

文章编号:1672-9854(2007)-02-0001-07

碳酸盐岩表生岩溶与埋藏溶蚀比较 ——以塔北和塔中地区为例

钱一雄¹, Conxita Taberner², 邹森林¹, 尤东华¹, 王蓉英³

(1 中国石化石油勘探开发研究院西部分院; 2 Institut de Ciències de la Terra)

(3 中国石化西北分公司勘探开发研究院)



钱一雄

摘要 表生岩溶与埋藏溶蚀是碳酸盐岩储层发育的最重要成岩作用,两者受岩石等内在因素的影响基本相同,但所受的外部主控因素差异显著。表生岩溶受构造不整合面、古构造等影响较大;埋藏溶蚀主要受断裂与深部流体控制。表生岩溶主要表现为垂向分带性明显的复杂孔洞缝网络结构,而埋藏溶蚀主要呈受断裂—裂隙控制的“V”形洞穴样式或与断裂有关的阶梯状分布。表生岩溶发育一些标型特征,如钙质壳,古土壤,铝土矿,淡红色方解石晶体,溶蚀沟、坑、天坑,新月形状、悬垂和纤维状渗滤砂或胶结物,岩溶角砾及与地下暗河有关的机械流水沉积;埋藏溶蚀往往发育与中低温热液有关的异形铁白云石、萤石、闪锌矿、磁黄铁矿等密西西比河谷型矿物以及塌陷构造、裂隙结构、不规则的角砾(化)岩体等。塔里木盆地塔北地区主要发育表生岩溶作用;塔中地区西北部不具备发育大规模表生岩溶的地质条件,以发育埋藏溶蚀作用为主。

关键词 奥陶纪;碳酸盐岩;表生岩溶作用;埋藏溶蚀作用;塔里木盆地

中图分类号: TE112.23

文献标识码: A

钱一雄 1962年生,博士,教授级高级工程师。1984年毕业于合肥工业大学地质系,2005年毕业于石油大学(北京),获博士学位,主要从事盆地分析、矿物岩石地球化学研究。出版论著3部,发表论文20多篇。通讯地址:830011 新疆乌鲁木齐北京南路26号美克大厦11楼;电话:(0991)3662050

广义上讲,岩溶是指所有的成岩作用特征,它包括宏观与微观、地表与地下的主要与碳酸盐岩层系中化学溶解有关的变化过程^[1-2]。习惯上,它是指在大气水作用下的表生岩溶作用。而在深部—热水条件下发生的埋藏溶蚀作用,是指在远离不整合面以下深处或没有不整合面的地下深处所发生的溶蚀作用^[3-4]。由于碳酸盐岩储层的形成往往是多种成岩作用过程的叠加和改造,因此,根据碳酸盐岩成岩作用的特征有时难以区分究竟哪一种作用为主,然而这种区分对岩溶储层发育及分布特征的研究又是具有重要意义的。

从参与岩溶作用的流体性质,一般划分出三种基本岩溶类型^[1-6]:一是发生于台(陆)地上富含CO₂大气水的渗滤—淋滤表生岩溶;二是发生于滨岸带附近的大气水与海水混合的混合水溶蚀作用;

三是在埋藏还原环境下与富含有机酸(与烃源岩排烃有关)或含H₂S、CO₂、F⁻、Cl⁻、B⁻等侵蚀性流体及高矿化度油田水有关的深埋藏溶蚀作用。碳酸盐岩岩溶的影响因素较多,但主要可划分为外部因素和内部因素两大类^[1-7],前者如区域性构造不整合面、古地形(貌)、古气候、海平面升降旋回等;后者为层厚、倾向(角)、岩性(矿物组成、碳酸盐岩中酸不溶物)、原生孔隙大小等。

本文根据对塔北、塔中奥陶系碳酸盐岩岩溶研究中所采用的地质综合资料,并结合地震、测井、录井等成果,系统地总结了埋藏溶蚀与表生岩溶的主控因素及地质表征,而关于混合水溶蚀作用则尚待进一步探讨。本文的研究结果将有助于对碳酸盐岩储层发育地质模型的识别与建立,并能指导储层预测。

收稿日期:2006-08-30

基金项目:国家重点基础研究发展规划(973)项目(编号:2005CB422100)和中国石化科技部项目(编号:P03038)资助

1 塔北奥陶系碳酸盐岩表生岩溶

塔里木盆地是一个多旋回构造作用下的叠合盆地,以早古生代台盆区海相巨厚沉积、晚古生代的海陆过渡相及中—新生代的陆相沉积为主要特征。自显生宙以来,发育了加里东早期、中—晚期,海西早、末期,印支—燕山期,喜马拉雅早、晚期等七个较大

规模的构造运动不整合面,形成了包括沙雅、卡塔克、巴楚和古城墟等古隆起(或凸起)。这为早古生代海相碳酸盐岩各类岩溶(蚀)作用的产生与发育创造了有利条件。本文的研究对象塔北和塔中奥陶系碳酸盐岩分别位于塔里木盆地的两个主要隆起上(图1),它们是台盆区碳酸盐岩储集体发育区及主要的油气聚集带。

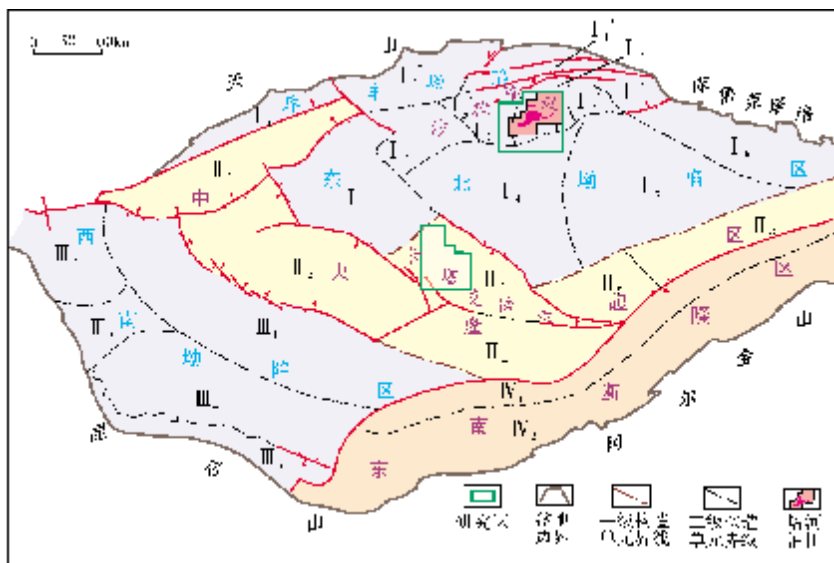


图1 塔里木盆地构造区划及研究区位置

东北拗陷区: I₁ 库车拗陷; I₁¹ 乌什凹陷, I₁² 拜城凹陷, I₁³ 阳霞凹陷;
I₂ 沙雅隆起: I₂¹ 雅克拉断凸, I₂² 沙西凸起, I₂³ 哈拉哈塘凹陷, I₂⁴ 阿克库勒凸起,
I₂⁵ 草湖凹陷, I₂⁶ 库勒鼻凸;
I₃ 阿瓦提拗陷; I₄ 顺托果勒低隆; I₅ 满加尔拗陷; I₆ 孔雀河斜坡。
中央隆起区: II₁ 柯坪隆起; II₂ 巴楚隆起; II₃ 卡塔克隆起; II₄ 唐古斯巴斯凹陷; II₅ 古城墟隆起;
II₆ 塔东低凸起。
西南拗陷区: III₁ 麦盖提斜坡; III₂ 喀什凹陷; III₃ 莎车隆起; III₄ 叶城拗陷; III₅ 铁克里克隆起。
东南断隆区: IV₁ 北民丰—罗布庄断隆; IV₂ 于田—若羌拗陷

塔北地区(轮南—塔河油田所在位置)一般指雅克拉—阿克库勒地区(图1中I₂¹至I₂⁴),位于沙雅隆起的主体部位。著名的塔河油田就位于沙雅隆起的次级单元阿克库勒凸起上,该凸起在加里东中—晚期形成雏形,海西早期受区域性挤压抬升而形成向西南倾伏、呈北东向展布的大型鼻凸。多次次的构造抬升—剥蚀过程,使阿克库勒凸起大部分地区缺失志留系—泥盆系及中—上奥陶统,因而具备了发生大规模表生岩溶的地质条件。

阿克库勒凸起奥陶系古地貌以北部(艾北)高

地、东西两侧的谷地以及中部的丘丛与洼地相间为特征^①(图2)。根据水动力特征,岩溶自上而下可分为地表岩溶带、垂直渗流岩溶带及水平潜流岩溶带。不同时期形成的岩溶带可交替出现,出现部位与古地貌及海平面多期升降过程及保存条件有关。据李国蓉^②对塔河油田岩溶相带分布的研究表明,在下奥陶统(塔河三、四、六、七区)至少存在两至三套以洞穴沉积为特征的岩溶作用旋回(图3)。地表岩溶带产生碎屑支撑的角砾灰岩,渗流岩溶带发育洞穴及其充填物,而潜流岩溶带形成水平溶洞及其洞顶破裂带。

① 中国石化西北石油局. 新疆塔里木盆地塔河油气勘探项目二〇〇一年勘探年报. 2001.

② 李国蓉. 阿克库勒地区奥陶系碳酸盐岩岩溶作用研究. 中国石化西北石油局, 2001.

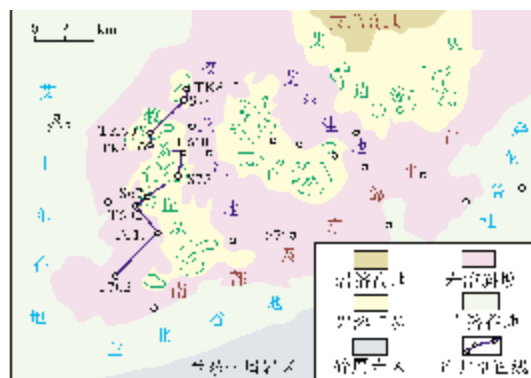


图2 塔里木盆地阿克库勒凸起南部奥陶系岩溶古地貌
(据资料①,略有修改)

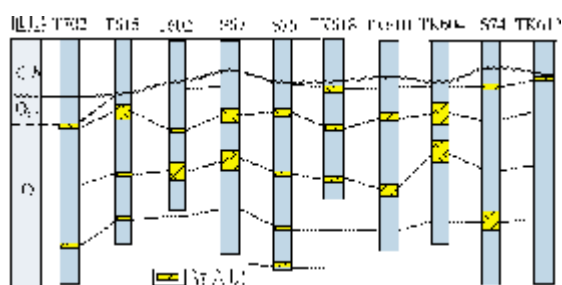


图3 塔河油田多期次岩溶旋回形成的洞穴系统^②

在塔河油田,海西早期风化壳岩溶作用表现得更为广泛而强烈,大部分钻井均有未完全充填的大型洞穴、小型孔洞、溶缝、洞顶破裂缝及溶洞充填物中孔隙。孔洞-裂缝型储层分布于岩溶高地边缘或部分岩溶斜坡区,大致位于风化面以下0~250 m范围内,且为多期构造线的交汇处及褶皱轴部^[5-6,8]。

塔河油田奥陶系碳酸盐岩中的表生岩溶现象十分丰富,除了碳酸盐岩风化作用形成的古土壤和钙红土外,常见的表生岩溶现象均可见到。以S79井为例,渗滤带与潜流带的分界位于井深5533 m左右,潜流带中见到地下暗河流水沉积(图4a,4b),部分层段还有白云石化、硅化、重结晶等地质作用,并有沥青充填。岩溶带的测井响应为自然伽马具有平直至锯齿状、声波时差增加、井径扩大等现象。S85井在埋藏深度5960 m左右钻遇了进尺达6 m多的大型溶洞,位于潜流带附近,被方解石巨晶(图4c)充填,属特大型溶洞;对奥陶系相应层段作裸眼测试,出水55.66 m³/d,投产后每天产液56.5 m³。这说明奥陶系碳酸盐岩表生岩溶的孔-洞-缝储集体较为发育。

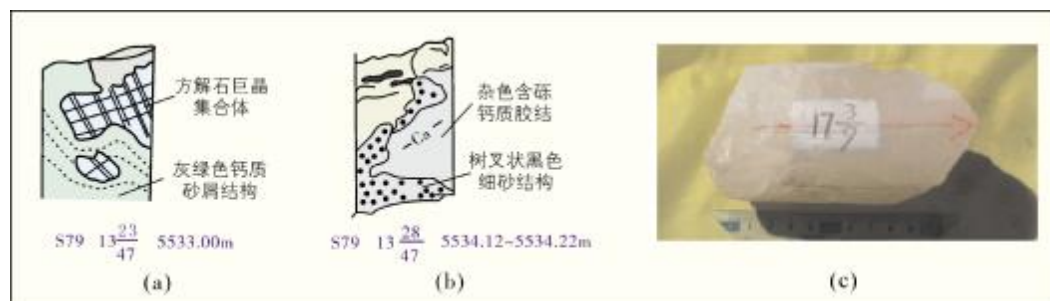


图4 塔河油田奥陶系碳酸盐岩表生岩溶现象

(a) S79井岩心素描,示意岩溶作用的大溶洞中方解石晶体充填; (b) S79井岩心素描,具有渗滤砂结构,反映洞穴流水特征的地下暗河沉积; (c) S85井方解石巨晶岩心照片,回次17-3/9; 在埋深5960~5966 m为一方解石巨晶充填的巨型溶洞,推测为岩溶渗滤带产物,晶洞高约6 m,取心率仅为50%

综上所述,塔北地区与多期不整合面及构造抬升暴露有关的表生岩溶现象十分丰富,总体反映了在潮湿气候条件下的岩溶特征。从影响岩溶的主要因素及成岩相特征分析,可初步划分出以下亚类:

(1) 受北东向展布的阿克库勒凸起大型鼻凸构造脊轴部及断裂控制、发育岩溶角砾岩的大型构造断裂-溶洞带;

(2) 以北部潜山(艾北或轮南)渗流带附近的

大型洞穴(古落水洞、古土壤)、塌陷构造、地下暗河及其机械性充填物所组成的岩溶高地带;

(3) 以阿克库勒凸起东西两侧斜坡为代表,渗流带附近孔洞缝均较发育的区域性网络型岩溶斜坡带;

(4) 受小型断裂或裂隙影响,大气水下渗并沿区域性不整合面或层序界面发生岩溶作用的局部岩溶(类似于落水洞或串珠状的地震反射),它往往孤

立分布且有独立的流体特征;

(5) 深部早期(加里东中—晚期)渗流—潜水带附近发育的洞穴充填特征明显的深部岩溶带。

2 塔中奥陶系碳酸盐岩埋藏溶蚀

塔中研究区块处于塔里木盆地中央隆起区卡塔克隆起的西北部。卡塔克隆起呈现为向东端收敛、向西撒开的“帚状构造”(图1),区内主要的断裂构造有塔中Ⅰ号带、塔中Ⅱ号带、塔中10号带以及若干北北东向的断裂(图5),其中的塔中Ⅰ号带和塔中Ⅱ号带沿北西向西逐渐倾没。塔中西北部地区加里东早期主要为弱伸展,加里东中—晚期和海西早期为挤压—走滑,海西末期及印支—燕山期为弱伸展,受喜马拉雅期构造运动的影响较小。海西晚期的裂陷型火山活动强烈,伴随的断裂—裂隙也十分发育,它们沿塔中18、17、21、47、40各井区和中1井区等分别呈带状和线状展布(图5)。火山岩及其火山碎屑岩厚度均在300~400 m,具有往西部加厚的趋势,主要有玄武岩、安山岩、玄武安山岩、安山质火山角砾岩、沉凝灰角砾岩、凝灰岩、沉凝灰岩、玄武质角砾熔岩、玄武质凝灰熔岩等,有三次以上的喷发旋回,为埋藏条件下的热液—热水对碳酸盐岩埋藏溶蚀创造了较有利条件。

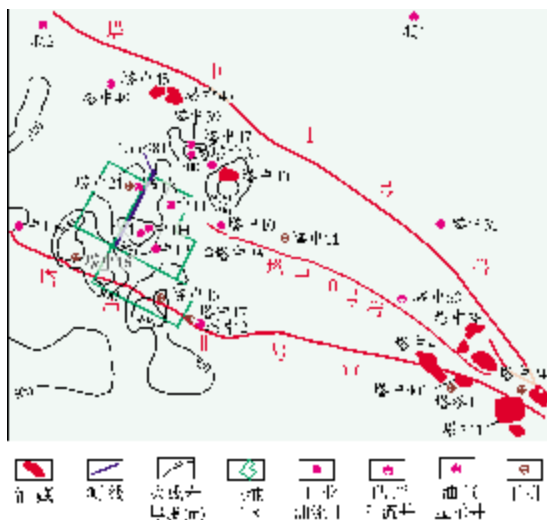


图5 塔中西北部主要断裂及中—晚二叠世火山岩厚度分布图

2.1 塔中Ⅰ号带西部

志留系覆盖于上奥陶统桑塔木组和良里塔格组之上,溶蚀作用是发生于良里塔格组一套(礁)滩亚

相的生物灰岩、砂砾屑或鲕粒灰岩中。其中,塔中49、塔中35井区的良里塔格组中的溶蚀作用不发育;塔中45井(区)良里塔格组砂砾屑或鲕粒灰岩受中二叠世的岩浆期后热液作用,发育与含氟热液(萤石)和灰岩的交代埋藏溶蚀为特征的较为特殊的孔洞缝储集体。塔中45井(6095~6107m)在良里塔格组粒屑、生物碎屑灰岩与泥晶灰岩中发育了巨厚层淡紫色、白色萤石段。据塔中45井良里塔格组42.81 m长的取心段统计,全充填洞11个,半充填—未充填洞173个,大洞直径可达40 mm×50 mm×110 mm;半充填—未充填裂缝4条,网状微缝、微孔和孔洞,连通性好,面孔率可达10%;萤石的Sm—Nd等时年龄为263~241 Ma、均一温度为92~152℃和153~310℃,是与中—晚二叠世岩浆—热液作用有关的深部流体改造型碳酸盐岩储集体^[9]。顺2井良里塔格组的砾(砂)屑灰岩及鲕粒灰岩中,铸模孔及针孔十分发育。孔洞以菱形、似三角形为主,大小为2~10 mm左右,半充填或未充填。常见代表埋藏成岩作用的嵌晶状、共轴连晶及等粒镶嵌状结构及少量环带结构,方解石胶结物和充填物发明亮的桔黄色光。方解石充填物中富含铁、锰、镁、锶等,其 $\delta^{18}\text{O}$ 为-8.6‰~-4.5‰(平均为-6.6‰), $\delta^{13}\text{C}$ 为-3.8‰~-1.4‰(平均为-2.0‰);方解石充填物中的流体包裹体均一温度为115~130℃和170~210℃,盐度介于5%~7%、8%~9%和12%~13%,流体活动规模较大^[10~11]。

2.2 塔中10号带

塔中10、23、11井仅钻遇(至)良里塔格组的石灰岩段(泥晶灰岩为主),溶蚀作用弱;而塔中50井在距良里塔格组顶184 m、239 m处发育了少量孔洞裂缝,并有少量油与泥质充填。总体来看,大气水淋滤的表生岩溶作用较弱,曾经历过较弱的早期准同生和埋藏溶蚀作用。

2.3 塔中Ⅱ号带

塔中2、17、18井的下奥陶统白云岩段,岩溶作用十分强烈。以塔中2井为例,从岩心分析,自上而下划分出四个层段及岩溶带,分别是3881~3926 m, 4092~4095 m, 4217~4221 m和4292~4295 m;较大孔洞可达40~70 mm,有少量沥青及方解石和原油半充填,具有典型的表生岩溶作用为主并叠加了后期埋藏溶蚀作用的特征。

2.4 中1井区

塔中西北部的中1井区岩溶作用主要发育于下奥陶统,以细晶白云岩和砂屑灰岩中较为发育,见到与裂隙有关的角砾状白云岩(图6a),以中小型溶孔及针状孔为主(图6b),形态以不规则的三角形晶间孔(洞)及受裂隙扩溶而复杂化(图6c)。面孔率一般仅为1%~2%,局部可达5%~8%。中1井在二叠系至奥陶系的取心段中,广泛发育构造裂隙带的岩浆期后热水(液)溶蚀作用,发育了黄铁矿、石英、萤石等蚀变矿物及热液交代结构。



(a) 中16井574.7m, 与裂隙有关的白云岩, $\times 1/5$



(b) 中13井5978.5m, 不规则的溶孔, $\times 1/5$



(c) 中1井21-19-3样品, 中晶白云岩溶孔沿裂缝扩溶, 铸体, 4×10

图6 塔中西北部中1井区奥陶系碳酸盐岩埋藏溶蚀作用特征

对塔中西北部三维工区北部区块 600 km² (图5的中1井所在三维区块)地震资料及中1、中11、中12井地质、测井等资料的研究发现,下奥陶统中存在“串珠状”岩溶特殊反射体,在T₄顶(在此相当

于上奥陶统灰岩底)及内幕反射结构中呈不规则状,内幕为中频弱振幅、不连续杂乱反射。在偏移滤波(图7a)及偏移纯波(图7b)地震剖面上,用变密度显示,有多个串珠反映,且呈低阻抗,可能是埋藏溶蚀特征。

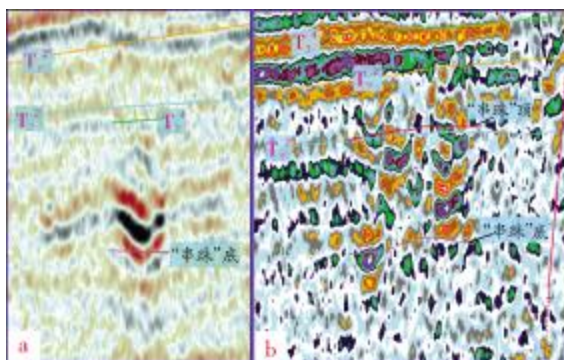


图7 塔中西北部 Line981 线偏移滤波(a)和偏移纯波(b)上、下奥陶统“串珠状”特殊反射体

综上所述,塔中西北部奥陶系碳酸盐岩岩溶受由塔中I号带(良里塔格组礁滩相带)和塔中II号带断裂控制的“垒式”古潜山构造等控制,受火山活动的影响也较强烈。塔中I号带西部的上奥陶统良里塔格组发育了准同生(短期暴露大气水)表生岩溶和埋藏溶蚀的叠加;塔中II号带东部,以表生岩溶为主;在塔中II号带西部和塔中10号带及中1井区,以下奥陶统局限台地相的白云岩储层为主,部分层段受似层状、多孔层的弥散流的地层流体影响,发育中小型溶孔。塔中西北部奥陶系碳酸盐岩储层虽然也发育了表生岩溶,但其主要的成因作用则是与岩浆热液-热水和断裂作用有关的埋藏溶蚀作用,沿构造断裂带和在削截-抬升的不整合面及剥蚀面附近,储层主要呈线性和似层状分布。

3 碳酸盐岩表生岩溶与埋藏溶蚀对比

利用综合地质方法(包括碳酸盐岩溶蚀现象及形态特征、充填物的矿物学和地球化学、测井和录井以及地震反射特征等)可以区分埋藏溶蚀与大气水表生岩溶,根据上述对塔北奥陶系碳酸盐岩表生岩溶与塔中奥陶系碳酸盐岩埋藏溶蚀及国外一些油区碳酸盐岩溶储层的研究进展,笔者在此总结出表生岩溶与埋藏(热液)溶蚀的主控因素、形态特征及其它地质表征,见表1。

表1 表生岩溶作用与埋藏(热液)溶蚀作用的地质表征对比

类型	表生岩溶	埋藏(热液)溶蚀
主控因素	层序不整合面,古隆起,古地貌,古气候(温度、降雨量和二氧化碳分压),古水文,海平面,潜流带,暴露时间,岩石类型及酸不溶物含量,层厚较薄,(膏)盐岩和组构(微裂隙、节理)	构造断裂或裂隙(及塌陷),岩浆活动,机械-化学压实、反应;白云石化及胶结作用;侵蚀性流体及相近时代的烃源岩、烃类运移
形态特征	平面上多带(层)叠合洞缝网络结构中的分岔型、网络式、交织式、海绵状及分枝状等,具一定“层控性”;纵向上往往具渗流、潜流分带性,可形成巨型溶洞以及与流水有关的构造,如暗河渗滤砂泥沉积构造、塌陷构造及洞穴堆积物	纵向向上的树枝状“V”形洞穴样式,岩钟,P形通道,通道大小骤变,在大洞分支端的顶部有岩钟、涌水现象,3D直线迷宫样式,串珠形、台阶状(受断阶、输导层复合控制)
露头、地震、钻井、录井、测井	1)地表峰林、峰丛、封闭洼地,地下大型洞穴,地表、地下次生化学沉积,岩溶角砾、古土壤、铝土矿等风化壳产物; 2)井下岩溶角砾、巨晶方解石及浅绿色碎屑岩充填物,流水沉积; 3)钻时突然减小,钻速明显加快,井径扩大,钻具放空,严重泥浆漏失,泥浆油气侵,井涌、井喷,取心率低; 4)测井上“三高两低”,即声波时差、电磁波传播时间、中子孔隙度增高,电阻率和密度降低; 5)地震反射响应:弱振幅或暗点,强振幅或亮点,杂乱反射,平点	1)流出处水温比周围(通常为20~80℃)高40℃,缺少下降、水平排泄样式,缺少通道样式与表面形态联系,缺少洞穴堆积物; 2)钻井液漏失与角砾岩无关,而与高孔(>25%)层段相关; 3)油层内+20℃稳定异常,井底温度大于100℃; 4)流动期间流压提高,闭井压力降低,在试油过程中出现异常内流、外流和交错流样式; 5)油层分布于晚期成岩序列不整合面上、下; 6)流体界面与构造闭合度、溢出点无关,晚期成岩圈闭; 7)类似火山喷发“V”地震反射
标型矿物	1)洞穴堆积物,如流石、滴石、洞穴聚合物、文石或方解石等; 2)洞穴沉积物; 3)岩溶角砾岩; 4)侵蚀性碳酸盐岩胶结物(新月形、悬垂状和针状-纤维状渗滤状)和红色微晶化颗粒及淋滤土壤; 5)内部沉积物示底,有机质和伊利石等; 6)晶洞巨晶方解石; 7)较低氧、碳同位素; 8)潜流带下明亮条带的非发光或交互发光及暗淡发光	1)晚期放射性或异形铁白云石、迪开石、石英、黄铁矿、白铁矿、硬石膏、石膏、长石、重晶石、天青石、萤石、锯齿状方解石、高岭石、闪锌矿、磁黄铁矿等密西西比河谷型矿物; 2)晚于化学压实作用的孔隙,晚期裂缝,鞍状白云石胶结物; 3)氧同位素小于5‰,碳同位素为正值,明亮的发荧光胶结物; 4)具有烃类包裹体胶结物
其他特征	1)向上变浅的高频旋回,与不整合面相关的巨型喀斯特或与埋藏复合; 2)各种类型的溶沟、角砾化、塌陷构造、扩溶及非选择性溶解、裂隙、网状结构等; 3)钙红土或棕色、淡红色薄层等	1)晶体大小和方位控制侵蚀组构; 2)区域走滑、反转或斜交断层; 3)地貌、岩石物性资料与喀斯特模型不匹配; 4)有岩浆侵入与喷发作用及密西西比河谷型热液活动区域证据,与储集层同时代的烃源层

表生岩溶作用与埋藏溶蚀作用均受内在因素(岩石、地层产状及构造)的影响。但因两者一般在不同的埋深(温压)和不同的流体介质中发生水-岩反应,因而即使是同一种岩性、结构、层厚、原始孔渗条件或地质产状,其作用机理、方式和结果也会存在一定的差别。如表1所述,两者的外部主控因素差异显著,表生岩溶受构造不整合面、古构造(及地貌)、海平面升降旋回和古气候影响较大;埋藏(热液)溶蚀主要受断裂与深部流体控制,这种深部流体主要为烃类排烃时产生的有机酸和深处上涌的热液(水),它们可与硫发生还原反应。由于表生岩溶作用与埋藏(热液)溶蚀作用经常叠加在一起,故形态上多体现为一种岩溶作用为主或两者兼而有之,但表生岩溶主要表现为垂向分带性明显的复杂孔洞缝网络结构(如分岔、网络、交织、海绵状或分枝状

等^[1-2]),而埋藏溶蚀主要是受断裂-裂隙控制的线性的“V”形洞穴样式或与断裂有关的阶梯状分布。在地质表征上,表生岩溶发育一些标形特征,如钙质壳,古土壤,铝土矿,淡红色方解石晶体,溶蚀沟、坑、天坑,新月形状、悬垂状或纤维状渗滤砂或胶结物,岩溶角砾及与地下暗河有关的机械流水沉积;埋藏溶蚀往往发育与中低温热液有关的异形铁白云石、萤石、闪锌矿、磁黄铁矿等密西西比型铅锌矿矿物以及塌陷构造、裂隙结构、不规则的角砾(化)岩体等。

4 结 论

(1)塔北(塔河油田)中一下奥陶统碳酸盐岩发育强烈的表生岩溶作用,构成了垂向上的两至五个岩溶分带旋回,岩溶垂直分带明显,坡度较缓的岩溶斜坡及其以上的岩溶残丘储集体保存最好。

(2) 塔中西北部奥陶系碳酸盐岩主要发育埋藏溶蚀作用, 主要沿构造断裂带及多期次削截—抬升的不整合面(剥蚀面)附近分布, 以线性和似层状分布为主。北部三维地震工区的串珠状地震反射可能是受断裂控制的埋藏溶蚀的表征, 中1井区可能不具备发育大规模表生岩溶(斜坡带)的地质条件。

(3) 表生岩溶作用的发育主要受古构造(及地貌)、构造不整合面、海平面升降旋回和古气候等的影响; 形态上呈现垂向分带性明显的复杂的洞缝网络结构, 往往发育古土壤、铝土矿、淡红色方解石晶体, 溶蚀沟、坑, 铝土矿及与地下暗河有关的机械流水沉积; 地震反射杂乱、弱振幅。埋藏溶蚀作用主要受控于断裂及深部流体, 形态为线性“V”形洞穴样式, 出现与中低温热液有关的异形铁白云石、萤石、闪锌矿、磁黄铁矿等密西西比河谷型矿物, 出现塌陷构造、裂隙结构以及不规则的角砾(化)岩体, 显示“V”形地震反射特征。

参考文献

- [1] Robert G L. Paleocave carbonate reservoirs: origins, burial-depth modifications, spatial complexity, and reservoir implications [J]. AAPG, 1999, 83(11):1795-1831.
- [2] Budd D A, Saller A H, Harris P M. Unconformities and porosity in carbonate strata [J]. AAPG Memoir 63, 1995:35-123.
- [3] 马永生, 梅冥相, 陈小兵, 等. 碳酸盐岩储层沉积学 [M]. 北京: 地质出版社, 1999.
- [4] Conxita T, James D M, James P, et al. Celestite formation, bacterial sulphate reduction and carbonate cementation of Eocene reefs and basinal sediments (Igualeza, NE Spain) [J]. Sedimentology, 2002, 49(2):171-190.
- [5] 陈洪德, 张锦泉, 叶德胜. 新疆塔里木盆地北部古岩溶储集体特征及控油作用 [M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1994: 27-77.
- [6] 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 [M]. 成都: 四川大学出版社, 2000:1-55.
- [7] Esteban M, Taberner C. Secondary porosity development during late burial in carbonate reservoirs as a result of mixing and/or cooling of brines [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2003, 78 (3):355-359.
- [8] 肖玉茹, 王敦则, 沈杉平. 新疆塔里木盆地塔河油田奥陶系古洞穴型碳酸盐岩储层特征及其受控因素 [J]. 现代地质, 2003, 17(1):92-98.
- [9] 王嗣敏, 金之钧, 解启来. 塔里木盆地塔中45井区碳酸盐岩储层的深部流体改造作用 [J]. 地质论评, 2004, 50(5): 543-547.
- [10] 钱一雄, 邹远荣, 陈跃. 塔里木盆地塔中西北部多期、多成因岩溶作用地质—地球化学表征: 以中1井为例 [J]. 沉积学报, 2005, 23(4):42-49.
- [11] 钱一雄, 陈跃, 陈强路, 等. 塔中地区西北部奥陶系碳酸盐岩埋藏溶蚀作用 [J]. 石油学报, 2006, 27(3):47-53.

编辑: 吴厚松

Diagenesis Comparison between Epigenic Karstification and Burial Dissolution in Carbonate Reservoirs: An Instance of Ordovician Carbonate Reservoirs in Tabei and Tazhong Regions, Tarim Basin

Qian Yixiong, Conxita Taberner, Zou Senlin, You Donghua, Wang Rongying

Abstract: Epigenic karstification(EK) and burial dissolution(BD) that are the most important diagenesis in carbonate rocks are similar in undergoing effect of the inner factors such as petrology and composition but great different in effect of the outer controlling factors. EK is predominantly controlled by the development of unconformity and paleo-structures while BD is controlled by the distribution of faults and deep-seated fluids. EK is characteristic of complex reservoir network of pores, vugs and fissures with distinguishing vertical zone distribution while BD features in distribution of linear V-shaped caverns and terraces. EK develops some features of typominerals such as calcium crust, paleo-soil, bauxite, rosiness calcite crystals, dissolved pits and ditches and fallen caverns and karst breccia even as well as lunate, vertical and fibrous infiltration sands or cements; while BD is characteristic of MVT minerals including heteromorphic Fe-dolomite, fluorite, sphalerite and pyrrhotite, as well as collapsed structure, fissured textures and irregular breccia rock bodies. EK develops generally in Ordovician carbonate reservoirs in Tabei region, including the famous Tahe Oil Field, and BD are common in Ordovician carbonate reservoirs in northwestern Tazhong region where the geological condition of wide-developing EK is absent.

Key words: Ordovician; Carbonate rock; Epigenic karstification; Buried dissolution; Tarim basin

Qian Yixiong: male, Doctor, Senior geologist. Add: Western Institute, Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Ürümqi, Xinjiang, 830011 China