

文章编号: 1000-0550(2017)04-0789-08

doi: 10.14027/j.cnki.cjxb.2017.04.013

泰国呵叻盆地二叠系 Pha Nok Khao 组碳酸盐岩沉积相特征

胡双全¹, 杜贵超², 甄胜利³

1. 陕西延长石油(集团)有限责任公司研究院, 西安 710075

2. 西安石油大学地球科学与工程学院, 西安 710065

3. 陕西延长石油国际勘探开发工程有限公司, 西安 710075

摘要 通过研究区3口钻井岩芯、测井、录井资料分析,结合薄片鉴定、阴极发光、X衍射、同位素及微量元素分析等分析手段,对呵叻盆地二叠系碳酸盐岩沉积相发育特征及沉积模式进行了系统分析。研究表明,呵叻盆地二叠系 Pha Nok Khao 组发育缓坡型无障壁碳酸盐台地沉积,研究区位于碳酸盐台地前缘斜坡部位,以海水浪基面为界,可划分为台地前缘浅水斜坡亚相及较深水斜坡亚相。浅水斜坡亚相指示沉积环境为位于浪基面以下或附近、水动力弱、弱还原—弱氧化的台地前缘斜坡环境;较深水斜坡亚相组合指示沉积环境为位于浪基面以下、水体较深、水动力弱、弱还原—中等还原的前缘斜坡环境。整体来看,研究区二叠系碳酸盐岩沉积时期主要为水体较深、水动力弱、垂向上沉积环境稳定的低能环境沉积。该沉积环境不利于形成良好的基质孔隙条件,有利储层发育主要取决于碳酸盐岩地层后期改造程度。

关键词 呵叻盆地;二叠系;碳酸盐岩;Pha Nok Khao 组;沉积相

第一作者简介 胡双全,男,1966年出生,高级工程师,石油地质综合研究,E-mail: hsq6629@163.com

通讯作者 杜贵超,男,副教授,E-mail: duguichao@sina.com

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

0 引言

呵叻盆地位于泰国陆上东北部,是一个在稳定克拉通基底上发展起来的晚古生代内部拗陷盆地、具有下海上陆、下断上凹双重结构。盆地油气勘探始于20世纪60年代,目的层为二叠系浅海相碳酸盐岩。截至目前,盆地内部钻井及地震工作量较少,勘探程度较低,仅在盆地北部发现两个小型商业气田,预测可采天然气储量 $140 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[1]。钻井及地震资料缺乏导致盆地主要目的层油气地质特征研究程度相对较低,沉积相研究尤为薄弱。仅见少量文献基于盆地周缘露头资料等对盆地沉积特征进行了探讨^[2-4]。已有研究表明,二叠系时期盆地内部及边缘发育了广泛的浅海碳酸盐台地,为克拉通基底上发展起来的缓坡型台地沉积,沉积水体较深^[5]。但盆地内沉积相类型、相展布规律及垂向演化特征等研究尚未见文献报道。

通过研究区3口新钻井取芯、测井、录井资料及分析化验资料的综合分析,并结合盆地区域沉积背景,利用岩性特征、沉积地球化学特征、古生物特征、

测井、录井及地震资料综合解释、古生物化石分析等技术手段对研究区沉积相特征开展综合研究,旨在刻画二叠系碳酸盐岩沉积环境,分析岩相发育特征及沉积相类型,探究沉积相垂向演化特征,并总结研究区沉积相模式。同时,结合前人研究成果及研究区沉积相研究结论,探讨二叠系碳酸盐岩沉积相对油气成藏的控制作用。

1 地质背景

1.1 概况

呵叻盆地面积约 $17 \times 10^4 \text{ km}^2$,北部为普潘隆起,东北部为 Loei-Phetchabun 褶皱带,是在印支板块稳定基底上发展起来的克拉通内部盆地(图1),最大沉积厚度达 7600 m ^[6-9]。盆地的形成演化受多期板块碰撞和区域构造拉张影响,经历了断陷裂谷(C₃—P₂)、印支 I 幕构造运动(P₂—T₂)、印支 II 幕构造运动(T₃末期)、盆地整体沉降(J₁—K₁)、中白垩纪构造反转运动(K₂)、喜马拉雅造山运动(E₁至今)等多期构造运动^[10-13]。自下而上发育了晚古生代石炭系及

收稿日期: 2016-06-16; 收修改稿日期: 2016-11-07

基金项目: 陕西延长石油(集团)有限责任公司科技研发项目(ycsy2014ky-A-10) [Foundation: Science and Technology Research Project of Shaanxi Yanchang Petroleum Group, No. ycsy2014ky-A-10]

二叠系,中生代三叠系、侏罗系及白垩系,以及少量第三系、第四系地层。



图1 研究区地理位置图

Fig.1 The location map of the study area in Khroat Basin

1.2 地层发育特征

研究区位于呵叻盆地东部,具有“下断上拗、下海上陆”二元结构。下元结构主要发育石炭系及二叠系地层,二叠系 Pha Nok Khao 组为晚古生代盆地断陷裂谷期产物,为浅海相碳酸盐岩地层,与顶部三叠系陆相地层呈不整合接触,是本次研究目的层(图

2)。目前研究区钻井主要揭示二叠系 Pha Nok Khao 组碳酸盐岩中上部地层,厚度约 400~1 000 m,岩性主要为浅灰色—灰黑色泥晶灰岩、泥质泥晶灰岩、泥晶生屑灰岩、泥晶白云质灰岩、少量含鲕粒泥晶灰岩及泥岩等,偶见少量安山质玄武岩。

2 岩相分析

2.1 岩相划分

研究区 3 口钻井在目的层共取芯 5 次,累计厚度 40 m,岩性主要为灰岩、泥质灰岩及少量灰质泥岩等。据岩芯描述结合薄片镜下岩性鉴定,共划分出 8 种岩相类型(图 3、表 1)。包括:深灰—灰黑色泥晶灰岩相、浅灰—灰色泥晶灰岩相、灰—深灰色泥晶生屑灰岩相、灰色泥晶生屑灰岩相、灰色含鲕粒泥晶灰岩相、微晶灰岩相、细晶灰岩相、灰质泥岩相。各岩相类型及沉积环境特征描述如下:

(1) 深灰—灰黑色泥晶灰岩相

该岩相发育厚度 1.22~2.65 m,呈深灰—灰黑色,泥晶结构(图版 II-a)。碳质呈浸染状不均匀分布,其含量越高,颜色越深。构造裂缝较为发育,但均被方解石胶结物充填。生物化石基本不发育,仅见少量 *Glomospira* 及 *Globivalvulina* 有孔虫化石,极少量介形虫等化石碎片。沉积构造为块状构造、斜层理为主(图版 I-a)。该岩性段 TK1 井 3 103.95~3 104.03 m 内样品微量元素分析等表明, Sr/Ba 比值为 33,均大

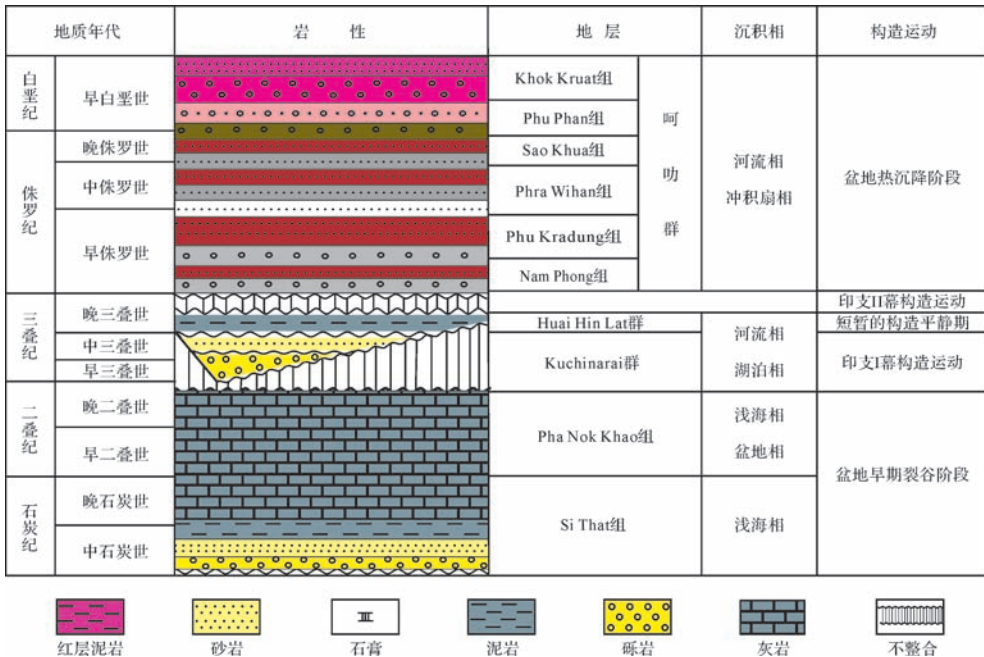


图2 呵叻盆地地层综合柱状图

Fig.2 The column section map of Khroat Basin

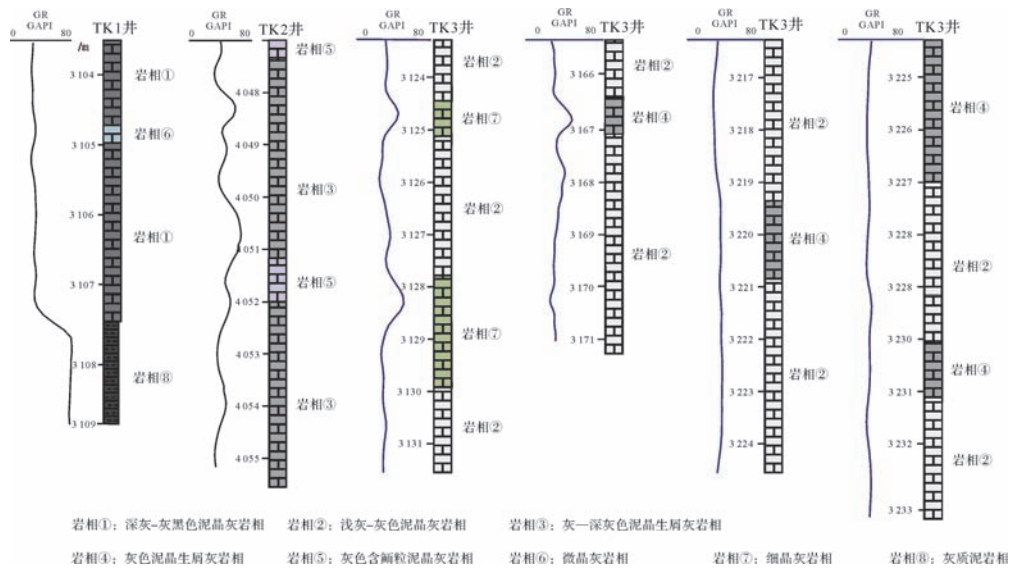


图3 研究区钻井取芯段岩相划分图

Fig.3 Lithologic facies classification of coring intervals of wells in the study area

表1 研究区钻井取芯段岩相发育特征描述

Table 1 Characteristics of lithologic facies of coring intervals of wells in the study area

序号	岩相	厚度/m	结构	古生物化石特征	微量元素特征	同位素特征	典型矿物	沉积构造	沉积环境解释
1	深灰—灰黑色泥晶灰岩相	1.22~2.65	泥晶结构	基本不发育, 仅见少量有孔虫化石, 极少量介形虫等化石碎片。见搬运特征	Sr/Ba=33; B=68 μg/g; V/Ni=2; V/(V+Ni)=0.67; Cd=0.74 μg/g;	$\delta^{13}C=4.52\text{‰}(V-PDB)$; $\delta^{18}O=-10.2\text{‰}(V-PDB)$; Z 值为 131.48	黄铁矿占 9%;	块状构造、斜层理	水体较深、水动力弱的还原环境
2	浅灰—灰色泥晶灰岩相	1.11~3.56	泥晶结构	较差到不发育, 见少量有孔虫、藻类、钙球等生屑颗粒及碎片。见搬运特征	Sr/Ba=0.82~4.72; B=46~55 μg/g; V/Ni=0.5~1.5; V/(V+Ni)=0.33~0.6; Cd=0.04~0.72 μg/g;	$\delta^{13}C=2.06\sim 5.33\text{‰}(V-PDB)$; $\delta^{18}O=-8.72\sim -10.21\text{‰}(V-PDB)$; Z 值为 126.43~133.8	未见黄铁矿	滑塌构造及虫孔构造 塌积岩、漂浮状	弱氧化—弱还原、水动力条件弱的斜坡环境
3	灰—深灰色泥晶生屑灰岩相	2.49~2.8	泥晶结构	相对较发育, 主要见有孔虫、藻类、钙球等, 及少量介形虫、腕足类及棘皮类生屑碎片。见搬运特征	Sr/Ba=4.4~4.5; B=32~33 μg/g; V/Ni=0.6~1.6; V/(V+Ni)=0.4~0.625; Cd=0.52~1.42 μg/g;	$\delta^{13}C=0.88\sim 3.12\text{‰}(V-PDB)$; $\delta^{18}O=-11.53\sim (-13.27)\text{‰}(V-PDB)$; Z 值为 122.49~127.95,	黄铁矿 0.3%~0.4%	灰岩, 沉积角砾岩及灰泥岩块体呈漂浮状堆积,	浪基面附近、整体水动力较弱的弱还原斜坡环境
4	浅灰色泥晶生屑灰岩相	0.5~2.54	泥晶结构	发育程度较差, 以有孔虫及藻类为主, 见少量介形虫碎片、钙球、棘皮类、腕足类等	Sr/Ba=5.56; B=54 μg/g; V/Ni=0.5; V/(V+Ni)=0.33; Cd=0.72 μg/g;	$\delta^{13}C=4.17\text{‰}(V-PDB)$; $\delta^{18}O=-9.94\text{‰}(V-PDB)$; Z 值为 130.89,	黄铁矿 0.3%	块状构造为主	水体较深, 位于浪基面附近, 水动力较弱、弱氧化—弱还原环境
5	灰色含鲕粒泥晶灰岩相	0.4~0.8	泥晶结构	基本不发育	Sr/Ba=3.35~4.52; B=33~49 μg/g; V/Ni=0.6~1.6; V/(V+Ni)=0.11~0.33; Cd=0.68~0.72 μg/g;	$\delta^{13}C=2.75\sim 3.01\text{‰}(V-PDB)$; $\delta^{18}O=-11.75\sim (-11.79)\text{‰}(V-PDB)$; Z 值为 127.08~127.59,	录井见黄铁矿	局部可见鲕粒发育层段灰砾定向排列, 鲕粒分选差	水体较深, 水动力弱, 位于浪基面附近的斜坡环境, 局部发育扰动水动力
6	微晶灰岩相	0.3	微晶结构	基本不发育	—	—	—	块状构造为主	水体较深、水动力弱
7	细晶灰岩相	0.69~2.05	细晶结构	偶含有孔虫碎片	—	—	—	含灰岩角砾, 角砾呈棱角状到次圆状	水体较深, 弱水动力斜坡环境
8	灰质泥岩相	0.86	—	不发育	Sr/Ba=2.1; B=220 μg/g; V/Ni=8.26; V/(V+Ni)=0.89; Cd=6.9 μg/g;	$\delta^{13}C=-2.78\text{‰}(V-PDB)$; $\delta^{18}O=-14.59\text{‰}(V-PDB)$; Z 值为 114.34	黄铁矿 8.7%	水平层理	较深水, 静水环境沉积

于1,同时,C/O同位素计算得Z值为131.5,为海相沉积。B元素含量为68 $\mu\text{g/g}$,总体上显示为半咸水—咸水环境。V/Ni比值为2,表明沉积时期水体盐度较高;V/(V+Ni)比值为0.67,其比值均大于0.46,显示为缺氧环境。研究区样品中Cd含量为0.74 $\mu\text{g/g}$,其富集程度较高。同时,TK1井3 104.66~3 104.73 m深度样品全岩分析表明黄铁矿含量占0.9%。同样指示了缺氧沉积条件。

综合分析表明,该岩相指示了水体位于浪基面以下,水动力弱的中等还原环境沉积。

(2) 浅灰—灰色泥晶灰岩相

该岩相发育厚度1.11~3.56 m,以浅灰色为主,泥晶结构(图版II-b),见滑塌构造及虫孔(图版I-b,c),构造裂缝相对较发育,早期裂缝被方解石全充填,晚期裂缝主要为水平裂缝及低角度裂缝,呈半充填—未充填特征。古生物发育程度较差到不发育,见少量有孔虫、藻类、钙球等生屑颗粒及碎片,为正常海相底栖生物组合。有孔虫主要包括*Globivalvulina*球瓣虫属、*Eotuberitina*始瘤虫属,镜下生屑碎片具搬运埋藏特征。

TK3井3 124.35~3 124.45 m样品全岩分析表明,该岩性段碳酸盐岩较纯,方解石含量占98%,另外含少量石英、白云石及石盐等,样品未检测到黄铁矿发育。C/O同位素分析表明,该岩性段Z值为126.43~133.8,为海相沉积。该样品微量元素分析表明,B元素含量为46~55 $\mu\text{g/g}$,V/Ni比值为0.5~1.5,通常反映了盐度相对较高的沉积环境;V/(V+Ni)比值为0.33~0.6,其值个别大于0.46,指示缺氧—弱氧化沉积环境。Cd含量为0.04~0.72 $\mu\text{g/g}$,元素富集倍数为1~18,亦指示缺氧—弱氧化沉积环境。

综合分析表明,该岩相指示了弱氧化—弱还原、水动力条件弱的斜坡环境沉积。

(3) 灰—深灰色泥晶生屑灰岩相

该岩相发育厚度2.5~2.8 m,呈灰—深灰色,泥晶结构(图版II-c),该岩相主要见于TK2井取芯段,4 049.9~4 050 m及4 053.7~4 053.8 m样品全岩分析表明,该岩性段矿物组分主要为方解石(92%~93%),含少量白云石晶体(3.3%~3.4%),少量石英、黄铁矿及黏土矿物等。该取芯段见塌积岩、漂浮状灰岩,沉积角砾岩中灰岩、灰砂岩及灰泥岩块体呈漂浮状堆积,表明沉积物固结或半固结后被波浪破碎并搬运后,与碳酸盐、泥质或灰质混合滑塌并快速堆积(图版I-d,e,f)。

该岩性段4 050.3~4 050.4 m、4 055.2~4 055.3 m样品C、O同位素测得 $\delta^{13}\text{C}=0.88\sim 3.12\text{‰}$ (V-PDB), $\delta^{18}\text{O}=-11.53\sim(-13.27)\text{‰}$ (V-PDB),计算得Z值为122.49~127.95,为海相沉积;同深度样品微量元素分析表明,样品Sr/Ba比值为4.4~4.5,均大于1,指示海相沉积。V/Ni比值为0.6~1.6,表明沉积时期水体盐度较高;V/(V+Ni)比值为0.4~0.625,其比值个别大于0.46,显示为缺氧环境,局部发育氧化环境。Cd含量为(0.52~1.42) $\mu\text{g/g}$,其富集程度一般到较高,指示了缺氧条件,主要为弱还原环境。

镜下观察表明该岩性段古生物化石较发育,主要见有孔虫、藻类、钙球等,及少量介形虫、腕足类及棘皮类生屑碎片。为正常海相底栖生物化石组合,有孔虫及介形虫等生物化石既见完整生物个体,亦见生屑碎片,显示既有原生理藏特征,亦有搬运埋藏特征。

综合分析表明,该岩相指示位于浪基面以下、整体水动力较弱的弱还原斜坡环境。

(4) 浅灰色泥晶生屑灰岩相

该岩相发育厚度0.5~2.54 m,以浅灰色为主,少量浅灰、深灰及灰黑色,局部含碳质,沉积构造欠发育。TK3井3 220.4~3 220.45 m样品全岩分析表明,该岩相主要为方解石(88%),其次为少量陆源碎屑颗粒如石英、长石等,白云石颗粒含量为2.1%,黄铁矿含量为0.3%,及少量其他矿物等。

镜下特征表明,该岩相为泥晶结构,含泥质,古生物化石发育程度较差,以有孔虫及藻类为主,见少量介形虫碎片、钙球、棘皮类、腕足类等,为正常海相底栖生物组合。生物化石见原生理藏及搬运埋藏特征。

TK3井3 230.5~3 230.6 m样品C、O同位素检测表明, $\delta^{13}\text{C}$ (V-PDB)值为4.17‰, $\delta^{18}\text{O}$ (V-PDB)值为-9.94‰,计算Z值为130.89,指示为海相沉积。同时,该样品微量元素分析表明,Sr/Ba比值为5.56,指示为海相沉积。B元素含量为54 $\mu\text{g/g}$,V/Ni比值为0.5,总体上显示为半咸水—咸水环境;V/(V+Ni)比值为0.33,显示为弱氧化—弱还原环境,Cd含量为0.72 $\mu\text{g/g}$,元素富集倍数为18,亦指示缺氧沉积环境。

综合分析表明,该岩相指示整体水体较深,基本位于浪基面附近,水动力较弱的弱氧化—弱还原沉积环境。

(5) 灰色含鲕粒泥晶灰岩相

该岩相主要发育在TK2井,厚度0.4~0.8 m,泥晶结构,鲕粒均为同心鲕,粒径1~4 mm,个别鲕粒粒径达7 mm,鲕粒分选较好(图版I-g)。岩芯样品局

部可见鲕粒发育层段灰砾定向排列,分析认为该岩性段沉积时期表现为扰动水动力特征,但整体为水动力弱的安静环境沉积,鲕粒应为搬运再沉积产物。

该岩相 4 047.1~4 047.2 m、4 051.9~4 052.1 m 深度样品 C、O 同位素测得 $\delta^{13}\text{C} = 2.75 \sim 3.01\text{‰}$ (V-PDB), $\delta^{18}\text{O} = -11.75 \sim (-11.79)\text{‰}$ (V-PDB), 计算得 Z 值为 127.08~127.59, 为海相沉积; 同深度样品微量元素分析表明, 样品 Sr/Ba 比值为 3.35~4.52, 均大于 1, B 元素含量为 33~49 $\mu\text{g/g}$, 含量较低; V/Ni 比值为 0.6~1.6, 表明沉积时期水体盐度较高; V/(V+Ni) 比值为 0.11~0.33, 其比值均小于 0.46, 显示其为氧化环境。Cd 含量为 0.68~0.72 $\mu\text{g/g}$, 其富集倍数为 17~18, 指示了缺氧条件, 主要为弱还原环境。

分析认为该岩相指示了水体较深, 水动力弱, 基本位于浪基面附近或之上的斜坡环境, 局部发育扰动水动力条件。

(6) 微晶灰岩相

该岩相发育厚度约 0.3 m, 主要呈深灰色, 微晶结构(图版 II-d), 沉积构造以块状构造为主。发育少量不规则构造裂缝及微裂缝, 但均被方解石充填。镜下观察表明, 该岩性段样品方解石晶粒细小, 泥质含量高。样品未见古生物化石发育。

分析表明, 该岩相为水体较深、水动力条件弱的沉积环境。

(7) 细晶灰岩相

该岩相厚度 0.69~2.05 m, 主要为浅灰色, 细晶结构(图版 II-e), 镜下观察显示该岩相泥质含量较高, 偶含有孔虫碎片, 古生物化石不发育, 含碳酸盐岩角砾, 角砾呈棱角状到次圆状, 显示为近源搬运特征。

分析表明, 该岩相指示了水体较深, 水动力条件弱的斜坡沉积环境。

(8) 灰质泥岩相

该岩相厚度 0.86 m, 以灰黑色为主(图版 II-f), 见水平层理(图版 I-h)。TK1 井 3 104.7~3 104.8 m 样品全岩分析表明, 石英含量占 31%, 黏土矿物总量占 49%, 黄铁矿含量占 8.7%, 文石占 3.7%, 长石含量占 4.2% 及其他少量自生矿物等。该样品碳氧同位素分析表明, $\delta^{13}\text{C} = -2.78\text{‰}$ (V-PDB), $\delta^{18}\text{O} = -14.59\text{‰}$ (V-PDB), Z 值为 114.34, 其值小于 120, 一定程度上指示陆源特征。

同时, 该样品微量元素分析表明, Sr/Ba 比值为 2.1, 大于 1, 为海相沉积; B 元素含量为 220 $\mu\text{g/g}$, 总体上显示为咸水环境。V/Ni 比值为 8.26, 表明沉积

时期水体盐度较高; V/(V+Ni) 比值为 0.89, 其比值大于 0.46, 指示缺氧沉积环境。研究区样品中 Cd 含量为 6.9 $\mu\text{g/g}$, 富集程度较高, 指示缺氧沉积环境。

分析表明, 该岩相为较深水, 静水环境沉积。

2.2 岩相组合

通过已钻井岩芯描述、镜下鉴定、碳氧同位素及微量元素分析等手段对各岩相沉积环境的刻画, 上述 8 种岩相中, 可划分为 1 个岩相组合。该岩相组合主要见于浅海相碳酸盐台地前缘斜坡环境, 沉积古水深基本位于浪基面以下或附近, 水体较深, 水动力弱, 局部发育扰动水体的弱还原—弱氧化斜坡环境。

3 沉积相特征

3.1 沉积相类型

在钻井取芯段岩相划分基础上, 结合盆地二叠系构造—沉积演化背景、录井及测井资料综合分析, 结果表明, 研究区二叠系碳酸盐岩属碳酸盐台地前缘斜坡相沉积。以海水浪基面为界, 可进一步划分为浅水斜坡及较深水斜坡亚相(图 4)。浅水斜坡亚相主要位于二叠系顶部及中下部, 该亚相类型主要发育泥晶灰岩相及泥晶生屑灰岩相, 同时见少量薄层灰质泥岩相发育。伽马值一般小于 45 API, 灰岩较纯。较深水斜坡亚相主要位于中部及底部, 由于沉积时期水体变深, 泥质含量增高, 伽马值相应升高。主要发育深灰—灰黑色泥晶灰岩相、灰—深灰色泥晶生屑灰岩相、灰黑色灰质泥岩相、深灰—灰黑色泥质灰岩相等岩相类型。

从垂向沉积演化特征来看, 研究区二叠系碳酸盐岩沉积时期, 水体深度变化不大, 总体位于浪基面以下或浪基面附近, 并可识别出两次水体深浅演化轮回。已钻井底部地层沉积时期, 水体相对较深, 沉积了前缘斜坡较深水斜坡亚相沉积, 泥质含量较高。此后, 水体一定程度上变浅, 沉积物泥质含量降低, 沉积相带变为浅水斜坡亚相。到地层中部水体又一次变深, 发育了较深水斜坡相沉积, 其泥质含量较高, 发育多层灰黑色泥质泥晶灰岩。到顶部地层沉积时期, 水体变浅, 相带变为浅水斜坡相沉积。值得注意的是, 受后期印支造山运动的影响, 二叠系碳酸盐岩顶部地层遭受不同程度的抬升剥蚀。

3.2 沉积相模式

在研究区沉积相类型及垂向演化特征分析基础上, 结合呵叻盆地二叠系构造—沉积演化特征, 总结了研究区沉积相模式。结果表明, 盆地二叠系发育缓

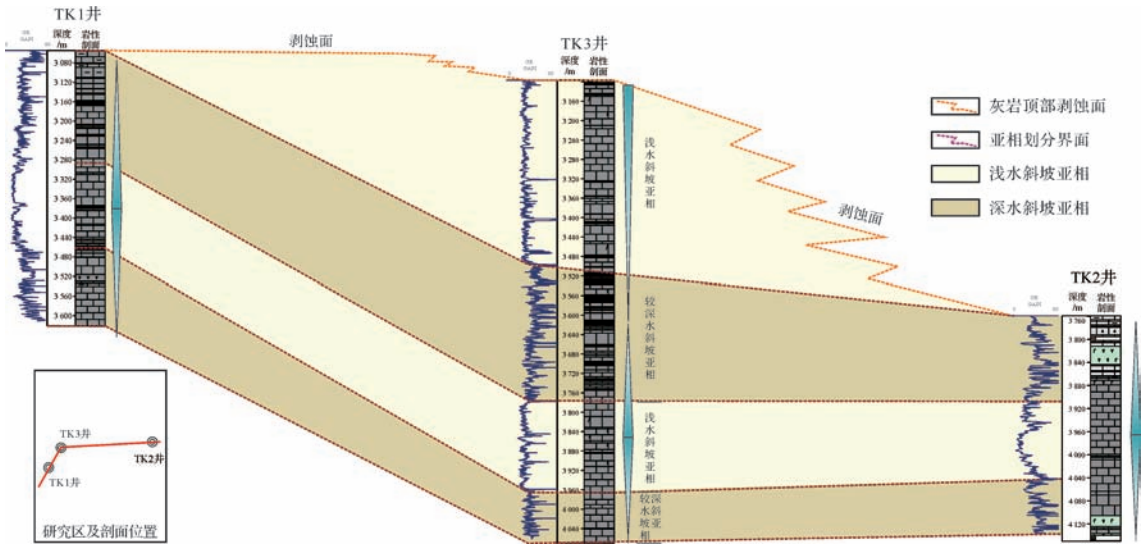


图 4 研究区沉积相类型及垂向演化特征

Fig.4 Sedimentary facies type and its evolutionary characteristics in the study area

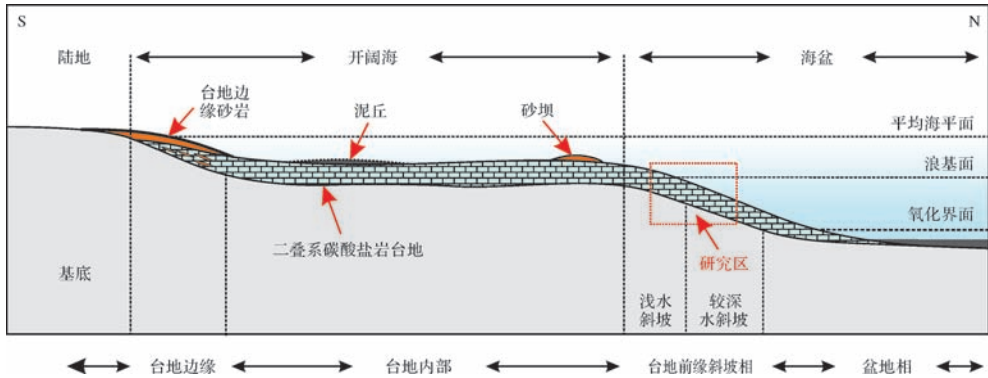


图 5 研究区二叠系碳酸盐岩沉积相模式图

Fig.5 Sedimentary model of Permian carbonate platform in the study area

坡型无障壁的滨岸碳酸盐台地沉积,主要包括台地陆缘、台地内部、台地前缘斜坡相及盆地相等主要相带。研究区位于台地前缘斜坡部位(图 5),含浅水斜坡及较深水斜坡两亚相类型。浅水斜坡亚相基本位于浪基面以下或附近,较深水斜坡亚相主要位于浪基面以下。整体来看,研究区沉积环境为水体相对较深、基本位于浪基面以下或附近的弱氧化—弱还原的前缘斜坡环境。

4 结论

(1) 研究表明,目的层岩芯段发育深灰—灰黑色泥晶灰岩相、浅灰—灰色泥晶灰岩相等 8 种岩相,以泥晶灰岩相及泥晶生屑灰岩相为主。此 8 种岩相可划分为 1 个岩相组合,该岩相组合主要见于浅海相碳酸盐台地前缘斜坡环境,指示发育于浪基面以下

或附近、水体较深、水动力弱、局部发育扰动水体的弱还原—弱氧化斜坡环境。

(2) 呵叻盆地二叠系发育缓坡型无障壁碳酸盐台地,研究区主要位于台地前缘斜坡部位,包含浅水斜坡及较深水斜坡两个亚相类型。浅水斜坡亚相主要位于二叠系顶部及中下部,较深水斜坡亚相主要位于中部及底部。总体来看整个二叠系沉积时期表现为两次水体深浅变化旋回,但水体深度变化不大,垂向上沉积均较稳定。

(3) 研究区目的层碳酸盐岩为低能相带沉积产物,其沉积环境不利于形成良好的基质孔隙条件,有利储层发育取决于碳酸盐岩地层后期改造程度。

参考文献 (References)

[1] 李国玉,金之钧. 世界含油气盆地地图集[M].北京:石油工业出版社,2005:78-79.[Li Guoyu, Jin Zhijun. World Atlas of Oil and Gas

- Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2005; 78-79.]
- [2] Ueno K, Miyahigashi A, Kamata Y, et al. Geotectonic implications of Permian and Triassic carbonate successions in the Central Plain of Thailand[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2012, 61; 33-50.
- [3] Fontaine H. Permian of southeast Asia: an overview[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2002, 20; 567-588.
- [4] Dawson O, Racey A. Fusiline-calcareous algal biofacies of the Permian Ratburi Limestone, Saraburi, central Thailand[J]. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 1993, 8(1/2/3/4): 49-65.
- [5] Tabakh M E, Utha-Aroon. Evolution of a Permian carbonate platform to siliciclastic basin; Indochina Plate, Thailand[J]. *Sedimentary Geology*, 1998, 121(1/2): 97-119.
- [6] Metcalfe I. Permian tectonic framework and palaeogeography of SE Asia[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2002, 20(6): 551-566.
- [7] Udchachon M, Burrett C, Thassanapak H, et al. Depositional setting and paleoenvironment of an alatoconchid-bearing Middle Permian carbonate ramp sequence in the Indochina Terrane[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2014, 87; 37-55.
- [8] Ridd M F. The role of strike-slip faults in the displacement of the Palaeotethys suture zone in Southeast Thailand[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2012, 51; 63-84.
- [9] Sangad B, Vella P. Geotectonics and geologic evolution of Thailand [C]//National conference on Geologic Resources of Thailand: Potential for Future Development. Bangkok, Thailand: Department of Mineral Resources, Ministry of Industry, 1992; 209-228.
- [10] Mouret C. Geological history of northeastern Thailand since the Carboniferous; relations with Indochina and the Carboniferous to early Cenozoic evolution model [C]//Preceedings of the International Symposium on Stratigraphic Correlation of Southeast Asia. Bangkok, Thailand: Department of Mineral Resources, 1994; 132-158.
- [11] Ferrari O M, Hochard C, Stampfli G M. An alternative plate tectonic model for the Palaeozoic-Early Mesozoic Palaeotethyan evolution of Southeast Asia (Northern Thailand-Burma) [J]. *Tectonophysics*, 2008, 451(1/2/3/4): 346-365.
- [12] Sone M, Metcalfe I. Parallel Tethyan sutures in mainland Southeast Asia; new insights for Palaeo-Tethys closure and implications for the Indosinian orogeny[J]. *Comptes Rendus Geoscience*, 2008, 340(2/3): 166-179.
- [13] Lai C K, Meffre S, Crawford A J, et al. The Western Ailaoshan Volcanic Belts and their SE Asia connection; a new tectonic model for the Eastern Indochina Block[J]. *Gondwana Research*, 2014, 26(1): 52-74.

Facies Characteristics of a Permian Carbonate Platform of Pha Nok Khao Formation from Khroat Basin, Thailand

HU ShuangQuan¹, DU GuiChao², ZHEN ShengLi³

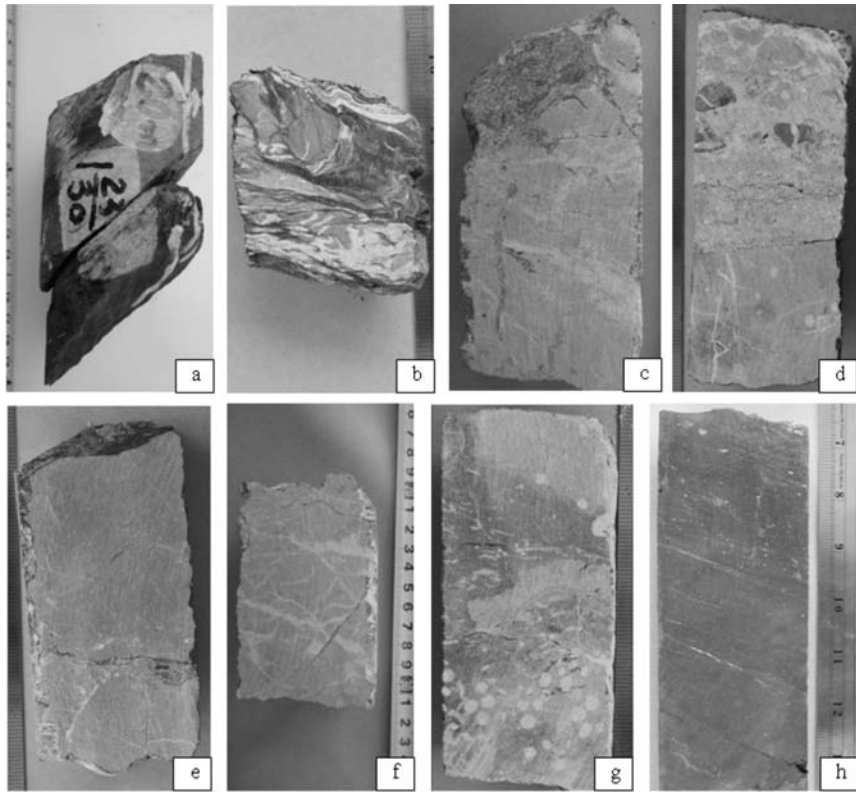
1. Research Institute, Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Co., Ltd., Xi'an, 710075, China

2. School of Earth Sciences and Engineering of Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China

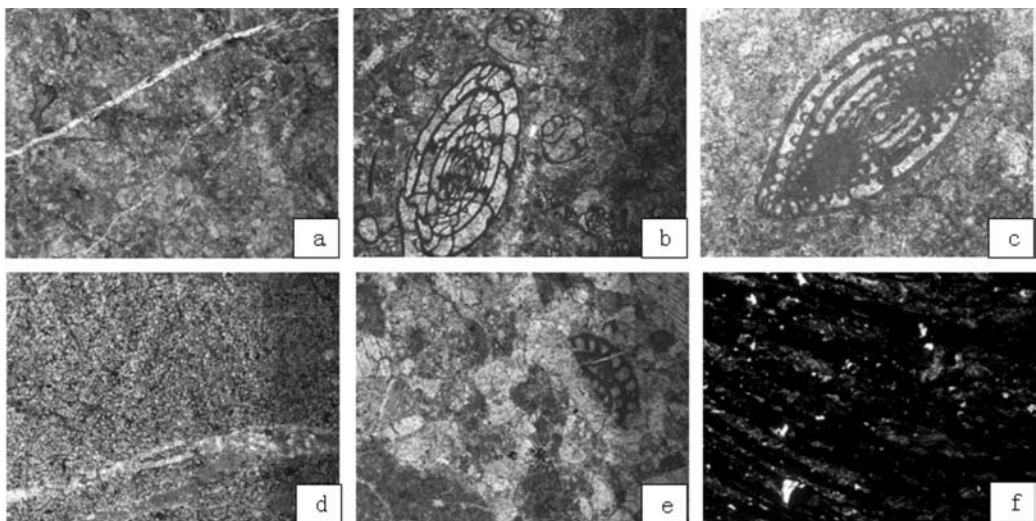
3. Shaanxi Yanchang Petroleum International Exploration and Development Engineering Co., Ltd., Xi'an 710075, China

Abstract: Based on core data description, logging data analyses, thin section analyses, SEM observations, X-ray diffraction (XRD) analysis, C/O isotopic analyses and trace element analyses, sedimentary facies and depositional environments of Permian carbonate rocks taken from Pha Nok Khao Formation of Khroat basin were systematically examined. This study shows that the Permian depositional sequence belongs to carbonate ramp deposits with no barrier. The study area locates in the fore-slope area of carbonate platform, which can be divided into shallow water fore-slope sub-facies and relatively deeper water fore-slope sub-facies. The former indicates a weak hydrodynamic condition, weak oxidation-weak reduction environment, with depositional water depth below or around sea wave base within a slope environment. The latter indicates a relatively deeper water depth than the former. Its environment is characterized by weak oxidation-moderate oxidation environment, with its depositional water depth below sea wave base. The Permian carbonate strata in the study area is a typically low-energy depositional sequence with a relatively deeper water depth and weak hydrodynamic condition, and the vertical evolution of sedimentary environment is stable. High-energy sedimentary facies does not develop in the study area, indicating that the basic conditions for favorable reservoir development possibly do not exist and the development of potential carbonate reservoirs in Pha Nok Khao Formation will be controlled by alteration of tectonic movements or diagenesis.

Key words: Khroat Basin; Permian; carbonate platform; Pha Nok Khao Formation; Thailand



图版 I 说明 二叠系 Pha Nok Khao 组碳酸盐岩岩芯照片。a. TK1 井, 3 124.6~3 124.73 m, 灰黑色泥质泥质灰岩, 斜层理; b. TK1 井, 3 108.21~3 108.28 m, 深灰—灰色泥晶灰岩, 滑塌构造, 包卷层理; c. TK3 井, 3 124.6~3 124.73 m, 灰色泥晶灰岩, 泥屑或粉砂与碳酸盐混合充填孔洞或裂缝; 见垂直虫孔; d. TK2 井, 4 051.4~4 051.55 m, 塌积岩, 沉积角砾岩、灰泥岩块体呈漂浮状快速堆积; e. TK2 井, 4 053.5~4 053.62 m, 灰—深灰色泥晶生屑灰岩, 泥屑或与碳酸盐混合, 顺斜坡滑塌堆积; f. TK2 井, 4 051.4~4 051.55 m, 浅灰色泥晶灰岩, 泥屑或与碳酸盐混合, 顺斜坡滑塌充填构造裂缝; g. TK2 井, 4 051.9~4 052.04 m, 灰色含鲕粒及灰屑泥晶灰岩, 灰砾呈定向排列, 鲕粒分选较好; h. TK1 井, 3 107.98~3 108.17 m, 灰黑色泥岩, 水平层理。



图版 II 说明 二叠系 Pha Nok Khao 组碳酸盐岩岩芯镜下微观特征。a. TK1, 3 103.95~3 104.03 m, 泥晶灰岩($\times 25$), 泥晶结构, 生物化石不发育; b. TK3, 3 168.11~3 168.22 m, ($\times 25$), 泥晶生屑灰岩, 泥晶结构, 生物化石不发育, 见有孔虫及少量藻类; c. TK2, 4 047.06~4 047.21 m, ($\times 25$), 泥晶生屑灰岩, 泥晶结构, 见有孔虫及少量藻类; d. TK1, 3 104.86~3 104.93 m, ($\times 25$), 微晶灰岩, 微晶、含泥质; e. TK3, 3 129.78~3 129.84 m, ($\times 25$), 角砾状细晶灰岩, 见有孔虫碎片, 含灰砾。f. TK1, 3 107.98~3 108.17 m, ($\times 25$), 泥岩。