

阳信洼陷构造岩浆演化与油气聚集

冯有良

(胜利油田地质科学研究院, 山东东营 257015)

阳信洼陷在老第三纪存在陡坡带、洼陷带及缓坡带, 属左旋张扭应力场作用下的箕状断陷; 新第三纪转变为右旋压扭应力场作用下的整体拗陷。洼陷经历了慢隆张裂、初始裂谷、裂谷裂陷及拗陷四个发育阶段, 发育三期基性超基性岩浆喷发, 其演化趋势是从孔店期到馆陶期碱质增加、酸度减少, 反映岩石圈不断扩张变薄的过程。洼陷最有利于油气生成聚集的构造演化期是裂陷期。

关键词 阳信洼陷 盆地构造 第三纪 岩浆演化 油气聚集

作者简介 冯有良 男 30岁 助理工程师 石油地质

一、构造地质特征

阳信洼陷是济阳拗陷惠民凹陷内的一个小型箕状洼陷(图1)。具有下第三系断陷、上第三系拗陷的双层结构叠加的构造样式, 是以古生界为基底的中、新生代洼陷。据其构造和地层发育特征可划分为三个构造带; 陡坡带、洼陷带及缓坡带(图2)。

(一) 陡坡带

该带位于洼陷北缘, 由NE向展布的弧形控盆正断层及与之伴生的梯状重力滑动正断层组成。前者形成于

中生代末期, 剖面形态上陡下缓(图3), 上升盘为太古界泰山群, 下降盘为下第三系及其不整合覆盖的古生界和中生界, 断距大于10000 m, 已断开岩石圈导致基性—超基性岩浆喷发; 后者形成于始新世, 活跃于渐新世, 断开古生界到达太古界, 断距达1000 m, 控制渐新统沉积, 其剖面组合呈阶梯状铲形, 在平面上大致平行于弧形控盆正断层(图2, 3)。

(二) 洼陷带

洼陷带靠近陡坡带一侧, 属第三系沉积沉降中心。孔店期—沙四期时洼陷中心位于西部, 范

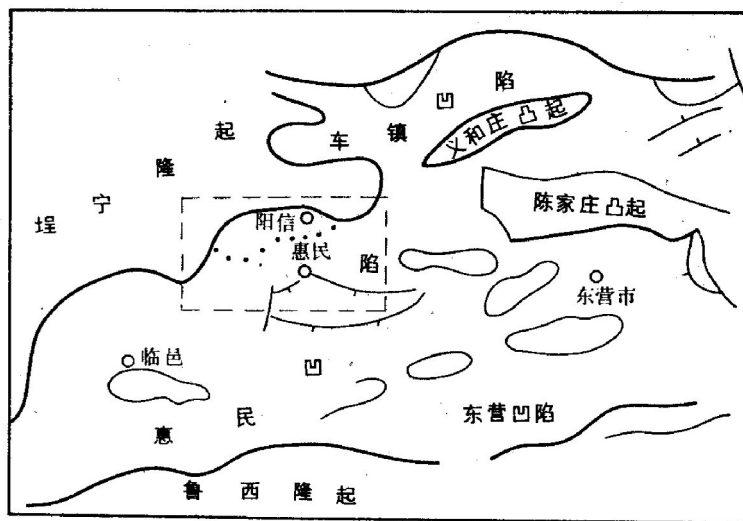


图1 阳信洼陷区域构造位置图

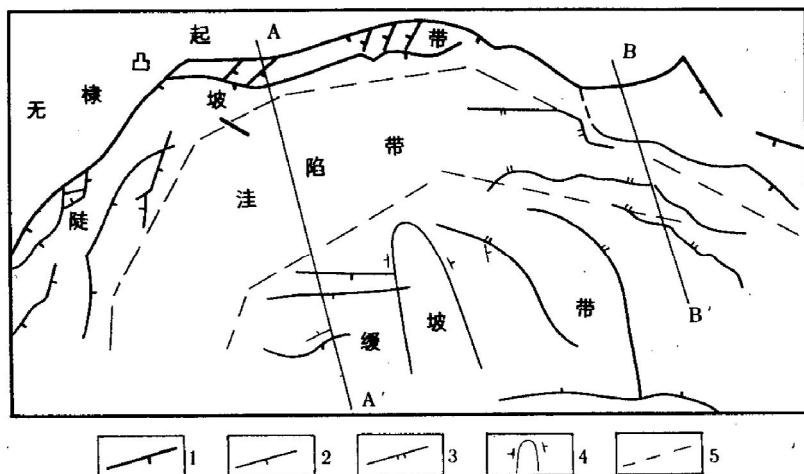


图2 阳信洼陷构造纲要图

1—控盆正断层 (Mz-N), 2—二级正断层 (Es), 3—三级正断层 (Es₃), 4—惠民鼻状构造, 5—构造带边界

积, 断距小, 仅 100 m。

帚状断裂束, 由正断层组成, 向西收敛, 向东南方向撒开, 断距大, 控制沙三段的沉积和强烈的岩浆喷发 (图 2, 4)。

惠民鼻状构造沿 NNW 向展布, 由沙四、沙三段组成, 新地层超覆其上。

区内中生界与古生界之间, 下

围广, 沉积厚度大。沙三时, 伴随缓坡带的翘起和鼻状构造的形成, 洼陷区出现了东、西两个次洼, 前者略深, 具典型箕状洼陷的特征。至沙二时一东营期, 这种特征明显减弱, 新第三纪则转为整体拗陷, 洼陷带不复存在 (图 3)。

(三) 缓坡带

该带分布于盆地的东南缘, 由一系列平行分布的正断层、地堑、地垒带、帚状断裂束及鼻状构造组成 (图 2, 3)。

正断层及地堑地垒带形成于始新世到渐新世, 并控制同期沉

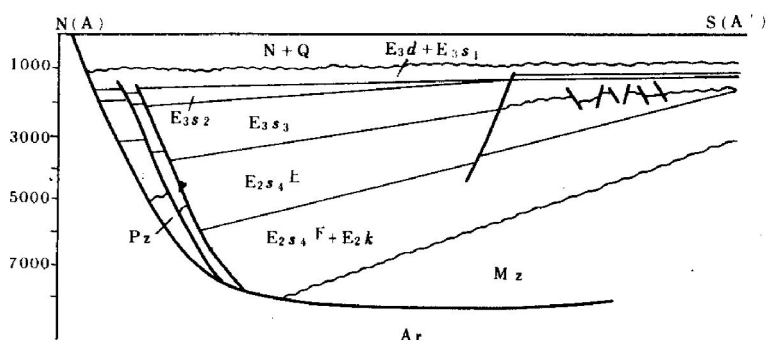


图3 阳信洼陷南北向 A—A' 构造剖面图

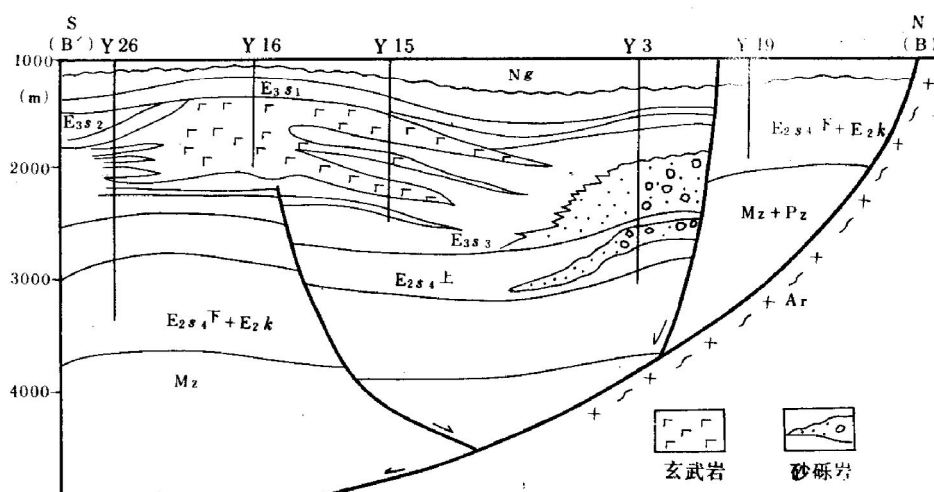


图4 阳信洼陷南北向 B—B' 构造剖面图

1—玄武岩, 2—砂砾岩

第三系与中生界之间,孔店组与沙河街组之间,下第三系与上第三系之间均存在区域性不整合面,而沙四段与沙三段之间为局部性不整合面,反映了区域性和局部性构造活动特征(图2)。

综上所述,活动于老第三纪的构造以张性正断层为主,其中弧形控盆正断层倾向东南,其滑距的水平分量达15 km以上。而次一级的构造如梯状重力滑动正断层组合,正、反倾正断层及地堑地垒带,都是这种NW-SE向张应力作用的结果。帚状断裂束的正断层以倾向滑移为主,左行走滑为辅。据上述特征推断老第三纪阳信洼陷属左旋张扭应力场(图5)。鼻状构造则与洼陷缓坡带不均匀翘起而产生的局部挤压有关。

新第三纪,阳信洼陷只有控盆正断层仍有弱的活动,洼陷已由老第三纪的张裂断陷发展为整体坳陷;控盆正断层的性质也由典型张性正断层转化为右行走滑断层。这一特点在整个惠民凹陷都存在,且表现为NW向左行走滑断层与NE向右行走滑断层两组共轭并存,其中以NE向右行走滑断层最为发育。由此推断,新第三纪阳信洼陷属右旋压扭应力场。

二、岩浆岩及其演化特征

钻遇的岩浆岩产于沙三段、沙四段上亚段之中。据镜下观察、同位素K-Ar测龄及岩石化学特征,认为属板内玄武岩,可分为三期。反映了该区第三纪以来构造岩浆演化的阶段性。

区内岩浆岩岩石化学成分分析(表1),结合邻区(高青、昌维)资料,计算出CIPW标准矿物^[1],利用玄武岩CIPW标准矿物分类方案(OQ-NH分类)^[2]及超基性岩分类方案进行分类命名,作出岩浆岩硅(SiO_2)-碱($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$)图解(图6)并利用里特曼指数 σ 的不同取值把硅碱图分为四个小区;采用都城秋穗岩系界线,把该图分解为碱性系列岩区及亚碱性系列岩区。三期岩浆岩在岩石化学和岩类上存在较大差异。

1. 沙四时玄武岩(第一期)

该期玄武岩尚无岩石化学分析资料,它沿控盆断裂分布,以安山质玄武岩为主,含少量石英、酸性斜长石、角闪石,分布于沙四段中(图6)。

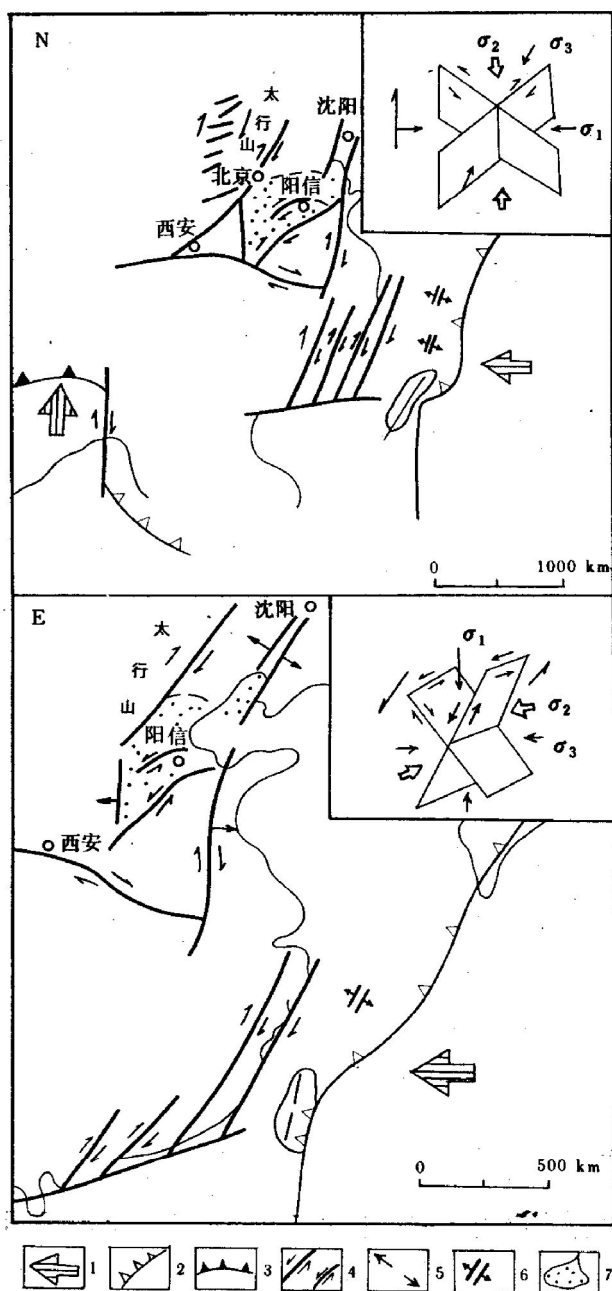


图5 阳信洼陷及中国东部第三纪应力场变迁示意图

(据王鸿祯 1983 和 Hilde 1973, 修改补充)

E—老第三纪, N—新第三纪, 1—板块俯冲方向,

2—俯冲带, 3—缝合线, 4—一级、二级深大断裂及剪切方向, 5—张裂方向, 6—张裂构造带, 7—渤海湾裂谷盆地;

σ —主应力轴, $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$

2. 沙三时玄武岩(第二期)

以喷发相隐晶质玄武岩为主,其 CIPW 标准矿物(表 2)石英含量 0—0.33%,物霞石为 0,橄榄石含量低为 0—6.45%,顽火辉石 3.21%—5.72%,紫苏辉石 4.21%—7.04%,为石英拉斑玄武岩和橄榄拉斑玄武岩。特点是 SiO_2 含量高而碱质($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)含量较低且富钠。

3. 馆陶期碱性超基性岩(第三期)

以次火山岩相超基性岩为主,CIPW 标准矿物含量(表 2)中,霞石、橄榄石含量高,而石英、紫苏辉石含量为 0,以霞石碱玄岩为主。

表 1 阳信地区第三纪岩浆岩岩石化学分析成果及 F_1 、 F_2 参数

井号	样号	氧 化 物 (%)											烧失量 (%)	总计 (%)	化学参数		喷发期
		SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5			F_1	F_2	
Y18	X91-102	39.11	1.54	12.01	4.04	5.93	0.16	8.17	12.11	2.47	1.04	0.29	13.55	100.42	1.16	-1.357	馆陶期
Y14	X90-211	39.76	1.29	10.76	4.67	6.62	0.11	13.47	5.50	2.20	1.52	0.37	14.02	100.27	0.09	-1.34	
Y14	X90-212	43.72	1.86	15.47	1.72	8.47	0.17	5.82	10.37	3.04	1.58	0.42	7.07	99.71	0.17	-1.30	
Y18	X91-98	41.64	1.74	13.12	4.12	6.46	0.15	1.15	9.19	2.69	1.15	0.34	11.08	99.67	0.12	-1.37	
Y16	X91-96	40.68	1.97	14.13	4.33	5.63	0.27	2.55	9.65	3.70	2.55	0.48	11.96	99.51	0.14	-1.19	
Y18	X90-445	45.46	2.21	15.03	4.91	5.29	0.19	2.33	9.43	2.25	2.33	0.63	5.27	100.23	0.117	-1.31	沙三时
Y1	X90-447	49.05	1.91	15.45	4.5	4.71	0.14	1.85	7.06	3.78	1.85	0.53	7.37	100.14	0.27	-1.26	
Y16	X91-97	44.46	2.25	15.98	4.21	4.37	0.03	0.71	2.68	2.84	0.71	0.31	17.58	99.35	0.28	-1.21	
Y20	X91-101	49.29	1.38	18.62	2.23	5.16	0.12	1.61	8.91	4.54	1.61	0.35	5.13	99.88	0.32	-1.45	
Y16	X90-444	43.28	2.15	14.87	5.62	4.71	0.12	0.78	3.61	2.10	0.78	0.84	18.02	99.48	0.294	-1.26	

中国科学院地质研究所测定,分析者:陈健

表 2 阳信洼陷第三纪岩浆岩酸度及主要 CIPW 标准矿物成分(wt%)

井号	岩样分析号	K-Ar 年龄 (Ma)	SiO_2	Q	Ne	Ol	Di	En	Hy	定 名*	喷发期
Y18	X91-102		39.11	0	8.81	7.28	31.85	0	0	霞石碱玄岩	馆陶期
Y16	X91-96		41.64		2.56	12.07	18.88	2.56	0	霞石碱玄岩	
Y14	X90-211		39.76	0	0.036	25.78	7.93	0	0	霞石碱玄岩	
Y14	X90-212	24.94±2.67**	43.72	0	7.10	11.0	21.9	0	0	霞石碱玄岩	
X33	X90-446	35.98±1.11	50.86	0.33	0	0	13.06	3.21	5.98	石英拉斑玄武岩	沙三时
Y1	X90-447	46.53±1.18	49.05	2.1	0	0	9.38	5.72	7.04	石英拉斑玄武岩	
Y18	X90-445	54.0±2.22	45.46	0	0	6.45	14.69	3.82	4.21	橄榄拉斑玄武岩	

* $\text{SiO}_2 < 45\%$ 采用邱家骥 1982 年提出的 SiO_2 (wt%)— $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (wt%)— σ 三因素分类方案; $\text{SiO}_2 > 45\%$ 采用玄武岩 CIPW 标准矿物分类方案 OQHN 定名。

** 中国科学院第三研究所同位素地质研究室测定,其余由地矿部地质科学研究院测定。

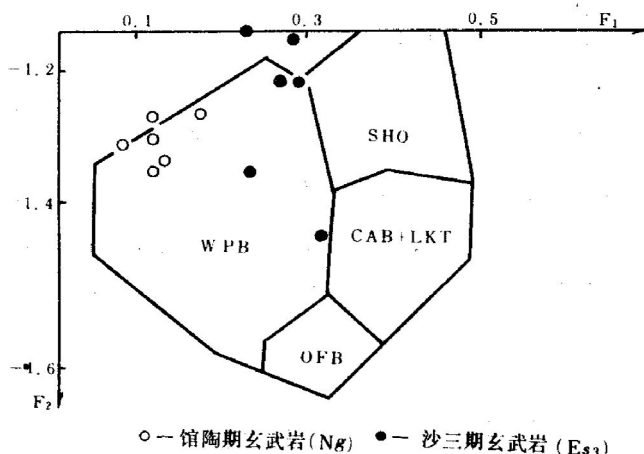
Q—石英,Ne—霞石,Ol—橄榄石,Di—透辉石,En—顽火辉石,Hy—紫苏辉石

总之,从沙四时到馆陶期,岩浆岩由亚碱性岩类变为碱性岩类,碱性副长石、橄榄石含量增高而辉石含量降低。岩石类型从安山质玄武岩→拉斑玄武岩→霞石碱玄岩。这些特征反映了包括阳信地区在内的济阳坳陷第三纪构造岩浆演化的阶段性。

利用 Pearce 1976 年提出的计算公式求得阳信地区岩浆岩岩石化学参数值 F_1 、 F_2 并投影于

图7,它们全落入板内玄武岩区,只是馆陶期岩浆岩靠近WPB左侧,沙三时玄武岩靠近右侧。据计算^[2]橄榄拉斑玄武岩岩浆源于距地表约70.5 km,霞石碱玄武岩岩浆来源于距地表约70—100 km的地幔超镁铁岩的部分熔融。这说明该区构造演化受岩石圈演化的制约。

孔店期-沙四时,属裂谷初始阶段,岩石圈开始扩张减薄,沿断裂发生安山质玄武岩喷溢;沙三时为裂谷的强烈裂陷期,据 Sugisaki 的估算岩石圈伸展拉张模型^[2],该期岩石圈扩张强度为0.38 mm/a,发育碱性岩系的大陆拉斑玄武岩系列,热地幔在距地表70.5 km处部分熔



○—馆陶期玄武岩(Ng) ●—沙三期玄武岩(Es₃)

图7 阳信洼陷玄武岩F₁,F₂投影图

(据 Peorce, 1976)

WPB—板内玄武岩, OFB—洋底玄武岩, CAB—钙碱性玄武岩, SHO—钾玄武岩, LKT—低钾拉斑玄武岩; ○—馆陶期霞石碱玄武岩, ●—沙三期玄武岩

2. 初始裂谷阶段

老第三纪始新世早期,太平洋板块转为沿NNW向俯冲,华北地区产生区域性右旋剪切应力,研究区出现左旋张扭应力场,控盆断裂活动加强(图5),形成箕状断陷雏形,伴随亚碱性玄武岩喷发,沉积了一套广泛发育的内陆河湖相红色建造(E₂k-E₂s₄^F)。

3. 裂谷裂陷阶段

始新世中晚期,洼陷在左旋张扭应力场的作用下,控盆断裂进一步活动,沉积了一套巨厚的河流、湖泊相灰色细粒砂泥岩建造(E₂s₄[±]),并伴随亚碱性玄武岩喷发。沙三时,洼陷强烈裂陷拉张,控盆断裂活动剧烈,缓坡带翘起,阳信洼陷发育成典型的箕状,水域扩大;同时形成二、三级断裂,并使帚状断裂束强烈活动,沉积中心东移,碱性岩系的大陆拉斑玄武岩喷发;发育了一套暗色泥岩生油建造。沙二时—东营期裂陷作用减弱。

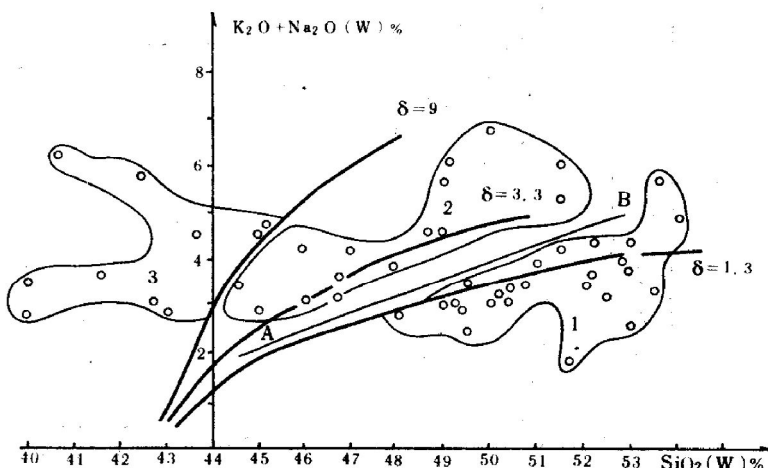


图6 济阳坳陷第三纪玄武岩硅-碱图解

AB线以上为碱性系列,以下为亚碱性系列(据都城秋穗,1978);

1—孔店—沙四期玄武岩(高青、昌维), 2—沙三期玄武岩(阳信、临邑),

3—馆陶期碱性超基性岩(阳信)

融,岩石圈减薄增生,张应力占主导地位;新第三纪馆陶期,岩石圈扩张速度减慢,热地幔柱下沉到距地表70—100 km处部分熔融,盆地处于坳陷阶段,剪应力占主导地位,发育碱性超基性岩浆喷发及次火山岩。

三、构造岩浆演化史

阳信洼陷是第三纪渤海湾裂谷系的一部分,其构造、岩浆演化史,概括起来可划分为四个发展阶段(图8)。

1. 慢隆张裂阶段

中生界晚期,太平洋板块沿NNW向向欧亚板块俯冲,使华北-渤海湾地区发生扩张,地幔上涌,岩石圈开始减薄,出现区域性张应力场,控盆断裂形成。

阶段	演化剖面	阳信洼陷构造岩相发育特征	应力场
幔隆张裂阶段		控盆断裂形成 (Mz末)	左旋张扭
初始裂谷阶段		边界大断层开始活动, 沉积了一套干旱气候条件下的内陆河湖沉积建造 (E2s4F)	
裂陷阶段		强烈张陷, 断裂活动强烈, 缓坡翘起。早期沉积了一套灰色河流湖泊相碎屑岩建造, 晚期沉积了一套暗色泥岩生油建造, 并伴随碱性玄武岩喷发 (E3s3)	
坳陷阶段		断裂活动减弱, 整体坳陷, 伴随有强碱性次火山岩活动 (N)	弱的右旋挤压

图8 阳信洼陷构造演化示意图

4. 坳陷阶段 新第三纪以来,随着太平洋板块俯冲带东移和喜马拉雅地缝合线的出现,区域的和阳信洼陷的应力场均变为右旋压扭,使老第三纪以来的裂陷作用减弱,阳信洼陷表现为整体坳陷。发育了上第三系砂砾岩类磨拉石建造(Ng)及砂泥岩河流湖泊相杂色碎屑岩建造(Nm),馆陶期伴有强碱性次火山岩活动。

四、构造岩浆演化与油气聚集

盆地构造岩浆的演化直接控制着岩相的发育和大地热流值的变化。而这些都是控制油气生成聚集的关键因素。

盆地裂陷的早期,裂陷速度小,属补偿型沉积,发育了沙四段上亚段湖泊—三角洲相地层,而有利于生油的深湖前三三角洲亚相面积积极小,生油岩体积小,有机碳含量0.47%,氯仿“A”0.005%—0.2343%,干酪根类型以Ⅰ—Ⅲ型为主,生油指标差,不具备大量生油的能力。盆地强烈裂陷期,裂陷速度大,属欠补偿型沉积,发育沙三段深湖相泥岩、油页岩,沿控盆断裂发育大规模近源深水扇沉积体系。该套泥岩有机碳含量4.27%,氯仿“A”0.21%,干酪根类型以Ⅰ型为主,是好的生油岩系,而水下扇体可作为储层。由于断裂活动导致的岩浆喷发提高了盆地大地热流值,有利于有机质的成熟。同时左旋张扭应力场有利于油气向帚状构造的撒开方向,即应力减弱的东部运移,而东部正是火山喷发物组成的高部位,有利于油气聚集。沙二时以后盆地裂陷速度减弱,使沙三段生油岩埋藏浅, $R_0 < 0.5\%$,成熟度低,不能大量生油。然而帚状构造、缓坡地垒、地堑构造是找低熟油的有利部位。沙一时海侵在阶状构造、鼻状构造、帚状构造

背景上的生物滩相灰岩是沙一段生物气聚集的有利场所。

结 论

1. 阳信洼陷早第三纪存在三个构造带,即陡坡带、洼陷带及缓坡带。各构造带具有不同的构造类型,属区域性右行剪切应力导致的左旋张扭应力场作用下的箕状断陷。新第三纪控盆正断层转化为右行走滑断层,应力场变为右行压扭,洼陷由箕状断陷变为坳陷。

2. 区内发育三次大规模岩浆活动,演化趋势为沙四时亚碱性安山质玄武岩→沙三时大陆拉斑玄武岩→馆陶期霞石碱玄岩。从早到晚岩浆岩碱度增高,酸度降低。岩石圈扩张速度由大变小,裂谷作用由强到弱,洼陷由裂陷变为坳陷。

3. 洼陷经历了幔隆张裂、初始裂谷、裂谷裂陷和整体坳陷四个发展阶段,相应发育了不同类型的沉积建造。

4. 裂陷期的构造、岩相发展最有利于油气生成聚集。

参 考 文 献

- 1 南京大学地质系矿物岩石教研室编,火成岩岩石学,北京:地质出版社,1980,266-320
- 2 池际尚,中国东部新生代玄武岩及上地幔研究,武汉:中国地质大学出版社,1988,10-350

TECTONO-MAGMATIC EVOLUTION OF YANGXIN DEPRESSION AND ITS HYDROCARBON ACCUMULATION

Feng Youliang

(Research Institute of Geology, Shengli Oilfield)

Abstract

Yangxin Depression was a typical half-graben in the Eocene. Three tectonic zones in the depression, including steep-slope, depressed and gentle slope zones, resulted from sinistral tension-shear stress. In the Neogene, the faults that controlled the depression changed from extensional normal faults into compressive dextral strike-slip faults, the depression then depressed in its entirety, and hence it is characterized by fault-subsidence in its lower-part but depression in its upper part. Three-stage magmatite developed in the depression: andesite basalt in the 4th member of the Shahejie Formation; quartz-tholeiitic basalt and olivine tholeiitic basalts in the 3rd member of the Shahejie Formation and alkaline ultrabasic rock in the Guantao Formation.

The tectonic evolution process of Yangxin Depression could be divided into following four stages: extension-fracturing of mantle uplifting, proto-rifting, rifting-subsiding and depressing. The most favourable stage for hydrocarbon formation and accumulation was rifting-subsiding stage.