

# 南海西南部曾母盆地早中新世以来沉降史分析

吴庐山<sup>1</sup> 邱 燕<sup>1</sup> 解习农<sup>2</sup> 刘晓峰<sup>2</sup> 江 涛<sup>2</sup>

(1.广州海洋地质调查局,广东 广州 510760;2.中国地质大学资源学院,湖北 武汉 430074)

**摘要:**采用回剥法和局部均衡模式研究曾母盆地早中新世以来的沉降史,并探讨了该盆地构造演化特征。曾母盆地自早中新世以来经历了 17.5~11.6Ma、11.6~5.5Ma、5.5~3.0 Ma 和 3.0~0 Ma 的 4 次快速沉降作用,其构造演化受控于曾母地块与南沙地块及婆罗洲地块的碰撞和盆地两侧的万安—卢帕尔断裂与廷贾走滑断裂的综合作用,可划分为南北双向挤压(晚始新世—早中新世)、走滑改造(中中新世—晚中新世)和区域沉降(上新世—第四纪)3 个演化阶段。

**关键词:**曾母地块;曾母盆地;早中新世;沉降史;构造演化

**中图分类号:**P736 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2005)03- 0370-08

曾母盆地位于南海西南部,是南海最大的新生代沉积盆地,富含油气(尤其是天然气)资源,盆地总面积约  $1.7 \times 10^5 \text{ km}^2$ ,其中有  $1.27 \times 10^5 \text{ km}^2$  位于中国传统疆界线内<sup>[1]</sup>。对于曾母盆地及邻近地区的沉降史分析,前人已作了一些工作<sup>[2~4]</sup>。笔者以广州海洋地质调查局在曾母盆地所做的大量地球物理资料为基础,对其中的 21 条骨干和典型地震剖面进行数据采集和分析解释,详细分析了曾母盆地早中新世以来的沉降史,并对其构造演化史进行了探讨。

## 1 地质背景

曾母盆地位于大陆壳上,地壳平均厚度为 20 km。其南缘为俯冲带杂岩构成的古晋造山带,可见大型逆断层和褶皱,向北以正断层过渡到稳定的克拉通。钻井资料揭示,盆地的基底分为岩性和时代各不相同的 3 部分,由古新世—始新世千枚岩、中生代中酸性火山岩、侵入岩和变质岩等构成。盆地沉积盖层为新生代地层,地层厚度一般为 6000~8000 m,最厚可达 16000 m。下中新统及以上的沉积盖层厚 2000~4000 m,最厚达 12000 m。在区内可追索对比的地震反射界面为  $T_0$ 、 $T_1$ 、 $T_1'$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_3'$ 、 $T_4$ 、 $T_5$  和  $T_g$ ,相应地把地层划分为  $S1(T_0-T_1)$ 、 $S2(T_1-T_1')$ 、 $S3(T_1'-T_2)$ 、 $S4(T_2-T_3)$ 、 $S5(T_3-T_3')$ 、 $S6(T_3'-T_4)$ 、 $S7(T_4-T_5)$  和  $S8(T_5-T_g)$  共 8 个地震层序。

受各期构造运动的影响,盆地内断裂发育,并伴有新生代岩浆侵入和喷发活动。盆地的断裂主要有 NW 向、NE 向、近 EW 向 3 组。其中以 NW 向断裂为主,多数具张扭性质,并且控制了盆地和构造单元的边界,NE 向断裂次之,主要发

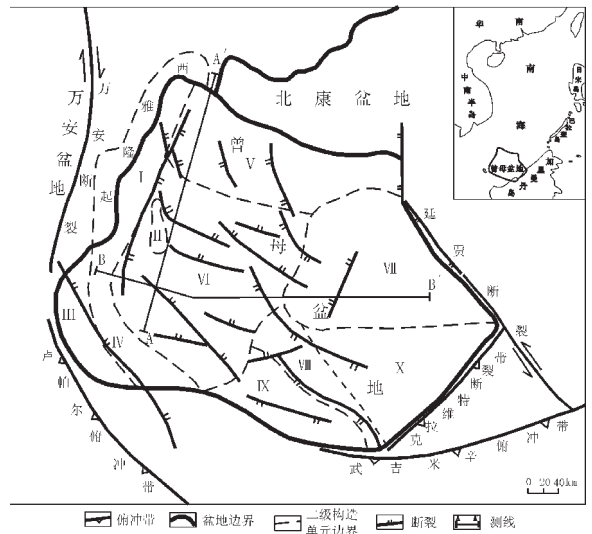


图 1 曾母盆地构造单元划分示意图

I—西部斜坡带;II—康西台地;III—索康拗陷;IV—拉奈隆起;  
V—北康南拗陷;VI—南康拗陷;VII—南康台地;VIII—西巴林坚隆起;  
IX—塔陶垒坳;X—东巴林坚拗陷;A—A'—地震剖面

Fig. 1 Tectonic units in the Zengmu basin

I—West slope zone; II—Kangxi platform; III—Suokang depression;  
IV—Lanai uplift; V—Beikangnan depression; VI—Nankang depression;  
VII—Nankang platform; VIII—West Balingian uplift;  
IX—Tatao horst-garben; X—East Balingian depression;

A—A'—Seismic section

收稿日期:2004-07-02;改回日期:2005-01-08

基金项目:国家重点基础研究发展规划资助项目(G2000046705-02)和中国地质调查局地质大调查项目(20021100003)资助。

作者简介:吴庐山,男,1970年生,硕士,高级工程师,主要从事海洋区域地质调查与研究;E-mail:563wls@163.com。

育在盆地东侧边缘,近 EW 向断裂一般发育在盆地中心。盆地具有强烈的岩浆活动,地震剖面显示了岩浆活动的迹象。根据磁力资料推测,该区岩浆岩类型主要为中酸性火成岩类,活动期主要为中新世—上新世。

根据盆地的基底性质、构造、沉积特征以及地球物理资料,曾母盆地可进一步划分为西部斜坡带、康西台地、索康坳陷、拉奈隆起、北康南坳陷、南康坳陷、南康台地、西巴林隆起、塔陶垒坳和东巴林隆起 10 个二级构造单元(图 1)。其中南康坳陷构成曾母盆地的主体,也是盆地的主要沉积中心,该坳陷内沉积巨厚,沉积厚度基本上超过 10 000 m,最大沉积厚度超过 15 000 m。康西台地面积最小,国外称为纳土纳台地,为一近 SN 走向的大型碳酸盐岩台地复合体。

## 2 研究方法

### 2.1 基本原理

沉降史分析目前已成为盆地分析中的一种常规技术。盆地的沉降分析由两部分组成:一是地质历史分析,经过去压实、古水深和海(湖)平面变化 3 种校正,从而给出总的沉降曲线;二是回剥技术(backstripping),把总沉降区分为构造驱动力所引起的和沉积负载引起的沉降,给出构造沉降曲线。笔者采用的 EBM 盆地模拟系统(BS 回剥系统软件)是一个二维剖面回剥系统,既可以反映盆地总体沉降特征,又可以剖面上不同部位的沉降作出比较。

沉积盆地总沉降量是构造沉降、沉积物和水负载的均衡沉降、沉积物压实、海平面变化等综合作用的结果。要求取构造沉降量,必须对沉积物压实、沉积物负载均衡以及古水深变化等进行校正,盆地的构造沉降(纯水载盆地沉降)可表述为:构造沉降=总沉降-(沉积物和水负载沉降+沉积物压实沉降+海平面的变化)。沉积物的压实过程受到岩性、沉降速率和流体作用等因素影响,岩性往往起主导作用,正常的压实情况下,孔隙度和深度关系服从指数函数分布。古水深的估计可通过沉积相、古生物组合及沉积体的几何形态等方法来进行。沉积物的重力均衡沉降可用 Airy(局部)或挠曲均衡进行校正。

考虑到沉积物压实、沉积物负载均衡以及古水深变化等因素对沉降作用的影响,从二维地震剖面进行计算,构造沉降量的计算采用林畅松等<sup>[5]</sup>的回剥方程:

$$Y(x)=C(S(x))\frac{\rho_m-\rho_s(x)}{\rho_m-\rho_w}-Wd(x)\frac{\rho_w}{\rho_m-\rho_w}+(Wd(x)-SL)$$

其中 C 为均衡比值, S(x) 为校正后的厚度,  $\rho_s(x)$  为沉积物平均密度, Wd(x) 为水深, SL 为古海平面,  $\rho_m$  (地幔密度)取 3.33g/cm<sup>3</sup>,  $\rho_w$  (海水密度)取 1.03g/cm<sup>3</sup>。

### 2.2 参数选取

为研究曾母盆地的沉降过程,必须了解地层的埋藏厚

表 1 曾母盆地时深转换数据

Table 1 Data of time-depth transition of the Zengmu basin

时间 (s)	0.5	1.0	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
速度 (m/s)	1630	2026	2320	2540	2740	2920	3080	3230	3380	3510	3640	3760	3880
深度 (m)	408	1545	2320	3175	4110	5110	6160	7268	8450	9653	10920	12220	13580

度、年代、岩性和沉积相。本文以广州海洋地质调查局在曾母盆地所作的地震剖面资料为基础,并结合地质构造、钻孔等地质资料对这几个参数进行选取。

#### 2.2.1 地层埋藏深度

选取了 21 条跨过全区的地震剖面,采集了从海平面到 T<sub>3</sub> 界面的分层数据,并根据地球物理的速度谱解释的时 # 深转换数据(表 1)拟合出时 # 深转换公式如下:

$$Y=142.18T^2+951.21T+49.85$$

式中:Y—深度值(m), T—双程走时(s)

地层埋藏深度可根据上述的时深转换公式直接从地震剖面中求出。

#### 2.2.2 界面年龄

结合区域地质及国外钻井资料,并参考前人<sup>[1-2,6-7]</sup>对曾母盆地地震反射界面的划分,笔者把曾母盆地早中新世以来的地震反射界面划分为 T<sub>0</sub>、T<sub>1</sub>、T<sub>1</sub><sup>1</sup>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>3</sub><sup>1</sup>,与国外学者<sup>[6-7]</sup>的划分基本一致,相应的地震反射界面的年龄取值分别为:T<sub>3</sub><sup>1</sup> 为 17.5 Ma、T<sub>3</sub> 为 11.6 Ma、T<sub>2</sub> 为 5.5 Ma、T<sub>1</sub><sup>1</sup> 为 3.0 Ma、T<sub>0</sub> 为 0 Ma。

表 2 不同岩性的物性参数

Table 2 Physical parameters of different rocks

岩性	表面孔隙度 (φ <sub>0</sub> )	压实系数 (km <sup>-1</sup> )	沉积颗粒密度 (kg/m <sup>3</sup> )
泥岩	0.63	0.51	2720
砂岩	0.49	0.27	2650
碳酸盐岩	0.50	0.70	2710
泥质砂岩	0.56	0.39	2680

#### 2.2.3 地层物性

为了进行去压实校正,需要确定各层序的岩性或岩性组合,主要是通过钻孔岩心、测井和地震相的分析确定。在正常压实情况下单一岩性通常采用的压实系数(C)和表面孔隙度(φ),混合岩性可按此数值按比例加权得出。

曾母盆地中中新统(相当于 T<sub>3</sub><sup>1</sup>—T<sub>3</sub> 层序)以碎屑岩为主,构造高部位碳酸盐岩发育,主体为浅海—深海沉积环境,南部为海岸平原环境;上中新统(相当于 T<sub>3</sub>—T<sub>2</sub> 层序)以碎屑岩为主,南康台地和西部边缘台地灰岩和礁灰岩发育,以浅海环境为主,西部为海岸—海岸平原沉积环境;上新统—第四系(相当于 T<sub>2</sub>—T<sub>0</sub> 层序)主要为砂泥岩,为浅海—深海沉积<sup>[1]</sup>。

### 2.2.4 古水深

沉积盆地水深较大时,必须作水深校正才能得出正确的构造沉降量。古水深的估计是通过沉积相分析、古生物组合和做过古水深研究的钻井等资料综合进行。根据本区的情况,并参考现代南海海区的水深变化,模拟中古水深取值如下:陆相和海岸平原相为 0 m,滨海相为 0~50 m,浅海相为 50~200 m,半深海相为 200~500 m,深海相大于 500 m。

## 3 沉降史分析

通过上述参数的选取,对 21 条骨干和典型地震剖面进行数据采集,形成各个剖面的沉降量分析数据库,并应用上述的方法对各条剖面的沉降史进行定量分析,计算了盆地的

各种沉降参数,绘制了盆地不同构造单元的沉降速率直方图(图 2)、早中新世以来各个时代沉降速率等值线图(图 3)及 A—A'、B—B' 两条地震剖面的沉降史演化图(图 4~5),对曾母盆地的充填沉降史取得如下认识:

### 3.1 沉降特征

(1)盆地中不同构造单元的沉降速率随时间的变化趋势相似,均经历了多次快速的沉降作用,即 17.5~11.6 Ma(图 3-a)、11.6~5.5 Ma(图 3-b)、5.5~3.0 Ma(图 3-c)和 3.0~0 Ma(图 3-d)4 次沉降作用。其中第 1 次沉降作用速度较快,沉降速率一般为 400~800 m/Ma,最大达 850 m/Ma 以上。第 2 次沉降作用速度相对较慢,沉降速率一般为 200~600 m/Ma。第 3 次沉降作用速度最快,沉降速率一般达 800~1 600 m/Ma,该

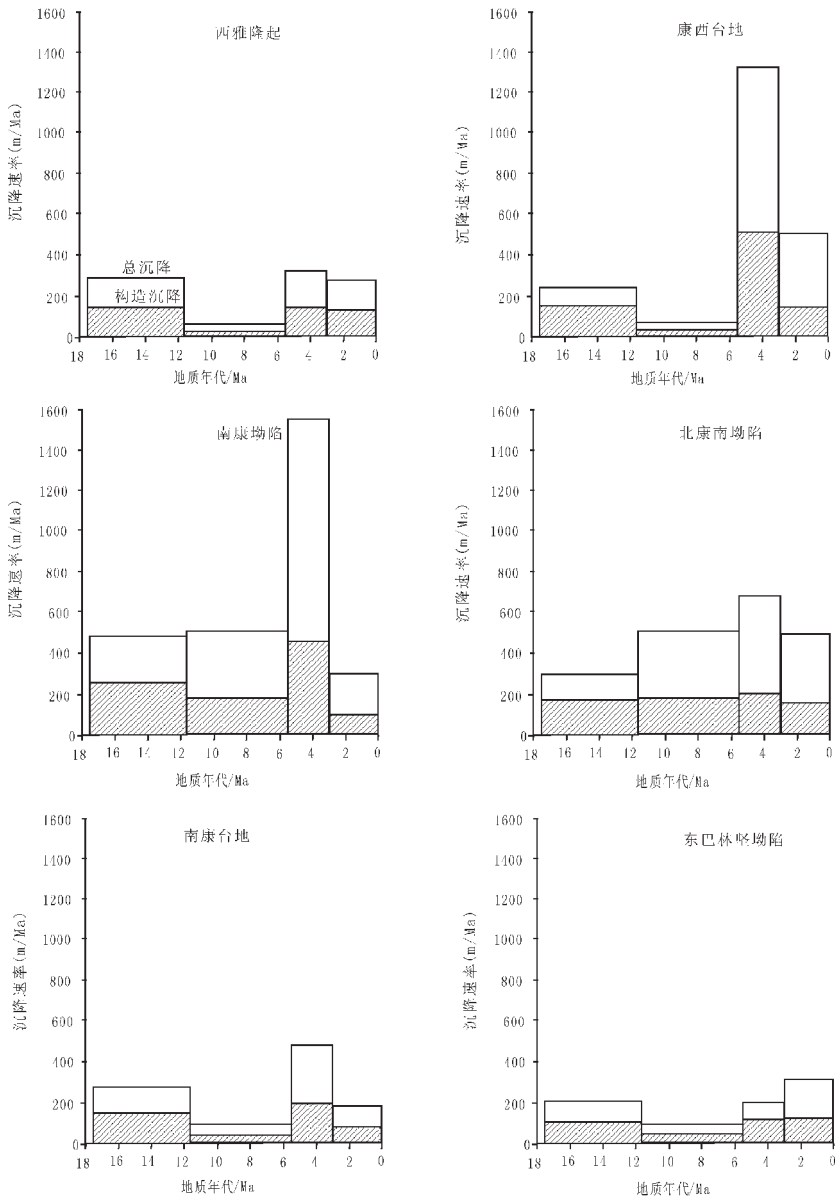


图 2 曾母盆地及邻区不同构造单元沉降速率直方图

Fig.2 Histograms of subsidence rates of different tectonic unit in the Zengmu basin and adjacent areas

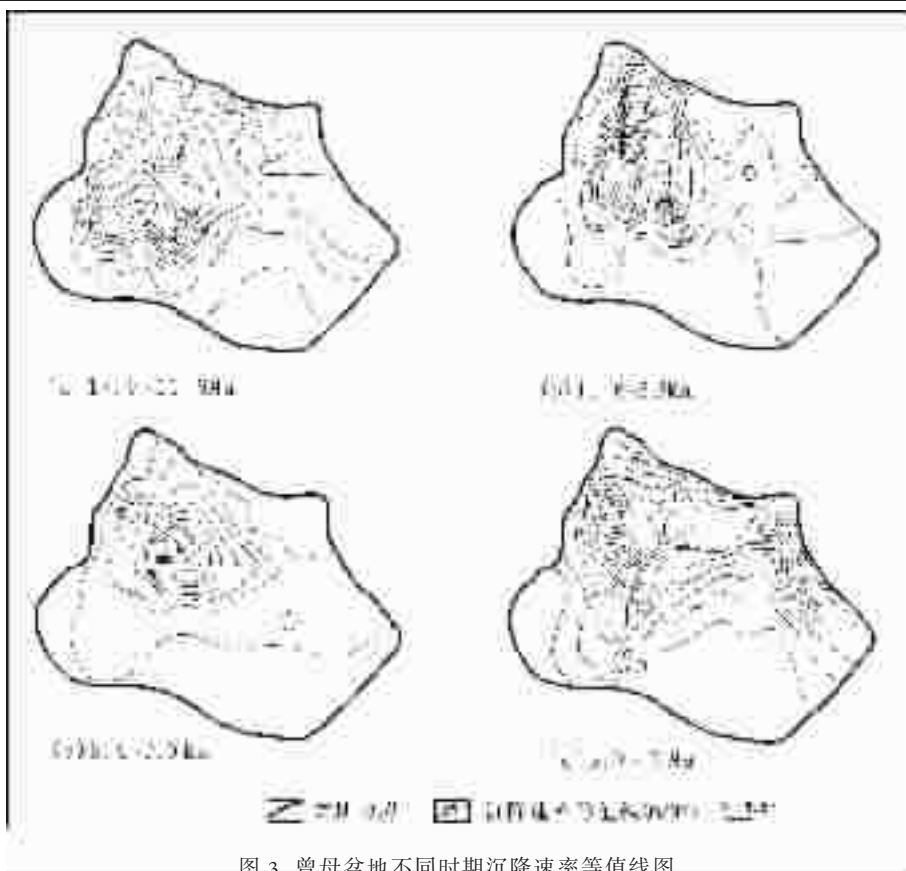


图 3 曾母盆地不同时期沉降速率等值线图

Fig. 3 Isolines of subsidence rates of the Zengmu basin in different periods

期为盆地最大沉降期。第 4 次沉降作用速度普遍减慢,一般为 100~500 m/Ma。

(2) 盆地中不同构造单元的沉降作用存在明显的差异。具有西部沉降速度快、东部沉降速度慢,坳陷沉降速度快、隆起沉降速度慢的特征。盆地西部的南康坳陷为最主要的沉降中心,沉降速率一般为 400 m/Ma 以上,最大可超过 1 600 m/Ma,总体沉降量最大可达 15 000 m 以上。而东部的西巴林隆起及南康台地的沉降速率相对较低,一般为 200 m/Ma, 3.0~0 Ma 时可达 500 m/Ma,总体沉降量一般不超过 4 000 m。

(3) 构造沉降随时间的推移呈减小趋势。从图 2 可看出, 11.6 Ma 以前,构造沉降的比例较大,占总沉降量的 50% 以上;但随着时间的推移,构造作用影响逐渐减弱,海平面升降、沉积物供给、压实等作用相对加强。

### 3.2 埋藏史变化规律

从穿越南康坳陷的近南北向 A—A' 测线的埋藏史模拟结果(图 4)可以看出,  $T_3$  (11.6 Ma) 界面上下层序的沉降中心明显不同。11.6 Ma 之前,盆地各充填层序的沉积中心和沉降中心主要在盆地南部和北部,南部沉降幅度明显大于北部。11.6 Ma 之后,盆地沉降中心不断向北迁移,且只有一个沉降中心。南康坳陷沉降中心这种有规律的迁移,是盆地

南部  $T_4$ — $T_2$  时期三角洲不断由南向北进积的结果。

通过对近东西向 B—B' 测线的埋藏史模拟结果(图 5)可以看出,盆地的沉积和沉降中心几乎不存在迁移现象,集中在盆地的西部地区,东部地区沉降幅度很小。显示南康坳陷与南康台地的不同沉降特征,  $T_2$  (5.5 Ma) 时期全区表现为东西向均匀沉降。

### 3.3 沉降作用的动力学分析

曾母盆地的沉降主要受断裂作用的影响,断裂的性质和活动时间的变化控制着区域上沉降中心的出现及随时间的迁移。挤压断裂发育时,局部沉降中心主要出现在俯冲带边缘;走滑断裂发育时,局部沉降中心可出现在断裂的一侧或两侧,但沉降中心不是紧靠断裂,而是与断裂存在一定距离;张性断裂发育时,局部沉降中心紧靠断裂一侧。卢帕尔断裂、武吉米辛断裂、万安断裂、廷贾断裂等的依次活动控制了盆地沉降中心的出现及迁移。

始新世末—渐新世,由于西婆罗洲地块的逆时针旋转,使古南海洋壳俯冲消减于西婆罗洲地块之下,曾母盆地随古南海洋壳的俯冲而最终与西婆罗洲地块拼贴,曾母盆地的沉降作用开始<sup>①</sup>。始新世末—渐新世,盆地的沉降作用受控于卢帕尔和武吉米辛等基底断裂,主要发生于俯冲带边缘上,即在

① 吴进民,等. 南海主要盆地地质构造特征及成气条件. 第二海洋地质调查大队, 1989.

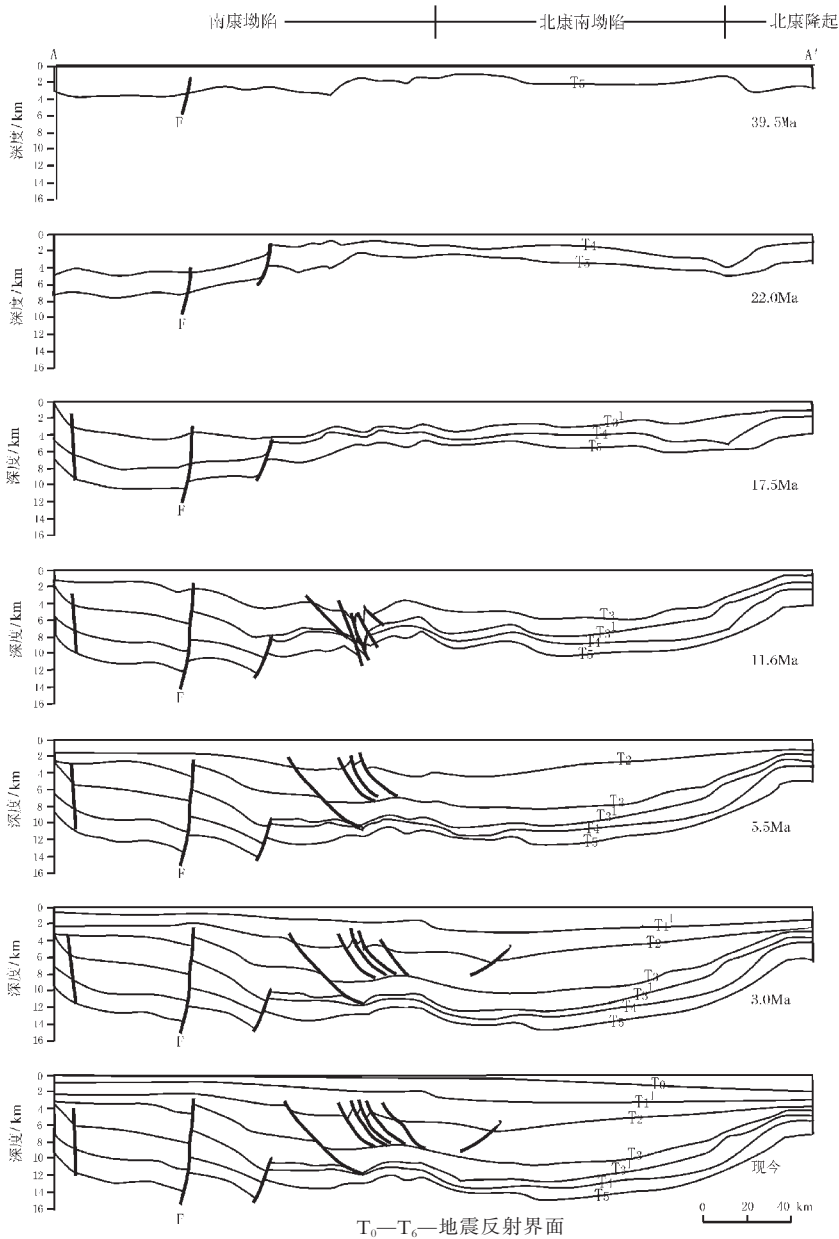


图4 曾母盆地 A—A'测线沉降史演化图

Fig. 4 Subsidence history of line A-A' in the Zengmu basin

盆地南缘的索康坳陷、拉奈隆起、塔陶垒堑、西巴林坚隆起和东巴林坚坳陷。沉降量相对较大,沉积厚度一般为500~3000m。此外,延贾断裂西南侧的南康台地此时也是盆地的一个沉降中心,沉降速率达300m/Ma。

早—中中新世(17.5~11.6 Ma)(图3-a),盆地的沉降作用仍受卢帕尔和武吉米辛等基底断裂所控制,沉降中心还是位于俯冲带边缘上,只是此时的沉降中心北移,位于南康坳陷的南部,沉降速率一般为400~850 m/Ma,沉降量为2300~5000m。延贾断裂西南侧的南康台地此时的沉降速率为200~

300 m/Ma,沉降量为1200~1800m。

中—晚中新世(11.6~5.5 Ma)(图3-b),菲律宾海板块和欧亚板块在民都洛岛处的碰撞事件,对南海南部海域产生向西的挤压,产生了强烈的构造运动,称“万安运动”<sup>[8,9]</sup>。受西侧的万安断裂活动所影响,曾母盆地发生沉降作用,沉降中心仍然位于南康坳陷,出现4个次一级的沉降中心,主要位于该坳陷的西部和南部,这4个沉降中心的最大沉降速率均可达到800 m/Ma,沉降量可达5000 m,其中西部的3个沉降中心呈近SN向链状分布,这与万安断裂的走向近乎一致,反映其受



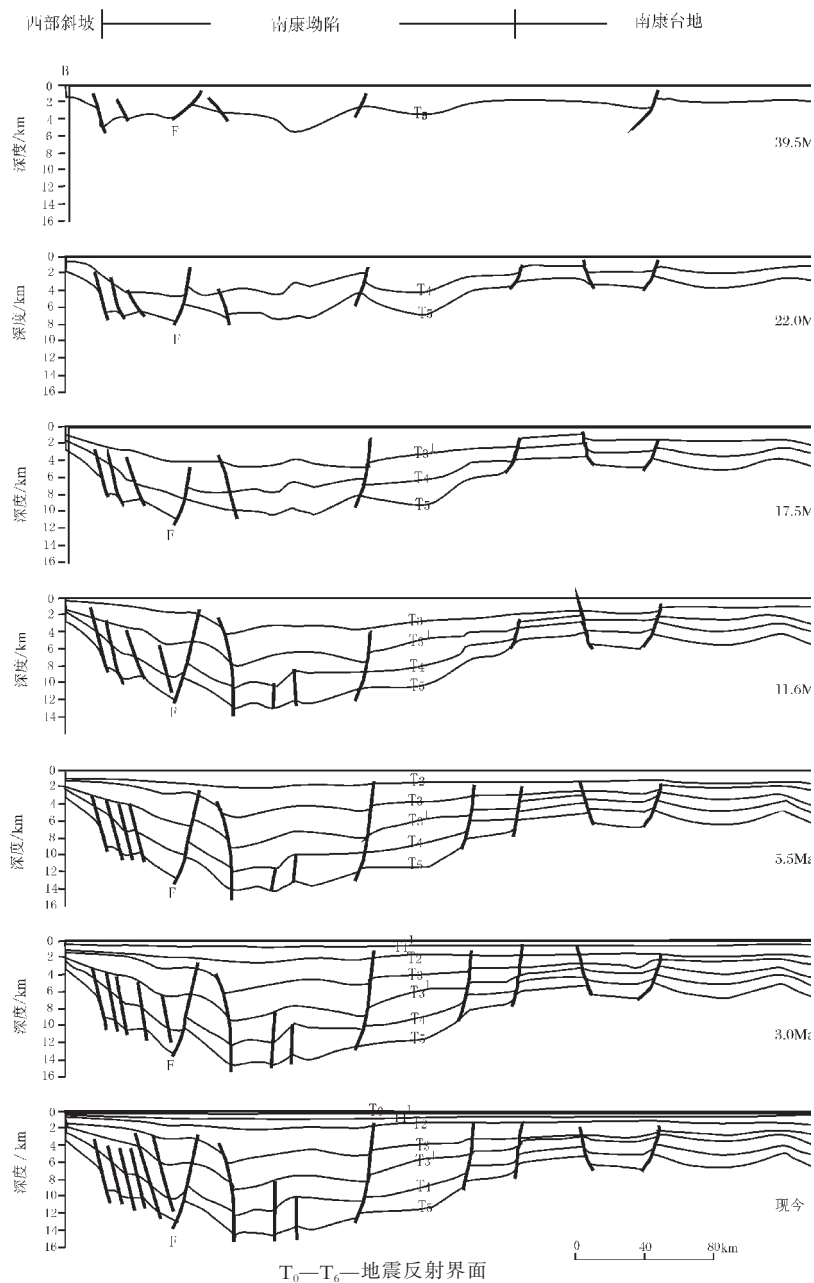


图 5 曾母盆地 B—B'测线沉降史演化图

Fig. 5 Subsidence history of line B—B'in the Zengmu basin

控于万安断裂。东部的沉降作用明显减弱,沉降速率一般不超过 200 m/Ma,沉降量一般小于 1200 m,这与廷页断裂的活动减弱有关。

晚中新世—上新世(5.5~3.0 Ma)(图 3-c),此为盆地的最大沉降期。最明显的特征是由于受南海海底扩张后区域热沉降的影响,大量张性断裂发育,差异升降强烈。盆地的沉降中心仅出现在西部,且沉降中心由南向北移动,主要位于南康坳陷北

侧、北康南坳陷和康西台地,沉降速率一般均大于 400 m/Ma,最大可达 2000 m/Ma。康西台地此时的沉降速率相对较高,为 600~1000 m/Ma,沉积了 1500~2500 m 厚的碳酸盐岩。而东部的西巴林隆起则出现基底隆升,最大隆升量 52 m,隆升速率为 10.4 m/Ma<sup>①</sup>。

上新世—第四纪(3.0~0 Ma)(图 3-d),仍具有区域沉降的特征,但区域沉降的速度减慢,相应地沉降速率也普遍减慢,

① 姚伯初,吴进民,金庆焕,等.南沙群岛及邻区重点盆地分析和油气资源.广州海洋地质调查局,1995.

一般为100~500m/Ma。沉降速率由南向北具有增大的趋势,沉降中心位于南康坳陷北部、南康台地和北康南坳陷。整个曾母盆地呈向北倾的斜坡,构成南海西南部陆架的一部分。

#### 4 构造演化史分析

曾母盆地是在曾母地块、南沙地块与婆罗洲地块相互作用下形成的,其构造演化受控于曾母地块与南沙地块及婆罗洲地块的碰撞和盆地两侧的万安—卢帕尔断裂与廷贾走滑断裂的综合作用。首先从晚白垩世开始,婆罗洲地块逆时针旋转,与曾母地块碰撞并沿卢帕尔断裂消减,形成了锡布带;随后碰撞进一步作用,形成了古新世—始新世拉让群轻微变质的沉积层,到渐新世时两个地块完全拼合在一起,南北向挤压应力仍起作用,导致了一系列北北西向张性断裂的形成,并由此形成一系列小地堑,其上发育海陆交互沉积,曾母盆地开始发育<sup>[9]</sup>。

晚始新世—早中新世,曾母盆地经历了一个特殊的构造演化阶段,曾母地块受到双向挤压,即南部边缘与婆罗洲地块碰撞,北部边缘则与南沙地块碰撞。且由于两微板块的拼贴导致该区呈WNW向的构造特征。在曾母地块东南部构造格局与西南部明显不同。已有资料证实东巴林坚坳陷为减薄陆壳和加厚洋壳混杂地区<sup>[10]</sup>。在西巴林坚隆起上已有数口钻井钻遇古新统—始新统拉让群,可能代表该区残留洋盆沉积。东巴林坚坳陷发育的褶皱构造的走向为NE向,褶皱构造形成时间为中、晚中新世<sup>[10]</sup>。这一现象表明曾母地块东南缘的碰撞要晚于西南缘,且构造线也从早期的WNW向转为晚期的NE向。在北部,曾母地块北侧毗邻于南沙地块,以廷贾走滑断裂带为分界。本次研究发现沿廷贾断裂带形成一系列近EW走向的叠瓦状逆冲断层,变形地层的时代为渐新世—早中新世,逆冲形成时间为早—中中新世。在该逆冲断裂前缘并没有形成明显的前缘深凹,而是逆冲断裂呈叠瓦状向北节节后退,从而导致晚中新世地层不断超覆。这一特征可能意味着碰撞逆冲的能量相对较弱,其俯冲能量远远低于南部边缘。这种近南北向挤压可能与南海西南海盆和中央海盆的扩张有关。

中—晚中新世,为本区的走滑改造阶段。中中新世以海平面持续下降为特征,盆地南部海岸平原及三角洲尤为发育。地震剖面上可见大套斜交前积地震相,表明三角洲由南至北、由西向东的迁移,使南康坳陷西部和南部成为新的沉积中心。沉积中心主要为滨海、浅海沉积,局部为半深海沉积。在盆地东部和西部还发育浅海—半深海碳酸盐岩台地及生物礁,南康台地W-B井显示发育半深海沉积。中中新世末期,万安运动在曾母盆地中表现非常强烈,不仅使当时的沉积发生断裂与块断活动,而且还使地层发生倾斜和抬升,此后其顶部地层遭受剥蚀,导致了南康坳陷中的构造反转和泥底辟刺穿。晚中新世,盆地沉积相序从南向北发育海岸平原相、三角洲相、浅海—半深海相。尤其是三角洲体由南向北的快速沉积和快速推进,导致盆地内形成大型重力滑脱断裂系统及泥底辟构造。曾母盆地西部、东部为隆起或斜坡区,在晚中新世时期发育碳酸盐台地或生物礁。此时南康坳陷北部生长断裂发育,形

成大量的掀斜断块<sup>[11]</sup>,构成一系列由多种类型组合而成的局部构造带。

自晚中新世末以来,曾母盆地进入区域沉降阶段。特别是万安运动之后,南海海底扩张已结束,区域应力场进入平静松弛状态,整个南海地区处于张性应力场的控制之中,一次新的热事件开始发生。与南海北部陆缘盆地相似,10Ma之后出现的被动大陆边缘快速热沉降也同样在南海南部周边陆地和岛弧区中发生,曾母盆地此时也发生中基性、基性岩的喷发,并在均衡作用下,发生区域性沉降。正是由于这些热事件及随后热沉降作用,导致曾母盆地中部和北部大幅度沉降,在南康坳陷和北康南坳陷中形成了厚逾千米的第四纪和上新世浅海—半深海沉积。同时,西婆罗洲地块不断抬升,盆地向北倾斜,来自南部的大量碎屑物质源源不断地由南至北进入南康坳陷及北康南坳陷,导致了较长时间的广泛海退,沉积中心逐步向北迁移,形成了加里曼丹岛西北陆架现今的构造格局。

#### 5 结 论

(1) 曾母盆地早中新世以来经历4次快速沉降作用,即17.5~11.6Ma、11.6~5.5Ma、5.5~3.0Ma和3.0~0Ma。其中第3次为盆地最大沉降期,沉降速度最快,一般达800~1600m/Ma,最大可达2000m/Ma。

(2) 盆地中不同构造单元的沉降作用存在明显的差异。具有西部沉降速度快、东部沉降速度慢,坳陷沉降速度快、隆起沉降速度慢的特征。随着时间的推移,盆地的沉降中心由南向北移动,构造沉降量则呈逐渐减小的趋势。

(3) 曾母盆地的构造演化受控于曾母地块与南沙地块及婆罗洲地块的碰撞和盆地两侧的万安—卢帕尔断裂与廷贾走滑断裂的综合作用。晚始新世—早中新世,曾母盆地经历了一个特殊的构造演化阶段,曾母地块受到双向挤压,即南部边缘与婆罗洲地块碰撞,北部边缘则与南沙地块碰撞;中中新世—晚中新世,由于菲律宾海板块和欧亚板块在民都洛岛处的碰撞事件,对南海南部海域产生向西的挤压,造成区域抬升和走滑活动,为本区的走滑改造阶段;自晚中新世末以来,南海海底扩张已结束,区域应力场进入平静松弛状态,整个南海地区处于张性应力场的控制之中,曾母盆地进入区域沉降阶段。

致谢: 本文部分图件由广州海洋地质调查局邓慧荣工程师绘制,谨表示衷心感谢。

#### 参考文献(References):

- [1] 陈玲. 南沙海域曾母盆地西部地质构造特征[J]. 石油地球物理勘探, 2002, 37(4): 354~362.  
Chen Ling. Geologic structure feature of the west of Zengmu basin of Nansha offshore area[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2002, 37(4): 354~362 (in Chinese with English abstract).
- [2] 钟建强, 黄慈流, 詹文欢, 等. 南海曾母盆地新生代晚期构造沉降分析[J]. 黄渤海海洋, 1994, 12(2): 40~46.  
Zhong Jiangqiang, Huang Ciliu, Zhan Wenhuan, et al. Analyses of

- late Cenozoic tectonic subsidence of Zengmu basin in South China Sea[J]. *Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas*, 1994, 12(2):40~46 (in Chinese with English abstract).
- [3] 刘振湖. 南海万安盆地沉降作用与油气前景[J]. *中国海上油气*, 1998, 12(4):235~240.
- Liu Zhenhu. Subsidence and hydrocarbon potential of Wan'an basin, South China Sea[J]. *China Offshore Oil and Gas(Geology)*, 1998, 12(4):235~240 (in Chinese with English abstract).
- [4] 刘振湖,郭丽华. 北康盆地沉降作用与构造运动[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2003, 23(2):51~57.
- Liu Zhenhu, Guo Lihua. Subsidence and tectonic evolution of the Beikang basin, the South China Sea [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2003, 23(2):51~57 (in Chinese with English abstract).
- [5] 林畅松,张燕梅. 拉伸盆地模拟理论基础与新进展[J]. *地学前缘*, 1995, 2(3-4):79~88.
- Lin Changsong, Zhang Yanmei. Quantitative stretching models and computer simulation of rift basin[J]. *Earth Science Frontiers*, 1995, 2(3-4):79~88 (in Chinese with English abstract).
- [6] Ismail M I, Eusoff A R, Mohammad A M, et al. The geology of Sarawak deepwater and surrounding areas[J]. *Geol. Soc. Malaysia, Bulletin* 37, 1995, 165~178.
- [7] Mohammad A M, Wong R H F. Seismic sequence stratigraphy of the Tertiary sediments, offshore Sarawak deepwater area, Malaysia[J]. *Geol. Soc. Malaysia, Bulletin* 37, 1995, 345~361.
- [8] 姚伯初,万玲,刘振湖,等. 南海南部海域新生代万安运动的构造意义及其油气资源效应[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2004, 24(1):71~77.
- Yao Bochu, Wan Ling, Liu Zhenhu, et al. Tectonic significance and its petroleum effect of the Wan'an tectonic movement in the south of the South China Sea[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2004, 24(1):71~77 (in Chinese with English abstract).
- [9] 姚伯初,万玲,吴能友. 大南海地区新生代板块构造活动[J]. *中国地质*, 2004, 31(2):113~122.
- Yao Bochu, Wan Ling, Wu Nengyou. Cenozoic plate tectonic activities in the Great South China Sea Area [J]. *Geology in China*, 2004, 31(2):113~122 (in Chinese with English abstract).
- [10] 钟广见,王嘹亮. 南海西南部新生代盆地类型及演化历史[J]. *海洋湖沼通报*, 1996, (2):24~32.
- Zhong Guangjian, Wang Liaoliang. The types of Cenozoic basins in the southwest of South China Sea and their evolution [J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 1996, (2):24~32 (in Chinese with English abstract).
- [11] 邱燕. 南沙海域增母盆地构造样式特征及其与油气聚集和圈闭的关系[J]. *地质通报*, 2005, 24(1):16~22.
- Qiu Yan. Typical structural styles and the relationships with hydrocarbon accumulation and traps in the Zengmu basin, Nansha sea area [J]. *Geological bulletin of China* 2005, 24(1):16~22 (in Chinese with English abstract).

## Analysis of the subsidence history of the Zengmu basin in the southwest South China Sea since the early Miocene

WU Lu-shan<sup>1</sup>, QIU Yan<sup>1</sup>, XIE Xi-nong<sup>2</sup>, LIU Xiao-feng<sup>2</sup>, JIANG Tao<sup>2</sup>

(1. *Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510760, Guangdong, China;*

2. *School of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China)*

**Abstract:** The subsidence history of the Zengmu basin since the early Miocene is studied by the backstripping technique with Airy isostatic correction and the characteristics of the tectonic evolution of the basin are discussed in the paper. The Zengmu basin underwent four periods of rapid subsidence since the early Miocene; they are 17.5–11.6 Ma, 11.6–5.5 Ma, 5.5–3.0 Ma and 3.0–0 Ma. The tectonic evolution of the basin was controlled by combined actions of the collision of the Zengmu block with the Nansha block and Borneo block and the Wa'an–Lupar fault and Tindja strike–slip fault on its both sides. Three evolutionary stages may be distinguished, i.e.: bi-directional N–S compression (late Eocene–early Miocene), strike–slip modification (middle Miocene–late Miocene) and regional subsidence (Pliocene–Quaternary).

**Key words:** Zengmu block; Zengmu basin; early Miocene; subsidence history; tectonic evolution

**About the first author:** WU Lu-shan, male, born in 1970, master, senior engineer, mainly engages in marine geological survey and research; E-mail: 563wls@163.com.