

文章编号:0253-9985(2010)01-0001-12

塔河油田奥陶系碳酸盐岩岩溶发育特征与主控因素

漆立新,云 露

(中国石油化工股份有限公司 西北油田分公司 石油勘探开发研究院,新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要:塔河油田中-下奥陶统缝洞型储层是加里东中期—海西早期多次构造运动引起的多期岩溶作用叠加改造的结果。结合地质、地球物理和地球化学等分析方法,论述了塔河油田奥陶系碳酸盐岩多期岩溶发育特征及其主控因素,揭示了加里东中期第一幕、第二幕、第三幕和海西早期4个主要岩溶发育阶段,解析了岩溶储层成因演化过程及改造历史,研究认为海西早期及加里东中期第一、第二幕为主要岩溶时期,特别是海西早期最为重要,岩溶发育的主控因素是古构造、岩溶地貌及古水系地质环境。

关键词:主控因素;岩溶;碳酸盐岩;缝洞型储层;塔河油田

中图分类号:122.2

文献标识码:A

Development characteristics and main controlling factors of the Ordovician carbonate karst in Tahe oilfield

Qi Lixin and Yun Lu

(Petroleum Exploration & Exploitation Research Institute, SINOPEC Northwest Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: The Middle and Lower Ordovician fractured-vuggy reservoirs in the Tahe oilfield experienced multi-stage karstification caused by multi-stage tectonic events from the Middle Caledonian to the Early Hercynian. Based on integration of geological, geophysical and geochemical data, we discuss the development characteristics and main controlling factors of multi-stage karstification of the Ordovician carbonates in the Tahe oilfield. Four main periods of karstification are identified as follows: the 1st Phase, 2nd Phase and 3rd Phase of the Middle Caledonian and the Early Hercynian. The origin, evolution and transformation history of the karst reservoirs are also discussed in this paper. According to this study, the major karstification periods are the Early Hercynian, the 1st Phase and the 2nd Phase of the Middle Caledonian, of which the Early Hercynian is the most important period. The main controlling factors of karstification are paleostructures, karst topography and geological conditions of paleo-drainage-system.

Keywords: controlling factor, karst, carbonate rock, fractured-vuggy reservoir, Tahe oilfield

1 地质背景

塔河油田奥陶系碳酸盐岩岩溶对奥陶系油藏具有十分重要作用,岩溶不仅造就了油藏的储集体,而且造就了油藏发育的圈闭—岩溶缝洞型圈闭(图1)。奥陶系岩溶具有多期岩溶作用改造的历史^[1~4]。

塔河地区奥陶系共划分为6个岩石地层单元

(组),即下统蓬莱坝组、中-下统鹰山组、中统一间房组、上统恰尔巴克组、良里塔格组和桑塔木组,钻井主要揭示地层为上统和中-下统(不含蓬莱坝组,图2)。鹰山组主要岩性为黄灰色含砂屑泥晶灰岩、白云质灰岩;一间房组主要岩性为灰色含生物屑泥晶灰岩、亮晶砂屑灰岩、黄灰色泥晶砂屑灰岩、砂屑泥晶灰岩;恰尔巴克组上部为棕红色灰质泥岩,下部为浅褐色泥质泥晶灰岩、灰色泥晶灰岩;良里塔格组主要岩性为褐灰色泥晶灰岩;桑

收稿日期:2009-09-16。

第一作者简介:漆立新(1962—),男,教授级高级工程师,石油地质。

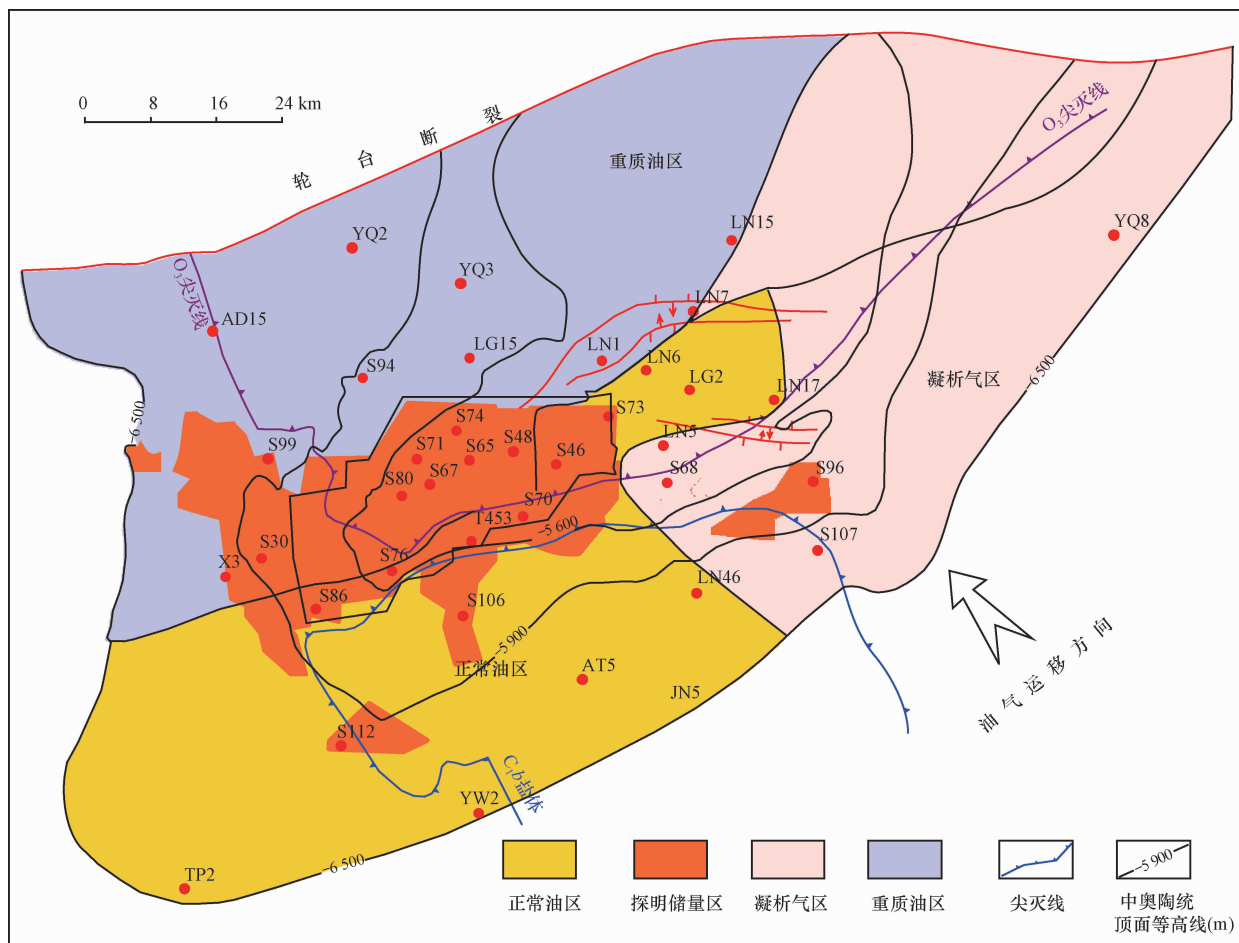


图1 塔河油田奥陶系地层不整合-岩溶缝洞型油气藏展布范围示意图

Fig. 1 Distribution of the Ordovician unconformity-karst reservoirs of fractured-vuggy types in Tahe oilfield

塔木组上部为灰色泥岩与黄灰色(泥质)泥晶灰岩、灰色(灰质)粉砂岩不等厚互层,下部灰色泥岩与灰质泥岩。

塔河地区奥陶系岩溶缝洞型储层主要发育在一间房组和鹰山组顶部的岩溶古风化壳,即中-下奥陶统顶部。地层、古生物及构造研究成果证实,塔河地区奥陶系经历了加里东中期—海西晚期的多期构造运动,形成了多个不整合面,并引起了多期表生岩溶作用:在加里东中期就发生了3次大规模暴露,分别表现为中奥陶世与晚奥陶世之间(加里东一幕)、晚奥陶世内幕良里塔格期与桑塔木期之间(加里东二幕)以及晚奥陶世与早志留世之间(加里东三幕)构造运动;加里东晚期,表现为晚志留世与早泥盆世之间的不整合面。海西早期,表现为晚泥盆世到早石炭世之间的不整合面,在上奥陶统缺失区下石炭统直接超覆在中-下奥陶统古风化壳之上。海西晚期,表现为二叠纪末的构

造运动,局部地区下三叠统直接超覆在中-下奥陶统古风化壳之上^[5,6]。

2 岩溶发育概况

通过对塔河油田钻遇奥陶系600余口井钻遇溶洞情况统计表明,未充填大中型溶洞频率为44.9%,充填溶洞频率为29.6%。在塔河油田已发现的最大未充填溶洞达29.49 m(T808K井5763.51~5793.00 m),S106-1井放空也达28.53 m(放空井段为5851.89~5880.42 m);根据测井资料解释的最大未充填溶洞达37 m(AD4井6505~6542 m)。在岩心上发现的最大全充填溶洞达20 m(T615井5535~5555 m);根据测井资料解释的最大全充填溶洞达73 m(TK409井5586~5659 m),T403井全充填溶洞也达67 m(5488~5555 m)。在塔河油田已发现

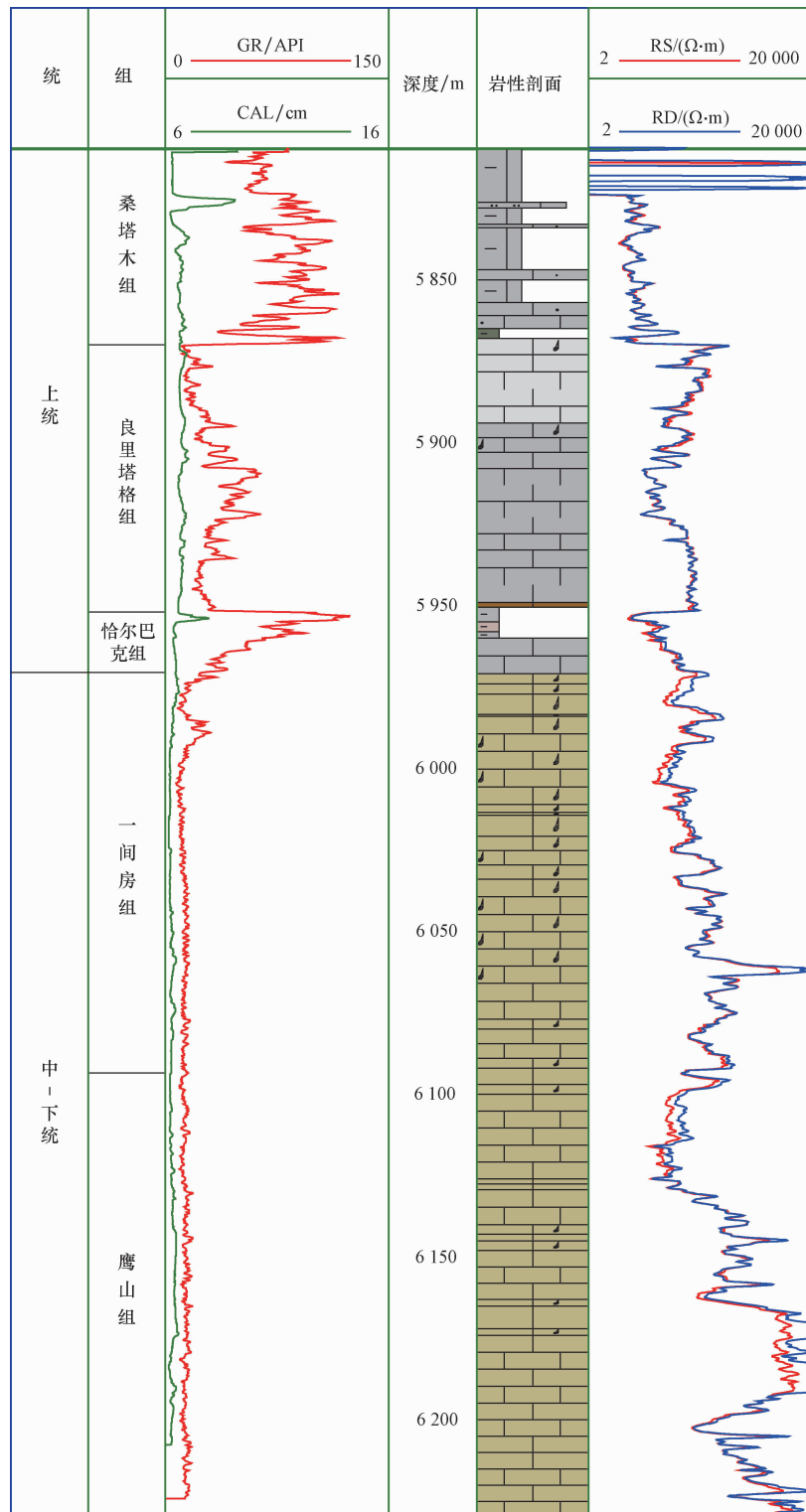


图 2 塔河油田奥陶系综合柱状图

Fig. 2 Stratigraphy column of the Ordovician in Tahe oilfield

的井深最大有效洞穴是 AD14 井的 6 721.4 ~ 6 750.0 m 井段(距 T_4^1 面 129.4 m),而井深最浅的有效洞穴是 S72-1 井的 5 519.07 ~ 5 526.03 m

井段(距 T_4^1 面 25.07 m),两者相差 1 200 多米。统计资料表明塔河油田奥陶系钻遇溶洞率之高、强度之大实属罕见。

3 岩溶作用

3.1 加里东中期岩溶作用

加里东中期阿克库勒凸起奠定雏型,该期可细分为3幕:第一幕发生于中、晚奥陶世间,在塔北地区表现为中奥陶统一间房组(O_{2yj})与上奥陶统恰尔巴克组(O_{3q})之间的假整合,有2~3个牙形刺带缺失;第二幕发生于良里塔格期(O_{3l})与桑塔木期(O_{3s})之间的暴露作用,桑塔木组明显超覆于良里塔格组之上;第3幕发生于桑塔木期与志留纪之间的暴露作用,与加里东中期晚幕不整合面相当,塔北下志留统超覆于桑塔木组之上。

3.1.1 岩溶作用的识别标志

塔河地区加里东中期岩溶作用主要发生在中奥陶世与晚奥陶世之间(第一幕)及晚奥陶世内部(第二幕),发育深度较大。并且该期岩溶作用的证据主要有4个。

1) 地震证据:中-上奥陶统内部存在超覆接触,一间房组与恰尔巴克组之间存在削截现象,均表明其间存在间断和缺失^[7]。

2) 古生物证据:S69井等在中奥陶统与上奥陶统之间缺失了2~4个牙形刺带^[7],表明有沉积间断。

3) 钻井证据:有多口井在中上奥陶统泥质岩覆盖区发现有岩溶发育段,如S112井在6170~6173 m井段出现严重漏失,该段距奥陶系顶面682 m,其上覆上奥陶统累计厚达250 m的泥质岩;类似情况还有S109, T739, T904井等,因此这些岩溶发育段不可能是海西期的产物,只能是加里东期所形成的。

4) 地球化学标志:加里东中期岩溶洞穴方解石的锶同位素比值小于0.7094,同时含烃盐水包裹体的烃类成熟度较低。

根据重结晶方解石斑块的Sr同位素值(0.709352~0.708196)与早奥陶世海洋的Sr同位素组成(0.7077~0.7094)对比发现二者相近。因此,加里东中期与洞穴形成同期充填方解石沉淀过程中成岩溶液中的Sr同位素主要受奥陶系碳酸盐岩控制,且值较低,取其上限0.709400,而测试的洞穴方解石Sr同位素值小于该值,说明该洞

穴是加里东中期形成的。通过测试方解石中包裹体烃类的成熟度(以荧光作大致判别)、均一温度作为辅助指标,进一步判别洞穴形成时期(图3)。

3.1.2 岩溶特征

1) 岩溶地貌较平缓

与海西早期比较,加里东中期岩溶地貌较为平缓,仅以加里东中期第二幕为例,在上奥陶统桑塔木组残存的地区,良里塔格组厚度有明显的变化,在塔河油田南部地区,良里塔格组变薄主要是沉积环境发生改变,从而使岩性向灰质泥岩、泥灰岩转变;北部桑塔木组覆盖区内良里塔格组厚度变薄,主要原因是经历了加里东中期第二幕岩溶的风化剥蚀。AD4井和AD6井井区以及T701井井区存在桑塔木组,良里塔格组仅厚30~50 m,缺失第二岩性段上部和第三岩性段;而在塔河油田内良里塔格组未发生相变的地区,良里塔格组普遍厚度在80~120 m。所以,桑塔木组覆盖区内的良里塔格组厚度可以反映加里东中期第二幕岩溶的古地貌形态。

桑塔木组覆盖区内良里塔格组总体上其厚度变化不大(图4),表明加里东中期第二幕岩溶的古地貌较为平缓,在艾丁地区和在桑塔木组尖灭线附近的TK725和T701井区厚度较薄,表明这些地区古地貌相对较高。第二幕岩溶作用影响较大的地区在艾丁地区。

2) 岩溶型储层具有强烈的层控性

通过对区内有关钻井剖面加里东期大气水流

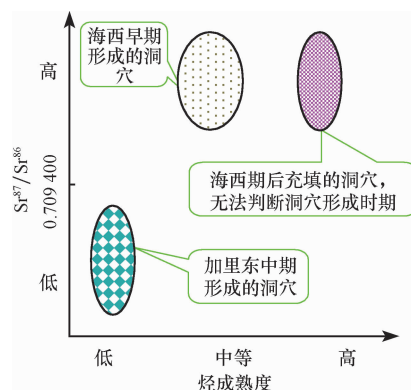


图3 洞穴充填方解石含烃盐水包裹体成熟度、锶同位素匹配关系

Fig. 3 Interrelation between strontium isotope and maturation of hydrocarbon-bearing salt water inclusions in the cave-filling calcites

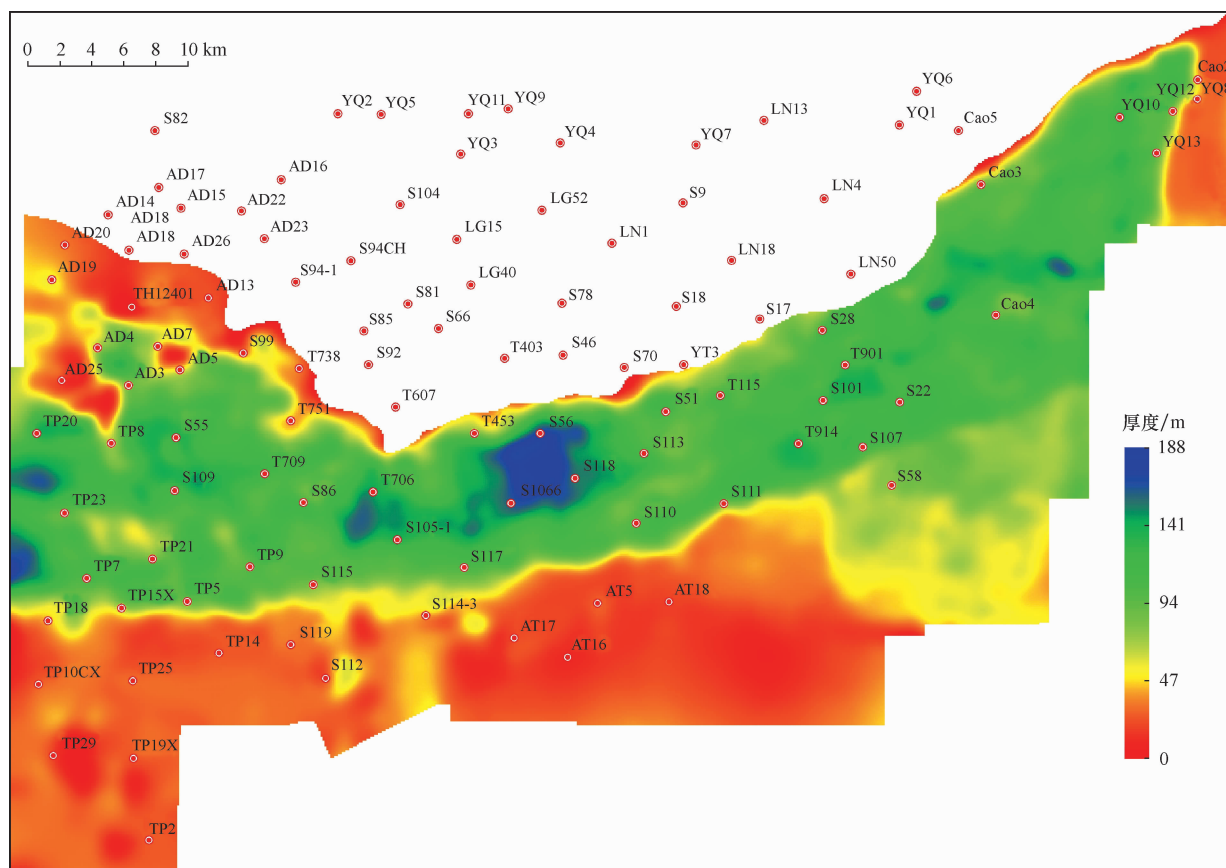


图4 塔河油田桑塔木组覆盖区内良里塔格组厚度

Fig. 4 Thickness of the Lianglitage Formation in the area where the Sangtamu Formation occurs in Tahe oilfield

体活动痕迹的识别表明,多口井奥陶系岩心上见到此期大气水活动痕迹,基本出现在一间房组或良里塔格组顶部 0~30 m 的范围内,个别可深达 60~90 m,该期大气水流体活动主要在加里东期平行不整合面表层附近发育,具有强烈的层控性。

而从钻井放空、漏失情况来看,良里塔格组(O_3l)和恰尔巴克组(O_3q)下部岩溶不发育。岩溶作用主要发育在中奥陶一间房组(O_{2yf})顶面(T_7 平行不整合面)以下0~60 m范围内(图5),并随着与 T_7^4 不整合面距离的加大,发育程度逐渐降低,岩溶段发育深度主要受断裂控制。分段统计结果表明,在中奥陶统顶面以下0~60 m范围内,放空层占中-下奥陶统放空层总数(14层)的50%,其中0~10 m段和30~60 m段范围最发育;而漏失层占中-下奥陶统漏失层总数(20层)的55%,其中0~30 m段占50%。在中奥陶统顶面以下60~120 m范围内,放空层占中-下奥陶统放空层总数(14层)的14.3%,漏失层占中-下奥陶统漏失层总数(20层)的30%;在中奥陶统顶面

以下 120 ~ 180 m 范围内,放空层占中-下奥陶统放空层总数(14 层)的 28.6%,漏失层占中-下奥陶统漏失层总数(20 层)的 15%;在距中奥陶统顶面 180 m 以下,仅 S115 井在 6 159.96 ~ 6 163.95 m 井段(距中奥陶统顶面 260 m)钻遇放空。

3) 岩溶型储层非均质性强

据塔河油田主体区及外围区百余口井的综合识别,可见加里东期平行不整合面控制的大气水流体活动的平面分布规律清楚,塔河油田主体区奥陶系碳酸盐岩岩心上缺乏此期大气水流体活动的踪迹,加里东期大气水流体活动的多口井均位于塔河油田南部及西南部上奥陶统覆盖区。结合前述此期流体活动的纵向分布特征,认为塔河油田主体区奥陶系碳酸盐岩岩心上缺乏此期大气水流体活动的踪迹,并非此期流体活动在该区不发育,也非此期流体活动受到海西早期叠加改造而难以识别,由于塔河油田主体区发育加里东期大气水流体活动的地层已被剥蚀殆尽。而据南部、西南部 55 口井的综合识别,仅有 24 口井揭示

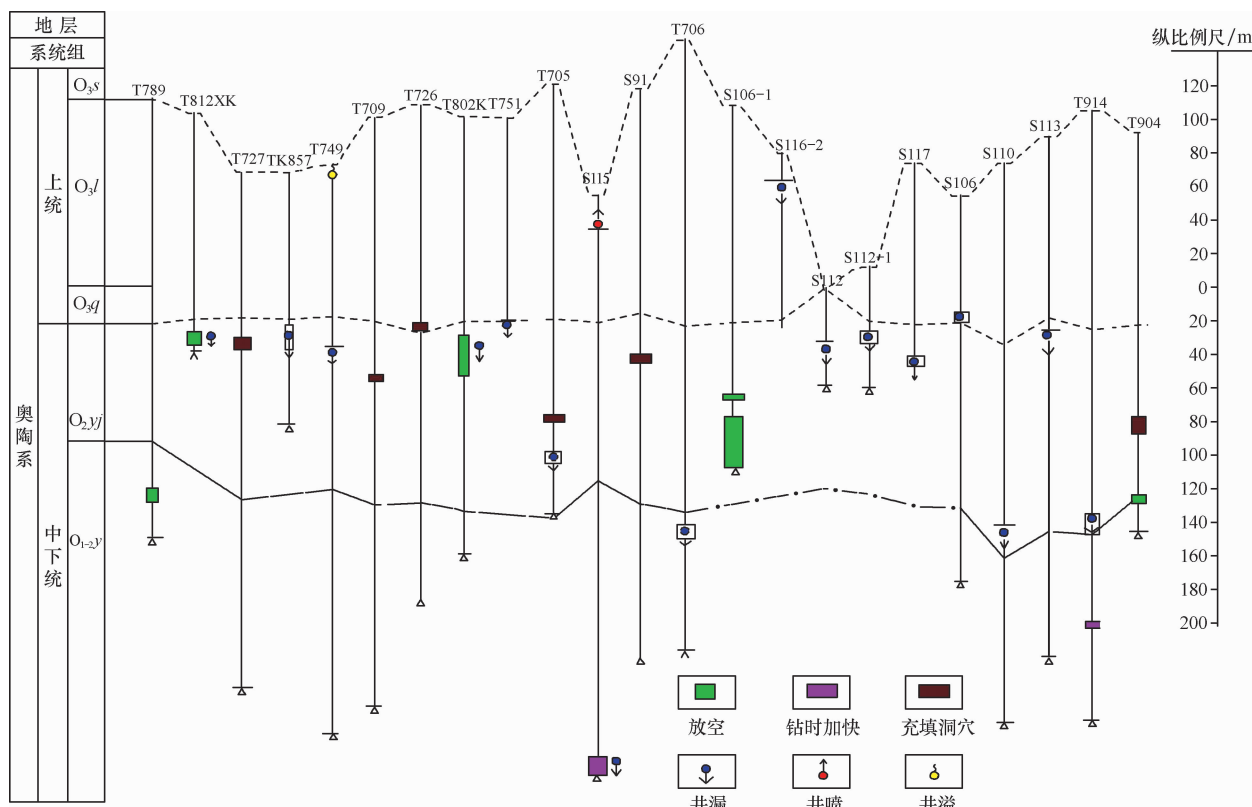


图5 塔河油田南部奥陶系洞穴层对比

Fig. 5 Correlation of the Ordovician cavernous formations in Tahe oilfield

有加里东期大气水流体活动的迹象,则证实了该期大气水流体活动的非均质性。

4) 岩溶平面分布受断裂带控制,呈条带状展布

在塔河油田南部上奥陶统桑塔木组(O_{3s})覆盖区,岩溶作用平面上分布特征呈4个岩溶发育条带:①T739—S108—S112井区条带主要沿近南北向、北北西向断裂带条带状分布。根据已完钻23口井统计,岩溶特征明显的钻井12口。其中,T749井5 822.80~5 829.23 m的井段及S115井5 844.21~5 849.96 m的井段发育良里塔格组(O_{3l}),以溢流、井喷为特点。②S106-2—S117井区条带现有完钻井7口,且都钻遇岩溶缝洞。其中,除S116-2和S106井以井漏为特征,发育于良里塔格组(O_{3l})及恰尔巴克组(O_{3q})中,其余5口井均发育在中下奥陶统,以放空、井漏为特征。S106-1井放空两次,其中5 851.00~5 880.42 m井段放空28.53 m,而且还未探底,其余放空井段均大于2 m。③S113—S110井区条带位于S106-2—S117井区的东部,呈近南北向的条带状展布。目前已完钻的两口井发育5个岩溶段,以井漏、洞

穴充填为特征,未见放空层段。除S110井在良里塔格组(O_{3l})发生井漏外,其余4层均发育于中下奥陶统。④S101—T914井区条带位于塔河油田东部,呈北东向带状展布。目前有S101井,T904井,T914井3口完钻井,共见7个岩溶段。除S101井5 699.02~5 763.00 m井段发育于良里塔格组中,其余均发育于中下奥陶统。该井区岩溶发育特征以井漏、放空为特征,而且S101井5 766.66~5 820.00 m井段漏失量较大,为2 432.00 m³。

3.2 海西早期岩溶作用

海西早期构造运动在研究区北部显示为中—下奥陶统与下石炭统巴楚组不整合接触,轮南断裂下盘阿克库勒地区发育成一北东向展布、向南西方向倾伏的大型鼻状凸起^[8]。岩溶作用具有以下特征。

1) 在阿克库勒凸起岩溶高地和I级岩溶斜坡地区,厚度较小的上奥陶统一中下泥盆统地层被迅速剥蚀,中下奥陶统长时间接受大气淡水的岩溶改造,形成了规模巨大的岩溶系统。

2) 岩溶作用具有持续时间长、影响范围广、岩溶强度大、大型岩溶洞穴发育的特点。海西早期,奥陶系地层经历了压实作用,基质孔渗性能差,地形高差大,断裂发育,水动力条件好,为形成大型洞穴提供了有利条件。海西早期岩溶时期形成的洞穴从北部于奇地区的YQ2井、YQ3井、YQ4井到南部的S119-3井,从西部的艾丁地区到东部的9区均有发育,岩溶强度大,影响范围广。

3) 海西早期构造运动具有幕式升降的特点,根据现有资料,主要存在3幕升降,潜水面经历了3次较大的升降,相对应的形成了3套洞穴层(图6)。同时,这3幕岩溶的主要对象为中-下奥陶统碳酸盐岩,其次是上奥陶统恰尔巴克组下段,这就造成中下奥陶统大型洞穴特别发育。因此海西早

期岩溶具有幕式特征。

4) 海西早期古岩溶时期,古地貌具北高南低的特征。岩溶高地位于奇北部和轮南地区,塔河3,4,6区处于斜坡带,该斜坡带先于西北斜坡带隆升,为Ⅰ级缓坡(图7),西北斜坡带为Ⅱ级缓坡,南部桑塔木组覆盖区则为岩溶盆地。

5) 岩溶对处于斜坡背景上桑塔木组覆盖区的中下奥陶统仍具有一定的影响。

无论是中下奥陶统直接出露的北部地区还是桑塔木组覆盖区,中下奥陶统都表现出海西早期岩溶强烈或较为强烈发育的特征,除了构造-风化裂隙、缝合线裂开缝洞和岩溶缝洞发育外,大型洞穴层的发育是其显著特征。这主要在于海西早期构造运动形成大量的断裂和巨大的地形高差为该期岩溶作用在桑塔木组覆盖区的进行提供了比

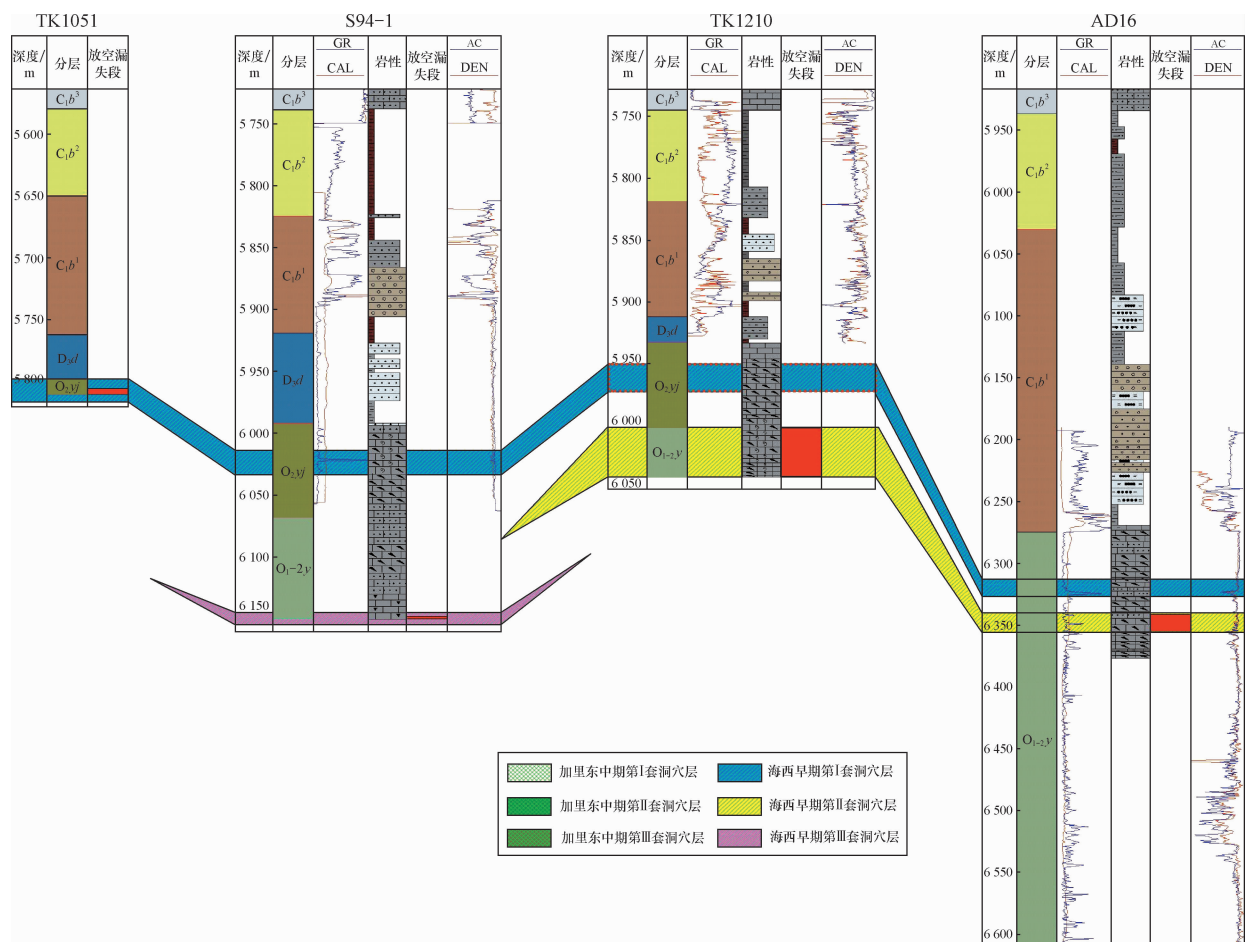


图6 海西早期古地貌背景下TK1051—S94-1—TK1210—AD16井岩溶洞穴对比

Fig. 6 Correlation of cavernous formations in the TK1051, S94-1, TK1210 and AD16 wells in the Early Hercynian paleogeomorphic setting

4.1 断裂对岩溶储层的控制作用

断裂及其伴生裂缝是岩溶作用的先期通道,增加了水与碳酸盐岩的接触面积,增大了地表水及地下水的溶蚀范围,改善了碳酸盐岩的渗流作用,使溶蚀作用增强,溶蚀速度加快^[10]。在碳酸盐岩内部形成一个可代谢的淡水溶蚀系统,从根本上为空间范围内大规模的碳酸盐岩溶蚀作用提供了条件。通过对塔河115口放空漏失井统计表明放空漏失91%在断裂带附近。并且地震剖面上其对串珠状反射特征与断裂走向及洞穴发育走向具有一致性^[11]。断裂对岩溶洞穴的控制作用主要表现为:

1) 断裂增加了地表水和地下水与碳酸盐岩的接触面积和溶蚀范围

通过对T738井岩心观察表明,一间房组上覆地层上奥陶统有一套灰质角砾岩,并且T738—T751井区精细相干切片上可以清楚地观察到一间房组顶面发育一条近南北向岩溶水系(图8)。溶蚀水系与北北西向深部大断裂交汇,并且在交汇处终止,表明地表水沿断裂形成的裂缝下渗,北北西向断裂控制了工区西部沿断裂带发育的岩溶。

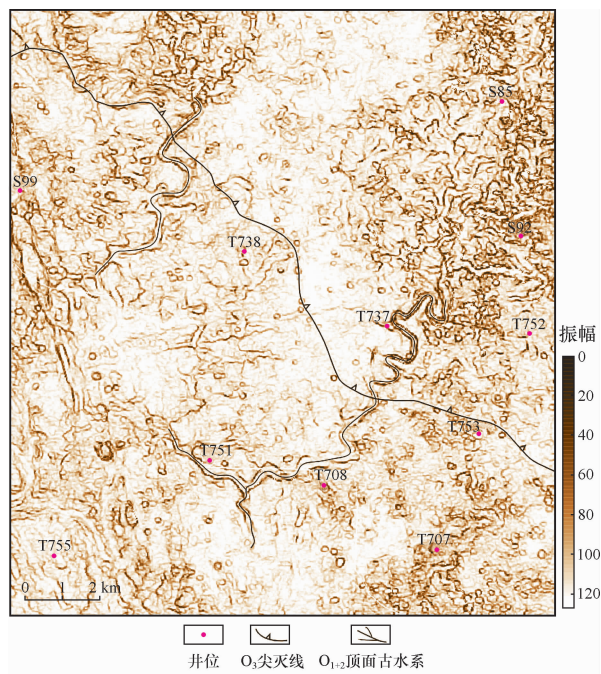


图8 T738—T751井区中下奥陶统顶面
0~30 ms 精细相干分析

Fig. 8 Fine coherency analysis in a window of
0~30 ms on the top of the Middle-Lower
Ordovician in T738 and T751 wellblocks

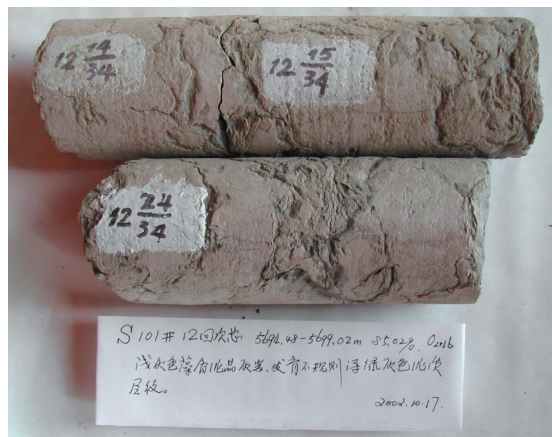


图9 S101井裂缝发育段

Fig. 9 Intervals with well-developed fractures
in S101 well

另外,在桑东塔河一号油田南部存在一组加里东中期形成的近南北向断裂,断裂分布于S51, T114, S118, S113, S110井区,呈近南北向条带分布,可见沿断裂方向发育3组近南北向岩溶水系。

2) 断裂带是裂缝与岩溶发育的密集带

当钻遇断层或井附近存在断裂、溶蚀缝和溶洞的位置时多数会出现放空漏失现象。S101井在奥陶系良里塔格组和一间房组中钻遇了孔缝发育带,取心中见到裂缝和溶孔发育现象,在5 694.48~5 694.87 m井段见到有具断层泥和滑动擦痕的大裂缝存在,缝宽大于6 cm,缝内充填物为方解石、碳质和泥质,裂缝充填物疏松(图9)。在良里塔格组5 699.02~5 769.28 m井段和一间房组5 769.28~5 820.00 m井段严重漏失,总共漏失泥浆2 136 m³,且在5 766.40~5 766.50 m, 5 767.30~5 767.40 m, 5 769.15~5 769.25 m钻时约1 min/m,近似放空。Line2380剖面上显示S93井在中下奥陶统钻遇断裂,且5 701.79~5 707.79 m处岩心中上部存在厚约0.71 m的一个溶洞,被灰绿色粉砂质泥岩充填,内含有溶塌灰岩砾块(图10)。T313井在进入鹰山组后钻进至5 473.00~5 476.96 m,共漏失泥浆914.5 m³,亦因为其钻遇断裂伴生的裂缝发育带。

3) 多条断裂控制的背斜残丘高点也是裂缝发育区

断裂控制的背斜高点是构造应力集中部位,因此在背斜高点容易形成与断裂同一应力场的构造裂缝。S74井处于两条断裂控制的高点,其在井

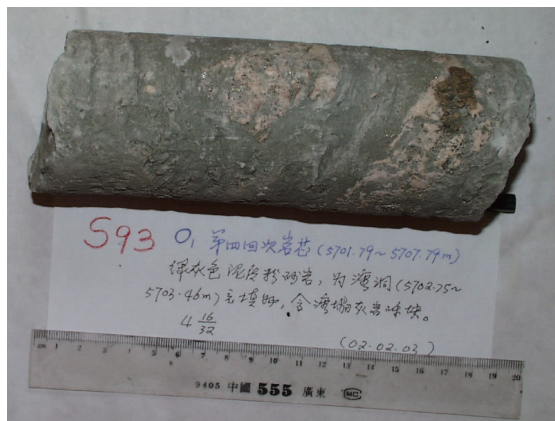


图10 S93井溶洞发育段

Fig. 10 Intervals with well-developed karst caves in S93 well

段5 556.84 ~ 5 564.07 m 出现井涌,原油涌出喇叭口。S65井同样处在两条断裂控制的断块高点,在进入鹰山组后槽面出现油花,漏失泥浆 3.3 m^3 。S94井为两条断裂夹持的高点,在井深5 891.95 ~ 5 892.78 m 钻遇一溶洞,溶洞内充填浅灰色泥质粉砂岩、含粉砂质泥岩。S99井位于艾丁地区两条北北西向断裂控制的断块高点,奥陶系岩心上裂缝后期充填严重,表明早期构造裂缝也发育。

地层褶曲部位发育断层,由于断层上盘是应力集中部位,裂缝带常常在这些部位发育。S112井位于断层上盘,进入良里塔格组57 m 钻至6 173 m 时发生井漏,共漏失泥浆 206.82 m^3 ,表明其钻遇裂缝发育带。S101井位于地层褶曲的断层上盘,其在良里塔格组 and 一间房组都钻遇裂缝发育带,同时出现放空和漏失现象,共漏失泥浆 $2\,136\text{ m}^3$ 。S77井也是处于这种位置,在5 451.32 ~ 5 459.37 m 和5 710.51 ~ 5 717.51 m 鹰山组井段为良好的裂缝油气层,该井完井测试获高产工业油气流。位于断裂上盘的S90井在鹰山组5 377 ~ 5 398 m 井段同样发育良好的裂缝带,完井测试获得高产油气流。

4.2 岩溶洞穴层发育受控于古地貌、古水系

现代岩溶地质调查研究也已表明,洞穴层发育与岩溶古地貌、古水系有着密切的关系。一般而言,岩溶高地相带是岩溶大气水的区域补给区,地下水动力以垂向渗入渗流带为主,水平潜流带欠发育,决定了储渗空间以溶蚀裂隙、孤立孔洞发育为特征,潜水面洞穴层或洞穴型储层欠发育;而

岩溶盆地相带,地下水水动力分带不明显,地下水的动力和化学溶蚀能力均已减弱,因而,缺乏溶蚀作用和洞穴型储层;岩溶斜坡相带,即连接岩溶高地与岩溶盆地的过渡带,地下水动力具垂向渗入和水平运动,地下径流区发育,决定了水平洞穴层或洞穴型储层非常发育。按照前述海西早期塔河地区岩溶相带划分方案,塔河油田主体区都处于这一时期的岩溶斜坡相带,奠定了油田广大区域奥陶系碳酸盐岩剖面上均可有洞穴层或洞穴型储层的发育。

本区海西早期岩溶地貌地形起伏大,总体具明显的北高南低的特征,北侧为岩溶高地,南侧及东西两侧均为岩溶谷地,其间为岩溶斜坡。

岩溶斜坡分布于岩溶高地与岩溶谷地之间的过渡地带,在岩溶斜坡上坡度较小、比较平缓的地区(岩溶缓坡),地表及地下水系较为发育,岩溶作用较强且纵向上分带特征明显,岩溶垂向序列发育完整,如S47, T301, T302井等。同时次级潜流改造带也较发育,如LN15, T301, T302井等。近地表渗入岩溶带的发育明显受古岩溶地貌及地表水系发育程度的控制,其发育部位及展布方向与古岩溶地貌及地表水系相匹配;地表径流的流速较慢,渗透量大;受区域潜水面的控制,垂直渗流岩溶带厚度相对较小;水平潜流岩溶带极为发育,厚度约150 ~ 250 m,其发育部位及展布方向与海西早期断裂系统及古水系有关。受早期断裂系统以及岩性特征、水文地质条件等因素控制,潜流岩溶发育深度存在差异。由于东南斜坡区早期断裂系统发育程度明显低于其北东向轴部区,从而造成岩溶作用发育的程度、规模,北东向轴部区明显好于两翼斜坡区。

岩溶斜坡上近地表渗入岩溶带、水平潜流岩溶带及次级潜流改造带发育的水平溶洞或落水洞也多被地下暗河充填物等充填,但保留的机会较岩溶高地多,在工区目前钻遇放空及漏失井中,大多数位于岩溶斜坡,特别是岩溶斜坡上的次级岩溶残丘,如S48, S47等井(图11)。

岩溶谷地是岩溶地貌中的低洼地区,主要分布于东侧、西侧及南侧,其南部为桑塔木组覆盖区。而靠近岩溶斜坡区的部位,岩溶发育特征与岩溶斜坡相似,但其垂直渗流岩溶带的厚度减小,水平潜流岩溶带及次级潜流改造岩溶带中的水平溶洞多数被地下暗河沉积物充填,如S14, S17

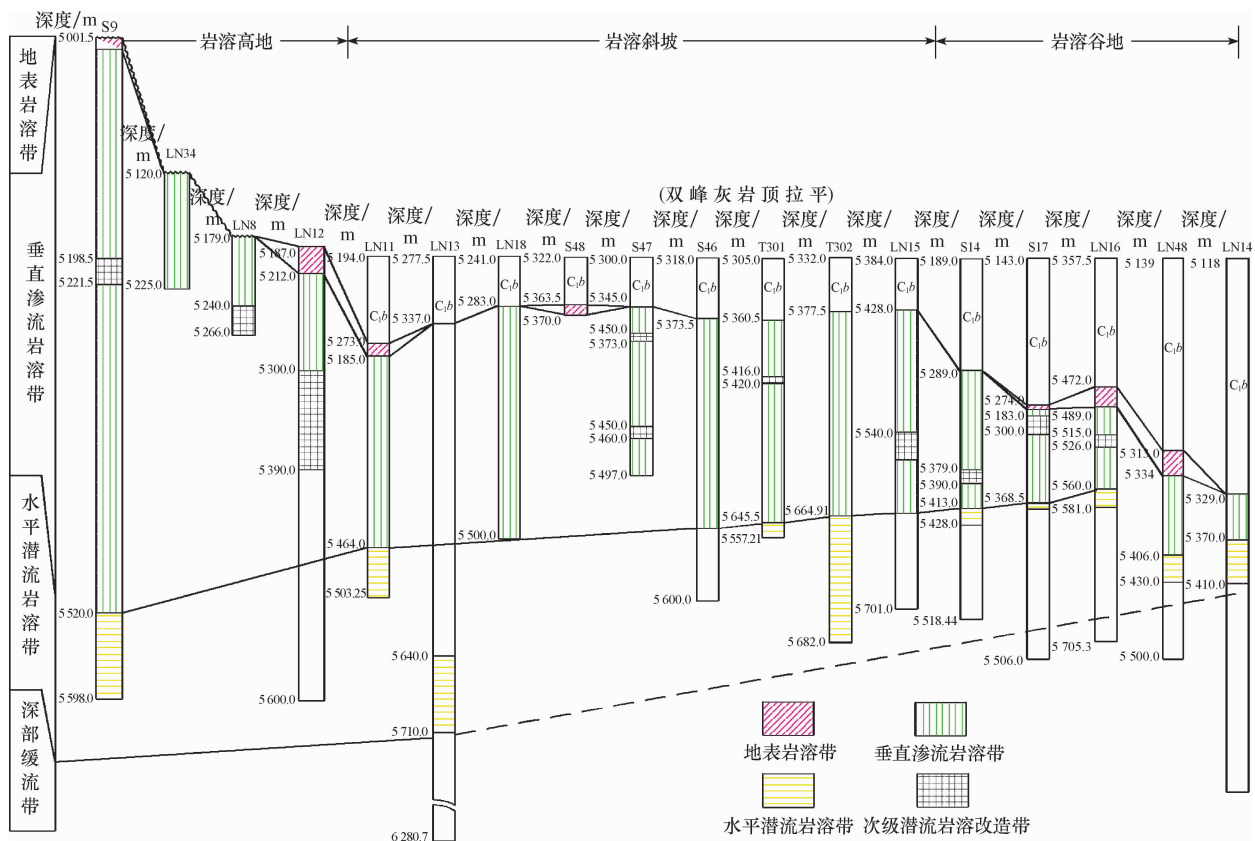


图 11 岩溶地貌与岩溶发育程度的关系

Fig. 11 Relationship between karst topography and karst development

井等。而靠近非岩溶发育区一侧,岩溶不发育,垂向序列不完整,垂直渗流岩溶带及水平潜流岩溶带厚度均薄或不发育,在地表甚至可形成积水区,可发育一些小型溶蚀孔洞和溶缝。

因此,岩溶斜坡的缝洞系统最为发育,且保留机率较高,特别缓坡及其上次级岩溶残丘为寻找岩溶缝洞型储层的有利地区,其次是岩溶高地及岩溶谷地近岩溶斜坡一侧。

综上所述,断裂及其伴生裂缝、岩溶地貌是控制岩溶发育的两大重要因素,其中,岩溶地貌是控制海西早期岩溶发育的重要因素,而断裂及其伴生裂缝是控制加里东中期及海西早期岩溶发育的重要因素^[12,13]。

5 岩溶储层成因演化模式

加里东中期第一幕,即中奥陶世末,塔北地区整体抬升,间断1~2 Ma,可在本区形成下奥陶统内第一套洞穴层,之后被恰尔巴克组和良里塔格组所超覆。加里东中期第二幕(良里塔格期

末)再次抬升,在良里塔格组形成古表生溶蚀。中晚泥盆世,海西早期运动使塔河地区强烈抬升,泥盆系、志留系、上奥陶统及部分中下奥陶统遭受强烈剥蚀,在多个构造运动相对停滞期或缓慢阶段发生较为广泛的岩溶作用,造成潜水面周期性变动,岩溶发育具有成层性,形成并保存多旋回岩溶洞穴层,岩溶发育具有成层性和区域对比性,在古地貌背景上可以进行岩溶洞穴层对比。晚泥盆世末的第一次大规模海侵,在塔河地区外围沉积一套东河砂岩及巴楚组底砾砂岩。在海平面上升过程中,潜水面的变化使得原有岩溶垂向结构遭受叠加改造。其后,巴楚组泥岩超覆其上,古表生岩溶作用基本结束,进入压实岩溶及埋藏岩溶阶段,与之同期伴随的是充填胶结作用(图12)。

6 结语

岩溶作用形成的缝洞型储层是塔河油田奥陶系碳酸盐岩的主要储集类型,因此岩溶作用是塔

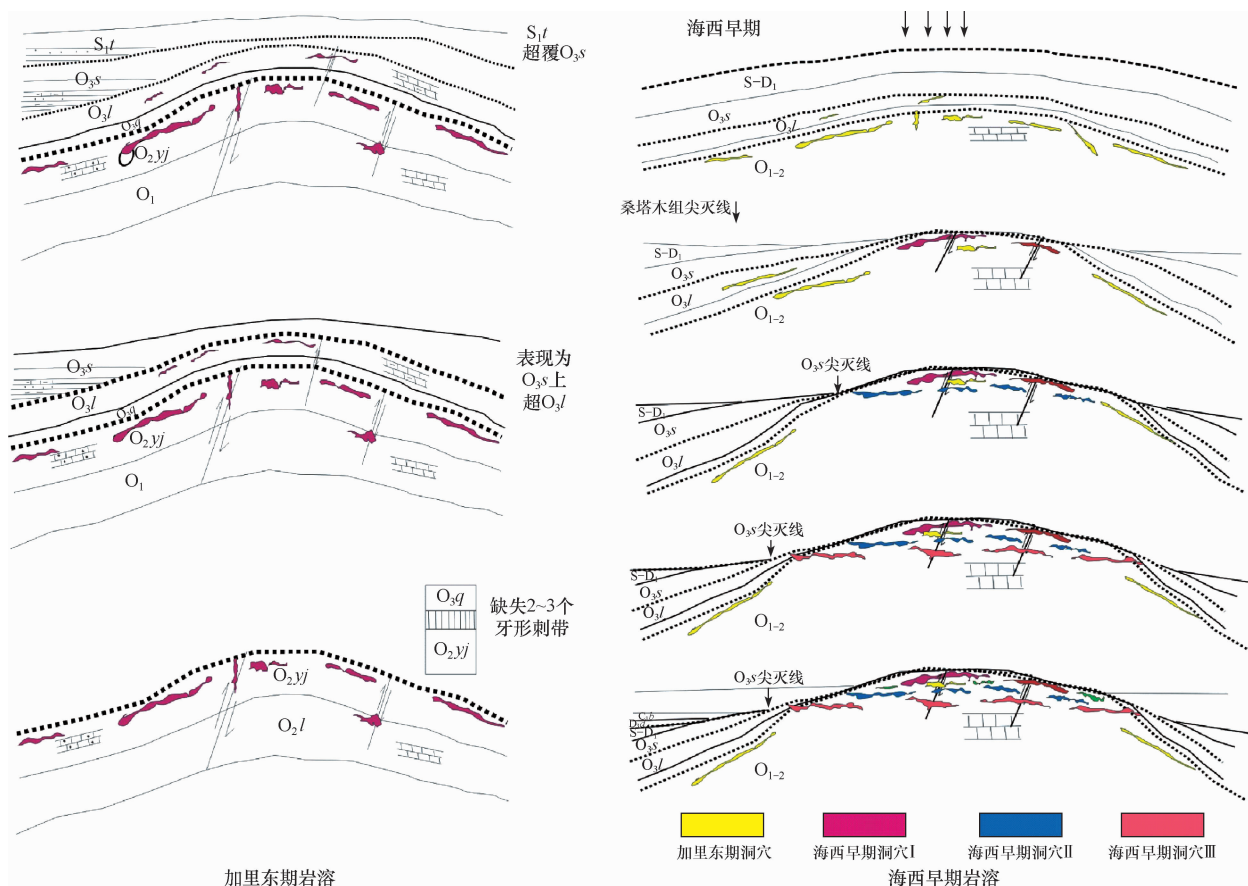


图12 塔河油田奥陶系岩溶演化示意图

Fig. 12 Sketch maps showing the evolution of the Ordovician karst in Tahe oilfield

河油田奥陶系碳酸盐岩油气藏形成的主要控制因素。塔河油田奥陶系岩溶作用具多期、多幕的特征,其主要控制因素为古构造(断裂及其伴生裂缝)、岩溶地貌等。深入研究岩溶作用对塔河油田奥陶系碳酸盐岩油气藏的勘探、开发具有重要意义。

参考文献

- 1 叶德胜,王根长,林忠民,等. 塔里木盆地北部寒武-奥陶系碳酸盐岩储层特征及油气前景[M]. 成都:四川大学出版社, 2000. 88~102
- 2 云露,蒋华山. 塔河油田成藏条件与富集规律[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(6): 768~775
- 3 吕海涛,张卫彪. 塔里木盆地塔河油田奥陶系油气成藏演化过程研究[J]. 石油实验地质, 2008, 30(6): 547~551, 556
- 4 谭承军,吕景英,李国蓉. 塔河油田碳酸盐岩油藏产能特征与储集层类型的相关性[J]. 油气地质与采收率, 2001, 8(3): 43~45
- 5 康玉柱. 中国古生代海相油气田发现的回顾与启示[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(5): 570~576
- 6 翟晓先,刘鹏生. 塔里木盆地北部复杂地质条件下寻找大油气田的方向和地区[A]. 见:康玉柱,陆青,张文献,等编. 中国塔里木盆地石油地质文集[C]. 北京:地质出版社, 1996. 41~45
- 7 张涛,云露,邹兴威,等. 锆同位素在塔河油田古岩溶期次划分中的应用[J]. 石油实验地质, 2005, 27(3): 299~303
- 8 陈发景,王燮培,汤良杰. 新疆塔里木盆地北部构造演化与油气关系[M]. 北京:地质出版社, 1996. 78~82
- 9 林忠民. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层特征及成藏条件[J]. 石油学报, 2002, 23(3): 23~26
- 10 韩革华,漆立新,李宗杰,等. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩缝洞型储层预测技术[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 860~870, 878
- 11 翟晓先. 塔河大油田新领域的勘探实践[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 751~761
- 12 李明娟,张永贵,邹兴威,等. 塔河南部地区碳酸盐岩油气预测技术研究[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(4): 536~541
- 13 翟晓先,云露. 塔里木盆地塔河大型油田发现及勘探实践[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(5): 536~541

(编辑 张亚雄)