

塔里木盆地轮南地区奥陶系沉积储层研究新进展

刘静江¹ 刘池洋¹ 孙红海²

(1. 大陆动力学国家重点实验室(西北大学), 西北大学地质系, 陕西 西安 710069;
2. 塔里木油田开发事业部, 新疆 库尔勒 841000)

摘要: 近期轮南奥陶系沉积储层研究取得了几个方面的重要进展: 发现了两期三套风化壳岩溶储集系统, 其中海西期一套, 存在于奥陶系顶部, 加里东期两套, 存在于奥陶系内部; 确定了轮古东奥陶系储集层为风化壳岩溶缝洞性储层; 发现了桑塔木组礁滩相储集层。桑塔木组沉积早期轮南地区具有成礁环境, 局部发育有小型生物礁; 修正了以往对奥陶系沉积相的划分, 将奥陶系碳酸盐台地边缘的位置东移 30 km; 提出了奥陶系内部风化壳储层形成的热沉降机制, 认为晚奥陶世早期塔里木盆地存在一次热升降运动, 该运动使轮南地区发生不均衡抬升, 奥陶系良里塔格组出露剥蚀, 形成轮南地区广泛分布的风化壳岩溶储集系统, 从而揭示了轮南地区奥陶系更为良好的勘探前景。

关键词: 塔里木盆地; 奥陶系; 储集层; 风化壳岩溶; 古潜山; 生物礁; 热沉降

中图分类号: P618.130.2¹ **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2007)03-0515-07

轮南古潜山油气藏位于塔里木盆地轮南低突起上(图 1), 其主要产出层位为奥陶系碳酸盐岩, 目前已经发现超过 10×10^8 t 的石油和 1000×10^8 m³ 的天然气。根据储盖关系, 轮南奥陶系油气藏曾经划分为潜山部分和内幕部分, 其东部斜坡带和南部斜坡带的南部为内幕部分, 其余为潜山部分。2002 年前油气勘探主要集中在潜山(形成于海西期, 或称为海西期古潜山)部分。近年来在东部的“内幕”部分进行了尝试性钻探, 目前已完钻 12 口井, 都见到了油气显示, 其中有 9 口井获得高产油气流, 而且发现东部地区的“内幕”并非为真正意义上的内幕, 而是一种更早时期的埋藏古潜山, 或称为加里东期古潜山, 从而展现了轮南古潜山东部地区良好的勘探前景。

轮南奥陶系自上而下划分为: 上奥陶统桑塔木组(O_{3s})、良里塔格组(O_{3l})及吐木休克组(O_{3t}); 中奥陶统一间房组(O_{2y}); 中、下奥陶统鹰山组(O_{1-2y})及下奥陶统蓬莱坝组(O_{1p})。刘静江等^[1]认为, 桑塔木组与良里塔格组之间以及良里塔格组与吐木休克组之间为不整合接触(图 2)。不整合的存在形成了与之密切相关的风化壳岩溶储集系统。

1 风化壳岩溶储集系统

近年的钻探发现, 原来的“内幕”地区还存在两套风化壳岩溶系统, 实际上是更早一期(加里东中期)的埋藏古潜山岩

溶系统。这样, 轮南地区就存在两期三套风化壳岩溶系统: 海西期一套潜山风化壳岩溶系统和加里东中期的两套埋藏古潜山风化壳岩溶系统。

1.1 良里塔格组风化壳岩溶系统

轮南地区目前有 LG37 井和 LN51 井在桑塔木组与良里塔格组之间连续取心, LG39 井、LG391 井在良里塔格组顶部有连续取心。岩心具有强烈的岩溶特征(图 3)。这种强烈的岩溶特征(大型溶蚀孔洞)是长期的表层岩溶风化条件下形成的。并且, 在轮古东地区的 LN37、621、631、LG391 井良里塔格组下部、吐木休克组或一间房组都发现有 0.2~6.8 m 高的中-大型溶洞, 说明本区曾经有过发育良好的地表岩溶系统。

同时, 在 LG37、LN63 井以及塔中地区的良里塔格组中都发现丰富的干沥青。干沥青是古油藏破坏后在地表附近遭受长期的风化氧化的产物。

地震剖面上(图 4), 轮古东地区在良里塔格组顶部(Tg5')存在层层超覆现象。说明在良里塔格组沉积后, 轮古东地区有过一次构造抬升, 使良里塔格组暴露风化, 形成广泛的岩溶。目前轮古东地区钻井 9 口, 已经在 LG37、38、39、LN621 井良里塔格组钻到大型溶洞, 这些大型溶洞的形成与长期的风化壳岩溶具有直接关系。

从地震剖面上可见, C4 井以东 30 km 的奥陶系台地边缘附近地层不整合更明显, 地表风化壳岩溶应该更为发育。

收稿日期: 2007-05-16; 改回日期: 2007-05-28

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2003CB214607)、教育部长江学者和创新团队发展计划项目(IR T0559)资助。

作者简介: 刘静江, 男, 1968 年生, 博士生, 高级工程师, 主要从事石油地质研究; E-mail: ljtarim2@tom.com。

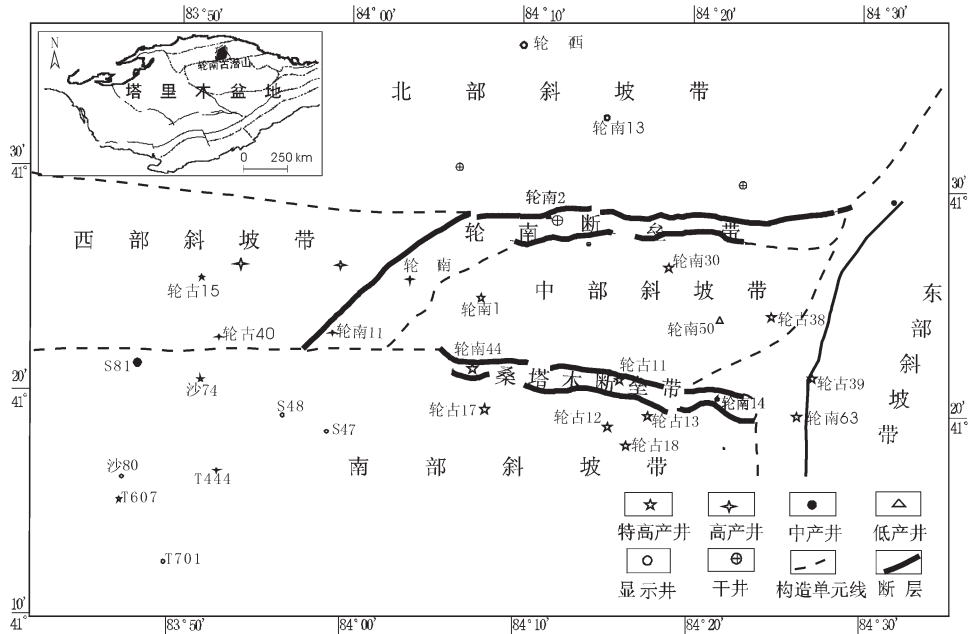


图1 轮南古潜山构造划分

Fig.1 Division of the Ordovician Lunan buried hill structure

1.2 吐木休克组——一间房组风化壳岩溶系统

JF127井、LN46井和LG391井取到良里塔格组与吐木休克组之间的岩心。LG391井在吐木休克组取心取到大型溶洞充填沉积及风化残积角砾岩(图5)。残积角砾岩为灰岩角砾和白色石英砾,并混杂灰白色风化粘土。残积角砾岩、围岩的强烈溶蚀以及大型溶洞表明,吐木休克组上部存在一个大型风化壳岩溶系统。由于吐木休克组厚度较小,基本上与下伏的一间房组和鹰山组形成一个完整的表层岩溶带—渗流岩溶带—潜流岩溶带的风化壳岩溶系统。目前在轮古东地区的LN621、LG391、LN63、LN631井的一间房组、鹰山组分别钻遇了溶洞。

1.3 奥陶系储集层为风化壳岩溶缝洞性储层

轮古东奥陶系存在两个发育较好的风化壳岩溶系统,在良里塔格组、吐木休克组、一间房组和鹰山组都发现了大型溶洞,测井资料也显示本区孔洞性储层占有更为重要的位置,表明轮古东奥陶系储集层为风化壳岩溶缝洞性储层,而不是以裂缝或深部岩溶或层间岩溶为主的储集层。

2 桑塔木组礁滩相储集层

桑塔木组岩性主要为灰色灰质泥岩夹薄层灰岩。但LG391井在桑塔木组底部钻遇一套厚达35m的灰岩(未取心),该套灰岩目前在轮古东地区大部分井都有钻遇,一般厚度5~10m,LG391井钻遇最厚,并且油气显示很好,完井测试日产油18.09 m³,日产气130452 m³。此前,LN51井在此层位取到岩心,岩性为滩相砂砾屑生屑灰岩(图6)。

另据地面露头资料,在桑塔木组也发现有生物礁灰岩(图7)。因此桑塔木组也是今后轮古东地区一个有利的勘探对象。

3 奥陶系沉积相研究的新认识

以往在所有关于轮南奥陶系的沉积储层研究资料^[2-4]中,几乎都把当前研究区(C4井以西)奥陶系良里塔格组、吐木休克组划为台缘斜坡相,一间房组划为台地边缘相。但从地震层序来看,真正的台地边缘还在C4井以东的地方(图4、图8)。目前所钻探的区域实际上全部在奥陶系碳酸盐台地内部,以往所划分的台地边缘颗粒滩相实际上应为台内颗粒滩。根据三维地震资料所刻划的礁滩体形态特征来看(图9),轮古东奥陶系礁滩体基本呈片状分布,与典型的台缘礁滩体(塔中I号带)的线状特征明显不同,而具有台内礁的特点。岩相研究表明,该礁滩体生物主要为原地生长的海绵、苔藓虫、层孔虫、单体珊瑚等非抗浪性生物,生物体间多以灰泥充填,反映一种较为平静的台地内部沉积环境。

从地震剖面(图4)可知,轮南奥陶系碳酸盐岩台地基本上是一个稳定的垂向加积型台地,横向上沉积相的迁移很小,台地边缘的位置具有较好的继承性,因此认为原划分的吐木休克组“台缘斜坡相”应该重新定义。从这个意义上讲,轮古东地区更好的储集相带和更好的岩溶性储层发育区还在东边。

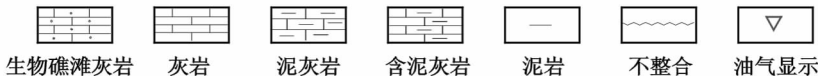
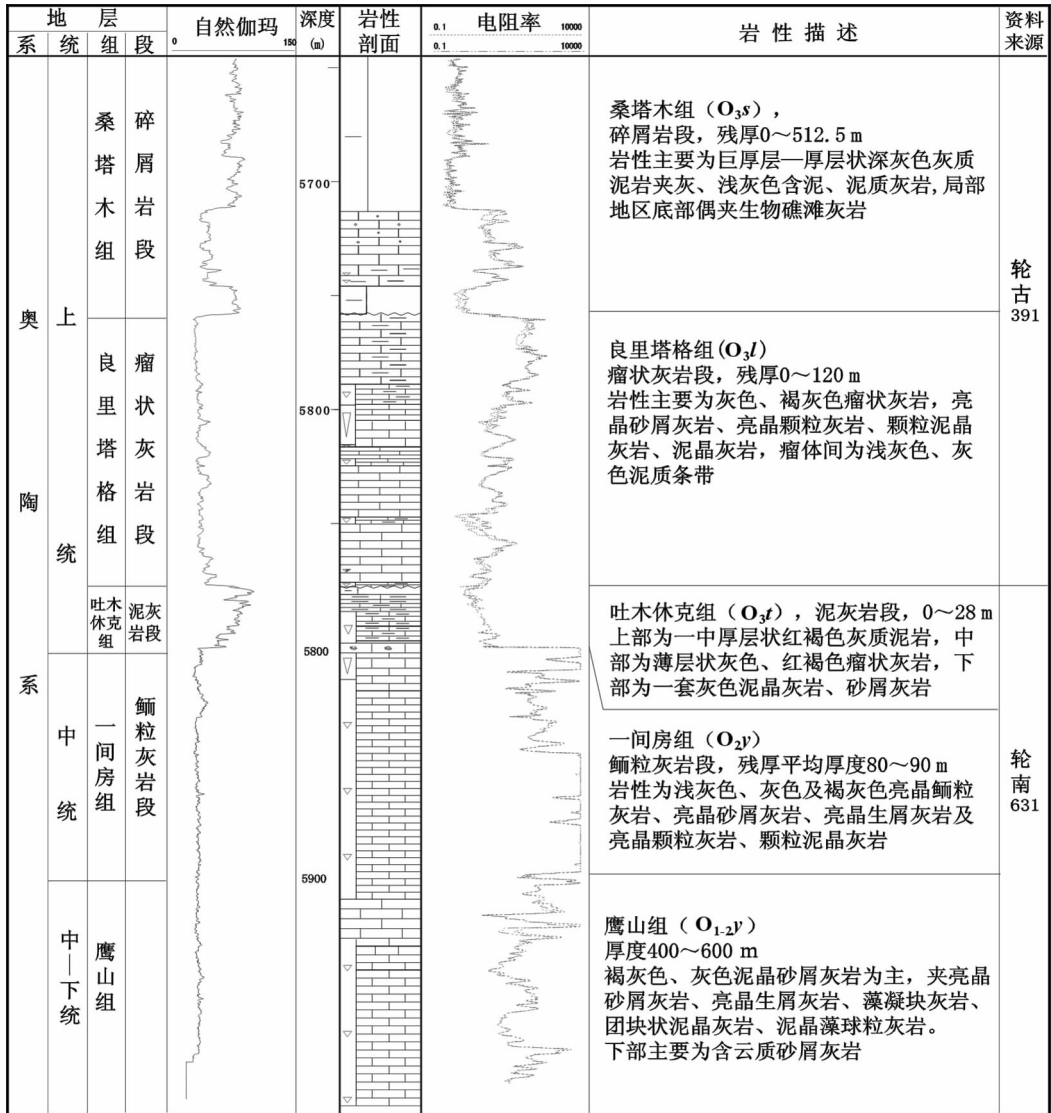


图 2 轮南地区奥陶系综合柱状图

Fig.2 Composite column of the Ordovician in the Lunan area



图 3 良里塔格组顶部的风化壳岩溶特征(左:LN51井,右:LG37井)

Fig.3 Features of weathering crust-type karst at the top of the Lianglitag Formation (left: well LN51; right: well LG37)

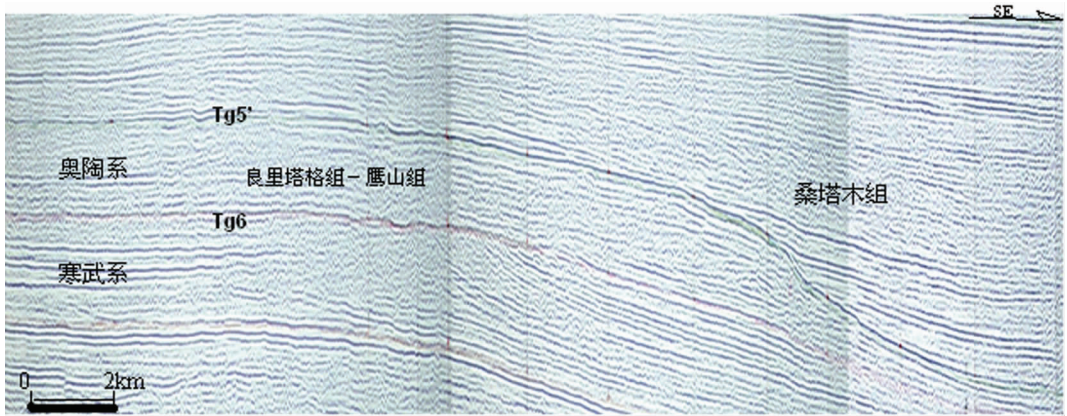


图 4 L350 地震剖面图(示良里塔格组顶部的超覆不整合现象)

Fig.4 Seismic section L350 (showing overlap unconformity on the top of the Lianglitag Formation)



图 5 吐木休克组上部的残积角砾

Fig.5 Residual fragments in the upper part of the Tumuxiuke Formation

4 上奥陶统内部风化壳储层形成的原因

据研究,塔里木盆地在震旦纪—早奥陶世发育库鲁克塔格—满加尔坳拉槽^[5-6],坳拉槽轴部有一磁正异常,为深部物质上涌所致。但根据近几年的钻探结果,在晚奥陶世中期塔里木板块内部可能还存在一期局部的深部物质上涌造成的热升降作用。热升降作用一般包括地壳受热隆升和冷却沉降两个阶段。这次热升降首先表现在奥陶系良里塔格组的隆升剥蚀上。良里塔格组顶部的风化壳岩溶是抬升剥蚀的直接证据;良里塔格组的厚度在塔中地区平均为 400 m,最厚 710 m,而轮南地区平均厚度不到 100 m,这种地层厚度的变化是抬升剥蚀的结果;此外在轮南、塔中地区良里塔格组都发现有分布广泛的干沥青存在,说明该地区曾经发生过地表暴露剥蚀。暴露剥蚀的根本原因是深部物质上涌导致地壳隆升。

其次,塔里木盆地晚奥陶世中期曾经有过较活跃的火山活动。通过钻探,已经在塔里木盆地中部的 H4 井上奥陶统井段取得玄武岩岩心,表明该时期曾经有过岩浆的地表喷发。火山活动在地壳热隆升和冷却沉降两个阶段都可以发生。H4 井玄武岩可能是沉降阶段初期岩浆喷发的产物;此外塔里木



图 6 LN51 井桑塔木组滩相砂屑生屑灰岩

Fig.6 Bank-facies bioclastic calcarenite in the Sangtamu Formation in well LN51



图 7 桑塔木组生物礁灰岩

Fig.7 Biohermal limestone in the Sangtamu Formation, Yijianfang outcrop

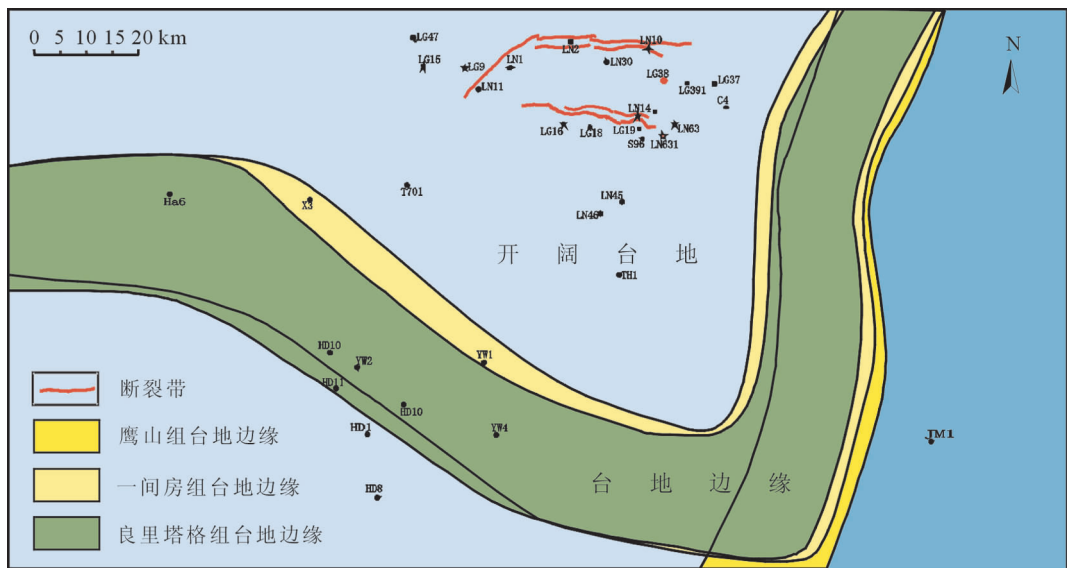


图 8 轮南奥陶系台地边缘位置示意图

Fig.8 Location of the Ordovician carbonate platform margin in the Lunan area

盆地晚奥陶世的吐木休克组、良里塔格组具有分布广泛、层位稳定的褐红色瘤状灰岩夹紫红色钙质泥岩，富含铁质，其铁质应该主要来源于该时期的火山活动。这期火山活动显然与深部物质上涌有关。

第三，上奥陶统良里塔格组之上的桑塔木组(O_{3s})主要为一套巨厚的深灰色泥岩夹少量薄层灰岩沉积，生物贫乏，有机质稀少，是一套超补偿性快速沉积层序。该层序应该为热沉降后期的快速构造沉降时期的沉积。

第四，热演化研究表明，塔里木盆地早古生代古地温梯度平均为 3.5°C/100 m，晚古生代—中生代的古地温梯度平

均为 2.5°C/100 m，而现今地温梯度平均为 2.0°C/100 m。说明在寒武纪—奥陶纪期间塔里木盆地的确存在活跃的热异常，而热异常导致了塔里木板块的局部隆升剥蚀，从而形成奥陶系广泛的风化壳岩溶性储集层。

5 勘探意义

碳酸盐台地从来就是油气勘探的重要领域。轮南奥陶系碳酸盐台地边缘的东移相应地扩大了奥陶系油气勘探的范围；三期三套风化壳岩溶系统的发现基本上解决了轮南奥陶系油气成藏最关键的储层问题，表明轮南奥陶系油气勘探具

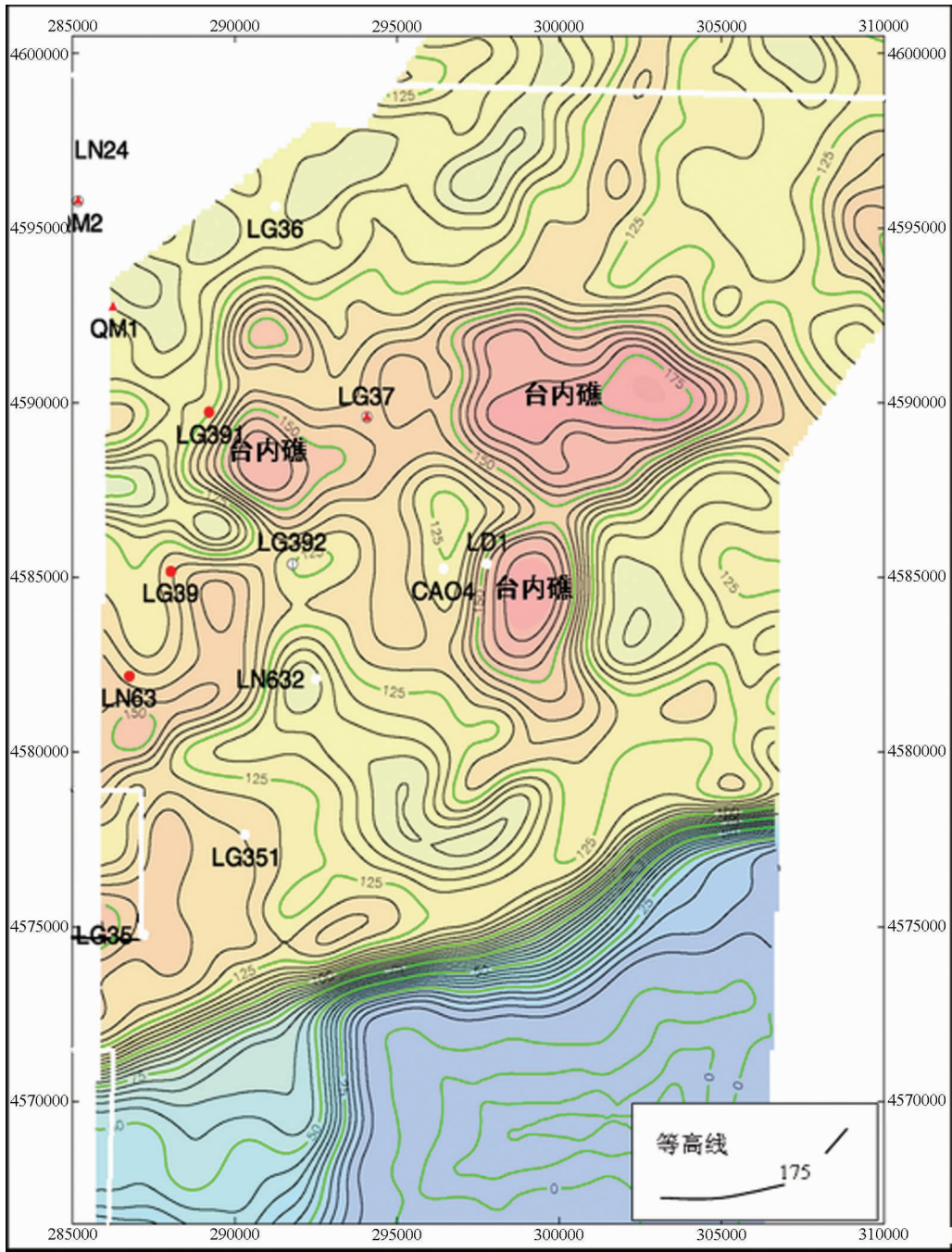


图9 轮南东部良里塔格组台内礁分布特征

Fig.9 Distribution of intraplatformal organic reefs in the Lianglitag Formation in the east of Lunnan

有更为广阔的前景。

参考文献 (References) :

[1] 刘静江, 袁玉春, 龙维华, 等. 塔里木盆地轮南奥陶系研究新进展 [J]. 新疆石油地质, 2006, 27(6):667-669.
 Liu Jingjiang, Yuan Yuchun, Long Weihua, et al. Advances in Ordovician study of Lunnan area in Tarim basin [J]. Xinjiang

Petroleum Geology, 2006, 27(6):667-669(in Chinese with English abstract).

[2] 张云智. 塔里木盆地顺托果勒-满加尔地区寒武系、奥陶系沉积特征[J]. 矿物岩石, 2000, 20(2):63-68.
 Zang Yunzhi. The depositional feature of Cambrian Brain - Ordovician System in Shuntuoguole -Manjiaer area of Tarim [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2000, 20 (2):63 -68 (in

- Chinese with English abstract).
- [3] 顾家裕, 张兴阳, 罗平, 等. 塔里木盆地奥陶系台地边缘生物礁、滩发育特征[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(3):277-283.
- Gu Jiayu, Zhang Xingyang, Luo Ping, et al. Development characteristics of organic reef-bank complex on Ordovician carbonate platform margin in Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(3):277-283(in Chinese with English abstract).
- [4] 贺萍, 胡明毅, 朱忠德, 等. 塔里木盆地轮南地区中奥陶统生物礁储层特征及影响因素[J]. 海相油气地质, 2003, 8(2):24-29.
- He Ping, Hu Mingyi, Zhu Zhongde, et al. Characteristics and genesis of Middle Ordovician reef reservoirs in Lunnan area, Tarim basin [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2003, 8 (2):24-29(in Chinese with English abstract).
- [5] 贾承造, 魏国齐, 姚慧君, 等. 盆地构造演化与区域构造地质[C]//童晓光, 梁狄刚. 塔里木盆地油气勘探丛书. 北京:石油工业出版社, 1995:88-98.
- Jia Chenzao, Wei Guodi, Yao Huijun, et al. Structural evolution of basins and regional structural geology [C]//Tony Xiaoguang. Liang Digang. Series on Petroleum Exploration in the Tarim Basin. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995:88-98(in Chinese).
- [6] 秦胜飞, 贾承造, 陶士振. 塔里木盆地库车坳陷油气成藏的若干特征[J]. 中国地质, 2002, 29(1):103-108.
- Qin Shengfei, Jia Chengzao, Tao Shizhen. Some characteristics of oil and gas accumulation in the Kuqa depression, Tarim basin [J]. Geology in China, 2002, 29 (1):103-108 (in Chinese with English abstract).

New advances in the study of Ordovician sedimentary reservoirs in Lunnan, Tarim basin

LIU Jing-jiang¹, LIU Chi-yang¹, SUN Hong-hai²

(1. State Key Laboratory of Continental Dynamics(Northwest University), Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China; 2. Tarim Oil and Gas Company)

Abstract: Recently major advances have been made in the study of Ordovician sedimentary reservoirs in Lunnan, Tarim Basin. Three weathering crust reservoir systems of two phases have been found: one Hercynian reservoir system occurs at the top of the Ordovician and two Caledonian systems in the interior of the Ordovician. The Ordovician reef bank-facies reservoir in Lungudong is determined to be a weathering crust karst fissure-cave one, and a reef bank-facies reservoir is found in the Sangtamu Formation. In the early deposition of the Sangtamu Formation, a reef-forming environment occurred, with small organic reefs developed locally. The previous division of Ordovician sedimentary facies is revised, and the location of the Ordovician carbonate platform margin is shifted eastward for 30 km. The thermal subsidence mechanism is proposed for the interpretation of the formation of the weathering crust reservoir inside the Ordovician. It is thought that there existed a thermal uplift and subsidence movement in the Tarim basin during the early Late Ordovician, which resulted in nonuniform uplift of the Lunnan area and erosion and exposure of the Lianglitag Formation, thus forming the weathering crust karst reservoir system in the area and revealing good petroleum prospects in the Lunnan area.

Key words: Tarim basin; Ordovician; reservoir; weathering crust-type karst; organic reef; buried hill; thermal subsidence

About the first author: LIU Jing-jiang, male, born in 1968, Ph.D candidate, senior engineer of Petro-China, specializes in petroleum geology; E-mail: Ljjtarim2@tom.com.