

济阳拗陷天然气地质特征及勘探方向

向 奎*

(胜利石油管理局地质科学研究院)

内容提要 本文论述了济阳拗陷天然气藏形成的地质背景,利用气组分、碳同位素、轻烃等资料确定了天然气的成因类型并对气藏进行了分类,进而总结了气藏分布规律,指出了勘探方向。

主题词 华北地台 气藏 成因 类型 分布规律 勘探方向

济阳拗陷经20多年勘探,已找到了相当规模的石油储量,现已成为我国东部重要的原油生产基地。但与此同时,天然气勘探进展却相对缓慢,其储量和产量与石油相比都很不相称。“六五”末到“七五”期间胜利石油管理局在坚持油气兼探的同时,特别加强了对天然气的勘探研究和专探工作,在深、浅层气的勘探方面获可喜进展。

气藏形成的地质背景

济阳拗陷地处渤海南岸的黄河三角洲地区,构造上属渤海湾盆地的一个负向构造单元。其西、北与埕宁隆起相邻,南与鲁西隆起相连,东隔垦东青坨子凸起与渤中拗陷相望,总面积约2.5万km²(图1)。

济阳拗陷的基底为太古界花岗片麻岩(未钻穿),其上为下古生界寒武—奥陶系海相碳酸盐岩、上古生界石炭—二叠系海陆过渡相和中生界中下侏罗统陆相含煤碎屑岩(沉积厚度2000m左右),再向上为中生界上侏罗统、白垩系河湖相碎屑岩、火山岩和第三

系孔店组(Ek)、沙河街组(Es)、东营组(Ed)、馆陶组(Ng)、明化镇组(Nm)河湖相碎屑岩以及第四系平原组(Qp)泛滥平原相碎屑岩(最大沉积厚度达1万m左右),见图1。

济阳拗陷在地史上经历了前断陷期→断陷期→断拗期→拗陷期4个发育阶段:①古生代及中生代早、中侏罗世为前断陷期,处于华北地台(中朝准地台)发育阶段。这一时期表现为构造活动和火山活动较弱,只在局部地区发育褶皱和挠曲(如沾化凹陷的桩西古潜山),沉积岩厚度和岩性、岩相比较稳定,石炭—二叠系和中下侏罗统煤系为本区提供了丰富的煤型气气源,寒武—奥陶系碳酸盐岩是本区潜山油气藏最为重要的储集层。②晚侏罗世—白垩纪为断陷阶段。这一时期表现为华北地台开始解体,以拉张背景下的反向块断^{**}为主,产生一系列块断山系与相应的断陷,形成济阳拗陷的雏形,发育杂色砂砾岩和中基性—中酸性火山岩,并有中酸性及部分基性侵入岩^{***},构造类型主要为断块。中生界的断块山、残丘山与下第三系烃源岩层

* 257015,山东省东营市。

** 指断层面与地层面两者倾向相反的块断运动。

*** 钱凯等,“济阳拗陷形成、演化及其油气聚集规律”,全国油气藏学术讨论会论文,1986年。

和盖层相匹配可以形成潜山油气藏。③古新世—渐新世为断拗阶段,是济阳拗陷发育的鼎盛时期。其时以强烈拉张反向块断、盆地快速陷落并扩大为特征,沉积了数千米厚的下第三系(Ek、Es、Ed)河湖相碎屑岩,发育了多套生储盖组合及各种类型的二级构造带(滚动背斜带、中央背斜带、断裂带、断鼻带、断阶带、单斜带等)。Ek是本区偏腐殖型气的主要气源岩;Es是主力生油气层和储集层,是提供本区油型气的主要物质基础。④中新世—

上新世为拗陷阶段,是济阳拗陷发育的衰退期。此时济阳拗陷只是渤海湾大型统一沉积盆地的一小部分,沉积了千余米厚的上第三系河流—泛滥平原相碎屑岩,发育了许多上第三系大型潜山披覆构造,Ng河流相砂砾岩是较好的储集层,Nm泛滥平原相泥岩是较好的盖层,它们构成了本区浅层良好的储盖组合,为浅层油气藏的形成创造了极为优越的条件(图1)。

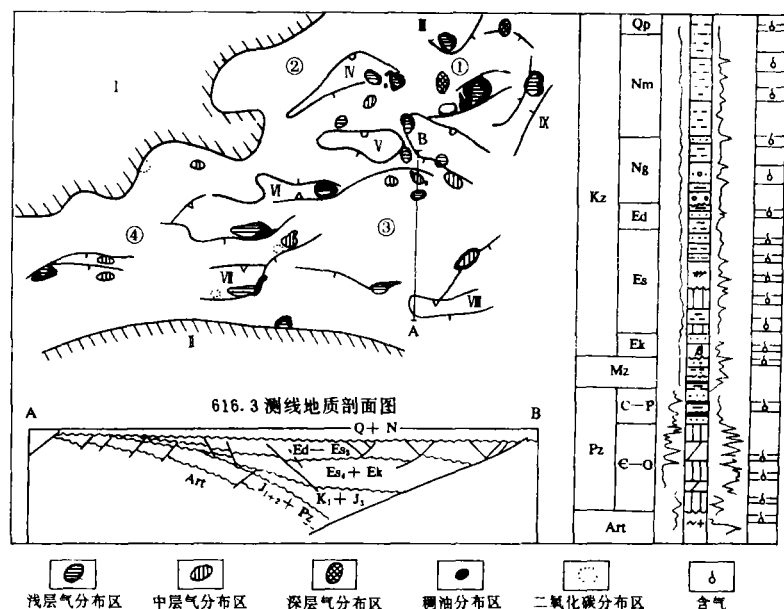


图1 济阳拗陷天然气地质综合图

I. 埕宁隆起区; II. 鲁西隆起区; III. 埕子口凸起; IV. 义和庄凸起; V. 陈家庄凸起; VI. 滨县凸起; VII. 青城凸起; VIII. 广饶凸起; IX. 垦东青坨子凸起;
①沾化凹陷; ②车镇凹陷; ③东营凹陷; ④惠民凹陷

天然气成因

前已述及,济阳拗陷发育有多套和多种类型的气源岩,因而天然气成因类型较多。根据成气母质的不同,将该区天然气划分为3大类(表1、图2)。

1. 有机成因气

(1) 油型气

油型气是本区天然气的主要类型,它是由腐泥型(I型)和腐殖腐泥型(II型)有机质生成的,气源对比结果表明,其主要来自下第三系沙河街组。

根据碳同位素、组分、成熟度和后生变化等指标又可将油型气分为以下4种类型:

表 1 济阳坳陷天然气特征及成因分类表

成因分类		特征	天然气组分(%)					C ₁ C ₁₋₅	δ ¹³ C/RD (‰)				2,4-二甲基戊烷 正己烷		2,3-二甲基丁烷 环戊烷	庚 烷 值	苯 指 数	地区或代表井 (层位)
			C ₁	C ₂₊	CO ₂	H ₂ S	N ₂		CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀						
有机成因气	由腐泥型 (I、II) 有机质生 成的油型 气	天然气型气	88 ~96	0 ~8	0 ~1	0	3 ~5	0.92 ~0.97	-55~-57 -224~-266	-37 -224	-33 -207	-31 -169	0.2~0.4	0.5~3	0 ~10	0 ~3	气东9(N) 永80(E)	
		成熟 (包括 低熟、 高熟) 油型气	77	18	4	0	1	0.81	-51~-54 -224~-266	-35~-37 -217~-234	-31~-33 -207~-212	-30~-31 -168~-179	0~0.2	0.2~0.6	20 ~30	0 ~3	牛庄(E)	
		过熟油 型气	57 ~83	9 ~35	1 ~15	0	0 ~11	0.62 ~0.92	-41~-47 -167~-241	-29~-34 -132~-197	-26~-30 -120~-169	-27~-29 -96~-154	0.02~0.1	0.6~2	30 ~40	0 ~3	桩西(O-6)	
		生物降 解油型 气	83 ~98	9 ~14	1 ~5	0	0 ~1	0.86 ~0.89	-37~-38 -156~-189	-25~-27 -137~-152	-23~-25 -104~-136	-25~-26 -122~-132	0.04~0.30	0.6~1.2	27 ~33	0 ~2	桩古10-17(O-6) 义132(J)	
有机成因气	由腐泥型 (I、II、III) 有机质生 成的煤型 气	天然气型气	79 ~85	1 ~13	7~14	0	0 ~1	0.86 ~0.99	-35~-40 -155~-181	-21~-25 -100~-118	-19~-22 -112	-21 -107	0~0.03	1~3	25 ~29	6 ~35	孤岛(N) 潘南(E)	
		煤成气	89	5	8	0	0	0.94	-33 -172	-22 -128	-21 -113	-20 -119	0.07	1	12	35	义155(C-P)	
		由碳酸盐岩热分解 生成的二氧化碳气 δ ¹³ CO ₂ (‰) -4~-6	0 ~2	0 ~1	94~ 100	0	0 ~6	0~ 0.67	-35									阳2(O) 高气3(N)
		由无机二氧化碳气 与有机成熟油型气 形成的混合气 δ ¹³ CO ₂ (‰) -5~-9	10 ~50	1 ~10	40 ~80	0	0 ~15	0.80 ~0.92	-43~-52 -192~-224	-31~-36 -144~-176	-28~-30 -146~-165	-27~-30 -117~-142						平方玉(E)

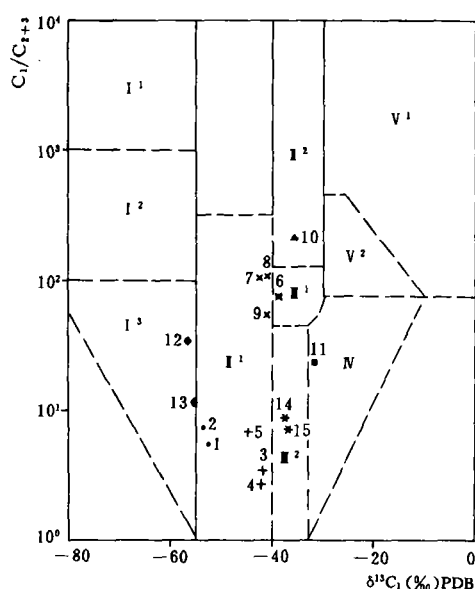


图2 济阳拗陷天然气成因判别图

I^1 生物气; I^2 生物气和亚生物气; I^3 亚生物气; II^1 原油伴生气; II^2 油型裂解气; III^1 油型裂解气和煤成气; III^2 凝析油伴生气和煤成气; N 煤成气; V^1 无机气; V^2 无机气和煤成气 (据戴金星, 1989)

1. 牛1, Es_3 ; 2. 河120, Es_3 ; 3. 桩古13, O ;
4. 桩古25, O — C ; 5. 桩古6, C ; 6. 孤东33, Ng ;
7. 孤东7, Ng ; 8. 气中27—3, Nm ; 9. 气中24—8, Ng ;
10. 义115, Es_4 ; 11. 义155, C — P ; 12. 永80, Es_3 ;
13. 河50, Es_2 ; 14. 桩古23, O ; 15. 义132, Mz

①未熟油型气:其特征是 $\delta^{13}C_1$ 轻,一般小于 -55% ;组分偏干,干燥系数大于0.90;庚烷值低;苯指数低。从产状看既有气层气,也有原油溶解气。这类天然气以东营凹陷河50、永80井 Es 的天然气为代表,它们均分布在亚生物气区。②成熟(包括低熟、高熟)油型气:其特征是 $\delta^{13}C_1$ 介于 -55% ~ -40% 之间;组分偏湿,干燥系数0.62~0.92,甲烷含量值域广;庚烷值较高;苯指数低。天然气与原油共生关系密切,一般以气顶气和原油溶解气形式存在。这类天然气以东营凹陷沙三

段原生油气藏和沾化凹陷桩西古生界潜山油气藏的大部分天然气为代表,它们均落在原油伴生气区。③过熟油型气:其特征是 $\delta^{13}C_1$ 偏重,一般大于 -40% ;组分较干,甲烷含量为80%~90%,干燥系数为0.86~0.89;有较高的庚烷值;苯指数较低。主要以凝析油气形式产出。这类天然气以沾化凹陷桩西古生界潜山的桩古10—17、23井和孤西断裂带中生界的义132井的天然气为代表,它们均分布在凝析油伴生气区。④生物降解油型气:其特征是甲烷及其同系物的碳同位素比值普遍比一般的油型气偏重,尤其是丙烷受生物降解作用后其比值偏重的程度较大,出现 $\delta^{13}C_3$ 重于 $\delta^{13}C_4$ 的倒值现象;天然气组分很干,甲烷含量一般大于95%,干燥系数大于0.95;另外,2,4—二甲基戊烷和2,3—二甲基丁烷含量特别高,以此与其它成因的天然气形成显著差别;庚烷值特别低;苯指数也特别低。这类天然气在济阳拗陷浅层气中所占的比重较大,并常常与稠油共生,主要以气层气形式存在,其次以原油溶解气形式产出。比较典型的有沾化凹陷的孤岛、孤东和东营凹陷单家寺等地区上第三系的天然气,它们主要分布在原油伴生气区。

(2)煤型气

煤型气是本区天然气的另一种类型。它是由腐殖型(III 型)和腐泥腐殖型(II_2 型)有机质生成的。它较之于油型气,具有甲烷及其同系物的碳同位素明显偏重、苯指数高、非烃气中 CO_2 含量高等特点。通过气源对比,认为天然气主要来自于古生界石炭二叠系和中生界中下侏罗统煤系及新生界 Ek_2 、 Es_4 下部的暗色泥岩。

根据成气母质不同,将煤型气分为2类:

①偏腐殖型气:由腐泥腐殖型有机质生成。其特征为 $\delta^{13}C_1$ 介于煤成气和油型气之间;苯指

数较高;天然气组分较干,干燥系数为 0.86~0.99;天然气中 CO_2 含量为 7%~14%。一般以气层气形式产出。这类天然气目前发现于沾化凹陷渤南地区 Es_4 自生自储的原生气藏中,主要分布在油型裂解气区。②煤成气:由腐殖型有机质生成。这类天然气目前只见于沾化凹陷孤北地区义 155 井石炭二叠系自生自储的原生气藏中。其特征是 $\delta^{13}\text{C}_1$ 最重(一般大于-33‰);苯指数很高;天然气组分较干,干燥系数为 0.94;天然气中 CO_2 含量达 8%。义 155 井样品落在煤成气区。

2. 无机成因气

至今已在济阳拗陷的平方王、阳信、高青等地区先后发现高纯度的二氧化碳气,其 CO_2 含量超过 90%,个别高达 99.96%。天然气组分中不含或仅含少量的烃气。碳同位素分析结果为: $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 为 -4.41‰~-5.90‰, $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ 为 -38‰。从碳同位素资料看,二氧化碳属无机成因,甲烷为有机成因。对无机二氧化碳目前主要认为有 2 种成因:一种是岩石化学成因,另一种是幔源—岩浆成因*。那么上述地区的无机二氧化碳究竟属于前者还是后者?从地质条件分析,平方王、阳信地区的 CO_2 气均产自奥陶系碳酸盐岩地层,高青地区的产自 Ng 砂岩地层。虽然它们各自的产层不尽相同,但都位于基底大断裂附近(图 1),中、新生代有多期的火山活动,在产层本身或下伏地层中都存在碳酸盐岩。因此,可能是由碳酸盐岩受火成岩烘烤热变质而成。廖永胜曾用平方王地区奥陶系的石灰岩作过热模拟实验,并对热模拟出的 CO_2 气进行了碳同位素分析,其 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 值为 -1.3‰,与前述

$\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 值比较接近,由此证明无机二氧化碳气属岩石化学成因,是碳酸盐岩热变质的产物,而其中所含少量的烃类亦可能是碳酸盐岩中的有机质通过高温烘烤所形成的。

3. 混合气

主要由无机二氧化碳气与有机成熟油型气混合而成,东营凹陷平方王地区 Es_4 气顶气藏就是一个最典型的代表。二氧化碳气的储量之多,在国内已发现的同类气藏中尚不多见; CO_2 含量为 40%~80%, CH_4 含量为 10%~50%,在纵向上重力分异作用明显,从下至上具有 CO_2 含量逐渐减少、 CH_4 含量逐渐增多的趋势。取气样分析结果表明 CH_4 属有机成因,它与东营凹陷 Es_3 脱气的 $\delta^{13}\text{C}_1$ (-49‰~-51‰)基本一致,说明烃类气来自于 Es_3 成熟油型气,而 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 值域有 2 组:一组为 -19.0‰~-21.2‰,属有机成因,可能与烃类气同源,但其气量微不足道;另一组为 -5‰~-9‰,属无机成因,它与该区产自奥陶系的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 值(-5.9‰)接近,说明它与前述高纯度的二氧化碳属同一成因。另外,该混合气的 $40\text{Ar}/36\text{Ar}$ 为 600,数值较低,与中原油田来自下第三系自生自储的天然气基本一致**,亦为排除该区的天然气特别是其中的二氧化碳气为幔源—岩浆成因提供了有力的佐证。

气藏类型及分布规律

1. 气藏类型

目前在济阳拗陷所发现的气藏,按 5 种依据,共划分为 17 类及若干亚类,详见表 2。

* 戴金星等,“七五”国家重点科技攻关项目成果报告“我国天然气地球化学特征及其成因类型”,1989 年。

** 刘文汇,《天然气地球化学译文集》,中国科学院兰州地质研究所,1985 年。

表 2 济阳拗陷气藏类型分类表

划 分 依 据	气 藏 类 型
I. 按圈闭类型划分	1. 构造圈闭气藏: 断块、背斜、断块—背斜圈闭气藏 2. 地层圈闭气藏: 上储式(地层超覆圈闭)、 下储式(潜山或地层不整合遮挡圈闭)地层圈闭气藏 3. 岩性圈闭气藏: 透镜体、岩性上倾尖灭、生物礁圈闭气藏 4. 复合圈闭气藏: 构造—地层、构造—岩性、地层—岩性圈闭气藏
II. 按储集层岩性划分	1. 砂岩气藏 2. 碳酸盐岩气藏 3. 玄武岩气藏 4. 花岗岩片麻岩气藏
III. 按天然气在地下 的存在方式划分	1. 气层气藏 2. 气顶气藏 3. 溶解气藏(油溶气藏、水溶气藏)
IV. 按天然气的成因 划分	1. 有机成因气藏 油型气藏(未熟、成熟、过熟、生物降解型油型气藏) 煤型气藏(偏腐殖型气、煤成气藏) 2. 无机成因气藏 3. 混合成因气藏
V. 按气藏所处的构造 层和深度划分	1. 浅层气藏: T_2 以上, $h < 1500m$ 2. 中层气藏: $T_2 \sim T_6$, $1500m < h < 4000m$ 3. 深层气藏: T_6 以下, $h > 4000m$

2. 气藏分布规律

济阳拗陷的气藏分布无论在平面上还是在纵向上都比较广泛。平面上几乎遍布所有的凹陷和凸起;剖面上从埋深 186~5163m 在 14 套层系均有分布(图 1)。通过对其分布特点的研究,发现它们在宏观上显示出以下规律:①中浅层气藏沿下第三系生油气洼陷边缘呈环状或半环状分布;②浅层气藏大多分布在箕状凹陷陡侧同生大断层两侧;③浅层气藏主要分布在稠油油藏的上方或上倾方向;④深层气藏主要集中在第三纪早期深洼陷中心的岩性圈闭带、构造带和周缘的低潜山上;⑤以浅、深层气藏为主。

有利勘探方向

1. 浅层气

据分布规律,应把拗陷内的凸起以及凸

起和凹陷过渡部分的断裂带、凹陷缓坡带作为整体进行解剖。从成藏条件来分析,浅层气藏主要分布于上第三系河流—泛滥平原相沉积体系中,岩性在纵向和横向上变化较大,含气砂体大部分呈透镜状包裹于泥岩之中。由于上第三系的成岩性差,砂岩物性好,所以储集条件较好。另一方面,凸起和凹陷分界的同生大断层在上第三系沉积时仍在活动,凹陷缓坡带有许多大小不等的断层和各期的地层不整合面,油气运移的通道较为畅通,油气源条件亦较好。因此,控制浅层气藏在上述三个带富集的关键是盖层条件,即上第三系泥岩的发育情况。从图 3 可以看出,拗陷西北小部分地区和埕宁隆起区岩性较粗,盖层条件较差,对找浅层气不利;拗陷东南大部分地区,范围包括车镇凹陷南部、义和庄凸起、沾化凹陷、陈家庄凸起、东营凹陷、滨县凸起、青城凸

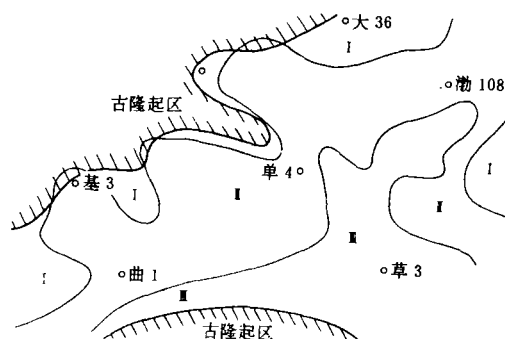


图3 济阳拗陷上第三系明化镇组岩性分区图

I—砂岩夹泥岩区; II—砂泥岩互层区;

III—泥岩夹砂岩区

起、广饶凸起、惠民凹陷中南部,泥岩发育,单层厚度一般2~6m,累积厚度400~600m,盖层条件较好,是勘探浅层气的有利地区。目前应加强对已见稠油的上方或上倾方向部位,如义和庄凸起东部、陈家庄凸起中部、滨县凸起东部和南部、青城凸起东部和南部、广饶凸起北部以及东营凹陷南斜坡的金家地区、沾化凹陷的罗家地区、林樊家油气田的西部和东北部的浅层气勘探。

2. 深层气

从分布规律看,第三纪早期的深洼陷和其周缘的低潜山应作为主攻目标。这些深洼

陷沉积了较厚的 E_k 、 Es_4 和 Es_3 , 烃源岩比较发育,演化程度也较高,大部分已进入成熟—高成熟演化阶段, Es_4 和 E_k 已有相当一部分气源岩已进入过成熟演化阶段,生气条件较好。此外,深洼陷中还发育了各种类型的储集体(如冲积扇、扇三角洲、浊积扇等)以及在深洼陷周围发育了一些中古生界的低潜山,这些储集空间包裹于烃源岩中或与烃源岩呈侧生式接触,具有最先捕获油气的优越条件。因此也最容易形成深层气藏。据少数深层数字地震资料和钻井剖面来分析,东营凹陷的民丰、利津洼陷,惠民凹陷的临南、阳信洼陷和沾化凹陷的渤南、五号桩洼陷及其周缘的低潜山对寻找深层气藏较为有利。

廖永胜、张林晔为本文提供了许多资料,在此致谢!

参 考 文 献

- 1 戴金星等. 天然气地质学概论. 北京:石油工业出版社, 1989
- 2 陈荣书, 袁炳存. 天然气地质学. 武汉:原武汉地质学院出版社, 1986
- 3 向奎等. 孤岛油气田浅气藏形成条件及分布规律, 天然气地质研究论文集. 北京:石油工业出版社, 1989

(修改回稿 1991-09-01)

本刊1992年第4期作者更正

页	行	误	正
21	右 18	梭	俊
21	右 22	梭	俊
93	右 7	偏	编
英摘 5	倒 13	heat productivity	heating value

CONTENTS

EXPLORATION AND DEVELOPMENT

Tong Chongguang: Mechanism of Forming Fault-folded Structure in Sichuan Basin, *NGI* 12(5), 1992: 1~6

Sichuan Basin is a rhombic fault-depression area formed by deep fault activity. The generation and development of the fault-folded belts in the basin were controlled by the compressional activity of the deep faults in Himalayan Time. Accompanied with the growth of these deep faults, there formed the fault-folded belts with various developments, of which majority are in hidden state. The distribution of the abnormally high pressures and geotemperatures in Triassic and Permian is controlled by the developments of the later fault-folded structures and deuterogenous pores, cavities and fractures. The gas reservoirs were mainly formed in Himalayan Time.

Subject Headings: Sichuan Basin, deep fault, fault-folded belt, abnormally high pressure, formation mechanism.

Deng Kangling: Formation and Evolution of Sichuan Basin and Domains for Oil and Gas Exploration, *NGI* 12(5), 1992: 7~12

Starting from the formation and development of Longmen Mountains, this paper elucidates the evolution process of Sichuan Basin and considers that after having been undergone foreland basin and depression basin since Indo-China Time, upper Yangzi area was changed into Sichuan structural basin in early Himalayan Movement by a long-term action compression stress produced between Tethys and coastal Pacific plate. The evolution after the basin had been formed is concentratively reflected on the structural deformation. And then according to the basin evolution and deformation characteristics, the domains for oil and gas exploration are forecasted.

Subject Headings: Sichuan Basin, structural evolution, structural characteristic, oil and gas exploration.

Xiang Kui: Geological Characteristics of Natural Gas in Jiyang Depression and Its Exploration Trend, *NGI* 12(5), 1992: 13~19

In this paper, the geological background of forming natural gas reservoirs in Jiyang Depression is expounded, the genetic type of gas is determined by use of the data of natural gas component, carbon isotope and light hydrocarbons, etc., then the classification of gas reservoir has been done, and the distribution rules of natural gas is summarized and the exploration trend is pointed out also.

Subject headings: North China Platform, gas reservoir, genesis, type, distribution rule, exploration trend.