

中、上扬子地区构造层序地层及原型盆地沉积环境演化

李 斌¹, 胡博文¹, 罗 群²

(1. 神华地质勘查有限责任公司, 北京 100022; 2. 中国石油大学(北京) 北京 102249)

摘 要: 为了促进我国南方页岩气勘探开发, 应进行层序地层、沉积环境等地质理论研究, 通过野外地质调查、钻井地质分析以及参阅前人资料, 对四川盆地、渝东、湘鄂西地区综合地层对比, 并进行构造层序地层划分, 恢复中、上扬子地区重要地质历史时期原型盆地的沉积环境。研究结果表明: 中、上扬子地区从震旦纪以来划分出 3 个构造层序: 从震旦纪到志留纪为第 1 次, 形成一个完整的威尔逊旋回; 从泥盆纪到三叠纪为第 2 次, 形成另 1 个完整的威尔逊旋回; 从侏罗纪到新近纪为第 3 次, 形成第 3 个完整的威尔逊旋回。3 个构造层序反映了整个扬子板块的构造演化历史。构造层序的主要控制因素为板块间洋盆的扩张与闭合运动, 每个构造层序不同阶段的沉积环境取决于沉积盆地距离主控洋盆的位置。

关键词: 中扬子地区; 构造层序; 沉积环境; 页岩气

中图分类号: P539.2

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2018)02-0019-09

Tectonic sequence stratigraphy and sedimentary environment evolution of prototype basin in middle and upper Yangtze Region

LI Bin¹, HU Bowen¹, LUO Qun²

(1. Shenhua Geological Exploration Co., Ltd., Beijing 100022, China; 2. China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China)

Abstract: In order to promote the exploration and development of shale gas in southern of China, the geological theory of sequence stratigraphy, sedimentary environment and so on was carried out. Through field geological survey, drilling geology research and reference to previous geological data, comprehensive stratigraphy was compared in Sichuan Basin, eastern Chongqing and western Hunan-Hubei, and tectonic sequence stratigraphy was divided and the sedimentary environment of prototype basin of middle and upper Yangtze region was restored in important geological period. The results showed that three tectonic sequences had been divided in the middle and upper Yangtze Region since Sinian. It was the first structural sequence from Sinian to Silurian Period, which formed a complete Wilson Cycle. It was the second structural sequence from Devonian to Triassic, which formed a complete Wilson Cycle. It was the third structural sequence from Jurassic to Neogene, which formed a complete Wilson Cycle. The three tectonic sequences reflected the tectonic evolution history of entire Yangtze Plate. The main controlling factors of tectonic sequence was the expansion and closed movement of oceanic basin between plates and the sedimentary environment of each stage of tectonic sequence depended on the basin's distance from the master ocean.

Key words: middle Yangtze Region; tectonic sequence; sedimentary environment; shale gas

0 引 言

随着我国页岩气勘探开发的深入推进, 先后在四川盆地及其周缘地区取得重大突破, 从而掀起了我国页岩气勘探开发的热潮^[1]。四川盆地及其周

缘的古生代海相地层中广泛分布着厚度巨大的富有机质页岩, 具有广阔的页岩气勘探前景^[2]。近年来, 国土资源部围绕四川盆地及周边拓展选区评价, 部分企业在湘鄂西构造复杂地区开展了页岩气勘探, 取得了页岩气发现^[3], 但迄今为止未获得实质

收稿日期: 2018-01-01; 责任编辑: 曾康生 DOI: 10.13199/j.cnki.est.2018.02.003

基金项目: 国家自然科学基金面上基金资助项目(41372145)

作者简介: 李 斌(1970—), 男, 内蒙古化德人, 高级工程师, 博士。E-mail: Libin9600@sohu.com

引用格式: 李 斌, 胡博文, 罗 群. 中、上扬子地区构造层序地层及原型盆地沉积环境演化[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(2): 19-27.

LI Bin, HU Bowen, LUO Qun. Tectonic sequence stratigraphy and sedimentary environment evolution of prototype basin in middle and upper Yangtze Region[J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(2): 19-27.

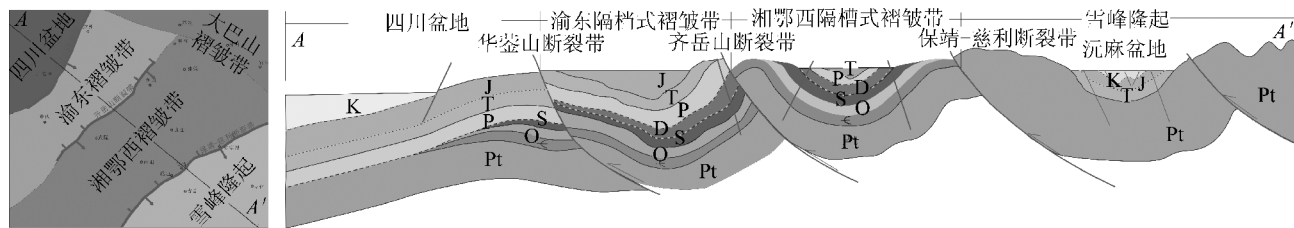
性突破。目前,页岩气富集区主要集中在川东高陡褶皱带及川南、川西南低陡褶皱带,其他地区均未发现页岩气田^[4],迫切需要基础地质学理论研究以揭示其根本原因。认识页岩气的富集规律,就必须从原生沉积盆地的形成、演化特征方面深入分析,在区域上进行对比总结。

四川盆地及其周缘在大地构造上属于中、上扬子地区大型多期叠合盆地,是我国开展油气地质工作的重点区域^[4]。长期以来,中、上扬子地区内的盆山大陆动力学问题是地质学研究的热点与难点,认识上也存在分歧^[5]。近年来,随着中、上扬子地区油气勘探程度不断深入,有关层序地层、盆地演化等引起地学界的关注与热议,但成果主要针对四川盆地或周边特定区域的某段地质历史时期^[6]。何登发等^[7]曾将四川盆地青白口系—第四系划分出4个构造层序,但其钻井资料证据应用匮乏,沉积环境研究未能详细阐述;刘新民等^[8]分析了中扬子地区震旦纪以来的盆地演化史,指出中扬子地区先后经历了加里东期、海西期—早燕山期、晚燕山期—喜山期三个大的盆山演化旋回,但未提及上扬子地区的盆地演化。迄今,中、上扬子地区尚未有整个地质历史时期的构造—层序地层认识。开展构造—层序地

层研究,揭示其时空构造、沉积控制因素,进而明确地质历史时期的原型盆地类型,分析其沉积环境演化特征,是寻找页岩气勘探有利区,部署页岩气勘探开发方案的基本途径和依据。

1 区域地质背景

中、上扬子地区地理位置位于秦岭—大别山造山带以南,江南碰撞带以北,东西界于郯庐断裂和龙门山断裂之间^[9]。大地构造上,其北侧为秦岭洋盆(早古生代为北秦岭洋,晚古生代—三叠纪为南秦岭洋),西南侧为昌宁—孟连洋盆、金沙江—墨江洋盆、甘孜—理塘洋盆(主要为古特提斯洋盆),东南侧为华南洋盆(早古生代),西北侧为龙门山陆内裂陷带(主要为晚古生代裂陷)^[10]。中、上扬子地区构造运动主要受控于三大板块(华北板块、扬子板块和华夏板块)的拼合和分离所控制,经历了多次构造运动,发生了陆缘和陆内逆冲推覆、多重构造复合、以及沉积盆地的转换和迁移^[11]。中、上扬子地区在前震旦系结晶基底之上发育了震旦纪—中三叠世(或晚三叠世早期)的海相沉积和晚三叠世—第四纪的陆相沉积,沉积厚度达6 000~12 000 m,经多期构造演化,形成复杂的地质构造格局(图1)。



Pt—元古界; ∈—寒武系; O—奥陶系; S—志留系; D—泥盆系; P—二叠系; T—三叠系; J—侏罗系; K—白垩系

图1 中、上扬子地区构造示意

Fig. 1 Structure diagram of middle and upper Yangtze Region

2 构造层序划分

2.1 地层概述

本文分川中地区、川东地区、湘鄂西地区分别叙述如下。①川中地区。川中地区地层发育较全,从下向上发育震旦系到第四系,缺失志留系、泥盆系和石炭系(图2);②渝东地区。渝东地区地层从下向上发育震旦系到侏罗系,缺失上、下泥盆统,上、下石炭统,白垩系及以上地层(图3);③湘鄂西地区。湘鄂西地区发育震旦系到白垩系,缺失上志留统、下泥盆统、上泥盆统、石炭系、中三叠统、上侏罗统、古近系及之上地层(图4)。

2.2 构造—层序地层划分

构造层序是指在一定的构造作用背景下形成的地层序列,以不整合面或与之相对应的整合面为界,指示沉积盆地在一个构造演化阶段的产物。依据层序地层理论,将中、上扬子地区从震旦系—新近系划分出3个构造层序:加里东构造层序、海西—印支构造层序和燕山—喜山构造层序。

1) 加里东构造层序。该层序形成阶段为震旦纪到志留纪,代表原特提斯阶段的产物。该构造层序的底界面为震旦纪底部的重大不整合面,该界面在整个中、上扬子地区均可良好对比;界面之下为变质石英岩,界面之上为冰碛砾岩,砾岩颗粒大小从西

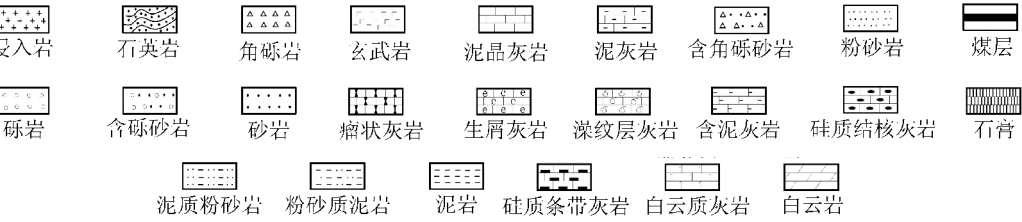
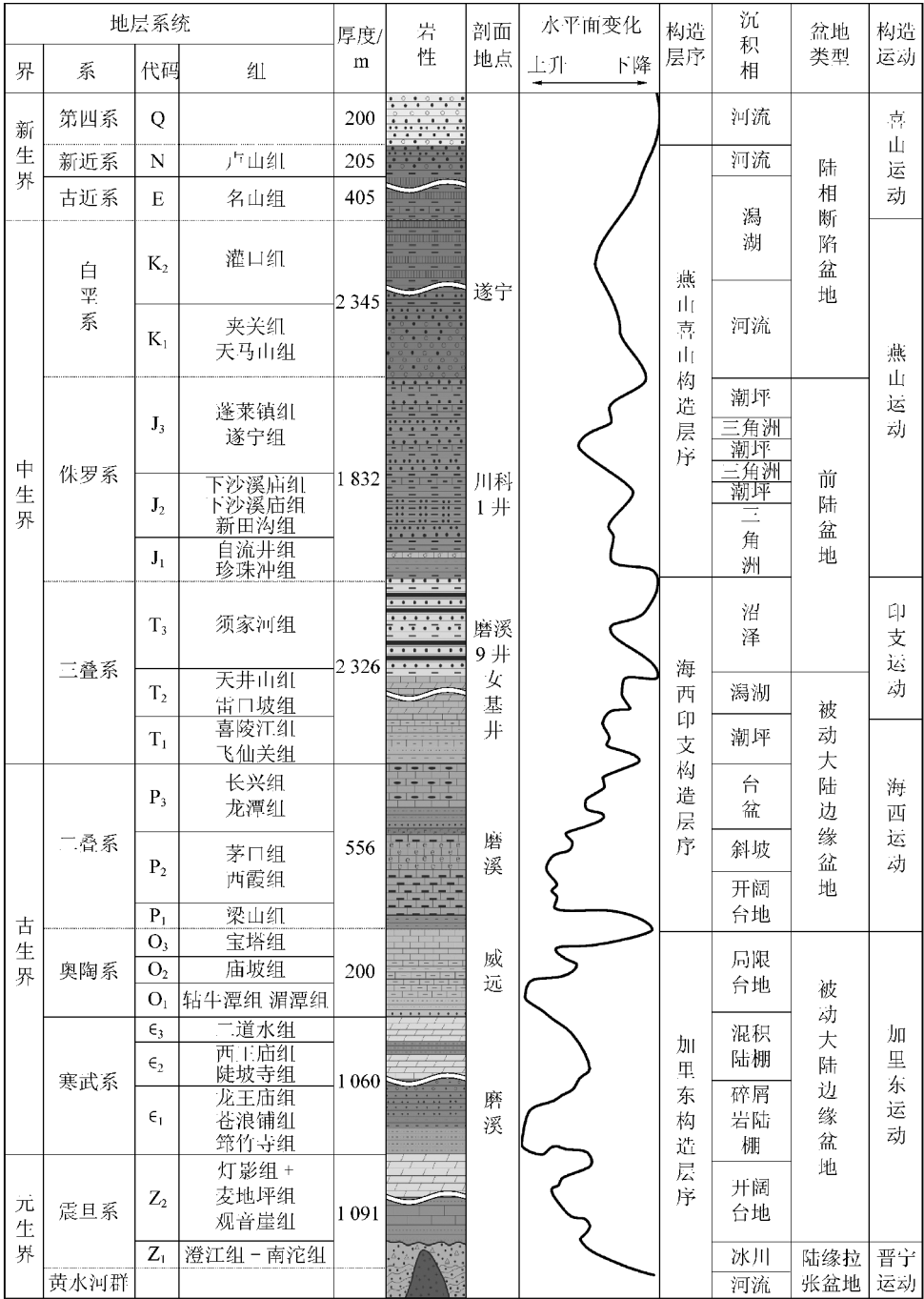


图2 川中地区地层综合柱状

Fig. 2 Comprehensive histogram of Central Sichuan

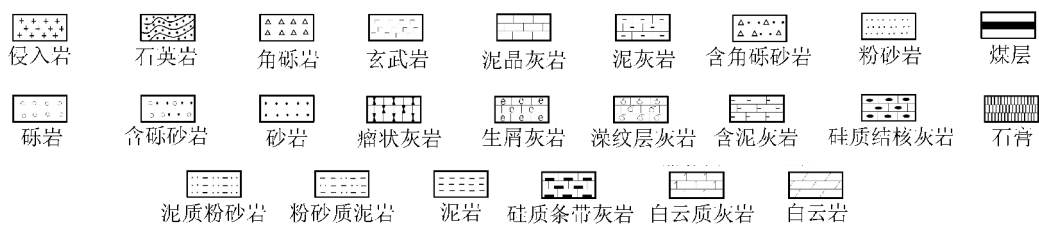
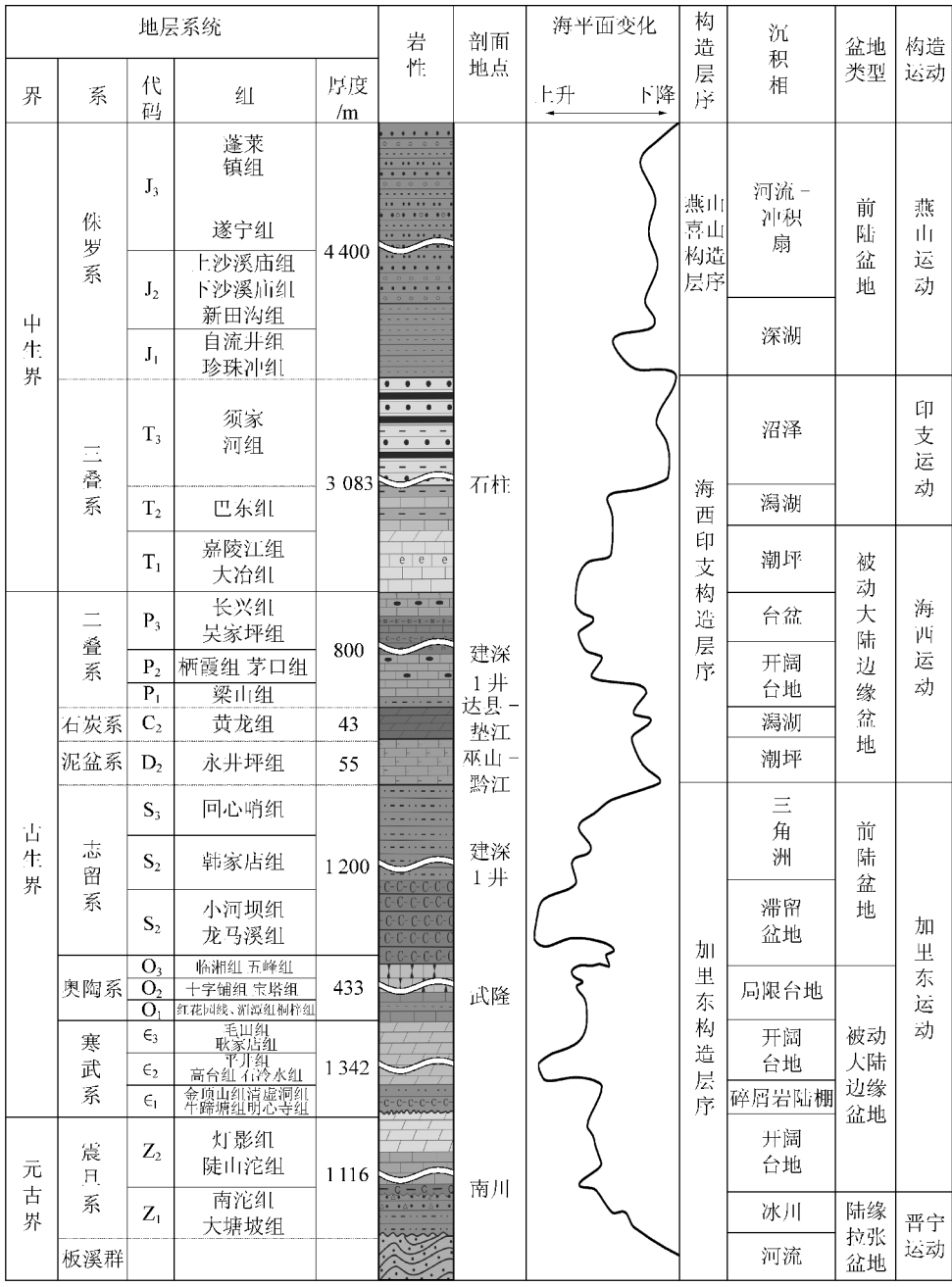


图3 渝东地区地层综合柱状
Fig. 3 Comprehensive histogram of East Chongqing

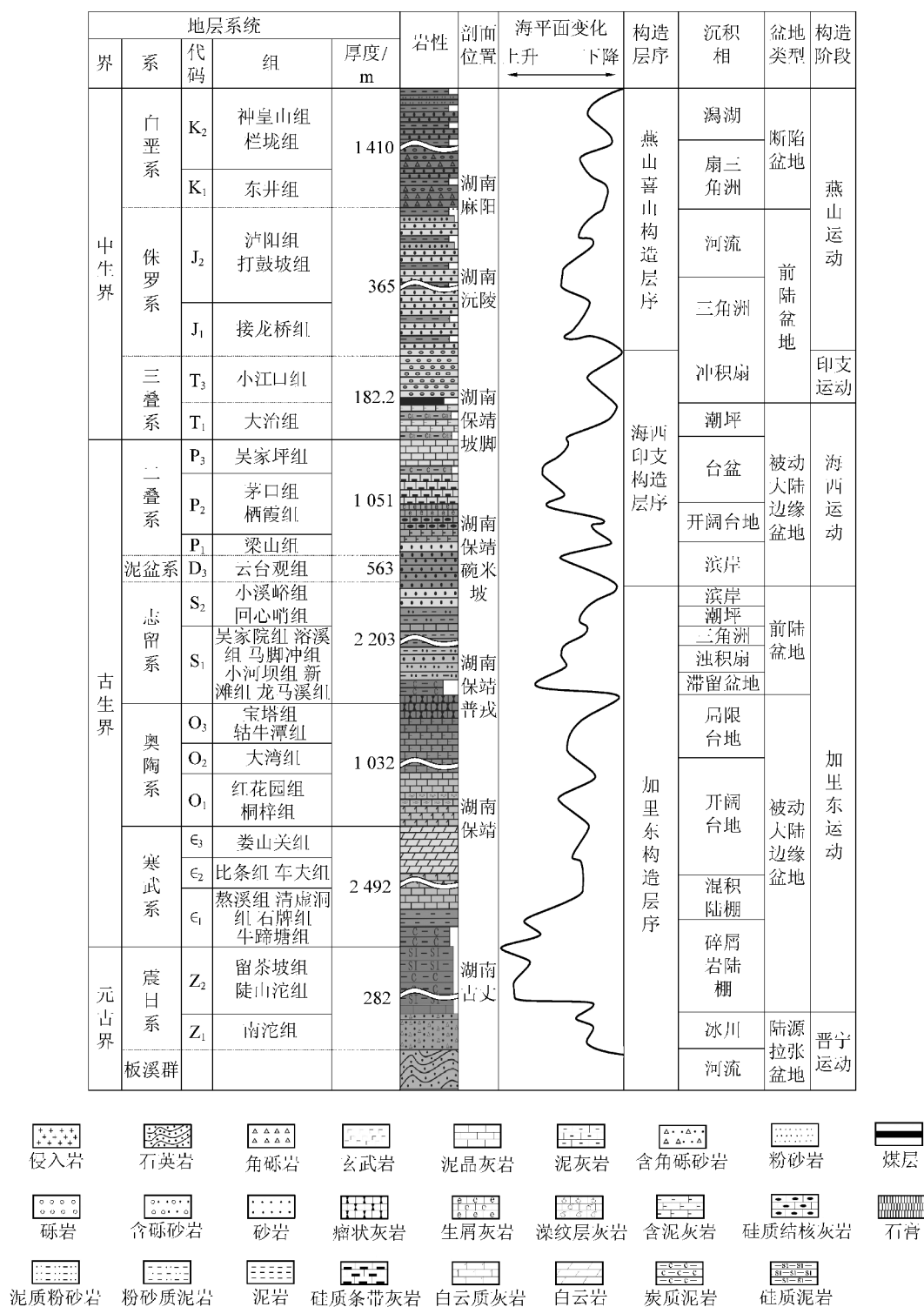


图 4 湘鄂西地区地层综合柱状

Fig. 4 Comprehensive histogram of West Hunan–Hubei

向东逐渐变小,且砾岩层厚度增加,颜色变浅,可以推断冰碛砾岩的物源来自于川中地区。该层序的顶界面为加里东运动形成的不整合面;在川中地区为奥陶系与二叠系之间的不整合面;在渝东地区为上志留统与泥盆系之间的不整合面,而在湘鄂西地区为中志留统与泥盆系之间的不整合面。

加里东构造层序记录了华南海盆的形成、发展、萎缩、消亡的整个过程,加里东运动后沉积盆地抬升成陆,长期遭受了风化剥蚀。所以该层序的形成,为一次完整的威尔逊旋回。

2)海西—印支构造层序。该层序形成阶段为泥盆纪到三叠纪,代表古特提斯阶段的产物。该构造层序的底界面为加里东运动的顶界面,顶界面为印支运动形成的巨大不整合面,全区对比良好。海西—印支构造层序记录了南秦岭洋盆从形成、发展、萎缩、消亡的整个过程,印支运动后沉积盆地抬升成陆,长期遭受了风化剥蚀。该层序的形成,为另一次完整的威尔逊旋回。

3)燕山—喜山构造层序。白垩纪到新近纪,代表新特提斯阶段的产物。该层序的底界面为海西运动的顶界面,顶界面为新近系顶部的不整合面,在川中地区可以对比。燕山—喜山构造层序记录了新特提斯洋盆从形成、发展、萎缩、消亡所致的远离洋盆大陆内沉积过程。该层序的形成,为另一次完整的威尔逊旋回。

3 沉积环境演化

3.1 加里东构造层序

1)陆内拉张阶段。震旦纪早期,随着 Rodinia 大陆的解体,扬子板块南北缘陆壳基底拉开,形成大陆边缘裂谷盆地并快速沉降,中、上扬子地区发育了一套磨拉石—冰碛岩建造序列,总体呈现出北高南低的古地理格局^[12-13]。震旦纪中期,中、上扬子地区南北边缘开始裂陷、扩张。北部发育大陆冰川,南部发育陆棚海洋冰川,全球气候变冷进入冰期阶段,形成了以灰绿色杂砾岩为主体的陆相冰碛和冰海沉积物^[14]。

2)被动大陆边缘形成阶段。晚震旦世,华北板块与扬子板块之间、扬子板块与华夏板块之间持续拉张。随着祁连洋的扩张,华北板块和扬子板块分离,形成了秦岭海和南秦岭大陆边缘裂谷带^[12-14]。同时,沿江绍缝合带形成了江绍转换断层系,使华夏

板块向东运动,扬子板块向西运动,华南残留盆地拉张,华南海盆形成。扬子海盆逐渐形成了被动大陆边缘,沉积了碎屑岩台地—碎屑岩陆棚。

3)成熟被动大陆边缘阶段。早寒武世,受控于两大板块边界拉张,南华洋盆持续扩张,中、上扬子海盆发生大规模海侵,逐渐发展为成熟被动大陆边缘,广泛沉积了牛蹄塘组黑色碳质泥岩(图5a)。中寒武世—早奥陶世,板块间洋盆由扩张停滞,中、上扬子地区海平面基本稳定,沉积了广阔巨厚层碳酸盐岩台地。

4)被动大陆边缘萎缩阶段。至中奥陶世,扬子板块向北侧华北板块之下俯冲,华夏板块向扬子板块之下俯冲,中、上扬子地区构造运动由早期的扩张机制转变为挤压机制,南北两侧的边缘海盆地收缩。扬子板块南侧与华夏板逐渐块闭合^[15],被动大陆边缘海平面下降,逐渐过渡为局限台地环境,渝东—湘鄂西地区沉积了紫红色瘤状灰岩,川中地区沉积了海相碎屑岩。

5)前陆盆地阶段。志留纪初期,加里东运动使扬子板块北缘与华北板块闭合造山,形成了北秦岭造山带,扬子板块南侧与华夏板块闭合造山,形成了雪峰造山带。中、上扬子地区由于重力差异快速沉降,海平面上升,形成了前陆盆地(图5b),沉积了巨厚的海相复理石。特别是志留纪早期,中、上扬子地区沉积了厚层的黑色笔石页岩是一套重要的烃源岩,也是目前我国南方页岩气勘探的主要目的层位。志留纪末期,加里东运动加剧,中、上扬子地区进一步隆升,形成大隆大坳的构造格局,如江南隆起、黔中隆起、乐山—龙女寺隆起及大洪山隆起等大型古隆起,中、上扬子地区遭受风化剥蚀^[16]。

3.2 海西印支构造层序

1)被动大陆边缘形成阶段。早泥盆世早期,华北板块与扬子板块沿秦岭缝合带勉阳—略阳断裂带扩张成裂谷^[17],形成了南秦岭浅海盆,扬子地区则初步形成了被动大陆边缘。扬子地区北部边缘开始海侵,沉积了陆架环境的钙质泥岩、页岩及白云岩。中泥盆世晚期,随着古特提斯洋扩张活动加剧,湘赣海槽扩张,海水自南向北侵入扬子板块,形成滨浅海环境,沉积了中、上泥盆统粗碎屑岩。晚泥盆世早期,海侵范围进一步扩大,中扬子腹地发育湘鄂滨浅海沉积。晚泥盆世末,中、上扬子地区小幅抬升,产生沉积间断。

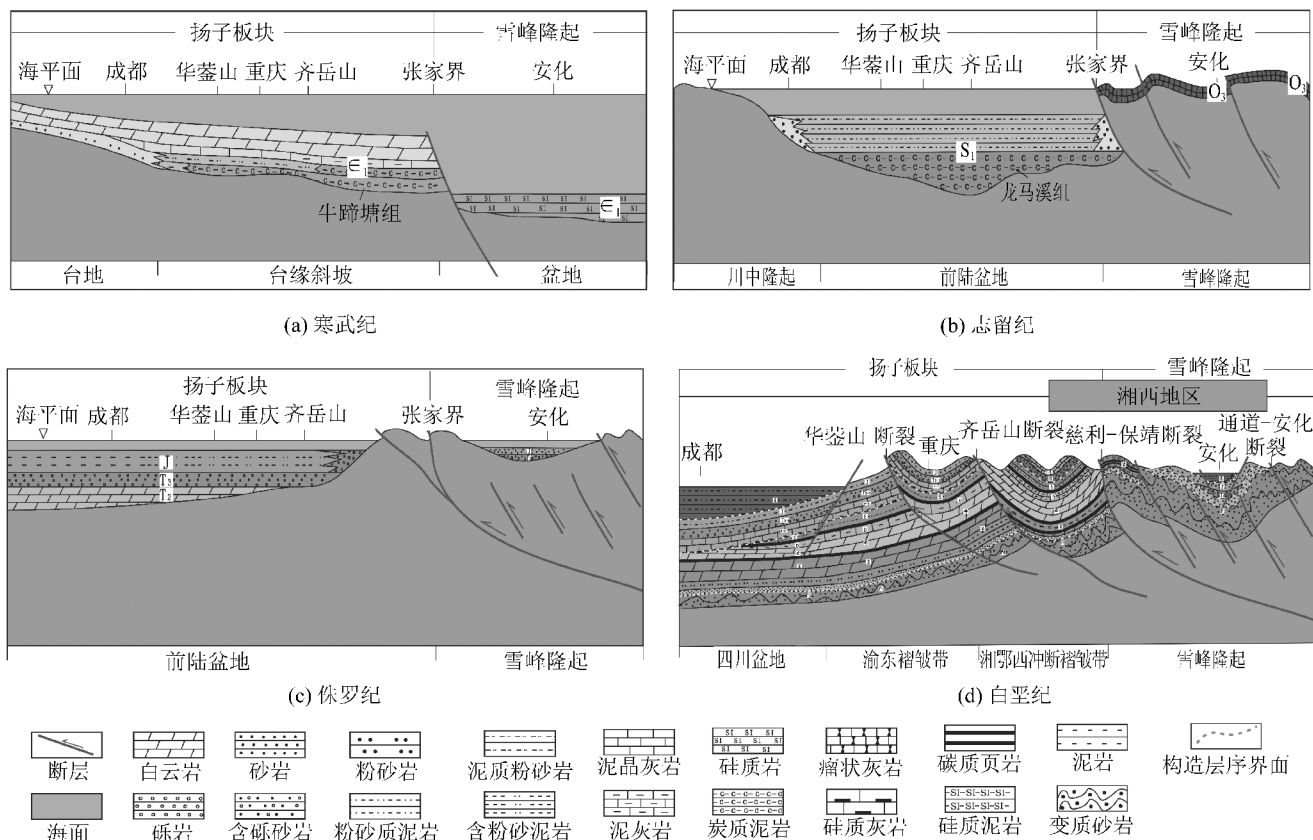


图5 中、上扬子地区沉积环境演化模式

Fig. 5 Sedimentary environment evolution pattern in middle and upper Yangtze Region

中晚石炭世,扬子地区局部下沉,沉积了一套灰岩、白云岩。石炭纪末由于特提斯构造域活动的远程效应、出现短暂抬升,中、上扬子地区出现沉积间断,上石炭统遭受剥蚀,发育了古溶蚀孔洞。

2)成熟被动大陆边缘阶段。早二叠世,古特提斯洋持续扩张,扬子板块南北海槽进一步裂陷加深,中、上扬子地区整体沉降、海侵,形成了稳定的被动大陆边缘。中、上扬子地区早期为潮坪环境,发育含煤碎屑岩沉积;中二叠世海水自北东向西南再次侵入,到栖霞组沉积时期,南秦岭海盆与扬子海盆连成一片,形成了以碳酸盐岩台地为主的沉积建造;晚二叠世海平面略有下降,早期发育潮坪相煤系地层,晚期发育开阔台地—台中盆地相沉积,充填了泥灰岩—硅质岩建造系列。

3)被动大陆边缘萎缩阶段。三叠纪是中国南方的重大变革时期。早三叠世,印支运动发生,古特提斯洋缩减,南秦岭洋壳向南北方向俯冲消减,扬子地区被动大陆边缘开始萎缩,海平面下降,沉积了三叠系潮坪相大冶组薄层状灰岩、嘉陵江组的白云岩、蒸发岩。

4)前陆盆地阶段。中三叠世晚期,随着古特提斯洋消减消亡,扬子板块与华北板块的碰撞拼合,构造运动开始由板块间的构造活动转入板内活动,并由此结束了中国南方的海相沉积历史^[18]。中三叠世末,沿秦岭—大别碰撞造山带南侧形成前陆盆地,沉积了巨厚的陆相碎屑岩。晚三叠世,印支运动进入晚期,扬子板块与华北板块陆陆碰撞后,前陆盆地沉积中心向西北迁移,沉积了陆相磨拉石建造。

3.3 燕山—喜山构造层序

1)前陆盆地扩张阶段。早、中侏罗系,随太平洋板块向北运动,燕山运动发生,扬子板块南部江南—雪峰造山带和北部秦岭—大别造山带隆升造山^[19]。同时,由于新特提斯洋的扩张,导致中、上扬子地区差异性拉张、沉陷,原已形成的前陆盆地面积扩大,湖平面上升,沉积了厚层的湖盆相碎屑岩,全部分布稳定(图5c)。

2)前陆盆地萎缩阶段。中侏罗系晚期,太平洋板块向欧亚板块俯冲^[20],燕山运动加剧,扬子板块南部江南—雪峰造山带和北部秦岭—大别造山带强烈造山,使中、上扬子地区在剧烈隆升的同时,横向

上强烈变形、变位,并褶皱、冲断,使原中、上扬子地区前陆盆地的范围缩减,成为残留盆地,沉积了陆相磨拉石。晚侏罗系时,构造抬升范围加大,前陆盆地面积大范围缩小,湘鄂西地区湖盆消失,仅在川中、渝东地区沉积了紫红色碎屑岩。

3)断陷盆地形成—发展阶段。白垩纪早期,由于新特提斯洋扩张加剧^[19-20],扬子板块内早期走滑断裂转换为伸展断陷,中、上扬子地区由北东、北西向2组正断层间组成了一系列断陷湖盆,主要分布在川中地区和湘鄂西地区,接受一套以陆相红色砾岩为主的磨拉石建造。晚白垩世,太平洋板块向欧亚大陆俯冲,缩减,燕山运动再次加剧,湖盆萎缩,湖平面快速下降,沉积了紫红色膏岩、泥岩(图5d)。古近纪时,新特提斯洋继续扩张,在区域性伸展构造背景下,中、上扬子地区早期大型逆冲断层强烈展断陷,再次形成陆相断陷盆地,造成了盆岭相间的构造面貌^[38]。

4)断陷盆地萎缩消亡阶段。古近纪末,喜山运动发生,新特提斯洋关闭^[19],区域构造应力场再次反转,断陷盆地萎缩,新近纪仅在川西南地区发育洪积型砾岩,称“大邑砾岩”。新近纪之后,喜山运动加剧,印度板块与欧亚板块持续陆—陆碰撞,强烈造山,断陷盆地完全消亡。新近纪末期,中、上扬子地区基底隆升,沉积盆地消失,长期遭受剥蚀。

4 结 论

1)中、上扬子地区区分出3个构造层序:加里东构造层序、海西印支构造层序、燕山—喜山构造层序。

2)完整的构造层序受控于板块间洋盆的扩张与闭合:加里东层序主控洋盆为南华洋,海西印支层序主控洋盆为南秦岭洋,燕山—喜山构造层序受控于新特提斯洋与太平洋。3个构造层序组成3个威尔逊旋回。

3)加里东构造层序反映了中、上扬子地区经历了陆内拉张阶段、被动大陆边缘形成阶段、成熟被动大陆边缘阶段、被动大陆边缘萎缩阶段、前陆盆地阶段;海西构造层序反映中、上扬子地区经历了被动大陆边缘形成阶段、成熟被动大陆边缘阶段、被动大陆边缘萎缩阶段、前陆盆地阶段;燕山—喜山构造层序反映了中、上扬子地区经历了前陆盆地扩张阶段、前陆盆地萎缩阶段、断陷盆地形成—发展阶段和断陷盆地萎缩、消亡阶段。各层序的沉积环境演化与盆

地距离主控洋盆的位置有关。

参考文献(References):

- [1] 蒲泊伶,蒋有录,王毅,等.四川盆地志留统龙马溪组页岩气成藏条件及有利地区分析[J].石油学报,2010,31(2):225-230.
PU Boling,JIANG Youlu,WANG Yi,*et al.*Reservoir-forming conditions and favorable exploration zones of shale gas in Lower Silurian Longmaxi Formation of Sichuan Basin[J].Acta Petrolei Sinica,2010,31(2):225-230.
- [2] 郑和荣,高波,彭勇民,等.中、上扬子地区下志留统沉积演化与页岩气勘探方向[J].古地理学报,2013,15(5):645-656.
ZHENG Herong,GAO Bo,PENG Yongmin,*et al.*Sedimentary evolution and shale gas exploration direction of the Lower Silurian in middle-upper Yangtze Area[J].Journal of Palaeogeograph,2013,15(5):645-656.
- [3] 李斌.湖南保靖地区龙马溪组页岩气成藏条件分析[J].特种油气藏,2016,23(5):12-17.
LIBin.Shale gas accumulation conditions of Longmaxi formation in Baojing of Hunan Province[J].Special Oil and Gas Reservoirs,2016,23(5):12-17.
- [4] 牟传龙,周思恩,梁薇,等.中、上扬子地区早古生代烃源岩沉积环境与油气勘探[J].地质学报,2011,85(4):526-532.
MU Chuanlong,ZHOU Kenken,LIANG Wei,*et al.*Early Paleozoic sedimentary environment of hydrocarbon source rocks in middle-upper Yangtze Region and petroleum and gas exploration[J].Acta Geologica Sinica,2011,85(4):526-532.
- [5] 颜丹平,汪新文,刘友元.川鄂湘边区褶皱构造样式及其成因机制分析[J].现代地质,2000,14(1):37-43.
YAN Danping,WANG Xinwen,LIU Youyuan.Analysis of fold style and it's formation mechanism in the area of boundary among Sichuan,Hubei and Hunan[J].Geoscience,2000,14(1):37-43.
- [6] 李忠雄,陆永潮,王剑,等.中扬子地区晚震旦世—早寒武世沉积特征及岩相古地理[J].古地理学报,2004,6(2):151-162.
LI Zhongxiong,LU Yongchao,WANG Jian,*et al.*Sedimentary characteristics and lithofacies palaeogeography of the Late Sinian and Early Cambrian in middle Yangtze region[J].Journal of Palaeogeography,2004,6(2):151-162.
- [7] 何登发,李德生,张国伟,等.四川多旋回叠合盆地的形成与演化[J].地质科学,2011,(3):589-606.
HE Dengfa,LI Desheng,ZHANG Guowei,*et al.*Formation and evolution of multi-cycle superposed Sichuan Basin,China[J].Earth Science,2011(3):589-606.
- [8] 刘新民,付宜兴,郭战峰,等.中扬子地区南华纪以来盆地演化与油气响应特征[J].石油实验地质,2009,31(2):160-165.
LIU Xinmin,FU Yixing,GUO Zhanfeng,*et al.*Characteristics of basin evolution and hydrocarbon response in middle Yangtze Region since Nanhua Period[J].Petroleum Geology & Experiment,2009,31(2):160-165.
- [9] 倪新锋,陈洪德,韦东晓,等.中、上扬子盆地叠加、改造类型及

- 油气勘探前景[J].地质学报,2009,83(4):468-477.
- NIXinfeng, CHEN Hongde, WEI Dongxiao, *et al.* Superimposing and rebuilding of the middle-upper Yangtze Basins and its prospects of oil and gas in marine strata[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83(4):468-477.
- [10] 李 斌, 罗 群, 胡博文, 等. 湘西地区叠加型前陆盆地沉积环境演化模式研究[J]. 中国石油勘探, 2016, 21(6):81-90.
- LIBin, LUO Qun, HU Bowen, *et al.* A study on sedimentary environment evolution model of superimposed foreland basin in western Hunan Province[J]. *China Petroleum Exploration*, 2016, 21(6):81-90.
- [11] 汪正江, 谢 渊, 杨 平, 等. 雪峰山西侧震旦纪—早古生代海相盆地演化与油气地质条件[J]. 地质通报, 2012, 31(11):1795-1881.
- WANG Zhengjiang, XIE Yuan, YANG Ping, *et al.* Marine basin evolution and oil and gas geology of Sinian-early Paleozoic period on the western side of the Xuefeng Mountain[J]. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31(11):1795-1811.
- [12] 李 聪, 陈世悦, 张鹏飞, 等. 湘西北地区震旦—三叠系储层特征及分布规律[J]. 西南石油大学学报:自然科学版, 2009, 31(5):61-67.
- LI Cong, CHEN Shiyue, ZHANG Pengfei, *et al.* The characteristics and distribution of the reservoirs from Sinian to Triassic in northwest Hunan[J]. *Journal of Southwest Petroleum University*, 2009, 31(5):61-67.
- [13] 王 剑, 段太忠, 谢 渊, 等. 扬子地块东南缘大地构造演化及其油气地质意义[J]. 地质通报, 2012, 31(11):1739-1749.
- WANG Jian, DUAN Taizhong, XIE Yuan, *et al.* The tectonic evolution and its oil and gas prospect of southeast margin of Yangtze Block[J]. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31(11):1739-1749.
- [14] 邱小松, 胡明毅, 胡忠贵. 中扬子地区下寒武统岩相古地理及页岩气成藏条件分析[J]. 中南大学学报:自然科学版, 2014, 45(9):3174-3185.
- QIU Xiaosong, HU Mingyi, HU Zhonggui. Lithofacies palaeogeographic characteristics and reservoir-forming conditions of shale gas of lower Cambrian in middle Yangtze region [J]. *Journal of Central South University :Science and Technology*, 2014, 45(9):3174-3185.
- [15] 文 玲, 胡书毅, 田海芹. 扬子地区志留纪岩相古地理与石油地质条件研究[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(6):11-14.
- WEN Ling, HU Shuyi, TIAN Haiqin. Lithofacies paleogeography and petroleum geology of the Silurian in Yangtze area [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2002, 29(6):11-14.
- [16] 汪新伟, 沃玉进, 张荣强. 扬子克拉通南华纪—早古生代的构造—沉积旋回[J]. 现代地质, 2008, 22(4):525-533.
- WANG Xinwei, WO Yujin, ZHANG Rongqiang. Tectonic - sedimentary cycle of the Yangtze craton from Nanhua to the early Palaeozoic [J]. *Geoscience*, 2008, 22(4):525-533.
- [17] 胡健民, 孟庆任, 白武明, 等. 南秦岭构造带中一晚古生代伸展构造作用[J]. 地质通报, 2002, 21(8/9):471-478.
- HU Jianmin, MENG Qingren, BAI Wuming, *et al.* Mid-Late Paleozoic extension of the Wudang block in the south Qinling tectonic belt ,China [J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 21(8/9):471-478.
- [18] 刘志丽, 童金南. 中国南方中三叠世地层及沉积古地理分异[J]. 沉积学报, 2001, 19(3):327-332.
- LIU Zhili, TONG Jinnan. The middle triassic stratigraphy and sedimentary paleogeography of South China [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, 19(3):327-332.
- [19] 舒良树, 周新民, 邓 平, 等. 中国东南部中生代盆地特征与构造演化[J]. 地质通报, 2004, 23(9/10):876-884.
- SHU Liangshu, ZHOU Xinmin, DENG Ping, *et al.* Geological features and tectonic evolution of Meso-Cenozoic basins in southeastern Chinese [J]. *Geological Bulletin*, 2004, 23(9/10):876-884.
- [20] 张岳桥, 赵 越, 董树文, 等. 中国东部及邻区早白垩世裂陷盆地构造演化阶段[J]. 地学前缘, 2004, 11(3):123-132.
- ZHANG Yueqiao, ZHAO Yue, DONG Shuwen, *et al.* Tectonic evolution stages of the early Cretaceous rift basins in eastern China and adjacent areas and their geodynamic background [J]. *Frontiers of Geosciences*, 2004, 11(3):123-132.