

文章编号:1672-9854(2010)-02-0020-10

塔里木盆地下古生界岩溶型储层类型及特征

沈安江¹, 潘文庆², 郑兴平¹, 张丽娟², 乔占峰¹, 莫妮亚¹

(1 中国石油杭州地质研究院; 2 中国石油塔里木油田分公司勘探开发研究院)



摘要 塔里木盆地下古生界岩溶型储层可划分为同生岩溶、风化壳岩溶和埋藏岩溶等三种类型。同生岩溶型储层主要为礁滩体受三级或四级相对海平面下降导致的短暂暴露和淡水淋溶的产物。风化壳岩溶型储层包括层间岩溶和潜山岩溶两个亚类:层间岩溶为碳酸盐岩中—短期抬升剥蚀和淡水淋溶的产物,地形起伏平缓,与上覆碳酸盐岩呈平行不整合接触;潜山岩溶为碳酸盐岩长期抬升剥蚀和淡水淋溶的产物,地形起伏强烈,与上覆石炭系、侏罗系—白垩系碎屑岩呈角度不整合接触,包括石灰岩潜山和白云岩潜山。埋藏岩溶型储层又可分为原源埋藏岩溶和异源埋藏岩溶两个亚类,前者为有机酸、盆地热卤水、TSR 成因的硫化氢等成岩流体作用的产物,后者为深源热液作用的产物。认为塔里木盆地岩溶型储层是多期次岩溶作用叠加改造的结果。

关键词 塔里木盆地; 下古生界; 岩溶储层; 储集层类型; 储集层特征

中图分类号: TE112.22 **文献标识码**: A

沈安江 1965年生,博士,教授级高级工程师。长期从事碳酸盐岩沉积储层方面的研究工作,发表论文20余篇,专著4本,译著2本。通讯地址:310023 杭州市西溪路920号;电话:(0571)85224983

塔里木盆地寒武系至下奥陶统蓬莱坝组以白云岩为主,夹少量的石灰岩及白云质灰岩,中、下奥陶统鹰山组下段为灰质白云岩或白云质灰岩,白云质组分呈斑块状、花朵状分布于石灰岩中。据露头观察,白云岩化率达30%,上段以石灰岩为主,白云质组分明显减少。中奥陶统一间房组及上奥陶统吐木休克组、良里塔格组以石灰岩为特征,尤其在一间房组及良里塔格组上部发育大量的礁滩相颗粒石灰岩。上奥陶统桑塔木组砂泥岩沉积表示塔里木盆地下古生界碳酸盐岩沉积的结束。复杂的构造演化^[1]导致塔里木盆地寒武系—奥陶系碳酸盐岩经历了复杂的成岩改造,尤其是岩溶作用。同沉积期三级或四级相对海平面下降导致的短暂暴露,使寒武系—奥陶系礁滩相颗粒石灰岩遭受大气淡水淋溶作用,形成同生岩溶型储层。与二级或三级相对海平面下降相关的中—短期抬升剥蚀和大气淡水淋溶,导致层间岩溶型储层的形成,主要发育于碳酸盐岩层间平行不整合面之下。与一级或二级相对海平面下降相

关的中—长期抬升剥蚀和大气淡水淋溶,导致潜山岩溶型储层的形成,与上覆石炭系、侏罗系—白垩系碎屑岩呈角度不整合接触。层间岩溶型储层和潜山岩溶型储层均属风化壳岩溶型储层。埋藏岩溶作用(有机酸、盆地热卤水、TSR和热液等)的叠加改造,使得岩溶型储层的类型和特征更为复杂。

1 岩溶型储层类型

在90口井的岩心和薄片观察基础上,综合区域沉积和构造背景、录井和测井资料,以储层成因机理和主控因素为主线,塔里木盆地下古生界岩溶型储层可划分为三种类型(表1)。

2 岩溶型储层特征

2.1 同生岩溶型储层

台缘及台内礁滩体沉积易于形成地貌上的相对隆起,相对海平面的微弱下降可导致浅海相礁滩体

收稿日期:2009-10-29

本文受国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”(编号2008ZX05004-002)、国家973项目“中低丰度大气田的储层特征、形成机理与分布预测研究”(编号:2007CB209502)和中国石油天然气集团公司碳酸盐岩储层重点实验室资助

表 1 塔里木盆地地下古生界碳酸盐岩岩溶型储层类型

储层类型		定义	实例
同生岩溶型		受沉积自旋回控制,与三、四级相对海平面下降导致的沉积物短期暴露和大气淡水淋溶有关,淋溶对象为矿物相不稳定的沉积物,尤其是有—定地貌隆起的礁滩体沉积	塔中 I 号坡折带良里塔格组礁滩体
风化壳岩溶型	层间岩溶型	受构造旋回控制,中—短期抬升剥蚀和淋溶的产物,淋溶对象为矿物相稳定的岩石,风化壳上、下两套地层均为碳酸盐岩,地形平缓,平行不整合接触	塔北南缘及塔西南、塔中奥陶系碳酸盐岩
	潜山岩溶型	受构造旋回控制,中—长期抬升剥蚀和淋溶的产物,淋溶对象为矿物相稳定的岩石,风化壳上、下两套地层岩性差异大,地形起伏大,角度不整合接触	轮南低凸起下奥陶统石灰岩潜山 牙哈—英买力寒武系—下奥陶统白云岩潜山
埋藏岩溶型	原源埋藏岩溶	埋藏成岩环境与地温梯度、岩石—介质相互作用、成烃作用相关的埋藏热液(有机酸、盆地热卤水、TSR 成因的硫化氢)作用的产物	分布局限,难以形成单一成因的规模储层,往往表现为对原有储层的叠加改造,如塔中 83 井、242 井、721 井等
	异源埋藏岩溶	深源热液作用的产物,受断层、不整合面及深部热源等控制,深部热源甚至可通过断层运移到地表,温度高于埋藏热液的背景值	分布局限,难以形成单一成因的规模储层,往往表现为对原有储层的叠加改造,如塔中 3 井、45 井、162 井等

遭受大气淡水淋溶作用,形成同生岩溶型储层,储层的载体为礁滩体。下面以塔中 I 号台缘带塔中 62 井—塔中 82 井区良里塔格组棘屑石灰岩滩为例,阐述这类储层的成因和特征。

塔中 62 井良里塔格组测试井段为 4 703.50~4 770.00 m,日产油 38 m³,气 29 762 m³。4 706.00~4 735.00 m 为泥晶生物碎屑灰岩和生物碎屑泥晶灰岩,岩石致密;4 735.00~4 740.00 m 为泥亮晶棘屑灰岩,孔隙发育,面孔率 3%~4%,储集层厚度 5 m;4 740.00~4 750.00 m 为泥晶棘屑灰岩,泥杂基具渗流沉积特征,岩石致密;4 750.00~4 754.00 m 为泥亮晶棘屑灰岩,孔隙发育,面孔率 4%~5%,储集层厚度 4 m;4 754.00~4 758.00 m 为泥晶棘屑灰岩,泥杂基具渗流沉积的特征,岩石致密;4 758.00~4 759.00 m 为泥亮晶棘屑灰岩,孔隙发育,面孔率 4%~5%,储集层厚度 1 m。测试井段总厚度 66.50 m,但储层发育井段共 3 层 10 m,岩性为泥亮晶棘屑灰岩,与非储集层泥晶棘屑灰岩呈不等厚互层(图 1)。

塔中 62 井—塔中 82 井区良里塔格组礁滩体储层的垂向分布特征揭示了其同生岩溶的成因^[2],但礁滩体为同生期淡水淋溶提供了物质基础。高水位体系域向上变浅准层序组上部的台缘或台内礁滩体最易暴露并受大气淡水淋溶而形成优质储层,而且越紧邻三级层序界面的准层序组,岩溶作用越强烈,

储层厚度越大,垂向上呈多套储层叠置(图 1)。主要见于颗粒灰岩发育的一间房组及良里塔格组上部,往往被后期岩溶作用叠加改造。

源岩成分是棘屑灰岩能否发育成有效储层的重要控制因素。泥亮晶棘屑灰岩的棘屑含量在 70%以上,另有 20%的苔藓、珊瑚、藻屑、介壳、泥屑、灰泥和 10%的亮晶方解石胶结物。藻屑、泥屑、灰泥等可溶物质为大气淡水淋溶和次生溶孔的形成提供了物质基础,而高棘屑、生物碎屑含量确保颗粒能构成坚固的格架,使溶孔得以保存。储集层的原岩与下部的非储集层一样,为泥晶棘屑灰岩,只是淡水淋溶的影响深度有限,上部泥晶棘屑灰岩的可溶物质被溶解,形成的次生溶孔部分被早表生亮晶方解石充填,而不溶残余则向下渗流,导致了四级准层序组的上部为泥亮晶棘屑灰岩储集层,下部为具渗流沉积特征的泥晶棘屑灰岩致密层(图 2a)。进入埋藏成岩环境,同生期形成的溶孔为有机酸、盆地热卤水和硫化氢进入储集体提供了通道,埋藏岩溶作用进一步改善了储层物性。

这类储层主体以基质孔(1~2mm)为特征,储集空间主要有三类:①泥杂基及泥屑溶孔(图 2b),既可形成于早表生淡水淋溶,也可形成于埋藏岩溶作用,以溶蚀藻泥屑、泥晶套、泥杂基为特征,具选择性溶蚀的特点;②残留的亮晶方解石晶间孔(图 2c);

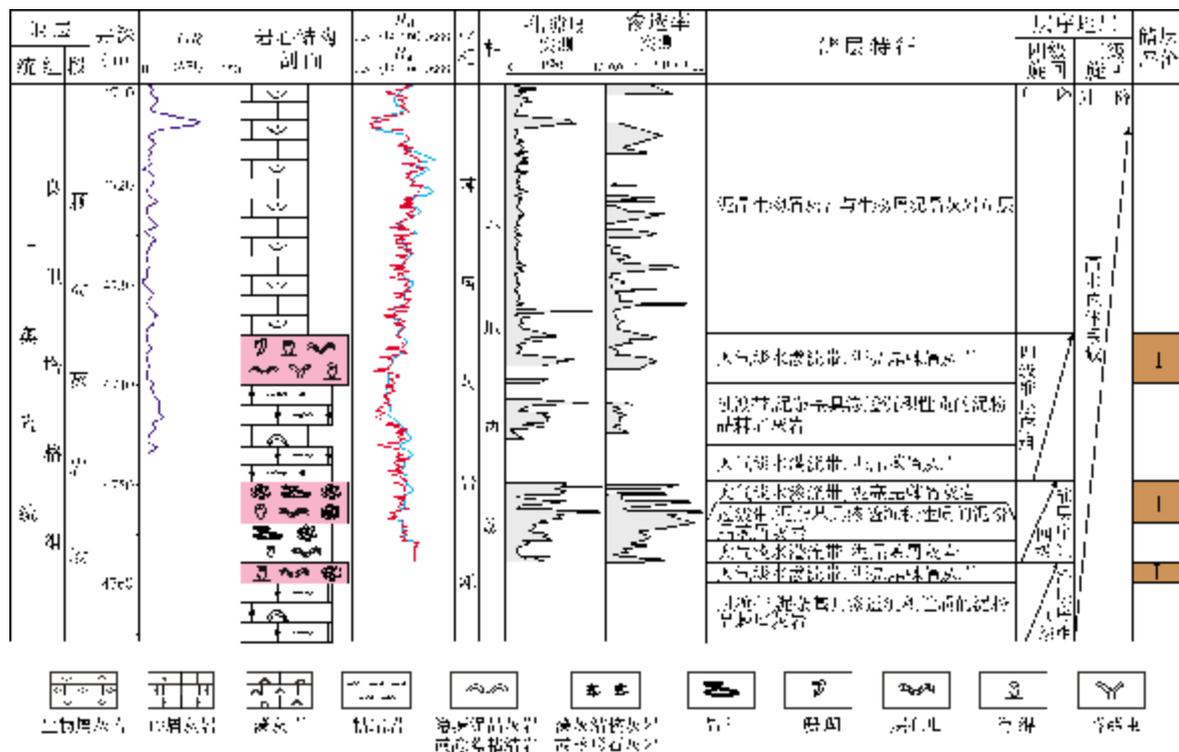


图1 塔中62井4730~4765m井段海平面升降旋回与储层发育关系

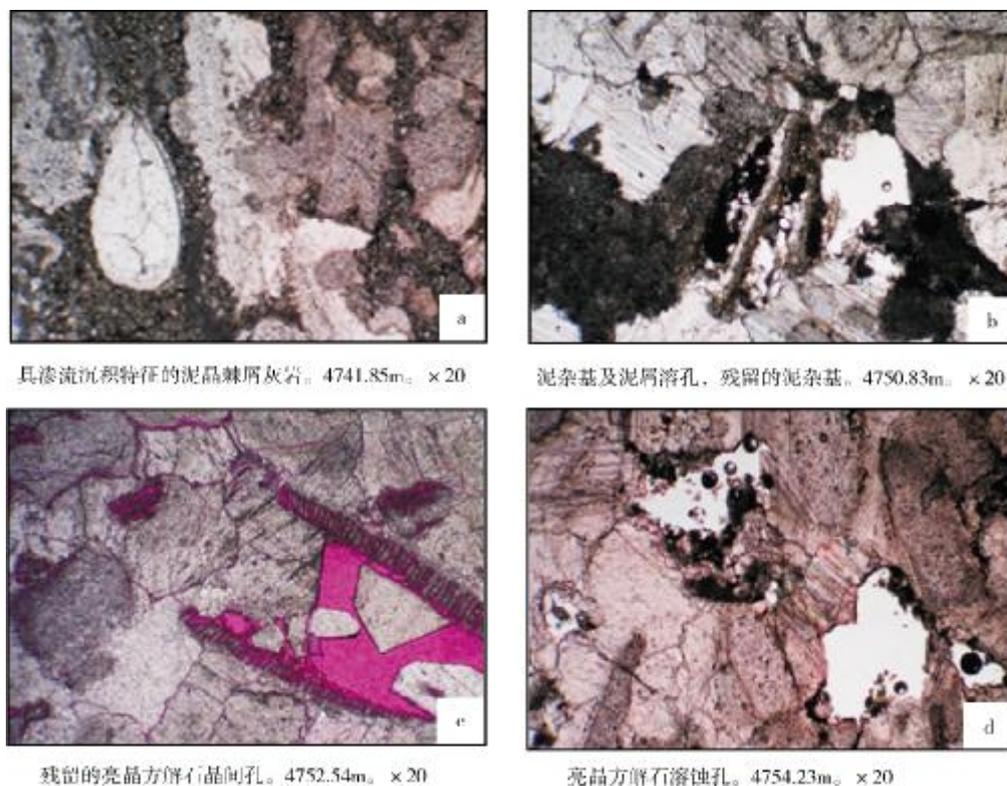


图2 塔中62井储层储集空间

③亮晶方解石溶蚀孔(图 2d),形成于埋藏成岩环境有机酸等侵蚀性介质的溶蚀。

这类储层较为均质,而且据巴楚露头一间房组礁滩体储层地质建模^[3],台缘礁滩体具有滩相沉积规模大、延伸远、有效储层连片发育的特点,而台内

礁滩体却具有滩相沉积规模小、延伸不远、有效储层零星分布的特点。储层成岩—孔隙演化史见图 3。同生淡水淋溶形成的次生溶孔虽大多被随后的亮晶方解石充填,但残留的孔隙为埋藏成岩介质提供了通道,为埋藏岩溶作用和孔隙的建造奠定了基础。

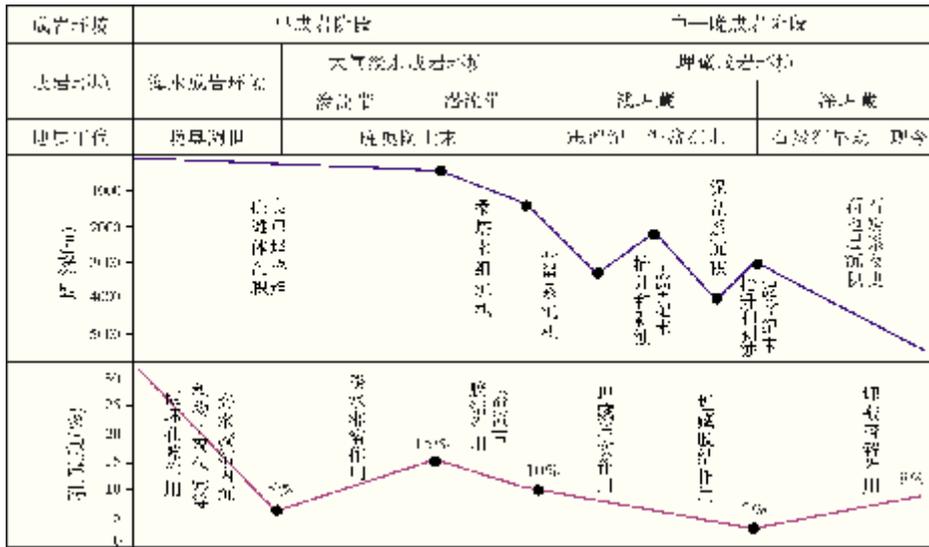


图 3 塔中 62 井泥亮晶棘屑灰岩储层成岩—孔隙演化史

2.2 层间岩溶型储层

塔里木盆地寒武系—奥陶系碳酸盐岩比较落实的层间岩溶作用有四幕,分别为:Ⅰ蓬莱坝组顶,上覆鹰山组;Ⅱ鹰山组顶,上覆一间房组或良里塔格组;Ⅲ一间房组顶,上覆良里塔格组或桑塔木组;Ⅳ良里塔格组顶,上覆桑塔木组。塔中地区以Ⅱ幕最为重要,塔北南缘以Ⅱ、Ⅲ幕最为重要,塔西南地区以Ⅰ、Ⅱ和Ⅳ幕最为重要。现以塔北南缘奥陶系层间岩溶型储层为例阐述其成因和特征。

塔北南缘奥陶系最重要的层间岩溶作用为Ⅱ、Ⅲ幕,其次为Ⅰ、Ⅳ幕,鹰山组下段的顶部还可能发育有新的层间岩溶型储层(图 4)。层间岩溶型储层主体位于三级或二级层序界面之下 0~50 m 深度范围,代表中—短期(数个至十几个百万年)抬升剥蚀和淡水淋溶的产物,剥蚀面相对平整,地形起伏不大。塔北南缘奥陶系层间岩溶作用表现为三种层间岩溶改造形式,并最终形成三种层间岩溶型储层。

三种岩溶改造形式 加里东期层间岩溶作用、加里东期层间岩溶叠加改造同生岩溶、加里东期层

间岩溶为后期岩溶作用叠加改造。后期岩溶作用包括晚加里东—海西期顺层(包括断层)岩溶,也包括埋藏岩溶和热液岩溶,早期同生岩溶、层间岩溶作用形成的高孔渗带为后期岩溶作用的叠加改造提供了流体通道。

三种层间岩溶型储层 一是加里东期层间岩溶叠加改造经同生岩溶作用的礁滩体,往往能形成优质的层间岩溶型储层,如英买 204 井、英古 2 井和艾丁 4 井,洞穴可以形成于多期岩溶作用的叠加改造,储集空间既有基质孔又有大小不等的洞穴,往往高产稳产。二是加里东期层间岩溶被后期岩溶作用叠加改造,洞穴可以形成于多期岩溶作用的叠加改造,如哈 7 井、哈 8 井、哈 9 井一间房组及鹰山组一段,储集空间主要为大小不等的洞穴,往往高产不稳产。三是加里东期层间岩溶型储层,既未改造经同生岩溶作用的礁滩体,又未被晚加里东期—海西期或更晚的岩溶作用叠加改造,如羊屋 2 井、哈得 13 井、哈得 17 井,储集空间主要为大小不等的洞穴,往往高产不稳产。塔北南缘奥陶系三种层间岩溶型储层的平面分布见图 5。

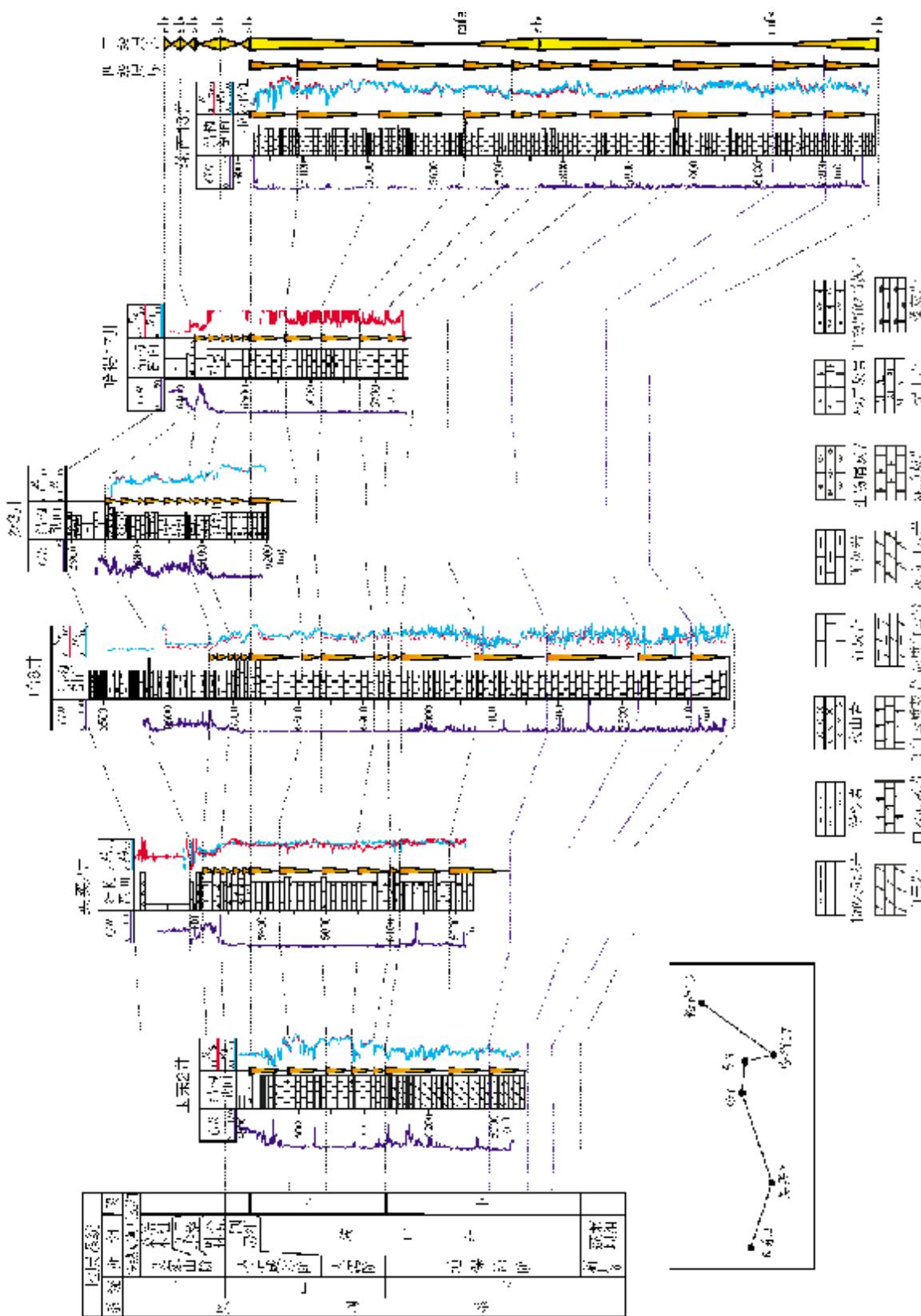


图4 塔北南缘奥陶系层序格架以及与层间岩溶储层发育的关系

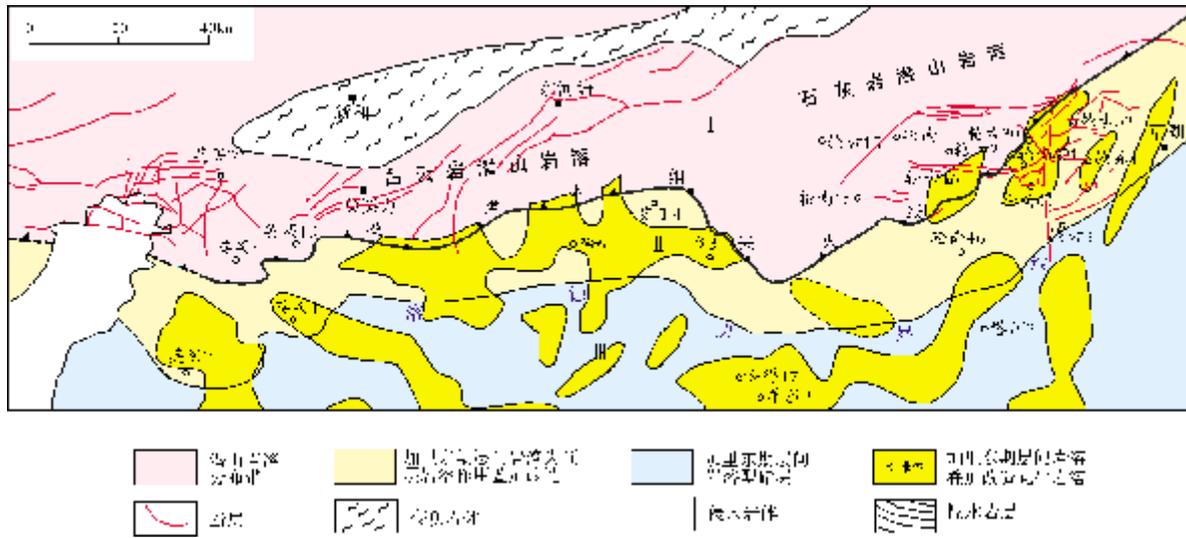


图5 塔北南缘奥陶系三种层间岩溶型储层的平面分布

2.3 潜山岩溶型储层

塔里木盆地潜山岩溶型储层包括石灰岩潜山和白云岩潜山两个亚类(图5)。石灰岩潜山以轮南低凸起为代表,碳酸盐岩地层主体被剥至下奥陶统鹰山组,地形起伏大,与上覆石炭系呈角度不整合接触,代表120 Ma的地层缺失。白云岩潜山以牙哈—英买力地区为代表,碳酸盐岩地层主体被剥至下奥陶统蓬莱坝组或寒武系白云岩地层,地形起伏大,与上覆侏罗系—白垩系呈角度不整合接触,代表近300 Ma的地层缺失^[4]。

潜山岩溶型储层以大小不等的洞穴为特征,主体位于潜山面或角度不整合面之下0~100 m的范围,与断层相关的洞穴深度可以更大些,代表中—长期(数十至数百个百万年)抬升剥蚀和淡水淋溶的产物,剥蚀面起伏不平。

岩心和薄片是识别岩溶洞穴及充填物的最直接证据(图6),洞穴可以被充填、半充填或未充填,洞穴充填物可以是异源的砂泥岩沉积,也可以是原地的垮塌角砾和方解石胶结物。钻具放空、钻速加快及泥浆漏失、岩心收获率低等也是判断岩溶洞穴存在的重要依据。表2为塔北隆起部分钻井潜山岩溶洞穴统计,80%的井在潜山面之下100 m的深度范围内均具岩溶洞穴的发育特征。牙哈—英买力地区白云岩潜山的岩溶洞穴特征同样发育,如英买321井的洞穴充填物、英买4井的钻井放空等。

潜山岩溶型储层储集空间主要有以下几类:①洞穴或半充填的洞穴(非常重要的储集空间);②以洞穴充填物为载体的各种储集空间,如砂岩的粒间孔、砾间孔及溶孔等;③洞穴埋藏后的垮塌(可以使围岩角砾岩化和裂缝发育);④埋藏岩溶和热液岩溶作用形成的各种溶蚀孔洞。

2.4 埋藏岩溶型储层

根据埋藏岩溶作用流体性质的不同,可分为两个亚类,一是原源埋藏岩溶型储层,二是异源埋藏岩溶型储层,它们大多不能成为单一成因的储层类型,而是对原有储层的叠加改造。

2.4.1 原源埋藏岩溶型储层

指埋藏成岩环境下原地成岩介质(包括有机酸、盆地热卤水、硫化氢等具有较强侵蚀性介质)对碳酸盐矿物及岩石的溶蚀和成孔作用所形成的储层(图7)。

碳酸盐岩储层的孔隙主要形成于三个阶段:(A)同生期沉积—成岩环境控制早期孔隙的发育;(B)构造—压力耦合控制多期次喀斯特溶孔与裂缝的发育;(C)流体—岩石相互作用控制深部溶蚀与孔隙的发育。早期发育的孔隙在深埋环境下仍得以保存和改善的关键是埋藏岩溶作用,但早期发育的孔隙为埋藏成岩介质提供了通道。

受有机酸、盆地热卤水、硫化氢等强侵蚀性介质溶蚀形成的溶孔以规模不等的基质孔为主,作用对

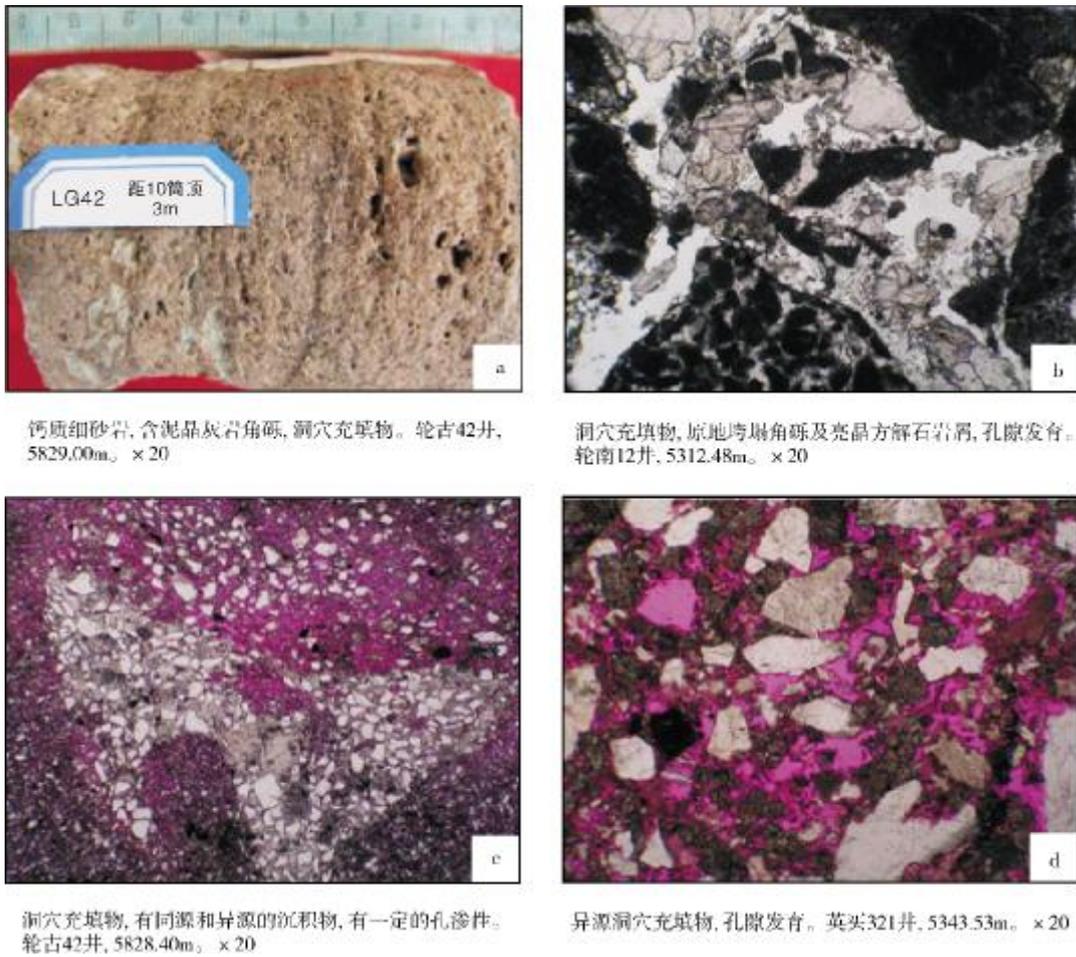


图6 潜山岩溶型储层储集空间特征

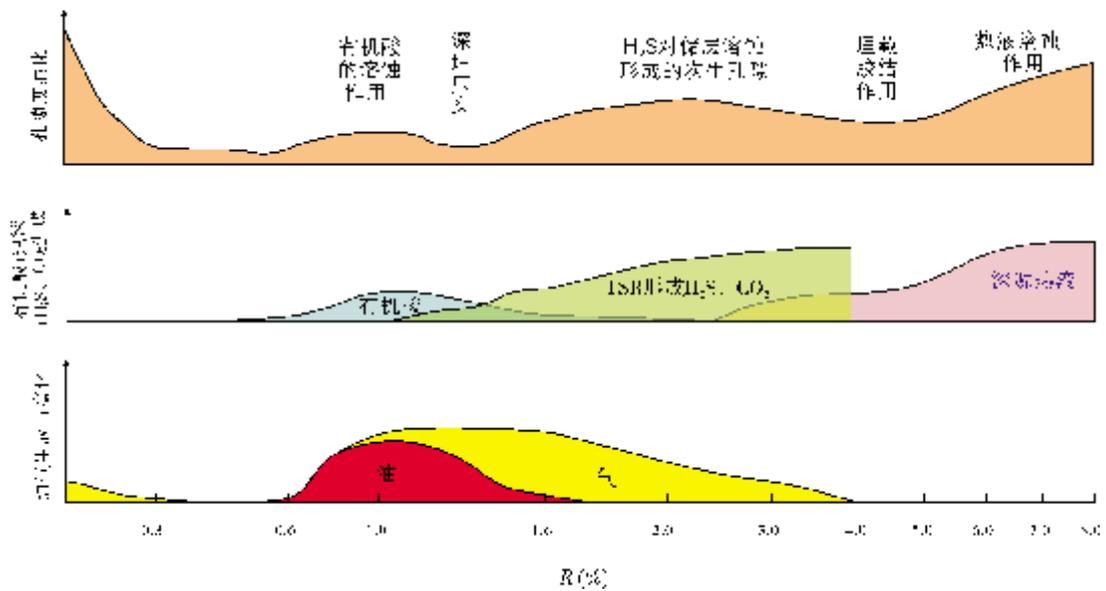


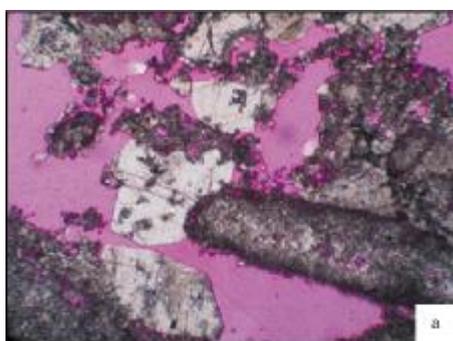
图7 埋藏岩溶作用机理、储层孔隙演化与深埋优质储层保存

表 2 塔北隆起部分钻井潜山岩溶洞穴统计表

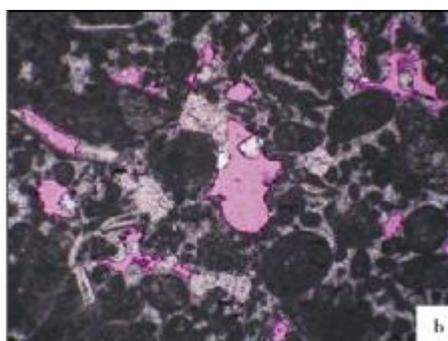
井号	不整合面深度(m)	洞穴显示特征	试油情况	距不整合面深度(m)
轮古 100	5436.50	5506.5~5524.5m, 泥岩、角砾岩等洞穴沉积物, 半充填洞穴, 半径 17m	5431.17~5525m, 日产油 293m ³ , 气 66777m ³	70.00
轮古 102	5499.00	5613.80~5836.00m, 井段放空 5 次, 累计 15.24m	5509~5552m, 日产水 177.9m ³ , 气 4564m ³	114.80
轮古 15	5729.50	5729.50~5750.00m, 放空两段(分别为 0.27m 和 0.89m), 岩心收获率仅为 12.6%	5726.73~5750.00m, 日产油 443.33m ³	20.00
轮古 17	5440.50	5465~5593m, 溶洞中的充填物为泥岩, 洞穴最大直径 31m, 一般为 1~2m	5459.42~5480m, 日产油 412m ³ , 气 94000m ³	25.00
轮古 1	5165.95	5175.75~5317.59m, 夹两层 5m 泥质粉砂岩(洞穴沉积)及井漏	5520~5555m (斜深) 日产油 211 m ³ , 气 319409m ³	9.80
轮古 201	5351.00	5350~5358m, 缝洞发育, 角砾岩充填物	5350~5358m 日产油 128.4m ³ , 气 11323m ³	7.00
轮古 2	5294.13	5395.41~5500.00m (斜深) 井段泥浆漏失量达 1920.20 m ³ , 夹两层泥岩(洞穴沉积)	5345.35~5430.84m(斜深), 日产油 493m ³ , 气 65243 m ³	101.28(斜深)
轮古 42	5661.50	5668.43~5907.00m, 见粉砂岩、泥岩、角砾灰岩等洞穴沉积物, 两次放空, 两个大溶洞达 20m	5668.43~5877.52m, 日产油 97.50m ³	7.43
轮南 8	5179.00	放空两段(5239.40~5240m, 5256.20~5258.70m), 漏失泥浆 247.5 m ³	5179~5266m, 日产油 258.06m ³ , 气 29203m ³	60.40
英买 4	5036.00	5088.0~5233.9m, 放空 4 次, 累计 45.5m	5088.0~5233.9m, 日产水 107m ³	52.00

象以渗透性好的颗粒灰岩及洞穴充填物为主, 与早期溶蚀作用的最大区别是前者为组分选择性溶解, 溶孔大多为淡水方解石充填, 后者为结构选择性溶解, 溶孔为高温埋藏亮晶方解石充填。塔中良里塔格

组颗粒灰岩、塔北南缘一间房组颗粒灰岩中普遍见有因原地成岩介质埋藏溶蚀形成的基质孔(图 8a, 8b), 但还是以叠加改造同生岩溶型储层或洞穴充填物为主。



结构选择性溶解形成的溶孔为高温方解石充填。良里塔格组, 塔中721井, 4952.53m。× 20



结构选择性溶解形成的溶孔。良里塔格组, 塔中83井, 5446.93m。× 20



热液岩溶作用形成的洞穴为热液矿物、高温巨晶方解石及鞍状白云石充填或半充填。鹰山组, 塔中3井, 3717.23m。× 20



斑块状或花朵状白云岩化。白云岩化率达30%, 形成大量的晶间孔和晶间溶孔。青松石料厂露头。× 20

图 8 埋藏岩溶型储层储集空间特征

表3 塔里木盆地岩溶型储层六种孔隙形成机理

孔洞建造作用	作用时间	孔洞特征	识别标志	实例
同生岩溶作用	同生期	基质孔,1~2mm	礁滩相沉积为主,基质孔可被亮晶方解石充填	英买204、英古2和艾丁4井一间房组
层间岩溶作用	加里东期	小—中等洞穴,数厘米~米	洞穴充填物往往为同期的碳酸盐岩风化剥蚀的产物,或围岩垮塌的产物,顺层分布(距层面0~50m深度),与断层相关的洞穴可以更深	哈7井、哈8井、哈9井一间房组及鹰山组一段
顺层岩溶作用	晚加里东—海西期	中—大洞穴,米~数米	洞穴充填物为异源的石炭系或更晚的碎屑岩,或围岩垮塌的产物,顺前期的层间岩溶带或沿断层分布,由浅至深,影响程度减弱	轮东1井良里塔格组洞穴充填物中见泥盆系—石炭系化石 ^[5]
潜山岩溶作用	晚加里东—海西期	中~大洞穴,米~数米	洞穴充填物为异源的石炭系或更晚的碎屑岩,或围岩垮塌的产物,主要位于不整合面之下0~100m的深度范围,与断层相关的洞穴可以更深	轮南12井、18井及轮古17井、35井、42井鹰山组
原源埋藏岩溶作用	后海西期	基质孔,毫米~厘米	往往见于颗粒石灰岩中,结构选择性溶解,充填溶孔的亮晶方解石洁净明亮,自形晶,无溶蚀现象	塔中83井、242井、721井、826井良里塔格组
异源埋藏岩溶作用	后海西期	大小不等的洞穴	主要受断层控制,洞穴往往被热液矿物或高温方解石充填,不垮塌,无垮塌堆积物及异源沉积物	塔中45井、162井、3井鹰山组

表4 塔里木盆地岩溶型储层主控因素和分布规律

储层类型	主控因素及特征		分布规律
同生岩溶型	①台内或台缘礁滩相颗粒灰岩因海平面下降而暴露,接受大气淡水淋溶,形成粒间溶孔、粒内溶孔、铸模孔等基质孔(1~2mm); ②层间岩溶、顺层岩溶和埋藏岩溶作用的叠加改造使储层品质得到改善; ③单层厚度数十厘米~数米,多层叠置分布,相对较为均质		高水位体系域向上变浅,准层序旋回(四级)上部的台缘或台内礁滩体,而且越紧邻三级层序界面的准层序组,岩溶作用越强烈,储层厚度越大。主要见于一间房组及良里塔格组上部台缘礁滩相颗粒灰岩中
风化壳岩溶型	层间岩溶型	①受同生岩溶改造的颗粒灰岩优先接受层间岩溶作用,形成小至中等规模的洞穴; ②加里东期沿断层及层间发生非组构选择性淡水淋溶形成溶洞; ③晚加里东—海西期潜山周缘部位的顺层岩溶改造形成大小不等的溶洞; ④埋藏岩溶可使原有基质孔、洞穴扩大,也可形成新的基质孔和洞穴	主体位于三级或二级层序界面之下0~50m深度范围,共4期; I 蓬莱坝组顶,上覆鹰山组; II 鹰山组顶,上覆一间房组或良里塔格组; III 一间房组顶,上覆良里塔格组或桑塔木组; IV 良里塔格组顶,上覆桑塔木组
	潜山岩溶型	石灰岩潜山 白云岩潜山	①沿不整合面、断层、裂缝及渗透性好的碳酸盐岩发生长期的非组构选择性淡水淋溶,形成未充填/半充填的洞穴; ②洞穴充填和埋藏垮塌过程中形成的各种储集空间; ③埋藏岩溶可使原有基质孔、洞穴扩大,也可形成新的基质孔和洞穴; ④白云岩潜山的围岩可以是各种成因的白云岩储层
埋藏岩溶型	原源埋藏岩溶型	①埋藏成岩环境有有机酸、盆地热卤水、硫化氢具有较强的侵蚀性,可使原有基质孔溶蚀扩大或形成新的基质孔; ②自身难以形成单一成因的规模储层或分布局限,往往叠加改造原有的岩溶型储层; ③基质孔,较为均质,主要作用于颗粒灰岩及洞穴充填物	渗透性好的碳酸盐岩构成埋藏岩溶成岩相的物质基础,尤其是台缘及台内的礁滩体储层及洞穴充填物等
	异源埋藏岩溶型	①深源热液作用导致的斑块状或花朵状白云化形成白云石晶间孔和晶间溶孔; ②深源热液作用可使原有洞穴扩大,也可形成新的洞穴; ③自身难以形成单一成因的规模储层或分布局限,往往叠加改造原有的岩溶型储层	受断层、裂缝、不整合面、渗透性好的碳酸盐岩等热液通道控制,热液活动具有多期次性

2.4.2 异源埋藏岩溶型储层

指热液通过断层、不整合面及渗透性好的岩石等介质通道,从地壳深部的热源区运移到浅部而发生的地质作用所形成的储层(图7)。热液作用的方式有三种:(A)热液溶蚀作用形成大小不等的洞穴,如塔中3井、45井、162井鹰山组(图8c),洞穴往往为热液矿物、高温巨晶方解石及鞍状白云石充填或半充填,主要沿断层和不整合面分布,也可以叠加改造表生期形成的喀斯特溶洞及洞穴充填物;(B)热液作用导致的斑块状或花朵状白云岩化,如露头区鹰山组下段的斑块状白云岩,白云岩化率达30%(图8d),形成大量的晶间孔和晶间溶孔,主要与渗透性好的岩石有关;(C)热液矿物的沉淀和析出部分充填溶孔、裂缝和溶洞。

埋藏岩溶作用是塔里木盆地碳酸盐岩非常重要的建设性成岩作用,但分布局限,难以形成单一成因的埋藏岩溶型储层,往往只表现为对原有储层的叠加改造。塔里木盆地大多数的岩溶型储层和白云岩储层普遍受到埋藏岩溶作用的叠加改造,使得早期形成的储层在深埋环境下仍得以保存和改善。

3 岩溶型储层分布

综上所述,塔里木盆地岩溶型储层主要有六种

溶孔形成方式(表3)。事实上,塔里木盆地地下古生界任何一种岩溶型储层都不是单一成因的,都是各种岩溶作用多期次叠加的结果,尤其是深埋藏阶段的埋藏岩溶作用,如层间岩溶型储层可以是叠加改造同生岩溶型储层的基础上发育的,还可以被顺层岩溶作用、埋藏岩溶作用进一步叠加改造。

塔里木盆地寒武系—奥陶系碳酸盐岩岩溶型储层划分为三种类型及若干亚类,其储层特征、成因机理和主控因素、储层分布规律见表4。

参考文献

- [1] 贾承造,顾家裕,李启明,等.塔里木盆地油气勘探丛书:盆地构造演化与区域构造地质[M].北京:石油工业出版社,1995:74-92.
- [2] 沈安江,王招明,杨海军,等.塔里木盆地塔中地区奥陶系碳酸盐岩储层成因类型、特征及油气勘探潜力[J].海相油气地质,2006,11(4):1-12.
- [3] 沈安江,郑剑锋,顾乔元.巴楚一间房组露头礁滩复合体储层地质建模及对塔中地区礁滩复合体油气勘探的启示[J].地质通报,2008,27(1):137-148.
- [4] 沈安江,王招明,郑兴平,等.塔里木盆地牙哈-英买力地区寒武系—奥陶系碳酸盐岩储层成因类型、特征及油气勘探潜力[J].海相油气地质,2007,12(2):23-32.
- [5] 张宝民,刘静江.中国岩溶储集层分类与特征及相关的理论问题[J].石油勘探与开发,2009,36(1):12-29.

编辑:金顺爱

Types and Characteristics of Lower Palaeozoic Karst Reservoirs in Tarim Basin

Shen Anjiang, Pan Wenqing, Zheng Xinping, Zhang Lijuang, Qiao Zhanfeng, Mo Niya

Abstract: Based on the observations of thin sections and cores from 90 wells, Three types of karst reservoirs can be recognized from Lower Palaeozoic carbonate rocks in Tarim basin. The karst reservoir developed during eogenetic stage resulted from the short-term exposure of Cambrian and Ordovician reef complex to meteoric water, which can be a response to the third-grade or the fourth-grade relative sea level fall. The karst reservoir developed during telogenetic stage can be subdivided into intercalated karst and buried palaeokarst hill. The former resulted from the middle-term exposure of Cambrian and Ordovician carbonate rock to meteoric water, covered by upper carbonate rock with a pseudo-conformity. The later, which can be subdivided into buried limestone and dolostone hills, resulted from the long-term exposure of Cambrian and Ordovician carbonate rock to meteoric water, covered by Carboniferous/Jurassic-Cretaceous clastic rocks with an angle unconformity. Subsurface karst reservoir developed during mesogenetic stage can be subdivided into buried karst and hydrothermal karst. The former resulted from the exposure of Cambrian and Ordovician carbonate rock to burial diagenetic fluid that include organic acid, basinal brine and TSR. The later resulted from the exposure of Cambrian and Ordovician carbonate rock to hydrothermal fluid. It is indicated that most of karst reservoirs were modified by multi-karstification in origin.

Key words: Lower Palaeozoic; Reef complex; Karst reservoir; Type of reservoir; Characteristics of reservoir; Tarim Basin
Shen Anjiang: male, Ph.D. Doctor, Senior Geologist. Add: PetroChina Hangzhou Institute of Geology, 920 Xixi Rd. Hangzhou 310023 China