松辽盆地北部埋藏历史对大庆长垣油藏成藏的控制

辛仁臣[1,2]，蔡希源[3]

1. 中国地质大学海洋地学研究中心，北京 100083
2. 石油大学石油与天然气成藏机理教育部重点实验室，北京 102249
3. 中国石油化工集团公司西北石油勘探指挥部，新疆乌鲁木齐 830000

摘要：利用 890 余口钻井资料，综合应用埋藏历史、盆地数值模拟、成藏年代学研究方法，查明了松辽盆地北部埋藏历史对大庆长垣油藏成藏过程的控制. 松辽盆地北部普遍经历了 3 次沉降、2 次抬升. 青山口组到嫩江组、四方台组到明水组、新第三系泰康组到第四系沉积时期，构成 3 次沉降，其中以嫩江组沉积后期(嫩三～五段沉积时期)和明水组沉积时期沉积速率最大，分别达 160 m/Ma 和 180 m/Ma. 而 2 次区域抬升分别发生于嫩江组沉积后和明水组沉积后，大庆长垣背斜构造主要是在这 2 次构造抬升过程中形成的. 青山口组主力烃源岩具有漫长的生排油历史，而且生排烃过程与构造活动及圈闭增长过程在时间和数值上具有良好的匹配关系. 在 73 Ma 左右和 65～40 Ma 之间为大庆长垣油藏的成藏高峰期. 盆地沉降过程是油气生成量积累的过程，盆地抬升、构造定型阶段是油气排出和成藏高峰期.

关键词：埋藏历史；生油；排油；成藏过程；松辽盆地.
中图分类号：P618.130 **文章编号**：1000－2383(2004)04－0457－04 **收稿日期**：2004－03－18

Controls of Buried History on Oil Accumulation Processes in Daqing Placanticline of Northern Songliao Basin

XIN Ren-chen[1,2], CAI Xi-yuan[3]

1. *Institute of Marine Geology and Geophysics, China University of Geosciences, Beijing* 100083, *China*
2. *Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation Mechanism, University of Petroleum, Ministry of Education, Beijing* 102249, *China*
3. *Headquarter of Prospect for Oil and Gas of Western New Developed Area, SINOPEC, Urumqi* 830000, *China*

Abstract: Based on data of more than 890 drilling wells, the controls of buried history on oil accumulation processes in the Daqing placanticline of northern Songliao basin have been elaborated by means of basin simulation and dating technique of oil reservoir. Northern Songliao basin had been undergone 3 subsidences and 2 uplifts. Duration of 3 subsidences are, respectively, Qingshankou-Nenjiang, Sifangtai-Mingshui and Tertiary-Quaternary periods, of them, during the periods, the biggest depositional rates with respectively 160 m/Ma and 180 m/Ma occur at Late Nenjiang and Mingshui periods. 2 uplifts respectively betided on the end of Nenjiang and Mingshui periods, which results in the formation of the Daqing placanticline. The oil generation and expulsion of the major source rocks of Qingshankou Formation maintain for a very long period, which started from about 77.4 Ma, and matched well with tectonic activity and formation of trap. The results indicate that two oil accumulation peaks occur respectively about 73 Ma and 65－40 Ma, which are in agreement with the processes of basin uplifts and structure formation.

Key words: buried history; oil generation; oil expulsion; process of oil accumulation; Songliao basin.

松辽盆地位于中国东北部，总面积逾 287×10^3 km^2，呈北北东向展布，基底为古生代和前寒武纪的变质岩系及火成岩系；沉积盖层主要由中、新生代碎屑沉积岩系组成，最大厚度逾万 m. 中生代地层

基金项目：国家重点基础研究发展规划“973”项目“中国典型叠合盆地油气形成富集与分布预测”(No. G19990433).
作者简介：辛仁臣(1964－)，男，副教授，主要从事油气地质、沉积学、层序地层学方向的研究. E-mail: Xinrenchen@263.net

自下而上发育有火石岭组、沙河子组、营城组、登娄库组、泉头组、青山口组、姚家组、嫩江组、四方台组及明水组. 火石岭组、沙河子组、营城组为断陷构造层,登娄库组为断坳转化阶段沉积,其上为坳陷构造层. 泉头组二段以下为深部含油气组合,泉头组三四段为下部含油气组合,青山口组—嫩江组一段为中部含油气组合,嫩江组二段以上为浅部含油气组合. 大庆长垣油藏的主力产层为坳陷构造层中部含油气组合. 在青山口组一段沉积时期的海侵影响下,松辽盆地进入大型深水坳陷湖盆阶段,并形成了大面积优质烃源岩层. 在坳陷构造层,松辽盆地划分为西部斜坡区、北部倾没区、中央坳陷区、东北隆起区、东南隆起区和西南隆起区 6 个一级构造单元(大庆油田石油地质志编写组,1993;高瑞祺和蔡希源,1997;高瑞祺等,1994). 中央坳陷区是松辽盆地油藏赋存的主要区域,大庆长垣是中央坳陷区的巨型凹中隆起,具有优越的油藏形成条件.

1 埋藏历史

利用 890 余口钻井资料,采用回剥方法(李泰明,1989; Allen and Allen, 1990;石广仁,1994;刘翠荣和陈发景,1996)计算的埋藏史研究结果表明,从青山口组沉积开始,大庆长垣及其邻区普遍经历了 3 次沉降、2 次抬升,不同地区埋藏历史有所差异,这种埋藏历史的差异是导致大庆长垣油气高丰度聚集的主要动力学原因之一.

1.1 龙虎泡阶地

龙虎泡阶地,青山口组到嫩江组为持续沉降,接受沉积过程,嫩江组沉积后,构造抬升较为强烈,地层剥蚀厚度大,剥蚀厚度普遍在 100 m 以上. 明水组沉积后,该区大部分地带连续沉积了依安组. 依安组沉积后,构造再次抬升,地层遭受剥蚀. 该区依安组剥蚀厚度在 100 m 左右,从泰康组沉积开始直到现今,再次发生连续的埋藏过程(图 1a).

由此可见,龙虎泡地区嫩末的构造抬升较齐家—古龙地区强烈,而明末的构造抬升相对较弱,且再次连续埋藏发生的时间要比齐家—古龙地区早.

1.2 齐家—古龙凹陷

齐家—古龙地区,从青山口组沉积开始直到嫩江组沉积末,表现为连续埋藏过程,到嫩末青山口组底界埋深达 1 640 m. 嫩江组沉积末到四方台组沉积

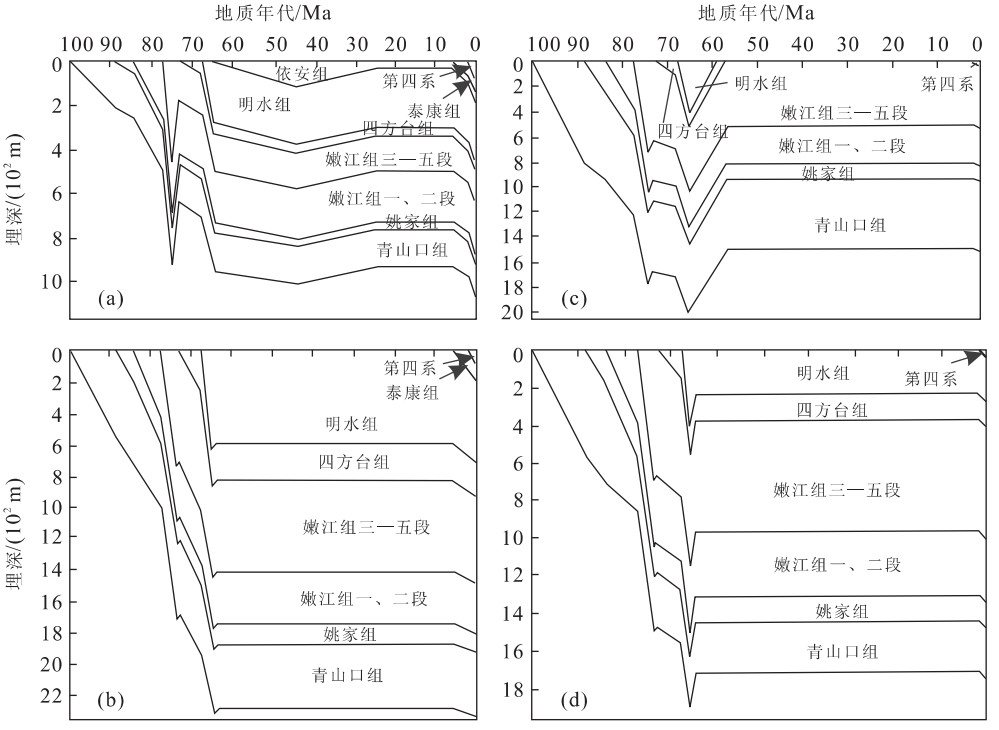

图 1 松辽盆地不同地区埋藏历史

Fig. 1 Buried histories in different areas of Songliao basin

a. 龙虎泡大安阶地(杜 408 井);b. 齐家—古龙凹陷(金 20 井);c. 大庆长垣(杏 4 井);d. 三肇凹陷(芳深 4 井)

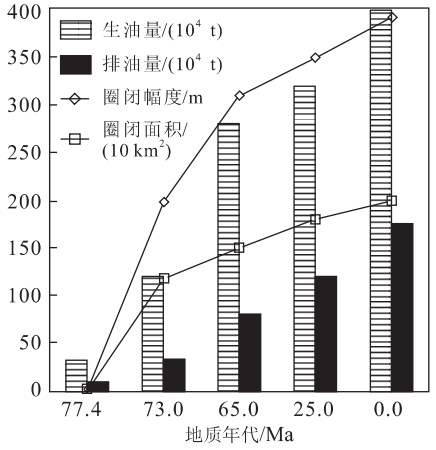

图 2　大庆长垣地区生排油量与圈闭生长过程匹配关系

Fig. 2　Match relationship between processes of oil generation-expulsion and structure trap growth of Daqing placanticline oil-accumulation system

前,该区发生抬升,但抬升幅度较小,地层遭受轻微剥蚀,嫩江组五段剥蚀厚度 20～60 m 不等. 从四方台组沉积开始到明水组沉积末,该区再次发生连续的沉积埋藏过程,明末,青山口组底界埋藏深度达 2 320 m. 明水组沉积后,直到泰康组沉积前,该区再次抬升,长期处于暴露或剥蚀状态,剥蚀厚度 30～230 m 不等. 泰康组沉积开始直到现今,再次发生连续沉积埋藏过程(图 1b).

1.3　大庆长垣

大庆长垣地区在青山口组到明水组沉积时期的埋藏路径与齐家－古龙凹陷基本相同,但嫩江组沉积末期的构造抬升较强,嫩五段的剥蚀厚度在 100 m左右,四方台组到明水组沉积时期,该区发生了连续的再埋藏过程,明水组沉积末期,达到最大埋深,青山口组底界埋深达 2 000 m. 但明水组沉积后,直到第四系沉积前该区发生了强烈的构造抬升,长期处于剥蚀状态,致使四方台组、明水组地层剥蚀殆尽,被剥蚀的地层厚度近 500 m(图 1c). 大庆长垣这一巨型背斜构造主要是由这 2 期构造抬升所形成的.

1.4　三肇凹陷

三肇地区从青山口组沉积开始也经历了 3 期持续埋藏和 2 期构造抬升过程. 但埋藏和构造抬升幅度均相对较小,嫩江组沉积末期,青山口组底界的埋藏深度在 1 580 m,嫩末构造抬升,地层遭受剥蚀,嫩五段的剥蚀厚度在 20～60 m 之间,四方台组到明水组沉积时期为连续的再埋藏过程,在明末达到最大埋深,青山口组底界的埋藏深度为 1 880 m,明末到第四系沉积前,发生构造抬升,地层遭受剥蚀,但地层剥蚀厚度一般小于 200 m. 从第四系沉积开始,三肇地区发生再埋藏过程(图 1d).

2　生排油历史定量过程

利用 890 余口井的数据库资料,模拟计算大庆长垣不同地质历史时期的生排油量,计算结果见表 1.

青一段烃源岩早在嫩江组二段沉积末期(77.4 Ma)就进入生油窗,齐家－古龙凹陷的大部分地带青一段的 R_o 值达到 0.5%以上,三肇凹陷局部也达到成熟. 但总的生烃强度及生烃量相对较小,生烃强度最大值在 120×10^4 t/km^2,最小值不足 20×10^4 t/km^2,生烃强度的高值区位于齐家－古龙凹陷的深部位. 研究单元内的累积生油量为 32×10^8 t,排烃强度平均不足 20×10^4 t/km^2,且具排烃能力的烃源岩主要分布于齐家－古龙凹陷的中央地带,总排烃量仅 8×10^8 t.

到嫩江组沉积末期(73 Ma),烃源岩热成熟度进一步增高,齐家－古龙凹陷大部分地带青一段 R_o 值在 0.7%以上,且三肇凹陷及大庆长垣地带青一段 R_o 值普遍在 0.5%以上. 烃源岩进入生油高峰期,在齐家－古龙凹陷内最大生油强度达 350×10^4 t/km^2,平均生油强度 150×10^4 t/km^2,累计生油量 120×10^8 t. 排烃强度较前期显著增长,最大排烃油强度增加到180×10^4 t/km^2,平均排油强度达

表 1　大庆长垣聚油系统内不同地质时间累积生排油量

Table 1　Data of oil generation and expulsion at different geological times of Daqing placanticline oil-accumulation system

地质时间/Ma	R_o/%	生烃强度/(10^4 t·km^{-2})		排烃强度/(10^4 t·km^{-2})		总生烃量/(10^8 t)	总排烃量/(10^8 t)
		最大值	平均值	最大值	平均值		
77.4	0.5－0.6	120	40	30	10	32	8
73	0.5－0.8	350	150	180	40	120	32
65	0.9－1.4	900	400	350	150	320	120
0	1.0－1.4	1 000	500	400	220	400	176

40×10^4 t/km^2，总排油量达 32×10^8 t 左右.

从嫩江组沉积末期(73 Ma)到明水组沉积末期(65 Ma)为烃源岩有机质热成熟度持续增长阶段，到 65 Ma，青一段 R_o 值普遍在 0.6%以上，在齐家—古龙凹陷 R_o 最大值达 1.1%. 73～65 Ma 是烃源岩的生油高峰阶段. 生油强度最大值达 900×10^4 t/km^2，平均生油强度达 400×10^4 t/km^2，累计总生油量达 320×10^8 t. 排油强度的最大值在 350×10^4 t/km^2 左右，平均排油强度值达 150×10^4 t/km^2 左右，总排油量达 120×10^8 t.

现今，齐家—古龙凹陷和三肇凹陷青一段有机质 R_o 值普遍在 1.1 以上，处于凝析油、湿气阶段，但青一段之上的生油岩有机质成熟度进一步增高，导致总生油强度有所增强. 目前，研究单元内最大累计生油强度为 $1\ 000\times10^4$ t/km^2，平均累计生油强度在 500×10^4 t/km^2，总生油量达 400×10^8 t. 排油强度最大值达 400×10^4 t/km^2，排油强度平均值约为 220×10^4 t/km^2，总排油量达 176×10^8 t.

3 成藏要素的时空配置关系

大庆长垣地区长期大规模发育青一段深湖—半深湖暗色泥岩，青二、三段前三角洲及深湖—半深湖暗色泥岩和嫩江组一、二段深湖—半深湖暗色泥岩及姚二、三段前三角洲、深湖—半深湖暗色泥岩，这些生油岩厚度大、有机质丰度高，以Ⅰ型和ⅡA型干酪根为主，生油量充足. 在孙吴—双辽基底断裂带控制下，沿盆地长轴方向长期发育的河流三角洲体系，在坳陷中央地带形成丰富的青二、三段及姚家组砂岩储层，为油气藏形成提供了储集空间. 嫩江组一、二段巨厚的暗色泥岩覆盖于砂岩储层之上，形成良好的封盖条件. 河流三角洲长期发育部位与大庆长垣背斜构造基本吻合，而且青山口组主力烃源岩具有漫长的生油历史，生排烃过程与构造活动及圈闭增长过程在时间和数值上具有良好的匹配关系(图 2)，从而形成了生、储、盖、圈、生、运、聚等成藏要素间有效的匹配关系.

4 成藏年代及成藏序列

采用以储层自生矿物年代学分析法(王飞宇等，1998)为主，与其他方法相结合的综合分析方法得出的成藏年代及成藏序列研究结果表明，大庆长垣地区具有岩性构造油藏早，构造油藏成藏晚的成藏规律. 位于大庆长垣南部的岩性构造成藏年龄均在 77.4～73 Ma 之间，而位于大庆长垣北部的喇嘛甸、萨尔图、杏树岗油藏成藏年龄均在 65～40 Ma 之间，本文采用数值模拟方法，对这一结论进行了验证. 在 74 Ma，岩性—断层油藏基本形成，到 60 Ma，构造油藏基本形成.

5 埋藏历史对成藏过程的控制

大庆长垣油气藏存在 2 个主要的成藏期. 一是嫩江组沉积末期，即 73 Ma 左右；另一是明水组沉积期后，即 65～40 Ma 之间. 这 2 期成藏事件的发生均与前期快速埋藏、有机质加速成熟、生排烃量显著增加和后期构造抬升关系十分密切(图 3).

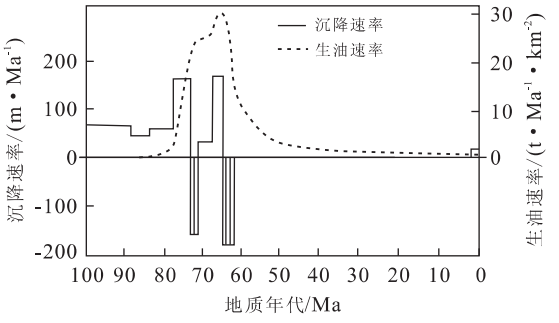

图 3 地质历史时期大庆长垣地区沉降速率与生油速率

Fig. 3 Velocities of subsidence and oil generation in geological histroy of Daqing placanticline oil-accumulation system

References

Allen, P. A., Allen, J. R., 1990. Basin analysis: Principles and applications. British Petroleum Company, London, 263—281.

Compiling Group of Petroleum Geology of Daqing Oilfield, 1993. Petroleum geology of China (Vol. 2: Daqing Oilfield). Petroleum Industry Press, Beijing, 79—307 (in Chinese).

Gao, R. Q., Zhang, Y., Cui, T. C., 1994. Cretaceous petroleum stratigraphy of Songliao basin. Petroleum Industry Press, Beijing, 11—47 (in Chinese).

Gao, R. Q., Cai, X. Y., 1997. The formation conditions and distribution of oil and gas pools of Songliao basin. Petr-

(下转 472 页)