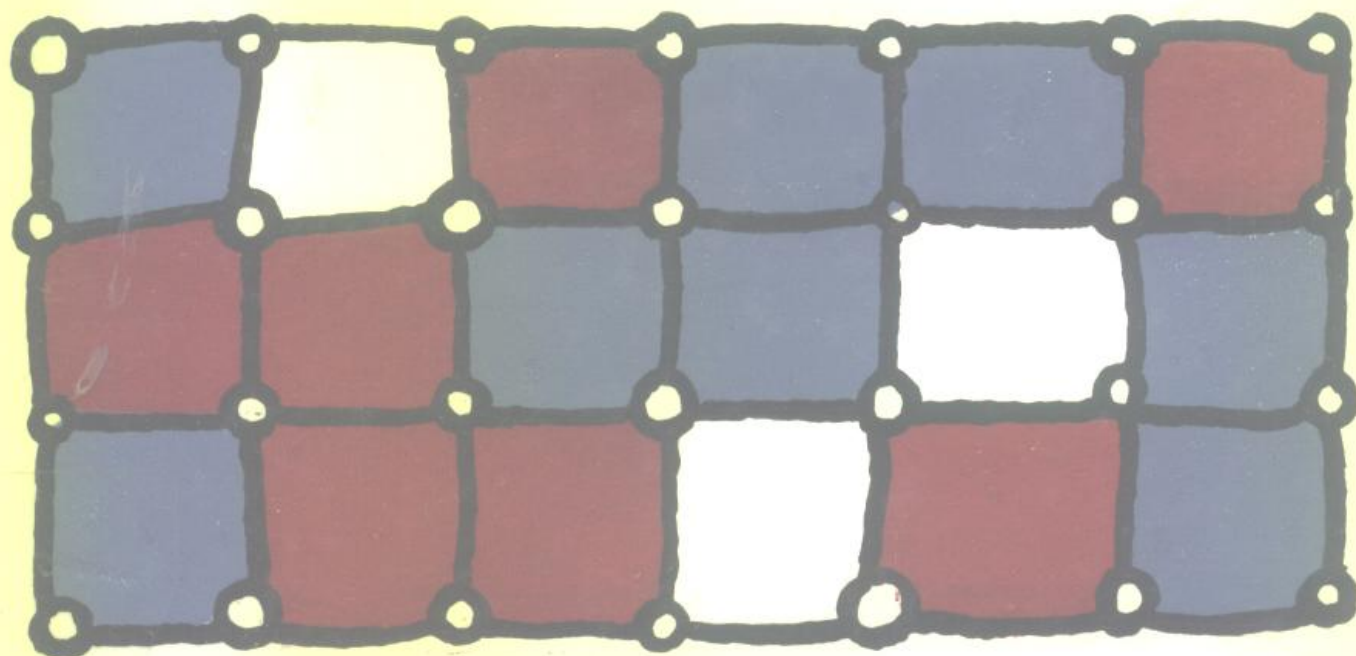


王秉海 沈娟华 颜捷先 主编

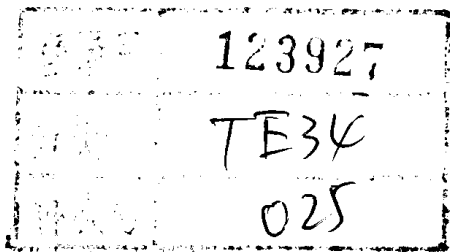
胜利油区开发 研究与实践

DEVELOPMENT RESEARCH AND
PRACTICE IN THE SHENGLI PETROLEUM
PROVINCE

石油大学出版社



THE PETROLEUM UNIVERSITY PRESS



胜利油区开发研究与实践

王秉海 沈娟华 颜捷先 主编



石油0117251

石油大学出版社

鲁新登字10号

内 容 提 要

本书介绍了我国第二大油田——胜利油田地质科学研究所的地质开发研究人员为高效、合理地开发胜利油田所做的多方面的研究工作，其中包括复杂油气田油田地质研究、油气储量计算方法研究、油藏工程研究、开发试验研究及数值模拟等项研究。文章运用了丰富的油田实际资料，较系统、细致地反映了各项研究的成果，理论紧密与油田实际结合，有着自己的特色和相当的水平，对认识油田、指导油田开发起了重要的作用。

本书可供从事复杂油田开发的研究人员和现场工作人员，以及石油院校师生参考。

胜利油区开发研究与实践

王秉海 沈娟华 颜捷先 主编

*

石油大学出版社出版

(山东省 东营市)

新华书店发行

山东新华印刷厂德州厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 30.75 印张 784 千字

1993年5月第1版 1993年5月第1次印刷

印数 平1—1600 精1—700册

ISBN 7-5636-0245-3/TE·56

定价：平装14.5元

精装19.5元

《胜利油区开发研究与实践》编委会

主任委员 王秉海

副主任委员 沈娟华 颜捷先

委员 王秉海 沈娟华 颜捷先 姚远勤
靳绍祖 周维四 陈能范 张丽梅

前 言

胜利油区自1965年投入开发以来已有27年的历史了。在这期间，有49个油气田陆续投入开发。由于这些油气田是处于复杂的块断盆地之中，因而油气藏类型多种多样。从开发特点来看，主要有五种类型：整装大型构造油藏、疏松砂岩常规稠油油藏、复杂断块油藏、热采型特稠油油藏和裂缝性潜山油藏。地质上呈现出成因类型多，断层、断块多，油层多，渗透率高，油稠，油水关系复杂，非均质严重等特点，更增加了油田开发工作的难度。

20多年来，胜利油田地质科学研究所的地质研究人员以《实践论》、《矛盾论》为指导，认真学习国内外先进经验，从胜利油田实际出发，在取得大量第一性资料的基础上，勇于探索、敢于实践、不畏艰难、刻苦攻关，为实现胜利油区持续高产、稳产，做了不懈的努力。在油田开发工作中，创出了自己的特色和水平，也积累了一定的经验。60年代，我们成功地对稠油、高渗透油田进行了分层注水开发；对复杂断块油田提出了一整套详探开发的程序和方法。70年代，我们成功地开发了疏松砂岩油田；先后两批钻密闭取心检查井，开展了沉积相、非均质及不同类型油藏油水运动规律研究。80年代，结合油田开发规划的编制，开展了油田层系、井网、注采压力系统，提高采液量，强注强采等方面的研究和试验；对特稠原油进行了蒸汽吞吐及蒸汽驱开采先导试验研究。油田开发新技术如数值模拟技术、现代试井技术、示踪剂测残余油饱和度技术、疏松砂岩分析化验技术等都得到发展和应用。上述研究对胜利油区向着持续、稳定、发展的新阶段迈进发挥了重要作用。

为了总结20余年来在开发胜利油区过程中取得的理论和实践成果，我们在生产任务十分繁忙的情况下，完成了《胜利油区开发研究与实践》这本书的编写工作。本书汇集了我院科技人员在不同时期的一些较为重要的研究成果，它是我院科技人员团结协作、共同努力的结晶。由于时间仓促及成果为不同时期所作，受当时资料及认识所限，难免存在这样那样的问题，望读者予以指正。

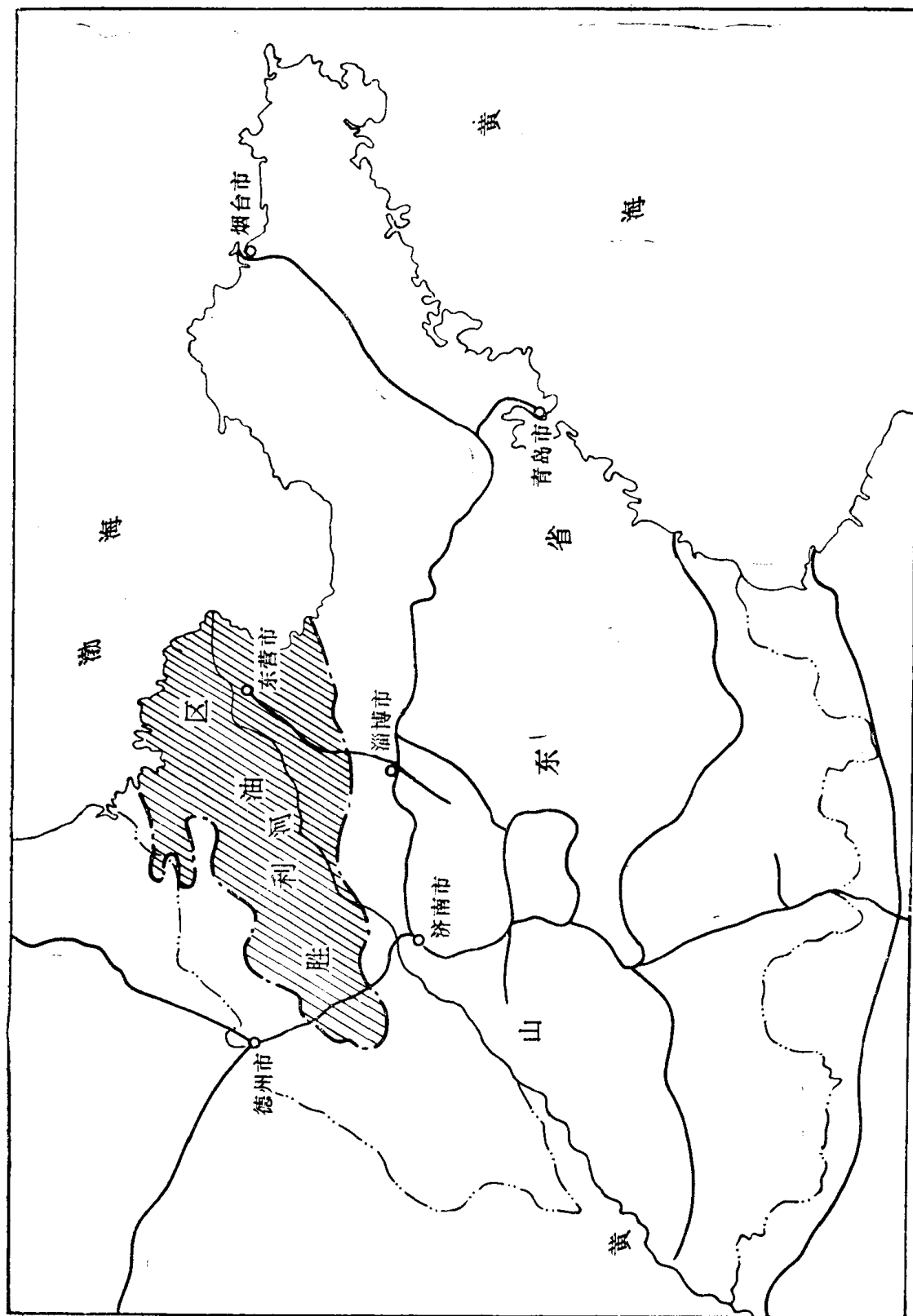
本书共分四部分。第一部分：油田地质，由靳绍祖、张丽梅同志编审，第二部分：油藏工程，由沈娟华、颜捷先、姚远勤、张丽梅同志编审；第三部分：渗流力学，由周维四、罗美发同志编审；第四部分：试验技术，由陈能范、宗习武同志编审。张玲玲、董林妹同志协助编委会做了一些编务工作，吴春艳、任建文等同志完成了图件清绘工作。

90年代，胜利油田开发研究向着更高的层次发展，油藏描述技术、蒸汽驱油技术、复合驱油技术、水平井技术以及与此相适应的各种数值模拟技术、室内实验技术正在油田进行攻关和现场应用。这部分研究成果的编写和出版，应是下一步工作的目标。

我们满怀喜悦的心情，把此书献给全国石油科技工作者和继承、发展石油科技事业的年轻一代。

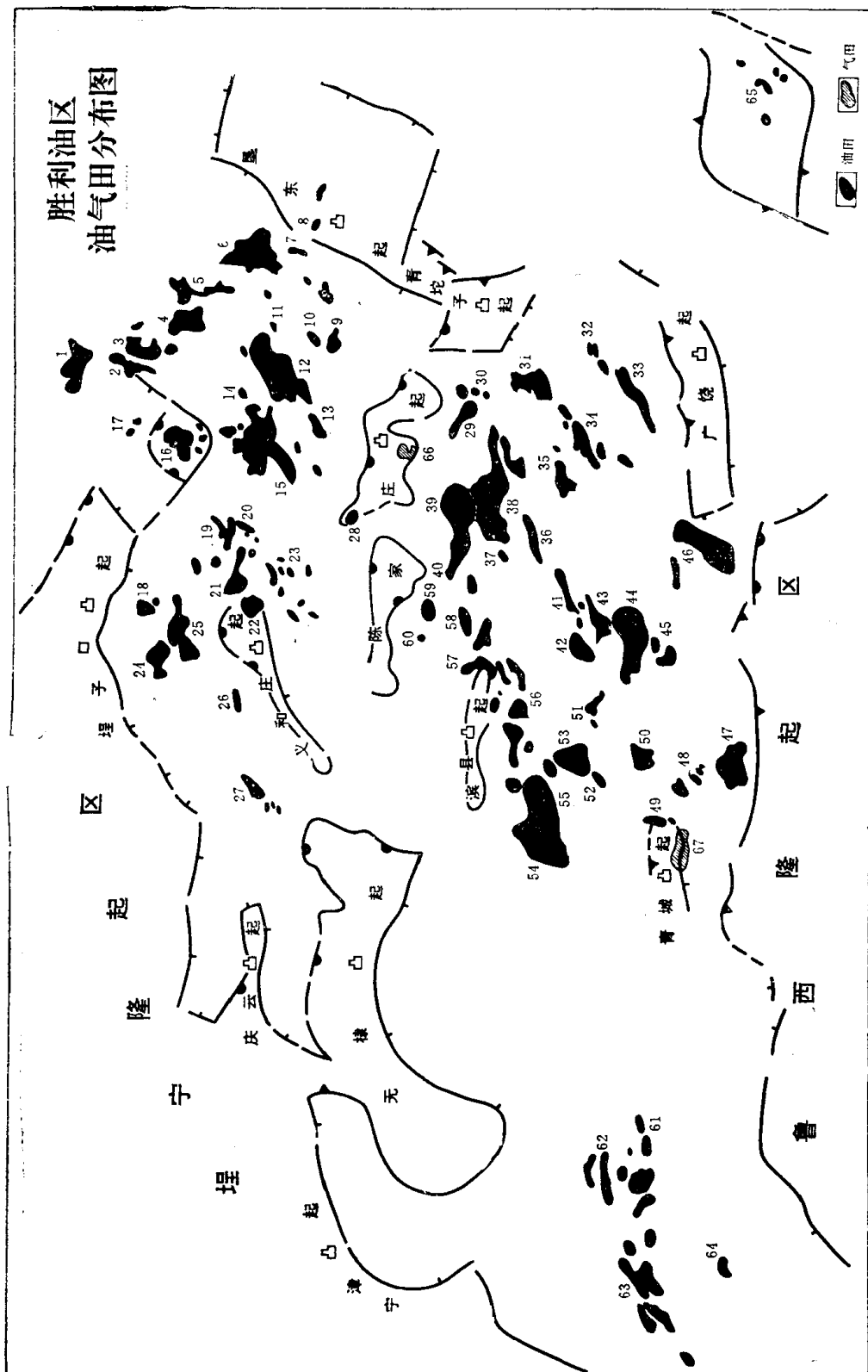
编著者

1992年7月11日



胜利油田地理位置图

胜利油区 油气田分布图



- | | | | | | | | | |
|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| 1. 埕岛油田 | 9. 垦利油田 | 17. 飞鹰滩油田 | 25. 大王庄油田 | 33. 八面河油田 | 41. 史南油田 | 49. 高青油田 | 57. 单家寺油田 | 65. 滩北油田 |
| 2. 老河口油田 | 10. 河湾油田 | 18. 英峰滩油田 | 26. 套尔河油田 | 34. 王家岗油田 | 42. 乔庄油田 | 50. 蔡家油田 | 58. 利津油田 | 66. 盐家气田 |
| 3. 桩西油田 | 11. 孤南油田 | 19. 义北油田 | 27. 东风港油田 | 35. 牛庄油田 | 43. 梁家楼油田 | 51. 小营油田 | 59. 王庄油田 | 67. 花沟气田 |
| 4. 五号桩油田 | 12. 孤北油田 | 20. 义东油田 | 28. 陈家庄油田 | 36. 魏河油田 | 44. 魏化油田 | 52. 平南油田 | 60. 郑家油田 | |
| 5. 长堤油田 | 13. 垦西油田 | 21. 义和庄油田 | 29. 永安油田 | 37. 柳家油田 | 45. 博兴油田 | 53. 平方王油田 | 61. 玉皇庙油田 | |
| 6. 孤东油田 | 14. 渤南油田 | 22. 太平油田 | 30. 新立村油田 | 38. 东辛油田 | 46. 乐安油田 | 54. 林寨家油田 | 62. 商河油田 | |
| 7. 红柳油田 | 15. 罗家油田 | 23. 邵家油田 | 31. 广利油田 | 39. 胜坨油田 | 47. 金家油田 | 55. 尚店油田 | 63. 临盘油田 | |
| 8. 新滩油田 | 16. 埕东油田 | 24. 大王北油田 | 32. 羊角沟油田 | 48. 正理庄油田 | 56. 滨南油田 | 64. 临南油田 | | |

目 录

第一部分 油田地质

胜坨油田沙二段主力油层非均质特征及油层水淹规律初探

.....	新绍祖 李纪辅 毕贞英(1)
济阳拗陷复杂断块油田勘探开发方法.....	王 平 赵宝坤 严龙湘 杜贤越(21)
胜坨油田砂体沉积类型与储层特征.....	杨家福(36)
孤岛油田河流相沉积及物性特征.....	李兴国 邱隆英(48)
东辛油田营8断块主力油层非均质特征研究.....	唐美芳(60)
商河油田沙二下低渗透油层成岩作用与结构特征.....	刘坤华(81)
谈谈济阳拗陷砂岩油藏出砂问题.....	陈云林(93)
桩西古潜山逆断层的发现及其地质意义.....	苏应雪 张秉政(112)
桩西下古生界潜山碳酸盐岩储层研究.....	张秉政(118)
济阳拗陷砂岩油藏储量计算方法.....	张曾怡 郑金安(134)
应用油基泥浆取心井资料建立测井解释含水饱和度经验公式.....	林 豪(161)
济阳拗陷利用水层测井资料建立解释含油饱和度经验公式的探讨.....	郑金安(166)

第二部分 油 藏 工 程

胜坨油田高产稳产研究.....	吴先承 沈娟华(172)
关于油田中、高含水期稳产的几个问题.....	颜捷先(185)
注水恢复油藏压力研究.....	严龙湘(203)
孤岛油田不同压力水平开采的机理模拟.....	龚世荣 廖运涛(215)
胜坨油田合理注采压力系统的研究方法.....	方开璞 颜捷先(230)
胜坨油田一区油层水淹规律分析.....	胡正平 刘良叔 宗习武(246)
稠油高渗透油田高含水期水淹特征和剩余油分布研究.....	段昌旭(255)
胜利油区油田最大产液量的研究方法.....	方开璞 颜捷先 程世铭(274)
胜坨油田一区沙二段 2^4 层强化采液试验效果分析.....	刘良叔 赵金铭(283)
孤东油田馆陶组 5^{2+3} 层小井距注水开发全过程现场试验研究的初步认识.....	屈智坚(292)
单2断块稠油油藏蒸汽吞吐开采特点研究.....	姚运勤 刘景安(305)

第三部分 渗 流 力 学

胜坨油田一区历史拟合.....	周维四 陈燕津 罗美发(320)
二维二相模型的不完全乔利斯基——共轭斜量解法.....	周维四(328)
油藏模拟中交替对角线排列的迭代方法.....	周维四(336)
单家寺油田蒸汽吞吐数值模拟.....	李光和(344)

单井化学示踪剂法确定残余油饱和度数值模拟技术.....	张乃龙(356)
双重介质压力恢复曲线研究及其应用.....	周维四 陈燕津(362)
双重介质地层井间干扰压力曲线研究.....	庄惠农 朱亚东(376)

第四部分 试验技术

油层岩石润湿性几个影响因素的研究.....	陈兴政(390)
厚油层内油水运动规律研究.....	沈平平 胡芝云 林长升(399)
砂岩孔隙结构对水驱油效率影响的研究.....	涂富华 沈平平 唐仁骐 韩锦文(406)
油层水驱油效率影响因素的室内综合实验研究.....	宗习武 胡芝云(415)
油田注水水质研究.....	李秀凤 曲国范 张 萍 李素稳(421)
油藏注水工作中油层污染的研究.....	袁是高 李秀凤(433)
单井化学示踪剂法测残余油饱和度.....	张 萍 袁是高(441)
碱水驱重质原油的室内研究.....	王宝瑜(451)
二氧化碳最小混相压力影响因素的实验研究.....	曹银盛(463)
人造物理模型的制作与研究.....	唐仁骐 岳 陆(471)
测定储层岩样孔隙空间特征的图象分析方法.....	涂富华 于少文 黄 卫(476)

第一部分 油田地质

胜坨油田沙二段主力油层

非均质特征及油层水淹规律初探

靳绍祖 李纪辅 毕贞英*

〔提要〕 沙二段油层是胜坨油田的主要开发对象，具有油层层数多、油层厚度大、储层物性好、产能高的特点。在注水开发初期表现为油井见效快，继而出现“见水快，含水上升快，原油产量下降快”的三快现象。通过对沙二段主力油层非均质特征和油层水淹特征的研究，认识到不同类型非均质油层有不同的油水运动规律，即正韵律、高渗透亲油油层，水沿油层底部窜流；反韵律、中低渗透为主的亲水油层，见水厚度大、无水洗段，驱油效率低。

沙二段油层是胜坨油田的主力油层，纵向上分为15个砂层组，65个小层。1~7砂层组称为上油组，8~15砂层组称为下油组（区域统层后下油组改为沙三上）。岩性从粉砂岩到砾状砂岩，胶结物含量少，胶结类型为接触式、孔隙-接触式。油层孔隙度一般在26~35%，空气渗透率一般 $0.5\sim 10\mu\text{m}^2$ ，是一套储油物性好的高产油层。

1966年~1969年，一、二、三区陆续投入全面注水开发。随着注水开发的进展，油井由初期的注水受效快，出现了见水快，含水上升快，产油量下降快的“三快”现象。有些主力油层（如一区沙二1¹、沙二3⁵，二区沙二3⁴、沙二7³等），水淹面积大，采出程度低，油井见水后含水上升快，油产量下降快。而二区沙二下油组在注水开发中却出现了地层压力较稳，见注入水的井少，含水上升较缓，油产量比较稳定的局面。

为认识上述现象的控制因素和油水运动规律，在1972~1975年进行了沙二段主力油层非均质特征研究。通过开发检查井取心、开采动态分析、室内物理模型试验、数值模拟研究等项工作的综合研究，认识到（图1）：

1. 沙二段主力油层可分为两种非均质类型。
2. 油水运动规律受油层非均质类型控制。即正韵律、高渗透亲油油层，水沿油层底部窜流；反韵律，中低渗透为主的亲水厚油层，见水厚度大、无明显水洗段、驱油效率较低。
3. 在沙二段油层注水开发过程中，重力作用十分突出。在高渗透正韵律油层中，重力作用使注入水快速下沉，造成了水沿油层底部窜流；在以中低渗透率为主的反韵律油层中，尽管油层顶部存在有高渗透薄层，但在重力和毛细管力的共同作用下，油层见水厚度大，无

* 参加工作的还有：杨瑞琪、古文光、桓冠仁、林长升等

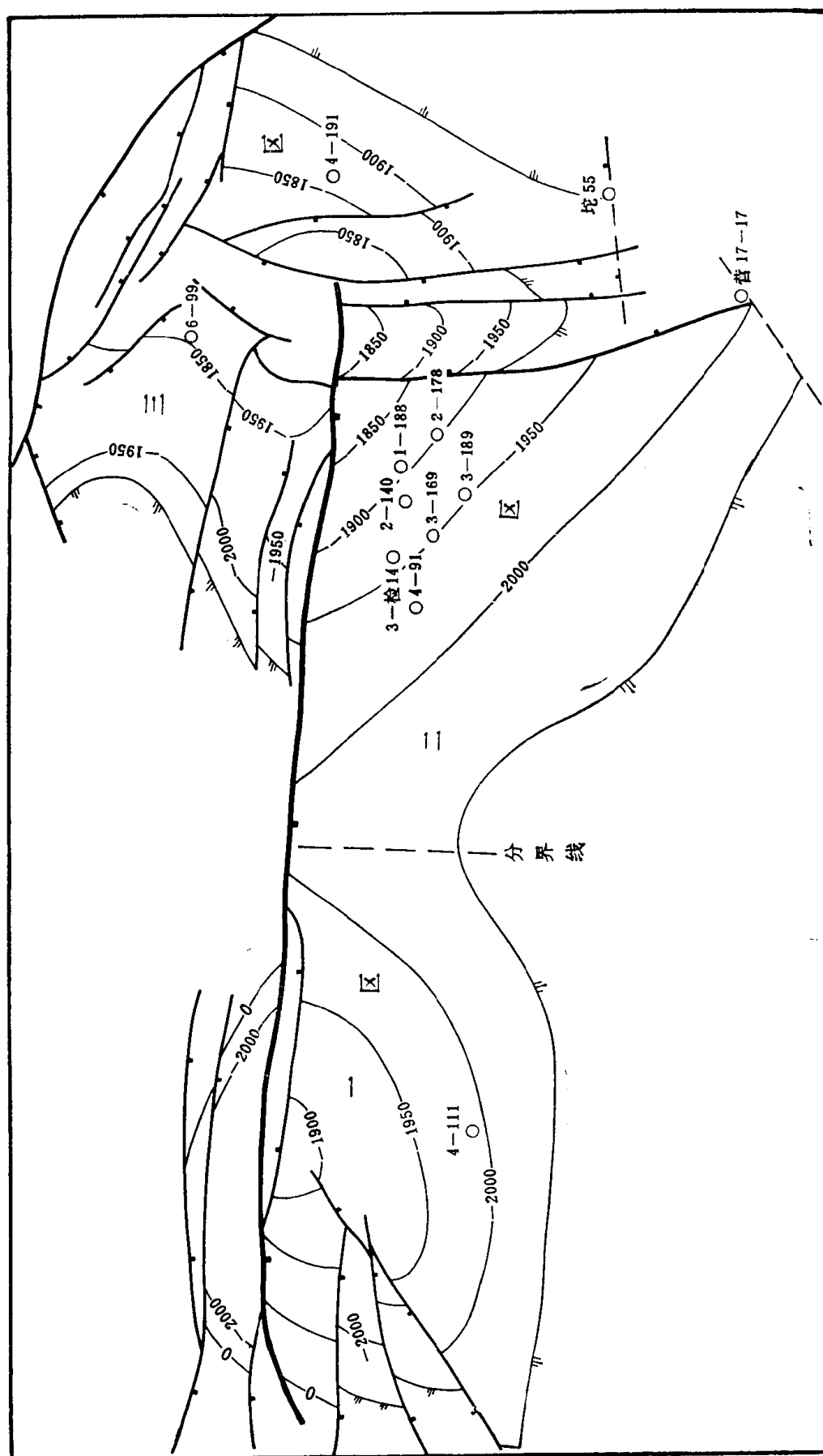


图 1 胜坨油田检查井位置示意图

明显水窜，开发效果较好。

一、研究工作简况（1972~1975年）

首先从研究沙二段主力油层非均质特征入手。通过系统观察油层岩心，编制主力单油层岩心综合图，研究油层岩性、物性、含油性基本关系。在显微镜下观察，测量孔隙分布，认识岩石结构、构造特征。以二区为重点，应用岩心、录井、井壁取心，编制主力单油层层内岩性、物性对比剖面，认识主力油层纵、横向特征，划分出三种油层非均质类型。

为认识油层水淹特征，在地质情况和分层动态比较清楚、油层见水有代表性的部位，钻大直径加示踪剂水基泥浆取心检查井 8 口，密闭取心检查井 2 口。在井位部署上以二区为重点进行解剖，一、三区只钻少数检查井了解情况；二区共钻大直径取心检查井 6 口，密闭取心检查井 1 口。

在取心检查井上，除取全取准孔、渗、饱、粒度、示踪剂含量、压汞等分析化验资料外，研究人员吃住在井口，及时观察新鲜岩心的含水状况，开展了滴水试验、四氯化碳溶剂中油砂碎屑沉降试验、显微镜下观察油层中油水分布状态。为正确认识油层见水程度特征，取得了大量第一性资料。

静、动态结合认识水淹特点；建立地质模型，开展室内物理模拟注水试验和数值模拟，探索油水运动规律，得到了较正确的认识。

二、沙二段油层岩性、物性、含油性、电性基本关系

研究油层非均质特征，应以影响油水运动的储层岩性、物性、含油性的变化规律为中心。所以，首先必须搞清岩性、物性、含油性之间的基本关系和在电测曲线上的响应特征，才能以岩心测井资料为主，开展主力油层纵、横向分布规律的研究。

1. 砂岩粒度是影响油层渗透率和孔道大小的主要因素

沙二段油层的主要岩性为长石砂岩。砂岩成分：长石含量在30~45%，一般含量在35%左右；石英含量在40~55%；一般在50%左右；泥质含量3~7%；碳酸盐含量在0~1.5%，一般小于0.8%。胶结类型为接触式、孔隙-接触式。

油层具有粒度较粗，物性较好的特点。砂岩粒度中值在0.05~0.6mm，一般在0.1~0.4mm之间；油层渗透率在0.1~30 μm^2 ，一般在0.5~10 μm^2 ；有效孔隙度在26~35%之间，平均孔隙度一般为28~31%。

显微镜下大量薄片观察证实，沙二段油层成岩后的次生作用微弱。所以油层物性主要受原生结构构造控制。通过对大量岩心资料的分析看出，孔隙度和渗透率、渗透率和含油饱和度、渗透率和孔隙喉道中值均呈明显的线性关系。而影响渗透率的主要因素是粒度中值，二者有较好的线性关系；泥质含量和渗透率呈平缓的线性关系，但因泥质含量较低，变化范围仅4%（3~7%）左右，所以它不是影响渗透率的主要因素；沙二段油层粒度分选较好，分选系数在1.2~1.8之间，它对渗透率无明显影响（表1、图2、图3、图4、图5、图6、图7）。

各参数之间的经验公式如下：

孔隙度和渗透率的关系（图2）： $\phi = 2.803 \times \lg K + 21.53$

表1 岩性、物性基本关系表

岩 性	粒度中值 (mm)	渗透率 (μm^2)	孔隙喉道中值 (μm)	孔隙度 (%)	含油饱和度 (%)	泥质含量 (%)
粉砂岩	<0.1	$0.1\sim1.0$	$2.3\sim8$	$26\sim30$	$55\sim65$	$8\sim5$
细砂岩	$0.1\sim0.25$	$1\sim5$	$8\sim20$	$28\sim31$	$63\sim75$	$5\sim3$
中砂岩	$0.25\sim0.5$	$5\sim15$	$20\sim30$	$30\sim33$	$73\sim80$	$2\sim3$
粗砂岩 砾状砂岩	$0.5\sim0.8$	>15	$30\sim50$	$31\sim35$	$75\sim82$	

式中 ϕ 为孔隙度 (%)； K 为空气渗透率 ($10^{-3}\mu\text{m}^2$)。

原始含水饱和度和渗透率的关系 (图 3)：

$$S_w = 75.24 - 13.97 \times \lg K$$

式中 S_w 为原始含水饱和度 (%)。

原始含油饱和度为：

$$S_o = 100 - S_w = 100 - (75.24 - 13.97 \times \lg K)$$

式中 S_o 为原始含油饱和度 (%)。

渗透率和孔隙喉道中值的关系 (图 4)：

$$\lg K = 1.30 + 1.93 \times \lg r_M$$

式中 r_M 为孔隙喉道中值 (μm)。

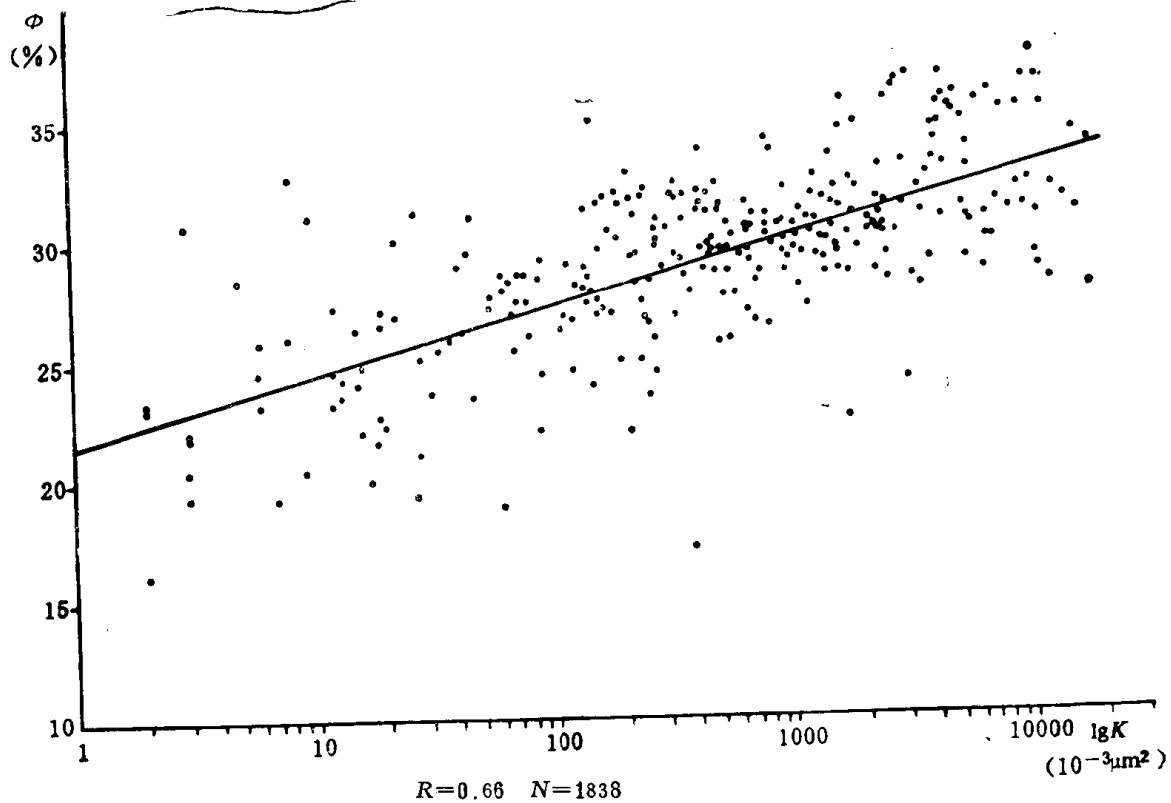


图 2 胜坨油田沙二段油层孔隙度和渗透率关系图
(3-5-观1井、2-2-18井)

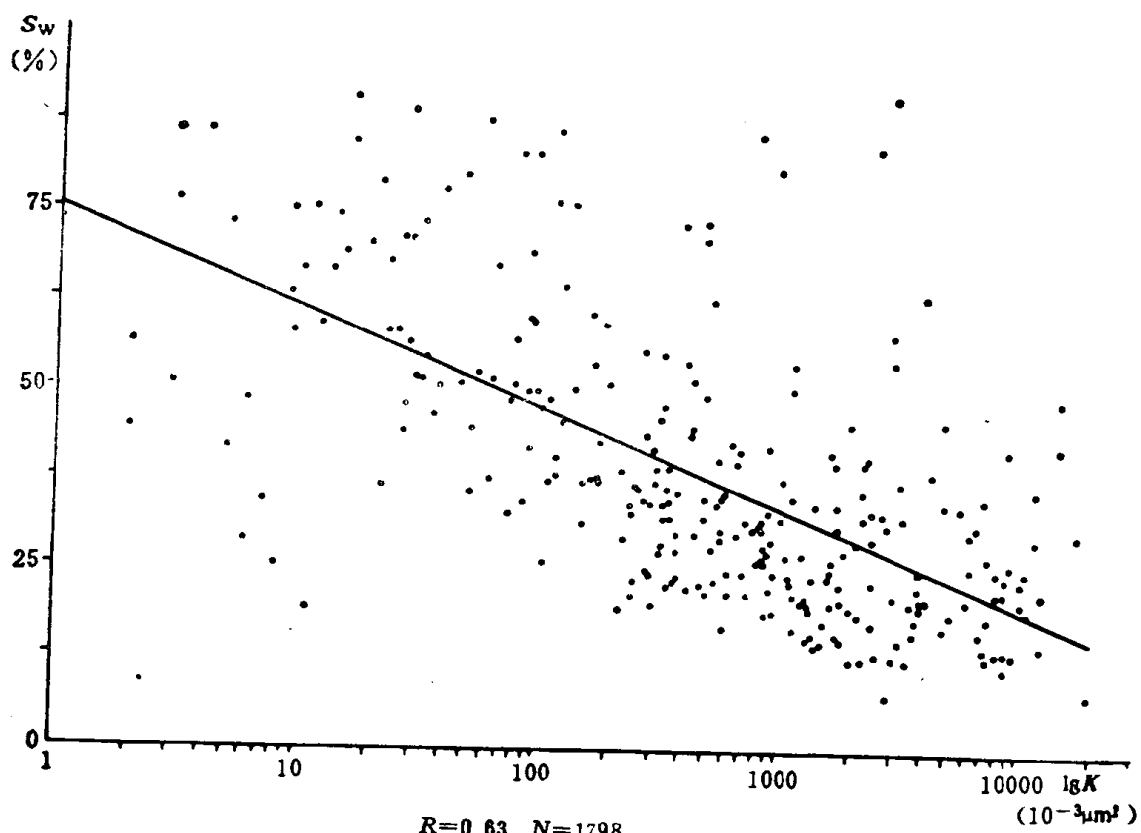


图3 胜坨油田沙二段油层原始含水饱和度与渗透率关系图
(3-5-观1井、2-2-18井)

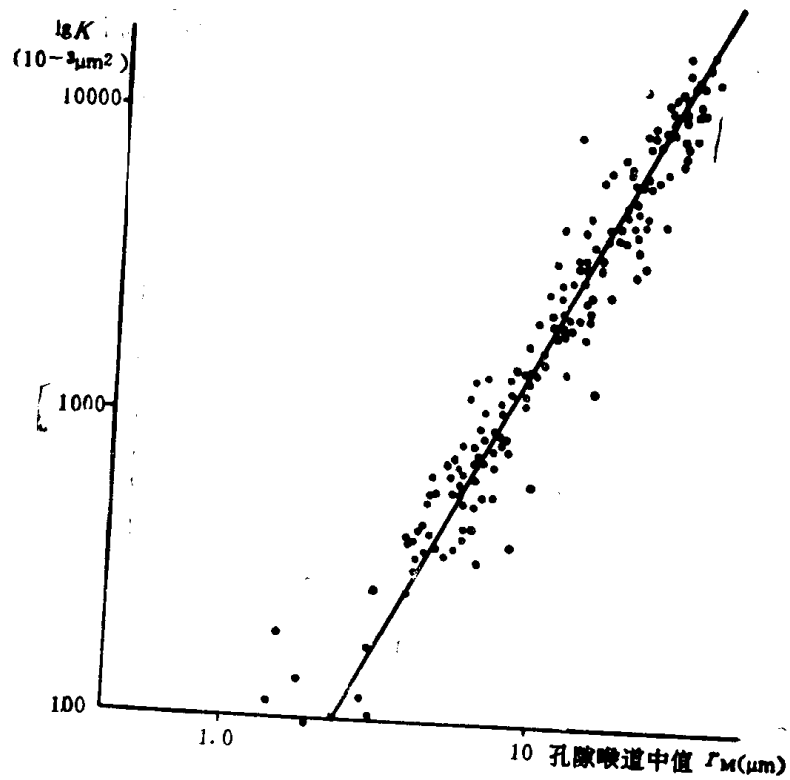


图4 胜坨油田沙二段油层渗透率与孔隙喉道中值关系图
(胜坨一、二区)

渗透率和粒度中值的关系 (图 5):

$$\lg K = [(Md - 0.05984) \div 0.0008479]^{0.25}$$

式中Md为粒度中值 (mm)

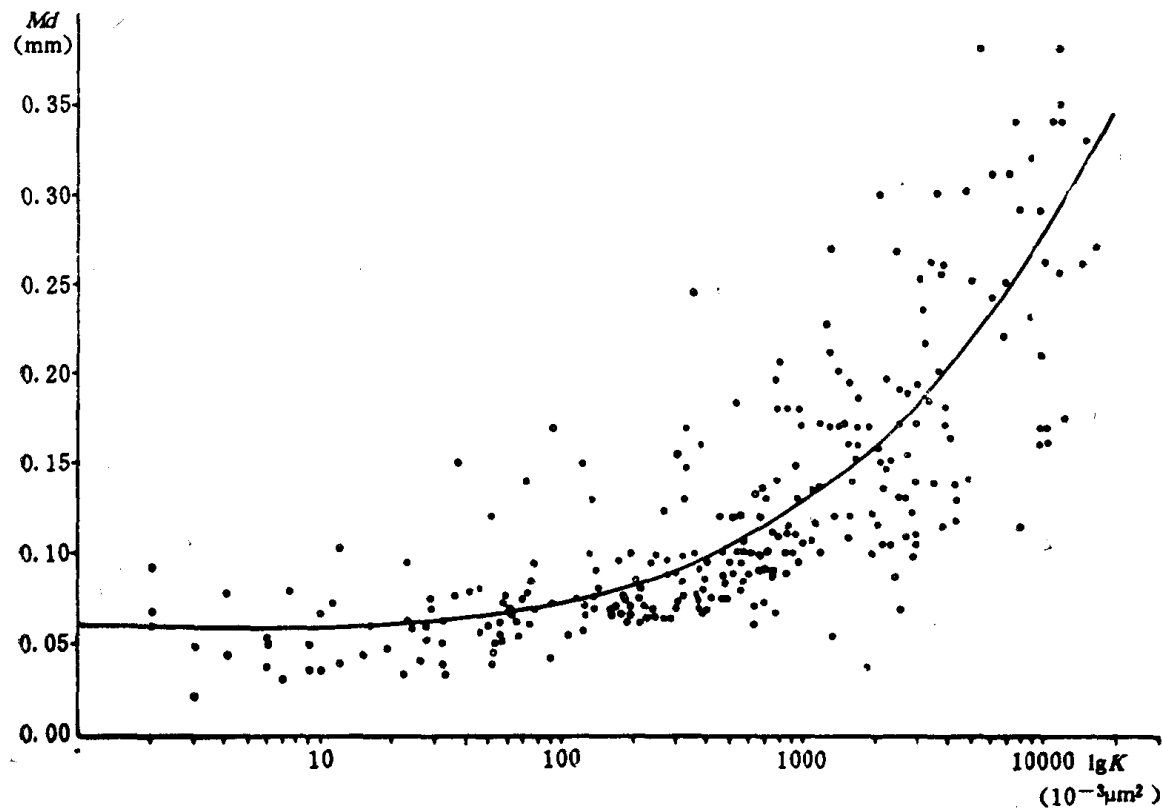


图 5 胜坨油田沙二段油层粒度中值与渗透率关系图
(3-5-观1井, 2-2-观18井)

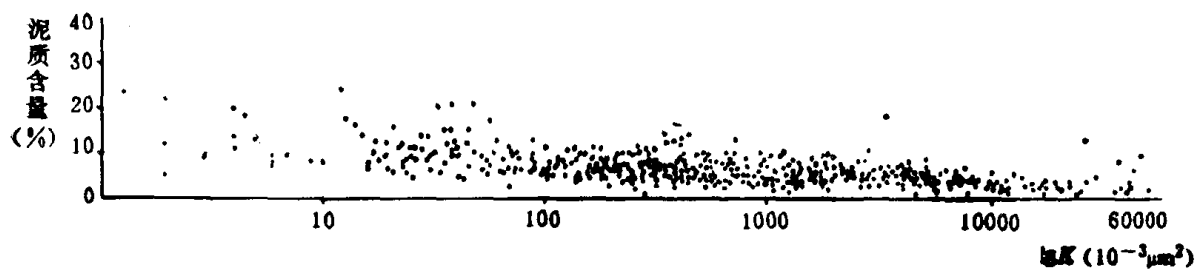


图 6 胜坨油田沙二段油层泥质含量与渗透率关系

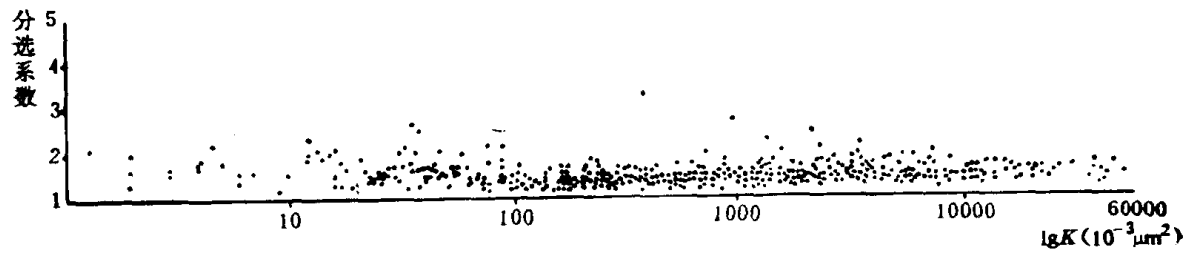


图 7 胜坨油田沙二段油层分选系数与渗透率关系

2. 应用测井资料判断油层层内变化

油层层内岩性、物性变化, 在微电极曲线和0.5m电位曲线上都有反映, 为以岩心为基

础应用测井资料判断油层层内岩性、物性纵横向分布特征提供了有利条件。

沙二段油层为正常的砂泥岩剖面，岩电关系正常。但由于每个单油层均由多种不同粒级砂岩组成，粒度和物性变化很大。经岩电关系对照，发现微电极曲线和0.5m 电位曲线反映油层层内岩性、物性纵向变化比较灵敏。一般粒度粗细、渗透率和含油饱和度高低，在微电极曲线基值和幅度差上，短电极曲线的电阻率上均有相应的反映，易于看出纵向上的差异。但由于各井的测井条件有所不同，难于得出简单的定量关系。所以，只能以一口井的单层为单元，结合岩心资料定性判断其纵向粒级序次。然后由点及面，认识主力油层非均质特征。

三、沙二段主力油层非均质特点及类型

沙二段油层共分为15个砂层组，65个小层。由于断层的分隔，形成了九个大的断块，68个油藏，约1100个油砂体。油砂体几何形态变化较大，可分为大面积分布状、条带状、不规则状、小透镜体状四种。小透镜体状油砂体多达681个，主要分布在沙二5~7砂岩组，地质储量仅占沙二段油层的10%左右。1~4砂层组为河流相沉积。油层多呈条带状和不规则状，个别层呈大面积分布，地质储量约占沙二段储量的50%左右。8~15砂层组为三角洲前缘相沉积，为厚层块状砂岩，大面积分布，地质储量约占沙二段的40%。

油砂体形态的不规则性，对水驱开发过程中的油水平面分布有一定影响。但从沙二上油组主力油层水淹面积大，含水上升快的特点来看，层内纵向非均质特点起了重要的作用。

1. 层内非均质特点

(1) 每个主力单油层都是由多种粒级砂岩所组成，渗透率差异大。

沙二段每个单油层都是由两种以上粒级的砂岩组成，有的多达五种以上，即细砾岩、砾状砂岩、粗砂岩、中砂岩、细砂岩、粉砂岩（图9、图10、图11）。一般一个单油层都由三种以上粒级组成。同时，在每一种粒级砂岩中又由粗细不同、含量不同的颗粒组成。在薄片可见粒度、孔隙形状、孔道大小不同的复杂现象。所以每一种粒级的砂岩又是一个复杂的孔隙综合体。

油层层内渗透率差异大。主力油层纵向上渗透率差异可达20~100倍。此外，层内渗透率变化频繁，高低相间现象普遍。如沙二3⁴、沙二7³层内的粗粒级、高渗透部分，相邻两块样品渗透率差值可达5~10 μm^2 ；沙二8³层为细粒级中、低渗透油层，油层顶部相邻两块样品之间差值较小，一般在0.5 μm^2 左右。

(2) 油层粒度较粗，粒度和层理关系密切。

沙二段油层由多种粒级组成，但和其他油田相比，粒度较粗，粒径一般都在0.1mm以上，大部分油层由细砂岩以上粒级组成。在岩心观察中可以看出，粒径粗细和层理关系密切。一般在粉砂岩、细砂岩中，常见水平层理；在中粗砂岩以上粒级中，常见斜层理、交错层理，个别层的底部可见沿层面分布的小砾石（砾径3~5mm），颗粒排列方向近乎一致。

(3) 由于粒度较粗，胶结物含量少，小岩样的水平渗透率和垂直渗透率基本一致。

测定七口井330块岩样的水平渗透率和垂直渗透率资料证明，当渗透率大于 $300 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 时，二者渗透率相近；当渗透率小于 $300 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 时，水平渗透率和垂直渗透率的点子分散，部分点子水平渗透率大于垂直渗透率（图8）。此现象是由于沙二段粒度较粗，渗透率大于 $300 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 时，泥质含量一般小于5%层理不发育所致；渗透率小于

300×10⁻³μm²时，泥质含量一般为5~7%，岩性为粉砂岩，水平层理较发育，故点子分散，部分点子水平渗透率大于垂直渗透率。

(4) 油层粒度、渗透率纵向组合有三种形式，即正韵律、反韵律、复合韵律三种，而以正、反韵律为主，复合韵律仅见于个别井段中。

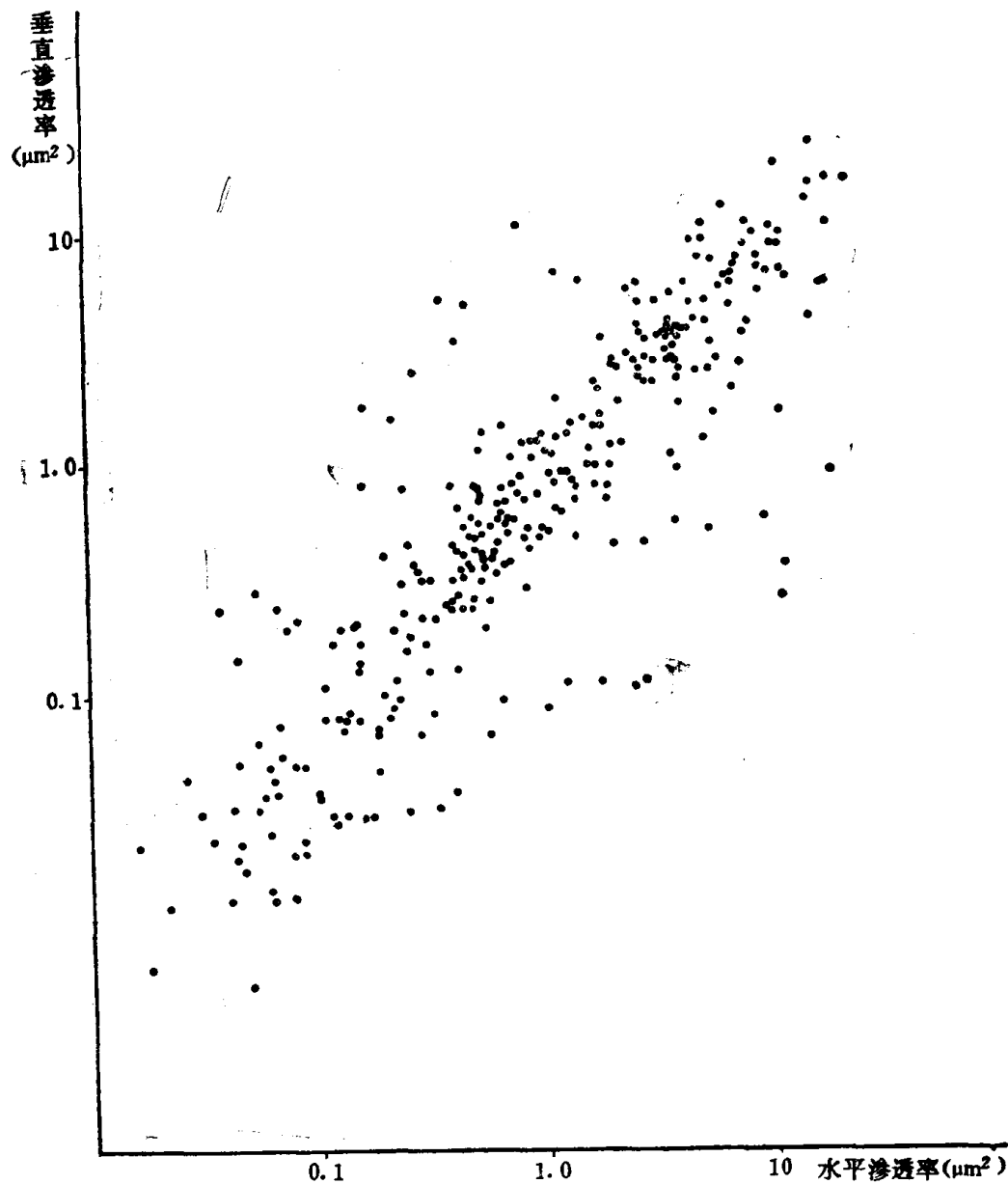


图8 胜坨油田二区沙二段水平渗透率与垂直渗透率关系图

沙二上油组以正韵律砂岩为主，岩石表面性质亲油；沙二下油组为反韵律厚层砂岩、岩石表面性质为亲水。

2.沙二段油层非均质分类

砂岩粒级和渗透率的差异是造成油层非均质性的主要因素。而粒度、渗透性在纵向上的不同组合形式（韵律性质），也是油层非均质性的重要特点。为进一步摸清油水在不同类型油层中的运动规律，依据油层粒度、渗透率的差异程度和韵律特点将沙二段油层划分为三种非均质类别（见图9、图10、图11）。