

松辽盆地北部嫩江组一段源岩排烃特征及潜力评价

马中振 (中国石油天然气勘探开发公司, 北京 100034)
(中国石油大学石油天然气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249)
庞雄奇 (中国石油大学盆地与油藏研究中心, 北京 102249)
(中国石油大学石油天然气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249)
付秀丽, 戴国威 (大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 1637122)

[摘要] 随着勘探程度的加深, 松辽盆地北部增储上产的难度逐渐加大, 其主力源岩层嫩一段排烃特征及资源潜力的研究亟待加强。依据排烃门限理论, 利用生烃潜力法对松辽盆地北部嫩一段源岩排烃特征进行详细研究并对其资源潜力进行了评价。研究表明, 嫩一段源岩排烃门限深度为 1000m, 在 1450m 达到最大排烃速率 38.35mg/(g·100m), 地质过程中累计排烃量为 $142.04 \times 10^8 \text{t}$, 主要排烃期为明水组 and 泰康组沉积时期, 嫩一段源岩远景资源量为 $56.8 \times 10^8 \sim 85.2 \times 10^8 \text{t}$, 平均为 $71.0 \times 10^8 \text{t}$ 。因此, 嫩一段作为松辽盆地主力源岩层具有良好的资源勘探潜力, 齐家古龙凹陷和三肇凹陷 2 个排烃中心周围区域具有很大的勘探潜力。

[关键词] 松辽盆地北部; 嫩江组一段; 排烃特征; 排烃门限; 资源评价

[中图分类号] TE122.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-9752 (2008) 03-0024-05

松辽盆地是典型的中、新生代断-拗型盆地。松辽盆地北部是指松花江以北的广大地区, 勘探面积 $11.95 \times 10^4 \text{km}^2$, 共划分了 5 个一级构造单元和 24 个二级构造单元^[1]。前人研究表明^[1], 嫩江组一段 (简称嫩一段) 是松辽盆地北部最主要的烃源岩层之一, 但目前针对该烃源岩层排烃特征的研究还不够深入, 随着盆地勘探程度的加深, 油田勘探已从构造油气藏转向隐蔽油气藏, 因此加强嫩一段烃源岩排烃特征及其资源潜力的研究, 对于盆地地下油气勘探具有重要的意义。

烃源岩排烃特征是进行盆地油气地质研究的重要内容, 研究方法归纳起来主要有: 有机质干酪根类型法^[2]、有机质成熟度指标参数法^[3~6]、以有机质热压生烃物理模拟实验为基础的模拟实验法^[7~13]、以有机质地化参数为基础的计算机数值模拟法^[14~16]和盆地模拟法^[17~19]、以化学反应过程为基础的化学动力学法^[20]、以干酪根无效碳守恒为基础的物质平衡方法^[21,22]和以排烃门限理论^[23,24]为基础的生烃潜力法^[25]。其中, 生烃潜力法^[25]是建立在烃源岩大量热解资料的基础上, 所需计算参数少, 受研究者研究水平影响较小, 以此计算结果进行盆地油气资源评价可靠性更高。

排烃门限理论^[23,24]将源岩的生、排烃机理与物质平衡原理相结合, 揭示了生烃作用、残留烃作用和排烃作用与源岩排烃临界条件的相互关系, 利用排烃门限理论建立起科学的“有效源岩”概念。近年来, 排烃门限理论广泛应用于盆地烃源岩排烃特征及排烃历史的研究, 对盆地的油气勘探作出了贡献^[23~25]。从排烃门限概念引出了生烃潜力法^[25], 该方法依据物质守恒原理, 认为源岩中有机质在生排烃前后总质量不变, 因此可以通过研究源岩生烃潜力 ($S_1 + S_2$) 在沉积剖面上的变化规律来研究源岩排烃特征。

1 嫩一段源岩分布及地球化学特征

根据松辽盆地北部 406 口探井录井资料, 对嫩一段源岩厚度 (暗色泥岩和油页岩) 进行了统计, 可

[收稿日期] 2008-02-04

[基金项目] 国家重点基础研究发展计划 (“973”计划) 项目 (2006CB202300)。

[作者简介] 马中振 (1980-), 男, 2003 年大学毕业, 博士生, 现主要从事油气成藏机理与分布工作。

以看出松辽盆地北部嫩一段源岩主要以暗色泥岩为主，古 11 井和徐 23 井处暗色泥岩厚度占层段总厚度甚至超过 95%（见表 1），而油页岩厚度相对较薄，因此研究中将暗色泥岩和油页岩合在一起作为嫩一段烃源岩进行排烃特征研究。

表 1 松辽盆地北部典型井嫩一段源岩分布特征

凹陷	井名	层厚 /m	暗色泥岩厚 /m	暗色泥岩 最大单层厚/m	油页岩厚 /m	泥地比 /%	页地比 /%
齐家古龙凹陷	古 11	120	114.47	65.12	5.53	95.39	4.61
三肇凹陷	徐 23	112	106.81	23.13	2.09	95.37	1.87
黑鱼泡凹陷	鱼 13	136.5	63.4	8.75	2.5	46.45	1.83
宾县-王府凹陷	双 32	143.5	47.79	6.5	10.61	33.30	7.39

从源岩厚度分布图上（图 1）可以看出嫩一段源岩主要分布在中央坳陷区（包括齐家-古龙凹陷、大庆长垣、三肇凹陷和黑鱼泡凹陷），其中又以齐家-古龙凹陷南部（古 11 井）和三肇凹陷中东部（徐 23 井）最大，最大可达 120m（表 1）；此外东南隆起区宾县-王府凹陷（双 32 井）也有局部分布，最大厚度达 47.8m。总体上，中央坳陷区源岩厚度变化平缓，基本都在 80m 以上；而中央坳陷区边界处源岩厚度变化剧烈，厚度从 80m 急剧减小到 0m。嫩一段源岩总有机碳含量（TOC）介于 0.5%~5% 之间，均值 2.4%，有机质类型以 I 和 II₁ 为主，镜质体反射率 R₀ 为 0.5%~1.05% 之间，演化程度中等，主要以生油为主，为松辽盆地最有利的烃源岩层之一^[1]。

2 松辽盆地北部嫩一段烃源岩排烃特征

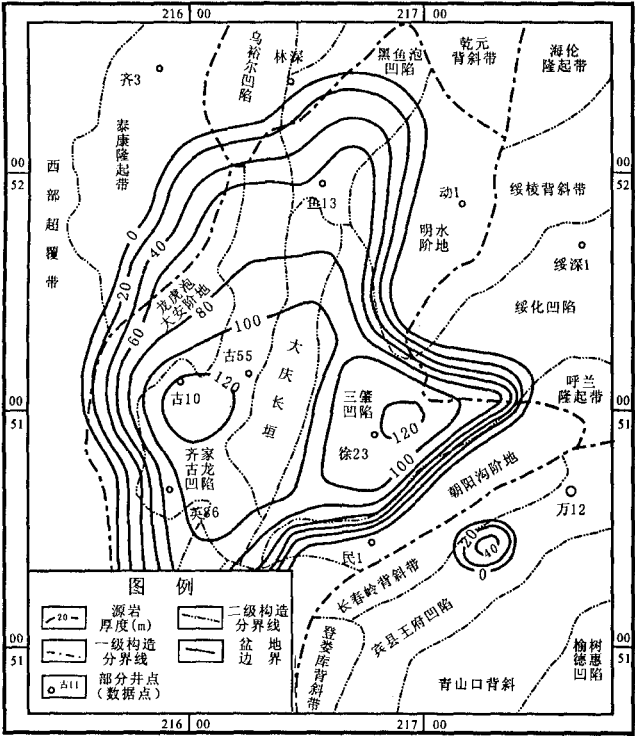


图 1 松辽盆地北部嫩一段现源岩厚度分布图

研究中，笔者收集松辽盆地北部 108 口探井嫩一段热解数据和有机碳数据共计 250 余个，建立嫩一段源岩生烃潜力指数演化剖面。从生烃潜力指数演化剖面（图 2（a））可以看出，生烃潜力指数在 1000m 深度处发生由大到小的转变，说明有烃类从源岩中排出，由此确定嫩一段源岩原始生烃潜力指数（ HCI_0 ）为 627mg/g（图 2（a）），排烃门限深度（ Z_0 ）为 1000m；依据嫩一段源岩生烃潜力指数演化规律，根据排烃率（ E_p ）定义 $E_p = HCI_0 - HCI_p$ （ HCI_p 为源岩现今生烃潜力指数），求取不同深度源岩排烃率值，进而求取源岩排烃速率和排烃效率。从源岩排烃率图（图 2（b））上可以看出，嫩一段源岩进入排烃门限之后，排烃速率缓慢增加，进入 1450m 之后排烃率增加加快，在 1750m 以后，排烃率增长再次变缓；从源岩排烃速率图（图 2（c））可见，源岩在 1450m 处排烃速率（100m 深度范围内单位有机碳排烃量）最大为 38.5mg/（g·100m）；由此可以确定嫩一段源岩排烃高峰深度为 1450m；从排烃效率图（图 2（d））可见，进入排烃门限之后，源岩排烃效率开始增加缓慢，深度增加到 1450m 之后，排烃效率开始快速增加，深度进入 1750m 之后，排烃效率增加又开始变慢，到 2500m 深度时烃源岩排烃效率可达 53.8%。

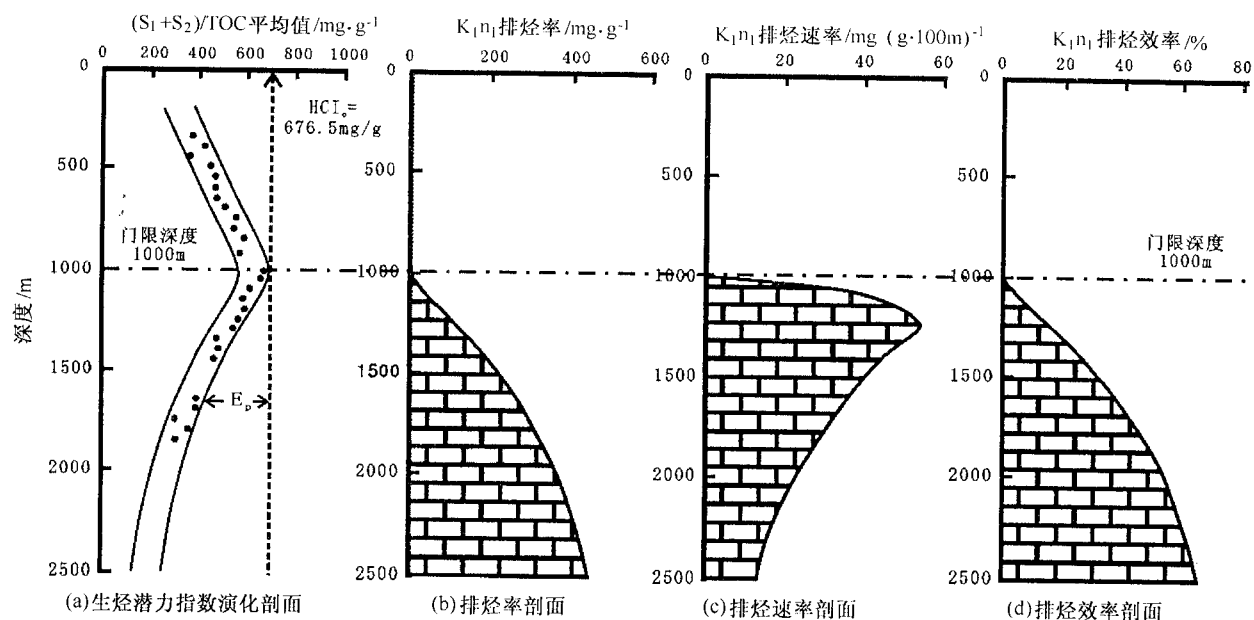


图 2 嫩江组一段烃源岩排烃模式图

研究松辽盆地北部探井单井埋藏史,依据排烃门限深度 ($Z_0 = 1000\text{m}$),采用地层回剥的方法,逐井统计不同地质时期排烃门限深度以下源岩厚度,得到不同地质时期有效烃源岩分布,结合嫩一段有机碳、不同地质时期有效源岩厚度、排烃率和岩石密度等数据,根据下述公式计算得到嫩一段各时期排烃强度图 (图 3)。

$$E_{hc} = \int_{Z_0}^Z 10q_e(z) \cdot H \cdot \rho(z) \cdot \text{TOC} \cdot dz$$

式中, E_{hc} 为排烃强度, t/km^2 ; Z 为埋深, m ; Z_0 为排烃门限深度, m ; $q_e(z)$ 为单位有机碳排烃率, mg/g ; $\rho(z)$ 为深度 Z 时烃源岩密度, g/cm^3 ; TOC 为有机碳百分含量, %; H 为有效源岩厚度, m 。

从图 3 可以看出,在嫩江组末期 (K_1n_5 , 图 3 (a)),齐家-古龙凹陷中部和三肇凹陷中部源岩进入排烃门限,形成两个排烃中心;之后在四方台组末期 (K_2s , 图 3 (b))排烃范围扩大,但排烃中心依旧位于齐家-古龙凹陷中部和三肇凹陷中东部;明水组时期 (K_2m_1 , 图 3 (c); K_2m_2 , 图 3 (d))排烃范围继续扩大,除前面 2 个排烃中心外,在齐家-古龙凹陷南部又出现了一个排烃中心;此后泰康组 (Nt , 图 3 (e))时期除排烃范围继续扩大,排烃中心基本没发生改变;至现今 (图 3 (f))源岩排烃范围继续扩大,排烃主要集中在中央拗陷区,存在齐家-古龙凹陷和三肇凹陷 2 个排烃中心。

对源岩不同时期排烃强度进行面积积分,得到源岩不同地质时期排烃量 (图 4),可以看出虽然嫩一段源岩嫩江组沉积末期 (K_1n_5) 就开始向外排烃,但在四方台组沉积结束 (K_2s) 以前,嫩一段源岩排烃量很少,直到进入明水组沉积时期嫩一段源岩排烃量才急剧增加,进入排烃高峰时期,这一高峰时期一直持续到泰康组末期,随后排烃量开始减小,至现今累计排烃量已达到 $142.04 \times 10^8 \text{t}$ 。

3 潜力评价

根据排烃量计算结果,结合前人研究成果^[1],将松辽盆地北部嫩江组一段烃源岩的聚集系数选定为 40%~60%,据此计算出松辽盆地北部嫩一段烃源岩远景资源量介于 $56.8 \times 10^8 \sim 85.2 \times 10^8 \text{t}$,平均为 $71.0 \times 10^8 \text{t}$,整体上具有较大的资源潜力,尤其是齐家-古龙凹陷和三肇凹陷 2 个排烃中心,源岩有机质类型好,厚度大,排烃强度大,此排烃中心周围区域具有很大的勘探潜力。

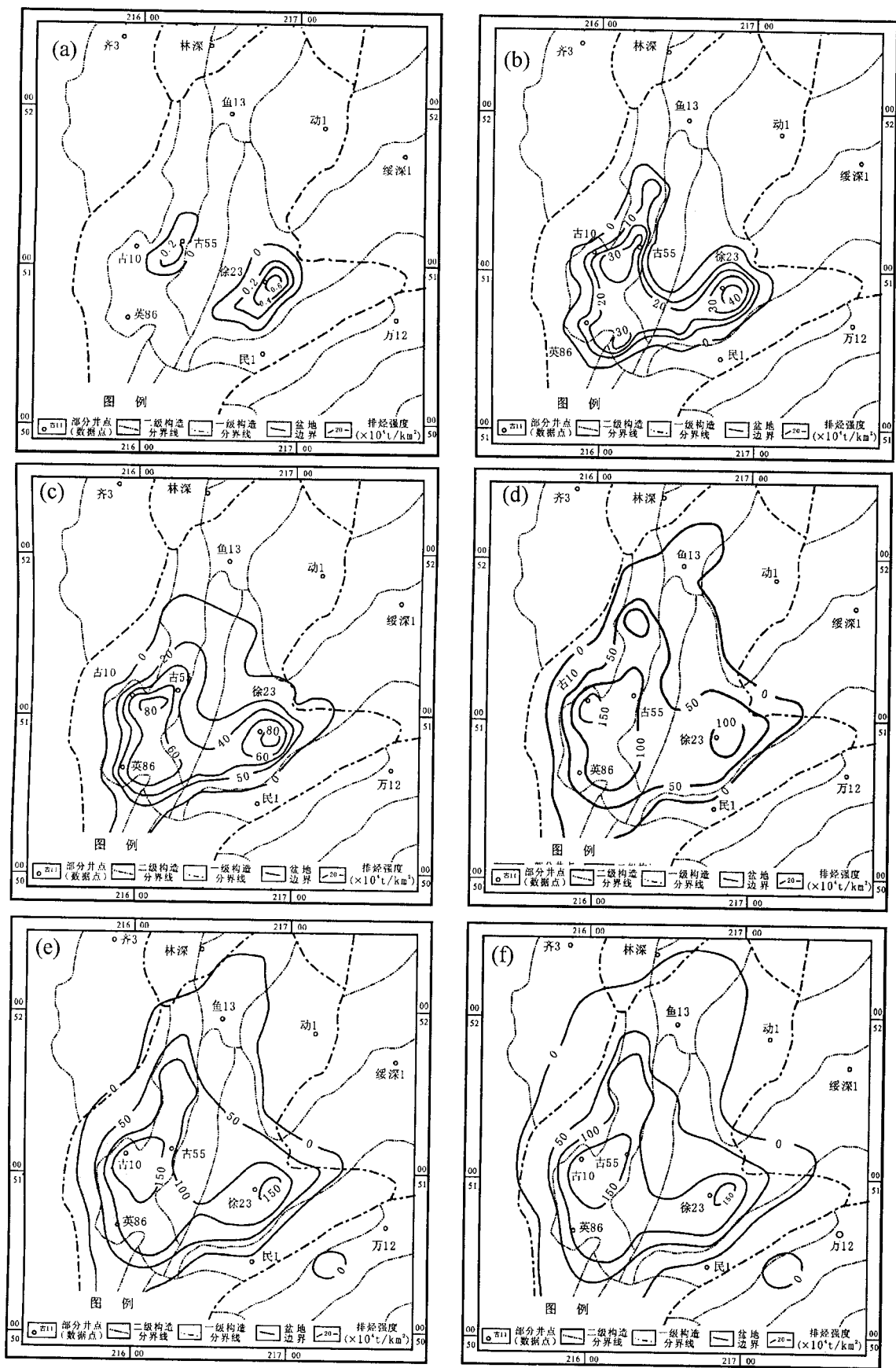


图 3 不同地质历史时期排烃强度图

[参考文献]

- [1] 王志武, 杨继良, 高瑞祺. 中国石油地质志卷二——大庆、吉林油田 (上册) ——大庆油田 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1991, 55~217.
- [2] Pepper A S. Estimating the petroleum expulsion behavior of source rocks: a novel quantitative approach [A]. William A, England Andrew J. eds. Petroleum migration [C]. Geological Society Special Publication; 1991, 9~32.
- [3] 何文祥, 文志刚, 孙臻敬. 渤东凹陷 PL2-2-1 井区烃源岩生排烃门限研究 [J]. 江汉石油学院学报, 2004, 26 (2): 11~12.
- [4] 陈中红, 查明. 东营凹陷烃源岩排烃的地质地球化学特征 [J]. 地球化学, 2005, 34 (1): 79~85.
- [5] 张文正, 杨华, 李剑锋 等. 论鄂尔多斯盆地长 7 段优质油源岩在低渗油气成藏富集中的主导作用 [J]. 石油勘探与开发, 2006, 33 (3): 289~293.
- [6] 王永卓, 徐景祯. 柴北缘中、下侏罗统生、排烃史模拟 [J]. 石油勘探与开发, 2003, 30 (1): 49~52.
- [7] Lewan M D, MacDonald J H, MacDonald J H. Generation of Oil-like pyrolyzates from organic-rich shales [J]. Science, 1979, 203: 897~899.
- [8] Saxby J D, Bennet A Jr, Corcoran J F, et al. Petroleum generation: simulation over six years of hydrocarbon formation from torbanite and brown coal in a subsiding basin [J]. Organic Geochemistry, 1986, 12 (9): 69~81.
- [9] Monthieux N, Landais P, Durand B. Comparison between extracts from natural and artificial maturation series of Mahakam Delta coals [J]. Organic Geochemistry, 1986, 10 (5): 29~311.
- [10] Tissot B P, Pelet R, Ungerer P. Thermal history of sedimentary basins, maturation indices and kinetics of oil and gas generation [J]. AAPG Bulletin, 1987, 71 (12): 1445~1466.
- [11] Iglinton T I, Rowland S J, Rowland S J. Release of aliphatic, aromatic and sulphur compounds from Kimmeridge Kerogen by hydrous pyrolysis: a quantitative study [J]. Organic Geochemistry, 1988, 13 (4): 655~663.
- [12] Sweeney J J. Chemical kinetics model of hydrocarbon generation, expulsion, and destruction applied to the Maracaibo Basin, Venezuela [J]. AAPG Bulletin, 1995, 79 (10): 1515~1532.
- [13] Barth T, Borgund A E, Hopland A L. Generation of organic compounds by hydrous pyrolysis of Kimmeridge oil shale-bulk results and activation energy calculations [J]. Organic Geochemistry, 1989, 14 (6): 69~76.
- [14] 顾惠荣, 李纯洁, 叶加仁. 东海西湖凹陷中央背斜带生排烃史模拟 [J]. 海洋石油, 2001, 109: 16~21.
- [15] 叶加仁, 顾惠荣. 东海西湖凹陷浙东中央背斜带烃源岩生排烃史研究 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21 (3): 75~80.
- [16] 石广仁. 油气盆地数值模拟方法 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1994, 47~85.
- [17] 秦承志. 辽河盆地生烃史的数值模拟 [J]. 西安石油学院学报 (自然科学版), 2003, 18 (5): 17~22.
- [18] 柳广弟, 郝石生. 鄂尔多斯地区古生界生烃史和排烃史的模拟 [J]. 石油大学学报 (自然科学版), 1996, 20 (1): 13~18.
- [19] 王晓红, 石广仁, 李晋超. 油气盆地生烃排驱的组分法数值模拟研究 [J]. 石油勘探与开发, 1995, 22 (1): 16~19.
- [20] 卢双舫, 徐立恒, 申家年 等. 富台油田成藏期与生排烃期的匹配关系 [J]. 新疆石油地质, 2006, 27 (3): 270~272.
- [21] 陈中红, 查明, 金强. 东营凹陷生 38 井沙河街组烃源岩生排烃评 [J]. 地质科学, 2004, 39 (3): 356~366.
- [22] 肖丽华, 孟元林, 高大岭 等. 地化录井中一种新的生、排烃量计算方法 [J]. 石油实验地质, 1998, 20 (1): 98~101.
- [23] 庞雄奇. 排烃门限控油气理论及应用 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1995, 8~88.
- [24] 庞雄奇, 陈章明, 陈发景. 排油气门限的基本概念、研究意义与应用 [J]. 现代地质, 1997, 11 (4): 510~520.
- [25] 周杰, 庞雄奇. 一种生、排烃量计算方法探讨与应用 [J]. 石油勘探与开发, 2002, 29 (1): 24~27.
- [26] 庞雄奇, 李素梅, 金之钧, 等. 排烃门限存在的地质地球化学证据及其应用 [J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2004, 29 (4): 384~390.

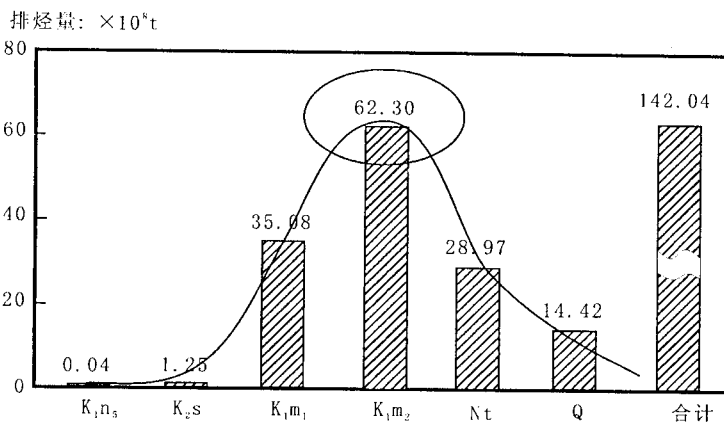


图 4 松辽盆地北部嫩江组一段不同地质历史时期排烃量