

文章编号: 0253-9985(2004)05-0544-04

黄骅坳陷第三系油气成藏体系定量评价

陈善勇^{1,2}, 金之钧³, 刘小平⁴

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 2. 中国石油股份公司大港油田科技信息处, 天津大港 300280;
3. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083; 4. 石油大学盆地与油藏研究中心, 北京 102249)

摘要: 根据油气成藏体系概念和层次分析法基本原理, 将黄骅坳陷第三系划分为4个成藏体系和16个亚成藏体系, 初步建立了成藏体系的定量评价方法。优选出烃源体、输导体和圈闭体所涉及的22个地质单因素, 包括有机碳含量、有机质类型、成熟度、源岩厚度、供烃面积系数及生烃强度、断层、储层、不整合面及其空间组合等, 定量评价了黄骅坳陷成藏体系和亚成藏体系的元素及成熟度。结果表明, 黄骅坳陷4大成藏体系的烃源体、输导体和圈闭体三元素存在明显的差异, 中部歧北成藏体系各元素发育条件最好, 其次是中部歧南成藏体系, 南部成藏体系较差, 北部成藏体系最差。中部歧北成藏体系 and 中部歧南成藏体系成熟度较高; 南部成藏体系和北部成藏体系成熟度较低。

关键词: 成藏体系; 元素; 成熟度; 定量评价; 黄骅坳陷; 第三系

中图分类号: TE112.36

文献标识码: A

Quantitative evaluation of Tertiary petroleum accumulation systems in Huanghua depression

Chen Shanyong^{1,2}, Jin Zhijun³, Liu Xiaoping⁴

(1. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing; 2. Science and Technology Information Department of Dagang Oilfield, CNPC, Tianjin; 3. Petroleum Exploration and Development Research Institute, SINOPEC, Beijing;
4. Basin & Reservoir Research Center, University of Petroleum, Beijing)

Abstract: According to the concept of petroleum accumulation systems and the basic principles of analytical hierarchy process, the Tertiary in Huanghua depression can be divided into four petroleum accumulation systems and sixteen subsystems. Quantitative evaluation method of petroleum accumulation system has preliminarily been established. 22 geological factors in respect of source rocks, carrier rocks and traps have been selected, including organic carbon content, type of organic matter, maturity, thickness of source rock, areal coefficient of hydrocarbon delivery and intensity of hydrocarbon generation, fault, reservoir, unconformity, as well as their spacial combination. Quantitative evaluations of the elements and maturity of petroleum accumulation systems and subsystems in Huanghua depression show that the three elements, i. e. source rocks, carrier rocks and traps of the 4 systems are remarkably different, of which the Qibei system in the central part of the depression has the best development conditions, followed by the Qinan system in the same area, while the system in the south is relatively poor and the system in the north is the poorest. The maturities of the Qibei and Qinan systems in the central part of the depression are high, while those in the south and in the north are low.

Key words: petroleum accumulation system; element; maturity; quantitative evaluation; Huanghua depression; Tertiary

1 第三系油气成藏体系划分

油气成藏体系是地表以下油气成藏的自然体

系, 它包括了形成油气藏的一切必要元素(要素), 如烃源体(含烃/流体)、输导体和圈闭体以及这些元素之间有效的配置结构。油气成藏体系必须具

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目“中国典型叠合盆地油气形成富集与分布预测”(G19990433)

第一作者简介: 陈善勇, 男, 40岁, 高级工程师(博士生), 油气藏形成与分布

收稿日期: 2004-08-23

备这样的结构,即能够产生任何单一元素所不具备的功能——形成油气藏。油气成藏体系强调油气聚集的相关性,因而在研究方法上强调烃源体、输导体和圈闭体之间相互关联、相互制约的“系统性”。油气成藏体系划分是一项十分复杂的工作,一般是以聚油单元为核心,以输导系统为主线,以烃源体的供源区为边界进行的^[1]。

黄骅拗陷发育的阶段性和多旋回、多期生、储油岩体建造的形成。自北而南发育了北塘、板桥、歧口、沧东、南皮、盐山 5 个生油气凹陷,孔店组二段与沙河街组三段、二段、一段以及东营组为主要的生油岩系。由于黄骅拗陷在形成过程中边界断裂的不均衡活动,使得上述各凹陷在空间上分割发育,在时间上分期演化性强。根据凹陷发育特征和沉积条件、母岩分区等,大体可划分 3 种类型的凹陷:一为第三系以来整个裂谷期继承发育的凹陷,有歧口凹陷(沙河街组三段、二段、一段及东营组为主要烃源层)、板桥凹陷(沙河街组三段和二段为主要烃源层)、北塘凹陷(沙河街组三段为主要烃源层);二为裂谷早期发育的凹陷,有沧东、南皮凹陷,孔店组二段是主要烃源层;三为裂谷中晚期发育的浅凹陷,有盐山凹陷,沙河街组一段是主要烃源层^[2~4]。不同类型生油凹陷与其紧邻的二级构造带相匹配,形成了各自独立的成藏体系和亚成藏体系。黄骅拗陷大港探区大致可划分为北部成藏体系、中部歧北成藏体系、中部歧南成藏体系、南部成藏体系等 4 大成藏体系,每个成藏体系可以进一步划分为若干个亚成藏体系(表 1,图 1)。

2 成藏体系定量评价方法

油气成藏体系具有明晰的层次结构,因此,层次分析法能很好地运用于成藏体系的定量评价。层次分析法是根据问题的性质和要求,将问题按层次进行分析和求解的一种决策方法,也称为解析第阶过程(Analytic Hierarchy Process),简称 AHP 法,是美国运筹学家 Saaty 于 20 世纪 70 年代提出的,是一种定性分析与定量分析相结合的多目标决策分析方法^[5]。

2.1 评价单元及参数的层次结构

成藏体系从单元构成上可分为 3 个层次,由低到高分别为:运聚单元→亚成藏体系→成藏体系。本次研究即按这 3 个单元,由低到高进行评

表 1 黄骅拗陷成藏体系划分及命名一览表
Table 1 Division and naming of petroleum accumulation systems in Huanghua depression

成藏体系		亚成藏体系	
代号	名 称	代号	名 称
I	北部成藏体系	I ₁	西河亚成藏体系
		I ₂	于家岭裙边亚成藏体系
		I ₃	茶淀-新河村亚成藏体系
		I ₄	大神堂亚成藏体系
		I ₅	洞南亚成藏体系
		I ₆	塘沽-新港亚成藏体系
II	中部歧北成藏体系	II ₁	增福台裙边亚成藏体系
		II ₂	板桥-北大港亚成藏体系
		II ₃	白东-歧中亚成藏体系
III	中部歧南成藏体系	III _a	南大港-羊三木亚成藏体系
		III _b	歧东-羊二庄亚成藏体系
IV	南部成藏体系	IV ₁	孔店-灯明寺亚成藏体系
		IV ₂	沧东裙边亚成藏体系
		IV ₃	徐扬桥-黑龙村亚成藏体系
		IV ₄	盐山裙边亚成藏体系
		IV ₅	东光裙边亚成藏体系

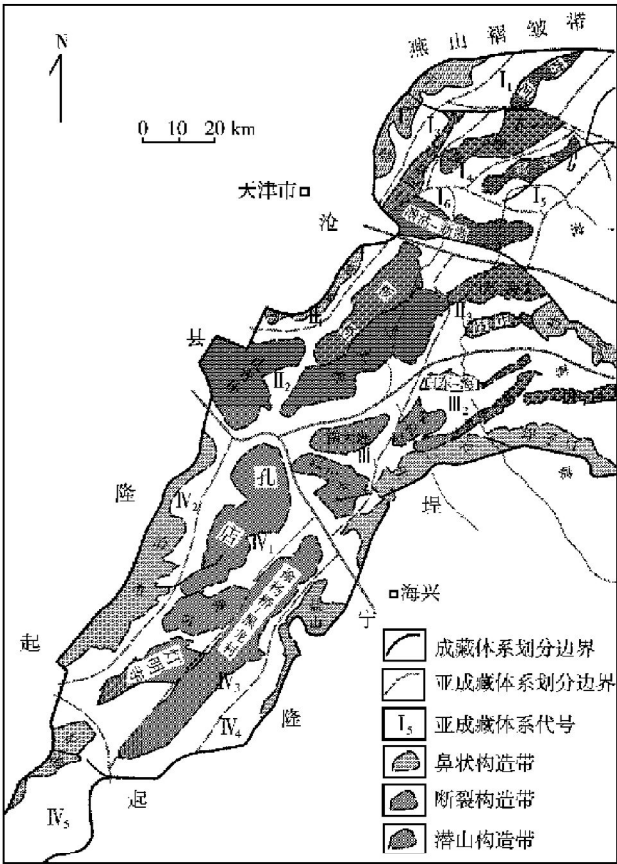


图 1 黄骅拗陷油气成藏体系划分
Fig. 1 Division of petroleum accumulation systems in Huanghua depression

价。每个评价单元的评价参数也包含3个层次,由低到高分别为:地质单因素→元素→成熟度。这些评价单元与参数构成了成藏体系内由高到低的层次结构。因此,在进行成藏体系定量评价时,遵循由地质单因素→元素→运聚单元→亚成藏体系→成藏体系的评价序列(图2)。

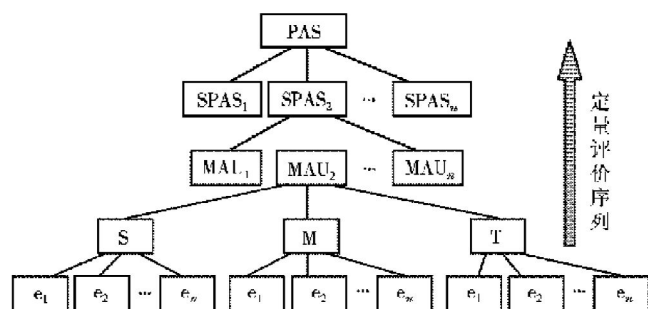


图2 成藏体系定量评价单元及参数层次结构

Fig. 2 Hierarchy of units and parameters for quantitative evaluation of petroleum accumulation systems

PAS—成藏体系; SPAS—亚成藏体系; MAU—运聚单元;

S—烃源体; M—输导体; T—圈闭体; e—地质单因素

地质单因素的选取是正确定量评价成藏体系的关键,本文选取了22个地质因素进行成藏体系地质评价。其中,构成烃源体的地质单因素6个:有机碳含量、有机质类型、成熟度、源岩厚度、供烃面积系数及生烃强度;构成输导体的地质单因素5个:输导层类型(断层、储层、不整合面及其空间组合)、供烃方式(运移流线形式)、运移距离、生运聚的时间匹配及生储盖配置;构成圈闭体的地质单因素11个:圈闭类型、圈闭面积系数、圈闭幅度、储层沉积相、储层百分比、储层孔隙度、储层渗透率、储层埋深、盖层厚度、盖层岩性及断裂破坏程度。

2.2 元素定量评价方法

成藏体系元素存在发生的概率取决于其各项单因素的好坏,因此,首先对烃源体、输导体和圈闭体中的各地质单因素进行评价,然后根据各地质单因素对元素总体功能的影响相对大小,给予(0~1)区间的权值,每个元素中各单因素的权值之和等于1,之后对各单因素进行加权求和即得各元素的综合定量值,其公式如下

$$P_i = \sum_{j=1}^n q_{ij} P_{ij} \quad (i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3 \dots) \quad (1)$$

$$\sum_j q_{ij} = 1 \quad (2)$$

式中 P_{ij} 为第 i 个元素第 j 个单因素的评价值($0 \leq P_{ij} \leq 1$), q_{ij} 为第 i 个元素第 j 个单因素的权值。

黄骅坳陷每个亚成藏体系中包含一个或多个油气聚集单元,16个亚成藏体系共包括24个聚集单元。考虑到一个亚成藏体系中各聚集单元地质因素存在着一定差异,按照层次分析法的基本原理,首先对聚集单元进行评价,然后根据各聚集单元的面积权值,对亚成藏体系中各聚集单元的评价结果进行面积加权求和,从而得出亚成藏体系各元素的评价概率,计算公式如下

$$E_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} E_{ij} \quad (i = 1, 2, 3 \dots, j = 1, 2, 3 \dots) \quad (3)$$

$$a_{ij} = \frac{A_{ij}}{\sum_{j=1}^n A_{ij}} \quad (4)$$

式中 E_{ij} 为第 i 个亚成藏体系第 j 个聚集单元的元素评价值($0 \leq E_{ij} \leq 1$), a_{ij} 为第 i 个亚成藏体系第 j 个聚集单元的面积权值, A_{ij} 为第 i 个亚成藏体系第 j 个聚集单元的面积。

2.3 成熟度定量评价方法

对于油气成藏体系发育演化程度和过程的研究,引入成熟度概念来进行定量描述。所定义的油气成藏体系成熟度是指油气成藏体系中的油气从生成到聚集成藏的演化程度。它和有机质成熟度有着很大的不同,有机质可以成熟,但不一定成藏;而油气成藏体系的成熟度强调的主要是油气成藏的程度。在这一过程中,有机质成熟是先决条件,换言之,成熟油气成藏体系的有机质一定是成熟的或过成熟的,而具有成熟有机质的油气成藏体系不一定是成熟的油气成藏体系^[1]。

成藏体系成熟度可以用如下指标来表示,它是烃源体、输导体和圈闭体三元素发生概率的乘积,其计算公式如下

$$M = \prod_{i=1}^3 E_i \quad (i = 1, 2, 3) \quad (5)$$

式中 E_i 为第 i 个元素的概率值。

3 评价结果与分析

由于北部成藏体系西河亚成藏体系和于家岭裙边亚成藏体系缺乏有效烃源岩,故没有进行评价。对14个亚成藏体系22个运聚单元的三大元素从地质单因素分析入手,由公式(1)和(5)计算出各运聚单元的元素和成熟度评价价值,最后根据

公式(3)和(5)求得14个亚成藏体系和4大成藏体系三大元素的定量评价价值。

评价结果表明,黄骅坳陷4大成藏体系的烃源体、输导体和圈闭体三元素存在明显的差异(图3),中部歧北成藏体系各元素发育条件最好,其次是中部歧南成藏体系,南部成藏体系较差,北部成藏体系最差。

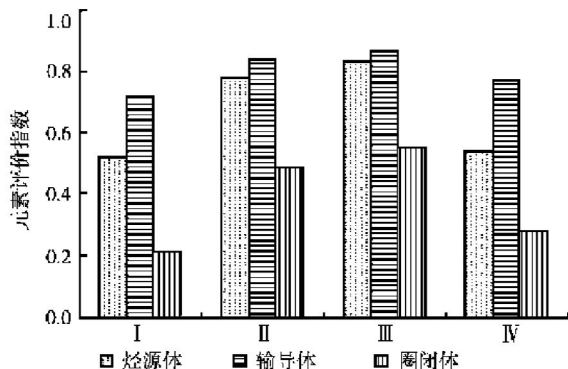


图3 黄骅坳陷4大成藏体系元素定量评价价值直方图

Fig. 3 Histogram of quantitative evaluation values of elements of the four petroleum accumulation systems in Huanghua depression

I—北部成藏体系; II—中部歧北成藏体系;

III—中部歧南成藏体系; IV—南部成藏体系

成藏体系中各亚成藏体系之间的元素值也存在着较大差异。北部成藏体系中,以塘沽-新港亚成藏体系最好,而润南、大神堂和茶淀-新河村亚成藏体系则要差得多;中部歧北成藏体系中,白东-歧中亚成藏体系各元素值最高,其次为板桥-北大港亚成藏体系,增福台裙边亚成藏体系

则较差;中部歧南成藏体系中,歧东-羊二庄亚成藏体系各元素值最高,其次为南大港-羊三木亚成藏体系;南部成藏体系中,以孔店-灯明寺亚成藏体系最好,其次为沧东裙边亚成藏体系,徐扬桥-黑龙村、盐山裙边和东光裙边3个亚成藏体系最差。

黄骅坳陷四大成藏体系中,以中部歧北成藏体系成熟度最高,成熟度值达0.553,中部歧南成藏体系较高,成熟度值达0.485,这两个成藏体系为高成熟成藏体系,油气成藏条件最好;南部成藏体系成熟度为0.278,北部成藏体系成熟度为0.212,属中等成熟成藏体系,成藏条件较前两个成藏体系差(图4)。

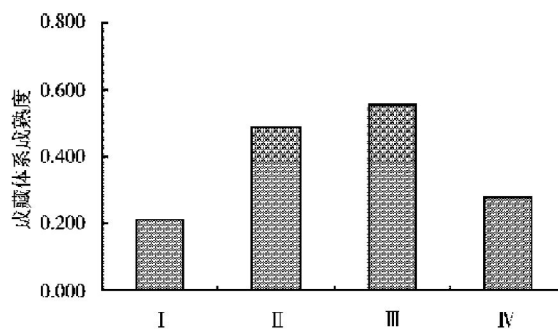


图4 黄骅坳陷成藏体系成熟度对比直方图

Fig. 4 Histogram correlating maturities of the four petroleum accumulation systems in Huanghua depression

I—北部成藏体系; II—中部歧北成藏体系;

III—中部歧南成藏体系; IV—南部成藏体系

各亚成藏体系的成熟度差异较大(图5),其

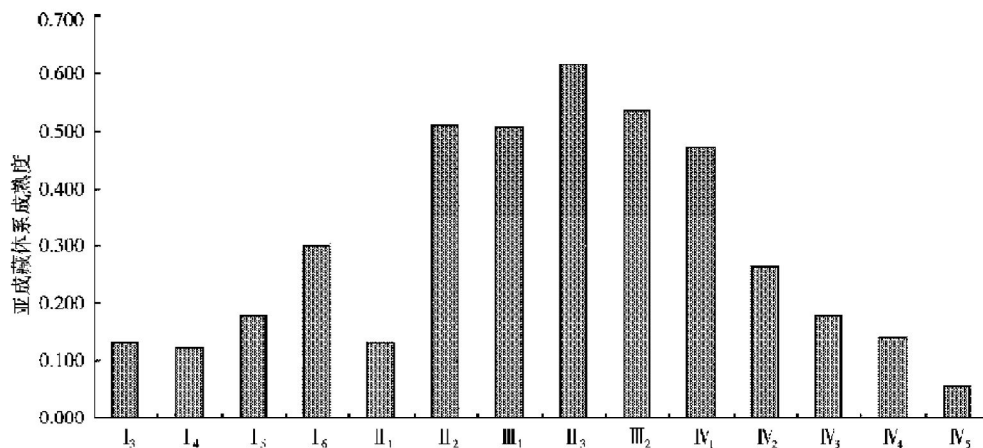


图5 亚成藏体系成熟度对比直方图(亚成藏体系名称见表1)

Fig. 5 Histogram correlating maturities of the subsystems in Huanghua depression

(下转第602页)

- 33 林畅松, 李思田, 任建业. 断陷湖盆层序地层研究和计算机模拟——以二连盆地乌里雅斯太断陷为例[J]. 地学前缘, 1995, 2(3): 124~ 132
- 34 林畅松, 解习农, 张燕梅, 等. 二维沉积层序计算机模拟研究[J]. 沉积学报, 1998, 16(2): 68~ 73
- 35 林畅松, 张燕梅. 盆地的形成和充填过程模拟——以拉伸盆地为例[J]. 地学前缘, 1999, 6(增刊): 139~ 146
- 36 樊太亮, 徐怀大, 刘金辉, 等. 新疆塔里木盆地北部应用层序地层学[M]. 北京: 地质出版社, 1997
- 37 胡宗全, 李明娟. 准噶尔盆地西北缘侏罗系层序模拟与沉积相演化特征[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(4): 351~ 361
- 38 阮同军. 硅质碎屑岩沉积层序三维计算机模拟系统[J]. 计算机应用研究, 1996, 13(6): 47~ 49
- 39 李剑峰. 动态定量盆地模型——层序地层学的计算机模拟[J]. 北京地质, 1996, 8(3): 32~ 40
- 40 于炳松. 碳酸盐岩层序形成的计算机模拟[J]. 沉积学报, 1996, 14(增刊): 18~ 24
- 41 胡受权, 王英民, 王勇. 断陷湖盆陆相层序过程—响应机制的单因素计算机模拟[J]. 贵州工业大学学报, 1998, 27(1): 62~ 70
- 42 胡受权, 陈国能, 王英民, 等. Fischer 图解及其沉积响应的计算机模拟——以泌阳断陷下第三系核三上段为例[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(1): 70~ 75
- 43 胡受权. 湖平面变化及物源供给对陆相层序影响机理的计算机模拟[J]. 断块油气田, 2000, 7(6): 1~ 11
- 44 胡受权. 泌阳断陷双河—赵凹地区核三上段陆相层序形成过程的计算机模拟[J]. 河南地质, 2001, 19(2): 101~ 109
- 45 Lerche I. An inverse method for determining parameters of folded structures[J]. Quarterly of Applied Mathematics, 1996, 54: 625~ 636
- 46 中国石油天然气集团公司油气储层重点实验室. 陆相层序地层学应用指南[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002
- 47 Burgess P M, Allen P A. A forward modelling analysis of the controls on sequence geometries[A]. In: Hesselbo S P, Parkinson D N. Sequence stratigraphy in British geology[C]. Spec Publ Soc London, 1996, 103: 9~ 24
- 48 徐怀大. 层序地层学理论用于我国断陷盆地分析中的问题[J]. 石油与天然气地质, 1991, 12(1): 52~ 57
- 49 徐怀大. 陆相层序地层学研究中的某些问题[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(2): 83~ 89
- 50 蒲仁海. 断陷盆地层序地层学的几点进展[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(4): 410~ 414
- 51 石万忠, 李举子, 李梦溪, 等. 时—频分析在高分辨率层序地层学中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(3): 234~ 237
- 52 吴智勇, 姜衍文. 全球旋回地层学述评[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(1): 15~ 21

(上接第547页)

中, 白东—歧中、歧东—羊二庄、板桥—北大港、南大港—羊三木、孔店—灯明寺等亚成藏体系成熟度均大于0.4, 属高成熟亚成藏体系; 塘沽—新港和沧东裙边亚成藏体系成熟度分别为0.297和0.264, 属中等成熟成藏体系; 润南、徐扬桥—黑龙村、盐山裙边、茶淀—新河村、大神堂亚成藏体系成熟度较低, 属低成熟成藏体系; 东光裙边亚成藏体系成熟度为0.055, 属未成熟成藏体系。

4 结语

由于成藏体系在概念和内涵上与含油气系统存在较大不同, 它是从盆地结构和油气聚集的角度对地下客观油气系统进行的一种新揭示, 因而在划分原则和研究方法上自然与含油气系统存在较大差别。成藏体系三大结构元素及其成熟度的层次性特征为其定量评价提供了可操作框架, 本文的实例研究表明, 元素定量评价揭示了成藏体系及其内部单元成藏元素(烃源体、输导体和圈闭体)的质量优劣; 成藏体系成熟度指标反映了成藏体系三元素之间的相互匹配和耦合程度, 是成藏体系成藏条件的综合定量表征; 成藏体系定量评

价为含油气盆地在成藏体系格架内进行资源评价奠定了基础, 同时有利于对比同一盆地内或不同盆地间的成藏条件差异, 最终为勘探决策和目标优选提供定量化依据。因此, 成藏体系定量评价具有重要的勘探实用价值。

参 考 文 献

- 1 金之钧, 张一伟, 王捷, 等. 油气成藏机理与分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003
- 2 大港油田科技丛书编委会. 第三系石油地质基础[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999
- 3 王子煜, 漆家福, 陆克政. 黄骅坳陷东部构造带新生代构造沉降史分析[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(2): 127~ 129
- 4 郑浚茂, 吴仁龙. 黄骅坳陷砂岩储层的成岩作用与孔隙分带性[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(4): 268~ 275
- 5 Saaty T L. The analytic hierarchy process, planning, priority setting, resource allocation[M]. New York: McGraw-Hill, 1980
- 6 金之钧, 施比伊曼 B H, 武守诚. 油气资源定量评价系统, 盆地与油藏研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 1998
- 7 金之钧, 张金川. 油气资源评价技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999
- 8 于志海, 杨池银, 廖前进, 等. 黄骅坳陷天然气地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997