

文章编号:0253-9985(2008)06-0726-07

塔里木盆地塔深1井寒武系储层与成藏特征探讨

云露^{1,2}, 翟晓先²

(1. 中国地质大学 能源学院, 北京 100083;

2. 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:塔里木盆地塔深1井是中国第一深井, 钻探目标是阿克库勒凸起东侧寒武系碳酸盐台地边缘的大型建隆圈闭。通过钻探, 建立了奥陶系-寒武系地层层序。经证实, 超深层建隆体内储层发育, 储集空间类型多样, 主要储集空间类型有晶间角孔、晶间溶孔和无结构选择性的溶蚀孔洞及网络状裂缝, 并且储层呈随深度加深变好、溶蚀孔洞越发育的特征。初步认为, 烃源岩生烃时排出的酸性流体产生的溶蚀是储集空间形成的主要因素; 超深层(>7 000 m)建隆体具多期成藏的特征。特别是在岩心上和荧光薄片中看到液态烃, 提示我们必须重新认识在不同地区(盆地)的特定地质条件下“液态窗下限”的问题。塔深1井的地质成果将有效指导塔里木盆地超深层勘探。

关键词:溶蚀; 液态窗; 建隆; 多期成藏; 塔深1井; 塔里木盆地

中图分类号:TE122

文献标识码:A

Discussion on characteristics of the Cambrian reservoirs and hydrocarbon accumulation in Well Tashen-1, Tarim Basin

Yun Lu^{1,2}, Zhai Xiaoxian²

(1. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Exploration and Development Research Institute, SINOPEC Northwest Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: Well Tashen-1 is so far the deepest well in China. The well is designed to target at the large-scale build-up traps located at the edge of the Cambrian carbonate platform in the east of Akekule uplift, Tarim Basin. The stratigraphic succession from the Ordovician to the Cambrian has been built based on the drilling results of the well. It has been confirmed that quality reservoirs exist in the ultra-deep build-up. The types of reservoir space are various including intercrystalline pores, intercrystalline dissolved pores, non-structure-selective dissolved vugs, and reticular fractures. As the burial depth increases, the reservoirs become more favorable and dissolved vugs are better developed. It is preliminarily suggested that corrosion of the organic acid fluids discharged from hydrocarbon generation of source rocks be the main factor for the formation of reservoir space and that ultra deep(>7 000 m) build-ups are characterized by multiple hydrocarbon accumulation. What is worth mentioning is that the liquid hydrocarbons observed on the cores and the fluorescence thin-sections may lead us to a re-understanding of the lower limits of “oil-generating window” in different regions(or basins). It is also safe to conclude that the geological fruits gained from Well Tashen-1 can be used effectively in guiding the exploration for ultra deep hydrocarbons in the Tarim Basin.

Key words: dissolution; oil-generating window; build-up; multiple-period hydrocarbon accumulation; Tashen-1 well; Tarim Basin

“九五”以来, 塔里木盆地油气勘探取得了重大成果, 发现并基本探明了我国第一大古生界海

收稿日期: 2008-10-27。

第一作者简介: 云露(1972—), 男, 高级工程师, 石油地质与油气勘探规划。

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2005CB422106)。

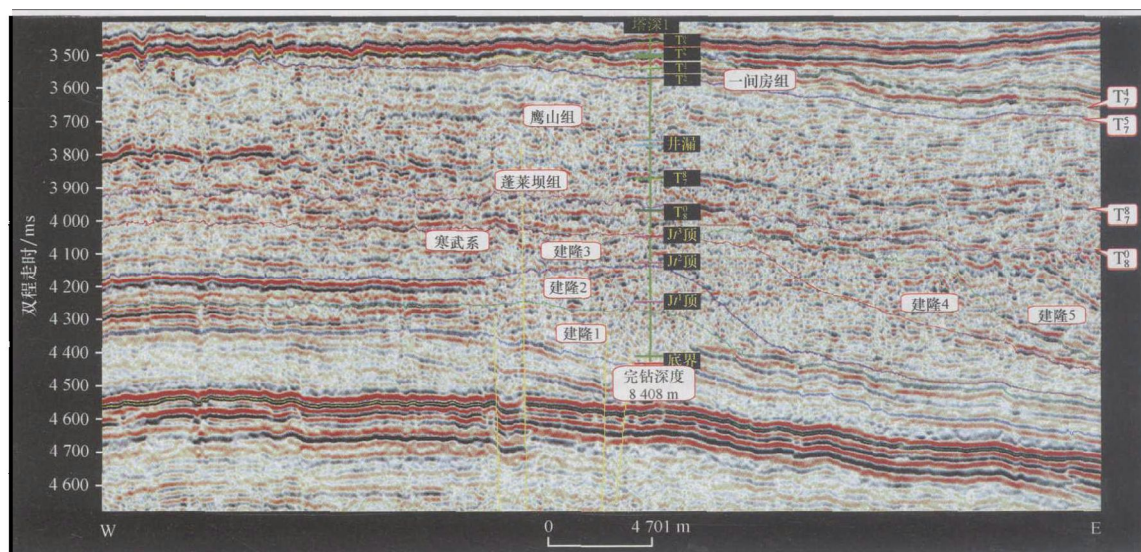


图1 过塔深1井东西向地震时间偏移剖面

Fig. 1 Time migration section across Well Tashen-1

相油气田——塔河油田,实现了古生代海相碳酸盐岩油气勘探的重大突破。近年来随着勘探开发工作的不断深入,油田规模不断扩大,并开拓了一些新的勘探领域。

2004年在塔河九联片三维地震资料解释成果的基础上,在阿克库勒凸起东侧发现了寒武系碳酸盐台地边缘大型建隆(图1),并对其地质属性、构造形态、储层特征及圈闭成藏条件进行了初步研究。研究认为,其可能是寒武系大型生物藻礁(丘)^[1],内部储层发育,有可能形成有利圈闭,具有较好的油气成藏地质条件和勘探前景。经反复论证,部署了科学探索井——塔深1井。

塔深1井经过一年多的钻探,目前已完钻,完钻井深8408 m,进入寒武系建隆一616 m完钻,是中国第一深井。塔深1井的钻探获得了大量丰富的地质资料,为对塔河深层的进一步深入评价奠定了基础。

1 地层层序特征

塔深1井从石炭系底界开始录井,奥陶系、寒武系层序特征如下。

1.1 上奥陶统(O_3)

上奥陶统深5452.0~5573.0 m,视厚121.0 m,根据岩性、电测曲线特征可划分为3个组:

1) 桑塔木组(O_{3s}),深5452.0~5466.5 m,视厚14.5 m,为灰色泥灰岩及泥质灰岩略等厚互层;

2) 良里塔格组(O_{3l}),深5466.5~5548.5 m,视厚82.0 m,为浅灰、褐灰色泥微晶灰岩、粉晶灰岩夹泥岩条带,中、上部为浅灰绿色灰岩瘤状泥质灰岩段,下部为浅灰色泥晶灰岩;

3) 恰尔巴克组(O_{3q}),深5548.5~5573.0 m,视厚24.5 m,上部为棕红色灰质泥岩、瘤状灰岩,下部为暗棕色灰质泥岩夹浅灰色泥质灰岩,与下伏地层呈平行不整合接触。

1.2 中奥陶统一间房组(O_{2y})

中奥陶统一间房组深5573~5663 m,视厚90 m,为黄灰色泥微晶灰岩与砂屑泥微晶灰岩、泥微晶砂屑灰岩略等厚互层,底部弱云化。

1.3 中-下奥陶统鹰山组(O_{1-2y})

中-下奥陶统鹰山组深5663~6587 m,视厚924 m,上部为黄灰色层状云质微晶灰岩夹含沥青云质灰岩段,中、下部为黄灰色纹层状致密云质微晶灰岩与含沥青粉晶灰岩互层,底部为黄灰色层状致密云质灰岩与灰质云岩互层,与下伏地层呈平行不整合接触。

1.4 下奥陶统蓬莱坝组(O_{1p})

下奥陶统蓬莱坝组深6587~6884 m,视厚

297 m, 根据岩性、电性特征可分为2段:

1) 蓬莱坝组二段 O_1p^2 , 深6 587~6 746 m, 视厚159 m, 岩性中、上部为浅灰、灰色粉晶白云岩、微-细晶白云岩与含云质泥微晶灰岩不等厚-略等厚互层, 下部为浅灰、灰色粉晶白云岩夹硅质条带;

2) 蓬莱坝组一段 O_1p^1 , 深6 746~6 884 m, 视厚138 m, 以灰白色厚层状细晶白云岩段为主, 含浅灰色白云质灰岩、浅灰色粉晶白云岩, 夹硅质条带, 与下伏地层呈平行不整合接触。

1.5 上寒武统下丘里塔格群(ϵ_3ql)

上寒武统下丘里塔格群深6 884~8 408 m, 视厚1 524 m(未穿), 岩性组合具体划分如下。

1) 井段6 884~7 135 m, 视厚251 m, 为建隆体上覆层。上部为浅灰及深灰色含硅质灰质粉-细晶白云岩, 中、下部为浅灰色细-中晶白云岩、中-粗晶白云岩与浅灰色含泥泥屑灰岩不等厚互层。

2) 井段7 135~7 401 m, 建隆三, 视厚266 m, 为浅灰色、灰白色中-细晶白云岩、细-粉晶白云岩、深灰色粉晶白云岩、微晶白云岩互层。上部见灰黑色海绿石, 下部富含浅灰色含泥泥屑灰岩。

3) 井段7 401~7 792 m, 建隆二, 视厚391 m。该井段可划分为2个岩性亚段: ①井段7 401~7 701 m, 视厚300 m, 为灰色、浅灰色粉-微晶白云岩、微晶含灰质白云岩、粉-细晶白云岩夹浅灰色藻粘结云岩、亮晶砂屑白云岩、浅灰色含云质泥屑灰岩不等厚互层, 顶部夹蓝灰色泥岩薄层; ②井段7 701~7 792 m, 视厚91 m, 为浅灰色砂屑细-粉晶白云岩、粉晶白云岩与藻层纹白云岩、藻粘结白云岩、亮晶砂屑白云岩、亮晶鲕粒白云岩不等厚互层, 顶、底部为浅灰色亮晶砂屑鲕粒白云岩。

4) 井段7 792~8 408 m, 建隆一, 视厚616 m,

岩性特征上部为浅灰色粉晶-细晶白云岩夹亮晶砂屑、鲕粒、藻粘结白云岩, 中部为浅灰色细晶白云岩、粉晶白云岩不等厚互层夹浅灰色含泥泥屑灰岩, 下部为浅灰色粉晶含灰质白云岩、粉晶白云岩夹细晶白云岩。

2 寒武系储-盖组合特征

塔深1井寒武系实钻储层发育, 储集空间类型以溶蚀孔洞、裂缝为主。

2.1 储层特征

根据岩心、岩石薄片和铸体薄片观察, 建隆体内储层发育, 储集空间类型多样(图2, 图3)。主要储集空间类型既有晶间角孔, 又有与溶蚀作用密切相关的结构选择性的晶间溶孔, 更重要的是无结构选择性的溶蚀孔洞以及高角度与水平裂(溶)缝。在这种埋深大于8 000 m、温度大于170℃、压力大于80 MPa的环境下, 溶蚀孔、洞、缝等储集空间发育, 这在世界范围内是罕见的。

寒武系共取心5回次。从岩心观察看, 岩心较破碎, 普遍发育裂缝、溶洞、溶孔和晶间孔、粒间孔, 裂缝以中、小型为主, 局部发育开启性裂缝, 且孔洞壁多发育方解石和白云石晶簇, 个别溶洞被方解石晶体全充填。第四、五回次与前3回次取心段的区别在于较大溶洞(>10 mm)发育, 储层发育较好。

从五开钻井情况看, 7 130 m以下多个井段钻时为10 min/m左右。

实测分析数据(表1)表明, 塔深1井五开储层普遍发育, 同时存在物性向下变好的趋势, 可能与原岩岩性变化有关。根据压汞资料分析, 孔隙结



图2 塔深1井岩心中的溶蚀孔洞和裂缝(8 407 m)

Fig. 2 Dissolved vugs and fractures observed in the cores from Well Tashen-1(8 407 m)

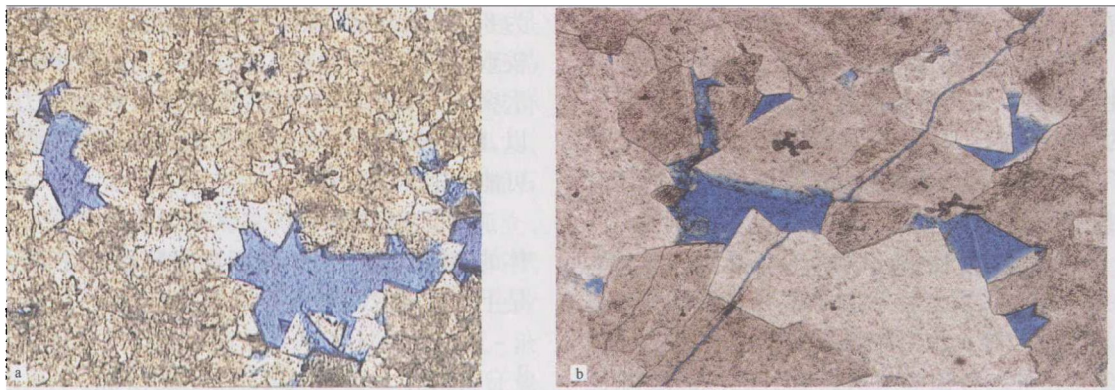


图3 铸体薄片中的晶间孔、晶间溶孔以及微裂缝

Fig. 3 Intercrystalline pores,intercrystalline dissolved pores and micro-fractures observed on cast thin section
a. 7 267. 12 m,泥-粉晶云岩,晶间孔、晶间溶孔,35×;b. 7 102. 15 m,细-中晶云岩,晶间孔、晶间溶孔,35×

表1 塔深1井实测孔隙度数据

Table 1 Measured porosity in Well Tashen-1

井深/m	层位	岩性	孔隙度, %	颗粒密度/ (g·cm ⁻³)	气体渗透率/(10 ⁻³ μm ²)			备注
					垂直	水平(Ⅰ)	水平(Ⅱ)	
7 105. 25 ~7 105. 43	Є ₃ ql	微晶白云岩	0. 6	2. 81	0. 05	0. 63	0. 06	
7 265. 88 ~7 266. 01	Є ₃ ql	微晶白云岩	1. 6	2. 82	2. 53	3. 40	2. 60	
7 268. 10 ~7 268. 24	Є ₃ ql	微晶白云岩	3. 7	2. 82	1. 80	0. 03	2. 28	
7 875. 52 ~7 875. 60	Є ₃ ql	灰色粉晶白云岩	3. 7	2. 71		34. 14		
8 407. 56 ~8 407. 67	Є ₃ ql	灰色粉晶白云岩	9. 1	2. 63	0. 76	4. 16	1. 42	垂直、水平方向部分/ 完全贯通性裂纹

构较好。如7 268. 10 ~7 268. 24 m井段取样,孔隙度为2. 6%,渗透率为 $3. 6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,排驱压力为0. 57 MPa,最大孔喉半径为1. 28 μm。

同时,据第一、二、三回次取心观察,储层小型溶洞、溶孔和晶间孔、粒间孔发育;而第四、五回次取心以较大的溶蚀孔洞为主(图2),与前3回次明显不同。这可能是由于其岩性以藻粘结白云岩、藻纹层白云岩,灰白色亮晶鲕粒白云岩、灰白色亮晶鲕粒砂屑白云岩等易溶蚀的岩石类型为主,较易形成较大的溶蚀孔洞。

测井解释五开储层发育。本井寒武系井段共解释44层641. 0 m,包括Ⅰ类储层6层45. 5 m、Ⅱ类储层9层123. 5 m和Ⅲ类储层29层473. 0 m。其中,上覆层为Ⅲ类储层,4层45. 0 m;建隆三6层126. 0 m,包括Ⅱ类储层3层62. 0 m和Ⅲ类储层3层64. 0 m;建隆二12层230. 0 m,包括Ⅰ类储层1层13. 0 m、Ⅱ类储层3层23. 5 m和Ⅲ类储层8层194. 0 m;建隆一22层240. 0 m,包括Ⅰ类储

层6层53. 0 m、Ⅱ类储层3层41. 5 m和Ⅲ类储层13层153. 5 m。

可以看出,建隆一孔隙度明显比建隆二、建隆三大,但渗透率较差,总体物性较差(表1)。储层纵、横向连通性能偏差,渗透性能总体较差直接影响了储集岩的储集性能。针对8 356 ~8 372 m(Ⅰ类储层)和7 454 ~7 460 m(Ⅲ类储层)井段分别进行完井测试,只获得少量地层水,储层连通性差。

2.2 储层发育机理

寒武系目前观察到的储集空间可能是以与烃类运移有关的酸性流体溶蚀作用为主形成的,但不排除存在表生溶蚀作用的改造^[2]。

本区邻近满加尔坳陷寒武系深水盆地-斜坡相烃源区,其烃源岩有机质丰富,在长期生烃过程中排出大量有机酸、并运移到本区,从而使本区碳酸盐岩强烈溶蚀,形成较好储层,且越往下储层越

发育。

酸性流体是深部溶蚀作用产生的基本动力。酸性流体主要来源于烃源岩有机质成熟过程中产生的有机酸、 CO_2 和 H_2S 。它们溶入地下流体,改变了地层流体的化学性质,使其具有了溶蚀碳酸盐岩的能力^[2]。

本区东南部的满加尔坳陷是塔里木盆地最大的生烃坳陷,主要烃源岩为寒武系-下奥陶统盆地-斜坡相暗色泥岩、泥灰岩。该烃源岩具长期生烃、多期排烃的特征^[3,4],从加里东中、晚期开始生烃,直到喜马拉雅期,在长期的生烃过程中排出含大量有机酸、 CO_2 和 H_2S 的流体,具有了溶蚀碳酸盐岩的能力。本区位于阿克库勒凸起东南部,是满加尔生烃坳陷油气及酸性流体向阿克库勒凸起运移的必经之地,具近水楼台之利。因此,本区具有发生与油气成熟过程中产生的有机酸有关的埋藏溶蚀作用的有利条件;且建隆一更贴近烃源岩,接受的有机酸更多,溶蚀程度更强,储层较建隆二、建隆三更发育。

2.3 盖层特征

根据塔深1井钻井与测井结果,目前还没有钻遇一套确定有效的盖层。

寒武系建隆体揭示厚度1 273.0 m,解释储层厚度638.5 m,而地层真电阻率大于 $500 \Omega \cdot \text{m}$ 的相对致密层段厚度只有634.5 m,表明建隆体内部保存封隔条件相对较差。

根据塔深1井第1回次取心(7 104.7 m,灰色粉-细晶白云岩较致密段)所做的突破压力分析结果,饱和标准盐水突破压力为6.0 MPa,突破时间

为8.7 a/m,可以认为该井段不能作为盖层;相对较致密的7 874.11~7 874.21 m井段饱和标准盐水突破压力为1.0 MPa,也不具有封盖能力。所以,同样推测五开井段的其他相对较致密白云岩可能不能作为封隔层。

从目前资料来看,总体缺乏有效盖层。建隆体的盖层以及建隆体之间的封隔性存在疑问,这是下一步研究的重点。

3 塔深1井寒武系成藏特征

塔深1井实钻寒武系油气显示13层62.1 m,包括油斑1层、油迹9层和气测异常3层(表2)。最深录井油气显示深度在8 363~8 370 m,为气测异常。其中最深一层油迹显示深度在7 550 m,是目前国内实钻最深的液态烃显示。这个深度大大超过了目前一般认识的“液态窗下限”深度,也提醒我们必须重新认识塔河深层的成藏模式^[5]。

在岩心和荧光薄片观察中见到液态烃和沥青(图4),同时对下奥陶统-上寒武统6 800~7 358 m进行测试时有少量天然气产出,说明建隆体有油气运移过程、也有改造过程,而且具多期的特征。

根据油型气天然气甲烷碳同位素与 R_o 换算经验公式 $\delta^{13}\text{C}_1 = 21.72\lg R_o - 43.31$,把 $\delta^{13}\text{C}_1 = -38\text{‰}$ 代入,计算得 $R_o = 1.76\%$ 。

天然气中各成分的组成是: CH_4 95%, C_2H_6 2%, C_3H_8 0.6%, $n\text{C}_4^+$ 1.6%。

初步研究,塔深1井喜马拉雅期聚集的天然气为高成熟油型气^[6]。



图4 塔深1井岩心中的液态烃和沥青

Fig. 4 The liquid hydrocarbons and bitumen observed in the cores from Well Tashen-1

包裹体分析表明,无论是中-细晶白云石还是充填裂缝的中晶白云石或充填溶洞的中、粗、巨晶白云石还是充填裂缝、溶洞的方解石中均含成群分布、发育丰度高的原生盐水包裹体,还见孤立、无规律分布的气态包裹体与其伴生。部分方解石中的盐水包裹体伴生大量气态包裹体;另见孤立、无规律分布、形状规则的次生气-液烃包裹体;赋存于白云石中、呈斑块状分布、发亮黄、黄绿色荧光的次生油气包裹体丰度中,包裹体组合以气-液烃包裹体为主,少量液态烃包裹体。上述特征表明,本井区上寒武统下丘里塔格群油气充注、运移较活跃,并且烃类以气态烃为主(气体包裹体)。

依据与气体包裹体共生的盐水包裹体的均一温度较高(100.5~130.1℃,平均115.3℃)可推测,气态烃充注、运移时期为喜马拉雅期(图5)^[7,8]。

从塔深1井7 105.85 m岩心抽提物的饱和烃色谱图(图6)可以看出,Pr/Ph值小于1,呈现典型海相腐泥型特征。饱和烃色谱图呈现比较明显的“鼓包”之上叠加齐全的烷烃,反应出曾经经历过

水洗氧化改造后又有未经水洗氧化的烃类充注改造(至少两期成藏)^[5,9,10]。

4 结论

塔深1井实钻证实,寒武系建隆体内储层发育,储集空间类型多样。而在这种在埋深大于8 000 m、温度大于160℃、压力大于80 MPa的环境下保存有如此优质的储集体的现象,有力地冲击着经典的成岩演化和孔隙演化理论,有力证明超深层储集体是发育的,解除了人们对超深层储集体发育受控因素的认识的禁锢。同时,建隆体具多期成藏的特征,特别是在7 000 m以下岩心上和荧光薄片见到液态烃,这一基本认识同样冲击着著名学者 Tissot 的经典热演化理论,提示我们必须重新认识“液态窗下限”,至少在不同地区(盆地)的特定地质条件下“液态窗下限”将下移^[11]。塔深1井的地质成果将有效指导塔里木盆地深层、超深层的勘探。

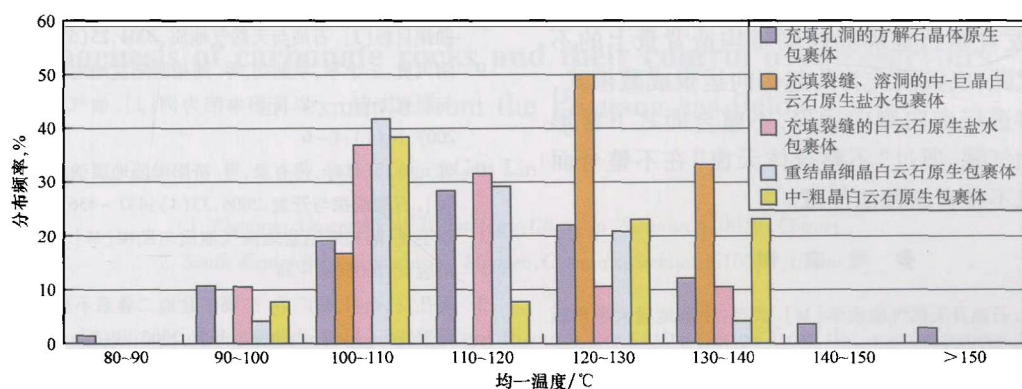


图5 塔深1井上寒武统下丘里塔格群白云岩包裹体的均一温度

Fig. 5 The homogenization temperature of inclusions in the Upper Cambrian Qiulitage group dolomite in Well Tashen-1

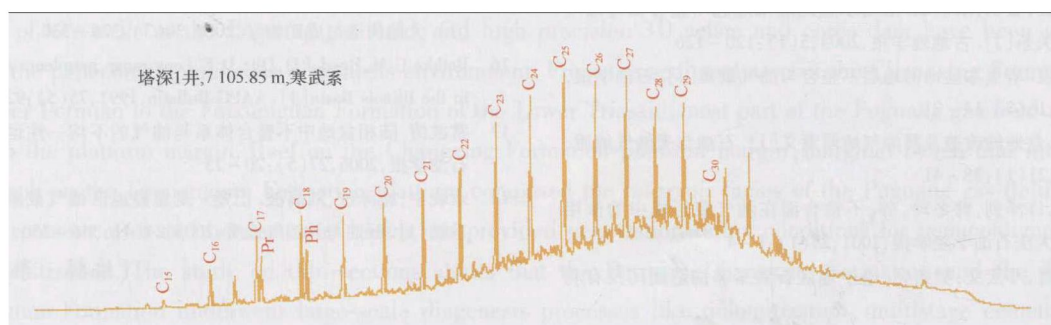


图6 塔深1井寒武系饱和烃色谱

Fig. 6 The gas chromatograph of saturated hydrocarbons in the Cambrian in Well Tashen-1

参 考 文 献

- 1 丁勇, 云露, 王允诚. 塔河油田寒武系台缘大型建隆地质属性[J]. 新疆石油地质, 2006, 27(1): 35~37
- 2 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[J]. 四川成都: 四川大学出版社, 2000. 88~116
- 3 黄太柱, 云露, 蒋华山. 塔河油田成藏条件与富集规律[A]. 见: 翟晓先, 编. 塔河油气田勘探与评价论文集[C]. 北京: 石油工业出版社, 2006. 11~20
- 4 翟晓先. 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, 编. 中国塔里木盆地石油地质文集[C]. 北京: 地质出版社, 1996. 56~64
- 5 顾忆. 塔里木盆地北部塔河油田油气藏成藏机制[J]. 石油实验地质, 2000, 22(4): 307~312
- 6 戴金星. 天然气碳氢同位素特征和各类天然气鉴别[J]. 天然气地球科学, 1993, 3(2-3): 1~41
- 7 陈红汉, 李纯泉, 张希明, 等. 运用流体包裹体确定塔河油田油气成藏期次及主成藏期[J]. 地学前缘, 2003, 10(1): 10~15
- 8 陈红汉. 油气成藏年代学研究进展[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(2): 143~150
- 9 蔡希源. 塔里木盆地台盆区油气成藏条件与勘探方向[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(5): 590~597
- 10 马安来, 张水昌, 张大江, 等. 轮南、塔河油田稠油油源对比[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 31~38
- 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

(编辑 李 军)

(上接第720页)

4) 发育在凸起翼部超剥带构造背景上的不整合油气藏, 成藏模式为凸起侧向运聚成藏模式, 油气顺渗透层走向侧向运聚, 不整合面之下常形成潜山油气藏, 通过“不整合体天窗”在不整合面之上形成不整合超覆油气藏。

参 考 文 献

- 1 陈荣书. 石油及天然气地质学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994. 80~85
- 2 范从武. 国外地层圈闭的分类及时空展布规律[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(2): 48~49
- 3 潘钟祥. 不整合对于油气运移聚集的重要性[J]. 石油学报, 1983, 4(4): 1~10
- 4 陈中红, 查明, 朱筱敏. 准噶尔盆地陆梁隆起不整合面与油气运聚关系[J]. 古地理学报, 2003, 5(1): 120~126
- 5 何登发. 塔里木盆地的地层不整合与油气聚集[J]. 石油学报, 1995, 16(3): 14~21
- 6 张抗. 盆地的改造及其油气地质意义[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 38~41
- 7 付广, 许泽剑, 韩冬玲, 等. 不整合面在油气藏形成中的作用[J]. 大庆石油学院学报, 2001, 25(1): 1~4
- 8 苏宗富, 邓宏文, 樊太亮. 塔中地区石炭系非构造圈闭及有利勘探目标[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(5): 548~553
- 9 隋风贵, 王学军, 卓勤功, 等. 陆相断陷盆地地层油藏勘探现状与研究方向——以济阳坳陷为例[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(1): 1~6
- 10 郭元岭, 张林晔, 蒋有录, 等. 济阳坳陷地层油藏勘探实践分析[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(4): 432~436
- 11 李丕龙. 陆相断陷盆地油气地质与勘探[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003. 25~38
- 12 吴孔友, 查明, 柳广弟. 准噶尔盆地二叠系不整合面及其油气运聚特征[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(2): 53~54
- 13 张守安, 吴亚军, 余晓宇, 等. 塔里木盆地不整合油气藏的成藏条件及分布规律[J]. 新疆石油地质, 1999, 20(1): 15~17
- 14 尹微, 陈昭年, 许浩, 等. 不整合类型及其油气地质意义[J]. 新疆石油地质, 2006, 27(2): 239~241
- 15 王艳忠, 操应长, 王淑萍, 等. 不整合空间结构与油气成藏综述[J]. 大地构造与成矿学, 2006, 30(3): 326~330
- 16 Bethke C M, Reed J D, Oltz D F. Long-range petroleum migration in the Illinois Basin[J]. AAPG Bulletin, 1991, 75(5): 925~945
- 17 常波涛. 陆相盆地中不整合体系与油气的不均一性运移[J]. 石油学报, 2006, 27(5): 20~23
- 18 余晓宇, 施泽进, 刘高波. 巴楚-麦盖提地区油气成藏的输导系统[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(4): 346~350

(编辑 李 军)