第18卷第4期	地质与资源	Vol. 18 No. 4
2009年12月	GEOLOGY AND RESOURCES	Dec. 2009
・水文 / 环谙地质・		

・水又 / 坏項地质・ 文章编号 :1671-1947(2009)04-0309-05

中图分类号 :P642.25

文献标识码 :A

塔里木盆地轮古西地区奥陶系残留地层古岩溶形成及储渗能力分析

单洋天¹,于炳松¹,唐明龙²夏日元^{1,3},唐健生^{1,3},梁 彬^{1,3}

(1. 中国地质大学,北京 100083; 2. 塔里木油田公司,新疆 库尔勒 841000;

3. 中国地质科学院岩溶地质研究所 广西 桂林 541004)

摘 要 塔里木盆地轮古西地区奥陶系地层受海西早期大幅度抬升影响,剥蚀厚度较大,古岩溶十分发育,仅存中晚奥陶世 鹰山组及蓬莱坝组,并受岩性和地质构造控制,具有较好的储渗能力.通过对轮古西地区的地质背景、古岩溶状况进行了研 究,探索了该地区古岩溶的形成机理、控制因素,并对其储渗能力进行了分析. 关键词:奥陶系,古岩溶,储渗能力分析,塔里木盆地

目前世界上已发现油气储量的 40%来自碳酸盐 岩储集层,其中我国碳酸盐岩储集层油气储量就接近 30%^[1].因此,碳酸盐岩储集层已成为主要的储集层类 型之一^[1].研究发现,碳酸盐岩储集层与古岩溶的关系 十分密切^[2~6].因此,对古岩溶的形成机制及其与油气 聚集的关系进行研究成了探索油气田的重点^[7~12].本 文通过野外现场调查和钻探岩心分析,对轮古西地区 的地质背景、古岩溶状况进行概括,研究该地区古岩 溶的形成机制及控制因素,并对其储渗能力进行初步 分析.

1 地质概况

轮南古潜山(简称轮古)位于塔里木盆地塔北隆起 轮南低凸起中部地区,轮古西地区位于轮南古潜山西 部 地处塔克拉玛干沙漠北缘(见图 1),位于新疆轮台 县和库车县境内,属沼泽、浮土、红柳覆盖区.



图 1 轮古西地区构造位置图 (据塔里木油田公司修改)

Fig. 1 Tectonic map of Western Lungu area (modified from Tarim Oilfield Co.)

收稿日期 2009-09-07;修回日期 2009-10-11.张哲编辑.

基金项目 973 计划项目"碳酸盐岩缝洞型油藏开发基础研究"(编号 2006CB202400)和中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司 2006 年科技 招标项目"轮古地区岩溶储层分布规律研究"(编号 041006060052)联合资助. 1.1 奥陶系地层特征

轮古地区出露和钻遇的主要地层为 第四系、新近 系、古近系、白垩系、侏罗系、三叠系、石炭系、奥陶系. 其中 ,奥陶系与上覆地层不整合接触 ,与下伏寒武系整 合接触 ,是主要产油层系之一. 由于海西早期大幅度抬 升 轮古西地区奥陶系被剥蚀厚度较大 ,上奥陶统及中 奥陶统一间房组均被剥蚀殆尽 , 钻孔揭露的地层仅有 鹰山组及蓬莱坝组顶部. 鹰山组(O₁₋₂y)地层时代跨越 早、中奥陶世 ,顶部地层遭受不同程度的剥蚀 ,与上覆 石炭系东河砂岩段、中泥岩段不整合接触 ,与下伏下 奥陶统蓬莱坝组渐变接触 ,主要为亮晶砂屑灰岩、泥 晶灰岩、颗粒泥晶灰岩 ,含燧石团块 ,底部含云质 ,残 厚 110~216 m. 蓬莱坝组(O₁*p*)与上覆鹰山组下段含 云质砂屑灰岩段渐变接触 , 自上而下为云质灰岩段 (O₁*p*₁)和泥晶灰岩段(O₁*p*₂).

1.2 沉积相特征

轮古地区奥陶系沉积相纵向上,自早奥陶世蓬莱

坝组(O_µ)开始至晚奥陶世桑塔木期(O₃s),总体上经 历了半局限台地相→开阔台地相→台地边缘相→台缘 斜坡相→混积浅水陆棚相的演化.轮古西地区奥陶系 仅保留中-下统鹰山组及以下地层,主要为开阔台地、 半局限台地及多种沉积微相.

1.3 构造特征

轮古西地区所在的轮古地区,轮南潜山断裂非常 发育(见图2).这些断裂具有明显的组系方向性和多 期性.轮南潜山断裂带可以划分为2组:一组是北东走 向的断裂,为逆冲断层,断距大,对潜山上覆地层(石炭 系)的沉积具有控制作用;另一组断裂的走向为近东西 向,以逆冲断裂为主,局部有正断层,断层长度大.轮南 西部潜山构造带位于轮南断垒带西部斜坡带,其整体 构造形态表现为向北西逐渐倾没的大型斜坡,为奥陶 系潜山大背斜的西翼,自东向西可进一步划分为岩溶 台地、岩溶坡地和岩溶盆地.



图 2 轮南地区断裂分布图 (据塔里木油田公司修改) Fig. 2 Distribution of faults in Lunnan area (modified from Tarim Oilfidld Co.)

2 古岩溶发育状况

古岩溶为非现代营力环境下形成的岩溶,泛指 地质历史阶段形成的岩溶,以区别于现代岩溶^[13].轮 古西奥陶系古岩溶作用十分强烈,古岩溶普遍发育, 大到溶洞,小到溶孔、裂隙,各种岩溶现象均有发育. 古岩溶作用程度与古地表所处的地貌单元有着十分 密切的关系.

2.1 古岩溶地貌

由于海西早期大幅度抬升,轮古西地区奥陶系剥 蚀厚度较大,上奥陶统(O₃)及中奥陶统一间房组(O₂y) 被剥蚀殆尽,奥陶系顶面出露的鹰山组(O₁₋₂y)地层经 长期岩溶作用,形成了各种类型的岩溶形态和岩溶地 貌.经古岩溶地貌恢复,轮古西地区前石炭纪岩溶沟、 谷十分发育,古地形、地势总体上是一个由南东向北西 倾没的岩溶斜坡.2条主沟将该区分隔为3个相对独 立的古岩溶地貌单元,由北向南依次为北部岩溶坡地、 中部岩溶台地-岩溶坡地-岩溶盆地和南部岩溶坡地-峰丛洼地.

2.2 古岩溶发育状况

轮古地区奥陶系碳酸盐岩自下古生代沉积以来, 经历了早奥陶世沉积成岩,中奥陶世至早石炭世溶蚀 破坏,中晚石炭世溶蚀充填,三叠纪至白垩纪溶蚀改造 等漫长的多期岩溶地质作用,岩溶形态多种多样、大小 多变、组构复杂.

2.2.1 古溶洞

轮古西奥陶系碳酸盐岩古溶洞系统钻遇率高达 95%以上 根据 35 口井钻孔资料统计,具有古溶洞系 统的有 34 口井,洞高大于 0.5 m 的古溶洞有 72 个. 古岩溶洞穴系统极为发育,洞体规模总体较大,以洞 高 1~2 m 及 2~5 m 规模的单个洞体最为常见,占统 计溶洞总数的 66.66%.高于 10 m 的古溶洞系统,占统 计总数的 6.94%,主要分布于近岩溶谷地的岩溶坡地地 带,古溶洞多被具地下河沉积特征的绿灰色粉砂质泥 岩充填,属古地下河岩溶管道系统.古溶洞系统垂向具 有分层特征.在古溶洞系统主要分布的奥陶系风化壳顶 部 150 m 范围内,自上而下大致可分为 4 层 0~20 m、 20~50 m、50~100 m、100~150 m.其中第 1、2 层溶 洞最发育,溶洞个数占统计溶洞总数的 69.44%;第 3 层溶洞发育规模为最大,最大洞高达 32 m.

2.2.2 古孔隙

奥陶系碳酸盐岩中普遍发育有古孔隙,由于其形 成机理、形态特征、发育规模的差异较大,这些古孔隙 对油气富集与运移的贡献大小不一.原生孔隙,指亮晶 颗粒灰岩中颗粒之间的粒间孔和生物化石的体腔粒内 孔.次生孔隙包括①晶间孔,为晶粒之间的孔隙,形态 呈多边形 ②晶间溶孔,为晶间孔溶蚀扩大而形成,③ 晶内溶孔,由晶粒内部溶蚀形成,④铸模孔,为矿物晶 屑或生物晶屑经选择性溶蚀形成的孔隙,主要有膏 模孔、盐模孔等,一般形成于埋藏岩溶作用期,充填 程度差,发育密度较低,可成为较好的油气储集空 间;⑤粒模孔,由选择性溶蚀作用形成,为砂屑颗粒 成的较大规模的不规则孔隙,直径0.01~2 mm,肉眼 能够观测到;⑦溶蚀洞,为溶蚀作用形成的较大规模 不规则孔洞,直径2 mm~20 cm.

2.2.3 古裂缝

根据成因不同,轮古地区奥陶系碳酸盐岩古裂缝

主要有:①构造缝,指直接由构造作用形成的裂缝,包 括张裂缝、剪裂缝等.该区构造缝的形成主要有2期, 早期构造缝形成于加里东一早海西期,有效性较差,晚 期构造缝形成于海西—喜马拉雅期,充填程度弱,是主 要的有效缝.②溶蚀构造缝,指经历了溶蚀作用改造、 扩溶和充填的裂缝.其特点为缝面没有原始构造缝平 直,张开宽度大,具有钙泥质充填或半充填现象.③成 岩缝,包括干缩缝、垮塌缝、压溶缝等,均可成为油气渗 滤通道和储集空间.

3 古岩溶形成及主要控制因素

3.1 古岩溶的形成

轮古西古岩溶的形成主要经历了沉积、表生和埋 藏期岩溶作用,奥陶系沉积过程中,由于海进、海退频 繁 出现沉积间断或淡水混入改造 发育了沉积古岩溶 或层间古岩溶. 加里东中期岩溶作用主要表现为下奥 陶统与中上奥陶统之间的古岩溶,在早中奥陶世之间, 正是塔里木古构造环境由拉张、离散向聚敛、挤压的转 换阶段 盆地由内源沉积为主转变为以陆源沉积为主; 中下奥陶统之间为低角度不整合,其间存在短暂的沉 积间断 仅造成下奥陶统顶部的短暂暴露和岩溶作用. 构造运动使地层发生褶皱变形 局部背斜或降起 使碳 酸盐岩等可溶性地层长期暴露地表遭受大气淡水淋滤 并伴随风化壳形成发育了表生期古岩溶.轮古西奥陶 系碳酸盐岩受不同构造运动的影响,经历了不同地质 时期的表生阶段. 根据轮古西的勘探井、开发井和潜山 油气藏分别分析,轮古西表生期岩溶作用以加里东和 海西期的奥陶系岩溶最为重要,因而轮古西奥陶系潜 山岩溶十分发育,油气藏也集中分布于此.其主要原因 除与岩石性质有关外,可能与岩溶期较长、古气候温暖 潮湿、植被茂盛、适宜岩溶作用充分进行等有关. 构造 运动沉降接受沉积 大部分地区仍处于浅埋状态 从岩 溶作用环境角度看 处于半埋藏半开启状态 随着沉积 加厚 进入埋藏封闭环境 形成埋藏期古岩溶.

3.2 古岩溶作用控制因素

3.2.1 岩石性质

轮古西鹰山组与蓬莱坝组上部碳酸盐岩,岩性以 颗粒灰岩为主,包括亮晶砂屑灰岩及各种颗粒灰岩,含 量为55%;其次为泥晶灰岩,占28%.鹰山组下部含云 质,蓬莱坝组普遍含白云质,且下部为灰岩与薄层白云 岩互层.亮晶砂屑灰岩极有利于古岩溶发育,泥晶灰岩 较有利于古岩溶发育,泥晶颗粒云质(化)灰岩有利于 古岩溶作用,但较亮晶砂屑灰岩和泥晶灰岩次之. 轮古地区受刚性基底控制,区内奥陶系碳酸盐岩 在地质历史时期历经多次构造运动,几度海陆变迁, 从而发育了多期岩溶.

在加里东中期早中奥陶世之交,塔里木古构造环 境由拉张、离散向聚敛、挤压转换,盆地由内源沉积为 主转变为以陆源沉积为主,中下奥陶统之间为低角度 不整合.

晚加里东—早海西期 受南北向区域性挤压应力的 作用,轮南地区在大面积抬升过程中形成向南西倾伏, 北东向展布的大型鼻状隆起.轴部初始古地势最高 构 造上又处于引张区 纵张、横张及剪切破裂较发育.

中志留世至早泥盆世早期成为古岩溶发育最强 烈的时期,近背斜轴部岩溶发育最强,洞穴规模大,风 化壳的厚度也大,轮古西地区大型岩溶系统都与该古 岩溶发育条件有关.

石炭系沉积前及沉积时至海西晚期是轮古岩溶 发育的主要时期,海西晚期的岩溶作用,使中下奥陶 统碳酸盐岩受到强烈的古岩溶作用,形成各种类型的 溶蚀缝洞孔隙空间,它们与后期裂缝一起,形成了奥 陶系灰岩的主要储集空间.

4 古岩溶储渗能力分析

4.1 古岩溶储渗空间主要组合类型

轮古西地区奥陶系岩溶储渗空间组合类型包括 洞穴型、裂缝-孔洞型、孔洞型、裂缝型第4种类型.

洞穴型储层,储渗空间是未充填或半充填的大 型溶洞、地下暗河、落水洞、囊状洞、沿裂缝溶蚀的串 珠状溶洞.轮古西洞穴型储层特别发育,表现为规模 较大的储渗体,连通性很好,具有高孔隙度、高渗透 率.据测井解释,洞穴型储层孔隙度可高达50%,同 时具有高含油饱和度的特点,而且储量规模大、产量 高、易于开采.

裂缝-孔洞型储层,裂缝孔隙度≥0.06%,总有效 孔隙度≥2.2%,含油饱和度≥50%,储集空间主要是孔 洞,裂缝是主要的渗滤通道.这种缝洞系统及由它连 通的空隙,具有储渗空间大、匹配好的特点.这类储层 虽然孔隙度不太高,但渗透性能较好,储层品质好,一 般能保持相对的高产稳产.

孔洞型储层,裂缝孔隙度<0.06%,总有效孔隙 度≥2.2%,含油饱和度≥50%,储集空间主要是孔洞, 主要分布在潜流岩溶带.孔洞型储层物性较差,渗透率 范围在 0.02~0.77×10⁻³ μm²,平均 0.18×10⁻³ μm².这类 储层油气高产需要有裂缝的很好沟通. 这类储层一般 是在原生孔隙发育的地带经过溶蚀改造形成,裂缝欠 发育. 孔洞型储层经过酸化压裂后,一般可以获得很高 的油气产量.

裂缝型储层,裂缝孔隙度≥0.06%,总有效孔隙 度<2.2%,含油饱和度≥50%,主要储集空间为裂缝和 少量沿层分布的溶孔或孔隙薄层,后者由微、小喉道连 通,渗滤通道为裂缝和少量毛细管-超毛细管级喉道. 裂缝既是储集空间,同时也是渗滤通道.裂缝发育可使 无储渗能力的致密灰岩成为裂缝型储层,当多组构造 缝相互交叉时构成网络状裂缝系统,储层的储渗能力 大为提高.

4.2 古岩溶储渗类型基本特征

轮古西主产层鹰山组(O1-7)整体处于有利开阔台 地相台内滩亚相 储渗岩以亮晶砂屑灰岩、颗粒灰岩为 主 其次为泥晶灰岩.原生基质孔隙很不发育,对储渗 贡献不大:次生的溶蚀孔、洞及构造缝十分发育,是主 要的储渗空间.储渗类型主要有洞穴型、裂缝-孔洞 型、孔洞型和裂缝型.构造应力引发的破裂作用和岩溶 作用是储渗性能得以改善的主控因素.构造应力产生 的构造缝为岩溶水提供了很好的通道,是岩溶发生并 不断深化的关键.强烈的多期次的岩溶作用是轮古西 岩溶型储层最主要的特征.根据实钻结果 轮古西储渗 体主要是海西运动两期大规模岩溶作用与岩溶期后地 质历史综合改造的产物,即由普遍存在的高角度构造 缝与其他裂缝在三维空间将各类岩溶孔洞网络联接而 成的地质体.轮古西潜山风化壳岩溶储层的纵向分布, 与岩溶发育的地质历史密切相关,主要分布在潜山表 层 150 m 范围内 ;横向分布与不同区块的地应力强度, 与古地貌、古水流密切相关,大型斜坡的平台区是其发 育的有利场所.储渗体具有分布广、体积大、宏观储渗 性能好 具备形成大油气藏的地质条件.

4.3 古岩溶储渗空间发育控制因素分析

构造运动引发的破裂作用以及岩溶作用,是储渗 空间得以改善的主控因素.其中,构造应力产生的构造 缝是目前轮古西潜山重要的储渗空间,且构造缝为岩 溶水提供了很好的通道,是岩溶发生并不断深化的关 键.岩溶作用产生的大型孔洞和裂缝则是油气聚渗的 重要场所.

4.3.1 破裂作用对岩溶储渗空间的控制作用

轮古西奥陶系碳酸盐岩主要发育2期裂缝:早海 西期构造缝的最大特点是部分被泥质充填,以垂直缝 为主,次为斜缝,少许水平缝,缝壁平直,较规则,裂缝 宽度相对较大,一般1~3mm,晚海西期至印支期构造 缝宽度较小,一般只有0.1~1.0mm,且为方解石半充 填,但这期构造缝常以高角度共轭剪切缝和斜交共轭 剪切缝发育为主,是该区碳酸盐岩储层最重要的储渗 空间和渗滤通道.

4.3.2 岩溶作用对岩溶储渗空间的控制作用

轮古西地区奥陶系碳酸盐岩油气储层的储渗空间 类型中,溶孔、溶缝、溶洞、构造裂缝等主要是由古岩溶 作用、后期的构造作用及埋藏溶蚀作用共同形成的,其 储层的发育层位和储层类型与古岩溶作用有着密切的 关系. 岩溶作用对轮古西地区奥陶系碳酸盐岩储层的 形成及区域分布起着重要的控制作用. 风化壳岩溶作 用是本区奥陶系碳酸盐岩储层发育的一个重要的基 础,为以后有效储集空间的进一步形成奠定了良好的 基础,使奥陶系碳酸盐岩储集层的主要发育段限制在 岩溶作用深度的框架内.

5 结论

轮古地区奥陶系地层、岩相及构造有利于古岩溶 的发育,古岩溶地貌和古岩溶发育状况为油气储渗创 造了条件.古岩溶的形成经过了沉积、表生和埋藏期岩 溶作用,岩石性质和地质构造控制着古岩溶的形成.按 照储渗能力的大小,轮古西地区奥陶系岩溶储渗空间 依次有洞穴型、裂缝-孔洞型、孔洞型、裂缝型等4种 组合类型 受破裂作用和古岩溶作用控制.

参考文献:

- [1]伍友佳 编. 油藏地质学[M]. 北京:石油工业出版社 ,2004. 33-58.
- [2]夏日元 唐健生 / 3 胜章 / 等. 塔里木盆地西北缘野外溶蚀试验研究[J]. 中国岩溶 2004 23(3):234-237.
- [3]夏日元,唐健生,邹胜章,等.塔里木盆地北缘古岩溶充填物包裹体 特征[J].中国岩溶,2006,25(3):246—249.
- [4]郑聪斌 冀小林,贾疏源.陕甘宁盆地中部奥陶系风化壳古岩溶发育 特征[J].中国岩溶,1999,18(3):280-288.
- [5]郑聪斌,王飞雁,贾疏源.陕甘宁盆地中部奥陶系风化壳岩溶岩及岩 溶相模式[J].中国岩溶,1997,16(4):351—361.
- [6]章贵松,郑聪斌. 压释水岩溶与天然气的运集成藏[J]. 中国岩溶, 2000,19(3):199—205.
- [7]夏日元,唐健生,关碧珠,等.鄂尔多斯盆地奥陶系古岩溶地貌及天 然气富集特征[J].石油与天然气地质,1999,20(2):133—136.
- [8]席胜利,郑聪斌,夏日元.鄂尔多斯盆地奥陶系压释水岩溶地球化学 模型[J]. 沉积学报 2005 23(2):354—360.
- [9]马振芳,于中平,周树勋,筹.鄂尔多斯盆地中东部奥陶系古风化壳储 集层的分形及灰色系统评价[J].石油勘探与开发,2000,27(1):32—35.
- [10]黄成毅 邹胜章 潘文庆 ,等. 古潮湿环境下碳酸盐岩缝洞型油气藏 结构模式[J]. 中国岩溶 ,2006 ,25(3):250-255.
- [11]夏日元,唐健生.黄骅坳陷奥陶系古岩溶发育演化模式[J].石油勘 探与开发 2004 31(1):51-53.
- [12]夏日元 唐健生. 矿物包裹体特征对古岩溶作用的指示性[J]. 地球 学报 2004 25(3): 373—377.

STUDY ON THE FORMATION AND PERMEABILITY OF THE PALAEOKARST IN ORDOVICIAN RESIDUAL STRATA IN WESTERN LUNGU, TARIM BASIN

SHAN Yang-tian¹, YU Bing-song¹, TANG Ming-long², XIA Ri-yuan^{1,3}, TANG Jian-sheng^{1,3}, LIANG Bin^{1,3}
(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Petrochina Tarim Oilfield Company, Korla 841000, Xinjiang, China;
3. Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin 541004, Guangxi, China)

Abstract : The Ordovician strata in Western Lungu, Tarim Basin is considerably eroded by the Early Hercynian uplifting, with well developed palaeokarst. The only outcropped strata are the Middle and Late Ordovician Yingshan and Penglaiba formations, which are controlled by lithology and structure, with capable reservoir and permeation. Based on the analysis of the palaeokarst with the geological background in the area, the forming mechanism and control factors, as well as the capacity of reservoir and permeation, are studied.

Key words : Ordovician; palaeokarst; capacity of reservoir and permeation; Tarim Basin.

作者简介:单洋天(1981—),男 助理研究员,中国地质大学(北京)博士研究生,从事碳酸盐岩古岩溶研究,通信地址北京市海 淀区学院路 29 号,邮政编码 100083, E-mail//shanyangtian@163.com