

文章编号 :1000-0550(2001)04-0506-06

# 昌图凹陷白垩纪沉积环境对燕 辽造山带隆升过程的指示<sup>①</sup>

徐政语<sup>1</sup> 林 舸<sup>1</sup> 刘池阳<sup>2</sup> 马晓昌<sup>3</sup> 侯 路<sup>3</sup>

1(中国科学院长沙大地构造研究所 长沙 410013)

2(西北大学地质系 西安 710069) 3(江汉石油管理局研究院 湖北潜江 433124)

**摘 要** 昌图凹陷是燕辽造山带东北缘山前一次级裂陷构造单元,其中充填了白垩纪火山—沉积岩系。根据构造活动与沉积演化特征,地层层序划分为裂陷期(SS I)、断陷期(SS II)和拗陷期(SS III)三个超层序,断陷期(SS II)超层序可进一步细分为断陷早期(S II<sub>1</sub>)和断陷晚期(S II<sub>2</sub>)两个层序。裂陷期超层序发育巨厚的溢流相、爆发相火山岩。断陷早期(S II<sub>1</sub>)层序发育低位与湖盆扩张两个体系域,低位体系域总体反映为一套近物源稀性泥石流沉积特征,湖盆扩张体系域反映水体相对较深,有扇三角洲及半深湖—深湖相沉积,岩屑砂岩发育,岩屑成分以火山岩为主。断陷晚期凹陷水体变浅,S II<sub>2</sub>层序中下部低位及湖盆扩张体系域总体发育特征类似 S II<sub>1</sub>层序,上部发育的湖盆收缩体系域,演化为扇三角洲、河道、滨浅湖及沼泽相。S II<sub>2</sub>层序砂岩以长石岩屑砂岩为主,岩屑成分除火山岩外,见有混合花岗岩及变质岩岩屑。拗陷期(SS III)超层序发育冲积平原相,砂岩中混合花岗岩及变质岩岩屑成分进一步增加。由于受区域构造环境控制,凹陷沉积沉降中心不断北移,表明松辽盆地南缘燕辽造山带在白垩纪不断隆升、向北扩展;凹陷中发育三期低位体系域,对应了三期断陷活动,指示造山带在造山后作用阶段经历了三期幕式快速隆升过程。

**关键词** 沉积环境 指示 燕辽造山带 隆升过程 昌图凹陷

**第一作者简介** 徐政语 男 1964 年出生 博士研究生 高级工程师 盆地构造与数值模拟

**中图分类号** P512.2 **文献标识码** A

## 1 前言

燕辽造山带地处华北陆块北缘,涵盖传统意义上的中生代中晚期(侏罗—白垩纪)燕山造山带及辽西造山带,包括辽西、冀北、京西以及内蒙古南缘,总体呈略向南南东突出的弧形分布,长约 700 km,是近年来陆内(板内)造山作用及我国东部中生代构造格局转换研究的热点地区之一<sup>[1~6]</sup>。昌图凹陷作为燕辽造山带东北缘的山前凹陷,位于依兰—伊通及赤峰—开原深大断裂的钝角交汇处,在大地构造位置上跨越了兴蒙造山带与华北陆块两大构造单元,为松辽盆地东南部一次级构造单元。凹陷北西向延伸,面积约 2 800 km<sup>2</sup>。其中充填了白垩纪火山—碎屑沉积岩系,厚约 1 000 ~ 13 000 m,其物源特征和沉积组合详细记录了燕辽造山带白垩纪以来的造山活动过程。因此,分析昌图凹陷白垩纪以来沉积环境变迁对认知燕辽造山带在造山后作用阶段<sup>[7]</sup>山脉隆升过程具有十分重要的指示意义。

## 2 层序地层格架

依据区域地层发育特点及层间界面接触关系,结合断陷活动及沉积演化特征,昌图凹陷白垩系共划分为早白垩世裂陷期(SS I)、断陷期(SS II)和晚白垩世拗陷期(SS III)三个超层序,其中断陷期超层序(SS II)进一步细分为断陷早期(S II<sub>1</sub>)和断陷晚期(S II<sub>2</sub>)两个层序(详见图 1)<sup>[8]</sup>。裂陷期凹陷主要充填义县组紫红色安山岩及火山角砾岩,断陷早期即九佛堂组沉积期,发育杂色的火山质粗碎屑沉积岩与暗色泥岩,断陷晚期即沙海组与阜新组沉积期,发育暗色细粒碎屑沉积岩与泥岩互层,拗陷期即泉头组至嫩江组沉积期,接受了一套以红色为主的砂泥质细粒碎屑岩沉积。

## 3 沉积物组构特征

### 3.1 沉积构造特征

经对凹陷内昌参 1、2、3 井岩芯观察分析,发现裂陷期(SS I)超层序火山岩块状构造发育。断陷早期即 S II<sub>1</sub>层序砂砾岩主要发育正、反、复合递变层理,块

<sup>①</sup> 国家项目“中国典型叠合盆地关键构造变革时期的盆山耦合与深部过程”(编号 G1999043303)、国家自然科学基金项目(批准号:49972045)及中国科学院重大工程创新项目(编号 KXCZ1-07)联合资助。

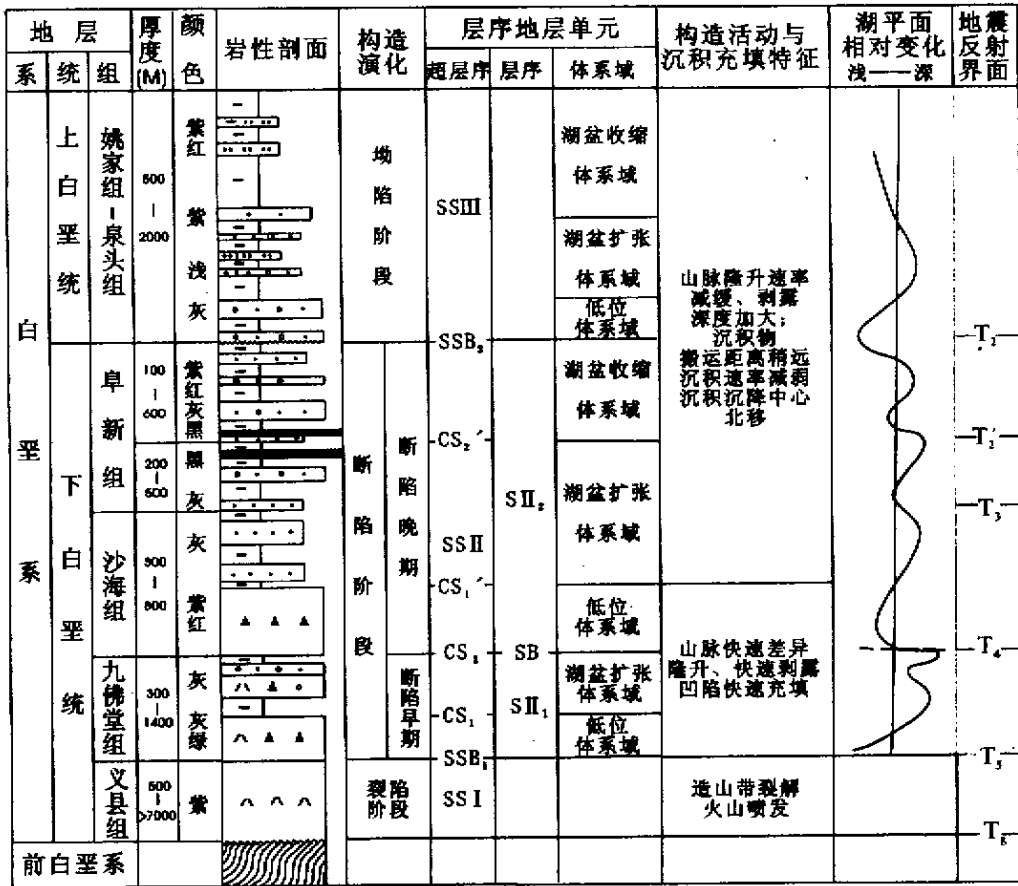


图 1 昌图凹陷层序地层特征及划分简图

Fig. 1 A synthetic vertical column showing classification and characteristics of the sedimentary sequences in Changtu Sag

状构造；冲刷面与正递变层理常伴生，重力流作用特征明显，总体反映为一套近物源稀性泥石流沉积特征<sup>[9]</sup>。断陷晚期 S II<sub>2</sub> 层序及拗陷期 (SS III) 超层序沉积砂岩中发育平行层理、小型交错层理、波状交错层理、槽状层理、透镜状层理、变形层理以及生物扰动构造，河道及滨浅湖相标志常见。九佛堂组顶部泥岩中见泄水构造、浊积岩等，水体相对较深，有半深湖—深湖相特征。

### 3.2 岩石学特征

下白垩统九佛堂组中下部发育以紫红与墨绿色为主的杂色巨厚安山质角砾岩、砂砾岩，分选、磨圆性差，砾岩成分大小混杂、杂基支撑，砾石多棱角—次棱角状，顶部发育厚层状灰—灰黑色泥岩、高碳泥岩，与砂页岩互层。沙海组下段类似九佛堂组中下部，但砂砾岩分选、磨圆性稍好，为次棱角—次圆状；上段为中厚层状灰色砂岩与薄层状泥岩互层。阜新组砂岩分选、磨圆性相对较好，多为中—细粒砂岩，次圆状构造；本组泥岩相对发育，下段发育灰—灰黑色泥岩、高碳泥岩及煤层，累计厚度 113~164.5 m，占地层厚度的 37.9%

~56.4%；上段相对发育砂岩，顶部发育红色泥岩。各岩组砂岩类型存在差别，其中九佛堂组与沙海组下段以岩屑砂岩为主，岩屑成分成熟度低，火山岩岩屑占 22%~91%，体现近物源快速搬运沉积特征，系典型山脉快速隆升时期的沉积响应特征；沙海组上段及阜新组以长石岩屑砂岩为主，岩屑成分成熟度稍高，除火山岩岩屑外，变质岩岩屑成分占 1.5%~15% (图 2)，反映沉积物搬运距离较长，山脉隆升速率减缓<sup>[10-13]</sup>。

### 3.3 矿物学特征

通过凹陷内三口井重矿物资料分析发现，九佛堂组与沙海组下段重矿物成分及含量变化趋势不同于沙海组上段与阜新组，如：昌参 3 井在 2 400 m 以下 (九佛堂组与沙海组下段) 锆石、白钛矿、石榴子石随沉积环境变化呈递增趋势，磁铁矿、赤褐铁矿呈递减趋势；在 2 400 m 以上 (沙海组上段与阜新组) 变化趋势相反。体现凹陷早期为近物源快速堆积、快速埋藏环境，晚期沉积物源相对较远，水域相对较宽，沉积速率相对减缓的埋藏环境。粘土矿物资料表明九佛堂组与沙海

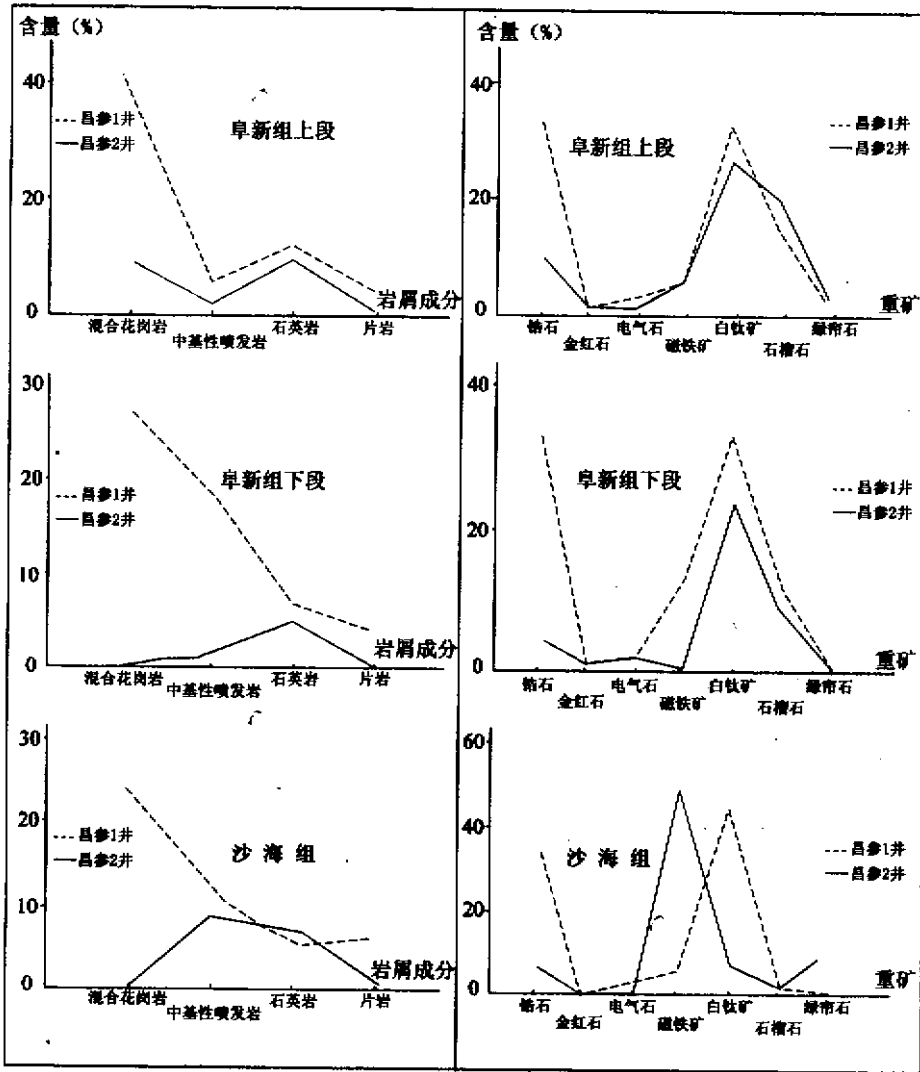


图2 昌参1井和昌参2井的岩屑和重矿物特征对比图

Fig.2 A contrast of detrital compositions and accessories between Well Changcan 1 and 2

组下段沉积期为还原—弱还原环境,沙海组上段及阜新组沉积期为弱还原—弱氧化环境,同样印证了凹陷断陷早期快速断陷快速堆积、水域相对局限,断陷晚期沉积速率减缓、水域相对开阔的特征。

## 4 水体环境分析

### 4.1 古生物指示

凹陷仅九佛堂组顶部泥岩中见有游泳类型的湖女星介、狼星介及少量底栖类型女星介等,暗示当时为较深的水体沉积环境,表现出造山后作用阶段早期,造山带前缘凹陷存在快速断陷、欠补偿沉积的特点。而其上覆层序中生物组合面貌总体反映凹陷为较浅水的湖相或河流相沉积环境特征,表明造山带在造山后作用阶段晚期山前断陷速率减缓,凹陷逐渐过渡为补偿—饱和沉积环境特征。

### 4.2 地球化学指示

凹陷内三口参数井显示,九佛堂组姥姣烷与植烷比值( $Pr/Ph$ )0.33~1.51,平均0.93(昌参3井);沙海组0.35~5.68,平均1.76(昌参1井)~2.04(昌参2井);阜新组0.11~11.28,平均1.28(昌参3井上段)~4.53(昌参1井下段)。九佛堂组甾烷类 $aaa-(20R)C_{27}$ 29.87%~34.01%, $aaa-(20R)C_{29}$ 34.78%~39.84%,沙海组 $aaa-(20R)C_{27}$ 30.93%~38.45%, $aaa-(20R)C_{29}$ 33.79%~43.89%,阜新组 $aaa-(20R)C_{27}$ 14.35%~46.01%, $aaa-(20R)C_{29}$ 34.22%~65.71%。总体反映凹陷九佛堂组顶部为还原—弱还原环境的水体,沙海组及阜新组为弱还原—弱氧化环境的水体。

## 5 沉积体系相模式建立

### 5.1 沉积物指示

经昌参 1、2、3 三口探井地层对比分析,凹陷内 SII<sub>1</sub> 及 SII<sub>2</sub> 层序沉积物分别具有各自的岩石学、矿物学特点(图 2),代表了凹陷南、中、北地区沉积物在不同时期分别具有各自不同源区的属性,指示凹陷具有多物源、多沉积沉降中心,属典型造山后作用阶段、造山带前缘断陷沉积环境。

5.2 地震信息指示

凹陷区白垩系沉积充填物,依据地震资料波形的外部几何形态及内部反射结构特征可划分为乱岗—较连续丘状、较连续—亚平行楔状、平行—亚平行席状等多种组合样式。其中第一种反射体发育于凹陷南部周缘及北部沉降中心区断陷期超层序内,代表缓坡扇或湖底扇沉积特征;第二种反射体发育于凹陷北部西缘断陷早期 SII<sub>1</sub> 层序内,代表陡坡扇沉积特征;第三种平行席状反射体发育于凹陷沉降中心区断陷期超层序内,代表扇前较深水湖相沉积特征,亚平行席状反射体则代表浅水湖相或三角洲平原相沉积特征。

5.3 沉积体系相模式

依据地震相研究成果,结合单井岩矿特征、沉积相标志分析,昌图凹陷白垩系主要发育扇三角洲、湖泊两种沉积体系。其中以扇三角洲沉积体系最为发育、最为典型,下白垩统九佛堂—沙海组侧重重力流作用机制,发育加积准层序组;下白垩统阜新组—上白垩统则侧重牵引流作用机制,发育进积、退积准层序组。从层序组发育的总体特征分析来看,阜新组扇三角洲沉积体系发育相对完整,故以其为基础建立昌图凹陷扇三角洲沉积体系相模式(详见图 3);本模式具体包含前扇三角洲泥、扇三角洲前缘砂、水下分流河道砂及扇三角洲平原四个沉积单元。

(1) 前扇三角洲泥(A)

发育于扇三角洲前缘底部,沉积物以深灰色泥岩、粉砂质泥岩为主,视电阻率曲线相对低阻、平直。凹陷内不稳定,昌参 2、3 井区相对较发育。

(2) 扇三角洲前缘砂(B)

发育于扇三角洲前缘下部,一般处于扇三角洲前缘入湖处,具典型反粒序沉积特征,以砂岩为主,普遍含砾。常见小型波状层理,不清晰的槽状层理、板状层理、块状层理,底部与泥质岩间互,凹陷内常见远砂坝及河口坝微相。

(3) 水下分流河道砂(C)

是扇三角洲前缘最为发育的沉积单元,正粒序沉积,岩性以砂岩为主,砂砾岩次之,结构成熟度偏低,杂基含量高,常见递变层理、大型槽状层理、块状层理、泄水构造等,视电阻率曲线呈指状、低平齿状。本单元之上常叠置有支间湾沉积,并见有虫孔构造,视电阻率曲

线呈齿状。

(4) 扇三角洲平原(D)

为凹陷内较为特征的二元结构沉积单元,发育于扇三角洲顶部,为准平原化沉积,其下部河道砂坝以叠瓦状底砾岩沉积为特征,发育大型槽状层理,测井曲线呈箱状,顶部以沼泽相碳质泥岩、泥岩夹薄煤层沉积为特征,常见植物根茎、碳屑,测井曲线呈齿状、指状特征。经三口探井实际资料对比分析,昌图凹陷阜新组扇三角洲沉积体系主体发育 B、C 两个沉积单元,存在六个沉积韵律层序,砂体发育,砂岩成熟度偏高,总体反映为远距离物源沉积的缓坡型扇三角洲沉积体系。凹陷内九佛堂—沙海组扇三角洲主要发育沉积单元 A 和 C,反映近物源、快速堆积特征,体现为一种陡坡型扇三角洲沉积体系。

6 沉积环境演化及山脉隆升过程示踪

6.1 沉积环境演化

早白垩世早期研究区进入造山后伸展、拉张的裂

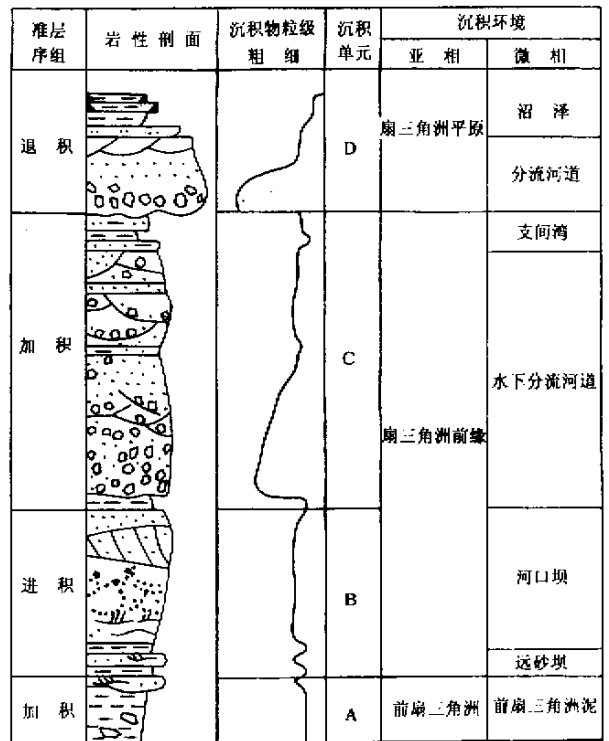


图 3 昌图凹陷白垩系扇三角洲沉积体系相模式图

Fig.3 The section map showing the Cretaceous fan-delta model in Changtu sag

陷期,由于火山活动及差异隆升作用强烈,凹陷堆积了巨厚的义县组火山岩。经短暂停歇后,凹陷进入断陷活动阶段,开始接受沉积,九佛堂组沉积早期充填低位

体系域准层序组,主要发育冲积扇及扇三角洲沉积体系,九佛堂组沉积中晚期随断陷活动加剧,凹陷湖盆增容空间速率大于沉积速率,水体加深、出现湖泛,形成了湖盆扩张体系域,开始发育扇三角洲前缘沉积、前扇三角洲—一半深湖沉积体系。九佛堂组沉积期末经短暂停歇、抬升后,在沙海组沉积早期,凹陷断陷活动复活,再次充填了低位体系域,发育扇三角洲及前缘沉积体系,沙海组沉积晚期,经二次湖泛,湖盆再度扩张,形成新的湖盆扩张体系域,发育前扇三角洲—一半深湖沉积体系。受凹陷幕式伸展活动影响,阜新组下段沉积晚期发育扇三角洲前缘及湖沼沉积体系,进入阜新组上段沉积期凹陷断陷活动减弱,湖盆开始萎缩,形成了湖盆收缩体系域,发育扇三角洲前缘、平原及湖沼沉积体系,阜新组沉积期末凹陷进入坳陷阶段。由于受区域构造格局控制,凹陷形成早期即九佛堂—沙海组沉积期,凹陷水体呈南浅北深格局、沉积物呈南粗北细面貌,晚期即阜新组沉积期,凹陷南北古地理环境差异减小,晚白垩世泉头组—嫩江组沉积期凹陷进入坳陷期发育阶段,沉积沉降中心北移、北部太平洼陷区地层发育相对齐全。

## 6.2 山脉隆升过程示踪

综合以上沉积物组构及沉积环境因素分析可见,昌图凹陷九佛堂组及沙海组下段近源沉积、快速充填特征总体反映了研究区在造山后作用阶段早期(早白垩世早期)松辽盆地快速差异断陷和燕辽造山带山脉快速隆升、快速剥露的过程,凹陷沙海组上段及阜新组沉积物远距离搬运、岩屑组分中出现变质岩及花岗岩、重矿物组合中稳定组分的增加,则反映凹陷在造山后作用阶段晚期(早白垩世晚期)沉积沉降中心不断北移,沉积沉降速率逐渐减小,其南缘燕辽造山带范围不断拓展、北移,造山带中央隆升幅度逐渐增大,但隆升速率有逐渐减弱之势;凹陷内发育有剥露的变质岩及深侵位的花岗岩岩屑综合反映了造山带山脉剥蚀深度在不断加大。凹陷区发育三期低位体系域,经历三期断陷活动,表明燕辽造山带在造山后作用阶段、早白垩世伸展裂解(去根作用)期间隆升活动是幕式进行的,至少经历了三期较明显的快速隆升活动过程<sup>[14~17]</sup>。

本文研究工作取得了辽河油田研究院及勘探处的

支持,行文过程得到了郭锋、王岳军博士的帮助,笔者特此感谢。

## 参 考 文 献

- 1 赵越. 燕山地区中生代造山运动及构造演化[J]. 地质论评, 1990, 36(1): 1~12
- 2 王瑜. 晚古生代—中生代内蒙古—燕山地区造山过程中的岩浆热事件与构造演化[J]. 现代地质, 1996, 10(1): 65~75
- 3 张长厚, 宋鸿林. 燕山式板内造山带中生代逆冲推覆构造及其与前陆褶冲带的对比研究[J]. 地球科学, 1997, 22(1): 33~37
- 4 宋鸿林. 燕山式板内造山带基本特征与动力学探讨[J]. 地学前缘, 1999, 6(4): 309~316
- 5 朱大岗, 吴珍汉, 崔盛芹等. 燕山地区中生代岩浆活动特征及其与陆内造山作用关系[J]. 地质论评, 1999, 45(2): 163~172
- 6 邵济安, 牟保磊, 张履桥. 华北东部中生代构造格局转换过程中的深部作用与浅部响应[J]. 地质论评, 2000, 46(1): 32~409
- 7 Liegeois J P. Preface—Some words on the post-collisional magmatism[J]. Lithos, 1998, 45: xv~xvii
- 8 徐政语, 林舸, 刘池阳等. 昌图凹陷层序地层充填特征及其对含油气系统的控制[J]. 石油学报, 2000(待刊)
- 9 和政军, 王宗起, 任纪舜. 华北北部侏罗纪大型推覆构造带前缘盆地沉积特征和成因机制初探[J]. 地质科学, 1999, 34(2): 186~195
- 10 李忠, 李任伟, 孙枢等. 合肥盆地南部侏罗系砂岩碎屑组分及其物源构造属性[J]. 岩石学报, 1999, 15(3): 438~445
- 11 李勇, 王成善, 曾允孚. 造山作用与沉积响应[J]. 矿物岩石, 2000, 20(2): 49~56
- 12 王岳军, 范蔚茗, 林舸. 盆地沉积物示踪源区山脉隆升剥露的几种方法. 地质科技情报[J], 1999, 18(2): 85~89
- 13 Hendrix, M. S. Evolution of Mesozoic sandstone compositions, Southern Junggar, North Tarim, and Western Turpan basins, Northwest China: a detrital record of the ancestral Tian Shan[J]. Journal of Sedimentary Research, 2000, 70(3): 520~532
- 14 刘少峰, 张国伟, 程顺有等. 东秦岭—大别山及邻区盆地演化与深部构造作用过程[A]. 见: 李思田等主编, 盆地动力学——基本思路与若干研究方法[C]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997
- 15 和政军, 李锦华, 牛宝贵等. 燕山—阴山地区晚侏罗世强烈推覆—隆升事件及沉积响应[J]. 地质论评, 1998, 44(4): 408~416
- 16 Bryan A E, Constantine C. J, Stephens A, Ewart R W, Schon J P. Early Cretaceous volcano-sedimentary successions along the eastern Australian continental margin: Implications for the break-up of eastern Gondwana. EP-SI[J], 1997, 153: 85~102
- 17 Métiwrier F, Gaudemer. Y. Stability of output fluxes of large rivers in South and East Asia during the last 2 million years: Implications on floodplain processes[J]. Basin Research, 1999, 11: 293~303

## The Cretaceous Sedimentary Environments of Changtu Sag and Its Implications for the Rapid Uplifting of Yan-Liao Orogen

XU Zheng-yu<sup>1</sup> LIN Ge<sup>1</sup> LIU Chi-yang<sup>2</sup> MA Xiao-chang<sup>3</sup> HOU Lu<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ( Changsha Institute of Geotectonics , Chinese Academy of Sciences , Changsha 410013 )

<sup>2</sup> ( Department of Geology , Northwest Universty , Xi 'an 710069 )

<sup>3</sup> ( Jiangnan Institute of Petroleum Administration Bureau , Qianjiang Hubei 433124 )

### Abstract

Changtu sag is located in the northeast of Yan-Liao orogen as an important part of Songliao Basin. It is filled with volcanic and sedimentary rocks , which can be grouped into three supersequences : SS I ( corresponding to the rifting stage ) , SS II ( fault-rifting stage ) and SS III ( depressional stage ). During the early rifting , the sag was filled with a huge of overflowing and exploding volcanics . In the earlier fault-rifting stage , there developed the lowstand systems tract in lower Jiufotang Formation that totally reflects sedimentary characteristics of a thinner mudstone flow and the expansion systems tract at the top of Jiufotang Formation that corresponded to a deep-water environment , including fan-delta and half-deep-lake and deep-lake . During the later fault-rifting stage , the depth of water became shallower with the predominant sedimentary facies of alluvial apron , fan-delta , swamp and offshore and shallow lake and so on .

The Jiufotang Formation was mainly composed of multi-compositional conglomerates and sandstones , of which the detrital composition was dominated by volcanic clastics , suggesting their derivation from the earlier erupted volcanic sequences which was rapidly unroofed during the uplifting of the orogen . The Shahai Formation was mainly composed of conglomerates , sandstones , interbeddings between sandstones and mudstone . Detrital analysis shows that at the upper Shahai Fm . , there occurred some proportion of metamorphic and granitic components , indicating the increase in the amount of uplifting and unroofing of the entire orogen whilst the lowering of uplifting rate . As the sedimentation continued , the centre of sediment and depression moved northwards , reflecting that Yan-liao orogen was continuously uplifted and separated during late Cretaceous . The emergence of the three lowstand system tracts and three rifting activities demanded that the orogen had undergone at least three rapid uplifting episodes during Cretaceous .

**Key words** sedimentary environments , rapid uplifting process , Cretaceous , Yan-Liao orogen , Changtu sag