

层次分析法在塔里木盆地 油气勘查选区评价中的应用^①

刘 敏 刘 毅 陈强路

(地矿部石油地质中心实验室, 无锡 214151)

本文介绍了层次分析法(AHP)区块排选模型的设计思路,并以塔里木盆地有利勘探区块的选择为例,论述了其具体应用。文中的实际资料表明,利用该法进行油气勘查选区评价是行之有效的,而笔者依据选区评价的结果,提出的近、中期勘探工作部署的建议,对塔里木盆地今后的油气勘探决策,具有重要的参考价值。

关键词 层次分析法 塔里木盆地 选区评价

第一作者简介 刘 敏 女 52岁 高级工程师 数学地质

油气勘查选区方案的优劣,一般需通过若干个地质、地理与经济指标进行综合评判。而在选区评价中,往往有一些难以量化的问题,因此,在对各项指标的排序上就会遇到困难。

美国著名数学家 T. L. Saty 在 20 世纪 70 年代提出的层次分析法(AHP),是根据具有层次网络结构的总目标、子目标、约束条件等来评价方案。采用两两比较的方法,确定层次中各因素的相对重要性。通过判断矩阵,最终综合出各方案相对重要性的次序。由于它能够将分析人员的思维过程系统化、数字化和模型化,具有分析时所需数据少,能抓住问题的本质等特点,因此,在系统分析中得到广泛的应用。“八五”攻关期间,我们在塔里木盆地的选区评价中采用了这一方法,取得了满意的效果。

1 层次分析法模型

层次分析法是根据经济价值和风险标准综合值大小进行区块排选。每一个区块的勘探有利性值,依据 4 个准则:资源条件好、勘探成本低、地质把握性大和开发条件好进行综合评估。层次分析法的基本结构见图 1。

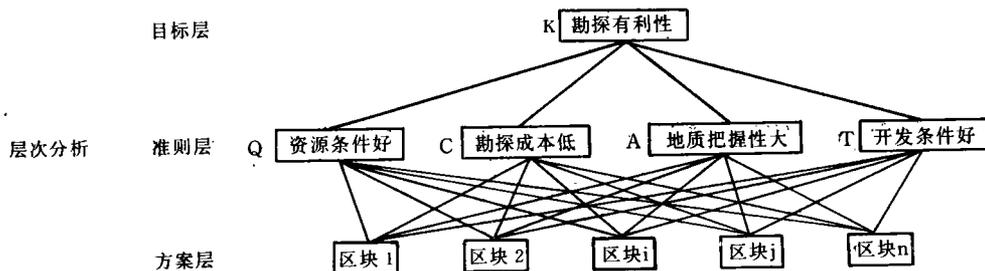


图 1 层次结构模型

① 本文是在“八五”国家重点科技攻关专题 85-101-02-04-03 部分成果基础上撰写的

1.1 准则的数学描述

(1) 资源条件(Q), 可用两个指标表示: 资源量 q , 资源密度 σ 。

$$Q = (1 - \gamma)\bar{P}(q_i) + \gamma\bar{P}(\sigma_i)$$

γ 为资源比例系数, 由用户视资源密度的重要性取值, $0 < \gamma < 1$ 。

$\bar{P}(q_i), \bar{P}(\sigma_i)$ 分别为资源量和资源密度经归一化处理后的值

$$\bar{P}(q_i) = q_i / \sum_{i=1}^n q_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

$$\bar{P}(\sigma_i) = \sigma_i / \sum_{i=1}^n \sigma_i \quad (n \text{ 为相比较的区块数})$$

(2) 勘探成本(C), 由三项成本构成: 地震勘探成本 C_1 , 钻井成本 C_2 , 其它成本 C_3 , 即

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad (C_1, C_2, C_3 \text{ 已知})$$

C 也可以表示成两项成本之和: 已发生的勘探成本 C_0 和待发生的勘探成本 C' , 即

$$C = C_0 + C' \quad (C_0, C' \text{ 已知})$$

(3) 地质把握程度(A), 由地质条件系数 d 和地质资料系数 e 决定, 即

$$A = d \cdot e \quad (d, e \text{ 已知})$$

其中 d 为区内主要控油(气)地质因素: 油源条件、储集条件、运聚条件及保存条件四项边缘概率之积, d 也可表示为区块的勘探成功率。

(4) 开发条件(B), 被认为与勘探成本呈反比关系, 即

$$B = l/C^{1/2} \quad (l > 0, l \text{ 已知, 是开发系数, 视开发难易程度取值})$$

1.2 判断矩阵的建立

$f(Q), f(C), f(A), f(B)$ 表示 Q, C, A, B 对于勘探有利性 K 的支持程度。用它构造出 4 个准则对总目标优劣的判断矩阵。相比较 i 区块和 j 区块的资源条件 $f_{ij}(Q) = Q_i/Q_j$, 其中 $f_{ij}(Q)$ 的值按表 1 的 1 ~ 1/4 比率标度法给出。

表 1 资源条件比率标度赋值标准

$f_{ij}(Q)$	$\in (0.9, 1.1]$	$\in (1.1, 2]$	$\in (2, 4)$	≥ 4	$\in (0.5, 0.9]$	$\in (0.25, 0.5]$	≤ 0.25
标度	1	2	3	4	1/2	1/3	1/4
定义	等同	稍好	明显好	特别好	稍差	差	特别差
反比较	若区块 i 与区块 j 相比较得到判断 $f_{ij}(Q)$, 则区块 j 与区块 i 比较的判断 $f_{ji}(Q) = 1/f_{ij}(Q)$						

对于 $f_{ij}(A), f_{ij}(B)$ 的确定方法与上同理。由于勘探成本 C 与勘探有利性 K 成反比, 所以 $f_{ij}(C)$ 和 $f_{ij}(Q)$ 的确定方法不同, $f_{ij}(Q)$ 随 Q_i/Q_j 的增大而增大, 而 $f_{ij}(C)$ 则随 C_i/C_j 的增大而减小, 即当 C_i/C_j 与 Q_i/Q_j 的值在同一范围内时, $f_{ij}(C) = 1/f_{ij}(Q)$ 。

当 $f_{ij}(Q)$ 确定以后, 就可以组成以下判断矩阵 FQ :

$$FQ = \begin{bmatrix} f_{11}(Q) & f_{12}(Q) & \dots & f_{1n}(Q) \\ f_{21}(Q) & f_{22}(Q) & \dots & f_{2n}(Q) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{n1}(Q) & f_{n2}(Q) & \dots & f_{nn}(Q) \end{bmatrix} \begin{array}{l} \text{按行求和} \\ \sum_{i=1}^n f_{1i}(Q) = Q_{f1} \\ \sum_{i=1}^n f_{2i}(Q) = Q_{f2} \\ \dots\dots\dots \\ \sum_{i=1}^n f_{ni}(Q) = Q_{fn} \end{array}$$

FC 、 FA 、 FB 判断矩阵具有以上同样形式。每个矩阵按行求和的结果表示区块 $1 \sim n$ 对各个准则符合程度或优劣程度,作归一化处理,即得每一个区块对于 Q 、 C 、 A 、 B 四准则的符合向量(表 2)。

表 2 各区块对于四准则的符合向量

Q	C	A	B
Q_{f1}/Q_{Σ}	C_{f1}/C_{Σ}	A_{f1}/A_{Σ}	B_{f1}/B_{Σ}
Q_{f2}/Q_{Σ}	C_{f2}/C_{Σ}	A_{f2}/A_{Σ}	B_{f2}/B_{Σ}
.....
Q_{fn}/Q_{Σ}	C_{fn}/C_{Σ}	A_{fn}/A_{Σ}	B_{fn}/B_{Σ}

上表中 $Q_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n Q_i, C_{\Sigma}, A_{\Sigma}, B_{\Sigma}$ 同理。

在表 2 的 Q 、 C 、 A 、 B 四列中各乘以 $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ (它们分别为决策者对 Q 、 C 、 A 、 B 各项的偏好程度或效用支配的权数,偏好大取值大,偏好小取值小, $0 < \beta_i < 1$, 且 $\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 = 1$), 再按行求和算出各区块 K 值(表 3)。最后作 K 的降序变换,便得到有利勘探区块的筛选结果。

表 3 区块勘探有利性值综合评分表

区块编号	Q	C	A	B	K
1	$Q_{f1}/Q_{\Sigma} \cdot \beta_1$	$C_{f1}/C_{\Sigma} \cdot \beta_2$	$A_{f1}/A_{\Sigma} \cdot \beta_3$	$B_{f1}/B_{\Sigma} \cdot \beta_4$	K_1
2	$Q_{f2}/Q_{\Sigma} \cdot \beta_1$	$C_{f2}/C_{\Sigma} \cdot \beta_2$	$A_{f2}/A_{\Sigma} \cdot \beta_3$	$B_{f2}/B_{\Sigma} \cdot \beta_4$	K_2
...
n	$Q_{fn}/Q_{\Sigma} \cdot \beta_1$	$C_{fn}/C_{\Sigma} \cdot \beta_2$	$A_{fn}/A_{\Sigma} \cdot \beta_3$	$B_{fn}/B_{\Sigma} \cdot \beta_4$	K_n

2 选区评价

2.1 评价区勘探开发条件概述

塔里木盆地是中国最大的含油气盆地。自 1984 年沙参 2 井获得突破以来,通过地矿、石油、科教等部门联合攻关和勘查,在盆地内共发现和探明了 16 个大中型油气田。从震旦系、寒武系—奥陶系至第三系 10 个层位中获工业油气流,发现了 26 个工业性含油气构造,并在不断扩大勘探成果和领域,可望能尽快成为中国今后油气开发基地的接替区。

综观塔里木盆地的油气资源评价结果和油气地质、经济、地理条件,对其油气勘探、开发的有利和不利因素可大致归纳如下:

有利因素:盆地自古生界至今长期发育,隆拗相间,既有多个大型生油拗陷,油气源岩层系多、厚度大、分布广,油气资源十分丰富;又有多个大型隆起和斜坡,具良好的多时代、多类型储集岩和良好的盖层;局部构造发育,具多圈闭类型;断裂与不整合发育,油气可长距离运移;地下水处于停滞封闭状态,有利于保存。

不利因素:多期的构造运动使早期油气藏遭受强烈破坏;油气在纵、横向上分布太分散;多数地区主要勘探目的层埋藏较深;地表条件恶劣,山前是中低山区,盆地腹部则广布绵延

不断的沙漠,面积达 33.7 万 km²,很多沙丘比高大于 100m,多具流动性;总体而言,地表水贫乏,地下水多为咸水,饮用甚至施工用水都要经过预处理;部分地区地震地质条件复杂,反射波资料很差;钻井在某些地区因井下压力系统复杂、钻遇较厚膏盐层时施工困难;勘探、开发代价巨大。

以上有利条件与不利因素在不同区块中的不同组合,导致了各区块在油气资源量空间分布和勘探、开发费用上的差异,根据客观存在的规律,从资源量与经济效益双重角度出发,寻找出有利勘探的远景区,则是本文研究的目标。

2.2 层次分析法模型的运用

(1)参数的选取。根据古生代与中生代地质结构,将塔里木盆地共划为 16 个二级构造区块。综合区内油气资源量、主要目的层埋深、资料条件(油气勘探程度)、基本控油地质条件与地表交通等地理因素概括如表 4。

表 4 塔里木盆地各区块综合参数表

区 块	面积 (km ²)	油气 资源量 (10 ⁸ t)	资源 密度 (10 ⁴ t/ km ²)	主要勘探	埋 深 (m)	地 表 条 件	交通	地 质	资 料	开 发	备 注
				目的层		(%)		状 况			
沙雅隆起	31600	9.74	3.08	Kz, Mz, C, O	4500~6000	I 15, I 65, III 20	A	0.62	1	3.00	地表条件: I 戈壁(砂砾洪积扇); II 绿洲,平原(砂质冲积扇)含河网,沼泽; III 沙漠, III ₁ 低丘(沙丘比高<25m), III ₂ 高丘(沙丘比高 25~100m), III ₃ 沙山(沙丘比高>100m); IV 丘陵(比高(<50m)); V 山区, V ₁ 低山(比高 50~200m), V ₂ 中一低山(比高 200~400m)。
库车拗陷	31200	4.38	1.40	Kz, Mz	800~4600	I 30, I 20, V 130, V 220	B	0.46	2	1.70	
阿瓦提断陷	30200	1.69	0.506	Mz, C	4500~6500	I 35, III 40, III 25	B	0.35	4	1.40	
顺托果勒隆起	28800	3.55	1.23	Mz, C	3500~5500	III 135, III 245, III 320	C	0.43	4	1.50	
满加尔拗陷	49900	1.07	0.21	Mz, C	4500~6500	I 5, III 135, III 245, III 315	D	0.37	4	1.20	
孔雀河斜坡	>25300	0.201	0.08	Mz, Pz ₁	3000~4500	I 30, III 135, III 210, III 325	B	0.13	4	1.30	
巴楚隆起	47500	2.33	0.49	C, Pz ₁	2000~4500	I 5, I 10, III 170, III 29, III 31, V 25	C	0.35	4	1.10	
卡塔克隆起	24500	12.12	4.95	C, Pz ₁	3200~5000	I 1, III 10, III 270, III 319	C	0.508	2	1.40	交通状况: A: 主干、简易公路贯通全区; B: 有公路,条件一般; C: 公路稀少,修路困难; D: 无公路,修路极困难。
唐古巴斯拗陷	15600	1.35	0.85	Mz, C	3000~5500	I 5, III 135, III 250, III 310	D	0.38	5	1.20	
古城隆起	32600	0.207	0.08	Pz ₁	3000~4500	III 110, III 270, III 320	D	0.11	4	1.20	
麦盖提斜坡	53600	5.11	0.905	C, Pz ₁	3500~5500	I 5, III 145, III 350	C	0.40	3	1.50	
喀什拗陷	>21700	2.44	1.12	Kz, Mz	4500~7000	I 5, I 70, III 15, IV 5, V 115	B	0.32	3	1.50	资料条件: 1: 已发现大量油气田; 2: 已发现油气田; 3: 具含油气构造; 4: 已进行地震普查,区域探井; 5: 少量地震测线,少量探井; 6: 仅稀疏地震测线,没有钻井。
莎车隆起	7300	1.21	1.66	Kz, Mz	3000~6500	I 15, I 15, III 115, IV 20 III 215, V 110, V 210	B	0.49	4	1.50	
叶城拗陷	37500	4.60	1.23	Kz, Mz	3500~7000	I 15, I 15, III 120, III 210 IV 20, V 110, V 210	B	0.49	2	1.60	
北民丰—罗布庄断陷	>32200	0.34	0.11	Kz, Pz ₁	1500~3000	I 5, I 10, III 145, III 235, IV 5	C	0.09	5	1.10	
于田—若羌拗陷	>74800	1.20	0.16	Mz	2000~4000	I 30, I 5, III 35, III 210, IV 10, V 15, V 25	B	0.30	6	1.20	

(据汪复林,1994 略改)

经济参数通过收集、整理有关资料^①后归纳为:钻井成本为 2437 元/m, 每米探井进尺控

① 地矿部西北石油地质局、塔里木石油勘探开发指挥部有关资料,由成金华提供

制地质储量 250~400t, 钻探成功率 40%~60%, 二维地震成本 0.4~1.5 万元/km, 三维地震成本 4~8 万元/km²。

各项投资的数据采用如下经验公式:

区块地震投资 = 面积 × 6 × γ_1 (百万元)

区块钻探投资 = 资源量 × 7 × γ_2 (百万元)

区块其它投资 = 0.50 × (钻探投资 + 地震投资) (百万元)

其中 γ_1 、 γ_2 分别为地震投资和钻探投资的修正系数, 取值考虑了地理条件、投资量和埋深等因素。

(2) 将上述参数预处理后输入计算机, 经过多次运算, 得到层次分析法评价的结果(表 5)。

表 5 层次分析法勘探区块排序结果数据表

区块名称	资源条件	勘探成本	把握程度	开发条件	勘探有利性	评价分类
沙雅隆起	0.13	0.04	0.12	0.12	0.18	I
莎车隆起	0.07	0.14	0.08	0.17	0.104	I
卡塔克隆起	0.13	0.02	0.11	0.04	0.09	I
顺托果勒隆起	0.08	0.09	0.077	0.05	0.075	I
库车拗陷	0.08	0.07	0.09	0.06	0.073	I
麦盖提斜坡	0.09	0.05	0.078	0.05	0.07	I
叶城拗陷	0.06	0.04	0.092	0.06	0.07	I
喀什拗陷	0.07	0.10	0.056	0.07	0.066	II
阿瓦提断陷	0.05	0.10	0.06	0.09	0.063	II
满加尔拗陷	0.05	0.09	0.05	0.04	0.055	II
唐古巴斯拗陷	0.06	0.13	0.05	0.07	0.053	II
巴楚隆起	0.06	0.09	0.04	0.04	0.05	II
古城墟隆起	0.02	0.11	0.02	0.07	0.04	IV
孔雀河斜坡	0.02	0.14	0.024	0.02	0.04	IV
北民丰—罗布庄断陷	0.02	0.09	0.014	0.04	0.03	IV
于田—若羌拗陷	0.02	0.05	0.03	0.02	0.03	IV

2.3 选区评价与建议

根据运算结果, 将全盆的各区块划分为四类(图 2)。

I 类最有利的远景区: 沙雅隆起、莎车隆起、卡塔克隆起;

II 类有利的远景区: 顺托果勒隆起、库车拗陷、麦盖提斜坡、叶城拗陷;

III 类较有利的远景区: 喀什拗陷、阿瓦提断陷、满加尔拗陷、唐古巴斯拗陷、巴楚隆起;

IV 类较差的远景区: 古城墟隆起、孔雀河斜坡、北民丰—罗布庄断陷、于田—若羌拗陷。

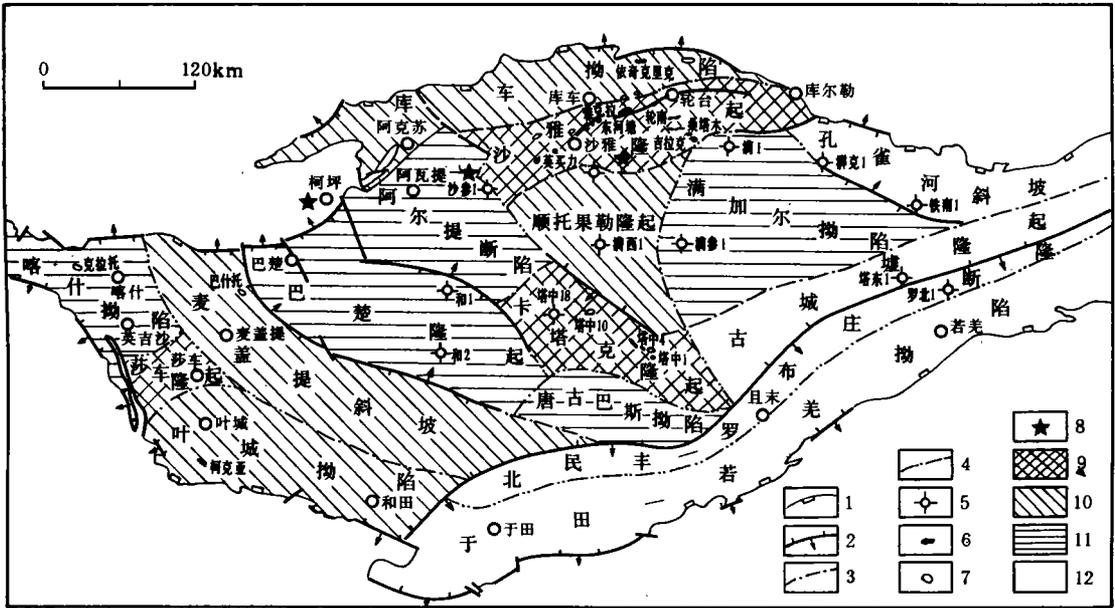


图 2 新疆塔里木盆地选区综合评价图

- 1. 盆地边界; 2. 断裂; 3. 一级构造单元界线; 4. 二级构造单元界线; 5. 钻井; 6. 油气田;
- 7. 含油气构造; 8. 古油藏; 9. 最有利地区; 10. 有利地区; 11. 较有利地区; 12. 较差地区

塔里木盆地油气勘查和选区评价结果表明,该盆地有广阔的找油气前景,但地质情况复杂,地理环境恶劣,勘探工作非常困难,因此,近、中期油气勘查工作应先在 I、II 类有利远景区开展。

沙雅隆起与卡塔克隆起是当今塔里木盆地油气勘查的主战场,已经取得丰硕的油气成果,应继续加强研究,不断扩大已发现油气藏的含油气面积。沙雅隆起以中生界为主,兼及新生界与古生界。以潜山-披覆构造组合为主,并争取短时间在岩性及地层等非构造圈闭新领域中拿到一定规模的储量。卡塔克隆起宜研究大型平缓古隆起和碳酸盐岩风化壳油气聚集的规律,加快勘探,以实现更大的突破。

莎车隆起位于喀什拗陷和叶城拗陷之间,为油气运移聚集的指向区。近期又在本隆起上发现重力正异常。因此是塔西南最有利的场所之一。应吸取前人在塔西南工作的经验与教训,尽快突破“方法关”,以获取更多的准确可靠的资料,开辟一个新战场。

库车拗陷已经再次投入勘探了,首位的应是南部秋立塔格、亚肯油气聚集带和南坡构造相对简单的地层岩性尖灭带地区。

顺托果勒隆起埋深相对较浅,局部构造也较拗陷区发育,是衔接沙雅隆起与卡塔克隆起油气富集带的最佳场所,若以早期海相油气为主要勘探领域,以寻找大型油气田为目标,一旦突破,必然带动全局。

麦盖提斜坡处于油气向上运移、聚集有利部位,古生界海相油气源丰富。现已在巴什托

构造下石炭统灰岩中获工业油气流,说明本区具有良好的勘探前景。但其地表95%为沙漠,且高丘占了一半,故建议先从西端绿州、平原开始勘查,然后向其东沙漠腹地扩大油气成果。

叶城拗陷仍应从柯克亚油气田入手,找其深部油气藏,由近及远向外推进。

3 结论

层次分析法在塔里木盆地的应用实践证明,该方法模型设计是可行的,效果也是令人满意的。评价结果提出沙雅隆起、卡塔克隆起继续作为主战场,开辟莎车隆起新战场,以求更大发现。对库车拗陷、顺托果勒隆起、麦盖提斜坡和叶城拗陷4个地区给予很高评价,并分别指出了勘探方向。因此,对当前和今后的勘探选区和部署都有一定的指导意义。

勘查选区评价是一项综合性很强的动态预测过程。随着勘查工作的深入,资料的不断更新,和评价方法的进一步完善,远景区块的排序也会随之变化。所以评价人员必须及时地根据勘查过程中获得的信息反馈,修改和调整选区方案,使之更接近客观实际。

(收稿日期 1995年6月3日)

参 考 文 献

- 1 冯玉国. 层次分析法在钻探施工方案选择中的应用. 武汉:中国地质经济,1990,(12)
- 2 康玉柱主编. 塔里木盆地古生代海相油气田. 武汉:中国地质大学出版社,1992
- 3 汤良杰. 塔里木盆地北部隆起潜山一披覆构造组合及其控油条件. 中国油气盆地分析—朱夏学术思想研讨文集. 北京:石油工业出版社,1993,166~174
- 4 何发岐. 库车中、新生代前陆盆地构造样式与油气聚集带. 塔里木盆地油气勘查文集. 乌鲁木齐:新疆人民出版社,香港:香港文化教育出版社,1994,168~174

AHP APPLIED IN THE PETROLEUM EXPLORATION AND SELECTED-AREA EVALUATION OF THE TARIM BASIN

Liu Min Liu Yi Chen Qianglu

(Central Lab of Petroleum Geology, Wuxi 214151)

Abstract

In this paper, the design train of thought about the block arranging-selecting model of AHP is introduced. Taking the selection of favourable exploration blocks in the Tarim Basin as an example, the concrete AHP application is discussed. The practical data in the paper show that it is effective to use this method in petroleum exploration and selected-area evaluation. The work plan of forward-middle exploration suggested by the authors on the basis of selected-area evaluation results is of important reference to the policy-making of petroleum exploration in the Tarim Basin in the future.