

塔河油田的发现及其地质意义

张 抗

(中国新星石油公司规划研究院, 北京 100083)

塔河油田是由三叠系、石炭系、奥陶系等多个不同性质油藏组成的油田(群), 主体是奥陶系灰岩岩溶缝洞网絡型油气藏。这种油藏类型的主要控制因素是不同期次、不同规模、不同方向的岩溶洞、缝、孔, 并以复杂的形式联通而形成网络。因为网络发育程度不同、成藏和改造经历不同, 各储集体在储量、产能、油质上可有较大差别。

关键词 塔里木 塔河油田 碳酸盐岩 岩溶 油气藏

作者简介 张抗 男 58岁 教授级高级工程师 油气地质与勘探 大地构造

1 塔河油田的发现

塔河油田(群)^{*}属新疆维吾尔自治区轮台县桑塔木林场和库车县艾协克乡, 地处塔里木河北岸, 为塔里木盆地塔北隆起区阿克库勒隆起^{**}南部(图1)。阿克库勒隆起面向塔里木最大的生油拗陷——阿满拗陷区, 背倚塔北隆起区的最高部位近东西向的沙雅-轮台断隆带, 是在早古生代开始发育, 晚古生代末期受到压性构造形变向南倾伏的大型鼻状隆起。新生代晚期受盆地北缘库车拗陷剧烈下降的影响, 鼻隆北部降低从而形成一个大型穹状隆起。

阿克库勒隆起上已完成了区域重、磁普查, 地震 $2\times 2\text{ km}$, 部分 $1\times 1\text{ km}$ 的测网及相应的化探工作, 钻了数十口预探井和探井。80年代后期和90年代前半期勘探集中于隆起中部三叠系, 探明并开发了轮南、桑塔木、解放渠东、吉拉克等一批油气田。其后, 勘探向隆起南部扩展, 在塔河油区内塔指(中国石油天然气集团公司塔里木石油勘探开发指挥部, 下同)就钻了LN16, LN28(位于T1内), LN35(T2), LN15(T4)等一批探井。这期间已有一批探井钻到石炭系和奥陶系。资料的积累不但

使我们对该隆起的地质情况有了较深入的认识, 而且对新思路的形成有重大启迪。

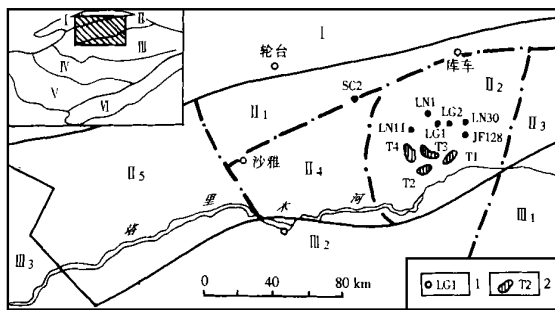


图1 塔河油田位置示意图

Fig. 1 Sketch map showing the position of Tahe Oilfield

I—库车拗陷区; II—塔北隆起区; II₁—沙雅-轮台断隆, II₂—阿克库勒隆起, II₃—草湖凹陷, II₄—哈拉哈塘凹陷, II₅—沙西隆起; III—阿满拗陷区; III₁—满加尔拗陷, III₂—顺脱果勒低隆起, III₃—阿瓦提拗陷; IV—塔中隆起区; V—塔西南拗陷区; VI—塔

东南隆起区; 1—井号; 2—油田

中国新星石油公司西北石油局(以下简称西北局)于1990年8月在S23井石炭系获得工业油气流, 并在下奥陶统发现良好油气显示, 为塔河3号油田的发现井。1991年9月S29井三叠系获日产油 39.6 m^3 、气 $90\ 661\text{ m}^3$, 发现了塔河1号油田。1995年初完成了塔河工区 296 km^2 三维地震采集工作。1996年7月在塔河1号S41井三叠系再获工业油气流。从而在1996年8月获得了塔河地区 $1\ 780\text{ km}^2$ 的区带工业勘探登记。这时, 资料的累积和综合研究已初步形成了勘探新思路: 在精细的二维, 特别是三维地震解释的基础上以盐边低幅度构造和奥陶系潜丘为主要勘探目标。为此部署了S46, 56, 51等一批探井。

^{*} 在早期勘探中该区的构造和相应的油田曾有桑塔木、艾协克南、艾协克I, II号等名称。由于桑塔木与已探明的油田重名及其他原因, 1998年中期后统称为塔河油田, 上述构造和油田分别称为塔河1, 2, 3, 4号。

^{**} 阿克库勒隆起(凸起、穹隆)亦被称为轮南隆(凸起), 按其发育史在古生代也被称为阿克库勒鼻隆。

收稿日期: 1999-02-03

1997 年 2 月塔河 3 号中部的 S46 井在下奥陶统裸眼井段中途测试获高产油气流, 3 月又在下石炭统完井测试时再获高产油气流。初步验证了找油新思路并加快了勘探步伐。接连部署 S47 井、48 井, 同年 10 月在下奥陶统双获高产油气流并在石炭系发现良好油层。塔河 4 号发现井 S48 于 10 月转入试采。该井一年多来一直高产稳产, 生产压差小, 压力保持稳定且一直未见含水, 平均日产油 360 m³, 气 17 800 m³, 一举成为塔里木盆地奥陶系中稳产时间最长、累计产量最高的“王牌井”。1997

年 7 月 S56 井三叠系获日产油 249 m³, 气 11 070 m³, 成为塔河 2 号的发现井。尔后立即部署 T201 井和 T202 两口评价井, 当年完钻并控制该构造三叠系两个油组。同年 10 月塔河 1 号沙 51 井三叠系亦试获高产油气流, 继而钻 T101 井和 T102 两口评价井并在次年投入试开发。1998 年重点评价塔河 3 号、4 号, 部署了 T301 井和 T302 井, T401 井, T402 井, T403 井等评价井(图 2), 相继发现良好油层并试获高产, 继而转入开发并初步计算了油田储量。

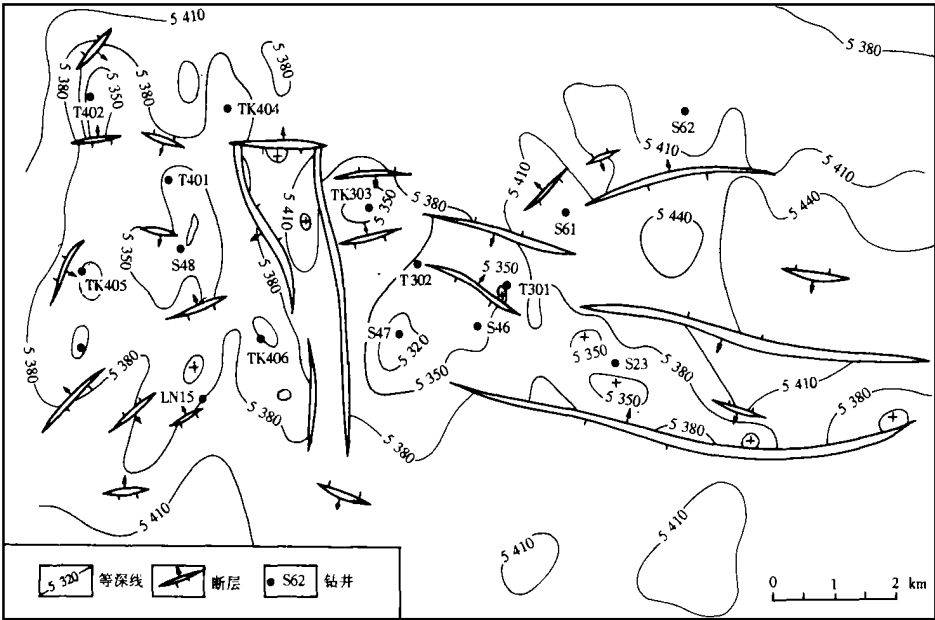


图 2 塔河 3 号、4 号油田下奥陶统顶面(T₇⁰)构造略图

Fig. 2 Sketch map of Lower Ordovician top stractares in No. 3 and No. 4 Oilfieds of Tahe

至此, 西北局以两年的时间集中力量一鼓作气快速评价, 高效率地勘探了塔河油田并计算了储量。这期间探井成功率 80%, 评价井和构造成功率为 100%, 展现出了一个大型油气田的轮廓, 获得探明加控制储量 1 亿吨以上。这是 1984 年塔里木石油会战打响以来所取得的最重要的油气勘探成果之一。

这期间还加密和完善了塔河两岸的二维地震测网, 并部署了位于塔里木河南岸的 S50 井、S59 井; 在塔河 1~4 号油田的东、西、北侧作了三维地震并新钻 S61, 62, 63, 64 等探井。这些工作为塔河油田的进一步发展打下了基础。

2 油气藏性质及特点

2.1 奥陶系油藏

2.1.1 与奥陶系古潜丘及内幕构造关系

塔河油田, 特别是 1 号、3 号、4 号的探井部署中, 奥陶系顶面(T₇⁰)凸起是重要的决定因素。有人把它称为潜山, 看来不够确切。据笔者计算, 即使以高差相当大的塔河 3 号 S47 井北、南坡而论, 其平均坡度也不过 2°或 2.5°。充其量只能算是侵蚀平原上低矮的残丘或潜丘。

这种古风化面上的地形高低与奥陶系内幕起伏没有必然的对应性。塔河 3 号、4 号南北向测线上, 奥陶系顶面起伏可达 50~60 ms, 而其内幕反射界面 T₈⁰ 却仅有 20~30 ms。但阿克库勒隆起 EW 向和 NE 向潜丘带却多与奥陶系的断隆或断背斜有关, 其间发育古地形洼地。

阿克库勒隆起上钻达奥陶系并已完钻的 56 口井中有 23 口获工业油流, 7 口获低产油流, 19 口见

油气显示。后两者中不少经储层改造或钻水平井时亦可望获较高产能。这些井并不都与奥陶系潜丘有关,如在隆起中部两长条状断隆间平台部位的 LN17 井、LN30 两井奥陶系顶面没有隆起,分别获日初产油 137 m^3 、气 $1.4 \times 10^4 \text{ m}^3$,油 49 m^3 、气 $30.3 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。LG1 和 LG2(图 1)是两口大斜度井,也分别获日产油 363 m^3 、气 $13.8 \times 10^4 \text{ m}^3$,油 493 m^3 、气 $5.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。反之,一些潜丘上的井并无工业油气流,甚至高产井附近的井可以为干井(如距 LN8 井 1 km 的 LN34 井)。另外,一些潜丘上的井产油的深度或含油气层段的厚度都可远大于潜丘高度或内幕构造幅度。

综上所述,可以认为,(1)奥陶系顶面潜丘与内幕构造不一定吻合;(2)奥陶系顶面潜丘和内幕构造并不是奥陶系高产油气藏形成的必要和充分条件。

2.1.2 与奥陶系古风化壳的关系

许多钻井在接近古风化壳时就发现越来越活跃的油气显示,有的紧邻风化壳之下就发现高产油气流(如 S47,48)。因此,一种意见认为它是“地层不整合面”油田,不整合面以上的石炭系泥岩就是其直接封盖层。但应看到许多井中的奥陶系产层或缝洞发育带距风化壳有相当大的距离。风化壳及紧邻其下的储集体仅是若干类型储集体中的一类,甚至不是条件最好的一类。一般把岩溶分为三带:地表岩溶带、渗流岩溶带和潜流岩溶带。地表岩溶带的岩石溶蚀缝、孔虽可与地表溶沟、落水洞等相连,但也易被各种沉积、塌积物充填,甚至形成孔渗性不好的硅质胶结硬壳;而后两带,特别是由于地壳运动造成二者叠合或交错时,可形成总容积十分巨大连通情况较好的缝洞,构成产能相当高的储集体。这种储集体的封盖条件不只是地层不整合上面的石炭系泥岩,而主要是周围非渗透的碳酸盐岩基质(下述)。称这类油气藏为古风化壳油藏、地层不整合油藏等不够贴切。

2.1.3 油藏有效储集体不是简单的层状或块状体

大量的岩石物性显示,塔北隆起区下奥陶统灰岩孔渗性极差,孔隙度大于 1%、渗透率大于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 者极少(图 3)。即使作岩芯全直径分析,5 个测样有 4 个孔隙度为 1.3%~1.59%,渗透率 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,亦未超出小岩样测定值范围,实际统计的岩芯缝隙率为 0.3% (其中裂缝率 0.09%,缝合线 0.213%)。资料显示它们基本属于非渗透

性岩石,即使某些地段孔渗性稍好些,也不能指望作为在 5 000 m 深的井下能产出工业油气流的有效储层。正如上所述,有效储集空间应是发育近垂直缝洞的渗流带和近水平缝洞的潜流带;但它们多是不规则的,在垂直和水平方向变化极大,缝洞带的个数、间距、宽度、带内的结构、孔缝洞发育程度和联通程度均不一致,并有不规则的非渗透体间于其中,如果采用简单的层状或块状储层的概念进行对比和计算储量则很难反映其实际性质。

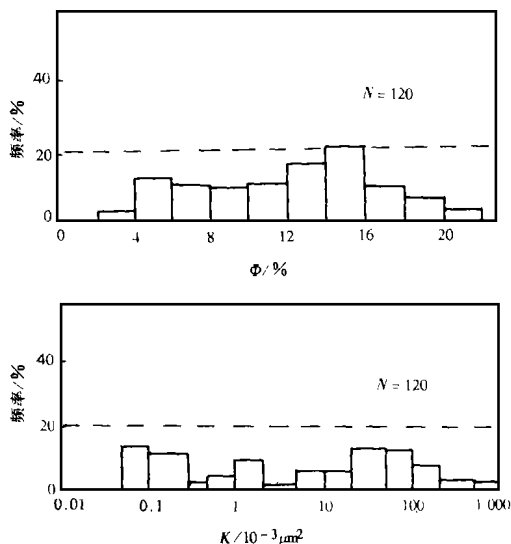


图 3 塔河油田奥陶系孔隙度和渗透率直方图

Fig.3 Histogram showing the porosity and the permeability of Ordovician in Tahe Oilfield
(原始资料据西北局,图中 N 为统计的样品数)

2.1.4 岩溶缝洞网络油气藏

岩石内部的不均一性造成岩溶发育的不平衡性。以微孔和细小裂缝为背景形成的溶蚀缝洞,越大者数量越少,但它在岩溶总空间构成中却可起重大作用。同一级别的缝洞群间,不同级别的孔缝洞间可以互相隔绝,或以某种似连非连的喉道(它可以随条件改变被堵塞或溶通)相通,或以较大通道沟通联作一体,从而构成复杂的在三维空间纵横不规则连通的网络体系,并随时间的变化而出现变化。这种网络的四维复杂性使赋存于不同位置缝洞体中的流体(特别是粘稠的重质油)为充满程度、流动速度乃至其性质上均可有一定的差别。以容易流动的地下水而论,据笔者等在太原西山的研究,从边山补给区的大气降水到地下水集中涌出的各大泉,由于经历的部位岩溶网络的发育程度不同,经历时间的变化范围为 150~1 200 a,即使以网络最发育的镇城底到晋祠一线,平面距离约

40 km, 运移历程也需 280~450 a^[1]。与相对孤立的裂缝或缝洞储集体不同, 这种复杂缝洞网络的存在使流体的赋存和流通条件有很大的变化。

阿克库勒隆起中南部的下奥陶统经历了从奥陶纪末到石炭纪初, 从石炭纪末到三叠纪初的多期次侵蚀, 与之相应的是多期次大规模的岩溶发育过程。长期的、有时是反复的地壳隆升造成岩溶发育的巨大深度(岩溶缝洞发育带一般可达古风化壳下 200 m, 甚至 400 m)。其中发育多层近水平的缝洞带并造成近垂直和近水平缝洞互相交错、叠加、改造, 强化了缝洞延展方向在三维空间上的变化和不均一性。因而打在连通性不好的岩溶缝洞部位的钻井, 虽可能造成初产值较高, 甚至强烈自喷; 但由于总储集空间有限且又无补充油气的来源, 必然产量剧烈递减, 以致短期内停喷、枯竭。阿克库勒隆起中段断隆构造上的 LN8 井就属此类。塔河 4 号 S48 井恰打在一个巨大溶洞群的缝洞网络储集体上, 这一缝洞体(包括 2.5 m 的放空段)可与其下较深部更大的缝洞连通。不稳定试井资料解释表明, 储集体可能具通道状外形, 储容较大, 显示它与某种溶洞群有关, 或者说它可能是有相当长度的复式缝洞储集体^{*}。这种现象在其他钻达奥陶系的井中也有不同的表现, 以至造成井下常见的放空和大量漏失泥浆的现象。

2.2 石炭系和三叠系油气藏

2.2.1 石炭系油气藏

石炭系油气藏位于下统卡拉沙依组, 目前的研究程度以塔河 3 号、4 号较高。砂岩属潮坪相(潮道), 横向变化大, 呈透镜状, 次生孔隙为主, 不均质性强, 孔隙性能变化较大(图 3)。含油井段长(约 280 m)、油层分散、单层厚度小, 油水相间出现, 为背斜圈闭背景上的层状岩性构造未饱和油藏。原油为低蜡、低硫、低凝点轻质油。试采证明其产量下降快, 压降快, 总产液量下降快。

2.2.2 三叠系油气藏

塔河油区三叠系油气藏性质与北侧的轮南、解放渠东、吉拉克等类似。储层分 I 油组、II 油组、III 油组, 前者属上统哈拉哈塘组, 后两者属中统阿克库勒组。塔河 1 号油气田 II 油组为凝析气藏、II 油组为油藏。塔河 2 号 I 油组、II 油组为油藏。储层

岩相属辫状三角洲水下平原(分流河道), 主要为大容积高渗透性砂岩孔隙性储层。圈闭控制因素以构造为主, 以塔河 1 号 II 油组计含油气面积为构造圈闭的 44.4%。油源为海相下古生界, 原油为低硫、低粘度、低(塔河 1 号)一高(塔河 2 号)蜡, 超埋深、低丰度、中产能。

2.3 油气藏的形成过程

塔北隆起区下古生界中存在规模巨大的古油藏。S14 井下奥陶系洞穴充填砾石缝合线中沥青及重质油的发现, S5 井石炭系砾岩中含沥青的寒武系白云岩砾石的发现, 说明该区石炭纪之前就有一次生油、运移和聚集过程^[2]。志留纪末至泥盆纪初满加尔坳陷中心部位的寒武系和下奥陶统有机质已进入成熟期, 所生成的油气向包括阿克库勒隆起在内的古隆起运移成藏。

海西早期的隆起剥蚀, 可使下古生界(包括下奥陶统)的古油藏受到巨大的破坏, 但仍然应有相当部分在较深部被保存下来。同时, 长期的风化剥蚀在碳酸盐岩中形成了发育的古岩溶, 石炭系的海侵使阿克库勒隆起大部分被巴楚组泥岩所覆盖, 为油气在岩溶缝洞中聚集成藏创造了条件, 使海西早期成为最重要的成藏期。

早石炭世阿克库勒隆起顶部仍受侵蚀, 晚石炭世至二叠纪本区又受区域性侵蚀。它也造成对已形成油气藏的改造破坏, 使奥陶系中许多油藏经受不同程度的氧化水洗。从隆起最高部位的 LN1 井经 LN11 井到 S48 井(图 1), 由于受隆起高部位剥蚀“天窗”渗入淡水的改造, 这一带的水洗氧化程度最高而形成了重质油带。除了破坏作用外, 海西晚期直到早喜山期油气继续向隆起部位集聚, 储存于古生界外并沿不整合面和断裂破碎带还向中生界运移, 塔河区复合油气藏基本定型。晚喜山期中新生界区域北倾的形成改造了油气分配模式, 形成许多晚期成藏或定型的油气藏。

综上所述, 塔河油田是多层系多类型油气藏复合的油田群, 主体是奥陶系油藏。它以岩溶缝洞网络为主要储集体, 是经历了多期成藏和改造的特殊类型的岩性油气藏。

3 启示

3.1 坚定探索古生代海相油气田的信心

塔里木盆地是具多元结构的复杂叠合盆地^[3], 其主要生、储岩系经历了多期改造, 油气聚

集规律不易掌握,这就决定了勘探要经历曲折的道路。1984 年 8 月沙参 2 井的突破不仅成为塔里木油气勘探的转折点,而且也是我国海相地层中原油气藏的第一个重大发现。不言而喻,它唤起对碳酸盐岩油气藏的巨大兴趣。其后,阿克库勒作为一个数千平方公里的大型穹隆被圈定,一批钻井在碳酸盐岩中获初产高产且已知的含油高度明显大于局部构造的幅度(如 S14 井奥陶系含油井段 200 多米,远大于其所在局部构造闭合高度 75 m)。这使人产生古隆起整体含油的简单认识,期望一举发现特大油田。但此后不少探井的失败、某些井产量的迅速降低以至停产(如 LN8 井),以及碳酸盐岩裂缝油气藏难以圈定面积、计算储量、难以掌握勘探主动权等而使人产生畏难情绪。尤其是古生界已被破坏的特大规模古油气藏的发现,使人怀疑经历了如此严重破坏的古隆起老地层中还能找到大型油田吗?

近年来,西北局在塔河油田的重大进展,塔指在隆起中部轮古 1 井、2 井和解放 128 等井奥陶系中获高产油气流,都强化了对主要目标奥陶系的勘探,但由于储集体的局限性和复杂性、由于经历了多期成藏改造,有工业价值的油气藏不是连片分布的,必须加强综合研究评价择优确定勘探靶区。我们应在这种勘探思路指导下坚定在塔里木古隆起上勘探古生界大中型油气藏群体的信念。在勘探选区中,塔里木河两岸有奥陶系储集体和石炭系储盖层的区带,“盐边构造”发育的地带应予以特别的注意。

笔者在强调塔河油田灰岩岩溶缝洞网络储集体构成一特殊类型油气藏的同时,还认为有必要注意另一种与岩溶有关的油气藏,即经过岩溶改造的白云岩油气藏。这类白云岩储集体基本上呈层状,可展布于相当大面积形成规模较大的油气藏,因而勘探难度较小。川中震旦系灯影组、川东石炭系黄龙组、鄂尔多斯中部气田的马家沟组五段—亚段至四亚段白云岩属此类,塔里木塔中 1 号凝析气藏,巴楚隆起鸟山构造的白云岩气层也可能属此类型。在塔北隆起区寒武—奥陶系和震旦系亦有多层白云岩发育,有类似塔中 1 号、鄂尔多斯中部气田的成藏条件,有必要重视该类型油气藏的勘探。

3.2 重视配套的勘探技术方法研究

有了正确的找油气思路之后,重要的问题是形成与之相配套的技术方法系列。塔里木盆地寻找碳酸盐岩油气藏的核心问题,是认识含油气的缝洞储集体的综合地球物理响应,掌握了这点,就把握住了勘探的主动权。

塔河油田碳酸盐岩缝洞储集体在地震剖面上的根本特点是整体上的相对低速和内部反射结构的杂乱。后者表现为强弱振幅的明显差别及纵横向的迅速变化,无明显可追踪的优势波。在油田内顶部 T_7^0 波组振幅减弱并出现子波的较大变化。当这种现象与潜丘相吻合时 T_7^0 波组亦随之“上凸”。在剖面上奥陶系内波组杂乱的可能储集体下部界面出现“下凹”现象,它除了反映储集体本身发育的层位外也可能与低速而造成的反射波旅行时间延长有关。目前在对测井资料和二维、三维地震资料精细处理和解释的基础上,以多种方法研究可能储集体成为工作的重点之一,其中相干体处理、振幅提取技术、测井约束的地震反演(STRATA)和 AIMS 技术等都表现出相当好的前景。

塔里木古生界碳酸盐岩埋藏深,钻探难度大,深井井下作业中测井、固井、射孔、油气测试、储层保护和改造等诸多环节都有许多技术难题,深井侧钻、斜井和水平井可能成为常用的技术手段。如何提高成功率,增大效益,降低成本都成为关系勘探成败的重要问题。对此加大研究和新技术推广应用的力度,形成配套的技术工艺系列是大有必要的。

本文完成过程中参阅了新星石油公司及其他单位的许多资料,得到周永昌、翟晓先、蒋泰然等教授级高工的帮助和支持,谨向他们表示感谢。

参 考 文 献

- 1 赵永贵,蔡祖煌,编. 岩溶地下水系统的研究——以太原地区为例. 北京: 科学出版社, 1990. 1~ 194
- 2 叶德胜,刘树辉. 塔里木盆地东北地区古油藏及其石油地质意义. 见: 贾润膏,编. 中国塔里木盆地北部油气地质研究. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991. 317~ 326
- 3 张抗. 塔里木盆地大地构造及油气前景. 见: 石宝珩,编. 中国地质科学新探索. 北京: 石油工业出版社, 1998. 207~ 220

(下转第 132 页)

允许范围内,效果较好。

3 结束语

(1)运用神经网络专家系统能够很好地避免了一般统计方法和模糊评判的隶属度和权重分配不易正确确定的问题,从而大幅度地提高了预测精确度和可靠性。

(2)因为神经网络专家系统是根据学习样本,经过训练建立知识库。因此,只要测得预测目标的特征参数后,输入系统,很快就能得出预测结果,有效地提高了工作效率。

感谢胜利石油管理局的同志在完成本论文时,提供了宝贵的原始资料。

参 考 文 献

1 刘有才,刘增良.模糊专家系统原理与设计.北京:北京航空航天大学出版社,1995.246~258
2 刘瑞林,马在田.神经网络在油气评价和预测方面的研究现状.地球物理学进展,1995.10(2):75~84
3 张广杰,刘明新,武若霞.神经网络在油田动态预测方面的应用.石油学报,1997,18(4):70~75
4 陈燕庆,鹿浩.神经网络理论及其在控制工程中的应用.西安:西北工业大学出版社,1991.176~231

APPLICATION OF NEURAL NETWORK EXPERT SYSTEM TO
PREDICTING THE PRODUCIBLE OIL RESERVES
——An example of Fanjia Oil district in Shengli Oilfields

Peng Dunlu Xu Shijin

Wang Rucheng Guo Yanjun

(Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing)

Abstract

There are various kinds of factors that effect producible oil reserves. It is difficult to describe the relationship between the producible oil reserves and the effecting factors by an expression simply. Neural network expert system provides a new approach to solve the problem. Particular process is like that: 1. select five reservoir parameters (cumulative thickness, temperature, effective porosity and permeability, pressure) and three crude oil parameters (saturation, viscosity and density) as characteristic parameters; 2. the parameters should be standardized and normalized; 3. take 8 known oil recovery areas in Fanjia sub-oil field as learning samples to train the network system; 4. use the trained system to predict the producible oil reserves of unkown oil areas. The prediction results fitted well with actual circumstances and the errors are exceptable.

Key words: neural network expert system producible reserves B-P algorism characterist ic parameter

(上接第 124 页)

THE DISCOVERY OF TAHE OILFIELD AND ITS
GEOLOGIC IMPLICATION

Zhang Kang

(Petroleum Institute, CNSPC, Beijing)

Abstract

Tahe Oilfields is composed of different ages of reservoirs such as Triassic, Carboniferous and Ordovician reservoirs. The main part is the network consisting of karst cracks and holes in Ordovician limestone reservoir. Its controlling factors are karst holes, cracks and pores which formed quite different in size, time and extending direction and connected into nets in very complicated ways. The reservoirs vary in reserve, productoin capacity and oil quality due to the different levels of net developing and history of reservoir forming.

Key words: Tarim Tahe Oilfield carbonate rock karst oil-gas pool.