

下扬子地区古生界 石油地质条件及勘探潜力

胡文瑄 贾东 姚素平等 编著



科学出版社

下扬子地区古生界石油地质条件 及勘探潜力

胡文瑄 贾 东 姚素平等 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

下扬子地区发育多套优质烃源岩,但由于经历了多期构造运动的叠加改造,对油气藏的形成和改造作用十分强烈,因此烃源岩差异演化十分明显。由于多阶段生烃、多热源叠加变质,油气生成的显著特点表现为时空的非均一性。如何正确认识和评价构造作用对下扬子区油气保存条件的影响以及烃源岩成熟演化时空分布的非均一性是下扬子区油气勘探面临的突出问题。本书基于地层对比、沉积相变化、沉积过程、构造特征等分析,探讨了下扬子地区在新元古代以来的构造演化过程;根据区域构造剖面解析和典型区块三维地震数据解译及数值模拟,详细解析了下扬子区典型区块中新生代以来的叠加和改造过程。通过系统的野外地质和地球化学工作,比较深入地研究了下扬子地区古生界主要三套优质烃源岩(上二叠统龙潭组、下志留统高家边组和下寒武统荷塘组)的生烃潜力、热演化史以及燕山期岩浆活动对烃源岩热演化影响等,揭示了主要烃源岩的热演化现状及变化规律,分析了油气成因类型,探讨了下扬子地区的油气地质条件及成藏前景。

本书可供从事石油地质研究,特别是油气成藏研究的专家学者以及大专院校高年级学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

下扬子地区古生界石油地质条件及勘探潜力/胡文瑄等编著. —北京:科学出版社, 2016.12

ISBN 978-7-03-050940-6

I. ①下… II. ①胡… III. ①下扬子区-古生代-石油地质学
IV. ①P618.130.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第283384号

责任编辑:周 丹 曾佳佳/责任校对:赵桂芬

责任印制:张 倩/封面设计:许 瑞

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京利丰雅高长城印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年12月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2016年12月第一次印刷 印张:20 3/4

字数:410 000

定价:198.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

下扬子区的构造位置位于扬子板块东段。北界为连云港-黄梅断裂，南界为江山-绍兴断裂，东邻环太平洋构造带，西接特提斯构造域。面积为 $22.681 \times 10^4 \text{km}^2$ ，古生界海相地层分布面积达 $13 \times 10^4 \text{km}^2$ ，厚达 3~10km，是我国海相中、古生界发育最全，保存也相对完整的地区之一。

下扬子区是我国东部具有油气远景的地区之一。作为扬子板块的重要组成部分，先后经历了前晋宁期阶段、晋宁运动时期板块俯冲和碰撞阶段以及晋宁运动以来板内构造演化阶段，发育了中、古生界（包括震旦系）多套烃源岩系。因此，作为重要的板块构造单元和具有长期发育历史的盆地，一直受到石油地质学家的高度重视。早在 20 世纪 40 年代末，谢家荣等地质学家就对本区的中、古生界进行过地质勘探和油气评价，至今已有半个多世纪。按 1956 年国家正式组建勘探队伍进行本区的油气勘探算起，苏皖下扬子区中、古生界的勘探已经经历了 60 年的时间，取得了一些重要成果。研究表明下扬子区中、古生界海相地层具有雄厚的成烃物质基础，也不乏优良的生储盖组合的配置。如下寒武统黑色页岩、上奥陶统一下志留统黑色页岩及上二叠统煤系地层均发育优质烃源岩；下志留统泥岩和二叠系煤系构成区内两套区域性盖层，形成下古和上古两套油气组合。此外，中一下三叠统膏盐岩封盖了上扬子盆地主要天然气田，下扬子地区也发育较大面积的膏岩层系，地表露头和钻孔揭示的中三叠统石膏、硬石膏分布在南以江苏省常州—安徽省南陵一线为界，北以郯-庐断裂为界，总面积达 $7 \times 10^4 \text{km}^2$ 的范围，基本覆盖了苏皖沿江地区，表明下扬子区也有可能在生、储、盖配置良好的地区形成较大规模的天然气藏。现今油气显示十分活跃，全区在海相层系中目前共发现多达几百处的油气显示，下古生界以沥青和气显示为主，上古生界油、气显示均有，并集中在石炭—二叠系，三叠系以油显示为主，一些小型油气田也正在开发之中，如黄桥油气田、句容油气田等，苏皖南部小煤矿多为高瓦斯矿井，也表明龙潭组含煤岩系非常规天然气具有一定的潜力。苏北朱家墩气田天然气的来源，一致认为主要来自下伏海相中、古生界。非常规天然气的初步评价结果表明：苏皖下扬子区页岩气资源位居全国前列。泥页岩分布面积广、厚度大、热演化程度高，不仅是盆地内常规气藏的烃源岩，而且还具备页岩气成藏的地质条件。但无论是常规油气还是非常规油气，一直未能在中、古生界海相地层取得突破性进展。这主要是由于下扬子区后期构造对地层的切割与破坏作用强烈，因为构造作用是影响油气成藏的最为重要和直接的因素，它不仅控制着沉积盆地及沉积地层的形

成和演化,而且控制着油气生成、聚集、产出过程的每一环节。下扬子地区经历了加里东运动、海西运动、印支运动、燕山运动、喜马拉雅造山运动的叠加改造,对油气藏形成的生、储、盖、运、圈、保诸要素改造强烈,其中以生、保两大要素影响最甚。油气勘探实践和研究表明,保存条件是下扬子地区乃至海相油气成藏的关键要素,“高形变、差保存”是制约本区油气勘探取得突破的根本原因。如何正确认识和评价构造作用对研究区油气的保存条件的影响,是下扬子区油气勘探研究面临的突出问题。此外,烃源岩热演化程度是油气形成和成藏的重要因素。研究区主要烃源岩差异演化十分明显,由于多阶段生烃、多热源叠加变质,油气生成的显著特点表现为时空的非均一性。因此,烃源岩成熟演化的时空分布是下扬子油气勘探面临的另一重要问题。

本书是在近十年来相关科研项目成果的基础上,重点针对上述两大问题的分析编写而成的,主要涉及的科研项目有中国石油化工股份有限公司科技部海相前瞻性项目“中国东南部海相盆地差异演化与油气潜力研究”、中国石油化工股份有限公司勘探开发研究院项目“下扬子区海相盆地构造演化及其控油气作用”和华东石油分公司“下扬子区构造演化与重点选区的油气地质条件评价”、安徽煤田地质局勘查研究院项目“安徽省下扬子区页岩气资源调查评价”等,参加工作的研究人员有舒良树、王良书、尹宏伟、邱检生、陆现彩、何光玉、边立增、谢晓敏、曹剑、解国爱、王小林、李一泉、陈荣、高玉巧、李海滨、丁海、廖志伟等,对他们的辛勤付出表示诚挚的谢意。

作 者

2016年4月

目 录

前言

第一章 下扬子地区海相盆地演化与构造分区	1
1.1 区域地质概况	1
1.1.1 区域构造格架	1
1.1.2 沉积地层	6
1.1.3 火山与岩浆活动	18
1.2 海相盆地构造演化	21
1.2.1 华南及下扬子地区前寒武纪构造演化	21
1.2.2 古生代以来的构造演化	27
1.2.3 中生代以来的构造演化	35
1.3 构造分区与典型构造建模	39
1.3.1 区域背景及分带特征	39
1.3.2 下扬子地区构造大剖面特征	43
1.3.3 典型构造建模	55
本章小结	81
第二章 海相地层沉积特征与烃源岩发育	83
2.1 下寒武统沉积相与黑色岩系发育特征	84
2.1.1 荷塘组黑色页岩典型剖面沉积特征	84
2.1.2 荷塘组黑色泥页岩沉积环境及岩相古地理	105
2.1.3 荷塘组及相当层位黑色泥页岩分布特征	114
2.2 下志留统沉积相及烃源岩分布特征	117
2.2.1 典型野外剖面(钻孔)沉积特征	117
2.2.2 高家边组黑色泥页岩沉积环境及岩相古地理	124
2.2.3 高家边组及相当层位黑色页岩分布特征	132
2.3 上二叠统沉积相与烃源岩分布特征	136
2.3.1 龙潭煤系的划分和对比	136
2.3.2 龙潭煤系沉积特征与分布	138
2.3.3 龙潭煤系岩相与沉积环境	159
本章小结	172
第三章 主要烃源岩生烃潜力	174
3.1 海相地层有机质发育概况	174

3.2	下寒武统荷塘组烃源条件	175
3.2.1	有机质丰度	175
3.2.2	生源母质特征及有机质类型	180
3.2.3	生烃条件评价	182
3.3	下志留统高家边组烃源条件	191
3.3.1	有机质丰度	191
3.3.2	生源母质特征及有机质类型	192
3.3.3	生烃条件评价	194
3.4	上二叠统龙潭组烃源条件	196
3.4.1	有机质丰度	196
3.4.2	生源母质特征及有机质类型	204
3.4.3	生烃条件评价	207
	本章小结	209
第四章	烃源岩热演化特点及控制因素分析	210
4.1	主要烃源岩热演化规律	210
4.1.1	寒武系烃源岩现今热演化状态与分布规律	212
4.1.2	志留系烃源岩现今热演化状态与分布规律	215
4.1.3	二叠系烃源岩现今热演化状态与分布规律	217
4.2	烃源岩热演化史	222
4.2.1	盆地热演化反演	222
4.2.2	盆地热演化与烃源岩成熟度史及生烃期次	228
4.3	燕山期岩浆活动对烃源岩热演化的影响	230
4.3.1	下扬子地区燕山期岩浆活动概况	230
4.3.2	岩浆活动对龙潭组煤变质程度的影响	235
4.3.3	主要烃源岩热演化与燕山期岩浆活动的关系	238
	本章小结	240
第五章	典型区块油气地质特征与勘探前景	242
5.1	油气显示及成因类型	242
5.1.1	油气显示基本特征	242
5.1.2	古生界油气分布与成因类型	243
5.2	皖南宣泾盆地(泾县港口-峰山地区)油气地质条件分析	287
5.3	苏南地区龙潭组油气地质条件分析(以锡澄虞矿区为例)	292
5.4	浙北地区龙潭组油气地质条件分析(以煤山向斜为例)	298
	本章小结	315
	主要参考文献	317

第一章 下扬子地区海相盆地演化与构造分区

1.1 区域地质概况

1.1.1 区域构造格架

下扬子区位于扬子板块东段,介于连云港-黄梅断裂、江山-绍兴断裂之间,东邻环太平洋构造域,西凭郯-庐断裂与特提斯构造域相接(图 1-1)。范围包括陆上的苏皖南部地区、浙西北地区、苏北盆地和海域中的南黄海盆地(李亚辉等, 2010; 叶舟等, 2006),总体呈南西窄、北东宽的“V”字形。

下扬子地区是我国地质学研究开展较早、研究程度较高的地区。尽管区域构造研究起步较早,研究深入,但看法各异。目前对于扬子地区属于地台、准地台或稳定陆块,分歧不大。一般认为,下扬子地区在构造上属于扬子板块大地构造单元。

研究区区域地质特征是在扬子板块逐步演化过程中形成的一个主干构造,方向表现为地壳深部与浅部一致的北东向构造带,并可继续东延到苏北和南黄海,基本与浙闽粤沿海燕山期火山弧系外缘的海沟方向平行;向西呈舌状收拢的楔形,从平面展布轮廓上显示出拉张的特征。在区域地质构造图中位于沿江剪切强变形区,区内构造特征主要受大别山推覆体向南推覆的应力场作用。

自震旦纪,下扬子区沉积了一套连续性较好、分布范围广且相对统一的沉积盖层。但与盖层较为统一的特征不同,在下扬子区不同地区基底构造差异明显。根据基底岩石组合、变质程度和结构差异,常印佛等(1996)将下扬子基底分为三种主要类型:①南部为中元古代火山-沉积复理石组成的“江南式”基底,安徽南部出露的基底主要由两套岩石组成,下部中元古界上溪群,为一套深绿色片岩、板岩、千枚岩、千枚状粉砂岩及粉砂质泥岩组合;上部为新元古代沉积-火山岩系,两者之间为不整合接触,与上覆震旦系休宁组亦为不整合接触。②北部为“董岭式”基底,主要分布于沿江地区。在安徽怀宁出露的中、下元古界董岭群,可与江苏镇江埤城岩群相当,构成了下扬子地区“董岭式”基底。其特点是具有双层结构,下部为片麻岩,代表区内结晶基底;上部片岩段,代表褶皱基底;上覆震旦系经历了弱变质的强变形过程。③分布于扬子北缘的“张八岭式”基底,由新太古代—新元古代变质岩系组成,具多层结构。中新元古代火山岩系内发育以蓝片岩为代表的低温高压变质带,可与大别和苏鲁造山带南缘的蓝片岩带对应,同属印支期板块碰撞造山和郯-庐同造山旋扭过程中形成的高压变质带。

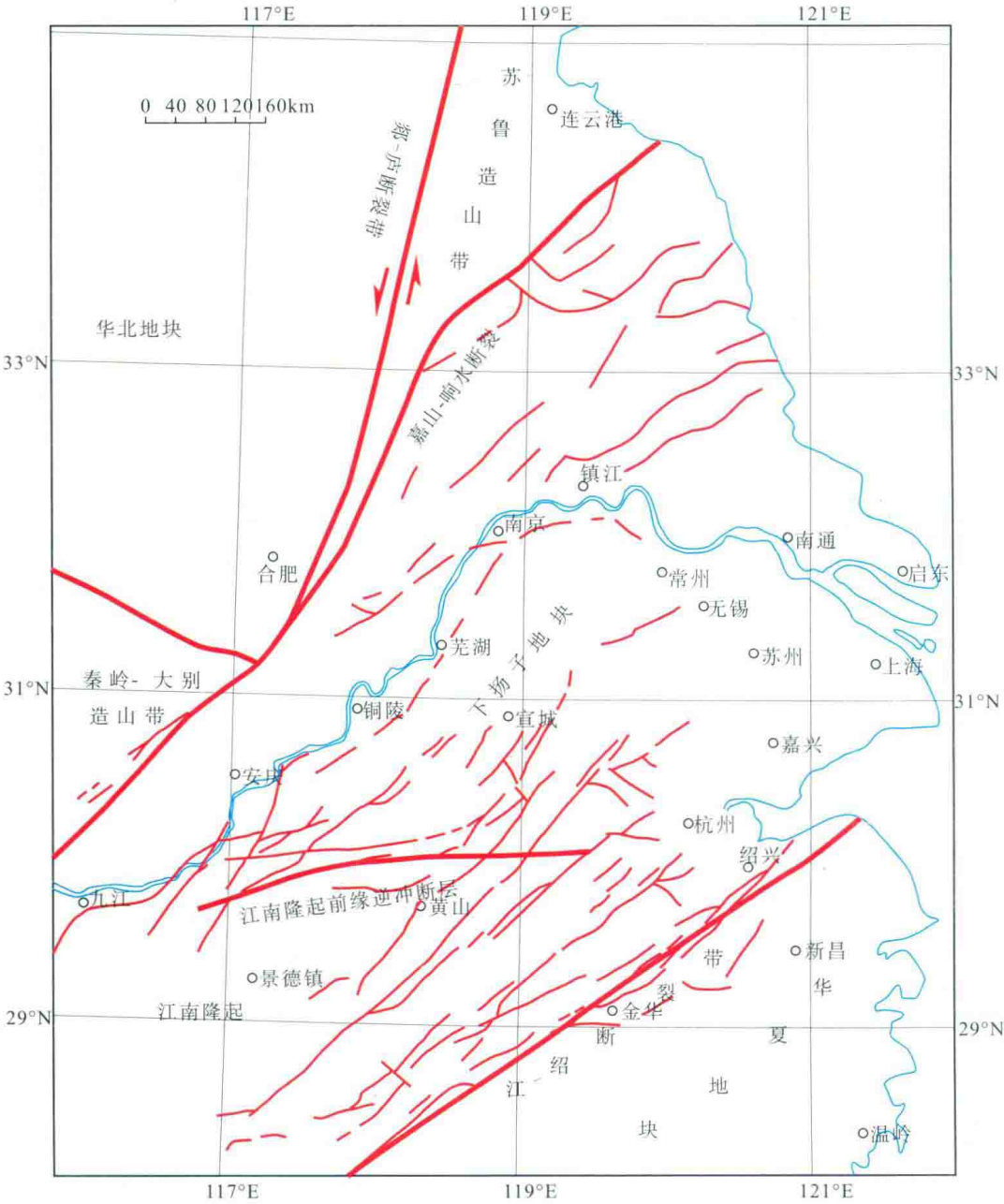


图 1-1 下扬子构造区划图

在下扬子区发育着几条重要的断裂：郯-庐断裂带、江山-绍兴断裂带、江南断裂。其中，前两条断裂带是下扬子地块的边界断裂，明显制约着下扬子地块的构造格局和盆地演化；江山-绍兴断裂带为华夏地块与扬子地块碰撞缝合带，郯-庐断裂带是下扬子地块和华北板块的边界断裂，而江南断裂为分隔扬子板块内中下扬子区和江南区的二级构造单元。这三条断裂带都是既具破坏改造，又具建设

再造的断裂带，对下扬子地区构造格局的形成具有重要的控制作用。

江山-绍兴断裂带是下扬子地块与华夏地块的边界断裂，大致沿浙赣线呈北东向展布，向南西延伸与江西省萍乡-广丰深断裂连接，北东经江山穿越金衢盆地，贴靠金华大山南缘直抵绍兴富盛，继续北上潜越杭州湾（图 1-2）。该断裂系由许多规模不等的断裂组成地表断裂带，断层面倾向南东或北西，以倾向北西的居多，倾角在 $45^{\circ}\sim 88^{\circ}$ 。断裂形迹十分明显，沿着断裂带岩层破碎、挤压牵引频频见及。该断裂产生于神功期，在晋宁期断裂又一次活动。据岩相古地理分析，在早古生代，江山-绍兴深断裂北缘，尚未出现海盆边缘相沉积，海陆界线越过江山-绍兴深断裂南侧。由此可见，此一时期，该断裂活动可能比较微弱，对于沉积不起控制作用。

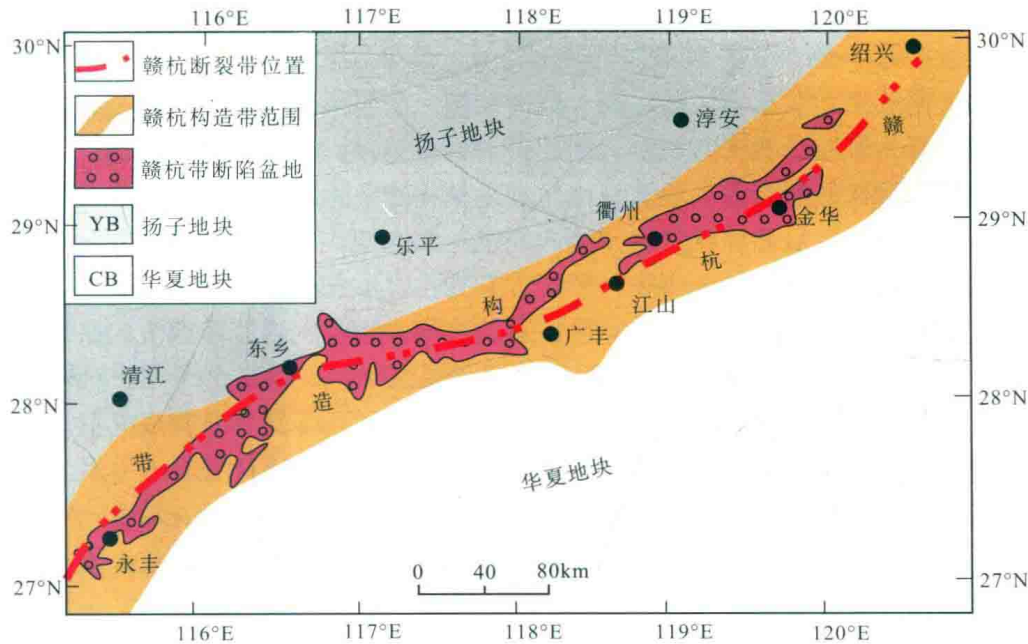


图 1-2 江-绍断裂带东段地质简图（据余心起等，2005）

加里东运动后，浙东南与浙西北形成统一的地台，但浙东南发生强烈的变质作用，而浙西北未受变质作用的影响，显然，江山-绍兴深断裂是难以逾越的鸿沟。印支运动，浙江全境褶皱隆起，然而就在该断裂带及其东南侧边缘，沉积了上三叠统乌灶组，印支期侵入岩也均沿着该断裂带发育。燕山期间，断裂再次强烈活动，又产生了一系列压剪和剪性断裂，但断断续续，衔接性差，它们与晋宁期前的构造线有微小的交角。燕山晚期，沿该断裂带发育了白垩纪盆地，断裂带北侧强烈沉降，显示了“同沉积断裂的活动”。燕山期末，该断裂又出现了自南东向北西的推覆，致使在诸暨横山至绍兴一带双溪坞群变质岩逆掩到上侏罗统火山岩之上。

郯-庐断裂带是下扬子地块和华北板块的边界断裂，宽约 $20\sim 40\text{km}$ 。在安徽

境内由四条主要断裂构成,自西向东分别为五(河)-合(肥)深断裂、石门山断裂、池(河)-太(湖)深断裂和嘉(山)-庐(江)深断裂。

五-合深断裂为郯-庐断裂带的西界断裂。自五河县城向南,经合肥市、舒城县城,消失在大别山区的七里河一带,长约 350km。石门山断裂是郯-庐断裂带中的一条规模稍大的断裂,自苏皖交界处天井湖起,向南经五河县朱顶、嘉山县石门山、定远县桑洞子至舒城县三河镇一线,长约 175km。嘉-庐断裂为断裂带的东界断裂,又是该带中最重要的主干断裂,北起嘉山,向南至藕塘附近分为两支,西支为池-太深断裂,它向南经定远县池河,肥东县西山驿,进而伸展到大别山东南麓的桐城至太湖一线;东支称嘉-庐深断裂,向南经庐江,然后潜伏在潜山盆地之下,直抵宿松一线,全长 400km。池-太深断裂在庐江县南桥附近又分出一支,向怀宁方向延伸,尔后与江西新干-湖口深断裂相连,这是中生代以来新生的断裂分支。根据郯-庐断裂带各段结构的不同特点,可分为三段:北段在古城以北。断裂走向近南北至北北东向,断层面一般向东倾,局部西倾,倾角 $60^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。断裂带外侧分别为五河群和张八岭群,断裂带内为白垩系,总体为地堑结构。其间被许多同走向的次级断裂分割成次级地堑和地垒构造,地垒由元古代至寒武纪地层构成。中段位于古城和庐江之间,走向北东—北北东,断层面倾向南东,东界断裂时向北西倾斜,倾角 $60^{\circ}\sim 80^{\circ}$,断裂之东为由上太古界—中元古界张八岭群组成的隆起,断裂之西主要为晚侏罗世以后的陆相盆地,构成东隆西沉的格局。南段在庐江以南,断层面倾向南东,局部倾向北西或直立,倾角 $60^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。池-太深断裂之西为大别山群及宿松群组成的隆起,之东主要为下第三系构成的盆地,故具西隆东沉的特点。西界断裂进入大别山区为正长斑岩脉所代替。

目前,我国地质学家对郯-庐断裂的形成时代和平移幅度还存在较大分歧,但一致认为郯-庐断裂是一条十分重要的深断裂带,对中国以至亚洲东部大地构造发展具有重要意义。中生代时,沿郯-庐断裂发生过一定规模的左旋剪切,新生代时则显示右旋剪切的特点。这种剪切方向的改变,反映了太平洋和亚洲大陆之间相对运动方向的转换。

江南断裂带是中下扬子区与江南区的分隔性断裂。地表出露很差,资料很少,是一个隐伏断裂带。该断裂斜贯皖南山区,自北而南经宣城、泾县、石台县七都、东至县平原与江西古沛-德安深断裂相接,向北延至江苏溧阳一带,断裂面在南、北两段向南东倾斜,中段七都一带倾向北西,倾角 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 。该断裂对下扬子区早古生代地层厚度、岩相、岩性、生物群等具有明显的控制作用。断裂北西侧的寒武系—奥陶系以石灰岩和白云岩为主,富含三叶虫和头足类化石,属扬子型动物群,即东南型与华北型之间的过渡型;南东侧以泥质条带灰岩、钙质页岩及砂页岩为主,晚奥陶世还发育复理石沉积,含球接子、笔石等化石,属东南型动物群。断裂两侧的印支期褶皱也有显著异常。此外,章家渡、广阳晚白垩世盆地沿

断裂串珠状排列,章家渡—蔡村一线还控制着燕山早期花岗岩及二长花岗岩的分布,说明该断裂对燕山期岩浆及沉积作用也有一定的控制作用。断裂对内生金属矿产的控制作用也较明显,其北西侧成矿较好,南东侧较差。

该断裂在地表的直接效应也很明显,在宣城麻菇山一带零星出露的志留纪—二叠纪地层中,次级断裂及倒转褶皱发育,可能是受其影响所致,泾县之西,志留系向南东逆掩在上白垩统宣南组之上,宣南组岩石破碎,志留系砂岩千枚岩化,与该断裂同方向的褶皱和劈理发育,并有基性脉岩贯入。陶窑村附近,由四条次级断裂组成叠瓦构造,走向 $35^{\circ}\sim 55^{\circ}$,倾向北西,岩石破碎、硅化,局部硅化带宽达50m,擦痕发育。章家渡—蔡村一带,印支期侵入岩又被切割,并发育挤压片理。此外,还见上寒武统逆冲在志留系之上。

江南断裂形成于加里东早期,印支、燕山及喜马拉雅山早期又多次活动,属壳断裂。以江南断裂带为界,下扬子地块被划分为两个构造-沉积区块,分别是北侧的下扬子区和南侧的江南区。

江南区介于江山-绍兴断裂和江南断裂之间,宽约200km。这是一个在新元古代碰撞造山带基础上发展起来的构造沉积区,经历了早古生代被动大陆边缘浅海碳酸盐沉积阶段,形成了诸如修水-武宁、常山-建德那样稳定厚度的早古生代碳酸盐岩地层。志留纪,部分区段因挤压而隆升,并有后造山花岗岩浆活动。晚古生代早期,再次发生陆内伸展,形成浅海碳酸盐台地,堆积了厚度较大的灰岩、生物碎屑灰岩夹碎屑岩等沉积岩系,以江山-绍兴断裂带上的萍乡-乐平盆地最为典型。玉山—衢州一带也有大片石炭纪—中三叠世碳酸盐岩地层出露。

江南区内部由南部的前震旦纪基底和北部一系列的背斜和向斜组成的复背斜和复向斜组成,其分布大致相当于江南台隆或江南复背斜,又称之为江南褶皱带,属于扬子地块南缘。复背斜的核部为震旦系,翼部为上古生界地层(图1-1),褶皱形态比较紧闭,但极少出现倒转。褶皱线性明显,轴向呈北东 45° 延伸,总的趋势是向北东倾伏。复向斜核部最新地层为中三叠统,翼部主要为志留系,其轴向仍是北东 45° 延伸。复向斜的翼部多被印支期—燕山期的花岗岩所侵入,核部变形强烈,地层直立甚至发生倒转。地震剖面揭示出其深部变形较复杂,印支期—燕山期的断层和褶皱非常发育,而且后期发生构造反转,形成多个小型断陷。

该区中生代以来显著隆起,使中、上元古界浅变质岩系大片出露。该构造域中元古界主要为一套分布广泛的具复理石建造特征的浊流沉积,含少量凝灰物质。沉积物主要为成熟度低的陆源杂砂岩、粉砂质板岩、泥质板岩,边缘地带出现砾岩和含砾砂岩。在局部地区发育基性火山岩和少许超基性火山岩。沉积岩的沉积构造和地球化学特征主要显示为过渡相深水(斜坡相)沉积环境。

新元古代四堡期浅变质岩系至少遭受两期褶皱,并经历了晋宁期、加里东期的韧性剪切作用,在剪切带中发生了浅变质的叠加作用。晚元古代早期,在武陵运动

中褶皱隆起,在剥蚀夷平的不整合面上广泛沉积了一套碎屑-火山沉积建造,这时期的地貌总体是北高南低,地形上有较大起伏,因而一些较低洼地区堆积了一套磨拉石建造。向上,总体为由北向南的滨海、浅海型-斜坡型断陷盆地火山沉积岩系。

震旦纪早期,江南构造域的古地理面貌仍呈西北高、东南低的特征,上扬子(川中)古陆长期隆起,向江南构造域北部提供了丰富的陆源碎屑,形成从河流相到滨海相的红色砂、砾岩沉积,砂、泥质岩沉积,向上出现寒冷气候条件下的大陆冰川堆积,在一些地区中下部夹厚度不大的黑色页岩碳酸盐岩沉积,反映其为间冰期的产物。

以赣东北断裂为界可分为东部的怀玉山造山带和西部的九岭山造山带,地表只见浅变质的褶皱基底,大地电磁测深资料揭示深部没有高阻结晶基底。赣东北断裂两侧有完全不同的沉积环境和不同的古地磁数据:西侧为双桥山群,是一套砂泥质凝灰质碎屑岩,上部有中基性熔岩,沉积厚度大,火山活动弱,最早形成于古元古代;东部为张村群,岩性复杂,火山岩占大部分,成分、结构成熟度低;青白口纪形成赣东北洋,分开北侧沥口群岛弧带和南侧的井潭组岛弧带,北侧为落可崇组和马涧桥组,主要发育碎屑岩和中基性火山岩,南侧为登山群和上墅组中酸性火山岩。震旦系和褶皱基底之间的雪峰运动不强;震旦纪至早奥陶世以赣东北断层为中心,形成洋盆,两侧成为斜坡,中奥陶世后构造逆转,水体变浅,加里东运动西强东弱,九岭山造山带上下古生界为不整合接触。怀玉山造山带为不整合至假整合接触;晚古生代沉积水体浅,厚度较小,相变大;印支运动明显,陆内造山形成磨拉石盆地和基底拆离造山带,造山带两侧发生背冲(吴根耀,2004)。

下扬子沉积区内部由西北部的江苏下扬子区拗陷和东南部的浙江钱塘拗陷及两者间的江南-太湖隆起带组合成一个大型复式向斜构造格架。在横切江苏下扬子区作北西—南东向剖面,可见自两侧隆起至拗陷中心,前侏罗系地层由老至新作有序分布,中心带在安徽怀宁—江都一线,三叠系青龙群、黄马青组、范家塘组和下中侏罗统象山群在这一带作巨厚连续沉积和分布。钱塘拗陷中心在杭州—开化一线,两侧地层依次由新变老作对称式展布。上述拗陷沉积经印支期褶皱变形后全区组成两个复式向斜和一个复式背斜带的构造特征。

晚奥陶—志留纪华夏地块发生广泛的造山事件和花岗岩的侵入作用,而下扬子地块在这个时期处于连续的沉积阶段,基本未受造山影响,缺失同时期的花岗岩,仅在局部地区存在地层间的平行不整合。根据地层的厚度展布,物源分析,并结合前人对地区的岩相、古生态等的研究,认为下扬子是一个前陆盆地。前陆盆地形成后至三叠纪沉积环境基本稳定。

据此,三断裂、二沉积区、二拗陷组成了下扬子地块震旦纪以来的基本构造格架。

1.1.2 沉积地层

下扬子地区区域地层主要归属下扬子地层分区和江南地层分区,下扬子地层

屑岩系, 并且自下而上可分为:

下统莲沱组 (Z_{1l}), 岩性主要为灰、绿灰和深灰色细粒变质长石石英砂岩和含砂砾千枚岩, 为河流相沉积, 厚度 $>77\text{m}$ 。

下统南沱组 (Z_{1n}), 黄绿色含冰碛砾千枚岩、砂质千枚岩, 为冰川沉积, 厚度 $>257\text{m}$ 。

上统陡山沱组 (Z_2d), 可分两个岩性段。下段称嘉山段, 岩性主要为千枚岩; 上段称马迹山段, 主要为内碎屑微晶灰岩夹钙质页岩, 底部含磷。陡山沱组为浅海沉积, 厚度 $>579\text{m}$ 。

上统灯影组 (Z_{2dn}), 岩性主要为灰、浅灰、灰白色中厚-块状白云岩, 含燧石条带及团块, 顶部夹硅质岩。灯影组为海相沉积, 总厚度 $136\sim850\text{m}$ 。

江南地层区震旦系包括下统南沱组和上统蓝田组和皮园村组。

3. 寒武系 (ϵ)

下扬子地层分区中, 自下而上依次为下统幕府山组、下一中统炮台山组及中一上统观音台组。江南地层分区依次为下统荷塘组、中统大陈岭组、杨柳岗组及上统华严寺组、西阳山组, 寒武系是下扬子地区内分布面积比较广泛、岩相变化较大的地层之一。主要由一套浅海相泥岩、碳质泥岩和碳酸盐岩类岩石组成, 总厚 $1065\sim1145\text{m}$ 。各统之间整合接触, 与下伏震旦系地层整合接触。

幕府山组 (ϵ_{1mu}): 下扬子地层区内岩性变化较大, 在东至一南陵一线称黄柏岭组, 而西北部滁州地区为黄栗树组。与江南地层区相当地层称荷塘组。区内总厚 $>237\text{m}$, 按照岩性、生物组合, 可将其分为上、下两部分: 上部主要为深灰色中厚层条带状白云质灰岩、灰质白云岩, 微粒状结构, 厚 62m ; 下部为黑色碳质页岩、石煤层、黄绿色页岩、含粉砂质页岩, 厚 $>175\text{m}$ 。与下伏灯影组呈假整合接触。

炮台山组 (ϵ_{2p}): 滁州及宁国地区亦称杨柳岗组。

本组上部为薄板状及中厚层含白云质灰岩, 中部为灰色厚层条带状含白云质灰岩, 下部为灰色中厚层灰质白云岩、条带状灰岩与灰黄、黄褐色页岩互层, 灰岩发育微细层理。厚度 $87\sim246\text{m}$ 。与下伏幕府山组呈整合接触。

观音台组 (ϵ_{3g}): 下扬子区观音台组主要为浅、深灰色中-厚层灰质白云岩、白云岩夹白云质灰岩, 含燧石结核条带。宁镇一带厚约 530m , 向两侧变厚至 600m 以上。皖南宣泾盆地自下而上称团山组 (ϵ_{3t})、青坑组 (ϵ_{3q}) 和唐山村组 (ϵ_{3tn})。团山组 (ϵ_{3t}) 厚 $99\sim147\text{m}$, 化石丰富, 岩性稳定, 上部为灰色中厚层灰岩与薄层泥质条带灰岩互层, 下部为灰、深灰色中厚层竹叶状灰岩与薄层泥质条带灰岩互层。青坑组 (ϵ_{3q}) 厚约 $207\sim283\text{m}$, 下部为灰、浅灰色厚至巨厚层条带含白云质灰岩、宽条带状灰岩, 夹少量中厚层细条带状灰岩, 中部为浅灰、灰白色厚层至巨

厚层白云岩,上部岩性主要为灰、浅灰色厚层至巨厚层灰岩,自下而上条带状灰岩逐渐增多。唐山村组(C_3tn)厚约 189m,上部为灰色链条状灰岩与土黄色页岩互层,下部为灰、浅灰色厚层细条带状含白云质灰岩、灰色厚层至巨厚层灰岩。

下扬子地区早寒武世早期的碳质页岩、石煤层,是浅海或海湾还原环境的产物,其后以页岩、含粉砂质页岩为主。中寒武世仍以浅海沉积特征为主,但泥砂质成分减少,钙质成分明显增加,灰岩条带和微细层理的发育反映了沉积时气候变化频繁,后期白云质含量增高,可能是气候由温和向干燥炎热转变,促进了海水蒸发、含盐度增大和白云石的沉淀。晚寒武世基本上为一套浅海碳酸盐岩沉积。

4. 奥陶系(O)

下扬子地层分区自下而上依次为:下统仑山组、红花园组、大湾组及牯牛潭组,中统庙坡组和宝塔组,上统汤头组和五峰组,其中下统岩性为碳酸盐岩,中统及上统的汤头组为瘤状灰岩,五峰组为页岩。江南地层分区自下而上依次为:下统印渚埠组和宁国组,下一中统胡乐组,中统砚瓦山组,上统黄泥岗组和长坞组。江南地层分区的下奥陶统与下扬子地层分区存在较大差异,与仑山组、红花园组相当的印渚埠组以钙质泥岩为主,夹灰岩透镜体,厚度 400m 左右;与大湾组、牯牛潭组相当的宁国组下部为页岩夹粉砂岩,厚度 100m 左右。中奥陶统岩性大致相似。上奥陶统,江南地层分区以泥岩、粉细砂岩组成的复理石韵律层区别于下扬子地层分区的泥灰岩、硅质岩,差异明显,沉积厚度一般在 300m 左右,宁国地区厚度最大达到 727m。

奥陶系主要为介壳灰岩相。上、中、下统发育齐全,与下伏上寒武统以及上覆志留系均为连续沉积,呈整合接触关系。系内各组均为整合接触关系。地层总厚约 360m。

仑山组(O_1l):本组岩性变化不大。厚度>221m。上部为灰、浅灰色厚层灰岩,灰岩呈隐晶结构;下部为浅灰、灰白色厚层至巨厚层含白云质灰岩。

红花园组(O_1h):本组岩性变化不大,厚度>67m。上部为灰色厚层致密灰岩,下部为灰、深灰色厚至巨厚层粗结晶灰岩、结晶灰岩。

大湾组(O_1d):本组上部主要岩性为灰白、灰黄色中厚至厚层状灰岩、含生物碎屑灰岩;下部为黄绿色页岩,底部夹少量厚层灰岩。厚约 23m。

牯牛潭组($\text{O}_{1\text{g}}$):区块内相当于汤头组(O_2t),本组主要为一套微红、黄灰色中厚层灰岩与瘤状灰岩,下部具有龟裂纹,上部具有瘤状构造和藻结核。岩石具泥晶、细晶、生屑结构,具网眼、收缩纹、瘤状构造,厚约 15m。

庙坡组(O_2m):区内庙坡组主要为台沟到台盆相沉积的浅灰、黄绿色页岩夹数层灰岩凸镜体,富产笔石和三叶虫,厚度为 0.3~1.89m。

宝塔组(O_2b):区内宝塔组分布广泛,富产头足类。下部为褐黄色或灰紫色似瘤状或龟裂纹中厚层灰岩,富产喇叭角石,厚度为 0.5~4m;中部为灰色、

微肉红色中厚层龟裂纹泥晶灰岩，厚约 11m；上部为灰黄、棕红色瘤状灰岩，厚度约 13m。岩石具有微波状层理，生物屑多为薄壳生物，以浮游生物为主。

汤头组 (O_3t)：本组岩性变化不大，厚度较稳定，一般在 21m 左右。上部主要为黄褐色中厚层泥岩，下部为黄褐色泥岩夹少量青灰色中厚层瘤状泥质灰岩。

五峰组 (O_3w)：本组岩性单一，变化不大，厚度稳定，一般在 14m 左右。上部主要为深灰、灰黑色硅质泥岩，下部为浅灰、灰白色页岩。见有大量的笔石化石。

5. 志留系 (S)

下扬子分区地层由下而上分别为高家边组、坟头组及茅山组。江南分区地层自下而上分别为安吉组、大白地组、康山组及唐家坞组。其中宁国—黄山一带下志留统又称霞乡组和河沥溪组。

志留系为浅海相碎屑岩建造，沉积旋回清楚，生物发育，早期以笔石为主，中晚期珊瑚、腕足类丰富。总厚为 1358~1479m，由南向北逐渐减薄。与下伏奥陶系五峰组呈假整合接触，与上覆泥盆系为整合接触。系内各组连续沉积，均为整合接触。

高家边组 (S_{1g})：由浅海相的碎屑岩组成，厚 1125m 左右。按照岩性大致可分为两部分。上部厚度 154m，岩性为灰黄绿色薄层粉砂岩。下部厚 968m，岩性主要为青灰色中厚层泥质粉砂岩与灰绿、灰黑色含碳质页岩互层。具有层纹状和球状风化，底部为黑色碳质泥岩，为笔石页岩相沉积。生物群单一，几乎全为笔石组成。

高家边组基本上继承了晚奥陶世的沉积特征，但此时的海侵范围比晚奥陶世向南有所扩大。由于早志留世初期海侵自北向南推进，因此，其沉积厚度变化也由北向南逐渐减薄。

坟头组 (S_{2-3fn})：含大量腕足类的浅海-滨海介壳相砂岩夹页岩沉积，厚度为 233~354m。按其岩性分为上、下两部分：上部为灰绿色薄层细粒岩屑石英砂岩与灰绿色条带状页岩互层。上部为灰绿色粉砂岩，含粉砂质泥岩、粉砂岩夹同色细粒岩屑石英砂岩。下部为灰绿色薄层细粒岩屑石英砂岩夹同色粉砂质页岩及粉砂岩。

茅山组 (S_3m)：总厚 99~335m。上部为灰白色中厚层细粒石英砂岩夹黄色薄层细砂岩，下部为灰白色中厚层至厚层细粒石英砂岩及灰白、紫红色岩屑石英砂岩，夹黄绿色薄层细砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩等。茅山群自西向东岩屑砂岩逐渐减少，厚度逐渐增大。

江南地层分区各组岩性与下扬子地层分区大同小异，但在宁国地区沉积厚度明显增大，如霞乡组岩性为灰绿色、黄绿、青灰色粉砂岩、粉砂质页岩及细砂岩，厚度达 1333m。

6. 泥盆系 (D)

泥盆系在下扬子地区整体缺失中、下泥盆统，仅发育泥盆系上统五通组，全