

碳酸盐岩缝洞系统研究现状与展望^{*}

陈清华^{1,2}, 刘池阳¹, 王书香³, 李 琴², 王绍兰², 肖红平², 张凤歧²

(1. 西北大学地质系, 陕西西安 710069; 2. 石油大学石油资源科学系, 山东东营 257062;

3. 中国石油集团大港油田公司, 天津 300280)

摘要: 碳酸盐岩地层因裂缝和岩溶的发育, 可成为优质储层, 塔河 4 号油田即为典型实例。根据裂缝分布模式、产状、规模、充填、连通、成因等因素, 可将裂缝划分为不同类型。按裂缝切割关系、充填成分、充填期次、测井响应特征与构造应力场的不同可对裂缝进行期次划分。岩性、岩层厚度、断裂作用、构造应力场、局部构造、地层负荷与岩溶作用是控制裂缝发育的主要因素。古岩溶作用主要包括沉积岩溶、风化壳岩溶、缝洞系岩溶等几大类。古岩溶在演化过程中经历了同沉积期、风化壳期、埋藏期、后生变化期等。从形态上可将岩溶分为溶痕、溶穴、溶隙和洞穴, 在垂向上可划分为地表岩溶带、渗流岩溶带和潜流岩溶带。气候、岩性、构造及水文、地貌等因素则控制着古岩溶的发育。缝洞系统的研究应包括 3 个层次, 即通过露头与岩芯来研究缝洞的产状、组系、发育、成因、充填及分布; 通过钻录井、测井、地震、裂缝测井等资料来识别裂缝及分布、发育规律; 通过地震、测井、构造应力场模拟等对缝洞进行预测。今后, 缝洞系统的研究应以完善和提高已有的技术方法、加强新技术方法的应用、寻求更有效的理论与技术方法和各种方法的综合运用为重点和方向。

关键词: 碳酸盐岩; 缝洞系统; 现状; 展望

第一作者简介: 陈清华, 男, 43 岁, 教授, 盆地构造与旋回地层学

中图分类号: P642.25

文献标识码: A

裂缝与古岩溶的研究包括许多方面的内容, 其中, 裂缝的分类、成因期次、发育影响因素及分布规律和古岩溶的作用类型、分期与演化阶段、形态与垂向分带、发育控制因素与分布规律等研究基本代表了这两个领域研究的主要内容。本文分析介绍了上述诸方面关于裂缝与古岩溶研究的主要成果与认识。从成因角度考虑, 裂缝与古岩溶之间差异很大, 但两者又往往可以同时并存于碳酸盐岩地层之中, 使之成为优质油气储层, 塔河 4 号油田奥陶系碳酸盐岩就属于这类缝洞型储层。为进一步深化这类储层的研究, 本文归纳总结了碳酸盐岩缝洞系统研究的现状和发展方向。

1 裂缝

1.1 分类

裂缝分类本身即是从不同侧面总结和概括裂缝的发育特点和分布规律, 这是一个在裂缝研究中经常涉及到的问题^[1~18]。根据不同的分类原则, 裂缝可以分成不同的类型, 现将较有代表性的分类

概括于表 1。

表 1 裂缝类型简表

Table 1 Sketch table of rift types

节理型裂缝		
分布模式	断层型裂缝	穿层裂缝
		顺层裂缝
产状	水平	
	斜交	
	垂直	
规模	微- 小裂缝	
	大- 中裂缝	
充填情况	充填	
	半充填	
	未充填	
连通情况	高导缝	
	高阻缝	
成因类型	天然裂缝	非构造裂缝
		收缩裂缝 缝合线
	构造裂缝	开启裂缝
		闭合裂缝
钻井诱导裂缝		

地层微电阻率(FMI)测井与斯通滤波法识别与评价裂缝是目前覆盖区裂缝研究中较有效的两种方法^[1, 8~10, 17, 19~22]。在 FMI 测井中, 根据成因和表现特征, 可以将裂缝划分为天然裂缝和钻井诱导缝^[2], 而天然裂缝又可以分成构造裂缝、非构造

^{*} 国家重点基础研究发展规划项目(G1998040801)

收稿日期: 2001-08-01

成因的收缩缝和压溶作用形成的缝合线。构造裂缝又可划分为开启裂缝和闭合裂缝。几种倾向不同的开启裂缝交织在一起, 形成网状裂缝, 这种网状裂缝多见于碳酸盐岩较大型溶洞的顶部, 对于溶洞具有明显的指示意义。

储层裂缝以构造裂缝为主, 它们广泛分布在各种岩芯中, 具有方向明显、分布规则的特征。曾联波^[7]将构造裂缝分为两种类型, 节理型裂缝和断层型裂缝。

节理型裂缝是指以与裂缝面垂直的张开位移为主的裂缝, 特点是裂缝两侧无明显的错动现象; 裂缝的分布严格受岩性控制, 裂缝发育在岩层内, 垂直并终止于层面上, 主要为张性裂缝; 在缝面上常见有方解石、白云石及石英等矿物晶体垂直于裂缝壁生长, 但其充填程度极弱, 以局部充填为主; 同一岩层内的节理裂缝还具有较好的等距性; 节理性裂缝的规模较小, 密度较大, 其密度受层厚控制, 岩层厚度越大, 密度相对越小。

断层型裂缝是指以与裂缝面平行的剪切位移为主的裂缝, 裂缝面两侧有明显的错动现象, 具有与断层相似的分布特点。

根据裂缝与层面的关系, 可进一步将断层性裂缝分为穿层裂缝和顺层裂缝两种。穿层裂缝发育

在包括泥岩在内的各种岩性中, 它不受岩性控制, 裂缝常切穿岩层面, 并呈高角度与层面斜交。穿层裂缝的规模相对较大, 以张性裂缝为主, 局部有方解石等矿物充填, 裂缝的储集能力较小, 它们主要是层与层之间流体渗流的通道, 并使非渗透夹层如泥岩等具有较好的垂向渗透性。顺层裂缝主要发育在泥质岩类中, 尤其是在泥质岩的上下层面附近, 其产状与层面产状大致相同。裂缝一般无矿物充填, 缝面上常见有明显的擦痕, 并有镜面特征, 主要为层间滑脱作用形成。

蓝江华^[8]将天然裂缝划分为成岩失水收缩裂隙, 风化溶蚀裂隙和构造裂隙, 其中, 风化溶蚀裂隙主要分布于风化面以下 0~ 15 m 范围内, 缝宽变化大, 充填物类型多, 且在埋藏后易形成充填, 但对表生溶蚀孔、洞的形成贡献较大。

1.2 成因期次

众多研究表明, 裂缝具有多期成因、多期改造、多期充填的特点^[4, 10, 23, 24]。以塔中 1 号断裂带奥陶系灰岩裂缝发育特点为例, 根据岩芯观察所反映的裂缝切割关系、充填成分以及充填序次, 并结合裂缝测井响应特征与构造应力场分析结果, 可以划分为特征不同的 4 个期次(表 2)^[10]。

表 2 塔中 1 号断裂带奥陶系灰岩裂缝分期表

Table 2 Stage division table for Ordovician limestone rifts in No. 1. fracture belt of Tazhong

期次	I 期	II 期	III 期	IV 期
充填物	泥质	方解石、泥质	方解石	方解石
宽度/mm	0.1~ 1	1.50	1.20	0.1~ 10
延伸长/cm	< 10	10~ 100	5~ 50	1~ 20
裂缝形态	不规则, 延伸短	平直, 规模较大	规模较大	细小, 规模小
产状	垂直	垂直	共轭剪切	网状微缝
有效性	多无效	多无效	多有效	多有效
性质	张性	张剪性	剪性	剪性
形成时期	成岩早期	晚加里东 ... 早海西期	晚海西 ... 印支期	燕山 ... 喜山期

不同期的裂缝, 在力学性质、产状、形态、规模及充填情况等方面可以存在着很大的不同。尤其重要的是, 不同期的裂缝的储渗性能可以存在着显著差别, 这是研究裂缝分期的重要意义之所在。

1.3 影响因素与发育规律

裂缝形成与发育的控制因素可以概括为岩性、岩层厚度、断裂作用、构造应力场特征、局部构造、地层负荷变化与岩溶作用等方面^[4, 5, 7, 8, 10, 11, 14, 19, 23~ 26]。

岩性是影响裂缝发育的重要内部因素, 一般来

说, 含长石、石英及白云石等脆性成分高的岩石中裂缝密度大。在碳酸盐岩储层中原生脆性组分主要是白云石, 因此, 随着岩石中白云石含量增加, 裂缝的发育程度明显增强。

岩层厚度对低渗透节理型裂缝的发育同样有着重大影响。统计资料表明, 在一定的层厚范围内, 储层构造裂缝的平均间距与岩层厚度呈正相关, 即随着岩层厚度增加裂缝间距呈线性增大。

对塔河 4 号油田奥陶系碳酸盐裂缝发育程度

的研究表明,裂缝发育程度与其所在岩层的厚度之间存在着明显的负相关关系。

断层的活动可控制其附近应力和裂缝的分布。在较大型断层附近,构造应力具有明显的分带性,从而控制着次级断裂与裂缝发育的分带性。有时,断裂作用对裂缝发育带的分布起着决定性的控制作用,如有些裂缝型碳酸盐油气藏就局限在某些特定的断裂带内部。

可以将现代与古代应力场对裂缝的影响概括为两个方面,其一是构造应力场特征控制着期内所形成裂缝的方位、组合、成因类型及其相对发育强度。其二是构造应力场特征对已形成裂缝储渗有效性的影响。与构造应力场最大主应力方向平行或近于平行的裂缝,其储渗有效性受到的是保护作用(扩张作用),有效性增强,而与之近垂直或高角度相交的裂缝,受到的则是闭合作用,有效性减弱。

塔里木盆地经历了3大构造旋回,每次都经历了从伸展到挤压的演化过程,挤压期区域最大主应力都位于现今的NE-SW至NS方向上,且具有继承性特点。多期伸展作用对塔里木盆地碳酸盐岩的裂缝作用影响较小,而NE向的多期挤压使NW向裂缝闭合,NE向裂缝张开或半张开,使NE向与近NE向的有效缝增多。

对裂缝具有明显影响的局部构造包括褶曲与断裂。构造曲率的变化可以很好地反映褶曲对裂缝发育与分布的控制,基本规律是构造曲率较大与构造曲率变化较大的部位裂缝较发育,这类裂缝主要指张裂缝。

断裂程度较大的地区大-中裂缝较发育,说明断裂发育程度对裂缝的规模具有明显的控制作用。

地层负荷的改变对裂缝也有一定的影响,塔里木盆地经过多期的抬升剥蚀,原有的成岩缝和构造缝通过应力释放,体积膨胀而进一步张开并能产生新的裂缝。地层抬升剥蚀较大的地区裂缝较发育。

在裂缝与溶洞均较发育的碳酸盐岩地区,裂缝与溶洞的形成具有相互促进的作用,裂缝的存在有助于流体在岩层中的渗流,从而有利于溶解作用的发生。而溶洞的发育会降低岩石的强度,从而又有利于裂缝的形成。

2 古岩溶

2.1 作用类型

根据成因机制及特征,古岩溶可以划分为以下

几类^[6, 16, 27]: (1) 沉积岩溶或层间岩溶,指碳酸盐岩等可溶性地层在沉积过程中短暂暴露地表,接受大气淡水渗入淋滤而发育的岩溶。每个岩溶带上界面为岩相或岩性的突变面,系沉积间断暴露面,下界面为岩相或岩性的渐变面;(2) 风化壳岩溶或侵蚀期岩溶因地壳整体抬升,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而发育的岩溶;(3) 缝洞系岩溶和地下水循环岩溶,指地层遭受构造变形而产生裂缝,在地层水的作用下可产生岩溶。这种构造成因的裂缝被溶蚀扩大形成的岩溶称为缝洞系岩溶,是在封闭环境下形成的压释水岩溶。

溶蚀作用可分为5类^[18]: (1) 早期暴露的大气水淋滤作用,主要发育于滩相的颗粒碳酸盐岩中,表现为岩石颗粒溶蚀、早期胶结物的溶蚀,溶蚀作用发育具局限性;(2) 表生阶段的岩溶作用是在长期暴露的地表风化条件下,由大气渗入水,潜水作用下发育的岩溶作用;(3) 压释水溶蚀作用是在埋藏压实过程中,泥岩排出大量孔隙水进入可溶性地层中,对该地层造成溶蚀;(4) 岩浆活动等产生的热液在其作用带可以造成溶蚀现象;(5) 随着有机质热演化的成熟,在成岩晚期出现的有机酸和大量的CO₂气体,对可溶性地层造成多期溶蚀。

埋藏条件下的压释水溶蚀作用与有机酸的溶蚀作用对储层缝洞的改造十分重要,值得予以充分重视。

2.2 分期与演化阶段

李定龙等^[28]认为古岩溶作用可以划分为5个时期。(1) 沉积岩溶作用期(沉积水文地质期)。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,故可发育沉积岩溶或层间岩溶。(2) 风化壳岩溶作用期(淋滤水文地质期)。可溶性地层整体抬升到地表,原同生沉积水被大气降水渗入混合、交替,发展成为岩溶-孔隙型淡水。(3) 埋藏岩溶作用期(埋藏封闭水文地质期)。可溶性地层整体下降接受沉积,进入埋藏封闭作用水文地质期。(4) 半埋藏-构造岩溶作用期(二次淋滤水文地质期)。后期构造运动使地层发生褶皱变形,局部背斜或隆起处剥蚀强烈,但大部分地区仍处于深埋状态。地层水又经历了一个复杂的交替更迭过程,进入了二次淋滤水文地质期。从岩溶作用环境角度看,处于半埋藏半开启,并可以伴有强烈构造-岩浆热液活动,故称为半埋藏-构造岩溶作用

期。(5) 二次埋藏岩溶作用期(二次埋藏封闭水文地质期)。可溶性地层受构造作用上升到地表后, 由于地壳下降再次接受沉积, 进入埋藏封闭环境。

古岩溶作用的发育演化可以划分为5个阶段^[29]:(1) 岩溶形成早期阶段, 碳酸盐岩部分出露地表, 少量大气降水补给海相沉积潜水, 畅通的地下径流以 SO_4^{2-} 为主要化学溶蚀营力, 使碳酸盐岩溶轻微发育。(2) 风化壳初步形成阶段, 碳酸盐岩地层完全隆起, 大量含 CO_2 的大气降水与沉积海水混合形成 $\text{CO}_2 + \text{SO}_4^{2-}$ 化学弥散带, 出现径流畅通的混合溶蚀作用, 进入青年岩溶作用阶段, 初步形成古风化壳岩溶景观。(3) 风化壳岩溶发育成熟阶段, 区域气候变化成为岩溶发育演化最灵敏的因素, 大气降水和地表水渗入岩体完全取代了沉积海水, 混合溶蚀作用逐渐被单一的碳酸溶蚀取代。大气与表层二氧化碳分压控制了岩溶作用向纵深和水平方向发展。完整的岩溶径流系统以其强大的动力机械作用推动岩溶演化。这一阶段, 由于不同的碳酸盐溶解度的差异, 有些矿物相对饱和和发生化学沉淀, 逐渐改变了流体的化学成分。主溶洞系统中的流体携来不同粒级的异地碎屑在洞中沉积。(4) 老年期, 由于饱水溶洞排水, 岩溶水浮力支持作用消失或减弱; 径流的横向侵蚀冲刷作用或者剖面中的膏盐受到溶解的淘蚀作用, 使大型溶洞产生严重塌陷, 形成滑塌角砾岩。它们作为区域性岩溶衰亡的残余行迹, 广泛分布于古风化壳。(5) 后生变化期, 由于地壳再次下降, 地层被埋藏, 风化剥蚀作用终止, 古岩溶洞穴和溶塌角砾岩在半封闭、封闭环境中经受沉积释水改造, 多种矿物从地下水中沉淀出来。与此同时, 由于富有机质的泥页岩的热成熟作用, 大量有机酸进入压释水流, 有机酸、碳酸、硫酸等多元叠加溶蚀作用, 使岩溶作用在新的条件下复苏。在古风化壳岩溶受到改造的同时, 以水平循环为主导的径流溶蚀作用形成大量呈层状分布的针孔状溶洞和热水溶洞, 为水、油、气储存造成大量有效岩溶空间。

根据大地构造与岩溶发育的时序关系, 中国岩溶发育史可以划分为5大岩溶建造期^[30]: 它们是元古代古岩溶期, 早古生代加里东古岩溶期, 晚古生代海西古岩溶期, 中生代印支和燕山古岩溶期, 以及新生代喜山岩溶期。

2.3 形态特征与垂向分带

形态与垂向分带研究是古岩溶研究中倍受重

视的问题^[4, 12, 13, 18, 30~34], 按照形态, 地面岩溶可大致分为溶痕、溶穴、溶隙和洞穴等几类^[36]。溶痕长几十厘米, 宽 0.5~6 cm, 深几厘米。溶穴又称溶洞、孔洞, 由可溶性较强的矿物成分, 如石膏的溶蚀以及角砾坍塌而形成的孔洞, 常密集成蜂窝状。溶隙由水流沿节理裂隙流动, 不断对裂缝周围的可溶岩进行溶蚀和冲蚀而成。洞穴, 即溶洞, 总体特征是个体大小不等, 形态多样, 差异明显, 空间分布变化大。按洞穴形态特征, 洞穴可分为3种。第一种是地下廊道式洞穴, 近水平发育, 长与宽比例相差悬殊, 长可达几十米甚至数百米, 高与宽可达数米。第二种是岩屋式洞穴, 这种洞穴形态简单, 只有一个洞室, 长宽可达数米, 比例相近。第三种是树枝式(或复杂形态)洞穴, 形态复杂。各种大小不同的洞穴和孔道联系起来形成洞穴系统。

塔河油田奥陶系碳酸盐岩古岩溶研究表明, 该区古岩溶发育垂向上可以划分为地表岩溶带、渗流岩溶带和潜流岩溶带^[33]。

地表岩溶带位于地下水渗流带上部, 可细分为顶部风化壳层和壳下强溶蚀孔洞缝段二个亚带。由于风化面附近灰岩受大气淡水中 pH 值的影响, 形成了较硬的硅质碳酸盐岩壳——即顶部风化壳层。风化壳起到顶板作用, 壳下灰岩受到地表水不断向下渗流及浅层径流作用, 形成一系列溶沟、溶缝、溶蚀洼地、落水洞和暗河等溶蚀空间, 常被地表残积物和洞壁塌积物如角砾、硅质、砂泥质等所充填或半充填, 部分未充填者成为良好的储集空间, 在钻井过程中往往发生井漏、井涌、放空等现象。

渗流岩溶带位于地下水渗流带, 地下水沿断层或裂隙向下渗滤, 对碳酸盐岩进行淋滤、溶蚀, 形成一系列垂直或高角度的溶缝或溶洞, 也形成相当多的机械或化学充填、半充填物质。在岩溶高处渗流带发育较多的孔洞缝储集体, 特别是断裂破碎带附近, 渗流带缝洞储集体十分发育。根据溶蚀作用的强度和产物, 可进一步分为弱溶蚀和强溶蚀交互的3个次级岩溶亚带:(1) 上部弱溶蚀岩溶亚带, 孔洞缝不发育, 尤其大缝大洞不发育, 非储层厚度大、所占比例高;(2) 中部强溶蚀岩溶亚带, 孔洞缝相对发育, 可见大缝大洞, 非储层厚度所占比例小;(3) 下部弱溶蚀岩溶亚带, 储层不太发育, 尤其大缝大洞型储层不发育, 非储层厚度所占比例大。

潜流岩溶带在渗流岩溶带之下, 上部淋滤水汇集于潜流带, 形成较强的地下水平径流, 加之水中

碳酸盐不饱和,二氧化碳含量高,地下水酸性强,于是对地层产生强烈的溶蚀作用而形成大规模的水平溶洞,并进一步发育成地下暗河。在岩溶作用的同时,可以伴随沉积充填,垮塌堆积和化学沉积,而那些未充填或半充填的层段可以成为良好的油气聚集空间。在钻井过程中,常发生井漏、放空等现象。

2.4 控制因素与发育规律

古岩溶发育受气候、岩性、构造及水文、地貌等因素综合作用的影响^[4, 11, 13, 18, 25, 33~35],基本控制规律如下:(1)气候对岩溶发育的影响,如中奥陶世后期—中石炭世,中国北方长期均衡上升遭受剥蚀。当时气候暖湿,在长期溶蚀作用下,奥陶系顶部的碳酸盐岩地层中形成了溶洞、溶隙的强烈发育带。(2)岩性对岩溶发育的影响,可溶岩是岩溶发育的基础和内在条件,有关实验表明碳酸盐岩的可溶性为石灰岩>白云质灰岩>灰质白云岩>白云岩。就碳酸盐岩的矿物成分来看,方解石含量的增加,比溶解度和比溶蚀度也同步增加,而随其含量的增加,白云石类矿物的比溶解度和比溶蚀度减少。从岩石结构来看,白云岩类的均质泥(微)晶白云岩溶蚀性大,含有内碎屑的泥(微)晶灰岩次之,而内碎屑白云岩和结晶白云岩较小,结晶灰岩溶蚀性最小。在巨厚层的微晶泥晶灰岩中,溶蚀作用普遍而强烈,因而洞穴出现的机率最大;而在其他种类的碳酸盐岩中,岩溶作用相对较弱,洞穴出现的机率相对较小。碳酸盐岩的种类和洞穴之间的这种关系主要是由于岩石的化学成分、矿物成分、结构、构造不同造成的。此外,单一的(纯)碳酸盐岩段岩溶较发育。(3)构造(断裂)与岩溶发育相互影响,地质构造在岩溶发育的诸多影响因素中占主导地位,地质构造控制岩溶的空间发育和分布规律,表现为构造控制岩溶发育的强度,所处部位和发育方向。岩溶发育的地段往往和一定的地质构造相联系,在断层附近和褶曲轴部,岩溶最为发育,溶隙、溶洞分布相对密集。尤其是大型断裂附近,由于较强的挤压破碎作用,有利于岩溶发育,分布有大量的溶洞、溶隙,局部溶洞成群。在断层附近和褶曲轴部,溶洞、溶隙分布较多,岩溶较为发育,而这些部位正是构造裂隙最为发育的地段。由于增加了水与碳酸盐岩的接触,有利于溶蚀作用的进行和古岩溶的发育。

3 研究现状与展望

对碳酸盐岩缝洞系统的研究内容概括起来包括4个方面:一是缝洞类型、特征与成因研究,二是缝洞发育分布规律研究,三是缝洞型储层物性关系研究,四是碳酸盐岩储层建模。客观真实的开发地质模型的建立可以使人们深入认识油气富集规律,提高开发水平,实现最佳效益。从研究的方法与技术上考虑,对缝洞系统的研究可以包括以下几个层次:一是缝洞特征的观察与描述,主要是通过露头区与岩芯观察,研究缝洞的产状、组系特征、发育程度、成因表征、充填状况与发育规律等。二是缝洞识别,利用钻、录井资料、常规测井资料、常规地震资料以及裂缝测井资料(如FMI测井、XMAC多极子阵列声波测井)资料去识别裂缝。这些方法的共同特点是利用缝洞的响应特征去识别(判)别缝洞的分布与发育特征。三是缝洞系统预测,利用地震、测井、构造应力场模拟^[36]等方法均可以进行缝洞预测,这些方法与技术需要对已有资料进行进一步的处理,从而达到对缝洞发育分布特征进行预测的目的。值得指出,岩溶角砾岩与岩溶洞穴堆积物的研究对于古岩溶识别具有重要的作用^[37, 38]。

地震预测缝洞的方法技术包括三维地震数据相干体技术,三维纵波和横波AVO技术、横波分裂技术、地震属性提取、分形分析技术^[39],测井预测缝洞的方法技术包括人工神经网络法、斯通利波法、裂缝指示曲线法等,地震测井联合缝洞预测技术包括合成声波测井、地震-测井联合反演技术等,其他方法技术包括构造应力场模拟、声发射试验等。

对于覆盖区碳酸盐岩缝洞研究而言,上述各种方法与技术均可以从不同方面反映缝洞系统的发育分布特征。但是,上述各种方法技术又具有很大的局限性,受3个方面因素的制约:(1)缝洞系统的发育分布规律非常复杂;(2)露头、岩芯、钻录井资料与测井资料,对于覆盖区碳酸盐岩缝洞发育分布规律研究而言,属于间接而又十分有限的资料;(3)对于覆盖区碳酸盐岩而言,缝洞发育与分布的地质尺度非常小,地震、构造应力场模拟方法均无法实现对它们的准确预测。因此,碳酸盐岩缝洞系统研究目前仍是国际性攻关的重大难题。

当前,含油气盆地碳酸盐岩缝洞系统研究现状与发展趋势可以概括为:(1)积极完善提高已有方

法技术的有效性; (2) 加强新方法新技术之间的综合应用; (3) 努力寻求更为行之有效的新理论、新技术和新方法; (4) 加强各种方法技术所能取得资料与成果的综合分析和利用, 以求达到深入认识缝洞发育分布规律的目的。

在加强各种方法技术所能取得资料与成果的综合分析和利用方面, 目前所做工作并不深入。这方面工作极为重要, 因为各种方法技术均是从不同方面揭示缝洞发育分布规律, 把各种方法技术所取得的成果与认识有效的进行分析和综合, 才有可能达到深入认识缝洞发育分布规律的目的。

参 考 文 献

- 1 陈钢花, 吴文圣, 王中文, 等. 利用地层微电阻率成像测井识别裂缝[J]. 测井技术, 1999, 23(4): 279~ 281, 298
- 2 魏成章, 李忠春, 吴昌吉. 柴达木盆地南翼山凝析气藏裂缝性储层特征[J]. 天然气工业, 1999, 19(4): 5~ 7
- 3 周文, 刘家铎, 胡文艳, 等. 埕岛中东部潜山带古生界和太古界储层裂缝分布评价[J]. 矿物岩石, 2000, 20(1): 52~ 56
- 4 周永昌, 王新维, 杨国龙. 塔里木盆地阿克库勒地区奥陶系碳酸盐岩成藏条件及勘探前景[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(2): 104~ 109
- 5 王秀娟, 孙贻铃, 迟博, 等. 松辽盆地三肇地区油田储层裂缝及地应力特征[J]. 高校地质学报, 1999, 5(3): 328~ 333
- 6 康沛泉. 赤水地区阳新统古岩溶 [J]. 贵州地质, 2000, 17(2): 92~ 98
- 7 曾联波. 雷家油田下第三系低渗透储层裂缝特征[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 167~ 169
- 8 关睢, 李军, 郭季丽. 塔中地区碳酸盐岩储集层测井评价[J]. 石油勘探与开发, 1998, 25(4): 84~ 86
- 9 夏义平, 柴桂林, 汪昌贵, 等. 塔里木盆地轮南地区下奥陶统碳酸盐岩储层的控制因素分析[J]. 现代地质, 2000, 14(2): 185~ 189
- 10 郭光辉, 李建平, 卢玉红. 塔中 I 号断裂带奥陶系灰岩裂缝特征探讨[J]. 石油学报, 1999, 20(4): 19~ 23
- 11 李昌金. 赤水地区碳酸盐缝洞型气藏地质模型讨论[J]. 贵州地质, 2000, 17(2): 71~ 78
- 12 马振芳, 于忠平, 周树勋, 等. 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~ 34
- 13 梁百和, 王英华, 朱素琳. 中扬子区晚石炭世碳酸盐岩的古岩溶成岩相[J]. 中山大学学报(自然科学版), 1998, 37(2): 191~ 196
- 14 王永刚, 李振春, 邵雨. 利用地震资料预测储层裂缝发育带[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2000, 24(4): 79~ 82
- 15 景永奇, 秦瑞宝. 利用裂缝指示曲线判别花岗岩山潜山纵向裂缝发育带[J]. 测井技术, 1999, 23(1): 38~ 42
- 16 李定龙, 杨为民, 汪才会, 等. 皖北奥陶系古岩溶分期、分类及岩溶岩特征[J]. 淮南工业学院学报, 1999, 19(1): 5~ 11
- 17 杨唐斌. 用斯通利波评价裂缝的有效性[J]. 测井技术, 1998, 22(2): 132~ 136
- 18 蓝江华. 四川盆地大池干井构造带石炭系古岩溶储层成因模式[J]. 成都理工学院学报, 1999, 26(1): 23~ 27
- 19 欧阳健. 测井地应力分析 [J]. 新疆石油地质, 1999, 20(3): 213~ 217
- 20 卢颖忠, 黄智辉, 管志宁, 等. 储裂缝特征测井解释方法综述[J]. 地质科技情报, 1998, 17(1): 85~ 90
- 21 余春昊, 李长文. 利用斯通利波信息进行裂缝评价[J]. 测井技术, 1998, 22(3): 273~ 277
- 22 田金文, 高谦, 杜拥军, 等. 基于井壁成像测井图像的溶洞自动检测方法[J]. 江汉石油学院学报, 1999, 21(2): 20~ 22, 30
- 23 李国蓉. 从成岩角度看鄂尔多斯马家沟组碳酸盐岩中的裂缝及其储集意义[J]. 岩相古地理, 1997, 17(3): 46~ 53
- 24 郑荣才. 储层裂缝研究的新方法——声发射实验[J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(3): 186~ 189
- 25 李明, 李宁林, 赵一民. 塔里木盆地某区碳酸盐岩裂缝储层预测研究[J]. 石油物探, 2000, 39(2): 24~ 35
- 26 张小平. 用三维地震信息研究碳酸盐岩裂缝型油气藏[J]. 天然气工业, 1997, 17(5): 16~ 19
- 27 万新南, 石豫川, 郑聪斌, 等. 陕甘宁盆地中部深埋藏古岩溶自封闭体系与气、水分布特征[J]. 成都理工学院学报, 1997, 24(增刊): 136~ 141
- 28 李定龙. 古岩溶和古岩溶地球化学概念与研究展望[J]. 高校地质学报, 1999, 5(2): 232~ 240
- 29 黄尚瑜, 宋焕荣. 川东石炭系岩演形成溶化环境[J]. 成都理工学院学报, 1997, 24(增刊): 127~ 135
- 30 张美良, 林玉石, 邓自强. 岩溶沉积——堆积建造类型及其特征[J]. 中国岩溶, 1998, 17(2): 168~ 178
- 31 张抗. 塔河油田的发现及其地质意义[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 120~ 124
- 32 李德文, 崔之久, 刘耕年. 湘桂黔滇藏一线覆盖型岩溶地貌特征与岩溶(双层)夷平面[J]. 山地学报, 2000, 18(4): 289~ 295
- 33 周路, 白玉雷, 李洪辉. 应用地震低速异常带特征研究轮南地区奥陶系古岩溶[J]. 石油勘探与开发, 1998, 25(1): 29~ 31
- 34 王强, 牟慧蓉, 刘太福. 北京西山奥陶系岩溶发育特征及其成因初探[J]. 北京地质, 1998, 3: 1~ 9
- 35 王运生, 金以钟. 四川盆地下二叠统白云岩及古岩溶的形成与峨眉地裂运动的关系[J]. 成都理工学院学报, 1997, 24(1): 8~ 16
- 36 宋惠珍. 脆性岩储层裂缝定量预测的尝试[J]. 地质力学学报, 1999, 5(1): 76~ 84
- 37 陆正元. 四川盆地下二叠统高自然伽马溶洞储层[J]. 石油学报, 1999, 20(5): 24~ 26
- 38 尹志军, 黄述旺, 陈崇河. 用三维地震资料预测裂缝[J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(1): 78~ 80
- 39 王增银, 沈继方, 万军伟. 清江高坝坎地区古岩溶角砾岩特征及形成条件[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1998, 23(5): 524~ 528

STUDY ON CARBONATE FRACTURE- CAVITY SYSTEM ——STATUS AND PROSPECTS

Chen Qinghua^{1,2} Liu Chiyang¹ Wang Shuxiang³ Li Qin Wang Shaolan² Xiao Hongping² Zhang Fengqi²

(1. Department of Geology, Northwest university, Xi, an; 2. Department of Petroleum Resource Science, Petroleum University, Dongying, Shandong; 3. Dagang Oil field (group) Company, CNPC, Tianjin)

Abstract: With well development of rift and karst, carbonate rock stratum might be a high quality of reservoir, Tahe No. 4 oilfield is a typical example. The rift can be divided into various types on the basis of factors of its distribution pattern, occurrence, size, filling, connection and origin. stages division of the rift can be done according to various intersect relations of the rift, various filling compositions, filling stages, logging corresponding characteristics and different structural stress fields. Lithology, rock stratum thickness, fracture process, structural stress field, local structure, stratum load and karst process are all main controlling factors for the development of the rift. Palaeokarst process mainly consists of several types of sediment karst, weathered crust karst and karst of rift- cavity system etc. Paleokarst had experienced periods of syndeposition, crust of weathering, burial and epigenetic variation in the course of evolution. Paleokarst might be classified, paternally as karst trace, karst cave, karst pore and cave, vertically as surface karst belt, seepage flow karst belt and underflow karst belt. The development of paleokarst is controlled by several factors of climate, lithology, structure, hydrology and landform. The study of karst of rift- cavity system shall be divided into 3 stages: study karst of rift- cavity' occurrence, organizational system, development, origin, filling and distribution by observing outcrops and rock cores. Distinguish regularity of rifts and their distribution and development by studying and interpreting data collected from well drilling, logging, seism and rifts logging etc. predicate karst of rift- cavity by seism, logging and simulation of structural stress fields. The study of karst of rift- cavity system shall be based on improving and perfecting available technical methods, enforcing application of new technical methods, stressing the importance and orientation of comprehensive application of various methods by seeking more effective theories and technical methods.

Key words: carbonate rock; rift- cavity system; status; prospect

(上接 185 页)

well as longitudinal and transverse tensional rifts due to accumulation of stress. The rifts of this period are filled with calcites. During Late Hercynian, early rifts were enlarged by the tectonic movements and new shear rifts were produced. In the late period of Late Hercynian, the tectonic movements were relatively static, rifts were filled with semitransparent calcites. Unfilled vertical structural shear rifts with good orientation of non- big scale were formed by the influence of the tectonic movements again during Himalayan period which played very important role in hydrocarbon accumulation.

Key words: 1# fracture zone; Tazhong; rift; type; period; pattern