

文章编号: 0253-9985(2007)03-0309-06

论储量评估中的单元划分

赵文智, 毕海滨

(中国石油 勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 通过对储量评估中油气田、区块、开发单元和计算单元等四级单元应用现状的研究, 提出了建立四级单元对应关系的基本原则。在此基础上深入分析了计算单元划分方法, 明确提出应从纵向和平面两个角度对油气水系统进行适当合并或细划, 以确保储量计算结果的精度: 纵向上主要考虑岩性组合、流体性质、油气藏类型、储层分布范围等; 平面上主要考虑油气藏规模、油气藏复杂程度及其与油气水关系的配置情况等。

关键词: 储量单元; 对应关系; 油气水系统; 储量评估

中图分类号: TE122.3 **文献标识码:** A

A discussion on the unit classification in reserve estimation

Zhao Wenzhi, Bi Haibin

(Petroleum Exploration and Development Research Institute, PetroChina, Beijing 100083)

Abstract Based on the research of the application of four-order units (i.e. oil/gas field, block, development unit and calculation unit) in reserve estimation, basic principles are proposed for establishing the corresponding relationship of the four-order unit. Upon this relationship, the paper analyses in detail the classification of calculation units, and suggests that in order to maintain the accuracy of reserve calculation, the oil-gas-water systems shall be incorporated or subdivided vertically and horizontally. Vertically, the main concerns shall be the lithologic association, fluid property, oil/gas reservoir type, reservoir distribution, etc.; while horizontally, factors such as oil/gas reservoir scale, complication, and configuration of oil, gas and water layers shall be taken into consideration.

Key words reserve unit; corresponding relationship; oil-gas-water system; reserve estimation

新的《石油天然气资源 储量分类》已经颁布实施, 新分类标准中将“油气藏评价”作为勘探开发过程中的一个独立阶段划分出来, 主要目的之一就是要进一步促进勘探、开发与储量工作的一体化管理。在以往的勘探开发工作中, 由于勘探与生产部门结合各自实际情况, 分别采用了不同的统计单元, 从而造成了静态储量与动态储量管理工作的脱节。

新分类标准颁布后进行的全国油气储量套改, 明确提出了用于储量评价和管理的四级单元概念以及建立四级单元对应关系的基本原则。但是, 在以往有关储量方面的研究成果中, 对储量单元划分方法及其理论依据方面的论述较少, 而且单元划分

的合理性对储量计算精度的影响也没有引起足够重视。因此, 本文在初步探讨四级单元对应关系的基础上, 深入研究了四级单元中的最小单元即储量计算单元(以下简称“计算单元”)的划分方法及其理论依据, 为不断提高储量计算精度、促进勘探开发和储量评价工作的一体化奠定了理论基础。

1 储量单元现状及对应关系的建立

1.1 储量单元现状

储量单元是指用于各级储量计算和管理的含油气地质体的统称^[1], 通常包括油气田、区块、开发单元和计算单元等。勘探评价阶段以各级储量

收稿日期: 2007-03-09

第一作者简介: 赵文智(1958—), 男, 教授级高级工程师、博士生导师, 石油地质

的计算与评价为核心,因此通常采用油气田、区块和计算单元等三级单元,其中计算单元是用于储量计算的基本单元;油气田投入开发后,以油气产量为核心,通常采用油气田、区块和开发单元等三级单元,其中开发单元是开发方案中建立产量剖面 and 投入开发后进行可采储量标定的基础。由此,勘探与开发阶段分别形成了相互并不完全对应的 4 种单元类型。其中,油气田和区块两级单元的内涵基本一致;而开发单元和计算单元之间,则出现了相互包容的复杂对应关系。

根据目前四级储量单元的应用情况,其基本内涵概括如下:油气田是指受局部构造或岩性地层等单一或复合因素控制的同一面积范围内油气藏的总和^[2];区块的含义比较广泛,通常由若干个自然断块或井区组成;开发单元是指具有独立生产动态数据,可单独采用动态法进行可采储量标定的油气集合体;计算单元是指进行地质储量计算的含油气地质体,一般是单个油藏、气藏或单个砂体,各项计算参数与储量之间具有一一对应关系。

1.2 四级储量单元对应关系的建立

研究表明,现行的开发单元和计算单元之间的对应关系大体可归纳为以下 3 种类型。

1) 一个开发单元包含多个计算单元。由于我国陆相油气藏大多数具有多油气水系统的层状油气藏或规模较小的岩性透镜体油气藏的特点,储量计算中主要以独立的油气水系统或砂岩透镜体为计算单元,而油气田开发中通常采用油层集中段或油气层组作为开发单元,因而形成了一个开发单元包含多个计算单元的对应关系。这种对应关系是一种最常见的对应关系,也是目前储量管理工作中遵循的基本原则。

2) 一个计算单元包含多个开发单元。这种类型主要表现在大型和特大型构造油气藏或大面积分布的岩性油气藏中。由于油气藏的规模较大,开发井网部署通常分阶段实施;或者由于开发层系划分或管理工作的需要,一般将原来较大的计算单元划分为两个以上的开发区或开发层系进行产量计量和管理。如北大港油田港西开发区的四区和五区原属于一个计算单元,为便于开发管理,划分成了两个开发区。

3) 开发单元与计算单元之间找不到对应关系。在油气藏评价阶段,受地质条件复杂性、地震

资料品质或钻井控制程度上的限制,对构造特征及油气水分布的认识往往趋于简单化。当开发井网完成后,断层分布及油气水关系通常进一步复杂化,从而使得原有的构造面貌发生较大变化,由此导致开发单元与原申报探明储量时的计算单元之间很难再找到对应关系。辽河的法哈牛油田就是一例。该类油气田需要对油气藏进行重新评价后,才能建立计算单元与开发单元的对应关系。

通过深入研究和探讨,结合勘探与生产实际,建立了用于储量研究和管理四级储量单元即“油气田、区块、开发单元和计算单元”及其对应关系:一个油气田对应一个或若干个区块,其中根据油气藏或储层分布的复杂性,可将区块进一步细划为次一级的自然断块(断块油藏)或井区(岩性油藏);一个区块对应一个或若干个开发单元;一个开发单元对应一个或若干个计算单元。四级储量单元及其对应关系的建立,进一步促进了新增探明储量计算、可采储量标定及上市储量评估等储量研究与管理工作的一体化。

2 计算单元划分方法

计算单元是构成其他三级储量单元的基础,也是用于计算储量的最小单元。因此,计算单元的划分是否合理,对储量计算结果的准确性至关重要。理论上,一个独立的油气水系统(即独立的油气藏)就是一个最佳的计算单元,因为它能够有效地反映出油气藏中流体的实际分布状况,有助于合理地计算油气藏的含油气体积。如果油水相间的多个油气藏叠合在一起,分不清哪里是油、哪里是水,就无法准确计算含油气体积。

对裂缝-孔洞性油气藏,理论上应以连通的裂缝系统划分计算单元;但是由于裂缝分布的复杂性,油气藏评价阶段很难搞清楚裂缝-孔洞系统的真实分布状况,需要经一定时间的开采后才能在认识上有所深入。因此,评价勘探阶段通常按块状油气藏处理,或开采到一定阶段后采用动态法计算储量。一般情况下,孔洞型储层多为复杂岩性储层,如碳酸盐岩、火成岩及变质岩等。本文重点对孔隙型砂岩油气藏进行探讨。

在实际工作中,由于油气藏大小不一、复杂程度各异,大的油气藏有时一个油水系统控制数百米油层厚度或数百平方千米含油面积,而小的油

气藏有时小到一个单砂层为一个油水系统,特别是受油气藏勘探程度、认识程度及储量计算工作量等多种因素的影响,因此需要将独立的油气水系统进行适当细划或合并。计算单元的细划或合并应从纵向和平面两个角度考虑。

2.1 计算单元的纵向划分

2.1.1 具有统一油(气)水界面的大型层状构造油气藏

对这类油气藏,应考虑岩性组合、开发层系划分和流体分布特征的变化细划计算单元。

1) 根据不同的岩性或物性特征进行细划
储集层岩性不同,孔隙结构会有较大差异;即使岩性相同,但由于岩石组成、颗粒大小、泥质含量等的差异,物性特征也可能会有较大变化。因此,应根据岩性组合及物性特征的变化细划计算单元,从而合理确定用于计算储量的平均孔隙度及含油气饱和度等各项参数。

例如,克拉 2 气田^[3]是一个具有统一气水界面的大型边底水气藏,含气高度达 460 m,由白云岩、砂岩和砂砾岩等几个岩性段组成。不同岩性段的储层孔隙结构、物性条件不同,导致孔隙度及含气饱和度等都有较大差异。按独立的气水系统作为一个计算单元,不利于合理确定计算储量的各项参数,从而影响储量计算结果的精度(表 1)。

2) 根据流体分布特征和开发层系划分的需要进行细划

对大型层状构造油藏,除了按油气层组细划计算单元以满足开发层系(即开发单元)划分的需求外,还应考虑流体分布的纵向变化。因为规模较大的油藏,其油水过渡段的规模通常也较大。流体的分布除了受重力分异作用影响外,还受到

边水或底水氧化作用的影响,从而导致油水过渡段的原油密度明显高于纯油层段。因此,储量计算中应视原油密度变化情况细划计算单元。

例如,我国著名的喇嘛甸油田是一个大型的层状构造油藏,纯油层底界在井深 1 150 m 左右,该界限以上原油密度分布范围为 0.858~0.877 g/cm³;油水界面在井深 1 220 m 附近。在纯油层底界至油水界面之间近 70 m 的油水过渡段范围内,原油密度的分布范围为 0.877~0.923 g/cm³,与纯油层段的原油密度有明显差异(图 1)。因此,计算储量时除了划分为 9 个油层段若干个油层组外,还把每个油层组的纯油层段和油水过渡带划分成两个计算单元。

2.1.2 尚不能断定是否具有统一油(气)水界面的层状构造油气藏

对这类油气藏,宜以油气层分布相对集中段或砂层组划分计算单元,每个单元的井段长度不宜大于 50 m。

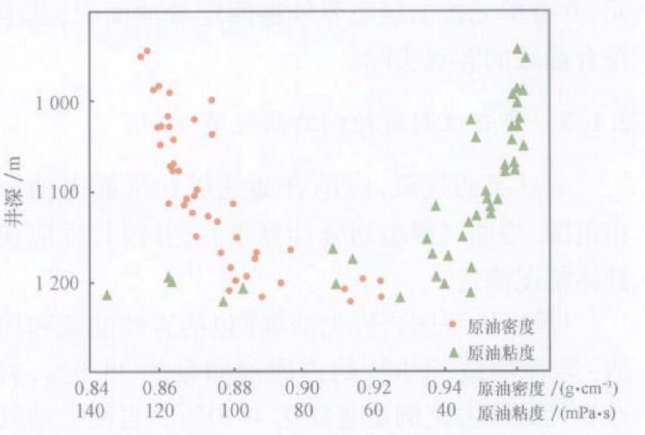


图 1 喇嘛甸油田地面原油密度及粘度随深度的变化
Fig. 1 Variations of surface density and viscosity of crude oil with depth in Lamadian oilfield

表 1 克拉 2 气田不同岩性段储层特征统计

Table 1 Statistics of reservoir characteristics in different lithologic intervals of Kela-2 gasfield								
层系	层位	岩性	储集空间	孔隙度, %	渗透率 / ($10^{-3} \mu\text{m}^2$)	有效厚度 /m	含气饱和度, %	储层类别
古近系	$E_{1-2} km^3$	白云岩	孔隙型 含裂缝	11.41	1.87	4.0~ 8.4	89	低孔、低渗
	$E_{1-2} km^5$	砂砾岩	孔隙型	8.13	14.56	0~ 11.5	67	低孔、中渗
白垩系	$K_1 bs^1$			12.30		54.5~ 136.3		
	$K_1 bs^2$	13.66		29.12	84.0~ 144.0			
	$K_1 bs^3$	7.95		2.60	0~ 52.0	71	低孔、低渗	
	$K_1 b$	粗粒 岩屑砂岩		9.90	0.78		61	特低孔、低渗

边水层状油气藏主要有两种类型:一是多个油气层具有统一的油(气)水界面^[4],例如苏北盆地的断块油气藏多属于这种类型;二是呈现多层多藏的特点,甚至一个油气层即为一个独立的油气水系统,例如渤海湾盆地的断块油气藏。针对后一种类型的油气藏,当钻井控制程度相对较低、尚无法判定是否具有统一的油气水界面时,宜以不大于 50 m 的油气层分布相对集中段或砂层组划分计算单元(即将其视为一个可能的油气水系统),以便根据现行的储量计算规范、按已钻遇的油气层底界外推圈定含油气边界时,把沿井点外推距离控制在 50 m 的等高线范围内,从而确保计算的地质储量具有较高的确定性。

例如,某油田营 31 断块属于多油水系统的层状油藏,初期只完钻井 31 井。该井除顶部一层见油水同层外,下部井段未见油水层频繁交互现象。但是,后期在构造低部位约 350 m 外完钻的营 31-2 井全部为水层(图 2)。因此,当仅完钻井 31 井时,如果按 30~50 m 的油层集中段划分计算单元,并分单元按油层底界外推圈定含油面积,基本符合油藏的客观实际。

2.1.3 受岩性圈闭控制的油气藏

对这类油气藏,应结合油气层在平面上的分布范围,按油气层组划分计算单元,井段长度应视具体情况确定。

据统计,我国岩性类油藏(包括岩性油藏和构造-岩性油藏,下同)约占原油储量的 38.8%,岩性类气藏所占比例更是高达 49.0%。岩性类油气藏平面分布的连续性相对较差,因而不同油气层

段的分布范围可能差别较大。根据我国岩性油气藏储量计算细则的有关要求,“当相邻井的砂体相变为泥岩或虽然砂体存在但渗透性变差转变为非储层(干层)时,取从油井到邻井距离的 $1/2 \sim 1/3$ 处划岩性含油边界作为有效厚度零线^[5]”。依据上述原则,对两套分布范围不同的岩性体油气藏,细划或合并计算单元将会产生不同的结果。

如图 3 所示,假设某油气藏共完钻井 2 口,井距为 600 m, W1 井钻遇了 A 和 B 共 2 个油层,有效厚度各为 10 m, W2 井只钻遇了 A 油层。设定油层分布宽度为 1 m,并按上述原则中的沿油层井外推 $1/2$ 圈定含油边界。

如果分 2 个单元计算含油体积,则两井之间 A 油层的含油体积为 $6\,000\text{ m}^3$, B 油层的含油体积为 $1\,500\text{ m}^3$;如果将两个油层合并成一个单元计算储量,则计算的总含油体积为 $9\,000\text{ m}^3$ 。两种方法的计算误差接近 17%,主要原因是:当 B 油层作为一个独立单元计算储量时, B 油层的有效厚度零线位于两井中间部位;而当 B 油层与 A 油层合并成一个单元时, B 油层的有效厚度零线则位于 W2 井点处。图中虚线所圈定的范围即为两种算法之间的差值。这种类型的油藏在我国是非常多见的。例如,百口泉油田二叠系佳木河组油藏,油气层的平面分布范围和连续性差别很大。

2.1.4 笔者对“同一岩性组成的含油气高度很大的块状油气藏

对这类油气藏,笔者按 1 个和 3 个计算单元分别进行了多种方法的研究和测算。结果表明,两种方法计算结果基本没有差别。

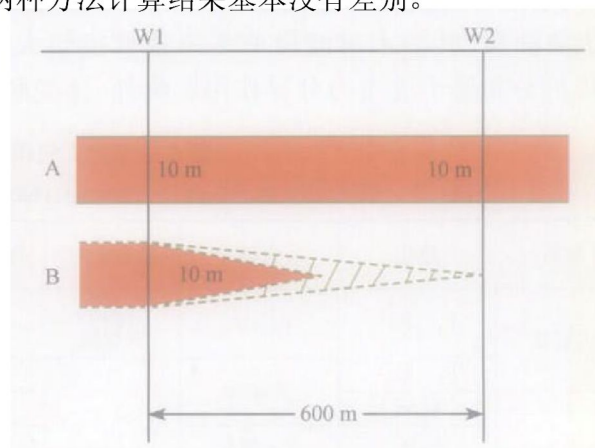


图 3 单元划分对含油体积计算结果的影响

Fig. 3 Influence of reservoir unit classification upon the calculation of oil-bearing rock volume

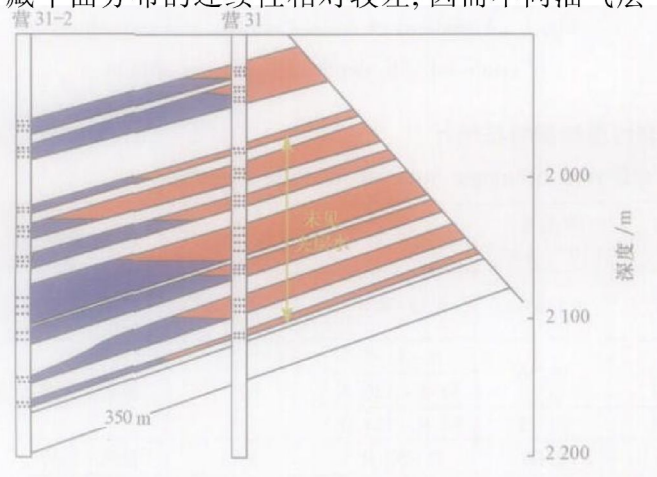


图 2 某油田营 31 断块油藏剖面示意图

Fig. 2 Profile of reservoirs in block Ying-31 of an oilfield

例如, 兴隆台油田兴马潜山属于变质岩潜山, 已钻揭的地层厚度超过 1 300 m, 单井最大有效厚度超过 500 m, 尚未见到夹层水和底水, 属于块状油气藏。目前, 已完钻井 4 口, 各井有效厚度及净毛比总体变化不大, 但不同油层组各井点有效厚度和净毛比差别较大 (表 2)。笔者采用多种方法测算, 无论是按 1 个计算单元还是划分为 3 个计算单元, 含油体积计算结果基本没有差别。

2.2 计算单元的平面划分

平面上, 一般按圈闭划分计算单元。但以下情况应作进一步细划或合并。

2.1.1 面积很大的油气藏 (包括大型构造油藏和大面积分布的岩性油气藏)

对这类油气藏, 应视不同情况按开发区划分计算单元。

大型构造油藏或岩性油气藏的分区主要从两个角度考虑。一是勘探开发工作量的投入方面。由于油气田规模大, 储层平面分布状况比较复杂^[6], 勘探工作只能逐步展开, 相应的油气田开发工作通常也采取“先肥后瘦”、分期开发的原则。因此, 无论是探明储量计算还是开发区块的划分, 都会采取分步实施的原则, 例如长庆的靖边油田和大庆的敖南油田等大型岩性油藏。二是在油田管理方面。对大型油田, 通常细分区块进行管理或采取多种合作经营方式等。例如, 大庆长垣的喇嘛甸、萨尔图及杏树岗油田原本属于一个完整的大型构造油藏, 根据油藏管理工作的需要划分成了 3 个油田。

2.2.2 受同一构造圈闭控制的复杂小断块油气藏

对这类油气藏, 当平面上含油 (气) 连片且未

表 2 兴隆台油田兴马潜山各井有效厚度及净毛比统计

Table 2 Statistics of net pay thickness and net-to-gross ratio for wells in Xingma buried hill Xinglongtai oilfield

油层组	兴古 8 井		兴古 7-3 井		兴古 7-1 井		兴古 7 井	
	有效厚度 /m	净毛比, %	有效厚度 /m	净毛比, %	有效厚度 /m	净毛比, %	有效厚度 /m	净毛比, %
iv	193	44	200	36	134	37	165	37
㉔	103	20	173	35	158	26	79	26
㉕	32	19	81	27	65	21	145	34
合计	328	29	454	34	358	28	389	33

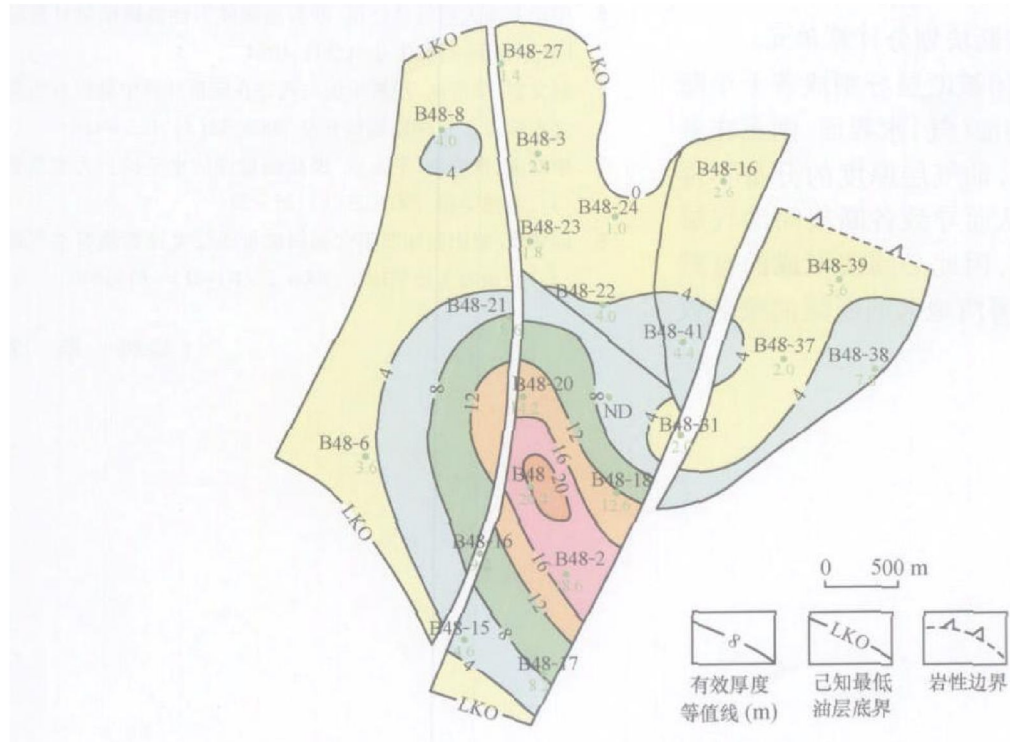


图 4 宝力格油田巴 48 块 K_1ba^4 储层 ㉕ 油层组有效厚度等值线

Fig. 4 Isopleth of net pay thickness in Unit ㉕ of K_1ba^4 reservoir in block 48, Baolige oilfield

见明显边底水和夹层水时,如果油气层分布特征和流体性质相近,可合并为一个计算单元。

对复杂断块油气藏,如果平面上含油气连片且未见明显边底水和夹层水,油气层的分布状况主要受储层物性条件控制,意味着可能是早期形成的油气藏进一步复杂化并仍然保持着同一个油气水系统,此时将其作为一个整体考虑更符合沉积砂岩体的总体分布趋势^[7-8]。如果按自然断块划分计算单元,不仅工作量大,而且由于将每个小断块都作为一个独立的“个体”分割开来,可能会违背砂体分布的客观性。

例如,宝力格油田巴 48 块由同一构造圈闭下的 4 个自然断块组成,流体性质、储层条件相似。其中,西侧的巴 48-21 块由 3 口井控制,最大单井有效厚度为 8.4 m。如果将其作为一个独立的计算单元,根据现行规范的要求,最大有效厚度等值线不能超过现有井的最大有效厚度,即不能勾绘 12 m 的有效厚度等值线计算探明储量;另外,8 m 有效厚度等值线也不能延伸到巴 48-16 井附近(图 4)。而将 4 个自然断块作为一个整体考虑,目前的有效厚度等值线图勾绘结果更符合砂岩体的总体分布趋势。

2.2.3 同一构造圈闭下具有不同油(气)水界面的断块油气藏

对这类油气藏,应按断块划分计算单元。

一个独立的构造圈闭被断层分割成若干个断块后,若各自具有独立的油(气)水界面,则意味着各断块自成油气水系统,油气层厚度的分布不再单纯受储层条件控制,从而导致各断块间油气层有效厚度发生较大变化,因此必须按形成的自然断块划分计算单元。渤海湾地区的断块油藏多数属于这种类型。

3 主要结论

1) 将目前勘探评价中使用的油气田、区块、储量计算单元和开发生产中使用的油气田、区块和开发单元整合成油气田、区块、开发单元和储量计算单元等四级单元,并形成逐级包容的关系,有利于勘探开发及储量评价工作的一体化,进一步提升了储量管理工作的效率和水平。

2) 理论上一个独立的油气水系统就是一个最佳的储量计算单元,它能够合理、有效地反映该油气藏的储层分布状况及流体分布特征。但是由于油气藏特征的复杂性、勘探开发程度的差异及储量评价与管理工作的需要等,应根据不同的地质条件对储量计算单元进行适度细划或合并,可进一步提高储量计算精度。

参 考 文 献

- 1 中华人民共和国国土资源部. 石油天然气储量计算规范 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2005 4~5
- 2 陈玉田. 常用术语解释 [M]. 北京: 石油大学出版社, 1994 87
- 3 张洪, 何顺利, 庞雄奇, 等. 克拉 2 气田成藏过程的物理模拟 [J]. 石油与天然气地质, 2006 27(1): 23~26
- 4 牟荣. 复杂小断块圈闭识别描述方法——以苏北盆地为例 [J]. 石油与天然气地质, 2006 27(2): 269~274
- 5 中国石油天然气总公司. 砂岩透镜体岩性油藏储量计算细则 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1994
- 6 赵文智, 毕海滨. 浅析中国与西方在储量计算中确定有效厚度之差异 [J]. 石油勘探与开发, 2005 32(3): 125~129
- 7 毕海滨, 查全衡, 王永卓. 提高储量评估水平的三大地质要素 [J]. 石油学报, 2004 25(1): 25~29
- 8 邱荣华. 泌阳富油凹陷北部斜坡带浅层复杂断块群油气勘探 [J]. 石油与天然气地质, 2006 27(6): 813~819 840

(编辑 李 军)