

文章编号: 1001-6112(2006)04-0350-09

# 羌塘盆地有机质热演化与成烃史研究

秦建中

(中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151)

**摘要:**对青藏高原羌塘盆地中生界 7 000 多块样品的分析数据进行筛选和综合研究可知, 侏罗系烃源岩在羌塘盆地中部尚处于成熟生油阶段, 向四周成熟度逐渐增高; 上三叠统肖茶卡组烃源岩几乎全部处于高成熟—过成熟, 成熟生油范围已经很小。羌塘盆地有机质成熟度主要受古地温、构造变形程度和火成岩及深成热流的控制。盆地中部及东部主要受最高古地温或最大古埋藏深度的影响; 盆地断裂或褶皱带附近及其盆地边缘主要受强烈不均衡压力的影响; 而在盆地西部, 基底断裂带的深成地下热流可能是主要影响因素。盆地中部具有 2 次(或 3 次)主要生烃过程(侏罗纪晚期—白垩纪早期与第三系沉积时期), 特别是新近纪中新世早期至中新世后期, 侏罗系烃源层的生烃过程对油气藏勘探更为有利。

**关键词:**中生界; 有机质成熟度; 成烃史; 羌塘盆地

**中图分类号:** TE122.1

**文献标识码:** A

烃源层有机质热演化程度是油气勘探的一个重要条件。由于羌塘盆地海相碳酸盐岩的特殊性, 供研究的又是地表样品, 给烃源层有机质热演化研究带来许多困难<sup>[1~7]</sup>。通过对 7 762 个样品  $R_o$ 、 $T_{max}$ 、包裹体均一温度等项目实验数据的整理、分析和筛选, 对羌塘盆地不同地区有机质热演化程度进行了研究。尽管中生界烃源岩有机质由新到老成熟度多逐渐增高, 但是, 部分地区纵向上变化不明显, 尤其是从盆地中心向四周成熟度逐渐增高, 这与正常湖泊或海相盆地中部向四周由于地层变薄成熟度逐渐降低的规律相矛盾<sup>[8]</sup>, 针对这个问题本文还对羌塘盆地有机质成熟生烃过程、二次生烃作用、主要控制因素和生烃演化史进行了探讨。

## 1 纵向演化特征

根据羌塘盆地构造单元划分及其特点, 分别对南、北羌塘坳陷不同层位有机质热演化程度进行了研究<sup>[8]</sup>。

### 1.1 南羌塘坳陷

南羌塘坳陷以东部安多 114 道班等剖面为例, 随地层由新到老或古埋藏深度由浅到深其有机质热演化程度逐渐升高。 $E_3s-J_3s$ (渐新统沙河街组—上侏罗统索瓦组) 烃源层正处于成熟阶段;  $J_2x-J_2b$ (中侏罗统夏里组—布曲组) 烃源层处于成熟—高成熟阶段;  $J_2q-T_3x$ (中侏罗统雀莫错组—上三叠统肖茶卡组) 烃源层已经处于高成熟—过成熟阶段。

镜质体反射率  $R_o$  或沥青反射率  $R_b$  都随地层累积厚度的增加而呈半对数的线性增加(图 1)。中生代与  $E_3s$  呈不连续性, 说明南羌塘坳陷东部土门凹陷内上侏罗统与古近系或新近系直接呈不整合接触。随着层位由新到老,  $R_o$  平均值和变化范围具有逐渐增大的趋势,  $R_o$  平均值由  $E_3s$  小于 1% 的成熟阶段增大到  $J_1q$ (下侏罗统曲色组)— $T_3x$  大于 2.5% 的过成熟阶段;  $E_3s-J_3s$  烃源岩  $R_o$  多小于 1.3%;  $J_2q-T_3x$  烃源岩  $R_o$  则几乎全部大于 1.3%, 多数大于 2%。有机质反射率主要有 3 组, 一组为低值带, 它可能是运移沥青的测定值; 第二组中值带是镜质体或原生沥青的测定值, 也可能是有机壳屑的测定值; 第三组为高值带, 它可能是半丝半镜或沥青的测定值。

南羌塘坳陷东部岩石热解峰温( $T_{max}$ )随地层累积厚度的增加而逐渐增大, 这与  $R_o$  的变化趋势相似。干酪根 H/C 原子比则随地层累积厚度的增加而逐渐减小, 干酪根类脂组和孢粉颜色逐渐加深(图 1)。 $E_3s-J_2b$  等烃源层绝大部分或大部分数据在成熟区内;  $J_2b-J_1q$  烃源层的大部分数据在高成熟区内; 而  $J_2q-T_3x$  烃源层绝大部分数据在过成熟区内(图 1)。

南羌塘坳陷东部  $J_2b-T_3x$  烃源层包裹体均一温度随地层累积厚度增加而增大, 温度从 110 °C 逐渐增大到 183 °C。运用方解石脉均一温度与埋深作线性回归分析, 其线性方程为:  $T=0.017183D+98.45$  ( $D$  为地层累积厚度)。包裹体均一温度与地

收稿日期: 2006-01-23; 修订日期: 2006-04-06。

作者简介: 秦建中(1957—), 男(汉族), 河北邯郸人, 教授级高级工程师, 主要从事石油地质和有机地球化学等领域研究工作。

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2005CB422102)。

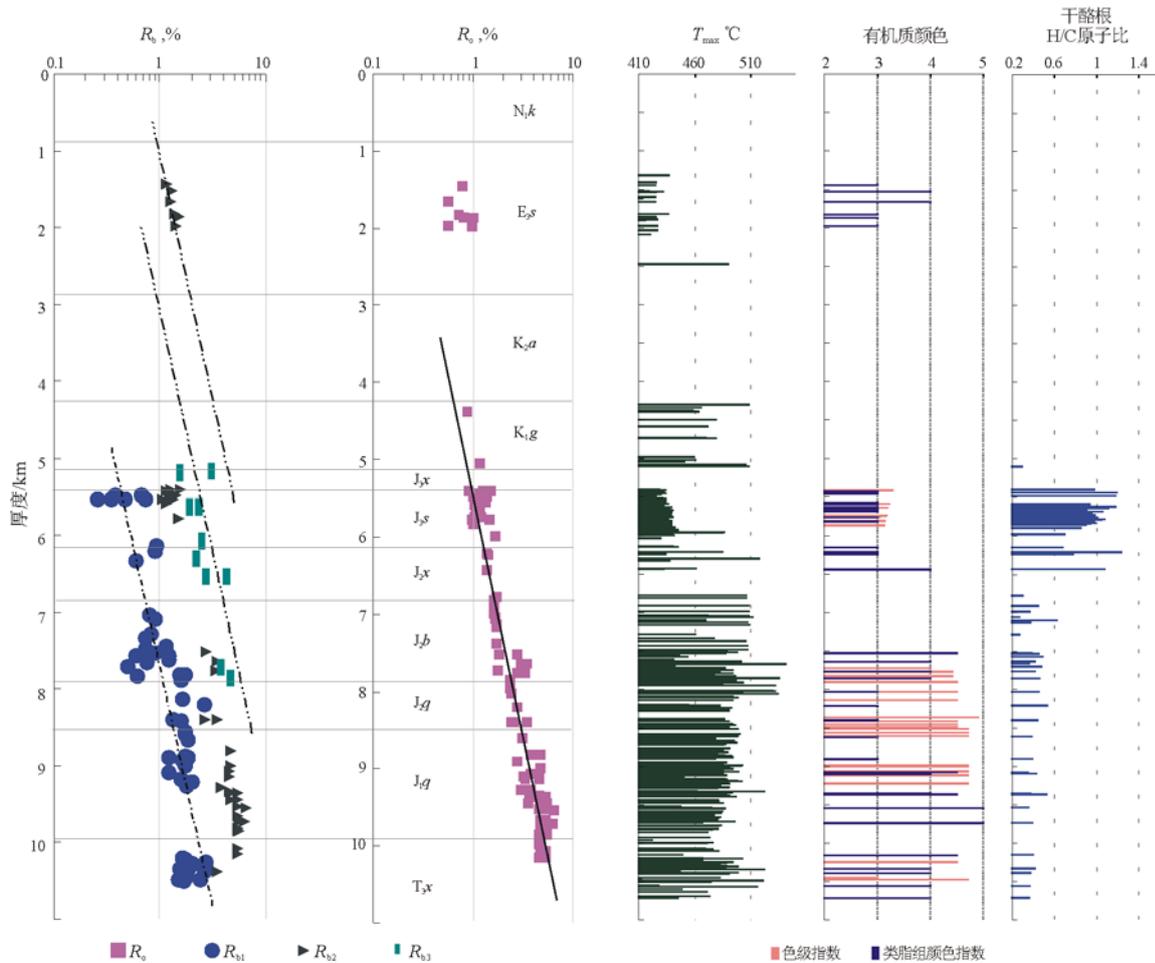


图 1 南羌塘拗陷东部中生界烃源岩有机质热演化参数随地层累积厚度变化规律

Fig. 1 Relationship between the parameters of organic matter's maturation in the Middle Cenozoic source rocks and the cumulative depth of stratum in the east of South Qiangtang Depression

层累积厚度的线性方程显示出该剖面  $J_2b-T_3x$  古地温梯度为每百米  $1.72\text{ }^\circ\text{C}$ 。

南羌塘拗陷东部  $N_1k$  (中新统康托组) 磷灰石裂变径迹平均年龄为  $38\sim 51\text{ Ma}$  (达卓玛剖面), 推测古地温不超过  $60\sim 70\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $E_3s$  磷灰石裂变径迹年龄高达  $45\sim 80\text{ Ma}$ , 最高古地温也应在  $75\text{ }^\circ\text{C}$  以下;  $J_2x$  磷灰石裂变径迹年龄为  $55\text{ Ma}$ , 可能经历了退火作用, 推测最高古地温介于  $65\sim 125\text{ }^\circ\text{C}$  之间; 而  $J_2b-T_3x$  剖面磷灰石裂变径迹年龄明显小于地层年龄;  $J_2q$  古温度范围为  $105\sim 125\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $J_1q$  古温度应大于  $125\text{ }^\circ\text{C}$ 。  $T_3x$  裂变径迹是未退火的特征, 离开退火带的时间应在  $81\text{ Ma}$  以前, 最高古温度应在  $130\text{ }^\circ\text{C}$  以上, 根据裂变径迹退火的模式求得其古地温梯度为每百米  $1.58\sim 1.66\text{ }^\circ\text{C}$ 。

### 1.2 北羌塘拗陷

根据北羌塘拗陷中部和东部中生界烃源岩  $R_0$ 、 $T_{max}$ 、干酪根 H/C 原子比、类脂组颜色、包裹体均一温度等实验数据 (表 1) 综合分析可以得出, 北

羌塘拗陷中部  $J_3x$  (上侏罗统雪山组) —  $J_2b$  烃源岩多处于成熟阶段, 由新到老具有逐渐升高的趋势; 北羌塘拗陷东部  $J_3x-J_2q$  烃源岩几乎均处于高成熟阶段,  $T_3x$  烃源岩已经处于过成熟阶段, 由新到老逐渐升高的趋势并不明显; 北羌塘拗陷西部烃源层有机质的热演化程度随地层由新到老、古埋藏深度由浅到深而升高的趋势不太明显, 烃源岩几乎均处于高成熟—过成熟阶段。

## 2 平面变化特征

羌塘盆地侏罗系和  $T_3x$  烃源岩成熟度均从盆地中部向四周逐渐增高。侏罗系烃源岩由盆地中部的成熟中晚期生油阶段 → 高成熟 → 盆地边缘或断层带附近的过成熟干气阶段;  $T_3x$  烃源岩在盆地中部成熟生油范围已经很小, 多处于高成熟—过成熟阶段。

### 2.1 侏罗系烃源层

羌塘盆地中部 (南、北羌塘拗陷中东部) 上侏罗

表 1 北羌塘坳陷东部和中部烃源岩有机质热演化数据

Table 1 Data of organic matter's maturation of the source rocks in the east and center of North Qiangtang Depression

地区	代表剖面	时代	岩性	$R_o, \%$	$T_{max}/^{\circ}C$	孢粉颜色	H/C 原子比	成熟阶段
中部	东湖等	$J_3x$	泥岩、灰岩	1.07(9)	444(3)	棕黄—棕	1.07(3)	成熟
	东湖等	$J_3s$	灰岩、泥岩	1.12(15)	456(4)	棕黄—棕	0.61(6)	成熟
	洞错等	$J_2b$	灰岩	1.17(33)	465(13)	桔黄—褐色	0.71(15)	成熟—高成熟
东部	雀莫错等	$J_3x$	泥岩	1.53(3)	496(3)	黄棕	0.51	高成熟
	雀莫错等	$J_3s$	灰岩、泥岩	1.80(15)	481(35)	棕黄—黄棕	0.45(8)	高成熟—过成熟
	雀莫错等	$J_2x$	灰岩、泥岩	482(4)				高成熟
	雀莫错等	$J_2b$	灰岩	1.95(14)	485(40)	棕黄—褐黄	0.67(15)	高成熟—过成熟
	雀莫错	$J_2q$	灰岩	1.93	493	黄棕	0.5	高成熟
	明镜湖等	$T_3x$	泥岩	2.86(18)	529(22)	黄棕	0.37(13)	过成熟

注：表中数值意义为平均值(样品数)。

统  $J_3s$  烃源岩尚处于成熟生油阶段；中西部及东部处于高成熟凝析油湿气阶段；西部及南北断裂带附近则已经处于过成熟干气阶段(图 2)。

$R_o$  在羌塘盆地中心部位小于 1%，在南羌塘坳陷中东部最低。 $R_o < 1.3\%$  的成熟生油区主要位于盆地中部； $R_o$  介于 1.3%~2% 之间的高成熟凝析油湿气区主要分布在成熟生油区之外的大部分地区；只有北羌塘坳陷西端和南北断裂带附近  $R_o > 2\%$ ，达到过成熟干气阶段(图 2a)。 $R_o$  的分布还有 2 个特点，一是在北羌塘坳陷中西部界线附近，由东向西突然增高(1%→1.9%)，可能附近确实存在一条控制北羌塘坳陷分区的边界转换断层；二是在中央隆起与南北坳陷相邻的断层带附近， $R_o$  有突然增高的趋势(0.99%→1.4%)，也有  $R_o$  突然减低的趋势(1.6%→1.04%)，甚至在西长梁附近还发现  $R_o < 0.5\%$  的油页岩，显示出断层带对  $R_o$  的变化起着较大的控制作用。

$T_{max}$  的分布趋势及划分出的成熟阶段的分布范围与  $R_o$  很相似。在羌塘盆地中心部位  $T_{max} < 440^{\circ}C$  的范围与  $R_o < 1\%$  的范围是一致的， $T_{max} < 470^{\circ}C$  的成熟生油区与  $R_o < 1.3\%$  的范围也是一

致的。 $T_{max}$  变化在 470~500 $^{\circ}C$  之间的高成熟凝析油湿气区也与  $R_o$  介于 1.3%~2% 之间的分布区是一致的，只有北羌塘坳陷西部的分布范围比  $R_o$  略大一些。南北断裂带附近  $T_{max} > 500^{\circ}C$  与  $R_o > 2\%$  分布范围也是相同的。此外，在北羌塘坳陷中西部边界转换断层附近和在南羌塘坳陷中东部与中央隆起之间的断层带附近， $T_{max}$  与  $R_o$  也出现相同的异常，由东向西突然增高或在断层带附近突然增高。

干酪根 H/C 原子比分布趋势及划分出的成熟阶段的分布范围与  $R_o$  和  $T_{max}$  也很相似。干酪根 H/C 原子比大于 0.9 的分布范围与  $T_{max} < 440^{\circ}C$ ， $R_o < 1\%$  的范围相同。干酪根 H/C 原子比大于 0.6 的分布范围与  $T_{max} < 470^{\circ}C$ ， $R_o < 1.3\%$  的范围也基本相同，只是在羌塘盆地东部其范围有所减小。

孢粉或干酪根类脂组颜色判别的成熟阶段与上述 3 种方法所确定的范围大体相当，只是过成熟范围在北羌塘坳陷东、西部有所扩大。

综合判定的岩石包裹体均一温度或形成温度或磷灰石裂变径迹推测的古温度在平面上的变化如图 2b 所示，由于数据点明显减少，其范围大体上

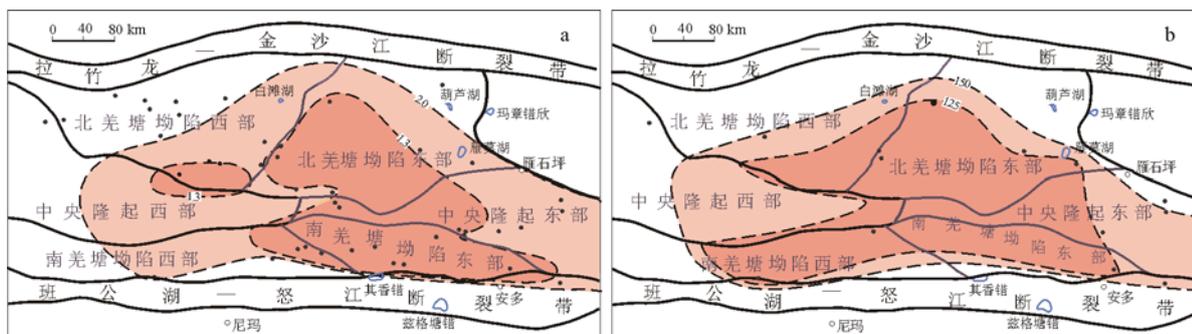


图 2 羌塘盆地  $J_3s$  烃源层有机质成熟度平面分布

a.  $R_o$ ; b. 包裹体均一温度

Fig. 2 Planar distribution of organic matter's maturity of  $J_3s$  source rock in the Qiangtang Basin

与上述一致。古温度 125 °C 的范围大体上与  $T_{max} < 470$  °C,  $R_o < 1.3\%$ , 干酪根 H/C 原子比大于 0.6 的范围以及孢粉或干酪根类脂组的颜色浅于棕色的范围大体上相当; 古温度 150 °C 的范围与  $T_{max} < 500$  °C,  $R_o < 2\%$ 、H/C 原子比大于 0.4 的范围以及孢粉或干酪根类脂组颜色浅于褐色的范围大体上相当。整体上看, 古温度所圈定的成熟或高成熟范围比其它指标所圈定的范围要大一些。

上述判定烃源层成熟度的 5 项主要指标所确定的成熟范围基本上是一致的, 说明目前所判定的  $J_3s$  烃源层成熟、高成熟和过成熟的分布范围是可靠的。

一般来说, 正常湖泊相或海相盆地同一层位烃源层的有机质热演化在平面上的变化规律是: 边缘相带或埋藏深度相对较浅的相带烃源层有机质热演化程度相对较低, 湖泊或盆地沉积和深埋中心烃源层有机质热演化程度相对较高, 其对应成熟度参数呈环状由盆地边缘向中心逐渐增高, 主要受埋藏深度的控制。但是, 羌塘盆地有机质热演化指标平面上分布规律与正常湖泊相或海相盆地正好相反, 这可能是由压性构造变形和不均衡应力的差异所致。

中侏罗统  $J_2x, J_2b$  烃源层有机质热演化平面上的分布与上侏罗统  $J_3s$  烃源层相似, 只是成熟生油和高成熟凝析油湿气范围相对减小了一些, 过成熟干气范围相对增大, 这主要与它们的古埋藏深度或最高古地温有关。

### 2.2 $T_3x$ 烃源层

与侏罗系烃源层相比,  $T_3x$  烃源层有机质热演

化程度变化较大, 成熟生油范围已经很小; 高成熟凝析油湿气范围也较小, 同样只分布在与  $J_3s$  成熟生油范围相当的盆地中心地区; 羌塘盆地其余大部分地区处于过成熟干气阶段(图 3)。 $R_o < 1.3\%$  的成熟生油区只分布在中央隆起东部的土门西煤矿—才多茶卡条带状地区;  $R_o$  为  $1.3\% \sim 2\%$  的高成熟凝析油湿气区主要分布在中央隆起中东部及其周围地区, 与  $J_3s, J_2b$  成熟生油范围基本相当; 其它大部分地区  $R_o > 2\%$ , 达到过成熟干气阶段。最高热解峰温  $T_{max}$ 、干酪根 H/C 原子比、孢粉或干酪根类脂组颜色和岩石包裹体均一温度或形成温度或磷灰石裂变径迹推测的古温度的分布与  $R_o$  很相似。

## 3 热演化主要控制因素

羌塘盆地中生界烃源层现今有机质成熟度的纵横向分布特征和变化规律表明, 最高古地温或古埋藏深度、断层或褶皱带的不均衡压力变形和岩浆活动或深成地下热流等为有机质热演化的主要控制因素, 它使得热演化过程和二次生烃史研究更加复杂化<sup>[8]</sup>。

### 3.1 最高古地温和古埋藏深度

南、北羌塘坳陷中部以及南羌塘坳陷东部等中生界烃源层镜质体反射率、最高热解峰温和包裹体均一温度等均随层位(或层段)由新到老或古埋藏深度由浅到深现今有机质成熟度逐渐升高<sup>[8]</sup>。也可以说, 影响中生界烃源层有机质成熟度的主要因素是最高古地温或最大古埋藏深度, 古地温越高, 有机质成熟度越高(图 1)。

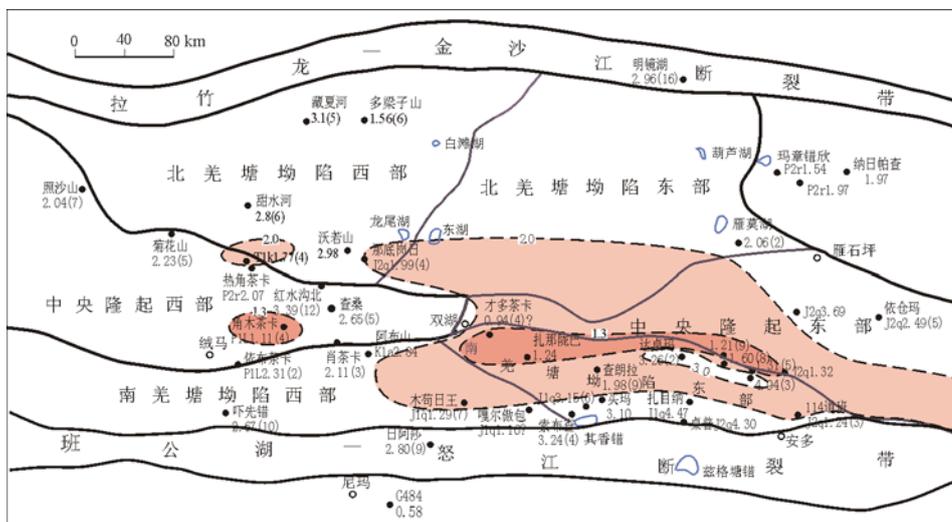


图 3 羌塘盆地  $T_3x$  烃源层  $R_o$  平面分布

Fig. 3 Planar distribution of  $R_o$  of  $T_3x$  source rock in the Qiangtang Basin

### 3.2 断层或褶皱带的不均衡压力变形

断裂或褶皱带内及其附近地区受到强烈的不均衡压力或摩擦作用可以使有机质成熟度突然增高,这已经得到模拟实验的证实<sup>[9]</sup>,它主要是靠巨大差异压力下的分子变形或裂解或摩擦作用而产生的,从而促使有机质的成熟。也就是说断层或褶皱带内及其邻近地区在受到强烈的不均衡压力或摩擦作用下可以使有机质成熟度增高。

羌塘盆地内断层和褶皱发育,特别是在羌塘盆地南北断裂带、中央隆起带与南北羌塘拗陷的边界断层带、北羌塘拗陷西部及东部的紧密褶皱和断层发育带等,烃源层有机质的热演化常出现异常<sup>[8]</sup>。主要表现在:1)断层带附近有时有机质的成熟度突然增高或降低。例如,在达卓玛剖面上第三系与北部中央隆起的逆断层  $R_0$  达到 3.26%,而其南北两边的  $E_3s-J_3s$  和  $T_3x$  烃源层的  $R_0$  均小于 0.69%和 1.21%(图 4),即在达卓玛北至土门东煤矿南发育有一条逆断层推覆带(可能为中央隆起与土门凹陷的边界断层)。2)就羌塘盆地各烃源层平面上有机质热演化的分布规律而言,有机质热演化程度从盆地中部向盆地边缘呈环带状逐渐增高(图 2,3),它们主要受压性构造变形和不均衡应力的控制。3)烃源层有机质成熟度很高,而实测古地温很低。例如,北羌塘拗陷西部侏罗系烃源层有机质成熟度普遍很高,即使  $J_3s-J_2b$  烃源层也已经达到了高成熟—过成熟阶段,但是,它们的包裹体均一温度一般只有 78~124 °C,与现今的烃源层高成熟—过成

熟不相匹配。4)烃源层有机质成熟度指标相互矛盾。逆断层推覆作用使得较新地层在构造作用下,短时间内埋藏很深,古温度增高,有机质成熟度增加,后期的剥蚀作用又使其暴露在地表。短时间的增温过程使得某些成熟度指标出现异常。例如,达卓玛剖面的下第三系  $E_3s$  烃源层可能就是如此,其  $R_0, T_{max}$  等显示出有机质成熟度较高,已经成熟,然而,其甾烷、萜烷的异构化程度极低,显示出尚未成熟,这与人工短时间加热模拟实验结果相一致。

### 3.3 火成岩及其深成地下热流

火成岩特别是侵入岩体会使局部有机质成熟度增高,一般来说,对烃源层有机质成熟度的影响范围很小。例如,冀中拗陷苏桥地区苏 8 井等石炭系煤系中辉绿岩的浅成侵入对上下煤层或煤系泥岩灰起着烘烤作用或短时间的加温过程,对其之下岩层影响约 20 m 左右,对其之上岩层影响约 15 m 左右<sup>[10]</sup>。羌塘盆地中央隆起带西部和北羌塘拗陷东北部的火成岩,特别是侵入岩体,对烃源层有机质的成熟度具有一定的影响,但是,影响范围不会太大。

岩浆活动对羌塘盆地烃源层有机质的热演化影响虽不大,区域上也只是局部的,时间上也是短暂的,但深成的地下热流对羌塘盆地烃源层有机质的热演化影响可能较大。据推测,深成的地下热流上升到地壳可能是地幔热沿沉积基底或中生代基底巨大断裂带引起的,并形成沿基底断裂带状或串珠状分布的地下高热流。现今的地下高热流区可

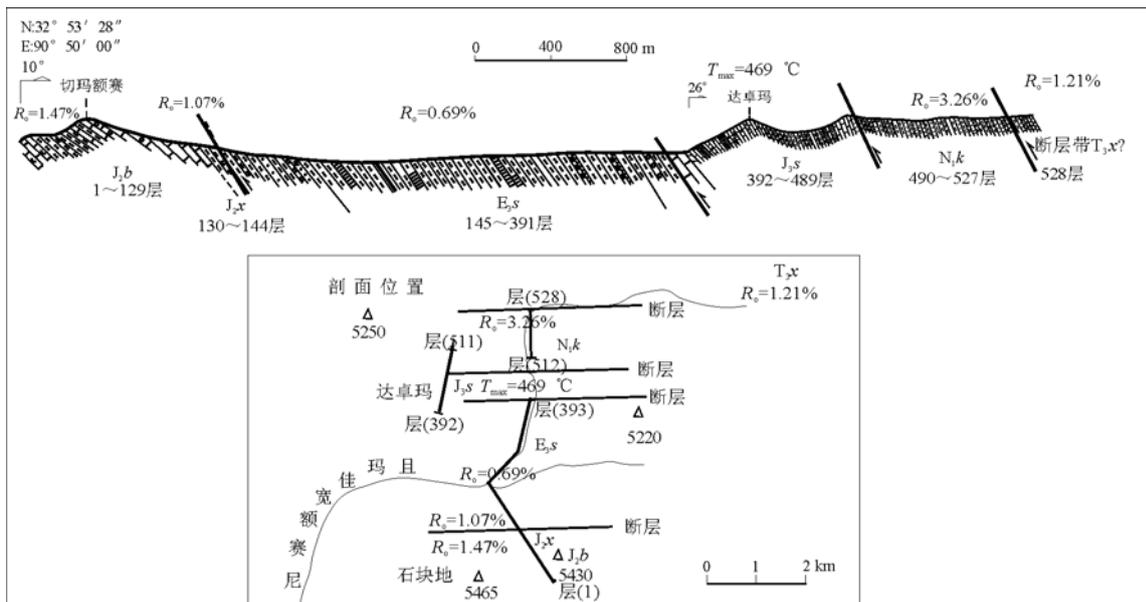


图 4 羌塘盆地新近系一中侏罗统达卓玛地层实测剖面  
Fig. 4 Measured profile of Dazhuoma stratum in N-J<sub>2</sub> in Qiangtang Basin

以通过 MTV 测量方法辨别, 北羌塘拗陷西部及东部等地区可能发育有深成地下热流。然而, 地下古热流区的发育或移动就难以推测和辨别了。深成地下热流可以短时间增高地温及其梯度, 也可能在局部地区或区域范围内对烃源层有机质的热演化产生影响。北羌塘拗陷西部和东部局部地区烃源层有机质成熟度高可能就与此相关。有关深成地下热流对羌塘盆地烃源层有机质热演化的影响范围、影响程度有待进一步深入研究。

### 3.4 三者共同作用

羌塘盆地烃源层现今有机质的热演化程度是受上述最高古地温(或古埋藏深度)、断层或褶皱带的不均衡压力变形和岩浆活动或深成地下热流等共同作用的结果。盆地或拗陷中部最大古埋藏深度或最高古地温起主要作用; 盆地边缘或断裂带附近不均衡压力变形起主要作用; 北羌塘拗陷西部和东部的局部地区深成地下热流或岩浆活动和构造强烈挤压的不均衡压力变形可能共同起主要作用。

## 4 成烃演化史

### 4.1 羌塘盆地中部: 早中期抬升剥蚀再沉降模式

以南羌塘拗陷中部烃源层埋藏史(图 5a)为代表, 侏罗系—三叠系烃源层曾经发生过 2 次油气生成和运移过程。第一次大的油气生成和运移过程发生在侏罗纪晚期—白垩纪早期, 即  $J_3x$  沉积时期—燕山运动使得地层开始大量抬升剥蚀之前, 第一次油气生成和运移主要是  $J_2b$ — $J_3s$  烃源层大量生成未熟—低成熟油的时期; 燕山运动使得地层开始大量抬升剥蚀之后至第三系沉积厚度还未达到最大古埋藏深度或最大古地温的时期, 是地壳震荡(局部抬升剥蚀或在接受短期沉积、局部发生充填式河流—小型湖泊相沉积后又部分或全部被抬升剥蚀)时期, 大部分地区均未达到侏罗纪晚期—白垩纪早期的最大古埋藏深度或最大古地温, 这一时期是油气生成的停滞阶段。但是, 在靠近中央隆起断层带附近, 也可能有部分地区在  $K_2a$ (上白垩统阿布山组) 沉积时期达到或超过侏罗纪晚期—白垩纪早期的最大古埋藏深度或最大古地温, 发生第二次油气生成和运移过程; 在南、北羌塘拗陷内这种可能性不大。侏罗系—三叠系烃源层大量的二次油气生成和运移过程可能发生在第三系沉积时期, 特别是新近纪中新世早期至中新世后期(约 15 Ma) 开始大量抬升剥蚀之前, 这时期侏罗系烃源层是大量生成轻质油的成熟晚期阶段。

羌塘盆地中部的二次生烃是盆地中最有利的

勘探目标, 主要是保存条件相对更好, 并且发育一套很好的  $J_2x$  烃源层, 在隆鄂尼西  $J_2b$  和昂达尔错  $J_3s$  白云岩方解石裂缝中见到轻质“活”油就是很好的证明。  $J_2x$ — $J_2b$  组成的生储盖组合将是羌塘盆地油气勘探最有利的目标。东湖和比隆错剖面  $J_2x$ — $J_3s$  烃源层在  $J_3x$  沉积末期进入生油门限, 主要生烃期在第三系沉积时期。  $J_2x$ — $J_3s$  烃源层也经历了燕山和喜山 2 次大的构造运动, 伴随着抬升剥蚀和两期油气运移聚集和散失过程。三叠系—侏罗系烃源层经历了燕山和喜山两次大的构造运动, 伴随着抬升、剥蚀和 2 期油气运移散失作用, 特别是早白垩世的构造运动对油气更具破坏性<sup>[11,12]</sup>。

$J_2b$ 、 $J_3s$  烃源层在新近系沉积时期的第二次生成和运移的油气才是油气勘探的重点, 其优点是: 1) 油气生成时间较晚, 一般可能在新近系沉积时期, 保存和破坏时间也较短; 2)  $J_2b$ 、 $J_3s$  烃源层第二次生成和运移的是轻质油气, 还未到高成熟凝析油湿气阶段, 昂达尔错  $J_3s$  白云岩晚期方解石裂缝中的轻质油就是二次生成和运移的油气; 3)  $J_2x$ — $J_2b$  组成的生储盖组合, 特别是在南羌塘拗陷中东部  $J_2x$  也是一套很好烃源层, 而且发育很好的石膏盖层, 是最有利的; 4) 第一次生成的未熟—低熟油藏,

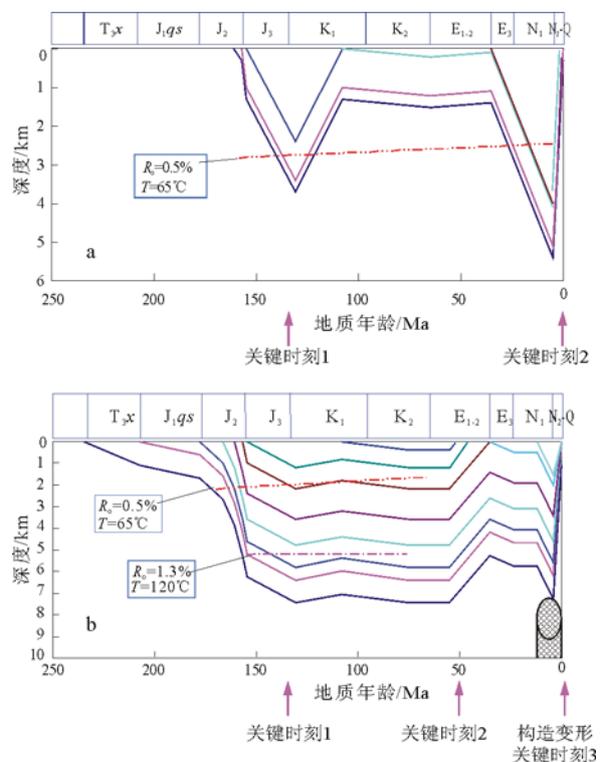


图 5 羌塘盆地烃源层沉降—演化史曲线  
a. 南拗陷中部比隆错剖面; b. 北拗陷西部藏夏河剖面  
Fig. 5 Subsidence—evolution history curves  
of the source rocks in Qiangtang Basin

在白垩纪时期的抬升剥蚀之后,一般会遭受不同程度的破坏,形成沥青,这种沥青再次被埋藏到一定的深度之后,也能够再生烃,这已经在塔里木志留系沥青砂岩的模拟实验中得到证实,昂达尔错  $J_3s$  白云岩晚期方解石裂缝中的轻质油也许就是白云岩中早期沥青生成的;5)  $J_2x$ — $J_2b$  组成的生储盖组合现今埋藏深度一般较浅,又是轻质油气藏,对油气勘探是十分有利的。

印支末期,强烈的构造运动使盆地隆起,形成了中央隆起带、南羌塘拗陷和北羌塘拗陷一分为三的构造格局。中央隆起带的形成,使已进入成熟阶段的  $P_1$  (下二叠统) 烃源层 ( $R_0 = 1.15\%$ ) 长期抬升至地表,因为急剧降温,失去了成油条件,中止了有机质的热演化过程。在其后的地质年代里,中央隆起带尤其是角木茶卡地区,一直持续隆起,所以  $P_1$  烃源层的成熟度停留在三叠纪末期那个演化阶段。而在有第三系—侏罗系地层沉积的其他拗陷地区,由于侏罗系—三叠系烃源层不断埋深,温度升高,成熟作用增强,最终造成中央隆起带上早成熟的年老烃源层 ( $P_1$ ) 成熟度低于拗陷中晚成熟的三叠系、侏罗系年青烃源层,显然,这就表明隆起上的  $P_1$  烃源层,在侏罗系—三叠系烃源层深埋之前就已经抬升。侏罗系烃源层经历了燕山和喜山 2 次大的构造运动,伴随着抬升剥蚀和 2 期油气运移散失作用。

早中期抬升剥蚀再沉降模式为: 沉降(侏罗纪—三叠纪时期)—抬升剥蚀(早白垩世时期)—隆起或局部沉降(晚白垩世—渐新世时期)—再沉降(新近纪时期)—隆升(第四纪时期)。其演化史的主要特征是: 构造运动最强烈及抬升剥蚀厚度最大的时期是早白垩世时期; 最高古地温形成时间在侏罗纪末期—下白垩统沉积时期或在上新统沉积时期。

#### 4.2 羌塘盆地西部及断裂带附近: 隆升构造变形或深成热流模式

羌塘盆地西部烃源层埋藏史和生烃史(图 5b) 是隆升构造变形或深成热流模式最典型的代表。北羌塘拗陷西部  $J_3s$ — $T_3x$  烃源层有机质成熟度的主要特点是: 从  $J_3s$ → $T_3x$ , 烃源层的  $R_0$  值都在  $1.3\% \sim 2\%$  左右, 从上到下 6 000 m 的地层厚度, 成熟度几乎无大的变化, 有的层段甚至  $R_0$  值还出现逆转; 就实测包裹体均一温度或形成温度来说, 其相应地层剥蚀厚度或最大古埋藏深度与羌塘盆地中、东部相当, 但其  $J_3s$  和  $J_2b$  烃源层的成熟度比中、东部要高得多, 主要原因就是受隆升构造变形或深成热流的影响。当然, 古埋藏深度和古地温不同程度上对烃源层的热演化也有影响。

北羌塘拗陷西部  $J_3s$ — $T_3x$  烃源层也可能曾经发生过 2 次或 3 次油气生成和运移过程。第一次大的油气生成过程发生在侏罗纪晚期—白垩纪早期, 即  $J_3x$  沉积时期, 主要是由于古埋藏深度或古地温作用的结果。据此推算, 当时  $T_3x$  烃源层大部分已经处于成熟阶段, 藏夏河等部分地区可能已经达到过成熟阶段;  $J_2b$ — $J_2x$  烃源层大部分处于未成熟—低成熟阶段, 部分地区可能已经达到成熟阶段;  $J_3s$  烃源层则处于未成熟阶段。之后的构造运动和构造变形(早白垩世) 可能对油气生成和运移过程也有较大影响。北羌塘拗陷西部  $J_3s$ — $T_3x$  烃源层中第一次油气生成和运移过程主要是在生成大量未熟—低成熟油的时期,  $T_3x$  烃源层在部分地区可能已经生成了大量的成熟油和天然气。

第二次油气生成和运移过程可能发生在  $K_2a$  沉积时期—始新世构造隆升和变形时期, 这一时期的油气生成和运移过程可能相对弱一些。其影响因素可能有 3 个方面, 一是部分地区  $K_2a$  沉积厚度再次使  $J_3s$ — $T_3x$  烃源层达到最大古埋藏深度或最大古地温; 二是长时间的最高古地温的作用; 三是古新世—始新世构造隆升和变形。对第二次油气生成和运移过程来说, 某些地区发生过, 某些地区可能未发生过, 还有的地区可能与第一次大的油气生成和运移过程连在一起, 总称为第一次油气生成和运移。

第三次(或第二次)大的油气生成和运移过程可能发生在上新统沉积时期—第四纪构造隆升和变形时期。其影响因素也可能有 3 个方面, 一是部分地区渐新统一上新统沉积厚度再次使  $J_3s$ — $T_3x$  烃源层达到历史上最大古埋藏深度或最大古地温; 二是上新世晚期—现今的构造隆升和变形作用; 三是局部范围上新世晚期—现今的深成热流作用。在此时期内,  $T_3x$  烃源层从原来的成熟—过成熟演变到现今的高成熟—过成熟阶段, 主要生成的是凝析气和干气;  $J_2b$ — $J_2x$  烃源层大部分从原来的成熟演变到现今的高成熟—过成熟阶段, 主要生成的是轻质油气、凝析气和干气, 其生烃量要远大于  $T_3x$  烃源层。

北羌塘拗陷西部  $J_3s$ — $T_3x$  烃源层经历了燕山和喜山 2 次到 3 次大的构造运动, 伴随着抬升、剥蚀和 2 期到 3 期油气运移散失作用, 特别是新近纪—第四纪的构造运动对油气更具破坏性。

羌塘盆地烃源层有机质的热演化史极为复杂, 不但经历了几次大的构造运动, 使其遭受几次隆升—侵蚀—沉降, 而且构造挤压变形强烈以及深成

热流活动难测。在羌塘盆地中部地区的中侏罗统一上侏罗统烃源层热演化史可能适用于早期强烈抬升剥蚀再沉降模式或中期抬升剥蚀再沉降模式;在羌塘盆地的周边断裂带附近以及北羌塘坳陷西部等地区的中侏罗统一上侏罗统烃源层热演化史可能更为适用于隆升构造变形或深成热流模式,也可能整个羌塘盆地都适用于这种模式。

## 5 结论

1)羌塘盆地中部随地层累积厚度的增加,由成熟( $J_3x-J_2b$ )→高成熟( $J_2b-T_3x$ )→过成熟( $J_2q-T_3x$ )。 $J_3s, J_2x, J_2b$ 烃源层在盆地中部尚处于成熟中晚期生油阶段, $T_3x$ 烃源层的成熟生油范围已经很小,多处于过成熟。它们均从盆地中部向四周成熟度逐渐增高,由成熟中晚期→高成熟→过成熟,这与正常湖泊或海相盆地中部向四周由于地层变薄成熟度逐渐降低的规律相矛盾。

2)有机质成熟度或热演化主要受古地温、构造变形程度和火成岩及深成热流的控制。羌塘盆地中部及东部等中生界烃源层有机质热演化的主要影响因素是最高古地温或最大古埋藏深度,古地温越高,有机质成熟度越高;盆地断裂或褶皱带附近及其盆地边缘主要受强烈不均衡压力或摩擦作用的影响,使有机质成熟度突然增高;盆地西部(尤其是北羌塘坳陷西部)基底断裂带,深成地下热流可能是主要影响因素之一,而岩浆活动区域上也只是局部的,时间上也是短暂的。

3)羌塘盆地烃源层有机质的热演化史及生烃史复杂,盆地中部地区为沉降(侏罗纪—三叠纪)—抬升剥蚀(早白垩世)—隆起或局部沉降(晚白垩世—渐新世)—再沉降(新近纪)—隆升(第四纪)模式,构造运动及抬升剥蚀厚度最大的时期是早白垩世,最高古地温形成于侏罗纪末期—早白垩统沉积时期或上新统沉积时期。盆地周边断裂带附近以及北羌塘坳陷西部等地区为不均衡压力或靠短时间深成热流使局部地区古地温突然增高,可能主要

发生在白垩纪、古新世—始新世和新近纪晚期—第四纪,尤其后者更为重要。

4)羌塘盆地上三叠统一侏罗系烃源层有2次(或3次)主要生烃期:第一次油气生成和运移过程发生在侏罗纪晚期—白垩纪早期, $J_2b-J_3s$ 主要是形成未熟—低熟油;第二次油气生成和运移过程可能发生在第三系沉积时期,特别是新近纪中新世早期至中新世后期(约15 Ma),侏罗系烃源层生成轻质油气为主。侏罗系烃源层在新近纪沉积时期的二次生烃对寻找油气是相对有利的。

### 参考文献:

- 1 郝石生. 对碳酸盐生油岩的有机质丰度及其演化特征的讨论[J]. 石油实验地质, 1984, 6(1): 67~71
- 2 秦建中, 刘宝泉. 海相不同类型烃源岩生排烃模式研究[J]. 石油实验地质, 2005, 27(1): 74~80
- 3 刘宝泉. 华北地区中上元古界、下古生界碳酸盐岩有机质成熟度与找油远景[J]. 地球化学, 1985, 2: 150~162
- 4 刘宝泉, 方杰. 冀北宽城地区中上元古界、寒武系有机质热演化特征及油源探讨[J]. 石油实验地质, 1989, 11(1): 16~31
- 5 Rogers M A, Mcalary J D, Bailey J C. Significance of reservoir bitumens to thermal maturation studies, Western Canada Basin [J]. AAPG Bull, 1974, 58: 1806~1824
- 6 傅家谟. 碳酸盐岩有机质演化特征与油气评价[J]. 石油学报, 1982, (1): 1~8
- 7 Tobin R C, Claxton B L. Multidisciplinary thermal maturity studies using vitrinite reflectance and fluid inclusion microthermometry: a new calibration of old techniques[J]. AAPG Bulletin, 2000, 84: 1647~1665
- 8 赵政璋, 秦建中, 许怀先等. 青藏高原海相烃源岩的油气生成[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 1~648
- 9 刘淑莹, ПЕДИУХА Ю А. 深层油气藏储集层与相态预测: 冀中坳陷和滨里海盆地南部为例[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992. 1~354
- 10 秦建中, 贾容芬, 郭爱明等. 华北地区煤系烃源岩油气生成·运移·评价[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 1~326
- 11 罗本家, 戴国汉. 羌塘盆地油气有利勘探区块[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(1): 58~61
- 12 穆青. 藏北油气远景及勘探方向[J]. 石油实验地质, 1992, 14(2): 142~151

## STUDY ON ORGANIC MATTER'S MATURATION AND HYDROCARBON-GENERATING HISTORY IN THE QIANGTANG BASIN

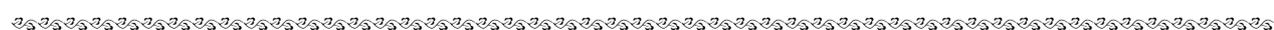
Qin Jianzhong

(Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China)

**Abstract:** Researches on the analytical data more than seven thousands of Mesozoic samples from the Qiangtang Basin in Qinghai-Tibet Plateau show that the Jurassic source rock is still mature and genera-

ting oil in the center of Qiangtang Basin. The Jurassic source rock is more and more mature from the center to the margin of the basin. Almost all the  $T_3x$  source rocks are high-mature to over-mature and the range of oil generation has already very small. The maturity of the organic matters in this basin is mainly controlled by the palaeo-geotemperature, the degree of tectonic deformation and pyrogenetic rock and plutonic hot fluid. In the center and the east of the basin, the main influential factor of organic matter's maturation is the maximum palaeo-geotemperature or palaeoburial depth. Near the fault or folded zone in the basin and the margin of the basin, organic matter's maturation is mainly affected by the strongly unbalanced pressure. And in the west of the basin, the plutonic hot fluid in the basement fracture zone may be the main influence factor of organic matter's maturation. There are two (or three) hydrocarbon-generating processes occurring in the Late Jurassic-Early Cretaceous and the time of Tertiary sedimenting. In particular, the hydrocarbon-generating process caused by the Jurassic source rock in the Early Miocene to the Late Miocene is more favorable to the petroleum exploration in this basin.

**Key words:** Mesozoic; organic matter's maturation; hydrocarbon-generating history, the Qiangtang Basin



(上接 349 页)

油勘探与开发, 2002, 29(1): 19~23

响[J]. 石油实验地质, 2005, 27(2): 169~172

14 卓勤功. 异常高压对烃源岩成烃机理和油气运聚成藏的影响

## OVERPRESSURE CHARACTERISTICS IN THE JIYANG DEPRESSION, THE BOHAIWAN BASIN

Xu Xiaoming<sup>1</sup>, Liu zhen<sup>1</sup>, Xie Qichao<sup>2</sup>, Zhang Shanwen<sup>3</sup>, Zhao Yang<sup>1</sup>, Cai Jingong<sup>3</sup>

- (1. Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation Mechanism, Ministry of Education, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. Research Institute of Exploration and Development, Changqing Oil Field Branch Company, PetroChina, Xi'an, Shaanxi 710021, China; 3. Shengli Oil Field Branch Company, SINOPEC, Dongying, Shandong 257051, China)

**Abstract:** Pressure evolution is controlled by geologic conditions. The Dongying and Zhanhua Sags of the Jiyang Depression in the Bohaiwan Basin are similar in tectonic characteristics and evolution, over-pressure vertical distribution, main distribution strata and origin mechanism, so their pressure evolutions also have some similarities. The Bonan sub-Sag is a typical overpressure sub-sag in the Zhanhua Sag of the Jiyang Depression. Based on quantitative analysis of pressure field evolution, it is discovered that overpressure in the Bonan sub-Sag developed late. The main strata of overpressure (the third member and the upper part of the fourth member of Shahejie Formation) developed after the Dongying episode. Overpressure in the whole Jiyang Depression developed late.

**Key words:** late origin; pressure field evolution; overpressure; the Bonan sub-Sag; the Jiyang Depression; the Bohaiwan Basin