

塔北哈拉哈塘加里东期多期岩溶古地貌恢复与 洞穴储层分布预测

淡永^{1,2}, 邹灏¹, 梁彬^{2,3}, 张庆玉^{2,3}, 曹建文^{2,3}, 李景瑞^{2,3}, 郝彦珍^{2,3}

(1. 成都理工大学, 四川 成都 610059; 2. 中国地质科学院 岩溶地质研究所, 广西 桂林 541004;

3. 国土资源部/广西岩溶动力学重点实验室, 广西 桂林 541004)

摘要:为了认识塔里木盆地北部哈拉哈塘加里东期多期岩溶作用对奥陶系碳酸盐岩储层发育的控制机理,选择不同方法对各期古地貌进行恢复。结果表明良里塔格岩溶期古地貌以丘丛洼地、谷地为主,由北向南发育了多条深切河流,地震剖面证实河流常切穿至一间房组;前志留纪岩溶期,由北向南可划分为潜山岩溶区、碎屑岩浅覆盖岩溶区和厚层覆盖岩溶区,地势北高南低,北部潜山区以微岩溶地貌为主,未发育深切河谷,南部厚层覆盖区为碎屑岩山地,由北向南的水系,汇入碎屑岩尖灭线附近岩溶湖。通过钻井、岩心、测井解释等资料统计,总结浅覆盖区洞穴型储层主要发育在两个带:一间房组顶面以下0~30 m及50~110 m,对应层位分别为一间房组和鹰山组,厚层覆盖区洞穴型储层主要发育在一间房组顶面以下0~40 m,分带性不明显。结合断裂、古地貌、古水系等因素,认为浅覆盖区下部洞穴型储层及厚层覆盖区洞穴储层主要受控于良里塔格岩溶期径流带岩溶作用,该期南部深切河流为排泄点,控制了储层发育规模及走向。而浅覆盖区上部洞穴型储层受控于前志留纪岩溶期径流带岩溶作用,岩溶湖为径流排泄区,控制了上部洞穴储层发育。

关键词:侧向径流溶蚀;古水系;碳酸盐岩;一间房组;鹰山组;塔里木盆地

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Restoration of multistage paleogeomorphology during Caledonian Period and paleokarst cavernous reservoir prediction in Halahatang area, northern Tarim Basin

Dan Yong^{1,2}, Zou Hao¹, Liang Bin^{2,3}, Zhang Qingyu^{2,3}, Cao Jianwen^{2,3}, Li Jingrui^{2,3}, Hao Yanzhen^{2,3}

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 2. Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin, Guangxi 541004, China;

3. Karst Dynamics Laboratory, MLR & GZAR, Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract: This paper studied the controlling mechanism of multi-stage Caledonian karstification on the development of the Ordovician carbonate reservoirs through reconstruction of the Palaeogeomorphology with different methods in Halahatang area, northern Tarim Basin. It shows that the karst geomorphology is dominated by mound-cluster depression and mound-cluster valley during the Lianglitage period. Several deep incised-rivers are developed from north to south and seismic sections reveal that they often cut through the Yijianfang Formation. The pre-Silurian paleokarst can be divided into three zones from north to south, namely buried hill karst zone, shallow coverage karst zone and thick coverage karst zone. The terrain is high in north and low in south. The northern buried hill karst zone is dominated by mini-karst physiognomy without deep incised-rivers. In contrast, the southern thick coverage karst zone is in elastic rock mountain landform where a drainage system flowing from north to south and finally into the karst lake near the pinchout line of elastic rock. Based on the statistics of logging, drilling and cores, the cavernous reservoirs in the shallow coverage karst zone mainly occur in two intervals. One is 0 to 30 m below the top Yijianfang Formation (corresponding to the horizon of the Yijianfang Formation) and the other is 50 to 110 m below the top Yijianfang Formation (corresponding to the horizon of the Yingshan Formation). In contrast, the cavernous reservoirs in the thick coverage karst zone mainly occur in an interval of 0 to 40 m below the top Yijianfang Formation without obvious zonation. A comprehensive analyses of the geomorphology, ancient drain-

收稿日期:2015-02-09;修订日期:2016-04-20。

第一作者简介:淡永(1986—),男,助理研究员、博士研究生,沉积地质及古岩溶油气储层地质。E-mail:danyong@karst.ac.cn。

通讯作者简介:邹灏(1986—),男,讲师、博士,矿产勘查与评价。E-mail:zouhao21@sina.com。

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(41302122);国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2011CB201001);中国地质调查局地质调查项目(DD20160300);广西青年基金项目(2015GXNSFBA139187)。

age system, tectonic fault and other factors shows development of the cavernous reservoirs in the lower part of the shallow coverage zone and thick coverage zone was mainly controlled by paleokarstification in runoff zone during Lianglitage period when the deeply incised-rivers in the southern part acted as the runoff drainage points controlling the size and direction of cavernous reservoirs. In contrast, the development of cavernous reservoirs in the upper part of the shallow coverage zone was mainly controlled by paleokarstification in runoff zone during the pre-Silurian period when the karst lakes were karst runoff drainage areas.

Key words: runoff zone, ancient drainage system, carbonate rock, Yijianfang Formation, Yingshan Formation, Tarim Basin

塔里木盆地北部地区(以下简称塔北)奥陶系碳酸盐岩岩溶缝洞发育,是该地区主要油气储集层。研究表明,这些储层主要发育于不整合面之下,岩溶缝洞是其主要的储集空间^[1-6]。位于轮南古潜山的中石油轮南油田、中石化塔河油田奥陶系储层均属于此类^[7-13]。近年,在潜山南部覆盖区的哈拉哈塘地区又发现大量缝洞型储层,甚至洞穴型储层,展现良好勘探前景^[1-2]。但与潜山地区不同的是该地区缝洞层之上并无长时期暴露的不整合面,而是存在厚层上奥陶统碎屑岩覆盖,常规的潜山岩溶理论无法解释缝洞成因,勘探理论落后于勘探实践。

对于这类缝洞成因,张学丰等^[2]认为中、上奥陶统内部存在多个平行不整合面,因此加里东期岩溶作用是该地区缝洞形成原因;朱光有、倪新峰等^[1,5-6]认为多期的顺层岩溶是覆盖区下缝洞形成原因。尽管如此,总体上该地区研究程度较低,覆盖层下岩溶古地貌未恢复,多期岩溶作用机理及对岩溶缝洞分布控制机理等问题认识不清,需要进一步研究。本文拟在前期认识基础上,根据地震数据及现代岩溶地质理论,对哈拉哈塘覆盖区的多期古地貌与古水系进行恢复、刻画。利用钻井、岩心、测井、地震剖面等资料,总结覆盖区储层特征,综合古地貌、水系、断裂等因素,探讨加里东期多期岩溶作用对储层分布控制。

1 地质背景

哈拉哈塘地区位于塔里木盆地塔北隆起中部,轮台低凸南部的哈拉哈塘凹陷^[1](图1)。哈拉哈塘地区奥陶系可细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_{2j}),中-下奥陶统鹰山组(O_{1-2y})、下奥陶统蓬莱坝组(图2)。岩性较纯的一间房组微晶灰岩、砂屑灰岩,鹰山组(O_{1-2y})厚层纯灰岩(主要为鹰一段)是目前发现的主要油气储层。哈拉哈塘地区地层具有由南向北剥蚀尖灭的特征(图1)。在吐木休克组尖灭线以北为前志留纪潜山风化壳区,一间房组及鹰山组较纯碳酸盐岩直接出露(图1)。吐木休克组尖灭线以南为覆盖区,即一间房组和鹰山组碳酸盐岩被上覆上奥陶统泥灰岩、

碎屑岩覆盖。而其中在桑塔木组尖灭线以北覆盖区为泥灰岩浅覆盖地区,以南为桑塔木组厚层碎屑岩覆盖区(图1,图2)。前人研究表明哈拉哈塘奥陶纪碳酸盐岩存在3次沉积间断,经历了3期岩溶作用^[2,5],包括在加里东中期I幕构造运动后一间房组沉积末期一吐木休克组沉积早期岩溶(以下简称一间房期岩溶)、加里东中期II幕构造运动后良里塔格组沉积末期岩溶(以下简称良里塔格期岩溶)、加里东中期III幕桑塔木组沉积末期一志留系沉积前岩溶(以下简称前志留纪岩溶)(图2)。

2 不同期次岩溶古地貌恢复方法

哈拉哈塘地区奥陶纪存在3次沉积间断,多个间断面的存在给古地貌恢复带来困难,尤其对良里塔格期岩溶古地貌恢复时受上、下两个间断面的影响,常规恢复方法并不适用。此外各地层并非等厚沉积,北部受构造抬升影响,地层沉积比南部薄,因此恢复时还需考虑构造差异抬升影响。上述两个难点造成了该区岩溶古地貌恢复结果至今并不理想。一间房期暴露岩溶古地貌恢复方法已另文发表^[14],发现该期无明显的地势起伏,水系以分散片流为主,无形成大洞的水动力条件,而以小孔洞发育为主。以下重点对良里塔格期、前志留纪岩溶地貌选用恢复方法进行讨论。

2.1 良里塔格期岩溶古地貌恢复方法

良里塔格组顶沉积间断位于一间房组顶沉积间断至奥陶系顶(即桑塔木组顶)沉积间断之间(图3a),而良里塔格组顶沉积间断上覆桑塔木组内无稳定标志层作印模法恢复古地貌,因而利用印模法无法恢复良里塔格组顶的古岩溶地貌。同时,良里塔格组下即为一间房组顶沉积间断,良里塔格组呈超覆于吐木休克组、一间房组之上,良里塔格组厚度区域分布不稳定,因而利用残厚法方法也不适合。

根据上、下地层分布特点及沉积间断特征,拟利用残厚与地层古构造趋势面结合方法恢复良里塔格组顶面古岩溶地貌:即利用吐木休克组底至良里塔格组顶



图 1 塔北哈拉哈塘地区前志留系地质图

Fig. 1 The pre-Silurian paleogeologic map of Halahatang area, northern Tarim Basin

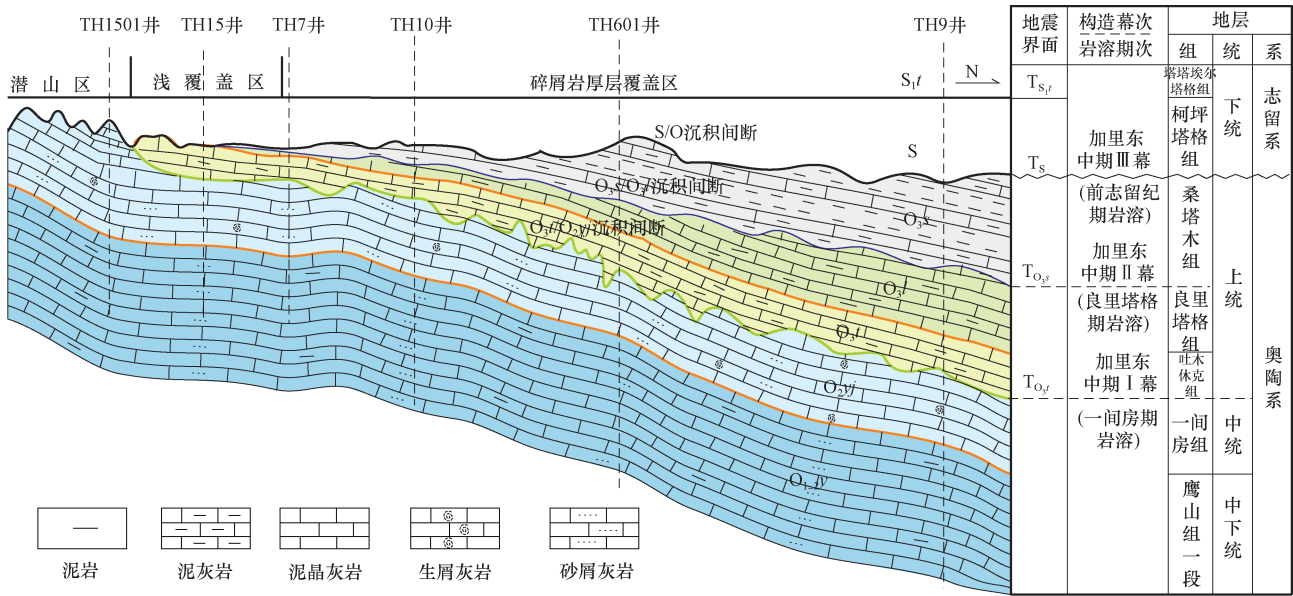


图 2 塔北哈拉哈塘地区南北向地层发育剖面示意图

Fig. 2 Stratigraphic profile from north to south in Halahatang area, northern Tarim Basin

面沉积间断面的厚度,然后结合良里塔格组顶面沉积间断时吐木休克组顶面地层古构造趋势面方法,恢复良里塔格组顶面沉积间断面的古岩溶地貌。首先利用塔塔埃塔格组底(T_{S_1t})至吐木休克组底(T_{O_3t})构造数据,恢复前志留纪时期一间房组顶面构造趋势面。

其次利用塔塔埃塔格组底(T_{S_1t})至奥陶系顶面(T_s)构造数据,恢复前志留纪奥陶系顶面构造趋势面(图 3a)。然后利用前志留纪奥陶系顶面构造趋势面数据与一间房组顶面构造趋势面数据之差,恢复一间房组顶面古构造趋势面。最后利用良里塔格组顶(T_{O_3s})

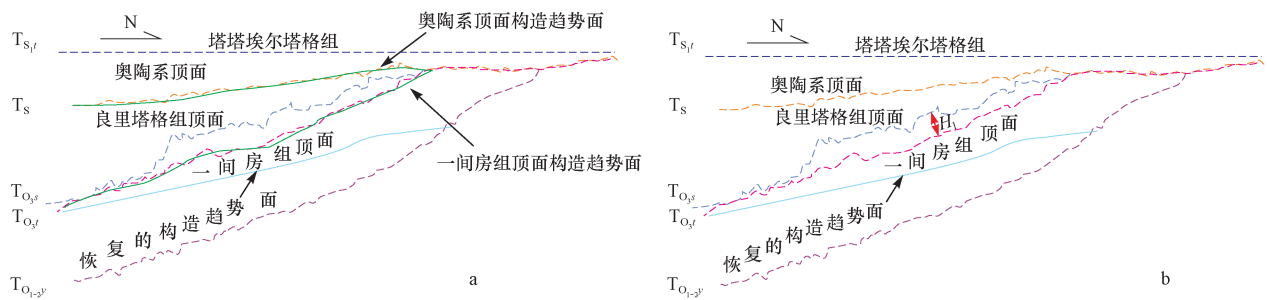


图3 塔北哈拉哈塘地区良里塔格岩溶期古地貌恢复示意图

Fig. 3 Restoration map of paleokarst geomorphology during Lianglitage paleokarst period in Halahatang area, northern Tarim Basin

至吐木休克底 ($T_{O_{3t}}$) 构造数据, 计算良里塔格组至一间房组顶面的残厚 (H_l)。用残厚与古地层构造趋势面结合, 即可恢复良里塔格顶面古岩溶地貌 (图 3b)。

尽管选择吐木休克组底 ($T_{O_{3t}}$) 做残厚具有一定问题, 但本方法很好解决了塔北奥陶系沉积间断时期地层古构造趋势面 (产状) 问题及沉积间断后区域不均匀构造抬升或沉降问题, 应该是目前良里塔格期古地貌最理想的恢复方法。本方法所用地震构造层位数据均为石油公司提供, 经勘探验证该数据具有较高可靠性, 因此古地貌恢复结果可信, 恢复结果见图 4。

2.2 前志留纪岩溶古地貌恢复方法

通过对奥陶系古风化壳上下地层对应关系的分析发现, 塔塔埃尔塔格组是志留系标志层, 且区域上分布连续稳定, 因而利用志留系标志层在区域上的展布特征及塔塔埃尔塔格组至奥陶系顶面的厚度变化来恢复区域性的前志留纪古地貌形态是可行的, 具体方法是利用印模法, 计算塔塔埃尔塔格组 ($T_{S_{1f}}$) 至奥陶系顶面 (T_S) 的厚度, 恢复结果见图 5。

3 岩溶古地貌、古水系刻画

古地貌刻画依据现代岩溶地貌划分方法^[15-18], 结合古地势、地形展布特征, 进行古地貌刻画。水系刻画依据岩溶动力学理论^[19]、古水动力场特征、岩溶沟谷洼地法结合古地貌进行刻画。以覆盖区西部作为重点对地貌、水系进行描述。

3.1 良里塔格期暴露岩溶期

良里塔格期岩溶期由于受良里塔格组顶 ($T_{O_{3s}}$) 地震层位解释限制, 在良里塔格组尖灭线以北潜山地区无法恢复古岩溶地貌。加里东中期 II 幕构造运动后, 哈拉哈塘地区北部抬升明显, 并发生褶皱, 南部相对较缓, 地势上北高南低。古地貌以丘峰洼地及丘丛谷地为主 (图 4), 古水系也从北向南发育, 经恢复发现良里

塔格组顶部发育了由北向南三大地表河流。受构造抬升影响, 河流常向下深切, 地震横剖面显示, 有的河段已经切穿良里塔格组及吐木休克组至一间房组。

3.2 前志留纪暴露岩溶期

前志留纪暴露岩溶期古地貌分为北部潜山区、良里塔格组及吐木休克组浅覆盖区及桑塔木组厚层碎屑岩覆盖区。为认识本期南北向岩溶特征, 恢复地貌时重点把潜山区、浅覆盖区及桑塔木组碎屑岩覆盖区北部一起恢复。潜山-浅覆盖区整体上地形、地势向南、向西南缓慢降低, 具有明显地势坡降, 坡降一般为 1.5%~2%, 山体峰顶多不处于同一高程, 局部地表水系发育, 地势整体向西南倾斜, 其丘洼相对高差一般为 5~30 m, 局部达 40~50 m, 整体属微地貌形态。根据地貌特征及丘洼相对高度, 具体为微丘丛洼地、微丘峰洼地、微丘丛谷地和岩溶湖 4 种古岩溶地貌类型, 桑塔木组厚层覆盖区以碎屑岩山地和平原地貌为主, 厚层碎屑岩阻止了大气淡水进入下部碳酸盐岩。

微丘丛洼地发育于潜山区中北部, TQ2—TH16 井区。微丘峰洼地发育于潜山区东北部 TH1501 井区。微丘丛谷地发育于浅覆盖区 TH803 至 TH15-10 一带。岩溶湖发育于浅覆盖区地势低洼处, 岩溶湖的发育主要由于来自北部潜山区-浅覆盖区的水体在桑塔木组尖灭线附近被碎屑岩山地阻挡, 因此汇聚成岩溶湖, 湖平面为该地区排泄基准面 (图 5)。就岩溶地貌特点, 哈拉哈塘潜山-浅覆盖区整体属岩溶地貌形成演化过程中初期岩溶地貌特征 (山体峰顶与洼地相对高差较小, 地形起伏相对较小、切割深度小)。

4 覆盖区岩溶储层发育特征

覆盖区主要发育孔、洞、缝 3 类储集空间类型, 可分为洞穴型、孔洞型、裂缝-孔洞型 3 种储层类型, 对钻录井资料、岩心、成像测井、测井解释成果资料进行统计分析, 发现覆盖区储层发育具有以下特征。

1) 通过对浅覆盖区近 20 余口井 54 段测井储层

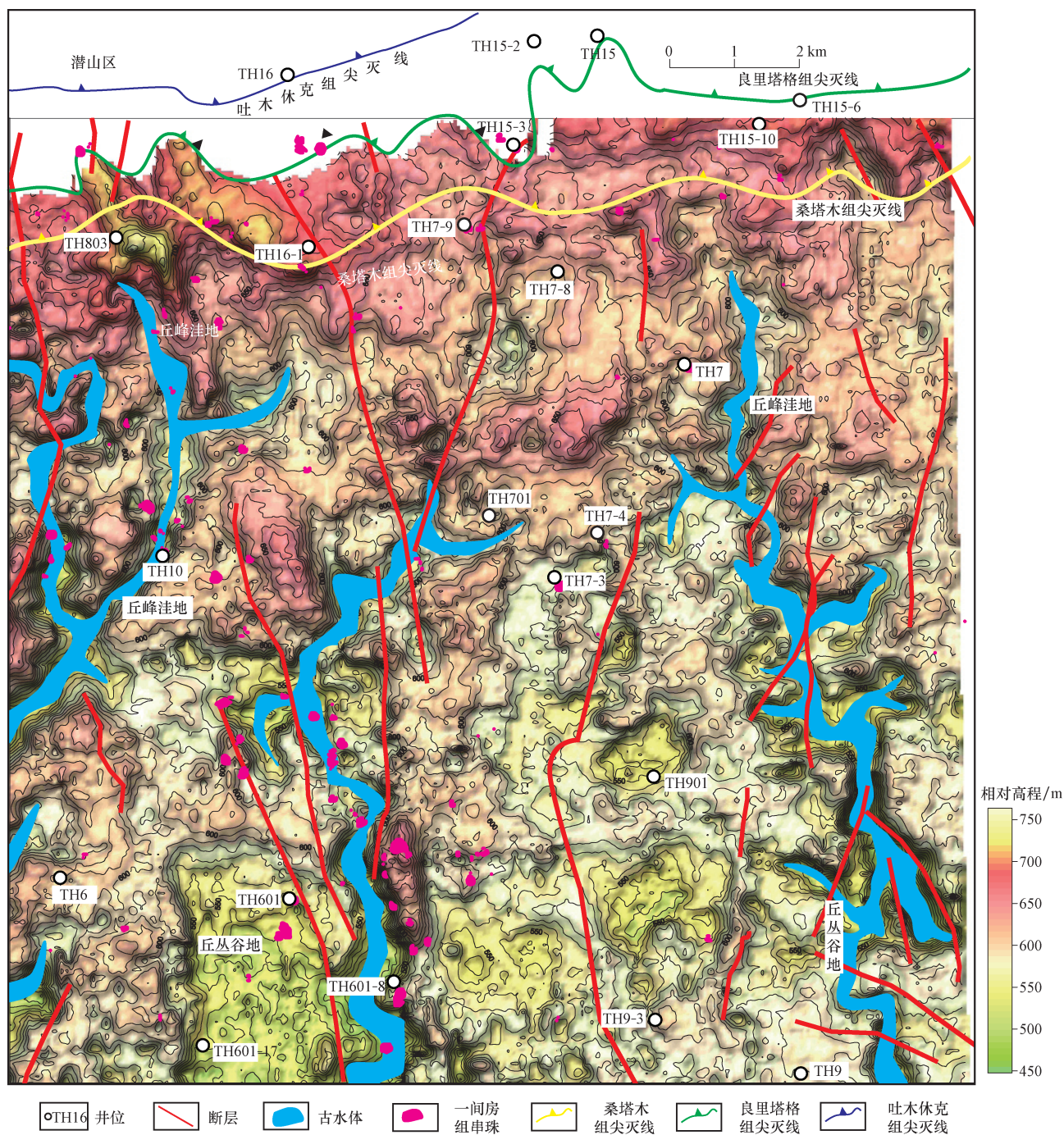


图4 塔北哈拉哈塘地区良里塔格期岩溶期古地貌及水系

Fig. 4 Paleokarst geomorphology and drainage system in Halahatang area during Lianglitage paleokarst period, northern Tarim Basin

解释成果及钻录井放空漏失资料统计,发现储层主要分布于一间房组顶面以下0~110 m(图6a)。其中孔洞型储层、裂缝孔洞型储层均匀分布于一间房组顶面以下0~90 m,储层评价一般为Ⅱ类,洞穴型储层分布于一间房组顶面以下0~30 m及50~110 m两个储层带,具有分带性,储层评价一般为Ⅰ-Ⅱ类。值得注意的是,一间房组厚度一般为30~50 m,因此上部洞穴型储层分布于一间房组,下部分布于鹰山组顶部。

2) 通过对桑塔木组厚层覆盖区近40余口井94段测井储层解释成果及钻录井放空漏失资料统计,发

现储层主要分布于一间房组顶面以下0~70 m(图6b),其中孔洞型储层、裂缝孔洞型储层均匀分布,洞穴型储层集中分布于一间房组顶面以下0~40 m,储层评价一般为Ⅰ-Ⅱ类,主要位于一间房组,此外储层分带性不明显。

3) 横向上,前志留纪北-南向岩溶实际储层剖面发现(图7),北部碳酸盐岩直接暴露潜山岩溶区-浅覆盖区,洞穴型储层分布于上下两个带。横向上具有较好连续性,储层具有一定方向,总体向南倾。上部洞穴型储层发育于一间房组顶部,如TH15-3井。下部洞

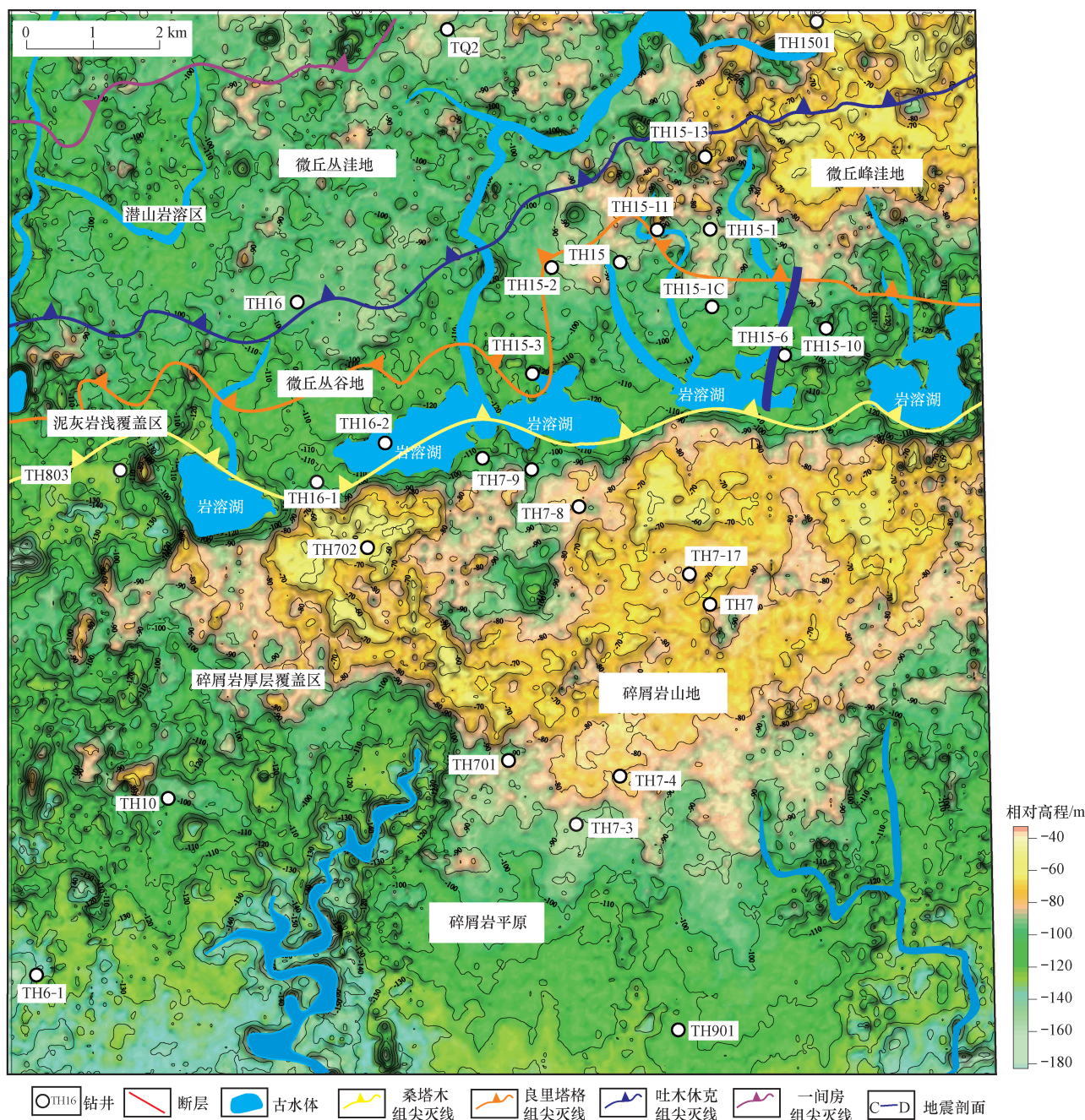


图5 塔北哈拉哈塘地区前志留纪岩溶期古地貌及水系

Fig. 5 Paleokarst geomorphology and drainage system in Halahatang area during the pre-Silurian paleokarst period, northern Tarim Basin

穴储层发育于鹰山组,对比剖面上 TH1501 井、TH15 井和 TH16-2 井在该带上带均不同程度有放空与漏失现象。进入桑塔木组覆盖岩溶区,上洞穴储层带南倾逐渐减薄,并汇入下洞穴储层带,但此时下洞穴储层带主要发育于一间房组,横向上储层具有穿层的特点。因此桑塔木组覆盖岩溶区,洞穴储层主要发育于一间房组。此外,良里塔格岩溶期深切河流与洞穴储层分布具有一定关系,河流基准面控制了缝洞的发育分布(图4)。对一间房组内异常反射体(串珠)进行属性提取(图4),发现覆盖区平面上异常反射体沿良里塔格岩溶期河流分布,也证明覆盖区一间房组洞穴储层与

良里塔格期河流发育关系密切。

5 多期岩溶对储层分布控制机理

不同地区储层分布的差异性,说明了储层形成受控因素不同。覆盖区储层形成与潜山区不同,由于覆盖区隔水层的存在,垂向上水体不能直接作用到岩性较纯的一间房组或鹰山组,储层垂向岩溶分带不明显。而岩溶水的侧向径流溶蚀是该区岩溶的主要方式,因此古水系是对覆盖区岩溶洞穴型储层控制的主要因素。

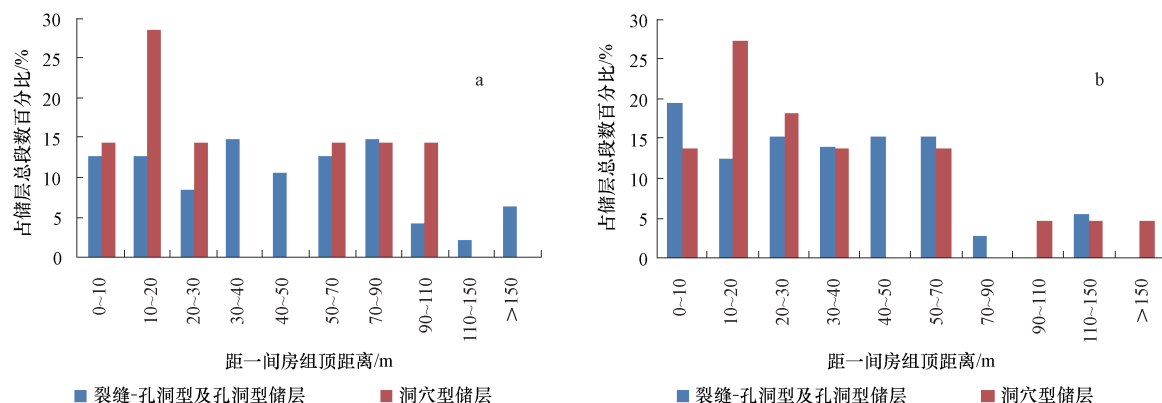


图6 塔北哈拉哈塘地区缝洞储层不同深度分布频率

Fig. 6 Distribution frequency of fractured-vuggy reservoir at different depth in Halahatang area, northern Tarim Basin

a. 浅层覆盖区储层统计; b. 厚层覆盖区储层统计

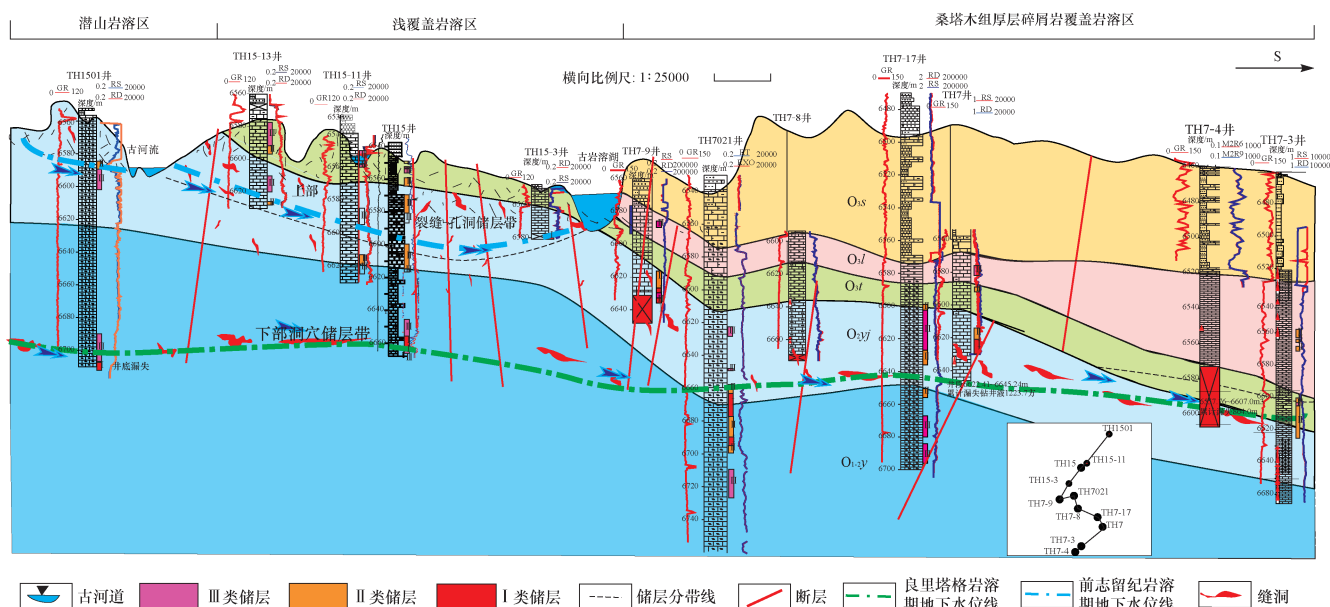


图7 塔北哈拉哈塘地区前志留岩溶期南北向岩溶剖面

Fig. 7 Karst profile from north to south of Halahatang area, Northern Tarim Basin

前志留纪古地貌恢复显示,岩溶湖是潜山区及浅覆盖区水体汇流处,为岩溶水排泄基准面(图5,图7)。岩溶湖底部为岩性较纯的一间房组,而在一间房暴露岩溶期,一间房组碳酸盐岩就接受早期淡水淋滤,孔洞发育^[2],具有一定渗水能力。因此在前志留纪期来自大量潜山区的水体可以通过一间房组前期裂缝-孔洞从北向南径流至岩溶湖,形成或扩大缝洞,形成洞穴储层(图7,图8)。综上,一间房期岩溶及前志留纪期岩溶控制了浅覆盖区上部洞穴储层(一间房组顶面以下0~30 m)形成。

尽管浅覆盖区下部洞穴储层与厚层覆盖区洞穴型储层距离一间房组顶面距离差异较大,但叠加古地貌后,做出实际剖面图显示它们基本受同一基准面控制(图7),受同期岩溶作用控制,即两套洞穴储层成因机制一致,横向上具有穿层发育的特征。由于其发育深

度远大于岩溶湖底深度(图7)。该套储层形成不受岩溶湖控制,因此前志留纪岩溶对该套洞穴储层形成控制较弱。对良里塔格组岩溶期古地貌恢复显示(图4),北部潜山区为岩溶水体补给区,这些水体通过断裂、或落水洞等垂向流入潜山区径流带,然后侧向向南径流,穿过岩溶湖(图8)及覆盖区(图4和图7)。而排泄点为南部断层或深切河流,以岩溶泉、地下河出口等形式排泄。前已叙述河流切穿良里塔格组及吐木休克组至一间房组(图9),因此这些切穿点可能为径流排泄点。水体的补给、径流、排泄形成,岩溶通道不断扩大。随着河流不断下切,可能形成多层溶洞,最终形成洞穴储层(图7和图9)。而厚层覆盖区洞穴储层主要发育在一间房组,浅覆盖区下部洞穴发育在鹰山组,主要是由于南部良里塔格期河流切穿点主要位于一间房组,因此排泄基准面附近一间房组洞穴储层发育,而

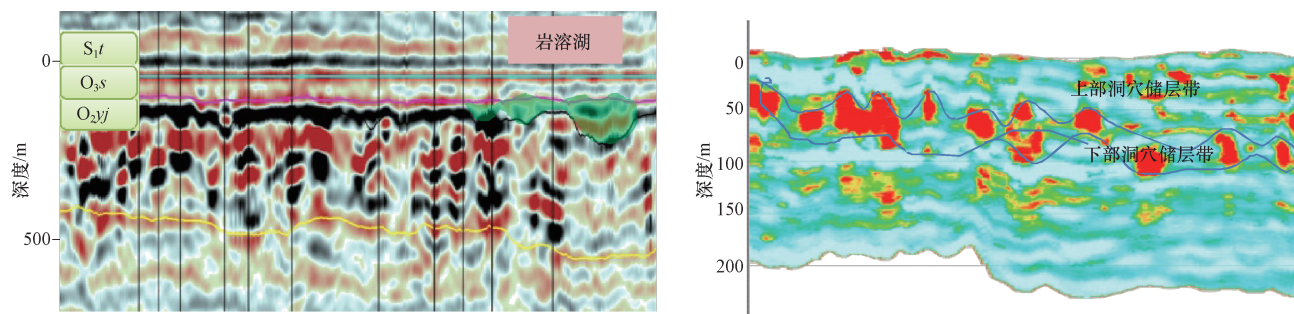


图8 塔北哈拉哈塘地区奥陶系碳酸盐岩覆盖区洞穴储层地震响应及地震反演特征(C—D)

Fig. 8 Seismic response and seismic inversion for reservoirs in the Ordovician carbonates coverage zone of Halahatang area, northern Tarim Basin(C—D)

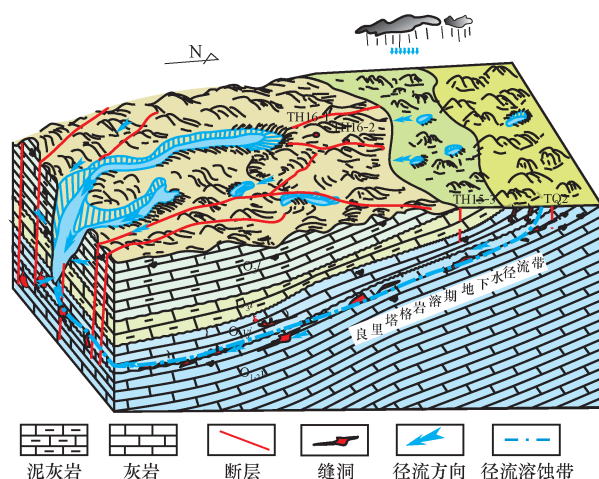


图9 塔北哈拉哈塘地区奥陶系碳酸盐岩覆盖区良里塔格岩溶期洞穴储层形成模式

Fig. 9 Genetic model of the cavernous reservoirs in the Ordovician carbonates coverage zone of Halahatang area during Lianglitage paleokarst period, northern Tarim Basin

排泄基准面下部鹰山组不发育洞穴储层。

综上,多期岩溶作用及相互叠加,是覆盖区岩溶缝洞发育的基础。而覆盖区岩溶作用不能按潜山岩溶作用机理分析,水体侧向岩溶是形成覆盖区岩溶缝洞的原因。岩溶水排泄基准点控制了缝洞发育深度及横向延伸范围,而水体侧向径流形成的岩溶管道是洞穴储层集中发育区,而水体径流走向可能与古断裂关系密切(图4)。

加里东中期Ⅰ幕后一间房组暴露岩溶,一间房组形成了孔洞层(张学丰^[2]),先期孔洞层为后期大型洞穴发育的基础。加里东中期Ⅱ幕后良里塔格组泥灰岩暴露岩溶,此期径流带暗河发育,南部深切河谷为暗河排泄基准点,控制了缝洞发育规模及走向,浅覆盖区下部洞穴储层及厚层覆盖区洞穴储层主要受该期岩溶控制(图7和图9)。加里东中期Ⅲ幕后前志留纪暴露岩溶,主要局限于潜山区与浅覆盖区,对桑塔木组覆盖区岩溶作用不明显。在桑塔木组沉积后,良里塔格期的南部深切河谷排泄点已消失,因此前志留纪岩溶期水

体不能沿良里塔格期大型暗河管道(下部洞穴层)流动。前志留纪古地貌恢复显示岩溶湖为排泄基准点,由于此基准点明显高于良里塔格岩溶期排泄基准点,因此潜山区及浅覆盖区水体仅在一间房组径流,形成一间房组上部洞穴型储层。

6 结论

1) 古岩溶地貌恢复表明良里塔格岩溶期以丘丛洼地、谷地为主,由南向北发育了多条深切河流。前志留纪岩溶期地势北高南低,以微岩溶地貌为主,未发育深切河谷,由北往南流的水系,汇入南部覆盖区尖灭线附近岩溶湖。

2) 缝洞统计表明浅覆盖区洞穴型储层主要发育在两个带:一间房组顶面以下0~30 m及50~110 m,对应层位分别为一间房组和鹰山组,厚层覆盖区洞穴型储层主要发育在一间房组顶面以下0~40 m,分带性不明显。

3) 多期岩溶作用控制了洞穴储层发育与分布:浅覆盖区下部洞穴型储层与厚层覆盖区洞穴储层主要受控于良里塔格岩溶期径流岩溶,该期南部深切河流为排泄点,控制了径流带储层发育规模及走向。而浅覆盖区上部洞穴型储层受控于前志留纪岩溶期径流岩溶,岩溶湖为径流排泄区,控制了上部洞穴储层发育。

参 考 文 献

- [1] 朱光有,杨海军,朱永峰,等.塔里木盆地哈拉哈塘地区碳酸盐岩油气地质特征与富集成藏研究[J].岩石学报,2011,27(3):827-844.
Zhu Guangyou, Yang Haijun, Zhu Yongfeng, et al. Study on petroleum geological characteristics and accumulation of carbonate reservoirs in Halahatang area, Tarimbasin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(3): 827-844.
- [2] 张学丰,李明,陈志勇,等.塔北哈拉哈塘奥陶系碳酸盐岩岩溶储层发育特征及主要岩溶期次[J].岩石学报,2012,28(3):815-826.
Zhang Xuefeng, Li Ming, Chen Zhiyong, et al. Characteristics and

- karstification of the Ordovician carbonate reservoir, Halahatang area, northern Tarim Basin [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28 (3): 815 – 826.
- [3] 崔海峰, 郑多明, 滕团余. 塔北隆起哈拉哈塘凹陷石油地质特征与油气勘探方向[J]. 岩性油气藏, 2009, 21(2): 54 – 58.
- Cui Haifeng, Zheng Duoming, Teng Tuanyu. Petroleum geologic characteristics and exploration orientation in Halahatang Depression of Tabaiuplif [J]. *Lithologic Reservoirs*, 2009, 21(2): 54 – 58.
- [4] 高计县, 唐俊伟, 张学丰, 等. 塔北哈拉哈塘地区奥陶系一间房组碳酸盐岩岩心裂缝类型及期次[J]. 石油学报, 2012, 33(1): 64 – 73.
- Gao Jixian, Tang Junwei, Zhang Xuefeng, et al. Types and periods of fractures in carbonate cores of Ordovician Yijianfang Formation in Halahatang area, northern Tarim Basin [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 33(1): 64 – 73.
- [5] 倪新锋, 张丽娟, 沈安江, 等. 塔北地区奥陶系碳酸盐岩古岩溶类型、期次及叠合关系[J]. 中国地质, 2009, 36(6): 1312 – 1321.
- Ni Xinfeng, Zhang Lijuan, Shen Anjiang, et al. Paleokarstification types karstification periods and superimposition relationship of Ordovician carbonates in northern Tarim Basin [J]. *Geology in China*, 2009, 36(6): 1312 – 1321.
- [6] 倪新锋, 张丽娟, 沈安江, 等. 塔里木盆地英买力 – 哈拉哈塘地区奥陶系岩溶储集层成岩作用及孔隙演化[J]. 古地学报, 2010, 12(4): 467 – 479.
- Ni Xinfeng, Zhang Lijuan, Shen Anjiang, et al. Diagenesis and pore evolution of the Ordovician karst reservoir in Yengima-Halahatang region of Tarim Basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2010, 12(4): 467 – 479.
- [7] 肖玉茹, 何峰煜, 孙义梅. 古洞穴型碳酸盐岩储层特征研究—以塔河油田奥陶系古洞穴为例[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(1): 75 – 80.
- Xiao Yuru, He Fengyu, Sun Yimei. Reservoir characteristics of paleocave carbonates a case study of Ordovician paleocave in Tahe Oilfield [J]. *Oil & Gas Geology*, 2003, 24(1): 75 – 80.
- [8] 闫相宾, 李铁军, 张涛, 等. 塔中与塔河地区奥陶系岩溶储层形成条件的差异[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(2): 202 – 207.
- Yan Xiangbin, Li Tiejun, Zhang Tao, et al. Differences between formation conditions of Ordovician karstic reservoirs in Tazhong and Tahe areas [J]. *Oil & Gas Geology*, 2005, 26(2): 202 – 207.
- [9] 胡剑风, 蔡振忠, 马青, 等. 塔里木盆地轮南奥陶系碳酸盐岩储层特征与主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(6): 776 – 783.
- Hu Jianfeng, Cai Zhenzhong, Ma Qing, et al. Characteristics and main controlling factors of the Ordovician carbonate rock reservoirs in Lugudong area, the Tarim Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2007, 28(6): 776 – 783.
- [10] 陈利新, 潘文庆, 梁彬, 等. 轮南奥陶系潜山表层岩溶储层的分布特征[J]. 中国岩溶, 2011, 30(3): 327 – 333.
- Chen Lixin, Pan Wenqing, Liang Bin, et al. The distribution characteristics of the epikarst reservoir in Lunnan Ordovician buried hill [J]. *Carsologica Sinica*, 2011, 30(3): 327 – 333.
- [11] 何君, 韩剑发, 潘文庆. 轮南古隆起奥陶系潜山油气成藏机理[J]. 石油学报, 2007, 28(2): 44 – 48.
- He Jun, Han Jianfa, Pan Wenqing. Hydrocarbon accumulation mechanism in the giant buried hill of Ordovician in Lunnan paleohigh of Tarim Basin [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 28(2): 44 – 48.
- [12] 淡永, 梁彬, 曹建文, 等. 塔里木盆地轮南地区奥陶系岩溶缝洞充填物地球化学特征及环境意义[J]. 石油实验地质, 2012, 34(6): 623 – 628.
- Dan Yong, Liang Bin, Cao Jianwen, et al. Geochemical features and environmental significances of deposits in Ordovician karstic fractures and caves, Lunnan area, Tarim Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2012, 34(6): 623 – 628.
- [13] 顾家裕. 塔里木盆地轮南地区下奥陶统碳酸盐岩岩溶储层特征及形成模式[J]. 古地学报, 1999, 1(1): 54 – 60.
- Gu Jiayu. Characteristics and evolutionary model of karst reservoirs of Lower Ordovician carbonate rocks in Lunnan area of Tarim Basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 1999, 1(1): 54 – 60.
- [14] 张庆玉, 梁彬, 曹建文, 等. 哈拉哈塘一间房组古地貌及岩溶发育条件研究[J]. 断块油气田, 2014, 21(4): 413 – 415.
- Zhang Qingyu, Liang Bin, Cao Jianwen, et al. Palaeogeomorphology and karst development conditions of Yijianfang Formation in Hanilcatam Area [J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2014, 21(4): 413 – 415.
- [15] 中国地质科学院岩溶地质研究所. 桂林岩溶与碳酸盐岩[M]. 重庆出版社, 1987.
- Karst institute of geology research institute in Chinese Academy of Sciences. *Karst and Carbonate Rocks in Guilin* [M]. Chongqing: Chongqing Science and Technology Publishing House, 1987.
- [16] 任美镠, 刘振中, 王飞燕, 等. 岩溶学概论[M]. 北京: 商务印书馆, 1983.
- Ren Meile, Liu Zhenzhong, Wang Feiyan, et al. *Karst Introduction* [M]. Beijing: Commercial Press, 1983.
- [17] 袁道先. 中国岩溶学[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
- Yuan Daoxian. *China Karstology* [M]. Beijing: Geological Press, 1994.
- [18] 朱学稳. 桂林岩溶地貌与洞穴研究[M]. 北京: 地质出版社, 1988.
- Zhu Xuewen. *Karst landform and caves in Guilin* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988.
- [19] 袁道先. 中国岩溶动力系统[M]. 北京: 地质出版社, 2002.
- Yuan Daoxian. *Karst dynamic system in China* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002.

(编辑 张亚雄)