

'94 国际石油与石油
化工科技研讨会论文

复杂断块油田滚动开发技术研究

李宗信 李幼琼 彭鹏商
(中原石油勘探局)

1994 年 9 月 北京

复杂断块油田滚动开发技术研究

摘 要

中原油田多属复杂断块油藏。本文简要阐述了断块油田的概念及在勘探开发中与整装大油田之间的差异。

通过油田实例说明十几年的实践和摸索,油田技术人员总结出一套有针对性的广泛应用新技术(三维地震、HDT、RFT等),加强综合性分析,完整、系统的复杂断块油田地质研究方法,开发程序及配套工艺技术系列,使油田开发水平不断提高。

断块油田的基本概念

断块油田是断块油气藏的集合体。

在构造圈闭油气藏中,与断层有关的油气藏又大致可分成两种类型。

(1)被断层切割复杂化的背斜油气藏。

这类油藏是以背斜构造为油气聚集的基本条件,由于断层的发育,使已形成的油藏进一步复杂化,油藏的总体面貌并未发生性质的变化。

(2)以断层为主要圈闭条件的断块油气藏。

这类断层往往有两方面的作用,一是它控制了圈闭构造的发育;二是对油气聚集有明显的遮挡作用。

在油藏形成过程中(或形成后)由于断层的分割,造就了很多小的含油断块,这些断块往往是互不连通的独立的油藏单元,这些油藏单元在某种区域构造背景中的集合,就形成了我们所称的断块油田。

从上述的概念来看,石油地质学中的基本原理(如:生、储、盖、圈、保)对断块油田是适用的。小断块油田的油气藏形成条件的配置关系更为复杂,影响油气富集的因素更为严格,因此在应用石油地质基础理论时,加强综合性分析至关重要。

东濮凹陷断块油田的类型

东濮凹陷处于我国中原地区,为盐湖相沉积,生油条件好,有多套生、储、盖组合,储层以多层砂岩为主。

东濮凹陷属中国东部一系列中、新生代裂谷盆地中的一个小断陷盆地,呈 NNE 走向,兰聊、长垣、黄河三条基岩断裂控制断陷的形成与发展,由早期箕状凹陷发展成为双断式的断陷。

凹陷中次级正断层极其发育,形成极其复杂的断块构造(图 1)。

目前发现并开发的油田主要在凹陷的北部、中央隆起带和西部斜坡带。中央隆起带发现的油田从北向南有文明寨油田、卫城油田、濮城油田、文留油田、桥口油田、马厂油田等。这些油田一般都有背斜或半背斜的构造背景。在西斜坡从北向南有马寨油田、胡状集油田、庆祖集油田等。这些油田是断阶加鼻状构造的背景。

这里,以断层复杂程度将这些油田大致分为以下三类:

1. 简单的断块油田

如:濮城油田。主力含油断块的面积都大于 1km^2 , 80% 以上的油气储量可进行注水开发,只有部分断层复杂区不能完善注采系统。

2. 较复杂的断块油田

如:卫城油田、文留油田、胡状集油田等。这类油田虽然复杂,断层很发育,但是有 50% 左右的油气储量分布在大于 0.5km^2 的主要含油断块中,这部分储量可以在注采关系较好的状况下进行开发。

3. 极复杂的断块油田

如:文明寨油田、文 25 块等。含油断块的面积都小于 0.5km^2 , 400m 井网条件下还会有相当的储量无井控制, 300m 井距条件下只在个别块形成简单的注采关系。断块的宽度一般为 200m 左

右。只有在高井网密度下才有可能考虑提高水驱开发储量。

断块油田的开发 (与简单油田的比较)

断块油田的开发程序、方案编制和实施与简单油田是很不相同的,但从采油理论方面来讲并无明显差别。

断块油田中,在钻井密度为1口井/ km^2 情况下能搞清油藏基本特征,油气储量计算基本可靠的油田不多,在东濮凹陷只有濮城油田。大多数断块油田都是在2~3口井/ km^2 的情况下才明确主力含油断块,5~7口井/ km^2 时才能较明确地确定注采关系,对极复杂区则要求井网密度更高。

1. 开发程序

中原油田的作法归纳成如下几个步骤:

(1)以整体二级构造带为对象,进行整体解剖,搞清油气藏主要控制因素,明确含油富集区。

(2)在含油富集区内,基本搞清油气储量的分布,找出主力含油断块。

(3)在前两步工作基础上编制初步的开发方案。由于开发方案的基础有很多不明确的因素,所以方案必须滚动实施,针对开发中待解决的问题确定钻井顺序。首先要搞清主力含油断块的具体边界,含油层位,油层的各项参数,为第二、三批井的实施提供依据。

(4)方案实施中的调整。这项调整工作和初步方案一样,也要有实施的步骤,实际上是一个逐步认识、不断调整的过程。最终的开发井网是否合适,主要取决于这一步工作。在复杂的油田,初步方案设计的井网通过实施可能会发生较大改变,构造、含油面积、层系、井网、产能建设的规模等都可能有一定的变化。

如胡状集油田,原设计建设能力的区块胡10块、胡5块在第一批井实施后证实原来计算的储量大部分不落实,而后备区胡12块含油情况较好,第二步的实施立即转移(图2)。

(5)在方案实施的最后,往往需要再钻一些补充井,以完善主力含油断块的注采系统。

从上述作法中可以看出,小断块油田的开发过程实际上是详探的延续,与详探没有界限。在油田投入开发后,详探工作还没有完,因为还有一些断块的结构不清楚,注水井位还无法确定。

与简单油田按方案成排钻井的作法,是非常不相同的。

2. 开发方式

小断块油田就其断层封闭的程度和天然能量的大小,可分为三种类型:

(1)开启型断块。这类断块的砂体发育,边水、底水体积远大于油藏体积,储层渗透性好,则可在较长的时间内靠天然能量开发,如永安镇油田。

(2)有部分边水的封闭断块。断块是由断层封闭的,但在断块内除油气外还有一部分水体。在东濮凹陷有濮城油田、文15断块、文209断块、文95断块等。但由于油层连通状况和油层渗透性较差,边水不活跃,需要注水开发。

(3)封闭型无边、底水断块。压力下降快,产量下降快,早期注水更为合适。

3. 层系组合

对主要的(大于 0.5km^2)含油断块,可以和大油田一样考虑细分层系。对复杂的小断块则要按本身的具体特点来决定如何分层系或以断块为单元合采。

4. 井网形式及密度

对简单油田这是一项重要的研究课题,但在小断块油田,断块的宽度多数小于500m,正规的井网无法构成,井网形式实际上是由断块的形态决定的。由于每个小断块都要组成自己的注采系统,所以平面上井网很不均匀,井网密度一般都大于简单油田。国外断块油田井网密度有的达到1~2公顷/井,井距150m左右。由于井网密度大,单井控制储量小,所以采油速度一般在初期都比较高,稳产年限不长,要稳产则需加密井网或大量工艺措施。

断块油田开发研究(实例)

断块油田的复杂性,要求地质开发人员具备综合性分析的能力。为了加速断块油田的开发节奏,少钻低效井,提高开发效果,必须加速新技术的应用。要搞好断块油气田的地质工作必须坚持两点:

(1)重视先进技术的应用

三维地震、地层重复测试技术、地层倾角测井等技术会帮助我们提高认识精度。

(2)加强综合性分析

一个断块就可能是几个小油藏单元,我们研

究断块必须从油藏的概念来研究构造、地层、储层、流体、温度、压力、生产特征,要综合在一起分析,以便确定在开发中应重点解决的问题,和提出解决的办法。

下面由两个油田的实例加以说明,具体问题具体分析。

1. 卫城油田

卫城构造位于东濮凹陷中央隆起带北端,为长约 15km、宽约 2~3km 的长轴背斜,被北北东走向的两组倾向相反的断裂系统复杂化。

由于断块多、层系多,再加上既有油、又有气,在砂岩储层上,上、下层系的物性差异也较大,于是形成了各种类型油气藏:

- 构造较简单的中渗砂岩油藏;
- 构造较完整的低渗、高角度油藏;
- 高角度气顶油环;
- 复杂断块气顶油藏;
- 构造岩性油藏;
- 油质较稠的复杂断块油藏;
- 纯气藏。

该油田的主力含油层系(沙三下)虽然被断层复杂化,但储量比较集中,1982 年就开始投入开发。在此同时,利用沙三下的开发井,对上部沙一、二层系含油区块,和沙四段含油块进行兼探,进一步搞清断裂系统含油、气区块的形态分布及油、气储量,使其逐步投入开发。

为了搞清复杂断层和高角度地层的确切位置和参数,有针对性的应用三维地震、HDT、RFT 等新技术。三维地震资料结合内部增加的开发井地层对比关系,分析搞清了卫东大断层在卫城北部地区有较长一段在沙三中含盐段地层中滑动(图 3),从而搞清了含油层位分别为沙二下和沙三上的卫 229 和卫 49 块位于断层滑动段的上盘,而含油层位为沙三下的明 9 块和卫 46 块位于滑动段下盘,并且通过人机联作编图,搞清了断块区之间的关系,以及和控制不同层位含油的断层组合关系。使其这几个区块在 1991~1994 年陆续滚动投产。

卫城全块通过加测 HDT,搞清了地层倾角为 $30^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 。结合三维地震和 RFT 压力资料,搞清了全块内部一系列羽状断层的分布,实现了较准确地设计每一口井,对钻井提出合理要求,使其达到方案要求的目的。

与此同时,对难开发的区块分别作一些必要

的工艺准备。譬如,对低渗和特低渗的沙三下部和沙四段含油区块,大型压裂工艺和高压注水工艺在该油田试验成功后,1989 年即投入开发。对极复杂的小断块,密布的小断层极易断失油层段,采用了侧钻工艺。当电测后发现油层被断失,则立即采取侧钻,一般都能成功地获得油层。使这种类型的小断块开发成为可能。对高角度地层的钻井工艺,也逐步取得了经验,使这种类型的含油区块能够按方案设计进行开发。对于窄油环的气顶油藏,应用数值模拟技术,对布井方式、注水方式等进行模拟优选,使注入采出均衡调控,可充分发挥气顶驱和边部水驱的双重驱动,实现了保护气顶资源,优先开采油环的预期目的。对这种区块首先开展有试验性质的局部开发,待获得成功的经验后,再进行全面开发。

在对已开发油田不断加深再认识的基础上,通过不断调整,使其该油田储量与产量不断增加,可采储量稳步增长,综合含水得到有效控制,取得较好开发效果。

2. 文明寨油田

该油田主要地质特征是,由于内部纵横交错的小断层,根据 85 张小层平面图统计,主力小层一般都有 20 个左右的含油小块,最大面积为 0.418km^2 ,小于 0.1km^2 的含油块数占总数的 77.4%,储量百分数为 42.2%,而 51.4% 的储量是在 $0.1\sim 0.3\text{km}^2$ 的断块内。也就是说,93.6% 的地质储量集中在含油面积小于 0.3km^2 的断块内(图 4)。

该油田的无数小断层都具有较强的封闭性。由于开发状况不同,断块间压力差可达 100mPa,而近距离的井间未发现干扰现象,也未发现注入水沿断层串流现象。构造的复杂性和断块的封闭决定了油藏天然能量小,也决定了需要补充能量开发。

(1) 油田地质研究

1) 精细地层对比是研究断层、断块的基础,首先要搞清本油田的地层全剖面。掌握了油田地层的全剖面是第一步,也是相当重要的一步。下一步就是具体对比每一口井,在断层多的油田,每一口井的对比都不是非常容易的,因为断点附近的地层往往多少受到破坏,电性特征也就不那么标准,这需从已知到未知。先抓着可信段,确定其层位,再逐渐对比,缩短电性变形段,最后确定断点。有时还是难于确定,尤其在断点之间距离太近时,

也就是断层密集的地方,这时必须结合其他信息。譬如,RFT 测得的每个层位的压力,当上下压力系数差别较大时,中间往往过断层;如果有 HDT 资料,也可指示断点位置;再就是试采动态资料等。凡可用资料都要综合考虑,做到每个断点落差、层位尽量准确。

2)以编绘大量油藏剖面为主要手段,综合各种信息,不断深入研究断层、断块结构和油水关系,是滚动过程中地质研究工作的关键。

在构造研究中,除采用一般的钻井资料,结合地震资料认识、分析外,在文明寨油田研究中最突出的方法是编绘大量油藏剖面。每打一批井,都将重新编绘一批,通过每口井,每个方向都要做油藏剖面,这样,对每口井之间的上、下构造关系、油水关系都能解释,表达清楚。由于每口井遇到的断点多,所以在剖面上组合断点,就是研究复杂构造的关键。只有在剖面上将断点组合得合乎地质规律(地层倾向、断层倾向、落差、各块油气水关系等),且通过每口井的每一个断点在各方向剖面上的组合均不矛盾,将每条剖面上的某层位与各断层交点投影到标准井位图上,才能准确绘出各层位构造平面图。

对文明寨油田这样极复杂的区块只能用人工做大量油藏剖面的方法进行构造、油藏研究,才有理想的效果。虽然工作量较大,但这种剖面图法不但能研究清楚构造、断块形态,同时能搞清油气关系在各种形态断块中的变化规律,是油藏特征研究非常有用的图件。在整个开发过程中,动态分析、开发调整、注采系统的完善等工作,均作为一种重要的必不可少的工具图件。

3)对四性关系的不断认识和研究,也是滚动开发中油田地质重要工作之一

在文明寨油田,开发初期对沙二上油气层电测解释一直较混乱,这是一组低电阻油层,为了搞清该层位含油气情况,部署了一口大直径取心井明 36 井,同时在油田西南部完钻的明 100 井进行试油,(该层位,电测人员未解释)结果日产油 19.5t。明 36 井取心观察岩心是饱和含油砂层。两口井证实了这一层位主要为油层,对比了各井电性特征,对岩心进行了分析化验,找出了含油电阻界限,电阻较低的原因是砂岩中含泥质较重,束缚水含量较高造成。四性关系的研究使该层位增加 300 万 t 储量。

(2)开发方式研究

1)井网和井网的完善

在油田完钻 170 口井时,认识到该油田含油层系至少有五套,沙一、沙二上、沙二下、沙三上、沙三下,各套含油层系都有一定的厚度和不同的分布范围。按当时的认识,分五套层系以三角形井网部署,然后将各层系井网叠合在沙二下主力含油层系构造图上,再以大约 400m 井距,较均匀的抽稀出一套基础井网先实施。这套井网实施的目的主要有两点:①认识内部主要断裂系统,搞清各层位断层、断块形态,油气水关系;②在不同的部位安排了 3 口大直径系统取心,(为了取全主力油层,必须在不同位置取不同层位)取心的目的是为了研究储层岩性、物性、含油性,在构造研究基础上,较准确计算储量,为编制合理开发方案作准备。

基础井网设计都较深,均打穿沙河街组,完钻于中生界红层。这套井网的完钻,对油田地质研究、开发方案研究都起了较大作用,是非常必要而经济的。此套井网多数用于沙三下、沙四层系或沙三上层系作为初期试采井、后期生产井或注水井。由于搞清了主要断层结构,对浅层开发井网的部署就减少了很多盲目性。

在复杂断块油田开发过程中,井网的部署一般都根据断块形态、油层的分布,按一定的井距、井位部署,以能尽量扩大扫油面积为原则,没有固定的形式。当然相对较大的断块,还是尽量采用前人的经验,考虑油藏实际情况,选择合理井网。在极复杂断块油田开发过程中,认识油藏是长时间的,因此,井网也不是一成不变的。

2)开发层系、注采系统及完善

初期按大套含油层系、全油田划分为五套开发层系,虽然各层系间有足够的隔层,但由于断层太多,井位设计时,只能考虑主要断层。又因各层系的井网密度是有限的,在开发过程中逐渐摸索出较合理的注采系统,即从完全受层系控制的注采系统,逐渐变为灵活的、在一定范围考虑层系的、以断块为单元的注采系统。

采用“分注合采”,“合注分采”的方式使主要较大断块完善注采系统(图 5)。其目的就是增加见效井层,最大限度地提高油藏水驱储量。

3)充分运用先进技术,提高开发水平

文明寨油田开发效果的关键是注采对应。尤其对一些极复杂区块,譬如明 6 断块区,在初期的 300m 井网下,试注 3 口井,仅一口井见到注水效

果。注水井填补了试采造成的地下亏空后,再也注不进。10多口生产井初期产量都较高,由于压力降低,产量下降较快。1986年,为了进一步搞清明6断块区内部的无数小断层和断块形态,完善注采系统,补充打了一批调整井,这批井全部加测RFT。

重复式地层测试技术的应用,使我们得到了每口新井的压力剖面。反映出了明6断块区地下的极复杂情况。

例如,明208井含油层位为沙三上和沙三中,分别位于三个断块中,其压力系数分别为1.0、0.36、0.75,文明寨油田本来为常压油田,压力系数为1左右。由于试采4年,处于不同断块的不同层段出油状态不一样,压力降的程度也就差异很大,结合地层对比分析,凡压力差别大的层段间都有断点,明显反映该断块区一直在弹性驱动下生产,某些断块压力已降至几乎不能正常出油的程度,急需补充能量。如明208井的情况,在新打的20口井中是普遍现象(图6)。也有靠近注水井的少数新井,是另一种情况。比如,明229井,试注井明52井距离仅115m,其中沙三上和沙三中上部砂层压力系数高达1.23~1.38,这种异常高

压,是明52井的封闭注水、无井受效造成的。

通过对这批测有压力剖面的新井资料的分析、研究,又编制了大量联井油藏剖面,搞清了大部分断层和它们互相交叉形成的各种形状的断块,及各井间的对应关系,绘出了各层系含油断块的分布、形态,据此重新调整了这个区块的注采系统,使该区块增加了动用储量和驱控制储量。

注水见效井由1口增至28口,采油速度由1.64%增至2.14%,含水上升率由7.95%降为5.33%,见效地层压力由6.48MPa,上升到11.07MPa。

任何油田的开发,地质认识是基础,十几年的开发实践总结出对复杂油田最经济有效的方法是广泛应用新技术,不断认识、不断扩大生产规模的滚动勘探开发。

参 考 文 献

- 1 李宗信,张书法. 三维地震在中原油田勘探开发中的应用. 1987
- 2 李宗信,李幼琼. 重复式地层测试(RFT)在中原油田的应用. 1990
- 3 李幼琼. 文明寨极复杂断块油田开发地质研究. 1992
- 4 李幼琼. 卫城油田滚动勘探开发. 1994

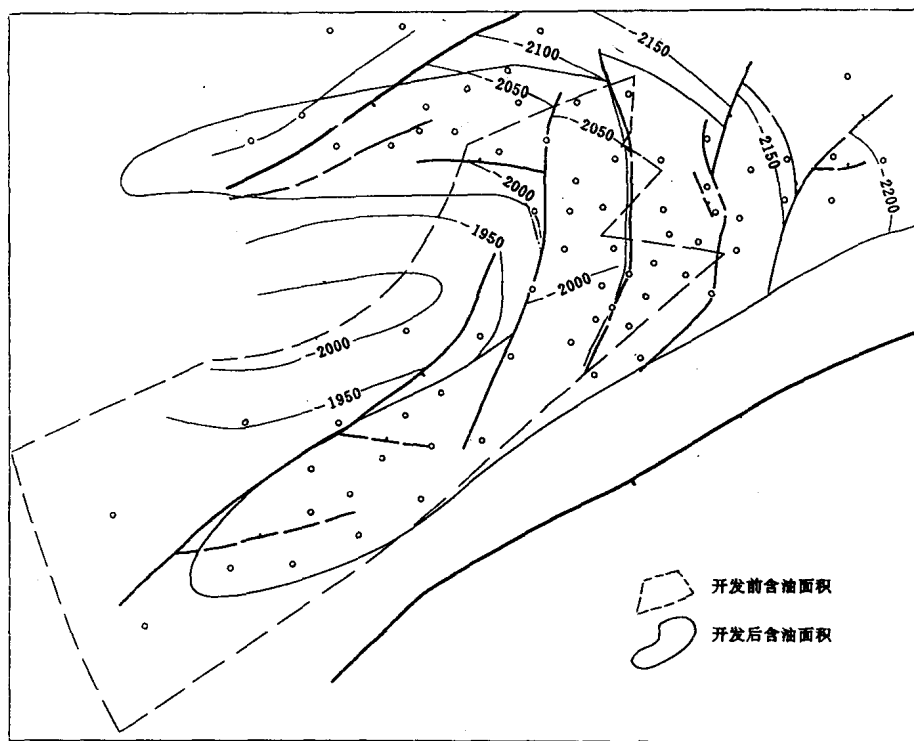


图2 胡5断块区含油面积图

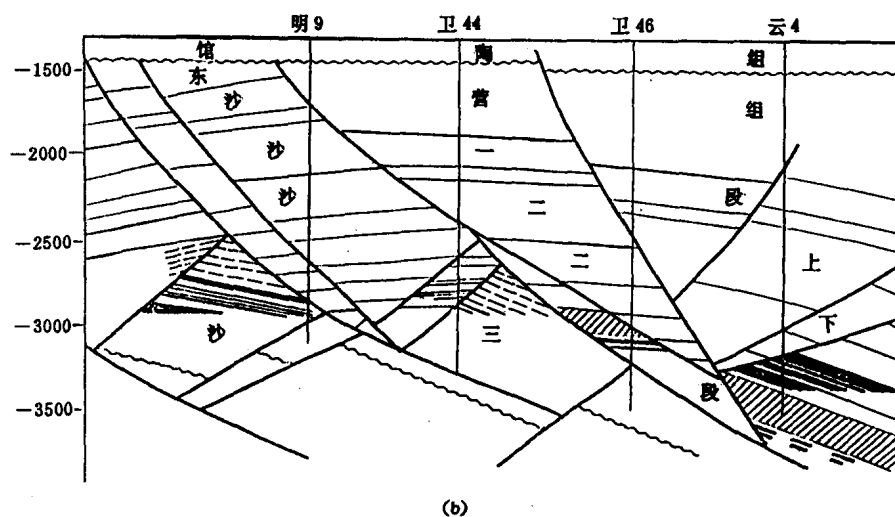
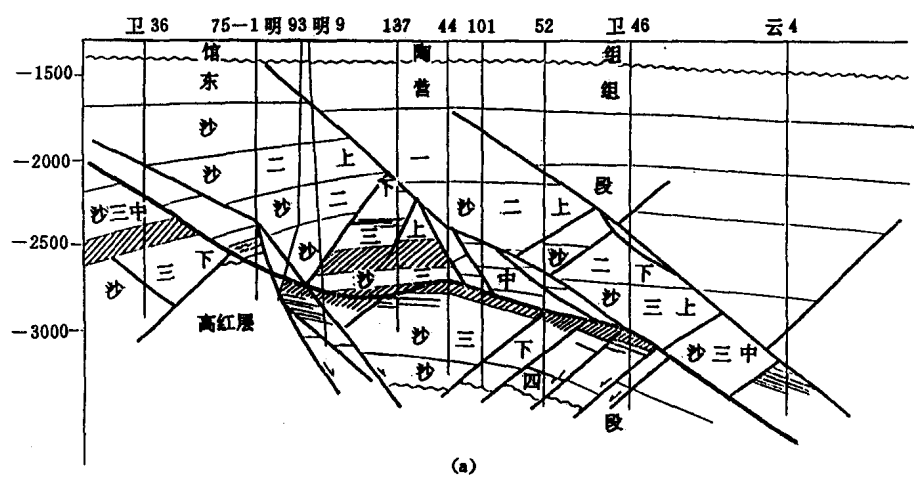


图3 卫36—云4井油藏剖面图
(a)1993年;(b)1981年

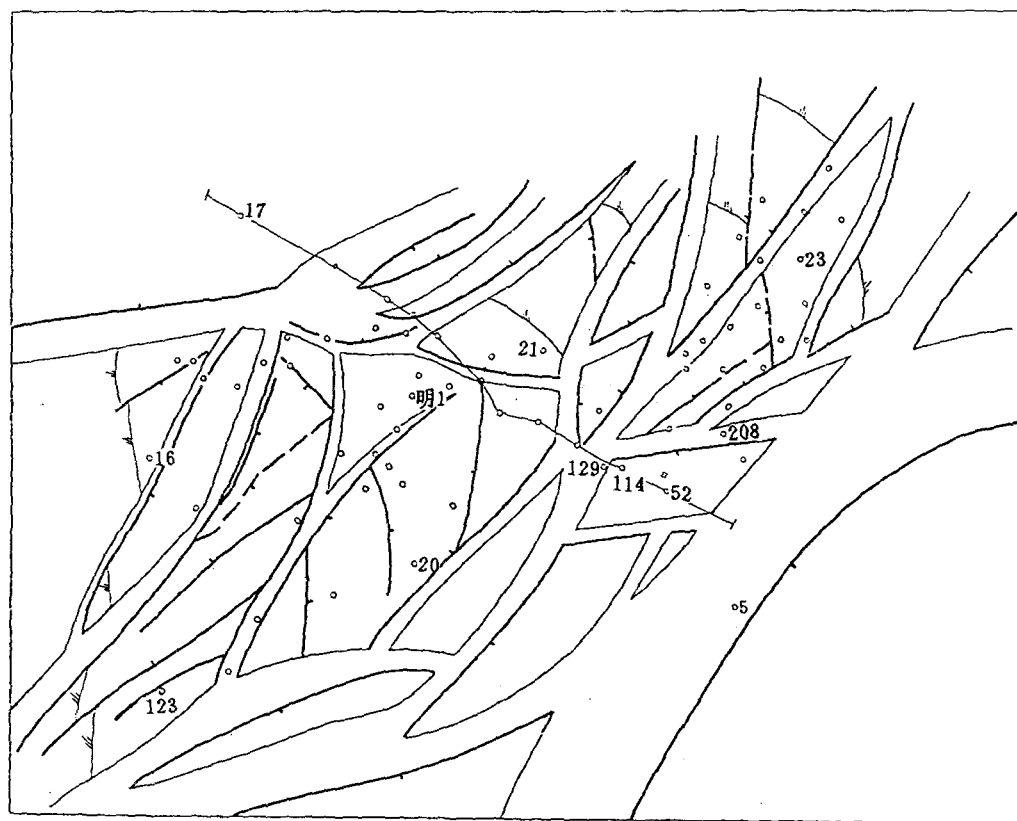


图 4 文明寨油田沙三上第三组顶构造图

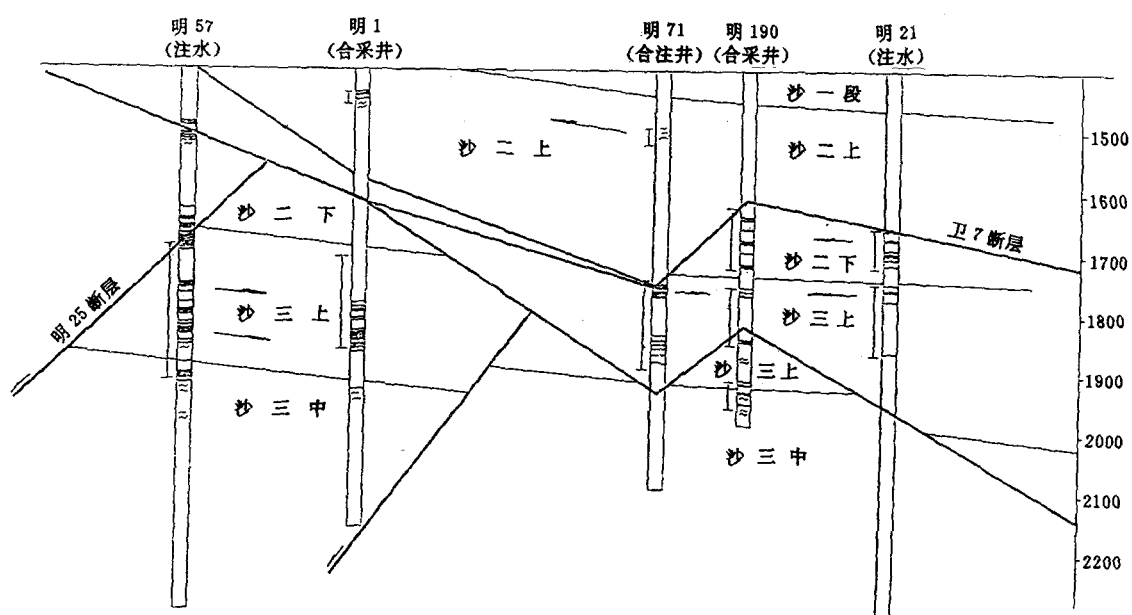


图 5 文明寨油田分注合采、合注分采示意图

石油物探局制图印刷厂
照排印刷