

圈闭/区带的地质风险分析

吕鸣岗 朱向东* 胡素云 包世界

(中国石油天然气总公司)

(石油勘探开发科学研究院 北京)

提 要

在综合研究区带与圈闭的油气存在标志和成藏机制的基础上,提出了圈闭/区带地质风险分析的具体步骤及多个钻探目标成功几率的计算公式,为圈闭/区带的地质风险分析提供了一种新的分析方法与分析思路。

主题词 圈闭 区带 风险分析 成功几率 风险因素

1 引 言

我国油气勘探取得了巨大成就,形成了一套行之有效的勘探规范^{[1]①}。在第二次全国资源评价工作中,既进行了圈闭评价,也进行了区带评价,并且都进行了风险分析^{[2]②}。但以往的资源评价,圈闭评价与区带评价分离,地质评价同钻探决策、地震部署脱节^③。这不仅有管理体制上的问题,也有技术支持的不足,如目前尚无一套可直接指导评价工作的统一的定量标准^[3]。

本文力图通过圈闭与区带地质评价内容的分析,提出一套适合于我国勘探实际的圈闭/区带地质评价方法,以此来克服区带评价与圈闭评价分离、地质评价与钻探决策脱节的现象。

油公司筛选勘探目标的原则是以经济效益为中心。在确定具体钻探目标之前,对每个待钻圈闭都要寻求一个最优经济结果,就必然要求地质评价给出钻探成功几率(COS)的定量结果^[3,4],而不是“并不能真正反映圈闭实际含油气概率的地质评价系数”^④。正因为这种原因,我们建议采用国际勘探界流行的术语“地质风险分析”,它比“地质评价”意义更明确、更直观。

2 COS 的含义及求取方法

COS 是指一个未钻圈闭钻探成功的概率值。这里的“成功”是指发现的油气藏规模超过某个储量最小值,这个最小值可以认为是“具工业价值”的下限,或指“现行技术经济条件下具商业价值”的下限;也可以是不同于上述选定的某个具有地质意义的储量值,如 50 万 t。

以往有一些概念上的混乱,如第二次全国资源评价中的区带地质评价系数,按资料^⑤,这个系数为“区带含油气概率”;但在某些油田的评价报告中,已有工业油气发现的区带,这个系数却不为 1.0。钻探结果只有两个:成功与失利。但钻前预测钻探结果就象预测掷硬币的结果一样,我们不能作出确定的推断。因此,钻探结果预测问题是一个典型的概率论问题。我们理解的 COS 值,比如 0.5,即指所评价的 10 个或 100 个圈闭或区带中,大致有一半是成功的。因此,要使求得的 COS 具实际勘探意义,我们必须有如下原则:

(1) 一批圈闭的 COS 平均值应与本地区统计的圈闭钻探成功率(预探井成功率)(ROS)大致相等;

(2) 某区带或地区所有圈闭的 COS 与相应储量评估值(圈闭资源量)乘积之总和应大致同本区带或地区在这些圈闭中发现的储量相等。

* 吕鸣岗,1958年毕业于北京石油地质学校,现任全国资源委石油天然气储量委员会办公室主任。通讯处:北京六铺炕。邮政编码:100724。

① 中国石油天然气总公司勘探局,1994年度油气勘探会议报告集,1995。

② 赵旭东、包世界等。油气资源评价方法与技术。第二次全国油气资源评价专题报告(二),1996(1)。

求取 COS 的方法过程,国外已有很多讨论^[5,6],它们的基本思路是一致的,即分析油气藏形成的诸基本要素,给每个要素赋予一个把握程度值(通常是主观概率值,也有用模糊集元的隶属度等);尔后以概率法(主流方法是基于古典概率论中的独立事件的联合概率为各自概率之乘积)或模糊数学法来求得 COS。但具体分析与计算方法多种多样,大致有政府、大油公司、独立油公司和咨询服务公司与证券交易机构等不同评价者的四种评价方法思路。由于资源评价往往是油公司的核心机密。我们国家历年来引进的基本上是美国与加拿大政府机构的作法,即大油公司向政府与证券交易机构公开阐述的方法思路,而不是整个方法过程。这是我们未能在地质评价中求出真正意义的 COS 的一个重要原因。

求取 COS 的方法,即圈闭的地质风险分析可以从两大方面来进行:存在标志与成藏机制。

存在标志即油气藏存在的一些现象标志,如油气苗、DHI(烃类指数)等。由于缺乏物理化学机理过程的理论支持,以及世界上在油气苗地区钻探背斜的“黄金”时代早已过去,因此我国在风险分析中这方面的讨论很少。但西方油公司十分重视 DHI,如 EXXON 统计出墨西哥湾地震震幅异常厚度超过 4.58m 的 DHI 层有 75% 为商业产层。因此 DHI 分析与成藏条件分析是 EXXON 在墨西哥湾勘探中钻前评价的两项主要内容。再如,我国陆上对外合作第一个获商业发现的区块,外方作业者定的第一、第二口探井的首要依据就是 DHI。

我国沉积盆地的石油地质条件复杂,资料条件也很有限,作全国性的 DHI 的 ROS 统计很难;但在有条件的地区作这样的统计不仅对勘探决策具直接的指导意义,而且对我国发展现代地球物理勘探技术也极有帮助。今后在渤海湾盆地复式油气聚集区的钻探目标选择的一个主要依据应是 DHI。

成藏机制是石油地质学的核心内容,从这个角度来看地质风险,即为生、储、盖、圈、保、匹配等诸成藏条件的满足情况。这些条件中有些同圈闭储量估算直接相关,可以确切求得定量数值,如储层厚度、孔隙率、圈闭规模等,或可确定其几何形态,如圈闭形态等。而另一些条件则纯属我们的理论推断,或“合理”假定(共识),如烃源岩热演化、运移匹配关系等。我们称前者为油气藏存在条件;后者为推断的形成过程条件。前者的求解基本上是个确定性的精度问题;后者的求解则是一个不可判定的信念问题。我们都采用不计过程只注重结果的概率方法来处理上述条件对油气藏形成的影响(COS)。

上述分类讨论旨在强调,地质风险分析需要石油地质理论研究的指导,但与石油体系分析等理论研究又有所不同:其只关心成藏条件作用过程对现存油气藏的结果影响。因此,评价工作几乎在任何资料条件下都能进行——勘探实际也要求必须都能进行。本文介绍的地质风险分析的数学过程仍是全国资源评价中的主流方法——主观概率法^②,但取值标准不是各油田自订的打分表,而是全国统一的风险矩阵^[3]。

这种方法将成藏条件分成被认为是互相独立的几个基本因素,分别求取这些风险因素的把握程度的主观概率值,并认为这些风险因素是油气藏形成并保存至今的必备条件(如有一个条件不够就不会有油气藏存在),所有这些构成完备条件(即无需增加其他条件便可形成油气藏),COS 即为这几个概率值之积。我们强调,“相互独立”、“必备条件”、“完备条件”三个前提都是针对“结果”而言的。因此,从理论上讲,我们总可以精心设计,使得划分出的那几个因素能基本符合(实是勘探家普遍承认)这三个前提。那么,究竟分为几项最合适?不同的专家就有不同的划分^[2,5,6,7]●,甚至同一专家在不同场合也会有不同的划分。如 David A. White 在文献 5 中列出圈闭与区带相同的条件项有:①圈闭、盖层、匹配;②储层、孔隙率、渗透率;③烃源岩、成熟度和运移;④保存、烃质量、采收率等共四项 12 个子项;而在文献 6 中对区带是四项:源、储和圈;对圈闭是七项:圈闭(闭合)、储层相、孔隙率、源岩与运移、封堵与匹配、保存与采收率。Peter R. Rose 在文献 6 中推荐石油界公认的三项(储集岩、来自源岩的烃和封堵的圈闭)再加上地质构造共四项。我们在文献 3 中,把成藏条件分为四项,即:

烃源条件:包括体积、类型、有机质丰度和成熟度等子项;

储盖组合:包括沉积相带(岩性)、储盖层的分布范围、厚度、孔隙率、渗透率、砂泥比等子项。

圈闭条件:包括类型、形态、规模等子项;

运移/匹配条件,为上述三项静态(状态)条件的过程匹配,包括输导层、运移通道、生烃高峰期与圈闭形成期的时间匹配等子项。

我国在勘探工作^[1]和全国资源评价^②中区带和圈闭都用五个因素:圈闭、油源、储层、保存和匹配史。将文

献3中储盖组合分为两项:即为这五个因素。为使我们的分析能纳入规范体系,本文采用五因素法,所谓的风险因素在下文系指上述子项。

3 圈闭/区带的地质风险分析步骤

“区带”不是一个严格的石油地质学概念,童晓光教授称之为“油气勘探的舞台”,形象地说明了它是一个勘探中方便评价,无严格统一定义,但每个特定勘探阶段的具体沉积盆地,却有明确界定的勘探对象。我们以圈闭的风险因素为主,结合成因关系与产层特征来划定区带:区带是指具某些共同的关键风险因素,在成因上相近、产层特征相似的一组圈闭和/或油气藏的集合。如塔里木盆地,可分为库车、塔东南、塔西南三个中新代山前坳陷,石炭系海相砂岩,下古生界碳酸盐岩和塔东中新代等六大类区带,而渤海湾盆地则以生油凹陷为中心的复式油气聚集带为区带。

这样的划分有利于风险分析和勘探决策,但对区带资源量的评估带来很大的不便。油公司主要应关心的是:钻探具体目标的期望储量与风险大小,为此也会涉及沉积盆地或坳陷(凹陷)的资源潜力,但并不关心也无需关心区带的资源量。但预测区带中油气藏的规模与数量应是区带评价的重要内容,笔者拟将此与区带的划分、区带评价图的编制等另行成文。圈闭/区带地质风险分析的步骤如下:

3.1 确定区带的储量最小值

由于储量最小值的选定还涉及生产过程与作业成本,不同地区就会有不同的数值。我们认为一个区带必须选一个统一的储量最小值。

储量最小值的选取对COS值的求得是有很影响的,比如选接近于零的荧光显示级别,可能大部分圈闭的COS近于1.0;选为大庆长垣油藏的规模,则全国几乎所有的圈闭的COS近于0.0。实际上,最小值的确定意味着各项成藏条件中能量化的诸项风险因素都应有一个最小限度值。

确定储量最小值的一个基本原则为:蒙特卡罗法求得的95%概率对应的储量值或确定方法(如容积法)求得的储量最小值。在一般情况下,储量最小值的选取应与第二次全国资源评价中确定的“最小经济油气田”规模一致。

3.2 确定区带中各圈闭所共有的风险因素 (区带的风险因素)

比如塔里木盆地的这六大类区带中,塔东南中新代山前坳陷区带,区带的风险因素涉及烃源条件和运移/匹配条件中诸子项;二次资评中的概念型区带——塔东地层不整合油气区带,按资料^①的认识,区带风险因素主要为盖层项。

3.3 求取区带的成功几率(P_{COS})

对上述诸区带风险因素赋予一主观概率值(取值标准可参考文献4的风险矩阵),将它们相乘即得 P_{COS} 。

已有规模大于储量最小值的油气藏发现的区带, $P_{\text{COS}}=1.0$

3.4 求区带中平均圈闭成功率 A_{COS} (按资料^②中的“区带的勘探风险”)

A_{COS} 值可能是区带分析中最难确定的数据,但它是联系COS与ROS的桥梁。在勘探程度较高的地区可以用区带的ROS值来代替 A_{COS} (所谓勘探程度高,是指ROS值的年代变化不大);在勘探程度低的区带,则需要勘探家作经验的判定。文献5给出了一个在尚无发现区带求取 A_{COS} 的极好方法,假定区带肯定有一个超过储量最小值的油气藏发现,从而把1作为未来发现油气藏数的最小值;评价人员估计一个最大发现油气藏数最高值 M_a 和一个最可能的发现油气藏数值 M_e ;然后把这三个值取平均后称为区带的未来成功率,这个成功率再与 P_{COS} 相乘即为 A_{COS} ,最大发现油气藏数 M_a 和最可能发现油气藏数 M_e 是由区带中圈闭的定性分类来取得,将区带中的圈闭分为有利、中等和差三类, M_e 为有利圈闭数, M_a 为有利与中等圈闭之和。

3.5 求各个具体圈闭的COS

同时还可以求取圈闭的条件成功系数 $F^{[5]}$:即划分出区带风险因素后的所剩各项风险因素的主观概率值之积。则有 $\text{COS}=P_{\text{COS}} \cdot F$

3.6 检验和修改评价圈闭的 COS 值

(1) $\text{COS} \leq P_{\text{COS}}$

(2) 所有评价圈闭的 COS 的平均值应与 A_{COS} 大致相等;且定性分类有利的圈闭 $\text{COS} > A_{\text{COS}}$;定性评价差的圈闭 $\text{COS} < A_{\text{COS}}$

这6个步骤是在圈闭钻探前进行圈闭/区带地质风险分析的整个过程。这样的过程都会因每次钻探而进行,可用前述的两条原则来进行检验,并总结发展地质风险分析的方法与取值标准。

4 多个钻探目标成功几率计算

最后,我们讨论圈闭与区带一起评价的另一个优点,求取一个区带中数个待钻圈闭的总成功几率,即这几个圈闭至少有一个超过储量最小值油气藏发现的概率 P_r 。

设有 N 个待钻圈闭,它们的成功几率和条件成功系数分别为 COS_i 和 $F_i (i = 1, 2, \dots, N)$ 则

$$P_r = P_{\text{COS}} \left[1 - \prod_{i=1}^N (1 - F_i) \right]$$

如果我们评价的是一个勘探区块,也可以采用类似的方法:

先划分区带,比如区块中有 M 个区带(或区带之部分);求出每个区带的 $P_{ij} (j = 1, 2, \dots, M)$ 。进一步分析所有区块内的区带是否具共同的风险因素,如果无,则区块的成功几率为 $1 - \prod_{j=1}^M (1 - P_{ij})$ 。如果有,将各区带共同的风险因素的主观概率值相乘求得区块的成功机率 B_{COS} ;这样,在各个区带的圈闭/区带的地质风险分析时就只分析去掉了 B_{COS} 中的风险因素后的诸项风险因素。最后,区块中这几个区带的联合发现概率为

$$B_{\text{COS}} \left[1 - \prod_{j=1}^M (1 - P_{ij}) \right]$$

当一个钻探目标存在垂向数个层圈闭时,也可以采用类似的办法来求总成功概率 P_0 :将这些层圈闭间直接关联的公共风险因素与各个层圈闭特殊的风险因素分开,认为层圈闭在特殊的风险因素上互相独立,而求出联合概率;再与公共的风险因素概率相乘,即为 P_0 。

进一步推广下去,还可以对油气藏的多个产层作风险分析。

5 结论与问题

1. 本文介绍的圈闭/区带地质风险方法具下述三个优点:

①求得的待钻圈闭的 COS 可与实际的 ROS 对照分析,也能与勘探家的定性评价经验相比较。

②COS 与储量最小值相对应,使地质风险分析更接近于勘探实际;也使钻前评价中的风险分析和储量估算建立起应有的明确关系,从而使 COS 值和储量估算值一起直接进入经济评价。

③将一组有某种关系的圈闭诸项风险因素分为共性的与个性的两大类,为正确估计区块、区带和层圈闭组合的发现概率提供了正确的方法,使整个区块或区带的经济评价成为可能。

2. 方法实施中的主要困难

①区带的划分与区带中油气藏规模与数量的预测。

②圈闭/区带风险矩阵取值标准的制定。

参 考 文 献

- [1] 丁贯明主编. 油气勘探项目管理手册. 北京: 石油工业出版社, 1995.
[2] 武守诚. 石油资源地质评价导论. 北京: 石油工业出版社, 1994.
[3] 朱向东, 胡素云, 包世界. 圈闭地质评价的风险矩阵. 石油勘探与开发, 1996(1).
[4] 童晓光, 朱向东. 国际石油勘探开发项目的评价. 国际石油经济, 1995(3).
[5] David A. White. Geologic risking guide for prospects and plays AAPG Bulletin N. 77 Vol. 12 P20482061.
[6] Edited by Richard Sleight. The business of petroleum exploration. Treatise of petroleum geology hardbook, AAPG, 1993.
[7] 真柄钦次[日]著, 童晓光等译. 石油圈闭的地质模型. 北京: 中国地质大学出版社, 1993年.

(本文收到日期 1995-12-27)

(修改稿收到日期 1996-08-18)

(编辑 张 怡)

GEOLOGICAL RISK ANALYSIS OF TRAP AND PLAY

Lu Minggang

(Exploration Bureau, CNPC)

Zhu Xiangdong

(International Exploration and Development Cooperation Bureau, CNPC)

Hu Suyun Bao Shijie

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing)

Abstract

The geological risk analysis of trap and play is an important component of evaluation of exploration and development project, especially for the appraisal of pre-drilling. Based on the study of the features of hydrocarbon occurrence and the mechanism of forming pool in trap and play, the steps of the geological risk analysis and the formula to calculate the chance of success for drilling targets are proposed. A new method and train of thought for the geological risk analysis of the trap and plays are put forward.

Key words trap play risk analysis chance of success risk factor

中国石油学会第四届三次常务理事会在京召开

1997年1月22日, 中国石油学会举行了第四届三次常务理事会暨新春联谊会。出席会议的有常务理事25人、部分在京理事及名誉理事23人。会议由金钟超理事长主持, 名誉理事长侯祥麟、上届理事长李天相出席会议。金钟超理事长热情致词, 对到会的老领导和老专家及12位院士表示谢意。

会议讨论并通过“关于陆基孟同志因工作调动不再担任中国石油学会秘书长职务、增补陈立滇同志为中国石油学会常务理事并担任秘书长职务”等三项决议。

陈立滇秘书长向常务理事会详细汇报了中国石油学会秘书处1996年度认真贯彻科协“五大”精神、开展国内外学术交流、《石油学报》编辑出版、科普咨询等工作情况, 并提出1997年的主要任务。

会上, 石宝珩同志代表CNPC科技局、翟光明院士代表石油地质专业委员会及《石油学报》编委会、沈平平同志代表石油工程专业委员会、袁晴棠院士代表李毅中副理事长及炼制分会、陈炳舜同志代表海洋石油分会、中科院王佛松院士、清华大学袁乃驹教授、地矿部杨朴教授、石化研究院闵恩泽院士以及第二届副理事长沈晨同志都进行了自由发言。他们热情洋溢的讲话充分肯定了中国石油学会成立18年来及1996年所取得的成绩, 同时也提出了许多中肯的意见和建议。

名誉理事长侯祥麟院士做了最后发言。他说, 石油学会十几年来稳步前进, 开展学会工作要做到持之以恒, 石油学会要持续发展, 关键是要能够“持续”; 要认真总结一下石油学会十几年来来的成功经验和不足之处, 使石油学会越办越好, 越办越兴旺发达。

(本刊编辑部)