

华北盆地 南缘寒武系烃源岩

戴金星 刘德良 曹高社 陶士振 秦胜飞 著



石油工业出版社
PETROLEUM INDUSTRY PRESS

华北盆地南缘寒武系烃源岩

戴金星 刘德良 曹高社 陶士振 秦胜飞 著

石油工业出版社

内 容 提 要

通过对华北盆地南缘新元古代—寒武纪沉积构造环境与全球同期沉积构造环境的对比,论述了华北盆地南缘新元古代—寒武纪早期沉积大地构造性质,并对本区寒武系底部优质海相泥质烃源岩进行了全面分析评价,探讨了沉积构造环境对烃源岩的控制作用和华北盆地南缘烃源岩的天然气地质意义。

本书可供从事天然气勘探的科技工作者使用,也可作为大专院校相关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

华北盆地南缘寒武系烃源岩/戴金星等著.

北京:石油工业出版社,2005.3

ISBN 7-5021-4865-5

I. 华…

II. 戴…

III. 华北地区—寒武纪—含油气盆地—海相生油—研究

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 122925 号

华北盆地南缘寒武系烃源岩

戴金星等著

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.cn

总 机:(010)64262233 发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技排版中心排版

印 刷:北京晨旭印刷厂印刷

2005 年 3 月第 1 版 2005 年 3 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:8.5

字数:213 千字 印数:1—1000 册

定价:30.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

以往对于华北盆地南部古生界(寒武系等)是否存在烃源岩以及高过成熟烃源岩生烃潜力多持否定态度。但笔者在野外工作中发现华北盆地南缘存在厚度大、有机碳含量高的烃源岩,并在其上覆地层中发现地质近代油气排放遗迹,表明寒武系烃源岩仍具生烃潜力。目前国内外对高过成熟烃源岩成熟度指标的下限也有新的认识,国内外已发现多个来自寒武系烃源岩的大气田。华北盆地南缘烃源岩的发现及其生烃潜力的确定对我国其他地区的勘探具有重要的启发和借鉴意义。

通过对华北盆地南缘新元古代—寒武纪沉积构造环境与全球同期沉积构造环境的对比,论述了华北盆地南缘新元古代—寒武纪早期沉积大地构造性质。并对本区寒武系底部优质海相泥质烃源岩进行了全面分析评价,探讨了沉积构造环境对烃源岩的控制作用和华北盆地南缘烃源岩的天然气意义,认识如下。

华北盆地南缘寒武纪早期的构造形式体现为地堑和地垒相间的构造格局,具有典型的伸展盆地的构造特征。寒武系底部属于低水位沉积体系,形成于具有陆架坡折的陆缘盆地。根据层序界面分析,这些层序形成于陆块裂离背景下的沉积构造环境。

寒武系底部是一套连续的沉积,其内部不存在“角度不整合”或“平行不整合”,故将研究区下寒武统底部具有一致沉积构造环境而原本连续一体的沉积地层命名为“马店组”,依照岩性的不同分为四个岩性段。

下寒武统沉积相、沉积微相和地球化学研究表明,马店组第一岩性段为盆底扇沉积,第二岩性段为海相斜坡扇,形成于高密度碎屑流;第三岩性段为高密度碎屑流逐渐过渡为低密度碎屑流的沉积,其顶部沉积转为正常海相环境;第四岩性段为斜坡沉积。马店组沉积总体上处于高盐度、强还原的封闭环境,其顶部沉积逐渐变为正常海相环境。

马店组底部第一岩性段存在磷结核,此为马店组的海相成因提供了重要的证据。对该磷结核和第三岩性段磷结核的地球化学对比研究表明,它们具有显著的差异,反映其沉积环境的演变。马店组第三岩性段主要为黑色岩系,其金属元素显著富集,可以确定为含金属黑色岩系,是全球性缺氧背景与区域性有机质造成的缺氧环境共同作用的结果。

华北盆地南缘寒武系底部烃源岩有机碳含量高,氯仿沥青“A”和生烃潜量较低;有机质类型为I₁型;正构烷烃、甾、萜类化合物和芳香烃化合物反映烃源岩沉积于海相高盐度、强还原环境;烃源岩热演化程度较高,达到过成熟早期至过成熟晚期阶段。但在该套烃源岩发育的广大区域,具有勘探深层气、裂解气和保存早期气的现实意义。

世界上已发现多个来自寒武系烃源岩的大气田(书中仅举3例)。人们的探索由浅入深。许多古老的地块一直未经深埋,或居深位而地温不高,或经过构造运动而很少受到改造,或多期成藏调整而今依然保持可观的储量。因此,在烃源岩发育地区或存在导气断裂条件下,寻找被非能干层(一定条件下的泥质岩层岩、韧性断层岩等)包容、封盖及挟持的能干层断裂构造(节理、劈理、位错等)内的天然气十分必要。我国华北盆地、鄂尔多斯盆地、四川盆地、塔里木盆地等,以及造山带内夹地块型盆地的分布地域辽阔,寒武系沉积厚大,虽然其烃源岩均已达

到高过成熟阶段,但仍能形成大气田的事实表明,有效烃源岩仍然可能存在。在岩石圈及地壳深部,物质和能量转化实在的自然过程,我们致知闻道的真实有限,永远需要不断地进一步探索。

本书得到了中国石油勘探开发研究院实验研究中心张水昌教授的审阅,在此表示衷心的感谢!

作者
2004 年 8 月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 国内外新元古代—寒武纪早期沉积构造环境和烃源岩研究叙要	(3)
一、罗迪尼亚超大陆裂离构造研究评述	(3)
二、我国寒武系底部烃源岩研究评述	(6)
第二节 重点研究区新元古代—寒武纪早期沉积构造环境和烃源岩研究叙要	(7)
一、沉积地层研究评述	(7)
二、沉积环境研究评述	(8)
三、构造环境研究评述	(9)
四、烃源岩研究评述	(10)
第二章 沉积地层	(11)
第一节 地层剖面测量	(11)
一、四十里长山地区青白口系—震旦系剖面	(11)
二、四十里长山地区下寒武统剖面	(12)
三、淮南地区凤台水泥厂马店组剖面	(17)
第二节 地层时代判定	(18)
一、青白口系—震旦系	(18)
二、下寒武统	(18)
第三章 沉积环境	(20)
第一节 沉积相	(20)
一、青白口系—震旦系的沉积相	(20)
二、下寒武统马店组的沉积相	(21)
第二节 沉积微相	(29)
一、马店组第一、二岩性段的沉积微相	(29)
二、马店组第三岩性段的沉积微相	(31)
三、马店组第四岩性段的沉积微相	(33)
第三节 沉积地球化学	(33)
一、岩层的地球化学	(33)
二、黑色岩系的地球化学	(39)
三、磷结核的地球化学	(41)
四、黄铁矿的地球化学	(43)
第四章 构造环境	(46)
第一节 裂离构造环境的层序地层学判别	(46)
一、裂离构造环境的层序地层	(46)
二、裂离构造环境的层序界面	(48)
第二节 裂离构造环境的岩浆岩石学判别	(51)

一、徐州—宿州地区岩浆岩石学判别	(51)
二、栾川地区岩浆岩石学判别	(52)
第三节 裂离构造的几何学判别	(57)
一、典型裂离构造几何学标志	(57)
二、研究区裂离构造几何学特征	(58)
第五章 沉积构造环境对烃源岩的控制	(63)
第一节 寒武系底部优质烃源岩的地球化学证据	(63)
一、有机质丰度、类型和演化程度	(63)
二、正构烷烃和类异戊二烯烷烃	(72)
三、甾、萜类化合物和芳香烃化合物	(74)
第二节 沉积构造环境对寒武系底部烃源岩的控制	(81)
一、对烃源岩分布的控制作用	(81)
二、对有机质丰度的控制作用	(82)
三、对有机质类型的控制作用	(84)
四、对有机质演化程度的控制作用	(84)
五、对寒武系底部油气系统的控制	(85)
第三节 寒武系底部烃源岩的比较	(87)
一、我国寒武系底部烃源岩的对比	(87)
二、寒武系底部烃源岩相关油气藏梗概	(91)
三、寒武系底部烃源岩脱气成藏的现实性	(91)
第六章 寒武系烃源岩的大气田	(94)
第一节 威远气田	(94)
一、概况	(94)
二、气田主要地质特征	(95)
三、天然气地球化学特征	(98)
第二节 和田河气田	(104)
一、概况	(104)
二、气田主要地质特征	(105)
三、天然气地球化学特征	(108)
第三节 外国寒武系烃源岩的大气田	(112)
结论	(114)
参考文献	(115)
附录	(122)

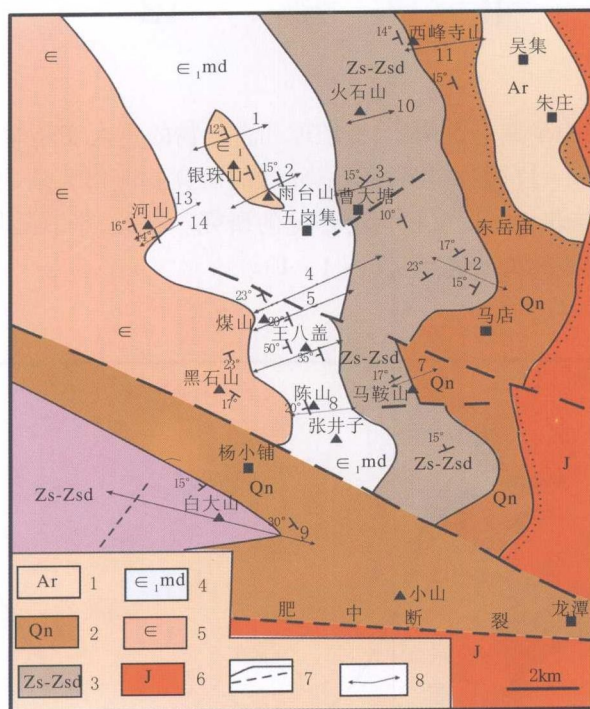


图 1-2 华北陆块南缘豫皖边区四十里长山地区基岩地质图
(该图编测中主要参考了安徽地矿局 113 地质队填制的地质图件)
1—太古界;2—青白口系;3—震旦系四十里长山组—四顶山组;4—下寒武统马店组;
5—马店组之上的寒武系;6—侏罗系;7—断裂;8—主要剖面位置

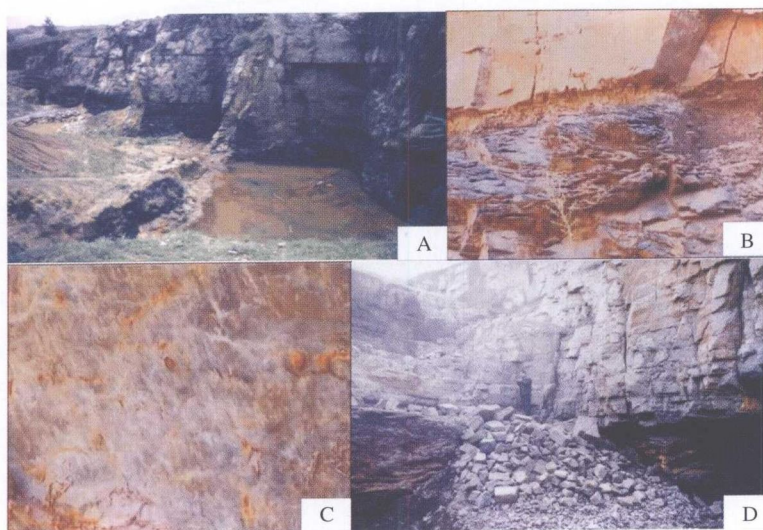


图 1-3 四十里长山地区断裂构造特征
A—南北向断裂, 马店银珠山; B—顺层滑动伴生的劈理构造, 马店雨台山;
C—顺层滑动伴生的线理构造, 马店雨台山; D—顺层滑动上盘水平层理, 马店雨台山

第一节 国内外新元古代—寒武纪早期沉积构造环境和烃源岩研究叙要

新元古代—寒武纪过渡时期处于 Rodinia 超大陆裂解的主要时期,目前国内外对这一时期沉积构造环境的研究几乎都与 Rodinia 超大陆联系在一起。

一、罗迪尼亚超大陆裂离构造研究评述

(一) 罗迪尼亚(Rodinia)超大陆的形成和裂解

尽管在“Rodinia”超大陆提出之前,许多学者已认识到新元古代之前存在由于碰撞而形成的超大陆(Bond 等,1984),但多是零碎的且不系统的资料。俄罗斯地质学家 McMenamin 等(1990;引自郭进京等,1999)在“The Emergence of Animal: the Cambrian Break - Through”一本专著中,首先将 1000Ma 以前由于碰撞而形成的超大陆称为 Rodinia。Moore(1991)在“Geology”杂志上的一篇短文“Southwest U. S. - East Antarctic(SWEAT) connection: A hypothesis”虽未提到“Rodinia”这一名词,但对 Rodinia 超大陆假说具有重大贡献,成为该假说逐渐完善过程中的基石。该文基本确立了大陆联结(Connection)的基本准则,即 Grenville 期造山带和裂谷时期地层的对比,以及在年代学基础上的古地磁资料。同年稍后,Hoffman(1991)在“Science”上发表“Did the Breakout of Laurentia Turn Gondwanaland Inside - out?”,该文在 Sweat 假说的基础上,将 Rodinia 超大陆具体化,认为在中元古代晚期存在一个以劳伦古陆(Laurentia)为中心,周缘与澳大利亚—东南极(Australia - Antarctica)、亚马孙—波罗的古陆(Amazonia - Baltica)和南极洲古陆(southern Africa)等拼合的超级大陆(图 1-4)。

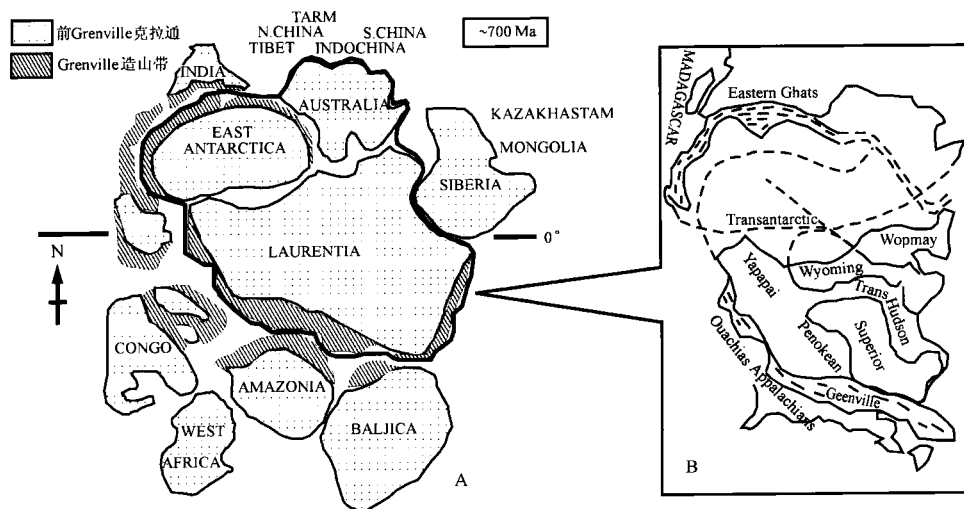


图 1-4 在 SWEAT 假说基础上提出的 Rodinia 超大陆假说(简化)

A—Rodinia 超大陆假说(Hoffman, 1991); B—SWEAT 假说(Moore, 1991),原图旋转 90°

该超级大陆在新元古代早期发生裂解,裂解作用发生的时间是穿时的,劳伦西部的裂解发生在 780Ma 前后,而其东部延至 600Ma, Rodinia 超大陆的最终裂解推测介于 620 ~ 560Ma。近

来研究不但证实了上述假说,也深化和细化了 Rodinia 的重建轮廓(Dalziel, 1997; D'Agrella - Filho 等, 1998; Weil 等, 1998)。在此基础上形成了“真极移”理论(true polar wander)(Evans, 1998)和“雪球化地球”(snow-ball earth)(Hoffman, 1998)模式。其中“雪球化地球”模式是超大陆裂解研究中具有创见性的新理论,它的基本观点是:Rodinia 超大陆的裂解使全球大陆边缘面积大大增加,由于大陆边缘是有机碳的主要沉积区,故大陆边缘面积的增加将导致有机碳埋藏量增加,使烃源岩有利形成,同时,大气圈中二氧化碳浓度降低,从而弱化了温室效应,并引起冰反射率骤升,导致地球吸热量减少,最终使全球海洋冻结,地球变“雪球”,生物绝灭。在“雪球”化的阶段中,通过大洋中脊的火山活动,地球内部的二氧化碳不断逃逸并聚集于大气圈。经过 4~30Ma 的时间,大气圈中二氧化碳足以降低冰反射率,地球重新升温,冰冻的海洋消融,生命爆发,此时的盐度和氧化条件将使铁、锰、碳酸盐岩迅速沉积。

所以, Rodinia 超大陆的裂解具有更加丰富多彩的地质表现,不但具有丰富多彩的沉积作用、成矿作用和岩浆作用,更有丰富多彩的古构造和古地理特征。地幔柱理论也用于解释裂解作用的动力学过程和阶段性。Hogan 等(1997)推测 Laurentia 最后裂开时间的不同可能与板块在地幔柱上的活动有关。Ernst 等(1999)进一步认为,与 Rodinia 裂解有关的岩浆活动,受原始地幔柱(original plume)演变为地幔柱头部(plume head)的侵位过程有关。

(二) 沉积作用在 Rodinia 超大陆研究中的地位

沉积作用研究一直是 Rodinia 超大陆研究的基础。Sweat 假说建立的基本依据是北美南部边缘中、新元古界 Belt - Purcell 系内克拉通盆地沉积和中、新元古界—寒武系 Windermere 系大陆边缘沉积,与南极东部 Transantarctic 山相同沉积时代地层的对比。并提出,仔细的地层学对比是验证该假说的重要研究方向。的确,首先对 Sweat 假说验证的是来自地层学的证据,Young(1992)通过对比同属新元古代的澳大利亚东南部 Heysen 超群(Supergroup)与加拿大西北部的 Windermere 超群,认为两地层具有显著的相似性,属于同一裂谷作用的产物。Hoffman(1991)在其著名文章的开头提到,Laurentia、Baltica、Siberia、Gondwanaland 等大陆边缘同时发生的裂谷作用和大陆裂离是建立新元古代超大陆的最基本的前提。Dyson(1998)研究了澳大利亚南部与 Laurentia 西部的沉积地层,认为两者都具有相似的裂离不整合、生长断层、滑塌沉积、同沉积底辟构造和剥蚀作用,为两板块裂解时期的演化提供了细节。Bailey(1998)研究了北美 Grenville 期基底上的新元古代晚期 Mechem River 组的冰海沉积地层,并与北西 Laurentia 和澳大利亚相同时期沉积物对比,认为它们具有相似的特征,为“雪球化地球”模式提供了证据。此后,相似的裂谷(rifting)和裂解(breakup)事件的沉积记录一直是超大陆研究的中心问题之一。新元古代—寒武纪沉积学研究是 Rodinia 超大陆裂解构造研究最基本的组成部分。

(三) 古中国大陆在 Rodinia 超大陆中的位置

有关中国大陆的几个微板块(华北、扬子、塔里木和华夏陆块)在 Rodinia 超大陆的位置研究较少。Hoffman(1991)的古地理再造图上,仅将中国的古地块置于冈瓦纳边缘,正文中未作阐述。Li 等(1995a, 1995b, 1996a, 1996b, 1999)的系列论文主要对华南陆块(扬子和华夏陆块)进行了较为深入的研究,主要观点是:①在超大陆中东冈瓦纳和西伯利亚板块之间可能缺失了一个曾经存在的地质体,该地质体可能是扬子与华夏碰撞而形成的华南陆块。②“四堡造山运动”(1100~1000Ma)相当于北美的 Grenville 造山运动,它使华夏与扬子微板块拼合,形成统一的华南陆块,该陆块很快裂开(900Ma),形成最初裂解时期的青白口系裂谷火山—碎屑岩沉积。700Ma, Rodinia 超大陆的裂解进入高峰期。③华北陆块与西伯利亚板块具有相似特征和演化历史,而不同于扬子与华夏陆块。王鸿祯(1995)对此则有不同认识,他再造的

850Ma 新元古代联合大陆中,将中朝—塔里木陆块、扬子—华夏陆块置于西半球,与北美大陆为邻。郭进京等(1999)进一步认为扬子陆块与华北陆块晋宁运动发生过汇聚拼贴,中国各微陆块之间都存在晋宁期(1000~900Ma)碰撞拼合带,现今各微陆块的相对位置大致代表了晋宁期拼合的相对位置。将中国新元古代拼合大陆置于澳大利亚、西伯利亚和劳伦古陆克拉通之间。这样,中国的主要克拉通陆块只不过是新元古代碰撞带中夹裹的一些规模较小的克拉通碎块。

(四) 古中国大陆开合作

中国大陆由古中国大陆扩展而来,是一个具有复杂开合历史的由许多微陆块组成的大陆。Wang 等(1995)认为,1800Ma 的吕梁运动、1000~850Ma 的晋宁运动和 208Ma 左右的印支运动为三次具有划时代意义的构造运动,并且在中、新生代也表现了复杂的运动图像。所以,元古宙构造格局的恢复具有一定难度,认识上分歧较大。

华南广泛分布新元古代与寒武纪地层,积累了丰富的地层学(刘鸿允等,1991)、古地理学(刘宝珺等,1994)、古生物学(卢衍豪,1964;丁莲芳,1994;陈孟莪,1989)和构造学(王鸿祯等,1986,引自王剑,2000)的资料,在 Rodinia 研究中得天独厚。的确,我国 Rodinia 超大陆研究的主要成果集中于该地区。Li 等(1995a, 1995b, 1996a, 1996b, 1999)的研究使中国大陆板块第一次在 Rodinia 超大陆中具有真正的位置。王剑(2000)详细论述了华南与世界其他地区相同时代裂谷盆地的地层对比,认为华南地区的沉积地层层序和岩浆活动特征与 Rodinia 超大陆裂解时期典型盆地(南澳大利亚大陆裂谷盆地和劳伦古大陆边缘裂谷盆地)完全可以对比,并进而认为,华南在 Rodinia 超大陆研究中占有十分重要的位置。

张国伟等(2000)对秦岭造山带新元古代岩石学、年代学和构造学综合研究表明,华北与扬子陆块在晋宁期可能随全球性 Rodinia 超大陆的形成而汇拢靠近,但并未完全拼合统一即又迅速扩张分离,并自此时起大地构造演化转入在扬子与华北两板块及其间的微陆块从低纬度向北漂移与劳亚大陆汇聚拼合的历程中。樊金涛(1995)对胶南造山带牛山和驼峰片麻状花岗岩研究表明,其原岩为碱性花岗岩,形成于引张构造环境,并推测可能与 Rodinia 超大陆的裂解有关。大别造山带内也广泛分布 800~600Ma 的片麻状花岗岩,但对其形成的构造环境认识分歧较大(刘贻灿等,1999),不过,近来已有部分学者意识到这些花岗岩可能与 Rodinia 超大陆的裂解或汇聚有关(郑永飞等,2000;陈江峰等,2001)。

在我国西部,丁道桂等(1996,引自郭进京等,1999)认为,中天山地块、中昆仑地块都是在震旦纪从塔里木地块分裂出去的微陆块。李怀昆等(1999)初步确定了柴达木北缘新元古代早期陆陆碰撞事件和晚期的裂解事件的时序,并认为这是全球 Rodinia 超大陆形成和裂解作用在我国西北地区的地质记录。夏林圻等(2000)应用测年资料筛分出了北祁连加里东造山带内存在属于震旦纪裂谷作用的火山—沉积序列。郭进京等(1999)综合分析认为,柴达木—中祁连—阿拉善统一陆块在晋宁运动时曾与华北陆块和扬子陆块拼合成为统一的古中国大陆的一部分。于海峰等(1999)在甘肃北山发现了碰撞带标志的晋宁期榴辉岩,并认为,塔里木、华北、柴达木在晋宁运动期间,逐步汇聚于中国西部的甘、青、新地区,形成统一的陆块。

在华北陆块,由于其腹地缺失震旦系—寒武系底部地层,使得运用地层学对比方法确立其在 Rodinia 超大陆形成和裂解时期的地质响应变得困难,有关研究成果甚是难得。乔秀夫(1999)辨认出华北陆块非正常沉积的强地震事件在岩层中留下的记录,认为震积岩组合的分布代表不同时期的古地震——构造带,它们的出现与元古代超大陆(Rodinia)形成前的陆块汇集期和 700Ma 裂解时期相吻合,但对于这些特征的“震积岩”成因尚有不同认识(钱迈平等,

2001)。潘国强等(2000)对徐宿地区震旦纪岩浆侵入事件和震旦系沉积岩进行了研究,推测震旦纪时期华北陆块的东缘处于拉张环境,伸展构造引起地壳变薄和张裂,使基性岩墙群侵位,这一事件是 Rodinia 超大陆发生裂解的表现。

二、我国寒武系底部烃源岩研究评述

我国寒武系底部烃源岩分布较广,目前证实的主要地区在塔里木陆块和扬子陆块。现在华北陆块南缘豫皖交界四十里长山地区发现和证实了寒武系底部烃源岩(刘德良等,2000a;戴金星等,2002;曹高社等,2002)。该发现为华北陆块南缘勘探寒武系底部烃源岩的油气藏提供了重要依据。

(一) 扬子陆块下寒武统烃源岩

早古生代中国南方可以分为扬子、南秦岭、南华三个沉积域。扬子浅海为稳定的碳酸盐岩台地,其两侧分别为南秦岭次深海和南华陆缘海,从而构成华南板块南、北两个被动大陆边缘(马力等,1994),寒武系底部烃源岩主要分布于这些区域。杨斌等(1996)对南方下寒武统烃源岩进行了评价,认为,由碳质页岩、硅质页岩、石煤层和碳酸盐岩组成的下寒武统烃源岩,分布面积广(有效烃源岩占总面积的 50% 以上)、厚度大、有机质丰度高(平均在 1.86% ~ 2.77%)、有机质类型好(腐泥型为主),热演化程度高,为好—很好的气源岩。张水昌等(1993)详细总结和研究了下扬子地区古生界海相烃源岩饱和烃生物标志物特征,认为下古生界较好烃源岩的发育与早古生代浮游植物的大量繁盛有关。

王顺玉等(1999)、戴鸿鸣等(1999)和尹长河等(2001)研究了威远和资阳天然气地球化学特征和含气系统,认为寒武系是下古生界最有潜力的烃源岩,暗色泥岩主要分布在下寒武统筇竹寺组。在资阳地区厚度为 300 ~ 400m,有机碳含量为 2%,在威远地区厚 230m,有机碳含量为 5%,是区域内的主力烃源岩,干酪根类型为 I 型,有机质已达到过成熟阶段。威远和资阳天然气碳同位素($\delta^{13}\text{C}_1$ 分别为 -31.96‰ ~ -32.78‰ 、 -37.1‰ ~ -38.00‰)、储层沥青的生物标志物特征研究表明,寒武系泥岩是其主要气源岩。

王顺玉等(2000a,2000b)也对大巴山、米苍山南缘烃源岩特征进行了研究,认为下寒武统泥岩有机碳含量($>1\%$)可以达到好烃源岩的有机质丰度标准,是本区主要烃源岩发育的层系之一。

(二) 塔里木陆块下寒武统烃源岩

寒武—奥陶系作为塔里木盆地海相油气的主力烃源岩已成共识(范璞等,1990;康玉柱,1996;赵孟军等,1996;张水昌等,1996)。但对其主要烃源岩类型与确切的烃源岩分布层段认识则不尽一致。赵靖舟(2001)根据对塔北地区泥质烃源岩及碳酸盐岩热解资料的统计分析认为,本区中、上奥陶统泥质岩除柯坪地区相对较好外,其余地区普遍属差—非生油岩,不可能对已发现的海相油气有实质性的贡献。而寒武系无论是碳酸盐岩还是泥岩,其有机质丰度均高于奥陶系,是塔里木盆地一套十分重要的海相油气源岩,现今为一套优质气源岩。赵孟军等(2001)以塔里木盆地塔北隆起东部的桑塔木断垒带的天然气与和田河气田的天然气为实例,讨论了两种来源成因的天然气——干酪根裂解气和原油裂解气的组分和碳同位素特征,证明虽然塔北隆起东部天然气主要为干酪根裂解气,和田河气田天然气主要为原油二次裂解气,但二者的天然气都是寒武系烃源岩的产物。陈践发等(2001)对塔里木盆地东部地区的天然气碳和氢同位素研究表明,天然气类型是来自震旦系到下古生界海相腐泥型母质的油型气。

第二节 重点研究区新元古代—寒武纪早期沉积构造环境和烩源岩研究叙要

研究区出露的青白口系—寒武系底部,作为盖层沉积在华北型新太古代霍丘群结晶基底之上,经钻孔揭示,在两套岩层接触处,存在具有工业开采价值的风化壳型铁矿床(安徽省地矿局地质调查队,1985)。青白口系—寒武系底部层位之上,为华北型寒武系(馒头组、毛庄组、徐庄组)所覆盖,与研究区北侧淮南地区的相同。研究区处于固始—合肥断裂的北侧,属于华北陆块,多数学者对此无较大争议。由于该套地层与淮南地区地层是联成一体的,同属于淮南地层小区(安徽地矿局,1987),因此,书中兼论淮南地区相同时代地层的研究历史与现状。

一、沉积地层研究评述

青白口系—寒武系底部地层明显可以分为两套沉积特征不同的地层组合,其一为青白口系—震旦系,主要为碎屑岩系和碳酸盐岩系;其二为下寒武统,主要为一套非正常沉积的地层,岩性为砾岩、砂岩和黑色页岩。两套地层组合之间界线清楚,四顶山组叠层石白云岩之上直接覆盖黑色页岩或砾岩,沉积相显然不连续,不符合瓦尔特相序定律,表明两者之间应存在具有分划性质的构造界面。

(一) 青白口系—震旦系

淮南—凤阳地区下元古界凤阳群与太古界结晶基底之上的青白口系—震旦系沉积盖层,由于露头连续、化石丰富,很早就吸引了地质学家的注意。安徽区调队(1985)在1:20万填图工作基础上,基本理顺了本区青白口系—震旦系的岩石地层层序,将青白口系八公山群分为曹店组、伍山组和刘老碑组,震旦系徐淮群分为四十里长山组、九里桥组、四顶山组、倪园组和九顶山组。杨清和等(1980)在“苏皖北部震旦亚界的划分和对比”一文中,主要根据本区新元古代的生物群特征,认为该区青白口系较“蓟县型青白口系”更全。

(二) 下寒武统

在震旦系四顶山组叠层石白云岩之上,与产有早寒武世生物大化石的含砂内碎屑灰岩之下,存在一套以砾岩为主的岩层,其顶底界清楚,但就其地层划分对比颇不统一。

1956年,徐嘉炜将谢家荣(1947)所划分的寒武系底部地层(称为含磷岩系,包括含生物大化石的寒武系和下部以砾岩为主的地层)命名为“猴家山统”,此后(徐嘉炜,1958),进一步将“猴家山统”三分,上部的钙质页岩夹硅质灰岩称为白鹤山层,中部的含磷岩系称为雨台山页岩,下部红色角砾状石灰砾岩层称为凤台砾岩。并将寿县四顶山及老庙台附近含腕足类化石的薄层石灰岩之上的含燧石条带结晶灰岩和细砾岩层称为老庙台层,认为老庙台层位于凤台砾岩之下。杨清和等^①认为,“老庙台层”穿插于四顶山组硅质白云岩层之间,并发现“老庙台层”明显地覆于凤台砾岩之上,它属于雨台山组的一部分,所以,在以后的文献中,基本上废弃了“老庙台层”。郑文武等^②则将凤台砾岩单独建组,称凤台组。

① 杨清和、周本和,皖西寒武系底界,全国第二界地层会议资料,1979。

② 郑文武等,苏皖震旦亚界野外工作汇报,合肥工业大学地质系,1978。

在四十里长山地区,杨志坚(1960;引自安徽区调队,1985)首先将馒头组之下含 *Hsuaspis* 的砂灰岩命名为郭山组,再下部的黄绿色页岩和石灰砾岩合并称为雨台山组。并认为,郭山组比徐嘉炜的白鹤山层层位要低;杨清和等^①认为,研究区内分布的该套地层形影相随,不能人为地分为不同的组,而统称为“雨台山组”,并根据岩性的不同,自下而上分为下页岩段、砾岩段、磷页岩段、砂灰岩段。郑文武等(1980)注意了与邻区地层的对比,将霍丘地区砾岩与河南的罗圈组对比,统一为罗圈组,分为煤山段和马店段。煤山段主要由纹层状页岩及含角砾含粉砂质泥岩、钙质粉砂岩组成,大致相当于杨清和等^①所划分的下页岩段,而马店段大致相当“风台砾岩”。郑文武等(1980)又将砾岩上部的黑色碳质页岩、硅质粉砂质页岩称为“皖西组”,上部的“雨台山组”以“高含碳量”与“皖西组”相区别,并认为,“皖西组”比“雨台山组”层位要低。任润生(1982)在研究区围杆一带的东王八盖山、东煤山等地,发现风台砾岩之下尚有局部分布的厚度不等的泥钙质角砾岩、灰黄色页岩,单独建立“围杆组”,但从其描述特征来看,应大致相当于杨清和等^①的下页岩段和郑文武等(1980)所称的“罗圈组煤山段”。任润生(1982)进一步将杨志坚(1960)的雨台山组三分,除下部的“围杆组”外,中部的主体砾岩称为“风台组”,相当于“风台砾岩”,上部的钙质粉砂岩、钙质泥岩称为“雨台山组”。

对于该套地层的形成时代,亦存在较大的争议。最早确立猴家山统地层单元(白鹤山层、雨台山页岩、风台砾岩)形成于早寒武世(徐嘉炜,1956,1958);郑文武等(1980)根据“淮河上升”(指含生物化石的寒武系与含磷岩系之间的界面)之前存在一套含磷结核的岩系,即“皖西组”,其中没有发现动物大化石,与“淮河上升”之后含有相当于早寒武世筇竹寺期 *Hsuaspis* 和 *obolopsis* 等化石的磷砾岩不同,故认为,皖西组属于前寒武纪的可能性大一些,而皖西组下部的罗圈组(风台组)更有可能属于前寒武纪。任润生(1982)、汪贵翔等(1984)持有相似看法。乔秀夫等(1994)通过与淮北地区地层的区域对比和研究认为,风台组与四顶山组呈“锯齿状横向变化”,两者时代相当,同属于晚震旦世。杨清和等^①认为,研究区内砾岩不能与南方的震旦系南沱组相对比,并根据该套地层在研究区内“形影相随”的特征,认为,砾岩层与产有早寒武世化石的砂灰岩同属于寒武系底部地层,但并不排除风台砾岩底部跨震旦纪—寒武纪界线的可能。叶连俊等(1983)也认为,与罗圈组等相当的砾岩(包括本区的风台组)应归为早寒武世,其主要依据是含化石的寒武系与下伏地层并没有间断,而是连续的沉积。

二、沉积环境研究评述

(一)青白口系—震旦系

汪贵翔等(1984)对江苏和安徽省北部元古界晚期沉积环境的研究认为,曹店组为陆相山前凹陷堆积;八公山组(相当于伍山组)为浅海潮下浅水高能氧化沉积环境;刘老碑组主要为静水陆棚碳酸盐岩相;寿县组(相当于四十里长山组)为滨海潮间陆源碎屑岩相;九里桥组为滨海潮间陆源细碎屑岩相—潮间藻碳酸盐岩相;四顶山组为滨海潮间潟湖藻碳酸盐岩相—碳酸盐岩相。乔秀夫等(1994)在刘老碑组上部灰岩、九里桥组上部和四顶山组上部发现有丰富的泥晶脉灰岩,并认为,该类泥晶脉是古地震活动的遗迹,说明该套地层沉积时地壳活动频繁,与风暴事件相对应,风暴事件由强地震事件引起。周进高等(1999)系统研究了淮南地区的风暴岩特征,认为刘老碑组上部产有典型的丘状交错层理,并且下震旦统寿县组上部和九里桥组中也见有不同类型特征的风暴层序。进而认为,淮南地区该套地层的沉积环境与风暴沉积有重要的关系。

^① 杨清和、周本和,皖西寒武系底界,全国第二界地层会议资料,1979。

(二)下寒武统底部地层

徐嘉伟(1956)认为,凤台砾岩为干旱气候下快速堆积的山麓相;郑文武等(1980)认为,砾岩的成因虽然与“碎屑流沉积有关,但也与来源于南侧的冰川活动有一定的联系”,主要依据是所发现的“冰川擦痕”、“刻痕和压坑”、“冰溜面”等特征。任润生(1982)和汪贵翔等(1984)认为,凤台组为冰碛层,主要由冰碛砾岩、含砾冰碛纹泥层及含砾粉砂质页岩三种岩性组成。也发现了与郑文武等(1980)所描述的冰川活动特征,进而推测,这些岩层是覆于华北腹地大冰盖边缘的冰川沉积物。显然,其冰川来源与郑文武等(1980)所推测的不同。“冰川论者”多认为该套地层形成于陆相环境。

杨清和等^①对凤台砾岩的冰川成因进行了全面的否定,认为砾岩中砾石成分单一,主要为下伏地层的砾石;所见到的“冰川擦痕”也多为易溶蚀的碳酸岩角砾,而现代断层和山麓河流沉积由于搬运撞击等因素也可形成相似现象;凤台砾岩多为碳酸盐岩胶结,与寒冷气候环境显然不相协调;对于“落石相”,解释为海岸陡岸崩塌的影响。据此对本区砾岩的成因解释为:岩层沉积时,古地形可能有较大的差异,该差异与断裂活动有关,由断裂变动伴生的断层角砾或陡岸崩塌的角砾,在风浪或底流作用下作短距离的转动后而沉积在含碳、磷质的碳酸岩介质中。

乔秀夫等(1994)通过对淮南和淮北地区震旦系统一分析后认为,凤台组为在斜坡地带形成的碳酸盐岩碎屑流沉积,与当时的强地震事件有关。并进一步将强地震活动与寒武纪早期沉积(辽东半岛的葛家屯组、大林子组和碱厂组)联系起来。

三、构造环境研究评述

郑文武等(1980)将本区凤台砾岩与豫西、西北、新疆一带所发育的砾岩对比,认为华北南部边缘,由于区域性不均一断块构造抬升或沉降作用,发育了几条活动程度不一的近东西向的断裂峡谷带,“淮南—豫西大裂谷带”就是其中之一,本区这些地层即分布于这条带中。杨清和等(1979)也提出,凤台砾岩沉积时可能伴随着断层活动。

乔秀夫等(1994)认为,在震旦纪(包括本区的刘老碑组沉积)皖北(包括本区在内)总体上处于大陆斜坡的位置,伴随着地震活动和风暴沉积事件。王翔等(1993)也有相似的认识。乔秀夫等在以后的研究中(1999)辨认出多个不同时期的古地震—构造带,并推测它们的出现与元古代超大陆(Rodinia)形成前的陆块汇集和 700Ma 裂解相吻合。

周洪瑞等(1998)对华北南缘的中、新元古代大陆边缘性质研究后认为,青白口纪是继长城—蓟县纪的裂陷—拗陷之后,转入差异升降和充填封闭的环境。而震旦纪—早古生代已处于活动大陆边缘和大陆增生。

徐学思等(1981)研究认为,寒武系沉积的基础为平缓向斜和平缓背斜相间的构造格局。

杜森官(1996)将凤台组等一套岩层沉积确定为深切谷充填型沉积,据此表明,华北陆块与扬子陆块碰撞挤压已经结束,转化为拉张的环境。

潘国强等(2000)对徐(州)宿(州)震旦纪地质事件及其成因进行了讨论,认为,该区震旦系沉积为潮上一潮下低能沉积环境,伴有阵发性高能沉积,发育阶梯状小断层,并有两次浅成—超浅成基性岩浆侵入活动,表明该区震旦纪地质事件受控于伸展构造,发生于 738.6—604Ma 之间,与 Rodinia 超大陆的裂解时间一致。

① 杨清和、周本和,皖西寒武系底界,全国第二界地层会议资料,1979。

四、烃源岩研究评述

Fan Pu 等(1996)注意到青白口系刘老碑组泥岩可能作为烃源岩,并对其有机地球化学特征进行了研究,发现淮北地区 H/C 比值为 $0.42 \sim 0.44$, $T_{\max}$ 为 $485 \sim 518^{\circ}\text{C}$, R_o 为 $2.2\% \sim 2.5\%$,反映有机质已达过成熟干气阶段;而淮南地区相应值为: 0.65 、 $445 \sim 447^{\circ}\text{C}$ 、 $1.4\% \sim 1.8\%$,指示有机质尚处于高成熟凝析油阶段。赵宗举等^①(1996)对淮南地区刘老碑组烃源岩进行了较为全面的分析,地表有机碳含量变化在 $0.018\% \sim 0.098\%$ 之间,平均为 0.058% ,部分达到烃源岩的标准,但比例不大,厚度有限。在凤深 1 井采集的样品中,有机碳含量分布范围为 $0.158\% \sim 0.629\%$,平均为 0.39% ,大致达到烃源岩标准,氯仿沥青“A”为 $97 \sim 487.5 \mu\text{g/g}$,平均为 $297.2 \mu\text{g/g}$,现今生烃潜力为 $0.06 \sim 0.49 \text{mg/g}$,平均为 0.29mg/g ,该结果表明,井下样品明显优于地表样品。综合评价刘老碑组烃源岩为差—中等烃源岩。

^① 杭州石油地质研究所,合肥盆地早期评价及圈闭评价总结报告,1996。