

江汉盆地热流史、沉积构造演化与热事件

袁玉松, 朱传庆, 胡圣标

(中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

摘要 江汉盆地是我国前新生代海相油气勘探的重要领域之一,为研究海相烃源岩的热演化史提供地热学参数,以镜质体反射率(R_o)为古温标进行热史反演,获得了盆地的热流史.印支运动以前,盆地基底热流为 $50\sim 55\text{mW/m}^2$;晚印支—早燕山期,热流整体升高;不同构造单元达到最高古热流的时间不同,潜北断裂以北,157Ma 左右达到最高古热流($\sim 72\text{mW/m}^2$),潜北断裂以南,43 Ma 左右达到最高古热流($71\sim 76\text{mW/m}^2$);晚喜山期,热流迅速降低,盆地快速冷却.盆地热流史和沉积构造演化、岩浆活动热事件的耦合关系表现为:印支运动以前,海相盆地稳定建造阶段为统一的低热流背景,岩浆活动微弱;晚印支—早燕山期,构造活动性增强产生深部热搅动,热流整体升高;中燕山期挤压改造变形阶段热流值的高低受控于岩浆活动热事件的分区表现,盆地基底热流表现为北降南升;晚燕山—早喜山期,陆相伸展盆地建造与叠加改造阶段,岩浆活动热事件的区域特征决定热背景分区;晚喜山期,盆地萎缩,为热流值降低的冷却过程.

关键词 江汉盆地, 热流史, 沉积构造演化, 热事件, 耦合关系

中图分类号 P631 文献标识码 A 文章编号 1004-2903(2007)03-0934-06

Heat flow history, tectono-sedimentary evolution and thermal events of the Jianghan basin

YUAN Yu-song, ZHU Chuan-qing, HU Sheng-biao

(*Institute of geology and geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China*)

Abstract Jianghan basin is one of the significant domains of the hydrocarbon exploration of the Pre-cenozoic marine basins in China. The thermal history is the main factor of controlling the thermal maturation of the source rocks in a basin. Based on the paleo-thermometric indicator of vitrinite reflectance (R_o), the thermal history is reconstructed. The results show that the basal heat flow was relatively low ($50\sim 55\text{mW/m}^2$) before Indosinian movement. From the late Indosinian to early Yanshanian episode, however, the heat flow was elevated within the whole basin. The heat flows reached their maximum values of $\sim 72\text{mW/m}^2$ at about 157 Ma in the north of the Qianbei Fault and $71\sim 76\text{mW/m}^2$ at around 43Ma in the south of the Qianbei Fault, respectively. Since the late Himalayan period, the heat flow decreased quickly and the basin was cooled consequently. The heat flow history, tectono-sedimentary evolution and magmatic activities of the basin were mutually coupled. Jianghan basin was a stable craton with weak magmatic movements before the Indosinian movement as a result, the heat flows were characterized by low values. During the late Indosinian-early Yanshanian period, the structural movements became more intensive and the heat flows were elevated simultaneously. During the middle Yanshanian period, the intensity of the magmatic activities controlled the heat flow which was decreasing in the north and increasing in the south of the basin. Since the late Himalayan epoch, The Jianghan basin has been subjected a deposition withering period accompanied by a cooling episode.

Keywords Jianghan basin, heat flow history, tectono-sedimentary evolution, thermal event

收稿日期 2006-12-10; 修回日期 2007-02-22.

基金项目 国家自然科学基金项目(40172100)资助.

作者简介 袁玉松,男,1967年生,中国科学院博士研究生,构造地质学专业,主要从事盆地热历史与烃源岩热演化研究.(E-mail:ysyuan@126.com)

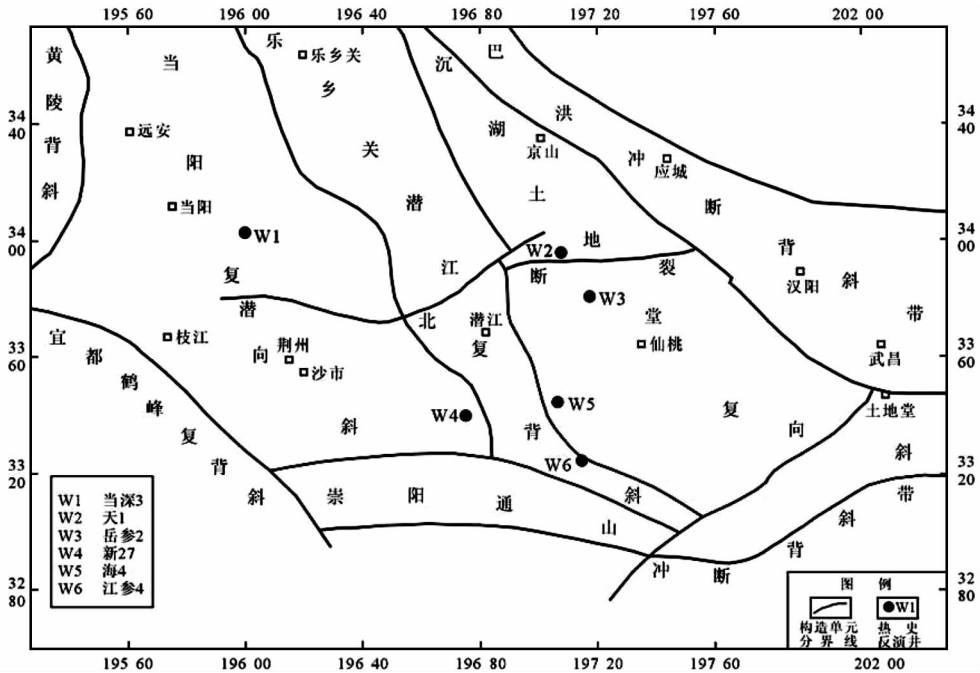


图 1 江汉盆地构造区划图

Fig. 1 Map showing the main structural subdivisions of the Jianghan basin

0 引言

前新生代海相残留盆地是中国油气勘探二次创业的主要方向^[1,2]。在古生代甚至中晚元古代海相碳酸盐岩地层中具有比河湖相优越得多的生油条件和广阔得多的容纳空间,因此,石油天然气的第二次创业应该从突破前新生代(中生代和古生代)海相碳酸盐岩地层中的油气开始^[3,4]。江汉盆地虽然经历了印支—燕山运动的强烈改造,但陆相新生代地层之下,仍然保存有较为完整的、厚度可观的中古生代海相地层,是前新生代海相油气勘探的重要领域之一。前新生代海相油气勘探潜力评价离不开研究海相残留盆地的热演化历史,因为它决定着海相烃源岩的油气生成史。

关于江汉盆地热演化历史方面的研究,过去的工作较为零碎,或者为研究局部构造的热演化特征^[5],或者为在研究海相烃源岩热演化时部分地涉及到盆地热史^[6],至今还没有关于全盆地整体热演化特征方面的专门研究成果发表。将盆地热流史和沉积构造演化、热事件联系起来,探讨它们之间的耦合关系更是本文的初次尝试。在盆地沉积、构造演化和热事件方面,则主要对前人的研究成果进行了系

统的概括和总结,并与盆地热演化历史相联系,从而支持热史反演结果的可靠性。本文的研究成果,可为研究中扬子地区岩石圈区域构造演化提供地热学方面的基础数据,还可以应用于研究海相烃源岩的成熟度史和生烃期次,对前第三系海相残留盆地油气勘探与评价具有重要意义。

1 地质背景

在本文中,江汉盆地指团凤—麻城断裂以西,黄陵背斜以东,南、北分别以江南断裂和襄广断裂为界的中、古生界海相油气勘探领域。区内可进一步划分为黄陵背斜、宜都—鹤峰复背斜、当阳复向斜、乐乡关—潜江复背斜、沉湖—土地堂复向斜、巴洪冲断背斜带和崇阳—通山冲断背斜带等七个次级构造单元(图 1)。其中,当阳和沉湖两个复向斜中、古生界地层保存较好,并有连片的中新生代地层分布,是前新生代海相残留盆地油气勘探的重点对象。

江汉盆地在晋宁事件形成的前震旦系变质基底上发育了加里东期(Z—O₁)和海西—早印支期(D₂—T₂)两个世代的被动大陆边缘盆地及晚加里东期(O—S)与晚印支—早燕山期(T₃—J₁₋₂)的两期前陆盆地。中燕山期桐柏碰撞造山带和九岭—雪

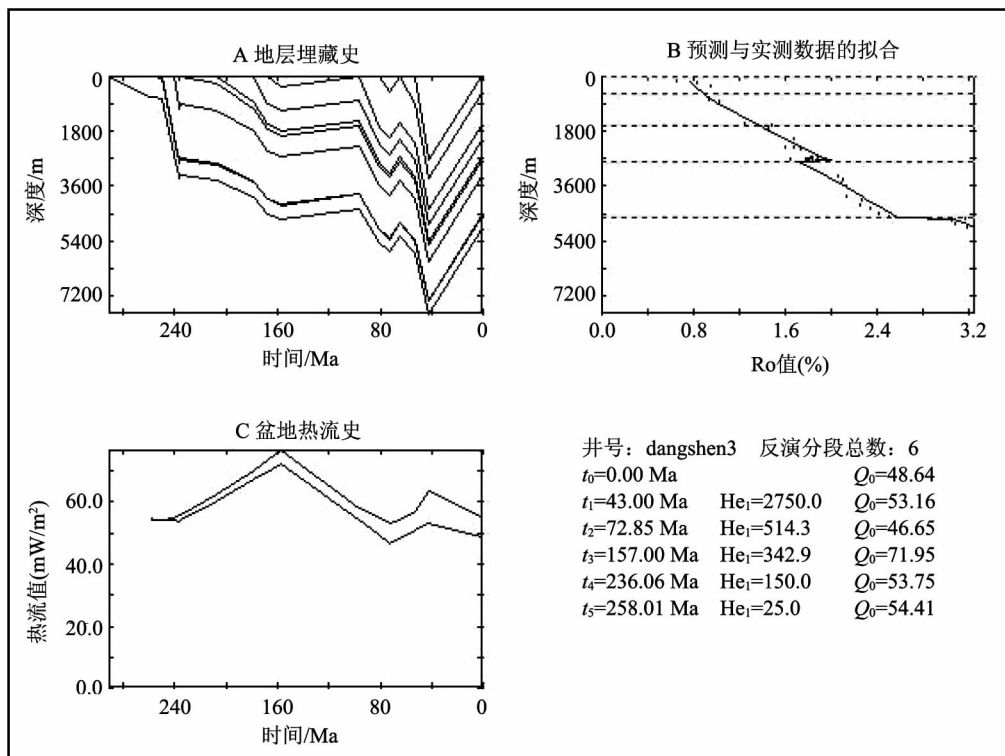


图2 江汉盆地当深3井热史反演结果

Fig. 2 Estimates of paleo-heat flow of well Dangsheng3

峰基底折离造山带的陆内造山运动强烈的挤压、逆冲推覆活动,改造、破坏了两个世代的原型大陆边缘盆地和前陆盆地,使其成为构造残留盆地.晚燕山—早喜山期构造体制反转为伸展盆地,叠加了大型 K_3 —E的断陷盆地和N—Q的拗陷盆地.

潜北断裂控制着陆相盆地的沉积、构造演化.潜北断裂南侧,为总体走向近东西、北断南超的半地堑,白垩系、下第三系沉积与保存齐全,最大残留厚度近万米,晚第三纪、第四纪期间继续沉降,上第三系、第四系发育.潜江断裂北侧,为总体走向北北西、西断东超的半地堑组,白垩系、下第三系曾广泛发育,喜山运动二幕的抬升剥蚀作用导致仅在断陷主体部位残存下第三系,晚第三纪、第四纪期间为隆起区.

2 热史恢复

沉积盆地热史恢复的原理方法过去已有过许多文献详细论叙过^[7~19].归纳起来不外乎两种基本类型,一是以研究区域热背景为目标、以与盆地成因相联系的地质地球物理模型为依据、以有限差分或有限元数值方法为手段的岩石圈尺度上的热史模拟;二是以研究盆地热演化史(热流史与地温史)为目标,以盆地沉积、构造演化史为依据、以古温标反演

计算为手段的盆地尺度上的热史模拟.

基于古温标的盆地热史恢复方法主要有随机反演法、古地温梯度法和古热流法^[10].本文采用古热流法进行热史恢复.古热流法的目的是恢复盆地处于不同构造演化阶段时的古热流.影响地层温度史的主导因素包括:盆地热流史和地层埋藏史.一旦盆地热流史和地层剥蚀厚度已知,即可通过对地层埋藏史的恢复来模拟与之相伴随的非稳态热过程,从而重建地层温度史^[20].反演过程中,镜质体反射率正演模型为平行化学反应模型^[21],采用的计算机软件是中科院地质与地球物理所与英国帝国理工大学合作,在中文Windows平台上开发出的着重盆地热史恢复的“油气盆地热史恢复模拟系统,Thermodel for Windows”.

2.1 钻井热史反演

本次研究共选取盆地内6口钻井进行了热史反演,这6口钻井中,其中两口钻井(当深3井和天2井)分布于潜北断裂以北,盆地东部和西部各一口;4口钻井(新27井,江参4井,海4井和岳参2井)分布于潜北断裂以南,范围覆盖了盆地的主要构造单元,具有代表性.由于受篇幅所限,下面仅对当深3井的反演结果做具体介绍.

当深 3 井是当阳复向斜内的一口深井,完钻井深 5012 m,揭示最老层位为下二叠统栖霞组.中、古生界发育较全,仅缺失 J_3-K_1 地层,但新生界仅保留古新统沙市组.热史反演结果(图 2)为:中三叠世末,热流值开始升高,中侏罗世末达到最高古热流(72 mW/m^2),尔后开始降低,并在晚白垩世晚期至始新世荆沙组沉积末有小幅升高,然后再降低.与热史反演同步进行的剥蚀量估算结果表明:喜山期剥蚀量大,燕山期剥蚀量小.这与过去的研究结果有较大区别,特别是剥蚀量估算.以前计算的喜山期剥蚀量只有 1176 m,燕山期却有 3120 m^[6]

在当深 3 井的 R_o 数据中,有三个数据来自古新统沙市组,深度 185~345 m, R_o 平均值为 0.81%,现今埋深这么浅,而 R_o 值已这么高,必然有巨厚上覆地层被剥蚀.相反,中、下侏罗统在当深 3 井仍保留有各 500 多米,两者现今残留总厚度达 1000 多米;依据区域构造演化资料, J_3-K_1 为挤压隆升、褶皱变形阶段,无沉积.可见,隆升剥蚀期能被剥掉的地层也只能是中、下侏罗统的上部,再考虑到 J_{1-2} 现今的残留厚度,可以推断,该井燕山期剥蚀量不可能太大.因此,本文的剥蚀量估算结果更为合理.

2.2 盆地热流史特征

通过对盆地内具有代表性的 6 口钻井的热史恢复,得到不同构造单元的热流史(图 3).盆地热流史特征表现为:240 Ma 以前,盆地基底热流较低, $50 \sim 55 \text{ mW/m}^2$,从 240 Ma 开始,盆地基底热流整体开始升高,到 157 Ma,潜北断裂以北达到最高古热流(72 mW/m^2),尔后开始降低,但在当阳地区(当深 3 井),于 97 Ma 时又有一小幅度的升高,然后再降低.而在潜北断裂以南,自 240 Ma 热流开始升高以来,于 157 Ma 后并未降低,而是继续升高,直到 43 Ma 才开始降低.而且,在 240 Ma~157 Ma 之间,潜北断裂以南热流值升高幅度小于潜北断裂以北的升高幅度,新沟嘴和通海口地区升幅较小,枝江-当阳地区升幅最大.但其早喜山期的最高古热流($\sim 76 \text{ mW/m}^2$)比潜北断裂以北早燕山期最高古热流值(72 mW/m^2)稍高.可见,印支运动将中、古生代统一的低热背景打破,不同构造区带具有不完全一致的热演化特征.东西向横穿盆地中部的潜北断裂是热演化分区的分界线.断裂南、北不仅达到最高古热流的时间不同,而且高热流阶段持续的时间也不同.断裂以北,达到最高古热流的时间早,持续时间短,冷却早(中侏罗末);断裂以南,达到最高古热流的时间晚,高热流阶段持续时间长,冷却晚(始新

世荆沙组沉积末).晚喜山期以后,全区块热流值整体快速降低,盆地冷却.

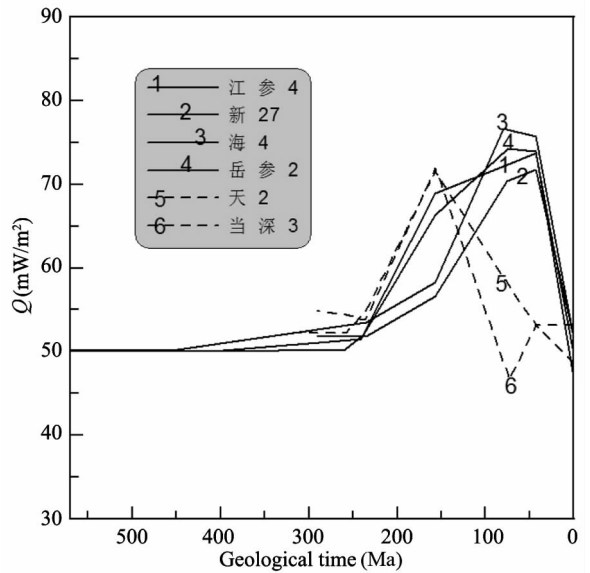


图 3 江汉盆地热流史图

Fig. 3 Map showing the heat flow history of the Jianghan basin

3 沉积构造演化、热事件特征

江汉盆地沉积、构造演化可划分为三期建造阶段与两期改造阶段.即伸展体制下海相盆地建造阶段、挤压体制下陆相盆地相建造阶段和伸展体制下陆相盆地建造阶段,燕山期挤压改造阶段和喜山期拉张改造阶段.三期建造分别对应三种类型的原型盆地:海盆、煤盆和盐盆;两期改造对应两期热事件:燕山期中酸性岩浆的侵入和喷发、喜山期幔源型高铝玄武岩基性喷发.

3.1 伸展体制下海相盆地建造阶段(Z_2-T_2)

震旦纪~中三叠世为伸展体制下海相盆地原始沉积稳定建造阶段.

江汉盆地经历的加里东旋回是由上、中、下三个次级旋回构成的完整沉积-构造旋回:下部为上震旦统的磨拉石-冰碛层-碳酸盐岩建造;中部为寒武-奥陶系含磷、炭硅质页岩-碳酸盐岩建造;上部为志留系笔石页岩-砂质页岩建造.整个晚震旦世-志留纪沉积-构造发展阶段,虽然经历了多次不同规模、影响各异的构造变动,但总体上运动性质表现为地壳的升降,盆地主体稳定^[22].

志留期末期的加里东运动,使中扬子区南北两侧加里东造山带崛起,盆地整体隆升为陆,遭受长期

剥蚀,缺失上志留统.到中泥盆世,在加里东事件夷平面上超覆沉积了滨海潮坪相、沼泽相和浅海陆棚相沉积.晚石炭世—晚二叠世地壳活动以震荡运动为主,振荡幅度不大.早、中三叠世沉积速度急剧增大,下三叠统大冶组、嘉陵江组累计厚度大于2000 m,中三叠统巴东组的厚度也达1000 m以上,远大于石炭系和二叠系厚度的总和.中三叠世末的印支运动结束了本区海相盆地的沉积演化史.

3.2 挤压体制下陆相盆地(煤盆)建造阶段(T_3-J_1-2)

印支运动后,中扬子地区从洋陆板块伸展体制转变为板内变形挤压体制.在南北邻区相向推挤下,江汉盆地区域构造以隆起为主,局部表现出强度不大的水平挤压,形成幅度低、变形弱的宽缓褶皱,沉积了以陆相湖泊、沼泽相泥岩、煤系和河流湖泊相碎屑岩为主的上三叠统一中侏罗统前陆盆地沉积.沉积厚度巨大,上三叠统最大厚度可达1000 m以上,下、中侏罗统的最大残余厚度大于4000 m.以含煤建造为特征,是一个“煤盆”环境^[23].

3.3 伸展体制下陆相盆地建造阶段(K_2-E)

晚燕山—早喜山期,随太平洋板块北移、俯冲作用进一步加剧以及中国大陆向东蠕散的共同作用影响^[24],走滑断裂由早期挤压转换为晚期伸展,中燕山期的基底拆离冲断层发生强烈反转,控制了白垩纪—早第三纪盆地的演化,成为沉积范围广、水体连通但被伸展断层分割的板内陆相断陷盆地.在伸展构造格局的控制下,潜北断裂南、北为两个伸展构造体系的沉积区.

晚喜山期,以前期形成的构造格局为基础,表现为强烈反差的差异升降运动,潜北断裂以南继续为上第三系、第四系的沉积区,沉积厚度可达300~700 m.潜北断裂以北,上第三系不发育,下第三系普遍缺失,上白垩统残存于断陷的低部位.其它地区为缺失中、新生界的丘陵和山区.

3.4 中燕山期改造阶段(J_3-K_1)

中燕山期(晚侏罗—早白垩世)是扬子板块与华北板块强烈碰撞、秦岭碰撞造山形成的主要时期,也是雪峰山基底拆离造山带形成的主要时期.这一大地构造背景,使中扬子区受到南北双向的挤压作用,其上地壳遭受基底拆离滑脱构造控制,发生强烈的基底拆离冲断构造变形,形成挤压构造格局.晚侏罗世—早白垩世期间,经长期强烈快速地剥蚀,使中扬子区达到准平原化,确定了加里东—早燕山构造层的地质面貌.区内的最大剥蚀厚度近万米,如黄陵隆起、大洪山构造带、桐柏造山带、雪峰山造山带上的

显生宙已剥蚀殆尽,而出露前震旦系变质基底.由此可见,中燕山构造事件剧烈地改造了两种体制下、两个世代的原型沉积盆地的地质构造^[25].

3.5 喜山期改造阶段(E_q-N)

早第三纪始新世荆沙组沉积末的喜山二幕对白垩系、下第三系伸展构造盆地进行改造,但改造的程度和方式在潜北断裂南、北明显不同.潜北断裂以南,喜山二幕的抬升剥蚀相对较小,且在凹陷区不仅白垩系、下第三系发育保存完整,而且还有上第三系发育,相当于伸展后的热沉降阶段.潜北断裂以北,白垩系、下第三系仅残存于各半地堑的西部和南部,而北部、东部为可见残存零星白垩系的剥蚀区,剥蚀量大.

3.6 热事件特征

中扬子地区的岩浆活动热事件按时代可分为早元古代大别期、中晚元古代扬子期、早古生代加里东期和中新生代燕山—喜马拉雅期.其中前三期主要出现在盆地边缘的造山带内,如加里东期的侵入岩主要沿襄广断裂两侧分布.燕山—喜马拉雅期岩浆岩最为发育,其中燕山期以中酸性岩浆的侵入和喷发为特征,喜山期以幔源型高铝玄武岩基性喷发为特征.在江汉盆地,迄今一直未发现可靠的印支期岩浆活动踪迹^[26].

燕山—喜马拉雅期岩浆活动受控于中生代以来滨太平洋大陆边缘活动带的构造岩浆旋回,侵入岩总体上呈北东向展布,火山岩则分布于白垩纪—第三纪盆地中.中侏罗世—白垩纪期间,岩浆活动伴随地层褶皱、断裂发生.中、酸性岩浆活动在鄂东、鄂南、鄂北等地区强烈、频繁,并有成矿作用发生.中侏罗世仅有侵入岩,未见同源火山岩,出露于鄂北、鄂西南.晚侏罗世除有侵入岩外,已开始有火山喷发,鄂冶地区灵乡—太和火山岩盆地面积达500 km².早白垩世侵入岩出露于鄂北和鄂冶地区,火山岩仅出露于鄂冶地区,灵乡—太和火山岩盆地在晚侏罗世火山岩盆地基础上叠加早白垩世火山岩盆地^[27],具继承性发展.

江汉盆地燕山—喜山期岩浆活动平面上分区特征明显,以潜北断裂为界,断裂以南岩浆活动强,断裂以北岩浆活动弱.潜北断裂以南的岩浆活动区域上又可分为西区和东区.西区包括枝江、江陵凹陷和潜江凹陷西部;东区包括通海口凸起、沔阳凹陷、云应凹陷、沉湖低凸起以及龙赛湖凸起.西区火山活动比东区强烈,西区火山岩分布面积达3638 km²,最大厚度达588.6 m(如港4井),分布层位多,沙市组—潜江组均有分布,火山喷发阶段明显.东区火山岩

分布面积为 1410 km²,厚度薄,平均 29.4 m,分布于白垩系渔洋组和下第三系沙市组,属于碱性玄武岩系列^[28]。

4 热流史与热事件、沉积构造演化的耦合关系

由上所述的盆地热流史、沉积构造演化和岩浆活动热事件特征,可以看出,不论在时间上还是空间上,三者之间都有很好的耦合关系。

印支运动前,海盆发育阶段,盆地处于克拉通内陆台地,构造活动弱,以升降运动为主,岩浆活动弱,具有基底热流值较低的统一热背景。

受印支运动的影响,长期稳定的构造格局被打破,构造活动性增强,深部热搅动的存在导致晚印支—早燕山期盆地基底热流整体开始升高。

中燕山期,盆地内部岩浆活动强烈,基底热流受控于岩浆活动热事件。以潜北断裂为界,断裂以南广泛的岩浆活动热事件导致基底热流大幅度升高,断裂以北岩浆活动弱,并因早期负载挠曲,岩石圈加厚,导致基底热流值降低,盆地冷却。

晚燕山—早喜山期,由挤压体制转变为伸展体制,软流圈上升,岩石圈减薄,岩浆活动强烈,基底热流升高。但盆地南北伸展拉张的程度不同,潜北断裂以南,拉张程度大,盆地沉降量大,白垩纪—第三纪伸展断陷盆地发育,岩浆活动强烈,热流值升高;而潜北断裂以北,拉张量小,盆地沉降量小,白垩纪—第三纪断陷盆地不发育,岩浆活动弱,盆地基底热流由于受早期盆地挠曲、岩石圈加厚的影响,热流值降低。

晚喜山期,始新世荆沙组沉积末,盆地北部抬升剥蚀,南部热沉降,基底热流值都降低。

5 结 论

综上所述,得到初步结论:江汉盆地海盆发育阶段(Z_2-T_2)为统一的低热流背景;煤盆发育阶段(T_3-J_{1-2})受深部热搅动的影响,热流值为整体升高过程;挤压改造变形阶段(J_3-K_1)热流值高低受控于岩浆活动热事件的分区表现和早期岩石圈挠曲加厚作用,基底热流表现为北降南升;盐盆发育阶段(K_2-E)热演化分区特征明显,岩浆活动热事件的强弱和岩石圈伸展拉张的程度共同制约热流值的高低,基底热流同样表现为北降南升;晚喜山起,盆地萎缩阶段,热流值快速降低,盆地冷却。

参 考 文 献 (References):

[1] 刘光鼎. 前新生代海相残留盆地[J]. 地球物理学进展, 2001, 16

(2): 1~7.

- [2] 刘光鼎. 雄关漫道真如铁——论中国油气二次创业[J]. 地球物理学进展, 2002, 17(2): 185~190.
- [3] 刘光鼎. 中国油气资源企盼二次创业[J]. 地球物理学进展, 2001, 16(4): 1~3.
- [4] 刘光鼎. 我国油气勘探开发中存在的主要问题及对策[J]. 地球物理学进展, 2005, 20(1): 4~11.
- [5] 王韶华, 宋明雁, 李国雄. 江汉盆地南部二叠系烃源岩热演化特征[J]. 油气地质与采收率, 2002, 9(3): 31~33.
- [6] 王绪本, 倪师军, 罗雨田, 等. 江汉盆地拖市构造热演化特征及地质意义[J]. 成都理工学院学报, 1996, 23(3): 30~35.
- [7] 邱楠生, 胡圣标, 何丽娟. 沉积盆地热体制研究的理论与应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004, 3~11.
- [8] 柳广弟. 含油气盆地沉降史和热史分析[M]. 北京: 石油大学出版社, 2000, 320~328.
- [9] 王良书, 施央申. 油气盆地地热研究[M]. 南京: 南京大学出版社, 1989.
- [10] 胡圣标, 张容燕. 油气盆地热史恢复方法[J]. 勘探家, 1998, 4: 56~61.
- [11] 何丽娟. 沉积盆地构造热演化模拟的研究进展[J]. 地球科学进展, 2000, 15(6): 661~662.
- [12] 何丽娟, 熊亮萍, 汪集旸. 拉张盆地构造热演化模拟的影响因素[J]. SCIENTIA GEOLOGICA SINICA, 1998, 33(2): 223.
- [13] 郑洪伟, 李廷栋, 高锐, 等. 数值模拟在地球动力学中的研究进展[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(2): 360~369.
- [14] 王仁. 有限单元等数值方法在我国地球科学中的应用和发展[J]. 地球物理学报, 1994, 37(增刊)1, 128~138.
- [15] 熊熊, 傅容珊, 许厚泽, 李平. 增厚大陆岩石圈热边界层对流剥离的数值模拟[J]. 地球物理学报, 1998, 41(增刊): 33~40.
- [16] 石耀霖, 朱元清, 沈显杰. 青藏高原构造热演化的主要控制因素[J]. 地球物理学报, 1992, 35(6): 710~722.
- [17] 郑勇, 傅容珊, 熊熊. 中国大陆及周边地区现代岩石圈演化动力学模拟[J]. 地球物理学报, 2006, 49(2): 415~427.
- [18] 张健, 宋海斌, 李家彪. 南海西南海盆构造演化的热模拟研究[J]. 地球物理学报, 2005, 48(6): 1357~1365.
- [19] 肖占山. 注水井温度场模型及其数值模拟研究[J]. 地球物理学进展, 2005, 20(3): 801~807.
- [20] Lutz T. M., Omar G. Inverse methods of modeling thermal histories from apatite fission track data [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1991, 104: 181~195.
- [21] Sweeney J. J., A. K. Burnham. Evaluation of simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics [J]. AAPG Bulletin, 1990, 10: 1559~1570.
- [22] 戴少武. 江汉盆地印支期以来区域构造特征探讨[J]. 地质力学学报, 1996, 2(4): 80~84.
- [23] 傅昭仁, 李紫金, 郑大瑜. 湘赣地区 NNE 向走滑造山带构造发展样式[J]. 地学前缘, 1999, 6(4): 263~272.
- [24] 周雁, 戴少武. 江汉盆地构造特征与油气勘探[J]. 地质力学学报, 1996, 2(3): 70.
- [25] 马力, 陈焕疆, 甘克文, 等. 中国南方大地构造和海相油气地质[M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- [26] 左文超. 论印支运动在湖北境内特点——兼论省内盖层褶皱形成主要时期[J]. 湖北地矿, 2000, 14(3-4): 16~22.
- [27] 中华人民共和国地质矿产部地质专报. 湖北省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1990, 342~471.
- [28] 徐论勋, 阎春德, 俞惠隆, 等. 江汉盆地下第三系火山岩年代[J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 132~137.