

文章编号:0253-2697(1999)02-0001-06

华北区古生界原生油气藏勘探前景

王兆云* 何海清 程克明

(石油勘探开发科学研究院 北京)

摘要:从油气系统角度分析了华北区古生界的石油地质条件。下古生界是一套以海相碳酸盐岩为主的沉积,在开阔海台地相的台凹环境下形成的源岩生烃潜力最大,纵向上表现为寒武系的府君山组、张夏组,奥陶系的马家沟组、峰峰组。平面上以黄骅—临清复向斜带为最有利区。上古生界是一套海陆交互的煤系地层,煤层及暗色泥岩厚,热演化程度大多处于成熟—高熟阶段,生烃潜力大。从源岩的生烃演化史及油气的运聚和圈闭关系指出古生界具有形成原生油气藏的条件,原生油气藏勘探研究的难点及关键问题在于烃源岩的二次生烃潜力、范围及油气保存条件。在系统分析总结前人勘探研究工作的基础上,研究了渤海湾、南华北及沁水地区古生界油气生成、保存条件,指出渤海湾地区是二次生烃的最有利地区,油气保存条件好,古生界原生油气藏勘探前景广阔;南华北地区油气生成及保存条件好,但源岩演化程度较高,是天然气的有利勘探区;沁水地区亦具有二次生烃条件,但盖层及油气保存条件差、水动力条件强,北部地区古生界原生油气藏的勘探前景尚好。

关键词:原生油气藏;油气系统;古生界;华北地区;油气远景

1 前言

华北区包括渤海湾、南华北、沁水及鲁西南四大构造单元,面积约 $73 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图1),经过40多年的勘探开发,已探明石油储量约73亿吨,累积产油约12亿吨。华北古生界为华北区油气勘探的新层系,过去在以新生界勘探为主兼探古生界的过程中,陆续发现了一些古生界原生油气藏和油气显示区^[1~2],如70年代发现了以上古生界煤系地层为烃源岩的苏桥和文留气田,尤其是1993年完钻的孔古3井、1995年完钻的孔古4井^[3]①,以及1997年完钻的孔古7井陆续发现了古生界的原生油,显示了古生界良好的勘探前景和潜力,对进一步勘探古生界原生油气藏提供了有力的地质依据。但华北古生界的勘探程度很低,古生界勘探研究中存在许多问题。因此,加强古生界的基础研究及综合评价工作是华北古生界原生油气藏取得重大突破的先导。

2 古生界石油地质条件分析

华北区下古生界为地台相碳酸盐岩沉积,上古生界为一套海陆交互互相含煤系地层。古生界沉积之后经历的印支、燕山、喜山期多次构造运动的影响,使得古生界烃源岩不但存在一次成烃的情况,

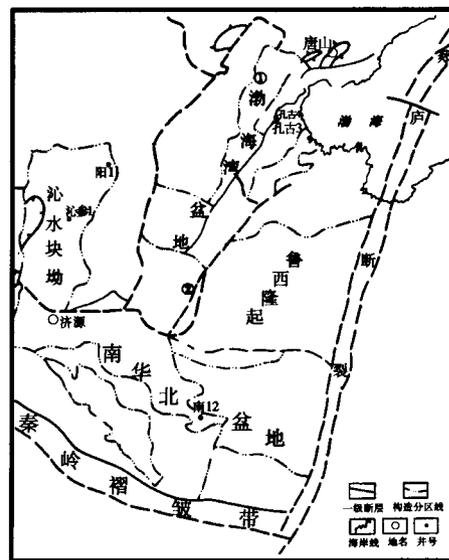


图1 华北区古生界范围及构造区划图
Fig. 1 Location and structural division map of Palaeozoic era in Huabei area
①—苏桥—文安气田;②—文留气田

* 王兆云,女,1966年10月生。1993年于中科院兰州地质所获博士学位。现在中国石油天然气总公司石油勘探开发科学研究院地质所工作。
通讯处:北京学院路910信箱。邮政编码:100083。

① 程克明,王兆云等. 华北地区古生界烃源岩与热演化研究,1996。

而且存在二次成烃的现象;油气藏的形成和演化亦表现为曲折复杂的变化过程,既有形成也有破坏,既有一次成藏,也有二次成藏。为此,我们针对古生界两套不同性质烃源岩的生油气条件、生烃潜力及其油气生成和聚集成藏过程分别阐述。

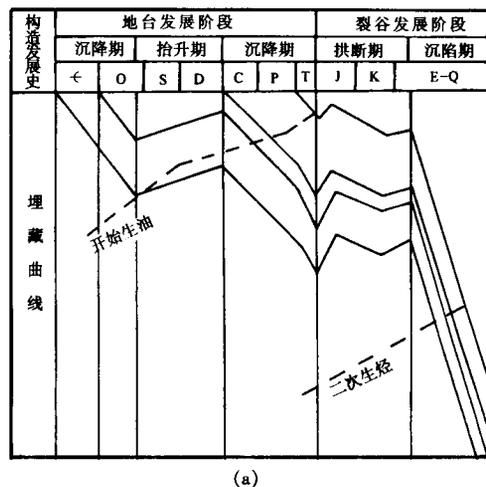
2.1 下古生界海相碳酸盐岩的生油气条件

华北区下古生界海相碳酸盐岩和泥质岩普遍具有有机质丰度低的特点,有机碳最低值 0.02%,最高值达 1.84%,变化范围大,反映了不同沉积环境下的源岩生烃潜力不同,只有在台凹环境下形成的源岩生烃潜力最大,在纵向上表现为寒武系的府君山组、张夏组、奥陶系的马家沟组、峰峰组为富氢层段,是主要的生油层系。下古生界海相碳酸盐岩虽有有机质丰度较低,但生源主要是菌藻类等低等水生生物,有机质类型好,显微组分观察主要是无定形体,占 80%左右。源岩厚度可达 400~1000m。从源岩的厚度、空间展布、生烃指标分析,华北区下古生界海相碳酸盐岩具有较好—中等生烃潜力。

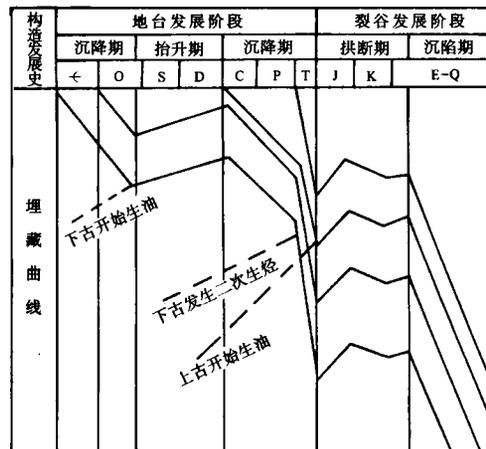
2.2 下古生界源岩的生烃演化史、油气运聚与圈闭的关系

下古生界烃源岩的埋藏史复杂,多期次构造运动的影响造成源岩具有二次生烃的特点。下古生界源岩一次生烃最早可追溯到奥陶纪末期。华北地区进入早古生代以来,沉积了厚约 1300~1500m 厚的下古生界海相碳酸盐岩地层,中奥陶世末的加里东运动使该区遭受长达 1.3 亿年的抬升剥蚀,缺失上奥陶统至下石炭统地层,奥陶纪末期源岩热演化程度 R_0 达 0.6%左右(根据唐山赵各庄马家沟组灰岩的成熟度,此地自加里东运动抬升后,一直暴露于地表未被再次深埋,源岩现今的热演化程度 R_0 为 0.6~0.8%),已进入生烃门限,加里东运动造成的抬升剥蚀使奥陶系源岩的生烃作用暂时终止;至中石炭世本区下沉,接受石炭—二叠系海陆交互相含煤地层和陆相碎屑岩沉积,厚度一般为 700~1000m;进入中生代后,尤其是中三叠世末期的印支运动使本区一改过去的升降运动为主的运动方式,形成大型宽缓的复式背向斜带。燕山期的构造活动期次多,断裂、火山活动频繁,异常热源对烃源岩演化具有催化作用。新生代裂谷盆地发育,使古生界地层达到最大埋深,因而喜山期的再次深埋使古生界具有较好的二次生烃条件。图 2 为渤海湾、南华北及沁水盆地古生界烃源岩的埋藏及生烃史示意图。

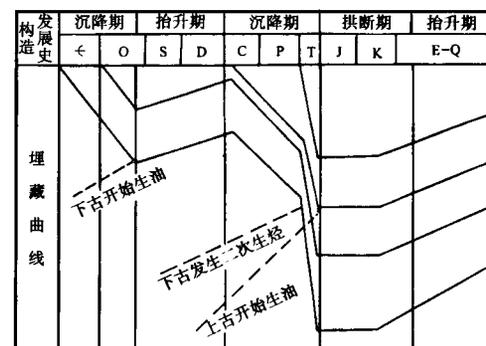
渤海湾地区下古生界烃源岩的生烃史是:奥陶纪末期源岩的热演化程度 R_0 为 0.6%左右,已进入生烃门限,加里东运动使源岩生烃作用终止;印支-燕山期,石炭、二叠系及三叠系等上覆地层的复盖以及异常热源有可能使下古生界源岩进入二次生烃门限,但此阶段的生烃是少量的;喜山期造成的深埋作用是源岩的大量二次生烃期。



(a)



(b)



(c)

图 2 华北区古生界烃源岩埋藏及生烃史示意图

Fig. 2 Sketch map of buried depth and hydrocarbon generation history of source rocks in Huabei area

a—渤海湾; b—南华北; c—沁水盆地

南华北地区下古生界源岩的生烃史是：奥陶纪末期加里东运动之前，源岩有可能已进入生烃门限，石炭、二叠和三叠系基本属于连续沉积，三叠系地层厚度很大，一般可达 1500~3500m，三叠系末上古生界源岩的热演化程度 R_0 为 0.7%~1.4%，下古生界源岩的热演化程度肯定高于上古生界，印支期是下古生界源岩的主要生油期，燕山、喜山期源岩已进入大量生气阶段。

沁水盆地古生界沉积后，随之的三叠系厚度也很大，达 2000m 以上，最厚可达 3680m，三叠系末上古生界源岩的热演化程度 R_0 为 0.9%~1.4%，下古生界源岩此时已过了生油窗下限；印支—燕山—喜山期岩浆活动等异常热源的影响造成现今源岩的高演化程度，处于大量生气期。

下古生界的有利圈闭多形成于印支末—燕山早期^[4]，区域上受左旋扭动的应力场作用，在北西、南东向受挤压剪切应力作用，由一系列逆冲断裂形成背斜、半背斜和断块型构造。

渤海湾地区构造圈闭形成期早于最大生排烃期(图 3)，这种早期形成的古构造是古生界油气聚集的有利场所，生储盖圈闭配套关系好，主要成藏期晚，后期构造运动的破坏改造作用弱，奥陶系顶部峰峰组风化壳的孔、缝、洞储集性能良好，覆于风化壳之上的石炭系底部铝土岩则可作为直接盖层，加上覆地层的覆盖，保存条件好，具有形成下古生界自生自储原生气藏的良好条件，可形成奥陶系内幕和奥陶系风化壳两种油气藏类型。

南华北地区下古生界主要生油期早于圈闭形成期或与圈闭形成期同步，圈闭期与生、排油期配置关系欠佳，油藏形成条件不好。但主要生、排气期晚于圈闭形成期，且有上覆石炭—二叠和三叠系覆盖，天然气保存条件良好，具有形成下古生界原生气藏的良好条件。

沁水盆地地下古生界烃源岩的生、排烃演化历史与南华北地区一致，但其保存条件较南华北差，印支—燕山—喜山期古生界烃源岩始终处于抬升阶段，属于持续回返型，中、新生界地层沉积很薄或缺失，但下古生界源岩层有上古石炭—二叠系地层的覆盖，具有一定的保存条件。从构造圈闭时期与生排烃史和储、盖层配套关系来看，具有形成下古生界原生气藏的条件。

2.3 上古生界煤系地层的生烃条件

煤成烃目前已为大家所公认。华北地区石炭—二叠系是一套有独特特点的海陆过渡相煤沉积，也是我国最重要、最主要的含煤岩系之一。古生界源岩有机质丰度高，有机碳 1%~3%，煤层厚 20~50m，暗色泥岩厚 200~400m，有机质以腐殖型为主，热演化程度 R_0 普遍大于 0.7%，在东濮、沾化、惠民、歧口、板桥、沧东—南皮等深凹陷 R_0 大于 2.0%，其生气强度为 $(10\sim 100)\times 10^8\text{m}^3/\text{km}^2$ ，普遍大于 $50\times 10^8\text{m}^3/\text{km}^2$ ，生烃潜力大。

2.4 上古生界源岩的生烃演化史、油气运聚与圈闭的关系

上古生界源岩最早生烃始于三叠纪末期，印支末期—燕山期的挤压抬升使渤海湾地区上古生界生烃作用停止(图 4)，新生代的大幅度沉降，当其超过石炭—二叠系第一次埋深(推算深度为 3000~3500m)时，开始进

| 地质时代 | | ← | O | S | D | C | P | T | J | K | E-Q |
|-------|--------|---|-----|-----|---|-----|---|-----|-----|---|-----|
| 地质事件 | | | | | | | | | | | |
| 烃源岩 | | | | | | | | | | | |
| 储层 | | | | | | | | | | | |
| 盖层 | | | | | | | | | | | |
| 上覆地层 | | | | | | | | | | | |
| 渤海湾型 | 构造发展史 | | 沉降期 | 抬升期 | | 沉降期 | | 拱断期 | 沉降期 | | |
| | 生烃期 | | | | | | | | | | |
| | 排烃期 | | | | | | | | | | |
| | 圈闭形成期 | | | | | | | | | | |
| | 油气藏形成期 | | | | | | | | | | |
| 关键时刻 | | | | | | | | | | | |
| 南华北水型 | 构造发展史 | | 沉降期 | 抬升期 | | 沉降期 | | 拱断期 | 抬升期 | | |
| | 生烃期 | | | | | | | | | | |
| | 排烃期 | | | | | | | | | | |
| | 圈闭形成期 | | | | | | | | | | |
| | 油气藏形成期 | | | | | | | | | | |
| 关键时刻 | | | | | | | | | | | |

图 3 下古生界含油气系统基本地质要素与相互关系

Fig. 3 Basic elements of lower Palaeozoic petroleum system and their interrelations

行二次生烃,黄汝昌等^①研究成果表明各块拗的二次生烃门限深度分别为东濮 3500m;临清东 3100m;济阳 3000m;冀中 3000m;黄骅 3300m。

| 地质时代 | ← | O | S | C | P | T | J | K | E-Q |
|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|-----|
| 地质事件 | | | | | | | | | |
| 烃源岩 | | | | — | — | | | | |
| 储层 | | — | | | — | | | | — |
| 盖层 | | | — | | | — | | | — |
| 上覆地层 | | | | | | | | | |
| 生烃期 | | | | | | | — | — | — |
| 排烃期 | | | | | | | — | — | — |
| 圈闭形成期 | | | | | | | — | — | — |
| 油气藏形成期 | | | | | | | — | — | — |
| 关键时刻 | | | | | | | — | — | — |

图4 上古生界含油气系统基本地质要素与相互关系

Fig. 4 Basic elements of upper Palaeozoic petroleum system and their interrelations

上古生界烃源岩亦经历了多期次构造运动的影响,生、排烃史复杂(图2,图4)。古生界油气的圈闭形成期与油气运聚过程各地有差异,归纳总结为两种类型:一种为苏桥—文安型,早期圈闭形成于燕山期,在区域左旋应力产生的北西、南东向挤压应力作用下,由逆冲断裂形成一系列中生代圈闭,并开始捕获古生界烃源岩一次生烃产生的油和气。燕山末期遭受抬升剥蚀,早第三纪拉张正断层发育,形成一系列古生界断块圈闭,广泛接受上古生界烃源岩二次生烃产生的油和气;同时中生代形成的古生界油气藏遭到破坏、改造,早期形成的油气亦重新运移到古生界断块圈闭中;另

外,深凹陷内的下第三系,源岩亦进入生烃门限,开始生烃,沿断层向上运移进入圈闭中,一起形成混合源油气藏。另一种为文留型,早期圈闭形成于印支末—燕山期,印支末—燕山期的挤压抬升使上古生界烃源岩初次生成的油气或散失或进入圈闭中。早第三纪拉张裂隙,湖水蒸发大于补给,下第三系发育巨厚的盐膏层,是良好的区域性盖层。晚第三纪上古生界源岩埋深超过二次生烃门限,进入大量二次生烃期,大量油气沿断层向上运移聚集于盐膏下,形成岩性圈闭油气藏。

2.5 古生界生储盖组合及油气藏类型

华北区古生界具有以下四套储盖组合。

(1) 以古风化壳为储层的生储盖组合 华北地台下古生界有两个典型的风化壳:①怀远运动形成的亮甲山组顶部古风化壳;②加里东运动形成的马家沟组(局部为峰峰组)顶部古风化壳,分布范围广阔,遍及全区,是最主要的储集层。奥陶系古风化壳上覆铝土质岩,一般厚8~15m,属强封盖层,与石炭系底部泥岩构成了古生界原生气藏的区域盖层。

(2) 奥陶系内部生储盖组合 华北区奥陶系主要发育潮坪相沉积的碳酸盐岩和蒸发岩,碳酸盐岩既可作为生油岩,又可作为储层。另外,马家沟组膏、盐层发育,厚度20~40m不等,盖层条件具备,形成了一套奥陶系内部自生自储的生储盖组合。

(3) 寒武系碳酸盐岩生储盖组合 该组合储层由中、下寒武统碳酸盐岩组成,府君山组(辛集组)为主要烃源岩,奥陶系下统治里组(东、南部)和中统马家沟组(中、西部)泥质白云岩、含膏泥粉晶白云岩,封盖性较好,厚20~50m,可作为寒武系的直接盖层。由于该组合下部生气条件较差,现有的少量探井未见气显示,故列入潜在的生储盖组合。

(4) 上古生界生储盖组合 烃源岩为太原组和山西组暗色泥岩及煤层,储集层主要为石盒子组砂岩,上下石盒子组的厚层泥、页岩是良好的区域性盖层。

由于华北地区古生界经历多期构造运动改造,造成地质条件十分复杂,油气藏类型复杂多样,自生自储、古生新储型油气藏均有,另外,与中、新生界的混源型油气藏亦存在(表1)。

古生界形成原生气藏的关键是二次油气运聚期及后期的油气保存条件。古生界油气藏的保存条件主要取决于盖层的保存完整情况、断层活动情况与地层水动力条件。①作为下古生界区域性封盖层的煤系地层的保存是下古生界油气藏形成的必要条件,煤系地层缺失区,水动力条件强,对古生界油气保存不利,下古生界油气

① 黄汝昌等. 我国东部主要盆地古生界含气前景及勘探目标评价. 1994.

表1 华北区古生界油气藏类型表
Table 1 Types of Palaeozoic oil and gas pools in Huabei area

| 油气藏类型 | 实 例 | 备 注 |
|-------------|--------------------|---|
| 古生古储(自生自储)型 | 孔古3井油气 | 下古生界奥陶系自生自储 |
| | 文留气田 | C-P煤系地层生成的煤成气,通过断层向上运移至沙三段,盐岩层遮挡聚集藏 |
| 古生新储型 | 孔古4井油气 | 源为C-P煤系地层,储层为下白垩统砂岩 |
| | 南12井油气 | 源为C-P煤系地层,储层为下第三系地层 |
| 混合源型 | 苏桥一文安气(凝析油)田 | 主力源岩为C-P煤系地层,有下第三系源岩的贡献 储集层为奥陶系(苏1、苏4、苏6井)或二叠系(苏20井) |
| 浅层煤成气藏 | 沁参1井低产煤成气和阳1井煤层瓦斯气 | |

藏勘探目标应集中于煤系地层覆盖区。②三叠系及侏罗—白垩、下第三系地层的存在则是上古生界油气藏的必要条件。上第三系直接覆盖于上古生界之上的地区,对上古生界油气的保存不利。③断裂对古生界油气一方面为运移通道,一方面又是封堵层面。封与通主要取决于活动时间和强度,在早第三纪时,断层活动强度大,是运移通道;在晚第三纪和第四纪活动强度小或不活动,则又是封堵层面。④大规模中新代拗陷区,古生界油气保存条件优越,水型以CaCl₂型为主,而在隆起部位地层水矿化度急剧降低,水型以NaHCO₃为主,表明其与上部大气淋滤水相通,保存条件不好。

3 有利勘探区带预测

3.1 黄骅—临清构造带是华北区古生界勘探的最有利地区

黄骅—临清构造带是华北区古生界勘探的最有利地区,其原因是:①早、晚古生代沉积时,黄骅—临清构造带分别位于原型盆地的沉积中心附近,沉积厚度大,有机质类型好,丰度高。②后期中新生代的构造运动使黄骅—临清处于复向斜构造带,古生界源岩保存好。另外,有石炭—二叠系、三叠系两层“被子”覆盖,油气保存条件好。③二次生烃条件好,喜山期造成的深埋作用是源岩的大量二次生烃期。构造圈闭形成期早于最大生排烃期,这种早期形成的古构造是古生界油气聚集的有利场所,主要成藏期晚,后期构造运动的破坏改造作用弱,奥陶系顶部峰峰组风化壳的孔、缝、洞储集性能良好,覆于风化壳之上的石炭系底部铝土岩层则可作为直接盖层,加之覆盖地层的覆盖,保存条件好,具有形成下古生界自生自储原生油气藏的良好条件,可形成奥陶系内幕和奥陶系风化壳两种油气藏类型。目前在渤海湾地区已发现孔店构造带、乌马营构造带、堂邑构造带,是寻找下古生界原生油气藏的有利区带。

3.2 南华北地区具有早期生烃、早期成藏特点,但油气保存条件好

南华北盆地由于受秦岭造山带的影响,具有明显的前陆盆地的发育特点,盆地发育早期,经历了中、晚元古代初始裂陷阶段;寒武、奥陶系早期沉降,晚期抬升阶段;石炭、二叠纪进入了前陆盆地的发育阶段;三叠纪时期进入了前陆盆地发育的全盛期。在前陆盆地的发育阶段,各期的沉积相对于华北地台中部,水体较深,沉积厚度较大,烃源岩最为发育,对古生界和三叠系原生油气藏的形成非常有利。三叠系地层厚度一般可达1500~3500m,三叠系末上古生界源岩的热演化程度 R_0 为0.7%~1.4%,下古生界源岩的热演化程度肯定高于上古生界,印支期是下古生界源岩的主要生油期,燕山、喜山期源岩已进入大量生气阶段。

南华北地区下古生界主要生油期早于圈闭形成期或与圈闭形成期同步,圈闭期与生、排油期配置关系欠佳,油藏形成条件不好。但主要生、排气期晚于圈闭形成期,且有上覆石炭—二叠和三叠系覆盖,天然气保存条件良好,具有形成下古生界原生气藏的良好条件。目前已发现伊川构造带、黄店构造带、赵和构造带等。

3.3 沁水盆地北部尚有勘探前景

沁水盆地古生界烃源岩埋藏史属于持续回返型,印支—燕山—喜山期古生界烃源岩始终处于抬升阶段,三叠系末上古生界源岩的热演化程度 R_o 为 0.9%~1.4%,下古生界源岩此时已过了生油窗下限;印支—燕山—喜山期岩浆活动等异常热源的影响造成现今源岩的高演化程度,处于大量生气期。区域水动力条件和古生成烃期与圈闭形成期的配置关系已上升为天然气勘探的主要矛盾。根据水动力条件,以盆地北部最好,发现来远构造带、南房—油马会构造带等。

4 结 论

1. 系统分析了华北区古生界的石油地质条件。华北区具有多期次构造运动,造成烃源岩的生排烃、运聚史复杂多样,但圈闭形成期与二次生烃期基本配套,从含油气系统角度分析古生界具有形成原生气藏的条件。但重点期次古构造的恢复、剥蚀厚度的恢复及古地热的研究是进一步加深古生界研究的关键。

2. 多生烃层系、多期次生烃及多源复合的特点决定了古生界油气藏类型的多样性,古生古储、古生新储、新生古储和混合源型油气藏均存在,应加强油气藏地球化学研究及综合研究工作,搞清古生界油气的富集规律,以期获得大规模的古生界原生气藏。

致谢 华北古生界项目经理部康健教授、郭绪杰经理等提供了大量的基础资料,在此深表谢意。

参 考 文 献

- [1] 翟光明等. 中国石油地质志. 总论,卷 3~7. 北京:石油工业出版社,1988~1993.
- [2] 康竹林,翟光明. 渤海湾盆地新层系新领域油气勘探前景. 石油学报,1997,18(3):1~16.
- [3] 王兆云,程克明等. 黄骀坳陷孔西潜山下古生界原油. 石油勘探与开发,1997,24(3):1~4.
- [4] 张功成. 中国东北—华北中生代盆地结构构造. 石油学报,1997,18(4):7~13.

(本文收到日期 1998-02-15 编辑 孟伟铭)