

文章编号:1000-0550(2008)01-0111-09

试论岩石构造相及其在储层研究中的意义

黄世伟^{1,2} 张 顺¹ 陈 艳³ 张廷山¹ 谢刚平⁴

(1. 中国石油大庆油田有限责任公司勘探开发研究院 黑龙江大庆 163712; 2. 西南石油大学资源与环境学院 成都 610500;

3. 中国石油大庆油田有限责任公司第六采油厂 黑龙江大庆 163453; 4. 中国石油化工股份有限公司南方勘探开发分公司 昆明 650021)

摘 要 近年来取得的油气勘探突破多与古构造活动区密切相关,如渤海湾盆地大港油田千米桥潜山凝析气藏、鄂尔多斯盆地靖边气田、塔里木盆地和田河气田及塔河油田的发现等。多年来的勘探实践证明,适时的古构造隆起对油气运移、聚集和成藏起着十分关键的作用。研究认为构造活动还直接控制着古风化壳岩溶裂缝—洞穴型、裂缝型等多种类型储层或储集体的发育。提出了岩石构造相的概念及分类体系;指出岩石构造相是岩石固结成岩后在不同时期所受构造作用的物质体现,可以按照岩石地层单元、构造运动期次及构造运动方式对其进行分类。分别以冀中坳陷丘雾迷山组古潜山油藏及四川盆地赤水地区须家河组气藏为例,分析了抬升岩溶构造相及节理构造相储层的特征;认为前者多见于碳酸盐岩,各种溶蚀孔、洞、缝为储集空间,而后者见于不同岩类,构造裂缝及其伴生孔隙为储集空间,它们的物性特征都比较复杂。建议加强储层岩石构造相的研究,开展相关识别技术的开发。

关键词 岩石构造相 构造运动 抬升 岩溶 节理 储层

第一作者简介 黄世伟 男 1979年出生 博士 工程师 石油地质及沉积学 E-mail: huangshiwei@petrochina.com.cn

中图分类号 P542 **TE122.2** **文献标识码** A

油气勘探成果证明,世界许多含油气盆地均发育有与古构造活动相关的碳酸盐岩古风化壳含油气层(体);据统计,世界油气的20%~30%与构造不整合面有关^[1]。近年来的很多油气勘探突破及相关报道多与古构造活动密切相关,如四川盆地加里东古隆起震旦系气藏^[2]、鄂尔多斯盆地靖边气田的发现^[3]、塔里木盆地和田河气田的勘探及塔河油田的发现等^[4,5]。

古构造,尤其是古隆起的发育无疑对油气运移及成藏的全过程起着至关重要的作用;另外,构造活动还直接控制着多种类型储层或储集体的发育。为了引起学术界对构造活动对储层发育的控制作用的重视,本文拟提出岩石构造相的概念,并对有利于储层发育的岩石构造相进行例析,以期抛砖引玉。

0 引言

“相”的概念在地质上首先应用于沉积学,即用沉积相或岩相来表示岩层形成时的沉积环境。构造相(Tectonic facies)一词最早由国外学者于20世纪20年代提出,国内学者多把它译作“大地构造相”和“构造岩相”。由于研究领域和侧重点,不同学者赋

予了它不同的意义^[6-15]。

“大地构造相”是大地构造学家提出的概念,是区域构造研究的重点内容之一,相关研究可以追述到19世纪晚期 Suess (1875)对造山带的分类探讨。“大地构造相”(Tectonic facies)一词1924年由德国大地构造学家 Stille 在对比较构造学的基本问题的论述中首先提出,以后一些地质学家(如 Sehaer 和 Rogers, 1987; Hsu K J, 1991)又重新提出并赋予新的概念。它的提出曾在国际上引起对全球造山带前缘学科的热议讨论,促进了对大陆造山带深入研究与发展。许靖华^[6]提出,山链的基本要素(大地构造相)可用比较解剖构造学方法恢复和重建,认为造山带可解析为按照基本构造样式建造的一套“生物结构”。其后,Robertson^[7]将大地构造相定义为可用于对造山带构造环境进行系统性识别的岩性和构造特征的综合;在广义上类似于沉积相,并能与构造沉积体系域概念结合使用。近年来,国内学者李继亮^[8]、凌贤长^[9]、陈正乐等^[10]、高坪仙^[11]、肖文交等^[12]、王清晨等^[13]、龚全胜等^[14]、张克信等^[15]都著作介绍了各自在大地构造相方面的研究。

“构造岩相”更多的为岩石学家、沉积学家所使

①四川省重点学科建设基金资助项目(编号:SZD0414)。

收稿日期:2007-02-14;收修改稿日期:2007-05-15

用,是从事矿产地质勘探的学者所关心的内容之一;主要有两种含义,一个指构造运动在岩石形成、形变中的痕迹或物质体现,一个指反映现存或地质历史时期地质构造与岩相或岩相古地理的相关联的复合概念。

桑德(Sander, 1921)最早提出构造岩相(Tectonic facies)一词,意指由构造运动所造成的岩石特征,并以糜棱岩、千枚岩为例,分别代表一种构造岩相^[16]。斯劳士(Sloss, 1949)从沉积物岩性特征可反映沉积时构造环境的概念出发提出了构造相(Tectofacies)的概念。20世纪70年代初期,韩森(E. Hansion)提出应变相(Strain facies)的概念,并以小型褶皱样式做为划分应变相的主要依据;陈国达^[17]提出构造型相的概念,用以反映构造反差强弱不同的构造样式;傅昭仁^[18]提出过构造群落的概念,这几个名词所反映的概念类似。丘元禧^[16]等将构造相定义为在构造动力作用下岩石在形成过程中或成岩后结构调整和组份调整的各种形迹和踪迹的总和,它是构造环境和构造作用的物质体现;并提出有关构造相、构造相系和构造相序列的三位一体的系统概念。刘志刚等(1994)以信阳地区为例对大别山北麓主要构造岩相带进行了分析。邓军等^[19]以胶东金矿集中区为例探讨了构造演化与成矿系统动力学,指出金的成矿作用发生于剪压变形构造岩相向剪张变形构造岩相转换的时空界面。李先福等^[20]对湖南连云山剪切重熔型花岗岩进行了野外构造岩相分带研究。他们都是把构造岩相作为构造运动在岩石中的痕迹来对待的。

1983年以来,信荃麟等人倡导提出了含油气盆地构造岩相分析法,即把地层分析、构造体系分析和沉积体系分析有机地结合起来,以构造岩相分析为核心,揭示断陷湖盆中构造活动与沉积体系的内在联系,探讨盆地构造岩相带的分布规律及其与油气关系,建立含油气盆地构造岩相模式^[21]。后来,信荃麟等(1988)报道了惠民凹陷西部古近系构造岩相带与油气聚集研究,在阐述地层特征、构造体系类型与展布、火山岩岩相及沉积体系分布和演化基础上,总结出五种构造岩相带,并指出构造岩相带是油气聚集的基本单元。朱筱敏等^[21]介绍了含油气盆地构造岩相分析的内容和方法。云金表等(1994)对东北地区中生代断陷盆地群构造演化与成油关系进行了探讨。金强等剖析了金湖凹陷箕状湖盆缓坡未熟油断块油藏的形成,建立了缓坡断阶滩坝构造岩相带模式。杨日红(2000)探讨了西藏羌塘盆地中生代构造岩相演

化及油气远景。崔周旗等(2001)论述了二连盆地巴音都兰凹陷下白垩统地层的构造岩相带特征及含油性。万方^[22]等川滇黔桂地区志留纪构造—岩相古地理,把滇东南—黔南地区与滇东北—黔北—川南地区分隔为南、北两个不同的构造沉积域。同年,王志刚探讨了东营凹陷北部陡坡构造岩相带油气成藏模式。王凤俊^[23]对塔里木盆地车尔臣断裂带构造—岩相特征及形成机理进行了探讨。以上学者都是把构造岩相作为地质构造与岩相或岩相古地理的复合概念来使用的。

1 岩石构造相的概念

1.1 岩石构造相的基本概念

在此我们提出岩石构造相这个概念,它有别于大地构造相和构造岩相,暂将它定义为首次固结成岩后的一套岩石或岩层(一定的岩石地层单元)在某一构造运动时期直至另一次构造运动发生之前,由构造动力作用所诱发的结构调整和组成变化等各种形迹的综合,如岩石中出现的跟构造活动相关的的揉皱变形、破裂、风化—剥蚀面、古岩溶面、古土壤层、水下沉积间断面等。简言之,岩石构造相就是岩石固结成岩后在不同时期所受构造作用的物质体现。

这里我们强调了两点:第一,是强调岩石构造相的分期性,即按照构造运动的期次来确认和划分岩石构造相,如对某套岩层或地层在海西期、印支期、燕山期等各构造运动阶段的构造作用所造成的形迹分别进行划分和命名;第二,是强调了构造相对岩石的改造或再造,即须是岩石在首次固结成岩之后构造作用在其中留下的形迹,岩石在形成过程中所受构造作用的形迹应归入沉积相、火山相、变质相、成岩相等的研究范畴。

1.2 岩石构造相与相近概念的区别

岩石构造相与大地构造相的区别在于前者是构造运动在先期形成的岩石或一套岩层中留下的痕迹或形迹特征,而后者是指构造运动(尤其是板块活动)在某一大地构造单元(如沉积盆地)内沉积盖层内所造成的变化特征。应该说岩石构造相是构造活动小规模的特征表露,而大地构造相是构造运动大尺度上的作用体现。岩石构造相与构造岩相的不同之处在于后者没有区分构造作用的对象是否已经固结成岩,亦非限定于岩石地层单元内讨论构造作用的形迹。

除了大地构造相、构造岩相之外,“形变相”^[18]、“构造群落”^[18]、“构造地层单位”^[24,25]等概念亦与岩

石构造相具有一定相似性,它们与岩石构造相的区别 见表1。

表1 岩石构造相与相似概念的异同点对比
Table 1 Similarities and differences between petrotectonic facies and similar concepts

术语	形变相	构造群落	构造地层单位	岩石构造相
英文名称	Deformation Facies	Tectonic Community	Tectono-stratigraphic Units	Petrotectonic Facies
定义	特定变形环境中岩层或岩体对变形性质、变形强度的天然反映和物质表现。	同一形变相条件下产生的那些具有成生联系、并组合成一个统一整体的各种构造形迹的总合。	由构造界面为边界所围限的,由相似变形样式、相等变质级别、相同特征岩性层或岩石所组成,并具一定延伸规模的“岩石体”。	首次固结成岩后的一套岩石或岩层在某一构造运动时期及其后直至另一次构造运动发生之前,由构造动力作用所诱发的结构调整和组成变化等各种形迹的综合。
研究对象	非史密斯地层,主要是发育在沉积盆地内或造山带的各种变质岩			可是各种岩(地)层
研究内容和任务	形变相:1)分析天然构造形迹,以不同应变表现来反映其生成的构造—热环境,恢复其生成和演化进程中的力学、物理化学条件,让不同类构造群在各自的生成空层次就位;2)从构造生态的角度阐明某地区各世代构造之间的叠加关系和演化过程,以建立构造序列和古构造型式的,即构造群落的研究内容。		划分构造群落,主要是通过各种构造样式的表象去鉴别它们各自的变形行为,是形变相分析的中心。划分变质岩区类型,确定变质构造型式,重建可能的地层序列,阐明重要地质事件演化,重塑沉积盆地(或造山带)形成和构造演化历史。	不同岩石地层单元的构造运动(期次、形式、性质等)分析、不同期次构造运动的作用内容、形式及性质及对岩石地层单元的影响分析。
研究方法或手段	以不同尺度的野外露头观测、描述及研究为主,薄片研究为辅。			以露头、岩心及薄片观测、描述及研究为主,地震、测井分析为辅。
研究意义	根据各种天然构造样式的分析来恢复古构造变形环境	系构造生态的物质基础和恢复构造变形层次的天然依据。	用于变质岩区和年轻造山带的地层划分、对比和层序研究	通过岩石构造相研究,辅助岩石生烃条件、成矿条件分析及油气储层评价等。
主要服务于变质岩区的区域地质填图及找矿工作。				

2 岩石构造相的分类

根据岩石构造相的概念,其分类可以从三个方面来进行:1)从不同地层着手,以岩石地层单位划分的地层单元作为分类依据;2)以不同地质时期或构造运动阶段来进行分类;3)以地壳的受力情况或运动方式为分类指标。地层中反映构造调整作用的形迹、踪迹特征就成为主要的相标志,如地层中的小褶皱—揉皱、小断层、节理等。把以上三个方面的岩石构造相分类指标综合应用便成为一个分类系统,具体参见

表2。

根据地层和某一岩层的抬升—剥蚀程度,抬升构造相可以进一步划分为抬升缺失相、抬升残留相及抬升埋藏相,地层被全部剥蚀为抬升缺失相,部分剥蚀则为抬升残留相,地层未被抬升地表即抬升埋藏相;由于地层岩性的差异,又可将抬升残留相分为碎屑岩发育区的抬升风化填积相与碳酸盐岩发育区的抬升岩溶相。沉降构造相可分为持续稳定沉降相、快速沉降相,前者主要受地壳载荷引起的挠曲控制,后者则与地幔或软流圈物质的热力作用有关。

表2 岩石构造相分类体系摘要一览
Table 2 The framework of classification system for petrotectonic facies

分类指标	岩石地层单元	构造运动阶段或构造运动事件	构造运动性质或地壳运动形式
类型划分举例	如雾迷山组构造相、沙河街组构造相、克拉玛依组构造相、嘉陵江组构造相、须家河组构造相等	如加里东期构造相、海西期构造相、印支期构造相、燕山期构造相、喜马拉雅期构造相、东吴运动构造相、广西运动构造相等	如抬升构造相、沉降构造相、推覆构造相、褶皱构造相、断层构造相、节理构造相等

按照与大型构造的伴生关系,可以把节理构造相划分为褶皱型节理相及断层型节理相;根据力学性质的不同,可以把节理构造相划分为张性节理相和剪性节理相,张性节理相的特征为节理面不平、短而弯且多呈雁行状排列,剪性节理相多表现为X型成对出现的长而直的节理。

具体研究工作中,根据各自的侧重不同,可以进行分类指标的遴选。如研究某地层单元的岩石构造相,就可以构造运动阶段与构造运动性质为分类指标;研究某构造运动时期的岩石构造相,便可以岩石地层单元与构造运动性质为分类指标,以此类推。

3 储层的有利岩石构造相例析

地层在地质时期有着不同的岩石构造相,以四川盆地上震旦统灯影组为例,它在加里东期—印支期主要受地壳垂直运动的作用,在燕山期则以垂直运动为主而伴有水平运动,而在喜马拉雅期则主要受水平运动的影响。构造相不同对地层的石油地质意义也不同:稳定沉降构造相有利于烃源岩中有机质向油气的转化,同时对早期形成油气藏的保存有利;抬升构造相则一方面对岩溶作用成因的碳酸盐岩储层起着控制作用,另一方面大幅度的构造抬升—剥蚀作用可能破坏早期形成的油气藏;各种节理构造相无疑有利于裂缝型储层的发育。

本文拟就有利于储集岩储集—渗流体系发育的抬升岩溶构造相和拉张节理构造相进行实例分析。

3.1 抬升岩溶构造相

此类岩石构造相在碳酸盐岩分布区带往往是有利储层发育的一个有力指标。受其影响的储层物性特征一般都比较复杂,岩溶孔、洞、缝发育好的储层或储集体往往表现为高孔、高渗特征,地表渗流—潜流带成因的溶蚀缝洞为主要的油气储集空间,而各类裂缝则提供了油气渗流的便捷通道;而岩溶作用欠发育的部位、层位则多表现为低孔、低渗特征。这类储层在勘探的过程中识别起来具有较大的困难,因为其储集空间大小悬殊、形态各异、变化万千;岩心难以代表全局,测井也受条件限制;该类型储集体物性的确定,须通过大直径岩心实测、钻井放空漏失统计、测井、试井、开发动态、类似地区的地面模拟调查等多种手段,用各种不同岩性的孔隙度、渗透率、采油指数、断点率、溶洞率等多种参数综合确定的。该类型产层在开发早期一般都具高产—超高产的特点,随后产能一般都下降较快,产能递减的速度受岩溶规模的影响。

我国渤海湾盆地冀中坳陷的任丘古潜山油田是该类构造相控制储层/油气藏发育的十分典型的例子。任丘油田发现于1975年,是我国最大的海相碳酸盐岩潜山高产油田,截至1996年探明储量 4×10^8 t;为一古潜山复式油气聚集带,由蓟县系雾迷山组、奥陶系马家沟组和亮甲山组、寒武系府君山组三个古潜山油藏以及古潜山上覆的古近系沙河街组油藏构成。古潜山油藏为缝洞孔十分发育的碳酸盐岩储集体,油源为上覆的古近系沙河街组,具独特的“新生古储”的油藏地质特征^[26-29]。雾迷山组风化壳厚度,一般20~30 m,大者>70 m;风化壳上部岩石破碎,裂缝密集,溶蚀孔洞发育,物性好,是很好的储集层。

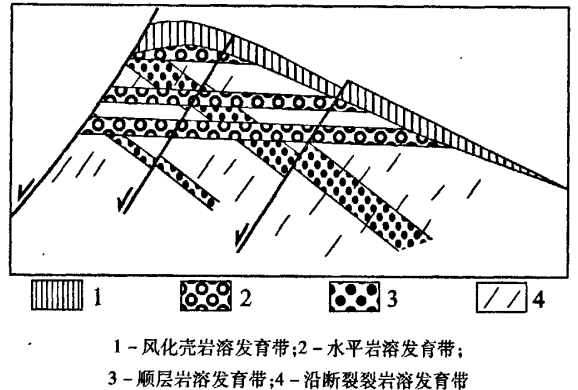


图1 任丘油田雾迷山组抬升岩溶构造相储集体分布模式
(据费宝生等^[26];简化)

Fig. 1 The distribution model of uplift-karsted Petrofacies in Wumishan Fm. from Renqiu Oilfield
(after Fei Baoshen et al., 2005, simplified)

任丘油田雾迷山组储油单元不是“层”的概念,而是“体”的概念,其突出特点:一是分布范围大,二是厚度大,三是各种储集空间特别发育,四是一个巨大的连通体,五是储集单元不受地层层位和产状限制。受抬升岩溶构造相的控制,任丘潜山的岩溶带具有多种分布特征(图1),典型的岩溶发育带包括:风化壳孔洞缝发育带、与古潜水面升降有关的近水平分布的岩溶带、与岩性有关的顺层孔洞发育带、顺断裂带分布的溶洞发育带^[26]。它们相伴而生构成了统一的储集—渗流体系。

冀中坳陷雾迷山组碳酸盐岩地层,经历了中奥陶世(O_2)末—中石炭世(C_2)前期和中生代(Mz)—古近纪(E)两期构造抬升,长期暴露地表,遭受了强烈的淋滤溶蚀而形成溶蚀带^[30]。兹将雾迷山组古潜山

型储集岩体形成过程及其在不同构造活动阶段所表现出的不同特征简述如下:

(1) 初次构造沉降期 中元古代—晚元古代早期,冀中凹陷长期处在较为稳定的沉积阶段。雾迷山组沉积时期地壳继续沉降,发生了整个中、晚元古代最大的一次海侵,发育地层以滨—浅海相叠层石白云岩为主,并由各种叠层石白云岩与非叠层石白云岩构成沉积韵律,富含有机质和硅质为该组特征^[31]。

(2) 初次构造抬升期(震旦纪)“蓟县上升”使整个中朝准地台上升成陆,呈相对稳定的正性状态,没有接受沉积。受其影响,下寒武统府君山组直接假整合于青白口系井儿峪组之上。此期间可能对雾迷山组形成一定程度的早期岩溶作用。

(3) 再次构造沉降期(寒武纪—中奥陶世末)经历了震旦纪的平缓上升和风雕雨刻,地貌趋于准平原化,直到早寒武世中期才开始下降,揭开了古生代海侵的新篇章,接受了寒武纪和早、中奥陶世沉积。此阶段雾迷山组处于再埋藏改造环境,为相对不利的构造相环境。

(4) 再次构造抬升期(晚奥陶世—中石炭世)从晚奥陶世开始,整个中朝准地台再次全面上升,一直到中石炭世才重新下降,冀中拗陷缺失这一时期的沉积。此阶段雾迷山组发生一定的抬升,一定程度上受抬升构造相的影响而产生一定的孔隙性。

(5) 第三构造沉降期(中石炭世—晚二叠世)加里东运动后不久,地壳再度下降,沉积了石炭—二叠系。雾迷山组的前期抬升构造相形成的风化孔、缝因压实、充填及硅化作用而遭到很大程度的破坏^[30]。

(6) 第三构造抬升期(中生代—古近纪古新世)海西运动、印支运动以及燕山运动,使华北地区不仅一次次发生构造抬升,老地层遭到了大幅度的剥蚀,而且发生了显著的褶皱断块作用^[30]。由于受到风化剥蚀、淋滤作用,使雾迷山组碳酸盐岩层,发育了各种岩溶地貌,与残留的其他碳酸盐岩一起形成了山峦起伏的古岩溶地貌景观;雾迷山组最主要的孔隙体系即为该阶段抬升构造相中形成溶蚀孔、洞、缝及构造裂缝。

(7) 第四构造沉降期(古近纪始新世—至今)喜马拉雅运动主要表现为断块运动,使得上升的山峰更加高耸,下降的地块则迅速汇水,接受了巨厚的沉积物。之后,整个盆地不断下降,最终淹没全部峰林。该期构造沉降最终使得雾迷山组古潜山储集体得以保存。

类似的主力储层与抬升岩溶构造密切相关油气藏还有渤海湾盆地黄骅拗陷的大港油田千米桥潜山凝析气藏、鄂尔多斯盆地及塔里木盆地奥陶系与古风化壳相关的油气藏、四川盆地茅口组裂缝—洞穴型气藏及奥陶系与古风化壳岩溶相关的油气藏等等。限于篇幅,此不详述。

3.2 节理构造相

受节理构造相控制的储层主要发育在各种构造成因的裂缝性油气藏中,储层类型为裂缝型、裂缝—孔隙型或裂缝—孔洞型。这些节理缝隙的生成与各向异性的水平应力、断层作用、褶皱作用等密切相关。这类储层的可以发育在砂岩、碳酸盐岩甚至是泥岩中,岩块一般致密、坚硬而性脆,其物性特征表现为储集岩基质岩块的低、孔低渗与裂缝发育部位的相对高孔、高渗或低孔、高渗的双重特征。由于其岩石物性参数及渗流特征变化较大,并表现出很强的各向异性,勘探开发和评价工作的难度较大。

四川盆地上三叠统须家河组(T_3x)油气藏多与构造裂缝密切相关,兹以盆地东南部的赤水地区为例介绍该类型储层的发育特征。赤水地区须家河组总体上以砂包泥为特征,砂岩的结构成熟度和成分成熟度不高,主要发育河流相沉积,属河流沉积,且河型多变,主要包括辫状河和曲流河两种类型^[32];须家河组的地层及沉积特征见图2。须家河组砂岩的岩性一般致密—超致密,基质岩块表现为特低孔、特低渗,储层类型属裂缝—孔隙型,裂缝和次生溶孔的发育情况制约着有利储层;裂缝与次生溶孔往往相伴生,故构造裂缝发育的有利部位亦就是有利储层的分布区(图3)。截至2005年底,赤水地区官南构造已经在须四气藏探明了 $10 \times 10^8 \text{ m}^3$ 天然气。

岩心观察发现:须家河组砂岩中发育数量可观的裂缝,包括低角度缝和高角度缝和水平裂缝,以水平裂缝占优;缝宽从 $<0.1 \text{ mm}$ 至 $>10 \text{ mm}$ 不等,裂缝被自生石英或其它胶结物呈充填—半充填状,沿裂缝发育次生溶孔,孔径从 $<1 \text{ mm}$ 至 $>5 \text{ mm}$ 不等,孔洞中亦见自生石英(图3A)。以官8井须四段最为典型,局部裂缝极度发育,多为石英半充填,同时溶孔、晶间孔较发育,肉眼可见,具有一定的连通性(图3C)。取心井段为 $2\,472.73 \sim 2\,493.18 \text{ m}$,各种裂缝皆有所见,总体上水平缝占优;以 $2\,472.73 \sim 2\,477.88 \text{ m}$ 井段裂缝最为多见(图3C),低—高角度缝发育,岩心取出时冒气处 >100 个,后经测试为产气层^[33]。经过

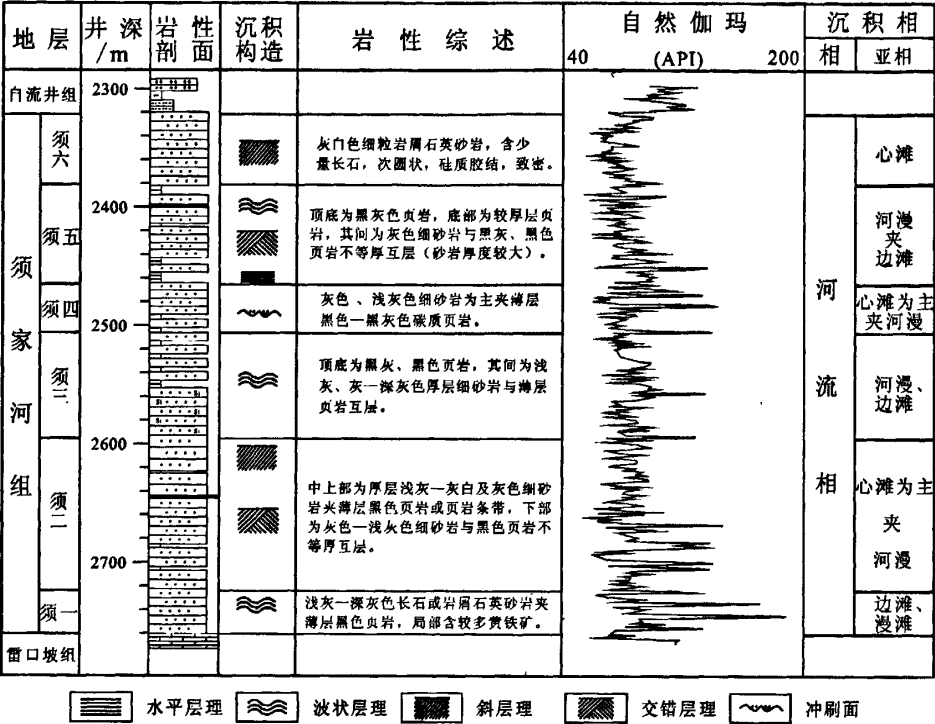


图2 官8井须家河组综合柱状图(据黄世伟等, 2004)

Fig. 2 Composite column for Xujiache Fm. (T_3x) of Well Guan 8 (after Huang Shiwei *et al.*, 2004)

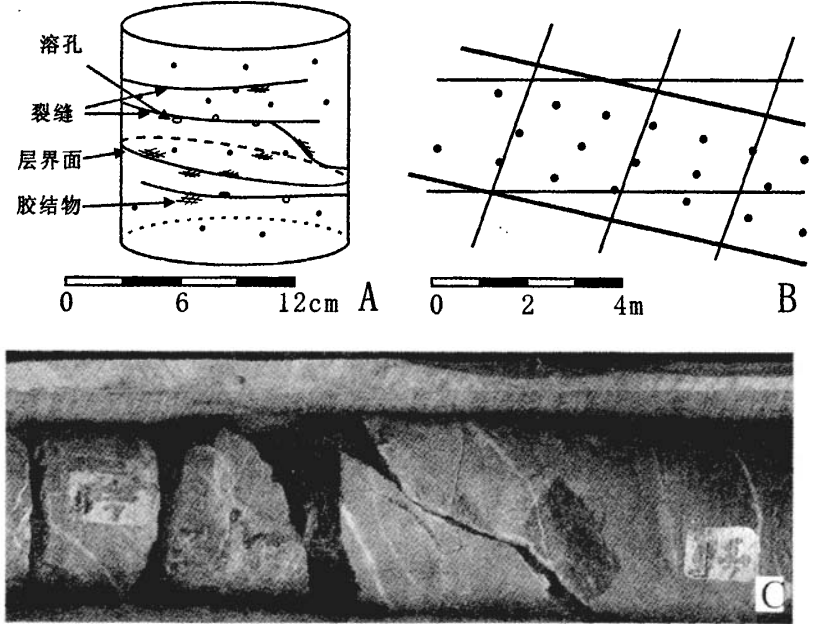


图3 赤水地区须家河组砂岩节理构造相储集体系

Fig. 3 The joint petrotectonic facies reservoir system of T_3x sandstone from Chishui Area
注: A—赤水地区官南构造 T_3x^4 裂缝及相关溶孔发育示意图; B—切割砂体大型 X 节理, 见于四川古蔺头道河剖面; C—灰色中粒石英砂岩, 裂缝十分发育, 相互交错呈网状, 为自形—它形石英充填一半充填, 部分裂缝未充填, 连通性较好, 次生溶孔亦很发育; 岩心出筒时见 26 处冒气。官 8 井, T_3x^4 , G8—5(4—5 / 7), 井段 2 473.4 ~ 2 473.85 m。

野外露头观测,发现须家河组地层中时有与岩层面斜交的X型剪节理(可切割多层砂泥岩而贯串砂体),节理缝呈直线产出,推测节理面应比较平整,井下如有发育,其储集性能将很可观(图3B)。此外,野外露头观测亦见须家河组砂岩中的岩层界面、波痕面以及单层砂岩内部的纹层面或纹层缝隙等,它们与构造节理相匹配对储层的改造作用亦较可观。较之大多胶结致密的岩石骨架,这些宏观的潜在的孔隙体系无疑对大幅度增加砂体的储集性能提供了便利条件。

由于须家河组沉积后主要发生了晚印支运动、燕山运动和喜马拉雅运动,其节理构造相应受此三期构造运动的控制。从上覆的侏罗系与须家河组的假整合—整合接触关系来看^[33],发生在晚三叠世—早侏罗世的晚印支运动在赤水地区的影响较弱,故对于其节理构造相的发育意义不大。燕山旋回的构造运动在四川盆地内褶皱不明显,主要是强烈的抬升,造成侏罗系大幅度被剥蚀,对须家河组节理构造相的发育作用亦不大。晚白垩世以来的喜马拉雅运动使四川盆地地层全面褶皱抬升,波及幅度大,在水平应力场的作用下,发生了以纵弯褶皱为主的构造变形,与此同时,伴生了不同力学性质的纵向节理、水平节理以及逆冲断层。这些节理组成裂缝发育带,可以明显改善储层的渗透性。可见,须家河组中的节理构造相主要是喜马拉雅运动的产物。

其他与节理构造相型储层有关的油气藏包括四川盆地蜀南气矿嘉陵江组碳酸盐岩裂缝—孔隙型气藏、东濮凹陷文留地区沙河街组泥岩裂缝性油气藏以及酒西盆地青西区块下白垩统泥质岩类和白云岩类发育的裂缝性油藏等。

4 结论与建议

(1) 相对于已有的大地构造相和构造岩相而言,岩石构造相是一个新概念,系指岩石成岩后在不同时期所受构造作用的物质体现。可以按照岩石地层、构造运动期次及构造运动方式对其进行分类。

(2) 不同的岩石构造相对地层的油气地质特征具有不同的影响,抬升岩溶构造相往往控制着缝洞型碳酸盐岩储层发育,而节理构造相则对不同岩类的裂缝型储层的发育起着至关重要的作用。

(3) 在我国多个含油气盆地都有与构造活动密切相关的储层或储集体类型,建议加强这类储层的岩石构造相研究。

(4) 建议开展岩石构造相的测井、地震等方面识

别技术的开发及应用。

参考文献 (References)

- 1 Fritz R D, Wikon J L, Yurewicz D A. Paleokarst related hydrocarbon reservoirs[J]. New Orleans:SEPM Core Workshop, No. 18, 1993
- 2 李国辉,李翔,杨西南. 四川盆地加里东古隆起震旦系气藏成藏控制因素[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 80-83 [Li Guohui, Li Xiang, Yang Xinan. Controlling factors of Sinian gas pools in Caledonian paleouplift, Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(1): 80-83]
- 3 何自新,郑聪斌,王彩丽,等. 中国海相油气田勘探实例之二——鄂尔多斯盆地靖边气田的发现与勘探[J]. 海相油气地质, 2005, 10(2): 37-44 [He Zixin, Zheng Congbin, Wang Caili, et al. Cases of discovery and exploration of marine fields in China (Part 2): Jingbian Gas Field, Ordos Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2005, 10(2): 37-44]
- 4 周新源,杨海军,李勇,等. 中国海相油气田勘探实例之七——塔里木盆地和田河气田的勘探与发现[J]. 海相油气地质, 2006, 11(3): 55-62 [Zhou Xinyuan, Yang Haijun, Li Yong, et al. Cases of discovery and exploration of marine fields in China (Part 7): Hotanhe Gas Field in Tarim Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2006, 11(3): 55-62]
- 5 康玉柱. 中国海相油气田勘探实例之四——塔里木盆地塔河油田的发现与勘探[J]. 海相油气地质, 2005, 10(4): 31-38 [Kang Yuzhu. Cases of discovery and exploration of marine fields in China (Part 4): Tahe Oilfield in Tarim Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2005, 10(4): 31-38]
- 6 Hsu K J. The concept of tectonic facies[J]. Bulletin of Technique University Istanbul, 1991, 44(1-2): 25-42
- 7 Robertson AHF. Role of the tectonic facies concept in orogenic analysis and its application to Tethys in the Eastern Mediterranean region[J]. Earth Science Reviews, 1994, (37): 139-213
- 8 李继亮. 碰撞造山带大地构造相[C]//现代地质学研究文集(上). 南京:南京大学出版社, 1992: 9-21 [Li Jiliang. Tectonic facies in collision orogeny belts [C]// Modern Geology Research Collection (first). Nanjing: Press of Nanjing University, 1992: 9-21]
- 9 凌贤长. 陆—陆碰撞造山作用大地构造相[J]. 前寒武纪研究进展, 1995, 18(4): 44-47 [Leng Xianchang. Tectonic facies of continent-continent collision orogeny[J]. Progress in Precambrian Research, 1995, 18(4): 44-47]
- 10 陈正乐,杨农,陈宣华. 燕山地区印支期构造相研究[J]. 地球学报, 1997, 18(1): 11-17 [Chen Zhengle, Yang Nong, Chen Xuanhua. The study of the Indosinian tectonic facies in the Yanshan Area [J]. Acta Geoscientia Sinica, 1997, 18(1): 11-17]
- 11 高坪仙. 论造山带的内部结构[J]. 前寒武纪研究进展, 1999, 22(3): 30-35 [Gao Pingxian. Orogenic belt framework (construction) [J]. Progress in Precambrian Research, 1999, 22(3): 30-35]
- 12 肖文交,侯泉林,李继亮,等. 西昆仑大地构造相解剖及其多岛增生过程[J]. 中国科学(D辑), 2000, (S1): 22-28 [Xiao Wenjiao, Hou Quanlin, Li Jiliang, et al. Research of tectonic facies and multi-

- arc accretion in the West Kunlun[J]. *Science in China (Series D)*, 2000, (S1): 22-28]
- 13 王清晨, 林伟. 大别山碰撞造山带的地球动力学[J]. *地学前缘*, 2002, 9(4): 257-265 [Wang Qingchen, Lin Wei. Geodynamics of the Dabieshan collisional orogenic belt[J]. *Earth Science Frontiers*, 2002, 9(4): 257-265]
 - 14 龚全胜, 刘明强, 梁明宏, 等. 北山造山带大地构造相及构造演化[J]. *西北地质*, 2003, 36(1): 11-17 [Gong Quansheng, Liu Mingqiang, Liang Minghong, *et al.* The tectonic facies and tectonic evolution of Beishan Orogenic Belt, Gansu[J]. *Northwestern Geology*, 2003, 36(1): 11-17]
 - 15 张克信, 朱云海, 殷鸿福, 等. 大地构造相在东昆仑造山带地质填图中的应用[J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 2004, 29(6): 661-666 [Zhang Kexin, Zhu Yunhai, Yin Hongfu, *et al.* Application of tectonic facies in geological mapping in East Kunlun Orogenic Belt [J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 2004, 29(6): 661-666]
 - 16 丘元禧, 董树文. 试论构造相构造相系和构造相序列[J]. *中国区域地质*, 1991, 3: 262-271 [Qiu Yuanxi, Dong Shuwen. On tectonic facies, tectonic facies series and tectonic facies sequence[J]. *Regional Geology of China*, 1991, (3): 262-271]
 - 17 陈国达. 成矿构造研究法[M]. 北京: 地质出版社, 1978: 270-280 [Chen Guoda. Metallogenic tectonic study methods [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1978: 270-280]
 - 18 傅昭仁, 单文琅, 葛梦春. 变质岩层构造的形变相分析[J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 1983, 8(3): 63-72 [Fu Zhaoren, Shan Wenlang, Ge Mengchun. Deformation facies analysis of structures of metamorphic layers[J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 1983, 8(3): 63-72]
 - 19 邓军, 翟裕生, 杨立强, 等. 构造演化与成矿系统动力学——以胶东金矿集中区为例[J]. *地学前缘*, 1999, 6(2): 315-323 [Deng Jun, Zhai Yusheng, Yang Liqiang, *et al.* Tectonic evolution and dynamics of metallogenic system: an example from the gold ore deposits concentrated area in Jiaodong, Shandong China [J]. *Earth Science Frontiers*, 1999, 6(2): 315-323]
 - 20 李先福, 李建威, 周美夫. 湖南连云山剪切重熔型花岗岩的野外构造岩相分带[J]. *地质科技情报*, 2001, 20(3): 27-30 [Li Xianfu, Li Jianwei, Zhou Meifu. Field structural-lithofacies zones for shear remelt granite of Lianyungshan in Hunan Province [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2001, 20(3): 27-30]
 - 21 朱筱敏, 信荃麟, 刘泽容. 含油气盆地构造岩相分析的内容和方法[J]. *石油大学学报(自然科学版)*, 1993, 17(2): 1-6 [Zhu Xiaomin, Xin Quanlin, Liu Zerong. Contents and methods of tectolithofacies analysis in hydrocarbon-bearing basins[J]. *Journal of the University of Petroleum China*, 1993, 17(2): 1-6]
 - 22 万方, 许效松. 川滇黔桂地区志留纪构造—岩相古地理[J]. *古地理学报*, 2003, 5(2): 180-186 [Wan Fang, Xu Xiaosong. Tectonolithofacies palaeogeography of the Silurian in Sichuan-Yunnan-Guizhou-Guangxi Region [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2003, 5(2): 180-186]
 - 23 王凤俊, 丁长辉, 刘兴晓, 等. 塔里木盆地车尔臣断裂带构造—岩相特征及形成机理探讨[J]. *世界地质*, 2005, 24(1): 53-57 [Wang Fengjun, Ding Changhui, Liu Xingxiao, *et al.* Study on Charchen fault zone's structure-rock facies characteristics and its formation in Tarim Basin [J]. *World Geology*, 2005, 24(1): 53-57]
 - 24 马杏垣, 索书田, 游振东, 等. 嵩山构造变形—重力构造、构造解析[M]. 北京: 地质出版社, 1981 [Ma Xingyuan, Suo Shutian, You Zhendong, *et al.* Tectonic deformation of the Songshan Area, Henan Province, China: gravitational tectonics, structural analysis [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1981]
 - 25 陈克强, 汤加富. 构造地层单位研究[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1995 [Chen Keqiang, Tang Jiafu. The study of tectonic-stratigraphic units [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1995]
 - 26 费宝生, 汪建红. 渤海湾盆地任丘古潜山大油田的发现与勘探[J]. *海相油气地质*, 2005, 10(3): 43-50 [Fei Baosheng, Wang Jianhong. Cases of discovery and exploration of marine fields in China (Part3): Renqiu Buried-hill Oilfield, Bohaiwan Basin [J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2005, 10(3): 43-50]
 - 27 杜金虎, 邹伟宏, 费宝生, 等. 冀中拗陷古潜山复式油气聚集区[M]. 北京: 科学出版社, 2002 [Du Jinhui, Zou Weihong, Fei Baosheng, *et al.* Buried-hill multiple oil-gas accumulation play in Jizhong Depression [M]. Beijing: Science Press, 2002]
 - 28 余家仁, 陶洪兴, 樊哲仁, 编著. 华北潜山油藏碳酸盐岩储集层研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993 [Yu Jiaren, Tao Hongxing, Fan Zheren, *et al.* Carbonate reservoir research of Huabei buried-hill oilfield [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993]
 - 29 梁狄刚, 曾宪章, 王雪平, 等著. 冀中拗陷油气的生成[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001 [Liang Digang, Zeng Xianzhang, Wang Xueping, *et al.* The generation of oil and gas in Jizhong Depression [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001]
 - 30 华北油田石油地质志编写组. 中国石油地质志(卷五)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1988: 27-440 [Writer Group of the Oil Geology of Huabei Oilfield. Oil Geology of China (5) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1988: 27-440]
 - 31 河北省地质矿产局. 河北省北京市天津市区地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989: 340-741 [Hebei Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional Geology of Hebei Province, Beijing Municipality and Tianjin Municipality [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989: 340-741]
 - 32 黄世伟, 张廷山, 谢刚平, 等. 赤水地区上三叠统须家河组沉积特征[J]. *天然气地球科学*, 2004, 15(5): 487-491 [Huang Shiwei, Zhang Ting-shan, Xie Gangping, *et al.* Study on sedimentary characteristics of Upper Triassic Xujiahe Formation in Chishui Area [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2004, 15(5): 487-491]
 - 33 黄世伟. 赤水及邻区上三叠统须家河组沉积及含气特征探讨[D]. 西南石油学院, 2005 [Huang Shiwei. Research on sedimentary and gas-bearing characters of Upper Triassic Xujiahe Formation in Chishui Area [D]. Southwest Petroleum Institute, 2005]

Discussion of Petrotectonic Facies and Their Significance for Reservoir Studies

HUANG Shi-wei^{1,2} ZHANG Shun¹ CHEN Yan³ ZHANG Ting-shan² XIE Gang-ping⁴

(1. The Exploration & Development Institut of Daqing Oilfield Ltd. Co. , Daqing Heilongjiang 163712;

2. Faculty of Resource and Environment of Southwest Petroleum University, Chengdu 610500;

3. No.6 Production Plant of Daqing Oilfield Corporation. Ltd, PetroChina, Daqing Heilongjiang 163453;

4. Southern Exploration and Development Branch Co. ,SINOPEC, Kunming 650200)

Abstract In these years, new discovery of petroleum exploration has often been in connection with the palaeo-tectonics active regions, such as the finding of Qianmiqiao condensate pool at Dagang Oilfield in Bohaiwan Basin, the exploration of Jingbian Gas Field in Ordos Basin and the finding of Hetianhe Gas Field & Tahe Oilfield in Tarim Basin, etc. According to years of exploration experiences, good palaeo-uplift had bad vital function for the migration, accumulation and reservoiring of oil and gas. Our studies showed that tectonic movements controlled the development of many a types of reservoir; the karsting-fracture-caved reservoir from prior weathered crusts and fractured reservoir. We appointed the concept and classing system; pointed out that the petroTECTONIC facies are material showings of tectonic movements in rocks solidified, and fingered they can classified by rock-stratigraphic unit, tectonic movement stage and style. Beyond the analysis on the Mumishan Formation oil pool from buried carbonate hill of Renqiu Oilfield in Bohaiwan Basin and the Xujiache gas pool of Chishui gas field in Sichuan Baisn, the reservoir characters was discussed for uplift-karsted petroTECTONIC facies and joint petroTECTONIC facies. The forward facies is found mostly in carbonate stones, whose reservoir space are all kinds of pore, cave and fracture lined to karst; the following facies can be found in different rocks, whose reservoir space are tectoclase and correlated pores; reservoir physical properties of the two facies are both relative complex. We advice to strengthen the research of reservoir petroTECTONIC facies; we meanwhile hope to carry out the development of associated recognition technique for petroTECTONIC facies of reservoirs.

Keywords petroTECTONIC facies, tectonic movements, karst, joint, reservoir