

文章编号:0253-9985(2010)06-0857-08

含油气区带评价方法探讨

闫相宾,刘超英,蔡利学

(中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘要:以含油气区带为研究对象,结合油气探明程度及勘探工作量密度,按勘探程度和油气发现情况将区带划分为评价、预探、区探3种类别。分别考虑油气发现概率和资源战略价值两类因素优选出评价参数,建立了评价、预探、区探3种不同类型区带的评价模板,并提出了对应的评价量化指标和参数体系。利用不同类型评价模板,实现了不同地区相同类型区带在同一平台上的统一评价优选。

关键词:区带评价;风险评价;资源评价;含油气区带

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

A discussion on methods of play assessment

Yan Xiangbin, Liu Chaoying and Cai Lixue

(SINOPEC Exploration and Production Research Institute, Beijing 100083, China)

Abstract: According to exploration maturity and oil/gas discoveries, plays are divided into three categories, namely play in appraisal, play in preliminary prospecting, and play in regional prospecting. Appraisal parameters are selected according to probability of obtaining a discovery and strategic value of petroleum resources. Templates are built for evaluation of these three types of plays by using these parameters, and corresponding quantitative indices and parameter systems are also established. With these templates, similar plays in different regions can be appraised and selected on the same platform according to the same standards.

Key words: play assessment, risk assessment, resource evaluation, play

1 问题的提出

油气勘探目标评价按勘探阶段一般可分为:盆地评价、区带优选、圈闭预探和油藏描述。目前国内针对盆地、圈闭及油藏的评价方法较为系统成熟^[1,2],也建立了相应的技术规范标准^[3],但区带评价存在着定义不同,划分方法众多,评价参数不统一等诸多问题^[4]。

作为勘探目标评价的一部分,区带评价研究是油公司制定年度勘探计划、中长期规划和勘探项目管理的基础与关键,其核心就是对公司范围内的区带进行地质、风险、经济的综合评价^[5],指明勘探的重点和次序,为规划决策提供依据。

通过对比分析国内外区带评价的方法,结合

油公司勘探经营理念,本文探讨了区带评价方法与模型,利用油气发现概率——资源战略价值双因素法在同一平台上对不同地区相同类型的区带进行了统一的评价和优选。

2 区带的定义

区带的定义和划分是区带评价及优选的基础,自从1972年“Play”的概念由 McCrossan 第一次系统提出以来^[1],国内外均开展了不同层面的研究,但由于勘探管理方式、经营理念及地质条件差异性,国内外对区带的定义及划分有所不同。国外对区带的评价更注重资源评价和经济评价,以 Baker(1986)为代表的地质学家将区带定义为地质成因相似的圈闭群^[6],认为同一区带中油气

收稿日期:2010-09-01。

第一作者简介:闫相宾(1964—),男,博士、教授级高级工程师,石油与天然气地质学。

田形成于具有相似的构造演化史、沉积环境和储集层,且具有相同的生产模式,其定义中突出了区带的经济价值的评价元素,方便了国外油公司以圈闭为单位进行管理。我国更注重对区带地质规律的研究,更多是从地质成因类型上对其进行定义。郭秋麟(2004 年)从方便实际应用的角度,将区带定义为具有相同的生、储、盖、圈和运聚配套史的一个地质单元^[4]。通过对中石化现有勘探项目和含油气区带的综合评价,本文将区带定义为具有相似地质特征及成因联系(油气成藏)的二、三级构造单元,在勘探工作中可作为一个整体进行部署研究^[7,8]。

3 区带的分类

区带的分类一般按地质成因、风险评价类型、含油气情况等划分^[4,9](表 1),不同的分类方案造成区带评价的方法及模板也不相同。

目前,国内主要以地质成因划分区带,但由于不同探区地质条件与勘探程度的差异,难以在同一平台上统一评价区带。本文按勘探程度和含油

气情况划分了 3 类区带(表 2),以便于在同一平台中进行评价优选。

4 区带评价

4.1 区带评价模型

通过典型区带解剖,针对不同类型的勘探区带,考虑油气发现概率(风险)和资源战略价值双因素的影响,优选关键参数,建立评价指标体系,确立了评价区带、预探区带、区探区带的 3 类评价模板(图 1,图 2,图 3)。

评价区带已有油气田发现,地质评价过程中的不确定因素较少,地质基础资料的置信度较高,在地质风险评价过程中,重点考虑圈闭及储层条件的各项异性对区带含油气概率的影响(其他地质条件概率为 1),工程技术风险考虑该区带所采用的一系列工程技术措施的适用性。对于资源战略价值评价,在考虑资源规模、潜力、价值的基础上,将剩余资源规模、资源升级潜力、探明速率以及油气储量的价值等作为对比评价的标准参数。

表 1 区带分类^[4,9]
Table 1 Play classification

分类依据	区带类型及描述
地质成因	构造型:包括长垣构造带、穹隆构造带、挤压背斜带、逆牵引背斜带、披覆背斜带、底劈构造带、断裂-裂缝带等
	非构造型:生物礁区带、砂岩上倾尖灭带、古河道圈闭带、物性封闭带、透镜体区带、不整合-超覆不整合带、地层圈闭带、潜山带等
	混合型:构造-岩性带、断层-岩性带、地层-断层带、地层-岩性带、水动力圈闭带等
含油气情况	含油区带:指该带仅含有液态石油
	含气区带:指该带仅含有天然气
	含油气区带:指既含有液态石油又含有天然气的区带
风险评价类型	确定型区带(established play):已发现油气藏并计算出油气储量
	概念型区带(conceptual play):尚未发现油气田,但其地质条件分析表明可能含有油气的勘探层

表 2 本研究中区带分类
Table 2 Play classification in this study

类别	勘探程度	描述
评价区带	较高-高	勘探程度较高,资源规模基本落实,提交了一定规模的探明储量并有油气田开采
预探区带	中等	勘探程度中等,资源前景较好,具有商业价值的油气流或油气显示,有一定的资源规模但未提交探明储量或提交极少量探明储量
区探区带	低	资源前景尚不明确,尚未有油气发现,但经分析认为有希望发现油气的区带

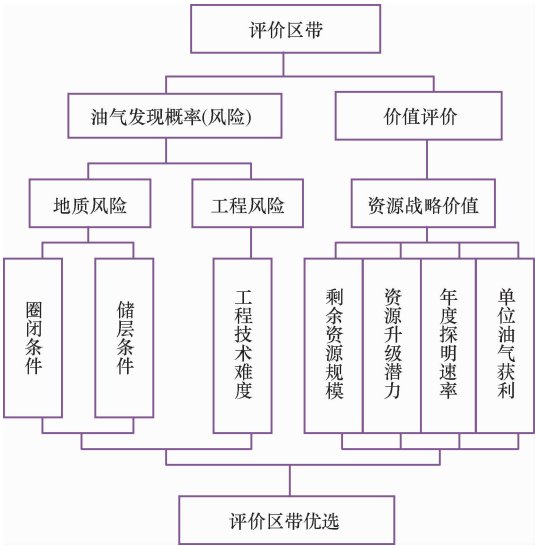


图1 评价区带评价模板

Fig.1 Template for the evaluation of plays in assessment

预探区带勘探程度及地质认识程度中等,地质评价中的不确定性为成藏主控因素及匹配性,因此在地质风险评价中考虑烃源、储层、保存条件、圈闭以及匹配条件等主要成藏因素的相互配置影响,工程风险考虑工程技术难度以及自然地理环境;在资源战略价值评价中,考虑资源的规模、潜力及目标的落实程度以及该区带的勘探战略价值等因素的影响。

区探区带的勘探程度及地质认识程度低,评价过程中,相关地质资料获取较难,因此勘探中只是重点考虑其油气发现的可能和资源的规模的大小,地质风险评价中着重对油源、保存和配套性进行评价,资源战略价值中考虑油气的资源规模、丰度及勘探战略意义。

4.2 区带地质风险评价

采用国内外较为成熟的含油气概率方法^[9,10]进行区带的地质风险评价,内容包括了烃源、圈闭、储层、保存和油气配套史,区带的含油气概率用成藏5种因素发生的各自概率的乘积表示,含油气概率越大,地质风险越低^[11]。

$$P = \prod_i^5 P_i$$

(1)

式中: P 为区带含油气概率($0 \leq P \leq 1$); P_i 为单项成藏地质条件发生的概率($0 \leq P \leq 1$); P_1 为圈闭条件; P_2 为保存条件; P_3 为储层条件; P_4 为油气源条件; P_5 为配套史条件。

由于勘探对象和勘探程度的不同,所获得资料置信程度也有差异,因而已有资料对各成藏条件的证实程度就不同,造成不同类型区带的含油气概率的不确定因素有所不同(表3),从而影响到成藏条件发生概率的预测。

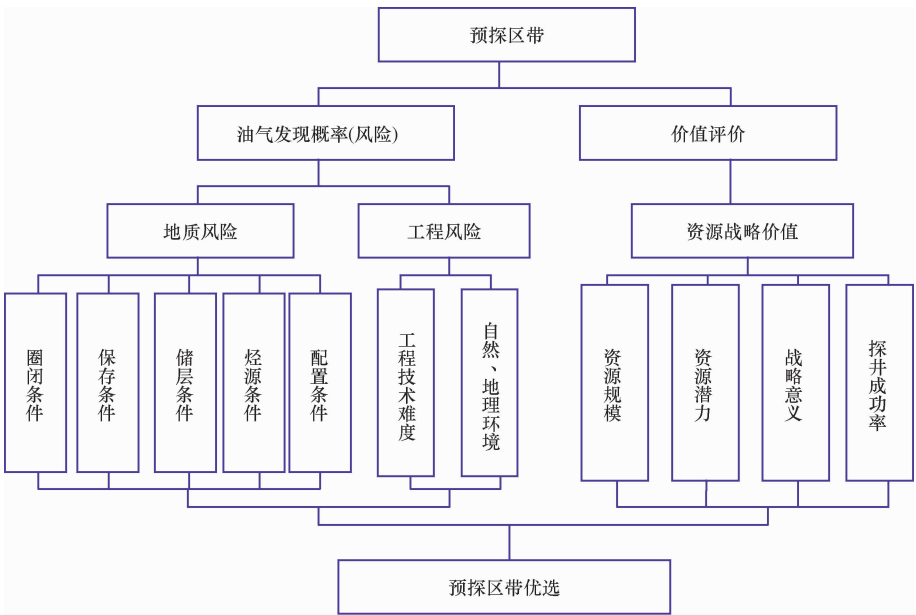


图2 预探区带评价模板

Fig.2 Template for the evaluation of plays in preliminary prospecting

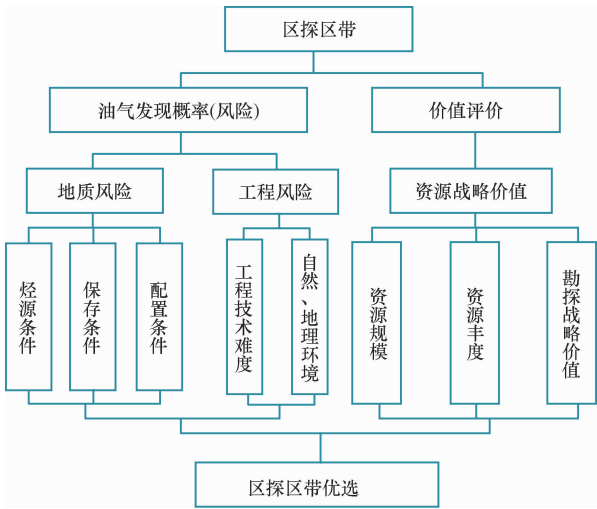


图 3 区探区带评价模板

Fig. 3 Template for the evaluation of plays in regional prospecting

表 3 不同类型区带含油气概率计算的地质参数
Table 3 Geologic parameters for estimating the probability of obtaining discoveries in different types of plays

区带类型	评价区带 *	预探区带	区探区带 *
地质参数	P_1, P_3	P_1, P_2, P_3, P_4, P_5	P_2, P_4, P_5

* 其余地质参数风险概率取值为 1。

在制定勘探部署与投资决策时,考虑风险和不确定性,采用统一准则进行处理,尽量降低对制定勘探决策及勘探战略的影响,最终区带油气发现概率($P_{\text{油气发现}}$)是排除了勘探风险的概率,可表示为:

$$P_{\text{油气发现}} = 1 - \frac{\sqrt{(1 - P)^2 + (1 - E)^2}}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

式中: $P_{\text{油气发现}}$ 为最终区带油气发现概率; P 为含油气概率; E 为工程技术适应性。

4.3 区带资源价值评价

资源战略价值是区带评价优选中的重要组成部分^[12],区带资源战略价值评价的主要参数是油气资源探明速率指数、剩余油气资源规模指数、资源储量序列指数、单位探明储量获利指数、勘探战略价值、探井成功率等。将这些多维的数据组合成一个新参数,称之为勘探价值指数 I_{ep} (index of exploration potential),定量化表示资源潜力、价值。

4.3.1 评价区带资源战略价值参数

1) 剩余油气规模指数(R_{rn})

区带剩余资源规模反映了后备资源的储备能力,剩余油气规模指数则表示为 R_{rn} 。

$$R_{\text{rn}} = \frac{\text{区带剩余资源量}}{\text{类比区带剩余资源最大值}} \quad (3)$$

2) 油气资源探明速率指数(R_{vp})

资源探明速率反映了储量相对增长的能力,油气资源探明速率是年度新增探明储量与总资源量的比值,以目前勘探较为成熟的济阳坳陷为例,其历史上最高油气探明速率是 1986 年的 0.075,当前是 0.012 左右^[13],据此可假定极限探明速率为 0.1。以此为基础,可采用实际探明速率与极限探明速率的比值(该比值在 0~1 之间变化)参与 I_{ep} 的数据组合,为了消除探明储量的异常值,充分反映当前实际情况,可采用 3 年滑动平均求取,表示为 R_{vp} 。

$$R_{\text{vp}} = \frac{\text{年度探明储量(3 年平滑计算)}}{\text{总资源量}} \quad (4)$$

3) 资源储量序列指数(R_{sr})

资源储量序列反映的是一个探区当前的控制储量、预测储量、潜在资源量、推测资源量的储备情况。一般认为,资源储量序列(控制、预测、潜在、推测)与下一年度的探明储量目标比值为 2,4,6,8 较为合理,并且倍数越大,资源储备的基础越雄厚,勘探潜力越大。

以合理资源储量序列为参照,根据误差最小原理,通过下式可将资源储量序列比例组合为一个参数^[7]:

$$R_{\text{sr}} = K_{\text{ca}} \frac{N_{\text{ca}} - 2}{2} + K_{\text{pa}} \frac{N_{\text{pa}} - 4}{4} + K_{\text{ta}} \frac{N_{\text{ta}} - 8}{8} + K_{\text{sa}} \frac{N_{\text{sa}} - 16}{16} \quad (5)$$

式中: R_{sr} 为资源储量序列系数,小数; $K_{\text{ca}}, K_{\text{pa}}, K_{\text{ta}}, K_{\text{sa}}$ 分别为累计控制储量、累计预测储量、潜在资源量、推测资源量对下年度新增探明储量的贡献率,其之和为 1,根据合理的比例计算出 $K_{\text{ca}} = 0.533, K_{\text{pa}} = 0.267, K_{\text{ta}} = 0.133, K_{\text{sa}} = 0.067$; $N_{\text{ca}}, N_{\text{pa}}, N_{\text{ta}}, N_{\text{sa}}$ 分别为累计控制储量、累计预测储量、潜在资源量、推测资源量与下年度新增探明储量目标的比值。

由上式可知,控制储量对下年度探明储量的贡献最大,因此,在一定剩余资源量情况下,当 N_{ca} 最大时, R_{sr} 最大。

4) 单位油气获利指数(R_{ti})

单位油气探明储量获利能力是指探明的每吨原油或每千方天然气在勘探、开发、销售整个过程扣除勘探开发投资、经营成本费用、各种税金后的净收益。它反映探明的每吨原油或每千方天然气的获利能力,即从勘探开发全过程来反映不同地区间油气价格、储量动用程度、采收率、勘探开发投资、经营成本等方面的差异所造成的单位储量潜在的净收益的差距^[14](图4),研究中主要运用静态法对单位油气探明获利进行计算,根据勘探开发的全过程对单位油气探明储量的总投入(包括勘探开发投资、生产经营成本费用及税费等)和总产出进行分析计算。单位油气获利能力指数是指将所要评价的区带的单位油气获利与评价平台中的最大获利的比值(R_{ti})。

将资源储量序列指数、剩余资源量相对值、资源年度探明速率相对值、单位油气获利能力相对值等4项参数都约束在0~1之间变化,可将其组合成评价区带勘探价值指数 I_{rv} :

$$I_{rv} = \frac{\sqrt{R_{rn}^2 + R_{sr}^2 + R_{vp}^2 + R_{ti}^2}}{\sqrt{4}} \tag{6}$$

式中: R_{rn} 为剩余资源量相对值,小数; R_{sr} 为资源储量序列系数,小数; R_{vp} 为资源探明速率相对值,小数; R_{ti} 为单位油气探明储量获利相对值,小数。

用其可反映评价区带的资源战略价值的相对大小,最终采用双因素法对区带开展分类评价,为最终的决策提供建议。

4.3.2 预探区带资源战略价值参数

预探区带来反映资源价值的评价参数有探井成功率指数、油气资源量指数、潜在资源量指数、勘探战略价值等,其中与评价(增储)区带评价不同的是探井成功率和勘探战略价值。探井成功率反映的是目标的落实程度,勘探战略价值反映了区带的勘探战略的意义。

将这4个参数都约束在0~1之间变化,可将其组合成区探区带勘探价值指数 I_{ep} ,综合反映预探区带的资源战略价值的相对大小。

$$I_{ep} = \frac{\sqrt{R_r^2 + R_s^2 + R_{ws}^2 + R_{es}^2}}{\sqrt{4}} \tag{7}$$

式中: R_r 为资源量相对值,小数; R_s 为潜在资源量相对值,小数; R_{ws} 为探井成功率相对值,小数; R_{es} 为勘探战略价值相对值,小数。

5 应用实例

本研究对渤海湾盆地一个富油坳陷(简称S)的11个区带(分别用A—K代替)进行综合评价,其构造类型分别为陡坡带(A,J)、缓坡带(B,H)、凸起(C,D)、洼陷带(E,F,G,I)。

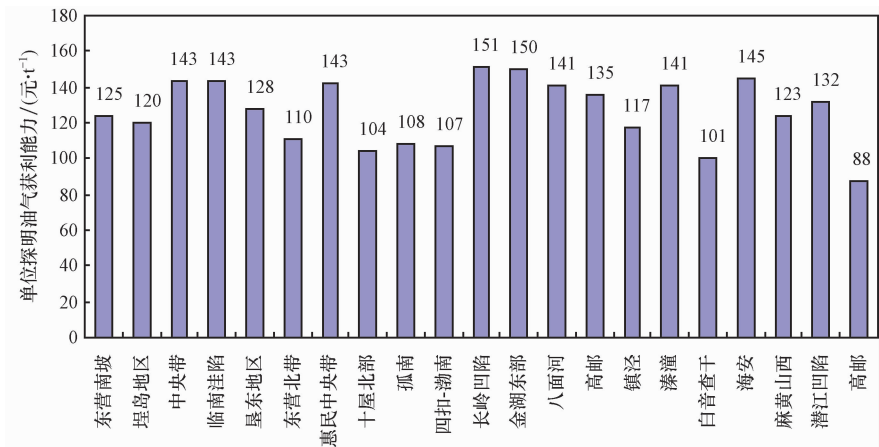


图4 单位油气探明储量收益

Fig. 4 Profits from per unit proved reserves
(当油价为2 044元/t时)

5.1 S 坳陷区带评价实例分析

所选 S 坳陷的 11 个区带勘探程度较高^[15],因此采用评价区带评价模板进行评价。以 I 区带为例,该区带有利勘探面积 752 km²,三维地震满覆盖,已完钻探井 132 口,完钻进尺 4.4 × 10⁴ m,探井密度 0.175 口/km²。该区带是该区的主力生油洼陷,区内发育多套储集层,南北依托夏口断裂和临商断裂相伴生的构造背景。洼陷区内钻遇了沙河街组二段、沙河街组三段上亚段、沙河街组三段中亚段、沙河街组三段下亚段和沙河街组四段多套含油层系,发现 3 个油田。但该区带存在断裂极为发育、构造破碎,深层资料品质较差^[16];盘河及临北断阶带深层储层的物性分布不均等缺点。根据地质风险评价概率赋值表及工程技术适应性评价赋值表进行赋值开展风险评价,该区的含油气概率为 0.4,工程技术适应性指数为 0.6,根据公式(2),其勘探风险概率为 0.51,油气发现概率为 0.49,其余区带勘探风险如表 4。

5.2 S 坳陷评价区带资源战略价值计算

根据评价区带的模板及参数对 S 坳陷的 11 个评价区带的资源战略价值进行评价,分别针对 S 坳陷的勘探情况进行了评价指数的归一化,以 I 区带为例,I 区带 3 年来年度平均探明储量为 300 × 10⁴ t,区带资源量为 71 000 × 10⁴ t,累计探明石油储量 34 400 × 10⁴ t,控制储量 3 052 × 10⁴ t,预测储量为 9 969 × 10⁴ t,当油价为 3 504 元/t 时,该区带

单位获利能力为 242 元/t。

1) 资源探明速率指数

I 区带油气探明速率为 0.004 2,则其资源探明速率指数为 0.042。

2) 剩余资源量指数

在 S 坳陷中最大的区带剩余资源量为 10 × 10⁸ t,根据公式(3),I 区带的剩余资源量指数为 0.37。

3) 资源储量序列指数

根据第三次资源评价结果及储量公报,截至 2007 年底,S 坳陷总资源量为 127.84 × 10⁸ t,累计探明储量 52.72 × 10⁸ t,则理论上最大控制储量为 75.12 × 10⁸ t,当由此可测算出 S 坳陷 R_{sr} 理论最大值为 19,这样当四级后备资源量为 0 时, R_{sr} 最小值为 -1, R_{sr} 的变化区间为 -1 ~ 19,这样对 R_{sr} 归一化,可表示为:

$$R_{sr} = \left(K_{ca} \frac{N_{ca} - 2}{2} + K_{pa} \frac{N_{pa} - 4}{4} + K_{ta} \frac{N_{ta} - 8}{8} + K_{sa} \frac{N_{sa} - 16}{16} + 1 \right) / 20 \quad (8)$$

根据 I 区带资源现状,计算该区带剩余资源规模指数为 0.27。

4) 单位油气获利能力指数

在计算基础参数时参考了《中国石化油气田开发项目经济评价方法与参数》,油价取国际油价 3 504 元/t 对应各油区国内出厂销售油价,其他如采收率、开发投资、经营成本费用等参考油田近年实际统计值,各区带的吨探明储量获利能力计算结果(图 5),对比研究区 I 区带的单位油气获利能力指数为 0.73。

表 4 S 坳陷 11 个评价区带风险对比

Table 4 Risk comparison of 11 appraisal plays in the S Depression

区带	含油气概率	工程技术适应性	油气发现概率	风险概率
B	0.80	0.90	0.84	0.16
A	0.72	0.75	0.73	0.27
F	0.56	0.75	0.64	0.36
D	0.56	0.75	0.64	0.36
C	0.50	0.75	0.60	0.40
G	0.42	0.70	0.54	0.46
H	0.40	0.70	0.53	0.47
J	0.40	0.60	0.49	0.51
E	0.40	0.60	0.49	0.51
I	0.40	0.60	0.49	0.51
K	0.60	0.50	0.55	0.45

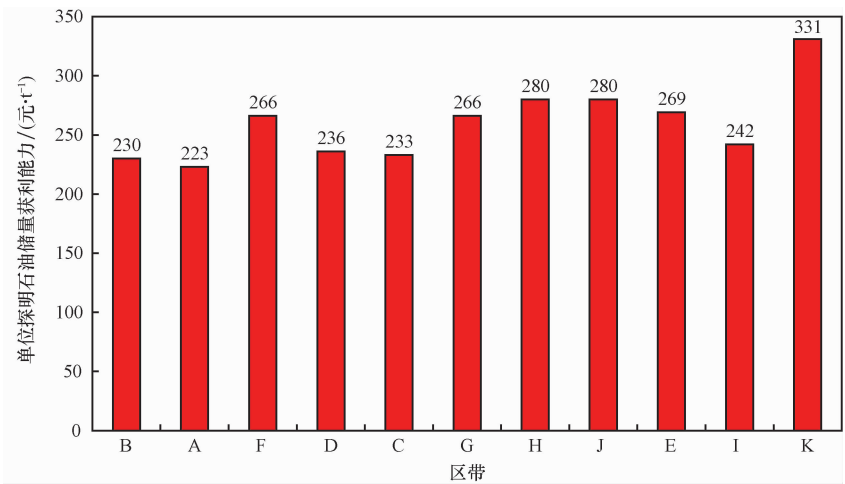


图5 S 坳陷 11 个评价区带单位油气探明储量获利能力对比(油价为 3 504 元/t)^①

Fig. 5 Comparison of profits from per unit proved reserves in 11 appraisal plays in the S Depression

分析计算以上剩余资源量指数、资源储量序列指数、资源年度探明速率指数、单位油气获利能力指数,并将其归一化约束到 0 ~ 1 之间,组合成资源价值指数 I_{ep} 为 0.43。

5.3 S 坳陷评价区带评价排队

区带的综合评价是建立在风险评价和资源价值评价的基础上,在统一评价方法、统一参数与取值标准的基础上进行评价,利用双因素法根据油

气发现概率和资源战略价值对 S 坳陷 11 个重点评价区带进行了排队(图 6)。

其中 A,B 区带属 I 类区,其储量升级潜力大,成藏关键因素明确,是获取规模储量,提高经济效益的现实区带。

其余 9 个区带属于 II 类区带,是储量升级潜力较大的区带,需确保勘探工作量投入或进一步加大地质及工程工艺研究,保证储量任务的完成。

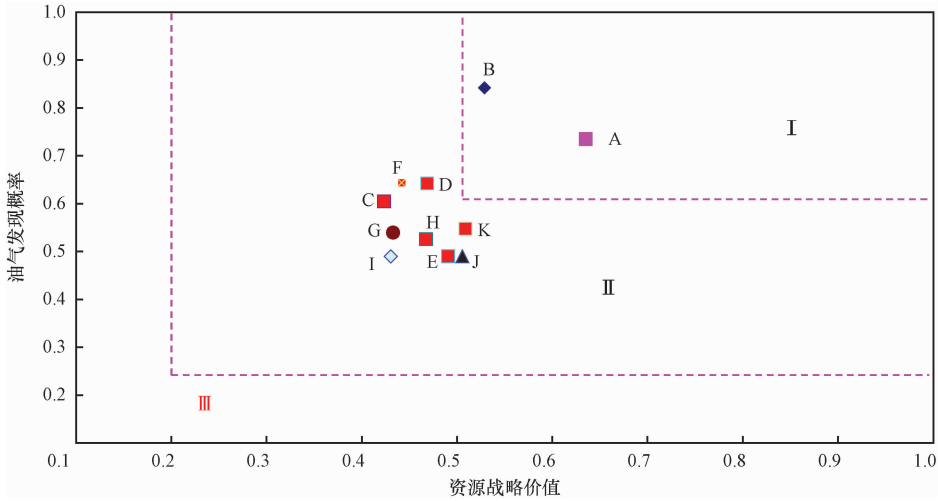


图6 S 坳陷 11 个评价区带风险-价值图

Fig. 6 Risk vs. value for 11 appraisal plays in the S Depression

① 中国石化油气勘探目标评价及决策系统研究内部报告. 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院,2009

6 结语

油气勘探是循序渐进的过程,随着勘探程度的提高和地质资料的增多,区带认识也逐步深入,因此需要针对勘探成果及资料认知程度对区带进行多轮反复的评价,区带评价方法才能根据实际资料或新理论的提出进行逐步完善。在区带研究中既要实现区带评价与基础地质研究一体化、油气资源评价与区带评价一体化,也要做到区带评价动态化,才能使区带评价更好的为勘探目标评价服务。

参 考 文 献

1 Robert M O, Nahum S. A process for evaluating exploration prospects[J]. AAPG Bulletin, 1997, 81(7): 1087 - 1109

2 Rose P R. Risk analysis and management of petroleum exploration ventures(AAPG Method in Exploration Series, No12) [M]. Tulsa: PennWell Corporation, 2001. 125 - 127

3 SY/T5520 - 1996, 圈闭评价技术规范. 1996

4 郭秋麟, 米石云. 油气勘探目标评价与决策分析[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004. 21 ~ 22

5 宋建国, 张光亚. 勘探目标评价方法[J]. 世界石油工业, 1998, 5(8): 8 ~ 12

6 Baker R A, Gehman H M, James W R, et al. Geologic field and

size assessment of oil and gas plays[A]. In: Rice D D, ed. Oil and gas assessment-methods and applications[C]. AAPG Studies in Geology, 1986, 21: 25 - 31

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. 35 ~ 38

8 刘池洋, 马艳萍, 吴柏林, 等. 油气的耗散——油气地质研究和资源评价的弱点和难点[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(4): 517 ~ 526

9 White D A. Geologic risking guide for prospect and palys[J]. AAPG Bulletin, 1993, 77(12): 2048 - 2061

10 武娜, 郭秋麟, 梁坤, 等. 用新思路评价冀中拗陷深县凹陷油气勘探风险[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(3): 326 ~ 333

11 周总瑛, 唐跃刚. 油气资源评价中风险分析方法探讨[J]. 长江大学学报(社会科学版), 2004, 27(1): 108 ~ 111

12 方小东, 郭元岭, 胡兴中. 油气勘探状态评价新方法[J]. 河南石油, 2005, 106(6): 6 ~ 8

13 郭元岭, 蒋有录, 赵乐强. 等. 济阳拗陷预探井失利地质原因分析[J]. 石油学报, 2005, 26(6): 52 ~ 56

14 中国石油天然气总公司计划局及中国石油天然气总公司规划设计院. 石油工业建设项目经济评价方法与参数[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994. 1 ~ 88

15 张善文. 济阳拗陷第三系隐蔽油气藏勘探理论与实践[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 731 ~ 740

16 韩天佑, 漆家福, 林会喜. 惠民凹陷西南缓坡带新生代构造演化与油气成藏特征[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 245 ~ 248

(编辑 高 岩)

中国可能会带领全球进入天然气的黄金时代

据国际能源署《世界能源展望 2010》报道,在未来 25 年间,天然气肯定会在满足世界能源需求方面发挥核心作用。2009 年由于经济不景气全球天然气需求下降,从 2010 年开始将恢复其长期上升趋势。在所有情形下,唯有天然气这种化石燃料的需求在 2035 年会高于 2008 年,尽管它是以明显不同的速度增长。在新政策情形下,需求在 2035 年会达到 $4.5 \times 10^{12} \text{ m}^3$,比 2008 年增加了 $1.4 \times 10^{12} \text{ m}^3$,或 44%,年平均增速 1.4%。中国的需求增长最快,以平均每年 6%的速度增长,而且在数量上最多,到 2035 年占全球需求增长的五分之一以上。特别是如果由于环境原因而使煤炭使用受到限制,中国天然气需求的增长有可能比这还要快。预测中东地区的需求增长几乎和中国的一样多。中东蕴藏着成本较低的资源,引领着未来 25 年天然气产量的扩大,其产量到 2035 年将会翻一番,达到 $8\,000 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。新政策情形下,全球天然气产量增长的 35%左右来自美国以及亚太等其他地区的非常规资源——页岩气、煤层气和致密气。

(周庆凡 供稿)