

文章编号: 0253- 9985(2000) 02- 0104- 06

塔里木盆地阿克库勒地区 奥陶系碳酸盐岩成藏条件及勘探前景

周永昌, 王新维, 杨国龙

(中国石化集团新星石油公司西北石油局, 新疆乌鲁木齐 830011)

摘要: 塔里木盆地阿克库勒地区在奥陶系碳酸盐岩找到了塔河 3, 4, 5 号和轮古潜山等油气田(藏) 。油气分布: 纵向上在潜山风化淋滤岩溶带、渗流岩溶带和潜流岩溶带内, 厚约 250 m 左右; 横向上在孔、洞、缝发育的古岩溶高地、古岩溶斜坡及不同走向断裂缝交汇处。碳酸盐岩储集层体为裂缝、孔、洞、穴型, 断裂缝是流体通道, 孔、洞、穴是储集空间。石炭系泥岩是下奥陶统的直接盖层, 下奥陶统致密灰岩可作为非渗透性封挡层体。海西晚期是圈闭形成的主要时期。油气藏类型为潜山风化壳与裂缝、孔、洞、穴复合型底水油气藏。全面勘探开发该区, 有望实现石油工业“稳定东部、发展西部”的战略目标。

关键词: 塔里木盆地; 阿克库勒地区; 奥陶系碳酸盐岩; 油气前景

第一作者简介: 周永昌, 男, 63 岁, 教授级高工, 油气地质与勘探

中图分类号: TE122. 3 文献标识码: A

亿吨级塔河油田产在塔里木盆地北部阿克库勒地区^[1], 奥陶系碳酸盐岩是塔河油田的主力产层。该区南北长约 100 km, 东西宽约 90 km, 面积 6 600 km²。其北面与雅克拉断凸相邻, 东面与草湖凹陷相接, 西面与哈拉哈塘凹陷毗连, 南面逐渐过渡到满加尔坳陷, 除北面与雅克拉断凸以轮台断裂为分界线外, 其它东南西三面均为下倾的斜坡, 与相邻构造单元无明显分界线。

该区是新星石油公司与中国石油天然气集团公司长期以来油气勘探开发的重要地区之一。

1 油、气、水分布特征

阿克库勒地区从 1987~ 1999 年钻到奥陶系并完井测试的勘查井达 72 口, 其中工业油气井 38 口, 占 52. 8%, 探井成功率高, 另有低产井 7 口, 油气显示井 16 口, 无显示井 11 口。在 72 口井中, 有 14 口出水。已经找到塔河 3, 4, 5 号和轮古潜山 4 个油气田(藏), 及 Ln1, Ln14, JF128, Ln54 等含油气潜山圈闭。

1. 1 纵向上油气分布

塔河油区从下奥陶统顶面向下约 200 m 范围含油气, 塔河油区以北, 在 250 m 范围含油气^[2]。塔河油区有 3 个岩溶带: 上部约 50 m 为表层风化

淋滤岩溶带, 即风化壳; 50~ 190 m 为渗流岩溶带; 190~ 220 m 为潜流岩溶带。3 个岩溶带可深可浅, 各地并不一致, 有的地方还有第二、第三个渗流岩溶带和潜流岩溶带。

1. 2 横向上油气分布

(1) 潜山风化壳(即表层风化淋滤岩溶带) 具有大面积含油气的特点。即使单井不成功, 其油气显示也普遍见好。

(2) 由北向南 6 个潜山带的油气分布是: 于奇潜山带及其以北地区油气显示差, 各井普遍产水; 阿克库勒断垒潜山带有 4 口工业油气井; 轮古潜山平台有 6 口工业油气井; 阿克库勒断块潜山带有 9 口工业油气井; 艾协克断块潜山带有 19 口工业油气井; 牧场-桑塔木盐边构造带和兰尕-塔河南构造群多数未钻到奥陶系, 尚不能下结论。

(3) 油气藏性质差异大, 具有东气西油, 由东向西原油密度增大, 油气变稠, 气量变少之特点。东部 Ln10 - Ln30 - Ln14 - S60 井区为凝析气藏, 原油轻质低密度; 中部偏西的 Ln8 - S46 井区为常规油气藏, 大体属挥发油范畴; 西部 Ln1 - S48 - S67 井区为重质油藏, 气油比低, 原油密度大都在 0. 95 g/cm³ 以上。

1. 3 油气不完全受潜山山头控制

一是潜山山头圈闭幅度常常小于油气层在潜山内埋藏高度, 或者说多层油气层断断续续累积高度大于潜山圈闭幅度; 二是有的井在潜山山头上没

有油气(TK406井),而有的井在相邻潜山沟谷里却产油气(S64井);三是潜山顶面埋深Ln8井比其西北3 km的Ln34井低59 m,高者为干井,低者初喷日产原油376 m³,天然气9×10⁴ m³。这些都说明油气富聚成藏不完全受潜山山头或潜山高度控制。

1.4 高产井与低产井及干井相间出现

各井油气柱高度很不一致,有的高13 m,有的高230 m。自喷期可长可短,自喷产量有高有低,如Ln8, Ln7, JF123井初喷产量高,累积产油不到1×10⁴ t就短命停喷了,而有些井长期高产,如S48井,从1997年10月26日试采以来,先后由8 mm油嘴,日产原油310 t,放大到10 mm油嘴,日产原油400 t,到12 mm油嘴,日产原油470 t,到14 mm油嘴,日产原油575 t,到1999年7月底连续自喷21个月,共产原油26.3×10⁴ t,平均日产原油407.6 t,而且随着产量上升,压力下降很少,基本上不产水,说明地下储藏量巨大,能量充足。

1.5 可能没有统一的油水界面

于奇潜山带上的Lx4, Ln13, Ln20井均产水,阿克库木断垒潜山带上的Ln2, Ln3, Ln5井也产水,阿

克库木断裂南盘的Ln33, Ln34井亦产水,阿克库勒断块潜山带西缘的Ln19井产水,上述各井的日产水量为20~145 m³。阿克库木断裂南盘的Ln33井,在潜山顶面以下62 m,即井深5 220 m为水层顶面(海拔-4 281.56 m),阿克库勒断块潜山带上的Ln51井水层顶面深度为5 358.05 m(海拔-4 425.8 m),塔河3号潜山北面低凹处的S61井水层顶面深度5 662 m(海拔-4 721.5 m),塔河3号与4号潜山之间沟谷里的S64井水层顶面深度5 725 m(海拔-4 783.5 m),其中S61, S64井下奥陶统碳酸盐岩经测试产少量油气,而两井的油水界面相差62 m,说明阿克库勒地区碳酸盐岩油气藏可能没有统一的油水界面。

2 成藏条件

2.1 地质背景

阿克库勒凸起现今奥陶系顶面(T₇⁰)是一个大隆起,用5 700 m等深线闭合,面积达5 800 km²,闭合幅度650 m(图1)。自加里东中期始,该凸起下奥陶统碳酸盐岩裸露区北宽南窄,北高南低,中间

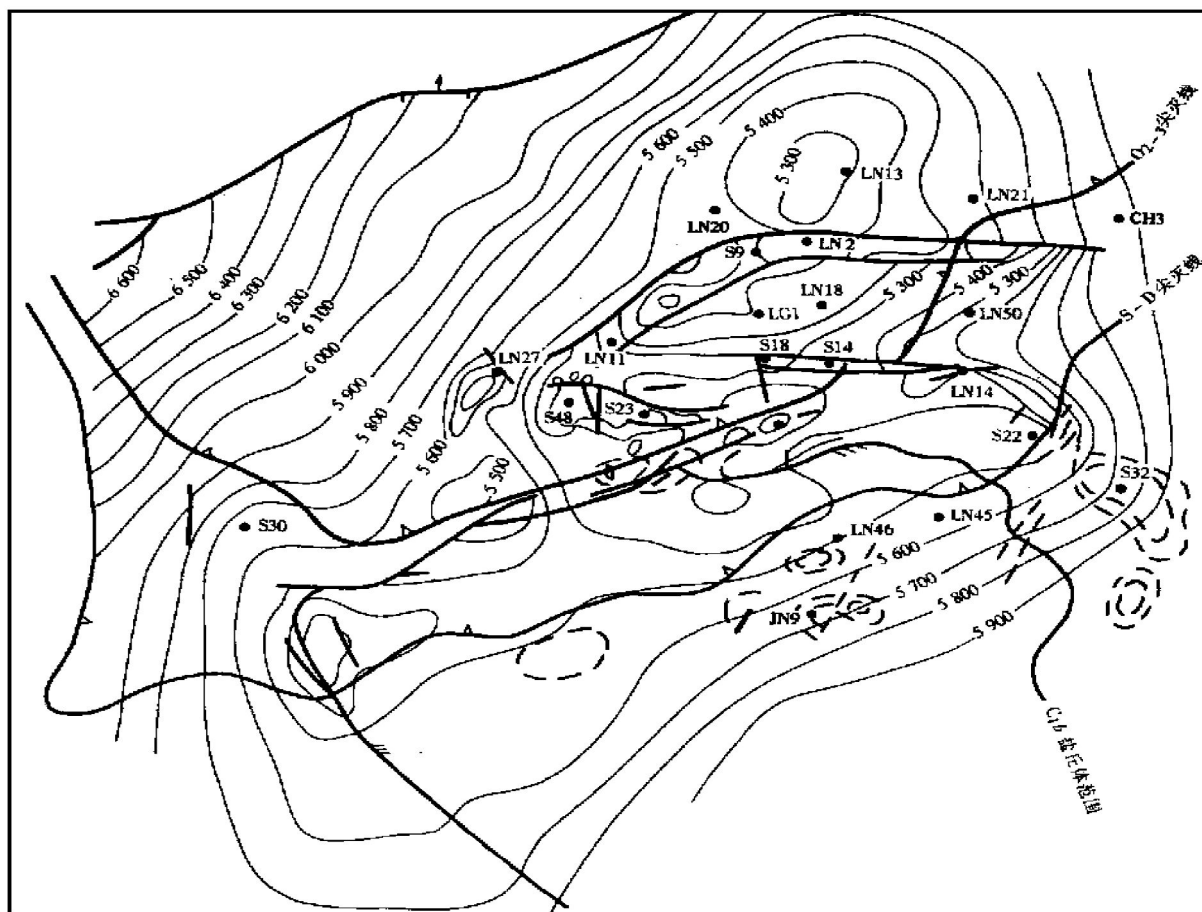


图1 阿克库勒凸起地质构造示意图(单位:m)

Fig. 1 Sketch map of geological structures in Akekule Rise

上隆、东西两侧下拗,表现为由北向南下倾的鼻状隆起。海西早期运动演化为NE走向的大鼻凸。海西中期在下奥陶统之上沉积了石炭系砂泥岩夹灰岩,而大鼻凸由中部上隆,四周下倾,演化为中间稍高的NE向长轴大背斜。海西晚期运动影响最大:一是由海演化成陆,大面积缺失二叠系;二是褶皱断裂,将NE走向的长轴大背斜截成三段,中段为断垒和断坪、南段和北段为向南向北下倾的构造鼻及一系列的局部潜山、断块和断背斜等。中生代相对平稳。喜马拉雅期由于塔里木盆地北部天山山前急剧下沉,盆地基底发生由南向北翘斜下倾,而将大背斜的中段和南段逐渐抬高,北段缓缓下倾,才形成现今的大隆起。这种构造格局有利于隆起上及其东南西三面油气源区生成的油气沿奥陶系顶部不整合面及断层长期持续的向隆起高部位运移。到了喜马拉雅期,已经聚集在隆起高部位的油气掉过头由北向南,向大隆起南部中生界储层运移,从而使大隆起纵向上与横向上多层位叠合连片储集油气成藏。隆起上有3个重要不整合构造面:一是石炭系角度不整合在下奥陶统之上;二是三叠系角度不整合在石炭系及奥陶系之上;三是白垩系平行不整合在下侏罗统之上。3个不整合面上下均发现油气藏。隆起上发育6排构造带,由北向南为:①于奇潜山带;②阿克库木断垒潜山-背斜带;③阿克库勒断块潜山-背斜带;④艾协克断块潜山-背斜带;⑤牧场-桑塔木盐边构造带;⑥兰尔-塔河南潜山-盐丘构造群。除第1排外,均找到不同时代产层的油气藏,特别是临近主力油源层的奥陶系碳酸盐岩产层,具有形成大型油气田藏的地质背景。

2.2 油气资源

阿克库勒凸起及其东南西三面供油气源区有三套烃源层:寒武-奥陶系、三叠系、石炭系。对已知油气田(藏)追踪研究认为油气主要来源于寒武-奥陶系*,即以海相含油气系统为主**。“九五”重新核算油气资源总量 15.04×10^8 t油当量***。其中石油 11.56×10^8 t,占资源总量的76.86%,天然气 3.48×10^8 t,占资源总量的23.14%,资源结构

以石油为主。油气资源总量中寒武-奥陶系提供 13.1×10^8 t,占总资源量的92.15%。该区资源丰富度高,达 22.9×10^4 t/km²。已经找到的储量仅占资源总量的17.95%,说明该区找油前景广阔。

2.3 碳酸盐岩储集层体

阿克库勒凸起下奥陶统之岩性以泥微晶灰岩、砂屑灰岩为主,其物性极不均一。对上千个小岩样测试,孔隙度平均1.049%,其中<1%者占样品总数的80%以上,渗透率一般< 1×10^{-3} μm²,其中< 0.1×10^{-3} μm²者占样品总数的77.14%。统计岩芯裂缝率为0.3%,其中裂缝占0.09%,缝合线占0.21%。说明灰岩基质储集性能极差,可作为封挡油气的非渗透层体。但是,钻探证实在裂缝和古岩溶发育地段出现快钻时、漏浆和放空,说明物性好,其储集类型为次生的裂缝和古岩溶、孔、洞、穴,由于是次生的,储集空间可沿层分布,形成层状,也可不沿层分布,形成一个孤立的不规则储集体,因此,统称为储集层体。塔河奥陶系油气藏勘探实践证明:断层裂缝是油气流动的通道,古岩溶带、孔、洞、穴是储集油气的主要空间,不整合面风化壳、裂缝、孔、洞、穴型储集体具有区域性广泛分布特征。

2.3.1 裂缝

多期构造运动使本区出现三组不同方向的断裂系统。碳酸盐岩中的裂缝有两大类,一类是构造成因裂缝,如断层、阶步、破劈理、破裂缝、褶皱缝、节理等;一类是非构造成因裂缝,如成岩收缩微裂缝,成岩压溶缝合线,后期溶蚀缝等。裂缝最发育的部位是两组或几组不同方向断裂交汇处及褶曲构造曲率变化最大的部位。裂缝可以是高角度近垂直的,也可以是低角度、弯曲的或近水平方向的。裂缝长短不等,宽度一般0.1~1 cm,少数可达2 cm。有的裂缝壁光洁没被充填,有的充填泥灰质,或被方解石、白云石、化学物质溶积,甚至生长出方解石晶体。裂缝有开启、半开启和封闭之分,未充填的开启缝对油气流动有利。

2.3.2 古岩溶带

在加里东中晚期至海西早期,下奥陶统大隆起顶面高部位大约有1200 km²裸露地表,遭受风化、淋滤、剥蚀。在碳酸盐岩风化面以下约250 m深度内发育3个岩溶带:表层淋滤岩溶带、渗流岩溶带和潜流岩溶带。当时的地表形成复杂奇特的岩溶地貌:岩溶高地、岩溶斜坡、岩溶洼地等。表层淋滤岩溶带发育在现今潜山顶部,即古风化壳部位,在

* 贾承造,康玉柱,顾家裕,等.塔里木盆地油气资源.国家“八五”重点科技攻关(85-101)项目报告,1995

** 邵志兵,高国强,顾忆,等.新疆塔里木盆地含油气系统的划分与评价.国家“九五”科技攻关96-111-02-02-03二专报告,1998

*** 刘毅,白森舒.新疆塔里木盆地油气资源结构与评价.国家“九五”科技攻关96-111-02-02-04二专报告,1998

风化面以下形成厚几米到 50 m 不等的溶蚀孔、洞、缝储集体,其孔、渗性上好下差,平面上呈区域性广泛分布。渗流岩溶带在表层淋滤岩溶带之下到潜流岩溶带之顶,各处厚度 80~190 m 不等。在岩溶高地处渗流带发育较多的孔、洞、缝储集体,特别是断裂破碎带附近(T401, S48, TK407 井近 SN 走向带),渗流带缝、洞储集体十分发育;在岩溶斜坡区大气淡水多沿地面斜坡径流,则地下渗流带碳酸盐岩遭受溶蚀较少,孔、洞、缝不够发育,只有在渗流带内某段岩性易溶蚀或发育局部裂缝带时,才形成一段一段的缝洞储集层体(如 S46, S47 井)。潜流岩溶带在渗流岩溶带之下,厚度 10~35 m 不等。大气淡水从岩溶高地渗入地下,经过表层淋滤岩溶带和渗流岩溶带到达相对易溶岩性或裂缝发育的潜流带,再由潜流带辗转流到岩溶低洼地区的地表,排泄流入河谷或海洋。经过长期溶蚀,使易溶地层千疮百孔,形成近水平的喀斯特洞穴层。这种洞穴层常常是地下暗河,其中各种岩溶洞穴、微孔洞、裂缝、断层交织一起,它们的形态、结构、空间大小、联通程度极不规则,因此,潜流岩溶带是碳酸盐岩地层良好的储集层体^[3]。在岩溶作用的同时,伴生充填沉积、垮塌堆积和化学溶积,以及方解石化、白云石化、压溶等成岩作用^[4]。本区有些钻井潜流带的上部还保留岩溶洞穴空间,所以钻进时出现放空,而潜流带下部则被沉积充填或垮塌堵塞,原有的岩溶洞穴和孔缝几乎全被充填堵住了。

研究认为碳酸盐岩储集层体形成的受控因素:

①受古沉积相带、古气候、古地貌、古构造、古岩溶带制约;②受构造运动、区域应力场方向及形成的断层、裂缝系统和后期改造作用制约;③受后期沉积充填、垮塌堆积和后生成岩作用制约。研究此 3 条是查明碳酸盐岩储集层体分布的基础工作。

2.4 封盖条件

致密盖层是油气富集成藏的重要因素。本区石炭系泥岩或三叠系泥岩是下奥陶统碳酸盐岩潜山表层淋滤岩溶带储集体的直接盖层。在古岩溶高地处垂向渗流带储集体十分发育处,下奥陶统致密灰岩层是深部储集体四周的封挡层体。在古岩溶斜坡区垂向渗流带发育一段一段的储集层体时,该储集层段与其周围和上覆的下奥陶统致密灰岩组成储盖组合。在碳酸盐岩潜山内存在潜流岩溶带似层状储集层体时,潜流岩溶带上覆的致密灰岩是其封盖层。在有中上奥陶统或志留-泥盆系的地

区,下奥陶统碳酸盐岩的古岩溶带不发育,以断层裂缝系统做为储集体,该储集体顶部盖层为上覆泥质岩,四周的封挡层体是致密灰岩。

2.5 断块潜山与内幕构造

从塔河 3 号油气田 S46, T301 井到其北面 S61, S62 井之间做一条横剖面(图 2),分析下奥陶统断

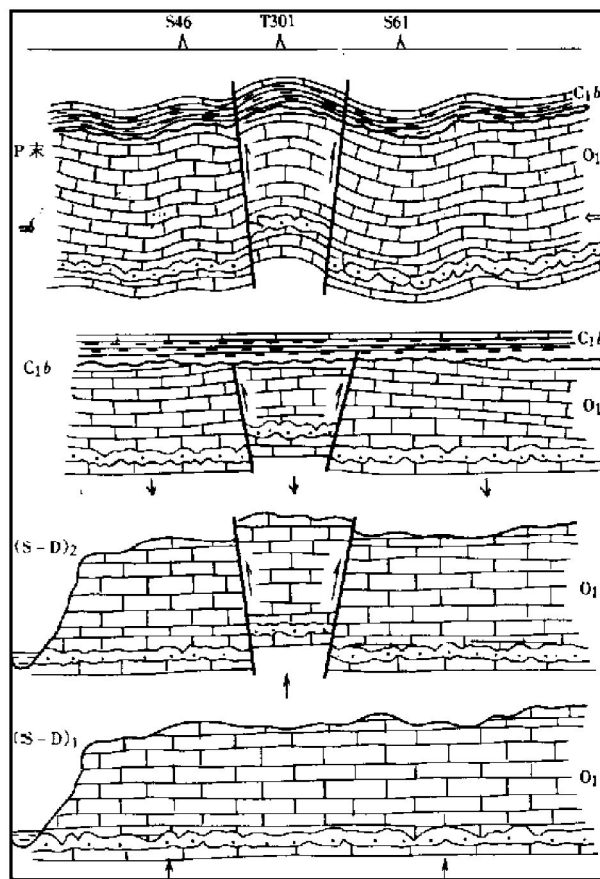


图 2 过沙 61 井下奥陶统碳酸盐岩断块潜山与内幕构造形成演化图

Fig.2 Formation and evolution of fault-block buried hill and inside structures in Lower Ordovician carbonate rocks across Sha-61 Well

块潜山与内幕构造形成演化: 大约在加里东中晚期到海西早期,下奥陶统碳酸盐岩因隆升形成高出水面约 200 m 的台塬斜坡,其地下近水平的潜流岩溶带埋深约 200 m;海西早期发生垂向运动,把碳酸盐岩台塬改造成断块山,将 T301 井区逆推抬高,经过风化、剥蚀、夷平,使潜流带顶面埋深: S62 井 195.5 m, S61 井 192.5 m, S64 井 198.5 m, 唯 T301 井变浅为 185 m(图 3);进入海西中期,碳酸盐岩断块山呈区域性下沉,被海水大面积淹没,在断块山之上沉积了下石炭统泥岩夹灰岩及碎屑岩;直到海西晚期至末期,本区发生强烈的构造变动,将下奥陶统和石炭系一并挤压形成断块和褶皱(图 2, 3),因此,下石炭统巴楚组顶部双峰灰岩的褶皱形态,与下

伏下奥陶统碳酸盐岩的褶皱形态(图4)大体是相同的。从 T_5^6 、 T_7^0 构造图和剖面图看出,塔河3号石炭系为断块背斜,S61井区石炭系为断块向斜,其下伏

的下奥陶统潜山内幕亦相应为断块背斜和断块向斜。进入中新生代以来,本区构造运动平缓,整体向北倾斜,所以至今仍保持原有的构造形态。

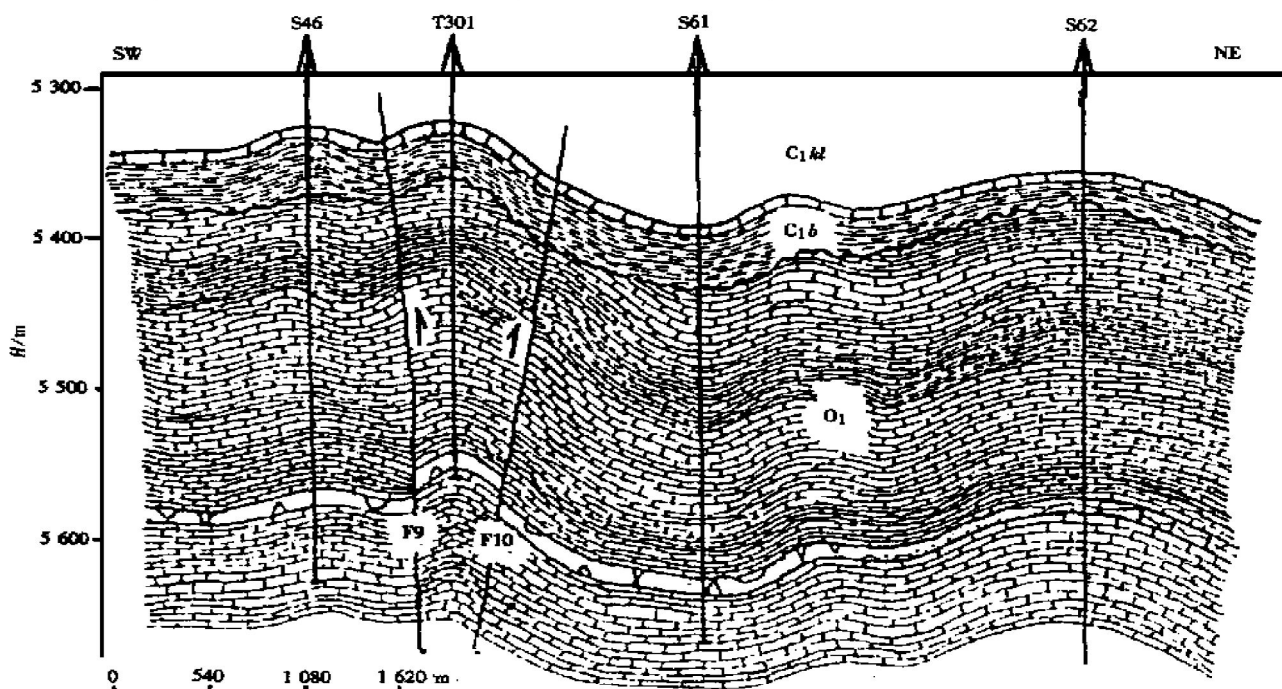


图3 过沙61井石炭系—奥陶系地质剖面示意图(深度从海拔900 m起算)

Fig. 3 Sketch map of Carboniferous-Ordovician geological profile across Sha 61 Well

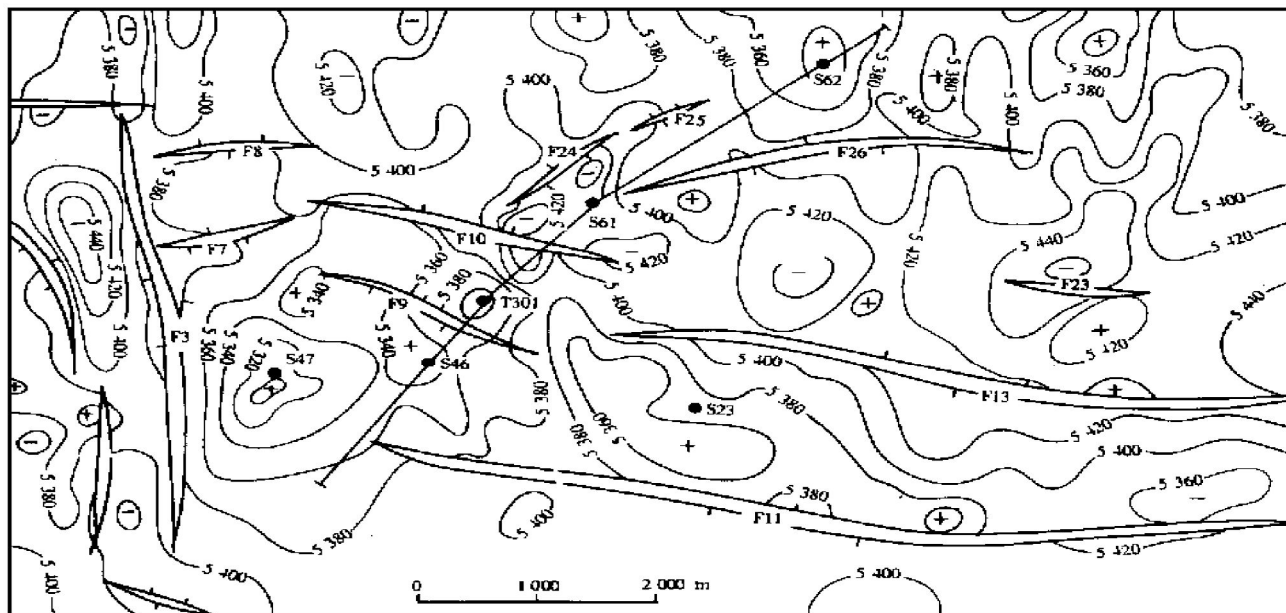


图4 塔河3号-沙61井区下奥陶统顶面(T_7^0)等深度图

Fig. 4 Bathymetric map showing top of Lower Ordovician from Tahe 3 to Sha 61 wells

(据西北石油局规划院图修编,深度从海拔900 m起算)

2.6 圈闭类型

主要有4种类型:(1)由下奥陶统碳酸盐岩潜山表层淋滤岩溶带储集体,包括断块潜山、残丘潜山、褶皱潜山等,其圈闭幅度一般为15~80 m,与上覆厚度为100~200 m的石炭系或三叠系泥岩盖

层组成地层不整合潜山圈闭;(2)断块潜山、残丘潜山受构造变动挤压褶皱之后,下奥陶统碳酸盐岩渗流岩溶带和潜流岩溶带内似层状的储集层体与上覆致密灰岩盖层组成潜山内幕背斜圈闭;(3)潜山渗流岩溶带内发育局部的非层状的裂缝、孔、洞、穴

储集体,被周围致密灰岩封挡形成岩性圈闭;(4)当潜山渗流岩溶带垂向断层裂缝十分发育,裂缝、孔、洞、穴储集体宽大而深厚时,石炭系泥岩或三叠系泥岩为其顶部盖层,而下奥陶统致密灰岩为储集体深部四周的封挡层,从而形成地层不整合与潜山内幕岩性复合型圈闭,当断块潜山褶皱时,亦可形成地层不整合与潜山内幕背斜复合型圈闭。

2.7 油气藏类型

依据底水深度和圈闭类型不同可将塔河油田划分为5种油气藏类型:①塔河4号主体S48, T401, TK407井区为潜山风化壳+大溶积裂缝、孔、洞、穴型底水油藏;②塔河4号北部T402井区为断块潜山+潜山内幕背斜裂缝、孔、洞、穴复合型底水油藏;③塔河3号S46, S47, T302井区为断块潜山+潜山内幕背斜孔、洞、穴、裂缝复合型底水油气藏;④塔河3号T301井区为断块潜山裂缝+潜山内幕背斜裂缝、孔、洞、穴复合型底水油气藏;⑤塔河5号S60井区属以裂缝型为主的凝析气藏。

3 具有寻找特大型油气田的前景

根据已知储量资料,预测塔河油田及其外围可划分为4类区块:①最好的富集区块,如塔河4号油田,将已提交探明储量和新增地质储量二者平均,每平方公里储量丰度为 215×10^4 t;②较好的富集区块,将塔河5号油气田预测地质储量与牧场北油田预测地质储量二处平均,每平方公里储量丰度为 135×10^4 t;③中等的富集区块,如塔河3号油气田,将已提交探明储量和新增地质储量二者平均,

每平方公里储量丰度为 63.5×10^4 t;④一般的富集区块,从艾协克断块潜山-背斜带以南到牧场-桑塔木盐边构造带以北的下奥陶统潜山平台区,目前没有钻探,暂按每平方公里地质储量 50×10^4 t预测。则从最好到一般富集区块,油气地质储量为 $215 \times 10^4 \sim 50 \times 10^4$ t/ km^2 。目前,新星石油公司登记的下奥陶统有利地区面积约 500 km^2 ,按一般每平方公里储量 50×10^4 t和较好每平方公里储量 100×10^4 t估测,则未来在塔河油田及外围可拿到地质储量 $2.5 \times 10^8 \sim 5 \times 10^8$ t油当量。如果对阿克库勒凸起高部位长期遭受风化、淋滤的 1200 km^2 下奥陶统裸露区开展全面勘探,很有希望发展成大场面,拿到一个整装的特大型油气田,以实现石油工业“稳定东部,发展西部”的战略接替大目标。

本文编写过程中参阅了新星石油公司系统特别是西北石油局的大量资料,特向有关单位和作者表示诚挚感谢。

参 考 文 献

- 1 张抗. 塔河油田的发现及其地质意义[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 120~124
- 2 梁狄刚. 塔里木盆地九年油气勘探历程与回顾(续)[J]. 勘查家, 1999, (1): 56~60
- 3 张锦泉, 耿爱琴. 古岩溶与油气储层[A]. 见: 成都地质学院地质矿产研究所, 长庆石油勘探局勘探开发研究院译编. 古岩溶与油气储层[C]. 成都: 成都科技大学出版社, 1991. 142~149
- 4 叶德胜, 王恕一, 张希明, 等. 新疆塔里木盆地北部储层沉积、成岩特征及储层评价[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1995. 25~111

OIL AND GAS POOL FORMING CONDITION AND EXPLORATION PROSPECTS OF ORDOVICIAN CARBONATE ROCKS IN AKEKULE REGION, TARIM BASIN

Zhou Yongchang Wang Xinwei Yang Guolong
(Northwest Bureau of Petroleum, CNSPC, Urumqi, Xinjiang)

Abstract: Oil and gas fields such as Tahe 3, 4, 5 and Lunnan buried-hill were found in the Ordovician carbonate rocks in Akekule region, Tarim Basin. The oil and gas are mainly distributed in the weathered crust and leaching zones of buried-hill, vados and underflow karst with the thickness of 250 m; in paleo-karst highland and slopes, the convergent places of faults and fractures. The carbonate rock reservoirs are fracture, cave and hole types; the Carboniferous mudstone is the cover of the lower Ordovician, the Lower Ordovician dense limestone is impermeable sealing bed, and Late Hercynian is the main pool-forming stage.

Key Words: Tarim Basin; Akekule region; Ordovician carbonate rock; oil and gas prospects