

# 油气资源评价中体积速度法的应用

宋宁<sup>1,2</sup> 孟闲龙<sup>3</sup> 王铁冠<sup>1</sup> (中国科学院院士)

(1.中国石油大学·北京 2.中国石化江苏油田 3.中国石化石油勘探开发研究院西部分院)

宋宁等.油气资源评价中体积速度法的应用.天然气工业,2007,27(10):56-59.

**摘 要** 随着油气资源紧缺问题的日益突出,低勘探程度的区块越来越受到重视。合理利用勘探程度较高地区的地质信息,可快速、准确地评价低勘探程度区块的油气资源。二连盆地由 50 多个彼此独立、地质特征相似的凹陷组成,每个凹陷即是一个独立油气成藏单元。一般情况下,凹陷沉积速度越大,所堆积的沉积岩体积及有机质含量就越大、油气资源也愈多。油气资源量与沉积物填充平均体积速度之间存在双对数线性关系。为此,通过确定二连盆地的沉积体积速度与油气资源量之间关系,预测勘探程度低的中国石化登记区块的油气资源期望值为  $1.8813 \times 10^8$  t。建议将布日敦南洼作为首选勘探目标,布日敦北洼、朝克乌拉凹陷和阿北凹陷作为第二层次勘探目标。

**主题词** 沉积体积速度 资源评价 勘探程度 二连盆地 资源量 勘探区

目前中国油气资源后备储量不足的问题日益突出,低勘探程度区块的油气资源评价和勘探深受重视。所谓低勘探程度区块系指仅有少量重磁力资料,地震测网稀少,钻井少甚至没有的地区。对低勘探程度区块的油气资源评价就是通过合理利用勘探程度较高区块的地质信息,评价低勘探程度区块的资源<sup>[1]</sup>。目前油气资源评价方法大致分为:成因法、统计法、类比法和专家经验法<sup>[2-8]</sup>。随着油气勘探的不断深入,高勘探程度区块油气资源评价结果的精度越来越高<sup>[2-6]</sup>;而低勘探程度区块的油气资源评价仍以类比法或专家经验法为主。国内外学者研究发现同类型盆地或凹陷的沉积体积速度与油气资源量之间存在一定关系,ИИНесМероВ(1975)、ВВ 波捷梁耶娃、АА 阿尔巴托夫、贾维同(1983)等建立了不同类型盆地的沉积岩体积速度与油气资源量之间的关系<sup>[8]</sup>。但是,随着油气勘探程度的提高,地质认识的加深,对资源的认识也不断深入,以老资料为基础建立的模型已不适当前的需要。

二连盆地位于中国内蒙古自治区中北部,是在海西期褶皱基底上发育起来的中、新生代裂谷盆地<sup>[9]</sup>,平面上为倒三角形形态,面积约  $10 \times 10^4$  km<sup>2</sup>。盆内发育 50 多个中小规模的断陷湖盆,每个湖盆独立成沉积体系,一个湖盆就是一个相对独立的烃类生成、运移、聚集油气成藏单元。据国土资源部全国 2006 年储量公报,目前已钻探的 30 个凹陷,证实其

中 20 个具有生油能力,累计探明石油地质储量近  $2.3 \times 10^8$  t。而位于二连盆地东部的中国石化油气勘查区块,主要包含了巴音都兰凹陷西南端、阿拉坦合力凹陷东段、阿北凹陷东北角、朝克乌拉凹陷东部、包尔果吉凹陷和布尔敦凹陷(图 1),油气勘探还未取得实质性突破,勘探程度和研究程度均很低。笔者以二连盆地为例,在建立勘探程度高凹陷的沉积体积速度与油气资源量关系的基础上,预测勘探程度低的凹陷和中国石化登记区块的油气资源。这是在该区首次尝试应用沉积体积速度法进行资源评价,对决策部门和生产单位有参考意义。

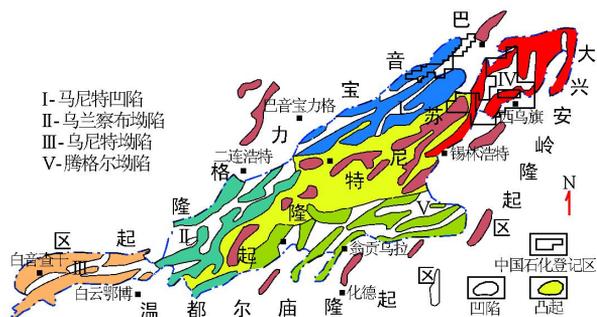


图 1 二连盆地构造划分和中国石化区块位置图

## 一、原理和方法

### 1. 原理

沉积体积速度与油气资源之间具有一定的关

**作者简介** 宋宁,1972 年生;2004 年毕业于南京大学,获硕士学位,现为中国石油大学(北京)博士研究生,主要从事油气综合勘探研究工作。地址:(225009)江苏省扬州市市文汇西路 1 号中国石化江苏油田地质科学研究院。电话:(0514)7761194,13092085279。E-mail:songn@joeco.com.cn

系<sup>[8]</sup>。沉积体积速度系指沉积物堆积的平均速度,是综合反映沉积盆地或凹陷的沉积作用、生油作用和油气保存条件的一个重要地质参数。除了某些快速堆积的红色粗碎屑外,一般沉积速度越大,所堆积的沉积岩体积及有机质含量就越大,易形成稳定的还原环境,有利于有机质向油气转化,同时也有利于已生成油气的聚集和保存<sup>[10,11]</sup>,因而油气资源丰度也愈大。同类型已知含油气盆地或凹陷的油气资源量与沉积岩体积速度之间存在双对数线性关系<sup>[8]</sup>,即:

$$\lg Q = a \times \lg v + b$$

式中: $Q$ 表示盆地或凹陷油气资源量, $10^6$  t; $v$ 表示沉积物平均体积速度, $\text{km}^3/\text{Ma}$ ; $a$ 、 $b$ 表示回归系数,根据已知含油气盆地的资源量和沉积体积速度,经双对数线性回归得到。

## 2. 方法和步骤

首先,选定与被评价盆地或凹陷类型、规模和地质条件等较相似的含油气盆地或凹陷,作为求取沉积体积速度和油气资源回归方程的标准盆地或凹陷。

第二,求取沉积体积速度( $v$ )。沉积体积速度 $v$  = 沉积岩体积 $V$ /沉积岩年龄。式中:沉积岩体积 $V = S \times H$ , $S$ 为盆地或凹陷面积, $\text{km}^2$ ; $H$ 为沉积岩平均厚度, $\text{km}$ 。 $H$ 为盆地或凹陷沉积岩最大厚度( $H_{\max}$ )与厚度系数( $k$ )的乘积, $H_{\max}$ 可通过地震、重力或磁力勘探得知, $k$ 则根据盆地或凹陷的形态与沉积岩体长宽比例的关系得到(表1)。根据二连盆地中勘探程度较高凹陷统计,沉积岩平均厚度和最大厚度之间的比值主要与凹陷的形状有关,由双断型、拗陷型、单断型依次减小,分别为0.70~0.75、0.65~0.70、0.60~0.65;形状相同凹陷的 $k$ 与凹陷的长宽比例有关,长宽比例越大, $k$ 越小,即盆型凹陷的 $k$ 普遍大于槽型凹陷。

第三,确定多个标准凹陷油气资源量和沉积体

表1 二连盆地不同形状凹陷沉积厚度系数表

形状	长宽比例	厚度系数	凹陷剖面示意图
拗盆型	$\leq 3$	0.70	
拗槽型	$> 3$	0.65	
单拗盆型	$\leq 3$	0.65	
单拗槽型	$> 3$	0.60	
双断盆型	$\leq 3$	0.75	
双断槽型	$> 3$	0.70	

积速度的方程。其中回归方程为油气资源期望值分布;以该方程为基线,在其上、下两侧分别作两条平行的包络线,视为油气资源5%概率和95%概率分布。

第四,根据标准凹陷油气资源量和沉积体积速度的回归方程,求得被评价区构造单元的油气资源量。

第五,计算构造单元的油气资源丰度,结合区块面积,求取被评价区块油气资源。

## 二、计算参数和结果讨论

### 1. 计算参数

选择二连盆地中勘探程度高、研究程度深、资源评价结果可信度高、且已发现油田的11个凹陷(表2),即白音查干凹陷、巴音都兰凹陷、阿南凹陷、阿北凹陷、洪浩尔舒特凹陷、吉尔嘎朗图凹陷、塞汉塔拉凹陷、额仁淖尔凹陷、塔南凹陷、乌里雅斯太凹陷、呼仁布其凹陷,视为标准凹陷,也称刻度区<sup>[7]</sup>。各凹陷的沉积体积速度和油气资源量列于表2。其中标准凹陷的油气资源引用中国石油第三次资源评价的结果。

二连盆地各凹陷沉积体积速度的求取,第一步:估算沉积岩体积,首先根据各凹陷的形状和凹陷的长宽比例,选择厚度系数;其次根据构造图推断各凹陷沉积岩最大厚度,一般在2200~5000 m之间;第三用沉积岩最大厚度乘以厚度系数计算出沉积岩平均厚度(表2),一般在1320~3500 m之间;第四用沉积岩平均厚度乘以凹陷面积即可估算出沉积岩体积。第二步:确定沉积岩年龄,二连盆地主要发育早白垩世巴彦花群,沉积年龄距今135 Ma<sup>[9]</sup>;少数凹陷,如巴音都兰凹陷、乌里雅斯太凹陷、阿拉坦合力凹陷、朝克乌拉凹陷等,还发育侏罗系勘探目的层,沉积年龄距今205 Ma。第三步:用沉积岩体积除以沉积岩年龄,估算沉积体积速度,一般为1.93~88.37  $\text{km}^3/\text{Ma}$ 。

### 2. 计算结果

二连盆地中标准凹陷的油气资源量与沉积体积速度具有正相关性(图2),油气资源5%概率、期望和95%概率的方程分别为:

$$\lg Q = \begin{cases} 0.6197 \lg v + 1.35 & (1) \\ 0.6197 \lg v + 1.09 & (2) \\ 0.6197 \lg v + 0.86 & (3) \end{cases}$$

表 2 二连盆地已发现油田和被评价凹陷沉积岩体积速度和油气资源统计表

序号	凹陷		地层	凹陷形状	凹陷面积 (km <sup>2</sup> )	沉积最大厚度 (km)	长:宽	厚度系数	平均沉积厚度 (km)	距今时间 (Ma)	沉积体积速度 (km <sup>3</sup> /Ma)	油气资源 (10 <sup>8</sup> t)	备注
1	白音查干凹陷		K	单断盆	3000	3.5	3:1	0.65	2.28	137	49.82	151.00	标准凹陷
2	巴音都兰凹陷		J、K	单断槽	1150	2.9	5:1	0.60	1.74	205	9.76	87.80	
3	阿南凹陷		K	双断槽	3680	4.7	3:1	0.70	3.29	137	88.37	233.00	
4	阿北凹陷		K	单断槽	830	4.7	4:1	0.60	2.82	137	17.08	42.70	
5	洪浩尔舒特凹陷		K	单断槽	1500	4.5	4:1	0.60	2.70	137	29.56	104.10	
6	吉尔嘎朗图凹陷		K	单断槽	1120	3.5	4:1	0.60	2.10	137	17.17	92.70	
7	塞汉塔拉凹陷		K	单断槽	2910	5.0	3:1	0.70	3.50	137	74.34	90.50	
8	额仁淖尔凹陷		K	双断槽	2200	4.5	3:1	0.70	3.15	137	50.58	81.50	
9	塔南凹陷		K	单断槽	2010	3.0	5:1	0.60	1.80	137	26.41	58.60	
10	乌里雅斯太凹陷		J、K	单断槽	3400	5.0	5:1	0.60	3.00	205	49.76	174.20	
11	呼仁布其凹陷		K	单断槽	1400	4.5	4:1	0.60	2.70	137	27.59	89.60	
12	阿拉坦合力凹陷		K	双断槽	1470	3.1	3:1	0.70	2.17	205	15.56	67.41	被评价单元
13	朝克	北注	J、K	单断槽	634	2.5	4:1	0.60	1.50	205	4.64	31.84	
	乌拉	南注	J、K	双断槽	395	2.7	4:1	0.70	1.89	205	3.64	27.41	
	凹陷	中央高带	J、K	单断槽	300	2.2	5:1	0.60	1.32	205	1.93	18.50	
14	包尔果吉凹陷		K	单断槽	2100	4.0	7:1	0.60	2.40	137	36.79	89.50	
15	布日敦	北注	K	双断槽	1200	2.2	4:1	0.70	1.54	137	13.49	55.10	
	凹陷	南注	K	双断槽	800	2.5	4:1	0.70	1.75	137	10.22	51.94	

注:标准凹陷的油气地质资源引用中国石油第三次资源评价。

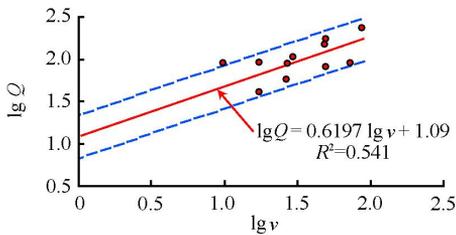


图 2 二连盆地已发现油气田凹陷的油气资源量与沉积体积速度关系图

将表 2 中被评价单元的沉积体积速度分别代入回归方程(1)、(2)和(3),估算得中国石化登记区块

所处凹陷油气资源 5% 概率为  $8.4363 \times 10^8$  t、期望值为  $4.6361 \times 10^8$  t、95% 概率为  $2.7299 \times 10^8$  t,各凹陷具体的油气资源量见表 3。

为了进一步明确登记区块的油气资源量,通过登记区块所处构造单元的平均面积丰度乘以区块的有效勘探面积,计算得中国石化登记区块油气资源量 5% 概率为  $3.4234 \times 10^8$  t、期望值为  $1.8813 \times 10^8$  t、95% 概率为  $1.1078 \times 10^8$  t。中国石化登记区块油气资源的期望值由大到小依次为布日敦南注  $0.5194 \times 10^8$  t、朝克乌拉中央高带  $0.2528 \times 10^8$  t、布

表 3 中国石化登记区块所处构造单元和中国石化登记区块的油气地质资源统计表

凹陷或凹槽	中国石化登记区块所处构造单元						中国石化登记区块				
	资源量 (10 <sup>8</sup> t)			资源面积丰度 (10 <sup>8</sup> t/km <sup>2</sup> )			面积 (km <sup>2</sup> )	油气地质资源量 (10 <sup>8</sup> t)			
	95%	期望	5%	95%	期望	5%		95%	期望	5%	
巴音都兰凹陷	29.73	50.49	91.87	0.026	0.044	0.080	200	5.17	8.78	15.98	
阿拉坦合力凹陷	39.69	67.41	122.66	0.027	0.046	0.083	300	8.10	13.76	25.03	
阿北凹陷	42.06	71.42	129.97	0.051	0.086	0.157	150	7.60	12.91	23.49	
朝克乌拉凹陷	北注	18.75	31.84	57.94	0.030	0.050	0.091	300	8.87	15.07	27.42
	南注	16.14	27.41	49.87	0.041	0.069	0.126	200	8.17	13.88	25.25
	中央高带	10.89	18.50	33.67	0.036	0.062	0.112	410	14.89	25.28	46.01
包尔果吉凹陷	52.70	89.50	162.86	0.025	0.043	0.078	515	12.92	21.95	39.94	
布日敦凹陷	北注	32.45	55.10	100.27	0.027	0.046	0.084	535	14.47	24.57	44.70
	南注	30.59	51.94	94.52	0.038	0.065	0.118	800	30.59	51.94	94.52
合计	272.99	463.61	843.63	0.031	0.052	0.095	3410	110.78	188.13	342.34	

日敦北洼  $0.2457 \times 10^8 \text{ t}$ 、包尔果吉凹陷  $0.2195 \times 10^8 \text{ t}$ 、朝克乌拉北洼  $0.1507 \times 10^8 \text{ t}$ 、朝克乌拉南洼  $0.1388 \times 10^8 \text{ t}$ 、阿拉坦合力凹陷  $0.1376 \times 10^8 \text{ t}$ 、阿北凹陷  $0.1291 \times 10^8 \text{ t}$ 、巴音都兰凹陷  $0.0878 \times 10^8 \text{ t}$ 。

### 3. 讨论

沉积体积速度法主要以类比分析为依据对单位地质体进行资源量估算与分析。该类方法评价结果的准确性主要取决于类比对象和有关体积参数的正确选取,适用于不同阶段的油气资源评价,但对盆地早期资源量计算更为有效。二连盆地由50多个凹陷组成,每个凹陷实际上就是一个小盆地,彼此之间具有相似的石油地质特征。用其中勘探程度高的凹陷作为类比刻度区来评价低勘探程度的凹陷,应该是再合理不过了。低勘探程度中国石化登记区块内的二维地震测网基本达到  $2 \times 2 \text{ km}$ ,各凹陷形状、沉积岩最大厚度、沉积地层年龄基本清楚。可见,文中选择的类比刻度区合理,基础地质资料达到沉积体积速度法基本要求。

油气资源面积丰度是某一地质单元内油气石油资源量与单元面积的比值,是衡量地质单元资源丰富程度的重要参数。柳广弟等(2006)<sup>[12]</sup>将中国含油气盆地的油气资源丰度分为高、中、低、特低4类,分别对应大于  $0.3 \times 10^6 \text{ t/km}^2$ 、 $(0.3 \sim 0.1) \times 10^6 \text{ t/km}^2$ 、 $(0.1 \sim 0.05) \times 10^6 \text{ t/km}^2$ 、小于  $0.05 \times 10^6 \text{ t/km}^2$ 。笔者计算的中国石化登记区块的油气资源丰度期望值在  $(0.086 \sim 0.044) \times 10^6 \text{ t/km}^2$ (表3),属于低—特低丰度。这与我国中生代盆地岩性型和中、新生代压陷盆地构造型运聚单元的油气资源丰度相当,反映了中国石化登记区块具有一定的勘探潜力。

另外,沉积体积速度法的应用进一步验证和校正了其他方法评价的结果。勘探程度较高的巴音都兰凹陷和阿北凹陷中,应用沉积体积速度法计算的油气资源分别为  $(0.2973 \sim 0.9187) \times 10^8 \text{ t/km}^2$  和  $(0.4206 \sim 1.2997) \times 10^8 \text{ t/km}^2$ (表3)。而中国石油第三次资源评价的结果为  $0.8780 \times 10^8 \text{ t/km}^2$  和  $0.4570 \times 10^8 \text{ t/km}^2$ (表2),分布在沉积体积速度法计算的范围内。

## 三、结论和建议

合理利用勘探程度较高地区的资料,可快速地评价低勘探程度区块的油气资源。沉积特征相似盆

地或凹陷的油气资源与沉积体积速度之间存在双对数线性关系,这为低勘探程度的盆地或凹陷油气资源的快速评估提供了思路。二连盆地中国石化登记区块具有一定的勘探潜力,油气资源量期望值为  $1.8813 \times 10^8 \text{ t}$ 。综合油气资源量和油气资源丰度,建议将布日敦南洼列为首选勘探目标,布日敦北洼、朝克乌拉凹陷和阿北凹陷作为第二层次勘探目标,其余作为第三层次勘探目标。

### 参 考 文 献

- [1] 郭建宇,张大林,邓宏文,等.低勘探程度区域油气资源评价方法[J].油气地质与采收率,2006,13(6):43-45.
- [2] MENELEY R A, CALVERLEY A E, LOGAN K G, et al. Resource assessment methodologies: Current status and future direction[J]. AAPG Bull, 2003, 87(4):535-540.
- [3] 金强.美国地质调查所进行的油气资源评价[J].国外油气勘探,1998,10(4):393-401.
- [4] 旷理雄,郭建华,宋阳,等.最终可探明储量预测[J].天然气工业,2006,26(11):27-30.
- [5] 宋宁,王铁冠,刘东鹰,等.分形方法在苏北盆地金湖凹陷石油资源评价中的应用[J].地质科学,2006,41(4):578-585.
- [6] 赵旭东,张守本.应用数学地质方法对二连盆地进行石油资源评价[J].石油学报,1985,16(3):35-40.
- [7] 周总瑛,唐跃刚.我国油气资源评价的现状与存在问题[J].新疆石油地质,2004,25(5):554-556.
- [8] 武守诚.石油资源地质评价导论[M].北京:石油工业出版社,1994:101-102.
- [9] 杜金虎,易士威,张以明,等.二连盆地隐蔽油藏勘探[M].北京:石油工业出版社,2003:89-92.
- [10] SCHULTES S, KAI MANGELSDORF, JURGEN RULLKOTTER. Organic matter preservation on the Pakistan continental margin as revealed by biomarker geochemistry [J]. Organic Geochemistry, 2000, 31: 1005-1022.
- [11] 陈践发,张水昌,孙省利,等.海相碳酸盐岩优质烃源岩发育的主要影响因素[J].地质学报,2006,80(3):465-472.
- [12] 柳广弟,胡素云,赵文智.中国主要含油气盆地运聚单元石油资源丰度及其预测模型[J].石油勘探与开发,2006,33(6):759-761.

(修改回稿日期 2007-08-23 编辑 居维清)