

塔里木盆地地下古生界主力烃源岩分布

云金表,金之钧,解国军

(中国石化石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘要:露头与钻探分析表明,烃源岩形成于不同的构造环境中。水进过程是各类构造环境中烃源岩发育的有利时期,从盆地伸展、稳定沉降到回返阶段烃源岩发育环境不断受到局限。伸展过程的广泛水进超覆最有利于烃源岩的大面积分布;稳定沉降过程烃源岩主要发育于台缘陆棚、台内坳陷环境;盆地回返过程只有台内凹陷、高能相带之后等闭塞环境有利烃源岩发育。沉积地层与构造演化研究表明,塔里木盆地寒武系-奥陶系烃源岩经历了从盆地伸展到回返一个完整的开合过程,分别是寒武纪早期的伸展阶段、中寒武世-中奥陶世稳定沉降阶段和晚奥陶世-志留纪回返阶段,形成了3种不同特征的原型盆地。寒武纪早期是盆地伸展过程,最有利于烃源岩的发育。目前盆地北部坳陷带和南部盆缘带陆棚与盆地相发育区,是烃源岩发育的有利区。中、下奥陶世盆地东西分异,满加尔凹陷及阿-满过渡带是台缘与局限盆地相发育区;晚奥陶世除台缘高能相带外,阿瓦提凹陷及阿满过渡带是灰质沉积的台内凹陷,是烃源岩发育有利区。因此台盆区不同部位主力烃源岩发育具有分异特点。

关键词:岩相古地理;盆地原型;主力烃源岩;下古生界;塔里木盆地

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Distribution of major hydrocarbon source rocks in the Lower Palaeozoic, Tarim Basin

Yun Jinbiao, Jin Zhijun, Xie Guojun

(Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China)

Abstract: Analysis based on outcrop and drilling data indicates that source rocks can be formed in different tectonic settings. Transgressive process is benefit for source rocks development in various tectonic environments. Source rock development environment is increasingly limited from basin stretching to stable subsidence and finally to returning stage. The extensive transgressive overlap in stretching process is most favorable for the deposition of source rock in a large area. Source rocks are mainly distributed in the platform edge shelf and internal depression in stable subsidence stage. The closed environments such as intra-platform depression and regions behind high energy facies are favorable for source rock development in the returning stage. Sedimentary sequence and tectonic evolution show that the Cambrian-Ordovician source rocks in Tarim Basin experienced a whole process from basin stretching to returning stage, i. e. basin stretching in the Early Cambrian, stable subsidence in the Middle Cambrian to Middle Ordovician, and tectonic return in the Late Ordovician to Silurian. So that, 3 types prototype basins were formed. Stretching process in the Early Cambrian was the best period for source rock development. The northern depression, shelf in the southern basin edge and basin facies were the best zones. The basin showed difference in east and west during the Early and Middle Ordovician, and platform edge and limited basin developed in Manjiaer depression Aman transitional belt, being favorable for the development of source rocks. In the Late Ordovician, besides the high energy belt on the platform edge, Awati Depression and Aman transitional belt were intra-platform depressions, where limestone was deposited and was favorable for source rock development. Therefore, the major source rocks at different positions have different characteristics.

Key words: paleogeography, prototype basin, major source rock, Lower Paleozoic, Tarim Basin

塔里木盆地沙参2井(1984年)的发现,拉开了海相层系大发现的序幕。此后塔河海相碳酸盐岩大油气田的发现证实了海相层系的勘探潜力,明确了台盆区是勘探突破的方向。通过塔河及其一系列油气田的发

现,初步认识到了古隆起、古斜坡、不整合、断裂带是油气富集有利区带。然而勘探中多次受阻,找到了塔中、和田河古隆起,并未找到所希望的油气发现。分析表明,尽管制约油气发现的原因很多,如构造演化的多旋

收稿日期:2014-11-14;修订日期:2014-11-20。

第一作者简介:云金表(1962—),男,教授级高级工程师,油气构造。E-mail:yunjb.syky@sinopec.com。

基金项目:国家科技重大专项(2011-05005-01);国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目(2012CB412800)。

回与多期次性,保存条件、储层的非均质性等问题,但根本的是有没有烃源灶以及烃源灶的时空分布与有效性问题。因此主力烃源岩的时空分布认识,直接关系到油气勘探部署与决策。

塔里木盆地周边发育多套烃源岩,如下寒武统玉尔吐斯组(早期划分下寒武统,现归为纽芬兰统)泥岩、下奥陶统黑土凹组泥岩、中奥陶统萨尔干组泥岩、上奥陶统印干组泥质岩。盆地内部钻探揭示,不仅纽芬兰统西山布拉克组(玉尔吐斯组相当于其上)发育烃源岩,而且中寒武统西大山组也有烃源岩,其次上奥陶统良里塔格组也发育一套灰泥丘相烃源岩。从时空分析,塔里木盆地台盆区应该存在多套烃源岩,由此产生了对主力烃源岩及分布认识的争议^[1-4]。

导致认识差异的主要原因可以归结为如下3个方面。第一,如前所述盆地纵向层位发育多套烃源岩,盆地边缘下古生界烃源岩有五套,分别是寒武系西大山组、玉尔吐斯组、下奥陶统黑土凹组、中奥陶统萨尔干组、上奥陶统印干组烃源岩。在盆内钻井还揭示中寒武统膏泥岩、上奥陶统良里塔格组灰泥丘两套烃源岩。然而下古生界埋藏深度较大,钻井揭示少,地震资料分辨率低;盆地边缘与内部层位如何对应,烃源岩如何延伸不清楚。第二,早古生代烃源岩发育构造背景与沉积环境不清楚。如寒武系纽芬兰统西部为玉尔吐斯组,主要为陆棚相沉积。而东部纽芬兰统(西大山组),北部库尔勒地区发育层位多,地层厚度大,为盆地相沉积,向南到塔东地区地层急剧减薄,为陆棚沉积。这样的沉积格局显然与目前西台东盆不相吻合。再如下奥陶统黑土凹组烃源岩为陆棚相、中奥陶统萨尔干组烃源岩为盆地斜坡相、上奥陶统良里塔格组灰泥丘相烃源岩与台地边缘高能相带相伴。相应时期,盆地其他环境烃源岩是否发育仍是一种推断^[5-6]。因此盆地原型认识的差异,以及烃源岩发育模式认识的差异,必然形成主力烃源岩发育的层位与空间分布认识的显著差异。第三,端元油及油源对比是目前主力烃源岩时空分布认识分歧的原因之一。早期将塔东2井稠油和英买2井原油分别定为寒武系—下奥陶统烃源岩和上奥陶统烃源岩形成油气判别的两个端元^[7]。尽管不同时期烃源岩生物组合有所不同,但不同时期相同环境生物组合相似性难以排除。

从烃源岩的发育规律分析,它与全球性环境相关,又与局部的构造背景与沉积环境有关。为此作者根据已有的烃源岩露头 and 探井地层对比与岩相变化,分析了烃源岩发育时期岩相古地理背景及其主力烃源岩的分布层位与范围。

1 早古生代区域构造背景及演化

1.1 周边造山带构造背景及演化

早古生代时期,塔里木盆地四周面临海洋。北部为南天山造山带,为古亚洲洋构造域演化产物。该带发育了大量寒武纪—奥陶纪蛇绿岩以及伴生的含寒武纪化石的硅质岩^[8-9]。表明该古洋开始于里菲晚期,到早奥陶世早期为扩张到成熟阶段,早奥陶世后期、中奥陶世前期为相对短暂的古洋收缩阶段,在中、晚奥陶世发生了强烈的碰撞造山事件^[10]。该构造带西自吉尔吉斯斯坦卡拉套—帖尔斯克依缝合带,推测可能一直延伸到干沟一带^[11-13],或与北山地区的红柳河—牛圈子—洗肠井缝合带相连^[14-16]。中国境内南天山构造带分为南北两支,北部蛇绿岩带所代表的洋盆发育时间从奥陶纪中晚期至早志留世,具有弧后盆地的拉张背景。形成时间与帖尔斯克依洋俯冲和闭合的时间比较接近,是帖尔斯克依古洋的关闭过程触发了南天山奥陶纪—早志留世洋盆的开启。南天山南缘蛇绿岩带的时期为晚志留世—早泥盆世,是南天山洋盆次一级洋盆发育时间。南天山洋从晚泥盆世—早石炭世开始萎缩变浅、到晚石炭世最终闭合^[17]。

阿尔金构造带也是早古生代大洋开合过程的产物。该构造带的各类洋壳基性、超基性岩体属寒武纪,同位素年龄 480 ~ 520 Ma^[18-21]。表明该区在中寒武世—早奥陶世发育大洋环境。花岗岩及变质岩同位素年龄为 455 ~ 467 Ma(早、中奥陶世)。推断阿尔金古大洋的俯冲、消减作用发生在中奥陶世,大洋的闭合和陆—陆碰撞作用可能发生在晚奥陶世^[22]。

盆地南部的西昆仑构造带起源于库地洋。该构造带南北两侧分布有超镁铁质的玄武岩,属于大洋拉斑玄武岩区,年龄为 651 ~ 510 Ma^[23-24],为震旦纪—早寒武世大洋环境。其变质发生于晚奥陶世—早志留世(451 ~ 426 Ma)。向东延伸至形成于早寒武世其曼于特蛇绿混杂岩带(526 Ma ± 1 Ma)。碰撞期侵入岩锆石 U—Pb 年龄值为 442 Ma,为早志留世早期^[25-27]。本区出露地层也主要为奥陶纪—志留纪复理式建造,进一步印证存在早古生代大洋。

由前述分析,自震旦纪开始至志留纪(或泥盆纪早期)结束,塔里木盆地周边经历了由大洋拉开到闭合的过程。它们对应塔里木晚元古代—早寒武世伸展沉降阶段、中寒武世—中奥陶世沉积负载沉降阶段、晚奥陶世—志留纪(—早泥盆世)构造反转构造负载阶段(图1)。

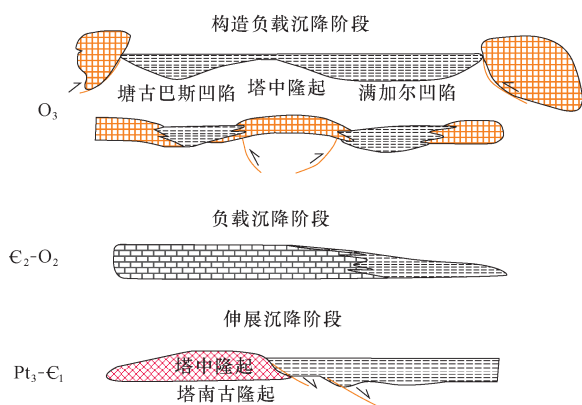


图1 塔里木盆地早古生代沉降与充填演化阶段

Fig. 1 Subsidence and filling evolution of the Early Paleozoic in Tarim Basin

1.2 盆地内部及周边两个关键构造事件证据

1.2.1 古老基底存在与裂解的证据

关于盆地区存在前寒武纪结晶基底,并存在晚元古代裂陷特征,前人进行了论述^[28]。前震旦纪的结晶基底在盆地西部阿克苏地区、南部的西昆仑、东部的阿尔金地区都有发现。阿克苏蓝片岩被南华系不整合覆盖,年龄为 $872 \text{ Ma} \pm 2 \text{ Ma}$ (青铝闪石⁴⁰Ar/³⁹Ar) 和 $862 \text{ Ma} \pm 1 \text{ Ma}$ (蓝闪石⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄)^[29],代表了晚、新元古代早期末古洋壳快速俯冲消减的产物。西昆仑北缘元古界被奥陶系及其以上地层覆盖,同位素地层年代为 1000 Ma 左右^[30-31],为 Grenville 期造山作用的产物。阿尔金构造带多处发育元古代的花岗岩与超高压变质岩。花岗质片麻岩 Rb/Sr 全岩等时线年龄为 $1035 \text{ Ma} \pm 77 \text{ Ma}$ ^[32]。阿尔金地块和南阿尔金俯冲碰撞杂岩带深变质岩石中,锆石 U-Pb 年龄是 $920 \sim 940 \text{ Ma}$,为 Rodinia 超级大陆的汇聚产物^[33]。超高压榴辉岩相伴生的花岗片麻岩原岩的形成年龄为 $809 \text{ Ma} \pm 19 \text{ Ma} \sim 885 \text{ Ma} \pm 21 \text{ Ma}$ 和 $923 \text{ Ma} \pm 13 \text{ Ma}$ ^[34-35],为同碰撞花岗岩。盆地内部也发育超级大陆存在的证据,如雅克拉凸起 S53 井二长花岗岩年龄为 1851 Ma 。塔中隆起也多处钻遇花岗岩类,其中塔参1井前寒武纪基底花岗闪长岩锆石年龄为 $757.4 \text{ Ma} \pm 6.2 \text{ Ma}$ (SHRIMP U-Pb 法)^[36]、 $744 \sim 790 \text{ Ma}$ (Ar-Ar 法)^[37],由此表明在塔里木板块至少形成于晚、新元古代。

$820 \sim 800 \text{ Ma}$ 前后中国古陆块开始了裂解过程^[38],以初始裂谷、基性岩墙群、A 型花岗岩和双峰式火山岩为特征。大陆破裂现象在扬子陆块最为发育。塔里木陆块在该时期也具有上述特征,表明其同样受到了 Rodinia 超大陆裂解的影响。西昆仑北带发现具有幔源组分参与的 A 型花岗岩,其时代为 800 Ma ^[39]。同时在莎车、泽普南部,发育大量的辉绿岩岩墙侵入于

青白口系,其上被具有大陆裂解沉积特征的南华系覆盖。南华系底部发育 $80 \sim 100 \text{ m}$ 厚的层状玄武岩。其次在柯坪隆起阿克苏剖面,震旦系苏盖特布拉克组底部也发育两层玄武岩夹层,为大陆拉斑玄武岩系列,与典型的大陆溢流玄武岩非常相似^[40],其岩浆来源于富集地幔,并遭受了一定程度的地壳混染作用。锆石年龄分布在 $1945 \sim 755 \text{ Ma}$,表明玄武岩形成的时代应晚于 755 Ma ,证实塔里木板块晚元古代存在裂解过程。另外,在库鲁克塔格、阿尔金构造带^[41-45]都报道存在该期的构造热事件,表明晚元古代塔里木盆地存在裂解过程,应为 Rodinia 超大陆裂解的产物。

1.2.2 中、晚加里东构造运动证据

塔里木盆地不仅北缘北山和东缘阿尔金存在造山花岗岩,台盆区中、晚加里东构造运动的表现也十分显著。主要表现在中、下奥陶统与上覆地层、上奥陶统-志留系-泥盆系与上覆地层的不整合接触关系,奥陶系及其以下地层断裂-褶皱强烈,上覆地层几乎未变形^[46]。中、晚加里东构造运动在盆地至少发育 3 幕。第一幕表现为中、下奥陶统与上覆地层不整合,隆起区上奥陶统直接覆盖于下奥陶统之上,中央隆起区大面积缺失中奥陶统^[47],向拗陷区中奥陶统逐渐变全,上奥陶统连续发育。由此推断该次大规模构造运动形成于中奥陶世中、晚期,之后盆地古地理格局发生了由东、西分异到南、北分异的变化,而且逐渐由碳酸盐岩盆地转化为碎屑岩盆地。第二幕构造运动发生在奥陶纪末期,具体表现在:①上奥陶统与志留系-泥盆系及其上覆地层显著的不整合;②志留系-泥盆系明显受塔北、中央隆起带南北两个于晚奥陶世形成区域隆起带的控制。最后一幕构造运动发生于东河砂岩沉积之前,表现在东河砂岩、石炭系与下伏地层的不整合和削蚀接触。

2 早古生代盆地区岩相古地理特征

综上所述,塔里木盆地台盆区下古生界可以组成一个由寒武纪(甚至从晚元古代南华纪开始)—中奥陶世中、晚期以伸展沉降为主,到晚奥陶世—志留纪以收缩隆升为主的完整构造旋回。其中寒武纪早期伸展明显,之后以负载沉降为主,故又可进一步分成两个阶段,共计为 3 个发育阶段,每个阶段形成了不同的原型盆地。

2.1 构造沉降阶段

晚元古代—早寒武世是塔里木盆地急剧拉张沉降的时期。由 McKenzie 模型推断,前者地壳厚度是后者的 2 倍以上,如果给定初始地壳厚度为 33 km ,此时地

壳厚度为 24.4 km, 急剧减薄。满加尔地区东北构造沉降速率远大于沉积速率, 形成欠补偿浅海-陆棚相硅质泥岩、含磷沉积, 深部物质占有很高比例, 柯坪一带也有大量的硅质沉积与含磷沉积。南部在巴楚南部-塔中-古城发育巨型古隆起, 古隆起以北以云坪沉积为特征(图 2), 纽芬兰统为由北部洋盆向盆地逐渐超覆沉积的最大海泛面沉积。寒武纪第二、第三世是盆地快速拉张阶段, 逐渐向“西台东盆”的结构转变, 西部以局限台地沉积为特征, 东部形成盆地相沉积。

2.2 负载沉降阶段

寒武纪芙蓉世—中奥陶世明显转变为西台东盆格局, 界限在满加尔凹陷西缘。沉降中心在其东侧, 沉积中心位于隆凹过渡带, 以灰岩建隆沉积为特征。西部以局限台地白云岩沉积为特征, 寒武纪第二统上部与第三统发育巨厚的膏泥岩沉积, 东部以泥质沉积为特征(图 3, 图 4)。

2.3 构造反转阶段

晚奥陶世—志留纪是早古生代盆地反转发育阶段。其中, 晚奥陶世早期为孤立台地发育阶段。它是在中奥陶世中、晚期区域挤压隆起形成南北分带

格局基础上发育起来。早期西部台地分化为北部隆起、北部拗陷、古中央隆起、塘古巴斯凹陷。恰尔巴克组主要分布在古隆起边缘, 良里塔格组逐渐超覆于古隆起之上, 在边缘形成高能相带及其伴生的灰泥丘沉积(图 5)。此时的北部拗陷、塘沽巴斯凹陷为台内凹陷, 水体相对较深。但塘古巴斯凹陷以碎屑岩沉积为主, 类似前陆凹陷性质。进入桑塔木组沉积时期, 盆地周边隆升强烈, 沉积速率急剧加大, 以巨厚碎屑岩沉积为特征。由于进一步的挤压南部塘古巴斯与塔中隆起向北推移, 志留纪时期拗陷只发育于古中央隆起以北地区。

3 早古生代主要烃源岩分布

3.1 纽芬兰统烃源岩

纽芬兰统烃源岩包括玉尔吐斯组(柯坪隆起)、西山布拉克组-西大山组(库鲁克塔格地区), 是目前发现品质最好的烃源岩^①。目前在盆内雅克拉凸起、库尔勒鼻凸和塔东隆起均钻遇该层位烃源岩。

在柯坪隆起, 此套烃源岩称为玉尔吐斯组, 是一套黑色页岩, 它平行不整合覆盖在上震旦统奇格布拉克组之上。下部岩性为灰黑色含磷或含磷结核硅质岩、

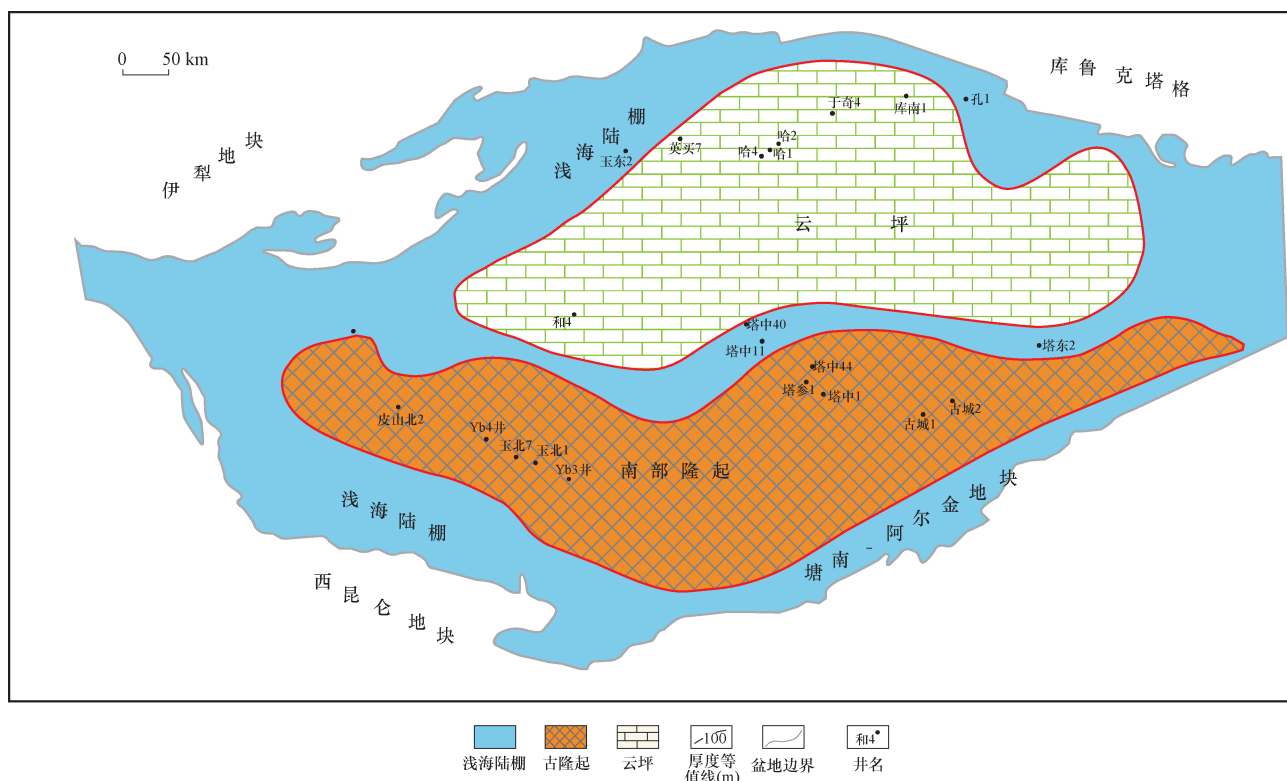


图2 塔里木盆地纽芬兰世岩相古地理

Fig. 2 Paleogeography in Newfoundland era, Tarim Basin

① 金之钧, 王毅, 马安来, 等. 塔里木盆地包含区有效烃源与油气勘探方向. 中国石化石油勘探开发研究院, 2005.

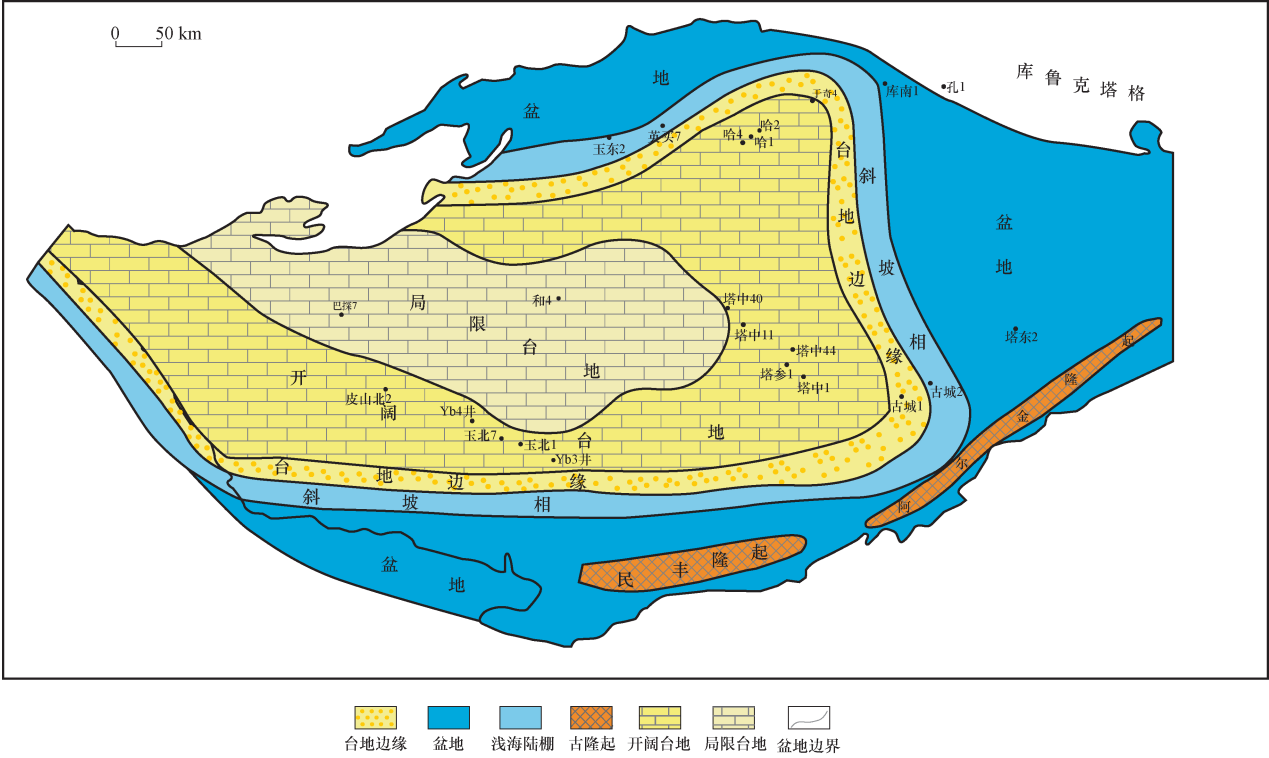


图 3 塔里木盆地寒武纪第二世岩相古地理
Fig. 3 Sedimentary paleogeography in the second era of the Cambrian, Tarim Basin

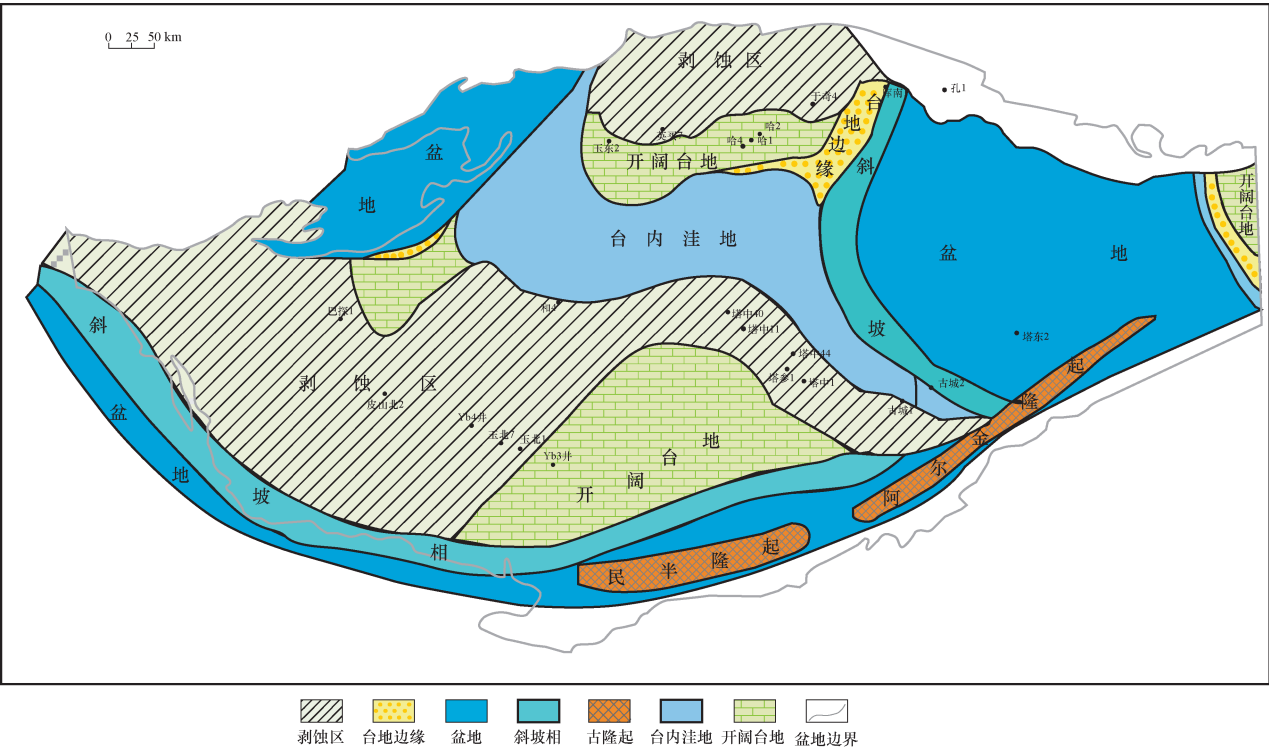


图 4 塔里木盆地中奥陶世岩相古地理
Fig. 4 Paleogeography in the Middle Ordovician, Tarim Basin

夹薄层白云岩或透镜状白云岩,产小壳化石,硅质岩中产疑源类和藻丝体化石;中部为黑色炭质页岩、黄绿色和紫红色页岩夹白云岩,产少量小壳化石;其上部为灰白色薄层微晶白云岩、瘤状白云岩夹页岩,产小壳化石

等。黑色页岩粉晶 X - 衍射 (XRD)、扫描电镜 (SEM) 和透射电镜 (TEM) 分析表明,其主要由细小的碎屑石英颗粒和粘土矿物组成,物源主要为大陆地壳^[48]。页岩中含有石膏、重晶石和结核状氟磷灰石,说明其形成

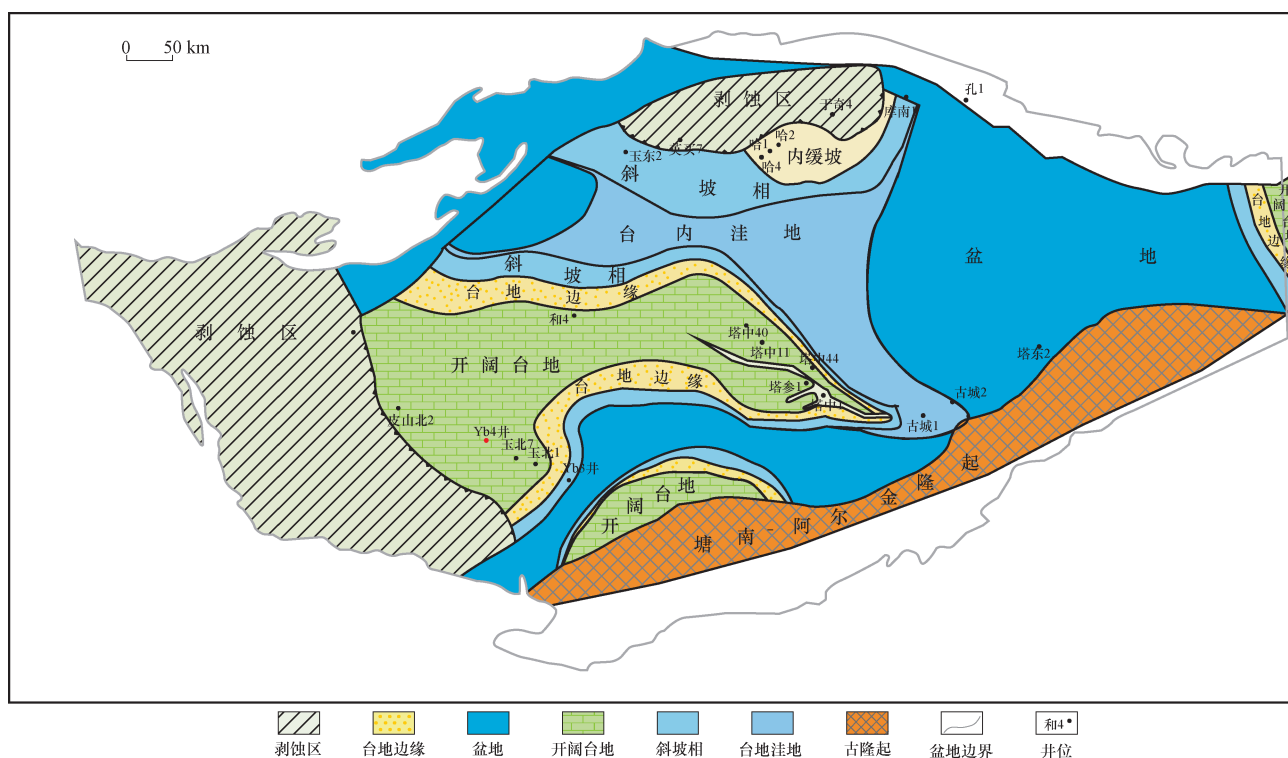


图5 塔里木盆地良里塔格组沉积时期岩相古地理

Fig. 5 Paleogeography in the Tage Formation, Tarim Basin

具有一定的水动力条件,即硫酸盐还原带之上的次氧化环境-还原环境中^[49]。推断该套烃源岩主要形成于浅海陆棚环境,是寒武纪早期初次海泛的产物。因此玉尔吐斯组的厚度在不同地区有很大的差异,厚度变化为7.8~35 m,平均在10 m左右。

库鲁克塔地区格纽芬兰统烃源岩较为发育,包括西山布拉克组-西大山组,为黑色页岩夹硅质岩组合。以兴地断裂为界,分为南、北两个区。北区属于北库鲁克塔格斜坡相区。西山布拉克组下部多为灰黑色硅质岩及磷块岩;中部常为基性火山喷发岩;上部为黑色硅质岩及薄层硅质泥岩。由于本组火山岩各地厚度变化较大(0~200 m),因此西山布拉克组的厚度变化也很大,厚度20~300 m。与下伏震旦系汉格尔乔克组平行不整合接触。南区为塔东陆架盆地相区的代表地区,寒武纪地层在雅尔当山-却尔却克山一带出露较好;与北区相比,南区寒武系底部火山岩不太发育,该组厚度较薄,在雅尔当山,西山布拉克组仅厚约19.2 m。它与下伏地层汉格尔乔克组平行不整合接触,由厚层白云岩、黑色硅质岩和辉长辉绿岩组成。尉犁1井、库南1井分别钻遇了该套地层。

该套地层硅质岩As, Sb, Sr, Ba, U等微量元素富集,稀土元素总量低, Ce为负异常明显等特征,具有深源成因特征。推断与地壳发生强烈的拉张裂解、海底火山及与之紧密伴生的海底热水流体活动有关,且由下向上热水作用逐渐减弱^[49-51]。底部发育的磷结核

沉积,一般认为与上升洋流关系密切,是沿岸的上升洋流为表层水体提供了营养物质,导致了高的初始产率和高的有机碳量沉积于海底^[52-54],由此表明其形成于陆棚与盆地相环境。

塔东及英东地区相当层位烃源岩地层。塔东1井中、下寒武统为欠补偿盆地相沉积。源岩层为硅质泥岩、灰质泥岩夹泥质泥晶灰岩,厚度142 m。相当于玉尔吐斯组烃源岩主要发育于西大山组底部灰色硅质云岩与黑色硅质泥岩互层,有机碳含量为0.1%~5.5%,平均为2.76%,厚度为9 m^[55-57]。塔东2井寒武系烃源岩厚度达161 m,平均有机碳含量为2.11%^[58]。对比表明西部相当于玉尔吐斯组,烃源岩厚度11 m。英东2井寒武系底部暗色泥岩、硅质岩、泥灰岩等覆盖在基底火成岩之上^[59-60]。

盆内中央隆起区钻遇与钻穿寒武系的井,玉尔吐斯组地层要么缺失,要么没有烃源岩。其中巴楚隆起方1井玉尔吐斯组,相变为碎屑岩、泥灰岩、硅质源岩等。由此可见,烃源岩分布不仅东西分为两个区,而且南部存在一个隆起将南北分割。

综上所述,玉尔吐斯组相当于纽芬兰统沉积时期最大海泛面沉积,是寒武纪早期区域拉张,北部拗陷逐渐形成,海水向盆内超覆,填平补齐的产物。因此在整个北部拗陷应有普遍发育的背景,但厚度变化大,普遍不超过20 m。东北部为发育较早的拗拉槽,烃源岩最为发育(图6)。

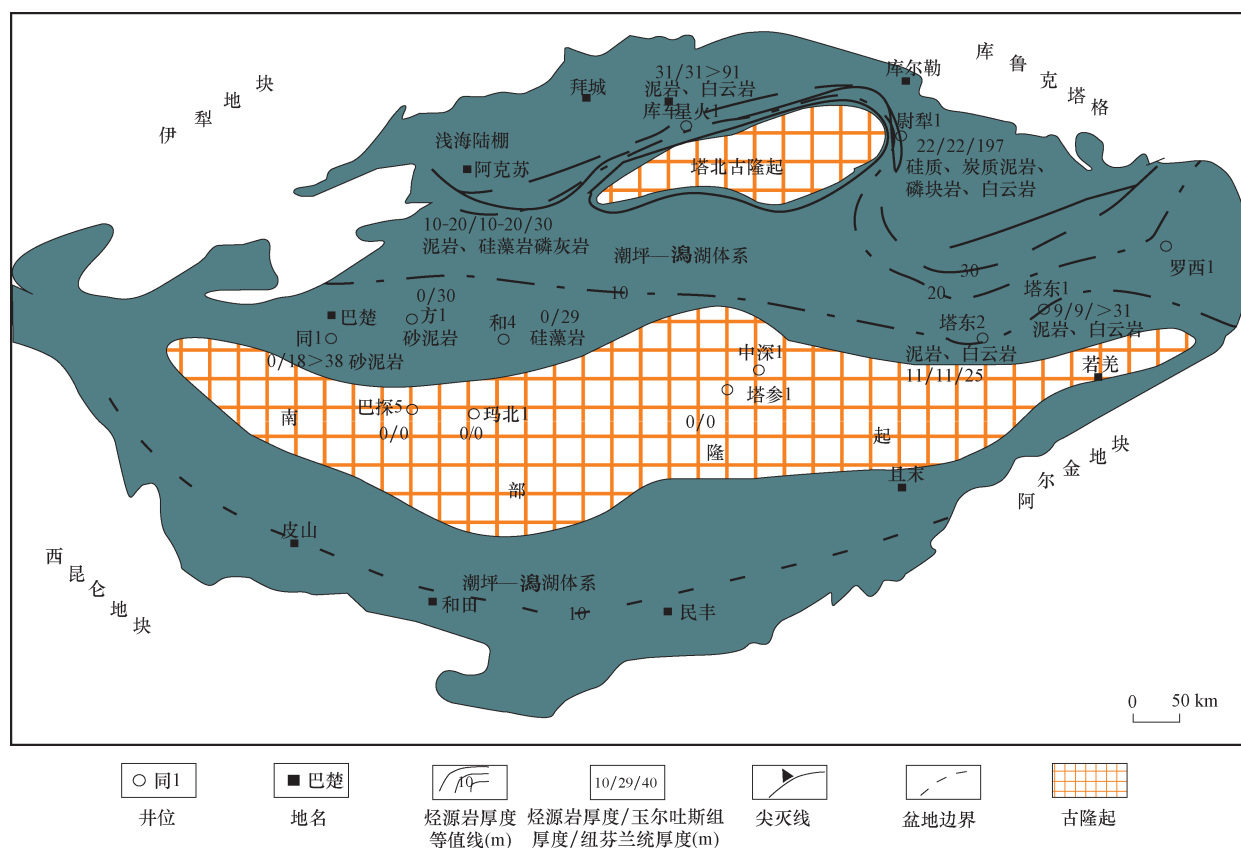


图6 塔里木盆地寒武系玉尔吐斯组烃源岩分布

Fig. 6 Source rock distribution of the Cambrian Yuertusi Formation, Tarim Basin

3.2 中、下奥陶统烃源岩

下奥陶统黑土凹组分布于库鲁克塔格南区剖面和塔东盆地区^①(图7)。盆地区内却尔却克山黑土凹组由黑色笔石页岩和灰黑色—黑色薄层硅质岩组成,厚15.5 m。黑土凹组按岩性分为3段,下段岩性主要为黑色炭质笔石页岩,含丰富笔石,时代为中奥陶世大坪期;中段岩性为炭质、硅质泥页岩夹薄层硅质岩,含少量灰黑色泥灰岩透镜体,含较丰富的笔石和部分放射虫;上段为黑色、灰黑色薄层硅质岩,顶部夹黑色粉砂质泥岩,其中硅质岩产丰富的放射虫,时代为早奥陶世。在黑土凹组的上部含硅质岩层段,偶含泥灰岩结核,并可见滑塌构造等。中部黑色炭质页岩有机质丰度最高,达2.12%。硅质岩因性硬而脆,易破裂,风化氧化作用导致有机质损失严重,有机质丰度相对较低,有机碳为0.45%。南雅尔当山的黑土凹组也以黑色笔石页岩为主,局部夹粉砂质条带。但有机质丰度较低,有机碳含量为0.06%~0.36%,平均仅为0.2%。

在塔东地区塔东1井、塔东2井、英东2井、尉犁1井、库南1井钻遇了黑土凹组盆地相烃源岩^[59-61]。但至库南1井相变为台地相的鹰山组。说明黑土凹组烃

源岩主要形成于滞流环境。由岩相推断,在阿满过渡带应是此套烃源岩最为发育的区域。

中奥陶统上部萨尔干组是盆地区品质仅次于玉尔吐斯组的一套优质烃源岩。柯坪剖面萨尔干组黑色页岩有机碳含量为0.65%~2.83%,平均为1.63%,有机质类型为Ⅱ型,有机质主要源于藻类和疑源类。但黑色页岩的累计厚度仅为11~12 m^[62]。该套烃源岩沿柯坪—阿克苏一带,呈狭长条带状分布,在大湾沟剖面厚13.04 m,在阿克苏四石场剖面厚6.7 m,苏巴什沟剖面厚约5 m。萨尔干组岩性为黑色页岩夹灰黑色薄层或透镜状泥灰岩,为一套台地边缘相沉积。

在盆地区萨尔干组对应于一间房组上部,相当于中奥陶统上部。塔河一间房组北部为缓坡台地相,发育大量的藻灰岩,至S114井地层变薄,泥灰岩厚度增大,变为台内凹陷,类似的环境出现在巴楚隆起西北地区。由此推断,一间房组沉积时期,在塔北隆起与中央古隆起之间发育台内凹陷,很可能是满加尔与阿瓦提连通,因此阿瓦提拗陷应发育萨尔干组烃源岩^[64]。

3.3 上奥陶统岩相古地理和烃源岩分布

上奥陶统烃源岩主要是指分布于塔中、塔北地区

① 金之钧,王毅,马安来,等. 塔里木盆地台盆区有效烃源岩与油气勘探方向. 中国石化石油勘探开发研究院,2005.

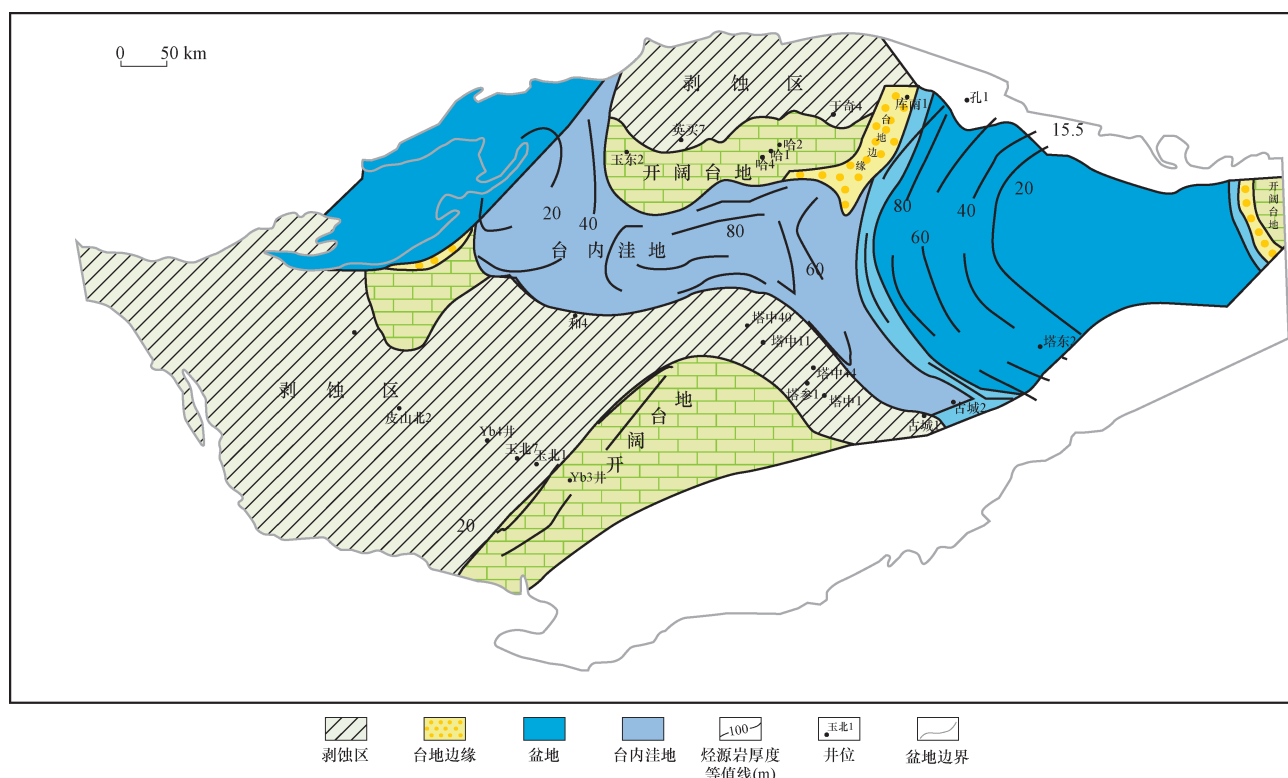


图7 塔里木盆地中、下奥陶统烃源岩分布

Fig. 7 Source rock distribution of the Middle and Lower Ordovician, Tarim Basin

的良里塔格组台缘斜坡灰泥丘相烃源岩以及出露于阿克苏地区的印干组黑色页岩,为一套偏氧化环境的烃源岩。该套烃源岩的厚度与有机质含量在空间上都有较大变化。如大湾沟剖面印干组厚度 35.3 m,有机碳含量机碳含量为 0.23%~0.68%。柯坪羊吉坎剖面与大湾沟岩性类似,厚度达 165 m。该套地层以黑色、深灰色炭质、钙质和粉砂质页岩与泥屑灰岩为标志,含丰富的笔石和几丁虫,以及少量三叶虫和磷酸质壳腕足动物,形成于浅海-半深海环境。

盆地内台地相的奥陶系烃源岩主要赋存层位为上奥陶统良里塔格组灰泥丘,岩性主要为泥晶灰岩、泥灰岩、泥质灰岩,为偏氧化环境和高生产率背景下形成的台缘斜坡灰泥丘相烃源岩。它有两种分布形式,一种赋存在丘间洼地中;另一种呈纹层状、条带状赋存在层状-生物灰泥丘中,丘顶叠层石或藻席灰岩及丘核的微晶凝块灰岩的有机质丰度却很低,源岩厚度及其有机碳含量均具有很强的纵、横非均质性^[59]。其中,塔中低隆区良里塔格组源岩发育最好的区域,有机碳含量为 0.5%~0.84%,最高可达 5.44%(TZ201 井),有机碳含量大于 0.5%地层厚度分布于 30~90 m,TZ43 井累计厚度可达 300 m^[60]。巴楚隆起良里塔格组灰泥丘相烃源岩的厚度与有机碳含量明显降低(H3 井有机碳含量大于 0.5%的烃源岩累计厚度为 41 m)。塔北隆起区上奥陶统烃源岩也有厚度薄、有机质丰度低的特点。有机碳含量为 0.2%~0.96%,主要分布在 0.47%~0.56%,大

于 0.5%的源岩厚度分布为 6~28 m。HD17 井烃源岩有机碳含量可高达 1.7%^[3,6,59]。塔东地区在晚奥陶世大部分处于快速充填状态,不能形成有效的烃源岩。如塔东 2 井 3 020~4 478 m 井段上奥陶统浊流沉积泥岩 41 样品个有机碳含量分析值平均为 0.23%,分布区间为 0.078%~0.557%,大于 0.5%的分析样品只有 3 个^[59](图 8)。

从沉积过程分析,晚奥陶世早期存在一次规模性海侵,目前发现烃源岩除柯坪地区为浅海-半深海环境外,盆地内部主要分布在孤立台地区。从岩相古地理分析,烃源岩发育时期北部拗陷应与柯坪相连,具有烃源岩发育的条件。塔河三维地震剖面良里塔格组自北向南由灰岩转变为凝缩段泥岩,因此北部拗陷发育有台内拗陷,对良里塔格组地层可达 50 m,是烃源岩发育的有利区。北部拗陷东部、塘古巴斯凹陷,沉积速率大,烃源岩不发育。

4 主力烃源岩讨论

1) 下古生界纵向上发育 5 套烃源岩,寒武系组芬兰统、下奥陶统黑土凹组、中奥陶统萨尔干组、良里塔格组为四期海进过程,应有分布广泛特征。但各时期烃源岩发育空间上不一致。

2) 纽芬兰统玉尔吐斯组相当层位烃源岩为寒武纪早期盆地伸展最大海泛沉积,在盆地北部广泛沉积,

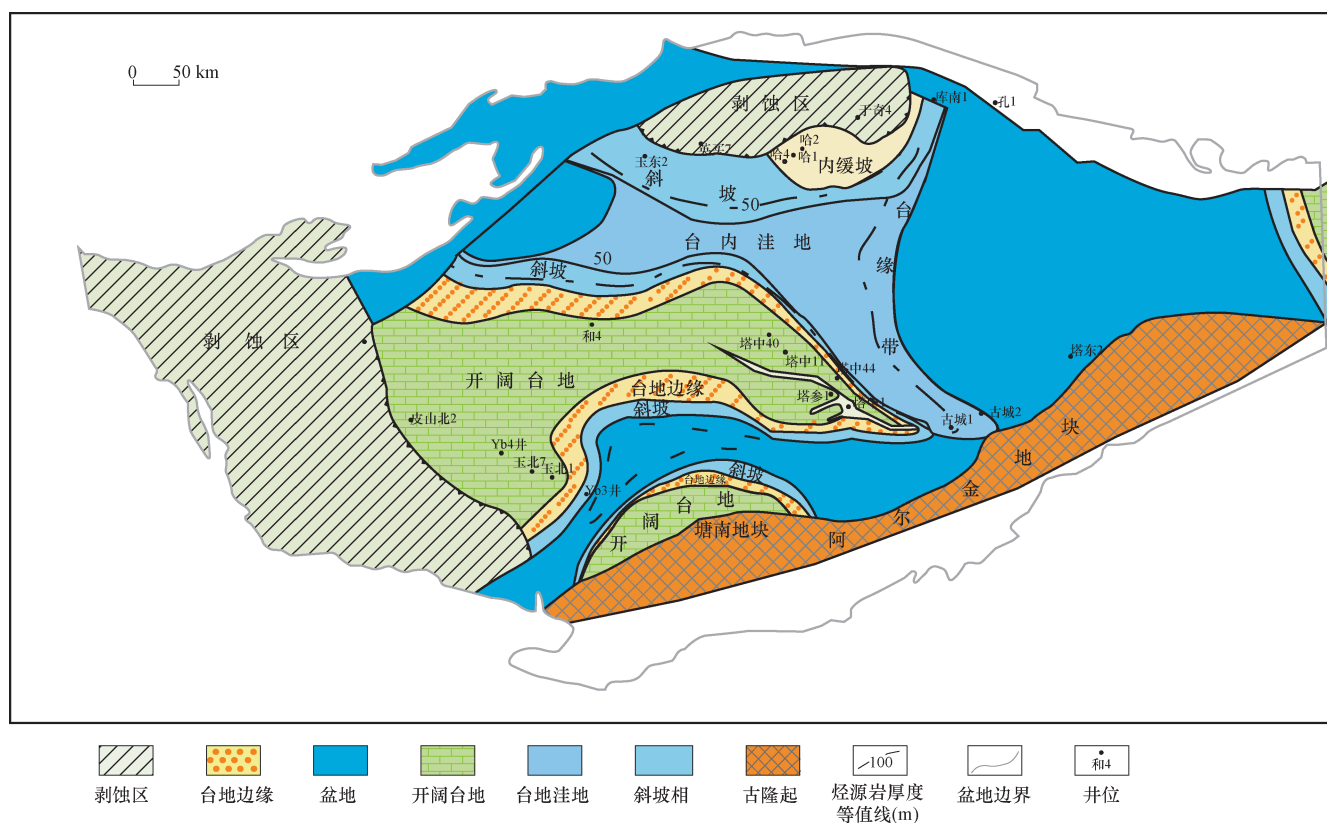


图8 塔里木盆地台盆上奥陶统烃源岩分布

Fig. 8 Source rock distribution of the Upper Ordovician, Tarim Basin

且由北向南层位减少,厚度变薄,此套烃源岩是目前盆地中发现最好的烃源岩。盆地周缘造山带构造演化表明,晚元古代—寒武纪早期是一个区域伸展过程。该期 Rodinia 超级大陆裂解,深部物质供应充分,生物大爆炸。硅、磷质和黑色页岩发育与海侵期伴随的火山和上涌洋流活动,其次快速海侵,有利于有机质的保存,因此是烃源岩发育最广泛的时期之一,如西伯利亚、中国南方。塔里木台盆区广泛发育的志留系沥青砂与其关系密切。它广泛分布于盆地北部,因此是盆内重要的烃源岩之一。

3) 早、中奥陶世尽管盆地“东盆西台”,但天山洋局部关闭,台地区的南北分异,为黑土凹组闭塞盆地沉积,萨尔干组由海盆向台地过渡形成的斜坡区为烃源岩发育环境提供了条件,故在阿满过渡带、阿瓦提凹陷是中、下奥陶统烃源岩较为发育的区域。

4) 晚奥陶世尽管盆地进入了汇聚演化阶段,但早期的海侵与南北拗陷的发育,在阿瓦提凹陷为烃源岩发育提供良好的条件^[65]。

5) 从镜质体反射率分析,在晚加里东时期塔北、塔中隆起区寒武系、下奥陶统烃源岩都已进入了生油高峰期。北部拗陷镜质体剖面在东河砂岩及下覆地层不整合上下连续,显示具有二次生烃条件。二叠纪时期,寒武系烃源岩在满加尔凹陷已进入凝析气阶段。隆起区及周缘烃源岩在燕山期—喜马拉雅期也具二次

生烃条件^[66]。中、上奥陶统烃源岩则主要成熟于晚海西期以来,这一特征与目前油气发现及上述烃源岩分布分析具有一致性。

参 考 文 献

- [1] 梁狄刚. 塔里木盆地油气勘探若干地质问题[J]. 新疆石油地质, 1999, 20(3): 184-188.
Liang Digang. Several geological problem of oil & gas exploration in Tarim basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1999, 20(3): 184-188.
- [2] 梁狄刚, 张水昌, 张宝民. 从塔里木盆地看中国海相生油问题[J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 534-547.
Liang Digang, Zhang Shuichang, Zhang Baomin. Understanding on marine oil generation in Chian on Tarim basin [J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(4): 534-547.
- [3] 张水昌, 张宝民, 王飞宇, 等. 中上奥陶统: 塔里木盆地的主要油源层[J]. 海相油气地质, 2000, 5(1-2): 16-22.
Zhang Shuichang, Zhang Baomin, Wang Feiyu, et al. Middle-Upper Ordovician: main Oil source Layer in Tarim Basin [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2000, 5(1-2): 16-22.
- [4] 顾忆, 黄继文, 邵志兵. 塔河油田奥陶系油气地球化学特征与油气运移[J]. 石油实验地质, 2003, 25(6): 746-750.
Gu Yi, Huang Jiwen, Shao Zhibin. Petroleum geochemistry and hydrocarbon migration in Tahe oilfield of the Tarim basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2003, 25(6): 746-750.
- [5] 金之钧. 我国海相碳酸盐岩系石油地质基本特征及含油气远景[J]. 前沿科学, 2010, 4(13): 11-23.
Jin Zhijun. Petroliferous features of marine carbonate strata and hy-

- drocarbon resource prospects in China[J]. *Frontier Science*, 2010, 4(13): 11–23.
- [6] 张水昌,高志勇,李建军,等.塔里木盆地寒武系—奥陶系海相烃源岩识别与分布预测[J]. *石油勘探与开发*, 2012, 39(3): 285–294.
- Zhang Shuichang, Gao Zhiyong, Li Jianjun, et al. Identification and distribution of marine hydrocarbon source rocks in the Ordovician and Cambrian of the Tarim Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2012, 39(3): 285–294.
- [7] 张水昌,梁刚刚,黎茂稳,等.分子化石与塔里木盆地油源对比[J]. *科学通报*, 2002, 47(增刊): 16–23.
- Zhang Shuichang, Liang Digang, Li Maowen, et al. Millelulal fossils and oil-source correlation in Tarim Basin[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(sup): 16–23.
- [8] Bazhenov M L, Collins A Q, Degtyarev K E, et al. Paleozoic northward drift of the North Tien Shan(Central Asia) as revealed by Ordovician and Carboniferous paleomagnetism[J]. *Tectonophysics*, 2003, 366: 113–141.
- [9] 何国琦,李茂松,韩宝福.中国西南天山及邻区大地构造研究[J]. *新疆地质*, 2001, 19(1): 7–11.
- He Guoqi, Li Maosong, Han Baofu. Geotectonic research of southwest Tianshan and its west adjacent area, China[J]. *Xinjiang Geology*, 2001, 19(1): 7–11.
- [10] 何国琦,李茂松.中亚蛇绿岩带研究进展及区域构造连接[J]. *新疆地质*, 2000, 18(3): 193–202.
- He Guoqi, Li Maosong. New achievement in researching ophiolitic belts in central Asia and its significance in the links of tectonic belts between Northern Xinjiang and adjacent area[J]. *Xinjiang Geology*, 2000, 18(3): 193–202.
- [11] 李向东,李茂松.中国西天山地质构造与西邻区的对比研究[J]. *地质论评*, 1996, 42(2): 107–115.
- Li Xiangdong, Li Maosong. Tectonic correlation between the western Chinese Tianshan and its western adjacent Area[J]. *Geological Review*, 1996, 42(2): 107–115.
- [12] Qian Q, Gao J, Klemd R, et al. Early Paleozoic tectonic evolution of the Chinese South Tianshan Orogen: constraints from SHRIMP zircon U-Pb geochronology and geochemistry of basaltic and dioritic rocks from Xiata, NW China[J]. *International Journal of Earth Sciences*, 2009, 98: 551–569.
- [13] 高俊,钱青,龙灵利等.西天山的增生造山过程[J]. *地质通报*, 2009, 28(12): 1804–1816.
- Gao Jun, Qian Qing, Long Lingli, et al. Accretionary orogenic process of western Tianshan, China[J]. *Geological Bulletin Of China*, 2009, 28(12): 1804–1816.
- [14] 何世平,任秉琛,姚文光,等.甘肃内蒙古北山地区构造单元划分[J]. *西北地质*, 2002, 35(4): 30–40.
- He Shiping, Ren Bingchen, Yao Wenguang, et al. the division of tectonic units of Beishan area, Gansu-Inner Mongolia[J]. *Northwestern Geology*, 2002, 35(4): 30–40.
- [15] 郭召杰,史宏宇,张志诚,等.新疆甘肃交界红柳河蛇绿岩中伸展构造与古洋盆演化过程[J]. *岩石学报*, 2006, 22(1): 95–102.
- Guo Zhaojie, Shi Hongyu, Zhang Zhicheng, et al. The tectonic evolution of the South Tianshan paleo-oceanic crust inferred from the spreading structures and Ar-Ar dating of the hongliuhe ophiolite, NW China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(1): 95–102.
- [16] 张元元,郭召杰.甘新交界红柳河蛇绿岩形成和侵入年龄的准确限定及大地构造意义[J]. *岩石学报*, 2008, 24(4): 803–809.
- Zhang Yuan Yuan, Guo Zhaojie. Accurate constraint on formation and emplacement age of Hongliuhe ophiolite, boundary region between Xinjiang and Gansu Provinces and its tectonic implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(4): 803–809.
- [17] 许志琴,李思田,张建新,等.塔里木地块与古亚洲洋/特提斯构造体系的对接[J]. *岩石学报*, 2009, 27(1): 1–22.
- Xu Zhiqin, Li Sitian, Zhang Jianxin, et al. Paleo-Asian and Tethyan tectonic systems with docking the Tarim Block[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 27(1): 1–22.
- [18] 刘良.阿尔金高压变质岩与蛇绿岩及其大地构造意义[D].北京:中国科学院地质与地球物理研究所, 1999.
- Liu Liang. High-pressure metamorphic rocks and ophiolite and their tectonic significances in Altun mountains[D]. Beijing: Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, 1999.
- [19] 车自成,刘良,罗金海.中国及其邻区区域大地构造学[M].北京:科学出版社, 2002: 207–369.
- Che Zicheng, Liu Liang, Luo Jinhai. Tectonics of China and its adjacent area[M]. Beijing: Science Press, 2002: 207–369.
- [20] 崔玲玲,陈柏林,杨农等.阿尔金山东段喀腊大湾中基性火山岩岩石地球化学特征及成因探讨[J]. *地质力学学报*, 2010, 16(1): 96–107.
- Cui Lingling, Chen Bailin, Yang Nong, et al. Geochemistry and genesis of basic-intermediate volcanic rocks from Kaladawan, East Altun Tagh mountains[J]. *Journal of Geomechanics*, 2010, 16(1): 96–107.
- [21] 杨经绥,史仁灯,吴才来,等.北阿尔金地区米兰红柳沟蛇绿岩的岩石学特征和 SHRIMP 定年[J]. *岩石学报*, 2008, 24(7): 1567–1584.
- Yang Jingsui, Shi Rendeng, Wu Cailai, et al. Petrology and SHRIMP age of the Hongliugou ophiolite at Milan, north Altun, at the northern margin of the Tibetan plateau[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(7): 1567–1584.
- [22] 郝杰,王二七,刘小汉,等.阿尔金山脉中金雁山早古生代碰撞造山带:弧岩浆岩的确定与岩体锆石 U-Pb 和蛇绿混杂岩 40Ar/39Ar 年代学研究的证据[J]. *岩石学报*, 2006, 22(11): 2743–2752.
- Hao Jie, Wang Erqi, Liu Xiaohan, et al. Jinyanshan collisional orogenic belt of the early Paleozoic in the Altun mountains: evidence from single zircon U-Pb and 40Ar/39Ar isotopic dating for the arc magmatite and ophiolitic mélange[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(11): 2743–2752.
- [23] 丁道桂.西昆仑造山带与盆地[M].北京:地质出版社, 1996.
- Ding Dangui. Western Kunlun mountains orogenic belt and basin[M]. Beijing: Geological Publish House, 1996.
- [24] 肖序常,王军,苏犁等.再论西昆仑库地蛇绿岩及其构造意义[J]. *地质通报*, 2003, 22(10): 745–750.
- Xiao Xuchang, Wang Jun, Su Li, et al. A further discussion of the Kuda ophiolite, West Kunlun, and its tectonic significance[J]. *Regional Geology of China*, 2003, 22(10): 745–750.
- [25] 张传林,于海锋,沈家林,等.西昆仑库地伟晶辉长岩和玄武岩锆石 SHRIMP 年龄:库地蛇绿岩的解体[J]. *地质论评*, 2004, 50(6): 639–643.
- Zhang Chuanlin, Yu Haifeng, Shen Jialin, et al. Zircon SHRIMP age determination of the giant-crystal gabbro and basalt in Kuda, West Kunlun: Dismembering of the Kuda Ophiolite[J]. *Geological Review*, 2004, 50(6): 639–643.
- [26] 韩芳林,崔建堂,计文化,等.西昆仑加里东期造山作用初探[J]. *陕西地质*, 2001, 19(2): 8–18.
- Han Fanglin, Cui Jiantang, Ji Wenhua. Discussion of orogenics of the

- western Kunlun mountains during the Caledonian orogeny[J]. *Geology of Shaanxi*, 2001, 19(2): 8-18.
- [27] 韩芳林. 西昆仑其曼于特蛇绿混杂岩带及地质意义[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2002.
- Han Fanglin. Qimanyute ophiolite melange zone and its geology significances in western Kunlun mountains[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing), 2002.
- [28] 肖序常, 姜枚. 中国西部岩石圈三维结构及其演化[M]. 北京: 地质出版社, 2008.
- Xiao Xuchang, Jiang Mei. 3D structure and its evolution of lithosphere in west China[M]. Beijing: Geological Publish House, 2008.
- [29] Chen Y, Xu B, Zhan S, et al. First mid-Neoproterozoic paleomagnetic results from the Tarim Basin(NW China) and their geodynamic implications[J]. *Precambrian Research*, 2004, 133: 271-281.
- [30] 郭坤一, 张传林, 赵宇. 西昆仑东段北缘中元古代岛弧火山岩地球化学特征[J]. *中国地质*, 2002, 29(2): 161-165.
- Guo Kunyi, Zhang Chuanlin, Zhao Yu, et al. Geochemistry of Mesoproterozoic intra-oceanic arc volcanic rocks in the eastern segment of the western Kunlun orogenic belt[J]. *Chinese Geology*, 2002, 29(2): 161-165.
- [31] 张传林, 赵宇, 郭坤一, 等. 青藏高原北缘首次获得格林威尔期造山事件同位素年龄值[J]. *地质科学*, 2003, 38(4): 535-538.
- Zhang Chuanlin, Zhao Yu, Guo Kunyi, et al. Grenville orogeny in north of the Qinghai-Tibet plateau: first evidence from isotopic dating[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2003, 38(4): 535-538.
- [32] Zhang Chuanlin, Dong Yongguan, Zhao Yu, et al. Geochemistry of Mesoproterozoic volcanites in Western Kunlun: evidence for the plate tectonic evolution[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2003, 77(2): 237-245.
- [33] 覃小锋, 夏斌, 黎春泉, 等. 阿尔金构造带西段前寒武纪花岗岩质麻岩的地球化学特征及其构造背景[J]. *现代地质*, 2008, 22(1): 34-44.
- Qin Xiaofeng, Xia Bin, Li Chunquan, et al. Geochemical characteristics and tectonic setting of precambrian granitic gneiss in the western segment of Altyn Tagh Tectonic Belt[J]. *Geoscience*, 2008, 22(1): 34-44.
- [34] 张建新, 李怀坤, 孟繁聪, 等. 塔里木盆地东南缘(阿尔金山)“变质基底”记录的多期构造热事件: 锆石 U-Pb 年代学的制约[J]. *岩石学报*, 2011, 27(1): 23-46.
- Zhang Jianxin, Li Huaikun, Meng Fancong. Polyphase tectonothermal events recorded in "metamorphic basement" from the Altyn Tagh, the southeastern margin of the Tarim basin, western China: Constraint from U-Pb zircon geochronology[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2011, 27(1): 23-46.
- [35] 张安达, 刘良, 孙勇, 等. 阿尔金超高压花岗岩质片麻岩中锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J]. *科学通报*, 2004, 49(22): 2335-2341.
- Zhang Anda, Liu Liang, Sun Yong, et al. Zircons SHRIMP U-Pb dating and its geological significances in UHP granitic gneisses in Altun mountains [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2004, 49(22): 2335-2341.
- [36] 王超, 刘良, 车自成, 等. 阿尔金南缘榴辉岩带中花岗片麻岩的时代及构造环境探讨[J]. *高校地质学报*, 2006, 12(1): 74-82.
- Wang Chao, Liu Liang, Che Zicheng, et al. U-Pb geochronology and tectonic setting of the trinitic tneiss in Jianggaleisayi eclogite belt, the southern edge of Altyn Tagh[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2006, 12(1): 74-82.
- [37] 邬光辉, 张承泽, 汪海, 等. 塔里木盆地中部塔参1井花岗闪长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄[J]. *地质通报*, 2009, 28(5): 568-571.
- Wu Guanghui, Zhang Chengze, Wang Hai, et al. Zircon SHRIMP U-Pb age of granodiorite of the Tacan 1 well in the central Tarim basin, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28(5): 568-571.
- [38] Guo Z J, Yin A, Bobinson A, et al. Geochronology and geochemistry of deep-drill-core samples from the basement of the central Tarim basin[J]. *Journal of Asian Earth Science*, 2005, 25(1): 45-56.
- [39] 陆松年. 从罗迪尼亚到冈瓦纳超大陆——对新元古代超大陆研究几个问题的思考[J]. *地学前缘*, 2001, 8(4): 441-448.
- Lu Songnian. From Rodinia To Gondwanaland supercontinents-thinking about problems of researching neoproterozoic supercontinents[J]. *Earth Science Frontiers*, 2001, 8(4): 441-448.
- [40] 张传林, 沈加林, 赵宇等. 西昆仑北带新元古代片麻状花岗岩锆石 SHRIMP 年龄及其构造意义[J]. *地质论评*, 2003, 49(3): 239-244.
- Zhang Chuanlin, Shen Jialin, Zhao Yu, et al. Zircons SHRIMP U-Pb dating and its tectonic significances in Neoproterozoic granitic gneisses in north belt of western Kunlun mountain[J]. *Geological Review*, 2003, 49(3): 239-244.
- [41] 王飞, 王博, 舒良树. 塔里木西北缘阿克苏地区大陆拉斑玄武岩对新元古代裂解事件的制约[J]. *岩石学报*, 2010, 26(2): 547-558.
- Wang Fei, Wang Bo, Shu Liangshu. Continental tholeiitic basalt of the Akesu area(NW China) and its implication for the Neoproterozoic rifting in the northern Tarim[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26(2): 547-558.
- [42] Xu Bei, Xiao Shuhai, Zou Haibo, et al. SHRIMP zircon U-Pb age constraints on Neoproterozoic Qurruqtagh diamictites in NW China [J]. *Precambrian Research*, 2009, 168(3-4): 247-258.
- [43] 张安达. 阿尔金超高压榴辉岩及其围岩的地球化学、年代学研究及地质意义[D]. 西安: 西北大学, 2006.
- Zhang Anda. Geochemistry and geochronology of eclogites from Altyn Tagh and its geological significance[D]. Xian: Northwest University, 2006.
- [44] 刘良, 张安达, 陈丹玲, 等. 阿尔金江孜勒萨依榴辉岩和围岩锆石 LA-ICP-MS 微区原位定年及其地质意义[J]. *地学前缘*, 2007, 14(1): 98-107.
- Liu Liang, Zhang Anda, Chen Danling, et al. Implications based on LA-ICP-MS zircon U-Pb ages of eclogite and its country rock from Jianggaleisayi area, Altyn Tagh[J]. *Earth Science Frontiers*, 2007, 14(1): 98-107.
- [45] 张建新, 李怀坤, 孟繁聪, 等. 塔里木盆地东南缘(阿尔金山)“变质基底”记录的多期构造热事件: 锆石 U-Pb 年代学的制约[J]. *岩石学报*, 2011, 27(1): 23-46.
- Zhang Jianxin, Li Huaikun, Meng Fancong. Polyphase tectonothermal events recorded in "metamorphic basement" from the Altyn Tagh, the southeastern margin of the Tarim basin, western China: Constraint from U-Pb zircon geochronology[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2011, 27(1): 23-46.
- [46] 贾承造. 中国塔里木盆地构造特征与油气[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
- Jia Chengzao. Tectonic characteristics and petroleum in the Tarim Basin, China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997.
- [47] 冯增昭. 塔里木盆地寒武系-奥陶系岩相古地理[M]. 北京: 石

- 油工业出版社,2003.
- Feng Zengzhao. Lithofacies paleogeography of the Cambrian and Ordovician in the Tarim Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003.
- [48] 于炳松, Dong H, Widom E, 等. 塔里木盆地北部下寒武统底部黑色页岩的 Re-Os 和 Nd 同位素特征及其与扬子地台的对比[J]. 中国科学(D辑), 2004, 34(增1): 83-88.
- Yu Bingsong, Dong H, Widom E, et al. The Re-Os and Nd isotopic characteristics in the bottom of Lower Cambrian black shale in north Tarim Basin and its comparison with Yangzi Platform[J]. Science in China(D Series), 2004, 34(Suppl 1): 83-88.
- [49] 于炳松, 王黎栋, 陈建强, 等. 塔里木盆地北部下寒武统底部黑色页岩形成的次氧化条件[J]. 地学前缘, 2003, 10(4): 545-550.
- Yu Bingsong, Wang Lidong, Chen Jianqiang, et al. The suboxic depositional setting of black shales in lower Cambrian from Northern Tarim Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10(4): 545-550.
- [50] 孙省利, 陈践发, 刘文汇, 等. 塔里木盆地寒武统硅质岩地球化学特征及其形成环境[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(3): 45-48.
- Sun Xingli, Chen Jianfa, Liu Wenhui, et al. Geochemical characteristics of cherts of Lower Cambrian in the Tarim Basin and its implication for environment[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(3): 45-48.
- [51] 于炳松, 陈建强, 李兴武, 等. 塔里木盆地寒武统底部层状硅质岩微量元素和稀土元素地球化学特征及其成因意义[J]. 地质学报, 2005, 2: 261.
- [52] 杨瑞东, 张传林, 罗新荣, 等. 新疆库鲁克塔格地区早寒武世硅质岩地球化学特征及其意义[J]. 地质学报, 2006, 80(4): 598-605.
- Yang Ruidong, Zhang Chuanlin, Luo Xingrong, et al. Geochemical characteristics of early Cambrian Cherts in Quruqtagh, Xinjiang, West China[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(4): 598-605.
- [53] Ece ö I. Petrology of the desmoinesian excollo black shale of the mid-continent region of the United States[J]. Clays and Clay Minerals, 1987, 35(4): 262-270.
- [54] Pufahl P K, Grimm K A, Abed A M, et al. Upper Cretaceous(Campian) phosphorites in Jordan: implications for the formation of a south Tethyan phosphorite giant[J]. Sedimentary Geology, 2003, 161: 175-205.
- [55] 高志前, 樊太亮. 塔里木盆地寒武系—奥陶系烃源岩发育模式及分布规律[J]. 现代地质, 2006, 20(1): 69-76.
- Gao Zhiqian, Fan Taiyang. Development pattern and distribution rule of source rock of Cambrian-Ordovician in Tarim Basin[J]. Geoscience, 2006, 20(1): 69-76.
- [56] 张中宁, 刘文汇, 郑建京, 等. 塔里木盆地深层烃源岩可溶有机组分的碳同位素组成特征[J]. 沉积学报, 2006, 24(5): 769-773.
- Zhang Zhongning, Liu Wenhui, Zheng Jianjing, et al. Characteristics of carbon isotopic composition of soluble organic components of deep source rocks in Tarim Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(5): 769-773.
- [57] 郭建军, 陈践发, 王铁冠, 等. 塔里木盆地寒武系烃源岩的研究新进展[J]. 沉积学报, 2008, 26(3): 518-524.
- Guo Jianjun, Chen Jianfa, Wang Tieguan, et al. New progress in studying Cambrian source rock of Tarim Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(3): 518-524.
- [58] 赵孟军, 王招明, 潘文庆等. 塔里木盆地满加尔凹陷下古生界烃源岩的再认识[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(4): 417-423.
- Zhao Mengjun, Wang Zhaoming, Pan Wenqing, et al. Lower Palaeozoic source rocks in Manjiaer Sag, Tarim Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(4): 417-423.
- [59] 张水昌, 张保民, 王飞宇, 等. 塔里木盆地两套海相有效烃源层. 有机质性质、发育环境及控制因素[J]. 自然科学进展, 2001, 11(3): 261-268.
- Zhang Shuichang, Zhang Baomin, Wang Feiyu, et al. Organic properties, formation environment and their controlling factors of two effective marine source rocks in the Tarim Basin[J]. Progress in Natural Science, 2001, 11(3): 261-268.
- [60] 张水昌, R L Wang, 金之钧, 等. 塔里木盆地寒武纪—奥陶纪优质烃源岩沉积与古环境变化的关系: 碳氧同位素新证据[J]. 地质学报, 2006, 80(3): 459-466.
- Zhang Shuichang, Wang Ruiliang, Jin Zhijun, et al. The relationship between the Cambrian—Ordovician high-TOC source rock development and paleoenvironment variations in the Tariam Basin, Western China: carbon and oxygen isotope evidence[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(3): 459-466.
- [61] 高志勇, 张水昌, 张兴阳, 等. 塔里木盆地寒武—奥陶系海相烃源岩空间展布与层序类型的关系[J]. 科学通报, 2007, 52(增刊1): 70-77.
- Gao Zhiyong, Zhang Shuichang, Zhang Xingyang, et al. Relationship between spatial distribution of the Cambrian and Ordovician marine source rocks and Sequence stratigraphic types in the Tarim Basin[J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(Suppl 1): 70-77.
- [62] 王飞宇, 杜治利, 张宝民, 等. 柯坪剖面中上奥陶统萨干组黑色页岩地球化学特征[J]. 新疆石油地质, 2008, 29(6): 687-689.
- Wang Feiyu, Du Zhili, Zhang Baomin, et al. Geochemistry of Salgan black shales of Middle-Upper Ordovician in Keping outcrop, Tarim Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2008, 29(6): 687-689.
- [63] 赵宗举, 贾承造, 周新源, 等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系油气成藏主控因素及勘探选区[J]. 中国石油勘探, 2006, 4: 6-15.
- Zhao Zongju, Jia Chengzao, Hou Xinyuan, et al. Factors of oil-gas reservoir-forming and exploration targets in Ordovician in Tazhong area, Tarim Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2006, 4: 6-15.
- [64] 金之钧, 云金表, 周波. 塔里木斜坡带类型、特征及其与油气聚集的关系[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(2): 127-135.
- Jin Zhijun, Yun Jinbiao, Zhou Bo. Types and characteristics of slope zones in Tarim Basin and their relationship with oil accumulation[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(2): 127-135.
- [65] 王飞宇, 张水昌, 张宝民, 等. 塔里木盆地寒武系海相烃源岩有机成熟度及演化史[J]. 地球化学, 2003, 32(5): 461-468.
- Wang Feiyu, Zhang Shuichang, Zhang Baomin, et al. Maturity and its history of Cambrian marine source rocks in the Tarim Basin[J]. Geochimica, 2003, 32(5): 461-468.
- [66] 卢双舫, 钟宁宁, 薛海涛, 等. 碳酸盐岩有机质二次生烃的化学动力学研究及其意义[J]. 中国科学(D辑), 2007, 37(2): 178-184.
- Lu Shuangfang, Zhong Ningning, Xue Haitao, et al. Chemical kinetics of carbonate secondary hydrocarbon generation of organic matter and its significance[J]. Science in China(D Series), 2007, 37(2): 178-184.