文章编号：1004－5589（2004）04－0365－06

勃利盆地中生界地质特征与油气资源量计算

韩春花[1]，曹成润[1]，曹宪双[2]，李建国[1]

（1. 吉林大学 地球科学学院，吉林 长春 130061；2. 黑龙江省第六地质勘察院，黑龙江 佳木斯 154002）

摘要：黑龙江省东部勃利盆地在早白垩世为陆缘断陷盆地。经晚白垩世和新近纪的构造反转改造后，呈改造残留型含油气、含煤盆地。该盆地在下白垩统发育有厚度较大的暗色泥岩和多套煤系地层。盆地内源岩有机质以生气为主，煤系地层为重要的气态烃的来源。在研究了勃利盆地中生界地质特征的基础上，运用蒙特卡罗法初步估算了盆地内的油气资源量，得出盆地油气资源量的概率分布函数图，取得不同概率下的油气资源量值。盆地的中部断陷为有利含油气区。研究结果为进一步在松辽盆地外围寻找油气资源提供了参考依据。

关键词：**勃利盆地；中生界；油气资源；蒙特卡罗法**

中图分类号：**P**534.5；**P**618.13　　献标识码：**A**

Mesozoic geological features and calculation of oil-gas resources in Boli Basin

HAN Chun-hua[1]，CAO Cheng-run[1]，CAO Xian-shuang[2]，LI Jian-guo[1]

1. College of Earth Sciences，Jilin University，Changchun 130061，Jilin，China

2. Institute of Geological Exploration No. 6 of Heilongjiang Province，Jiamusi 154002，Heilongjiang，China

Abstract：Boli Basin，in eastern Heilongjiang of China，was a terrigenous fault basin during Early Cretaceous. After reverse tectonic period in Late Cretaceous and Neogene，it became a relict basin with oil-gas and coal. Formation with malamudstone and suits of coal is developed in Lower Cretaceous of the basin. The organic matter in the basin mainly produces gas and the coal-bearing strata are the vital origin of gaseous hydrocarbon. On the basis of the study on Mesozoic geological features，the resources of oil and gas were calculated by Monte-Carlo a map of distribution function of oil-gas resources in Boli Basin was made and varied qualities at different possibilities were drawn. The most advantageous areas are in the middle fault depression. The result would become a reference for seeking oil-gas resources in peripheral districts of the Songliao Basin.

Key words：Boli Basin；geological features；Mesozoic；oil-gas resources；Monte-Carlo method

勃利盆地是松辽盆地外围寻找油气资源的重点盆地之一。早期的地质勘探与研究表明，勃利盆地具有较好的烃源岩，且有机质大都进入了成熟–过成熟阶段，以生气为主。用常规方法（残烃法、体积法）计算油气资源量是将地质参数中的随机变量取平均值处理，所得的误差较大。而实际上油气资源量是一个动态数值的静态表示，即油气的资源量是随着有关因素的变化而浮动的。因此在研究与确定含油气区的最终资源量时，引进了一些新的方法，其中蒙特卡罗法就是采用概率范围代替单值定量，既表示资源量的大小，又说明不同数量的概率性大小，用成组的计算方法代替单一的方法[1]，弥补

收稿日期：2004–04–22；改回日期：2004–10–25

作者简介：韩春花（1979—），女，吉林梅河口人，硕士研究生，主要从事油气地质研究.

通迅作者简介：曹成润（1957—），男，黑龙江勃利人，副教授，从事盆地构造与油气地质研究.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

了以上方法的不足。本文的目的是在研究勃利盆地地质特征的基础上，利用蒙特卡罗法对该区的资源量重新进行计算，验证和对比以前计算结果，这对松辽盆地外围地区寻找油气资源具有重要的意义。

1 勃利盆地油气地质特征

1.1 盆地构造特征

勃利盆地位于黑龙江省东部，南临完达山脉，北依肯特山脉，南北地势险峻，现今面积为 9 020 km²[2]。盆地的基底，西部为元古界结晶岩系，东部为古生代浅变质岩。在早白垩世为陆缘断陷盆地，经晚白垩世和新近纪的构造反转改造，现今呈改造残留型含油气、含煤盆地[3]。该盆地的发生、发展受北西、北东向断裂控制，呈弧形展布。盆地内褶皱发育，断裂纵横交错，构造复杂，近南北向的大型张性断裂把盆地自西向东截为数块。分为三个一级构造单元：西部（桦南）坳陷、中部断陷和东部坳陷[2]（图 1）。

从现今构造格局来看，勃利盆地西边界为一条 NW 向的勃—依逆冲断层、南缘为向盆内逆冲的近 NE 向边缘断裂控制，沉积盖层中褶皱和断裂非常发育，且呈明显的规律性。盖层褶皱类型多为不对称倾伏褶皱，局部见到倒转褶皱，在褶皱的倒转翼

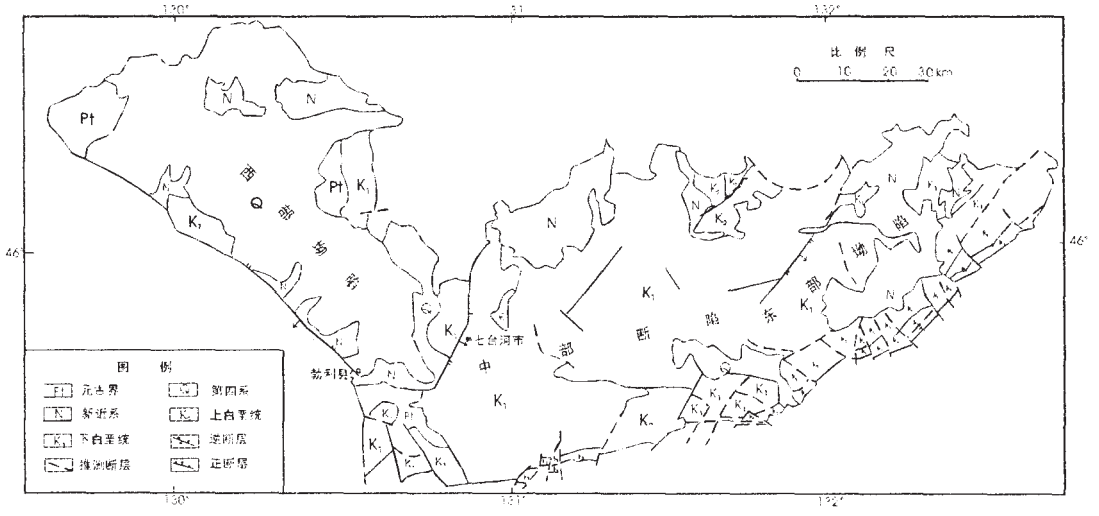


图 1 勃利盆地地质及构造单元图

Fig. 1 Geological map and tectonic units of Boli Basin

上有逆断层相伴[4-6]。

1.2 地层发育特征

勃利盆地的地层单元属于内蒙古—松花江区的老爷岭分区和那丹哈达岭区的宝清—饶河分区的接合部位。主要地层时代为早白垩世，属于鸡西群与龙爪沟群。对这两个群的划分与对比，曾长期争论。早期的研究[7,8]曾认为黑龙江东部的龙爪沟群和鸡西群为侏罗纪或主要为侏罗纪。近些年在这一地区发现了越来越多的早白垩世化石，因而鸡西群与龙爪沟群应为早白垩世[9]。参照相关研究[10,11]，将勃利盆地东、西部早白垩世主要地层对比如表 1。早白垩世盆地西部发育有滴道组（K_1d）、城子河组（K_1ch）、穆棱组（K_1m）和东山组（K_1ds）；盆地东部发育裴德组（K_1p）、七虎林组（K_1q）、下云山组（K_1x）、上云山组（K_1s）、珠山组（K_1z）和东山组（K_1ds）（见表 1）。其中，城子河组和滴道组的暗色泥岩和煤层都十分发育。

1.3 勃利盆地生储盖层及组合特征

勃利盆地是一个含煤盆地，早白垩世地层中发育有厚度较大的暗色泥岩与煤层，是盆地内两套最主要的烃源岩岩层。盆地烃源岩层的有机碳含量普遍偏高，氯仿沥青“A”的含量偏低，总烃含量普遍较低，有机质类型为含腐泥—腐殖型和腐殖型两类，以含腐泥—腐殖型为主[2]。盆地的主要生油气岩中有机质成熟度高，大都进入了成熟和过成熟阶段，有机质向烃类转化生油的可能性小，主要以生气为主，煤成气很可能是主要成气类型。

勃利盆地白垩系孔隙度小，储气方式以裂隙为主。中部断陷断裂发育，裂隙也很发育，具有良好的储集空间。西部坳陷和东部坳陷断裂发育稍差，但

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1 勃利盆地中生代地层简表

Table 1 Mesozoic stratigraphy in Boli Basin

系	统	组		岩性描述	
		西部	东部	西部	东部
白垩系	上统	金沙组		砂砾岩、凝灰岩	
	下统	猴石沟组		砾、砂、页岩夹凝灰岩	
		东山组	东山组	砂、泥岩、火山碎屑岩、凝灰岩及火山岩	
		穆棱组	珠山组	粉、细砂岩互层，夹碳质泥岩及煤层	砂泥岩、凝灰岩夹海相层及煤层
		城子河组	上云山组	砾岩、砂、泥岩夹煤层	泥岩、砂岩夹凝灰岩及煤层
			下云山组		砂泥岩夹煤层
			七虎林组		砂岩、砂砾岩、黑色泥岩
		滴道组	裴德组	泥岩、碎屑岩、火山碎屑岩及煤层	砂岩、黑灰色泥岩及煤层
				结晶岩系	浅变质岩

是基底中的裂隙还是很发育的。盆地下白垩统的砂岩大都属于低孔、低渗，物性较差的砂岩层，其中城子河组和穆棱组物性相对较好。盆地断裂构造比较发育，因而由断裂所构成的裂缝与低孔、低渗的砂层相配合，可作良好天然气储层。

盆地内盖层为泥岩、凝灰岩，但由于这些盖层多以薄层存在，单层厚度大者少，加之构造运动频繁，部分地区遭受剥蚀或断裂，导致盖层的封盖性能变差。因此，勃利盆地的泥岩和凝灰岩只能作为局部盖层，即盆地内缺乏区域性的盖层。

盆地内的生储盖层组合形式有中、西部比较发育的自生自储自盖组合方式（城子河组）及正常式生储盖层组合方式（东部坳陷区内（七虎林组—下云山组—上云山组））

2　用蒙特卡罗法计算盆地油气资源量

2.1　蒙特卡罗法原理

蒙特卡罗（Monte-Carlo）法亦称统计模拟法或统计试验法。基本思想是：为了求解地质问题，首先根据已有数据建立一个符合地质过程的概率模型，然后通过对模型的抽样试验来计算所求参数的统计特征，最后求出具有特定期望值的近似解[1]。应用蒙特卡罗方法解决实际问题的关键步骤：首先建立概率模型，然后产生符合要求的抽样随机数，最后用随机数对已知分布的地质随机参数进行抽样，计算待求解。

2.2　计算公式与参数选择

用蒙特卡罗法估算一个含油气区油气资源量的计算过程，大体可以分为三个步骤，即构造随机变量的分布函数，计算含油气地质单元的油气资源量以及计算含油气区的油气资源总量。

含油气区的任何一个局部含油气地质单元（例如局部构造、断块、单斜、岩性圈闭等）的油气资源量最常用的计算公式，都可以归结为一些地质参数与经验常数的连乘。即

$$Q_j=\prod_{i=1}^{n}X_{ji}\quad(j=1,2,\cdots,n)$$

式中：Q_j－含油气区中第 j 个局部含油气地质单元的油气资源量；X_{ji}－第 j 个局部含油气地质单元的第 i 个地质参数或经验系数。

而一个含油气区油气资源总量的计算公式，可以表示为全部的 m 个局部含油气地质单元的油气资源量的累加，即，

$$Q=\sum_{i=1}^{m}\prod_{i=1}^{n}X_{ji}$$

在勃利盆地中主要的生油气层系是滴道组与城子河组。在本次计算中，取这两个层系作为局部地质单元。

其中，暗色泥岩的生油量计算公式[12]为：

$$Q_{油}=\frac{1}{1-K_{排}}(S\cdot H\cdot\text{“}A\text{”}\cdot d)\cdot K_{聚}$$

式中：$Q_{油}$－盆地暗色泥岩生油量（t）；$K_{排}$－排烃系数；S－有效生油岩面积（km^2）；H－有效生油岩厚度（m）；A－氯仿沥青“A”含量（%）；d－生油岩密度（t/m^3）。

暗色泥岩生气量计算公式为：

$$Q_{泥气}=S_r\cdot H_r\cdot\rho_r\cdot q_r\cdot C_r$$

式中：$Q_{泥气}$－盆地暗色泥岩生气量（$10^8\ m^3$）；q_r－暗色泥岩产气率（m^3/t）；C_r－暗色泥岩中有机碳含量（%）；

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

勃利盆地的煤层比较发育，对于煤层气的估算采用如下公式：

$$Q_{煤}=S_c\cdot H_c\cdot\rho_c\cdot q_c$$

式中：$Q_{煤}$－盆地煤层生成天然气量（10^8 m³）；S_c－煤层面积（km²）；H_c－煤层平均厚度（m）；ρ_c－煤的比重（t/m³）；q_c－煤气发生率（m³/t）。

S、d、S_r、ρ_r、S_c 是地质参数，$K_{聚}$是地质类比法得出的经验系数，而 H 是具有一定分布规律的随机变量。根据前人的大量统计计算[13,14]可知，计算所用的参数，生油岩厚度服从正态分布。

在以上的三个公式中，各个参数的选择按如下原则：排烃系数（$K_{排}$）参照张方吼的研究成果[15]确定，取 33.4%；再由钻井和露头资料计算烃源岩的厚度和面积；氯仿沥青“A”含量通过收集煤炭、石油等系统的分析化验数据来确定；油气的聚集系数采用地质类比法确定，结合我国的实际情况，石油的聚集系数取 0.1，天然气的聚集系数较石油要低，取 0.01[12]；暗色泥岩密度取 2.3 t/m³；qr 值的确定根据石油天然气总公司颁布的标准，按照不同层位的镜质体反射率和母质类型确定；煤层的比重取 1.41～1.45 t/m³。

根据以上所选参数，利用蒙特卡罗法[16]使用 Matlab 实现计算勃利盆地油气资源量的具体步骤[17]为：

（1）首先求得各个层系地层厚度的均值和方差，用正态分布概型公式构造随机变量的分布函数（图 2）。在 Matlab 中可以直接实现图形的可视化。简单的程序代码如下：

```
x＝[1.6 19.5 25.07 … …]；
u＝mean（x）；
s＝std（x）；
y＝1-normcdf（x，u，s）；
plot（x，y，‘·’）
```

（2）计算局部含油气地质单元的油气资源量。首先求出第 j 个局部含油地质单元石油资源量 Q_j 出现的最大可能值范围，以［0～1］的均匀分布产生随机数，进行抽样模拟计算，在本文中共抽样 50 次。最后以概率统计法对 50 个随机估计值进行整理，即可得到局部含油气地质单元的油气资源量。

（3）最后计算含油气盆地的油气资源总量，如（图 3）所示。

根据计算结果可知，勃利盆地暗色泥岩石油资源量在概率 50%处约为 0.143 7× 10^8 t，煤成气的资源量在概率 50%处，约为 7 181.21× 10^8 m³。据最新的古生物学研究结果表明，勃利盆地内的地层属于早白垩世，而不是过去认为的晚侏罗世—早白垩世。过去认为盆地内侏罗世的某些地层具备产油气能力，但由于还没有十分明确的归属，在本次计算中并没有列入。因此，盆地内实际的油气资源量应比计算结果稍大一些。图 3 中可以得到在一定概率范围内盆地油气资源量的值。表 2 中给出了几个概率下的油气资源量值。可见，勃利盆地的天然气资源量远大于石油的资源量。

3 结束语

综合分析勃利盆地的地质构造和油气地质等诸多方面的条件表明，勃利盆地是一个有着较好油气潜力的盆地，以产气为主，天然气的资源量远远

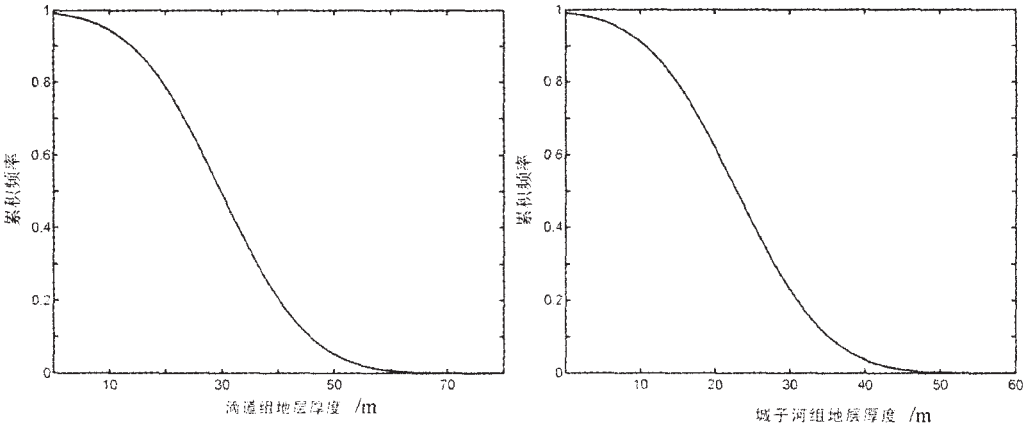


图 2 地层厚度的正态分布函数图

Fig. 2 Map of normal distribution function of stratigraphic thickness

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 2 勃利盆地不同概率下油气资源量

Table 2 Oil-gas resources at different possibilities in Boli Basin

项 目	概　率								
	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
石油量/10^8 t	0.0700	0.0939	0.1135	0.1336	0.1437	0.15618	0.1753	0.1925	0.2262
天然气/10^8 m^3	3550.86	4727.70	5817.35	6641.33	7181.21	7802.58	8799.56	9408.96	10497.93

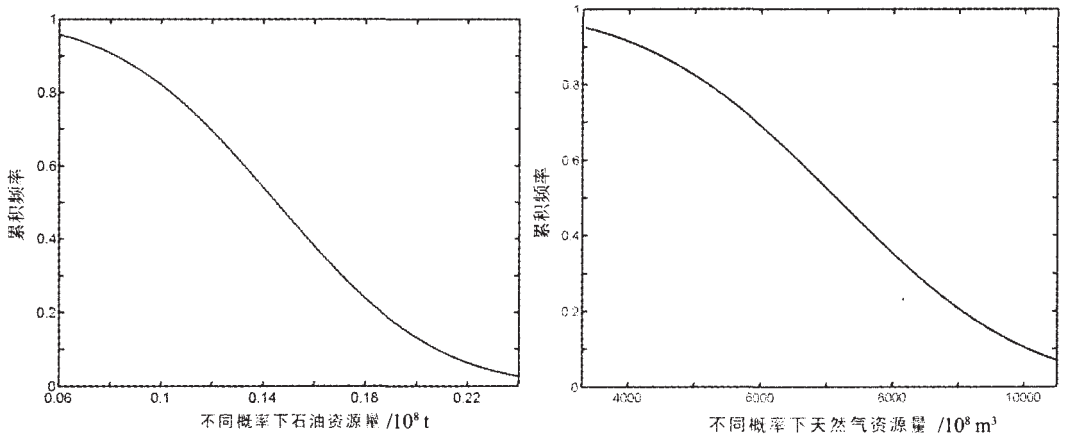


图 3 勃利盆地油气资源量分布函数

Fig. 3 Distribution function of oil-gas resources in Boli Basin

大于石油的资源量。中部断陷由于暗色泥岩相当发育,同时还夹有较多的煤层,为主要的有利含油气区。东部有少部分地区也是油气有利勘探区,研究结果对松辽盆地外围进一步的油气战略选区提供一定参考。

用蒙特卡罗法估算油气资源量比传统方法有很大优势,所给出的是不同概率下的油气资源量估计值,同时抽样计算方法可以压制原始数据中个别离群数据的干扰。随着计算机的快速发展,这种方法将会有更广泛的应用。

参考文献:

[1] 钱伟,陆现彩. 蒙特卡罗法油气资源评价软件的设计与开发[J]. 江苏地质,2002,**26**(3):145-146.
QIAN Wei, LU Xian-cai. Design and development of appraisal soft wares for oil-gas resources by Monte-Carlo methods[J]. *Jiangsu Geology*, 2002, **26**(3): 145-146.

[2] 翟光明. 中国石油地质志(卷二·大庆油田)[M]. 北京:石油工业出版社,1987:775-777.
ZHAI Guang-ming. Petroleum geology of China (Vol.2 Daqing Oilfield)[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1987: 775-777.

[3] 曹成润,郑庆道. 黑龙江省东部残留盆地群构造演化特征及其油气勘探意义[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2003,**33**(2):167-172.
CAO Cheng-run, ZHENG Qing-dao. Structural evolution features and its significance of hydrocarbon exploration in relict basin group, eastern Heilongjiang Province [J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2003, **33**(2): 167-172.

[4] CAO Cheng-run, SHAN Xuan-long, WANG Dong-po. The fault block's framework in Boli Basin and its control over the deposition[J]. *J Geosci NE Asia*, 2001, **4**(1): 13-19.

[5] CAO Cheng-run, WU Wei, ZHENG Qing-dao. Coal-bed methane resource of Mesozoic basins in Jiamusi landmass [J]. *J Geosci Res NE Asia*, 2002, **5**(2): 138-141.

[6] YUAN Jian-ying, ZHOU Yan-ru , LI Xiang-bo, *et al*. Structural analysis and petroleum geology assessment of relic basins[J]. *Oil & Geology*, 2000, **21**(1): 1318.

[7] 具然弘,郑少林,于希汉,等. 黑龙江东部龙爪沟群的划分及其与鸡西群对比[J]. 地质论评,1981,**27**(5):391-401.
JU Ran-hong, ZHENG Shao-lin, YU Xi-han, *et al*. Subdivision of th Longzhaogou Group and its correlation with the Jixi Group in eastern Heilongjiang, China [J]. *Geo Rev*, 1981, **27**(5): 391-401.

[8] 黑龙江省东部中生代含煤地层研究队. 黑龙江东部龙爪沟群的研究及其与鸡西群对比[M]. 哈尔滨:黑龙江科

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

学技术出版社，1986：9-12.
Research Team on Mesozoic Coal-Bearing Formations in Eastern Heilongjiang. A study on the Longzhaogou Group in eastern Heilongjiang Province and its correlation with the Jixi Group ［M］. Harbin：Heilongjiang Science and Technology Press，1986：9-12.

［9］沙金庚. 黑龙江东部早白垩世生物地层学研究的主要进展［J］. 地学前缘，2002，**9**（3）：95-101.
SHA Jin-geng. Major achievements in studying the Early Cretaceous biostratigraphy of eastern Heilongjiang ［J］. *Earth Science Frontiers*，2002，**9**（3）：95-101.

［10］孙革，郑少林. 中国东北中生代地层划分对比之新见［J］. 地层学杂志，2000，**24**（1）：60-64.
SUN Ge，ZHENG Shao-lin. New proposal on division and correlation of Mesozoic from northeastern China ［J］. *Journal of Stratigraphy*，2000，**24**（1）：60-64.

［11］孙革，郑少林，姜剑虹，等. 黑龙江鸡西含煤盆地早白垩世生物地层研究新进展［J］. 煤田地质与勘探，1999，**27**（6）：1-3.
SUN Ge，ZHENG Shao-lin，JIANG Jian-hong，*et al*. Recent advance in study of Early Cretaceous biostratigraphy from Jixi coal-bearing basin，Heilongjiang，China ［J］. *Coal Geology & Exploration*，1999，**27**（6）：1-3.

［12］武守诚. 石油资源地质评价导论［M］. 北京：石油工业出版社，1994：107-113.
WU Shou-cheng. The geological assessment of oil resources ［M］. Beijing：Petroleum Industry Press，1994：107-113.

［13］刘安洲. 油气资源多源信息统计预测［M］. 长春：吉林科学技术出版社，1991：192.
LIU An-zhou. Multi-sources information statistics of oil-gas resource［M］. Changchun：Jilin Science and Technology Press，1991：192.

［14］陆明德，田时芸. 石油天然气数学地质［M］. 武汉：中国地质大学出版社，1991：79.
LU Ming-de，TIAN Shi-yun. Mathematical geological of oil and gas［M］. Wuhan：China University of Geosciences Press，1991：79.

［15］张方吼. 松辽盆地油气初次运移探讨［M］. 北京：石油工业出版社，1985：290.
ZHANG Fang-hou. Discussion on primary hydrocarbon migration in Songliao Basin. Beijing：Petroleum Industry Press，1985：290.

［16］童继平，韩正姝. 蒙特卡罗方法与计算机模拟研究［J］. 计算机与农业，2000（7）：17-21.
TONG Ji-ping，HAN Zheng-shu. A brief introduction to the method of Monte-Carlo computer simulation［J］. *Computer and Agriculture*，2000（7）：17-21.

［17］赵旭东. 石油数学地质概论［M］. 北京：石油工业出版社，1992：207-211.
ZHAO Xu-dong. Mathematical geology of oil［M］. Beijing：Petroleum Industry Press，1992：207-211.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net