2}$ 和 $K_1h_1^{5-3}$ 三个砂层；

$K_1h_1^6$ 砂组：分为 $K_1h_1^{6-1}$ 、 $K_1h_1^{6-2}$ 两个砂层；

$K_1h_1^7$ 砂组：分为 $K_1h_1^{7-1}$ 、 $K_1h_1^{7-2}$ 和 $K_1h_1^{7-3}$ 三个砂层。

呼图壁河组上段 K_1h_2 划分为七个砂组，即 $K_1h_2^1$ 、 $K_1h_2^2$ 、 $K_1h_2^3$ 、 $K_1h_2^4$ 、 $K_1h_2^5$ 、 $K_1h_2^6$ 和 $K_1h_2^7$ ，二十四个单砂层，自上而下为，

$K_1h_2^1$ 砂组：分为 $K_1h_2^{1-1}$ 和 $K_1h_2^{1-2}$ 两个砂层；

$K_1h_2^2$ 砂组：分为 $K_1h_2^{2-1}$ 、 $K_1h_2^{2-2}$ 和 $K_1h_2^{2-3}$ 三个砂层；

$K_1h_2^3$ 砂组：分为 $K_1h_2^{3-1}$ 、 $K_1h_2^{3-2}$ 、 $K_1h_2^{3-3}$ 和 $K_1h_2^{3-4}$ 四个砂层；

$K_1h_2^4$ 砂组：分为 $K_1h_2^{4-1}$ 、 $K_1h_2^{4-2}$ 和 $K_1h_2^{4-3}$ 三个砂层；

$K_1h_2^5$ 砂组：分为 $K_1h_2^{5-1}$ 、 $K_1h_2^{5-2}$ 和 $K_1h_2^{5-3}$ 三个砂层；

$K_1h_2^6$ 砂组：分为 $K_1h_2^{6-1}$ 、 $K_1h_2^{6-2}$ 、 $K_1h_2^{6-3}$ 和 $K_1h_2^{6-4}$ 四个砂层；

$K_1h_2^7$ 砂组：分为 $K_1h_2^{7-1}$ 、 $K_1h_2^{7-2}$ 、 $K_1h_2^{7-3}$ 、 $K_1h_2^{7-4}$ 和 $K_1h_2^{7-5}$ 五个砂层。其中， $K_1h_2^3$ 、 $K_1h_2^4$ 、 $K_1h_2^5$ 、 $K_1h_2^6$ 、 $K_1h_2^7$ 为含油层段。