

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

中国南方海相地层油气保存条件综合评价技术体系探讨

马永生¹⁾, 楼章华²⁾, 郭彤楼¹⁾, 付晓悦¹⁾, 金爱民²⁾

1) 中国石油化工股份有限公司南方勘探开发分公司, 昆明, 650200

2) 浙江大学水文与水资源工程研究所, 杭州, 310028

内容提要: 中国南方海相地层的油气藏分别在加里东、印支和燕山期经历了多期多阶段的演变过程, 被构造活动改造的强度大。油气保存条件破坏严重, 且缺乏有效的评价方法。本文试图通过研究地下流体的化学-动力学行为规律, 从动态和演化的角度分析剥蚀作用、断裂-破碎作用、大气水下渗作用等对油气藏破坏的程度、方式, 综合评价油气的成藏、保存条件, 探索针对南方海相地层油气保存条件评价的技术体系。

关键词: 南方海相地层; 油气保存条件; 水文地球化学; 水文地质

中国南方海相地层油气藏分别在加里东、印支和燕山期经历了形成、演化、聚集、破坏和保存的多期多阶段演变过程, 被构造活动改造的强度大。各期的沉积盆地、地质体、地下流体(包括油气水)都发生过多次调整和改造, 整体油气保存条件受到了严重影响和破坏, 大量的油气可能已经散失, 可能残存的油气分布也十分复杂。因此, 虽然经历了40多年的油气勘探历程, 除四川盆地外, 仍没有取得重大突破, 关键原因是南方海相地层的油气勘探难度大, 加上缺乏一套针对被构造运动多次改造的海相地层的油气勘探理论与评价方法, 其中油气保存条件的科学评价是南方海相油气勘探的关键技术之一。人们一直重视这方面的研究工作, 取得了一些重要的研究成果(张义纲, 1991; 刘方槐等, 1991; 胡光灿等, 1997; 李明诚等, 1997; 戴少武等, 2002; 赵宗举等, 2002), 近几年又提出了油气保存单元的概念、类型和评价原理(梁兴等, 2003, 2004; 何登发等, 2004)。然而, 针对我国南方海相地层油气保存条件的综合评价仍然缺乏系统的方法与技术。

本文采用含油气沉积盆地流体历史分析(Eadington, 1991; 楼章华等, 1998)新方法, 试图从动态和演化的角度, 在分析油气保存条件评价主要参数的基础上, 通过研究油气保存条件的破坏因素及其评价方法, 总结出一套针对南方海相地层油气

成藏、保存条件研究的理论与方法, 形成一套适合多旋回叠合盆地油气保存条件综合评价的技术体系。

1 南方海相地层油气地质基本特征

有关南方海相地层油气地质的研究工作始于20世纪20年代。其基本特征包括: ①南方海相地层累计厚度最大超过10000 m, 有多套生储盖组合, 原始成油气条件优越, 并发生过大量的油气生成、运移、聚集与成藏过程; ②有机质热演化程度普遍较高, 主要应重视天然气的勘探; ③经过印支期—喜马拉雅期的构造运动, 原型盆地被强烈改造, 断裂破碎、冲断推覆、抬升剥蚀、火山活动和岩浆侵入, 油气保存条件受到不同程度的破坏, 对早期及同期形成的油气藏的破坏、改造及分布起到了决定性的控制作用。

2 油气保存条件评价的主要参数

油气保存条件涉及油气生成、运移、聚散的全过程(李明诚等, 2000)。只有当运移量大于散失量时才可能有油气聚集。因此对含油气保存条件的综合评价可从以下几个方面进行。

(1) 盖层条件: 盖层可分直接盖层和区域盖层, 前者指储油气层上方直接阻止油气逸散的岩层, 后者则为位于含油气层系上方对油气系统起整体保护的上覆岩系。盖层的岩性、微孔结构、可塑性、厚度、

注: 本文为国家“973”重点基础研究发展计划项目(编号 2005CB422107)资助成果。

收稿日期: 2005-08-01; 改回日期: 2006-02-06; 责任编辑: 周健。

作者简介: 马永生, 男, 1961年生, 教授级高级工程师。1990年于中国地质科学院研究生部获博士学位。现任中石化南方勘探开发分公司总地质师。通讯地址: 650200, 昆明关上中路201号, 中石化南方勘探开发分公司; Email: yongshengma@sohu.com。

分布范围、粘土组成及其演化程度等是决定其封盖性能的主要因素。膏岩由于具有较高的突破压力,可塑性强,成为天然气最有效的封盖层,特别是厚度大、分布广的膏岩层。库车坳陷山前冲断带和川东高陡构造带的大型气田都与优质膏岩和盐岩盖层有关(胡光灿等,1997)。有时单靠岩性封盖天然气是有限的,实际上大部分气田并不是由单一的岩性盖层提供封盖,而是由岩性、烃浓度差、异常压力等因素复合作用的结果。但是,毫无疑问,盖层是决定保存条件好坏的重要条件,而区域盖层又是决定盖层好坏的根本,只要有良好的区域盖层,即使直接盖层差一些,最终油气只是在区域盖层之下重新分配,而不会导致其大量散失(李明诚等,1997,2000)。

(2)构造运动:通常构造运动越强烈,保存条件越差。构造运动引起地层隆升剥蚀、褶皱变形、断裂切割、地表水的下渗以及压力体系的破坏,同时还因构造动力和应力作用使盖层岩石失去塑性,封闭保存条件变差。因此,后期构造运动改造强度是油气藏破坏与散失的根本原因(赵宗举等,2002),并且主要通过断裂作用和剥蚀作用改变油气保存条件。①断裂、破碎作用:从油气保存的角度,可以把断层分为“通天”断层和“烃源”断层两大类。断穿最上部区域盖层的“通天”断层是油气散失的通道。“烃源”断层是指那些在区域盖层之下,连接主要源岩的断层,它主要是作为油气源的通道,有利于油气在区域盖层之下的聚集和再分布。②抬升剥蚀作用:地壳的抬升和剥蚀如果发生在油气大量生、排之后,而又在区域盖层形成之前,无疑对油气的保存极为不利。不仅油气生成将停滞,而且已生成的油气将通过古剥蚀面大量散失,其程度决定于地层剥蚀间断的时间长短和空间规模的大小。如果发生在区域盖层形成之后,则要视区域盖层是否遭受剥蚀和破坏,若区域盖层未遭破坏,则油气将在其下得到保存,否则将通过剥蚀面而散失。此外,地层的抬升剥蚀也并非全是坏事,此时将有大量水溶气出溶转变为游离气,如果区域盖层未遭破坏,则有利于天然气的聚集。

(3)气田(藏)形成时间:天然气藏形成越早,赋存时间越长,扩散、渗漏总损失越大。气藏要保存到现今除要求良好的封闭保存条件外还需形成时间晚。据世界储量大于1000亿 m^3 天然气藏的统计表明(张义纲,1991):大气田气源岩生气高峰的时代以古近纪为主,白垩纪、新近纪次之。气源岩生气高峰的时代越老,形成大气田所占比重越小。中国16个储量大于 $10 \times 10^9 m^3$ 气田的统计表明,10个生气高峰在古

近纪和新近纪—第四纪,5个在侏罗纪—白垩纪,只有威远气田在三叠纪,可见生气高峰期晚近者占大多数。

(4)岩浆活动:岩浆活动对保存条件的影响主要决定于岩浆活动的时期与产状。在油气大量生成以前的活动,不但对保存无影响,反而热事件促进油气生成;如果是发生在油气大量生成之后,则要看其产状分布。若与地层平行呈层状分布,如渤海湾盆地第三系中大量出现的层状玄武岩,据目前的研究,可以说没有什么影响,除非火山岩直接穿过已聚集的油气藏,但这种情况是很少的(李明诚等,1997)。

(5)生储盖组合在时间和空间的组合关系:指源岩成熟期与圈闭形成期的时间间隔和生储盖地层的空间位距(李明诚等,1997)。显然,时空跨距越小,越有利于油气的聚集和保存。这是因为时空跨距越小,油气二次运移和散失的时间和空间越小;相反则越大。可以认为油气在本层系内的自生自储比跨层系储聚的保存条件为好,油气的散失也较少。

(6)源岩质量:虽然源岩的好坏不是一个直接影响保存条件的因素,但由于油气的聚集和散失实际上是一个动平衡过程,如果保存条件不好,而源岩质量好、烃源充足,当供烃速率大于散失速率时,也可以有一定数量的油气聚集。因此它不仅是评价油气藏形成的重要条件,也是评价保存条件的一个指标。

(7)地层压力:出现异常高压表明地下仍存在大量生烃的、有利于油气聚集并保存的封隔体;而异常低压的出现可能是地壳抬升、生烃停滞和天然气已大量散失的标志。

3 油气保存条件的主要破坏因素

在我国以陆相为主的油气勘探过程中,成藏以后的保存条件研究一直不是十分突出的问题,盖层的岩性、厚度、物性等为主要参数的评价方法成为油气保存条件研究的主要手段。但是,对于南方海相地层来说,油气保存条件则成为主要问题。事实证明,单一地研究盖层无法解决保存条件的问题(戴少武等,2002)。因此,如何综合评价南方海相地层的油气保存条件值得首先探讨(梁兴等,2004)。

油气藏的破坏机理主要包括:①断裂、破碎作用;②剥蚀作用;③大气水下渗作用;④深埋热变质作用;⑤盖层有效性及天然气漏失作用;⑥岩浆侵入。

3.1 断裂、破碎作用对油气藏的破坏作用

3.1.1 断裂作用与断裂带流体活动的地质时代

利用 ESR 法、裂变径迹法、Rb-Sr 法及铅等时线综合定年,研究断裂带流体主要活跃时期的年龄。贵州南盘江烂泥沟地区石英包裹体与方解石脉的 Rb-Sr 年龄值为 105.6 Ma(苏文超,1998)。采集含有伊利石矿物包体的石英脉,利用 K-Ar 法测定的形成年龄有:77.23±3.87Ma、146.5±4.12Ma、88.92±4.64Ma、77.18±1.73Ma 主要形成时间为 77.18~88.92 Ma。相当于燕山晚期,与本区最强烈的一次构造热事件是一致的。

3.1.2 地球化学异常、古流体的化学-动力学行为与盖层封闭性

伽玛异常主要由放射性元素相对集中产生, Hg、Sb、Zn、Pb、Mo、Cu、Co、Ag、Ba 元素的地球化学异常也不同程度地与流体作用有关。它们的异常分布区对分析盖层的封闭性有较好的指示意义。

(1)伽玛异常与油气保存条件:伽玛异常与断裂带有密切的关系(图1)。伽玛异常区是盆地古流体活跃的地区,是地下热液释放到浅部、地表的出气孔。因此,伽玛异常区是地表与深部流体沟通、盖层封闭性差的指示。从伽玛异常区平面分布图可以看出,南盘江断裂带的流体活动最为强烈,开启强度大。并且,在秧坝、册亨之间也有局部伽玛异常,说明南盘江断裂带的流体作用在局部地区已经影响到三叠系

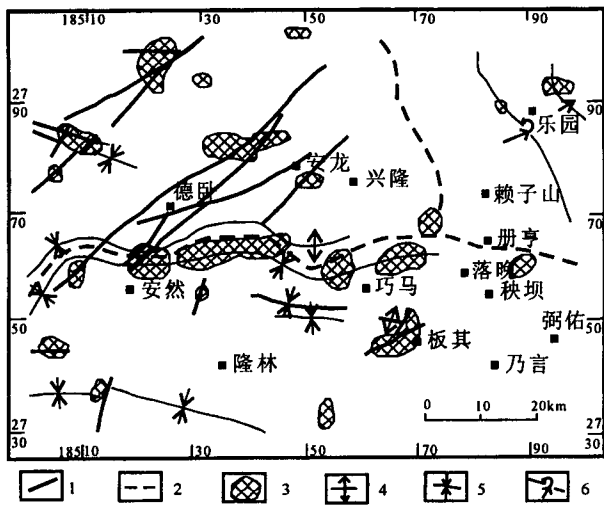


图1 秧坝区块伽玛异常与断裂带关系图
(资料据万朝元等^①)

Fig. 1 Relations between gamma abnormality and fault belts in the Yangba area (modified from Wang et al.^①)

1—断层;2—隐伏断层;3—伽玛异常区;4—背斜;
5—向斜;6—倒转背斜

1—Fault;2—hidden fault;3—abnormal gamma area;4—anticline;
5—syncline;6—inverted anticline

泥岩、粉砂质泥岩覆盖区,流体穿越三叠系达到地表。其次是安龙构造单元,由于这一地区的断裂作用较强,在断层交叉部位有明显的伽玛异常,并且在平面上的分布面积较大。由凹陷中心往边缘,中三叠统泥岩的封盖性减弱、消失。

(2)金元素迁移、富集与油气散失:滇黔桂地区卫片解译结果表明,区内出现了 NS、NE、NW 及 EW 向四组线性体和十余个环形构造。这四组线性体与区内四组深大断裂吻合,金矿带基本展布于这四组深大断裂限定的三角区内(刘显凡等,1998)。断裂活动中金元素的迁移、富集与油气的运移、散失关系十分密切,通常这一地区的金矿与油气藏破坏、烃类散失和金元素的沉淀有关。因此,金元素异常、金矿分布区是断裂作用和流体作用强烈、油气相对集中散失的地区,对油气的保存不利(图2)。

(3)断裂带中的汞元素迁移与古地下流体成因:汞矿化带及汞矿分布区均与深大断裂有关,但它们的附近都没有岩浆岩。辰砂中的硫来自含矿地层;汞的终极来源为上地幔,汞的直接来源为一套含汞建造。在含汞建造中,汞的初始沉积可能有两种状态,一是在海水同生沉积的有机质、粘土等物质所吸附,形成汞异常层;二是汞呈气态停积在岩石的孔隙、裂隙中。但二者均不可能成为汞矿床,必须经过活化再次富集,汞才能达到形成矿床的丰度。活化后的汞在成矿溶液中循环流动,穿越不同地层,遇适宜地质环境后方可形成矿床。大量测试资料表明,贵州汞矿的成矿溶液是一种有大气水加入的深循环地下水,具有高盐度、高密度的特点。在长期循环过程中,这种具有高盐度、高密度的地下水,可从地层岩石中解析、萃取汞和其他元素(刘平,1994)。汞

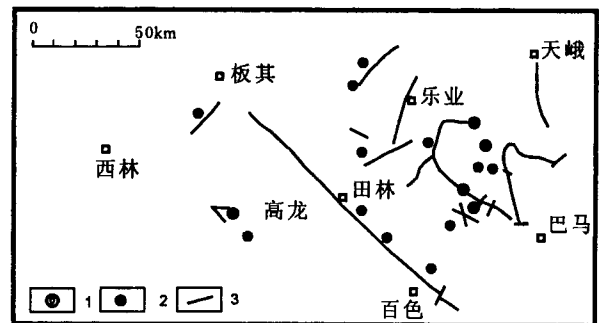


图2 桂西北断裂带与金矿分布关系略图

Fig. 2 Relationship between fault belts and gold deposits in the northern-western Guangxi Provinces

1—金矿床;2—金矿点;3—断层
1—Gold deposit;2—gold ore point;3—fault

矿区的断裂活动与流体作用强烈(图3),对油气的保存十分不利,秧坝区块内的汞矿区主要有滥木厂汞矿、赖子山汞矿等。

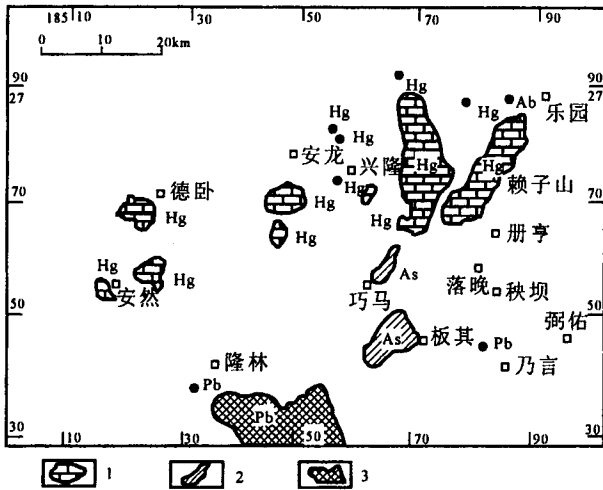


图 3 秧坝区块重砂区、点分布图(资料据万朝元等^①)
Fig. 3 Distribution areas and points of heavy concentrate abnormality in the Yangba district (modified from Wang et al. ^①)

1—Hg 异常; 2—As 异常; 3—Pb 异常
1—Hg abnormality; 2—As abnormality; 3—Pb abnormality

因此,依据:①金属矿产的研究资料,在金矿分布区、金异常区,曾经发生过深部热液穿越地表岩石;②流体包裹体成分测定,如果以深部成因的流体为主,就意味着深部流体穿越地表地层;③Hg、Sb、Zn、Pb 等地球化学异常区,可以被认为是断裂带流体活动强烈与油气保存条件相对较差的地区。

3.1.3 流体包裹体与断裂带流体活动的关系

储集岩成岩矿物的结晶作用是从沉积作用开始而贯穿盆地整个埋藏与隆升史的。沉积盆地中由于流体的流动对成岩矿物的结晶有很强的控制作用,因此矿物将优先在流体流动带结晶,而将其周围的地层水、油、气等流体以包裹体的形式捕获。这些流体包裹体记录了盆地油气生成、运移和演化的信息(Eadington, 1991)。碳酸盐岩和碎屑岩及产于其内的方解石脉、白云石脉、石英脉等含有较丰富的包裹体,它们反映了油气的演化和运移历史,是主要的研究对象(孙楠等, 2000)。在构造断裂带活动的流体,可成为流体包裹体的原始样品,为流体包裹体奠定了物质基础。在流体演化期间,构造裂缝及熔蚀孔洞缝隙的矿物充填作用和成岩自生矿物等为捕获并赋存流体包裹体创造了必要条件。因此,可通过研究流体包裹体的类型、特征,分析流体来源以及断裂带的

封闭性。

3.1.4 方解石脉同位素组成与断裂带流体成因

在断裂带的形成与演化过程中,断裂带中的流体十分活跃,在破碎岩石的裂缝中形成方解石脉、石英脉。断裂带中的流体来源有以下几个方面:①下渗的地表大气水;②断裂带两侧的地层流体;③断裂带下方的深部壳源流体;④幔源流体。断裂带中的流体成因决定了方解石脉的碳氧同位素组成。不同成因的地下流体具有不同的地球化学性质和同位素组成。各种含碳物质的 $\delta^{13}C$ 值也有较大的差别(据戴金星等, 1997),总体上看,有机成因的 $\delta^{13}C$ 轻,无机成因的重。大气中 CO_2 的 $\delta^{13}C$ 值为 -7% 左右,有机成因的 CO_2 气 $\delta^{13}C$ 值为 $-14\% \sim -30\%$, $\delta^{13}C$ 值低。鄂尔多斯盆地 X 井太原组煤层中 CO_2 气的 $\delta^{13}C$ 为 $-18.5\% \sim -19.4\%$ 。松辽盆地南部万金塔深部岩浆活动成因的 CO_2 气 $\delta^{13}C$ 平均值为 -6.2% ,比有机质热演化成因的 CO_2 气的 $\delta^{13}C$ 值相去甚远。依据灰岩背景值和方解石脉的碳氧同位素组成,可以研究断裂带的流体化学与动力学行为。

因此,通过对比方解石脉和灰岩背景 $\delta^{13}C$ 、 $\delta^{18}O$ 值(图4),结合同期次流体包裹体均一温度的测定,追踪断裂带流体的碳同位素特征与流体来源。

川渝鄂湘边区三叠系灰岩的 $\delta^{13}C$ 背景值: $-1.6\% \sim 5.0\%$, $\delta^{18}O$: $-7.0\% \sim -2.1\%$ 。方解石脉碳、氧同位素组成的差别较大, $\delta^{13}C$: $-7.3\% \sim 6.1\%$, $\delta^{18}O$: $-16.3\% \sim -2.6\%$ 。在平面上,方解石脉 $\delta^{13}C$ 值在川东、渝东地区形成相对高值区,万县—石柱以东地区, $\delta^{13}C$ 值变化较大,呈条带状、网格状,局部地区明显偏低;旺苍等川东北地区, $\delta^{13}C$ 值

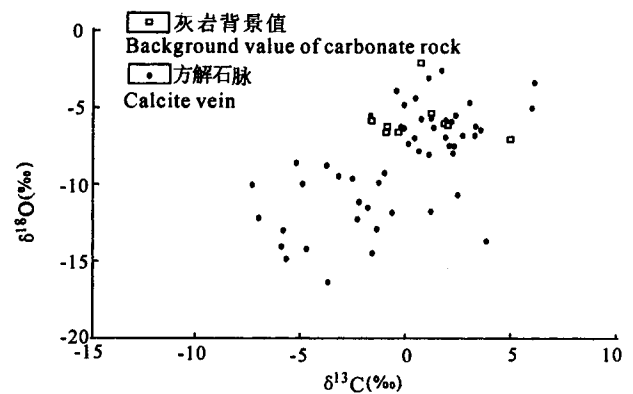


图 4 川东—湘西三叠系方解石碳氧同位素关系图
Fig. 4 The relationship between oxygen and carbon isotope compositions of Triassic calcites in the eastern Sichuan to western Hunan Provinces

也低(图5)。这些低 $\delta^{13}C$ 值地区在断裂带的活动过程中,大气水沿断裂带下渗,影响方解石的形成。

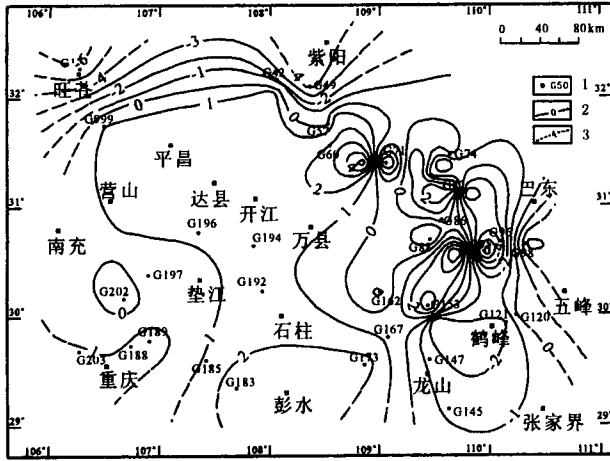


图5 川东—湘西三叠系方解石脉 $\delta^{13}C$ 同位素平面分布图
 Fig. 5 Planar distribution of $\delta^{13}C$ value of Triassic calcite vein in the eastern Sichuan to western Hunan Provinces
 1—样品点; 2—实测数据点控制等值线(‰); 3—趋势等值线(‰)
 1—Data point; 2—Isopleth controlled by experimental data; 3—Isopleth tendency

3.2 剥蚀作用对油气藏的破坏作用

剥蚀厚度的计算对研究盆地的构造演化史、沉积-埋藏史、有机质热演化史、油气生成与运移史和地下流体动力场的形成与演化都具有重要意义。

3.2.1 利用 R_0 资料估算地层剥蚀厚度

R_0 与有机质的热演化有关,且是一个不可逆的参数。因此,利用 R_0 数据,结合热演化史,从沉积物沉积开始到印支期末这段时期(因为最大埋深时期为印支期末),在地温梯度为 $3^\circ C/100\text{ m}$ 的埋藏过程中,利用热模拟反演法,可以估算地层的剥蚀厚度。松潘—阿坝地区印支期的剥蚀厚度普遍在 $4000\sim 6500\text{ m}$ 之间(图6)。但是在燕山期曾经发生过挤压作用和热事件, R_0 值通过这一阶段明显提高,因此利用这一参数计算出的剥蚀厚度可能偏大。

3.2.2 利用流体包裹体计算地层剥蚀厚度

流体包裹体记载了它们经历的整个受热地质历史中不同时期沉积物所处的温度、压力等热力学条件的信息(孙橛等,2000)。由于埋藏深度不同,捕获的包裹体温度和压力不同,它们呈良好的线性关系,利用这一关系即可用于地层剥蚀厚度的恢复和平均地温梯度、地层流体压力梯度的计算。

在参考了四川盆地的特点后,选择印支期的古地温梯度约为 $3^\circ C/100\text{ m}$ 。地表温度的选取主要依

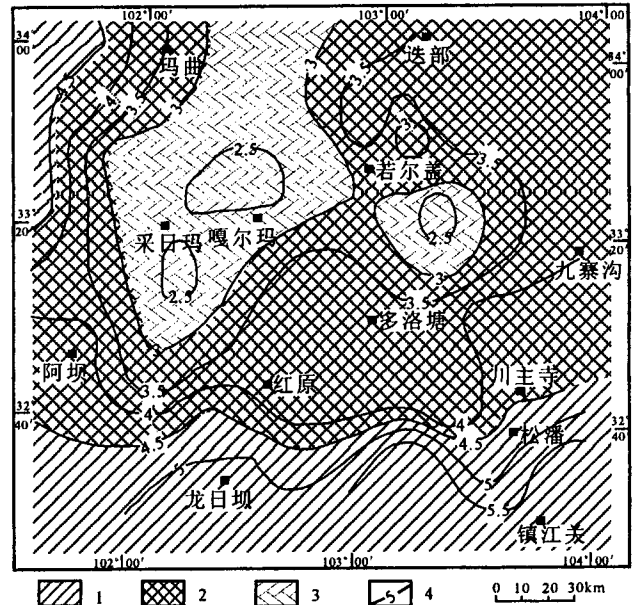


图6 松潘—阿坝地区利用 R_0 计算的印支运动后剥蚀厚度平面分布图
 Fig. 6 Planar distribution of calculated denudation thickness by R_0 values in the Songpang and Aba areas
 1—剥蚀厚度大于6000 m; 2—剥蚀厚度5000~6000 m; 3—剥蚀厚度4000~5000 m; 4— R_0 等值线(%)
 1—Denudation thickness larger than 6000 m; 2—denudation thickness 5000~6000 m; 3—denudation thickness 4000~5000 m; 4— R_0 isopleth (%)

据印支期的古气候特征,选择 $10^\circ C$ 。根据流体包裹体均一温度等资料可以计算出松潘—阿坝地区印支运动后的剥蚀厚度(图7)。

3.2.3 剥蚀作用、地表出露地层与交替停滞带关系

通过对四川盆地及其周边地区的研究与分析,油气保存条件与地表出露地层的新老关系比较密切。出露的层位越新,目的层也越新;反之亦然(表1)。一般来说,中—上三叠统及其以上地层出露的地区,上古生界及其以下地层的保存条件都较好。下三叠统嘉陵江组出露地表,嘉陵江组膏盐的封盖能力可能被破坏,那么石炭系及其以上地层的天然气保存条件明显变差,甚至失去保存条件,目的层可能主要针对上古生界的下部和下古生界。二叠系—泥盆系出露地表,主要目的层应该以下古生界为主,其次兼顾上古生界的下部。志留系—奥陶系出露地表,保存条件可能已经被严重破坏,寒武系—震旦系油气藏可能会在一些特殊的情况下局部残存。

3.3 大气水下渗作用对油气藏的破坏

大气水可以通过垂向渗入和露头侧向渗入两种主要形式渗入地层(刘方槐等,1991)。由于上覆层

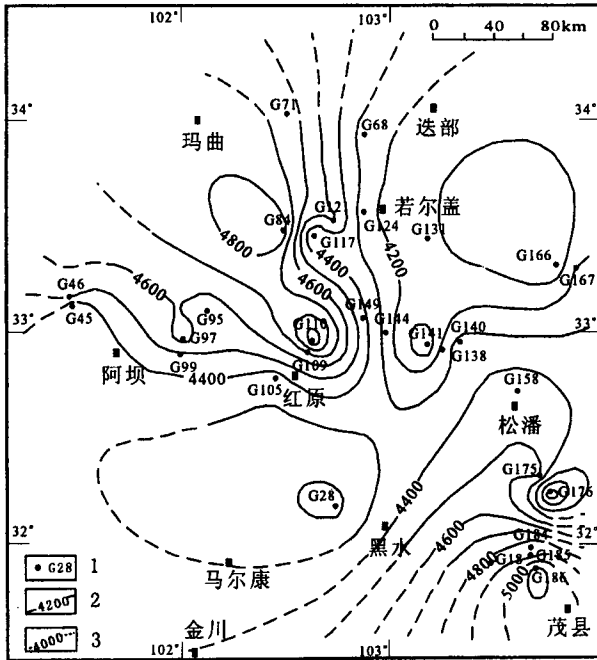


图 7 松潘—阿坝地区利用流体包裹体均一温度计算的剥蚀厚度(m)平面分布图

Fig. 7 Planar distribution of calculated denudation thickness (m) by homogenization temperatures of fluid inclusions in the Songpan and Aba areas

1—样品点;2—实测数据点控制等值线;3—趋势等值线
1—Data point; 2—isopleth controlled by experimental data; 3—isopleth tendency

表 1 地表出露地层与大气水下渗之间可能存在的关系
Table 1 General relationship between exposed bed and meteoric water down-seeping

出露埋藏	J-K	T ₂ -T ₃	T ₁	P	C	D	S	O
T	1							
P	1				3			
C	1							
D	1							
S	1							
O	1				2			
ε	1							
Z	1							

注:1—自由交替带;2—勘探证实的交替停滞带;3—有待证实的交替停滞带。

裂隙发育,地表水通过盖层缓慢下渗进入地层,在地层剖面上表现出水文地质垂直分带。另外,大气水可以通过露头区侧向下渗进入盆地深层影响地层水质。如果某些层位孔、渗性较好或侧向遮挡差,则地表水可以向盆地内渗入较远,从而使临近露头区的

某些局部构造的相应目的层段保存条件变差。因此,大气水可以波及的区域及层位,天然气的保存条件明显变差,甚至可能造成天然气的完全溢散。

3.3.1 温泉与大气水下渗深度

在分析温泉成因的基础上,通过测定温泉水温,估算恒温层温度、恒温层深度、混入水水温、混入水量百分率,就可以估算温泉水循环深度(王大纯等,1986)。中、高温温泉是断裂活跃、大气水下渗强烈(表2)、地层封闭性差、地下较深部流体热能在地表出露的象征。因此,在南盘江盆地的坝坝构造和十万大山盆地的上英鼻状构造,都有温泉出露,不利于天然气的保存。松潘—阿坝地区温泉水化学组合参数的特征也反映大气水成因,脱硫系数、变质系数大,盐化系数小,证明温泉水的水源是大气降水补给。泉水的水温均在32~49℃范围。初步计算大气水的下渗深度为1000~2500 m。

表 2 十万大山、松潘—阿坝地区温泉水循环深度计算表
Table 2 Calculation results of warm spring circulating depths in Shiwandashan basin, Songpan and Aba areas

盆地(地区)	温泉编号	水温(°C)	地温梯度(°C/100 m)	循环深度(m)
十万大山	141	38	2.58(据万参1井)	708.29
	142	34	2.58(据万参1井)	514.50
松潘阿坝地区	降扎温泉	49	2.5	2430
	河它温泉	32	2.5	1580
	阿里木多温泉	30	2.5	1480
	松潘川主寺	21	2.5	1030
	松潘漳腊	30	2.5	1480
	理县温泉1	32	2.5	1580
理县温泉2	35	2.5	1730	

3.3.2 现今地下水动力场与油气运移、聚集及保存

依据地形、地表河流水系分布,十万大山盆地地下水动力场可以划分出(图8):大气水下渗区,地下水径流区,区域地下水流动区三个局部水动力单元(Toth, 1978; 刘方槐等, 1991; 楼章华等, 1998)。大气水下渗区不利于油气保存;地下水径流区和区域地下水流动区相对有利于油气保存。因此,从现今水动力场分布来看,十万大山盆地中西部中三叠统泥岩、粉砂质泥岩覆盖区油气保存相对较好。

3.3.3 现今大气水下渗深度与油气保存条件

十万大山盆地温泉分布在盆地北部边缘的宁明、上思附近(图8)。温泉都出露在断层面上。上英鼻状构造的西侧,是下渗大气水补给区(图9)。该区也是三条河流体系的分水岭,地形较高,断层交错切割,岩石破碎,有利于大气降水在重力作用下下渗补给地下水。沿北东向断裂向南运动的地下水,水头压

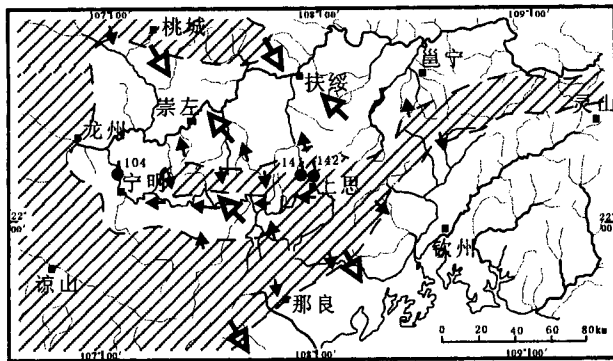


图8 十万大山盆地河流水系与现今水动力场平面分布图

Fig. 8 Modern river system and hydrodynamic fields of Shiwandashan basin

1—河流; 2—区域地下水流动方向; 3—局部地下水流动方向;
4—大气水下渗区; 5—温泉

1—River; 2—district flow direction of underground;
3—local flow direction of underground water; 4—area of meteoric
water down-seeping; 5—warn spring

力较大,部分地下水沿该断裂向深部循环运动,经加热后形成温泉。在北侧正断层中形成的热水,在重力作用下继续向南运动,受到紧挨着的逆断层的阻挡,深部热水向地表运动,在两断裂交汇处出露,形成温泉,温泉141、142(表2)的大气水下渗循环深度分别为708.29 m和514.50 m。

大气水下渗深度与地下岩石组成、沉积环境以及地形、河流的分布关系密切(汪蕴璞等,1987)。对于十万大山盆地的东部地区来说,根据区域地下水动力场模式,结合万参1井地层水的化学特征,大气

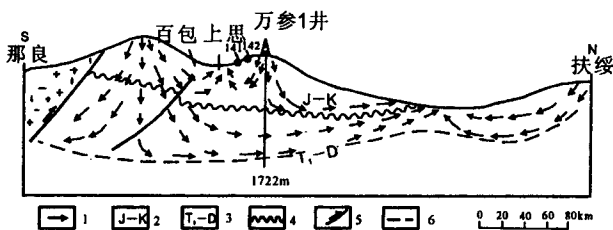


图9 十万大山盆地那良—上思—扶绥现今水动力特征剖面示意图

Fig. 9 Modern hydrodynamic profile of Naliang—Shangsi—Fusui of Shiwandashan basin

1—地下水流动方向; 2—侏罗系—白垩系; 3—下三叠统一泥盆系; 4—不整合面; 5—断层; 6—大气水可能下渗深度(m)

1—Flow direction of underground water; 2—Cretaceous and Jurassic; 3—Lower Triassic to Devonian; 4—plane of unconformity;
5—fault; 6—maybe depth (m) of down-seeping meteoric water

水下渗深度普遍较大,下渗范围深达古生界,侏罗系作为十万大山盆地油气盖层的可能性得不到落实。至少埋深在1722m以上地层可能不存在良好的盖层(隔水层),水动力开启强烈,不利于油气保存。因此中生界可能起不到对下渗大气水的封隔作用,对古生界天然气也可能起不到封盖作用(图9)。盆地西部,中生界及其泥岩厚度明显增加,封闭作用可能会变好。

3.3.4 古大气水下渗深度计算

通过研究发现,可以在测定方解石脉形成时的地球化学性质,分析方解石脉成因的基础上,估算古大气水下渗深度,步骤如下:①测定方解石脉的碳氧稳定同位素组成,判别方解石脉形成时是否有大气水的参与,方解石脉 $\delta^{13}\text{C}$ 值小于灰岩背景值的样品可以被认为在方解石脉形成过程中可能有大气水的参与;②测定方解石脉流体包裹体的均一温度;③结合古地温梯度计算方解石形成深度,对于可能存在有大气水参与的方解石脉样品来说,这个深度就是古大气水的下渗深度(图10)。

川渝鄂湘边区,方解石脉碳、氧同位素组成的差别较大。通过对比分析灰岩背景值和方解石脉 $\delta^{13}\text{C}$ 值,奥陶系方解石脉的 $\delta^{13}\text{C} < -0.2\%$ 、二叠系 $\delta^{13}\text{C} < 2.6\%$ 、三叠系 $\delta^{13}\text{C} < -1.6\%$ 的样品,在方解石的形成过程中可能受到下渗大气水的影响。利用这些小于界限值的样品所计算的形成深度就是古大气水的下渗深度。其中不同层位合在一起的图(图10),可能反映了燕山—喜马拉雅期抬升剥蚀和断裂作用过程中古大气水下渗深度的基本特点,川南古大气水下渗深度最小,小于800 m,川东介于1000~1500 m,川东北和鄂西渝东介于1500~2200 m,湘鄂西地区古大气水的下渗深度明显增加,介于2200~4600 m。总体上由西向东古大气水下渗深度增加,石柱—利川—巫山一线以东呈现网格状分布,大气水下渗深度存在明显差异。从计算方法中可以看出,这个古大气水下渗深度是剥蚀过程中方解石脉形成时的大气水下渗深度,不代表最大剥蚀厚度时期的古大气水下渗深度。因此,计算获得的古大气水下渗深度是剥蚀过程中某个时期的大气水下渗深度。

4 水文地质地球化学与油气保存条件评价指标体系

4.1 水文地质与油气保存条件

一般情况下,地下水越靠近地表,与地表水联系越密切;相反,埋藏越深,和地表水联系越差(杨绪

充,1989)。因此,根据两者相互联系的程度,在纵向上与横向上可以将地层水划分为三个不同的区带(水文地质垂直分带),即:自由交替带、交替阻滞带(或交替过渡带)和交替停止带(刘方槐等,1991)。在自由交替带内,由于地表水的大量渗入,成为活跃的开启的氧化环境,油气藏往往受渗入水的“冲刷”破坏而难以保存;交替停止带则因地表水难以渗入,从而成为油气藏保存条件的有利封闭环境;交替阻滞带则介于自由交替带和交替停止带之间,在该带的下部具备一定的油气保存条件。

在勘探选区或局部构造评价时,横向水动力条件对区域油气保存的影响应予以十分注意。切勿只注重纵向水文地质条件的封闭性,而忽视了横向的开启性。争取要选择距供水区较远,其间又有深向斜或区域性逆断层相隔(逆断层通常是区域水动力系统的分界线)的地区或构造。

4.2 海相油气田水文地球化学与油气保存条件

4.2.1 部分海相油气田的水文地球化学特点

塔里木的塔河奥陶系油田、四川盆地海相油气田、鄂尔多斯盆地古生界气田是我国典型的海相油气田,并且勘探程度较高,积累了丰富的地质、地层测试、地层水化学分析等资料和石油天然气综合研究成果。表3是这些盆地已知油气田的水文地球化学性质的统计表。

(1)塔里木盆地水文地球化学性质:从塔里木盆地塔北地区地下水化学的垂直分带中可以发现,奥陶系油田水与地表水不仅没有水力学方面的直接联系,而且从海西晚期开始,油气运移、聚集,古下渗大气水被沉积埋藏水驱替。在越流—蒸发过程中,地层水浓缩变质。

(2)鄂尔多斯中部奥陶系气田水文地球化学性质:鄂尔多斯盆地中部气田位于中央古隆起的东北侧,可供勘探的面积大于20000 km²。该聚集区以奥陶系顶部风化壳储层、石炭系一二叠系煤成气与奥陶系油型裂解气混源为主要特征。中部气田属古潜山气藏,与塔河奥陶系油气藏类似,在奥陶纪后,由于加里东构造运动的区域上升遭受剥蚀作用,导致

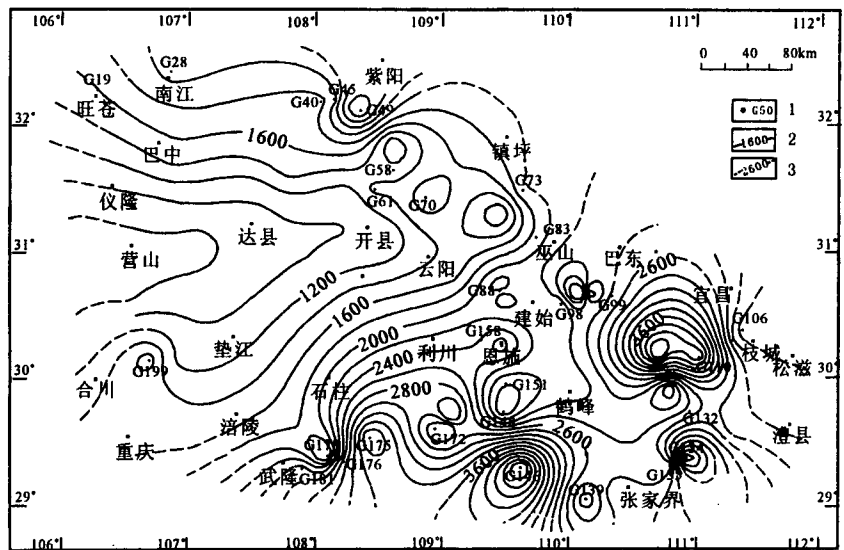


图 10 川东—湘西古大气水下渗深度(m)(平均)平面分布图
 Fig. 10 Planar distribution of down-seeping depth (m) of old meteoric water in the eastern Sichuan to western Hunan Provinces
 1—样品点;2—实测数据点控制等值线;3—趋势等值线
 1—Data point; 2— isopleth controlled by experimental data points; 3— isopleth tendency

在盆地中形成了大面积的古风化壳。在古风化壳的形成过程中,奥陶系地层水被下渗大气水交替淡化,地表大气水占据了奥陶系储层的主要缝洞系统。中石炭世全区沉降,进入了晚古生代海陆过渡阶段,沉积了一套海陆过渡相含煤碎屑岩建造,厚800~1500 m;三叠纪以来盆地进入大型内陆拗陷发育阶段,沉积了厚3000~4000 m的中生代湖泊河流相沉积;新生代盆地周边发生裂隙,形成若干地堑,呈现今日面貌。在中石炭世开始的沉积埋藏过程中,奥陶系及其以下地层和部分石炭系,压实排水,有机质热演化生烃,天然气伴随压实排出水进入奥陶系古岩溶储层,天然气在古岩溶储层中聚集成藏,沉积埋藏水驱替了加里东运动期间下渗的大气水,地层水在流动和越流过程中浓缩、变质、脱硫和盐化(表3)。

4.2.2 封存大气水与油气保存条件的关系

随着地壳升降运动的交替进行,在地史过程中可相应地形成沉积作用和淋滤作用水文地质期的交替发展(程汝楠等,1991;汪蕴璞等,1995)。如果第一沉积作用水文地质期形成的含水层,在第一淋滤作用水文地质期遭受剥蚀而暴露于当时的地表,接受大气水的淋滤淡化作用;在第二沉积作用水文地质期,当后者的沉积厚度超过上一期的剥蚀厚度时,由于上覆沉积加厚,地静压力增加,该含水层上下的泥质地层进一步压实,其中的沉积水必然会继续挤入

表3 中国典型海相油气田储层地层水化学特征表

Table 3 Characteristics of water chemistry for typical marine oilfields in China

地区	地层	样品数	矿化度(mg/L)			变质系数			脱硫系数			盐化系数			水型
			最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	
威远气田	Z	10	63352	84850	73046	0.61	0.97	0.88				24.36	99.96	50.02	CaCl ₂
苍河油田	O	26	133508	248757	201953	0.18	0.90	0.73	0.05	1.36	0.28	63.64	2025.70	653.24	CaCl ₂
鄂尔多斯	Om ^s	121	16421	276279	118005	0.02	0.94	0.19	0	4.33	1.38	54.02	2084.20	197.65	CaCl ₂
川东	C	22	8349	143100	57017	0.01	0.97	0.64	0.01	5.16	0.94				CaCl ₂
	O	7	62232	165904	101961	0.41	0.86	0.69	0.27	8.19	2.66	57.48	518.85	250.13	
塔里木盆地	S	10	71289	211614	104455	0.34	0.89	0.74	1.11	4.11	2.01	50.54	13480.00	2762.10	CaCl ₂
	C	14	37596	123511	81829	0.66	0.98	0.83	0.84	5.89	2.79	41.99	595.27	222.79	
川西坳陷	T ₃	26	21220	174800	69381	0.36	1.08	0.81	0	4.59	0.39				CaCl ₂
建南气田	C	86	2189	173060	40183	0.33	0.99	0.74	0.01	12.21	0.39	3.22	250.83	65.03	CaCl ₂
	P _{2ch}	128	5421	542897	106762	0.07	3.71	0.75	0.01	16.83	0.62	0.27	133.36	37.19	CaCl ₂
	T _{1j}	26	4479	229163	89455	0.14	0.90	0.39	0.07	43.92	3.04	1.03	480.61	40.04	CaCl ₂
	T _{1f}	79	1835	179123	75125	0.01	0.91	0.59	0.01	60.44	3.16	0.04	843.00	62.75	CaCl ₂

水层。地层压实排出水逐渐驱替淋滤作用下渗的气水。这一过程,可以一直延续到很深,直到粘土不再被压实时为止。因此,第一沉积作用水文地质含水层中沉积水的形成时期,不应止于第一沉积作用水文地质期结束,它可以延续到随后的第若干沉积作用水文地质期。其中也包括若干次古渗入气水的影响。

从已经发现海相油气田的鄂尔多斯盆地奥陶、塔里木盆地奥陶系来看,奥陶系都经历了长期、强烈的抬升剥蚀间断,均发育了厚300 m左右的古溶储层,至少在探明的古岩溶储层油气区,原始沉积埋藏水均曾经被下渗大气水驱替。但是,在后期的积埋藏过程中,下古生界的沉积埋藏水伴随着离心流驱替了分别在加里东运动、海西运动期间下渗大气水,沉积埋藏水在离心流的驱替过程中越流蒸发浓缩。一方面,这一过程基本决定了奥陶系储油层水主要为沉积埋藏水;另一方面,在沉积埋藏离心流的驱替过程中,油气伴随着离心流运移、聚。由此可见,反映高矿化度、高 Na⁺、高 Cl⁻离子浓度的沉积埋藏水,不仅是油气保存条件的重要标志,也是油气可能在储层中发生一定规模聚集的气生成、运移的重要指标。

显然,如果沉降沉积的厚度不能超过前期的剥蚀厚度,不整合面下的储层就不可能得到其相邻层泥质岩压实排出水的补给,抬升剥蚀阶段形成的渗大气水也就不能被沉积埋藏水驱替,储层里的层水保留了(古)大气水或受(古)大气水严重影响地层水。这也说明不整合面下的有机质没有进入次生烃。因此,不整合面附近的封存大气水应该可被认为是油气藏被破坏和保存条件差的标志。

万参1井、明1井的地层水化学性质具低矿化度,低离子浓度的特点(表4),比海水的平均成分低得多。因此,万参1井、明1井的地层水是封存大气水。在印支运动、燕山运动和喜马拉雅运动时期,盆地北部边缘和东部的大部分地区长期处于大气水下渗向心流的局部水动力单元背景中。万参1井、明1井所钻遇的不同时代地层的孔隙水被下渗大气水交替淡化。继承性的大气水下渗淡化作用,使得地层水的矿化度、离子浓度低,脱硫系数大,盐化系数小,且后两者与明江水和第四系潜水的类似。

表4 十万大山盆地万参1井、明1井水化学特征

Table 4 Characteristics of water chemistry of Wancan 1 and Ming 1 wells in Shiwandashan basin

水样	万参1井	万参1井	万参1井	明1井	明1井
	1059~ 1090(m)	1695~ 1722(m)	1781~ 1832(m)	933~ 948(m)	1099.2~ 1108.2(m)
K ⁺ +Na ⁺	66.31	64.53	128.59	483.14	435.95
Cl ⁻	23.78	33.01	42.45	99.88	249.91
SO ₄ ²⁻	41.47	19.56	23.21	53.56	107.47
变质系数	4.29	3.01	4.66	7.44	2.68
脱硫系数	63.56	37.20	35.35	34.91	30.07
盐化系数	0.017	0.031	0.069	0.101	0.441
矿化度	1872.86	1436.25	914.00	1634.25	1373.35

注:矿化度、离子浓度的单位为 mg/L。

4.2.3 水文地质地球化学油气保存条件评价指标体系

油田水文地质地球化学性质与油气保存条件评价之间关系的研究重点是建立合理、科学、便于操作的油田水化学评价体系。通过对四川盆地、塔里木盆地、鄂尔多斯盆地海相油田水文地球化学特征的研究,结合南方海相地层水文地球化学的基本特征,对

比分析河流、湖泊、海洋、泉水的地球化学性质,可以总结出一套比较系统的油气保存条件的水文地质地球化学综合判别指标体系(表5)。

5 中国南方海相地层油气保存条件评价技术体系

针对南方海相地层来说,油气保存条件的主要研究内容包括盖层、断层、抬升剥蚀、水动力、岩浆活动、生储盖组合、源岩的质量等及其在时间和空间上的组合关系。

5.1 油气保存条件的评价方法

盖层和断层封闭性是影响保存条件的直接因素;后期构造运动则是影响保存条件和油气藏破坏与散失的根本原因;水文地质条件和地下流体化学-动力学参数是判识现实保存状况好坏的判识性指标。因此,评价油气保存条件需要从上述三个互为成因联系的方面进行分析。

(1)条件性因素分析:条件性因素主要是指组成封盖体系的盖层条件和边界断层的封闭性。大的通

天断层通常是泄压、油气逸散和水动力沟通的主要通道。因此,常构成封闭体系的边界。

盖层条件评价分宏观评价和微观评价,前者主要是研究盖层岩性、组成、类型、厚度、分布范围等宏观条件;后者则主要是研究盖层的封盖性能,包括盖层岩石的微孔结构、突破压力、可塑性以及成岩程度等。泥质盖层的可塑性是封盖性能的重要保证,脆性化的泥岩往往由于容易产生裂隙和微裂隙而失去或降低封盖能力。泥岩的可塑性主要与其粘土矿物成分和成岩程度有关,如蒙脱石和伊利石的相对含量,伊蒙混层比是评价盖层封盖性能的重要指标。伊利石结晶度是衡量岩石成岩程度的良好指标,一般伊利石结晶度大于4.5则标明岩石已变质。边界条件的研究主要是研究断层,也可分为宏观与微观两方面,宏观主要研究断层的性质、发育规模、延伸长度、形成时间、活动期次等,微观方面则主要研究断层岩组成、涂抹系数,断层两侧岩性对置以及断裂带的流体化学-动力学响应特征。

(2)成因性因素分析:成因性因素分析主要研究

表5 南方海相油气保存条件综合评价指标体系

Table 5 Evaluation system of marine petroleum preservation of South China

因素	评价参数	评价指标标准体系			
		好(I)	较好(II)	一般(III)	差(IV~V)
区域盖层	封闭性	I	II	III	IV
	厚度(m)	>300	300~150	150~50	<50
	埋深(m)	>800	>800	500~800	<500
	均质程度	均质	均质	较均质	不均质
	分布情况	大面积连片	较大面积连片	较大面积连片	小面积零星分布
构造作用强度	油源断裂作用	中等-弱发育	中等发育		
	距通天断裂(km)	>10	5~10	5~2	<2
	剥蚀作用(m)	500~1500	1500~2000	2000~4000	>4000
出露地层	距目的层露头(km)	>15	10~15	5~10	<5
	上组合	K-T ₃	T ₂ -T ₁	P	C
岩浆活动	下组合	K-T ₁	P~C	S	O
	成藏前	无一弱	无一弱	弱-中等	中等-强
	成藏后	无或距离远	无或距离较远	弱-中等	中等-强
水文地质与地球化学	地层水成因	沉积埋藏水	短暂受大气水下渗影响	较长期受大气水下渗影响	长期受大气水下渗影响
	矿化度(g/L)	>40	30~40	20~30	<20
	变质系数	<0.87	0.87~0.95	0.95~1.0	>1.0
	脱硫系数	<8.5	8.5~15	15~30	>30
	盐化系数	>20	1~20	0.2~1	<0.2
	苏林水型	CaCl ₂ 为主, MgCl ₂ 次之, 偶见 NaHCO ₃ 、Na ₂ SO ₄		以 CaCl ₂ 为主, 常见 Na ₂ SO ₄	NaHCO ₃ 、Na ₂ SO ₄
	水文地质分带	交替停滞带		交替阻滞带	自由交替带
水动力	沉积承压水动力系统	受渗入水影响的沉积承压水动力系统		渗入水水动力系统	
古流体	泉(°C)	季节性低温泉		25~35	>35
	断裂带流体来源	同层位地层		大气水渗入, 深部流体	
	金属矿产	无	无	零星	较多
	伽马等异常	无	无	零星	较多

后期构造运动的改造强度、岩浆热液作用和成岩变质作用等。经历强烈构造运动改造、长期隆升剥蚀改造、有大量岩体侵入、较强成岩变质作用和盖层成岩程度很高的盆地或地区,油气保存条件可能受到严重破坏。具体研究方法可从构造运动期次,褶皱变形强度,断裂的性质、演化过程及其与地层的组合关系,地层抬升剥蚀过程、幅度,岩体形成的时间、规模及影响范围,成岩变质程度等方面进行分析。

(3)判识性指标分析:判识性指标包括两大类,一是储层流体性质,二是地层流体压力和动力体系。前者主要指储层中油、气、水的物理化学性质和微观地化信息,后者主要指流体压力场和动力场的演化特征。

5.2 南方海相地层油气保存条件评价技术体系

在油气保存条件评价中,通常考虑以下五个方面的因素:①盖层及其封盖性能,②断层封闭性,③后期构造作用强度,④水文地质条件,⑤地下流体化学-动力学行为特征。实际上构成油气保存条件的上述诸因素是有成因联系的,可以充分利用这些参数建立起南方海相地层油气保存条件的评价技术体系(表5)。

6 认识与总结

(1)南方海相地层经历了复杂多期的构造运动,油气保存条件遭受严重破坏。如何准确评价油气保存条件,一直缺乏有效的石油地质学理论。古油藏分布区、盆地边缘和背斜带中的高大构造以及断凹间的隆升断块,断裂作用较强,水文开启程度较高,不利于油气保存。高大背斜带之间的低潜微幅、低幅构造可能有利于天然气成藏、保存。

(2)油气地质与保存条件的分割性。油气地质的分割性是普遍客观存在的,南方海相地层则表现得更为明显。在以往的研究与勘探中没有得到足够的重视,过多地强调整个盆地的共性,在分析油气地质特征时直接导致无法较准确地评价盆地内不同区块的油气地质的差异。

(3)中国南方油气保存条件的评价需要有一套全新的理论和方法。从系统、全面、动态和演化的角度,分析构造演化、有机质演化、油气运移聚集与油气保存条件演变之间的时空(四维)配置关系,研究构造运动(主要包括剥蚀作用、断裂一破碎作用)、大气水下渗作用、深埋热变质作用等对油气藏破坏的时期、程度、方式,综合评价油气成藏、保存条件的演变规律,创建南方海相地层油气保存条件的研究方

法和综合评价技术体系。

注释

① 万朝元,刘裕周,陈文益,等. 1980. 中华人民共和国区域地质调查报告(1:20万,兴仁幅,安龙幅)。

参考文献

- 程汝楠等. 1991. 古水文地质及其应用. 北京:地质出版社.
- 戴金星,宋岩,张厚福,等. 1997. 中国天然气的聚集区带. 北京:科学出版社.
- 戴少武,贺自爱,王津义,等. 2002. 整体封存体系的内涵. 石油与天然气地质, 23(2):107~114.
- 何登发,马永生,杨明虎. 2004. 油气保存单元的概念与评价原理. 石油与天然气地质, 25(1):1~8.
- 胡光灿,谢姚祥. 1997. 中国四川东部高陡构造石炭系气田. 北京:石油工业出版社.
- 李明诚,李伟,蔡峰,等. 1997. 油气成藏保存条件的综合研究. 石油学报, 18(2):41~48.
- 李明诚,孙大明. 2000. 地流体、封隔体和含油气系统与油气运移的关系. 石油大学学报(自然科学版), 24(4):29~33.
- 梁兴,吴少华,马力,等. 2003. 赋予含油气系统内涵的南方海相含油气保存单元及其类型. 海相油气地质, 8(3~4):81~88.
- 梁兴,叶舟,马力,等. 2004. 中国南方海相含油气保存单元的层次划分与综合评价. 海相油气地质, 9(1~2):59~76.
- 刘方槐,颜婉荪. 1991. 油气田水文地质学原理. 北京:石油工业出版社.
- 刘平. 1994. 贵州主要汞矿床的微量元素特征. 矿床地质, 13(1):230~259.
- 刘显凡,杨科佑,张兴春. 1998. 从桂西北隆或金矿的地质地球化学特征看微细浸染型金矿的可能成因. 地质地球化学, 26(4):1~8.
- 楼章华,蔡希源,高瑞祺. 1998. 松辽盆地流体历史与油气藏分析. 贵阳:贵州科学技术出版社.
- 苏文超,杨科佑,胡瑞忠,等. 1998. 中国西南部卡林型金矿床流体包裹体年代学研究. 矿物学报, 18(3):359~362.
- 孙楠,谢鸿森,郭捷,等. 2000. 含油气沉积盆地流体包裹体及应用. 长春科技大学学报, 30(1):42~45.
- 王大纯,张人权,史毅虹,等. 1986. 水文地质学基础. 北京:地质工业出版社, 1~159.
- 汪蕴璞,赵宝忠,张金来. 1987. 油田古水文地质与水文地球化学. 北京:科学出版社, 8~11.
- 汪蕴璞,林锦璇,汪林. 1995. 论含油气盆地含水系统和水文地质期的划分. 地球科学—中国地质大学学报, 20(4):393~398.
- 杨绪充. 1989. 论含油气盆地地下水动力环境. 石油学报, 10(4):27~34.
- 张义纲. 1991. 天然气的生成聚集与保存. 南京:河海大学出版社.
- 赵宗举,朱琰,李大成,等. 2002. 中国南方构造形变对油气藏的控制作用. 石油与天然气地质, 22(4):19~26.
- Cheng Runan, Yang Shuzhen. 1991. Paleohydrogeology and its application. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Dai Jinxing, Song Yan, Zhang Houfu, et al. 1997. Natural gas accumulation belts and zones in China. Beijing: Science Press (in Chinese with English abstract).
- Dai Shaowu, He Ziai, Wang Jinyi, et al. 2002. Intension of bulk sealing off system. Oil & Gas Geology, 23(2): 107~114 (in Chinese with English abstract).
- Eadington P J. 1991. Fluid history analysis — a new concept for

- prospect evaluation. *The APEA Journal*, 31(2): 282~294.
- He Dengfa, Ma Yongsheng, Yang Minghu. 2004. Concept and appraisal principles of hydrocarbon preservation unit. *Oil & Gas Geology*, 25(1):1~8 (in Chinese with English abstract).
- Hu Guangcan, Xie Yaoxiang. 1997. High and steep tectonic Carboniferous gas pools in the eastern of Sichuan, China. Beijing: Petroleum Industry Publishing House (in Chinese).
- Li Mingcheng, Li Wei, Cai Feng, Sun Daming. 1997. Integrative study of preservation condition of oil and gas pools. *Acta Petrolei Sinica*, 18(2): 41~48 (in Chinese with English abstract).
- Li Mingcheng, Sun Daming. 2000. Relation of petroleum migration and fluid, compartmentation and petroleum system. *Journal of the University of Petroleum, China*, 24(4): 29~33 (in Chinese with English abstract).
- Liang Xing, Wu Shaohua, Ma Li, et al. 2003. Southern marine petroleum preservation units about petroleum system and its types. *Marine Oil & Gas Geology*, 8(3~4): 81~88 (in Chinese).
- Liang Xing, Ye Zhou, Ma Li, et al. 2004. Grading partition and integration evaluation of southern marine petroleum preservation units in China. *Marine Oil & Gas Geology*, 9(1~2):59~76 (in Chinese).
- Liu Fanghuai, Yan Wansun. 1991. Principle of hydrogeology in oil and gas fields. Beijing: Petroleum Industry Publishing House (in Chinese).
- Liu Ping. 1994. Characteristic of minor elements in major mercury deposits of Guizhou Province. *Mineral Deposits*, 13(1):230~259 (in Chinese with English abstract).
- Liu Xianfan, Yang Keyou, Zhang Xingchun. 1998. Preliminary discussion on the possible genesis of the carlin-type gold deposits in terms of the geology and geochemistry of the Longhuo gold deposit, Northwest Guangxi. *Geology-Geochemistry*, 26(4):1~8 (in Chinese with English abstract).
- Lou Zhanghua, Cai Xiyuan, Gao Ruiqi. 1998. Analysis of fluid history and the formation of oil and gas pools in Songliao basin. Guiyang: Guizhou Science and Technology Press (in Chinese with English abstract).
- Su Wenchao, Yang Keyou, Hu Ruizhong, Chen Feng. 1998. Fluid inclusion chronological study of the carlin-type gold deposits in southwestern china; as exemplified by the Lannigou gold deposit, Guizhou province. *Acta Mineralogica Sinica*, 18(3):359~362 (in Chinese with English abstract).
- Sun Qiang, Xie Hongsen, Guo Jie, Su Genli, Ding Dongye. 2000. Fluid Inclusion in sedimentary basins Generating petroleum and their application. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 30(1):42~45 (in Chinese with English abstract).
- Toth J. 1978. Gravity-induced cross-formational flow of formation fluids, Red Earth region, Alberta, Canada: Analysis, patterns, evolution. *Water Resources Research*, 14(5): 805~843.
- Wang Dachun, Zhang Renquan, Shi Yihong, Xu Shaozhuo, Yu Qingchun, Liang Xing. 1986. Hydrogeology base. Beijing: Geological Publishing House, 1~159 (in Chinese).
- Wang Yunpu, Zhao Baozhong, Zhang Jinlai. 1987. Paleohydrogeology and hydrogeochemistry in oil fields. Beijing: Science Press, 8~11 (in Chinese).
- Wang Yunpu, Lin Jinxuan, Wang Lin. 1995. Division of water-bearing systems and hydrogeological periods of oil (gas)-bearing basin. *Earth Science*, 20(4):393~398 (in Chinese with English abstract).
- Yang Xuchong. 1989. Hydrodynamics for oil-bearing sedimentary basins. *Acta Petrolei Sinica*, 10(4):27~34 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yigang. 1991. Generation, accumulation and preservation of gas. Nanjing: Hehai University Press, 1~151 (in Chinese).
- Zhao Zongju, Zhu Yan, Li Dacheng, Yu Guang, Yang Shufeng, Chen Hanlin. 2002. Control affect of tectonic deformation to oil-gas pools in southern China. *Oil & Gas Geology*, 22(4):19~26 (in Chinese with English abstract).

An Exploration on a Technological System of Petroleum Preservation Evaluation for Marine Strata in South China

MA Yongsheng¹⁾, LOU Zhanghua²⁾, GUO Tonglou¹⁾, FU Xiaoyue¹⁾, JIN Aimin²⁾

1) *Southern Exploration and Development Company, SINOPEC, Kunming, 650200*

2) *Institute of Water Resources, Zhejiang University, Hangzhou, 310028*

Abstract

Oil-gas reservoirs of marine strata in South China had undergone several evolution processes in the Caledonian, Indosinian and Yanshanian respectively, which induced oil-gas reservoirs to be reconstructed greatly by tectonic activity. The preservation conditions are destroyed badly and effective technique is absent in evaluating hydrocarbon preservation. Through studying chemical and dynamical rules of underground fluids, the damage degree and mode of reservoirs by denudation, fault-fracture and permeating downwards of meteoric water are analyzed from the dynamic and evolution view. Subsequently we try to appraise the formation and preservation of oil and gas and probe into a technological system of hydrocarbon preservation aiming at marine strata in South China.

Key words: marine strata; South China; hydrocarbon; preservation; hydrogeochemistry; hydrogeology