

doi:10.3799/dqkx.2014.096

中国东部新生代沉积盆地演化

徐亚东^{1,2}, 梁银平³, 江尚松^{1,2}, 骆满生¹, 季军良^{1,2}, 张宗言^{2,4}, 韦一^{1,2}, 宋博文⁵

1. 中国地质大学生物地质与环境地质国家重点实验室, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

3. 国土资源实物地质资料中心, 河北三河 065201

4. 南京地质矿产研究所, 江苏南京 210016

5. 中国地质大学地质调查研究院, 湖北武汉 430074

摘要: 新生代, 中国东部大陆边缘系统总体受到来自印度、澳大利亚、菲律宾和太平洋板块向欧亚板块下部俯冲碰撞的作用, 在大陆边缘形成一系列边缘海盆地和断陷—坳陷盆地, 主要发育松辽、渤海湾、江汉、苏北、东海、珠江口和北部湾等盆地。基于中国东部沉积盆地的中生代构造背景分析和新生代盆地的分布特征, 对其中的7个主要沉积盆地进行了详细的沉积序列和构造演化分析。通过周缘板块和郯庐断裂的构造演化、火山活动、低温热年代学、气候演变等对比分析, 中国东部沉积盆地的演化可划分为3个阶段: 古新世—始新世、渐新世—早中新世和晚中新世—第四纪。

关键词: 构造; 沉积; 盆地演化; 新生代; 中国东部。

中图分类号: P534

文章编号: 1000-2383(2014)08-1079-20

收稿日期: 2014-03-25

Evolution of Cenozoic Sedimentary Basins in Eastern China

Xu Yadong^{1,2}, Liang Yinping³, Jiang Shangsong^{1,2}, Luo Mansheng¹,
Ji Junliang^{1,2}, Zhang Zongyan^{2,4}, Wei Yi^{1,2}, Song Bowen⁵

1. State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. Material Geological Data Center, Ministry of Land and Resources, Sanhe 065201, China

4. Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Nanjing 210016, China

5. Institute of Geological Survey, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: With subduction collision between Eurasian plate and surrounding plates such as Indian, Australian, Philippine and Pacific plates, a series of marginal sea basins, and faulted-downwarped basins formed in the continental margin of eastern China, mainly including Songliao, Bohai Bay, Jiangnan, Subei, East China Sea, Pearl River Mouth and Beibuwan basins. Based on Mesozoic tectonic background analysis and Cenozoic distribution characteristics of sedimentary basins in eastern China, sedimentary sequence and tectonic evolution of 7 main basins are analyzed in detail through a comparative study of tectonic evolution of the surrounding plates and the Tan-Lu fault, volcanism, low temperature thermochronology, climatic evolution, and so on. It is found that the tectonic evolution of the sedimentary basins in eastern China can be divided into three phases, which are Paleocene-Eocene, Oligocene-Early Miocene and Late Miocene-Quaternary respectively.

Key words: tectonics; sedimentology; basin evolution; Cenozoic; eastern China.

20世纪中叶以来, 老一辈地质工作者(黄汲清等, 1977; 马杏垣等, 1983; Ma and Wu, 1987; 马杏垣和吴大宁, 1988; 任纪舜, 1990; 杨巍然, 2006)推动了

中国的区域大地构造研究, 而尹赞勋(1973)引进的板块构造学说促使我国地质学者开始运用板块观点研究构造问题。之后, 对油气资源的迫切需求和勘探

基金项目: 中国地质调查局项目(Nos. 1212011121261, 12120113012500, 1212011121261); 国家自然科学基金(No. 41302279); 生物地质与环境地质国家重点实验室自主研究课题(No. GBL11207); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(No. CUG110805)。

作者简介: 徐亚东(1983—), 男, 博士, 主要从事沉积学、古生物学和青藏高原地质研究。E-mail: yuren36@gmail.com

开发推动了沉积盆地的大地构造研究;其中,造山带和沉积盆地的区域构造研究是了解沉积盆地的形成、演化过程及其与周缘板块活动和深部过程的关键(陈发景和汪新文,1997).然而,中国大陆具有复杂的构造演化阶段和过程,是基于不同时期的陆块和地块拼合而成的(刘光鼎,2007;Zheng *et al.*, 2012);中国东部新生代沉积盆地的演化与中国板块边缘活动引起的大陆内块体间伸展、缩短挠曲和走滑作用密切相关(王鸿祯等,1983;陈发景和汪新文,1997;孙晓猛等,2005;徐旭辉等,2005;Zheng *et al.*,2012),即大陆内盆地的形成和改造受控于中

国大陆边缘特提斯洋和太平洋构造体系的演化.通过对新生代主要沉积盆地的沉积序列、演化特征及其构造背景分析,可以理清区域构造演化对沉积盆地的控制作用,并为寻找有利的油气资源提供理论依据.本文对沉积盆地类型的划分与鉴别特征采纳了张克信等(2010,2014)的划分与论述.

1 中国东部沉积盆地的构造背景

在中国的造山带和沉积盆地的发展中,印支运动期是一个关键的转折期,所以探讨印支期以来的

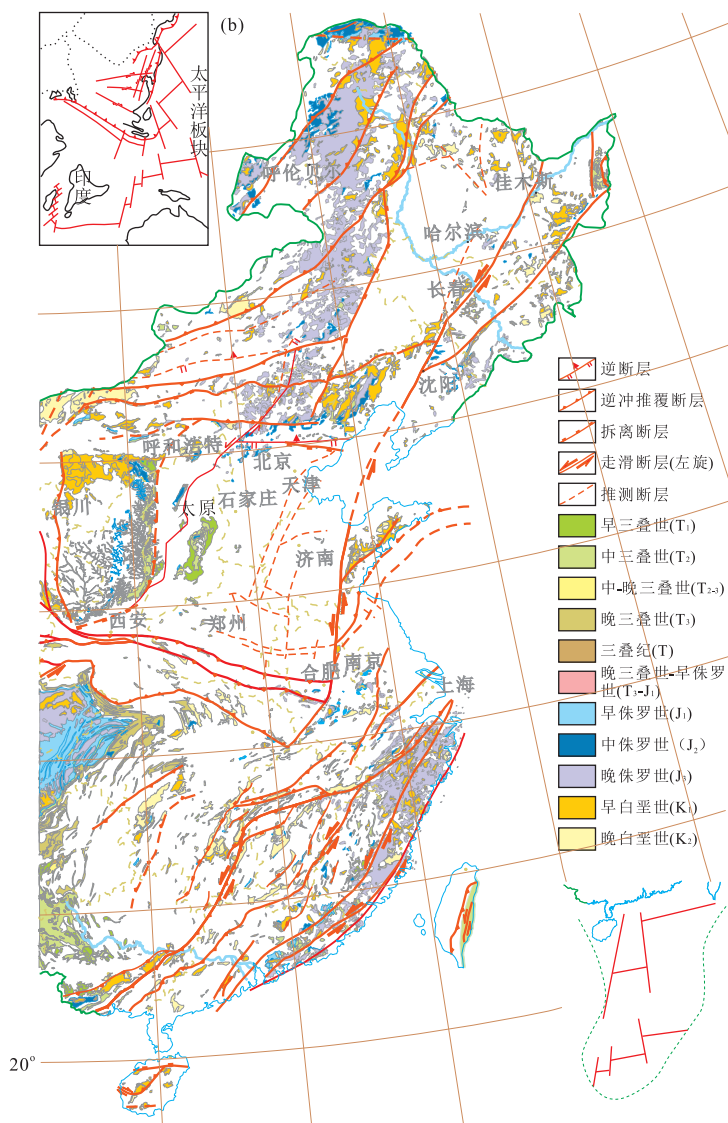


图 1 中国东部中生代地层露头分布和大地构造略图

Fig.1 Distribution of Mesozoic strata and tectonic map in eastern China

图 a 的大型断裂系发育特征据马杏垣等(1983),Ren *et al.*(2002)和万天丰和朱鸿(2002);图 b 的大型断裂系发育特征据陈丕基(1988),朱夏(1990),李显武和周新民(1999),李廷栋和莫杰(2002),Ren *et al.*(2002),舒良树等(2004),孙晓猛等(2005)和索艳慧等(2012)

基底构造背景对理清新生代沉积盆地的发展和演化具有重要的意义(图 1a)。本文基于王鸿祯等(1983)的划分方案,以贺兰山—龙门山—康滇地轴为界把中国分为东西两部分。中国东部陆缘区中生代深大断裂十分发育,并与滨太平洋构造体系密切相关(朱夏,1990)。根据断裂的时空分布规律,可划分出 4 个断裂系(孙晓猛等,2005):燕山断裂系、秦岭—大别—苏鲁断裂系、郯庐断裂系及东海—冲绳断裂系,其空间展布特征见图 1b。

燕山断裂系在印支—燕山期性质发生较大变化,为逆冲(中三叠世末期)—拉张断陷(早侏罗世)—逆冲(早侏罗世末期—中侏罗世),方向从早到晚具有 EW-NE-NNE 向偏转迁移规律,其中伴生的火山活动的迁移规律与断裂一致,此为蒙古—鄂霍茨克洋闭合的远程效应(Yin and Nie, 1996)和伊泽奈崎板块斜向俯冲相互叠加的影响;随着两者的影响此消彼长,构造线方向发生明显的左旋偏转迁移。晚白垩世以来,本区主要受太平洋板块俯冲作用的影响,断裂线方向呈 NNE 向(孙晓猛等,2005)。

秦岭—大别—苏鲁断裂系北麓逆冲推覆作用的强度在印支—燕山早期表现出南强北弱、东强西弱和东断西褶趋势,同时具有由东向西、由早到晚穿时迁移演化特征;燕山末期则相反,表现出北强南弱、西强东弱的构造特征,其逆冲推覆构造全区均较发育(孙晓猛等,2005)。造成该断裂系构造迁移的原因是由于扬子板块和华北板块在中晚三叠世—早侏罗世由东向西呈剪刀差式穿时碰撞和陆内俯冲作用。

郯庐断裂系的活动具有早白垩世左旋走滑(陈丕基,1988)、晚白垩世拉张伸展的转变,其对盆地的控制作用具有由早到晚、由西向东、由南向北迁移规律。晚侏罗世—早白垩世期间,由于伊泽奈崎板块呈 NNW-N 方向向东亚大陆之下斜向俯冲促使郯庐断裂发生大规模的左旋走滑作用(孙晓猛等,2005)。到晚白垩世,中国东部大陆的构造背景由低角度俯冲的压扭转变成高角度俯冲的伸展(李显武和周新民,1999),大陆东部的岩浆弧向东迁移(Liu *et al.*, 2001),对应的控盆断裂和断陷盆地也由西向东迁移(孙晓猛等,2005),形成了以郯庐断裂带为界线的东坳西隆的构造格局。

东海陆架盆地—冲绳海槽断裂系的形成时代具有明显的从西向东越来越新的迁移规律,其中连云港—黄梅缝合带形成于印支期,下扬子成对逆冲推覆断裂系统和苏北盆地控盆断裂形成于印支晚期—

燕山早期,东海盆地 NNE-NE 向和 NW 向两组基底断裂形成于晚白垩世(孙晓猛等,2005)。

2 中国东部新生代沉积盆地分布特征

我国东部新生代沉积盆地主要分布在大兴安岭、太行山和武陵山以东地区,少数分布在中、西部区域(王鸿祯等,1983;李国玉等,2002;徐旭辉等,2009)(图 2)。其中,东北大陆裂陷盆地体系呈 NNE 向分布,如依兰盆地、伊通盆地、敦化盆地;华北—渤海湾陆内裂陷盆地主要沿郯庐断裂带分布,如渤海湾盆地、胶莱盆地、合肥盆地、九江—芜湖盆地等,其中渤海湾盆地古近纪凹陷沉积中心具有明显的向北迁移规律;扬子大陆裂谷系包括十万大山盆地、湛江盆地、三江盆地等。此外,东海陆缘裂陷盆地呈 NNE 向发育;而南海北部陆缘裂陷盆地包括珠江口—琼东南盆地、北部湾盆地、莺歌海盆地等,呈 NE-EW-NW 向弧形分布(王鸿祯等,1983;李国玉和吕鸣岗,2002)。

3 主要盆地沉积序列

中国东部新生代大型盆地主要有松辽盆地、渤海湾盆地、江汉盆地、苏北盆地、东海盆地、珠江口盆地和北部湾盆地等(王鸿祯等,1983;李国玉等,2002)(图 3),盆地充填序列特征如下。

3.1 松辽盆地

松辽盆地为拉张背景下的断陷—坳陷盆地(李国玉等,2002)。新生代地层主要分布于松辽盆地西部,自下而上为依安组($E_{2-3,y}$)、大安组(N_1d)和泰康组(N_2t)。依安组($E_{2-3,y}$)仅分布在依安—泰康一带,下部以暗灰色、灰黑色泥岩为主,上部为黄绿色粉砂岩、泥质粉砂岩与灰色泥岩互层,主要为一套曲流河—滨浅湖相沉积;含孢粉化石 *Sphagnum* sp., *Alsophylla* sp., *Picea* sp., *Pinus* sp., *Dipteris* sp. 等,时代为始新世—渐新世(李云通,1984;England and Molnar,1990;Hunziker *et al.*,1992),与下伏明水组为角度不整合接触。大安组(N_1d)分布面积小,主要见于嫩江,下部为灰白色砂砾岩,夹灰绿色砂质泥岩或细砂岩,上部为灰色、暗灰色、灰绿色泥岩,顶部夹粉砂质泥岩和泥质粉砂岩,为一套曲流河—滨浅湖沉积体系;不含化石,根据岩性特征和层位关系将该组时代定为中新世(李云通,1984),与下伏依安

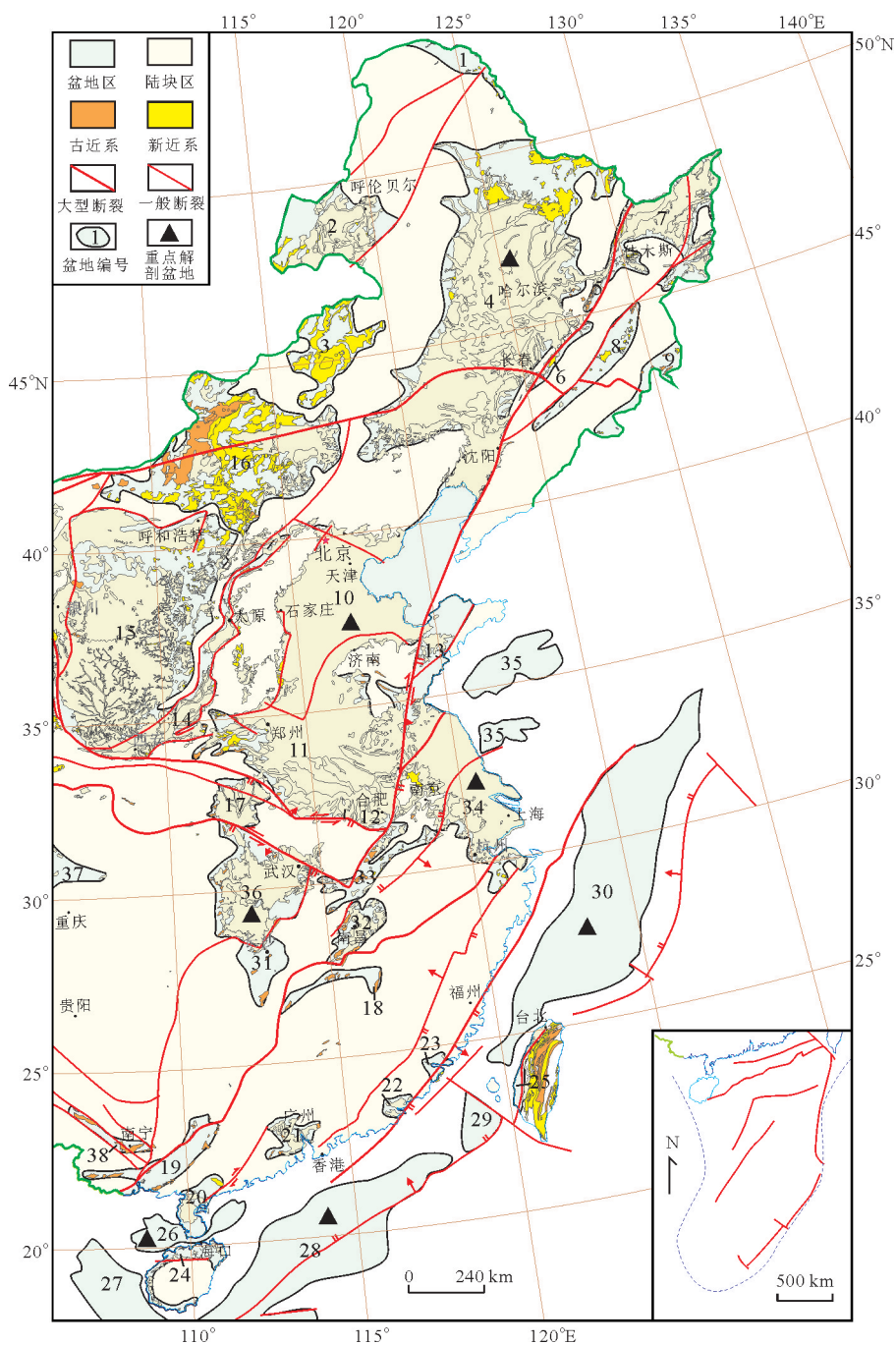


图 2 中国东部新生代沉积盆地分布和构造略图

Fig.2 Distribution and tectonic map of Cenozoic sedimentary basins in eastern China

1. 漠河拗陷盆地; 2. 海拉尔断陷—拗陷盆地; 3. 二林浩特断陷—拗陷盆地; 4. 松辽断陷—拗陷盆地; 5. 依兰走滑拉分盆地; 6. 伊通走滑拉分盆地; 7. 佳木斯—江断陷—拗陷盆地; 8. 敦化压陷盆地; 9. 延吉拗陷盆地; 10. 渤海湾断陷—拉分盆地; 11. 华北南部断陷—拗陷盆地群; 12. 合肥压陷盆地; 13. 胶莱断陷—拉分盆地; 14. 汾渭断陷盆地; 15. 鄂尔多斯压陷盆地; 16. 二连浩特断陷—拗陷盆地; 17. 南襄压陷盆地; 18. 吉安断陷—拗陷盆地群; 19. 十万大山断陷盆地; 20. 湛江走滑拉分盆地; 21. 三江断陷盆地; 22. 汕头断陷盆地; 23. 厦门断陷盆地; 24. 海南环岛断陷—拗陷盆地; 25. 台西断陷盆地; 26. 北部湾盆地; 27. 莺歌海盆地; 28. 珠江口—琼东南盆地; 29. 台西南盆地; 30. 东海盆地; 31. 长沙—衡阳断陷—拗陷盆地; 32. 南昌断陷—拗陷盆地; 33. 九江—芜湖走滑拉分盆地; 34. 苏北断陷—拗陷盆地; 35. 南黄海盆地; 36. 江汉—洞庭湖断陷—拗陷盆地; 37. 成都压陷盆地; 38. 百色断陷—拗陷盆地. 主要参考文献: Northrup *et al.*, 1995; Allen and Macdonald, 1997; Grimmer *et al.*, 2002; 李国玉等, 2002; Ren *et al.*, 2002; 万天丰和朱鸿, 2002; 胡望水等, 2003; Zhang *et al.*, 2003; 赵金海, 2004a, 2004b; 邱海峻等, 2006; 王必金等, 2006; Yin, 2010; Li *et al.*, 2011, 2012; 索艳慧等, 2012; 王五力等, 2012; 石红才等, 2013

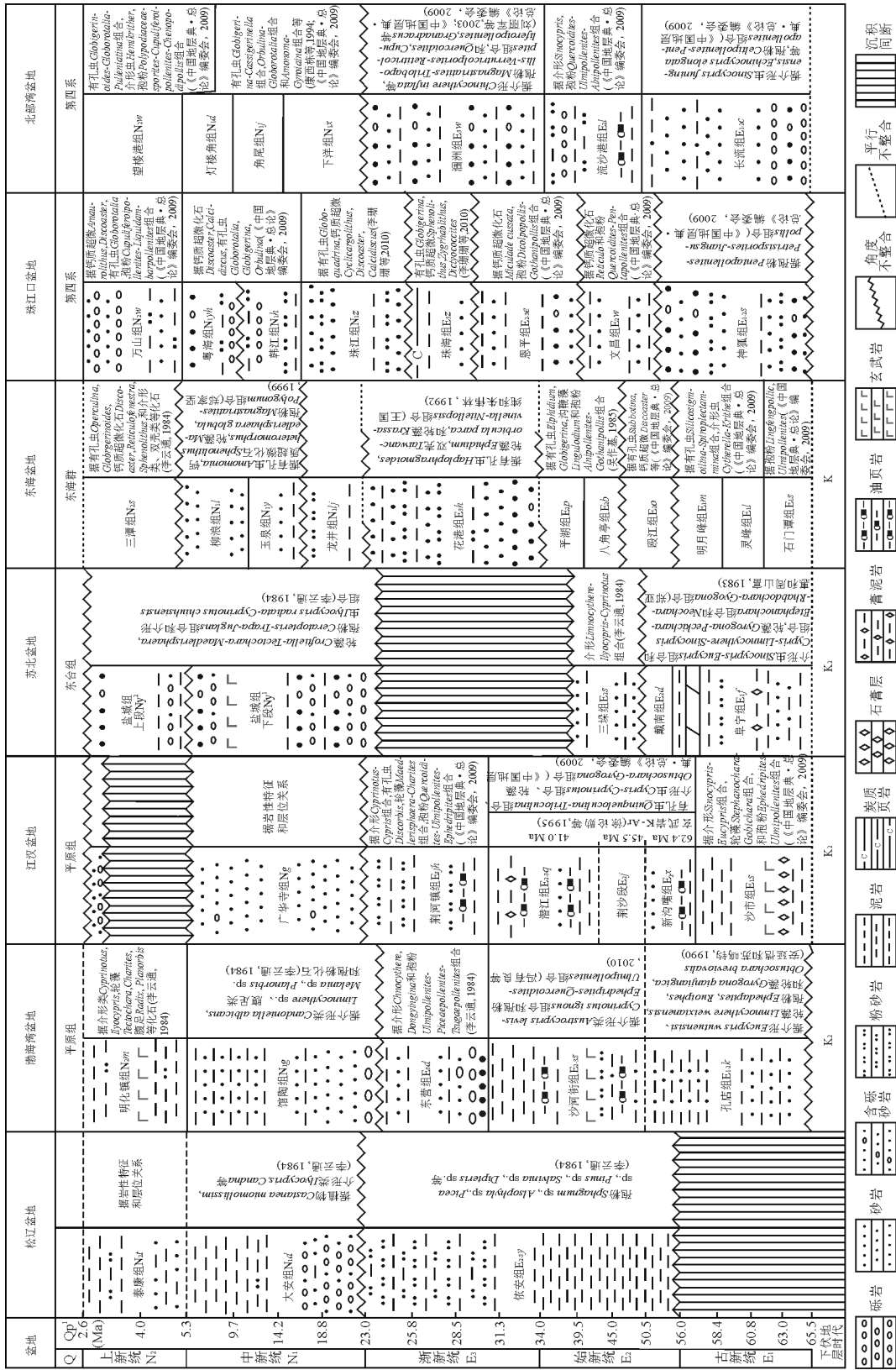


图3 中国东部主要大型盆地充填序列及其对比

Fig.3 Correlation and sedimentary sequence of the main Cenozoic basins in the eastside of China

据参考文献:郑亚惠和周山富, 1983; 李云通, 1984; 吴做基, 1985; 安延恺和苏鸣钧, 1990; England and Molnar, 1990; Hunziker et al., 1992; 王国纯和朱伟林, 1992; 康西栋等, 1994; 徐论勋等, 1995; 钱勤, 1997; 覃建雄等, 1998; 郑家坚等, 1999; 陈长民, 2000; 陈琳琳等, 2003; 刘丽军等, 2003; 郭华等, 2006; 方石等, 2007; 邵磊等, 2008; 赵中贤等, 2009; 《中国地层典·总论》编委会, 2009; 冯有良等, 2010; 李珊珊等, 2010; 魏祥峰等, 2011; 李上卿等, 2012; 李向阳等, 2012

组为微角度不整合接触。泰康组(N_2t)以灰白色砂砾岩夹泥岩透镜体为主,偶夹黑色泥岩,为冲积扇—辫状河沉积体系;该组地层时代分歧较大,一种观点认为处于上新世(李云通,1984;England and Molnar, 1990;Hunziker *et al.*, 1992),另一种认为处于更新世(方石等,2007),本文采用普遍接受的观点认为该组时代为上新世,与下伏大安组为平行不整合接触。

3.2 渤海湾盆地

渤海湾盆地是在中国东部环太平洋构造域岩石圈拉伸变薄的背景下形成的裂谷盆地。盆地新生界最大厚度 12 000 m(李国玉等,2002),新生代沉积自下而上依次为孔店组(E_{1-2k})、沙河街组(E_{2-3s})、东营组(E_3d)、馆陶组(N_1g)和明化镇组(N_2m)(Allen and Macdonald, 1997;冯有良等,2010)。其中,孔店组(E_{1-2k})形成于盆地初始裂陷期,该时期盆地沉积中心受到近 EW 或 NW 向同沉积断裂的控制,该组底部发育砾岩、含砾砂岩、粗砂岩夹紫红色泥岩,中部为灰色泥岩、油页岩与中细砂岩互层,上部为红色砂岩和泥岩互层,是一套冲积扇、扇三角洲、半深湖、滨浅湖到河流相沉积;该组含介形虫化石 *Eucypris wutuensis*、*Limnocythere weixianensis*、孢粉 *Ephedapites* sp.、*Ulmipollenites* sp. 和 *Ruoiophes* sp. 及轮藻 *Gyrogona qianjiangica* 和 *Obtusochara breviovalis*(安延恺和苏鸣钧,1990),时代为古新世—早始新世,与下伏白垩系之间的角度不整合接触代表了这一时期盆地构造反转和整体抬升。沙河街组(E_{2-3s})共分 4 段,沙四段下段以冲积扇河流或浅湖碎屑岩沉积为主,为湖盆充填,上部为灰色泥岩、油页岩夹砂岩及薄层灰岩为代表的盐湖—微咸水湖泊沉积,扇三角洲沉积反映这一时期地形变化大,代表裂陷早期的浅湖—半深湖盆充填,含介形虫 *Austrocypris levis*-*Cyprinotus igneus* 组合、孢粉 *Ephedripites*-*Taxodiaceapollentites*-*Ulmoidipites tricostatus* 组合,时代为晚始新世—早渐新世,与下伏的孔店组为不整合接触;沙三段底部发育灰色、深灰色泥岩、油页岩,是一套深湖及浊流沉积,中上部发育细砂岩夹灰色泥岩及粗砂岩、含砾砂岩夹灰绿色泥岩,是一套河流—三角洲相沉积,含介形虫 *Huabeinia chnensis*、孢粉 *Quercoidites microhenrici*-*Ulmipollenites minor* 组合,时代为中—晚始新世,与沙四段之间的角度不整合面在盆地内普遍发育。沙二段发育砾岩、含砾砂岩及砂岩夹紫红色泥岩,是一套河流相沉积,含介形虫 *Camarocypris elliptica* 和孢粉 *Rutacecipollis*-*Taxodacea-po-*

lienite elcngatus 组合,时代为晚始新世—早渐新世(冯有良等,2010),垂向上沙三段—沙二段构成湖退—湖进—湖退的沉积演化序列,代表强烈裂陷期的深湖盆陆源碎屑充填,强烈的拉伸导致了深部地幔物质的上涌喷发,形成以橄榄玄武岩为主的火山岩(郭华等,2006),同时盆地边缘北东向同沉积断裂的明显活动导致盆地沉降中心明显迁移;沙一段底部发育砾岩、粗砂岩夹红色泥岩,是一套辫状河沉积,中部发育灰色泥岩油页岩夹薄层灰岩,是一套湖泊沉积,上部发育砂岩夹灰色泥岩,为三角洲沉积,含介形虫化石 *Phacoxypis huiminensis* 和孢粉 *Quercoidites*-*Meliaceoidites* 组合,时代为渐新世中期(冯有良等,2010)。东营组(E_3d)为粗砂岩、含砾砂岩、细砾岩夹灰色泥岩、灰绿色及紫红色泥岩,是一套冲积扇、辫状河三角洲相为主的沉积,含介形虫 *Chnocythere* sp.、*Dongyingina inflexicostata* 和孢粉 *Ulmipollenites ndutosus*-*Piceapollenites*-*Tsugaepollentites* 组合以及 *Juuglandaceae*-*Tiliaepollenites* 组合,时代为渐新世晚期,与下伏地层呈区域性的冲刷不整合接触。

新近纪后裂谷期盆地发育了馆陶组(N_1g)和明化镇组(N_2m)。馆陶组(N_1g)代表裂后拗陷早期的盆地充填,下部发育灰白色细砾岩、砾状砂岩和细砂岩,为辫状河粗碎屑沉积和下切河道充填,上部为灰绿色细砂岩与棕红色泥岩互层,为曲流河及浅湖沉积。其上部为砂岩与泥岩互层,下部是厚层块状砂砾岩夹泥岩,局部地区为泥岩夹砂岩,底部为石英及黑色燧石的砂砾岩,岩性稳定且分布广泛;含介形类 *Candoniella albicans*、*Ilyocypris* sp. 和 *Limnocythere* sp.、腹足类 *Melania* sp. 和 *Planorbis* sp. 及孢粉等,时代为中新世(李云通,1984),与下伏东营组为角度不整合接触,代表一次较强的构造隆升作用。明化镇组(N_2m)发育棕红色、灰绿色粉砂质泥岩和棕红色灰绿色泥岩不等厚互层,为一套湖泊和河流三角洲相沉积,偶见玄武岩夹层,区域上该组厚度由陆地向渤海方向逐渐加厚;含丰富的化石,主要有介形类 *Candoniella albicans*、*Ilyocypris kaifengensis*、*I. dunschanensis*、*Mandelstam* sp.、*Cyprinotus chiusiensis* 等、腹足类 *Melania* cf. *saigoii*、*Planorbis* sp.、*Radix* sp.、轮藻 *Tectochara meriani*、*Charites molassica* 等,时代为上新世(李云通等,1984);其与下伏馆陶组为整合接触,与上覆第四系为整合或平行不整合接触,代表一次大区域的沉降作用。

3.3 江汉盆地

江汉盆地处于大别山造山带之南、江南造山带中段以北,叠置在中扬子板块上的新生代陆相断陷盆地(王必金等,2006).江汉盆地自下而上发育的地层为古新世沙市组(E_{1s})、晚古新世—早始新世新沟嘴组(E_{1-2x})、中始新世荆沙组(E_{2j})、晚始新世—中渐新世潜江组(E_{2-3q})、晚渐新世荆河镇组(E_{3j})和新近系广华寺组(N_g)(徐论勋等,1995;王必金等,2006).在大陆伸展构造背景作用下,软流圈上涌导致盆地内基性火山岩较发育,大部分隐伏于盆地内(徐论勋等,1995).

沙市组(E_{1s})下段为一套紫红、浅灰色泥岩、泥膏岩、芒硝、石膏岩及盐膏岩组成的韵律层,上段为深灰色泥岩夹棕红色、浅灰色泥岩、泥膏岩、芒硝及石膏质粉砂岩;含介形虫 *Cypridea subtera*-*C. xindianensis*-*Sinocypris excelsa* 组合和 *Sinocypris excelsa*-*Parailocypris changzhouensis*-*Eucypris hengyangensis* 组合、轮藻 *Stephanochara fortis*-*Peckichara coronata*-*Gobichara deserta* 组合、孢粉 *Ephedripites-Ulmoideipites-Ulmiipollenites minor* 组合和 *Ulmiipollenites-Ulmoideipollenites-Pentapollenites* 组合,时代为古新世(《中国地层典·总论》编委会,2009),与下伏上白垩统海洋组为整合接触.新沟嘴组(E_{1-2x})下段为深灰色泥岩夹砂岩、油页岩及泥灰岩,上段为紫红、灰色泥岩夹泥膏岩、砂岩,为一套三角洲—湖泊沉积体系;含介形虫 *Cypris decaryi*-*Limnocythere hubeiensis*-*Sinocypris reticulata* 组合、轮藻 *Neochara hunanensis*-*Obtusochara elliptica*-*Amblyochara taixianensis* 组合和 *Obtusochara lanpingensis*-*Grovesichara changzhouensis*-*Maedlerisphaera dongshanensis* 组合、孢粉 *Polypodiaceoisporites* 顶峰带和 *Ulmiipollenites-Quercoidites-Taxodiaceapollenites* 组合、鱼类 *Tangtingichthys jingshaensis*,时代为晚古新世—早始新世,本组玄武岩(K-Ar法)同位素年龄值为62.4 Ma(徐论勋等,1995),与下伏沙市组为整合接触.荆沙组(E_{2j})为棕红、紫红色泥岩夹少量灰绿色泥岩及粉砂岩,局部夹泥膏岩、盐岩和玄武岩;含介形虫 *Echinocypris-Tubercocypris-Pseudoeucypris* 组合、轮藻 *Obtusochara jianglingensis*-*Gyrogona qianfiangica* 组合、孢粉 *Ephedripites-Meliaceoidites* 顶峰带,时代为始新世中期,本组玄武岩 K-Ar法同位素年龄值为45.5 Ma(徐论勋等,1995),与下伏新沟嘴组为整合接触.潜江组(E_{2-3q})为深灰色泥

岩、泥膏岩、钙质芒硝泥岩、油页岩和盐岩,夹砂岩,含有孔虫 *Quinqueloculina-Triloculina* 组合、介形虫 *Cwrinotus jingheensis*-*Cypris zhanggangensis* 组合和 *Cyprinotus macronefandus*-*C. igneus* 组合、轮藻 *Grovesichara kielani*-*Stephanochara globula*-*Charites jingfiachangensis*-*Croffiella laticellula* 组合、孢粉 *Taxodiaceapollenites-Ephedripites-Quercoidites-Ulmiipollenites* 组合和 *Taxodiaceapollenites-Ephedripites-Quercoidites-Compenia* 组合,时代为晚始新世—早渐新世.本组顶部玄武岩(K-Ar法)同位素年龄值为41.0 Ma(徐论勋等,1995),与下伏荆沙组为整合接触;该时期潜江凹陷受北部潜北大断层强烈活动的影响,呈现北深南浅、北陡南缓、东西平缓的箕状深凹陷,构成湖盆汇水中心和沉降中心.荆河镇组(E_{3j})为绿灰色、灰色泥岩与粉砂岩互层,夹油页岩及灰岩,局部呈杂色,下部夹薄层泥膏岩,含介形虫 *Cyprinotus jingheensis*-*Cypris zhanggangensis* 组合、有孔虫 *Discorbis* sp.等、轮藻 *Maedlerisphaera chinensis*-*Charites mollissima* 组合、孢粉 *Taxodiaceapollenites-Quercoidites-Ulmiipollenites-Ephedripites-Rutaceoipollis* 组合,时代为晚渐新世,与下伏潜江组为整合接触,其上被中新统广华寺组不整合覆盖.

3.4 苏北盆地

晚白垩世—古近纪太平洋板块 NW 向的斜向俯冲使中国东部大陆构造体制由挤压转为拉张环境,从而在板块构造作用下断陷与拗陷交替发展,形成苏北盆地(郑亚惠和周山富,1983).盆地岩石地层单位从老至新依次为古新世阜宁组(E_{1f})、始新世戴南组(E_{2d})、三垛组(E_{2-3s})和新近纪盐城组(N_y),缺失渐新统(李云通等,1984;李国玉等,2002).阜宁组(E_{1f})主要为曲流河三角洲—湖泊沉积,假整合于下伏晚白垩世泰州组之上;可进一步分为4段,阜一段主要岩性为棕红色、棕褐和暗色泥岩、粉砂质泥岩与棕褐、灰白色砂岩,含膏泥岩薄层,近盆地边缘其下部和底部常发育含砾砂岩,含介形虫 *Sinocypris haianensis*-*Eucypris beilingensis* 组合、轮藻 *Gyrogona wubaoensis*-*Peckichara varians*-*Etephanochara huangjianensis* 组合(郑亚惠和周山富,1983),该段在盆地西部粒级粗沉积厚度大;阜二段以灰黑色泥岩为主,含介形虫 *Homoecypris bucerusa*-*Parailocypris chngzhouensis*-*Candona acclina* 组合,属于深湖沉积;阜三段岩性为灰黑色泥岩与浅灰色、灰白色粉砂岩、细砂岩互层或不等厚

互层,为曲流河三角洲沉积(魏祥峰等,2011),含介形虫 *Eucypris atagnalis-Curulona modesta-Candona gibbosta* 组合(郑亚惠和周山富,1983),该段沉积既受盆地升降背景的控制,又受盆地二级构造带所形成的凹陷影响,造成该段在盆地内分布不均匀,由盆地西部、西北部至东部地层厚度变薄,粒级变细(郑亚惠和周山富,1983);阜四段主要为灰黑色泥岩夹薄层泥灰岩组成,含介形虫 *Neomonoceratina bullala-Candona subcombibo-Herpetocyrella binoda* 组合,该段盆地边缘含较多粉砂岩,局部地区含盐类沉积,盆地内总体岩性均一。

戴南组(E_2d)角度不整合于阜宁组之上,含介形虫组合、哺乳类化石,时代为早始新世晚期(李云通等,1984)。可细分为两段,戴一段下部为浅灰色砂岩,与浅、灰黑色泥岩呈不等厚互层,在盆地陡坡带为砂砾岩,与泥岩互层,上部为黑色泥岩夹浅色砂岩,含介形虫 *Cypris decaryi-Limnocythere posterobicosta-Sinocypris reticulata* 组合和轮藻 *Neochara huananensis-Rhabdochara changzhouensis-Gyogona qianjiangica* 组合(郑亚惠和周山富,1983)。该段是在始新世吴堡事件后地势相差悬殊的背景下沉积的,在盆地内分布局限,在陡坡深远处发育较好。戴二段主要为浅灰色砂岩、粉砂岩与棕色、浅灰色和灰黑色泥岩不等厚互层,分布范围比戴一段略大,岩性变化较稳定(郑亚惠和周山富,1983)。戴南组沉积以扇三角洲—湖泊和三角洲—湖泊沉积体系为主,发育有扇三角洲、三角洲、水下扇和湖泊 4 种沉积相。

三垛组(E_{2-3s})由下而上分为两段。垛一段下部为浅棕、灰白色细砂岩夹暗棕色薄层泥岩,上部以咖啡色、暗棕红色泥岩、粉砂质泥岩为主,间夹浅棕、灰白色中细砂岩,含薄层或中层状玄武岩。该段玄武岩⁴⁰Ar-³⁹Ar 同位素年龄为 35.5 ± 1.1 Ma(钱勤,1997)。与下伏戴南组呈假整合或不整合接触。垛二段中下部以浅棕、灰白色细砂岩、中砂岩为主,夹棕红色泥岩,上部棕红色夹灰绿色泥岩,与浅棕、浅灰色粉砂岩、细砂岩互层,中下部分有薄层状玄武岩,与下伏三垛组一段呈整合接触。推算垛二段顶界年龄为 29.3 Ma(钱勤,1997)。该组含介形虫 *Limnocythere subhubeiebsis-Ilyocypris pulchra-Cyprinus formalis* 组合与 *Ilyocypris funingensis-Cyprinus sinensis-Pinnocypris* 组合(李云通等,1984),时代为晚始新世—早渐新世。

新近纪苏北盆地普遍发育盐城组(Ny),该组为

一套以厚层砾岩、砂砾岩、含砾粗砂岩夹棕色、棕红色泥岩为主的辫状河沉积,并伴随强碱性玄武岩和超基性岩喷发。该组含轮藻 *Croftiella-Tectochara-Maedlerisphaera* 组合、孢粉 *Ceratopteris-Trapa-Juglans* 组合和介形虫 *Ilyocypris radiata-Cyprinus chiuhsiensis* 组合(李云通等,1984)。该组的沉积特征总体表现为:盐城组沉积早期,受 NE 构造格局控制并发育了一套河流泛滥平原相,以(冲、洪积)粗碎屑岩为主的沉积;后期,在盐城事件作用之后,形成近于夷平状态下的“斜坡式”沉积格局,发育河流泛滥平原沉积(石健和郑开富,2004)。

3.5 东海盆地

东海盆地主要由西部裂陷带和东部裂陷带及其间隆起带组成,包括西部东海陆架盆地和东部冲绳海槽盆地,前者显示断陷和断拗型结构,后者则具有悬挂式和充填式结构(覃建雄等,1998)。

古新统主要发育石门潭组(E_{1s})、灵峰组(E_{1l})和明月峰组(E_{1m})(李国玉等,2002;刘金水等,2003)。古新统碎屑岩夹有灰岩、玄武岩、安山岩,整体为滨海—浅海的沉积旋回,早期沉积环境稳定,以泥岩为主,晚期为高能环境下的砂岩。

始新统在盆地内分布广泛,主要有毘江组(E_{2s})、八角亭组(E_{2b})和平湖组(E_{2p})(李国玉等,2002;刘金水等,2003)。毘江组(E_{2s})为海相泥岩、页岩夹生物灰岩,含丰富的钙质超微化石 *Discoaster sublodvensis*、*Rhabdosphaera inflata*、*Calcidiscus simplex* 等、有孔虫化石 *Subbotina bakeri*、*Pseudohastigerina wilcorensis*、*Nummulites nuttali* 等、沟鞭藻 *Homotryblium pallidum*、*Areosphaeridium arcuatum* 等(《中国地层典·总论》编委会,2009),与下伏古新统晚期明月峰组为角度不整合接触,反映古新统末期甌江运动造成古新统及其下伏地层的局部抬升。八角亭组(E_{2b})为灰绿、深灰色岩屑玻屑熔结凝灰岩、蚀变安山岩、英安质凝灰熔岩、凝灰岩等,夹灰绿色泥岩和灰白色砂岩、砂砾岩等,含有孔虫 *Elphidium eocenicum*、*Cibicoides hilgardi*、沟鞭藻 *Impletosphaeridium* sp.、*Lingulodinium* sp. 等和孢粉 *Alnipollenites-Taxodiaceapollenites-Gothanipollis* 组合,时代为始新世,与下伏毘江组为角度不整合接触。平湖组(E_{2p})以深灰色灰质泥岩为主,夹砂岩和煤层,上部夹薄层泥晶灰岩,含浮游类有孔虫 *Globigerina pseudovenezuelana*、*Dentaglobigerina galavisi*、*Globorotalia (T.) centralis* 等和底栖类有孔虫 *Haplophragmoides* 组合

和 *Cibicoides hilgardi-Elphidium eocenicum* 组合,时代为始新世,与下伏八角亭组整合接触。

渐新统为花港组(E_3h),下段为浅灰色粗砂岩、中砂岩、细砂岩加灰色泥岩、粉砂质泥岩和煤层,上段为浅灰色粗砂岩、含砾粗砂岩、中砂岩、细砂岩、砂砾岩夹灰色粉砂质泥岩,顶部为灰、深灰色泥岩、粉砂质泥岩与浅灰色粉砂岩、细砂岩、粗砂岩互层,夹煤和棕色泥岩;含有孔虫 *Haplophragmoides carlinatu*、*Ephidium* sp. 等、双壳类 *Taiwancorbicula parca*、轮藻 *Krassavinella lagenalis-Nitellopsis helvetica* 组合(王国纯和朱伟林,1992),时代为渐新世;该组与下伏平湖组为假整合或角度不整合接触,在盆地内分布非常局限。这是因为始新世末期的玉泉运动使得盆地区域性抬升,在盆地西部尤为明显,这种抬升持续到中新世中期,造成渐新统在盆地部分地区的缺失(覃建雄等,1998)。

中新统发育龙井组(N_1l)、玉泉组(N_{1y})和柳浪组(N_1l)。龙井组(N_1l)下部为块状泥岩,粉砂质泥岩与粉砂岩、细砂岩、中砂岩、粗砂岩、含砾粗砂岩互层,为扇三角洲沉积;上部为灰、深灰色泥岩、粉砂质泥岩夹浅灰色粉砂岩、细砂岩,为湖泊三角洲沉积。玉泉组(N_{1y})为深灰色泥岩与灰白色砂岩互层,夹页岩和煤层,可分为2个岩性段,下段底部为灰白色含砾砂岩,下部为浅灰色粉砂岩夹深灰色或灰黑色页岩、炭质页岩、沥青质页岩、薄煤层和沥青煤,上部为深灰或灰绿色泥岩、页岩、炭质页岩、沥青质页岩夹薄层浅灰色砂岩和煤层;上段为深灰、绿灰、褐灰色泥岩与浅灰色粉砂岩互层,夹黑色炭质页岩、沥青质页岩和煤,底部为灰白色含砾砂岩,整体为湖泊和沼泽沉积;含有孔虫 *Spinisigmolinella compressa*、*Amomonina* sp. 等、钙质超微化石 *Sphenolithus heteromorphus* 等,时代为中中新世;组内玄武岩夹层同位素年龄为14.7 Ma(陈琳琳等,2003);与下伏中新世龙井组呈整合或局部不整合接触。柳浪组(N_1l)下部为灰白色粉砂岩、含砾粉砂岩、浅灰色泥质粉砂岩夹灰色泥岩,上部为灰黄色、绿灰色泥岩夹泥质粉砂岩及煤层,为一套曲流河沉积;含孢粉 *Liquidambar pollenites-Magnastriatites-Polygonum* 组合和轮藻 *Maedlerisphaera globula*,时代为中一晚中新世(郑家坚等,1999);该组与下伏中新世玉泉组为整合接触,与上覆上新世三潭组为角度不整合接触。在渐新世末期盆地整体抬升,到中新世早期,盆地又大幅度沉降。早中新世是始新世之后盆地发育的又一高峰,这一时期盆地北部为河湖交替

相沉积,在凹陷中心部位为浅湖砂泥岩相,发育了丰富的透镜状河道砂体和滨浅湖砂体。盆地南部以湖泊沉积为主,还常受海侵影响。中新世中期,盆地仍为温暖湿润气候条件,发育河湖交互相沉积,即为滨湖与平原河流、沼泽等环境交替出现。晚中新世地层受龙井运动影响,盆地遭受区域性剥蚀。中新世末期的抬升、褶皱使得盆地上中新统受剥蚀。上新世构造运动、断裂运动、火山及岩浆活动相对平静,盆地整体东倾与冲绳海槽相通,沉积环境从上新世的平原河流相逐渐发展到第四纪的开阔海沉积。

3.6 珠江口盆地

珠江口盆地位于南海北部、海南岛和台湾岛之间,形成于南海的扩张作用(李向阳等,2012)。盆地内坳陷相间呈带状分布,坳陷带沉积为古近系和新近系,隆起带以新近系为主。盆地古近系自下而上为神狐组(E_{1-2s})、文昌组(E_2w)、恩平组(E_{2-3e})和珠海组(E_3z),新近系为珠江组(N_1z)、韩江组(N_1h)、粤海组(N_{1y})和万山组(N_{2w})(李国玉等,2002)。

神狐组为暗棕、灰白色块状砂岩、含砾砂岩夹泥岩、粉砂岩,或凝灰岩夹杂色层,含孢粉 *Pentapollenites-Pterisisporites-Jiangsupollis* 组合,时代为古新世一早始新世;与下伏地层为角度不整合接触(《中国地层典·总论》编委会,2009)。文昌组为灰、褐灰色泥岩、浅灰色砂岩及煤层,含钙质超微化石 *Discoasterbarbadiensis* sp.、*D. kuepperi*、*Reticulofenestraumbilica*、*Tribrachiatius orthostyllis*、孢粉 *Quercoidites-Pentapollenites* 组合,时代为下一中始新世;与下伏神狐组为角度不整合接触(赵中贤等,2009)。恩平组下部为浅灰色厚层砂岩、含砾砂岩夹深灰色泥岩、上部为黑灰色泥岩与薄层砂岩互层夹煤层和炭质页岩,含钙质超微化石 *Miculade cussata*、孢粉 *Dicolpopollis kockelii-Gothanipollis bassensis* 组合,时代为中始新世一早渐新世;与下伏文昌组为角度不整合接触(《中国地层典·总论》编委会,2009)。珠海组下段以灰、灰白色砂岩为主,夹有深灰色泥、页岩,上段以灰、深灰色泥岩为主,为一套封闭海湾一扇三角洲的碎屑岩沉积,含有孔虫 *Globigerina angulisuturalis*、*G. ciperensis*、*Globorotalia opima* 等、钙质超微化石 *Sphenolithus ciperensis*、*Zygrhablithus bijugatus*、*Dictyococcites bisectus* 等(李珊珊等,2010),时代为中一晚渐新世;与下伏恩平组为角度不整合接触。

珠江组是一套浅灰、绿灰色细砂岩、粉砂岩夹浅棕色粉砂质泥岩一绿灰色泥岩为主的滨浅海碎屑岩

沉积,含有孔虫 *Globoquadrina dehicens*、*G.altispira*、*G.dehiscens*、*G.insueta* 等、钙质超微化石 *Cyclicargolithus floridanus*、*Discoaster deflandrei*、*Discoaster druggii*、*Calcidiscus leptoporus*、*Helicosphaera ampliaptera* 等,时代为中新世(李珊珊等,2010);与下伏珠海组为角度不整合接触。韩江组可分为二段,下段下部为灰色细砾岩,上部以灰色粉砂质泥岩为主,夹灰色泥质粉砂岩及薄层沥青质页岩;上段下部以灰色细砾岩为主,偶夹粉砂质泥岩和泥质粉砂岩,上部为灰色粉砂质泥岩、泥质粉砂岩夹细砾岩,属海进序列明显的滨海、浅海及河口三角洲相沉积(《中国地层典·总论》编委会,2009);含有孔虫 *Globorotalia siakaensis*、*Orbulina suturalis*、*Globigerinoides subquadrilobatus* 等;含钙质超微化石 *Discoaster hamatus*、*Catinaster coalitus*、*Cyclicargolithus floridanus*、*Sphenolithus heteromorphus*、*Helicosphaera orientalis* 等,时代为中中新世(《中国地层典·总论》编委会,2009);与下伏中新世珠江组为整合接触。粤海组可分为 3 个岩性段,下段为灰白色细砾岩、砾状砂岩夹薄层灰色粉砂质泥岩,含薄层褐煤、沥青质页岩和炭屑;中段为灰色粉砂质泥岩、泥质粉砂岩和中粒砂岩互层;上段以灰白色砂砾岩为主,夹灰色粉砂质泥岩、灰质砂岩;为浅海相沉积,含有孔虫 *Globorotalia acostaensis*、*Globigerina nepenthes*、*Globoquadrina dehicens*、*Sphaeroidinellopsis kochi* 等和钙质超微化石 *Discoaster quinquaramus*、*D. berggrenii*、*Amaurolithus amplificus*、*Braarudosphaera bigelowi* 等,时代为晚中新世(《中国地层典·总论》编委会,2009);与下伏中新世韩江组呈假整合接触。万山组下段以灰色—暗灰色粉砂质泥岩为主,夹薄层灰色砂岩,上段为灰白色细砾岩、砂岩为主,含浮游有孔虫 *Globorotalia margaritae*、*G.mtocenica*、*Sphaeroidinellopsis seminula* 等、底栖有孔虫 *Asterorotalia* spp.、钙质超微化石 *Amaurolithus tricarniculatus*、*Ceratolithus rugosus*、*Discoaster asymmetricus*、*D.tamalis*、*Sphenolithus abies* 等、孢粉 *Cupuliferoi pollenites-Liquidambar pollenites* 组合,时代为上新世;与下伏中新世粤海组呈假整合接触(《中国地层典·总论》编委会,2009)。

珠江口盆地经历了晚白垩世—早渐新世的裂陷和晚渐新世以后的裂后热沉降 2 个构造演化阶段,盆地具有先陆后海的沉积组合,下部为盆地裂陷期的古新世—早渐新世的陆相沉积;上部为晚渐新世

第四纪海陆交互相及海相沉积(陈长民,2000;陈长民等,2003;庞雄等,2005)。古新统一下始新统神狐组为裂谷初期山间盆地沉积,分布受珠三南断裂控制,集中在 NE 走向的细长断陷盆地内(许仕策和黄丽芬,1997)。同时,由于北部阳江低凸起和琼海凸起对北部物源的阻隔,使盆地显示出不同于一般箕状盆地的沉积特征(姜华等,2008),盆内早期以河流—冲积相沉积为主,晚期在凹陷深部发育半深湖相,盆缘发育扇三角洲或冲积扇,主要分布在南部断陷陡坡带,沉积物来自神狐暗沙隆起(许仕策和黄丽芬,1997)。珠琼运动一幕,珠江口盆地广泛发育文昌组半深湖、深湖相泥岩。之后发生的珠琼运动二幕使盆地再次沉降,接受恩平组滨浅湖或沼泽沉积,盆地外围发育三角洲相和河流相(陈长民等,2003)。早渐新世晚期—晚渐新世南海运动和白云运动两次大规模构造运动形成珠海组顶、底的大型不整合面(邵磊等,2008)。南海运动改变了珠江口盆地的沉积格局,盆地由断陷转为拗陷,发生大面积沉降,海水由南向北侵袭,盆地由陆相逐渐转变为海相沉积环境。因此,珠海组沉积早期为三角洲—滨岸沉积体系;中晚期为大范围的滨浅海沉积(王振奇等,2005)。

新近纪珠江口盆地处于拗陷期,盆地持续沉降和海侵大范围的发生使盆地北部整体处于浅海陆架环境,普遍发育海相沉积,盆地南部则成为深海陆坡地带。在总体海侵的大趋势下,盆地经历了多次海平面升降旋回(赵中贤等,2009)。早中新世珠江组沉积时,白云运动、南海扩张脊的跳跃、滇西高原和喜马拉雅东构造结的快速隆升等,造成珠江口盆地物源区由渐新世的华南沿海富花岗岩地区拓展为中新世的云贵高原碳酸盐为主的地区(庞雄等,2007;邵磊等,2008)。中中新世韩江组沉积时海水上涨,海进范围变大,盆地完全进入浅海环境,发育韩江组浅海—三角洲相(赵中贤等,2009)。中中新世末至晚中新世的东沙运动使盆地在沉降过程中发生块断升降,在珠江口盆地产生了一系列 NWW 张扭性断裂,盆地内部分地区的韩江组、粤海组和万山组遭受不同程度的剥蚀(赵中贤等,2009)。晚中新世—上新世期间海平面持续上升,沉积了粤海组浅海和三角洲沉积,之后块断升降差异增大,沉积了万山组地层(秦国权,2002)。

3.7 北部湾盆地

北部湾盆地是在南海北部大陆架上发育起来的新生代裂谷盆地(康西栋等,1994)。盆地主要沉积了陆相古近系和海相新近系,古近系自下而上划分为长流组(E_{1c})、流沙港组(E_{2-3l})和涠洲组(E_{3w})

(李上卿等,2012).长流组下部为浅紫红色砾岩、砾状砂岩为代表的冲积扇相,中部为紫红色泥岩,上部为灰绿色细砂岩和砂质泥岩,含介形虫 *Sinocypris funingensis-Echinocypris elongata* 组合、孢粉 *Celtipollenites-Pentapollenites* 组合(《中国地层典·总论》编委会,2009),时代为古新世;该组主要为滨浅湖沉积,反映这一时期为盆地初始扩张期,盆地边缘及盆内断裂的活动形成多个凹陷区,导致这一时期主要为冲积扇、辫状河及滨浅湖沉积.流沙港组以灰黑色、深灰色泥岩和褐色油页岩为主,下部夹少量杂色层,上部为灰黑色泥岩、泥质粉砂岩夹少量灰白色含砾砂岩和砾状砂岩,为三角洲前缘砂体在重力作用下进入湖泊深水区堆积而形成湖底扇(刘丽军等,2003),反映此时湖盆处于强烈断陷阶段,断裂活动的加剧导致断陷区加深扩大,在凹陷边缘地带发育了扇三角洲和滨浅湖沉积,而在凹陷区广泛发育深湖相沉积;该组含介形 *Sinocypris excelsa*, *S. funingensis* 等、孢粉 *Quercoidites-Ulmipollenites-Alnipollenites* 组合,指示时代为始新世—早渐新世(《中国地层典·总论》编委会,2009).濠洲组为杂色泥岩与灰白色砂岩、含砾砂岩和砾状砂岩不等厚互层,为辫状河沉积,指示该组沉积时盆地的沉降速率有所增加,形成巨厚的扇三角洲、滨浅湖及河流沉积;含介形 *Chinocythere inflata*、*Disauritocypris trapezoidea* 等、孢粉 *Magnastriatites-Trilobapollis-Verrutricolporites-Retitricolpites* 组合等,时代为中—晚渐新世(刘丽军等,2003;《中国地层典·总论》编委会,2009);该组中的海绿石和有孔虫反映渐新世中晚期本区遭受海侵.

北部湾盆地新近系自下而上划分为下洋组(N_{1x})、角尾组(N_{1j})、灯楼角组(N_{1d})和望楼港组(N_{2w})(康西栋等,1994),普遍含海绿石,总体为滨浅海沉积.有孔虫 *Globigerina-Cassigerinella* 组合、*Orbulina-Globorotalia* 组合和 *Amonoma-Gyroiaina* 组合,表明下洋组、角尾组和灯楼角组时代分别为中新世的早期、中期和晚期,有孔虫 *Globigerinoides-Globorotalia-Pulleniatina* 组合和孢粉 *Polypodiaceasporites-Cupuliferoiipollenites-Chenopodiipollis* 组合,指示望楼港组时代为上新世(康西栋等,1994;《中国地层典·总论》编委会,2009).新近系厚度变化也较大.第四系为正常浅海沉积物.中新世早期,受南海扩张运动的影响,海水大规模侵入,形成广泛的滨海沉积环境.下洋组沉积之后,海侵作用增加,沉积范围扩大,角尾组主要由浅海相沉积物构成.中新世晚期,全

区形成统一的沉积中心,表现为正常浅海沉积,仅在盆地边缘发育了滨海沉积.

4 构造环境分析

自中晚白垩世以来,印度板块从南半球持续向北运移(万天丰和朱鸿,2002),60~50 Ma 和 45~34 Ma 多次在新特提斯洋发生强烈碰撞陆内俯冲构造隆升(Zhang *et al.*, 2010; 张克信等, 2013),约 40 Ma 藏南残留海消亡(李祥辉等,2000),经渐新世—中新世早中期(25~17 Ma)的陆内汇聚挤压隆升,到中新世晚期(12~8 Ma)中国东西部地势格局发生重大反转,铸成当前西高东低的地貌;之后,经过 5 Ma 以来持续均衡调整隆升达到当前世界第三极的地势(Zhang *et al.*, 2008; 张克信等,2013)(图 4).此外,西太平洋板块亦在晚白垩世强烈向西俯冲(刘光鼎,1992),俯冲带开始活动的年龄约 87~60 Ma,而构造岩浆活动和变质作用最强烈的时期则在 40~30 Ma 之间(Jahn *et al.*, 1986),说明俯冲作用主要发生在始新世末期—渐新世中期,其形成与太平洋板块运动方向突然转变有关;大兴安岭—太行山—武陵山重力梯度带以东的盆地均与太平洋板块的俯冲作用相关(李三忠等,2000),构成一个从板内到板缘的盆地群.渐新世晚期—新近纪,澳大利亚板块 NNE 向俯冲,使南海进一步张开,并出现楔形洋壳(万天丰和朱鸿,2002);菲律宾板块开始形成并向北俯冲,造成日本列岛西南端的转向,日本海裂开出现洋壳(Seno and Maruyama, 1984; Jolivet *et al.*, 1994; 图 4).

印度—欧亚板块陆陆碰撞的远程效应和太平洋—欧亚板块的弧陆碰撞和楔入作用在中国东部的叠加,使得中国东部普遍发生近东西向的缩短和近南北向的伸展变形,形成一些 NNE 向的逆断层,如闽粤沿海逆断层、郯城—庐江断层带南段、太行山东侧逆断层带、六盘山—贺兰山逆断层带等(孙晓猛等,2005).在这些控盆断裂的作用下,造成我国东部大量 NNE 或 NE 向断陷盆地形成(任建业等,1998; 万天丰和朱鸿,2002; Ren *et al.*, 2002),如松辽、渤海、苏北、江汉等盆地;此外,在古近纪末期,遭受太平洋板块强烈的西向俯冲挤压,走向北东的先存断层都具有右行走滑剪切断层的特征,如敦化—密山右行走滑—逆断层带、郯城—庐江北段(依兰—伊通)右行走滑断层带(万天丰,1996; 任建业和李思田,2000; 李宏伟和许坤,2001; 万天丰和朱鸿,

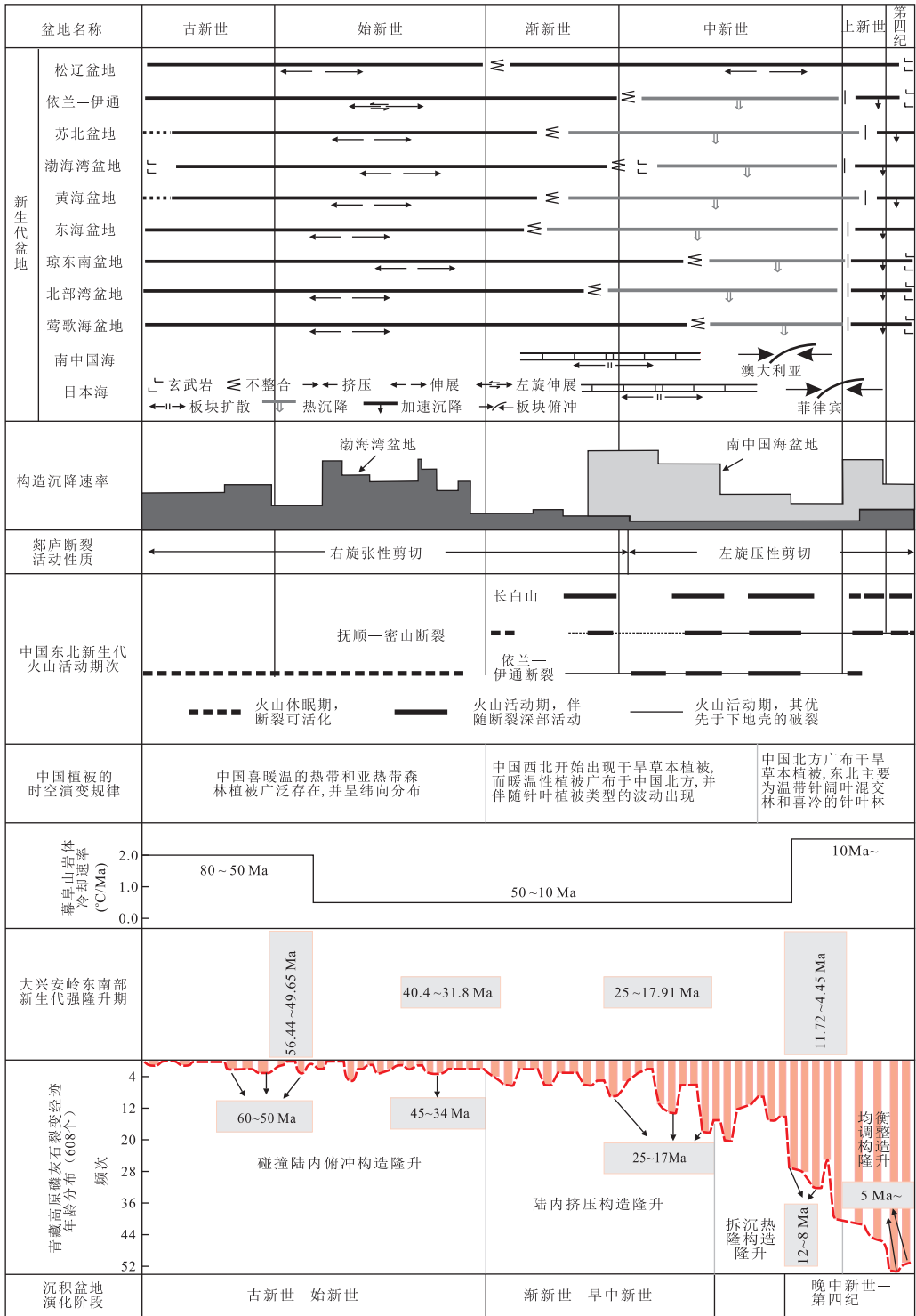


图 4 中国东部主要大型盆地演化及其对板块运动的响应

Fig.4 Evolution of the main Cenozoic basins in the eastern China and their response to plate motion

据参考文献: Seno and Maruyama, 1984; Kimura, 1985; Jolivet *et al.*, 1994; 任建业和李思田, 2000; Liu *et al.*, 2001; 李娟和舒良树, 2002; Ren *et al.*, 2002; 万天丰和朱鸿, 2002; 孙晓猛等, 2005; 方石等, 2008; Zhang *et al.*, 2008, 2010; Wang *et al.*, 2011; 索艳慧等, 2012; 石红才等, 2013; Wang and Shu, 2013; 张克信等, 2013

2002). 约 40 Ma, 大地构造背景从印度板块北向挤压作用为主转变为太平洋板块后退式西向俯冲作用为主(索艳慧等, 2012), 导致我国东部沉积盆地自西

向东发生构造迁移, 与此相伴, 形成始新世—渐新世北东向拉分盆地, 如依兰、伊通、敦化等盆地. 晚渐新世, 印度板块北向楔入欧亚板块产生右旋压扭, 促使

南海盆地呈逆时针旋转,扩张出现中央海盆(蔡学林等,2002);而中中新世后,印度板块北向运移速率进一步降低,同时菲律宾和澳大利亚不断向北推挤,使得东亚陆缘发生左旋压扭,日本海和南海盆地开始关闭(索艳慧等,2012;图 4)。新近纪,中国大陆东部也发育着较微弱的板内变形,主要表现为近南北向的断层发生张裂(比如郟城—庐江左行走滑—正断层带),这些断层表现出东西向伸展变形,并控制了上新世—第四纪的大陆裂谷、边缘海及其沟弧体系(李国玉等,2002;孙晓猛等,2005),还经常伴生近南北向的基性岩墙群(含玄武岩),它们充填了主要断裂带附近的张节理系(陈友飞,1992;Liu *et al.*, 2004)。上新世初以来,伴随欧亚和菲律宾板块的碰撞,南琉球群岛顺时针旋转 $45^{\circ}\sim 50^{\circ}$,使得冲绳海槽弧后盆地进入强烈拉张阶段(赵金海,2004b)。

5 结论与讨论

进入新生代,中国东部大陆边缘系统总体受到来自印度、澳大利亚、菲律宾和太平洋板块向欧亚板块下部俯冲碰撞的作用,在大陆边缘形成一系列边缘海盆地和断拗盆地,主要发育松辽、渤海湾、江汉、

苏北、东海、珠江口和北部湾等沉积盆地。此外,通过系统查阅前人成果,依据郟庐断裂带演化、太平洋板块与欧亚板块的汇聚速度、主要盆地的低温热年代学、中国东北火山岩喷发旋回、中国北方的伸展构造和中国东部干旱植被的时空分布特征等证据(Northrup *et al.*, 1995; Liu *et al.*, 2001; Grimmer *et al.*, 2002; 胡望水等, 2003; Zhang *et al.*, 2003; Liu *et al.*, 2004; 朱光等, 2004; 方石等, 2005; 许长海等, 2006; Li *et al.*, 2011; 石红才等, 2013; Wang and Shu, 2013),可以揭示出中国东部沉积盆地演化的 3 个阶段主要为古新世—始新世、渐新世—早中新世和晚中新世—第四纪,以合肥—苏北—东海盆地一线构造演化为示意图(图 5)。

阶段 1(古新世—始新世):中国东部的伸展主体呈 NW-SE 向(可见于渭河、山西、太行山南部、郟庐等地)(Zhang *et al.*, 2003),主要受库拉—太平洋板块 NNW 向与欧亚板块会聚控制,在约 $100\sim 43$ Ma 两者会聚速度由 $120\sim 140$ mm/a 锐减到 $30\sim 40$ mm/a(Northrup *et al.*, 1995; 朱光等, 2004);而该时期气候仍呈纬向分布,在中国东部喜暖温的热带和亚热带森林广泛分布(Wang and Shu, 2013);同期,郟庐断裂带由左行平移逐步转变为巨型的伸

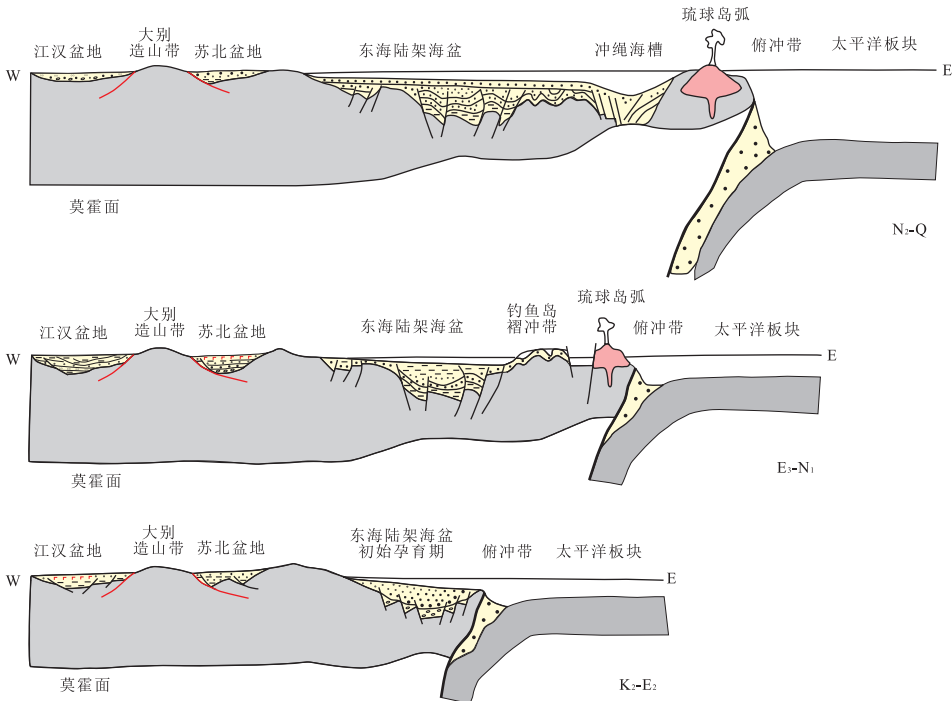


图 5 江汉—苏北—东海盆地一线新生代构造演化阶段示意

Fig.5 Cenozoic tectonic evolution phases along Jianghan-Subei-East China Sea basins in the eastern China

据参考文献:Grimmer *et al.*, 2002; Ren *et al.*, 2002; 胡望水等, 2003; Zhang *et al.*, 2003; 赵金海, 2004a, 2004b; 朱光等, 2004; 邱海峻等, 2006; 王必金等, 2006; Li, 2012

展构造,沿该断裂带发育始于古近纪的玄武岩喷发,并经历强烈冷却剥露(Grimmer *et al.*,2002);此外,印度板块与欧亚板块碰撞形成的向东的地幔流引起东部边缘海的扩张,东海海盆断陷活动自西向东逐步变新(任建业和李思田,2000),瓯江运动和玉泉运动反映二次区域性抬升,并发育海侵灰岩和玄武岩(赵金海,2004a,2004b);该时期江汉凹陷受北部潜北大断层强烈活动的影响,呈现北深南浅、北陡南缓、东西平缓的箕状深凹陷(王必金等,2006);苏北盆地亦呈箕状凹陷,并发育吴堡运动(邱海峻等,2006);东北地区在晚白垩世拗陷背景下,进一步萎缩,为燕山运动第四幕强烈挤压的结果,古新世一始新世开始初步进入裂谷阶段,部分地区有玄武岩喷发(Liu *et al.*,2001;王五力等,2012),其中松辽盆地周缘山体快速抬升,盆地也随之沉降(方石等,2005;Li *et al.*,2011)。

阶段 2(渐新世—早中新世):约 43 Ma,太平洋板块运动由 NNW 向转变为 NWW 向(Zhang *et al.*,2003),郯庐断裂带转变为挤压背景,造成中国东部大陆下部出现软流圈上涌和岩石圈拆沉(Northrup *et al.*,1995;朱光等,2004),在俯冲后缘产生冲绳海槽弧后盆地、琉球岛弧和靠近边缘海的钓鱼岛褶冲带(刘金水等,2003;索艳慧等,2012);在中国西部开始出现干旱草本类型,而暖温性植被主要出现在中国北方,并伴随针叶类型的波动出现(Wang and Shu,2013);东海边缘海盆构造环境由右旋张扭转变为左旋压扭,形成中央背斜带,玉泉运动引起区域性抬升,西部缺失渐新统,而东部发育黑色炭质沥青质页岩夹煤层,并伴生玄武岩(赵金海,2004a,2004b)。江汉盆地进一步凹陷,出现了较深湖相的油页岩和灰岩,进入最大沉降期(王必金等,2006)。苏北盆地发育拗陷细碎屑沉积,伴随强烈玄武岩喷发(三垛组)(邱海峻等,2006)。此外,渭河和太行山南部的伸展转变为 NNE-SSW 向(Zhang *et al.*,2003)。东北地区开始发育大规模裂谷,比如依兰—伊通、敦化—密山和鸡西—绥滨,火山深部强烈活动,主要发育基性玄武岩喷发和滨湖—湖沼相沉积(Liu *et al.*,2001;王五力等,2012)。松辽盆地周缘山体发生一次慢速和一次快速抬升,盆地也随之分别产生慢速和快速的两次沉降(方石等,2005;Li *et al.*,2011)。

阶段 3(晚中新世—第四纪):中国东部的主体伸展方向为 NW-SE 向(Ren *et al.*,2002;Zhang *et al.*,2003),郯庐断裂带持续逆冲挤压,并发育最

强的玄武岩喷发(Grimmer *et al.*,2002;朱光等,2004);东海地区发生区域性热沉降,龙井运动使得盆地整体东倾,沉积了一套浅海相地层水平覆盖在老地层之上(赵金海,2004a,2004b)。靠近琉球岛弧的冲绳海槽进一步扩展(孙晓猛等,2005)。江汉盆地沉积物与早中新世之间存在长期的地层缺失,其顶部覆盖河湖相碎屑物沉积,逐步拗陷萎缩(王必金等,2006)。苏北盆地受 NE 构造格局控制,发育了一套河流—冲、洪积粗碎屑岩为主的沉积,之后在盐城运动之后形成近于夷平状态下的“斜坡式”沉积格局,发育河流泛滥平原沉积(邱海峻等,2006)。东北地区为后裂谷拗陷阶段,松辽等盆地平原化,辽吉东部和三江平原为红杂色碎屑沉积和玄武岩沉积,其中玄武岩喷发进一步扩展到大兴安岭及小兴安岭地区(Liu *et al.*,2001;王五力等,2012)。而松辽盆地周缘山体发生快速抬升,该盆地也随之沉降(方石等,2005;Li *et al.*,2011);中国进入干旱草本类型的主要发展阶段,广泛分布于松辽平原、内蒙古和黄土高原等地,温带阔叶混交林和喜冷的针叶林在中国东北为主要类型(Wang and Shu,2013)。

致谢:本研究得到叶天竺研究员、张克信教授、张智勇研究员、肖庆辉研究员、潘桂棠研究员、冯艳芳研究员、邓晋福教授、陆松年研究员、冯益民研究员、邢光福研究员、郝国杰研究员、王惠初研究员、何卫红教授、苏尚国教授、张允平研究员、靳国栋研究员等专家的资料和会议讨论的启发,以及匿名审稿人对文稿的帮助和建议,在此谨表谢意。

References

- Allen, M. B., MacDonald, D. I. M., 1997. Early Cenozoic Two-Phase Extension and Late Cenozoic Thermal Subsidence and Inversion of the Bohai Basin, Northern China. *Marine and Petroleum Geology*, 14(7-8): 951-972. doi: 10.1016/S0264-8172(97)00027-5
- An, Y. K., Su, M. J., 1990. The Geological Age of the Kongdian Formation in North China. *Petroleum Exploration & Development*, (2): 44-55 (in Chinese with English abstract).
- Cai, X. L., Zhu, J. S., Cao, J. M., et al., 2002. Structure and Dynamics of Lithosphere and Asthenosphere in the Gigantic East Asian-West Pacific Rift System. *Geology in China*, 29(3): 234-245 (in Chinese with English abstract).
- Chen, C. M., 2000. Petroleum Geology and Conditions for Hydrocarbon Accumulation in the Eastern Pearl River Mouth Basin. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*,

- 14(2):73—83 (in Chinese with English abstract).
- Chen, C.M., Shi, H.S., Xu, S.C., et al., 2003. Formation Conditions of Tertiary Oil and Gas Reservoirs in the (Eastern) Pearl River Mouth Basin. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Chen, F.J., Wang, X.W., 1997. Genetic Types, Tectonic Systems and Geodynamic Models of Mesozoic and Cenozoic Oil- and Gas-Bearing Basins in China. *Geoscience*, 11(4):409—424 (in Chinese with English abstract).
- Chen, L.L., Hu, J.Q., Bai, J., 2003. Discussion on Channel Evolution of Continental Alluvial System in Xihu Trough. *Shanghai Geology*, 85(1):40—44 (in Chinese with English abstract).
- Chen, P.J., 1988. Age and Pattern of Great Parallel Movement of the Tanlu Fault. *Chinese Science Bulletin*, 34(4):289—293 (in Chinese).
- Chen, Y.F., 1992. Cenozoic Basaltic Rocks in North Jiangsu Basin and Surrounding Area and Their Bearing on Tectonic Environment. *Journal of Fujian Normal University (Natural Science)*, 8(1):94—103 (in Chinese with English abstract).
- Editorial Board of the Stratigraphical Lexicon of China, 2009. Stratigraphical Lexicon of China—Introduction. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- England, P. C., Molnar, P., 1990. Surface Uplift, Uplift of Rocks, and Exhumation of Rocks. *Geology*, 18(4):1173—1177. doi: 10.1130/0091—7613(1990)018<1173:SUUORA>2.3.CO;2
- Fang, S., Liu, Z.J., Guo, W., 2005. Thermal Structure Research on Cenozoic in Songliao Basin and Dahinganling Mountain. *Nuclear Techniques*, 28(9):717—721 (in Chinese with English abstract).
- Fang, S., Liu, Z.J., Huang, X.T., et al., 2008. Uplift and Topography Evolution Research at FT in Cenozoic of South-Eastern Slope of Daxing'anling Mountains. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 38(5):771—794 (in Chinese with English abstract).
- Fang, S., Zhang, Z.Q., Liu, Z.J., et al., 2007. Thermal History and Stratum Age in the Cenozoic of the Songliao Basin, NE China. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 37(5):923—928 (in Chinese with English abstract).
- Feng, Y.L., Zhou, H.M., Ren, J.Y., et al., 2010. Paleogene Sequence Stratigraphy in the East of the Bohai Bay Basin and Its Response to Structural Movement. *Science China; Earth Sciences*, 40(10):1356—1376 (in Chinese).
- Guo, H., Xia, B., Wang, R.H., et al., 2006. Geochemistry and Geotectonic Significance of Eogene Basalts in Yangxin Area, Bohai Bay Basin. *Geochimica*, 35(3):227—239 (in Chinese with English abstract).
- Grimmer, J. C., Jonckheere, R., Enkelmann, E., et al., 2002. Cretaceous-Cenozoic History of the Southern Tan-Lu Fault Zone: Apatite Fission-Track and Structural Constraints from the Dabie Shan (Eastern China). *Tectonophysics*, 359(3—4):225—253. doi: 10.1016/S0040—1951(02)00513—9
- Hu, W.S., Lü, B.Q., Guan, D.Y., 2003. Characteristics of Tanlu Fault Zone and Development of Mesozoic and Cenozoic Basins along It. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 23(4):51—58 (in Chinese with English abstract).
- Huang, J.Q., Ren, J.S., Jiang, C.F., et al., 1977. An Outline of the Tectonic Characteristics of China. *Acta Geologica Sinica*, (2):117—135 (in Chinese with English abstract).
- Hunziker, J.C., Desmons, J., Hurford, A.J., 1992. Thirty-Two Years of Geochronological Work in the Central and Western Alps: A Review on Seven Maps. *Mémoires de Géologie (Lausanne)*, 13(1):1—59.
- Jahn, B.M., Martineau, F., Peucat, J.J., et al., 1986. Geochronology of the Tananao Schist Complex, Taiwan, and Its Regional Tectonic Significance. *Tectonophysics*, 125(1—3):103—124. doi: 10.1016/0040—1951(86)90009—0
- Jiang, H., Wang, H., Xiao, J., et al., 2008. Control of Paleomorphology to Sedimentary Filling in Marginal Sea Basin—By Taking Zhu III Depression for Example. *Journal of Oil and Gas Technology*, 30(1):10—15 (in Chinese with English abstract).
- Jolivet, L., Tamaki, K., Fournier, M., 1994. Japan Sea, Opening History and Mechanism: A Synthesis. *Journal of Geophysical Research*, 99(B11):22237—22259. doi: 10.1029/93JB03463
- Kang, X.D., Zhao, W.C., Pan, Z.G., et al., 1994. Study on Architecture of Sequence Stratigraphic Framework of Beibuwan Basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 19(4):493—502 (in Chinese with English abstract).
- Kimura, M., 1985. Back-Arc Rifting in the Okinawa Trough. *Marine and Petroleum Geology*, 2(3):222—240. doi: 10.1016/0264—8172(85)90012—1
- Li, D.S., 2012. 9-Cenozoic Rifts of Eastern China. In: Roberts, D. G., ed., Regional Geology and Tectonics: Phanerozoic Rift Systems and Sedimentary Basins. Elsevier, Amsterdam, 196—234.
- Li, G.Y., Lü, M.G., 2002. Atlas of China's Petroliferous Basins. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Li, H.W., Xu, K., 2001. The Dextral Strike-Slip Faulting of Tan-Lu Fault Zone and the Structural Oil Fields Distribution in Liaohe Basin. *Earth Science Frontiers*, 8(4):

- 467—470 (in Chinese with English abstract).
- Li, J., Shu, L. S., 2002. Mesozoic-Cenozoic Tectonic Features and Evolution of the Song-Liao Basin, NE China. *Journal of Nanjing University (Natural Science)*, 38(4): 525—531 (in Chinese with English abstract).
- Li, S. Q., Niu, H. W., Zheng, J., et al., 2012. Discussion on Sedimentary Relationship between Weixinan Sag and Haizhong Sag during Paleogene Period in Beibuwan Basin. *Offshore Oil*, 32(1): 1—6 (in Chinese with English abstract).
- Li, S. S., Xie, J. Y., Liu, X. Y., et al., 2010. Paleo-Neogene Biostratigraphic Boundary Research in the Western Pearl River Mouth Basin. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 27(3): 221—230 (in Chinese with English abstract).
- Li, S. Z., Xu, S. M., Shan, Y. H., et al., 2000. Tectonic Evolution and Basin Assemblage in the Bohai Bay and Its Neighbors. *Acta Oceanologica Sinica*, 22 (Suppl.): 220—229 (in Chinese with English abstract).
- Li, T. D., Mo, J., 2002. Tectonic Framework of the West Circum-Pacific Tectonic Tract and the Geological Evolution of the East China Sea. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 22(4): 1—6 (in Chinese with English abstract).
- Li, X. H., Wang, C. S., Hu, X. M., et al., 2000. The Pengqu Formation: A New Eocene Stratigraphical Unit in Tingri Area, Tibet. *Journal of Stratigraphy*, 24(3): 243—248 (in Chinese with English abstract).
- Li, X. M., Yang, X. Y., Xia, B., et al., 2011. Exhumation of the Dahinggan Mountains, NE China from the Late Mesozoic to the Cenozoic: New Evidence from Fission-Track Thermochronology. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42(1—2): 123—133. doi: 10.1016/j.jseaes.2011.04.014
- Li, X. W., Zhou, X. M., 1999. Late Mesozoic Subduction Zone of Southeastern China. *Geological Journal of China Universities*, 5(2): 164—169 (in Chinese with English abstract).
- Li, X. Y., Zhang, C. M., Zhang, S. F., et al., 2012. Neogene Sequence Subdivision and Its Development Pattern in Pearl River-Mouth Basin. *Journal of Oil and Gas Technology*, 34(4): 47—51 (in Chinese with English abstract).
- Li, Y. T., 1984. Stratigraphy of China (13): Chinese Tertiary. Geological Publishing House, Beijing, 141—143 (in Chinese).
- Liu, G. D., 1992. Instruction of Geological-Geophysical Series Map of Chinese Sea and Adjacent Area (1 : 5 000 000). Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Liu, G. D., 2007. Geodynamical Evolution and Tectonic Framework of China. *Earth Science Frontiers*, 14(3): 39—46 (in Chinese with English abstract).
- Liu, J. S., Liao, Z. T., Jia, J. Y., et al., 2003. The Geological Structure and Tectonic Evolution of the East China Sea Shelf Basin. *Shanghai Geology*, (3): 1—6 (in Chinese with English abstract).
- Liu, J. Q., Han, J. T., Fyfe, W. S., 2001. Cenozoic Episodic Volcanism and Continental Rifting in Northeast China and Possible Link to Japan Sea Development as Revealed from K-Ar Geochronology. *Tectonophysics*, 339(3—4): 385—401. doi: 10.1016/S0040—1951(01)00132—9
- Liu, L. J., Mo, S. G., Tong, Y. M., 2003. A Discussion on the Palaeogene Sublacustrine Fan of Fushan Depression in Beibuwan Basin, Northern South China Sea. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 22(2): 138—142 (in Chinese with English abstract).
- Liu, M., Cui, X. J., Liu, F. T., 2004. Cenozoic Rifting and Volcanism in Eastern China: A Mantle Dynamic Link to the Indo-Asian Collision? *Tectonophysics*, 393(1—4): 29—42. doi: 10.1016/j.tecto.2004.07.029
- Ma, X. Y., Liu, H. F., Wang, W. X., et al., 1983. Meso-Cenozoic Taphrogeny and Extensional Tectonics in Eastern China. *Acta Geologica Sinica*, (1): 22—32 (in Chinese with English abstract).
- Ma, X. Y., Wu, D. N., 1987. Cenozoic Extensional Tectonics in China. *Tectonophysics*, 133(3—4): 243—255. doi: 10.1016/0040—1951(87)90268—X
- Ma, X. Y., Wu, D. N., 1988. Cenozoic Extensional Tectonic in China. *Geological Science and Technology Information*, 7(2): 1—12 (in Chinese).
- Northrup, C. J., Royden, L. H., Burchfiel, B. C., 1995. Motion of the Pacific Plate Relative to Eurasia and Its Potential Relation to Cenozoic Extension along the Eastern Margin of Eurasia. *Geology*, 23(8): 719—722. doi: 10.1130/0091—7613(1995)023<0719; MOTPPR>2.3.CO;2
- Pang, X., Chen, C. M., Shao, L., et al., 2007. Baiyun Movement, a Great Tectonic Event on the Oligocene-Miocene Boundary in the Northern South China Sea and Its Implications. *Geological Review*, 53(2): 145—151 (in Chinese with English abstract).
- Pang, X., Chen, C. M., Shi, H. S., et al., 2005. Response between Relative Sea-Level Change and the Pearl River Deep-Water Fan System in the South China Sea. *Earth Science Frontiers*, 12(3): 167—177 (in Chinese with English abstract).
- Qian, Q., 1997. A New Knowledge of the Sanduo Formation in North Jiangsu Basin. *Journal of Stratigraphy*, 21(4): 275—280 (in Chinese with English abstract).
- Qin, G. Q., 2002. Late Cenozoic Sequence Stratigraphy and Sea-Level Changes in Pearl River Mouth Basin, South China Sea. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 16(1): 1—10 (in Chinese with English abstract).

- Qin, J. X., Tian, J. C., Yang, Z. S., 1998. A Study on Sequence Stratigraphy of Tertiary in the East China Sea Basin. *Journal of Chengdu University of Technology*, 25 (4): 503—510 (in Chinese with English abstract).
- Qiu, H. J., Xu, Z. Q., Qiao, D. W., 2006. Progress in the Study of the Tectonic Evolution of the Subei Basin, Jiangsu, China. *Geological Bulletin of China*, 25 (9—10): 1117—1120 (in Chinese with English abstract).
- Ren, J. S., 1990. On the Geotectonics of Southern China. *Acta Geologica Sinica*, (4): 275—288 (in Chinese with English abstract).
- Ren, J. Y., Hu, X. Y., Zhang, J. X., et al., 1998. The Late Mesozoic Tectonic Activation in the Eastern Chinese Continent and Its Evolution Process. *Geotectonica et Metallogenia*, 22(2): 89—96 (in Chinese with English abstract).
- Ren, J. Y., Li, S. T., 2000. Spreading and Dynamic Setting of Marginal Basins of the Western Pacific. *Earth Science Frontiers*, 7(3): 203—213 (in Chinese with English abstract).
- Ren, J. Y., Tamaki, K., Li, S. T., et al., 2002. Late Mesozoic and Cenozoic Rifting and Its Dynamic Setting in Eastern China and Adjacent Areas. *Tectonophysics*, 344(3—4): 175—205. doi:10.1016/S0040—1951(01)00271—2
- Seno, T., Maruyama, S., 1984. Paleogeographic Reconstruction and Origin of the Philippine Sea. *Tectonophysics*, 102(1—4): 53—84. doi:10.1016/0040—1951(84)90008—8
- Shao, L., Pang, X., Qiao, P. J., et al., 2008. Sedimentary Filling of the Pearl River Mouth Basin and Its Response to the Evolution of the Pearl River. *Acta Sedimentologica Sinica*, 26 (2): 179—185 (in Chinese with English abstract).
- Shi, H. C., Shi, X. B., Yang, X. Q., et al., 2013. The Exhumation Process of Mufushan Granite in Jiangnan Uplift since Cenozoic: Evidence from Low-Temperature Thermochronology. *Chinese Journal of Geophysics*, 56(6): 1945—1957 (in Chinese with English abstract).
- Shi, J., Zheng, K. F., 2004. Characteristics and Exploration Prospect of Shallow Oil and Gas Accumulation in North Jiangsu Basin. *Jiangsu Geology*, 28(2): 69—75 (in Chinese with English abstract).
- Shu, L. S., Zhou, X. M., Deng, P., et al., 2004. Geological Features and Tectonic Evolution of Meso-Cenozoic Basins in Southeastern China. *Geological Bulletin of China*, 23 (9—10): 876—884 (in Chinese with English abstract).
- Sun, X. M., Wang, P. J., Hao, F. J., et al., 2005. Space-Time Distribution Features, Migration Regularities and Genetic Types of Regional Fault System of Meso-Cenozoic in the Central Section of Epicontinent of the East China. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 35(5): 554—563 (in Chinese with English abstract).
- Suo, Y. H., Li, S. Z., Dai, L. M., et al., 2012. Cenozoic Tectonic Migration and Basin Evolution in East Asia and Its Continental Margins. *Acta Petrologica Sinica*, 28(8): 2602—2618 (in Chinese with English abstract).
- Wan, T. F., 1996. Length and Penetration Depth of Tancheng-Lujiang Fault Zone in Eastern Asia. *Geoscience*, 10(4): 518—525 (in Chinese with English abstract).
- Wan, T. F., Zhu, H., 2002. Tectonics and Environment Change of Meso-Cenozoic China Continent and Its Adjacent Areas. *Geoscience*, 16(2): 107—120 (in Chinese with English abstract).
- Wang, B. J., Lin, C. S., Chen, Y., et al., 2006. Episodic Tectonic Movement and Evolutional Character in Jiangnan Basin. *Oil Geophysical Prospecting*, 41(2): 226—230 (in Chinese with English abstract).
- Wang, G. C., Cao, K., Zhang, K. X., et al., 2011. Spatio-Temporal Framework of Tectonic Uplift Stages of the Tibetan Plateau in Cenozoic. *Science China: Earth Sciences*, 54(1): 29—44. doi:10.1007/s11430—010—4110—0
- Wang, G. C., Zhu, W. L., 1992. Cenozoic Sedimentary Environment in East China Sea Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 10 (2): 100—108 (in Chinese with English abstract).
- Wang, H. Z., Yang, S. N., Li, S. T., 1983. Development of Meso-Cenozoic Basins and Continental Marginal Tectonics of Eastern China and Adjacent Regions. *Acta Geologica Sinica*, (3): 213—223 (in Chinese with English abstract).
- Wang, W. L., Fu, J. Y., Yang, Y. J., 2012. Tectonic Evolution and Genesis of the Late Mesozoic-Cenozoic Basin-and-Mountain System of Northeast China. *Geology and Resources*, 21(1): 17—26 (in Chinese with English abstract).
- Wang, W. M., Shu, J. W., 2013. Cenozoic Xeromorphic Vegetation in China and Its Spatial and Temporal Development in Connection with Global Changes. *Palaeoworld*, 22 (3—4): 86—92. doi:10.1016/j.palwor.2013.08.001
- Wang, Z. Q., Zhang, S. F., Dan, W. D., et al., 2005. The Delta Deposits from the Zhuhai Formation in the Zhu-1 Depression of the Zhujiangkou Basin. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 25(3): 62—67 (in Chinese with English abstract).
- Wei, X. F., Zhang, T. S., Huang, J., et al., 2011. Sequence Stratigraphy Characteristics and Filling Evolution Models of Paleogene in Baiju Sag, Subei Basin. *Acta Geoscientifica Sinica*, 32(4): 427—437 (in Chinese with English abstract).
- Wu, Z. J., 1985. The Existence of Marine Eocene Strata from the East China Sea Basin and Its Significance. *Tropic Oceanology*, 4(1): 25—32 (in Chinese with English abstract).
- Xu, C. H., van Den Haute, P., Zhou, Z. Y., et al., 2006. Apatite Fission-Track Thermochronology of Tectonic Evolution

- in Hefei Basin. *Acta Petrolei Sinica*, 27(6): 5–13 (in Chinese with English abstract).
- Xu, L. X., Yan, C. D., Yu, H. L., et al., 1995. Chronology of Paleogene Volcanic Rocks in Jiangnan Basin. *Oil & Gas Geology*, 16(2): 132–137 (in Chinese with English abstract).
- Xu, S. C., Huang, L. F., 1997. Tertiary Continental Strata Research, as the Pearl River Mouth Basin an Example. In: Gong, Z. S., Li, S. T., Xie, T. J., et al., eds., Analysis of Oil and Gas Accumulation in the Continental Margin of the Northern South China Sea. Science Press, Beijing 178–186 (in Chinese).
- Xu, X. H., Gao, C. L., Huang, Z. G., et al., 2005. Three Stages of Tectonic Movements in Formation of Petroliferous Basins in China. *Oil & Gas Geology*, 26(2): 155–162 (in Chinese with English abstract).
- Xu, X. H., Gao, C. L., Jiang, X. G., et al., 2009. An Introduction to Dynamic Analysis for Chinese Petroleum Basins. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Yang, W. R., 2006. Earth Surface System and Research History of the Regional Geotectonics of China. *Earth Science Frontiers*, 13(6): 102–110 (in Chinese with English abstract).
- Yin, A., 2010. Cenozoic Tectonic Evolution of Asia: A Preliminary Synthesis. *Tectonophysics*, 488(1–4): 293–325. doi: 10.1016/j.tecto.2009.06.002
- Yin, A., Nie, S., 1996. A Phanerozoic Palinspastic Reconstruction of China and Its Neighboring Regions. In: Yin, A., Harrison, T. M., eds., The Tectonic Evolution of Asia. Cambridge University Press, New York, 442–485.
- Yin, Z. X., 1973. Plate Tectonics Review. *Scientia Geologica Sinica*, (1): 56–88 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, K. X., He, W. H., Xing, Z. Y., et al., 2010. Requirements on Research Work of Sedimentary Area. In: Ye, T. Z., Zhang, Z. Y., Xiao, Q. H., et al., eds., Requirements on Research Work of Metallogenic Geological Background. Geological Publishing House, Beijing, 21–82, 372–394 (in Chinese).
- Zhang, K. X., He, W. H., Xu, Y. D., et al., 2014. Subdivision and Identification of Sedimentary Tectonic Facies. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 39(8): 915–928 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, K. X., Wang, G. C., Cao, K., et al., 2008. Cenozoic Sedimentary Records and Geochronological Constraints of Differential Uplift of the Qinghai-Tibet Plateau. *Science in China (Series D)*, 51(11): 1658–1672. doi: 10.1007/s11430-008-0132-2
- Zhang, K. X., Wang, G. C., Hong, H. L., et al., 2013. The Study of the Cenozoic Uplift in the Tibetan Plateau: A Review. *Geological Bulletin of China*, 32(1): 1–18 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, K. X., Wang, G. C., Ji, J. L., et al., 2010. Paleogene-Neogene Stratigraphic Realm and Sedimentary Sequence of the Qinghai-Tibet Plateau and Their Response to Uplift of the Plateau. *Science in China (Series D)*, 53(9): 1271–1294. doi: 10.1007/s11430-010-4048-2
- Zhang, K. X., Wang, G. C., Xu, Y. D., et al., 2013. Sedimentary Evolution of the Qinghai-Tibet Plateau in Cenozoic and Its Response to the Uplift of the Plateau. *Acta Geologica Sinica*, 87(2): 555–575. doi: 10.1111/1755-6724.12068
- Zhang, Y. Q., Ma, Y. S., Yang, N., et al., 2003. Cenozoic Extensional Stress Evolution in North China. *Journal of Geodynamics*, 36(5): 591–613. doi: 10.1016/j.jog.2003.08.001
- Zhao, J. H., 2004. The Forming Factors and Evolvement of the Mesozoic and Cenozoic Basin in the East China Sea (Volume 1). *Offshore Oil*, 24(4): 6–14 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, J. H., 2005. The Forming Factors and Evolvement of the Mesozoic and Cenozoic Basin in the East China Sea (Volume 2). *Offshore Oil*, 25(1): 1–10 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Z. X., Zhou, D., Liao, J., 2009. Tertiary Paleogeography and Depositional Evolution in the Pearl River Mouth Basin of the Northern South China Sea. *Journal of Tropical Oceanography*, 28(6): 52–60 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, J. J., He, X. X., Liu, S. W., et al., 1999. Stratigraphy of China: Tertiary. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Zheng, Y. F., Xiao, W. J., Zhao, G. C., 2012. Introduction to Tectonics of China. *Gondwana Research*, 23(4): 1189–1206. doi: 10.1016/j.gr.2012.10.001
- Zheng, Y. H., Zhou, S. F., 1983. Paleogene-Quaternary Palynoflora and Its Evolution of Paleogeography and Paleoclimate in Northern Jiangsu and Adjacent Regions. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Zhu, G., Wang, D. X., Liu, G. S., et al., 2004. Evolution of the Tan-Lu Fault Zone and Its Responses to Plate Movement in West Pacific Basin. *Chinese Journal of Geology*, 39(1): 36–49 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, X., 1990. Tectonic Evolution of Mesozoic-Cenozoic Sedimentary Basins in China. In: Zhu, X., Xu, W., eds., Mesozoic-Cenozoic Sedimentary Basins in China. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).

附中文参考文献

- 安延恺,苏鸣钧,1990.渤海湾盆地孔店组的时代及含油意义.石油勘探与开发,(2):44—55.
- 蔡学林,朱介寿,曹家敏,等,2002.东亚西太平洋巨型裂谷体系岩石圈与软流圈结构及动力学.中国地质,29(3):234—245.
- 陈长民,2000.珠江口盆地东部石油地质及油气藏形成条件初探.中国海上油气,14(2):73—83.
- 陈长民,施和生,许仕策,等,2003.珠江口盆地(东部)第三系油气藏形成条件.北京:科学出版社.
- 陈发景,汪新文,1997.中国中、新生代含油气盆地成因类型、构造体系及地球动力学模式.现代地质,11(4):409—424.
- 陈琳琳,胡佳庆,白洁,2003.西湖凹陷陆盆冲积体系河道演变规律探讨.上海地质,85(1):40—44.
- 陈丕基,1988.郯庐断裂巨大平移的时代与格局.科学通报,34(4):289—293.
- 陈友飞,1992.苏北盆地与周围地区的新生代玄武岩及其形成的大地构造环境.福建师范大学学报(自然科学版),8(1):94—103.
- 《中国地层典·总论》编委会,2009.中国地层典:总论.北京:地质出版社.
- 方石,刘招君,郭巍,2005.松辽盆地与大兴安岭新生代热构造耦合研究.核技术,28(9):717—721.
- 方石,刘招君,黄湘通,等,2008.大兴安岭南坡新生代隆升及地貌演化的裂变径迹研究.吉林大学学报(地球科学版),38(5):771—794.
- 方石,张志强,刘招君,等,2007.松辽盆地新生代热演化及地层定年.吉林大学学报(地球科学版),37(5):923—928.
- 冯有良,周海民,任建业,等,2010.渤海湾盆地东部古近系层序地层及其对构造活动的响应.中国科学(D辑),40(10):1356—1376.
- 郭华,夏斌,王润红,等,2006.渤海湾盆地阳信地区古近纪玄武岩地球化学特征及其地质意义.地球化学,35(3):227—239.
- 胡望水,吕炳全,官大勇,等,2003.郯庐断裂带及其周缘中新代盆地发育特征.海洋地质与第四纪地质,23(4):51—58.
- 黄汲清,任纪舜,姜春发,等,1977.中国大地构造基本轮廓.地质学报,(2):117—135.
- 姜华,王华,肖军,等,2008.古地貌对边缘海盆地沉积充填特征的控制——以南海珠江口盆地珠三坳陷为例.石油天然气学报,30(1):10—15.
- 康西栋,赵文翠,潘治贵,等,1994.北部湾盆地层序地层格架及其内部构成.地球科学——中国地质大学学报,19(4):493—502.
- 李国玉,吕鸣岗,等,2002.中国含油气盆地图集.北京:石油工业出版社.
- 李宏伟,许坤,2001.郯庐断裂走滑活动与辽河盆地构造古地理格局.地学前缘,8(4):467—470.
- 李娟,舒良树,2002.松辽盆地中、新生代构造特征及其演化.南京大学学报(自然科学版),38(4):525—531.
- 李上卿,牛华伟,郑军,等,2012.北部湾盆地涠西南凹陷与海中凹陷古近纪沉积关系探讨.海洋石油,32(1):1—6.
- 李珊珊,谢金有,刘新宇,等,2010.珠江口盆地西部古近系与新近系生物地层界线研究.微体古生物学报,27(3):221—230.
- 李三忠,许淑梅,单业华,等,2000.渤海湾及邻区构造演化与盆地组合规律.海洋学报,22(增刊):220—229.
- 李祥辉,王成善,胡修棉,等,2000.朋曲组——西藏南部最高海相层位一个新的地层单元.地层学杂志,24(3):243—248.
- 李廷栋,莫杰,2002.中国滨太平洋构造域构造格架和东海地质演化.海洋地质与第四纪地质,22(4):1—6.
- 李显武,周新民,1999.中国东南部晚中生代俯冲带探索.高校地质学报,5(2):164—169.
- 李向阳,张昌民,张尚锋,等,2012.珠江口盆地新近系层序划分与发育模式.石油天然气学报,34(4):47—51.
- 李神通,1984.中国地层(13)·中国的第三系.北京:地质出版社,141—143.
- 刘光鼎,1992.中国海区及邻域地质—地球物理系列图(1:500万)及说明书.北京:地质出版社.
- 刘光鼎,2007.中国大陆构造格架的动力学演化.地学前缘,14(3):39—46.
- 刘金水,廖宗廷,贾健谊,等,2003.东海陆架盆地地质结构及构造演化.上海地质,(3):1—6.
- 刘亚军,莫申国,佟彦明,2003.北部湾盆地福山凹陷古近纪湖底扇沉积演化及模式探讨.岩石矿物学杂志,22(2):138—142.
- 马杏垣,刘和甫,王维襄,等,1983.中国东部中、新生代裂陷作用和伸展构造.地质学报,(1):22—32.
- 马杏垣,吴大宁,1988.中国新生代的伸展构造.地质科技情报,7(2):1—12.
- 庞雄,陈长民,邵磊,等,2007.白云运动:南海北部渐新统一中新统重大地质事件及其意义.地质论评,53(2):145—151.
- 庞雄,陈长民,施和生,等,2005.相对海平面变化与南海珠江深水扇系统的响应.地学前缘,12(3):167—177.
- 钱勤,1997.苏北盆地三垛组新探.地层学杂志,21(4):275—280.
- 秦国权,2002.珠江口盆地新生代晚期层序地层划分和海平面变化.中国海上油气,16(1):1—10.
- 覃建雄,田景春,杨作升,1998.东海盆地第三系层序地层学初探.成都理工学院学报,25(4):503—510.
- 邱海峻,许志琴,乔德武,2006.苏北盆地构造演化研究进展.地质通报,25(9—10):1117—1120.

- 任纪舜, 1990. 论中国南部的大地构造. 地质学报, (4): 275—288.
- 任建业, 胡祥云, 张俊霞, 等, 1998. 中国大陆东部晚中生代构造活化及其演化过程. 大地构造与成矿学, 22(2): 89—96.
- 任建业, 李思田, 2000. 西太平洋边缘海盆地的扩张过程和动力学背景. 地学前缘, 7(3): 203—213.
- 邵磊, 庞雄, 乔培军, 等, 2008. 珠江口盆地的沉积充填与珠江的形成演变. 沉积学报, 26(2): 179—185.
- 石红才, 施小斌, 杨小秋, 等, 2013. 江南隆起带幕阜山岩体新生代剥蚀冷却的低温热年代学证据. 地球物理学报, 56(6): 1945—1957.
- 石健, 郑开富, 2004. 苏北盆地浅层油气成藏特征与勘探前景. 江苏地质, 28(2): 69—75.
- 舒良树, 周新民, 邓平, 等, 2004. 中国东南部中、新生代盆地特征与构造演化. 地质通报, 23(9—10): 876—884.
- 孙晓猛, 王璞珺, 郝福江, 等, 2005. 中国东部陆缘中区中—新生代区域断裂系统时空分布特征、迁移规律及成因类型. 吉林大学学报(地球科学版), 35(5): 554—563.
- 索艳慧, 李三忠, 戴黎明, 等, 2012. 东亚及其大陆边缘新生代构造迁移与盆地演化. 岩石学报, 28(8): 2602—2618.
- 万天丰, 1996. 郟庐断裂带的延伸与切割深度. 现代地质, 10(4): 518—525.
- 万天丰, 朱鸿, 2002. 中国大陆及邻区中生代—新生代大地构造与环境变迁. 现代地质, 16(2): 107—120.
- 王必金, 林畅松, 陈莹, 等, 2006. 江汉盆地幕式构造运动及其演化特征. 石油地球物理勘探, 41(2): 226—230.
- 王国纯, 朱伟林, 1992. 东海盆地新生代沉积环境. 沉积学报, 10(2): 100—108.
- 王鸿祯, 杨森楠, 李思田, 1983. 中国东部及邻区中、新生代盆地发育及大陆边缘区的构造发展. 地质学报, (3): 213—223.
- 王五力, 付俊彧, 杨雅军, 2012. 中国东北晚中生代—新生代盆山体系构造演化及成因探讨. 地质与资源, 21(1): 17—26.
- 王振奇, 张尚锋, 淡卫东, 等, 2005. 珠江口盆地珠—坳陷珠海组三角洲沉积特征. 沉积与特提斯地质, 25(3): 62—67.
- 魏祥峰, 张廷山, 黄静, 等, 2011. 苏北盆地白驹凹陷古近系层序地层特征及充填演化模式. 地球学报, 32(4): 427—437.
- 吴作基, 1985. 东海盆地海相始新世地层的存在及其意义. 热带海洋, 4(1): 25—32.
- 许长海, Van Den Haute, P., 周祖翼, 等, 2006. 合肥盆地构造演化的磷灰石裂变迹分析. 石油学报, 27(6): 5—13.
- 徐论勋, 阎春德, 俞惠隆, 等, 1995. 江汉盆地地下第三系火山岩年代. 石油与天然气地质, 16(2): 132—137.
- 许仕策, 黄丽芬, 1997. 早第三纪陆相地层研究—以珠江口盆地为例. 见: 龚再升, 李思田, 谢泰俊, 等编, 南海北部大陆边缘盆地分析与油气聚集. 北京: 科学出版社, 178—186.
- 徐旭辉, 高长林, 黄泽光, 等, 2005. 中国盆地形成的三大活动构造历史阶段. 石油与天然气地质, 26(2): 155—162.
- 徐旭辉, 高长林, 江兴歌, 等, 2009. 中国含油气盆地动态分析概论. 北京: 石油工业出版社.
- 杨巍然, 2006. 地球表层系统与中国区域大地构造的研究发展. 地学前缘, 13(6): 102—110.
- 尹赞勋, 1973. 板块构造述评. 地质科学, (1): 56—88.
- 张克信, 何卫红, 邢作云, 等, 2010. 沉积岩区研究工作要求, 见: 叶天竺, 张智勇, 肖庆辉, 等编, 成矿地质背景研究技术要求. 北京: 地质出版社, 21—82, 372—394.
- 张克信, 何卫红, 徐亚东, 等, 2014. 沉积大地构造相划分与鉴别. 地球科学——中国地质大学学报, 39(8): 915—928.
- 张克信, 王国灿, 洪汉烈, 等, 2013. 青藏高原新生代隆升研究现状. 地质通报, 32(1): 1—18.
- 赵金海, 2004. 东海中、新生代盆地成因机制和演化(上). 海洋石油, 24(4): 6—14.
- 赵金海, 2005. 东海中、新生代盆地成因机制和演化(下). 海洋石油, 25(1): 1—10.
- 赵中贤, 周蒂, 廖杰, 2009. 珠江口盆地第三纪古地理及沉积演化. 热带海洋学报, 28(6): 52—60.
- 郑家坚, 何希贤, 刘淑文, 等, 1999. 中国地层典·第三系. 北京: 地质出版社.
- 郑亚惠, 周山富, 1983. 苏北及其邻区下第三纪至第四纪孢粉植物群及古地理古气候演变. 北京: 地质出版社.
- 朱光, 王道轩, 刘国生, 等, 2004. 郟庐断裂带的演化及其对西太平洋板块运动的响应. 地质科学, 39(1): 36—49.
- 朱夏, 1990. 中国中、新生代沉积盆地构造发展述略. 见: 朱夏, 徐旺, 编, 中国中、新生代沉积盆地. 北京: 石油工业出版社.